

沉井力学性能验算分析

张 江¹, 符 锐², 张 健³

(1. 徐州市黄河北闸管理处, 江苏 徐州 221000; 2. 南京市雨花台区水务总站, 江苏 南京 210017;
3. 睢宁县水务局, 江苏 徐州 221000)

摘要:简要介绍了板桥河水系水环境提升工程 3#沉井结构,并对施工设计进行了力学性能验算,验算内容包括:刃脚垫层验算、沉井相关系数验算、模板验算。结果表明沉井各项力学性能参数均满足规范要求,说明该沉井结构和施工设计是合理的。

关键词:沉井; 力学性能; 验算分析

中图分类号:TV87

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2020)12-0065-05

Checking calculation and analysis of caisson mechanical properties

ZHANG Jiang¹, FU Rui², ZHANG Jian³

(1. Xuzhou Yellow River North Gate Management Office, Xuzhou 221000, China;
2. Yuhuatai District Water Conservancy Bureau, Nanjing City, Nanjing 210017, China;
3. Suining County Water Affairs Bureau, Xuzhou 221000, China)

Abstract:The structure of 3# caisson of Banqiao River Water Environment Improvement Project was briefly introduced, and checking calculation and analysis of mechanical properties of the construction design were conducted, including the checking calculation of blade foot bed, the checking calculation of caisson correlation coefficient and the checking calculation of template. The results showed that the mechanical property parameters of the caisson met the requirements of the code, which indicated that the structure and construction design of the caisson were reasonable.

Key words:caisson; mechanical properties; check and analysis

随着社会经济水平的提高,城市水利、市政、交通基础设施也逐步发展完善,越来越多的城市在建筑物密集区修建地下设施^[1]。最常见的施工工艺就是利用沉井法修筑地下构筑物 and 深基础,它是在预制好的钢筋混凝土井筒结构底部开挖砂或土,利用井筒自重或施加外力以克服井筒与井壁和地层的摩擦力从而逐步下沉至指定位置^[2]。沉井法挖填土方量较小,施工也较为安全,从而节约大量人力物力,同时对邻近建筑物扰动破坏较小,因而目前应用较为广泛^[3-5]。沉井施工为地下工程施工,地下水文地质较为复杂,因此,需进行合理的设计和严谨的验算分析后才可予以施工,以保证施工过

程中的安全。本文根据南京市雨花台区板桥河水系水环境提升工程的具体情况,详细介绍 3#沉井的力学性能验算过程。

1 工程概况及沉井结构

该工程为南京市雨花台区板桥河水系水环境提升工程。工程起点为肖家山(雨花台区与江宁区交界处),终点板桥河闸,全长约 7.2 km,包括新建 2 座引水泵站,将处理后的板桥河水通过活水循环管线补充至河道,共设顶管井 5 座,施工工艺采用顶管施工。1#工作井~2#接收井顶管总长为 60.9 m,材质为 DN1000 钢管,需横穿凤汇大道,周

收稿日期:2020-09-01

作者简介:张江(1988—),男,工程师,本科,主要从事水利工程运行管理、维修养护等方面工作。E-mail:464690864@qq.com

com

围施工场地附近有交通信号灯 2 座,配电箱 3 座,距大型建筑物较远。3#工作井~4#接收井顶管总长为 79.4 m,材质为 DN1000 钢管,需横穿板桥河,河面宽 31 m,水深 5.4 m,穿过泵站路,周围有 1 座高压电塔,距离 3#工作井 35 m。5#工作井~出水口顶管总长为 43.8 m,材质为 DN1000 钢管,需横穿板桥河河堤,周围无建筑物。本文选取 3#沉井进行分析验算。

2 结构参数

2.1 沉井设计参数

该沉井为圆形沉井,井筒高 11.7 m,内径 6.8 m,壁厚 0.6 m;刃脚高 1.9 m,厚 0.8 m,踏面宽 0.3 m,钢筋混凝土结构。

2.2 工程地质参数

工程地质参数、土层相关参数分别见表 1~表 4。

(2)根据交叉对比分析法,本次验算,选取工作井作为验算对象,取其最高井位验算,用作本次验算的沉井数据,见表 5。

3 力学性能验算分析

根据施工方案内容,本工程需验算的内容有:刃脚垫层验算、沉井相关系数验算、模板及对拉螺栓验算。

3.1 刃脚垫层验算

刃脚垫层上部为 C20 素混凝土垫层,垫层厚 0.1 m、宽 2 m;下部则为砂石垫层,垫层厚 0.5 m、宽 3 m;刃脚底宽 0.4 m。

3.1.1 沉井自重

沉井靠自重下沉,本次施工沉井结构混凝土分 3 次浇筑,每次浇筑量分别为 32.46 m³、83.40 m³ 和 79.23 m³,则工作井混凝土用量为 195.09 m³。

根据混凝土用量得工作井结构自重为

表 1 工程地质参数

层号	名称	底层标高/m	平均厚度/m
①-1	杂填土	8.35	4.00
①-2	素填土	6.75	1.60
②-1B	粉土夹粉砂	9.00	3.40
②-2	粉质黏土夹淤泥质粉质黏土	-14.15	17.50

表 2 各土层压缩性质及物理指标明细表

层号	名称	含水量 ω / %	天然重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	天然孔隙 比 e	塑性 指数 I_p	弹性 指数 I_L	压缩系数 $a_{1-2}/(\text{MPa}^{-1})$	压缩模量 E_{s1-2}/MPa
①-2	素填土	29.9	19.13	0.838	11.5	0.84	0.35	5.6
②-1A	粉质黏土夹粉土	27.5	20.32	0.703	11.2	0.77	0.32	5.51
②-1B	粉土夹粉砂	26.9	19.51	0.756	8.6	0.84	0.22	8.3
②-2	粉质黏土夹淤泥质 粉质黏土	37.2	17.68	1.090	14.3	0.97	0.56	3.83
②-3	粉质黏土	29	19.42	0.810	12.6	0.82	0.37	5
③	粉质黏土	25.3	19.96	0.714	13	0.46	0.26	6.73

2.3 验算原则

(1)本工程施工区域隶属长江漫滩相地貌单元,地形整体较平整。根据地勘报告结果来看,该跨度内地层结构在垂直方向上基本相同,故验算时可取用同一地质参数。

4 877.25 kN;沉井沿周长单位质量为 209.9 kN/m。

3.1.2 沉井刃脚砂垫层

在沉井制作过程中,为使地基具有足够的承载力,避免沉井发生不均匀沉降,需对地基进行处理,常用处理方法包括采用砂、混凝土、砂砾、灰土垫层

表 3 地基承载力特征值明细表

层号	多种方法确定承载力					推荐承载力
	公式法 Fak/kPa	动探法 Fak/kPa	静探法 Fak/kPa	查表法 Fak/kPa	标贯法 Fak/kPa	特征值 Fak/kPa
①-2	—	—	—	—	—	40
②-1A	95	—	105	100	105	95
②-1B	110	—	145	105	120	100
②-2	60	—	60	60	55	55
②-3	85	—	—	80	80	75
③	150	—	175	160	140	140
④	—	150	—	—	—	150

表 4 沉井设计参数表

层号	名称	单位摩阻力/kPa
①-1	杂填土	15
①-2	素填土	10
②-1B	粉土夹粉砂	14
②-2	粉质黏土夹淤泥质粉质黏土	12

表 5 沉井分段施工数量表

序号	部位	井类型	高度/m	混凝土用量/m ³
1	刃脚	工作井	1.9	32.46
2	1/2 高池壁(下)	工作井	6	83.4
3	1/2 高池壁(上)	工作井	5.7	79.23
4	底板	工作井	0.6	21.78

配合人工夯实、人工碾压等措施加固处理。本工程经前期地质勘探,地基强度较低,施工过程中需使用较多垫木,当垫木铺设过密时,需在刃脚设置砂垫层以减少垫木数量。其中砂垫层设计是否合理,设计砂垫层厚度为其重要指标。本次砂垫层厚度验算过程如下:

$$h = \frac{G}{2P_u \tan \theta} - \frac{B}{2 \tan \theta} \tag{1}$$

式中: h 为砂垫层厚度; G 为混凝土单位长度重量,本次取值为 209.9 kN/m; P_u 为下卧层地基极限承载力的折减值; θ 为压力扩散角,为 30°; B 为刃脚素混凝土垫层宽度。

其中 P_u 可用以下公式计算:

$$P_u = P \times k_1 \times k_2 \times k_3 \tag{2}$$

式中: P 为地基的允许承载力,取值为 60 kPa; k_1 为容许承载力转换为极限承载力的系数,取 $k_1 = 3$; k_2

为极限承载力折减系数,取用 $k_2 = 0.8$; k_3 为施工荷载及沉井总自重超载系数的倒数,取用 $k_3 = 0.85$ 。

将 P 、 k_1 、 k_2 、 k_3 数值代入公式(2),计算得 P_u 为 122.4 kPa,将 P_u 、 G 、 θ 、 B 数值代入代入公式(1)进行验算:得 $h = 0.9$ m,故取砂垫层厚度为 1.0 m。

经验算,设计砂垫层厚度 1 m > 0.9 m,满足地基承载力要求。

砂垫层宽度计算: $B \geq b + 2h \tan \theta = 1.454$ m,砂垫层设计底宽 $B = 4$ m,满足要求。

3.2 沉井相关系数验算

为保证施工安全,对工作井下沉系数、下沉稳定系数、抗浮系数进行验算。

3.2.1 下沉系数

下沉系数 K_{st} 是指下沉重力与下沉阻力之比,沉井能否顺利下沉的关键取决于下沉系数 K_{st} 是否选取得当,沉井的总重力应大于沉井外表面的阻力,

但是又不能大于沉井刃脚参与工作的总阻力。沉井下沉时应对其在自身重力下能否顺利下沉进行验算,即过程如下:

$$K_{st} = \frac{(G_k - F_{fw,k})}{F_{fk}} \quad (3)$$

式中: K_{st} 为下沉系数; G_k 为井体自重标准值,工作井自重为 4 877.2 kN; $F_{fw,k}$ 为地下水浮力的标准值,当采用排水下沉时为 $F_{fw,k} = 0$; F_{fk} 为井壁摩擦阻力的标准值。

$$F_{fk} = U \times A \quad (4)$$

式中: U 为沉井井壁外围周长,工作井外壁周长 25.12 m; A 为单位周长的摩阻力。

$$A = f \times (H - 2.5) \quad (5)$$

式中: H 为沉井下沉深度; f 为单位面积的摩阻力。

根据以上公式计算下沉系数: $F_{fk} = 3\,663.85$ kN;又 $F_{fw,k} = 0$,计算下沉系数 $K_{st} = 1.33$,则下沉系数 $K_{st} > 1.20$,满足施工时自重下沉要求。

3.2.2 下沉稳定系数

根据地质勘察报告,施工作业面下存在软弱土层,因此需根据实际情况进行下沉稳定计算,其下沉稳定系数 $K_{st,t}$ 应符合下列要求:

$$K_{st,t} = \frac{G_k - F'_{fw,k}}{F'_{fk} + R_b} \quad (6)$$

式中: $K_{st,t}$ 为下沉稳定系数; $F'_{fw,k}$ 为地下水浮力的标准值,排水下沉时取值为 0; F'_{fk} 为井壁摩擦阻力的标准值; R_b 为地基土极限承载力总和,查表得 $R_b = 1\,673.0$ kN。

则计算得 13.6 m 沉井 $K_{st,t} = 0.91 < 1.0$,满足施工时下沉稳定要求。

3.2.3 抗浮系数

施工时,沉井在各个时期可能受到地下水位产生的浮力影响,因此需要进行抗浮稳定验算,即抗浮系数计算。在不计井壁和土的摩擦阻力时,抗浮安全系数通常可取 1.0。根据地质勘察报告,本工程地下水位较高,当沉井下沉高度达到设计高程后,需考虑丰水期沉井的抗浮系数,并采取降水措施。抗浮系数 K 计算如下。

$$K = \frac{G}{F} \quad (7)$$

$$F = \pi r^2 h_1 \rho g \quad (8)$$

式中: K 为抗浮系数; F 为水浮托力; h_1 为井底到地下水位高度,地下水位为 4.5 m。

计算得抗浮系数 $K = 1.07 > 1.0$,满足施工期抗浮稳定要求。

3.3 模板验算

3.3.1 模板承受侧压力及有效压力计算

沉井模板承受侧压力的计算是设计模板及其支架的基础内容,在进行侧模板及其支架承载力计算时,主要考虑新浇混凝土对模板的侧压力、振捣混凝土产生的压力及倾倒混凝土产生的荷载压力,其中新浇混凝土对模板产生的侧压力为沉井模板承受的主要侧压力,本次主要计算新浇混凝土对模板承受的侧压力大小。侧压力大小可采用以下 2 个公式计算,并取 2 个公式中的较小值。

$$F = 0.22 \gamma_c t_0 \beta_1 \beta_2 V^{0.5} \quad (9)$$

$$F = \gamma_c H \quad (10)$$

$$h = \frac{F}{\gamma_c} \quad (11)$$

式中: F 为模板承受来自新浇混凝土的最大侧压力; γ_c 为混凝土重力密度; t_0 为新浇混凝土的初凝时间,一般按照实测确定。若当地缺乏试验资料时,也可采用 $t = 200 / (T + 15)$ 计算, T 为混凝土的温度; V 为混凝土浇筑速度,一般取 1 m/h; H 为侧压力计算点到新浇混凝土顶面的总高度; β_1 为受外加剂影响产生的修正系数,当掺有缓凝作用的外加剂时,一般取 1.2;当不掺外加剂时,一般取 1.0; β_2 为坍落度影响修正系数(当坍落度小于 30 mm 时,取 0.85;当坍落度位于 50 ~ 90 mm 之间时,取 1.0;当坍落度位于 110 ~ 150 mm 之间时,取 1.15); h 为有效压力高度。

代入相关参数值,由公式(9)计算得 F 为 34.19 kN/m²;由公式(10)可得 F 为 170 kN/m²。取其中较小值,即取值为 34.19 kN/m²,乘以分项系数 1.2,即得模板所承受来自新浇混凝土的最大侧向压力 $F_{max} = 41.03$ kN/m²。由公式(11)计算有效压力高度 $h = 1.64$ m。

3.3.2 模板强度验算

根据模板施工工艺,面板由横肋和竖肋所形成的矩形框架受力,模板为周界铰支,模板整个板面受均布荷载,由上面计算得知,模板最大侧压力为 41.03 kN/m²,由于模板对拉螺栓布置为 0.45 m × 0.60 m,竖向方木支撑间距为 0.30 m,故线荷载 q 为 24.62 kN/m。计算简图见图 1。

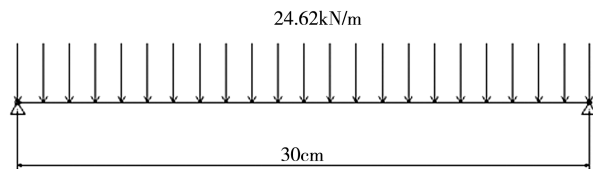


图 1 均布荷载计算简图

其中,均布荷载 $q = 24.62 \text{ kN/m}$,模板厚 $h = 0.012 \text{ m}$,根据《建筑施工安全技术规范》JGJ 162—2008 可得:静曲强度 $[\sigma] = 105.5 \text{ N/mm}^2$ 。根据公式计算矩形模板最大正应力。

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_z} \quad (12)$$

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = 276.98 \text{ Nm} \quad (13)$$

$$W_z = \frac{bh^2}{6} = 24\,000 \text{ mm}^3 \quad (14)$$

式中: σ 为最大正应力; M_{\max} 为最大弯矩; W_z 为抗弯截面系数。

从而可得最大正应力 $\sigma = 11.54 \text{ N/mm}^2 < [\sigma]$,本次模板设计满足强度要求。

4 结 语

(1)沉井法是一种目前应用十分广泛的施工方法,但其规格较大、所处施工场地水文地质条件的复杂多变性给沉井的设计及施工带来了一些不确

定因素,因此施工前需要进行严谨的验算分析,以保证施工质量和安全。

(2)本次以南京市雨花台区板桥河水系水环境提升工程为例,详细介绍了3#沉井的力学性能验算过程。验算结果表明,该设计方案满足规范要求。

(3)该沉井力学性能验算方法具有普遍性,可为其他类似工程验算提供参考。

参考文献:

- [1] 袁良文. 大型沉井的施工技术[J]. 江苏水利, 2010(6):18-19, 21.
- [2] 魏邦武. 初探沉井下沉施工与验算分析[J]. 中国水运, 2010,10(8):139-140.
- [3] 马江海. 大型顶管沉井的设计与下沉技术[J]. 公路交通科技, 2016(9):129-132.
- [4] 张猛. 桥墩基础沉井施工方案设计及验算分析[J]. 甘肃科技纵横, 2018(47),5:42-45, 51.
- [5] 胡海军. 浅谈中小型沉井的设计与施工技术[J]. 江苏水利, 2011(4):22-24

(上接第47页)

4.3.3.4 在平水年非汛期(50%保证率)条件下

(1)秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$,上游不需要补水即可基本满足全流域生态基流需求。

(2)在现状污染源条件下,秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$,能够使铁心桥和七桥瓮断面水质满足相应水功能区要求,石城桥断面水质基本满足要求(达标率超过70%)。

(3)在流域污水接管率 $\geq 95\%$ 条件下,秦淮新河不需要引水,即可使各断面水质满足相应水功能区要求。

(4)若不考虑A段河道生态基流需求,秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 20 \text{ m}^3/\text{s}$,可基本满足下游骨干河道生态基流需求(秦淮新河1月份除外)。

5 结论与建议

(1)秦淮河流域骨干河道的最小生态基流可为 $13.2 \sim 42.4 \text{ m}^3/\text{s}$,最小生态水位为 $6.3 \sim 6.8 \text{ m}$ 。

(2)适当降低武定门闸的调控水位有利于改善水质,建议非汛期将东山水位控制在 6.8 m 左右。

(3)秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$,且流域上游补水时,能够基本满足全流域生态基流需

求;泵引流量 $\geq 50 \text{ m}^3/\text{s}$,能够使各断面水质满足相应水功能区要求。

(4)在流域污水接管率 $\geq 95\%$ 条件下,秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 10 \text{ m}^3/\text{s}$,能够使各断面水质满足相应水功能区要求。

(5)若不考虑A段河道生态基流需求,秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$,可基本满足下游骨干河道生态基流需求。

(6)下一步将研究范围扩大至整个秦淮河流域,针对流域不同水体的生态功能特征,确定生态调度目标,构建全流域水量水质耦合模型,开展多情景调度模拟,评估水生态(环境)调度效果。

参考文献:

- [1] 郑恩才,余礼晔,张亚男. 秦淮河的历史变迁[J]. 江苏水利, 2016(5):60-62.
- [2] 李卫民,房晓玲,周亮. 引江调水工程在外秦淮河水环境整治中的应用[J]. 江苏水利, 2016(8):12-15.
- [3] 葛忆,张新义,赵齐. 句容市秦淮河流域防洪调度分析及对策研究[J]. 江苏水利, 2016(4):44-46.
- [4] 吴美玲,杨侃,杨哲. 大数据在洪水分析中的应用前景探究[J]. 江苏水利, 2018(6):13-19.