

大面积堆载作用下配煤罩棚基础及地基稳定性

岳田, 岳霖, 杜振辉

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要:沿海港口场地普遍存在深厚软土地基,在这种场地上建设大跨度钢结构厂房必须考虑地面堆载对建筑物桩基的负面影响,采用刚性地坪桩是其中的一种解决方案。利用有限元分析软件模拟堆载和地基,系统分析了配煤罩棚基础和刚性地坪桩基础的稳定性。结果表明:采用刚性地坪桩方案配煤罩棚的基础满足安全要求。

关键词:软土地基; 大面积堆载; 刚性地坪桩

中图分类号: U 656; TU 472

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)S1-0031-05

Coal blending shed foundation and foundation stability under large-area surcharge loads

YUE Tian, YUE Lin, DU Zhen-hui

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: Deep and soft soil foundations are common in coastal port sites. Therefore, the negative impact of ground surcharge loads on pile foundations of buildings must be considered while constructing workshops with large-span steel structures on such sites. The use of rigid floor piles is one of the solutions. In this paper, we simulate the surcharge loads and foundations by the finite element analysis software and systematically analyze the stability of the coal blending shed foundation and the rigid floor pile foundation. The result reveals that the coal blending shed with the rigid floor piles meets the safety requirements.

Keywords: soft soil foundation; large-area surcharge load; rigid floor pile

随着国内经济的腾飞和工程技术的进步,越来越多过去不适宜建港的淤泥质沿海地区具备了建港的条件,通过吹填造地的方式形成港区后方堆场,并在其上建设大跨度钢结构厂房。由于港区堆场通常堆载较大甚至超载,因此在这种地质条件较差、软土层深厚的场地上建造厂房,必须考虑地基变形对建筑物的基础造成的负面影响。堆载带来的地基变形对桩基主要产生两方面的影响^[1]:一是在桩身产生负摩阻力,增加桩的竖向荷载;二是土体发生水平位移,使桩挠曲、水平变形,产生较大弯矩。为解决这一问题,通常有以下几种处理方法:1)堆载或真空预压处理。这种方法可提高场地承载力、减小场地后期沉降,对工期没有紧迫要求的工程可采用且投资较节省。

在港口工程中此方法已经较为成熟,应用面非常广。2)水泥搅拌桩处理。对于淤泥层厚度小于20 m的场地,采用水泥搅拌桩处理的效果较好^[2],但软土层超过20 m且黏性较大时,该工艺不易成桩。已有工程实践表明^[3],随着时间的增长,后期地面仍会出现不均匀沉降。3)刚性地坪桩。厂房内的地面布置刚性桩基础,并浇注钢筋混凝土面板,荷载通过地坪梁板传给桩基。与其他处理方式相比,刚性地坪桩虽然初期投资较大,但是使用的承载力高、沉降小、后期维护成本低,近年来在众多大型工业项目中应用广泛^[4]。

以往的研究^[5-7]较多的是在方法1)和方法2)的前提下,利用有限元分析法进行软土地基上大面积堆载对建筑物桩基的力学特性分析。本文采

用有限元分析法建立桩土共同作用模型, 对大面积堆载作用下的刚性地坪桩基础和配煤罩棚基础进行研究, 从而论证了刚性地坪桩方案的可行性, 为类似工程案例提供了设计依据。

1 工程概况

1.1 结构方案

连云港现代煤炭供应链服务示范基地工程(一期)位于连云港港徐圩港区二港池后方陆域。工程建设配煤罩棚 2 座, 罩棚上部结构采用双层柱面网壳结构, 罩棚长度 736 m、跨度 118 m, 断面见

图 1。因建设工期紧迫, 且场地为疏浚土吹填形成, 淤泥层厚度约 20 m, 水泥搅拌桩不易成形, 故舍弃了真空或堆载预压、水泥搅拌桩方式的地基处理。罩棚基础采用高强预应力管桩+连片承台基础, 承台宽度 5 m; 堆煤区域采用刚性地坪桩, 其中筏板厚 500 mm, 水平向桩间距 3.5~3.6 m, 坚向桩间距 3.2~4.3 m。桩型均为 PHC 600 AB 110, 桩长约 45 m, 单桩承载力特征值 2 400 kN。基础形式见图 2~4。堆煤跨度为 40 m, 最高堆煤高度 16 m, 静堆积角 40°, 堆煤剖面为梯形荷载, 最大堆煤荷载为 160 kPa。

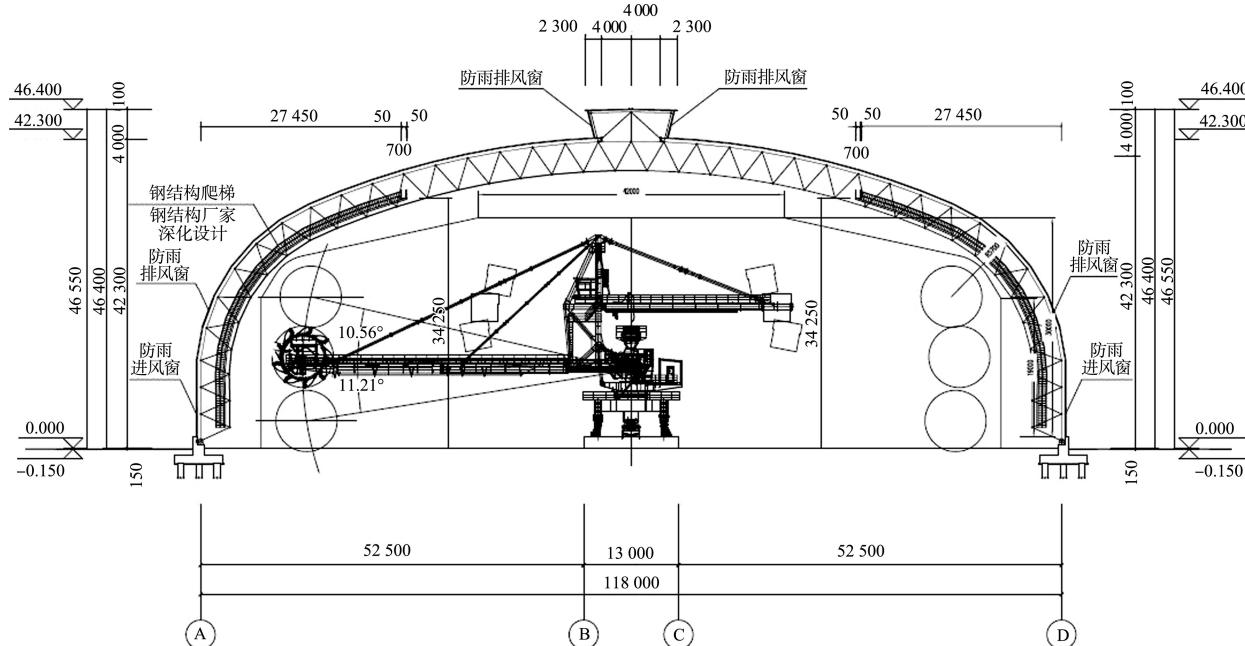


图 1 罩棚断面 (高程: m; 尺寸: mm。下同)

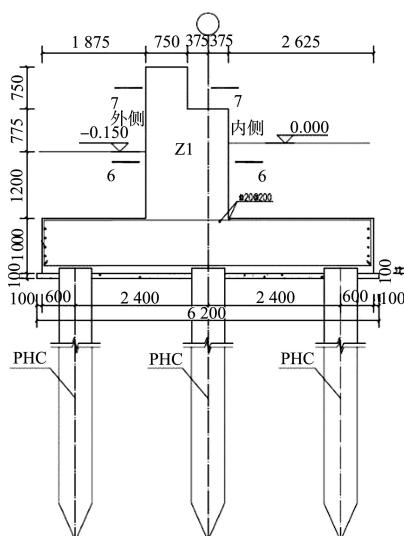


图 2 罩棚基础断面

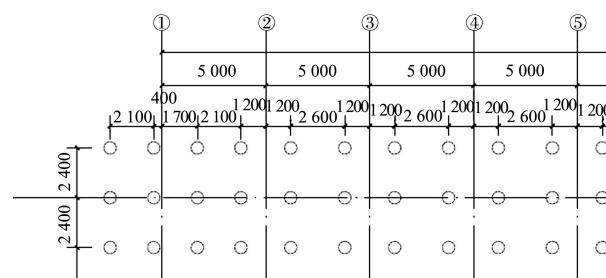


图 3 罩棚基础平面(局部)

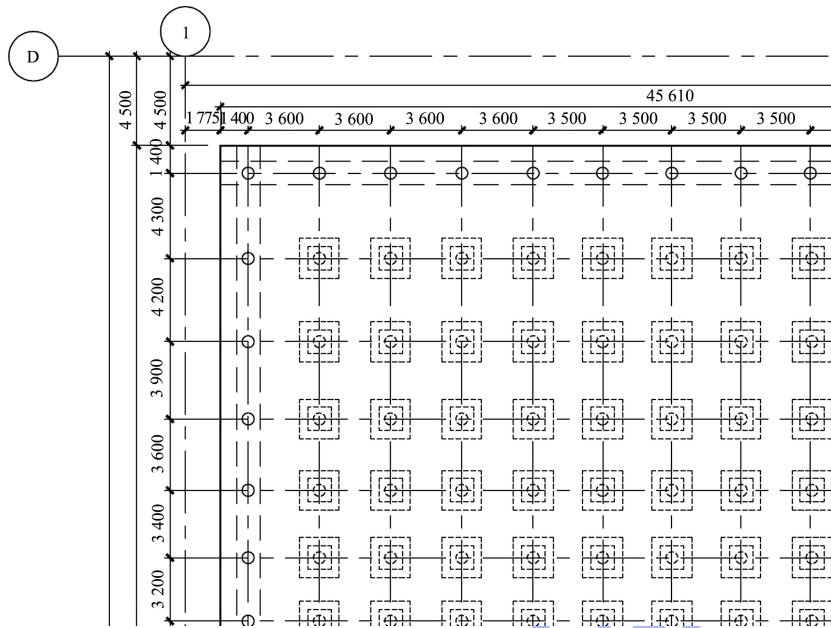


图 4 地坪桩基础平面(局部)

1.2 地质情况

根据地勘报告, 土参数见表 1。报告显示该场区地形相对简单、地貌类型单一、地层结构较为

简单, 勘察范围内各岩土层分布较为连续、厚度较稳定、无活动性断裂存在、勘察区内稳定性较好。

表 1 土参数

岩土名称	层厚/m	含水率/%	密度/($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)	孔隙比	液性指数	塑性指数	剪切指标		压缩模量/ MPa
							c/kPa	$\varphi/(^\circ)$	
素填土(吹填)	5.5	54.3	1.691	1.522	1.16	23.2	11.5	3.6	2.12
淤泥	15.1	57.9	1.656	1.632	1.23	23.9	9.3	2.1	1.92
粉质黏土夹粉土	1.9	26.4	1.976	0.746	0.43	13.9	37.5	13.7	5.22
粉土	1.2	22.9	1.998	0.663	0.52	9.5	13.2	22.3	10.62
粉质黏土	1.9	24.9	1.995	0.704	0.35	13.8	31.1	14.4	5.49
粉砂	5.2	-	2.000	-	-	-	0	25.0	10.00
粉质黏土	2.9	27.7	1.958	0.784	0.46	14.5	35.3	13.2	5.08
粉质黏土夹粉土	8.2	27.5	1.966	0.775	0.44	15.6	34.6	12.7	5.05
粉细砂	11.0	-	2.000	-	-	-	0	30.0	10.00
粉质黏土夹粉土	1.4	24.9	2.002	0.649	0.37	13.2	34.7	14.4	5.98
粉细砂	9.7	-	2.000	-	-	-	0	30.0	10.00

2 有限元模型建立

采用 Plaxis3d 进行有限元分析, 土层均采用硬化土(HS)本构模型。该模型为二阶高级本构模型, 属于双曲线弹塑性模型。考虑了剪切硬化, 可模拟主偏量加载引起的不可逆应变; 该模型还考虑了压缩硬化, 可模拟土体在主压缩条件下的不可逆压缩变形。该模型可用于模拟砂土、碎石土, 也可以用于模拟黏土和淤泥等软土, 应用范围较广, 也比较准确。

HS 本构常用 4 个刚度参数: 标准三轴排水试验割线刚度(E_{50}^{ref})、侧限压缩试验切线刚度($E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$)、卸载/重加载刚度($E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$)与压缩模量(E_s), 换算关系一般按照下面的经验选取: 当压缩模量在 2~3 MPa 时, 一般为 $E_s : E_{\text{oed}}^{\text{ref}} : E_{50}^{\text{ref}} : E_{\text{ur}}^{\text{ref}} = 1:1:1.5:8$; 当压缩模量在 6~8 MPa 时, 一般为 $E_s : E_{\text{oed}}^{\text{ref}} : E_{50}^{\text{ref}} : E_{\text{ur}}^{\text{ref}} = 1:1:1:5$; 当压缩模量在 18 MPa 以上时, 一般为 $E_s : E_{\text{oed}}^{\text{ref}} : E_{50}^{\text{ref}} : E_{\text{ur}}^{\text{ref}} = 1:1:1:3$ 。土体材料参数取值见表 2。

表 2 土层计算参数

岩土名称	层厚/m	密度/(t·m ⁻³)	压缩模量/MPa	$E_{50}^{\text{ref}}/\text{MPa}$	$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}/\text{MPa}$	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}/\text{MPa}$	剪切指标	
							c/kPa	$\varphi/(\circ)$
素填土(吹填)	5.5	1.691	2.12	3.18	2.12	16.96	11.5	3.6
淤泥	12.1	1.656	1.92	1.92	3.71	5.76	9.3	2.1
粉质黏土夹粉土	1.9	1.976	5.22	5.22	5.22	26.10	37.5	13.7
粉土	1.2	1.998	10.62	10.62	10.62	31.86	13.2	22.3
粉质黏土	1.9	1.995	5.49	5.49	5.49	27.45	31.1	14.4
粉砂	5.2	(2.000)	(10.00)	10.00	10.00	30.00	0	25.0
粉质黏土	2.9	1.958	5.08	5.08	5.08	15.24	35.3	13.2
粉质黏土夹粉土	8.2	1.966	5.05	5.05	5.05	25.25	34.6	12.7
粉细砂	11.0	2.000	10.00	10.00	10.00	30.00	0	30.0
粉质黏土夹粉土	1.4	2.002	5.98	5.98	5.98	29.90	34.7	14.4
粉细砂	9.7	2.000	10.00	10.00	10.00	30.00	0	30.0

混凝土承台采用实体单元模拟, 为线弹性模型。其中混凝土弹性模量取 32.5 GPa、泊松比取 0.2。模型中的桩采用 Embedded 桩单元模拟, 由梁单元及特殊界面单元(代表桩土相互作用)组成。特殊界面连接梁单元节点与土体单元中的虚拟节点。

按设计方案取 3 个柱墩的范围作为标准段进行建模, 根据设计荷载及土体参数建立模型, 见图 5。

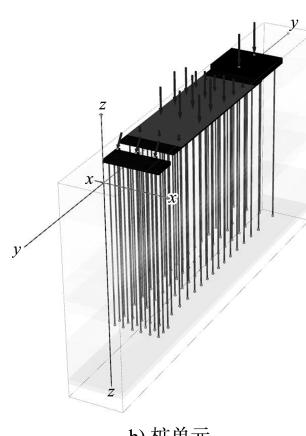
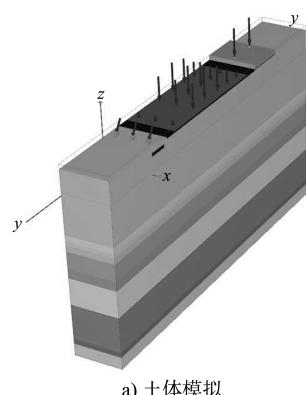


图 5 Plaxis3d 有限元模型

3 结果分析

堆煤荷载为 160 kPa 时, 罩棚桩基水平变形见图 6, 桩身弯矩计算结果见图 7。根据 Plaxis 计算结果, 罩棚桩基顶部最大水平位移为 9.4 mm。桩身最大弯矩为 148 kN·m, 小于国标图集^[8]中 PHC 600 AB 110 型的弯矩承载力 281 kN·m。

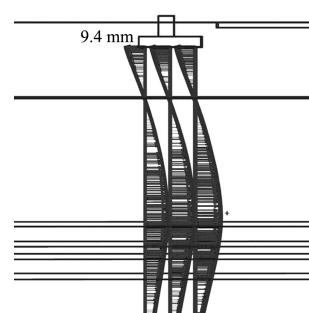


图 6 罩棚桩基水平位移

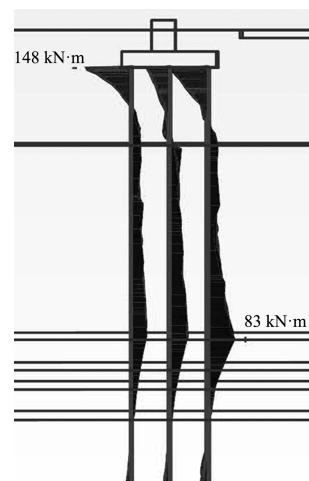


图 7 罩棚桩身弯矩

罩棚桩基竖向位移计算结果表明桩身最大竖向变形约 32 mm。桩身轴力计算结果表明桩身最大轴力为 470 kN, 小于设计采用的单桩承载力特征值 2 400 kN。桩基桩身剪力计算结果显示桩身最大剪力为 141 kN, 小于 PHC 600 AB 110 型的抗剪承载力 305 kN。

地坪桩基计算结果为: 桩顶最大水平位移约 13.7 mm。桩身最大弯矩为 207 kN·m, 小于国标图集《10G409 预应力混凝土管桩》中 PHC 600 AB 110 型的弯矩承载力 281 kN·m。

地基土变形结果为: 地基土的最大水平位移为 19 mm, 最大竖向位移为 117 mm。

对于桩基水平和竖向变形, 目前尚没有规范明确规定其限值, 一般可分别参考 JGJ 106—2014《建筑桩基检测技术规范》中单桩水平静载试验中 10 mm 的限值和单桩竖向抗压静载试验中 40 mm 的限值。对于罩棚桩基来说, 其桩顶水平变形和竖向变形满足要求。对于地坪桩基而言, 虽然其水平位移超过 10 mm, 但考虑到地坪桩主要承受堆煤荷载, 在保证桩身抗弯和抗裂满足要求时, 适当提高桩顶水平变形限值是可以接受的^[9]。

4 结论

1) 有限元法可较好地考虑桩基结构与土的相互作用, 通过建立硬化土(HS)本构模型和 Embedded 桩单元模拟桩土作用。

2) 当罩棚基础采用管桩基础、堆载区域采用刚性地坪桩方案时, 通过计算分析得出基础安全性满足要求、方案可行, 其计算结果可以作为桩

型选择的依据。

3) 由于桩土相互作用的复杂性, 在选取土体刚度参数时采用的是经验值, 在建模时没有考虑上部结构和基础的共同作用, 尚需结合现场监测和理论研究不断总结经验, 进一步完善大面积堆载对桩基础的分析方法。

参考文献:

- [1] 杨敏, 周洪波, 朱碧堂. 软土地基上工业厂房堆场的地基处理优化分析[J]. 结构工程师, 2004(2): 43-50.
- [2] 王翔, 娄宇, 王红庆, 等. 软土地基上某厂房基础的选型与设计[J]. 工业建筑, 2000, 30(1): 70-72, 75.
- [3] 李卫超, 朱碧堂, 张俊峰, 等. 物流仓库大面积堆载危害及规范方法预测沉降问题探讨[J]. 建筑结构学报, 2021, 42(5): 187-194.
- [4] 裴永忠, 王毅, 张广英. 桩基础架空地坪的设计研究[J]. 建筑结构, 2020, 50(2): 128-132, 143.
- [5] 陈星星. 大面积堆载对临近桩基影响的有限元分析[J]. 中国水运(下半月), 2013, 13(5): 251-252.
- [6] 代恒军, 梁志荣, 赵军, 等. 地面堆载作用下邻近桩基变形的三维数值分析[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(S2): 220-223.
- [7] 周勇, 康迪, 李韬, 等. 大面积堆载对桩基工作性能影响的数值模拟和监测分析[J]. 兰州理工大学学报, 2016(5): 112-116.
- [8] 苏州中材建筑建材设计研究院. 10G409 预应力混凝土管桩[M]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- [9] 林伟斌, 孟传民, 邱乾勇, 等. 关于软土地基上煤堆载对干煤棚桩基影响的解决方案研究[J]. 特种结构, 2017, 34(5): 59-64.

(本文编辑 武亚庆)

著作权授权声明

本刊已许可《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述公司著作权使用费, 所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。