



自动化码头集装箱堆场设计方案及优化

岑学徐, 廖晨彦, 陈 钦

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 集装箱堆场铺面结构方案是道路堆场设计的重点之一。结合集装箱堆场堆箱区定点堆放的规律, 同时针对自动化作业要求轨道基础的工后沉降量应与箱角基础工后沉降相协调, 并且对箱角基础工后沉降要求较高, 提出自动化码头集装箱堆场的合理方案。以钦州自动化码头为例, 介绍集装箱堆场铺面及箱角基础的设计要点, 通过选取不同桩径的 PHC 桩基方案和复合地基方案等进行对比, 并采用有限元软件对箱角基础方案进行详细计算, 对结构方案的安全性、经济性逐项进行对比, 选取出最优方案。该方案可为类似工程提供参考。

关键词: 堆箱区; 箱角基础; 自动化; 沉降

中图分类号: U 656.1+35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)10-0163-03

Design scheme and optimization of automated terminal container yard

CEN Xue-xu, LIAO Chen-yan, CHEN Qin

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: The pavement structure scheme of the container yard is one of the key points in the design of the road and storage yard. According to the container yard heap of fixed-point piled up the law of the box area, and at the same time for automated requirements rail foundation of post-construction settlement amount shall be coordinated with corner foundation, the demand of corner foundation post-construction settlement is high, we propose the reasonable scheme of automated terminal container yard. Taking Qinzhou automated terminal as an example, we introduce the design essentials of container yard pavement and corner foundation, compare PHC pile foundation scheme and composite foundation scheme with different pile diameters, apply the finite element software to calculate the container corner foundation scheme in detail, compare the safety and economy of the structural scheme by item, and select the best scheme. The scheme can be used for references for the similar projects.

Keywords: container yard; container corner foundation; automated; settlement

自动化集装箱码头堆场包括重箱堆场、冷藏箱堆场、空箱堆场等, 堆场陆域大多为吹填形成, 虽经过地基处理, 但在后期使用荷载作用下仍会存在残余沉降, 所以集装箱堆场选择合理的铺面结构尤为重要, 它既应满足堆箱荷载要求, 又需要适应一定的不均匀沉降, 同时还要兼顾工程造价方面的因素。

箱角基础方案须根据使用要求、设计荷载、地质条件等选择天然地基、复合地基或桩基础。

根据《自动化集装箱码头设计规范》^[1], 轨道基础的工后沉降量应与箱角基础工后沉降相协调。当轨道基础沉降较小时, 箱角基础须视地质情况在梁底加设刚性桩或柔性桩, 以控制后期沉降。本文结合钦州自动化码头工程^[2], 通过施工便利性、施工工期和经济性等方面进行综合比选, 选取箱角基础最优方案。PHC 桩基箱角梁结构的成功运用及其成套的研究成果可为类似工程的设计、施工和验收起到借鉴作用。

收稿日期: 2022-05-20

作者简介: 岑学徐(1983—), 男, 工程师, 从事道路堆场工程设计。

1 集装箱堆场常用方案

1.1 连片式联锁块铺面结构

重箱堆场堆箱区须考虑的荷载主要为箱体堆放产生的箱角荷载，常用的铺面结构形式为连片式联锁块铺面结构或箱角基础+箱角间区铺面结构^[3]。

联锁块铺面^[4]是传统集装箱堆场最常用的铺面结构之一，连片式联锁块铺面即整个堆箱区的铺面结构均完全一致，均按照堆箱荷载进行设计。此方案具有维修容易、造价相对较低、对地基适应能力强等优点；但平整性较差，箱角位置易损坏，不能很好地适应自动化码头定点堆箱的特点。常用的连片式联锁块铺面结构见图 1。

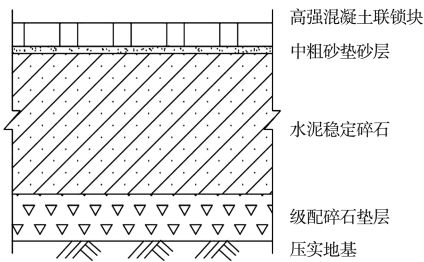


图 1 连片式联锁块铺面结构断面

1.2 箱角基础+箱角间区铺面结构

箱角基础一般采用钢筋混凝土条形梁形式，其宽度根据箱位摆放和结构进行设计，箱角梁宽度 1.0~2.0 m，应满足箱角梁外侧距集装箱箱角外侧不小于 0.2 m，兼容非标准箱时，外侧应适当加宽。钢筋混凝土条形箱角基础的整体性好、箱角受力均匀、稳定性好、平整度高、使用年限长，但造价稍高、维修较困难。常用的箱角基础+箱角间区铺面结构见图 2。

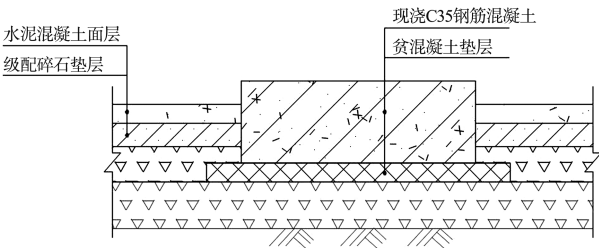


图 2 箱角基础+箱角间区铺面结构断面

为保证自动化装卸设备的正常作业，需要严格控制堆场地基的差异沉降，防止集装箱发生倾斜而影响自动化装卸设备的作业精度。当采用连

片式高强联锁块铺面方案时，堆场应采用更高标准的地基处理方案；当采用箱角基础+箱角间区简易铺面方案时，箱角基础须根据原地基状况采用天然地基、复合地基或桩基础^[5]。

处于箱体中部的箱角间区基本无荷载，其铺面在满足地基稳定、排水通畅的前提下可采用简易铺面结构。当采用薄层现浇混凝土简易铺面时，应采取缩小切缝间距、布设钢丝网或掺加钢纤维等措施，防止铺面开裂。

自动化堆场的集装箱重箱堆场的箱角区域接地面积极小，单位面积内承受压力较大且装卸机械在固定的区域行走，箱位均为定点堆放，箱角部位频繁承受冲击荷载。联锁块铺面结构耐久性低，箱角的联锁块易断裂，需要频繁更换，且联锁块体之间的缝隙影响堆箱区的标线的平整性和连续性，进而影响定位识别的精确性，相比之下箱角基础+箱角间区铺面结构方案更为适用。

2 钦州自动化码头堆场方案设计及优化

2.1 工程概况

钦州港自动化集装箱码头堆场总面积约 54.7 万 m²。采用新型 U 形垂直布置方案，堆场采用双悬臂自动化集装箱轨道龙门吊 (ARMG) 作业，自动化水平运输采用智能导引车 (IGV) 作业，可实现港外集卡和 IGV 直接进入堆箱区装卸作业，堆场装卸采用边装卸的作业方式。

与常规集装箱码头不同，自动化集装箱码头对箱角基础的整体稳定以及差异沉降提出更高的要求，一旦箱角基础出现严重的差异沉降，相应集装箱产生倾斜，就会影响 ARMG 的正常作业。

2.2 设计荷载及参数

重箱堆场堆货荷载为重载集装箱堆高 6 层。堆场使用年限内沉降不大于 0.25 m，差异沉降小于 0.2%。

2.3 地质条件及地基处理方案

根据地质勘察资料，场地岩土层自上而下依次为填土 (主要为中砂)、淤泥、淤泥质土、砂混淤泥 (或细砂)、黏性土、中粗砂、细砂、侏罗系

基岩层(主要为泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、砂岩、粉砂岩)。地基处理方案根据软土厚度不同,分别采用了强夯、振冲密实处理、插板+强夯、堆载预压+强夯/振冲等方案。

2.4 存在问题

经过大面积地基处理后,堆场软基强度有所提高,但仍有一定的工后沉降。自动化作业要求轨道基础的工后沉降量应与箱角基础工后沉降相协调,该工程采用的预应力高强混凝土(PHC)桩基轨道梁方案对箱角基础工后沉降要求较高,且堆场面积较大、投资占比高,应对堆箱区进行多

方案比选,合理选择结构方案,减少使用期维护工作量。

2.5 方案比选优化

2.5.1 箱角基础

考虑大面积地基处理不能满足箱角基础的使用要求,需要对箱角基础进行二次处理。常用的二次地基处理方案有桩基础、复合地基等。箱角基础考虑选取不同桩径的 PHC 桩基方案和复合地基方案进行对比,从施工便利性、施工工期和经济性等方面进行综合比选。拟比选的方案见表 1,计算结果见表 2、3。

表 1 箱角基础方案

方案	基础类型	箱角梁尺寸(宽×高)/(m×m)
1	PHC 管桩, 桩径 0.6 m, 桩间距 3.5 m	1.60×0.90
2	PHC 管桩, 桩径 0.5 m, 桩间距 2.8 m	1.60×0.45
3	水泥粉煤灰碎石桩复合地基, 桩径 0.4 m, 置换率 6.3%	1.60×0.45

表 2 箱角基础计算结果

构件	效应组合	方案	正弯矩设计值/(kN·m)	负弯矩设计值/(kN·m)
箱角梁	承载能力	1	618	-700
	极限状态	2	137	-146

表 3 箱角梁 PHC 桩桩基计算结果

桩径/m	最大压桩力设计值/kN	单桩轴向抗压承载力设计值/kN
0.6	1 352	1 545
0.5	1 034	1 150

各方案造价:方案 1 为 6 200 元/延米,方案 2 为 5 200 元/延米,方案 3 为 3 300 元/延米。

施工便利性:PHC 桩基施工工艺简单,后期维护小,但抵抗水平变形能力较差。复合地基施工工艺稍复杂,对施工质量要求严格,抵抗水平变形能力强,地基应力分散、均匀,能充分利用原地基承载能力,但后续基础会发生一定的沉降。

工期:复合地基施工工艺稍复杂,且水泥粉

煤灰碎石桩数量多,因此工期相对较长。PHC 桩基施工速度相对较快,工期相对短。

从以上对比可知,方案 1 施工便利、工期相对短,但造价较高;方案 2 桩基数量增加,工期较方案 1 更长,但造价较方案 1 更低;方案 3 造价最低,但施工便利性稍差、工期较长。综合比较,推荐采用方案 2。

2.5.2 箱角间区

箱角间区简易铺面拟采用混凝土铺面、联锁块铺面、水稳层简易铺面进行比选(表 4),其中混凝土铺面结构层自上而下为 8 cm 厚现浇混凝土面层、10 cm 厚水泥稳定石屑底基层、回填土方、压实地基;联锁块铺面结构层自上而下为 8 cm 厚高强混凝土联锁块面层、3 cm 厚中粗砂垫砂层、15 cm 厚水泥稳定碎石基层、回填土方、压实地基;水稳层简易铺面结构层自上而下为 15 cm 厚水泥稳定碎石层、回填土方、压实地基。

表 4 箱角间区简易铺面结构特点及造价对比

结构形式	优点	缺点	造价/(元·m ⁻²)
现浇混凝土铺面	整体性好、耐久性高、使用年限长	对地基要求相对较高	111
联锁块铺面	易维修、对地基适应能力强	平整性差、接缝多、易长杂草	197
水稳层简易铺面	造价低,多用于临时道路、堆场	易出现干燥和温度收缩裂缝	106