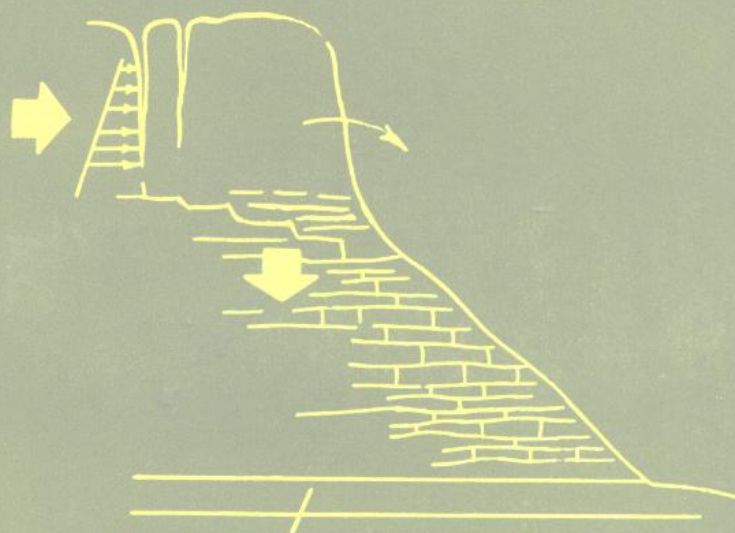
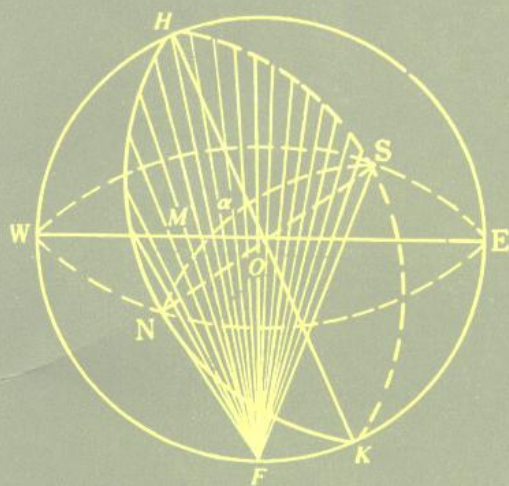


孙玉科 牟会宠 姚宝魁 著



边坡岩体稳定性分析

工程地质学丛书
科学出版社

工程地质学丛书

边坡岩体稳定性分析

孙玉科 牟会宠 姚宝魁 著

科学出版社

1988

内 容 简 介

本书是“工程地质学丛书”之一。全书共分六章。作者首先介绍了岩体结构的一些基本内容和边坡工程地质的测绘工作；接着以金川露天矿等为例，提出用地质模型来分析边坡岩体变形破坏的机制，并对如何确定岩体力学性质及其影响因素进行了论述；然后以较大的篇幅，用多种方法，详尽地分析了各种条件下边坡岩体的稳定性；最后探讨了露天边坡设计中新的设计思想和一些加固方法及减震措施。

本书可供从事工程地质研究和土木、水电、公路、铁路、隧道、矿山、国防工程等工程设计的科技人员以及有关院校师生参考。

工程地质学丛书编委

主 编 孙玉科
副主编 张咸恭
编 委 戴广秀 李生林 肖树芳
许 兵 周文辅

工程地质学丛书

边坡岩体稳定性分析

孙玉科 牟会宠 姚宝魁 著

责任编辑 周文辅 吴寅泰

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院科技印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1988年2月第一版 开本：787×1092 1/16
1988年2月第一次印刷 印张：16 3/4 插页：6
印数：0,001—4,000 字数：385,000

ISBN7-03-000116-8/P·17

定价：5.10元

前 言

边坡岩体稳定性研究为各种工程建设服务, 尤其在多山地区, 所涉及的工程领域更为广泛. 我国西南、西北的铁路线, 穿山越岭, 陡坡筑路, 边坡稳定性对运输安全十分重要. 水电工程多数兴建在高山峡谷之中, 库岸边坡的稳定性对大坝的安危有直接的影响. 此外, 露天采矿工程, 由于采掘技术的发展, 露天采深越来越大, 采深300—500 m已不为奇, 但坡角的大小, 对矿山的经济效益以及安全生产有着直接的关系. 由于各种工程的需要, 随着现代科学技术的发展, 边坡岩体稳定性研究, 已经形成一个专门性的应用研究课题, 并日益发展.

边坡岩体稳定是指人工边坡稳定而言, 它与滑坡研究有一定的区别. 早在解放之前就已研究自然坡的破坏现象, 而人工边坡稳定性的研究, 主要是在解放后, 由于大规模兴建铁路、兴修水利、开发矿山等工程的需要, 逐步形成了专题研究. 我国从解放到现在, 边坡岩体稳定性研究大致可分为三个阶段.

第一阶段(五十年代), 主要是从研究铁路路堑边坡和引水渠道边坡开始的, 当时着重人工边坡类型的划分, 采用工程地质类比法给出稳定边坡角, 作为边坡设计的依据.

第二阶段(六十年代), 开始形成了岩体结构的观点, 划出了边坡岩体结构类型, 并在应用赤平极射投影的基础上, 提出了实体比例投影方法, 用以进行块体破坏的计算, 判断边坡的稳定性. 同时结合露天矿边坡稳定研究, 开展了大型野外岩体力学试验, 在边坡稳定性计算方面也有了很大的进展.

第三阶段(七十年代以来), 开始研究边坡变形破坏机制. 在计算方面, 不仅应用了极限平衡原理, 还应用了弹塑性力学理论, 并且随着电子计算机的发展, 广泛采用有限单元法来分析边坡变形破坏条件及评价边坡的稳定性. 七十年代末八十年代初, 已经形成一套比较完整的工程地质力学学术观点和方法. 在研究边坡稳定性问题上, 积累了丰富的实践经验, 通过不断推广应用和学术交流, 促进了边坡研究工作的发展, 为我国工程建设做出了较大的贡献.

当前各国非常重视露天矿边坡稳定的研究. 1970年和1971年在加拿大温哥华召开了两次国际性露天矿边坡稳定性讨论会. 1970年在南非召开的露天采矿设计会议的论文中, 露天边坡问题占相当大的篇幅. 近年来, 英国皇家矿业学院Hock(1977)著的《岩石边坡工程》和加拿大矿物与能源部技术中心系统总结的《露天边坡手册》, 都反映了当前国外的研究现状.

在边坡岩体稳定性研究工作中, 目前国内外都很重视岩体裂隙的研究. 普遍认为, 岩体裂隙是影响岩体稳定性的主要因素. 为此, 在美国研制了专门的岩心定向取样器. 塞格米勒博士(B. L. Seegmiller)在我国冶金部门介绍了《长寿38型》钻机, 岩心采取率可达95%, 并可获得定向岩心. 在裂隙统计方面, 应用赤平极射投影和概率理论, 使其分析方法日趋完善. 在岩体力学试验中, 是进行大型现场试验还是室内小块试件的试验, 有不同的看法. 一般认为, 大型现场力学试验能够得到较好的试验成果, 但费用

高,时间长,试验数量有限,因此在成果应用上仍有它的局限性.也有人认为,应多采用室内小块试验,通过大量取样,根据试验成果,结合地质条件分析,仍然可以获得比较可靠的数据,有它的应用价值.我们认为,这两种试验都是可取的,关键要根据岩体结构的特性而定,如整体结构,可以采用室内试验方法研究它的力学强度,若是松散结构,以现场试验为好.更应注意的是,无论室内或现场试验,都必须密切结合地质条件进行分析,才能收到较好的效果.

现在国际上对边坡加固和爆破减震问题极为重视,经过试验对比,认为边坡加固和采取减震措施可以大大提高边坡角,并收到较大的经济效果.而我国的边坡设计很少在这方面进行经济对比,这一点是应当改进的,应向现代技术方向努力.

关于边坡岩体稳定性的具体研究内容,可概括为工程实践和基础理论两个方面.

1.工程实践方面,研究的主要内容包括:(1)为了收集第一性地质资料,需要研究工程地质测绘及其制图方法;(2)为取得边坡岩体的强度参数,需要进行室内外的岩体力学试验;(3)为进行边坡稳定性评价和设计稳定坡角,需要研究计算方法,并进行综合分析、评价;(4)为增强边坡稳定性和提高边坡角,需要研究边坡加固措施;(5)在施工工艺方面,需要研究爆破减震问题;(6)为预报边坡变形或破坏,需要进行边坡的长期观测等.

2.基础理论方面,研究的主要内容包括:(1)根据地质力学原理,研究区域构造应力场及地应力对边坡岩体的作用;(2)根据工程地质观点,研究边坡岩体结构的组合规律,成因类型;(3)应用岩体力学理论,研究岩体强度及其边坡岩体变形破坏机制;(4)为了预报边坡稳定性,需要研究边坡变形破坏的时间效应问题.这些基本理论研究,都不是单一学科所能解决的.各种学科相互渗透,相互结合,进行综合性的理论研究,才是今后努力的方向.

总之,边坡岩体稳定性的研究工作,涉及很多学科及应用技术,需要多种科学技术人员的相互协作,密切结合,才能全面地解决边坡工程实践中出现的各种问题.

本书是作者多年从事边坡稳定性研究的总结.本书在写作过程中,得到研究室许多同志的大力支持和帮助,李毓瑞同志对全书的内容进行了详细的审阅,并对个别作者的编写内容作了重新编写.陈爱华同志为本书绘制了全部图件,植字由沈晓冬和孙桂梅等同志完成.在此表示衷心的感谢.

作 者

1986年10月8日



2. 层状结构边坡



4. 散体结构边坡



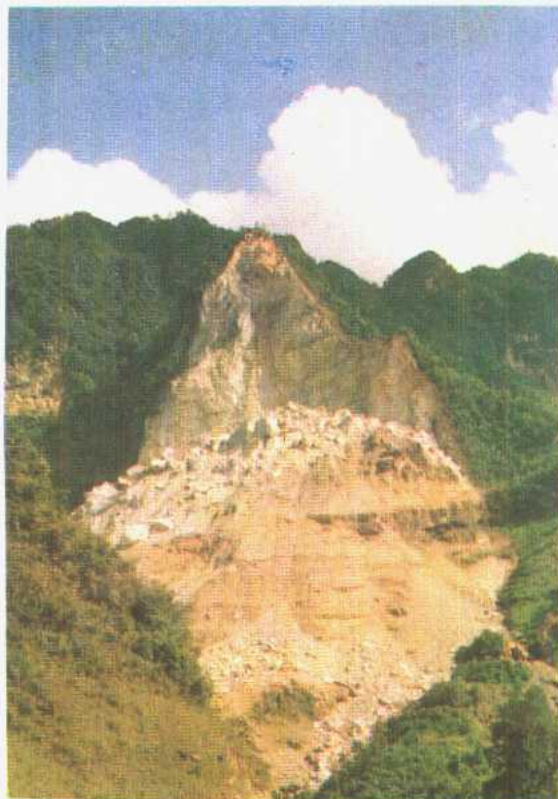
1. 块状结构边坡



3. 碎裂结构边坡



5. 金川露天矿采场边坡



6. 盐池河山体破坏后的形态



7. 白灰厂滑坡全景

目 录

前 言

第一章 岩体结构	1
一、岩体结构的概念	1
(一) 岩体结构在地学中的涵义	1
(二) 结构面的研究	3
(三) 结构体的研究	11
二、工程地质岩组	12
(一) 工程地质岩组划分的依据和原则	13
(二) 工程地质岩组划分实例	13
三、构造断裂组合	18
(一) 构造断裂的基本类型和形成	19
(二) 断裂构造组合	21
(三) 构造结构面发育的基本规律	21
四、边坡岩体结构的基本类型	25
(一) 块状结构类型的边坡	26
(二) 层状结构类型的边坡	26
(三) 碎裂结构类型的边坡	27
(四) 散体结构类型的边坡	27
第二章 边坡工程地质测绘的基本问题	30
一、露天矿边坡工程地质测绘的阶段性	30
(一) 问题的提出	30
(二) 阶段的划分	31
二、露天矿边坡工程地质测绘的主要任务和测绘工作的主要内容	35
(一) 预测可能出现的边坡变形破坏形式	36
(二) 边坡工程地质测绘的主要内容	37
三、边坡工程地质勘探的特点	39
(一) 地层、岩性的勘探特点	39
(二) 构造断裂的勘探特点	39
(三) 地下水的勘探特点	40
(四) 岩体风化特性的勘探特点	40
四、边坡工程地质图的编绘	43
(一) 工程地质分区的原则	43
(二) 工程地质图的编绘	43
(三) 工程地质图的编制实例	44
五、岩体结构图的编绘	50
(一) 编制岩体结构图的目的和意义	50

(二) 岩体结构图的编制方法	50
(三) 赤平极射投影的基本原理	50
(四) 实体比例投影	55
(五) 边坡岩体结构图实例	60
第三章 边坡岩体变形破坏的地质模型	71
一、金川地质模型	73
(一) 地质条件及边坡变形的发展过程	74
(二) 金川地质模型的经验	78
二、盐池河地质模型	78
三、葛洲坝地质模型	83
(一) 葛洲坝基坑边坡变形特征及其地质条件	84
(二) 葛洲坝地质模型的经验	87
四、白灰厂地质模型	87
(一) 白灰厂的滑坡过程	88
(二) 白灰厂地质模型的主要特征	90
五、塘岩光地质模型	91
(一) 滑坡发生过程	92
(二) 塘岩光滑坡地质模型的主要特征	93
六、总结	94
第四章 岩体强度参数的确定	97
一、岩体力学试验准则	97
(一) 模拟边坡工程区的岩体状态	97
(二) 判断边坡变形的破坏方式	99
(三) 试验资料分析与地质背景相结合	99
二、岩体力学试验方案的制定	100
(一) 确定试验的位置	100
(二) 试验的主要内容	102
(三) 现场原位试验与室内试验	103
三、影响岩体力学性质的几个主要地质因素	104
(一) 岩石性质对岩体力学性质的影响	104
(二) 结构面的自然特性对力学强度的影响	105
(三) 岩体结构对力学强度的影响	110
四、岩体及结构面强度参数参考表	113
(一) 岩体强度参数参考表	113
(二) 结构面强度指标参考表	118
第五章 边坡岩体稳定性分析	122
一、赤平极射投影求解空间课题的基本方法	123
(一) 力的基本概念及其投影	123
(二) 空间共点力系的合成	133
(三) 空间共点力系的分解	140
二、岩体结构分析	148

(一) 边坡破坏类型及其判断	148
(二) 滑动方向的分析	149
(三) 稳定坡角的推断	151
(四) 边坡岩体结构稳定性的判断	162
三、块体稳定分析	165
(一) 楔形体稳定分析	165
(二) 由三个滑面组成的块体稳定分析	174
(三) 有水条件下楔形体的稳定分析	179
四、有限单元分析及其在边坡稳定分析中的应用	180
(一) 弹性力学平面问题有限单元分析	180
(二) 弹性力学空间问题有限单元分析	182
(三) 边坡有限单元计算中的岩石力学问题	183
(四) 有限单元分析的精度及收敛条件	190
(五) 有限单元在边坡工程中的应用	192
(六) 工程实例	199
五、工程地质对比分析	213
第六章 露天边坡设计	218
一、建立新的边坡设计思想	218
二、露天边坡设计的一些基本概念	219
(一) 露天矿场构成要素	220
(二) 露天开采境界	221
(三) 剥采比	221
三、露天采场边坡的形状	223
(一) 露天矿边坡垂直断面的形状	224
(二) 露天矿采场的平面形状	225
四、边坡安全系数	228
(一) 边坡安全系数的概念	228
(二) 边坡安全系数随时间的变化	230
(三) 边坡安全系数的确定	233
五、边坡加固	234
(一) 边坡加固设计的新概念	234
(二) 露天边坡加固技术	236
(三) 几种边坡加固方法	238
六、爆破减震	245
(一) 爆破作用对边坡稳定性的影响	246
(二) 减震爆破方法	247
七、边坡变形监测	251
(一) 边坡监测方法	252
(二) 边坡监测资料的应用	254
参考文献	259

第一章 岩体结构

一、岩体结构的概念

“岩体结构”的基本概念，孙玉科等早在1965年发表的“岩质边坡稳定性的工程地质研究”一文中已论述过，此后其内容逐步得到充实，谷德振（1979）所著的《岩体工程地质力学基础》一书对此作了比较全面的论述。目前，这一术语在岩体力学和工程地质实践工作中都得到广泛的应用。从某种意义上讲，岩体结构概念的提出，对推动岩体稳定性问题的研究，起了很大的作用。

（一）岩体结构在地学中的涵义

“结构”在自然科学中是常用的术语。由于学科的不同或研究对象的不同，“结构”的概念也有各自的涵义，如电子结构、原子结构、分子结构等等。在地学中，由于我们的视域不同或所研究的对象不同，“结构”这一术语也有不同的涵义。从以地球作为研究对象开始，不断地缩小视域，可有以下几种结构类型。

（1）地球结构 它是由三个不连续的界面和三种状态的物质所组成的。地壳和地幔之间的界面称为莫霍界面；地幔和地核之间的界面称为古登堡界面；内地核和外地核之间的界面称为雷曼界面（见图1.1）。

（2）地壳结构 陆壳上部除表面为很薄的沉积岩层和沉积变质岩层外，绝大部分是花岗岩。故其矿物化学成分以硅和铝为主，统称硅铝层。硅铝层下面的岩层，绝大部分是玄武岩，由硅、镁、铁等元素为主的矿物组成，统称硅镁层。洋壳除了上面为未固结的海洋沉积物外，其下几乎全是玄武岩，由硅镁层组成（见图1.2）。

（3）区域地质结构 陆壳及山系通常由沉

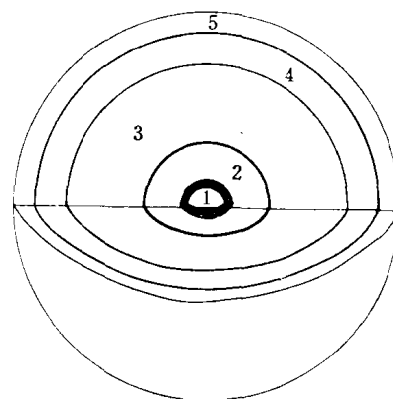


图1.1 地球结构示意图
1. 内地核；2. 外地核；3. 下地幔；
4. 上地幔；5. 岩石圈

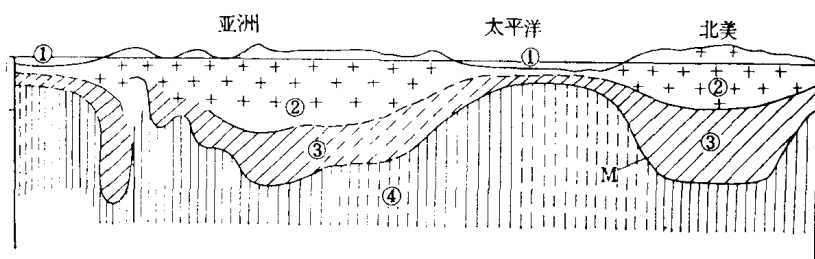


图1.2 大陆和大洋的地壳结构示意图
①海水；②花岗岩；③玄武岩；④上地幔；M. 莫霍面

积岩、火成岩和变质岩所组成。由于地壳运动的作用，在岩层中形成各种不整合面以及各种规模的断裂（见图1.3）。如果按李四光教授的地质力学观点研究陆壳某一部分的

山系地质结构特征，则称为构造体系，如山字型构造、多字型构造等等。

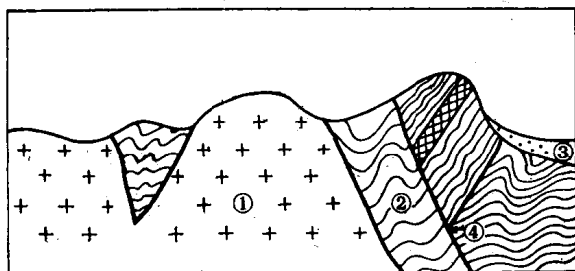


图1.3 区域地质结构

①花岗岩体；②沉积岩褶皱；③第四纪沉积层；④断层

的碎屑结构；浮岩的多孔状结构；片麻岩的带状结构；片岩的片状结构等等。

(4) 岩石结构 它主要反映组成岩石的矿物颗粒的大小及它们的排列状态。如花岗岩，按颗粒的大小可分为：粗粒结构、中粒结构、细粒结构和微粒结构（见图1.4）。又如玢岩的斑状结构；砾岩

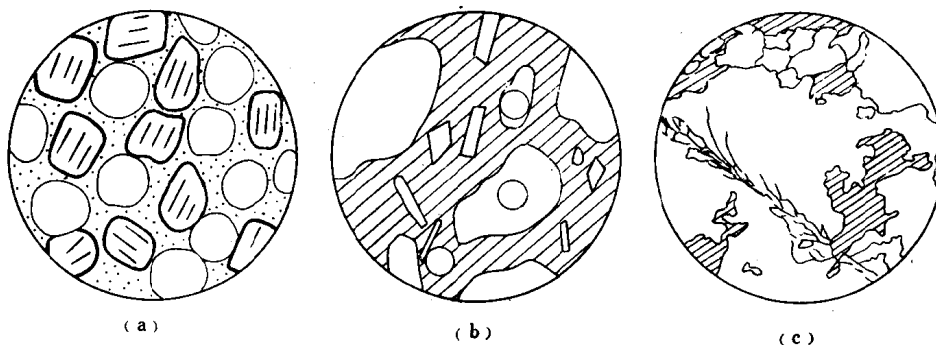


图1.4 岩石结构

(a) 沉积岩（碎屑等粒结构）；(b) 火成岩（不等粒结构）；
(c) 变质岩（石英砾岩，砂粒状结构）

(5) 晶体结构 即晶体的内部质点在三维空间上有规则地周期性重复排列而构成格子状的组合。如石盐（NaCl）晶体结构（图1.5）是由一些大球（代表 Cl^- 离子）和小球（代表 Na^+ 离子）所堆成的立方体小块。沿着这个立方体小块的棱的方向， Cl^- 离子和 Na^+ 离子以相等的间隔交替排列。当它们受力后都有规则地沿着三个相互垂直的平面方向发生破裂。

以上可以看到，从宏观的地球结构到微观的晶体结构，都展示出不同尺度上或不同视域范围内的结构形态。在工程地质学中所研究的主要对象，是介于区域地质结构和岩石结构之间的结构形态，我们称之为岩体结构（见图1.6）。每一种结构，在一定的视域中，都有一定的近似的均匀的物质组成，同时，又有一定的界面作为物质的边界。正是这种界面确定了空间的结构形式。由此，我们可以给出岩体结构的定义。岩体结构是由两个要素，即结构面与结构体，在一定的地质条件下共同组合的一种地质结构形式。结构面是泛指岩体中的节理、裂隙、断层等等，结构体是岩体被结构面切割后形成的单元岩块。自然界中所存在的岩体都有其一定的岩石组合型式，因此，岩体结构是一种客观实体，是岩体自然特性的反映。

岩石和岩体是有本质区别的。岩石的性质比较单一，对它的研究也是比较成熟的。

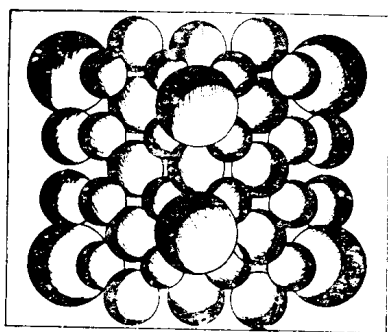


图1.5 晶体结构示意图

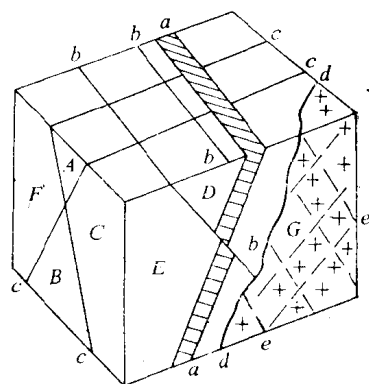


图1.6 岩体结构示意图

岩体由各种各样的岩石所组成，因此，岩体在物质组成上比岩石要复杂得多。岩体的最大特点是多裂隙性。所以，目前国内外都称之为多裂隙岩体。这一特点，决定了在特性上岩体与岩石比较是有极大区别的。岩石与岩体，它们在物质组成、结构、孔隙率、完整性、均质性、各向异性、连续性、坚强性、应力应变性能、破坏机理、水文地质特性等方面均有显著区别（详见表1.1）。岩体的自然特性是评价岩体稳定的基本地质条件。因此，岩体特性的研究已成为工程地质学研究中的重要问题之一。

岩体结构的研究是岩体工程地质力学研究的基础，也是边坡岩体稳定性评价的重要基础。

岩体结构有结构面和结构体两个基本要素。

结构面是指各种不同成因、不同特性的地质界面，如层面、节理面、断层面、裂隙面、不整合接触面等，如图1.6中 aa, bb, cc 及 dd 。

结构体是岩体被结构面切割后形成的单元岩块，如图1.6中 A, B, C, D 等。它们形态不一，大小不等，成分各异。结构体的形状、大小受结构面的组合所控制。

结构面与结构体是一个问题的两个方面。从力学观点来看，结构体可视为岩体的元素质点。岩体的变形，首先决定于元素质点的位移。岩体变形的方向及边界，除与外力作用的方向和大小等有关外，主要是受结构面控制。所以，单一地从结构面或结构体来研究岩体变形性质，都不能取得正确的结果。因此，研究结构体与结构面的工程地质特性都具有重要的意义。

（二）结构面的研究

1. 结构面的类型及其特征

根据结构面的形成条件和成因，通常将其分为三种类型：原生结构面、构造结构面及次生结构面。这种结构面的成因类型是岩体结构研究中最常用的分类形式。

（1）原生结构面 包括所有在成岩阶段所形成的结构面。根据岩石成因不同，可分为沉积结构面、火成结构面及变质结构面三类。

沉积结构面是沉积岩在成岩作用过程中形成的各种地质界面，包括层面、层理、沉积间断面（不整合面、假整合面）及原生软弱夹层等，它们都是层间结构面。这些结构

表 1.1 岩石与岩体的区别
(谷德振, 1979)

类别 特性	岩 石	岩 体	备 注
物质组成	由结晶矿物、非晶质基质、碎屑颗粒、胶结物质分别组合构成不同的岩石。即沉积岩、火成岩、变质岩, 每种岩石组成物质往往是复杂的, 有的却很简单	由一种或一种以上的岩石组合而成, 是岩块的集合体, 即由结构面、结构体共同组成。而结构体可以由一种或多种岩石所组成	
结构	根据成分的不同、矿物颗粒性质的不同, 可以分为: 结晶结构 碎屑结构 生物化学和胶体化学沉积的致密结构 视矿物结晶状态及胶结物质的不同, 其组织结构的牢固程度不同, 一般说来大都结合坚牢密实	岩体的结构类型很多, 根据结构面、结构体性质不同, 大体可以分为: 整体块状结构 层状结构 碎裂结构 散体结构 视结构面特性及其组合规律的不同, 结构体的性质的不同, 各类结构岩体的性能也就迥乎不一	
孔隙(裂隙)率	晶体间、颗粒间的接触情况以及接触空间的充填情况, 决定了岩石孔隙度的大小和连通状况。 除砂砾岩类外, 粘土岩类、碳酸岩类和结晶岩类的孔隙度都是很小的, 而且彼此间往往不能连通。岩石的容重取决于矿物和颗粒的比重和孔隙的大小	岩体的裂隙率取决于其中结构面的多寡、长短、宽窄及充填情况。除柔韧岩石构成的岩体外, 一般裂隙率是较大的。结构面分散指数越高, 彼此切割穿插越显著, 其连通性也就越强。 由于岩体的结构面发育程度和岩石组合的不同, 岩体的容重则有所不同	
完整性	岩石组织结构紧密, 除受构造影响而具备一些隐微裂隙外, 一般完整性好, 不易分散解体。在长期风化作用下, 则失去完整性而呈散体结构	岩体中由于结构面发育程度不同, 结构体的形态、大小也不一样, 其完整性悬殊。特别是III、IV类结构岩体, 完整性差, 易于分散解体, 经常导致工程岩体的失稳	
均质性	从其物质组成、组织结构的情况来看, 绝大多数岩石都是致密均质的, 可视为均质介质	由于岩石组合的不同, 结构面的发育程度和性质的不同, 结构体的形态和大小不一, 软硬不同, 导致岩体明显的不均质性	

续表1.1

类别 特性	岩 石		备 注
各 向 异 性	层状岩石在沉积和变质过程中, 由于重力及动力的影响不同, 它的物理力学性质在不同方向上具各向异性的特点。同一层面内则显各向同性, 一般块状岩石则视为各向同性体	无论组成岩体的岩石组合状况如何, 由于结构面方位不同, 发育程度不同, 充填情况不一, 岩体具有明显的各向异性。加上岩性的不均一性和地下水的不同赋存条件, 使岩体的各向异性更加突出	
连 续 性	矿物颗粒一般接触紧密, 其间空隙充填胶结良好, 可以认为是连续介质	多裂隙岩体由于各式各样结构面发育, 在力的传递过程中往往产生应力重分布, 弹性波的传播过程中往往产生复杂的绕射、折射和反射现象。属不连续介质	
强 度 特 性	视矿物晶体组合、颗粒胶结性状及结合力而定。由于矿物及颗粒的形态不同、大小不一, 结构面不规则, 彼此咬合很紧, 成岩作用时间较长, 一般都是致密坚强的。岩石的坚强性可由其强度而定, 凡强度高的弹模亦高, 脆性明显。 总的看来, 岩石强度由微小结构起控制作用。岩石的整体强度较为均一, 但在许多层状岩层中表现为各向异性	岩体强度主要受软弱结构面及岩石组合所控制。软弱结构面不仅具明显压缩性, 易于变形, 而且抗剪强度低, 也很难承受拉力。岩体失稳, 无需达到结构体的强度即破坏。当岩体中软弱结构面的组合复杂时, 结构体自由度大 (即岩体破碎), 岩体的坚强性就差。岩体越完整, 结构体强度越能发挥作用。 由于结构面、结构体的特性不同, 岩体的整体强度悬殊很大, 具明显的强度不均一性	关于在岩体变形、破坏过程中, 结构面、结构体的力学效应需进一步加以研究
应 力 应 变 性 能	岩石种类繁多, 有坚强硬脆的弹性体, 有软弱柔韧的具显著流变特性的塑性体。由于介质性质的不同, 受力后虽都由弹性变形经塑性变形最后达到极限而破坏, 但所经阶段的持续时间是不一样的。它们的应力-应变曲线各有其独特的规律	多裂隙岩体视其组成的结构面和结构体特性的不同, 其应力-应变关系有很大差别。一般视为弹塑性体, 受力后最早出现的是结构面的压密阶段, 然后进入弹性阶段, 再经塑性变形, 最后达极限而破裂。由于岩体结构复杂, 其应力-应变曲线往往是不规则的	岩体应力-应变的过程是十分复杂的, 当前都很重视峰值强度后的残余强度的特性

续表1.1

类别 特性	岩 石	体	备 注
破 坏 机 理	岩石的矿物之间或颗粒之间的接触,以及构造作用所致的隐蔽裂隙,一般都是规模较小的往往是缝合折线型,结合较牢。在围压状态下基本上是剪切破坏,在单轴压力下,也可以剪切破坏为主,有时出现张性开裂,往往在隐蔽裂隙两端出现脆性张破裂	多裂隙岩体受压后往往有显著的压缩变形,破坏时基本上沿其中软弱结构面,尤其是处于优越方位的软弱结构面首先破坏。当结构体强度低于结构面强度时,结构体才有先破坏的可能,但少见。多裂隙岩体是无拉伸材料,受拉极易开裂	大量试验证明库伦-莫尔理论基本是合理的,但限于岩体的不连续性,其强度理论尚需进一步讨论
水 文 地 质 特 性	岩石中为孔隙水,渗透性小,有的岩石不含水或富水性差,成岩作用差的碎屑岩则具有较多的孔隙水,呈层状分布,往往沿层面溢出,特别是与隔水岩层接触的层面。溢出方式大部分为渗水滴水。根据其水文地质结构特征,有的含水层具承压特点	岩体中的地下水类型有孔隙-裂隙水、裂隙水、裂隙-岩溶水、岩溶水等。岩体的透水性及富水性,取决于岩体中结构面发育程度及充填情况,岩体中地下水分布是不均一的,按其赋存条件有脉状水、管状水、带状水,岩溶地区还有地下暗河系统。地下水文网常与构造网络相一致 按水文地质结构则有潜水与承压水之分,溢出方式有渗水、滴水、流水及喷水等	
渗 压 特 性	由于孔隙连通性不良,渗透性能一般微弱,有的基本不透水,加之矿物及颗粒之间的紧密结合。所以岩石的渗透压力不明显,可忽略不计	裂隙水及岩溶水有各自的水动力条件,由于分布的不均一性及赋存条件的不同,往往形成较大的水头差,因而酿成显著的渗透压力。沿大断裂的影响带,常为水的深循环带,还可能出现高温上升的渗透压力	裂隙岩体中,裂隙发育是不均一的,特别是软硬相间岩石组合的特点,裂隙发育就有更大的差异性,往往不能形成统一含水体系,应注意水文地质结构

面的特征能反映出沉积环境,标志着沉积岩的成层条件和岩性岩相的变化,如海相沉积,其结构面延展性强,分布稳定;陆相及滨海相沉积易于尖灭,形成透镜体、扁豆体。沉积结构面的产状与岩层一致,一般层面结合良好,只有风化后,才会沿层面剥离。沉积结构面的层面特征最为典型多样,如常见的有泥裂、波痕、交错层理、缝合线等。在沉积间断面中,还常见有古风化残积物。原生软弱夹层是指在相对坚硬岩层(如

石灰岩、砂岩等)中夹有相对软弱的物质成分(如页岩、粘土岩等),它们在沉积过程中就形成了这种结构特点。这种层间软弱物质在后期构造运动及地下水作用下,极易软化、泥化,使岩体强度大大降低。

火成结构面为岩浆侵入、喷溢冷凝所形成的各种结构面,如流层、流线、火山岩流接触面、各种蚀变带、挤压破碎带以及原生节理等。这些结构面的产状受侵入岩体与围岩接触面所控制。接触面一般延伸较远,原生节理延展性不强,但它们往往密集。原生节理常常是平行或垂直接触面的,节理面粗糙,较不平整。在浅成岩体或火山岩体内常发育有特殊的节理及柱状节理。节理面间有时充填软弱物质。蚀变带和挤压破碎带是岩体中薄弱的部位,在稳定分析中应予以注意。

变质结构面为岩体在变质作用过程中所形成的结构面,如片理、片麻理、板理及软弱夹层等。变质结构面的产状与岩层基本一致,延展性较差,但它们一般分布密集。片理结构面是变质结构面中最常见的,其面常常是光滑的,但形态呈波浪状。片麻理面常呈凹凸不平状,结构面也比较粗糙。变质岩中的软弱夹层主要是片状矿物,如黑云母、绿泥石、滑石等的富集带,其抗剪强度低,遇水后性质就更差。

(2) 构造结构面 各类岩体在构造运动作用下形成的各种结构面,如劈理、节理、断层、层间错动面等。节理面在走向延展及纵深发展上,其范围都是有限的,大者一般不过上百米,小者仅有几厘米长。张节理一般面粗糙,参差不齐,宽窄不一,延展性较差。剪节理一般平直光滑,延展性相对较好,节理面上常见有擦痕和各种泥质薄膜,如高岭石、绿泥石、滑石等,因此,剪节理面尽管接触紧密,但却易于滑动。断层面的规模相差比较悬殊,有的深切岩石圈几十公里,有的仅限于地壳表层或只在地表数十米。但是,相对工程而言,断层面一般是延展性较好的结构面。断层面(或带)的物质成分主要是构造岩,如断层泥、糜棱岩、角砾岩、压碎岩等。层间错动带是在层状岩体中常见的一种构造结构面。其产状一般与岩层一致。延展性较好。结构面中的物质,因受构造错动的影响,多呈破碎状、鳞片状,且含泥质物。

(3) 次生结构面 在地表条件下,由于外力(如风化、地下水、卸荷、爆破等)的作用而形成的各种界面,如卸荷裂隙、爆破裂隙、风化裂隙、风化夹层及泥化夹层等。卸荷裂隙常发生在岩体有临空面条件的地区,特别是在深切河谷处,延展性不好,常在地表20—40m内发育,裂隙面粗糙不平,常为张开型,充填物多为泥质碎屑。爆破裂隙是矿山工程中常见的一种次生结构面。由于矿山开采所需,在岩体内经常进行大、中、小型的爆破,这就导致岩体沿已有结构面产生裂缝。爆破裂隙的延展与分布视所在地区岩体特性及爆破力的大小而异。一般爆破裂隙的延展范围是有限的,而多呈一组相互平行的、弧状的裂隙面分布。风化裂隙及风化夹层一般是沿原生夹层和原有结构面发育,多是短小密集,延展性差,仅限于地表一定深度。泥化夹层是由于水的作用使夹层内的松软物质泥化而成,其产状与岩层基本一致,泥化程度视地下水作用条件而异。泥化夹层一般都是强度很低的,它们是导致边坡岩体失稳破坏的常见因素。

上述几种结构面的类型及其主要特征见表1.2。

2. 结构面的分级

结构面的发育程度、规模大小、组合形式等是决定结构体的形状、方位和大小,控