

文章编号: 1006—2106(2009)08—0018—05

中德铁路轨道技术标准对比分析^{*}

颜 华 韩义涛^{**}

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要: 研究目的: 德国在铁路轨道设计施工及运营管理方面有较为先进的经验和完善的技术标准。而我国正处在客运专线和高速铁路建设初期, 对中德两国铁路轨道技术标准进行对比分析, 取长补短具有一定的现实意义, 对完善我国铁路的轨道技术标准可起到借鉴作用。

研究结论: 通过分析对比表明: 中德两国铁路轨道技术标准均是基于本国国情、路情及工程实践而制定和颁布的, 虽存在一定的差异, 但德国的铁路轨道技术标准较为完善, 可为完善我国的铁路轨道技术标准提供借鉴。

关键词: 中国; 德国; 轨道; 技术标准; 对比分析

中图分类号: U213.2 **文献标识码:** A

Comparative Analysis of the Railway Track Technical Standards between China and Germany

YAN—Hua; HAN Yi—tao

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

Abstract: Research purposes: Germany has the advanced experience and perfect technical standards for the railway track design, construction and operations management. At present, China is in the early stage of construction of passenger dedicated line and high-speed railway. So comparative analysis of the railway track technical standards between China and Germany has significances to learn Germany strong points and closing the gap.

Research conclusions: The results of the comparative analysis show that the railway track technical standards of China and Germany are worked out and issued on the basis of the national conditions, railway conditions and engineering practice, although there are some differences. As the Germany railway track technical standards are rather perfect, China can learn from it for perfecting its own standards.

Key words: China; Germany; railway track; technical standards; comparative analysis

1 中德铁路轨道设计标准概况

1.1 中国铁路轨道设计技术标准发展历程

长期以来, 我国的铁路货运占主导地位, 列车在客货共线运营的情况下, 速度处于 120 km/h 以下, 轨道专业设计标准也一直包含在铁路线路的标准中。1950 年铁道部颁布的《铁路技术管理规范》、相关技术文件和

1999 年颁布的《铁路线路设计规范》(GB 50090—99)、《铁路车站及枢纽设计规范》(GB 50091—99), 轨道设计规范都包含在线路规范中, 且形成了正线轨道和站线轨道设计标准, 与此同时轨道工程施工及验收标准、结构部件设计和制造技术条件等也形成了较为完整的技术体系。但上述轨道设计标准只适用于时速 140 km 以下的铁路线路。

^{*} 收稿日期: 2009—06—03

^{**} 作者简介: 颜华, 1963 年出生, 女, 教授级高级工程师, 中铁二院工程集团有限责任公司土建二院副总工程师; 韩义涛, 1980 年出生, 男, 助理工程师。

随着列车速度的提高及铁路客货分线, 及以客运为主客货共线铁路建设的起步, 轨道专业技术标准在铁路线路设计规范中包含的内容日趋完善, 并于 2005 年正式发布实施《铁路轨道设计规范》, 该规范涵盖了正线轨道和站线轨道标准, 主要有基本规定、轨道类型、钢轨及配件、轨枕及扣件、有砟道床、无砟道床、无缝线路等内容, 适用于 160 km/h 以下的客货共线标准轨距铁路线路。

为适应秦沈客运专线和其它客运专线、客货共线铁路建设, 铁道部颁布了《新建时速 $200\sim 250\text{ km}$ 客运专线铁路设计暂行规定》和《新建时速 200 km 客货共线铁路设计暂行规定》。随着京沪高速铁路的建设, 又颁布了《新建时速 $300\sim 350$ 公里客运专线铁路设计暂行规定》, 轨道设计规范均单独成章列于其中。

其后, 为了指导无砟轨道铁路的设计, 又颁布了《客运专线无砟轨道铁路设计指南》, 该设计指南适用于 $200\sim 350\text{ km/h}$ 的客运专线无砟轨道的设计。而高速铁路设计规范也在编制中。

总体而言, 我国轨道专业的设计标准是随着铁路速度和等级的提高, 逐步完善并形成一整套体系, 指导铁路轨道的设计。

1.2 德国铁路轨道专业设计技术标准

德国作为一个铁路轨道交通较为发达的国家, 轨道设计施工和养护运营都有一套较为完善的标准、规范、规则供设计施工养护参照执行。归纳起来主要有 R11820 标准轨距铁路上部结构设计规范, 用于无砟轨道设计的 AKF₈₄ 轨道工程技术要求 (第 4 版) 及与混凝土结构设计相关的规范, 以及用于指导德国轨道桥梁相互作用计算的 DN101 技术报告。

2 中德铁路轨道专业主要设计标准对比分析

中德两国轨道技术标准包括的内容较多, 且两国的标准编制体系也不尽相同, 本文重点从以下几个主要方面, 对两国高速铁路的有关标准及指标进行对比分析研究。

2.1 基本规定

2.1.1 钢轨

德国钢轨采用欧洲标准, 高速铁路采用的 UIC60 型钢轨与我国采用的 CHN60 型钢轨比较, 几何参数上略有差别, 其截面特性相差很小, 在相同的条件下, CHN60 型钢轨抗弯能力略强于 UIC60 型钢轨。动力仿真计算表明: CHN60 型和 UIC60 E1 型钢轨与欧洲车轮踏面 S1002、中国磨耗型车轮踏面和锥形踏面匹配时, 在高速 ($V\geq 250\text{ km/h}$)、中速 (200 km/h)、低速

(160 km/h) 运行情况下的安全性、舒适性及磨耗方面的影响基本接近。

由于钢轨断面几何参数的不同, 2 种钢轨扣件扣压轨底高度相差近 1 mm , 这样我国目前使用的扣件弹条是不适合 UIC60 型钢轨的, 两者轨底坡不同也使得中国的混凝土枕和扣件不能配套使用 UIC60 型钢轨。考虑到与既有线的兼容以及钢轨生产、管理、维修使用方面的方便, 我国高速铁路采用 CHN60 型钢轨。

为了适应高速铁路高平顺性、高可靠性的要求, 我国用于客运专线的钢轨在钢水提炼、钢轨轧制、冷却和校直等生产环节引入了先进生产工艺和技术, 在钢轨质量检测 and 几何尺寸允许偏差, 平直度检查控制方面更加严格, 与国外标准基本接近。

2.1.2 轨距

轨距为两股钢轨头部内侧与轨道中线相垂直的距离, 德国有砟轨道基础尺寸为 1435 mm , 且不小于 1430 mm , 干线轨距不大于 1465 mm , 无砟轨道标准轨距为 $1436\pm 2\text{ mm}$ 。

我国铁路的标准轨距为 1435 mm , 最小轨距 1433 mm , 最大轨距 1456 mm , 无砟轨道标准轨距为 $1435\pm 2\text{ mm}$ 。标准轨距测量为钢轨头部内侧面下 16 mm 处量取。德国轨距测量为钢轨头部内侧面下 14 mm 处量取, 如果按相同位置作为量取起点则与我国轨距相差约 0.4 mm 。

2.1.3 轨底坡

轨底坡是影响轮轨接触的重要参数, 轨底坡与轮缘踏面坡度相匹配, 才能使轮轨受力更趋合理, 同时对减少钢轨的磨耗和养护维修更有利。我国铁路目前采用的轨底坡基本为 $1:40$, 而德国的轨底坡为 $1:20$ 和 $1:40$ 两种, 其普速铁路采用的是 $1:40$, 而泛欧高速线采用的是 $1:20$ 的轨底坡。究其原因, 一方面是两国采用的轨道系统有差异, 另一方面采用的车轮踏面也有差异。轨底坡的设置受轮轨廓型、行车平稳性、轨道系统、线路要素的影响, 其设置着力点在于轮轨受力的合理性。

$1:40$ 的轨底坡是我国基于自身路情和多年运营经验的总结, 满足了我国既有铁路的轮轨关系、行车安全、轨道系统的要求, 实践证明在原有技术条件下, 采用 $1:40$ 的轨底坡是基本合理的。但高速铁路建设中, 运营条件发生了根本性的变化, 如动车组技术条件、车轮廓型、轨道系统、运营平稳性要求等方面都有很大变化。与轨底坡设置相关的 3 个主要方面也发生了变化, 沿用中、低速的 $1:40$ 轨底坡是否合理, 需要进一步深入研究和实践验证。

2 2 有砟轨道技术标准对比分析

2 2 1 扣件

我国Ⅱ型混凝土枕采用弹条Ⅱ或Ⅲ型扣件,Ⅱ型混凝土枕采用弹条Ⅰ或Ⅱ型扣件,时速大于200 km的客运专线可采用Ⅳ型或Ⅴ型扣件。德国的扣件型式较多,分别用于不同标准的铁路,其中K型扣板式扣件广泛用于木枕和混凝土枕,8型弹条扣件用于木枕和混凝土枕,W型弹条扣件用于B70S混凝土枕和传统长枕Rheda无砟轨道,HM型弹条扣件用于混凝土枕,Vossloh FF300扣件广泛用于ICE高速线的有砟轨道上。

2 2 2 道床

道床是轨道的重要组成部分,是轨道框架的基础,对道床标准的比较主要从道床厚度、砟肩、道床纵横向力等方面进行对比。

足够的道床厚度可降低路基面应力并提供轨道必需的弹性,增加砟肩宽度、堆高砟肩,是提高轨道横向抗力的有效措施。道床的力学指标,尤其是道床纵横向阻力,对轨道的强度、稳定性乃至对路基的强度及稳定性均起着重要作用。中德路基地段重型轨道道床厚度、宽度及道床主要状态参数指标如表1~表3所示。

表 1 路基地段重型轨道道床厚度指标比较表 (单位: m)

中国道床厚度 / m	$V \leq 120 \text{ km/h}$	$120 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$	$V = 200 \text{ km/h}$	$200 \sim 350 \text{ km/h}$
	50(双层)	50(双层)、35.30(单层)	35.30(单层)	35
德国道床厚度 / m	$V \leq 200 \text{ km/h}$			$V > 200 \text{ km/h}$
	30			35

表 2 高速和提速线路轨道的砟肩宽度指标比较表 (单位: m)

砟肩宽度 / m	$V \leq 160 \text{ km/h}$			$V = 200 \text{ km/h}$		$V > 200 \text{ km/h}$	
	一般地段	特殊地段	砟肩堆高	一般地段	砟肩堆高	一般地段	砟肩堆高
中国	40	50	15	45	15	50	15
德国	40	50	无	50	无	50	无

表 3 道床主要状态参数指标比较表

指标		$V \leq 120 \text{ km/h}$	160 km/h	200 km/h	$200 \sim 250 \text{ km/h}$	$300 \sim 350 \text{ km/h}$
道床横向阻力	中国(kN/枕)	9	10	10	10	12
	德国(kN/m)	—	—	15	15	—
道床纵向阻力	中国(kN/枕)	10	12	12	12	14
	德国(kN/m)	—	—	14	14	—

由表1~表3对比可知,中德两国铁路的碎石道床面砟层厚度基本一致。但在路基保护层(即底砟层)的设计上,我国采用路基面的允许承载能力来控制,德国则利用 E_2 与保护层厚度的关系图确定。这表明我国在道床厚度的设计上关注的是路基面的应力,而德国关注的是道床变形模量,故用一个能综合反映承载能力、刚度和变形指标的,更能反映高速铁路的特征。

此外,为了增加道床横向阻力,我国规定无缝线路道床两侧均应堆高15 mm,道床纵横向阻力值要求高于德国。我国高速铁路道床形式与尺寸是通过大秦线、广深线的现场试验和综合考虑了法、日等国有砟轨道的结构型式后确定的,对每一个参数的选取都经过了现场实测和理论分析,实践证明是满足我国路情需求的。

2 3 无砟轨道技术标准对比分析

2 3 1 结构型式

德国无砟轨道经历了30多年的发展,其结构型式

种类繁多,技术上也各有特点。其中运用最多的是Rheda型无砟轨道,旭普林及博格板式轨道在高速线上也得到了应用。

我国用于客运专线的无砟轨道研究起步较晚,在前期整体道床研究试验的基础上,参考国外高速铁路成熟的无砟轨道结构,已确定的客运专线无砟轨道结构主要有Ⅰ型板式、Ⅱ型板式、Ⅰ型双块式几种结构型式。

中德两国无砟轨道的设计寿命标准均为60年。

2 3 2 设计荷载

设计荷载是设计的重要参数,德国进行轨道设计时,轨道垂向荷载选用 $0.8 \times UC71$ 活载,1.5倍的动载系数和1.2倍的曲线荷载冲击系数,单点加载225 kN,而我国则根据运营条件确定动载系数,客运专线设计静轮载85 kN,动力系数3.0,客货共线铁路设计静轮载125 kN,动力系数2.5。横向荷载德国按横向摇摆力 $F=100 \text{ kN}$ 分布于4.0 m长度范围内计算,另考虑风荷载、曲线离心力的作用影响;而我国的横向荷载为

设计静轮载的 0.8 倍。纵向荷载德国按制动、启动荷载及长钢轨纵向荷载考虑, 而我国按扣件最大纵向阻力考虑。

2.3.3 扣件

扣件是重要的轨道部件, 可提供弹性、几何尺寸调整和纵横向阻力等。德国高速铁路采用的无砟轨道扣件是 Vossloh300 型扣件, 为不分开式扣件, 双层弹性结构, 扣件垫板静刚度为 $(22.5 \pm 2.5) \text{ kN/mm}$, 高程调整量一般为 $^{+26}_{-4} \text{ mm}$, 轨距调整量为 $\pm 10 \text{ mm}$, 扣件防爬力为 9 kN/m 。德国道岔区扣件为分开式扣件, 弹性基板不是单一弹性材料层, 而是由金属结构与橡胶硫化为一体的结构物, 扣件节点刚度为 17.5 kN/mm 。

我国为适应客运专线和高速铁路的发展, 对无砟轨道扣件也进行了研究和试验, 扣件也采用双层弹性结构, 调高和调距能力达到和优于德国扣件。目前用于客运专线的 WJ-7 型扣件为分开式扣件, 高低调整量 30 mm , 轨距调整量 $\pm 12 \text{ mm}$, WJ-8 型扣件为不分开式扣件, 高低调整量 30 mm , 轨距调整量 $\pm 10 \text{ mm}$, 弹性垫板静刚度为 $20 \sim 30 \text{ kN/mm}$, 用于客货共线铁路时弹性垫板静刚度为 $30 \sim 40 \text{ kN/mm}$, 客运专线道岔扣件垫板采用硫化结构, 刚度按 $20 \sim 30 \text{ kN/mm}$ 设计。我国扣件设计参数与德国标准相接近。

此外, 由于信号传输方式的不同, 我国扣件的绝缘性能要求高于德国。

2.3.4 无砟轨道混凝土结构

无砟轨道的一个重要特点是其道床本身是混凝土结构。德国的无砟轨道技术规范明确规定了混凝土配筋率、混凝土强度等级、混凝土底座裂纹宽度限值、混凝土承载层弹性模量等。规定混凝土道床板配筋率为混凝土横断面的 $0.8\% \sim 0.9\%$ 。我国客运专线无砟轨道相关规范中没有相应的规定, 只在《混凝土结构设计规范》中对钢筋混凝土结构构件纵向受力钢筋的最小配筋率作了规定: 受拉构件最小配筋率不小于 0.6% 。无砟轨道再创新的研究成果是基于裂缝控制来计算结果, 路基上双块式无砟轨道道床板纵向配筋率为 0.9% , 桥上道床板纵向配筋率为 0.95% , 桥上底座纵向配筋率为 0.46% 。

德国无砟轨道规范中规定: 道床板裂纹宽度不大于 0.5 mm (上表面), 且裂纹位置不应在钢轨扣件的范围内。我国仅在《混凝土结构设计规范》中对结构构件的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值做了规定: 环境类别为一时, 最大裂缝宽度为 0.3 mm , 环境类别为二或三时, 最大裂缝宽度为 0.2 mm 。但此规定只是针对普通钢筋混凝土结构构件, 混凝土道床板的裂缝限值应另行规定。根据《铁路混凝土结构耐久性设计

暂行规定》再创新研究中提出道床板裂缝宽度允许值上下表面分别为 0.4 mm 、 0.27 mm , 考虑到桥上道床板防水措施要求更高, 其裂缝宽度上下表面分别以 0.3 mm 、 0.2 mm 控制。

为此建议, 在计算分析和通过试验的前提下, 制定相关规范能给出无砟轨道道床板配筋率、最大裂缝宽度限值等参数, 以便工程设计中采用。

2.3.5 无砟轨道绝缘要求

我国客运专线采用 ZPW-2000 谐振式轨道电路, 以钢轨作为传输通道。采用无砟轨道后, 由于道床内钢筋网与轨道电路耦合产生感应电流, 使得道床电阻、钢轨阻抗等轨道电路基本参数发生改变, 轨道电路的传输长度缩短。要解决此类问题, 除对轨道电路制式进行优化设计外, 还需从提高道床漏泄电阻和改善轨道电路钢轨阻抗参数 2 个方面着手。

(1) 提高扣件系统绝缘性能, 使两轨间绝缘电阻大于 $3 \Omega \cdot \text{km}$ 。

(2) 对无砟轨道内的纵横向钢筋采取必要的绝缘处理措施, 如采用绝缘涂层钢筋, 在纵横向钢筋节点间加装绝缘套管等, 消除钢筋骨架导电网孔, 提高轨道电路的钢轨电感量, 降低钢轨的有效电阻。

对无砟轨道进行绝缘处理也是我国无砟轨道有别于德国之处。

2.3.6 无砟轨道与有砟轨道过渡段设计原则

为保证轨道刚度的纵向均匀性, 中德两国在不同轨道结构衔接处均设置过渡段, 并要求轨道过渡段与下部基础之间的过渡段应避免设置在同一位置。在过渡段根据相邻轨道轨下基础刚度差, 通过增大一侧轨道刚度和降低另一侧轨道刚度的方法进行过渡。

中德两国均要求在过渡段设置辅助轨以增大轨排的抗弯刚度, 同时在过渡点朝有砟轨道方向设置一块长 15 m 的钢筋混凝土搭板以增大基础刚度。此外, 德国要求在有砟轨道过渡段 45 m 范围内对道砟进行粘结, 对过渡段较长的有砟轨道按全粘结、部分粘结 I (粘结枕下及砟肩)、部分粘结 II (仅粘结枕下道砟) 3 种不同方式进行粘结处理。我国在客运专线轨道过渡段设计中也借鉴了这种过渡处理方式。

2.4 轨道铺设标准

轨道结构的铺设质量是优化轮轨效应的关键, 也是确保行车安全和旅客舒适度的重要措施。高标准的设计施工和高质量的管理是高速铁路的重要技术特点, 表 4 和表 5 示出了中德两国高速铁路的静态铺设标准。

通过对比可知, 德国拟定了较严格的施工平顺度控制值, 并配套有专门的施工措施加以保证; 我国在高

速铁路建设实践中也按不同的速度等级和轨道类型制定了不同的铺设精度标准。

(1)德国对高速铁路高低、轨向平顺度除规定了短波不平顺的控制值外,还有长波不平顺控制值。德国规范规定:线路高低、方向的短波不平顺检测使用30 m弦长测量,检验点距离5 m;长波不平顺检测使用300 m弦长测量,检验点距离150 m。我国对高速铁路高低、轨向平顺度都以10 m弦长测量,未考虑长波不平顺的影响。由于铁路速度越高,不平顺影响波长越长,建议增加长波不平顺的检测,以保证轨道几何的平顺性。

表 4 我国高速铁路轨道静态平顺度铺设精度标准

(单位: mm)

指标	测量弦长	V=200 km/h		200 km/h<V≤350 km/h	
		有砟	无砟	有砟	无砟
高低	10	3	2	2	2
轨向	10	3	2	2	2
水平	—	3	2	2	1
扭曲	—	3 (基长 6.25 m)	3 (基长 6.25 m)	2 (基长 6.25 m)	2 (基长 6.25 m)
轨距	—	±2	+1,-2	±2	±1

表 5 德国高速铁路轨道铺设精度标准

(单位: mm)

指标	V>200 km/h	测量弦长/m
高低	2(10)	5(150)
轨向	2(10)	5(150)
水平	±2	—
轨距	±2	—

注: 括号内为长波不平顺检验标准

(2)德国对200 km/h以上的高速铁路未按轨道结构类型划分控制标准。

(3)我国在时速200 km以上无砟轨道上采用了较德国更严格的轨距、水平控制指标。这2项指标的提高,必然带来大量的现场调整工作,其必要性和经济性都需要实践来证明。

随着我国客运专线的建设实践及认识的不断深

入,在开展了大量研究实验工作的基础上,对轨道铺设标准中部分指标的优化和完善工作正在进行中。

3 结论

通过对中德两国铁路轨道技术标准的对比分析,较为系统地掌握了两国轨道技术标准的共性和差异性,对引进消化吸收德国轨道技术有重要意义,对指导我国的铁路轨道设计有借鉴作用。另一方面,通过对比分析可知,我国的轨道技术标准和德国的技术标准存在一定的差异,尤其是我国高速铁路的设计标准还需通过运营实践来验证。在消化吸收国外先进技术的基础上,通过深入的研究和实践,使我国的铁路轨道技术标准更加完善。

参考文献:

[1] TB 10082—2005 铁路轨道设计规范[S].
[2] TB 10413—2003 铁路轨道工程施工质量验收标准[S].
[3] 铁建设[2005] 140号,新建时速200~250 km客运专线铁路设计暂行规定[S].
[4] 铁建设[2007] 47号,新建时速200~250 km客运专线铁路设计暂行规定[S].
[5] 罗林,等. 轮轨系统轨道平顺状态的控制[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.
[6] 铁运[2006] 146号,铁路线路维修规则[S].
[7] 铁道部标准计量研究所. 国外无砟轨道标准及规程汇编[Z]. 北京: 铁道部标准计量研究所, 2005
[8] 赵国堂. 高速铁路无砟轨道结构[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006
[9] 铁建设函[2003] 205号,新建铁路桥上无缝线路设计暂行规定[S].
[10] 弗赖施泰因[德],等. 德国铁路基础设施设计手册[K]. 翻译审核委员会,译. 北京: 中国铁道出版社, 2007.
[11] 铁道部标准计量研究所. 国外高速铁路标准及规范汇编[Z]. 北京: 铁道部标准计量研究所, 1996

(编辑 赵立兰)