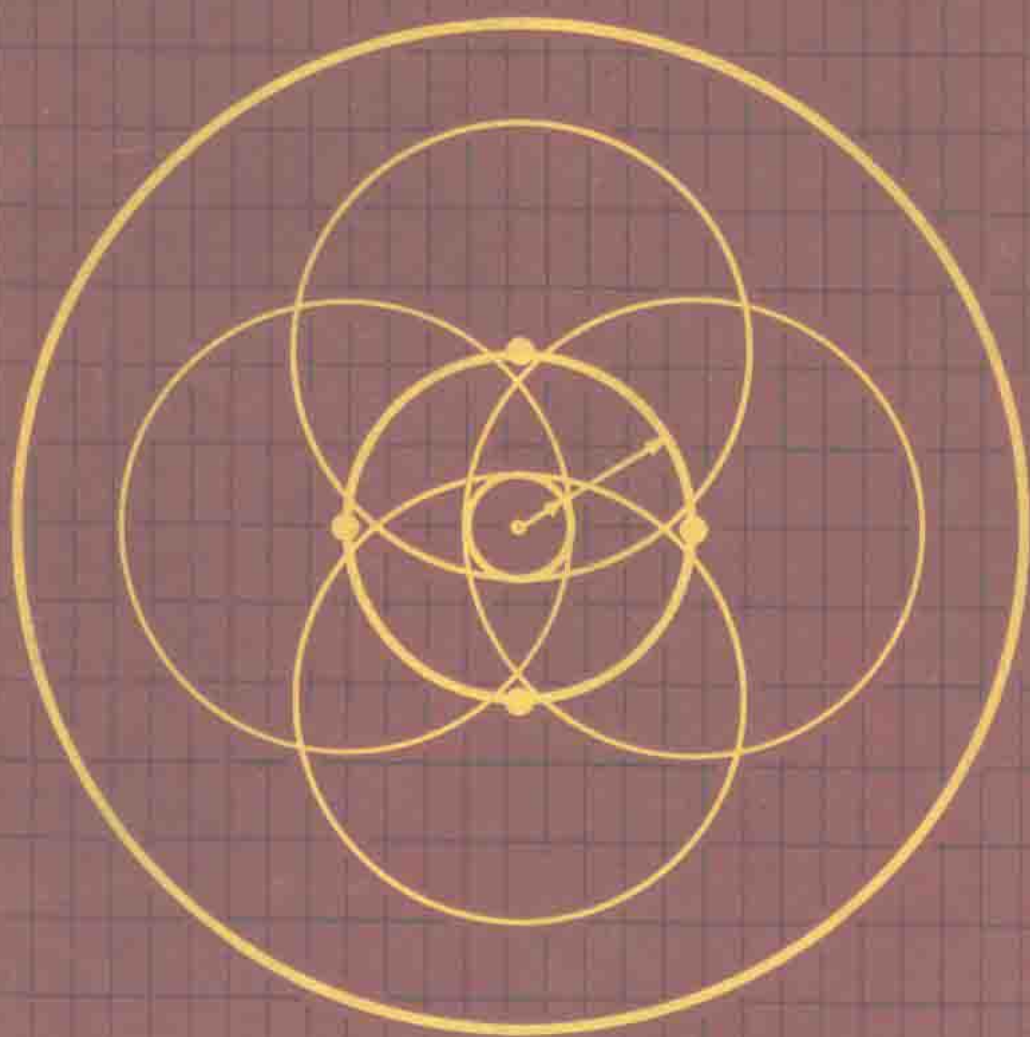


(美) R. E. 古德曼著

北方交通大学隧道与地质教研室译

不连续岩体中的地质工程方法



中国地质大学（北京）

CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES (BEIJING)

地质调查所中核地质工程方法



不连续岩体中的 地质工程方法

(美) R.E.古德曼 著

北方交通大学
隧道与地质教研室 译

中国铁道出版社

1980年·北京

内 容 提 要

本书比较系统地介绍了岩体的不连续特性及有关的赤平极射投影、物理学模拟和有限单元分析等研究方法,以及运用这些方法来有效地评价不连续面对工程岩体性态的影响。本书供从事工程地质和岩石力学的生产、科研与教学人员参考。

Methods of Geological Engineering in
Discontinuous Rocks
Richard E. Goodman
West Publishing Company, 1976

不连续岩体中的地质工程方法

(美) R. E. 古德曼 著

北 方 交 通 大 学 译

隧道与地质教研室

中国铁道出版社出版

责任编辑 王顺庆

封面设计 关乃平

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 17.5 字数: 413 千

1980年5月第1版 1980年5月第1次印刷

印数: 0001—4,000 册 定价: 1.85 元

译 者 的 话

最近十几年来，现代科学的各个领域正在发生着巨大的变化。在工程地质学领域中也是这样，随着铁道、水电、建筑与国防等工程的飞速发展，传统的工程地质学由地质学的定性描述转向同力学与数学等有关的学科结合起来，发展出新的理论与方法，不仅对一些地质现象加以说明与判断，而且开始提供出一些定量的评价，为工程设计与施工提供更加符合实际的科学依据。

在岩体工程范围内，这种进展更为突出，越来越多的人，逐渐认识到岩体的本质——不连续性，以此为基础进行岩体稳定性的研究。美国加利福尼亚大学地质工程学教授 R.E. 古德曼所著的这本书，较为系统地介绍了岩体的不连续特性及有关的赤平极射投影、物理学模拟和有限单元分析等研究方法，反映了国外工程地质学进展的一个侧面。因此，这本书可以做为从事工程地质和岩石力学的科技人员了解国外的先进技术，改进我国的技术方法方面的参考书。原著前言部分，因与书的内容无关，故删去。

本书的翻译工作主要由北方交通大学铁道建筑系隧道与地质教研室承担。第 1 章与第 5 章由车用太、第 2 章由李宝珠与鱼金子、第 3 章与第 6 章由外语教研室梁成锦、第 4 章由吴景坤与赵明志、第 7 章由张清、第 8 章由张弥、附录 1 由赵幸源、附录 2 及其它由鱼金子与车用太等同志翻译。全书是在钟桂彤教授的指导下，由张清、张弥与车用太同志集体修改定稿，最后经钟桂彤教授审阅。在翻译与定稿过程中，得到了中国科学院地质研究所研究员谷德振、王思敬与杜永廉等同志以及我系测量教研室朱成麟教授的指导与支持，我们在此表示感谢。

译 者

一九七八年九月于北京

目 录

1. 绪论	1
2. 岩石分类	8
2.1 岩石的性质	8
2.2 岩石标本与岩体的比较	8
2.3 岩石标本的岩石学分类	9
2.4 岩石同土壤和风化岩石的比较	11
2.5 风化作用	13
2.6 岩石材料的质量指标试验	16
2.7 裂隙岩体	16
2.8 不连续面	21
2.9 连续岩体和不连续岩体	26
2.10 岩体的工程分类	27
3. 赤平极射投影的原理与节理测量	33
3.1 保角赤平极射投影	33
3.2 基本的作图方法	38
3.3 节理测量及投影球体上的统计	46
3.4 在钻孔与露头上进行的节理产状测量的误差	48
3.5 节理岩体的方向性	49
4. 岩体的勘查	51
4.1 地质图及其解释	51
4.2 航空象片的解释	58
4.3 大地摄影的象片	63
4.4 地球物理学的方法	69
4.5 钻探	72
4.6 岩心中构造面的绝对产状	81
5. 不连续面的力学性质	90
5.1 力学性质的确定	90
5.2 节理的变形	97
5.3 峰值剪切强度	105
5.4 节理产状的影响	114
6. 赤平极射投影在不连续岩体力学中的应用	120
6.1 引言	120
6.2 运动学的研究	120
6.3 投影网上的矢量运算	125

6.4	赤平极射投影在确定由相交的不连续面所形成的岩楔方面的应用	130
6.5	转动分析	135
6.6	岩块在平面上的滑动分析——摩擦圆的概念	138
6.7	动力冲击下岩块位移的评价	142
6.8	四面体状岩楔的滑动	143
6.9	只有一个临空面的四面体状岩楔的滑动	149
6.10	两个岩块组成的滑坡	152
6.11	岩体中的应力状态	158
6.12	结论	162
7.	物理模型	163
7.1	运动学模型	163
7.2	物理比例模型	169
8.	有限单元法	177
8.1	引言	177
8.2	方法	177
8.3	单元刚度矩阵和外荷载的公式	181
8.4	常应变三角形单元	181
8.5	岩石中的原始应力	186
8.6	常应变节理单元	188
8.7	结构方程的组合	194
8.8	用迭代解模拟节理的真实特性	196
8.9	外荷载的来源	205
8.10	例题	207
8.11	渐增荷载法	215
8.12	刚性岩块分析	216
附录 1	——有限单元程序示例	217
附录 2	——单位换算表	261
主题索引		262
人名英汉对照		271

1. 绪 论

这本书讨论了那些评价不连续面对工程岩体性态影响的方法与步骤。在诸如采石场、路堑、地基、坝座、隧道与地下洞室之类的工程所影响的范围内，大部分岩体中都含有隐伏的或实在的平整软弱面。这些软弱面的延展长度与间距是千变万化的，因此它对整个岩体特性的影响程度是各不相同的。我们在评价岩石的性能时，很少去注意它们的存在。

在本书的书名中，使用了“不连续岩体”一词，似乎意味着还有另一种岩体，它们是真正连续的。其实，这种理解并不十分准确，因为，即使是最坚固的花岗岩的岩壁也具有剥理面和其它各种形状的发育得稀疏的节理与断层。然而，确实有很多的岩体，其中虽然也存在着不连续面，但它们对决定岩体的强度与其它物理属性的要素中并不是最薄弱的环节。例如，在第三纪脆性砂岩中，砂粒间的胶结是那样地微弱，以至于通过岩石材料本身的破坏比沿节理或层面发生的滑移破坏容易得多。在页岩中，也可以见到这样的情况，虽然在近地表处它们被那些崩解而生的吻合裂纹所爆裂与松弛，但它们的破裂趋向于通过岩石材料本身发生，而不易沿着构造上的控制面发生。做为一条规律，愈是新生的与软弱的岩体，愈接近于“连续体的模型”，而坚硬岩体的破坏总是受不连续面型式的控制。否则，石英岩那样的岩石怎么可能被破坏呢？它们的抗压强度比块状混凝土还大几十倍啊！

土壤不是连续的介质；它们具有颗粒与孔隙。然而，利用连续体的模型——必要时可以认为是非均质但仍然是连续的——曾成功地分析了它们。我们在此所讨论的不连续岩体，首先容易联想到土壤，而且可以用土力学的理论与方法来研究。实际上，一些早期的研究也正是这样做了的。但是，这两者之间有着本质的差异。不连续岩体，实际上是不具有孔隙空间的，除非是岩石材料本身含有孔隙（这种孔隙同土颗粒内的孔隙类似）。这样，不连续岩体就有了一个完全适当的型式了。要产生破坏，必须形成孔隙空间，即建筑人员行话中所说的扩容（*dilatancy*）* 或扩张（*bulking*）。在这样的岩体内部，不仅有法向力与剪切力的作用，而且还有力矩的作用。土颗粒在适当的位置是可以自由转动的，而岩块则不能。

遇到不连续岩体之类的介质时，探讨合理的设计程序似乎是一个没有希望的事。的确，有时是这样，只能利用以前的经验或根据试验与教训来做设计。但是，我们有时可以对不连续面的网络进行准确地描述与制图，尤其是当我们具有了一定的经验以后，而且还可以可靠地评价它们对岩体性态的影响。这本书的主题正是要推敲这些方法。首先，我们必须量测发

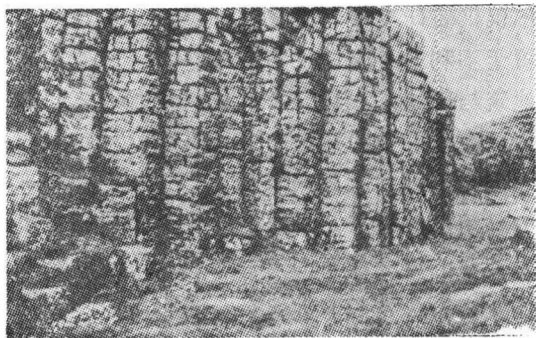


图 1—1 冰岛的一玄武岩流中，因发育有柱状节理和流纹而造成的不连续岩体（据Tor Brekke博士）

* 译者注：扩容指不连续岩体在不大的法向压力下受剪时，不连续面的缝隙体积增大的现象。也可译为膨胀，但同 *Swelling* 不同。

育于所考虑的岩体中的各组不连续面的产状。通过露头上的地质观测、天然的与人工的探槽调查、航空像片的研究、岩心上与孔壁上的量测以及使用一些有效技术进行地球物理的全面研究，是可以做到这一点的。第4章中评述了若干相关的调查方法，通过它们可以描述岩体中不连续面网络的产状与间距。接着，第5章中介绍了不连续面的力学性质并讨论了它们的测定方法及其数值。当我们讨论单一的、极为重要的软弱面时，只有十分精确地了解了它的相对于工程的位置与总的产状，才有可能清楚地分析它所产生的应力与变形；象在第6章中所讨论的那样，这类问题可以利用空间赤平极射投影，通过运动学与静力学的方法来进行分析。在第7章中，介绍了物理模拟的方法，重点是放在运动学的模拟上，它可以表现出在工程意义上的不连续岩体破坏的各种可能的型式。通过数值方法，也可以进行分析，第8章中介绍了有限单元方法，并在附录中提出了一个数字计算机的程序，它是为同第8章中的理论讨论一起阅读而编制的。因为赤平极射投影的方法做为解决诸如岩心中确定不连续面的方向、大地摄影象片上量测角度、解析一定产状的不连续面上的应力和矢量运算之类的空间问题的工具而经常应用于全书中，因此用一章的篇幅来专门讨论赤平极射投影的技术（第3章）。在讨论矢量问题时，我们必须使用整个球体，因为这个问题的处理同构造地质学著作中的处理方法略有不同。为了把不连续岩体同其它类型的岩体联系起来，即把该项工作置于恰当的地位，编写了关于岩石分类的第2章。

地质工程涉及到自然过程的广泛领域。这个领域的一方面是诸如大型滑坡、活动性断层与洞穴岩层一类的地质危害，它们缩小了预想的设计规模，降低了可能的效应，以及增加了整治这些危害的费用；遇到这样的危害，地质工程师们除了认识与描述之外，做不了多少事情，他们的责任是预测这些危害，利用各种方法研究它们发生的可能性，观测它们的活动性，但对现象本身则是无能为力的。采矿与采石工作是地质工程应用领域的另一方面，在这里不仅仅要研究与评价地质问题，而且还要把岩石开采出来，加以压碎、堆放，甚至有可能被置于不利的与腐蚀性的环境中去，例如水泥中的骨料那样。诸如坝、地下洞室与路堑一类的建筑与开挖工程是介于上述两个方面之间的，它们对地面或地下施加静载或动载，或者不加载，在本书中要讨论的方法主要就是同它们有关的。

大型的坝，尤其是象图1—2所示的那种混凝土拱坝，把巨大的荷载和水的化学的与水力的作用迭加起来，从而给地质工程研究提出了很多有趣的课题。事实上，地质工程与岩石力学方面的许多最新的兴趣是被法国的马尔帕塞特坝与意大利的瓦昂特水库上发生过的毁灭性的灾害所激发起来的。在马尔帕塞特坝（图1—3），同片状片麻岩的坝基岩体性态有关的复杂条件导致了这一拱坝的破坏。法国的研究人员确认，在坝座处有被交叉的软弱结构面切割成的楔形岩块，由于坝的推力和坝座中的高水头压力的作用而发生滑移（Bernaix, 1966）。这个高水头压力是由于施加的荷载使岩体中的裂隙紧闭，在坝作用线下形成天然的水流阻隔所致的。瓦昂特失事是由于巨大的滑坡沿着岩层面滑入较小的水库中，产生坝顶溢流与淹没所致的（Muller, 1964与1968），与水库储水有关的向上的浮托力触发了这个滑坡。

由Coyne与Bellier为台湾电力公司所设计的Kukuan拱坝清楚地说明了不连续面对岩石中的施工程序所产生的重要影响。这个高为86米的坝是建筑在切入板岩与石英岩互层深500米的河谷内。含石墨的薄粘土夹层破坏了坝址中产状不良的岩层的稳定性。河谷的右岸是 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 的斜坡（图1—4）。为了把坝建筑在坚固岩体上，必须挖去厚达20~40米的松散板岩，但由于岸坡可能滑动而不能采用常规的开挖方法。灌浆和砌筑台阶（即用混凝土局部地取代软弱岩层）的工作没有取得成功。后来，开挖了一个宽达10.7米的隧道一直通到坝座

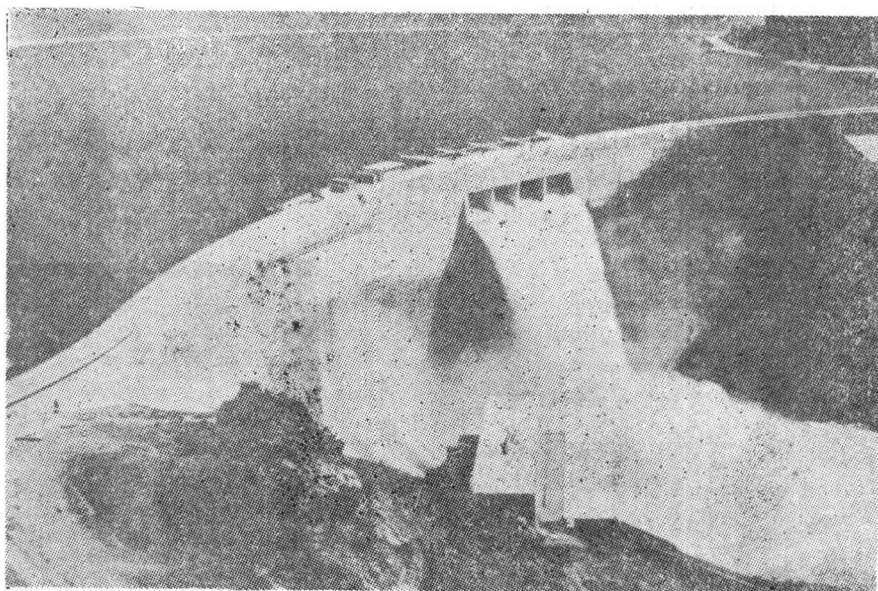


图1—2 华盛顿Cowlitz河上的Mossyrock混凝土拱坝。是一个双曲薄拱坝，河床以上高为365英尺，玄武岩的基岩以上为606英尺（据Tacoma City Light）

中，并用混凝土将它回填起来，这个问题就获得了解决。这样的隧道通过层理以后，岸坡就稳定了。当隧道开挖到足够的深度与宽度之后，向其顶部的几米范围内，浇筑了混凝土。过了二、三周以后，在混凝土充填之上，设置了石质防护装置并在其上部开挖了又一个隧洞。这样重复开挖建造了八个隧道，形成一个混凝土构成的稳定的坝座。



图1—3 马尔帕塞特坝址，眺望左坝座和库区

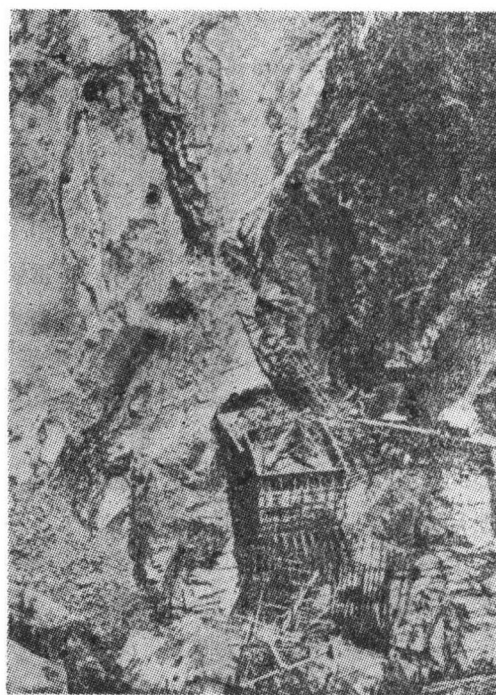


图1—4 施工中的Kukuan坝(据Coyne与Bellier)

隧道与地下洞室的建造与利用的发展也引起了对地质工程方法的兴趣。对隧道所在场地的研究是相当粗略的，因为它所涉及的范围很长，而且直到施工以前仍旧是难于进入。已经做了一些努力，企图由试件试验中评价岩石的开挖性，然而还没有有效的地质与地球物理的

预报技术及预测岩层情况的分析方法。

另一方面, 诸如地下电站的洞室(图1—5)、地下厂房、防御工程、地下库房与矿井之类的地下工程的岩体性态的调查与分析技术, 则发展得较好。在这样的工程中, 进行详细的调查是可以做得到的, 这样的调查包括确定岩石的性质、进行分析与仪器测试。地下结构的调查比对坝的调查要多的项目是研究原位应力的作用。如在南非与加拿大的某些矿井中, 在深度很大的地方, 原位应力偶而达到岩石的天然强度。

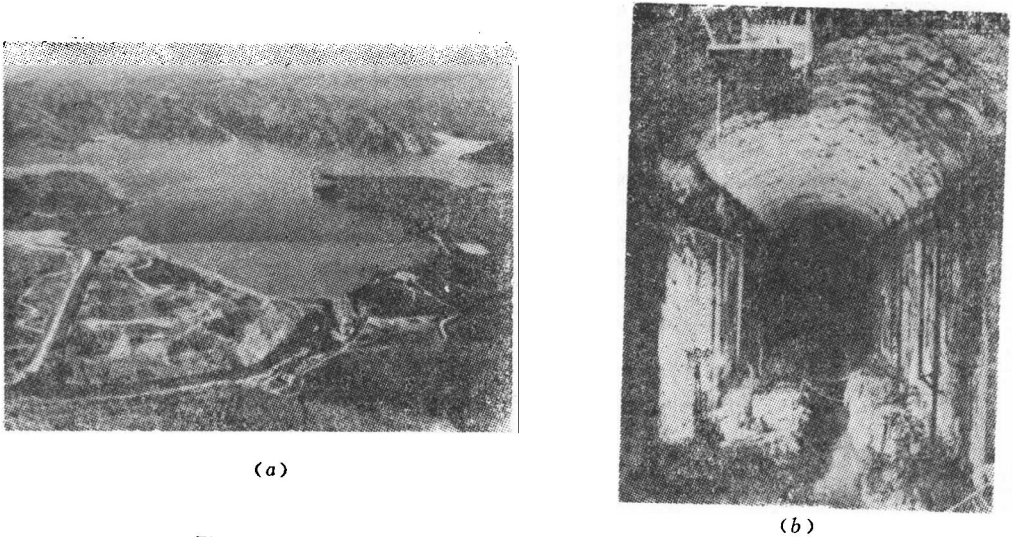


图1—5 (a) Oroville坝体工程, 该坝具有砾石外壳, 而坝心是由巨大的冲积扇构成的; (b) 施工中的Oroville地下电站的机房, 站在左下部的人像可做为比例尺(据Calif. Dept.of Water Resources)

诸如溢洪道(图1—6)、矿坑(图1—7)、运输道路、发电厂及地下建筑的洞口一类的地面开挖工程是岩质工程的另一些重要领域。在矿坑中, 利用为野外地质现象的观测、破坏的反算、压力计测量及测试曲线分析等所证实的简单理论, 可以大大节约开挖量(Hoek与Bray, 1974)。严谨的爆破措施与设置一些测试设备, 就可以保证同岩质边坡直接相关工程的施工安全, 这时的岩质边坡可以看做是工程结构(图1—8)。

虽然上述各种类型工程之间, 具体所选择的方法论是不同的, 但基本目的的相似性却是普遍的。首先, 应该查清现场的地质条件, 这就要求对野外露头进行制图, 研究航空像片及进行挖探与钻探等专门性勘探。其次, 必须评价岩体的性质。在此, 可以选择不同的方法, 因为随着工程目的的不同, 所要评价的性质可以是很不相同。地下开挖工程的复杂性态要求考虑原始应力状态, 在一些情况下, 分析问题, 做为设计过程的依据, 要求测定出或确定出原位应力。另一方面, 在浅部的岩质开挖工程中, 剪切强度与水压力值则是更为决定性的, 而对地基说来, 岩石的变形特性是最主要的。再次, 通过模型研究、计算机分析或参照类似的经验, 可以对有一定特点的具体现场作出工程适应性的评价。如果条件不令人满意, 则可重新选址或通过开挖、灌浆、排水、打锚杆或采用其它措施来改良岩石的性质。在这种情况下, 将开始新的勘探、试验与研究。如果设计人员能使结构物的型式适合于现场的特征(这种特征大部分是自然形成的), 那么他就可以做出最经济的设计。所以, 地质工程的工作和方法主要是致力于判识出在工程现场已经存在着的那些特征。



图1—6 在哥伦比亚Chivor坝左肩上开挖的溢洪道。请注意图中的汽车和铲土机，它们可做为比例尺。施工中，因在中左部发现光滑的不连续面而改变了设计。台阶宽为5米，间距为10米。（据Ingetec Ltda.,Bogota）

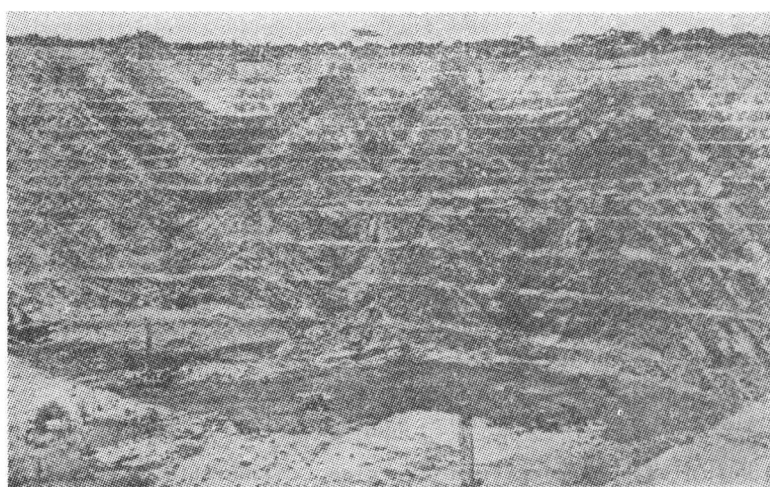


图1—7 赞比亚的Chambishi矿坑（据R.S.T.Ltd.及E.Hoek教授）

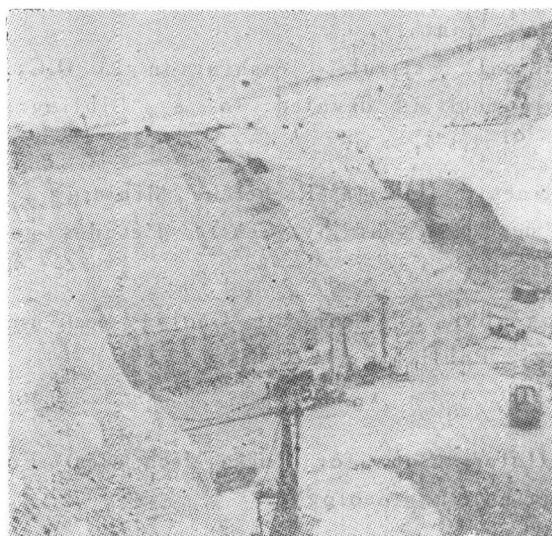


图1—8 Stockton坝中,预裂岩石的开挖(据Lloyd UnderWood, Corps of Engineers, Missouri River Division)

岩石的本质同其它类型的工程材料是显著不同的。因此, 研究其特性的方法论也自然是地质工程领域所特有的。尽管如此, 但在此地所讨论与应用的每一种方法同其它学科有着密切的关系, 因此这样的一本书必然涉及到很多学科领域, 涉及到的学科有: 采矿学、岩石学、地球物理学、制图学、规划学、土力学、水力学、材料力学、混凝土工艺学、结构工程、统计学、航空学与计算机科学。这样一来, 显而易见的结果是需要进一步阅读的文献散布于大量的杂志与参考书中。然而, 若干更加密切相关的主要参考文献与杂志则被专门选出来, 列于表1—1中。

资料的若干来源

表1—1

书目与摘要

- KWIC Index of Rock Mechanics literature published before 1969-2 volumes. Produced by Rock Mechanics Information Service, Imperial College, London.
Published by AIIME, 345 East 47th St., New York, N.Y.10017
- Geomechanics Abstracts-Part II of the Inter. Jour. Rock Mechanics and Mining Science.
Published by Pergamon Press from volume 4 (1973) onward(Originally called Rock Mechanics Abstracts, produced by Imperial College).
- Geotechnical Abstracts-Monthly with annual indexes
Deutsche Gesellschaft fur Erd-und Grundbau (for Inter.Soc. for Soil Mechanics and Foundation Engineering).
(Published also in a card format called "Geodex Retrieval System").
- Bibliography and Index of Geology-Monthly.
Geological Society of America.
- National Technical Information Service, Springfield, Va.22151
(Bibliography and source for U.S.Government documents).
- Geoscience Abstracts-Monthly.
American Geological Institute, Washington 25 D.C.
(A special supplement is devoted to a "Bibliography of bibliographies of the States").
- Chronique des Mines et de la Recherche Miniere
published 10 times per year by Centre d'etudes geologiques et Minieres
- Annotated Bibliography of Economic Geology-semi-annual.
Economic Geology Publishing Co.

杂志与定期刊物

- Rock Mechanics (Inter. Soc. for Rock Mechanics) Formerly "Rock Mechanics and Engineering Geology".
- International Journal of Rock Mechanics and Mining Science
(Pergamon Press).

Engineering Geology (Elsevier).

Quarterly Journal of Engineering Geology (Geological Soc. of London).

Bulletin of the Association of Engineering Geologists.

U.S. Bureau of Mines, Reports of Investigations and other publications.

Canadian Geotechnical Journal.

Geotechnique.

Bulletin of the Inter. Association of Engineering Geology.

国际岩石力学学会论文集与会议录

First Congress-Lisbon 1966-3 volumes.

Second Congress-Belgrade 1970-4 volumes.

Third Congress-Denver 1974-5 volumes.

Symposium on Rock Mechanics-Madrid 1968-1 volume.

Symposium on Stress Measurement-Lisbon 1970-1 volume.

Symposium on Large Permanent Underground Openings-Oslo 1969-1 volume

Symposium on Rock Fractures-Nancy 1971.

Symposium on Percolation through Fractured Rock-Stuttgart 1972.

美国岩石力学会议论文集

8th to 12th, 1966-1970 (AIME).

13th to 15th, 1971-1973 (ASCE).

再前的会议集书名列于上述会议集的序言中。其他与之有关的会议集见 KWIC Index (见前面书目与摘要)。

教科书

Coates, D.F. (1967) "Rock Mechanics Principles", Canadian Dept. Energy, Mines and Resources, Monograph 874.

Hoek, E., and Bray, J. (1974) "Rock Slope Engineering", (Inst. of Min and Metal, London).

Jaeger, J. C., and Cook, N.G.W. (1969) "Fundamentals of Rock Mechanics", (Methuen).

Krynine, D., and Judd, W. (1959) "Principles of Engineering Geology and Geotechnics", (McGraw Hill).

Obert, L., and Duvall, W., (1967) "Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock", (Wiley).

Scott, R.F., (1963) "Principles of Soil Mechanics", (Addison Wesley).

2. 岩石分类

虽然这本书主要是讨论不连续岩体的问题，但是也必须弄清楚这些岩石的类别，据此，岩石分类的问题也将予以一般的探讨。岩石调查与量测的目的在于判断岩石在某些工程活动前的状态。作为岩石分类依据的岩石特性，将根据设计人员的目的而有所不同，它可以包括多种因素：抗剪强度、抗弯强度、抗拉强度、弹性、永久变形、蠕变速度、岩石的容水性、透水性、原始应力、可钻性、破坏特性、有时还包括密度、热膨胀、矿物和颜色等。

2.1 岩石的性质

人们不可能用确定别种工程材料性质的同样精度来确定用于设计计算中的岩石的性质。因为很少有一个完全可靠的能代表全面情况的大型试件，可以从中得到试验结果。应用构造地质学原理可以使取样的问题得到解决。但是，我们必须认识到大部分要直接研究的岩石是被覆盖而不容易接触到的，而且不幸的是我们真正所见到岩石却很难代表我们所见不到的那些岩石。被覆盖的岩石是最软弱的，而且可能是最容易引起麻烦的，这几乎是地质工程的一般规律了。在由砂岩和页岩组成的岩组中，只有砂岩会暴露出来，在玄武岩和火山碎屑岩组成的火山岩系中，只有玄武岩流会形成突起部分。花岗岩将形成丘陵，而穿过花岗岩的断层带地段则将形成沟谷。

作为岩石工程的设计人员，也不可能象在结构计算与水力计算中利用其他材料性质的同样精度来利用岩石的性质。因为岩石本身很少能符合通常的理想化假定。首先，大部分岩层具有方向性，如沉积岩中的层理，火成岩中的流状纹理及变质岩中的片理，因此它们在相当大的程度上是高度各向异性的。此外我们发现，岩石对开挖工作的反映是根据原始应力状态的不同而有所变化的，特别是在地下坑道中，这种情况主要取决于应力发展的过程，而这一过程只是在偶然的情况下才可能弄得清楚。由于具有节理和裂隙网络，许多岩石在手标本上是准不连续的，而且就岩层规模来说几乎所有的岩石都被潜伏的或实际的不连续面所贯穿。在深矿坑，深钻孔和某些隧道所能达到的深度上，一些岩石是塑性的，即便在低压情况下也只有极少的岩石具有完全的弹性。有些岩石在工程建筑物使用期限内将发生化学变化，而且有更多的岩石由于风化作用的程度不同而在垂直和水平方向上表现出很大变化。由于存在着这些实际上的困难，计算的结果只能有限地加以应用，而且要根据施工期间的观测来加以调整。所以，仅仅对岩石最后性态提出一个合理的评价，对工程目的来说就常常是够用的了，而用岩石分类的方法就能满意地获得这样的评价。

2.2 岩石标本与岩体的比较

在岩石分类的讨论中，我们必须仔细的区别岩石标本的特性和现场岩石的性质。后者在岩石力学的术语中称为岩体。岩体是由岩石与岩石不连续面的网络及其风化剖面所组成。岩

体的性态反映出所有这些组成因素的影响，同时也反映了象水和应力状态，强度，变形特性及渗透性，这些在很大程度上可能与材料性质无关的因素。

为了适用于各种目的，对所有岩体进行分类，这就需要考虑大量繁杂而互不相干的因素，这是因为不同的行业要求不同的参数。在评价镶面石，骨料，筑路材料与其他岩石产品的适用性时，我们需要描述岩石标本的耐久性、强度、热膨胀、收缩、膨胀性、吸收作用以及比重。岩石的特征影响着工程生产费用。对于开挖工程来说，无论岩石标本或岩体的特性都是重要的，前者影响着可钻性和耐久性，后者主要是影响稳定性，同时也影响开挖的顺利进行。对于地基来说，尤其是对于水工建筑物，主要影响因素是岩体的变形特性，稳定性与渗透性等，而这些因素主要取决于不连续面（虽然岩石标本的特性有时可能控制着设计，例如在不耐久的，裂隙的，风化的或渗透的岩石中）。

我们将首先研究岩石的分类，然后对风化剖面与不连续面系统进行探讨，最后研究岩体的分类问题。

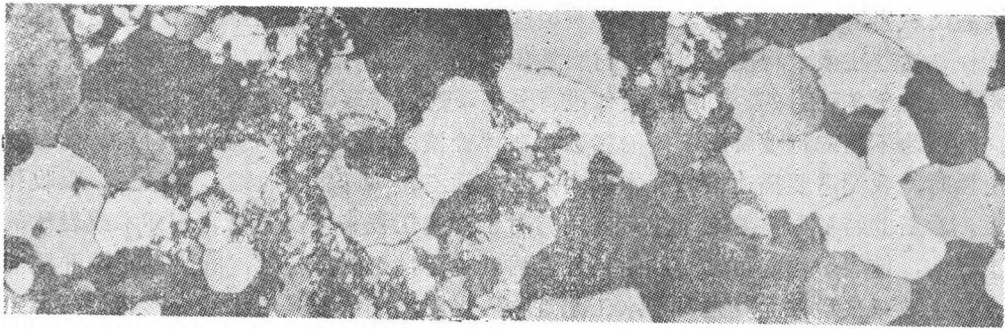
2.3 岩石标本的岩石学分类

对岩石标本进行分类的地质学方法是以若干不同的标准为根据的。这些分类标准可参考Williams, Turner和Gilbert一九五八年的著作。我们将探索把地质学的岩石名称和岩石学的描述应用到工程上的目的。

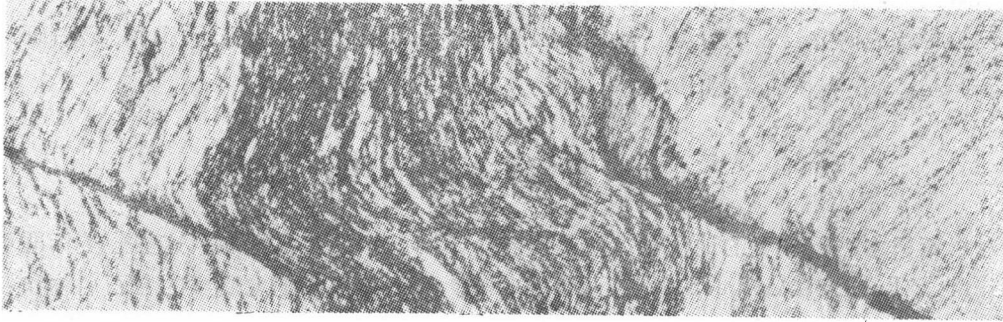
岩石结构与构造的描述，为理解其力学性质提供了一个基础，这些力学性质是紧密地与粒间胶结性，粘结性和不完整性相关的。结晶岩石(图2—1a)是紧密粘结着的颗粒集合体，但有时因晶粒内部或晶粒之间的微裂纹而有所削弱。粗粒结晶岩似乎比细粒结晶岩或隐晶质岩石软一些并且具有较小的刚度。变质岩的最主要的构造因素是叶理，它使标本具有强烈的各向异性和软弱面(图2—1b)，象云母一样的片状矿物定向排列时，叶理特别发育。在碎屑岩中(图2—1c)，颗粒的大小对力学性质的影响远不如其胶结物的性质、强度、耐久性对它所产生的影响大。例如，页岩由于胶结性质的不同，使其在力学性质上的差别尤如土和岩石的差别一样大。层理在手标本上象在岩体中一样，是沉积岩最主要的构造特征，它在多种性质上都表现出各向异性。

既然岩石的地质学名称是企图按不同成因对岩石进行分类，人们就可能产生疑问：究竟这些名称对地质工程实践有没有意义？火成岩类中根据成因划分出侵入岩和喷出岩，在工程的特征上它们是有意义的，因为它们是与形成的深度有关。由地面环境所生成的特征—气孔状，杏仁状和流纹状构造，部分地决定了喷出岩的力学性质。另一方面，深成岩表现出完全不同的特征，这些特征是与约30英里深度，压力接近150,000磅/平方英寸(1000兆牛顿/平方米)形成环境有关。例如，象花岗岩之类的深成侵入岩可能具有很大的水平应力和由于卸荷而产生的裂隙以及具有强烈的化学风化趋势。动力变质岩(相对于热变质作用而言)，包括有小型褶皱与断层构造以及在偏移应力作用下生成的定向排列的矿物。联系到沉积岩的各种形成方式，同样可以产生与其成因有关的各方面的性质(尽管标本上力学性质更直接地与结构和矿物成分有关，而与成因无关)。

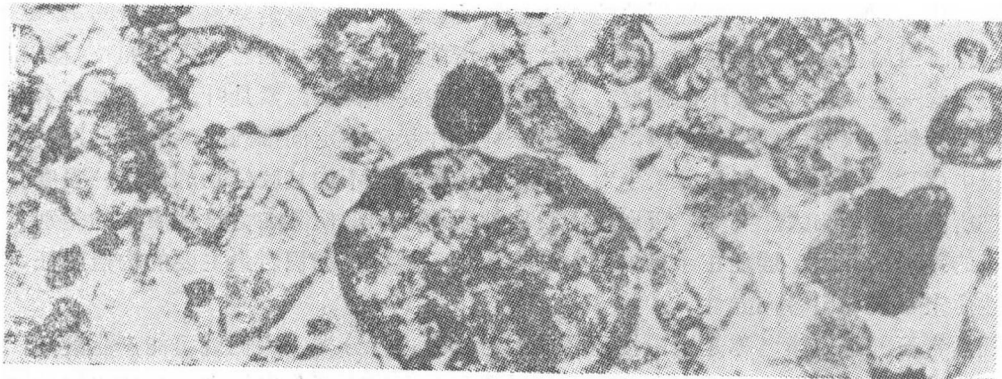
在火成岩与变质岩中，矿物学的分类构成了实际岩石命名的基础，并且在一定的程度上对于沉积岩也是这样。结晶岩石的矿物成分对区分其力学性质并不重要，因此有很多东西对岩石工作者来讲是重要的特征，但对工程目的来说是没有用的；例如，我们通常并不注意某



(a)



(b)



(c)

图 2—1

- (a)中生代石英岩，高度粘合的结晶结构，(据R.Wenk教授)25.5×
 (b)Homestake矿S.D.绿泥石片岩中，带有破劈理构成的定向裂纹的高度各向异性的结晶结构，
 (据W.Chinn博士)40×
 (c)坦桑尼亚，Olduvai峡谷的具有多孔状碎屑结构的风成砂岩，含有分选不好的碎片与颗粒，
 并且有些带有粘土薄膜。在一些已蚀变的霞石颗粒(N)中已出现孔洞，(R.Hay教授)136×

种岩石是属于花岗闪长岩或闪长岩还是英云闪长岩。若是付矿物可以从这一类变成另一类，这些变化后的付矿物若大于石英和长石所占的比例就会影响岩石的工程性质。磁黄铁矿(Martna, 1970)或许是黄铁矿，富铁云母，霞石，白榴石及绿脱石等的出现，标志着作为骨料与建筑石料而开采的，原来是坚硬的岩石发生了变质。原来被二氧化碳充填过的，包含有晶洞的矿物体，可以降低地下水的pH值，有助于迅速风化，例如Bergetorsen坝(Aastrop和Sallstrom, 1964)。任何片状硅酸岩矿物，即云母，绿泥石，滑石及蛇纹石都会降低岩石