

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.02.055

沉井结构在大型原水泵房中的应用及研究

李士民, 强健, 王林

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 在长江取水工程中,取水口的高度会对通航及河床稳定有直接的影响,因此在设计中一般会尽量降低取水口标高,这将会导致与之相连的原水泵房的埋深通常都比较深。在这种情况下,沉井施工工艺将比传统的基坑支护更有优势。通过具体的工程实例,阐述了沉井结构如何以带框架(或中隔墙)下沉的形式应用于较大型原水泵房,并对沉井在下沉阶段、水下封底阶段、顶管施工阶段及使用阶段中的稳定性及受力进行分析研究,为同类工程提供借鉴。

关键词: 原水泵房;沉井;带框架下沉;顶管

中图分类号: TU991.35

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)02-0206-03

0 引言

在长江中下游地区,长江水是沿江城市的首选饮用水源地。考虑到长江通航安全的要求及长江最低水位的限制,取水头部的标高一般会比较低。作为原水泵房,无论是在江堤内还是江堤外,由于其与取水头部连接的原水管线为重力流管线,因此原水泵房的埋深也会相应比较深,在此情况下,通常会优先选用沉井施工工艺。

与基坑围护开挖相比,沉井结构的优点主要有以下几点:(1)沉井土方工程量较小;(2)沉井井壁既可作为地下结构的外壳,同时在下沉过程中还兼作支护外壁,省去开挖支护费用;(3)地下水丰富的地区,沉井施工可采用不排水下沉、水下挖土及水下封底1等技术,节省降排水费用;(4)构筑物埋深越深,围护开挖的费用越巨大,沉井的优点越突出。

原水泵房一般由前池、格栅过滤间、吸水井和水泵设备间等几部分组成,大多数原水泵房还兼具顶管工作井的功能,所以其平面尺寸会比较大。当采用沉井施工时,为便于下沉,泵房的平面形状一般采用矩形或圆形。圆形沉井受力性能较好,但当井内设备数量较多时,其空间利用率较低,而且井内会根据功能分区来布置数量不等的中隔墙,这些中隔墙使得圆形井壁由纯受压构件变为压弯构件,从而使井壁受力性能显著降低。矩形沉井相对来说,空间利用率较高,其井壁可直接作为顶管后靠

背使用。在外界水土侧压力的作用下,用于功能分区的中隔墙还可作为壁板支承,有效地减小了井壁厚度。当中隔墙间距较大时,则应考虑增设竖向框架来减小壁板的计算跨度。带框架(或中隔墙)下沉除了能有效优化壁厚外,还可以减少混凝土二次支模、二次浇筑的工程量,缩短施工周期。本文以安徽省某设计规模为30万 m^3/d 水厂的原水泵房为例,对沉井的下沉阶段、水下封底阶段、顶管施工阶段、使用阶段等不同工况下的设计思路进行阐述,为今后类似工程提供借鉴。

1 工程概况

安徽省某新建水厂,设计规模为30万 m^3/d ,原水泵房位于厂区内,原水管线以顶管形式穿越长江大堤,一端与原水泵房连接,另一端与取水头部连接。厂区内现状地坪为10.00 m,设计地坪为12.00 m,原水管为两根DN 1 600钢管,管中心标高-1.00 m,泵房底板顶标高为-2.60 m。泵房为矩形平面,总尺寸为31.4 m $\times$ 26.4 m,平面布置见图1,经方案比选,本泵房拟采用沉井工艺施工,不排水下沉。泵房混凝土强度等级为C30,抗渗等级为S8,封底混凝土为C20。

根据地勘报告,拟建场地的地基岩土层从上至下依次为:(1)填土;(2)粉质黏土;(3)淤泥质粉质黏土;(4)粉质黏土;(5)黏土;(6)粉质黏土混碎砾石;(7)强-中风化砂砾岩。其中第(3)层土为软弱土,厚度约11 m。所在场地的抗浮设计水位为11.50 m,下沉阶段时地下水位为9.50 m。

收稿日期:2020-07-17

作者简介:李士民(1983—),男,硕士,高级工程师,从事水厂和综合管廊设计工作。

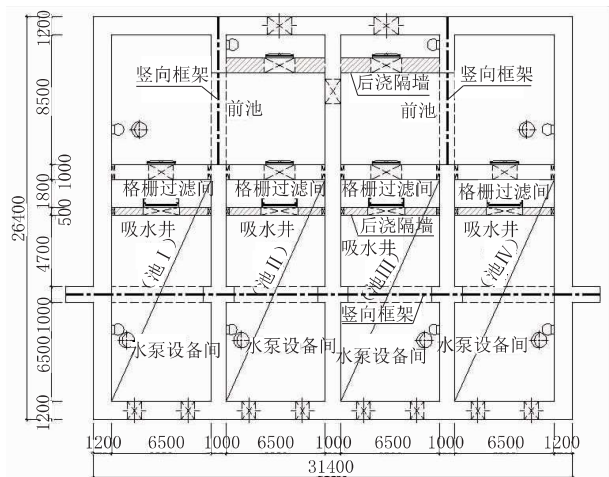


图1 原水泵房平面布置图(单位:mm)

2 沉井结构设计

原水泵房的沉井设计工况根据其施工次序,主要分为四个阶段^[1]:沉井下沉阶段、水下封底阶段、顶管施工阶段和使用阶段。其中在使用阶段各构件应进行强度计算和裂缝宽度计算(不大于0.2 mm),其他阶段可仅按强度控制。

2.1 沉井下沉阶段

在沉井泵房的下沉阶段,主要考虑以下几个方面:沉井下沉系数验算及下沉稳定验算;刃脚计算;井壁水平框架计算;竖向框架计算。

根据《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》^[2]CECS 137:2015(以下简称《沉井规程》),为保证沉井能顺利下沉,沉井下沉系数 k_{st} 应满足不小于1.05。当沉井穿越软弱土层且下沉系数较大时,尚需进行下沉稳定验算,以防止突沉。沉井下沉稳定系数 $k_{st,s}$ 应满足在0.8~0.9之间。验算沉井下沉稳定主要考虑以下时间节点:终沉时稳定;分段下沉时接高稳定;穿越较厚软弱土层时的稳定。本沉井采用一次下沉方案,并需穿越的较厚的(3)淤泥质粉质黏土层,因此应考虑第一、第三两种情况下的下沉稳定。除土层力学特性外,沉井的壁厚、刃脚尺寸以及是否分段下沉等因素,均对下沉系数 k_{st} 和下沉稳定系数 $k_{st,s}$ 有影响,一般需要进行多次试算,选择最合理的设计方案。本沉井泵房的剖面见图2。

沉井下沉阶段,还应对刃脚的内、外侧按最不利情况分别进行计算。当沉井开始下沉时,刃脚插入土内,其下部承受较大的正面及侧面阻力,而井壁外侧土压力并不大,此时在刃脚内侧根部产生最大向外弯矩;当沉井终沉时,刃脚踏面下的土被全部挖空,此时为刃脚向内弯曲的最不利情况,刃脚外侧产生最大弯矩。上述两种情况下的刃脚竖向内力可根

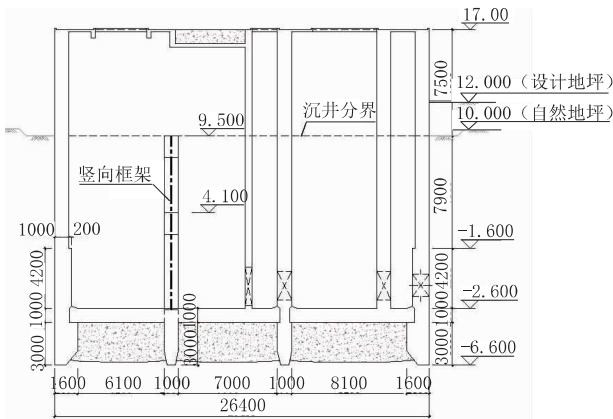


图2 沉井剖面图(单位:mm)

据《沉井规程》第6.2.2条计算,在此不做赘述。沉井刃脚除在竖直方向上可看作为根部嵌固的悬臂梁外,在水平方向上还可看作是一个封闭的水平框架,这两个方向上的荷载分配系数可根据《沉井规程》第6.3.3条进行计算。

整个下沉过程中,井外的水土侧压力由相应标高处井壁的水平封闭框架来承担,终沉时受力为最大。为减小井壁水平封闭框架的计算跨度,本原水泵房结合功能分区,在标高4.1 m、9.5 m处各设置一道中梁、顶梁,连同底梁、扶壁框架柱、中隔墙一起,形成两个方向的封闭竖向框架,与沉井一同下沉。沉井的井壁根据埋深可划分为三个区段:刃脚根部至底板底区段;底板底至井壁变截面区段;井壁变截面至沉井顶区段。每区段井壁按单位截条的水平框架计算,荷载值为本段下端1 m内的水土侧压力平均值。下沉阶段的井壁水平框架计算简图见图3。其中需要注意的是,对于刃脚根部至底板底区段水平框架,由于该段井壁是刃脚按悬臂梁计算时的嵌固端,因此计算水平荷载时除考虑本截条段水土侧压力外,还应附加由刃脚传来的水平剪力。

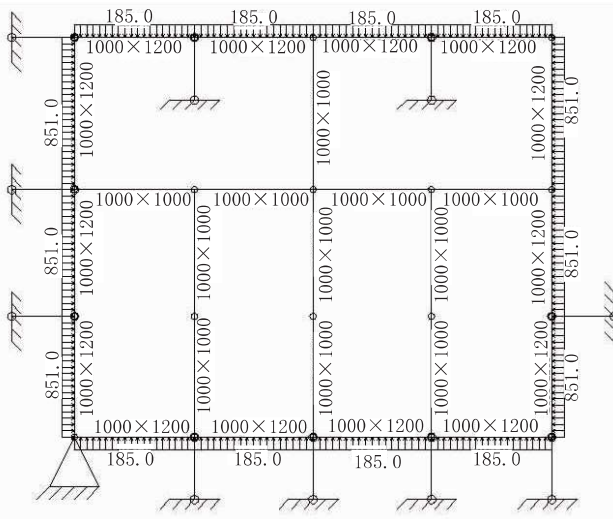


图3 沉井下沉阶段井壁水平框架计算简图

竖向框架作为水平井壁的支承,承担了井壁传来的外侧水土荷载。在软土地区下沉时,由于沉井的自重较大,一旦发生突沉,底梁下的地基所承受的压力可能达到土的极限承载力,此时底梁所承受的计算反力设计值可取地基土的极限承载力值。竖向框架的计算简图见图4。

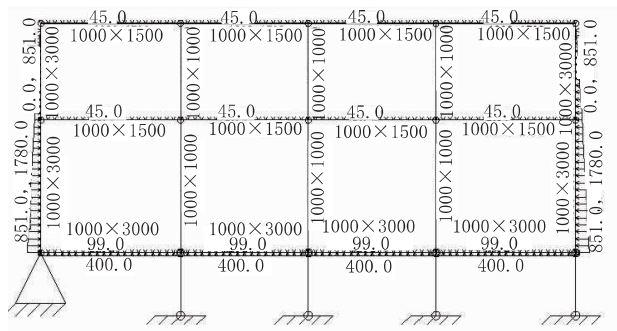


图4 沉井下沉阶段竖向框架计算简图

2.2 水下封底阶段

本沉井为不排水下沉,当沉井沉至设计标高,在浇筑钢筋混凝土底板之前,要先在水下浇筑混凝土进行封底,并将井内水排干。封底混凝土的厚度由两个因素决定:封底后的抗浮稳定和封底混凝土的抗弯、抗剪强度。

由于泵房沉井深度较深并且平面尺寸较大,当完成封底并将井内水排空时,若按正常地下水位计算浮力,可能很难满足沉井的抗浮稳定。考虑到封底后的施工阶段属于短期工况,此时可通过临时降低井外地下水位来解决抗浮问题,这比单纯靠增加壁厚提高沉井自重更经济合理。考虑到水下封底混凝土的密实性一般会差于常规混凝土,在计算封底混凝土容重时宜进行折减,折减系数可取0.65。

沉井封底后仍可能继续产生沉降,故沉井自重对封底混凝土会产生向上的净反力,此为封底混凝土的计算荷载。根据《沉井规程》式6.1.13可得封底混凝土抗弯所需的厚度。另外,封底混凝土板的边缘还需进行冲剪验算。

2.3 顶管施工阶段

沉井底板混凝土浇筑完毕后即可进入下一步工序:顶管施工。本工程为矩形沉井,可直接利用沉井井壁作为顶管的后背。顶管管道的最大允许顶力可根据《给水排水工程顶管技术规程》^[3]CECS 246:2008第8.1~8.3节计算得到。在顶管施工阶段,主要考虑以下两点:(1)井壁在顶管顶进时的强度计算;(2)后背土体的稳定计算。

当顶管顶进时,土的最大抗力可按《沉井规程》第6.3.5条计算,最大土抗力位于沉井的刃脚底。土

抗力与井周土压力、顶管顶力共同叠加于井壁水平框架,可得到顶管施工阶段井壁的内力。

矩形沉井在顶力作用下,后背土体的稳定,可按《沉井规程》第6.3.6条进行验算。此时应注意沉井前后土体一般是非单一土层,因此应将各层土的凝聚力 c 和内摩擦角 φ 进行加权平均后再计算井前的主动土压力和井后的被动土压力。

2.4 使用阶段

在泵房使用阶段,应根据泵房的工艺流程,考虑每个区格是否满水的各种最不利工况,进行验算,具体包括以下几个方面:地基承载力验算;抗浮稳定验算;泵房壁板、底板计算;竖向框架计算。

使用阶段的地基承载力验算,应考虑全部竖向荷载,包括泵房上部结构在内的所有构件自重、恒荷载、活荷载、水重等,所得基底反力总值应与经深度修正后的地基土承载力特征值作比较。

在抗浮稳定验算时,泵房应按最高抗浮设计水位进行验算。此时泵房自重可将后浇内隔墙重量以及沉井分界线以上部分泵房的重量全部考虑在内。当封底混凝土与底板间有拉结钢筋时,封底混凝土自重也可作为泵房自重的一部分。

在计算泵房壁板时,已浇筑好的底板可作为外壁板的支承,这与下沉阶段的受力状态有所区别。而泵房内部的中隔墙,则应根据泵房运行阶段池内是否有水等实际情况,分别进行各工况下的内力计算。对于泵房底板,其周边为铰接,根据竖向荷载产生的底板净反力,来计算底板内力。需要注意的是,当部分池内满水而其余池空水时,应考虑由满水区水重引起的空池区底板净反力的增加。

在计算竖向框架时,根据泵房池体的区格划分(见图1),池I、池II、池III、池IV存在单格或多格池内满水或空水的工况,排列组合可分为9种工况,计算时应分别考虑所有工况下的框架内力并取包络值,然后进行强度及裂缝计算。由于竖向框架截面尺寸较大,考虑到支座宽度的影响,可对框架支座计算弯矩进行削减,具体的削减方法如下^[4]:支座弯矩 $M_{支}=M_1-Qb/3$ 且 $M_{支}\geq 0.7M_1$,其中 M_1 为支座中心的计算弯矩, Q 为支座边缘处的剪力, b 为支座宽度。跨中弯矩一般不进行折减。

3 结 语

通过对本原水泵房沉井的设计思路的探讨,有以下几点结论及建议供各位同行参考:

(1)构筑物的外形轮廓是否规则、内部布置是否

(下转第220页)

4 结 语

本文分别建立了直桩群桩和斜桩群桩的三维有限元模型,对比分析了两者在水平荷载作用下的整体变形、荷载分配及桩周土应力等方面的不同响应。数值分析结果表明,斜桩群桩与直桩群桩在水平荷载下的变形响应差异较大。在本文3倍桩径桩间距及高桩承台的条件下,斜桩群桩中基本不存在与直桩群桩相类似的群桩效应。斜桩群桩由于更好地发挥了基桩的轴向承载特性,故而整体抵抗外部水平荷载的能力显著高于直桩群桩。因此在技术可行的前提下,设计时宜优先考虑采用斜桩群桩的基础型式来承担水平荷载。

参考文献:

- [1] 张麒麟,卓卫东,范立础.斜桩基础工作性状的研究进展[J].水利与建筑工程学报,2013,11(4):60-66.
- [2] McVay M C,Shang T I,Casper R.Centrifuge testing of fixed-head laterally loaded battered and plumb pile groups in sand[J].Geotechnical Testing Journal,1996,19(1):41-50.
- [3] Zhang L M,McVay M C,Han S J,etc.Effects of dead loads on the lateral response of battered pile groups [J].Canadian Geotechnical Journal,2002,39:561-575.
- [4] 吕凡任.倾斜荷载作用下斜桩基础工作性状研究[D].浙江杭州:浙江大学,2004.
- [5] 顾明.不同方向水平荷载下斜桩的有限元分析[J].城市道桥与防洪,2018(8):290-293.
- [6] 庄茁,由小川,廖剑晖,等.基于 ABAQUS 的有限元分析和应用[M].北京:清华大学出版社,2008.
- [7] Reese L C,Wang S T,Vasquez L.GROUP 7.0 for Windows technical manual (Analysis of a group piles subjected to axial and lateral loading)[M].Ensoft, Inc,Austin,Texas,2006.
- [8] Brown D A,Morrison C,Reese L C.Lateral load behavior of pile group in sand [J].Journal of Geotechnical Engineering,1988,114(11):1261-1277.

(上接第208页)

对称决定着其能否采用沉井施工工艺。如何结合工艺功能合理布置竖向框架,是大型沉井有效控制壁厚和内力的关键步骤。

(2)在软土地区,沉井的下沉系数与下沉稳定系数是一对相互制约的系数,既要保证沉井能顺利下沉,同时还要防止沉井的突沉。当软弱土层较厚时,还应当在软弱土层中间适当位置处进行下沉稳定性验算。

(3)水下封底及顶管施工阶段采取临时降低井外水位的措施,是比较经济合理的方法,尤其是对于沉井体型较大、埋深较深、实际水位较高时,更为适宜。

(4)对于泵房沉井,在使用阶段的设计,应考虑泵房运行期间的实际情况。尤其是当泵房内存在多格水池时,应考虑所有可能出现的工况,并进行包络设计。

参考文献:

- [1] 给水排水工程结构设计手册编委会.给水排水工程结构设计手册[M].第二版.北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [2] CECS 137:2015,给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程[S].
- [3] CECS 246:2008,给水排水工程顶管技术规程[S].
- [4] 葛春辉.钢筋混凝土沉井结构设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2004.