doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2025.05.015

新型有砟轨道预埋套管式扣件研制

段玉振[1,2,3]，陈　鹏[1,2,3]，孙大新[1,2,3]，徐寿伟[1,2,3]，段海滨[1,2,3]
（1. 北京城建设计发展集团股份有限公司，北京 100037；2. 北京市轨道结构工程技术研究中心，北京 100037；
3. 城市轨道交通绿色与安全建造技术国家工程实验室，北京 100037）

摘　要：针对传统有砟道床预应力混凝土枕扣件施工中，采用硫黄水泥砂浆锚固时存在的污染环境、危害工人健康、效率不高、道钉易歪斜、锚固质量难以保证等问题，研究开发一种新型的碎石道床扣件系统。该扣件系统采用轨枕内预埋新型复合套管技术，省去锚固步骤或预埋尼龙套管的工序，不仅施工过程更加环保、高效，且其结构设计简洁、操作便捷，有效提升了扣件安装工艺水平，减少环境负担，显著提升安装质量、提高施工效率、延长使用寿命。在“绿色城轨”和高质量发展的背景下，该技术成果具有广阔的市场前景。

关键词：有砟轨道；扣件系统；硫磺锚固；尼龙套管；复合套管
中图分类号：U231　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1672-6073(2025)05-0124-05

Development of a New Embedded-Sleeve Rail Fastening System for Ballasted Track

DUAN Yuzhen[1,2,3], CHEN Peng[1,2,3], SUN Daxin[1,2,3], XU Shouwei[1,2,3], DUAN Haibin[1,2,3]
(1. Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100037;
2. Beijing Engineering Research Center of Track Structure, Beijing 100037;
3. National Engineering Laboratory of Green and Safe Construction Technology for Urban Rail Transit, Beijing 100037)

Abstract: A new ballasted track rail fastening system has been developed to address the problems of environmental pollution, harm to the health of construction personnel, low efficiency, screw spike misalignment, and difficulty in ensuring anchoring quality in the construction of prestressed concrete sleeper fasteners for traditional ballasted track beds using sulfur cement mortar anchoring. The system incorporates an embedded composite sleeve within the sleeper, eliminating on-site sulfur-mortar anchoring or embedded nylon sleeve solutions. This yields a more environmentally friendly and efficient process; its simple structural design and easy operation enhance installation workmanship, reduce environmental burden, improve installation quality and productivity, and extend service life. Under the background of the increasing emphasis on green construction and high-quality development in domestic rail transit construction, this technology has a very broad market prospect.

Keywords: ballasted track; rail fastening system; sulfur mortar anchoring; nylon sleeve; composite sleeve

1　传统有砟轨道扣件结构及存在问题

有砟轨道具有造价低、施工速度快、弹性好、不均匀沉降适应性强等优点，是轨道交通线路车辆段及停车场库外线、市域铁路及普速铁路地面线及高架线等线路的常用轨道结构。有砟轨道应用的扣件系统主

收稿日期：2025-01-07　修回日期：2025-03-09
第一作者：段玉振，男，硕士，高级工程师，从事城市轨道交通轨道工程设计及研发工作，463621305@qq.com
通信作者：陈鹏，男，博士，教授级高级工程师，从事城市轨道交通轨道工程设计及研发工作，55974844@qq.com
基金项目：国家重点研发计划课题(2024YFB3713002)
引用格式：段玉振，陈鹏，孙大新，等. 新型有砟轨道预埋套管式扣件研制[J]. 都市快轨交通，2025，38(5)：124-128.
DUAN Yuzhen, CHEN Peng, SUN Daxin, et al. Development of a new embedded-sleeve rail fastening system for ballasted track[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(5): 124-128.

要为弹条Ⅰ、Ⅱ型扣件。但传统有砟道床地段预应力混凝土枕配套用扣件的施工普遍采用硫黄水泥砂浆锚固法，即将螺纹道钉固定在预应力混凝土轨枕的预留孔中，如图 1 所示。该方法存在以下显著缺陷：

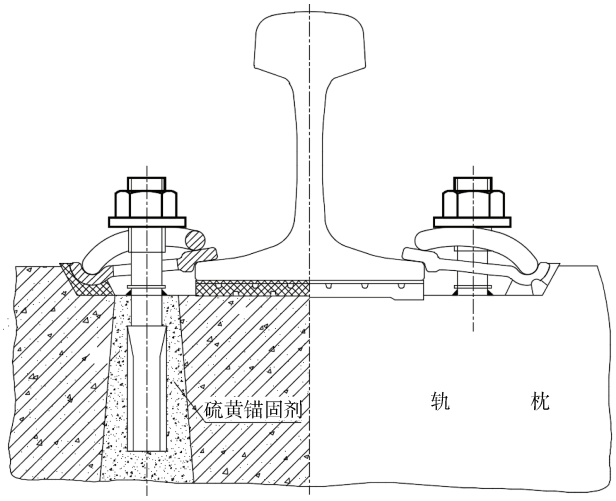


图 1　传统有砟轨道扣件及轨枕示意

Figure 1　Traditional ballasted track rail fastener and sleeper schematic

1) 硫黄水泥砂浆熬制过程中释放的有害物质对环境和施工人员的健康构成威胁[1]，且熬制及凝固时间久，2 天后才能进行抗拔力试验，效率低，难以满足快速施工的需求。

2) 硫黄水泥砂浆在凝固时产生的体积膨胀经常导致轨枕预留孔间发生纵向劈裂，甚至使整根轨枕报废，不仅增加成本，也影响轨枕质量[2]。

3) 采用硫黄水泥砂浆锚固的施工方法通常需要较大的作业空间，施工效率低，道钉易歪斜，锚固质量较难控制，锚固后的整体结构强度难以保证，承载能力、可靠性较差，影响混凝土枕的整体使用寿命。

另外应用在速度高的正线上时，对扣件抗拔力的要求也更高。鉴于此，有必要研发更加环保、高效、可靠的设计方案，以满足碎石道床地段预应力混凝土枕配套用扣件的使用场景需求，确保轨道交通的安全、可靠运营。为解决此类问题，有些项目尝试采用预埋尼龙套管的方案。然而，尼龙套管由于其材料强度的限制，在使用过程中，因受力不均出现滑牙、螺纹部分被拔出等损坏[3-4]，对于混凝土枕的长期使用造成影响。

2　新型碎石道床扣件构造方案

为解决尼龙套管由于材料强度有限，在复杂受力环境下易出现滑牙、螺纹拔出等损坏现象这一问题，本文提出 2 种方案进行比选分析。一种方案是采用常规的尼龙套管及螺栓；另一种方案是采用复合套管，外壳由高强度尼龙材质制成，内部则嵌入金属螺母，以增强螺纹部分的强度和耐久性，提升套管的使用寿命。

2.1　新型碎石道床扣件技术要求及参数

结合国内城市轨道交通扣件及其应用情况，合理确定新型碎石道床地段用扣件的主要技术要求及指标如下[5-10]：

1) 预埋套管式弹性不分开式扣件，适用于 50 kg/m 钢轨及 60 kg/m 钢轨混凝土枕有砟道床地段。

2) 螺旋道钉直径与国铁弹条Ⅰ、Ⅱ型扣件一致，维持 24 mm，但长度、螺纹及配套套管特殊设计。

3) 预埋套管抗拔力不小于 100 kN；

4) 其余指标与国铁弹条Ⅰ、Ⅱ型扣件一致。

2.2　预埋套管采用尼龙套管方案

预埋套管尼龙套管方案采用尼龙套管，如图 2 所示，组装如图 3 所示，尼龙套管及螺旋道如图 4 所示。

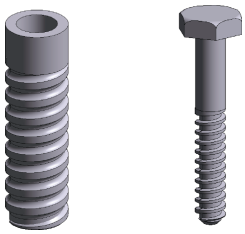


图 2　尼龙套管及螺旋道钉效果

Figure 2　Nylon sleeve and screw spike rendering

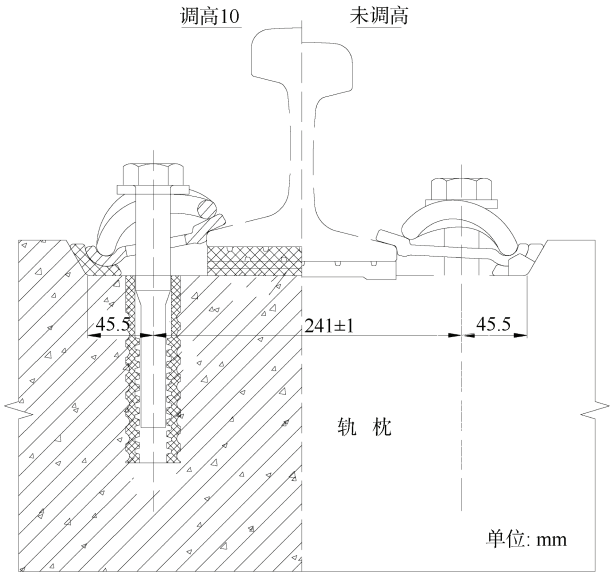


图 3　预埋尼龙套管方案组装图

Figure 3　Assembly of embedded nylon sleeve scheme



图 4　尼龙套管及螺旋道试制照片

Figure 4　Prototype photo of nylon sleeve and screw spike

此方案的主要优点是：

1) 高度兼容性。大部分零部件，如弹条、挡板座、轨下弹性垫板、平垫圈、轨下调高垫板等，均与国铁弹条Ⅰ、Ⅱ型扣件通用；

2) 简化了安装流程。套管直接预埋在轨枕内，省去了现场锚固环节，使结构更加简洁，安装更为便捷。

然而，此方案亦存在不足之处。由于材料强度的限制，套管在使用过程中可能会因各种受力状况而出现滑牙、螺纹部分被拔出等损坏现象。这增加了套管维修及更换的难度，影响了混凝土枕的使用寿命。

2.3　预埋套管采用复合套管方案

复合套管方案外壳为尼龙材质，如图 5 所示，在外壳内部嵌有金属材质的螺母，金属螺纹强度高、寿命长，能大幅提高套管的使用寿命，更好地保证行车安全。金属材质的螺母规格采用 M24，如图 6 所示，配套螺栓与尼龙套管方案配套的螺栓直径一致。复合套管方案组装图如图 7 所示，复合套管及螺旋道如图 8 所示。

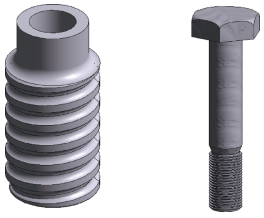


图 5　复合套管及螺旋道钉效果

Figure 5　Prototype photo of nylon sleeve and screw spike

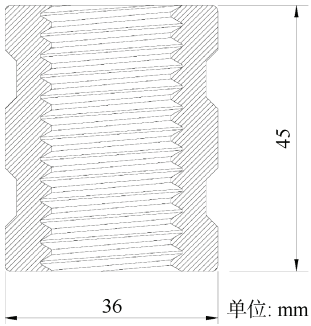


图 6　金属螺母设计示意

Figure 6　Metal nut design diagram

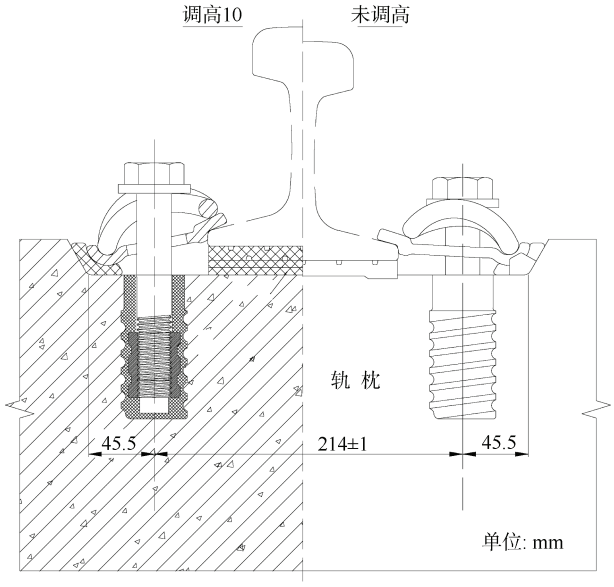


图 7　预埋复合套管方案组装图

Figure 7　Assembly of embedded composite sleeve scheme

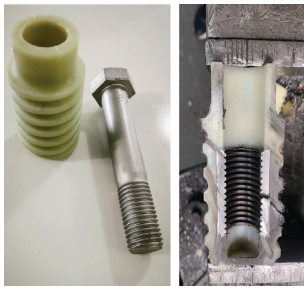


图 8　复合套管及螺旋道试制照片

Figure 8　Composite casing and spiral duct test production photos

根据《紧固件机械性能 螺母》(GB/T 3098.2—2015)[11]规范要求，M24 螺母最小保证荷载为 134.1 kN，满足套管抗拔力不小于 100 kN 的要求。

螺母采用六角螺母，可以起到防转的功能，另外螺母高度方向设置 2 道深 2 mm 横槽，可以起到增加抗拔力的作用。金属螺母高度保证在调高状态下不小于《紧固件机械性能 螺母》(GB/T 3098.2—2015)规范要求的 22.6 mm。考虑一定富余量，确定螺母高度为 45 mm。

优化方案经过试制及组装试验，达到了预期的目标，除了具备普通尼龙套管的优点外，显著提升了扣件的安全可靠性，延长了扣件的使用寿命。

3　试验研究

对配套尼龙套管方案及配套复合套管 2 种扣件方案进行试制，并对其主要力学性能及疲劳性能进行测

试及对比分析[12-14]，测试现场如图 9 所示。



图 9　扣件系统现场测试照片

Figure 9　On site testing photos of the fastening system

3.1　扣件系统抗拔力试验

分别对 2 种方案的抗拔力进行极限荷载试验。测试结果表明，预埋复合套管方案的极限荷载为 137 kN，预埋尼龙套管的极限荷载为 98 kN。具体数值如表 1 所示。

表 1　扣件系统抗拔力测试结果

Table 1　Pull-out resistance test results of the rail fastening systems

序号	工况	测试值/kN
1	尼龙套管方案	98
2	复合套管方案	137

3.2　扣件系统纵向阻力试验

分别对 2 种方案进行纵向阻力测试。结果表明，2 种方案扣件系统的扣件纵向阻力均满足设计要求，具体数值如表 2 所示。

表 2　扣件系统纵向阻力测试结果

Table 2　Longitudinal resistance test results of the rail fastening systems

序号	工况	测试值/kN
1	尼龙套管方案	15.7
2	复合套管方案	16.3

3.3　扣件系统疲劳试验

分别对 2 种方案进行组装疲劳试验。加载循环次数 300 万次后。所测扣件组装件疲劳前后钢轨动态横移量和下沉量数据如表 3 所示，单边轨距扩张量和轨底横向量如表 4 所示。疲劳试验后，经检查扣件状态完好，零部件无松动及损坏情况。

表 3　钢轨动态横移量和下沉量测试结果

Table 3　Dynamic lateral displacement and vertical settlement test results of the rail

序号	工况	轨头动态横移量/mm	轨底动态下沉量/mm
1	尼龙套管方案	0.83	0.68
2	复合套管方案	0.79	0.67

表 4　单边轨距扩张量和轨底横移量测试结果

Table 4　Unilateral gauge expansion and rail base lateral displacement test results

序号	工况	单边轨距扩张量/mm	轨底横移量/mm
1	尼龙套管方案	1.35	0.89
2	复合套管方案	1.33	0.87

3.4　小结

本次研发的 2 种新型碎石道床地段用扣件均满足设计要求。其核心零部件如弹条、挡板座、轨下弹性垫板、平垫圈以及轨下调高垫板等均与国铁弹条Ⅰ、Ⅱ型扣件保持通用性，不同之处在于套管与螺旋道钉的设计。经过严格的室内静载及疲劳试验验证，该系统在关键技术指标，如扣压力、纵向阻力、轨距调整量、高低调整量、静刚度、抗拔力、工作电阻及疲劳性能等方面，均达到了与国铁弹条Ⅰ、Ⅱ型扣件相同的标准。

另需强调的是，对于预埋套管抗拔力，复合套管的极限荷载高达 137 kN，显著超越了尼龙套管的 98 kN。鉴于尼龙套管在现有城市轨道交通轨枕应用过程中，滑牙、螺纹拔出等尼龙套管损坏问题时有发生，且维修更换困难。因此，相比常规方案，研制的复合套管方案使用寿命得以提高，安全可靠性显著增强。

4　结论

1) 本文提出的新型有砟道床地段用扣件系统，通过创新性地采用轨枕内预埋复合套管技术，突破了传统现场锚固方案及预埋尼龙套管方案的技术瓶颈。该系统将复合套管直接预埋于轨枕内部，彻底摒弃了传统现场锚固工序，显著提升了扣件安装工艺水平，实现了施工过程的高效化和绿色化。

2) 尽管扣件只是轨道设备中的一个小部件，但扣件为整个轨道系统相对薄弱的环节，且由于其在线路轨道上的应用数量极为庞大，所以对其进行局部的改进与优化，具有积极意义。该扣件系统的创新性结构设计兼具简洁性与实用性，不仅显著提升了安装质量，还延长了使用寿命。在降低环境负荷的同时，实现了安装质量、施工效率和使用寿命的全面提升，展现出在技术性能、经济效益和生态效益等方面的显著优势。

参考文献

[1] 李世达, 李保国, 方杭玮, 等. 混凝土枕螺旋道钉锚固材料应用现状[J]. 铁道建筑, 2021, 61(4): 133-137.
LI Shida, LI Baoguo, FANG Hangwei, et al. Application status of screw spike anchoring materials for concrete sleeper[J]. Railway engineering, 2021, 61(4): 133-137.

[2] 刘海华. 预埋塑料套管系列轨枕及扣件研制[J]. 铁道标准设计, 2001, 45(9): 49-50.
LIU Haihua. Development of series sleepers and fasteners embedded with plastic sleeve[J]. Railway standard design, 2001, 45(9): 49-50.

[3] 李建军. 道岔 M30 螺栓失效原因分析及整治方案[J]. 上海铁道科技, 2018(1): 84.
LI Jianjun. Failure analysis and treatment scheme of M30 bolt of turnout[J]. Shanghai railway science & technology, 2018(1): 84.

[4] 张建军. 提速道岔尼龙套管的养护[J]. 铁道建筑, 2003, 43(5): 59.
ZHANG Jianjun. The maintenance of neoprene tubes used in turnout for increasing speed[J]. Railway engineering, 2003, 43(5): 59.

[5] 段玉振, 王敏, 陈鹏, 等. 城市轨道交通新型大调高量扣件系统设计研究[J]. 现代城市轨道交通, 2021(7): 56-60.
DUAN Yuzhen, WANG Min, CHEN Peng, et al. Research on design of new type fastener with large height adjustment for urban rail transit[J]. Modern urban transit, 2021(7): 56-60.

[6] 徐彩彩, 刘道通, 刘志雄, 等. 城市轨道交通直列式有挡肩减振扣件结构设计[J]. 路基工程, 2024(4): 177-180.
XU Caicai, LIU Daotong, LIU Zhixiong, et al. Structural design of in-line shoulder damping fastener for urban rail transit[J]. Subgrade engineering, 2024(4): 177-180.

[7] 王敏, 曹建伟, 李子睿, 等. 市域铁路无砟轨道 WJ-15 型有挡肩扣件设计[J]. 铁道建筑, 2024, 64(3): 36-40.
WANG Min, CAO Jianwei, LI Zirui, et al. Design of WJ-15 shoulder fasteners for ballastless track in suburban railways[J]. Railway engineering, 2024, 64(3): 36-40.

[8] 邢俊, 蔡敦锦, 田春香, 等. 基于Ⅲ型弹条的新型地铁扣件设计研究[J]. 铁道建筑, 2015, 55(10): 151-155.
XING Jun, CAI Dunjin, TIAN Chunxiang, et al. Design research of new type metro fastener based on Ⅲ-type elastic rod fastener[J]. Railway engineering, 2015, 55(10): 151-155.

[9] 齐少轩, 刘学毅. 地铁弹条Ⅱ型分开式扣件力学特性研究[J]. 铁道标准设计, 2014, 58(9): 40-43.
QI Shaoxuan, LIU Xueyi. Research of mechanics characteristics of elastic barⅱ separated rail fastening[J]. Railway standard design, 2014, 58(9): 40-43.

[10] 于春华. 城市轨道交通轨道扣件综述[J]. 铁道工程学报, 2003, 20(3): 31-33.
YU Chunhua. Track fastener of urban rail transit[J]. Journal of railway engineering society, 2003, 20(3): 31-33.

[11] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 紧固件机械性能 不锈钢螺母: GB/T 3098.15—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.

[12] 段玉振, 吴建忠, 刘观, 等. 城市轨道交通预制 H 型板柱组合轨道结构的研究与设计[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(2): 124-129.
DUAN Yuzhen, WU Jianzhong, LIU Guan, et al. Research and design of prefabricated H-shaped slab-column combined track structure for urban rail transit[J]. Urban rapid rail transit, 2022, 35(2): 124-129.

[13] 刘观, 鲁彬, 张光明, 等. 城市轨道交通装配式道岔道床设计与实践[J]. 都市快轨交通, 2023, 36(6): 29-33.
LIU Guan, LU Bin, ZHANG Guangming, et al. Design and practice of prefabricated turnout bed for urban rail transit[J]. Urban rapid rail transit, 2023, 36(6): 29-33.

[14] 新型碎石道床地段用扣件研制项目课题组. 弹条Ⅰ、Ⅱ型扣件系统(预埋套管型)室内试验报告[R]. 上海: 上海轨道交通检测技术有限公司, 2024.

（编辑：傅依萱）