确定岩体允许承载力的折减系数

赵永川
（云南省水利水电勘测设计研究院，云南 昆明 650021）

摘 要：在中小型水利水电工程实践中，为了较准确地确定岩体的允许承载力，根据文献资料、岩体现场试验成果及水利水电工程实践，分析了折减系数的范围和含意、岩体允许承载力与岩石饱和单轴抗压强度的关系，提出了呈正比例关系的观点，根据岩石饱和单轴抗压强度、岩体结构、结构面发育程度、结构面性状、结构面充填物等对岩体质量进行分类，针对不同类别的岩体提出了不同的折减系数。

关键词：岩体质量；抗压强度；允许承载力；结构面；折减系数

作者简介：赵永川（1966－ ），男，高级工程师，主要从事水利水电工程地质工作。

0 前 言

众所周知，人们广泛采用对室内岩石饱和单轴抗压强度进行折减，以便确定岩体的允许承载力。然而在不同文献中，折减系数的取值差异较大。在水利水电工程地质勘察中，常常需要确定坝基（闸基）岩体的允许承载力，中小型水利水电工程前期工作经费较少，现场试验一般难以进行，根据地质测绘、必要的勘探和岩石饱和单轴抗压强度确定地基岩体的允许承载力是地质工程师的一项重要工作，本文探讨折减系数具有指导意义和实际意义。

1 折减系数的范围值

1.1 网刊《工程地质》中的附表

水利水电工程地质情报网网刊《工程地质》1987年第6期有两篇文章，各自推荐了确定岩体允许承载力的折减系数，详见表1和2。

表1

岩体工程质量指标 M	岩石饱和单轴抗压强度 R_b/MPa	允许承载力 $[R]$/MPa	折减系数
>3	>100	>8	0.08
1～3	40～100	3～8	0.08
0.1～1	10～40	1.5～3	0.14～0.18
0.1～0.01	1.5～10	0.5～1.5	0.33～0.14
<0.01	<1.5	<0.5	<0.33

表2

岩体结构类型 代号	名称	岩石饱和单轴抗压强度 R_b/MPa	允许承载力 [R]/MPa	折减系数
Ⅰ	裂隙块状结构	>95	20～30	0.20～0.33
Ⅱa	隐微碎裂结构	90～95	10～20	0.11～0.33
Ⅱb	镶嵌碎裂结构	30～60	3～6	0.10
Ⅳa	紧密角砾结构	25～40	1～2	0.04～0.08
Ⅳb	蔬松角砾结构	<25	0.5～1.5	0.02～0.04
Ⅱc	强风化碎裂结构	<25	<0.5	0.02

从表1中可以看出，折减系数与岩体工程质量指标、岩石饱和单轴抗压强度成反比关系，即岩石饱和单轴抗压强度越大，折减系数越小。从表2中可以看出，折减系数与岩石饱和单轴抗压强度成正比关系，即岩石饱和单轴抗压强度越大，折减系数也越大。

对比两个表中的折减系数可以得出：当饱和单轴抗压强度相同时，折减系数相差极大，因而允许承载力也有较大差别.例如，当 R_b=100 MPa，按表1计算$[R]$=8 MPa，折减系数为0.08；按表2计算$[R]$=25 MPa，折减系数为0.25；后者是前者的3.1倍。

1.2 文献资料中的折减系数

表3是各个不同部门所推荐的折减系数，当岩石饱和单轴抗压强度相同时，其折减系数、岩体允许承载力相差较大。《水力发电建设人员手册》、《建筑地基基础设计规范GBJ7-89》所推荐的折减系数与岩石饱和单轴抗压强度成正比关系；《岩石力学》、《水利水电工程地质手册》、《公路隧道勘测规程JTJ068-85》、《桥梁工程的工程地质勘测》所推荐的折减系数与岩石饱和单轴抗压强度成反比关系。

表3

文献名称	岩石饱和单轴抗压强度 /MPa	折减系数
1 水力发电建设人员手册	特硬岩 >160	0.03～0.04
	硬岩 100～160	0.02～0.03
	中硬岩 60～100	0.02
	软弱岩 <60	0.01～0.02
2 岩石力学	坚硬岩 >60	0.04～0.05
	中硬岩 30～60	0.05～0.10
	软弱岩 <30	0.10～0.20
3 水利水电工程地质手册	坚硬岩 >30	0.05～0.10
	易软化岩 <30	0.10～0.20
4 公路隧道勘测规程 JTJ068-85	Ⅵ类 >60	>0.10
	Ⅴ类硬岩 >30	>0.13
	Ⅴ类软岩 =30	0.05～0.10
	Ⅳ类硬岩 >30	0.07～0.10
	Ⅳ类软岩 5～30	0.05～0.20
	Ⅲ类硬岩 >30	0.05～0.10
	Ⅲ类软岩 ≤5	0.08～0.20
5 桥梁工程的工程地质勘测	>100	0.05
	50～100	0.05～0.07
	20～50	0.07～0.10
	5～20	0.10～0.13
	<5	0.13～0.17
6 建筑地基基础设计规范 GBJ7-89	微风化岩石	0.20～0.33
	中等风化岩石	0.17～0.25

1.3 《水利水电工程地质勘察规范》中的折减系数

在水利水电工程地质勘察规范中，在确定岩体允许承载力时。推荐采用表4中的折减系数。折减系数与节理发育程度成反比关系，即节理越发育，折减系数越小；岩石饱和单轴抗压强度与折减系数成反比关系，即岩石饱和单轴抗压强度越大，折减系数越小。

收稿日期：2006－07－30

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表4

节理发育程度	岩石饱和单轴抗压强度 R_b/MPa	折减系数
不发育	≥30	0.14
间距>1 m	<30	0.20
较发育	≥30	0.10～0.13
间距 1～0.3 m	<30	0.16～0.17
发育间距 0.3～	≥30	0.07～0.09
0.1 m	<30	0.10～0.13
极发育间距<	≥30	0.05～0.06
0.1 m	<30	0.07～0.09

1.4 存在的问题

分析上面四个表中的资料，采用岩石饱和单轴抗压强度确定岩体允许承载力的折减系数，存在几个问题：

(1) 折减系数范围过大。表 1 中，折减系数最大值 0.33，最小值 0.08，相差 4.1 倍；表 2 中，折减系数最大值 0.33，最小值 0.02，相差 16.5 倍；表 3 中，折减系数最大值为 0.33，最小值 0.01，相差 33 倍；表 4 中，折减系数最大值为 0.20，最小值为 0.05，相差 4 倍。折减系数相差过大，在确定岩体允许承载力时存在许多矛盾，其合理范围有待研究和探讨。

(2) 折减系数与岩石强度的关系。表 1、表 4 及表 3 中序号 2、3、4、5，其折减系数与岩石饱和单轴抗压强度成反比关系；表 2 及表 3 中序号 1、6，其折减系数与岩石饱和单轴抗压强度成正比关系。

(3) 折减系数的含意。有人认为折减系数是安全系数，有人认为是软化系数或均值系数，有人认为是岩石完整性系数，也有人认为要考虑结构面特征等。

笔者认为，在确定岩体允许承载力的折减系数时，应综合考虑五个因素：①岩体结构，②结构面特征，③均值系数，④岩石饱和单轴抗压强度，⑤安全系数。

2 试验资料

2.1 现场三轴试验

国内几个工程现场三轴试验结果表明，折减系数 R_{III}/R_b 与岩石饱和单轴抗压强度 R_b 的相关关系可用直线拟合，其方程式为 $R_{III}/R_b=0.13+0.01R_b$，相关系数为 0.34，R_{III} 为极限强度。折减系数的均值为 0.28，小值均值为 0.12，范围值为 0.12～0.28，如果考虑安全系数，其范围值为 0.06～0.14；以上成果主要适用于 R_b>10 MPa 的岩石。

2.2 现场载荷试验

几个工程现场载荷试验结果表明，折减系数 p_3/R_b 与岩石饱和单轴抗压强度 R_b 的相关关系可用直线拟合，其方程式为 $p_3/R_b=0.13+0.01R_b$，其相关系数为 0.70，其中 p_3 为极限强度。折减系数的均值为 0.96，小值均值为 0.64，如果考虑安全系数，其范围值为 0.21～0.32；以上成果主要适用于 R_b<10 MPa 的岩石。

现场三轴试验及现场载荷试验表明，折减系数与岩石饱和单轴抗压强度成正比关系。

3 折减系数的确定

笔者根据工程实践及前人资料，综合考虑影响岩体允许承载力的五种因素，根据岩石饱和单轴抗压强度、岩体结构、结构面发育程度、结构面特征、结构面充填物等对岩体质量进行分类，共分五大类十七个亚类，提出了各个亚类岩体用岩石饱和单轴抗压强度计算岩体允许承载力的折减系数，见表 5。可以看出，折减系数与岩石饱和单轴抗压强度成正比，与岩体质量成正比，与结构面发育程度成反比；R_b>10 MPa 的岩石，其折减系数的取值范围为 0.05～0.10；R_b<10 MPa 的岩石，其折减系数的取值范围为 0.10～0.15。

表5 计算岩体允许承载力的折减系数

岩石	岩体质量分类特征	折减系数
坚硬岩（A） R_b>60 MPa	AⅠ：岩体呈整体状或整体层状、块状、块层状结构，结构面不发育～较发育，延展性差，多闭合。	0.10
	AⅡ：岩体呈块状、块层状、次块状结构，结构面较发育，软弱结构面分布不多。	0.10
	AⅢ1：岩体呈次块状或互层状结构，结构面较发育～发育，发育缓倾角或陡倾角软弱结构面。	0.09
	AⅢ2：岩体呈薄层状或镶嵌碎裂结构，结构面发育，延展性差，多闭合。	0.08
	AⅣ1：岩体呈次块状或互层状、薄层状结构，结构面较发育～发育，存在缓倾角软弱结构面。	0.07
	AⅣ2：岩体呈碎裂结构，结构面很发育，多张开，夹泥和碎屑。	0.06
	AⅤ：岩体呈散体结构，由岩块夹泥或泥包岩块组成。	0.05
中硬岩（B） R_b=30～60 MPa	BⅡ：岩体呈整体状或整体层状、块状、块层状结构，结构面不发育～较发育，延展性差，多闭合。	0.09
	BⅢ1：岩体呈块状、块层状、次块状结构，结构面较发育，软弱结构面分布不多。	0.08
	BⅢ2：岩体呈次块状或互层状结构，结构面较发育～发育，多闭合。	0.07
	BⅣ1：岩体呈互层状或薄层状、次块状结构，结构面较发育～发育，存在缓倾角软弱结构面。	0.06
	BⅣ2：岩体呈薄层状或碎裂结构，结构面发育～很发育，张开夹泥。	0.05
	BⅤ：岩体呈散体结构，同AⅤ。	0.05
软质岩（C） Rb<30 MPa	CⅢ：R_b>15 MPa，岩体呈整体状或层状结构，结构面不发育～较发育。	0.07
	CⅣ1：R_b>15 MPa，结构面发育；R_b=10～15 MPa，结构面较发育。	0.05
	CⅣ2：Rb<10 MPa，结构面发育～很发育。	0.15
	CⅤ：同AⅤ。	0.10

4 结　语

(1) 折减系数应综合考虑多方面的因素。

(2) 折减系数与岩石饱和单轴抗压强度成正比关系。

(3) R_b>10 MPa 的岩石，推荐折减系数取值范围为 0.05～0.10。R_b<10 MPa 的岩石，推荐折减系数取值范围为 0.10～0.15。

参考文献：

[1] 高尧基, 徐台赛, 等. 水利水电工程地质手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.

[2] 董学晟, 等. 水工岩石力学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.

[3] GB50287-99 水利水电工程地质勘察规范[S].

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net