

# 土钉桩锚联合支护基坑工程设计

刘玉民, 赵大军, 白奉田

(吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

**摘要:**近年来,土钉支护作为一种新型支护形式,以其施工方便、节约成本的优势,得到了广泛应用。但在处理高深基坑、场地有限的条件下,则有着不可避免的局限性。主要介绍了将土钉支护与桩锚支护结合应用的实例,总结了土钉桩锚联合支护在高深基坑工程支护中的设计经验。

**关键词:**高深基坑;基坑支护;土钉支护;桩锚支护

**中图分类号:**TU473.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)12-0069-05

**Design of Soil Nailing Combined with the Pile-anchor Technology in Foundation Excavation Support/LIU Yu-min, ZHAO Da-jun, BAI Feng-tian (College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)**

**Abstract:** As a new supporting form, soil nailing has been widely used for its easy construction and low cost in recent years. However, it has some inevitable limitations in dealing with deep foundation pit or in limited space. This paper introduced the engineering application case of soil nailing combined with the pile-anchor, summed up the design experience of soil nailing combined with pile-anchor in foundation excavation support.

**Key words:** deep excavation; excavation support; soil nailing support; pile-anchor support

## 0 前言

我国的深基坑工程在近20年来,尤其是近10年来得到迅猛发展,大量的工程实践大大丰富和提高了我国在基坑工程领域的技术水平。目前,在城市建设中,受周边环境条件所限,深基坑开挖以支护开挖为主要形式。高层建筑的飞速发展,使深基坑的设计面临着更严峻的挑战,越来越复杂的开挖环境也对深基坑的设计提出了更高的要求。土钉与桩锚组合式支护结构不仅是经济适用的基坑支护方式,而且能够很好的控制支护结构和土体变形,同时需要考虑基坑工程的环境效应。长沙某高深基坑的设计在深入掌握和研究已有工程地质、水文地质资料和周边环境条件的基础上,参照成功的设计及施工经验,着重考虑了各种因素,最终取得了成功,可为复杂环境下的基坑工程设计提供参考。

## 1 工程介绍

拟建场地位于长沙市雨花区洞井镇高升村,南临省税务专科学校,北接湘府路,原始地貌为丘陵坡地,后经机械挖填土,目前场地南高北低,高程在64~70 m之间。拟建建筑物共5栋,其中甲地块商住楼3栋,高83.7 m,26层,框剪结构,地坪设计标高64.55 m,单柱荷载最大20000 kN;乙地块办公楼1

栋,酒店1栋,高77.85 m,22~23层,地坪设计标高66.90 m,框剪结构。均有2层地下室(-9.0 m),属二级建筑物,综合考虑场地等级及地基等级,本工程勘察等级为乙级。

### 1.1 工程概况

基坑概况及分段情况见图1,基坑东南侧墙顶建有房屋,进行基坑支护时,不能对其造成影响。基坑的北侧为湘府路,路侧有地下水管、电信、电缆、下水道等多种地下管线,进行基坑支护时,不能对其造成破坏。基坑南侧为已建建筑,进行基坑支护时,不能对其造成破坏影响。拟建场地无流砂或其他软弱地层,地下水较少,人工挖孔桩施工较容易,且对周边环境无不良影响。

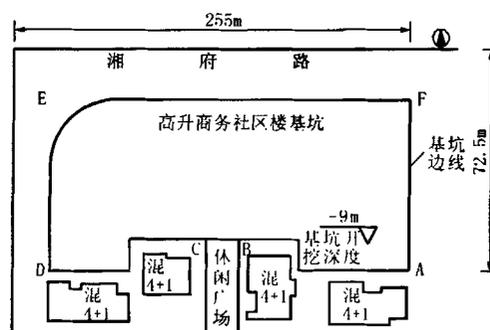


图1 基坑概况及其分段平面图

收稿日期:2011-05-05; 修回日期:2011-08-31

作者简介:刘玉民(1987-),男(汉族),山东诸城人,吉林大学建设工程学院硕士研究生,地质工程专业,研究方向为油页岩地下冷冻墙的制作,吉林省长春市吉林大学前卫北区3舍401,csulym@126.com。

1.2 岩土工程特性指标(见表1)

表1 岩土层工程特性指标

层号	土层名称	平均厚度 h/m	天然地基承载力特征值 f <sub>sk</sub> /kPa	压缩系数 a <sub>100-200</sub> /MPa <sup>-1</sup>	压缩模量 E <sub>s</sub> /MPa	天然密度ρ /(g·cm <sup>-3</sup> )	饱和吸水率/%	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 φ/(°)	粘聚力特征值/MPa	基底摩擦系数μ
① <sub>1</sub>	填土	0.5		0.70	3.0	1.65		0	15.0		
① <sub>2</sub>	素填土	4.4		0.50	4.0	1.72		11.0	11.0		
②	淤泥质土	1.7		0.90	2.5	1.65		10.0	8.0		
③	粉质粘土	2	220	0.35	5.2	1.95		38	15.0	20	0.25
④	粉质粘土	0.4	240	0.25	6.5	1.97		50	19.0	25	0.30
⑤	强风化泥质粉砂岩	0.9	320			2.10	35	35	30	130	0.40

注:采用此表值时须进行试桩校核。

2 方案选择及设计计算

2.1 降水或止水方案选择

场地地下水类型分为上层滞水和潜水。其中赋存于素填土中的地下水为上层滞水,水量不大,水量受大气降水及生产生活排水影响。勘察期间测得各钻孔中上层滞水的稳定水位埋深为6.0~9.0 m,相当于标高58.0~60.0 m。水量大小和径流、补给受裂隙的发育程度、连通性以及区域构造的影响,水量较小。基坑坡顶、坡底都设置300 mm×300 mm的排水沟,坡上还设有泄水管,所以本工程可不考虑地下水的影响。

2.2 支护方案选择

将基坑边线按顺时针方向分为6段:AB段长100 m,BC段长22.5 m,CD段长67.5 m,DE段长81.5 m,EF段长255 m,FA段长72.5 m。地下室开挖后,A-B、C-D、E-F段由于基坑边线离已有建筑物距离较近(4.0~13.0 m),周边无放坡空间,坡顶已有建(构)筑物需要保护,故用桩锚支护,BC、DE、FA段则采用土钉支护即可,六段均应严格按逆作法施工。

2.2.1 土钉墙设计计算

以BC段为例,据场地工程地质情况,并依据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2002)的标准及地区经验,选定锚杆倾角为α=15°,钻孔直径D=130 mm,据场地情况设定边坡坡角β=80°,土钉水平间距和竖直间距均取1.5 m,据边坡高度及土钉间距情况的分析,本段坡面设计5排土钉。土钉支护土压力分布见图2,土钉长度的设计见表2。

2.2.2 桩锚设计计算

根据本基坑EF段的实际情况,设2道锚杆,水平间距为2.0 m,尽量使锚杆的位置均匀布置,采用分层开挖支撑力不变法计算,第一次开挖至3.0 m,

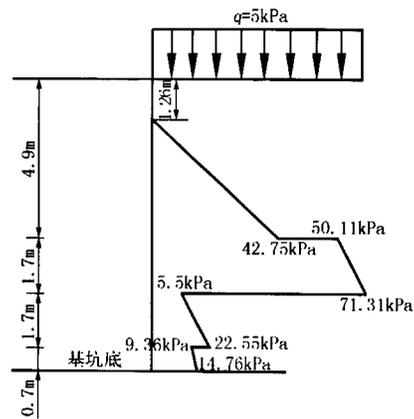


图2 BC段土钉支护土压力分布图

表2 土钉计算列表

排数	Z <sub>i</sub> /m	e <sub>ij</sub> /kPa	T <sub>uk</sub> /kN	L <sub>aj</sub> /m	L <sub>bj</sub> /m	面层 L <sub>0</sub> /m	L /m	调整长 度/m	直径 d <sub>i</sub> /mm
1排	1.5	15.8	48.77	4.40	3.73	0.15	8.3	10	16
2排	3.0	23.7	44.56	3.43	3.41	0.15	7.0	8.5	16
3排	4.5	23.7	44.56	2.46	2.45	0.15	5.1	7	16
4排	6.0	23.7	44.56	1.49	2.45	0.15	4.1	6.5	16
5排	7.5	23.7	66.85	0.52	3.68	0.15	4.3	5	18

注:(1)L=L<sub>aj</sub>+L<sub>bj</sub>+L<sub>0</sub>;(2)调整长度考虑了内部稳定性验算的影响。

第一道锚杆设置在2.4 m处;第二次开挖至6.0 m,第二道锚杆设置在6.0 m处;第三次开挖至坑底。两道锚杆倾角均为15°。

桩锚支护土压力分布如图3所示。

主筋:7Ø25,加强筋 Ø16@2000,螺旋筋 Ø8@200。

桩长L=9+2.8=11.8 m,取12 m。

圈梁采用6Ø20。

锚杆配筋选用2根Ø32的钢筋即可。

锚杆长度:

第一排:L<sub>1</sub>=L<sub>aj</sub>+L<sub>cl</sub>=6.6+11.8=18.4 m,取18.5 m;

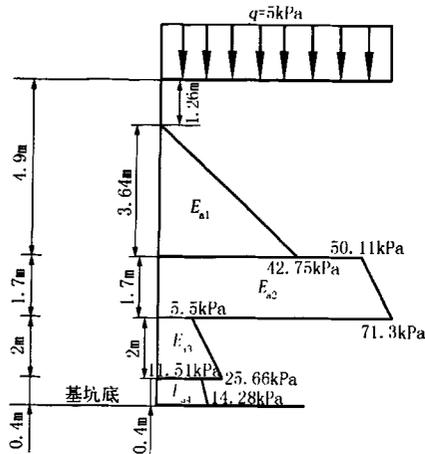


图3 EF段桩锚支护主动土压力分布图

第二排:  $L_2 = L_{p2} + L_{a2} = 5 + 16.4 = 21.4 \text{ m}$ , 取

21.5 m。

式中  $L_f$  为自由段,  $L_a$  为锚固段。

腰梁的设计, 3根C20a组合截面抗弯模量  $W_n = 534 \text{ mm}^2$ , 能满足设计要求。

### 3 最终方案

#### 3.1 土钉支护方案

据场地工程地质情况, 依据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2002)的标准及地区经验, 选定锚杆倾角  $\alpha = 15^\circ$ , 钻孔直径  $D = 130 \text{ mm}$ , 据场地情况设定边坡坡角  $\beta = 80^\circ$ , 土钉水平间距和竖直间距均取 1.5 m, 据边坡高度及土钉间距情况的分析, 坡面设计 5排土钉。各段土钉支护参数见表3。

表3 土钉支护设计参数汇总

		FA段					BC段					DE段				
横距/m		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
竖距/m		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
长度/m		9.5	8.0	6.0	4.0	4.5	10	8.5	7.0	6.5	5.0	11	9.0	6.0	5.5	5.0
直径/m		16	16	16	16	18	16	16	16	16	18	16	16	16	16	18

土钉支护如图4所示。

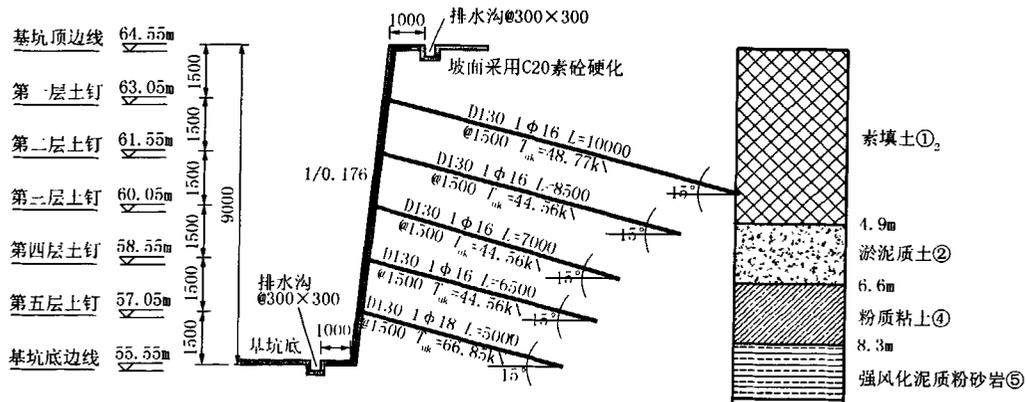


图4 土钉支护剖面图

#### 3.2 桩锚支护方案

根据本基坑 EF 段和南侧的 AB、CD 段的实际情况, 设 2 道锚杆, 水平间距为 2.0 m, 尽量使锚杆的位置均匀布置, 采用分层开挖支撑力不变法计算, 第一次开挖至 3.0 m, 第一道锚杆设置在 2.4 m 处; 第二次开挖至 6.5 m, 第二道锚杆设置在 6.0 m 处; 第三次开挖至坑底。两道锚杆倾角均为  $15^\circ$ 。各段桩锚支护参数见表4, 桩锚支护如图5所示。

#### 3.3 最终设计方案

基坑 FA、BC 及 DE 段采用土钉支护, 详细参数见表3。

表4 桩锚支护设计参数汇总

段位	桩						锚杆		
	桩径/m	桩长/m	间距/m	主筋	加强筋	螺旋筋	长度/m	配筋	位置/m
AB+CD段	1	12	2	8Ø25	Ø16	Ø8	22.5	Ø18	2.4
							25.5	Ø18	6
EF段	1	12	2	7Ø25	Ø16	Ø8	18.5	Ø18	2.4
							21.5	Ø18	6

基坑 EF 和 AB、CD 段采用桩锚支护, 详细参数见表4。

在旧城改造区及周边环境和地质条件复杂的情况下, 采取针对性组合支护结构类型是一种较为经济实用的支护形式, 值得推广应用。工程实际应用

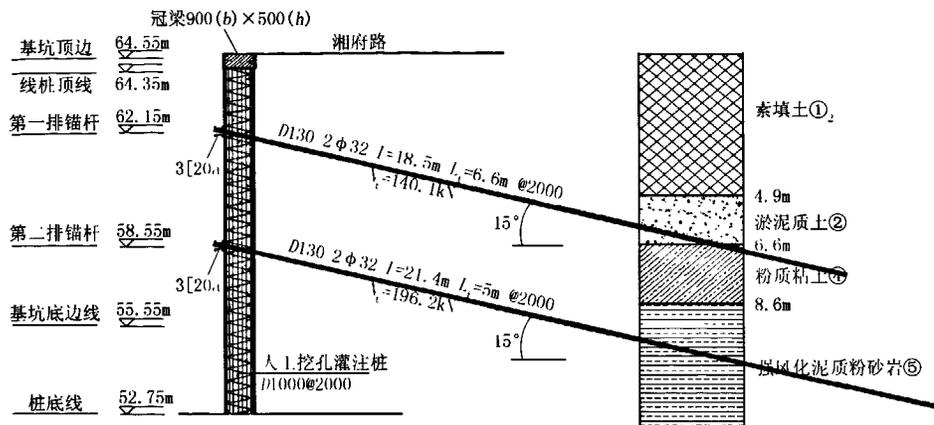


图5 桩锚支护剖面图

中,将土钉墙和桩锚支护结构组合在一起,将深基坑的支护分作2个部分,再通过灌注桩的压顶圈梁联系在一起,基坑中桩的位移和土体的隆起都得到了有效控制,达到了深基坑围护的效果。

#### 4 基坑监测

##### 4.1 监测方案

本基坑安全等级为二级,监测的主要项目有:土体侧向位移、坡顶的沉降、周边建筑物变形情况。其监测方法和精度要求见表5。

表5 监测方案和精度要求

序号	测量项目	位置或监测对象	测试元件	测量精度/mm	测点布置
1	土体侧向位移	靠近围护结构的周边土体	测斜管 测斜仪	1.0	11孔,同一孔测点间距0.5m
2	各剖面基坑顶面沉降位移	靠近基坑边线钢筋网、喷锚面上	经纬仪 水准仪	1.0	间距20m,每项设11个观测点
3	地下水位	基坑周边	水位管 水位计	5.0	共设14个,管底至强风化面或基坑底
4	邻近建筑物沉降倾斜	基坑周边保护的建筑物	经纬仪 水准仪	1.0	间距30m,共设22个观测点
5	地面沉降	基坑周围地面	水准仪	1.0	间距20m,共设22个观测点
6	地下管线沉降和位移	基坑周围地面	水准仪	1.0	间距20m,共设22个观测点

##### 4.2 监测项目的警戒值及应急措施

本工程监测中,每一测试项目都根据对象的实际情况,事先确定相应的警戒值,以判断是否超出允许的范围,判断工程施工是否安全可靠,是否需调整施工步序和优化原设计方案。一般情况下,警戒值由2部分控制,即总允许变化量和单位时间内允许的变化量。

(1) 基坑测斜:最大位移取30mm,警戒值为25mm,每天发展不超过5mm;

(2) 基坑外水位:基坑开挖引起坑外水位下降不得超过2000mm,每天发展不得超过2mm;

(3) 自来水管道的变化:沉降或水位位移不得超过30mm,每天发展不得超过5mm。

当监测项目超过其警戒值时,必须迅速停止开挖,原位回填,保证警戒值不再增大;查明原因,对支护方案进行修改,待加固处理后方能进行下一步开挖。

##### 4.3 监测时间与周期

基坑工程监测主要包括3个不同的时间阶段。

施工前阶段:各监测项目在基坑支护施工前测得稳定的初始值,且不少于2次。

施工阶段:各项监测工作的时间间隔根据施工进度确定,在开挖卸载急剧阶段,间隔时间不超过3天;其余情况下可延至5天。当结构变形超过有关标准或场地条件变化较大时,加密观测,采用8、12、24h监测一次的方式进行。当有危险事故征兆时,进行连续监测。

施工完成后:防治效果监测时程不少于一个水文年,数据采集时间间隔为7~10天,在外界扰动较大时,如暴雨期间,加密监测次数。

#### 5 结论

根据长沙地区常用的一些基坑支护形式,本设计最终选用了排桩加锚杆联合支护及土钉墙支护2种方法相结合的方案,计算方法则选用当前我国工程界使用较广泛的计算支护结构内力的方法——逐层开挖支撑(锚杆)承载力不变法。本工程设计使用2道锚杆,考虑了其分层开挖的影响,这是比较符

合实际情况的。

(1) 基坑沉降位移受开挖的影响比较大, 基坑大幅度开挖时, 沉降位移会很明显, 而小幅度分层开挖则对其沉降位移不会造成太大影响, 开挖完成后, 基坑沉降位移会出现明显的稳定阶段。开挖后期, 基坑周围的土压力在基坑底部以上变化较小, 而基坑底部随深度增加呈现线性分布, 不断变大; 从整个开挖过程来看, 不同深度处土压力随着开挖的进行, 都是不断减小的。

(2) 基坑短边的桩身弯矩明显小于其长边的弯矩, 桩身弯矩也存在空间效应: 相同基坑边上的桩身在基坑底部以上部分弯矩变化大体一致, 而基坑底部以下的部分, 弯矩变化相差较大。

(3) 在基坑支护中, 桩和锚杆共同工作时, 如果锚杆位置适当, 可以很明显的提高基坑安全系数达 50%; 而如果布置不当, 效果就会很小。

(4) 监测结果的累计位移值和沉降均不大于监测控制标准, 基坑 6 段的累计位移均小于 12 mm, 基坑开挖过程中对周围地下管线和建筑物未发现不良影响。从基坑支护后的实时监测中得知, AB + CD 段和 EF 段桩锚支护在变形控制方面取得了良好的

效果。

#### 参考文献:

- [1] 陈进. 深基坑的土钉与桩锚组合式支护结构研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- [2] 隆威, 郑克清, 王雅琼, 等. 土钉和桩锚在长沙华韵城市海岸基坑支护中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 36(2): 36-39.
- [3] 杜常春, 周喜锋, 焦德智, 等. 某大型软土深基坑围护中多种支护技术的优化组合[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(5): 59-62.
- [4] 刘建航, 侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [5] GB 50330-2002, 建筑边坡工程技术规范[S].
- [6] 王绍亮. 杭州中冠现代印象广场深基坑支护设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(8): 57-59.
- [7] 江政炎, 陈飞. 喷锚与桩锚支护在中南花园酒店深基坑工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(12): 51-53.
- [8] CEC S22:90, 土层锚杆设计规范[S].
- [9] 陈希哲. 土力学地基基础(第4版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [10] 余志成, 施文华. 深基坑支护设计与施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [11] JGJ 120-99, 建筑基坑支护技术规程[S].

#### (上接第 68 页)

入弱风化基岩深度  $\leq 4$  m, 否则需调整桩长和基底设计标高; ③新增桩基采用人工挖孔桩, 坑底以上孔口段采用砌砖围护。

(6) 墩柱加固。对右幅 2、3 号墩柱体裂缝用封闭胶进行封闭或灌注, 然后对墩柱用一层进口碳纤维粘结加固, 再进行表面防紫外线处理。

(7) 回填。采用级配砂砾石回填桩、承台、系梁周边至承台顶, 靠河一侧土体设盲水沟, 再用粘土覆盖 1 m, 向河道方向放坡 2% 并压实, 在桥左侧沿山坡脚作截水沟, 防止地表雨水渗入桥下土层。

#### 5 结语

通过 3 个多月的努力, 在不破坏原桥的情况下成功地完成了大桥的纠偏与桩基加固施工任务, 使大桥的质量、安全达到了设计要求。在施工过程中,

面对以前没有遇到过的纠偏与加固问题, 没有可借鉴的经验, 但通过在施工实践中反复摸索, 总结出一套行之有效、简易便捷、经济实用的桥位纠偏技术方法, 成功地解决了桥梁断桩、偏位重大技术难题, 这对以后处理类似质量问题具有独特借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] 腾宝国. 深孔多锚索安装和注浆工艺的研制与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(5).
- [3] 郝峰. 地面水平拉锚桩在基坑工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(1).
- [4] 张义强. 小型深基坑支护结构的设计与监测[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(11).
- [5] 蒋国盛. 基坑工程[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 2000.
- [6] JGJ 94-94, 建筑桩基技术规范[S].