

上软下硬土层中某深大基坑的优化设计

管 飞

(上海市岩土地质研究院有限公司, 上海 200072)

摘要: 通过认真研究场地的工程地质和水文地质特点、基坑的几何特征、基坑周围的环境保护要求和基坑施工的工期造价要求等相关条件, 进行有针对性的优化设计。考虑场地土层上软下硬的特点, 采用复合土钉墙围护浅层土体, 降低基坑第一道支撑的标高, 从而只用一道支撑。采用可形成开敞空间的圆环型支撑体系与钻孔灌注桩组成基坑的围护结构。分别采用同济启明星和 Plaxis 二维有限元软件对基坑围护结构进行了计算, 施工过程中进行了全程监测, 计算结果和监测数据反馈均说明该优化方案的合理性和有效性, 可为类似工程参考。

关键词: 上软下硬土层; 圆环支撑; 优化

中图分类号: TD853.34 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2012)S0-0581-04

作者简介: 管 飞(1973-), 男, 安徽五河县人, 一级注册结构工程师, 从事隧道与地下工程设计、研究工作。E-mail: guanf@126.com。

Optimal design of a ultra-large deep excavation in complicated clay

GUAN Fei

(Shanghai Geotechnical Engineering & Geology Institute Co., Ltd., Shanghai 200072, China)

Abstract: For the optimization design it is crucial to comprehensively study geotechnical investigation reports, geometric parameters of excavations, protection requirements of surrounding environment budget and time limit for the project. In this case, the composite soil-nailing wall is adopted to stabilize the shallow soil layers so that the floor numbers of bracing system can be reduced to only one considering the hardpan under soft soil. Circular reinforced concrete bracings which can form open construction space and cast-in place piles are used together to constitute the retaining structure system. The deformation and stability of the excavation are analyzed by adopting Tongji Qistar and Plaxis 2D. The monitoring work is carried out during the whole construction process. The rationality and effectiveness of the optimized scheme are tested by the results of the analysis and the monitoring data and can be used for similar projects.

Key words: hardpan under soft soil; circular bracing; optimization

0 引 言

基坑围护的设计必须兼顾“安全性、经济性、易于施工”等多方面因素, 这已经成为广大岩土工程师的共识。涉及到具体项目, 则必须从拟建场地工程地质和水文地质条件、基坑的几何参数(面积、形状、深度等因素)、周边环境的保护要求等诸方面进行综合考量, 进行基坑工程的优化设计, 实现工程经济效益和社会效益的双赢。

本文以处于上软下硬土层中的嘉兴某广场深大基坑为例, 对基坑围护的优化设计进行探讨, 供类似工程参考。

1 工程概况

1.1 工程简介

嘉兴某广场项目位于嘉兴市中心区域, 由3栋高

层酒店式公寓, 5层综合商业用房及2层地下车库组成(涉及整个用地范围)。基坑呈多边形, 面积约29770 m², 周长约730 m, 开挖深度9.5~10.4 m。周边环境复杂, 南侧马路下有多条上水、下水和煤气等管线, 基坑情况见图1~2。北侧紧邻一城市主干道, 下有多种市政管线; 西侧和南侧有多栋民房距离基坑较近, 且房屋建设年代较为久远、均为天然地基; 东侧有一重要的变电站和埋地高压电缆紧贴基坑。

1.2 场地工程地质和水文地质条件

场地土层的典型分布如图3所示, 各土层的物理力学参数见表1。

场地地下水: 潜水位约在地表以下1.0 m左右, 承压水含水层埋藏较深, 对基坑无影响。

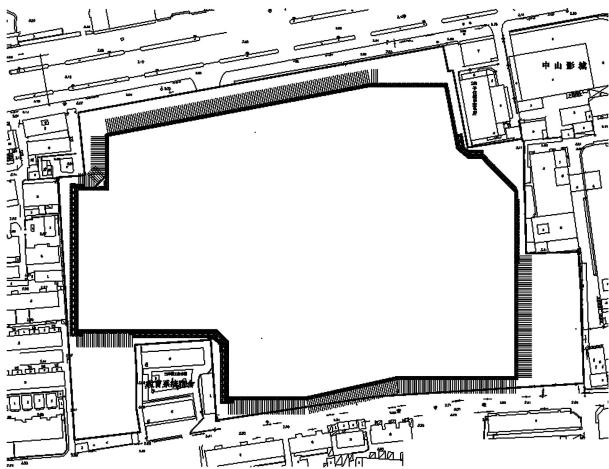


图1 基坑平面图

Fig. 1 Plan layout of excavation



图2 基坑实景照片

Fig. 2 Photo of excavation

表1 场地土的物理力学参数

Table 1 Mechanical parameters of soil layers

土层 名称	重度 $/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	直剪固快		渗透系数	
		c $/\text{kPa}$	φ $(^\circ)$	$k_v/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$	$k_h/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$
① 杂填土					
② 粉质黏土	19.4	30	17.4	6.71×10^{-6}	6.41×10^{-6}
③ 1 淤泥质粉质黏土	18.1	17	8.6	1.28×10^{-6}	2.00×10^{-6}
④ 1 黏土	19.9	55	21		隔水层
④ 2 粉质黏土	19.4	35	17.3	3.63×10^{-6}	5.67×10^{-6}
⑤ 粉质黏土	19.2	24	12.1		

2 方案比选和优化

2.1 工程特点分析

(1) 本工程场地土呈上软下硬的特点,且上下土层对比强烈:深度约7 m以上以松散的填土和深厚的

流塑状淤泥质黏土为主,7 m以下土层为可塑到硬塑状态的黏土,基坑坑底处于硬土层中且具备一定的埋置深度。由于围护桩承受的水土压力和围护桩的变形一般在坑底至坑底以下2~3 m范围内达到最大值,本基坑的这种土层分布为控制围护结构的水平位移和坑外地表与建、构筑物的沉降提供了有利条件。

(2) 本工程基坑面积较大,土方开挖量达到了近30万 m^3 。根据“时空效应”的原理,需要尽量缩短基坑开挖和暴露时间以利于控制基坑和基坑周围环境的变形。这就要求本工程的设计方案要充分考虑基坑快速挖土的需要。

(3) 本工程周围环境复杂。基坑四周民居和市政管线密集,对基坑变位比较敏感。因此,基坑的变形控制极为重要。

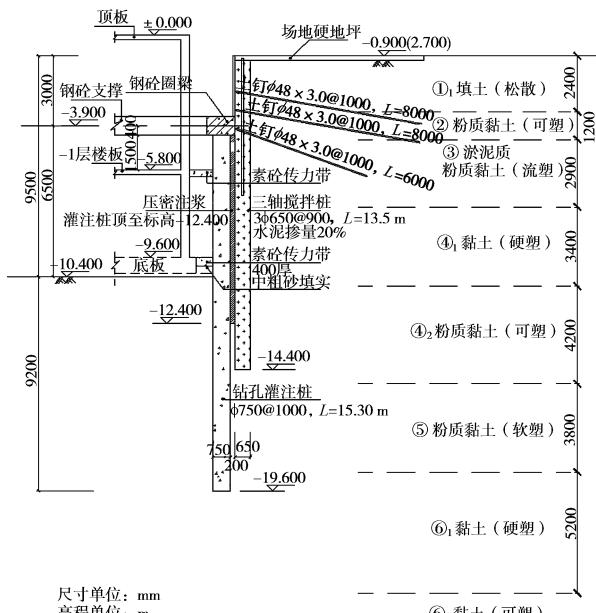


图3 基坑典型剖面图

Fig. 3 Typical section of excavation

2.2 挡土结构方案的比选和优化

本基坑采用钻孔灌注桩作为围护结构,从基坑的开挖深度出发,常规设计往往考虑采用两道钢筋混凝土水平支撑。但是由于混凝土支撑体系复杂,工程量庞大、造价高、工期长,且不利于土方的开挖,满足不了快速施工和造价的最优化要求。

根据已有的工程实践,若能降低支撑体系的标高,将围护桩在支撑和坑底两个支点之间的跨度控制在6~7 m的合理范围内,仍可以有效地控制围护桩的内力和变形,且桩径增加的幅度有限,而减少一道水平支撑可有效降低工程造价。

本工程场地土浅层虽然较弱,但若控制其开挖深度在4 m范围内,采取复合型土钉墙或水泥土搅拌桩

重力式围护仍能有效地稳定浅层土体，且能控制浅层土体的变形。

在采取上述措施稳定浅层土体后，围护灌注桩可降低顶标高，从而优化桩长，进一步降低工程造价^[1]。

优化设计之后的典型剖面如图 3。灌注桩采用 D750@1000，插入比约 1:0.95。

2.3 支撑体系方案的比选和优化

本工程基坑面积巨大，对边之间的距离很长（长边长度达到了 230 m），采用钢支撑不具可操作性。若采用传统的角撑桁架+对撑桁架+边桁架的支撑方式，不仅支撑混凝土方量十分庞大，更重要的是基坑平面处于大片支撑杆件的覆盖之下，施工空间不足，挖土效率十分低下。此外，由于杆件长度很大，不仅对撑桁架的刚度减弱，仅支撑杆件在温度变化下的收缩就很可观，不利于控制围护结构的变形。

因此，设计考虑采用圆环支撑。由于圆环结构可最大程度地发挥混凝土抗压强度，形成的支撑体系材料节约且刚度满足要求；更重要的是，圆环支撑提供了开敞的施工空间，在大部分区域，挖土机械和土方车辆可直下坑底，土方开挖的速度得以提高，从而有效地缩短了工期^[2]。

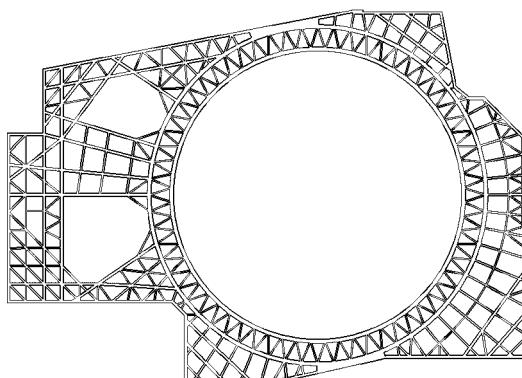


图 4 支撑平面图

Fig. 4 Plan layout of bracing system

本工程实际采用的双圆环支撑（具体见图 4），内环直径 130 m，外环直径 150 m。两环间采用 W 型弦杆连接，形成了刚度巨大的圆桁架。圆环撑的断面尺寸为 1800 mm×800 mm^[3]。

2.4 其他优化措施

如前文所述，本工程基坑坑底处于硬土层中且具备一定的埋置深度，设计取消了常用的水泥土坑底加固。

其次，结合本地区工程经验，本工程浅层土含水率虽较大，但渗透系数很低，且日晒后较易失水，未设计井点降水，而直接采用明排水方式。

3 设计计算和有限元辅助分析

3.1 设计计算

基坑围护剖面使用同济启明星 FRWS 程序，采用竖向弹性地基梁“m”法计算^[4]。浅层土体采用直立式放坡进行模拟，计算结果如图 5，围护桩水平位移最大值 22.3 mm，发生在基坑底部以上 1 m。

应当指出这种简化计算对围护桩内力和各项稳定性的计算是准确的，但是由于不能计算浅层土体开挖工况下围护桩桩顶的变形，因此围护桩的水平变形整体被低估。

浅层土体开挖工况单独拿出来按照复合型土钉墙或重力式坝体分析，计算时忽略内侧钻孔灌注桩的作用，计算结果偏于安全。限于篇幅，这部分内容从略。

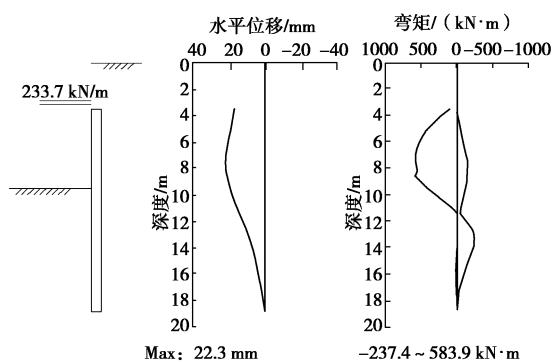


图 5 基坑围护剖面计算结果简图

Fig. 5 Computed results for retaining section of excavation

支撑体系采用同济启明星 BSC 软件进行分析，支撑体系的最大变形量小于 30 mm，圆环支撑径向变形较为均匀，最大值 25.6 mm；圆环支撑上轴力分布也较为均匀，其中内环轴力整体大于外环，大约 13000 kN。

3.2 有限元辅助分析

为弥补规范方法计算的不足，采用岩土工程有限元软件 PLAXIS 对基坑围护的典型剖面进行了 2D 辅助分析，计算采用总应力建模。

数值计算显示围护桩最大水平位移 26.87 mm，发生在坑底位置。基坑开挖到底工况网格变形局部放大图见图 6。

4 实测分析

本工程在整个基坑工程施工期间持续进行了监测。监测内容包括：围护桩的变形、围护桩和桩后土体深层测斜、支撑轴力、立柱隆沉、坑外地表沉降、基坑周边建、构筑物的水平位移和沉降等。

围护桩内的测斜管实测桩身水平位移最大值为

28.8 mm, 实测值和计算值符合较好。

圆环支撑内最大轴力 11200 kN, 约为计算值的 80%。

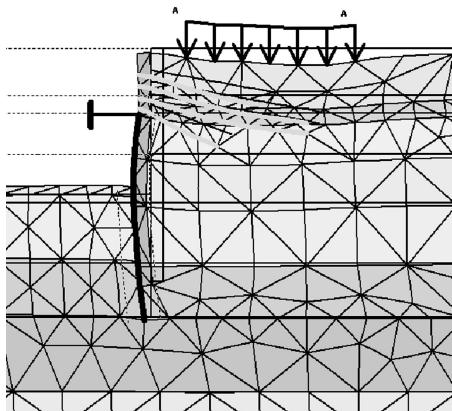


图 6 数值计算结果

Fig. 6 Results of numerical calculation

排除个别测点可能存在的测量误差, 基坑周围管线最大沉降均未超过 20 mm, 房屋倾斜最大值 0.33% (允许值 0.4%); 显示基坑周边环境得到了较为有效的保护。

5 结 论

(1) 基坑工程的优化设计必须认真研究场地的工程地质和水文地质特点、基坑的几何参数特点、基坑周围的环境保护要求和基坑施工的工期造价要求等多种因素。

(2) 在控制基坑浅层土的开挖深度的基础上, 即使浅层土土质较差, 仍可以通过采取可靠的围护措施控制浅层土体变形和稳定, 从而降低基坑第一道支撑的标高, 达到节省一道支撑的目的, 获得可观的经济

效益并缩短施工工期。

(3) 对于面积较大的基坑, 若形状适合, 采用圆环支撑不仅能够形成受力合理、具备足够刚度的支撑体系, 而且能形成较大规模的基坑开敞空间, 有利于土方开挖和加快工程进度。

参 考 文 献:

- [1] 丁文其, 李象范, 陶履彬, 等. 杭州运河广场超大深基坑围护设计[J]. 地下空间, 2004, 24(增刊 1): 16 - 27. (DING Wen-qi, LI Xiang-fan, TAO Lv-bin, et al. Design of the retaining structure for the large-scale deep foundation pit of canal square in Hangzhou[J]. Underground Space, 2004, 24(S1): 16 - 27. (in Chinese))
- [2] 尹骥, 管飞, 李象范. 直径 210 m 超大圆环支撑基坑设计分析[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(增刊): 1596 - 1599. (YIN Ji, GUAN Fei, LI Xiang-fan. Design and analysis of a 210m-diameter circular struttued foundation pit[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(S0): 1596 - 1599. (in Chinese))
- [3] 刘益平. 大直径双环梁基坑支护体系设计与优化[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(增刊 1): 219 - 222. (LIU Yi-ping. Design and optimization of double large-diameter arched beam support system in foundation pits[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(S1): 219 - 222. (in Chinese))
- [4] DB33/T1008—2000 浙江省标准: 建筑基坑工程技术规程 [S]. (DB33/T1008 — 2000 Zhejiang standard: code for technique of building foundation excavation engineering[S]. (in Chinese))

(本文责编 明经平)