



# 自动化集装箱码头高程系统优化设计

舒开连, 李 彬

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

**摘要:** 针对现有高程设计方法因码头和陆域高程设计标准偏低、堆场高程设计的抗涝能力偏低而无法适应设备价值高、堆存货物价值高的自动化集装箱码头的问题, 通过分析自动化水平运输设备和集装箱货物的特点, 总结现有高程设计方法考虑的因素和应用在自动化集装箱码头时需要优化的方向, 提出适用于自动化集装箱码头的高程系统优化设计方法, 经实际案例验证可有效提高码头和陆域防洪标准及堆场抗涝能力, 同时可减少疏浚土外抛、节省工程投资。

**关键词:** 自动化集装箱码头; 高程设计; 抗涝能力

中图分类号: U 656.1+35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)10-0059-04

## Optimal elevation system design for automated container terminal

SHU Kai-lian, LI Bin

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

**Abstract:** The existing elevation design method cannot adapt to automated container terminals with high-value equipment and high-value stacked goods due to the low elevation design standard for the terminal and the landside and the poor anti-waterlogging capacity provided by the elevation design of the yard. To solve the above problem, this paper analyzes the characteristics of the automated horizontal transport equipment and the containerized goods, summarizes the factors considered by the existing elevation design method and the optimization direction for its application to automated container terminals, and proposes an optimal elevation system design method suitable for automated container terminals. The actual case verification shows that the proposed method can effectively improve the flood control standards of the terminal and the landside and the anti-waterlogging capacity of the yard. Moreover, it can reduce the dumping of dredged soil and thereby save the project investment.

**Keywords:** automated container terminal; elevation design; anti-waterlogging capacity

自动化集装箱码头通常采用电力驱动的自动化水平运输设备, 该设备的价值较高、视觉导航功能对路况的要求也较高, 并且堆场内大量堆存的集装箱中也是经济价值高的货物。近年来台风、强暴雨等恶劣天气频繁加剧, 若高程设计不合理导致港区积水过深, 不仅影响自动化水平运输设备的导航定位, 而且会导致货物财产损失和自动化设备故障。因此, 通过合理的高程设计提高港区防洪抗涝能力是自动化集装箱码头设计的重要课题之一。

本文通过对自动化集装箱码头的特点进行分析, 总结现有高程设计方法存在的问题和优化方向, 提出适用于自动化集装箱码头的高程系统优化设计方法。

### 1 自动化集装箱码头特点

自动化集装箱码头因堆存集装箱和采用电力驱动的自动化水平运输设备, 其具有以下特点: 1) 集装箱在堆场内堆存时, 首层集装箱距地面高度较小, 堆场内积水易造成货损现象。2) 目前主

收稿日期: 2022-05-20

作者简介: 舒开连(1986—), 男, 高级工程师, 从事港口工程规划与设计。

流的自动化水平运输设备电池一般布置在底部,距地面净高较小。若道路积水较多,积水溅起进入设备内部或者积水淹没底部,将损坏电池或导致内部元件短路,造成重大财产损失。3)对于采用自动驾驶技术的水平运输设备,视觉导航为其中重要的导航方式。若道路大范围积水也将严重影响自动化水平运输设备的导航定位。

近年来台风、强暴雨等恶劣天气频繁加剧,经常出现降水量超过设计排水能力以及码头前沿越浪上水倒排入堆场的现象,导致港区积水严重,极大影响港口货物保值和正常生产作业。因此,自动化集装箱码头高程设计需要适当提高港区的防洪抗涝能力。

2 现有高程设计方法存在问题及优化方向

2.1 码头高程设计标准偏低

根据 JTS 165—2013《海港总体设计规范》<sup>[1]</sup>,码头前沿高程应满足当地大潮时码头面不被淹没的要求,对于实体结构形式的码头前沿顶高程按照上水标准确定时,按下式计算:

$$H_E = H_{DWL} + \Delta_w \tag{1}$$

式中:  $H_{DWL}$  为设计水位(m);  $\Delta_w$  为上水标准的富余高度(m),基本标准设计高水位的富余高度采用 10~15 a 重现期  $H_{4\%}$  波浪的波峰面高度(并不小于 1.0 m),复核标准极端高水位的富余高度采用 2~5 a 重现期  $H_{4\%}$  波浪的波峰面高度。

由于码头高程计算时采用的波浪重现期较短,导致波浪的超越概率较大,在台风天气下时常发生码头上水现象。

2.2 陆域高程设计标准可适当提高

陆域高程根据《海港总体设计规范》进行设计,同时按《防洪标准》<sup>[2]</sup>复核。根据《海港总体设计规范》,陆域高程应满足在设定的防护标准水位时港区陆域不被淹没的要求,不宜低于极端高水位以上 0.3~0.5 m。同时为满足防洪要求,陆域高程应按防洪标准确定的设计高潮位+安全超高进行复核。《防洪标准》中,对于海港最高防护等级的设计高潮位取 100~200 a 一遇的高潮位。

随着极端天气频繁加剧,海港需要面临超过防洪标准高潮位的影响。对于自动化码头,陆域受淹后损失大于普通码头。另外由于目前海港码头通常采用吹填港池疏浚土的方式造陆,陆域高程取值偏低也会减少陆域吹填纳泥量,从而增加疏浚土外抛量,增加工程投资。

2.3 抗涝能力低

集装箱码头高程设计时,为便于设备通行,通常陆域高程与码头高程取值一致,极端天气时码头越浪上水易进入后方陆域形成积水。同时由于陆域高程设计一般采用平坡式系统,港区整体较为平坦。但根据《自动化集装箱码头设计规范》<sup>[3]</sup>,自动化集装箱码头雨水管渠的设计重现期仅规定为不小于 3 a,出现超标雨水的概率较大,导致经常出现超标雨水无处排放而在港区形成内涝。

另外由于海港吹填造陆固有的后期沉降特点,使用期经常出现箱区和道路局部不均匀沉降形成洼地,导致陆域积水。

2.4 优化方向

综上,现有高程设计方法的设计标准和抗涝能力偏低,难以与自动化集装箱码头的特点相适应,需要提高码头高程和陆域高程以减小码头越浪上水的影响,同时提高堆场抗涝能力减少陆域积水。

3 高程优化设计

3.1 码头高程优化设计

自动化集装箱码头受淹后损失巨大,高程设计时,码头前沿在满足《海港总体设计规范》的情况下,可以考虑适当抬高码头高程以适应更高的波浪重现期标准。

以南方某集装箱码头<sup>[4]</sup>为例,设计高水位对应的不同重现期的波峰面高度见表 1。

表 1 波峰面高度

设计高水位/m	重现期/a	$H_{4\%}$ /m	水面以上波峰面高度/m
3.24	2	1.2	0.67
	10	2.0	1.10
	25	2.3	1.27
	50	2.5	1.38

该码头原方案基本标准的富余高度根据《海港总体设计规范》取 10 a 一遇  $H_{4\%}$  的波峰面高程; 码头高程增加 0.2 m 时, 富余高度对应为 25 a 一遇  $H_{4\%}$  的波峰面高程。因此, 码头高程小幅度增加即可大幅提高波浪重现期, 从而有效提高抵抗越浪的能力。

3.2 陆域高程优化设计

自动化集装箱码头设备和货物价值高, 受淹后损失大于普通码头。为减少高潮位时码头越浪上水对堆场的影响, 陆域高程设计可参考城市防护区适当提高防洪标准, 保证陆域高程高于码头前沿。另外陆域高程抬高还可增加陆域纳泥量,

减少工程投资。

以南方某集装箱码头为例, 当地防洪标准为 200 a 一遇, 对应水位为 4.87 m, 原方案陆域高程取 5.4 m。考虑减少台风期码头越浪, 陆域高程设计按 300 a 一遇高潮位 5.19 m 进行复核, 同时考虑到港池疏浚土较多, 陆域高程设计优化后取 6.0 m, 高于码头前沿 0.4 m, 能够大幅提高陆域防洪能力, 同时可增加纳泥约 25 万  $\text{m}^3$ , 并且堆场积水可通过地表排向码头前沿, 后方陆域为自动化水平运输设备提供了一个安全的停放区域。后方陆域与码头高程衔接见图 1。

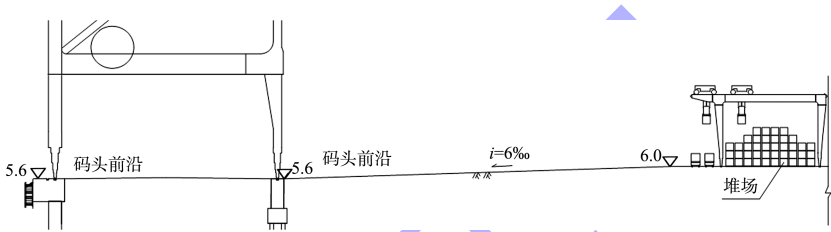


图 1 后方陆域与码头前沿高程衔接 (高程: m)

3.3 堆场高程优化设计

提高堆场抗涝能力可考虑采取工程措施将超标雨水暂时蓄存, 减少堆场和道路积水。对于自动化集装箱码头, 可考虑设置台阶式箱区, 将通常与箱角基础平齐的箱间区铺面布置为下凹式场地, 从而形成蓄水空间, 因此间接增加了集装箱箱底距离地面的高度, 保证即使出现一定程度的超标雨水也不会在道路和箱角基础以上形成积水, 提高了堆场抗涝能力。

台阶式箱区高程设计主要包括箱间区铺面高程和箱角基础高程两部分内容。箱间区铺面高程应低于道路和箱角基础, 与周边道路和箱角基础之间形成台阶, 在箱区范围形成下凹式蓄水空间, 并且将路面的汇水距离由道路中心到排水沟缩短至道路中心到道路边沿。箱间区铺面高程越低, 形成的蓄水空间越大, 但是箱角基础埋深越小, 因此需要综合蓄水空间需求和箱角基础稳定性、投资等确定箱角区铺面与周边的台阶高度。箱间区铺面可采用由两侧向中间倾斜或由中间向

两侧倾斜的多向倾斜平坡式系统, 也可采用由一侧向另一侧倾斜的单向倾斜平坡式系统。从增加蓄水空间和减少工程投资的角度, 建议采用由两侧向中间倾斜的方案, 在堆场中间设置 1 条排水沟。

箱角基础的高程设计应不低于道路高程, 同时箱角基础高程越高, 抗涝能力越强, 对于后期沉降的适应性也越高, 但是为保证箱角基础稳定性需要额外增加基础高度, 导致投资增加; 高程越低, 抗涝能力和对后期沉降的适应性越低。因此箱角基础的高程需要根据抗涝能力和投资综合确定。

以南方某海港集装箱码头为例, 堆场高程设计采用台阶式箱区设计方案<sup>[5]</sup>, 见图 2。箱间区铺面高程根据箱角基础高度、轨道梁高程取 5.73~5.78 m, 由箱区两侧往中间倾斜, 坡度  $i$  约 3‰, 箱角基础高程综合考虑工后沉降和箱间区铺面下凹高度取 6.1 m, 台阶高差约 0.35 m, 箱区可额外提供约 9.5 万  $\text{m}^3$  蓄水容量。

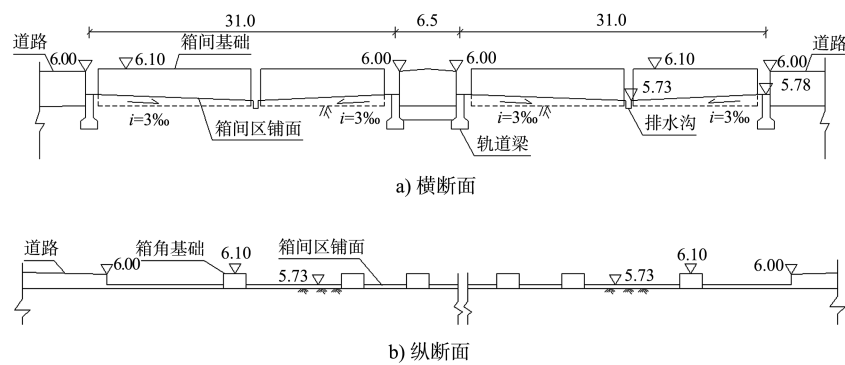


图 2 台阶式箱区设计方案 (单位: m)

当箱间区铺面和箱角基础顶面取不同高差时  
可得出港区累计降雨厚度, 即在设计重现期下降  
雨厚度与台阶高差之和, 见表 2。根据历年降雨与  
重现期的拟合公式可推算出不同高差所对应的暴  
雨重现期, 见图 3。

表 2 台阶高差对应累计降雨厚度

台阶高差/m	箱区占比/%	类比降雨 厚度/m	设计重现期 降雨厚度/mm	累计降雨 厚度/mm
0.10	32	32	134	166
0.15	32	48	134	182
0.20	32	64	134	198
0.25	32	80	134	214
0.30	32	95	134	229
0.35	32	111	134	245

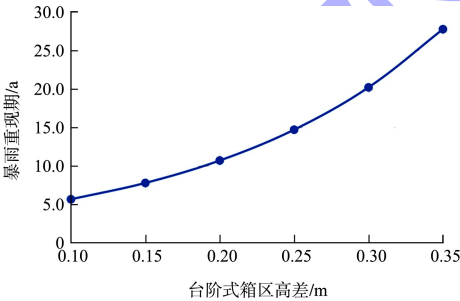


图 3 台阶高差与暴雨重现期关系

考虑极端情况下箱区、道路均积水至箱角基  
础顶面时, 对应的暴雨重现期为 27.8 a, 远大于  
规范要求的 3.0 a 重现期。因此, 采用台阶式箱区  
的堆场高程设计方案可大幅提高堆场抗涝能力。  
另外, 箱区侧边道路宽度 20.0 m, 路面汇水距离  
由原来的 25.5 m 减少至 10.0 m, 大幅提高了道路  
的排水能力。

4 结语

- 1) 由于自动化水平运输设备和堆存货物的特  
点, 自动化集装箱码头对于防洪抗涝的要求更高,  
可以从提高码头高程和陆域高程、提高堆场抗涝  
能力的角度优化高程设计。
- 2) 码头和陆域高程设计可以在规范要求的基础  
上, 适当提高波浪重现期标准和防洪标准, 从而  
提高防洪能力。
- 3) 采用台阶式箱区的高程设计方案可以为超  
标雨水提供蓄存空间, 提高堆场的抗涝能力。

参考文献:

[1] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘  
察设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—  
2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.

[2] 水利部水利水电规划设计总院, 黄河勘测规划设计有  
限公司. 防洪标准: GB 50201—2014[S]. 北京: 中国计划  
出版社, 2014.

[3] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 中国港口协  
会. 自动化集装箱码头设计规范: JTS/T 174—2019[S].  
北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2020.

[4] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 广州港南沙  
港区四期工程施工图设计[R]. 广州: 中交第四航务工  
程勘察设计院有限公司, 2019.

[5] 麦宇雄, 钟良生, 李彬. 一种海绵港区下沉式集装箱堆  
场雨水排水结构: 201920731498.7[P]. 2019-05-21.