

软土地基某泵闸深基坑支护失稳分析及处理

林立祥 臧光文 和再良

(上海勘测设计研究院, 上海 200434)

【摘要】 介绍了某泵闸基坑灌注桩围护位移及钢管支撑受力过程, 对造成支护失稳原因进行了详细分析, 探讨基坑设计及施工工艺存在的问题, 介绍了支护失稳后抢险、围护补强、防渗加固及支撑体系补强等措施, 同时对加固补强处置效果进行了分析, 得出相关结论及建议, 为类似基坑顺利施工提供了一定依据。

【关键词】 深基坑; 围护桩; 钢管支撑; 位移; 失稳

【中图分类号】 TU 941

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2010.06.006

Accident Analysis and Treatment of Deep Foundation Pit in Shanghai in Soft Soil About One Pump Gate

Lin Lixiang Zang Guangwen He Zailiang

(Shanghai Investigation, Design & Research Institute, Shanghai 200434, China)

【Abstract】 Gates Foundation introduced a pump displacement and steel pile supported retaining the force process, causing instability of the reasons for supporting a detailed analysis, design and construction process of excavation problems, introduced after the emergency shoring unstable, envelope reinforcement, reinforcement and support system impervious reinforcement measures, while disposal of reinforcement reinforcing effects are analyzed, draw relevant conclusions and recommendations for similar pit provided some basis for the smooth construction.

【Key words】 deep foundation pit; piles of outer protective; support of steel pipe; displacement; instability

0 引言

当前中国的深基坑工程在数量、开挖深度、平面尺寸以及使用领域等方面得到高速发展, 20 世纪 90 年代, 开挖深度达 10 m、15 m 以至 20 多米的深基坑工程趋于平常; 2000 年以后, 开挖深度达 40 m、50 m 的深、大、难基坑工程越来越多。但目前我国基坑工程失事时有发生, 各大城市均有基坑工程出现工程事故的例子, 特别是在土体强度较低的软土地区。基坑支护尽管作为临时工程, 但其施工质量要求较高, 基坑开挖时, 随着土体应力的解除和临空面的产生^[1], 若支护强度及细部构造未达设计要求, 同时由于施工工艺不合理, 往往会诱发诸如围护桩桩体断裂及支撑体系失稳等工程事故^[2]。

1 工程概况

某泵闸工程现状河口宽 23~28 m 左右, 近江河口处一般河宽 35~45 m, 河底高程一般在 0.5~-0.5 m, 河道护岸高程一般在 4.5 m, 两岸地势较平坦, 墙后地面高程基本在 4.0~4.5 m, 北岸为新建高程居民

小区, 南岸为马路, 马路下分布有上水及污水管线, 其中上水管线距围护内边线约 4.0 m 左右, 污水管线距围护内边线约 3.5 m 左右。

泵闸泵房段基坑东西向长 36 m, 南北向长 44 m, 深 9.6 m, 坑底标高为 -5.1 m, 采用钻孔灌注桩围护结构, 钻孔灌注桩长度为 19 m, 直径为 0.80 m, 桩中主筋采用 $\phi 25$ 二级钢筋, 间距 10 cm, 桩距 1.0 m; 灌注桩后设一排搅拌桩防渗墙, 水泥土搅拌桩采用 42.5 级普通硅酸盐水泥, 水泥质量分数为 15%。本基坑设两道钢管撑, 所有支撑均采用对撑型式, 支撑均采用 $\Phi 609 \times 16$ mm 钢管支撑, 第一道支撑围檩与冠梁相结合, 冠梁(顶圈梁)采用 C25 钢筋混凝土, 冠梁截面为 1.70 m \times 0.80 m, 支撑中心高程为 $\nabla 4.10$ m; 第二道撑围檩采用焊接箱型钢围檩, 截面为 400 m \times 800 mm, 支撑中心高程为 $\nabla -0.90$ m。由于支撑跨度较大, 设置临时支撑立柱少相应支撑钢管的跨度, 改善支撑钢管的受力情况; 同时立柱之间辅以联系杆连接。临时支撑立柱采用

4L160×14 mm 角钢格构柱(缀板—390×200×12 mm@700),直径为 0.80 m 的钻孔灌注桩(桩长闸室)作基础,格构柱插入钻孔灌注桩 2.5 m,联系杆采用 2[36a 槽钢。

经实验室进行拉伸及弯曲试验检测发现泵房段南岸围护结构约 36 m 范围桩内主筋抗拉及抗弯强

度大部分未达设计要求,因此在其后增设一排灌注桩,不合格桩连续处则加固桩间距按 1 m 考虑,且对应布置,检测合格的桩后加固桩间距根据布置情况取 1.5 m 或 1.2 m;北岸检测结果相对要好,未作加固处理。

工程场地各土层主要物理及力学指标见表 1。

表 1 各土层主要物理及力学指标

土层序号	土层名称	层底	重度 ($kN \cdot m^{-3}$)	含水量 $w/\%$	直剪固快		相对体积 质量	孔隙比
					粘聚力/kPa	内摩擦角/ $^\circ$		
② ₁	粉质粘土	2.24~0.63	18.6	30.7	18	17.0	2.73	0.879
② ₃	粘质粉土	0.20~ -3.71	18.2	34.8	5	28.0	2.71	0.962
③	淤泥质粉质粘土	-1.89~-7.85	17.1	44.7	12	14.0	2.73	1.265
④	淤泥质粘土	-8.95~-12.25	16.8	48.7	11	10.0	2.74	1.375
⑤ ₁	粘 土	-11.87~-13.81	17.6	38.3	15	14.0	2.74	1.132
⑤ ₂	粉 砂	-16.46~-20.13	18.4	30.6	0	30.0	2.69	0.870

2 支护监测点布置

为了解基坑施工期灌注桩围护不同深度的水平位移,在泵房段基坑南北侧围护灌注桩桩体中各布置 2 个倾斜测点,其中 1 个位于泵房段中部,1 个位于泵房段西侧,南北侧测点相互对应;在基坑南北侧围护顶部冠梁各布置 3 个水平位移测点,其中 2 个与倾斜测点相邻;为了解基坑施工期钢管支撑体系的受力状态,在两道支撑各布置 2 个轴力测点;为了解基坑开挖过程中坑外地下水位变化,在南北侧搅拌桩防渗墙外 1~2m 处各布置 2 根水位管。测点布置见图 1。

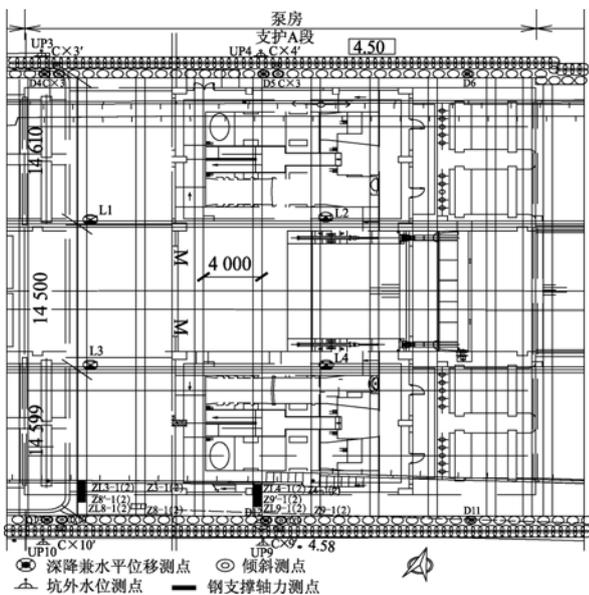


图 1 泵房段测点平面布置图

3 基坑支护失稳及分析

泵房段基坑土方分两层进行开挖,1月16日进行土方开挖施工,20日完成第一层土方开挖,23日完成第二层土方开挖。24日CX4实测位移最大达 135.07 mm,超过警戒值(60 mm)75.07 mm,位于坑底以上 1.1 m 处,现场巡视发现北侧灌注桩围护有 3 处发生断裂,19 处发生横向裂缝,且桩间有地下水渗出,桩损位置分布在坑底以上 1.0~1.5 m 处,与桩最大位移位置基本接近;巡视同时发现泵房段大部分钢管支撑发生了明显扭曲,但实测轴力最大仅为 754 kN,与桩体变形不相匹配,判定支撑体系已失稳。典型断桩见图 2。典型扭曲钢管支撑见图 3。



图 2 典型断桩



图3 典型扭曲钢管支撑

失稳原因分析:

1) 泵闸基坑开挖过程中开挖机械密布, 南北侧坑外各有3台挖机同时作业, 土方车往来频繁, 坑周较大超载引起围护后地表产生明显附加应力, 地表局部超载远超过基坑5m范围内 10 kN/m^2 要求, 使得围护后侧向压力增加^[3], 由于北侧围护后未作排桩加固, 土方开挖过程中实测桩体位移较大, 桩后土体强度减小土压力增加^[4], 桩体位移有所加剧, 因桩内主筋抗拉及抗弯强度较低, 桩体正截面抗弯强度不足^[5], 当位移至某限值时即被剪断, 本基坑开挖至坑底时, 一根桩已开裂, 桩身最大位移为 115.11 mm 。坑周过大超载是导致围护变形突出的主要因素。

2) 从场地土层勘察资料看, 坑底上下分布为淤泥质粘土, 土体强度低, 但设计未考虑采用搅拌桩或高压旋喷等地基处理方式对坑内地基进行加固, 开挖过程中坑内被动区土体水平抗力较小, 使得围护桩向坑内位移明显; 坑内部分降水深井因开挖堵塞影响失效, 未起到疏干土体提高强度的效果, 使得土方开挖过程中围护易变形^[6], 土方开挖到底后, 所有深井被拔除, 从而增大了由于时间效应引起的围护变形。

3) 为争取施工进度, 第二层土方开挖采取随挖随撑的施工工艺, 即开挖8m长度土方到坑底后安装两根钢管支撑, 再施加预应力, 未能有效发挥钢管支撑控制围护变形的作用, 大部分位移在钢管安装前已发生, 导致第二层土方开挖过程中围护变形突出, 钢管支撑轴力在预应力施加后增长较小, 原设计钢管支撑轴力变化过程线见图4, 土方开挖工况测点CX4在土方开挖过程中的变形曲线见图5。

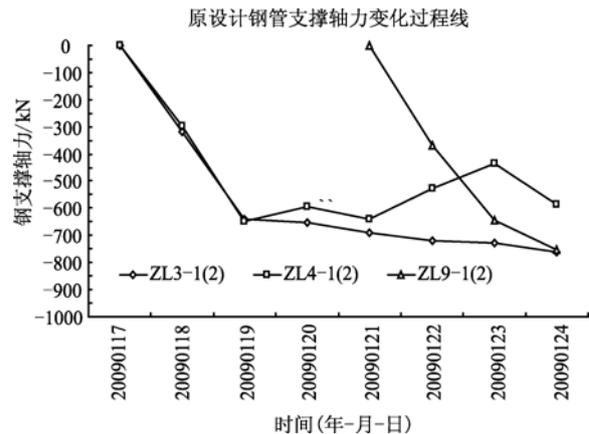


图4 开挖工况原钢管轴力变化过程线

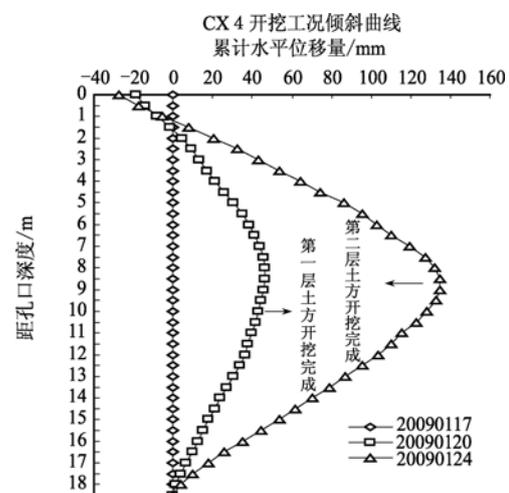


图5 开挖工况围护倾斜曲线

4) 钢管支撑为轴心受力构件, 对扰曲度、水平轴线偏差要求较高, 但检测发现大部分钢管与设计轴线偏离 $1.0\sim 1.5\text{ m}$, 远超过规范^[7]规定 3 cm 的误差范围, 实测钢管轴线左右两侧应力差异较大, 甚至出现一侧受拉另一侧受压明显偏心现象, 取均值后轴心处轴力较小。现场巡视发现冠梁及钢围檩与支撑端头间存在间隙, 未用速凝细石混凝土充填, 分块钢围檩间未形成有效衔接, 使得围护无法发挥排桩挡土作用。

5) 本工程支撑跨度达 44 m , 根据钢管截面惯性矩及弹模计算的钢管弯曲临界压力^[8]仅为 1492 kN , 考虑钢管水平轴线明显偏移, 钢管弯曲时实际轴力小于该值, 第一道钢管支撑的设计轴力 900 kN , 但在预应力施加至 600 kN 时, 部分钢管已发生弯曲, 由于围护桩向坑内位移较大, 钢管支撑很快失稳, 无法有效发挥其控制桩体位移作用。钢管支撑轴线偏差较大是其失稳的主要因素。

4 技术处理措施

4.1 坑内充水

当围护位移较大桩体被剪断时,传统抢险方式主要采用坑内回填土,但大量运输机械作业会加剧桩体位移速率,成本较高,且施工时间长,对控制桩体位移相当不利。本基坑利用内外河围堰外既有水源向坑内充水以平衡围护内外压力,历时 35 h 坑内水位至 2.0 m 标高,较坑内原坑内泥面标高高 1.5 m。

4.2 围护补强

在北岸桩号纵 0-001.80~0+034.20 范围内水泥搅拌桩外侧增加一排 C35 钢筋混凝土灌注桩(拌合时配比提高一级),灌注桩直径 800 mm,间距 1.0 m,桩长 20.5 m,灌注桩配筋同南岸同规格灌注桩;加固的灌注桩桩顶新浇冠梁施工前,将原有冠梁表面凿除,将原有钢筋与新钢筋焊接,与新浇冠梁浇筑成为整体。焊接长度达到钢筋锚固长度要求。

4.3 防渗加固

基坑北侧新加固灌注桩范围(桩号纵 0-001.80~纵 0+034.20)及基坑南侧(桩号纵 0-027.40~纵 0+018.62)渗漏部位设置厚 1 m,深 15 m 的双液压密注浆,和原水泥搅拌桩结合;压密注浆浆液为水泥浆液和水玻璃混合体,水泥采用 425 号的普通硅酸盐水泥,水泥用量 250 kg/m^3 ,水灰质量比为 0.6,水玻璃含量为水泥用量的 2%。注浆孔孔距 1 m,排距 0.5 m,梅花形布置,钻孔时开孔直径为 D33 mm,垂直度应小于 1%。

4.4 支撑体系补强

在泵房段原第一道支撑每根支撑旁增加一根支撑,形成水平双榭;在原第二道支撑(轴线高程-0.9 m)之上加设一道支撑钢管,轴线高程为 0.1 m;在原第二道支撑每根支撑旁增加一根支撑,形成水平双榭。水平双榭钢管之间沿垂直水流方向每隔 4 m 焊型钢(双拼 30 # 槽钢),使双榭钢管连接成整体;上下双榭钢管所需钢纵梁、钢围檩、牛腿等结构的型号、规格、结构形式相同,并同原设计,抱箍采用 20 c 槽钢焊接而成。水平双榭钢管应同时施加预应力,施加预应力时应使支撑和钢围檩之间保持垂直关系,加力时严格控制加力点的位置,尽量保证中心对称施加。

4.5 监测

监测频率由基坑开挖施工期的 1~2 次/d 加密至 3~4 次/d,所有加固措施均根据变形监测数据适时调整,同时根据加固工艺增加了部分监测点;考虑到北侧围护桩变形较大,原桩体中测斜管在抽水工

况可能因破坏而无法观测,在灌注桩后搅拌桩中增设 2 个倾斜测点,对应于原倾斜测点;在泵房段原支撑轴测点旁的新撑上各布置 1 个支撑轴测点,共增加 6 个支撑轴测点。

5 处置效果

坑内充水使得围护向坑内位移速率逐渐减小,桩体位移主要为排桩补强及支撑采用的吊装机械荷载所致,第二层土方开挖至坑内开始抽水历时 59 d,典型测点 CX4 的位移量为 17.78 mm,位移速率均值为 0.30 mm/d。为便于对位移量统计,坑内抽水前对位移量进行归零,坑内抽水后,基坑内外又产生压力差,桩体向坑内位移仅 3~6 mm,位移量较原土方开挖施工期小得多。泵房段基坑土方开挖工况围护桩体位移量与抽水工况围护桩体位移量见表 2。

表 2 基坑土方开挖及抽水工况各测点位移量 mm

工况	测点编号			
	CX3	CX4	CX9	CX10
	基坑北侧桩体		基坑南侧桩体	
基坑土方开挖	67.26	135.07	91.90	94.27
坑内抽水	3.82	5.01	5.74	5.10

由于加密钢管支撑严格遵循规范对扰曲度、水平轴线偏差及预应力施加等要求,尽管坑内抽水过程中桩体位移较小,但第二、三道加密撑轴力增长明显,钢管预应力的有效施加控制了围护向坑内位移,第二、三道加密撑拆除后,第一道加密撑轴力明显增长,支撑轴力变化与施工工况有较好的一致性,抽水后至监测末期加密支撑轴力变化过程线见图 6。

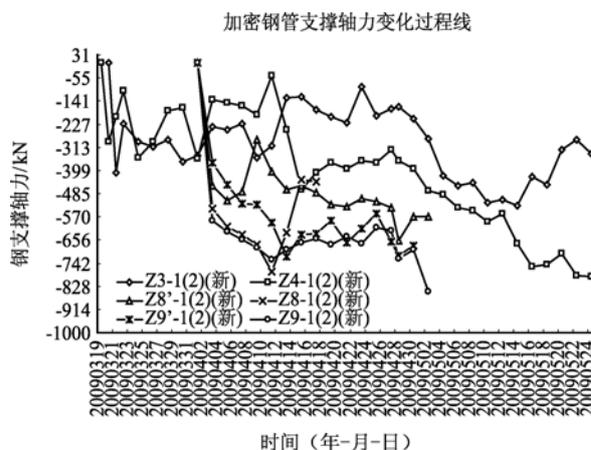


图 6 抽水后加密撑轴力变化过程线

6 结论

1) 基坑开挖应严格遵循“开槽支撑、先撑后挖、

分层开挖、严禁超挖”的原则,严格控制坑周设计超载,当围护桩配筋抗拉及抗弯强度不能满足设计要求时,应立即对围护补强,同时加强监测,根据实测成果适时调整施工工艺,谨防过大变形引起的围护桩产生裂缝及桩身断裂等失稳事故。

2)软土地基基坑开挖前,宜采用高压旋喷、搅拌桩及分层注浆等地基处理工艺对建基面上下一定深度范围内的软粘土进行适当加固,提高开挖过程中坑内被动区土体抗力,抑制围护体向坑内的变形;用于疏干坑内土体的深井应在底板浇筑完成后予以封堵,削弱时间效应引起的围护桩变形。

3)钢管支撑施工时,钢管挠曲度、水平轴线偏差控制及预应力的有效施加均应严格遵守规范要求;围檩连接焊接处焊缝应饱满,使其形成整体;钢管端头与围檩间应用细石混凝土密实,使钢管支撑施加预应力后发挥其约束围护向坑内变形的作用。应考虑长细比较大的钢管支撑可承受的弯曲临界压力,同时应注意长细比较大的钢管支撑刚度较小,易失稳,须在支撑结构的选材及结构设计上计算论证。

4)深基坑施工应严格遵循设计要求,提高围护及支撑体系施工质量,设计应根据场地勘察资料合理设置地基加固,避免支护失稳引起的基坑坍塌事故及重大经济损失。

参 考 文 献

- [1] 熊智彪. 建筑基坑支护[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2] 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.
- [3] 张中普,姚笑青. 某深基坑事故分析及技术处理[J]. 施工技术,2005(12):72-73.
- [4] 张维正. 鞍山某基坑支护工程事故分析[J]. 岩土工程技术,2006(1):51-55.
- [5] JGJ120—99 建筑基坑支护技术规程[S]
- [6] 刘建航,侯学渊等. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [7] DBJ08-61-97,基坑工程设计规程[S]
- [8] 梁治明,邱 倪. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,1985.

收稿日期:2010-08-03

(上接第 281 页)

程勘察规范[S].

- [6] 张思远. 在确定建筑物基础抗浮设防水位时应注意的一些问题[J]. 岩土工程技术,2004,19(5):228.
- [7] 张旷成,丘健全. 关于抗浮设防水位及浮托力计算问题的分析讨论[J]. 岩土工程技术,2007,21(1):16
- [8] 张在明. 地下水与建筑基础工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001. 197-198
- [9] 王大纯,张人权,史毅虹,等. 水文地质学基础[M]. 北京:地质出版社,1995:96-97;83;27.
- [10] 董殿伟,等. 北京平原地区地下水位监测网优化[J]. 水文地质工程地质,2007(1):18.
- [11] 高大钊. 土力学可靠性原理[M]. 北京:中国建筑工

业出版社,1989:69-70.

- [12] 李征翼. 关于岩土样本统计分析的几点讨论[J]. 岩土工程技术,2007,21(1):18.
- [13] 中华人民共和国建设部. GB 50009—2001. 建筑结构荷载规范[S]. 2002:6;8.
- [14] 北京市规划委员会. DBJ 11—501—2009. 北京地区建筑地基基础勘察设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2009:91.
- [15] 梅国雄,宋林辉,宰金珉. 地下水浮托力折减试验研究[J]. 岩土工程学报,2009,31(9):1476.

收稿日期:2010-08-03