

文章编号:1007-2993(2011)05-0240-04

钢管土钉在唐山丰南沿海软弱土基坑中的应用

陈春杰 李贤军 沙元恒

(北京矿务局综合地质工程公司,北京 102300)

【摘要】 介绍了钢管土钉在沿海软弱土深基坑中的成功应用,阐述了在施工中采取的具体技术创新和处理措施。该工程使用钢管土钉创新,计算过程中采用与钢筋等面积代换,同时借鉴施工前钢管桩试验数据,对钢管土钉的结构进行改进,优化钢管土钉长度、间距以及钢管土钉与面层连接节点;通过严格的施工管理和技术追踪,加强施工中突发环节的准备,采用信息化施工,对施工中出现的薄弱环节作出相应的补强措施,工程在严格的质量和安全管理控制下,完成施工任务,保证了基坑安全以及工期要求。

【关键词】 钢管土钉墙;钢管土钉;软弱土基坑

【中图分类号】 TU 942

【文献标识码】 B doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2011.05.006

Tangshan Steel Soil Nails in Soft Soil Foundation in the South Coast of the Application

Chen Chunjie Li Xianjun Sha Yuanheng

(Beijing Bureau of Mines comprehensive geological engineering company, Beijing 102300, China)

【Abstract】 Introduced the steel soil nails deep excavation in soft soil along the coast in the successful application, described in detail in the construction of technological innovation and to take concrete measures to deal with. The project will use innovative steel soil nails, and steel used in the calculation process of substitution of equal area, drawing on pre-construction steel pipe pile test data, the structure of the steel soil nail to improve and optimize steel soil nail length, spacing, and steel nails and surface soil layer connection node; by strict construction of the project management and technical track, strengthen the construction of unexpected aspects of preparation, the use of information construction, the construction appeared to weaknesses in the corresponding reinforcement measures, and finally the quality of the works in strict and security control, complete the construction tasks to ensure the security pit, and schedule requirements.

【Key words】 steel soil nails system; steel nail; soft soil foundation

0 引言

土钉墙是一种常见的基坑支护形式,具有施工简便、造价低以及工期短的优点,一般来说,土钉墙适用于填土、粘性土、粉土、砂土和卵砾石土层,但在沿海软弱土基坑中成功应用较少^[1-2]。本工程中,综合考虑经济性、安全性以及工期要求后,优先采用钢管土钉墙工艺,使用振动钢管土钉代替洛阳铲、锚杆钻机成孔,尤其是在设计和施工过程中,强化理论,重实践,对新工艺施工特点,注重施工环节。最后,在唐山丰南沿海软弱土基坑中取得了实践的成功,是一种新技术的尝试,深化了理论知识的研究,同时为以后在其它地区、地层的基坑土钉墙施工,积累了宝贵的经验,确保基坑工程的安全性。

1 工程概况及工程地质条件

1.1 工程概况

唐山丰南冷轧镀锌有限公司,位于唐山市丰南区沿海工业园,交通十分便利;本场区属海相冲积平原地貌,地势较平坦,场区占地面积约 537 亩。拟建工程为 1450 mm 冷轧工程地下油库,均为钢结构,独立基础。设计基坑尺寸为:72 m×62 m,深度为 9.25 m。

1.2 工程地质条件

该场地属于海相冲积平原地貌,根据勘察资料,场地上部由杂填土和粉质粘土覆盖,场地内分布地层自上而下为:

①杂填土(Q_m¹):褐—黄褐—灰,不均匀,松散,稍湿,以粘性土为主,包含植物根。层厚 0.50~1.50 m,平均厚度 0.96 m。

②粉质粘土(Q_4^{al}):浅灰—浅黄—浅灰—黄褐,均匀,很湿—饱和,流塑—软塑,属高压缩性土。层厚 0.90~15.70 m,平均厚度 6.67 m,该层土场区均有分布。

②₁粉砂(Q_4^{pl}):浅灰,均匀,松散—稍密,湿—饱和,夹粉土薄层。层厚 0.90~4.40 m,平均厚度 2.98 m,局部缺失。

②₂粉土(Q_4^{pl}):浅灰,均匀,中密,湿,夹薄层粉砂,层厚 2.10~11.50 m,平均厚度 5.53 m,局部缺失。

③粉质粘土(Q_4^{pl}):浅灰—灰黄,均匀。湿—饱和,软塑,夹粉土和粉砂薄层,属中等偏高压缩性土。层厚 0.50~3.50 m,平均厚度 1.77 m,局部缺失。

③₁粉土(Q_4^{pl}):浅灰—灰黄,均匀,中密,湿,夹薄层粉砂,属中等偏高压缩性土。层厚 1.00~4.30 m,平均厚度 1.77 m,局部缺失。

④粉砂(Q_4^{pl}):浅灰,均匀,稍密—中密,湿—饱和,夹粉土和粉质粘土层。层厚 0.7~6.30 m,平均厚度 3.17 m,局部缺失。

④₁粉土(Q_4^{pl}):浅灰,均匀,密实,湿,属中等压缩性土。层厚 0.80~2.90 m,平均厚度 2.00 m,局部缺失。

⑤粉质粘土(Q_4^{pl}):浅灰—浅黄—浅灰,均匀,湿—饱和,软塑—硬塑,夹粉土薄层,属中等压缩性土。层厚 1.40~7.30 m,平均厚度 4.29 m,局部缺失。

该场地内有一层地下水,地下水类型为潜水,稳定水位为 2.00~2.20 m,地下水的变化幅度为 1.50 m,设计和施工时应考虑地下水对本工程建设的影响。

2 设计方案

2.1 支护方案选择

通过对本地区的水泥搅拌桩内插 H 钢板桩(SMW 工法)和土钉墙等方案,从技术、经济和进度等方面进行比较,最终采用土钉墙支护方案,因为其在经济上造价低,进度不单独占用工期,可边开挖边施工;在技术方面,由于本基坑处于软弱场地土,土体压缩性很高,采用人工、锚杆钻机干成孔时,孔壁不稳定,易塌孔,全部采用 $\Phi 20$ 钢筋作为土钉杆体很难满足施工要求。具体方案为:距基坑坡顶 1.50 m 设置降水井,井径为 $\phi 600$,深度取 18 m,井间距取 9.0 m;基坑第一层土钉杆体采用 $\Phi 20$ 钢筋,人工洛阳铲成孔;第二层至第六层土钉杆体采用 $\Phi 48 \times 3.5$ 焊接钢管,风动振动锤振动钢管成孔。

2.2 设计参数和计算结果

整体稳定性验算采用瑞典圆弧条分法^[3],总应力法:

$$K = \frac{M_k}{M_c}$$

$$M_k = \sum_{i=1}^n c_{ik} l_i + \sum_{i=1}^n (q_0 b_i + \omega_i) \cos \theta_i \tan \varphi_{ik} + \sum_{j=1}^m T_{nj} \left[\cos(\alpha_j + \theta_j) + \frac{1}{2}(\alpha_j + \theta_j) \tan \varphi_{sk} \right] / s_x$$

$$M_c = r_0 \sum_{i=1}^n (q_0 b_i + \omega_i) \sin \theta_i$$

$$T_{nj} = \pi d_{nj} \sum q_{sk} l_{ni}$$

式中: m ——滑动体分条数;

m ——滑动体内支锚数;

c_{ik} 、 φ_{ik} ——最危险滑动面上第 i 土条滑动面上土的固结不排水(快)剪粘聚力、内摩擦角标准值, kPa、($^\circ$);

l_i ——第 i 土条的滑裂面弧长, m;

s_x ——计算滑动体单元厚度, m;

b_i ——第 i 土条的宽度, m;

ω_i ——作用于滑裂面上第 i 土条重,按上覆土层的天然土重计算, kN/m;

θ_i ——第 i 土条弧线中点切线与水平线夹角, ($^\circ$);

r_0 ——建筑基坑侧壁重要性系数;

q_0 ——作用于基坑面上的荷载, kPa;

T_{nj} ——第 j 根支锚在圆弧滑裂面外锚固体与土体的极限抗拉力, kN;

α_j ——支锚与水平面之间的夹角, ($^\circ$);

θ_j ——第 j 根支锚与滑弧交点的切线与水平线夹角, ($^\circ$);

d_{nj} ——第 j 根支锚锚固体直径, m;

q_{sk} ——支锚穿越第 i 层土土体与锚固体极限摩阻力标准值, kPa;

l_{ni} ——第 j 根支锚在圆弧滑裂面外穿越第 i 层稳定土体内的长度, m。

通过反复分析计算,计算简图见图 1。

安全系数计算结果为:整体稳定性安全系数为 1.304。

最后选定的土钉墙参数为:土钉墙边坡坡率为 1:0.35,支护基本参数见表 1。

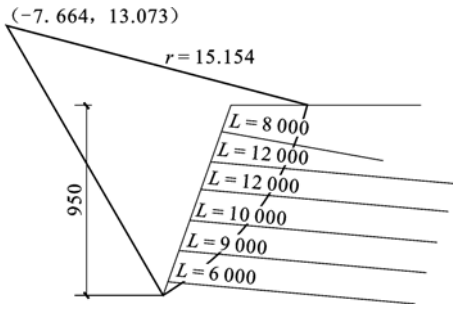


图1 土钉计算简图

表1 基坑土钉墙支护基本设计参数表

| 土钉层序 | 锚孔直径 /mm | 垂直间距 /m | 水平间距 /m | 钢筋(钢管)直径 /mm | 长度 /m |
|------|----------|---------|---------|--------------|-------|
| 1 | 100 | 1.3 | 1.30 | 188 | 8 |
| 2 | 50 | 1.4 | 1.30 | 48 | 12 |
| 3 | 50 | 1.4 | 1.30 | 48 | 12 |
| 4 | 50 | 1.5 | 1.30 | 48 | 10 |
| 5 | 50 | 1.5 | 1.30 | 48 | 9 |
| 6 | 50 | 1.5 | 1.30 | 48 | 6 |

边坡面层喷射混凝土厚 100 mm,设计强度等级为 C20,钢筋网采用 $\phi 6.5@200 \times 200$,每道土钉设 $\phi 14$ 横向和斜向压筋,并与土钉焊接。土钉墙剖面见图 2。

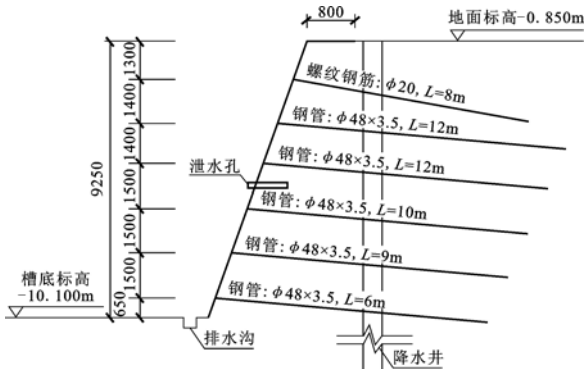


图2 基坑土钉墙支护剖面图

3 施工与监测

土钉墙施工必须在降水井降水一周后开始进

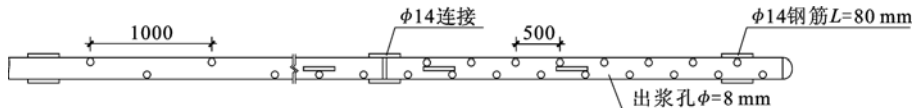


图3 钢管管体制作及连接图

钢管土钉成孔采用 W-3/5 型空气压缩机驱动,利用自制钢制平台,振动压入的方式将钢管压入土体中,角度控制在 5° ,经现场测试,成孔速度约为 67 mm/s,相对人工洛阳铲成孔进度大大提前,且解决了软弱土孔壁不稳定、易塌孔的难题。

3)注浆:浆体为素水泥浆,水灰质量比为 0.45,浆液要充分搅拌均匀,随拌随用,采用搅拌机造浆,搅拌时间一般在 3 分钟以上^[4];注浆采用注浆泵,注

行,同时由于该沿海地区在 9、10 月份雨水多,基坑开挖期间大都碰到雨季,土体含水量高,土体的粘聚力 c 、内摩擦角 φ 会大大降低,因此在施工期间,必须通过降水井不断地降低基坑内地下水位。

3.1 施工工艺

施工工艺流程为:开挖工作面→修整坡面→放线定位→风动振动锤振动钢管成孔(第一步采用洛阳铲成孔,下钢筋)→堵孔注浆→绑扎、固定钢筋网→压筋→喷射砼面层→砼面层养护→下步工作面开挖→基坑边坡水平位移监测

1)放线定位

应根据土质的不同情况,边坡土质局部为流塑—软塑状态,开挖深度每步为 1.8 m,开挖坡面长度为每天 7 m,边坡预留必须 300 mm 厚的土体,由修坡人员用铲及时修整坡面,为确保喷射砼面层的平整,此工序必须挂线定位,对边坡坡度进行测量。

2)土钉杆体制作、成孔

第一步土钉主筋制作及安放:主筋按设计长度下料,外端设弯钩,间隔 2 m 焊对中支架,防止主筋偏离孔中心;人工洛阳铲成孔后,安放主筋时,将注浆管与主筋同时下入孔内,注浆管离孔底 0.5 m 左右。

第二步—第六步钢管土钉主筋制作及成孔:钢管土钉,采用 $\Phi 48 \times 3.5$ 钢管,根据钢管受力情况,在钢管后 2/3 段管壁上按 500 mm 间距呈梅花形开设 8 mm 小孔,前 1/3 段管壁上按 1000 mm 间距开设 8 mm 小孔,同时在钢管外壁上下位置搭焊 80 mm 长的 $\phi 14$ 钢筋,间距为 3 m,同时将入土的管头做成半球状,缝隙用电焊焊牢。

两根钢管接头部位同样采用上下位置搭焊 80 mm 长的 $\phi 14$ 钢筋焊牢,钢管管体结构示意图 3。

浆压力 0.4~0.6 MPa,注浆时,将导管缓慢均匀拔出,但出浆口应始终处于孔中浆体表面之下,保证孔中气体能全部排出,钢管土钉部位直到钢管外壁与土体接缝处渗出水泥浆为止,在孔口部位设置止浆塞,每孔至少在注浆后再补浆 2 次,保证钢管土钉锚固质量。

4)挂网及坡面喷射混凝土:挂网采用 $\phi 6.5$ 单排双向的钢筋网片,钢筋网片用插入土中的 U 形钢筋

固定,与坡面间隙 3~5 cm,相邻土钉网片搭接长度不少于 300 mm,钢筋网片通过加强筋与土钉焊接成一个整体,其中加强筋采用一道横向压筋与钢管环形焊接,见图 4。

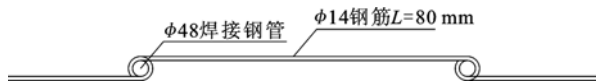


图 4 钢管管体与横向压筋连接图

喷射混凝土顺序一般“先锚后喷”,遇到呈流塑状的地层时,采取“先喷后锚”^[5],喷射作业时,空压机风量不宜小于 9 m³/min,气压 0.2~0.5 MPa,喷头水压不应小于 0.15 MPa,喷射距离控制在 0.6~1.0 m,为保证喷射砼厚度达到规定值,在坡壁上垂直打入短钢筋作为厚度控制标志。

3.2 基坑边坡水平位移观测

施工期间沿土钉墙坡顶每隔 20 m 设一个监测点,共设 10 个监测点,监测坡顶水平位移,由于土钉墙施工期间正值雨季,在软弱土质中施工钢管土钉墙,在施工中必须采用信息化施工,加强对坡顶水平位移观测,由于在局部坡面及坡顶出现了横向裂缝,采取补强措施,同时加强对此局部区域的观测,及时分析处理监测数据,当基坑顶部水平位移与当时的开挖深度之比超过千分之四时,应密切加强观察,分析原因并及时采取技术措施。基坑水平位移观测图见图 5。

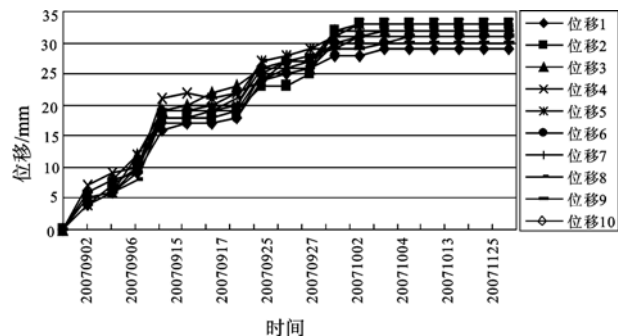


图 5 基坑水平位移观测图

2007 年 12 月底完成基坑内结构施工,并回填完毕。此基坑支护及时保证了地下油库工程的工期进度要求。此工程项目的设计、施工和管理得到了甲方的肯定和好评。

4 注意事项

1)由于基坑南侧磨辊车间施工基础桩的影响,造成施工基坑降水系统未能尽早闭合,致使南侧第一、第二步土钉墙坡顶及坡面出现较多横向裂缝,在

施工南侧第三步土钉墙的同时,对上述裂纹的坡面采取了坡面加固措施,即采用 $\phi 14$ 螺纹钢编制 500 mm \times 500 mm 网格,横向 $\phi 14$ 钢筋与原有土钉重新焊接一起,竖向 $\phi 14$ 钢筋同地锚焊接一起,并进行了复喷,同时要求保证有足够的时间对基坑做有效地降水,这样才保证了该段基坑的安全性。

2)由于基坑标高-4.50~-10.10 m 位置局部存在着粉砂,松散,呈饱和状态,自稳能力极差,在此施工时,要求土方施工密切配合,根据现场实际情况制定土方开挖范围、深度,同时开挖后立即进行挂网喷浆,添加 3% 的速凝剂、早强剂,等土钉墙面具有 75% 强度以后,再进行钢管土钉的施工。

5 结 语

钢管土钉在唐山丰南沿海软弱土层中的成功应用,克服了常规钢筋土钉在软弱土层应用的局限性,在设计过程中,采用钢管土钉与钢筋的等面积代换,参与边坡整体稳定性验算;在软弱土层中施工,它具有施工速度快,且成孔的过程是对管壁区域的土体挤密的过程,同采用 SMW 工法相比,费用大大降低;通过压力注浆,可以通过钢管壁上梅花形布置的出浆孔,由于水泥浆液的渗透,可以使锚固体直径增大,同时增大锚固体与周围土体的摩阻力。

通过风动振动锤振动钢管在软弱土层中成孔,是在该项目施工中的一种实践,为以后类似地层的施工提供了宝贵的经验。

参 考 文 献

- [1] 唐业清,等. 基坑工程事故分析与处理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [2] 注册岩土工程师必备规范规程汇编(缩印本)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [3] 陈希哲. 土力学地基基础[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [4] GB 50330—2002 建筑边坡工程技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [5] 应惠清. 基坑支护工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.

收稿日期:2011-07-04