



堆载预压联合强夯法 在散货堆场地基处理中的应用

黄彬

(福建省交通规划设计院, 福建福州 350004)

摘要: 结合湄洲湾港东吴港区东1[#]、东2[#]泊位地质情况及散货堆场使用荷载, 提出采用施打塑料排水板+堆载预压进行软基处理、采用强夯法进行回填料加固的地基处理方案, 通过软基动态监测指导施工。加固后的检测结果表明地基处理效果良好。

关键词: 散货堆场; 地基处理; 堆载预压; 强夯; 监测

中图分类号: U 655.54

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2016)11-0179-05

Application of preloading and dynamic compaction on foundation treatment of bulk yard

HUANG Bin

(Fujian Communication Planning and Design Institute, Fuzhou 350004, China)

Abstract: According to the service load on the bulk yard of east No. 1 and No. 2 berths of Dongwu port in Meizhou bay, this paper proposes a soft foundation treatment method by applying plastic drainage plate and preloading and backfill material compaction, along with the foundation reinforcement technology of backfill material compaction. Also, the dynamic monitoring of soft foundation is introduced to supervise the construction. Test results after the reinforcement process show a good effect of foundation treatment.

Keywords: bulk yard; foundation treatment; preloading; dynamic compaction; monitoring

1 工程概况

项目位于福建省湄洲湾北岸的东吴作业区, 主要装卸煤炭, 其中东1[#]泊位为20万吨级, 东2[#]泊位为10万吨级, 设计年通过能力1500万t。码头岸线总长661m, 陆域纵深1408m, 陆域总面积93.06万m²[1]。其中前方1208m以内陆域布置散货堆场, 后方200m范围布置生产及辅助建筑区(图1)。

陆域全部为填海形成, 陆域范围内存在3~20m的淤泥层, 大部分区域淤泥层厚度12~20m, 填海形成的陆域堆场区设计荷载为180kN/m², 其余区域设计荷载20kN/m², 本文重点介绍堆场区地基处理情况。

2 水文、地质条件

2.1 设计水位

设计高水位7.11m(高程基准为当地理论最低潮面), 设计低水位0.75m。

2.2 工程地质条件

项目处于滨海浅滩区, 原地面高程约0~2m, 场地普遍覆盖海相淤积的淤泥, 厚度大部分在12~20m, 其下为黏土-粉质黏土、中砂(粗砂), 基底为花岗岩[2]。

其中淤泥为软弱土, 表现为高含水量、高孔隙比、低强度、高灵敏度性状(表1), 应进行加固处理。

表1 淤泥层主要指标

含水率 W/%	孔隙比 e	液性指数 I_L	抗剪强度			
			快剪		固结快剪	
			粘聚力 C/kPa	内摩擦角/ $^{\circ}$	粘聚力 C/kPa	内摩擦角/ $^{\circ}$
53.6	1.36	1.63	7	5.9	12	12.5

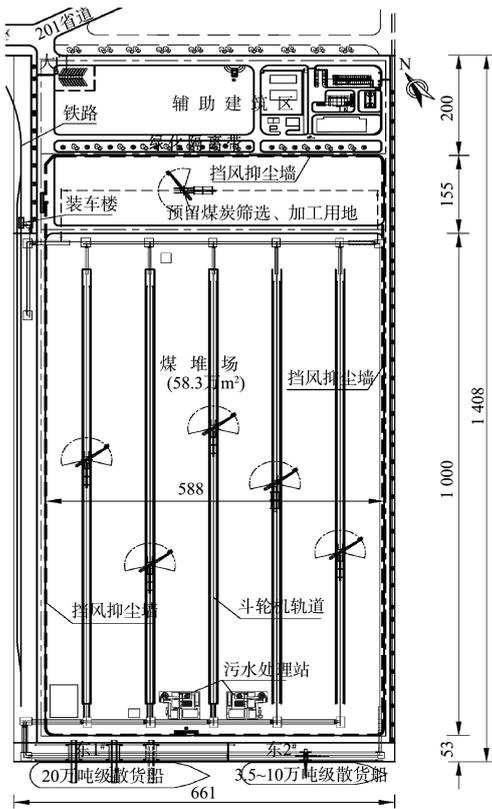


图1 东1#、东2#泊位总平面(单位:m)

3 地基处理的特点及处理标准

3.1 地基处理的特点

- 1) 地基加固面积大, 软基厚度相对较大;
- 2) 使用荷载大, 散货堆场均载达 180 kN/m^2 ;
- 3) 软基及回填料均要进行加固。

3.2 地基处理标准

- 1) 地基处理后竣工高程: 8.3 m (预留面层厚度 0.7 m);
- 2) 满足设计荷载下堆场及斗轮机轨道整体稳定要求;
- 3) 工后残余沉降 $\leq 500 \text{ mm}$;
- 4) 工后差异沉降 $\leq 1.0\%$;
- 5) 地基处理后承载力不小于 200 kN/m^2 。

4 地基处理方案设计

根据工程地质条件分析, 软基处理宜采用排

水固结法, 可选的处理方案主要有排水板+堆载预压、排水板+真空预压法、砂桩(或碎石桩)+堆载预压法等。其中排水板+堆载预压方法具有施工工艺简单、有效加固深度大(可适应较大荷载)、投资省、工后沉降小等优点, 故经比选作为推荐的软基处理方案。

4.1 塑料排水板+堆载预压方案

1) 为便于施工, 采用陆上施工的工艺, 首先回填海砂至高程 3.5 m , 铺设 1 m 厚的中粗砂垫层至高程 4.5 m 后陆上施打塑料排水板。

2) 排水板的间距为 1.2 m , 正方形布置。

3) 由于堆场面积大, 荷载大, 若在施工期全部按满载 180 kN/m^2 进行堆载预压, 则工期长、投资大。考虑到散货堆场除斗轮机轨道基础外, 其余区域沉降对使用影响不大, 在经计算将工后总沉降量控制在 500 mm 以内的前提下, 适当降低堆载, 其中斗轮机轨道区域按 150 kN/m^2 , 堆场其余区域按 120 kN/m^2 。

地基沉降采用分层总和法进行计算, 陆域回填砂厚度 $6 \sim 8 \text{ m}$, 按堆场设计荷载计算总沉降量平均约 1.6 m , 其中施工期沉降平均约 1.3 m , 工后沉降平均约 0.3 m 。

4) 施打塑料排水板后进行堆载预压, 堆载料采用海砂, 为避免一次性施加荷载太大引起地基失稳, 上部堆载需进行分级施加(每级不超过 35 kN/m^2 , 固结度达 80% 以上方可施加下一级荷载)。最后一级荷载加载后, 应静压 60 d 以上, 待平均总固结度达到 90% 以上, 且连续 10 d 日均沉降量 $< 2 \text{ mm}$ 后方可卸载。

4.2 回填料加固处理方案

本项目回填料为海砂, 回填层厚度约 $6 \sim 8 \text{ m}$, 适用于回填砂加固的处理方法主要有强夯法和振冲密实法。强夯法具有施工简单、施工速度快, 投资较省等优点, 处理的有效深度也与本项目回

填层厚度吻合, 设计选用强夯法。

堆载预压卸载后开始强夯(卸载时预留出 0.7 m 夯沉量, 即卸载到高程 9.0 m), 点夯 2 遍, 普夯 2 遍。堆场区点夯夯击能为 4 000 kJ, 夯点为正方形布置, 间距 7 m, 要求每夯点每遍夯击次数不少于 8 击并且最后两击平均夯沉量不大于 50 mm。点夯之后进行 2 遍普夯, 普夯能量为 1 000 kJ, 每夯点 2 击, 要求夯印搭接, 且搭接部分不小于夯锤底面积的 1/3。

强夯完成平整场地后, 采用质量不小于 18 t 的压路机进行碾压, 碾压遍数为 8 遍(来回为一遍), 碾压搭接宽度为不少于 1/3 碾压宽度。

5 施工现场监测及成果分析

5.1 软基监测方案

为确保陆域软基处理的质量和避免加载预压期间地基失稳, 在加载预压过程中, 应对软土地基的稳定性和沉降量等进行动态观测。同时, 通过现场实测成果资料, 掌握软土地基在大面积堆载时的加载速率、变形、固结度增长及土体强度变化规律, 控制加载速率, 确定加载及卸载时间。为此, 将堆场区划分为 8 个区域布置了 26 组软基监测点, 主要监测项目有: 沉降观测(包括面层沉降和分层沉降)、孔隙水压力监测和侧向位移观测(其中侧向位移观测仅在堆场边缘靠近护岸后方布置 4 组)。

现场监测主要控制标准如下:

- 1) 地表沉降速率控制标准 ≤ 15 mm/d;
- 2) 水平位移速率控制标准 ≤ 5 mm/d;
- 3) 孔隙水压力消散系数, 控制标准为系数 $K_u \leq 0.6$ 。

5.2 监测数据及固结度分析

为了节省堆载料, 堆载预压分 A、B 两大区域进行, A 区卸载后将堆载料运至 B 区进行堆载预压。A 区和 B 区又各划分为 4 个分区进行堆载和监测(图 2), 8 个分区共布置 26 组软基监测点。整个堆场从堆载开始到卸载完成大约需 18 个月。

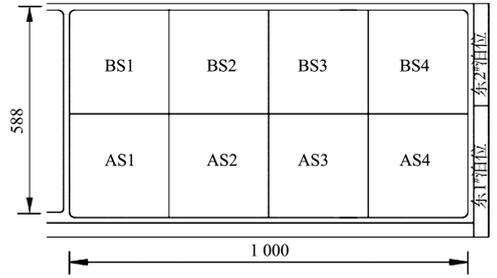


图 2 堆载预压分区(单位: m)

各分区观测的数据较为类似, 本文选取其中靠近堆场中心区域, 具有代表性的 AS2 区典型观测数据进行分析^[3]:

1) 面层沉降观测。

AS2 区共布置 3 个面层沉降监测点, 分析发现地表沉降速率在加载的前期相对较大, 随着加载时间的后延, 沉降速率逐渐减小, 在静载期间沉降速率进一步减小。以 S33 面层沉降监测点为例(图 3), 最后一级荷载加载时间为 2010 年 12 月 11 日, 卸载时间为 2011 年 3 月 17 日, 间歇时间为 4 个月, 累计沉降量为 1 166 mm, 其中最后半个月的累计沉降量为 5 mm。沉降曲线出现明显收敛趋势的特征, 软基排水固结基本完成。

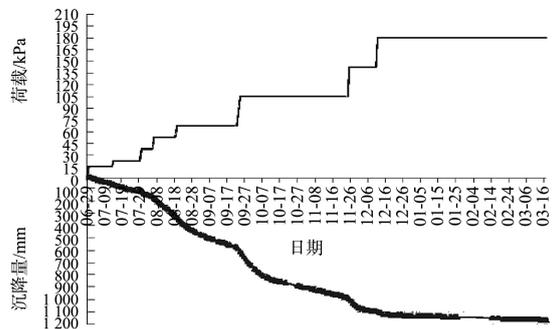


图 3 S33 沉降观测点荷载-沉降量-时间关系

2) 分层沉降观测。

AS2 区分层沉降观测点共 3 组, 每组平均埋设 4 个磁环, 分别按 3 m 的间隔顺序埋设在淤泥层内。分析监测数据表明, 淤泥层不同深度的沉降变化特点如下: 堆载后, 不同深度的沉降测点均发生了沉降。沉降观测点越接近地表, 沉降量越大; 沉降观测点埋深越深, 沉降量越小, 分层沉降观测点沉降曲线在堆载施工期间沉降速率较

大,恒载期间沉降速率减缓。

分层沉降观测点沉降曲线特征同地表沉降量-荷载-时间关系曲线相似(图4),显示沉降呈收敛状态。

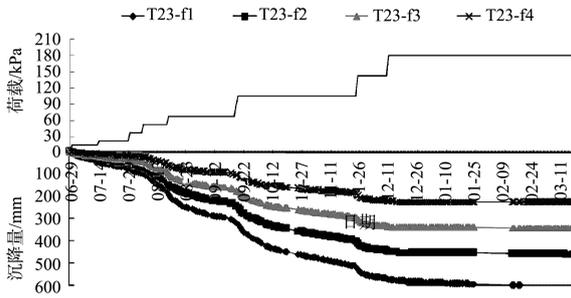


图4 T23 分层沉降点荷载-沉降量-时间关系

3) 孔隙水压力监测。

AS2 区孔隙水压力观测点共 3 组(编号为 U19、U21、U22),每组平均埋设 3 个孔隙水压力计,分别按 4 m 的间隔顺序埋在淤泥层内。超静孔隙水压力-时间关系变化曲线见图 5。分析发现:静孔隙水压力在加载后马上达到峰值,之后开始消散。孔隙水压力值没有发现突然减小现象,表明软基在堆载预压过程未发生剪切破坏。

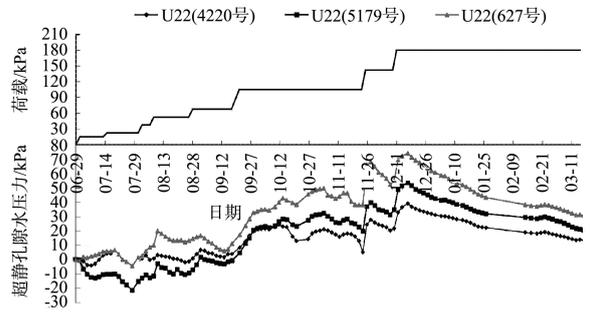


图5 U22 超静孔隙水压力-荷载-时间关系

4) 固结度推算。

利用沉降观测数据,推算 AS2 区淤泥平均总固结度为 90.1%~93.2%,达到了设计卸载的标准,其余 7 个区域的固结度也都达到了设计要求。

6 加固效果检测

6.1 软土层加固效果检测

1) 淤泥排水固结后强度增长情况。

为了解堆载预压前后软土层物理力学性质的变化情况,软基处理区加固后在淤泥层范围进行钻孔取样,布置取样钻孔 8 个,堆载预压前后淤泥层物理、力学指标见表 2。从表 2 可看出,预压后淤泥层的物理力学性质有明显的改善。

表 2 淤泥层加固后指标

加固前后	含水率 W/%	孔隙比 e	液性指数 I_L	抗剪强度			
				快剪		固结快剪	
				粘聚力 C/kPa	内摩擦角/(°)	粘聚力 C/kPa	内摩擦角/(°)
加固前	53.6	1.360	1.63	7.0	4.9	12.0	12.5
加固后	37.1	0.967	1.07	10.1	10.3	16.9	16.6

2) 十字板剪切。

加固前后选取了 8 个点进行淤泥层的十字板剪切试验,原状土十字板剪切强度从加固前的 19~32 kPa 提高到 34~51 kPa,强度提高明显。

6.2 回填层加固效果检测

1) 静力触探测试。

堆场区布置了静力触探测试孔 83 个,静力触探的贯入系统采用 YJ-15 型液压机,探头采用双桥探头,型号 ZGS15-3。根据现场静力触探测试结果求得浅部土层物理力学性质指标,承载力特征值为 200~291 kPa,压缩模量 E_{s1-2} 为 17.8~

25.7 MPa,达到设计要求,加固效果明显。

2) 标准贯入试验。

堆场区布置标准贯入试验孔 16 个,标准贯入试验采用自动脱钩的自由落锤法进行测试,根据现场标准贯入试验成果,强夯后回填砂层的密实度和强度均有了明显提高,标贯击数平均达到 15 击以上。

7 结语

1) 通过对监测、检测资料进行分析,采用施打塑料排水板+堆载预压进行软基处理,卸载后通

过强夯进行回填料处理的方案加固效果明显,软土层固结度达到 90% 以上,强夯后回填料浅层承载力达到 200 kN/m^2 。

2) 为了避免施工时失稳,堆载时应分层分级施加荷载,通过监测数据动态分析,可作为指导施工时加载、卸载时间的主要依据。

3) 该工程于 2012 年 10 月投产,运行 3 a 以来,堆场及斗轮机轨道基础均未发生明显沉降或位移,满载使用 3 a 来堆场区最大沉降量 $< 20 \text{ cm}$,未发生因不均匀沉降影响斗轮机运行的情况,地基处理效果良好。

参考文献:

- [1] 福建省交通规划设计院.湄洲湾港东吴港区东 1[#]、东 2[#]泊位施工图设计[R].福州:福建省交通规划设计院,2010.
- [2] 化工部福州地质工程勘察院.湄洲湾港东吴港区东 1[#]、东 2[#]泊位工程地质勘察报告[R].福州:化工部福州地质工程勘察院,2009.
- [3] 化工部福州地质工程勘察院.湄洲湾港东吴港区东 1[#]、东 2[#]泊位陆域形成及软基加固监测报告[R].福州:化工部福州地质工程勘察院,2013.

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

中交融资租赁(广州)有限公司举行挂牌仪式

11月5日,中交融资租赁(广州)有限公司(简称“中交租赁广州公司”)正式挂牌成立。公司执行董事、财务总监傅俊元出席揭牌仪式。

为落实《中国交建与广东省“十三五”战略合作协议》,推动珠三角地区建设,深入落实中国交建“五商中交”战略,中国交建旗下两家公司——中交建融资租赁有限公司、中交城市投资控股有限公司合资设立中交租赁广州公司,注册资本 30 亿元,主要立足中国交建主业及上下游业务领域,为客户在重大交通、通讯、城市综合体、新能源、旅游等领域的基础设施建设项目,“一带一路”海外重点建设项目以及重大装备制造业的发展提供金融服务。目标是打造以设施、设备融资租赁为重点,经营性租赁、跨境租赁、联合租赁等多种金融服务并举的新型国际租赁公司。

傅俊元表示,中交租赁广州公司要立足于华南市场,为公司内兄弟单位做好服务,以多元化、特色化的金融服务,改善服务对象债务结构,优化资产负债结构;要增强责任感和使命感,在风险可控的前提下,迅速做强做大规模,成为公司新的经济增长点。

活动现场,中国工商银行广东省分行、交通银行广东省分行分别为中交租赁广州公司提供了 100 亿元的授信。南方日报、广州日报、21 世纪经济报道、新华网等多家媒体作了报道。

http://en.ccccltd.cn/cccltd/news/gsyw/201611/t20161108_86498.html (2016-11-08)