

关于岩石单轴抗压强度界限值的划分

杨 子 文

(鲁布革工程管理局)

问题的提出

各种用途的岩石分类和岩体分类, 目的在于研究它们的工程质量的好坏。其判断标准在长时期以来, 不论是在国内还是国外, 都是采用易于测定又能全面反映岩石力学特征的单轴抗压强度这一指标参数。一般说来, 人们根据自然界中各类岩石的特点, 从工程实际出发, 通常将它们区分为软岩和硬岩两个大类。在实际工作中, 为便于使用又将它们进一步细分为极软岩、软岩、中硬岩、硬岩、极硬岩等五个等级。目前, 在国外也还有划分为七个等级的, 即除上述五级外, 再加非常软和非常硬的二级。但实际应用还是以五级划分为主, 这种属于定性的五级划分, 国内外均可以接受。不过, 在具体使用时, 如何定量, 用什么样的定量值加以区分, 以减少使用时造成的混乱, 则是需要给予解决的一个课题。其中, 尤其是确定软岩、硬岩的分界标准, 在学术研究和工程建设中都具有现实的意义。

单轴抗压强度划分界限的现状

由于工作需要, 多年来笔者搜集了水利水电、交通运输、采矿冶金、煤炭、地质、工民建、海港码头、军工等各个部门的岩石和岩体分类资料 67 例。其中, 国内资料 39 例, 国外资料 28 例。这些资料的岩石单轴抗压强度列于表 1, 并绘于图 1 中。

表 1 岩石抗压强度划分界限值资料

序	资 料 来 源	极硬岩	硬 岩	中硬岩	软 岩	极软岩
MPa(kg/cm ²)						
1	水电部东北院科研所[1]	98.1 (1000)	58.8 (600)	19.6 (200)	4.9 (50)	
2	逊尔, 米勒(邱吉尔瀑布电站)[3]1966	219.7 (2240)	109.8 (1120)	54.9 (560)	27.5 (280)	
3	科茨[2]1964	171.6 (1750)	34.3 (350)	—	—	
4	哈贝尼希特[2]	245.2 (2500)	98.1 (1000)	49.0 (500)	29.4 (300)	
5	(日)岩石力学委员会[4]	98.1 (1000)	49.0 (500)	9.8 (100)	1.0 (10)	
6	(英)贾格尔[5]	98.1 (1000)	49.0 (500)	19.6 (200)	9.8 (100)	
7	布劳齐、逊尔曼等[6]	166.7 (1700)	98.1 (1000)	49.0 (500)	14.7 (150)	

续表 1

8	宾尼亚斯基[6]	235.3 (2400)	117.7 (1200)	58.8 (600)	29.4 (300)
9	湖南省水利水电设计院[7]	—	—	29.4 (300)	4.9 (50)
10	建科院[8]	—	—	29.4 (300)	—
11	铁道部第一设计院[9]	58.8 (600)	—	29.4 (300)	4.9 (50)
12	湖北省综合勘察设计院[10]	—	78.5 (800)	29.4 (300)	—
13	铁路隧规[23]	—	58.8 (600)	29.4 (300)	4.9 (50)
14	305部队坑道围岩分类	—	58.8 (600)	29.4 (300)	9.8 (100)
15	重庆建筑工程学院[11]	—	78.5 (800)	29.4 (300)	—
16	水电部第四工程局[12]	—	78.5 (800)	29.4 (300)	—
17	水电部四局勘测室	98.1 (1000)	78.5 (800)	29.4 (300)	14.7 (150)
18	七机部等[13]	—	98.1 (1000)	29.4 (300)	—
19	水电部成勘院科研所[14]	117.7 (1200)	83.4 (850)	39.2 (400)	14.7 (150)
20	四川省地质局水文地质大队	—	78.5 (800)	9.8 (100)	—
21	长春地质学院	—	29.4 (300)	19.6 (200)	—
22	成勘院岩规小组[15]	117.7 (1200)	58.8 (600)	29.4 (300)	14.7 (150)
23	(苏)普氏分类	98.1 (1000)	49.0 (500)	19.6 (200)	—
24	(苏)萨瓦连斯基分类	88.3 (900)	58.8 (600)	29.4 (300)	—
25	(苏)H·马斯洛夫分类	—	49.0 (500)	49 (50)	—
26	(苏)奥柯洛—库拉克分类	—	49.0 (500)	4.9 (50)	—
27	(苏)И.В.波波夫分类	—	49.0 (500)	—	—
28	(苏)CH—123—60水工建筑规范	—	39.2 (400)	14.7 (150)	4.9 (50)
29	(日)隧道围岩强度分类	—	58.8 (600)	19.6 (200)	4.9 (50)
30	(法)山区隧道围岩分类1971	—	—	29.4 (300)	—
31	(加)D.F.夸斯特分类	171.6 (1750)	—	34.3 (350)	—
32	水电部原北京院〈农村水电〉 1963	—	73.5 (750)	24.5 (250)	—
33	空军工程学院[16]	78.5 (800)	58.8 (600)	29.4 (300)	14.7 (150)
34	(日)土木工程学会[17]	—	98.1 (1000)	49.0 (500)	—
35	水电部第六工程局等[18]	—	58.5 (600)	29.4 (300)	—
36	东北工学院[19]	—	78.5 (800)	29.4 (300)	—
37	姜达权等[20]	117.7 (1200)	78.5 (800)	39.2 (400)	—

续表 1

38	田良灿等[21]	147.1 (1500)	118.7 (1210)	79.4 (810)	49.0 (500)
39	李路汉[22]	—	—	29.4 (300)	—
40	关宝树[23] 1954前	—	98.1 (1000)	39.2 (400)	—
41	铁路土石分类[23] 1954前	156.9 (1600)	98.1 (1000)	39.2 (400)	19.6 (200)
42	铁路土石分类[23]	215.7 (2200)	147.1 (1500)	88.3 (900)	14.7 (150)
43	日本围岩分类[23] (1)	274.6 (2800)	98.1 (1000)	19.6 (200)	—
44	日本围岩分类[23] (2)	196.1 (2000)	147.1 (1500)	39.2 (400)	—
45	水工隧洞设计规范	78.5 (800)	58.5 (600)	29.4 (300)	4.9 (50)
46	湖南省水利水电设计院[24]	—	68.6 (700)	29.4 (300)	—
47	王石春等[25]	98.1 (1000)	58.8 (600)	29.4 (300)	9.8 (100)
48	NGI分类法	196.1 (2000)	98.1 (1000)	49.0 (500)	24.5 (250)
49	陶振宇[26] 1980	196.1 (2000)	98.1 (1000)	49.0 (500)	9.8 (100)
50	(澳)Bieniawski分类[26] 1974	196.1 (2000)	98.1 (1000)	49.0 (500)	24.5 (250)
51	建研院情报所[26] 1975	—	78.5 (800)	29.4 (300)	—
52	水电部[26] 1979	98.1 (1000)	78.5 (800)	29.4 (300)	14.7 (150)
53	(日)ITA契约部会对策小委员会干事会1982	—	98.1 (1000)	19.6 (200)	4.9 (50)
54	孙万和[26]	—	88.3 (900)	29.4 (300)	14.7 (150)
55	徐荣熙等[27]	117.7 (1200)	58.8 (600)	29.4 (300)	14.7 (150)
56	兰州铁道学院[28] 1973	98 (1000)	78.5 (800)	49.0 (500)	29.4 (300)
57	冶金部	78.5 (800)	58.8 (600)	29.4 (300)	—
58	国家建委 1978	—	58.8 (600)	29.4 (300)	—
59	煤炭部 1977	58.8 (600)	39.2 (400)	19.6 (200)	—
60	煤炭部 1978	—	78.5 (800)	29.4 (300)	—
61	王宗林等 1972	117.7 (1200)	78.5 (800)	29.4 (300)	14.7 (150)
62	(捷)按抗拉强度等级的分类 1961	147.1 (1500)	58.8 (600)	19.6 (200)	—
63	(奥)劳佛尔	219.7 (2240)	109.8 (1120)	54.9 (560)	27.5 (280)
64	(日)本四连络桥分类	—	—	29.4 (300)	—
65	ISRM-CFT-4号文件建议方法 1977	98.1 (1000)	49.0 (500)	24.5 (250)	4.9 (50)
66	ISRM建议BGD法[29] 1980	196.1 (2000)	58.8 (600)	19.6 (200)	5.9 (60)
67	Franklin 等	98.1 (1000)	49.0 (500)	12.3 (125)	4.9 (50)
	算术平均值	142.2 (1450)	75.7 (770)	32.4 (330)	14.7 (150)

从表1来看,各家的划分标准并不完全一致,其原因既有作者们对客观事物认识上的不一致,也有各不同经济领域工程对岩石的要求也不尽相同,

第五届国际岩石力学大会期间,H. Stapledon 等人在场地勘测与评价的总结报告中,就有关岩石分类部分曾向大会呼吁,希望对岩体节理间距、岩层厚度、岩石抗压强度、节理密度或节理状态、地下水状态等几个方面的描述工作中能逐步地取得一致的见解。可见,岩石的单轴抗压强度也是目前亟待标准化的一项内容。从图1中根据国内外的资料绘制的强度分布图来看,约定一个大家都能接受的标准是可能的,也是需要的。这项工作可先从国内做起。

资 料 分 析

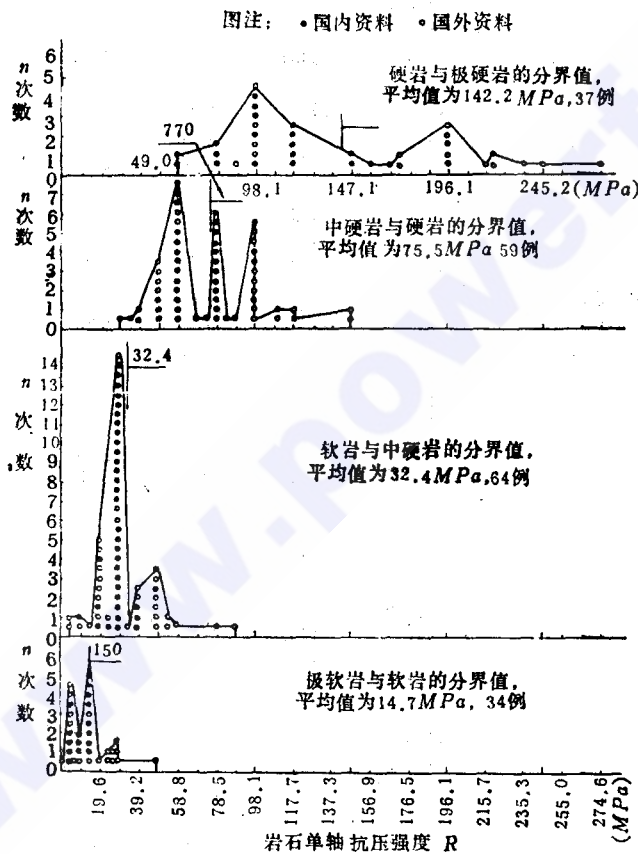


图 1

MPa (50~150 kg/cm²) 之间。

2. 软岩与中硬岩的分界值

这一分界值实际上就是软岩和硬岩的分界值。由于这一指标的重要性,在67例资料中,小于19.6 MPa (200 kg/cm²) 的有5例,大于49.0 MPa (500 kg/cm²) 的也有5

据搜集到的67例资料,分析如下:

1. 极软岩与软岩的分界值

34例资料作图表明,极软岩与软岩的分界值主要集中在4.9~14.7 MPa (50~150 kg/cm²) 之间,少部分出现于24.5~29.4 MPa (250~300 kg/cm²) 之间。在34例中,低于4.9 MPa (50 kg/cm²) 和高于29.4 MPa (300 kg/cm²) 的仅各有一例。最高值是表1中第38号资料建议的49.0 MPa (500 kg/cm²),最小值是日本岩石力学委员会提出的1.0 MPa (10 kg/cm²)。34例资料的算术平均值为14.7 MPa (150 kg/cm²)。这一分界值除小于4.9 MPa (50 kg/cm²) 1例和大于14.7 MPa (150 kg/cm²) 的9例之外,其余24例均集中在4.9~14.7

例, 其余 54 例均集中在 $19.6 \sim 49.0 \text{ MPa}$ ($200 \sim 500 \text{ kg/cm}^2$) 之间, 其间最集中的是 29.4 MPa (300 kg/cm^2), 共有 29 例, 其中国内 27 例。较大的指标是第 38 和 42 号资料, 其值为 $79.4 \sim 88.3 \text{ MPa}$ (810 和 900 kg/cm^2)。最小值是苏联的资料 4.9 MPa (50 kg/cm^2)。这 64 例资料的算术平均值为 32.4 MPa (330 kg/cm^2), 该值与上述 27 例国内提出的 29.4 MPa (300 kg/cm^2) 极为接近。

3. 中硬岩与硬岩的分界值

在 67 例中, 给出这一分界值的有 59 例, 其值变化范围为 $29.4 \sim 147.1 \text{ MPa}$ ($300 \sim 1500 \text{ kg/cm}^2$), 算术平均值为 75.5 MPa (770 kg/cm^2)。从分布图来看, 资料集中在 $49.0 \sim 98.1 \text{ MPa}$ ($500 \sim 1000 \text{ kg/cm}^2$) 之间, 在 49.0 、 58.8 、 78.5 、 98.1 MPa (500 、 600 、 800 、 1000 kg/cm^2) 处分别出现高峰。与上述两个分界值的资料分布情况相比, 数值稍为分散。

4. 硬岩与极硬岩的分界值

在 67 例中有 37 例提出了这一界限值。从分布图来看, 其范围从 $58.8 \sim 274.6 \text{ MPa}$ ($600 \sim 2800 \text{ kg/cm}^2$), 较分散。37 例的算术平均值为 142.2 MPa (1450 kg/cm^2), 从图中还可看出, 在 98.1 、 117.7 、 196.1 MPa (1000 、 1200 、 2000 kg/cm^2) 三处资料稍为集中。

从以上分析可以大致看出, 软岩与硬岩的分界值, 在国内有倾向于可能取用 29.4 MPa (300 kg/cm^2) 的趋势。如能约定这一分界值, 则不论是在学术研究中或是在工程实践中都将是一件很有意义的事, 因为无论从岩石或岩体的工程性质来看, 软岩与硬岩在力学性、水理性方面, 在抗风化能力, 乃至耐磨损, 抗钻性, 抗冲刷, 抗爆等方面表现出的性质是完全不同的。

国际岩石力学委员会的建议

有鉴于国际上在岩石分类和岩体分类及其在各种用途中涉及岩石单轴抗压强度这一参数的极不统一的现状, 为约定一种共同语言, 有利于学术交流和互相之间有可比性, 国际岩石力学委员会 (ISRM) 的现场试验标准化委员会于 1977 年提出的第四号文件中给出了这几个分级值如下:

等 级	描 述	单 轴 抗 压 强 度 MPa
R ₀	极软的岩石	$0.25 \sim 1.0 (2.5 \sim 10 \text{ kg/cm}^2)$
R ₁	非常软的岩石	$1.0 \sim 4.9 (10 \sim 50 \text{ kg/cm}^2)$
R ₂	软岩石	$4.9 \sim 24.5 (50 \sim 250 \text{ kg/cm}^2)$
R ₃	中等坚硬岩石	$24.5 \sim 49.0 (250 \sim 500 \text{ kg/cm}^2)$
R ₄	坚硬岩石	$49.0 \sim 98.1 (500 \sim 1000 \text{ kg/cm}^2)$
R ₅	非常坚硬的岩石	$98.1 \sim 245.2 (1000 \sim 2500 \text{ kg/cm}^2)$
R ₆	极坚硬的岩石	$> 245.2 (> 2500 \text{ kg/cm}^2)$

此后 ISRM 又组织了包括 14 个国家的 44 位专家, 其中也包括现场试验标准化委员会的一些成员, 最后通过了《岩体结构面定量描述的建议方法》, 并于 1980 年的第一号

文件予以公布。其中对岩石抗压强度给出了如下的规定：

描 述	单轴抗压强度 MPa
极 软 岩	5.9($<60\text{kg/cm}^2$)
软 岩	5.9~19.6($60\sim200\text{kg/cm}^2$)
中 硬 岩	19.6~58.8($200\sim600\text{kg/cm}^2$)
硬 岩	58.5~196.1($600\sim2000\text{kg/cm}^2$)
极 硬 岩	$>196.1(>2000\text{kg/cm}^2)$

ISRM 的两次建议值比较如下(单位: MPa):

1977 4号文	4.9	24.5	49.0	98.1
1931 1号文	5.9	19.6	53.8	196.1

1980.1号文中各分级界限值都有了不同程度的调整,除硬岩与极硬岩的分界值从98.1 MPa(1000kg/cm^2)升为196.1 MPa(2000kg/cm^2)外,其余几个界限值则有升有降,但变幅都不大。

ISRM 1980年1号文建议值与上述67例资料的平均值和稍作调整后的分界值比较如下(单位: MPa):

ISRM (1980)	5.9	19.6	58.8	196.1
本文 67 例平均	14.7	32.4	75.5	142.2
67 例平均经调整后	14.7	29.4	78.5	147.1

从目前情况看,14.7, 29.4, 78.5, 147.1这几个分界值与国内使用资料情况较为接近。

笔者认为,在这4个分级界限值中,最为关键的是软岩与中硬岩,也就是软岩与硬岩的界限值,即ISRM建议的19.6~24.5 MPa,或相应的点荷载强度为0.8~1.0 MPa这一指标。这个指标,与上述67例的平均值32.4 MPa或国内普遍使用的29.4 MPa相比略高。

目前使用的软岩与硬岩的分界值与ISRM的建议值也比较接近,笔者认为,在目前采用14.7, 29.4, 78.5, 147.1 MPa这套分界值的同时,逐步试用5.9, 19.6, 58.8, 196.1 MPa这套ISRM建议的分界值是有条件的,也是有好处的。如果采用了这种约定的界限值,在国内的各种岩石分类和岩体分类以及工程上对岩石、岩体的研究、对比中,就有了相对的客观标准和共同语言,这将会给工作带来方便。

参 考 文 献

- [1]水电部东北院科研所:岩石冲刷试验模拟方法及冲深估算,《水利水电科技》,1975.2。
- [2]《隧道译丛》,1974.6期。
- [3]东北院情报组:邱吉尔瀑布电站的岩石力学问题,《水电技术情报》,1976.6期。
- [4]岩体的工程表示法,《隧道译丛》,1974.6期。
- [5](英)贾格尔:岩石力学与工程。
- [6]成都地质学院:国外点荷载试验的研究概况。
- [7]湖南省水利水电勘测设计院:水利水电建设中的地基质量评价和不良地基,1978.2。
- [8]国家建委、建科院:工业与民用建筑物地基基础设计规范,TJ7-74(试行),1974。
- [9]铁道部第一设计院:铁路工程地质基础知识,1976。
- [10]湖北省综合勘察设计院:关于洞室围岩稳定性评价的一些看法。
- [11]重庆建筑工程学院:岩石地下建筑技术措施。
- [12]水电部第四工程局:锚喷支护结构设计理论及施工方法调查汇编,1975.10。