



中巴标准在某港口铁路工程中的融合应用

王鹏飞¹, 吴平², 蔡伟¹, 刘俊生¹

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 中国港湾工程有限责任公司, 北京 100027)

摘要: 港口铁路作为港口集疏运的重要组成部分, 其设计较为独立, 且一般会遵从一套完整的规范体系。开展境外港口工程铁路设计, 若全部采用中国标准, 可能会与当地要求、运营习惯等产生冲突; 而且由于港口铁路的特殊性, 设计须考虑港口运营需要、平面布置及集疏运要求, 而不能直接套用正线铁路或一般站线铁路的设计思路。国内设计企业走出去承接海外港口铁路工程设计任务, 在了解当地铁路运营习惯、信号制式等要求, 做到因地制宜的同时, 也要整体考虑铁路设计以满足港口特殊需要。通过巴基斯坦某集装箱港口工程融合中巴标准开展港口铁路设计的案例, 阐述港口铁路在设计原则和标准确定、平面布置、断面设计、信号和道口设计上融合中巴标准和要求的思路, 供类似工程借鉴。

关键词: 港口铁路; 融合中巴标准; 铁路平面布置; 断面设计; 信号设计

中图分类号: U 653.93

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)05-0050-06

Integration application of Chinese and Pakistan standards in a port railway project

WANG Peng-fei¹, WU Ping², CAI Wei¹, LIU Jun-sheng¹

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

2.China Harbour Engineering Co., Ltd., Beijing 100027, China)

Abstract: As important parts of the port collection and distribution system, port railways are independent in design and generally follow a complete set of standards. The full adoption of Chinese standards is unlikely to satisfy local requirements and operating practices during the design of overseas port railways. Due to the particularity of port railways, the design ideas of the main line or ordinary station track cannot be replicated, while the port operation, general layout, and requirements for collection and distribution should be considered. For design tasks of overseas port railways, domestic design companies should adopt measures suiting local conditions including operating practices and signal systems. Meanwhile, they must also consider the design as a whole to meet special port needs. The Pakistan container port that integrates Chinese and Pakistan standards is utilized to illustrate the determination of design principles and standards, as well as the design of the general layout, cross-section, signal, and level crossing, providing a reference for similar projects.

Keywords: port railway; integration of China and Pakistan standards; general layout of railway line; cross-section design; signal design

1 工程背景

称“本工程”)位于巴基斯坦卡拉奇港, 是南亚地

巴基斯坦某集装箱堆场与房建二期工程(简

区首个自动化专业集装箱深水码头堆场工程。工

收稿日期: 2021-08-29

作者简介: 王鹏飞(1990—), 男, 硕士, 工程师, 从事工程项目管理以及结构、管网、道堆相关设计工作。

程陆域总面积约 32 万 m², 二期扩建完成后码头的总体年设计吞吐量将达到 310 万 TEU。码头堆场后方设有港口铁路, 主要由 1 条连接线、3 条装卸线、1 条机修线和 1 条机待线组成, 线路总长 3.71 km, 包含独立的通信、信号(采用计算机联锁)系统, 而铁路供电、排水依托码头管网配套系统。港口工程平面位置见图 1, 铁路平面布置见图 2。

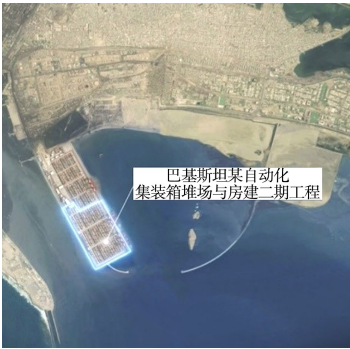


图 1 工程平面位置

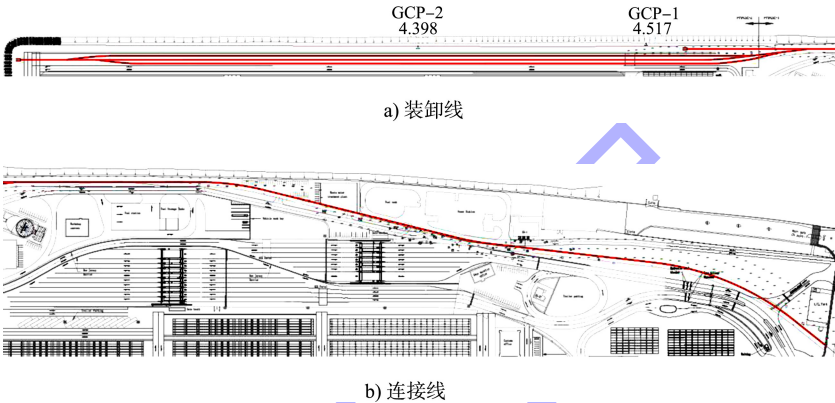


图 2 铁路平面布置

2 中巴标准融合的设计原则

巴基斯坦现有铁路网基本沿袭英国殖民时期遗留的铁路线, 新建或改建工程主要依照国内标准、做法并参考英标及其他国际标准, 自身标准体系并不完善。为避免标准混杂, 同时考虑到国家干线 ML-1 线及卡西姆站(Bin-Qasim Station)通号系统升级等工程均已采用中国标准及产品, 确定了以中国标准(简称“中标”)为主进行站前设计、按照巴基斯坦标准(简称“巴标”)进行信号系统设计的融合原则, 见表 1。

表 1 中巴融合的设计原则和标准	
专业、设计项	设计原则、标准
平面布置	以中标为主, 满足巴标对限界、曲线段等要求
轨距	巴标 1 676 mm(5'6")
钢轨型号	中标 50 kg/m U75V
结构形式	中标轨枕埋入式无砟轨道
轨枕数量	中标 1 600~1 680 根/km
信号设计	巴标当地制式

由于巴基斯坦没有港口铁路及整体道床无砟轨道的设计标准, 引入中标进行平面布置和道床结构设计可以最大限度发挥中标技术优势, 使铁路设计更加符合港口运营需求; 同时在轨距、铁路限界、曲线段、道岔、信号系统设计上融合巴标, 确保设计满足巴当地铁路技术要求和运营习惯。

3 铁路平面布置

铁路平面需要基于港口整体总平面布置, 合理考虑港口集疏运要求, 并兼顾近期及远期需求, 留有发展余地, 选线上避免货物的迂回和折返运输, 并应减少铁路、道路的相互干扰。

铁路规划有 3 条装卸线, 装卸线一侧设有集卡通道, 铁路区通过轮胎式集装箱龙门起重机(RTG)和正面吊进行集装箱装卸作业。RTG 沿跑道梁行驶, 按外边线计跨度为 25 m, 装卸线的线间距为 4.72 m, 集卡双通道总宽 7.34 m(图 3)。

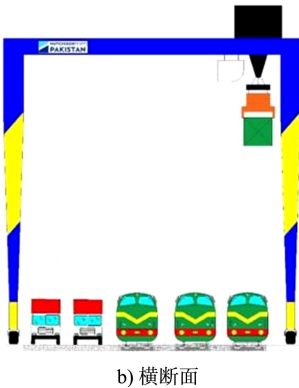
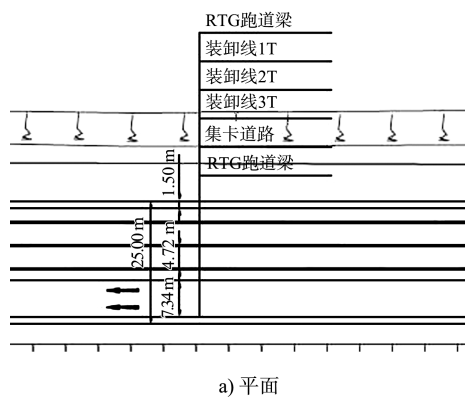


图 3 铁路装卸平面示意

对于装卸线长度要求每条线须容纳至少 40 车厢长火车进站进行装卸，并不小于 685 m (2 250')。根据码头平面布置，以及警冲标和脱轨道岔(脱轨道岔处不作为装卸线)位置，实际 3 条装卸线的有效长度为 711、685、711 m，可容纳 45 车厢长火车进站(机车长度为 20 m,火车全长 650 m 左右)。

3.1 年货运量及 RTG 布置

根据《海港总体设计规范》^[1] 铁路装卸作业段最小长度 L_t 的计算公式(7.10.13)，推导出港口铁路年货运量 Q_t ：

$$Q_t = \frac{L_t T_{yt} G_t C K_L}{K_{BT} L} \tag{1}$$

式中： L_t 为铁路装作业段长度，取 685 m； T_{yt} 为年营运天数，取 360 d； G_t 为车厢平均装载量，取 2 TEU； C 为铁路昼夜送车次数，取 2~3 次(单条装卸线)； K_L 为装卸线利用次数，取 0.8 次； K_{BT} 为火车到港不平衡系数，取 1.15； L 为车辆平均长度，取 14 m。计算单条装卸线年货运量为 4.9 万~7.4 万 TEU，港口铁路整体年货运量为 14.7 万~22.2 万 TEU。

港口铁路按重车方向年货运量可划分为Ⅲ级

和Ⅳ级铁路，按单条装卸线年货运量 6 万 TEU、标准重箱 24 t/TEU 考虑，单条装卸线上重车方向年货运量为 1.4 Mt，连接线上整体重车方向年货运量为 4.3 Mt，均属于Ⅳ级。

RTG 装卸效率取 20TEU/h，若每条装卸线的昼夜送车次数 C 为 2 次(总共 6 列车装卸)，则需布置 2 台 RTG 用于装卸作业；若每条线的昼夜送车次数为 3 次(总共 9 列车装卸)，则需布置 3 台 RTG 用于装卸作业。

与规范中基于铁路年货运量计算装卸作业段最小长度 L_t 的方法不同，实际工程中由于港口总平面布置及铁路部门运行组织等外部条件限制，港口铁路的装卸线长度以及每条装卸线上的昼夜送车次数可能都是相对确定的，并且可以通过其反推铁路年货运量。对本工程港口铁路而言，后续增加昼夜送车次数，铁路实际运量将会相应增加。

3.2 曲线段设计

巴标 *Schedule of Dimensions*^[2] 规定最大弯曲度 (degree of curvature, 即转过 100 ft 所需的角度) 不超过 10°，相对应的最小圆曲线半径为 174.7 m (573 ft)。本工程各处曲线段圆曲线半径为 300 m，一处为 200 m，满足当地规范要求。当地圆曲线半径要求与国内标准对比见表 2。

表 2 最小圆曲线半径比较

规范	最小圆曲线半径 ¹ /m
<i>Schedule of Dimensions</i>	174.7
《海港总体设计规范》	港口联络线 按调车办理 ² 装卸线 600(困难)/500(特别困难)
《Ⅲ、Ⅳ级铁路设计规范》 ^[3]	装卸线要求与海港总体规范一致
《铁路专用线设计规范》 ^[4]	400(一般)/250(困难)/200(个别) 站线 250/200(困难)
欧标 EN 13803 ^[5]	150

注：1. 按港内行车速度 30 km/h 考虑；2. 调车情况可参照站场及枢纽设计手册^[6] 表 3-2-2 中站内不通行正规列车的线路、机走线、三角线的情况，对应的最小曲线半径为 200 m。

Schedule of Dimensions 规定了曲线段轨距变化的允许范围，对于 4° 以内的圆弧为 +13/-3 mm，4° 以上的圆弧为 +20 mm。

对曲线外轨，巴规范允许 75 mm 的欠超高。考虑港内不超过 30 km/h 的行车速度，计算得外轨超高为 41 mm，各规范曲线外轨超高对比见表 3。

表 3 曲线外轨超高

规范	曲线外轨超高 [*] /mm
<i>Schedule of Dimensions</i>	$h=13.71v^2/R=41$
《III、IV 级铁路设计规范》	$h=7.6v^2/R=23$
欧标 EN 13803	$h=11.8v^2/R=35$

注: * 按港内行车速度 30 km/h、曲线半径 300 m 考虑。

巴标对曲线段的设计要求低于国标。对圆曲线半径, 巴标仅要求不小于 174.7 m, 而国标中对港口铁路各类线路基于设计行车速度等规定了不同的圆曲线半径, 本工程中 200 m 的圆曲线半径已经达到了国标允许的极限。港口铁路在设计时基于实际运营情况确定设计行车速度, 减小曲线半径可以在一定程度上优化铁路平面布置, 提升港口陆域土地使用效率。

3.3 道岔、脱轨道岔

根据尖轨根端结构形式道岔尖轨可分为铰接式(活接头式)和固定式(弹性可弯式), 巴当地道岔均为铰接式, 而国内主流道岔为固定尖轨。铰接式可用于 9 号以下且直向容许通过速度小于 100 km/h 的道岔, 通常配置单台转辙机进行牵引; 而固定式尖轨较长, 一般需采用双转辙机牵引。港口铁路需按照直股通过速度、运量、轴重等综合判断道岔尖轨选型, 通常铰接式已可满足列车运行需要。在咽喉区装卸线合并到连接线或机待线前需在装卸线上设置脱轨道岔(trap point), 确保装卸线上的列车不会侵入连接线或机待线(图 4)。

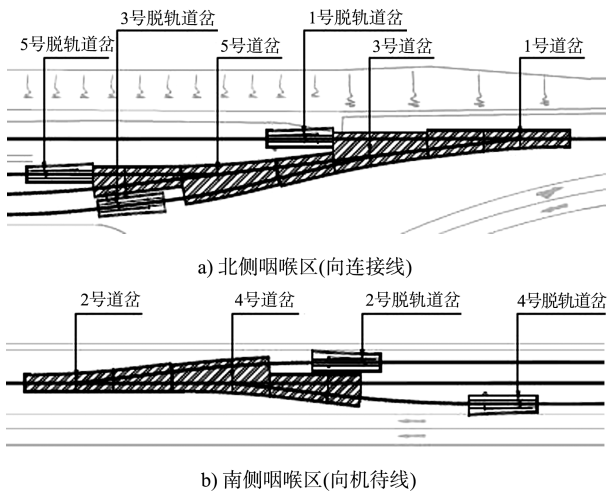


图 4 脱轨道岔的布置

脱轨道岔是通过拨动尖轨将列车强制脱轨的装置(图 5), 目前国内脱轨道岔尚无定型产品。

根据当地要求, 采用 8.5 号道岔直线尖轨和曲基本轨作为脱轨道岔的主体结构, 尖轨长度与 8.5 号道岔相同^[7]。

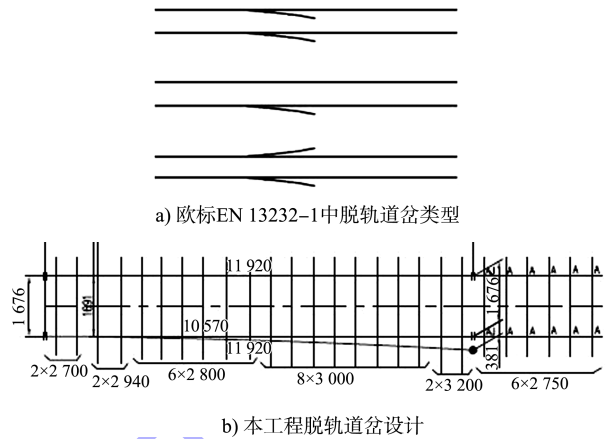


图 5 脱轨道岔设计 (单位: mm)

表 4 为各国标准中对脱轨设备设置条件的规定: 通常仅在特定主线交汇点或在坡道下, 或主线设计速度高, 或主线上有乘客等的情况下, 即在主线极具重要性、侵入主线可能造成较大损失时, 才需要在支线处设置脱轨设备, 而港口铁路通常不具备上述设置条件。巴基斯坦铁路安全事故频发, 当地出于安全因素考虑对脱轨道岔的要求具有很强的特殊性, 开展设计时须额外关注。

表 4 各国标准对脱轨设备设置条件的规定

标准	脱轨设备设置的条件或位置
英标 <i>MOD UK Railways</i> ^[8]	在车站铁路闸门或国铁边界点等处 在坡道下
美标 <i>US Fed Regulation</i> ^[9]	主线速度达到 125~200 m/h
澳标 <i>CRN Standard</i> ^[10]	在特定条件或位置处, 或主线上有乘客时

4 断面设计

港口铁路大多采用碎石道床, 《海港总体设计规范》《III、IV 级铁路设计规范》中对正线和站线碎石道床的顶面宽度、道床厚度等均做了详细规定。而根据港口运营要求, 铁路线布置在码头前方直接利用岸桥或门机进行港铁联运(图 5)时, 或因堆场面积有限需在港口铁路段考虑一定量的堆箱需求时, 正面吊、集卡等装卸车辆将会在铁路线上频繁横穿。以上情况可以通过在碎石道床上铺设橡胶板、混凝土板(图 6)或浇筑沥青混凝土面层, 或直接采用整体道床结构, 以满足车辆通行以及装卸作业需要。



图 5 某多用途码头在码头前方设置铁路装卸线



b) 混凝土板(福斯罗)

图 6 碎石道床上铺设的材料



a) 橡胶板(特瑞堡)

本工程采用混凝土浇筑整体道床形式，为轨枕埋入式无砟轨道。设计时除正常计算铁路荷载，还需要考虑 RTG、正面吊、集卡横穿铁路时的情况。各类港口铁路道床结构特点和适用性对比见表 5。

表 5 港口铁路道床结构

结构形式	特点	适用性
碎石道床结构	传统港口铁路道床形式,结构简单、施工方便,造价低	普遍适用 不适用道口处等车辆横穿地段
碎石道床上浇筑沥青混凝土面层	基于碎石道床,内侧需要安装护轨,表层与两侧沥青路面形成整体,较为美观	适用于道口处的铁路线
碎石道床上铺设橡胶板、混凝土板	基于碎石道床,橡胶板、混凝土板均有定型产品,安装方便,可根据港口运营需要灵活调整	适用于道口、码头前方、装卸作业区等处的铁路线
整体道床结构	刚性大,可以承受 RTG、正面吊等重型码头装卸设备横穿铁路时的重力荷载,造价高	适用于道口、码头前方、装卸作业区等处通过重型装卸设备的铁路线

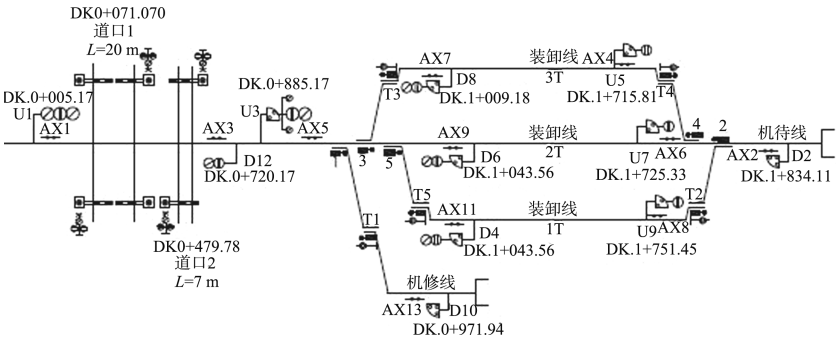
港口铁路整体道床结构宜采用轨枕埋入式无砟轨道形式，并在其上浇筑表层混凝土。道床结构设计考虑铁路列车荷载，表层混凝土计算类似于港口铺面，基于横穿铁路装卸设备荷载、设计使用年限内通过次数等确定表层混凝土强度和配筋。为便于扣件、钢轨维护，整体道床结构通常设有轨道槽，槽内可填筑沥青砂、橡胶条等。

对整体道床结构，铁路排水可通过设计微高程将雨水排入港口排水主网中，而不用单独设计横截沟等排水设施。钢轨轨槽需要单独设计排水

管，避免槽内长期积水腐蚀钢轨。

5 信号、道口设计

信号系统设计采用巴基斯坦当地制式，站内采用集中联锁形式，区间采用半自动闭塞(人工办理闭塞手续)。站内信号主要由外部信号(OHS)、进站信号(HS)、出站信号(SS)、总出站信号(ASS)和调车信号构成。信号机详细布置见图 7，其中 U1 为 OHS，U3 为 HS，D4、D6、D8 为 SS，D12 为 ASS。由于海港铁路临海难以满足轨道电路的绝缘条件，轨道占用检查一般采用计轴系统。



通常外部信号(OHS)不需要设置红灯,由于站内已经布置有进站信号(HS),列车可直接驶过OHS,位于港口边界线上的OHS需在默认状态下保持关闭状态,不允许外部列车进港。

按照巴基斯坦信号制式,OHS的灯光配列为黄、红、黄。双黄表示HS允许列车进入装卸线,列车可通过OHS、HS;单黄表示HS不允许列车进入装卸线,列车可通过OHS但需在HS前停下;红灯表示不允许进港,列车须在OHS前停下。

考虑到当地铁路事故频发(且主要发生在道口处),设置OHS默认状态关闭可以保护港内2处道口的安全^[11]。通常情况下,道口处铁路相较于道路具有更高优先级。而对于港口铁路,铁路和道路间的优先级需要结合港口集疏运要求、总平面布置等专门分析。本工程设有2处道口,其中

道口1位于港口进出主通道,车流量大且经常会有堵车现象,且由于港外连接线弧度较大和港内建筑、集装箱等的遮挡,导致道口瞭望视距不足,按要求应设看守或道口自动信号。

由于OHS开放(单黄)条件为道口1关闭,若道口1采用自动信号(列车接近自动触发道口关闭),则意味着OHS将随道口关闭而开放,其阻拦功能失效,不符合当地信号控制要求。同时,考虑到港内交通繁忙,拥堵频繁,列车不受阻拦直接进港会造成极大的安全隐患。最终,通过设置看守手动操控的方式代替道口自动控制,在进出口通道出清车辆后再关闭道口、开放OHS以确保通道安全,并满足当地对OHS作为港区第一道关卡的管理要求。

巴基斯坦当地信号制式与做法见表6。

表 6 巴基斯坦标准信号制式与做法

信号	外部信号(OHS)要求	总出站信号(ASS)要求	灯光配列	通过优先级
在按国标设计进站、出站、调车信号基础上,增加外部信号和总出站信号	离进站信号(HS)距离至少 580 m; 常态关闭,站内允许进车后开放	由车站值班员控制,在前方区间出清后开放	红、绿(端头站不采用)、黄、双黄	港内主通道的通过优先级高于铁路

6 结论

1)通过融合标准因地制宜地开展港口铁路设计,坚持以中国标准为主进行站前设计、根据巴基斯坦标准进行信号系统设计的融合原则,可以最大限度地发挥中标技术优势,使铁路设计更加符合港口运营需求,并满足巴当地铁路技术要求和运营习惯。

2)基于中标开展港口总平面布置、集疏运等铁路平面设计,并确定港口铁路年货运量及装卸设备的种类和数量,基于巴标及港口总平面条件进行曲线段设计。巴标对曲线段的设计要求低于国标,减小圆曲线半径可在一定程度上优化铁路平面布置。

3)对于港口铁路,巴当地采用8.5号铰接式道岔,与国内9号道岔不同。港口铁路一般不需设置安全隔开设备,而巴当地要求使用脱轨道岔,开展设计时须额外关注。

4)港口铁路大多采用碎石道床结构,对于有装卸车辆通行需求的铁路线,可以采用在碎石道床上铺设橡胶板、混凝土板或浇筑沥青混凝土面

层的方式,或直接采用整体道床结构。

5)信号系统设计需采用巴当地制式,在港口边界线上设外部信号机,并默认保持关闭,以阻止外部列车直接进港;设置总出站信号机,在站间出清后开放。

6)港口铁路和道路的优先级需要结合港口集疏运要求、总平面布置等进行专门分析,以确保道口处交通安全。

参考文献:

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

[2] Ministry of Pakistan Railways. Schedule of Dimensions 1 676 mm(5 ft 6 in) Gauge [S]. Lahore: Ministry of Pakistan Railways, 1988.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. III、IV 级铁路设计规范: GB 50012—2012 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.

[4] 中国铁路设计集团. 铁路专用线设计规范(试行): TB 10638—2019 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.