

南京长江4桥北锚碇沉井的排水下沉分析

穆保岗¹, 朱建民¹, 龚维明¹, 牛亚洲²

(1. 东南大学土木工程学院, 南京 210096; 2. 中交第二公路工程局有限公司, 西安 710075)

摘要:结合南京长江4桥北锚碇沉井的施工特点,在现场抽水试验基础上,综合确定了沉井排水下沉期间的渗透系数,由此理论计算单井出水量、总涌水量等并进行排水设计,实际涌水量略大于理论值;根据有效应力原理,认为沉井降水对潜水含水层的影响很小,沉降主要由承压水含水层压缩引起,由此得到的沉降曲线与实测结果总体吻合较好。

关键词:沉井;渗透系数;降排水下沉;涌水量;沉降

中图分类号:TU473.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2010)05-0135-07

Dewater Sinking Analysis of North Anchorage Caisson for the Fourth Nanjing Yangtze River Bridge

MU Bao-gang¹, ZHU Jian-min¹, GONG Wei-ming¹, NIU Ya-zhou²

(1. School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, P. R. China;

2. CCCC Second Highway Engineering Co., Ltd, Xi'an 710075, P. R. China)

Abstract: Combined with construction of north anchorage caisson, field pumping tests were carried out. Permeability coefficient was acquired for dewater sinking. Water yield of single well and total water inflow of caisson excavation were calculated. It is found that the measured amount of total water inflow is slightly larger than the theoretical value. Based on effective stress principle, the compression of phreatic water aquifer caused by dewater is almost negligible, and the ground settlement is mainly composed of confined water aquifer compression. The calculated settlement curve along the levee was in good agreement with the measured data.

Key words: caisson; permeability coefficient; dewater sinking; water yield; settlement

南京长江第4大桥为双塔3跨悬索桥,主桥跨径(166+410.2)+1 418+(363.4+118.4)=2 476 m,北锚碇为重力式锚碇,基础采用图1所示的沉井结构,其顺桥向长69 m,横桥向宽58 m,高52.8 m,平面尺寸为世界第一。

沉井可以分为排水下沉和不排水下沉。排水下沉作业面可见,利于对沉井姿态控制,且费用相对低廉。降排水下沉的综合效率优势明显,故北锚碇沉井拟采用前期降排水下沉,后期不排水下沉的施工方案,并力争在汛期到来之前完成降排水下沉。

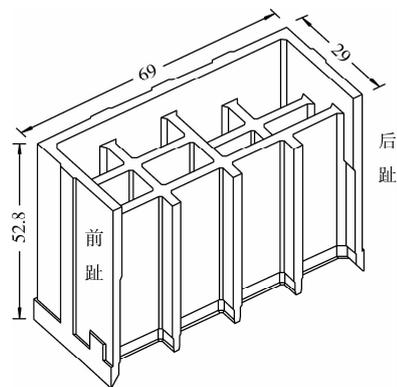


图1 沉井半结构图

收稿日期:2010-03-15

作者简介:穆保岗(1974-),男,博士,副教授,主要从事岩土工程和地下结构方面的研究,
(E-mail)mubaogang@seu.edu.cn。

该沉井平面上共分 20 个井孔,标准节段井孔顺桥向长 14.2 m,横桥向宽 8.68 m;沉井竖向共划分 11 节,首节为钢壳沉井,高 6 m,其余节段为混凝土沉井,第 2~10 节高 5 m,第 11 节高 1.8 m。

拟采用沉井接高和下沉方案为:地面接高前 4 节(21 m),降排水下沉→接高 5、6 节(10 m),→接高 7、8 节(10 m),不排水下沉→接高 9~11 节(11.8 m),不排水下沉。

由于沉井的平面尺寸大,下沉深度大,降水深度大,地质条件复杂,加之沉井紧临长江,地下水与长江水互相补给,其降排水设计与施工都具有一定的难度;沉井南侧 120 m 即为长江大堤,如何在下沉期间保证大堤的安全也是沉井降排水设计和施工的重要考虑因素。

表 1 为北锚碇的地质情况表,北锚碇区地层大体可分为上部软弱土层和下部砂土层,并以第 9 层密实卵砾石层作为沉井的持力层。

地下水分为潜水和承压水 2 类,其中潜水水位埋深约 1.8~3.3 m,接受大气降水与田间沟塘水补给,与长江等地表水体有一定水力联系;承压水水位埋深约 12 m,与长江水力联系密切。

表 1 北锚碇区地质情况表

层底 编号	地层 埋深/厚度/ m		岩土特性描述	含水层
	m	m		
1	0.9	0.9	亚粘土:灰黄色,软塑 淤泥质亚粘土:褐灰色,流塑,具层理,层间夹薄层粉砂	潜水
2	3.3	2.4	亚砂土:褐灰色,饱和,软塑,具层理,层间夹薄层粉砂	
3	10.5	7.2	理,层间夹薄层亚粘土,局部较厚	
4	12.0	1.5	淤泥质亚粘土:褐灰色,流塑,具层理,层间夹薄层粉砂	隔水层
5	24.4	12.4	粉砂:灰色,饱和,中密,局部松散,夹亚粘土	承压水
6	28.9	4.5	细砂:灰色,饱和,中密	
7	35.1	6.2	中砂:灰色,饱和,密实	
8	52.2	17.1	细砂:灰色,饱和,密实,夹亚粘土	
9	54.9	2.7	卵砾石、砾砂:黄灰色,饱和,密实	
10	59.2	4.3	细砂:灰色,饱和,密实	
11	64.4	5.2	卵砾石、砾砂:黄灰色,饱和,密实	
12	67.0	2.6	强风化粉砂岩	

国外建造的大型沉井较少,而偏重于室内模型试验^[1-2]和小型沉井^[3],大型沉井主要集中在中国深水桥梁基础上。中国建造的可供借鉴的同类规模的陆地沉井,到目前为止有江阴大桥北锚碇沉井^[4],泰

州大桥南、北锚碇沉井^[5-6]共 3 座,目前正在准备修建的马鞍山大桥亦采用大型沉井。由于工程地质和人文地质条件不同,对周边环境影响的计算,尤其是附近的长江大堤沉降,均建立在现场监测基础上^[7],对于缺乏沉降观测资料的场地区域,抽水引起地面沉降量的估算方法和模型较为繁杂,尚无一套简明有效的通用手段而采用个案试验实测的方法^[8-10]。结合南京长江第 4 桥北锚碇沉井的施工,对降排水设计和长江大堤沉降计算 2 个问题进行了分析。

1 现场抽水试验

1.1 试验概况

对北锚碇区水文地质条件和工程特点的分析可知,地下水对沉井下沉影响的主要为上部承压水,为了获得准确的渗透系数和确定抽水工艺,针对上部承压水设计了抽水试验。设抽水井 1 个(JS06),观测井 2 个 G1、G2、G3 为备用井,具体布置见图 2。

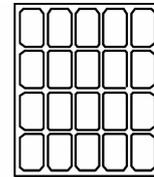


图 2 试验井布置图

主井和观测井分别采用 $\varphi 600$ mm、 $\varphi 350$ mm 3 翼螺旋合金钻头施工,一次性成孔。循环液采用自造浆,泥浆较稀,利于洗井,试验井参数见表 2。

表 2 抽水试验井参数表

井号	钻孔孔径/ mm	井深/ m	井径/ mm	滤管长/ m	砾料厚/ m
JS06	600	35	273	20	25
G1	350	30	159	16	20
G2	350	30	159	16	20
G3	350	30	159	16	20

抽水试验共进行 3 个降深,试验时间为 2008 年 10 月 15 日至 10 月 19 日。各次降深分别为 2.47、8.59 和 14.78 m,出水量分别为 20 m³/h、80 m³/h 和 125 m³/h,稳定时间分别 8 h、8 h、12 h。

抽水历时曲线见下图 3、4、5,抽水试验数据见

表 3。

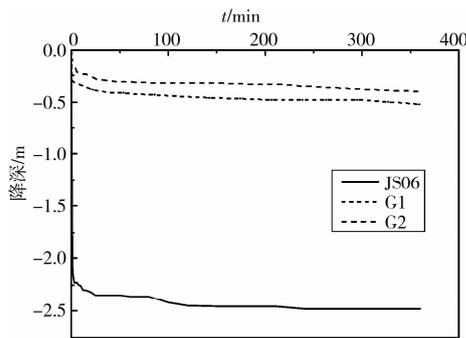


图 3 20 m³/h 抽水历时曲线

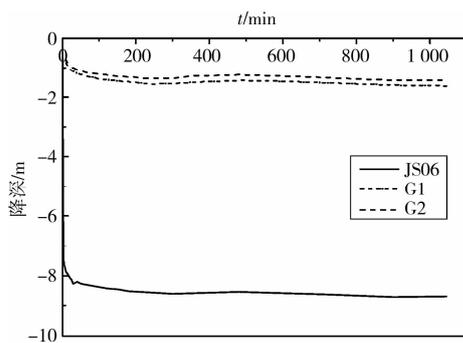


图 4 80 m³/h 抽水历时曲线

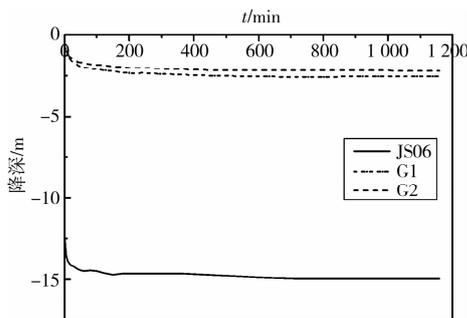


图 5 25 m³/h 抽水历时曲线

表 3 主井和观测井抽水试验结果

序号	JS06/m		G1/m		G2/m		Q/ (m³·h⁻¹)
	埋深	降深	埋深	降深	埋深	降深	
1	3.57	2.47	1.689	0.489	1.876	0.356	31.9
2	9.69	8.59	2.693	1.713	2.839	1.339	114.9
3	15.96	14.78	3.70	2.45	1.46	2.04	195.6

流量 Q 和降深 S 关系见图 6。

上述曲线表明,试验井成井质量较好,主井出水量大,观测井反映灵敏。

1.2 渗透系数(K)的计算

1.2.1 采用稳定流求参 承压水非完整井(含水层上部)单井渗透系数计算公式^[9]为

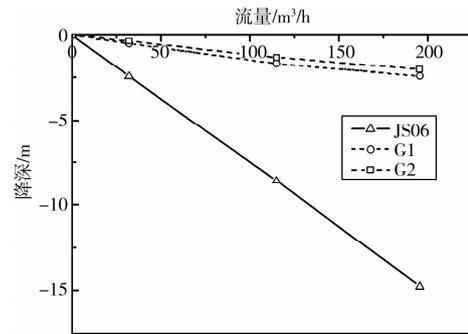


图 6 Q-S 曲线

$$K = \frac{0.366Q}{lS} \lg \frac{al}{r} \quad \alpha = 1.6 \quad (1)$$

承压水非完整井(含水层上部)多孔渗透系数计算公式为:

$$K = \frac{0.16Q}{l(S_1 - S_2)} \left(\operatorname{arsh} \frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l}{r_2} \right) \quad (2)$$

其中:K 为渗透系数(m/d);Q 为涌水量(m³/d);r₁、r₂ 为抽水孔至观测孔之间的距离(m);S₁、S₂ 为观测孔内的水位降深(m);l 为过滤器有效长度(m)。

代入数据,计算结果见表 4—6。

表 4 按照承压非完整井单井计算结果

孔号	Q	l	r	a	S	K/(m·d ⁻¹)	平均
JS06	31.9	20.5	0.136 5	1.6	2.47	13.17	
JS06	114.9	20.5	0.136 5	1.6	8.59	13.60	13.42
JS06	195.6	20.5	0.136 5	1.6	14.78	13.50	

表 5 承压非完整井带一个观测井计算结果

孔号	S _w	S ₁	r _w	r ₁	Q	L	K/(m·d ⁻¹)	平均
JS06/G1	2.47	0.489	0.136 5	10	31.9	20.5	11.68	
JS06/G1	8.59	1.713	0.136 5	10	114.9	20.5	12.11	
JS06/G1	14.78	2.45	0.136 5	10	195.6	20.5	11.50	
JS06/G2	2.47	0.356	0.136 5	24.91	31.9	20.5	14.98	13.58
JS06/G2	8.59	1.339	0.136 5	24.91	114.9	20.5	15.97	
JS06/G2	14.78	2.04	0.136 5	24.91	195.6	20.5	15.24	

表 6 承压非完整井带 2 个观测井计算结果

孔号	S ₁	S ₂	r ₁	r ₂	Q	L	K/(m·d ⁻¹)	平均
G1	0.49	0.36	10	24.91	31.9	20.5	32.15	
G2	1.71	1.34	10	24.91	114.9	20.5	41.20	36.99
G1	2.45	2.04	10	24.91	195.6	20.5	37.59	
G2								

可见,采用稳定流求参的方法,前 2 种计算结果较为接近,而采用 2 个观测井的计算结果明显偏大。

1.2.2 采用非稳定流求参

1) 直线解析法

在抽水流量为定值时,且观测井距抽水井的距离 r 已测定后,降深和时间是对数函数关系,绘在单对数纸上应是一条直线^[11]。设在 t_1 、 t_2 时测得观测井的水位降深为 S_1 、 S_2 ,则有:

$$S_1 = \frac{2.3Q}{4\pi T} \lg \frac{2.25at_1}{r^2} \quad (3)$$

$$S_2 = \frac{2.3Q}{4\pi T} \lg \frac{2.25at_2}{r^2} \quad (4)$$

解上 2 式得:

$$S_2 - S_1 = \frac{0.183Q}{T} \lg \frac{t_2}{t_1} \quad (5)$$

当取 $t_2 = 10t_1$ 时,则有:

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta S} \quad \Delta S = S_2 - S_1 \quad (6)$$

再根据公式 $K = T/M$ 求得承压水含水层的渗透系数,结果详见表 7。

表 7 直线解析法计算结果

孔号	Q	M	t_1	t_2	S_1	S_2	$K/(m \cdot d^{-1})$	平均
G1	31.9	55	2	20	0.31	0.12	36.40	
G2	114.9	55	2	20	0.38	0.26	23.39	
G1	195.6	55	2	20	0.42	0.34	14.80	20.6
G2	31.9	55	2	20	1.04	0.91	16.10	
G1	114.9	55	2	20	0.58	0.44	16.62	
G2	195.6	55	2	20	1.52	1.40	16.27	

2) 水位恢复法(两点法)

设在水位开始恢复后 t_1 、 t_2 时测得观测井的水位降深为 S_1 、 S_2 ,当 $u < 0.1$ 时,则有

$$T = \frac{0.183Q}{S_2 - S_1} \lg \frac{t_1}{t_2} \quad (7)$$

由 $K = T/M$ 可得到所求的含水层渗透系数 K ,详见表 8。

表 8 两点法计算结果

孔号	Q	M	t_1	t_2	S_1	S_2	$K/(m \cdot d^{-1})$	平均
G1	31.9	55	2	20	0.21	0.10	14.15	
G2	114.9	55	2	20	0.39	0.25	16.98	
G1	195.6	55	2	20	0.31	0.27	12.92	14.91
G2	31.9	55	2	20	1.02	0.88	16.68	
G1	114.9	55	2	20	0.42	0.33	13.12	
G2	195.6	55	2	20	1.61	1.33	15.62	

1.3 计算结果讨论

根据南京长江沿岸水文地质勘察资料,平行于长江方向与垂直于长江方向的含水层渗透系数变化较小,其中平行于长江方向的含水层渗透系数略小于垂直长江方向的含水层渗透系数,从整体上该含

水层可视为一个各向同性的承压含水层;在该含水层中由于地层岩性的分布不均匀,沉积厚度的不同,又造成含水层在不同地段含水层渗透系数相差较大;因此,该含水层应视为一个非均质各向同性的承压含水系统。

分析表明:针对拟建锚碇区的水文地质条件,选择不同的数学计算公式,所计算的结果存在一定的差异,渗透系数 K 在 13.42~36.99 m/d 范围内,用抽水井参与计算的数值均偏小,考虑到抽水井近距离周边流速快,呈紊流状态,形成的水跃值较大,因此计算结果比实际偏小将以上各种算法累加求和,取其平均值为 19.9 m/d,接近采用非稳定流解得的平均值。

2 沉井降水计算

2.1 沉井涌水量

沉井总涌水量由潜水含水层和承压水含水层 2 部分组成,各含水层的涌水量可按“大井法”计算。

沉井涌水量计算等效半径

$$r_0 = 0.29(a+b) = 36.83 \text{ m} \quad (8)$$

1) 潜水含水层涌水量

本含水层渗透系数取 $K=1.84$ m/d,含水层厚度 $H=6.6$ m,水位降深 $S=6.1$ m,降水影响半径:

$$R = 2S \sqrt{HK} = 42.51 \text{ m} \quad (9)$$

涌水量可按均质含水层潜水完整井,降水远离边界的情况计算^[12]:

$$Q = 1.366 K \frac{(2H-S)S}{\lg\left(1+\frac{R}{r_0}\right)} = 326.6 \text{ m}^3/\text{d} \quad (10)$$

可见其涌水量不大,可不作为考虑重点。

2) 承压水含水层涌水量

含水层渗透系数取 $K=19.90$ m/d,含水层厚度 $M=55$ m,承压水静止水位埋深 1.1 m,考虑开挖深度 20 m,降水面在开挖面以下 1.0 m,则沉井中心水位降深 $S=19.9$ m,降水影响半径

$$R = 10S \sqrt{K} = 887.7 \text{ m} \quad (11)$$

按照基坑规范验算,涌水量可按均质含水层承压一潜水非完整井计算^[13]:

$$Q = 1.366 K \frac{(2H-M)M - h^2}{\lg\left(1+\frac{R}{r_0}\right)} = 39132.5 \text{ m}^3/\text{d} \quad (12)$$

按照基坑手册验算,涌水量可按均质含水层承压一潜水非完整井,岸边降水模型计算^[12],近似取井中心至直线补给边界距离为 $120+36.83=156.83$ m,则有:

$$Q = \frac{\pi K \left[(2H-M)M - \left(\frac{l}{2}\right)^2 \right]}{\ln \frac{2b}{r_0}} +$$

$$\frac{2\pi K T S}{\ln \frac{2b}{T} + \xi} = 37\,909.4 \text{ m}^3/\text{d} \quad (13)$$

可见承压水含水层涌水量很大,且按 2 种方法的计算结果较为接近,取其中较大者控制降排水设计。

2.2 计算参数讨论

需要说明的是,含水层影响半径 R 并不是固定不变的,随管井的水位降深的增大,含水层的影响半径也随之增大。

有 2 个观测孔计算承压含水层影响半径的公式:

$$\lg R = \frac{S_1 \lg r_2 - S_2 \lg r_1}{S_1 - S_2} \quad (14)$$

式中, R 为影响半径, m; S_1 、 S_2 为观测孔内水位降深, m; r_1 、 r_2 为抽水孔至观测孔之间的距离, m。

按照上述实验结果计算如表 9。

表 9 2 个观测孔计算影响半径结果

	S_1	S_2	r_1	r_2	Q	R
G1/G2	0.489	0.356	10	24.91	31.9	286.64
G1/G2	1.713	1.339	10	24.91	114.9	653.84
G1/G2	2.45	2.04	10	24.91	195.6	2336.52

由于抽水试验工程紧邻长江大堤,抽水含水层顶板埋深仅有 12.0 m,长江河床的厚度远超过了该埋置深度,长江河床穿过了该含水层的顶板,形成的地下水与长江水之间的水力联系较为密切,即一旦抽取该地段的地下水,长江水就构成了定水头补给边界。可以判定,在抽水试验该地区,其地下水的影响半径是不对称的,因此,随着抽水水位下降,其影响半径是不断的向外扩展,而南部只能扩展到长江水域。

2.3 降水井布设

1) 管井出水量

按沉井外侧 10 m 左右布井,取 1:10 的水力坡降,降水井处水位埋深约 25 m;降水井过滤器置于承压水含水层,深度为 13~34 m,管径 $r_s=325$ mm,暂不考虑井损,则有效过滤器长 $l=9$ m,得到单井出水量

$$q = 120\pi r_s l \sqrt[3]{K} = 1\,493 \text{ m}^3/\text{d} \quad (15)$$

2) 降水井数量

降水井的井点数

$$n = 1.1Q/q = 29 \quad (16)$$

考虑到计算参数和计算方法的可能偏差,总井数最终取为 32。

平面布井时应做到近大堤侧稀,远大堤侧密,以便在能够满足沉井降水要求的前提下,使降水对长江大堤产生的影响最小。最终根据现场条件情况,

并参考以往工程经验^[14-16],降水井分 2 排布设于沉井环道外侧,距沉井侧边的距离分别为 17 m 和 22 m,见图 7。

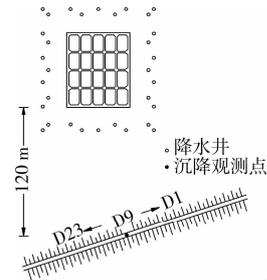


图 7 大堤位置

3 长江大堤沉降计算

当降水引起地下水位下降时,土中的孔隙水应力减小,而总应力基本维持不变,由此将导致土体中的有效应力增加,土体骨架压缩引起地面沉降。目前普遍采用 Terzaghi(1925 年)提出的有效应力原理,认为地下水压力的降低导致有效应力的增大是含水层压密的原因。

对于该场地而言,承压含水层基本为砂土层,含水砂层的变形与水位变化相关性较好,一般认为其峰值能互对应^[17-18]。含水砂层的压缩量较小,满足弹性变形规律,可用简约的分层总加法求解。

3.1 潜水含水层压缩量

对潜水含水层而言,沉井的降水影响半径仅为 42.51 m,远小于沉井到长江大堤的距离 120 m,即该处潜水水位不会因沉井降水而改变;若隔水层效果好,不存在潜水和承压水的互相补给,则承压含水层降水也不会引起潜水水位的变化;这 2 种情况都不会使潜水含水层的有效应力改变,从而也不会产生压缩沉降。

较为不利的情况则是隔水层效果不好,潜水向下补给承压水造成其水位下降,但因为上部软土固结的竖向渗透系数很小,这一过程通常发生的很缓慢,而沉井的降水持续时间只有半个月左右,而且是分阶段降低地下水位,即使土层产生压缩固结,其值也会很小。

综上所述,可忽略潜水含水层在降水期间的沉降。

3.2 承压水含水层压缩量

在沉井降水过程中,长江大堤附近水位降深仍将处于承压顶板之上(即水压下降,但静止水位仍高于隔水层顶板),若水头下降了 Δh ,则整个承压含水层孔隙水应力均降低 $r_w \Delta h$,其有效应力均增加 $r_w \Delta h$ 。

由于整个承压水含水层以砂土为主,产生的压

缩量为土骨架的压缩,并且会很快完成,因此当作为沉降计算的重点。

1) 水位降深计算

对于本工程的降水特点而言(承压~潜水非完整井),现有理论尚无法准确处理水位降深问题,考虑到沉井离大堤尚有一定距离,故可以近似取完整井计算^[7]

$$S = \frac{1}{2\pi KM} \left(\sum_{i=1}^n Q_i \ln \left(\frac{R_i}{r_i} \right) \right) \quad (17)$$

式中 Q_i 为单井涌水量,按总涌水量取平均; r_i 为降水井到计算点距离; R_i 为降水井影响半径。

2) 压缩量计算

按(17)式计算出大堤沿线点水位降深 Δh 后,即得该处有效应力增量 $r_w \Delta h$,进而可根据土体的压缩模量求解总压缩量。

$$\Delta S = \sum_{i=1}^n \frac{r_w \Delta h}{E_{si}} \quad (18)$$

考虑到计算点埋深、土体原位应力状态以及原状土的结构强度等因素时,现场压缩模量 E_s 值要大于室内试验的结果。现把承压水含水层做为整体计算,根据北锚碇区地质土层的标贯击数 N 与压缩模量间的经验公式,可以取整体加权平均的砂层压缩模量^[19],取 $E_s = 100$ MPa,得到图 8 中所示的理论沉降曲线。

3.3 长江大堤沉降控制

目前中国堤防运行管理期变形控制尚未形成统一标准,按照相关经验和规定,对重要堤防控制沉降差小于 1%,可以避免不均匀沉降引起的堤防开裂,因此大堤沉降控制标准取为堤身高度的 1%,即 45 mm 作为警戒值。

为保证长江堤防的安全,一方面施工现场应以观测为主,加强降水过程中的大堤监控,确保沉降不超标;另一方面,若长江大堤最大沉降接近警戒值,而沉井尚未下沉到位,则可采用回灌井等应急措施^[20]。

4 降水和沉降监控结果

4.1 降水监控情况

沉井前 4 节 21 m 接高完毕后,从 2009 年 5 月 18 日开始首次降排水下沉,到 6 月 2 日下沉结束,历时 15 d,沉井下沉深度 19.6 m,下沉量 15.6 m。最大日下沉量 1.95 m,最小日下沉量 0.06 m,平均日下沉量 1.04 m。

下沉到位时的沉井顺桥向倾斜度 1/335,横桥向倾斜度 1/707,沉井扭转角 36",沉井顺桥向最大偏位 53 mm,横桥向最大偏位 91 mm,几何姿态正常。

沉井降排水下沉时,首先开启周边 8 口井降水,

随着下沉深度的不断增加再逐步加大降水力度,沉井下沉到位时最终开启了 25 口管井降水,根据各井的工作状况统计最大日抽水量约 42 000 m³。

从降水方案和实际情况的比较来看,设计方案总体上是成功的,它可为后续类似工程提供指导和借鉴;沉井总涌水量计算结果比实际情况偏小 8% 左右,单井出水能力计算公式的结果比真实值偏小约 12%,由于布井时的富余量,仍保证了降水目标的顺利实现。

造成涌水量计算结果偏差的原因可能在于 K 的试验取值方法,也可能在于计算公式本身的误差,以及群井间的互相干扰等,可积累更多资料后再详细研究。

4.2 长江大堤沉降监控结果

沉井下沉过程中每日两次对长江大堤沉降进行了监控测量,2009 年 6 月 2 日沉井下沉到位时,沉降也发展到了最大程度,图 8 为危险地段 500 m 范围内的堤身沿线沉降曲线对照图,虚线圈出范围内的测点因受施工便道和往来车辆碾压影响,其降水引发的沉降当比给出的测量值要小。从沉降预测和

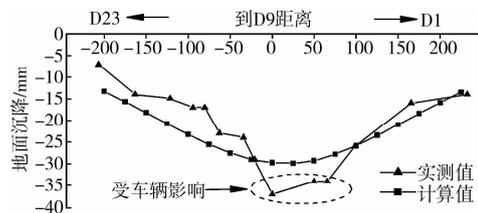


图 8 堤身沿线沉降比较

实际情况的比较来看,事先根据有效应力原理计算的沉降趋势和数值大小还是较为吻合的,计算思路和计算方法可为后续类似工程提供指导和借鉴;预测的沉降最大值约 30 mm,位置在 D9 点附近,监测结果表明最大沉降为 D9 点的 37 mm,峰值误差为 19%,由于实测曲线峰值点附近受施工运输车辆影响较大,但较难扣除这部分的影响量;从两条曲线形状来看,非峰值部位预测结果略偏大,总体上二者的吻合程度还是较好的。

5 结论

南京长江 4 桥北锚碇沉井下沉难度大,对沉井本身安全控制和对周边大堤影响显得尤为重要。在进行理论分析计算和现场实测情况对比后,得到如下结论:

1) 深层降水的渗透系数对涌水量、影响半径、水位降深、大堤沉降等均有直接影响,但其大小受计算方法影响较大,必须结合本地区的经验数值确定。就该工程而言,实际涌水量和理论涌水量的差别较小,可以验证采用非稳定渗流解的平均值较为接近

实际情况。

2)北锚碇沉井降排水设计计算表明,按基坑规范规定计算方法得到的总涌水量比现场量测结果偏小8%左右,按经验公式计算的单井出水量比现场值偏小12%左右。

3)从有效应力原理出发计算沉井附近长江大堤堤身沉降。根据降水计算结果,认为潜水含水层压缩量很小,大堤沉降主要由承压水含水层压缩引起,由此得到的沉降分布曲线总体上与实测结果吻合程度较高,对短期的深层降水引起的地面沉降可以采用分层综合法进行估算。

参考文献:

- [1] REESE. Analysis and Design of Shallow and Deep Foundations[M]. New Jersey John Wiley & Sons, Inc. 2006.
- [2] CHEN W, ZHOU H, RANDOLPH M F. Effect of installation method on external shaft friction of caissons in soft clay [J]. The Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2009,135(5):605-615.
- [3] ALLENBY D, WALEY G, KILBURN D. Examples of open caisson sinking in Scotland [C]// Geotechnical Engineering 162 issue GEI,2009.
- [4] 陈光福. 江阴长江公路大桥特大型沉井施工述评[J]. 土工基础, 1999, 13(3): 24-28,13.
CHEN GUANG-FU. The construction of the large caisson in Jiangyin Highway Bridge [J]. Soil Engineering and Foundation, 1999, 3: 24-28,13.
- [5] 陶建山. 泰州大桥南锚碇巨型沉井排水下沉施工技术[J]. 铁道工程学报, 2009(1): 63-66.
TAO JIAN-SHAN. Construction technology for draining-sinkage for south caisson anchorage to Taizhou Yangtze River Highway Bridge with large-size sunk well[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009 (1): 63-66.
- [6] 王卫忠. 沉井下沉技术在泰州长江公路大桥北锚碇中的应用[J]. 交通科技, 2009, 2(233): 21-24.
WANG WEI-ZHONG. Application of caisson sinking technology at north anchorage to Taizhou Yangtze River Highway Bridge[J]. Transportation Science & Technology, 2009, 2(233): 21-24.
- [7] 陈缪芬. 沉井施工降水时地下水动态分析及对江堤影响的研究[D]. 扬州大学, 2008.
- [8] 黄雅虹, 吕悦军. 北京亦庄轻轨工程场地水位下降引起地面沉降量的评估方法探讨[J]. 岩土力学, 2009, 8(30): 2457-2462.
HUANG YA-HONG, LU YUE-JUN. A method for estimating land subsidence induced by groundwater extraction and its application to site evaluation of Yizhuang light railway in Beijing [J] Rock and Soil Mechanics, 2009, 8(30): 2457-2462.
- [9] 王建秀, 吴林高, 等. 地铁车站深基坑降水诱发沉降机制及计算方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(5): 1010-1019.
WANG JIAN-XIU, WU LIN-GAO, et al. Mechanism of dewatering-induced ground subsidence in deep subway station pit and calculation method [J] Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2009, 28 (5): 1010-1019.
- [10] 唐益群, 栾长青, 等. 上海某地铁站试降水对周边环境的影响分析[J]武汉理工大学学报, 2008, 30(8): 147-151.
TANG YI-QUN, LUAN CHANG-QING, et al. Analysis of the effects of environments for dewatering in a metro station in Shanghai [J]. Journal of Wuhan University of Technology 2008, 30(8): 147-151.
- [11] 姚天强, 石振华. 基坑降水手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [12] ALLAN R, Cherry A JOHN Groundwater [M]. New Jersey, Prentice-Hall Inc, 1979.
- [13] JGJ 120-99 建筑基坑支护技术规程[S].
- [14] 刘建航, 侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [15] 夏明耀, 曾进伦. 地下工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [16] 汪北华. 润扬长江大桥南锚深基坑降水及周边沉降控制研究[D]. 南京: 河海大学, 2004
- [17] LEUNG C F, LEE F H, KHOO E. Behavior of gravity cassion on sand [J]. The Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1997, 123(3): 187-196.
- [18] CRAWFORD C B, MCCAMMON N R, BUTLER R C. DEEP-Seated consolidation settlements in the Fraser River delta [J]. Can. Geotech. J. 1991, 28(2): 298-303.
- [19] 王翠英, 黄理兴, 段卫昌, 等. 深基坑降水引起周边地面沉降量值计算修正系数 Ms 的确定[J]. 岩土力学, 2006, 27(6): 1011-1016.
WANG CUI-YING, HUANG LI-XING, DUAN WEI-CHANG, et al. Determination of coefficient Ms during calculation of surrounding ground settlement due to foundation pit dewatering [J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(6): 1011-1016.
- [20] 吴林高. 工程降水设计施工与基坑渗流理论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

(编辑 胡玲)