

# Development and Application of Bolt Anti loosening Technology for Rail Vehicles

Shilai Cheng Pengfei Yan Long Cheng

Qingdao Sifang Alstom Railway Transport Equipment Co., Ltd., Qingdao 266111, Shandong, China

## Abstract

With the rapid advancement of rail vehicle manufacturing technology, the safety requirements for vehicles during operation have also gained significant attention and risen to a prominent position. As an irreplaceable connection method, the reliability of bolt fastening technology in rail vehicle manufacturing naturally becomes one of the industry's key technical focal points.

## Keywords

rail vehicles; bolt loosening prevention; application

## 轨道车辆螺栓防松技术的发展及应用

程石来 闫鹏飞 程龙

青岛四方阿尔斯通铁路运输设备有限公司, 中国·山东 青岛 266111

## 摘要

螺栓连接作为常规的机械连接方式,在轨道车辆生产中应用十分广泛。螺栓连接的防松技术,在很大程度上决定了这种连接方式的适用范围与安全性。在介绍各种防松技术的发展基础上,讨论了防松技术在轨道车辆生产中的应用以及各种安装工艺措施细节,并重点讨论了确定预紧扭矩值及扭矩值的简化经验、原则及施工环节中的工艺方法、操作要求等。伴随着轨道车辆制造技术的高速发展,车辆在运营中的安全性要求也随之倍受瞩目,并提升到十分突出的位置。螺栓连接,作为一种不可替代的连接方式,其防松技术在轨道车辆制造中应用的可靠性,自然也成为行业关注的技术焦点之一。

## 关键词

轨道车辆;螺栓防松;应用

## 1 引言

轨道交通安全性作为公共交通安全的保障,其螺栓连接的防松技术的应用安全可靠,成为轨道车辆制造中行业技术人员关注的焦点之一。

螺栓连接技术核心内容的防松技术,其在发展中满足了应用安全要求,同时也不断促进了螺栓连接技术所涉及到的相关材料科学、制造工艺技术的持续进步与发展。

## 2 防松技术发展

综合而言,螺栓防松技术大体可以分为三个发展阶段:

### 2.1 初期:机械防松

螺栓防松的早期阶段,以机械防松为主,其代表性的技术有:开口销配缺口螺母、铁丝“8字法”、斜口弹簧垫圈、止动垫圈等。这些方法应用简单、快捷,但其局限性使其应用也受到一定的局限性<sup>[1]</sup>、防松动的效果还依赖人工预紧力,

且有易松动、维护频繁,受操作空间等外界条件的制约。

实际应用中,因设计结构或其它外界因素制约及其独有的优势,上述机械防松的方法还是一种有效的、经济的螺栓防松手段。即使在当今的高速轨道车辆中,仍有应用,如:图1所示为国内CRH1平台的制动闸片安装,采用的依然是传统的开口销螺栓防松设计。



图1 CRH1 制动闸片防松

### 2.2 中期:化学及结构防松

随着时代需求变迁及螺栓防松技术的进步,到上世纪

【作者简介】程石来(1974-),男,中国安徽安庆人,硕士,高级工程师,从事轨道车辆制造工艺开发研究。

80-90年代，螺栓的化学及结构防松技术，逐渐在轨道车辆制造行业中兴起。螺纹锁固胶，作为化学防松的典型技术，其采用厌氧胶技术，通过填充螺纹间隙固化防松，代表产品有乐泰胶，如：图2所示的乐泰242。与此同时，对于自锁螺母的研究也在不断的深入、优化，如：图3所示尼龙嵌件锁紧螺母，利用尼龙环产生摩擦阻力以达到防松效果。



图2 乐泰锁固胶应用



图3 尼龙嵌件锁紧螺母

除了螺母方面的研究外，在垫圈防松方面，也同步取得较大突破：利用斜面楔入效应抵抗松动，如图4a)所示。几经发展迭代，螺栓采用楔形垫圈防松的理念，在车辆设计中、尤其是电气类的连接中，已非常普遍，如：接地线连接、线槽固定等。

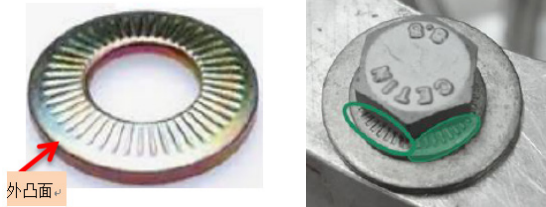


图4 楔形垫圈的应用

### 2.3 现阶段：高性能材料及智能化的应用

与普通的双螺母防松技术相比，“唐氏螺纹”技术引入了反向螺纹结构实现防松的创新思路。通过设计左旋和右旋组合螺母，利用方向差异形成自锁效应，突破了传统摩擦防松的局限性，如图5所示。

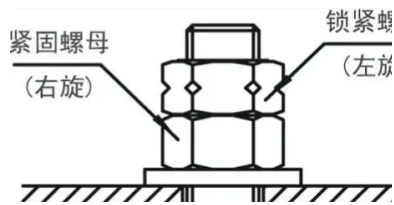


图5 唐氏螺纹防松

这种设计在高频振动场景中表现出显著的优势，并推动了新型螺纹结构的研究。经过设计结构的不断优化改良，其螺栓结构强度已达到相同规格的常规螺栓强度值的95%左右<sup>[2]</sup>。

在尼龙嵌件锁紧螺母的基础上发展起来的全金属自锁螺母，如：施必牢螺母；它采用变形螺纹设计，如图6所示，以实现自锁防松目的；螺母同时具备垫圈功能，无需垫圈，抗振动疲劳性强，防松效果良好。因此，在日常螺栓连接中，得到了快速推广应用。

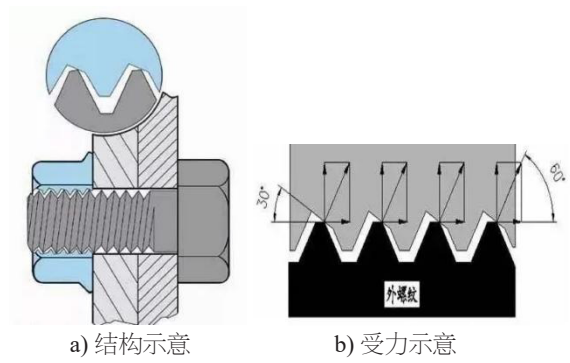


图6 全金属自锁螺母示意图

如今，在高铁技术的快速发展驱动下，螺栓防松技术也得到了进一步突破，较为典型的有组合防松（胶粘剂+自锁螺母+垫圈多级防护），并辅助以智能扭矩扳手、智能扭矩系统。受成本因素影响，这些新技术主要应用于涉及车辆行车安全的行走部件，如：转向架部件的安装。

此外，轨道车辆制造在螺栓防松技术突破的同时，螺栓防松的智能监控系统，也得以并行发展，如：车辆段在线智能检测系统，就是利用图像学原理，通过AI技术在线快速对比防松标识状态，从而确认在线车辆的螺栓防松情况；近年兴起的Smart Bolt预紧力指示垫圈或螺栓技术，通过预紧力值与垫圈或螺栓颜色变化，实现螺栓松紧状态的可视化。

## 3 防松技术应用细节

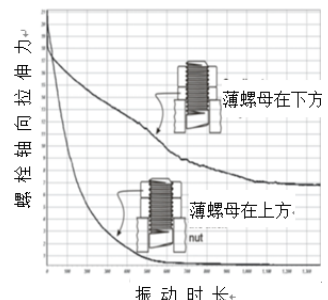
当然，防松技术的发展最终落脚点还是回归生产应用。而应用中的技术细节，也在一定程度决定螺栓连接技术应用的最终成败。结合轨道交通车辆生产实际案例，下面几个技术细节，在施工应用中需要特别关注。

### 3.1 厚薄螺母安装顺序

对于双螺母、包括“唐氏螺栓”防松连接解决方案时，两个螺母的厚、薄各有差异。通常，较厚的螺母称为全高螺母，较薄称为薄螺母。如图7a)，薄螺母应安装在支撑面侧（贴工件表面），全高螺母需安装在其上方；否则，防松功能将大大削弱。图7b)曲线，为国外某研究机构根据DIN 65151的振动试验结果<sup>[3]</sup>，它直观地呈现了两种安装方式的防松效果差异。



a) 正确安装



b) 两种安装方式防松效果曲线

图7 双螺母防松

### 3.2 垫圈安装方向

在使用楔形垫圈、开口弹簧垫圈防松方式时，安装时应特别注意这两种圈的安装方向要求，即：楔形垫圈外凸面与螺栓或螺母面压合，如图4 b)所示；开口弹簧垫圈的斜切断面中，较高侧需与螺母拧紧方向为顺向。

### 3.3 两扣丝与等强匹配设计

严格上说，这两个问题属于设计细节。两扣丝原则，是设计选用螺栓的长度要能保证螺母安装完成后，螺栓伸出螺母外侧最小长度不得小于2扣丝；TB/T 3246标准中也有相关的规定。等强原则要求设计时，选用的螺母强度要与螺栓匹配，即选用8.8级螺栓，需选用8级螺母。

### 3.4 扭矩预紧

无论采取哪种方式的防松，通过扭矩给螺栓轴向以适当的预紧力，以实现防松效果。对于与螺纹锁固胶组合使用的扭矩，其预紧力施加需要锁固胶初固之前（约5-10分钟）完成。另外，在施打扭矩前，需先对螺栓进行30%-50%扭力值的预紧，然后再进行100%的扭矩施加；对于一些特殊应用场景，预紧后施加100%扭矩时，还要求螺母有60°以

上的转动角度，并采用扭矩转角显示的专用扳手。扭矩完工后，应立即涂打防松标识。

螺栓连接由于粘滑效应的存在，将导致其24小时内会出现扭矩有一定程度的降低。因此，对于重要结构，需要24小时后进行一次扭矩校验，以消除这一不利于防松现象。

## 4 结语

综上所述，螺栓防松技术，作为一项成熟的机械连接技术，历经迭代发展，已日趋完善。在轨道交通行业，其与现代可视化监控技术深度融合，再辅助以施工中的细节，使其应用更加可靠、安全。

### 参考文献

- [1] 王爽. 某型动车组转向架撒砂装置螺纹连接系统安全可靠研究[J]. 铁道学报, 2019, 41(11): 36-41.
- [2] 朱国权. 螺栓连接质量在整车装配中的分析研究与应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2011.
- [3] 张小强. 螺纹连接松动分析及预防[J]. 橡塑技术与装备, 2016, 42(10): 101-103.