

文章编号:1006-2106(2015)04-0065-06

新白沙沱长江六线特大桥桥面布置方案研究^{*}

艾宗良^{**} 陈克坚 鄢 勇 袁 明 童登国

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:研究目的:渝黔铁路新白沙沱长江六线特大桥受控于地形、通航、行洪、环保、桥位等诸多因素,主桥采用(81+162+432+162+81)m六线桥跨越长江。在世界范围内,目前还没有六线 I 级铁路大跨度桥建成的实例,结合线路条件、桥梁工程的情况,进行桥面布置方案研究。

研究结论:(1)基于经济性、景观效果、施工便利性以及桥位条件等因素,主桥推荐采用钢桁梁斜拉桥方案;(2)根据两端线路条件,并在国内外公铁两用大桥建设调研的基础上,确定了六线分层“上 4 下 2”的总体布置方案;(3)比较了三片主桁倒梯形断面方案、两片主桁外设托架断面方案、两片主桁倒梯形断面方案、两片主桁矩形断面方案,研究结果表明,最优的桥面布置为两片主桁矩形断面正桁方案;(4)本研究成果可为多线铁路桥梁或者公铁两用桥梁设计提供参考。

关键词:铁路;钢桁梁;六线;桥面布置;斜拉桥;双层

中图分类号:U443.35 文献标识码:A

Study on Arrangement Scheme of New Baishatuo Six Lines Yangtze River Bridge of Chongqing – Guiyang Railway

AI Zong – liang, CHEN Ke – jian, YAN Yong, YUAN Ming, TONG Deng – guo

(China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: Research purposes: New Baishatuo Six Lines Yangtze River Bridge of Chongqing – Guiyang Railway is controlled by terrain, navigation, flood flowing, environmental protection, bridge site and so on, and the main bridge adopt (81+162+432+162+81)m six lines bridge across Yangtze River. In the world scope, large span bridge of six lines railway has not been constructed yet. Combined with the line conditions and bridge engineering, the arrangement scheme of bridge was studied.

Research conclusions: (1) Based on the factors, such as economy, landscape effect, convenient construction, the site condition and so on, it was recommended to adopt steel truss girder cable – stayed bridge scheme. (2) Based on line conditions, and based on the highway – railway bridge construction investigation at home and abroad, it was confirmed that "up 4 down 2" of six lines railway on two layers is the optimal scheme. (3) Inverted trapezoidal section scheme with 3 main trusses, bracket section scheme with 2 main trusses, inverted trapezoidal section scheme with 2 main trusses, rectangular section scheme with 2 main trusses were compared, and the research results show that rectangular section scheme with 2 main trusses is the optimal solution. (4) The research results can provide a reference for the design of multi line railway bridge or highway – railway bridge.

Key words: railway; steel truss girder; six lines; arrangement; cable – stayed bridge; two layers

^{*} 收稿日期:2014-06-11

基金项目:中国铁路总公司科技开发计划课题(2011G026-B)

^{**} 作者简介:艾宗良,1980 年出生,男,高级工程师,一级注册结构工程师。

1 工程概况

新白沙沱长江六线特大桥是渝黔铁路的重点控制性工程。路网规划、通航、环评等外部因素确定了大桥

按照六线铁路设计。其中四线为客运专线,设计时速 200 km,剩余双线为货车线,设计时速为 120 km。主桥采用 $(81+162+432+162+81)$ m 钢桁梁斜拉桥跨越长江,如图 1 所示。

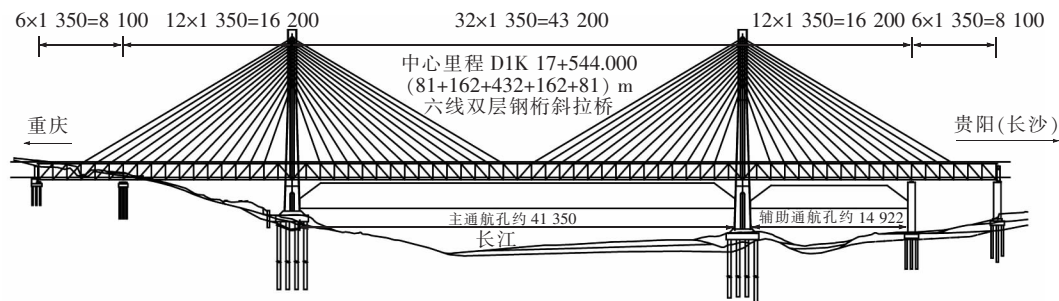


图 1 新白沙沱特大桥主桥总体布置(单位:cm)

2 桥面布置调研

在世界范围内,六线 I 级铁路大桥尚未有建成的实例。考虑到公铁两用桥与六线铁路桥梁在规模、体量、功能等方面的相似性,桥面布置方案调研时重点调查了公铁两用大桥的情况^[1-6]。

国内代表性的大跨度公铁两用大桥有武汉天兴洲长江大桥、芜湖长江大桥等。其中天兴洲大桥上层桥面为 6 车道公路,下层桥面为 4 线铁路,采用了 3 主桁 3 索面钢桁梁斜拉桥方案;芜湖长江大桥上层桥面为 4 车道公路,下层桥面为 2 线铁路,采用了钢桁梁矮塔部分斜拉桥结构,2 片主桁,主桁中心距 12.5 m,外侧设斜拉索锚固托架。

国外代表性的大跨度公铁两用大桥有日本横滨海湾大桥、厄勒海峡大桥等。其中横滨海湾大桥为钢桁梁双层斜拉桥,上层和下层均为公路;厄勒海峡大桥也是采用双层桥梁,上层承担双向 4 车道高速公路,下层承担双线高速铁路,采用 2 片主桁,主桁宽度 15.0 m,主桁外设托架与上层桥面内的斜杆和挑梁组成拉索空间传力系统。

国内外多数公铁两用大桥的桥面采用分层布置的结构型式。钢桁梁、钢桁梁斜拉、钢桁拱、钢桁悬索、钢箱梁等桥型均有采用,其中钢桁梁桥及其组合形式的桥梁的使用频率是最高的。分层布置的桥梁上层桥面的车道数量(线路数量)一般均大于或等于下层桥面的车道数量,由此带来很多好处:主桥上,下层空余的空间可以设置结构构件或者作为辅助功能区域,在引桥上,下层功能宽度以外的区域可以作为桥墩上层立柱的位置从而有效控制门式墩的横向跨度。“上宽下窄”的桥面布置与双层桥梁的布局是比较契合的,且

分层布置使得上、下两层桥面可以根据各自功能的特点独立运营、互不干扰。

3 线路条件

渝黔铁路是客货共线铁路,在上行(重庆)方向,客货分线后,分别引入重庆枢纽客运系统和货运系统;在下行(贵阳)方向,分线的客车线以及分线的货车线在南岸并汇,货车线进入既有珞璜车站,客车线跨越珞璜车站,客车线和货车线在出主桥长江南岸约 6 km 的位置新建珞璜南站,客运货运系统实现并线,客运系统还需要预留双线。线位情况如图 2 所示。

在新白沙沱特大桥的重庆端,客车线顺中梁山东侧向南前行至桥头,货车线顺中梁山西侧向南前行至长江北岸附近,通过隧道穿越中梁山至大桥桥头。在长江北岸,除了线路走向以及桥梁工程本身以外并无其他因素影响线路布置方案,六线可同层通过,也可分层通过。

在长江南岸,客车线需要利用既有川黔铁路和珞璜电厂之间的夹心地通过,主要控制点为珞璜电厂专用铁路线与珞璜车站之间北侧的联络线以及南侧的联络线。货车线在通过主桥后,需要迅速下坡至既有川黔铁路珞璜货运站。在南岸,客车线应该直接跨越珞璜车站,货车线应该接入珞璜车站。

另外一方面,通航净空限制了线路的最低高程。根据线路长度,需要货车线采用极限最大允许下坡下降至珞璜车站。

为了满足客车线跨越珞璜车站、货车线出主桥后迅速降坡进入珞璜车站的需要以及主桥通航净空的需要,线路采用上层四线客车线、下层双线货车线,即“上 4 下 2”分层布置是合适的。



图2 新白沙沱特大桥线位示意图

4 桥面布置与钢梁断面

采用六线双层桥梁可以有效利用钢桁梁上下均为平行弦的特点,很方便的设置双层桥面系,充分利用平行弦钢桁梁的立面(上弦)空间。结合线路条件,大桥采用六线双层“上4下2”的桥面布置是合适的。

设计研究提出了四种钢梁断面方案:三片主桁倒梯形断面(斜桁)方案、两片主桁外设托架断面方案、两片主桁倒梯形断面(斜桁)方案、两片主桁矩形断面(正桁)方案。

方案一为三片主桁,中桁竖直,边桁倾斜,倒梯形断面。上层桥面主桁中心宽度为 $(14.4 + 14.4)$ m,下层桥面主桁中心宽度 $(9.0 + 9.0)$ m,主桁高度约15.5 m。上层桥面与下层桥面均采用密横梁正交异性钢桥面板,如图3所示。

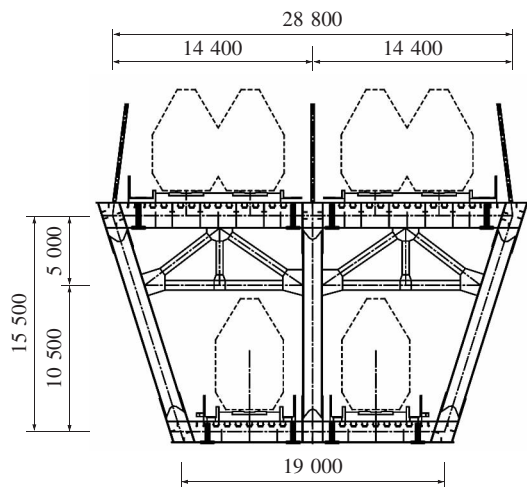


图3 三片主桁倒梯形断面(斜桁)方案(单位:mm)

方案二采用两片主桁,主桁中心距12.5 m,主桁高度约15.5 m,钢桁梁横断面外挑设置托架,单侧外

挑6.0 m,上层桥面采用密横梁正交异性钢桥面板。除了主桁上弦外,在拉索锚固点位置设置辅助弦,如图4所示。

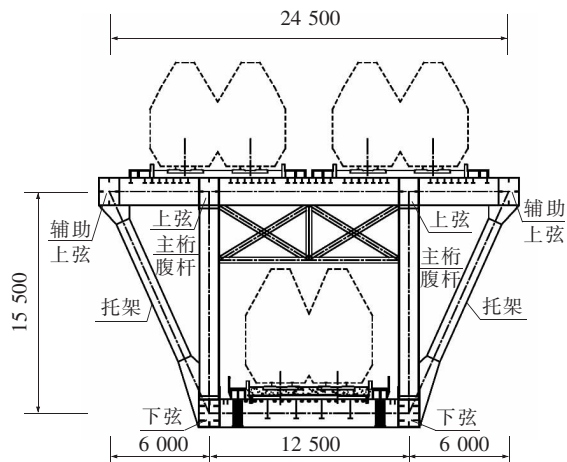


图4 两片主桁外设托架断面方案(单位:mm)

方案三为两片主桁,倒梯形断面(斜桁)方案,主桁上弦中心宽度为24.08 m,主桁下弦中心宽度为14.5 m,桁高14.8 m。上层桥面体系采用纵横梁正交异性桥面板体系,下层桥面采用密横梁正交异性钢桥面板,如图5所示。

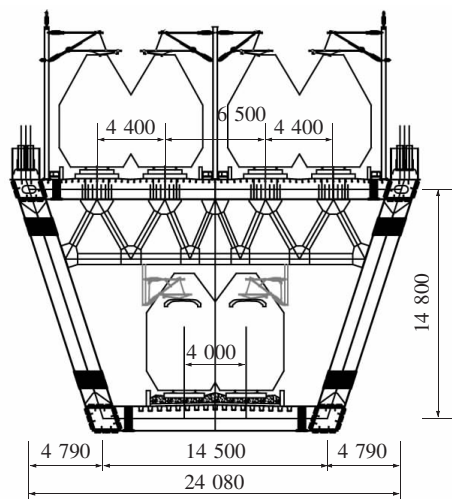


图5 两片主桁倒梯形断面(斜桁)方案(单位:mm)

方案四为两片主桁矩形断面(正桁)方案,主桁宽度24.5 m,主桁高度15.2 m。上层采用纵横梁正交异性钢桥面板,下层桥面采用纵横梁体+混凝土道砟槽板系,设置斜向吊杆和竖向吊杆缩短下层横梁的承载跨度,如图6所示。

5 方案对比

三片主桁方案将三条铁路划分为完全独立的系

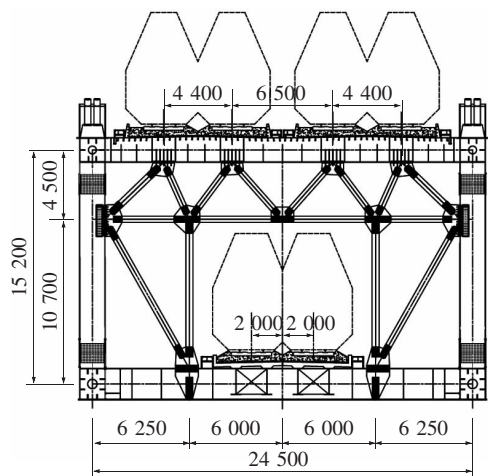


图6 两片主桁矩形断面(正桁)方案(单位:mm)

统,运营和检修的相互干扰是最小的。该方案主桁宽度最宽,中桁和边桁受力分配也不均匀,下层桥面货车双线需要将并行双线的线间距拉开至9.1 m。该方案的用钢量将达到47 t/m。

两片主桁外设托架断面方案采用正交异性钢桥面板,拉索竖向力的传递途径与芜湖长江大桥是一致的,

而水平力的传递则主要依靠桥面板的剪切以及辅助弦的压缩传递。该方案主桁宽度是最小的,但是需要设置辅助弦,弦杆总的数量与三片主桁的弦杆数量相同。托架与主桁下弦的连接节点以及托架与拉索锚固的连接节点的构造处理较为复杂。该方案的用钢量将达到45.5 t/m。

两片主桁倒梯形断面(斜桁)方案采用两片主桁,采用双主桁避免了采用三主桁结构的内力分配复杂的问题,桁式断面简洁紧凑,上下层桥面均采用正交异性钢桥面板,主桁中心平均桁宽仅仅为19.29 m,主桁弦杆和斜向腹杆为平行四边形,杆件制造、安装、养护维修难度大。该方案的用钢量约42.6 t/m。

两片主桁矩形断面(正桁)方案采用了矩形断面,采用双主桁避免了采用三主桁结构的内力分配复杂的问题。该方案上层桥面采用正交异性钢桥面板,下层桥面采用纵横梁+混凝土道砟槽板。下层桥面匹配每六个节间设置的制动撑体系从而确保了下层桥面纵梁连续,更好地保证了行车的平稳性和舒适性。该方案用钢量约43.3 t/m,经济性较好。

4个方案的详细对比如表1所示。

表1 桥面布置方案比选表

方案类型	主要优点	主要缺点	可行性	经济性	结论
三片主桁倒梯形断面(斜桁)方案	三条铁路划分为完全独立的系统,结构横向刚度大	桁宽较宽,中桁和边桁受力分配也不均匀,必须配套3索面,边桁杆件为平行四边形,制造安装难度大	可行	差	不推荐
两片主桁外设托架断面方案	两片主桁,受力明确,主桁宽度是最小的,制造、安装、养护维修容易	托架与主桁下弦以及辅助上弦之间连接节点构造较为复杂,受力上需要利用正交异性桥面板传递拉索水平分力,力的传递不够简洁。上弦主桁位于车道附近,增加了桥面横向刚度的不均匀性	可行	差	不推荐
两片主桁倒梯形断面(斜桁)方案	两片主桁,受力明确,桁式断面简洁紧凑,无任何浪费空间	相比正桁方案,制造安装难度较大	可行	优	推荐
两片主桁矩形断面(正桁)方案	两片主桁,受力明确,采用矩形断面,巧妙利用横联体系传递横向力,制造、安装、养护维修容易	相比斜桁方案,横断面不够紧凑,下层桥面设混凝土道砟槽板,二期恒载略有增加	可行	优	推荐

6 正桁与斜桁

由表1可知,两片主桁倒梯形断面(斜桁)方案(以下简称斜桁方案)与两片主桁矩形断面(正桁)方案(以下简称正桁方案)均是技术可行、经济性好的优选方案。两个方案的上层桥面系均采用整体正交异性钢板。对于下层桥面系,两个方案的情况有所区别:

当采用正交异性板整体钢桥面时,斜桁方案减小

了下层桥面宽度,避免了不必要的空间浪费,能节省钢材、降低工程造价,是合理的。正桁方案对应的非列车通行范围的空间较大,由于传力的需要,该范围的钢桥面板也必须连续,使下层桥面的构造布置需要的钢材用量显著增多,经济性较差,因此正交异性钢桥面板体系并不适合正桁方案。

当采用纵、横梁结构时,采用斜桁布置时,由于下层横梁跨度小,平联斜杆与弦杆间的夹角小,使其桥面

系结构和下平联结构受主桁共同作用的影响明显,引起共同作用力很大,使得这些部位构件设计困难。如通过设置伸缩纵梁释放桥面系结构的共同作用力,需设置较多的制动撑架和伸缩纵梁,有可能对行车的舒适性和安全性带来一定影响。鉴于此,纵、横梁结构体系并不适合斜桁方案。

对于正桁方案,下层“多余”的宽度范围内并没有满铺构造物,纵、横梁结构本身较整体钢桥面能够节省部分钢材,经济性较好,下层宽度增加后横梁面外计算长度增大,面外线刚度小,主桁和桥面系的共同作用产生的弯矩值不大,通过设置制动撑架可使得纵梁连续,从而确保行车的舒适性。在辅助墩处,正桁方案为压重布置提供了较为方便的空间。

斜桁方案下层宜设置成密横梁钢桥面板体系,这使得下弦杆需支承节间横梁并传递节间荷载至节点,从而在下弦杆件中产生主力弯矩。对于斜桁的布置,由于横梁与主桁连接刚性产生的腹杆面外弯矩较采用“N”撑构造的正桁方案要更大。

正桁方案采用了纵横梁体系,需要另外设混凝土道砟槽板,二期恒载将比斜桁方案大,正桁方案为了克服共同作用的问题,将在每六个节间设置制动撑架,桥面纵梁连续后,成为压弯构件,一定程度参与主桁受力,下弦杆截面比斜桁方案要大。

斜向腹杆的杆件长度较正桁腹杆的杆件长度长,斜桁方案的腹杆工程量较正桁方案的腹杆有一定的增加。大桥为斜拉桥结构,主桁钢桁梁下层桥面构造的不同,对结构的总体受力影响不大,下层桥面采用正交异性整体钢桥面板的斜桁倒梯形横断面与采用纵、横梁结构的直主桁断面各具特点,二者对比如表 2 所示。

正桁方案的二期恒载为 565 kN/m,比斜桁方案大约 20 kN/m。正桁方案桥梁结构的横向位移与跨度的比值为 1/5 639,斜桁方案为 1/4 786,均满足小于 1/4 000 的要求。

表 2 主桁断面比较表

比较项目	“上 4 下 2” 正桁方案	“上 4 下 2” 斜桁方案
下层桥面构造	纵、横梁体系	钢桥面板
受力特点	由于制动撑架的作用,纵梁参与主桁受力	钢桥面板参与主桁受力
横断面空间	断面设吊杆,具有管线预留通过空间	空间紧凑、简洁
对辅助墩区压重的适宜性	压重结构及压重物易于布置	压重结构布置相对较难

续表 2 主桁断面比较表

比较项目	“上 4 下 2” 正桁方案	“上 4 下 2” 斜桁方案
下弦杆受力	轴力 + 次弯矩	轴力 + 主力弯矩 + 次弯矩
腹杆受力	“N”吊杆布置改善了腹杆面外受力,减小了腹杆面外弯矩量值,但是增加了竖向吊杆和斜向吊杆	横联横向框架作用引起的腹杆面外弯矩较大
工厂制造	构件为矩形断面,制造工艺简单	构件为平行四边形,工艺相对复杂
现场安装	难度一般	难度较大

正桁方案结构竖向挠度与跨度之比为 1/681,斜桁方案为 1/675,二者差别甚微。通过初步设计估算了二者的用钢量,正桁方案为 43.3 t/m,斜桁方案为 42.6 t/m。正桁和斜桁方案的主梁透视图分别如图 7、图 8 所示。



图 7 正桁方案主梁透视图



图 8 斜桁方案主梁透视图

正桁与斜桁两个方案的竖向刚度相差甚微,而斜桁方案横向刚度略小于正桁方案。由于增加了混凝土道砟槽板,二期恒载增加约 20 kN/m,正桁方案的用钢量略大,但是正桁方案安装制造简单,制造安装的单价低,横向刚度大;综合用钢量以及制造安装单价考虑,两个方案在经济性上几乎没有差别。从制造、安装精度及养护维修考虑,采用矩形断面主桁方案更优。

7 结 论

六线铁路桥梁的桥面采用“上 4 下 2”分层布置,适应主桥两端的线路条件,对应的主桥断面方案集约、用钢量省、桥梁占地少、引桥工程简洁,结构安全可靠,方案经济合理。

三片主桁倒梯形断面(斜桁),用钢量高,经济性差,且制作安装难度大,不宜采用;两片主桁外设托架断面方案,托架与主桁以及上层桥面的连接节点构造复杂,桥面板必须承受较大的剪切力,用钢量次之,也不合理的。

两片主桁正桁方案与两片主桁斜桁方案均是可行的,两方案的经济性差别甚微。正桁方案的构件由矩形组成,制作安装难度小,结构养护维修容易,为推荐方案。

新白沙沱长江六线特大桥是世界上首座六线双层大跨度铁路斜拉桥,建成后将成为我国铁路桥梁发展史上的一座里程碑。大桥 2013 年 1 月开工建设,预计将于 2016 年 8 月主桥合龙。

参考文献:

- [1] 陈克坚. 重庆至利川铁路韩家沱长江大桥总体设计[J]. 桥梁建设, 2012(6): 63-67.
Chen Kejian. Overall Design of Hanjiatuo Changjiang River Bridge on Chongqing - Lichuan Railway [J]. Bridge Construction, 2012(6): 63-67.

- [2] 姜天华, 李元松, 孙杰. 天兴洲大桥南汊主桥主桁断面型

式的研究[J]. 武汉化工学院学报, 2006(4): 54-56.

Jiang Tianhua, Li Yuansong, Sun Jie. Research on Types of the Main Truss of Tianxingzhou Bridge [J]. Journal of Wuhan Institute of Chemical Technology, 2006(4): 54-56.

- [3] 冯沛, 李凤芹. 济南黄河公铁两用桥主桥结构型式研究[J]. 铁道工程学报, 2010(8): 67-72.

Feng Pei, Li Fengqin. Study on Structure Type of Main Span of Jinan Yellow River Highway - Railway Combined Bridge [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2010(8): 67-72.

- [4] 李卫华, 杨光武, 徐伟. 黄冈公铁两用长江大桥主跨 567 m 钢桁梁斜拉桥设计[J]. 桥梁建设, 2013(2): 10-15.

Li Weihua, Yang Guangwu, Xu Wei. Design of Steel Truss Girder Cable - Stayed Bridge of 567 m Main Span of Huanggang Changjiang River Rail - cum - Road Bridge [J]. Bridge Construction, 2013(2): 10-15.

- [5] 周孟波, 刘自明, 王邦楣. 斜拉桥手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

Zhou Mengbo, Liu Ziming, Wang Bangmei. Cable - stayed Bridge Handbook [M]. Beijing: China Communications Press, 2004.

- [6] 黄纳新. 金海特大公铁两用斜拉桥桥式方案研究[J]. 铁道勘察, 2013(1): 95-98.

Huang Naxin. The Scheme Research of Jinghai Super Large Highway - Railway Cable - Stayed Bridge [J]. Railway Investigation and Surveying, 2013(1): 95-98.

(编辑 赵立兰)

(上接第 59 页 From P. 59)

- [6] JGJ 94—2008, 建筑桩基技术规范[S].
JGJ 94—2008, Technical Code for Building Pile Foundations[S].

- [7] GB 50007—2011, 建筑地基基础设计规范[S].
GB 50007—2011, Code for Design of Building Foundation[S].

- [8] JGJ 79—2012, 建筑地基处理技术规范[S].
JGJ 79—2012, Technical Code for Ground Treatment of Building [S].

- [9] TB 10106—2010, 铁路工程地基处理技术规程[S].
TB 10106—2010, Technical Code for Ground Treatment of Railway Engineering[S].

- [10] TB 10621—2009, 高速铁路设计规范(试行)[S].
TB 10621—2009, Code for Design of High Speed Railway[S].

- [11] 铁建设[2005]140 号, 新建时速 200~250 公里客运专线铁路设计暂行规定(上、下)[S].

Railway Construction [2005] No. 140. Interim Design Provisions for a new 200 km/h ~ 250 km/h Passenger Dedicated Railway[S].

- [12] 铁建设函[2005]285 号, 新建时速 200 公里客货共线铁路设计暂行规定[S].

Railway Construction Letter [2005] No. 285, Interim Design Provisions for a new 200 km/h Mixed Passenger and Freight Railway[S].

- [13] TB 10001—2005, 铁路路基设计规范[S].
TB 10001—2005, Code for Design on Subgrade of Railway[S].

(编辑 曹淑荣)