

地质力学概论

李四光

科学出版社

毛主席语录

人的正确思想，只能从社会实践中来，只能从社会的生产斗争、阶级斗争和科学实验这三项实践中来。人们的社会存在，决定人们的思想。而代表先进阶级的正确思想，一旦被群众掌握，就会变成改造社会、改造世界的物质力量。人们在社会实践中从事各项斗争，有了丰富的经验，有成功的，有失败的。无数客观外界的现象通过人的眼、耳、鼻、舌、身这五个官能反映到自己的头脑中来，开始是感性认识。这种感性认识的材料积累多了，就会产生一个飞跃，变成了理性认识，这就是思想。这是一个认识过程。这是整个认识过程的第一个阶段，即由客观物质到主观精神的阶段，由存在到思想的阶段。这时候的精神、思想（包括理论、政策、计划、办法）是否正确地反映了客观外界的规律，还是没有证明的，还不能确定是否正确，然后又有认识过程的第二个阶段，即由精神到物质的阶段，由思想到存在的阶段，这就是把第一个阶段得到的认识放到社会实践中去，看这些理论、政策、计划、办法等等是否能得到预期的成功。……人们的认识经过实践的考验，又会产生一个飞跃。这次飞跃，比起前一次飞跃来，意义更加伟大。因为只有这一次飞跃，才能证明认识的第一次飞跃，即从客观外界的反映过程中得到的思想、理论、政策、计划、办法等等，究竟是正确的还是错误的，此外再无别的检验真理的办法。而无产阶级认识世界的目的，只是为了改造世界，此外再无别的目的。一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。

实际的情形是这样的，只有在社会实践过程中(物质生产过程中，阶级斗争过程中，科学实验过程中)，人们达到了思想中所预想的结果时，人们的认识才被证实了。

认识的真正任务在于经过感觉而到达于思维，到达于逐步了解客观事物的内部矛盾，了解它的规律性，了解这一过程和那一过程间的内部联系，即到达于论理的认识。重复地说，论理的认识所以和感性的认识不同，是因为感性的认识是属于事物之片面的、现象的、外部联系的东西，论理的认识则推进了一大步，到达了事物的全体的、本质的、内部联系的东西，到达了暴露周围世界的内在的矛盾，因而能在周围世界的总体上，在周围世界一切方面的内部联系上去把握周围世界的发展。

地质力学概论

李 四 光

科 学 出 版 社

1 9 7 3

出版說明

本书是李四光同志根据我国广大地质工作者的实践经验，对地质力学的理论和方法的系统总结，是反映作者数十年来研究成果的重要著作，是作者生前所列《地质力学的方法与实践》专题论著的第一篇。

这本书定稿于一九六二年。十年来，我国地质事业有了迅速的发展，积累了丰富的经验，获得了大量新的资料。作者生前屡次提出要对《地质力学概论》初稿进行补充和修改，并亲自组织和指导这项工作。正值这本书稿的修订工作积极进行之际，李四光同志不幸逝世，修订工作未能在李四光同志主持下按原计划完成。现应各有关方面的要求，将《地质力学概论》按一九六二年稿出版。为使广大读者了解作者生前对本书修订、出版问题的一些想法，特将“李四光同志生前谈《地质力学概论》的修订、出版问题的摘要”和他所拟有关《地质力学的方法与实践》的提纲附后。

地质力学概论

李四光

*

科学出版社出版

北京朝陽門內大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1973 年 8 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1973 年 8 月第一次印刷 印张：9

印数：布面 1—10,850 插页：8

纸面 1—15,250 字数：181,000

统一书号：13031·104

本社书号：214·13—14

定价：布面精装 2.50 元
纸面精装 2.00 元

前 言

地质力学的内容和任务是什么？现在看来，已经有了不少地质工作者注意到这个问题。也有一些地质工作者和“构造物理”工作者不提地质力学这个名词，可是他们的工作，显然是向往着地质力学的这一方面或那一方面。在这种情况下，从事地质力学研究工作的同志们，就迫切地感到有必要把自己所知道的那些，把自己的工作经验，总结一下，扼要地陈述出来，以便和大家商讨。

这个册子，连同将要和它在一起陆续出版的若干册子，就是为了试图满足上述要求而编写的。它们能否算得完满地或到某种程度解答了上面提出的问题，那只有当它们和读者见面时由读者来作出决定。

不待说，这个总结，仅仅是初步的。它还有待于付出大量劳动，加以充实和提高。即使就这样初步总结出来的几条工作方法和若干基本论点来说，它们也经过了一个比较长期的、通过实际工作反复改正过的曲折过程。如果从这个总结中，能够看出地质力学应当发展的方向，能够确定它的工作方法中某些重要的步骤，从而对地质勘探工作中出现的具体问题提供它自己的看法，对地壳运动问题提出它自己立论的根据，那么，这些册子的编印总算不是徒劳的。

本篇中涉及各家提供的资料和意见不少，难于一一列名。外国人名用汉字拼音，到现在还没有统一的办法，所以即使列举姓名，意义也不大。这个缺点，可以由文献目录部分地补偿*，但很不完备，希望读者原谅。

* 1962年稿未列参考文献目录。这次出版，在遗留资料中，亦未找见参考文献目录。

目 录

前 言	i
第一章 有关地质构造的若干传统概念述要	1
一、关于讨论地壳运动问题的若干重要观点	1
二、从地壳组成的观点研究大地构造的几个方面	3
1. 基底和覆盖沉积层的划分以及它们各别形成的过程	3
2. 隆起和沉降地区的划分以及它们相对的起伏形态的转变过程	3
3. 地槽和地台的划分以及它们转变的过程	3
4. 根据各种褶皱形态的特征推断基底的起伏形状	4
5. 从造山褶皱、区域变质、火成岩活动地带的转移和硅铝层、硅镁层在地球表面分布的范围推断大陆成长的过程	4
6. 在地面露出和假定埋伏在地下的深断裂对地块的划分亦即地壳的组成形式所具有的意义	5
7. 从古地理形势的演变,或根据古地理形势的假定,结合区域地质的某些条件,划分构造区域为“构造单位”;并根据构造单位的某些共同特点,分别构造单位的类型;或按照它们各别固有的特点,划分独特的构造区	6
8. 其它	6
三、从地壳结构的观点划分构造形态的若干传统概念	6
1. 普通构造形迹类型的传统名称述要	7
2. 多少被认为具有普遍性的构造带(或区)的若干重要类型	9
第二章 地质力学的方法	12
一、鉴定每一种构造形迹或构造单元(在地质力学上称为结构要素)的力学性质	13
二、辨别构造形迹的序次,按照序次查明同一断裂面力学性质可能转变的过程	20
三、确定构造体系的存在和它们的范围	21
四、划分巨型构造带,鉴定构造型式	23
第一类、横亘东西的复杂构造带	23
第二类、走向南北的构造带	29
第三类、各种扭动构造型式	31
甲、多字型构造	39
乙、山字型构造	45
丙、旋卷构造	54
丁、棋盘格式构造	74
戊、人字型构造	81
五、分析联合和复合的构造体系	86

六、探讨岩石力学性质和各种类型的构造体系中应力活动方式	93
七、模型实验	99
第三章 当前地质力学中存在的问题	107
一、构造运动时期的鉴定	107
二、古构造型式的鉴定	109
三、各级构造型式对大矿化带和矿田的控制作用	110
四、构造型式所涉及的地壳深度	111
五、各种结构面或构造面显示力学含义的特点	112
六、各别褶皱形式的决定因素	113
七、岩石的弹、塑性能的统一性与松弛现象	114
八、在岩层中不显示构造迹象的应力作用和现时尚在活动的应力分配 情况的探测	117
第四章 地壳运动起源问题	118
一、运动发生的时期	118
二、运动的方式和方向	119
1. 从地壳各部分的组成探讨它们所经过的运动的的方式和方向	119
2. 从地壳各部分的结构探讨它们所经过的运动的的方式和方向	122
三、运动的起源和动力的来源	125
附录:	
外国人名、地名索引	133
插图和图版索引	
北半球表面出露的主要构造带简化图	132—133
图版 I 湖南宁远地区多字型构造航空摄影	40—41
图版 II 1952年10月8日山西崞县地震时发生的雁行排列或羽状裂隙	40—41
图版 III 小型旋卷构造的砥柱	56—57
图版 IV 小型帚状构造	56—57
图版 V 沿对尔线状的网状构造及其它伴随的节理	74—75
图版 VI 小型棋盘格式构造及菱形节理网	74—75
图版 VII 砾岩层中脆硬的砾石由于受到构造运动的影响所发生的塑性形变	96—97
图版 VIII 第四纪冰碛和冰水沉积中的砾石所显示的弹性和塑性形变	96—97
李四光同志生前谈《地质力学概论》的修订、出版问题摘要	137
地质力学的方法与实践(提纲)	139

第一章

有关地质构造的若干传统概念述要

一、关于讨论地壳运动问题的若干重要观点

近几十年来,跟着资本主义日益没落,社会主义欣欣向荣,在许多自然科学部门中,出现了或重新提出了长久以来潜伏着的重大问题,动摇有关科学部门传统的某些基本概念,并促使它们向新的方向发展,虽然自然科学自身作为一种社会意识形态,一般认为是不属于上层建筑的。

地壳运动问题就是在现代地质科学中存在的这样一种问题。它包括的问题很多,牵涉的范围很广,其中最足令人注意的来自下列各方面:

1. 古地理方面 主要涉及与陆地和海底地形的起伏变化、海浸和海退、大小陆块的分裂或部分沉没、大陆可能逐渐扩大等项有关的问题。

2. 火成岩活动方面 主要涉及各种酸性、中性、基性、超基性岩体特别是大量花岗岩、安山岩、玄武岩、橄榄岩在地表和地壳上层中分布或散布的规律和活动的历史以及地壳下层或其以下熔岩(或岩浆)流动和分异的可能性等问题。

3. 古气候方面 主要是与古气候带的地理位置变迁、温暖或热燥亦或热湿气候扩展到现今的极圈范围、冰盖或冰流大规模出现等等现象有关的问题。

4. 古生物方面 古生物群的分布和它们在各地质时代流徙路线以及与古气候变化有关的问题。

5. 地热学方面 包括与地球全部热历史有关的各项问题,其中最重要的是地壳下层或其以下因失热降温而收缩、发热增温而膨胀、积热而液化或软化的可能性以及局部热态的变化对岩层、岩体的结构和它们相互之间取得平衡的条件所发生的影响等问题。

6. 地震方面 主要是有关不同烈度地震带的分布,深震(震源在莫霍洛维奇面——即深 60 到 40 公里左右,有的地方更浅些——以下)、浅震以及人为地震的译解问题。

7. 大地测量方面 主要涉及某些地点之间距离的变更和经纬度的变更问题。

8. 重力场方面 在重力场中,地壳的每一部分,除了由于不断争取降低它的位势而引起的许多复杂构造问题以外,还有与区域性重力正负异常的起因以及均衡补偿方式和程度有关的各项问题。

9. 古地磁方面 其中比较重要的是构成各地区的岩块和地层所显示的两磁极的地

理位置在各地质时代变异的问题。

10. 天文地质方面 主要是作为行星之一的地球运行的规律与它的表面形状和内部结构的关系、潮汐和太阳的活动可能对地壳运动的影响、月球和其他行星的某些表面形象与地面的某些形象的对比以及其中类似形象的起源问题。

11. 地质构造方面 包括构成地壳各部分的岩层和岩体所经过的各种形变——即不同规模不同形式的褶皱、断裂、劈面、片理等构造形迹——熔岩(或岩浆)侵入或进出的轨道、区域变质岩带的条理以及矿田展布的范围和矿脉分布的规律等等。

从第一到第十方面所提出的资料和论证,对地壳运动问题的解决,就是说,对地壳运动方式的鉴定和对地壳运动起源的探讨,都具有相当重要的意义。由于地壳远非理想的刚体,它的各个组成部分,必然在它自身中留下运动的踪迹。因此,从前述各方面所获得的结论,必须能够完全说明一切地质构造现象的起源。这一关,是一种极为严格的考验,也具有最后的决定性的意义。不凑巧的是,关于构造地质学的领域和内容,现在还存在着根本问题。也正因为这种根本问题的揭发,才促使我们在我们的工作方法中发现主要矛盾的所在,并且从主要矛盾中寻找正确的前进道路。

构造地质学和地质学本身,差不多具有同样长久的历史。在中国十二世纪,朱熹曾经提到“登高而望群山皆为波浪之状”;在西欧十七世纪的中叶,司天诺最初注意到地层的弯曲。构造地质学各个学派的见解,往往分歧甚大,甚至在某些场合,所用的术语各不相同;或者同一术语,各派所给予的意义并不一致。这种实例不少,骤看起来,似乎难以理解。但是,如果我们考虑到构造地质学主要是由区域地质学脱胎出来的一门学问,它的发展,在很大的程度上要受到区域地质条件的限制,是很自然的。人们用自己在某些地区所熟悉的构造现象,以及从那些现象抽象出来的“规律”,作为准则来衡量在另外的区域地质条件下出现的构造现象,也是很自然的。了解了这些,我们对构造地质学中存在着如此重大的分歧,就不足为怪了。

构造地质学中尽管存在着又大又多的分歧,归纳起来,一般对地质构造或大地构造的看法,大都不出两个方面,分为两大派别:

甲、从地壳的组成方面看问题;

乙、从地壳的结构方面看问题。

为了进一步发展这两个方面各自处理问题的优点,同时为了两个方面的研究,逐渐能够达到互相沟通和互相补充的目的,让它们按照各自特有的观点和方法进行研究,是符合于百家争鸣的。

如果说,只有从地层或“构造层”的形成来进行大地构造的分析,才是从历史的观点来看大地构造发展的过程,那么,难道说论到构造体系的发生、发展、复合、转变并且在旧构造多少巩固了的基础上,又出现新型构造等等继续不断的变化,就不是从历史的观点来看大地构造发展的过程吗?如果只是从组成方面而不是或不重视从结构方面分析构造问题,

那么,构造地质学在已经受到企图发展这门科学的某些热情劳动者在这里或那里给与它的损害之后,还会蒙受更大的灾难。

二、从地壳组成的观点研究大地构造的几个方面

当组成大小地块或地段的岩层形相和它们组合的形式,以及地块形态,作为地质构造的主要方面被提出时,下列各项以及和它们有关的问题,便成为构造地质学或研究“大地构造”的主要课题:

1. 基底和覆盖沉积层的划分以及它们各别形成的过程

这里所谓基底,大都是由古老的变质岩系有时并和复杂的火成岩体相结合而组成的。它和覆盖在它上面的沉积岩层之间,一般都存在着很显著的不整合。很清楚,在世界各个地区的古老变质岩系,不是在同一时代经过同样的过程形成的,也不能假定它们都是前寒武纪的产物,其中火成岩的活动,有时和古老矿床的分布有一定的联系。至于覆盖层组成的形式,不独反映一个地区的基底岩层形成以后的全部地质历史的过程,而且对沉积矿床的成生和保存,也具有极为密切的关系。关于这一方面的研究,不管是从所谓古构造的观点出发,或者从古地理的观点出发,对于地壳上部组成的历史,是具有重要意义的。

2. 隆起和沉降地区的划分以及它们相对的起伏形态的转变过程

隆起地区可能是侵蚀地区,也可能是沉积地区;沉降地区一般都是沉积地区。只有根据各个时期继续成生的沉积岩层分布的区域和岩相及其厚度的变化,才能推断它们所组成的那一部分地壳及其周围起伏的过程。

隆起地区有的是属于活动的或者僵化了的褶皱地带,在这一情况下,一般称为造山褶皱地带。在此必须指出,造山褶皱的活动,不一定与巨大山脉的成生是等同的。另外,还有一种缓慢的不带褶皱的牵涉比较广大地区的隆起现象,传统的构造地质学把这种现象称为造陆运动。

沉降地区在大陆壳上包括各种类型的盆地、槽地以及邻近由地槽转变而为褶皱山区的山前凹地等等。

3. 地槽和地台的划分以及它们转变的过程

沉积地层的厚度很大,沉降的幅度也很大,褶皱极为强烈,有时兼有火成岩活动的地区,一般认为是地槽区。相反的,沉积地层的厚度较小,除了基底以外,岩层很少显示褶皱

或褶皱轻微地区,一般认为是地台区。这种划分的方法,在描述地壳巨型构造形式上,一般可以说是正确的。但是,现在已经有不少对地槽和地台作了深入研究的地质学家,认为地槽的历史由巨大幅度的沉降转变而为褶皱山脉之后,逐渐缩小它的范围;也就是说,逐渐有地台化的趋向。他们同时也认识到已经成为地台组成部分的岩层,有可能发生活动的现象,称为“回春”运动。和这种“回春”的隆起运动连带发生的广大沉降地带,例如,亚洲大陆东部边缘的若干地带,是否可以与一般地槽成生初期的过程相比较,是值得予以考虑的问题。

近年来,由于对所谓地台区的构造,进行了广泛的物探和钻探的工作,人们曾经发现在所谓地台区上有些处所沉积层的厚度不小于地槽区,并且也有颇为强烈的褶皱,甚至伴随着火成岩的活动。这样,原来划分地台和地槽的准则,在一定程度上就失掉了意义。因之,有人把这种地区的褶皱现象定名为台内褶皱;并把这种地区,例如华南地区,当做过渡地区看待,但并没有指明它是哪个地槽过渡到哪个地台。顾名思义,这里显然存在着问题。

4. 根据各种褶皱形态的特征推断基底的起伏形状

地质学家们都熟悉地槽区发生的褶皱,具有什么样的形态特征,关于这一点,大家的意见主要已经趋于一致,但是对于所谓地台区发生的褶皱的看法,就大有不同。有些地质学家认为地台区的褶皱是些不重要的现象,或者甚至在描写区域构造时,忽视这种现象,至多他们注意到地台上的褶皱的某种形态,例如平顶陡翼褶皱(亦即所谓箱状褶皱),又如尖顶褶皱(亦即所谓梳状褶皱)等等形状的褶皱,并且认为它们仅仅反映地台基底的起伏形状。但还有许多不同形态的褶皱,例如等斜褶皱、瓦迭式构造、伴随着比较巨型逆掩断层的掩覆褶皱以及脱顶现象等等,就很难仅仅从它们反映基底起伏现象的假定而获得令人满意的解释。

关于褶皱形态的类型,到现在为止,地质学家们还没有进行深入的分析,对褶皱形态的意义,更说不上有确切的认识。

5. 从造山褶皱、区域变质、火成岩活动地带的转移和硅铝层、硅镁层在地球表面分布的范围推断大陆成长的过程

西方的地质学家大都惯于假定一场造山运动大都局限于某一褶皱地带。例如,由于加里东运动而发生的褶皱、变质和火成岩活动的现象,主要局限于加里东带;由于海西运动或华力西运动而发生的褶皱、变质和火成岩活动的现象,在西欧主要局限于阿尔摩利加带,在亚洲主要局限于阿尔泰和与阿尔泰山脉有联系的山岳地带;由于阿尔卑斯运动所造成的褶皱和火成岩活动,在欧亚大陆上主要局限于由阿尔卑斯的西头到喜马拉雅的东段,

转折向南经过中国的西部、缅甸以及印度尼西亚的褶皱山脉地带。他们有时还反过来假定,某一造山褶带的形成,局限于某一场造山运动。燕山运动在中国及其他若干太平洋地区的普遍性,证明了前一个假定站不住脚。秦岭、阴山及其他东西复杂褶皱带的反复活动和亚洲大陆边缘地区在第三纪成生起来的强烈褶皱运动等等事实,证明了后一个假定也不能成立。

另外有些地质学家,认为造山褶皱地带与块状破裂地区,在各个大陆或同一大陆不同部分的组成上,本质有所不同。正如全部大陆和大陆架以及若干内海,在它们组成的本质上,和大洋基底特别是太平洋基底有所不同。大家知道,大陆的上层是由硅铝层组成的,有些大洋的基底,例如大西洋的基底、印度洋基底的某些部分和某些内海的基底,覆盖着比较薄的硅铝层;而太平洋的基底,无论从地震的资料或重力的资料,都显示着硅铝层的缺少,硅镁层的抬头。这些事实和大陆上许多广大地区以及若干海洋地区,自从很古的地质时代以来,断断续续发生的各种火成岩活动现象结合起来,就导致大陆壳逐步成长的概念。同时,也导致地台分别等级的概念,例如大洋基底特别是太平洋基底列为第一级地台,组成大陆壳的若干地台列为第二级地台。诸如此类。

地肿瘤假说,在实质上是和这种概念有关的。大陆由它的核心部分通过造山褶皱带向它的边缘部分转移而逐渐扩张的假说,也是和这些概念有关的。

如果我们有充分的理由,接受这些假说作为工作假设,我们就不能不考虑到又一假说,即组成地壳下层轻重不等的物质,例如花岗岩类、花岗闪长岩类、安山岩类、玄武岩类以及橄榄岩类等等,形成对流的可能。跟着这一方向追求下去,又可引伸出关于假定的对流流动方式的推测。必须指出,这一系列的关于地壳形成过程的假说,都不免缺乏事实的根据,甚至于与既知的事实不相符合。例如中国南部极为强烈的加里东造山运动和印度的阿拉巴里褶皱的形成,就与亚洲大陆逐步向边缘扩展的假说,显然不是一致的。

6. 在地面露出和假定埋伏在地下的深断裂对地块的划分 亦即地壳的组成形式所具有的意义

在大陆上有些地区以及大陆的边缘的某些地带,确实存在着规模宏大而且看来深度很大的断裂。地震的材料,也暗示地壳的深处和深度达到五、六百公里的地点,还有发生断裂的可能。就地壳的上层来说,有些地质学家,把块状破裂地区,当做一个类型看待,称它为克拉通,并且把这种地区和造山褶皱地区截然分开。但是另外也有些地质学家,把一切大断裂或深断裂,都看作是决定地块构造的主要因素,不管他们出现在褶皱剧烈的地区或者出现在褶皱极少的地区。这里显然存在着问题。主要的问题:第一、埋伏在深处的大断裂的假定,究竟能否成立?第二、在地面露出的大断裂,究竟具有什么性质?例如在非洲东部的大断裂和印度半岛中卡鲁层边缘可能存在的断裂、印度半岛沿岸的断裂,究竟

是否都属于同一性质的大断裂？这些大断裂，又是否和中亚细亚出现的大断裂性质相同？第三、为什么某些大断裂都显示着一定的走向？例如南北向、东北—西南向、西北—东南向，而另外又有些大断裂横断巨大的褶皱带，这些断裂伸展的方向和被它们所切断的褶皱带的轴向，为什么保持着一定的关系？这些问题，在寻找深断裂成因时，都值得加以考虑。

7. 从古地理形势的演变，或根据古地理形势的假定，结合区域地质的某些条件，划分构造区域为“构造单位”；并根据构造单位的某些共同特点，分别构造单位的类型；或按照它们各别固有的特点，划分独特的构造区

这样处理地质构造或大地构造问题的方法，单从形态的观点来看，对描述现象，是有一定效用的；同时对地壳的组成，也可以提出值得作进一步研究的问题。这些问题是：1) 每一个构造单位具有什么组成的特点？2) 在它存在的各个地质时代，它的界线如何，古地理形势如何？3) 同时并存的条条块块构造单位，彼此之间有什么联系？4) 它们的成因何在？5) 它们对矿床的分布起什么样的控制作用？在寻找对这些问题和其他有关问题的答案中，我们首先要明确这一方面的研究与古地理的研究如何划分领域，也需要考虑与大小规模形变现象的研究如何结合起来。

上述各项处理地质构造问题的方式，大部分仅仅考虑地壳各部分形成的过程，而对它们形变的过程注意不够，这显然不是全面处理地质构造问题的方式。而且在处理这些问题的方法中，论证的步骤往往缺乏严密性，立论的根据也往往缺乏严格性。这些缺点突出地表现在不通过各别区域构造实况的分析，自上而下，逐步探测和推断，就对地表褶皱形状与“基底”的关系一下作出结论。

8. 其 他

三、从地壳结构的观点划分构造形态的若干传统概念

当地壳各部分的结构，作为地质构造的一个重要方面看待时，岩块、地块中所显现的形变(包括矿物相变)和它们各部分之间的相对位移，便成为研究地质构造的主要对象。

各种岩石在地壳运动的影响下，也就是在地应力长期作用的条件下，是具有一定的塑性或弹性的。地壳是由多种岩层和岩体的结合而组成的一个整体，因此当这个整体的各个组成部分自身中以及它们彼此之间，由于不同的运动方式，亦即不同的应力作用的方式，就必然铸成各式各样的永久形变的形象，并且留下来相对位移的踪迹。这些形象和踪迹，总括起来，都可称为地质构造形迹。

传统的构造地质学,对这一方面的研究,已经从单纯形态论的观点,作出了很多贡献,建立了关于各种构造形迹的基本概念,制订了地质学家一般公认的许多名称。

某些类型的构造形迹在规模上变化很大,有时分为不同的等级,如:第一级背斜,第二级背斜;第一级拗褶,第二级拗褶等等。另外,也有些类型的构造形迹,如节理、劈理、片理之类,大都被称为小型构造。但是,事实上这些小型构造,往往成为一个地区的构造特征,或成为某种特殊岩性的地层或某些地带的构造特征。总起来说,不拘构造形迹规模的大小,或结构的粗细,它们都可能散布在广大的地区或密集在某些地带。传统的构造地质学,从鉴别各种不同类型的构造形迹,已经进入到区别它们在地壳各部分分布形式的阶段。

从各别构造形迹(有时称为构造单元)是有关的岩石各部分发生了相对位移的结果来看,所有各种类型构造形迹,不是属于具有连续性的就是属于不连续的。

从某些类型的构造形迹在一定的地区或一定的地带散布或密集的程度,以及构成每一地带的构造形迹所具有的共同特点来看,并且依靠关于它们发生时期所作的假定,就产生了不同类型的构造区或构造带的概念。

构造形迹的名称,大都由来已久,颇为纷繁,各家往往按照自己的见解分类,但不见有大家共同接受的分类原则。这里仅随便举出若干常见的例子,列表如下:

1. 普通构造形迹类型的传统名称述要

(一) 由于连续性的位移而形成的构造形迹

(1) 各种岩组类型——例如岩石的组成矿物颗粒的长轴或晶轴(特别是石英晶轴)在空间排列方位的各种类型。

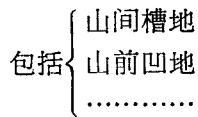
(2) 不同等级的大、中型及小型褶皱类型:

包括 {	背斜(单式或复式)	} 各种形式褶皱,如箱状、梳状、锯状等
	向斜(单式或复式)	
	单斜(大、中型)	
	等斜(大型)	
	覆盖褶皱(大型)	
	盘桓褶皱(主要小型、有时中型)	
	倒转褶皱(大、中型)	
	沙尼页(即大型覆盖褶皱本身又呈现曲褶的现象)	
	皱纹(小型)	

(3) 拗褶:

陆梁——与大型背斜相近

陆槽——与大型向斜相近



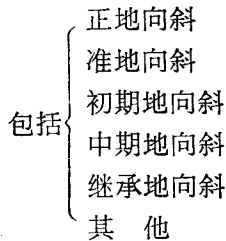
陆台——与大型单斜相近

各种类型的穹窿和连串鼓包

各种类型的盆地和凹地

(4) 超级拗褶:

地向斜(亦即地槽)



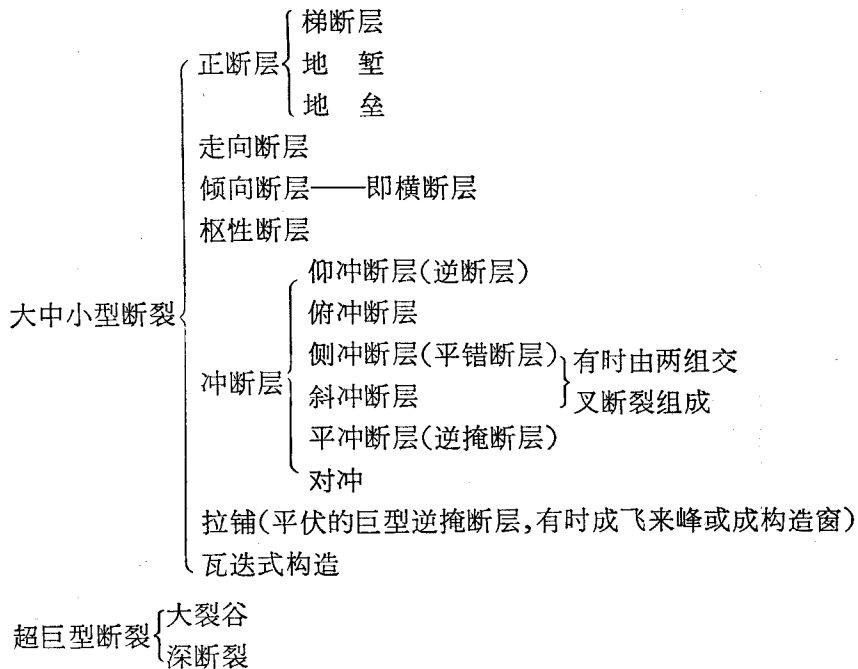
地背斜

(5) 火成岩的流层、褶纹和流线

(6) 其他

(二) 由于不连续的位移而形成的构造形迹, 一般分为大型断裂和断裂与小型断裂、裂隙和裂缝两大项:

(1) 断裂:



(2) 裂隙和裂缝:

节理	{	棋盘格节理
		羽状节理
		帚状节理
		交叉 (X) 节理

劈理

破劈理

流劈理

片理

叶理

线条

(3) 其他

2. 多少被认为具有普遍性的构造带(或区)的若干重要类型

(一) 按形成时期划分的名称

(1) 加里东带

(2) 华力西或海西带

(3) 阿尔卑斯带

(4) 其他

(二) 按形态划分的名称

(1) 乌拉根(即造山褶皱带)

根据这一概念,一个发育完整的乌拉根,应该是由三个平行构造带联合组成的,两边各有一带强烈的褶皱,褶皱向外倒转,岩层往往向外仰冲。中间地带褶皱甚为平缓。这三带总合起来的横剖面呈扇状形式。但实际上许多巨大的造山褶皱带的构造形式,并不和乌拉根的概念相符合。

(2) 克拉通,大意指脆硬的破裂型地区,也可以简称为裂块,在某些场合与“地盾”或“地台”相当。

(3) 日耳曼式褶皱区(即深型褶皱区)

(4) 阿尔卑斯式褶皱区(即覆盖褶皱区)

以上(3)、(4)两个类型的构造区,很清楚不能概括所谓活动地区的构造形式。有人认为,中国地区,特别是中国西部和西南部的山地,具有阿尔卑斯式的褶皱,也具有日耳曼式的褶皱,因此,这样的地区,应该称为中华式褶皱区。

(5) 棋盘格式构造(有时称为线状构造)

(6) 块状仰冲山岳地区

(7) 巨型陆台

(8) 各种类型的盆地

从地壳组成方面提出的构造问题以及攻研的对象, 和从地壳结构方面提出的构造问题以及攻研的对象, 各有特点, 已如前述, 但这两个方面彼此之间并不是完全没有联系的。例如隆起和沉降地区的分布, 沉积岩层展布的范围和岩相的变化, 基底的起伏和覆盖层厚度的变化等等现象的发生, 大都是以地壳上的巨型形变为前提的。两方面对某些构造现象所使用的名称, 往往不同; 但也有一些名称不同的构造现象, 实质上却是等同的。

从研究地台的起伏形状, 特别是根据俄罗斯地台的研究, 苏联地质学家制订了描写地台上起伏变化的若干构造形象名称, 如陆槽、陆梁、隆起、低凹(凹陷)、台坝、台沟、鼓包等等, 已应用很广。这些名称所描述的构造形象和前表所列的某些名称所指的现象是等同的或是类似的。由于对地台作了比较深入的和更广泛的研究, 近年来, 大家公认地台并不是那么稳定的地块, 它的上面的覆盖层或是它本身, 也可以发生强烈的褶皱, 以及火成岩的活动。

两方面异名同义的名称, 最突出的例子, 是地槽和地向斜(按: 在外国地质文献中, 一般只用地向斜一词, 仅仅偶尔见到地槽一词; 但是在我国地质文献中, 地槽一词是通用的名称, 而地向斜一词, 却只偶尔见到)。这两个词所指的构造现象, 一般认为都具有下述特征: 地壳上巨大的沉降地带, 延伸甚远, 其中海相或复理式沉积物甚厚, 经过迥返运动以后, 褶皱甚烈, 有时还有火成岩活动。但是对这种沉降地带的形成, 却有两种大不相同的看法。

一种看法, 认为地槽是地壳中的巨型的槽子, 是一个单纯的沉降地带。另一种看法, 提出了这样一个问题: 就是, 它是不是和一个隆起带相辅而行的沉降带? 换句话说, 它是不是一套超巨型的褶皱——一个超巨型的向斜或复向斜和一个超巨型的背斜或复背斜——的组成部分? 和它相辅而行的隆起带, 当然早已由于侵蚀作用而消失, 或者由于沉降而转变为平地或低凹地带, 被新的地层埋伏起来了。这样, 除了在地向斜中保存下来的碎屑沉积物, 特别是粗颗粒的沉积物以外, 过去存在的地背斜, 现在就没有遗迹可寻了。

即使我们假定地向斜是地壳上单纯由于它所在地带继续沉降而发生的巨大槽子, 我们不得不问, 那个槽子底下的物质到哪里去了? 如果我们否定槽子底下的物质向侧面移动, 以致在它的侧面形成隆起地带, 我们就无法答复上面提出的问题。

就现今以凹地的形式存在而没有达到迥返阶段以致变为山岳地带的地槽或准地槽来看, 下述现象是无可否认的事实。首先阿留申海沟、千岛海沟、日本海沟、琉球海沟、菲律宾海沟等等具有头等规模的低凹带¹⁾, 很清楚是和跟它们紧紧相接的阿留申群岛、千岛群

1) 低凹一词的含义与所谓凹陷不完全相同。就字义来说, 凹陷应该用来表示由于正断层而产生的地堑式陷落地带。本篇中所用的低凹一词, 既包括凹陷, 又包括由于拗褶而形成的向斜型下降地带。因此, 在不明了低凹地带如何构成的时候, 最好是不用凹陷而用低凹一词来表示。

岛、日本群岛、琉球群岛、菲律宾群岛等等隆起带有不可分离的关系；这个隆起带，又是和鄂霍次克海、日本海、黄海、东海、南海这一群内海所形成的低凹地带接壤的。这个低凹地带以西，又有锡霍特、长白-狼林山脉以及东南沿海的丘陵地带，包括戴云山脉、武夷山脉等等隆起地带。在这个隆起带以西，又有一连串被填充的凹地如松辽平原、华北平原、华中平原(包括江汉平原、衡阳盆地等)；越过南岭，新华夏沉降带还可能伸到广东西南部直到北部湾，那里中生-新生代沉积颇为发育，并有玄武岩流，可能也属于这一沉降带。再西又有大兴安岭、太行山脉以及湘黔边境诸山脉。这一系列的互相平行的隆起带和低凹地带，只能给我们自从燕山运动或者更晚一点的地质时代以来所形成的巨大褶皱体系的印象。在提出这一论点时，应该考虑到另一方面的看法：有些地质学家认为，前述地槽型的低凹地带，特别近太平洋西岸的那些海沟，起源于大断裂(张性?)和地堑式的凹陷。不能说有足够的证据支持这一假定，相反的，低凹地带近旁的隆起带所显示的强烈挤压现象是与这种假定不相符合的。和两条互相平行的印度尼西亚隆起带相伴随的，也有两条低凹带；在喜马拉雅山脉以南，有恒河低凹带；扎格罗斯山脉西南，有美索不达米亚平原，以及波斯湾、阿曼湾低凹带；在狄那里山脉西南，有威尼斯平原以及亚得里亚海低凹带。诸如此类的现代地槽或准地槽，都是和它们邻近的隆起地带具有不可分离的成生关系，那么，如果说已经转化了的古地槽没有类似的伙伴一度存在，那是很难置信的。问题在于寻找那些被消灭了的古地背斜的遗址所在。

特别在巨型和超巨型构造长期发展的过程中，我们可以清楚地看出，沉积物的产生，是以构造型式的展布规律为条件的。

例如，可能基本上已经僵化了的祁连褶皱山区，属于一个古老的地向斜——所谓南山地槽——是毫无疑问的。现在虽然还不能确定这个地向斜如何伸展，和它相辅而行的地背斜究竟在哪里，但可以肯定它不是孤立的；它必然是和与它有联系的其他地向斜和地背斜联合起来，在地壳上组成一个巨大的某种型式的构造体系。这一推测，可以从其中复理式沉积物和许多分布范围很广的生物群得到证明。

第二章

地质力学的方法

地质力学或地质学的力学,这一类的名称,由来已久,意义也很广泛。直到二十年代的晚期,地质力学的某些基本概念才开始形成。之后,经过一段时期实际运用,那些概念陆续得到了补充和巩固。一九四九年以来,在中国,由于党对地质事业的关怀,地质科学的这一支幼芽,也和其他分支一样,获得了新的生命力。在广泛进行的勘探工作中,它找到了自己的任务,通过实践,逐渐地丰富了它的内容,逐步地走向正确的发展方向。现在可以说它已经有了一定的具体内容,也有了一套独特的工作方法,并且在若干方面揭开了它发展的远景。因此,把它当做自成系统的一门地质科学的边缘学科看待,是不无理由的。

不过,这门边缘学科领域,现在仅仅可以说略具粗糙的轮廓,它的发展远景究竟怎样?这主要要看它在地质工作那些方面能够作出什么样的成绩,同时也要看有关学科给予它什么样的支援。目前可以清楚地看出,它在矿田地质,特别是在煤田和油田地质方面和工程地质方面,应该占有重要的地位,也一定会发挥它积极的作用,它与新兴的天文地质学是不可分离的,不待言,它是构造地质学和动力地质学之间的桥梁,它是解决地壳运动问题必经的途径。

它所采用的方法,根据几年来的工作实践,可以分为两个方面:在基础理论方面,它要求首先从野外实地观察和检阅、分析、归纳既有的各种地质构造资料,并且有时通过模型实验的比较,来肯定各种构造类型的形态规律性。同时又要求从野外实地观察和材料力学实验,来确定各种岩石对应力作用的表象,如岩石的弹性、塑(范)性、弹塑性、滞弹性,总起来说,就是岩石的弹性和非弹性的表象,以及松弛现象、蠕变现象等等的表现。

在生产实践方面,它企图根据上述方法所建立的原则,在地壳的各部分找出有用矿产分布的规律,提供线索,以便寻找普查找矿和矿产勘探的路线;对发展国民经济有关的工程、水文地质的若干基本问题,特别在某些构造类型的地区,指出解决的方向。

以上两方面工作的发展,是不可分离的,也是相互促进的。

前述从单纯形态论的观点所列举的各种构造形迹名称,对描述构造现象、解释构造现象乃至归纳构造现象,是具有一定意义的。但是,它对构造现象的起源是漠不相关的。

由于任何一种构造形迹,都反映地应力的作用,地质力学对构造形迹的分析,总结以往的经验,得到下列七个步骤:

一、鉴定每一种构造形迹或构造单元 (在地质力学上称为结构要素)的力学性质

结构要素,在过去的习惯上,大都是指小型或小中型的构造形迹而言。但是,从它们的实质来看,它们和与它们性质相同的大中型、大型乃至超巨型的构造形迹,没有什么根本不同之点。为了描述和制图的方便,各种结构要素,在三度空间的方位,可以用结构面表示出来。有些结构面就是破裂面,它们表示不连续构造的存在;有些结构面只具有几何的意义,它们的位置和方向,是由岩石的层理遭受了弯曲而形成的对称形式来决定的,它们一般表示连续性构造的存在。各种类型的和不同规模的褶皱轴面,都是属于这一类只具有几何意义的结构面。

具有几何意义的结构面,往往成群地出现,彼此互相平行。在它们密集的地带,有时仅用一条或几条构造线在地质图上表示它们各段的走向。就一般的习惯来说,所有各种类型的结构面和地面的交切线,都称为构造线。对构造线这样一种笼统的看法,是不符合于地质力学的要求的。

从地质力学的观点来说,所有各种类型的结构面,应该划分为下列各项:

1. 压性结构面,或简称为挤压面。如单式或复式褶皱轴面、逆断层或逆掩断层面、片理面、一部分劈理面等等。

2. 张性结构面,或简称为张裂面。如断裂面、一部分节理、裂隙、一部分裂缝、一部分正断层等等。

3. 扭(剪)性结构面,或简称为扭裂面。如平错断层、一部分正断层、一部分节理、一部分劈理等等。

4. 压性兼扭性的结构面,或简称为压扭结构面。

5. 张性兼扭性的结构面,或简称为张扭结构面。

以上各项结构面的鉴定,主要是依靠野外的观察,但有时也须要从岩组和矿物的分析来提供佐证。地质工作者们,对于鉴定褶皱轴面的方法,是很熟悉的。但是对于依上述原则来分别各项破裂面,一般却不大注意。

各项破裂面,直到现在,一般统称为断裂。所谓断裂,就是传统构造地质学所称的断层。大量有关地质构造的资料证明,断裂或断层有大有小,有深有浅。就地质力学的观点来看,深断裂、大断裂、浅断裂、小断裂等名称,都仅仅表示断裂或断层影响地层和地块的程度,或表示构造运动影响地壳深度的关系。它们毫不说明断裂的性质,也并不示意某一断裂为什么各自按照一定的方向和一定的形式伸展;更不管某一断裂和显然与它有成生联系的其他断裂或褶皱,为什么在方位上有一定的关系。总起来说,仅仅着重构造规模的

大小,在描述现象上,固然具有一定的意义,但并没有接触到问题的本质。

不论断裂的深、浅、大、小,地质力学首先要求查明它们的性质:压性、张性和扭(剪)性。

根据野外观察的结果,破裂的压性结构面,综合起来一般具有下列各项特征:

(1) 破裂压性结构面两边的岩石,经常呈挤压的状态,挤压剧烈的部分,有时发生与压性结构面近于平行的片理。

(2) 主要破裂压性结构面的一旁,有时两旁,往往发生局部的强烈褶皱或倒转和仰冲现象。

(3) 主要破裂压性结构面自身,往往呈舒缓的波状,在它的走向方面,尤其显得清楚。

(4) 破裂压性结构面的两旁,往往有成鳞形排列的片状矿物,例如云母、滑石、绿泥石等等,以及条状或针状矿物发生,它们的主要劈面或联晶面,大都和主要挤压面近于平行。

(5) 破裂挤压面,往往成群的出现,从而构成一个挤压带。

(6) 在破裂挤压面邻近的岩石中,往往有形状极不规则的石英或方解石的晶片或晶块发生,它们的分布,经常是凌乱的。

张性结构面主要的特征如下:

(1) 沿着张裂面,经常有裂隙发生,裂隙可大可小。

(2) 张裂面的形状比较粗糙,断面不甚整齐。

(3) 单纯的张裂面上,很少出现大片擦痕。

(4) 平行的张裂面,往往形成张裂带,每一个张裂面往往伸展不远,即行消失。张裂开的岩石条带,大都参差不齐,其中少有伸展很远而不逐渐尖灭的。

(5) 张裂带中,往往有质地比较疏松的并且经常含有些较大破碎岩块的角砾岩发生。

扭性结构面的主要特征如下:

(1) 扭裂面经常甚为光滑,并且经常有大量的擦痕出现。那些擦痕的方向,表示扭裂面两旁岩石相对扭动的方向。

(2) 扭裂面的一旁或两旁,往往有羽状节理或和羽状节理类似的较小裂面出现。

(3) 平行扭裂面经常成群出现,每一条扭断裂在地面上象刀切的痕迹一样,很整齐地伸展。

(4) 在扭裂面两旁的岩石中,往往露出相对错动的同一岩层或岩体;根据这种踪迹,就可以鉴定扭动的方向和距离。

(5) 扭裂面的附近,有时也有角砾岩发生,但这种角砾岩,往往部分地碾磨甚细,有时成糜棱岩状。

(6) 平行的扭裂面,往往分为不同方位的两组,互相交切,把它们所经过的地块或岩块,切成菱形、方形或长方形的块状。

(7) 在扭裂面的两旁, 往往发生帚状结构、入字型构造或各种类型的旋卷构造(详后)。

上述各项特征, 一般比较显著。但在野外观察中, 张性断裂面和扭性断裂面之间的分别, 有时则显得不一定那么显著。在那种情况下, 只有从它们综合的组成形态进行分析, 也就是肯定了它们是某种构造型式(详后)的组成部分以后, 才能鉴定它们的类别。

反过来说, 在叙述各种构造形迹时, 单从形态论的观点使用各种一向惯用的名称, 就难免不引起混乱。例如, 如果对某一项断裂, 笼统地称为断层, 那就包含着正断层、逆断层、甚至逆掩断层、平错断层等等。忽视在本质上绝对不同的构造成份的特性而混为一谈, 当然是不合理的, 也一定会引起紊乱。我们应该竭力避免这种含糊的描述方法。

关于压、张、扭破裂结构面的分析, 是研究地质构造形迹的极重要的基本问题, 已如上述。前面所列举的这三种类型的断裂面的各项特征, 只不过是初步的分析, 在这一方面, 应该还要进行更深刻和更详尽的大量工作。

具有前述各种特征的结构面, 是岩石中发生形变超过一定程度的产物。这就不能不导致我们推想到, 在形变超过一定程度以前, 它们必然会早已进入了萌芽的阶段。对这种萌芽阶段的微量形变, 弹性力学传统地引用所谓应变椭球来作几何的解析。这种几何的图解方法, 究竟到什么程度可以适用于物质实际的形变, 特别是岩体的形变, 当然是个问题, 但我们也不应该因为存在着问题就把它一概抹煞。在这里应该指出, 至少要具备着异向同性连续介质中发生均匀的、连续的、微量形变等物质条件, 上述几何形象的应变椭球才能成立。

当异向同性连续介质发生形变的时候, 一般的说, 缩短、伸长和扭歪三种现象, 是在不同的方位同时并发的, 是彼此不可分离的。只有在特殊的条件下, 例如, 在流体静压力的作用下, 受压的异向同性物体在各个方向均匀缩小; 又如, 在温度增高的条件下, 许多物体在它们的各个方面均匀扩大。在这两种场合, 形变只限于体积的变化而不产生形状的变化。原来的球体经过均匀缩小或者均匀扩大以后仍然是球体。但就一般的情况来说, 原来的球体经过形变以后, 便不是球体了。概括的说, 形变一般包括体积的变化和形状的变化。在均匀形变不超过极小的范围内, 原来的球体就大致变为三轴椭球。所谓三轴, 指最长轴、最短轴、中间轴。最长轴一般是和伸展最长或缩短最小的方向一致, 普通称为 a 轴; 最短轴一般是和缩短最大或伸展最小的方向一致, 普通称为 c 轴; 中间轴的伸展和缩短的程度在最长轴和最短轴之间, 普通称为 b 轴。这三个轴彼此互成直角。应变椭球还有许多特点, 其中特别值得指出的是, 不变歪轨迹面和均匀变歪轨迹面的存在和它们的几何形状及相对方位。

在上述条件下, 我们现在可以对应变椭球的性质作进一步的探讨。我们假设在异向同性连续介质中, 划一球形, 命这个球的半径为 r , 球的中心位置在座标的原点上, 座标的三个轴为 x 、 y 、 z 。这个球面就可以用下列方程式代表:

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2. \quad (1)$$

球面上一点 $P(x, y, z)$, 经过形变后, 它的位置移到 $P'(x', y', z')$, 命 e_x, e_y, e_z 为 x, y, z 三个方向的微量应变, 如果不写高级项则可得:

$$\left. \begin{aligned} x' &= x + e_x \cdot x, \\ y' &= y + e_y \cdot y, \\ z' &= z + e_z \cdot z. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

将(2)式代入(1)式即得:

$$\frac{x'^2}{r^2(1+e_x)^2} + \frac{y'^2}{r^2(1+e_y)^2} + \frac{z'^2}{r^2(1+e_z)^2} = 1. \quad (3)$$

一般 e_x, e_y, e_z , 是各不相同的, 因此上式证明了微量形变发生后, 原来的球形所变成的几何形象是一个三轴椭球, $r(1+e_x), r(1+e_y), r(1+e_z)$, 是三轴椭球的三个半轴, e_x, e_y, e_z 决定哪一个半轴是最长的、中等的或最短的, 在习惯上一般指定 e_x 与最长轴即 a 轴一致, e_y 与中间轴即 b 轴一致, e_z 与最短轴即 c 轴一致。

在原来球体每一半径的方向, 必然存在着与那一球半径相当的椭球半径, 两者之间的长度差, 就代表在那一特殊半径方向的伸长或缩短量。在某些一定的方向, 原来球体半径和经过变形后与它相当的椭球半径相比较, 它既不伸长又不缩短, 这些半径代表无形变的方向, 它们的轨迹一般在应变椭球中形成以椭球对称中心为共同顶点的一对共轭椭圆锥面, 它们在应变椭球面出露的轨迹都成椭圆形, 这两个椭圆锥面, 有时称为不变歪椭圆锥面或无扭面。

在 $e_y < 0$ 的场合, 不变歪椭圆锥面的轴线与应变椭球的 a 轴符合; 在 $e_y > 0$ 的场合, 不变歪椭圆锥面的轴线与应变椭球的 c 轴符合。在特殊的情况下, 如若 $e_x = e_y > e_z$, 椭球便成为以 c 轴为最短轴的扁球(即扁旋转椭球); 如若 $e_x = e_y < e_z$, 椭球便成为以 a 轴为长轴的长球(即长旋转椭球)。在这两种情况下, 前述不变歪椭圆锥面便成为一对共顶点的圆锥面, 它们在扁球或长球表面上, 出露的轨迹成圆形, 即保持原来的形状。在扁球的场合, 圆形轨迹落在 ab 平面上。在长球的场合, 圆形轨迹落在 bc 平面上。

另外, 在应变椭球中还存在着共同含有 b 轴的一对交叉平面, 它们的方位对 a 轴和 c 轴是对称的。应变椭球被这一对平面所切开的剖面, 与通过应变椭球对称中心的其它剖面, 形状不同, 后者都是椭圆形, 而前者却保持着圆形。有两种不同的场合可以保持圆形: 一种场合是, 椭球的这一对剖面完全保持原来的形状, 那样它就被称为不变歪剖面; 另一场合是, 椭球的这一对剖面的各个方向等量变歪, 那样它就被称为均匀变歪剖面。不变歪剖面与均匀变歪剖面虽然在实质上有前述的差别, 但在不改变形状的意义上是等同的。一般认为沿着这两个不变歪剖面或均匀变歪剖面所发生的扭剪作用最大, 因而假定它们为发生滑动的平面。很显然, 这个假定牵涉到很多物质条件, 例如: 在这些面上, 组成物质的粒子与粒子之间是否能够自由滑动而不影响邻近粒子的相对位置; 又是否由于这种

滑动的倾向,在物质中引起塑性形变等等,都是重要的实际问题,尚待作进一步的研究。

由于岩石中往往出现交叉节理,地块中往往出现交叉扭断裂,这就导致我们推测到上述应变椭球中的一对不变歪剖面,或均匀变歪剖面在地质构造现象中可能具有一定的重要意义。实际上重要之点是在于这一对不变歪剖面或均匀变歪剖面与应变椭球的 a 轴或 c 轴所成的角度的大小。

现在命不变歪剖面或均匀变歪剖面与 c 轴(亦即 z 轴)的夹角为 θ 。由于:

$$\frac{x'^2}{r^2(1+e_x)^2} + \frac{z'^2}{r^2(1+e_x)^2} = 1,$$

$$x'^2 + z'^2 = r^2(1+e_x)^2,$$

$$\frac{x'^2}{(1+e_x)^2} + \frac{z'^2}{(1+e_x)^2} = \frac{x'^2}{(1+e_y)^2} + \frac{z'^2}{(1+e_y)^2},$$

所以:

$$\tan \theta = \frac{x'}{z'} = \frac{1+e_x}{1+e_x} \sqrt{\frac{2(e_x - e_y) + e_x^2 - e_y^2}{2(e_y - e_x) + e_y^2 - e_x^2}}$$

在微量形变的场合,上式可写为:

$$\tan \theta = \sqrt{\frac{e_x - e_y}{e_y - e_x}} \quad (4)$$

在 $e_y = 0$ 的场合,即平面应变的场合:

$$\tan \theta = \sqrt{-\frac{e_x}{e_x}} \quad (5)$$

在这个场合,不变歪剖面或均匀变歪剖面与一对共同含有 b 轴的应变椭球圆形剖面一致。因为 $\tan \theta$ 是实数,所以 e_x 、 e_x 的符号必然相反。

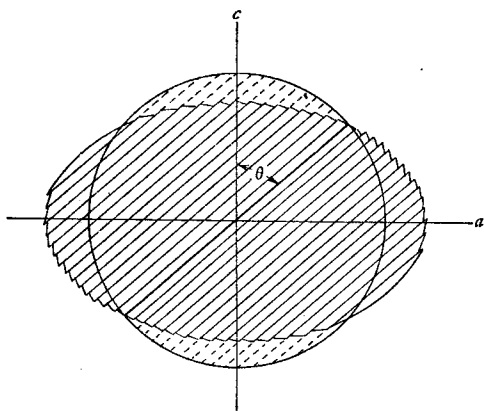


图 1-1 球体的各个平行切片沿着它们的切面滑动而成为椭球体时两者的关系

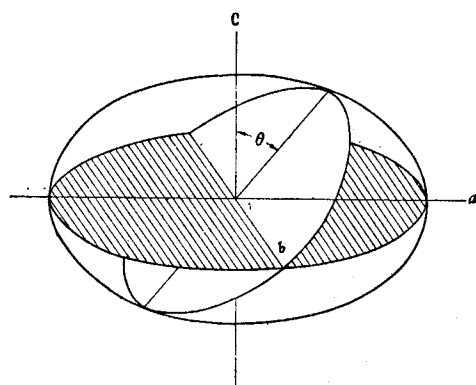


图 1-2 应变椭球的不变歪面与 c 轴的关系

当: $|e_x| > |e_z|$ 时, $\theta < 45^\circ$;
 $|e_x| < |e_z|$ 时, $\theta > 45^\circ$;
 $|e_x| = |e_z|$ 时, $\theta = 45^\circ$ 。

以上的各项考虑,主要是从几何观点出发,如若把弹性形变在前述异向同性连续介质中发生作用的弹性或塑性条件加入考虑,问题就变得比较复杂了。作为一个例子,我们在此仅考虑在平面应变的条件下,单向压应力作用的影响。按一般的习惯,用负号代表压缩量,正号代表伸展量,命在 z 轴方向作用的压应力为 σ_z , E 为杨氏模量, ν 为泊松比,则在 z 轴方向的缩短为 $-\sigma_z/E$, 同时由于在 z 轴方向所发生的缩短,必然在 x 轴和 y 轴方向引起 $\nu\sigma_z/E$ 的伸长。为了要使 y 轴方向的长短保持不变,即 $e_y = 0$, 就必须(1)在 y 轴方向发生 $-\nu\sigma_z/E$ 的缩短,而在 y 轴这样大小的缩短,又必然在 x 轴方向, z 轴方向引起 $\nu^2\sigma_z/E$ 的伸长;或者(2)在 x 轴方向发生 σ_z/E 的伸长,而在 x 轴方向这样大小的伸长,又必然在 y 轴和 z 轴的方向引起 $-\nu\sigma_z/E$ 的缩短。

在前一种情况下,半径 r 的球体变为椭球后它的三个半轴为:

$$a = r(1 + e_x) = r\left(1 + \frac{\nu\sigma_z}{E} + \frac{\nu^2\sigma_z}{E}\right),$$

$$b = r,$$

$$c = r(1 + e_z) = r\left(1 - \frac{\sigma_z}{E} + \frac{\nu^2\sigma_z}{E}\right)。$$

三个微量应变为:

$$e_x = \frac{\nu\sigma_z}{E} + \frac{\nu^2\sigma_z}{E},$$

$$e_y = 0,$$

$$e_z = -\frac{\sigma_z}{E} + \frac{\nu^2\sigma_z}{E}。$$

把 e_x 和 e_z 的值代入(5)式,即得:

$$\tan \theta = \sqrt{\frac{1-\nu}{\nu}}; \quad (6)$$

在后一种情况下,应变椭球的三个半轴为:

$$a = r(1 + e_x) = r\left(1 + \frac{\sigma_z}{E} + \frac{\nu\sigma_z}{E}\right),$$

$$b = r,$$

$$c = r(1 + e_z) = r\left(1 - \frac{\sigma_z}{E} - \frac{\nu\sigma_z}{E}\right)。$$

三个微量应变为:

$$e_x = \frac{\sigma_z}{E} + \frac{\nu\sigma_z}{E},$$

$$e_y = 0,$$

$$e_x = -\frac{\sigma_x}{E} - \frac{\nu\sigma_x}{E}。$$

把 e_x 和 e_x 的数值代入(5)式,即得:

$$\tan\theta = 1。 \quad (7)$$

物质的塑性形变愈显著, ν 的数值愈接近于 $\frac{1}{2}$, 根据一般物质的体积弹性模量、刚性模量和泊松比三个数量的相互关系, ν 的数值, 不能大于 $\frac{1}{2}$, 如果考虑 ν 的负值, 它也不能小于 (-1) 。因此根据(6)式的关系, 可以看出发生形变的物质, 塑性愈显著, θ 角愈近于 45° , 一般稍大于 45° , $\nu \simeq \frac{1}{2}$ 时, $\theta \simeq 45^\circ$, 与(7)式所表示的关系相接近。由于岩石中的交叉节理和地块中的交叉扭断裂面, 在许多地区往往近于直立, 这就显示这一类剪切面, 是在平面应变发展到一定程度的条件下产生的。如若引用应变椭球来加以说明的话, 椭球的 a 轴同 c 轴, 就应该在水平面上, 它的 b 轴是垂直的。对前述为了保证平面应变, 必须在 b 轴方向, 加以压缩的要求, 只要被压缩的岩石有向侧面伸张的可能, 这种在垂直方向的压缩, 就可以由重力即岩石自己的重量和覆盖在它上面的岩石的一部分作用——另一大部分作用一般认为是具有流体静压性的——提供必要的, 但不一定恰恰合适的条件。由于岩石本身的重量不一定提供恰恰合适的条件, 又由于(6)、(7)二式赖以成立的其他必要条件, 在自然界岩石中不一定经常完全具备, 根据这两式所求得的 θ 数值和实际的数值当然不可能完全一致, 但也并不是完全不一致。这样就不能说(6)、(7)二式毫无一顾的价值。

另外, 从主应力作用的角度来测定由于这种作用而产生的两组扭裂面与主应力作用方向的角距关系, 也是不容忽视的。大家知道, 利用摩尔圆来推断主应力方位与最大扭应力作用面的角距, 一般不等于 45° 。但光靠摩尔圆来进行推断, 无法断定两组扭裂面之间所夹的锐角等分线究竟是与主压应力一致, 还是与主张应力一致, 而且应力椭球和应变椭球并不是一回事。在实验室中, 我们可以完全掌握对岩石试件加力的方式, 譬如说, 让主压应力或单相压力作用的方向与应变椭球的 c 轴一致, 是完全可能的。过去按这种方式所作的一些实验大都指明: 岩石试件中受压发生的两组或一对交叉扭裂面的夹角, 对主压应力作用方向来说, 一般小于 90° 。岩石越脆硬, 这一对夹角越小; 岩石塑性越显著, 或同一种岩石试件周围所受的流体静压力越大, 它们的夹角越接近 90° 。当然, 过去所作的实验, 还不够保证这种结论的绝对正确性。它们可以说明有关这一问题的一部分自然现象, 但也和(6)、(7)二式一样, 不能说明全部有关的自然现象。在自然界的岩石中, 一对扭裂面朝着显示挤压方面的夹角, 有时大于 90° , 有时等于 90° , 有时小于 90° 。

从上述种种关系, 可以看出, 在一定的条件下, 应变椭球是可以用来解析一部分岩石形变现象的。但是由于一个地块中的岩石有时并不一定都是异向同性的连续介质, 又由

于岩石的形变越过萌芽阶段(即将发动构造运动而尚未发动的阶段)以后,岩石各部分发生相对位移,以致不能保持连续均匀的形变条件,于是应变椭球就越来越不适用了。这样,在解析地质构造现象时,绝对拒绝应用应变椭球是不正确的,漫无限制的引用应变椭球也是不正确的。

二、辨别构造形迹的序次,按照序次查明 同一断裂面力学性质可能转变的过程

作为地壳组成部分的一个岩块或一个地块,其中每一点的应力作用方式和它的“边界条件”是有密切关系的。当边界条件发生了变化的时候,它内部各点的应力作用的方式,也必然跟着变更。一个地块的整体,在继续同样地遭受着某一种动力作用的期间,一般的说,免不掉有些部分因为发生了变动,以致那一部分的边界条件起了变化;这样,那一部分内部的应力作用方式,也就起了变化,跟着发生的形变,也就与它发生变动以前不同了。

从此我们可以了解,在一定地块范围内,尽管运动方式不变,然而反映应力作用逐步变化的各项结构面的性质和排列的方位必然有所不同。为了明确它们发生的过程,我们必须把反映不同应力作用的每一套结构面的序幕划清,并且还要确定这些序幕的序次。

因此,对同一岩块或地块中,在同一方式的动力作用期间所产生的各项构造形迹是一连串的现象;在反映局部应力作用方式的意义上,它们并不是前后或彼此一致的。地质力学的分析工作,首先就是要鉴定某一部分构造形迹的序次和等级。找出不同序次和不同等级的构造形迹挨次的控制作用。不同序次的构造形迹,可以由它们出现的先后来直接决定,但也可以因为它们出现的时期相差很少,只能根据当地构造条件和它们发生的关系来加以判别。

为了明确地划分构造形迹的序次,在一个地区中相互关联的各项构造形迹(就是属于下面所说的同一构造体系的成分),我们应该按照它们发展的情况,分为初次、二次、三次乃至多次的构造成分。二次至多次的构造成分,无妨统称为再次构造成分,以便于叙述。

在一个地区中出现的各项构造形迹,可以按照它们规模的大小分为不同的等级。一般在一个地区占有主导地位的构造形迹,在它所属的体系中,列为第一级构造,规模较小的列为第二级构造,规模更小的列为第三级构造,诸如此类。为了便于叙述,第一级有时连同第二级构造,统称为高级构造;规模小于第二级的各级构造,统称为低级构造。

这里需要指出,构造形迹的序次与构造形迹的等级,并不能按照同等的级数与同等的次数挨次对比。一般地说,第一级构造大都属于初次构造,但初次构造并不限于第一级构造。反过来说,再次构造大都是低级构造,但也不限于低级构造。

当岩层或岩块揭开它形变的序幕,不同序次的构造形迹就会跟着产生。再次发生的

构造形迹,有的可能是新生的,有的可能是由旧的构造形迹转变而来的。

例如,岩层受到单向压力,在与层面平行的方向,继续作用,达到一定的强度,但尚未发生背斜形的挠曲时,经常有三种不同性质的结构面出现:1)与压力作用面平行的——亦即与即将出现的背斜轴面走向平行的——各种压性结构面;2)与压力作用面斜交的扭性结构面;3)与压力作用面直交的张性结构面。这三种结构面都属于初次结构面。当背斜开始出现的时候,地层与地层之间,往往由于它们各自所产生的形变不均一而致发生相对的扭动。一切由于这种沿层面的扭动而产生的结构面,都是属于二次结构面。当背斜发展到一定的阶段,由于地层弯曲,它的顶部就很可能出现和背斜轴平行的张性断裂,这种张性断裂,也是属于二次结构面。如若在这样产生的两个张裂面之间的地块,因重力作用而致陷落,在那种情况下,陷落的地块和张裂面相接触的部分及其附近就可能产生局部的挤压或小型扭动面,这样产生的挤压或扭动面,就属于三次结构面。

又如,由于区域性扭动而发生的棋盘格式或交叉断裂面,无论从一般材料力学的理论来看,或根据模型实验的结果,都应该是属于扭(剪)性的结构面,这种扭性结构面,是属于初次结构面。在扭动开始的阶段,纵横两组扭裂面,一般彼此近于直交。当扭动按原来的方向继续进行时,由于塑性形变,那些为棋盘格式断裂面所划分的岩块和地块,逐渐变成菱形,原来纵横两组扭裂面中的一组,即和扭动方向角距较小的那一组,到了这个阶段,就变成了张裂面。而其中的另一组,即和扭动方向角距较大的那一组,到了这个阶段,就变成了挤压面;甚至在这种挤压面的附近,还出现局部的倒转褶皱和仰冲。在这个阶段,顺着初次扭裂面而产生的张裂面和挤压面,就都属于二次结构面,诸如此类。

三、确定构造体系的存在和它们的范围

在由各种岩层、岩体(包括矿床、矿脉及其他形状的矿体)组成的地壳各部分中,每一项构造形迹,必定有和它不可分离的侣伴。换句话说,一切构造形迹都是成群发生的。每一群构造形迹和其他有成生联系的构造形迹群,往往各别形成构造带。构造带与构造带之间,有时存在着构造形迹不甚显著的地块,它们和围绕它们的或半围绕它们的构造带,形成一个整体,构成统一的构造体系。简单扼要地说,构造体系是许多不同形态、不同性质、不同等级和不同序次,但具有成生联系的各项结构要素所组成的构造带以及它们之间所夹的岩块或地块组合而成的总体。

这个总体,是一定方式的区域性构造运动(即地壳的一个组成部分的运动)的结果。一定方式的区域性构造运动,就它发动的时期来说,主要是一次的,但也可以断断续续地前后分为几次;就它波及的范围来说,从地表来看,或者局限于一个类型的构造区,或者扩展到毗连的、不同类型的构造区;从深度来说,每一场不同方式的构造运动,或者同一场构造运动的不同阶段(即每一幕)所影响的沉积层厚度不同,所产生的构造现象,在不同的深度

往往不一致。在许多地区,物探和钻探的结果,不仅证明了这种构造不整合或不协调现象,而且还证明了某些构造运动只影响沉积壳的上部。但也不能否认,有些构造运动以不同的方式或在不同的程度上影响它的下部,乃至牵涉它的基底。在后一场合,上层构造运动所产生的结果,当然是与基层的古老构造运动所产生的结果相复合的。而后起的构造运动的影响,往往显得突出一些。根据地震的资料,有些影响很深的构造运动达到莫霍洛维奇面,即一般认为是地壳的底面,甚至达到更深的地方。

一定方式的构造运动,既然可以这样涉及大小、深浅不同的范围,那么由于一定方式的一次或连续几次构造运动而构成的构造体系,也必然把不同深度的岩层和不同大小的构造区,或若干毗连的构造区,卷入它的结构而形成一個统一的整体。

一个复杂的,即由不同序次、不同等级的各项构造成分组成的构造体系,特别是大型的构造体系,经常是由许多较小的次一级的构造体系组合而成的,这种次一级的构造体系,又可以由若干更小的构造体系组成,诸如此类。

一个构造体系的组成部分,或者互相穿插,互相连接,或者彼此分离,甚至有时相隔很远;它们的构成形式不一定相同;排列的方位和展布的形状也不一定一致。但是,如果从区域地质构造各个方面,包括有关地区地层的形成、火成岩的活动和它所经历的运动的时期等等方面的考虑,获得了确实的证据证明那些构造形迹确有成生联系的话,就可以断定它们是属于同一构造体系。

当然,在复杂的、长期发展的地质构造现象中,尤其是在广大的区域中,进行这样组合的分析工作,不是一蹴而成的。但是,坚决地依靠上述基本原则,耐心地从工作实践中摸索前进,我们一定会得到应有的成就。

对一个构造体系的认识,也就是说,对它的各个组成部分以及各项结构要素的力学含义的释译,不仅是理论上的问题,而且是具有重大实际意义的。当我们从地质力学的观点,来阅读前人以大量劳动力换来的宝贵工作成果,例如各种地质图、构造图以及有关报告等等的时候,我们时常发现,实质完全不同的构造形迹,例如一个扭性断层、一个张性断层和一个仰冲断层,被合并在一起,作为同一项构造形迹看待;又有时把在成生关系上截然不同系统的构造成分,当做同一类的构造现象看待。这样做,不仅是不能帮助我们合理地分析构造现象,而且会引起极大的纷乱。这种纷乱,在解决矿产资源勘测方面和某些水文工程地质方面的问题时,可能产生重大的错误。

构造体系,在地质学中,不完全是新提出来的概念,在传统的构造地质学中,已经孕育着它的胚胎,其中最重要的,表现在描述地层褶皱的关系上,例如用“互相平行”或“协和”等类词汇,来描述构造线群或造山褶皱带和断层群彼此的联系。“平行”这个词是具有明确意义的,但是我们现在知道平行的构造线或平行的断层,不一定都属于同一构造系统。反过来说,同一构造系统的褶皱或褶皱带和断层群,并不一定是平行的。至于“协和”这个词,意义就很不明确了,在科学的分析上很难确切地使用。还有其他许多构造体系胚胎的

概念,例如褶皱群紧束现象、褶皱带分支现象和褶皱带侧面连锁现象等等。尽管这一类词汇有缺点,但它们的使用是为了描述构造现象的联系,这一点,对构造体系的认识,是有所启发的。

构造体系这一概念,不仅在理论上具有重要意义,而且在生产实践方面,也经常起着指导性的作用。我们的经验证明,构造体系的初步认识,有助于矿产勘探和工程水文地质等方面的工作。这些工作的进展,又反过来有助于我们对于地质构造体系进一步的认识。大家知道,地壳各部分中储藏的矿产,是受到双重控制的:其一是成矿的条件,其二是矿产分布的规律。成矿的条件,主要决定于岩性和有关岩体和岩层成生时的环境和它们之间相互的关系。矿产分布的规律,一部分和成生的条件有关,但主要是受到构造体系的控制。不待说,构造体系也有时影响成生的条件。为了步步深入地探索矿产集中的规律,柯列特尔把矿产所受到的构造控制,按规模的大小和精粗的程度,分为四级。在构造的等级和它的序次恰好相当的场合(例如第一级构造恰好是初次构造,第二级构造恰好是二次构造等等),那就大致可以说:第一级构造控制整个广大成矿区或整个狭长的大成矿带,第二级构造控制着其中各别矿区或各别矿田,第三级构造控制着矿床,第四级构造控制着矿体及矿柱。事实上,矿床和矿体或矿柱的分别,不容易划分明显的界限,因此,第三级和第四级的控制,在大多数场合,无防总合起来划归一级。

在矿产资源勘探战线上和水文地质、工程地质某些方面的工作中,运用第一级构造控制的规律,亦即大规模构造控制的规律,是属于战略性的;运用第二、三、四级构造控制的规律,亦即中、小型构造控制的规律,是属于战术性的。为了决定普查勘探的方向并决定个别矿区的勘探设计,我们必须首先就大规模构造体系布署一切战略性的普查,跟着又必须按照中、小型构造体系来进行战术性的具体勘探施工设计。

四、划分巨型构造带,鉴定构造型式

构造体系的类型很多,直到现在,我们所认识的还有限,它们的组成形式,一般都相当复杂,只有通过长期的细致的实地工作实践,才能逐渐扩大我们对构造体系认识的范围,才能逐步加深我们对每一种构造体系的认识。就目前我们所达到的认识范围和程度来说,按照地质力学的观点,构造体系可以分为下述三大类。

第一类 横亘东西的复杂构造带

属于这一类型的每一条东西复杂构造带,往往经过了长期的、复杂的历史演变,多次的运动。起初,它的一部分,可能是一个巨型拗褶,有时称为准地槽,到后来又发生了巨大幅度和紧密的褶皱,以及不同性质的断裂。这一条和那一条东西复杂构造带,不一定具有

同样的发展过程,也不一定具有同样的综合形态,但却具有重要的共同特征,即每一条东西复杂构造带,作为一个整体以及组成它的主要褶皱和断裂,都是大致走向东西的。在没有受到严重干扰的情况下,这些东西复杂构造带,可能继续延长达几千公里,在大陆上是这样,在大洋底也有它们存在的踪迹。在这些巨型的第一级构造带中,往往出现次一级的或更次一级的复杂构造成分。它们或者和第一级构造起源相同,但在成生的序次上不同;或者是由于其他第一级构造体系的干扰而产生的。

东西复杂构造带,往往出现在一定的纬度上。但另外也有一些规模较小的东西褶皱带,仅仅具有区域性,它们散布在一个地区,不限于一定的纬度,而有时仅涉及古老地层。这些超巨型东西构造带出现在中国境内,有两带是极为明显、极为突出的。其一是阴山带,这一带的中间部分构成阴山山脉,往西去经过固阳以北白云鄂博地区、狼山以北地区、中蒙边境一直到星星峡以西,再西应该与天山山脉相连,但实际上由于受到了其他构造因素的干扰,它的地位往北挪动了。由阴山往东去,它受到了走向北北东的巨型构造的干扰,但在河北与内蒙锡林格勒盟以及辽宁境内,有时以片断的强烈褶皱和冲断的形式出现,它们大致走向东西。这一东西复杂构造带的平均位置,大致在北纬 40° — 43° 之间。

其二是秦岭带,这一带构成秦岭山脉,其向西延长的部分,看形势是与昆仑山脉相连的。由于西藏地块和另一个巨大构造体系的干扰,它现在所在的地位,比它应该出现的地位,稍稍往北挪动了一些。这一东西复杂构造带,由秦岭向东延长的部分,在伏牛山以东,被属于另外一个体系的弧形构造推移,显得向南弯曲,经过大别山区及苏北海州而沉没于东海,但在日本本州的西部和四国的北部,又有横亘东西的强烈褶皱出现。位置大致平均在北纬 33° — 36° 之间。

另外还有一带,远不如前两带那样明显,但大致在北纬 $23^{\circ}30'$ — $25^{\circ}30'$ 的地带,往往有走向东西的局部褶皱和横跨较古褶皱的东西隆起带,以及在这一带大量的火成岩体,特别是花岗岩类型的岩体,以分散的形式出现,并且在许多段落受到其他构造体系的干扰,因此它们不成为一个延续不断、东西伸展的构造地带。但是,南岭的存在,无论是就老的变质岩系,如赣粤边境的龙山群和大庾岭的变质岩系来说,或就新构造的表现,如金沙江流域的水系和红河及西江流域的水系的分水岭(即滇北的东西隆起带)来说,都是不可否认的事实。还有许多走向东西的褶皱,片段地出现在云南北部、广西北部、湖南南部、广东北部、江西南部、福建西南部、乃至台湾的极北部。这些褶皱,有时仅仅牵涉老变质岩系,有时使红色岩层受到相当强烈的影响。这一复杂而比较散漫的东西构造带,是上述各项不同性质、不同时期,但具有向东西延展的共同特征的构造成分所组成的。

这三个东西复杂构造带,都有长期发展的历史,经过反复活动。其中阴山和秦岭两带,更具有长距离持续的特征。根据我们现在掌握的资料,还不能确定它们经过多少次构造运动;也不能肯定它们的哪些部分,在哪些时期运动最为激烈,但是它们都经过多次的构造运动是可以肯定的,在燕山运动时期,它们经过激烈的运动,也是肯定的。它们的组成

形式,有大幅度的紧密褶皱和不同规模、不同类型的断裂,也是肯定的。

在这三个东西复杂构造带中,矿产的分布,有若干共同之点:首先是它们往往含有这一种或那一种贵重的稀有元素和分散元素的矿物;其次是重型矿物;再其次是多金属矿点和中小型矿区在这三个东西复杂构造带中,特别是南岭带中,比较集中。

在阴山带中,大家知道主要矿床有钒、钛、铜、铅锌等金属矿、晚古生代煤矿、中生代煤矿和稀有、分散等元素。此外,还有规模巨大的鞍山式和白云鄂博式铁矿。前者是前震旦纪沉积变质岩系中条带磁铁矿和赤铁矿,与苏联的“含铁石英岩”和美国的“铁燧岩”大致属同一类型,但我国这种沉积类型的矿床一般变质程度较深,局部遭受不同程度的花岗岩化作用,它含有原生或热液迁移作用所形成的富矿;后者是内蒙西部新发现的高温热液及气成交代磁铁矿及赤铁矿,它产于前震旦纪白云岩中,与邻近的偏碱性花岗岩有成因上的关系,在铁矿围岩中,有明显而宽广的碱金属交代蚀变带。

在秦岭带中,已找到的主要矿产除夕卡岩型铁矿及铜铅锌矿外,在它的中部北侧陕西境内还找到了巨大的细脉浸染型钼矿,矿体主要产生在震旦纪变质的安山岩内,及与成矿有密切关系的斑状花岗岩中。在矿区以南有巨大的东西向断裂,矿体是受着与走向东西挤压带有关的北西向扭性破裂的控制,斑状花岗岩侵入体延伸方向与矿体一致。在秦岭中部偏东的部分,在震旦纪地层中,找到了具有工业价值的铁矿。在秦岭东部向海滨延长的部分,即海州地区,出现了磷灰岩矿床,产于结晶片岩和杂岩中,这个古老岩系成轴向东西的紧密褶皱。

在南岭带中,包括赣南、湘南、粤北、广西东北等地区,各种金属矿区罗列,特别是钨、锡矿以及和它们共生的有色金属矿。广西东部的钨、锡矿也是在这个带内。这个带内的钨矿主要是含黑钨矿的石英脉及夕卡岩型白钨矿两种类型,前者主要生于硅铝质岩石中,后者主要生于碳酸岩中。

重型矿产,特别是某些类型的铁矿,如上述阴山带中的白云鄂博式、鞍山式铁矿,秦岭带中部和东部零星露出的铁矿,南岭带中安溪、龙岩、大田的铁矿等等,从构造的角度来看,在这三带中,或显示着或隐含着相当重要的意义。

对上述各项矿种,这三个复杂构造带,都具有第一级的控制作用;但是由于属于南岭带的许多片段的走向东西的褶皱、冲断面或其他形式的挤压带以及火成岩体,往往彼此隔离,因而在同一带中处于分散状态,它对多金属矿产的第一级控制的范围,有时扩大到北纬 $23^{\circ}30'$ — $25^{\circ}30'$ 以外。在太平洋金属成矿带中,这种东西复杂构造带的第一级控制作用,往往与第一级的新华夏系构造(详后)控制作用重复在一起。例如,福建西南部铁矿的分布,可能就是起源于这种双重构造控制的作用。

总之,从部署某些种金属矿产的勘探工作来说,它们的控制作用,是属于战略性的。

仅仅掌握战略性的控制,是不能解决我们的问题的。我们必须进一步对于在这种第一级构造控制下所出现的矿区或矿田进行第二、三级构造控制的研究。举一个例子:江西

西南部有一钨锡矿区, 位于一个复式背斜的轴部——这个复式背斜是南岭复杂构造带的一个组成部分。可是, 矿区构造主要是一北北东的不对称背斜。这个矿区的南北两面, 特别是在它的北面, 走向东西的逆断层及挤压带相当明显。因此, 那里脉状矿床的构造控制作用, 看来有两种情况: 一是由于造成上述复式背斜所产生的南北向挤压; 二是由于江西西南部的古老岩区, 曾经遭受过近东西向的挤压。在这种情况下, 该区矿脉走向北西西, 在序次上应属于初次而在等级上属于第二级的构造。无论前述两种可能的那一种与实际情况符合, 它们对该区矿脉的控制作用都是属于二、三级的。

江西南部的钨锡矿脉, 大都受到近于东西、北东东、北北西和北北东几组倾斜极大的断裂和裂缝(包括断层和节理)的控制, 这些断裂的力学性质, 各不相同。走向近于东西的矿脉, 可能是直接受到组成南岭复杂构造带褶轴的控制, 在这种情况下, 第一级构造的控制, 就和第二、三级构造的控制, 大体是一致的。但在某些矿区出现的走向北东东的矿脉和走向北北西的断裂(其中有时也含有矿脉), 可能是和走向北北东的仰冲断层属于一个构造体系, 即新华夏系构造(详后)。在这种场合, 那些矿田和矿区的出现, 是受到了南岭复杂构造带的第一级构造的控制, 而在每一矿田中所出现的矿脉, 却是受到另一个第二级构造体系的控制。在湘南和广西东南部情况也大致相似, 即矿区的分布主要是受到南岭复杂构造带的第一级构造的控制, 而各个矿区中的矿脉的伸展, 往往受到其他第二、三级构造体系的控制。

这些规模宏伟的东西复杂构造带, 不仅出现于中国境内, 而且在地球上其他若干纬度相当的乃至纬度不同的地带, 也有踪迹可寻。它们一般是根基很深的, 因而往往是某些种类重矿物的原生和派生矿床的产地。在被掩盖的地区, 它们的存在, 往往由重力和磁力异常带反映出来。

在此, 不妨顺便一提我们对这些东西构造带的认识过程。最初, 我们发现了它们在中国境内出现于某些纬度的规律性, 在设想这种规律性具有广泛意义的前提下, 预料到各大洲的相应纬度上会有它们的踪迹, 除非它们受到其它更强烈的构造的干扰或新地层的掩盖。后来, 在大陆上各处陆续发现了东西构造带的片段, 这就一步步地证实了最初的预想在很大程度上与事实相符。尤其值得注意的是, 近年来在大洋方面又发现了一些巨大的纬向“断裂带”。看来, 这些发现, 并不是根据前述东西构造带的规律性进行工作的结果, 但它们在纬度上的位置, 却是与大陆上某些东西构造带的纬度位置“不约而同”的。这样, 对我们地球上东西构造带的存在和它们的重要意义, 可以说, 我们有了比较全面的认识。

和南岭复杂构造带相当的纬向构造带, 往东出现于太平洋底, 它的位置在回归线左右, 它由东经 144° 附近继续延伸到西经 166° 附近; 往西在印度虽不甚显著, 但构成阿马尔坎塔克高原的一带山地和它以南的地带, 以及东西横亘比哈尔邦的石炭二迭系和下部冈瓦纳地层的沉积地带, 是位置在大致和南岭相当的地带上。在阿拉伯海湾北部海底, 曾经发现过走向东西的山脉, 其位置也大致与南岭的位置相当。在南纬 25° — 26° 附近, 也

有东西复杂构造带的可疑踪迹, 南非洲的布希维尔特复杂火成岩带以及勃勒脱利亚附近走向东西的强烈褶皱, 可能就是这个构造带的代表。至于澳大利亚西部从加斯科英河上游往东, 直到马兹格雷夫山脉, 断断续续的古老褶皱, 是否属于这里所指的的东西构造带, 巴西圣保罗山区, 有无东西构造带的痕迹, 值得作为疑问提出。

在西半球方面北纬 20° 左右, 从古巴南部到日斯巴尼亚岛, 也存在一条显著的东西复杂构造带。它一方面往西从加勒比海北部的巴特累特海沟到横穿中美洲的“帕拉斯地向斜”以及和它有关的强烈褶皱, 再朝着克拉里昂岛向太平洋伸展, 达到经度 150° 左右; 另一方面往东沿着波多黎各海沟向大西洋方面伸展。此外, 还有一个纬向构造带, 它由加勒比海南岸的安第斯褶皱带, 穿过中美洲经过克利珀顿岛往太平洋深处伸展, 达到经度 150° 左右, 全长超过 8,000 公里。

和秦岭带相当的东西构造带, 在阿富汗有横亘东西的帕勒帕迈塞斯山脉; 在非洲北部的边缘, 有沿地中海南岸的阿特拉斯山脉; 在美国南部俄克拉何马和阿肯色两州之间, 有阿乌哇契它山脉; 再往西去, 还有洛杉矶以北的走向将近东西的诸山脉, 由圣巴巴拉附近一直延展到圣伯纳迪诺山脉的北部, 由于这条山脉的存在, 从旧金山起, 一直往东南伸展的沿海山脉, 不得不在洛杉矶以北突然转折, 而变为走向近于东西的褶皱山岳地带, 这个强烈东西复杂构造带, 有更往西向太平洋方面延展的趋势。圣克鲁兹岛、圣罗扎岛和圣米格尔群岛以及在它们以北的圣巴巴拉海峡, 就显示东西拗褶或断裂和隆起地带在海中的存在, 并且从海图上可以看出, 它们还有在太平洋底经过摩利海沟向西继续伸展的踪迹, 太平洋底的这一东西构造带长约 3,000 多公里。

南非洲的极南部, 开普山脉一部分是由走向东西、向北倒转的强烈平行褶皱组成的, 和那些强烈褶皱相伴随的, 还有向北仰冲的断层, 在这一带走向东西的山脉中的褶皱构造, 从石炭二叠纪到早白垩世经过了多次的活动, 它的位置在南纬 34° 左右。最近又发现一条东西向深海沟绕过非洲南端向大西洋和印度洋方面伸展很远。

和阴山带相当的东西复杂构造带, 也出现于地球上其他地带, 但不是连续不断的。由于局部的干扰, 在中国境内的天山山脉, 往北弯曲, 一到天山的西部, 它就恢复了正常的位置, 费尔干的隆起褶皱和拗陷地带及其以北的山岳地带, 可能属于它的范围, 再往西去, 受到了有力的抑制, 不见踪迹。但到了黑海的南岸, 它又构成了阿纳脱里亚东西复杂构造带, 往西继续伸展, 达到保加利亚南境的罗多彼山脉地带, 在这条山脉的西端, 由于受到了狄那里褶皱带的强烈干扰, 它便不见了。在西班牙北部比利牛斯山脉和坎塔布连山脉, 它又出现。越过北大西洋海岭的北部, 沿着北美利加海盆地北缘, 进入北美大陆。在纽约以北, 宾夕法尼亚州境内, 显示它潜伏地存在, 由东北向西南伸展的强烈阿帕拉契亚褶皱带, 由于它的阻挡, 突然发生了转变, 以致褶皱轴向转折近于东西, 这个转折发生的纬度, 大致与美国西部走向西北—东南的落基山脉转折向南, 也就是科迪勒拉山脉在东西方向最宽的地带的纬度相当。最奇怪的事实, 是在这个大致走向南北的科迪勒拉褶皱地带中,

存在着东西伸展颇长的重力负异常(-200 到-240 毫伽)带,并且出现了一条走向东西的尤英塔山脉,它是由前寒武纪地层巨型背斜构成的。这个现象,使我们联想到云南西北部鹤庆附近近于南北的强烈的褶皱带中,忽然出现了一段强烈的东西褶皱,这种似无联系的東西褶皱片断,好象是被走向近于南北的强烈褶皱带所掳获的,正如火成岩侵入体中,有时出现的掳获体那样。在尤英塔山脉的同一纬度上,太平洋底也存在着强大的断裂或拗褶皱带,它往西一直向夏威夷方面伸展,长达 2,000 多公里。

在北纬 50° 左右,东西复杂构造带,以不同的形式出现于若干地区,其中比较显著的,有接近苏蒙边境的肯特山脉和唐努山脉,这些山脉的位置,大致和横过比利时的阿登褶皱带及其以西在英国西南部和法国西北部出现的阿尔摩利加(阿摩力)褶皱带相当,这一主要是在古生代造成的褶皱带,看来沿着北大西洋北部海底所谓电线高原,以及纽芬海堤,又有相当的发展;在加拿大的魁北克和安大略由前寒武纪地层构成的地区中,近几年来,发现了布格重力异常数值达到负 129 毫伽,这一重力异常地带,横亘东西,宽约 220 公里,在地形上并无突出的现象,但在这一地带的地下,埋伏着有古老岩层形成的山脉,是可无疑问的。在安加拉河下游地带和沿着阿尔丹河由西往东流的一段,以及横断奥廖克马河中游的地带,都有显著走向东西的强烈褶皱和冲断层,它们发生的时期,从前寒武纪到中生代不等。它们所在的位置,大致都在北纬 57° — 58° 。

其他还有许多片段的東西构造带,以各种不同的形式,在不同时代,出现于不同的纬度上,它们持续的程度,都远不及前述几条大规模东西复杂构造带。连那些宏伟东西复杂构造带,究竟是否都具有全球性,当然,也不容易一概作肯定的答复。

在亚洲大陆东部边缘,却出现了一种奇异的现象,那就是无数的岛屿构成一系列的弧形,由东北而西南,一个和一个成连锁状,极有规律的排列下去。有几种不同的假设和假说,被提出来作为这种奇异现象的解释。其中之一,就是每两个由列岛构成的弧形互相连接的地方,恰巧是和一個东西复杂构造带所在的地位相当,好象本来应该是呈直线状排列

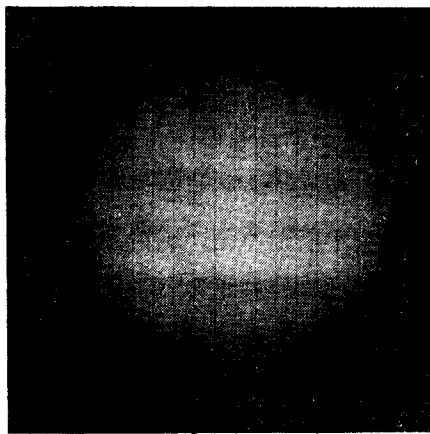


图 2 木星表面的东西向带状结构
(南京紫金山天文台 1960 年 7 月 12 日摄)

的列岛,受到了潜伏的东西复杂带的阻碍,以致形成了一系列的弧形。当我们向内陆进行考察,发现了大兴安岭的南部,在达到阴山带以前,逐渐往西南弯曲,构成一个陆台的边缘弧;太行山脉以及它的向西南方向延续的诸山脉达到秦岭以前,同样逐渐往西南弯曲,构成山西陆台的边缘弧;湘黔边境的诸山脉,在达到南岭以前,也是逐渐向西南弯曲,构成贵州陆台的边缘弧的时候,前述由于东西复杂构造带影响了新华夏系构造带而形成亚洲大陆东边的一系列的弧形列岛,就不是假设,也不是假说,而是事实了。

天文学家们早已发现了,在若干行星的表面,特

别是木星的表面,也存在着东西向带状结构。那些带状结构,虽然局部变化无常,颇不稳定,可能是由气体或微尘状物质组成的一种结构。但它们与所属星球的赤道总是保持着平行的关系,也就是说,它们的存在与所属星球的自转保持着一定的关系。就木星来说,地球的平均比重比木星的平均比重大得多,地球现今的自转速度比木星现今的自转速度小得多,地壳的组成与木星表层的组成显然大不相同,因此,可以断定,在这两个星球上的东西构造带实质不同。但是,它们都受着各自旋转的控制,是显然的。这说明,构成天体的物质,尽管它存在的状态不同,而却因为类似的运动方式的影响,也可能造成类似的构造形式。

第二类 走向南北的构造带

总结近几年来我国普查和勘探工作的经验,我们在中国各地发现了不少走向南北的构造带,尤其是褶皱带。它们广泛地分布在全国各地,发育的情况不等,成生的时期也往往不同。它们有时单独出现,显然不属于其他任何构造体系,有时与其他构造体系复合,以致影响其他构造体系某些组成部分的正常排列形式,同时它本身也受到其他构造型式中和它相接触的部分的影响。

一群强大的走向南北的褶皱带,出现于四川西部和云南西部。它们向北延展,逐渐向西北弯曲,而插入西藏高原及青海地区;向南延展经过老挝西北部、泰国西部、缅甸全境、安达曼和尼科巴群岛,逐渐向东南弯曲,而形成印度尼西亚的弧形构造。这样我们也可以说,出现于中国西部的南北向构造带,与一个超巨型的反S型构造(详后)的中部相复合。这个构造带,从燕山期一直到晚近地质时代,断断续续地遭受过褶皱和隆起运动,是毫无疑问的。从已经获得的有限的区域构造资料来看,它的一部分或者全部,在古生代可能属于一个地向斜的范围。总起来说,这些南北向的构造带的存在,是有悠久的历史。

另外,在中国的其他地区,例如云南东部、贵州东部、湖南东南部、江西西南部(那里变质岩中走向南北的挤压带也可能是属于一个古老山字型构造的脊柱部分)以及更东的华南地区,往往在这里或那里出现走向南北的挤压带,看来它们在福建特别发育。

有些南北向构造带和其他构造体系的某些组成部分发生联合或复合现象(详后),如山西陆台的东部边缘,沿太行山脉所显示的挤压现象和它的西部边缘出现于黄河以西神木以南的南北延展的构造带,大部分是属于南北构造带的范畴。吕梁山的一部分和日本本州的北部,也在一定程度上受到了走向南北的挤压带的影响。最近,在华东区由郯城到庐江,根据物探的结果,也有走向近于南北埋伏在地下的剧烈破裂带或巨大拗褶存在,它的走向由北偏东到南偏西,和山西陆台的东部边缘,几乎是完全平行的,这种既不符合于严格走向南北,又不符合于走向北北东(即新华夏系构造带)的构造线,可能是由于构成南北向挤压带的应力和构成北北东向挤压带的应力,同时联合作用的结果。

又如,在中国南部若干地区,南北向的褶皱带和山字型构造(详后)的脊柱部分全部或

部分地重复在一起。在这种场合,南北向褶皱带和山字型脊柱不同之点,在于前者往往穿过山字型前弧;而山字型脊柱不到前弧所在地带,就渐形尖灭了。在其他类型构造体系,特别是走向东北—西南的挤压断裂面已经甚为发育的地区,由于又遭受了向东、向西的挤压以致产生走向东北—西南的扭性断裂,往往沿着原有的压性断裂面而得到进一步的发展。

在某些南北向褶皱带中,矿产种类和矿床类型都很多,具有工业价值的矿产也很多。其中有锡石-夕卡岩型锡矿,晚古生代沉积铁矿、夹在二迭纪和白垩纪地层中的铜矿、属于三迭纪和侏罗纪的煤矿,此外还有三迭纪层状铜矿以及产状不同的铜镍矿、钒钛铁矿、汞矿等等。这些矿区的分布,显然受着南北向第一级褶皱以及和它有密切成生联系的扭性与张性断裂的控制。列举数例如下:

云南东部南北向构造带,是我国锡矿产地重要地带之一,矿石产于花岗岩、花岗斑岩或石英斑岩侵入体与碳酸岩的接触带内。锡石和硫化物锡矿床特别发育,矿脉与矿体的富集和延伸方向,显然受着南北向构造和与它相伴生的东西向张性断裂以及东北—西南和西北—东南向扭性断裂的控制。

巨大的层状铜矿,是主要产于前震旦纪白云质灰岩中的单金属矿床,与当地辉长岩体有关,也是位于南北向构造带中。在若干地带的矿体展布,除了受南北向破裂带的控制而往南北向伸展外,并被近东西向的张性破裂及东北—西南和西北—东南向的扭性破裂所切断。在几组破裂交接之点,每为矿体富集之处。

在云南和四川交界地带,基性和超基性小岩体较多,大部都有铜镍矿和钒钛磁铁矿的矿化现象。这个矿化带是近于南北方向伸展,也是受着南北向第一级构造的控制。

钒钛磁铁矿主要产于辉长岩底部,矿体呈脉状,矿体及矿脉的分布,在有些地点要受次一级东北向断裂的控制。铜镍矿是沿前震旦纪变质岩系南北向的断裂伸展,有闪长岩至辉长岩、辉石岩以至橄榄岩的侵入,矿体主要集中于岩体底部和向围岩突出部分的橄榄岩与辉石岩中。矿体除沿着南北向伸展外,还受到低一级的其他方向破裂的控制。

在湖南东南部有很多有色金属及其他金属矿床,如铅锌矿及钨锡矿等,无论矿脉或矿体的延续,火成岩(包括花岗闪长岩至石英斑岩)的分布,或者富集矿带的伸展方向,都在不同程度上受着南北向褶皱带以及和它有成生联系的各种断裂的控制。

在中国境内所见到的这些南北向构造带,大都是属于挤压性的构造带,只有出现在云南东部的若干走向南北的大断裂,可能是属于张性或扭性的断裂,但是那些张裂,是直接由于它们两边的地块,各向东西略微平移以致分裂而形成的初次构造呢?还是由于走向南北的规模宏大而幅度甚小的隆起顶部张裂而形成的二次构造呢?这是现在还不能完全解决的问题。但是,就当地全体的构造特征来看,后者的可能性,就比较大得多了。在这种情况下,那些走向南北的断裂,尽管很大,延长很远,但不应该是很深的(地震的资料也证明这一点),这就提供一个大的断裂不一定是深断裂的好例子。

走向南北的构造带,在地球上其他地区也往往出现,它们的规模不等,性质不尽相同,

它们发生和发育的时期,也不一定相同。就其中巨型或超巨型的例子来说,最突出的、规模最宏大的,要算出现于南北美洲西部边缘地带的许多巨大山脉,包括恩迪可特、落基、安第斯等等山脉,和这些山脉的先行者,科迪勒拉和安第斯地向斜。其次规模也相当宏大极为突出的例子,是乌拉尔山脉和它的先行者乌拉尔地槽。卡尔宾斯基早已正确地指出了这些巨大而又强烈褶皱带是揭露大陆构造特征的头等重大现象。这些出现于接近南北美洲西岸和欧亚大陆之间的地向斜和伴随它们的地背斜的形成,在古生代初期已经开始了。到了古生代末期,在科迪勒拉の場合,部分地转变而成强烈褶皱带;在乌拉尔の場合,全部转变为强烈褶皱带。到了中生代的末期,科迪勒拉褶皱带就全部完成了。它们完成以后直到现在仍断断续续地保持着活动性。乌拉尔褶皱带来自自古生代末期以来也断断续续地保持着一定的活动性,甚至在新构造运动中,这种活动性在乌拉尔褶皱带的南部也还是相当显著的。

另外,自从中生代末期或第三纪初期以来,在非洲东部的南头直到地中海东端,又在西欧由隆河(罗纳)流域经过来因河流域直到斯堪的纳维亚的南部,都出现巨大的破裂带。这些巨大的破裂带和前述巨大的褶皱带一样,都是大致走向南北的。对这些破裂带中某些段落,地质学家们一直都同意是有关的地壳部分受了东西向的引张作用而产生的,但对这些破裂带的另外某些组成部分,有一部分地质学家认为是由于有关的地壳部分因东西两方面互相挤压而形成的。不管这一连串的破裂带每一部分产生的原因是怎样,显而易见,它们主要是张裂性的大断裂;不管它们局部的走向有什么变化,它们总的方向是往南北伸展的。

其他还有许多走向南北和近于南北的褶皱或破裂带,以及由它们引起的走向东北—西南和走向西北—东南的扭裂带,在全球范围内有广泛的分布,它们所在的经度各异,强度不等,出现的时期也不相同,在此不作详细的讨论。

第三类 各种扭动构造型式

属于上述第一、第二两类构造带的排列和分布规律,对地球的自转轴来说,是统一的,是比较简单的,它们不是与纬度一致就是与经度一致,其中大部分是接近于全球性的,也有若干带已经被证实了具有全球性。在这两类构造体系以外,还有许多反映区域构造运动的构造体系,现在把这些构造体系都列入第三类。第三类构造体系的排列和分布,从表面看来,情况比较复杂,但在实质上仍然可以归根到同样的规律性(详第四章 125 页—128 页)。它们的总体组合形态,不是各个都不相同,而是有些构造体系的主要形态特征彼此近似,大致符合于这一种或那一种标准型式。这种标准型式,简称为构造型式。我们对每一种构造型式,是从具有同样综合构造形态的各个构造体系,在岩性不同的地区中迭次出现而获得认识的。这并不是说,我们已经认识了所有的构造型式,相反的,我们所认

识的构造型式,到现在为止还是为数有限的。

当每一类型的构造型式的特征,通过广泛的实地工作实践,被肯定了的时候,它们那种组合形态的规律性,就更可以由其他还待发现的组成部分必然以一定的形式、在一定的地带和一定的方位出现的预见性得到证明。就是说,如若确定了某种型式的构造体系的一部分,就可以预见其他组成部分一定会在什么地区,并以什么样的形式出现,如果没有其他干扰原因存在的话。

这里又引起了一个极其重要的问题,就是同样的地应力作用,或同样方式的运动,在不同性质的岩块和地块中所引起的形变是不同的。例如,同样压应力的作用,在某些塑性显著的岩层中,比较容易引起褶皱;而在岩层脆硬的地区,褶皱发生的可能较少;反之,在那样的地区,压性或张性的块状断裂的发生,是正常的现象。

当我们把每一类型的构造型式,当做一幅形变图象看待的时候,就需要在三度空间应力场中考虑一系列的力学问题,同时也必须结合实际地质构造现象,来作详细的分析,才能得到解决。

在这里特别要考虑到,反映一个区域应力活动的各项形变与反映局部应力活动的各项形变之间的区别和联系。前者是起源于区域性构造运动的,是主导的;后者是由区域性构造运动所引起的局部构造运动来决定的,是派生的。前者主要由第一级、初次构造形迹组成,但也往往包括一部分低级、初次构造形迹;后者一般都属于低级、再一次或再数次的构造形迹。同时还必须考虑到,一定范围的局部构造运动,又可能引起更小范围的局部构造运动。照这样推解下去,上面的解析,还需要重复几次,才能阐明一般地区全部应力活动的关系以及由于它们的活动而引起的不同序次和不同等级的形变的区别和联系。格佐夫斯基和他的同事们所处理的课题,正好揭露在这里所提出的问题的复杂性。

为了阐明构造应力场中应力分配的规律,我们假定天然界的岩石对地应力的作用具有均一连续介质的特性,同时又假定在构造应力场中应力的变更具有连续性。

严格的说,岩层和岩体不是均一的,也不是连续的。但它们的不均一性和不连续性,经常达到如此庞杂无比的程度,以致当我们把它们总起来作为一个整体来看,反而呈现着一定的统一性和均一性。除了在某些特殊构造带和岩性极不相同的接触带以外,一般也显示着一定程度的连续性。在这种情况下,第一项假定仍然可以成立,同样,除了由于构造运动发展到形成巨大断裂的地带以外,第二项假定在一般地区也是可以成立的。

首先我们考虑在平面应力作用的条件下,岩层中一点 O 附近的应力分配情况。命 O 为原点, x 、 y 为两个水平轴,彼此互成直角,用通过 O 点与 x 轴成直角,通过 O 点和 y 轴成直角和与 x 轴 y 轴斜交的三个垂直面,从岩石中划出一个极小稜镜体,它在 x 、 y 面上的投影呈三角形,如图3三角形 OAB 。假定既知沿着 x 方向并在与 x 轴直交平面上作用的法向应力分量平均为 σ_x ,沿着 y 方向在与 y 轴直交平面上作用的法向应力分量平均为 σ_y ,在与 x 直交平面上作用的切向(扭剪)应力分量平均为 τ_{xy} ,与 y 轴直交平面上作用的切向

(扭剪)应力分量平均为 τ_{yx} , 这就可以求得任何与 x, y 轴斜交与 xy 面垂直的平面上作用的应力。当我们所考虑的微小稜镜状岩块受到构造应力场中应力作用到一定程度, 即构造运动即将发动而尚未发动时, 这一小岩块各方面所受的力量必然保持着平衡的状态。命稜镜体的厚度为 t , 在 OAB 三角形中任取一点 D , 命 D 的坐标为 dx, dy , 划出以 OD 为对角线的极小长方或正方形 $OCDE$ 。为了满足它平衡的要求, 作用于这一小方块四面的扭动力量即各个面上的扭力以 D 为中心的扭矩的总和, 必等于零, 故

$$\tau_{xy} t dy \cdot dx + \tau_{yx} t dx \cdot dy = 0,$$

即

$$\tau_{xy} = -\tau_{yx}$$

这就是说, 在直交于 x 轴平面上作用的扭应力, 与直交于 y 轴平面上作用的扭应力大小相等, 作用方向相反。同样为了使小稜镜体能够保持平衡, 作用于 AB 边的全部力量, 在 x 方向的分量就必须与作用于 OA 边和 OB 边的全部力量在 x 方向的分量相等, 方向相反。同时, 作用于 AB 边的全部力量, 在 y 方向的分量也必须与作用于 OA 边和 OB 边全部力量, 在 y 方向的分量相等, 方向相反。命 X, Y 为作用于 AB 边应力的两个分量, X 的方向与 x 轴平行, Y 的方向与 y 轴平行。在 AB 线上作法线 P , 法线与 x 方向之间的夹角为 α 。因为

$$OA = AB \sin \alpha,$$

$$OB = AB \cos \alpha,$$

又因为在极小的稜镜体的范围内应力的变化属于较高级数量, 可以不管, 故

$$AB \cdot X = \sigma_x \cdot AB \cos \alpha + \tau_{yx} \cdot AB \sin \alpha$$

即

$$X = \sigma_x \cdot \cos \alpha + \tau_{yx} \sin \alpha$$

同理

$$Y = \sigma_y \cdot \sin \alpha + \tau_{xy} \cdot \cos \alpha$$

从以上二式可以求得作用于 AB 的法向应力分量 σ 和切向(扭剪)应力分量 τ 。即:

$$\sigma = X \cos \alpha + Y \sin \alpha$$

$$= \sigma_x \cdot \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha + 2\tau_{xy} \sin \alpha \cos \alpha,$$

$$\tau = Y \cos \alpha - X \sin \alpha$$

$$= \tau_{xy}(\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) + (\sigma_y - \sigma_x) \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

以上二式所表示的关系, 不因坐标的转变而有所改变, 因此可以让坐标转到一定的方位, 在那个方位 $\tau = 0$, 即

$$\tau_{xy}(\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) + (\sigma_y - \sigma_x) \sin \alpha \cdot \cos \alpha = 0,$$

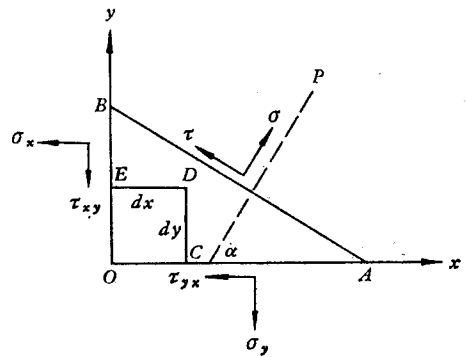


图3 在平面应力作用条件下物体中各部分平衡时各应力分量彼此的关系

亦即

$$\frac{\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} = \frac{\sin \alpha \cdot \cos \alpha}{\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha} = \frac{1}{2} \tan 2\alpha。$$

从以上分析可以看出,在构造应力场中,可以找到互成直角的两个方向,朝着其中之一作用的法向应力分量,在代数意义上,比在任何方向作用的法向应力分量都大;朝着另一方向作用的法向应力分量,在代数意义上,比在其它任何方向作用的法向应力分量都小,在这两个方向,切向(扭剪)应力分量等于零。这两个方向普通称为主向,朝着这两个主向作用的法向应力分量普通称为主应力。

如若把 x 、 y 轴置于主向上,由于 $\tau_{xy} = 0$, 上二式就简化为:

$$\sigma = \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha,$$

$$\tau = \frac{1}{2} \sin 2\alpha(\sigma_y - \sigma_x)。$$

以上诸式表明,在平面应力作用的条件下,只要既知应力场中某一点作用的三个应力分量:沿着 x 轴作用的法向应力分量为 σ_x , 沿着 y 轴作用的法向应力分量为 σ_y , 和沿着 x 轴和 y 轴作用的切向(扭剪)应力分量为 τ_{xy} , 就可以求得在那一点附近,与座标轴成任何角度的垂直面上作用的法向应力和切向应力分量。如若座标轴与主应力方向一致的话,那么只要知道任何指定一点两个主应力的大小,就可以决定在该点附近应力作用的全部情况。不难证明,在三度空间应力场中任何一点可以找出互成直角的三个方向。与每一个方向垂直的平面上,只有法向应力作用,无扭应力作用。这三个方向称为主向,每两个主向所决定的平面称为主平面,在应力场中的任何一点,可以找出与那一点相交而且互成

直角的三个主平面,在这三个主平面上的扭应力分量为零,法向应力分量即主应力在其中一个面上最大,另一个面上最小,第三个面上中等。有了这三个主应力,就可以决定我们所考虑的那一点的应力作用的全部情况。

现在我们又回头来考虑在平面应力作用条件下 σ 和 τ , 与 σ_x 和 σ_y 以及 α 的关系: 当 σ_x 、 σ_y 的数值一定时, σ 和 τ 就可以完全由 α 的大小来决定,它们

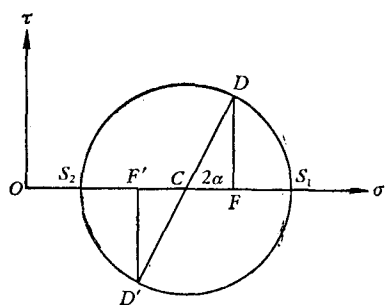


图 4 摩尔圆

与 α 的关系可以用摩尔圆来作图解。如图 4 取 $OS_1 = \sigma_x$, $OS_2 = \sigma_y$, 以 $S_1 - S_2$ 为直径作 $S_1D'S_2D$ 圆, 通过这个圆的中心 C , 在与 OS_2 成 2α 角度的方向, 作 DD' 直径, 由 D 和 D' 点作 DF 、 $D'F'$ 二线, 垂直于 S_1S_2 直径, 于是:

$$\begin{aligned} OF &= OC + CF = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha \\ &= \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha, \end{aligned}$$

$$DF = CD \sin 2\alpha = \frac{1}{2} (\sigma_x - \sigma_y) \sin 2\alpha。$$

上二式表示 D 点的坐标, 代表图 3 AB 边的法线与 x 轴向成 α 角时, 它面上作用的两个应力分量 (σ, τ) ; 同时也表示扭应力的最大绝对值为:

$$\tau_m = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}。$$

τ_m 可以是正, 也可以是负, 这时候扭应力的绝对值最大, α 等于 45° 。摩尔圆的图解法可以推广到解析应力在三度空间的分配情况。

当我们论到用应变椭球来测定扭动面方位时, 我们已经注意到由于应变椭球只能适用于微量应变的范围, 并受到平面应变的限制, 扭动面和 c 轴所成的角度往往不等于 45° 。现在从分析平面应力分配的结果, 我们又发现最大扭应力作用面与主应力作用方向所成的角度也和理想上的要求, 即 45° , 不相符合。根据实验的结果, 在多数场合, 主压应力作用方向与扭动面所成的角度小于 45° , 除非是在扭动面产生以后, 经过显著的塑性形变, 以致一对交叉扭动面之间的夹角, 在压应力作用的方面大于 90° 。

根据以上初步的分析和实际观察的结果, 我们不难推测, 在构造应力场中, 主压应力作用的方向与仰冲断面、褶皱轴面及其他挤压面的走向成直角, 与张裂面平行; 主张应力作用的方向与张裂面的走向成直角。但必须注意, 主压应力作用的方向, 不一定与冲断面直交。换句话说, 由于挤压而产生的破裂面, 不一定与压应力作用的方向直交; 因为压力的作用, 可以产生与它直交的挤压面, 也可以产生与它斜交的扭裂面。张裂面的出现, 可以是和它直交的张应力作用的结果, 也可以是和它平行的压应力作用的结果。至于扭动面, 一般地说, 并不一定与最大扭应力作用的方向一致。

可以设想, 作用于某一切面的扭应力愈大, 扭动就愈容易沿着那个面发生, 同时也可以设想, 对扭动作用的阻力愈小的切面, 扭动也就愈容易沿着那个面发生。但是对抗扭动阻力最小的切面, 不一定与扭应力作用最大的切面一致, 因此问题就变得复杂了。有些地质学家认为, 受压力最小的切面就是对抗扭动阻力最小的切面, 也就是最容易扭动的切面, 这当然是一种假定。另外我们还可以假定异向异性的岩石, 从它的内部的结构来说, 在某一方向的切面是对抗扭动阻力最小的切面, 也就是在本质上最容易扭动的切面。诸如此类, 我们还可以提出更多的假设作为决定对抗扭动阻力最小切面的因素。不管对抗扭动阻力的影响如何, 依靠摩尔圆的包迹也可以测定一对扭动面之间的夹角大小和方位。这种方法和上述几项假设都是值得注意的, 但是它们都缺乏确实可靠的基础, 也没有接触到问题的实质。看起来还需要大量深入的工作才能够解决这一在表面上看来很简单, 而在实质上却极为复杂的问题。

根据上述情况, 一幅应变图象, 并不直接代表平面应力作用条件下主应力轨迹网的形象, 也不直接反映构造应力场中各点最大扭应力作用的方向。但是, 在由岩石应变特征来

决定的条件控制下,一幅应变图象与应力作用的方式和边界条件具有一定的关系,是无可怀疑的。由于一切构造型式都是由组成它们的各种结构面在三度空间排列的方位和彼此配合的形式表现出来的总体;又由于岩石一般都具有某种程度的塑性作用,岩石中各种结构面的排列方位和彼此配合的形式,在现今与当它开始发生形变时的情况,或多或少有所不同。这样,构造型式的鉴定和辨识它转变的过程,便成为地质力学分析工作中的首要步骤。

以上是关于构造应力场中平面应力作用的初步分析。为什么平面应力作用或近似平面应力作用在扭动构造型式出现的场合具有特殊重要的意义?这在理论上和实际上都有一定的根据。

在理论方面,为了分析地壳上部任何一点应力作用方式,最简便的是按照维宁·迈勒慈处理另一问题的方法,首先在应力场中找出在那一点相交的三个主平面的方位,在所述场合,即其中一个主平面为与纬度一致的垂直面,第二个主平面为与经度一致的垂直面,第三个主平面为通过那一点的水平面时,应力作用方式的分析就很简单。这一场合显然是与由于地球旋转惯性变化而产生的力场相符合的。现在用极坐标来确定那一点的位置,命它的余纬度为 θ ,它的经度为 ψ ,深度为 d 。通过这一点,沿着经度和纬度并且指向地球中心作相互成直角的一纵一横的两个垂直面;另外又通过与前述纵垂直面极为接近、角距 $\delta\psi$ 的经度,同时又通过与前述横垂直面极为接近、角距 $\delta\theta$ 的纬度,同时指向地球中心作两个相互成直角的垂直面;用这四个垂直面,连同在深度 d 处的水平面,在地壳的上部划出一个极小的上宽下窄的四面柱体,如图5 $ABDC C'D'B'A'$ 。为了找出这个极小的四面柱体在地应力场中能够得到平衡的条件,我们作如下的考虑:

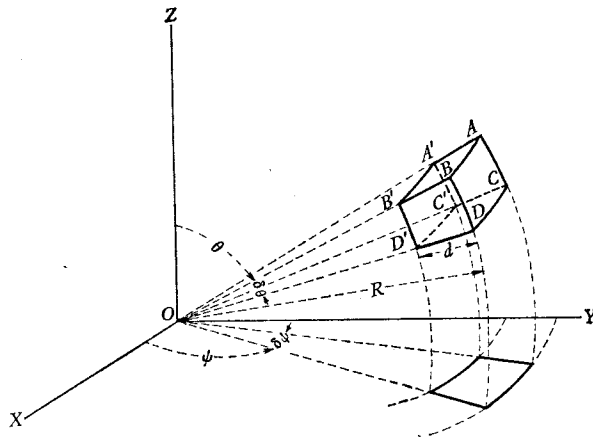


图5 在对应力作用保持平衡的条件下地壳上层的一小块
 $\delta\theta$ 是以地球中心为顶点、地球轴 OZ 为共同轴、通过纬度 BA 及纬度 DC 的两个圆锥面之间的夹角; $\delta\psi$ 是通过经度 BD 及经度 AC 的两个垂直平面之间的夹角。

由于 d 比 R 小得多,可以认为各项水平应力分量在垂直方向无显著的变化,也就是说,对这个极小的四面柱体来说,不存在使它显著变弯的应力作用;又由于小柱体的四个

侧面都是与主平面一致,可以认为,在垂直方向的扭应力分量等于零。这样,作用于 $ABDC$ 面上和 $A'B'D'C'$ 面上并且与它们成直角的方向(即 BB' 方向或 DD' 方向)的全部力量,就等于作用于这两个面上的主应力乘它们各自的面积的和。

$$ABDC \text{ 的面积} \approx A'B'D'C' \text{ 的面积} = R \sin \theta \delta \psi R \delta \theta = R^2 \sin \theta \delta \theta \delta \psi。$$

作用于 $ABDC$ 面上的主应力为零,命作用于 $A'B'D'C'$ 面上的主应力为 σ_r , 所以在 $A'B'D'C'$ 面上作用力的总和为

$$R^2 \sin \theta \delta \theta \delta \psi \sigma_r。 \quad (a)$$

其次,我们还要考虑作用于 $ABB'A'$ 或 $CDD'C'$ 面上的主应力对于 DD' 或 BB' 方向的分力,这个分力可如下计算出来:

$$CDD'C' \text{ 的面积} = R \sin \theta \delta \psi \cdot d。$$

命作用于 $ABB'A'$ 面上的主应力为 σ_θ , 在 σ_θ 不因岩层的深度而变值的场合, 作用于 $ABB'A'$ 面上的主应力在 BB' 方向无分力, 但对 DD' 方向却有分力(看图 6-1), 其数值为

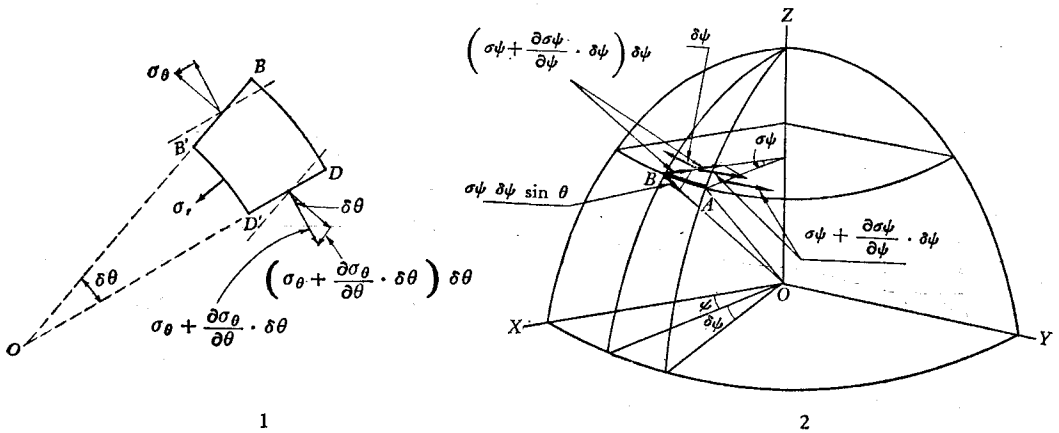


图 6 作用于小四面柱体 R 方向的应力分量

$\sigma_\theta \delta \theta$; 而作用于 $CDD'C'$ 面上的主应力为 $\sigma_\theta + \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} \cdot \delta \theta$; 它在 DD' 方向无分力, 但对 BB' 方向却有分力(看图 6-1), 其数值为

$$\left(\sigma_\theta + \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} \cdot \delta \theta \right) \cdot \delta \theta = \sigma_\theta \delta \theta + \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} \cdot \delta \theta^2。$$

舍去高级项后为 $\sigma_\theta \delta \theta$ 。这样, 无论就 DD' 或 BB' 方向计算, 作用于 $ABB'A'$ 面上或作用于 $CDD'C'$ 面上的分应力都可写为:

$$\sigma_\theta \delta \theta。$$

所以在 $ABB'A'$ 或 $CDD'C'$ 面上作用的主应力在 DD' 或 BB' 方向的分力的总和为:

$$\sigma_\theta R d \sin \theta \delta \psi \delta \theta。 \quad (b)$$

再次, 命作用于 $BDD'B'$ 面上的主应力为 σ_ψ , 在 σ_ψ 不因岩层深度而变值的场合, 作用于

$ACC'A'$ 面上的主应力在 $BDD'B'$ 面上的分量为 $\left(\sigma_\psi + \frac{\partial \sigma_\psi}{\partial \psi} \cdot \delta\psi\right) \cdot \delta\psi \simeq \sigma_\psi \delta\psi$ (看图 6-2)。其方向与 Z 轴直交, 所以, 它在 BB' 方向上的分量为: $\sigma_\psi \delta\psi \sin \theta$ 。

又 $ACC'A'$ 的面积 = $Rd\delta\theta$ 。

那么, 作用于 $ACC'A'$ 面上的主应力在 BB' 方向上的分力的总和为:

$$Rd\sigma_\psi \sin \theta \delta\psi \delta\theta. \quad (c)$$

当我们所划定的极小四面柱体得到平衡的时候, 在上述三个方面朝着 R 方向作用的力, 即根据(a)、(b)、(c) 三式所求得的力量总和就一定要等于零。

亦即

$$R^2 \sin \theta \delta\psi \delta\theta \sigma_r + \sigma_\theta R d \sin \theta \delta\psi \delta\theta + \sigma_\psi R d \sin \theta \delta\psi \delta\theta = 0. \quad (d)$$

这是极小四面柱体平衡时必须满足的条件之一。其他还有两个类似的方程式, 也都是决定小柱体平衡的条件, 但它们与我们现在处理的问题无关, 在此无需加以考虑。

简化(d)式得

$$R\sigma_r + d\sigma_\theta + d\sigma_\psi = 0,$$

即

$$\frac{\sigma_r}{\sigma_\theta + \sigma_\psi} = -\frac{d}{R}.$$

上式表明, 平行于水平面的各个应力分量总和的绝对值与垂直方向应力分量绝对值的比, 等于地球半径与受应力作用岩层的深度的比。如若受构造应力作用影响的地壳深度为 2 公里的话, 假如地球的半径以 6,000 公里计算, 那么垂直应力分量约占水平应力分量的 1/3,000, 如若受构造应力作用影响的地壳深度为 10 公里时, 则垂直应力分量约为水平应力分量的 1/600。从此可以看出, 在构造应力的作用仅仅影响地壳上层一定厚度的情况下, 水平应力分量的重要性远远超过垂直应力分量。

从野外获得的大量事实, 也证明在扭动构造型式——特别是巨型和超巨型扭动构造发育的地区中, 水平应力的作用是主要的。最明确的证据有下列各项:

(1) 沉积岩层上部的构造, 往往与其下部的构造不一致。其原因并不是由于上下部之间存在着沉积的不整合。这种脱顶现象, 在褶皱平缓的地区可以见到, 在褶皱剧烈的地区也可以见到。

(2) 物探的资料, 特别是地震的资料证明, 褶皱一般是地壳上层的现象, 到一定深处, 这种现象便消失了。

(3) 褶皱剧烈的地带, 往往发生巨型逆掩断层, 造成远程构造位移现象。

(4) 扭裂面两旁的岩石或其中某些标志, 往往显示一定距离的水平错动。

(5) 扭裂面上, 往往出现大批水平或近于水平的擦痕, 不管扭裂面是直立的或倾斜的抑或近于水平的。

(6) 近代强烈地震所产生的裂隙两旁, 往往显示相对水平错动的踪迹。现今还保持着活动性的断层的两旁, 经过一场近代地震以后, 也往往发生相对水平错动。

(7) 各种中型、大型的扭动构造型式, 在有关地区的范围内, 都提供水平应力作用的证据。

一个构造体系, 主要是一场(包括若干幕)构造运动的产物。一般地说, 越老的构造体系就会遭到越多的干扰、破坏、甚至越深和越大面积的覆盖。这样, 就可清楚地看出, 越老的构造体系的型式, 越不易鉴定。为了便于运用实地直接观察和追踪的方法来证实若干构造型式的存在, 并确定它们的特征, 我们在现阶段, 只就地壳表面上出现的最普通的几种构造型式, 特别是在我国燕山运动以来逐步发展的构造体系中, 举出下列几种类型。

甲、多字型构造

多字型构造的主要特点, 是由走向大致互相平行的挤压带包括褶皱、压性兼扭性的断裂等等和与那些挤压带大致成直角的互相平行的张性兼扭性的断裂组成的。在特殊情况下, 上述互相平行的挤压带或张裂带成雁行排列。在很多地区, 雁行排列的褶皱带, 包括低凹带和长形盆地或槽地, 是第一级多字型构造最显著的形式。但多字型构造并不限于雁行排列。另外, 和这些构造形迹连带发生的, 还有和它们的走向斜交的扭性断裂面, 交角经常近于 45° , 对压性结构面的走向来说, 一般略大于 45° , 在受挤压强烈的地带往往小于 45° 。

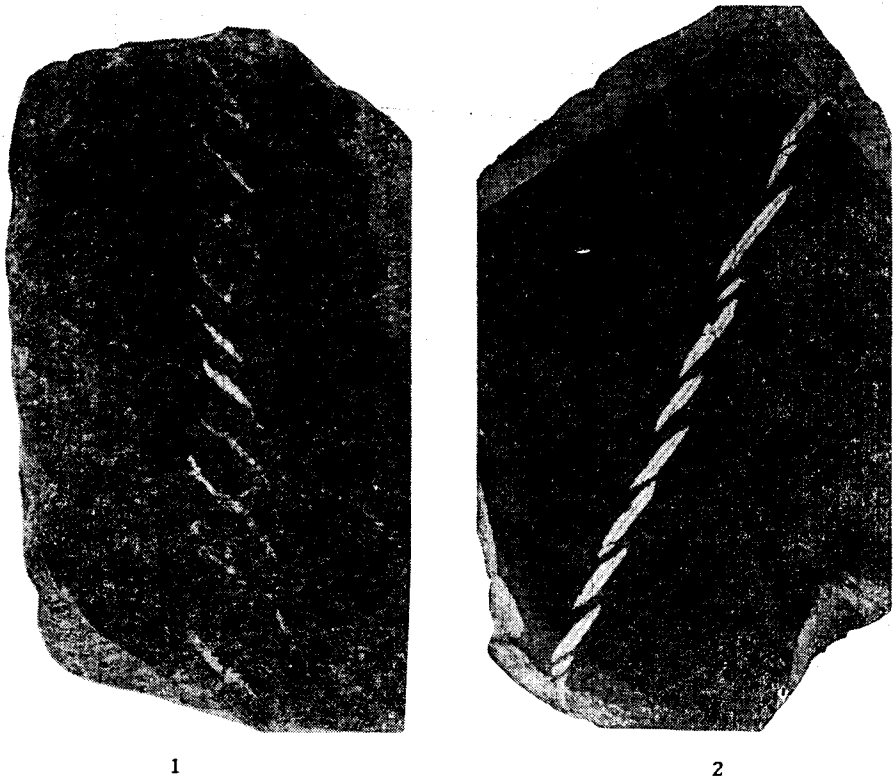


图7 充填的小型羽状裂隙(原大)

1. 黑云母-石英片岩; 2. 大理岩。

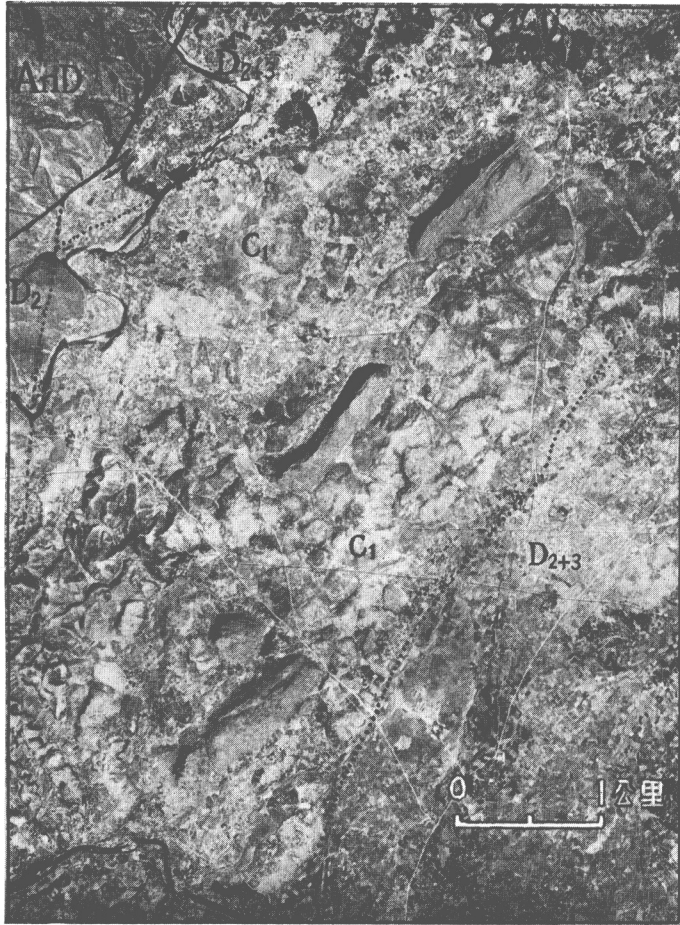
这个类型的构造型式,就规模来说,大小很不相同。有限于一块手拿的标本,有时延展的范围,纵横达几十至几百公里甚至延伸更长。就它的排列方位来说,小型的和中型的多字型构造,在垂直方面和水平方面,都经常见到。例如有些瓦叠式构造,从它的横剖面来看,就是在垂直方面排列的多字型构造。但大型的多字型构造,只能在地表见到,它的深度一般是随着它所占的面积大小而增减的。关于每一个多字型构造体系所达到的深度,是需要实测才能解决的问题。到现在为止,这种实测工作还未开展。小型的多字型构造,乍看起来,有的和一对扭节理相类似,其不同之点,在于前者是由一组平行的挤压面和另一组张性或张扭性断裂面交叉而组成的,后者是由两组扭裂面交叉组成的。

起源于地震的裂隙群,往往呈雁行排列。在多数场合,它们也属于多字型构造。但这种地震裂隙的多字型排列,也和岩块中被小岩脉或矿脉充填的小型多字型构造一样,大都是张扭性的,很少见到挤压的痕迹和它们交叉。有时它们也显示由两组扭裂面组合而成,并且显示追踪(详后)的张裂现象(图版 II 下图)。

简单的力学分析告诉我们,多字型构造的一个组成部分——相互平行、成群的挤压面或挤压带——是由于与它们成直角的压应力作用产生的,它的另一组成部分——相互平行、成群的张裂面或张裂带——是由于与它们成直角的张应力作用产生的。这两项彼此互成直角的应力作用联合起来,如果不因塑性形变而发生过大扭动,就和与它们大致成 45° 方向作用的扭应力相当。反过来说,某一方向的扭动,如果不超过一定的程度,就会引起和那个方向大致成 45° 的、互成直角的压性结构面和张性结构面。当我们把多字型构造当作一幅应变图象看待的时候,我们就可以肯定显示这幅应变图象的岩块或地块所经过的扭动方向。由于塑性比较显著的地层,例如白垩纪和第三纪的红层,褶皱比较容易发生,而断裂不一定得到相应的发展,所以雁行排列的褶皱,往往是有关地带曾经受过了扭动的显著标志。

中国境内,尤其是中国东部和东南部,乃至东亚濒太平洋区,经常出现属于多字型的两种褶皱带,其一走向东北,称为华夏系构造;其另一走向北北东(一般由北 18° 到 25° 东或稍大)称为新华夏系构造。华夏系构造,一般是比较古老的构造体系,但在某些地区的白垩纪或第三纪的地层中,有时也出现这一类型的构造。为了把这一类型的构造和古老的华夏系构造分开,暂称它为华夏式构造¹⁾。新华夏系构造,肯定是较新的构造体系。这两个体系,即使出现在同一地区,在野外也很容易分别。困难的是有些褶皱的轴向,朝着北 30° — 34° 左右东。这一类型的褶皱,有时称为中华夏系褶皱,但是事实上它们的走向并不一定限于前述的范围,有不少的例子,显示在中华夏系和新华夏系之间,在褶轴的方位上,存在着逐步过渡形式的褶皱,因此中华夏系构造是否能够成立,还需要在野外作更多更深入的

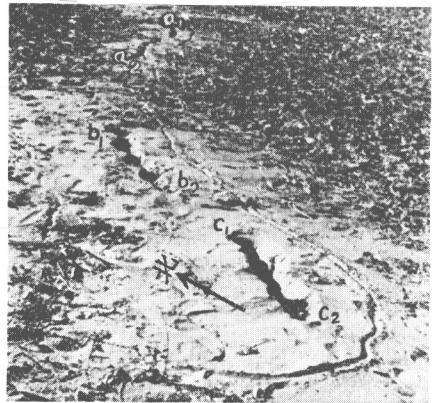
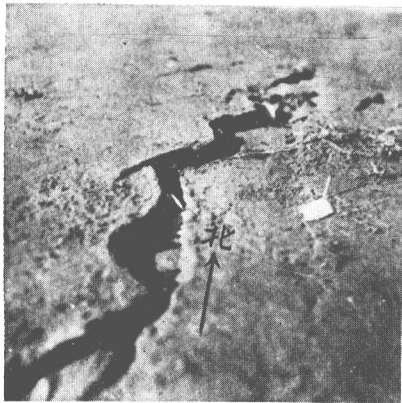
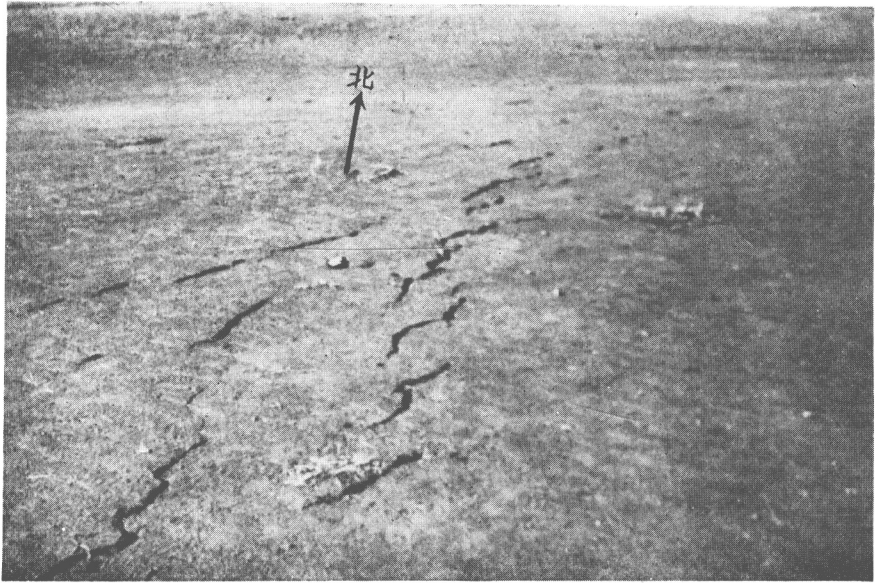
1) 华夏式构造形迹是和华夏系的某些组成部分性质相同、排列方位相似但不属于华夏系构造体系或不能肯定属于华夏系构造体系的构造成分。



图版 I 湖南宁远地区多字型构造航空摄影

AnD. 前泥盆纪龙山群； D₂. 中泥盆统； D₂₊₃. 中及上泥盆统；

C₁. 下石炭统。三条显著的黑影表示三个成雁行排列的背斜。



图版 II 1952年10月8日山西崞县地震时发生的雁行排列或羽状裂隙

上图 崞县白家湾和庄头村以东滹沱河右岸在东西宽150米、南北长500米地带冲积砂土中发生的锯齿状裂隙。裂隙的一般走向为北 20° 东，宽度平均4厘米。注意锯齿状裂隙组成的成分不完全相同。其中大多数由走向北 60° — 66° 东的一组 and 走向大致北 20° 西的另一组组成，前一组发育较好，图中左边的几条单纯裂隙就是属于这一组；也有少数锯齿状裂隙由走向北 40° 东和走向大致北 20° 西的两组裂隙组成。走向北 40° 东的一组有时与走向北 66° 东的一组结合构成曲折裂隙。

下左图 庄头村以东某一地点发育较好的典型锯齿状裂隙的远景。这一锯齿状裂隙由走向北 66° 东的一组 and 走向西北的另一组裂隙组成；前一组互相平行，极有规则，后一组彼此平行性不大显著，一切迹象都显示裂开的地面曾经沿着走向东北的裂隙局部发生了不同程度的水平错动，同时走向西北的裂隙也因此遭受了不同程度的歪曲，走向北 20° 西的部分表示歪曲最小。

下右图 白家湾与庄头村之间靠近黄土阶地碱土层中出现的裂隙。沿裂口都有水和砂冒出；裂口宽度最大的达15厘米，往下迅速变窄，很快就变到1厘米左右。裂隙中仍然是填满砂子。裂口 a_1a_2 走向北 70° 西， b_1b_2 及 c_1c_2 走向北 20° 东，它们可能属于张性或张扭性裂隙。

(岳希新等摄影)

调查研究。但是这些褶皱和华夏系褶皱是截然无关的。华夏系和新华夏系两个构造体系的组成部分,除了各自的褶皱带以外,还有如前述的那些连带发生的张性和扭性断裂面。

属于新华夏系第一级构造的隆起带和沉降带,规模相当宏伟,幅员相当辽阔,愈逼近太平洋方面,火成岩的活动,愈加强烈,酸性和基性岩浆的流注,颇见频繁,有时还有超基性岩体和伴随超基性岩体的矿脉侵入。由此可见这些隆起带影响地壳的厚度颇大。它们一般不是沿着它们的伸展方向被正断层切断的地堑式和地垒式的长条地块,而是主要由于侧面挤压而形成的大幅度拗褶。

新华夏系构造体系的最外一个第一级隆起带,构成千岛群岛,日本群岛,琉球群岛,我国台湾,吕宋,巴拉望和由东北到西南穿过加里曼丹岛的诸山脉。跟着这一隆起带往西,就是为鄂霍次克海、日本海、黄海、东海、南海所淹没的一个沉降带。再往西有朱格朱尔山脉、锡霍特山脉、张广才岭、老爷岭、长白山脉、狼林山脉和由辽东半岛穿过胶东半岛直到淮阳丘陵地带组成的第二个巨大的隆起带。另外,东南沿海丘陵地带——包括武夷、戴云诸山脉——也应该属于这个复式隆起带。紧接着这个复式隆起带的西面,又是一个沉降带,构成松辽平原、渤海、华北平原、华中平原,它还可能在越过南岭以后,更往西南延伸直到北部湾。再西,又来一个隆起带,即大兴安岭、太行山脉、湘黔边境诸山脉。越过这一隆起带往西,又有一个沉降带,为阴山和秦岭所截断,因而成为呼伦-巴音和硕、鄂尔多斯-陕北(伊陕)和四川三个单独盆地。

这些第一级隆起带和沉降带,尽管由于受了其他构造体系的影响,局部构造各有所不同,但它们的主轴,大体上都是走向北北东。那些隆起带不是分批连接起来,成为互相平行的单线行列,而是或多或少一段一段地错开,形成雁行排列。例如大兴安岭、太行山脉、雪峰山脉,骤看起来,象似一条直线,可是实际上大兴安岭的南段是逐渐往西南乃至往西弯曲。太行山的北段(即所谓燕山部分),是逐渐往东北弯曲的,它的南段,反之,逐渐往西南乃至往西弯曲。雪峰山的北段和湘黔边境以及鄂西南部其他诸山脉的北段,也都是逐渐往东北乃至北东东方向弯曲。同样,辽东-山东半岛与东南丘陵地区,也显示雁行排列。诸如此类,雁行排列的关系,不独表现在第一级隆起带各个段落的主轴排列方位上,而且在每一段第一级隆起带中第二、三级隆起、低凹、褶皱和冲断面也往往形成雁行排列。山西中部和太行山脉中段,提供了许多典型的例子。

根据地震探测的资料和布格重力异常测定的结果,第一级沉降地带的基底,和其上覆盖的中生-新生代岩层,除了受到邻近构造体系的影响,以致局部发生第二、三级各种构造类型,特别是呈现旋扭迹象的构造以外,也往往显示雁行排列。就是说,新华夏系第一级沉降带中所发生的第二、三级构造体系受到了新华夏系第一级构造的控制,也受到了邻近其他第一级构造和穿过新华夏系、横亘东西的隆起带或潜伏隆起带的影响。这样,对于它们的排列方式,就有规律可寻了。

斯米尔诺夫所谓的太平洋金属成矿带的主要部分,看来是与新华夏系构造的一部分

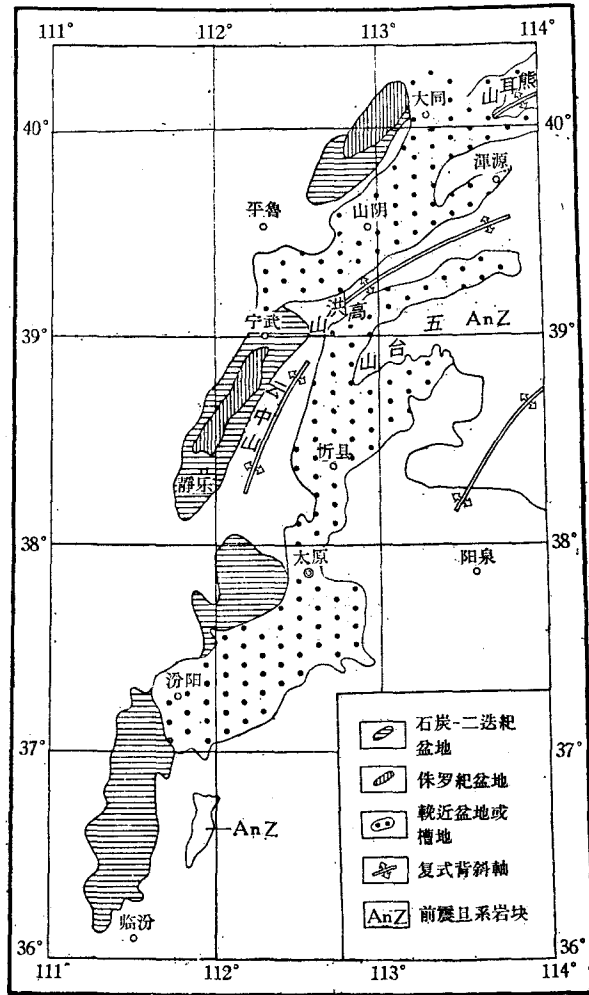


图8 山西中、北部较大规模的多字型构造

相当的。在中国境内,这一辽阔的金属成矿带,又可以进一步划分为若干金属矿床集中的地带。它们大多数是与上述华夏系,尤其是新华夏系构造带一致的,同时,也是与成矿带附近在地面露出的或潜伏的侵入岩体伸展的方向一致的。

关于构造分级控制矿带、矿田、矿床的规律,华夏系尤其是新华夏系构造体系,提供了许多良好的例证。

福建中部和西南部是一个重要铁矿区,主要属于夕卡岩型铁矿,矿床厚度有时达10—20米。这些夕卡岩型铁矿的成生,一般认为是和中生代某些中、酸性侵入体有关的。这一区内铁矿点很多,分布较广。它们大体成北北东向的带状分布,显示一个巨型构造带的特点。这一巨型构造带显然是属于新华夏系第一级构造。应该指出,这一带的南段可能与南岭东西复杂构造带相复合。在上述夕卡岩型铁矿分布的地带中出现许多褶皱和冲断

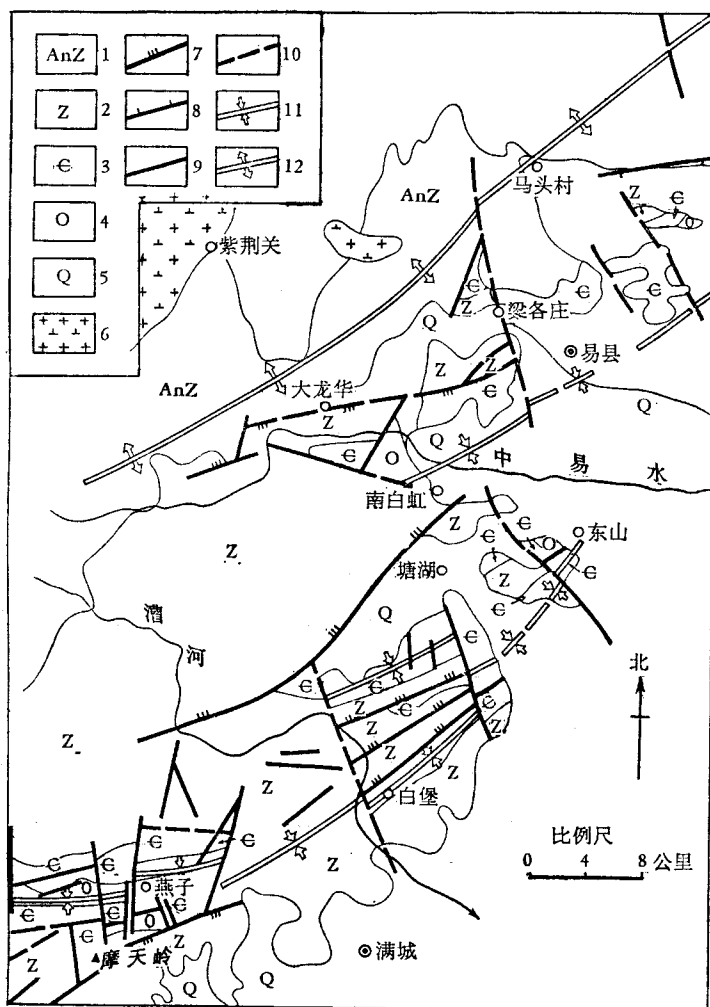


图9 河北西部紫荆关东南易县附近的多字型构造

- 1.前震旦系； 2.震旦系； 3.寒武系； 4.奥陶系； 5.第四系； 6.花岗岩长岩；
7.冲断层； 8.正断层； 9.性质不明的断层； 10.推测的断层； 11.向斜轴；
12.背斜轴。

面，它们的走向一般与铁矿分布带一致；同时与那些褶皱、冲断面或挤压破碎带成直角的方向还出现一些张性断裂，其中有的也夹夕卡岩型铁矿床。这些控制夕卡岩型铁矿分布的各别挤压带和张裂带，应该都是属于新华夏系第二级构造。如果我们采用柯列特尔的分类标准，有些矿床、矿饼的分布，还可能受到属于新华夏系的更低级构造的控制。

矿床生成以后，又经过了属于新华夏系的许多较大的断裂，以致矿床发生了较远的位移或埋伏在地下，因此，我们布置这一铁矿区的勘探工作，就必须根据新华夏系构造体系展布的情况，来进行设计。

江西南部 and 湖南南部(图版 I)多金属矿产的分布，一部分也是受到华夏系、尤其是新

华夏系构造的控制的。就某些钨矿的分布来说,它们所受到的控制,可能是与新华夏系第一级构造相当,但就大多数钨矿田或钨矿脉所在的位置来说,控制它们的是属于新华夏系第二级构造,在很多场合显然是三、四级构造。

据许多地质学家调查,赣南的含钨石英脉按走向可以分为数组:即北东东、北北西、北北东、北西西与东西等组。其中走向北东东的是最主要的一组矿脉,分布很普遍,走向北北西及北北东的两组并不出现于所有的矿区,但在某些矿田中却形成了主要的矿脉。北西西向以及近东西向的矿脉也在若干矿田中见到。在赣南,同一矿田中,往往有两组甚至两组以上的石英脉存在,它们含矿的多寡不等,它们本身和它们所充填的裂隙所表现的力学性质(压性、张性或扭性)一般颇为复杂,迄今还未经过全面的详细的调查研究。当我们根据一般新华夏系的组成部分的特点来对赣南主要褶皱与断裂系统和有关花岗岩体以及钨矿点分布的情况进行分析时,看来北北东向的一组矿脉是和新华夏系的褶皱轴向相符合的,这一组含矿石英脉大都成生于压性、压扭性或二次张性或张扭性裂隙中。北西西向的一组与上述一组成直交,它们几乎绝大部分成生于初次发生的张性或张扭性的裂隙中。至于北东东向与北北西向这两组矿脉的起源,到现在还不十分清楚,但就已知的事实来看,北东东与北北西这两组裂隙,恰恰是与新华夏系的褶皱轴线或挤压面有关的两组扭裂面相当。事实上根据野外观察,前述两组裂隙,特别是北东东向一组裂隙,在许多地点显示着平错的迹象,证明它们是起源于扭性的断裂。因此我们可以说,北东东和北北西这两组矿脉,至少有一部分应属于新华夏系的范畴。但是,赣南区还存在着其他构造体系,它们对于钨矿脉节理的成生,在不同程度上可能起过一些作用,譬如近东西向的矿脉是否一部分与赣南的东西向构造带有成生上的联系,就值得加以注意,总之,这些复杂的情况,还有待于进一步的调查和研究。

江西株岭坳铁矿勘探的经验,特别给我们指出了有关新华夏系构造控制沉积矿床的重要性。当株岭坳铁矿初被发现的时候,我们没有注意到通过矿区的那些“断层”是属于新华夏系的断裂,因此,就没有了解到那些走向北北东的断裂,一定是仰冲性的断裂,形成瓦叠式的构造,以致错误地假定了铁矿床在地下分布的情况,并且错误地估计了铁矿的储量。由于这样迷失了道路,我们盲目地进行了勘探,投入了大量的资金和劳动力。经过一个相当长的时期,才发觉了我们走了错路。如果我们一开始就认识到新华夏系构造在当地控制铁矿床的重要性,全部勘探设计就大不同了。

湘黔边境的某种金属矿带,在晃县、铜仁、保靖等地,向北北东方向延展。矿田大都分布在走向北北东的大背斜的轴部,或接近轴部的地段。这个大背斜显然是属于新华夏系的第一级构造。在这个矿带的许多矿田中,往往发现矿体沿着北北东或北西西的裂隙出现,也偶有沿着北北西的裂隙出现。轴向北西西的横跨褶皱的轴部,往往有矿脉富集现象。这种横跨褶皱,是否与走向北北东的褶皱有成生的联系,是一个亟待解决的问题。在北东东的方向,也存在着一些断裂,但很少含有矿体。从这种情况看来,沿着北北东方向

伸展的矿带,无疑是受到了背斜上部纵向张断裂的控制;沿着北北西方向伸展的矿体,可能是受到了新华夏系扭裂面的控制;就是说,新华夏系构造控制湘黔边境的某种金属矿田、矿脉达到二、三级甚至更低级构造的程度。

中国西北部,特别是祁连山东部和它的东南麓地区,往往有走向北 15° — 30° 西的褶皱、冲断面和其它挤压构造形迹出现。它们在祁连山区,以斜接的关系与古老的祁连山褶皱相复合;它们在祁连山以东的地区,则在白垩系以及可能属于第三纪的甘肃群岩层中形成紧密的褶皱和逆掩断层,走向仍然是在北 15° — 30° 西的范围。但局部略有变化,偏西更多。伴随着这些褶皱和逆掩断层,还有许多横断层、扭断层、扭节理、张节理等等一系列的低级构造形迹,它们总合起来,构成一个多字型构造体系,称为河西系。这一构造体系,连同由张掖民乐槽地、门源槽地、西宁槽地、循化槽地以及它们之间的隆起带所形成的雁行排列拗褶,遥遥与东部的新华夏系褶皱和祁吕弧东翼所包容的雁行排列拗褶相呼应,彼此略呈对称的形势。但在河西系多字型构造体系中,不见有与大兴安岭、太行山脉、松辽-华北平原那样第一级的构造存在。除了侏罗纪煤田以外,现在还缺乏可靠的资料,阐明河西系构造体系对中国西北部矿产分布的规律起了什么程度的控制作用。

有些多字型构造体系,是由两组交叉断裂组成的:一组属于挤压性断裂,另一组属于张性断裂。因此,在受到这种断裂体系控制的矿田中,特别是煤田和油田中,掌握它们分布的规律,对勘探设计和坑道施工设计,是极为重要的。重要之点,在于挤压或压扭性的断裂,一般是具有封闭性的。封闭性断裂面,经常是能够堵塞地下水的流动,或者在油田中起阻止油气逃逸的作用。张裂性和张扭性断裂,一般是具有分裂性的。地下水或油、气往往从裂开的隙缝流动或逃逸。这样,在解决水文工程地质问题时,和在某些油区制订勘探计划中,它们就具有头等重要的意义。在矿井和坑道设计工作中,对这两种裂隙分布的规律,也不容忽视。关于这一方面的若干重要问题,施密特就匈牙利煤田的开采方法对国民经济的发展,作出了具体的贡献。我国的许多煤田,例如井陘煤矿,过去也常常遇到地下水的灾难。在那些煤田中,从地质力学的分析来掌握各种不同性质的断裂的分布规律,看来是解决坑道工程问题的一个重要步骤。

乙、山字型构造

山字型构造主要由下列各部分组成(参考图 10):

1. 前弧 前弧或正面弧经常是由若干相互平行的挤压带,包括褶皱、高角度仰冲亦即逆断层和逆掩断层以及平行片理和叶理等等为主干而形成的弧形构造。在北半球范围内,这个弧形一般是向南凸出的,只在个别的情况下向西凸出。为了叙述方便起见,可以把它再分为几个部分。弧的中部或前部被称为弧顶,前弧两端继续往后伸展的部分被称为两翼。在多数场合,弧顶部分所呈现的弯曲度最大,而两翼则只具有很微弱的弯曲。但也有些前弧,它们的顶部和两翼的曲度差别不大,总合起来成一个新月形。

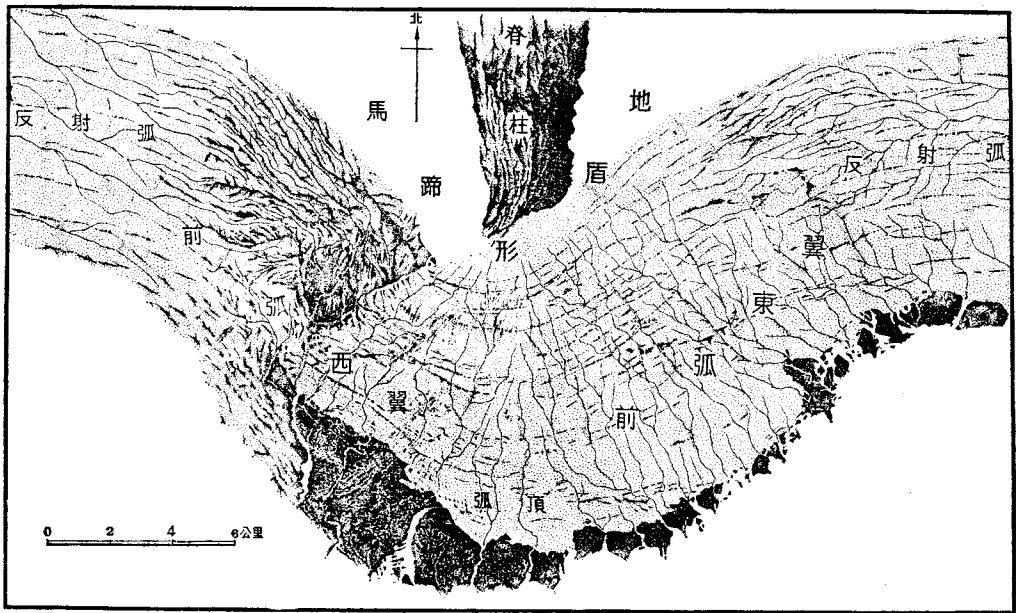


图 10 一个小规模山字型构造的轮廓

(按照有关地区航空摄影所显示的地表形象描绘)

在弧形挤压带的各部分,往往有和那一部分大致成直角的张性或扭性断裂(这些断裂有时被称为横断裂)。在弧形的顶部,这种断裂有时规模较大,它们所影响的地层可能较深,以致弧顶陷落成为地堑而被新的沉积物所覆盖。在弧顶部分的褶皱和仰冲断层等等,有时显示剧烈的水平挤压作用,因而形成重重相似的弧形构造。有时它们所形成的弧形褶皱带并不甚宽,为数也不甚多。构成翼部的挤压带,包括古老基岩的隆起带和由较新沉积充填起来的长形盆地,有时大致彼此互相平行,也有时形成雁行排列。整个组成两翼的挤压带,如褶皱、仰冲断层、长形盆地等等,往往越往后伸展有数目越增多,形状越向外张开和撒开的趋势。

2. 反射弧 在前弧两翼中部的某处,弧形开始呈现反转它弯曲方向的趋势,也就是说,从那里开始,两翼趋向于向外张开,并且朝着和前弧前部弯曲方向相反的方向逐渐弯曲,继续伸展到弧形的两个终段,形成两个反射弧。前弧向南凸出时,反射弧则向北凸出;前弧向西凸出时,反射弧则向东凸出。反射弧有时规模不亚于前弧,有时规模较小并且弯曲度也较小,甚至有时仅仅略呈向外弯曲的趋势。它们不像前弧的主要部分那样挤聚在若干比较狭窄的地带中,而是分散在比较宽广的地区。

在此应该指出,一个山字型构造的弧顶、两翼和两个反射弧之间,不存在任何界线。它们总合起来,略呈正弦曲线状,也就是一边呈S形,而另一边呈反S形,在前弧顶点联合一气,形成一个连续的、反复弯曲的复式构造带;这并不意味着组成它的各个构造带从反射弧的一端到另一端,都是完全连续的。

3. 脊柱 在前弧凹的方面,也就是被前弧所半包围地区的中间地带,经常有强烈的直线状的隆起挤压带存在。这种隆起挤压带在极少的场合,在它隆起以前可能经过沉降(或准地槽状)的过程。在个别特殊的场合,这种隆起挤压带隆起以后,是否可能经过陷落而成为槽形地带,还是未决的问题。这种隆起挤压带的位置,大致和前弧的双边对称轴一致,这就是山字型构造的脊柱。这个由若干挤压带形成的复杂压性构造带,一般都局限于一定的范围,但也有时比较散漫。其中挤压现象最剧烈的一带,大都是对着前弧的顶点,并且它的走向大致与前弧的顶部成直角。在这个强烈挤压带的两旁,往往有较弱的挤压带,这些挤压带离中央强烈挤压带越远,它们就越显得微弱乃至消失。构成整个脊柱的挤压带,越近弧顶越见削弱,最后在离弧顶还有一定距离的地方,就完全消失了。上述挤压带是由褶皱、仰冲面、挤压破碎带、劈面、片理、叶理等构成的。与挤压带成直角的方向,往往有张性断裂或正断层发生。

以上所叙述的是脊柱正规的形式,但它是否也可能以广阔的隆起,亦即小幅度的宽广褶皱、拗褶或复式沉降带(准地槽?)的形式出现,是应该进一步研究的问题。由于在脊柱所在地带的范围内往往有古老的岩层露出,所以形成脊柱的挤压带,往往是复合在较老的挤压带之上。那些较老构造所呈现的挤压方向,当然不一定是和山字型构造脊柱的挤压方向一致的。当山字型构造脊柱部分形成的时候,因为受到挤压,它必然是隆起的地带。但如果这个隆起地带后来又在和它的轴线成直角的方向受到了张力的作用,这样就有可能如上面提到的那样,在它的附近或它的两旁发生较大的断裂而形成地堑。

4. 马蹄形盾地 在脊柱和前弧的弧顶和两翼之间,往往存在着马蹄形的平缓地区或褶皱极为微弱的地带。在山字型构造的前弧曲度不大的场合,往往形成辽阔而又平坦的盾地。这个作为山字型构造的一个组成部分的盾地,可能是由古老的褶皱、断裂或其他构造形迹僵化了的部分组成的,也可能有新的褶皱、断裂或其他构造形迹穿过这块盾地。所有这些老的和新的构造形迹,当然都不属于山字型构造体系,因此必须明确地指出,它们的存在,并不影响马蹄形盾地当它形成时的稳定性。但在前弧曲度甚大的场合,这个马蹄形地带就仍然不免遭受一些比较微弱和短轴褶皱的影响。有些马蹄形盾地的全部或其中一部分,直到地面,是由经过了褶皱或断裂的古老地块构成的,另外也有一些马蹄形盾地,全部或部分地在古老褶皱断裂的基底上覆盖着一定厚度的平伏岩层。前一类型的盾地,有时被称为台地,后一类型的盾地,有时被称为盆地。但如果从山字型构造整体的构造形态来看,这种出现在脊柱的一侧的盆地和在它的另一侧露出的古老破裂和褶皱的地块,它们是具有等同意义的。

山字型构造除了上述各组主要组成部分以外,有时在反射弧的凹的方面,还发生一些比较次一级的某些构造形迹。但在地质力学的意义上,它们并不一定是次要的。在反射弧凹的方面,往往出现规模不等的水平旋卷构造(详后)。同时在马蹄形盾地的范围内,尤其是在马蹄形盾地的中部和离前弧不太远的部分,也有时出现旋卷构造。反射弧凹的方面,

一般是比较稳定的地区,它可能形成盆地或台地。但有时在它的中间地带出现相当剧烈的褶皱而形成反射弧的脊柱。在那种情况下,它的两旁比较稳定的地区,也成为小型的马蹄形盾地。

在前弧弧顶的前面,由于张裂作用甚强,有时有花岗岩体露出或埋伏在地下不深的处所。在反射弧的弧顶,也有时发生同样的现象。

走向南北的山字型构造脊柱,有时发生在已经受过东西挤压的地带,包括走向南北的地向斜和地背斜,也有时因为山字型构造脊柱已经发生,后起的构造运动便乘势发动东西向挤压。这样就形成了山字型构造脊柱和不属于山字型构造体系的南北向构造带复合现象(关于复合现象详后)。后者的发现,在中国境内,越来越见频繁。如若它们出现在山字型构造前弧的后面,尤其是出现在前弧后面中部的時候,那就不免容易与构成山字型构造脊柱的成分混淆,但并非无法鉴别。以前已经提过,它们之间主要的差别,在于它们各自展布或散布的方式不同。单纯的南北向构造带往往穿过山字型构造体系的前弧,而属于脊柱中的南北向构造带,却绝不能穿过前弧。单纯的南北向构造带往往彼此严格平行,散布的范围颇广,而组成山字型脊柱的各个构造带,则都密集于前弧后面中间地带,并且往往呈现向前(即向弧顶方面)变窄,向后(即远离弧顶方面)变宽的趋势。

概括的说,所有山字型构造,除了个别的例子,由于部分的遭受了干扰或破坏以致发生不正常现象以外,它的主要组成部分,一般都以脊柱为轴,两边约略对称地排列起来,两翼互为犄角,形成一个具有上述形态规律的整体。构成它的各个组成部分的结构要素,例如褶皱、断裂等等,也各自按照一定的规律排列或互相穿插。这些排列的规律,对矿产分布都起一定的控制作用。特别是在前弧和反射弧弯曲度最大部分附近,有时出现矿床的富集带。在山字型构造展布的地区,前述的规律性,对于我们的勘探计划和施工设计的指导作用,是不应该忽视的。

从这些构造形态的规律,我们发现了更为重要的事实,即在中国境内,山字型构造的前弧一般向南凸出,只有极少数的构造体系,可能是属于前弧向西凸出的山字型构造。从在北半球其他地区已经确定的若干山字型构造判断,它们也是按照同样的规律排列的。这个山字型构造的方向性,是地质构造学上一种惊人的现象。它很清楚地指明,这一类型构造体系的起源,也和东西复杂构造带、南北构造带一样,是与现今地球旋转轴的方位分不开的。

根据理论分析和模拟试验来考虑山字型构造所显现的一幅形变图象,我们有理由把卷入这一类型构造的地区当作一块平置的平板梁看待。这种平板梁所承担的负荷是均匀的,又是水平的。负荷作用的方向,一般由高纬度向低纬度,在个别的场合由东向西。当这种平置的平板梁和它底下的岩层仅在离梁的两头不远的处所固着较紧,而在其他部分易于滑动或扭动的时候,它就会顺着负荷作用的方向稍形弯曲。在梁的中间,即与前弧顶点相当的处所,弯曲较为显著,同时山字型构造线,特别是压性和张性构造线的展布、排列

和相互穿插的方式,也就反映平板梁中曾经发生过的主应力轨迹网的形状。平板梁和它底下的岩层(可能是所谓基层,也可能比所谓基层更深)固着较紧的处所,一般是和反射弧凹面比较稳定地区的基底相符合的。

山字型构造的深度,现在还不能一概确定。但一般地说,规模较小的山字型构造所影响的岩层厚度较小;规模越大的,它所影响的岩层厚度越大。现在还没有发现小型的和中型的构造体系属于这一类型。就已经发现的山字型构造来看,其中最小的,从一个反射弧的末端到另一反射弧的末端,长达三十多公里。从最外一道前弧的顶点到脊柱离前弧最远一点的距离,达二十多公里。至于这一类型构造的规模,最大的达到什么程度,现在还不能确定。

在中国已经发现的一批山字型构造,大都是从三迭纪以后成长起来的。到第三纪它们还有部分地活动的模样。既然自从中生代以来它们可以这样地发育,难道在更古老的构造层中就没有山字型构造存在的可能吗?但很清楚,越老的构造体系越难鉴定,因为它们大部分都遭到了破坏或掩盖。而且那些可能存在的古老山字型构造,与现今在地球表面上可以明确鉴定的山字型构造也不一定一致,就是说,我们现在还没有理由依靠中生代以来出现的山字型构造的展布,来推测可能存在的古老山字型构造的形式和它们展布的范围。

几年来在中国已肯定了一批山字型构造的存在,这些山字型构造各别的特点以及它们各别受到干扰或者和其他构造体系复合(详后)的关系,以后还另有所叙述,在此不一一列举。

对每一个已经肯定的山字型构造,都经过了一段时期的野外实地工作实践才得到认识。现在也还有若干构造体系的某些已知部分与山字型构造的特点符合,但对于其他部分尚待进一步作调查研究才能鉴定它们究竟属于什么构造型式。

既然在中国发现了这么多的山字型构造,难道说在世界其他地区就没有山字型构造吗?前面已经提到,在中国以外的北半球某些地区,确实存在着山字型构造体系。现在我们就那些山字型构造,约略地提出几个,作为例证。

首先,我们在亚洲大陆的中南部可以见到一个巨型的弧形构造,它的东翼包括兴都库什山脉的东北一段、苏来曼和吉尔达尔诸山脉,在这一段落的褶皱,不是正规地由东北向西南伸展,其原因显然是由于它遭受了东西向强烈挤压,以致在苏来曼和吉尔达尔之间产生了一个异乎平常的袋状褶皱地区。但是当我们把形成这些山脉的褶皱联系起来,特别是和它们相伴随的、散布在它们以西的那些褶皱带总合起来的时候,就不难看出,它们总的延伸方向是由东北而西南的,并且不到梅克兰地区,它们已经向西弯转,在梅克兰海岸以南大约 96 公里的海底,还存在着走向东西的山脉。再往西北走,这些被切断而沉没到海底的弧形顶部褶皱,在阿曼湾和波斯湾的东岸又出现了,成为扎格罗斯山脉亦即伊朗山脉的主脉。这些山脉的西北延伸部分,逐渐往西弯曲插入土耳其的东部,亦即克尔迪斯坦地区与土耳其的所谓伊朗构造带相连接而形成一反射弧。在这个东翼受过挤压、弧顶部

分遭受了破坏的弧形褶皱带以北,还有一个南北延伸的隆起山陵地带,它和前述弧形褶皱带配合起来,恰好与一个山字型构造的脊柱的地位相当。但按地形图判断,这个脊柱似乎不是由单纯走向南北的褶皱而是部分地由一群雁行排列的褶皱组成的。这一群雁行排列褶皱显示在这个褶皱带以东的地区(即阿富汗俾路支盾地)对于在它以西的地区(即伊朗盾地)往南扭动的倾向。渐新统的地层都卷入了这一山字型构造,渐新世以后,这一构造系统是否还继续活动,目前尚未获得确实的资料来加以肯定或否定。

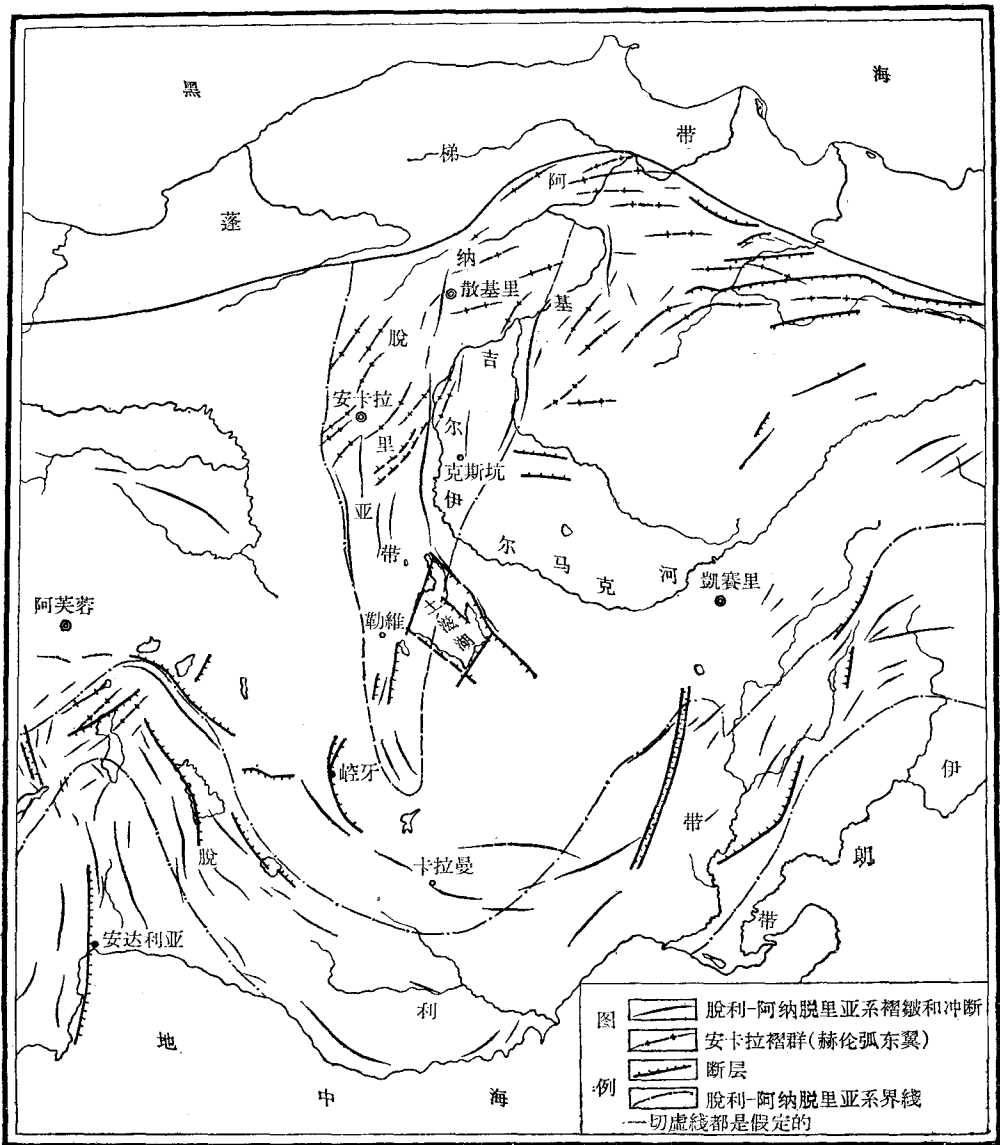


图 11 脱利(托罗斯)-阿纳脱里亚山字型构造

(根据土耳其地质矿产查勘研究所刊行的八十万分之一的土耳其地质构造图编制的, 本图比例尺约为 1:5,500,000)

其次,一个山字型构造的典型例子出现在土耳其。它的前弧构成托罗斯弧形山脉。它的脊柱与阿纳脱里亚中部的褶皱山脉地带相当,安卡拉位于这个褶皱隆起带的西边。这个隆起褶皱带包含着许多复杂构造成份,其中重要的一部分是:1)走向东北—西南的褶皱;2)走向南北的褶皱和其他形式的挤压带。极堪注意的事实是,这个复杂的楔状褶皱隆起带伸展的方向是由北而南的,并且越往南伸越有变窄的趋势,离前弧顶部还有相当距离就完全尖灭了。脊柱北部的走向东北的褶皱,越往东北伸展,越有向东转折的趋势。很可能,这些弯曲的褶皱是在这个山字型构造以西的另一个山字型构造的东翼的一部分和反射弧。这个托罗斯-阿纳脱里亚山字型构造,大约在第三纪初期已经开始成长,到阿尔卑斯运动时期基本完成。

前述托罗斯-阿纳脱里亚山字型构造以西可能存在的另一个山字型构造的前弧,一般称为赫伦弧。前已提过,它的东翼的最东部分,很可能与托罗斯-阿纳脱里亚山字型构造的北部复合。它的东翼的西南部分,可能俯伏在托罗斯-阿纳脱里亚山字型构造的马蹄形盾地的西部。再往西南,经过罗兹岛和卡索斯岛的南部达到克里特岛而形成前弧的顶部。它的西翼掠过希腊的西部,形成爱奥尼亚和品都斯等褶皱带。再往西北,进入阿尔巴尼亚,还可能达到南斯拉夫的西南滨海地区以及达耳马威亚群岛的南部列岛。在那里,那些列岛排列的形式显现反射弧的模样。它的脊柱应该在基克拉迪群岛所呈现的棋盘格式构造(详后)的地区,在纳克索斯岛的经度左右最为发育。但大部分被海水淹没了,只有在希沃斯岛上出现走向南北的挤压带,这个挤压带可能标志着这个山字型构造脊柱的东边。

在法国中南部,从晚古生代以来也有弧形的构造成长起来,总称为加多姆褶皱带。它的东翼和东翼反射弧与侏罗山脉走向大致平行。它的前部和它的两翼的前段,构成所谓法兰西中央高原的东南西三面弧形褶皱地带。它的西翼后段,由侏罗纪和白垩纪岩层成带状分布反映出来,西翼的这一段,掠过散通日地区的东部,由北北西的方向逐渐向西北弯曲而进入阿尔摩利加古褶皱地块的南端,在那里也略成反射弧的形状。在这个弧形的顶点以北中央高原的中间地带,有一向南北伸展的地带为早第三纪岩层所覆盖,暗示着在这一南北延伸的陷落地带以西(奥维尔尼山脉)可能远在第三纪以前曾经受过东西向的挤压。往北去,越过卢瓦尔河,又有南北延长的古老岩层在摩尔番地带从中央盆地中突起。这一南北向的构造,是否也代表法国中南部山字型构造脊柱的一部分,还待研究。

在英格兰的中部和北部出现的山字型构造,主要是海西运动的产物。它的西翼反射弧位置在北威尔士地区环绕着有名的朗哥伦旋卷构造(关于旋卷构造详后)。它的西翼位于英格兰和威尔士之间,它的弧顶和东翼埋在侏罗系及其以上的岩层下。据古地理研究和物探的结果,它的东翼绕过牛津郡而达到沃希海湾附近。它的脊柱就是所谓英格兰背脊的奔宁山脉。构成这一山字型构造前弧的褶皱带,虽然由于遭受了破坏而且部分地被埋藏在新岩层之下,因之在地面上看来并不太清楚。但是在它的前弧和脊柱之间的马蹄形盆地上所沉积的三迭纪红层的界线,却对前弧凹面的界限和脊柱的范围表示得非常清

楚。英格兰的所谓中原地区，正处在弧顶的后面和脊柱南端之间。这个山字型构造虽然在晚古生代已经基本完成，但在侏罗纪以后白垩纪以前似乎还有继续活动的模样，因为构成它的东翼的潜伏在地下的褶皱影响了侏罗纪岩层。这个山字型构造东翼的构造轮廓，对英国的所谓埋藏煤田的分布范围，起着控制的作用。

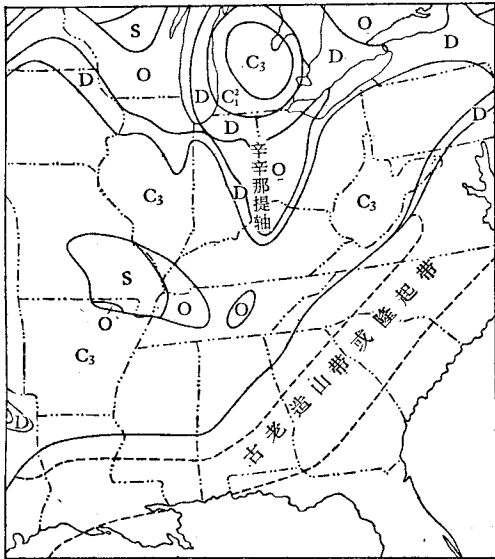
在北美洲也可能有一个规模宏大的古老山字型构造体系存在。这个古老山字型构造前弧的东翼和阿帕拉契亚山脉以及这些山脉褶皱带的先行者阿帕拉契亚地槽是一致的。往东北方向，它伸展到新斯科夏和纽芬兰地区。往西南方向，经过一些局部的复杂曲折、断裂和新地层的掩盖，虽然情况不完全明瞭，但大体上它是逐渐弯转由西南而变为东西（在此可能和东西复杂构造带复合），又由东西而变为西北西。再往西北就与古科迪勒拉褶皱带混在一起。在这一个向南凸出的大弧形构造带的后面，没有地向斜也没有强烈的褶皱带，但有一个规模相当宏伟的幅度不大的穹窿带，这个穹窿带的轴线除局部略微有些弯曲而外，一般是走向南北的。阿·克茨早已指出了这一隆起带的存在，称之为北美的背脊。所有这些都是北美洲大陆上存在一个古老的、巨大的山字型构造体系的征象。它可能在加里东运动时期已经开始出现，在赫尔辛运动时期就完成了。

奇怪的是，这个山字型构造前弧的东翼，一到达大西洋西岸就忽然不见了，而在爱尔兰的北部、苏格兰的西北部、斯堪的纳维亚的西部又出现了加里东时期形成的同一类型的强烈褶皱地带的破碎段落。

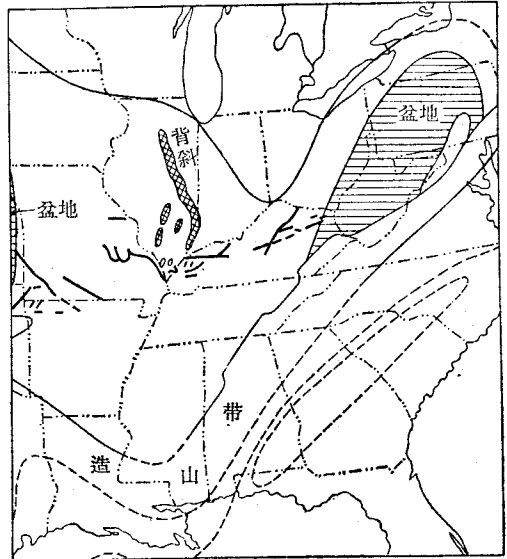
在北美的东南部，还有一个古老的山字型构造，它在晚石炭世时代已经完成。它的脊柱与所谓辛那提轴相当，它的前弧东翼与阿帕拉契亚带的西南部蓝岭（即图 12 中的古生代造山带、古老造山带、老山脉）复合，西翼一部分为晚石炭世岩层所掩盖。

在北美西部还可能有一个山字型构造复合在科迪勒拉南北向巨大构造带之上。它大约是在勒巴达时期，即拉那密运动以前的时期成长起来的。它的前弧沿着“海岸山脉”展布，北起奥林匹亚穹窿的周围，南达洛杉矶以南。这个前弧的特点，是它向西凸出。前弧的顶点在门德西诺角附近，它的两头都呈现着反射的形势。正对着前弧的顶点，在犹他州大盐湖附近褶皱轴向大致走向南北的地带以东，突然出现走向东西的、前寒武纪地层的隆起带，长达 240 公里左右。它的北面是格临河盆地和瓦下基盆地，它的南面是尤英塔盆地，它向东伸展的部分似乎是被拉那密隆起褶皱带和在西面伴随着这个隆起褶皱带的南北延伸盆地所遮断了。在东西向挤压这样强烈的地区，突然出现这样长一条大背斜，其中并不见有东西挤压的显著迹象，是很难单从产生时代不同加以解释的。因此，不能排除它是一个山字型构造脊柱的可能性。当然也不能排除它是东西复杂构造带的一个片段的可能性。

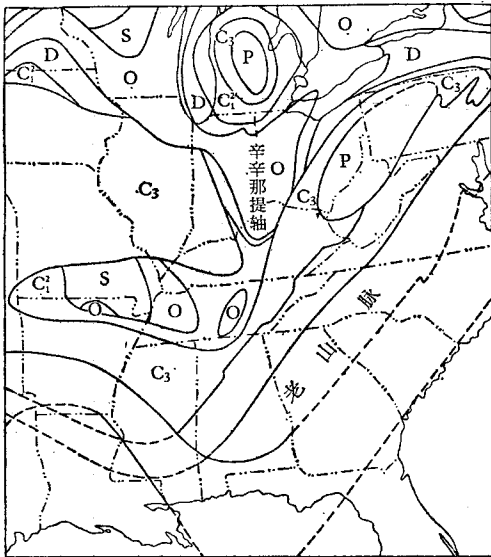
在中国以外，北半球其他地区，可能还存在着若干山字型构造体系，但尚未能完全确定。例如在苏联境内，两个大构造区的基本轮廓，看来早已由一些互有联系的巨型和超巨型褶皱带和比较稳定的地块奠定了。其中一个构造区域是伊尔库次克围场和围绕围场东南西三面的古老褶皱山岭、以及在围场中部由北往南，局限于穿过结晶岩基底的挤压破碎



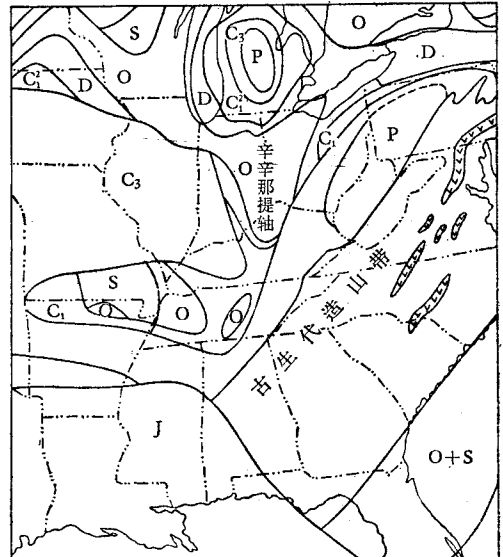
1. 中宾夕法尼亚时期



2. 晚宾夕法尼亚时期



3. 二叠纪时期



4. 侏罗纪时期

图 12 北美东南部石炭纪时代开始形成的山字型构造轮廓及以后它的局部改变

O. 奥陶系; S. 志留系; D. 泥盆系; C₁. 密西西比群; C₃. 宾夕法尼亚群; J. 侏罗系; 布满交叉线的背斜群显示晚宾夕法尼亚时期山字型构造脊柱部分所在; 粗线和造山带显示当时前弧所在; V 表示火成岩侵入体; 锁链线表示州界。(根据埃尔德列的北美古构造图)

和大断裂(压性?)带。这一区域的构造轮廓,早在远古时代已经开始形成。另一个构造区域,横跨欧亚大陆,包括乌拉尔、俄罗斯地台以及它西南边缘的一些强烈褶皱带、西伯利亚地台以及在它东南边缘绵延的中亚诸山脉和一些强烈挤压带,这一构造区域的轮廓,在古生代末期已经形成。但由于组成它们的各构造带的成生和活动时期问题,迄今未能全部解决,目前只好保留地把它当作山字型构造体系看待。

南美洲的北部濒太平洋方面,也有一个强烈的弧形构造,它就是安第斯山脉的北段。安第斯山脉的这一段落是异乎平常的,它向西凸出。它的北端可能与小安的列斯群岛相联而形成反射弧。它的南部掠过拉巴斯以后,逐渐向内陆凸出而又形成一个反射弧。弧的顶点在瓜阿基尔湾附近。在这个弧形凹的方面正对着瓜阿基尔湾以东的地带,就是亚马孙河的干流,一直由西往东,据克连克尔的观察,亚马孙河的河谷两旁,有走向东西的构造线,但这些构造线的性质还不明瞭。这个东西向的河谷,可能是由一条地堑形成的,也可能是由岩层向下弯曲的槽地形成的。在后一场合,它仍然可以代表一个山字型构造的脊柱。只是这个山字型构造的脊柱与普通山字型构造的脊柱不同,它不是因挤压以致隆起成为山脉地带,而是下降成为低洼槽地。这种看法是否正确,尚待进一步的考察和研究。

南非洲的东部林波波河以南,有一个弧形隆起带沿着林波波河流域的南面弯转。这个弧形隆起带的西翼与卡拉哈里和卡鲁两个盆地之间的隆起带相当,是由花岗岩和古老的杜兰斯瓦、芬特尔多尔普等等岩系构成的。它的顶部是由古老的花岗岩和片麻岩、片岩以及涡特尔贝尔格岩系构成的。它的西翼伸展到普里斯卡邻近地区,往西北转折,颇有形成一个反射弧的趋势。在这个反射弧的北面即凹面,有走向南北的由涡特尔贝尔格岩系构成的山岭,即所谓朗格贝尔根,这一狭带南北伸展的山岭,可能是反射弧的脊柱。前弧的东翼被一条走向南北的大断裂切断,以致下降而为新地层所掩盖乃至沉没到印度洋中。在斯瓦齐兰及其以南的地区,有一条走向南北的隆起带往南伸展,这条隆起带有时被称为德腊肯山脉,其中出露古花岗岩、太古岩层和维特姆特斯伦德等古老岩系。沿着德班海岸,有一断层切断了这一南北向的隆起带,以致它的南部沉没到印度洋里。这个南北隆起带,很象是一个山字型构造体系的脊柱。如果有更多的资料证明这些被切断而至被埋没的弧形隆起带是一个山字型构造的组成部分,那么,这一山字型构造所反映的地壳运动方向,和以上叙述的各个山字型构造所反映的地壳运动方向是不同的。这个还待证实的山字型构造的前弧向北凸出,就是说,它所影响的地壳部分的中段,对它东西两旁地段有相对向北作水平滑动或扭动的趋势。

丙、旋卷构造

当地壳中不同大小、不同形状的任何部分发动运动的时候,作用于它周围的各项力的分布情况,一般是复杂的、多样的、不平衡的,它们的合力,除了在特殊情况下,不通过那一

部分的质量中心(重心)。这样,那一部分作为具有一定刚性的整体,就不免有转动的趋向。在弥满岩石的空间,岩块或地块不可能自由转动,只能让它自身对它周围的岩石发生旋扭运动,以致产生旋卷构造。另一方面,由于岩块、地块具有一定的塑性,当它们发生半粘性流动时,在某些情况下,它们的内部出现不同程度的旋流,也是完全可能的。因此,可以设想,旋卷构造是地壳局部构造中最普遍的类型,事实也是这样。

旋卷构造这一类型的构造体系,可能早已被地质学家们所见到。但在1928年才第一次作为一个大型的特殊构造型式被提出来。当时所认识的旋卷构造型式,只限于由一群弯曲的褶皱带或其他形式的弯曲挤压带形成弯曲的雁行排列,一头撒开,一头收敛,而成为褶皱地区。自此以后,特别是近年以来,我们又发现了许多不同类型、不同规模、不同排列方位的旋卷构造,它们的大小可从宽、长不过几十米,大到几百公里,甚至更大一些。虽然它们的总体形态和大小很不相同,但是它们的基本形式是共同的,那就是它们都是由两个主要部分组成:其中一部分是旋扭的核心,另一部分是由于围绕着核心部分发生旋扭而形成的各样弧形褶皱和断裂或放射状平移断裂。那些弧形褶皱群或断裂群大都呈弯曲的雁行排列,并且每一褶皱或断裂往往显示它两旁发生过相对扭动的踪迹。

旋扭轴有时水平,有时斜立,但规模较大的旋卷构造的旋扭轴,大都是垂直或近于垂直,就是说,大规模的旋卷构造大都是水平扭动的结果。核心部分可能是一个圆形或椭圆形的穹窿,也可能是一个圆形或椭圆形的凹地。前者被称为砥柱(图版 III),后者被称为旋涡。砥柱和旋涡所占的面积可能很小,也可能相当的大。它们的界线,有时模糊,有时较为明显。只有在很少的场合,难于确定它们的存在。围绕着核心的新月形或弧形褶皱或扭裂带,经常向一个方向撒开,向另一个方向收敛。它们往往形成帚状构造带,也有时形成环状或半环状构造带,重重迭迭、参差不齐地全面环绕着或半环绕着砥柱或旋涡。

已经鉴别出来的旋卷构造,有以下几种类型:

1. 帚状构造 最普通类型的旋卷构造是帚状构造。帚状构造的旋卷面(有时称为旋迴面)有的是由褶皱或其他压性兼扭性挤压面构成,有的是由张性兼扭性的破裂面构成。砥柱或旋涡经常位于帚状构造的凹的方面。在帚状构造由张性兼扭性旋迴面构成的场合,它们各个凹的方面和整个帚状构造带凹的方面,亦即内旋方面,对它们凸的方面来说,都是向帚状构造撒开的方向相对扭动;各个旋卷面凸的方面和整个帚状构造带凸的方面,亦即外旋方面,对它们的凹的方面来说,都是向帚状构造收敛的方向相对扭动。在帚状构造由压性兼扭性或褶皱构成的场合,它的内旋方面与外旋方面相对扭动的方向,与上述情况恰好相反。

在两个邻近的旋扭带之间,有时发生小型帚状结构或拖曳现象。两个毗连的挤压兼扭动的旋扭带之间,往往发生羽状叶理或片理,根据这种羽状叶理或片理的排列方位,可以测定相邻旋扭带的相对扭动方向:即叶理与旋卷面所成的锐角指示旋扭带相对扭动的方向。与此相反,两个毗连的张裂兼扭动面之间,往往发生羽状节理,随岩石性质不同,这

种节理可疏可密，它们与旋卷面所夹的锐角，指示与旋扭带相对扭动相反的方向（图版 IV）。

当扭动发生时，与最大扭应力作用面相应的主张应力作用面和主压应力作用面是同时存在的。这两组主应力作用面在扭动平面上的踪迹，必然组合起来形成主应力轨迹网。这两组主应力作用面的踪迹，在它们的交点附近，应该互成直角；但由于塑性应变和扭动位移的影响，实际上它们是很少互成直角的。另外，由于岩性和其他反映应力作用的条件不同，两组主应力作用面——亦即与它们相当的主应变面——往往只有其中的一组比较容易出现。一旦有一组开始出现，在应力作用方式继续不变的条件下，那一组应变就会继续加强，地应力的作用从而得以发泄它的威力，其他一组因之根本不出现，或出现得很微弱。这就说明为什么一个旋卷构造的旋卷面群不是主要由压扭性旋卷面，就是主要由张扭性旋卷面组成的，很少见由两组同等发育交叉组成的例子。

属于这一类型的旋卷构造的大、中、小型实例很多，在另一章中将分别详述。

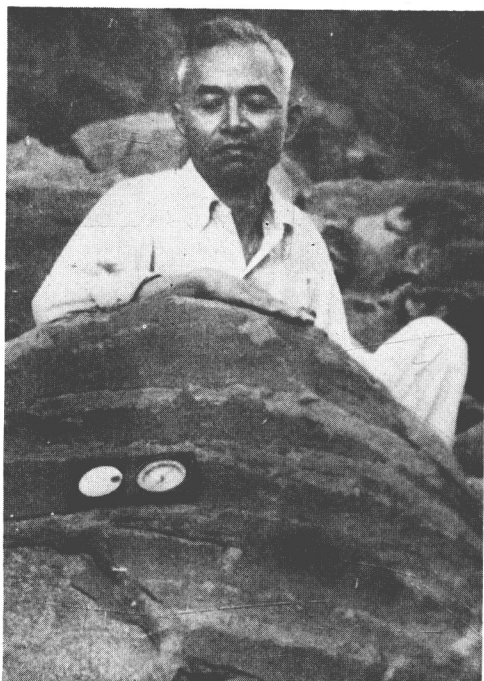
2. 莲花状或环形构造 这一类型旋卷构造，大都是由直立的或近乎直立的几套弧形横冲断裂面群组成。这些断裂面亦即旋卷面（或称为旋廻面）一圈一圈参差不齐地围绕着一个很少经过局部褶皱或破裂的核心地块——亦即砥柱。它大致成圆形或椭圆形。这一类型旋卷构造的砥柱，多半不在旋卷面群的正中心，但也不象帚状旋卷构造那样站在弧形旋卷面群的一旁。

上述一套一套的弧形旋卷面群，大致是同心的。它们把被它们所卷入的地区切成破裂了、甚至破碎了的环形地带或环列的新月形地带。各环形地带，在靠近某一半径的方向，往往出现一段未经弧形断裂面切断的部分。这一部分有时颇宽，有时很窄，成一条埂子，横贯各环，直达砥柱。

弧形旋卷面上，往往出现大批水平或倾斜甚缓的擦痕，它的两旁，往往有由节理、劈面或叶理组成的帚状构造和拖曳现象；有时出现入字型断裂体系（见后）；也有时出现小型莲花状构造。

在岩性较软、地层一般平伏的地区中，有时出现成群的新月形平缓背斜，成环状或半环状排列，总起来看，它们向一方面收敛，向另一方面撒开。这一类型的构造体系，也应该是属于初期发展的莲花状构造，除非将来经过广泛而又深入的研究，发现许多特点，需要把它们划分为另一类型。

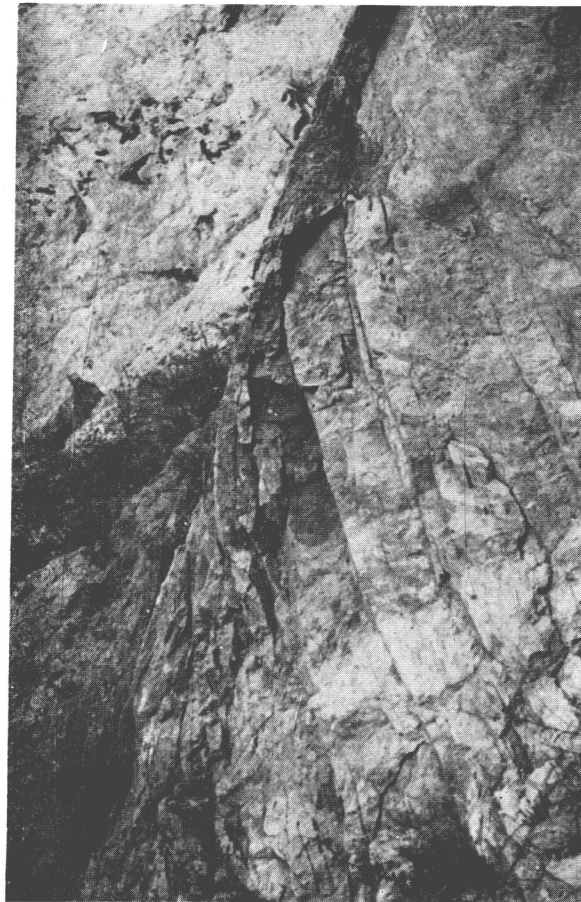
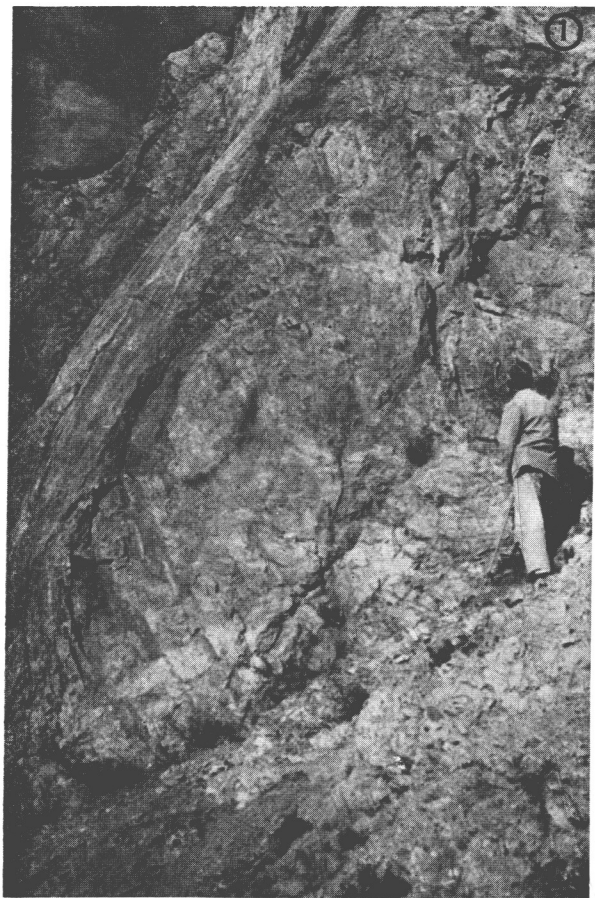
属于大、中、小型的莲花状构造，近年来在世界上各处，发现了不少的例子，属于中、小型的更多。大连市西郊马兰桥东南约一公里半有一名叫白云山庄的村子，围绕着这个村子的东南山地，有几道新月形和环形的深沟，把它周围的山地切成重重迭迭的环形山岭，每一条环形深沟都是由垂直的环形横冲断裂面造成的。那些环形断裂面的两旁，往往有分支断裂，那些分支断裂和作为主干断裂的环形断裂结合起来构成入字型构造。在深沟的两旁，也经常出现拖曳现象或帚状构造。这一整个构造体系直径约一公里多，全部都发



图版 III 小型旋卷构造的砥柱

上图 从一个帚状构造中剥落出来的砥柱。注意环绕砥柱的周围由于扭转的铲刮作用而形成的凸凹条带以及由于扭转的碾磨作用而产生的糜稜岩薄壳两层，表面一层在凹带中保存良好，里面一层只在图中左下角砥柱稍受损坏的部分露出。（见于四川北碚北泉公园附近侏罗纪石英砂岩中）

下图 北京西山香山附近由石英砂岩构成的一个小型旋卷构造的砥柱和部分包围它的帚状构造；旋扭轴近于水平。



图版 IV 小型帚状构造

(出露于大连白云山庄东北角采石场震旦系石英岩开采面上)

- 图 1 图中大扭裂面上有极明显的条带,彼此互相平行,近于直立。大扭裂面的右侧出现一个旋扭轴近于水平的帚状构造。注意构成帚状构造的扭张性断裂面群向右下边弯转并撒开; 出现于大扭裂面和人站的地点之间的岩块圆形切面,可能是这一帚状构造砥柱的切面。
- 图 2 1 图中大扭裂面与构成帚状构造的扭裂面群接触处部分放大。注意两者接触带中羽状节理排列的方位。

育在震旦纪石英岩中。这些环形构造的中间和附近地区,绝无火成岩活动的痕迹,因此这个构造体系与所谓火口陷落毫无共同之处。

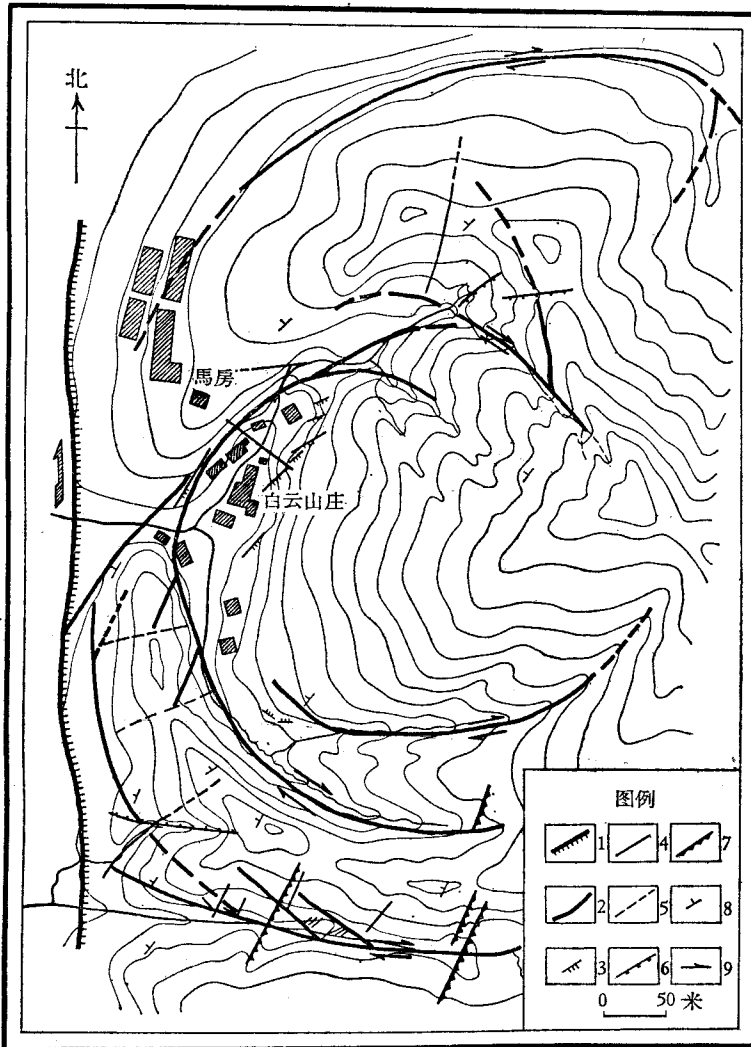


图 13 大连白云山庄莲花状构造

1. 正断层兼平移断层； 2. 弧形扭断层及入字型断裂面； 3. 轴近水平的旋扭断面；
4. 正断层； 5. 推测断层； 6. 仰冲断层； 7. 新华夏系冲断面； 8. 岩层走向及倾向；
9. 岩层相对扭动的方向。

在内蒙古自治区巴彦淖尔盟与乌兰察布盟交界处的黑泥河地区,有两个莲花状构造出现。在黑泥河以东的一个,由挤压甚烈的石英岩夹石墨片岩的环状构造组成。这个环状构造由四、五个极为显著的压性兼扭性的旋卷面划分为三道到五道直立的旋卷层。每一环形旋卷面,并非连续不断形成圆圈,而是断断续续地不紧不松地排列起来,逐渐展开而呈螺旋状,在东面留一缺口。由东到西,它的直径在三公里以上。在黑泥河以西的一个,

由多层环状陡立的石英岩夹片岩和石灰岩组成它的外围部分，花岗片麻岩组成它的内部和核心部分。在离核心较近的部分，由很多道环状基性岩墙插入花岗片麻岩中，重重包围着核心。在整个环形构造的东北面却留一缺口。这个莲花状构造的规模，显然比在黑泥河以东的一个较大，而且在它的南面小屋地附近，有很好的帚状构造出现于元古界石英岩中。这个帚状构造由挤压面组成，它们向东北方面收敛，在东北头和上述莲花状构造相连接，证明上述含有环状基性岩墙的环形构造不是单纯地由基性岩墙的环形侵入所致，而是由规模更大的水平扭动而产生的。这种帚状构造和环状构造联合起来所形成的构造型式，可能属于旋卷构造体系的一个新类型，以后叙述连环式旋卷构造时还要提到。

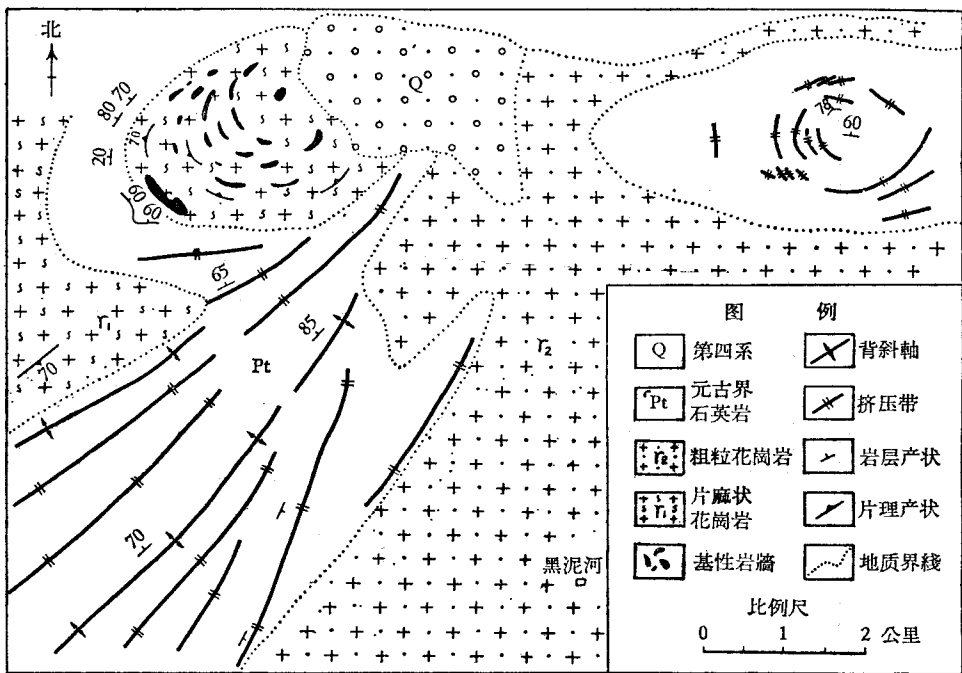


图 14 内蒙黑泥河地区的帚状构造及莲花状构造

四川北部平昌、巴中、仪陇等县侏罗纪和白垩纪红层地区中，出现一个大型的莲花状构造，直径约一百公里。这个莲花状构造是由十五个弧形背斜参差不齐地环列组成的。外围的背斜幅度稍大，但它们两翼的倾角，一般不过几度到十度左右，最大的仅三十度。两翼一般不对称，向内面的一翼较陡。内部的背斜一般两翼的倾斜甚缓，大致对称，倾角不过由一度到五度。它们所环绕的中央地区，地层极为平缓，在那里侏罗纪地层的厚度较外围薄一些。物探的结果表示，这个中央地区是一个磁力高的地区，一般被认为是基底岩层隆起的象征，应该是和旋卷构造的砥柱相当。

在威尔士的朗哥伦地区出现的莲花状构造，是显然与英伦山字型构造西面反射弧有关的。加拿大安大略西港地区出现的圆筒状的旋卷构造，是中型莲花状构造的好例子。这

种构造不是在世界其他若干地区出现的所谓环状岩墙或隐火山构造,这不等于说“环状岩墙”和“隐火山构造”都不是莲花状构造,也不等于说不都是莲花状构造。

莲花状构造的成生,都是由于它所在的地区遭受了水平旋扭运动的结果。扭动的方向,一般都可以从岩层平错的痕迹、断裂面上水平或近于水平的大批擦痕等等得到证明。

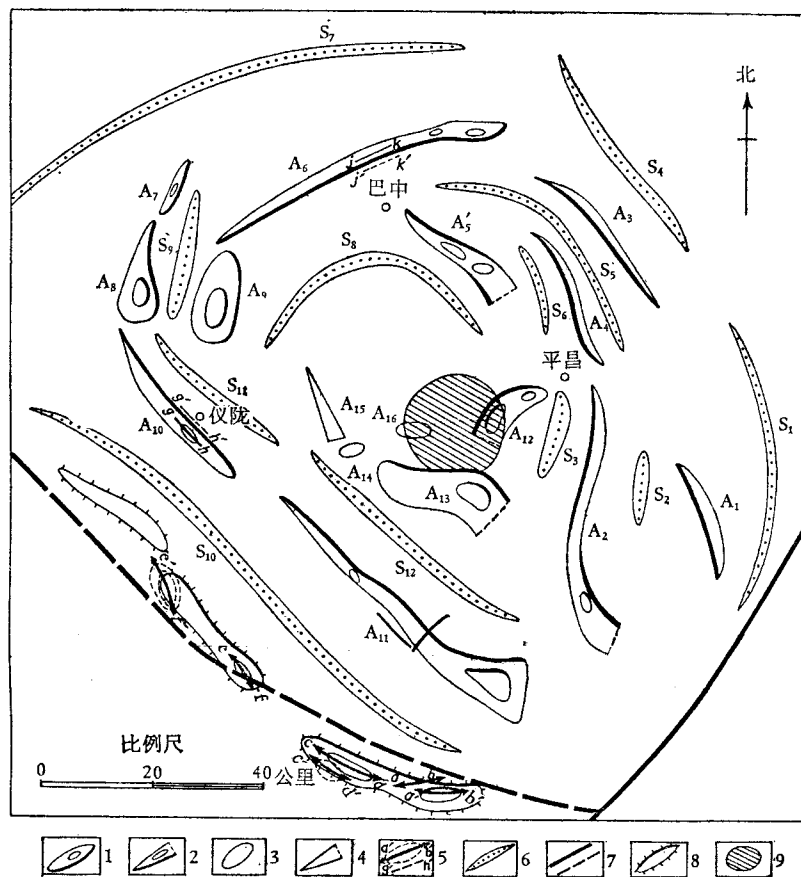


图 15 四川巴中、仪陇、平昌地区的莲花状构造

1. 二端倾伏的不对称背斜,粗边表示陡的一翼,小圈表示高点位置; 2. 一端倾伏的不对称背斜,粗边表示陡的一翼,小圈表示高点位置; 3. 二端倾伏的对称背斜; 4. 一端倾伏的对称背斜; 5. 地震证明的地下背斜高点和背斜轴线的位置; 6. 向斜; 7. 物探证明的断裂; 8. 反 S 型构造的背斜,粗边表示陡的一翼; 9. 磁力高范围及侏罗纪时隆起的中心位置。

这种水平旋扭运动,不独在岩层中存在着上述各项记录,而且在现代地震强烈的地区中,有时也有扭转的现象发生。1923年9月1日日本东京—横滨的大破坏地震,就是一个明显的例子。

3. 一部分正弦状构造或 S 状和反 S 状构造 由单式或复式褶皱组成的褶皱带,有时展转弯曲,约略成正弦曲线形状、S 状或反 S 状。呈这种形状的褶皱带或断裂带,至少有一部分是起源于旋扭运动的。但不能排除其中另一部分可能是两种构造运动联合作

用的结果。在它们成雁行排列的场合,中间一段褶皱或压性断裂群一个一个错开的步调,往往和两头的雁行褶皱或压性断裂群错开的步调相反。两头褶皱或断裂的成生也往往较晚。柴达木盆地中某些展转弯曲的雁行排列背斜群,可能是属于这一类型的旋卷构造。

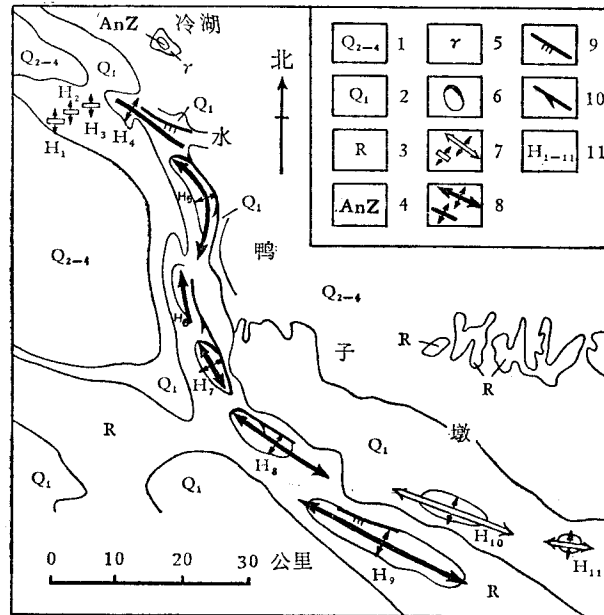


图 16 柴达木冷湖地区反 S 型旋卷构造

1. 上第四系; 2. 下第四系; 3. 第三系; 4. 前震旦纪变质岩; 5. 火成岩;
6. 地层界线及地层圈闭线,粗边表示陡倾斜的部分; 7. 下第四系背斜轴; 8. 第三系背斜轴; 9. 冲断层; 10. 斜冲及侧冲断层; 11. 背斜顺序编号。

在同一个由挤压构成的长条形构造——例如一个背斜——中,最强烈的挤压面(例如高角度冲断面)有时在同一背斜的两头不在同一侧面,而在相反的侧面。这种现象,很清楚地显示,这种背斜两头所受过的水平压力,或在它两头所引起的抵抗力,方向相反。也就是说,它曾经受旋扭的作用。旋扭的枢纽必然位于该背斜中段的某一点。如若通过这一枢纽点把两头的冲断面联络起来,就可以见到 S 型曲线。因此这种构造也应该列入 S 型旋卷构造。

若干矿田中出现这一类型的旋卷构造,可能不是绕着垂直轴旋扭作用的产物,而是绕着水平轴或近于水平轴两头对扭作用的结果,好象扭油条或扭毛巾那样。关于这种旋扭作用,还需要就实地作深入的研究才能确定。

S 型或反 S 型旋卷构造,大都是属于中、小型构造,也有小到在显微镜下才能看见的,在岩组分析中常常可以遇到。岩组学早已阐明,有时变质岩中个别的颗粒或晶粒,当它在成长期中,由于同时发生了旋转的关系,它的内外两部分所含的杂质往往串连起来而形成 S 形。

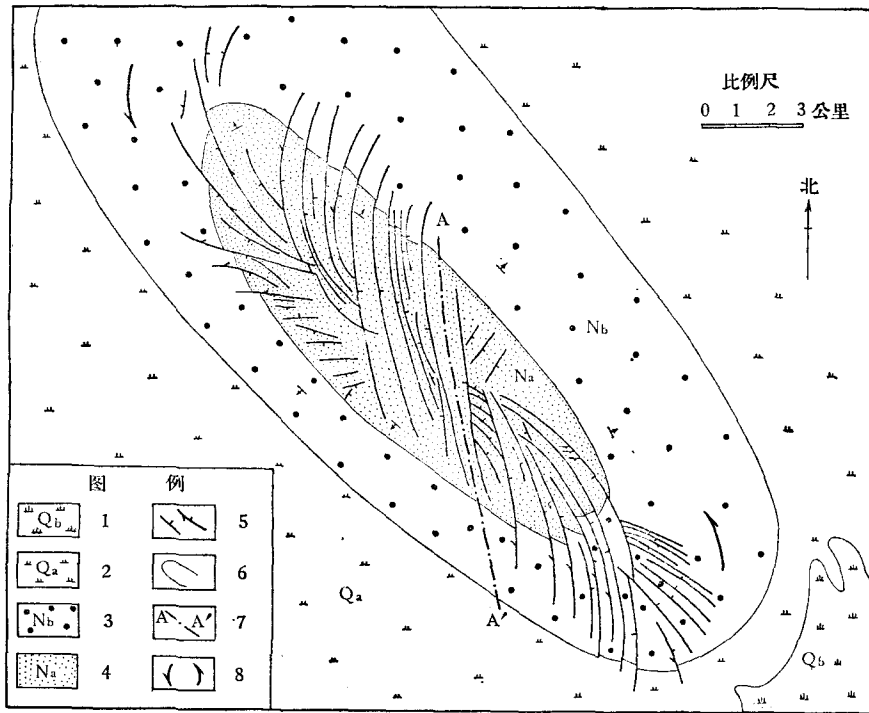


图 17 柴达木巴格雅乌汝背斜顶部出现的扭裂面群

1. 上第四系； 2. 下第四系； 3—4. 上第三系上部； 5. 张性兼扭性断裂线，断面倾角一般在 70° 以上。断层线所带垂直短线，表示地层下落的一侧和断层面的倾向。断层线与所带斜交短线所成的锐角，指向短线所在一侧水平错动的方向； 6. 地层界线； 7. 枢纽线； 8. 旋扭方向。

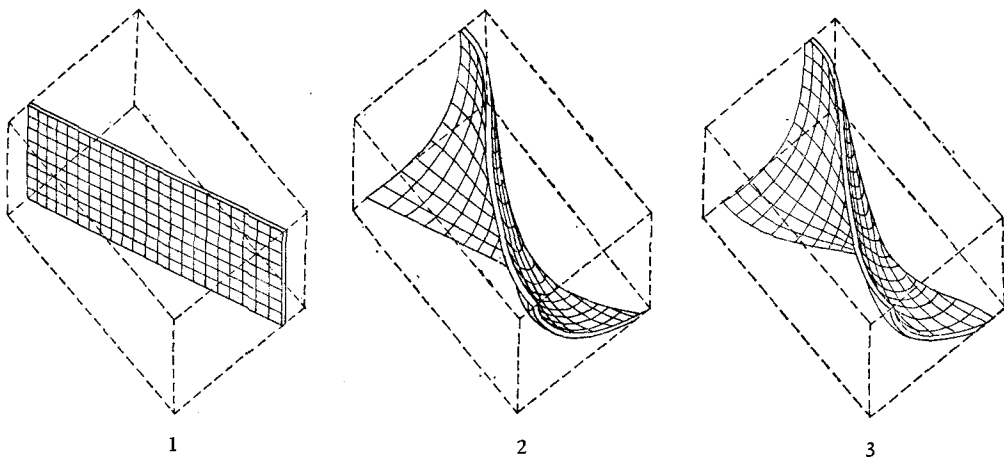


图 18 由水平扭转而形成的反 S 型构造示意图

1. 直立平板的原形； 2. 直立平板上边被扭成反 S 形，下边仍保持直线状，两头的倾向相反，倾角不依深度而发生显著的变化； 3. 平板经进一步扭转，上边反 S 形更为显著，下边略呈 S 状，两头的倾角因深度不同有所改变。

规模相当大的S型构造,在澳大利亚南部发育颇为良好。那个S型构造大约在古生代末期已经形成,它显示澳大利亚陆块的南部发生过旋扭运动,对澳大利亚大陆整体来说,这一旋扭运动的方向是反时针的,也可以说,整个澳大利亚大陆对其中南部地区的扭动是顺时针的。关于澳大利亚所经历过的旋扭运动,以后还有所论列。

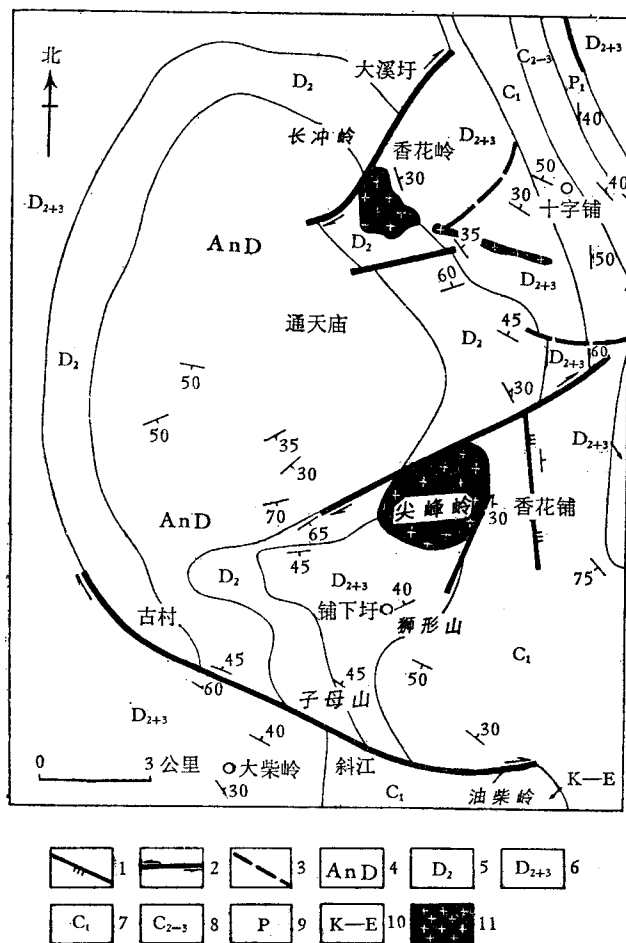


图 19 香花岭辐射状构造

1. 逆断层; 2. 平推断层; 3. 性质不明断层; 4. 前泥盆纪龙山群;
5. 中泥盆统; 6. 中、上泥盆统; 7. 下石炭统; 8. 中、上石炭统; 9.
二迭系; 10. 白垩—下第三系; 11. 花岗岩。

4. 辐射状构造 这一类型的旋卷构造,是在湖南香花岭和紫荆山两个地区最初发现的。在这两个穹窿形地区的北、东、南三面,都有相当大的平错断裂,它们呈放射状,有朝着近于穹窿的中部集中的趋势。在香花岭已经发现了三条这样的张扭性大断裂。假如我们站在每一条大断裂指向穹窿中部的一头,顺着它向外看,它们都是右边略微凸出,左边相对地向外错动。严格地说,这三条断裂,只能代表一个辐射状构造的一半(图 19)。

一个比较完整的辐射状构造出现在河北省青龙县东南约 15 公里的红旗杆地区。它是由若干条放射状和环状以及介于放射状与环状之间的压扭性断裂联合组成的。假如我们站在每一条放射状断裂朝着辐射状中心的那一头向外边看，它们都是右边凸出，曲度相当大，左边向内错动，错动的方向，恰好与香花岭断裂的方向相反(图 20)。由于香花岭断裂是张扭性，而红旗杆断裂是压扭性，所以前者的外旋层反映顺时针的扭动，后者的外旋层反映反时针的扭动。这种情况，恰好与帚状构造所显现的相对扭动规律符合，事实上，这两个构造体系的形态，与帚状构造的构造形态也颇为接近。这种看法导致我们设想，组成这种类型构造体系的压扭性断裂，有时可能为辐射状背斜所代替。将来如若发现更多红旗杆类型的构造，那么，把它们当做一个独特的型式看待，按照这个构造型式的发现者的建议，命名为涡轮状构造，将是适当的。

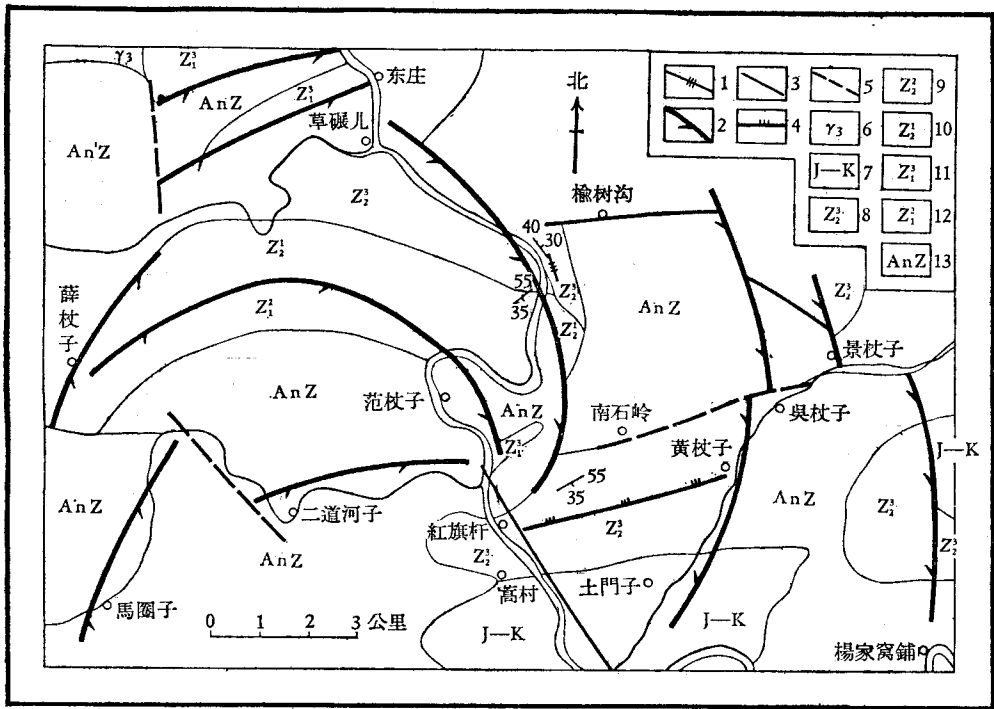


图 20 河北青龙县东南 15 公里红旗杆附近辐射状构造

1. 挤压带； 2. 旋卷构造的压扭性断层； 3. 张性或张扭性断层； 4. 其他体系逆断层； 5. 推测断层； 6. 燕山期花岗岩； 7. 侏罗-白垩纪火山岩系； 8. 蓟县统雾迷山燧石灰岩； 9. 蓟县统杨庄组红色砂页岩； 10. 蓟县统高于庄组含锰灰岩； 11. 长城统大红峪组石英砂岩； 12. 长城统串岭沟组黑色页岩； 13. 前震旦纪变质岩。

更完美的而且规模更巨大的辐射状构造，在南北极圈及两亚极地区，发育甚为良好。根据沃洛诺夫在这些地区考察的经验，在那里确实存在着中生-新生代发生的“辐射-同心弧”断裂体系。它是那些地区的构造形态的骨干(图21. 1、2)。那些辐射状的断裂，在南北极大陆的以南极为中心，在北极圈及其周围地带的以北极为中心。按照本篇中所用的术

语来说,沃洛诺夫所指出的辐射-同心弧体系可分为两个部分:前一部分属于辐射状构造,同时,组成这个辐射状构造的每一个断裂,都是属于南北向构造的范畴。后一部分属于东西构造带,这些纬向构造带,在极圈附近,显然是成同心弧形的。关于这个构造体系的解析和它所反映的构造运动方式,是另一个问题,主要之点在于,沃洛诺夫毫不犹豫地指出:这一构造体系的两个部分都是起源于地球的旋转运动。这位具有卓见的地质家并且进一步宣称,辐射状断裂体系中的强大者沿着某些经度的方向伸展,远远超出了极圈的范围,例如在智利的太平洋岸、北太平洋中和沿着大西洋海岭的南北两段撕了很长的裂缝。

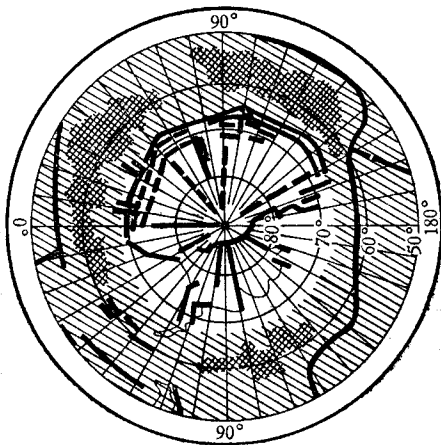


图 21-1 南极圈和亚南极圈的辐射状和同心弧形大断裂体系

1. 中生-新生代断裂体系; 2. 南半球以海沟为主的海环; 3. 海环中的海底槽地。

(据 П. С. 沃洛诺夫)

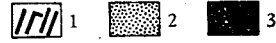
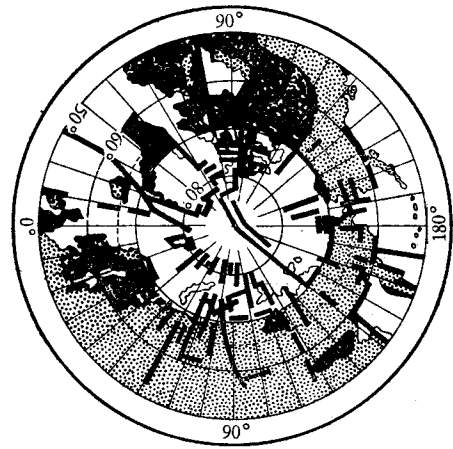


图 21-2 北极圈和亚北极圈的辐射状和同心弧形大断裂体系

1. 新生-中生代断裂体系; 2. 北半球以陆块为主的陆环; 3. 陆环中的结晶地带。

(据 П. С. 沃洛诺夫)

5. 歹字型构造 为了描述的方便,这一类型的构造,由北而南,可分为三段,但这三段是完全连续的,它们之间,并没有任何界线可分。最北一段,亦即它的头部,是由一套一套曲度极为显著的弧形乃至成钩状的强烈褶皱、大规模横冲和逆掩断层组成的。中段也是由若干强烈平行褶皱和巨型横冲和逆掩断裂组成,它们大致向南北伸展,但也有走向西北-东南的和部分略形弯曲、向西凸出的。它的尾部,亦即最南部分,也是由强烈平行褶皱和逆掩断裂组成,一般都呈现弯曲形状,但这段弯曲的方向,恰好与头部相反。这样,头部、中部和尾部联合起来,就形成一个巨大的反 S 形构造体系。

这一类型的构造体系与普通反 S 型构造不同之点,在于: 1) 它的头部一般都显示强烈的旋扭现象,组成头部的一部分褶皱,往往曲度极大,而它的尾部的曲度,却较头部舒缓得多; 2) 头部的外围褶皱可能是散漫而不连续的,因此头部的外围可能出现几个不相连

接的、曲度不等的半环状旋卷构造；3) 中部与南北褶皱带大致复合；4) 中部有时分为两支褶皱，其中夹一褶皱甚为微弱的地块；5) 尾部往往由若干大致向东西伸展的弧形褶皱构成。

这一类型构造的头部褶皱，往往环绕着由于水平扭动而隆起或沉降的地块。它的西南面一般都有沉降地带为海水所淹没，或者在这两面面临大海。

一个巨型歹字型构造的典型例子，出现于中国西部及东南亚面临印度洋地带。这一歹字型构造体系的头部影响我国青海、西藏东部、川藏间“横断山脉”地区、云南西北部以及缅甸北部和印度接壤地带。头部外围褶皱散布在昆仑山以北，包括阿尔金山脉、祁连山西南接近柴达木盆地的部分、库库诺尔岭以及昆仑山脉往东南转折部分。头部的主要组成部分，分布在昆仑山以南，包括可可稀利、巴颜喀拉、唐古拉、念青唐古拉、冈底斯山脉东段、伯舒拉岭、帕特凯等山脉。这些复杂巨大弯曲褶皱，一般褶皱幅度甚大，并有时有大型垂直断裂和横冲断裂伴随，它们大致成相似的弧形，在昌都、玉树地区弯转颇为显著，在帕特凯一带转折尤其剧烈。从云南西北境和缅甸北境往南，褶皱逐渐转向正南，成为这个歹字型构造的中部，它从此分为东、西两支：

东边一支的主干为金沙江与澜沧江之间的宁静山脉。它以东的沙鲁里山、大雪山以及它以南的无量山和哀牢山都属于这一支。这一支逐渐转向东南伸展，进入越南和老挝北部，直达海边。西边一支是主要的一支，它包括怒山、高黎贡山和以西走向南北的诸山脉，直到缅甸西部的阿拉干山脉。这些南北向山脉都显示在晚近地质时代遭受过强烈的东西向挤压，同时也有与褶皱平行的大断裂，其性质尚待判明。更南，它们之中有一条掠过泰国南部，一直达到马来半岛。这一支与东支之间，夹着科腊特高原，三迭纪和侏罗纪岩层平覆其上。

西边一支从阿拉干山脉南端入海，经过安达曼、尼科巴群岛达到苏门答腊和爪哇，形成这一歹字型构造的尾部。这些弧形列岛的构造，很明显地反映强烈的侧面挤压；在苏门答腊岛和靠近它的西南岸一连串岛屿上，有两带由于拗褶而形成的隆起和大逆掩断层，走向与海岸平行。在该岛的中部和东南部，有第三纪以前和第三纪时期的帚状褶皱分布。它们还显示向西扭动的踪迹。在遍布火山岩的爪哇岛上，也有若干类似的巨型褶皱和帚状褶皱存在的迹象。

总的看来，由我国青海、青藏毗连地区、滇西、缅甸，直到苏门答腊、爪哇群岛这一反S形的巨大褶皱带，起源于何时，虽然现在还不能确定，但它们在第三纪的中叶，亦即喜马拉雅运动或阿尔卑斯运动的时期，达到了最高峰，是无可怀疑的；而且在第三纪中叶以后，这一造山运动并没有进入完全休止的状态。

在北美洲面临太平洋方面，也出现了一个规模巨大的歹字型构造。它的头部包括由强烈褶皱构成的阿拉斯加半岛、阿留申山脉、邱喀其山脉、阿拉斯加山脉、圣埃利亚斯山脉，还可能包括阿拉斯加北部的恩迪可特山脉以及加拿大北部的马更些山脉。它的中部

包括由科迪勒拉地向斜转变过来的科迪勒拉山脉。这一巨大而且具有复杂历史的山脉，分为两支褶皱带：西边一支即所谓海岸山脉，东边一支即落基山脉，这两个褶皱带之间夹着一个长形块状地带。这两个褶皱带和它们中间的地块，一直往南伸展，直到北纬 31° 左右，它们比较显著地向东南弯曲，而形成东西马德雷山脉。这些山脉应该是属于这个巨型歹字型构造的尾部。再南，就是南马德雷山脉，它向东弯曲的趋向更为明显。同一褶皱带穿过了危地马拉和洪都拉斯以后，就进入了加勒比海。牙买加、多米尼加、波多黎各诸岛，都属于这个歹字型构造的尾部，它们的地位大致可以与前述面临印度洋的歹字型构造的尾部爪哇群岛相比拟。

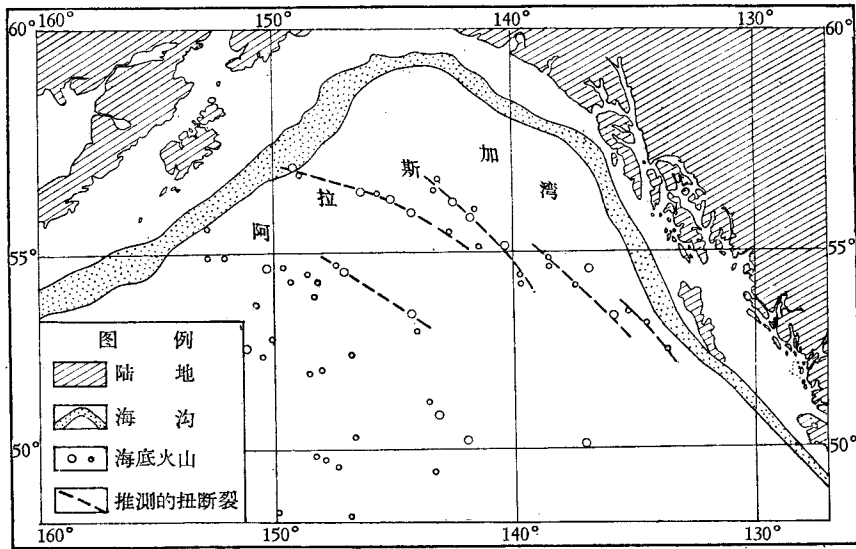


图 22 阿拉斯加海湾的旋卷构造

如若把科迪勒拉地向斜从古生代以来的复杂构造史作为另一课题来处理，我们可以说，这个歹字型构造体系，主要是白垩纪末期，即拉那密运动的产物。自从那一场大规模的强烈运动以后，直到今天，在这一构造体系范围还断断续续地保持着它的活动性。例如在阿拉斯加 1899 年就发生过一次极为强烈的地震，在加利福尼亚州，沿着圣安德利亚斯断层的某一段，可以清楚地看见一条被切断的深沟，在断层以东和它以西的部分，水平距离相差约 46 米。在断层西边的部分往北，东边的部分往南发生了相对的平移，仅仅 1906 年一次的地震，平移的距离就达到 6.4 米。最近获得的资料证明，在阿拉斯加湾中有一道弯曲的海沟，大致与北美洲西北部海岸平行。这一道海沟以南，在平坦的海底中，存在着许多火山锥。它们之中的一部分，呈弯曲的雁行排列。那些火山很可能是沿着雁行排列的断裂线喷发而形成的。这就显示，阿拉斯加湾底很可能曾经遭受过顺时针的扭动。

这个歹字型构造，也是和青藏滇缅印尼歹字型构造一样，部分地与南北向构造带相复合的。北太平洋底还可能存在着这个歹字型构造的组成部分。

帕米尔高原的西、北、东三面,有一道一道的弧形断裂和褶皱环绕。有些外围褶皱带,在高原的东面起初向南伸展,再往南去就向东弯曲达到和阆以南地区,形成反S型。另外,还有一系列的褶皱带,包括喀拉昆仑在内,成雁行排列往南伸展,达到喀什米尔地区和喜马拉雅的西端会合。喜马拉雅本身就是一个稍微向南凸出的弧形褶皱带,在一般形态上,它是与苏门答腊、爪哇乃至巴厘—佛罗里斯群岛相类似的。这样,从环绕帕米尔高原到喜马拉雅的东头的许多褶皱和断裂,也应该是属于一个歹字型构造体系。

其他在欧亚大陆,还可能有四个歹字型构造。它们各由下列地块和褶皱带组成: 1)阿纳巴尔地块和由太梅尔南沿到维尔霍扬斯克反S形褶皱带; 2)卡维尔地块和厄尔布尔士—古尔甘—科彼特等反S形褶皱带,这个褶皱部分地与阿富汗—伊朗山字型构造脊柱复合; 3)克尔迪斯坦地块和东托罗斯及扎格罗斯反S形褶皱带; 4)威尼斯平原地块和阿尔卑斯—狄那里以及爱奥尼亚—品都斯反S形褶皱带。这些构造体系的西面虽然不是面临大洋,但也有内海和沉降地带摆在它们的前面。它们一般都显示它们的头部绕着一个比较稳定的地块发生了旋扭。

以上都是巨型歹字型构造的例子。现在还不能确定属于这一类型的中、小型构造体系是否存在。

各种旋卷构造型式,对有用矿产的分布,尤其是对油气田的分布,具有极其重要的控制作用。实例很多,另外叙述,在此不列举。

从构成以上各个类型的旋卷构造的弧形褶皱,尤其是弧形断裂的排列方式、断裂面上大批擦痕的方向以及和那些褶皱或断裂具有成生联系的节理,特别是各种羽状节理和各种裂缝、裂隙、叶理、片理等等相互穿插的方式和相对排列的方位,岩层中某些标志性的错动,以及其他现象,一般就可以断定产生那些弧形或环状褶皱和断裂的扭动方向。另外,如若把旋卷层中各点的各种挤压面、张裂面、扭裂面的排列方式和模型实验结果相比较,也可以推断前述各种类型的旋卷构造都是起源于旋扭运动;并且还可以根据旋扭面收敛和撒开的方向来测定旋卷构造中各部分相对旋扭的方向。一般地说,由压性兼扭性的旋卷面构成的旋卷构造,旋卷面收敛的方向,表示每一个旋卷面凹的方面,亦即内旋方面的旋卷层对同一旋卷面凸的方面,亦即外旋方面旋卷层扭动的方向。在由张性兼扭性旋卷面构成的旋卷构造的场合,内旋与外旋层相对扭动的方向,恰好与上述情况相反。

前面已经指出,旋卷构造是卷入旋扭运动的毗连地块在岩石的连续介质中为了获得平衡而产生的现象。因此,各种旋卷构造都可以划分为两个组成部分,它们的旋扭方向相反。就水平旋卷构造来说,它一般都有一个外围部分和核心部分,这两个部分相对旋扭的方向总是相反的。有时旋扭轴垂直的旋卷构造成螺旋状,它的核心部分或者上升成为正性构造成分——即砥柱——如帕米尔高原,或者下降成为负性构造——即旋涡——如班达海。

当我们考虑到水平旋扭构造在岩石的连续介质中产生时,我们不难推断,它不独会对

它的基底呈现相反的扭动作用,而且也不可避免地对它邻近的地块引起相反的扭动现象。连环式旋卷构造就反映这种现象。例如在四川华蓥山脉以西出现的莲花状构造和邻近的旋卷构造所表现的旋扭方向是相反的,这个例子很好地表现了连环式旋卷构造的特征。喀尔巴阡环状褶带所显示的旋扭方向与形成匈牙利多字型构造的扭动,也是正好相反的。同时,由西喀尔巴阡环状褶带表现出来的斯洛伐克地块的旋扭,与它邻近的捷克地块——即波姆地块所呈现的旋扭,是紧紧相衔接的。这又是一个巨型连环式旋卷构造的好例子。

规模最大而且形状最为突出的,恐怕要算出现在东南亚到澳大利亚以及西南太平洋区域的连环式旋卷构造。这个区域中最北的一个大型旋卷构造的组成部分,包括菲律宾西南部的巴拉望、纳索角—萨尔塔纳—卡加延—卡加延苏禄、苏禄群岛,还可能包括桑吉群岛与米那哈沙半岛。这些列岛和半岛,都是被海水淹没了的弯曲山脉的尖峰。它们都有向婆罗洲(即加里曼丹、沙捞越、北婆罗洲)方面收敛的趋势。就是说,东南亚的这一部分,有经过顺时针扭动的迹象。婆罗洲自身也呈现着经过旋转的迹象。但根据直到现在所获得的资料,还不能确定它的扭动方向。

实际上,这个旋卷构造的范围,远远超过上述各组成部分分布的地区,它牵涉整个东南亚陆块,并且包括南海。它的产生,显然与我国青海、西藏东部、云南西部经过缅甸直到佛罗理斯岛这一歹字型构造的形成有关。同时也可以说与亚洲东南部向西发生了不均匀的大规模挤压有关。在北纬 23° 左右以北,这种向西的挤压,在西面受到大陆块的阻挡,以致发生了强烈的走向南北的褶带。但在北纬 23° 左右以南,由于孟加拉海和东印度洋的存在,这一强烈褶带的西面,出现了一个空虚的地区,缺乏陆块阻挡它向西的挤压,这样,东南亚濒印度洋方面地带的上层,越往南走就有越容易向西推移的可能。在北纬 15° 到南纬 5° 之间,向西推移的迹象最为显著,马来半岛连同南海南部、巽他陆棚和婆罗洲地块都一起作一定程度的向西移动,同时作顺时针的扭动。

在岩层具有高度塑性、能够发动半粘性流动的条件下,就有可能在婆罗洲的后面——即它的东面——发生旋涡。在那里,事实上是发生了一个很大又很深的旋涡,它就是中部深达5,000米以上、东部深达7,360米的弧形海槽——班达海。在它的周围环绕着几串弧形列岛和弧形山脉。正是这个出现于巽他陆棚和萨胡尔陆棚之间,更广泛一点说,出现于亚澳大陆之间的异乎寻常的构造体系,最先给我们提出了旋卷构造的基本概念。构成它的北面、东北面、东和东南面最外围的弧形列岛和弧形山脉,包括怀古岛、西伊里安浮格科普半岛东北部和东部的诸山脉(例如焦瓦尔山脉)以及阿鲁群岛。伊里安连同它附近的许多岛屿,例如接近它西北端的斯豪顿群岛和接近它东南端的卢伊济阿德群岛,看起来是这一最外围弧形构造环节向东南伸出的分支。其次是大致在南纬 2° ,由苏拉群岛、欧比群岛、密索尔群岛构成的又一串弧形列岛。它们依次由西往东连成一线,逐渐往东南弯转,掠过西伊里安邦巴赖半岛的西南岸,转向南北,最后又转向南南西达到大卡伊岛。

在大卡伊岛以西的属于卡伊群岛的若干小岛和位置在它们西南的丹尼巴群岛,又形

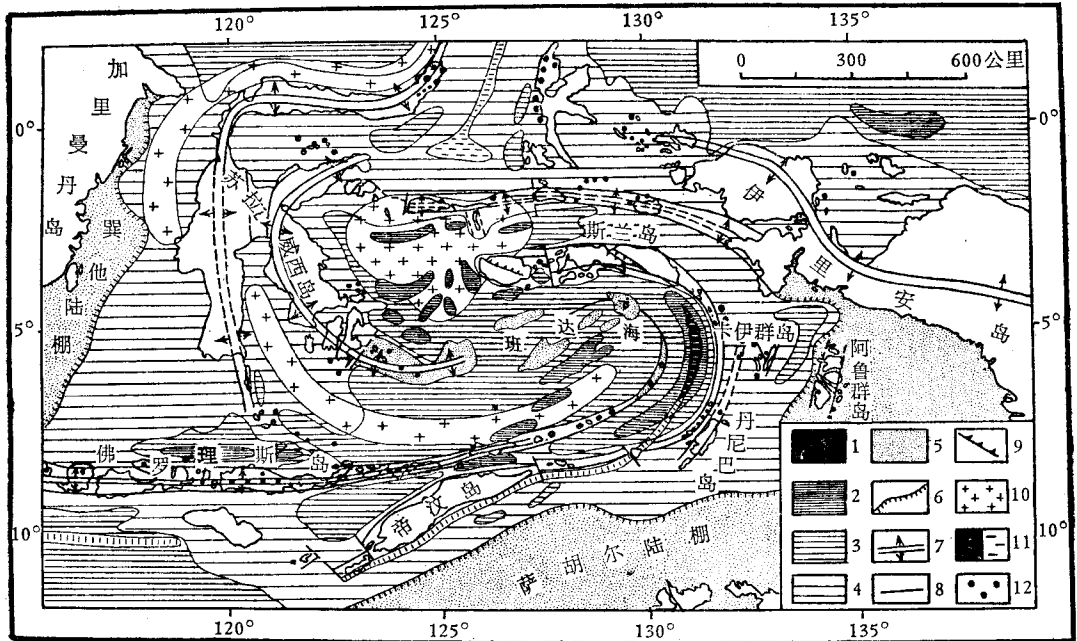


图 23 环绕班达海的旋卷构造

1. 深度大于7,000米; 2. 5,000米等深线; 3. 3,000米等深线; 4. 深度不超过3,000米; 5. 浅海(大部分在50—200米); 6. 陆棚边缘; 7. 隆起带(复背斜)轴线; 8. 断层; 9. 冲断层; 10. 重力正异常带(+50—+100毫伽,部分大于+150毫伽); 11. 重力负异常带(-100—-150毫伽,局部小于-150毫伽); 12. 晚近火山。

成一串弧形列岛,构成弧形构造东南面的又一环节。

再往里边去环绕着班达海,又有一大串大小列岛,构成极完美的环状构造。它们包括布鲁岛、斯兰岛、瓦土北拉岛、巴巴群岛、摩亚岛(即列梯岛)和帝汶岛。在这一环状列岛所在地带以内和它东段相辅而行的就是班达海中最深的弧形深海槽。上述弧形和环状列岛以及这个弧形深海槽显然是从第三纪以来由于旋扭运动而形成的隆起和沉降。

最后,也就是最里边的一串环状列岛是由班达群岛、尼拉岛、达马岛、罗曼岛、韦塔岛、阿洛岛构成的。从阿洛岛到巴厘岛,包括佛罗理斯群岛乃至爪哇岛,也可能属于同一构造环节。这一串紧密相连的岛屿,很清楚是这一环状构造往西伸出的分支。但它们同时也可能属于阿拉干-苏门答腊-爪哇弧形构造的组成部分。

环绕着班达旋涡的西南面、西面和西北面,有苏拉威西岛。这个海星状岛屿的南支及其向东南延伸部分的太格尔群岛和它的东南支及其向东南延伸部分的杜康比息群岛,是环绕班达旋涡西南面的双重环状构造环节;苏拉威西东面的半岛(即托洛湾以北的半岛)和米那哈沙半岛,构成它西北面双重环状构造环节。米那哈沙半岛的东北段和它以北的桑吉群岛所在的隆起地带,是这个环状构造西北面外围环节向北伸出的分支。

所有这些岛屿的长轴,大都是与环状和弧形构造局部延伸的方向大体一致。许多邻

近岛屿之间,存在着很多、有时很深的张开断裂。例如布鲁岛和斯兰岛之间的马尼泊海峡,深达 5,000 米左右,它几乎成直角地切断了两岛。又如巴厘岛与爪哇岛之间、爪哇岛与苏门答腊岛之间、西帝汶岛与罗地岛之间、东帝汶岛与摩亚(列梯)岛之间,都存在着由于张开断裂而形成的海峡;并且在许多场合,那些裂开了的岛屿显示相对的水平移动。类似的横断张裂,在各串岛屿之间到处可以见到。同时,在这些弧形和环状列岛中,还有不少的征象,如岛上由隆起珊瑚礁所显示出来的不对称的隆起和隆起轴的移动,表示自从第三纪以来那些环状列岛一般都有向外移动的趋势。

这些弧形和环状列岛之间乃至同一岛上不同部分之间的构造形象并不一致,有的褶皱甚为剧烈,有的岩层相当平缓,断裂和褶皱的方向也颇为复杂,它们的成生序次肯定是不同的,但就现有的资料,还无法确定它们彼此之间的关系。第三纪以前的岩层构造形象更为复杂,现在还谈不到它们的构造规律。一般地说,这些岛上第三纪岩层的走向,往往是被它们的海岸线斜切了,在较老岩层出露的地方,它们的走向也大都同样被海岸线所斜切。这就显示这些岛屿的形成不是完全由于褶皱隆起,而是大都主要由于沿着它们的海岸发生了断裂。在斯兰岛中部和布鲁岛上,褶皱轴向和重复的冲断面一般走向西北,反映形成它们所在的环状构造带经过了外面反时针、内面顺时针的相对扭动。可是大卡伊岛西部大岛的长轴却指向北北西,而大卡伊岛东部大岛的长轴指向北北东,这两个方向都是和岛上岩层的走向大体一致的。在巴巴岛上,也显示着类似的构造现象。只有在卡伊西部大岛对东部大岛形成一个第一类人字型断裂体系(详后)的假定下,它们所表示的扭动方向才能和斯兰岛、布鲁岛方面的扭动方向符合。如果西部大岛上岩层走向是由挤压而形成的话,这个入字型构造体系所表示的扭动方向,就应该是外旋层对内旋层发生了顺时针的相对扭动,这就和斯兰岛方面所显示的扭动方向恰好相反。对这些复杂的现象,还需要

要作更多的调查研究工作才能加以澄清。

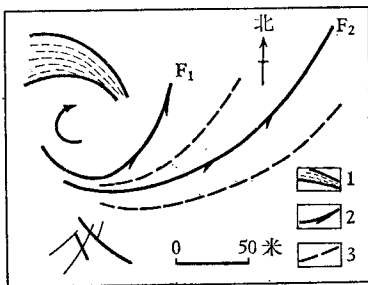


图 24 河北平泉县北 30 公里庙前附近的小型旋卷构造示意图

1. 挤压带; 2. 斜冲断层; 3. 推断的斜冲断层。

另外,根据佛罗里斯及其以东列岛的延伸方向与帝汶岛的轴向、帝汶岛的轴向与巴巴岛上岩层的走向(北北东)、丹尼巴岛的轴向与阿鲁群岛的轴向等等排列的关系,这个环状构造东南部各环节,看起来有向西南撒开的趋势。在这些弧形列岛起源于扭断裂作用的假定下,这种排列方式所指明的运动方向,恰好与上述斯兰岛的构造线和切断那些构造线的海岸线的关系所显示的扭动方向是符合的。

河北平泉县城以北 30 公里庙前附近,在平覆于片麻岩上的凝灰岩(白垩系?)中,出现一个小型旋卷构造,它的一般形态,与以班达海为旋涡的巨型旋卷构造极为近似,而它的排列方位,在东西两方面,却正相反,同时由于岩性的关系,它的旋涡部分,不是凹地而是一个小山包。根据

这一小型旋卷构造中两个突出的压扭性裂面(如图 24F₁, F₂)上,特别 F₁ 面上,大批深刻的擦痕,可以肯定,它的外旋层——即弯曲扭裂面凸出的一面——的相对扭动方向是反时针的。这种外旋层与内旋层相对错动的关系,与前述班达海周围的旋扭方向是一致的。类似这一类型的中、小型旋卷构造,预料还有更多的实例可寻,特别在变质岩区中。

这种构造型式所反映的螺旋式运动,并不限于石圈。如所周知,在水圈中有旋流,在气圈中有旋风和环流,在太空中有螺旋状星云。所有这些物质在运动中的表象,显然都属同一类型。这一类现象,广泛地出现于大自然界中不同的领域,超越了物质形态的界限,它不仅要求从力学的观点,各别给与确切的说明,而且还引起疑问:它是不是在宏观宇宙中,与物质聚集或扩散的过程有一定联系的运动形式?

环绕着班达海地区的巨大旋卷构造,清楚地显示自从第三纪以来,在东南亚南部,亦即亚澳大陆之间的一场强烈的反时针水平旋扭运动。在卷入这一场运动地区的北面,它和菲律宾西南部的顺时针扭动运动相衔接。在它的南面,它又影响了整个西南太平洋地区,构成了又一个巨大的旋卷构造。

这个巨型旋卷构造的北部和南部的组成部分,也是一些弧形列岛。它们遍布西南太平洋地区。其中最接近澳大利亚大陆的一串弧形列岛是伦内尔群岛、新喀里多尼亚岛(有时译名新加里东尼亚)和诺福克岛,直到和新西兰北岛的奥克兰半岛相衔接。这一串岛屿和半岛与苏士所谓第一道澳大利亚弧相当。在这一道弧的东北,又有一串弧形列岛由所罗门群岛、新乔治亚群岛、新赫布里底群岛等岛屿组成。再往北和东北去,另外又有一串弧形列岛由加罗林群岛(法劳累普、马古尔、特鲁克、塞尼亚文等岛屿)、库赛埃、瑙鲁等岛组成。再往东北去,又有一串弧形列岛,这一弧形列岛的北段分为两支,东边一支称为腊达克群岛,西边一支称为腊利克群岛,它们总合起来被称为马绍尔群岛。这一弧形列岛的中段就是吉尔伯特和埃利斯群岛,它的南段达到斐济群岛以南。苏士所谓第二道澳大利亚弧,格利哥里所谓密克罗尼西亚弧,就是这一道弧形列岛。以上四道弧形列岛的东南端,都有插入汤加-克马德克-新西兰隆起带的趋势,并且还有使该隆起带的西边对它的东边向东北拖动的迹象(参考人字型构造),有人(威尔曼)甚至认为平错距离达 300 公里。由于这种拖动的作用,四道弧中的第一道和第四道弧的南段被海水淹没的部分,都是急遽向南弯转。这四道弧形列岛,看来主要是大型扭性断裂构成的挤压带。根据新西兰的资料,它们的内旋层扭动方向应该是反时针的。但是也有人认为由伊里安到新西兰诸岛的扭动方向,西北面或西面是顺时针的,而在东北面或东面是反时针的。尽管由于有关的资料不够,关于扭动方向问题,我们还不能作出最后的决定,至于西南太平洋地区曾经发生过大规模的旋扭运动,看来是无可怀疑的。

澳大利亚东北部昆士兰近海地带甚至整个澳大利亚陆块,也可能卷入这个巨大旋卷构造。这个巨大旋卷构造与以班达海为旋涡的东南亚南部旋卷构造相衔接的处所,也发生了一个旋涡,与班达旋涡相呼应。这个较小的旋涡位置在俾斯麦海,环绕它东南面的有

新不列颠弧形列岛,环绕它东面和东北面的有新爱尔兰岛及其以西的马努斯群岛,环绕它北面的有阿德米勒尔提群岛,它的西面与伊里安的东北岸接触。这个旋涡,显然是由新爱尔兰岛、布干维尔岛及其他属于所罗门群岛的隆起带相对向东南而伊里安隆起带相对向西北拖动所形成的。

上述这一系列的巨型连环式旋卷构造彼此互相衔接、互相约制的关系,是自从第三纪或白垩纪末期以来地壳运动在地面上雕塑出来的一幅奇异惊人的图画。前已指出,一切旋卷构造,是有关的受到旋扭的地区和它的基底以及它的邻近地区,当旋扭运动发生时,争取达到平衡从而发生的形变或破裂。重力异常带和火山活动带的分布,更清楚地反映

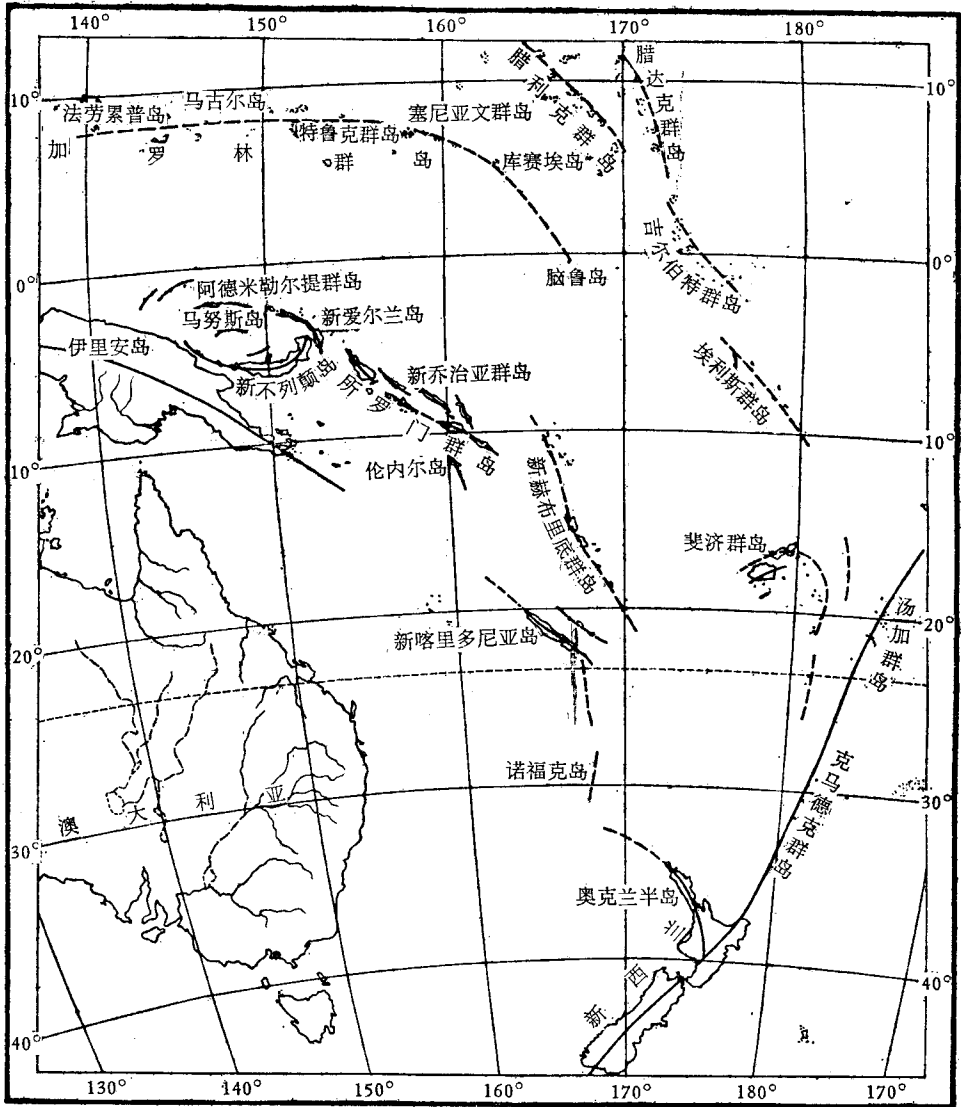


图 25 围绕澳大利亚的弧形构造带

实线表示挤压带的轴线;虚线系推断的构造带,性质尚未确定。

卷入旋涡的深度很大；如果把它们联系起来看，除了连环旋扭运动以外，几乎不可能想象有其他方式会使它们具有那样的连带关系。

前述东南亚和西南太平洋地区两大旋卷构造互相衔接和互相约制的关系，在西半球方面中美地区的主要构造形式中也有类似的表现，很可能有共同的原因存在，即东南亚地区对澳大利亚地区向西扭动。同样，北美大陆对南美大陆也是向西扭动。

地块发生扭动的现象，从近代地震也可以得到证明。举一个突出的例子，1923年9月1日日本相模湾发生了大地震，东京和横滨都遭受了极其剧烈的破坏。地震后详细测量的结果，表示相模湾底和它周围的陆地一圈一圈地发生了顺时针的扭动，许多地点平错的距离2.13米到2.75米不等，大岛最大，达3.66米。

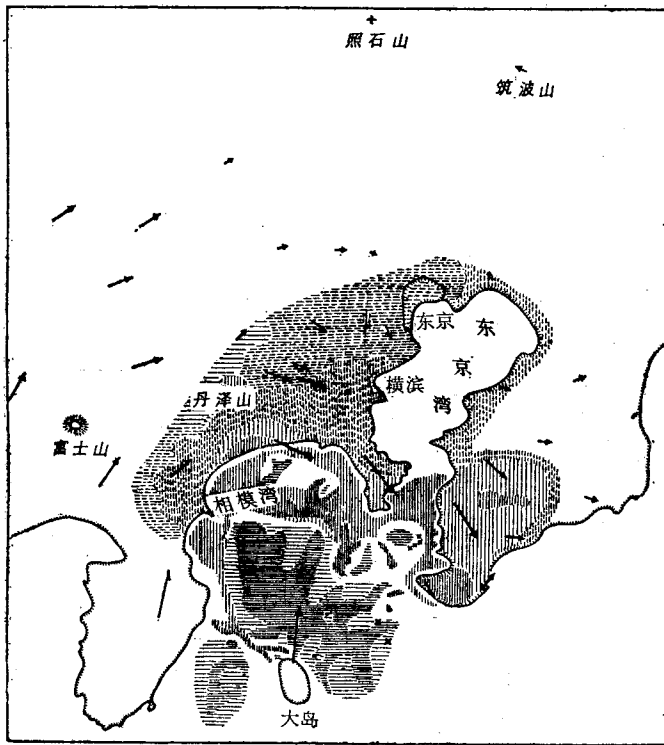


图 26 环绕日本相模湾的近代旋扭运动

箭头的方位和长短按一定比例尺表示 1899 年到 1924 年间绕着相模湾各地点的水平位移；填画直线区域，上升区域；填画横线区域，下降区域；×标示海底电线被拉断的地点。（据藤原、辻村诸氏）

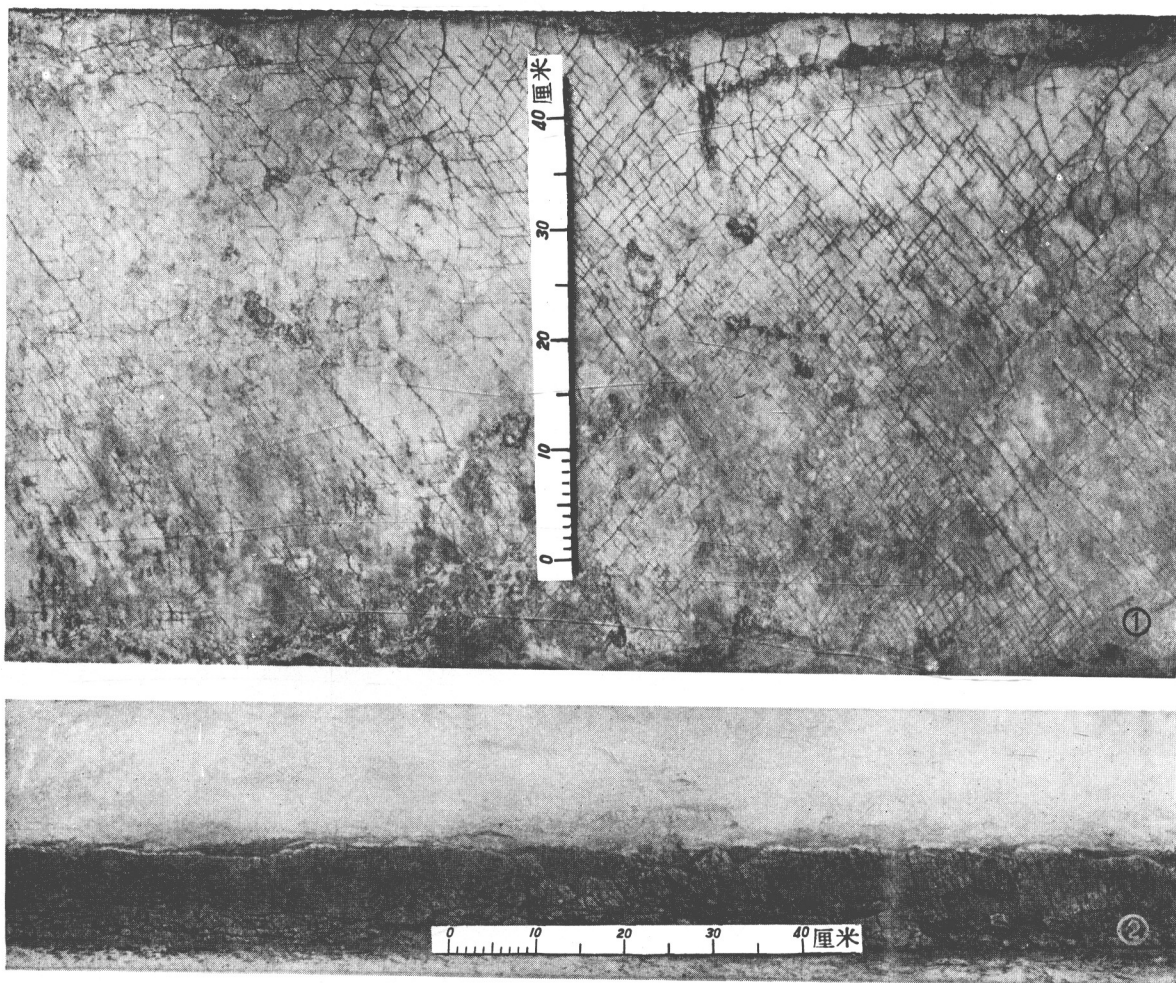
近年来，古地磁的工作在世界各国有了相当的发展。根据一般实地观测，含铁质稍多的岩石标本，大都反映出它们现在所保持的古代遗留下来的磁性南北向和现今当地磁场的南北向有显著的差异，这种磁向改变的原因有种种可能，其中应该包括有关岩层旋扭运动的作用。

丁、棋盘格式构造

棋盘格式构造就是网状构造(有时被称为线状构造)。这一类型的构造,都是由两组互相交叉的断裂面组成的。两组断裂面之间的夹角,一般为直角或者近于直角,但也有时不成直角;它们之间的两对对角,一对为钝角,一对为锐角。在两组断裂面相互成直角的场合,被它们所切断的岩层,就像豆腐干那样成方块状(图版 VI 上图)。在两组断裂面相互斜交的场合,被它们所切断的岩层或岩块就成菱形。这种断裂有时被称为 X 型断裂。在广泛发育的和巨型的棋盘格式构造中,组成它们的两组断裂面,大都是与水平面垂直或近于垂直的。在小型的棋盘格式构造中,特别是在棋盘格式或交叉节理中,组成它们的两组裂面,往往与地层面垂直。

棋盘格式构造的实例,无论属于小型、中型或大型的都极为普遍。属于小型的,包括网状节理、菱形节理乃至面积达到几平方公里的纵横交错的断层网。网状节理实质上是和偈对尔线同一性质的扭性裂隙,因此,它们的起源也应该和偈对尔线相同(图版 V、图版 VI)。根据实验的结果,当玻璃板之类的物质局部受到抨击、或全部受到铲刮、或两端受到相对扭转时,在板面上有时出现纵横交错的裂痕。这种裂痕究竟是否和偈对尔线属于同一类型的构造形迹,是否在同样应力活动的条件下所产生的现象,还不得而知。但是如若把泥巴模型实验的结果,一部分岩石试件由于施加压力或张力而致破裂的结果和实地观察的结果结合起来,可以肯定在天然岩石中有一部分交叉节理是由于它们所在的岩块受了压力而产生的。只有在某些葫芦状盆地基岩表面出现的交叉节理可能起源于冰流的抨击和铲刮作用;在某些由低级、再次断裂面划分出来的泥质岩片上出现的交叉节理可能起源于该岩片两头曾经受过相对扭转作用。除此以外,很难设想有什么自然力可以把这种抨击和铲刮作用,施加到大面积的地区。因此,一般把中型和大型棋盘格式构造当做水平压力或张力作用的产物看待,是比较切合实际的。在这种情况下,一对扭裂面之间的某一对夹角等分线——特别是一对锐角的等分线——的方向,一般与主压应力作用的方向一致。不过由于岩石的弹塑性不同和地应力的继续作用而发生塑性形变,前述方块逐渐地变为菱形,菱形的钝角等分线,往往成为主压应力作用方向的标志,但这并不表示主应力或扭动方向有所变更。

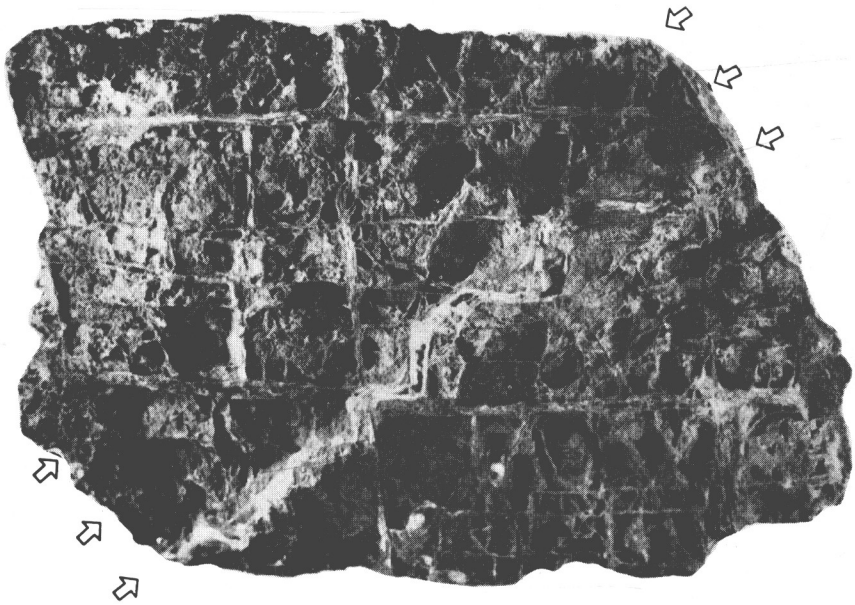
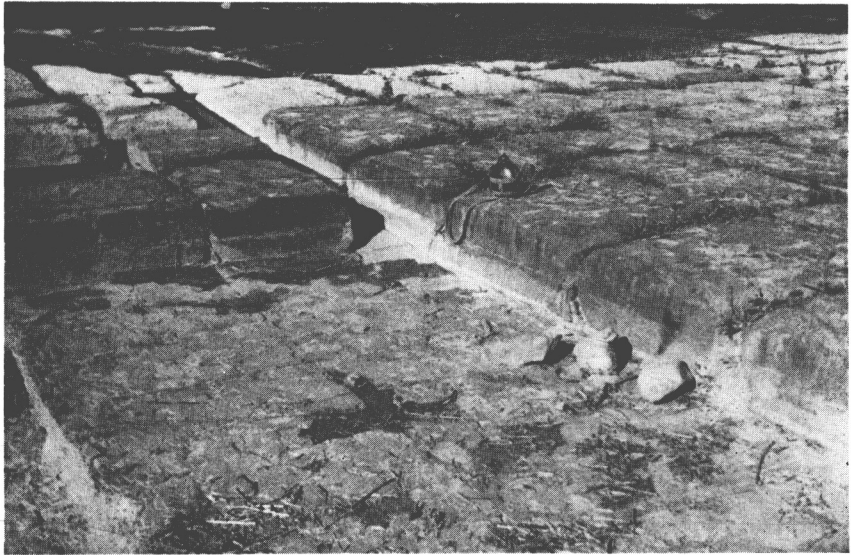
中国东部和南部,特别在沿海地区,经常有棋盘格式构造出现。例如在辽东半岛、渤海西岸、山西河北交界地区、山东半岛东部、浙江东部、金门岛等地区,都作过较为详细的观测。其中主要类型由两组断裂组成: 1)走向北北西(北 $18^{\circ} \pm 30^{\circ}$ 西); 2)走向北东东(北 $65^{\circ} - 75^{\circ}$ 东)。前者曾被称为大义山式断裂,因为湖南大义山不独标明这种断裂的方向,而且在这一方向的裂隙中,灌注了含热液矿床的花岗岩类;后者曾被称为泰山式断裂,据最近观测的结果,泰山南面的大断层是否属于这个体系,还待作进一步的考察,泰山式断裂这一名词,应暂为保留。在某些地区,组成它们的断裂,很清楚都是扭断面;但在另外



图版 V 沿对尔线状的网状构造及其他伴随的节理

(见于铺在北京中山公园社稷坛西门口台阶的大理石层面上)

- 图 1 与标尺所指方向斜交的两组节理,扭性节理,即沿对尔线状的网状构造;与标尺所指方向平行的节理,初次张性节理;与标尺所指方向成直角的节理,二次张性节理。
- 图 2 同一石板的侧面摄影。



图版 VI 小型棋盘格式构造及菱形节理网

上图 陕西铜川县西北后祁家房村附近延长群砂岩中两组节理，一组走向北 34° 西向东倾斜 84° ，另一组走向北 55° 东向东倾斜 82° 。（马杏垣摄）

下图 阴山带某地致密橄榄岩块中被碳酸镁和硅质矿物充填了两组交叉扭裂隙和追踪扭裂隙而形成的之字状张裂隙。注意一对扭裂隙朝着挤压方面的夹角大于 90° 。箭头表示挤压作用的方向。原大直径 $1/2$ 。

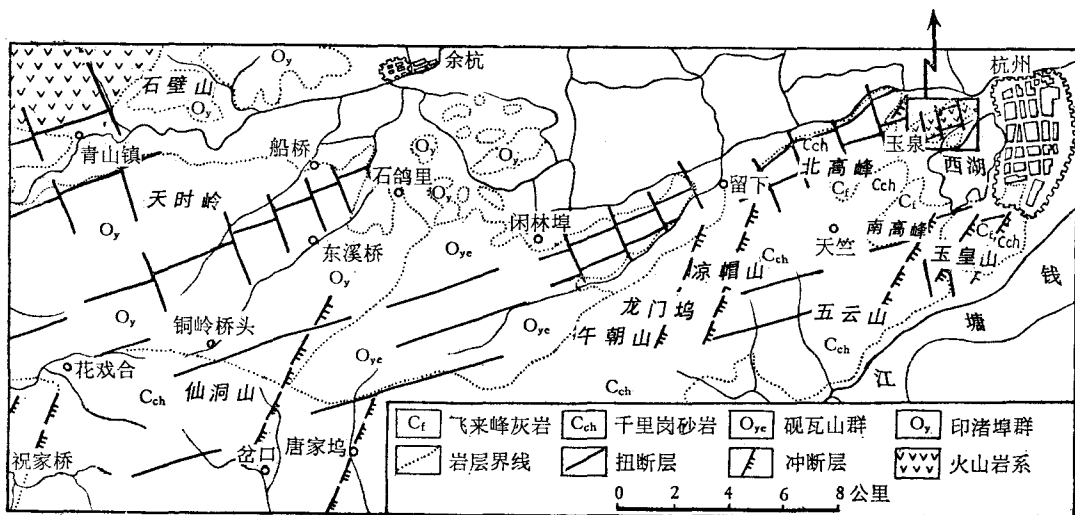
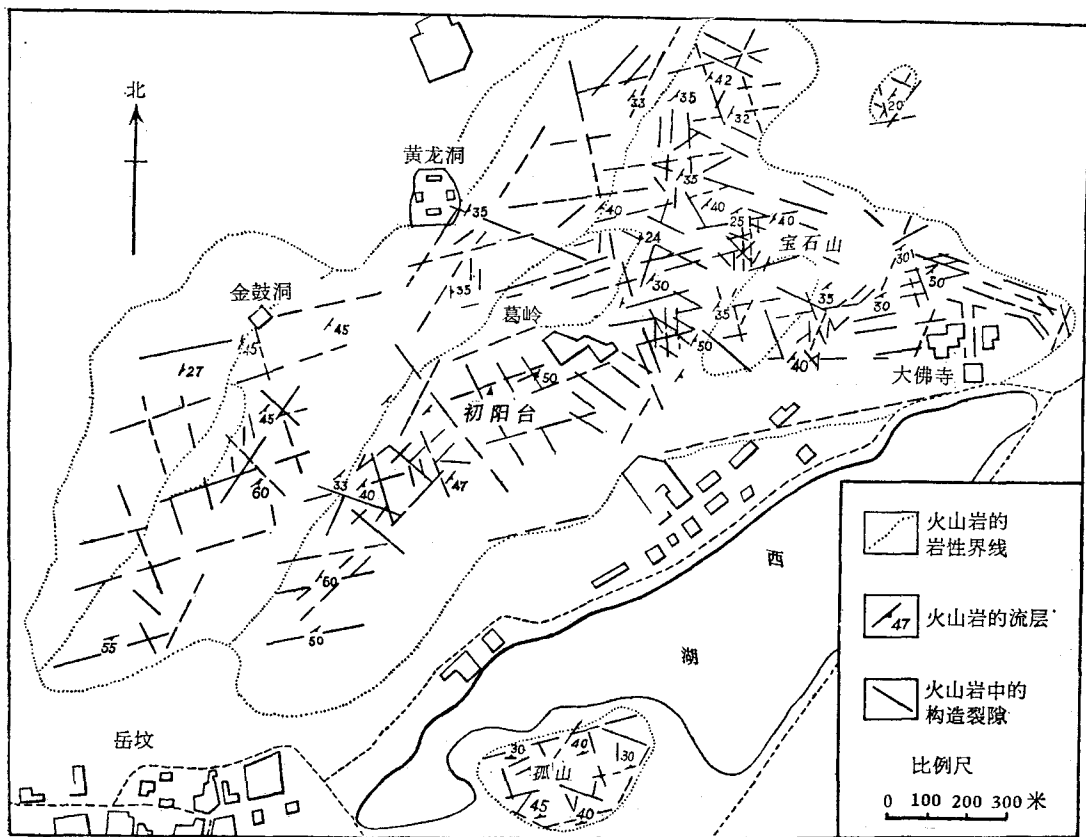


图 27 杭州地区的棋盘格式构造

一些区域,断裂面本身以及与断裂面接近的岩层或岩体显示挤压的现象。在单纯由两组交叉扭裂面组成的场合,它们的成生,看来与压应力作用的方向有一定的联系。它们的钝角等分线在前述地区中,都是指向北北东,在这个方向往往有比较强烈的褶皱,或高角度仰冲断面,这就是以前叙述过的新华夏系褶皱。还有,在这种断裂面出现的地区,也是新华夏系褶皱频繁的地区,它们大都是晚白垩世或晚白垩世以后才发生的。在另一对夹角等分线的方向,却不存在类似的挤压迹象。因此我们假定这一套棋盘格式构造与走向北北东的挤压带有成生的联系是有根据的。

在上述的假定下,两组交叉断面,应该都是扭性的。既然是扭性的,为什么它们往往呈现挤压现象?对这一问题,现在还不能作确切的答复,但也可以作如下的解析:

毫无疑问,新华夏褶皱或仰冲断面是由北西西—南东东方向的挤压而产生的。这种挤压作用,可以设想起源于三种不同的方式:(一)太平洋方面海底下沉,以致向东亚大陆方面引起了侧面的挤压。从东亚大陆边缘弧形列岛排列的方位以及南海深度达到3,000米以下的深海区西北边缘的位置来看,这个假定的海洋沉降区与东亚大陆的接触线,不是向北北东—南南西伸展,而是大体向东北—西南伸展。所以这条假定是不符合事实的。(二)西北—东南方向的压力和东西向的压力同时联合起来发生作用,以致它们的合力作用的方向,就不是西北—东南或东西,而是北西西—南东东,这个方向的压力就可能造成北北东走向的挤压线和与它有关的一系列的构造线。由于我们所考虑的地区,既有走向东北—西南,又有走向南北的挤压线分别存在,所以假定上述压力的联合作用而产生走向北北东—南南西的挤压线,并不是没有根据的。(三)就中国东部来说,假定内陆方面相对向南,太平洋方面相对向北发生了扭动,在这种形势下,必然出现走向东北的挤压线和走向西北的张裂线。在岩层对长期应力作用显示高度塑性反映的条件下,最初发生的走向东北的挤压线,就可能逐渐转变而成为走向北北东的挤压线,同时跟着它发生的扭断面中的一组也转变了方向,甚至改变了性质(由扭性而变为压性),新的张裂面——即走向西北西的断层——也不免发生。在古老褶皱已经僵化了的地区褶皱转变的现象,可能不甚显著。但在这样的地区,后来出现的两组扭断面排列的方位,仍有可能反映后来主压应力的作用面不是走向东北,而是走向北北东。用塑性板状物质特别是泥巴作模拟实验也可以获得类似的结果。因此,我们可以说前述塑性形变的假定是值得注意的。

北北西和北东东两组断裂面在朝鲜北部、朝鲜半岛的西岸和南岸也都发育甚好;甚至可以说整个朝鲜半岛的形成,主要是受到这两组断裂控制的。日本濑户内海北岸,也可能是受到走向北东东的断裂控制的,由广岛湾到四国的松山,从地震的资料来看,也一定有一条走向北北西的断裂。这个方向的断裂在日本九州、四国、由关西以至中部各地区,发育相当普遍。还有最大的一条走向北北西的断裂带横断日本本州中部,沿着伊豆诸岛和小笠原群岛向南偏东伸展。这个大断裂,在方向上完全和我国云南东部的小江大断裂、湖南南部的大义山大断裂一致,但在规模上远远地超过了它们。特别值得注意的是,沿着

这一组走向北北西的断裂,无论规模大小,有时有不同种类的火成岩侵入或流出。沿着小笠原群岛的大断裂带,到处都有火山岩流的痕迹。湖南大义山大断裂以及它往东南延长到骑田岭的部分,被含有矿床的花岗岩填充。河北与山西交界地带的阜平地区,有大量走向北北西的断裂和走向东北的断裂互相交切。前者大都由基性岩墙填充,岩墙中有时呈现大批水平擦痕。诸如此类火成岩活动的现象,都证明走向北北西的断裂的扭裂性兼张裂性。

出现于东亚地区的线状构造,虽然主要都是由上述两个方向的断裂组成,但也有可能还存在着其他系统的线状构造体系尚未予以注意。

在东南亚,也有典型的棋盘格式构造出现于苏门答腊岛东南部列邦地区,色布拉特河东南一带,发育尤为良好。在那里主要的挤压带走向西北,大致与苏门答腊岛的延伸方向一致。穿插在这些主要挤压带之间并且斜切它们的断裂,为数很多。这些断裂可以分为两组:一组走向北北东,另一组走向北西西,它们彼此相交成直角。这些棋盘格式断裂中往往夹有金银矿脉,有时有温泉涌出。毫无疑问,这些棋盘格式断裂的成生是与苏门答腊挤压带有密切联系的。

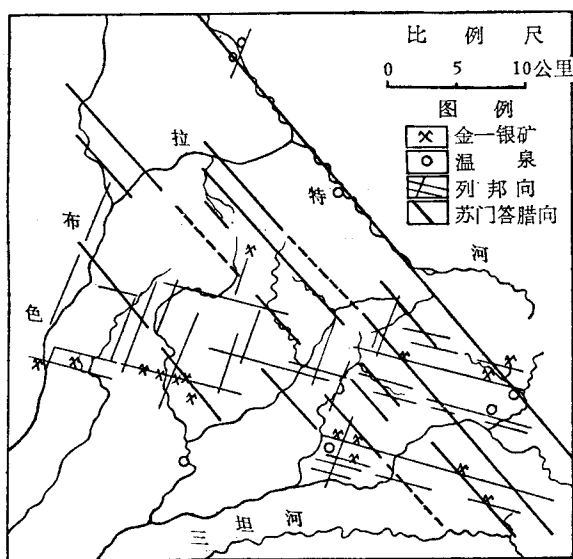


图 28 苏门答腊列邦地区的棋盘格式构造
(据荷比格)

在世界其他地区,有关中型和大型棋盘格式构造的这一方面或那一方面,长久以来,早已为著名的地质家所注意。它们往往发育良好,控制河流的流程、地面的形态(如高原、平原、盆地等)甚至大陆的轮廓。在某些地区,中型和巨型的棋盘格式构造特别显著。组成它们的两组断裂,有时发育不均,甚至其中一组完全不见踪迹。一般认为,巨型棋盘格式构造可以分为两种类型:

(一) 组成第一类型的断裂有两组,其一走向东西,其又一走向南北。这一类型的棋

盘格式构造体系不甚重要。苏联阿塞拜疆达什克散地区花岗岩体西部及其围岩中出现的棋盘格式断裂,是一个典型的例子。

(二) 组成第二类型的两组断裂中的一组走向东北—西南,另一组走向西北—东南。它们之间南北方向的一对夹角,大都小于直角。东西方向的一对夹角,大都大于直角。它们在古老地块中或者古老地块上覆盖着较薄岩层、褶皱轻微的地区,发育较为良好。最显著的例子,就是印度半岛和非洲大陆的构造轮廓。

从瓦底亚的印度地质图,我们可以清楚地看出,印度半岛离西南海岸不远的地区和离东南海岸不远的地区,都有狭长的岩带,如达瓦里亚、空达里、卡尔洛基以及卡鲁层形成的岩带等等,互相交叉。其中一带走向东北稍偏北,另一带走向西北稍偏北。这些狭长带,在某些地点可以清楚地看出它们两边有巨大的断层。有些地层例如卡鲁层,是由于那些断层而得以保存,或者由于那些断层长期继续地发展而得以成生。

在非洲大陆存在着许多大型内陆盆地,盆地与盆地的界线往往是直线,它们相互交叉,大致可以分为两组,一组指向东北,另一组指向西北。根据依·恒宁和其他地质家的观察,这些作为盆地界线的交叉线很多,其中最显著的有尼日尔—廷巴克图盆地东南边界线,乍得—喀麦隆—圣赫勒纳岛,刚果河—巴尔·埃尔·茶萨尔盆地的西北边界线,卡拉哈里盆地的西北边界线直到索马利海岸等等,都是指向东北的。又如从锡德拉海湾向东南伸展,沿着利比亚沙漠的许多绿洲,达到尼罗河中游的狭长地带,廷摩—提贝斯提一线,乍得湖—班韦乌卢湖一线,刚果盆地西面边界线等等,都是指向西北的。

在某些地点,它们显而易见反映地下大断裂的存在。在另外一些地点,它们隐示着地表岩层和近代沉积盖层以下有断裂存在的可能。例如乍得盆地是一个无出水道的盆地,尽管那里的气候干燥,蒸发强烈,而乍得湖本身并不是一个苦水湖。在那种情况下,由沙里河及其他河流输送来的水,必然从地下排泄出去。乍得湖东北 720 多公里的波尔库洼地潜水滤出现象,很可能是乍得湖的地下排水到那里流到地面而产生的。这些现象隐示着乍得—班韦乌卢一线和乍得—喀麦隆一线在乍得湖相交的地点不仅有漏洞,而且还有水在地下流动的道路。也就是说,它们很可能是大断裂线。

在非洲东部的大断裂带中和它们的東西两旁,也存在着不少走向北北西和走向北北东的断裂。在西奈—苏伊士地区出现了两个狭长的海湾,表示大断裂的存在。第一个断裂走向北北西,即苏伊士海湾。第二个断裂走向北北东,即亚喀巴海湾。这个地区以南,又有大型的线状断裂,它们分为两支,西面的一支沿着红海的西岸伸展,一直到马萨瓦,从那里折向南伸展直到由吉布提到亚的斯亚贝巴的铁路开始进入高原的地点,走向东偏北的大断裂突然出现,一直向着东偏北 15° 左右的方向伸展,沿着亚丁湾的南岸直到索科特拉岛以东。东面的一支沿着红海的东岸伸展,一直到丕林岛附近,转折向东偏北 20° 左右的方向伸展,形成了阿拉伯地块的南缘。这两组大断裂所夹锐角(指向东北)的等分线大致与伊朗山脉的走向成直角。它们的排列方向既然和非洲大陆以及印度半岛的线状构造的

排列方向不同,而与伊朗山脉又有这样的排列关系,可以想像,它们的成生,可能一部分是与阿拉伯以及西北非地区受到伊朗山脉造山运动的挤压有关的。

根据济贝尔格的欧洲南部及其附近地区的地震图,这个地区近代地震带主要是走向西北,同时也有一些走向东北。地震带这样地相互穿插,正如宋达所提出的见解那样,可能是反映该地区的棋盘格式构造。宋达并且指出,爱琴海南部的基克拉迪群岛和南斯拉夫群岛分布的地区是一幅极为整齐的棋盘格式构造图像,虽然它部分地被海水淹没了。组成这一棋盘格式构造体系的断裂线,也是走向东北和西北的,沿着其中某些断裂线或在某些断裂线相交的地点,都出现火山活动的中心。

多布列早已注意到棋盘格式构造的重要性。在法国北部阿米扬-底耶普和夏尔尼地区,棋盘格式构造由水系网络清楚地反映出来。瑞典南部也是一个棋盘格式构造著名的地区。根据霍布斯,在加拿大安大略州尼皮辛地区的走向西北-东南和走向东北-西南的棋盘格式构造,很明显地由网状水系反映出来。同样,在美国的密歇根州洛克兰地区,也有棋盘格式的水系网出现,那里的水道是流向南北和东西的。那些水道可能就是沿着南北或东西的断裂发育起来的。

南美洲智利中部从里约帕托尔卡到里约梅坡一段地区的航空摄影,是给人印象极深的一幅图画。安第斯山脉大致由北而南通过这一地区。其中构成峻崖削壁的断裂面,成群地平行排列,可分四组,相互交错。它们很清楚地反映了布满这一广大地区网状构造的特点。如若把当地地形和这一网状构造的各个组成部分结合起来看,它们彼此之间保持着一定的联系,是显然的。一般地说,由于压应力作用而产生的山系,不管它的组成部分具有什么样的形式,它的每一部分的轴向,总是与当地压应力作用面的走向平行的。在这样的压应力作用下,按照一般规律和每一个山系的各个组成部分的轴向相联系的断裂面,可能有三组。即一组与压应力作用面平行,这一组应该是压性断裂面或二次张性断裂面,但有时这一组断裂面不发育。另外还有两组扭性断裂面,它们之间的夹角等分线之

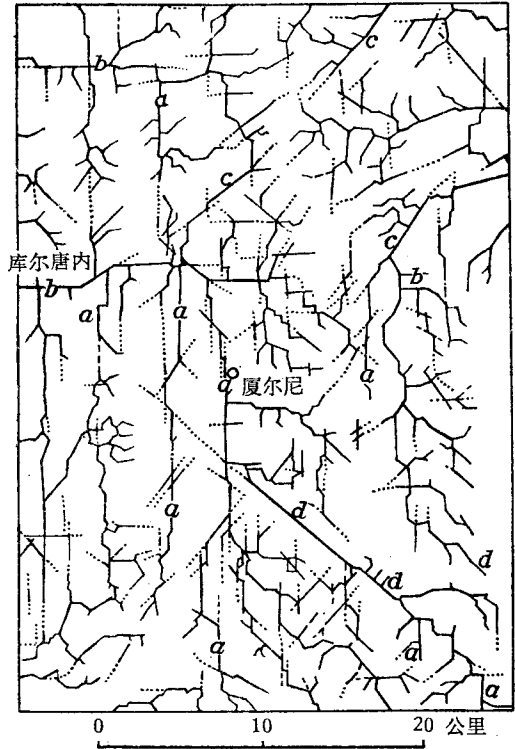


图 29 法国中部高原库尔唐内和夏尔尼地区的棋盘格式构造

(据多布列)

c, d. 扭性断裂; b. 由于压应力作用而引起的张性断裂; a. 由于压应力作用而引起的再一次张性断裂。

一,与有关山系的轴向成直角。但由于它们生成以后受到塑性形变的影响,有时可能不能保持直角。

这一地区的山岭,按它们轴向排列的规律,可以分为两个系统:(一)轴向北北东,这是主要的,其次轴向北东,前者与后者都各自成雁行排列;(二)北稍偏西。在整个地区

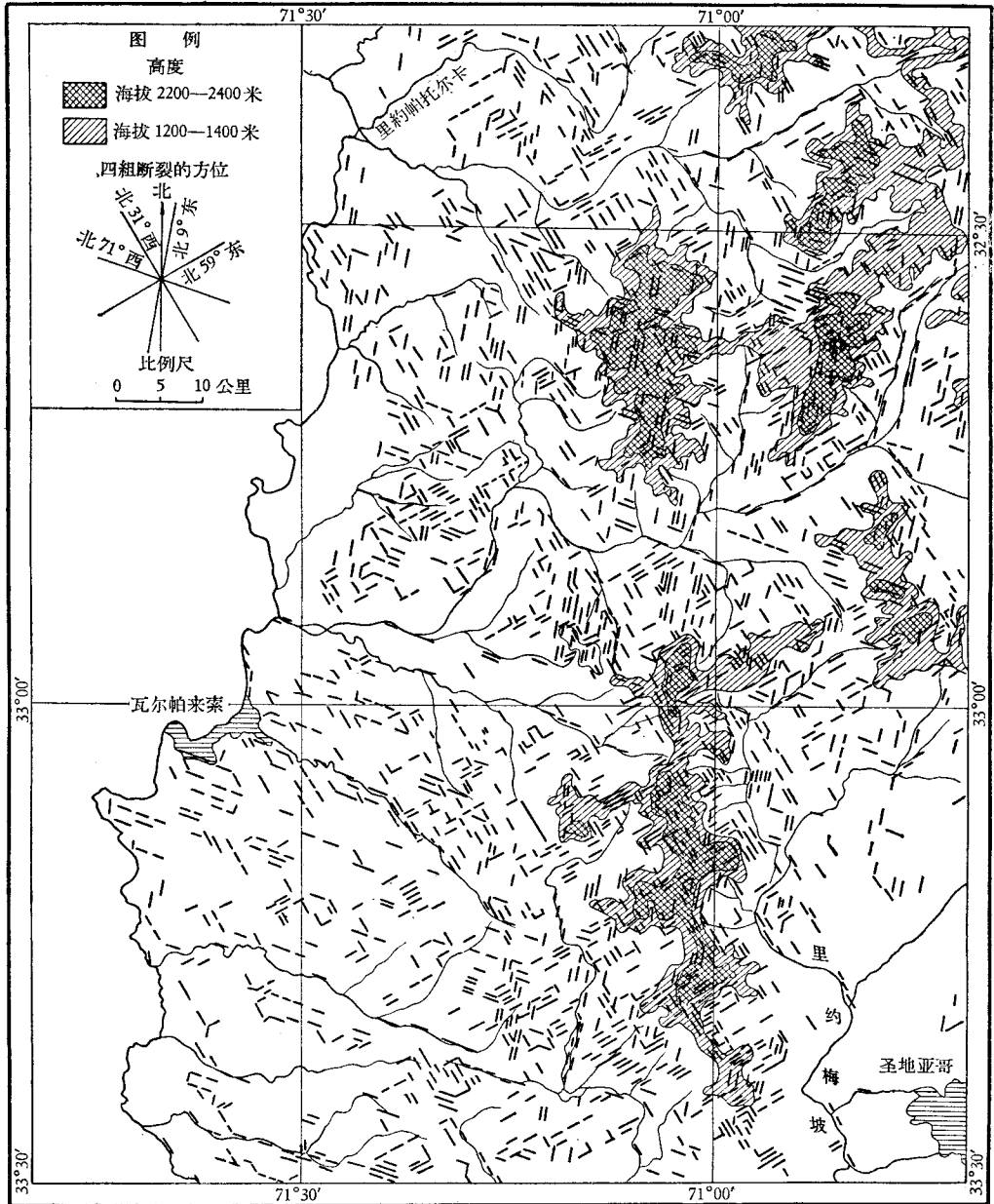


图 30 智利中部的网状构造

(此图是黑金伯尔格根据魏伯尔的航空摄影编制的。高度1,400—2,200米地带甚窄,图中省去,标高1,200米以下者都省去)

中,最发育的四组断裂面的走向是: 1)北 59° 东; 2)北 9° 东; 3)北 31° 西; 4)北 71° 西。从地形判断,这四组断裂面,应该都是属于扭性的,同时把它们和当地的山系、水系联系起来看,它们不可能都是单纯扭性的,它们之中的第一组和第二组可能是扭性兼压性的。

现在,我们可以进一步推测这些雁行排列的山系和上述两组扭性断裂面产生的过程。

当压应力作用方向与第一组断裂面成直角的时候,即构成轴向北东、成雁行排列的山岭或峻崖的时候,第二组和第四组扭裂面就发生了。当压应力作用方向与第二组断裂面大致成直角的时候,即构成轴向北北东、成雁行排列的山岭的时候,第一组和第三组扭裂面就发生了。这样的推测,是完全符合于实际情况的。综合当地地形发育的情况,可以看出,那些雁行排列的山岭与向西北流注的水系有一定的关系,而向西北流注的水道,看来是受到走向西北的比较大的断裂的控制。这种比较大的断裂,应该是张性断裂,但同时它们又恰巧与走向北 31° 西的一组扭裂面的走向相符合。这样,我们把各个山岭的轴向和控制着它们的局部地形以及一般水系的断裂体系组合起来,就可以看出在这里存在着两个多字型构造体系,它们部分地相复合,它们都标志着这一地区对太平洋方面曾经发生过向北的扭动。

同样,如果把第一组断裂面和第四组断裂面作为扭裂面联系起来看,那么,产生这两组断裂面的压应力作用面,应该是走向北稍偏西(大约北 6° 西)。这个压应力作用面的走向,恰巧是与第二个山系的轴向一致的。这就说明,这一地区除经过前述南北向相对扭动之外,还经过近于东西向的挤压。

是否还有其他组合分析的方法,更确切地说明上述各项构造现象彼此之间的成生联系,尚待作进一步的探讨。但是,这一广大地区的构造型式属于网状构造,而且构成这个网状构造的各组断裂都带有扭性,是无可怀疑的。

总的看来,棋盘格式构造是全世界范围内发育相当普遍而且相当良好的构造型式之一。除了亚洲太平洋地区以外,不管规模大小,它们主要都是走向东北—西南和西北—东南、倾斜近于 90° 的断裂面互相交叉而组成的构造体系。断裂面走向南北和东西的棋盘格式构造是次要的。就断裂面走向东北—西南或走向西北—东南的构造体系来说,它们的成生,看来是与东西向或南北向的挤压有关的。

戊、人字型构造

这一类型的构造,一般由两部分组成: 1)主干断裂,或为直线形,或为弧形,其性质都属于横冲; 2)分支断裂或拖曳褶皱。由于后一部分可能属于性质绝不相同的构造形迹,同时它们对主干断裂来说,排列的方式也完全不同,因之,人字型构造可以分为两类。

第一类 由主干断裂和分支断裂组成的一个类型,其特征是,分支断裂与主干断裂斜接,绝不越过主干断裂,两者之间所夹的锐角尖指向分支断裂所在的一边对主干断裂的另一边相对错动的方向。

第二类 由主干断裂和拖曳褶皱或与褶皱相当的其他压性构造形迹组成。其特征是,在主干断裂的一边,有若干弧形褶皱或其他形式的挤压带,如冲断面、叶理、片理等。这些挤压带的走向与主干断裂所夹的锐角尖指向与这些挤压带所在的一边对主干断裂的另一边相对错动相反的方向。

小型人字型构造,可以小到不超过手拿标本的范围。从南京北极阁的侏罗纪砾岩中,曾发现一个典型的例子。也可以大到纵横几十米,实例极多,几乎随地都可以见到。这些小型的人字型构造,都属于第一类。虽然第一类的人字型构造不都是小型的,它们都是由断裂组成,不独在一般形式上而且在地质力学的意义上与羽状节理相似。

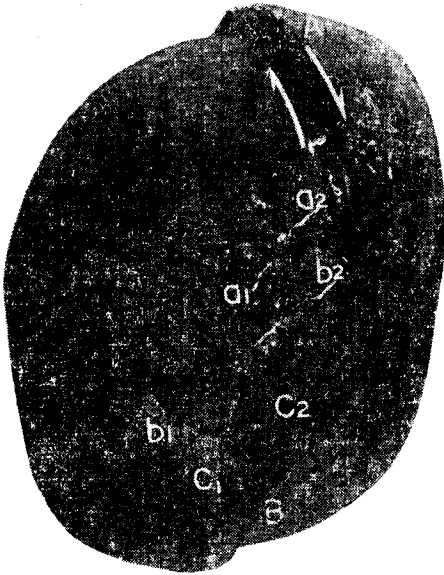


图 31 经过扭裂而又胶结的砾石

AB. 主干扭裂面; a_1a_2 , b_1b_2 , c_1c_2 . 分支断裂;
半箭头表示扭动的方向。

中型人字型构造,可大到几公里,它的主干断裂,甚至长几十公里。这种规模的人字型构造,也相当普遍,尤其是在大型平移断裂发生的地区。例如辽宁浑河大断裂,无疑是一条主干断裂,它是受过挤压的断裂带,同时又是受过扭动的断裂带。在白垩纪红层和花岗岩及前震旦纪片麻岩的断裂面上,往往有大批的平移擦痕,平移的方向一般是北面向西错动。在清原矿区西部矿产富集的地带,往往是分支断裂所经过的地带。这些分支断裂和前述主干断裂斜交,但不越过主干断裂。它们之间所夹的锐角尖都是向西,也就是指明分支断裂所在的方面对主干断裂的对面相对往西错动,这是与一般的规律符合的。

在湖北的西部和西北部,有若干组大型的和中型的人字型断裂体系存在。其中较为显著的一组,由经过竹山和房县附近变质岩南沿的主干断裂和由房县东南向西伸展的分支断裂组成的。它们之间所夹的锐角尖朝东。另一组的主干断裂,由保康经过远安向南南东的方向伸展。据物探的结果,从江陵以西,有一条“断裂”从东南来和它相交,与主干断裂间所夹的锐角尖朝北。由于这些分支“断裂”的性质尚未查明,尚难从这些分支“断裂”推测它们所标志的水平错动的方向。但这些分支“断裂”肯定地没有穿过主干断裂,它们和主干断裂组成一个人字型构造体系,是无疑的。

在新疆乌什地区以南,有许多人字型构造出现。其中最出色的例子,出现在由苏盖特布拉克到克兹尔苏布拉克以及库拉木布拉克一带。在这一带地区,主干断裂大致走向东西,到克兹尔苏布拉克转向西南,沿着这一地带的东段,分支断裂在主干断裂的北边,它们之间所夹的锐角尖朝西。主干断裂越过克兹尔苏布拉克向西南以后,分支断裂大都局限在

主干断裂的东南面,它们之间所夹的锐角尖指向东北。这一主干断裂和大批分支断裂所组成的入字型构造体系,一致地表示主干断裂北面和西北面地块(包括寒武、奥陶、志留、泥盆等纪的岩层)对主干断裂以南和东南地块向西和西南发生过水平错动。托里地区,看来还存在着一个大型入字型构造体系,达拉布特大断裂是它的主干断裂,大致走向东北—西南。这个压扭性大断裂带的西北侧,有一系列受压甚烈的超基性岩带出现,它们略呈弧形,西段走向近于东西,往东逐渐转向北东方向,到主干断裂附近,骤然消失。这些事实显示这个入字型构造主干断裂的西北侧,经过往西南平错的运动。它应该属于第二类入字型构造。

最近在柴达木盆地西北边缘与阿尔金山毗连的地带,发现了五条较大的断裂,它们穿过盆地边缘部分,但一到阿尔金山南麓大断层旁便消失了。这五条断层是分支断裂,对阿尔金山断裂来说,它们与阿尔金山断裂所夹的锐角尖都指向西。就是说,柴达木盆地西北边缘与阿尔金山之间的断裂,不仅显示盆地下降,而且是阿尔金山相对往东、盆地相对往西发生了水平错动的证明。分支断裂略呈弧形或反S形,它们之间在新地层覆盖下有老地层隆起。这些现象,可能是由水平错动而引起的低一级的构造形迹,也可能是另一构造体系的复合或联合现象。

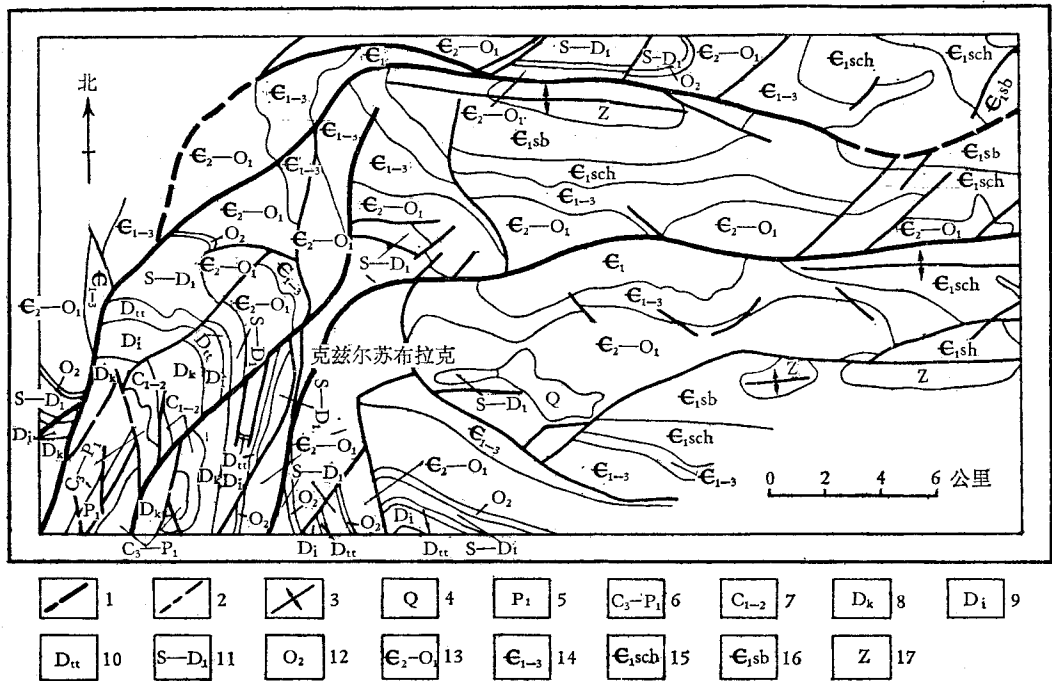


图 32 新疆克兹尔苏布拉克、苏盖特布拉克地区的入字型断裂

1. 入字型主干断裂(虚线为推测部分);
2. 入字型分支断裂(虚线为推测部分);
3. 背斜轴;
4. 第四纪沉积;
5. 早二迭世沉积;
6. 晚石炭—早二迭世沉积;
7. 早—中石炭世沉积;
- 8—10. 泥盆纪沉积;
11. 志留—早泥盆世沉积;
12. 中奥陶世沉积;
13. 中寒武—早奥陶世沉积;
14. 寒武纪沉积;
- 15—16. 早寒武世沉积;
17. 震旦纪沉积。

在云南东部由会泽城以西经过寻甸直到曲江和南盘江上游汇合的地点以东,有一条长达 260 多公里、走向南北的大断裂。这条主干断裂的东面和西面,也出现大批的分支“断裂”和褶皱。它们都是和主干断裂斜交,但不越过主干断裂。它们的走向大都是北北东,就是说,它们和主干断裂之间所夹的锐角尖,在东面都是朝南,在西面都是朝北。但由于这些分支“断裂”的性质尚未确定,我们还无从判断主干断裂的两边相对错动的方向。不过,这些“断裂”和走向南北的大断裂组成一个人字型构造体系,是无可怀疑的。

巨型人字型构造,大都夹有其他构造体系的成分,形成复合或联合的复杂构造体系。如上所述,这种复杂构造体系,可能是由于主干断裂的一边在因扭应力作用发生了分支断裂以后,又进一步沿着主干断裂前后两段不平均地进行滑动的结果。苏联境内天山恰特卡里地区塔拉所—费尔干大断裂西南边许多扭性断裂现在成为扭性兼压性断裂,有的略呈 S 形,并有和它们大致平行的褶皱伴随,可能是由于这种作用而产生的变化。沿着新西兰岛北部开沟那和其他平行山脉(即新西兰的所谓阿尔卑斯式主干断裂)的分支断裂,也可能具有同样的复杂性。对这些复杂问题,柯通提出了极有意义的说明。

与菲律宾群岛东边的大断裂斜接的有两条弧形列岛——巴拉望和苏禄群岛。它们和夹在它们中间的另一串相似的弧形小岛,如卡加延、卡维利、土布巴塔哈滩、圣米格尔、卡加延苏禄等,看来都是菲律宾人字型构造的组成部分。这些由挤压而成生的隆起带与东边的大断裂所夹的锐角尖是指向北的,因此,从这一人字型构造的排列方位来看,菲律宾西南部各内海区域和前述诸列岛都显示向南扭动,也就是顺时针扭动的趋向。

美国西部近海岸的圣安德利亚斯断层,是一条到现代还在活动的平错大断裂。在它的东边,特别是在贝克兹菲耳德附近和索耳顿湖地区(约在贝克兹菲耳德东南 350 公里),出现许多大致互相平行的褶皱,它们的起源显然是与圣安德利亚斯断裂有密切的联系。这一系列成雁行排列的褶皱,都是沿着大断裂的东边向东偏南伸展,与大断裂结合起来,形成一个属于第二类的入字型构造体系。这些褶皱的褶轴与作为主干断裂的圣安德利亚斯断层所夹的锐角尖向北(图 33-1)。英格莱乌德主干断裂和伴随它的一系列的背斜,也显示同样的排列关系(图 33-2)。这都是符合于一般规律的。

到这里为止,我们已经用了不少的篇幅,叙述了各种构造类型。这是因为构造体系是地质力学的一个基本概念,通过鉴别构造体系的类型,才能在具体意义上认识构造体系。因此,不难了解,构造体系的分类和构造型式的鉴定,是地质力学方法的中心环节。不过,以上关于第一、第二、第三三大类构造类型和若干构造型式的叙述,只是企图通过若干实例来阐明构造体系、构造型式这些概念的主要具体内容,在此既不可能把世界上各式各样的构造类型应有尽有地列举出来,也不必要就每一类型的一切特点作详尽的描述。

即使单就中国既知的构造类型来说,除上述三大类以外,还有许多显著的、有时规模相当宏大的构造形象或形迹,我们还不知道应该归纳到哪一类型,特别是某些隆起带和沉降带。从地质力学的观点来看,一切隆起和低凹都很难认为是孤立的现象,它们应该是所

隶属的构造体系的组成部分,虽然那些构造体系,现在我们还认识。其中最突出的是若干略呈圆顶形的穹窿地块和某些盆形凹地。在这样的穹窿地块中,西藏高原是全世界最突出的例子。四川盆地如果把它孤立起来看待,也可以算是盆形凹地一个突出的例子。但如果我们追究这个隆起地区之所以隆起和这个低凹地区之所以低凹,就不是就隆起地区本身或沉降地区本身可以孤立而能获得解决的问题。例如西藏高原的隆起,显然是最近地质时代(白垩纪以后)发生的现象。按照这个高原上所显现的大数值布格重力异常来推测,它底下的硅铝层,可能厚到五、六十公里,如果这样厚的硅铝层是地壳这一部分很古以来固有的特征,那么西藏高原的出现就一定不会等到很晚的地质时代,而应早已出现了,换句话说,构成这样厚的硅铝层的物质(一般是酸性和中性的岩石),很难想象,仅仅是由西藏地下深处一下子分泌出来的,相反,由邻近地区的底下供给这种物质的可能性和由于西藏地区受了强裂的侧面挤压以致作为地壳上层的整个硅铝层,因之大大变厚的可能性,都是值得考虑的。在后一项考虑之中,我们就有可能发现西藏高原所表现的各项挤压和旋扭构造类型与它整体隆起的联系。

四川盆地实际上不是一个孤立的低凹,而是和伊(伊克昭盟)陕盆地有密切联系的低凹地区,中间被秦岭隔断。这个低凹地区,大致向北北东的方向延长,就是说与东海、黄海和日本海伸展的方向相近似,也就是应该属于新华夏系的沉降地带。

前已提到,在中国东部、南部和朝鲜、日本经常出现两个方向的大、中、小型断裂,其中之一走向北北西(一般北 $18^{\circ}\pm$ 到 $30^{\circ}\pm$ 西),其又一走向北东东(大致北 65° — 75° 东)。这两种类型的断裂,性质不完全一致,有的是单纯扭性的,有的是张裂性比较显著,并且有火成岩活动,例如我国湖南大义山、日本的大错裂带和小笠原群岛一带;有的是扭性兼压性的。在断裂面的附近,往往有局部的强烈褶皱和仰冲断层发生。关于这两组断裂面的中小型例子,在

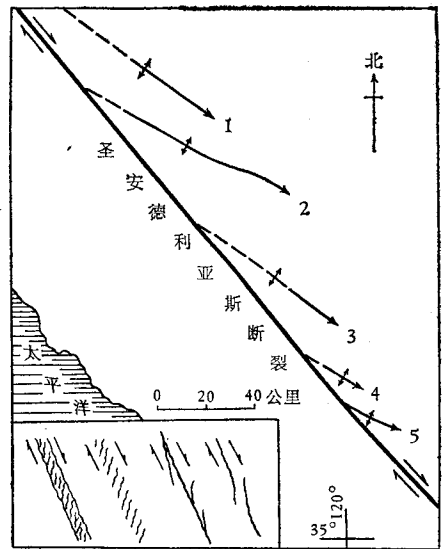


图 33-1 圣安德利亚斯主干断裂与派生褶皱形成的人字型构造

1. 色尔维背斜; 2. 可令加背斜; 3. 奥卡尔德背斜; 4. 麦克都纳德背斜; 5. 塞木雷克背斜(据姆德和希尔)。左下角的插图是1906年4月18日旧金山大地震时,由于圣安德利亚斯断裂活动而产生的四种不同形式的羽状裂隙;半箭头表示羽状裂隙两旁相对平移的方向(据吉尔伯特)。

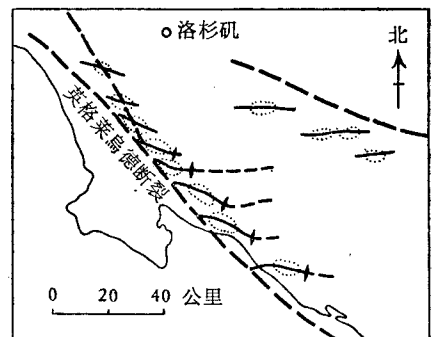


图 33-2 英格莱乌德主干断裂与派生褶皱所形成的人字型构造

(录自阿日吉烈的《构造地质学》)

中国东部和南部以及朝鲜经常出现,举不胜举。向这两个方向伸展的断裂,往往是大量的冷泉和温泉涌出的路线,它们有时是浅地震震源的所在。其中有一部分,显然是属于新华夏系的两组扭裂面;因为,它们之间一对夹角的等分线,是和新华夏系的挤压面的走向大致相符。同时,它们出现的地区,往往也有新华夏系褶皱和仰冲断面出现;但是直到现在我们还不能肯定在中国东部和南部所有的走向北北西和北东东的构造形迹都是属于新华夏系。

五、分析联合和复合的构造体系

构造复合现象的一般概念,颇为广泛,它不仅仅适用于同一构造体系中两种极其接近的成分彼此符合、结合、联合或合并的关系,而是广泛地包括着在同一地域中属于不同构造体系的各种构造成份依各种方式互相干扰和联合的一切现象。那些复合的构造体系可以是同时期的,或者部分地同时期的,也可以是完全不同时代的。它们所涉及的地区,可以是大致相同的,但在绝大多数的场合,范围是不一致的,规模也大都是不相等的。

为了分别从卷入一场构造运动的地区 and 它发生的时期来阐明构造体系复合现象,我们进一步作如下解析:

在某一地区,无论是它单独的或者和它邻近的其他地区联合在一起,经过了一场一定方式的构造运动所形成的构造体系,与在那个地区单独的或和其他邻近地区联合起来,经过另一场不同方式的构造运动所形成的构造体系,在形式上必然不同而又混合在一起,这样就会形成了不同型式的构造体系复合或联合现象。

在同一时期,邻近地区有时发生不同方式的构造运动,那些不同方式的构造运动波及的范围,往往并不具有明确的界线,而是在它们毗连地区的一定范围内互相参杂或互相干扰,这样也就会造成不同类型或相同类型的构造体系部分地发生复合或联合现象。

在同一时期而且同一地区中,发生不同方向的构造运动的时候,那两种不同方向的构造运动,便联合起来,发生作用,以致形成折衷的构造形迹。例如,走向南北的地应力作用面和走向北北东的地应力作用面,同时在同一地区发生的时候,它们的联合挤压作用面,就既不走向南北,也不走向北北东,而是走向北稍偏东。

在实际工作中为了便于解析问题,构造联合现象和复合现象,应该分别处理。联合的构造体系,是两个或两个以上的构造体系在同一地区同时出现的产物。其中每一个体系的组成部分,都或多或少显示它们固有的特征,但同时由于它们互相干扰,互相迁就,它们又互相结合而形成一个统一的体系。就是说,当两个构造体系发生联合现象时,它们各个的组成部分,虽具有每一个体系的某些特点,但又不能明确地划归其中的那一个体系。构造体系复合现象,是两个或两个以上的构造体系或者它们的一部分,在同一地区重迭发生的现象。它们各自的组成部分,都基本上保持它们固有的特征。当属于不同系统的构造

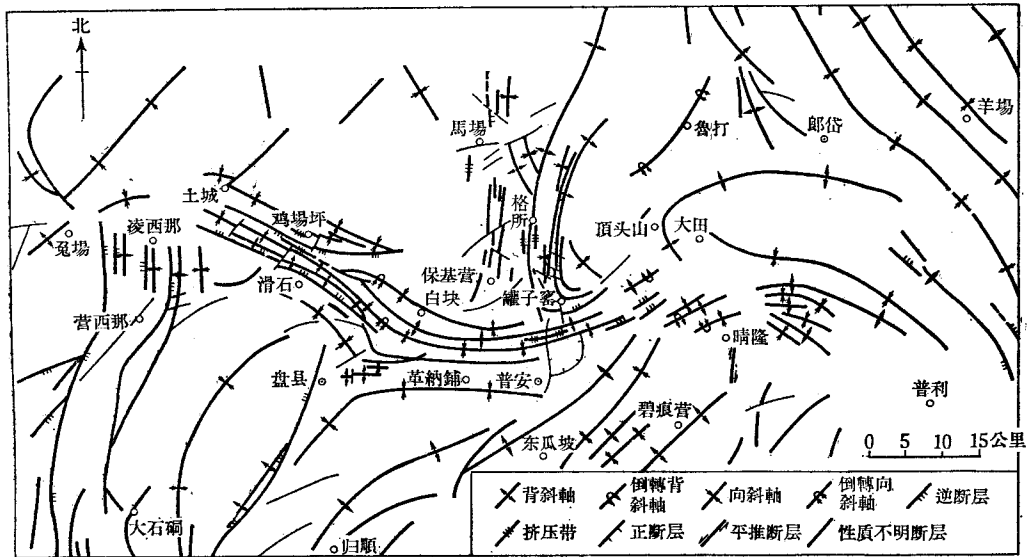


图 34 贵州普安地区的联合构造体系示要

成分复合时,它们按照各个在所属的体系中应有的方位排列,大都彼此互相穿插,但不互相结合而形成一个统一的体系,仅仅局部偶然一致或发生无关大体的干扰现象。

下面举出几个实例说明联合现象的意义。在贵州西南部普安地区出现一个特殊类型的构造体系,它既不符合于山字型构造的正常形态,也不显示一个典型旋卷构造全部应有的旋扭形象,但同时它却具有山字型构造的某些特点和部分地揭露旋扭的痕迹。当地出露的三迭纪及更古老的地层都卷入了这一构造体系。这种混合类型的构造型式,应该同时反映两种不同方式的运动。如若单看它本身构造形态的特征,那两种运动方式就很难分析出来,必须同时把两种有关的构造型式联合起来,才能理解它是由于不同体系的构造运动联合作用而形成的。

又如新华夏系隆起和褶皱,有些部分看来是受了形成走向南北的褶皱或隆起带的东西挤压的影响,它们正常的北北东走向,变为近乎南北的走向;而另外又有些部分受到东西复杂构造带的阻挠而变为弧形构造。这种弧形构造在亚洲大陆东部边缘特别显著。其中最突出的是一系列的所谓弧形串珠状的列岛。不管对这些串珠状列岛的产生如何加以说明,重要的事实是,每一串弧形列岛的南端,都是和一个东西复杂构造带或相当于它达到大陆边缘的地点以北的地区,逐渐向南弯曲的而形成边缘弧。

同样,在内陆方面,也有一个走向北北东的巨大而且伸展甚远的隆起褶皱带。在它每一串弧形列岛相当的段落的南部,由于形成北北东隆起褶皱带的挤压和形成东西复杂构造带的挤压的联合作用,也出现一系列的边缘弧。蒙古高原东南边缘弧,是大兴安岭受了阴山东西复杂构造带的影响形成的。同时阴山中段也受了大兴安岭的影响,以致它在这一段的走向不是正东西而是东偏北。山西陆台的边缘弧,是形成太行山脉的挤压和形

成秦岭的挤压联合作用的产物;贵州高原东南边缘弧,是形成高原东边走向北北东的挤压和形成南岭东西复杂构造带的挤压联合作用的产物。

在一个较新的大型构造体系中,往往包含着比它较古的构造型式的某些片段,那些片段,可能和新生的构造形迹,大体一致,也可能被新生的构造形迹所穿过。另外又有一些

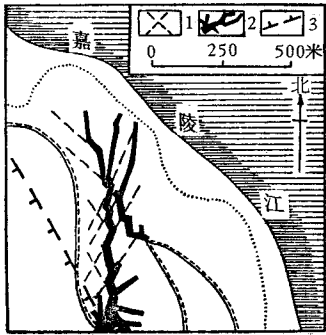


图 35-1 四川北碚附近北泉公园中乳花洞小型追踪断裂

1. 扭裂面; 2. 乳花洞(追踪断裂); 3. 断层。

构造型式,因为其中一部分受到后来的隆起、沉降和破坏的影响而改变了它们的正常面貌,那些隆起、沉降和造成破坏的各项断裂,一般都是属于较新的构造体系的组成部分。这一类现象属于狭义的复合现象,而不是联合现象。

扼要的,说,复合现象主要有四种:

1. 归并 一个构造体系的某些成分,或者某一部分的所有一切成分,有时经过轻微的改变,卷入另一个构造体系,或者成为同一体系的不同序幕的成分;这种现象,都可称为归并。在大多数场合,被归并的成分或部分,是属于较老的体系,或同一体系中较早出现的成分。但有时也很难绝对地判别。所谓改变,仅仅指明与正常的形态和方位稍有不同,不一定都意味着在归并以前,它们老早已经出现。

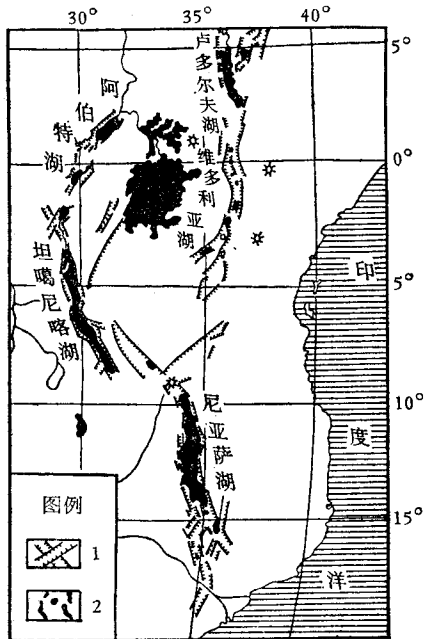


图 35-2 东非大裂谷

1. 扭性断裂; 2. 长形湖泊全部伸展方向大致南北,局部受扭断裂控制。

追踪断层,是表明归并现象的最好的复合构造形式,虽然它并不包括一切归并现象的特征。它既能清楚地说明归并是归并什么,又能明确地显示归并和迁就有什么关系。当一个平坦稳定的地块受到侧面挤压达到一定程度时,在那一地块中,首先出现的是棋盘格式或扭性断裂,包括节理和断层。当侧面挤压加强到一定程度时,张性断裂就开始出现。后者的走向,往往不是按照压力作用的方向完全成直线状,而是一节一节地追踪已经存在的扭断裂,左摆右摆,展转反折,但是平均起来它总的方向却仍然是与压力作用的方向一致的。在这种先行的扭性断裂与后来的张性断裂片

段地复合的情况下,我们可以清楚地看见前者如何归并到后者的体系中,后者又如何迁就前者的既成形式。这一类型的断层,往往由河流流程曲折的形状反映出来,嘉陵江部分的流程提供一些良好的实例。

苏北由震旦纪及前震旦纪岩层构成的隆起地带和鄂西北武当山变质岩区及其以北变质岩地带,可能都是属于秦岭东西褶皱带的片段,自从淮阳山字型构造出现以后,它们便卷入了这个山字型构造体系而形成它的反射弧。这是古老岩层褶皱带归并到一个后起的构造体系的实例。

当一个古老构造体系残余部分被归并到一个新建立的构造体系中的时候,经常一方面可以发现大量的新构造成分插入由旧体系组成的地块或岩块中,从而改变了它的面貌,而另一方面也可以发现大量的事实,显示旧体系的存在,或多或少提供了新构造体系构成的条件。

一个巨型构造体系的某一部分和另一构造体系,在长期同时发展过程中,也可能发生归并现象。在这种场合,就无所谓归并者与被归并者的分别,也没有互相干扰的影响,其结果必然让由双方的协作铸成的那一部分构造,突出地得到强大的发展。如某些向南北伸展的地槽或准地槽,在它发展的最后阶段,形成一个巨型山字型构造的脊柱。

2. 交接 两个构造体系的构成成分出现于同一地区的时候,有时互相穿插,各自保持本来的面貌,很少改变,彼此既不加强也不削弱,两个不同时期的复合构造体系之间,可以发生这种现象;同时发展的两个构造体系的复合部分之间,也可以发生这种现象。根据两方面主要构造成分,特别是褶皱、冲断和其他形式的挤压带,互相穿插、互相结合的情况,两个构造体系交接的方式可以概括分为四类:

(1) 重接 这种复合现象的特征,表现在复合的褶皱或冲断面的走向完全一致,即一种小规模归并现象,但在重接的情况下,一个构造体系的成分对于另一个构造体系的成分不发生任何改变走向的影响。

例如在中国南部,特别在云南东部,有些单纯南北向褶皱和构成山字型构造脊柱的南北向褶皱混在一起,或者和其中的某些褶皱一致。它们唯一的区别在于单纯的南北向褶皱往往穿过山字型构造的前弧,而构成山字型构造脊柱的南北向褶皱,不仅局限于前弧后面的中间地带,而且不到前弧的顶点就完全消失。如果上述两种褶皱或其他形式的挤压带分布和伸展的范围完全一致,那就无法分辨了。

又如根据北京地质学院一部分师生在山东广泛收集的资料和他们提出的意见,在那里看来存在着一个老的和一个新的山字型构造。前者的特征,表现在基岩片理的走向在山东西部由西北而东南;到山东中南部,逐渐变为东西;再往东去,又转变为东北;这样就形成了一个弧形,和山字型构造的前弧相当。在弧形顶部以北的地区,山东地质学院和地质力学研究所部分人员 1961 年冬共同进行了野外观察,肯定了由变质岩形成的复向斜和复背斜的主轴走向南北,但变质岩的片理局部略偏西北或东北,以致作为山字型脊柱的变质岩带,约成葫芦形状。卷入老山字型构造的地层除了变质岩层以外,看来还有其他更新的地层,但那些更新的地层究竟属于什么时代,尚未确定。新的山字型构造肯定影响了白垩纪地层,它的前弧顶部比老山字型构造前弧的顶部更向南凸出,同时它的脊柱也穿过了

老山字型前弧的顶部。新、老山字型的两翼看来是基本一致的,它们的东翼反射弧,根据海洋研究所和地质力学研究所部分人员 1961 年冬在海阳、乳山等地区调查研究的结果,也是一致的。象这一类型的重接现象,虽然只能说是部分的重接,可是两个山字型构造所显示的区域运动方式和方向基本是相同的。

(2) 斜接 这种复合现象的特征,表现在复合的褶皱或仰冲断面的走向彼此稍微不同,只有实地通过长距离的追索,才能发现它们之间的分歧。

中国东部广大地区,北起大兴安岭隆起褶皱带和它两旁的拗陷褶皱带的北头,南到南岭以南,东西包括沿海丘陵地带和贵州高原东部边缘,随处都可以看见华夏系褶皱和新华夏系褶皱发生斜接的关系。在云南东部、广西北部 and 广东北部,新华夏系褶皱穿插到滇北山字型构造的东翼和它东翼的反射弧、广西山字型构造的脊柱并东翼和它东翼的反射弧以及粤北山字型构造的东翼和它的脊柱而形成斜接的复合现象。

仅仅在这两种不同体系的构造线以斜接的形式互相交接的段落进行观察,要把它们划分清楚,不是没有困难的。但是由于它们各自所属的构造体系不同,伸展的方向不同,在野外跟踪追索,必然发现它们之间的距离越来越大,这就提醒我们在构造线发生斜接的地区进行工作时,追踪的范围应该尽量扩大,分析的工作应该尽量细致。

(3) 反接 这种复合现象的特征,表现在复合的褶皱或仰冲断面彼此显著地交叉,一组隔断另外一组或形成横跨褶皱。

一个最好的实例出现于广东北部,在阳山县以东一系列走向东北的平行褶皱被粤北山字型构造前弧的西翼所切断,西翼反射弧也多少受到了那些平行褶皱的影响而发育不良。

在中国西北部有许多古老岩层出露的地带。其中古老褶皱和挤压性断裂,包括劈面、叶理等等,与后来的宽阔褶皱或隆起带以及仰冲断层往往呈反接的关系。例如构成阿尔金山的古老岩层一般是走向西北的,而阿尔金山南麓的压扭性冲断面和作为一个复式隆起带的阿尔金山本身,却是由东而西成一个向北凸出的弧形,它的走向由西北西逐渐转变为东西,最后又转向西南西。

横跨褶皱在南岭地带经常出现。南岭地带在晚近地质时代的纬向隆起,实质上大都具有巨型单式或复式背斜的形式。这种背斜的轴线,往往横跨于华夏系、新华夏系、山字型构造的两翼和脊柱以及其他古老的和较新的走向近于南北的褶皱带之上。由于不了解或不注意这种晚近地质时代成长起来的宽阔背斜与构成它的岩层所具有的较老褶皱成反接的关系,人们往往只注意后者而不见前者,因之,除了对揭露着横亘东西的古老岩层褶皱带或火成岩带的地段以外,人们就难免不怀疑南岭作为一个东西构造带究竟是否存在。

当然,由于新构造运动所形成的隆起带与它所横跨的较老褶皱并不具有同一形式和相等的强度。只有当横跨褶皱与较老褶皱的强度达到势均力敌的时候,它们之间的相互关系,才显示两组褶皱相互交叉的特征。这种特征是: 一组背斜群沿着它们伸展的方向,

以同一步调,有节奏地一起一伏,它们俯伏的一线与横跨其上的向斜轴相当,它们齐头昂起的一线与横跨其上的背斜轴相当,这样,横跨的背斜群就以排成行列的穹窿的形式出现。四川南部的穹窿行列是这种两组褶皱纵横交叉的典型例子,在那里,一组褶皱走向东北—西南,另一组走向东西。

(4) 截接 这种复合现象的特征,表现在复合的褶皱或仰冲断面互相切断,并在一定程度上互相干扰,以致每一被切断的段落,或多或少改变它正常的形态及排列方位。

南岭地带截接现象甚为频繁,在那里走向东西的褶皱片段,往往横亘在走向近于南北或北北东或山字型构造的某一部分中。例如在云南西北部鹤庆附近走向南北的强烈褶皱带之间,突然出现一段走向东西的褶皱。云南东部通海山字型构造前弧顶部的后面,也有一道相当强烈的走向东西的冲断面(褶皱?)。广西山字型构造前弧西翼的中部,夹着走向东西的褶皱,由于这种方向不同的褶皱的存在,构成西翼这一部分的褶皱轴向与正常的轴向不同,略呈弯曲的形状。同时西翼的这一部分突然少许变宽,很显然这是因为它受到了夹在它中间的东西向褶皱片段的影响。那些褶皱片段也受到切断它们的褶皱和冲断面的影响,使它们的走向少许有所变更。广西山字型构造马蹄形盾地的中间,走向东西的褶皱挤压带也相当强烈,但它的东西两头都被山字型构造前弧的两翼截断了。横亘粤北山字型构造马蹄形盾地的前部,也有走向东西的花岗岩体侵入。那些侵入体和其中所含的岩脉,无疑都是南岭东西复杂构造带的组成部分,但它们都被粤北山字型构造的前弧截断了。在湘南、赣南、闽南都断断续续地有走向东西或近于东西的褶皱挤压带的片段出现,它们一般都是由于被走向南北、北北东或其他走向的褶皱或断裂所截断,有时并为新地层所覆盖,以致在地面上看不出这一东西复杂构造带整体发育的形态,只是从物探的资料,特别是磁异常现象,得到证明。

另外,在许多山字型构造的脊柱部分,往往出现古老褶皱的片段为南北向的褶皱和其他走向南北的挤压带所隔开。例如在京东山字型构造的脊柱中,经常有走向东北的古老变质岩褶皱和片理夹在走向南北的褶皱和片理之间。构成淮阳山字型构造脊柱的走向南北的挤压带,也同样是截断了古老变质岩褶皱而产生的平行构造带群。夹在那些走向南北的构造带群中间的岩层,大都仍然保存着它们原来的褶皱方向和纹理。诸如此类。

3. 包容 在一个一定类型的构造体系中,有时包含着由其他构造体系组成的地块。这个被并吞的或“捕虏”的地块中,可能出现一个或几个完整的、独特的构造体系,其形态与并吞它或它们的构造体系,迥然不同,也可能只占有后者的一部分,但有明显的界线把它们从它的整体分割出来。这种分割出来而被吞并的部分,在结构上与并吞它们的构造体系,一般是格格不入的;换句话说,一般没有经过彻底改造而达到与后者完全协调的程度。但组成后者的构造成分也有时穿插到被并吞的地块中去,以致产生各种局部交接现象。这种一个构造体系并吞其他构造体系或其片段的现象,称为包容现象。

很明显,如果被包容的构造形体是从一个构造体系中割切出来的部分,它一定较老于

包容它的构造体系,而且在邻近地区,还会存在着它的其他组成部分,尽管那些部分可能被破坏了或被覆盖了以致它的全部形态尚未毕露。例如,阿尔金山是一个向北凸出的隆起带,这一隆起带的南缘,即沿着柴达木盆地的边缘,呈现强烈挤压痕迹。但它和柴达木盆地的接触带的变质岩层的走向,并不与阿尔金山的轴向一致。阿尔金山看来是祁吕-贺兰山字型构造体系西翼反射弧的一部分,也可能受到康藏歹字型构造的影响,而造成它的构造材料,却是从另一构造体系分割出来的,从钻孔中还可以见到这一被包容的古老构造体系还伸展到柴达木盆地的基底。又如泰山也是一条微向北凸出的隆起带,而在这一构造带中,却包容着由走向西北的古老变质岩层组成的构造体系的一部分。大兴安岭是一条走向北北东的山脉,而在其中某些部分,如乌兰浩特—阿尔山一带,它包容着较老的走向东北的紧密褶皱地区。在山字型脊柱部分和马蹄形盾地中,包容其他构造体系或其一部分,更是常见的现象。

如果被包容的构造体系是完整的构造体系,而不是一个构造体系的片段,那就有两种不同的情况,应该加以区别: 1)那些被包容的完整构造体系,可能是独特的构造体系,它与包容它的构造体系无成生的联系,它可能较老,也可能较新于包容它的构造体系。在这种情况下,包容一词仍可以严格的适用。2)那些被包容的完整的构造体系,可能是属于包容它们的构造体系的派生构造,就是说,它们与包容它们的构造体系的关系是序次的关系,尽管它们各具独特的、完整型式,但它们与包容它们的构造体系,属于同一系统,具有成生联系,因此,严格地说,这种现象不能列入包容。例如在新华夏系沉降带中出现的许多第二、三级构造,有的是与新华夏系第一级构造伴生的再次构造,也有的不属于新华夏系的派生构造。前者不属于包容,而后者确是属于包容现象。山字型构造马蹄形盾地中出现的各式各样旋卷构造,也往往有这两种区别。

4. 重迭 这种复合现象,大都发生在大规模的上升或下降地区。已经为一个一定的构造体系所贯穿的地块,在那个体系发展到了成熟阶段以后,有时受到另一构造体系组成部分的影响,以致前者有一部分发生隆起或翘起,而另一部分沉降或陷落,因此高升的部分显得加强,但实际上原来的构造并未加强;而沉降的部分显得削弱,但实际上原来的构造并没有削弱。在沉降的地区往往有新沉积物掩盖,这就更容易给观测者以错误的印象。在这种场合,必须把后来由于上升或下降重迭在原有构造体系上的影响除去,才能见到它本来的面貌。

临安神字型构造提供一个典型的例子说明上述现象。那个山字型构造的东翼所在的地区,显然是在晚近地质时期经过沉降,而在它的西翼所在的地区经过隆起。因此它的两翼在表面看来显得发育不大平衡,而实际却是因为东翼沉降以后大部分被新沉积物所掩盖,只剩下褶皱山脊地带。如萧山县地区的长山,就是一条被埋没了的长大的褶皱山脉的顶部。又如祁连山区可能在晚近地质时代经过隆起,由于这种隆起,构成祁吕弧形构造的西翼褶皱带,就显得更加突出。

六、探讨岩石力学性质和各种类型的构造体系中应力活动方式

地壳各部分所发生的一切形变,包括破裂,是它们遭受了地应力作用的反应。这种反应的强弱,是由地应力的大小和岩石的或地块的力学性质来决定的。所谓力学性质,概括地说就是指岩石的弹性和非弹性的表象而言。非弹性的表象,牵涉到塑性、弹塑性、滞弹性以及松弛现象、蠕变现象等等问题。

岩石或者是一种结晶的多晶体、或者是多种结晶的多晶体、或者主要由一种矿物颗粒或多种矿物颗粒胶结而成的、而同时在力学的意义上又具有统一性的物体。但必须指出,一颗单晶体或一粒矿物的力学性质,并不等同于由它们所组成的岩石的力学性质。例如石英,在它结晶以后,即使曾经达到过熔点,它总是一种弹性极为完美的物质。但是由石英颗粒组成的石英岩,在通常的情况下,却是一种极为脆硬的物质。又如云母是弹性比较显著的一种矿物,但由云母组成的云母片岩,却不具有那样的弹性。

关于岩石力学性质的研究,可以分三方面进行: 1)用试件在实验室进行实验;2)野外实际观测;3)理论的分析。

用一定形状的试件,例如立方形、圆筒形、梁形等等,在一定的物理条件下,前人已经作了一些实验;从那些实验中,已经获得了关于岩石力学性质的初步认识。在普通的材料力学实验室所具备的条件下,岩石试件的表象,一般是具有一定弹性的。但是那种弹性的程度不显著、范围不大、“屈服点”不明确,总起来说,在弹性范围内,它既不完全符合于虎克定律,在超过了弹性范围以后,又不呈现一个显著的塑化阶段。

在高压的条件下,岩石试件对应力差作用的反应,有塑性增加的模様;在高温的条件下,岩石试件容易发生变质的现象,关于这一方面的实验工作还作得很少。

实验的结果还告诉我们: 不独压力和温度对岩石的力学性质有重大的影响,而且应力作用时间的长短,对岩石的力学性质也有重大的影响。例如用振动的方法所测得的岩石的杨氏模量和逐渐施加压力的方法对同一种岩石所获得的杨氏模量相比,前者的数值就大多了。又如对岩石的试件逐渐增加负荷到一定程度以后,虽然负荷增加很少,只要时间延长,它就会继续发生形变到一定程度,再稍微增加负荷,它就会随着时间的延长继续不断地发生形变,远远超过快速施加压力时所发生的形变的程度还不至破裂。这样就暗示着,在长期应力作用的条件下,岩石的塑性可能有显著的加强。这种实验的结果,给我们提出了一个新的课题,就是岩石的蠕变问题和在地应力作用的条件下它可能呈现的松弛现象。我们知道松弛现象一般是和温度有关的,它和压力(在这里当然是指“流体静压力”)有怎样的关系还不得而知。

岩石力学性质实验的目的,不仅仅要知道岩石的弹塑性表象,也就是它对应力作用的

弹性形变系数——如果有的话——和不同类型的塑性形变的系数以及它的强度等等,还要知道,当应力作用达到一定极限时它破裂的情况。为了要详尽地了解这种情况,从卡尔曼的时代以来,已经零星地作了一些试验,并且用花岗岩、大理岩、砂岩等类岩石制成方块、圆筒等项形体作试件,在两头受压,周围暴露在自由空间,或者在改换“流体静压力”的条件下施加应力差,直到试件开始破裂。试验的结果,发现破裂面有时和压应力作用的方向平行。但在多数的场合,破裂面和压应力作用的方向斜交。在立方块试件的场合,斜交的破裂面往往分为两组,把试件劈成顶角相接的两个四方形锥体。在长方形的场合,往往有两组破裂面出现,它们之间所夹的锐角等分线,往往是和压应力作用的方向平行的。在圆筒形试件的场合,两组交叉破裂面在圆筒面上表现的踪迹成一对螺旋线,彼此交叉,它们之间的锐角等分线,也是和压应力作用的方向平行的。当环绕着试件所施加的“流体静压力”加大的时候,前述两组破裂面之间所夹的锐角,有跟着变大的趋势。有人把这种现象理解为“流体静压力”加大的时候岩石的塑性加大了,因此破裂面之间所夹的两对夹角,逐渐有变为相等的趋势。这一类的破裂试验,对地质力学来说,是有一定的实际意义的。

根据过去对岩石试件的实验所得的资料,我们可以说,岩石是具有弹性同时又具有塑性的。当我们在野外观测岩石的力学性质时,我们也曾发现一些现象,显示岩石既具有弹性又具有塑性。

关于自然界岩石的弹性表象,由下列各项事实清楚地表现出来。

首先应该指出,很久以前,在西欧许多地区,如英格兰北部、法国东南部的阜波盆地、西德来因-维斯特法伦等地的煤矿坑道中,发生过强烈的爆裂,造成了巨大的损失。根据事后调查研究的结果,在英格兰北部,事故发生的原因,一部分可能是起源于坑道以上岩层厚度所产生的流体静压力的作用;但是在许多场合,水平应力的强烈作用极为显著¹⁾。在阜波盆地的褐煤煤矿坑道中的爆裂事件,经过详细调查研究之后作出了结论,当时事故的发生,不是起源于坑道以上岩层的压力,而是起源于夹有褐煤的岩层,由于遭受了褶皱和冲断而积累的强大应力的作用。在来因-维斯特法伦煤矿坑道中发生爆裂事故的处所,含煤岩层大都是平伏的,在含煤岩层倾斜比较大的处所,反而很少发生事故,这就更清楚地证明,事故发生的原因,主要不在于坑道以上岩层的流体静压力作用,而是由于积累的强大水平应力作用的结果。只有岩层具有高度弹性时,才有可能累积应力到如此程度以致使岩层发生爆裂。

其次,在大陆上许多地区,包括若干隆起并不显著的地区,显示着相当大的布格重力负异常现象,就是说,那些地区的重力均衡作用,离完全补偿的程度还很远。这就证明那些地区对它们周围的地区保持着一定的弹性作用。

再其次,从地震现象的分析,可以清楚地看出,构成地壳的岩石,经常传播地震横波,

1) 近几年来,在若干地区实际探测的结果,证明了岩石中应力,特别是水平应力,现时活动的重要性。

特别是高频率的横波。传播这种高频率横波的范围,不仅限于地壳,而且有时达到三千里上下的深度。大家知道,只有弹性的物质才能传播横波。

关于自然界岩石的塑性表象,从下列各项事实可以清楚地看出:

第一、当地震发生时,从震中除了发出各种高频率的弹性波以外,还发出一种所谓塑性波,贝尔纳曾经指出,这种波动的频率较低,传播的速度较慢,振幅较大,破坏性较大。这样看来,即使岩石在极短的时间承受负荷的场合,它的反应除了弹性的表象以外,也还有塑性表象。

第二、前述重力负异常现象的变化,大部分是些特殊地区或地带的现象,广泛地看来,大陆和海洋地区,特别是太平洋地区,均衡补偿达到了相当高的程度。这就说明,除了特殊的构造带以外,广大的地块显示着高度塑性的作用。

第三、自然界岩石的塑性形变,在受过挤压和扭曲的地层和岩体中,是常见的现象。许多阿尔卑斯式的褶皱、亦即大片层状的倒伏褶皱、盘桓褶皱和在背斜构造核心部分的错综复杂的扭褶,都证明岩石是具有高度塑性的。我们可以把这种高度塑性的表现,归根于岩石在一度埋没较深时所受的高温和高压的影响。在某些场合,这种推测可能是正确的。但也有些场合,高温高压的作用显然都不存在。最显著的、现在大家已经承认的事实是,在背斜山岳的山坡上,岩层有时发生翻转曲褶,甚至显示经过“半粘性流注”而成迭褶的形状。

第四、在第四纪冰川沉积物中,往往出现各式各样的弯曲砾石,形状颇为离奇,其中较为常见的有马鞍石、熨斗石、灯盏石等等。马鞍石的特点是它们具有两个曲面:形成鞍腹的一个曲面,弯曲度较大,显然是与所谓破碎性曲面相当,在鞍背还出现一个曲面,这个曲面的对称轴面,和前一曲面的轴面成直角,这个曲面显然是属于反破碎性曲面。在反破碎性曲面弯曲最显著的部分,经常就是砾石弯曲最急的部分,也就

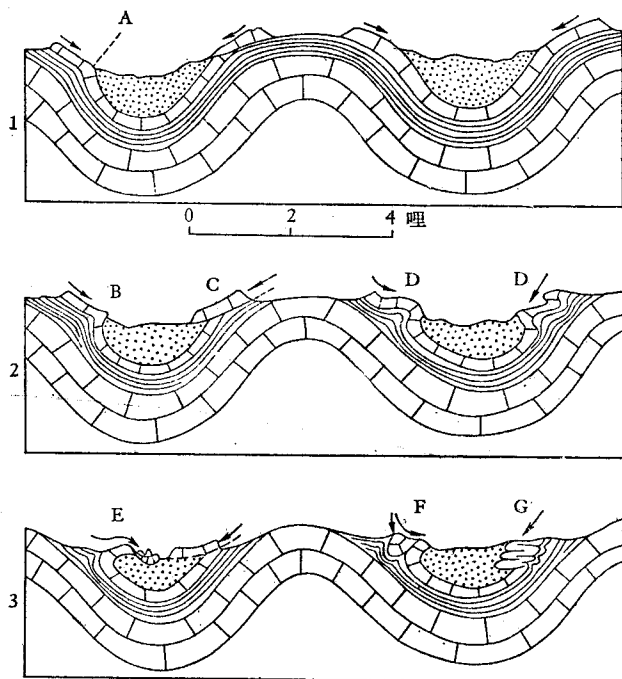


图 36 在重力作用影响下,背斜顶部的石灰岩层各种变动形象
(据哈里逊和弗孔——录自希尔斯《构造地质学纲要》)

- 1 表示石灰岩层初期沿着它的倾斜方向滑动的趋势。A. 膝状褶曲。
- 2 表示石灰岩层进一步形象的改变。B. 屋顶和墙壁状结构; C. 成片的滑动岩层; D. 由于滑动而发生的曲褶。
- 3 石灰岩层继续发生塑性形变。E. 翻转褶曲; F. 翻转褶曲和塑性流注; G. 由于塑性流注而形成的迭褶。

形状颇为离奇,其中较为常见的有马鞍石、熨斗石、灯盏石等等。马鞍石的特点是它们具有两个曲面:形成鞍腹的一个曲面,弯曲度较大,显然是与所谓破碎性曲面相当,在鞍背还出现一个曲面,这个曲面的对称轴面,和前一曲面的轴面成直角,这个曲面显然是属于反破碎性曲面。在反破碎性曲面弯曲最显著的部分,经常就是砾石弯曲最急的部分,也就

是砾石凸出最厉害的部分,这一部分应该是最容易遭受碾磨和剥蚀的部分。但事实上,在马鞍形的砾石中,反破碎性曲面的形状一般都保存良好,马鞍形破碎性曲面(即鞍腹)弯曲最急的部分往往略形肥大,暗示在那一部分,曾经由于弯曲而发生挤压;另外,弯曲砾石的凸凹两面和侧面,显然受过统一的均匀的撞击和剥蚀作用。所有这些事实和弯曲砾石所揭露的一切迹象,都证明它们并非本来就是弯曲的石块,只是后来经过冲撞和碾磨成为砾石,而乃是原为普通形状的砾石,后来经过形变才呈现现有的弯曲形状。这种马鞍形弯曲的形成,证明那种受弯曲的物体是具有高度弹性的。但是也很难想象,那些小的平扁石砾的弹性作用能够达到许多实例所显示的那样大的程度。因此,这一类现象对探讨岩石弹塑性来说,是具有重大意义的。

还有,在冰川石砾中往往出现带有由小石子顶进去的槽、坑和窟窿。看起来,这些顶进和插入的痕迹,都是带着那些痕迹的砾石在显示高度塑性的情况下形成的。它们和古老砾岩中的砾石有时由于彼此相互挤压而形成的圆坑和凹面产生的条件很不相同。古老的砾石层可能一度埋藏在地下较深的处所,因而它可能在深埋藏的时期温度较高。而冰川埋藏的石砾,就绝无温度升高的可能。在冰川规模不大的场合,那些受弯曲或被石子顶进或插入的石砾所受的应力差,估计在它们普通被认定的强度以下。所有这些现象,都隐含着自然界岩石的弹塑性表象与松弛现象和蠕变现象有极其重要而又极其复杂的关系。这一方面的研究,现在仅仅是处于萌芽的阶段。

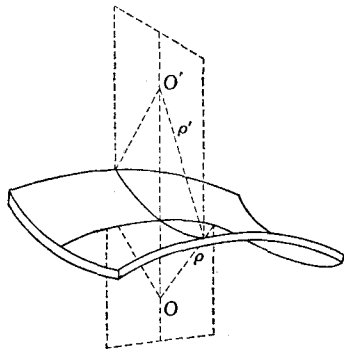


图 37 平板弹性弯曲时呈现的
马鞍形曲面

ρ . 破碎性曲面的曲率半径; ρ' . 反破碎性曲面的曲率半径; 一般 $\rho < \rho'$.

如上所述,无论从实验室中或者从自然界观测的结果,岩石是同时具有弹性又具有塑性的物质。这种弹性和塑性同时出现的现象,和一般固体,在它的屈服点以前的阶段所表现的弹性形变,和在屈服点以后的塑性形变,结合起来的意义不同,而是在所谓弹性范围以内所显现的弹性和塑性。塑性是一种非弹性的表现。如果说,同一种物质同时具有弹性的性能又具有塑性的性能,按形式逻辑来说,显然是自相矛盾的。这种矛盾现象,正是有关岩石力学性质的

和塑性同时出现的现象,和一般固体,在它的屈服点以前的阶段所表现的弹性形变,和在屈服点以后的塑性形变,结合起来的意义不同,而是在所谓弹性范围以内所显现的弹性和塑性。塑性是一种非弹性的表现。如果说,同一种物质同时具有弹性的性能又具有塑性的性能,按形式逻辑来说,显然是自相矛盾的。这种矛盾现象,正是有关岩石力学性质的

和塑性同时出现的现象,和一般固体,在它的屈服点以前的阶段所表现的弹性形变,和在屈服点以后的塑性形变,结合起来的意义不同,而是在所谓弹性范围以内所显现的弹性和塑性。塑性是一种非弹性的表现。如果说,同一种物质同时具有弹性的性能又具有塑性的性能,按形式逻辑来说,显然是自相矛盾的。这种矛盾现象,正是有关岩石力学性质的

图版 VII 砾岩层中脆硬的砾石由于受到构造运动的影响所发生的塑性形变

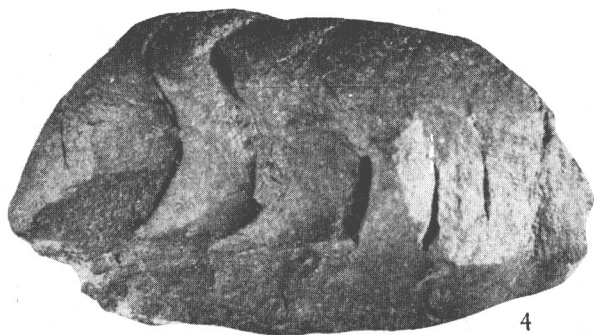
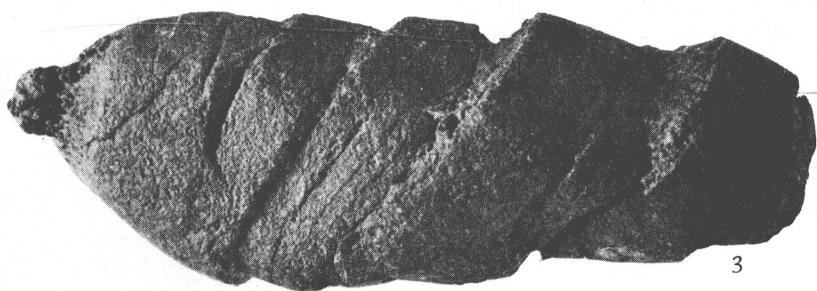
图 1 坚硬石英砂岩的砾石在岩层中被压成薄片并在压应力作用的方向发生两组互相交叉的破裂面后又重新胶结的正面形象。

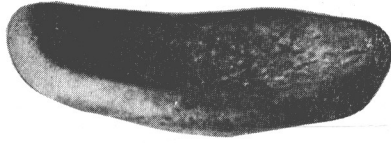
图 2 同一砾石的侧面形象。(约原大直径的 2/3)

图 3 圆柱状的坚硬石英砂岩砾石在岩层中受到强烈挤压后所发生的塑性形变和彼此互相平行的裂面。(约原长 2/3)

图 4 致密石英砂岩的砾石在岩层中受强烈挤压发生塑性形变和平行裂面后又发生塑性形变,以致已经发生的平行裂面变为波状曲面。(原大)

以上各砾石见于内蒙阿拉善旗嘎休它来附近古生代变质岩中。

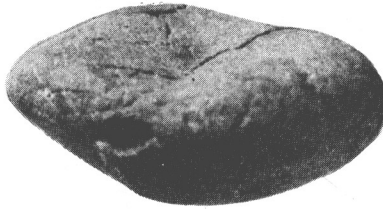




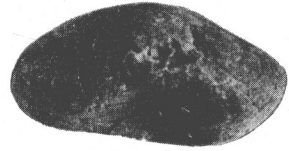
1



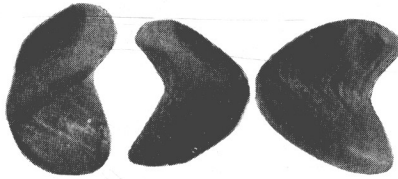
1a



2



2a



3

3a

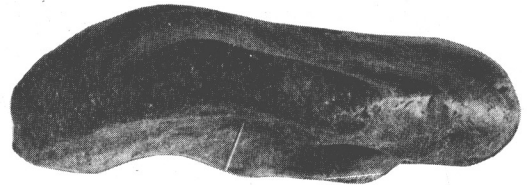
3b



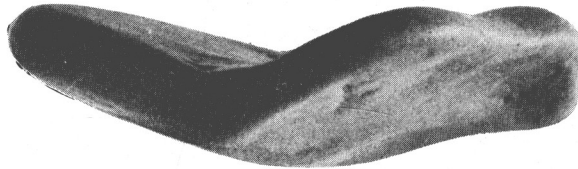
4



5



6



7

一个基本问题。对于这一重大问题,用各种模型,如马克思威尔模型、伏依格特模型或克尔夫模型等等来从事模拟的分析,是具有一定的理论的意义的。显而易见,从实验方面来说,研究高温高压对岩石强度的影响,可能是解决这种矛盾现象的途径。另外,研究应力作用时间的长短对岩石弹性和非弹性表象的影响,也可能是解决这种矛盾现象的途径。

可以想象,岩石对应力短期作用的反应,只要应力不超过一定的强度,主要是弹性的,就是说由于这种短期应力作用所发生的应变,只是一时的现象。如若应力作用消除,那种应变,也跟着消失。但是,尽管应力的强度不超过所谓弹性的范围,如若应力继续作用的时期很久,它就有可能在发生了弹性应变的岩石中发生松弛现象,逐渐让已经发生的形变积累下来,这时候即使应力消失,它也不能恢复原状。

我们已经发现在高频率的振动下,岩石的杨氏模量和缓慢施加压力时,岩石所显示的杨氏模量数值颇不相同。那么,在以几十万年或几百万年地应力继续作用的条件下,时间的影响,更为大大地增加,是可以想见的。事实上,我们已经作过的在一定时间中有关岩石蠕变的实验结果,也证明了这一点。

既然温度和压力有可能影响岩石的力学性质,特别是在应力作用的时间,有可能影响它的蠕变现象、松弛现象等等,那末,我们就应该对地热的问题加以研究,才能了解岩石在

图版 VIII 第四纪冰碛和冰水沉积中的砾石所显示的弹塑性和塑性形变

图 1, 1a, 2, 2a. 灯盏石

图 1 由于遭受了高度塑性形变而成为灯盏石,凹面向上(原大); 1a, 同一灯盏石的侧面图,凹面向下(比原大稍小)。

图 2 既经过塑性形变又具有裂缝的石英砂岩质灯盏石,显示它只经过一定程度的塑性形变,凹面向上(原大); 2a, 同一灯盏石侧面图,凹面向下(比原大稍小)。

图 3, 3a, 3b, 4, 5, 6. 马鞍石

图 3, 3a, 3b. 从三个不同角度看同一个由石英砂岩形成的马鞍石的形状(原大)

图 3 从砾石上右角俯视砾石凸凹两面; 砾石凹面所显示的弯曲面是破碎性曲面, 砾石凸面所显示的轻微弯曲面是反破碎性曲面, 注意这两个曲面的弯曲方向相反, 它们的轴面互成直角; 3a, 从右上角俯视砾石的凸面, 注意它上面极为平滑, 在一定程度上显示“熨斗石”的特征; 3b, 从右下角仰视砾石的凹面, 注意含有砾石中同一层面和凹面的交切线的平面, 不与砾石曲面的褶轴成直角, 砾石的上部对它的下部有经过略为扭动的模样。

图 4 透镜形致密燧石由于经过弹塑性弯曲而形成马鞍石。向下的凹面是破碎性曲面, 向上的凹面是反破碎性曲面(原大直径 1/2)。

图 5 中粒石英砂岩马鞍石。下面的破碎性曲面和上面的反破碎性曲面都发育极为良好, 显示这个马鞍石在它形成过程中的高度弹塑性性能(比原大稍小)。

图 6 燧石形成的马鞍石。凹面(破碎性曲面)向下, 并带有粗糙的、高低不平的碾磨痕迹, 彼此大致平行, 它们的方向近于与纸面直交。反破碎性曲面的凹面向上, 面上极为光滑(约原大直径 1/3)。

图 7 两面极为平滑的板状燧石砾石, 腰折成躺椅状。无任何破裂痕迹, 也不显示反破碎性的弯曲面, 证明它一度经过高度塑性形变(原大直径 2/3)。

1, 4, 6, 7. 各砾石产于大兴安岭察哈阳农场附近的冰水沉积物中(俞建章采集); 2. 产于白云鄂博附近的泥砾层中(李捷采集); 3. 产于桂林西南六塘附近的冰水沉积物中(张庚采集); 5. 产于川西理塘附近第四纪冰碛或冰水沉积中。

地壳中所呈现的力学性质和它可能表现的上述各种现象。这就引起了我们有广泛地测量地温梯度、各种岩石的传热率、各种岩石的发热性、如钾、铀、钍等放射性物质在一个指定岩区中平均分布的密度等等的必要。这样，我们可以看见，现今尚属萌芽阶段的地热学，为什么对地质力学的发展有重要的关系。

在此应该指出，用实验的方法所测定的岩石力学性质，能否与在类似的物理条件下天然界岩石的力学性质完全一致，这里是存在着问题。小块岩石试件所表现的力学性质，与由同类岩石构成的地块所表现的力学性质是否完全一致，这里也存在着问题。作为推进地质力学工作的一个步骤，我们探讨岩石力学性质的目的，不仅是要了解各种岩石对各种应力作用的反应。而更重要的是要根据它反映应力作用的规律来测定产生各种构造型式的应力活动方式。到这里，我们已经进入构造力学的范围。

前面已经指出，构造体系的型式反映有关地块或岩块中应力联合作用的方式；地块或岩块中应力联合作用的方式，是受到协调条件和它的边界条件的控制的，也是与它整体的运动方式以及发动那种运动所必要的动力作用方式和方向有关的。从此很容易看出，在指定的某一地块或岩块中，某一点应力作用的方式和方向，与沿着它的边界应力作用的方式和方向，一般是不一致的。这样，我们可以了解，在一个地区中，局部运动的方向和它整个区域运动的方向一般并不一致，虽然前者是由后者来决定的。

问题还不是这样简单，各种不同性质的岩层或岩体，也和其他各种不同力学性质的物质一样，在同样的边界条件下，它们的各部分对同样应力作用的反应不同，也就是说，运动的形式不同，产生的构造形迹也不同。因此，我们就必须把动力作用的方式和方向与被作用的岩层和岩块的力学性质结合起来加以考虑，才能正确地理解构造现象的力学意义。

在构造力学的领域中，我们不仅要考虑各种岩石的力学性质，而且还要考虑由各种不同的岩层和岩体组成的地块的力学性质。我们没有理由假定，小块岩石的力学性质，就可以代表由同种岩石所组成的大片地层或巨大地块的力学性质。在这里，我们需要考虑有关量纲的问题。

岩石作为组成广大地块的物质，在它存在的过程中，它的力学性质不是一成不变的。一般说来，新的岩层塑性比较显著，当它受到构造应力作用时，容易发生褶皱。相反，愈古老的岩层，一般显示愈有硬化的趋向，就是说，塑性愈为减退。这种现象，往往被用来说明为什么当古老岩层重新遭受到构造应力作用时，一般不是象新岩层那样产生褶皱，而是产生断裂。在这里，应该提出又一重要问题，即岩石是否也和一般金属材料相似，具有工作硬化性？

由于上述理由，在不同岩性的若干毗连地区中，同样构造应力的作用，在各地区中所造成的构造形象一般是不相同的。例如在软弱的岩层中出现的褶皱带，往往伸展到古老岩区的边缘突然消失，而代替以块状仰冲或其他挤压现象。当我们在野外追踪某一构造带而发现这种构造不连续的现象时，我们必须注意，它不一定标志着构造应力作用的方式

和方向有所改变。

地质力学的力学方面工作,主要在于研究各种构造体系中应力活动的方式,并且在既定的协调条件下,推断构造体系展布地区的边界条件,从而确定那一地区的运动方式。协调条件是由岩块或地块的形变特征来决定的;而岩块或地块的形变特征,如前面所述,又是主要取决于岩石的性质和它受应力作用时的温度、压力以及应力作用时间等等因素的。岩石的弹塑性与这些因素的关系,前面已经略有叙述,但是系统的、深入的研究还远远不够。

关于在东西复杂构造带应力场中应力活动方式和应力作用起源问题的研究,近年来,斯托伐斯作出了出色的贡献,特别是关于在纬度 35° 和纬度 40° 附近,从地球的角度发生变化,因之它的扁度发生变化的观点,确切地阐明了这两个纬向构造带成生的原因。在中国的大地构造轮廓中,这两个纬向构造带——即秦岭带和阴山带——除了局部受了其他构造体系的干扰以致产生一些局部的扭动构造现象以外,它们在空间上的持续性和在时间上的反复活动性都是异乎寻常的。但是还有其他的纬向构造带,还要求同样确切的说明。

关于产生各种扭动构造型式的应力场中应力活动方式的研究,直到现在,几乎还没有开始,今后在这一方面大量开展工作是有必要的。这一方面工作的开展,必须首先着重实地调查研究,确定各种构造型式的存在和它们的构造特征,然后进行有关应力场的理论分析,同时和模型实验结合起来,这样,就有可能全面地解决各种构造型式的起源问题。

最后必须指出,构造应力场中,应力的作用,不一定处处都由显著的构造形变反映出来。但构造应力场中这样的应力活动,从地质力学的观点来看,并不是不重要的。相反的,在弥漫岩石的构造应力场中,应力活动可能在地质构造上渺无踪迹,而对构成有关地块的岩石,却留下了某些物理的特性,或正在产生某些物理的特性。测定这些物理的特性,对解决许多工程地质中的重大问题,往往具有极其重要的意义。用各种物理的方法和精密的仪器来探测岩石中保存下来的或正在出现的这些物理特性,是地质力学今后发展的一个新方向。这个方向指出辽阔的远景。

七、模型实验

模型实验又称为模拟试验,由于试验的目的不同,方法很多,应用的范围也很广;但不管那一种模拟试验,都不能脱离一条基本的原则,即依靠规模大小不同、实质不同、而外表形式相似的物质结构体系,在受到类似原因的作用下所产生的现象的相似性。一般地说,相似现象的相似性,不一定程度相同;相似程度相同的现象,在它们不同方面的相似程度也不一定相同。这就说明了任何一种模型实验,在本质上,它的效用都不能不受到一定的限制。但是实践证明,这种限制,并不否定它在实际工作中所起的作用。

地质模型实验的目的,是要用人为的方法和适当的材料来模拟岩层和岩体的某种构造现象在自然界产生的过程。这种实验应按照一定的步骤进行:首先,要求确定岩层和岩体的某些构造现象之间存在着相似性,也就是类型相同的构造体系的存在。其次,还要确定以一定的模型实验方法而作出的某些类型的人为构造体系之间也存在着一定程度的相似性。只有在确定了这两项前提之下,模型实验才有意义。

关于构造型式的存在,前面已经有所叙述,并且提到了各种构造型式的组成部分,往往揭露着局部和有关地区一部分或全部运动的踪迹。那些踪迹,对我们安排模拟试验具有重要的指导意义。

如上所述,只有当我们认识了某种型式的构造体系确实存在以后,我们才可以调度许多可变的有关因素来进行模拟试验,反复加以调节,直到与自然的构造型式具有高度相似性的人为构造型式在所用的试验材料中出现的时候,才有可能判断那些因素或者什么样的因素对产生某种构造型式具有决定性的意义。

无论就模型试验的材料中人为构造型式或自然界岩石中出现的构造型式来说,控制它们产生的因素是很多的,其中具有决定意义的应该是:1)构成构造型式的物质的力学性质;2)应力作用的方式和它的强度;3)构造型式展布范围的边界条件。

我们可以在不超过一定精确程度的范围内测定模型实验中所用材料的力学性质,如弹性、塑性、弹塑性等等。但是到现在为止,我们还没有找到适当的方法来测定岩层或岩体在地应力长期作用条件下所表现的力学性质,如弹性、塑性、弹塑性等等。

很多种类的物质,无论是天然的或人为的,都具有弹性,同时也具有塑性。物质的这两种属性,往往与应力作用时间这一因素有极其重要的关系。我们现在还不大了解弹塑性的实质是什么,但我们很熟悉它们在现象论方面的表现,那就是,一定形态的物质在受着一定应力作用时的流动性和应力撤销后某种程度的复原性。用弹性力学的语言来说,一般认为这种特征只有在物体中发生的应力超过了它的弹性强度的阶段,或超过了“屈服点”以后,才表现出来;或者从另一个方面说,只有物体的泊松比接近于 $1/2$ 这个临界值的时候,才具有这种特性。

具有这种特性的物质很多,一般都是从它们对应力作用的总合机械性表象反映出来。这并不意味着,决定这种总合表象的内在因素在不同种类的物质中是等同的。

当一种物质的指定部分发生形变时,作用于它内部的应力方式和强度,是与它的边界条件分不开的。在模型实验中,我们经常用人为的方法来制定和改变对试验材料某一指定部分的边界条件。但在自然界中,当某一地块受到某种方式的应力作用的时候,它们的边界条件,我们却无从直接观测。但是我们知道,构造型式不论是天然的或人为的,都反映应力作用的方式,而应力作用的方式,如上所述,又与被作用的物质的力学性质(以及由此决定的协调条件)和它的边界条件有密切联系。因此,我们现在只能从模型实验所作出的构造型式与自然界的构造型式的相似性出发,来推测岩层和岩体在长期的应力作用

下的力学性质和地应力作用时卷入某些构造型式的地块的边界条件。实践证明,这种推测在一定程度上是与天然构造型式组成部分中所揭露的构造形象和相对运动的踪迹相符合的。

严格地说,在这里我们应该考虑到模型实验的比例尺问题。如若全面地考虑比例尺问题,又必然牵涉到发动地壳运动的动力的大小问题和动力的起源问题,同时又牵涉到岩石在地应力长时期活动期间的强度问题,也就是它的弹性、塑性和弹塑性问题。由于我们现在还没有从这些方面获得所有有关的数据,所以比例尺问题的考虑,除了接受重力是发动地壳运动的唯一动力这一假定的场合外,是没有什么实际意义的,而重力作为发动地壳运动的唯一动力的假定,是扭动构造型式提供的证据所不允许的。如若再进一步作理论的探索,那就不免要牵涉到量纲的理论,可是任何有关这一方面的基本理论,不属于地质力学的范畴。

在岩层、岩体或地块中出现的各种构造型式,除了山字型,看来不能小过一定的限度以外,其他构造型式规模的大小,都是变化很大。其范围有的小到限于一块岩石标本,有的大到纵横达几十或几百公里甚至更大一些。同一类型的构造型式在天然界它的变化规模既然如此之大,实验模型的大小与天然构造型式大小的比例显然意义不大。

自从多布列的时代(1879)以来,已经有不少的地质学家从事过模型实验,但除了很少人,例如罗斯以外,在地质模型实验中,都不曾考虑到比例尺的问题。罗斯曾经用泥浆试作了来因地塹的模型实验,但他那样作所获得的模型,并不见得更为精确地与来因地塹的构造细节相符合。

上述在地质模型实验中,不考虑比例尺的理由和过去缺乏从一定比例的角度安排模型实验的经验,并不意味着在今后地质模型实验工作中比例尺的问题是无需考虑的。相反的,在某些类型的试验中,比例尺的调节可能是作好模型实验所必须经由的途径。

上述人为构造型式和天然界的构造型式的相似性,主要是指类型而言,不关细节。任何一次模型实验与另一次同一方式的模型实验所获得的结果,都不可能完全相同,更不可能完全与类似的天然构造类型中每一个褶皱,每一个断裂的大小、长短、宽窄成一定的比例;也不可能断定,模型实验所作出的某一类型构造型式中的每一褶皱、每一断裂,都会在卷入同样构造类型的地层中出现。如果出现的话,也不会具有同样的形状和大小的比例。所有这些,都是细节。一次又一次的模型实验证明,各种人为构造型式的总体形态,主要是决定于用力的方式,也就是被试验的物质的运动方式。野外的观察,也一次又一次证明了某些人为的构造型式总体形态和大小地区中所发生的天然构造型式的总体形态具有高度的相似性。根据这一点,我们才认为模型实验不是一种空洞的游戏,而是具有实际意义的。

人们用来作地质模型实验的材料,种类很多,有的很脆硬,具有高度弹性,如玻璃;有的相当脆硬,同时又具有一定塑性,如沥青、蜂蜡、石蜡之类;有的极为柔软,稍具弹性,如毛毡之类;有的用塑性极大、弹性甚小的物质,如干泥巴或湿泥巴(泥浆);还有的用各种塑

料,例如乙基纤维素溶在苯甲醇中或其他溶剂所造成的塑料等等。

必须记着,这些物质的力学性质和岩石的力学性质,一般看来相隔很远。它们所表现的弹性和塑性,在实质上可能很不相同。实际上一般论到弹性和塑性的表象,到现在为止,大都只能说是属于现象论的范畴。这样,如果我们所用的模型实验材料所作出由褶皱、褶纹、裂隙、裂缝以及其他各种形变迹象和天然界的某些类型的构造型式类似的话,我们就无防试用那种材料,来进一步作种种试探性的实验。

经过多次试验,泥巴或泥浆就是这种材料之一。用泥巴作模型实验有若干优点,其中特别值得指出的是:

(1) 泥巴塑性很大,并且有微弱的弹性。

湿度不同的泥巴,一般都具有不同程度的塑性和微弱的弹性。前面已经指出,在构造应力场中,岩石的表象,一般既是弹性的又是塑性的。在长期构造应力作用的条件下,尤其是在受地热的影响、温度增高的情况下,它的塑性表象可能更为显著。这样,用泥巴来作构造模型实验,就可以在短的时期中模拟自然界岩石在长期地应力作用的条件下所发生的构造现象。

(2) 泥巴成份变化很大,它的力学性质可变的范围也很大。

泥巴的构成成份是极为复杂的,除了主要的硅酸铝和氢氧化铝两种化学成份以外,还含有许多不同的矿物成份。无论硅酸铝、氢氧化铝或其他矿物成份,在泥巴或泥浆中存在的形态也各别大不相同。有的是成极微小的结晶颗粒,有的由结晶的成份聚集而成小粒子,有的呈散漫的非结晶状,也有的成胶状。成结晶颗粒的部分,所含的矿物种类也很多,其中最重要的属于所谓泥质矿物群,如高岭石、微晶高岭石、迪凯石、叶蜡石、伊利石等等。其中属于非结晶状的矿物部分,种类很多,难以列举。有时各种长石风化或半风化的粉末、石英的粉末、云母的微片和铁镁质的矿物粉末等等,也占有一定的分量。

上述各种矿物的化学成份和它们在泥中存在的形态,显然是决定泥的特殊力学性质,如塑性、一定程度的弹性、粘性、胶性、触变性等等的重要因素之一。但是,泥的力学性质,基本上是取决于两种最重要的泥质矿物在泥中存在的形态:一种矿物是高岭石,另一种是微晶高岭石。高岭石是普通泥中的主要矿物成分。微晶高岭石是澎润土中的主要矿物成分。高岭石的化学成分是 $2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, 微晶高岭石的化学成分是 $\text{H}_2\text{O} \left\{ \begin{array}{l} \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \\ \text{CaO} \cdot \text{MgO} \end{array} \right\} 4\text{SiO}_2$ 。这些矿物结晶的特点,是它们往往呈片状,而这些晶片都是由氢氧化铝的平面排列和 $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 的平面排列相互间隔、重重叠叠地组成的。

在结构形式上,高岭石晶片和微晶高岭石晶片各有特点,在高岭石的场合,氢氧化铝的平面排列只是与 $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 的一个平面排列通过氧键连接起来;而在微晶高岭石的场合,每一排氢氧化铝的平面排列是和两排 $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 平面排列连接起来的。每两个毗连晶层中相当的两个平面之间的距离,在经过风干的高岭石中约为 7.1 埃(一埃为 10^{-7} 毫米),

而在微晶高岭石中,这个距离约为 14 埃。由于 Si—O—Si 之间键的连锁力远远超过 O—O 之间键的连锁力,所以上述两种泥质矿物的结晶形成片状。由于同一原因,微晶高岭石容易吸收水分,以致它的晶层中相当平面的距离可以扩大到 20 埃。

泥的吸水作用不仅限于晶层之间的距离扩大,而且可能与泥粒之间的距离扩大有关。实验证明,某种干泥的密度在 2 左右时,它的颗粒之间的空隙可以达到 30% 左右。当它吸收的水分充满了这个 30% 的空隙时,泥的性质骤然发生变化。如果水分继续增加,泥的各个颗粒就不能直接接触而改为浮游在水中的状态。在这时候,泥巴就变成泥浆了。泥浆中泥粒的大小一般在 500 埃以下,每一颗泥粒的表面都为水层所包裹,包裹泥粒的水层的厚度随着泥的性质不同而变异。在每平方毫米 8 公斤压力之下,这个厚度变异的范围,由 300 埃到 3,300 埃左右。这样就可以看出,泥的高度水合作用,一部分是取决于晶粒以内晶层之间距离的变化,另一部分则取决于泥粒的聚合的状态。

泥的塑性一般认为是与上述片状结构、颗粒表面的粗糙形状、颗粒的微小和它吸收水分的能力有关的。事实证明,由于它吸收了水分达到了相当大的比例,这就引起了组成它的矿物质的一部分发生了电离。这样发生的电离子,又反过来促进水合作用,以致氢离子、氢氧离子和其他许多可以交换的电离子以游离的状态存在。在这种状态下,电解的颗粒周围环绕着许多离子。可以想像,电解颗粒和它周围离子的关系,可以与原子核和它周围的电子群相比拟。就是说,一颗电解颗粒和它邻近的另一颗电解颗粒之间,存在着互相吸引和互相排斥的作用,吸引力和排斥力的大小,与它们的距离有一定的关系。两个邻近颗粒最稳定的位置,就是它们之间吸引力和排斥力总合起来位能最低的位置。这个位能最低的位置,也是与泥巴或泥浆中邻近的电解颗粒之间的距离有一定的关系。如果最低位能的位置离某一颗电解颗粒很近,那么,由于吸引力的作用,就会绕着那一颗电解颗粒而形成凝胶。如果排斥力按指数的规律随着电解颗粒之间的距离而改变,那么在离开某一电解颗粒比较远的处所,譬如说 1.0×10^4 埃左右,又会出现一个位能最低的位置。在那个位置,虽然吸引力的作用胜过排斥力的作用,有关的电解颗粒仍然能够得到稳定,在那种情况下就会形成溶胶。当水合作用达到适当的程度,两个颗粒之间的间隔达到一定距离时,譬如说 5,000 埃,由于位能很低,颗粒的位置也很稳定,泥的触变性就最为显著。这就是泥巴或泥浆显示高度塑性、一定程度的弹性、粘性、胶性、触变性等等特殊属性的主要原因。

这里面还存在许多的重要问题,迫切需要加以详细研究。实际上,凡属含有这些离子的液质如水、酒精、醋酸等,都可以使干泥变成泥巴。相反,碳氢化合物如苯、石油等,不能把干泥作成泥巴。另一方面,还有若干种矿物质,例如碾成粉末的三氧化二铁、氧化钛等,掺加适当的水分或其他含氢氧离子和氢离子的液质,也可以作成或多或少具有塑性的类似泥巴的材料。但碾成粉末的石英,即使加水调成膏状,那些石英细粒的周围无水层包裹,它们之间的空隙并不因掺水而增大。

普通具有比较显著塑性的泥巴,对张应力的强度,大致每平方毫米在 8×10^{-4} 到 $6 \times$

10^{-3} 公斤。但泥巴变干以后,它对张应力的强度增加到每平方毫米从 25×10^{-3} 到 250×10^{-3} 公斤的范围。这些数据只能表示泥巴一般对张应力强度的量级。我们每一次用来作模型实验的泥巴,都应该各别加以测定,才能得出确实可靠的数据。直到现在,有关这一方面的系统的测验工作还作得很少。在这里值得提出的是,格佐夫斯基最近成功地测定他所处理的泥巴的弹性模量,这一成就把用泥巴作模型实验的方法向前推进了一步。

为了加强泥巴或泥浆的弹性作用。我们曾经把疏松的纤维如纸浆之类和泥巴掺合起来,把它们调匀而成为泥巴和纤维的混合物。经验告诉我们,这种以适当比例配合起来的泥巴纤维混合物,对许多扭动构造类型实验颇为适宜。

(3) 利用掺水分量可以按我们的需要调制试验材料各部分的软硬程度和其他力学性质。

这一优点,最好用旋卷构造模型实验的例子加以说明。在旋盘上铺一层较湿的泥巴,在这层泥巴中间适当的处所挖一个圆洞,用干泥巴作成圆柱形填满圆洞,让干泥巴作成的圆柱和它周围的湿泥巴紧密胶结成一个整体,它们的底部都粘在旋盘上。当旋盘转动时,环绕着干泥巴作成的圆柱就会发生旋扭构造。诸如此类。

用经过适当处理的泥巴和泥浆来从事构造型式的模拟试验,我们已经有了些经验,并且已经获得了一定的成果。例如棋盘格式节理和断层的排列方位与主压应力或主张应力作用面的关系,归并断层的成生、羽状节理以及雁行排列的断层、褶皱与扭应力活动方向的关系等等,都已成为教科书中的材料。山字型构造、各种旋卷构造以及与侣对尔线相当的交叉节理等等,都可以用适当的弹塑性物质通过模型实验仿造出来。

我们可以利用重力的分力、离心力等力场对模型实验材料在各种不同的边界条件下所发生的应力作用作为造成各种构造型式动力的来源,也可以通过适当的机械的装置把压力、张力或扭力传达到被试验的材料中去。经过反复调整一切可变的因素,最后,在被试验的材料中,就会出现各种与自然界存在的构造型式相类似的构造体系,其中最常见的是如上所述的交叉断裂、侣对尔线、多字型构造、各种类型的旋卷构造和山字型构造。这些类型的构造型式,都是在不同方式的水平扭应力作用的条件下形成的。

在确定了被试验的泥块中出现的构造类型和自然界广泛存在的地质构造类型有高度相似性的基础上,我们就可以根据人为构造型式和自然构造型式的共同形态特征,来进一步考虑那种共同形态特征是否起源于同样的或近似的应力活动方式,和引起那种应力活动方式的构造运动,特别是构造运动方向。总结过去的经验,我们一方面认为,从模型实验中所了解的有关运动方式和动力作用的方式与构造型式的关系,对理解各种地质构造型式形成的原因,具有一定的启示作用;同时,我们也认为,在作这种比较研究的时候,还须要着重在岩层的各个部分寻找一切证据,例如相对错动、挤压和张裂的踪迹,来证明有关各部分运动的方式和方向。

根据各种扭动构造型式模型实验的结果,我们可以肯定,一切规模较大的扭动构造型

式的形成,主要是起源于水平应力的作用。因此,在进行这许多构造类型的模型实验的场合,把成层的泥巴或泥浆铺在平板上,并以适当的方式对它施加平行于平板面的压力、张力或扭力,是进行这种模拟试验的最合适的方法。但这并不排除用其他的方法来进行模型实验。事实上,克罗斯和格佐夫斯基所作的模型实验,是注重模拟地层陷落或隆起而产生的构造现象。这些模型实验的方法,在某些情况下是具有一定意义的。

除了泥巴以外,各种塑料制成的板状物体,也是进行种种模型实验的良好材料。在以各种不同的方式施加压力、张力和扭力的条件下,被试验的塑料所发生的形变,可以通过偏光的分析清楚地显现出来,这种光测弹性的方法,虽然一般只限于由于平面应力作用所产生的应变图像的分析,但是,它对于理解由于地壳水平运动所产生的构造型式,是有一定效用的。在一定的应力场中,透明的板状塑料物质中所发生的形变现象,可以通过偏光分析清楚地检验出来。

上述七个步骤所研究的对象,都是不依于人的意识而存在的客观现象和它们彼此之间以及和其他自然现象的关系。攻研这个不依于人的意识而存在的东西,怎么可以像以前有人所说的那样,地质力学是唯心的形而上学?这种看法,很可能不是由于对地质力学无知,就是愿意让构造地质学永远停留在描述孤立现象的原始阶段。这两种可能,都是不利于构造地质学的发展的。

这里还存在着,存在与认识的问题和认识的程度问题。

如果根据一定数量的实例,确定了某一种构造类型的存在,鉴定了那种构造类型的主要共同特征,在这种情况下,就可以确定那种构造类型的存在。但是我们在认识构造类型的过程中,有时还可能遇到一些困难。当我们掌握了一个构造体系某些部份的若干特点时,有时我们就可以按照那种类型的构造体系的规律性,结合当地特有的构造形式,来预测属于同一体系的其它尚未见到的部份的存在。但也有时由于我们所掌握的既知事实不够,以致对那个构造体系类型的认识发生错误。在这种场合,当然上述预料的组成部份,实际上并不存在。但是,由于这种认识错误而发现不符合于预期的现象,往往导致一个新的构造类型的发现,那个新的类型的成立,并不否定原来对所考虑的地区提出的构造类型,在其它地区也不能成立。另外更不能因为一个构造体系的大部分主要成份,符合于某种构造型式,而另一部分由于和其他构造体系复合的关系,未获得正常的发育,就立刻作下结论,认为它与那种构造型式无关。

应该指出,在解析极端复杂的自然现象的过程中,我们必须在已经获得了认识的基础上,逐步前进。

前述各种类型,仅仅是在自然界中存在的各种构造类型的一小部分,可以肯定,还有更多的类型,须要做大量的工作,才能获得认识。即使就已经认识到的这些类型来说,也

还存在着认识程度不同的问题。这里包括一种构造类型,究竟由哪些结构要素怎样配合、怎样排列、怎样分布才是典型的正规的型式?一种典型的正规的构造型式,和在总体形态上与它类似的构造体系相比较,差异要不超过什么程度,才可以把它们纳入同一类型?一个构造体系很难想像是一蹴而成的,它的各个组成部分,发展的程序又是如何?这些,都是就我们既知的若干构造型式,应该继续深入钻研的问题。同时还必须把已经确定了的构造类型,广泛地应用到分析地壳各部分和各个时代所有的各项构造现象中去。在这样复杂的而且范围广大的分析工作中,我们对于作为一幅形变图像看待的构造型式,一方面寻找更多的实例,来更进一步确定既知的构造型式的规律性,同时为发现新的构造型式的特征而努力;另一方面,我们必须从组成各种构造型式的结构要素来从事力学的分析,证明各种构造型式是起源于什么样的构造运动方式,包括有关地壳部分的运动方向。

第三章

当前地质力学中存在的问题

前述地质力学工作的七个步骤，是从迄今的工作实践中总结出来的。这些步骤是进一步工作的基础，是必要的；无论进一步工作向任何方向发展，它们是站得住的。

传统构造地质学，一向依靠在各个地区分散地从事野外观察和整理、拣练并汇集互有联系的资料，来从事大量归纳的工作，以求达到描述现象的目的。有时发现一些问题而不求甚解。

在我们前述的七个步骤中，这种归纳事实的工作，在每一步的前一段工作中，也都具有一定的重要性。但是，如果光靠归纳，正如恩格斯讥讽伟大的科学家牛顿那样，连他那样一个“归纳的毛驴”（大约是隐示着一个卓越的学者机械地沿着归纳的途径从事大量劳动的意义），也终究不会走上辩证的道路去解决问题。地质力学的要求与传统构造地质学分歧之点就在这里。地质力学要求从实践中总结出来的工作方法的基础上不断改进自己的工作方法，其目的不仅在于描述现象、发现问题，而且还要力求从力学的观点来解决有关地质构造的问题。很清楚，这条道路是辩证的道路。

由于前述七个步骤中每一步工作所涉及的范围很广，牵涉的问题很多，处理那些问题的方法还有待于改进；同时这七个步骤即使达到完善的程度，也不见得包括了地质力学工作方法的全部内容。究竟前述每一步骤的工作方法应该如何补充，新的步骤应该如何制订，这都是当前迫切需要解决的问题。

比较重大的一些问题，可以归纳到下列八个方面：

一、构造运动时期的鉴定

构造运动时期的鉴定，一向是地史学中最麻烦、有时候很难解决的问题。解决这一类问题的方法，一般是用地层学的方法。只有在地层记录完整的地区，在较古和较新地层之间，存在着显著的不整合的时候，才可能把造成不整合的构造运动时期确定下来。但是，地层记录完整的地区，在地壳上任何部分是少见的，因此，尽管地质工作者们，在某一地区，于某些地层之间，发现了显著不整合现象，但由于地层记录的缺乏，只好用比较的方法，来间接推断造成那个不整合的构造运动时期。在那种情况下，显然无法保证推断的结果是完全正确的。

更困难的是,在古老变质岩区,寻找证据来确定它所经过的构造运动究竟有多少次,每次发生在什么时代。一般的习惯,大都是倾向于把那种古老变质岩区,作为一个无可分析的构造单位来看待,隐含着这样一种假定,就是说,它是经过一次古老的构造运动而形成的。但是实际上,它的构成的历史,往往并不是这样简单。在有些地区,不难发现一个古老的变质岩区形成了很久以后所发生的一次又一次强烈构造运动的踪迹。大别山区的中部,亦即所谓淮阳地盾的中部,便提供一个很典型的例子。在那里,构造形式极为复杂的古老变质岩区中,出现了许多走向南北的挤压带,它们由走向南北的冲断面和强烈的褶皱以及片理组成。这些挤压带如果不是其中有一些连续往北伸展,直到它们穿过含有化石的石炭-二迭纪岩层和中生代的火山碎屑岩层,我们就很难证明,形成那些走向南北的挤压带的构造运动发生在侏罗纪以后。相反的,形成那些走向南北的挤压带的强烈构造运动,很有可能被忽视了,或者被认为是大别山区古老的复杂构造的一个组成部分。

大家知道,加里东运动这个名称的创始,是以加里东运河区(在苏格兰),在志留纪与泥盆纪之间(道通时代问题,姑且不论)发生过强烈地壳运动所留下的遗迹为根据的。可是对加里东运河区格林平错断层以及它两旁其他构造形迹所表征的地壳运动,并找不出绝对的证据,来证明它们全部都是加里东运动的产物。

对构造型式的认识来说,这一类问题的存在,带来了不少的障碍,象前述的例子那样,抓紧某些构造形迹在野外跟踪追索,也不见得处处都能解决问题。因为一种构造型式的构造体系所包括的组成部分,并非都是连续的,有的相隔有相当大的距离,同时它们的方向,也并不是一致的或协调的。这样就不能用延引的方法,把它们连接起来。另外,由于地块、岩块的性质不同,它们反映应力作用的构造形式也各有不同,因此,即使某一项构造形迹,由甲地区连续伸展到岩性不同的乙地区的时候,在甲地区所见的构造形象,到乙地区就转变而成为他种构造形象。在这种情况下,跟踪追索的方法,显然不能使用。

综合各个大陆的已经发现的主要构造运动,绝大多数的地质家都认为,至少自早古生代以来,它们似乎是具有一定的统一性和周期性,也就是所谓运动定时性的规律。在这个基础上,地质家们往往把欧洲、特别是西欧方面发现的造山运动时期,例如加里东、华力西,阿尔卑斯,硬搬到与西欧很远的地区照样套用,中国也不例外。阅读中国的地质文献和地质构造图,我们经常发现,中国各个地区被划分为若干构造地块或构造区,每一个构造区,都认为是某一场构造运动活动区域的范围,这样作的优点,在于企图明确每一构造运动发生的时期和它波及的范围,但是在许多场合,我们很难发现确实的根据,来支持那些被认为是同一时期的构造区界线的划定。也往往很难找出充分的理由,来支持所指构造区形成时期的鉴定。至于在那样划定的地区中,那个被指定的时期,究竟形成了什么样的构造型式,就往往不管了。正是构造型式这一点,是地质力学所不能放松的重要环节。

如果我们不经过严格的考察地层与地层间不整合的关系,就断定某一条山脉或某一个地区的褶皱和破裂是欧洲的某一造山运动时期所造成的话,这显然是不够严肃的,是可

能犯严重错误的。要改正这种缺点,只有强调对岩层不整合现象作更多更深入的研究和有关它们的年代,包括“绝对”年龄的鉴定。

有些复杂的古老构造区,往往缺乏地层记录,另外,也还有些复杂的古老构造区,在它所经过的某一次或几次构造运动过程中,带来了含有足够鉴定“绝对”地质年代的火成岩体,但也有些这样来到的火成岩体,不含可以鉴定“绝对”地质年代的矿物,在后一场合和在地层记录缺乏的场合,我们如何按时代分析那种古老地区的复杂构造,便成为极其困难的问题。对于这种困难问题的解决,地质力学可以提出它自己的方法。前面已经说过,一套构造体系是一定方式的一场构造运动或几次同一方式的构造运动所形成的。而那些多次运动之中,大都总有一次(往往是最后的一次)是造成那一套体系的主要运动。这样我们就可以说,一套构造体系的各个组成部分,大都是一次构造运动的产物。应用这一原则,我们就有可能把复杂的古老地区中某些构造形迹分开,并且寻找它们和邻近地区的某些已知年代的构造形迹,根据一定构造型式的形态规律联系起来,推断复杂的古老地区中一部分构造形迹的年代。例如乌鞘岭古老岩层中出现的横冲断层,在乌鞘岭本身就很难鉴定它的年代,但当我们发现了有力的理由把那些走向东西的断层,作为一个影响了白垩纪地层的旋扭构造体系组成部分看待的时候,就可以推断它们也是白垩纪后期或白垩纪以后产生的。

二、古构造型式的鉴定

在本书第二章中所提出的构造型式,大都是燕山运动以来的产物。由于这些较新的构造型式比较容易鉴定,所以就把它当作头一步的研究对象。大量工作的结果证明,构造型式这个基本概念,是能够成立的。这样,我们就有理由也有必要进一步探讨,是否在更古的地质时代也有各种类型的构造型式发生。换句话说,在古“构造层”中探寻是否有古构造型式存在。很显然,它们的存在是不容怀疑的。

前面已经指出,我们必须严格鉴定不整合发生的时代,并且还要确定同一不整合达到相当广大的范围,才能确定一场构造运动发生的时期。但确定了一场构造运动发生的时期,并不能满足地质力学的要求。地质力学要求不光要知道构造运动发生的时期,还要知道那一场构造运动所产生的构造型式。不难想见,同一地区在不同构造运动的时期,可以卷入同一类型的构造型式,也可以卷入不同类型的构造型式。同一类型的构造型式,当然反映同一方式的构造运动,这种时期不同而方式一致的构造运动,一般称为继承构造运动或复活构造运动。但在同一地区,或岩石力学性质相似的地区,不同类型的构造型式或大同小异的构造型式,不一定是不同方式的构造运动的产物,而可能是同一方式的构造运动在不同阶段的表现。这样,我们只有依靠构造型式在它发展过程的各个阶段中应力场的分析,才能了解各地质时代所发生的每一场构造运动的方式。这几点是探索古构造型

式所必须注意的。

在叙述从燕山运动以来出现的各别构造型式一节中,就新构造与古构造的关系,已经提到了两种不同的情况:一种情况是,古构造型式的片段和新构造型式的组成部分,很明显的以不整合的关系复合;另一种情况是,它们以整合的关系、亦即重接的关系,或者部分重接的关系复合。例如当金山口以西,构成阿尔金山的古老岩层是走向西北的,构成这种走向西北的挤压面,显然是一个现在还没全部鉴定出来的某种类型古构造体系的组成部分。而阿尔金山本身作为一个弯曲的隆起挤压带,却是另一个新构造型式的组成部分,它们之间是以不整合的关系复合的。又如不久以前被提出的山东山字型构造体系,就是包括一个古山字型构造体系和一个新山字型构造体系。构成古山字型构造前弧两翼的变质岩,在前弧的前段与新山字型构造的前弧以整合的关系相复合,而在前弧两翼的后部,两者之间就变得不整合了。古山字型构造的两翼,一直各向西北和东北伸展,而新山字型构造的两翼,尤其是它的西翼,却反转弯曲而形成反射弧。并可能受到旋扭的影响。

大家知道,在全部地质时代中,世界各处曾经有多次强烈的构造运动发生。因此,严格地说,不同时代所产生的构造型式,不应该笼统地称为古构造型式,还应该强调它们之间新旧的区别,才能在不同构造层的意义上阐明不同时代所产生的古老构造型式的特点。我们现在还很难预测,在每一个古老构造层中出现的古老构造型式有些什么特点,也还不能断定从燕山运动以来、亦即自中生代后半期以来,地球表面上所发生的各种构造型式在古老构造层中都会出现,相反的,有些迹象暗示,愈古老的大、中型构造型式,形式似乎愈简单一些,但是由于愈古老的构造型式遭到愈多的后来的干扰、破坏和掩复,鉴定它们的型式也就愈加困难了。由于构成古老构造型式的巨型拗褶——包括隆起带和沉降带——一定会对古地理形势起着重要的控制作用,所以古老构造型式对较新沉积层的分布和沉积层岩相的变化,也一定会起着控制的作用。从这一观点出发,我们有可能根据属于某一时代沉积层展布和岩相的变化来探索某些巨型古构造型式的形象。

三、各级构造型式对大矿化带和矿田的控制作用

在叙述各种构造型式特征的各节中,已经提到它们的各级组成部分对各种矿产分布往往呈现一定的关系。这种关系虽然是多方面的,相当复杂的,但是一般地说,还是有规律可寻的。大量的事实证明,构成若干种构造型式的第一级构造,往往对某些矿种的矿田分布起着控制的作用。而那些第一级构造中的第二、三级构造,又是决定矿田中矿产富集带的分布规律的重要因素。例如属于多字型构造的新华夏系隆起带和沉降带,都是第一级的构造,它们各别对若干不同种类矿产的分布,起着决定性的控制作用。又如组成棋盘格式构造的两组断裂,在规模上大都属于第二、三级构造,它们之中往往有一组是与矿脉富集带是一致的,有时其他一组也有少量矿脉填充,而两组交叉的处所,矿体往往特别富集。

这一方面的研究对国民经济的发展具有极其重要的意义,今后应该在这个方面广泛而又深入地开展研究工作。

四、构造型式所涉及的地壳深度

各种构造型式,都是根据组成它们的各项构造形迹在地面上的配合、排列和展布的情况而鉴定的。可以肯定,那些组成构造型式的构造形迹,是不会无限度往地下伸展的。但直到现在,我们还没有得到足够的资料,对每一个构造型式,在地壳中划出一定的水平面,作为它的影响所及的限度。从地面的观察推测起来,有些小型的构造型式,它们所影响的深度较小,另外又有些比较大型的构造型式,它们所影响的深度比较大。物探方面提供了不少的资料,证明了褶皱现象包括大型褶皱在内,到地下一定的深度就消灭了,就是说,脱顶现象至少在沉积壳中是普遍存在的。由于水平运动而构成的构造型式的底面,是有一定的深度的,尽管这种深度对每一个构造型式来说,不一定是相等的。

原来地台的概念,限于地层的褶皱极为平缓的地区。近几年来,地质家们发现在所谓地台区,往往存在着相当强烈的褶皱,这种类型的褶皱,在所谓中国地台,尤其是在中国南部特别显著。正是在这种地区,我们发现各种类型的构造型式很普遍地发育。这样,我们可以说,所谓台内褶皱和构成构造型式的褶皱,属于同一范畴。

但是,地槽区的情况,就有所不同,从地槽长期下沉,其中填充物组成的形式和反转过来隆起褶皱的转变过程来看,我们有理由把地槽当作大陆壳固有的具有特殊性质的部分看待,这是一种传统的看法,是已经被一般地质家所接受的。但是,从另一方面,我们也有理由提出进一步的看法。

象乌拉尔、科迪勒拉、安第斯那样,具有比较长发展历史,又具有极其突出形式的地槽,确是典型的地槽。但是在大陆块长期存在的过程中,以及现在接近大陆的边缘或内陆地区,也还存在着比较巨大的槽地。那些槽地,从它们的规模和延展的形式来看,多少具有准地槽的特征。至少也可以认为,它们和地槽有些接近。前已指出,许多沉降地带,如亚洲大陆东部边缘的海沟、边缘以内,从鄂霍次克海到南海一连串的内海以及从松辽平原到北部湾一连串的凹地,都可以按一般流行的概念,把它们当作现代地槽或准地槽看待。东亚大陆边缘的海沟,在最深的处所,深达十多公里,总长达几千公里,在规模上和大陆上古代最大的所谓正地槽比起来,并没有太大的差别。夹在这些沉降带之间的又有几个隆起褶皱带,包括由一系列串珠状弧形列岛所代表的一带、由锡霍特到武夷-戴云山脉一带和由大兴安岭到湘黔边境诸山脉一带。前已提出论证,它们和它们之间的沉降带,显然是有生成联系的。

这些现今存在的或正在继续成长的巨型陆上槽地和海沟,既然是和它们相辅而行的隆起褶皱带有不可分离的关系,那么,象正地槽那样存在于大陆上面的巨型地向斜,也应

该有和它们相辅而行的地背斜存在，作为它们的伙伴。地向斜有了它自己所保存下来的沉积物作为它存在的证据，可是地背斜在受到长期侵蚀以后，便变成了准平原，或者随着地向斜的转变，而成为强烈褶皱山脉的一部分，或者下沉而为新生的沉积物所掩盖。这样，就不难理解，尽管地向斜和地背斜同是地壳的一套构造形式的组成部分，但是地背斜的存在，却很容易被漠视了。

考虑到现代的巨大陆槽和陆梁是具有一种巨型的褶皱形式，那么，把地向斜(地槽)和现今已经看不见的地背斜当作一套巨大的褶皱或拗褶看待，也并不是没有理由的。这样，我们就可以用处理褶皱的方法来处理地向斜和地背斜的起源。就是说，如果把这些巨型的褶皱或拗褶当作某一类特殊的构造体系或某种构造型式的组成部分来看待的话，这些巨型褶皱或拗褶所达到的深度，就是它们所属的构造类型影响地壳的深度，看起来，与现今存在的最深的海沟所影响地壳的深度不会相差很远。

五、各种结构面或构造面显示力学含义的特点

在叙述压性、张性、扭性结构面的一段中，已经指出了这三种结构面的主要特点。作为鉴定具有不同力学意义的结构面的标志，它们是还有待于补充的。根据野外的经验，压性结构面比较容易辨识，具有张性特点和扭性特点比较显著的结构面也容易辨识，但有些张性结构面与扭性结构面的特点往往不大清楚，对它们鉴定就不免有些困难。对于同时具有扭性又具有张性的结构面，它的双重力学意义更不容忽视，但我们野外的工作，直到现在还没有处处达到这一方面准确的要求。

在野外鉴别各种结构面的工作中，我们往往侧重结构面的形态，这是比较容易下手的方法，但也不应该忘却寻找其他有效的方法，特别是与岩组分析结合起来检验各种结构面上和与结构面接近部分岩矿颗粒的形变特征。这一方面的工作，肯定是很有前途的。

在中国境内，特别在中国东部，有两个方向的断裂面广泛发育：一个方向的断裂面走向北北西，另一个方向的断裂面走向北东东，在叙述棋盘格式构造时，已经指出了这两组断裂的存在。由于它们经常彼此互相伴随，同时往往又伴随着属于新华夏系的、走向北北东的压性构造形迹(包括巨型拗褶、挤压带、单式或复式褶皱、高角度仰冲断面等等)和横断这些压性构造形迹的、走向北西西的张性断裂。它们属于新华夏系的两组扭裂面的可能性是相当大的。

不过，根据野外考察这些扭裂面附近岩层构造形象的结果，在不少的地点，除了在扭裂面上发现了大批近于水平的擦痕以外，还发现了这两组断裂面附近的岩层局部呈现相当剧烈的褶皱甚至倒转。那些局部褶皱的轴向大致和扭裂面平行。在这种情况下，平错和挤压现象在同一地带和同一方向发生，是不可漠视的事实，它们是否同时发生，是需要作进一步的研究才能解决的问题。

根据用泥巴作模型实验的结果, 我们对于与走向北东东的断裂面结合在一起的局部褶皱和仰冲断面, 可以作如下的解析: 即原来走向近于东西的扭裂面, 经过南北向相对扭动的继续作用, 发生塑性形变以致原来走向近于东西的扭裂面转变到走向北东东的方位, 同时受扭动部分的底面也被拖动而至对它的表面在垂直面上发生扭动, 这样, 原来的扭断面就变成了压性的冲断面, 邻近的部分, 也卷入了由挤压而形成的褶皱。但是, 这一解析不能用来说明与走向北北西的扭裂面平行的褶皱和仰冲断面。因为根据泥巴模型实验的结果, 这一方向的扭裂面, 很少因南北向相对扭动的继续作用而转变它的方位, 也不显示沿着北北西的方向发生任何挤压的踪迹。相反, 原来的扭断面有转变而为张裂面的趋向。只有假定另外有近于北东东的压力作用, 才能解析那些走向北北西的局部褶皱和仰冲断面的出现。我们现在还不知道这个方向的压应力作用是怎样起源的。

与上述情况不同, 一部分走向北北西的断裂面附近, 并无挤压的踪迹。相反, 有时有火成岩带侵入, 对于这个方位的断裂面, 湖南大义山就提供一个很好的例子。总合以上不同的情况, 我们对走向北北西和走向北东东这两个方向的断裂面的力学分析, 还需要作进一步的研究, 才能确定它们所隶属的构造体系和成生的原因。

六、各别褶皱形式的决定因素

在处理有关构造型式的各项问题中, 我们经常是把成群的各种不同的褶皱当作一个整体来看待的。这种处理褶皱群的方法, 在平面应力场中从事褶皱群总体形态的分析是正确的, 也是在我们的全盘分析工作中起主导作用的。不过, 这样作还没有解决许多局部的问题, 这些局部问题中最容易引起注意的是, 对于褶皱形式和伴随褶皱或代替褶皱的仰冲断面的形式, 除了应力作用的方式以外, 究竟还有那些因素起着决定性的作用。我们经常看见, 在同一构造应力场中, 有些背斜的两翼, 一边较陡, 一边较缓; 而另外又有些背斜, 较陡与较缓的一翼所在的方面与前述情况相反。有些背斜呈“箱状”, 而另外又有些呈“梳状”或其他形状。另外在同一构造体系中, 同时发生成群的仰冲断面, 往往向一方面倾斜, 但也有个别的仰冲断面的倾向不同。诸如此类。这些现象, 虽然在构造体系的形态特征中无关大体, 而在某些有关第二、三级构造的实际勘测工作中, 却往往具有相当重要的意义。

在既指定的构造应力作用条件下, 同一地层在某些地区容易发生褶皱, 这是常见的现象。从地质力学的观点来说, 这种现象, 主要应该是决定于构造应力的分配和岩层的力学性质。但不能忽视, 有些岩相相同的岩层, 在同一应力场中, 对应力作用发生褶皱的敏感性往往大不相同。可能有许多因素决定这种敏感性, 例如遭受侧面挤压的岩层厚度和宽度, 可能象横梁理论中的“细长比”那样, 对弯曲现象的发生具有一定的影响。又如地层中夹着某种特殊的岩层, 特别是各种盐岩的时候, 它们往往容易发生盐丘和其他穹窿式的褶

皱。岩层中含有各种溶液、油类和岩浆水等液质时,它对褶皱的发生是否更加敏感?也是直到现在为止还没有加以研究的问题。

七、岩石的弹、塑性能的统一性与松弛现象

物质在受到应力作用时,在一定范围以内显示弹性作用,超出一定范围又显示塑性作用,这是相当普遍的现象。这里不存在着任何矛盾。但是有不少经过检验的物质,包括岩石在内,前已说过,它既显示弹性作用,同时又显示塑性作用。塑性作用是一种非弹性的表象,因此从形式逻辑来看,这里是存在着矛盾的。如何解决这个矛盾,不仅是地质力学的基础理论问题之一,而且对解决许多实际问题是具有重要意义的。

解决上述矛盾,可能有许多不同的途径。其中显而易见的是,充分地探索松弛现象对岩石同时表现弹性和塑性能的作用。任何这一方面的深入的探索,如果停留在现象论上,是不能解决问题的。因此,在这一方面,地质力学的工作,今后必须和分子乃至原子间力场的研究密切地结合起来。下面只能简略地介绍从现象论的观点出发,通过松弛作用去了解岩石的弹、塑性能性的表象,和组成岩石的矿物颗粒之间的中间物质以及颗粒和中间物质以内的分子和原子,当受到应力作用时所呈现的它们之间相互关系的变化。

不难理解,应力的作用不独影响到岩石内部的颗粒与颗粒之间,并且达到颗粒的内部和颗粒与颗粒之间的中间物质的内部,即组成它们的分子和原子的内部。那些分子和原子原来在空间按一定的规律排列,但在它们受到应力作用的影响以后,即使它们相对的位置不发生很大的变化,它们之间的力场一定会受到扰乱,彼此间总不免发生一定程度的相对位移。

根据一般的了解,如图 38 所表现的那样,组成物质的离子之间,既具有吸引力又具有排斥性。这种吸引性和排斥性是吸引能场和排斥能场相互作用的表现。在吸引力的位能和排斥力的位能对质点距离的变化的一般规律性,可以由 C/r^p (C 为常数)表示出来的假定下,就可以把前述两种位能的联合作用 $\Phi(r)$ 用下式表示出来:

$$\Phi(r) = -\frac{a}{r^m} + \frac{b}{r^n}。$$

式中 a 、 b 两个常数是与离子和离子之间键的连锁性能有关的, n 经常大于 m , 因为当距离 r 增加的时候,排斥力的位能 (b/r^n) 一定会比吸引力的位能 (a/r) 减少得更快,否则物质得不到平衡。按照惯例,吸引力的位能写为负,排斥力的位能写为正。

从上面表示联合位能的方程式,就可以求得表示吸引力和排斥力联合作用的方程式:

$$F(r) = \frac{d}{dr} \Phi(r) = \frac{a'}{r^{(m+1)}} - \frac{b'}{r^{(n+1)}}。$$

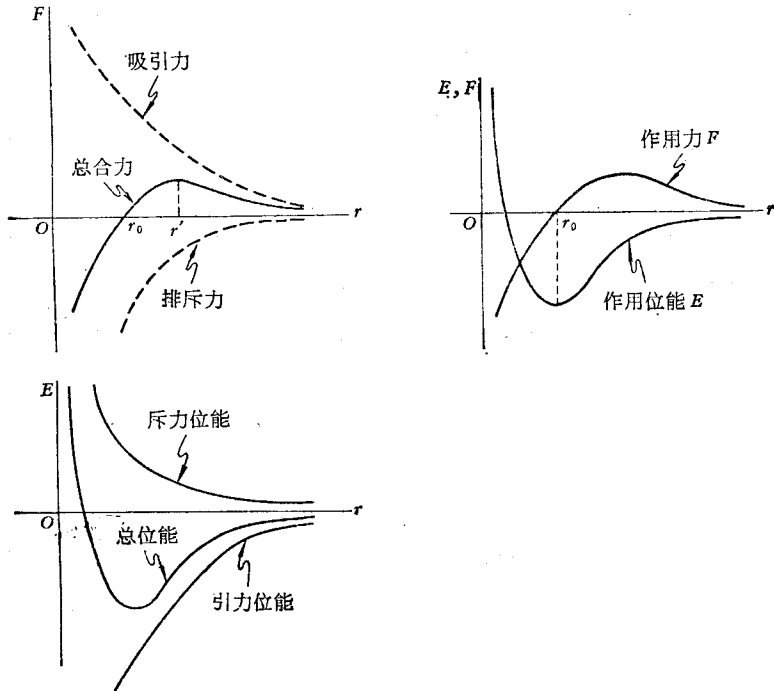


图 38 离子间吸引力、排斥力和位能与距离的关系

纵座标 F 表示吸引力和排斥力;纵座标 E 表示位能;横座标 r 表示距离

图 38 就是这两个方程式的图解。从这两个图解中可以清楚地看出,当 $\Phi(r)$ 达到最小值的时候, $F(r) = 0$,就是说,在这个时候相互作用的力等于零,也就是达到了平衡。同时位能最小,键能最大。在这个时候,离子 1 与离子 2 之间的距离 r 的数值是 r_0 。此后如若离子 2 向右移动,它就会遇到更大的阻力,直到它达到 r' 的时候阻力最大,也就是联合作用力达到最大值 σ_m 的时候。如若离子 2 再往右移,阻力便要减少,因此 r 达到 r' 的时候,就是物质达到了屈服点的时候。其他关于物质弹性应变在不超过一定程度时所引起的复原力如何决定于组成它的离子的位移,关于弹性模量如何决定于在吸引力和排斥力达到平衡之点,即 $r = r_0$,对 $F(r)$ 曲线所作切线的方位等等关系,都可以得到进一步的认识。同时,上述的分析,也可以帮助我们了解:当物质受到引张作用时,它呈现的机械抗张性,当它受到挤压作用时,它又反过来所呈现的机械抗压性,是由于组成它的离子内部力场中发生了怎样的变化而表现出来的。

另一方面,根据实验的结果,岩石在受到一定应力作用时,尤其是在应变不变的条件 下,我们可以清楚地看见,应力的强度跟着时间的延长是逐渐变小的。这种现象一般称为 松弛现象。关于松弛现象,已经有了大量的事实证明,但是松弛究竟是怎样发生的,现在 还存在着问题。可以理解,当组成物质的离子受到外力的强制而发生位移的时候,它就吸 收了一定的量的位能,在短时期外力撤销以后,这种位能又发生了作用,让变位的分子回 到它原来的位置,这就是弹性回复的现象。但是位移发生以后,如若经过的时间较长,那

种由于外力强制作用而吸收的位能逐渐变成了热而消散,那么,即使外力的强制作用解除,那些分子的一部分各自在新的地位找到了平衡,它们就不再回到它们原来所在的位置。这样,松弛作用就成为弹性物质发生塑性形变的根源。可以设想有种种不同的原因使弹性物质在受到应力作用时发生松弛现象,其中,热的作用是很现实的。物质的热态是和组成它的分子的颤荡的激烈程度有关的。受到外力强制作用以致离开了它们原来位置的一些分子,在受到热的颤荡的过程,在由于外力作用物质所吸收的能量与由于热态的颤荡而发挥的能量的量级大致相同的条件下,一定会有一部分分子受到热颤荡的影响促使它们回到它们原来的平均位置。这就说明,松弛现象可能与物质的热态有一定的关系。

假如热颤荡确实在松弛现象作为弹性形变转化为塑性形变的必要过程中起着关键性的作用,那么,自然界的岩石在地热的影响下,松弛现象就会来得更加显著。同时,塑性形变的范围也会更加扩大。地下的岩石,除了温度增加以外,还受到加大的流体静压力。压力对松弛现象的影响如何,是尚待研究的问题。

根据上述的理由,我们可以把岩石在弹、塑性形变发生时应力的变率分为两项来处理,其中一项是处理物质完全弹性形变的作用,另一项处理物质松弛现象的作用。前一项可以写为 $\mu \frac{dr}{dt}$, 式中 r 代表应变的大小, μ 代表弹性模量, t 代表应力继续作用的时间,后一项由于应力的变率是和它自己的数值有一定的关系,所以可以写为 τ/λ , 式中 τ 是应力的一定数值, λ 就是所谓松弛时间,它是一个不变量。两项合并起来即得:

$$\frac{dr}{dt} = \mu \frac{dr}{dt} - \frac{\tau}{\lambda}。$$

当 r 不变时,

$$\mu \frac{dr}{dt} = 0,$$

$$\int_{\tau_0}^{\tau} \frac{d\tau}{\tau} = \int_0^t - \frac{dt}{\lambda},$$

$$\log \left(\frac{\tau}{\tau_0} \right) = - \frac{t}{\lambda},$$

$$\tau = \tau_0 e^{-\frac{t}{\lambda}}。$$

从此可以看出, $\lambda = t$ 时,即 τ 的数值变到它原来的数值 τ_0 的 $1/e$ 所需的时间。就是在前述条件下松弛的时间,这样就可以更具体地说明松弛时间的意义。

当 τ 不变时,

$$\mu \frac{dr}{dt} - \frac{\tau}{\lambda} = 0,$$

$$\int_{r_0}^r dr = \int_0^t \frac{\tau}{\mu\lambda} dt,$$

$$r = r_0 + \frac{\tau}{\mu\lambda} t。$$

这就说明物质受到一定应力作用时所发生的应变是它原有的应变 ϵ 。加由于松弛作用所发生的形变的和。后一项在应力不变的情况下,是与应力作用时间 t 为比例的。岩石在一定应力作用的影响下所发生这样继续不断的形变,究竟能够达到什么程度,是地质力学当前所迫切需要解决的问题。很清楚,如果作用的应力超过一定的强度,这种塑性形变不会永远继续下去,应变达到一定程度,岩石就必然破裂。但是如若应力的强度不大,作用的时间很长,继续发生的应变时间也会加长,看来是无可怀疑的。不过应变的程度也是否因之加大,以及即使加大能够大到什么程度,这都是尚待解决的问题。这个问题的解决,是与岩石的强度有关的。有些人认为岩石具有基本强度,显而易见,所谓基本强度也很难避免应力作用时间的长短和松弛现象的影响。在这种影响的范围和程度还没有准确地测定以前,有关所谓岩石基本强度的数据还不能无条件地接受。

在下一章中,我们还将要考虑到发动地壳运动的动力起源问题。某些地球物理学家和地质学家由于坚持从岩石的强度出发才能找出可靠的足够强大的动力来发动地壳运动,如果他们所依靠的岩石强度本身就不可靠的话,那么沿着那条道路的一切论证,就缺乏实际的意义了。

八、在岩层中不显示构造迹象的应力作用和现时尚在活动的应力分配情况的探测

各种构造迹象,包括矿物颗粒在三度空间排列方位的规律性,是岩石在构造应力场中应力作用的反映。不难设想,有些岩层和岩体,即使受到了一定的应力作用,它并不在它自身中留下构造的痕迹。但由于各种应力的作用,它的物理性质在不同的方向可能发生变化。例如在某一方向受过压应力作用的岩块或地块,在那一方面它的某些物理性质可能发生了一定的变化。也可以设想,在一个指定的岩块或地带中,沿着某一方向,如若有着压应力或张应力或扭应力正在继续活动,这种活动也必然在那个岩块或地带中,沿着一定的方向在它的物理性质方面继续发生一定的变化,虽然应力作用的影响还不到造成显著构造现象的程度。对于这种应力活动,应该可以通过精密的装置,用各种物理的方法探测出来和记录下来。这种测验的工作,显然需要和新构造运动方式的研究结合起来进行,这是地质力学具有重大实际意义的一个新的方面,是值得予以重视的。

第四章

地壳运动起源问题

地壳运动起源问题,是一个长期存在的问题。它在地质学、地球物理学、地理学以及其他方面,都断断续续地引起了激烈的论争。由于问题的复杂性,看起来在最近的将来,对于这个问题的解决,很难期望各方面都达到一致的意见。

为了避免长期拖延、缺乏共同语言的纷争,我们必须考虑各方面工作的特殊要求,从那里找出大家可以接受的有关工作方法和彼此相互联系的原则。首先,我们可以断定,各个方面所提出的主要论点,如果是正确的话,就必然基本上是一致的,也就是说,无论从哪一方面提出的有关地壳运动的论证,都应该令人信服地说明地质构造现象,亦即地壳的形成和形变的起源。关于处理地壳运动问题的严重分歧,固然一部分是由于观点不同,而同样重要的是,在工作方法上也存在着重大的缺点。在不同方向的工作进展过程中,并不都是步步踏实的。因此,我们应该承认,从地质构造现象的角度来探讨地壳运动的起源,必须把处理问题的方法,分为若干必不可少的步骤,如前一章已经部分地提出了的那样,按一定的程序,开展工作,力求逐步踏实地前进。这样,无疑的我们将会最后对地壳运动问题,得到正确的答案。

根据上述的情况,地壳运动起源问题,需要从三个方面,同时也就是按三个步骤分别加以处理:

- 一、运动发生的时期。
- 二、运动的方式和方向。
- 三、运动的起源和动力的来源。

一、运动发生的时期

地壳作为地球表层的组成部分是一个整体,当它的一部分发生了大规模强烈运动的时候,很难想像其他部分不受任何影响。比较构造地质学,也获得了大量的事实,证明了至少自从古生代以来,地壳上所发生的几场大运动,都是具有全球性的、周期性的,亦即所谓运动定时性的规律。不过,那些大运动时期的确定,由于许多地区地层记录不全,前面已经说过,在不少的场合,很成问题。因此,我们可以说,所谓定时性的规律,虽然在若干地层发育比较完整和新旧地层相互接触的关系比较明确的地区,已经有了大量的文献加以证

明,但并不是全世界所有地区,都是这样。所以定时性的规律并不是那样严格,我们对它只能在广泛的意义上加以接受。在这种情况下,如若在某一地区,随便使用在其他地区已经证实,而在本地区尚未证实的运动名称,那就等于把马车系在马的前面,显然是行不通的。

在一场大规模强烈运动时期和又一场大规模强烈运动时期之间,或者和某一场大规模强烈运动发生的同时,在强烈运动地带以外的地区,往往发生比较广阔的、舒缓的隆起或下沉。传统构造地质学,久已命名那些大规模强烈褶皱运动(实际上还应该包括和那些强烈褶皱紧密联系的各种断裂)为造山运动;广大区域的隆起运动为造陆运动。一般认为造山运动是短期的剧烈运动,它的各个组成序幕活动的时期比较短促,而且在地层记录比较完整的地区,可以严格地鉴定。造陆运动一般认为是长期的缓慢运动,它大都发生在两场强烈造山运动之间,但也可能和一场强烈造山运动同时发生,在后一情况下,它有时被称为准造山运动或等同造山运动。这种所谓等同造山运动的存在,在主观上不难想象,而在客观的地质构造现象方面,一般是不容易区别的。

总之,不管哪一种运动,它的时期的鉴定,都要依靠地层中不整合或假整合来表达。即使在地层记录完整的地区,除非在不整合面或假整合面上下可以确定年代的地层的时距甚短,运动时期的确切鉴定,总不免有很多困难。这些困难,在下一步工作中可以部分地克服。

二、运动的方式和方向

关于地壳运动的方式和方向问题,可以从两个方面,分别加以考虑,然后到我们论到运动起源和动力来源的时候,再看它们是否有共同之处。这两个方面,就是:(1)从地壳各部分的组成探讨它们所经过的的运动的方式和方向;(2)从地壳各部分的结构探讨它们所经过的的运动的方式和方向。

1. 从地壳各部分的组成探讨它们所经过的的运动的方式和方向

在广泛的意义上,海洋也是地壳的组成部分。因此,关于地壳运动问题的考虑,就不免要牵涉到海洋的运动问题。在同一种促使地壳运动发生的动力作用下,海底和大陆的反映,必然大不相同。当我们从海相沉积的观点,或海陆相交替的沉积观点考虑地壳运动时,这种反映的差别,显得更为重要。理由是很明显的。从沉积物所提供的资料,我们无法测定海洋方面或大陆方面的绝对运动,我们所知道的,只是由于这两方面相对运动而产生的结果。除了在某些场合,我们获得了证据,证明陆地或海底,在同一时期发动了此起彼伏的运动而外,关于前述任何海陆相对运动的分析,必须考虑到下述各种不同的情况。

关于海面与陆地的相对运动,有下述各种不同情况:

- (1) 陆地和海底不动,海面上升;
- (2) 海面不动,海底对陆地下降或陆地和海底一同下降;
- (3) 海面与海底对陆地同时上升或同时下降,但海面上升的程度大于海底上升的程度或海面下降的程度小于海底下降的程度;
- (4) 海面对陆地上升,海底对陆地下降。

在这四种不同情况下发生海陆相对运动,都是完全可能的。其中每一种情况下所发生的运动的代数总和,都是等于海底对陆地发生了下降运动。而在这些不同情况下,在海底所产生的沉积物,只能反映海底对陆地发生了相对下降运动。

另外还有下列不同的情况:

- (1) 陆地和海底不动,海面下降;
- (2) 海面不动,海底对陆地上升或陆地和海底一同上升;
- (3) 海面与海底对陆地同时上升或同时下降,但海面上升的程度小于海底上升的程度或海面下降的程度大于海底下降的程度;
- (4) 海面对陆地下降,海底对陆地上升。

在这四种不同情况下发生海陆相对运动,也都是完全可能的;其中每一种情况下所发生的运动的代数总和,都是等于海底对陆地发生了上升运动。而在这些不同情况下,在海底所产生的沉积物,只能反映海底对陆地发生了相对上升运动。

问题还不是这样的简单,上述各种情况的任何一种和其他一种或数种情况连续不断地更迭起来发生作用,是完全可能的。而这样多种情况在一段时间结合起来所发生的作用,就沉积物来看,仍然只能表现海陆相对的垂直运动。

我们知道,在很多地质时代,在大陆上不同的地区,不管是属于所谓地台区或地槽区发生过海浸现象,或者是反复动荡的海浸现象,如果要确定那些地方那些时代的海浸现象,是起源于大陆的下沉,或者那些地方那些时代的海浸现象,是起源于海面的上升,一般地说来,困难是很多的。举一个有关这个问题的最近地质时代的例子,就会使我们对有名的地质学家苏士老早已经提出的所谓正性或负性的海面同时升降运动问题感到兴趣。不少著名的地质学家,认为现代的海洋,比任何地质时代的海洋显得更大,就是说,海洋扩大了,海水增加了。太平洋沿岸,大陆边缘较低的地区,例如黄海、东海等等地区,都是被海水淹没的较低的陆地。由于在太平洋中所发现的为数很多的盖岳特(就是一种平顶的火山),也暗示太平洋的海平面,在过去有些时候,比现今可能低到2,000多米。在晚近地质时代,海洋涨大到如此程度,所须要增加的海水,究竟是哪里来的呢?有的人认为,增加的海水,来自地球以外,有的人认为,来自地球内部。在此需要提出的,不是支持或反对这些意见,而是要指出这样一种可能:即地球的整体收缩。在地表温度无很大改变的情况下,这样的体积收缩,当然使海洋显得扩大了。由于这种原因而发生的海浸现象,和大陆任何部分以任何形式下沉而导致的海浸现象,当然是大不相同。

在大陆内部,也可以从陆相沉积物、包括湖海相沉积物的分布,推断在那些沉积物产生的时代,大陆局部地区沉降和隆起的现象,尽管那些沉降地区当时的水面与地准面(亦称地球通面)无关,而那些隆起的地区,现在已经变为平地了。

以上说明,从沉积物的存在来推断地壳运动的方向,显然,我们只能看见垂直运动。我们也必须肯定,用这种方法来断定的垂直运动是正确的。但是,我们的思维活动,不能不迫使我们追问,那些垂直运动究竟是如何发动的。地球表面,特别是大陆上面,无论山岳或平原地区,都显现着有条不紊的,也就是具有一定规律的构造现象。从这些事实,我们可以想象,在地球内部相应部分的物质,曾经发生过上下分异运动。但是光靠这样一种解析,那仅仅是把问题往后推了一步,没有指出发生升降运动的原因。

详细考察这种隆起和沉降进行的程序,对沉积壳形成的历史可以提供极为有用的资料;但是从这些资料,我们对地壳运动问题,只能说是得到一些“感性的认识”。理性认识,还要求我们进一步了解,为什么在某一地区,某一地质时期,按照一定的轮廓和规律,发生了沉降运动,而在同一时期,在某些地区和地带,又发生了某种形式的隆起运动?虽然有关必然性与偶然性的问题,在我们的实践中,不容易处处立即得到明确的解决,但就地壳各部分相对升降运动来说:如果我们单从现象论的观点,把它们看做是此起彼伏、毫无联系的现象,也不考虑到隆起地区的底下所需要填塞的物质来自哪一方面,沉降地区所排去的物质,走到哪一方面,只是笼统地含糊地说,那些隆起和沉降都是由于地球内部,某种化学的、物理的或机械的作用而成生的,那就等于迴避问题,并且把问题的核心用巧妙的词句或专门的术语掩盖起来,让地质构造学陷于不可知论的绝境。

有些地质学家认为,地壳上层的褶皱,是由于它的基底下沉,以致它受到挤压而形成的。这种看法可能与某些盆地或地堑边缘发生局部在序次上属于再次的小褶皱或挤压面成生的过程相符合。如果把这种看法当做普遍的真理看待,那么,我们应该在沉降的地区发现愈到深处褶皱来得愈加剧烈。事实恰恰相反,如哈茵写道:“与石油勘探有关的钻探以及地球物理勘测,特别是地震勘测,大大改变了我们对于褶皱的看法和概念。显然,褶皱构造基本上是一些主要牵涉沉积壳上部的地表现象;许许多多甚至显得极其强烈的褶皱也都随着向深处延展而消失,显示着与基底的形变无关。不协调的褶皱显然并不是例外而是常规”。这种现象,正和以前在侏罗山脉及其他地区所发现的脱顶现象相符合。这种现象是地壳表层对它的基底发动了水平运动无可争辩的证据,不管这种水平运动是如何发动的。

一般地说,垂直运动是显而易见的,但当我们在褶皱山岳地带,认识了远程构造位移,例如拉铺、飞来峰和外来巨大岩块(如印度马拉约哈尔地区的外来巨大岩块)的时候,大规模水平运动,也是显而易见的。但是,必须强调地指出,水平构造运动,不独不排除广大地区的垂直运动,而且相反的,那样的垂直运动,可能是发动水平运动的原因之一(详后),但也有另一种可能。

前已提到,比较大规模的有条不紊的隆起和沉降地区和地带的形成,很可能是由地表

到地壳中一定的深度受到水平方面挤压的结果,就是说,我们没有理由反对它们所显示的垂直运动可能起源于水平运动。

某些地球物理学家,例如杰斐列认为找不出足够强大的水平力量反抗重力的作用,把大陆上若干高山地区抬到它们现在所达到的高度。实际上就重力的作用而言,这也是片面的看法。

当我们根据重力异常资料(—500毫伽),考虑到西藏高原的硅铝层厚度,大约有五、六十公里的时候,我们就不难理解,起源于重力作用的地壳均衡补偿,就会让这个高原升到它现在的高度。因此,问题的核心不在于重力的作用,而是在于西藏高原的硅铝层为什么达到这样的厚度。我们还得记着,晚到白垩纪乃至第三纪的时期,西藏地区至少部分地受到海浸的影响,就是说西藏地区现在所拥有的那样厚的硅铝层,在过去漫长的地质时代,并不全部存在,也就是说,作为现今西藏高原的基底的全部硅铝层,不是它所固有的。这个事实和从喜马拉雅山脉到昆仑山脉之间地区所显示的,自从第三纪以来所发生的强烈挤压现象,结合起来考虑,就很难避免这样的结论:即西藏地区之所以升高,是由于它下面拥有厚度异乎寻常的硅铝层,而这个硅铝层的加厚,是由于它的侧面——主要是南北两面——在晚近地质时代,受到了强烈的挤压。

2. 从地壳各部分的结构探讨它们所经过的运动的方式和方向

在前面已经提到,造山、等同造山、造陆各项构造运动,都是属于由地壳结构所显示的运动方式。事实上,传统构造地质学还提出了其它地壳运动方式。例如,在地层未曾受过褶皱极为平缓的地区,另外在曾经经过强烈褶皱以后,逐渐僵化成为“稳定”的地区,有时发生复杂的、规模宏大的断裂和这样断裂了的地块,彼此之间发生相对升降或在水平面上相对错动的运动,统称为克拉通运动。又如,在缓慢升降,特别是下降地区,例如盆地的边缘或其中在构造上具有特殊意义的地带,发生局部相当强烈的褶皱和断裂。这种运动方式,既不属于造山运动,也不属于克拉通运动,实际上它们是和有关地区的缓慢升降运动分不开的。

上述局部性的相当强烈的运动和有关地区一般性的舒缓升降运动的关系,只是一个普遍原则的特殊表现。所谓普遍原则,就是局部运动是由更广泛的区域运动来决定的,不管运动的性质是属于造山、造陆、克拉通或其它方式的运动。

地壳各个部分在各个时代所表现的运动方式,是和运动方向的问题有紧密的联系。

这一原则,特别由运动的方向显著地表现出来。传统构造地质学认为,当仰冲和逆掩断层或倒伏褶皱发生的时候,仰冲和逆掩或倒伏的方面,是主动地往前推动的方面;跟着又假定,压力是由那一方面来的。这种假定已经根深蒂固了。但究其实际,它并没有可靠的基础。不错,我们知道与仰冲、逆掩或倒伏褶皱的走向成直角的方向,在冲断面或倒伏褶

皱带的两边,是曾经发生过相对挤压和由于相对挤压发生过相对位移的。但仅仅就这种构造现象本身来看,如果我们有理由认为压力来自仰冲或逆掩,抑或褶皱倒伏方面,我们也同样有理由认为压力来自俯冲和被逆掩断层或倒伏褶皱所掩覆的方面。由于拘守传统的陈规,地质学家们,从前述各种构造现象,在进一步追求地壳各部分运动方向的努力中造成了不少的混乱。

一部分地质学家对上述从地质构造现象来推论有关地壳各部分的相对运动,不大注意或不注意,这是起源于对地质构造现象观点根本不同的分歧。如果我们站在动力地质学方面来考虑问题,漠视或轻视这些现象,比上述拘守陈规,断定运动的方向,错误就更加严重些。

自从苏士的时代以来,传统的构造地质学,根据喜马拉雅山脉往南仰冲的现象,认为是喜马拉雅以及在它以北和它具有“协调关系”或和它平行的褶皱山脉地带往南推动的证据;同时又根据阿尔卑斯山脉往北仰冲和掩覆褶皱往北倒伏的现象,认为是阿尔卑斯地区往北推动的证据。在同一个欧亚大陆上大致同时的一场大运动中,运动的方向在主动方面发生了这样大的差异,是很难理解的。

在我们的野外经验中,还看到许多的仰冲和倒伏褶皱带,一般在一个褶皱带中,它们大都是一边倒,但在同一褶皱带也经常遇到少数仰冲和倒伏褶皱向反对的方向仰冲或倒伏。在这些事实面前,我们更没有理由断定仰冲和倒伏的方面是主动向前推动的方面,就是说是发动运动的方面。

大家知道,杰斐列从地球物理学家的观点对地壳运动问题作出了许多重大的贡献,但当他从地质构造现象论地壳运动的方式和方向的时候,他却仅仅强调倾斜大致 45° 的断裂面的重要性。这种看法和前述拘泥于仰冲(包括瓦迭式构造)和褶皱倒伏(包括等斜构造)方向的想法,很显然都是片面的。由于杰斐列只看中了他所假定的倾斜 45° 的扭断裂,那就很自然地导致他达到,地壳各部分的运动,主要是互相毗连的地区,在垂直方向发生了扭动的结论。其它类似的根据片面的构造事实或假定,一蹴而作出不正确的结论的例子还很多,在此无逐一讨论的必要。

从地质力学的观点来看,一切仰冲和杰斐列所强调的断裂面,都是扭动现象。这种扭动现象之所以发生,如果是象杰斐列所主张的那样,由于扭断面两边的地块发生了相对升降运动的话,那就必然产生在和那种断裂面大致成直角的方位,产生性质相反的结构面,这种结构面,一定是挤压兼错动的结构面,如果前者是张裂兼错动的断裂面的话。但是,杰斐列并没有指出这一对性质相反的结构面的存在。我们从野外观察的事实中也得不到对于这方面的补充资料。至于仰冲断面之所以发生,是有两种可能的:其一是由于为仰冲断面所切断的地层,对于在它下面的地层,在近于水平面上发生了错动,亦即扭动;这样扭动的结果,必然在向前移动的地层中对于主要的扭动面,呈倾斜 45° 上下的角度,发生两组破裂面,一组破裂面,必然顺往前滑动的方向,较为发育,其性质是压性兼扭性的(瓦

迭式构造);另一组应该与前一组交叉,其性质是张性兼扭性的,这一组一般发育不良,或甚至匿迹。另一种可能是被仰冲断面所切断的地层两边受到挤压,在这种情况下,在受到挤压的地层中,将会发生两组扭性断裂面,互相交叉,其中一组可能比较发育,形成仰冲面。无论在上述两种可能哪一种适合实际情况,都是有关岩层在水平方面受到了侧面平衡的或不平衡的挤压的结果。至于在发生褶皱倒伏和冲断的地带,哪一边居上,哪一边居下,是由局部既成的构造形式、岩层沉积的历史或岩体侵入的形态和它们的性质、当地的地形以及其他条件来决定的。那些条件,根本不涉及运动的方向和压力作用的方面。

在第二章中已经论到地质力学对地质构造形迹的总的看法,强调地指出了一切构造形迹,包括短程和长程的冲断,都是某一构造体系的组成部分。只有从构造体系,特别是扭动构造型式,亦即形变图像的特征来分析,才能全面地了解整个有关地区运动的方式和方向。

一般地说,由局部构造形迹所显示的运动方式和方向是多式多样的。有由主压应力的作用形成的,也有由主张应力的作用形成的,又有由最大扭应力和岩层内部阻力联合的作用形成的,更有由压应力和扭应力或张应力和扭应力的联合作用形成的。当我们发现那些各式各样的局部构造形迹,按照一定的规律排列和组合起来,形成“一盘棋”的局面时,我们就不难认识有关地区作为一个整体的运动方式和方向。从此,我们就可以了解关于区域构造运动的一个基本原则,即区域性的整体运动是主要的,一切局部运动是由它来决定的。这就说明了恰恰是局部运动的方式和方向的多样性,总合起来,才能显示它们所属地区整体运动方式和方向的统一性。

这些局部构造形迹,当它们最初发生的时候——不是经过了塑性歪曲以后——它们都应该确切地反映局部应力作用的方式和方向。因此,我们可以说,从局部构造形式,亦即局部形变图像特征,来探求局部应力作用的方式和方向,是考察局部构造运动的正确道路。不过这一步工作并不是很简单的。在论到级别时已经提到,我们必须牢牢地记着,在大的“一盘棋”的局面下,还存在着小的“一盘棋”的局面。就是说在高一级的构造体系中,还存在着比较低一级的构造体系。例如一个背斜,作为一个较大的构造体系的组成部分,可以看作是一项单纯的结构要素,但是实质上这个结构要素并不单纯,它往往有和它伴随的一套断裂面,构成它们自己的局部构造体系,这个局部构造体系,总合起来,显示局部主压应力的作用方向,即与背斜轴成直角的方向,尽管在它的组成部分中,还存在着扭性和张性断裂面。如果认为那些张性断裂面,扭性断裂面,直接反映比较高一级的构造体系的局部应力作用,那就对构造体系的认识,会引起很大的纷乱。总之,一个张裂或扭裂面以及一个褶皱所反映的应力作用的方式和方向,并不一定和引起这种应力作用的区域性构造运动的方式和方向完全相符。

一个张裂面的产生,可能是与那个张裂面成直角的方向张应力作用的结果,也可能是与那个张裂面平行的方向压应力作用的结果。一个扭裂面的产生,毫无疑问,是沿着它发

生了扭动的结果,但是,这种扭动的发生,可能是简单地起源于有关岩块中发生了错动,也可能是和那个扭断面大致成 45° 角度或稍小于 45° 的方向,发生了局部的挤压,亦或在另一个成 45° 或稍大于 45° 的方向,发生了引张作用。一个褶皱,毫无疑问,是和褶轴成直角方向发生了压应力作用的结果。但是这种压应力的发生,可能是有关岩层单纯地受到挤压的结果,也可能是由于局部扭动的结果。在一群褶皱局部形成雁行排列的场合,这种由于局部扭动而发生压应力作用的结果,特别显著。因此,在考虑形变图像的时候,我们不能处处直截了当地把最初主压应力作用面就摆在现今所观察到的褶皱或其他挤压带伸展的方向;也不能处处直截了当地把最初主张应力作用面摆在现今实际观察到的张裂面伸展的方向;同样,更不能处处直截了当地把最初最大扭应力的作用面摆在现今所观察到的扭裂面伸展的方向。

如若我们按照各种构造型式组成的规律作组合的分析,并且经常注意到,某一级构造体系只能对次一级构造体系起直接控制的作用,同时还注意到从运动学方面转到动力学方面所必须考虑的问题,上述复杂情况就不难理解,也不难解决。

三、运动的起源和动力的来源

关于地壳运动起源问题,仅仅从地质构造学的观点来说(地球物理学的观点,姑且不提),也是头绪纷繁的。在此我们只能根据本书中所提到的地质力学的方法,并参考若干主要构造地质学派的观点,对这一复杂问题作进一步的探讨。

前面已经说过,确定地壳运动方式,特别是运动方向,是追索地壳运动起源的先行步骤。从地壳组成方面,尤其是从大规模海浸、海退(小规模的海浸现象,可能起源于内陆冰盖和冰川的溶解、陆地局部的下沉,这些都与大规模的海浸现象,不具有同等的意义)以及大陆上规模较大的隆起或沉降等等现象,来推测地壳运动的方向,当然垂直运动是显而易见的。但是如果寻找一个比较彻底的有关地壳运动起源问题的答案,那就迫使我们追问,为什么恰恰在某一地区或地带,发生了某种形式的隆起?又为什么在某一地区或地带发生了某种形式的沉降?假如各种类型的褶皱和断裂,都是起源于隆起和陷落,为什么褶皱或拗褶以及断裂,一般都各自朝着一定的方向伸展,按照一定的规律排列和相互穿插?收缩的地球象干苹果比喻,固然地质学家们久已承认不能解决这些问题,现在看起来,任何单纯的收缩论,也都不见得为解决这些问题的希望。

从地壳的结构方面,特别是各种构造体系在地壳上各部分的分布、排列和形式,来寻找地壳运动的方向,首先我们必须承认下述极为突出的巨大事实:即到现在为止,我们所能确定的巨型构造体系,都具有一定的方向性。如第二章中已经叙述的那样,有的是走向东西的复杂构造带。它们大都是从很古的地质时代以来,直到晚近地质时代,反复经过了沉降、隆起、褶皱和断裂的运动。有的是走向南北的构造带。这些构造带有大有小,或起源

于挤压作用,或起源于张裂作用。其中规模巨大的,包括巨型地向斜,或广袤的褶皱山岳地带,规模较小的,包括局部走向南北的褶皱和仰冲或张性断裂。还有许多由于在水平面上发生了扭动而形成的构造型式,例如多字型构造、山字型构造、旋卷构造等等,都是东西和南北向水平运动发展不平衡的产物。因此,它们都可以被看做是东西、南北向构造的变种。

在世界许多地区可以确定的山字型构造,也是和出现在中国境内的山字型构造一样,它们的前弧,绝大多数都向低纬度方面凸出,只有在个别的场合,向西凸出。这一事实表明,卷入山字型构造地区的中部地段,对它两旁的地段向低纬度或向西发生了不平衡的水平运动。这种不平衡的水平运动,可能是由于两旁地段固着在基底较紧,而中部地段在基底上比较容易向低纬度或向西滑动的结果;也可能是中部地段固着在基底上较紧,而两旁地段比较容易向高纬度或向东滑动的结果。不管那一种可能符合于实际情况,中部与两旁地段发生了南北向或东西向的相对扭动,乃是无可争辩的事实。

在中国西北部,包括河西系褶皱在内的多字型构造,显示东面相对向南,西面相对向北的扭动;而在中国东部新华夏系多字型构造,却显示西面相对向南,东面相对向北的扭动。这些构造体系所表示的扭动方向,完全与祁吕-贺兰山字型构造所表示的扭动方向一致。这种不平衡的运动,正好说明阴山东西复杂构造带为什么在它的中段略微向南弯曲,而在它的东西两头显现偏北的趋势。出现在中国西部的巨大歹字型旋卷构造,也同样表示青藏高原以东的地区对前者发生了向南扭动。诸如此类,在中国境内,自从燕山运动以来出现的第一级构造体系所表示的运动方向,是彼此互相印证的。由这些构造体系所反映出来的构造运动方向的统一性,不是偶然的契合,而是同一主要由北而南的地壳上部某一指定部分的水平运动,在它的基底和它的一旁或两旁受到了阻碍而产生的结果。这种大规模的水平扭动,不可能是如某些地质学家所想像的那样,由于覆盖层在倾斜的基底层上滑动而产生的。如果基底的倾斜是产生分异水平运动的原因,那么,就山字型来说,愈到前弧的顶部,表层的褶皱必然愈见强烈,事实却不是这样。山字型前弧的顶部褶皱往往远不如它的两翼特别是反射弧部分那样强烈。另外还有些山字型构造的前弧,冲破了属于东西构造带的山岳地带,或者与属于东西复杂构造带高山地区相接触。在这种情况下,我们更没有理由假定山字型构造所在地区的基底,向高山地区往下倾斜。

关于南北向构造,我们现在知道,它们不仅仅象卡尔宾斯基当时所指出的那样,出现在美洲和亚洲某些部分的西边以及其他若干地区,并且在地壳更多的部分,还存在着大量走向南北的大、小构造带。这些走向南北的构造带,有的是属于挤压性的,有的是属于张裂性的。

总起来说,由于南北向和东西向平衡的和不平衡的挤压或引张运动而形成的各种构造体系,在地壳的结构形式中是占有极为重要地位的。以研究潮汐著名的力学家达尔文,也曾经从理论方面论到地壳表面上有协和山脉出现的可能。所谓协和山脉,就是指互相平行、走向东西的山脉。其所以称为协和山脉,是由于它们的成生可能受到一种带协和函

数(一种球函数)的控制。可是达尔文自己或当时以及以后的地质学家们,并没有从地壳构造方面指出协和山脉的存在。直到二十年代的末期,我们对这种强大东西构造带的分布,才有所认识。李奇可夫当时所提出的关于大陆表面形象分带的看法,大体上是与这些构造带横亘东西的事实相符合的。关于这些构造带的性质和位置,本篇第二章中已经有所叙述。近几年来,斯托伐斯、卡特尔菲尔特、沃洛诺夫以及其他研究这一问题的专家,包括天文学家如埃根松等,主要根据地球自转的影响,即在二级协和函数¹⁾控制的基础上,各自提出了新的论证。看起来,这一方面的研究将会有更大的发展。

在这里应该提到在地质界的某些方面一度受了批判,而近年来却由于古地磁工作的发展又见活跃的魏格纳大陆漂流说(1910)。虽然它主要是建立在硅铝层和硅镁层的比重不等、若干大小陆块现今边缘形状的相符性、古气候带地位的改变和陆上古动物群及古植物群分布情况等事实的基础之上,而对于使大陆分裂和移动的原因,他还是归源于地球的自转。事实上早在1858年斯尼德已经提出了欧非和南北美两大陆在石炭纪时代合一的见解,不过为人们所遗忘了。

如果说,东西构造带可能是由于地壳运动受到高级带协和函数的控制而产生的话,那就没有理由排除纵协和函数控制南北向构造带的可能性。不管这些控制地壳大规模运动的协和函数存不存在,或者以什么样的形式存在,在目前,我们总不能不承认出现于同一地区中各种构造型式所表现的运动方向的统一性、大规模地壳运动的定向性和地壳运动

1) 协和函数是满足拉普拉斯方程式,即

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0,$$

亦即简称为 $\nabla^2 u = 0$ 的函数,这里 $u = f(x, y, z)$, x, y, z 为直角坐标。在重力场中或离心作用的影响下某一点的位势的变率,等于在那一点单位质量的重力或离心力。命地球的质量为 M , 它的半径为 R (假定地球的形状与球形很接近), 则在地球表面上任何一点在重力场中的位势为 M/R , 因为 $d(MR^{-1})/dR = -M/R^2$, 这就是作用于那一点单位质量的重力。 M/R 满足 $\nabla^2 u = 0$, 因此它是一个协和函数。同样, 命地球的角度为 ω , 在以地心为原点, 地球旋转轴为 z 轴的 x, y, z 直角坐标系统中, 地球表层中某一点离地球轴的距离为 r , 则在那一点单位质量的离心力为 $\omega^2 r$ 。由于

$$\frac{d(\frac{1}{2}\omega^2 r^2)}{dr} = \omega^2 r,$$

所以 $\frac{1}{2}\omega^2 r^2$ 就是在那一点单位质量在离心力作用的影响下所应有的位势。很容易看出, 这个数量也就等于角速度为 ω 的单位质量在那一点的动能。由于

$$r^2 = x^2 + y^2,$$

$\frac{1}{2}\omega^2 r^2$ 可写为

$$\frac{1}{6}\omega^2(x^2 + y^2 + z^2) + \frac{1}{6}\omega^2(x^2 + y^2) - \frac{2}{6}\omega^2 z^2.$$

如果不要求绝对精确, 也可以写为

$$\frac{1}{3}\omega^2 a^2 + \frac{1}{6}\omega^2(x^2 + y^2 - 2z^2),$$

$$\text{这里 } a = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2},$$

它是与球形很接近的一个等位势面的平均半径。对这个等位势面上任何一点来说 $\frac{1}{3}\omega^2 a^2$ 可以作为不变量看待。当离心力位势和重力位势需要结合起来处理的时候, 可以把这个量归并到重力位势中。前式的后一项显然满足 $\nabla^2 u = 0$, 就是说, 是一个协和函数。它是一个二级协和函数。以上所举的两种协和函数, 对分析地球在它自己的重力场中自转以及潮汐作用的影响, 具有重要意义。

的定时性以及周期性,是有关地壳大规模运动的基本规律。任何关于地壳运动的理论,必须给这些基本规律以明确的说明。

如前所述,各种扭动构造型式既然可以被看做是东西、南北向构造形式的变种,那么,它们所表示的方向性就显然与地球的旋转轴有一定的联系,它们的成生也显然和地球的自转有一定的联系。

不过为了寻找上述基本规律的根源,我们应该注意到,决定地壳运动方向的因素是一回事,让地壳各部分有发动周期性水平运动和与之伴随而来的垂直运动的可能又是一回事。这两个方面,必须同时加以考虑,才不致陷于片面地寻找问题的答案。如果上述东西向和南北向的构造运动,简单地起源于地球自转作用的话,那么,在地球自转了几十亿年的过程中,为了适应固定的重力和离心力联合力场的要求,它的外形和它的表层内部结构,应该早已达到了平衡的状态,大规模地壳运动就不会时起时歇,也不会迟到第三纪乃至第四纪还会有上述那样两种方向的运动发生。这样,在论到决定地壳运动方向的因素的时候,我们应当考虑的不是地球自转,而是地球自转速度变更的问题。当我们考虑地壳中有些什么可以验证的周期性作用,使这种间歇性的运动得以发动的时候,不仅仅是岩石在不同的温度和压力的条件下,具有什么样的机械性质,而且是地温在地壳中有没有可能发生周期性的变化,以致影响了地壳中某一层岩石的强度,以及地球受到了什么样的作用,使它的角速度的变更能够达到一定程度的问题。

使地球的角速度改变和地壳中以及地壳下逐渐具备发动前述定向运动的条件的原因,可能来自与地球有密切联系的天体,特别是月球和太阳;也可能来自地球自身的内部。先说来自天体方面的可能:就地壳定向运动的要求来看,一部分天体力学家,其中最出色的是达尔文和一部分的地质学家,其中如大家所熟悉的有泰勒、约理、李奇可夫等,都认为月球对地球所发生的潮汐作用,是地壳上发生构造运动的总原因。关于太阳的活动可能影响地壳运动的设想,若干苏联天文学者和天文地质学者,最近提出了论证。他们之中,有的如埃根松认为太阳的活动影响地球的角速度,有的如司那尔斯基认为太阳的活动与地球磁场的强度的变化有关。司那尔斯基应用了磁场削弱时,解脱了磁性的物质就会发热的假设和地球磁场变化的十一年周期与太阳活动的十一年周期相应的事实,他认为地壳中等温面的上升和下降,不是使这个磁场强度发生变化的原因,而是结果。这一新颖的假设,提出了磁场强度的变化在地壳中怎样创造条件使构造运动成为可能。

其次来自地球自身内部的原因是更加明显的。大家知道,地壳中广泛地散布着放射性物质,这些放射性物质,都不断地发热,在地表的温度大致不变,并且在岩石的传热率和地热梯度的一定条件下,地壳下部的温度就有逐渐增高的可能。约理抓住了这种可能性,作出了大约每三千万年的时间,地壳下部的岩石,就会发生一次熔解的结论。施密特在他的地壳起源论中,关于放射性物质对地球的热历史的重要性,有更大的发展。还有许多地质学家,包括在早期应用矿物的放射性鉴定地球年龄的霍姆斯,在这一方面作了大量的工

作。看来地壳中放射元素的存在和它的热态,毫无疑问,是有密切关系的。可是,放射元素在地壳各部分乃至地壳以下究竟是如何分布,却是悬而未决的问题。单从若干类型岩石标本的放射性来断定放射物质在地壳中和地壳以下的分布规律,是不可靠的。正如克拉斯可夫斯基所指出的那样,过去在地球各处所测定的有关地球热态的各项数据,也很多是不可靠的。

在这种情况下,约理和其他地质家假定放射元素在地壳中按一定规律分布所提出的等地温面变化的程度,都须要加以严密的检查,但也值得加以广泛的调查和研究。这种作用,主要是为地壳定向运动创造条件。

现在我们再看地球内部有什么可能的作用,产生动力,发动地壳中的定向运动。

前面已经提到地球自转速度变更的问题。我们知道一个旋转物体的角动量是守恒的。这条普遍性的自然规律,一般用公式表明如下:

$$\omega I = C。$$

式中 ω 为旋转物体的角速度,

I 为旋转物体绕着它的旋转轴的转动惯量,

C 为一常数。

当 I 发生变化的时候, ω 就必以反比例发生变更,就是说,当 I 减少的时候, ω 必然加大。如果地球的质量向地球的中心移动的时候, I 就必然减少。这种变化,可能起源于几种不同的作用: 1) 整个地球收缩(收缩论); 2) 在地壳上显现出来的大规模沉降(垂直运动论); 3) 在地球内部可能发生的重力分异运动和轻重不等的熔岩的对流等等,都已被不同的学派作为假定提出来了。不管哪一种假定接近于实际,只要这些作用中的任何一种,或在它的某一阶段,能够让地球的质量总计起来向它的中心收敛达到一定的程度,地球的角速度也就会加快到一定程度,以致地球整体的形状不得不发生变更。在地球的表层或地壳的上层,抗拒这种变化的强度较小于地球内部的时候,特别是等地温面上升的时候,一定强度的水平力量就会在地壳上层更容易发生推动它的效果,以适应地球新形状的要求。这种作用所引起的力量,很清楚是由于地球角速度加快而加大的离心力和重力的作用结合起来而产生的水平分力。这个水平分力恰恰符合于地壳中某些部分水平运动的要求,特别是形成山字型构造的要求。

同时,可以想像,地壳或者它的上层对它的基底固着的程度,不一定是均匀的。假如地壳表层两个相毗连的部分之间,不以同一步调跟着地球的旋转加速前进的话,于是,这两个部分之间,就会发生指向东西的挤压或张裂。如果在东面的部分,不象在西面的部分那样,跟着地球的旋转加快而变快,它们之间就会沿着南北伸展的地带,在水平面上发生挤压和扭裂现象。如果在西面的部分不象在东面的部分那样,跟着地球的旋转加快而变快,它们之间就会沿着南北伸展的地带,在水平面上发生张裂和扭裂的现象。但必须指出,那些扭裂现象,不一定处处出现。即使出现的话,大致走向东北和走向西北的两组裂面,

也不一定平均的发育,甚至仅仅只有一组发育。

以上说明,由于地球角速度的变更,不仅走向东西的构造体系和山字型构造体系等等可以跟着产生,而且走向南北的构造体系,也可以跟着产生。

根据角动量守恒的原则,我们还可以看出,当地球角速度变小的时候,绕着它的旋转轴的转动惯量,就应该加大,也就是它的质量的分布应该向外扩散,亦即它的体积涨大或比较重的物质大规模向地球上面移动。由于地球转动惯量变更以致它的角速度发生变化的看法,三十余年以前,在中国又在匈牙利(施密特)不约而同地提出,不能说是偶然的。中国西南部及世界其他地区二叠纪时代的大量玄武岩流,自从第三纪初期以来,在印度半岛估计面积约 100 万平方公里以上的德干暗色岩盖,印度洋西部地区、大西洋北部许多地区和太平洋区所广泛分布的基性岩流以及在各个大规模造山运动时代侵入地壳上部各种较重的火成岩床和岩体等等,都是地壳以下或地壳下部较重的物质大规模上升的陈迹。

当地球中质量的分布这样改变,同时又不断受到潮汐作用的影响,从而使它的角速度变小的时候,地球的扁度就会过大,不能适应它的自转速度的要求,这样也就有可能和上述的情况相似,发生走向东西和走向南北的断裂和褶皱。

现在我们要问,地球的角速度是否发生过变化?古代日蚀的记录和近代若干天文家的观测,对这一问题的答复是肯定的。他们大都认为:地球的角速度有变慢的总的趋势;另外也有人——如尤列——保持相反的看法。实际上,历史的记录证明,地球自转的速度是时慢时快的。在它的种种快慢变化中,有一种“不规则”的变快变慢。虽然在历史时期,这种不规则的变化,程度不大,但是我们没有根据用这种历史时代的变化来衡量地质时代可能发生的变化。就是说,我们没有理由排除这种可能:即在地质时代中,地球自转速度的变化,累积起来,有时超过了地球表面形状还能保持平衡的临界值,也就是说,我们没有理由断定地球质量的集中,达到让地壳表层发动运动的临界状态以前,就会停止。

从另外一个角度,我们还可能探讨地球旋转速度可变性的问题。地球和月球是互为侣伴的一个旋转体系,因之不应忽视地球旋转速度的变化有影响地-月间平均距离的可能。我们无从知悉,在地质时代中,地-月间的距离是否发生过变化,但我们可以直接观测其他行星和它的卫星间的距离现今是否发生变化。如果能够测定任何一个行星和它的卫星之间的距离的变率,并且进一步测定那个行星的旋转速度也相应地发生了变化,那么,这一条行星和卫星互相关联的运行规律,显然也很可能适用于地-月旋转体系。这一方面的探索,看来是值得注意的。

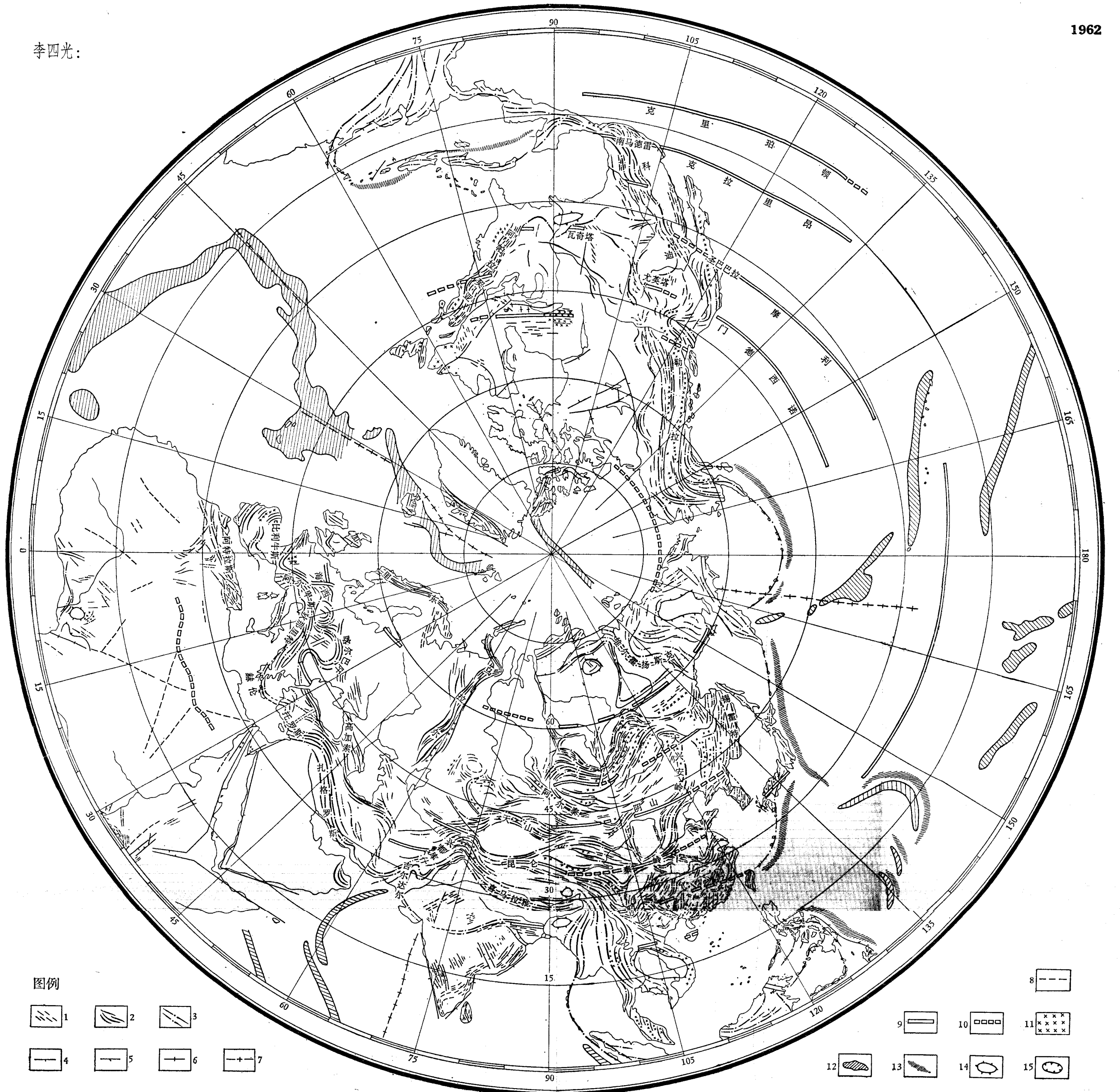
综合上述各种情况,我们可以提出下面的看法,当地球角速度加大到一定的程度时,地壳,特别它的上层,在等地热面上升的条件下,就会沿着某些纬度和某些经度发生主要是挤压性或张裂性的大规模构造运动,同时,在某些个别的地区,又会发生水平的扭动,这些运动的总的主要趋向,是要让地壳的扁度稍稍加大,让地球的形状适应它加大的自转速度。一旦这些大规模构造运动发动了以后,跟不上随着基底往东加速前进的大陆部分,

不免有整体稍微向西错动的趋势,例如南北美洲就可能是这样的大陆块。当比较坚硬的由基性岩组成的太平洋底,阻挡它们向西滑动趋势的时候,就有可能在南北美洲的西部边缘,发生大规模的褶皱或拗褶。科迪勒拉和安第斯地向斜,以及在这两个地向斜中继起的褶皱山脉,很可能就是这种作用形成的。由于这种运动在某些趋向于向西错动的大陆的基底和前面受到阻碍,发生摩擦,又由于大规模较重的岩石,向地球表层侵入或向地表流出以及由于大规模区域变质等等作用的影响,还有由于潮汐的影响(尽管有些研究潮汐者认为这种影响大部分是“弹性”的),地球的角速度又会稍稍变慢了。角速度变慢的结果,又有可能发生与上述情况类似但方向相反的构造运动。这样,我们可以提出一个简单的推断:即在全球性大规模构造运动发生以前,地球角速度应该在一个时期中逐渐加大,而在大规模运动的期间及其以后,它的角速度就会显著地变小了,并且继续变小,直到它的角速度又重新加大。有人认为这样产生的动力,不够强大到把喜马拉雅、落基、安第斯那样的山脉抬高到它们所达到的高度。这是把两种造山作用,混为一谈。水平推动的力量,只是使地壳发生拗褶或褶皱,包括大型地向斜和各种断裂。它的大小是由岩石在长期遭受应力,特别在温度升高、压力加大的条件下所表现的强度来决定的。至于把褶皱的地带抬高起来,成为山岳地带这一现象,是与重力有关的均衡作用的必然结果。

如果上述的论断可以接受的话,我们将不可避免地面面对又一个重大问题:海洋是液质构成的,它没有强度。假如地球角速度加大,在低纬度方面应该立刻发生普遍的海浸现象,而在高纬度方面发生普遍的海退现象。在地球角速度变小的时候,情形恰好相反。看起来这一巨大的复杂问题,是不容易在短期内获得解决的。由于地壳局部发生了升降运动,从而发生了局部海浸海退的现象,更加加重了这个问题的复杂性。只有在某些特别有利的条件下,即地壳上大片稳定地区,发生了广泛的海浸现象的时候,例如印度的南部,非洲北部在晚白垩世时代所发生的海浸现象,我们才能够对上述推论获得比较可靠的验证资料。

根据上述的看法,我们可以说,地壳的构造运动,是控制地球自转速度的自动机制,就是说,地球自转加快,就包含着使它变慢的作用,这是对立的统一,是和许多自然现象所显示的一般规律相符合的。

附 录



图例

- | | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

北半球表面出露的主要构造带简化图

图例说明: 1.寒武纪以前或震旦纪以前出现的压性和压扭性结构面(包括片理叶理等)走向; 2.主要古生代出现的构造带,但在某些地区可能夹杂着更老的结构面(例如阿帕拉契亚带西北部的蓝岭带); 3.中生代以来出现的构造带, 2、3两项构造带一般由褶皱、逆断层或逆掩断层和其他压性结构面以及与其它伴生的各种断裂混合组成; 4.以垂直错动为主的断裂带; 5.以水平错动为主的断裂带; 6.错动方向不明的断裂带; 7.推测的断裂带; 8.性质不明的构造带; 9.东西复杂构造带,一般由大致走向东西的巨大断裂、强烈褶皱、条状火成岩侵入体以及伴随它们的各种构造形迹组成; 10.被掩盖的和推测的东西复杂构造带; 11.巨型火成岩体(主要是花岗岩体)延伸方向; 12.海岭; 13.海沟; 14.穹窿体; 15.构造盆地。

外国人名、地名索引

页	行	中文名	外文名	页	行	中文名	外文名
1	22	莫霍洛维奇	Mohorovičić A.	27	27	阿纳脱里亚	Anatolia
2	16	司天诺	Steno	28		罗多彼	Rodopi
5	28	阿尔摩利加(阿摩力)	Armorica	29		比利牛斯	Pyrenees
5	22	阿拉巴里	Aravalli			坎塔布连	Cantabrian
9	27	日尔曼	Germany	31		宾夕耳法尼亚	Pennsylvania
10	30	阿留申	Aleutian			阿帕拉契亚	Appalachian
11	2	鄂霍次克	Охотский	33		落基	Rocky
11	13	恒河	Ganges R.			科迪勒拉	Cordillera
		扎格罗斯	Zagros	28	2	尤英塔	Uinta
		美索不达米亚	Mesopotamia	6		夏威夷	Hawaii
14		阿曼	Oman	8		肯特	Kentai
		狄那里	Dinarid			唐努	Tannu
		威尼斯	Venice			阿登	Ardennes
		亚得里亚	Adria	11		魁北克	Quebec
23	10	柯列特尔	Крејтер В. М.			安大略	Ontario
26	31	阿马尔坎塔克	Amarkentak	14		安加拉	Ангара
	32	比哈尔	Bihar			阿尔丹	Алдан
	33	冈瓦纳	Gondwana			奥廖克马	Олѣкма
27	1	布希维尔特	Bushveldt	29	16	安达曼	Andaman
		勃勒脱利亚	Pretoria			尼科巴	Nicobar
	2	加斯科英	Gascoyne	31	2	恩迪可特	Endicott
	3	马兹格雷夫	Musgrave	4		乌拉尔	Урал
	4	圣保罗	Sao Paulo			卡尔宾斯基	Карпинский А. П.
	5	日斯巴尼亚	Hispaniola	13		隆河(罗纳河)	Rhone
	6	加勒比	Caribbean			来因	Rhein
		巴特累特	Bartlett			斯堪的纳维亚	Scandinavia
		帕拉斯	Parras	32	20	格佐夫斯基	Гзовский М. В.
7		克拉里昂	Clarion	36	10	维宁·迈勒慈	Vening-Meinez
8		波多黎各	Puerto Rico	41	10	朱格朱尔	Джугджур
9		安第斯	Andes	42	1	斯米尔诺夫	Смирнов С. С.
		克利珀顿	Clipperton	45	22	施密特	Schmidt E. R.
11		帕勒帕迈塞斯	Paropamisus	49	25	兴都库什	Hindu Kush
12		阿特拉斯	Atlas	26		苏来曼	Suliman
		俄克拉何马	Oklahoma			吉尔达尔	Kirthar
		阿肯色	Arkansas	30		梅克兰	Makran
13		阿乌哇契它	Ouachita	33		克尔迪斯坦	Курдистан
		洛杉矶	Los Angeles	50	4	俾路支	Baluchistan
		圣巴巴拉	Santa Barbara	51	1	托罗斯	Toros
14		圣伯纳迪诺	San Bernardino	2		安卡拉	Ankara
16		圣克鲁兹	Santa Cruz	11		赫伦	Hellen
		圣罗扎	Santa Rosa	13		罗兹	Rhodes
		圣米格尔	San Miguel			卡索斯	Kasos
18		摩利	Murray			克里特	Crete
20		开普	Cape			爱奥尼亚	Ionian
26		费尔干	Ферган	14		品都斯	Pindus

頁 行	中 文 名	外 文 名	頁 行	中 文 名	外 文 名
51 15	达耳马威亚	Dalmatia	66 6	多米尼加	Dominica
16	基克拉迪	Cyclades	13	加利福尼亚	California
17	纳克索斯	Naxos		圣安德利亚斯	San Andreas
	希沃斯	Khios	67 5	巴厘	Bali
19	加多姆	Cadom		佛罗里斯	Flores
22	散通日	Saintonge	7	阿纳巴尔	Анабар
25	奥维尔尼	Auvergne	8	太梅尔	Танмыр
26	卢瓦尔	Loire		维尔霍扬斯克	Верхоянский
	摩尔番	Molvan		卡维尔	Kavir
29	朗哥伦	Llangollen		厄尔布尔士	Elburz
30	威尔士	Wales	9	古尔甘	Gurgan
31	沃希	Wash		科彼特	Kopet
32	奔宁	Pennine	32	班达	Banda
52 7	新斯科夏	Nova Scotia	68 3	喀尔巴阡	Karpaten
12	阿·克茨	Keith A.	6	波姆	Boen
19	辛辛那提	Cincinnati	9	巴拉望	Palawan
	蓝岭	Blue Ridge		卡加延	Cagayan
22	拉那密	Laramide		卡加延苏禄	Cagayn Sulu
23	奥林匹亚	Olympia		桑吉	Sangihe
24	门德西诺	Mendocino	11	沙捞越	Sarawak
	犹他	Utah	26	萨胡尔	Sahul
26	格林	Green	28	怀古	Waigeo
53 图 12 注	埃尔德列	Eardley A. J.		浮格科普	Vogelkop
54 7	小安的列斯	Lesser Antilles	29	焦瓦尔	Jauer
8	拉巴斯	Lapaz		阿鲁	Aru
9	瓜阿基尔	Guayaquil	30	斯豪顿	Schouten
10	亚马孙	Amazon		卢伊济阿德	Louisiade
	克连克尔	Krenkel E.	31	苏拉	Sula
16	林波波	Limpopo		欧比	Obi
17	卡拉哈里	Kalahari	32	密索尔	Misul
	卡鲁	Karoo	33	卡伊	Kai
18	杜兰斯瓦	Transvaal	34	丹尼巴	Tanimbar
	芬特尔斯多尔普	Vantersdorp	69 8	布鲁	Buru
19	涡特尔贝尔格	Waterberg		斯兰	Ceram
	普里斯卡	Prieska		瓦土北拉	Watubela
21	朗格贝尔根	Langebergen		巴巴	Babar
23	斯瓦齐兰	Swaziland		摩亚(列梯)	Moa (Leti)
24	德腊肯	Drakensberg		帝汶	Timor
	维特沃特斯伦德	Witwatersrand	11	尼拉	Nila
	德班	Durban		达马	Damar
64 1	沃洛诺夫	Воронов П. С.		罗曼	Romang
65 18	阿拉干山脉	Arakan yoma		韦塔	Wetar
20	科腊特	Korat	12	阿洛	Alor
33	邱喀其	Chugach	14	阿拉干	Arakan
	圣埃利亚斯	St. Elias	15	苏拉威西	Celebes
34	阿拉斯加	Alaska	16	太格尔	Tiger
	马更些	Mackenzie		杜康比息	Tukangbesi
66 4	马德雷	Sierra Madre	17	托洛	Tolo
6	牙买加	Jamaica	70 3	罗地	Roti

頁行	中文名	外文名
71 15	伦内尔 新喀里多尼亚	Rennell New Caledonia
16	诺福克 奥克兰	Norfolk Auckland
17	苏士 所罗门	Suess E. Solomon
18	新乔治亚 新赫布里底	New Georgia New Hebrides
19	加罗林 法劳累普 特鲁克 塞尼亚文 库赛埃 瑙鲁	Caroline Faranlep Truk Scnyavin Kusaie Nauru
20	腊达克	Radak
21	腊利克 马绍尔	Ralik Marshall
22	吉尔伯特 埃利斯 斐济	Gilbert Ellice Fiji
23	格利哥里 密克罗尼西亚	Gregory J. W. Micronesia
24	汤加 克马德克	Tonga Kermadec
25	威尔曼	Wellman H.
32	昆士兰	Queensland
34	俾斯麦	Bismarck
72 1	新不列颠	New Britain
2	阿德米勒尔提	Admiralty
3	布干维尔	Bougainville
74 12	吕对尔	Lüder
77 8	列邦 色布拉特	Lebang Seblat
	图 28 注 荷比格	Hövig P.
78 1	阿塞拜疆 达什克散	Азербайджанский Дашкесан
7	瓦底亚	Wadia D. N.
13	依·恒宁	Henning E.
14	尼日尔 廷巴克图	Niger Tombouctou
15	乍得 圣赫勒纳 巴尔·埃尔·茶萨尔	Chad St. Helena Bahr. EL. Ghasal
16	锡德拉	Sidra
17	利比亚 尼罗 廷摩 提贝斯提	Libya Nile Tümмо Tibesti
18	班韦乌卢	Bangweulu

頁行	中文名	外文名
78 22	波尔库	Borku
27	西奈 苏伊士	Sinai Suez
28	亚喀巴	Aqaba
29	马萨瓦	Massawa
30	吉布提 亚的斯亚贝巴	Djibouti Addis Ababa
31	亚丁 索科特拉	Aden Socotra
32	丕林	Perim
79 4	济贝尔格	Sieberg A.
7	宋达	Sonder R. A.
9	爱琴 基克拉迪	Aegean Kikladhes
10	南斯拉提	Sporades
16	多布列	Daubrée A.
17	厦尔尼 库尔唐内 阿米扬 底耶普	Charny (Auhe) Courtenay (Loiret) Amien Dieppe
20	霍布斯	Hobbs W. H.
21	尼皮辛	Nipissing
23	密竭根	Michigan
24	洛克兰	Rockland
26	里约帕托尔卡 里约梅坡	Rio Petorca Rio Maipo
	图 30 瓦尔帕来索 圣地亚哥 黑金伯尔格 魏伯尔	Valparaiso Santiago Hilgberg O. C. Weber Von E.
84 9	恰特卡里	Чаткал
10	塔拉所	Талас
12	开沟那	Kaikoura
13	柯通	Cotton C. A.
15	卡维利 土布巴塔哈	Cavilli Tub Bataha
20	贝兹兹菲耳德 索耳顿	Bakersfield Salton
24	英格莱乌德	Inglewood
85 图 33-1	色尔维 可令加 奥卡尔德 麦克都纳德 塞木雷克 姆德 希尔 吉尔柏尔特	Ciervo Coalinga Orchard Macdonald Cymric Moody J. D. Hill M. J. Gilbert G. K.
	图 33-2 阿日吉烈	Ажгирей Г. Д.
88 图 35-2	卢多尔夫	Rudolf

頁 行 中 文 名	外 文 名	頁 行 中 文 名	外 文 名
88 图 35-2 阿伯特	Albert	122 3 杰斐列	Jeffreys H.
维多利亚	Victoria	126 31 达尔文	Darwin G. H.
坦噶尼喀	Tanganyika	127 3 李奇可夫	Личков Б. Л.
尼亚萨	Nyasa	5 卡特尔菲尔特	Каттерфельд Г. Н.
94 2 卡尔曼	Kármán T.	6 埃根松	Эйгенсон М.
18 阜波	Fuveau	9 魏格纳	Wegener A.
24 维斯特法伦	Westfalen	12 斯尼德	Snider A.
95 5 贝尔纳	Bernal J. D.	128 21 泰勒	Taylor F. B.
97 1 马克思威尔	Maxwell	约理	Joly J.
伏依格特	Voigt	25 司那尔斯基	Снарский А. Н.
克尔文	Kelvin	32 施密特	Шмидт О. Ю.
99 9 斯托伐斯	M. B. Стовас	34 霍姆斯	Holmes A.
101 17 克罗斯	Cloos H.	129 3 克拉斯可夫斯基	Красковский С. А.
107 9 恩格斯	Engels F.	130 9 德干	Deccan
121 30 马拉约哈尔	Malla Johar	17 尤列	Урей Н. С.

李四光同志生前谈《地质力学概论》的 修订、出版问题摘要*

《地质力学概论》是1961年在青島养病时写的，很潦草，匆促搞出来，来不及详细讨论和广泛征求意见。

这本书稿时间很长了，有些东西过时了。我自己感到有些问题，外面也有些反映。六十年代初期的东西，至今已有十年了。十年来，地质力学有很大发展，应该充实新的资料。

《地质力学概论》的修订、出版，要广泛征求读者的意见。不但要搜集地质力学研究所里意见，还要吸收外面工作单位的意见。包括正面的意见和反面的意见。主要是到外面去搜集实际资料，加以充实。修改的重点是具体材料，地质力学观点无法改。

第一章，从自己主观方面看，当时考虑问题的思路是，把传统概念总结一下，从地质力学方面提出看法或批评。如果第一章不要，马上就说地质力学，那太突然了，思想的发展是有一个过程的。

第二章是说明地质力学究竟搞什么东西的，要改正不正确的材料，多弄些新的材料充实进去。要地质工作者共同支持这项工作。第六、七两个步骤应抽出来另立一章，叫做“岩石力学性质及构造应力场”。因为这两个问题很重要，所以抽出来加强一下，将近十几年的资料补充进去。应力场要做实际工作，又要做些计算工作。对应力场的认识，过去工作很不够，现在也很不够，今后应加强这方面的工作。

第三章，地壳运动时期的鉴定涉及到不整合，应加上古生物资料，在古生物方面要做些工作。古构造型式的鉴定，要举几个例子。

第四至第八个问题应放在岩石力学性质那里去谈，因为这些是涉及理论

* 系根据谈话记录整理的。

和实验问题。其余部分放在第二章地质力学的方法中。

第四章，地壳运动问题，分成两个问题，即地壳运动和地质构造。涉及地壳运动应力场部分放在后面。运动的方式和方向是地质力学观点的一个特点，从方式和方向可以产生一个概念，就是推测地球自转速度的变化。构造运动发生的时期可以和第三章中的地壳运动时期的鉴定问题合并起来。关于海洋运动是否可增添些内容。有些古地理资料，可靠的可以用一用。搞一些海浸、海退规程的资料加进去。古地磁问题也要提一下，几块标本不能代表大陆移动。这是理论部分，提出一些问题，对人是个启发。

（摘自1970年3月18日对地质力学经验总结小组谈话记录）

除搜集资料，要总结经验，还要做联络员的工作，要把主动权给群众，过去是他们向我们要资料，在一定时期内可以这样做，但逐渐要移过来，让他们自己进行总结，并从生产的角度，向我们提出意见，督促我们，批评我们，改进我们的工作。群众发动起来就好办了，大家来批评、改正。

（摘自1970年6月1日对地质力学经验总结小组谈话记录）

在做法上，不是以地质力学研究所为主，顶多我们是推动的力量，以野外队工作同志的经验为主，我们再把它汇集起来，这是根据毛主席“要认真总结经验”的精神做的，这和以往的做法就很不相同了，发动群众来搞，不是少数人搞，不是少数人垄断。

（摘自1970年11月2日对地质力学经验总结小组谈话记录）

地质力学的方法与实践*

(提 纲)

第一篇 地质力学概论

按照緯向构造带、经向构造带和扭动构造三大类型分述各个构造体系的组成部分、每一类型的共同特征,并指出它们对普查找矿、工程地质、区域地质测量等方面工作的指导作用。

第二篇 中国典型构造体系分论

第三篇 岩石力学与构造应力场的分析

分为实验部分与理论部分

(1) 实验部分包括:

- (甲) 各种岩石试件在不同条件下的实验方法和成果,包括蠕变实验的成果;
- (乙) 模拟实验;
- (丙) 地应力测量。

(2) 理论部分包括:

- (甲) 在不同加力的条件下,各种岩石试件变形、蠕变或破裂的反应;
- (乙) 构造应力场的分析:按緯向构造带、经向构造带和各种扭动构造型式所反映的地应力活动方式进行分析 and 讨论。

* 这是李四光同志亲自为《地质力学的方法与实践》所写的提纲。他常说,《地质力学概论》只是开个头,以后各篇要靠广大的地质工作者来完成。

第四篇 地壳运动问题

(1) 从各种构造类型反映出来的地应力活动方式推断各个地区作为一个整体被“体力”或“外力”推动的方式和方向，再把区域性运动总合起来来探讨地壳运动的方式和方向；

(2) 通过精密大地测量，或其它适当的装置，确定各个构造体系现在还在活动的地区中某些地点的相对位移；

(3) 探讨在每一次强烈的、广泛的构造运动发生前后海浸和海退现象的规程；

(4) 区域性升降运动与水平运动可能存在的联系；

(5) 地球自转速度的变化对大陆运动和海洋运动的影响；

(6) 地球自转速度变化的记录和变化的原因；

(7) 评述从各种不同观点探索地壳运动的起源。

(一九六五年六月二十九日)

