

区域稳定工程地质

刘 国 昌 著

吉林大学出版社

区域稳定工程地质

刘国昌 著

区域稳定工程地质

刘国昌 著

责任编辑：唐万新

封面设计：孙泓

吉林大学出版社出版
(长春市东中华路 29 号)

吉林省新华书店发行
吉林农业大学印刷厂印刷

开本：787×1092 毫米 1/16

1993 年 3 月第 1 版

印张：10.5

1993 年 3 月第 1 次印刷

字数：237 千字

印数：1-2000 册

ISBN 7-5601-1330-3/P·9

定价：(平) 8.00 元
(精) 12.00 元

序 言



刘国昌教授
(1912—1992)

区域稳定是指一个区域范围内在地球内因及外因作用下的稳定性。有人把它称为地壳稳定性或构造稳定性，这样就显然只有内因而排斥外因了；还有把地震危险性评价作为区域稳定性的同意词。作者认为地震是区域稳定中一个重要的因素，但不是唯一的因素。对于区域稳定性，内因及外因兼而有之。有的是在内因基础上诱发的外因作用；有的是在外因为主的作用下，内因起诱发作用；有的就是内因作用；有的就是外因作用。

区域稳定性对各类工程建设，特别是对大型工程建筑影响极大，是规划选址阶段工程地质勘查研究的一主要任务。现在我们正在进行的四化建设，迫切需要解决这个问题。故研究区域稳定性具有实际意义及理论意义。

影响区域稳定的因素有区域山体稳定、火山活动、构造作用、新构造作用、地壳深部构造及地震作用等。国内研究区域稳定的人从内因研究者日渐增多，但从内因及外因兼而有之的人则不多或者还没有，足证对区域稳定的认识还未统一。这种日渐增多的原因，就是国家建设的需要。作者从工程地质观点，用地质力学的原理来综合研究，不单纯从那一方面如从地震方面研究，故本书名为区域稳定工程地质。很明显地把它归为工程地质学的一个组成部分，但又用地质力学的原理来分析，这就显见其特点所在了。很显然，工程地质学是其基础，两者紧密联系在一起。地震又在其中起突出作用，因而地震学在其中占有重要地位。

国外尚未见有区域稳定性工程地质研究的专著。作者探索此项工作已二十余载，开始主要注意浅部地质工作，后渐及于深部构造工作。先注意地球内因现象，后渐及于外因。因区域稳定是环境工程地质的一部分，而环境工程地质决定于内因和外因。现仅就所知草著此书，藉以与同志们共同讨论。惟因实践知识尚感不足，理论知识尚不够广泛，特别是写此书时适值病中，精神难以集中，考虑问题尚不够周详，故其中缺点错误在所难免，盼读者批评指正。

刘国昌

1986. 3

目 录

绪 论	(1)
一、区域稳定工程地质的涵义	(1)
二、区域稳定工程地质研究的意义	(2)
三、区域稳定工程地质研究的内容	(3)
第一章 地质构造作用	(5)
第一节 构造体系及其类型	(5)
第二节 构造体系的分布规律	(7)
第三节 构造体系的发育阶段和阶段的时期	(9)
第四节 断裂力学性质的鉴定	(10)
第五节 断裂的特定部位及复合部位	(11)
第二章 新构造活动	(13)
第一节 老构造的研究	(13)
第二节 地貌的研究	(14)
第三节 水文的研究	(16)
第四节 水文地质的研究	(17)
第五节 人文方面的研究	(17)
第六节 最新地裂的反应	(17)
第三章 活动断裂及活动构造体系	(19)
第一节 活动断裂的含义	(19)
第二节 活动断裂的鉴定标志	(19)
第三节 活动断裂的活动方式和活动程度	(23)
第四节 活动断裂形成机制	(25)
第五节 活动断裂与活动构造体系	(25)
第六节 中国的主要活动断裂	(27)
第四章 现代构造应力场	(30)
第一节 地壳应力状态的研究内容	(30)
第二节 地壳应力状态的一般规律	(31)
第三节 高地应力区的特殊地质现象	(34)
第四节 中国现代构造应力场特征	(35)
第五章 地壳结构与深部构造	(41)
第一节 地壳的层圈结构	(41)
第二节 中国地壳结构的基本特征	(43)

第六章 地震作用	(50)
第一节 地震的主要参数.....	(50)
第二节 发震构造.....	(56)
第三节 地震震中迁移.....	(62)
第四节 地震三要素的预测.....	(64)
第五节 地震烈度衰减规律.....	(66)
第六节 地震效应及防治措施.....	(68)
第七节 反应谱与地震反应分析.....	(74)
第八节 水库地震.....	(76)
第七章 火山活动	(78)
第一节 概述.....	(78)
第二节 中国的火山.....	(79)
第八章 区域山体(斜坡)稳定性与地壳变形	(85)
第一节 中国大陆地区滑坡、泥石流概况.....	(86)
第二节 影响区域山体(斜坡)稳定性的因素及与地质环境的关系.....	(92)
第三节 区域地壳变形与地裂缝.....	(95)
第九章 区域稳定性分区与评价	(106)
第一节 区域稳定性分区.....	(106)
第二节 区域稳定性评价.....	(107)
第十章 西安城市区域稳定性分析与评价	(116)
第一节 区域地质构造基本特征.....	(116)
第二节 渭河盆地地质构造及其现今活动性.....	(124)
第三节 区域现代构造应力场特征.....	(142)
第四节 地震危险性分析.....	(149)
第五节 区域稳定性分析、评价.....	(153)
第六节 区域稳定性主要问题与城市规划建设.....	(157)
后 记	(160)

绪 论

一、区域稳定工程地质的涵义

区域稳定或区域稳定性一词,50年代初前苏联工程地质学家B. И. 波波夫曾经提出过,但未作详细说明,也未进行过专门研究。50年代中后期开始,作者在研究中国区域工程地质特征过程中,考虑到我国地质构造较复杂,现代地壳活动较显著,地震活动强度频度都较高,山崩、滑坡、岩溶塌陷等不良外动力地质作用和工程性质复杂土层的分布发育都较广;特别是我国社会主义建设规模宏伟、工程巨大等情况,乃开始强调区域稳定性在我国区域工程地质研究中的重要意义。在《中国区域工程地质学》(中国工业出版社,1964)和《区域工程地质学基本原理》(长春地质学院内部教材,1964)两书中都将其列为我国区域工程地质研究的一项基本内容。指出:作为工程地质学一个分支的区域工程地质学是研究工程地质条件区域分布变化规律,并结合工程建设和经济开发目的进行评价、预测以至改造的学科。其基本任务:一是研究区域工程地质特征评价;二是区域稳定性评价;三是研究区域工程地质改造,并强调对任何重大工程建设项目都应研究区域稳定性问题,这是规划选址阶段的一项重要和必要的工程地质工作。

关于区域稳定工程地质的涵义,在上述两本教材中也曾初次予以定义:区域稳定性是指地壳及其表层在现今构造运动中的稳定性,如地壳的水平运动、垂直运动、地震活动和岩浆活动(火山)等;同时也包括由此产生的或与之有关的一些区域性物理地质作用的影响。其后,在《区域稳定概论》(长春地质学院内部教材及首届全国工程地质会议交流材料1979)中进一步作了阐述。区域稳定,主要是指由于现代地壳运动形成的地表水平位移、升降错动、褶曲以及地震等造成不同区域的安全程度;其次,是在特定地质条件下形成的不良物理地质作用,如滑坡、震动液化、粘土塑流、岩溶塌陷、黄土湿陷等导致不同区域的安全程度。同时,在《区域稳定性与地震》(《水文地质工程地质》杂志1979第二期p. 1—7)等论文中也曾一再阐明:区域稳定性是指一个地区地壳及其表层是否有正在产生的差异性升降、水平错动、火山活动、断裂活动、特别是剧烈的活动足以引起地震发生以及由于地震引起的区域性物理地质作用,如断裂活动、岩崩、滑坡、砂土液化、粘土塑流、地面不均匀沉降等等对地区安全的影响程度。

总的说来,区域稳定性是指工程建设区域内地壳及其表层主要在地球内因,同时也包括外因作用下的稳定性及其对工程建筑物的影响。胡海涛教授在这期间给予的定义:“区域稳定性是指工程建设地区在内、外动力(以内动力为主)的作用下,现今地壳及其表层的稳定程度以及这种稳定程度与工程建设之间的相互作用和影响”(1979、1984)。这与作者的理解是一致的。

由于区域稳定性主要指地壳表层在现今构造运动中的稳定性,因此,有的研究者也

称之为区域地壳稳定性或区域构造稳定性。如谷德振教授 70 年代曾经指出,区域稳定性是指工程所在区域的地壳稳定性,即在该区内地壳有无倾斜、拗折及升降等显著变化的迹象;有无发震构造和地震活动及相邻地区地震活动对本区的影响。强调论证区域稳定性应从地震活动与区域构造断裂的关系,区域 I 级结构面的发生发展及其与派生结构面的组合关系和断块之间的相互关系入手。可以理解,这见解和作者的概念也基本是一致的。在这种情况下,区域稳定性和区域地壳稳定性这两个概念是相通的,可以通用的。即地壳稳定性的研究中也包括与地壳运动有关的外动力地质作用,如地震效应等的研究。总之,作者再次强调,决定区域稳定性的因素是内因及外因兼而有之;以内因为主,外因为次;在研究内因基础上也必须研究与内因有关的或由内因诱发的外动力地质作用。因此,从这种意义上说来,区域稳定性与区域地壳稳定性,特别是区域构造稳定性还不应视为同一概念。区域稳定性包含后者,而区域地壳稳定性,特别是区域构造稳定性通常并不包括区域性外动力地质作用的研究,而只是现代地壳活动性及其对工程建设影响的研究与评价。同时,更应指出,区域稳定工程地质研究更不能与地震部门所进行的地震危险性分析及烈度区划工作等同起来。尽管地震危险性的分析是区域稳定性研究地球内因作用中的主要的和最重要的内容,但仍然不能代表其全部工作内容。

二、区域稳定工程地质研究的意义

区域稳定工程地质研究是随着我国大规模经济建设,特别是重大工程建设的需要而逐渐发展起来的,并成为我国工程地质学的一个特色,这是和我国特定的区域工程地质条件密切相关的。

我国幅员广阔,地质构造较复杂,现代地壳活动较明显,地震活动带广布全国,华北、西北、西南以及华东沿海地区许多地震带活动都较强烈,震害严重。受地质背景制约,我国地势地貌、岩土类型与较活跃的物理地质作用在总体上,宏观上也有规律呈地带性变化或发育分布。因此,我国工程地质工作者在 50 年代经济建设初期,在工程地质勘查实践过程中,即逐渐认识到为了保证建设规划和工程选址合理,保证工程建筑物安全和正常运行,必须在区域工程地质研究中重视区域稳定性的分析和评价。特别是对于大型水利水电工程、大型火电厂和核电站等大型工程建筑和新建、扩建城市的规划选址,在工程地质勘查中最重要的一项工作内容就是区域稳定性的研究。自 60 年代中我国进入新的地震活跃期以后,研究区域稳定性的重要性和必要性,进一步为人们所认识。这些情况和 70 年代初国际上为保证核电站安全运行而要求在选址阶段对区域地质、地震活动进行专门调查研究是相似的。现今我国重大工程选址和城市规划建设都已普遍要求进行区域稳定性(也称区域地壳稳定性或区域构造稳定性)工程地质研究评价,并开始进入制订规范、规程阶段。国际上虽然区域稳定工程地质一词尚未普遍使用,但是,地震区工程地质问题的研究,活动断层的工程地质研究等也日益受到人们重视并积极开展起来,在研究内容和研究方法上与区域稳定工程地质研究基本上是一致的或相似的。

同时,还应指出,近 30 年来,我国在区域稳定工程地质研究方面积累的资料和经验是较丰富的,不仅已成为我国区域工程地质学的重要组成部分,而且已发展成为我国工程地质学的一个特色。

三、区域稳定工程地质研究的内容

区域稳定性指的是工程建设地区地壳及其表层在地球内因及外因作用下的稳定性和对工程建筑物安全的影响程度。相对通常主要研究的直接与工程有关的,特别是工程建筑物影响范围内岩土体的稳定性说来,在研究区域范围和因素、动力作用等研究内容各方面说来都是不同的。区域稳定工程地质研究的内容实际上包括地壳及其表层的结构和组成,地壳及其表层的动力条件和动力作用的各个方面与各种表现形式。

1. 地壳结构和组成的研究

地壳是在地质历史中形成和不断变化的。地壳的结构的组成决定其近代活动性的特点。研究地壳的结构和组成,主要包括地壳厚度、组成及其分布、变化情况的研究,地壳深大断裂及其分布、变化情况的研究与地壳演化模式及不均一带等的研究。

2. 地壳的动力条件的研究

包括地球重力场的变化,如重力梯度带、布格异常变化带的研究,地热场的变化——高热流值带的研究和地球自转速度变化历史的研究等等。这些是地壳和岩石圈运动的动力源,研究现代地壳的活动性,必须研究其动力源。

3. 现代地应力场的研究

即现代构造应力场的研究,包括现代地应力场特征、最大主应力、最小主应力及剪应力的分布等等的研究。可由构造形迹、断层活动方向分析,地震活动震源机制分析和直接测试进行研究。

4. 现代地壳升降活动的研究

现代地壳升降活动特征及升降速率的研究,通常由地貌形态高差和沉积物厚度等估算其平均升降速率。现阶段升降活动速率可由精密水准测量定期进行量测,并相应评价其升降活动程度。

5. 现代断层活动的研究

是区域稳定性工程地质调查研究的主要内容。需调查研究断层的产状、规模、类型和活动特征。调查分析并取样测定其活动年代,分析以至直接观测其活动特征和活动速率,研究分析其活动周期。必要时且布置微震台网监测研究其活动性,同时必须评定其活动程度和对工程建设可能的危险程度。

6. 地震活动的研究

地震在区域稳定性工程地质研究中占有特别重要的位置,甚至可以说是区域稳定性研究的中心内容。在区域地震地质研究和历史地震活动记录资料分析基础上确定发震断裂构造或潜在震源区,分析其可能最大震级及强震活动周期,预测、评价研究区域内各区段和工程建设地区的地震危险性。

7. 火山活动的研究

我国虽然没有明显的活火山,但最近一二百年来五大莲池火山,长白山白头山火山等都曾有喷发活动,目前处于休眠状态。对这类火山进行较全面调查研究以及适当进行监测是有实际意义,也是必要的。

8. 区域性山体稳定与地表沉降变形等的研究

包括山崩、滑坡、泥石流、岩溶塌陷、地震砂土液化、震陷、矿山地表沉陷、城市地面沉降及地裂缝等地表变形作用的研究，同时结合经济发展和工程建设规划对其发育分布情况和发展趋势、危害程度进行评价预测。

除上述研究内容外还有：

9. 区域稳定性工程地质评价指标和方法问题的研究

如区域稳定性工程地质评价指标与标准的选定，区域稳定性分级分区的原则，区域稳定性工程地质区划图件的编制方法等专门的研究。

可以看出，区域稳定性工程地质研究的内容涉及面很广。涉及地球物理学、岩石圈动力学、大地构造学、构造地质学、地质力学、动力地质学、第四纪地质学、地震学等地质基础学科；更与工程地质学密切相关，构成区域工程地质学与环境工程地质学的重要组成部分。同时，在调查研究中还需广泛应用遥感技术、地球物理探测技术、地形变及断层形变精密测量技术、断层活动年龄测试技术、地应力及地温测试技术等有关学科的知识与方法。最近，在区域稳定性分析评价中并应用信息理论、系统理论和电子计算机技术等新理论、新方法，大大推进了区域稳定性工程地质研究工作。

第一章 地质构造作用

第一节 构造体系及其类型

一. 构造体系的概念

构造体系是由许多不同形态、不同力学性质、不同等级、不同序次但具有成生联系的各种构造形迹所组成的构造带及其间所夹的地块或岩块而成的总体。这个总体,是一定方式的区域构造运动的结果,是一定的构造应力场作用的产物。

一定方式的区域性构造运动,就其发动的时期来说,主要是一次的,但也可以断断续续地前后分为几次;就其波及的范围来说,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;从影响的深度来说,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(幕),其影响深度可以不同,而在不同深度所产生的构造现象也往往不一致。物探、钻探资料及野外现象都证明了地质构造在深度上的不协调现象。而且,物探、钻探资料还证明了某些构造运动只影响了沉积岩壳的上部,但也不能否认,某些构造运动以不同的方式或在不同程度上影响到它的下部,乃至牵涉到结晶基底。根据地震资料,有些构造运动且影响到莫霍面,即地壳底面,甚至达到更深的地方——上地幔。

一定方式的构造运动,既然可以涉及到大小、深浅不同的范围,那么由于一定方式的一次或几次构造运动而形成的构造体系,就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,形成一个统一的整体。

怎样知道那些不同性质、不同大小、不同方向、不同形态的构造形迹或构造地带具有成生联系而属于同一构造体系呢?一般地,我们从以下三方面来考虑。

(1)一个构造体系的各个组成部分,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,(如山字型构造体系的前弧和脊柱,其构成形式不同,且距离较远,前弧两翼展布的形式也不一定对称)。但如果从区域地质构造的各个方面,包括有关地区地层的形成,岩浆岩的活动和它所经历的运动时期等方面获得了确实证据,证明那些构造形迹或构造带确实有成生联系的话,就可以断定它们是属于同一构造体系。更具体地说,就是要一个点一个点地查明各项构造形迹的力学性质、排列方位、相互关系(包括序次、相互干扰情况)及其和岩石力学性质的关系,然后从力学的观点把具有成生联系的构造形迹组合起来,由点及面地联系区域地质构造情况,就可以得到一定地区的同一构造运动或同时期的构造形迹及由它们组成的构造带和它们排列配合的方式,进而确定出构造体系的类型。这里包含两个意思:一个是这些构造形迹及由它们组成的构造带是同一场构造运动的产物,或者大体是同一时期形成的;另一个意思是,这些构造形迹及由它们组成的构造带在空间展布和排列关系

上具有一定的规律性,也就是说,同一构造体系的构造形迹或构造带具有一定的空间展布规律和组合形式。这种规律性是通过实地调查的多次反复而逐步认识的。

(2)对于大体上是同一时期形成的,而且有一定空间展布规律和组合形式的构造体系,可以用反映一定动力作用方式的统一构造应力场加以解释。换句话说,它们是一定的构造应力场作用的产物。

(3)这种构造形象展布的规律性,可以通过室内模拟试验多次成功地模拟出来。

在上述三方面中,第一方面是主要的。也就是说,各种形式的构造体系,主要是根据组成它们的各项构造形迹或构造带在地壳上的配合、排列和展布情况以及它们的形成时期而鉴定的。但是,一个正确认识常需要经过多次反复实践才能完成。鉴别不同类型的构造体系也是如此。

还需说明的有几点:

(1)鉴别构造体系时要分清序次。构造体系有大有小,大的如巨型纬向构造体系,可以是全球性的;小的如“入”字型构造体系,可以在一块手标本上看到。同一类的构造体系也是如此。一个复杂的构造体系,特别是大型的构造体系,经常包含着许多较小的低序次的构造体系,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,以便区分主次,避免混淆。

(2)鉴别构造体系时,要把其型式和岩石力学性质联系起来。一个构造体系的各项构造形迹都各自反映一定应力的作用方式,由于同一场构造运动往往影响到不同岩性分布区,在同样应力作用下,在不同岩性的岩块或地块中可以产生外表不同的构造形迹,如在塑性显著的岩层中多产生褶皱,在脆性较大的岩层中多产生断裂,褶皱则往往不显著。因此,工作中绝不能把这种有生成联系的不同构造形迹割裂开来,分属不同类型的构造体系。

(3)鉴别构造体系时,要区分一个地区的各种构造型式的构造体系。同一地区往往经历了不同运动方式的构造行动,形成不同类型的构造体系。它们往往交织复合在一起,互相干扰,互相穿插,显得比较复杂。只有过细地调查研究,对它们进行历史地、辩证地分析,才能把它们区别开来。

二. 构造体系的类型

构造体系的总体组合形态,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,大致符合于这种或那一种标准型式。这种标准型式,简称为构造形式。我们对每一种构造型式,是从具有同样综合构造形态或反映相同构造力场的各个构造体系,在岩性不同的地区中迭次出现而获得的。

根据我国和世界上已识别出来的构造型式,可以把构造体系作如下分类:

东西向(纬向)构造体系;

南北向(经向)构造体系;

扭动构造体系。

其中扭动构造体系又分为:

多字型(东北及北北东向)构造体系;

山字型构造体系；
棋盘格式构造体系；
入字型构造体系；
旋扭构造体系。
旋扭构造体系包括：
带状构造；
涡轮状构造；
莲花状或环状构造；
“S”型和反“S”型构造；
歹字型构造。

地球表面的纬向、经向构造带和我国境内的主要构造体系可参阅“地质力学”和有关图件。

第二节 构造体系的分布规律

前面讲了三大类型的构造体系，现在再来看看它们分布的概况，以便说明地壳运动的方式和方向。

巨型的東西向构造带是全球性的，特别是在北半球更为明显。主要以两种型式出现：一是巨大的挤压带，一是巨大的扭裂带。巨大的挤压带主要出现在北纬 $50^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 之间，且分布比较均匀，大约每隔 10° 就有一条。在我国的就是阴山带、秦岭带、南岭带。这种挤压带是南北向水平挤压应力形成的。扭裂带不象挤压带那样集中，但也是全球性的，特别是在太平洋东部、南北美洲之间、欧非之间及亚澳之间发育显著。这种扭裂带是东西向水平剪切形成的。

巨型的南北向构造带也是全球性的，主要以两种型式出现，即挤压带和张裂带。挤压带的分布主要是与海陆的交界线有关。如南北美洲太平洋沿岸有科迪勒拉山脉、安第斯山脉。在亚洲濒太平洋沿岸有堪察加半岛的西南部、萨哈林岛（库页岛）—日本北海道西北部及日本本岛的东北部，呈断续的南北向构造；濒临印度洋的自我国四川西部到云南北部、西部，延至到缅甸的南北向构造。南北向挤压带是由东西向水平压力形成的。巨大的张裂带出现在大西洋海岭中，非洲东部（包括红海），亚洲西部死海、约旦河谷，欧洲西部隆河河谷、莱茵河谷直到斯堪的纳维亚半岛，及印度洋海岭中。这些张裂带的形成系东西向水平张应力作用的结果。

华夏系及新华夏系构造是规模宏伟的多字型构造，是东亚大陆特有的构造体系。在我国自西部康藏高原以东一直到台湾地区是它们发育的主要范围。多字型构造反映它们在地块的两测发生过的扭动。具体地说，太平洋西岸向北，我国西部地区向南相对扭动。

山字型构造是一种全球性的构造类型，多发育于北纬 $60^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 之间，其前弧除个别指向北、西以外，均指向南。大型者，在亚洲有我国的淮阳山字型和祁吕山字型，苏联伊尔库茨克山字型；在欧亚之间的有横跨欧亚大陆的可能以乌拉尔南北构造带为脊柱的欧亚山字型；在欧洲有法国中南部山字型；在北美有以阿巴拉契亚北东向构造带为东翼的北美东

南部山字型。山字型构造反映一部分地壳对其两侧来说作相对的扭动。因为绝大多数的山字型前弧均向南凸出,所以形成山字型构造的那一部分地壳曾作了南北向的扭动,也就是说水平面上的剪力是南北向的,而且主动扭动的部分是自高纬度向低纬度运动,也就是说剪应力来源于高纬度。

旋卷构造在全球上更具普遍性。除了很多属于其他构造体系的低序次构造体系以外,就几个大型的来说,其分布还是有规律性的。如加勒比海旋卷构造、班达海旋卷构造及地中海北岸旋卷构造,它们的砥柱或旋涡都是直立的,并与东西向水平扭裂带或大陆的的东西向水平扭动有关。北美对于南美相对向西扭动,形成了加勒比海旋卷构造;东南亚对澳洲相对向西移动,形成了班达海旋卷构造;非洲北部对欧洲南部相对地向东移动,形成了东南欧一系列的旋卷构造。

从以上几种类型构造体系的分布规律及其受力情况可以看出,地壳的区域性运动方向和地壳整体运动的大方向是一致的,不是东西向的水平错动,就是南北水平错动。南北向水平错动有把地壳上层的物质从高纬度向低纬度推动的趋势;东西向的水平运动会使大陆向东西方面分裂、南北大陆相对扭动和大陆与海洋接触地带发生挤压等。可见地壳运动以水平力为主。

必须强调指出,以水平运动为主,并不排除垂直运动,而且它们之间有着密切的关系。一方面,地球内部的垂直运动可能是引起地壳局部水平运动的原因之一,如因基底下沉而引起的水平挤压;另一方面,由水平运动引起垂直运动的现象则是大量的,如西藏高原的隆起是晚近地质时代产生的现象,为什么其下的硅铝层有50~60km的厚度?如果不用其侧面的南北向水平挤压引起垂直运动来解释,单纯用重力是解释不通的。

上面谈了几种类型构造体系的分布情况,我们再来看看它们的历史发展情况。

巨大的东西向构造带(挤压带)自前震旦纪就开始发生,如阴山带、秦岭带都是如此,以后不断发展,一直到中生代末。至于较小规模的东西向构造带的发生,直到第四纪也没有停止。

巨大的东西向构造带(挤压带),至少在古生代就发生了,如在我国云南西部。南北张裂带可能较晚,在中生代或其后。华夏系及新华夏系可能在古生代就开始发生,最晚也是发生在中生代初期,直到新生代还在发育,如我国东北部山地,现在有的还在活动;前已述及,堪察加半岛东部和千岛群岛濒太平洋的边缘地带,是地震极为频繁和极为强烈的地震带。它很可能是亚洲大陆的东北部边缘,在大陆向东推动时,太平洋底部起了阻挡作用而形成的一个强烈冲断裂带。

山字型构造起码从震旦纪一直到白垩纪末,在不同地区均开始发育。如西伯利亚伊尔库茨克围场山字型可能在前震旦纪已形成;广西山字型及横跨欧亚山字型构造在晚古生代就形成了;美洲东南的山字型构造在早石炭纪就已初具规模。

这样看来,东西向和南北向的水平错动在震旦纪或最晚在古生代就已产生,也就是说现在地球上的经度和纬度至少和古生代时期的经度、纬度大致相同。在这个漫长的时间里,地轴在地球中的方位变动不大。

第三节 构造体系的发育阶段和阶段的时期

从上述可知,地壳运动是一种物质运动,是地壳内岩体强度和由外力引起的应力之间的矛盾运动。它导源于地球自转速度的改变,而速度的改变又导源于地球内部物质的集中与分散。因为地球内部物质集中与散分的运动是在不断地进行着的,是由量变到质变的,所以地壳运动也是不断地进行,并由量变到质变。这反映在由不显著的变形发展成显著的变形,但并不是每一个构造体系都能在一场构造运动中发育完善。一个构造体系,往往经过多场构造运动才能完成。从时间来说,一场构造运动可以经历一个地质时代,或者不足一个地质时代,或者一个地质时代以上。所以一个构造体系形成的地质年代可长可短。这样,地壳运动的进行,既是不断的,又是有阶段的。

怎样来鉴定一个构造体系的发育阶段和阶段的时期,即怎样鉴定地壳运动的时期呢?地质力学认为可以采取三种基本途径。一种是根据地层间的不整合或假整合及它们形成的时期,这是借用传统的方法;另一种是根据构造体系的复合关系,这是地质力学自己的方法;第三种是借助岩石的绝对年龄鉴定。

不整合系指两个时代之间或新老地层之间存在有不整合面。它的形成程序是这样的:在老岩层形成过程中,地壳发生一定方式和方向的由量到质的变化运动,使老岩层逐渐发生一定方式和方向的变形,形成构造体系。同时老岩层受到剥蚀,有时形成准平面,随后新岩层沉积。有时不整合面的上下地层间由于原来没有沉积,或沉积后被剥蚀掉而缺失一些地层,所以一个不整合面就反映了最少有一场地壳运动发生,并持续了一个阶段。这个阶段的时期由新老岩层的时代来定。如果不整合面上下岩层的时代相差很多,则相当于这个不整合面的地壳运动阶段的时期就很难准确鉴定出来。在这种情况下,只能用邻区对比的方法间接推断,这样作显然是不准确的。

假整合(又称平行不整合)是指两个不同时代的岩层存在有假整合面。它同样反映地壳运动达到了一个阶段,可能和邻区的某一不整合相当,只不过没有发生过强烈的褶皱和断裂罢了。其时期的鉴定也是根据假整合面上下岩层的地质年代,但也有时因原无沉积,或沉积后又被剥蚀了而缺乏一些地层,则鉴定出的时期就不够准确。

现在从构造的复合关系来谈谈构造运动的阶段性及阶段的时期。一个地区往往经过多次地壳运动,它们的运动方式和方向可以相同,也可以不同。运动方式和方向相同,则产生的构造体系相同,后期对前期所产生的构造体系只起加强作用,使其发育完善;前后期的运动方式和方向不同,则必然产生不同的构造体系,我们可根据它们的复合关系确定它们的新老。至于它们所经历的地壳运动的时期,可据它们各自影响地层的时代,可对其有影响的岩浆活动的时代鉴定。它们的时代总要比它们所影响的最新地层晚,与被侵入的岩浆岩同时或者比它早。但有这样的情况,如地层缺失很多、古老变质岩区没有新地层出露、岩浆活动无踪影,或虽有但缺少足以鉴定绝对年龄的矿物,这时,地壳运动究竟是什么时代或新到什么程度,就很难确定。不过可以追踪构造体系的组成部分向外延展情况,看它们接触到较新地层时穿过它,还是被其覆盖,确定它的时代。

须指出,一个构造体系往往经过多期地壳运动才完善起来,或已形成的构造体系由于

其它体系的复合,局部又活动起来。在前一情况下,就需要根据它对各时代岩层的影响(变形、沉积相、厚度变化、变质程度的差异等)来研究它的发育历史,以确定小阶段的时期。在后一情况下,仍应按复合关系,把后期活动排除,不要误认为后期活动就代表原体系的活动,把形成该体系的地壳运动的时期鉴定错了。

除上述两种途径外,还可借助于侵入或卷入构造体系的侵入体的绝对年龄的鉴定。这样,不仅鉴定了构造体系的各个组成部分的形成时期,也鉴定了形成该构造体系的地壳运动的时期。

上述三种方法在地质力学中是同时并用的。

地壳运动的产生,既然主要是由于地球自转速度的改变,故全球性的地壳运动的时期就应以此标准来划分。这就需要研究全球性的构造体系在空间和时间上的分布以及全球性的有地史以来的海水进退规律。那种仅仅依据地区不整合的对比,就定出全球性的统一的地壳运动的时期的作法,问题还是不少的。

概括起来,研究构造体系及其发育过程是为了分析构造发展历史。分析确定哪些构造单元在何时停止发展而不影响区域稳定,哪些构造单元继续活动以至迄今是否还在活动而可能影响区域稳定。如三峡工程三斗坪堤址区 NNW 向构造高家冲断裂在前寒武纪时是活动的,到寒武纪时即已基本停止活动,故对区域稳定性没有明显影响。而黄陵地块北部 NWW 向构造雾渡河断裂则迄今还有活动迹象,对区域稳定性有一定影响。

地质构造发展历史过程和岩浆活动是紧密相关的。因断裂活动,特别是超壳断裂可引起岩浆活动,为岩浆上冲开避通道。从地质图上常可清楚看到,侵入体与断裂方向一致,可使断裂愈合,即断裂消失于侵入体中。反之,岩浆活动又可使断裂活动。

第四节 断裂力学性质的鉴定

鉴定断裂构造的力学性质是确定构造体系和分析其发展历史的主要依据。对分析预测其是否容易发展也有实用意义。

据地质力学分析,逆断层(仰冲断层)和逆掩断层(平冲断层)属压性结构面,因而也称压性断层;大多数正断层属张性结构面(张裂面),称张性断层;平移断层以及一部分正断层属扭性结构面,可称扭性断层。而斜冲断层为压性兼扭性结构面可称压扭性断层,斜向正断层为张性兼扭性结构面可称张扭性结构面。

断裂力学性质的鉴定,主要根据断层面的擦痕、断裂构造岩和低序次构造形迹。其次才是标志层的位移,伴生的构造形迹,地貌形态的变形及区域性褶皱形态。

从形态看,压性断裂不论在平面上还是在剖面上均是舒缓波状。且两盘挤压较紧密,构造岩以糜棱岩为主,波的顶部应力易于集中,但缓倾者往往则否。张性断裂较陡立,每牵就扭面发生。弯弯扭扭,构造岩以角砾岩为主,比较疏松,转折部位也为应力集中部位。但因压的不紧密,故发震频率高而震级低。扭性断裂平直,构造岩兼有糜棱岩及角砾岩,不易为应力所集中。但断裂形成之后,在其它体系形成时又可转化,其最后一轮的转化对地震影响最大。如湖北荆门、远安诸断裂,先张后反扭再扭压,张属淮阳山字型反射弧盾地的纵张,反扭属新华夏系的张扭,扭压属河西系的压面,因最后为扭压,故近期为河西应力场

时,频繁发生地震。

压性断裂一般都带扭,特别是属扭动构造体系者如新华夏系都带反扭,河西系都带顺扭,旋转构造也都带反扭或顺扭。根据一般地震时断面上都带扭的成分,所以从地震发生的难易及震级大小顺序说,有压(包括扭压)>扭(包括压扭及张扭)>张(包括扭张)的现象。而从发震频率说,则相反。

第五节 断裂的特定部位及复合部位

断裂的特定部位有转弯、两端、枢纽部位、会而不交的部位、斜列重迭部位,这些断裂的复合部位均为应力易于集中部位。所谓应力集中,首先与材料外形的曲率有关,因为应力集中与截面的缩小成正比而增大。其次应力集中与受力条件有关,这反映在同样断面受不同方式外力后,应力集中部位不同,当压力方向与断面垂直时,断面仅是压紧不显应力集中,当压力方向平行断面时,断面两端产生应力集中,当压力与断面斜交时,断面两端也产生应力集中,同时随着压力方向与断面交角不同,集中程度也不同,大致交角在 45° 左右时,集中程度较大。第三,应力集中还与材料的力学性质有关。实验表明,塑性材料与脆性材料的破坏机制不同,应力释放方式不同,塑性材料在受力变形,发生破裂时,可以发生很大的位移,但不发生振动,因而不能以储存弹性能的方式储存应力。这也就说明塑性材料有位移而不发震的道理。脆性材料则在弹性极限以内可以储存大量弹性能,超过强度极限时才突然破坏,发生振动。华南地区岩石处于强烈破碎状态,集中不了大的能量,故不能发生大震;华北岩石较完整,故地震震级强而少;东北岩石更完整,有条件集中大量能量,但由于断裂活动减弱,故地震少而小。

根据光弹试验,裂隙应力易于集中部位如图 1-1。

从图 1-1 可看出裂隙端点应力集中弧形转弯(图 1-1a、b)、交会(图 1-1c)、交叉(图 1-1d)、同时终止于一点(图 1-1e、f)、斜列重迭部位(图 1-1g)均为应力集中部位,且曲率大者大,小者小,交角小者大,大者小,斜列重迭部位及会而不交的部位等于两端的联合。但需

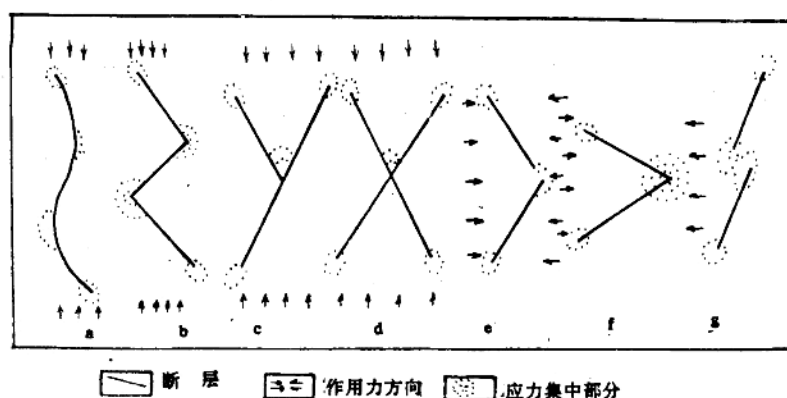


图 1-1 断裂特定部位后力集中现象示意图