

透水覆盖层上土石坝渗流量观测设计方案 综合评价方法

王仁钟 李 雷 彭雪辉

(南京水利科学研究院水利部大坝安全管理中心,江苏 南京 210029)

摘要 :介绍我国建造在透水覆盖层上土石坝渗流量观测的现状,提出考虑技术、经济、效果、运行以及对环境影响等因素的渗流量观测设计方案的综合评价方法,实例分析表明该方法考虑因素比较全面,处理得当,易于操作,结论合理。

关键词 :透水覆盖层;土石坝;渗流量观测;综合评价模型;综合评价方法

中图分类号 :TV641 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2011)01-0042-03

Comprehensive evaluation method for seepage observation design plans of earth and rock-fill dams on permeable overburden layer//WANG Ren-zhong, LI Lei, PENG Xue-hui(Dam Management Department of Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract : The current situation of seepage observation of earth and rock-fill dams on permeable overburden layer in China was introduced. A comprehensive evaluation method for seepage observation plans was proposed based on technology, economy, efficiency, operation and environmental impact. Case study indicates that the proposed method comprehensively takes factors into account and is easy and convenient to use, and the conclusion is rational.

Key words : permeable overburden layer; earth and rock-fill dam; seepage observation; comprehensive evaluation model; comprehensive evaluation method

一些建造在透水覆盖层上的土石坝,特别是近期建的混凝土面板堆石坝,其渗漏水多呈潜流排入下游河床,渗流量观测比较复杂。一般说来,对于透水覆盖层较浅且河床较窄的情况,可采取在坝址附近建造深入基岩的截水墙的办法将坝后水位抬高,使渗水通过量水堰,从而测定坝体坝基的总渗流量。对于深厚覆盖层且河床比较宽的情况,多数是采取在下游河床覆盖层设置测压管或观测井,观测地下水坡降,通过水位计算渗流量,判断渗流性态的办法。

近来大坝安全的渗流量观测方案出现了不考虑覆盖层规模和地质条件、一概采用防渗墙“一截了之”的现象。随着我国经济社会的发展,人们越来越关注大坝安全,为此笔者提出了一种透水覆盖层上土石坝渗流量观测方案的综合评价方法,希望能够做到科学的评价和选择,供设计和决策参考。

1 透水覆盖层上土石坝渗流量观测的现状

建造在透水覆盖层上的土石坝渗流量的观测,

一般说来,对于覆盖层较浅且河床较窄的情况,通常采取在坝址附近建造深入基岩的截水墙的办法,再通过量水堰测定坝体坝基的总渗流量。例如,浙江新昌县巧英水库^[1],工程于 1974 年兴建,1984 年投入运行。拦河坝为黏土心墙坝,最大坝高为 57.71 m,总库容为 0.27 亿 m³。坝基覆盖层仅 1~2 m 厚,宽度约 30 m。施工时,下游坝址附近的覆盖层至基岩,设置了 1 道混凝土截水墙,并建造集水井,设置量水堰测量坝体坝基渗流量。起初因堰口高程过高和堰体漏水未能正常观测,后经加固改造可进行正常观测。浙江龙游沐尘水库^[2]于 2009 年 4 月建成,拦河坝为混凝土面板堆石坝,最大坝高约 56 m,总库容约 1 亿 m³。坝基覆盖层厚约 5~6 m,宽约 400 m,坝后建造混凝土防渗墙并设置量水堰用于渗流量观测。目前量水堰基本建成,正待蓄水检验。

对于深厚透水覆盖层且河床比较宽的情况,从目前工程实践上看,多采取坝基坝体设渗压计观测渗流压力(绘渗流面),下游河床覆盖层设置测压管或观测

井观测地下水位坡降,通过水位来计算渗流量,判断渗流性态。有代表性的是湖北古洞口(Ⅰ级)水利水电枢纽工程^[3]。该工程拦河坝为混凝土面板堆石坝,最大坝高为117.6 m,总库容为1.48亿 m³。1999年5月下旬蓄水。坝基河床部位砂卵石层较厚,最厚处达23 m,宽约100 m。施工时,在河床断面坝基和覆盖层内设置3支渗压计,用以观测坝基坝体渗流压力,在坝下游河床覆盖层中大致2个沿河断面和3个坝轴距设置6根测压管,观测地下水位,用以估算坝体坝基渗流量。观测结果表明,地下水位坡降很小,渗流量很小,管水位与库水位有一定的相关性,但不很密切,受降雨和发电尾水位等影响。

古洞口(Ⅰ级)水利水电枢纽工程的渗流量观测,符合司洪洋的“……在设置量水堰困难的地方,采取坝内渗流面与坝后测压断面或观测井相结合的综合渗流监测法”论断^[4]。目前,这仍然是建造在深厚覆盖层上的混凝土面板坝渗流量观测的一种趋势。这种观测方法符合SL60—94《土石坝安全监测技术规范》的规定^[5]。但在实践中,由于测点的布设、计算参数的确定及客水的影响考虑等均不到位,所以至今还没有哪座水库用此方法准确地计算出渗流量。目前截水墙方案仅用于初期阶段和刚施工完成的几座水库,效果还有待实践考验。

2 渗流量观测设计方案的综合评价方法

2.1 评价模型

渗流量观测设计方案综合评价模型采用线性加权和法,其综合评价值 y 的表达式为

$$y = \sum_{i=1}^n q_i x_i$$

式中: q_i 为所考虑的诸影响因素; x_i 为每个影响因素的赋值。

2.2 评价的影响因素及其权重

一个好的设计方案,应该技术可行、经济合理、效果佳、运行(管理)方便、对环境和结构物影响最小。以上5个方面可以作为渗流量观测设计方案综合评价的影响因素。

凭借经验将5个影响因素的权重分配如下:技术可行程度权重 $q_1 = 0.20$;经济合理程度权重 $q_2 = 0.25$;效果好坏程度权重 $q_3 = 0.30$;运行管理方便程度权重 $q_4 = 0.15$;对环境和结构物影响程度权重 $q_5 = 0.10$ 。以上权重系数为笔者根据自身工作经验初步确定,尚待今后应用中予以检验和调整。

2.3 影响因素分级与赋值

先将各影响因素依其程度定性地分为5级,然后给出各级赋值范围。专家凭经验在定性级别赋值

范围内赋以具体分值,从而完成从定性评价到定量评价的转换。各影响因素定性分级及其赋值范围见表1。

表1 影响因素定性分级及其赋值范围

定性 分级	赋值 范围	定性评价				
		技术 可行 程度	经济 合理 程度	观测 效果好坏 程度	运行管理 方便 程度	对环境 和结构物 影响程度
1	0~20	很低	很不合理	很不好	很不方便	很大
2	20~40	低	不合理	不好	不方便	大
3	40~60	一般	一般	一般	一般	一般
4	60~80	高	合理	好	方便	小
5	80~100	很高	很合理	很好	很方便	很小

2.4 设计方案的综合评价

设计方案综合评价步骤如下:

a. 依据工程规模和特点,针对其工程地质、水文地质及地形条件,选择几个渗流量观测方案,并做出具体方案。

b. 聘请若干名专家,在各自对各方案充分了解的基础上,依据表1中的5个影响因素进行赋分。如果各专家专业、资历、经验差异较大,可取不同权重,各因素得分取加权平均;如差异不大,可取算术平均值。

c. 按线性加权和法对各因素进行综合,得到某设计方案的综合评价值。

d. 比较各方案的综合评价值,得分最高的为最佳,决策时宜优先采用。

3 应用实例

3.1 工程概况

某水库坝址集水面积为150.8 km²,总库容为1.108亿 m³,是一座以防洪、供水为主,结合灌溉、发电、养殖等综合利用的大(2)型水利工程。

水库始建于1964年,1966年完工,总库容为0.5008亿 m³。大坝为薄黏土心墙砂壳坝,最大坝高为48.6 m。1987年开始扩建至目前规模,1994年完工。现状拦河坝坝型为混凝土面板堆石坝和混凝土重力坝组合坝,最大坝高为70.2 m,坝顶总长为473.58 m。混凝土面板堆石坝是在原老坝心墙内设置混凝土防渗墙,大坝加高部分上游面设置了混凝土面板防渗,面板与防渗墙之间设置趾板连接,两岸与趾板相接。

坝址区岩性单一,为侏罗系上统磨石山组d段($J_3^{d_{3m}}$)流纹质英安质晶屑玻屑熔结凝灰岩。坝脚欲设1面混凝土截水墙,该轴线处为第四系冲洪积层和人工堆积层,分别以漂石和块石为主,厚度为18.0~21.6 m,漂石、块石直径一般为30~60 cm,局部直径为100~120 cm。

欲建截水墙部位的冲洪积层和人工堆积层为中~强透水层,当库水位为 104.00 m 时,该处水位为 51.00 m;当库水位为 99.00 m 时,该处水位为 50.70 m。地下水由坝基渗漏及两岸山体和坝坡降雨补给。

该区域地质构造主要为北北东向的压性断裂,北北西向的张性断裂,压性和扭性断裂发育。分布于原大坝防渗墙地基的主要断层为 F5 断层,桩号 0+170.40~0+179.60,产状 $N70^{\circ}\sim 80^{\circ}E$, $NWL70^{\circ}\sim 82^{\circ}$,宽 9.20 m,断层带由紫红色、青灰色断层角砾岩、断层泥及碎块岩组成,在断层上盘面有 1 层厚 10~60 cm 的高岭土。断层角砾及碎块岩呈强风化状态,断层面有大量水平擦痕。断层上下盘裂隙发育,裂隙宽达 1~3 mm,沿裂隙渗水相当严重,实测渗水量 $Q=0.06\text{ L/s}$ 。断层上盘岩石亦风化破碎。此外,坝基还分布有 18 条小断层,宽度普遍小于 1.0 m,并且多由断层泥充填,渗流问题不大。

3.2 渗流量观测方案

该水库大坝坝基有较深厚的中~强透水覆盖层,坝体坝基渗流以潜流形式排入下游河床。依据规范或经验,提出了测压管、截水墙和导渗沟 3 个渗流量观测方案,以资比较。

3.2.1 测压管方案

SL60—94《土石坝安全监测技术规范》^[5]规定,“当透水层深厚、地下水位低于地面时,可在坝下游河床中设测压管,通过观测地下水位坡降计算出渗流量”。因此,可在下游河床深厚透水层中设置足够数量的测压管,并在其间准确地确定过水断面及其介质的渗透系数。然后通过观测地下水位坡降,计算出坝后总渗流量。

测压管的布置见图 1,共布设 16 个测点,其中 1 号、1' 号和 5 号、5' 号 4 个测点分别观测左、右岸地段地下水位,3 号、3' 号测点观测 F5 断层部位地下水位,2 号、2' 号和 4 号、4' 号测点分别观测左半部和右半部河床地段地下水位, L_1 号、 L_1' 号及 R_1 号、 R_1' 号分别观测左、右岸山体裂隙水或断层裂隙水, L_2 和

R_2 测点分别观测左岸下游洼塘和右岸输泄水。该方案测压管安装埋设及自动采集系统预算为 74 万元^[6]。

3.2.2 截水墙方案

该方案是在透水覆盖层中设置截水墙截断水流,并设量水堰观测渗流量。截水墙总长 260 m,厚 0.6 m,两端设 C20 混凝土岸墙,底部深入强风化基岩 0.5 m。工程预算 426 万元^[7]。

3.2.3 导渗沟方案

地质勘探表明,库水位为 104.00 m 时,下游坝趾地下水位为 51.00 m,非常接近扩建时下游坝坡建基面(高程 51.17 m)。由此提出导渗沟方案。该方案在下游坝脚附近开挖至 50.00 m 高程,自左岸向右岸按 0.5% 纵坡修建 1 道导渗沟,导渗沟前墙和沟底透水,后墙不透水。沟顶用混凝土盖板盖好后再回填至地表。导渗沟右端设观测井,三角堰与导渗沟相接。堰下水流由导流管排入河道。该方案预算约 193 万元^[6]。

3.3 综合评价结果

3.3.1 测压管方案

测压管方案技术可行性很高(90,括号中的数据为赋值,下同);经济合理性是截水墙方案的 0.17 倍,很合理(100);观测效果很好(90),可粗略地分段(部位)观测,同时还考虑降雨、温度及山坡裂隙水和下游水位的影响,运行(管理)一般(60),不如其他 2 个方案直观、方便;对环境和结构物影响很小(95)。将上述赋值乘以相应的权重再求和,可获得测压管方案的综合评价值为 88.5。

3.3.2 截水墙方案

截水墙方案因施工中会碰到直径大的漂石、块石,故技术可行性一般(55);经济合理性分别为其他 2 个方案的 2.2 倍和 5.9 倍,很不合理(1.0);不能分段观测,也未能考虑降雨、温度及山体裂隙水等影响,观测效果一般(59);运行(管理)很直观、方便(90);对环境和结构物影响一般(55)。将上述赋值乘以相应的权重再求和,可获得截水墙方案的综合评价值为 48.0。

3.3.3 导渗沟方案

导渗沟方案主要是土石方开挖和回填,其技术可行性高(85);经济合理性为截水墙方案的 0.45 倍,合理(85);不能分段观测,也未能考虑降雨、温度及山体裂隙水等影响,故观测效果一般(55);运行(管理)很直观、方便(90);对环境和结构物影响一般(60)。将上述赋值乘以相应的权重再求和,可获得导渗沟方案的综合评价值为 74.2。

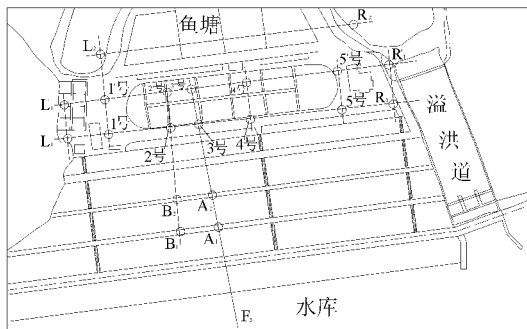


图 1 测压管平面布置示意图

(下转第 73 页)

a. 内摩擦角 φ 随基质吸力的变化不明显,在实际工程应用中可以直接采用饱和土内摩擦角。推导出黏聚力 c 与含水量的线性回归方程,对实际工程具有指导意义。

b. 由典型土水特征曲线可见,同一含水量下,脱湿段吸力要高于吸湿段吸力,受“滞后”现象影响,脱湿后试样的抗剪强度高于同一含水量下吸湿试样的抗剪强度。

c. 土是一种特殊的材料,其强度、变形等力学特性与其应力路径有关。不同的含水量变化路径使土体达到同一含水量时基质吸力并不相同。试验结果表明,相同含水量下脱湿过程的抗剪强度参数高于吸湿过程的抗剪强度参数。

参考文献：

[1] BISHIP A W , ALPAN I , BLIGHT G E , et al. Factors controlling the shear strength of partly saturated cohesive soil [C]//ASCE Res Conf Shear Strength of Cohesive Soils.[S. l.]:Univ of Colorado , Boulder ,1960 503-532.
[2] FREDLUND D G ,MORGENSTEM N R. Stress state variables for unsaturated soil[J]. ASCE J Geotech Eng Div GT5 ,1977 , 103 :447-466.

[3] FREDLUND D G ,MORGENSTEM N R ,WILDGER R A. The shear strength of unsaturated soils[J]. Can Geotech J ,1978 , 15(3) 313-321.
[4] FREDLUND D G ,RAHARDJO H. 非饱和土力学[M]. 陈仲颐 张在明 陈愈炯 ,等,译. 北京 :中国建筑工业出版社 ,1997.
[5] PHAM H Q ,FREDLUND D G ,BARBOUR S L. A study of hysteresis models for soil-water characteristic curves[J]. Can Geotech J 2005 42(6) :1548-1568.
[6] 龚壁卫. 非饱和击实膨胀土总应力强度探讨[J]. 长江科学院院报 ,1998 ,15(3) :40-42.
[7] 龚壁卫 詹良通 刘艳华 ,等. 非饱和膨胀土的抗剪强度特性研究[J]. 长江科学院院报 2000 ,17(4) :19-22.
[8] 徐炎兵 韦昌富 陈辉 ,等. 任意干湿路径下非饱和岩土介质的土水特征关系模型[J]. 岩石力学与工程学报 , 2008 27(5) :1046-1052.
[9] 刘晓敏 赵慧丽 王连俊. 非饱和粉质黏土的土水特性试验研究[J]. 地下空间 2001 21(5) 375-378 385.
[10] 徐泽友 卢廷浩. 高塑性黏土与混凝土接触面剪切特性[J]. 河海大学学报 :自然科学版 2009 37(1) :71-74.
[11] 宁永升 冯树荣 胡育林 ,等. 土工膜黏土组合防渗在溧阳抽水蓄能电站中的应用[J]. 水利水电科技进展 , 2009 29(6) 83-85.

(收稿日期 2010-04-01 编辑 高建群)

(上接第 44 页)

在深厚透水覆盖层上进行渗流量观测时,有多种方案可供选择。该实例中提出了采用测压管、截水墙和导渗沟 3 种观测方案,通过综合评价可以看出测压管方案最优(88.5),导渗沟方案次之(74.2),截水墙方案欠佳(48.0)。在决策时宜优先采用测压管方案。该综合评价方法考虑的因素较为全面合理,易于操作,结论较为合理,可供设计方案比较时参考。

4 结 语

- a. 对建造在透水覆盖层上的土石坝进行渗流量观测可根据透水覆盖层的规模、工程及水文地质条件选择导渗沟、截水墙或测压管(井)方案。
- b. 采用线性加权和法建立评价模型,进而对方案的 5 个影响因素(技术可行性、经济合理性、观测效果好坏程度、运行管理方便程度及对环境 and 结构物的影响程度)予以权重分配和分级赋值,便可对渗流量观测的各种方案进行综合评价和科学比选。
- c. 实例应用表明,本文提出的透水覆盖层上土

石坝渗流量观测设计方案综合评价方法考虑的因素较为全面,权重处理得当,易于操作,结论较为合理。可供设计方案比选参考。

参考文献：

[1] 蔡跃波 盛金保 李雷 ,等. 浙江省新昌县巧英水库除险加固工程蓄水安全鉴定报告[R]. 南京 :南京水利科学研究院 2009.
[2] 蔡跃波 言蝶达 袁辉 ,等. 浙江省龙游县沐尘水库蓄水安全鉴定报告[R]. 南京 :南京水利科学研究院 2009.
[3] 王仁钟 陈生水 赵增凯 ,等. 湖北兴山古洞口(I 级)水利水电枢纽工程蓄水安全鉴定报告[R]. 南京 :南京水利科学研究院 2005.
[4] 司洪洋. 当前我国混凝土面板坝监测中的若干问题[J]. 大坝观测与土工测试 ,1997 21(5) 6-9.
[5] SL60—94 土石坝安全监测技术规范[S].
[6] 王仁钟 李雷 彭雪辉. 横山水库大坝渗流监测方案研究报告[R]. 南京 :南京水利科学研究院 2009.
[7] 浙江省水利水电勘测设计研究院. 浙江省奉化市横山水库加固改造工程初步设计报告[R]. 杭州 :浙江省水利水电勘测设计研究院 2008.

(收稿日期 2010-04-07 编辑 方宇彤)