

气动盾形闸门结构的优化设计

赵鹏飞¹ 刘鹏鹏² 牛文龙¹

(1. 江河机电装备工程有限公司, 北京 100070;
2. 中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司, 北京 100024)

【摘要】 气动盾形闸门作为一种新型水工钢闸门,在中国已建成多座。在运行中由于一些特殊原因,气动闸门会出现一定的变形,虽未影响正常使用,但在观赏效果上有一定的影响。本文采用大型通用三维有限元软件 ANSYS Workbench,对挡水高度为 2.5m 的松花湖旺起人工湿地气动闸门结构建立计算分析模型,通过理论计算,结合实际情况,分析导致其变形的原因,提出合理的解决方案,实现闸门的优化设计,为今后的气动闸设计提供必要参考。

【关键词】 气动盾形闸门; 闸门结构; 三维有限元; 解决方案; 优化设计

中图分类号: TV663

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)01-0027-05

Optimized design of pneumatic shield gate structure

ZHAO Pengfei¹, LIU Pengpeng², NIU Wenlong¹

(1. JME Engineering Co., Ltd., Beijing 100070, China; 2. Power China Beijing Engineering Co., Ltd., Beijing 100024, China)

Abstract: Many pneumatic shield gates have been constructed in China as a kind of novel hydraulic steel gates. Pneumatic shield gates may suffer from certain deformation in operation due to some special reasons. Though normal use is not affected, certain influence is produced on the ornamental effect. In the paper, large general 3D finite element software ANSYS Workbench is adopted. Calculation analysis model is established for the pneumatic gate structure of Songhua Lake Wangqi Constructed Wetland with water-retaining height of 2.5m. Practical condition is combined for analyzing deformation causes through theoretical calculation. Reasonable solutions are proposed to achieve the optimal design of the gate, thereby providing necessary reference for pneumatic gate design in the future.

Key words: pneumatic shield gate; gate structure; 3D finite element; solution; optimized design

1 引言

气动盾形闸门系统是中国在引进先进技术的基础上,结合钢闸门及橡胶坝的特点研发出来的一种大跨度闸门系统,兼有橡胶坝和钢闸门的优点。其主要组成部分有钢闸门、气袋、埋件、空气压缩系统和控制系统等,通过气袋的充排气实现闸门的升起与倒伏,在设

计水位内可以任意调整水位,且对河宽无限制。气动盾形闸门是一种先进、高效、节能、环保的水利设施,随着我国环保政策的推行及旅游事业的大力发展,其必将广泛应用于中国城镇水环境治理及开发建设中。目前,中国国内已建成并安全运行的气动闸已多达十几座^[1]。

气动闸在运行中由于一些特殊原因,闸门会出现

一定的变形,虽未影响正常使用,但其作为景观气动闸坝,在观赏效果上有一定的影响。虽然中国已有多座气动闸的工程实例,但尚缺乏系统、完整、准确的理论计算体系。目前气动闸常用的平面体系计算方法是将其简化分解为若干基本部件,再按平面体系对每一部件进行计算。然而,气动盾形闸门结构是一个复杂的空间结构,按平面体系计算与实际空间结构特性存在较大的差异。本文拟结合松花湖旺起人工湿地气动闸工程,通过大型有限元软件 ANSYS Workbench 对闸门结构进行三维有限元应力变形计算,分析闸门的受力变形情况,根据变形结果提出较为合理的解决方案,减小闸门的实际变形量,从而达到优化效果。

2 闸门结构的边界约束条件及材料模型

2.1 闸门结构的边界约束条件

对气动盾形闸门系统的闸门结构进行三维建模和有限元分析时,闸门结构边界约束条件的设定至关重要,对结果分析影响较大,而盾形气动闸闸门的支撑型式与传统的闸门型式有较大区别,因此要确定合理的边界约束条件就必须了解气动闸的工作原理^[2]。

气动盾形闸系统主要由盾形钢闸门面板、气袋、铰链、主锚栓和混凝土基础等组成,是在刚性结构和柔性结构的共同作用下,将上游来水荷载最终传递给基础,研究分析气动盾形闸门受力及传递路径,主要有两条:
 ①钢闸门面板上游承受水推力作用,该力主要由门后充气袋承受,然后传递给混凝土基础;
 ②水推力作用下,面板绕闸门底轴转动,通过铰链将所受的荷载传递给主锚栓,继而传递给混凝土基础。通过分析气动闸的结构组成及传力过程,可以确定闸门的边界约束条件,闸门面板内缘受到气袋的径向约束,约束面尺寸按照气袋与门板的实际接触面积确定;闸门底部受到铰链盖板和气袋的竖向约束。整体结构型式见图 1。

2.2 闸门结构的本构模型

气动盾形闸门的材料选型与普通钢闸门所用材料没有大的区别,在有限元分析中采用各向同性的线弹性模型作为本文闸门结构分析的本构模型^[3]。

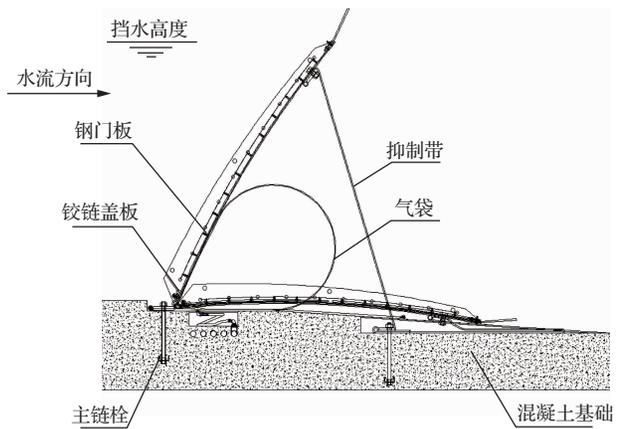


图 1 气动盾形闸结构组成

3 工程实例分析

3.1 工程概况

松花湖旺起人工湿地气动盾形闸门系统,闸门挡水宽度 30m,挡水高度 2.5m,用于洪水期泄洪、非洪水期挡水。底板高程 262.50m,闸顶高程 265.00m,闸墩墩顶高程 265.50m,校核洪水位 265.30m。盾形气动闸门横断面见图 2。

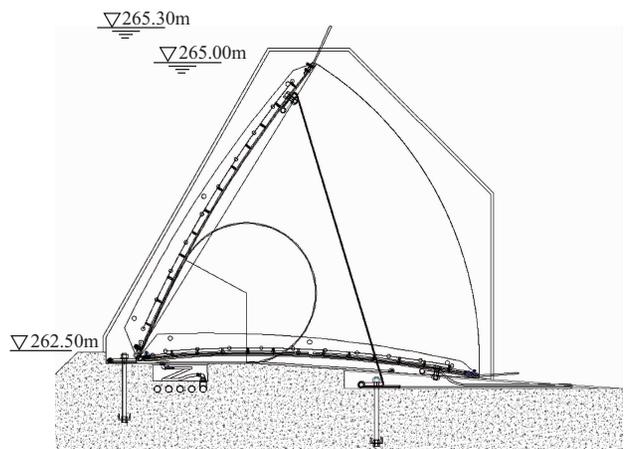


图 2 气动盾形闸门横断面

3.2 闸门材料的计算参数

该盾形钢闸门结构材料为 Q345B,弹性模量 $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ Pa}$,泊松比 $\nu = 0.3$,质量密度 $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ 。

3.3 有限元模型

闸门与闸门之间是依靠间止封(橡胶件)柔性材

料连接止水的,因此仅需分析计算完整的一扇闸门即可。闸门板约束边界条件依据 2.1 的论述施加。本文主要采用 6 面体 20 节点的结构单元划分网格,单元总数为 19699,节点总数为 31935。模型及单元划分见图 3。

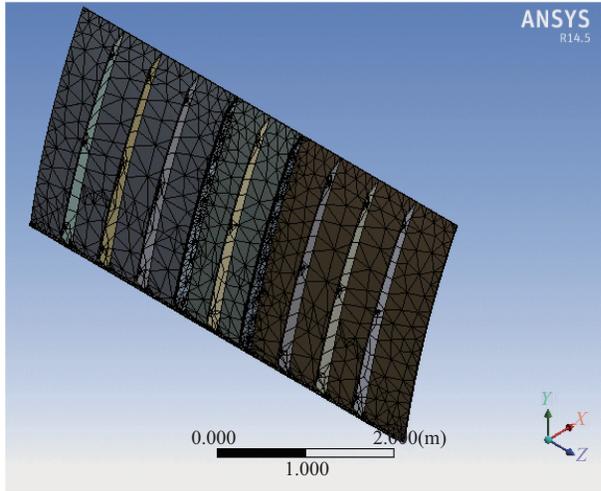


图 3 模型及单元划分

3.4 计算工况及结果分析

计算工况:上游采用校核洪水位的静水头 2.80m,下游无水。

闸门各部件的最大整体位移及最大折算应力见图 4 ~ 图 9。

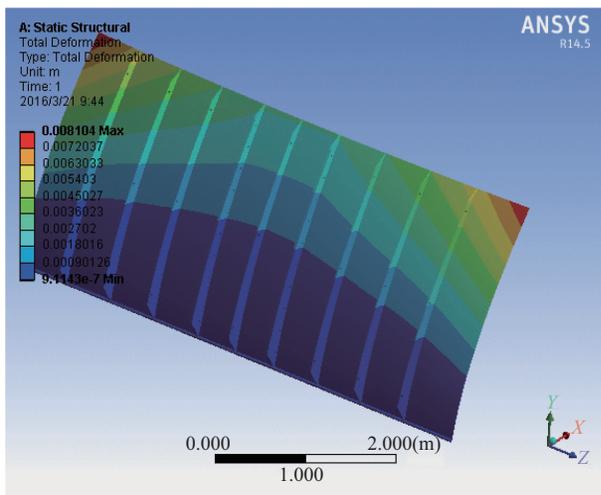


图 4 闸门整体位移云图(单位:m)

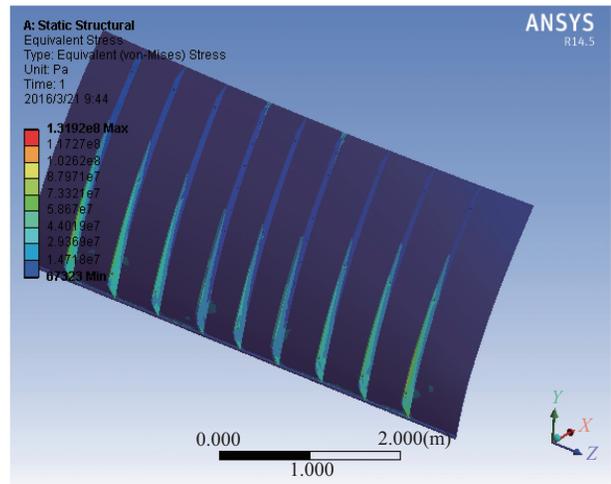


图 5 闸门整体应力云图(单位:pa)

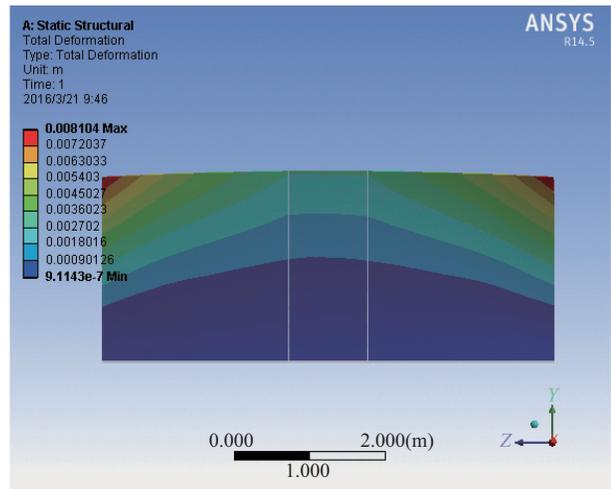


图 6 面板整体位移云图(单位:m)

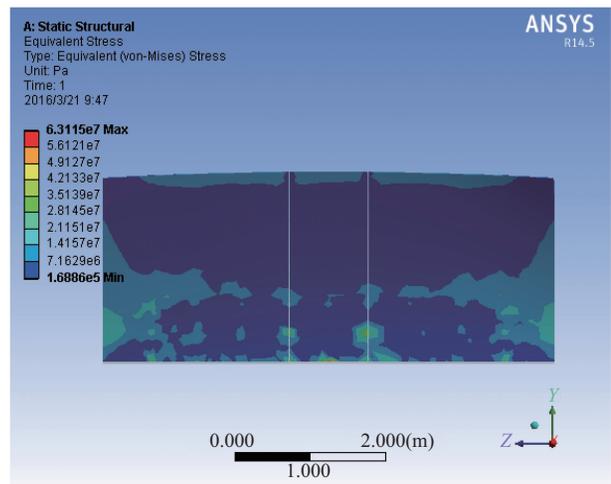


图 7 面板整体应力云图(单位:pa)

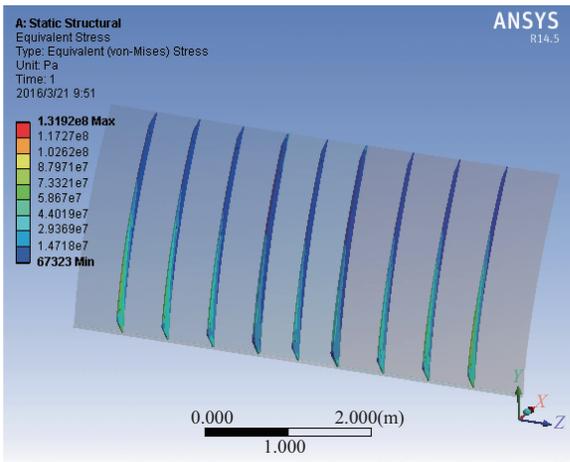


图8 筋板整体位移云图(单位:m)

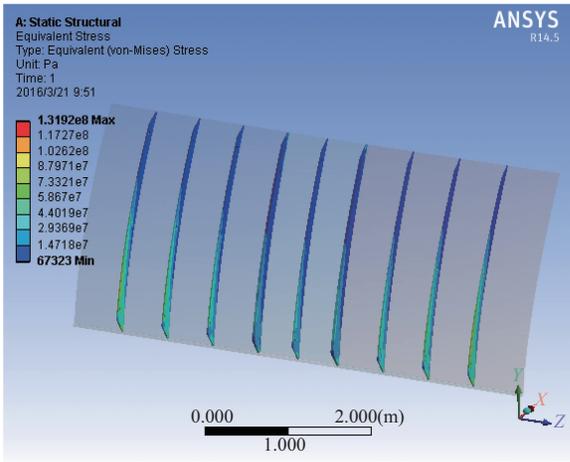


图9 筋板整体应力云图(单位:pa)

表1 校核工况下闸门各部件的最大位移及最大应力

部 件	位 移/mm		应 力/MPa	
	整体	发生部位	最大值	发生部位
面板	8.1	面板顶部两端	63.1	面板底部跨中位置
纵向筋板	6	两端筋板顶部	132	筋板外边缘底部

从表1 计算结果可以看出,闸门结构的最大位移发生在面板顶部两端位置,最大位移为8.1mm。由于此处距最近筋板650mm,悬臂过长,因此位移较大。最大应力出现在两端部筋板底部的外边缘处,其应力值为132MPa,小于材料的容许应力值,强度满足要求。

该气动盾形闸在实际运行过程中,门叶面板出现了较大的变形现象,导致闸门顶部过水不均,影响闸坝的景观效应,因此需分析变形原因并提出解决方案。

3.5 闸门变形原因分析及解决方案

计算结果分析表明,闸门在水压力的作用下会产

生一定变形量,但这属于闸门结构本身无法克服的变形,门叶出现较大变形现象不仅与水压力有关,而且是由多种因素共同引起的。分析认为主要有五方面的原因:①气囊无法使闸门门叶两端底部得到有效的径向支撑;②原设计闸门端部纵向加劲肋板距面板边缘距离过大;③各闸门气囊充气量的误差导致闸门开度不一致;④测量闸门开度用的倾斜仪安装位置不合理;⑤安装误差。

针对闸门较大变形情况,经分析计算,在闸门结构设计上提出了以下三种解决方案:

方案一,在面板顶部下游侧安装方形空心型钢,长度与单节门叶宽度相同。

方案二,单节门叶两端部各增加一块加劲肋,距面板边缘100mm。

方案三,将上述两种方案综合考虑。

三种方案的有限元计算结果见图10~图15。

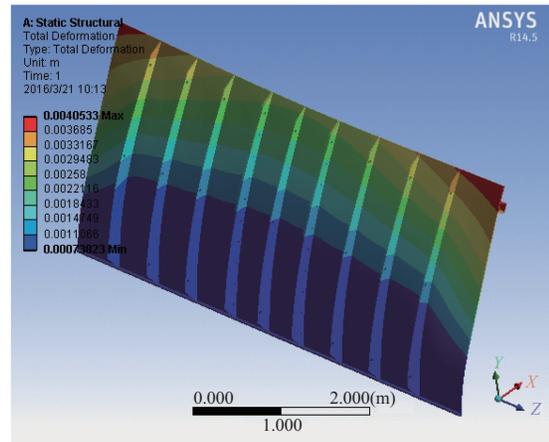


图10 方案一闸门位移云图(单位:m)

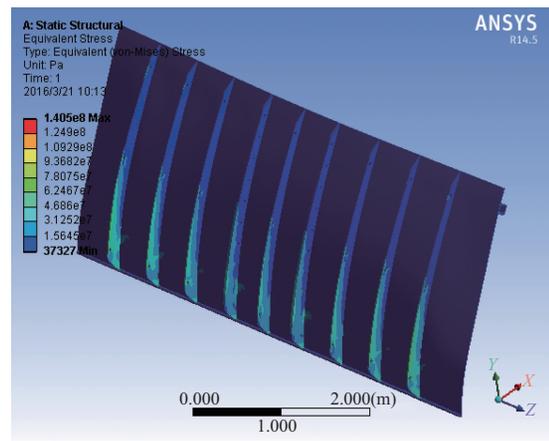


图11 方案一闸门应力云图(单位:pa)

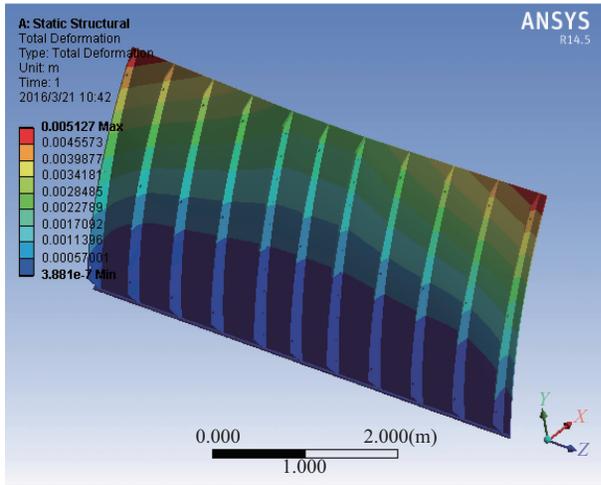


图 12 方案二闸门位移云图(单位:m)

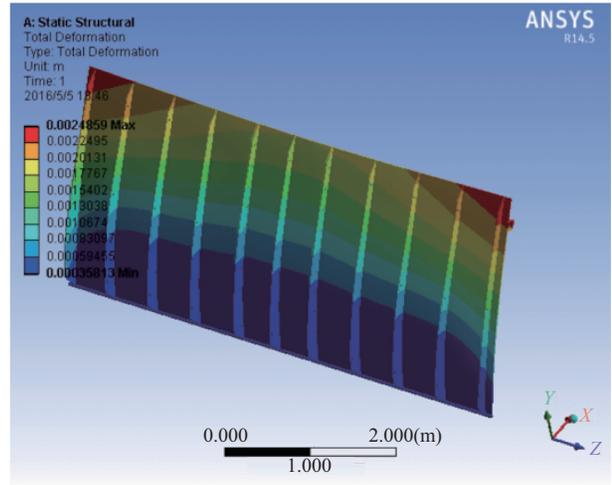


图 14 方案三闸门位移云图(单位:m)

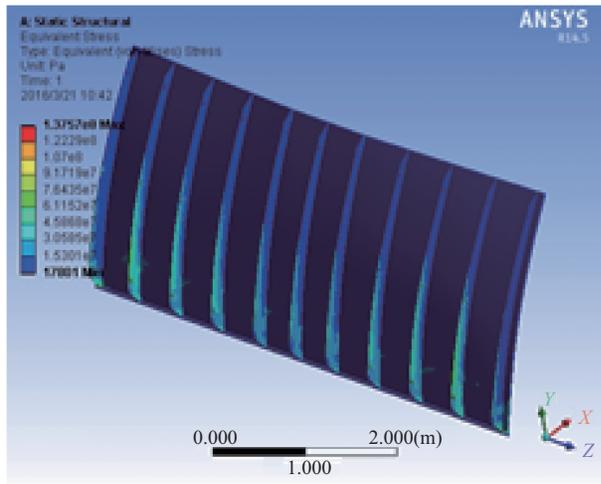


图 13 方案二闸门应力云图(单位: pa)

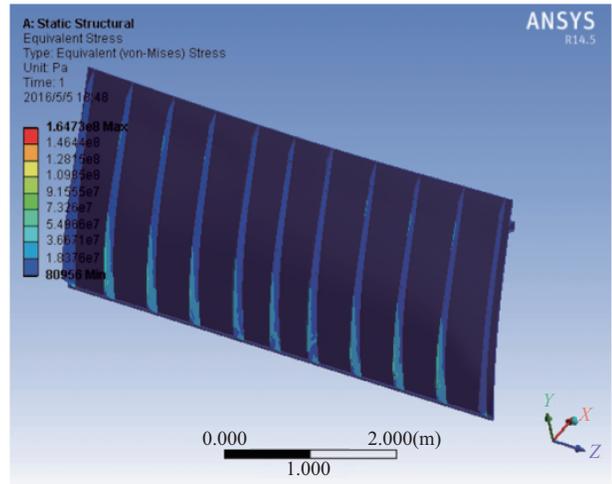


图 15 方案三闸门应力云图(单位: pa)

表 2 原方案与解决方案的有限元计算结果对比

部 件	变 形	原 方 案	方 案 一 增 量		方 案 二 增 量		方 案 三 增 量	
闸门整体	整体位移/mm	8.1	4.05	-50%	5.12	-36.8%	2.5	-69.1%
	折算应力/MPa	132	140.5	6.4%	137.6	4.2%	164.7	24.8%
面板	整体位移/mm	8.1	4.05	-50%	5.12	-36.8%	2.5	-69.1%
	折算应力/MPa	63.1	54.5	-13.6%	84.6	34%	48.6	-23%
纵向加劲板	整体位移/mm	6	3.75	-37.5%	5.04	-16%	2.46	-59%
	折算应力/MPa	132	140.5	6.4%	137.6	4.2%	164.7	24.8%

由图 10 ~ 图 15 及计算结果表 2 可知,更改后闸门整体位移减小,其中方案三中的横向方形空心型钢和增设加劲肋对闸门整体位移影响最大,位移减小 69.1%,其次是方案一变形量减小 50%;三个方案对闸门整体折算应力影响较小,折算应力分别增加 6.4%、

4.2% 和 24.8%。

4 结 论

a. 闸门在正常承受水压条件下,门叶结构会出现类似于“拱形”的变形情况,每节闸门 (下转第 26 页)

表7 2号、3号支洞泵站水泵配置及抽水能力参数

项目名称 泵站名称		水管配置	水泵配置	排水能力	总排水能力		备注
2号支洞	1号管路	300mm 钢管	MD280—215→MD280—172	280m ³ /h	1615m ³ /h 即 32300m ³ /d	2号、3号支洞 合计排水能力 为67100m ³ /d	二级排水至洞外
	2号管路	300mm 钢管	MD250—151→MD280—172	250m ³ /h			
	3号管路	300mm 钢管	MD360—60×7	360m ³ /h			
	4号管路	300mm 钢管	QW725—397	725m ³ /h			
3号支洞		3条 300mm 钢管	3台 MD580—60×7	580m ³ /h	1740m ³ /h 即 34800m ³ /d		一级排水至洞外

注 总排水能力按照每台水泵每天工作20h计算

6 施工体会

根据陕西省引汉济渭工程秦岭隧洞TBM掘进段的反坡排水设计和实际使用效果分析,有四点施工体会供参考:一是TBM反坡排水设计,采用分级抽排的方案可行,较为稳妥,但需大致了解隧洞突涌水特性、掌握水泵性能和相邻建筑(或标段)关系,这些需要提前研究;二是在进行反坡排水设计时,需对配电等配套设施等一并考虑,并充分考虑应急电源设置,做到快速切换;三是应及时进行注浆堵水,减小抽排压力;四是特长、深埋、大断面的反坡施工隧洞,尤其是采用TBM设备施工时,选择排水方案设计一定要慎重,否则将对TBM设备及人员安全带来极大危害。

(上接第31页)顶部两端变形较大,计算结果与闸门实际变形相吻合,这也是闸门本身无法克服的变形。

b. 引起气动盾形闸闸门变形的原因很多,主要有闸门的结构设计、气袋制造误差及充气量不一致、倾斜仪安装不合理、闸门安装误差。

c. 针对闸门的变形情况,提出三种解决方案,三种方案能不同程度地减小闸门的整体变形量,影响最大的方案是在面板顶部增设横向方形空心型钢和在单节门叶两端增设肋板,虽然该方案能较好地减小门叶整体位移,但鉴于闸门已安装完毕且已蓄水运行,无法对闸门结构进行较大改动,因此,采用增设横向方形空心型钢较为合理。

7 小结

根据引汉济渭工程岭南TBM掘进段反坡排水的现场实际情况,结合该套系统在实际使用过程中的适应性,采用分级抽排方式能够应对特长深埋隧洞反坡排水情况。根据实际涌水量大小、位置,设备配置随时调整,可得到最佳抽排效果。◆

参考文献

- [1] 高文涛,吴志刚.反坡排水技术在隧道涌水处理中的应用[J].土工基础,2012,26(2):16-18.
- [2] 王岩.杨家杖子供水工程中途加压泵站水泵选型设计[J].水利建设与管理,2015(12).
- [3] 杨宇.长距离有压输水系统防水锤设计探析[J].水利建设与管理,2015(9).

d. 三种方案对闸门整体折算应力影响较小,且均在允许应力范围内。

e. 从有限元计算结果和气动闸整体美观效果来看,在今后的气动闸闸门设计时采用在单节门叶两端增设肋板方案较为合理、美观。◆

参考文献

- [1] 王惠萍,周志华,李玉臣.清河气动盾形闸门顶溢流不均问题的分析处理[J].水利规划与设计,2013(3):48-50.
- [2] 张鹏.橡胶坝静动力特性有限元分析[D].泰安:山东农业大学,2010.
- [3] 胡俊锋.基于有限元分析的大跨度平面闸门设计研究[J].中国农村水利水电,2012(8):110-111.