

文章编号:1001-4179(2012)09-0013-04

某水闸闸室变形原因分析及设计经验总结

罗 居 剑

(上海勘测设计研究院,上海 200434)

摘要:某水闸建于沿海一内河河口上,地基属软基,经一段时间运行后节制闸门架发生了内缩变形,导致闸门无法正常启闭。通过对该枢纽建设、运行期全过程的综合分析和三维有限元计算,得出门架内缩变形的主要原因为建筑物间的沉降差和沉降缝的设置不当,而施工期的变位和沉船、岸边超载作用则加剧了门架的内缩。在此基础上,总结了闸室产生内缩变形的若干设计经验和教训。

关键词:门架内缩;沉降差;沉降缝;岸边超载

中图分类号:TV66 **文献标志码:**A

1 工程概述

某水利枢纽工程位于沿海某城市的一条内河河口,主要建筑物包括一座 14 m 宽节制闸和一座 40 m³/s 流量的泵站,节制闸兼有通航功能。该工程横向布置见图 1。

节制闸闸室为整体 U 形结构,顺水流方向长 25.8 m,垂直水流方向宽 16.5 m。闸底板底面高程 -3.80 m,岸侧闸墩厚 1.40 m,泵站侧闸墩厚 1.10 m,闸墩顶高程为 7.51 m(外河侧)和 5.00 m(内河侧)。位于闸墩顶部的闸门门架为悬臂结构,顺水流方向长

2.82 m,垂直水流方向厚 1.10 m,顶高程 15.51 m,顶部设牛腿支撑启闭杆。泵站顺水流方向长 25.8 m,垂直水流方向宽 27.4 m,站身底板面高程 -2.30 m。节制闸和泵站底板均坐落在②₃层灰色黏质粉土上,地基采用压密注浆(深度 5.00 m)进行处理。

泵站和节制闸之间的导流墙为施工纵向围堰兼运行期的泵闸导流建筑物,闸室段导流墙宽 4.30 m。导流墙基础由两排钢筋混凝土板桩和一排水泥土搅拌桩组成。闸室段导流墙上部结构为钢筋混凝土承台(厚 0.60 m),承台顶面高程 2.80 m。导流墙承台以下 2.20~2.70 m 厚度范围填充 C20 混凝土,上部填土至

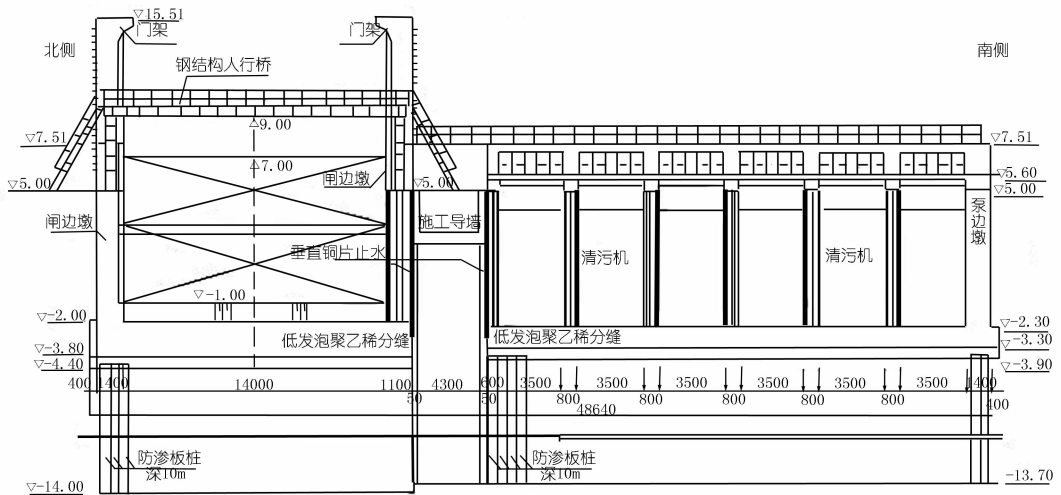


图 1 节制闸闸室横剖剖面(尺寸单位:mm)

收稿日期:2011-12-27

作者简介:罗居剑,男,工程师,硕士,主要从事水工结构和岩土工程的设计与研究。E-mail:ljj@sidri.com

5.00 m 高程。

2 闸门运行及闸室变形情况

该工程导流墙于 2003 年 10 月 31 日通过验收,节制闸于 2004 年 1 月 9 日进行闸底板浇筑,1 月 22 日进行闸墩浇筑,3 月 15 日进行启闭机门架浇筑,4 月 12 日闸门起吊,同年 5 月 22 日,节制闸正式通航。

2004 年 4 月,由于节制闸门两侧预留门槽实际跨距比设计值小 30 mm,影响闸门的安装和运行,将节制闸门两侧主滚轮轴端盖厚度各减薄 10 mm。

2005 年 5 月,发现闸门运行到 7.51 m 高程以上时,岸侧闸门滚轮运行阻力较大。为此将门架每个安装孔均凿掉了 2 cm,门槽部位两侧混凝土也进行了凿除处理。

2006 年 5 月 31 日,在提升外扉门时,发现因闸门两侧挡板与门槽相碰而无法提起。2006 年 6 月 15 日,再次试图将外扉门下放时,仍然无法提升。故于 2006 年 6 月 23 日将外扉门两侧压板各割除 20 mm。在压板割除以后,两侧门架紧随着产生向内变形将闸门顶住,因此没有继续强行下放外扉门。2006 年 6 月 27 日对门架变形进行了测量:节制闸岸侧沉降 131 mm,泵站侧沉降 182 mm;门架顶部内缩 125 mm,闸墩顶部内缩 38 mm。

3 施工期间闸室变形分析

按照闸室变形的形成时间,可将闸室变形分成 2 部分:第 1 部分是闸室在施工期的变形,包括施工期变位和施工时存在的结构尺寸偏差;第 2 部分是闸室在运行期各种复杂荷载作用下的结构变形。

3.1 施工期间闸室变形分析

在 1 期(节制闸)施工期间,岸侧闸墩受岸侧水土压力作用,产生向泵站侧的水平变形。导流墙受水压力作用发生了较大的偏向节制闸侧的水平位移。2004 年 1 月 9 日开始浇筑节制闸底板混凝土时,岸侧围护结构上的监测点 TP12 发生了向南侧的水平位移 75 mm,导致岸侧闸墩外侧模板施工时没有足够的空间,为此修改了岸侧闸墩结构设计,取消了原设计闸底板向岸侧外挑 0.5m 宽的悬臂段。闸室段导流墙上的 TP5 监测点观测到的偏向北侧的最大水平位移为 32 mm,为保证闸室净宽满足设计要求,将泵站侧闸墩厚度由原设计的 1.40 m 改为 1.10 m,并以导流墙板桩作为泵站侧闸墩浇筑模板。

在 2 期(泵站)施工期间,导流墙发生偏向泵站侧的水平位移,其数值为 40~45 mm。

3.2 施工期间闸室结构的尺寸偏差

根据该工程节制闸闸室段消力池水下工程验收实测资料,并对门架在闸墩上的相对位置重新进行了测量,经测算分析,节制闸门门架在竣工验收时的净宽应该为 14 566~14 590 mm,比设计值少 10~34 mm。

4 沉降和沉降缝设置对闸室变形的影响分析

4.1 沉降变形特点

根据泵闸沉降观测资料,在泵闸建设和运行期间,泵闸产生了一定的沉降和沉降差。节制闸变形受沉降量和沉降差的影响,不仅与其数值大小有关,而且和不同时段节制闸所形成的结构受力体系、节制闸与导流墙之间相互作用密切相关。

沉降监测资料以及现场情况表明,节制闸闸墩的沉降大于导流墙结构的沉降。对于节制闸和泵站而言,其自身都存在沉降差,均为靠近导流墙侧的沉降较大。

2004 年 1 月 9 日,节制闸底板开始浇筑,同年 5 月 22 日,节制闸通航。泵站墩墙浇筑时间为 2004 年 10 月 15 日。在节制闸通航到泵站墩墙浇筑完毕并形成一定强度时间段内,导流墙南侧为自由,其间,由于填缝板的可压缩性以及导流墙本身刚度有限,基本可以认为在这一时段内的沉降差不会导致闸室结构内缩。通过对沉降曲线的分析得出,自 2004 年 10 月 25 日起,节制闸闸墩和油泵房侧墙间可直接传递荷载。

4.2 沉降缝设置对闸室结构变形的影响

为了满足通航要求,该枢纽采用 2 次截流、两期基坑的分期施工方案。设计中就不均匀沉降问题有两方面考虑:导流墙可对边荷载起一定的屏蔽作用;在导流墙和泵站、节制闸墩墙间各设置 50 mm 沉降缝。导流墙上设置了永久性的油泵房,油泵房和泵站、节制闸墩墙间也各设置了 20 mm 的沉降缝。

油泵房墙体和节制闸闸墩之间的沉降缝设置值得引起注意(图 2)。设计对墩墙和油泵房侧墙梯形空隙部分如何处理未作出明确说明。但根据现场调研,这个梯形空间是采用混凝土填充的,而且从现场踏勘来看,此梯形空间是和油泵房墙体整体浇筑的,相当于将油泵房 50 cm 厚的北侧墙体在闸墩牛腿以下扩大为 80 cm 厚,于是造成了沉降缝在节制闸牛腿部位“拐弯”的事实。

泵闸建设及运行中,一旦节制闸闸墩沉降值大于位于导流墙上的油泵房的沉降值,或者由于节制闸的自身沉降差导致闸室倾向泵站侧,牛腿斜缝之间的填缝板将首先被压缩。当填缝板被压缩到一定程度之

后,可以认为闸墩牛腿部分与油泵房墙体是直接顶在了一起。当沉降差或倾斜进一步加大时,节制闸闸墩必将通过牛腿挤压油泵房一起往下沉降或变位,在这个过程中,油泵房将对节制闸闸墩产生巨大的顶推力。现场调研的情况也证明了这一点,油泵房侧墙出现了明显的与水平方向约成 45° 的斜裂缝(图3),直观的判断表明,这是闸室结构在向泵站侧变形的过程中对侧墙产生强烈的挤压所导致的。

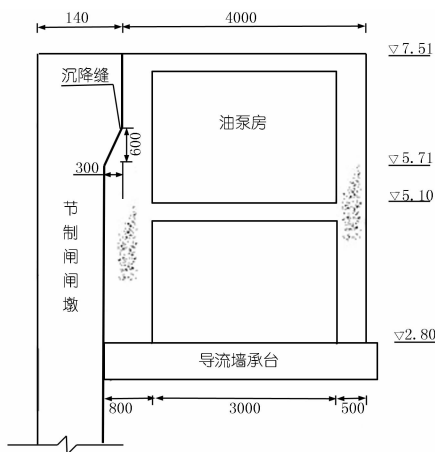


图2 沉降缝设置示意(尺寸单位:mm)

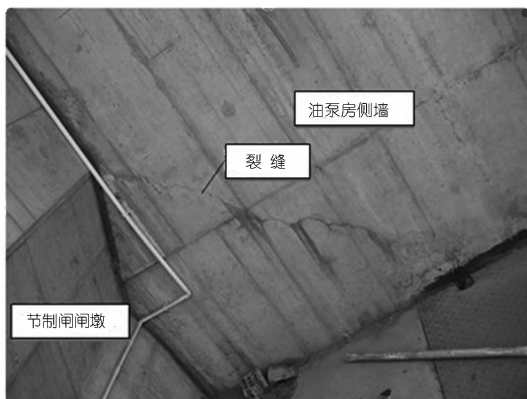


图3 油泵房侧墙裂缝现状

4.3 填缝材料选择对结构变形的影响

在设计中,导流墙和泵闸之间的沉降缝以及油泵房和闸墩间的沉降缝均采用聚乙烯低发泡板填充,但施工中实际采用的填缝材料属于高发泡板,硬度低、弹模小。浇筑节制闸墩墙(油泵房侧墙)时,将导墙结构和墩墙之间(油泵房侧墙和节制闸闸墩之间)的填缝板直接作为墩墙混凝土浇筑的模板,混凝土浇筑时的侧压力使填缝板发生压缩变形,造成实际形成的沉降缝缝宽达不到设计缝宽。经估算,节制闸墩墙和导流墙结构间的实际缝宽只有35 mm,比设计50 mm缝宽减少30%;节制闸闸墩牛腿部位和油泵房的实际缝

宽只有14.67mm,比设计20 mm缝宽小约27%。

由于高发泡板硬度较小,易于造成局部区域内泵闸闸墙和导流墙结构的直接接触;另外,在混凝土施工时,混凝土骨料和填缝板容易互相嵌入,局部区域可能存在节制闸墙体和导流墙直接接触与传力的情况。

5 基于三维有限元的闸室变形分析

5.1 泵闸三维有限元模型

该枢纽在运行期的变位是一个多因素相互作用与影响的复杂过程,要对其变位进行计算与分析,必须建立一个能够比较全面反映各因素影响的分析模型。计算模型必须能够大体反映出填缝材料和沉降缝设置对闸室结构变位的影响。

本文三维计算模型包括了地基、节制闸、导流墙(含板桩、搅拌桩和油泵房)和泵站,各沉降缝缝宽均按实际缝宽考虑。地基的变形模量根据该地区计算经验,并经过模型验证,模型验证的原则为通过模型计算得出的沉降变形与实测值大体相等。模型左、右两侧和底部边界取法向位移约束条件。三维计算模型中各结构均采用实体单元模拟。

模型为了模拟泵站侧闸墩与油泵房、油泵房与泵站边墙之间的相互作用,在它们之间设置了沉降缝。据前分析,在节制闸和导流墙产生一定的沉降差后,牛腿和油泵房墙体之间就可以直接传力,但两者之间也可以产生相对的滑移。为此,牛腿和油泵房之间的斜缝采用弹簧单元来模拟,弹簧的刚度取等效面积内C20混凝土的刚度,这种弹簧单元法向具有抗压能力,切向能一定程度自由滑动。

5.2 三维有限元计算分析

计算主要取8种工况。工况1~4主要考虑在运行期的各种正常和非正常荷载下的结构变位。工况5~8则是单独选取闸门启闭荷载、岸边超载、沉船荷载分别进行计算,以反映出这3种荷载对闸室变位的影响程度。各种工况下计算得出的闸室结构变形值汇总于表1。

由于计算模型和边界条件的复杂性以及众多参数的不确定性,三维有限元计算只能是一种估算。但通过这些计算可以获得闸室变形的一般规律和趋势,借此可以分析判断出闸室变形的主要原因。通过上述计算,可得出如下结论。

(1) 工况1~4下,闸室整体发生向泵站侧的变形。由于岸侧闸墩及门架向泵站侧的水平变位大于泵站侧闸墩及门架向泵站侧的水平变位,导致门架顶部内缩。

(2) 工况 5、6 的选取是为了反映出北岸超载对闸室变形的影响。① 地面超载对岸侧闸墩水平位移的影响有两个方面:地面超载引起的附加土压力会加大闸墩向南的水平位移;地面超载作为竖向边荷载,会引起岸侧地面沉降,从而使岸侧闸墩向北侧倾斜。② 计算表明,超载作用时,节制闸均产生向泵站侧的变形,门架顶部产生一定量的内缩。当超载为 10, 30 kPa 时,门架顶部的内缩值分别为 6.4, 1.2 mm。当超载增大到 30 kPa 时,岸侧超载作用所产生的垂直方向的效应起控制作用,同时由于南侧导墙和油泵房的约束作用,使得闸室往南侧的变位有所减少,最终导致门架顶部内缩值稍有减少。③ 工况 7、8 的计算表明,在启门力和沉船荷载作用下,闸室发生内八字形变位,门架顶部产生内缩。由于泵站侧油泵房的顶托作用,由沉船所造成的闸室门架内缩值中有部分较难恢复。这是因为当沉船经处理离开驼峰后,底板卸荷,两侧闸墩及门架各自向其外侧变位,但南侧闸墩在向外侧的变位过程中将受到油泵房墙体的约束,故南北侧闸墩的变位在沉船荷载卸除之后只能得到部分恢复。

表 1 各种工况下闸室变位值 mm

| 闸室变形类别 | 门架顶部水平变位(横河向) | | | 说明 |
|--------|---------------|-------|-----------|-------------------|
| | 岸侧 | 泵站侧 | 内缩值 | |
| 施工期变位 | | | 10~34 | |
| 工况 1 | -73.5 | -46.1 | 27.4 | 运行期正常荷载 |
| 工况 2 | -58.1 | -37.2 | 20.9 | 运行期超载 30 kPa |
| 工况 3 | -59.2 | -33 | 26.2 | 运行期超载 30 kPa + 沉船 |
| 工况 4 | -71.5 | -43 | 28.5 | 运行期超载 10 kPa + 沉船 |
| 工况 5 | -22.8 | -16.4 | 6.4 | 岸侧超载 10 kPa |
| 工况 6 | -10.4 | -9.2 | 1.2 | 岸侧超载 30 kPa |
| 工况 7 | -3.6 | 3.7 | 7.3 | 启门力 50 t |
| 工况 8 | -1.2 | 1.3 | 2.5 | 沉船荷载 1000 t |
| 总变形 | | | 30.9~62.5 | 施工期变位和运行工况组合 |

注:① 运行期正常荷载包括自重、水荷载、岸侧土压力,超载是指北岸超载;横河向水平位移以向泵站侧移动为负,竖向位移以向下为负。

② 工况 1~4 为运行工况,工况 5~8 为单独荷载。

6 闸室变形成因判断

6.1 沉降差和沉降缝设置不当是主要原因

从荷载角度来看,造成闸室在运行期变位的主要因素包括泵站侧边荷载、岸边超载、沉船荷载以及启门力等等。对闸室变形起控制性作用的是岸侧超载和泵站侧的边荷载,闸室变位整体表现为向泵站侧发生变形。从沉降角度来看,由于节制闸南侧闸墩沉降大于导流墙,且节制闸自身沉降也呈现出“北小南大”的特点,闸室变位整体亦表现为向泵站侧发生变形。

在节制闸向南侧发生变位的过程中,由于沉降缝的设置和填缝材料的特性直接导致了闸室结构内缩变形。首先,由于施工变更,在节制闸闸墩牛腿部分与

油泵房侧墙的梯形区域内浇筑了混凝土,在泵闸变形过程中,沉降差使油泵房对闸室结构产生强烈的顶托作用,并由此导致了闸室门架结构的内缩。其次,施工中实际采用的填缝材料为聚乙烯高发泡板,且利用其作为模板,由此造成实际形成的缝宽比设计缝宽小,容易造成局部区域内泵闸闸墙和导流墙结构的直接接触与传力。

6.2 施工期变位和沉船等作用加剧了内缩

泵闸分 2 期施工。在 1 期施工期间,岸侧围护结构和导流墙发生了较大的向内偏移。但在节制闸墩浇筑前,通过调整闸墩结构厚度和布置,基本可以消除围护结构和导流墙向内变形对闸室宽度的影响。在 2 期施工期间,两侧闸墩均产生了向泵站侧的水平位移,必然对其最终结构变形产生影响。另外闸室在施工中由于尺寸偏差也导致了门架主门槽间净宽不足。

沉船荷载可导致门架内缩,且由于沉船荷载所造成的门架内缩值有部分很难恢复,故频繁的沉船荷载,有可能造成节制闸门架内倾的不断积累发展。

岸边超载大小会改变闸室变形的基本趋势。当超载较小时,超载所造成的闸室水平向变位起控制性作用;当超载增大时,则是超载所引起的闸室竖向变位(沉降)起控制性作用。故岸边超载的反复变化对闸室变形不利。

7 结语

目前,针对该水闸存在的问题,经研究采用了在门架顶部设置型钢支撑外顶并将之与门架连接形成永久性封闭框架结构的处理方式,同时对闸门结构进行了适当处理,解决了原闸门无法正常启闭的问题,现已经恢复正常使用。

通过对该工程闸室变形成因的分析,从中获得了一些设计、施工的经验教训,现提出来与同行商榷。

(1) 对于软土地基上的水利枢纽,应特别重视相邻建筑物的相互影响,尤其是要充分意识到边荷载对建筑物沉降的影响。本工程中,节制闸和泵站间的导流墙以及下部的桩基结构能够将节制闸和泵站的边荷载“屏蔽”掉一部分,但具体能“屏蔽”到多大程度,是一个尚待论证和检验的问题。本工程中,如果按照原初设方案,节制闸和泵站均采用桩基方案,则基本可以避免产生较大的沉降差。

(2) 水利枢纽中建筑物间的沉降缝一定要垂直设置到底,避免造“拐弯缝”。另外当采用填缝材料直接作为模板时,要考虑到浇筑混凝土时的侧压力所导致

参考文献:

- [1] 郭瑾.老哈河流域蒸散发计算及其气候变化对蒸发皿蒸发影响的研究[D].南京:河海大学,2008.
- [2] Mo X G, Liu S X, Lin Z H, et al. Simulating temporal and spatial variation of evapotranspiration over the Lushi basin[J]. Journal of Hydrology, 2004, (285): 125 - 142.
- [3] Xu C Y, Gong L B, Jiang T, et al. Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment [J]. Journal of Hydrology, 2006, (327): 81 - 93.
- [4] 莫兴国,林忠辉,刘苏峡,等.基于Penman - Monteith公式的双源模型的改进[J].水利学报,2000, (5): 6 - 10.
- [5] 秦年秀,陈喜,薛显武,等.潜在蒸散发量计算公式在贵州省适用性分析[J].水科学进展,2010,21(3): 357 - 362.
- [6] 刘轶,李琼芳,王宏杰,等.不同水文模型在老哈河流域的应用与比较[J].水电能源科学,2008,26(5): 21 - 23.
- [7] 包为民,王从良.垂向混合产流模型及应用[J].水文, 1997, (3): 18 - 21.

(编辑:李慧)

Analysis on influence of different evaporation calculation methods on hydrological process simulation

HAN Yuanyuan, WU Hao

(Guizhou Survey and Design Institute of Water Resources and Hydropower, Guiyang 550000, China)

Abstract: In order to analyze the influence of different evaporation inputs on hydrological simulation of a river basin, the watershed in the upstream of Yinjiang Hydrological Station in Yinjiang River Basin is taken as the study area, and the data of evaporation pan in the field station and the evapotranspiration of referential plant calculated by P - M formula are adopted as inputs of vertically - mixed runoff yield model, and the daily runoff process is simulated by this model. The results show that the simulation precision of the model with the evaporation input calculated by P - M formula is higher than that with measured values as input. Therefore, the model can simulate the daily runoff process of Yinjiang River Basin more reasonably.

Key words: measured evaporation; calculated evaporation; vertically - mixed runoff yielding model; daily runoff simulation; Yinjiang River Basin

(上接第16页)

的伸缩缝缝宽变小。

(3) 结构设计中应重视结构的选型。本工程中上部门架为悬臂式结构,当其承受横向荷载或者遭遇下部结构的不均匀沉降时,门架顶部很容易发生横向收缩。如果将门架设计成封闭式的框架结构或在门架上设置横向支撑,则结构的变形性能将得到较大改观。

(4) 水利工程应加强运行管理,确保工程在设计允许的条件下工作,如本工程,要加强对过闸船舶的管理,有关部门必须采取有效措施加强对过往船舶的管理,避免船舶对闸室结构的不利作用。同时,必须采取行之有效的措施严格控制岸边超载情况的发生。

(编辑:郑毅)

Experiences and causal analysis for sluice chamber deformation of a sluice

LUO Jujian

(Shanghai Investigation Design and Research Institute, Shanghai 200434, China)

Abstract: A sluice is built on soft foundation at estuary of a river. After a period of operation, the internal shrinkage deformation took place at the control gate frame and resulted in failures of gate open and closure. Through comprehensive analysis and 3D FEM calculation on construction and operation period of the sluice, we discovered that internal shrinkage deformation was caused by structure settlement difference and un - appropriate joint design. And displacement during construction period, bank overloading and sunk ships aggravated the internal shrinkage deformation. We summarized the experiences lessons of design resulting in internal shrinkage deformation.

Key words: internal shrinkage deformation of sluice gate; settlement differences; settlement joint; bank overloading