

风化岩体与混凝土坝建基面选择

孙少锐¹, 许人平², 叶 勇², 吴继敏³

(1. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098 ; 2. 诸永高速公路温州段工程建设指挥部, 浙江 温州 325100 ;
3. 河海大学科学研究院, 江苏 南京 210098)

摘要 : 讨论岩体风化的基本概念 , 澄清一些传统的模糊认识。采用统计学方法 , 通过实例进行岩体风化定量指标分布规律的研究 , 讨论建基面的选择和大坝要求的一致性。

关键词 : 风化岩体 ; 混凝土坝 ; 建基面 ; 定量指标

中图分类号 : TU47 ; TV642 文献标识码 : B 文章编号 : 1006-764X(2006)05-0045-03

Weathered rock and selection of foundation surface of concrete dams//SUN Shao-rui¹, XU Ren-ping², YE Yong², WU Ji-min³ (1. Geotechnical Research Institute of Hohai University, Nanjing 210098, China ; 2. Engineering Construction Headquarters of Wenzhou Section of Zhuyong Highway, Wenzhou 325100, China ; 3. Hohai Academy of Science and Technology, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : A discussion is made on the basic concept of rock weathering, and some fuzzy cognition is clarified. By use of the statistical method, the law of quantitative index distribution of rock weathering is investigated through some case studies, and the consistency between the selection of foundation surface and the demand of dam body is discussed.

Key words : weathered rock ; concrete dam ; foundation surface ; quantitative index

1 岩体风化基本概念

长期以来,国内外通用的风化分带基本理论在各类工程建设中发挥了重要的作用,但是风化分带的基本概念及其基本理论仍然需要进一步完善和补充。特别是在表达方式方面,可以说,在水利水电建设的具体应用方面仍然存在一些不明确的科学问题。

GB 50287—99《水利水电工程地质勘察规范》^[1]的附录 E,即岩体风化带划分中,重要依据是主要地质特征,采用的唯一定量指标是风化岩纵波波速与新鲜岩纵波波速之比,且采用区间值,例如全风化时小于 0.4,强风化时介于 0.4~0.6 之间,中等风化(弱风化)时介于 0.6~0.8 之间,微风化时介于 0.8~1.0 之间,新鲜岩定量指标大于 1.0。同时说明当某一级风化带厚度很大时,可进一步细分亚带;在某些特定地区,岩体风化剖面为非连续性过渡时,分级可缺少一级或二级。

这样表达的优点是各风化带中的定量指标为区间值,同时考虑了风化带厚度和连续性过渡的概念,并且定量指标也暗示了在整个风化剖面岩体的质量

由差逐渐(连续)变好。不足之处在于一方面从连续角度看存在矛盾,另一方面根据定量指标的定义,风化岩纵波波速与新鲜岩纵波波速之比不可能大于 1.0。同时没有阐述清楚的是连续性过渡风化分带是各带还是整个风化剖面。

风化作用的基本概念很多教科书中均有,大同小异,笔者认为较全面的是地壳表层的岩石在阳光、风、电、大气降水、气温变化等外营力作用下及生物活动等因素的影响下,引起岩石矿物成分、化学成分以及结构构造变化,使岩石逐渐发生破坏的过程^[2]。需要说明的是,许多论著、技术报告、学术论文在表达风化带的定量特征时,采用了算术平均值来表达;在某一风化带内,定量特征指标是由差逐渐变好的,应采用区间值表达;当然,还存在一个风化带厚度的问题,如果该风化带很薄,可以勉强用平均值表达,但当该风化带厚度较大或很大时就更应用区间值表达。

2 岩体风化定量指标分布规律

风化岩体分带一般在定性分带的基础上,利用室内或现场测试的单项或多项岩石力学性质指标并

基金项目 : 国家自然科学基金委员会、二滩水电开发有限责任公司雅砻江水电开发联合研究基金资助项目(50539110)

作者简介 : 孙少锐(1975—),男,山东海阳人,讲师,博士,从事岩土体稳定性研究。E-mail : ssrfish@hhu.edu.cn

结合一定的数学或统计学方法 ,对岩体进行风化程度分带。廖颜萱^[3]搜集了国内 46 项大中型水利水电工程中 10000 多个关于岩石的物理、力学、水理性质指标 ,在进行了 20000 多组次数理统计后总结出岩石的风化规律(即风化岩亲水性规律、力学强度性规律、水蚀强度性规律、综合力学强度性规律和水蚀软化强度性规律)。龚涛等^[4]认为 ,在风化岩体中 ,风化岩体质量的逐步过渡状态具体表现在反映风化岩体质量的各项因素(或地质变量)同样也呈现逐步过渡的性质 ,各地质变量的变化沿地质剖面必然呈现出相应的按一定顺序逐步变化的排列关系 ,从而可按一定的顺序通过对岩石标本、钻孔和平洞等方法采集、测量出呈逐步过渡的有序地质变量 ,通过对数据的最优分割 ,完成对风化岩体的分带。张丽萍^[5]用 X 射线荧光光谱仪对长江三峡坝区各地貌部位的采样样品进行化学成分分析 ,用显微镜对矿物组成进行鉴定 ,选取了能反映化学风化特征的风化系数 ,对风化壳垂直分带的元素迁移规律和化学特征值进行了系统描述 ,完善了风化壳垂直分带指标体系。

为了讨论定量指标在岩体风化剖面上的分布规律 ,本文收集了一些已建工程(采用值)和岩体风化分带定量指标 ,工程及岩体包括山口三级水电站石英砂岩^[6] ;三峡坝区花岗岩^[7] ;天生桥一级水电站薄层、中厚层泥岩、泥灰岩与灰岩 ,中厚层、厚层砂岩^[8] ;渔洞水库致密状玄武岩、杏仁状玄武岩、火山角砾岩^[9] ;洪口水电站坝址区流纹岩等。相关的定量指标包括混凝土/岩石的摩擦系数、混凝土/岩石的黏聚力、纵波波速、完整性系数、饱和抗压强度、允许承载力、回弹值、弹性模量、密度、泊松比等。

表 1 一些工程岩体风化带内定量指标的线性及二项式相关分析结果

参 数	工程名称	岩 性	线性 r^2	二次项 r^2	二次项系数	一次项系数	常 数	相关程度
混凝土/岩石的摩擦系数	山口三级水电站	石英砂岩	0.98	1.00	- 0.03	0.30	0.23	明 显
混凝土/岩石的黏聚力	山口三级水电站	石英砂岩	0.97	0.98	0.03	0.09	0.18	不明显
纵波波速	山口三级水电站	石英砂岩	0.99	1.00	- 35.71	704.30	1700.00	不明显
完整性系数	山口三级水电站	石英砂岩	1.00	1.00	- 0.11	0.10	0.08	不明显
饱和抗压强度	山口三级水电站	石英砂岩	0.99	0.99	- 0.31	19.31	- 9.41	不明显
允许承载力	山口三级水电站	石英砂岩	0.95	1.00	0.13	0.13	0.50	明 显
纵波波速	三峡坝基	花 岗 岩	0.93	1.00	- 262.36	2741.40	2050.70	明 显
回 弹 值	天生桥一级水电站	泥 岩	0.90	1.00	- 1.98	15.13	9.28	不明显
回 弹 值	天生桥一级水电站	沙 岩	0.94	0.96	- 0.38	4.53	31.88	明 显
纵波波速	天生桥一级水电站	泥 岩	0.90	1.00	- 239.75	1852.80	506.75	不明显
纵波波速	天生桥一级水电站	沙 岩	0.93	0.99	- 212.50	1827.50	- 162.50	明 显
回 弹 值	渔洞水库	致密玄武岩	1.00	1.00	1.00	11.40	- 2.50	不明显
回 弹 值	渔洞水库	杏仁玄武岩	0.99	0.99	0.75	10.35	- 1.75	不明显
弹性模量	洪口水电站	流 纹 岩	0.98	1.00	- 3.16	26.70	- 17.74	明 显
泊 松 比	洪口水电站	流 纹 岩	0.89	1.00	0.02	- 2.09	0.42	明 显
密 度	洪口水电站	流 纹 岩	0.86	1.00	0.05	- 0.12	2.55	明 显

注 : r^2 为相关系数的平方。

采用统计学方法 ,通过线性和二项式相关分析 ,结果见表 1。假定各风化带的参数平均值能够反映岩体垂直方向上的分布规律(没有考虑风化带的厚度) ,16 个参数样本揭示了如下分布规律 :①线性分布 :除洪口水电站密度线性相关系数的平方为 0.86 外 ,其余参数相关系数的平方均在 0.89 以上 ,绝大多数在 0.90 以上 ,属高度相关。②二项式回归 :所有参数相关系数的平方均在 0.96 以上 ,绝大部分接近 1.00。二次项系数反映非线性曲线向上(负值)和下(正值)凹的特征 ,这种向上和向下弯曲的明显程度各占 50% 左右。

基于上述 ,可以将岩体垂直方向上的分布规律视为线性分布 ;二项式分布在判断上下凹的参数特征后 ,扩大样本 ,进一步研究还在进行中(各风化带的参数平均值没有考虑风化带的厚度)。以洪口水电站为例 ,依据各风化带的弹性模量试验平均值、方差、样本数 ,按照正态分布的特征 ,可以确定一定置信度下的统计意义上的置信区间。上述置信区间在某一独立风化带内 ,从统计基本理论角度 ,不考虑垂直分布规律 ,结论是成立的。但是 ,考虑整个风化带 ,特别是各个风化带的界面 ,即强风化带的下限和弱风化带的上限在位置上重合。在该位置 ,存在风化分带在垂直剖面上参数的突变 ,即存在基本理论(风化分带理论和统计理论)问题的不和谐。在垂直剖面上计算参数确定时 :①不同的风化带选用各带的上下限作为计算参数 ,不同深度上再进行线性内插(存在不协调的突变 ,界面参数不一致)。②选用上一个风化带的下限和下一个风化带的上限的平均值作为界面的参数 ,再进行线性内插(界面上参数一致 ,参数在同一风化带内线性递增 ,在整个剖面(风

化带)内,不同风化带的增量不一致)。③统计理论在具有渐变特征的样本中不适用。那么,从宏观上认识风化带具有一定意义,在微观上,各个风化带不能用平均值来表达其特征。

福建洪口水电站坝基建基面的选择均在弱风化带内。①选用弱风化带统计意义上的上下限参数,进行线性内插,确定其垂直方向上的变化规律。②考虑平面数值计算能够反映真实工况,坝体考虑最大坝高,同时考虑水平地震力和正常蓄水的水平推力等,坝基的地质构造也一并模拟。③计算中关注一些特别重要的节点上应力和位移的变化规律。结果表明,除了处于地质构造附近节点的应力和位移受构造影响外,其余各节点的应力和位移在竖直方向上均具有递增或递减的规律^[10]。

3 大坝对建基面强度和变形的要求

建议开挖面提高和降低时,洪口水电站一些关键节点的位移、应力值的变化特征值见表 2。根据大坝对基础的应力和位移要求,建议开挖面提高 1 m 位移和应力状态满足设计要求。进一步的研究可以考虑确定应力和位移与大坝要求一致性的相关关系,从而确定合理的建基面。当然洪口水电站左、右岸及河床部位的建基面的断层直接影响力集中,应进行开挖并加固处理,特别是坝踵处的较大节理 JM₂ 和 F₇ 断层,建议采取灌浆等工程措施。施工开挖过程中应密切注意岩体的完整程度及断层的空间分布特征,若岩体破碎或断层存在则须采取必要的加固措施。

4 结 语

岩体风化的基本概念从定量指标分布规律的角度出发,需要澄清一些传统的模糊表达,避免采用平均值来描述某风化带的定量特征,而宜采用区间值表达,考虑到大坝对建基面的要求,在确定各风化带定量指标的同时,需要明确风化带的厚度,根据大坝对基础的要求,可以建立该要求和岩体高程位移及应力一致性的相关关系研究。

参考文献：

[1] GB 50287—99 水利水电工程地质勘察规范[S].
[2] 胡厚田. 土木工程地质[M]. 北京:高等教育出版社, 2001.
[3] 廖颜萱. 风化岩分带指标定量研究[M]. 北京:地震出版社, 1994.
[4] 龚涛,段泽文. 岩体风化带多元分割方法[J]. 云南农业大学学报, 2001, 16(4): 294-298.
[5] 张丽萍. 三峡坝区花岗岩风化分带的化学风化特征指标研究[J]. 浙江大学学报·理学版, 2003, 30(4): 471-476.
[6] 杨磊. 山口三级水电站坝基岩体风化带划分和地质参数取值[J]. 西部探矿工程, 2003(7): 8-9.
[7] 聂运钧,肖国强. 声波法在三峡坝基岩石力学中试验的应用[J]. 岩土力学, 2003, 24(增刊): 175-177.
[8] 钱康. 天生桥一级水电站岩体风化分带、特征及建基面的确定[J]. 人民珠江, 1999(1): 22-26.
[9] 陈光祥. 渔洞水库风化岩体的定量测试及应用[J]. 云南水力发电, 2003(增刊): 68-73.
[10] 河海大学土木工程学院. 洪口水电站坝址区工程地区问题研究[R]. 南京:河海大学, 2004.

表 2 洪口水电站坝基部分关键节点位移、应力值

节点号	开挖面	位移/mm		应力/MPa		剖面位置
		x 方向	y 方向	x 方向	y 方向	
9148	建议开挖面提高 1 m	0.10	-1.67	-0.18	-0.19	左岸
9148	建议开挖面	-0.23	-1.68	-0.29	-0.26	左岸
9148	建议开挖面降低 1 m	-0.33	-1.71	-0.42	-0.31	左岸
9148	建议开挖面降低 5 m	-0.01	-1.78	-0.38	-0.88	左岸
8118	建议开挖面提高 1 m	0.03	-0.76	-0.63	-3.45	河床
8118	建议开挖面	0.03	-0.75	-0.63	-3.44	河床
8118	建议开挖面降低 1 m	0.03	-0.75	-0.63	-3.44	河床
8118	建议开挖面降低 5 m	-0.53	-0.93	-0.31	-3.59	河床
8280	建议开挖面提高 1 m	0.16	0.00	-2.12	-10.27	河床
8280	建议开挖面	0.16	0.00	-2.12	-10.27	河床
8280	建议开挖面降低 1 m	0.16	0.00	-2.12	-10.26	河床
8280	建议开挖面降低 5 m	-0.68	0.00	-1.22	-10.34	河床
8384	建议开挖面提高 1 m	0.07	-0.16	-0.84	-3.38	右岸
8384	建议开挖面	-0.06	-0.16	-0.85	-3.38	右岸
8384	建议开挖面降低 1 m	-0.06	-0.16	-0.85	-3.38	右岸
8384	建议开挖面降低 5 m	-0.32	-0.35	-0.28	-3.22	右岸

(收稿日期: 2006-03-28 编辑: 高建群)