



新型全装配式高桩码头施工技术

周厚亚¹, 刘 鹏¹, 吴 辉²

(1. 中交第三航务工程局有限公司江苏分公司, 江苏 连云港 222042;
2. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 新型全装配式高桩码头结构主体采用模块化设计, 由插槽式横梁、无底π形梁板等新型预制构件组成, 结构新颖, 构件尺寸和质量大、安装定位难度高, 施工没有先例。以连云港港徐圩港区码头工程为例, 分析新型高桩码头结构的应用优点, 并针对码头结构的施工难题, 提出新型构件预制、精确定位安装、空腔节点施工等技术措施。经工程实践证明, 该施工技术措施先进、安全高效, 可以为类似工程提供参考。

关键词: 高桩码头; 全装配式; 施工工艺; 装配率

中图分类号: U 656. 1+13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0137-06

Construction technology of new prefabricated high-piled wharf

ZHOU Houya¹, LIU Peng¹, WU Hui²

(1. Jiangsu Branch of CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Lianyungang 222042, China;
2. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: The main body of the new fully prefabricated high-piled wharf structure adopts modular design and is composed of new prefabricated components such as slot beam, bottomless π beam, the structure is novel, the components have large size and weight, high difficulty in installation and positioning, there is no precedent for construction. Taking the wharf engineering in Xuwei Port area of Lianyungang Port as an example, this paper analyzes the application advantages of the new high-piled wharf structure, and proposes technical measures such as new component prefabrication, precise positioning and installation, cavity node construction to solve the construction difficulties of the new wharf structure. The engineering practice is proved that the construction technical measures are advanced, safe and efficient, which can provide references for similar projects.

Keywords: high-piled wharf; fully prefabricated; construction process; prefabricated rate

在我国水运码头建设史上, 高桩码头适用于软土地基, 已有部分预制装配的设计施工理念, 但其结构发展受外海自然条件的影响, 加之海上施工机具、工期等因素的制约, 其结构止步于“下部结构现浇+上部小构件安装”的模式, 江义等^[1]介绍装配式桩基码头在国内外应用现状, 提出构件装配率和体积装配率两种装配化程度指标, 结合实际工程案例测算出传统高桩码头的体积装配率一般不超过 40%。

现阶段传统高桩码头结构组成虽然简单, 但存在一定的施工弊端: 1) 水上各工序施工需要趁低潮作业^[2], 施工时间段随海上水位变化, 现浇构件施工效率较低; 2) 施工人员水上作业环境差, 工字钢、木方、模板等辅助材料和钢筋半成品在现场频繁吊运, 施工安全风险高; 3) 上部结构构件质量较小、数量多, 一个泊位可达近千件, 起吊安装频次高。在小构件梁板安装阶段, 穿插施工现浇上横梁, 交叉作业多, 现场安全文明施

收稿日期: 2022-11-15

作者简介: 周厚亚 (1973—), 男, 高级工程师, 从事水运工程施工建设。

工难度大。

本文介绍一种新型全装配式高桩码头的施工技术，能够弥补传统高桩码头结构形式在应用中存在的不足，为类似高桩码头建设提供一种新的思路。

1 工程概况

连云港港徐圩港区 64#~65#码头工程新建 1 个

8 万吨级和 1 个 10 万吨级液体散货泊位，为一种模块化设计的新型高桩码头结构，体积装配率达到 70.9%，为国内首次应用。

该码头平台长 588 m、宽 25 m，排架间距 10 m，码头结构见图 1^[3]。下部桩基采用 $\phi 1200$ mm 预应力钢筋混凝土大管桩，每榀排架布置 6 根基桩，海侧、陆侧对称布置一直一斜 2 根桩，排架中部布置 1 对叉桩，斜桩斜度均为 5:1。

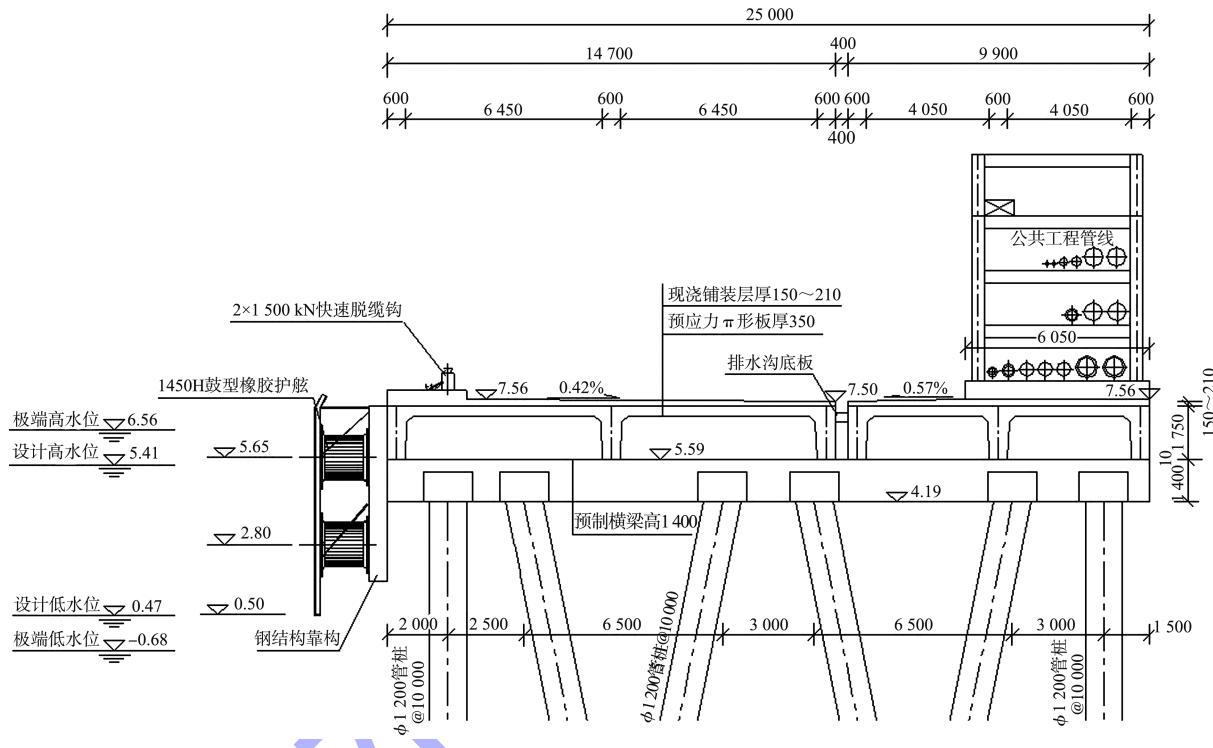


图 1 新型全装配式高桩码头结构断面 (高程: m; 尺寸: mm)

上部结构采用预制横梁、预应力 π 形梁板，横梁采用现浇节点，铺装层厚 150~210 mm。其中，通长预制横梁宽度 2.6 m、高度 1.4 m，质量达 200 t，并于底部根据排架桩位开设 6 个直径 $\phi 1.6$ m、高 1 m 的空腔。

码头共设 2 块后张法预应力 π 形梁板，高度 1.75 m，平面尺寸分别为 14.9 m×9.2 m(长×宽)和 9.9 m×9.2 m，质量达 215~237 t。海侧和陆侧 π 形梁板现场安装后，纵向通长浇筑排水沟。同时预应力 π 形梁板纵向两侧设置厚 0.3 m 横向端板，用于横梁节点浇筑。码头前沿采用钢结构靠船构件，靠构在上下预制构件安装后进行安装。

2 施工总体工艺

新型全装配式高桩码头实现“搭积木”式施工，开工后先行沉桩施工，同步开始 π 形梁板预制，形成排架并截桩后，测量桩基偏位后进行下横梁预制。沉桩完成一定工作面后开始下横梁安装，并浇筑空腔节点混凝土，节点强度达到 80% 后进行上部 π 形梁板安装，而后依次进行现浇上横梁和面层混凝土施工，施工总体工艺流程见图 2。

与传统高桩码头结构相比，新型高桩码头预制构件结构新颖，其质量较大对预制条件和起重能力要求较高，但数量仅有 195榀，能够实现提前预制、快速安装，短时间形成码头主体结构。

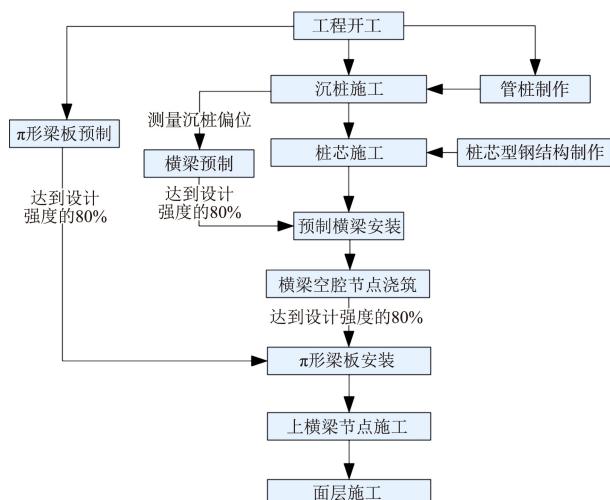


图 2 施工总体工艺流程

3 主要优点

1) 整体性强, 节约资源。采用装配化、模块化设计理念, 将码头主体结构利用空间计算分析方法合理分割为多个梁板集成的模块, 利用标准模块采用搭积木方式组建码头结构, 打破了常规码头多构件预制、多节点连接、多现浇设计的模式, 结构整体性更强, 可使同级别码头节约钢筋混凝土用量 30%以上。

2) 品质优, 工程寿命长。新结构 70%以上均在陆上预制, 更加利于质量控制, 也避免海水对钢筋混凝土耐久性的影响, 通过陆上混凝土结构的防腐处理, 可以做到结构耐久。

3) 由水转陆, 建设速度快。新结构将水上现浇施工转至陆上预制, 与传统结构相比, 模块化构件起吊安装次数减少 80%以上, 安装速度快, 单件起吊安装耗时约 1 h。模块化构件安装完成即可快速形成面层施工工作面, 与连云港地区同体量码头相比, 建设工期由 12 个月缩短至 7 个月。

4) 改善工人作业环境, 安全性高。新结构解决了传统码头现场临水、临边、临时用电等安全隐患多的弊端, 使用大型起重船吊安构件, 设备可靠性好。水上现浇材料使用少, 避免了小型船机对钢抱箍、型钢、模板等材料的频繁吊运。

5) 保护海洋环境, 降低建设期碳排放。新结构使码头水上现浇工作量大幅减少, 避免了模板、木方、废弃混凝土等固体材料落入海洋中; 同时,

陆上制作构件主要使用电能, 减少了水上现浇船舶柴油的使用, 碳排放更少。

4 主要施工技术

4.1 插槽式横梁预制施工技术

插槽式横梁为一种新型构件, 横梁内置空腔的形成是影响预制效率的关键, 针对空腔模板封闭在构件内难以拆卸以及空腔内壁凿毛的难题, 采用“波纹钢管^[4] + 封顶钢板”作为空腔内模(图 3), 预埋在横梁内, 无需后期拆除。同时, 波纹钢管形成的凹凸槽有效保证与空腔后浇混凝土的结合面效果。



图 3 空腔波纹钢管构件

插槽式横梁空腔两侧局部为薄壁, 厚度为 400~500 mm, 厂内吊运时采用专用吊梁, 钢丝绳在纵向与横梁竖向垂直连接, 水平夹角不小于 60°, 见图 4。插槽式横梁堆放时应考虑内置空腔的位置, 本工程采用 5 点搁置, 保持每 2 个空腔之间均有搁置点, 刚性支撑顶面应调平, 顶部铺设 1 层竹胶板、橡胶垫等可压缩材料, 确保有效支垫。

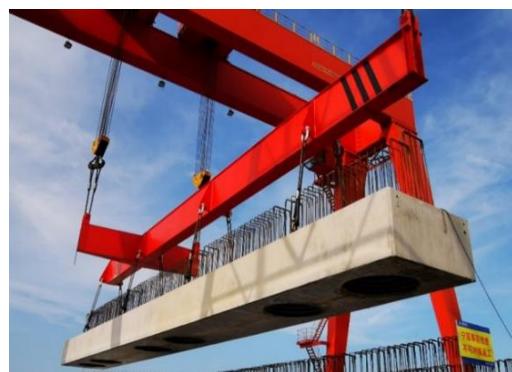


图 4 插槽式横梁吊运

4.2 π 形梁板预制施工技术

π 形梁板结构上类似于综合管廊，但两端封闭，为一种无底箱式结构，由肋梁、面板、隔板等 3 部分组成，见图 5。



图 5 π 形梁板结构

π 形梁板内模设计是预制施工的关键，需要解决 2 个施工技术难题：1) π 形梁板与内模接触面积达 200 m^2 ，固定式内模在构件起吊时会产生脱模吸附力，每平方米按 $1.5 \text{ kN}^{[5]}$ 计算，起吊瞬间脱模吸附力达 300 kN 。2) π 形梁板混凝土强度达到设计强度的 80% 以上后方可起吊，根据施工经验，一般需要 7 d 以上。因此，π 形梁板浇筑完成后占用内模时间长，内模周转使用效率低，施工成本大。

针对以上 2 个难题，设计分体式液压可拆卸式内模（图 6），使内模与混凝土面脱离，避免脱模吸附力的产生。施工上可采用掺加早强剂、蒸汽养护等措施，蒸汽养护前应开展试验确定静停、升温、恒温、降温等 4 个阶段的相关参数^[6]。

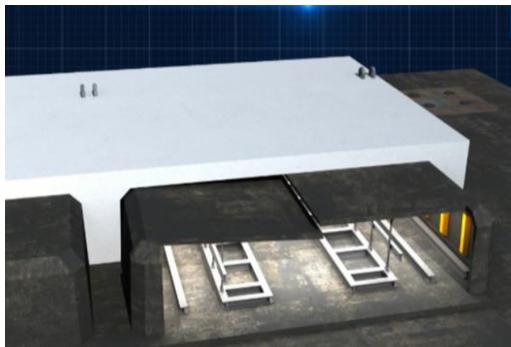


图 6 π 形梁板分体式可拆卸内模

4.3 构件安装施工技术

4.3.1 构件安装重难点分析

新型全装配式高桩码头每个排架上安装 1 榼

通长横梁，相邻两榼横梁间各安装 2 块 π 形梁板，见图 7。



图 7 新型全装配式高桩码头构件安装

与传统高桩码头结构相比，新型码头结构构件质量大，施工重难点有：1) 下部模块横梁位于桩基顶部，安装时需要考虑横梁的支撑系统。2) 受运输驳船型宽度的限制，横梁、π 形梁板等大尺寸构件只能沿船舶长度方向堆放，起吊后须进行 90° 转向；3) 全装配式高桩码头结构构件安装精度应不低于现行传统码头结构，需要解决下部通长横梁、上部 π 形梁板等大尺寸、大质量构件的轴线位置、前后沿顺直度和高程精度控制。

4.3.2 构件安装重难点解决措施

1) 插槽式横梁安装桩顶自支撑技术。插槽式横梁安装时采用四桩桩顶搁置技术，见图 8。它利用桩芯型钢结构和桩顶作为搁置面，无需设置钢抱箍围圈系统进行支撑。桩顶搁置面由厚 10 mm 圆环钢板和厚 10 mm 橡胶垫组成，起到调平和安装缓冲作用，圆环钢板平整度不大于 3 mm ，顶面高程保持一致。

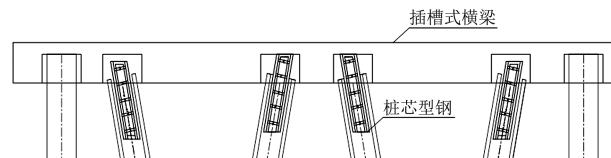


图 8 横梁桩顶搁置

2) 大尺寸、大质量构件 90° 旋转技术。起重船宜配备单钩作业，配备双钩时，应制作专用可旋转吊具。构件前沿吊环分别带 2 根交叉缆绳至船上卷扬机，通过绞动缆绳实现构件纵向转横向

的90°旋转, 机械操作效率较高, 交叉缆绳可控制构件位置, 见图9。

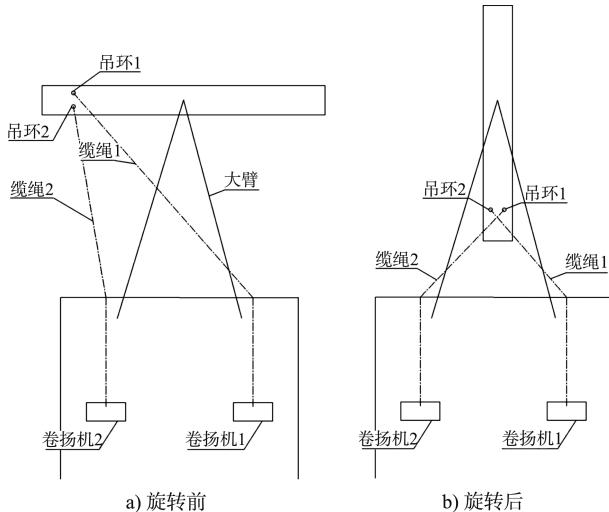


图9 构件90°旋转

3) 构件安装精度精确控制技术。构件安装平面位置通过限位控制, 前后沿直桩设置钢抱箍一体式安装操作平台, 平台上集成单侧限位装置, 横梁前后沿侧面预埋圆台螺母, 用于安设型钢限位装置, 从而起到控制 π 形梁板边线的作用, 见图10。

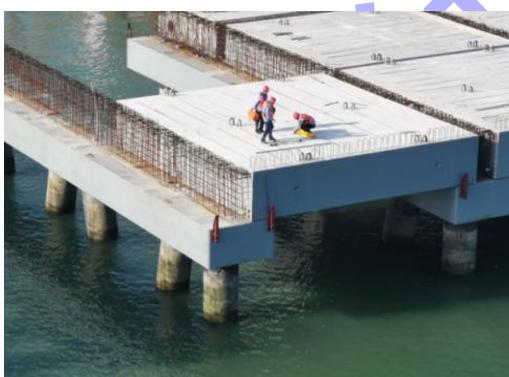
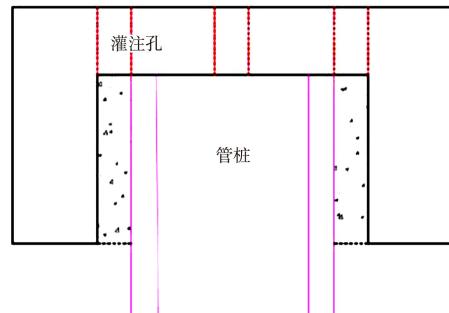


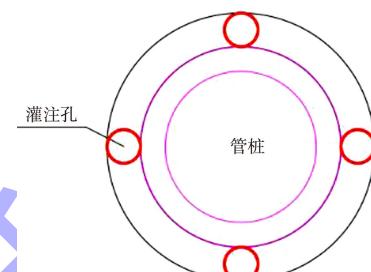
图10 π 形梁板安装单侧限位

4.4 插槽式横梁空腔节点施工技术

空腔节点混凝土通过预埋在横梁里的波纹管进行灌注, 泵管直径一般为125 mm, 因此, 波纹管直径可选择为150~200 mm。在每个空腔节点顶部, 根据直桩、斜桩空腔节点形式的不同选择不同的埋置方式, 以保证在无论何种沉桩偏位下始终有孔道能够灌浆和溢浆, 灌注孔布置见图11、12。

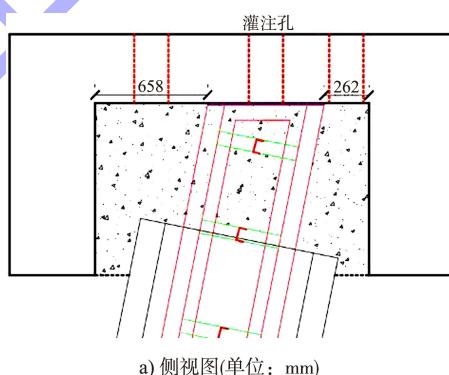


a) 侧视图

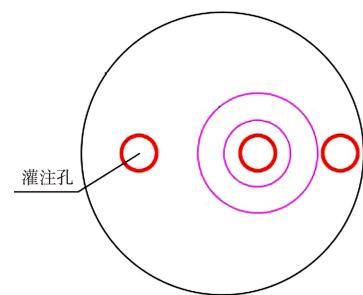


b) 俯视图

图11 直桩4个灌浆孔环形均匀布置方式



a) 侧视图(单位: mm)



b) 俯视图

图12 横梁3个灌浆孔直线布置方式

空腔节点混凝土浇筑时, 可从一个孔开始灌注, 至另一个孔溢出, 可采用带有内窥镜功能的摄像设备观察混凝土流动状态。浇筑过程中保持振捣, 确保混凝土流动、密实。由于混凝土泵送

冲击力及流动性，混凝土会优先从溢浆孔溢出，此时应继续浇筑，直至混凝土从灌浆孔冒出，溢出后应进行二次振捣，确保所有孔位的混凝土均不再沉陷为止。

5 结语

1) 通过多项技术攻关，形成了新型全装配式高桩码头成套施工技术，工艺成熟、先进可靠，自 2021-06-12 开始预制，至 2021-11-04 完成码头构件安装，用时仅 5 个月即形成码头主体结构。

2) 通过应用波纹钢管、分体式液压可拆卸式内模系统、蒸汽养护技术等，解决了新型构件的预制难题。

3) 通过应用卷扬机交叉带缆系统、抱箍式安装操作平台、单侧限位装置等，解决了插槽式横梁安装支撑系统、大尺寸、大质量构件 90°转向和精确定位安装等技术难题，构件安装安全高效、精度高，平均每榀耗时约 1 h。

4) 新型全装配式高桩码头装配率达到 70.9%，实现了工厂化生产、现场模块化安装，

是码头建设史上的一大创新，具有施工速度快、品质优、安全性高、绿色环保等优势，具有很高的推广应用价值，特别适用于工期紧、施工窗口期短的码头工程建设。

参考文献：

- [1] 江义,程泽坤,吴志良,等.装配式桩基码头设计建造应用现状与展望[J].水运工程,2018(6):103-109.
- [2] 郑春霖.高桩码头现浇下横梁砼的施工技术[J].中国水运(下半月),2011,11(6):251-254.
- [3] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司.连云港港徐圩港区六港池 64°~65°液体散货泊位工程码头结构图[R].上海:中交第三航务工程勘察设计院有限公司,2021.
- [4] 冶金工业信息标准研究院,衡水益通管业股份有限公司,河北腾是达金属结构有限公司.冷弯波纹钢管:GB/T 34567—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [5] 程春森,王晓锋,郑毅敏,等.预制混凝土构件脱模验算国内外标准对比[J].施工技术,2016,45(9):46-48.
- [6] 中国建筑标准设计研究院有限公司.装配式混凝土建筑技术标准:GB/T 51231—2016[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.

(本文编辑 王璁)

(上接第 136 页)

技术，实现了现浇横梁结构装配化施工，相比传统施工方式，标准化程度更高、施工速度更快、施工质量更好，有利于施工安全、节约施工费用，可为类似工程参考。

2) 针对装配化模板及钢筋笼一体化施工技术，详细介绍了一体化模板及钢筋笼设计方法、节点构造措施及施工重难点等，形成了装配化模板及钢筋笼一体化施工的关键技术体系。

参考文献：

- [1] 江义,程泽坤,吴志良,等.装配式桩基码头设计建造应用现状与展望[J].水运工程,2018(6):103-109.
- [2] 唐宇.高桩码头整浇装配式直桩节点抗震性能及设计方法研究[D].武汉:武汉理工大学,2007.

- [3] 程都.整浇装配式高桩码头结构设计方法研究[D].武汉:武汉理工大学,2010.
- [4] 杨俊,徐佳冻.装配式马墩支撑在高桩码头中预制靠船梁安装时的运用[J].珠江水运,2021(7):92-94.
- [5] 张治明,于洋,王超,等.装配式透空管型夹桩结构在强风浪条件下的应用[J].中国港湾建设,2016,36(1):28-31.
- [6] 许峰,钱大心.装配式型钢支撑在水运工程中的应用[J].安徽建筑,2020,27(9):126-127.
- [7] 朱连荣,张章龙,王露颖.研制装配式节点操作平台的实践[J].水利建设与管理,2020,40(12):67-73.
- [8] 中交水运规划设计院有限公司.水运工程钢结构设计规范:JTS 152—2012[S].北京:人民交通出版社,2012.

(本文编辑 王璁)