

“十一五”国家重点图书

“十二五”国家重点图书

铁路客运专线(高速)轨道结构关键技术丛书

桥上无缝道岔 设计理论

王平 陈嵘 杨荣山 刘学毅 著

QIAOSHANG WUFENG DAOCHA
SHEJI LILUN



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

国家高技术研究发展计划(863计划)资助
国家自然科学基金资助
西南交通大学创新团队培育计划资助

“十一五”国家重点图书

“十二五”国家重点图书

铁路客运专线(高速)轨道结构关键技术丛书

桥上无缝道岔设计理论

王平 陈嵘 杨荣山 刘学毅 著

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

桥上无缝道岔设计理论 / 王平等著. —成都: 西南交通大学出版社, 2011.5
(铁路客运专线(高速)轨道结构关键技术丛书)
ISBN 978-7-5643-0776-9

I. ①桥… II. ①王… III. ①铁路桥—无缝线路轨道—道岔—设计 IV. ①U213.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 149196 号

铁路客运专线(高速)轨道结构关键技术丛书
桥上无缝道岔设计理论

王 平 陈 嵘 杨荣山 刘学毅 著

*

责任编辑 万 方

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 170 mm × 230 mm 印张: 24.875

字数: 447 千字

2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0776-9

定价: 58.00 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

序

道岔作为机车车辆从一股轨道转入或越过另一股轨道时的线路设备，是铁路轨道的重要组成部分，也历来是轨道突出的薄弱环节。道岔的技术水平比较集中地反映了一个国家铁路轨道的发展水平。同时，作为衡量道岔主要性能指标的直向和侧向过岔速度，也从一个方面比较集中地反映了铁路装备的整体水平。我国铁路道岔的发展大致经历了五个阶段，分别以 75 型道岔、92 型道岔、提速型道岔、99 型道岔和高速道岔为代表。

在高速铁路道岔的研制中，铁道部集中全国相关部门和单位的力量，在提高理论研究水平、全面推进动态设计，创新和引进相结合、全面提高道岔水平，理顺道岔管理体制、创造良好外部环境等方面开展了大量研究工作，并在以下方面取得了显著成果：基本上构建了高速道岔设计理论体系，对影响高速列车过岔安全性与舒适性的影响因素进行了深入研究；在高速道岔轨道刚度合理设置与均匀化，道岔轮轨关系、转换与锁闭结构等方面的研究取得了一系列具有自主知识产权的创新成果；研制了适应于各种运营速度和不同轨道结构的道岔，实际运行效果良好并在实车综合试验中取得了大量的实测数据；制定了道岔设计、制造、运输、铺设、养护、维修成套技术标准，建立了道岔厂集成供货、生产过程驻厂监造、出厂逐组组装制度；形成了一支年轻、具有创新和协作精神的道岔科研队伍，建立了“产、学、研、用”相结合的道岔研发模式，为我国道岔技术的可持续发展奠定了坚实基础。

高速铁路是铁路发展史上的重要成果和阶段。2008 年国家批准的“中长期铁路网规划”中，在 2020 年前我国要修建 1.6 万公里高速铁路。由于高速铁路要求轨道结构具有高平顺性、高稳定性、高可靠性，因此在高速铁路的建设中，桥梁占铁路延展长度的比例越来越大，在桥上铺设道岔必不可免；桥梁因挠度标准的提高，其断面加大、结构强化，桥梁与其上道岔的相互受力关系更趋复杂。

世界高速铁路已有四十多年的历史，但在桥上无砟轨道铺设高速道岔没有先例，其难度之大可见一斑。桥上无缝道岔的建造技术成为我国高速铁路建设中急待解决的一项关键性技术问题。近年来，西南交通大学“高速铁路轨道设计理论与关键技术”创新团队在铁道部的领导及各相关单位的支持下，开展了大量的理论研究、大比例尺的模型试验、多次的现场实车动测试验，取得了许多具有创新性的研究成果。希望铁路道岔界的同仁们为进一步完善我国高速道岔理论体系和管理体系继续努力，以推动桥上无缝道岔技术的快速发展，满足我国大规模高速铁路建设的需要。

方沁文

2011年5月

前 言

当前我国正处于高速铁路建设的高潮时期，由于高速铁路要求轨道结构具有高平顺性、高稳定性、高可靠性，为控制路基的工后沉降，并节约土地，高速铁路设计中采用了大量的桥梁。桥梁在线路中所占的比例越来越高，比如，在建的京沪高速铁路桥梁总延长已接近线路延长的 80%。这样就不可避免地形成了许多的高架车站，高速道岔就铺设在桥梁上，“道岔上桥”在我国过去的铁路建设中是很少见的，国外高速铁路建设中对桥上铺设高速道岔也是很谨慎对待的。桥上无缝道岔的建造技术是我国高速铁路建设中急待解决的一项关键性技术问题。

桥上铺设高速道岔必须解决以下两项关键技术难题：

1. 道岔与桥梁的纵向相互作用问题。由于高速铁路全线采用跨区间无缝线路，无缝道岔及桥上无缝线路本身就是两项难度较大的技术，无缝道岔上桥后，道岔里轨的伸缩与桥梁本身的伸缩相互影响，形成了较为复杂的岔、桥纵向相互作用系统；此外，我国高速铁路建设中还研制了底座纵连式无砟轨道系统，桥上纵连板式无砟轨道无缝线路也是一项崭新的技术，在京津线上成功铺设后已推广应用到京沪高速铁路等客运专线中。在底座纵连式无砟轨道桥上再铺设无缝道岔，就形成了极为复杂的岔、板、桥纵向相互作用系统，如何确保该复杂系统持久稳定地可靠工作，在世界高速铁路建设史上也是未曾遇到的技术难题。

2. 道岔与桥梁的动力相互作用。道岔由于其结构的复杂性，存在不可避免的结构不平顺，而其本身又是一个影响行车速度的设备。因此，我国在高速道岔的自主研发过程中，针对在路基上铺设时必须基础稳定的前提条件，开展了平面线形、轮轨关系、无缝化、轨道刚度、工电匹配等一系列的结构技术创新，达到了高速列车直向过岔与区间等速、同等平稳性与舒适性、10% 的速度余量等技术要求。车、线、桥的动力相互作用也一直是高速铁路建设中备受关注的技术问题。高速道岔铺设于桥上后，一方面由于道岔区的冲击作用较大，会加剧桥梁的动力响应；另一方面由于桥梁的振动，使得列车通过高速道岔时安全

性、平稳性及舒适性降低，如何确保列车通过桥上高速道岔时的安全性与平稳性，是铁路设计工作者必须解决的另一个技术难题。

近几年，西南交通大学“高速铁路轨道设计理论与关键技术”创新团队在铁道部及各铁路设计院的支持下，责无旁贷地担当起了攻克桥上无缝道岔技术难题的重任，开展了大量的理论研究、大比例尺的模型试验、多次的现场实车动测试验，取得了许多具有创新性的研究成果。本书及时地将这些研究成果归纳总结，并呈现给大家，希望能对铁路设计工作者有所帮助，推动桥上无缝道岔技术的快速发展，以满足我国大规模高速铁路建设的需要。

全书共分五章，第一章介绍了国内外桥上无缝道岔的概况；第二章建立了岔桥纵向相互作用计算理论，并分析研究了有砟轨道、普通无砟轨道、底座纵连式无砟轨道桥上无缝道岔的纵向相互作用规律；第三章建立了车、岔、桥动力相互作用计算理论，并分析研究车、岔、桥系统的动力作用规律；第四章通过与国外计算理论的对比、室内模型试验、现场动测试验，对所建立的岔、桥相互作用和车、岔、桥动力相互作用理论进行了验证；第五章分析了梁端横向位移对轨道平顺性的影响规律，在总结研究成果的基础上，提出了桥上无缝道岔设计技术要求和设计方法的建议。

在开展桥上无缝道岔理论与实验研究的过程中，得到了国家自然科学基金、铁道部科技发展计划项目、国家教委博士点基金项目、国家教委新世纪人才基金项目、国家“863 计划”项目的资助，得到了中铁第一勘察设计院集团有限公司冯威总工程师、魏周春高工、中铁第二勘察设计院集团有限公司颜华教授级高工、姚力教授级高工、潘自力高工、殷明旻高工、中铁第三勘察设计院集团有限公司闫红亮高工、郭鹏高工、中铁第四勘察设计院集团有限公司孙立教授级高工、李秋义高工及各铁路设计院桥梁专业的专家们的大力支持和帮助。在写作过程中，创新团队的成员及作者的硕士生、博士生们提供了大量的算例，在此一并表示感谢。

感谢原铁道部工务局局长、京沪高速铁路公司专家组成员卢祖文教授级高级工程师在百忙之中为本书作序。

本书由西南交通大学出版基金资助出版。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，书中错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

作 者

2011 年 5 月于成都

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 国外桥上无缝道岔概况	1
第二节 我国桥上无缝道岔概况	9
第三节 桥上无缝道岔设计理论体系	16
第二章 桥上无缝道岔纵向相互作用计算理论与分析	20
第一节 岔—(板)—梁—墩一体化纵向相互作用计算理论	20
第二节 有砟轨道简支梁桥与道岔纵向相互作用规律	33
第三节 有砟轨道连续梁桥与道岔纵向相互作用规律	67
第四节 无砟轨道连续梁桥与道岔纵向相互作用规律	118
第五节 底座纵连无砟轨道桥上无缝道岔纵向相互作用规律	128
第六节 道岔梁合理结构与岔桥布置	161
第三章 列车—道岔—桥梁系统耦合振动计算理论	175
第一节 列车—道岔—桥梁耦合系统动力学理论	177
第二节 列车—道岔—桥梁动态安全性及舒适性评价标准	220
第三节 桥上无缝道岔计算参数	231
第四节 桥上无缝道岔动力相互作用规律	234
第四章 桥上无缝道岔计算理论验证	314
第一节 岔桥纵向相互作用理论验证	314
第二节 车岔桥动力相互作用理论验证	344

第五章 桥上无缝道岔设计要求与设计方法	350
第一节 梁端横移对线路平顺性的影响规律	350
第二节 桥上无缝道岔设计技术要求	373
第三节 桥上无缝道岔设计方法	381
参考文献	387

第一章 绪 论

近年来,我国在桥上无缝线路、路基上无缝道岔、一次铺设跨区间无缝线路的研究和设计及施工技术等方面取得了显著的进步,特别是既有繁忙干线大范围换铺跨区间无缝线路以及新建铁路全面推广一次铺设跨区间无缝线路,推动了我国无缝线路技术的迅猛发展。

由于我国幅员广阔,受环境保护、节约用地的要求或地形条件的限制,在高速铁路、客运专线、快速客货共线铁路和城市轨道交通建设中,一些车站必须设置在大桥、特大桥或高架结构上,而且还需形成桥上跨越车站的无缝线路。在桥上铺设无缝道岔集成了无缝道岔、桥上无缝线路、桥梁及轨下基础对道岔的适应性等相关技术,既要考虑无缝道岔中钢轨受力和变形的复杂关系,又要考虑桥上无缝道岔的梁轨相互作用,不能单独用桥上无缝线路或无缝道岔的理论和实践来分析解决桥上无缝道岔的问题。目前,国内对于桥上铺设无缝道岔的研究才刚刚起步,尚未取得较为成熟的铺设经验和系统的桥上无缝道岔设计方法,是我国客运专线建设中需要解决的关键技术问题之一。

第一节 国外桥上无缝道岔概况

国外高速铁路建设中也遇到有车站置桥梁上的情况,如日本在北陆新干线桥上铺设了 38 号高速道岔(见图 1-1);德国在桥上无砟轨道基础上成功铺设过无缝道岔,图 1-2 所示为德国承建的台湾高速铁路台中站桥上无缝道岔。德国及法国在桥上无缝道岔设计过程中均发展了相应的道岔—桥梁(以下简称“岔桥”)纵向相互作用计算理论,并提出了较为完善的桥上无缝道岔设计方法,在 2005 年为中国高速铁路工程设计咨询过程中,提出了较多桥上无缝道岔设计修改意见。

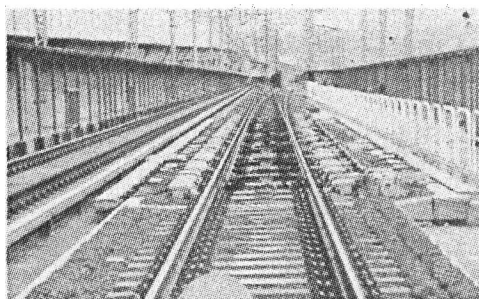


图 1-1 日本新干线桥上无缝道岔

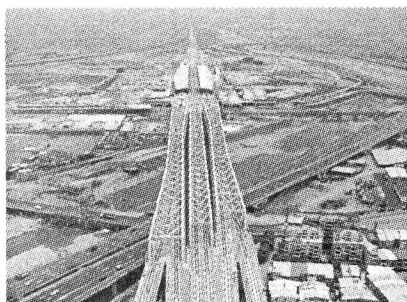


图 1-2 台湾高铁桥上无缝道岔

一、德国高速铁路桥上无缝道岔

1. 桥上无缝道岔结构

德国高速铁路在高架车站的咽喉区、桥上渡线及高架线路的铁路交叉点处布置有桥上无缝道岔，大多为无砟轨道结构，如图 1-3 所示。桥上岔区轨道结构包括钢轨、岔枕、道床板、桥面保护层、纵横向凸台等。道岔转辙器部分所有转换设备均位于同一道床板上。纵横向凸台（见图 1-4）用来减少收缩和温度变形引起的约束，横向凸台布置在道岔板的中心处，施工完成后如图 1-5 所示。凸台四周设置有弹性垫层，如图 1-6 所示。横向凸台的数量根据凸台所承受总的纵向力来确定。

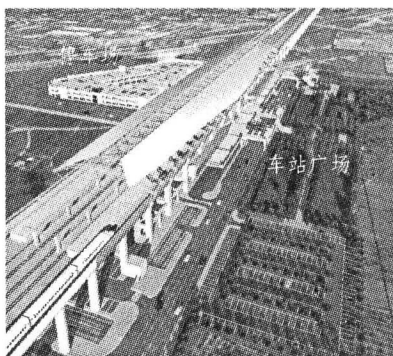
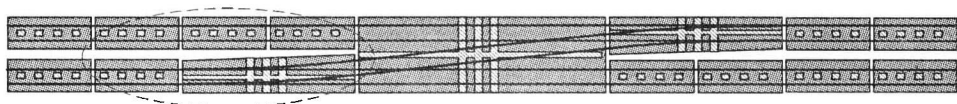


图 1-3 高架结构上的铁路车站



(a) 道岔平面布置

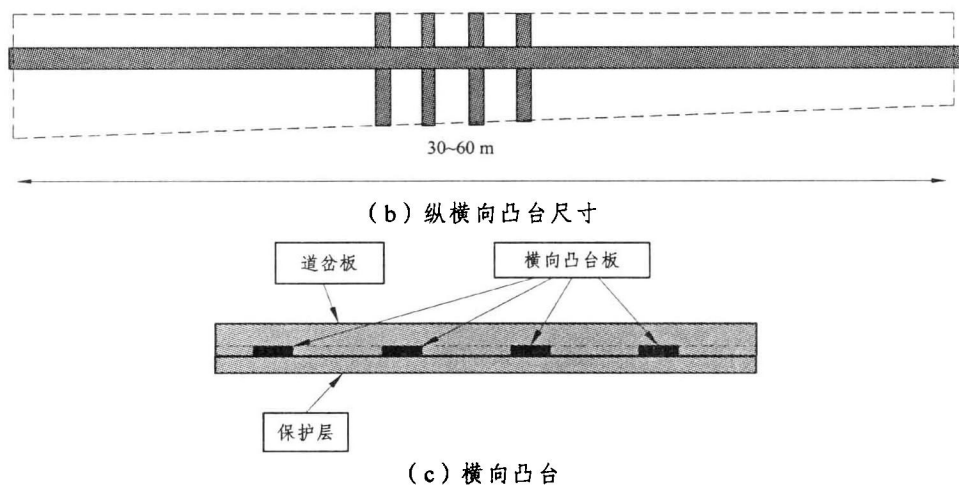


图 1-4 纵横向凸台布置



图 1-5 施工完成后的纵横向凸台

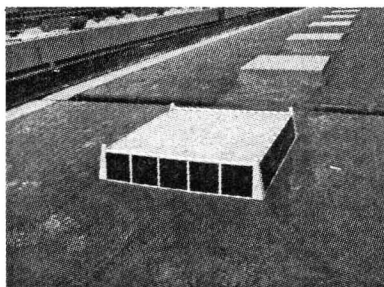
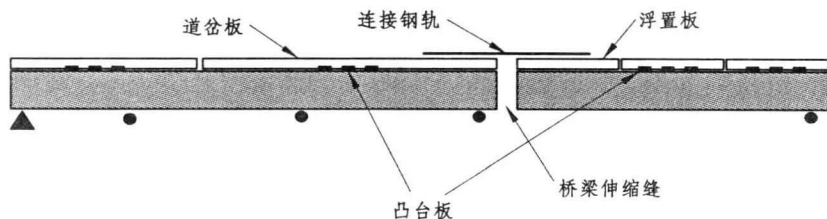


图 1-6 凸台四周的弹性垫层

为了控制辙叉区各钢轨的纵向相对位移，在岔后桥梁伸缩缝处设置一块特殊的“浮置板”，它与桥梁间不采用纵横向凸台连接，上面设置有四根跨越梁缝的纵向连接短轨，如图 1-7 所示。

2. 桥上无缝道岔设计要点

德国桥上无缝道岔基本设计理念是限制道岔钢轨与扣件之间的相对位移、扣件与轨枕或轨道板之间的相对位移、轨道板与桥面板之间的相对位移。



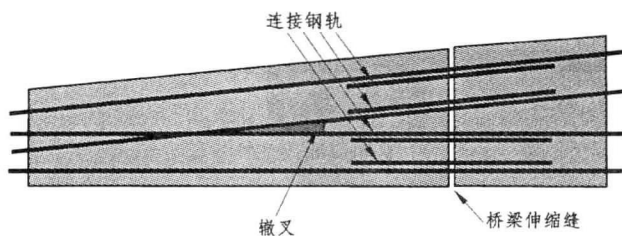


图 1-7 “浮置板”的设置

无砟桥上道岔各部位相对位移限值规定如下：

(1) 心轨跟端基板与轨枕或轨道板的最大相对位移不得超过 0.7 mm，如图 1-8 所示，这主要是由于德国 BWG 公司道岔中基板与钢锥筒之间弹性套管所能容许的变形量为 0.7 mm。该道岔扣件系统如图 1-9 所示。

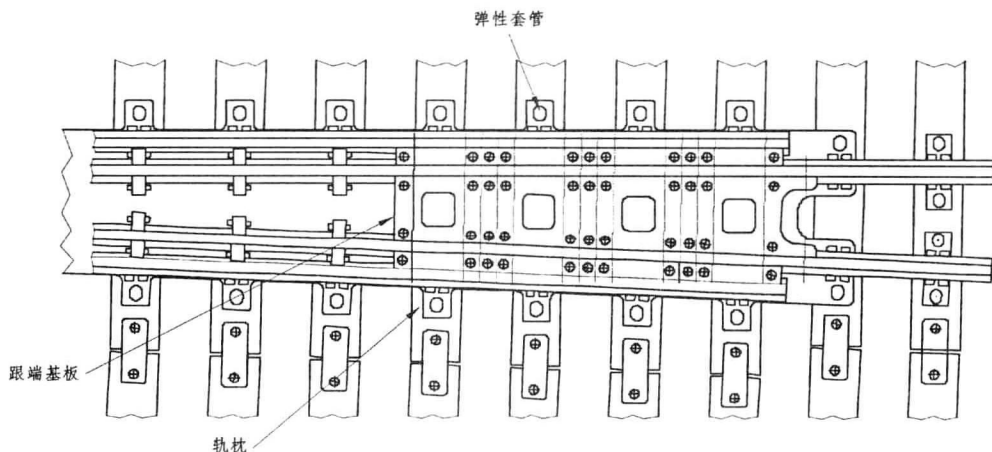


图 1-8 心轨跟端位移限值

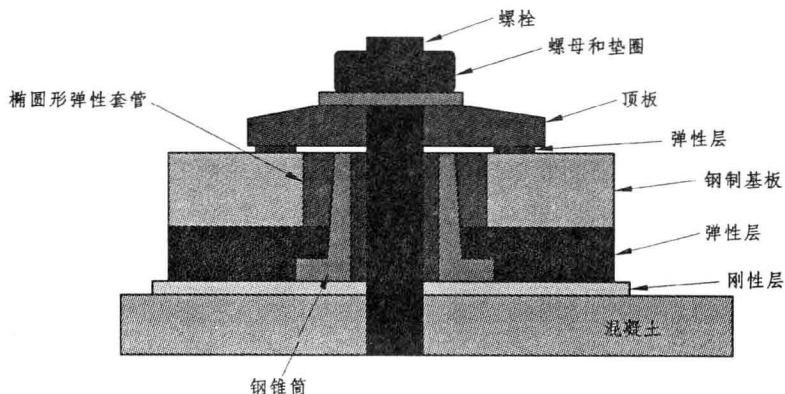


图 1-9 BWG 公司道岔扣件系统

(2) 心轨一动(指第 1 牵引点)处与转辙机基座间的相对位移量不得超过 6 mm,二动(指第 2 牵引点)处与扣件基板间的相对位移量不得超过 3 mm,主要是为了避免转换卡阻或转辙连杆与转辙机坑壁相碰。

(3) 尖轨一动(指第 1 牵引点)处与扣件基板间的相对位移量不得超过 20 mm,也主要是为了避免转换卡阻。

(4) 道岔其他部位处钢轨和基板间的相对位移量不得超过 20 mm,基板与轨枕或道床板间的相对位移量不得超过 0.7 mm。

对于有砟轨道,由于桥梁挠曲或日常温度变化引起道岔与桥梁的相对位移在短期内一般不会影响道床稳定性,但是频繁的变形会影响道岔的整体性,导致养护维修工作量的增加。通常认为道岔的弹性变形限制在 1.5 mm 以内是可以接受的,有砟道岔各部分轨枕和桥面之间的相对位移限值如表 1-1 所示。

表 1-1 有砟道岔各部位相对位移限值 (单位: mm)

类 型	钢 轨	扣 件	轨 枕	桥 面	总 计
一般情况	20	0.7	1.5	=	22.2
尖 轨	20	0.7	1.5	=	22.2
无斜接头辙叉, 高速道岔 $R \geq 3\,000\text{ m}$	0	0.7	1.5	=	2.2
有斜接头辙叉, 高速道岔 $R < 3\,000\text{ m}$	3	0.7	1.5	=	5.2

德国规范 DS800.0120(7)中还明确规定桥梁铺设道岔时,要满足下列要求:

- ① 道岔不允许设在活动的桥梁伸缩缝上;
- ② 伸缩缝和尖轨尖端之间的最小距离取决于桥梁长度。伸缩缝和尖轨尖端之间的最小距离的规定见表 1-2。

表 1-2 伸缩缝和尖轨尖端之间的最小距离 (单位: m)

桥梁总长	最小距离
41 ~ 60	10
61 ~ 90	20
91 及以上	30

注: 辙叉跟端和伸缩缝之间的最小距离在规范中并未提到,在道岔供应商没有特殊要求时,应采用与表 1-2 相同的值。

德国高速铁路桥上无缝道岔纵向力计算分为简单算法和复杂算法。简单算

法是不考虑道岔作用,按桥上无缝线路计算出桥梁两端单根钢轨温度力,然后用单根钢轨温度力乘以梁端钢轨根数计算梁端总温度力,桥墩附加力等于左右梁端总温度力的差值。简单算法的精度不高,一般用于桥上方案设计阶段估算桥墩附加力。

复杂算法采用有限元模型计算轨道板与桥梁结构之间的相互作用,包括支座的纵向反作用力、钢轨附加纵向力、转辙器与辙叉区域的相对位移。以图 1-4(a) 中无砟桥上单渡线为例,建立上下行线岔桥纵向相互作用计算模型如图 1-10 所示。

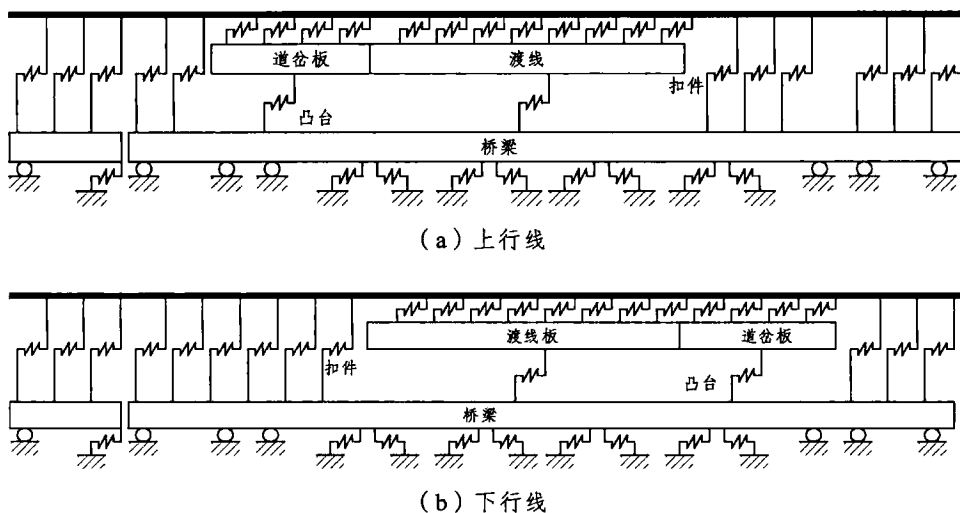


图 1-10 岔桥纵向相互作用计算模型

该计算模型中考虑了道岔直侧向钢轨、扣件、道岔及渡线下轨道板、横向凸台、桥梁、墩台等部件的纵向相互作用,总的来看还是较为完善的,但欠缺的是未考虑岔区传力部件及钢轨间的相互作用。计算中考虑岔区 SKL12、桥上 SKLB15、路基上 SKL15 型不同的扣件形式,分别选取有载及无载情况下对应的双线性阻力值;轨道板及桥梁温度变化幅度取为 20°C ,或考虑轨道板温度高于桥梁温度,钢轨温度变化幅度取为 35°C ;列车纵向荷载取值:制动力 20 kN/m ($L \leq 300\text{ m}$),启动力 33.3 kN/m ($L \leq 30\text{ m}$)。计算中要同时考虑轨道板、桥梁的温度变化,作用于道岔钢轨表面的制动力、启动力,作用于钢轨上的竖向荷载等共同作用,采用如图 1-11 所示的位移包络线图检算道岔各部位的相对位移是否满足表 1-1 中的容许限值。

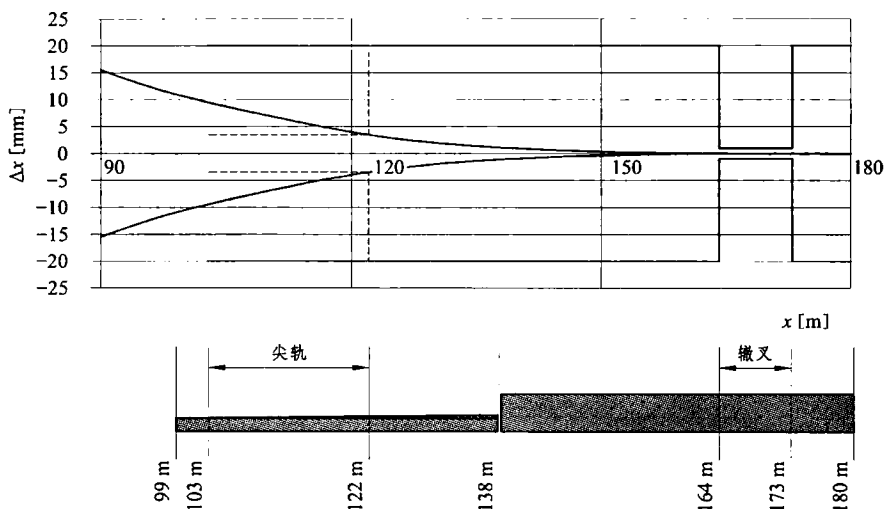


图 1-11 位移检算包络线图

为了防止桥上有砟轨道出现道砟松散，并间接起到限制钢轨附加应力的作用，规定在制动或启动动力作用下应控制梁轨相对位移：钢轨和桥面之间的相对位移容许值为 4 mm，桥面水平位移容许值为 5 mm；对于两端都有钢轨伸缩调节器的桥梁，桥面水平位移容许值为 30 mm。建议在长跨连续梁中心设一个固定支座，并大幅度提高该墩的纵向水平刚度；或在桥梁中心设一组固定支座，使纵向荷载分布到不同墩上，但须考虑桥梁随温度变化而伸缩时对墩造成的不利影响。计算伸缩力时，墩台按弹性静态模量取值；计算制动力时，墩台按动态弹性动态模量取值。

在普通桥上的无缝线路中，桥梁轴线与钢轨是平行的，不存在夹角；但在桥上无缝道岔中，桥梁轴线与道岔侧股钢轨间存在着与辙叉角相等的夹角，当桥梁因伸缩、挠曲、列车制动或加速度、地震的作用而发生纵向位移时，会产生相对于侧股钢轨的横向位移，从而影响线路的平顺性，严重时可能还会导致养护维修困难。因此，当道岔侧股跨越桥梁伸缩缝时，建议桥梁伸缩缝与道岔侧股间呈垂直布置。

计算表明，钢轨纵向力和相对位移最大值一般出现在温度跨度最大的桥梁伸缩缝处，在多跨长大桥之间设置短单跨桥或优化固定支座布置可以减小温度跨度，从而减小钢轨的纵向力与位移。为尽可能地避免道岔区发生变形，岔桥最有利的相对位置是道岔布置于长大连续梁桥的中心处。

在桥梁刚度设计方面，主要考虑桥梁的自振频率应大于荷载振动频率，避免发生列车—桥梁（以下简称“车桥”）共振现象。

二、法国高速铁路桥上无缝道岔

法国高速铁路规定道岔不得设置于路桥过渡段上，避免因两种结构的沉降差异导致道岔发生不利变形；道岔不得设置在曲线或竖向曲线上；道岔设置于桥梁上时应进行专门的设计研究，其头尾距离桥梁伸缩缝的最小距离应满足表 1-3 的要求。

表 1-3 伸缩缝和道岔头尾间的最小距离 (单位: m)

桥梁总长	最小距离
$L \leq 30$	20
$30 < L \leq 90$	50
$L > 90$	活动端设置伸缩调节器，伸缩调节器距离道岔最短距离为 100

为了限制钢轨内的应力，道岔应避免跨越桥缝或布置在其附近。但在桥梁跨度较小的情况下，由于桥梁伸缩引起的道岔钢轨应力变化相对较低，在没有其他解决方案时，道岔也可设置在伸缩缝上，但是道岔的活动部分，尤其是转辙器和辙叉部分，不得设置在桥梁伸缩缝上方。

法国高速铁路为有砟轨道，道岔位于桥梁上时，设计中侧重避免由于桥梁伸缩和道岔里轨伸缩而造成钢轨内积聚很高的温度力；主要限制转辙器和辙叉部分钢轨和轨枕的纵向位移，保持道岔的纵向稳定性。

法国计算有砟桥上岔桥相互作用采用的也是有限单元法，计算思路与德国相近，考虑岔区钢轨、扣件、岔枕、桥梁、桥墩等结构，扣件及道床纵向阻力分别以双线性弹簧表示，考虑有载及无载条件下不同的取值，如图 1-12 所示。

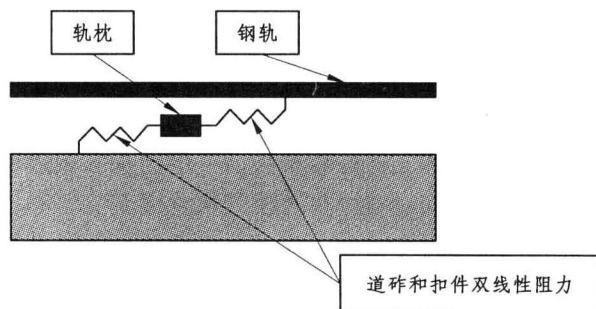


图 1-12 岔桥纵向相互作用计算模型