



YANTI LIXUE YU GONGCHENG

岩体力学与工程

谢强 赵文 主编 程谦恭 主审



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

研究生教育精品教材——土木工程

岩体力学与工程

谢 强 赵 文 主编
程谦恭 主审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书从工程应用的角度,介绍岩体力学与岩体工程的概念、岩石力学基本理论、结构面研究方法、岩体变形与强度、岩体测试试验及分析、岩体工程设计、岩体工程问题等相关内容。本书可供具有一定地质学基础和岩石力学基础的读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩体力学与工程 / 谢强, 赵文主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2011.7

研究生教育精品教材. 土木工程

ISBN 978-7-5643-1065-3

I. ①岩… II. ①谢… ②赵… III. ①岩石力学—研究生—教材 IV. ①TU45

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第016962号

研究生教育精品教材——土木工程

岩体力学与工程

谢强 赵文 主编

*

责任编辑 张波

特邀编辑 杨勇

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 170 mm × 230 mm 印张: 21.75

字数: 389千字

2011年7月第1版 2011年7月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-1065-3

定价: 39.50元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是以具备一定的地质学知识并学习过岩石力学基础课程的地质工程、土木(岩土)工程及相关专业的研究生为对象编写的。因此,有关岩石的物理水理力学性质、岩石的变形与强度、岩石强度理论、地应力、岩石边坡、地下硐室、岩石地基应力计算等相关知识,除必要者外,不再编入本书。

如何编写一本研究生用的教材,特别是像岩体力学这样一门仍不算成熟的学科的教材,是编者较为困惑的问题。编者根据在岩体力学前辈指导下学习的体会和涉足研究生教育的思考,认为研究生阶段的学习应该是尽可能地扩大文献的阅读,了解不同的学术思想,启发自己的思考和探索,尽可能地学习掌握专业特有的认识问题、分析问题、解决问题的方法。因此,本书试图按此想法组织编写,而不求做到内容成熟、叙述详尽、面面俱到。

目前仅国内出版的岩体力学教材已多达数十种。本书试图从与普通本科教材有所衔接并突出工程应用的角度去编写。前者,以“含结构面的岩体”为主的内容与本科“完整岩石”为主的内容相区别;后者,则按工程应用的要求,依照观点、方法、基本理论、试验测试计算手段、典型工程举例分析的线索展开。

本书的编写仅仅是一种尝试。限于编者学术水平和工程实践经验,不管对本书理论体系的把握还是对内容的理解都难免有一定缺陷或疏漏之处,恳请读者不吝指正。

本书由西南交通大学谢强、赵文主编,程谦恭主审。编写人员分工如下:西南交大谢强编写第1章,谢强、胡熠编写第6章,赵文编写第2、3、5章及第7章的第1、2、3节,西华大学李娅编写第4章,西南交大郭永春编写第7章第4、5节,文江泉编写第7章第6节。全书由谢强、赵文统稿。西南交大郑立宁、冯治国提供了部分素材、绘制了部分图件并参加校改书稿,西南交大李春花、徐飞飞、赵阳、渠孟飞、柳堰龙、郭清石等研究生绘制了部分图件。

本书的编写,引用和参考了国内外众多作者的学术著作和研究成果。这些著作和成果尽量在每章的末尾以参考文献列出,不再在文字叙述和图表说明中逐一标明,在此特致谢意。

本书得到西南交通大学“研究生特色教材建设专项经费”和“中央高校基本科研业务费专项资金(SWJTU09CX014)”资助。

编者

2010年10月

目 录

1 岩体力学与岩体工程	1
1.1 岩体、岩体力学、岩体工程	1
1.2 岩体力学理论发展简要回顾	13
参考文献	15
2 岩石力学基本理论	17
2.1 岩石力学基础理论	17
2.2 岩石的流变	26
2.3 岩石动力学	42
2.4 裂隙岩体水力学	54
2.5 其他理论	68
参考文献	84
3 结构面研究方法	89
3.1 结构面的定量描述	89
3.2 结构面的力学效应	97
3.3 结构面网络模拟技术	113
参考文献	129
4 岩体变形与强度	132
4.1 岩体的变形	132
4.2 岩体的强度特征	138
4.3 岩体的强度判据	141
参考文献	146

5 岩体测试试验及分析	148
5.1 岩体参数测试	148
5.2 天然应力测试	153
5.3 岩体地球物理测试方法	164
5.4 岩体工程模型试验	170
5.5 岩体力学分析方法	188
参考文献	227
6 岩体工程设计方法	230
6.1 边坡支挡工程	230
6.2 围岩支护工程	239
6.3 地基加固工程	241
参考文献	243
7 岩体工程问题	244
7.1 顺层边坡	244
7.2 桥基荷载作用下的峡谷岸坡	264
7.3 高速岩质滑坡	280
7.4 软弱岩体	294
7.5 地下空洞	308
7.6 膨胀岩	324
参考文献	335

1

岩体力学与岩体工程

1.1 岩体、岩体力学、岩体工程

1.1.1 岩体

岩体是地质历史中形成并演化、处于复杂地质环境下，由结构面和结构体所构成的天然地质体。

1. 岩体是地质历史的产物

岩体是地质历史的产物，是地球内力地质作用和外力地质作用对地表岩石圈共同孕育和改造的结果。从地质历史的角度看，岩体具有形成（孕育）—发展（成长）—稳定（成熟）—新构造建造（消亡）的生长发育规律，它是有“生命”的。

形成（孕育）期是岩体所赋存的区域地质构造格局环境形成的时期，它决定岩体最基本的物质组成和地质构造格局。

从工程应用的观点看，分析岩体形成期特征，主要解决三个基本问题：物质组成、工程岩体边界以及原始区域应力场特征及其配套的区域构造体系。

岩体的物质组成决定“材料”的力学性质。显然，不同成因的岩石材料，其基本力学特征不尽相同，特别是细观组构决定的力学性质的差异。同时，由于物质组成的差异，岩体呈现出非均质和各向异性的力学特征。

新近建成的石家庄—太原铁路客运专线，在晋冀交界处以长达 28 km 的隧道穿越太行山脉，隧道最大埋深 350 m，穿越地层主要为一套奥陶系的含膏角砾岩，其性质极为破碎，极易坍塌变形，这种物质组成决定了工程建设的难度。

提到工程岩体，必然有一个“尺度”的概念蕴含其中。通常的观点，工

工程岩体是指人类工程开挖引起岩体原有应力特征发生变化的那个范围内的岩体。但实际上，影响工程岩体稳定性的地质构造边界才是工程岩体的边界。最典型的例子就是“安全岛”的概念。

基本地质构造格局是一个地区最基础的地质构造特征。它决定了该区域主要构造线的走向和配套、最初地应力场方向和强度，也奠定了后期山脉水系展布规律。这些特征，影响到工程的布置（比如长大交通隧道尽量垂直构造线穿越、河谷线路走向应避免顺层岩体等）和工程岩体稳定性计算中边界的应力场状态。

正在修建的大理—瑞丽铁路在保山平坡村古霁虹桥遗址附近跨越澜沧江。受澜沧江断裂带影响，桥址处断层发育（图 1-1-1），最后确定的桥位处于三条断层包围的稳定岩体内，为一安全岛。

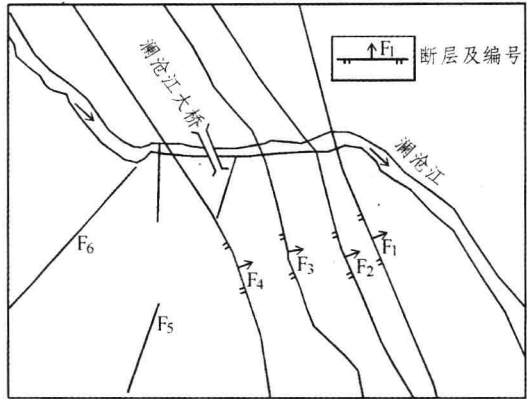


图 1-1-1 澜沧江铁路大桥桥址断裂构造

石太客专铁路太原附近，铁路以大桥跨越 314 省道（公路）所在峡谷，受区域构造控制，桥址位于向斜一翼，大桥太原端边坡岩体呈顺层状态。图 1-1-2 示意中生代燕山期形成的区域构造格局。可以看出地质构造对边坡岩体的控制作用。

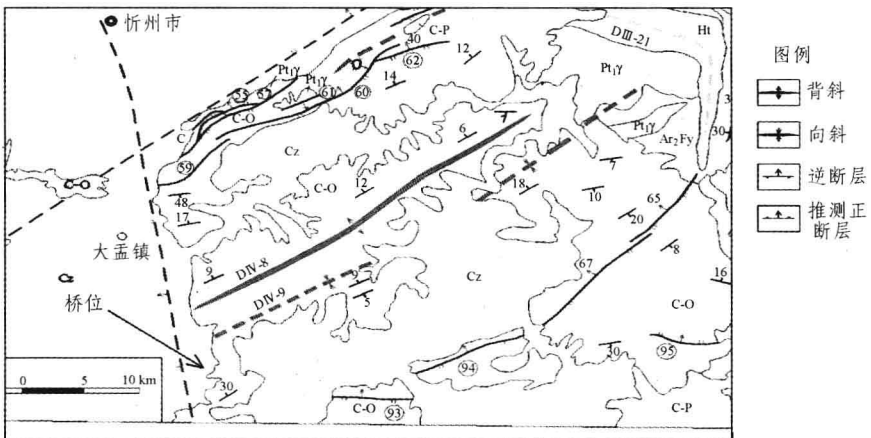


图 1-1-2 山西阳曲范庄附近区域地质构造略图

发展（成长）期是新构造运动的作用和现代外营力作用对岩体“雕刻”和“改造”的时期，该时期的岩体总体来说还处在变动演化阶段，一般是欠稳定或不稳定的。

发展期的岩体在地质上主要有四种状态：活动性断裂影响（包括高烈度区）、地壳上升形成深切峡谷、不良地质（地质灾害）发育、岩浆活动地热异常。这些现象有时单独出现，有时同时存在。

由于发展期的岩体处于动态变化过程中，其岩体工程稳定性的分析必须高度重视。实际上，发展期岩体稳定性分析最难，并常常被人们所忽略。大部分没有多少地质背景的岩土工程师很少有“区域稳定”的概念，在这种情况下，他们做出的计算分析先天不足；而没有多少工程知识的地质人员，较少用简明清晰的描述表达地质过程对具体工程的影响，容易给人“隔靴搔痒”的感觉，有时难以将正确的意见融入工程岩体稳定性分析，并充分体现在具体的工程设计之中。

如果说形成期形成的基本地质环境通常由普通的地质勘察就可以查清，那么，发展期的岩体地质特征通常要经过深入细致的专门工作才能了解清楚。对活动性断裂等强烈内力作用的了解、评价与预测，现在一般都通过专门机构的“地震安全性评价”进行。

基本地震烈度基础之上的区域稳定性状态，大都由现场调查分析得出结论。

发展期岩体最基本的特征是变化。比如深切河谷谷底的堆积物、陡岸峭壁上新近崩塌、卸荷裂隙松动岩体的发育、岩溶侵蚀基准面的变化、坑道开挖中的岩爆、软岩围岩收敛变形、区域滑坡、泥石流发育等。

对工程岩体稳定性分析而言，发展期岩体的概念主要在两个方面产生影响：天然应力状态和计算结果的预估。前者要通过地质构造分析确定现代地应力场的方向，甚至通过实测了解现代地应力场的强度。后者影响到参数计算时偏于安全的取值并留足安全储备，以及是否需要加强工程措施。

以石太客运专线 314 省道峡谷边坡为例。图 1-1-3 示意形成期后地质构造格局的变化，图中数字为构造序次，包括新构造运动形成的近东西向的拉张、地壳差异升降致使原分水岭西移、河流袭夺、先期节理被拉开充填、次一级褶皱的形成等。由此，判定边坡岩体的稳定性趋势较差，虽然目前处于弱稳定状态，仍应进行加固处理。

另一个工程实例是四川大邑的西岭雪山公路隧道。由于靠近龙门山活动断裂带，其地震烈度较高，隧道进口部分经过断层破碎带，同时又处于背斜转折端（图 1-1-4），加之所在红层具有相当强的膨胀性。加固处理时，在原有衬砌的基础上，采用了两层钢拱架加锚杆并挂网喷射钢纤维混凝土的超强支护措施。

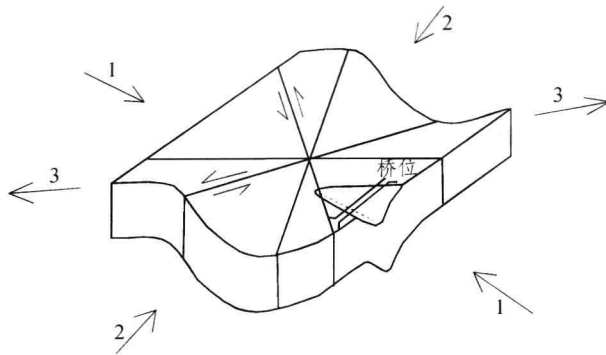


图 1-1-3 山西阳曲范庄附近区域地质构造立体示意图

1—燕山早期；2—燕山后期；3—喜山期

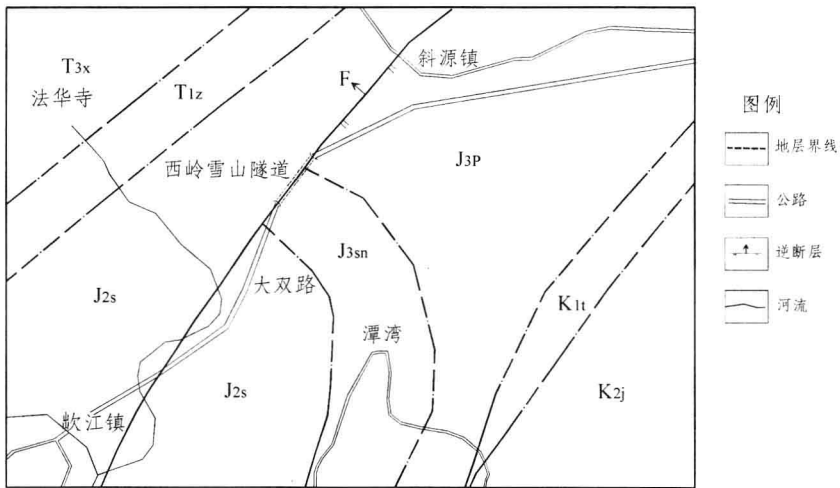


图 1-1-4 四川大邑西岭雪山隧道区地质构造

稳定（成熟）期是新构造运动和外力作用都相对平静的时期，岩体处于相对稳定状态。该时期的地质特征是没有晚近以来形成的构造形迹，地震烈度低于 VI 度，在野外观察，岩体相对完整，较少区域性不良地质发育。

稳定期岩体的分析，可以不考虑区域构造的影响，但工程岩体边界的划定应根据构造布局确定。在岩体工程分析中，岩体的稳定性主要由其基本力学性质和工程荷载决定，一般不用或用很少的工程防护加固措施。

消亡期是新一轮区域构造体系的重建时期，岩体卷入到大规模、区域性破坏变化之中，也是新岩体孕育的开始。这种地质构造强烈变动区域，强震频发，一般是不适合进行工程建设的。

岩体是自然地质历史的产物，岩体的孕育、发展、变化是自然规律控制的结果，人们应立足于“利用”岩体，进行有限的、顺其自然的“改变”。

2. 岩体是被结构面所切割的

岩体是地质历史的产物，在其形成和发展过程中，由于内外力地质作用的影响，具有大量不同序次的破裂面。因此从介质的组构及其空间展布看，岩体是完整岩石块体与分离切割它的裂开面的总和。根据我国的岩体结构理论，完整岩石块体称为结构体（也称完整岩石、块体），分离切割岩块体的面称为结构面（也称裂面、不连续面），结构体和结构面的组合称为岩体结构。

根据结构面的地质成因，结构面分为原生结构面、构造结构面和次生结构面。

原生结构面是岩石形成时形成的，如岩浆岩中的原生冷凝节理（柱状节理）、岩浆岩与围岩接触面、流面等，沉积岩中的层理、不整合面、软弱夹层等，以及变质岩中的片理等。

构造结构面是成岩后在地质构造作用下形成的破坏面，如断层、节理、劈理、层间错动等。

次生结构面主要指成岩后在外力地质作用下形成的破裂面，如卸荷裂隙、风化裂隙等。

结构面的上述划分是基于地质学较严密的定义划分。在岩土工程界，并没有进行如此严格的区分，且术语也不完全统一。通常国际上将结构面统称节理（joints）或不连续面（discontinuous plane）。当岩体的变形破坏主要受节理（构造节理）控制时，这类岩体也称节理（化）岩体（jointed rock mass）。

由于结构面成因不同，其规模也不同。在我国，按结构面的规模及其对岩体力学性质的影响，把结构面分成五级。

I级结构面 结构面延伸长，一般几公里至几十公里以上，构成对区域构造起控制作用的断裂带，它包括大小构造单元接壤的深大断裂带，是地壳或区域巨型地质结构面。如较大的断层，其破碎带宽达数米至数十米，它的存在直接关系到工程所在区域的稳定性。

II级结构面 一般指延展性较强而宽度较窄的地质界面，如不整合面、假整合面、原生软弱夹层；亦包括延伸数百米以上，宽度1m左右至数米，一般贯穿整个工程区域或某一具体部位的断层、层间错动、接触破碎带、风化夹层等。这类结构面控制了山体稳定性和岩体稳定性，影响着工程的布局。

III级结构面 延伸长度短，一般十多米、数十米左右或更长些的断层、挤压或接触破碎带、风化夹层、软弱夹层、层间错动、开裂的层面等，其宽

度多在 1 m 以下。这类结构面往往是岩体稳定分析的边界。

Ⅳ级结构面 延伸短, 无论走向方向还是纵深方向上的发展, 均是很有有限的, 一般数米至二三十米, 无明显宽度, 多未错动, 不夹泥。如节理、劈理、层面、次生裂隙等。不仅破坏了岩体的完整性, 直接影响到岩体的力学性质和应力分布状态, 而且在很大程度上决定着岩体的破坏形式。这类结构面是决定岩体力学性质、岩体结构效应的基础。

V级结构面 是指结构面微小, 且连续性差的小节理、隐节理、不发育的片理、微层理和隐微裂隙等。这种结构面决定岩块的力学性质, 在非贯通裂隙的岩体中起重要作用, 是岩体细观力学研究的主要对象。

如前所说, 工程岩体是有“尺度”的。在宏观尺度上, 如果以断层、不整合面、层理等不连续面作为“裂面”, 则“块体”就是这些“裂面”切割包围的山体(工程岩体)部分。如果以节理、卸荷裂隙等不连续面作为“裂面”, 则“块体”就是这些“裂面”切割包围的完整岩块部分。通常, 工程上研究的岩体以前者作为边界, 后者作为计算的结构。

在细观尺度上, “裂隙”主要是矿物颗粒的边缘、微构造、微裂隙, “块体”主要是矿物颗粒。细观尺度的研究, 是岩石力学理论研究的主要尺度。

无论何种尺度, 岩体结构面是岩体最基本的属性。

从力学的角度看, 结构面最基本的特征是它造成了岩体介质的不连续。由于结构面的发育, 岩体在经受荷载作用时, 表现出与人工材料极为不同的特征。如果结构面在岩体中是贯通的, 岩体的变形将以块体的移动为主导。如果结构面在岩体中是不贯通的, 岩体的变形将以结构面的扩展和块体的变形移动为特征。无论何种情况, 结构面对岩体的力学行为都起着控制性的作用, 这种观点也被称为结构控制论。研究结构面和结构体的力学行为与相互作用是岩体力学最基本的课题之一。

除了造成岩体不连续的性质之外, 由于不同地质构造部位应力作用的差别, 其结构面发育的程度(密度和规模)也不尽相同。比如在断层附近的伴生节理、在褶皱核部的密集劈理等, 在空间上, 也使得岩体力学性质产生非均质性和各向异性。

不连续性、非均质性和各向异性, 是岩体最基本的力学特征, 也是当前经典固体力学理论在岩体力学中应用和发展需要克服的障碍之一。

3. 岩体处于复杂的地质和工程环境中

人们在岩体中进行的工程建设(开挖), 使岩体不仅作为工程环境, 同时也作为工程结构的一部分。比如地下硐室的围岩, 它不仅是地下硐室的环境,

其部分围岩的成拱性质也直接承担了上覆岩体的荷载。因此工程岩体作为工程环境与工程结构的双重身份，使岩体这种天然“材料”的属性比任何一种人工材料的属性都要复杂得多。

岩体规模巨大，自重产生的压力也是巨大的。岩体作为地质体，直接承载着地壳运动产生的构造应力的作用。岩体作为工程环境，是人类地表建筑荷载的最终承载者。因此，作为“材料”来看待岩体，它的内部是存在各种物理力学作用引起的应力场的。

岩体作为天然物质，由于成因不同，很多岩块内部具有孔（空）隙结构。同时，几乎所有岩体都存在裂隙。裂隙的存在，为岩体介质中水气的储存和运移提供了空间和通道。地下水在岩体中储存，使得岩体内部承受着静水压力；而地下水的运移、水位的变动，又使岩体承受动水压力和负压吸力。因此，岩体也处于渗流场中。

由于地核热源的存在，岩石圈中存在地热增温现象。而地表下局部岩浆的活动，岩石中某些放射性元素的蜕变生热，都能造成岩体中温度的增加及热应力的形成。由此，岩体还处于温度场中。

一些具有特殊性质的岩体，在外界因素变化时，会产生相应的变化。比如，含有蒙脱石的黏土矿物和含有硬石膏的岩石，在水的作用下会产生膨胀，引起膨胀应力。再如某些黑色岩层、含易溶盐岩层的化学腐蚀作用，都引起岩体力学性质的改变。

首先，作为工程的环境和结构组成部分，岩体和支护是同步共同工作的；其次，开挖对原有的岩体是一种卸载过程，其力学行为有别于人工建筑结构的加载过程；再次，大部分岩体工程的开挖分步完成，受岩体非线性力学性质的影响，岩体应力状态的变化也是复杂的。岩体的力学表现与工程结构形式和施工方法密切相关。

因此，岩体所处的环境是极其复杂的，是多种因素交互作用的结果。这些因素对岩体的工程性质产生极大影响，同时也极大地影响到工程岩体稳定性分析的结果。

1.1.2 岩体力学

岩体力学是研究岩体在各种力场作用下的变形和破坏规律的科学。

岩体力学在国际上通称 Rock Mechanics（直译为岩石力学）。在我国，部分研究者为了强调岩体的天然性，特别是结构面的作用，用以区别于早期研

究中把岩体视为连续介质的岩石材料而忽视结构面的存在的研究，而称为岩体力学（Rock-mass Mechanics）。现在，岩石力学和岩体力学的概念已经没有根本的不同，本书为了强调结构面的作用和岩体的天然属性，采用“岩体力学”这个术语。本书在描述基于岩块研究的内容和成果时，也同时使用“岩石力学”这个术语。

目前，岩体力学研究的主要内容有：岩体的地质特征及其工程分类、岩体基本力学性质、岩体中的天然应力状态、岩体力学的试验和测试技术、岩体力学的计算理论和方法、模型模拟试验和现场监测、工程岩体稳定性、岩体工程性质的改善与加固。

岩体力学作为一门独立的科学，诞生于 20 世纪 60 年代，迄今不过 50 年。由于时间短、对象复杂，岩体力学还不能称为一门成熟的科学。因此，表现在其研究方法上和成果表达上，也没有完全统一。目前，岩体力学的研究方法（更确切称之为技术路线）主要有以下 3 种。

1. 固体力学研究方法

将岩体作为材料进行力学研究的方法基本上是固体力学的研究方法。其技术路线和研究方法可以表示如下：

采集制作试件→试验机力学实验→获得变形曲线（ $\sigma-\varepsilon-t-w-T$ ）→建立本构方程→应用方程进行实际工程计算。

这种方法对大部分人工材料的研究是有效的，其优点是可以借鉴大量固体力学研究的理论和成果，理论体系较为严密完整，过程较清晰，结论较明确。对满足一定条件下的岩石块体材料的研究能获得基本力学成果。因此，它是岩体研究的基础性工作之一。但是，该方法最大的困难是岩样材料的离散性、岩样所处环境的复杂性和结构面不连续性的影响。

2. 反分析法

也称为黑箱法。基本思路是不考虑引起岩体变形的诸因素及其作用，而直接通过测量分析最终变形的结果，采用统计原理或设定的理论计算方法进行反演计算，以求得岩体的力学参数、初始状态、行为特征。

这种方法常用于对系统的力学行为不清楚的情况，比如地下硐室围岩压力，在边界条件或环境因素复杂时，通过试验硐开挖后的围岩变形量测，按工程经验或设定的理论模型反算应力分布特征，进行工程设计。

这种方法的优点是回避了边界的复杂性，能较好地解决工程设计所需参数，也有一定的理论基础，可以从中发现和追溯所研究岩体的本质特征。其困难在于不是所有岩体工程都具备量测条件，比如大尺度的高边坡。另外，它

依循的理论仍然源于固体力学的成果。因此，也有人将其归入固体力学方法。

3. 工程分析方法

岩体工程中最常用的方法，也称为类比法。其主要思路表示如下：

样本调查→分类→分析决定影响因素→因素定量化（参数化）→建立因素和目标之间形式上的相关关系（经验公式）→代入目标参数→解决工程设计与评价。

该方法不同于经典的固体力学方法，它是建立在对大量已知样本的统计对比之上的。实质上属于专家经验的类比判断。由于最新数学理论的引进，模型的识别精度大为提高。但是，有时它的各步骤之间的逻辑关系不太明确，结论比较宽泛。

曾经一段时间，关于岩体力学研究途径是最有争议的问题之一。一些研究者在岩体力学的研究中，将更多的热情和注意力放在岩块材料的试验结果上。为了描述岩石力学表现的复杂结果，人们使用了很多复杂的数学工具。然而工程师们不大乐于采用这些成果。除了新知识的学习需要时间之外，最大的问题在于这些源于实验室的成果与工程实践有相当的距离。而工程师们的经验又由于样本的局限，难以“放之四海而皆准”。

岩体力学研究的出发点和目标是满足岩体工程设计和稳定性分析的需要。从工程实用的角度看，至少在现阶段，岩体力学的应用研究似乎可以依循“以理论为依据、以实践为基础、以方便好用为标准”的原则。

理论是岩体力学应用研究的依据。以岩体边坡工程研究为例。岩体边坡的很多基本问题没有很好地解决，往往就是缺乏一定的理论依据。比如：岩石边坡坡度受多个因素影响，但在边坡设计中，哪些因素直接决定坡度的大小，哪些因素通过影响边坡的稳定性间接影响坡度。又如：在边坡设计中，坡度和坡高哪一个对边坡的安全性影响更大；在台阶型边坡中，台阶的高度和宽度取多少才符合基本的边坡力学原理；水的作用如何考虑，等等。这些问题，利用现有的理论可以解决一些，有一些还不能解决，还有些目前只能得到趋势性的结论。尽管如此，有理论做指导，边坡的研究就能目的明确、进展有序、结论可信。

实践是岩体力学应用研究的基础。岩体工程要求岩体力学提供工程设计参数和稳定性分析结论。从工程应用的角度讲，研究结果要以“数学关系”表达出来。数学关系可以源于力学模型的数学演绎，也可以通过模型实验分析、工程实践总结建立起来。由于地质环境和岩体物理学特征的复杂性，数理模型演绎的方法尚不能普遍应用于岩体工程分析，岩体研究的主要基础

是模型实验和统计分析。因此，目前工程岩体研究的基础和核心是工程实践。

如何看待源于对工程实践进行调查统计所得出的结论，不同的人可能有不同的观点。主要原因之一是结论的可靠性问题。长期的经典数学教育，使人们片面理解了“只有通过数学推导出来的才是科学的”这一观点。实际上，人们对客观世界的基本认识方法本来就有两种，一种是演绎法，一种是归纳法。演绎法通过对事物内在规律和外在联系的认识进行逻辑推理来获得结论，是“连续性”模型，具有普遍性和严密性。归纳法则是通过对大量个体的统计总结，找出事物的本质规律，是“离散性”模型。样本越多，范围越广，它的普遍性就越好，可靠性就越高。工程岩体的安全性是由各种复杂的、变化着的自然地质因素和人类活动的总和所决定的。目前人们还没有完全了解决定这一复杂事物内外因素间的相互关系，但能够通过对数以万计的工程样本抽样调查、分类统计、科学总结而得出结论。这些来源于实践中的岩体工程样本，经过实践检验，包含着客观真理，对它们的科学总结得到的结论是完全可靠的。

对工程实践总结的另一个疑问是结论的精度问题。在“连续性”模型中，结论是确定的，是“必然”，使人感到结论非常精确。而用统计学方法得到的结论，往往以或然率（概率）给出，是“可能”，使人看起来不够精确。这是一种误解。科学研究表明，人们对复杂事物的认识是用“可能性”而不是用“必然性”来做论断的。以边坡岩体稳定性分析为例。当“稳定性系数”大于1时，边坡可能是稳定的，也可能是不稳定的，经验丰富的设计者能够依据自己的经验估计出边坡稳定的可能性大小。可见，精度绝不是单纯的数字的表现形式。更深一层，岩体的安全性是由各种复杂因素综合影响的，这些因素还在变化和发展中。比如岩石的强度会随着风化的进程而弱化，人们对岩体的维护又在提高其安全性。这种复杂的、变化着的事物不是 $1+1=2$ 这种简单、机械的确定性推理所能表达的。正因为如此，现代自然科学早就超越了单纯的机械决定论而提倡统计决定论。因此用“可能性”描述岩石边坡的安全性比用“必然性”更合适。

方便好用是岩体力学应用研究的技术标准。从工程设计的角度讲，一个成果如果在实践中过于繁琐，不好用，这样的成果只能束之高阁，等于无用。此外，岩体力学的应用研究应遵循综合优化和简单就是好的原则。综合优化的原则表达了这样一种观念：在一个系统中，也许任何一个个体都不一定是最好的，然而其共同作用的结果可以达到系统最优。正如一支全由明星临时组成的球队，由于彼此疏于配合，常常会在一支队员一般但组织有力、配合默契的球队气势如虹的进攻面前败下阵来一样。因此，岩体工程的设计和 analysis 中，不强求每个环节的先进，力求系统最优才是非常必要的。简单就是好的原则既

体现了技术实用性,也在一定程度上反映了人们把握问题实质的水平。如果一个事物能以最简单的方式描述出来,显然事物的本质已经得到充分的认识。

1.1.3 岩体工程

岩体工程是以岩体作为介质和环境的工程,主要是边坡、地下硐室和地基。简单地说,任何对岩体的开挖,都可以称为岩体工程。

岩体工程的本质,是由于岩体开挖破坏了岩体本身的生存状态,岩体为达到新的平衡状态而进行调整,人们为适应这个调整而进行的工作。因此岩体工程工作,不仅是回答现在怎样,更要考虑工程建设后将会怎样的问题。

岩体工程的主要工作核心是岩体工程设计参数的确定和开挖后岩体稳定性问题。岩体工程参数的确定是岩体力学研究成果的体现。

由于岩体本身性质及所处环境的复杂性,岩体工程技术仍然处于较低水平的状态。因此,尤其需要遵循正确的岩体工程工作程序。这个程序可以简单表达为:详细的野外调查,提炼概化岩体工程地质模型,根据实践进行定性分析并得出初步结论,根据概化模型采用各种手段进行模型试验和实际边界条件下的数值分析,对比印证定性分析结论,必要时布置现场监测。

根据岩体工程工作程序进行岩体工程分析的内涵和重点,是分析地质构造控制的岩体稳定性,岩体结构决定的岩体破坏模式以及岩体应力状态影响的工程设计方案和参数。

1. 地质构造控制岩体的稳定性

地质构造特征既是岩体稳定的基础,也是工程岩体的边界。前者是区域稳定性或场地稳定性问题,后者是某个具体岩体工程研究的空间范围。

宝天铁路葡萄园车站附近边坡,自20世纪50年代通车至20世纪80年代,虽几经整治,但边坡变形、线路桥梁位移几乎未停止过。经过详细的地质调查和分析(图1-1-5),发现边坡所在山体的变形是渭河盆地北缘山前活动性正断层仍然活动而造成破碎的绿泥石片岩长期蠕变的结果。这种构造决定的不稳定,难以整治,最终改线。

另一个构造控制的例子是前述大瑞铁路澜沧江大桥桥址岩体的稳定性分析。虽然桥址距澜沧江活动断裂带仅1 km,但根据地震安全评价提供的资料计算,认为澜沧江断裂带活动对桥址岩体区域应力分布影响有限,大桥可以在原址修建。其间经历了2008年3月21日云南盈江5.0级地震(距离约150 km)的考验,部分印证了分析结果。