

土钉墙在超深基坑支护中的应用

孟凡运¹, 刘全峰²

(1. 山东省城乡建设勘察院, 山东 济南 250031; 2. 山东正元建设工程有限责任公司, 山东 济南 250014)

摘要:通过对一深达 17.70 m 的基坑支护方案的比较, 确定采用土钉墙支护, 并对土钉墙施工中应注意的问题、基坑监测方案和应急预案措施等进行了介绍, 以期对土钉墙的推广应用起到一定的指导和借鉴作用。

关键词: 基坑支护; 土钉墙; 基坑监测; 地下水控制

中图分类号: TU473.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2008)05-0044-03

随着城市建设用地的日益紧张, 建筑物不断向高、深方向发展, 基坑支护工程项目越来越多。目前主要的基坑支护结构有排桩、地下连续墙、水泥土墙、土钉墙等。由于土钉墙相对造价较低, 在对变形要求不很严格的基坑中得到推广应用。

按照《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 20-99) 有关规定, 土钉墙适用于基坑深度不宜大于 12 m 的基坑侧壁安全等级宜为二、三级的非软土地层。但对于场地地层条件较好的深基坑, 可对规范限定有所突破。山东省城乡建设勘察院曾在一最大开挖深度 17.70 m 的基坑采用土钉墙支护, 取得了较好的效果, 现介绍给大家, 供同仁参考。

1 设计条件

1.1 工程概况

济南嘉恒商务广场(现名称为济南东环国际广场)位于济南市二环东路, 是济南市东部地标性建筑物。该商务广场由 A、B、C、D 四座高层商住楼及地下车库联体建筑组成, 总建筑面积约 14 万 m²。其中 A、B 座高 24 层, C、D 座高 22 层, 中间由裙楼连为一体, 裙楼高 3 层。车库位于主楼西侧, 地下 2 层。该建筑物设地下室 2 层, 局部为 3 层, 采用天然地基、筏板基础。基坑底长 196 m, 宽 66 m。基坑开挖深度在 12.00 ~ 17.70 m 之间, 具体开挖深度详见图 1。

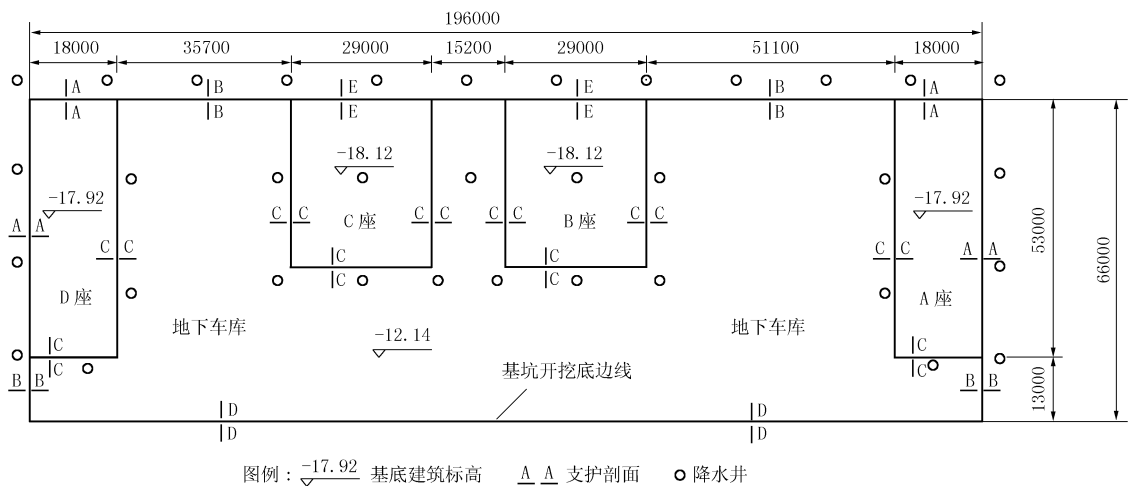


图 1 基坑平面布置图

1.2 场地工程地质和水文地质条件

建筑场地地貌单元属山前冲洪积扇, 场地地层由第四系冲~洪积成因的黄土状土、粘性土及残积土组成, 下伏白垩辉长岩, 上覆一定厚度的近期人工

填土。基坑开挖深度范围内场地地层结构及主要物理力学性质详见表 1。

其中第②层有碎石混粉质粘土夹层, 碎石含量 60% ~ 70%, 第④层在场地南部混有卵石和风化岩

收稿日期: 2007-12-01; 改回日期: 2008-03-24

作者简介: 孟凡运(1969-), 男(汉族), 山东单县人, 山东省城乡建设勘察院副总工程师、高级工程师, 岩土工程专业, 从事岩土工程技术与管理工作, 山东省济南市无影山中路 85 号, meng_fy@163.com。

表 1 场地地层结构及主要物理力学性质

层号	地层名称	厚度/m	层底深度/m	$\gamma/(kN \cdot m^3)$	c/kPa	$\varphi/(^\circ)$	f_{sik}/kPa
①	杂填土	0.20 ~ 1.60	0.20 ~ 1.60	19.0	5.0	10.0	20
②	黄土状粉质粘土	7.50 ~ 8.50	8.60 ~ 8.80	18.4	36.6	18.3	60
③	粉质粘土	0.50 ~ 3.00	8.40 ~ 11.10	19.1	31.8	18.5	50
④	粉质粘土	0.80 ~ 5.80	8.40 ~ 11.10	19.6	38.6	15.3	75
⑤	残积土	0.40 ~ 3.30	13.10 ~ 16.20	19.1	41.0	22.5	70
⑥	全风化辉长岩	1.60 ~ 6.70	16.50 ~ 21.40	20.0	45.0	45.0	100

残核。抗剪强度指标综合考虑直剪试验和三轴试验结果确定。

场地地下水为第四系孔隙潜水,含水层主要为第③层粉质粘土、第④层粉质粘土、第⑤层残积土及下伏辉长岩风化带。地下水埋深 9.00 ~ 10.10 m。根据抽水试验查明渗透系数 $k = 1.85 \sim 7.67$ m/日,场地南半部较北半部渗透系数大,这是由于南半部地层中碎石、卵石含量较高所致。

1.3 基坑边界条件

建筑场地开阔平坦,周围无高大建筑物,四周距建筑红线边界的距离分别为:西 20 m,东 8 m,南 22 m,北 18 m,基坑西侧边缘距二环东路道路管线的距离 > 25 m。基坑东侧距已有 3 座住宅楼的距离为 11.4 m,南侧距两座已有住宅楼的距离为 25.2 m,住宅楼高 6 层,砖混结构。

2 支护方案论证

虽然基坑开挖深度最大达 17.70 m,但场地地层条件相对较好,且基坑周边无重要建筑物和管线,按照《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120-99)中的有关规定,综合确定基坑侧壁安全等级为二级,重要性系数取 1.0。

地下水埋深 9.00 ~ 10.10 m,则地下车库部位水位降深约 3.00 m,主楼部位水位降深 9.00 m。由于周围无重要建筑物,且场地地层条件较好,降水引起的附加沉降较小,选择大口径井点降水。降水井主要布置在主楼基坑周围,井间距约 19 m,井深 25.00 m,共布置降水井 35 眼,降水井位置详见图 1。

2.1 排桩支护

根据济南地区基坑支护经验,该工程首先考虑的是排桩支护,采用桩锚支护形式。经计算,需要设置 1 ~ 2 道锚杆。为进行方案比较,我们选择了桩径 800 mm 的钻孔灌注桩作为支护桩进行计算,设计结果如表 2。

2.2 土钉墙支护

表 2 排桩支护计算结果

基坑深度/m	桩径/mm	桩及锚杆间距/mm	嵌固深度/m	桩长/m	锚杆道数	锚杆长/m	桩顶冠梁尺寸/(mm × mm)
12.00	800	1600	5.00	17.00	1	17.50	900 × 600
17.70	800	1600	7.00	24.50	2	18.00	900 × 600
						20.00	

若采用土钉墙支护,土钉水平间距 1500 mm,竖向间距 2000 ~ 2500 mm,土钉成孔直径 150 mm,倾角 15°,混凝土面层厚度 100 mm,混凝土强度等级 C20,面层内设双向 $\varnothing 8 @ 200$ 钢筋网。根据基坑开挖深度、场地地层条件、允许放坡坡度将整个基坑划分为 6 种工况(见图 1),采用理正深基坑支护设计软件计算,中国建筑科学研究院 PKPM 支护软件验算,各工况设计结果如表 3。

表 3 土钉墙支护计算结果

工况	基坑深度/m	放坡坡度/(°)	土钉道数	土钉长度/mm
A	17.50	75	7	7.00 ~ 15.00
B	12.00	75	4	5.00 ~ 9.00
C	5.52 ~ 5.72	85	2	4.50 ~ 6.00
D	12.00	80	4	6.00 ~ 10.00
E	17.70	75	7	7.00 ~ 15.00

2.3 方案比较

按以上排桩支护方案,共需布设支护桩 328 根。由于支护桩须在基坑开挖前施工,考虑到施工现场的电力负荷和当时的施工工艺,支护桩施工工期约 40 天。而土钉墙施工和土方开挖穿插进行,土方工作量很大,在协调好土方开挖和土钉墙支护施工的工序的基础上,土钉墙几乎不单独占用工期。因此土钉墙支护能比排桩支护降低工期约 40 天。

按照当时的市场价格,经估算,该排桩支护费用约 670 万元,土钉墙支护费用约 215 万元。

经比较,土钉墙方案与排桩方案相比,在工期、造价上均有较大优势。虽然土钉墙支护引起的坡顶位移、支护结构的变形大于排桩方案,但考虑到基坑周边无重要建筑物和管线,在保证基坑局部抗拉强度和整体稳定的前提下,一定限度范围内的变形不会对周边环境产生影响。因此该工程选择采用土钉墙支护。

3 基坑支护施工和监测

3.1 施工控制要点

土钉位置偏差 < 100 mm, 偏斜度 $< 3\%$, 面层厚度偏差 ≥ 20 mm。为防止在基坑面层后形成滞水压力, 在面层内按横竖双向间距 3.00 m 设置泄水孔。

土方开挖与土钉墙施工密切配合。土方分层开挖, 每层土方开挖深度为土钉位置以下 0.50 m, 严禁超挖。每层土开挖至设计深度后在土钉施工完毕且强度达到 75% 之前不得进行下层土方开挖。土方开挖顺序先四周、后中间。

3.2 信息化施工

由于建筑场地地质条件比较复杂, 而勘察往往以点带面, 并不能完全反映这个场地的地质条件。因而在基坑开挖过程中, 设计人员深入现场了解基坑开挖揭露的地层情况, 对支护方案不断进行细部优化, 调整土钉长度, 使支护措施更加经济合理、安全可靠。

根据土钉抗拉试验结果调整土钉长度, 使土钉抗拉力满足设计荷载要求。

3.3 地表水控制

基坑外侧地面全部硬化, 并在支护结构上部砌筑 240 mm \times 300 mm 的挡水墙, 在支护结构外侧设置排水沟以防雨水进入基坑。

3.4 基坑监测

监测范围包括基坑支护结构的位移、变形观测及周边住宅楼的沉降观测。

在周围住宅楼上分别设置 $4 \sim 5$ 个沉降观测点, 在基坑四周设置 16 个位移观测点。在降水开始后即开始观测工作, 在降水停止、基坑回填之前一直进行观测, 并在降水初期、基坑开挖期间适当加密观测次数。

除仪器观测外, 还对周围水位观测井的水位、基坑加强了巡视工作, 以便及时发现问题予以解决。

通过对基坑及周围建筑物的监测, 周围建筑物最大沉降 3.38 mm, 基坑平均位移量 10.80 mm, 最大位移量 15.79 mm, 满足设计和规范要求。

3.5 应急预案

为确保基坑在施工和使用期间的安全, 在开工前即制定了应急预案。

3.5.1 险情判断

在出现下列情况之一时, 应立即报警, 若情况比较严重, 应立即停止施工, 并对基坑支护结构和周围环境中的保护对象采取应急措施:

(1) 基坑支护结构或后面土体最大位移已大于 40 mm, 或水平位移速率已连续 3 日大于 3 mm/d;

(2) 个别土钉出现断裂、松弛或拔出现象;

(3) 周围建筑物不均匀沉降已接近《建筑地基基础设计规范》(GB 50007 - 2002) 有关规定或建筑物倾斜速率已连续 3 日大于 $0.0001H/d$ 。

3.5.2 应急预案措施

(1) 在基坑开挖过程中, 先开挖四周土体, 若支护结构最大位移 > 40 mm, 应立即停止开挖, 并利用基坑内的土体进行坡底堆载反压。设计人员出具设计变更并落实后, 方可继续开挖。

(2) 当出现土钉松弛、拔出现象时, 应查找原因。若施工质量原因, 应在原设计位置以下 200 mm 重新施工; 若是设计原因, 设计人员应重新进行验算出具设计变更。

(3) 在周围建筑物附近设置水位观测井, 若建筑物沉降较大, 则利用水位观测井进行回灌。

虽然该工程施工中未出现以上不利因素, 应急预案没有实施, 但应急预案的制定为基坑安全提供了保证。

4 结语

(1) 虽然《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 20 - 99) 中“土钉墙适用于基坑深度不宜大于 12 m 的基坑侧壁安全等级宜为二、三级的非软土地地”, 而该基坑深度最大达 17.70 m, 但通过造价、工期比较及可行性分析, 土钉墙支护比桩锚支护有较大优势, 因此选择了土钉墙的支护形式。

监测结果表明, 周围建筑物沉降量、基坑位移量都满足规范要求。该基坑正常使用约 14 个月, 经历了雨季考验, 土钉墙支护达到预想的效果。

(2) 基坑支护方案选择中, 应结合基坑开挖深度、场地工程地质和水文地质条件、周围建(构)筑物情况等, 进行多种支护方案的对比, 以期选择最优方案。在工程实施中, 应采取信息化施工, 并制定应急预案。

参考文献:

- [1] JGJ 120 - 99, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] 吴铭炳. 软土地基深基坑支护中的土压力[J]. 工程勘察, 1992, (2).
- [3] JGJ/T 111 - 98, 建筑与市政工程降水工程技术规范[S].