

渗透系数作为岩体卸荷分带量化指标的研究

陈 强^{1,2}, 聂德新^{1,2}, 潘思祎¹, 贺梓宸¹, 谢 科¹

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059;
2. 成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

摘要: 渗透系数在一定程度上可以反映岩体内部裂隙发育程度、节理开度及卸荷程度, 因此常作为岩体卸荷带划分的定量指标之一。但由于卸荷岩体的非线性特征, 以及卸荷带研究方法和工程背景条件等方面的差异, 各家划分卸荷带时所采用的渗透系数界限标准各有不同。本文从工程实例出发, 通过对定性划分的各卸荷分带内对应钻孔段渗透系数的统计分析, 以其统计平均值作为岩体卸荷分带的界线标准。实际应用表明, 渗透系数作为卸荷带划分依据具有一定的优势, 按渗透系数划分的卸荷带深度与其他方法综合确定的卸荷带深度基本接近。
关键词: 渗透系数; 吕荣值; 卸荷带; 渗透性分析
中图分类号: TU457 文献标识码: A 文章编号: 1000-3665(2011) 04-0048-06

岩体卸荷实质上是岩体向解除约束方向上产生的具有显著时效变形特征的回弹现象, 卸荷作用不仅会改变先成节理岩体的开度和应力分布, 而且可能产生新生的变形破裂^[1-3], 导致岩体结构松弛、完整性变差, 从而也促使岩体的导水能力增强。因此, 岩体卸荷以后, 其渗透特性往往会产生明显的变化^[4], 卸荷岩体也就形成了所谓的渗透优势带^[5]。岩体卸荷力学试验研究表明, 渗透系数随着卸荷量的增加而不断增加^[6], 这进一步佐证了岩体卸荷与岩体渗透特性之间的密切联系。由压水试验获得的渗透系数实质上反映了岩体裂隙发育程度、节理开合度及卸荷程度^[7], 因此可以利用渗透系数对岩体卸荷带进行划分。

将渗透系数应用于岩体卸荷带划分的研究已有较长时间, 渗透系数作为卸荷带划分的定量指标, 其关键问题是界限标准的确定。但是, 由于卸荷岩体具有复杂的非线性特征^[8-9], 加之研究方法以及工程背景之间的差异, 各家对于卸荷分带的渗透系数界限标准一直莫衷一是^[10-16], 不同工程、不同研究者划分卸荷带时所采用的渗透系数界限值各有不同。表 1 为部分水电工程中各卸荷分带与岩体渗透性指标的对应关系。由表 1 可以看出, 相同卸荷分带的渗透性指标界限值差别较大, 如同是玄武岩坝基的铜街子电站与白鹤滩电站, 其强卸荷分带的透水率界线相差 10 倍左右。更

为主要的, 这些研究对于划分卸荷分带的渗透系数界限的确定方法阐述较为含糊, 有些甚至是一带而过, 使后续研究者无法得知其界线标准是如何得来的, 不同工程之间卸荷分带的渗透系数界线差异是缘于工程背景的不同还是缘于研究方法的不同已经不得而知了, 这显然不利于划分卸荷带定量指标的推广应用, 更不利于卸荷岩体的工程地质类比研究。为此, 本文以具体的工程实例来说明渗透系数划分岩体卸荷时其界限标准的确定方法, 并深入分析利用渗透系数划分卸荷带时存在的主要问题, 为卸荷带定量划分的研究提供素材资料。

表 1 不同工程卸荷分带采用的渗透系数界限
Table 1 Limit of permeability coefficient for unloaded zones in different engineering

卸荷分带	各卸荷分带对应的吕荣值界线(单位: Lu)			
	铜街子, 玄武岩 (钱康, 1992)	小湾片, 麻岩 (陆洪, 1995)	拉西瓦, 花岗岩 (巨广宏, 2002)	白鹤滩, 玄武岩 (聂德新, 2008)
强卸荷	> 100	≥ 100	≥ 100	> 10
弱卸荷	5 ~ 100	1 ~ 100	10 ~ 100	1 ~ 10
未卸荷	< 5	< 1	< 10	< 1

1 岩体卸荷分带与岩体渗透性等级的对应性分析

河谷岩体的渗流从岸坡向坡内常出现分带性, 这与其应力分带特征有关。应力松弛带内的岩体风化程度高, 卸荷裂隙较发育, 其渗透性一般都强于应力集中带内的岩体^[17]。不同的卸荷分带内, 由于卸荷裂隙发

收稿日期: 2010-09-25; 修订日期: 2010-11-26
作者简介: 陈强(1973-), 男, 博士, 讲师, 主要从事工程地质教学和研究工作。
E-mail: chenqiang200301081@163.com

育的疏密程度、张开度等方面的差异,它们在渗透性上也有明显不同。对黄河小浪底工程部分平洞的裂隙和渗透性沿洞深变化的统计分析表明,不仅卸荷带隙宽沿洞深遵循幂指数递减规律,而且卸荷裂隙带的渗透张量值也随洞深呈现幂指数递减变化^[18],卸荷带作为岩体渗流的优势带已经是大家的共识。虽然卸荷程度越强的岩体,其渗透性越强,但渗透性强的岩体却并不完全是由卸荷造成的,还可能与岩体内部断层破碎带、岩溶系统等存在有关,也就是说岩体卸荷程度与渗透性之间是一种不可逆的正相关关系。

水力发电工程地质勘察规范中根据渗透系数对岩体的渗透性等级进行了划分,不同渗透等级的裂隙岩体对应于不同的开度特征(表 2),部分研究者据此来论证岩体卸荷与渗透性之间的相关性^[7,14,16],那么岩

体的渗透性分级能否与岩体的卸荷分带相对应呢?按照规范中对弱卸荷岩体定性划分的描述,“卸荷裂隙发育较稀疏,开度一般为几毫米至几厘米,多有次生泥充填,卸荷裂隙分布不均匀,常呈间隔带状发育,卸荷裂隙多沿原有结构面张开”^[19],而岩体渗透性分级中,开度在几毫米至几厘米的裂隙岩体为强透水、极强渗透性岩体,因此从裂隙开度上与岩体渗透性等级进行对应的话,卸荷岩体至少应为强渗透性岩体,就是说卸荷岩体内弱卸荷带下界的渗透系数界限应为 100Lu 左右。但工程实际中采用的弱卸荷岩体的渗透性界线要低得多^[9~14]。可见,尽管岩体的渗透性与岩体卸荷之间存在着一定的联系,但岩体的渗透性分级与卸荷分带并不是简单的对应关系,岩体的渗透性分级标准不宜直接作为岩体卸荷分带的参考依据。

表 2 岩体渗透性分级^[17]
Table 2 Classification scheme of permeability for rockmass

渗透性等级	渗透系数 $K(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$	渗透系数 $q(\text{Lu})$	岩体特征
极微透水	$K < 10^{-6}$	$q < 0.1$	完整岩石,含等价开度 $< 0.025\text{mm}$ 裂隙的岩体
微透水	$10^{-6} < K < 10^{-5}$	$0.1 \leq q < 1$	含等价开度 $0.025 \sim 0.05\text{mm}$ 裂隙的岩体
弱透水	$10^{-5} < K < 10^{-4}$	$1 \leq q < 10$	含等价开度 $0.05 \sim 0.01\text{mm}$ 裂隙的岩体
中等透水	$10^{-4} < K < 10^{-2}$	$10 \leq q < 100$	含等价开度 $0.01 \sim 0.5\text{mm}$ 裂隙的岩体
强透水	$10^{-2} < K < 100$	$q \geq 100$	含等价开度 $0.5 \sim 2.5\text{mm}$ 裂隙的岩体
极强透水	$K \geq 100$	$q \geq 100$	含连通孔洞或等价开度 $> 2.5\text{mm}$ 裂隙的岩体

表 3 岩体卸荷带划分标准^[17]
Table 3 Partition criterion for unloaded zones of rockmass

卸荷带	主要地质特征
强卸荷	卸荷裂隙发育较密集,普遍张开,一般开度为几厘米至几十厘米,多充填次生泥及岩屑、岩块,有架空现象,部分可看到明显的松动或变位错落,卸荷裂隙多沿原有结构面张开。岩体多呈整体松弛
弱卸荷	卸荷裂隙发育较稀疏,开度一般为几毫米至几厘米,多有次生泥充填,卸荷裂隙分布不均匀,常呈间隔带状发育,卸荷裂隙多沿原有结构面张开。岩体部分松弛
深卸荷	深部裂隙松弛段与相对完整段相间出现,成带发育,张开宽度几毫米至几厘米不等,一般无充填,少数有锈染或夹泥,岩体弹性波纵波速变化较大

2 渗透系数划分岩体卸荷带界限值的确定

运用渗透系数划分岩体卸荷分带的关键问题是确定卸荷分带的渗透系数界限标准。渗透系数界限标准的确定必须建立在对大量钻孔透水试验和卸荷岩体定性划分资料进行对应分析的基础上。具体来讲,首先要对勘探平洞或竖井揭露卸荷岩体的发育特征进行详细调查,查明卸荷岩体中裂隙开度、张开裂隙分布密度等表征岩体卸荷本质特征指标的发育情况,并进行初步的卸荷岩体分段。在获得各个平洞内岩体卸荷的定

性分段后,再按各个平洞得到的卸荷深度连线划分出勘探线剖面的卸荷分带范围。然后,分别统计对应卸荷分带深度范围内各钻孔段渗透系数的统计特征值。图 1 为某勘线上依据 PD43、PD44 平洞所揭露卸荷岩体的定性指标划分得到的卸荷分带界线,其弱卸荷界线与 ZK85 钻孔交于孔深 40.6m 处,强卸荷界线与 ZK85 钻孔交于 20.5m 处,分别统计 ZK85 钻孔 0 ~ 20.5m 和 20.5 ~ 40.6m 深度范围内的渗透系数,并计算其统计平均值。整理勘探线上所有钻孔对应的不同卸荷分带范围内的渗透系数指标,结合钻孔揭露的实际地质情况将不合理的异常数据剔除后,即可获得工

程区内依据渗透系数进行卸荷带定量划分的界限标准。由于渗透系数为钻孔压水试验获得的试验指标 , 它不像裂隙开度、裂隙发育密度、岩体松弛程度等指标那样必需在适宜的工程条件下(如通过平洞或竖井) 进行直观认识和判断 ,因此某些不便于进行直接观测的工程部位或者缺少观测条件的工程部位可以充分发挥其便捷性 ,为卸荷带划分提供客观依据。

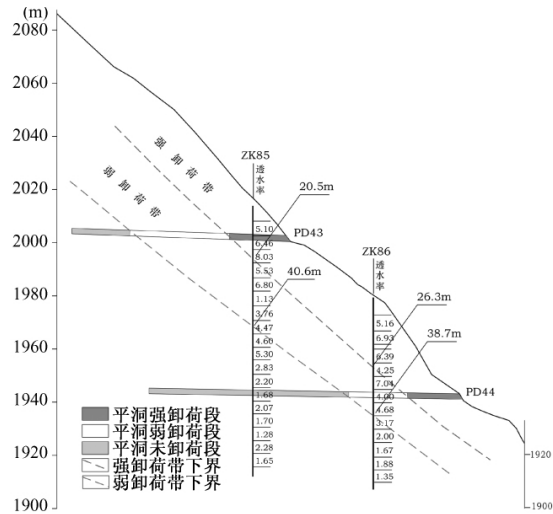


图 1 卸荷带渗透系数界限的确定方法
Fig.1 Limit of coefficient of permeability
ascertaining for unloaded zones

3 工程应用

工程区位于松潘 - 甘孜地槽褶皱系的雅砻江褶皱带内 ,地貌上处于雅砻江中上游深切河谷地带。工程部位山高谷深 ,边坡高陡 ,风化、卸荷发育。出露地层主要为中生界三叠系上统杂谷脑组 ,岩石类型有变质砂岩、砂质板岩、炭质板岩及大理岩等。工程区边坡部位由于有平洞揭露 ,卸荷岩体特征便于直接观测和认识 ,可以进行卸荷带的定性划分。但对于河床及其附近的坝基部位 ,勘探资料仅限于钻孔岩芯 ,而通过钻孔所取的岩芯由于已脱离了母岩 ,其原始的结构状态发生了改变 ,表征岩体卸荷的裂隙张开程度及张开裂隙的发育密度等指标已经难于识别并提取 ,无法直接判定河床部位的卸荷深度。因此 ,可借助于钻孔压水试验获得的渗透性指标来开展岩体卸荷分带的研究。

工程区内多条勘线上坝肩部位不同卸荷带内对应钻孔段的渗透系数统计值如表 4 所示 ,其中强卸荷带内渗透系数 5.954 ~ 19.1Lu ,弱卸荷带内渗透系数为 1.246 ~ 15.05Lu ,分别剔除异常或不合理的数据后 ,获得强卸荷带内的有效平均渗透系数为 11.49Lu ,弱卸荷带内的有效平均渗透系数为 4.545Lu ,由此确定按钻孔渗透系数划分岩体卸荷分带的标准为:

表 4 不同卸荷带内钻孔渗透系数统计表

Table 4 Statistics of coefficient of permeability obtained from water pressure test hole in different unloaded zones

勘线	孔号	强卸荷带			弱卸荷带		
		高程(m)	渗透系数范围(Lu)	平均(Lu)	高程(m)	渗透系数范围(Lu)	平均(Lu)
I 勘线	zk38	1998.6	8.498 ~ 11.974	10.415	1983	3.469 ~ 12.927	8.5
	zk43	—	—	—	1981.8	0.733 ~ 2	1.246
II 勘线	zk85	1994.9	5.1 ~ 8.03	6.53	1970	1.13 ~ 6.8	4.338
	zk86	1948.7	4.25 ~ 7.04	5.954	1938.7	4 ~ 4.68	4.34
	zk88	1931.6	7.308 ~ 25.377	15.46	1901.6	0.959 ~ 4.694	2.58
	zk89	2010.3	19.1 ~ 19.1	19.1	2002.2	14 ~ 16.09	15.05(剔除)
IV 勘线	zk96	—	—	—	1953.4	6.27	6.27
	zk97	—	—	—	1989.7	14.00	14(剔除)
平均值		11.492		4.545			

强卸荷带: $q \geq 11.5\text{Lu}$;
弱卸荷带: $4.5\text{Lu} \leq q < 11.5\text{Lu}$;
未卸荷: $q < 4.5\text{Lu}$ 。

按以上标准即可对工程区勘探平洞少、但钻孔较多的工程部位开展卸荷带划分的研究。图 2 为某勘探线剖面按透水率指标划分的卸荷分带 ,它与地质人员采用其他方法综合获得的卸荷分带结果差异不大 ,在深度上大致能对应起来 ,这表明渗透系数作为卸荷带划分指标是可行的。

4 存在问题

卸荷岩体的非线性特征决定了其渗透特征的不均匀性和各向异性 ,而卸荷程度与岩体渗透性之间的不可逆正相关特征 ,更增加了卸荷岩体量化研究的难度。应用渗透系数作为卸荷岩体定量划分指标时应该注意以下问题:

(1) 影响岩体渗透性指标的因素是多种多样的 ,岩体渗透性高的原因并不完全是由岩体卸荷造成的 ,

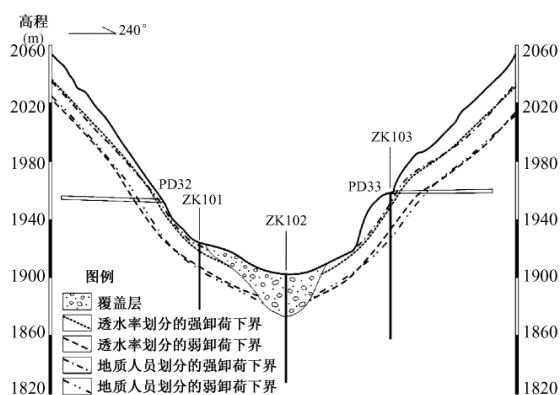


图2 工程区某勘探线卸荷带剖面图

Fig.2 Unloaded zone section for certain exploratory line in engineering area

断层破碎带、岩溶系统等存在都可能是造成岩体渗透性偏高的原因。因此,运用钻孔压水试验获得的渗透系数指标来划分岩体卸荷分带时,必须要注意对钻孔地质情况的了解,查明造成渗透性偏高的原因所在,排除那些非卸荷原因造成的高渗透系数数据,如表4中ZK89和ZK97弱卸荷带数据在最终统计时被剔除,正是由于它是受断层破碎带的影响所致。

(2) 岩体卸荷是一种典型的非线性力学行为,具有明显的不连续性和各向异性,卸荷带之间或卸荷带内部都可能存在裂隙发育较少或裂隙未张开的完整岩体,因此该范围内岩体压水试验获得的渗透性指标不应计入卸荷统计范围内,而应按正常岩体进行排除,否则可能会降低强卸荷带的下限界线。

(3) 对岩体卸荷带的定量划分指标除渗透系数外,还有声波划分法、裂隙张开率、隙宽和、氦气法等,由于单一指标划分卸荷带存在一定的缺陷,风险较大,因此在条件允许的情况下尽可能采用多指标综合划分的方法来确定卸荷分带。

(4) 岩体卸荷分带渗透系数指标的统计依赖于大量的压水试验资料,本文根据试验数据的具体情况,采用定性划分的卸荷分带内渗透系数指标的统计平均值作为其划分界限。除此之外,还可采用指标的小值平均值作为分带的下界或以大值平均值作为其分带的上界。但以何种统计特征值作为划分界限更为合理,还有待进一步论证。

5 结论

(1) 岩体卸荷与渗透系数呈现不可逆正相关关系,卸荷程度越强烈,渗透系数越高,但卸荷分带与渗透性分级不具有——对应的关系,不能按照渗透性分

级来划分岩体的卸荷分带。

(2) 渗透系数作为卸荷划分的定量指标之一,可应用于缺乏观测条件或无法直接进行卸荷观察的地段,具有便捷性和独特的优势,但应该与其他指标相互对比验证,进行综合划分。

(3) 渗透系数的高低除受卸荷影响外,还与断层破碎带、岩溶体系等的存在有关,在研究卸荷与渗透性指标的相关性时,应当将非卸荷成因的高渗透性数据予以剔除。

(4) 卸荷分带渗透系数界线的确定建立在大量的压水试验资料和定性划分的基础上,采用何种渗透系数统计特征更具合理性尚需进一步验证。

参考文献:

- [1] 王思敬. 坝基岩体工程地质力学分析[M]. 北京: 科学出版社, 1990. [WANG S J. Geomechanical analysis of dam bedrock[M]. Beijing: Science Press, 1990. (in Chinese)]
- [2] 王思敬. 中国岩石力学与工程世纪成就[M]. 南京: 河海大学出版社, 2004. [WANG S J. China's century achievements of rock mechanics and engineering[M]. Nanjing: Hohai University Press, 2004. (in Chinese)]
- [3] 黄润秋, 林峰, 陈德基, 等. 岩质高边坡卸荷带形成及其工程性状研究[J]. 工程地质学报, 2001, 9(3): 227-232. [HUANG R Q, LIN F, CHEN D J, et al. Formation mechanism of unloading fracture zone of high slopes and its engineering behaviors[J]. Journal of Engineering Geology, 2001, 9(3): 227-232. (in Chinese)]
- [4] 金李, 卢文波, 周创兵, 等. 开挖动态卸荷对节理岩体渗透特性的影响研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(S2): 4158-4163. [JIN L, LU W B, ZHOU C B, et al. Study on permeability of jointed rock mass after dynamic unloading of initial stress during rock excavation[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(S2): 4159-4162. (in Chinese)]
- [5] 陈洪凯, 张永兴, 严春风. 三峡工程永久船闸陡高边坡岩体渗流发育规律探讨[J]. 重庆交通学院学报, 1996, 15(4): 21-25. [CHEN H K, ZHANG Y X, YAN C F. General approach on rockmass seepage features in high & steep slope in the permanent shiplock of the Three Gorges Project[J]. Journal of ChongQing JiaoTong Institute, 1996, 15(4): 21-25. (in Chinese)]

- [6] 梁宁慧,刘新荣,包太,等.岩体卸荷渗流特性的试验[J].重庆大学学报:自然科学版,2005,28(10):133-135. [LIANG N H, LIU X R, BAO T, *et al.* Experimental study on the characteristic of seepage with unloading rock mass [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2005, 28(10): 133-135. (in Chinese)]
- [7] 任光明,巨广宏,聂德新,等.斜坡岩体卸荷分带量化研究[J].成都理工大学学报,2003,19(2):335-338. [REN G M, JU G H, NIE D X, *et al.* A quantitative study on the classification of unloading zones of rockmass slope [J]. Journal of ChengDu University of Technology: Science & Technology Edition, 2003, 19(2): 335-338. (in Chinese)]
- [8] 哈秋龄.岩石边坡工程与卸荷非线性岩石(体)力学[J].岩石力学与工程学报,1997,16(4):386-391. [HA Q L. Rock slope engineering and unloading nonlinear rock mass mechanics [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1997, 16(4): 386-391. (in Chinese)]
- [9] 李建林.岩体卸荷分析的基本方法[J].三峡大学学报:自然科学版,2001,23(1):1-6. [LI J L. Basic method for analyzing unloading of rock mass [J]. Journal of China Three Gorges University: Natural Science, 2001, 23(1): 1-6. (in Chinese)]
- [10] 钱康.玄武岩体风化、卸荷分带及工程地质特征[J].四川水力发电,1992(3):33-37. [QIAN K. The character of weathering, classification of unloading zones and engineering geological for the basalt [J]. Sichuan Water Power, 1992(3): 33-37. (in Chinese)]
- [11] 钱康,罗征均.漫湾电站坝区卸荷裂隙发育特征及工程地质特性研究[J].水利水电技术,1994(7):27-32. [QIAN K, LUO Z J. Features of relaxed crack and engineering geological properties in dam site of manwan hydropower station [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1994 (7): 27-32. (in Chinese)]
- [12] 陆宏.高拱坝工程地质勘察[J].云南水电技术,1995(4):4-15. [LU H. Engineering geological exploration of high arch dam [J]. YunNan Waterpower Technology, 1995(4): 4-15. (in Chinese)]
- [13] 巨广宏.斜坡岩体卸荷及卸荷带划分的几种方法[J].成都理工学院学报,2001,28(增):414-417. [JU G H. Slope rockmass unloading and several classified methods of unloading zones [J]. Journal of Chengdu University Of Technology, 2001, 28(S): 414-417. (in Chinese)]
- [14] 巨广宏.黄河拉西瓦水电站深切河谷花岗岩体风化卸荷的工程地质研究[D].成都:成都理工大学,2002. [JU G H. Engineering geology study on weathered & unloaded granite rockmass in incised valley of Yellow River Laxiwa Hydroelectric station [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2002. (in Chinese)]
- [15] 聂德新,魏玉峰,张勇,等.金沙江白鹤滩水电站坝基岩体质量及建基面选择工程地质研究[R].成都:成都理工大学,2008. [NIE D X, WEI Y F, ZHANG Y, *et al.* Engineering geological study on rock mass quality evaluation and foundation base selection for dam foundation of Baihetan hydropower station on Jinsha River [R]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2008. (in Chinese)]
- [16] 郑达,黄润秋.高边坡岩体卸荷带划分的量化研究[J].水文地质工程地质,2006,33(5):9-12. [ZHENG D, HUANG R Q. Quantitative study on the classification of unloading zones of high slope [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2006, 33(5): 9-12. (in Chinese)]
- [17] 郭永成.卸荷岩体渗流研究及其工程应用[D].宜昌:三峡大学,2005. [GUO Y C. Research on Seepage of Unloading Rock Mass and Its Practical Application [D]. Yichang: China Three Gorges University. (in Chinese)]
- [18] 田开铭,万力.各向异性裂隙介质渗流特性的研究与评价[M].北京:学苑出版社,1989. [TIAN K M, WAN L. Research and evaluation of the permeability of anisotropic fractured media [M]. Beijing: Academy Press, 1989. (in Chinese)]
- [19] 中华人民共和国国家标准编写组. GB50287-2006 水力发电工程地质勘察规范[S].北京:中国计划出版社,2008. [The National Standards Compilation Group of People's Republic of China. GB50287-2006 Code for hydropower engineering geological investigation [S]. Beijing: China Planning Press, 2008. (in Chinese)]

A study of coefficient of permeability as a quantitative classification index for unloaded zones of rockmass

CHEN Qiang^{1,2}, NIE De-xin^{1,2}, PAN Si-yi¹, HE Zi-chen¹, XIE Ke¹

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection ,
Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 , China;

2. College of Environment and Civil Engineering , Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 , China)

Abstract: Coefficient of permeability , to some extent , can represent the development degree of joints , joint openness and unloaded degree , and is often taken as one of the quantitative classification indexes for unloaded zones of rockmass. Due to nonlinear characteristic of unloaded rockmass , difference in research methods and difference in background conditions , each sticks to his argument about the partition limit of water coefficient of permeability adopted by each researcher for the unloaded zones. Taking concrete engineering for an example , statistical analysis between unloaded zones limited by qualitative index and coefficient of permeability in corresponding range of role has been carried out , and its average value was taken as the partition limit for unloaded zones. The application results indicate that as one of the quantitative classification indexes , the coefficient of permeability has its own advantage , and the depth of unloaded zone partitioned with coefficient of permeability was coincident with the ones with other means. Finally , the mainly problems of unloaded zones partitioned by coefficient of permeability was discussed. The results provide reference to quantitative partition for unloaded zones.

Key words: coefficient of permeability; Lugeon value; unloaded zone; permeability analysis

责任编辑: 张明霞

(上接第 47 页)

Water pressure and excavation simulation with the numerical manifold method

CHEN Quan , LIU Jian

(State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering , Institute of Rock
and Soil Mechanics , Chinese Academy of Sciences , Wuhan 430071 , China)

Abstract: Water pressure is an active factor affecting the security of geotechnical engineering. Excavation is common load in rock and soil engineering. As a new developed numerical method , the simulation of water pressure and excavation with Numerical Manifold Method (NMM) is seldom examined. We give the equations to compute the effects of three different types of water pressure acting on joints. Simulation of excavation by removing the blocks and elements in the region to be excavated is easy to describe and the principle is clear. This method is commonly used in numerical methods. The example shows that after introducing this method to NMM , the NMM can simulate the trend of deformation of surrounding rock after excavation. This work extends the usage scope of NMM in geotechnical engineering.

Key words: Numerical Manifold Method; water pressure; excavation

责任编辑: 张明霞