

# 苏州河水闸边墩沉井沉放影响分析与对策

季永兴<sup>1</sup>, 卢永金<sup>1</sup>, 张永宝<sup>2</sup>, 张志玉<sup>2</sup>

(1. 上海市水务工程设计研究院, 上海 200063; 2. 中港三航局上海分公司, 上海 200122)

**摘 要:**在简要介绍苏州河水闸边墩沉井结构和施工方案基础上, 从工程施工条件、地质条件、工程结构和功能要求等方面分析影响沉井沉放控制的因素, 并论证沉井沉放适宜的质量控制允许偏差, 建议不同方向采用不同的控制标准。从下沉速度控制、高差控制、水平位移控制、倾斜控制和水平扭转控制等多方面提出沉井下沉沉放达标控制的合理措施, 并评价沉放控制标准与措施效果。

**关键词:**沉井施工; 控制措施; 苏州河水闸

**中图分类号:**U455.557 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2005)02-0087-04

## 0 前言

沉井结构具有刚性好、施工简便等特点, 在建筑、水利、水运、交通、市政、港口等行业的基础工程中得到广泛的应用。尤其是为了满足结构物的要求, 适应地基的特点, 在土木工程结构的实践中沉井基础是较好类型的深基础, 如重型沉井、深水浮运钢筋混凝土沉井和钢沉井, 在国内外已有广泛的应用和发展。各类沉井在沉放过程中均会发生或多或少的偏位, 研究沉井纠偏技术的专家学者已经在这方面做出了努力, 取得了少成果<sup>[1,2,3,4]</sup>。沉井沉放施工质量控制虽然在许多规范内有说明, 但建筑、水利、市政、港口等不同专业对允许偏差有不同的要求。

苏州河河口水闸是上海市的重大工程, 也是上海市防汛的重要节点, 涉及上海市的安全, 工程又位于上海市的焦点位置, 其政治、社会地位非常重要。工程采用单跨结构, 沉井沉放的偏差对闸底板的浮运沉放、闸门驱动底轴的长度、闸门门叶的宽度、闸

墩启闭机房的位置影响非常巨大。同时, 沉井沉放受不断水、不断航施工条件、工程结构和功能要求等多种因素影响, 沉井沉放控制要求比较高。因此, 需要对沉井沉放的施工质量验收标准和达标措施进行专题论证和研究, 以保证工程施工质量, 顺利实施苏州河水闸, 确保水闸安全运行。同时, 通过研究, 可以积累经验, 为国内外建设此类工程提供参考。

## 1 沉井结构与施工概述

苏州河河口水闸闸墩基础结构采用钢壳沉井式承台, 下设桩基础。沉井式承台为预制中空钢壳沉箱, 浮运至现场后充填混凝土。边墩沉井尺寸为 30 m×16 m×7 m(长×宽×高), 受力井高 7.0 m, 钢围堰高 10.0 m。边墩沉井由隔墙分隔成八仓, 边壁厚 2.0 m, 垂直水流向隔墙壁厚 1.0 m, 顺水流向中隔墙壁厚 3.0 m。中墩沉井 18 m×13 m×4 m(长×宽×高), 受力井高 4.0 m, 钢围堰高 13.0 m。中墩沉井由隔墙分隔成四仓, 边墙壁厚 1.0 m, 隔墙壁厚 1.0 m。沉井到位后, 刃脚标高为 -12.25 m, 砂岛平均标高 -1.5 m。边墩沉井结构具体见图 1。

钢壳沉井在船坞制造完毕后, 由黄浦江浮运至闸址现场, 由临时施打的施工定位钢管桩将沉井正确定位, 并向钢壳沉井空腔内灌水, 低潮位时, 沉井

收稿日期: 2004-11-04

作者简介: 季永兴(1970—), 男, 人, 工程师, 华东理工大学在读 MBA, 主要从事水利工程设计与研究。

## 6 结论

随着城市经济的发展, 自锚式悬索桥必将在城市和旅游区的桥梁建设中大放异彩。由于丽泽桥是我国第一座自锚式柔性悬索钢桁梁桥, 在桥梁施工中尚属新型结构, 无经验可循, 其施工监控为该桥顺利通车提供了坚实的保障, 也为今后同类桥梁的建造施工积累了宝贵的经验。

## 参考文献

- [1] 张元凯, 肖汝诚, 金成棣. 自锚式悬索桥的设计[J]. 桥梁建设, 2002(5).
- [2] 张哲, 窦鹏等. 自锚式悬索桥的发展综述[J]. 世界桥梁, 2003(1).
- [3] 中铁十二局集团第三工程公司工程技术部. 自锚式柔性悬索钢桁梁桥施工技术研究报告[R]. 太原: 中铁十二局集团有限公司, 2003.



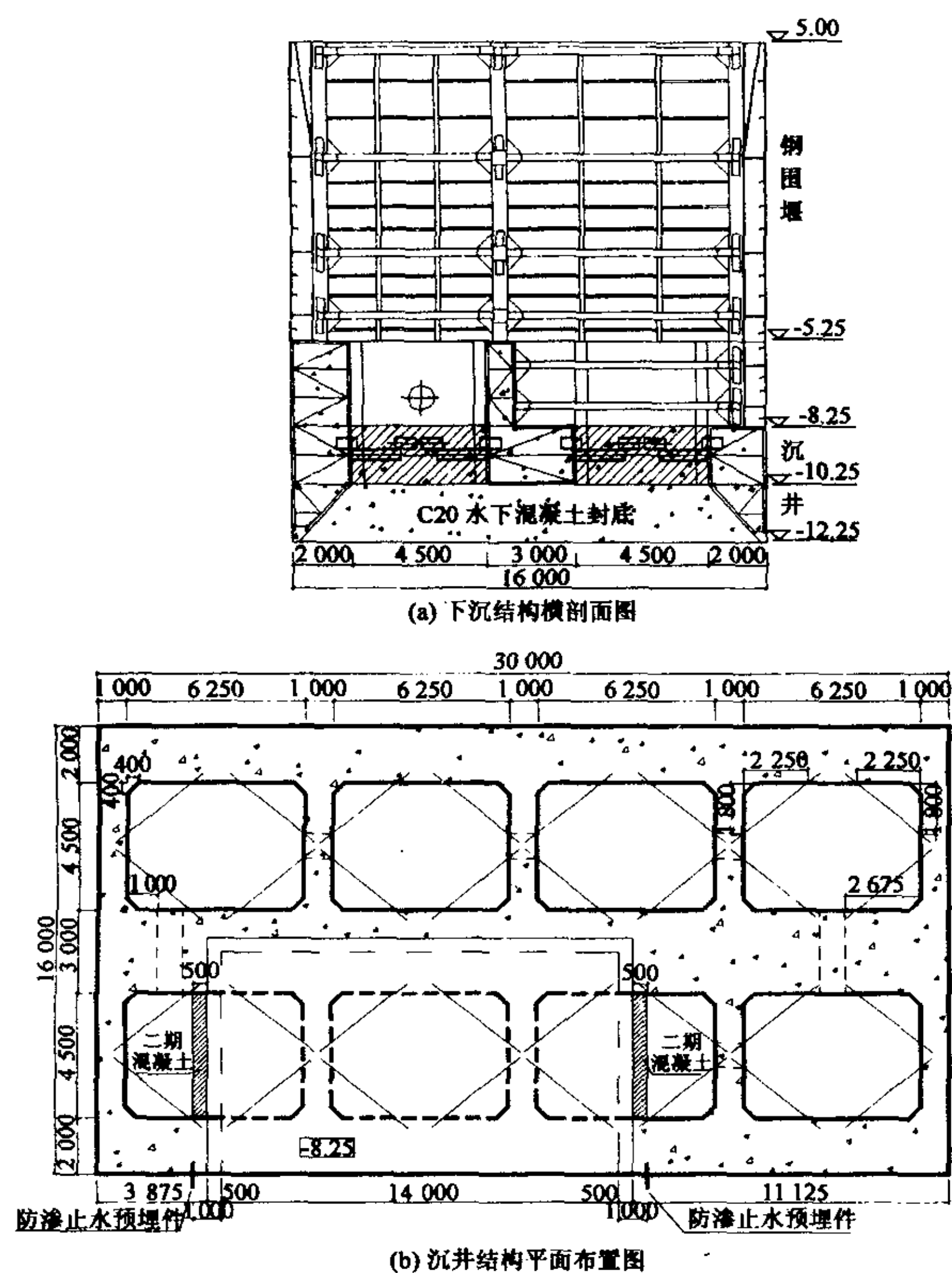


图 1 边墩沉井结构图

搁置在已被水下找平的砂岛上,然后在钢壳沉箱空腔内充填混凝土,至此,沉井自重已能抵抗涨潮时的浮力,刃脚刺破砂岛表层土,沉井完成就位,然后在沉井顶部接高临时施工钢围堰。沉井沉放采用不排水方法施工,至设计标高后搁置在钢管桩顶,采用水下混凝土沉井封底,封底混凝土厚 2.0 m。最后进行沉井底板施工,采用分仓排水干施工方法,底板钢筋混凝土厚 2.0 m。

## 2 沉井沉放影响因素分析

沉井沉放控制标准确定的影响因素较多,主要包括:现有规范要求、工程施工条件、工程结构和功能要求等。

### 2.1 现有规范要求

沉井按下沉方式主要分为就地浇筑下沉沉井和浮式沉井。对于就地浇筑下沉沉井的控制标准许多现有规范<sup>[5,6,7,8]</sup>均有较明确的规定,主要包括:刃脚平均高程与设计高程的偏差不得超过 100 mm;当地层为软土层时,其允许偏差值可根据使用条件和施工条件确定;刃脚平面轴线位置的偏差,不得超过下沉总深度的 1%;当下沉总深度小于 10 m 时,其偏差可为 100 mm;沉井四角(圆形为相互垂直两直径与圆周的交点)中任何两角的刃脚底面高差不得超过该两角间水平距离的 1%,且最大不得超过 300

mm;当两角间水平距离小于 10 m 时,其刃脚底面高差可为 100 mm。

对于浮式沉井,《公路工程质量检验评定标准》另作出如下规定:顶、底面中心偏位(纵、横向)允许偏差为  $1/50$  井高 + 250 (mm)<sup>[9]</sup>。所有规范均加注说明,下沉总深度(井高)系指下沉前与下沉完毕后刃脚高程之差。

### 2.2 施工条件

首先,工程位于黄浦江与苏州河河口,既受黄浦江涨落潮水流影响,又受苏州河涨落潮水流影响,因此水动力条件复杂。闸墩沉井沉放是在不断航、不断流的环境下进行,尤其是边墩沉井受非均匀河口水流影响,水下砂岛无规则地受到冲刷,沉井下沉过程中,也受上述水流影响,因此沉井位置偏差控制标准应考虑此因素。其次,边墩沉井位于 U 形河道的上边缘靠岸侧,受河道 U 形地质形状影响;同时虽然岸侧进行了地下连续墙围护,但还是有向河侧的土压力的作用。因此,沉井位置偏差控制标准也应考虑此因素。第三,边墩沉井地处被拆除老结构的岸坡上,岸坡下遗留着大量无法从现有档案中找到的原结构物。如南北墩沉井位置中就曾遇到不少木桩、混凝土桩、地梁、砖混结构等,均影响了沉井的正确就位,也给纠偏工作带来了极大困难。

### 2.3 工程结构和功能要求

由于苏州河河口水闸是苏州河防汛安全的重要保障,政治、社会影响非常巨大;同时由于沉井沉放的偏差对闸底板的浮运沉放、闸门驱动底轴的长度、闸门门叶的宽度、闸墩启闭机房的位置影响非常巨大。所以,确定沉井沉放的偏差标准应该在尽可能实施的情况下严格要求。

现有结构对沉井沉放偏差有如下要求:

(1) 南北闸墩启闭机房间距受闸门驱动底轴的长度、闸门门叶的宽度的限制,应该宜宽不宜窄。否则,底轴长度相对变长,影响底轴至启闭机的净距,将影响安装;在闸门门叶宽度不变的情况下,门叶将无法安装。

(2) 闸墩沉井既受侧向水平土压力和水压力的作用,又受闸底板垂直力的作用,属于大偏心结构。为解决此问题,设计考虑将闸底板搁置在沉井中隔墙位置,如果沉井偏位较大,将会影响闸墩的稳定。

(3) 两边墩沉井与启闭机房为同一结构体,启闭机房的位置会随边墩沉井的变化而变化。启闭机房的施工采用钢围堰干施工,钢围堰立柱在启闭机房侧墙内,具体见图 2。从图 2 可以看出,启闭机房侧



墙可调整的范围有限,约 200~250 mm。如果要考虑钢筋混凝土保护层厚度,则只有 200 mm 可调范围。

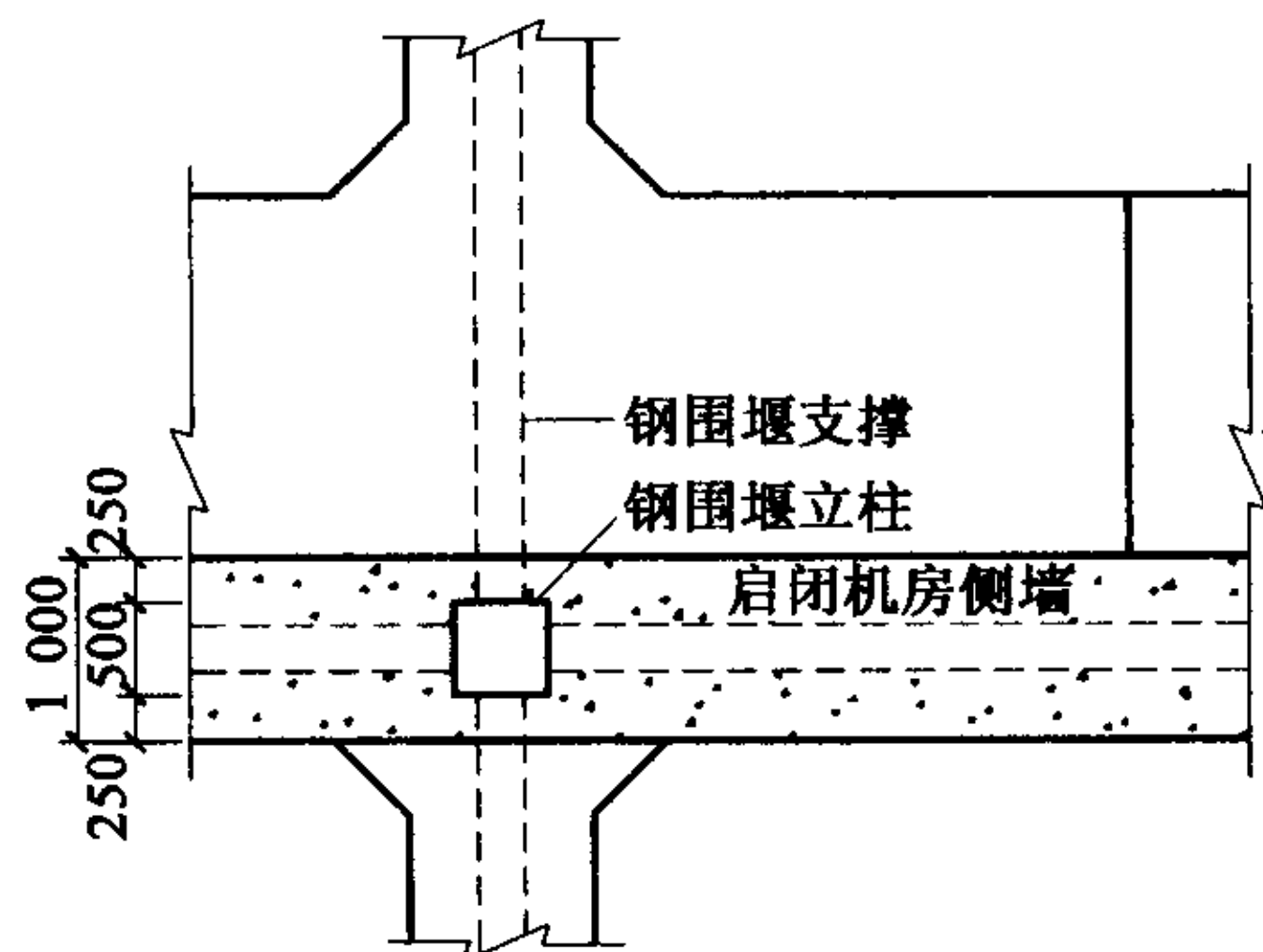


图 2 沉井可调范围示意图

### 3 沉井沉放适宜的允许偏差

根据上述可以看出,苏州河水闸的沉井沉放主要的控制集中在水平位置偏差上。

#### 3.1 就地沉放沉井允许偏差

根据规范对就地沉放沉井的要求,允许偏差  $\delta_1$  根据下式(1)计算,

$$\delta_1 = H_c \times 1\% \quad (1)$$

其中,  $H_c$  为沉井下沉总深度(井高)。砂岛顶面高程为 -1.5 m,沉井刃脚高程为 -12.25 m,所以  $H_c = -1.5 \text{ m} - (-12.25 \text{ m}) = 10.75 \text{ m}$ 。沉井下沉允许偏差为  $\delta_1 = H_c \times 1\% = 10.75 \text{ m} \times 1\% = 107.5 \text{ mm}$ 。

#### 3.2 浮式沉井允许偏差

许多文献对浮式沉井作了定义,浮式沉井一般底节采用浮式钢壳沉井,用双壁空心结构,浮运至墩位,灌水落床,再浇筑混凝土,接高下沉,直至设计标高。据此,苏州河水闸的沉井可以按照浮式沉井进行控制。根据《公路工程质量检验评定标准》对于浮式沉井的规定,顶、底面中心偏位(纵、横向)允许偏差  $\delta_2$  按下式(2)计算,

$$\delta_2 = H_c \times 1/50 + 250 \quad (2)$$

式中,  $H_c = 10750 \text{ mm}$ ,所以,按浮式沉井考虑,允许偏差  $\delta_2 = 465 \text{ mm}$ 。

#### 3.3 功能允许偏差

根据宜宽不宜窄的功能要求,沉井应该尽量向岸侧偏位,而不允许向江侧偏位,即江侧允许偏差为零。又根据闸底板的浮运沉放、闸门驱动底轴的长度、闸门门叶的宽度、闸墩启闭机房的位置等确定沉井沉放的偏差的功能要求,如果要考虑钢筋混凝土

保护层厚度,沉井沉放岸侧允许偏差  $\delta_3$  只有 200 mm。

综上所述,沉井沉放适宜的水平位置允许偏差在满足结构可调整范围的情况下,对顺水流与垂直水流方向可以采取不同的控制标准。向岸侧允许偏差可以采取 1/50 井高(即 215 mm)或结构允许范围 200 mm,向河侧允许偏差根据功能要求取为零;上下游水平位置允许偏差可以根据浮式沉井的规定,允许偏差 465 mm。其余沉井下沉的允许偏差及检测项目可按照规范执行。

### 4 沉井沉放控制与结果

浮式沉井沉放控制包括就位控制和下沉过程控制。为达到上述确定的允许偏差,设计和施工分别考虑了多种方案对整个施工过程进行控制,并提出纠偏措施。

#### 4.1 沉井就位控制

该工程钢壳沉井在船坞里制作,经黄浦江浮运至施工现场就位,坐落于预先设置的砂岛上(图 3)。中墩位于苏州河河道中央,在砂岛左右及上游侧三边周施打的钢管桩,形成开口的 U 字形限位体系后,钢壳沉井由拖轮顶推进入,控制相对简单。南北边墩位于苏州河两岸的岸边,由于苏州河河口古河道地质层呈 U 字形分布,两岸高中间低,就位后位于坡肩的沉井有向河道中心倾斜的趋势。同时,沉井下沉过程中岸侧土层高度大于河道中部,造成岸侧土压力大于迎水侧土压力,沉井也有向河道中心倾斜的趋势。为保证上述闸孔净宽不变,即门叶宽度不变,施工时人为将边墩沉井向岸侧偏移 200 mm 就位,以减少最终偏移位置,控制南北墩净宽不小于设计值。沉井借助地锚和拖船的顶推浮运到墩位后,在 8 个隔仓内对称灌水,使沉井平稳落床。

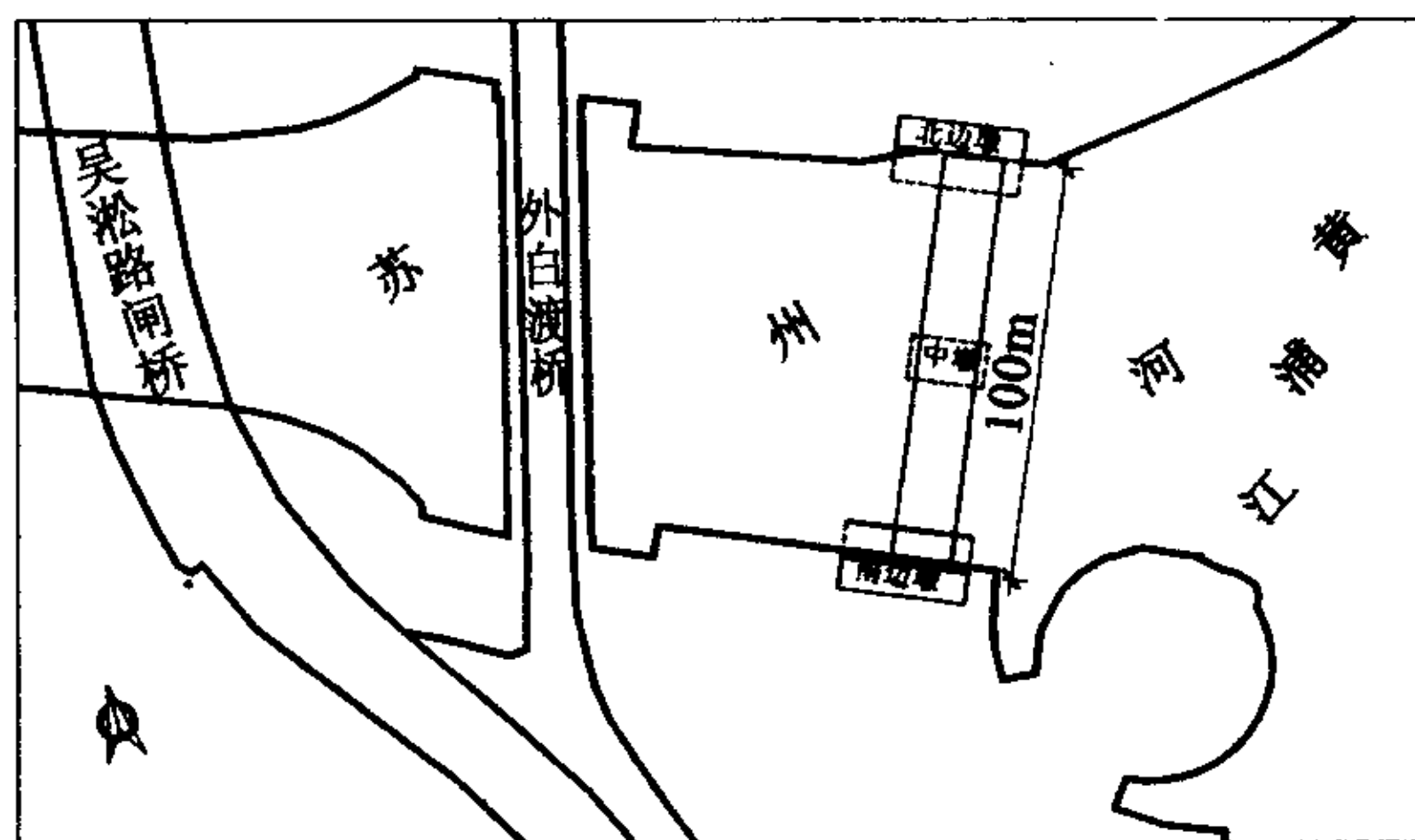


图 3 闸墩位置示意图

#### 4.2 下沉过程控制

下沉控制包括下沉速度控制、高差控制、水平位



移控制、倾斜控制和水平扭转控制等多方面。在苏州河边墩沉井下沉速度控制和高差控制方面,设计除了将沉井分隔成对称的腔体,规定对称挖泥下沉外,还在沉井内设置了限制沉井超沉和突沉的限位装置。沉井预先沉放至距设计标高还有 1.0 m 左右时停止沉井下沉施工,并开始施打基础钢管桩,然后在沉井内水下准确设置搁置梁,继续沉井沉放,利用桩基础限制沉井超沉和突沉。

为控制沉井水平位移和倾斜、水平扭转,施工时加强了下沉观测。在井外地面设置纵横十字控制桩、水准基点。下沉时,在井壁上设十字控制线,并在四侧设水平点。于壁外侧用红铅油画出标尺,以测沉降,井内中心线与垂直度的观测系在井内壁四边标出垂直轴线,各吊垂球一个,并定时用两台经纬仪进行垂直偏差观测。挖土时随时观测垂直度,当四面标高不一致时,立即纠正。沉井下沉过程中,每班至少观测两次,并在每次下沉后进行检查,做好记录,当发现倾斜、位移、扭转时,及时上报、纠正,使偏差控制在允许范围以内。

在下沉过程中,沉井刃脚局部被老防汛墙位置清杂时未发现的大块石和木桩搁住,产生倾斜,施工时及时借助潜水员进行清除。沉井在下沉接近设计标高时仍然向河侧倾斜,分析原因,主要是土层构造和土压力作用所致,施工及时在沉井外岸侧施打钢管桩,再拔除,利用钢管桩的土塞取土,消除沉井侧摩阻力和减小土压力,沉井位置和偏移及时得到了纠正。其实测偏差值见表 1。

表 1 沉井就位实测偏差 (m)

位置	北边墩		位置	南边墩	
	X	Y		X	Y
a	+0.109	+0.114	e	+0.113	-0.188
b	+0.077	+0.111	f	+0.086	-0.016
c	+0.112	+0.086	g	+0.266	-0.014
d	+0.028	+0.124	h	+0.225	-0.183

注:X 为顺苏州河方向,向东为“+”;Y 为垂直苏州河方向,向北为“+”。

## 5 结语

苏州河水闸工程采用单跨 100 m 液压水下卧倒门型,防御千年一遇洪水,工程结构复杂,涉及专业较多,综合了水利、市政、港口等多专业的特点,在国内和国际尚属首例。许多结构为非标准结构,验收标准在已有规范中未有明确规定,对工程施工采用单一的水利工程施工质量检验评定标准,既不合适,也不全面。同时,工程施工还受保护周边建筑物、不断航、不断水等多种因素影响,许多施工措施与常规施工不同,因而对施工质量的影响程度不同,质量验收标准应具体研究,根据工程特定的施工条件、结构功能要求提出具体的控制标准是非常有必要的。

分析现有规范的要求和不断航、不断水和土层结构等施工条件,结合结构功能要求提出顺水流与垂直水流方向不同控制标准,在垂直水流向沉井水平位移允许偏差向岸侧为 200 mm,向河侧为零,符合功能要求,也能进行施工控制,施工措施也能保证达到提出的控制标准,可以作为今后大型特殊水利、港口等工程的参考。

## 参考文献

- [1]刘方治. 大型沉井的纠偏[J]. 铁道建筑技术, 2002(2): 40—41.
- [2]施井中. 浅谈沉井工程在软土层中的施工[J]. 岩土工程界, 2003(7): 43—44.
- [3]房桢. 沉井倾斜纠偏[J]. 水运工程, 2000(6): 39—41.
- [4]交通部第一公路工程总公司. 公路施工手册: 桥涵(上册)[M], 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [5]DGJ 08-90-2000, 水利工程质量检验评定标准(试行)[S].
- [6]SL 27-91, 水闸施工规范[S].
- [7]DGJ 08-11-1999, 地基基础设计规范[S].
- [8]GBJ 141-90, 给水排水构筑物施工及验收规范[S].
- [9]JTJ 071-98, 公路工程质量检验评定标准[S].

## 上海市南汇区有座名叫“连碧花桥”的古桥

南汇区水务局在对该区农桥进行调查时,发现在偏僻的新场镇坦东村五灶港河上,有一座年逾 500 岁的古桥,名叫“连碧花桥”。该桥南北向,桥高 3 m,宽 3 m,长 16.8 m,南北各有 20 级石阶,桥两侧的雕花石栏杆已全部消失,桥缝隙之间长着野草,但桥的踏步条石还算完整,结构坚固。

据南汇县水利志记载,最早的“连碧花桥”是用青石建造的,因年久光滑,行人常常跌倒。明朝弘治十五年(1502 年)又用花岗石重建,距今已经有 503 a 历史。在拱桥洞中,可以看到桥底下由古代石匠刻下的“大明弘治十五年”几个字。