



北海港铁山港区疏浚膨胀土的处治和利用

邓龙照¹, 岑学徐¹, 贺立², 刘建辉³

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290;

2. 广西北部湾国际港务集团有限公司, 广西 南宁 530200; 3. 北部湾港北海码头有限公司, 广西 北海 536000)

摘要: 铁山港区7[#]~10[#]泊位建设中产生大量以白泥为主的疏浚物。利用白泥作为回填料可以节省弃土处理费用和后方陆域回填费用。但白泥具有膨胀土特性, 使用不当会对工程质量造成不利影响。本文根据室内试验和典型施工的结果, 对白泥的回填高程及改良方法、改良土的填筑性能和强夯适用性等提出建议, 对铁山港区合理使用白泥作为回填料以及后续的加固处理具有一定指导意义。

关键词: 铁山港区; 白泥; 膨胀土; 强夯

中图分类号: U65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)08-0312-05

Disposal and utilization of dredged expansive soil in Tieshan Port area of Beihai Port

DENG Longzhao¹, CEN Xuexu¹, HE Li², LIU Jianhui³

(1. CCCCFHDI Engineering Co., Ltd, Guangzhou 510290, China;

2. Guangxi Beibu Gulf Port Group International Co., Ltd., Nanning 530200, China;

3. Beibu Gulf Port Beihai Terminal Co., Ltd., Beihai 536000, China)

Abstract: A large amount of dredging material mainly composed of white clay is dredged during the construction of berths 7[#]-10[#] in Tieshan Port area. Using white clay as backfill material can save on disposal costs and backfilling costs. However, white clay has the characteristics of expansive soil, and improper use can have adverse effects on the engineering quality. Base on the results of laboratory test and typical construction, this paper proposes suggestions for the backfill elevation and improvement methods for white clay, the filling performance of improved soil, and applicability of dynamic compaction. It has a guiding implications for the fair dealing of white clay as backfill material and foundation reinforcement treatment in Tieshan Port area.

Keywords: Tieshan Port area; white clay; expansive soil; dynamic compaction

北海港铁山港区位于北海市东部, 是北部湾地区具有重要地位的枢纽港。随着一带一路、泛珠三角区域合作和中国—东盟自贸区等国家战略的深入推进, 铁山港的港口货物吞吐量高速增长, 现有港区处于满负荷运行状态, 急需新建泊位和堆场应对巨大的货物通过能力缺口。

目前铁山港区北暮作业区7[#]~10[#]泊位有多个项目正处于施工图设计或施工阶段。在新建项目中, 一方面码头施工将产生大量的疏浚物, 另一

方面后方堆场需要大量的土石方填海造陆。铁山港区以往的做法是将疏浚物中的砂料用于后方回填, 将疏浚物中的黏性土作外抛处理。在陆域形成中, 如果疏浚砂不能满足回填需求, 则通过购买海砂进行回填。多个项目集中开展时, 疏浚和回填数量巨大, 但疏浚区的砂料已在之前的建设中消耗殆尽, 现疏浚物以膨胀土为主, 当地俗称白泥。如果仍然采用以前的做法, 存在抛泥数量大, 外购砂土费用高等问题, 对工程投资的控制

收稿日期: 2024-03-20

作者简介: 邓龙照(1978—), 男, 高级工程师, 从事岩土工程设计工作。

带来极大挑战。在此背景下,需对如何有效利用白泥作为回填料进行研究。

1 价值分析

1.1 工程价值

根据测算,铁山港区7#~10#泊位回填需求总量约650万 m^3 。根据市场调查,海砂价格为170~180元/ m^3 ,开山土石价格为80~100元/ m^3 。如果外购砂石进行回填,仅材料费就超过5亿元。经测算,7#~10#泊位可产生超过400万 m^3 以白泥为主的疏浚物,采用白泥作为回填料可节省较大的工程费用。此外,由于砂石运距超过30 km,回填施工效率难以超过3 000 m^3/d 。白泥就地取材,施工效率可提高至1万 m^3/d 。因此利用白泥对于铁山港区的建设和投产将起到显著的降本增效作用。

1.2 环保价值

数百万方的白泥如果作为废弃物运至指定的抛泥点进行倾倒,将占用大面积的土地或海洋资源,抛泥过程也难免对周边环境造成污染。如果数百万方的回填料采用外部砂石资源,大量开采海砂将影响海岸带和海洋地质构造,破坏海洋生态环境,大规模开山将破坏山林植被,同样产生生态破坏和环境污染。实际上由于环

保政策不断收紧,监督执行力度不断加大,短期内进行如此大量的土石开采并不现实,这也凸显出利用白泥作为回填料的必要性和环保价值。

2 工程适用性

2.1 实践经验

疏浚物已广泛应用在港口工程陆域形成中。广州南沙港区、深圳大铲湾港区、天津新港等海港采用以淤泥质土为主的疏浚料形成陆域,南通启东港区、苏州常熟港区等内河港采用以粉土为主的疏浚料形成陆域。尽管白泥的应用前景良好,但此前基本作为弃土处理,无实践案例,对其适用性及风险缺乏足够认识,因此有必要开展专题研究和试验工程。

2.2 工程性质

疏浚区位于码头和港池区域,疏浚深度为高程-23.0 m。由于上部砂层基本已另作他用,现有疏浚物主要以俗称白泥的黏土为主。白泥从天然地基中被抓斗挖泥船开挖上岸的过程中,土体受抓取、扰动、混合、晾晒等外部影响,其成分、形态和物理力学指标等将产生一定变化。白泥原土指标和上岸堆存后指标见表1^[1-2]。

表1 白泥主要物理力学指标

土体名称	含水率/%	湿密度/($g \cdot cm^{-3}$)	孔隙比	液限/%	塑限/%	压缩系数/ MPa^{-1}	自由膨胀率/%
原土	22.6	2.0	0.618	42.7	22.1	0.12	62
堆存土	25.5	1.9	0.760	37.0	23.6	0.15	50

白泥为细粒土,疏浚前具有中等压缩性和弱膨胀潜势。疏浚上岸后含水量增加,密度减小,压缩性增加,膨胀潜势减小,但仍属于中等压缩性弱膨胀土。这意味着采用白泥作为回填料,需面对可能带来的地基沉降和胀缩问题。

2.3 规范要求

对于地基填料种类,规范指出“宜选用级配良好的砾类土、砂类土等粗颗粒土”^[3],该条文并非强制性,因此白泥虽属细颗粒土,仍可作为地基填料使用。规范规定强膨胀土不得直接用于填筑地基^[4],白泥作为弱膨胀土可作为填料使用。但

是设计要求地基顶面回弹模量不小于60 MPa,按照规范要求地基顶面以下的砂、砾等粗粒土层不宜小于1.7 m,因此白泥虽可直接填筑,但需控制填筑高度,保证泥面和铺面结构底具有足够深度。

7#~10#泊位后方均为散货堆场,规范对于散货堆场的地基填料CBR(加州承载比)值要求为深度0.8~1.5 m不小于3%,深度1.5~2.0 m不小于2%。未经改良处理的白泥较难满足规范对于CBR值的要求,因此需控制白泥填筑高度或对地基顶面以下0.8~2.0 m深度内的白泥改良处理。

3 原土利用

对白泥原土的利用主要是控制填筑高度,影响填筑高度的关键因素是地面设计高程和水位。铁山港区的地面设计高程为7.5 m,陆域形成交工高程为6.8 m^[5]。根据勘察报告和过往项目的水位监测情况,后方陆域的地下水位多数时间在高程4.5~5.0 m之间浮动。根据气象资料推算土的湿度系数为0.8,大气影响深度为3.5 m。

从满足回弹模量和CBR值要求的角度考虑,白泥直接回填高程宜在交工高程以下2.0 m,即不大于高程4.8 m。从控制地基膨胀潜势的角度考虑,白泥宜在地面设计高程以下3.5 m,即不大于高程4.0 m。考虑到地下水位稳定在高程5.0 m以下,膨胀土在稳定水位下不易发挥膨胀潜势,因此从最大化利用白泥并保证地基质量的角度考虑,白泥原土回填顶高程可按4.8 m控制。

4 土性改良

4.1 改良方法

如果在高程4.8 m以上继续利用白泥,则需对其进行改良处理。按一定比例掺入砂、石灰和水泥,可有效改良膨胀土的工程特性^[6-7]。为验证外掺料对铁山港区白泥的适用性,从白泥中掺入砂土和石灰进行试验,胀缩试验结果见表2^[8]。从试验结果可知,掺入40%中、粗砂或5%石灰后,白泥的自由膨胀率降至40%以下,可不再判定为膨胀土。另外,由于白泥的膨胀潜势相对较弱,附加应力达到50 kPa将不会产生膨胀变形,说明在高程4.8 m以下回填白泥,使白泥足够上覆压力对地基质量有利。

表2 改良土的膨胀率试验结果

试样	自由膨胀率/%	50 kPa荷载膨胀率/%	收缩系数	胀缩总率/%
白泥	50.0	-1.90	0.54	5.71
白泥掺40%中、粗砂	38.3	-3.69	0.57	4.39
白泥掺3%石灰	42.0	-1.69	0.53	5.64
白泥掺5%石灰	38.0	-2.18	0.42	5.57

由于7#、8#泊位部分区域早期通过填砂成陆,可取砂作为外掺料,因此从成本角度考虑,掺入

回填砂最优。且项目曾在施工便道使用过山皮石混白泥,取得了不错的效果。根据配合比为6:4的白泥混砂和配合比为7:3的山皮石混白泥的填筑性能试验,白泥混砂最佳含水率为10.3%,CBR值为3%,山皮石混白泥最佳含水率为7.7%,CBR值为4%^[9],满足地基顶部回填料要求,因此初步考虑采用白泥混砂和山皮石混白泥作为高程4.8 m以上的回填料。

4.2 技术难点

白泥的改良效果既取决于混合料配合比的合理性,又取决于白泥和掺入料的拌和均匀性。白泥混合料可按不同配合比,根据试验结果在成本和质量之间取得平衡。如何使现场拌和的均匀性取得接近试验的效果是白泥改良的难点。

根据南水北调工程的研究结果,均匀拌和黏土和改良料需经过翻晒、碎土和拌和等工序:旋耕机翻晒8遍黏土团径为5~50 mm,采用破碎机碎土,使团径小于5 mm的土团比例接近50%,最后使用拌和机均匀拌和黏土和外加料^[10]。拌和均匀性的关键在于是否能将白泥的含水率降至塑限以下。这就要求铁山港区在后续项目中有足够大的翻晒场地及存料场地。铁山港区地处南亚热带,雨天多且建设项目周边场地均已投产使用,这给白泥混合料的拌和施工带来巨大挑战。

5 加固处理

5.1 加固要求

铁山港区拟建的7#~10#泊位工程后方陆域主要为散货堆场和道路。散货堆场对工后沉降不作要求;道路因采用混凝土铺面,工后要求不大于30 cm。交工面地基承载力要求不小于120 kPa,交工高程按6.8 m控制。

5.2 地基变形和稳定

在勘探深度内,原地基为稍密-中密状态的砂性土或坚硬粉质黏土,工程性质良好,无需加固处理。如果按上述分析进行回填,高程4.8 m以下直接填筑白泥,白泥回填层的平均厚度为5.0 m。高程4.8 m以上填筑白泥混砂和山皮石混白泥,

预留地基处理所产生的沉降量后, 混合料层的厚度为 2.3 m。白泥回填层由于在稳定水位以下, 且上部有足够荷载, 即使在自然状态下也能有效抑制其膨胀潜势, 因此是否进行加固取决于对地基变形和稳定的影响。

根据计算, 地基沉降的 40% 以上由回填白泥层产生, 但由于原地基情况良好和回填白泥偏低的压缩性, 工后沉降在规范允许范围内。由于原地基的强度较高, 在最大荷载工况下的最危险滑动面在白泥回填层内, 最小抗力分项系数可满足稳定要求。沉降和稳定计算结果见图 1、2。

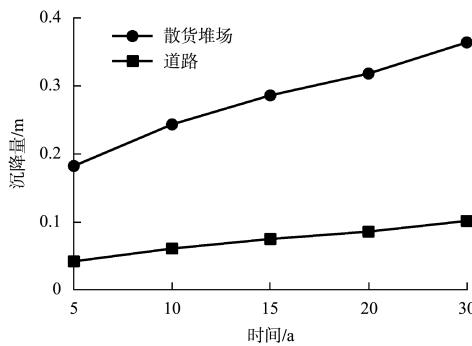


图 1 白泥回填区工后沉降趋势

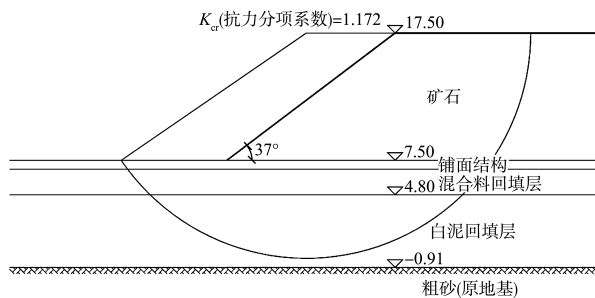


图 2 白泥回填区稳定性计算结果 (单位: m)

5.3 处理方案

由于原地基工程性质良好, 地基处理可只考虑人工填土层。人工填土层包括两种情况, 一是未回填区域, 人工填土层将由白泥回填层、白泥混砂层和山皮石混白泥层组成; 二是已填砂成陆区域, 人工填土层由回填砂层、白泥混砂层和山皮石混白泥层组成。

对于将要回填白泥及其混合料的区域, 加固整体人工填土层可采用砂(石)桩置换法、强夯置换法、就地固化+压实法、水泥土搅拌桩复合地基法、高压旋喷桩法等。由于处理面积大, 这些方案均需使用大量砂、石或水泥, 存在造价过高的问题, 不宜大面积采用。根据对地基变形和稳定的分析, 高程 4.8 m 以下回填白泥层可以不作处理, 因此为节约工程费用, 仅加固地基顶部 2.2 m 厚的混合料层, 适合的处理方案包括夯实质法和压实法。考虑到面积大和水位高等因素, 采用压实法存在工期长、水位线附近土层难以压实等问题, 因此更适合采用夯实质法。加固深度按不大于 2.5 m 考虑, 夯击能采用 800 kN·m。

对于已填砂成陆区域, 邻近区域采用 3 000 kN·m 夯击能强夯的效果良好, 但由于取砂需要, 高程 4.2 m 以上砂料被替换为白泥混合料, 采用该方案的适宜性还需通过试夯确定。

5.4 效果检验

为验证处理方案的可行性, 现场划分多个试验区进行典型施工。典型施工情况见表 3。

表 3 典型施工情况

试验区	回填方案	强夯方案	质量检验
1#	该区域已回填海砂成陆, 地基处理前先开挖至高程 4.2 m, 回填白泥混砂至高程 7.0 m, 再回填山皮石混白泥至高程 7.7 m	2 遍点夯 (3 000 kN·m) + 2 遍满夯 (1 000 kN·m), 夯后碾压至压实度不小于 95%	3 000 kN·m 夯能第 2 击或第 4 击出现起锤困难, 点夯不满足收锤标准
2#	同 1# 试验区	2 遍满夯 (1 000 kN·m), 夯后碾压至压实度不小于 95%	夯沉量约 40 cm, 交工地地基承载力不满足设计要求
3#	该区域已回填海砂成陆, 地基处理前先开挖至高程 4.7 m, 回填白泥混砂至高程 6.5 m, 再回填山皮石至高程 7.1 m	同 2# 试验区	夯沉量约 30 cm, 各项指标均合格
4#	开挖至高程 4.8 m, 回填白泥混砂至高程 6.5 m, 再回填山皮石混白泥至高程 7.1 m, 高程 4.8 m 以下为薄层白泥或砂	2 遍满夯 (800 kN·m), 夯后碾压至压实度不小于 95%	夯沉量约 40 cm, 交工地地基承载力不满足设计要求
5#	4# 试验区的山皮石混白泥改为山皮石	同 4# 试验区	夯沉量约 30 cm, 各项指标均合格

与1#试验区地质情况相同的相邻项目采用3 000 kN·m 夯能强夯取得成功,但1#试验区取砂换填为白泥混砂和山皮石混白泥后点夯却未能收锤,说明白泥即使经过改良,其工程性质与砂性土仍存在较大差距,不宜采用中、高能量进行夯击。2#~5#试验区均采用低能量夯击,但2#、4#试验区白泥混砂和山皮石混白泥受雨天和施工经验不足的影响,拌和均匀性较差,夯击过程中部分高含水率的泥团翻出,导致压实度和地基承载力的检测结果不满足设计要求。3#、5#试验区在起夯面覆盖一定厚度山皮石后,夯后各项指标均满足设计要求。5个试验区的情况说明,白泥混合料施工难度较大,地基表层应谨慎使用白泥混合料,宜保证有一定厚度的粗粒料层。

6 结论

1) 铁山港区采用白泥作为回填料不仅节约工程投资,也有利于环保。但白泥属膨胀土,直接填筑原土时,回填顶高程不宜高于4.8 m(当地理论最低潮面)。地基表层2 m 深度仍利用白泥时,需进行有效改良和加固。

2) 在白泥中掺入适量粗粒土或石灰可改良工程性质,满足地基顶部填料要求。但受制于铁山港区的施工条件,实施中较难保证混合料的均匀性。

3) 通过回填白泥和混合料成陆的场地,采用强夯法加固时不宜采用中、高能量进行夯击,地基顶部粗粒料土层厚度不宜小于70 cm。

参考文献:

[1] 广西壮族自治区交通规划勘察设计研究院. 北海铁山港区5号至10号泊位工程(详勘)工程地质勘察报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区交通规划勘察设计研究院, 2011.

[2] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 北海港铁山港西港区北暮作业区7#~8#泊位后方陆域工程岩土工程勘察报告(施工图设计阶段)[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2022.

[3] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 港口道路与堆场设计规范: JTS 168—2017[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.

[4] 中交第二公路勘察设计院有限公司. 公路路基设计规范: JTG D30—2015[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.

[5] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 北海铁山港区西港区北暮作业区7号8号泊位工程后方陆域一期工程[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2023.

[6] 杨俊, 黎新春, 张国栋, 等. 风化砂改良膨胀土机理及边坡稳定性分析[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2014, 35(5): 600-604.

[7] 李东森, 夏熙临, 陈丛丛, 等. 石灰、水泥及砂改性膨胀土工程特性的试验研究[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(4): 25-27, 46.

[8] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 北海港铁山港西港区北暮作业区7#~8#泊位后方陆域工程(东一区补充勘察)岩土工程勘察报告(施工图设计阶段)[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2023.

[9] 长沙理工大学. 强夯法加固铁山港高粘性吹填土地基关键技术研究[R]. 长沙: 长沙理工大学, 2023.

[10] 刘鸣, 刘军, 龚壁卫, 等. 水泥改性膨胀土施工工艺关键技术[J]. 长江科学院院报, 2016, 33(1): 89-94, 100.

(本文编辑 赵娟)

编辑部声明

近期不断发现有人冒用《水运工程》编辑部名义进行非法活动,他们建立伪网站,利用代理投稿、审稿等手段进行诈骗活动。《水运工程》编辑部郑重声明,从未委托第三方为本编辑部约稿、投稿、审稿。《水运工程》编辑部唯一投稿网址: www.sygcc.com.cn, 敬请广大读者和作者周知并相互转告。

《水运工程》编辑部