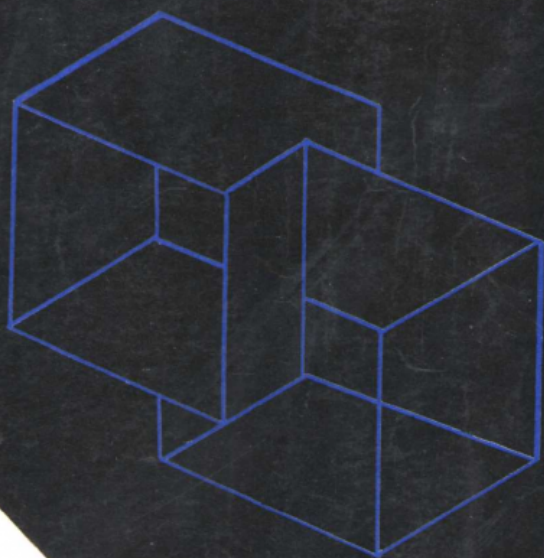


数值分类方法

及其在岩石力学中的应用

林韵梅 等著



东北工学院出版社

326
04

74.326
4404

数值分类方法及其 在岩石力学中的应用

林韵梅 李兆权 张晶瑶 著
王维纲 李 强

东北工学院出版社

054873

内 容 简 介

本书是研究如何对岩体或其它事物进行科学分类的专著。传统的分类学以经验与专业知识为主要依据；数值分类学则建立在近代数学的基础上。本书系统地介绍了有关的理论基础、各种数值分类方法、最佳分类判据、分类数目与分类标准的确定方法以及在岩石力学方面的应用实例。本书所附程序在IBM PC/XT机上通过。

本书可作为土木、采矿、矿井建设、城乡建设、水利、铁道、人防、国防等与岩石力学有关专业的教材或教学参考书；也可供工、农、医等各行各业从事分类工作的人员或数值分类方法训练班的师生使用。凡具有中等以上文化程度的读者，均可作为自学用书。

数值分类方法及其在岩石力学中的应用

林韵梅 等著

东北工学院出版社出版 东北工学院出版社发行
(沈阳·南湖) 沈阳7212工厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 9.5 字数: 231千字
1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷
印数: 1~1000册

责任编辑: 刘淑芳 责任校对: 张立珩
封面设计: 尚尔斌

ISBN 7-81006-118-6/TD·3 定价: 2.02元

前 言

分类是人们认识世界的重要方法之一。考察科学史,可以发现:任何学科的前进都有赖于正确的分类。一般来说,一门成熟的学科必须建立在公认为合理的分类体系之上。例如在工程材料力学中,离开了梁、柱、板等的分类体系就很难系统概括该课程的内容;地质学也是如此,当然是与地质年代的分类体系紧密相关的。因此分类方法的研究对一切科学领域都具有重要的意义。

同时,分类又是人们在日常生活中经常遇到的问题。领导与管理干部需要通过分类(评估)来鉴定自己所管辖部门的工作成绩;企业家通过分类(市场调查)来掌握不同顾客的需求;教育家通过分类(统考)来决定对学生的取舍……。由此可见,分类方法的研究确实对一切工作都具有普遍意义。

传统的分类学以经验与专业知识为主要依据,这种方法在历史上无疑地发挥过巨大的作用,但由于人们认识上的片面性,有时也产生失误或不尽合理的分类体系。例如,在我国采矿业中,现行的岩石分级方法是20世纪50年代由苏联引进的普氏分级法,此法采用岩块的单轴抗压强度,折算成 f 系数,做为判断岩体等级之用,并依据这个级别来设计矿井支架、确定锚定定额、材料消耗标准和工程费用。此法的优点是简单,缺点是分级判据不能反映岩体稳定性的总体特征,分类标准凭经验决定,缺乏严格的数学论证,因而分类结果往往与实际工程有较大的出入,并带来经济上的巨大损失。针对岩体分类的现状,东北工学院围岩稳定性分级课题组运用近代数学工具编制出各种适合于分类的电算程序,采用电脑对事物进行分类,从而形成了一种新的分类方法——数值分类方法。

该法与传统分类法的最大区别是运用近代数学手段揭示出分类三要素,即分类判据、分类档数、分类标准之间的内在规律,提出“三要素相互制约定理”,并按此理论与规律定级,找出最佳的分级数目、分级判据与分级标准,人为因素最少。同时,可根据样本或工程试验数据的增多而不断完善分类或分级标准。因此,这是一种大有发展前途的新岩体分类方法。

据ESA-IRS国际联机检索(反馈有关文献达250万篇),表明国际上尚无运用聚类分析与可靠性分析等综合手段进行围岩稳定性分级的先例。

1984年8月我们内部出版了《围岩稳定性的动态分级法》一书,为了满足广大读者与有志于此方面研究人员的迫切要求,现决定将该书补充修改后公开出版。为适应不同程度读者的需要,在修订时尽量做到深入浅出,既要使从事实际工作的读者看了本书就可以应用到自己的部门或矿山,又要使从事研究工作的读者感到有新意。但由于作者水平所限,再加上这一个新的开拓的方向,书中错误与不完善之处在所难免,尚祈读者见谅与提出宝贵意见。

在本书出版之际,谨向所有曾为开发这一新岩体分级方法作出贡献与努力的师生、矿山工程技术人员、工人以及研究生们表示衷心的感谢。教研室领导与全体教师曾在多方面给予指导与支持,东北工学院出版社的编辑为本书付出了辛勤的劳动,在此一并表示谢意。

本书第二、七、八、十章及附录由林韵梅著,第五章由李兆权著,第四章由张晶瑶著,第三、六章由王维纲著,第一章由林韵梅和李兆权合著,第九章由李强和林韵梅合著。全书由林韵梅统一审定。

作 者

1989年元旦

目 录

前 言

第一章 绪 论

第一节 岩石及岩体的分类	(1)
第二节 稳定性分级的目的与意义	(12)
第三节 对稳定性分级的若干认识	(13)
第四节 分级判据及其选择	(15)

第二章 预 备 知 识

第一节 距 离	(19)
第二节 变量的相关	(21)
第三节 相似系数	(25)
第四节 聚类分析方法的介绍	(25)

第三章 点荷载强度指标的原理与应用

第一节 概 述	(27)
第二节 点荷载试验方法	(28)
第三节 点荷载试验计算程序	(31)

第四章 声波测试指标的原理与应用

第一节 声波判据被选择的依据	(38)
第二节 岩体声波探测的原理	(38)
第三节 岩体纵波速度的测试方法	(41)
第四节 测试数据的整理	(43)
第五节 测试结果的分析	(45)
第六节 计算实例	(49)

第五章 位移分级指标的原理与应用

第一节 位移判据被选择的依据	(53)
第二节 位移场的一般特征	(53)
第三节 位移观测方法	(56)
第四节 位移分级指标的确定	(60)
第五节 分级指标运用与测试结果分析	(60)

第六章 岩体结构面的调查统计

第一节 结构面调查的意义和应用	(63)
第二节 结构面调查的方法	(64)
第三节 数据整理与计算	(65)
第四节 结构面指标和其它参数	(66)

第七章 动态分级法 (DT法)

第一节 集合与类	(69)
第二节 DT法的基本原理	(70)
第三节 DT法的实施步骤与分类函数	(70)
第四节 程序介绍	(72)
第五节 应用动态分级法建立矿山分级系列	(73)
第六节 全国(或各个部门)分级系列的建立	(82)
第七节 结论	(86)

第八章 系统聚类法 (SYS法)

第一节 基本原理	(87)
第二节 应用系统聚类法进行岩体分级	(89)
第三节 程序介绍	(92)
第四节 用系统聚类法建立分级系列	(94)

第九章 模糊分级法

第一节 模糊聚类分析的基本知识	(98)
第二节 利用模糊等价关系的分类法 (FSYS法)	(102)
第三节 模糊动态分级法 (FDT法)	(106)
第四节 围岩稳定性分级模式的模糊识别	(113)

第十章 分级三要素的优化问题

第一节 最佳判据的选取	(117)
第二节 最佳分级数目的确定	(127)
第三节 分级三要素定理	(128)

参考文献	(129)
------	-------

附录一 动态分级法使用的计算机程序 (DT程序)	(132)
--------------------------	-------

附录二 系统聚类法使用的计算机程序 (SYS程序)	(138)
---------------------------	-------

附录三 数值分类方法的程序库	(145)
----------------	-------

第一章 绪 论

第一节 岩石及岩体的分类

在采矿工程中,以岩石或岩体为工作的主要对象。岩体不同于其它工程体,它是由岩石材料组成,并被各种构造形迹切割成既连续又不连续的地质体。在这个地质体的开掘过程中,它所表现出来的现象与状态是极为复杂与多变的。如果工程师们没有一个统一的标准去认识与区分岩体质量的好坏,就无法作出正确的设计或施工方案,也很难进行科学管理与评价经济效益,当然更谈不上投资的合理估算了。因此,近百年来,不少岩石力学科学家都在努力寻找合理的分类方法(其中有序的分类方法称为分级方法),企图用单一的、综合的或多项指标的方法来描述岩石或岩体的面貌,并将岩石或岩体划分为具有不同属性的有限类别。经过了上百种分类方案的探讨,目前这一工作正在由争鸣走向统一的阶段。在这一方面我国作了大量工作。

一、岩石的分类

岩石是组成岩体的实质材料,通常以岩体中摆脱宏观地质缺陷的岩块属性来表示岩石的性质,即所谓岩性。

由于应用目的不同,人们常采用不同的岩性指标来进行岩石分类。在矿业工程中常采用的岩石分类为普氏分类与迪尔-米勒力学分类。此外,在我国隧道工程中常采用土、岩石分级。

1. 普氏坚固性分级(1)(18)(14)

苏联学者M.M.普罗托季雅可诺夫于1907年提出用岩石坚固性这一概念划分岩石的级别。坚固性是一个反映岩石在各种外力(钻孔、爆破、冲刷……)作用下破坏难易程度的抽象概念。

表1-1中列有普氏分级的划分标准,该表中 f 为坚固性系数。按当时通用的应力单位公斤/平方厘米,普氏将 f 定义为岩石抗压强度的百分之一。按现行法定单位制,当岩石抗压强度 R 采用为MPa为单位时, f 的定义则为

$$f = \frac{R_0}{10}$$

式中: R_0 ——岩石的单轴抗压强度,MPa。

该法采用的指标简单,我国采矿部门曾广泛采用过,但由于该法企图用一个强度指标去反映岩体工程在各个方面的表现,因此常常发生不切合实际之处。70年代以来,有不少学者对此提出了修正的意见,例如H.C.布雷切夫(H.C.Буллчев)建议在脆性破坏条件下用指标 S 代替 f 来判断岩体工程的稳定性(14)。

表1-1

普氏 坚 固 性 分 级 表

级别	坚 固 性 程 度	岩 石	f
I	最坚固的岩石	最坚固、最致密的石英岩及玄武岩、其它坚固的岩石	20
II	很坚固的岩石	很坚固的花岗岩类：石英斑岩、很坚固的花岗岩、硅质片岩、坚固程度较I级岩石稍差的石英岩、最坚固的砂岩及石灰岩	15
III	坚固的岩石	致密的花岗岩及花岗石、很坚固的砂岩及石灰岩、石英质矿脉、坚固的砾岩、很坚固的铁矿石	10
III _A	坚固的岩石	坚固的石灰岩、不坚固的花岗岩、坚固的砂岩、坚固的大理岩、白云岩、黄铁矿	8
IV	相当坚固的岩石	一般的砂岩、铁矿石	6
IV _A	相当坚固的岩石	砂质页岩、泥质砂岩	5
V	坚固性中等的岩石	坚固的页岩、不坚固的砂岩及石灰岩、软的砾岩	4
V _A	坚固性中等的岩石	各种不坚固的页岩、致密的泥灰岩	3
VI	相当软的岩石	软的页岩、很软的石灰岩、白垩、岩盐、石膏、冻土、无烟煤、普通泥灰岩、破碎的砂岩、胶结的石和砾、掺石土	2
VI _A	相当软的岩石	碎石土、破碎页岩、结块的卵石及碎石、坚硬烟煤、硬粘土	1.5
VII	软 岩	致密的粘土、软的烟煤、硬冲积土、粘土质土壤	1
VII _A	软 岩	微砂质粘土、黄土、细砾石	0.8
VIII	土质岩石	腐殖土、泥煤、微砂质粘土、湿砂	0.6
IX	松散岩石	砂、细砾、松土、采下的煤	0.5
X	流砂状岩石	流砂、沼泽土壤、饱含水的黄土及其它土壤	0.3

$$S = f \frac{K_M K_R K_W}{K_N K_t K_A K_s}$$

式中 $K_M, K_R, K_W, K_N, K_t, K_A, K_s$ 是表达或考虑岩石裂隙程度、裂隙组数、裂隙面粗糙度、岩石潮湿性、未充填裂隙张开程度、裂隙被碎石或次生矿物充填、巷道与最发育裂隙组的相对方向等因素的影响系数。

表1-2是布氏建议的分级表。指标 l 值是非弹性变形区的最大长度，用来评价塑性破坏岩体的稳定性；指标 $R_s/(\gamma H)$ 是单轴抗压强度与容重 γ 乘以深度 H 的比值，在不稳定现象主

表1-2 修正的分级表

岩石稳定等级	岩石稳定程度	指标 S 值	指标 I 值 m	指标 $\frac{R_0}{\gamma H}$ 值	岩石暴露时间
I	完全稳定	>70	—	—	无限长
II	稳定	$5 \sim 70$	≤ 0.2	0.6	6个月以内
III	中等稳定	$1 \sim 5$	≤ 0.4	0.3~0.6	半个月以内
IV	不稳定	$0.05 \sim 1.0$	≤ 1.0	0.3~0.6	一昼夜以内
V	极不稳定	< 0.05	> 1.0	0.3	随掘随冒

要以岩石位移形式出现, 并且又没有明显破坏的条件下应用此值分级。

2. 迪尔-米勒分类法^{[2][19]}

不少研究者曾利用岩石的力学性质进行分类, 如科茨 (Coates)、米勒 (Miller) 等, 其中以1966年迪尔 (Deere) 和米勒建议的标准 (以米勒早期的分类法为基础修改而成) 较为流行 (表1-3)。

完整岩块的工程分类

表1-3⁽¹⁹⁾

A 按强度分类

类别	说 明	单轴抗压强度, MPa
A	强度极高的	>220
B	强度高的	110~220
C	强度中等的	55~110
D	强度低的	27.5~55
E	强度极低的	<27.5

B 按模量比分类

类别	说 明	模 量 比
H	模量比高的	>500
M	模量比中等的	200~500
L	模量比低的	<200

该分类法中有二个判据, 一个是长径比大于2的试样的抗压强度 R_0 ; 另一个是模量比, 它等于 E_1 与 R_0 之比。 E_1 是应力等于50% R_0 时的切线弹性模量。

迪尔与米勒在二个不同判据的基础上将岩石划为 AM 、 BL 与 CM 等若干类型。

3. 土、岩石分级

我国新隧道设计规范中建议采用此法, 共归纳成16个表格^[26]。分级的目的明确, 资料

偏于表土与露头,适用于浅埋工程,是一个考虑得比较全面的岩、土材料分级。因表格所占篇幅过多,此处从略。

二、岩体的分类

综合近百年的分类史,可以看出:早期只有岩石的分类,直到60年代,由于岩土工程在深度与广度上不断发展,人们愈来愈认识到岩体与个别岩块的重大差异,才先后出现了数十种不同观点的岩体分类方法。其总的趋势则可分为两大类:一类是不与工程直接发生联系,单纯根据岩体的质量来划分岩体等级;另一类则力求将分级与某一类或几类相邻工程联系起来,属于岩体工程分级。限于篇幅,本书中只详细介绍了岩体分级中国外较有代表性的少数方法,其它若干流行的分类方法可按表1-4查找参考文献。

表1-4 部分分类方法一览表

编号	分类方法名称	发表年份	作者	分类判据	参考文献编号
1	RLD 图表法	1957 1958 1970	H. Lauffer (奥) L. V. Rabcewicz (德)	围岩自稳时间 临空跨距	10
2	岩石实质分类法	1966	Coates (加拿大) Parsons	抗压强度、弹性模量等	3
3	用于掘进的围岩分类	1970	H. weber (德)	裂隙块特征掘进与支护情况、 RLD图表	7
4	简易岩石分类法	1975	J. Talobre (法)	地质情况	20
5	岩体强度分级法	1969	L. Hansagi (瑞典)	岩块抗压强度裂隙系数	18
6	岩体结构分级法	1972 1972	谷德振 (中国) 王思敬	岩体结构弹性波参数等	17
7	RSR分类法	1972 1974	Wickham (美国) Tiedemann	岩体地质结构节理状态、水等	3
8	铁路隧道围岩分类	1975	铁道部 (中国)	抗压强度、结构特征、开挖后的状态	16
9	喷锚支护分类	1978	国家建委 (中国)	抗压强度、岩体结构、毛洞稳定状态	16
10	坑道围岩分类	1973	某部队 (中国)	抗压强度、岩体结构、水与围岩状态	16
11	采场顶板分类	1978	中国煤炭科学研究院北京开采所、 中国矿院	强度指数、直接顶初次垮落步距	16

续表 1-4

编号	分类方法名称	发表年份	作者	分类判据	参考文献编号
12	岩体质量 M 指标法	1978 1981	杨子文等 (中国)	抗压强度、弹性模量、弹性波速度等	7
13	节理间距分类	1975	ISRM* CFT第4号文件	节理间距	3
14	岩块尺寸分类	1975	ISRM CFT第4号文件	节理数/米 ³	3
15	节理裂隙间距分级表	1975	ISRM CFT第4号文件	裂隙开度	3
16	岩石分类	1968	岩石力学委员会 (日本)	抗压强度、岩体平均龟裂间距、 声波速度	11、12
17	凿碎法岩石可钻性分级	1980	费寿林等 (中国)	凿碎比功、钎刃磨蚀宽度	31
18	围岩稳定性的动态分级法	1984	林韵梅等 (中国)	抗压强度、岩体声波速度、平均节 理间距、位移稳定时间	16、22 23、24
19	岩石爆破性分级	1984	钮强等 (中国)	爆破指数、波阻抗岩体声波速度	30
20	坑道工程围岩分类	1984 1986	刑念信、徐复安等 (中国)	抗压强度、完整性系数	34
21	铁路隧道工程岩体 (围 岩) 分级	1986	王石春、张可诚等 (中国)	抗压强度, 完整性系数或体积节理 数等	28

* 国际岩石力学学会现场试验标准委员会第4号文件。

1. RQD 分级法〔3〕〔5〕〔6〕〔18〕

由美国伊利诺斯大学的迪尔 (Deere) 于1964年提出。该文作者依据一个名为岩体质量指标 (RQD) 的判据将岩体划分为五级。 RQD 定义为岩芯中长度等于或大于10cm的岩芯累计长度与钻孔进尺总长度之比。

表1-5是该文作者所建议的分类标准。

RQD 指标反映了岩体被各种结构面切割的程度。由于指标意义明确, 可在钻探过程中附带得到, 又属于定量指标, 因而对于一个矿山的总体设计方案、投资概算等宏观决策有一定用途。

2. 南非地质力学分级法 (CSIR法)〔3〕〔2〕

由南非 Bieniawski 博士于1973~1975年间提出。该法分三步进行, 首先根据表1-6

表1-5

ROD 分 级 表

RQD, %	岩 体 质 量 描 述
0~25	非 常 不 好
25~50	不 好
50~75	较 好
75~90	好
90~100	非 常 好

确定各分级判据所获得的分值,把分值累计起来可得岩体的总分值,按总分值评价岩体属于哪一级别,例如很好、好等。数值愈大,表示岩体的质量愈好。第二步是按裂隙产状对不同工程的影响程度(表1-7)修正岩体的总分值。该表考虑裂隙影响时对于不同工程有时扣除不同的分值,这是因为裂隙对各类工程的作用不是等同的。例如节理走向在隧道中的作用不如在边坡工程中重要,则扣除的分值也少。第三步可根据作者建议的岩体工程围岩分类表(表1-8)来预测围岩的自支承时间、岩体的抗剪强度性质以及可挖性等,以此作为设计与施工的参考依据。

表1-6

裂隙岩体各分类因素的分配点数

1	完整岩块的单轴抗压强度, MPa		>200	100~200	50~100	25~50	<25
	分配点数		15	12	7	4	≤2
2	RQD, %		90~100	75~90	50~75	25~50	<25
	分配点数		20	17	13	8	3
3	节理间距 m		>3	1~3	0.3~1	0.05~0.3	<0.05
	分配点数		30	25	20	10	5
4	节理状态		裂开面极粗糙, 两壁岩石坚硬, 节理连通性不好	裂开面稍粗糙, 裂开宽度 <1mm, 两壁岩石坚硬, 连通性一般	裂开面稍粗糙, 裂开宽度 <1mm, 两壁岩石软弱, 连通性一般	裂开面上有擦痕或断层泥填充, 裂开宽度约1~5mm, 连通性不好	裂缝中夹软泥, 厚度>3mm, 裂开宽度>5mm, 连通性好
	分配点数		25	20	12	6	0
5	岩 石	隧洞中每10m长段涌水量, L/min	0		<25	25~125	>125
	透水性	隧洞干燥程度	干 燥		稍潮湿	潮 湿	涌水严重
	分配点数		10		7	4	0

表1-7

按裂隙产状校正分配点数表

影响程度等级		最有利	有 利	一 般	不 利	最不利
分配点数	隧 洞	0	-2	-5	-10	-12
	地 基	0	-2	-7	-15	-25
	边 坡	0	-5	-25	-50	-60

表1-8

岩体工程围岩分类表

岩体质量类别		I	II	III	IV	V
		最好的	良好的	一般的	不良的	最坏的
累 计 点 数		90~100	70~90	50~70	25~50	<25
洞壁自承状况	跨 度, m	5	4	3	1.5	0.5
	时 间	10a	300d	7d	5h	10min
岩体抗剪强度估算	$C, \text{Pa} \times 10^5$	3	2~3	1.5~2	1~1.5	1
	$\varphi, (^{\circ})$	≥ 45	40~45	35~40	30~35	≤ 30
可 挖 性		极 困 难	困 难	一 般	容 易	极 容 易

该法认为：岩体工程分级的目的，是为岩体确定一个数值，而不是一些容易混淆的术语，这一思想与方向是正确的。由于记分法简单易行，此法曾获得一定的推广。缺点是必须依赖有经验的地质人员。另外，Bieniawski曾用此分级法决定围岩的自稳时间，但由分值换算出来的自稳时间比实际冒落发生所确定的这一时间低，可见所定的分值是偏于保守的。

3. 缪勒分类法[3][13]

在中欧一带较为流行的分类方法是缪勒 (Miiller) 与霍夫曼 (Hofman) 于 1970 年提出的。这一方法沿用了太沙基 (Terzaghi)、斯泰奈 (Stini) 等的途径，故又被称为萨尔布格学校分类法 (Salzburg School Classification)。

这一分类方法的判据为：

- (1) 完整岩块的强度；
- (2) 节理状态；
- (3) 水；
- (4) 巷道的临空跨度。

鉴于节理的连续与否往往对岩体质量发生显著的影响，作者建议在分类指标中采用一个表征节理连续度的 X 值，该值等于：

$$X = \frac{K}{A}$$

式中， A ——考察剖面的面积；

K ——考察剖面上由于节理存在而不连续的面积。

当 $X = 1$ 时，全部不连续；

$X = 0$ 时，全部连续；

$X = 0.5$ 时，50%的面积不连续。

图1-1与图1-2是该方法目前推荐的分级手段。其中图1-1表示了岩块抗压强度 R_c 与节理间距 d 对岩体类型的影响；而图1-2则表示随着节理间距 d 的减小与节理连续度 X 值的增加，岩体的完整性不断降低，从而可确定出岩体的切割程度。

该法的优点是利用作图法确定岩体类型，比较直观，但指标 X 的确定不易准确，因此在很大程度上受使用者主观见解的影响，这也是该法未能在更大范围内推广的主要原因。

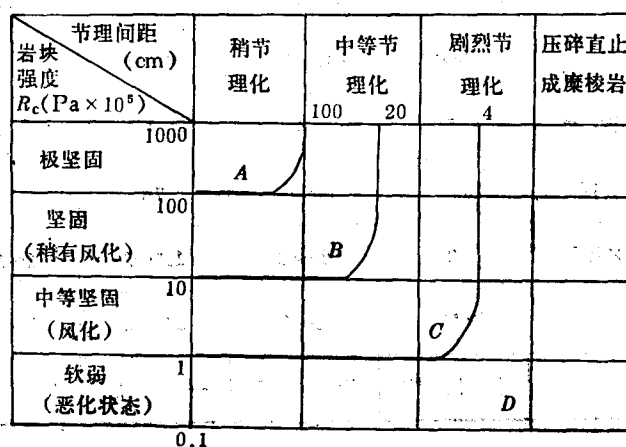


图1-1 根据岩石强度与节理间距作出的等岩体强度线
A—坚固岩石；B—中等岩石；C—软弱岩石；D—非常软弱的岩石

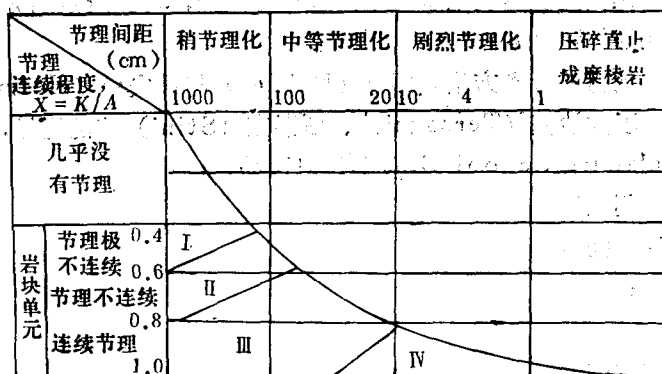


图1-2 岩体完整性与节理间距以及节理连续度的关系
I—整体岩石；II—节理化岩石；III—龟裂化岩石；IV—散体岩石

4. 岩体质量指标Q分类法 (NGI法) [16][18][36]

1974年挪威学者N·巴顿、R·利恩与R·伦德提出了一个Q分类法。Q是岩体质量的简称, 它由RQD、节理组数 J_n 、节理面粗糙度 J_r 、节理蚀变程度 J_a 、裂隙水影响因素 J_w 以及地应力影响因素SRF等六项指标组成, 其计算公式为:

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \left(\frac{J_w}{SRF} \right)$$

式中 RQD的定义与前相同, 可参考表1-5, 其它的每项指标都可从相对应的表格查得(表1-9至表1-13), Q值愈大, 表示岩体的质量愈好。

岩体质量为一综合指标, 它的范围一般为0.001~1000, 不同Q值的级别可根据表1-14确定。

表1-9 节理组数 J_n

节理发育情况	J_n 值
A. 整体的、没有或很少有节理组	0.5~1
B. 1组节理	2
C. 1~2组节理	3
D. 2组节理	4
E. 2~3组节理	6
F. 3组节理	9
G. 3~4组节理	12
H. 4~5组节理。具有大量的节理, 岩石被多组节理切割成方块	15
J. 压碎岩石, 似土类岩石	20

表1-10 节理面粗糙度 J_r

节理面粗糙度情况	j_r 值
a) 节理面直接接触	
b) 剪切时, 当剪切变形<10cm, 岩壁接触	
A. 不连续的节理	4
B. 粗糙或不规则的起伏节理	3
C. 光但是起伏的节理	2
D. 光滑, 但具有起伏的节理	1.5
E. 平坦且粗糙、或不规则节理	1.5
F. 光而平直的节理	1
G. 平直且光滑的节理	0.5
c) 剪切后, 节理不再直接接触	
H. 节理面间充填有不能使节理面直接接触的连续粘土矿物带	1.0
J. 节理面间充填不能使节理直接接触的砂、砾石或挤压破碎带	1.0

通过调查研究,巴顿等建议在隧道中采用以下的经验公式来确定工程跨度:

$$W = 2.1 Q^{0.387} \text{ m}$$

式中: W ——无支护隧道的最大安全跨度;

Q ——岩体质量指标。

这一方法与南非地质力学方法相比,都属于多指标法。南非法采用记分法,要求的指标比较容易获得,因此在矿业界获得更多的应用, Q 法则主要应用于隧道与大型地下峒室。

表1-11 节理蚀变程度 J_e

节理蚀变程度	J_e 值	φ (近似值)
(a) 节理面直接接触		
A. 坚硬的、半软弱的、经过处理而紧密且具有不透水充填物的节理 (如石英或绿帘石充填)	0.75	
B. 节理面未产生蚀变, 仅少数表面稍有变化	1.0	$25^\circ \sim 30^\circ$
C. 轻微蚀变的节理面, 表面为半软弱矿物所覆盖, 具有砂质微粒, 风化岩土等	2.0	$25^\circ \sim 30^\circ$
D. 节理为粉质粘土或砂质粘土覆盖, 少量粘土、半软弱岩覆盖	3.0	$25^\circ \sim 35^\circ$
E. 有软弱的或低摩擦角的粘土矿物覆盖在节理表面 (如高岭土、云母绿泥石、滑石、石膏等) 或含有少量膨胀性粘土 (不连续覆盖、厚度约 $1 \sim 2 \text{ cm}$ 或更薄) 的节理面	4.0	$8^\circ \sim 16^\circ$
(b) 当剪切变形 $< 10 \text{ cm}$ 时, 节理面直接接触		
F. 砂质微粒, 岩石风化物充填	4	$25^\circ \sim 30^\circ$
G. 紧密固结的半软弱粘土矿物充填 (连续的或厚度小于 5 mm)	6	$16^\circ \sim 24^\circ$
H. 中等或轻微固结的软弱粘土矿物充填 (连续的或厚度小于 5 mm)	8	$12^\circ \sim 16^\circ$
I. 膨胀性粘土充填, 如连续分布的厚度小于 5 mm 的蒙脱土充填时		
J_e 值取决于膨胀性颗粒所占百分数, 以及水的渗入情况		
(c) 剪切后, 节理面不再直接接触		
K、L、M. 破碎带夹层或挤压破碎带岩石和粘土 (对各种粘土状态的说明见 G 或 H、I)	6, 8 或 $8 \sim 12$	$6^\circ \sim 24^\circ$
N. 粉质或砂质粘土及少量粘土 (半软弱)	5	
O、P、Q. 厚的连续分布的粘土带或夹层 (粘土状态说明见 G、H、I)	10、13 或 $13 \sim 20$	$6^\circ \sim 24^\circ$

表1-12

裂隙水影响因素 J_w

裂隙水情况	J_w	近似的水压力 MPa
A. 开挖时干燥或有少量水渗, 即有局部渗水, 渗水量小于5L/min	1.0	小于0.1
B. 中等入渗或填充物偶然受水压力冲击	0.66	0.1~0.25
C. 大量入渗, 或为高压, 节理未充填	0.5	0.25~1
D. 大量入渗或高压, 节理充填物被大量带走	0.33	0.25~1
E. 异常大的入渗或具有很高的水压, 但水压随时间衰减	0.1~0.2	大于1
F. 异常大的入渗, 或具有很高且持续的无显著衰减的水压	0.05~0.1	大于1

表1-13

地应力影响因素 SRF

地 应 力 情 况			SRF
(a) 当隧洞的交叉洞开挖在弱带上时, 开挖后可能引起岩体的疏松			
A. 含有粘土或化学风化岩石的软弱带多次出现, 周围岩石非常疏松 (处于任何深度部位)			10
B. 含有粘土或化学风化岩的单一的软弱带, 开挖深度 $\leq 50m$			5
C. 含有粘土或化学风化岩的单一软弱带, 开挖深度 $> 50m$			2.5
D. 在坚硬岩石中, 多次出现剪切带, 周围岩石疏松			7.5
E. 坚硬岩石中, 具有单一剪切带 (中少量粘土), 开挖深度小于或等于50m			5
F. 坚硬岩石中, 具有单一剪切带 (中夹少量粘土), 开挖深度大于50m时			2.5
G. 疏松的张节理, 形成节理组很多, 多呈方块状 (处于任何深度部位)			3
(b) 坚硬岩石、岩石应力问题		$\frac{R_c(\text{抗压强度})}{\sigma_1(\text{最大主应力})}$	$\frac{R_t(\text{抗拉强度})}{\sigma_1(\text{最大主应力})}$
H. 低应力, 靠近地表		> 200	> 13
J. 中等应力		10~200	0.66~13
K. 高应力、结构致密 (对稳定时间有利, 但对岩壁则可能不利)		5~10	0.33~0.66
L. 破碎软弱岩体		2.5~5	0.16~0.33