DOI:10.16616/j.cnki.11-4446/TV.2017.011.007

溢流坝结构应力计算及其数值模拟分析

刘 莫

(北票市水利规划勘测设计院,辽宁 北票 122100)

【摘 要】 本文通过有限元数值模拟、理论计算等方法对溢流坝纵向和横向应力进行计算,研究各主应力工况应力分布规律,引进材料力学方法计算溢流坝不同荷载组合下的抗滑稳定安全系数和坝基面应力,并对溢流坝段结构稳定性进行定性分析和评价,为类似工程溢流坝结构设计和施工提供数据支撑和借鉴。

【关键词】 坝体结构;溢流坝;应力计算;数值模拟

中图分类号:TV642 文献标志码:B 文章编号:1005-4774(2017)011-0033-04

Analysis on dam overflow dam structural stress calculation and numerical simulation

LIU Jia

(*Beipiao Water Conservancy Planning Survey and Design Institute*; *Beipiao* 122100, *China*)

Abstract: The structure of the overflow dam plays an important role in the flood control of water conservancy project dams. It is very important to improve the discharge capacity of the dam. In the paper, longitudinal and lateral stress of overflow dams is calculated through finite element numerical simulation, theoretical calculation and other methods. Stress distribution laws of different main stress working conditions are studied. Material mechanics method is introduced to calculate anti-sliding stability safety coefficient and dam foundation surface stress of overflow dams under different load combinations. The structure stability of overflow dam section is qualitatively analyzed and evaluated, thereby providing data support and reference for overflow dam structure design and construction in similar projects.

Keywords: dam structure; overflow dam; stress calculation; numerical simulation

1 引 言

坝体的结构安全和布置是水利工程安全运营的重要保证,对于目前水利工程防治失稳事故起到关键作用。但是,中国幅员辽阔,各水系水域分布众多,水利工程建设的地质条件和工程概况各不相同。因此,结合具体工程进行坝体结构设计和布置,通过理论分析和数值模拟的方法对坝体结构的安全进行深入分析,对于指导坝体工程安全施工具有重要意义[1-2]。

目前的研究主要有何柱等[3]利用数值模拟分析小湾拱坝坝体施工过程,并对该工程坝体内部温度裂缝进行了模拟,通过监测数据进行反演计算,确定具体的材料力学参数,以预测坝体在下一阶段蓄水以及最终蓄水后的稳定性等;沈辉等[4]采用面向对象技术,多种软件协同作业,建立自然地质条件和工程对象的几何模型,建立几何模型之后,再构建适用于地应力反演分析、坝体荷载、工程开挖等因素影响下坝肩稳定性分析的三维精细有限元计算模型,得出如下结论:组合地震

荷载作用下,所有楔块安全系数均大幅下降,但仍具有一定的安全裕度;严琼等[5]以山西襄汾尾矿坝2008年溃坝案例为研究背景,分别采用应力-渗流耦合和连续-离散耦合数值分析方法建立数值模型,引入浮重度参数,将坝体材料考虑为在静水作用下的含水土体,可采用连续-离散耦合算法,其模型计算结果与溃坝成因基本一致;於正芳等[6]基于非坝体水工建筑物模型试验的基本原理,对动态模型试验时,考虑了模型与原型的相似关系、边界模拟、材料选择等问题,并对模型试验关注的问题和重点进行了评述,为试验提供了相应的理论依据。此外,朱强等[7]、孙从露等[8]、刘小生等[9]、于程一等[10]众多学者对坝体泄水建筑物的稳定性进行分析,对泄水建筑物的结构进行验证,取得众多研究成果。

本文结合锦凌水库工程溢流坝结构的设计和布置情况,利用有限元数值模拟等方法对各主应力工况进行模拟分析,计算纵向和横向应力,利用材料力学等计算方法确定抗滑稳定安全系数和坝基面应力,根据应力计算结果对溢流坝段结构稳定性进行分析,为结构设计和施工提供了指导。

2 工程概述

溢流坝段布置于河道右岸的主河床位置,设有10个泄洪表孔,布置在②~⑩坝段上,采用开敞式孔口,主要担负水库泄洪任务,坝段桩号为0+579.00~0+756.50。溢洪坝泄流净宽150.0m,总宽177.50m,单宽泄流量90.49m^3/s。每孔设有弧形门控制,由坝顶门式启闭机启闭,弧门上游设检修叠梁钢闸门。

溢流坝采用WES型堰面曲线,下游直接通过半径为25.0m的反弧曲线与挑流消能鼻坎相连。采用堰体分缝型式,单坝段长17.50m,边坝段长10.00m,堰体分缝采用铜片止水,并沿堰面布置。溢流堰属于高堰,定型设计水头$H_d=(0.75\sim0.95)H_{max}$。挑流鼻坎反弧半径确定为25.0m,反弧最低点高程为35.16m。反弧段内最大流速、最大单宽流量均不是太大,因此,该工程反弧段半径确定为25.0m,反弧最低点高程为35.16m。

3 坝体平面有限元数值模拟计算

3.1 平面有限元应力计算及分析

作为计算断面,纵向稳定及应力计算取58.30m高程,进行抗倾、抗滑及应力计算。沿水流方向在弧门前与牛腿铰支座处各取一个计算断面,根据闸门运行情况,按悬臂梁进行偏心受压横向应力计算。各工况主应力等值线见下页平面有限元计算分析图。

经分析论证,纵向稳定满足要求:试验溢流坝泄流能力在设计水位情况下较计算多4.0%,校核水位情况下较计算多1.4%。

横向应力计算,中墩在闸门最高挡水位(61.12m)一侧关闭,另一侧全开的情况下,挡水侧闸门前部位为关闭侧0.17MPa的拉应力(开启侧0.32MPa的压应力)。边墩在闸门最高挡水位关闭的情况下,挡水侧闸门前部位为0.19MPa的拉应力。

计算结果表明:坝体上游面最小主压应力σ_{min}由校核水位工况控制,坝体上游面各点的最小主压应力(不计入扬压力)均大于允许值;坝体最大主压应力σ_{max}由校核水位工况控制,出现在坝趾附近,其值为1.35MPa,小于混凝土压应力2.0MPa;施工期坝体最大主压应力σ_{max}为0.45MPa,出现在坝踵附近,坝体最大主拉应力为0.02MPa,小于允许拉应力值0.2MPa。坝踵区的应力中正常水位情况最为不利,但不出现拉应力,不会危及帷幕安全。

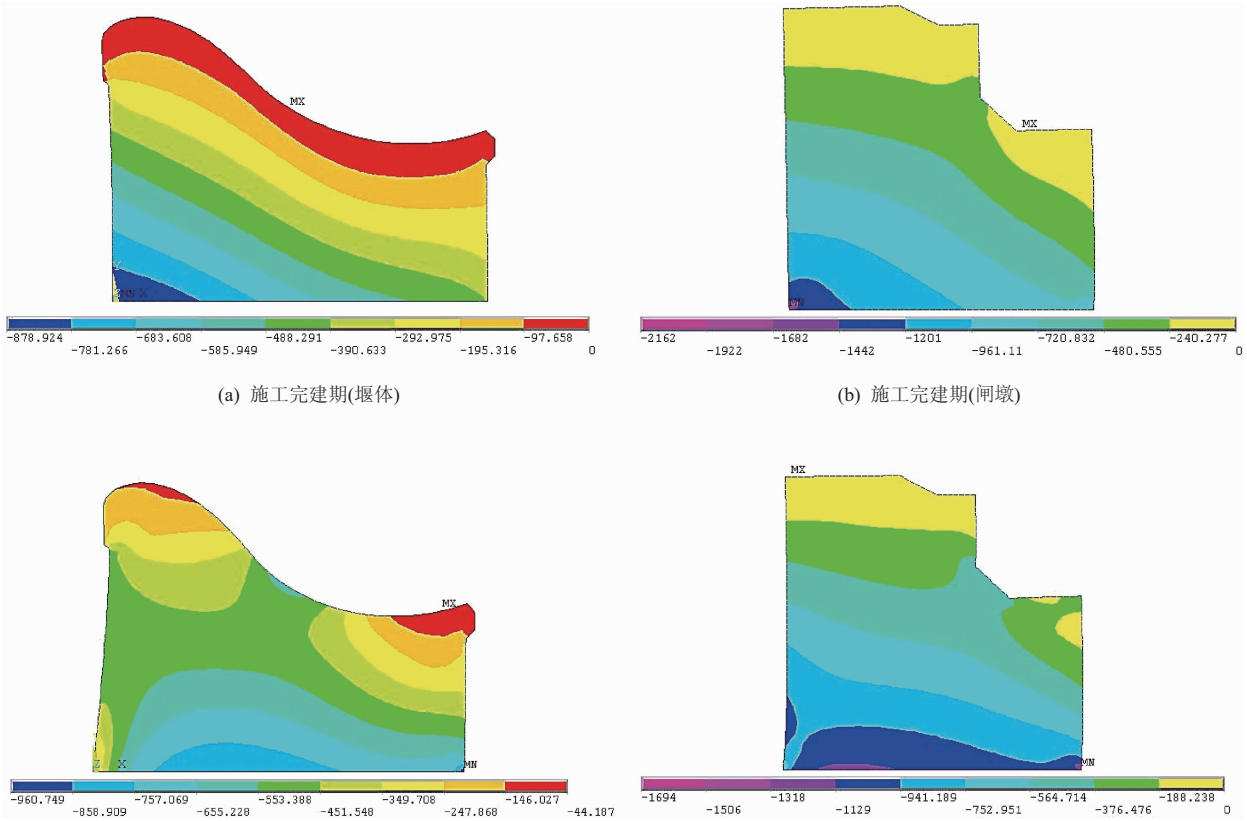
3.2 溢流坝抗滑稳定及应力计算

根据地质勘察资料,溢流坝段最低建基面高程16.00m,坐落在熔岩弱风化中部。因此,堰体整体利用材料力学法,刚体极限平衡法进行计算。抗滑稳定计算公式:

$$K'=\frac{f'\sum W+C'A}{\sum P} \tag{1}$$

式中 K'——抗滑稳定安全系数;

A——坝基面截面积,m^2;



(a) 施工完建期(堰体)　(b) 施工完建期(闸墩)

(c) 校核水位工况(堰体)　(d) 校核水位工况(闸墩)

平面有限元计算分析图

$\sum W$——作用于坝体上的全部荷载对滑动平面的法向分力,kN;

J——坝基面截面积对形心轴的惯性矩,m^4;

f'——坝体混凝土与坝基接触面抗剪断摩擦系数较小值,$f'=0.75$MPa;

C'——坝体混凝土与坝基接触面的抗剪断凝集力较小值,$C'=0.65$MPa。

坝基面应力计算公式:

$$\sigma_y = \frac{\sum W}{A} \pm \frac{\sum Mx}{J} \tag{2}$$

式中　K'——抗滑稳定安全系数;

σ_y——坝踵、坝趾垂直应力,kPa;

$\sum M$——作用于坝体上的全部荷载对滑动平面心力矩,kN·m;

J——坝基面截面积对形心轴的惯性矩,m^4;

x——坝基面截面上计算点到形心轴的距离,m。

由表1和表2可知,溢流坝段抗滑稳定均满足规范规定的安全值,坝锺处无拉应力,坝址处压应力均小于坝基容许压应力值,结构设计满足要求。溢流坝段深层抗滑稳定均满足规范规定的安全值,结构设计满足要求。

表1　溢流坝应力计算成果

设计组合作用组合	作用类别	持久状况基本组合			偶然状况特殊组合	
考虑情况		正常蓄水位	设计洪水位	冰冻情况	校核洪水位	施工期
抗滑稳定系数	计算值	3.82	3.87	3.97	3.76	3.71
	规范值	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5
坝踵垂直正应力	计算值/MPa	0.17	0.20	0.14	0.05	0.15
	允许值/MPa	0	0	0	0	0
坝趾垂直正应力	计算值/MPa	0.95	0.92	0.91	1.05	0.82
	允许值/MPa	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0

表2 坝基深层抗滑稳定计算结果

设计组合 作用组合	作用类别	持久状况 基本组合			偶然状况 特殊组合	
考虑情况		正常蓄水位	设计洪水位	冰冻情况	校核洪水位	施工期
抗滑稳定系数	计算值	3.04	3.21	3.07	3.14	2.87
	规范值	1.30	1.30	1.30	1.15	1.15

4 结 语

本文利用有限元数值模拟分析了溢流坝纵向和横向应力变化,计算了纵向和横向应力,确定了各主应力工况的应力分布,引进材料力学方法对溢流坝抗滑稳定安全系数和坝基面应力进行了计算,并获得了不同荷载组合下的抗滑稳定系数和坝基面应力,根据应力计算结果对溢流坝段结构稳定性进行了分析。研究结果可为类似工程溢流坝结构设计和施工提供借鉴和参考。

参考文献

[1] 袁剑军. 土石坝防渗墙黏土混凝土材料的工程应用初探[J]. 水利建设与管理, 2013(2): 33-35.

[2] 吴瀚. 截水环对涵管周围渗流场影响分析[J]. 中国水能及电气化,2016(9): 51-54.

[3] 何柱,刘耀儒,杨强. 基于位移反分析的小湾拱坝稳定性评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(11): 2242-2249.

[4] 沈辉,罗先启,郑安兴. 拱坝联合坝肩岩体三维计算模型构建[J]. 岩土力学, 2014, 35(5): 1455-1460.

[5] 严琼,吴顺川,李龙. 基于耦合模型的尾矿坝稳定性对比分析[J]. 金属矿山, 2015,27(9): 05-10.

[6] 於正芳,宫必宁,方传斌. 非坝体水工建筑物结构抗震模型试验研究[J]. 水电能源科学, 2009,27(5): 104-106.

[7] 朱强,张硕,彭成山. 基于 ADINA 的浆砌石重力坝三维有限元分析[J]. 水电能源科学, 2014,32(7): 74-77.

[8] 孙从露,徐洪,杨建国. 基于渗流计算的尾矿坝静力稳定性分析[J]. 矿业研究与开发, 2016, 36(6): 111-115.

[9] 刘小生,赵剑明,王钟宁. 土石坝及地基抗震若干进展及规范修编[J]. 水力发电学报, 2014,33(2): 185-192.

[10] 于程一,凌贤长,唐亮. 辽宁葫窝水库溢流坝段裂缝状态地震反应分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2016,37(1): 116-122.

(上接第98页)合工程实际,优化调度方案,提高运用效率,充分发挥防洪、兴利等综合效益。

各级水行政主管部门和工程管理单位强化安全意识,充分认识水库工程超蓄超限问题的重要性和危害性。针对超蓄屡禁不止的问题,建议对个别超蓄历时长、超蓄水位高的水库工程进行通报批评,引以为戒。

4.4 强化水库大坝安全应急管理

各地应按照《中华人民共和国突发事件应对法》(主席令第69号)、《水库大坝安全管理应急预案编制导则》(SL 720—2015)等有关规定,进一步提高风险意识,重视应急管理工作中的薄弱环节,通过政府、社会组织之间的相互沟通协调和紧密配合,加强水利工程应急管理制度和组织体系建设,结合实际制定和完善安全管理应急预案,针对性开展必要的宣传、培训或演练,做到预防到位、未雨绸缪。

4.5 开展工程观测设施检查

管理设施不健全是制约工程运行管理的突出问题。建议地方水行政主管部门对水库开展工程观测设施状况专项检查,未按除险加固设计安设观测设施的,要编制方案落实资金,限期完成。

4.6 推进标准化管理,开展达标考核

标准化管理[4]是进一步提高水库管理水平的重要措施,各地水行政主管部门和水管单位应积极制定水库标准化管理实施细则,开展达标考核,建立奖惩制度,更有效地推进工程管理工作,全面提高管理水平。

参考文献

[1] 水利部,国家统计局. 第一次全国水利普查公报[M]. 北京: 中国水利水电出版社,2013.

[2] 杨启贵,高大水. 我国病险水库加固技术现状及展望[J]. 人民长江, 2011, 42(12): 6-11.

[3] 周武,李端有,王天化. 水库大坝安全应急管理与应急指挥调度技术初探[J]. 长江科学院院报, 2009, 26(S1): 135-139.

[4] 赵素桥,牛淑金,李爱华. 推行工程精细化管理全面提升工程管理整体水平[J]. 海河水利, 2011(2): 26-27.