

淤泥固化技术在大型起重机地基处理中的应用

孙艳勇

泰国格乐大学国际学院工程系 泰国曼谷 10220

摘要:近年来,大型设备整体吊装具有施工周期短、降低交叉作业面等优点,在工程项目中应用越来越广泛,而大型吊车吊装作业的安全实施,其作业区域的地基处理是最为关键的一环。依托于某沿海炼油化工项目对大型履带式起重机站位区域淤泥地基固化案例,从淤泥固化技术应用于吊装专业施工中地基处理取得的效果等方面分析和总结,有助于探索出大型起重机作业区域一种新型的地基处理工艺,具备应用推广的价值。

关键词:工程施工,地基处理,淤泥固化法,地基承载力

1.引言

我国在沿海地区分布大量的淤泥质软土地基,而淤泥质性质的土,因其原始地基承载力低、含水率高等缺陷,一直是吊装专业内难以解决的问题。大型起重机作业区域对地基承载力和地基不均匀沉降有较高的要求,行业中传统的大型起重机作业区域的地基处理,采用毛石换填法,这种方法在有软弱下卧层存在的区域使用效果不是很理想,后期极易出现不均匀沉降,且投入成本大,经济环保效益差。如何在淤泥质土性质的场地上进行有效、经济环保的地基处理,成为国内外吊装专业领域争相探讨的问题。

淤泥固化技术源自日本、美国等国家^[1],在实际的应用中,对固化剂、淤泥原位固化施工等方面研究较多,而对出于特殊的要求,在淤泥质土的场地进行二次处理研究并不鲜见,这里研究的大型起重机作业区域地基处理是在地面硬化之前的一种二次处理,其既要满足大型起重机作业对地基的特殊要求,又不能对后续地面硬化和环境产生不利影响,力求实现淤泥土性质场地地基处理方法在吊装专业领域中的应用取得新突破。

2.地基处理设计

2.1 初始条件

工程项目原场地为盐田明塘,场地内分布有若干综合交错的沟渠、明塘和田埂。岩土勘察显示拟建场地在 60.45m 深度范围内的基土属第四系全新统 Q4^①、上更新统 Q3^②沉积物,主要由粘性土、粉土及砂土组成,呈水平成层分布,淤泥层深约 2.8m^[2]。原场地地基经过真空预压排水处理,场地利用淤泥固化技术进行二次处理后需满足 4000t 履带式起重机对该区域的地基承载力要求,处理面积的纵向固化长度根据实际施工确定,横向长度为起重机轴距 D+7000mm,固化深度 2800mm,固化土上铺 200~300mm 碎石层,断面见图 2-1。

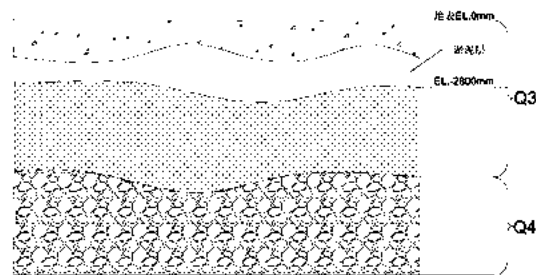


图 2-1 地层剖面

2.2 地耐力设计

满载履带式起重机竖向荷载 40000KN、弯矩 0KN·m。根据地勘报告,场地淤泥层较厚,约 3000mm,位于表层 500mm 以下。根据

需求和实际吊装工况,按地基土的极限荷载(Pu)承载力条件下,进行承载力验算。考虑碎石层刚性摩擦角、压力扩散钢箱,将满载履带式起重机简化为矩形模块进行计算,矩形模块宽 22000mm,矩形模块长 21000mm。

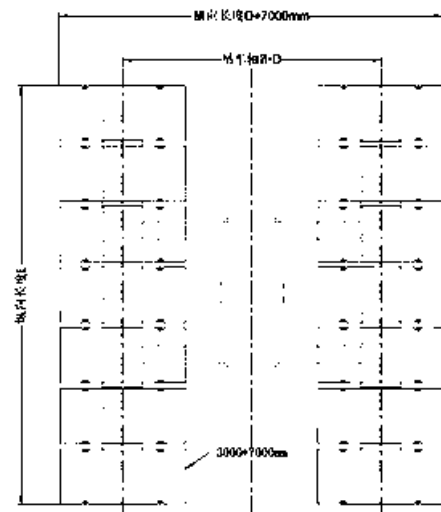


图 2-2 固化土平面布置

4000 吨级履带起重机每条履带下横铺 7 块长 7000mm,宽 3000mm 的路基箱,每块路基板接地面积为:

$$A = 3 \times 7 = 21 \text{ m}^2$$

施工作业时附加荷载 40000KN,起重机超起配重 2000t,路基箱自重 14.5t/块,对地总压力为 4000+2000+14×14.5=6203t,压力不均衡等因素的综合影响系数取 1.2,则吊装时路基板对地面的压强为:

$$P = 6203 \times 1.2 / (2 \times 7 \times 3 \times 7) = 25.3 \text{ t/m}^2$$

此值即为地基设计地耐力。

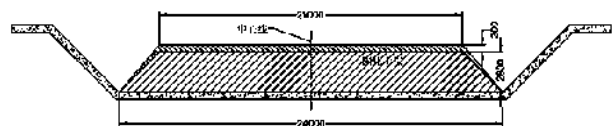


图 2-3 设计处理后固化土断面

以上淤泥固化地基结构设计方案经验算,按比率(1:1.5)放坡最不利滑动面的安全系数为 2.236,大于[k] (=1.2-1.4),故此路基边坡稳定性好,其淤泥固化土轻质的特点可以减少路基的最终沉降,实践数据显示淤泥固化地基最终沉降量明显低于毛石回填的最终沉降量。淤泥固化前后物理指标参数见表 1。

表1 淤泥固化前后物理指标对比

土质	含水率/%	孔隙比 e_0	液性指数 I_L	塑性指数 I_p	压缩系数 M_{pa}^{-1}	粘聚力 C/kPa	内摩擦角/ $(^\circ)$
淤泥	67.2	1.598	1.417	23.98	1.38	9.26	4.5
淤泥固化土	23.6	1.15	<0.250	18.2	<0.28	120.2	27.1

2.3 承载力验算

当按地基承载力计算以确定基础底面积时,传至基础或承台底面上的荷载效应应按正常使用极限状态采用标准组合,相应的抗力

限值采用修正后的地基承载力特征值或。即 $S \leq C$, C 为抗力或变形的限值; $p_k \leq f_a$ (地基)。此时特征值 f_a 即为正常使用极限状态下的抗力设计值^[9]。参考数值见表2,表3,表4,表5,表6。

表2 基本参数

土层层数	压缩层深度	沉降经验系数	承载力修正基准深度 d
2	15.201 (m)	0.4	0.500 (m)

注:地基承载力修正公式 $f_a = f_{ak} + \eta b \cdot \gamma \cdot (b-3) + \eta d \cdot \gamma \cdot m^*$ (d-0.5)(1)

表3 基土层参数

序号	土类型	土层厚 (kN/m ³)	容重 (kN/m ³)	饱和容量 (kN/m ³)	压缩模量 (kPa)	承载力 (kPa)	H _b	ηd
1	淤泥	2.8	16.6	16.6	2	55	0	1
2	淤泥	10.7	16.6	16.6	1.8	55	0	1

H_b——基础宽度地基承载力修正系数

H_d——基础深度地基承载力修正系数

表4 换填固化土参数

材料类型	固化土	单位
压缩模量	10	(MPa)
承载力	300	(kPa)
厚度	2.8	(m)
顶面宽度	28.5	(m)
底面宽度	28.5	(m)
顶面长度	20	(m)
底面长度	20	(m)
压力扩散角	30	($^\circ$)

表5 垫层承载力验算

内容	数值	单位
基底平均压力 p_k	146.5	kPa
垫层承载力特征值 f_z	300	kPa
结果	$p_k \leq f_z$	$p_{kmax} \leq 1.2 \cdot f_z$

p_k ——静载荷, p_{kmax} ——动载荷。

结论:固化土满足承载力要求。

表6 换填垫层底面处地基土层极限承载力验算

内容	数值	单位
----	----	----

表8 垫层底面宽度和长度应力扩散角验算

定义	数值	单位
垫层底面宽度 B2	28.5	m
基底压应力传递到垫层底面处的应力分布宽度 $B+2ztg30$	22.733	m

注:垫层底面宽度 $B2 \geq B+2ztg30$,垫层底面满足应力扩散要求。

表9 下卧层承载力验算

土层号	深度	θ	p_z	p_{cz}	p_z+p_{cz}	f_z	结论
	(m)	($^\circ$)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	
2	13.5	23	47.8	89.1	136.9	140.8	满足

θ ——土层的应力扩散角, p_z ——下卧层顶面处的附加应力值, p_{cz} ——下卧层顶面处土的自重压力值, f_z ——下卧层顶面处经深度修正后的地基承载力特征值

2.6 沉降计算

地基沉降是指地基土层在附加应力作用下压密而引起的地基

垫层应力扩散角 θ	30	$^\circ$
垫层底附加应力 p_z	102.1	kPa

注:垫层底地基土极限承载力 P_u ,采用 A.S.K.Buisman 和 Terzaghi 公式计算地基极限承载力。

$$P_u = c_k N_c + \gamma d N_d + \frac{1}{2} \gamma b N_b \quad (2)$$

$N_c N_d N_b$ ——承载力系数, d ——埋深, γ ——土的重度, b ——基础宽度

根据地勘报告, c_k 取 11.7kpa, ϕ_k 取 3.3 $^\circ$,查表^[10]得承载力系数 $N_c N_d N_b$

$P_u = 11.7 \times 5.9 + 16 \times 3 \times 1.31 + 0.5 \times 21 \times 22 \times 0.24 = 187.35 \text{Kpa}$,
取安全系数 $K=1.5$,得安全系数下的极限承载力 $P_u / 1.5 = 124.9 \text{Kpa}$
 $p_z < P_u / 1.5$,垫层底面地基土的极限承载力满足要求。

2.4 垫层尺寸验算

根据换垫层材料,为处理后的淤泥固化土,分别进行垫层顶面宽度尺寸和其压力扩散角,参考数值见表7,表8,表9。

表7 垫层顶面宽度和长度验算

定义	数值	单位
基础底面宽度 B	19.5	m
垫层顶面宽度 B1	28.5	m

$(B1-B)/2 \geq 300 \text{mm}$,满足构造要求:垫层顶面宽度超出基础底边宽度不小于 300mm。

表面下沉。过大的沉降,特别是不均匀沉降会导致发生大型起重机倾覆的严重事故,计算假定土的变形条件为侧限条件,即在荷载作用下,地基土层只产生竖向压缩变形,侧向不能膨胀变^[9]。结果见表11。

表10 沉降计算参数

层号	厚度	压缩模量	Z1	Z2	压缩量	应力系数积分值
	(m)	(MPa)	(m)	(m)	(mm)	($Z2a2-z1a1$)
1	2.8	10	0	2.8	40.7	2.778
2	0	10	2.8	2.8	0.01	0.001
3	12.4	1.8	2.8	15.2	665.77	8.1793

表 11 计算结果

内容	数值	单位
压缩模量的当量值	2.273	Mpa
沉降计算经验系数	0.400	
总沉降量	$0.400 \times 706.08 = 282.59$	mm

Z1——基础底面至本计算分层顶面的距离

Z2——基础底面至本计算分层底面的距离

3.施工简介

淤泥固化技术其利用机械搅拌将淤泥和固化剂按照适当比例混合、拌制并经硬化,形成淤泥固化土^[6],主要施工机具具有挖掘机、搅拌斗、装载机、运土车等。施工前需依据土质情况进行清表作业,对待处理原料土进行过滤,泥源的含水率应控制在40%~50%,按照设计要求进行准确配料,固化土搅拌后,回填原料土要求无固化剂块状物质,色泽一致、均匀。由于淤泥固化土含水率较高摊铺较薄无法碾压,因此固化土回填松铺厚度一般在30~40cm之间并采用分层回填压实方式,顶层的固化土回填的松铺厚度,一般在20cm左右。固化后需进行养护,若出现连续高温暴晒等情况,适当洒水,固化土养护龄期28d,视整体结构及初期使用情况而定。整个养护期,固化土的强度处于不断地增长状态,在其养护未达到要求养护龄期之前,应禁止载重。

研究与实践证明,材料是影响淤泥固化地基施工效果的重要因素^[7],因此在施工过程中还要严格控制材料质量。在施工现场建立严格的材料质检制度,确保各项材料符合工程施工标准,避免将劣质材料应用有工程。例如,在施工时要控制细砂质量,对细砂的含水量、含泥量进行检测,确保其符合要求。在细砂含水量不足的情况下,可适量洒水湿润,同时对细砂进行压实处理,防止出现表面松散问题。

4.淤泥固化技术在大型起重机地基处理中的施工措施

大型起重机地基处理过程中,无法避免的会遇到很多待解决的问题,其中地基建设就是极为突出的问题。每个地区本身地质、地形等存在极大的差异性,一旦处理不合理,将发生不可预测的后果,这无疑会导致施工项目建设无法顺利开展,更会带来极大的经济损失,所以,在一些施工技术方面,还需进一步的改善与探究。和其他的施工技术不同,淤泥固化施工技术为先进的技术,虽然这类技术在很早的时期被引入到我国,目前市场上出现了一些我国自行研发的土壤加固剂,但是我国对于这类项目的研究及应用均还在初步阶段,对于淤泥固化施工技术而言,它的适用范围较为广泛,特别是一些大型工程建设中发挥着重要作用,如大型起重机地基工程。

4.1 降水施工

对来讲,大型起重机地基存在较大的水量,而且混合较多的成分,很多大型起重机地基有较多重金属等,具有极大的污染性,一旦不及时处理,会浪费大量的土地资源,也会给土壤造成较为严重的污染。运用传统的工业废料等材料进行辅助固化,能够有效减少工程项目造价成本,也能对粉煤灰、废石膏等工业废料进行了二次利用,真正地对生态环境进行了有效的改善,保证废料的利用率,这样才能获得最大经济效益化。固化技术主要是在淤泥中加入固化材料,在混合及养护后,促使淤泥、固化材料、水直接产生反应,淤泥颗粒表明会形成凝胶物质,让淤泥颗粒具备一定的水稳定性和强度稳定性。其工程的土质为淤泥土质,在施工开挖中地下水含量较高,也容易出现渗透等问题,对此,在基坑开挖中可以使用水泥搅拌桩进行施工,形成止水帷幕,进而能够有效的阻断地下水的补给。另外,也要利用疏排方法排除基坑淤泥土质中的含水量以及坑内的潜水。基坑顶部应该喷射混凝土防止地表水下渗,也要设置排水沟,进而能够有效提高基坑施工的质量和安

4.2 基坑开挖施工

淤泥质粉土的物理性质决定了其土质的含水量较高,且土质的孔隙比例较大的同时其渗透系数较小,在施工建设中地基的稳定性与土质的含水量有直接的关系,如若其含水量较高,土质的流塑性就会较高,如若其含水量低,土质的强度较高的同时其稳定性也较高。在施工开展之前要对淤泥的土质含水量进行分析,基坑开挖也可以采取分段、分层等方式进行基坑开挖,也可以同时开展明沟排水的施工建设,进而有效在基坑开挖施工中降低土质的含水量,也能够提高基坑的稳定性和土体的强度,进而提升基坑施工的安全性。

4.3 水泥搅拌桩施工

水泥搅拌桩在施工的过程中应该按照其施工工艺流程开展,并在施工开展的过程中有几点需要注意的内容。其一,水泥土搅拌桩在施工之前应该对施工场地进行平整处理,对地上以及地下的障碍物和杂物进行清理。其二,水泥土搅拌桩施工开展之前,应该按照施工设计方案确定施工工艺以及施工参数,在施工中开展前也要进行试桩施工,试桩的数量要大于三组,且每组的桩数要超过三根。其三,搅拌桩施工的过程中要确保其停浆面高于桩顶的设计标高,且要超过500mm,基坑开挖施工中要对土层以及桩顶质量较差的桩段进行人工挖除,如若在施工中因为外界因素导致停浆,就应该等待恢复供浆之后在进行喷桩搅拌提升施工。其四,在施工的过程中施工人员要保障搅拌桩桩的底盘处于水平和竖直的,搅拌桩的垂直偏差以及桩位偏差也应该控制在规定的技术要求参数内。其五,施工单位要按照土方开挖的施工时间适当的参加外加剂,进而保障其强度,水泥桩的养护时间也要超过二十八天。

5.结语

本文结合某沿海炼化化工项目,通过淤泥固化法在淤泥质土的场地进行二次处理,重点研究了淤泥固化技术在大型起重机吊装设计地基处理施工中的应用,主要结论和建议如下:

- (1)通过现场试验段施工,验证了经过固化处理后的淤泥,承载力达到设计要求,场地可满足大型起重机施工场地要求。
- (2)本次利用就地开挖土壤作为原材料、避免远运造成的工程浪费,淤泥固化土作为地基二次处理材料在边坡稳定性、最终沉降值、使用性能等方面优于传统毛石回填,吊装专业领域可使用淤泥固化法替代传统毛石换填处理方法。
- (3)使废弃资源再生利用、循环利用、环保经济,节能减排,为资源节约型、环境友好型社会建设做出积极贡献,在沿海开发中有着广阔的应用前景,具备推广价值。

参考文献:

- [1]黄朝煌.淤泥固化技术在深厚淤泥地基处理中的应用[J].水力发电,2019-07(85).
- [2]业主提供的地质勘探报告。
- [3]《工程地质手册》第五版
- [4]王颖,陈永辉,程潇,等.就地固化技术处理道路浅层软基的试验研究[J].上海建设科技,2016(2):29-32.
- [5]卢占伟,王爱君,石万山.就地固化加复合地基施工技术浅析[J].公路交通科技(应用技术版),2018,14(4):40-42.
- [6]刘汉龙,赵明华.地基处理研究进展[J].土木工程学报,2016,49(1):96-115.
- [7]张艳云,孙洋.公路桥梁施工中软土地基施工技术探讨[J].四川建材,2020(08):48-49.
- [8]JGJ79-2012《建筑地基处理技术规范》

注释:

- ①地层编号-第四系全新统
- ②地层编号-第四系上更新