

曹妃甸地区基坑支护降水方案选择及设计建议

刘来新

(北京爱地地质勘察基础工程公司,北京 100144)

摘要:首钢京唐钢铁联合有限责任公司是一个在曹妃甸岛上吹填砂造地形成的场地上新建的大型现代化精品钢铁基地。分析了该建筑场地的地质环境情况和常用的基坑支护、降水方法,对该建筑场地上的建(构)筑物的基坑支护、降水设计及方案选择提出建议。

关键词: 基坑支护; 基坑降水; 吹填造地; 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)03-0044-04

Selection and the Design Suggestion of Protecting and Dewatering for Foundation Excavation Scheme in Caofeidian / LIU Lai-xin (Beijing Aidi Geotechnical Investigation and Foundation Engineering Company, Beijing 100144, China)

Abstract: Shougang Jingtang Co. is a large modernization outstanding quality iron and steel base in Caofeidian Island, which was newly built on a ground developed by hydraulic fill sand. Analysis was made on the geological conditions and commonly used methods of foundation pit support and dewatering in construction site; and the suggestions were also put forward to the foundation pit support and dewatering design for the existing buildings in construction site as well as the scheme selection.

Key words: foundation pit support; foundation pit dewatering; ground developing by hydraulic fill sand; Caofeidian area

1 工程概况

首钢钢铁生产能力从2003年起陆续向外搬迁,首钢京唐钢铁联合有限责任公司为首钢搬迁项目之一,一期工程总用地面积约为1200万 m^2 ,全为吹填区,位于曹妃甸岛西北角,拟建现代化钢铁精品基地,项目总投资388亿元。

现一期场地已经过吹填,吹填厚度4~9 m,高出海平面约5.5 m,场地基本平坦。

根据设计院提出的地质勘测任务书,以基础形式和基础埋深为主要特点将建(构)筑物大体上分为6类,详见表1。

表1 建(构)筑物基础形式及埋深

序号	名称	基础形式	基础埋深/m
1	主厂房及设备基础等	独立基础/桩基	3.0~7.0
2	地下水池等	箱型基础/筏板基础	4.5~7.0
3	加热炉及调节池等	箱型基础/筏板基础	9.0~13.0
4	预处理机提升系统	箱型基础	21.5
5	旋流井及地下料仓等	地下连续墙/沉井	10.0~35.0
6	烟囱	独立基础/桩筏	11.0~15.0

2 工程地质条件

2.1 地层岩性

根据初勘及试桩试验详勘资料,地层岩性由上

而下分为人工吹填土层(Q_4^{ml})、第四纪全新世海相沉积层(Q_4^m)和第四纪晚更新世海陆交互沉积层(Q_3^{mc})。

①人工吹填土(Q_4^{ml}):主要为场区内正在进行的围海造地吹填形成的围堤及沙滩,浅灰色,主要由砂质粉土、粉细砂组成,含较多贝壳碎片,饱和,夹粉土和粉质粘土薄层;

②淤泥质粉质粘土(Q_4^m):灰黑色,流塑~软塑,饱和,含有机质、贝壳碎片,具腥臭味,含粉砂夹层,呈互层状;

③细砂(Q_4^m):灰色,饱和,主要为细砂和粉砂,长石-石英质,含云母碎片,颗粒均匀,级配差,夹粘性土薄层,多为互层,含少量贝壳碎片,颗粒成圆形,均粒,混粘性土、粉土夹层,含有机质;

④细砂(Q_4^m):灰色,饱和,主要为细砂和粉砂,多为互层,长石-石英质,含少量贝壳碎片,颗粒成圆形,均粒,混粘性土、粉土夹层,含有机质,局部含贝壳碎片层,碎片含量>50%;

⑤粉质粘土(Q_4^m):灰~灰黑色,可塑,局部软塑,饱和,含有机质、贝壳碎片,有腥臭味,有淤泥质粉质粘土、粉砂夹层,呈互层状,局部可见灰绿色的条纹,无地震反应;

收稿日期:2011-08-18

作者简介:刘来新(1980-),男(汉族),浙江安吉人,北京爱地地质勘察基础工程公司工程师,岩土工程专业,从事工程勘察、岩土设计与施工工作,北京市石景山区晋元庄路23号,ph99453@163.com。

⑥粉质粘土(Q_3^{mc}):灰黄~黄褐色,可塑,饱和,含有机质、贝壳碎片,有腥臭味,粉土、粉砂夹层,呈互层状,局部可见灰绿色的条纹,无摇晃反应;

⑦细砂(Q_3^{sc}):灰黄~灰褐色,密实,饱和,主要为粉砂、细砂互层,长石-石英质,含云母,颗粒成圆形,均粒,有粉土夹层;

⑧细砂(Q_3^{sc}):灰褐色,密实,饱和,主要为粉砂、细砂互层,长石-石英质,含云母,颗粒成圆形,夹粉土、粉质粘土薄层。

2.2 地下水

场地地下水为海水,地下水的变化幅度受潮汐的影响,变化幅度1.0~2.0 m。水位埋深较浅或接近地表,局部大于1.70 m。

2.3 地层主要指标

场地地层主要物理性质指标见表2。

表2 地层主要物理性质指标

地层代号	地层名称	平均厚度 h/m	天然重度 γ /($kN \cdot m^{-3}$)	孔隙比 e	渗透系数 $k/(m \cdot d^{-1})$	自然休止角 $\varphi/(^\circ)$	
						水上	水下
①	吹填砂	6.0	18.5	0.94	4		
③	细砂	6.0	19.9	0.7	5	40	30
④	细砂	10.0	20.0	0.6	5	40	30
⑤	粉质粘土	10.0	19.0	0.88			
⑥	粉质粘土	8.0	19.5	0.74			

该场地在试桩试验时选取了4个区,分别用不同的能级(1500~4000 $kN \cdot m$)进行了强夯试验,试验前后地层主要力学指标变化见表3。

表3 强夯前后地层主要力学指标变化

地层代号	地层名称	标准贯入平均击数 $N/击$		静力触探侧摩阻力平均值 q_s/kPa		波速平均值 $v_{sm}/(m \cdot s^{-1})$	
		夯前	夯后	夯前	夯后	夯前	夯后
①	吹填砂	6	10~25	20	60	100	120
③	细砂	10~20	20~30	60	100	150	200
④	细砂	20~30	25~30	100	100		

3 设计方案

3.1 基坑支护设计

确定支护结构形式是进行建筑基坑支护设计的重要环节。支护结构类型选择是否恰当直接关系到基坑支护工程的安全性、技术可行性以及经济合理性。基坑支护结构形式的选择通常必须首先考虑以下几个主要方面:一是基坑开挖深度和范围;二是基坑周边场地条件;三是工程与水文地质条件及其随工程进展而变化的情况;四是地区经验、设备情况和施工技术水平等。

本工程场区可采用的基坑支护方法有:

(1)放坡开挖。通过控制边坡坡度和坡高来维持基坑的整体稳定性,具有造价低、施工速度快等特点。适用于基坑周围场地开阔,邻近基坑边无重要建(构)筑物或地下管线的工程。

(2)土钉墙及复合土钉墙。土钉墙技术最大限度的利用了土体自身的强度,将土体加固成为能自稳的重力式挡土墙结构。一般护坡深度可达10多米,当深度更大时需要增加部分预应力锚杆,即形成复合土钉墙。虽然土钉墙技术较以前的护坡方法有较大进步,但仍存在一些局限性。首先土钉的设置是将开挖面处的局部土体和深层稳定土体联为一体,坡体越高滑裂面之内的不稳定土体越厚,土钉的长度就越大,造成了一些浪费;其次由于土钉护坡不施加预应力,因此水平变形量较大且不易控制;再次土钉护坡深度不能太大,一般不超过12 m;再次由于开挖过程中分步过多,不易与开挖土方配合。

(3)短土钉连续墙。该方法是利用土钉墙技术发明的一种短土钉连续墙,替代钢筋混凝土连续墙,通过设置预应力锚杆或长土钉,控制基坑变形,达到护坡的目的,节省施工费用,减少开挖分步。其缺点同土钉墙,优点是作用机理明确,护坡深度大,控制变形能力好。

(4)排桩+预应力锚杆或内支撑体系。基坑开挖前在周边按一定距离和深度设置钢筋混凝土桩,桩顶之上用混凝土连梁连成整体,根据基坑深度、地层和相邻建筑荷载情况,可在一定深度设置预应力锚杆或内支撑。其优点是可使施工机械化,速度快,开挖深度大,可垂直开挖,占地小,但场地狭小时施工不便,成本高。

(5)双排桩体系。通过设置前后间隔一定距离的两排桩和桩顶的刚性连梁形成一个框架结构,其较单排桩具有刚度大的优点,适合于场地狭小、开挖范围较大,不宜设置预应力锚杆或内支撑的工程。

(6)水泥土墙或劲性水泥土桩。通过设置格栅状水泥土桩或旋喷桩形成一道重力式挡土墙。多用于深度不大、地下水位浅的软土地区,通过插入型钢形成劲性水泥土桩,支护深度可达10 m以上。

(7)浅埋暗挖工艺。根据基坑开挖断面尺寸,将钢格栅分段加工成榫,开挖后,设置钢格栅,挂网喷射混凝土进行支护。适用于开挖断面较规则的工程,也可结合预应力锚杆或内支撑形成体系。

(8)沉井、沉箱或地下连续墙。对旋流井等一些地下深埋结构,可采用在地面分节浇筑成型,井内挖土下沉,到设计深度后封底形成完整结构。当采

用不降水下沉时,应注意上浮问题。

3.2 基坑降水设计

在工程实践中有许多种控制地下水的方法,但大致可以归纳为3大类:一类是明排法,此法有时又称集水坑抽水,因为它将流入挖方内的地下水,通过明沟汇集于集水坑,再用泵将水排出基坑;另一类是预排水法,即在挖方工程开始前,先在一定范围内集中布置若干个抽水井(点),形成干扰降水系统,在短期内集中抽水,将水位降低并控制在要求的深度之下;还有一类是堵截法,即通过堵、截、排等手段,将地下水对工程的影响降到最低程度^[1]。

本工程场地可采用的基坑降水方法有:

(1)轻型井点降水。轻型井点抽水系真空作用抽水。由真空泵、射流泵或隔膜泵在井点周围一定范围形成一个真空区,真空区通过砂井扩展到一定范围。在真空力的作用下,井点附近的地下水通过砂井,经过过滤器被强制吸入井点系统内抽走,使井点附近的地下水位降低。

(2)管井降水。管井降水方法即利用钻孔成井,多采用单井单泵(浅水泵或深水泵)抽取地下水。当管井深度 $>15\text{ m}$ 时,也称为深井井点降水。管井降水是用于地下水来源比较丰富的地层,具有排水量大和降水深度大以及地面设施简单的特点。

(3)止水。即由伸入基坑底一定深度的密排水泥土桩或旋喷桩组成的帷幕结构。适用于淤泥、淤泥质土等渗透性小、开挖深度不大的软土地区,对于降水深度大,可能对相邻建筑造成不均匀沉降的渗透性较大的地区,可与钢筋混凝土排桩联合使用,并采用抽水与回灌相结合的方法。

4 设计建议

4.1 参数选取

考虑降水和强夯的影响,设计参数的选取见表4。

表4 基坑支护降水设计参数建议

地层代号	地层名称	天然重度 γ /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	粘聚力 c / kPa	内摩擦角 φ /($^{\circ}$)	极限摩阻力 q_s / kPa	渗透系数 k /($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$)
①	吹填砂	19	0	20	25~40	4
③	细砂	20	0	25~30	40~60	5
④	细砂	20	0	30~35	60~80	5
⑤	粉质粘土	20	20	15	50	
⑥	粉质粘土	20	25	10	55	

注:(1)表中砂土内摩擦角综合考虑了自然休止角及标准贯入试验击数;(2)粘性土的抗剪强度指标根据室内三轴不固结不排水试验(UU)所得。

4.2 计算案例

一圆形基坑,直径35 m,深10 m,各土层参数如表4,进行基坑支护及降水设计。

(1)放坡开挖或简单喷护支护。根据理论计算,当砂土的内摩擦角等于坡角时,边坡处于极限平衡状态。土体抗剪强度完全发挥,下滑力等于抗滑力,安全系数为1。此时,放坡坡度为 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$,且根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2002)中有关压实填土边坡允许值的条款,10 m左右边坡允许值为1:1.5,即 34° (此边坡允许值中已含安全系数)。一般开挖深度超过4~6 m的土质基坑,宜采用分级放坡,在6 m处留2~3 m宽的平台。

若基础工程施工周期较长,宜对坡面进行有效覆盖,可采用在坡面插钢筋钉,挂铁丝网喷射砼工艺,并在坡面上插塑料管排水。

(2)土钉墙支护。坡比按1:0.5~1:0.6考虑,土钉采用人工洛阳铲或螺旋钻机成孔,成孔直径100~130 mm,下倾角 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$,土钉间距1.2~1.5 m,矩形或梅花形布设,土钉杆件上焊对中支架,下入孔后注水泥浆,端部做 90° 弯钩与面墙纵横向加强筋焊接,挂 $\text{O}6\text{ mm}$ 钢筋网片,喷射细石砼。若场地条件小,可与其它挡土结构物联合使用,形成直立边坡。若边坡对变形控制较严格,根据以往经验,可在上部增加1~2道预应力锚杆,改被动受力为主动加力,将能有效的控制变形。图1是典型的土钉墙支护设计剖面图。

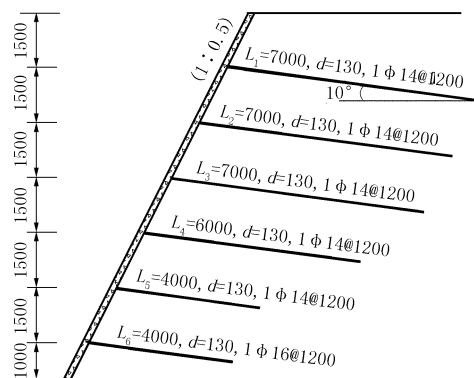


图1 土钉墙支护设计剖面图

(3)浅埋暗挖工艺。由于该基坑呈圆形,围岩有一定的自稳能力,壁上只有切向力,无径向力。采用钢格栅喷射砼支护方案,可以利用圆形基坑的特点,充分发挥砼的抗压性能,避免使用大量的土钉、锚杆,从而降低工程造价。施工时分层开挖土体(每步1.5 m左右),然后安装钢格栅、挂设钢筋网并喷射砼,当完成护壁挡土结构以后,进行基坑下一步土方开挖。另外,可以设置几道短土钉,替代钢格

栅来平衡土压力,将大大减小钢格栅的设置密度。

(4)对于本工程,由于结构外形规则,也可采用沉井法施工,节省基坑支护费用。但应考虑四周土的不均匀性,防止倾斜及下沉过快过大。

(5)管井降水。考虑在基坑外1.0~1.5 m 布设井点,潜水含水层厚22 m,降深10 m,渗透系数5 m/d,影响半径60 m,基坑涌水量2000 m³/d,采用Ø600 mm 管井,深14 m,共8口,单井出水量300 m³/d,下15~20 m³/h,扬程15~18 m 泵可满足要求。

5 结论建议

5.1 关于基坑支护

基坑支护将是继地基处理之后的又一难点。一是国内外尚无类似场地的案例,二是场地内建(构)筑物众多,基础埋深、尺寸大小各异、相对关系复杂,特别是到了工程建设的中后期,基坑开挖往往会受到相邻基础的影响。因此,基坑支护设计应注意以下方面。

(1)全局观。距离过近的相邻基坑宜同期开挖;深基坑宜较浅基坑先期开挖;考虑支护结构对后期基坑开挖和支护形式的影响;减少反复挖填和重复排水;避免基坑开挖对相邻建筑地基的破坏。

(2)局部观。针对不同的基坑开挖深度、形状和尺寸,并结合建筑物结构和基础形式,采取经济有效的支护形式。

(3)所有涉及土钉和锚杆的结构均受土层与锚固体的摩阻力大小的影响问题,未进行可靠的土钉拉拔试验,不可采用以土钉墙和锚杆为主要受力结构的支护体系。

(4)基坑侧壁主要为土层时,建议采用水泥土墙或土钉墙或两者的联合支护体系,必要时采用劲性水泥土桩和设置锚杆。

(5)基坑侧壁主要为砂层时,建议采用土钉墙或排桩+锚杆(内支撑)或双排桩体系护坡。

(6)当基坑较规则且范围不大却深度较大时,建议采用浅埋暗挖工艺或与内支撑相结合的方案,当设计有要求时,也可采用沉井或沉箱方案。

5.2 关于基坑降水

(1)止水法和坑内集水坑明排法在本场区的适用性不强。因地下水位高,若基坑开挖深度>4 m,将有近4 m的动水头,流沙现象将非常严重。但某些地段②层淤泥质粉质粘土厚度较大,③④层砂局部缺失或厚度极小,地表下6~8 m即出现⑤层粉质粘土,采用止水帷幕与基坑支护结构相结合、坑内抽

水的方法仍是不错的选择。

(2)轻型井点和管井法在该场区有较大的优势。降水深度在6 m以下的,可采用轻型井点或管井降水;降水深度大时,一般以管井为主,若场地条件允许,亦可采用多级井点法。

5.3 关于强夯

(1)强夯对地基的影响:提高地基承载力,减小变形;消除液化。对于浅基础,若对地基强度要求不高,强夯不失为一种经济有效的地基处理方法。

(2)强夯对边坡的影响:强夯能有效提高吹填砂土和③层松砂的密实度,进而提高边坡土抗剪强度。

(3)建议对场区吹填砂进行普遍强夯。根据已做的强夯试验结果,对道路、料场、轻型建筑、浅基础等天然地基,宜选择不同能级进行强夯;另外,对于有大面积深埋基础的地区,宜采用低能级进行满夯,对拟开挖基坑的周边应进行高能级的强夯。

5.4 关于试验

(1)抽水试验。利用单井及干扰井群进行抽水试验,评价单井出水量,估算基坑涌水量;计算含水层渗透系数、降水影响半径;获取降深数据,为基坑降水设计及施工提供必要的参考数据。

(2)土钉锚杆拉拔试验。对吹填砂、③层砂、④层砂,选择有代表性的点,分别进行强夯前和强夯后的试验,包括成孔试验、拉拔试验,综合评价场地锚杆及土钉墙支护的适宜性。

(3)水泥土桩。对水泥土搅拌桩(包括加筋水泥土搅拌桩)、高压喷射注浆桩的成桩可能性,与锚杆及土钉墙支护联合使用的可行性进行评价。

5.5 关于专家论证

曹妃甸工程是一超大型的建设工程,建设前期的场地适宜性、地基方案、基础方案、基坑支护降水方案论证及试验工作显得尤为重要。工程的成败、投资的大小无不取决于正确的决策,一切试验工作均应在论证可行的基础上方可实施。

参考文献:

- [1] 沈敏子. 国外工程降水的新方法及其应用[J]. 工程勘察, 1995, (3).
- [2] 赵江红. 强夯法在处理吹填土地基工程中的应用[J]. 勘察科学技术, 2008, (4).
- [3] 李强. 短土钉连续墙基坑支护法[J]. 工程勘察, 2007, (6).
- [4] 谭孟云. 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).
- [5] 贺启鑫. 大连临海超大深基坑旋喷桩止水帷幕施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(12).
- [6] 刘来新. 浅埋暗挖法在首钢搬迁工程竖井支护中的应用[J]. 施工技术, 2009, (1).