



全自动化集装箱码头面层结构设计

王晓晖, 顾祥奎, 陆敏

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 全自动化集装箱码头的装卸工艺和使用要求与一般的码头不同, 对码头面层结构有特殊的要求。从全自动化集装箱码头面层结构的特点出发, 对码头面层结构的受力要求、坡度要求、磁钉周围无金属要求进行了详细的分析, 从码头面板的跨度、顶层 FRP 筋的运用、孔洞盖板和伸缩缝的处理等多方面提出了设计应对措施, 满足了全自动化集装箱码头的使用要求。

关键词: 全自动化码头; 面层设计; 磁钉; AGV

中图分类号: U 652.7⁺2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)09-0130-04

Design of surface layer structure for fully automated container terminal

WANG Xiao-hui, GU Xiang-kui, LU Min

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: The loading and unloading process and usage requirements of the fully automated container terminals are different from the general terminals, which have special requirements on the surface structure of the wharf. From the perspective of the characteristics of the fully automated container terminal, a detailed analysis is made on the stress requirements, the slope requirements, and the non-metallic requirements around the magnetic spikes of the surface layer structure of the wharf. The design measures are put forward from the aspects of the span of the wharf panel, the application of the top FRP bars, the treatment of the hole cover plate and the expansion joints, which can meet the requirements of the fully automated container terminal.

Keywords: fully automated container terminal; design of top layer; magnetic spikes; AGV

1 工程概况

上海国际航运中心洋山深水港区四期工程为全自动化集装箱码头, 码头为高桩梁板式结构, 码头长 2 350 m、宽 37 m, 轨道间距为 30 m^[1]。

全自动化集装箱码头是指集装箱在船岸之间的装卸、堆场装卸、水平运输均采用无人驾驶机械, 其中码头范围内的无人驾驶机械包括自动化装卸岸桥和自动化水平运输车辆。在岸桥和水平运输车辆运行区域的地面上埋设磁钉, 每个磁钉都有唯一的编号, 岸桥和水平运输车辆的车身底

部前后各安装有磁钉感应天线, 通过采集周边磁钉的信号来确定自身车辆的定位。岸桥和水平运输车辆与中控室管理系统间采用无线信号传输的方式, 根据实时位置、车流信息选择最优运行路径。

洋山四期工程的岸桥采用双小车岸桥, 水平运输车辆采用无人驾驶的自动导引运输车 AGV, 每台 AGV 可装载 1 个 40 ft (12.2 m) 或 2 个 20 ft (6.1 m) 集装箱。在码头钢轨之间设置舱盖板堆放区, 在钢轨的陆侧装卸区设置了 7 条 AGV 车道, 见图 1。

收稿日期: 2016-06-16

作者简介: 王晓晖 (1979—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计工作。

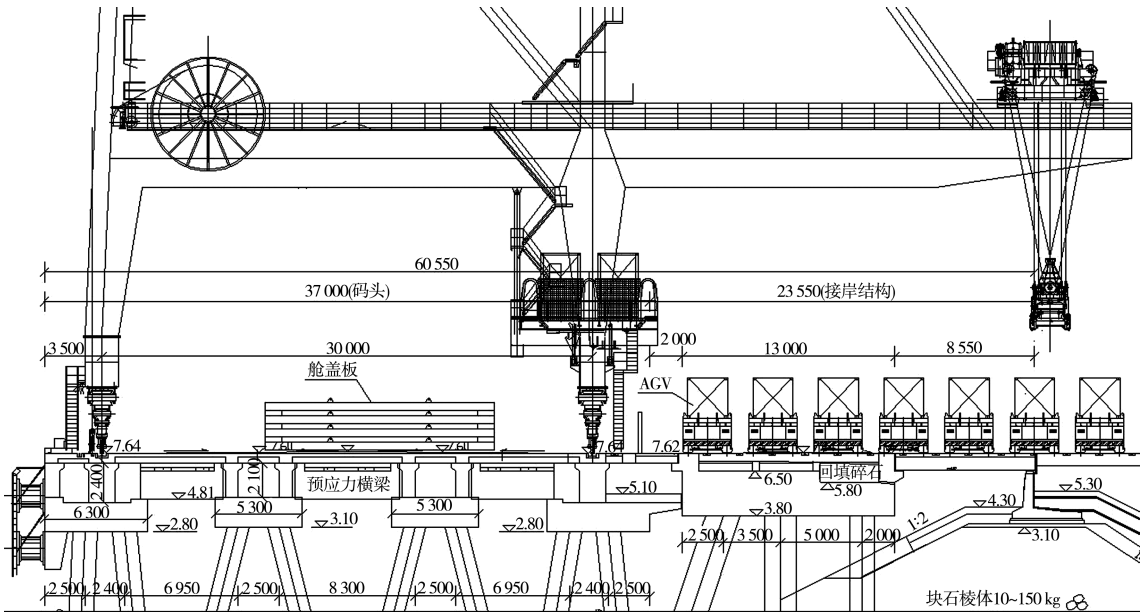


图 1 AGV 车道 (高程: m; 尺寸: mm)

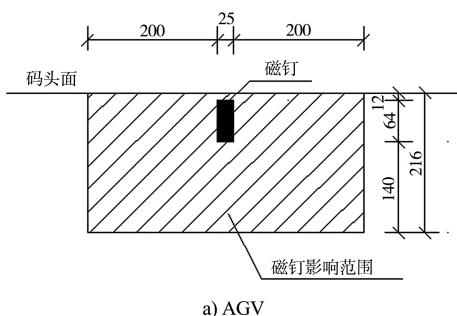
根据自动化岸桥和水平运输车辆 AGV 的使用运行要求, 全自动化集装箱码头的面层与普通码头面层相比有所不同, 必须采取针对性的设计措施才能满足使用运营要求。

2 全自动化集装箱码头的特点

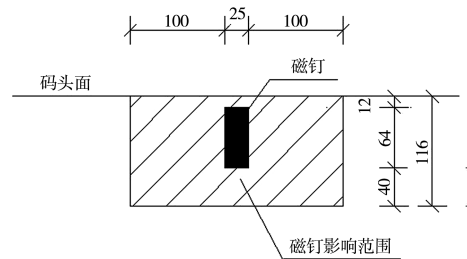
全自动化集装箱码头与普通码头相比, 有 3 点不同: 码头面层中布置有磁钉, 磁钉影响范围内不能有金属; 荷载大, AGV 荷载比传统集卡荷载大很多; AGV 行驶和作业区域的坡度不能太大。

2.1 面层内设有磁钉

根据岸桥和 AGV 的运行要求, 码头面层埋设有磁钉, 磁钉均布置在码头陆侧轨道的陆侧, 磁钉的布置密度大约为 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$, 局部位置可以微调。为了避免磁钉周边的金属干扰信号, 在磁钉周围水平直径 425 mm (AGV) 或 225 mm (岸桥)、深度 216 mm (AGV) 或 116 mm (岸桥) 范围内要求不能有金属。见图 2。



a) AGV



b) 岸桥

图 2 磁钉影响范围 (单位: mm)

2.2 AGV 轮压荷载大

洋山四期工程采用 AGV 代替了传统的集装箱卡车进行集装箱的水平运输。AGV 每辆车有 2 个轴, 每轴 2 个轮, 轴距为 8.8 m, 轮距为 2.4 m, 见图 3、4。在进行岸桥安放集装箱作业时 AGV 的最大轮压为 427 kN, 大大超过传统集装箱卡车的轮压 (最大轮压为 73 kN) (表 1)。

表 1 AGV 轮压 kN

集装箱情况	车辆静止 (无交互作业)	车辆静止 (交互作业)	车辆运行 (紧急制动)
无偏载	A 轮: 242.5	A 轮: 352	A 轮: 276
	B 轮: 242.5	B 轮: 352	B 轮: 209
	C 轮: 242.5	C 轮: 352	C 轮: 276
	D 轮: 242.5	D 轮: 352	D 轮: 209
长、宽方向同 时偏载 10%	A 轮: 303	A 轮: 427	A 轮: 336
	B 轮: 248.7	B 轮: 360	B 轮: 215.7
	C 轮: 227.2	C 轮: 333	C 轮: 260.2
	D 轮: 191.6	D 轮: 288	D 轮: 158.6

注: 交互作业指 AGV 与岸桥或场桥交互装卸作业 (此时考虑吊具和上架质量以及冲击系数)。

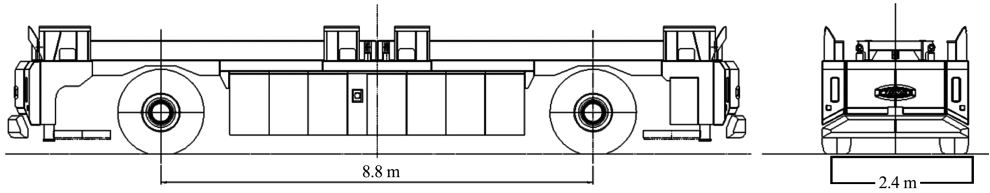


图3 AGV 车辆断面



图4 AGV 车轮编号

2.3 面层坡度要求比较高

由于岸桥和 AGV 采取自动装卸和水平运输作业,对于 AGV 装卸区和行驶区的坡度要求都比较高,其中 AGV 作业区的坡度不宜大于 6%,最多不超过 1%。

3 全自动化码头面层结构设计要点

3.1 针对磁钉周围无金属的设计要点

根据 AGV 磁钉的影响要求,码头面以下最大 216 mm 范围内不能有金属,受到影响的码头面层结构主要有现浇面层和现浇梁系的顶层钢筋、各种孔洞的金属盖板以及伸缩缝处的护边角钢。

1) 现浇面层的顶层钢筋。

现浇面层的顶层可以用玻璃纤维增强复合筋 (FRP 筋) 代替传统钢筋。FRP 筋可选用耐碱 GFR 筋、AFRP 筋或 CFRP 筋。对于承受负弯矩的面板,顶层受拉的 FRP 筋混凝土构件应进行正常使用极限状态的裂缝宽度计算和承载能力极限状态验算。FRP 筋的弹性模量大于 40 GPa,可以与混凝土同时承受荷载,可按照 GB 50608—2010《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》进行设计计算。与普通钢筋相比,FRP 筋的抗拉强度标准值较高,大于 500 MPa^[2],但考虑材料分项系数和环境影响系数后,FRP 筋的抗拉强度设计值会大幅度下降,设计时需要注意。

FRP 筋的优点主要是非金属材料不影响磁钉,抗腐蚀性好。主要缺点有:①价格高,单位体积价格大约是钢筋的 2.5 倍;②现场不能加工弯折,

否则弯曲处强度会大幅降低,只能在工厂加工好运输到现场;③不能焊接,预埋件的锚筋若采用 FRP 筋不易与钢筋笼可靠固定。因此码头上部结构的设计应该让面板负弯矩尽量小,以减少 FRP 筋用量。

2) 孔洞处的金属盖板。

可采用 FRP 板或混凝土盖板代替,其中混凝土板的底层受力筋采用传统钢筋,顶层采用 FRP 筋。

3) 伸缩缝处的护边角钢。

码头的伸缩缝必须设置护边结构,否则在 AGV 长期行驶的影响下,伸缩缝处混凝土边缘难免会出现破损,而伸缩缝边角破损后,会使得车辆通行时的冲击荷载增大,从而加剧伸缩缝边缘的破损,长期可能会影响到 AGV 的正常通行。为了满足磁钉周围无金属的要求,可采用 2 种办法,第一是调整伸缩缝与磁钉的相对位置,并尽量减小护边角钢的尺寸,修改护边角钢的锚筋布置,满足磁钉的安全距离要求;第二是采用预制高强混凝土块体加 FRP 锚筋代替护边角钢。

3.2 针对 AGV 轮压荷载大的设计要点

由于 AGV 荷载相比于传统集卡荷载增大很多,面板承受的弯矩也相应增大很多。另外,面板的板缝设置得越多,护边角钢也越多,受磁钉的限制也越大。因此,在承台顶面区域,每个承台上的面层不分缝,并设置 2 条立墙,面板结构为连续结构,既可以减小弯矩,又降低了对磁钉的影响。而在承台与陆域挡土墙之间采用大跨度预应力空心板,利用高强度预应力钢绞线满足结构抗弯承载力的要求。此外,现浇面层中还掺加了聚丙烯纤维,可起到减少面层裂缝和提高局部抗压承载力的作用。

3.3 针对面层坡度的设计要点

一般采取高桩梁板式结构的码头,在水工结

构和陆域的交接处,不可避免地会由于陆域的残余沉降而造成地面坡度的变化。为了尽量减小坡度的变化,可采取以下措施:①在接岸区域采用砂桩加固地基,并进行堆载预压,减小残余沉降;②在水工结构和陆域之间采用大跨度简支板连接,并在陆域处预留沉降,简支板从陆侧向海侧放坡,当残余沉降完成时,简支板变为由海向陆侧放坡,保证最终使用期的坡度在允许范围内。③在陆域挡土墙上每隔一定距离设置检修口,随着码头使用时间的增加,如果挡土墙沉降太大导致简支板坡度大于使用要求,可通过检修口进入简支板下方,采取抬升简支板陆侧的方法,减小简支板坡度以满足使用要求。

4 结论

1) 全自动化集装箱码头与一般的码头相比,码头面层中布置有磁钉,磁钉影响范围内不能有金属。同时,水平运输车辆 AGV 轮压的荷载比传统集卡荷载要大很多,对码头面层坡度要求也比较高。

2) 针对磁钉周围无金属的要求,可以采取码头面层顶部设置 FRP 筋、孔洞盖板采用 FRP 板、伸缩缝护边采用高强混凝土块体加 FRP 锚筋、局

部调整磁钉位置等设计措施来满足使用要求。FRP 筋价格较高,宜通过合理设计减小面板负弯矩的办法来减少 FRP 筋的用量。

3) 针对 AGV 轮压荷载大的特点,码头面板可采用小跨连续板设计,既可以减小弯矩,又减少了伸缩缝的数量,降低对磁钉的影响。码头与陆域之间的简支板可采用预应力空心板,利用高强度预应力钢绞线满足结构抗弯承载力的要求。

4) 针对码头坡度要求高的特点,首先应在接岸区域采取地基加固和堆载预压的方法来减少残余沉降。其次宜在水工结构和陆域之间设置大跨度简支板并在陆域搁置端预留沉降,以降低沉降对于坡度的影响。最后可在简支板陆侧预留检修口,将来可通过顶升简支板的方法来满足坡度要求。

参考文献:

- [1] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司.上海国际航运中心洋山深水港区四期工程初步设计[R].上海:中交第三航务工程勘察设计院有限公司,2014.
- [2] GB 50608—2010 纤维增强复合材料建设工程应用技术规范[S].

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 125 页)

5 结论

1) 对比传统码头与自动化码头堆场不同作业模式,发现两者在堆场机械、装卸艺、整体布局及故障处理等方面存在明显差异,因此传统码头轨道吊机修区布置方式不适用于自动化码头。

2) 自动化轨道吊作业规则是自动化码头轨道吊机修区布置设计的重要影响因素,需对其进行深入了解。

3) 轨道吊机修区的布置需达到提高码头土地资源利用率、减小对码头生产作业影响、提高维修效率及便捷性等要求。为满足这些要求,了解故障修理原则、海侧/陆侧维修保养规则、海侧/陆侧维修区工作内容、轨道吊重大故障应急维修方

案等内容是十分必要的。

4) 轨道吊机修区布置方式在洋山四期工程中运用,检验了该方式的优越性,为该布置方式的进一步推广提供有力依据。

参考文献:

- [1] 罗跃华.集装箱船舶的大型化发展趋势[J].水运管理,2011,33(7):37-39.
- [2] 马会军,信毅,王洪亮.集装箱轨道吊远程自动控制系统设计及优化[J].集装箱化,2014(12):1-2.
- [3] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司.上海国际航运中心深水港区四期工程初步设计[R].上海:中交第三航务工程勘察设计院有限公司,2014.

(本文编辑 郭雪珍)