



多种地基处理方法在曹妃甸煤码头 续建工程的应用

朱颖波¹, 王 中², 陈明杰²

(1. 国投曹妃甸港口有限公司, 河北 曹妃甸 063200;

2. 中交一航局第五工程有限公司, 河北 秦皇岛 066002)

摘要: 结合曹妃甸煤码头续建工程地基处理施工, 介绍强夯法、高真空击密法、堆载预压+高真空击密法、高真空置换击密法等地基处理的工艺和加固效果, 并对几种地基处理工艺进行比较。结果表明: 对不同地质情况、土层分布的吹填土进行不同的地基处理加固后, 地基承载力显著提高, 满足了场地建设的需要, 可为类似工程施工提供借鉴参考。

关键词: 强夯; 高真空击密; 堆载预压; 施工工艺; 沉降

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)08-0172-05

Application of various ground treatment methods to Caofeidian coal terminal extension engineering

ZHU Yin-bo¹, WANG Zhong², CHEN Ming-jie²

(1. SDIC Caofeidian Port Co., Ltd., Caofeidian 063200, China;

2. The Fifth Project Department of No.5 Company of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Qinhuangdao 066002, China)

Abstract: Based on the foundation treatment construction of Tangshan Caofeidian coal terminal construction project, this paper expounds the construction technology and consolidation effect of dynamic compaction method, HDVM method, preloading drainage consolidation method + HDVM, HDVM replacement method, etc., and carries out a comparison among them. The results showed that according to different geological conditions and soil distributions under the filling ground, and using different foundation treatment methods, we can improve the foundation bearing capacity significantly and thus meet the needs of the site construction, and provide a reference for the construction of similar projects.

Key words: dynamic compaction; HDVM; preloading; construction technology; settlement

1 工程概况

唐山港曹妃甸煤码头续建工程堆场位于已建国投煤码头起步工程堆场西侧, 地基处理的总面积为92.3万 m², 堆取料机轨道梁基础9条, 地面高程为3.18~5.89 m, 平均地面高程为4.54 m。本工程初始设计采取强夯法、高真空击密法、堆载预压+高真空二次击密法进行地基处理, 施工过程中对部分区域采取优化方案进行地基处理(表1), 其中位于堆载预压区、高真空击密区的5条堆取料

机轨道梁基础, 为满足地基承载力的要求, 在进行地基预处理后, 对轨道梁下采用水泥搅拌桩复合地基处理。地基处理自2009年9月12日开工, 于2011年7月20日完工, 结合检测数据以及工后检测分析, 地基处理满足设计要求。

场地表层为人工吹填而成的粉细砂, 根据野外钻探和土工试验成果, 该区钻探深度范围内土层自上而下主要有: ①₁粉细砂、①₃粉细砂; ②₁粉质黏土、②₂粉土或粉细砂、②₃粉质黏土或黏

收稿日期: 2012-03-15

作者简介: 朱颖波(1973—), 女, 经济师, 从事水运工程建设与管理。

土。在该吹填层的分部区域内分布软弱夹层, 该夹层以淤泥为主, 局部为流泥、淤泥质土及淤泥混砂。

表1 地基处理设计方案

区域	初始设计		设计变更后	
	面积/万m ²	施工工艺	面积/万m ²	施工工艺
东部粉砂区	41.3	强夯法	41.3	强夯法
中部过渡区	20.0	高真空击密法	20.0	高真空击密法
西部淤泥区	31.0	堆载预压+高真空击密法	19.7	堆载预压+高真空击密法
			11.3	高真空置换击密法

地基处理的主要土层为吹填土层, 对于以粉细砂为主的区域采用直接强夯法进行地基处理; 对于以粉细砂为主, 兼有淤泥和淤泥质土的区域, 采用高真空击密法进行地基处理; 对于淤泥层较厚的区域, 采用堆载预压+高真空击密二次处理进行地基处理, 根据本场地工程地质特点, 又因工程进度需求, 部分区域采取优化方案, 采用插塑料排水板+高真空置换击密法进行软土地基的处理。

2 施工工艺

2.1 强夯法

2.1.1 主要施工参数

点夯2遍, 单击夯击能2 000 kN·m, 2遍点夯间歇时间为5 d。普夯2遍, 夯击能为500 kN·m。

2.1.2 质量控制

1) 强夯前用推土机进行场地平整, 预压2遍, 以利于起重设备行走。

2) 要求每台夯机挂牌, 注明车号、车长、性能等; 夯机施工前夯锤必须如实过磅, 夯锤喷油漆, 注明质量。夯锤透气孔必须保持通畅, 不得有泥土或异物塞住透气孔。

3) 当场地表面土质软弱或地下水位较高, 夯坑底积水影响施工时, 采用人工降低地下水位再进行强夯施工。

4) 夯击后要对夯坑进行抽水, 保证每日施工后夯坑内无积水。

图1为堆场地基处理总平面布置。

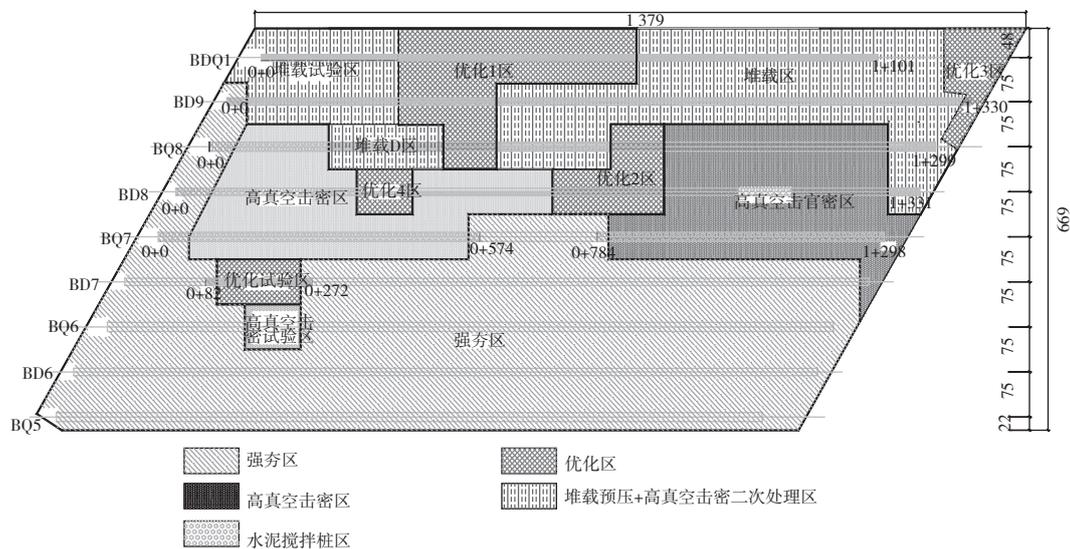


图1 堆场地基处理总平面布置

2.2 高真空击密法

2.2.1 施工工艺

1) 真空降水。单排降水管排距7 m, 点距3.5 m, 真空井点管长4 m; 双排降水管排距7 m, 点距1.75 m, 真空管长4 m及6 m, 1.75 m间隔布置; 单双排间隔布置。

降水管布设为人工采用高压水枪插φ32钢管

作为真空井点管, 真空卧管用φ63的PVC管, 真空卧管与真空井点管用φ32的钢丝管连接, 真空降水设备采用SK-6型水环式真空泵, 1遍击密前水位降至2 m以下, 并保持1 d后进行1遍击密(图2)。

2) 高真空击密。点夯2遍: 1遍单击夯击能1 500 kN·m, 2遍单击夯击能2 500 kN·m。2遍满夯, 能量600 kN·m。



图2 真空降水管布置

点夯采用50 t履带吊, 夯锤锤径2.0~3.0 m, 锤重12~25 t。

2.2.2 质量控制

1) 降水管布设时保证每台机组联接不超过100个真空井点管, 真空泵空载时真空度不低于0.08 MPa。

2) 真空降水开始启动后, 应24 h连续降水, 如有设备损坏及时更换。设置水位观测孔, 关注地下水位的变化情况、下降速率, 每天做好记录, 如有异常情况及时分析解决。

3) 严格控制现场降水时间, 做好基础含水率记录。

4) 现场真空抽出的水排入外围排水明沟, 外围排水明沟底部用塑料薄膜铺设, 防止下渗循环。

2.3 堆载预压+高真空2次击密法

堆载预压主要包括排水工程及堆载2部分施工内容: 排水工程主要包括土工布、土工格栅、排水砂垫层及塑料排水板、盲沟及集水井施工; 堆载料采用山皮石、海砂, 60 kN荷载分2级堆载。

卸载标准为实测沉降曲线推测的固结度大于80%; 连续5 d实测平均沉降速率不大于2.5 mm/d; 堆载期沉降量0.5~1.0 m; 有效满载时间不小于90 d。

2次高真空击密处理的真空降水工艺同普通高真空击密法, 击密为点夯2遍: 1遍单击夯击能1 000 kN·m, 2遍单击夯击能1 500 kN·m。2遍满夯, 能量600 kN·m。

2.4 插塑料排水板+高真空置换击密法

塑料排水板打设: 塑料排水板打设深度

5.5~7.0 m, 穿透软土层, 达到初步排水固结。

高真空置换击密施工参数: 单排降水管排距5 m, 点距3.5 m, 真空井点管长5 m; 双排降水管排距5 m, 点距1.75 m, 真空管长5 m及6 m, 1.75 m间隔布置; 单双排间隔布置。1遍击密前水位降至2 m以下, 并保持1 d。

第1遍击密时, 将单排管拔除, 采用锤径1.2 m、锤重13 t左右的置换锤进行击密, 击密点间距2.5 m。1遍高真空击密能量1 500 kN·m, 每点8~10击, 当坑深至2 m时, 停止施工, 坑内填山皮石平整后在原点击密, 直至最后2击沉降量之和小于25 cm为止; 第2遍击密时, 将双排管拔除, 采用锤径1.2 m、锤重13 t左右的置换锤进行击密, 击密点间距2.5 m。2遍高真空击密能量2 500 kN·m, 每点10~12击, 当坑深至2 m时, 停止施工, 坑内填山皮石平整后原点击密, 直至最后两击沉降量之和小于10 cm为止。

通过高真空击密置换形成置换墩, 置换墩要求穿透淤泥层底部, 平均深度约5 m。因置换深度比较大, 在置换过程中可能需要回填2次料, 根据现场施工情况以置换墩穿透淤泥层进入到粉细砂层每遍击密过程中夯间隆起的淤泥清除, 确保置换结束后在5 m以内为砂和置换墩的复合地基。

2遍击密7 d后, 再在表层进行满夯, 能量600 kN·m, 满夯2遍, 搭接1/4锤径, 提高浅层的承载力。

3 方案比较

3.1 应用效果

施工后进行地基承载力检测, 效果显著, 具体数据见表2。

从表2可知, 方案优化后一次检测合格率大大提高。

3.2 沉降

各工艺地基处理后, 堆载+高真空击密施工工艺沉降平均值最大为76 cm, 高真空击密次之为45 cm, 强夯为37 cm, 高真空置换击密施工工艺沉降最小为7 cm(沉降小的原因为施工过程中回填山皮石)。

表2 施工工艺对比

工艺	工效	加固后地基平均承载力/kPa	一次检验合格率/%	优点	缺点
强夯法	单台夯机 350 m ² /d	266	80	工艺简单, 施工快	只能加固塑性指数 $I_p \leq 10$ 的土
高真空击密	35 d为1个施工周期	236	95	工期短, 质量可控, 弥补了强夯法对饱和和软黏土施工易形成“弹簧土”的缺陷	本工法为专利技术, 施工队伍单一
堆载预压+2次高真空击密	220 d为1个施工周期	183	78	有效排出饱和和软黏土中孔隙水, 减少建筑物试用期沉降和沉降差	工期长, 成本高, 工序复杂, 质量不易控制
高真空置换击密	50 d为1个施工周期	206	90	通过置换击密形成复合地基, 提高透水性, 加速地基固结, 缩短施工周期	含淤泥, 淤泥较厚区域必须进行换填处理

3.3 工期

西部淤泥区原方案堆载预压+高真空击密2次处理法施工周期为220 d, 优化后的插塑料排水板+高真空置换击密法施工周期为50 d, 每个周期节省工期170 d, 大大缩短施工工期, 有利于下道工序施工。

4 沉降观测及结果分析

4.1 地基处理情况

轨道梁施工前对地基进行处理, 情况如下: BQ5、BD6、BQ6为强夯; BD7 0+82~0+272为堆载, 其它部位为强夯; BQ7 0+574~0+784为强夯, 其它部位为高真空击密; BD8 0+0~0+320、0+420~0+670、0+870~1+270为高真空击密, 其它

部位为堆载; BQ8 0+0~0+210、0+810~1+210为高真空击密, 其它部位为堆载; BD9、BDQ1为堆载。

4.2 轨道梁基础沉降观测

为进一步研究地基在堆取料机实际荷载作用下的工作情况, 在轨道梁验收合格后, 使用红油漆在轨道梁混凝土顶面做标记, 开始阶段每隔1周观测1次, 待沉降情况稳定后逐渐加长观测时间间隔, 最长间隔每月观测1次。

共观测 BQ5、BD6、BQ6、BD7、BQ7、BD8、BQ8、BD9、BDQ1共9条轨道梁, 沉降观测记录见表3。由观测结果可以看出轨道梁基础沉降最大为58 mm。

表3 沉降观测记录

轨道梁编号	累计观测时间/d	各观测点累计沉降值/mm									
		E					W				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
BQ5	318	40	51	54	47	35	50	46	58	49	49
BD6	354	43	38	43	56	47	43	24	33	57	56
BQ6	357	42	32	56	51	57	46	52	44	52	47
BD7	333	48	30	29	41	43	49	36	36	46	46
BQ7	246	41	27	52	15	42	41	42	43	16	30
BD8	185	20	17	17	12	10	15	17	15	18	9
BQ8	145	21	14	28	37	37	21	17	27	33	36
BD9	95	31	27	19	21	16	44	40	31	23	10
BDQ1	78	11	18	8	16		11	8	7	18	

轨道梁施工合格后, 定期对轨道梁的沉降情况进行观察, 以BQ8作为典型段进行分析, 根据

BQ8各个观测点沉降观测数据, 绘制时间-沉降曲线见图3。

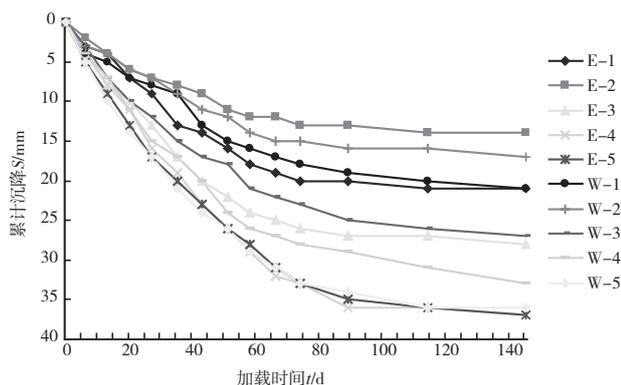


图3 BQ8轨道梁时间-沉降曲线

4.3 轨道梁基础沉降结果分析

1) 轨道梁从施工完成开始, 沉降随时间而增大, 90 d左右为快速沉降期, 经过快速沉降期后, 沉降速度相对缓慢, 沉降基本稳定, 90 d后9条轨道梁平均沉降量为36 mm。

2) 强夯区沉降量最大点BQ5W-3沉降58 mm, 高真空击密区沉降量最大点BQ7E-3沉降52 mm, 堆载预压区沉降量最大点BD9W-1沉降44 mm, 沉降量相差不大, 进一步验证这几种地基处理方法对相应土层结构有良好的加固效果。

5 结语

1) 不同的地基处理方法适用于不同的工程地质情况, 强夯法适用于加固塑性指数 $I_p \leq 10$ 的砂性土。强夯法具有造价低, 工艺简单等优点, 当地质条件允许的情况下应尽量采取强夯法。

2) 高真空击密法适用于顶部为以粉细砂为主, 中间夹有0~1 m淤泥和淤泥质土的软土地基。高真空击密法属于主动降水, 1遍点夯完成后可以不用等间歇期就可以立即进行2遍点夯, 同

强夯法比较具有工期短的优点, 但是高真空击密法, 成本相对较高, 在工艺选择的时候要结合工期及成本综合考虑。

3) 堆载预压法适用于淤泥层较厚的区域(大于3 m), 本工程堆载量为60 kN, 而设计要求地基承载力达到120 kN以上, 所以卸载后再通过高真空击密2次处理, 进一步提高地基承载力达到120 kN的要求。同时通过堆载预压预处理达到一定的承载力后, 保证地表面能够承重夯机等设备进行2次高真空击密处理。

4) 插塑料排水板+高真空置换击密法适用于加固有1~3 m厚的淤泥夹层的软土地基, 该工艺在高真空击密工艺的基础上根据本工程的地质情况进行了改进, 插塑料排水板是因为淤泥层过厚, 真空降水管上的进水孔容易被淤泥堵住影响降水效果, 所以采取插塑料排水板的措施增加竖向排水通道。在击密过程中填料的原因是淤泥层过厚, 普通的高真空击密法无法达到设计要求的承载力, 所以通过山皮石置换形成复合地基提高承载力, 来共同承担上部荷载。

参考文献:

- [1] 叶观宝. 地基加固新技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [2] 武亚军, 张孟喜, 徐士龙. 高真空击密法吹填土地基处理试验研究[J]. 港工技术, 2007(1): 47-50.
- [3] 龚晓南. 广义复合地基理论及工程应用[J]. 岩土工程学报, 2007(1): 6-18.

(本文编辑 郭雪珍)

更正启示

应作者要求, 在《水运工程》2012年第5期《不同导堤高程下射阳港区进港航道的淤积变化》一文中, P128页, 表1: 堤顶高程3.0对应航道大风天最大淤积厚度值“46.1”为作者稿有误, 应为“0.78”, 特此更正。