

Analysis of the Failure of the Fastening Bolts of the Armrest Connecting Shaft Structure

Hong Chang Ming Ren Wanming Ge

CRRCC Nanjing Puzhen Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract

During the installation of the armrest connecting shaft structure, the fastening bolts and screws are commonly broken and necked. Through the analysis of the force and material characteristics of its structure, the main reason for bolt failure is obtained, and corresponding measures are put forward to improve the reliability of installation.

Keywords

handrail; connecting shaft; bolt failure

扶手连接轴结构紧固螺栓失效浅析

常虹 任明 葛万明

中车南京浦镇车辆有限公司, 中国·江苏·南京 210000

摘要

扶手连接轴结构安装过程中, 普遍存在紧固螺栓螺杆断裂、颈缩现象。通过对其结构的受力分析及材料特性的分析, 得出螺栓失效的主要原因, 并提出相应措施, 以提高安装可靠性。

关键词

扶手; 连接轴; 螺栓失效

1 引言

地铁车辆客室扶手是内装的重要组成部分, 也是乘客乘车时接触最多的区域, 其装配的质量将直接影响车辆的运营及乘客的安全。论文主要介绍扶手连接轴形式的连接原理, 及连接中螺栓的失效原因及优化措施。

2 扶手连接原理

整体扶手形式如图1所示, 扶手杆采用304L不锈钢管, 在扶手杆对接处, 连接轴置于相邻扶手内部, 连接轴外径比扶手杆内径小0.5mm。

如图2所示, 连接轴断面呈“C”型, 连接轴开有通长槽口结构, 连接轴上半结构带有两个M6的内螺纹孔。安装过程中, 螺栓旋入连接轴的螺纹内, 螺栓尾部抵在连接轴开槽平面上, 使得连接轴的开槽角度变大, 进而连接轴与扶手杆内

壁存在摩擦副, 通过摩擦副的作用“抱紧”扶手, 如图3所示。

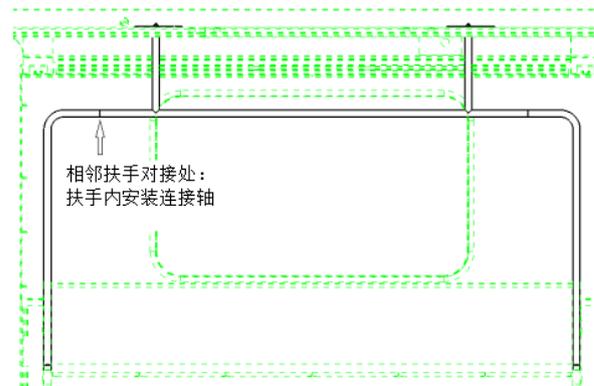


图1 整体扶手形式

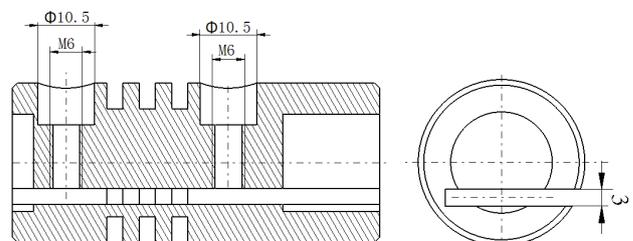


图2 连接轴结构

【作者简介】常虹(1987-),女,中国辽宁葫芦岛人,本科学历,高级工程师,从事地铁车辆组装研究。

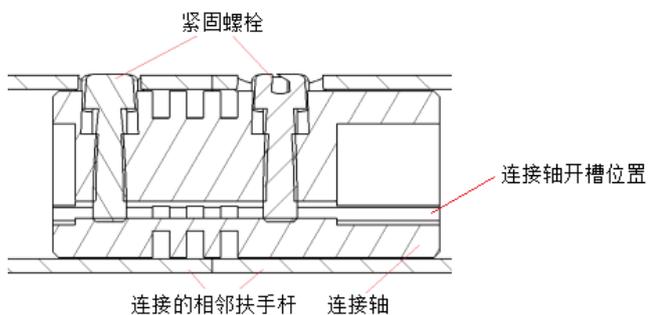


图3 连接轴与扶手连接状态

3 连接失效形式

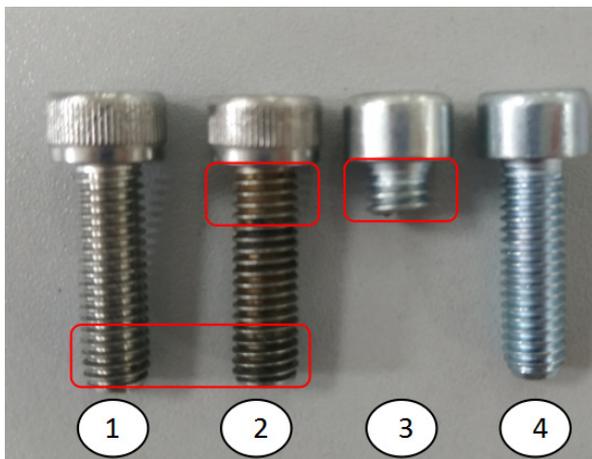
沿扶手轴向拉动扶手，扶手杆与连接轴间摩擦副存在滑动，即出现扶手杆松脱现象。为满足扶手杆与连接轴不松脱，摩擦副间需要较大的静摩擦力，进而需要更大的正压力^[1]。实际安装中，分别选用8.8级-M6螺栓及A2-70-M6螺栓进行紧固，在施加标准扭矩时，扶手均出现松脱现象，当施加扭矩13Nm时，扶手不松脱，但螺栓及连接轴存在以下失效形式，具体如表1所述。

表1 8.8级-M6螺栓及A2-70-M6螺栓对比

螺栓型号 施加扭矩值	A2-70-M6螺栓	8.8级-M6螺栓
13Nm	50%螺栓螺纹损坏，50%螺杆断裂；连接轴螺纹损坏	螺杆100%断裂；连接轴螺纹损坏

失效1：碳钢螺栓断裂失效，断裂位置在螺栓头部下方啮合螺纹第1扣螺纹处，如图4所示。

失效2：不锈钢螺栓失效分两种：50%的螺栓螺纹损坏，螺杆出现颈缩但未断裂；50%的螺栓螺杆断裂。失效位置皆在螺栓头部下方啮合螺纹第1扣螺纹处，如图4所示。



①为正常A2-70-M6螺栓 ②为拆卸后A2-70-M6螺栓 ③为拆卸后8.8级M6螺栓 ④螺栓为正常8.8级M6螺栓

图4 螺栓示意图

失效3：连接轴螺纹存在损坏现象，如图5所示。



图5 左侧螺栓无法旋入，连接轴内螺纹损坏

4 失效形式原因分析

在实际安装中，为达到扶手不松脱，螺栓紧固扭矩在13Nm以上，远大于螺栓允许施加扭矩值（如表2所示），初步分析过扭应是造成螺栓与连接轴失效的根本原因。

表2 螺栓允许施加扭矩值

直径	性能等级或材料牌号	安装预紧力 $F_M(KN)$, $\mu_g = \mu$ $\kappa = 0.12$	拧紧扭矩 $M_A(Nm)$, $\mu_g = \mu$ $\kappa = 0.12$
M6	8.8	10.2	10.1
	10.9	14.9	14.9
	A2-70	7.2	7.1
	A4-80	9.5	9.5

4.1 螺栓强度校核

将受力情况进行简化，取单个螺栓受力情况，如图6所示，扶手与连接轴间的正压力设为 F_0 ，即螺栓受到的预紧力，扶手杆受外部拉力设为 F 。连接轴外壁与扶手内壁间摩擦系数设为 μ ，扶手与连接轴间的最大静摩擦力 $F_{max} = F_0 * \mu$ ，查询材质属性，取 $\mu = 0.15$ 。

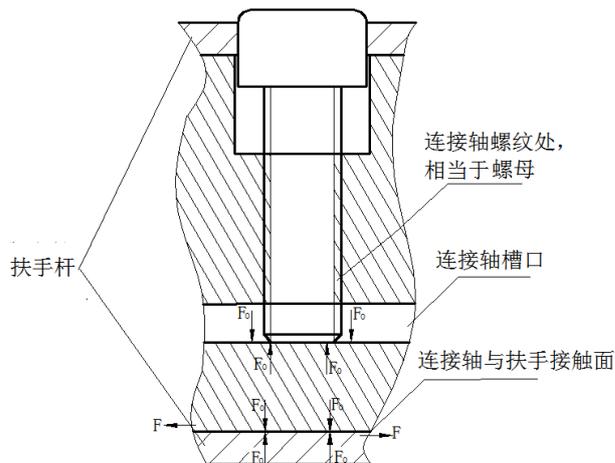


图6 单个螺栓受力情况

实际安装中，每个扶手松脱现象，皆是在人双手紧握

扶手，整个身体猛然向后，给扶手的一个横向冲力产生的，扶手的松脱是一个冲量过程，根据冲量与动量的关系可知： $mV_1 - mV_2 = Ft$ ，其中 m 取平均人体重 60kg ，晃动时的瞬间速度取 3m/s ，即 $V_1 = 3\text{m/s}$ ， $V_2 = 0$ ，扶手产生缝隙时间 t 取 0.1s ，从而得出 $F = (mV_1 - mV_2) / t = 1800\text{N}$ 。

要想保证扶手不松脱，需满足 $F \leq F_{\max}$ ，即 $F \leq F_0 \times \mu$ ，从而得出 $F_0 \geq F / \mu$ ，即 $F_0 \geq 12000\text{N}$ 。

在连接轴与扶手内壁“顶住”后，螺栓尾部与连接轴间的摩擦副作用，使得螺栓尾部“锁死”，在扭矩作用下，螺栓除了受压应力，还受到扭转应力。根据第四强度理论，螺栓预紧状态下的计算应力为：

$$\sigma_{ca} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\sigma^2 + 3(0.5\sigma)^2} \approx 1.3\sigma$$

即螺栓危险截面的强度应力：

$$\sigma_{ca} \approx \frac{1.3F_0}{\frac{\pi d_1^2}{4}}$$

其中，要保证扶手不松脱， $F_0 \geq 12000\text{N}$ ，螺纹小径 $d_1 = 5.0\text{mm}$ ，代入式中，可得： $\sigma_{ca} \geq 795\text{MPa}$ 。

螺栓危险截面的强度条件需满足：

$$\sigma_{ca} \leq [\sigma]$$

其中， $[\sigma] = \sigma_{\text{lim}} / S$ ， S 为设计安全系数，取大于 1 的数值。

碳钢 8.8 级螺栓极限应力 σ_{lim} 为 800MPa ，A2-70 不锈钢螺栓极限应力 σ_{lim} 为 700MPa ，可知，碳钢螺栓和不锈钢螺栓的许用强度 $[\sigma]$ 小于 795MPa 。因此，由于螺栓过载，出现断裂、颈缩等失效现象。

4.2 螺栓失效位置分析

螺纹啮合过程中，第 1 扣螺纹受力最大，以后每扣受力非线性递减，如图 7 所示，所以在拆装过程中，螺栓失效位置皆在螺栓头部下方旋合螺纹第 1 扣螺纹处。

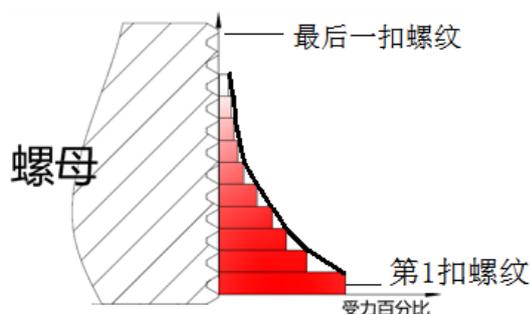


图 7 螺栓失效位置分析

4.3 碳钢螺栓与不锈钢螺栓失效对比

在实际拆装过程中，碳钢螺栓过扭后很容易断裂，而不锈钢螺栓断裂情况相对少一些，以下从屈强比方面进行简单阐述。

8.8 级碳钢螺栓断裂强度为 800MPa ，屈服强度为 640MPa ，屈强比为 0.8 。A2-70 不锈钢螺栓断裂强度为 700MPa ，屈服强度为 450MPa ，屈强比为 0.6 。

在螺纹啮合过程中，由于不锈钢螺栓屈强比较低，螺栓发生塑性变形后，能够有较多时间将螺纹受力向后面几扣螺纹进行传导，而碳钢螺栓屈强比较高，发生塑性变形后，较快地达到强度极限，所以出现断裂的情况较多，而不锈钢螺栓出现断裂的情况相对少一些^[2]。

4.4 连接轴失效

连接轴无需考虑断裂的情况发生，仅考虑是否容易发生塑性变形。连接轴的屈服强度极限在 235MPa 左右，数值较小，很容易发生塑性变形，发生螺纹损坏现象。

5 优化措施

5.1 增大连接轴与扶手间的摩擦系数

根据 $F_{\max} = F_0 * \mu$ 可知，在 F_{\max} 不变的情况下，增大 μ ，则 F_0 则变小，螺栓受力变小，螺栓不容易出现断裂等失效。增大连接轴与扶手内壁的摩擦系数，可采用连接轴外壁滚花、倒刺处理，或者在连接轴外壁增加摩擦系数大的材料，如橡胶等。

5.2 提高螺栓刚度等级

根据强度校核可知，提高 σ_{lim} ，可以承受更大的实际应力 σ_{ca} 。提高螺栓强度极限，可选用 10.9 级碳钢螺栓、直径等级更大的螺栓，或合金高强度螺栓。

同时，需要相应增加连接轴内螺纹强度等级，连接轴可采取屈服强度极限更大的材料制作并攻丝处理，或在连接轴内嵌与螺栓等级相应的螺母。

5.3 更改结构

由于依靠螺栓的紧固来保证扶手不松脱，螺栓承受应力较大，对于普通 M6 螺栓较难达到，可增加弹簧销、键连接结构，如图 8 所示。

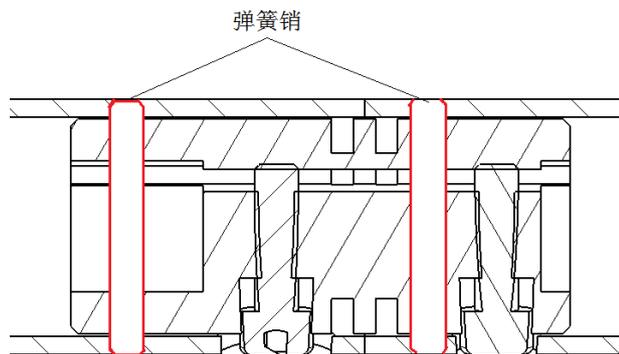


图8 更改结构

6 结语

论文以地铁项目扶手连接轴结构螺栓失效为研究对象,通过螺栓强度校核发现主要原因是螺栓强度无法满足要求,

并由此提出以下优化措施:①增加扶手与连接轴间摩擦系数;②选用强度极限更大的紧固件;③扶手与连接轴间增加弹簧销、键连接等。

通过对不锈钢及碳钢螺栓失效位置及失效形式进行分析,发现以下现象:①啮合螺纹第1扣受力最大从而此位置失效;②A2-70螺栓屈强比较低,断裂情况较少,8.8级螺栓屈强比较高全部断裂。

参考文献

- [1] 王道斌,刘亮.汽车用螺栓连接的拧紧与防松研究[J].中国高新技术,2020(05):87-88.
- [2] 王浩刚.交叉支撑装置轴端螺栓损坏故障分析[J].铁道车辆,2019(07):42-43.