

一汽乘用车所基坑土钉墙支护优化设计

袁鹏¹, 赵大军¹, 刘永宁², 戚波¹

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 山西华冶勘测工程技术有限公司, 山西 太原 030002)

摘要:分析了长春一汽乘用车所基坑工程地质条件,对基坑支护方案进行分析论证,并对所采用的土钉墙支护方案进行设计。采用单因素分析法,在土钉倾角合理区间内,对土钉倾角进行最优设计,得出了土钉倾角对基坑边坡稳定性影响规律。本工程采用土钉墙支护的方案,短时高效地完成了工程任务节约了投资。实践证明,通过土钉倾角优化设计,在工程造价不变的情况下,大幅提升施工安全。为土钉墙支护在长春基坑工程中的应用研究提供了借鉴。

关键词:基坑支护;土钉墙支护;土钉倾角;单因素分析法

中图分类号:TU473.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)12-0039-05

Optimization Design of Soil Nailing Wall Support for a Foundation Pit of Passenger Car Institute of First Automobile Group/YUAN Peng¹, ZHAO Da-jun¹, LIU Yong-ning², QI Bo¹(1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. Shanxi Huaye Surveying Engineering Technology Co., Ltd., Taiyuan Shanxi 030002, China)

Abstract: The geological conditions were analyzed for the foundation pit engineering of Passenger Car Institute of First Automobile Group in Changchun, the analysis and demonstration were made on the supporting scheme and the soil nailing wall support scheme was designed. The optimal design of soil nail inclination angle was made within a reasonable range with single factor analysis method and the influence law of soil nail inclination angle on foundation pit slope stability was obtained. The practice shows that by this soil nailing wall supporting scheme, the engineering works was completed with short-term efficiency and investment saving; by the optimization design of soil nail inclination angle, the construction safety was greatly promoted with original project construction cost. This practice provides conference to the application study on soil nailing wall support of foundation pit engineering in Changchun.

Key words: foundation pit support; soil nailing support; soil nail inclination angle; single factor analysis method

1 工程概况

一汽乘用车所建设项目,临近长春市南四环,位于东风大街以北,大众街以东,凯达北街以西,丙九路以南。基坑支护整体平面图见图1。图中粗实线标示部分采用土钉墙支护,其余部分采用钢管桩+扩大头锚索支护。本文主要分析土钉墙支护段。

本工程包括前期策划办公楼(地下1层,地上7层),项目团队楼(6层),研发设计综合楼(5层),停车楼(7层),整车对标试验室(局部2层),新能源汽车试验室(2层),预批量试制车间(局部2层),底盘、车身试验室(局部2层),噪声、整车试验室(地下1层,局部2层),造型评审中心(地下1层,地上2层),动力及物流中心(地下1层,地上1层)

以及培训中心(地下1层,地上2层)等建筑物和调车场试车跑道。工程建筑物±0.000相当于海平面高程202.0m。基坑周长约3073m,支护深度5.8~10m,总支护面积约20000m²。

2 场地的工程地质条件

①杂填土:层厚0.6~4.7m;②粉质粘土:黄褐色,可塑—硬塑,最大层厚度10.7m;②₁粉质粘土:黄褐色,软塑,局部可塑,最大厚度8.5m;②₂粗砂:黄褐色,饱和,稍密;③粉土:褐黄色,局部为浅红色,饱和;③₁粗砂:黄褐色,最大厚度1.4m,饱和,稍密;③₂砾砂:黄褐色,含角砾,饱和,中密,厚度为0.7m;③₃粉质粘土:黄褐色,饱和,硬塑;④砂岩:

收稿日期:2015-02-25; 修回日期:2015-11-10

作者简介:袁鹏,男,汉族,1991年生,硕士研究生,地质工程专业,吉林省长春市吉林大学建设工程学院前卫北区3舍, YUAN145446286@126.com。

通讯作者:赵大军,男,汉族,1964年生,教授,博士生导师,副院长,从事研究生教育、资产管理与实验室建设工作,吉林省长春市西民主大街938号,1729333689@qq.com。

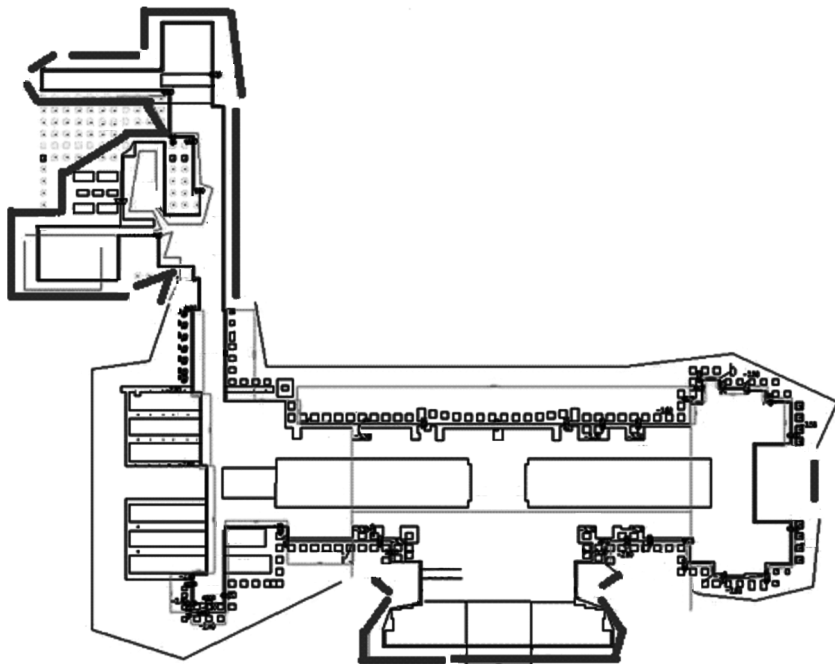


图1 基坑支护总平面示意图

紫红色,全风化—强风化,为砂岩和泥岩互层,最大揭露厚度8.2 m;⑤泥岩:紫红色;⑤₁泥岩:紫红色,全风化;⑤₂泥岩:紫红色,强风化。

通过工程地质勘察,得到的基坑支护设计参数见表1。

表1 基坑支护设计参数表

地层编号及名称	C_k/kPa	$\varphi_k/(\text{°})$	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	I
②粉质粘土	31.2	14.9	19.5	0.32
② ₁ 粉质粘土	22.6	13.5	19.0	0.7
② ₂ 粗砂	0	33.0	18.2	
③粉土	29.0	17.3	19.4	0.29
③ ₁ 粗砂	0	32.0	18.3	
③ ₂ 砾砂	0	35.0	18.2	
③ ₃ 粉质粘土	30	17.0	19.8	0.7

勘察期间,场地所有钻孔均遇见地下水,地下水类型为潜水,主要赋存于粉质粘土,稳定水位埋深为5.2~8.5 m,其主要补给来源为大气降水,勘察期间正值冬季,丰水季节水位将有所上升。

3 支护方案的选定

本基坑支护工程安全等级为二级,并具有以下几个特点:

- (1) 基坑面积较大,面积约20000 m²,周长约为3073 m,基坑实际开挖深度5.8~10 m;
- (2) 基坑影响深度范围内的土层以粉质粘土为

主,土质较好;

(3) 基坑开挖深度内无承压水含水层,仅部分支护段有少量潜水,并主要赋存于粉质粘土,对基坑开挖并无重大影响,支护墙面设置排水孔,基坑底设置排水沟;

(4) 基坑周边无重要建筑物和管线,对基坑变形要求较低,允许放坡。

根据《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)“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、三级的非软土地段^[1]”,土钉墙施工方便灵活,能合理利用土体的自稳能力,需要的施工场地小,施工简便速度快,工期短。

本工程地质条件及周边环境较为简单,并在保证安全的情况下,应尽量选择安全、经济、施工方便的支护方案。最终确定基坑图示粗线标示部分采用土钉墙支护方式。

根据支护设计总平面图和现场具体工程条件,土钉墙支护段分为9种,如表2所示。

3.1 支护段土钉参数

本基坑支护工程安全等级为二级。按1:0.3放坡,土钉水平间距 $S_x=1.5\text{ m}$,土钉倾角 $\theta=15^\circ$,地面超载 $q=10\text{ kPa}$ 。

各支护段土钉参数见表3。

工况9土钉墙支护设计图见图2。其余支护段

表 2 支护段分类表

编号	支护段	自然地面 标高/m	基坑底部 标高/m	基坑开挖 深度/m	总延 长/m
1	b ₁ —b ₂ 段	-2.2	-8.1	5.9	105
2	d ₁ —e、h—h ₁ 段	-2.2	-8.7	6.5	94
3	e—f、g—h 段	-2.2	-8.0	5.8	218
4	f—g 段	-2.2	-8.1	5.9	46
5	j—j ₁ 、m ₁ —n、t—a 段	-0.5	-7.05	6.55	296.3
6	j ₂ —k、k ₂ —k ₃ 、m ₁ —m 段	-0.5	-6.75	6.25	110
7	k—k ₂ 、n—q ₁ 、s—t ₁ 段	-0.5	-9.2	8.7	343
8	k ₃ —m 段	-0.5	-7.5	7	137.8
9	q ₁ —s 段	-0.5	-10.5	10	116

表 3 各支护段土钉参数表

支护段 编号	土钉编号	材质	垂直间距 S _v /mm	土钉长度/ mm
1~6	M1	Ø48 mm 钢花管	1000	7000
	M2	Ø20 mm 螺纹钢	1500	7000
	M3	Ø20 mm 螺纹钢	1500	6000
	M4	Ø48 mm 钢花管	1500	3000
7	M1	Ø48 mm 钢花管	1000	7000
	M2	Ø20 mm 螺纹钢	1500	9000
	M3	Ø20 mm 螺纹钢	1500	8000
	M4	Ø20 mm 螺纹钢	1500	8000
	M5	Ø20 mm 螺纹钢	1500	6000
	M6	Ø48 mm 钢花管	1500	5000
8	M1	Ø48 mm 钢花管	1000	7000
	M2	Ø20 mm 螺纹钢	1500	8000
	M3	Ø20 mm 螺纹钢	1500	7000
	M4	Ø20 mm 螺纹钢	1500	7000
	M5	Ø48 mm 钢花管	1000	4000
9	M1	Ø48 mm 钢花管	1000	8000
	M2	Ø20 mm 螺纹钢	1500	10000
	M3	Ø20 mm 螺纹钢	1500	10000
	M4	Ø20 mm 螺纹钢	1500	9000
	M5	Ø20 mm 螺纹钢	1500	7000
	M6	Ø20 mm 螺纹钢	1500	7000
	M7	Ø48 mm 钢花管	1000	6000

层 6.5@200×200 的钢筋网,允许误差 ±10 mm,加强筋 2Ø14。可用焊接或绑扎而成,搭接长度不小于一个网格边长。土钉钢筋与网片用 2Ø14 主筋横向焊接在一起,在土钉端部用“井”字架与网片焊接在一起。面层顶部上翻地面 1.0 m。

4 土钉倾角优化设计

在工程建设中,土钉施工与土方开挖往往存在一些配合上的问题,工作面平整度对土钉倾角也造成影响,因此人们为简化施工和设计,常采用水平或略倾斜角度^[2]。根据《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012):土钉倾角宜为 5°~20°^[1]。同时土钉水平放置比斜向大倾角侧向位移要小而所受摩阻力却大于后者^[3],因此本部分在水平或小角度合理范围内对土钉倾角进行优化设计,充分发挥土钉应有的效能,在原有工程造价不变的情况下,大幅提高施工安全。

4.1 理论分析

土体单元应力分布情况及土钉插入方向见图 3。根据弹塑性力学理论,土单元沿着 σ_1 方向产生压缩变形,而沿着 σ_3 方向产生伸长变形。土体加固就是要限制这种变形,因此,从理论上讲,沿 σ_3 方向插入土钉,可以最大程度地限制土体沿 σ_3 方向的伸长变形,使其加固效果比沿垂直于斜面方向插入的加固效果更为明显^[4]。相关研究人员运用 ADINA 有限元探讨了土钉倾角对无粘性土及稍含粘粒土体边坡加固,得出 σ_3 大致成平行线排列^[5]。

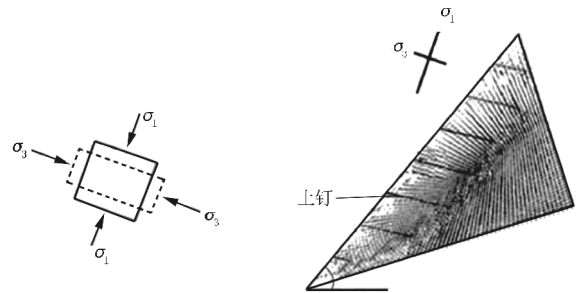


图 3 土体单元应力分布情况及土钉插入方向简图

考虑工程实际及地层复杂性和不可复制性,土层内最小主应力 σ_3 的方向是个变量,工程上土钉的插入很难严格按照变化的最小主应力 σ_3 的方向插入,这就需要用平均的角度来替代变化的最小主应力 σ_3 的方向^[5]。因此我们通过基坑整体稳定性系数,在水平或小倾角范围内,大致寻找 σ_3 主方

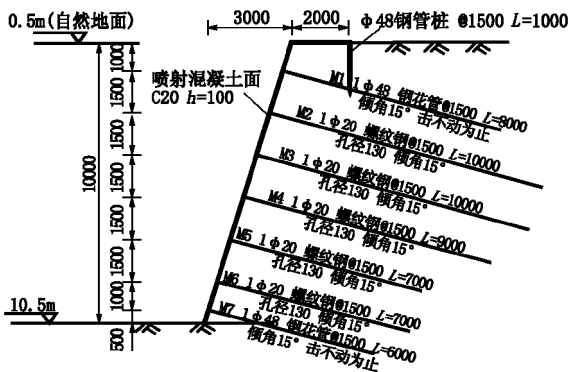


图 2 支护段 9 土钉墙结构设计图

设计图与支护段 9 类似。

喷射面层:面层厚度为 100 mm,强度 C20,挂单

向,得出土钉最优倾角。

4.2 土钉倾角优化计算

基坑整体稳定性采用圆弧滑动条分法计算,可运用理正软件进行计算,整体稳定性计算简图见图4。

$$\min \{K_{s,1}, K_{s,2}, \dots, K_{s,i}, \dots\} \geq K_s$$

$$K_{s,i} = \left\{ \frac{\sum c_j l_j + [(q_j l_j + \Delta G_j) \cos \theta_j - u_j l_j] \tan \varphi_j + \sum R_{k,k} [\cos(\theta_k + \alpha_k) + \Psi_v] / S_{x,k}}{[\sum (q_j l_j + \Delta G_j) \sin \theta_j]} \right\} \quad (1)$$

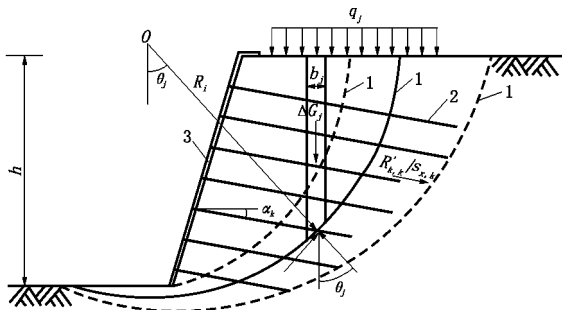


图4 整体稳定性验算简图

式中: K_s ——圆弧滑动整体稳定安全系数,安全等级为二级支挡结构, $K_s < 1.3$; $K_{s,i}$ ——第*i*个滑动圆弧的抗滑力矩与滑动力矩的比值,其最小值宜通过搜索不同圆心及半径的所有潜在滑动圆弧确定; c_j 、 φ_j ——第*j*土条滑弧面处土的粘聚力(kPa)、内摩擦角($^\circ$); b_j ——第*j*土条的宽度,m; q_j ——作用在第*j*土条上的附加分布荷载标准值,kPa; ΔG_j ——第*j*土条的自重,按天然重度计算,kN; u_j ——第*j*土条在滑弧面上的孔隙水压力,kPa,在地下水位以上或对地下水位以下的粘性土,取 $u_j = 0$; θ_j ——第*j*土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角, ($^\circ$); $R_{k,k}$ ——第*k*层锚杆对圆弧滑动体的极限拉力值,kN,取锚杆在滑动面以外的锚固体极限抗拔承载力标准值与杆体受拉承载力标准值($f_{yk} A_s$ 或 $f_{pk} A_p$)的较小值; α_k ——第*k*层锚杆的倾角, ($^\circ$); θ_k ——滑弧面在第*k*层土钉或锚杆处的法线与垂直面的夹角, ($^\circ$); l_j ——第*j*土条的滑弧段长度,m,取 $l_j = b_j / \cos \theta_j$; $S_{x,k}$ ——第*k*层锚杆的水平间距,m; Ψ_v ——计算系数,可取 $\Psi_v = 0.5 \sin(\theta_k + \alpha_k) \tan \varphi$, 此处 φ 为第*k*层锚杆与滑弧交点处土的内摩擦角。

4.2.1 单因素分析法

土钉墙支护6个常见参数:土钉长度、土钉倾角、土钉的直径(钢筋直径)、土钉钻孔直径、水平间

距和垂直间距。采用单因素分析法,即选取一个标准模型,然后变化土钉倾角,其余5个因素保持不变,分析土钉倾角对基坑稳定性的影响^[6]。

4.2.2 标准模型

选取支护段9进行介绍:基坑开挖10m,土钉参数设置见表6,倾角 15° ,部分为 $\varnothing 48$ mm钢花管如M1、M7,其余均采用 $\varnothing 20$ mm螺纹钢,为HRB400级钢筋,土钉孔径130mm,水平间距 $S_x = 1.5$ m,边坡超载个数为1,荷载值为10kPa。对倾角进行递增,变化范围为 $3^\circ \sim 19^\circ$,其余5个参数固定不变。得到土钉倾角和安全系数之间的关系,见图5。

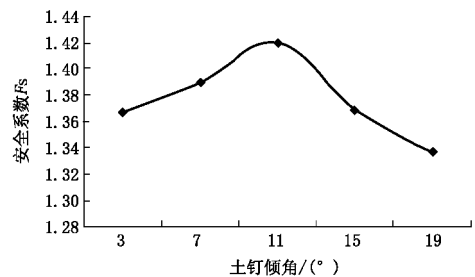


图5 土钉倾角与安全系数之间的关系

由图5可见,土钉倾角对基坑整体稳定性的影响呈抛物线变化,在一定范围内,随着倾角增大,安全系数增加;土钉倾角持续增加,安全系数减小,存在一个极值为土钉最优倾角。

4.3 土钉倾角优化效果

本工程土钉倾角选取 11° 支护效果最明显;从施工工艺来说, 11° 倾角的土钉,施工要求也比较低。实际施工中,为便于施工,可适当降低下部土钉倾角。因下部土钉的倾角所起的作用(迫使潜在危险滑面的滑弧顶点改变位置)不如上部土钉的明显,因此下部土钉倾角小一些,可使土钉拉力对安全系数的贡献最大^[7]。

实践表明,本工程采用土钉墙支护的方案,短时高效地完成了工程任务,在以后的支护工程中值得借鉴。并通过土钉倾角优化设计,在工程造价不变的情况下,大幅提升施工安全。

5 基坑监测

5.1 监测的主要项目

根据本工程的实际情况,结合现行规范规定,同时考虑到基坑开挖深度较深(10.0m),需对基坑边坡、支护结构进行水平、竖向位移监测以及基坑周边建筑物变形。在基坑支护结构的土钉墙坡顶每隔

20 m 布置一个观测点。

5.2 周期

在围护结构施工前,测得初始读数。在基坑降水及开挖期间一日一测,如观测期间数据变化较大,随时加大观测频率。

5.3 监测报警

基坑工程监测必须确定监测报警值,监测报警值应满足基坑工程设计、地下结构设计以及周边环境中被保护对象的控制要求。监测报警值应由基坑工程设计方确定(见表4)。

表4 基坑及支护结构监测报警值

监测项目	支护结构类型	基坑类别		
		二级		
		累计值		变化速率/ (mm·d ⁻¹)
绝对值/ mm	相对基坑深度 h控制值/%			
边坡顶部水平位移	放坡、土钉墙、 喷锚支护等	50~60	0.6~0.8	10~15
边坡顶部竖向位移	放坡、土钉墙、 喷锚支护等	50~60	0.6~0.8	5~8
基坑周边地表竖向位移		50~60		4~6
邻近建筑位移		10~60		1~3

注:(1) h 为基坑设计开挖深度;(2)累计值取绝对值和相对基坑深度(h)控制值两者的小值;(3)当监测项目的变化速率达到表中规定值或连续3d超过该值70%,应报警;(4)嵌岩的灌注桩或地下连续墙位移报警宜按表中数值的50%取用。

5.4 监测结果分析

通过对基坑及周围建筑物的监测,周围建筑物最大沉降5.38 mm,基坑平均位移量9.80 mm,最大位移量12.79 mm,满足设计和规范要求。本基坑的监测重点在基坑支护段9,2013年2月28日开始的第一次监测至基坑回填完毕,其支护段9的累计最大沉降值4.1 mm,最大位移值10.8 mm。根据基坑监测结果,本工程采用土钉墙支护的方案是成功的。

6 结论

(1)本工程已施工完成,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9个月,经历了雨季考验,土钉墙支护达到预想的效果,可为今后同类基坑的设计和施工提供一些参考。

(2)该基坑支护中采用土钉墙支护技术,充分调动土体自身强度和承载能力,节省土石方工作量,节约成本,缩短施工工期。土钉墙对比其他支护方式,材料费用及人工费用大大降低,节约投资,在以后的支护工程中值得借鉴。

(3)对土钉倾角进行优化,得出倾角对基坑整体稳定性的影响呈抛物线的现象,存在一个最优倾角;该最优倾角为11°左右,在原有工程造价不变的基础上,将原设计中土钉倾角改为11°,大幅提高了施工安全。

参考文献:

- [1] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] 黄汉成.土钉支护设计中几个问题的探讨[J].岩土工程界,2001,4(8):50-52.
- [3] 俞季民,邹勇.土钉支护结构模型试验研究[J].土工基础,1998,12(1):14-19.
- [4] 王巍,刘斯宏.土钉倾角对斜面加固效果影响的试验研究[J].人民珠江,2010,6(5):23-27.
- [5] 王巍,黄吴.土钉角度对斜面加固效果影响的有限元分析[J].人民珠江,2014,5(8):26-33.
- [6] 曾艳品.土钉墙基坑支护优化设计的一些问题研究[D].陕西西安:长安大学,2014.
- [7] 刘大鹏,周建中,唐小兵.土钉倾角对边坡稳定性影响研究[J].工程勘察,2006,34(1):8-11.
- [8] 陈希哲.土力学地基基础(第4版)[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [9] 孙小杰,魏焕卫,杨峻岩.土钉墙在深基坑中的设计应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(11):39-41.
- [10] 孟凡运,刘全峰.土钉墙在超深基坑支护中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):44-46.
- [11] 张伟军,丁向东.复合土钉墙在深基坑工程中的应用[J].江苏建筑,2014,(S1):67-69.