

闸基坑降水对既有建筑物的影响分析

赵方舟¹, 赵道双²

(1. 南京林业大学, 江苏 南京 210037; 2. 镇江市工程勘测设计研究院, 江苏 镇江 212003)

摘要: 随着人们对建(构)筑物地下空间利用的不断扩大以及施工的需要, 基坑降水应用越来越多, 而基坑降水产生地基不均匀沉降, 对周围建筑物常引起破坏。本文从龟山闸基坑降水的工程实例, 分析降水对建筑物的沉降影响。

关键词: 基坑降水; 地面沉降; 计算分析

中图分类号: TV662 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2016) 05-0025-05

Analysis of effects on existing buildings by dewatering of sluice gate foundation pit

ZHAO Fangzhou¹, ZHAO Daoshuang²

(1. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu;

2. Zhenjiang Engineering Surveying and Design Institute, Zhenjiang 212003, Jiangsu)

Abstract: With the expanding use of underground space and the needs of construction, the dewatering of foundation pit is more and more applied. On the other side, the uneven settlement often causes damage to surrounding buildings. Taking dewatering of Guishan sluice gate foundation pit as an example, settlement effects on buildings by dewatering are analyzed.

Key words: dewatering of foundation pit; ground settlement; calculation and analysis

1 工程概况

镇江新建龟山闸位于镇江市新区捆山河上, 为该河道上一座重要的水工建筑物。拟建闸站基坑长 70.6 m, 宽 60 m, 坑内底高程为 -4.0 m (1985 国家高程, 下同), 支护形式为水泥土深层搅拌桩围护加固, 放坡开挖。场地地下水位较高, 采取了管井降水。降水后附近既有厂房建筑物临基坑一侧基础及墙体发生严重开裂破坏, 墙面裂缝 1 ~ 50 mm, 直接影响了建筑物的正常使用。

2 基坑环境条件

基坑周围地形较平坦, 平均高程为 5.5 m, 地

貌单元为长江冲积平原。向北约 300 m 为长江河漫滩, 基坑西侧为现状既有建筑物, 基坑与既有建筑物计算剖面最近距离为 51.2 m。既有建筑物为 1 层建筑物, 长 55 m, 宽 21 m, 高度 12 m, 为砖混结构, 据调查建于 20 世纪 80 年代, 基础类型为条形基础, 基础宽度约 1.0 m, 埋深约 1.5 m。

基坑深度为 9.5 m, 综合考虑基坑周边环境、地质条件和基坑深度等因素, 基坑支护结构安全等级为二级。

3 基坑降水设计

基坑降水方式为管井降水, 管井沿基坑周边布置, 管径为 500 mm, 管井底高程为 -20.0 m, 建

收稿日期: 2015-12-22

作者简介: 赵方舟 (1992-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向为土木工程岩土工程。

筑物及管井平面位置如图 1。

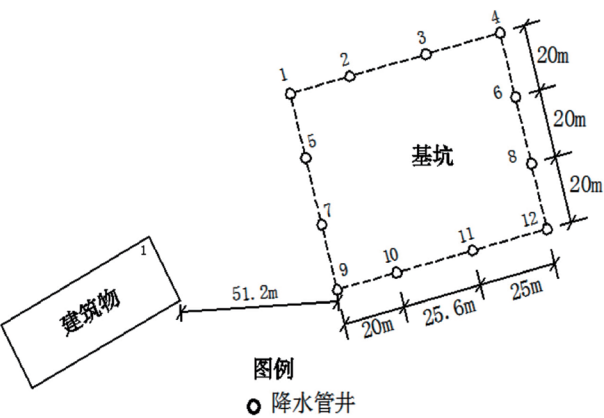


图 1 建筑物及降水井平面布置示意图

4 场地工程地质条件

4.1 地基土主要物理力学性质

拟建场地地貌单元为长江冲积平原，微地貌单元为长江老河漫滩。土层主要由软弱土层及砂性土为主，为长江近代新近松散碎屑沉积物。建筑物场地的地基土层自上而下分为以下层次：

第①层素填土 ($Q_{4^{ml}}$)：以褐黄色、灰黄色粉质粘土为主，混碎石块等。本层较松散，稍湿，层厚较均匀，平均厚度为 1.9 m，层底高程 3.65 m。

第②层粉质粘土 ($Q_{4^{al}}$)：褐黄色粉质粘土，夹粉砂、粉土，可塑～软塑，湿，平均厚度为 1.5 m，层底高程 2.15 m。

第③层淤泥质粉质粘土夹粉砂 ($Q_{4^{al}}$)：灰色，饱和，流塑，夹薄层粉砂，高含水量，高压缩性，平均厚度为 16.2 m，层底高程 -14.0 m。

第④层粉质粘土夹粉砂 ($Q_{4^{al}}$)：青灰色，饱和，软塑，局部为砂与土互层^[1]。

各地基土层剖面分布见图 2，土的主要物理

力学性质如表 1。

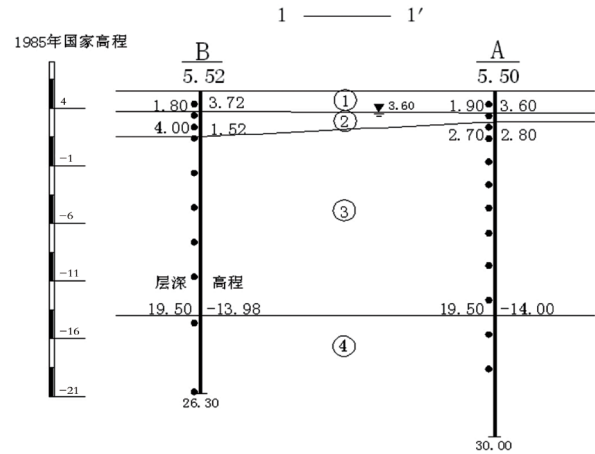


图 2 工程地质剖面图

4.2 水文地质条件简述

场地位于长江右岸，为长江老河漫滩。地下水类型主要为第四系松散碎屑沉积物孔隙性潜水，地下水位平均稳定水位为 3.6 m。

第②、③、④层土均为含水层，土层各向渗透性局部欠均匀，土层中夹薄层粉细砂层，局部层理发育，一般水平方向渗透性较垂直方向大。根据规范^[2]判别，各土体渗透性分级为弱透水～中等透水。室内渗透试验测得各层土渗透系数见表 2。

5 抽水参数计算模型选择

地基土局部成层性，夹砂层，各层土渗透连通性较好。基坑降水抽水过程中，采用近似潜水完整井计算模型。

5.1 渗透系数计算

基坑降水抽水过程中，地下水降落漏斗范围内由于水流方向不同，有地下水水流方向与土层层面水平、垂直或斜交三种情况。水流方向平行、垂直层面时的平均渗透系数由以下公式求得：

表 1 地基土主要物理力学性质表

	含水率	湿密度	孔隙比	液限	塑限	塑性指数	液性指数	内聚力	内摩擦角	压缩模量	压缩系数	承载力特征值
层号	W	ρ	e	W_l	W_p	I_p	I_l	C_k	ϕ_k	E_s	a_{1-2}	fak
	%	g/cm^3		%	%	%		kPa	度	MPa	MPa^{-1}	kPa
①	28.100	1.900	0.836	34.500	22.100	12.400	0.480	8	11	4.900	0.400	
②	33.200	1.870	0.941	40.500	25.900	14.600	0.500	14	10	4.600	0.424	80
③	35.300	1.860	1.002	31.600	20.900	10.600	1.370	6	13	4.000	0.488	70
④	32.200	1.850	0.929	30.000	20.100	10.000	1.240	6	19	4.500	0.455	100

表 2 地基土渗透系数表

层号	水平方向	垂直方向
	K_h (m/d)	K_v (m/d)
①	0.39	0.59
②	0.09	0.05
③	0.35	0.07
④	0.54	0.08

水流方向平行层面时的平均渗透计算公式：

$$\overline{k_h} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i h_i}{h}$$

(1)

水流方向垂直层面时的平均渗透计算公式：

$$\overline{k_v} = \frac{h}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{k_i}}$$

(2)

式中：

$\overline{k_h}$ —水流方向平行层面时的平均渗透系数 (m/d)；

$\overline{k_v}$ —水流方向垂直层面时的平均渗透系数 (m/d)；

k_i —第*i*层土渗透系数 (m/d)；

h_i —第*i*层含水层的厚度 (m)；

h —含水层的总厚度 (m)。

可以证明，水流方向平行层面时的平均渗透系数大于水流方向垂直层面时的平均渗透系数。本场地地基土层降水过程中按不利条件考虑，取水流方向平行层面方向的平均渗透系数计算基坑降水影响半径。平均渗透系数计算如表 3。

表 3 平均渗透系数计算表

层号	h_i (m)	h (m)	k_i (m/d)	k (m/d)
②	1.5		0.09	
③	16.2	23.7	0.35	0.38
④	6.0		0.54	

5.2 影响半径计算

根据《建筑基坑支护技术规范》(JGJ120-2012)，潜水含水层影响半径计算采用库萨金经验公式：

$$R = 2S_w \sqrt{kH}$$

(3)

式中：

R —影响半径 (m)；

S_w —水井水位降深 (m)，当井水位降深小于 10m 时，取 $S_w=10$ m；

k —含水层渗透系数 (m/d)；

H —含水层的厚度 (m)。

基坑施工前地下水稳定水位为 3.6 m，基坑底高程为 -4.0 m，取降水后基坑内水位低于坑底 1.0 m。本工程基坑水位降深小于 10 m，取 $S_w=10$ m； $K=0.38$ m/d； $H=3.6-(-20.0)=23.6$ m；

由公式 (3) 得： $R=60$ m。

5.3 基坑降水总涌水量计算

基坑各管井抽水组成干扰井群，基坑降水总流量采用大井法计算。潜水完整井的基坑降水总流量计算公式^[3]：

$$Q = \pi k \frac{(2H - S_d)S_d}{\ln(1 + \frac{R}{r_0})}$$

(4)

式中：

Q —基坑降水总涌水量 (m³/d)；

k —含水层渗透系数 (m/d)；

H —潜水含水层厚度 (m)；

S_d —基坑地下水水位的设计降深 (m)；

R —降水影响半径 (m)；

r_0 —基坑等效半径 (m)，可按 $r_0 = \sqrt{A/\pi}$ 计算；

A —基坑面积 (m²)。

本基坑工程降水过程中，按公式 (4) 计算基坑降水总涌水量：

$K=0.38$ m/d； $H=23.6$ m； $S_d=3.6-(-5)=8.6$ m；

$r_0 = \sqrt{A/\pi} = \sqrt{(70.6 \times 60)/\pi} = 36.7$ m，

求得： $Q=409$ m³/d。

5.4 地下水降深计算

基坑降水多个管井计算简化成干扰井群计算，潜水泵群任意点水位降深计算公式^[4]：

$$S_r = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{1.366k} \left[\lg R - \frac{1}{n} \lg(r_1 r_2 r_3 \cdots r_n) \right]} \quad (5)$$

式中:

S_r —任意距离计算点水位降深(m);

H —含水层的厚度(m);

Q —各抽水井总流量(m^3/d);

k —含水层渗透系数(m/d);

R —基坑降水影响半径(m),等于基坑等效半径与井降水影响半径之和;

n —抽水井总数;

$r_1, r_2, r_3, \cdots, r_n$ —计算点至各抽水井的距离(m)。

本基坑工程降水实例:

计算剖面 A 处: $n=12$; $r_1=70.9\text{ m}$; $r_2=86.2\text{ m}$; $r_3=108.1\text{ m}$; $r_4=130.8\text{ m}$; $r_5=58.7\text{ m}$; $r_6=124.6\text{ m}$; $r_7=51.2\text{ m}$; $r_8=121.2\text{ m}$; $r_9=51.2\text{ m}$; $r_{10}=70.9\text{ m}$; $r_{11}=96.3\text{ m}$; $r_{12}=121.2\text{ m}$; $R=96.7\text{ m}$;

计算剖面 B 处: $n=12$; $r_1=79.2\text{ m}$; $r_2=95.1\text{ m}$; $r_3=117.3\text{ m}$; $r_4=140.2\text{ m}$; $r_5=67.8\text{ m}$; $r_6=134.1\text{ m}$; $r_7=60.7\text{ m}$; $r_8=130.6\text{ m}$; $r_9=59.9\text{ m}$; $r_{10}=79.8\text{ m}$; $r_{11}=105.3\text{ m}$; $r_{12}=130.3\text{ m}$; $R=96.7\text{ m}$;

按公式(5)计算,算得计算剖面 A、B 处地下水位降深 $S_{r_A}=0.86\text{ m}$, $S_{r_B}=0.08\text{ m}$

6 地层变形计算

6.1 计算公式

天然地基最终沉降量包括瞬时沉降、固结沉降及次固结沉降。既有建筑物已建成 30 多年,在降水前可认为最终沉降已基本完成。基坑采用管井降水后,土体中地下水位降低,引起土体孔隙水压力降低,有效应力增大,使土体的固结压缩变形,从而使地层发生沉降。

本工程中计算剖面 B 处水位下降很小,不考虑其附加应力产生的地层沉降,视为未发生沉降变形。下面计算剖面 A 处的地下水引起地层压缩的变形量。

地下水引起地层压缩变形量计算可按《建筑基坑支护技术规范》(JGJ120-2012)公式求得:

$$s = \psi_w \sum \frac{\Delta \sigma'_{zi} \Delta h_i}{E_{si}} \quad (6)$$

式中:

s —计算剖面的地层压缩变形量(m);

ψ_w —沉降计算经验系数,根据地区工程经验取值,无经验时,宜取 $\psi_w=1$;

$\Delta \sigma'_{zi}$ —降水引起的地面下第 i 土层的平均附加有效应力(kPa);

Δh_i —第 i 层土的厚度(m),土层的总计算厚度应按渗流分析或实际土层分布情况确定;

E_{si} —第 i 层土的压缩模量(kPa),应取土的自重应力至自重应力与附加有效应力之和的压力段的压缩模量。

6.2 附加应力计算

场地原地下水稳定水位为 3.6 m,平均埋深为 1.9 m,基坑降水后计算点 A 处降深为 0.86 m,水位下降后,原地下水位下土体自重应力增加,自重应力增量即为附加应力,会引起地层沉降。附加应力大小理论上等于减少的孔隙水压力。见图 3。

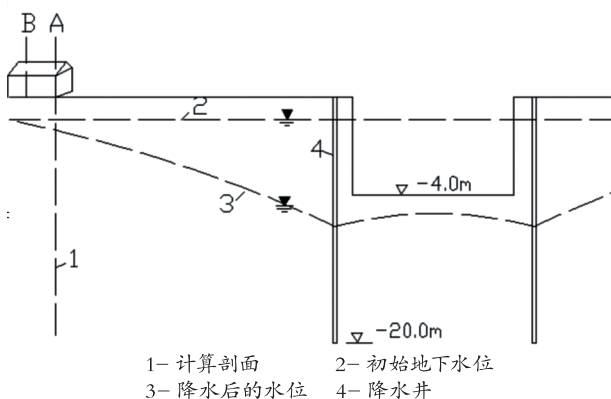


图 3 降水引起的附加有效应力计算

计算剖面处降水增加的附加应力计算^[5]:

$$\Delta p = \Delta h \gamma_w \quad (7)$$

式中:

Δp —计算点水位下降增加的附加应力(kPa);

Δh —水位下降深度(m);

γ_w —水的重度(kN/m^3),等于 $10\text{ kN}/\text{m}^3$ 。

剖面 A 处自重压力变化如图 4 所示。

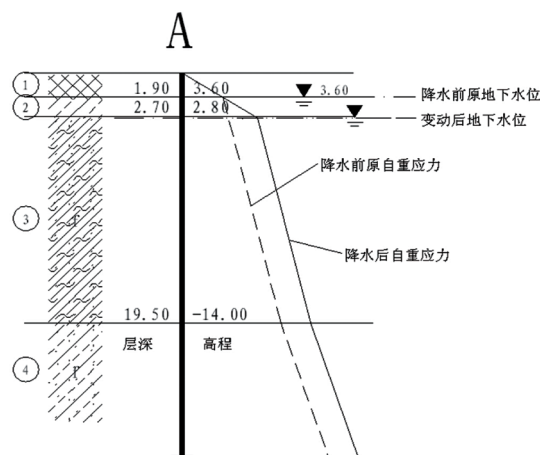


图 4 降水前后自重应力变化

6.3 变形量计算

地基土①层在地下水位之上，土体有效应力不受基坑降水影响。基坑降水引起沉降主要发生在②、③、④层地基土上。综合土层渗透性进行渗流分析，土层的沉降计算厚度算至④层下 10.0 m。剖面 A 处地层沉降量计算如表 4。

取相应的建筑物加固及地下水止水措施。
本工程案例中基坑支护方案若采用排桩支撑，基坑外围采用水泥搅拌桩止水帷幕，可能会避免这个问题。
(2)随着社会的不断进步和发展，高层建筑及构筑物深基坑开挖愈来愈多，基坑降水势必对周

表 4 地层沉降量计算表

土层编号	Δh_i (m)	E_{si} (MPa)	$\Delta\sigma'_{zi}$ (kPa)	ψ_w	S_i (mm)
①	1.9	4.9			
②	0.8	4.6	4.3	1.0	0.7
③	16.8	4.0	8.6		36.1
④	10.0	4.5	8.6		19.1
总计					56.0

建筑物计算剖面 A 处实测沉降量为 5.0 cm，与计算值基本吻合。根据计算的 A、B 剖面处沉降量计算局部倾斜值为 0.0056，大于建筑物地基变形允许值。砌体承重结构基础、高压缩性土地基的局部倾斜允许值为 0.003^[6]，因此建筑物地基产生较大的不均匀沉降，使建筑物发生破坏。

7 结语

(1) 基坑降水前，应做好周边建筑物的影响评估，以便防范于未然。基坑对建筑物影响分析，首先，要搜集建筑物的基础类型、埋深、结构形式等及相关岩土工程地质资料，其次，建立基坑降水计算模型，选择计算剖面位置计算沉降量，综合各影响因素进行总体评估，以便基坑设计时采

边建筑物产生影响。因此笔者认为通过对本工程实例的基坑降水计算分析，对以后类似工程有一定的借鉴作用。

参考文献：

[1] 赵道双，康海东. 镇江修船厂厂房加固工程岩土工程勘察报告[R].2015.
[2] GB 50487-2008，水利水电工程地质勘察规范[S].
[3] JGJ120-2012，建筑基坑支护技术规范[S].
[4] 薛禹群，吴吉春主编. 地下水动力学[M]. 北京：地质出版社.2010.
[5] 杨平主编. 土力学[M]. 北京：机械工业出版社，2005.
[6] GB 50007-2011，建筑地基基础设计规范[S].

(责任编辑：王宏伟)