

岩体工程地质力学问题

(五)

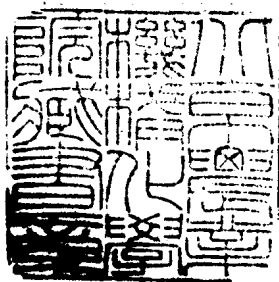
中国科学院地质研究所 编

科学出版社

岩体工程地质力学问题

(五)

中国科学院地质研究所 编



科学出版社

1984

内 容 简 介

本文集共十三篇文章。第一篇概括总结了近几年来工程地质力学研究的进展和方向。第二篇从构造演化入手,讨论了郯庐断裂带的区域稳定问题。第三至第六篇讨论了岩石和岩体力学特性的规律,以及力学效应的实验研究和数值模拟。第七至第九篇介绍了边坡和地下工程研究的实例。第十至第十三篇介绍了声波和地应力测量和裂隙岩体光弹性研究方法及应用。

本书可供地质和水文地质工程地质人员、水电、交通、矿山、国防工程系统勘测设计施工人员,以及大专院校的有关专业师生参考。

岩体工程地质力学问题

(五)

中国科学院地质研究所 编

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街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

*

1984年3月第一版 开本:787×1092 1/16
1984年3月第一次印刷 印张:9 插页:1
印数:0001—3,400 字数:206,000

统一书号:13031·2.00

本社书号:3433·13—14

定 价:1.55 元

目 录

工程地质力学研究的进展和方向.....	王思敬(1)
郯庐断裂带的构造演化与区域稳定性分析.....	李兴唐 王国栋(10)
简论岩石的摩擦特性.....	陶振宇(24)
岩体压缩变形的本构规律.....	孙广忠(33)
砖红色粘土岩湿度力学效应实验研究.....	周瑞光(48)
岩体中软弱结构面力学效应的计算分析.....	刘 钧(56)
层状岩体变形和时间效应.....	孙玉科 牟会宠(67)
黄河小浪底坝区古滑坡机制的模型实验研究.....	杜永廉 陈尚武 吴玉庚(78)
地下工程建设中潜在膨胀性岩体的工程地质问题.....	
.....	曲永新 许 兵 时梦熊 徐晓岚(89)
声波参数围岩分类中几个问题的探讨.....	
.....	邢念信 徐复安 董国民 刘 清 喻仁元(101)
裂隙岩体干孔声波测试.....	吴志勇 石志英 王思敬(114)
三轴应变计在金川二矿区地应力量测中的应用.....	姚宝魁(125)
裂隙岩体的光弹性实验研究.....	余定生 陈月娥(132)

PROBLEMS OF ENGINEERING GEOMECHANICS OF ROCK MASS

(Vol. V)

CONTENTS

On the Development of Engineering Geomechanics.....	Wang Sijing(1)
Tectonic Evolution of the Tan-Lu Fault Belt and Analysis of Its Regional Stability.....	
.....	Li Xintang, Wang Guodong(10)
Notes on Frictional Characteristics of Rocks	Tao Zhenyu(24)
The Constitutive Law of Compressive Deformation for Rock Mass.....	Sun Guangzhong(33)
Experimental Study of Mechanics Effect of Moisture Content for Brick-Redish Claystone	
.....	Zhou Ruiguang(48)
Computational Analysis of Mechanics Effect of Weak Structural Surfaces in Rock Mass	
.....	Liu Jun(56)
Deformation of Layered Rock Slope and Its Time Effect.....	Sun Yuke, Mu Huizong(67)
Experimental Study of Mechanism of Rock Slope Slides at Xiao-Lang-Di Damsite, Huanghe River	
.....	Du Yonglian, Chen Shangwu, Wu Yugeng(78)
The Engineering Geological Problems of Potentially Swelling Rock Mass in the Underground Construction	
.....	Qu Yongzin, Xu Bing, Shi Mengxiong, Xu Xiaolan(89)
On the Classification of Tunnel Surrounding Rocks Using Acoustic Parameters	
.....	Xing Nianxin, Xu Fuan, Dong Guomin, Liu Qing, Yu Renyuan (101)
The Acoustic Measurement of Dry Boleholes in Fractured Rock Mass.....	
.....	Wu Zhiyong, Shi Zhiying, Wang Sijing (114)
The Application of Three-Dimensional Strain-meter in the Geostress Measurement for Jinchuan II Mine	
.....	Yao Baokui (125)
Preliminary Study of Photoelasticity for Estimating the Stress State of Jointed Rock Mass	
.....	Yu Dingsheng, Chen Yue-e (132)

工程地质力学研究的进展和方向

王 思 敬

序 言

《岩体工程地质力学问题》自 1976 年创刊以来,已经有五年的历史了。在这期间,工程地质力学研究有了进一步的发展,在我国工程建设中正在逐渐发挥它应有的作用。1979 年谷德振教授的《岩体工程地质力学基础》专著问世,为这一新的分支学科奠定了坚实的基础。在八十年代里,通过我国四个现代化宏伟建设的实践,预期它将会发展得更加成熟、更加完善,在祖国的工程建设中发挥积极的作用。

1980 年春,应中国科学院的邀请,国际岩石力学学会创始人,奥地利地质力学学会名誉主席列奥波德·缪勒 (Leopold Müller) 教授来华访问。通过学术报告和座谈,他系统地介绍了奥地利学派的基本观点和新近的成就,对我们有很大启发。我们感到高兴的是,在基本观点上我国工程地质力学和奥地利地质力学学派有很多共同之处。缪勒教授希望这次来访成为今后两方国际合作的开端,我们也有同样的想法。

本文作者有机会在缪勒教授来访期间向他多次求教,并研讨了有关工程地质力学发展的方向。为此,作者为本刊撰写这篇讨论稿。根据我们现有的理论研究结果和实践经验,结合缪勒教授在华讲学的启示,探讨工程地质力学的研究方向。在写作中,作者遵循了谷德振教授的学术思想,并得到他的指导,但限于作者的水平,仍不免有错误和不妥之处,敬请批评指正。

一、“工程地质力学”定义

岩体工程地质力学是 1972 年谷德振教授在《中国科学》杂志上正式提出的。在提出之前曾经过二十多年的准备、酝酿和萌芽的阶段。1959 年之前通过治淮、治黄、长江大桥、三峡等一系列重大工程实践,我国工程地质学得到迅速的发展,累积了大量的资料。谷德振教授所著《中国工程地质十周年》一文是它的基本总结,初步形成了岩体结构的概念。在 1962—1965 年期间进行的《水利水电工程地质总结》正是以岩体结构作为工程地质评价的基础。在 1965 年第一届全国水文地质工程地质会议上,提出了以地质力学和岩体力学相结合的发展方向。正是由于有了这样长时间的准备和广泛的酝酿,才有可能于 1972 年提出了这一概念,这就是工程地质力学的萌芽。

在七十年代,按照岩体工程地质力学的基本指导思想,我们在矿山、国防、水电等部门一系列工程中进行了实际的研究工作。同时,和各部门进行广泛的学术交流,又出版了现在的《岩体工程地质力学问题》,得到了初步的推广和应用。很多部门和单位在工程地质

力学的工作方法指导下做出了很好的成果。1979 年在第一届全国工程地质学术会议上,地质部副部长许杰同志在发言中指出,工程地质力学是一个值得发展的重要方向。谷德振教授著《中国工程地质学三十周年》和《岩体工程地质力学基础》是这一阶段的总结,为工程地质力学的发展奠定了良好的基础。

关于学科的定义和名词,一般来讲,不是真正实质的所在,可是一旦有可能采用正确的定义和合理的名词时,对一个学科的发展将起到积极的推动作用。

L. 缪勒教授曾指出,岩石力学 (Rock Mechanics) 这个名词的选用是不恰当的。在德文中,他偏向于用地质力学 “Geomechanics” 这个词,指固体地壳的力学《Mechanics of Solid Earth Crust》。在使用地质力学这个名词时,他指出了它的双重学科领域。一方面是面向土木工程师在大坝工程、边坡设计和隧道工程中遇到岩体时出现的力学问题,或矿山工程在露天矿坑和井巷、采场中所需要解决的力学问题。另一方面它面向地质学家的关于地壳形成过程所提出的构造力学的问题,如“地堑、拗陷、断裂、褶皱和造山理论”。我们很赞同缪勒教授的论述,同时在我们选用了工程地质力学这个名词时,特别注意上述两个方面的有机联系和结合。

在岩体工程地质力学这个名词中,“地质力学”是它的主词;“工程”是主词的定语,指出它是和工程建设有关,为工程建设直接服务的;“岩体”是补充定语,限定研究的对象。在国际学术交往中使用的英文名词是《Engineering Geomechanics of Rock Mass》。由于《岩体》一词,在习惯上理解为有限范围的岩石地质体,所以在《论工程地质力学问题》一文及本文只用“工程地质力学”(Engineering Geomechanics),研究对象包括和工程建设有关的各种不同级别的地质体或地质构造单元,而不予以限定。同时,使用“地质力学”作为主词,还因为我国工程地质力学正是在李四光教授创建的“地质力学”的思想指导下,通过工程实践逐渐形成的。

“工程地质力学”首先应是工程地质学的一个学科分支,它是一项应用基础的研究,其研究对象是地质体,而要解决的问题是要为地质体的稳定性提供有科学依据的工程地质评价。在这里要发展的是地质学、尤其是工程地质学的理论。同时为了达到这个目的,它又应该是一个边缘学科方向,体现地质学和力学的结合。它是在地质研究的基础上应用力学的理论和方法,将地质力学和岩体力学结合起来开展研究的。实际上这里并不仅仅是这两方面的结合,还应该考虑和工程学科的结合,以及地球物理学的应用。

“工程地质力学”的研究对象则是固体地壳上部和工程建设有关的不同规模的地质体或地质构造单元。这里首先强调的研究对象是地质结构物,同时也规定研究的范围。当然研究范围是大致的,取决于工程的特点和规模。有些工程虽然分布的面积并不大,但是为了认识它的工程地质条件必须有足够的区域和深部的研究,这一点是非常重要的。

“工程地质力学”的理论研究任务,着重于对地质体的结构特征、力学特性及其形成过程的认识,以及对它们的变形、破坏规律和工程建筑物与它们的依存关系的研究。前者是研究地质体的过去,后者则是预测它的未来的理论基础。

“工程地质力学”的实践目的是预测地质体在工程建设中的稳定性,包括区域、山体、岩体、地面和深部的稳定性。紧密结合工程的规划、选址、设计、施工,提供有科学依据的工程地质评价,并指出合理的工程措施的方向。

二、基本原理

一个学科的发展,在很大程度上体现在它的基本认识是否形成,以及深化得怎样。而这完全取决于它的理论研究结果和实践经验的总结。

在我国长期和大量的工程实践中,工程地质力学研究已经认识到一些重要的本质的问题,这些认识逐渐成为工程地质力学研究工作的准绳,也就是说可以称之为基本的原理。工程地质力学的最重要、最本质的一条是“地质体结构对稳定性的控制作用”的论点,具体来讲可以表达为以下五条。

(一) 地质体是有结构的,它的特定的结构要素是结构面和结构体,其结构模式是结构面和结构体的有规律的组合

地质体,包括岩体应该看成是结构物,即是有结构的。当然,任何物体都是有结构的,这自不待言。作为工程地质力学的研究对象,地质体的特定的结构首先取决于地壳上部结构的最突出的特点,即断裂体系。断裂割切形成的地块具有相对坚固的特性,构成块体结构。这样的断裂——块体结构的活动中上部地壳现今变形的的主要方式。在工程荷载范围内和工程影响范围内,以及地质环境对工程产生影响的范围内不同规模的地质体都有很相近的结构模式,这可以概括为结构面-结构体组合。结构面-结构体组合结构模式的概念不仅适合于岩体结构的描述,而且也可应用到更大范围的山体,地块等地质体,这就使得工程地质力学研究中有一个一致的指导思想。当然,地质体规模不同,其边界结构面及内部次级结构面的级别不同,内部结构体的规模也不同。地质体内部结构面的组合规律不同,还可形成不同的结构类型。岩体结构的基本类型,可以推广到更大规模地质体的描述,当然考察的比例尺要放大。因此,工程地质力学研究不论对于区域性问题、工程地区问题、岩体具体工程部位问题,都要抓结构面,抓结构面的组合,抓结构类型,这是不同比例尺的工程地质力学工作所共同遵循的原理。

L. 缪勒在讨论工程岩体时强调了岩体的不连续性,在这点上我们的看法是十分一致的。结构面-结构体组合的结构模式恰恰也是不连续结构的模式。它不仅能够反映地壳上部结构的特点,而且也确是对工程建设中所关心的地质体稳定性起关键作用的结构模式。

(二) 地质体结构是在一定的地质历史中,经过岩石建造,构造形变和次生蜕变过程而形成的

地质体的结构属于自然造物,和工程结构是由人类设计、制造的不同,它有其自身的规律。对于这个规律只能通过对地质体形成过程的研究去认识。

对地质体结构形成过程的认识是非常复杂的,几乎涉及到整个地质学领域的各个分支学科。岩石建造是建立地质体物质基础的过程,在三大岩系岩石形成时各具特点的原生结构也就出现了。这种初始的不均一和不连续结构,在某种程度上控制着以后演化的特征。在这阶段形成的岩层组合和层组结构,是整个工程地质评价的基础。

构造形变阶段主要是形成褶皱、断裂系统。作为构造结构面的断裂系统往往是工程地质体稳定的突出的关键问题。根据我国大量工程建设的实践经验,对工程建设所管辖范围内的断裂系统能够分析清楚,可以认为工程地质评价就有了相当的把握性。当然,褶皱、断裂系统的发育分布规律既和区域构造运动的特征有关,也取决于岩石建造结构。同时,褶皱、断裂仅是地质体构造形变的两个侧面,它们之间是有紧密联系的。褶皱的波幅波长比,以及断裂的密度和规模标志着构造形变的程度。对于不同的地质体一般来说褶皱、断裂的发育程度有一致性,但有时两者的发育程度也不完全一致,这和构造形变的历史有关系。在构造形变过程中对原生构造产生改造的作用。现在发现大部分对工程岩体稳定影响很严重的软弱泥化夹层是原生的软弱夹层经过层间错动,使原岩结构受到扰动的结构,这一部分物质在地下水作用下才有粘土矿物的转化。

大部分工程建筑物都是建筑在地表的,表层次生作用虽然一般不是太深,但是对工程的影响却很大。工程的投资往往因为处理和开挖风化、卸荷岩体而有很大增加。这一研究的意义不仅在于对认识工程施工前的地质条件是重要的,而且它们就是工程施工和运行期间正在发生的动力地质现象,是必须预测的问题。基坑开挖,边坡开挖结果岩石趋于风化,岩体产生松弛和蠕动变形,地下水作用次生充填和断层潜蚀等等使地质体的工程地质特性恶化。都是次生蜕变的作用。

工程地质力学研究不仅重视成因,而且也重视演化,概括起来就是形成过程,这就要求进行地质历史的研究,尤其是受力变形历史的分析。

(三) 地质体内部结构决定着它的工程地质力学特性,这些特性是地质体受工程荷载或自然营力作用时结构特性的反应

地质体的结构不论其规模的大小,从工程地质力学观点来看,主要是结构面的组合,即其不连续结构。因此,可以分为整体块状结构,层状结构,碎裂结构和松软结构四大类。对已经划分出来的地质体,根据其内部次一级结构面的组合及次一级结构体的特征来确定其结构类型。所谓整体状是其次一级结构面稀少而不贯通,虽有少数切割成割离体,但在该地质体内部零星分布。在这里应该考虑地质体的三维形体,至少有三组地质结构面的切割才可能形成割离体。层状结构是一个特殊的结构类型,它的特点是一组结构面密集而且延伸长。作为地质体的结构而言,它是一种有相当广泛代表性的结构。沉积岩建造中各种互层、间层、夹层、薄层岩层都具有这种结构。当结构面纵横交切,使地质体基本上成为割离的结构体构成时,我们可称之为碎裂结构,也可叫碎块结构。当地质体内部的次一级及第二级结构面都极为发育,致使整个地质体极为破碎,变成为松软结构,在这样破碎及内部结构受到强烈扰动的情况下,整体上强度大为降低。

根据以上分类描述,不难看到它的基本力学属性是不同的。由于力学属性不同,在力学分析中可采用的力学模型也不相同。大量野外大型试验表明,整体块状结构岩体一般具有很高的弹性极限,具有弹脆性特点,渗透性能微弱。层状结构岩体在含有较多的软弱层时,呈现弹塑性及粘弹性特点,变形及强度的正交各向异性非常鲜明,往往会有层状渗流。碎裂结构岩体最突出的是它的不抗拉性和很低的松动强度,也有弹塑性变形和流变的特点和各向异性,含脉状渗流。松软结构岩体极为破碎软弱,往往产生塑性变形,流变

性能很突出,各向异性特点则有很大程度的削弱,渗透的均一性也有增加。

由于各类结构中结构面发育和组合的特征不同,所以地下水的赋存方式和作用效果也不相同。地下水的不良影响在碎裂和松软结构条件下非常显著。

在岩体结构分类的基础上,根据地壳上部地质体构造形式的同一性,可以将这些结构类型推广到表征不同规模的地质体和更大的地质构造单元。因而,可以将对岩体力学特性认识扩展到对更大规模地质单元,甚至地壳形变的研究。

(四) 地质体的结构对它的变形、破坏机制起控制作用,并影响到它的稳定性。工程地质体的稳定性本质上是其结构稳定性

具有不同结构的地质体在同样荷载的作用下往往出现不同的变形、破坏机制和方式。这也是结构效应,它不仅表现在位于表层的工程地质体的变形和破坏上,就是对于区域性的构造运动或浅源地震范围内的问题也还有所表现。

各类地质体共同的变形、破坏机制可以分为五种:(1)脆性破裂;(2)块体运动;(3)层体弯折;(4)松动溃散;(5)塑性变形。

整块裂面体,结构面切割度不高,贯通性不强,在变形发展中伴随着结构面的扩展和连通,以脆性破裂机制出现。地震、岩爆或地下洞室,甚至基坑的岩石剥裂等是典型的脆性破裂。层体弯折是典型的软硬相间岩层的变形、破坏机制,像褶皱,边坡的点头、哈腰和顺层的拱曲失稳等。这一类机制是地质体中相当广泛的变形现象。块体运动的产生是由结构面,尤其是软弱结构面切割的相对完整的结构体之间的相对位移。由于块体的刚度大,而沿结构面的剪切刚度小、抗拉强度低,所以在一定尺度下可以认为块体本身不产生内部的变形,只考察块间的相对运动。板块构造、断块构造,以至小到洞体的塌落,边坡的滑动、倾倒都可作为块体运动来研究。松动溃散是碎裂结构的典型的破坏机制。碎块体的组合使这类结构表现为抗拉力很弱,在无侧向围压的条件下或在拉应力条件下碎块体散开,镶嵌结构受到破坏、咬合力丧失,于是松动垮塌,许多边坡的崩塌、洞室的塌方、片帮等是属于这一类破坏机制的。对于碎裂结构中含众多软弱结构面地质体或松软结构,其塑性变形显著,流变破坏,膨胀等都属于此类。

地质体由于其结构的不均一性,变形、破坏有复杂的过程,往往经历多阶段的发展,每个阶段都有其独特的平衡条件和破坏方式。对于地质体的变形破坏要从动力学的观点考察。

地质体变形、破坏机制说明它的稳定性可以表现各种不同的平衡方式。对于一种破坏机制而言是稳定的,但仍不能排除另一种机制的破坏发生。所以在稳定分析评价时,能够正确预测可能出现的破坏机制,是首要的前提。

(五) 地质体结构和工程结构之间有相互作用,地质环境的作用对工程的影响和工程改造环境之间有密切的联系

大坝工程荷载引起岩体的变形,变形的结果引起坝体应力的调整,相应又使荷载有某种程度的改变,于是岩体变位也要作相应的调整。同时,岩体变形使岩体渗透特性改变,

渗透压力调整,使岩体应力状态改变,这又返回导致渗透特性的改变和渗透压力的调整。由此可见这里相互作用是非常复杂的。

地下工程过去把岩体单纯当作荷载,采取被动的衬砌来支护它。今天采用喷锚支护,改造岩体,利用它自己支护自己的能力,所以支护结构和岩体在合作,起共同作用,使地下工程的设计和施工有本质的进展。

大型工程建设,如跨流域引水工程、水电梯级开发等,建筑物的运行和自然环境的改变也体现密切的依存关系,这是近年来环境工程地质所关注的问题。还有诸如水库建设有时产生水库诱发地震,地震结果却返回来造成大坝的损坏。这些也都是工程和地质环境的相互作用。

上述五条原理,是客观规律的总结,同样也是在解决工程地质力学问题时所必须遵循的原则。

三、研究方法

工程地质力学在理论研究的基础上,要解决区域、山体、岩体、地面和深部地质稳定问题,必须一方面坚持地质分析的方法,另一方面引入数学力学的分析方法和测试手段。这两方面的结合体现在两点上。第一,将这不同的方法用于不同阶段,解决不同的问题,但前后衔接起来,使研究的问题逐渐深入,由定性到定量。第二,在地质分析中尽可能应用数学力学方法,而在数学力学研究中应充分考虑地质体结构特性的客观规律。

目前在研究工作中已经采取的方法有以下几种。

(一) 地质力学分析

地质力学分析方法的原理是根据变形场反推应力场,在对应力场有正确的整体的认识后,再解释和预测具体的局部地段的变形场。通过变形场的研究我们就可以掌握地质体的结构特征。

为了得到地质体在地质历史过程中各不同发展阶段受力变形的特征,从而掌握地质体结构的形成过程和演化规律,在地质力学分析中首先要根据岩层的不同变质深度,沉积的不整合界面及岩浆活动的类型和时间划分构造层。然后根据各构造层的构造形迹,联系区域的构造体系,进行配套分析。在研究地质体的表层次生改变过程时,则要结合河流发育历史,第四纪地质历史进行反演分析。

在地质力学分析中岩石力学的原理和应力变形关系的应用是改进目前常用的地质力学分析的重要一环。这也是工程地质力学所注重的问题。有时现场的构造变形迹象必须结合它在变形时的塑性现象来分析。目前地质力学分析中,还存在一些未解决的问题,其中多次构造形迹的复合是比较重要,多次活动的结构面地质力学性质往往不易准确判断。

(二) 工程地质类比评价

类比法是工程地质的一项传统的方法,它的基础是工程地质条件的分类,以及已有工

程的经验。目前,国内外都十分重视的围岩分类,实际上就是一种类比评价。我们通过岩体结构类型的划分,区别在特性上有本质不同的岩体,是定性评价的基础。同时,发展根据一定代表性参数确定岩体质量的方法,可以比较客观地、定量地进行岩体的工程地质评价。然后,才可以根据所研究的工程岩体结构类型和质量参数,选取岩体结构和质量系数相接近的岩体作工程地质类比。按岩体结构类型的质量系数分别总结已建工程的经验和实测的各种参数,用到所研究的工程上则是广泛的、综合的工程地质类比方法。

(三) 现场岩体力学试验和观测

为了了解岩体的力学特性必须进行现场的岩体力学试验,取得设计的参数。但这并不是唯一目的,在某种意义上更重要的是通过试验认识岩体在荷载作用下的结构效应、岩体变形、破坏机制等本质问题。

工程地质现象观测,如岩体变形观测、应力和压力观测、地下水动态观测、滑坡观测、大坝坝基观测以至于微震和地形变观测、断层蠕变观测等等是解决工程地质力学问题极为重要的途径。对地质体的分析和预测,只有通过观测来验证,同时也只有通过原型观测来认识地质体结构的真正性能。

(四) 地质力学模拟实验

由于地质体结构复杂,地质历史漫长,要在室内模拟重现地质力学过程或模拟在工程作用下的变形和破坏,确是很困难的。模拟实验分为设计模拟和机制模拟。要保证模拟的相似律即使在自然条件有很大简化的条件下也难以达到。但作为机制模拟,只保持某些或某一条件的相似性就比较容易做到,所以近几年这种机制模拟受到普遍的重视。

缪勒教授非常推崇早年 H. 克洛斯的泥巴试验。我国地质力学早期模拟实验也是泥巴试验。模拟实验中可以直接观察到变形、破坏过程的发展,观察者在思维过程中很容易将以往现场经验和模型上出现的现象联系起来,因而有很好的效果。

(五) 工程地质力学的理论解析和数值分析

力学理论解析和数值计算方法,尤其是电子计算机的应用,为工程地质力学分析提供了有力的工具。但是由于地质体结构复杂,很难取得精确的计算参数,同时地质体的变形、破坏机制和影响因素复杂,精确的计算实际上也只能提供半定量的结论。

工程地质问题的数学力学分析结果的可靠性取决于对地质体结构和特性的了解,以及对可能发生的失稳机制的认识,当然分析方法本身的不断改进也是重要的。

在充分细致的现场地质力学分析和必要的试验的基础上,将数学力学分析和模拟试验及现场观测资料进行对比,修改计算程序,调整计算参数,那么计算分析将能更好地在工程设计中发挥作用。当然,在目前条件下许多工程地质力学现象还难于进行数学描述,即使数值分析也因计算功能的限制,与客观情况有较大的出入,所以综合分析评价及工程类比还是起着主导作用。

四、方向和展望

缪勒教授曾经表示对国际岩石力学发展现状和方向感到担心。他在不同场合再三强调理论联系实际和学科结合的发展方向问题。他的看法和我们的认识颇为一致，但确实也使我们对一个学科的发展方向引起更大的注意和深入一步的理解。

缪勒教授高兴地看到在中国这门学科发展方向是正确的，不是“石块力学”的道路，认为这是和中国生气勃勃的工程建设分不开的。

我们认为这些问题是十分重要的，它不仅是人们的认识和看法，而且体现到做法，并在学科的内容、课题和原理上有所反映。工程地质力学在学科定义中就已经强调了它为工程建设服务的目的性，强调地质规律研究为基础，强调学科的合作。它的基本原理和研究方法是和学科定义一致的。

我国人民面临着四个现代化建设的艰巨任务，大批规模巨大的工程建设项目等待着规划、选址、设计和施工，“工程地质力学”是大有可为的。不论是能源问题，交通问题、矿产开发问题，还是工业建设、都市建设和国防建设都要和地球打交道，都脱离不开地质基础。尤其因为我国地质构造的复杂性，“工程地质力学”研究不是可有可无的，而是多快好省的工程建设所必需的。

就以能源开发而言，我国水利资源极为丰富，到现在为止才开发了百分之四。西南地区，大渡河、雅砻江、金沙江、澜沧江、怒江等五大江河蕴藏有占全国 70% 的水力资源，它的开发、利用，不仅是这个工业区建设的前提，而且也是解决我国能源问题的长远战略措施。

但是，川、滇横断山脉地区自然环境和地质背景是极为复杂的。它的特点是：地壳长期抬升，河流急剧下切，物理地质作用发育，河谷岸坡及山体稳定性差，现今构造运动剧烈、地壳持续变形、地震成带分布，震级大、烈度高、发震频繁，区域稳定性问题突出；有多期构造运动作用、地应力高、深大断裂发育，地质构造复杂，工程地质条件不均一，很多地段工程岩体稳定性有问题。与此同时，这里河流的流量大、落差大，高山峡谷，适宜修建高坝、大库、巨型水电枢纽，这与复杂的地质条件恰好是矛盾的。在规划、选坝中要考虑地震问题，水库地震问题、水库滑坡问题。在定坝线，进行枢纽布置时遇到大流量泄洪对坝肩岸坡的冲刷问题；放置地下厂房遇到高地应力问题；采用明厂房，边坡削坡数百米高也难稳定，尤其是地震区边坡很难维护；修高坝对岸坡产生上千万吨的推力，裂隙岩体能否承受得住等等都是互相牵连，具有普遍性的一套问题。因此，工程地质力学在水电建设中面临着一个新的课题，即在复杂地质构造地区兴建巨型水电工程的工程地质力学研究。

其实，在矿山、交通等其它部门也有一系列新的课题，困难的课题在等待着工程地质力学去研究，并要求工程地质力学和其它学科的合作真正解决它，把四个现代化所要求的工程项目经济、合理地建设起来。

参 考 文 献

- [1] 谷德振 中国工程地质学十周年, 科学出版社, 1959.
- [2] 水利水电科学研究院, 中国科学院地质研究所 水利水电工程地质, 科学出版社, 1975.
- [3] 中国科学院地质研究所、工程地质与抗震研究室 岩体工程地质力学的原理和方法, 中国科学, 第一期, 1972.
- [4] 中国科学院地质研究所 岩体工程地质力学问题, 科学出版社, 1976.
- [5] 谷德振 岩体工程地质力学基础, 科学出版社, 1979.
- [6] 谷德振 中国工程地质学三十周年, 全国首届工程地质学会议论文选集, 科学出版社, 1979.
- [7] 谷德振、王思敬 论工程地质力学的基本问题, 全国首届工程地质学术会议论文选, 科学出版社, 1979.
- [8] 谷德振、王思敬、黄鼎成 岩体稳定的工程地质力学分析, 国际交流地质文集(为廿六届国际地质大会撰写), 地质出版社, 1980.
- [9] Müller L., Der Felsbau Enke Stuttgart, 1963.
- [10] Müller L., Der Felsbau (III)—Tunnel Bau, Enke Stuttgart, 1978.

郯庐断裂带的构造演化与区域稳定性分析

李兴唐 王国栋

郯庐断裂带北起绥化南至宿松,长达两千五百余公里。它穿越不同的大地构造单元,经多期的构造演化和叠加断裂作用,所以,它的发展历史和结构是复杂的,并且是现代活动的断裂,成为我国东部一条重要的地震活动带。因此,讨论本区的地壳稳定性对工程建设具有实际的意义。

本文内容是根据我们的野外考察和所搜集的资料,从断裂带的构造演化,叠加断裂作用讨论区域现代地壳稳定性。在本文写作中参考了有关单位和个人的资料,著者于此一并表示感谢。

一、断裂带的构造演化与叠加作用

郯庐断裂带的构造演化从老到新可以划分为五个构造阶段:(1)前震旦亚代;(2)中、晚元古代;(3)古生代;(4)中生代;(5)新生代。各阶段的断裂深度和力学性质均有所改变,但是,早期的构造格局或断裂网络控制了晚期的建造分布和岩浆活动,晚期的构造运动使早期断裂产生叠加作用或复活。各构造阶段郯庐断裂带的特征分述于下。

(一) 前震旦亚代阶段(>19 亿年)

震旦亚代前华北断块经受了两期显著的构造运动:(1)晚太古代末期的阜平运动(25 亿年);(2)早元古代末期的五台运动(19 亿年)。经这两期构造作用形成了断块的结晶基底,它由两个构造层组成。太古界构造层的原岩下部是镁质火山岩、泥岩和超镁质侵入岩,花岗质侵入岩,上部为含铁陆源碎屑岩、粘土岩建造。这些岩石经阜平运动变质为片岩、变火山岩、片麻岩和混合岩包括:绿片岩,角闪岩和麻粒岩相。变质相变化复杂随地而异,变质相带走向呈北北西或北北东。太古界岩层同位素年龄也是随地有所不同,大多数年龄是 25 亿年,清原和迁西一些地方同位素年龄 29 亿年;迁西太平寨迁西群最古老年龄可达 37 亿年^[2]。

下元古界在鞍山、山东东部均有出露,它们不整合于太古界之上。原岩为中、酸性火山岩,泥岩和碳酸岩建造,以及碎屑岩建造。

这些原岩变质为片岩,片麻岩和大理岩,它们属绿片岩相至角闪岩相。下元古界最古老的同位素年龄值为 19 亿年,与山西五台群年龄相近,反映五台运动的影响。

太古界岩层褶皱,片理和线状构造走向:在冀东、辽西为北 20—30° 东;辽东和山东上述构造走向北 10—30° 西。褶皱具有剪切和流动的特性。下元古界岩层褶皱,片理走

向北 $70-80^{\circ}$ 东,为弯曲和剪切褶皱。上述特征表明:太古界和下元古界两个构造层的存在以及温度、应力条件的差异。野外可以观察到,太古界岩层叠加晚期(五台期)的近东西走向劈理、线理。

郯庐断裂在阜平运动(25亿年)已开始形成。沈阳至鞍山,蓬莱至掖县,锦州至山海关近南北至北北东方向出露的晚太古代花岗岩、片麻状花岗岩、混合岩的同位素年龄25—28亿年予以证实,它们是沿断裂带侵入的酸性岩浆,参见图1(1)。辽西和辽东变质相带,褶皱轴走向也不同,现今山东境内的郯庐断裂两侧,断裂以西构造形变轴走向北北西,东侧北北东,这些也反映太古代末期郯庐断裂已形成。酸性岩浆上升的断裂走向与褶皱,片理走向一致。所以,晚太古代末期开原至嘉山的古郯庐断裂已形成,它是挤压性的,当时这个地区的地壳受到近北西至南东方向的最大主应力作用,图1(1)。

早元古代岩层褶皱和片理在辽东地区走向北 80° 东;昌邑至郯城在郯庐断裂西侧为太古代变质岩系,断裂东侧出露早元古代胶东群,它的褶皱和片理走向北东至北东东。华北中部五台群构造线近东西走向。五台山,鞍山地区均有近东西方向的早元古代超基性岩带和辉长岩带出露。这些构造形变走向,岩浆岩带分布方向均反映出五台运动期华北地区受到近南北方向的最大主应力。在此构造应力条件下,已存在的郯庐断裂发展成为左旋剪切叠加断裂,力学条件见图1(1)。

华北的太古界、下元古界岩层经早元古代末的五台运动,褶皱、变质构成华北断块的基底,即华北断块已形成。

(二) 中、晚元古代阶段(震旦亚代)(18—6 亿年)

从长城期开始华北区构造发展进入“断块”或“地台”发育阶段,形成震旦亚界盖层。

长城期(18—14亿年): 长城期初在辽西和冀东发育了北北东方向具有裂谷特征的断陷盆地,它的沉降中心在朝阳至蓟县之间(沙庆安, 1979)海水由北浸入,蓟县地区大红峪组碳酸岩建造夹枕状玄武岩和安山岩,反映出朝阳至蓟县存在着切割至花岗岩层的基底断裂。断陷盆地的东缘(锦州至邯郸)出现边缘相砾岩,粗砂岩。所以,在长城期郯庐断裂是盆地东缘的张性正断层,断裂西盘下降,东盘上升。盆地与西缘由北西走向断裂控制。盆地西缘为北北东方向的张家口断裂,它也是正断层。

蓟县期(14—10 亿年): 这一时期华北断块的构造发育继承长城期的特性,郯庐断裂仍是东盘上升的正断层。长城至蓟县期华北断块最大主应力方向北北东-南南西,图1(2)。

青白口期(10—8 亿年)和震旦纪: 在本期郯庐断裂以西地壳相对的稳定,断裂以东地壳沉降速率加大,形成复县至桓仁间的北 60° 东走向的断陷盆地,它的中心堆积了总厚达六千余米的碎屑岩建造,并含有基性火山岩碎屑的杂砂岩,反映地壳沉降迅速。当复县至桓仁断陷盆地向北北西和南南东拉张时,郯庐断裂应是该变形场中的剪切性断裂。

震旦纪期间沿铁岭至潍坊一线以东形成了厚达五千余米的砂岩、页岩和碳酸岩建造,郯庐断裂以西突然变薄,表明郯庐断裂成为东盘下降的张性断裂。所以,可以认为,郯庐断裂走向北北东,近于直立。

嘉山以南的北北东方向分布的张八岭群有酸性火山岩夹细碧岩,其同位素年龄

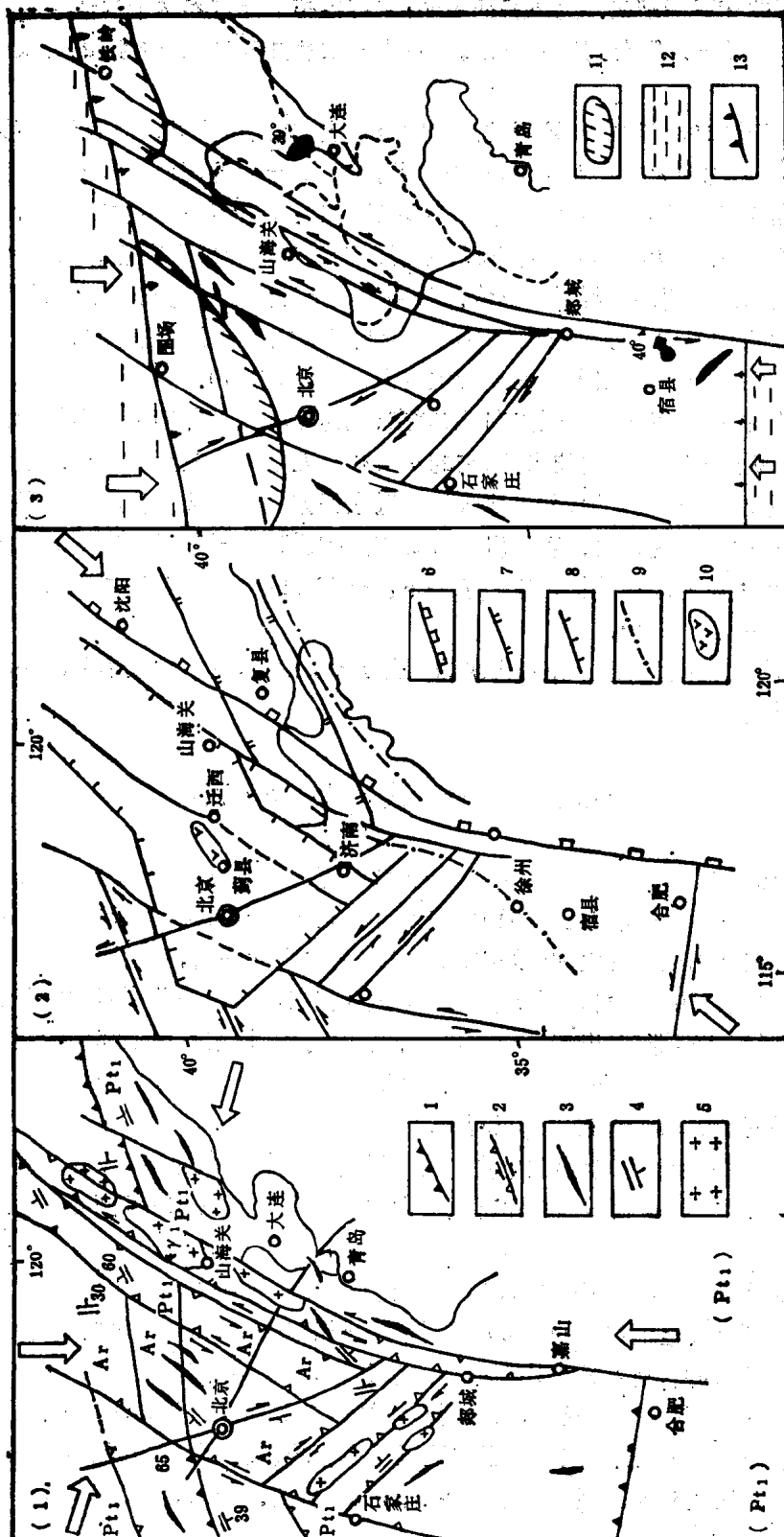


图1 郑庐断裂带及邻区古构造演化示意图

(1)前震旦亚代(晚太古代和早元古代); (2)中,晚元古代; (3)古生代; (4)中生代; (5)新生代。
 统一图例: 1. 早元古代挤压性断裂; 2. 晚太古代挤压; 3. 背斜轴; 4. 片理产状; 5. 晚太古代花岗岩, 混合岩; 6. 震旦纪张性断裂; 7. 青白口期张性断裂; 8. 长城期张性断裂; 9. 震旦系沉积边界(郑庐断裂附近); 10. 长墙期火山岩; 11. 古生代断隆(古陆); 12. 加里东至海西期断褶带; 13. 加里东至海西期俯冲断褶带; 14. 中生代金伯利岩; 15. 断陷盆地或裂谷区; 16. 玄武岩; 17. 时代及岩层厚度(米)(岩性同一一般规定图例); 18-20. 基底断裂和叠加的力学性质; 18. 挤压性的; 19. 张性的; 20. 剪切的; 21. 岩石圈主应力方向(一级)图中(1)(Ar)晚太古代, (Pt₁)早元古代; 22. 地壳主应力方向(二级); 23. 古地磁向量(磁偏角和古纬度)。