

碾压混凝土重力坝层间缺陷对大坝安全的影响

冯树荣, 肖峰, 周跃飞, 许长红

(中国水电顾问集团中南勘测设计研究院, 湖南长沙 410014)

摘要: 论述碾压混凝土重力坝层间缺陷产生的主要原因、缺陷的检查和处理原则及方法, 结合某实际工程介绍了碾压混凝土重力坝层间缺陷对大坝安全影响的分析方法和参数取值, 分析和阐述层间缺陷对碾压混凝土重力坝安全的影响。

关键词: 碾压混凝土; 重力坝; 层间缺陷; 安全影响; 分析方法; 参数; 评价

中图分类号: TV698.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-7647(2010)S1-0061-03

碾压混凝土为成层结构, 众多的层面对坝体结构安全产生重要的影响, 特别是重力坝这种依靠自身重力维持稳定的结构。在碾压混凝土大坝施工过程中, 由于施工环境条件、施工组织措施、质量监控体系等各种因素的影响, 个别部位水平层面存在形成层间缺陷的可能, 研究和分析碾压混凝土重力坝层间缺陷对大坝安全的影响在实际工程建设中有着非常重要的现实意义。

1 碾压混凝土重力坝层间缺陷产生的主要原因

碾压混凝土重力坝由于坝体体积大、施工强度高、层面面积大等特点, 较之其他坝型的碾压混凝土更易形成层间缺陷, 碾压混凝土重力坝层间缺陷产生的主要原因可归纳为以下几方面^[1-2]。

- 实际层间间歇时间超过碾压混凝土初凝时间或允许层间间歇时间, 层面出现初凝现象。
- 个别条带漏碾或压实度不合格。
- 高温季节施工时层面未及时覆盖, 在日光直接照射情况下层面出现失水假凝现象。
- 高温季节层面铺砂浆后, 砂浆易失水发白, 影响与上层碾压混凝土的结合。
- 雨季施工时, 短时间高强度降雨情况下层面覆盖不及时, 易造成碾压混凝土层面冲刷和浆体流失。
- 埋设在碾压混凝土中的冷却水管在施工中破裂或接头不严、脱落, 在该层碾压混凝土施工过程中或终凝前即开始通水冷却, 外渗水沿层面渗透影

响层间结合。

2 层间缺陷的检查和处理

碾压混凝土层间缺陷的发现形式: 在坝体质量检查时通过压水试验发现, 或者在施工中通水冷却时各暴露的侧面或顶面出现渗水或冒水等现象发现。层间缺陷发现后一般采取压水试验的方法检查和确定其范围, 根据碾压混凝土层间结合良好情况下的压水试验成果统计分析, 检查和判别层间缺陷的标准为: 三级配碾压混凝土透水率大于 1 Lu, 二级配碾压混凝土透水率大于 0.5 Lu。

压水检查时, 应采取分段压水的方式确定层间缺陷分布的高程范围, 并以初始发现缺陷的孔位为中心, 结合施工现场情况记录, 向外围布置辐射状检查孔, 初步确定层间缺陷范围及其分布, 同时在缺陷范围以外随机布置若干压水孔进行验证。在确定缺陷范围后, 采取声波检测和孔内摄像等物探检查的方式进一步探查缺陷的物理性状, 为安全评价和确定处理方式提供依据。

碾压混凝土层间缺陷的处理分为挖除和补强 2 种方式。当层间缺陷发现较早, 缺陷所处升层顶面暴露或其上部混凝土覆盖厚度较小、强度较低时, 以挖除缺陷部位进行置换为宜; 当层间缺陷发现较晚, 上部混凝土覆盖厚度较大时, 在充分计算分析的基础上, 以采取补强处理为宜。

补强处理以改善层间结合、提高薄弱面抗剪强度和抗渗性为原则, 一般采用灌浆的方式进行。根据实际工程中层间缺陷灌浆后的芯样显示, 最大浆

液填充厚度可达 0.2 mm,从耐久性和维持与混凝土相近的弹性模量等因素考虑,灌浆材料以超细水泥为佳,化学灌浆材料应充分考虑浆液的流动性、亲水性、强度和耐久性。灌浆前应通过检查确定灌浆范围、灌浆部位的连通性、灌浆分区等,还应进行灌浆试验确定灌浆材料和灌浆压力、布孔间距和方式等工艺参数。灌浆前应在确定的灌浆部位外缘设置“锁口”钢筋桩,防止灌浆导致缺陷的进一步发展,灌浆区域内应布置抬动观测孔。灌浆结束后,根据层间缺陷的范围、对大坝的抗滑稳定影响分析等,确定是否需要在缺陷区域设置抗滑钢筋桩。

补强处理后应采取压水试验、取芯结合物探检查的方式检查和评价处理的效果,对芯样进行抗剪(断)试验,为进一步进行安全评价提供依据。

3 层间缺陷对大坝安全影响的分析方法和抗剪断参数取值

层间缺陷对碾压混凝土重力坝安全影响的分析包括稳定和应力两方面。大坝稳定分析采用刚体极限平衡方法进行初步分析,对于范围较大、刚体极限平衡法稳定安全余度较小以及部位较为关键的层间缺陷所处层面的稳定性采取非线性有限元方法和可靠度方法进行补充分析,复核刚体极限平衡方法的计算结果。非线性有限元计算时,加固处理布置的钢筋桩一般作为安全储备,在计算中不考虑,采用应力成果整理法计算层面的抗滑稳定安全系数,当单元发生屈服后该单元抗剪断参数采用残余强度;非线性有限元计算时可采用强度储备法进一步分析层面的安全储备。层间缺陷对碾压混凝土重力坝应力的影响分析可采取线弹性有限元和非线性有限元方法进行。

抗剪断参数取值是层间缺陷稳定分析中首先要解决的问题,缺陷部位的抗剪断参数采用基于该部位芯样抗剪断试验及类比其他工程分析论证后确定,缺陷范围以外的正常层面的抗剪断参数应该是基于现场原位抗剪断试验及类比其他工程后确定。采用刚体极限平衡法计算时,计算层面的抗剪断参数为缺陷范围以外的正常层面与缺陷部位抗剪断峰值强度的加权平均值;有限元法计算时,层间缺陷的抗剪断参数根据单元划分分别取正常层面与缺陷部位抗剪断参数。进行上述计算分析时一般应对缺陷部位的抗剪断参数分别取高、中、低值进行参数敏感性分析,以便进一步判断该层面的稳定性。

某实际工程层间缺陷的抗剪断参数取值方法如下:

a. 在坝体正常部位采用钻孔取芯,对芯样进行

抗剪断试验。

b. 芯样抗剪断试验的试件尺寸为 150 mm × 150 mm × 150 mm 的立方体,考虑尺寸效应等因素将芯样抗剪断试验成果转换为原位抗剪断试验成果^[3],经对比分析,在正应力为 3 MPa 条件下,芯样试验的平均剪应力约为原位试验平均剪应力的 1.3 倍,芯样试验的平均摩擦系数 f' 约为原位试验的 1.1 倍,芯样试验的平均黏聚力 c' 约为原位试验的 1.75 倍。

c. 在缺陷部位采用钻孔取芯,对芯样进行抗剪断试验,按上述芯样与原位试验成果转换关系将芯样抗剪断试验成果转换为原位抗剪断试验成果。

d. 由于芯样成果已经反映了现场实际施工状况,芯样试验成果转换为原位试验成果后,如果按照规范要求的 $C_{vf'} = 0.2$, $C_{vc'} = 0.35$ 求取 80% 保证率的计算标准值时^[4],所采用的离散系数明显偏大,但由于试验点数偏少,确定一个更合理的离散系数也很困难,在实际操作中将缺陷部位芯样试验中残余剪应力最小的一组试件转换后的原位成果作为缺陷部位残余强度的计算标准值,而峰值强度取与残余强度相同^[5]。

e. 经上述方法确定的该工程用于层间缺陷抗滑稳定计算的抗剪断参数如下:正常部位 $f_{\text{峰}} = 1.05$, $c_{\text{峰}} = 1.70$ MPa; $f_{\text{残}} = 0.90$, $c_{\text{残}} = 0.70$ MPa,缺陷部位中值 $f_{\text{峰}} = 0.80$, $c_{\text{峰}} = 0.30$ MPa; $f_{\text{残}} = 0.80$, $c_{\text{残}} = 0.30$ MPa。

4 层间缺陷对碾压混凝土重力坝安全的影响

由于层间缺陷对碾压混凝土重力坝安全的影响研究较少,仅根据某实际工程中产生的层间缺陷所进行的有关计算分析工作成果,简述层间缺陷对位移、应力及稳定性的影响。

4.1 位移

存在层间缺陷时,计算坝段最大顺河向水平位移和垂直向位移都出现在坝顶位置,各特征值的大小和所产生的部位及总体的位移分布与不存在层间缺陷时相比几乎无差别,层间缺陷的存在及其分布对坝体位移的影响较小。

4.2 应力

存在层间缺陷时,缺陷部位的传力与否及有无缺陷存在情况下的坝体混凝土本体应力分布差别不大。当假定缺陷部位不传力时,应力的总体分布规律与传力时大致相同,但在缺陷部位会出现应力集中和位移不连续的现象。将缺陷部位弹性模量降低至正常层面的 10% 时,弹性模量的变化对坝体整体位移和应力几乎没有影响,只有缺陷部位会有很小

的差别^[5-6]。

层面上的法向应力最小值均位于上游部位,高程较低处的层面可能产生拉应力,向下游逐渐转变为受压。切向应力在上游和下游部位都很小,最大值位于中间靠近下游部位,其中缺陷部位传力时,不同缺陷部位下层面最大应力相同,与无薄弱面时相同,缺陷部位不传力时,由于应力集中,缺陷部位两端都有最大值出现。

当缺陷部位位置较低时,缺陷部位区域一般均发生了屈服,但未扩展至同层的 RCC 层面中。缺陷部位屈服区受弹性模量降低的影响不大。

4.3 稳定性

层间缺陷的存在导致该层面抗滑稳定安全系数和抗滑安全可靠度显著降低,溢流坝段当层间缺陷占层面比例为 10% ~ 25% 时,静力工况时,抗滑稳定安全系数较无层间缺陷存在情况下降低约 5% ~ 15%^[5-6]。挡水坝段当层间缺陷占层面比例为 30% ~ 60% 时,静力工况时,抗滑稳定安全系数较无层间缺陷存在情况下降低约 15% ~ 30%^[5-6]。动力工况下的抗滑稳定安全系数同样也有显著降低。

4.4 失稳破坏模式

坝基面屈服区从两端向中间扩展,而缺陷部位屈服区的扩展以从缺陷部位向两侧的 RCC 层面扩展为主。当缺陷部位传力时,一般都是缺陷部位首先屈服,然后向两侧发展直至整条滑动面贯通;当缺陷部位不传力时,由于原来由缺陷部位承担的应力向两侧转移,产生应力集中,一般是缺陷部位两端首先屈服,然后分别向两侧延伸直至全部贯通;当层面位置较低时,上游侧受拉会出现开裂现象,会出现缺陷部位与层面上游部位同时屈服和开裂的现象。

5 结 语

a. 层间缺陷的检查应以压水试验为主,辅之以取芯和其他物探方法,压水试验判别层间缺陷的透水率标准以 0.5 ~ 1.0 Lu 为宜。

b. 层间缺陷的处理最好采取挖除置换的方法,当无法进行挖除置换时,应以改善层间结合、提高缺陷部位抗剪强度和抗渗性为原则,采取灌浆补强、抗剪钢筋桩等综合处理措施。

c. 层间缺陷对坝体安全的影响分析,可采用刚体极限平衡方法、线弹性有限元方法、非线性有限元方法和可靠度方法等计算分析,以达到多方法相互印证、满足对层间缺陷安全性进行综合评价的要求。

d. 层间缺陷对碾压混凝土重力坝安全影响的分析所采用的抗剪断参数取值基于该部位芯样抗剪

断试验及类比其他工程,并考虑尺寸效应等因素综合分析论证后确定,按规范要求的 $C_{eff} = 0.2$, $C_{vc} = 0.35$ 求取计算标准值时,所采用的离散系数明显偏大,可采用抗剪强度最低的一组试验成果作为标准值的取值依据。

e. 层间缺陷的存在对碾压混凝土重力坝而言明显降低了缺陷所处层面的抗滑稳定安全度,但层间缺陷的存在不会对相邻层面的抗滑稳定安全度造成明显不利影响。

f. 层间缺陷的存在不会对坝体整体应力分布和变形造成明显不利影响,但改变了该层面的滑动破坏模式。

参考文献:

[1] 孙恭尧,王三一,冯树荣.高碾压混凝土重力坝[M].北京:中国电力出版社,2004.
[2] 冯树荣.高碾压混凝土重力坝温控防裂技术研究进展[J].水利水电科技进展,2009,29(1):77-80.
[3] 贾金生,周建平,钮新强.重力坝设计 20 年[M].北京:中国水利水电出版社,2008.
[4] DL5109-1999 混凝土重力坝设计规范[S].
[5] 冯树荣,肖峰,周跃飞,等.龙滩水电站碾压混凝土重力坝安全鉴定设计复核专题报告[R].长沙:中南勘测设计研究院,2006.
[6] 李同春,肖峰,周跃飞,等.龙滩水电站水平薄弱层面对碾压混凝土大坝安全影响计算分析评价报告[R].南京:河海大学,长沙:中南勘测设计研究院,2006.

(收稿日期 2009-12-31 编辑 方宇彤)

+++++

(上接第 34 页)

参考文献:

[1] 袁洪福,褚小立,王艳斌,等.水分析手册[M].北京:中国石化出版社,2004:601-602.
[2] 刘维屏.农药环境化学[M].北京:化学工业出版社,2005.
[3] 刘维屏,季瑾.农药土壤-水环境中归宿的主要支配因素:吸附和脱附[J].中国环境科学,1996,16(1):27-32.
[4] 李金花.共存污染物对三种有机物在土壤/沉积物上吸附行为影响的研究[D].上海:上海交通大学,2008.
[5] 李竺.多环芳烃在黄浦江水体的分布特征及吸附机理研究[D].上海:同济大学,2007.
[6] 刘维屏.农药环境化学[M].北京:化学工业出版社,2005:142-145.
[7] 李丽.不同级分腐殖酸的分子结构特征及其对菲的吸附行为的影响[D].北京:中国科学院,2003.

(收稿日期 2010-01-29 编辑 骆超)