

首钢京唐公司基坑护坡及降水问题研究

李 强, 曾力娟, 于元峰, 贺诗选

(首钢地质勘察院北京爱地地质勘察基础工程公司, 北京 100144)

摘 要:在对位于曹妃甸地区的首钢京唐公司深基坑护坡工程进行全面总结的基础上,进行了多因素矩阵法基坑支护方法分类,对该地区护坡降水提出了几点建议,对于指导下一步曹妃甸地区护坡降水工作具有重要的意义。

关键词:深基坑支护;护坡;矩阵法分类;降水;曹妃甸地区

中图分类号:TU473.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)03-0051-04

Study on Foundation Pit Shoring and Dewatering in Shougang Jingtang Company/LI Qiang, ZENG Li-juan, YU Yuan-feng, HE Shi-xuan (Shougang Geological Prospecting Institute, Beijing 100144, China)

Abstract: Based on the analysis on the deep foundation pit shoring project of Shougang Jingtang Company in Caofeidian area, classification was made on foundation pit shoring methods with matrix method. Several suggestions were put forward to shoring and dewatering in Caofeidian area.

Key words: deep foundation pit supporting; shoring; matrix method classification; dewatering; Caofeidian area

为满足首钢搬迁调整改造的需要,经国务院批准,从2006年起,在位于河北省唐山市滦南海域的曹妃甸岛西北侧建设1500万t钢精品基地。曹妃甸岛为优良深水港址,前沿为渤海湾主潮流通道的深槽海域。

京唐公司包含有炼铁区、烧结区、1580 mm热轧、2250 mm热轧、2230 mm冷轧车间、取向硅钢车间、配水及污水处理区、原料场区、铁路车站区等多项工作区。

该钢铁基地1580 mm、2250 mm热轧车间等基坑长度达636.5 m,宽64~184 m,深5.3~15.1 m,大型工业厂房旋流井直径30~36 m,深度30~47 m。基坑支护的规模大、深度大、时间紧,开挖的地层较差,地下水较丰富,且受海水潮汐的影响,在这样的地质条件下进行大面积基坑开挖,是前所未有的,护坡降水的难度很大,不同方法在经济上也存在较大差异。本文就我单位几年来在曹妃甸地区进行的护坡降水工程的方法进行认真总结,以指导下一步曹妃甸地区护坡降水工作。

1 场地工程及水文地质条件

1.1 地层岩性特征

根据场区勘察报告,在深度80 m范围内,地基土主要由第四纪全新世海相沉积和第四纪上更新世海陆交互沉积的粘性土、粉土和砂类土所组成,其地

层岩性如表1所示。

表1 场区地层岩性

层号	土层名称	厚度/m	岩 性
①	人工吹填土	3~5	强夯后达中密
②	淤泥质粉质粘土	0.4~2.2	流塑~软塑,强夯后呈软塑
③	粉细砂	6~10	强夯后达中密
④	细砂	8~15	中密~密实
⑤	粉质粘土	7.0~14.2	可塑,局部软塑,中密
⑥	粉质粘土	7~11.8	可塑,中密~密实
⑥ ₃	粉土		
⑦	细砂	8~25.2	可塑,硬,密实

1.2 地下水

第一层潜水地下水稳定水位埋深1.5~2.5 m,平均值为1.8 m,相当于标高1.7 m。勘察区20 m深度范围内地层主要为砂层,地下水赋存在砂层中,地下水与海水有密切联系。

第二层承压水,顶板埋深约40 m,水头高度地面下约10 m,主要含水层岩性为⑦细砂层。

场地内地下水对混凝土结构具强腐蚀性,在长期浸水条件下,对混凝土结构中钢筋具有弱腐蚀性,在干湿交替条件下对混凝土结构中钢筋具有强腐蚀性,对钢结构具中等腐蚀性。

2 曹妃甸地区几个护坡降水代表性工程

2.1 2250 mm热轧主厂房基坑护坡降水工程

2.1.1 工程概况

收稿日期:2011-08-22

作者简介:李强(1958-),男(汉族),山西万荣人,首钢地质勘察院北京爱地地质勘察基础工程公司总工程师、教授级高级工程师、国家注册岩土工程师,从事岩土工程勘察、设计、施工工作,北京市石景山区晋元庄路23号,dkliqiang@126.com。

本工程基坑长约 636.5 m, 宽 64 ~ 184 m, 基坑深 5.3 ~ 15.1 m。最深处为基坑南侧加热炉区深 15.1 m, 顶部 8 m 外行走重车, 场地东侧地面下 5 m 布设有较多的 CFG 桩。

2.1.2 护坡方案

由于拟建场地 20 m 以浅以砂性土为主, 夹多层淤泥质及软塑状粘性土, 结构松软, 地下水较丰富, 且受海水潮汐影响, 基坑开挖困难, 坑壁易坍塌, 发生流砂流土现象, 土钉锚杆易塌孔, 钢筋不易居中, 面墙易出现空鼓, 桩间土易坍塌, 淤泥质粘性土表面易出现疏干现象, 降水井淤积现象普遍, 地面沉降量较大。

为了解决上述困难, 本工程基坑中部未强夯, 基坑周边专门进行了强夯处理; 基坑深度 < 10 m 部分, 采用土钉墙护坡, 坡角 63.5° (1: 0.5), 在 -5.0 m 处留 1.0 m 宽的平台, 坑底留 800 mm 肥槽。在地面做防渗砟板, 在基坑顶加地锚, 土钉墙上设长短排水孔, 采用信息法施工。

加热炉部分基坑深 15.1 m, 顶部 8 m 外行走重车。采用土钉墙加桩锚支护方案, 上部 5 m 采用土钉连续墙护坡, 坡角 63.5° (1: 0.5), 下部采用护坡桩加 2 道预应力锚杆护坡; 坑底留 800 mm 肥槽; 护坡桩桩长 14.1 m, 其中嵌固段 4.0 m, 桩间距 1600 mm, 桩径 800 mm, 钢筋笼主筋采用不对称配筋法; 桩顶之上做冠梁, 采用超流态豆石砟反插钢筋笼施工工艺, 取得了较好的效果。

在 -5.2 m、-10.5 m 设置 2 道锚杆, 第一道锚杆水平间距 1600 mm, 第二道锚杆水平间距 1200 mm (2 桩 3 锚), 下倾角 15° 。锚固力分别为 350、510 kN/根, 配 2d15 (7 ϕ 5)、3d15 (7 ϕ 5) 低松弛型钢绞线, 强度 1860 MPa, 第一道锚杆锁在冠梁上, 第二道锚杆锁在两根 25b 工字钢上; 在桩间挂铁丝网片, 在网片中部加一根 ϕ 6.5 mm 加强筋, 间距 1 m, 网片与桩间土之间采用 U 型钢筋连接, 在桩体上采用射钉或膨胀螺栓连接, 喷射细石砟。

场地东侧地面下 5 m 布设有较多的 CFG 桩, 为了不影响 CFG 桩的施工, 在 -5.0 m 处留 2.65 m 宽的平台, 5 m 以深采用短土钉连续墙加长土钉方案护坡, 满足了 CFG 桩的施工要求。

2.1.3 降水方案

本工程基础埋深 -5.3 ~ -15.1 m, 主要含水层为①层吹填砂、③层粉细砂、④层粉细砂。根据地层岩性及基础埋深、基坑面积及各种降水方法的有效性, 综合考虑, 确定采用管井降水、基坑底辅助明沟

排水的方法。

本工程在基坑周围布设 208 口降水井, 其中加热炉部位井深 24 m, 其它部位井深 20 m, 井间距 7.5 ~ 8.0 m, 距基坑边缘 1.5 ~ 2.0 m, 基坑内布设疏干及观测井 67 口。降水管井孔径 600 mm, 一径至终孔深度, 采用水泥滤水管 ϕ 400 mm, 地表以下 2 m 内安装水泥壁管, 砾料选择 ϕ 0.5 ~ 3 mm, 外包双层 80 目尼龙网, 四周均匀投砾, 填至距地表 2.0 m 时用粘土封井止水。成井后及时洗井, 并抽至水清砂净, 确保含水层的畅通; 水泵安装干式下泵型单相潜水电泵。根据抽水试验结果, 确定泵型为 QX3 (6、10) - 30 - 2.2。在基坑底肥槽内布设排水明沟, 在距基坑上边缘 2.5 m 处, 环基坑周边设置 ϕ 219 mm 排水钢管, 坡度 1‰ ~ 3‰, 通过设在干管排水口处的沉淀池沉淀后, 清水排入主排水沟。

2.1.4 效果说明

本工程于 2007 年 3 ~ 6 月完成护坡施工, 共完成护坡面积约 26500 m²; 护坡桩 97 根。于 2007 年 2 月 ~ 2008 年 1 月, 完成降水井施工及运行, 降水面积 49300 m²。

本工程基坑护坡经过锚杆、土钉基本试验、验收试验及张拉锁定, 极限拉力达到设计拉力值的 130% ~ 150%, 施工质量良好, 经过基坑周边 50 个监测点历时 11 个月 25 次变形监测, 坡体水平位移最大值 52 mm, 平均值 23.8 mm; 管井降水 7 ~ 10 天后, 地下水位降到了基坑底面以下 0.5 ~ 1.0 m, 护坡、降水效果良好。

2.2 海水取水泵房基坑护坡降水工程

本工程基坑长约 117 m, 宽 92 m, 基坑从地表算深 14.1 m。基坑西侧距离海水挡浪墙约 70 m。采用土钉墙加预应力锚杆 (复合土钉墙) 护坡, 坡角 59° (1: 0.6), 在 -5.0 m、-9.5 m 处留 1.0 m 宽的平台, 采用管井降水, 临海一侧采用双排降水井。

本工程于 2007 年 9 月 ~ 2008 年 4 月完成护坡降水工作, 基坑开挖后坡体水平位移最大值 17.5 mm, 护坡、降水效果良好。

2.3 2250 mm 热轧水处理区过滤站基坑护坡降水工程

本工程基坑长约 114 m, 宽 30.7 m, 基础埋深 -2.6 ~ -8.6 m, 高差 6 m, 地基采用 CFG 桩进行处理, 无放坡条件。护坡方案采用地基处理的 CFG 桩反插钢筋笼作为护坡桩, 在 CFG 桩外稳定区域加一道拉桩作为护坡体系, 护坡桩桩长 10.0 m, 其中嵌固段 4.0 m, 桩间距 1000 mm, 桩径 400 mm, 拉桩间

距 3~4 m,离基坑边沿 8~10 m 处,做 3 m 深人工挖孔桩,外径 1000~1200 mm,桩间土插钢筋钉,在钢筋钉端部挂 $\phi 6.5 \text{ mm}@200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ 钢筋网片,与桩身采用膨胀螺栓连接,喷射 80 mm 厚细石砼。降水采用管井降水。

本工程于 2007 年 8~9 月完成护坡施工,基坑开挖后坡体水平位移最大值 22 mm,护坡、降水效果良好。

2.4 热轧水处理区旋流井护坡工程

本工程旋流井基坑直径 35.9 m,基坑深 42.0 m。旋流井采用地下连续墙+钢筋砼圈梁支护体系。地连墙厚 1200 mm,深 50 m,砼强度 C35。地连墙横向作 9 道钢筋砼圈梁内支撑,圈梁高 1000 mm,宽 700 mm,砼强度 C35,纵向间距 4~6 m。旋流井内部结构采用逆做法施工。地连墙及钢筋砼圈梁作为主体结构的一部分。

本工程基坑护坡经过半年多的施工,取得了良好的效果。

2.5 热轧水处理区冲渣沟基坑护坡工程

冲渣沟基坑长约 94 m,宽 4 m,基坑深 15.43~17.84 m;采用地下连续墙+钢管内支撑支护体系。地连墙厚 800 mm,深 25 m,砼强度 C35,地连墙顶标高-3.0 m,设置 3 道内支撑,第一道支在桩顶冠梁处,支撑构件采用一根 $\phi 630 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 电焊钢管;第二道支撑中心标高为-6.7 m,支撑构件采用一根 $\phi 630 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 电焊钢管,围檩采用双拼 HZ450

型钢;第三道支撑中心标高为-10.7 m,支撑构件采用一根 $\phi 630 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 电焊钢管,围檩采用三拼 HZ450 型钢;内支撑间距 5000 mm,长度 4.0 m。本工程基坑护坡方案取得了良好的效果。

3 曹妃甸地区护坡降水主要方法总结

3.1 影响基坑稳定的主要因素分析

3.1.1 基坑深度

基坑深度是影响基坑稳定 and 支护方法的主要因素。通常按照 $\leq 5 \text{ m}$, $5 \sim 10 \text{ m}$, $10 \sim 15 \text{ m}$, $15 \sim 25 \text{ m}$, $>25 \text{ m}$ 的情况考虑。

3.1.2 基坑形状、尺寸

通常分为圆形基坑,小宽度基坑(基坑宽度 $< 10 \sim 15 \text{ m}$),一般形状、尺寸基坑。

3.1.3 场地地层、地下水影响

围海造地形成的吹填土、粉细砂、饱和软粘土、潜水、承压水是影响基坑支护的内在因素。

3.1.4 周边环境

基坑附近已有建筑物、道路及堆荷载,增大基坑护坡土压力,影响基坑稳定;反过来基坑的变形及降水又影响基坑附近已有建筑物及道路的稳定和变形。

3.2 矩阵法基坑支护方法分类

以基坑深度影响因素为纵坐标,其它影响因素为横坐标,建立矩阵法基坑支护方法分类表,详见表 2。

表 2 矩阵法基坑支护方法分类

基坑深度 /m	周围无建筑物、道路、管线影响	周围有建筑物、道路、管线影响	圆形基坑	小宽度基坑(基坑宽度 $< 10 \sim 15 \text{ m}$)	CFG 桩地基处理的高低差基础情况
≤ 5	自然放坡,坡比 1:1;管井或真空降水、明沟排水	桩锚支护或双排微型钢管桩+土钉锚杆护坡;管井或真空降水		双排微型钢管桩+内支撑+土钉护坡;管井降水	利用 CFG 桩反插钢筋笼+拉墩或悬臂桩、双排桩护坡,管井降水
5~10	土钉墙护坡,坡比 1:0.5;管井降水	桩锚支护;管井降水,当降水引起建筑物沉降时,应设止水帷幕	钢筋格栅喷射砼支护;管井降水,当降水引起建筑物沉降时,应设止水帷幕	桩+内支撑支护;管井降水,当降水引起建筑物沉降时,应设止水帷幕	
10~15	复合土钉墙护坡,坡比 1:0.5;管井降水				
15~25	上部土钉墙,下部桩(地连墙)锚护坡;管井降水	桩(墙)锚支护;管井降水,当降水引起建筑物沉降时,应设止水帷幕		桩(墙)+内支撑支护;管井降水,当降水引起建筑物沉降时,应设止水帷幕	
> 25			地连墙+圈梁支撑;帷幕止水,帷幕外承压水减压降水		

3.3 曹妃甸地区基坑支护主要方法及经济对比

根据表 2,分析曹妃甸地区基坑支护方法。

(1)自然放坡。坡比 1:1,在坡面上覆盖塑料布防雨水冲刷,坡角用砂袋反压;管井或真空降水、明沟排水。本方法适用于基坑深度 $\leq 5 \text{ m}$,周围无建筑物影响的情况。护坡费用最低,在曹妃甸地区浅

基坑开挖中普遍采用。

(2)土钉墙护坡。坡比 1:0.5;管井降水。本方法适用于基坑深度 $5 \sim 10 \text{ m}$,周围无建筑物影响的情况。护坡费用较低,在 2250 mm、1580 mm 热轧工程等基坑护坡中普遍采用。

(3)复合土钉墙护坡。坡比 1:0.5;管井降水。

本方法适用于基坑深度 10 ~ 15 m, 周围无建筑物影响的情况。护坡费用较低, 在曹妃甸海水取水泵房、2250 mm、1580 mm 热轧工程层流池等基坑护坡中广泛采用。

(4) 上部土钉墙, 下部桩(地连墙)锚杆(内支撑)护坡; 管井降水。本方法适用于基坑深度 15 ~ 25 m, 周围无建筑物影响或较远的情况。护坡费用一般, 在 2250 mm 主厂房、2250 mm、1580 mm 热轧工程旋流井冲渣沟等基坑护坡中采用。

(5) 桩(墙)锚杆(内支撑)支护; 管井降水。当降水引起建筑物沉降时, 应设止水帷幕。本方法适用于基坑周围有建筑物、道路、管线影响的情况。护坡费用较高, 在 1580 mm 热轧工程层流池等基坑护坡中采用。

(6) 双排微型钢管桩 + 土钉锚杆(内支撑)护坡; 管井降水。当降水引起建筑物沉降时, 应设止水帷幕。本方法适用于基坑深度 ≤ 5 m, 周围有建筑物、道路、管线影响的情况。护坡费用较低, 在 2250 mm、1580 mm 热轧工程旋流井冲渣沟等基坑护坡中采用。

(7) CFG 桩反插钢筋笼 + 拉墩或悬臂桩、双排桩护坡; 管井降水。本方法适用于基坑深度 ≤ 10 m, CFG 桩地基处理的高低差基础情况。护坡费用较低, 在 2250 mm 热轧工程水处理区过滤站、冷却塔等基坑护坡中采用。

(8) 钢筋格栅喷射砼支护; 管井降水, 当降水引起建筑物沉降时, 应设止水帷幕。本方法适用于基坑深度 ≤ 25 m, 圆形基坑的情况。护坡工程可以作为主体结构一部分, 护坡费用较低。

(9) 地连墙 + 圈梁支撑; 设帷幕止水, 帷幕内疏干, 帷幕外承压水减压降水。本方法适用于基坑深度 > 25 m, 圆形基坑的情况, 护坡工程可以作为主体结构一部分, 护坡费用较高。在 2250 mm、1580 mm 热轧工程旋流井等基坑护坡中采用。

4 曹妃甸地区基坑护坡降水的几点建议

(1) 曹妃甸地区基坑护坡降水, 根据本文所述的多因素矩阵法, 可分为 9 类, 对今后该地区护坡降水具有重要的指导意义。

(2) 曹妃甸地区由于粉细砂较多, 土钉护坡一般应采用 1: 0.5 放坡, 纵向每隔 5 m 应设一个 1 m 宽的平台, 以利于土钉面墙的稳定; 土钉杆体的支架高度应大于土钉直径的 2/3, 确保杆体居中; 尽量减

少杆体放入与注浆的时间差, 减少塌孔概率; 基坑顶面 3 ~ 5 m 之外存在拟建建筑物基础时, 建议采用长短土钉护坡; 尽可能采用可回收式土钉锚杆。

(3) 对于②层饱和软粘土, 土钉应大角度穿过该层, 两端落在砂层内; 在该层之上设一层长排水孔, 或垂直增加渗水井, 尽量减少“疏不干”现象发生。

(4) 由于粉细砂较多, 降水井应普遍加深 2 ~ 3 m, 水泥滤水管应外包 60 ~ 80 目尼龙网 2 ~ 3 层, 砾料应选择中粗砂, 采用动水投砾法。

(5) 对于深部⑦层承压水的抽降要慎重, 降水井采用钢管井, 桥式过滤器, 确保井的强度满足要求; 深井采取分层止水、分层抽水的方法, 只抽取⑦层承压水, 其它层的水全部封死; 对于抗渗流措施, 采取降水头不降水位减压方法; 对于抽降⑦层承压水, 为了防止引起大面积地面沉降, 造成已有建筑物的变形, 应设防渗帷幕, 帷幕内降水, 帷幕外减压。

(6) 对于采取桩锚支护方案时, 桩间挂网喷射砼应采用膨胀螺栓或钢筋锚入桩体内, 确保与桩体的有效连接; 桩间排水应采取长短排水孔, 确保桩间排水的有效性, 避免出现流砂现象; 护坡桩可以采取超流态反插钢筋笼施工工艺, 应采用豆石砼, 钢筋笼保护层应大于 70 mm, 通过加焊“耳朵”的方法实现。

(7) 曹妃甸地区护坡抗剪强度指标, 根据几年来的施工经验, 对于强夯后的地层抗剪强度指标建议按表 3 所示取值。

表 3 曹妃甸地区护坡抗剪强度指标取值表

层号	土层名称	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
①	吹填砂(强夯后)	0	28 ~ 30
②	淤泥质粉质粘土	15	5
③	粉细砂	0	30 ~ 32
④	粉细砂	0	30 ~ 35
⑤	粘土、粉质粘土	20	15
⑥	粉质粘土、粉土	20	20
⑦	粉细砂	0	35

参考文献:

- [1] 李强. 短土钉连续墙基坑支护方法[P]. 中国专利: ZL00129978.6, 2003.
- [2] JGJ 120-99, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [3] 谭孟云, 刘兆茂, 张永强. 滨海地区深基坑支护出现的问题及对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(9).
- [4] 谢石连, 丁其锋, 卢玉南. 钻孔灌注桩在软土地区深大基坑围护工程中的利用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(5).
- [5] 张聚斌. 基坑降水的地下水位控制与工程降水综合利用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(3).