

深井降水对支护结构和周边建筑物影响的研究

许锡昌, 徐海滨, 陈善雄

(中国科学院 武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

摘要: 地下水治理是基坑设计与施工中的重要环节, 简要分析了地下水对基坑的影响, 提出了治理的基本思路和方法。以汉口宝丰时代广场深基坑为例, 探讨了深井降水对基坑支护结构和周边建筑物的影响。监测结果表明, 降低地下水位对基坑支护结构的变形影响较小, 土方开挖结束后变形很快便趋于稳定; 基坑周边建筑物的沉降受深井降水的影响较大, 土方开挖结束后, 沉降变形继续增大。基坑周边建筑物的沉降不仅与降水井的布置和地层有关, 而且还与建筑物本身的高度和基础形式有关; 对浅埋基础建筑物而言, 高度越大, 沉降变形也越大。

关键词: 基坑工程; 深井降水; 支护结构; 周边建筑物; 水平位移; 沉降

中图分类号: TU 473

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2005)增 2 - 5449 - 05

STUDY ON EFFECT OF DEEP-WELL DEWATERING ON SUPPORTING STRUCTURE AND SURROUNDING BUILDINGS

XU Xi-chang, XU Hai-bin, CHEN Shan-xiong

(*Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China*)

Abstract: Groundwater controlling is the critical step in design and construction of deep excavation. Effect of the groundwater on deep excavation is discussed briefly, and fundamental treating method is put forward. Taking Baofeng Times Square deep excavation as an example, effect of the deep-well dewatering on supporting structure and surroundings is analysed. Monitoring data show that deformation of the retaining structure and surrounding buildings developed rapidly during excavation. When earthwork is finished, the supporting structure tends to be stable, but surrounding buildings subside continually because of dewatering. Not only dewatering but also the foundation form and height of the surrounding buildings will influence their own settlement.

Key words: pit engineering; deep-well dewatering; supporting structure; surrounding buildings; horizontal displacement; settlement

1 引言

据文[1]对全国 160 余起基坑事故的调查分析, 在所有的失事基坑中, 由于设计和施工中对地下水处理不当而导致基坑失稳的比例达到了 60%。主要表现在: (1) 地下水渗透引起基坑开裂坍塌; (2) 基坑突涌导致坑底土体开裂而出现管涌、流土、流砂

等; (3) 暴雨袭击导致小区域内承压水位在短时间内升高, 支护结构上侧压力迅速增大而破坏; (4) 降低地下水位引起地面沉降及周围建筑物倾斜开裂。目前, 对基坑工程中地下水的渗流问题、水土压力的计算等作了大量的工作, 取得了不少成果^[2~8]。

近年来, 环境岩土工程问题逐渐引起了人们的重视, 体现了在设计和施工过程中“以人为本”的基本理念。深基坑工程也由单纯重视基坑自身安全

收稿日期: 2005 - 09 - 21; **修回日期:** 2005 - 10 - 12

作者简介: 许锡昌(1972 -), 男, 博士, 1995 年毕业于山东科技大学矿井建设专业, 现任助理研究员, 主要从事土与结构物相互作用方面的研究工作。
E-mail: xcxu@whrsm.ac.cn.

逐步转向了对周边建(构)筑物、地下管线等的保护。

以汉口宝丰时代广场基坑为例, 简要分析了深基坑工程中地下水治理的基本思路和方法, 讨论了降低地下水位对基坑本身和周边建筑物的影响, 指出了目前基坑设计中面临的问题。

2 地下水的治理思路和方法

在我国沿江、沿淮地区, 地层呈典型的二元结构, 即上部的粘土层和下部的砂砾层, 存在于粘土层中的为上层滞水, 存在于砂砾层中的为承压水。地下水治理一般采用疏堵结合、以疏为主的思路。

上层滞水属于基坑中的第一含水层, 微透水至弱透水, 无统一水面, 水位随季节变化, 其主要靠降雨、周边供水管道漏水、周边电(光)缆沟或废弃箱涵中的废水来补给。上层滞水一般通过明沟排水和埋管引流方式排出。

承压水水头一般保持相对稳定, 受当地气候因素的影响较小, 由于其埋深大、水头高、水量大, 且与附近的河流或湖泊可能有水力联系, 因此对深基坑和地下室施工危害较大, 治理也比较困难。在基坑设计过程中, 承压水的治理方案与基坑开挖深度和土质情况有密切关系。

当基坑开挖深度较深而承压水埋深较浅时, 不降水则会造成基坑底部隆起和突涌, 必须对地下水进行治理, 可选方案主要有“全封”、“半封半降”和“全降”3种方案。

“全封”是指在基坑周边及坑底用人工方法设置一定厚度的隔水帷幕, 来阻止场地内承压水向基坑内运动, 这类隔渗通常采用高压旋喷灌浆工艺, 施工周期长, 工程造价大, 尤其施工质量难以保证, 该方法属于地下水治理的早期技术, 现已基本不再采用。

“半封半降”是采用封降结合, 将隔渗帷幕厚度变薄, 辅以深井减压降水, 尽可能减少抽水量, 主要用于降水对周边环境影响较大而不宜采用“全降”地区的基坑, 但其隔渗帷幕部分造价仍较大。

“全降”是在基坑周边及坑内优化布置一定数量的降水井, 通过降水井抽排承压水, 使基坑内承压水头降低至坑底以下, 从而保证地下室的施工安全。这种方法施工周期短, 施工质量易于控制, 工种造价低。其缺点是地下水降深大, 可能引起基坑周边一定范围内的地面沉降, 但只要设计得当, 科学管理, 可以将其缺点控制在最小范围内, 目前在

许多基坑中得到应用。

3 工程实例

3.1 工程概况

宝丰时代广场基坑位于汉口宝丰一路与解放大道交汇处, 在靠近基坑北侧有3栋住宅楼, 浅埋基础, 见图1。该基坑大体上呈不规则六边形, 周长约为176 m, 面积约2 066 m²。裙楼基坑深5.7 m, 主楼基坑深7.4 m, 局部(电梯井)达8.25 m。

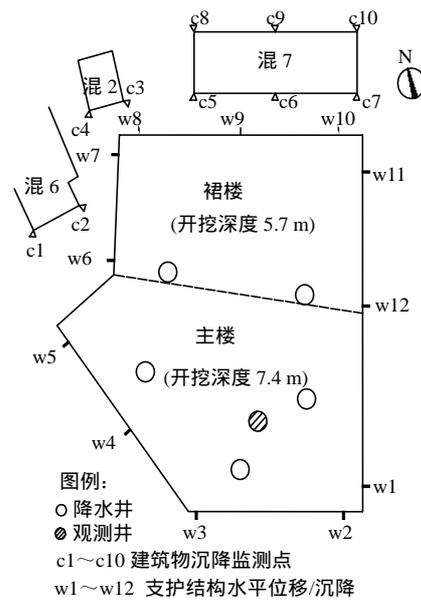


图1 基坑周边环境与监测点、降水井平面示意图

Fig.1 Sketch of surroundings around foundation pit, monitoring point and dewatering well

该基坑所处场地属长江 I 级阶地, 地层自上而下依次为杂填土、粘土、粉质粘土、淤泥质粉质粘土、粉砂、粉土互层等。有关土层的物理力学指标见表1。

表1 土性参数表

Table 1 Physical and mechanical parameters for soils

层号	名称	土层厚度/m	γ /(kN·m ⁻³)	c/kPa	ϕ (°)
①	杂填土	1.9~2.5	-	8	18
②	粘土	3.8~4.8	18.3	22	9
③	粉质粘土、粉土互层	3.0~6.5	18.6	11	11
④	淤泥质粉质粘土	1.6~3.6 局部缺失	18.2	10	10
⑤	粉砂	-	19.0	-	29

场区内的地下水有两类, 一是赋存于①层杂填土中的上层滞水; 二是赋存于③层以下的承压水,

与长江有一定的水力联系，水量较大。承压水位为自然地面下 3.5 m。抽水试验结果表明：本场地含水层厚度达 37 m，富水性强，含水层的渗透系数为 12.12 m/d，影响半径 115 m。

3.2 基坑支护设计

由于基坑北侧的 3 栋住宅楼为浅埋基础，对基坑变形要求较高，经综合比较后，本基坑采用桩锚支护方案。支护桩为钻孔灌注桩，桩直径 0.8 m，桩中心距 1.1 m，桩长 14.5~15.5 m，混凝土强度等级为 C25。设置 2 排锚杆，长度 10~16 m，杆芯材料采用直径 22 mm 的 HRB335 螺纹钢。

3.3 治水方案设计

基坑开挖后，组成坑壁的土层主要为①层杂填土、②层粘土、③层粉质粘土、粉土互层，坑底主要土层为粉质粘土、粉土互层和粉砂。基坑开挖过程中，杂填土中的上层滞水将向基坑发生侧向流动，并可能携带大量土颗粒，进而掏空基坑侧壁，所以，对上层滞水采用水泥浆喷桩进行封堵，局部水量较大时，安设排水管。浆喷桩长 10 m，间距 1.1 m，与支护桩搭接，布置方式见图 2。

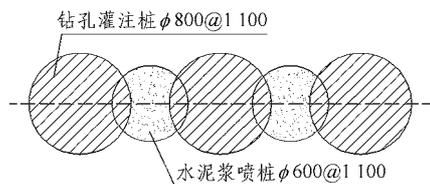


图 2 基坑侧壁止水示意图

Fig.2 Curtain for cutting off water for side wall of foundation pit

本基坑承压水位较高(见图 3)，且透水层被揭穿，如不采取防护或降水措施，基坑底部突涌和侧壁管涌是必然的。根据武汉地区地下水治理的实践经验，本基坑采用深井降水中的全降方案，降水参数取值为：渗透系数 $k = 15 \text{ m/d}$ ，影响半径 $R = 200 \text{ m}$ ，在坑内设置 5 口降水井，井深 35 m，井直径 0.6 m，单井日出水量 1200 m^3 。井位布置见图 1。

3.4 监测点布置

为随时掌握基坑支护结构和周边建筑物的变形情况，确保信息化施工，在冠梁上共布置了 12 个水平位移/沉降观测点，基坑周边 3 栋住宅楼上布置了 10 个沉降观测点。具体布置见图 1。

3.5 施工过程

土方按设计要求分 3 次开挖，挖土顺序由裙楼

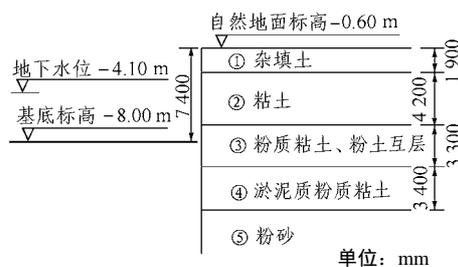


图 3 基坑地下水位示意图

Fig.3 Sketch of groundwater level of foundation pit

向主楼推进，挖土始于 2004 年 9 月 24 日，于 11 月 30 日结束。

第一排锚杆施工于 2004 年 9 月 26 日开始，11 月 16 日第二层锚杆施工完毕。

在基坑开挖至自然地面下 3.5 m 时启动降水井，地下室结构施工达 ± 0.00 后，周边回填及后浇带浇注完成后，降水工作即告结束。具体运行时间为 2004 年 10 月 5 日~2005 年 1 月 8 日。

监测工作始于 2004 年 9 月 18 日，其中支护结构水平位移监测止于 2005 年 3 月 5 日，历时 168 d；支护结构和周边建筑物沉降监测止于 2005 年 2 月 2 日，历时 137 d。

4 监测结果与分析

4.1 支护结构水平位移观测

图 4, 5 分别给出了主楼和裙楼支护结构水平位移的监测结果。可以看出，支护结构水平位移随开挖深度的增加而快速增大，支护施工结束后，位移增速减缓，土方开挖结束即基坑开挖 60 d 后趋于稳定。尽管基坑降水仍在进行，但其对支护结构的水平位移几乎没有影响。

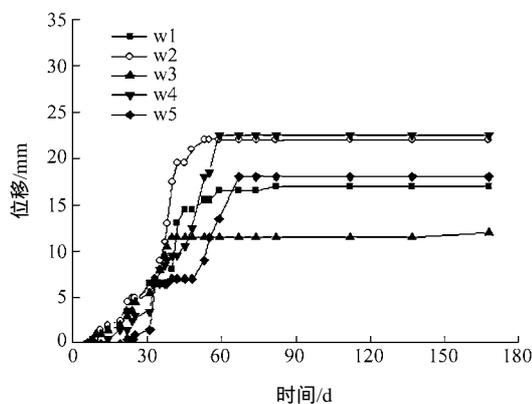


图 4 主楼基坑支护结构水平位移与时间关系

Fig.4 Relationship between horizontal displacement and time

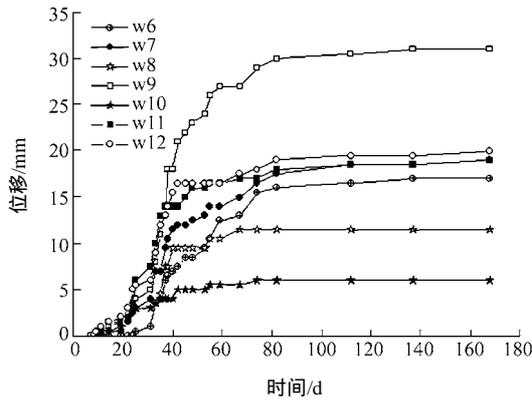


图5 裙楼基坑支护结构水平位移与时间关系

Fig.5 Relationship between horizontal displacement and time

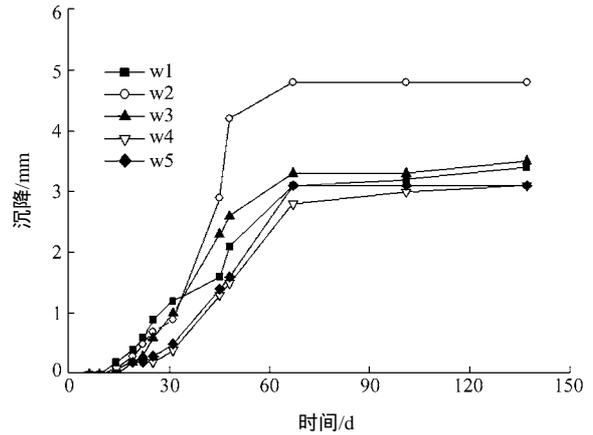


图6 主楼基坑支护结构沉降与时间关系

Fig.6 Relationship between settlement of retaining structure and time

为便于分析基坑的变形特点，表2给出了不同部位监测值的变化范围，并列出了设计值进行比较。

表2 支护结构水平位移监测结果与设计值的比较

Table 2 Comparison of monitoring results and design

监测点	水平位移/mm		最大值点	最小值点
	设计值	监测值		
w1~w5	21	12~23	w4	w3
w6~w10	9	6~31	w9	w10
w11	12	19	-	-
w12	22	20	-	-

从表2可以看出，主楼支护结构的位移监测值与设计较为接近，其中位于基坑长边中部的监测点w4最大，位于基坑拐角处的其他点稍小。

裙楼部分位于基坑长边中部的监测点w9位移达到31 mm，远远超过其他监测点(其他点位移则为6~18 mm)，说明基坑变形具有明显的空间效应。

总之，监测结果与设计基本吻合，说明设计计算方法和参数取值是正确的，在设计过程中若将空间效应考虑进去，变形估计会更精确，基坑支护结构的设置将会更加经济合理。

4.2 支护结构沉降监测

图6, 7分别给出了主楼和裙楼支护结构的沉降监测结果。可以看出，基坑开挖期间，支护结构沉降变化较快，但累计沉降较小，最大不超过5 mm，说明基坑顶部沉降均匀；支护施工全部完成后，沉降增速减缓，于基坑开挖70 d后趋于稳定，基坑降水对其几乎没有影响。

主楼和裙楼支护结构沉降的最大值点分别是w2和w9，最小值点分别是w3(w4)和w10，但相差不大，说明支护结构的沉降不具备明显的空间效应。

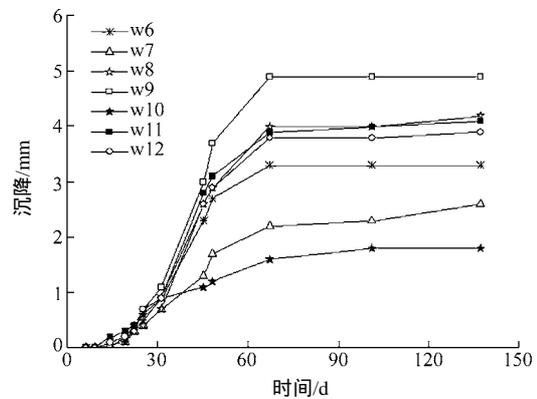


图7 裙楼基坑支护结构沉降与时间关系

Fig.7 Relationship between settlement of retaining structure and time

4.3 周边建筑物的沉降

图8, 9分别给出了周边3栋住宅楼的沉降监测结果。从图8, 9中可看出：

(1) c1和c2的沉降量分别为32.6和39.5 mm，

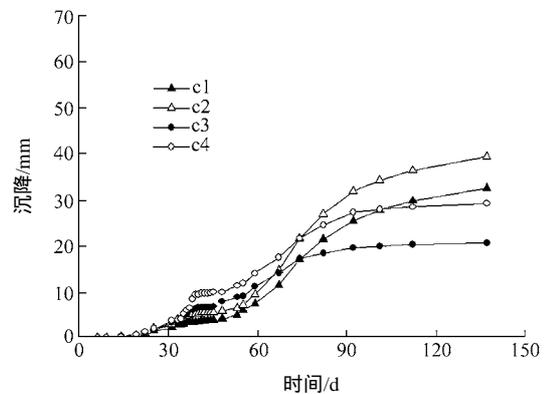


图8 周边建筑物沉降与时间关系

Fig.8 Relationship between settlement of surrounding buildings and time

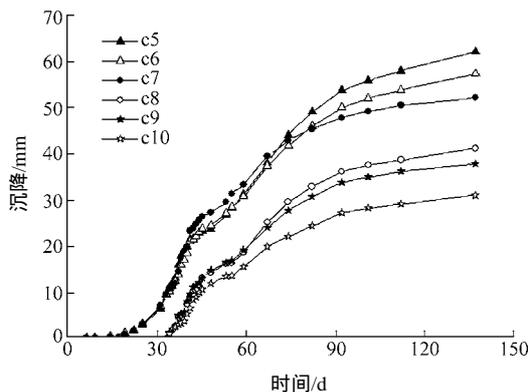


图9 周边建筑物沉降与时间关系

Fig.9 Relationship between settlement of surrounding buildings and time

c3 和 c4 的沉降量分别为 20.8 和 29.4 mm, 可见两栋住宅楼整体上沉降均匀。

(2) c5~c7(靠近基坑一侧)沉降较大, 为 52.2~62.1 mm, 平均 57.2 mm; c8~c10(背离基坑一侧)沉降稍小, 为 31.5~41.1 mm, 平均 37.8 mm。主要原因为: c8~c10 设置时间晚了约 30 d, 未累计沉降约 10 mm; 基坑降水导致靠近基坑一侧沉降较大。所以, 该 7 层住宅楼实际差异沉降约 10 mm, 倾斜约 0.5‰。

(3) 在基坑开挖过程中, 周边建筑物的沉降发展较快, 支护施工结束直至降水结束, 沉降仍在发展, 但速度减缓, 并逐渐趋于稳定。说明基坑降水可导致周边建筑物(浅埋基础)的缓慢沉降。

(4) 根据降水设计, 周边建筑物的沉降预计为 18~24 mm, 与二层住宅楼沉降接近, 但远小于另外两栋住宅楼的监测结果。主要原因是降水为排水固结过程, 周边建筑物较高时, 超载也较大, 最后导致沉降也较大。所以, 在进行深井降水设计时, 除选取正确的土层渗透系数和压缩模量外, 还要考虑周边建筑物的基础型式和高度。

5 结论与讨论

通过以上分析, 可得出以下结论:

(1) 当土方开挖结束后, 支护结构的变形很快趋于稳定, 但周边建筑物的沉降在深井降水的影响下, 仍持续发展, 说明深井降水对桩锚支护结构影响较小, 对周边建筑物影响较大。

(2) 桩锚支护基坑的变形具有明显的空间效应, 即水平位移在基坑长边的中部最大, 拐角处最小, 设计时若能考虑空间效应, 支护结构的设计将

会更加经济、合理。

(3) 基坑周边建筑物的沉降不仅与降水设计有关, 而且还与建筑物本身的高度和基础型式有关, 当周边建筑物为浅埋基础且高度较高时, 累计沉降也较大, 设计时应予以考虑。

参考文献(References):

- [1] 唐业清, 李启民, 崔江余. 基坑工程事故分析与处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.(Tang Yeqing, Li Qimin, Cui Jiangyu. Analysis and Treatment of Accidents in Deep Excavation[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1999.(in Chinese))
- [2] 杜家春, 贾德明. 基坑施工中的地下水处理及工程实例[J]. 西部探矿工程, 2004, (8): 45 - 47.(Du Jiachun, Jia Deming. Groundwater controlling and engineering cases in deep foundation pit construction[J]. West-China Exploration Engineering, 2004, (8): 45 - 47.(in Chinese))
- [3] 王洋, 汤连生, 杜赢中. 地下水渗流对基坑支护结构上水土压力的影响分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2003, 42(2): 107 - 110.(Wang Yang, Tang Liansheng, Du Yingzhong. Effect of groundwater seepage on water and soil in brace system of excavation[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni (Natural Science), 2003, 42(2): 107 - 110.(in Chinese))
- [4] 成立芹. 地下水渗流对基坑稳定性的影响[J]. 河北建筑工程学院学报, 2002, 20(4): 43 - 48.(Cheng Liqin. Influence on the stability of foundation pit by groundwater seepage[J]. Journal of Hebei Institute of Architectural Engineering, 2002, 20(4): 43 - 48.(in Chinese))
- [5] 蒋红星, 李龙, 冯芳. 深基坑工程中的地下水防治问题研究[J]. 中国煤田地质, 2003, 15(1): 41 - 43.(Jiang Hongxing, Li Long, Feng Fang. Research on prevention and cure of ground water in the supporting engineering of deep foundation pit[J]. China Coal Geology, 2003, 15(1): 41 - 43.(in Chinese))
- [6] 梁卫东, 张俊平, 张耀, 等. 深基坑工程中地下水问题的研究[J]. 施工技术, 2005, 34(6): 60 - 61.(Liang Weidong, Zhang Junping, Zhang Yao, et al. Study on the underground water problem in deep foundation pit projects[J]. Construction Technology, 2005, 34(6): 60 - 61.(in Chinese))
- [7] 宋榜慈, 李受祉. 武汉地区工程中的地下水问题及其处理对策[J]. 工程勘察, 2004, (5): 6 - 9, 17.(Song Bangci, Li Shouzhi. Groundwater problem and its countermeasure in Wuhan area[J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 2004, (5): 6 - 9, 17.(in Chinese))
- [8] 汤连生, 黄国怡, 杜赢中, 等. 考虑地下水渗流的基坑水土压力计算新图式[J]. 岩土力学, 2004, 25(4): 565 - 569.(Tang Liansheng, Huang Guoyi, Du Yingzhong, et al. A new calculation chart of water-earth pressure on foundation pit considering groundwater seepage[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(4): 565 - 569.(in Chinese))