

勘察成果在层状岩体稳定性评价中的应用现状

陈志坚, 张 勤

(河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要:在阐述层状岩体的工程特性及其稳定问题普遍性和复杂性的基础上, 评述层状岩体稳定性评价中概化模型建立、力学参数取值、最不利滑面确定以及地下水控稳作用模拟的研究现状。

关键词:层状岩体; 概化模型; 力学参数; 滑裂面; 综述

中图分类号: TU457

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2001)07-0004-02

近 30 年来, 随着大型水利工程、道路桥梁工程、高层建筑、核电工程建设的迅猛发展, 深、重、大基础工程以及深挖、高填工程大量涌现, 它们与岩土体的作用越来越强烈, 其安全稳定问题越来越突出, 也越来越多地依赖于岩土体的工程性质。但由于岩土体的复杂性, 目前人们仍未能全面、正确地认识诸如岩土体的破坏机理、力学参数等工程性质, 对岩土体与基础工程以及上部结构相互作用的认识也往往是肤浅的。所以, 不断地进行深入的研究仍是十分必要的, 其难度也越来越大。稳定安全监测措施正逐渐成为深入认识岩土体工程性质以及确保岩土体安全稳定的必备手段。

为了更好地落实为安全而监测的宗旨, 深入的定性分析, 客观的定量评价是十分必要的。因为不同的稳定问题、不同的破坏机理、不同的破坏边界, 其监测网点的布设、监测方法的选择以及监控模型的建立是各不相同的。另外, 为了客观、正确地对岩土体的变形和稳定进行定量评价, 全面的定性分析, 深入的现场调查同样是十分必要的。

1 层状岩体的工程特性

层状岩体是指分布有一组占绝对优势结构面(如层面、片理面等)的岩体, 它们是典型的横观各向同性体。优势结构面大多属于物质分异面, 平行优势结构面方向, 岩体的组成基本相同, 而垂直优势结构面方向, 岩体的组成则呈现频繁的软硬交替。由于这种优势结构面多属原生结构面, 所以, 褶皱作用强烈, 因褶皱作用而产生的层间剪切错动, 则使已有优势结构面的物理力学性质进一步弱化, 甚至成为对岩体稳定起控制作用的泥化夹层。由于优势结构面

大多属物质分异面, 所以层状岩体中构造结构面的发育情况在很大程度上受控于优势结构面的发育与分布。

自然界中具有层状构造的沉积岩占陆地面积的 2/3(我国占 77.3%), 许多变质岩也具有层状构造特征, 所以在人类工程活动中将遇到大量的层状岩体稳定问题。一般而言, 岩体的工程地质特征可概括为 4 点: ①岩体是复杂的地质体, 它经历了漫长的岩石建造和构造改造作用, 而且随着地质环境的变化, 其物理力学等工程性质也将发生变化, 甚至恶化, 它不仅可由多种岩石组成, 而且其间还包含有层面、裂隙、断层、软弱夹层等物质分异面和不连续面, 并赋存有分布复杂的地下水、地温等; ②岩体的强度主要取决于岩体中层面、软弱夹层、断层和裂隙等结构面的数量、性质和强度, 结构面导致了岩体的不连续性、不均匀性和各向异性; ③岩体的变形主要是由于结构面的闭合、压缩、张裂和剪切位移引起, 岩体的破坏形式主要取决于结构面的组合形式; ④岩体中存在有复杂的天然应力场, 层状岩体除具有上述 4 点岩体的共性外, 其间分布的层面或片理面等为一组优势结构面, 而且层状岩体通常呈现软、硬互层状的岩性组合特征, 岩体中的裂隙的发育程度在很大程度上受控于层面和软岩层, 且与层面呈大角度相交, 从而使层状岩体具有独特的“层状砌体式”结构特征。

2 层状岩体稳定问题的复杂性

由于对层状裂隙岩体的工程特性缺乏深入了解而造成重大事故的工程屡见不鲜, 如意大利瓦依昂水库近坝库段的巨型滑坡就是沿层面发生的; 我国

葛洲坝工程则因层状岩体中的软弱夹层而使工程几度停工,进行补充勘察、重新设计,工程投资增长十几倍;目前在建的小浪底工程,无论是坝址选择、坝轴线选择以及水工建筑物布置,还是工程造价、施工进度等,都在很大程度上受控于层状岩质边坡(尤其是洞群进、出口边坡)稳定和洞室顶拱层状围岩稳定问题.该超大型工程虽然历经40多年的反复勘察论证,却仍然在其破土动工之后,在经过深入研究并确认无稳定问题的洞群进水口边坡(反向坡)上出现了滑塌破坏现象.显然,层状岩体的工程特性的正确评价对人类工程活动至关重要.目前人们未能对层状岩体的稳定性进行十分正确的认识和评价.

3 概化模型及岩体力学参数的确定

一般认为,欲正确评价层状岩体的稳定性,不仅要查清其组成结构特征、可能的变形破坏形式以及滑动边界条件等内在因素,而且要正确确定岩体的物理力学参数,正确认识岩体的力学行为,并选择正确的分析方法.当然,外界因素以及人类工程活动影响程度的确定也至关重要.

目前的研究现状是在工程勘察中对岩体的组成结构虽然开展了大量的调查和分析研究工作,但在对岩体稳定性进行定量评价时,却很少对这些花了大量人力物力的研究成果进行很好的利用,而是作了很多不切实际的概化^[1];在考虑节理裂隙对岩体稳定性的定量影响时,许多学者作了许多尝试,但目前仍未见有明确的、与岩体结构类型相对应的分析方法,或者说在岩体稳定性计算时,还很少具体考虑“岩体结构类型”这一因素.大量的工程实践表明,岩体的结构类型最能表征岩体的性质.逐条模拟裂隙的定量分析方法是不现实的,在目前科学技术水平下也是不可能实现的,因为要全面查清边坡内每条裂隙的分布位置是无法办到.将几条裂隙等效为一条大裂隙的分析方法,在模拟岩体某一特定性质时是可行的,但就岩体的总体性质而言,其“等效性”很难保证.岩体力学参数的确定对岩体稳定性计算的重要性是不言而喻的,但目前岩块室内试验多(其试验方法规范化程度高、不确定影响因素少,就岩块而言,试验成果逼真度高),而岩体现场大型试验少(不确定影响因素也多).由于大量起控制作用的结构面的存在,导致了岩体的力学参数与岩块的力学参数相差很大,它们之间的相关性非常复杂,而工程实践以及岩体稳定分析时直接需要的是岩体的力学参数.工程实践的现状^[2-7]是:利用率低的岩块参数多,多到泛滥;可用度高的岩体参数少,少致滥用(以点代面).显然,如何根据岩块的力学参数、岩

性组合特征和岩体结构类型来确定含裂隙岩体的力学参数^[8],是极具现实意义的.

4 最不利滑裂面的确定

层状岩体中顺层发育的软弱夹层往往成组出现,在工程岩体中发育几十条产状相近之泥化夹层的情况并不鲜见,如江阴大桥南塔墩地基岩体中就发育多达35条的软弱夹层.与之相应,层状岩体中与顺层软弱夹层近正交的裂隙也十分发育,发育组数就可达3~4组,甚至7~8组,如小浪底坝址区发育的裂隙就多达7组,江阴大桥南塔区发育的裂隙也达4组.若论条数,则可谓不计其数.裂隙间距能达几米者不多见,小至几厘米者不少见,追踪它们可发育成数量众多的纵、横切剖面,其与软弱夹层可组合成难以记数的潜在滑裂面.虽然赤平投影法等^[9-11]可准确确定最不利滑向,但为了客观地、正确地计算工程岩体的稳定性和有的放矢地布设工程岩体稳定的安全监测网点,最不利滑裂面的确定是十分重要的.用干扰能量法^[12]确定最不利滑裂面具有理论严谨的优点,但未很好地利用已有的勘察研究成果,将赤平投影原理引入于干扰能量法的干扰位移法^[13]具有广泛的应用前景.

5 地下水的分布特征及其控稳作用

层状岩体多呈软硬相间互层.软者,其间难见导水,尤其是储水的裂隙.显然,力学性质差的软岩起着隔水层的作用(只是其完整性在断层和切层裂隙分布处受到的破坏).与软岩相间的硬岩,则因硬而脆,其间的裂隙不仅导水,也能储水.调查表明,由产状平缓的层状岩体组成的边坡,其地下水常呈多层网络状分布,边坡岩体中分布有多层包气带水以及多层裂隙潜水(应称上层滞水,但因其分布范围、厚度往往较大,本文不妨称之为潜水),层状岩质边坡中地下水的这种分布特征在暴雨期间尤为明显.虽然已有大量裂隙渗流的研究成果^[14-20],但考虑该分布形式的地下水对边坡稳定的影响仍未取得突破性进展.根据现场水文地质调查资料,参照水工隧洞设计中考虑外水压力的水力折减系数法,将渗透力概化为经水力折减后的面力的简化算法^[21]具有一定的实用价值.

参考文献:

- [1] 张勤.小浪底地下厂房裂隙围岩概化地质模型研究[J].河海科技进展,1993,13(3):68~72.
- [2] 朱建业.四十年来岩土物理力学参数选择的发展[J].水利水电技术,1989(10):7~12. (下转第15页)

在通过其上覆岩体传递到地表的过程中,变形量会有损耗,总体上是上覆盖层越厚,这种损耗便越大。这就解释了抬升变形幅度总体趋势明显受 $D_{2\gamma}$ 上覆岩体厚度影响的抬升变形规律;而坝体可近似看成是一个刚性体,故坝体与坝基抬升变形幅度基本一致。由于坝区岩体是受其下伏的 $D_{2\gamma}$ 回弹变形影响而上抬,实际上可看成是沿岩层倾向向下游的掀斜变形,故随着抬升变形的增大、向下游方向的水平位移分量亦增大。

实际上,抬升问题是一个较复杂的三维变形问题,应考虑各种应力的叠加作用。基于此,应用三维拉格朗日分析程序(FLAC^{3D})进行了三维数值模型分析,结果表明,计算的抬升变形量及变化趋势与实际相符,应证了坝区岩体抬升乃是由坝基深部承压裂隙热水含水层承压水位随水库蓄水位变化所引起的地质结论。通过循环蓄水模拟显示,坝区岩体抬升变形基本上还属于一种微量的弹性变形,其残余变形不明显,说明前述抬升变形量在库水回落时不能完全恢复的变形现象,实际上是属于只在一定时期内存在的部分不可逆变形现象,并非真正的塑性变形,这进一步应证了回弹变形的作用机理。

另外,通过现场取样进行的室内岩石力学模拟试验证实,空隙水压力增高相当于使轴向荷载减荷,均可使试件卸荷回弹;当空隙水压力阶梯式增高时,每增高一级,卸荷回弹变形延续一段时间以后才完成,这是由于水渗入裂隙有一过程。试验展示了变形

的时效特征。

4 结 语

a. 江垭坝区岩体抬升的关键是由于其水文地质条件特殊,即坝基深部存在与库水连通的、富水性良好的承压热水含水层。其作用机理是,水库蓄水后引起该含水层内裂(空)隙水压力增加,使岩体内有效应力降低,引起岩体回弹变形,进而造成坝区岩体抬升。其抬升总变形量受库水位制约,在水库正常蓄水位范围内变形会逐渐趋于稳定。因坝区岩体抬升表现为较均匀过渡,大坝为整体抬升,故不致因差异变形对工程造成危害。目前通过坝内外变形监测和坝基渗压、渗流场观测,证实大坝及坝基防渗帷幕工作良好,其顶板隔水层作为坝基底部隔水层防渗可靠。

b. 江垭坝区岩体抬升虽有它的特殊性,但由于建库引起岩体裂(空)隙水压力的变化却是共有的地质问题。20世纪50年代,岩石力学界已从理论上将太沙基(1933)土力学中的有效应力原理引入岩石力学,本工程为这一理论提供了一个典型实例,因此具有重要的理论意义和实际应用价值。一般情况下,虽岩体内裂(空)隙水压力的变化不足以产生像本工程如此明显的抬升变形现象,但其影响实际上是存在的,在研究岩体破坏和稳定时值得重视。

参考文献:

- [1] 徐志英. 岩石力学[M]. 北京: 水利出版社, 1981.
(收稿日期: 2001-08-20 编辑: 熊水斌)
- (上接第5页)
- [3] 许东俊. 岩基软弱面的工程力学性质研究 30 年[J]. 岩土力学, 1989, 10(3): 13~19.
- [4] 叶金汉. 岩石基本力学性质的试验研究[J]. 水利水电技术, 1991(1): 24~28.
- [5] 周维垣, 杨延毅. 节理岩体力学参数取值研究[J]. 岩土工程学报, 1992, 14(5): 1~11.
- [6] 张永兴. 岩石高陡边坡的岩体模型及其参数研究[J]. 岩土工程学报, 1995, 17(4): 77~84.
- [7] 张勤. 裂隙岩体结构面力学参数取值的工程地质研究[J]. 河海大学学报, 1999, 27(6): 114~117.
- [8] 陈志坚, 卓家寿. 样本单元法及层状含裂隙岩体力学参数的确定[J]. 河海大学学报, 2000, 28(1): 14~17.
- [9] 石根华. 岩体稳定分析中的赤平投影方法[J]. 中国科学, 1977(1): 17~26.
- [10] 罗国煜. 地质灾害优势面分析理论与方法[J]. 自然灾害学报, 1992, 1(3): 45~55.
- [11] 罗国煜. 岩坡优势面分析理论方法[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [12] 卓家寿. 工程稳定问题中确定滑塌面、滑向与安全度的干扰能量法[J]. 水利学报, 1997(8): 80~83.
- [13] 陈志坚. 干扰位移法及层状岩质边坡滑动边界的确定[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(5): 630~634.
- [14] 刘光尧. 砂页岩和泥岩的含水条件及含水层分类[J]. 水文地质工程地质, 1980, 7(5): 24~27.
- [15] 吴旭君. 水对岩质边坡稳定性的影响[J]. 水文地质工程地质, 1991, 18(3): 32~36.
- [16] 李德欣. 暴雨时边坡稳定性的计算实例[J]. 水文地质工程地质, 1985, 12(2): 32~36.
- [17] 山上拓男. 渗透力与渗透水压力[J]. 施泽华译. 华水科技情报, 1981, (4): 97~99.
- [18] 朱岳明. 裂隙岩体渗流研究述评[J]. 河海科技进展, 1991, 11(2): 16~25.
- [19] 张有天, 张武功. 裂隙岩石渗流特征、渗流数学模型及系数测量[J]. 岩石力学, 1982(8): 41~52.
- [20] 毛昶熙. 裂隙岩体渗流计算方法研究[J]. 岩土工程学报, 1991, 13(6): 1~10.
- [21] 陈志坚, 吉林. 层状岩质边坡地下水分布特征及其控稳作用[J]. 河海大学学报, 2001, 29(1): 107~110.
(收稿日期: 2001-07-01 编辑: 张志琴)