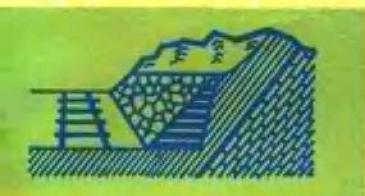
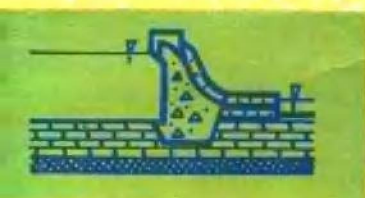


车用太 等 编著



岩体工程地质力学入门

科学出版社

岩体工程地质力学入门

车用太 等 编著

科 学 出 版 社

1 9 8 3

内 容 简 介

岩体工程地质力学是一门新兴的学科,本书系统而概括地向读者介绍了这一门学科的基本内容,为初步应用与深入研究提供了基础。它将是刚踏入工程地质战线上的同志和与工程地质工作有关的工程技术人员掌握岩体工程地质力学的向导。全书共分七章:第一、二章为工程地质力学的地质基础;第三章讨论了岩体中的水;第四章介绍了岩体的工程地质特征;第五章介绍了地基、边坡、围岩三大类岩体的稳定性评价的方法;第六章介绍了对于不稳定岩体进行改良的措施;第七章介绍了岩体勘测的技术。

本书可供广大工程地质工作者以及与水坝、铁路、隧道等工程设计有关的工程技术人员阅读和参考。

岩体工程地质力学入门

车用太 等 编著

责任编辑 余志华

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983年5月第 一 版	开本: 787/1092 1/32
1983年5月第一次印刷	印张: 15 1/2
印数: 0001—4,500	字数: 355,000

统一书号: 13031·2263

本社书号: 3093·13-14

定价: 2.40 元

毛 主 席 语 录

备战、备荒、为人民。

水利是农业的命脉，我们也应予以极大的注意。

我们要从国内外、省内外、县内外、区内外的实际情况出发，从其中引出其固有的而不是臆造的规律性，即找出周围事变的内部联系，作为我们行动的向导。而要这样做，就须不凭主观想象，不凭一时的热情，不凭死的书本，而凭客观存在的事实，详细地占有材料，在马克思列宁主义一般原理的指导下，从这些材料中引出正确的结论。

目 录

绪论	1
第一章 岩体的形成	14
第一节 矿物	15
一、矿物的性质	15
二、主要矿物的基本特征	18
三、粘土矿物	20
第二节 岩浆作用与岩浆岩体	23
一、岩浆作用	23
二、岩浆岩体的特征	25
三、岩浆岩石的特征	30
第三节 沉积岩的形成与沉积岩层	34
一、沉积岩的形成	34
二、沉积岩层的特征	36
三、沉积岩石的特征	40
第四节 变质作用与变质岩体	46
一、变质作用	46
二、变质岩体的特征	48
三、变质岩石的特征	51
第五节 岩体的物质组合特征	55
一、岩相	55
二、建造	57
三、岩组	60
第二章 岩体的演变	61
第一节 岩体的构造破坏	61

一、地壳的构造运动·····	61
二、地质构造形迹·····	63
三、地质构造的力学分析·····	78
第二节 岩体的风化破坏·····	87
一、风化作用的类型·····	87
二、影响风化作用的因素·····	92
三、风化岩体的特征·····	94
第三节 岩体的其它破坏·····	102
第四节 岩体的地质年代·····	105
一、地质年代的概念·····	105
二、我国地层的基本特征·····	112
三、我国岩浆岩体的基本特征·····	120
第三章 岩体中的水·····	122
第一节 地下水的一般特征·····	122
一、地下水的埋藏特征·····	122
二、地下水的运动特征·····	132
三、地下水的物理化学特征·····	144
四、岩体中各类水的基本特征·····	149
第二节 岩体水文地质结构·····	152
第三节 岩体中水对工程的危害·····	164
一、地下水对岩体工程地质特性的恶化·····	164
二、地下水对工程材料的侵蚀·····	169
三、工程开挖中的涌水·····	172
第四章 岩体的工程地质特性·····	184
第一节 岩体的结构特征·····	184
一、结构面的特征·····	185
二、结构体的特征·····	207
三、岩体的结构类型·····	211
第二节 岩石的力学特性·····	218
一、岩石的变形特性·····	219

二、岩石的破坏特性	227
三、岩石的流变特性	245
四、岩石的动态特性	247
五、岩石的工程分类	249
第三节 结构面的力学特性	252
一、结构面的变形特性	253
二、结构面的抗剪强度	260
三、软弱结构面	263
第四节 岩体的力学特性	269
一、岩体变形破坏的特性	269
二、岩体中的天然应力状态	278
第五章 岩体的稳定性评价	283
第一节 岩体稳定性评价概述	283
一、岩体稳定性评价的一般原理	283
二、岩体稳定性评价的基本方法	286
第二节 地基岩体的稳定性评价	297
一、地基的下沉分析	297
二、地基的承载力分析	301
三、坝基的滑动分析	306
第三节 边坡岩体的稳定性评价	316
一、边坡稳定性概述	317
二、平面滑动分析	319
三、楔形破坏分析	326
四、弧形破坏分析	335
五、工程地质比拟法	338
第四节 围岩的稳定性评价	341
一、围岩的稳定性概述	341
二、围岩的稳定性分类	351
三、围岩压力的计算	360
四、特殊型式的围岩失稳问题	369

第五节 岩体环境的稳定性评价	374
一、区域稳定性评价	375
二、山体稳定性评价	382
三、地面稳定性评价	386
第六章 岩体的改良	397
第一节 喷锚加固	397
一、锚杆	397
二、喷混凝土	403
第二节 灌浆及其它加固	407
一、灌浆	407
二、排水	412
三、其它改良措施	416
第七章 岩体的勘测	418
第一节 岩体勘测概述	418
一、岩体勘测的任务与阶段	418
二、岩体勘测的基本方法	420
三、工程地质勘测的成果	428
第二节 遥感遥测技术	429
一、航空象片及其地质解译	430
二、卫星象片及其地质解译	438
三、其它遥感遥测技术	444
第三节 声波探测技术	447
一、声波探测原理与方法	447
二、声波探测的应用	450
第四节 力学试验	456
一、室内岩石力学试验	456
二、现场岩体力学试验	467
三、岩体应力的量测	472
第五节 水文地质试验	478
一、现场水文地质试验	479
二、室内渗透性试验	481
参考文献	482
附录: 单位换算表	488

绪 论

当今的世界，是科学技术飞速发展的时代，几乎在所有的领域中，都在发生着深刻的变化。在工程地质科学领域中，也兴起了一门崭新的分支学科——岩体工程地质力学，它标志着工程地质科学发展到了新的高度。

一、工程地质学的形成与发展

工程地质学是研究与工程建设有关的地质问题的科学，它是为水利水电、工业与民用建筑、铁路与公路、采矿与国防等工程设施的合理选址、设计、施工与运营服务的应用地质学。它的主要任务是对工程建筑物的地质环境进行稳定性的评价。

人类的工程活动，早在公元前就开始了。至今屹立于地球上的我国的万里长城与埃及的金字塔等，都是古代工程的辉煌成就。但是工程地质学做为是一门独立的学科是近半个世纪的事情，它的形成与发展是以世界各国在工程建设中的惨痛教训为代价的。

直到上一世纪中叶之前，大多数工程师还很少在工程活动中认真考虑过地质因素，由此招来的工程的失败是不乏其例的。

世界上最早的现代化水坝是西班牙的普恩特斯堆石坝。它建造于 1785 年至 1791 年间，长 280 米，高 50 多米，坝体十分完美。坝体主要修筑在基岩之上，但坝基中的一段为

松散带，尽管在此做了格床式基础，但建坝储水后，由于高水头作用下的坝基渗流冲刷了疏松物质，十一年之后坝体就垮掉了。

巴拿马运河是沟通大西洋与太平洋的一项宏伟工程，全长 93 公里，于 1882 年由当时最有名望的法国工程师李西浦指挥下动工，经 1902 年转卖给美国政府开凿，到 1914 年全部完工，前后经历 32 年的时间，共花费 4 亿多美元。但是，完工后的第二年就在两大洋的分水岭地段上发生了巨大的山崩，崩塌体堵死了开通的运河，为此又花费了五年的时间，加挖了约 58,000,000 立方米的土石方，相当于这一段运河总开挖量的百分之四十之多，单是停航五年的损失估计达 10 亿美元。然而，令人深省的是，这样的危害早在 1898 年已为法国地质学家伯特兰与泽克两人所预料，他们曾向李西浦进言：分水岭地段岩性软弱，岩体破碎，风化强烈，开挖时必须予以考虑。遗憾的是，在地质科学尚没有在工程活动中占有应有的地位的那些年代里，这些极为有益的忠告并没有引起工程师们的警惕，甚至在施工过程中不断发生的小规模崩塌也没有使他们得到教训，直到付出如此巨大的代价，才使人们有所觉悟。

据伯韦尔 1950 年的统计，世界上有据可查的因地质问题而引起的水坝崩毁的史例，竟达 250 座以上。工程活动中出现的如此众多的失败和这样惨痛的教训，使越来越多的工程师渐渐认识到了地质学在工程建设中的重要意义，同时也使越来越多的地质学家登上工程活动的舞台，共同孕育了新的学科——工程地质学。

到本世纪二十年代，随着第一次世界大战结束而出现的建设高潮，促进了工程地质学的诞生，各国相继建立了专门

的实验室、研究室、教研室及其各级生产机构，培养出大批人材，出版了各种专著。

我国的工程地质科学虽是解放以后才发展起来的，但在人材与装备以及理论与实践等方面的发展却是相当迅速的，工程地质工作者们为胜利建成治淮水利工程、武汉长江大桥、三门峡水利工程、宝成铁路、塘沽新港与进藏公路等一系列规模很大、条件复杂的工程，做出了重大的贡献。

到了最近二十年间，工程建设以惊人的速度发展着，工程建筑物的规模之宏大，要求的精度之高，所处的环境之复杂，都是空前的。今天，世界上已修筑的铁路总长超过 130 万公里，可以围绕着地球的赤道转 32 圈之多，其中长达 5 公里以上的隧道有一百几十座之多，最长的日本青函海底隧道长达 53 公里。长达几公里的特大桥梁也并不罕见。我国的成昆铁路，总长达 1100 多公里，延展在号称地质博物馆的川滇西部峻岭峡谷之中，包括 427 座隧道和 645 座大中桥梁，是铁路建设中的一大奇迹。就水利水电工程而言，单是我国已建成的大中小水库就有 84,000 多座，总库容达 4,000 亿立方米；全世界高达 200 米以上的巨型水坝已建成 10 座，苏联的努雷克填土坝的高度已超过 300 米；世界上最大的加拿大邱基尔瀑布地下电站，地下厂房的跨度有 27 米，高 66 米，总开挖量达 250 万立方米；美国纽约市一输水隧洞系统长约 170 公里，法国巴黎市一个排水隧道系统竟长达 1,340 公里之多……。就矿冶工程而言，最深的钻孔早已过了万米大关，地下采矿的深度达几千米，地表露天开挖的边坡高达几百米。此外，又建造了要求极其严密的核防护所、核电站、电能储蓄所、地下油库、地下放射性废物存放所等各类新型工程结构物和海中岛屿、海上机场、海上钻

台等人工陆地与海底管道、海底电缆、海底住所等特殊工程设施。这一切，不仅说明工程科学技术的成就，也有力地说明了工程地质科学发展到了相当成熟与完美的阶段。这样丰富多彩的工程活动，为岩体工程地质力学的诞生提供了雄厚的物质基础。

问题的另一方面是，工程地质科学还不断地遭到工程实践的挑战。工程失事还总不能杜绝，而且随着工程规模的增大与工程精度的提高，所发生的工程事故带来更为严重的灾害。特别是法国马尔帕塞水坝的崩毁与意大利瓦依昂水库边坡的滑塌曾轰动了全世界。

马尔帕塞坝位于法国南部弗雷儒斯镇附近，是长 260 米、高 66.5 米的薄拱坝。1959 年 12 月 2 日，当水库储水接近最高设计水位时，坝体发生破裂，左部全部冲毁，残留的坝体水平位移 40—80 厘米，坝基被掏深达 4—14 米，洪水摧毁了一座城镇。失事之后，引起了工程界的极大注意，法国政府成立了专门委员会进行调查与分析，各国著名的专家纷纷奔赴现场进行考察与探索。

正当人们为马尔帕塞坝的失事而忙碌的时候，1963 年 10 月 9 日传来了更加不幸的消息：意大利朗格伦镇附近的瓦依昂水库左岸的托克山体滑入水库之中。滑动体积竟达 2—3 亿立方米，库内造成了宽约 4 公里、高约 400 米的一座新的山头。当时激起滔天巨浪，100 多米高的水头越过坝顶向 200 多米下的峡谷奔腾直泻，几分钟的光景夷平了朗格伦全镇，几千居民无一还生。然而，令人庆幸的是高达 265.5 米、顶厚仅 3.4 米的这座世界第二大薄拱坝经受了如此惊人的冲击之后，仍然完整无损地屹立于干枯的河床之上。

这两起连续发生的工程悲剧，向传统的工程地质科学提

出了新的挑战。特别是专家们进行了多年的严肃而认真的调查与分析，证明了工程结构物本身的设计与施工方面并无差错，失事的原因乃是岩体的失稳所致，因此工程地质科学不得不承担起失事的责任。但是，这两座水工建筑物都曾进行过详细的工程地质勘测，而且都是在当时最有名望的专家教授的指导下进行的，按着当时的标准来说，无疑工作也是做到了“家”，然而，事故仍发生了，而且责任又是如此明明白白，工程地质科学能不能对这样的山体或岩体的失稳提供出可靠的判断，能否承担起不再发生此类悲剧的责任？一些有志的工程地质专家们，开始了认真的探索。

在我国也曾出现过类似的问题。安徽省某地的大型连拱坝，修筑于十分坚硬的大型花岗岩体之上，花岗岩的强度很高，经风化后的试件抗压强度还达 600 公斤/平方厘米。但是，竣工后几年，右坝肩开始出现滑移，不仅导致严重的漏水，而且直接威胁着坝体的安全。面对着产生巨大灾害的危险，我国工程地质工作者们进行了新的调查与分析，终于正确地认识到花岗岩体中的一条断层与三组节理起着特别不良的作用，它们不仅把岩体切割成块体，而且还导致库水渗透于其间，一方面降低了岩体的原有强度，另一方面还产生了渗透压力，使坝肩岩体的稳定条件发生恶化。根据这样的认识，采取了适宜的措施，有效地制止了坝肩的位移，成功地避免了一次灾难性的事故。

工程地质科学，就是在这样的失败的教训与成功的启发之中发展起来，同时也逐渐暴露出自身的致命弱点。回顾工程地质科学发展的历史，人们无法否认一直存在着两种不科学的偏向。一种是以成因地质学为基础，强调野外的地质调查与工程地质条件，只是提出定性的工程地

质分区分带的成果。另一种是以材料力学为基础，强调严密的力学试验与数学计算，提供出一些定量的指标。上述两种倾向，都过分强调了问题的一个方面，前者尽管对工程环境可以给出详尽的描述，但毕竟是定性的，满足不了严密的工程结构物设计与施工的定量要求，后者尽管可以给设计与施工提供出相当精度的定量指标，但对自己所研究的地质环境缺乏正确的认识，所提供的参数很少符合工程场地的实际情况。大量的工程实践表明，这两种偏向都害人不浅，它们面对着大型现代化高精度的工程建设中的岩体稳定性评价问题，都有力不从心、力不胜任之感。以传统工程地质学派为代表的一种偏向和以岩石力学派为代表的另一种偏向，大家都认识到了彼此取长补短、相互协作前进，已势在必行。

岩体工程地质力学，就是在这样的历史背景之下，以传统工程地质学为基础，大力引进岩石力学的合理分析方法，于七十年代初创建于我国。在同一个时期，国外也出现了地质力学 (Geomechanics)、岩土工学 (Geotechnology)、岩体工程地质学 (Инженерная геология скальных массивов) 等多少相类似的学科。它们都把解决岩体 (有时包括土体) 稳定性问题为主要研究内容，都十分重视岩体的工程地质特征，都大力采用数学力学的方法，向着岩体稳定性评价的定量化方向发展。

二、岩体工程地质力学概貌

岩体工程地质力学是在传统工程地质学的基础上发展起来的，是以我国三十年的工程实践为基础创建起来的，不仅同传统工程地质学有别，同国外的姐妹学科也不尽相同。它有自己的术语、理论体系与技术方法。

岩体工程地质力学的研究对象是岩体。

岩体是地壳中的一部分，是指与工程活动有关的部分，这一部分承受着工程开挖或建筑物荷载的作用。这样的岩体的概念，显然同其它学科中的岩体概念不同，例如一座巨大的花岗岩侵入体，从普通地质学的观点来看，可以把其整体称之为花岗岩体，如果裂隙很少而不透水时，水文地质学中可称其为隔水岩体等，但在工程地质力学中却只指其中与工程活动有关的部分，修建一座隧洞时仅指洞室外围受开挖影响的部分，这一部分的范围可随开挖的形状与规模不同而变化。一般情况下，论述与岩体稳定性直接相关的问题时，“岩体”是指工程地质力学的含义，但论述其形成与演变等地质问题时，往往是地质体的同义词。

岩体按其工程荷载的特征，大体上可分为三大类型：地基、边坡与围岩。地基是指承受地表建筑物的垂直荷载的岩体，如房基、桥基、坝基、路基等。边坡是指地表开挖而成的斜坡，主要承受边坡岩体自身的重力作用时，称之为无荷载边坡，有时还承受工程建筑物荷载的作用，如坝肩承受由坝体传来的推力，又如边坡顶面上有厂房设施的荷载作用等，这一类边坡称之为有荷载边坡。围岩是由于地下开挖而成的洞室外围的岩体，它所承受的荷载通常比前二类岩体都复杂。工程地质力学的主要任务，就是要解决上述三大类岩体的稳定性评价的问题。

岩体是由岩石材料组成的，它不同于由松散的土颗粒组成的土体。岩体与岩石是两个完全不同的概念。岩石可以理解为一种材料，如同钢材、木材、玻璃等工程材料一样，看做是连续的，均质的，多为各向同性的，它的物理力学特性完全可以用一块手标本来进行描述与试验。岩体是一种地质

体或地质体的一部分，它的根本特点是不连续的，非均质的，多为各向异性的，它的物理力学特性绝不可用一块手标本来进行描述与试验。把岩石与岩体，如此明确的区别开来，是岩体工程地质力学同传统岩石力学的根本区别。

岩体的不连续性、不均质性与各向异性，决定了岩体具有结构特征。把岩体看做是结构体，这是岩体工程地质力学的核心。岩体工程地质力学认为岩体是被各种地质界面所切割成的岩块的组合，它好比工程结构物一样，如桁架由杆件组合。把岩体切割成岩块的地质界面，称之为结构面，这个面实际上指二维延伸的面、层、带，同国外文献中的不连续面、间断面等类似。被结构面切割成的岩块称之为结构体。由于不同的岩体具有不同的结构，即结构面与结构体的组合特征不同，因此其力学介质类型、物理力学特性、变形破坏的机制等方面也表现出一系列重大的差别。

岩体是地壳运动的产物，同一般的工程结构物不同，它具有天然的应力状态。埋藏于地下的岩体承受着上覆岩石自重的作用，在近期构造运动强烈的地区，还承受着水平方向上具有方向性的构造力的作用。这种天然的应力状态，对岩体的稳定性有着十分重要的意义。岩体工程地质力学重视岩体中的天然应力状态的研究。

岩体在天然状态下，虽然也承受一定的力，但由于处在围限的状态之下，所受的力处于平衡状态，或所受的力并不很大，因此一般是可以保持其稳定状态的。但是，一经工程开挖，岩体中出现了可供变形破坏的临空面，原来的应力状态遭到破坏，引起应力性质与大小的变化，如出现拉应力，压应力值升高 2—3 倍等。当岩体所具有的强度不足以抵抗这种新的应力时，就要发生变形与破坏。当所发生的变形与破

坏危害着工程的正常施工与运营时，我们称其为岩体失稳或岩体不稳定。岩体工程地质力学，在研究岩体的稳定性时，就是从岩体结构的形成与演化过程的分析着手，研究岩体的结构特征及其力学特性，探讨岩体变形破坏的机理。在研究岩体的变形破坏机理时，特别注意结构面的效应，尤其是软弱结构面的控制作用，详细地研究它们的成因、形态、物质组成、空间产状、力学强度等特征。

岩体工程地质力学在方法论上坚持地质学调查与力学分析相结合的道路。它继承了根据岩性、构造与地下水三大方面进行综合评价的一般方法，之外特别重视地质构造的作用，认为地质构造是决定岩体的工程地质特征的基本因素。研究地质构造时，是以我国著名地质学家李四光教授所倡导的地质力学为指导，分析断裂构造形成的力学机理与空间分布配套的规律，为岩体结构的研究提供基础。它把岩体划归于不同的力学介质类型，对于不同类型的岩体采用不同的力学理论与方法，特别是对块裂介质的岩体，发展与引用了赤平极射投影、实体比例投影、坐标投影、工程图解等多种行之有效的岩体结构图解分析法。它引用了传统岩石力学中的力学试验方法，大力开展室内与现场力学试验，尽可能测得具有代表性的力学参数，开展多种形式的岩体变形破坏的模拟试验，开展岩体中天然应力、开挖后的应力、作用于工程结构物上的应力的实际测试等工作。它还用弹性波勘测，有限单元计算等先进的技术与方法武装自己。岩体工程地质力学，为把岩体稳定性评价提高到较为可靠而定量化的水平，装备了一定的技术方法。

岩体工程地质力学的上述的观点、理论与方法，早已引起国内外工程地质界的重视，尤其在我国开始得到承认并应