

# 浅谈曹妃甸新近吹填土强夯、降水施工技术

靳立国 逯建爵 刘锡印  
(首钢京唐钢铁联合有限责任公司)

**摘要** 介绍曹妃甸首钢京唐钢铁联合有限责任公司钢铁厂一期项目在吹填土地区进行明沟开挖、强排降水的施工经验。

**关键词** 吹填土 明沟开挖 强排降水

## 1 工程概况

随着北京社会、经济的发展,首钢产能与产业规模的不断扩大与首都环境以及产业结构的矛盾日益突出。通过多次论证,经国务院批准,决定首钢公司涉钢系统全部搬迁至唐山曹妃甸。曹妃甸岛距大陆海岸线约18km,海路西南距天津新港约38海里,东北距秦皇岛港约92海里,距京唐港33海里,距南堡12海里。地理坐标中心位于北纬 $38^{\circ}56'$ ,东经 $118^{\circ}30'$ 。

曹妃甸钢铁厂用地吹填总面积 $20\text{km}^2$ ,一期造地 $12\text{km}^2$ ,为加快钢铁厂建设的工程进度,采取边吹填、边开发的模式进行建设,等待土层固结和地下水下渗及消散时间极其短暂,致使新吹填的土层工程力学性质差、承载力低,施工机械无法进入场地,为了解决这一问题,做好吹填后的施工降水、提高表层土质强度的工作尤为重要。

根据曹妃甸钢铁厂建设场区工程地质和水文地质条件的特点,在前期试验时采用了真空强降水的方法降低地下水位,降水效果明显,但造价很高,工期较长,因此有必要寻找一种造价低且能达到有效降低地下水水位,利于下步工程施工的方法。通过2006年7月以来半年多的厂区道路及一期项目厂区地基强夯工程实践,对“地下水量大、土质软弱、表层有淤泥分布、施工机械不能就位的地区”进行明沟强行开挖、强排降水的施工方法取得了明显的效果,现对取得的经验进行总结,以求对今后的工程施工起到一定的指导作用。

## 2 场地工程地质、水文地质特征

(1) 场地地层特征 施工区域为2005年5月新

填海造地吹填而成,上部主要地层有:

① 层新近吹填砂:厚度 $4\sim 6\text{m}$ ,吹填标高高出海平面约 $3\text{m}$ ,土层主要为灰褐色粉细砂,含较多贝壳碎片,在吹填区域吹填喇叭口门位置,粘粒含量较多,局部有较厚的淤泥质土。吹填砂层夯前标贯击数 $3\sim 6$ 击,呈极松散状态,由于沉积时间短,土层尚未完成自重固结过程,该层土天然地基承载力不足 $80\text{kPa}$ ,为严重液化土层。

② 层粉质粘土:灰黑色,呈流塑-软塑状态,饱和,含有机质,局部地段为淤泥质粉质粘土,属高压缩性土,平均厚度 $1.7\text{m}$ 。

③ 层粉砂:灰色,松-稍密,饱和,长石-石英质,含少量贝壳碎片,颗粒成圆形,均粒,含有机质。场区普遍分布,平均层厚 $6.8\text{m}$ 。

④ 层细砂:灰色,中密-密实,饱和,含有机质,平均层厚 $6.0\text{m}$ 。

⑤ 层粉质粘土:灰-灰黑色,可塑,饱和,含有机质。场区平均层厚 $13\text{m}$ 。⑥ 层粉质粘土:黄褐色,呈可塑-硬塑状态,中压缩性土。层厚平均 $10.4\text{m}$ 。

⑦ 层细砂:褐黄色,饱和,呈密实状态。

(2) 场地水文地质特征:该区地下水受海水补给(吹填层以下为海水侧向补给,吹填层内为吹填过程中海水直接埋入),地下水位埋深为 $0.3\sim 0.8\text{m}$ ,含水层为粉细砂层,颗粒很细,渗透系数一般在 $6\times 10^{-3}\sim 1.2\times 10^{-3}\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,地下水赋存于土层颗粒之中,如果不经过人工强力扰动,很难自然渗出。

(3) 吹填土的工程特性:吹填土其成分和分布规律与所吹填泥砂的来源及吹填时的水力条件有着密切的关系,在大多数情况下,吹填的物质是粘土和粉砂,在吹填管口处,沉积的土粒较粗,远离管口方

向逐渐变细,在吹填区排水口(喇叭口门)位置最细,一般分布为淤泥质土,反映出水力分选作用的特点。有时在吹填过程中,由于泥砂的来源有所变化,造成填土在纵横方向上的不均匀性。吹填土由于土的颗粒粗细的不均匀分布其含水量也是不均匀的,土的颗粒愈细,排水愈慢,土的含水量也越大。吹填土的工程性质与其颗粒组成有密切关系,对于吹填管口附近含砂量较多的区域,透水性好,地下水排泄通道通畅,排水效果好一些;距离吹填管稍远区域,砂粒减少,粘粒含量增多,透水性减弱,含水量较大,吹填初期土粒通常呈过饱和状态,在远离吹填口,接近出水口处,通常是厚层的含粘土颗粒较多的粘性土,含水量较大,一般大于液限,由于土粒很细,水分难以排出,土体形成初期呈流动状态,经自然蒸发后,表面形成龟裂,但下部仍然处于流塑状态,稍加扰动,即会出现触变现象。本场地吹填土由于吹填后固结时间短、含水量大、地下水埋深浅,其天然地基承载力很小,给施工造成极大困难,因此对该土层进行强夯处理,必须首先解决降水、排水问题。

### 3 明沟开挖、强排降水施工方法

(1) 开挖明沟 场地吹填后首先开挖间距 50 ~ 100m 的东西向一级排水沟,沟宽 2.0 ~ 2.5m,沟深 1.0 ~ 1.5m。使大部分地下水靠重力自然排出,施工队进场后在机械难以进场的区段再强行开挖二级排水沟,排水沟间距超过 50m,降水效果不明显,若小于 30m,则加大开挖工作量,不经济,所以场区采用 30 × 50m 的井田状网格排水系统,开挖后加大渗排水断面,渗出水流量汇流后排入大海。因场地土层极其松散,含水量大,不能承载挖掘机重量,必须设法增大链轨承压面积。若采用木质筏排或木板铺垫,强度太小,经水泡后很快被损坏。因此采用  $\phi 91\text{mm}$  废石油钻杆,每 6 根焊接在一起,形成 0.5 × 9m 的筏排,施工时 6 块筏排为一组,4 块筏排垫入车底,两块在机尾备用,一段一段的施工,尽管挖掘机在筏排上像船一样摇晃,但不会使挖掘机下陷,可以安全施工。当日可能因坍塌不能一次成沟或成沟很浅,翌日再继续开挖即可形成(图 1)。

(2) 强力扰动排水 因吹填砂层渗透系数小,地下水若靠自然渗出时间太长,工期不允许,因此可通过对含水层施加外力扰动排水。其作用机理:地表吹填土呈过饱和状态,在外力周期性作用扰动下,土体中孔隙水压力骤然上升,减小抵消了相应土粒间的有效应力,土体的抗剪强降低显现出近于液体的

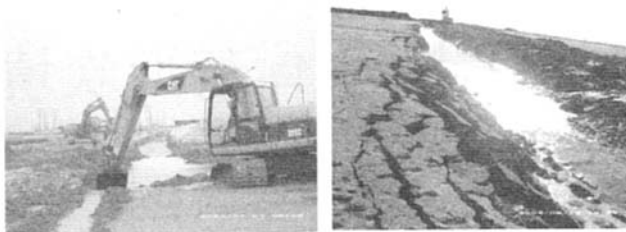


图 1 挖明沟排水

特性。在强力外力作用下地表将喷水冒砂,液化后的土粒在重力、上部土层覆盖压力作用下重新排列,土的孔隙比减小,密实度增加,同时地下水涌出地表排出。工作方法:将挖掘机铲全部插入地面,使其前后摇动,扰动点密度为 5 ~ 6m,每个点摇动 3 ~ 5 min,过 1 ~ 2 min 钟后地下水就会从地表象喷泉一样冒出地面,随后场地便形成一片“汪洋”,在地面形成象火山口一样的“微地貌”景观,地下水沿着预先挖好的明沟排出场地或用水泵抽出现场,翌日挖掘机、推土机等设备即可在地面上自由行走而不下陷(图 2)。



图 2 强力扰动排水

(3) 强力碾压排水:地下水经过强力扰动涌出后,场地表层强度便提高很多,此时可以采用超湿地 180 推土机进行纵横交错的强力碾压 2 ~ 3 遍,震动碾压的作用主要有两个:一是将含水层中未能排出的地下水强力挤出,二是将表层土压实,再次提高地面强度。以上步骤完成,经过 1 ~ 2 天的晾晒后,再碾压一遍,即可达到夯机不下陷的效果(图 3)。



图 3 强力排水喷水冒砂

对于场区吹填全部为砂、或者表层覆盖薄层淤泥质土下层为砂的吹填土,透水性好,开挖明沟后,能够形成有效的排水减压通道,缩短了填土中超静

孔隙水的渗出路径,利用挖掘机铲强力反复扰动产生较大的循环剪应力使砂土局部液化,形成的超静孔隙水经地表和排水沟排出,然后利用推土机碾压来施加预压荷载,土体被压密。但对于场区中吹填土中含粘土颗粒较多的厚层淤泥质土,含水量通常较大,粘粒的增加导致土的渗透性很小,在强力扰动作用下产生的超静孔隙水压力不易消散,需要采取其他方法降水。

#### 4 技术性、经济性分析对比

采用明沟强行开挖、强排降水的方法,通过实践证明,处理后场区完全具备了强夯施工的条件,强夯效果明显,有效缩短了工期,取得了良好的实用效果。技术性对比:

(1) 施工技术简单,开挖明沟,形成土层排水通道,可有效地缩短排水距离,加速吹填土的自然排水固结,强力扰动借助外力作用使吹填土结构重新排列致密,土层中水加速排出,强力碾压进一步排水固结。相对其他排水固结方法,施工机械简单,易于操作。

(2) 施工时间短,一般施工后1~2天即可起到效果,相对其他方法更快捷,在工程建设中可以缩短

工期,提高工效,加快施工进度,就本工程而言,缩短工期25天。

(3) 强力降水碾压后一般加固深度在1.5m左右,土的强度能够满足强夯机的工作行走和进行强夯。

(4) 场区吹填土排水后进行了强夯处理,吹填砂强度指标(夯击能 $3000\text{kN}\cdot\text{m}$ )强夯前后对比如表1。从各项原位测试指标显示,经强夯处理后,吹填砂得到有效加固。

表1 夯前夯后强度指标对比表

	标贯	静力触探(标准值)		波速试验	承载力特征
	(标准值)	端阻/MPa	侧阻/kPa	$v_s/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	值 $f_{ak}/\text{kPa}$
夯前	6	4.6	22	117	80
夯后	20	11	76	151	220
指标夯后比夯前增加幅度	233%	139%	345%	29%	175%

(5) 场区吹填完后在A1-3区进行真空降水试验,夯区面积 $30\times 30\text{m}^2$ ,做标贯孔3个,静力触探孔3个,静载试验3组;明沟强排降水强夯面积约 $350\text{万}\text{m}^2$ ,其中 $3000\text{kN}\cdot\text{m}$ 夯击能强夯面积约 $168\text{万}\text{m}^2$ ,检测点约4500个,静载试验112组;真空降水和强排降水后强度指标如表2。

表2 真空降水和强排降水强度指标对比表

	承载力特征值 $f_{ak}/\text{kPa}$	变形模量 $E_0/\text{MPa}$	标贯击数(标准值)	静力触探(标准值)		加固深度/m
				端阻/MPa	侧阻/kPa	
真空降水	250	12.10~21.80	17.0~21.0	10.70~12.50	58~90	6~8
明沟强排降水	220	15.03~22.68	18.6~21.4	10.72~11.43	68~89	6~7

从各项强度指标显示,真空降水和明沟强排降水效果差别不大,挖明沟强排降水方法速度快,效果一样好。

目前主要场区道路已修建完毕,厂区区域强夯也完成了大部分。仅此降水一项,同先期采用的真空降水试验工艺相比,首钢搬迁一期项目( $12\text{km}^2$ )估算可为国家节约投资2.76亿元人民币。表3是明沟降水和真空降水的经济性对比表。

表3 强排降水与真空降水造价对比表

	一期降水面积/ $\text{m}^2$	降水成本/ $\text{元}\cdot\text{m}^{-2}$	降水总造价/万元	节约投资额/万元
真空降水	12000000	25	30000	27600
明沟强排降水	12000000	2	2400	

#### 5 结束语

曹妃甸地区吹填土的特点是地层堆积时间极短、土层含水量大、地下水埋藏浅、含水层颗粒细且渗透性较差、表层承载力低,在该区采用明沟降水确实是成本低廉、施工速度快、可行的降水方案,而在地势低洼、含水量大、表层有软土分布的地段能否解决施工机械就位的问题是能否进行明沟开挖的关键和前提,通过近半年的工程实践,本文所阐述的施工方法确实很奏效,此方法的运用为节约工程投资、缩短首钢京唐钢铁厂建设工期发挥了重要作用。

第一作者通讯地址:北京市石景山路60号 邮编:100043