

沉井式取水头部及原水管穿堤的结构设计与应用

石清林, 郎庆善

(浙江省城乡规划设计研究院, 浙江 杭州 310030)

摘要: 结合地形地貌、地质及工程特点,设计选用钢筋混凝土沉井式结构作为杭州苕溪某水厂的取水头部,对钢筋混凝土沉井的抗浮、抗倾覆、抗滑移及主体结构强度、裂缝进行了验算与分析。采用钻孔灌注桩对堤坝进行加固,并对其整体抗滑稳定进行了验算。对原水管穿堤方式进行分析与比较之后,确定选用顶管方式穿越堤坝,同时采用高喷防渗墙与注浆止水环封闭相结合的方式对堤坝防渗进行有效处理。该取水头部实际运行安全稳定,经受住了几次极端反常天气造成东苕溪超高水位的巨大考验。

关键词: 取水头部; 沉井; 顶管; 堤坝; 防渗处理

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)18-0073-05

Structural Design and Application of Caisson Water Intake Head and Raw Water Pipe Crossing Embankment

SHI Qing-lin, LANG Qing-shan

(Zhejiang Urban and Rural Planning Design Institute, Hangzhou 310030, China)

Abstract: Based on the features of topography, geology and engineering characteristics, the reinforced concrete sinking-well structure is selected as the water intake head of a water plant in Tiaoxi River in Hangzhou. The anti floating, anti overturning, anti slip, strength and crack of the main structure of the reinforced concrete sinking-well are checked and analyzed. The cast-in-place piles are used to reinforce the dams, and the overall stability against sliding is checked. After comparison of the measures that the water pipe crosses the embankment, the pipe jacking way is selected, and the seepage prevention of the dam is effectively treated by the combination of the high spray anti seepage wall and the sealing of the grouting ring. The water intake head has been operated safely and stably, and has stood the test of several extreme abnormal weather conditions which caused the East Tiaoxi River high water level.

Key words: water intake head; sinking-well; pipe jacking; dam; anti seepage treatment

1 工程概况

某净水厂位于杭州市某区内,总设计规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,一期设计规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

取水头部位于东苕溪干流右岸西险大塘外侧滩地,杭宁高速公路跨东苕溪下游某处,规模按 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,主要由取水井和原水管组成。

取水井兼作原水管线顶管接收井,沉井方式施工;原水管为2根 DN2 000 焊接钢管,采用顶管施工穿越西险大塘。

2 工程水文地质条件

2.1 气象水文

工程地处亚热带季风气候,温暖湿润,四季分明,雨量充沛。多年平均气温为 16°C 左右,平均降水量为 1 350 mm,多年平均水面蒸发量为 800 ~ 900 mm。

东苕溪右岸为杭州市西北防洪屏障西险大塘,防洪标准为百年一遇。根据水利部门数据,取水口处最低水位为 0.33 m,常年水位为 1.40 m,百年一

遇洪水位为 5.07 m。

2.2 工程地质条件

场地地基土工程地质特性自上而下依次为:①层素填土,灰~灰黄,松散,稍湿,以粘性土为主,混夹少量碎石,含少量植物根茎,层厚为 0.2~0.4 m;②层粉质粘土,灰黄色~灰色,软可塑为主,层底部偏软,呈软塑状,含少量有机质及腐殖质,少量铁锰质氧化物斑点,干强度中等,摇震反应无,韧性中等,层厚为 1.2~1.9 m;③层淤泥质粉质粘土,灰色,流塑,饱和,含有机质及腐殖质,切面光滑,厚层状,干强度高,摇震反应无,层厚为 3.6~6.2 m;④-1 层粉质粘土夹粉土,灰黄,软可塑(稍密),含铁锰质氧化斑点,可见云母细屑,夹薄层状粉土局部互层状,干强度中等,摇震反应慢,层厚为 3.7~6.6 m;④-2 层粉质粘土,灰黄色,硬可塑,厚层状,含铁锰质氧化斑点,干强度高,摇震反应无,韧性中等,层厚为 3.0~5.7 m;④-3 层粘土,灰黄色,可塑,切面光滑,含铁锰质氧化斑点,干强度高,摇震反应无,韧性中等,本层分布连续,层厚为 2.0~4.5 m;④-4 层粉质粘土,灰绿~灰黄,硬可塑~硬塑,含铁锰质氧化斑点,可见少量干缩裂隙,摇震反应无,韧性高,干强度高,本层未揭穿。

3 取水头部结构选型

取水头部的结构型式复杂多样,目前较为常用的几种结构型式^[1]为:①重力式墩型、箱型及沉船型,适用于非软弱地基、流速中等或较大山区和半山区河段;②沉井式,钢筋混凝土结构,整体性好、稳定性强,适用于冲刷深度较大、基础埋置较深的中大型工程;③桩架式,阻水面积小,适用于各类地基、流速不大的平原河段;④悬臂式,适用于地质条件较好、无流水、船只撞击、漂浮物较少的小型河段工程;⑤底槽式,利用天然岩基顺势布槽,水下工程量小,适用于岩盘地基,抗冲能力较强。

为避免对苕溪水流产生不利影响,结合工程所处场地地形、地貌特点,同时考虑到当地林水、航道及交通管理部门的相关要求与规定,本工程取水头部设计选用钢筋混凝土沉井式结构型式。

整个取水头部由取水井与原水管线两部分组成,其中取水井采用钢筋混凝土沉井结构,原水管采用 2 根 DN2 000 钢管。从位于堤防内侧的顶管工作井起始接出,采用顶管施工穿越西险大塘至外侧的沉井取水接收井。取水井结构见图 1。

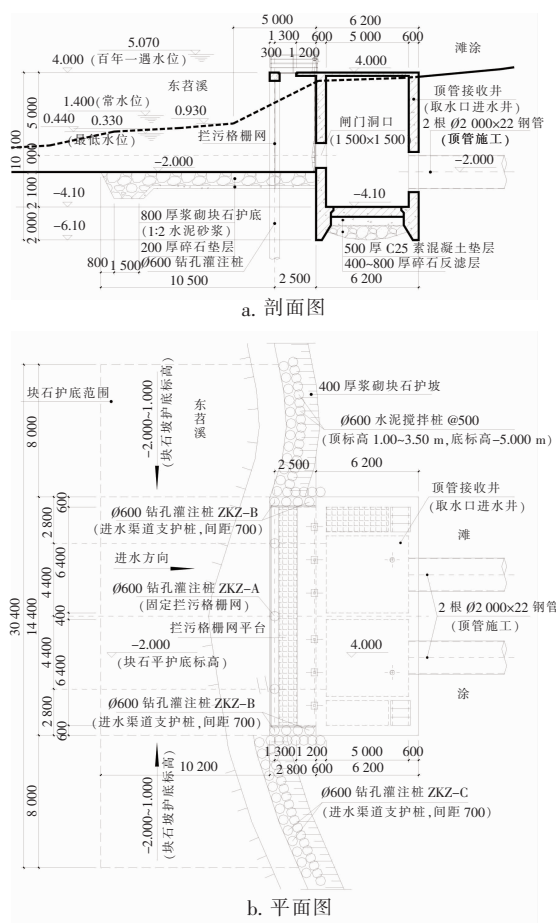


图1 取水井(沉井)结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of sinking-well structure

4 取水井结构设计

取水井采用钢筋混凝土沉井结构,岸边式布置,进水方向设置 1 道不锈钢拦污格栅网与护栏,并设 6 个进水孔。

平面外包尺寸为 14.4 m×6.20 m,共分 2 格,每格可单独运行。沉井底板面高程为 -4.000 m,顶板面高程为 4.000 m,四周外壁板厚度为 0.50 m,中间内隔横墙壁板厚度为 0.40 m,底板厚度为 0.60 m。每格设 3 个尺寸为 1 500 mm×1 500 mm 的进水孔及 1 个直径为 2 400 mm 的圆形出水孔。

4.1 主体结构计算

根据《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》(CECS 137:2015)^[2]及相关设计手册,沉井结构构件均应进行承载力极限状态下强度验算及正常使用状态下裂缝验算。整体结构可取竖向单位长度水平框架建模进行计算,并按规程规定的裂缝控制宽度为 0.25 mm(下沉施工期间为 0.30 mm)进行截面配筋。

4.2 抗浮验算

当井内充满水时显然满足抗浮要求,但当取水井沉井平面尺寸较大且井外水位较高时,无论是施工阶段还是使用阶段,只要处于井内无水、井外有水状态,均应进行抗浮验算。

目前常用的抗浮措施基本分两大类:第一,采用自重或配重抗浮,即依靠池体自身质量或增加配重来抵抗水浮力,这种方式经济实用,工程上较为常见;第二,采用自重+其他措施抗浮,可分为桩基抗拔抗浮、锚杆抗浮等,较第一种方式造价更高,施工难度相对较大。

本工程取水井平面尺寸长、宽、高分别为14.4、6.20、8.70 m,采用自重抗浮即可满足抗浮要求。

4.2.1 施工阶段

水位按高程1.800 m(苕溪常水位为1.400 m)考虑。抗浮 $G = 7\,995.6$ kN,水浮力 $F = 5\,803.2$ kN,抗浮系数 $K = 1.38 > 1.05$,满足要求。

4.2.2 使用阶段

水位按5.070 m考虑。抗浮 $G = 9\,319.1$ kN,水总浮力 $F = 8\,722.7$ kN,抗浮系数 $K = 1.08 > 1.05$,满足抗浮要求。

4.3 抗滑移及抗倾覆验算

4.3.1 施工阶段

沉井下沉到达设计标高后,进行西险大塘顶管穿越施工,然后在进水井外东苕溪内局部进行围堰施工,再开挖取水口扩口部分至黄海标高为-2.000 m。进水井内外两侧存在土体高差,可能导致沉井向外产生滑移及倾覆,须进行抗滑移及抗倾覆验算。

经计算,抗滑移系数 $K_s = 1.19 < 1.30$,需在施工阶段井内采用灌水或其他措施,以满足抗滑移要求;抗倾覆系数 $K_{ov} = 1.87 > 1.60$,满足要求。

4.3.2 使用阶段

当水位处于最低高程0.330 m时,进水井内外两侧仍存在较大土体高差,在取水井靠近堤塘一侧未进行加固时,可能导致沉井向外产生滑移及倾覆,须进行抗滑移及抗倾覆验算。

经计算,抗滑移系数 $K_s = 1.28 < 1.30$,需对取水井靠近堤塘一侧进行加固,以满足抗滑移要求;抗倾覆系数 $K_{ov} = 1.96 > 1.60$,满足抗倾覆要求。

4.4 堤塘加固设计

由于顶管接收井(取水井)位于西险大塘迎水面一侧,在接收井沉井施工过程中,井体浇筑、机械

振动及井内取土等多种因素都会影响西险大塘安全。尤其是沉井主体工程施工完成后,其顶面高程为4.00 m,而迎水侧需围堰开挖至-2.00 m高程,两侧存在6 m高差,其水土不平衡压力差对西险大塘的安全将造成不利影响。

西险大塘为一级堤防,防洪标准为百年一遇,是防御东苕溪洪水,确保杭州市、杭嘉湖平原农田及杭宣铁路、104国道等公路的重要安全屏障。为确保工程施工时西险大塘的安全,必须对取水头部堤防段进行加固设计。取水井堤塘加固示意图2。

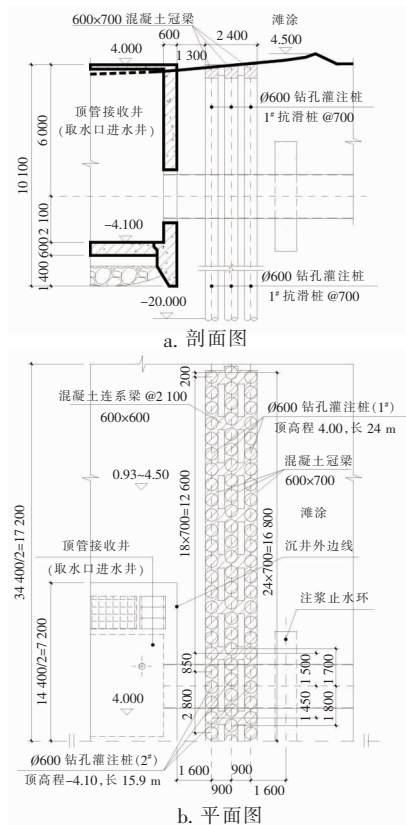


图2 堤塘加固示意图

Fig. 2 Schematic diagram of dam reinforcement

设计采用 $\varnothing 600$ mm混凝土钻孔灌注桩抗滑桩对堤塘进行加固,经稳定分析计算,需设抗滑桩3排,长度为24 m。根据《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013)^[3],采用瑞典圆弧条分法对堤防进行整体抗滑稳定计算。经计算,在不采取加固措施的前提下,堤防抗滑稳定安全系数为0.66,处于严重失稳状态;在设置抗滑桩后,堤防抗滑稳定安全系数达到1.35,满足规范要求的限值。

5 原水管穿堤设计

设计对2根DN2 000焊接钢管原水管线穿越堤

防的方式进行了充分比较与优化。

5.1 设计方案

① 开挖埋管方案

采用大开挖施工方法破除西险大塘,在外侧滩地现浇钢筋混凝土进水井,并敷设原水管。原水管为2根DN2 000钢管,垂直于堤坝轴线,中心标高为-2.00 m,中心间距为5.00 m,管道长度约70 m。管道基础采用 $\phi 600$ mm钻孔灌注桩进行处理,周围采用钢筋混凝土包管保护,外包混凝土厚度为300 mm,并在靠近进水井侧设置7道钢筋混凝土止水环,直径为5.0 m,宽度为1.0 m,中心间距为5.00 m,第一道止水环与进水井间距为5.0 m。

西险大塘堤顶高程为7.23 m,而管道中心高程为-2.00 m,基槽底需开挖至高程为-3.30 m,底宽约12 m。由于开挖深度大,土方工程量大,考虑采用机械开挖,施工时应严格控制标高。应采用阶梯式放坡,坡比按1:1.5考虑。待沟槽大开挖及埋管施工完成后,按堤防原设计做法尽快进行恢复。

开挖埋管施工前须在东茗溪中修建施工围堰,围堰完成并能起到挡水作用后方可进行堤防开挖,且施工期应安排在河道非汛期。由于施工围堰不具备汛期挡水要求,要求开挖埋管方案必须在一个非汛期内完成,不得跨汛期施工。

② 顶管穿堤方案

取水井采用沉井法施工,原水管采用顶管技术穿越西险大塘,从取水井引水至大堤内侧顶管工作井,并连接开挖埋管的原水管。根据顶管施工工艺,需要在堤坝内侧设工作井,以取水井为接收井,从工作井垂直堤防轴线方向向接收井顶进施工,从而穿越西险大塘。

根据地质资料,顶管基本位于③淤泥质粉质粘土层,顶管施工可采用土压平衡法^[4],其施工工艺为:定向拖拉、机械切削、泥浆护壁、井内顶推,通过掘进机头中的压力仓,维持掘进作业仓面扰动面的土层压力平衡。顶管顶进过程中,通过原水管预留的注浆孔将外壁泥浆采用水泥浆进行置换。

5.2 穿堤方案选择

开挖埋管方案是一种较为常见的取水头部原水管穿越堤防做法,方案讨论时曾有不少水利行业的专家坚持采用这一方案。其优点是施工方法传统、经验丰富直接、开槽施工与坝体回填土分层压实质量易于得到保证;但其缺点则较为明显:施工工期

长、显著破坏坝体原有结构、开挖与回填土方量巨大、需在坝体外侧砌筑大范围河道围堰,占用行洪断面,不利于行洪安全。最关键的是,开挖堤防形成的巨大缺口,如果工期得不到保证,极端反常天气一旦出现,大量河水将会从缺口倒灌,后果将不堪设想。

顶管穿堤方案无需大面积破除堤防原有结构,采用顶管机械在底部形成一直径稍大于钢管外径的圆洞,将钢管顶推至取水井预留洞口部位,然后做好管道周围注浆置换、填充及止水工作即可。优点是工期较短、工艺成熟、不会形成堤坝大缺口,无防洪隐患;缺点则是对坝体原有压实土体造成扰动可能造成局部土体沉降,对管道周围填充防渗要求较高。

通过以上分析比较,并多次经过专家专题论证,最终确定采用顶管施工方法穿越西险大塘。

5.3 堤坝防渗补救措施

取水井及原水管线顶管穿堤施工均不可避免地西险大塘坝体的现有防渗体系产生了不利影响与破坏。为保证西险大塘安全,必须在工程完工后,采用合理的防渗补救措施对其进行修复加固,重新形成封闭的防渗体系。

由于坝体原有防渗体系为高压摆喷灌浆式防渗墙,本设计防渗补救措施采用高喷防渗墙与注浆止水环进行封闭处理。

5.3.1 高喷防渗墙

取水井施工完成后,在西险大塘堤坝上采用高喷防渗墙封闭处理。防渗墙采用直径为0.80 m的旋喷注浆形成连续防渗墙,咬合宽度为0.20 mm,注浆底高程为-0.50 m(不高于原防渗墙底高程),与从顶管钢管内向外的注浆止水环相连接,形成封闭的防渗墙。高喷防渗墙共设置2道,间距为5.0 m,第一道位于堤坝迎水坡上,顶高程为6.0 m;第二道位于坝顶,顶高程为6.0 m,上部采用套井回填粘土进行防渗。防渗墙处理范围从2根钢管外侧边缘起算,各向外处理10 m,每道防渗墙长度为27.2 m。

5.3.2 注浆止水环

沿管道纵向每隔一定距离钢管圆周均匀布置3个(呈中心120°)注浆孔,并设置泥浆单向阀。顶管施工过程中,采用“先压后顶,边顶边压,及时注浆”原则,使浆体填充管周空隙形成完整的泥浆套,同时通过调整控制泵出口压力,沿管道纵向每隔5 m距离形成一道水泥浆止水环(直径为5.0 m,厚为1.0 m)。止水环共设7道,其中2道与高喷防渗墙连

接,共同形成坝体的防渗漏补救措施。

防渗墙与注浆止水环的布置见图3。

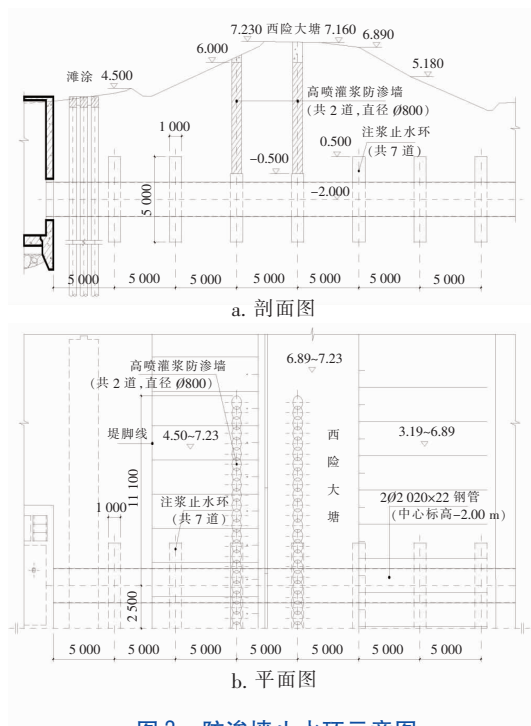


图3 防渗墙止水环示意图

Fig.3 Schematic diagram of anti seepage wall and water stop ring

6 运行效果

工程自2011年竣工以来,一直保持正常运行(见图4),取得了较好的社会与经济效益。取水头部及顶管施工未对西险大塘的安全造成不利影响。尤其是运行期间,取水头部与西险大塘经受住了几次极端反常天气造成东苕溪超高水位的巨大考验。

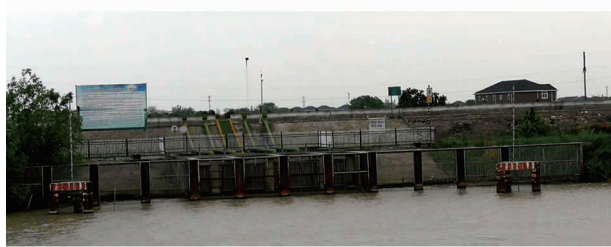


图4 运行中的取水头部

Fig.4 Water intake head in operation

7 结语

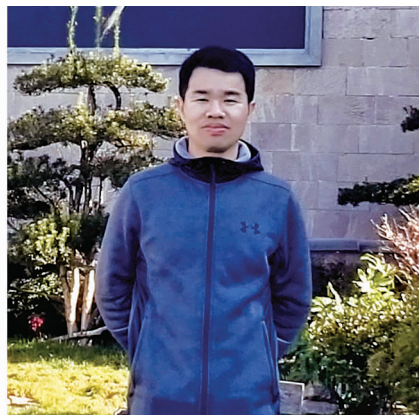
① 取水头部作为水厂工程中的特种结构部分,设计时需综合考虑,做到安全可靠、便于施工。

② 将取水头部设在取水点,通过引水管将原水送入取水泵站,当管线需穿越堤坝时,为避免对坝体产生不利影响,尽可能优先采用顶管法施工。

③ 取水头部与顶管施工完成后,必须对坝体采用合理的防渗漏补救措施进行修复加固,重新形成封闭的防渗体系。

参考文献:

- [1] 上海市市政工程设计院. 给水排水工程结构设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1984.
Shanghai Municipal Engineering Design Institute. Design Manual of Water Supply and Drainage Engineering Structure[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1984(in Chinese).
- [2] CECS 137:2015, 给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程[S]. 北京:中国计划出版社,2015.
CECS 137:2015, Specification for Structural Design of Reinforced Concrete Sinking Well of Water Supply and Sewerage Engineering[S]. Beijing: China Planning Press,2015(in Chinese).
- [3] GB 50286—2013, 堤防工程设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2013.
GB 50286—2013, Code for Design of Levee Project[S]. Beijing: China Planning Press,2013(in Chinese).
- [4] CECS 246:2008, 给水排水工程顶管技术规程[S]. 北京:中国计划出版社,2008.
CECS 246:2008, Technical Specification for Pipe Jacking of Water Supply and Sewerage Engineering[S]. Beijing: China Planning Press,2008(in Chinese).



作者简介:石清林(1973—),男,湖北武穴人,湖南大学工学硕士,高级工程师,从事市政给排水结构设计工作,多次获得中国勘察设计协会市政公用行业奖、浙江省勘察设计行业协会钱江杯奖。

E-mail:570379542@qq.com

收稿日期:2018-03-09