

# 岩体工程地质力学问题

(二)

中国科学院地质研究所 著

科学出版社

5062  
2

# 岩体工程地质力学问题

(二)

中国科学院地质研究所 著

科学出版社

1978

## 内 容 简 介

本书在总结工程实践经验和科学研究成果的基础上,提出了岩体工程地质力学的研究任务和方向,并介绍了围绕这个方向进行研究的部分成果,着重探讨了岩体工程地质力学的试验研究和实际应用问题。

全书共有十五篇文章。第一篇论述了岩体工程地质力学的主要任务和方向;第二篇至第六篇主要为岩体结构分析和断层、软弱夹层的工程地质研究;第七篇至第十篇为岩体力学研究和岩体力学特性的试验;第十一、十二篇为岩体稳定计算分析;第十三篇至第十五篇为岩体的声波测试和动力特性分析。所讨论的问题与基建、矿山、国防等工程的勘测、设计、施工有着密切的联系。

本书可供广大地质和水文工程地质人员,水电、交通、矿山、国防工程设计和施工人员及有关院校师生参考。

## 岩体工程地质力学问题

(二)

中国科学院地质研究所 著

\*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

天津市第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1978年9月第一版 开本:787×1092 1/16  
1978年9月第一次印刷 印张:14 插图:1  
印数:0001—8,130 字数:320,000

统一书号:13031·795

本社书号:1142·13—14

定价: 2.20 元

## 出版前言

解放以来,在伟大的领袖和导师毛主席和中国共产党的英明领导下,我国社会主义建设事业日新月异,大规模的水利水电工程、交通铁路以及各类工厂、矿山建设工程星罗棋布,迅速发展。在大量的工程建设中工程地质工作从无到有、逐步发展,通过对地质条件的正确评价和论证,为工程的设计和施工提供了依据。同时,形成了一支巨大的工程地质勘测研究队伍,工程地质科学研究工作也迅速得到发展和提高。

现在,在以华主席为首的党中央领导下,继承毛主席遗志,抓纲治国,掀起农业学大寨、工业学大庆的群众运动,全党全国人民决心为在本世纪末实现农业、工业、国防和科学技术现代化而努力奋斗。为此,我们面临着更大规模、更高速度的工程建设任务。例如,三峡、南水北调等复杂综合工程、巨型地下电站和防护工程、油气的地下储藏工程,深井及高边坡露天采掘工程,高水头引水隧洞和越岭隧道工程等,有许多以往工程建设中所未曾遇到的问题,特别是工程地区的构造稳定性、山体和岩体稳定性、地表和深部稳定性,核爆、化爆动荷载作用下的工程岩体稳定性等。这些,都要求工程地质工作在理论指导方面和探测技术和方法上提高到新的水平上去。工程地质科学研究工作应该迎头赶上,走在工程建设需要的前面。

工程地质科学要适应我国工程建设的要求,赶超世界先进水平,就应该独立自主、自力更生、发奋图强,走自己的发展道路,在广泛深入实际的基础上把科研工作往高里提。解放以来,尤其是无产阶级文化大革命以来,通过各种工程实践的经验总结、水利水电工程地质总结、铁道隧桥工程地质会战以及有关的系统和部门的科研工作等等,我国工程地质工作和有关的土木、矿山、国防工程系统纷纷提出发展我国自己的工程地质学、岩体力学和有关岩体工程的设计理论的希望和看法。在迎接我国社会主义工程建设更大跃进的大好形势下,总结和交流这方面的经验、理论、方法和技术,必将推动工程地质科学的发展,使它更好地为我国的社会主义建设服务。

《岩体工程地质力学》是我国工程地质工作者近年来提出的工程地质科学的研究方向,它是科研、施工、设计相结合和总结实践经验的产物。它的主要观点,认为在地质历史,尤其是构造形变过程中形成的岩体结构、决定岩体的物理力学特性,控制工程岩体的变形破坏规律,所以必须抓住岩体结构这个关键,将地质力学和岩体力学相结合,解决工程岩体的稳定问题。这一基本理论看法目前已得到许多工程和矿山建设部门以及科研、院校单位的赞同。但它毕竟是初步提出的课题,还有待于进一步完善、充实和提高。尤其重要的是它必须在工程建设的实践中去检验、应用、改进,并吸收实践中不断出现的新鲜经验,才能逐渐成熟起来。

目前组织出版的这个文集,是我们1976年出版的《岩体工程地质力学问题》的续集(二),今后我们将以岩体工程地质力学研究为主要课题,同时注意吸收和刊出有关工程、

· i ·

矿山和国防工程地质学、岩体力学、岩体工程设计理论、施工方法等方面的科研成果、学术论文,陆续汇集成册出版,旨在组织交流,推动工程地质科学的更快发展,使它为多快好省地进行社会主义工程建设,实现四个现代化,赶超世界先进水平发挥积极的作用。

编者  
1977.7.1.

## 目 录

岩体工程地质力学研究的主要任务·····	工程地质研究室 ( 1 )
构造岩组成、性质的工程地质研究·····	牟会宠 ( 10 )
断层破碎带的工程处理·····	古 迅 ( 30 )
某工程 308 号粘土岩泥化夹层在渗压水长期作用下变化趋势的研究·····	
·····	曲永新、徐晓岚 ( 38 )
比表面积指标在泥化夹层、断层泥、粘性土研究中的作用·····	曲永新、时梦熊、徐晓岚 ( 48 )
岩体力学工作的理论基础·····	孙广忠 ( 58 )
论岩体强度分析·····	周瑞光、赵然惠、陈诗才、孙广忠 ( 70 )
软弱夹层稳定性分析原理及方法·····	赵然惠、孙广忠 ( 77 )
低围压下岩块三轴试验·····	陈诗才、赵然惠 ( 90 )
赤平极射投影求解空间共点力系·····	孙玉科 ( 94 )
岩质边坡块体稳定计算分析·····	刘 钧 ( 123 )
岩质边坡块体的稳定分析评价·····	杨志法 ( 136 )
岩体结构的弹性波法分类·····	吴志勇、杨玉华、杨志法、王存玉、王思敬 ( 156 )
岩石动弹性性质的超声测试·····	董万里 ( 178 )
边坡岩体动力稳定性研究·····	王思敬 ( 193 )

# 岩体工程地质力学研究的主要任务

## 工程地质研究室

岩体工程地质力学是近年来在工程地质学基础上发展起来的一个新的分支。它是以岩体结构特性为根据进行岩体稳定性评价的初步尝试。传统的工程地质学只是研究工程建筑物的地质条件和环境,建筑物对自然地质条件发生变化的影响以及在相应地质条件下对工程建筑物的稳定性做出定性的评价。这样的研究远不能满足我国日益发展的各种巨大建筑物的建设需要。我国幅员辽阔,地质条件复杂,所形成的岩体,其组织结构就大不相同。所以,多年来,在工程实践中我们曾遇到各种各样的工程地质问题,它们严重地影响了工程建设的进展。列举如下:

- (1) 软弱岩层如粘土岩、斑脱岩、火山凝灰岩、含煤建造、含盐建造以及绢云母、绿泥石、石墨、滑石片岩等的蠕变和承载力问题;
- (2) 坚硬岩石如花岗岩、石英岩、硅质灰岩以及硬煤等的脆性破裂和岩爆、岩炮等问题;
- (3) 软弱泥化夹层在长期渗流作用下的恶化和渗透稳定问题;
- (4) 可溶岩中石灰岩、石膏、岩盐的架空结构及渗漏等问题;
- (5) 风化岩的发育与分布特征及其结构与强度特性,风化岩的利用和处理问题;
- (6) 构造岩的分带及各带的工程地质特性,构造岩的利用与处理问题;
- (7) 褶皱、断裂所引起的坍塌、滑落、片帮、底鼓等问题;
- (8) 地下水的突然袭击、冻胀、腐蚀、高温与渗压等问题;
- (9) 动荷载包括地震、爆破振动以及机械振动等所引起的围岩变形和破坏问题;
- (10) 水库地震对工程岩体稳定性影响问题,等等。

上述这些问题都是客观存在,直接影响着各种工程建设能否多快好省地进行建设,能否安全顺利施工,能否正常的运营等等。这些问题对工程的影响是各不相同的,但概括起来就是建筑物所辖范围内的岩体在人类工程活动后能否稳定,这些岩体在工程作用下的变形、破坏机理和规律如何,并依此提出各阶段的工程设计的依据和工程地质预报,制定有效的防治措施。

大量工程实践表明,岩体的稳定性主要取决于岩体的自然特性,即岩体的内在结构。因此,岩体工程地质力学研究的基本问题就是岩体结构问题。只有在彻底查明工程所在地区地质结构和岩体结构特性的基础上,才能制订合理的力学测试方案,以及力学分析和稳定性计算,最后给出稳定性评价。岩体工程地质力学研究的主要任务就是解决岩体稳定性问题,即抓住岩体结构,用地质力学观点分析它的形成和发展过程;用岩体力学的理论和方法探讨岩体在外力或荷载的作用下的变化过程,给出岩体的物理状态和力学属性,并结合工程要求,作出稳定性评价。因此,岩体工程地质力学研究的主要问题,即岩体结

构的特性问题,岩体变形破坏机制与强度问题及岩体稳定性模拟与计算问题等。岩体工程地质力学的研究的目的,就是解决与各种工程建筑物有关的岩体稳定问题;充分利用岩体的有利条件,保证施工顺利,防止重大事故发生,为工程设计提供合理的科学依据。

## 一、工程实践推动着岩体工程地质力学的发展

伟大的社会主义建设事业,正一日千里地在祖国各地蓬勃发展,各种建设工程无不与工程地质工作紧密相关,如水电、矿山、铁道、桥隧以及大型地下工程等。这些工程往往遇到复杂的地质条件,如断层破碎带,软弱泥化夹层,节理密集带,地下水渗漏及渗透压力等等,这些问题都需要工程地质工作者给予研究和解决。在探讨和解决这些问题的过程中,岩体工程地质力学得到迅速发展。

在治淮与修建武汉长江大桥的过程中,实践促使我们重视地质构造问题。但如何把地质构造现象与工程稳定有机联系起来,当时还不十分明朗。从一个拥有坚强花岗岩坝基的大坝,发生了局部变形破坏,得到了启示,不管怎样坚强的岩体,只要其中存在不利的软弱地质界面,就有可能造成滑移。而后,通过西南铁路修筑中的一些大塌方与几次自然边坡的大坍塌,均集中反映了岩体的失稳与岩体内部的某些地质界面有着密切的关系。由此产生了结构面及结构面控制岩体稳定的基本概念。在“大打矿山之仗”和“深挖洞”的形势下,我们更多地参加了矿山工程和地下工程的实践。进一步看到不少工程岩体失稳,与结构面发育与组合特征有着一定的内在联系,而且结构面发育性质与组合特征不同,岩体变形破坏方式也就不一。从而逐步形成了岩体结构的概念。

自然造物是极其复杂的。地球的发展历史是漫长的,是随地而异的。构造运动是多期的,运动性质也是不同的。所以与建筑物有关的岩体特性,有它的一般规律,还有它的特殊规律。由于工程所属地区的局限性和工作上的片面性,正确地认识客观实际总是要有实践的过程才能达到。因此,岩体工程地质力学的研究必须要进行现场实践,亦即工程地质工作者必须要参与工程建设的全过程;从选点调查、勘测设计直至施工运营。这样,就能使我们的认识水平迅速提高,使其条理化,逐步上升为理论。

任何一项工程,从规划开始直到竣工运营,是工程地质工作者认识自然的全过程。不参加施工,对所做工程地质预报的正确性,则无法验证,难于提高。所以,从工作开始,就需要有计划有步骤地系统的积累资料,经过综合分析,反复提高,把取得的成果再用之于设计之中,经过施工详测检验,对预报正确的要分析它的原因,找出它的根据,对预报错了的要认真总结教训。往往教训是深刻难忘的,必然会看到它给工程带来的不利及危害。这就是所谓吃一堑长一智,就逐渐懂得了如何去观察各种事物的矛盾。要认识矛盾的普遍性,更要重视矛盾的特殊性。只要经过多次这种实践,在工作中不断总结提高认识水平,岩体工程地质力学就会得到更加迅速的发展。在我国,工程地质工作者有大量的极好的实践机会,只要我们努力认真工作,遵循毛主席的教导,由实践到认识,再由认识到实践这样多次的反复,工程地质学就会得到新的发展,为社会主义建设事业就会做出更大的贡献。

## 二、岩体工程地质力学的主要任务

从岩体结构这个基本观点出发来探讨解决岩体稳定性问题——这就是岩体工程地质力学的主要任务。

岩体稳定问题是多年来工程实践概括出来的重要的关键的工程地质问题之一。作为建筑物基础和环境的岩体，在自然地质条件下和在人工开挖后是否稳定，从来都是工程技术人员十分关心的大问题，这也是工程地质工作者应该回答和解决的大问题。

岩体稳定是个相对概念，它所涉及的范围很广，工作内容很多，针对与工程建设紧密有关，依工程设计和工程勘测阶段的不同可分为下列问题逐步加以解决。

### (一) 区域稳定性

在工程规划阶段，尽量避开地震活动区及地震危险带，力求远离高烈度地震区即 VII 度以上需要工程设防的地区。所以，要抓住区域稳定性这个问题，进行专门的研究分析，论证地震动荷载对建筑物的影响。

地震的发生都具有它特定的地质背景。一般，大的地震多集中在不同大地构造单元接壤地带的大断裂带上。所以，首先要分析工程区所处的大地构造部位，论证该断裂带两侧的地质发展史，地质构造的演变情况，岩浆岩循断裂带的活动特点，以及断裂带两侧地貌的发育状态。重点应放在大断裂带的特性上。

(1) 断裂带的延展性：断裂的空间分布，即断裂的延长方向和纵深发育情况和横向变化，以及断裂的组合特征，即构造体系，这些都是控制断裂规模的，要搜集足够的地质区测资料和地震地质资料，加以充分论证，弄清是否为区域性深大断裂带。

(2) 断裂带的时间性：地壳运动是多旋回的，该断裂是何时形成的？形成它的构造应力场是什么？主干断裂和派生断裂的力学机制又是什么？岩体或地质体中由初次构造运动所形成的构造体系，共同构成本区最老的构造层，它对后期构造运动所引起的变形破坏，起着决定性的控制作用，亦即地质力学所提出的构造复合问题。下构造层中的基底断裂对上覆盖层的影响问题，也是值得重视的。通过这些分析工作，阐明断裂形成的时间性及不同构造层中各自的构造应力场。

(3) 断裂的多期性：古老岩体则具有多期构造的表征。多次构造运动的结果，往往导致断裂的复活再复活，使断裂带的规模加剧，构造岩的特性就愈益复杂，工程地质特性就有显著的变化，对岩体稳定必然产生巨大的影响。

(4) 断裂的活动性：新构造运动特别是晚近地壳运动，往往导致古老构造断裂的再复活，亦即基底断裂控制上覆最新沉积盖层的变形与破坏。这种现象有时不十分明显，应仔细观察，必要时进行勘探。因最新构造应力场中的最大主应力对工程部署特别是巨型地下开拓，起着决定性的影响，所以，往往与最大主应力接近垂直的断面上来压快来压大，有时可能产生岩爆及特殊的岩体变形破坏。

(5) 断裂的危险性：地震工作者近些年来开展了大量的地震地质和测试观测工作，确定了我国的地震危险区或危险带，以及一些孕震断裂和发震断裂。根据历史地震资料

及仪器观测成果,可以看出地震震中及震源所在部位,大都与大断裂带相伴生,并沿断裂带往返迁移,且具有一定的周期性。地震之所以发生与地应力的积累固然有关,但断裂带构造岩的强度低,还是更为重要的因素。在地震危险区进行工程建设及矿山开发,岩体稳定的动态特性就有着特殊的意义。

工程地质工作者有它的专门任务,区域稳定性也是重要任务之一。但涉及范围很广,所以要善于利用区测资料及地震地质的分析成果,但还必须作一些调研工作,明确工程所辖范围及邻近地区有无区域性大断裂的分布,沿断裂带布置与它垂直的地质剖面3—5条,结合所掌握的资料进行对比分析,就能争取主动,获得对工程所在区的地质背景有个梗概的认识,这样就必然会为工程布署提出合理的建议。

## (二) 山体稳定性

在工程所辖范围较大地区,开展以山体稳定性的研究,目的在于工程方案的对比,以期选出合理的工程部位和恰当的工程布署,诸如坝区,隧道区,地下工程区以及矿区等。由于工程性质不同,对山体稳定分析的侧重则有所不同,对大坝来说则为坝基及坝肩的抗滑稳定,对隧洞区及地下工程区则是洞脸的边坡稳定及洞顶岩体的稳定。对于矿区则是露天开采的边坡稳定以及主井,大巷,采场的围岩稳定以及由地下开采而引起的地面稳定等。这个阶段的工作重点是弄清有关稳定分析所需的边界条件,亦即工程地质条件。事实上即搞清有无可引起变形的不稳定的岩体,它们的破坏形式和规模。并依此进行不同方案的对比。

通过大量工程实践,一致认为要把不稳定岩体及其所具备的边界条件搞清楚,下列地质工作是必须的。

岩石工程地质分组是最基本的工作,从中标出软弱岩组及软弱泥化夹层,要掌握它们的空间分布规律和建筑物的依存关系。

构造断裂组合是稳定分析不可缺少的条件。各种结构面的特性及空间分布,对破坏形式及规模起着控制作用。

风化岩组的划分以及风化壳的变形特性和风化夹层的分布规律,这些都是稳定分析不可缺少的资料。

可溶岩组的划分以及岩溶化岩体的架空特点和溶蚀洞穴的分布规律,对岩体稳定分析有着直接影响作用。

地下水运动规律是受水文地质结构严格制约的。应根据岩石组合特征,论证含水层和隔水层的相互关系,再结合褶皱断裂论证裂隙水的发育和分布规律。这些资料对基坑涌水及岩体的渗透稳定是十分重要的。

上述这些工程地质特性在长期自然地质条件作用下,地貌形态的反映是大不相同的。所以,山体的形态往往是具体工程地质条件的表现。根据现象考其本质,是获得某些资料的线索。一定要重视地貌发育过程的专题研究。不同地貌单元往往也是稳定分析极为重要的边界条件如沟谷,河槽,陡峻山坡以及不同的物理地质现象等。

综上所述,山体稳定分析中应着重抓住工程地质岩组的分布,褶皱断裂体系及大型软弱结构面的分布,它们是山体结构和山体稳定的控制因素。同时必须十分注意山体的主

要物理地质作用和水文地质条件,再结合所建工程的特点,综合安排、确定工程的合理布局。一种大型工程往往是综合性的工程组合,以水利枢纽为例包括大坝、水闸、溢洪道、电站(或地下电站)、引水隧洞、变电站、上下坝公路等等,所以在布局时还应区别主体和辅助工程,以及根据不同工程的性质结合山体稳定性加以区别对待、合理分布、充分利用山体的稳定地段,避开或处理其不稳地段,保证工程顺利地兴建和运行的安全。

### (三) 工程岩体稳定性

上述的山体稳定分析论述,主要是解决工程规划,工程布署所需要论证的问题。当工程位置确定之后,即进入定测的阶段,工程地质工作就必须深入细致而具体。针对工程的特点与工程所辖部位的桩号、高程,结合岩体结构特征及受力状态,分别对与建筑物不同部位的岩体进行稳定分析。根据需要布置勘探,测试,试验及动态量测工作,以期提出稳定分析所需的边界条件及计算所需参数,针对可能滑移的岩体进行稳定计算,必要时进行模拟试验。这样,就能把工程地质工作由定性分析推进到定量分析。在定量分析过程中如何正确来认识理解岩体的特性,目前尚未得到完全的解决。有关计算理论及方法,现在都以线弹性性能和非线性性能为准,考虑在平衡条件下的准确解及有限单元法的近似解,看起来还不能满足要求。在模拟方法中,开展了光弹模拟,相似材料模拟以及实体比例模拟与地质力学模拟,这些都处于探索阶段,还得付出极大的努力。有关岩体变形破坏力学机制的模拟,在当前更显得重要,若能与现场大型试验相结合,就可获得岩体结构在岩体变形破坏过程中所起的作用。对参数选取及稳定评价都是十分有益的。

建筑物类型很多,由建筑物所产生的荷载图式是很不一样的,如作用力的方向,大小和方式等应区别对待,要按照建筑物的不同部位分别进行具体分析,不能笼统的评价。在水利水电工程中,混凝土坝的类型是很多的,诸如重力坝就得重视坝基岩体的抗滑渗透稳定,拱坝则为坝肩岩体的抗滑渗透稳定,而薄壳垛墙坝型,应力则集中在垛墙基础岩体上,在峡谷陡坡的垛墙基础更应注意绕坝渗透稳定。再如隧洞及隧道,由于工程目的不同,对围岩要求是不同的,如发电灌溉隧洞,应考虑内水压力和外水压力问题,还应考虑闸门启闭所产生的动荷载问题,而交通隧道不论是铁路、公路或矿山,对围岩的要求就不如水电隧洞要求之高。巨型地下工程的几何形态、规模,往往悬殊很大,有的边墙很高,跨度很大;有的埋藏很深;有的洞室罗列,巷道交错,因之围岩周边应力状态就很复杂。若井巷、洞室、采场集中布置,整个山体则为架空结构。有些巨型地下工程的特点是口小、脖长、肚子大,顶底板高差悬殊,这样对岩体稳定的要求就更高了。总之对工程类型及要求不同,就必须区别对待。

岩体稳定分析就是具体的地基、边坡及地下工程围岩的稳定分析。

#### 1. 基础岩体稳定分析

不同类型工程对基础的要求不同,例如工厂等土木建筑物地基要注意部分为岩基、部分为松散层时不均的沉降,桥基和大坝坝基要求基础均一,有足够的弹性模量,并且还要求有较高的抗滑稳定性。对于岸坡桥墩基础、相当于载荷的边坡进行稳定分析。坝基岩体抗滑稳定分析尤其重要,是关系到大坝安全和下游人民安危的大问题。我国水利水电

工作的经验表明,坝基岩体稳定最突出的是受岩体中软弱夹层,尤其是泥化夹层的影响,应予以特别注意.

## 2. 边坡岩体稳定分析

边坡稳定问题是工程建设非常普遍的问题,不论公路、铁道、渠道、溢洪道,还是土木工程建设、水电工程建设,都有山坡、岸坡的稳定问题,如果开挖、削坡,稳定问题就更突出,往往边坡的崩塌或滑坡直接影响到工程的安全运行. 对于数百米人工开挖的露天采场高边坡,岩体稳定最为重要,它一方面决定矿石和围岩的采掘比,同时又决定了整个矿山的安危,所以应受到极大的注意. 边坡岩体稳定分析中重点要注意边坡上软弱结构面的组合及分布,特别是断层,软弱夹层等是将边坡切割成可能滑动或失稳的结构体. 边坡稳定的研究还说明地下水运动条件,爆破或地震的振动力,以及对于深采掘的露天矿而言地应力等都是稳定分析中需要考虑的因素.

## 3. 地下工程围岩稳定分析

近年来地下工程有很大的发展,如地下电站、地下厂房、地下仓库等等兴建很多. 有的利用天然溶洞,有的人工开挖,工程规模巨大,加以纵横通道交织,形成山体的架空结构. 地下工程围岩的稳定性是整个工程的安危关键所在. 尤其是近年来地下结构喷锚技术的应用,对岩体稳定分析的要求更高了. 在稳定分析中也要特别注意岩体结构,包括顶板的厚度和岩体结构,边墙或拱顶外是否存在断层影响洞体的应力集中和分布,以及在拱顶或边墙上有无可能滑动或失稳的结构体及规模较大的软弱岩层或断层.

矿山井巷开拓工程及采场是复杂的地下建筑体系,尤其是因埋深较大,地应力对围岩的稳定产生显著的作用,所以不仅要注意岩体结构,而且要分析矿区的构造应力场,才能作出恰当的稳定评价.

由上所述,工程岩体稳定分析的要点是根据工程作用力特点、岩体结构分布规律确定可能失稳的方式和边界条件,经过岩体物理力学特性及有关参数的测定和选用,再应用目前已有发展的有限元法、极限平衡法等进行计算分析或模拟试验,以及现场观测论证其稳定性及必要的工程处理,确保工程的安全.

## (四) 地面稳定性

地面稳定是指地面的变形与破坏,考其原因也是很多的. 在地下采矿过程中,由于地下采空,而人工回填不实,或预留矿柱间距过大,都可导致采场顶板岩体变形坍塌,引起地表变形、开裂、拗陷或坍塌. 一般,就根据矿体的埋藏条件,矿体几何形态与空间分布,来测定崩落角,划出崩落线,作为矿山地面工程布置与地下永久建筑物合理选择的论据. 崩落角的大小,通过工程实践,则与岩体结构特性有着极为密切的关系,也与采空区的几何形态和规模有关.

地下核爆试验通过地质效应分析,虽然埋藏较深,但当量较大,地下岩体的变形破坏也影响到地面的变形开裂. 爆心腔室烟囱气化带、熔融变质岩带、强烈挤压剪切带以及巷道严重坍塌区等都有与其相适应的地面变形破坏区. 触地爆炸亦是如此. 这些地面变形

破坏分带,对工程防护措施有着现实意义。影响范围的大小亦与岩体结构特性有着内在的联系。

我国是多山区的国家,也是多地震的国家。全国范围内有很多的地震危险区和地震活动带。在地震烈度为 VII 度以上高烈度区,地震波对地面变形破坏则有明显的反应,有的非常剧烈。在不同的地貌单元上或不同的地质结构上,反映也是不同的。如山崩地裂,滚石塌方,地面隆起开裂,涌砂涌水等是经常出现的,就是在同一地区,变形破坏也是不均一的,有的则有显著的异常。这种情况就指出了场地或区域烈度划分的必要性,应抓住地面运动特征及波谱特性,即地震波在岩体和土体传播特性及衰减规律。由于土体与岩体的结构不同,传播特性就有显著的差异。所以工程所辖地区场地烈度划分,应在岩体结构类型划分的基础上来进行,应对各种岩体类型分别进行物理力学属性的测试,论证在地震作用下,它们的抗震性能,亦即地震效应。

这些年来,水库地震引起了人们广泛的注意。从工程地质观点出发,主要考虑水库地震对地面的影响。所谓水库地震,即有些水库蓄水后,由于荷载的增加,水文地质条件的改变,地下水纵深循环的动力条件加剧,促使水库区附近构造应力场的应力发生变化,而在水库内以及水库边缘地区地震频繁发生,这种地震就称之为水库地震。世界各国已有 30 余处,有的地震烈度高达 VII—VIII 度,具有一定的破坏性。为什么有很多水库坝体很高,库容很大,并不发生地震,而有些水库地震确很频繁,并持续时间很长。初步分析,当地壳构造应力场处于极限状态是很重要的,但蓄水激发也不能忽视。这和区域稳定性有密切联系,但与库坝区的地质岩体结构及水文地质结构是分不开的。所以库坝区的地面变形观测,要结合着这些地质背景而布置,方可收到良好的效果。

工程地质工作的对象都在地壳表层,就是深埋矿山以及巨型地下工程,埋深也不过 2—3 千米,与地壳厚度相比也还是极表层。无论地壳的表层还是深层,它们都是地壳的统一整体。地壳是经过长期构造运动的,每个时期的运动都拥有它自己的构造遗迹而赋存于地壳之中,这就使得地壳在应力分布上呈现不均一的特点,应力大小也不是个常量。地壳的强度也是不均一的,特别是构造破碎带,其强度远较围岩为低,因而在应力变化过程中,不同介质接壤地带,应力就得重分布,往往在界面上的某些部分产生应力集中,特别是地下水的纵深循环,由于渗透压力的增加,而使作用在界面上的正应力减小,平行于界面的剪应力相应加大,加之软弱破碎带的强度低,就容易沿破碎带产生变形与位移,而爆发地震。这同岩体力学试验与受力岩体变形破坏完全相仿。根据世界各地强烈地震震中分布图,很显然震中大都集中在板块的接壤地带。根据这些年来的工程实践,发现在岩体失稳滑动时,不论是边坡、地基及地下工程围岩,大都是沿着岩体内部已有的软弱结构面,亦即岩块之间的接触面而滑移。一般认为那里的应力集中,事实上是那里的软弱结构面的强度远较围岩岩块的强度低,因此位移易于首先在那里发生。从地壳上大的板块构造及小的岩体结构分析,在地壳运动过程中,应力的集中部位和构造破坏部位应该是地壳内部的软弱结构面,即大的断裂带。通过地质力学及岩体力学的综合模拟研究,不仅可对浅层的岩体稳定进行探索,而且亦可对深部的岩体稳定(即震源机制)予以讨论。

综上所述,在岩体稳定性中,岩体结构占支配地位,起主导作用。事物发展的根本原因不在事物的外部,而在事物的内部,在于事物内部的矛盾性。这就是我们以岩体结构为基础来探讨岩体稳定性的理论根据。实践证明也确实如此。今后工作重点应放在岩体结

构特性的剖析上。在岩体结构的分类和评价方面,不但要有宏观论述的定性指标,也要有微观判断的定量指标。不但从理论上找到根据,也得便于工程技术人员掌握应用。人们为着要在自然界里得到自由,就要用自然科学去了解自然,克服自然和改造自然,从自然界里得到自由。岩体工程地质力学的工作就是按着这种要求而发展的。

### 三、地质力学和岩体力学是推动岩体工程地质力学发展的理论基础

岩体是地壳的组成部分。岩体结构是随着地壳运动而在不断地变化的。目前的岩体结构是多期构造运动的遗迹,是客观存在着的实物。各个地区的地质发展历史不同,所处构造部位不同,因而岩体结构则有繁有简。岩体是地质体的一部分。所以工程地质工作者不但要研究岩体结构,亦要重视地质结构,也就是说,我们不能脱离地质背景而静止地孤立地去看待岩体结构。李四光教授的地质力学,就是让我们用以认识地质结构和岩体结构,我们应遵循地质力学的原理与方法,弄清地质结构即构造体系和岩体结构的形成过程、力学机制及其固有的特性。多年来,我们在许多的工程实践中,深深体会到,用地质力学的分析方法认识岩体结构的形成和特性,来用以评价岩体稳定是非常必需的,也是极有好处的。

近年来,岩体力学在国际上得到很大发展,在国内亦有很多研究。岩体力学是研究岩体受力后应力—应变—时间效应的,亦即裂隙岩体受力后的应力状态、应力重分布和应力集中的特性,和不同受力阶段物理力学属性的反映,探讨岩体变形和破坏规律的。通过现场的和室内的试验研究,不但对岩体受力后的变化性能有所了解,对岩体强度和破坏方式也有所认识,为进一步对与建筑物有关的岩体稳定分析,打下了良好基础。这些研究成果大大加快了岩体工程地质力学的发展,并为岩体稳定分析的定量评价上找到了理论根据。

总之,工程地质工作者在岩体稳定分析方面,既抓岩体结构特性,亦抓地质结构特性;既抓岩体结构的地质力学分析,亦抓岩体变形破坏的岩体力学分析。随着地质测绘与勘探工作深入发展,要大力开展测试、模拟及计算工作,希望有关专业共襄此举,逐步地把岩体工程地质力学发展的更加完善。

### 四、岩体工程地质力学研究的主要内容

岩体工程地质力学目前尚处于探索与发展的阶段,因此,研究内容也是在不断丰富和发展的。根据多年实践工作的体会,目前,我们是从下列几方面进行岩体工程地质力学的探讨:

#### (1) 岩体结构的研究

- 1) 构造体系与岩体结构的形成、改造与自然特征;
- 2) 岩体结构的分类,岩体变形和破坏规律;
- 3) 软弱结构面的工程地质特性(包括物质组成、结构、构造及其对工程性质的影响);

4) 地应力(构造应力)的测试研究及其对岩体结构特性的影响;

5) 裂隙水的运动规律和渗透压力.

(2) 岩体力学方面的研究

1) 岩体结构的破坏机制和岩体强度的探讨;

2) 结构面力学特性的分析研究;

3) 结构体力学特性的分析研究;

4) 岩体力学试验方案制订的原则.

(3) 计算模拟方面的研究

1) 岩体稳定性的极限理论计算问题;

2) 有限单元分析法在岩体稳定计算上的应用;

3) 岩体变形和破坏机制的模拟实验研究(包括材料模拟实验与光弹实验);

4) 岩体变形量测的研究.

(4) 物理测试方面的研究

1) 岩体结构的物理特性研究(主要是声波测试);

2) 物理测试技术在岩体工程地质力学方面的应用;

3) 岩体动态特性和动力作用下岩体稳定性的研究.

上述这些工作内容只是近年来我们初步的考虑和研究.

今后的工作还是十分艰巨的. 但我们一定遵循伟大领袖毛主席的教导: “在生产斗争和科学实验范围内, 人类总是不断发展的, 自然界也总是不断发展的, 永远不会停止在一个水平上. 因此, 人类总得不断地总结经验, 有所发现, 有所发明, 有所创造, 有所前进.” 为祖国的社会主义建设事业做出应有的贡献.

# 构造岩组成、性质的工程地质研究\*

牟会宠

随着我国社会主义建设事业的发展,许多工程建设例如水电建设中的大坝基础、铁路建设中的路堑边坡、隧道洞体、矿山的露天边坡、井巷地下工程的稳定等,都遇到了断层破碎带构造岩的问题。这些构造岩的存在给工程造成了极大的危害,这就要求我们对构造岩进行研究,以便对它们进行清除和改造(补强)。如果对它们掉以轻心不作处理,有可能造成极大的隐患,或造成无法挽救的损失,或无必要的处理增加了投资,两者都给国民经济建设造成很大影响,因而必须对它们进行深入地研究,以便多快好省的进行工程建设。

我们这里所指的构造岩是指由于构造运动作用的结果,所形成的断层破碎带中岩石的总和。

断层破碎带由于构造应力性质和强弱的不同,成岩条件的不同,因而形成了各种不同类型的岩石,其中包括压碎岩、断层角砾岩、糜稜岩、断层泥等。

由于受构造应力作用的结果,构造岩与母岩相比在岩石的结构、构造、成分、岩石的完整性、坚硬程度、物理力学性质等都具有显著的差别。

构造岩的研究方法,是由构造岩的特点所决定的,例如断层泥含有细分散粘土颗粒,因此在研究它们的物质组成时,除采用镜下鉴定、化学分析方法外,更需要采用鉴定粘土矿物成分的一套分析方法,其次还需要对它们进行物理力学性质、地质特征、产状和空间分布规律的研究,以便于结合工程对它们进行工程地质稳定性评价。

我们过去对湖北、江西两省的有关坝基,做了一些构造岩物质组成的研究,其中包括岩浆岩地区、变质岩地区、和沉积岩地区的断层破碎带的构造岩。与物理力学指标分析对比表明,不同的构造岩由于其组成不同,力学属性也不同,因此对岩体稳定也有着不同的影响。

本文还通过构造岩中粘土矿物的研究,初步讨论了构造岩中粘土矿物的成因、转化、以及对渗透稳定的影响,目的是想通过构造岩的组成、物理力学性质的分析,结合工程中岩体稳定的具体问题作一些初浅讨论,错误和不当之处,请同志们批评指正。

## 一、构造岩的物质组成

### (一) 岩浆岩断层破碎带中构造岩的物质成分

#### 1. 矿物成分和组织结构

所研究的断层破碎带发育在辉绿岩、闪长玢岩、辉长辉绿岩中,根据镜下鉴定,辉绿岩

\* 参加该项研究工作的还有石慧馨、叶珍久等同志。

的矿物成分为斜长石、绿帘石、白钛矿，岩石为辉绿结构。辉长辉绿岩的矿物成分为斜长石、绿帘石、绿泥石、白钛矿、透闪石(交代辉石)，有的含少量绢云母、阳起石、石英等，岩石为嵌晶结构，有的则为变余嵌晶结构。闪长玢岩镜下定名为黑云母钠长斑岩，主要的矿物成分有斜长石、绿帘石、黑云母、石英、其次还局部含有磷灰石、白钛矿、黄铁矿、钠长石。

断层破碎带内的压碎岩：为较破碎的辉长辉绿岩，镜下鉴定其矿物成分和结构的特征如表1所示。

表1 辉长辉绿岩内压碎岩的成分结构特征表

矿物组成	岩石结构	次生变化情况
主要：单斜辉石、斜长石 次要：钛铁矿	变余嵌晶结构	单斜辉石-绿泥石、绿帘石、透闪石化 斜长石-钠黝帘石化 钛铁矿-白钛石化

构造破碎带中的断层泥，其组成特点偏光显微镜已无法鉴定，而压碎角砾岩和糜棱岩，则具有压碎糜棱结构和糜棱角砾岩结构，以原岩压碎磨细为主，变晶、重结晶现象不显(见薄片1)。磨细物质中除绿泥石、绿帘石被压碎的小颗粒外，还有呈撕裂状的钛铁矿，及少量残余的具波状消光的长石，以及镜下难分辨的泥质物(见薄片2)。

## 2. 构造岩的化学成分

通过新鲜的辉长辉绿岩、压碎岩及糜棱岩的化学成分分析，可以看出，受构造作用和不受构造作用的原岩，化学成分不同，构造岩受构造变动的强弱不同，其化学成分也不相同，如表2所示。

表2 岩浆岩及其构造岩化学成分表

岩石名称	编号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	烧失量	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	总计
深绿色辉长辉绿岩	H-19	50.43	0.96	17.27	3.93	6.50	0.14	6.24	6.71	4.53	0.36	2.77	0.12	99.96
辉长辉绿岩	H-18	48.10	0.80	15.78	2.46	7.38	0.13	8.22	10.49	3.25	0.36	2.67	0.16	99.80
灰绿色辉长辉绿岩	1299-1	47.28	1.28	17.86	3.56	7.11	0.14	6.91	9.11	2.52	0.50	4.02	0.16	100.45
压碎岩 F <sub>697</sub>	54-4	49.10	1.30	13.03	6.82	6.34	0.26	7.26	8.65	3.51	0.65	3.28	—	100.20
压碎岩 F <sub>16</sub>	1296-9	41.25	0.74	14.78	6.38	7.43	0.13	10.41	9.18	4.08	0.52	5.15	0.24	100.29
压碎岩 F <sub>10</sub>	1296-II	45.82	0.68	14.78	2.53	7.14	—	8.07	10.54	3.75	0.88	3.84	1.50	99.53
糜棱岩+压碎岩 F <sub>697</sub>	54-7	45.12	1.20	14.77	1.19	9.44	0.08	8.75	10.54	3.35	0.74	3.57	0.30	99.05
糜棱岩 F <sub>16</sub>	1296-5	44.80	0.84	16.05	5.81	5.07	0.13	10.11	6.12	2.85	0.70	7.71	0.18	100.37
糜棱岩 F <sub>16</sub>	糜-1	45.52	0.96	18.38	4.39	5.46	0.13	8.29	6.81	1.76	0.93	7.76	0.15	100.54

分析者：叶珍久。