

高速铁路无砟轨道系列丛书

Structural Design and Maintenance Theory of
Slab Track on Bridge

桥上无砟轨道 设计与维修理论

任娟娟 杨荣山 赵坪锐 刘学毅 著



科学出版社

高速铁路无砟轨道系列丛书

桥上无砟轨道设计与维修理论

任娟娟 杨荣山 赵坪锐 刘学毅 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书在广泛调查我国高速铁路中桥上无砟轨道伤损类型、机理及维修方法的基础之上,针对不同桥上无砟轨道损伤和维修问题进行理论研究。通过建立的“无缝线路-无砟轨道-桥梁”静力学耦合模型,研究桥上无砟轨道不设伸缩调节器的合理温度跨度;依据对不同伤损条件下的“无缝线路-无砟轨道-桥梁”静力学、动力学耦合模型,研究梁端扣件胶垫滑出、钢轨碎弯、凸台拉裂、宽接缝开裂等典型伤损对轨道结构的受力和行车的影响,并从理论分析角度进行桥上无砟轨道无缝线路典型伤损的限值研究;此外,初步提出钢轨碎弯、凸台拉裂、宽接缝开裂等桥上无砟轨道无缝线路典型伤损的整治方案并分析维修过程对系统结构受力变形的影响。

本书适合从事轨道交通科研、技术和教学的人员参考,也可作为大学本科相关专业高等级大学生和研究生的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

桥上无砟轨道设计与维修理论 / 任娟娟等著. —北京: 科学出版社, 2015.6

(高速铁路无砟轨道系列丛书)

ISBN 978-7-03-044703-6

I. ①桥… II. ①任… III. ①高速铁路-无砟轨道-设计-研究 ②高速铁路-无砟轨道-维修-研究 IV. ①U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 124212 号

责任编辑: 于 楠 / 责任校对: 贺江艳
封面设计: 墨创文化 / 责任印制: 余少力

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码: 100717
<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年10月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015年10月第一次印刷 印张: 13.75

字数: 326千字

定价: 69.00元

前 言

随着我国高速铁路和客运专线建设的大规模开展，京津城际、武广、郑西、京沪、哈大等高速铁路相继建成和通车，大跨度混凝土桥上铺设无砟轨道无缝线路成为我国高速铁路建设的关键技术之一。无砟轨道的结构及梁轨相互作用机理有别于传统有砟轨道，且更为复杂，大跨桥上无砟轨道不设钢轨伸缩调节器的最大温度跨度尚未明确，这给大跨桥上无砟轨道的设计造成了困扰。通过对我国近年大跨度桥梁无砟轨道无缝线路的运营情况调查发现，铺设 CRTS I 型板式、CRTS II 型板式、双块式无砟轨道的大跨度混凝土桥梁已出现不同程度的轨道结构病害，如梁端扣件胶垫滑出、钢轨碎弯、凸台与底座连接处拉裂、纵连板宽接缝开裂等问题，可能影响无砟轨道结构的安全性与耐久性，严重时有可能危及行车安全。尽管我国是目前在建和投入运营高速铁路以及铺设桥上无砟轨道无缝线路最多的国家，但大部分是在最近几年通过再创新建成的，对无砟轨道系统尤其是 CRTS 系列桥上无砟轨道无缝线路突出问题及典型伤损的研究还处于初步研究阶段，因此有必要针对现有大跨度混凝土桥上铺设无砟轨道无缝线路出现的问题进行深入研究，并分析典型伤损及相应维修作业对结构受力及行车的影响，以提出相应的维修建议，用以指导现场大跨桥上无缝线路的养护维修，保障无砟轨道结构在设计年限内的正常运营。

因此，本书在充分搜集、整理和吸收国内外对桥上无砟轨道无缝线路设计及维修技术的基础上，以我国已运营和在建的 CRTS 系列大跨桥上无砟轨道系统为背景，针对国内目前高速铁路大跨桥上无砟轨道无缝线路设计遇到的迫切问题及运营中已出现的典型伤损进行深入研究，具有重要的科研价值和现实意义。

本书在编写过程中，参考和应用了西南交通大学高速铁路线路工程教育部重点实验室多年的研究成果，也参考了部分国内外其他研究者的研究成果，作者也尽可能地在书后的参考文献中列出。除此之外，要感谢铁路总公司科技开发计划项目“高速铁路无砟轨道维修技术的深化研究(2013G008-C)”对本书研究的支持，还要感谢各铁路局为作者现场调研提供的便利条件，以及作者所在实验室的教师同仁及研究生为本书提供的宝贵意见和帮助。

由于作者水平有限，书中难免有疏漏之处，恳请广大读者批评指正，作者将十分感激并将在今后的研究中不断改进和完善。

目 录

第 1 章 典型伤损现场调查及成因研究	1
1.1 胶垫滑出现场调查及成因研究	1
1.1.1 胶垫滑出现场调查资料	1
1.1.2 胶垫滑出成因分析	2
1.1.3 胶垫滑出成因研究	4
1.2 钢轨碎弯现场调查及成因研究	11
1.2.1 现场调查	11
1.2.2 病害成因研究	11
1.3 凸形挡台拉裂现场调查及成因研究	13
1.3.1 凸形挡台拉裂现场调研	13
1.3.2 凸形挡台拉裂原因及危害	14
1.3.3 病害成因分析	14
1.4 CRTS II 型板开裂现场调查及病害成因研究	15
1.4.1 CRTS II 型板式轨道使用现状和开裂情况调查	16
1.4.2 无砟轨道板裂缝产生机理	17
1.5 CRTS II 型板上拱现场调查及成因研究	19
1.5.1 不同地段轨道板上拱调查	19
1.5.2 轨道板上拱成因分析	21
第 2 章 桥上无砟轨道合理温度跨度研究	24
2.1 国内外研究状况	24
2.2 CRTS I 型板式无砟轨道合理温度跨度	26
2.2.1 计算模型与参数	26
2.2.2 连续梁桥不设伸缩调节器合理温度跨度研究	28
2.2.3 连续刚构不设伸缩调节器合理温度跨度研究	34
2.3 CRTS II 型板式无砟轨道合理温度跨度研究	39
2.3.1 合理配跨研究	40
2.3.2 线-板-桥空间一体化计算模型	42
2.3.3 北京跨五环特大桥纵向相互作用规律	46
2.3.4 大跨连续梁桥合理温度跨度研究	65
2.4 双块式无砟轨道合理温度跨度	78
2.4.1 计算模型与参数	78
2.4.2 最大温度跨度研究评价指标	80

2.4.3	简支梁不设伸缩调节器的最大温度跨度研究	81
2.4.4	连续梁不设伸缩调节器的最大温度跨度研究	83
2.4.5	连续刚构不设伸缩调节器的最大温度跨度研究	94
第3章	典型伤损静力特性影响分析	107
3.1	胶垫滑出静力特性影响分析	107
3.1.1	计算工况	108
3.1.2	胶垫滑出纵向阻力测试	108
3.1.3	计算模型	114
3.1.4	轨下胶垫滑出对钢轨附加力的影响	115
3.1.5	轨下胶垫滑出对梁轨相对位移的影响	116
3.2	钢轨碎弯静力特性影响分析	117
3.2.1	计算模型	118
3.2.2	计算参数	120
3.2.3	温度力作用下钢轨碎弯对结构受力变形的影响	122
3.3	凸形挡台拉裂静力特性影响分析	127
3.3.1	半圆形凸形挡台设计承载力分析	128
3.3.2	轨道结构-桥梁纵向耦合静力分析模型	129
3.3.3	凸形挡台拉裂对轨道的影响	132
3.4	CRTSⅡ型板开裂静力特性影响分析	134
3.4.1	宽接缝开裂的研究	134
3.4.2	假缝开裂的研究	141
第4章	典型伤损动力特性影响分析	158
4.1	动力学研究理论和方法	158
4.1.1	车辆-轨道系统耦合动力学理论	159
4.1.2	车辆和轨道动力学性能评价指标和评价标准	161
4.2	胶垫滑出动力特性影响分析	164
4.2.1	含轨下胶垫滑出的动力仿真模型与计算参数	164
4.2.2	不同轨下胶垫滑出量下的轮轨系统动力学性能	165
4.2.3	轨下胶垫滑出对轮轨系统动力学特性的影响	167
第4.3节	钢轨碎弯动力特性影响分析	170
4.3.1	车辆三向动力学仿真分析模型	170
4.3.2	钢轨碎弯对行车影响分析	172
4.4	凸形挡台拉裂动力特性影响分析	177
4.4.1	车辆-无砟轨道-桥梁垂向耦合振动模型	178
4.4.2	轨道结构参数	178
4.4.3	凸形挡台拉裂前后动力学性能	179
4.5	CRTSⅡ型板上拱动力特性影响分析	181
4.5.1	车辆-CRTSⅡ型板式轨道-桥梁垂向耦合振动模型	181

4.5.2 桥上 CRTSⅡ型无砟轨道系统轨道板上拱垂向动力学性能计算	183
第 5 章 典型伤损维修影响研究	190
5.1 概述	190
5.2 CRTS I 型板式轨道维修的起道分析	190
5.2.1 计算模型与基本参数	191
5.2.2 计算结果分析	192
5.2.3 起道、抬板施工流程	195
5.3 CRTSⅡ型板式轨道维修的起道分析	196
5.3.1 计算模型和基本参数	196
5.3.2 计算结果分析	197
5.4 CRTSⅡ型板式轨道抬板锚固	200
5.4.1 计算模型	200
5.4.2 计算结果分析	201
5.4.3 换板施工流程	204
主要参考文献	207

第 1 章 典型伤损现场调查及成因研究

我国桥上无砟轨道，不同轨道类型其结构构造各异，主要由钢轨、扣件系统、预制轨道板或现浇道床板、钢筋混凝土底座(包括凸形挡台、凹槽等限位结构)等组成。我国幅员辽阔、环境条件复杂多样，无砟轨道作为行车的基础且一直暴露于复杂的大气环境中，在长期列车荷载、温度、桥梁伸缩挠曲以及环境等复杂因素的影响下，不可避免地会出现一定的病害。作者对我国大跨桥上无砟轨道伤损进行初步调研，并对桥上出现的伤损进行跟踪调查，现将桥上典型伤损现场调研资料整理如下，并对其伤损成因进行分析。

1.1 胶垫滑出现场调查及成因研究

轨下胶垫是轨道结构的重要组成部分之一，轨下胶垫在降低轨道刚度、提高线路弹性、降低动态效应和改善轮轨相互作用等方面起着重要的作用。特别是对于无砟轨道，钢轨支撑弹性几乎完全受扣件系统的轨下胶垫刚度的支配，其弹性特征就更显得重要。

大跨桥上轨下胶垫滑出后，扣件纵向阻力降低，梁轨相对位移增大，导致轨下胶垫进一步滑出；轨下胶垫滑出后，其支撑弹性降低，甚至出现轨底脱空，导致线路不平顺，影响高速列车运行时的平稳性，严重时导致轨道结构出现安全问题。

作者于 2013 年 12 月到郑西线渭南一跨和二跨进行胶垫滑出现场调研，并于 2014 年 12 月到病害发生处调研病害整治的效果。通过两次调研，了解线路所在位置的实际情况，包括桥梁现场布置、轨道板和钢轨实际铺设、梁缝处扣件布置、伸缩调节器现场布置和位移、垫梁布置和位移，以及焊缝位移等，并从中国铁路第一研究院和西安铁路局等相关单位了解和收集相关资料。通过两次调研掌握了胶垫滑出的第一手资料，结合现场实际情况归纳总结胶垫滑出现象，探讨可能导致胶垫滑出的原因，分析胶垫滑出后对轨道结构的实际影响。本节根据郑西客运专线上 WJ-8 型扣件胶垫滑出现场调研实测资料，结合 WJ-8 型扣件的受力原理及桥上无缝线路的基本原理，对桥上胶垫滑出的成因进行初步分析。

1.1.1 胶垫滑出现场调查资料

现场调查表明，桥上胶垫滑出主要发生在温度跨度较大的桥梁活动端处，以下为郑西客运专线上的实测资料。

1) 渭南一跨渭河桥胶垫滑出

渭南一跨渭河桥位于郑西客运专线上，其桥跨布置为 $(40+64+40)\text{m}+(40+5\times 64+40)\text{m}+(40+5\times 64+40)\text{m}$ ，其桥梁温度跨度有 208m 和 592m 两种情况。全桥采用小阻力扣件，温度跨度为 592m 的梁段设置了伸缩调节器。在桥梁活动端处易出现橡胶垫板反

复滑出现象。当桥梁温度跨度为 208m 时,胶垫最大滑出长度为 10~30mm;当桥梁温度跨度为 592m 时,胶垫最大滑出长度为 100mm 以上,如图 1-1 所示。胶垫滑出的同时,胶垫容易出现折断等损伤。

2) 渭南二跨渭河桥胶垫滑出

渭南二跨渭河桥也位于郑西客运专线上,其桥跨布置为 $7-(48+4\times 80+48)\text{m}+(40+2-64+40)\text{m}$,其桥梁温度跨度有 536m 和 736m 两种情况。全桥采用小阻力扣件,两种温度跨度的梁段均设置了伸缩调节器。在桥梁活动端处易出现橡胶垫板反复滑出现象,胶垫最大滑出长度为 100mm 以上,如图 1-2 所示。

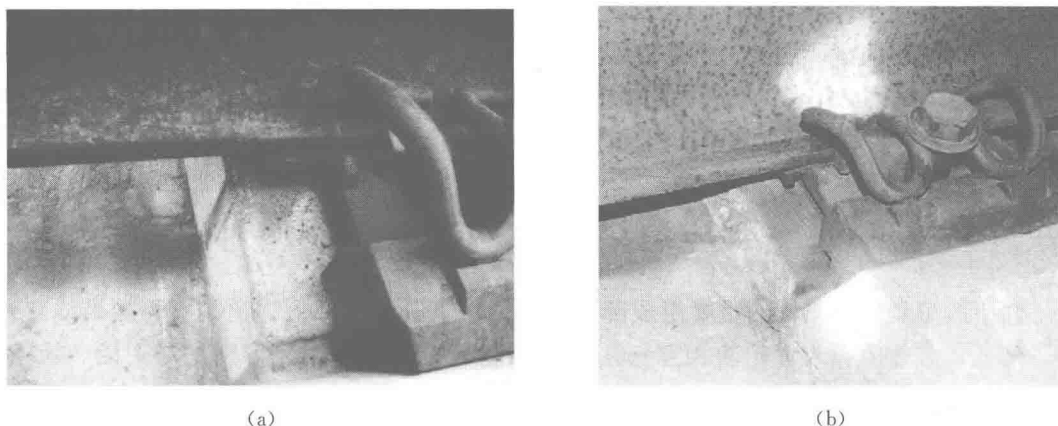


图 1-1 垫板滑出 10~30mm

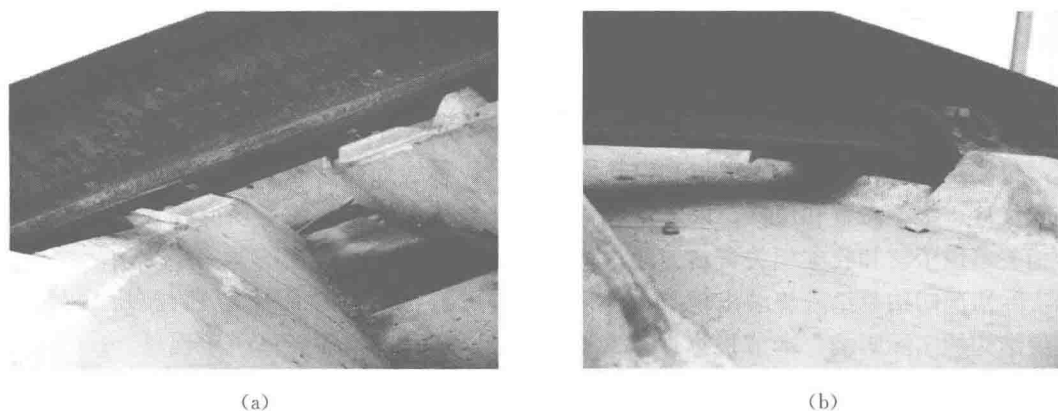


图 1-2 垫板滑出 100mm 以上

一旦出现如此大的胶垫位移,应在日常维护中加强监管,对出现问题的部位及时地维护和处理。2014 年 12 月,在第二次现场调研和实际了解中,没有发生胶垫滑出长度大于 100mm 的情况。

1.1.2 胶垫滑出成因分析

1. 大跨桥梁温度跨度对轨下胶垫滑出的影响

据现场调研,郑西客运专线上轨下胶垫滑出主要出现在大跨连续梁桥梁端梁缝处,

且胶垫滑出长度随着温度跨度的增加而增加。由于梁端处梁轨相对位移较大,钢轨带动胶垫一起移动,而复位时胶垫纵向摩擦力减小,胶垫不能随钢轨完全复位,从而导致胶垫的部分滑出。长此以往,胶垫的滑出长度越来越大。现场的一些照片可以反映钢轨与桥梁间较大的相对位移。

由于存在梁轨间的大位移,为了防止钢轨的过大位移造成焊缝位移过大,在渭河二跨使用了特殊的扣件锚固装置,如图 1-3 所示。当梁轨相对位移过大时,此结构可以保持焊缝结构和扣件的安全使用。

由于大梁缝,渭南二跨使用了垫梁跨越梁缝,搭接在梁缝两侧的梁跨上。垫梁上部埋入双块式轨枕,下部设置混凝土底座。垫梁一端设置固定端传力键,一端设置活动端传力键,通过传力键将荷载传递给底座。垫梁与底座之间设置两布一膜,以保证垫梁与底座之间能够相对滑动。当温度变化时,垫梁相对于桥梁发生位移。垫梁位移如图 1-4 所示。

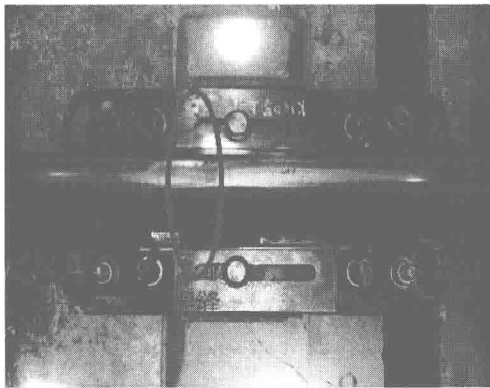


图 1-3 焊缝处扣件锚固装置



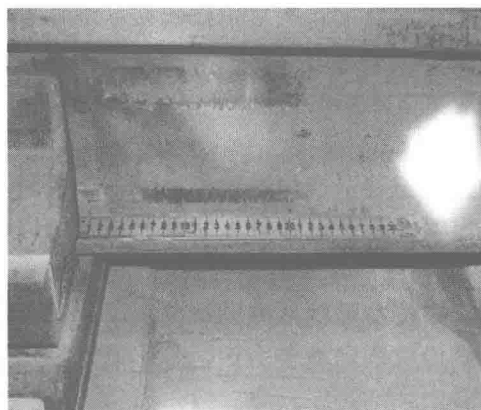
图 1-4 垫梁位移

2. 采用小阻力扣件对轨下胶垫滑出的影响

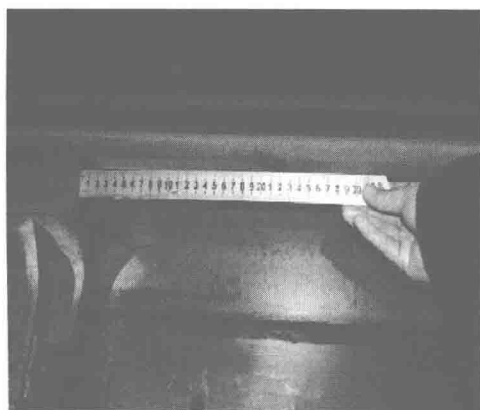
大跨连续梁桥上多采用小阻力扣件,可适当减小钢轨的纵向力,但是由于小阻力扣件相对于常阻力扣件,扣压力与摩擦力均减小,导致梁轨相对位移更大,从而导致轨下胶垫更容易滑出。虽然轨下胶垫两端设有防滑出凸边,但在滑出量较大的情况下,造成轨下胶垫在滑动过程中从凸边处撕裂,甚至导致绝缘块损坏。

3. 设置伸缩调节器对胶垫滑出的影响

当大跨桥上无缝线路纵向力、位移、钢轨断缝超过允许值且无法满足无缝线路的设计要求时,就需要设置伸缩调节器。伸缩调节器中基本轨伸缩,尖轨固定不动。所以,设置伸缩调节器后,其梁轨相对位移也会增大,故胶垫滑出可能性会增大。伸缩调节器的基本轨接头以外的线路一般也会采用小阻力扣件,也会增大胶垫滑出的可能性。根据在渭河特大桥的调研可知,设置伸缩调节器地段胶垫滑出的长度远大于没有设置伸缩调节器的地段,证实了设置伸缩调节器增大了胶垫滑出的可能性。钢轨伸缩调节器处位移现场调研如图 1-5 所示。



(a) 伸缩调节器处位移



(b) 伸缩调节器位移

图 1-5 钢轨伸缩器位移

1.1.3 胶垫滑出成因研究

郑西客运专线大跨桥上多采用 WJ-8 型扣件。WJ-8 型扣件由绝缘块、螺旋道钉、平垫圈、橡胶垫板、弹条、铁垫板、轨距挡块等组成，其安装图如 1-6 所示。在温度荷载和列车荷载循环作用下，钢轨与桥梁由于材料、截面性质和结构构造等的不同而产生相对位移，钢轨带动垫板移动，而钢轨复原时垫板没能完全复原，故出现胶垫滑出现象，如图 1-7 所示。

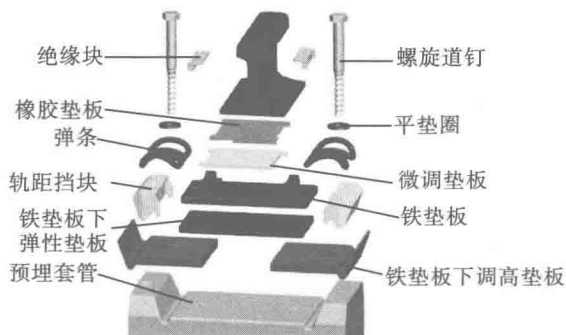


图 1-6 WJ-8 型扣件

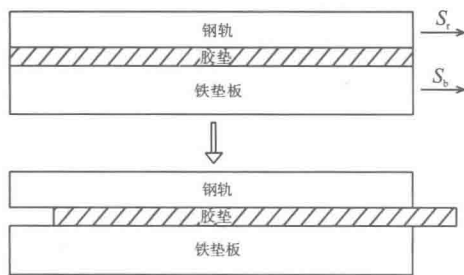


图 1-7 胶垫滑出示意图

S_r 表示钢轨位移； S_b 表示铁垫板位移

1. 胶垫滑出成因分析

1) 温度荷载

桥上双块式无砟轨道无缝线路在温度上升的情况下，钢轨伸长受到两端钢轨约束形成温度力，而桥梁则可以相对自由地伸长，伸长长度为

$$\Delta l = \alpha l \Delta t \quad (1-1)$$

式中， α 为线膨胀系数； l 为结构长度； Δt 为升温幅度。

由于钢轨伸长受到约束而桥梁可自由伸长，钢轨和桥梁在温度变化时其伸缩不同步，造成钢轨相对于桥梁有一定的位移。由于摩擦作用，带动轨下胶垫一起移动。胶垫移动

之后,垂直作用于表面的压力减小,钢轨和铁垫板的接触面积减少,使得纵向摩阻力减小,胶垫不能完全复位。随着温度荷载循环次数的增加,胶垫滑出量也增加。

2) 列车荷载

列车牵引(制动)时,如图 1-8 所示,车轮与钢轨间的摩擦力迅速增大,导致钢轨受到较大的纵向力,使钢轨相对于桥梁产生相对位移,带动轨下胶垫一起移动,列车离开(停下)后,纵向力散失,钢轨复原,胶垫没能随钢轨完全复原,故存在一定的滑出量。

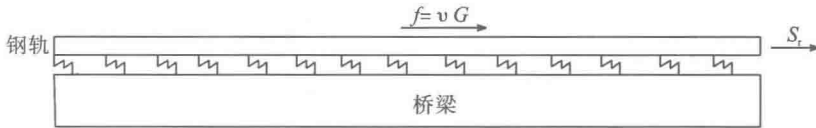


图 1-8 列车制动示意图

2. 轨下胶垫滑出成因研究实验

1) 实验目的与内容

轨下胶垫滑出主要是由于钢轨与桥梁的伸缩不同步(即存在较大的梁轨相对位移)导致的。桥梁伸缩时,扣件系统锚固在轨道板上,随桥梁一起移动;列车牵引制动荷载作用时,钢轨相对于扣件有相对位移。在上述荷载作用下,钢轨皆相当于扣件有相对位移。因此,实验中固定扣件系统,反复来回推动钢轨使钢轨产生位移,以此模拟现实中的梁轨相对位移。本次实验综合考虑实验条件等各方面的因素选定预推的钢轨位移分别为 0.2mm、0.5mm、0.8mm、1mm、1.5mm、2mm、2.5mm、3mm、4mm、5mm,共 10 种工况。每组实验工况反复推 10 次,模拟现实中的 10 次梁轨间相对移动,以此来研究轨下胶垫滑出的原因。

2) 实验准备

(1)实验设备。①长度为 0.625m、两端均自由的 60kg/m 的钢轨,如图 1-9 所示。②一组 WJ-8 小阻力扣件,一种新型轨下复合胶垫,如图 1-10 所示。③量程为 25MPa 的液压千斤顶,如图 1-11 所示。④量程为 500N·m 的扭力扳手,如图 1-12 所示。⑤两块机械百分表。

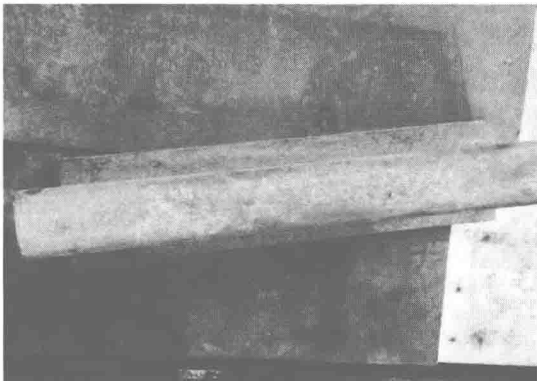


图 1-9 实验用钢轨

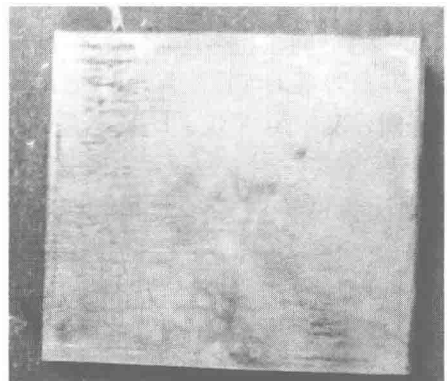


图 1-10 WJ-8 小阻力扣件复合垫板

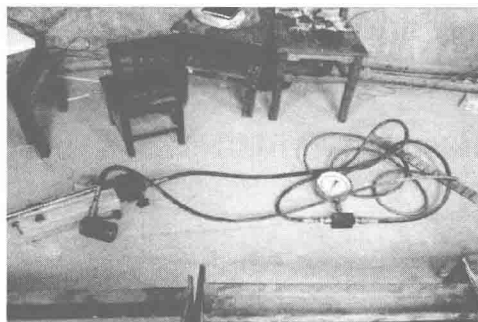


图 1-11 液压千斤顶

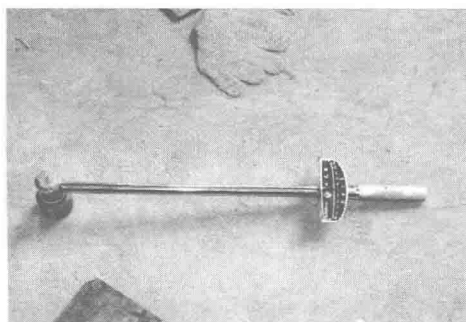


图 1-12 扭力扳手

(2)实验工装。实验工装如图 1-13 所示。工装的两端都设有挡板，实验时，将液压千斤顶支撑于工装挡板和钢轨之间，其中一端为实验钢轨，另一端用于提供反作用力的工装挡板。根据作用与反作用原理，加载时，实验钢轨将受到另一端挡板传递过来的纵向力作用。



图 1-13 实验工装

3)实验原理

实验主要研究：①残余位移与梁轨相对位移(实验中预推钢轨位移)、温度升降循环次数(实验中来回推动钢轨次数)的关系；②钢轨回弹位移与钢轨位移的关系；③钢轨加载、卸载时推力与钢轨位移的关系(即扣件系统的荷载-位移滞回曲线图)。图 1-14 为加载原理图，其中用 A 端、B 端表示钢轨的两个加载端。

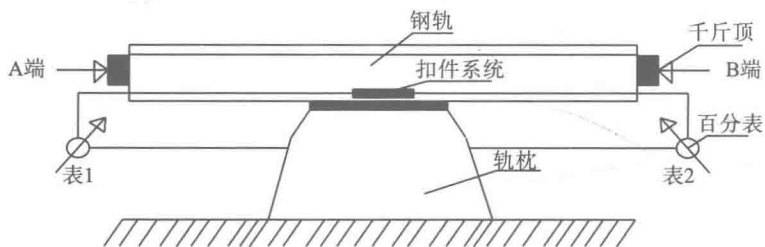


图 1-14 加载原理图

4) 实验步骤

(1) 该实验在常温下进行, 温度保持在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。用于实验的所有部件要在实验开始前在该温度下至少放置 4h。

(2) 检查复合橡胶垫板是否与钢轨充分接触, 是否有破损。若有异常, 必须更换。

(3) 检查相关仪器设备工作是否正常。

(4) 将扭力扳手的扭力值调至 $110\text{N} \cdot \text{m}$, 将实验扣件逐个扣紧。

(5) 将工装就位, 保证钢轨断面与工装结合紧密。

(6) 安装加载设备, 如图 1-15 所示。

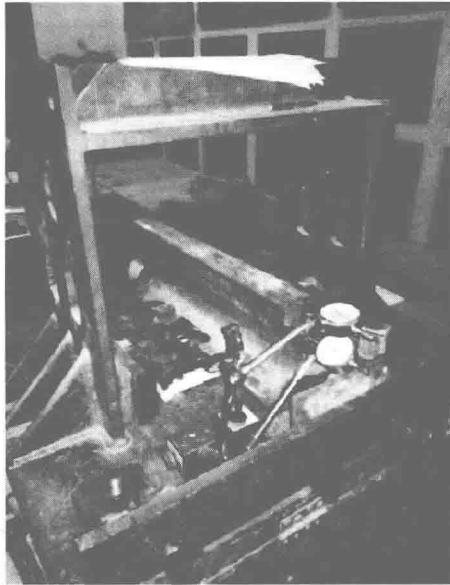


图 1-15 安装加载设备

(7) 用液压千斤顶在钢轨 A 端均匀加载($0.2\text{MPa}/\text{次}$), 同时观察百分表 1 的读数, 达到预定的位移(第一次 0.2mm), 记下液压表读数, 卸载, 2min 后分别记下百分表 1 的读数。

(8) 然后用液压千斤顶在钢轨 B 端均匀加载($0.2\text{MPa}/\text{次}$), 观察百分表 1 的读数, 直至达到设定的读数(第一次 0.2mm), 记下液压表读数, 卸载, 2min 后分别记下百分表 1 和百分表 2 的读数。

(9) 重复实验步骤(7)和(8)9 次, 即完成钢轨位移为 0.2mm 的实验。

(10) 按照以上操作分别完成钢轨位移为 0.5mm 、 0.8mm 、 1mm 、 1.5mm 、 2mm 、 2.5mm 、 3mm 、 4mm 、 5mm 的实验。

5) 实验数据处理

(1) 加载系统的标定。

实验采用的加载设备为量程为 25MPa 的液压千斤顶, 其精度为 0.1kN 。最大量程为 100kN , 对钢轨施加推力, 但是要建立起扣件纵向阻力的荷载与位移曲线, 还需要对千斤顶进行标定。总共对液压千斤顶进行三次标定, 标定结果如表 1-1~表 1-3 所示。对三

次标定的数据取平均值，得出与实际荷载的关系。

表 1-1 千斤顶第一次标定值

千斤顶读数/MPa	0.4	1.2	2.0	2.8	3.6	4.4	5.2	6.0	6.8	7.6
对应读数/kN	0	1.542	3.952	6.500	8.820	11.40	13.90	16.40	18.80	21.66

表 1-2 千斤顶第二次标定值

千斤顶读数/MPa	0.4	1.2	2.0	2.8	3.6	4.4	5.2	6.0	6.8	7.6
对应读数/kN	0	1.620	4.110	6.340	8.700	11.20	13.70	16.32	18.90	21.50

表 1-3 千斤顶第三次标定值

千斤顶读数/MPa	0.4	1.2	2.0	2.8	3.6	4.4	5.2	6.0	6.8	7.6
对应读数/kN	0	1.500	4.120	6.300	8.600	11.20	13.60	16.32	18.76	21.30

将三次标定所得的数据取均值，并绘制成散点图，读数与荷载的变化呈明显的线性变化，因此将其拟合成线性变化曲线，如图 1-16 所示，并得出其读数与荷载的变化关系。

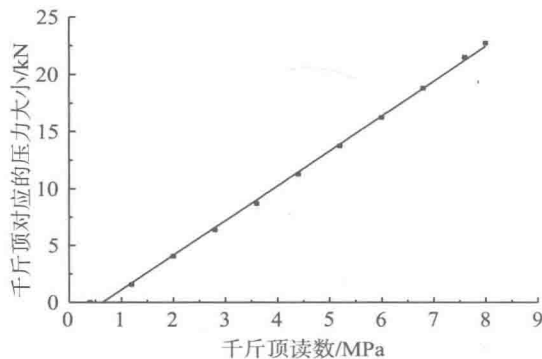


图 1-16 拟合曲线

根据拟合结果，确定千斤顶读数与实际荷载之间的关系为

$$y = 3.0494x - 1.945$$

式中， y 为千斤顶读数对应的力的大小，kN； x 为千斤顶读数，MPa。

(2) 实验结果分析。

① 钢轨残余位移与预推钢轨位移的关系。

实验过程中，百分表 2 记载的是每种工况下不同加载次数时的钢轨累积残余位移，其实验结果如图 1-17 所示。当钢轨预推位移为 0.2mm 时，钢轨累积残余位移几乎都为 0，即每来回推动钢轨 0.2mm，钢轨几乎都能完全回弹回去。当预推钢轨位移不小于 0.5mm 时，钢轨累积残余位移随着循环加载次数的增加而增大。当加载次数一定时，预推钢轨位移越大，钢轨累积残余位移也越大；预推钢轨位移越大，钢轨的累积残余位移增加得越快。钢轨位移主要由温度变化引起。实际运营过程中，当温度变化很小时，桥

梁伸缩位移很小, 钢轨在外界升降温循环过程中都能复原, 轨下胶垫不会因此出现滑出的现象。当温度变化较大时, 桥梁伸缩位移较大, 钢轨在外界升降温循环过程中会存在残余位移, 即轨下胶垫会出现滑出现象。外界温度变化越大、桥梁温度跨度越大, 桥梁伸缩位移就会越大, 其钢轨残余位移也会越大, 因此, 轨下胶垫滑出量也会增大。随着温度升降循环次数的增加, 钢轨累积残余位移也会增加, 即轨下胶垫滑出量也会随着温度升降循环逐日增加。

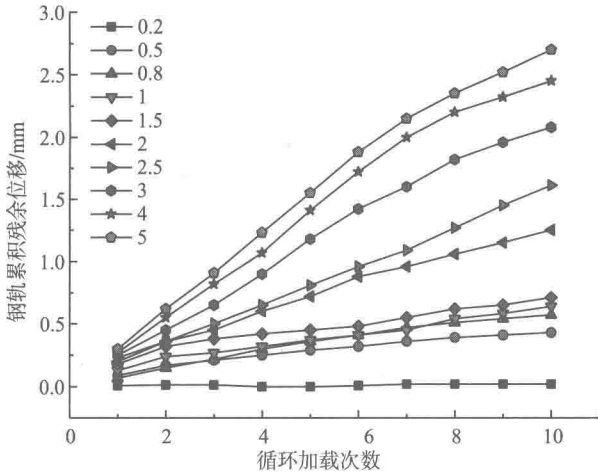


图 1-17 钢轨累积残余位移

②钢轨回弹位移与钢轨位移的关系。

实验过程中, 百分表 1 记载的是每次推动钢轨后残余的位移, 用预推钢轨位移减去其残余位移即为钢轨的每次回弹位移。其实验结果如图 1-18 所示, 其中 A-B 表示千斤顶推钢轨 A 端所得到的平均回弹位移, B-A 表示千斤顶推钢轨 B 端所得到的平均回弹位移。

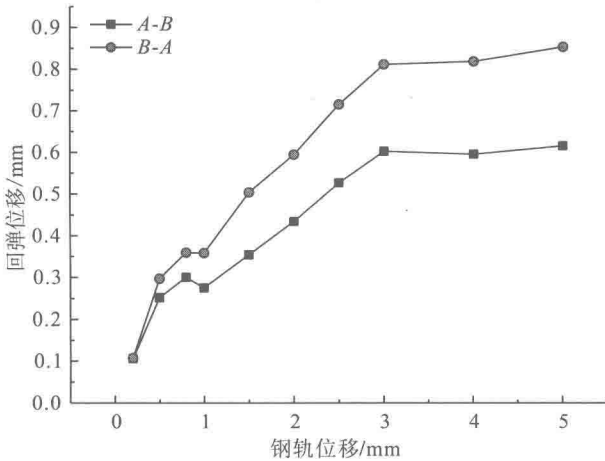


图 1-18 钢轨回弹位移

如图 1-18 所示, 当钢轨位移 $\leq 3\text{mm}$ 时, 随着钢轨位移的增大, 钢轨回弹位移总体呈

增大趋势。当钢轨位移大于 3mm 时, 钢轨回弹位移几乎保持不变。千斤顶从 A 端推钢轨时的回弹位移小于千斤顶从 B 端推钢轨时的位移。随着钢轨位移的增大, 最终从 A 端推钢轨时的回弹位移大致为 0.6mm, 最终从 B 端推钢轨时的回弹位移大致为 0.85mm。从实验分析可知, 在实际运营中, 当每次升温或降温导致桥梁伸缩位移较大时, 其弹性回弹位移几乎不变。但随着温度升降幅度的增大, 每次升温或降温导致的钢轨残余位移也会增大, 即从中间温度升温至最高温然后回到中间温度(或从中间温度降至最低温度然后回到中间温度), 这一过程钢轨会存在较大残余位移, 胶垫容易出现较大滑移量。但是, 每一次升降温循环导致的钢轨残余位移几乎是不变的, 故胶垫滑出量的增加是日积月累形成的。

③荷载-位移关系曲线。

实验模拟了升温-降温的过程, 图 1-19 为实验过程中的荷载-位移关系曲线。

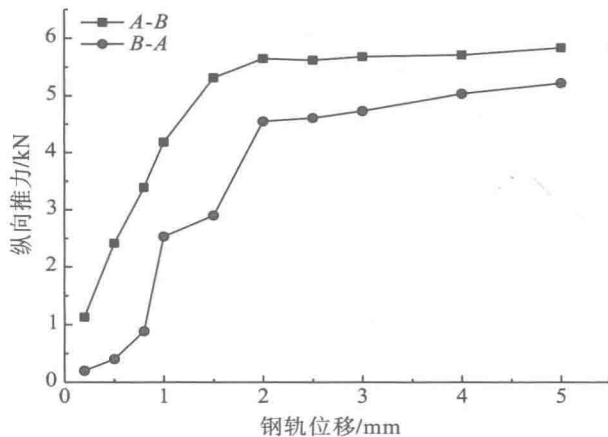


图 1-19 荷载-位移关系曲线

如图 1-19 所示, 当钢轨位移小于 2mm 时, 随着钢轨位移的增加, 所需要的纵向推力增大。当钢轨位移大于 2mm 时, 随着钢轨位移的增加, 所需要的纵向推力几乎保持不变。从 A 端推钢轨时所需的纵向力大于从 B 端推钢轨时所需的纵向力。在实际运营中, 扣件系统的荷载-位移滞回曲线的形状不饱满, 说明该结构受到了较大的滑移影响, 具有刚度退化现象, 即长此以往, 钢轨上作用相同纵向力, 产生的梁轨相对位移越来越大。

3. 实验小结

通过这次实验, 主要得到以下结论。

(1) 大跨桥上无缝线路轨下胶垫滑出的主要原因是: 外界温度变化过大及桥梁本身温度跨度过大, 从而导致梁轨相对位移过大, 致使轨下胶垫滑出; 这种滑出现象日积月累, 故胶垫滑出量越来越大。因此, 建议在运营过程中经常人工复原滑出的胶垫。

(2) 从中间温度升温至最高温度然后回到中间温度(或从中间温度降至最低温度然后回到中间温度), 这一过程中钢轨会存在较大残余位移, 胶垫容易出现较大滑移量。但是, 每次升降温循环, 最后的钢轨残余位移几乎不变, 即胶垫滑出量也是日积月累的结果。