

土钉墙与预应力锚杆联合支护技术

杨生彬

(中国地质大学 北京 工程技术学院 北京 100083)

摘要 北京市深基坑工程中土钉墙支护技术应用比较广泛,对于边坡变形要求严格的基坑,采用土钉墙与预应力锚杆联合支护技术可有效控制变形,结合工程实例,介绍了该技术的设计思路及应用过程,说明了该技术的适用性,并就施工中遇到的问题进行分析,给出相应的处理措施。

关键词 土钉墙;预应力锚杆;深基坑支护

中图分类号: TU473.2 文献标识码: B 文章编号: 1672-7428(2006)08-0008-03

Composite Support Technique for Soil-nailing Wall and Pre-stressed Anchor/YANG Sheng-bin (School of Engineering & Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract: The technique of soil-nailing wall is widely applied in Beijing, and the composite support technique for soil-nailing wall and pre-stressed anchor can efficiently control the deformation. The design way and the applicability of this technique is illustrated with a field case, and analysis on some problems encountered during construction are made with the corresponding measures.

Key words: soil-nailing wall; pre-stressed anchor; deep foundation pit

土钉墙支护技术以其特有的施工速度快、施工方法简便、适用性强、造价低、易于监控等特点得到了岩土工程技术人员的青睐。随着其设计理论及施工工艺的不断完善,现在已用于挖深达20 m的深基坑支护中。但对某些基坑边坡变形要求较高的情况,单一的土钉墙支护往往会造成基坑边坡变形过大,影响基坑及周边设施的正常使用。按照以往的思路,一般会选择土钉墙与桩锚相结合的支护形式,即基坑某一深度之下采用“护坡桩+锚杆”支护,而上部采用土钉墙支护,这种组合式支护固然有效,但桩锚支护的成本较高,且不易施作,占用工期长。笔者经过研读相关资料及工程实践得出,将传统的土钉墙支护中的某一道或几道土钉合理地替换为预应力锚杆,并辅以相应的特殊处理,完全可以达到某些深基坑的变形要求,同时避免了桩锚组合式支护中的不足。本文以北京市某深基坑支护工程成功应用这一支护形式为例,对其设计及施工的基本情况予以介绍。

1 工程概述

1.1 工程概况

北京市某变电站工程基坑深14.4 m,平面尺寸为56 m×78 m,拟建场地位于北京市老城区,场地

四周均为正在使用的道路,且管线复杂(见图1),同时建筑区域内场地狭小,坡顶堆载大,对基坑边坡变形要求较高。

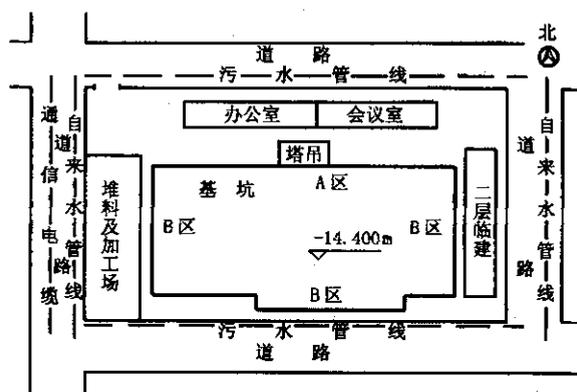


图1 基坑平面布置图

1.2 工程地质条件

根据现场钻探、原位测试及室内土工试验成果的综合分析,在本次岩土工程阶段性勘察最大勘探深度范围内(30.00 m)的地层,按沉积年代基本可分为人工堆积层、第四系沉积层2大类,分布情况如表1。

本工程拟建场地现场钻探期间大部分钻孔见地下水。场地地下水分为3层,其中第1层为上层滞

收稿日期 2006-02-28

作者简介: 杨生彬(1979-)男(汉族),内蒙古化德人,中国地质大学(北京)在读博士研究生,地质工程专业,研究方向为岩土工程及深部岩体力学,北京市海淀区学院路29号,13810277086,(010)82321884,ysb_hb86@sina.com。

表 1 地层情况表

层号	类别	状态	层厚 /m	重度 γ /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$
①	人工填土	松散	1.5~2.6			
②	粉土	可塑	3.1~4.2	19.0	28.8	22.6
③	砂质粉土	中密	3.9~4.6	19.0	26.2	25.4
④	中砂、细砂	中密	5.4~6.3	19.5	0	36.4
⑤	中砂	中密	0.5~1.0	19.3	0	38.2
⑥	圆砾、卵石	密实	2.0~3.2	19.5		

水,埋深 4.3 m;第 2 层为层间潜水,埋深 14.8 m;第 3 层为承压水,埋深 19.8 m。基坑在开挖前已采用管井法进行降水。

1.3 基坑支护重点分析及方案优选

根据相关资料及现场踏勘,考虑基坑开挖对周边环境的影响及施工场地的布置,对各边坡支护情况进行分析,指导施工方案及支护参数的确定。

(1)北坡坡顶荷载较小,主要是办公及生活区,塔吊基础采用 4 根钻孔灌注桩,塔吊部位局部可设置一道锚杆予以加固,北坡其他部位采用土钉墙支护即可。

(2)西坡坡顶场地是现场主要材料堆放及加工场,考虑负荷重,要求边坡满足堆料静载的同时,还必须满足由材料运送导致的动荷载,坡顶堆载按均布 50 kPa 考虑。

(3)南坡上口线紧临围墙,与一道污水管线距离仅为 1.8 m,且墙外的道路是一所邮电局邮车运输物资的主要通道,可见对该边坡的变形要求严格,也是支护重点之一。

(4)东坡上口线距离道路较远,只是坡顶即为二层临建(工人宿舍),临建搭设均由简易板组合而成,边坡变形若过大直接影响临建的使用,后果将不堪设想,因而严格控制边坡变形也是必须的。

根据以上分析可知,北坡可采用常规的土钉墙支护完全满足支护要求,而其他三坡由于坡顶分布荷载大或邻近有管线设施等因素对变形要求相对较高。经过对已掌握资料的分析,遵循技术可行、经济、施工速度快的原则,西坡、南坡及东坡均按负载大的因素考虑,采用土钉墙与预应力锚杆有机结合的支护形式,采取信息化施工,局部有变化的部位根据实际情况采取相应的措施。

2 基坑支护设计

为便于计算,将基坑支护分为 A、B 两个区(即北坡为 A 区,其他三坡为 B 区)。

2.1 计算参数选取

(1)根据基坑周围可用空间的尺寸,并考虑基坑深度范围内土层的分布情况,放坡系数分别为 A 区 1: 0.2, B 区上部 7.5 m 范围 1: 0.15、下部 6.9 m 范围 1: 0.18。

(2)土钉成孔直径为 80 mm,倾角 15° ,锚杆成孔直径 130 mm,倾角 20° 。

(3)土层参数取各道土钉(锚杆)所在相应土层的参数即可,可参照表 1。

2.2 设计计算

2.2.1 A 区土钉墙计算

按照《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120-99)所提供的土钉墙设计原理进行设计,并进行了整体稳定性验算。

土钉设计内力计算:

$$N = PS_v S_h / \cos \theta$$

$$F_{s,d} N \leq 1.1 (\pi d^4 / 4) f_{y,k}$$

各层土钉长度计算:

$$l \geq l_1 + (F_{s,d} N) / (\pi d_0 \tau_s)$$

土钉墙整体稳定性分析方法:圆弧滑动条分法,取安全系数 $F_s \geq 1.5$ 。

经计算,土钉钢筋采用二级螺纹钢筋,土钉墙设计参数见图 2,整体稳定性安全系数 $F_s = 1.68$ 。

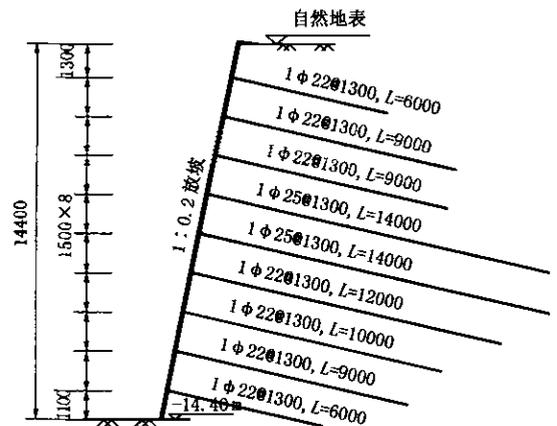


图 2 A 区支护计算结果图

2.2.2 B 区支护计算

预应力土层锚杆与土钉墙联合支护的力学工作机理是:锚杆与土钉墙在支护所属地段相互补充、相互作用,预应力锚杆对土钉墙的支护影响大一些,也就是说预应力锚杆的拉力的变化幅度要大于土钉的变化幅度。

在 B 区支护的计算中,关键是预应力锚杆的设计。支护区土压力计算根据土层 c 、 φ 值按 Rankine 矩形土压力模式,采取水土合算。邻近荷载对围护结构的作用反映为围护结构外侧土压力的增加,假

定围护结构外侧土体完全处于塑性状态,对于平面分布荷载作用在围护结构上的土压力,按照图3进行计算。

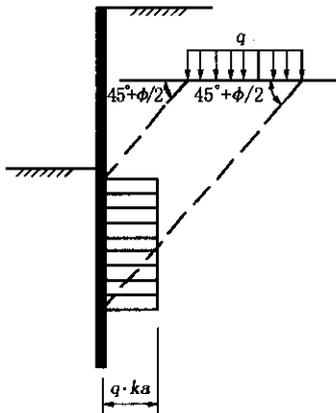


图3 平面分布荷载计算示意图

根据以上方法计算出土钉位置的侧压力以及坡顶超载作用于基坑边坡的附加侧压力。这里需要注意的是,在设计中土钉墙仍按常规算法进行计算并合理配置土钉杆体,而在由于地面超载引起的附加侧压力区,采用预应力锚杆取代土钉,即用预应力锚杆分担水平荷载较大的区域,起到控制变形的作用。根据计算,分别于-5.8 m和-8.8 m各设置一道预应力锚杆,锚杆选材为705(1860级)高强度低松弛钢绞线,公称直径 $d=15$ mm,公称截面面积 139 mm²,抗拉强度设计值 $f_{py}=1320$ MPa。

对于第一道锚杆,轴向拉力设计值为 $T=230.8$ kN,则要求锚杆截面积 $A_g=(T/f_{py})=175$ mm²,每根锚杆需要由2束705(1860级)钢绞线组成,考虑35%的应力松弛,张拉锁定值为150 kN,同理算得第二道预应力锚杆的配置参数,设计参数见图4。

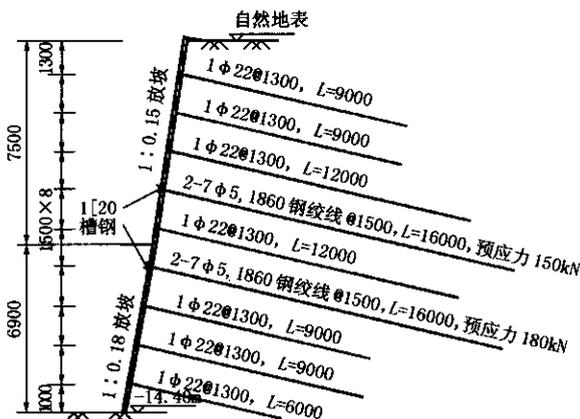


图4 B区支护计算结果图

2.2.3 面层设计

坡面挂 $100.5@200 \times 200$ 钢筋网片,土钉横向

压筋 $10\phi14$ 采用常规焊接联结,土钉孔注浆水泥浆(水灰比 $0.4\sim0.6$),面层喷射C20细石砼(配比为水泥:砂子:石屑 $=1:2:2$),厚度为 80 ± 5 cm。预应力锚杆位置各加设一道腰梁,用材 $1[20a$ 槽钢,锚杆端头焊接螺栓与锚板固定。

3 基坑支护施工及支护效果

3.1 土钉墙及预应力锚杆施工

(1)在土钉墙施工时,一定要注意钢筋网片的保护厚度,可在网片与坡面之间放置垫块以确保钢筋网片位于喷射砼的中间,特别对于第四、第六道锚杆来说更为重要,因为锚杆需要施加预应力,如果不把钢筋网片居中,锚杆张拉锁定时,喷射砼面层会被压裂。

(2)预应力锚杆部位要安装腰梁,为防止预应力的施加压裂面层,在该部位进行特殊处理,即将锚孔周围的土体向坡里成圆台形挖去,挖除深度为20 cm,然后面层施工时用细石砼将其喷满,这样可确保锚杆能满足张拉锁定荷载的要求。

(3)在土钉和锚杆施工时应做好保护架的绑扎、焊接工作。在降水后的土钉墙支护施工中,由于降水效果及降水有效范围的影响,土钉(锚杆)孔中往往有水及泥浆,如果土钉(锚杆)的保护架间距太大或制作不合理,往往会造成土钉(锚杆)的保护层不够,甚至根本没有保护层,土钉直接放在泥浆中,对土钉墙施工质量造成严重的不良影响。

3.2 遇到的问题和解决方案

东坡第三道土钉南侧有5个孔在成孔至7 m左右深度时孔内渗水严重,水流成线状流出,无法正常成孔,经对周边地下管线进行调查,发现该坡外马路上距坡顶7.5 m处有一个已停用的自来水井,其阀门正往外渗水,井内积水深度达40 cm,从而断定该井为漏水水源,处理方法为:

(1)切断水源,并进行补漏和堵截;

(2)完成作业的土钉孔,成孔后立即下土钉并随即注浆;

(3)已缩径的土钉孔进行二次成孔,以保证孔径,缩径、塌孔严重而无法用洛阳铲成孔的,采用钢花管打入土体并灌注水泥浆;

(4)边坡渗水处设置导流管,导出渗水,以卸去坡后水压,增加边坡监测次数。

3.3 基坑监测

建立合理的变形监测系统,于基坑边壁设置10

(下转第16页)

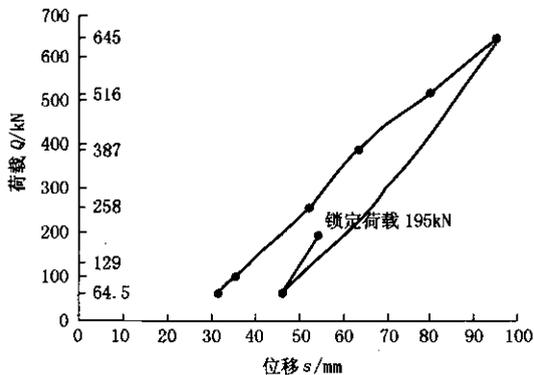


图7 三单元1号锚索验收试验 Q-s 曲线

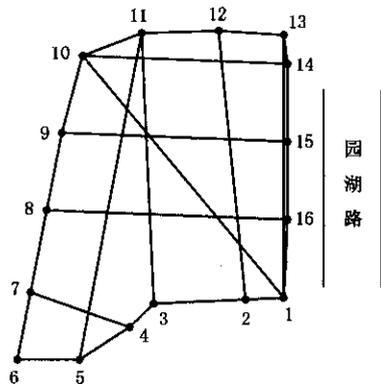


图8 基坑顶水平位移监测点布置图

尺寸下料,要确保钢绞线平直排列,沿索体轴线每隔 1.2~1.5 m 安放对中支架,确保保护层 < 30 mm。

(5)水泥浆液应随拌随用,超过 3 h 的液体应作废浆处理,一次注浆结束后应及时补灌因收缩形成的空穴,间隔时间达 4 h 后才能进行二次注浆。

7 基坑顶水平位移监测

基坑顶水平位移监测点布置见图 8。本基坑工程按墙体最大水平位移 ≤ 30 mm 设计,据验算,墙体最大水平位移在地面以下 5~6 m 处,不是在坑顶,但基坑顶实际水平位移仍比设计少 10~15 mm。基坑内凸角 11-3 点(17.6 mm)、基坑长方向 11-5 点(12.8 mm)及 12-2 点(19.8 mm)的位移较大,基坑内凹角及内转角 10-1 点(5.6 mm)、7-4 点(5.7 mm)位移较小,符合基坑位移的基本规律,但

(上接第 10 页)

个观测点,基坑开挖中每天分早晚各观测 2 次。根据观测数据处理分析,西坡水平位移最大值为 28 mm,其他边坡水平位移最大值仅为 12 mm,完全满足基坑的变形控制要求,图 5 为变形曲线图。

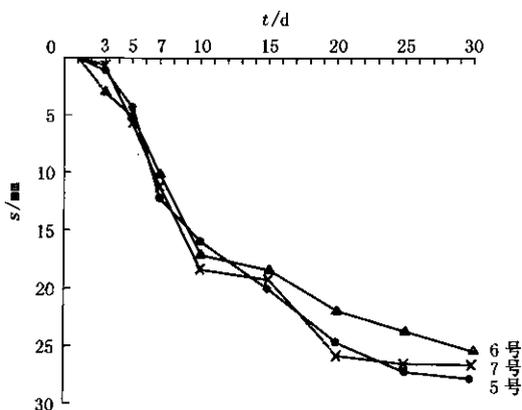


图5 西坡观测点水平位移曲线图
万方数据

10-14 点(15.3 mm)较特殊。

8 结语

(1)桩锚支护结构墙体水平位移、桩身最大弯矩与锚杆位置有很大关系,在保证墙顶位移前提下,锚杆下移,则桩身弯矩减小,经典法计算更明显。采用不同的桩径、桩间距、锚索预加力及作用位置进行反复验算设计,支护成本差别较大,对施工单位进行设计、施工总承包更有深远意义。

(2)就南宁市而言,圆砾层厚度 > 15 m 的基坑采用单纯的高压旋、摆喷止水帷幕止水几乎不成功,桩间净距 ≥ 800 mm 的桩间高压旋喷止水帷幕,因垂直度等原因一次成功的较少。设计桩间高压旋喷止水帷幕时,桩间净距应 ≤ 600 mm,同时,必须严格控制桩偏及垂直度、提升速度、冒浆密度等施工参数。

4 结语

(1)土钉墙与预应力锚杆联合支护技术可以有效地解决某些深基坑开挖中对变形要求高的问题,施工方法简便,具有良好的经济效益。

(2)为探讨预应力锚杆与土钉墙联合支护的力学传递规律及其相互作用规律,还应进行更多的实际工程监测与反分析,以利于该种技术的推广与应用。

参考文献:

[1] 龚晓南,高有潮.深基坑工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.75-118.
 [2] JGJ 120-99,建筑基坑支护技术规程[S].
 [3] 黄强.建筑基坑支护技术规程应用手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.131-140.