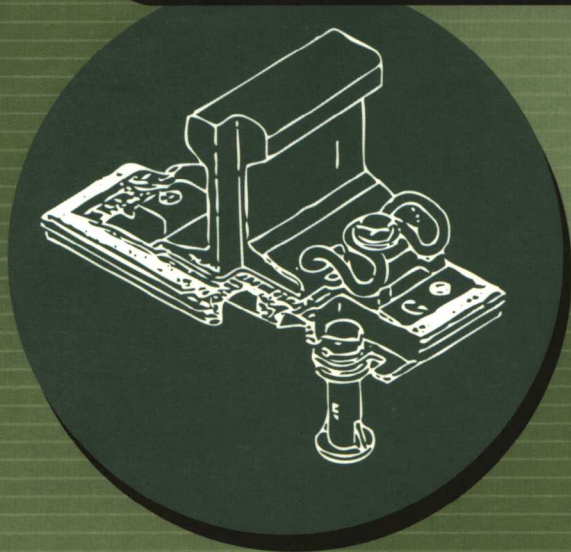


无碴轨道钢轨扣件

王其昌 编著



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

WUCHA GUIDAO GANGGUI KOUJIAN
无碴轨道钢轨扣件

王其昌 编著

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

无碴轨道钢轨扣件 / 王其昌编著. —成都: 西南交通大学出版社, 2006.4

ISBN 7-81104-213-4

I. 无... II. 王... III. 钢轨—扣件 IV. U213.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 004444 号

无碴轨道钢轨扣件

王其昌 编著

责任编辑	张 波
责任校对	韩松云
封面设计	肖 勤
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
电子邮箱	cbsxx@swjtu.edu.cn
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	146 mm×208 mm
印 张	4.375
字 数	120 千字
版 次	2006 年 4 月第 1 版
印 次	2006 年 4 月第 1 次印刷
印 数	1—3 000 册
书 号	ISBN 7-81104-213-4/U · 023
定 价	18.00 元

图书如有印装问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562



作者简介

王其昌，1933年2月出生，1958年毕业于唐山铁道学院铁道建筑系。长期从事铁路轨道理论、轨道力学、轨下基础、轨道管理及轨道工程领域的教学与科研工作。先后主编、编著和译著有《铁路新型轨下基础应力计算》、《铁路轨道》、《轨道动力学分析》、《钢轨力学与钢轨伤损》、《铁路线路大修工程》、《高速铁路土木工程》、《板式轨道》及《板式轨道设计与施工》等教学和科技用书。曾获得国家级科技进步一等奖，省部级科技进步一、二等奖和优秀教材二等奖。

现为西南交通大学土木工程学院教授，铁道部工程管理中心线路轨道组专家，中国交通运输协会交通新材料专业委员会高级顾问。目前从事着现代轨道新理论、新结构、新技术与新材料的研发工作。

序 言

自 2003 年中国铁路实施跨越式发展以来,铁路新线建设和既有有线改造的规模不断扩大,装备现代化水平不断提高。按照 2004 年初国务院批准的《中长期铁路网规划》,到 2020 年,全国铁路营业里程将达到 10 万 km,其中客运专线将达到 1.2 万 km。这标志着铁路建设新高潮的到来。这一轮的铁路建设高潮,规模大、标准高、速度快,对线路设备、四电、移动设备等的技术水平和质量水平提出了新的要求。铁路轨道直接承受机车车辆轮对的作用力,对运输安全起着至关重要的作用,其中的扣件虽小,但牵涉到整个轨道工程的稳定性和弹性。因此,扣件在轨道工程中的重要性以及对运输安全的直接影响是显而易见的,对它的技术质量要求同样也非常高。

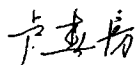
我国铁路自 20 世纪 50 年代末使用钢筋混凝土枕以来,相配套的钢轨扣件的研发生产也随之展开。首先投入使用的是 70 型扣板式扣件,这种扣件便于生产和安装,扣着力强,但弹性差、可调性差。80 年代开发使用的弹条扣件,解决了弹性差的问题,但可调性差的问题仍然存在。扣板式扣件和弹条扣件的适应速度较低,速度 250 km/h 及以上的铁路客运专线所需要的钢轨扣件,我国目前仍然没有成熟、先进的产品。

随着高速铁路的发展,日本、德国、法国、英国等国家分别开发了相适应的扣件。按扣件类型,可划分为有挡肩和无挡肩 2 种:前者的代表产品有德国的 Vossloh 扣件,后者有英国的 Pandrol 扣件、日本的直结 8 型扣件。

王其昌老师多年从事轨道工程的研究和教学工作,对扣件技术研究有较深的造诣。本书对国外高速铁路使用的扣件进行了深刻的技术、性能分析,就扣件系统设计、运用等提出了各种理论计算模

型，对我国铁路客运专线扣件系统的研发和使用提出了指导原则。这本书的出版发行，为广大科研技术人员提供了重要的借鉴资料，为我国扣件系统的研发给予了重要的启示，将是一部颇具价值的铁路钢轨扣件工具书。

我希望有关院校，科研机构和铁路运输、施工、生产企业，按照“引进先进技术，联合设计生产，打造中国品牌”的要求，在吸收国外高速铁路扣件技术的前提下，加大对客运专线、重载铁路扣件系统的研究，尽快形成具有我国自主知识产权的新型铁路扣件系统。



2005 年 11 月

前 言

无碴轨道的弹性几乎完全来自钢轨扣件系统，无碴轨道的精度也全靠扣件系统来保持和调整。现代钢轨扣件系统为能适应高速化、环保化、省力化和可调化四大基本准则，正在向着低刚度、长寿命、低成本及其相互协调的技术方向发展。

客运专线无碴轨道扣件在轨道结构中占有和发挥极其重要的地位和作用，钢轨扣件是关系到无碴轨道成败的一项重大关键技术。扣件虽小，作用甚大，用量众多，关联甚密，不可等闲视之。

为适应我国铁路跨越式发展和客运专线无碴轨道建设对钢轨扣件系统的工程技术要求，本着引进吸收，自主创新，带动相关产业发展的要求，在总结归纳国内外学者的研究成果、工程应用及交流心得，以及本人多年教学、科研的实践及讲学用讲义的基础上，重新整理编著本书。

本书涉及日本弹片式扣件、德国 Vossloh 扣件、法国 Nabla 扣件及英国 Pandrol 扣件等世界有代表性的钢轨扣件，以及我国新型钢轨扣件等有关结构特征、设计方法、技术要求和工程应用等内容。编写中力求概念清晰、信息丰富、资料全面、图文并茂、注重实用，以供研究、设计、制造、施工和养护从业者及高等院校师生参考。

本书在编写过程中还引用了国内外学者和工程技术人员所提供的有关资料和文献，深表谢意。特别要感谢研究生张雷在本书文档编辑工作中所付出的辛勤劳动。

限于作者水平，不当之处敬请读者批评指正。

王其昌

2005 年 10 月

目 录

1	总 论	1
1.1	钢轨扣件的功能	1
1.2	研发基本准则	2
1.3	扣件系统的组成	3
1.4	钢轨扣件的设计	11
1.5	世界现用有代表性的钢轨扣件技术性能	20
2	日本板式轨道钢轨扣件	24
2.1	扣件类型与适用范围	24
2.2	扣件设计方法	25
2.3	直结 4 型钢轨扣件	26
2.4	直结 5 型钢轨扣件	28
2.5	直结 8 型钢轨扣件	29
2.6	直结 7 型钢轨扣件	35
2.7	扣件零配件	36
2.8	日本板式轨道可调式 Pandrol 扣件	47
3	德国 Vossloh 钢轨扣件	49
3.1	概述	49
3.2	K 型扣板式钢轨扣件	49
3.3	δ 型弹条钢轨扣件	50
3.4	W 型弹条钢轨扣件	51
3.5	HM 型弹条钢轨扣件	52
3.6	Vossloh FF300 钢轨扣件	54
3.7	Vossloh DFF300 钢轨扣件	59

3.8	Vossloh DFF14 钢轨扣件	62
3.9	Vossloh 1403 和 336 系统钢轨扣件	63
3.10	无碴道岔钢轨扣件 (BWG)	66
4	法国 Nabla 钢轨扣件	68
4.1	RN 型钢轨扣件	68
4.2	Nabla 型钢轨扣件	69
4.3	双重垫板型钢轨扣件	71
4.4	G3 型钢轨扣件	71
4.5	STEDEF 无碴轨道钢轨扣件	72
5	英国 Pandrol 钢轨扣件	74
5.1	简 述	74
5.2	σ 型 Pandrol 弹条扣件	74
5.3	ω 型 Pandrol 弹条扣件	76
6	其他国家钢轨扣件	78
6.1	瑞士 Fist 钢轨扣件	78
6.2	荷兰 DE 型钢轨扣件	78
6.3	俄罗斯 KB、БП型钢轨扣件	80
7	中国新型钢轨扣件	83
7.1	概述	83
7.2	弹条 II 型弹性不分开式扣件	84
7.3	弹条 II 型弹性分开式扣件	85
7.4	弹条 III 型弹性不分开式扣件	86
7.5	弹条 III 型弹性分开式扣件	86
7.6	预埋铁座可调式弹性不分开式扣件	87
7.7	WJ-2 型弹条扣件	89
7.8	弹性分开式扣件	90
7.9	WJ-7 型弹性扣件	92

8 减振型钢轨扣件	96
8.1 日本双重铁垫板夹层型减振扣件	96
8.2 日本压缩型减振扣件	98
8.3 德国 Köln 蛋形减振扣件	102
8.4 中国轨道减振器扣件	103
8.5 日本双蛋剪切型减振扣件	104
8.6 低刚度垫板减振扣件	106
9 低刚度轨下胶垫应用技术	108
9.1 轨下胶垫的低刚度化趋势	108
9.2 低刚度轨下胶垫的理论与实践依据	109
9.3 轨下垫板材料及其一般特性	111
9.4 轨下胶垫刚度的基本特性	113
9.5 轨下胶垫刚度的近似计算方法	118
9.6 轨头横向位移允许值的计算	122
9.7 钢轨小返角的实用计算式	122
9.8 扣件刚度的合理匹配	126
参考文献	130

1 总 论

1.1 钢轨扣件的功能

弹性钢轨扣件是现代轨道不可或缺的组成部分。特别是对无碴轨道，其弹性特性越来越重要了。由于新型轨道结构的发展，在研发和设计钢轨扣件时，依据其使用条件和要求，一般应具备下列功能：

- 能把钢轨牢固地固定在其支承体上。
- 能缓冲来自钢轨的对支承体的冲击力。
- 能适当分散由车辆传至钢轨的垂向力和横向力。
- 能抵抗来自钢轨的纵横向水平力。
- 能抵抗钢轨的小返和回转。
- 具有必要的钢轨垂向和横向的调整量。
- 在一定条件下可使钢轨能在支承体上滑移（桥上无缝轨道要求使用小阻力扣件）。
- 在钢轨和支承体之间具有足够的绝缘性能。
- 减轻由钢轨传至支承体的振动作用，改善环境条件。
- 批量生产时成本低廉。

其中，钢轨扣件最重要的技术参数是：扣件节点刚度（扣压件前端刚度、轨下胶垫刚度）、钢轨与轨下结构的联结方式、轨下结构对钢轨的绝缘性能及钢轨高度和平面位置的可调性能。

钢轨扣件构造主要分为分开式扣件和不开分式扣件 2 类：分开式扣件结构较为复杂，易于满足施工误差和轨道几何尺寸的调整；而不开分式扣件结构简单，零部件少，造价低，维修工作量较少。

作为支持扣件上述功能的基本条件，自然是期望扣件各组成零部件的使用寿命尽量长及其构造尽量简单、零部件少。

前者意味着，在严酷的环境条件下，在运行列车轮轨垂向力和

横向力的反复作用下，即使组成扣件的各零部件产生一定的反复应力，也应保证其零部件具有所需要的使用年限，以及不因环境恶化而降低它的功能。这里，所需要的使用年限，尽管与轨道保养系统有关，但力求与钢轨或轨枕同期更新更换，是今后扣件设计中所要考虑的重大技术课题。

后者是指扣件制造时的品质稳定、施工时的作业性和养护时的简易性，当然这些不仅与经济性密切相关，还与扣件功能相协调有关。

总之，钢轨扣件的低刚度、长寿命、低成本及其相互协调是现代钢轨扣件研发的重大技术动向。

1.2 研发基本准则

随着新型轨下基础的发展和列车速度的提高，现代轨道特别是无碴轨道的钢轨扣件，除应满足上述的功能和要求外，为适应高速化、环保化、省力化和可调化四大基本准则，世界铁路相继研制试铺了各种新型钢轨扣件。

① 高速化。随着列车运行的高速化，轮轨横向动作用力相应增大，为此应增强钢轨扣件承受横向力的能力。

② 环保化。随着列车的高速化，轮轨滚动噪声势必增大，将给沿线环境造成严重污染。特别是对于重轨重枕有碴轨道和无碴轨道，这种影响更加恶劣。为降低轨道综合刚度，不得不在扣件中增设弹性减振部件。

作为无碴轨道的减振降噪技术对策，若在工程结构上采取措施需花费很大的投资；若能在钢轨扣件上采取相应对策，如低刚度减振型钢轨扣件，这在事实上被证明是有良好效果的。目前，世界各国铁路都把低刚度轨道结构，尤其是减振扣件作为主要研发技术方向。

③ 省力化。在高速轨道的保养和检查中，占很大比重的是对服役钢轨扣件螺栓松弛的检查和复拧作业。因此，以钢轨扣件的省力化为目标，如何抑制扣件螺栓的松弛，延长检查周期，是研制新型钢轨扣件不可或缺的实际技术课题。

④ 可调化。为能高效整正影响高速行车平稳性的长波长轨道不平顺，应适当增大钢轨扣件的上下和左右的调整能力。

1.3 扣件系统的组成

无碴轨道扣件系统虽由多种配件组成，各国所用扣件系统也不尽相同，但主要是由扣压件、弹性基板和锚固联结件三大部件组成。组成扣件系统的各部件的形状、种类及材质与系统功能、联结方式、制造难易、施工养护方法及经济成本等密切相关。

1.3.1 扣压件

(1) 扣压件的类型

扣压件的作用是将钢轨牢固固定在轨枕或弹性基板上，除必须有一定的扣压力外，还必须能承受来自钢轨的垂向力、横向力和纵向力的作用。为避免因三向作用力而引起变形过大，造成列车摇摆过大，降低乘坐舒适性，甚至影响行车安全，目前常用的扣压件类型多为弹片式或弹条式 2 种弹性扣压件。弹性扣压件与刚性扣压件相比，具有追随钢轨变形、不易松弛和耐疲劳性优的特征。

根据德国慕尼黑大学的试验研究结果，单个扣压件只需有 10 kN 的扣压力和 10 mm 的弹程，便可控制弹性和位移。这种弹性扣压件的扣压力，除可防止钢轨爬行外，还能以其弹性变形吸收来自钢轨的冲击能量，缓冲振动，降低锚固螺栓因振动冲击而引起的松弛。

就其弹性作用而言，弹片式扣压件仅能利用其弯曲应变，但其形状比较简单，除能扣压钢轨及承受横向推力作用外，还能用于小半径曲线。

而弹条式扣压件，既可利用其弯曲应变，又可利用其扭曲应变。因此，就弹簧特性而言，弹条更为有利，但其线形变化较大，并且弹簧形状复杂。日本、法国、澳大利亚习惯用弹片式扣压件，而德国、英国、荷兰和中国则多用弹条式扣压件。

(2) 扣压件的性能

① 扣压件前端刚度必须小。若扣压件前端刚度较小，则在一定

扣压力下的弹簧变位大，螺栓不易松弛，并且列车行驶时由钢轨位移引起的变动应力亦较小。此外，由于扣压件前端磨耗及配件磨损较小，也易于保持扣压力的稳定，但抵抗钢轨小返阻力也小。因此，当前各国对扣件系统的设计理念是，扣压钢轨和钢轨下沉的刚度要小，而钢轨向上变位的刚度要大。

② 应力变化应在弹簧钢的疲劳极限以内。在列车荷载作用下，钢轨发生变形，扣压件的扣压力亦随之变化，扣压件应力随之变动，这种应力变化与初始扣压力下的平均应力均必须在弹簧钢的疲劳极限以内。

③ 便于调整与扣压力控制。扣压件的主要功能是在保持一定的扣压力的条件下，能适时调整扭力矩。因影响配件摩擦系数的扣压件形状及拧紧器具的精度均会造成扭力矩的偏差，故扣压件的形状以便于控制其形状为宜。

④ 扣压件的固有频率应不同于基板，以避免扣压件受振动而造成松动或脱落。

(3) 扣压件的扣着方式

扣压件应具有可拆卸性，并且更换钢轨或抬起钢轨时，不影响基板与轨下基础的联结。扣压件的扣着方式大致有有螺栓式和无螺栓式 2 种。日本、法国多用弹片—有螺栓式，德国多用弹条—有螺栓式，而英国则用弹条—无螺栓式。

① 有螺栓式。

优点：

- 对于扣件配件的公差或因磨耗而变形时，能用拧紧螺栓调节扣压力的方法来调整；

- 便于调整轨道高低和轨距；
- 采用简单器具即可拧紧，便于组装、拆卸与更换。

缺点：

- 螺栓易松弛、生锈，难以控制适宜的拧紧力；
- 常需复拧和涂油作业。

② 无螺栓式。

优点:

- 扣着稳固, 无需复拧螺栓作业;
- 锚固装置本身兼承受横向力。

缺点:

• 配件存在制造误差、磨损、变形及施工误差时, 无法调整其扣压力;

• 配件变形时扣压力会发生偏差, 故扣压件前端刚度应采用较小值, 并应提高配件制造及施工精度;

- 组装时必须用特制器具;
- 锚固配件损伤时更换困难。

总之, 有螺栓式具有多机能优点, 但需加强养护管理; 无螺栓式虽有养护管理省力化的优点, 但其机能却被限制。

(4) 扣压件材料性能

扣压件一般可用铬锰合金钢、硅锰合金钢或硼钢制造。所用钢材的化学成分、硬度应符合设计规定。

1.3.2 弹性基板

随着无碴轨道的发展, 为降低振动、噪声对环境的污染, 各国遂研发出各种形式的将弹性材加入整体基板结构中的弹性基板, 借弹性材的特性, 以达到减振降噪的作用。

(1) 定义

所谓弹性基板是指金属铁垫板与橡胶弹性垫板结合在一体的统称。它是扣件系统中直接支承钢轨并将列车垂向和横向动荷载经钢轨均匀传递至混凝土轨下基础的主要部件。

(2) 基本功能

- 能承受来自钢轨的垂向力、横向力和纵向力的作用;
- 提供足够的弹性, 以降低冲击振动;
- 具有适当的绝缘性能。

(3) 基板尺寸

首先确定基板单位面积的荷载值, 在考虑混凝土枕或支承体的

长度与宽度后再推算基板尺寸。

(4) 基板类型

随着无碴轨道的发展，为减振降噪，降低环境污染，各国遂研发出各种不同形式的基板。常用的弹性基板，根据金属铁垫板与橡胶弹性垫板的配置方式，可归纳为分离式或粘结式的双层弹性基板和三层弹性基板两大类。

(5) 双层式弹性基板

双层式弹性基板，在构造上，上层为配合扣压件用以支承钢轨的铁垫板或称为顶板，顶板之下为弹性垫板。顶板与弹性垫板结合方式又有分离式和粘结式之别。

① 分离式双层弹性基板。分离式弹性双层基板（图 1.1）是在铁垫板与弹性垫板之间未作任何粘结处理，采用锚固螺栓或预埋铁座不分开式贯穿联结。这种弹性基板所承受的荷载大部分由锚固螺栓来承受，增加了锚固螺栓设计和选用的难度。

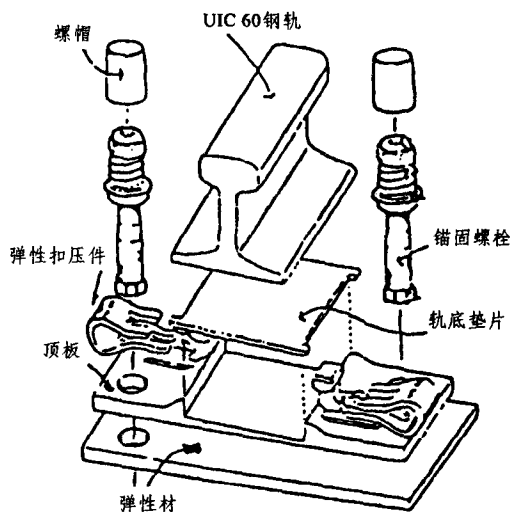


图 1.1 分离式双层弹性基板

② 粘结式双层弹性基板。为了减少锚固螺栓承受荷载及其用材

的经济性，德国 Clonth 公司研发了一种粘结外环板锚固式弹性基板（图 1.2），以使铁垫板与弹性垫板粘结为一体。弹性垫板面积略大于铁垫板，粘结而成的基板四周以外环板约束，顶板与外环板之间灌注弹性材，靠顶板与外环板间弹性材的变形起缓冲荷载作用，而锚固螺栓则仅贯穿外环板固定在混凝土道床上。它能使弹性材充分承受压力，避免承受剪切作用。当顶板承受荷载时，其三向荷载皆有相应的弹性材以压缩变形反应吸收及传递荷载。当列车荷载经由弹性材传递后，实际锚固螺栓所受的动力作用已大大降低。因此锚固螺栓可不必再选用更高级别的螺栓。当弹性垫板与顶板粘结失效后，弹性材仍约束在外环板与顶板之间，仍将发挥弹性材具有的减振降噪功能，同时弹性基板的维护性亦较低。

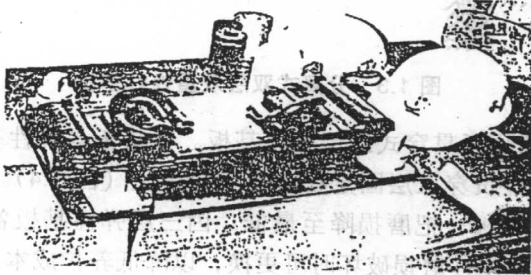


图 1.2 粘结式双层弹性基板

③ 分离式双层双重弹性基板。为满足现代轨道系统高弹性的需求，还研发有配合扣压件使用的分离式双层双重弹性基板（图 1.3）。它的基本特征是为大幅度改善锚固件的受力状态，而增大了弹性基板对钢轨的横向、纵向弹性系数。并且弹性基板承载钢轨的部分也与锚固件固定基板的部分分离。这种方式对道岔区轨道的使用具有较大的自由度。

(6) 三层式弹性基板

所谓的三层式弹性基板，其构造是在弹性基板的下方再增加一块铁垫板，从而构成“铁垫板—弹性垫板—铁垫板”的形式。上层铁垫板称为顶板，下层铁垫板称为底板。铁垫板与弹性垫板之间的