

四川省 2022—2023 年度重点图书出版规划项目

# 高速铁路 桥上无缝道岔技术及应用

李秋义 朱 彬 张世杰 ◎ 著

西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

-----  
图书在版编目 ( C I P ) 数据

高速铁路桥上无缝道岔技术及应用 / 李秋义, 朱彬,  
张世杰著. — 成都: 西南交通大学出版社, 2022.11  
ISBN 978-7-5643-9043-3

I. ①高… II. ①李… ②朱… ③张… III. ①高速铁  
路—铁路桥—无缝线路轨道—道岔—研究 IV.  
①U213.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 ( 2022 ) 第 231337 号  
-----

Gaosu Tielu Qiaoshang Wufeng Daocha Jishu ji Yingyong

高速铁路桥上无缝道岔技术及应用

李秋义 朱彬 张世杰 著

责任编辑 / 姜锡伟

封面设计 / GT 工作室

西南交通大学出版社出版发行

( 四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031 )

发行部电话: 028-87600564 028-87600533

网址: <http://www.xnjdcbs.com>

印刷: 四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 21.5 字数 484 千

版次 2022 年 11 月第 1 版 印次 2022 年 11 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-9043-3

定价 120.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

随着我国高速铁路的建设与发展，由于环保要求或地形限制，越来越多的无缝道岔需要设置在桥梁结构上。为了满足高速铁路的运营需求，桥上无缝道岔与桥梁必须具有最佳的匹配关系和良好的力学性能，并符合高安全性、高平稳性、高舒适性、高可靠性、高平顺性的技术要求。桥上无缝道岔技术综合了桥上无缝线路、无缝道岔及大跨度桥梁的技术特点和难点，是轨道工程领域面临的一个新的重大技术挑战，成为制约我国高速铁路建设的“卡脖子”难题。

桥上无缝道岔技术不仅涉及桥上无缝线路、无缝道岔、道岔动力学、车线桥耦合动力学等的交叉和融合，其研究还需要运用工程测试、数值仿真等众多学科的手段和方法，结构系统复杂，技术难度大。作者研究团队与国内同行一起团结合作，攻克了道岔与桥梁相互作用本构关系、力的传递机理、合理布置形式、结构设计参数、动力性能评估等系列技术难题，建立了桥上无缝道岔计算理论和设计方法，形成了我国桥上无缝道岔理论研究、结构设计、施工养护、试验监测、技术标准等成套技术体系，为我国高速铁路桥上无缝道岔的安全、平稳运行提供了技术支撑。

本书共分为9章。第1章介绍了桥上无缝道岔的关键技术、研究思路、技术路线；第2章介绍了德国、法国、韩国无缝道岔技术发展的情况，以及我国桥上无缝道岔技术的研究和发展历程；第3章介绍了桥上无缝道岔计算模型和设计参数影响规律；第4章介绍了桥上无缝道岔设计原则、设计流程、检算指标和结构加强措施等；第5章介绍了道岔梁结构设计方法；第6章介绍了桥上无缝道岔动力仿真模型，并进行动力学指标分析和评价；

第 7 章介绍了武广高铁雷大桥、沪杭高铁海杭特大桥及京沪高速徐州东站桥上无缝道岔服役状态长期监测情况；第 8 章介绍了桥上无缝道岔力学性能现场测试情况；第 9 章介绍了高速铁路桥上无缝道岔工程设计典型案例。

在高速铁路桥上无缝道岔技术研究过程中，我们得到了铁道部科技开发计划项目“客运专线桥上无缝道岔及桥梁结构设计研究”“京沪高速铁路桥上无砟轨道无缝道岔及桥梁结构设计研究”“桥上无缝道岔岔群区设计与试验研究”等项目资助，得到了中南大学陈秀方、徐庆元、曾志平教授，西南交通大学刘学毅、王平、杨荣山教授，北京交通大学高亮、蔡小培教授，华东交通大学雷晓燕、冯青松教授，中国铁道科学研究院江成、蒋金洲、王树国研究员等轨道行业专家们的大力支持和帮助。此外，还要特别感谢中铁第四勘察设计院集团有限公司文望青、孙立两位总工和轨道研究团队的各位同仁。在本书的写作过程中，张泽对文稿的整理、计算、绘图作出了诸多贡献，刘杰、刘永存、廉紫阳、赵云哲参与了资料汇编，在此谨对这些同事的辛勤付出表示衷心的感谢！

本书由中铁第四勘察设计院集团有限公司出版基金资助出版。本书作者对支持、帮助和关心本书出版的各位同行、出版者致以诚挚的谢意！

限于作者水平，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2022 年 7 月

# 目录

# CONTENTS

第 1 章 绪 论 .....	001
1.1 问题的由来 .....	001
1.2 问题的复杂性 .....	001
1.3 桥上无缝道岔的关键技术 .....	003
1.4 桥上无缝道岔技术的研究思路 .....	004
第 2 章 国内外桥上无缝道岔技术发展概况 .....	007
2.1 德国桥上无缝道岔技术发展概况 .....	007
2.2 法国桥上无缝道岔技术发展概况 .....	020
2.3 韩国桥上无缝道岔技术发展概况 .....	022
2.4 我国桥上无缝道岔技术研究概况 .....	030
参考文献 .....	043
第 3 章 桥上无缝道岔计算模型及计算方法 .....	045
3.1 道岔-桥梁纵向相互作用原理 .....	045
3.2 岔-桥-墩一体化计算模型 .....	047
3.3 桥上无缝道岔计算方法 .....	053
3.4 桥上单开无缝道岔纵向力计算分析 .....	059
3.5 桥上无缝道岔群纵向力计算分析 .....	068
3.6 桥上无缝道岔受力及变形规律研究 .....	076
参考文献 .....	093
第 4 章 桥上无缝道岔设计方法 .....	095
4.1 桥上无缝道岔检算内容与检算方法 .....	095
4.2 桥上无缝道岔设计流程 .....	100
4.3 道岔与桥梁的合理布置形式研究 .....	101
4.4 道岔尖轨跟端结构的影响 .....	120
4.5 道岔梁桥墩线刚度最小限值研究 .....	123

参考文献 .....	126
<b>第 5 章 道岔梁结构设计研究 .....</b>	<b>128</b>
5.1 道岔梁结构设计概况 .....	128
5.2 道岔梁主要布置原则 .....	129
5.3 道岔梁孔跨布置方案研究 .....	130
5.4 道岔梁梁型及典型设计 .....	132
5.5 道岔梁剪力滞效应研究 .....	136
5.6 道岔梁活载增大系数研究 .....	150
参考文献 .....	154
<b>第 6 章 桥上道岔动力仿真分析 .....</b>	<b>155</b>
6.1 车-岔-桥动力仿真分析模型及方法 .....	155
6.2 车-岔-桥动态安全性及舒适性评价标准 .....	164
6.3 桥上无缝道岔动力仿真计算参数 .....	169
6.4 徐州东站 (6×32) m 连续梁桥上 18 号单渡线动力仿真分析 .....	172
6.5 扬州联络线 (6×32) m 连续梁桥上 42 号单开道岔动力仿真分析 .....	183
6.6 苏州站 (4×32) m 连续梁桥上 18 号单开道岔动力仿真分析 .....	191
参考文献 .....	202
<b>第 7 章 桥上无缝道岔状态监测 .....</b>	<b>204</b>
7.1 武广高铁雷大桥无缝道岔服役状态监测 .....	204
7.2 沪杭高铁海杭特大桥无缝道岔服役状态监测 .....	223
7.3 京沪高铁徐州东站桥上 18 号板式道岔监测 .....	240
参考文献 .....	244
<b>第 8 章 桥上无缝道岔力学性能现场测试 .....</b>	<b>246</b>
8.1 武广高铁乐昌东站桥上无缝道岔现场试验测试 .....	246
8.2 京沪高铁扬州联络线桥上 42 号板式道岔动静力测试 .....	272
参考文献 .....	287
<b>第 9 章 桥上无缝道岔工程设计案例 .....</b>	<b>288</b>
9.1 京沪高铁苏州北站桥上无缝道岔设计 .....	288
9.2 广深港高铁东涌站桥上无缝道岔设计 .....	298
9.3 武广高铁广州南站桥上无缝道岔设计 .....	303
9.4 杭甬高铁柯桥站 (60+100+60) m 连续梁无缝道岔设计 .....	310

9.5 杭长高铁跨九龙大道 102 m 连续梁拱无缝道岔设计 .....	321
参考文献 .....	336





# 第1章 绪论

## 1.1 问题的由来

2004年，国务院通过了《中长期铁路网规划》，我国高速铁路建设大规模、全面展开。随着高速铁路的建设与发展，由于环保要求或地形限制，越来越多的道岔设置在大桥、特大桥或高架结构上，其中也包括部分无缝道岔需设置在桥上。桥上无缝道岔技术不仅综合了桥上无缝线路、无缝道岔以及大跨度桥梁的技术特点，而且衍生出一系列新的技术难点，是轨道工程研究领域面临的一个新的重大技术难题。在我国高速铁路建设之初，国内没有对在桥上铺设无缝道岔进行过较为系统的研究，也缺少在桥上铺设无缝道岔的应用经验。

桥上无缝道岔涉及桥上无缝线路、无缝道岔、道岔动力学、车线桥耦合动力学等技术的融合，是一个复杂的结构系统。为了满足高速铁路的建设和运营需求，桥上无缝道岔必须与桥梁具有最佳的匹配关系和良好的力学性能。桥梁与无缝道岔的相互作用要考虑两者间的纵向、竖向及横向耦合作用，影响无缝道岔的结构设计、桥梁结构形式、支座布置、道岔与桥梁的相对关系。虽然国内外都对桥上无缝线路、无缝道岔做了较多的研究，但都是对二者进行独立的研究，桥上无缝线路或无缝道岔理论并不能解决桥上无缝道岔的问题。

当列车以高速通过桥上无缝道岔时，车岔桥之间存在复杂的耦合动力作用关系。若桥梁结构形式、岔桥相对位置不合理，则车-岔-桥的耦合作用可能加剧，从而增大岔区内轮轨动力响应，严重情况下还有可能引起尖轨及心轨强度储备不足，降低列车运行平稳性与安全性，引起列车过岔限速等问题。桥上无缝道岔技术还必须解决复杂的轮轨关系问题，具有良好的动力学特性，满足高安全性、高平稳性、高舒适性、高可靠性、高平顺性的技术要求。

桥上无缝道岔技术综合了桥上无缝线路、无缝道岔的技术特点和难点，是无缝线路技术领域难度最大的课题，成为我国高速铁路建设的“卡脖子”问题，也是轨道工程领域最为引人关注的研究热点。开展高速铁路桥上无缝道岔关键技术研究有非常重要的现实意义，不仅可以指导高速铁路桥上无缝道岔设计、施工及养护维修，完善我国无缝线路技术体系，还可以推动我国轨道技术进步，提升自主创新能力。

## 1.2 问题的复杂性

我国高速铁路建设是大规模、成系统、成网络的建设，桥上无缝道岔所处的地理环

境及气候条件千差万别，桥梁结构形式也是各种各样，因此建设中面临的问题和条件也是极其复杂的。

### 1.2.1 环境条件的复杂性

我国幅员辽阔，各地的地理和气候条件差别悬殊，南北温差大，部分地区江河众多、水网密布。这就要求桥上无缝道岔对复杂环境条件具有良好的适应性。

我国南北跨的纬度多，气温条件相差大，具有 5 种气候类型，分别是温带季风气候、亚热带季风气候、热带季风气候、温带大陆性气候、高原高山气候。最北端的漠河位于 53°N 以北，属寒温带；最南端的曾母暗沙位于 4°N 以南，属赤道气候。青藏高原海拔 4 500 m 以上的地区四季常冬，南海诸岛终年皆夏，云南中部四季如春，其余绝大部分地区四季分明。

东西跨的经度多，降水条件差异大，由此形成的我国季风气候特点为：冬冷夏热，冬干夏雨。我国华南年降水量在 1 500 mm 以上，吐鲁番盆地年降水量仅 16 mm；我国长江流域年降水量可达 1 200 mm，黄河流域年降水量为 600 多毫米。

地势高低悬殊，地形多样，使我国气候更加复杂多样。我国地形复杂，地形类型多样，海拔高差大，既有广阔的平原，也有大片的山地、沙漠、湖泊、草原，高山深谷、丘陵盆地众多，造成各地气候不一。

### 1.2.2 道岔与桥梁相互作用机理的复杂性

道岔-桥梁相互作用关系比路基上无缝道岔和桥上无缝线路要复杂得多，道岔里轨与基本轨、道岔与桥梁相互作用、相互影响。在温度荷载作用下，桥梁伸缩变形和道岔温度效应互相耦合，导致道岔与桥梁的纵横向相互作用关系及力的传递机理非常复杂。

### 1.2.3 道岔与桥梁结构及参数的复杂性

道岔与桥梁结构及参数的复杂性表现在：道岔布置形式具有多样性，桥梁结构形式、道岔类型多，道岔钢轨与桥梁之间相关参数具有明显非线性特征。与桥梁有关的设计参数包括：梁跨布置、支座布置、道岔区梁部结构竖向挠度限值、梁端转角、桥墩竖向刚度、固定墩墩顶纵向水平线刚度以及墩顶水平位移。与道岔有关的设计参数包括：道岔主要形式尺寸、扣件纵向阻力、限位器/间隔铁阻力、道岔尖轨和基本轨参数。道岔梁结构形式和结构设计既要满足桥梁结构的强度、稳定性要求，同时又必须满足铺设无缝道岔的各项要求，这增加了桥梁设计难度。

### 1.2.4 轮轨相互作用关系的复杂性

道岔是轨道薄弱环节，结构上存在几何不平顺。道岔尖轨和心轨引导列车车轮的导

向和运行，而尖轨和心轨的宽度及高度是渐变的，导致轮轨接触几何关系和蠕滑关系具有复杂性。列车-桥梁耦合系统动力仿真分析本身就非常复杂，再叠加道岔系统，更增加了问题的复杂性。桥梁出现较大挠度和振幅将直接影响桥上道岔轨道的平顺性，对岔桥结构产生附加动力冲击作用，这将有可能直接影响行车安全性。由于道岔结构及轮轨关系存在众多的非线性影响因素，且在列车荷载作用下轮轨关系和车桥关系相互作用、相互影响，纵向、横向、垂向三维空间的耦合作用使其分析的难度加大。

### 1.2.5 涉及多学科交叉的复杂性

桥上无缝道岔问题是一个众多学科交叉的领域，不仅涉及轨道工程、桥梁工程、车辆动力学、道岔动力学、结构动力学等多学科的交叉和融合，还需要运用工程测试、数值仿真等众多学科的手段和方法。桥上无缝道岔技术是桥上无缝线路、无缝道岔、桥梁工程等技术的集成，涉及复杂的道岔与桥梁相互作用、轮轨关系，系统复杂，技术难度大。

## 1.3 桥上无缝道岔的关键技术

由于桥上无缝道岔问题极其复杂，因此需要解决计算理论、设计参数、岔梁布置、动力性能、设计方法等关键技术，形成一套计算理论和设计方法，以指导桥上无缝道岔设计、施工及运营。

### 1.3.1 道岔-桥梁相互作用本构关系和力的传递机理

道岔-桥梁相互作用的影响因素十分复杂，桥上无缝道岔技术研究的关键是无缝道岔与桥梁的相互作用关系和力的传递机理，掌握道岔及桥梁受力与变形规律。

### 1.3.2 道岔和桥梁之间的合理布置形式

道岔和桥梁布置直接影响道岔和桥梁结构的受力和变形，甚至影响列车运行的安全性和舒适性。道岔梁的合理结构形式研究包括道岔与桥梁伸缩缝的最小距离限值、典型的道岔与桥梁布置图型以及在两联大跨度连续道岔梁之间设置简支梁。

### 1.3.3 道岔梁的合理结构形式及设计参数

道岔梁结构形式研究包括纵、横向支座布置方式，下部结构形式，以及道岔梁梁跨布置原则、支座布置；设计参数包括道岔区梁部结构竖向挠度限值、梁端转角、桥墩竖向刚度、桥墩纵向水平线刚度以及墩顶水平位移。

### 1.3.4 列车-道岔-桥梁耦合系统动力性能仿真与评价

列车-道岔-桥梁耦合系统振动分析是列车安全性和舒适性评价、道岔和桥梁动力性能评估的前提。建立能真实反映列车-道岔-桥梁耦合系统的计算模型和系统运动方程，确定合理计算参数，并选用稳定、高效的数值分析方法求解系统动力响应，是科学评估桥上无缝道岔动力性能的关键。

### 1.3.5 桥上无缝道岔的设计准则和设计方法

道岔是轨道结构的薄弱环节之一，桥上无缝道岔设计除了应满足强度和稳定性等承载能力要求外，还应该满足道岔正常使用功能，即通过控制道岔-桥梁相对位移来保证道岔的正常转换功能。对道岔关键部位的位移和变形必须加以限制，否则会影响道岔转辙设备的正常运转，甚至危及行车安全。

## 1.4 桥上无缝道岔技术的研究思路

我国高速铁路采用的道岔类型及结构、桥梁结构形式、桥上无缝道岔的铺设地理环境和气候条件、建设及运营管理都与国外有明显的区别，要解决我国桥上无缝道岔问题，不能完全照搬国外的模式，应结合中国实际情况，坚持自主创新，形成具有中国特色的计算理论和设计方法。

### 1.4.1 研究目标

(1) 研究无缝道岔与桥梁的相互作用关系和力的传递机理，掌握桥上无缝道岔及桥梁墩台结构的受力与变形规律。

(2) 提出桥上无缝道岔的计算理论、设计方法、设计原则及技术条件，为桥梁及墩台设计提供依据。

(3) 提出满足桥上无缝道岔受力和变形要求的桥梁合理结构形式及设计参数。

(4) 评估桥上无缝道岔行车安全性、舒适性。

### 1.4.2 技术路线和研究思路

桥上无缝道岔研究的技术路线为：产学研用相结合，联合高校及设计、生产、施工单位共同攻关；运用系统的理念和思想，将列车-道岔-桥梁作为一个大系统，实现轨道、桥梁和车辆多专业、跨学科深度交叉和融合；在充分调研国内外研究成果和工程应用的基础上，静力分析和动力仿真相结合、室内试验和现场测试相结合、理论研究与工程实践相结合。其总体研究思路如图 1.1 所示。

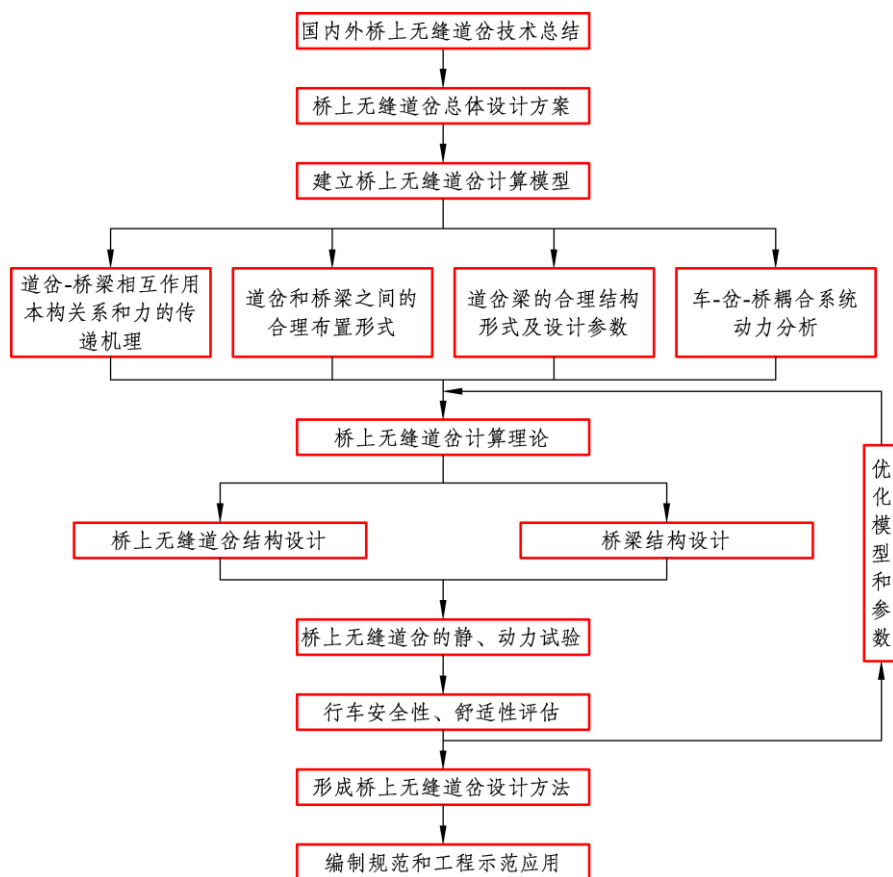


图 1.1 总体研究思路

### 1.4.3 研究方法

(1) 运用系统工程的思想,将列车、道岔和桥梁作为一个大系统,研究温度荷载作用下道岔和桥梁的纵横向相互作用,以及车-岔-桥耦合系统动力性能。

针对高速铁路列车、道岔、桥梁动力相互作用问题,将机车车辆(动车组)、道岔及桥梁作为一个耦合大系统,以车辆动力学、轨道动力学、道岔动力学、桥梁动力学有限元方法为基础,以岔区轮轨关系、线桥关系为联系纽带,应用数值仿真的方法来研究高速行车条件下道岔及桥梁结构的动力特性、行车的安全性和舒适性。

(2) 静力分析和动力仿真相结合,采用有限元计算模型和计算方法研究在列车和温度耦合作用下道岔和桥梁的本构关系、力学机理和计算理论,分析道岔和桥梁的受力、变形特征和规律。

采用简单的力学数学模型和一般的数学解析方法难以对桥上无缝道岔系统进行定量计算和分析。只有借助现代计算机仿真技术,建立较为完善的列车-道岔-桥梁系统模型,

## ■ 高速铁路桥上无缝道岔技术及应用

才能较为真实地模拟桥上无缝道岔复杂的桥梁本构关系和力学传递机理，正确掌握桥上无缝道岔的力学特征和规律，科学评估列车运行安全性和舒适性。

(3) 理论分析与现场试验相结合，通过桥上无缝道岔静力和动力试验研究，验证计算理论和设计方法。

道岔与桥梁的相互作用是一个非常复杂的体系，对于这一体系的理解仅凭理论分析是远远不够的，要：采取理论与实践相结合的方法，验证桥上无缝道岔理论的可行性和可靠性，不断完善桥上无缝道岔设计体系，进一步提升其技术水平；道岔扣件纵向阻力、道床纵向阻力等设计参数对桥上无缝道岔受力和变形影响很大，开展室内试验和现场测试，根据设计参数的实测及统计分析掌握其非线性特征，确定合理的设计参数；选择合适工点开展桥上无缝道岔力学性能现场试验，验证桥上无缝道岔静动力计算模型和计算方法的准确性。

(4) 钢轨强度检算和梁轨相对位移控制相结合，提出桥上无缝道岔的评价准则和设计方法。

基于强度和位移双控的设计原则，提出桥上无缝道岔设计要求、检算方法、设计流程，形成一套系统的桥上无缝道岔设计方法。