

高等学校试用教材

勘探掘进学

(第三分册)

井巷掘进与支护

武汉地质学院 吴力文 孟澍森 编

地质出版社

P48
L984
:3

高等学校试用教材

勘探掘进学

(第三分册)

井巷掘进与支护

武汉地质学院

吴力文 孟澍森 编

地质出版社

内 容 提 要

《勘探掘进学》共三个分册,《井巷掘进与支护》为其第三分册。主要包括:岩体结构、岩体力学性质、岩体应力和围岩变形的现场观测与模拟试验;井巷地压与井巷维护方法;各类勘探巷道的的设计;巷道施工的劳动组织与管理;设计概算与施工预算的编制。

本书为高等地质院校掘进专业试用教材,亦可作为大专院校采矿和建井专业教学参考书和采矿、勘探及隧道工程技术人员读物。

勘 探 掘 进 学

(第三分册)

井巷掘进与支护

武汉地质学院 吴力文 孟澍森 编

责任编辑:方祖烈 陈新万

*

地质部教育司教材室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:21³/₈ 字数:504,000

1981年7月北京第一版·1981年7月北京第一次印刷

印数1—2,600册·定价3.20元

统一书号:15038·教130

前 言

本书是根据地质高等院校勘探掘进专业教学计划和《勘探掘进学》教学大纲的要求编写的。全书共分三册。内容包括：岩石物理力学性质及分级、钻眼爆破；通风、压气、排水与装岩运输提升；井巷掘进与支护。

教材编写本着加强基础理论、兼顾实践，反映当前国内外先进科技成就与经验，在精选内容的基础上，系统地介绍了勘探掘进技术有关的专业基本理论和施工工艺。

编写采用的资料，除来源于地质系统各地质勘探队、探矿机械厂及本专业历年教学与科研积累的资料外，还大量参阅和选取了冶金、煤炭和铁道系统各高等院校的教材，以及国内外有关科研单位的科研成果和报道资料。在编写过程中，地质部教育司、探矿司、北京钢铁学院、地质科学院勘探技术研究所、四川地质局、山西地质局、长春地质学院、成都地质学院、昆明地质学校和浙江地质局技校等单位的许多同志给予大力支持，并参加审稿讨论，提供了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

本书由武汉地质学院勘探掘进教研室编写。参加编写的人员有：张天锡（第一篇）、魏伴云（第二篇）、陈庆寿（第三篇）、刘昭明（第四篇）、张国屏（第五篇）、吴力文（第六篇）、孟澍森（第七篇）。最后由北京钢铁学院于亚伦、丁钦贡、冯铭汉、龙维祺、李怀宇、高澜庆、周鹏里、丁预展和虞汉良等审查定稿。

由于编者受水平限制，书中难免存在不少缺点或错误，诚恳欢迎读者批评指正。

编 者

1980年12月

目 录

第六篇 井巷的稳定性与支护

第二十章 井巷围岩的稳定性	4
第一节 概述	4
第二节 岩体结构	5
第三节 岩体的力学性质	11
第四节 岩体的初始应力场	20
第五节 围岩应力	27
第六节 地下水对围岩稳定性的影响	38
第七节 掘进工艺、掘进速度对围岩稳定性的影响	39
第八节 井巷围岩稳定性分析	40
第九节 围岩(岩体)分类	44
第二十一章 井巷地压	51
第一节 概述	51
第二节 平巷地压的计算	55
第三节 竖井地压的计算	67
第四节 斜井地压的计算	72
第二十二章 井巷支护	74
第一节 井巷维护方法	74
第二节 对支架的要求及分类	76
第三节 支架材料	78
第四节 构件式及砌碛式支架	84
第五节 锚杆支护	101
第六节 喷射混凝土支护	109
第七节 锚喷支护类型的选择及参数的确定	122
第二十三章 现场观测与模拟试验	132
第一节 岩体应力测量	132
第二节 围岩变形的实测	137
第三节 围岩压力的实测	138
第四节 弹性波测试	140
第五节 模拟试验	143

第七篇 井巷设计与施工

第二十四章 平巷设计与施工	152
第一节 平巷断面设计	155
第二节 弯道和岔道设计与施工	174
第三节 凿岩爆破工作	191
第四节 岩石的装载与转运	203

第五节 平巷掘进通风	216
第二十五章 斜井和天井设计与施工	227
第一节 斜井井筒设计	227
第二节 斜井甩车道设计	230
第三节 斜井平车道和斜井吊桥	239
第四节 斜井表土施工	242
第五节 斜井基岩施工	244
第六节 天井掘进	257
第二十六章 竖井设计与施工	265
第一节 竖井井筒设计	265
第二节 施工方案及方案选择	276
第三节 竖井施工的凿岩爆破工作	278
第四节 竖井装岩	284
第五节 竖井施工期提升	288
第六节 竖井施工中的辅助工作	295
第七节 竖井施工管理	300
第八节 表土施工	303
第二十七章 复杂地质条件下的井巷施工方法	307
第一节 一般情况	307
第二节 复杂地质条件下的巷道施工方法	307
第三节 复杂地质条件下的井筒施工方法	309
第二十八章 施工组织管理和编制概、预算	315
第一节 井巷施工组织与管理	315
第二节 井巷设计概算和施工预算	329
主要参考文献	335

第六篇 井巷的稳定性与支护

无论是探矿，还是采矿，在采掘工程中，人们进行的最基本的活动，就是把岩石（包括矿石）从地壳中加以破碎而采掘出来，同时设法维护因采掘而形成的各种采掘空间（井巷、硐室、采场等）。由此可见，破碎岩石和防止围岩岩体破坏是采掘工程的两项最基本的工作，而研究和解决这两项工作，也正是岩石力学的主要内容，它构成了岩石力学的两个研究方面，即破碎岩石力学和岩体力学。所以可以认为岩石力学这门科学是采掘工程的基础科学之一。

岩体力学是研究以岩体为主的材料中，工程结构（坝基、露天边坡、井巷硐室等地下工程）的稳定性。解决岩体工程稳定的理论问题是力学问题。这就要求我们要知道岩体的力学属性是什么，即岩体是什么介质？它的物态方程（即力和变形及时间的关系）是什么？它的稳定条件怎样？

岩体是地质体的一部分，它的形成过程延续了漫长的地质年代。在岩体形成和存在的整个地质历史中，它经受着各种地质构造力的作用。因此，即使是由相同物质组成的岩体，也会存在着差异，这就是岩体性质非常复杂的基本原因。

对岩体的认识可概括为以下几点：

（1）岩体是非均质各向异性的。这一特点，是由于它的形成和存在均受地质构造力作用的结果。它大大增加了研究工作的复杂性。

（2）岩体内存在着初始应力场，主要包括重力和地质构造力。重力场是以铅垂应力为主，构造应力场通常是水平应力为主。一般来讲，地壳内的应力以水平应力为主。

（3）岩体内存在着一定的裂隙系统。岩体既是断裂的又是连续的，岩体是断裂与连续的统一体。

从上述特点可知，岩体既不是理想的弹性体，又不是典型的塑性体；既不是典型连续介质，又不是典型松散介质，而是一种特殊的、复杂的介质。这是从总体上说的。但是在解决具体工程的稳定问题时，重要的是特定范围内岩体工程所涉及的岩体的力学属性。从具体条件出发，可把岩体归纳为各种不同类型的介质，以借用不同的力学理论来解决具体工程的稳定问题。所以，岩体不是只有一种力学法则的单一力学介质，而是由于其本身结构及其赋存的地质环境决定着具有不同力学法则的多种力学介质的地质体。实际工作表明，试图采用一种力学介质模型来回答所有的岩体力学问题是困难的。

岩体力学是一门新兴的学科，它作为固体力学的一个分支，是本世纪五十年代才确定的，所以还很年轻。岩体力学同时又是一门边缘学科。为了能用力学的观点对自然存在的岩体进行性质测定和理论计算，为具体的工程建设服务，岩体力学必须采用科学实验与理论分析紧密结合的方法。

岩体力学中的科学实验是岩体力学研究工作的基础。进行岩石和岩体的物理力学参数

测定, 以及进行各项现场和室内的模型和原型试验, 是建立岩体力学中理论的最基本的工作。任何脱离了这项工作的岩体力学理论, 必然是片面的或错误的。现在, 从事于岩体力学的工作者, 为了更好地获得第一性资料, 广泛地采用了现代探测新技术。如利用声波测试技术探测岩体结构面的产状、位置, 确定高应力集中点, 测定岩体主应力的方向和大小。在实验室研究方面, 刚性三轴试验机的出现, 对于全面揭示岩石的力学性质, 取得了很有意义的成果。从刚性试验机上绘出的岩石全应力—应变曲线中发现, 岩石在破裂以后, 虽然结构发生了变化, 但没有完全失去承载能力。事实证明, 每当采用新的技术对岩体进行科学实验而获得成功时, 我们对于岩体的性能的基本认识, 也就前进了一步。因此, 岩体力学的科学实验必须用最先进的测试手段来武装。

岩体力学脱离理论研究也是不可想像的。岩体力学介质类型是岩体力学研究中的首要问题, 它是建立岩体力学理论的基础。基于对岩体力学介质的认识, 建立起来的岩体力学理论有松散体理论、弹性及弹塑性理论、块裂体力学理论 (块体极限平衡理论), 以及不连续介质力学或碎块体力学理论等。

松散体理论—认为岩体中总有许多大大小小的裂隙和层理、节理, 它们破坏了岩体的连续性, 因此可视岩体为“似松散体”, 并运用土力学的理论和方法来解决岩体问题。可以作为代表的有太沙基和普罗托吉雅柯诺夫。

弹性体、弹塑性体理论—(1) 弹性体理论: 如苏联的金尼克等, 鉴于地震波可以在地壳中传播, 而波的传播是基于弹性理论的, 因此可以将岩石视为连续的弹性体, 利用弹性理论来研究地压问题。国内北京钢铁学院提出的轴变论, 也属于这一类。轴变论主要是研究不同轴比变化的椭圆孔洞在垂直与水平压力作用下的弹性应力问题。目前, 根据这一理论近似地解决了当岩体变形未超过弹性极限时, 各种断面形状的井巷围岩中应力分布情况, 它可作为判断井巷围岩稳定性的基础。(2) 弹塑性理论及流变理论: 认为岩体内弱面的影响不至于改变它的连续性, 把岩体假定为均质、各向同性的弹塑性连续体, 用弹塑性理论进行研究, 或者考虑岩体的蠕变, 把岩体当做流变体来研究。弹塑性理论分析问题的方法是依据井巷围岩的应力分布建立应力平衡方程, 再根据岩体的强度条件确定围岩的破坏区 (或塑性变形区)。应用弹塑性理论能使我们了解均质岩体内的应力应变规律和合理解释地压产生的原因。

块裂体力学理论 (块体极限平衡理论) —认为要充分考虑地质构造的影响, 岩体受应力作用的破坏过程主要是沿软弱结构面的剪切破坏。这种理论是从岩体结构分析及力的分析来判断围岩的稳定性和进行地压的计算。

碎块体力学理论—岩体中不同性状结构面的存在, 把岩体切割成碎块, 岩体是一碎块体系。碎块的形态及空间排列特征决定着岩体中应力传播及岩体变形、破坏动向。这一观点已经在坝基岩体变形、边坡稳定性分析及矿山地面变形等研究方面初步获得了一些成果。关于这一理论, 本篇不作介绍。

总之, 岩体是有结构的, 应从分析岩体结构的类型入手, 深入研究岩体的变形和破坏机制及岩体中应力传播规律, 确定岩体力学介质类型。按不同的力学介质类型, 运用不同力学理论来解决井巷围岩的稳定问题和地压问题。

目前, 岩体力学正处于定性分析到定量分析的转化阶段。电子计算机的应用, 为使用有限单元法解决岩体力学中的问题开辟了广阔的途径。科学技术的发展, 也为现场测试技

术提供了新颖的手段。不过尚有不少问题应用现有理论知识仍然不能得到完善的解答，还只能凭借实践中所获得的经验来进行处理，这在目前仍然是很需要的。

岩体力学是研究岩体工程的稳定问题。当开掘在岩体中的井巷不稳定时，就要进行维护。维护的目的是保证开掘出来的具有一定断面形状和大小的井巷在其服务年限内不破坏、坍塌，保障工作能安全正常的进行。架设支架是一种主要的维护方法，称作井巷支护。支架是一种防止围岩发生危险变形和破坏，保持井巷稳定的人工构筑物。采用支架就要解决支架的选型与参数设计问题，其中首要问题是支架荷载（也即地压）的确定。

传统的维护井巷稳定的原理是“给围岩以抗力，支撑围岩，防止坍落”，这是运用结构力学原理维护井巷稳定的特点。运用传统的支护方法来维护井巷稳定的研究，主要课题是研究载荷形式，确定载荷数值，以及设计支护结构和尺寸。

锚喷支护与光面爆破结合使用的成功与推广，对传统的支护形式和支护理论是一次大的突破。锚喷支护利用了岩体自身的承载力，把围岩由荷载变为承载结构，围岩和支架组成一统一的承载体。

岩体力学与井巷支护的内容十分丰富。限于篇幅，本篇只能结合专业择其有关部分进行介绍。

第二十章 井巷围岩的稳定性

第一节 概 述

一、基本概念

在初始应力场（原始应力场或地应力场）作用下的岩体，除特殊地段（如现代活动断裂带）外，是处于相对稳定状态的，即自然平衡状态。在岩体内开掘井巷，打破了岩体的自然平衡状态，使井巷周围一定范围内岩体的初始应力场发生某种程度的变化和调整，应力重新分布的结果，出现一个新的应力场。新出现的应力场称为次生应力场（二次应力场）。井巷的开掘使岩体有了临空面，井巷周围的岩体在次生应力场的作用下发生变形、移动、破坏、冒落等一些特殊力学现象。

通常把次生应力场引起的岩体变形、移动和破坏的全过程称为地压的显现。把地压显现中某一阶段的具体表现称为地压现象。如在玄武岩、辉绿岩、石灰岩等脆性岩石中，有时发生冒顶片帮等围岩破坏现象（图20—1）；在粘土、泥质页岩等塑性岩石中，发生平巷顶板下沉、两帮和底板鼓胀等现象（图20—2）。实际上，地压现象是复杂的，除了上述由于岩石是脆性或塑性而出现两类不同的地压现象外，不同性质的工程也往往引起不同的地压现象。如竖井工程中出现井壁破裂、井筒涌砂、岩帮片落（图20—3）等现象。上述地压现象说明围岩产生了非弹性变形、位移和破坏，井巷失去稳定性，即井巷处于不稳定状态。

上面几处提到围岩二字，这里加以说明。在岩体中开掘井巷，引起岩体中初始应力场发生变化，通常将岩体中应力变化小于5%的地点认为没有受开掘影响。而将应力变化大于5%的区域划为影响范围。这个范围的直径，一般为井巷最大直线尺寸的3—5，即 $D' = (3 \sim 5)D$ 。习惯上将此范围内的岩体称为“围岩”，而将该范围以外的岩体仍称为原岩（图20—4）。所以说井巷围岩是指受井巷开掘影响的那一部分岩体。

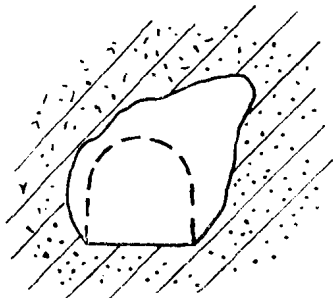


图 20—1 冒顶片帮

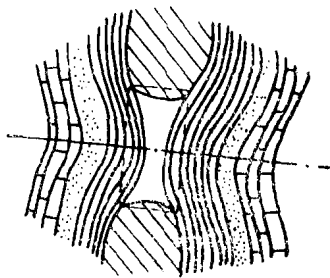


图 20—2 围岩鼓胀

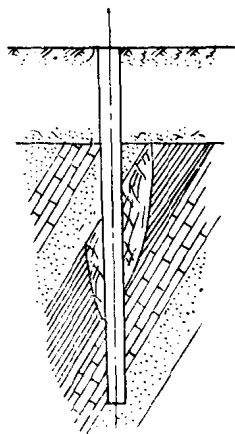


图 20—3 竖井岩帮片落

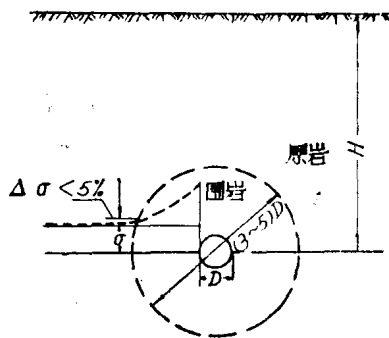


图 20—4 原岩与围岩

二、影响井巷围岩稳定性的因素

围岩稳定是一个相对的概念，是指在一定的时间内，在一定的地质力和工程力作用下，围岩不发生破坏性的压缩变形、剪切滑移或张裂破坏。围岩的稳定性受制于多种因素的综合作用。这些因素可分为两类：一类是地质变量或叫内在的因素；一类是施工变量或叫人为的因素。前者包括岩性与岩体结构，岩体的物理力学性质，地下水状态及初始应力状态等。后者则有施工方法，井巷的位置，井巷断面形状和尺寸及支护措施等。在这众多影响因素中什么是主要的、根本的？从工程观点出发，井巷和其它地下工程（硐室、采场等）都是构筑在岩体中的一种地下结构物，即围岩相当于一种地下结构物。因而井巷及其它地下工程围岩稳定的理论问题，主要是力学问题。也就是说，要解决围岩的稳定问题，就必须了解岩体（围岩）受力时的变形和破坏规律，应力与强度之间的关系。在这里，应力指的是围岩应力（岩体中初始应力受开掘影响变化了的重分布应力），强度指的是岩石和岩体的强度。大量工程实践说明：受力围岩岩体变形、破坏规律取决于岩体的特性，而岩体的特性以及所处的应力状态，实际上是岩体内在结构的反映，是受岩体结构所控制的。也就是说岩体受力后变形、破坏的可能性、方式和规模是受岩体自身结构所制约。

需要指出的是爆破和水对围岩稳定性的影响是很大的，要给予足够的重视。时间因素不容忽视，有的岩体在一定时间内是稳定的，而随着时间的推延，逐渐向不稳定方向转化。

本章在分别论述影响围岩稳定性各因素的基础上，讲述围岩稳定性的分析方法及其分类。

第二节 岩体结构

作为一种地下结构物的围岩岩体，和所有工程建筑物有其一定的结构形式一样，也有其内在的结构。岩体是由各种各样的岩石所组成，后期不仅经受了不同时期、不同规模和不同性质的构造运动的改造再改造，同时还经受了外营力次生作用的表生演化。所以，在岩体内存在着不同成因、不同特性的地质界面，它包括物质分异面和不连续面，如层面、片理、断层、节理等，这些面统称为结构面。这一系列结构面依自己的产状，彼此组合将

岩体切割成形态不一、大小不等以及成分各异的岩块，这些由结构面所包围的岩块统称为结构体。所谓岩体结构，就是结构面与结构体以不同形式的相互结合。它的特性或工程地质特性，视结构面特性和组合特点的不同而不同。

岩体中不同性状结构面的存在，破坏了岩体的整体性，降低了岩体的强度。已有的实践和研究表明，围岩失稳通常是以结构体沿结构面的剪切、拉开和滑移的形式出现。因此，结构面的规模性质，空间分布规律和互相组合关系，以及它们与岩体中存在的临空面（井巷、洞室等）的空间位置关系（结构体的形式），决定着围岩的稳定程度、围岩破坏区的形状和分布。

一、结构面及其自然特性

受力岩体中的结构面，在其变形、破坏过程中所起的作用大小，除与受力条件有关外，在很大程度上取决于结构面的自然特性，因为它直接体现着岩体的物理、力学性质。而结构面的自然特性与其生成和发展过程密切相关。所以，要正确认识结构面的力学效应，首先要对结构面的成因及其自然特性进行研究。

（一）结构面的成因类型

按地质成因，可以分为原生结构面、构造结构面及次生结构面三种。

1. 原生结构面 包括：沉积结构面、火成结构面、变质结构面。

（1）沉积结构面 这类结构面是指在沉积和成岩过程中所形成的物质分界面。包括层面、层理、不整合面和假整合面以及原生的软弱夹层等。

沉积结构面一般延展性很强，其产状一般与岩层产状一致，其特性随岩石性质、岩层厚度、水文地质条件以及风化条件不同而有所不同。软硬相间的层面和各种软弱夹层对井巷稳定影响较大，常易沿这些弱面产生层间错动，尤其加上水的作用，往往成为工程失去稳定的软弱突破口。

显示沉积间断的不整合面和假整合面，它们都有一个共同特点，岩层在沉积间断中受到风化剥蚀，所以不但起伏不平，而且有古风化的残积物，是一个形态多变的软弱带。沿这些结构面经常有地下水的赋存和运行，因为它往往起了相对阻水层的作用，因此它的存在不仅构成地下水的富集，而且导致自身的泥化，对岩体稳定是十分不利的。

（2）火成结构面 这类结构面指岩浆侵入、喷溢、冷凝过程中所形成的结构面。包括大型岩浆岩体边缘的流层、流线以及和围岩的接触界面、软弱的蚀变带、挤压破碎带；亦包括岩浆岩体中冷凝的原生节理；还包括岩浆间歇性喷、溢所形成的软弱结构面等。

应该重视对火成岩体与围岩接触面的调查。接触面因高温混熔而形成致密的混融接触面，对岩体稳定没多大影响；而接触破碎带、挤压破碎带等则属软弱结构面，是地下水通道，也是地下开掘时极易坍塌之处。岩浆岩体中冷凝原生节理常常是平行及垂直接触面的，平缓及高倾角的张裂隙。在浅成侵入岩体、火山岩岩体中尚发育有柱状节理。这些原生节理都可能对围岩稳定产生不利影响。

（3）变质结构面 受变质作用而形成的结构面有片理、片麻理及片岩软弱夹层。片岩及千枚岩类，因片理中常含鳞片状矿物，又易风化，因之对岩体强度有控制影响。云母片岩、绿泥石片岩、滑石片岩，由于岩体较软弱，片理密集，易形成许多平行的软弱结构面，使围岩产生坍塌和崩落。

2. 构造结构面 是指在构造应力作用下, 在岩体中所产生的破裂面或破碎带。包括节理、断层、劈理以及由层间错动引起的破碎带。其工程性质与力学成因、规模、多次活动及次生演化密切相关。其产状和分布则主要取决于构造应力场的条件。

构造结构面按其力学成因可分为三大类: 压性结构面、扭性(剪切)结构面与张性结构面。

节理, 泛指没有位移或位移很小的构造破裂面。对于节理应注意在岩体内出现频率最多的主要节理系统, 几组节理的组合往往影响到岩体的稳定性。

断层为规模较大的构造结构面, 有显著位移, 并形成构造岩。断层大都对岩体稳定有一定影响, 如断层破碎带很宽, 破碎带内的角砾又没有胶结, 特别是夹泥的断层, 则对岩体稳定有严重的影响。

劈理是在岩层褶皱变形及断裂错动中产生的密集剪切破裂面, 使岩体破碎, 成为影响岩体稳定的不利因素。

原生软弱夹层经构造运动影响而产生层间错动面, 往往形成破碎泥化夹层。它的存在与破碎带、风化带以及其它软弱带一样, 对岩体稳定性的影响是显著的, 所以是引人注目的研究对象。

3. 次生结构面 岩体受风化、地下水、卸荷、人工爆破等次生作用形成的结构面。包括卸荷裂隙、风化裂隙、风化夹层、泥化夹层以及爆破裂隙等。它们的发育多呈无序状的、不平整、不连续的状态。它们的空间分布, 往往受地形、水文地质条件、原有结构面发育情况以及岩层的岩性岩相所控制。在这里被泥质物所充填的、产状平缓的结构面(层或带)的存在尤为不利, 它们通常构成极为恶劣的工程地质条件。

(二) 结构面的自然特性

1. 结构面的几何形态 结构面的几何形态对结构面抗剪强度影响极大。结构面的几何形态是指结构面的总体形态和结构面本身的性状。结构面的总体形态(或起伏状况)一般可分为三种:

(1) 平直的 包括一般层面、片理、原生节理以及剪切破裂面等。

(2) 波浪起伏的 如具有波痕的层理、轻度揉曲的片理、沿走向和倾向方向均呈舒缓波状的压性、压扭性结构面等。

(3) 曲折的 可以是张性、张扭性结构面、具交错层理和龟裂纹的层面、缝合线, 也包括一般迁就已有裂隙而发育的次生结构面, 以及沉积间断面等。

目前有的研究者以起伏差或爬坡角来表示结构面总体起伏的程度。

结构面本身的性状是指结构面的光滑度和粗糙度, 它同样直接影响着结构面的抗剪强度。粗糙度的直接作用, 是使结构面抗剪强度中的摩擦系数(f 值)急剧增加。光滑度和粗糙度, 实际上是反映同一个问题的两个侧面。对结构面来讲一般可以分成: 极粗糙、粗糙、一般、光滑、镜面等五个等级。沉积间断面、张性和张扭性的构造结构面、泥裂、波痕、化石群集层的层面、次生结构面都属于粗糙或极粗糙; 一般层面、冷凝原生节理、一般片理可属第三种情况; 绢云母片状集合体所造成的片理、板理, 一般压性、扭性、压扭性构造结构面均较光滑; 而许多压性、压扭性和扭性构造结构面, 由于剧烈的剪切滑移运动, 往往可以造成光滑的镜面。

2. 结构面的结合状态及其充填物质 结构面的结合状态、充填物质及其厚度的不同,

使结构面的结合力和抗剪强度有着显著的差异。

(1) 结构面是闭合的、干净无充填的或为后期岩脉所充填(非破碎接触),岩块间表现为刚性接触。其结构面的抗剪强度,取决于结构面的形态、起伏差、光滑粗糙程度以及两侧岩块的性质等。

(2) 结构面是闭合的,但具有泥质或矿物薄膜,或者分布有由于地下水浸染,所造成的不连续的铁质薄膜或锈斑等。结构面的抗剪强度,不仅取决于面的形态和两侧岩性,而且决定于这些薄膜的矿物类型及其亲水性。泥质薄膜中有无粗颗粒存在、粘土矿物类型和粘粒含量;矿物薄膜中的矿物成分及其软化性,都直接影响着结构面的抗剪强度。

(3) 结构面是张开的,或有少量的不连续的岩粉、碎屑所充填,或者充水充气等。前者抗剪强度与几何形态、充填物多寡、颗粒级配和组成成分有关。而后的强度则完全丧失。

(4) 结构面两侧岩块无直接接触,充填是连续的有一定厚度的。结构面的抗剪强度决定于起伏差和充填物厚度、充填物的成分及其物理状态。当起伏差大于充填物的厚度时,它在剪切滑移过程中能起正面的资助;当充填物厚度大于起伏差时,结构面的抗剪强度则取决于充填物的特性(颗粒成分,化学成分及其水理性)。

3. 结构面两侧岩体的差异性 有以下几种情况:

(1) 在原生软硬相间的岩层中,层面两侧岩块则是软硬相对,受力后的滑移不一定完全沿层面发生,有时产生于层面附近的软岩,有时则产生于软岩内部,尤其在软岩层中的片理、斜交层面或近平行层面的劈理发育的情况下。

(2) 结构面两侧均为软岩层,而充填物可能被后期次生淋滤作用所胶结,或沿层面后期贯入的或淋滤沉淀的岩脉所充填。在这些情况下,岩体受力后不一定沿结构面优先破坏,而是在软岩内产生破裂。

(3) 结构面两侧均为坚硬岩块,但是当岩块中邻近结构面部分,存在斜交或近平行结构面的微裂隙,岩体受力后就有可能沿这些隐微结构面产生局部的破坏,使滑移面呈凹凸不平,从而结构面的抗剪强度增高。

4. 结构面的空间分布 就结构面空间分布状况而言,所包括的内容大体有结构面的产状(即方位)及其变化;结构面的延展性(即规模大小);结构面发育的密度、结构面的组数及其相互组合的特征等。它们直接反映了岩体的完整性和岩体的结构特征。

结构面的延展性是指其延伸距离的长短而言。有些结构面延展性较强,在一定工程范围内切割整个岩体,对稳定性影响较大。而另一些结构面比较短小,或是沿结构面方向不连贯,岩体强度有一部分仍为岩石强度控制,稳定性较好。

结构面的方向性对岩体稳定性也有较大的影响。如结构面方向规律时,可使岩体产生各向异性,不仅影响岩体的强度,还会显著地影响到岩体中的应力分布,进而影响岩体的稳定性。而方向紊乱的风化裂隙等,主要是降低岩体的完整性及其强度,在一般条件下,它不会导致岩体产生各向异性,对岩体中的应力分布也影响甚微。

结构面的密度,通常是采用沿结构面法线方向上每单位长度内结构面的数目,或采用沿结构面法线方向上结构面的平均间距来表示。结构面的密度对岩体的完整性和整体强度影响很大。结构面的方位越多,密度越大,则岩体就越破碎。

结构面的组数及其相互组合的特征要很好研究。由于井巷、硐室等的开掘出现的临空

面,可使井巷、硐室四周出现结构面与临空面共同组成不稳定的结构体。查明它,将可指导岩体力学试验,并为岩体稳定分析计算打下基础。

当岩体内发育有几组结构面时,有的构成滑移体的滑移床,有的构成滑移体的边界。前者称为滑移面,后者称为切割面。滑移面不一定只一个,有时为两个。在滑移体沿着两个滑移面滑移时,其滑移方向将与组合交线方向一致,滑移倾角则与组合交线的倾角一致。分离体稳定与否,主要在于切割面的抗拉强度和滑移面的抗滑能力。

(三) 软弱结构面

上述各种结构面对岩体稳定的影响程度不一。这里最引人注目的,构成普遍威胁的,主要是称之为软弱结构面的结构面,如各种原生软弱夹层、破碎带和软弱泥化带(或夹层)等。它们不仅是岩体力学分析的边界,控制着岩体的破坏方式,而且往往由于它们之间的相互组合,在一定的工程条件下,形成可能滑移的块体。软弱结构面很可能成为危险的切割面、滑移面以及可压缩的沉降带。因此对它们的研究要特别注重对充填物的厚度、物质成分的考察,深入研究它们在地下水作用下软化、崩解、膨胀和可能泥化的趋势。

(四) 结构面的分级

在对工程进行稳定性评价时,为了搞清工程所辖部位岩体的工程地质条件,需要明确各种结构面的规模、性质及其在岩体稳定性中所起的作用。为了统一标准,中国科学院地质研究所将岩体结构面分为五级(表20—1)。

岩 体 结 构 面 分 级

表 20—1

级 别	特 性
I 级	区域性断层破碎带, 可视为地壳或区域内的巨型结构面。延展远、深度大、厚度宽, 往往延展数十公里以上, 厚度从数米至上百米。由于它对工程区的地质构造起控制作用, 只要对其力学成因、展布规律和发展历史有正确的认识, 那么对一个地区的断裂系统的格局就有所掌握。这一级结构面的存在, 对区域稳定、山体稳定和岩体稳定都有严重的影响。因此, 在工程规划阶段, 应尽量避免。而有些工程, 如水利、线路及矿山等, 往往不能躲开, 则应作全面细致研究
II 级	为延展性强、宽度有限的区域地质界面, 如中型断层、层间错动带、不整合面、假整合面、风化夹层、原生软弱夹层、以及接触和挤压破碎带等。一般延展数百米至数公里, 贯穿整个工程区, 宽度从1米以上至3—5米以下。对这一级结构面应注意其产状、形态、物质组成、微结构, 以及在地面水等自然地质作用下的发展趋势; 要结合具体工程, 抓结构面组合, 判定是否存在可能变形破坏, 这一级结构面往往控制山体与岩体的稳定, 影响工程布局。因不易全部避开, 需要查明确定处理措施。
III 级	为延伸数十米至百余米的小断层、破碎带, 或宽度在数厘米至1米上下的地质界面, 如层间错动面、不整合面、原生软弱夹层等。对其工作内容大体与II级相仿。它与II级结构面往往构成岩体力学作用的边界, 控制岩体的破坏方式与运动轨迹。实际表明, II、III级结构面所组合成的块体的稳定性, 是普遍存在的重要研究课题。
IV 级	延展性较差, 无明显宽度。仅仅小范围局部地切割岩体, 主要包括明显的节理、发育的劈理、层面、片理等。这类结构面在岩体中大量存在, 要搞清它的特性及其组合关系, 它不仅控制了岩体的物理力学性质和应力状态, 而且在很大程度上制约着岩体的破坏方式。
V 级	延展性和连续性都很差, 但为数较多, 而且为上述各级结构面所限制, 主要包括微小或隐微节理、劈理或不发育的片理与剥理等。它们的存在主要是降低岩块的强度, 在硬脆岩层中深埋地下工程产生的岩爆或岩炮往往与其有关。

二、结构体的形式及特征

岩体受结构面切割而造成的结构体是多种多样, 但其基本形式为棱体、楔形体、柱体、

块体、锥体等（图20—5）。此外，由于岩体的变形及破碎的结果也可形成片状、碎块状、鳞片状、碎屑状等结构体形式。

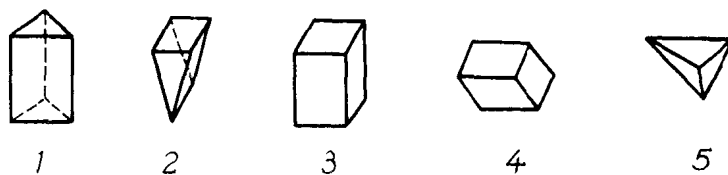


图 20—5 结构体形式

1—棱体；2—楔形体；3—柱体；4—块体；5—锥体

岩体中结构面的组合是有一定规律可循的，对于构造变形程度不一的岩体，其结构体的主要形式也不相同。不同构造型式的地区，岩体中结构面组合成不同形态的结构体，简单地概括于表 20—2。从表中也不难看出，尽管构造型式不同，但许多结构体形态大体相近，有所区别的在于结构面成因不同，其特性不一；结构体的大小和空间展布状态也不同。

由于结构体的形态和方位不同，根据它所在的工程部位，其中某些形式可成为不稳定

各类岩体断裂组合型式与结构体形式对比表

表 20—2

岩 类	结构面 成因类型	构造变动强度	结 构 面 组合型式	结 构 体 形 态	组 成 结 构 体 的 结 构 面 成 因 类 型
层 状 岩 体	构 造 结 构 面	缓倾斜岩层区	棋盘格式	长方（柱、块）体	层面与高角度的×型扭性断裂
			人 字 型	三棱柱（楔形）体	层面与人字型断裂
		陡倾岩层区	歹 字 型	似楔（梯）形体	层面、压性断裂与人字型断裂
			米 字 型		层面、压性断裂与张性断裂
				角锥体	扭性断裂、层面和反倾向的压性断裂
				棱形（柱）体	层面、压性断裂与扭性断裂
		陡立岩层区	州 字 型		相交的扭性断裂与层面
				方（柱、块）体	张性断裂、层面与逆掩断层
				三棱柱体	对倾扭性断裂与逆掩断层、层面
				四面体	张性、扭性断裂与层面、逆掩断层
		倒转缓倾岩层区	十 字 型 或 梯 型	棱柱体	张性、扭性断裂与反倾向冲断层、层面
				立方体	张性、扭性断裂与层面、压性断裂
块 状 岩 体	原 生 结 构 面		棋盘格式	立方体	侵入岩原生节理
				多角柱体	喷出岩原生节理
			米 字 型	方（柱、块）体	扭性断裂与平缓的原生节理
				棱柱体	压性断裂、张性断裂、扭性断裂与平缓的原生节理
			十 字 型	楔形体	
				多角柱（块）体	

的结构体：如在临空面顶部出现的尖楞向上的楔形体，尖向上的锥体，长轴竖向的柱体、棱体等；在两帮则主要为棱面倾向帮外的棱体，尖楞向下的楔形体，底面倾向帮外的块体。此外，结构体与结构体之间的相互组合，对岩体稳定也很有关系，结构体之间是相互影响，相互制约的。

对结构体形态、大小及其组合的研究，在锚喷支护中是很重要的，它对锚杆直径、长度的选择及其布置形式和间距都有很大的关系。

三、岩体结构类型

岩体结构类型的划分，是在对结构面、结构体自然特性及其组合状况研究的基础上进一步的概括，其目的就是解决岩体的稳定性评价。目前，划分方法尚不统一，划分标准也有差别。下面将中国科学院地质研究所谷德振提出的岩体结构类型及其特征作一介绍（表20—3）。

此岩体结构分类中采用的定量分类指标是岩体的完整性、结构面的抗剪特性和结构体强度。

1. 岩体的完整性 所谓岩体的完整性就是岩体的开裂程度或破碎程度。它实际上反映了不同成因、不同规模、不同性质的结构面在岩体中存在的情况。主要考虑了两种指标：一是结构面间距；一是完整性系数。关于结构面间距，系指以Ⅳ级结构面为主、并在密度最大方位上取得的。完整性系数即为岩体纵波速度和岩石纵波速度的平方比：

$$I = \frac{V_m^2}{V_r^2} \quad (20-1)$$

式中：I——岩体的完整性系数；

V_m ——岩体纵波速度；

V_r ——岩石纵波速度。

显然，I值越大岩体越完整，相反，其值越小则岩体越破碎。

2. 结构面的抗剪特性 结构面的抗剪特性标示着结构面对剪切运动的阻抗能力。人们通常以结构面的抗剪强度或摩擦系数来表达结构面这种阻抗能力的大小。根据一些工程的试验资料，对几种结构面的摩擦系数（ $f = \tan \phi$ ）加以综合分析，简单归纳于表20—4。

3. 结构体强度 采用饱和岩石轴向抗压强度。

此分类表不包括软岩和特殊岩类。所谓软岩是泛指湿抗压强度小于200公斤/平方厘米的岩石，其软化系数一般比较小，易于风化碎裂，而且浸水即速崩解。特殊岩类如遇水膨胀的软质粘土岩，遇水易溶的化学沉积岩类及次生淋滤淀积的盐类，如岩盐、钾镁盐岩、石膏、芒硝等。

上述岩体结构分类，一般只适合于坚硬和半坚硬的岩石。

第三节 岩体的力学性质

首先需要明确的是：要把岩石和岩体区别开来。岩石是从被结构面切割的岩体中取得的，一般尺寸较小，它的性质主要取决于组成矿物和颗粒的特性，特别是它们之间的基质和胶结情况。岩体是由岩石组成的。由于岩体中存在结构面，且赋存于一定的地质环境中（初始应力场、地下水、地温），所以岩体的力学性质有别于岩石（岩块）的力学性质。一