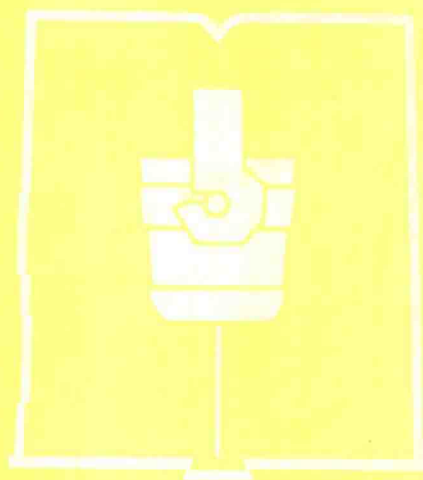


623693

• 高等学校教学用书 •

矿山岩体工程 地质力学

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

高等学校教学用书

矿山岩体工程地质力学

李中林 欧阳道 肖荣久 金克家 编

冶金工业出版社

高等学校教学用书
矿山岩体工程地质力学

李中林 欧阳道 编
肖荣久 金克家

★

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

◆

787×1092 1/16 印张12 字数281千字

1987年6月第一版 1987年6月第一次印刷

印数00,001~5,100册

统一书号: 15062·4572 定价2.00元

前 言

《矿山岩体工程地质力学》是工程地质学的一门重要分支学科，它是采矿工程、矿山测量和矿山工程物理专业的一门专业基础课。

本书吸取了我国大量的矿山工程实践和科研成果；并力图反映当前国内外岩体工程地质力学的最新成就。本书内容从岩体结构的基本观点出发，讨论了岩体结构的形成、发展和演化过程；论述了工程岩体现状和工程地质特征；阐明了工程岩体变形破坏受其结构控制的基本规律；提出了岩体质量评价的基本原则和方法，以及矿山工程岩体稳定性的地质力学分析方法；并对赤平极射投影和实体比例投影在矿山岩体工程地质力学中的应用，做了较为详细的介绍。

岩体工程地质力学是工程地质学和岩体力学相互渗透、相互融合的结果，是以地质为基础、力学为手段、岩体结构为控制的边缘学科。即岩体工程地质力学是运用地质力学的理论和方法，弄清岩体结构的性状和形成机理；并应用岩体力学的理论和方法，探讨裂隙岩体在外部荷载或受力条件下的变形破坏机制。因此，矿山岩体工程地质力学与地质力学、岩体力学有着密切联系：内容上互相衔接、互相补充、互为佐证，研究方法上有许多共同特点。由于上述专业开设了矿山岩体力学课程，本书为避免内容重复，有关岩体稳定性分析中的模拟试验、数值分析等没有作详细介绍。

本书绪论、第一章、第二章、第七章、第九章由重庆大学欧阳道编写；第三章、第五章、第六章、第八章、第十章、第十二章由西安地质学院肖荣久编写；第四章、第十一章、第十三章、附篇一、附篇二由江西冶金学院李中林编写；第十四章由武汉钢铁学院金克家编写。全书由李中林统稿。

本书初稿于1983年8月完成后，送中国科学院地质研究所审阅，后经多次修改于1986年4月在北京定稿。在编写前和编写过程中，曾多次得到中国科学院地质研究所副所长、第四届国际工程地质协会副主席王思敬教授、以及该所孙广忠教授的指导和帮助；中国科学院地质研究所工程地质力学研究室副主任许兵副教授、黄鼎成副教授、以及北京钢铁学院地质系副主任陈希廉教授详细审阅，提出了许多宝贵意见。重庆中梁山煤矿郑苑贤工程师为全书绘制了图件。为此，对他们表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中会有不少缺点、错误，诚恳希望读者批评指正。

编 者

一九八六年八月

绪 论

随着社会主义建设的迅速发展,作为工程建设所需的工程地质工作,受到国家的重视,使工程地质学得以从地质学中逐渐发展成为一门独立的学科。

工程地质学是研究工程建筑物和经济技术活动与地质环境相互作用、相互影响的一门学科。它不仅研究工程建设地区的自然环境,解决各种建筑物所在的工程地质条件,而且还要提出工程评价和处理的科学依据。

近年来,各种工程建设,如水电、矿山、道路、桥梁及大型地下硐室往往遇到复杂的地质条件,使岩体失稳,从而对工程的安全可靠和经济合理产生很大影响。因此,迫切需要解决岩体稳定性问题。而岩体在工程作用下的变形与破坏归根结底在于它的内在结构。如巷道穿过断裂破碎带时拱顶发生冒落;露天边坡沿岩体层理或软弱夹层发生滑移等,无不与工程岩体结构密切相关。抓住岩体结构,用地质力学观点分析它的形成和发展过程,以岩体力学的方法和手段考查在工程作用下,它的变形和破坏规律,预计未来的变化,制订有效的防治措施,是解决工程地质问题的最好途径。为此,必须大力发展和逐步完善工程地质学的理论基础和研究方法。

一、岩体工程地质力学的由来与发展

岩体工程地质力学是60年代以来在工程地质学的基础上逐步发展起来的一门分枝学科。它是工程地质学和岩体力学相互渗透、相互融合的结果,是地质学和力学相结合的产物。在各项工程建设中,不但要重视工程地质条件,而且还应重视力学作用,既要从定性条件入手,又要取得定量成果。

从世界范围来看,工程地质学成为一门独立的学科仅有近六十年的历史。1932年,莫斯科地质勘探学院成立了由Ф.П.萨瓦连斯基领导的工程地质教研室,开始培养工程地质专业干部。之后,И.В.波波夫、B.A.普里克隆斯基、K.G.斯培格等,相继撰写了《工程地质学》、《土质学》和《工程实用岩石学》等专著,从而奠定了工程地质学的理论基础。在我国,丁文江先生于本世纪二十年代进行了建材的地质调查。其后,李学清先生等考察了长江三峡和四川龙溪河坝址。三十年代,林文英先生在全国路网地质调查的基础上,发表了“公路地质学之初步研究”和“中国‘公路地质’概论”,提出了区域地质工程评价和工程地质分区。四十年代对长江三峡、广东湓江及台湾大甲溪等电站进行过正规的工程地质调查。1946年,在地质调查所中成立了工程地质研究室,一些大学先后开设了工程地质学课程。在此基础上孙鼐先生编著了我国第一本《工程地质学》。

新中国成立以后,开展了大规模的社会主义经济建设,作为工程建设所需要的工程地质工作也得到了迅速发展。五十年代,工程地质工作主要集中于水电、铁路及道桥等工程。六十年代初,出版了《实用铁路工程地质学》,编写了“水利水电工程地质”总结(该书于1975年正式出版)等。此后,由于强调以山区建设为主,因而对高边坡、地下工程进行了大量的工程地质工作。近二十年来,矿山工程地质工作有了很大进展。此外,海洋工程、核电站及高能工程、管道运输工程以及地热电站工程等,亦在我国兴建,这对发展我国海洋工程地质和环境工程地质奠定了一定基础。

随着工程地质学科的发展,相应的工程地质机构和工程地质队伍也从无到有,从小到大。据不完全统计,全国现有近两万人的工程地质科技队伍,他们是研究和发展工程地质学科的主力军。1979年,成立中国地质学会所属的工程地质专业委员会,并召开了首届全国工程地质学术大会。同年,中国工程地质专业委员会以国家小组身份正式参加了国际工程地质协会。1982年,中国科学院地质研究所王思敬教授选为IAEG副主席(本届亚洲主席)。

工程地质学作为一门学科虽很年轻,但经过我国广大工程地质工作者的多年生产实践和理论研究,逐步丰富了它的内容,并有了新的发展,开始形成了具有我国特点的工程地质学科。如老一辈工程地质学家刘国昌教授、张咸恭教授等,对我国区域工程地质、环境工程地质、高应力地区矿区工程地质问题以及地质力学在水文工程地质方面的应用等研究,都取得了很大成绩,为我国工程地质学的发展做出了贡献。特别值得提及的是,在开展岩体工程地质特征的研究中,已故的中国科学院学部委员谷德振教授和他所领导的中国科学院地质研究所工程地质研究室,在六十年代末期建立了岩体工程地质力学的新概念,并撰写了《岩体工程地质力学基础》等专著。他认为工程岩体的稳定性主要取决于岩体的工程地质特性,而岩体的特性与岩体内部结构有着紧密联系。从而提出了岩体结构控制岩体稳定性的理论,指出了解决工程地质问题的方向。此外,王思敬教授、张倬元教授、孙广忠教授等在工程地质学和岩体力学方面也有其独特见解,并撰写了不少专著,为本学科的发展做出了贡献。

近年来,国际岩石学会举行了五次会议,接受了奥地利—西德岩体力学的观点,重视岩体力学特性,包括不均一性、不连续性、各向异性和应力状态,发展了测试和分析技术,提高了计算理论和方法,对改进设计、施工起了推动作用,所以发展很快。尤其值得注意的是第三届岩石力学会议,将构造理论列入了讨论议程,并将岩体整体的力学特性问题作为重点讨论,从而加强了基础理论的研究。但是,国际岩体力学的理论观点仍有其局限性,虽然重视了岩体的基本力学特点,但还没有注意到岩体基本力学特性的决定因素和形成过程,亦即特性的力学成因。为此,谷德振教授在其专著中进一步指出:岩体是地质体的一部分,组成岩体的结构面和结构体,不论其成因如何、形状如何,体积大小如何,分布情况如何,性质如何,都是地壳长期运动变化的结果。因此,不能静止孤立地看待岩体,它们随地壳运动而不断变化和发展。与工程有关的工程岩体,今后在地应力和工程作用力影响下,究竟如何变化,是一个复杂而值得研究的问题。对任何工程来说,都必须很好地解决这一根本问题。提出岩体工程地质力学,就是要用地质力学的理论和方法,把岩体结构的形成机理和性质搞清楚;再用岩体力学的理论和方法,探讨裂隙岩体在外部荷载或受力条件下的变形和破坏机制,给出岩体的物理状态和力学属性;结合工程要求作出稳定性分析计算和评价,是当前国际工程地质发展的必然趋势。

二、矿山岩体工程地质力学的研究对象及任务

我国矿产资源极为丰富,由于埋藏条件和矿床类型多有不同,矿床开拓方式和开采方法也不尽相同,致使矿山建设和矿床开采过程中所涉及的岩体工程地质问题较为复杂,涉及面也较为广泛,归纳起来,其研究对象包括:露天开采边坡的确定和边坡稳定性分析;地下开采巷道顶底板、侧帮和采空区周围围岩的稳定性以及采空区崩落范围地表变形和下沉边界的确定;高尾矿坝的稳定性评价;冻结凿井冻土壁稳定性;软岩的工程地质特性研

究；岩爆、煤爆、地下水突然涌出以及爆破震动效应等问题。

针对矿山岩体工程地质力学的研究对象，结合我国工程地质和岩体力学的研究现状和今后的发展方向，编者认为本学科所担负的任务是：

1. 岩体具有一定结构。岩体结构是在长期地质发展中形成的，经历了岩石建造、构造变形和次生演化等地质作用过程。它对岩体的特性和变形、破坏机制起控制作用。因此，研究各级各类岩体的结构特性，形成过程以及它们在各种荷载下的变形破坏规律，预测它们在矿产开发中的稳定性，是矿山岩体工程地质力学研究的中心课题。

2. 在矿山规划阶段，区域稳定性是首先考虑的问题。区域稳定性是指区域地壳近代、近期活动特征对工程建筑物安全的影响程度，就其方式而言，一是大面积的掀斜或升降；一是沿活动断裂的差异运动，并常伴生着不同级别的地震，后者是区域稳定最重要的研究内容。因此，应侧重分析矿区所在大地构造部位，研究深断裂和两侧地块的地质发展历史及其地质、地球物理特征。论证深断裂的延展性、时间性、活动性及其危害性。

3. 在方案比较后，进行工程布置时，研究的重点应转为工程地质岩组的划分，褶皱、断裂体系的分析及大型软弱结构面的确定和它们的分布规律。它们既是山体结构的内在因素，又是山体稳定的控制因素。在矿床开采的过程中，由于地下采空或回填不实，或预留矿柱间距过大，都将导致采场顶板岩体变形、坍塌，甚至引起地表变形、开裂和坍塌。因此，对山体稳定性的评价，必须根据矿体埋藏条件，矿体几何形态与空间分布，来测定崩落角，划出崩落线，作为矿山工业广场布置与井下永久建筑物合理选择的依据。

4. 在开采方案确定之后，针对井下或地面工程的特点以及不同工程所辖的部位，结合岩体结构特征及受力状态，分别进行岩体稳定性分析，其内容包括：工程地质岩组、岩体结构及所属类型、岩体的力学性质、工程岩体所赋存的环境、稳定性分析及其与工程建筑物适应性的分区评价等。其目的是准确的预报和提出科学的措施方案，从而保证施工安全和经济效益。然后，根据工程需要布置勘探、测试及动态观测工作，以期提供稳定性分析所需要的边界条件及计算参数。在岩体结构分析基础上，确定可能滑移的岩体，进行稳定性计算，必要时进行模拟实验。

综上所述，矿山岩体工程地质力学研究的主要任务就是紧密结合矿山建设的规划、设计和施工，解决区域、山体、岩体、地面和井下稳定性评价问题。为此，既要加深地质研究，抓住结构特性；又要加强基本力学特性研究，考虑荷载方式、地应力、动态力、渗流效应、时间效应等。使定性评价更加可靠，并逐步走上比较准确的定量评价。使工程地质力学的理论和方法，更加适应矿山建设的需要。

三、矿山岩体工程地质力学与其它科学的关系

随着生产和科学的不断发展，各门学科均在互相渗透、互相融化。矿山岩体工程地质力学就是在地质学与力学的相互渗透中逐渐发展起来的一门年轻学科。因此，它与地质学和力学的许多分支学科有着密切的联系。

在地质科学方面，岩石学、地层学、矿床学、构造地质及地质制图学、水文地质学及工程地质学，是矿山岩体工程地质力学极为重要的基础。矿山岩体工程地质力学又从自身的观点出发，首先在矿区做大量的地质调查，通过分析与研究获得可靠的地质信息（包括影响矿床开采的岩性、结构和环境因素）；其次是根据所提供的地质信息，引入岩体结构的概念，并对其进行力学分析，从而将地质信息转化为地质模型；在地质模型中，注入矿

山工程作用和环境因素（地应力、地下水、地温等），使地质模型转化为力学模型；在充分考虑力学介质特性的基础上，输入各种必要的边界条件，建立本构方程，使力学模型转变为数学模型，用以对岩体进行稳定性分析与计算。从而促进地质科学由宏观到微观，由定性到定量的发展。

在力学方面，固体力学、断裂力学和流变学的一些基本原理，在矿山岩体工程地质力学中得到广泛应用。自然界岩石的变形极为复杂多样，存在着工程、机械和实验室内观察不到的变形条件，向力学提出了一些重要课题，如果力学工作者更多地关心一下这些问题，无疑也会促进力学的发展。岩体变形不同于一般变形的显著特点是：①各向异性，特别是层状岩体各向异性的影响；②变形范围和规模大小；③固体力学的研究对象主要是小变形，岩体工程地质力学的研究对象往往是大变形；④边界条件的任意性和复杂性；⑤应力持续作用的时间性；⑥变形的多期性，已经变形和破坏的岩体仍继续变形，且可反复多次受力，多次变形。这些特点给矿山岩体工程地质力学的研究带来许多困难，需要在力学及其分支学科的帮助下，努力攻研，克服这些困难。

特别值得提及的是，矿山岩体工程地质力学与地质力学和岩体力学有着更为直接的联系，它们的内容互相衔接、互相补充、互为佐证。它们之间既有着共同研究的内容和研究方法，又有着自身所担负的任务和所要解决的问题。可以认为，矿山岩体工程地质力学是一门具有多边联系的边缘学科。

四、矿山岩体工程地质力学在采矿专业中的地位和作用

矿山岩体工程地质力学是在采矿生产实践和科学研究中逐渐形成的一门分支学科。它的内容非常丰富，无论是露天开采还是地下开采，无不与工程地质、水文地质条件和岩体工程地质特性有关。矿床是客观存在的地质体，不论其所处环境和围岩条件是好是坏，都得开采。所以，只有弄清工程地质条件，才能确保安全生产，使矿产资源得到合理的开发利用。在矿床开采中，可能遇到的井巷变形、支护衬砌开裂、折断、岩爆、煤爆、地下水突然涌出、边坡滑移、崩落等，常给施工带来极大困难，有时会迫使矿床开采中途改变方案，甚至提前闭坑，使国家资源受到严重损失。

针对上述工程地质问题，我国某些金属矿山已经采用了区域工程地质及矿山地质相结合的方法，进行了矿山的工程地质区划和岩体结构及水文地质结构类型的划分。同时，为解决岩体稳定性分析，进行了大量的岩体力学试验、变形观测和地应力测量，开展了工程地质预报。收到了良好的效果。

掌握矿山岩体工程地质力学的知识，对矿山总体规划、开拓方案、采矿方法的设计和矿山生产管理等都是极为重要的。因此，矿山岩体工程地质力学是矿山工程技术人员必须具备的专业基础知识。

目 录

绪论	III
第一章 地质体的物质基础	1
第一节 沉积岩建造	1
第二节 岩浆岩建造	2
第三节 变质岩建造	3
第四节 工程地质岩组及其划分	4
第二章 地质体的构造变形	6
第一节 地质体的应力状态	6
第二节 地质体的变形过程	9
第三章 地质体的次生演化	16
第一节 影响地质体次生演化的因素	16
第二节 地质体次生演化及其对工程地质特性的影响	17
第三节 地质体次生演化程度的划分及评价方法	18
第四章 地质结构的级序性	22
第一节 不同级序的地质体结构的划分	22
第二节 不同级序地质体结构的主要特征	22
第三节 不同级序地质体结构对工程地质评价的影响	24
第五章 地质体结构的分析方法	27
第一节 地质历史分析法	27
第二节 地质力学分析法	30
第三节 地质历史分析法和地质力学分析法的关系	35
第六章 岩体水文地质结构	36
第一节 水文地质结构的基本单元及类型	36
第二节 不同水文地质结构及其水动力特征	36
第七章 岩体结构特征	42
第一节 结构面及其特征	42
第二节 结构体及其特征	48
第三节 结构体分级	50
第八章 岩体结构类型及其工程地质特征	54
第一节 岩体结构类型的划分	54
第二节 各类结构岩体的工程地质特征	56
第三节 特殊岩类及其工程地质特征	61
第九章 岩体结构的力学效应	63
第一节 岩体变形的结构效应	63
第二节 岩体破坏的结构效应	64
第三节 岩体力学性质的结构效应	65
第四节 环境因素对结构效应的影响	74
第五节 结构体的力学性质对岩体结构效应的影响	78

第十章 岩体质量评价	83
第一节 控制岩体质量的因素	83
第二节 岩体质量系数及其分级	85
第十一章 矿山工程岩体稳定性分析的基本原理和方法	87
第一节 工程岩体稳定性分析的基本原理	87
第二节 工程岩体稳定性分析方法	88
第三节 工程岩体稳定性的结构分析	90
第十二章 露天矿边坡稳定性分析	100
第一节 露天矿边坡变形破坏及其影响因素	100
第二节 露天矿边坡稳定性分析	104
第三节 露天矿边坡防治措施	112
第十三章 矿山地下工程岩体稳定性分析	115
第一节 矿山地下工程岩体变形破坏及影响因素	115
第二节 地下洞室围岩稳定性分析	117
第三节 采空区围岩稳定性分析	127
第四节 地下工程岩体失稳处理措施	131
第十四章 地表移动	134
第一节 地表移动的几个基本概念	134
第二节 地表移动的一般规律	138
第三节 地表移动盆地边界的确定及其影响因素	148
第四节 地表移动与变形的计算	151
附篇一 赤平极射投影—实体比例投影原理和方法	157
一、赤平极射投影原理	157
二、赤平极射投影作图方法	159
三、实体比例投影原理及作图方法	163
四、空间共点力系的求解	168
五、用赤平极射投影图解法分析结构面的应力场	170
附篇二 岩体结构矢量解析法	172
一、块体边界的确定	172
二、结构体几何参数的确定	174
主要参考文献	180

第一章 地质体的物质基础

地质体是由不同的岩石(矿石)组合而成的。要做好工程地质工作,首先就要对工程所在地区的岩石有全面系统的了解,详细划分和对比该区地层,弄清各地层时代、形成环境、形成过程、岩性岩相变化以及彼此间的接触关系。做好岩石的工程地质分类,找出易于识别的标志层及软弱岩层,为填绘工程地质图打下基础。在论证与建筑物有关的岩体稳定性时,还必须在工程地质分类的基础上,进一步做好岩体结构类型的划分,阐明岩体作为受力介质的物理状态。

地壳的形成和发展,始终是与地球的运动和变化相联系的。在运动的不同阶段,其表现形式大不相同,时而缓慢,时而急剧。在缓慢的升降运动过程中,地壳上一些地区遭受剥蚀,而另一些地区则接受沉积,形成巨厚的沉积岩建造;在剧烈的水平运动过程中,常伴有大量的岩浆侵入和喷出,形成各种各样的岩浆岩建造;同时,由于高温、高压的影响或外来组分的加入,使地壳上原有的建造发生改变,形成大面积的变质岩建造。

不同建造的岩石,其物质成分、结构构造也不相同,它们是影响形成不同岩体结构的主要因素,其物理力学属性及水理性质决定着结构体的特性。工程地质工作者研究岩石的着眼点,首先应放在物理力学性质方面,凡对其物理力学性质有影响的成分、结构、构造等都应予以充分注意和详细研究。同时,岩体的变形破坏规律与岩体的物理状态有着密切联系,特别表现在受力岩体的不均一性、各向异性和非连续性的控制,而这些特性,明显受到岩石形成条件、形成环境、成层特点以及岩性、岩相和厚度变化等因素的控制。如当压应力与层面垂直时,其岩石强度及弹性模量较之与层面平行时大。每一岩层如此,由不同岩层组成的岩体,则更是如此。

第一节 沉积岩建造

沉积岩建造有海相和陆相之分。由于沉积环境不同,沉积旋回及沉积相的差异和变化也非常之大。深海相多为细粒碎屑岩沉积和碳酸盐类的化学岩沉积。由深海环境所形成的上述沉积岩层,在岩性、岩相和厚度等方面,在一定范围内变化很小,浅海特别是滨海相沉积,由于受古地理条件的明显控制,虽说在物质组成上与深海相类似,但其岩层在走向和倾向上,岩性、岩相和厚度都有较大变化。而陆相沉积环境所形成的沉积模式更为复杂,往往在很小范围内,砾岩常变为砂岩甚至砂质泥岩或粘土岩。且岩层厚度变化亦较前两者显著,往往形成大小不一的透镜体或扁豆体。因而,在进行岩体结构分析时,对滨海相及河湖相沉积,要做好岩石地层的详细对比工作。

在碎屑岩建造中,组成物质的颗粒有大有小。由粒径大于2毫米的砾石所构成的砾岩或角砾岩,其物理力学属性和水理性质,主要取决于胶结程度及胶结物的性质。常见的胶结物有铁质、硅质、钙质、泥质等,由前两种物质胶结的砾岩甚为牢固,由泥质胶结的砾岩则很疏松;而由钙质胶结的砾岩,其坚固程度介于二者之间,但易于溶解出现岩溶现象。粒径在2毫米到0.001毫米的砂岩及粉砂岩,其物理力学属性及水理性质除受胶结物质的影响外,颗粒成分起重要作用。石英砂岩及硬砂岩因含石英和岩屑较多,质地坚硬,抗风

化力强，不易破坏；长石砂岩，因长石含量相对增高，易于风化。这些岩石的渗透性能与组成颗粒的形状、大小、均匀程度及孔隙度有关。

粘土岩建造，包括粒径小于0.001毫米的粘土颗粒构成的粘土岩和页岩。它们的物理力学属性取决于粘土矿物成分，如高岭石、蒙脱石、伊利石、拜来石和水云母等。它们常形成膨润土、硅藻土、铝矾土和水铝石。这类岩石孔隙小，渗透性差，遇水膨胀、软化，常产生塑性变形。

碳酸盐建造，以石灰岩、白云岩为主，往往含杂质而形成硅质灰岩、泥质灰岩、白云质灰岩、沥青质灰岩和生物灰岩等。具晶质和非晶质结构，块状、鲕状、竹叶状构造。该类岩石因所含杂质多寡不同，成分不同，结构构造不同，其物理力学属性和水理性质均有很大差异。

沉积岩建造在其形成过程中，由于地壳运动的频繁性，气候变化的多样性以及物质供给的差异性，而使其中的各类岩石具有独特的成层条件。如碎屑岩建造中的交错层理、波痕、泥裂、垂荷模；碳酸盐岩建造中的缝合线，虫迹和迭层藻等特殊构造。使得层面参差不齐，上下岩层咬合很牢。所有这些成层特性，使得层面的结合程度显著增强，对顺层抗滑稳定起着极大作用，会大大增强岩体的稳定性。但是，各岩层间有着很薄的粘土夹层时，往往会出现层间滑动，并伴有渗水现象，对岩体稳定则起着极为不利的作用，如顺层滑坡大多与此有关。

必须指出，由于地壳运动引起的海陆变迁，常造成沉积间断，使不同时期沉积建造之间，形成假整合面。这些古侵蚀面上常有风化剥蚀残积物，亦常是地下水活动的通道和富集的场所。如某露天矿出口处，第三系底部不整合面就有泉水出露，并使红色粘土质粉砂岩泥化。若下伏岩层为石灰岩，尚会有古岩溶发育。上述软弱结构面的存在，均严重影响岩体的稳定性。

第二节 岩浆岩建造

岩浆岩建造包括喷出岩和侵入岩两大类。

喷出岩建造，又称火山岩建造，可分为陆地喷发和海底喷发两种。其喷出方式有裂隙式或火山口式，喷出时间具有间歇性。每次喷出或溢出的压力和温度不尽相同，所含气体物质成分亦不相同。因而这种建造的物质成分及结构构造有着很大的差异，岩性、岩相变化十分复杂。溢出的火山岩有较明显的流动构造及冷凝收缩裂隙。其结晶颗粒有的较粗，如流纹岩、安山岩，其中偶尔见有巨大斑晶者；有的结晶细微，或呈半晶质、非晶质、如玄武岩、黑曜岩、珍珠岩等；有的因气体骤然析出而具气孔状和杏仁状构造，如粗面岩和玄武岩等。喷出的火山岩建造很不规则，物质成分及组织结构变化颇大，有由火山灰、火山渣和火山弹等形成的凝灰质火山岩、火山角砾岩及火山集块岩等，它们有时与熔岩流呈间层存在，在岩体中常形成火山沉积物的软硬相间的多层结构，使岩体稳定受到一定程度的影响。

喷出岩建造除上述组织结构外，尚有明显的层状构造。由于喷发的多次性和间歇性，在不整合面上下，往往有较为松散的沉积物。对于先喷发后溢出的岩体，这种潜伏的碎屑沉积更应引起注意。喷出岩建造所具有的层状构造非常不稳定，层面起伏变化甚大，单层厚度亦不规则，还有各种扁豆体及冷凝凹陷存在。总之，火山岩种类繁多，成分复杂，结

构各异,在火山岩地区,进行工程地质条件分析时,应予充分注意。

侵入岩建造,由于侵入深度和所处的物理化学环境不同,有深成岩和浅成岩之分。前者形体较大,多呈岩基、岩株产出;后者规模较小,多以岩墙、岩脉等出现。成岩过程中,因岩浆物质来源不同,常有超基性岩、基性岩、中性岩、酸性岩之分。由于物质成分、生成环境、产出部位的不同,使得岩石种类繁多,常见的有橄榄岩、辉长岩、闪长岩、花岗岩、正长岩、辉绿岩、闪长玢岩、花岗斑岩以及各种细晶岩和伟晶岩。这些岩石成分复杂多变,结构构造亦大不相同;加之岩浆的多次侵入而相互穿插,致使其接触关系更趋复杂。在岩浆岩侵入活动中,由于高温高压的影响和物质组分的交换,使岩浆岩及围岩接触带及其附近的岩石发生变异,在外接触带常有各种蚀变现象,在内接触带常有围岩的捕虏体。

侵入岩建造不具成层特性,但各类岩石中的原生节理发育,除常见的流线、流面构造外,花岗岩的枕状节理、玄武岩的柱状节理等亦屡见不鲜。

已往对岩浆岩建造的物理状态的认识,一般都把它视为均质的,各向异性的连续介质。根据上述岩性、岩相变化的特点分析,它们确具有相当明显的非均质性和各向异性的特征。从而使得各类岩石的物理力学属性也产生了很大的差异。因此,在岩浆岩中施工时,对其工程地质条件要作具体分析,决不能简单从事。一般情况下,新鲜岩石其强度和弹性模量都较高,而当其裸露地表,遭受风化后,其强度和弹模则大为降低。尤其是当工程处于岩浆岩与围岩接触带上时,要特别注意围岩蚀变现象和挤压破碎情况,很多工程地质问题,往往都发生在这些部位。

第三节 变质岩建造

变质岩建造的形成是由于剧烈的构造运动或大规模的岩浆活动,使已有的建造(沉积岩建造、岩浆岩建造、变质岩建造)经温度、压力和外来组分的影响,改变了原建造的物质成分和组织结构而形成的。变质过程中,温度、压力大小相差悬殊,变质程度亦多有差异。依变质深浅来看,深变质带温度高、压力大,结晶体粗大,且多具等粒结构;中变质带温度、压力中等,其压力具有明显的方向性,矿物在定向压力作用下,按一定方向作有规律排列,故片理构造特别发育;浅变质带温度低,压力亦不太大,变质作用在定向压力下进行,使岩石破碎,而成固体熔融交替。不难看出,在不同的地质环境中,在不同的物理化学条件下,即使同一原岩,也可能产生不同的矿物组合及不同组织结构的岩石。而不同的原岩在上述条件下,其变异就会更大。所以,变质岩的岩性和岩相在不大的范围内,即可随着矿物组分和组织结构的不同而发生较大的变化。

变质岩建造物质组合复杂,岩石种类繁多,有板岩、千枚岩、各种片岩、片麻岩、混合岩、大理岩、石英岩及蛇纹岩等。除大理岩,石英岩具粗大的粒状结构外,其余岩石多具板理、片理、眼球状、枕状及层状构造。由于这些特殊的结构构造,使变质岩具有极为明显的不均一性和各向异性。特别是该建造中的千枚岩、绿泥石片岩、滑石片岩、绢云母片岩、石墨片岩等,应视为对矿山工程地质影响较大的软弱岩层,它们有时单独存在,构成岩组,有时成为其它坚硬岩层中的软弱夹层,对矿山工程危害极大。故在做岩体稳定性分析时,对其特性及其空间分布、应作详细的调查研究。

第四节 工程地质岩组及其划分

岩组系指岩石的工程地质组合,即每组岩石不仅有其一定的组合特征,而且具有相似的工程地质特性,它们有别于岩石学中用作岩组分析的岩石组合,与建造和岩相亦有很大差别。为此,在工程地质学中,将具有相对均一的工程地质特性的地质单元体,称之为工程地质岩组。

岩组的划分是岩体工程地质力学研究中一项十分重要的工作。它有利于对岩体结构的认识和对岩体稳定性进行评价。也有利于矿山工程技术人员对工程地质资料的应用。

岩组划分总的原则是将工程地质性质近似的岩层划分为一组,主要考虑岩石的成因类型与岩性岩相;物质成分与组织结构;成层条件与厚度变化等因素,并将岩组划分建立在岩石建造类型的基础之上。在实际工作中,工程地质岩组划分的主要步骤如下:

1. 岩石组合(或岩层组合)是工程地质岩组的物质基础,根据矿区地层建造和岩性,同时考虑其层组特征,可以作出工程地质岩组的初步划分。

具有块状构造的岩浆岩,变质岩系中的混合岩、片麻岩、大理岩;厚层~块状石灰岩、白云岩和砂岩等,应作为独立的工程地质岩组划分出来。互层状岩组要考虑岩性和层组结构的不同,作进一步划分。

2. 根据构造变形及次生改变特征,考虑结构面类型及组合特征,对已划分出来的岩石组合进一步作结构类型(或亚类)的划分。

具有正常的块状或层状结构的岩石组合,即可直接列为基本的工程地质岩组,如具块状结构的大理岩组,具块状结构的玄武岩组等。但是,根据结构面发育情况又可分为亚类,如整体状玄武岩岩组,裂隙状玄武岩岩组等。层状结构岩体,主要根据层组结构特征划分亚类,如互层状砂页岩岩组,层状砂岩夹薄层状页岩岩组等。

对构造变形或次生变化强烈部位,如破碎带、岩浆岩侵入挤压带、接触蚀变带、风化卸荷岩体等具有碎裂结构,甚至松散结构岩体要单独划出,成为独立的工程地质岩组,如强风化卸荷花岗岩岩组、断层破碎岩岩组、纤闪石化蚀变碎裂玄武岩岩组等。

3. 对上述划分确定的工程地质岩组进行地质描述,主要是岩石成分、结构面类型及组合、水文地质特征等,并进行物理参数的测定,如声波、地震波等。据此,确定各工程地质岩组的分布以及沿洞轴线的分段。再依据这些资料对工程地质岩组作必要的补划或合并。

4. 对各工程地质岩组考虑其岩体结构特征,进行岩体质量评价,在可能条件下进行必要的岩体力学试验,从而取得经验的或实测的设计数据。

5. 对各工程地质岩组,根据其分类特征,质量指标及物理力学特性,考虑洞室规模、形态,地区初始应力场的特点等,提出有关支护方案和施工措施方面的意见。

现将某矿山一坑道工程地质岩组划分及轴线工程地质分段举例如下:

洞体为三迭系灰岩,但不均一,包括层状灰岩、角砾状灰岩和结晶灰岩等。由于岩性不均一,风化溶蚀特征和层间错动面发育情况不同,造成岩体结构和特性的分段性(图1-1)。

第一段:洞口段为风化溶蚀石灰岩,节理发育,并有大量溶蚀裂隙,充填夹泥,溶洞发育,洞壁大量渗水,声波速度一般低于2000米/秒。划为风化溶蚀灰岩岩组。

第二段:由层状灰岩和角砾状灰岩构成,并逐渐过渡。前者层面和层间错动面发育,后

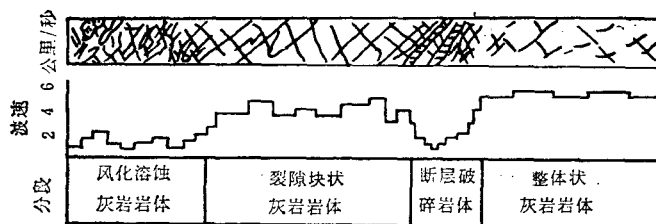


图 1-1 某坑工程地质岩组划分及洞轴线工程地质分段

者由于受邻近断层影响，裂隙发育，岩石破碎。声波速度一般达4000米/秒，但在节理密集带及小破碎带部位降为3000米/秒。划分为层状灰岩——裂隙块状角砾状灰岩岩组。

第三段：为逆冲断层带，断层破碎带宽约2~5米，影响破碎带宽为10~20米，岩石破碎，其中发育泥质条带和断层角砾岩，下盘呈压碎岩状，上盘出现拖拉褶皱，声波速度仅1000~2000米/秒，而上下盘的影响带波速为3000米/秒。划为断层破碎岩岩组。本段在施中断层上盘破碎岩体出现塌方，经过锚固才达到稳定。

第四段：本段为厚层及中厚层状结晶石灰岩，岩石新鲜完整，节理稀疏且闭合紧密，层面结合良好。声波速度为4000~5000米/秒。显示了岩层特性均一，划为整体状厚层灰岩岩组。

不难看出，在具体工程中，只要认真研究其地质类型，抓住岩体结构的主要特征，就能作出合理的工程地质岩组划分及洞体的区、段划分，进而对其做出符合客观实际的工程地质评价。

第二章 地质体的构造变形

组成地壳的各种岩层和岩体,在地壳运动所引起的地应力作用下,发生变形和相对位移,从而形成了地壳上各式各样的构造形迹。人们研究构造形迹,除了对各种构造形态进行仔细观察和描述外,还必须研究地应力的活动规律和岩层及岩体的变形特征,以分析各种构造型式和构造体系的发生、发展和组合规律,为矿产勘探和开发利用、水工建筑、地震地质等提供有关地质构造和岩体结构的科学依据。

构造形迹的力学分析,是建立在现代固体变形理论和流变学理论基础之上的。它是根据野外构造观察所获得的资料,应用弹性、塑性、强度和流变理论,进行近似的分析研究,以探讨各种构造型式和构造体系的力学成因和组合规律。不仅要研究构造应力问题,而且还要研究组成地壳岩石或地块的力学性质。只有同时研究这一矛盾的两个方面,才能更正确,更完整地阐明天然条件下形成的矿物、岩石及地块在地应力场中的各种变形特征。

第一节 地质体的应力状态

岩体在天然状态条件下所具有的内应力,称为地应力,它分布在岩体的每一个质点上。地壳中地应力作有规律分布的空间,称为地应力场。地应力不仅是许多物理地质作用的动力,使地壳形成褶皱、断裂、发生地震,而且由于工程建筑的规模越来越大,开挖深度越来越深,从而直接影响到工程的稳定性。因此,在进行工程地质勘察时,应对工程区的地应力做出定性、定量的论证,对较重要的工程地段,还应安排足够数量的地应力测量。

一. 岩体应力的基本概念

1971年,加拿大第七届岩石力学讨论会将岩体应力按成因做了明确划分(表2-1)。

地应力的成因类型

表 2-1

地应力	天然应力	自重应力	
		构造应力	活动的构造应力(新构造应力)
			剩余的构造应力(古构造应力)
		残余应力	
		感生应力	

天然应力(或初始应力):指未经人为扰动的,主要是在重力场和构造应力场的综合作用下,有时也在岩体的物理、化学变化及岩浆侵入作用下所形成的应力状态。

感生应力:指人类从事工程活动时,在岩体天然应力场内,因挖除部分岩体或增加结构物而形成的应力状态。

对天然应力场起主导作用的是自重应力和构造应力:

1. 自重应力 在重力场作用下形成的应力为自重应力。当地表近水平时,重力场在岩体内的某一任意点上造成相当于上复岩层重量的垂直正应力 σ_v 。(图2-1)。

$$\sigma_v = \nu \cdot h \quad (2-1)$$

其中, ν 为岩石容重, h 为该点埋深。 σ_v 相当于该点三向应力中的最大主应力。同时, 由于泊松效应 (即侧向膨胀) 造成水平正应力 σ_h , 它相当于该点三向应力中的最小主应力:

$$\sigma_h = \frac{\mu}{1-\mu} \cdot \sigma_v = N_0 \cdot \sigma_v \quad (2-2)$$

式中 μ 为岩体的泊松比, N_0 为岩体的侧压力系数。对于大多数半坚硬岩体如泥(页)岩等, 一方面 μ 值本身较大, 故 N_0 将大于上述数值。另外, 更重要的是这类岩体强度较低, 且具有较大的蠕变性能, 因此, 在地表以下的较深部位, 在上复岩层较大荷载的长期作用下, 岩体发生塑性流动, 使 N_0 值趋近于 1; 也就是该处岩体的天然应力将接近于静水应力状态。一般不产生剪切应力, 故相邻两质点不会发生相对错动。

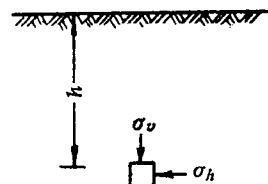


图 2-1 岩体内的自然应力

2. 构造应力 地壳运动在岩体内造成的应力, 称为构造应力。据地质力学观点, 就全球范围来看, 构造应力以水平方向为主。构造应力又可分为活动的 (新构造应力) 和剩余的 (古构造应力) 两种。它们都以弹性应变能的形式储存在强烈挤压带或活动构造体系内的岩体中。当地应力增大并超过岩体强度或岩体中原有断裂的抗阻力时, 便可能引起岩体蠕滑或突然破裂而发生地震。因此, 构造应力与区域稳定性及岩体稳定性密切相关。构造应力可通过实测或根据地质构造形迹分析来确定。

区域性挤压力实际上就是一个地区构造应力场中的最大主应力。构造线与构造应力场中最大主平面的走向是一致的。但这个主平面不一定是铅直的和水平的。

一个地区在地质历史上可能有多次构造应力作用, 每次均可能产生一套构造体系。只有最新的构造体系才能反映该地区新构造应力场特征, 它仅代表地壳运动发展中应力条件连续变化的一个阶段的产物; 该构造线才是该区最近的最大主平面走向。

自重应力场中岩体侧压力系数 (N_0) 是铅直自重应力 (σ_v) 与水平自重应力 (σ_h) 之比值 ($\frac{\sigma_h}{\sigma_v}$), 由岩体力学性质决定, 一般小于 1; 只有当岩体处于地下深处时, 它才等于

1。但是, 在构造应力迭加于自重应力的天然应力场中, σ_v 与 σ_h 的比值, 即使在深度不大的情况下, 也可以趋近于 1 或等于 1, 甚至大于 1。这个比值称“天然应力比值系数”, 它只能通过岩体应力的实测才能确定。

许多地区岩体中构造应力很大, 远远超过其自重应力, 处于主导地位。天然应力就是自重应力和构造应力的迭加值。对区域稳定或岩体稳定有着重要意义。

3. 残余应力 由岩体的物理状态、化学性质或赋存条件方面的变化引起的局部应力或因承载岩体遭受卸荷 (或部分卸荷) 时, 岩体中某些组分的膨胀回弹趋势部分地受到其它组分的约束, 于是就在岩体结构内部形成残余的拉、压应力自相平衡的系统, 均称残余应力。这一应力, 在岩体稳定性评价中亦具有重要意义。

二、地应力状态

岩体的天然应力状态是上述诸力在一个具体地区以特定方式组合作用的结果, 它取决