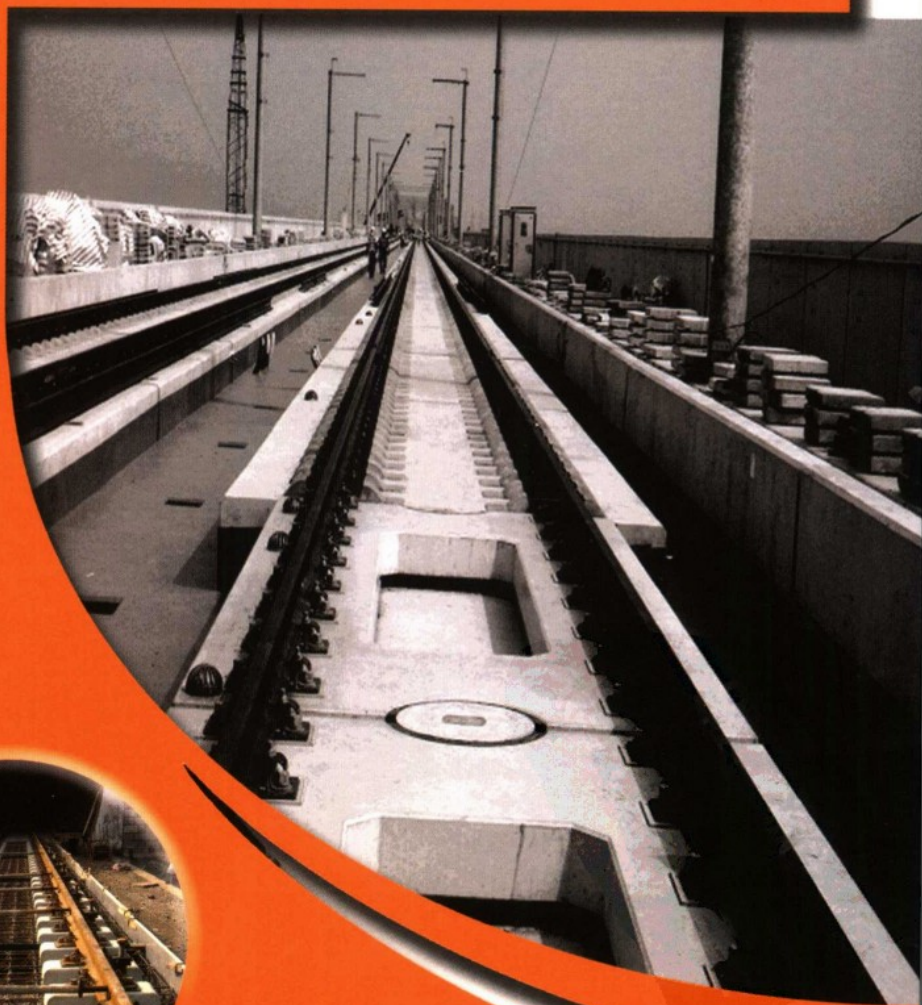




HIGH SPEED RAILWAY BALLASTLESS TRACK STRUCTURE

高速铁路 无碴轨道结构

● 赵国堂 编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

责任编辑 傅希刚

封面设计 马利

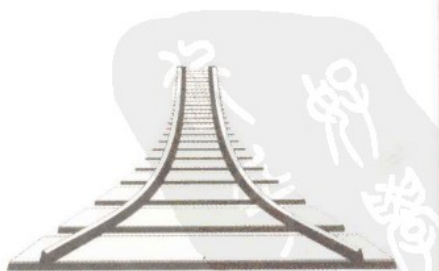
ISBN 7-113-06999-1



9 787113 069995 >

ISBN 7-113-06999-1/TU·833

定 价： 48.00 元



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

地址：北京市宣武区右安门西街8号

邮编：100054

网址：WWW.TDPRESS.COM

铁路科技图书出版基金资助出版

高速铁路无碴轨道结构

赵国堂 编著

中 国 铁 道 出 版 社

2006年·北京

图书在版编目 (CIP)数据

高速铁路无碴轨道结构/赵国堂编著. —北京: 中国铁道出版社, 2006.4

ISBN 7-113-06999-1

I. 高… II. 赵… III. 高速铁路-无碴轨道-结构 IV. U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 027637 号

书 名: 高速铁路无碴轨道结构

作 者: 赵国堂

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

策划编辑: 傅希刚

责任编辑: 傅希刚 编辑部电话: 路(021)73142, 市(010)51873142

封面设计: 马 利

印 刷: 北京市彩桥印刷有限责任公司印刷

开 本: 787mm × 960mm 1/16 印张: 18 字数: 353 千

版 本: 2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 1 ~ 4 000 册

书 号: ISBN 7-113 -06999-1/TU · 833

定 价: 48.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部调换。

联系电话: 市(010)63545969, 路(021)73169

网址: <http://www.tdpress.com>





作者简介

赵国堂，男，1964年出生，安徽淮南人，工学博士，京沪铁路客运专线公司筹备组研究员，北京交通大学兼职教授。长期从事轨道结构、轨道管理、轨道检测技术、数值计算和信息管理系统研究。自2001年以来，致力于高速铁路技术研究，组织编写了《京沪高速铁路轨道部件技术条件》(40册)和《京沪高速铁路无碴轨道设计技术条件》等，主持了无碴轨道结构试验和轨道电路测试等工作。铁道部青年科技拔尖人才，入选国家“百千万人才工程”第一、二层次人选，享受政府特殊津贴。中国铁道学会高级会员、学科带头人。主持和参加科研项目30余项，发表岩土工程和铁道工程方面的论文或著作60余篇(部)。

内容简介

本书系统而全面地阐述了高速铁路无碴轨道结构设计、计算和运用中的关键技术。全书共分七章,前三章讨论有碴轨道对高速铁路的适应性、国外高速铁路无碴轨道应用特点,提出高速铁路无碴轨道结构选型原则及建议;后四章阐述高速铁路钢轨技术及轮轨关系、无碴轨道扣件系统及其部件参数的计算方法、高速铁路无碴轨道扣件选型及主要技术参数的确定、上部结构层的设计计算模型及其合理参数,论述无碴轨道与谐振式轨道电路之间的关系及延长轨道电路传输长度的技术途径和措施。

本书理论性强,工程应用性好,可供从事相关工作的设计人员、研究人员、工程建设人员和大专院校师生学习参考,也可作为无碴轨道技术培训教材及研究生教学用书。

序

高速铁路是土木工程、机械制造、自动控制和信息化等方面高新技术的集成,以其运行速度快、占地少、能耗低、污染小等突出特点成为建设资源节约型、环境友好型社会的大众化交通工具。

自1964年世界第一条高速铁路建成以来,截至去年年底,已开通运营的高速铁路里程已达到6497公里,在建和规划建设的高速铁路上万公里。

建设中国的高速铁路,是我们铁路人孜孜以求的夙愿,又是极具挑战性的伟大事业。实现高速铁路的高速度、高安全性和高舒适性,土建工程中的轨道结构起着重要的基础性作用。我国的高速铁路要与既有线兼容,运量大,天窗时间短,其运输与维修的矛盾更为突出,积极推广应用少维修的无碴轨道具有重要意义。

无碴轨道是以混凝土或沥青砂浆取代散粒道碴道床而组成的轨道结构形式,它具有良好的稳定性、平顺性、耐久性;结构高度低、自重轻,可降低隧道开挖面积,减少桥梁二期恒载;道床整洁美观,可消除列车运行时的道碴飞溅;轨道变形缓慢,可减少养护维修工作量。无碴轨道在日本和德国高速铁路上已获得广泛应用,法国高速铁路也在积极进行相关试验。

但是,无碴轨道的应用是一个系统工程,既需要与移动设备和列车运行控制系统相匹配,还需要与路基、桥梁、隧道等基础工程相适应。并且,轨道结构自身组成的各部分,包括钢轨、扣件和上部结构层也需要相互协调匹配。另外,作为钢筋混凝土工程,施工方法、工程质量也直接影响高速铁路的运行速度和安全。我国的无碴轨道技术研究虽然起步较早,但由于理论基础薄弱、铺设数量少、实际运用考验时间短,目前还没有形成一套系统、成熟的设计、施工和养护维修方法。因此,认真学习借鉴世界发达国家高速铁路建设及运营的经验,研究和掌握其设计、施工技术,是铁路工程技术人员重要而紧迫的任务。

赵国堂同志编写的这本《高速铁路无砟轨道结构》，是一本力求阐述无砟轨道本质的学术著作。作者发挥网络时代的优势，收集、研读了大量国外资料，比较全面地介绍了世界各国无砟轨道结构类型、特点及发展趋势，结合理论和试验研究了高速铁路无砟轨道结构关键技术，内容十分丰富，可供从事无砟轨道结构设计、研究和施工的设计人员、研究人员、工程建设人员和大专院校师生学习参考，也可作为无砟轨道技术培训教材。

目前，我国高速铁路建设的高潮已经开始。作为高速铁路修建技术重要组成部分的无砟轨道技术，得到各级领导和设计、施工人员的高度重视，并广泛推广应用，这为进一步完善无砟轨道技术，形成适合我国国情和路情、具有中国铁路特色的无砟轨道结构技术创造了条件。希望国堂同志继续总结和研究这方面的最新成果，进一步丰富高速铁路无砟轨道技术。

A handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '赵国堂' (Zhao Guotang). The signature is written in a cursive style with a long vertical stroke extending downwards from the right side.

2006年2月28日

前 言

高速铁路的技术核心是高速，它对轨道结构提出了高平顺性和高稳定性的要求。高平顺性是乘坐舒适性的保证，高稳定性是少维修的基础。我国铁路一直面临运力、运能十分紧张的局面，高速铁路作为路网的一部分，运输与维修的矛盾依然存在，因此采用少维修的无碴轨道结构形式对高速铁路具有重要意义。

经过 40 多年的运用和发展，国外高速铁路无碴轨道结构已逐步形成两大技术体系，即日本的柔性充填层板式无碴轨道结构和德国刚性基础整体式无碴轨道结构。两大技术体系基本发展成熟，其标志是：在高速铁路上得到大范围推广应用，具有速度 300 km/h 及其以上的高速铁路实际运营经验；结构统一，形成了标准结构设计；技术经济上具有综合优势。国内无碴轨道结构的研究应用起步也比较早，但由于延续性差、理论基础薄弱、系统集成水平低、工程实践少，目前还没有形成成熟的结构形式。

需要指出的是，由于国内铁路建设和运输条件与国外存在差异，没有一种成熟的结构形式能够完全用“拿来主义”在国内运用。因此，我国高速铁路无碴轨道技术发展的基本思路应当是：认真总结国外高速铁路无碴轨道结构特点，充分分析国内高速铁路设计和运用条件，客观认识国内运用国外高速铁路无碴轨道结构需要开展的工作，选择技术先进、经济合理的无碴轨道结构形式，并研究国外无碴轨道结构参数在国内的适应性，通过优化、试验和工程实践，形成具有中国特色的标准结构形式。

本书按上述思路展开，并将轨道结构界面限定在路基基床表层以上、桥梁桥面混凝土保护层以上、隧道仰拱混凝土层以上。全书共分 7 章，前 3 章介绍了高速铁路概况及无碴轨道类型、特点及高速铁路无碴轨道结构的选型，后 4 章介绍无碴轨道结构关键技术。其中，第 1 章重点讨论有碴轨道对高速的适应性，介绍无碴轨道应用情况；第 2 章分析无碴轨道结构类型及特点；第 3 章分析高速铁路的特点及对轨道结构的系统要求，总结

高速铁路无碴轨道结构应用特点,提出高速铁路无碴轨道结构选型原则及建议;第4章阐述高速铁路钢轨外形尺寸高精度和内部质量高纯净度技术特点,探讨轮轨关系及其影响因素;第5章介绍扣件系统及其部件参数的计算方法,分析国外高速铁路无碴轨道扣件特点,讨论高速铁路无碴轨道扣件类型选择及主要技术参数的确定;第6章介绍上部结构层设计计算模型,分析确定上部结构层合理参数,提出上部结构层的生产制造和施工技术要求;第7章阐述无碴轨道与谐振式轨道之间的关系,以及延长轨道电路传输长度的技术途径和措施。

在开展无碴轨道技术研究过程中,始终得到铁道部蔡庆华教授级高级工程师的关心和指导。在写作本书过程中,铁道部高速办卢祖文教授级高级工程师和鞠家星教授级高级工程师给予了热情鼓励和关心,王麟书教授级高级工程师、郎国平高级工程师和王东明高级工程师给予了大力支持。铁道科学研究院曾树谷研究员是我进入铁道工程专业的启蒙老师,多年来,在工作和生活上都给予了很多关心和帮助,还为写作本书提供了大量资料。在开展无碴轨道研究和写作本书过程中,我与铁道部高速办陈夏新教授级高级工程师、缪柏年高级工程师,铁道科学研究院王澜研究员、林之珉研究员、江成研究员、刘增杰研究员、杨奎芳研究员、申凤鸣研究员、高芒芒副研究员,通号公司设计院李宜生研究员,北京交通大学高亮教授,西南交通大学李成辉教授、王平教授,铁道第三勘察设计院李树德高级工程师、闫红亮高级工程师,铁道第四勘察设计院王玉泽教授级高级工程师、孙立高级工程师,中铁八局集团钱振地教授级高级工程师,中铁二十三局集团田宝华高级工程师和郑州铁路局三佳公司欧阳军先生进行了愉快的合作和探讨,台湾汪植华先生提供了大量资料,德国Bachmann先生赠送了有关书籍,铁道部高速办陈云高级工程师翻译了部分德文资料,铁道科学研究院王红副研究员审阅了全部初稿。在此一并表示感谢。

无碴轨道技术涉及专业多、技术新,写作本书用了近一年的时间,遇到的困难超乎想象。由于水平所限,作者在力求阐明无碴轨道结构的本质时,仍有力不从心之感,书中不当及谬误之处,敬请指正(e-mail:zhaogt@china.com)。

作 者

2005年12月21日于北京

目 录

1 绪 论	1
1.1 高速铁路发展趋势	2
1.2 高速铁路对轨道结构的要求	4
1.2.1 高平顺性要求	6
1.2.2 高稳定性要求	8
1.3 有碴轨道结构对高速铁路的适应性	10
1.3.1 高速铁路有碴轨道结构特点	10
1.3.2 轨道临界速度	12
1.3.3 桥上道床的稳定性	14
1.3.4 有碴轨道维修工作量	15
1.3.5 道碴飞散	16
1.3.6 道碴资源	17
1.3.7 高速铁路有碴轨道结构发展方向	19
1.4 无碴轨道结构应用现状	22
1.4.1 国外无碴轨道结构应用状况	22
1.4.2 国内无碴轨道结构研究与工程实践	25
2 无碴轨道结构形式及其特点	29
2.1 无碴轨道结构组成及其分类	30
2.1.1 轨道刚度及轨道几何状态调整	31
2.1.2 轨道纵横向阻力	32
2.1.3 无碴轨道结构分类	33
2.2 轨枕支承式无碴轨道	34
2.2.1 BTD 型无碴轨道	34
2.2.2 ATD 型无碴轨道	34
2.2.3 GETRAC 型无碴轨道	35
2.2.4 其他轨枕支承式无碴轨道	37
2.2.5 轨枕支承式无碴轨道结构特点	39

2.3	轨枕嵌入式无碴轨道	40
2.3.1	Sonneville 型无碴轨道	41
2.3.2	Stedef 型无碴轨道	41
2.3.3	Sateba S312 型无碴轨道	42
2.3.4	Edilon 型无碴轨道	43
2.4	轨枕埋入式无碴轨道	44
2.4.1	Rheda 型无碴轨道	44
2.4.2	Züblin 型无碴轨道	50
2.4.3	Heitkamp 型无碴轨道	53
2.4.4	轨枕埋入式无碴轨道结构特点	54
2.5	板式无碴轨道	55
2.5.1	新干线板式无碴轨道	55
2.5.2	Bögl 板式无碴轨道	64
2.5.3	其他板式无碴轨道	67
2.5.4	板式无碴轨道结构特点	68
2.6	无轨枕现浇道床板无碴轨道	70
2.6.1	PACT 型无碴轨道	71
2.6.2	DFST 型无碴轨道	71
2.6.3	Edilon 型钢轨埋入式无碴轨道	71
2.6.4	Balfour Beatty 型钢轨埋入式无碴轨道	72
2.7	无碴轨道结构与有碴轨道结构的比较	74
2.7.1	无碴轨道结构优点	74
2.7.2	无碴轨道结构存在的问题	74
3	高速铁路无碴轨道结构形式	77
3.1	高速铁路线路平纵断面的特点	78
3.1.1	高速铁路线路平纵断面参数	78
3.1.2	欠超高	79
3.1.3	最大坡度	79
3.2	高速铁路轨道荷载特点	80
3.2.1	轨道垂向荷载	80
3.2.2	轨道横向荷载	83
3.2.3	轨道纵向荷载	84
3.3	高速铁路对轨道结构的系统要求	85
3.3.1	轨道结构的设计方法	85
3.3.2	轨道电路要求	85
3.3.3	电气化要求	88



3.3.4	基础工程要求	90
3.3.5	其他要求	95
3.4	高速铁路无碴轨道结构应用特点	95
3.4.1	无碴轨道结构在高速铁路上的应用	95
3.4.2	日本新干线无碴轨道	96
3.4.3	德国高速铁路无碴轨道	97
3.4.4	其他高速铁路无碴轨道	97
3.5	高速铁路无碴轨道结构形式的选择	98
3.5.1	无碴轨道结构选型原则	98
3.5.2	高速铁路无碴轨道结构形式选择	99
3.5.3	应用既有无碴轨道结构面临的课题	102
4	高速铁路钢轨	105
4.1	高速铁路钢轨主要伤损形式	106
4.1.1	轨头龟裂(head checks)	106
4.1.2	压溃(squats)	106
4.1.3	蜂窝状裂纹(belgrospis)	106
4.1.4	尖啸型波磨(roaring rail corrugations)	106
4.1.5	焊缝伤损	107
4.2	高速铁路对钢轨的要求	107
4.3	钢轨外形及其尺寸	108
4.3.1	钢轨断面	108
4.3.2	定尺长度	110
4.3.3	几何尺寸	111
4.3.4	平直度	111
4.3.5	表面质量	112
4.4	钢种及钢轨内在质量	113
4.4.1	钢种	113
4.4.2	钢质纯净度	117
4.4.3	抗断裂性能	117
4.4.4	轨底残余应力	118
4.5	等效锥度	118
4.5.1	等效锥度概念	119
4.5.2	钢轨与等效锥度	120
4.5.3	影响等效锥度的其它因素	121
4.6	高速铁路钢轨生产	128
4.6.1	高速铁路对钢轨生产的要求	128



4.6.2	高速铁路高纯净度钢轨钢的冶炼	128
4.6.3	高速铁路高精度钢轨的制造	130
5	无碴轨道扣件	131
5.1	扣件类型	132
5.2	无碴轨道对扣件的要求	133
5.2.1	轨道结构对扣件的一般要求	133
5.2.2	无碴轨道对扣件的要求	134
5.3	扣件系统参数计算方法	135
5.3.1	钢轨垂向挠曲	135
5.3.2	钢轨横向移动和转动	139
5.4	扣件主要部件参数计算方法	142
5.4.1	弹性扣压件	142
5.4.2	弹性垫层	144
5.4.3	紧固螺栓	147
5.5	高速铁路无碴轨道扣件类型及特点	150
5.5.1	日本无碴轨道扣件	150
5.5.2	德国无碴轨道扣件	154
5.5.3	Pandrol Fastclip 型扣件	157
5.5.4	国内无碴轨道试验段用扣件	159
5.5.5	无碴轨道扣件结构特点	160
5.6	高速铁路无碴轨道扣件形式的选择	162
5.6.1	扣压件形式	162
5.6.2	弹性垫层形式	163
5.6.3	扣压件紧固方式	164
5.7	高速铁路无碴轨道扣件主要技术参数	165
5.7.1	扣件刚度	166
5.7.2	扣件扣压力	166
5.7.3	抗拔力	167
5.7.4	扣件调整能力	167
5.7.5	扣件绝缘电阻	168
5.7.6	扣件主要技术参数小结	169
5.8	扣件组装性能试验方法	169
5.8.1	钢轨纵向阻力	169
5.8.2	冲击荷载衰减	170
5.8.3	疲劳性能	171
5.8.4	扣压力	174



5.8.5	抗拔力	176
5.8.6	绝缘电阻	176
6	无碴轨道上部结构层	179
6.1	基本原则	180
6.2	设计计算模型	180
6.2.1	弹性地基梁模型	180
6.2.2	多重叠合梁模型	184
6.2.3	有限元计算模型	190
6.3	TBS型无碴轨道结构设计方法	191
6.3.1	主要伤损形式	191
6.3.2	结构设计方法	194
6.3.3	设计计算模型的选用	196
6.4	路基上 TBS型无碴轨道结构层参数	197
6.4.1	Rheda2000 上部结构层参数	197
6.4.2	Rheda2000 结构层参数在国内的适用性	197
6.4.3	上部结构层最小宽度	198
6.4.4	轨道结构高度	207
6.5	FBS型无碴轨道结构设计方法	213
6.5.1	主要伤损形式	213
6.5.2	结构设计方法	214
6.5.3	设计计算模型的选用	215
6.6	刚性基础上 FBS型无碴轨道结构层参数	216
6.6.1	轨道电路解决方案	216
6.6.2	上部结构层参数	216
6.7	无碴轨道结构寿命分析方法	220
6.7.1	基于钢筋 S—N 曲线的分析方法	220
6.7.2	PCA 厚度设计方法	222
6.8	试验室单元试验	226
6.8.1	一般试验内容	226
6.8.2	典型试验方法	227
6.8.3	试验结果实例	227
6.9	TBS型无碴轨道技术要求	232
6.9.1	轨 枕	232
6.9.2	支 承 层	235
6.10	FBS型无碴轨道技术要求	237
6.10.1	轨 道 板	237

6.10.2	砂浆调整层	238
6.10.3	凸形挡台	243
7	无碴轨道与谐振式轨道电路	245
7.1	国外高速铁路列车控制系统	246
7.1.1	德国列车控制系统	246
7.1.2	法国列车控制系统	246
7.1.3	日本列车控制系统	247
7.2	解决无碴轨道电路问题的技术途径	247
7.2.1	谐振式轨道电路结构	247
7.2.2	轨道电路传输长度的影响因素	248
7.2.3	延长轨道电路传输长度的技术途径	250
7.3	钢轨与钢筋网之间的合理距离	251
7.3.1	国内单元试验结果	251
7.3.2	韩国单元试验结果	253
7.3.3	赣龙线实测结果	255
7.3.4	TBS型无碴轨道单元试验结果	256
7.3.5	德国理论研究成果	256
7.4	钢筋网回路的解决办法	257
7.4.1	先张轨道板与后张轨道板对比试验	257
7.4.2	采用绝缘套管轨道板的试验结果	257
7.4.3	采用涂层钢筋轨道板的试验结果	259
7.5	减小钢筋电环路表面整体面积	260
7.6	混凝土电阻特性	261
7.6.1	不同环境条件下混凝土的电阻特性	262
7.6.2	混凝土电阻理论	262
7.6.3	提高混凝土电阻特性的措施	263
	参考文献	268



绪 论

传统有碴轨道结构自诞生之日起,就显现出稳定性差的缺点,其原因在于碎石道床在列车荷载长期作用下,产生变形及道碴的磨损和粉化。由于钢轨支承点的非连续性,道床变形沿线路纵向呈现非均匀性特点,对保持良好的轨道几何状态和均衡质量十分不利。一般情况下,道床维修工作量占线路维修工作量的 70% 以上,而高速铁路相对于普通既有线路,维修费用要增加 2 倍,道碴使用周期减少一半。目前,高速铁路的发展趋势是运营速度 ≥ 300 km/h,其对轨道结构的平顺性和稳定性要求更高,有碴轨道结构的适应性问题已引起普遍关注,并出现解决问题的两个思路,即完善有碴轨道结构和运用无碴轨道结构。

本章重点讨论有碴轨道结构对高速铁路的适应性,介绍无碴轨道应用情况。