

动车组检修螺栓预紧工具选用分析

胡飞

(武汉中车四方维保中心有限公司 湖北 武汉 430083)

摘要: 螺栓连接作为动车组重要的连接方式,螺栓预紧工具的选用对控制预紧力、保持螺栓紧固转矩十分重要。依据螺纹紧固件紧固理论,结合动车组检修状态,选用四种螺栓预紧工具开展工艺试验及数据分析,对比其特点及工艺符合性,总结优劣势及适用范围,结果表明油压脉冲式扳手和CAA智能扳手在动车组检修中应用适应性较广。同时本文总结了紧固工具选择原则及对比方法,为动车组检修工具的选择提供工艺支撑。

关键词: 动车组;螺栓;预紧力;紧固转矩;油压脉冲扳手

0 引言

螺栓连接作为最常用的连接方式,有别于焊接和粘接结构,取决于其方便拆装、更新及重复利用等优点,已广泛应用于航空、船舶和轨道交通各领域。螺栓预紧可以提高螺栓连接的可靠性、防松能力和螺栓的疲劳强度,增强连接的紧密性和刚性,但是过高的预紧力,如若控制不当或者偶然过载,也常会导致连接的失效^[1]。目前对于螺栓连接结构及预紧有不少研究,郭历伦等^[2]通过应变片测试方法研究了不同拧紧力矩下螺杆各向应力变化的变化。杨华等^[1]对比4种标准,通过计算提出了螺纹预紧力矩的选择方法。王维峰等^[3]利用有限元分析,研究了动车组裙板螺栓转矩衰减规律。但对于动车组检修工艺中,螺栓预紧工具的选用分析不大常见,本文从工艺角度出发,分析动车组螺栓预紧工具选用原则及要求。

1 动车组螺栓紧固工艺原则

动车组检修过程中,涉及大量螺栓螺钉的紧固,针对不同性质、不同部位,螺栓紧固工艺原则存在差异。一般讨论两大原则:一是非设备吊挂等重要部件区域,例如动车组车内壁板等,螺栓安装时需将弹垫圈压平,弹垫圈开口尺寸小于标准值即可;二是重要部件区域的螺栓安装,首选需对螺栓预紧固,再采用转矩法^[4]进行转矩校核,紧固关系可用以下公式:

$$T_f = KF_f d \quad (1)$$

式中: T_f — 紧固转矩;

K — 转矩系数;

F_f — 预紧力;

d — 螺纹公称直径。

在工艺实施中,紧固转矩 T_f 已经过理论计算确定出具体数值,例如,裙板螺栓 M10 紧固转矩为 25Nm。为

达到且不超过螺栓紧固转矩 T_f ,需要控制螺栓紧固预紧力 F_f ,这与预紧工具的选择有密切关系,工艺标准比较严格。本文将对第二种螺栓预紧固工艺展开分析。

2 动车组螺栓预紧工具选用分析

2.1 螺栓预紧工具选用分析方法

在动车组部件安装时,选择传统手动扳手、电动扳手、气压驱动扳手、CAA智能扳手这四种预紧工具进行螺栓预紧固,考虑工艺标准、适用标准和优劣标准三方面的因素。

2.1.1 工艺标准

在实际作业中,目前无法使用设备连续监测螺栓预紧固过程中的预紧力 F_f 的动态值大小,为满足“达到且不超过螺栓紧固转矩,需要控制螺栓紧固预紧力 F_f ”的要求,采用以下工艺标准原则:在预紧工具预紧固螺栓之后,使用转矩扳手进行校打转矩达到紧固转矩 F_f 时(转矩扳手发出“咔哒”声音),转矩扳手转动角度 $\geq 90^\circ$ 为符合工艺标准。

2.1.2 适用标准

因各种扳手结构特点和制造精度,对螺栓预紧过程适用范围存在一定差异。采用以下适用原则:符合工艺标准且尽可能满足宽广范围的螺栓紧固转矩,例如可满足螺栓紧固转矩为几十至几千的螺栓预紧。

2.1.3 优劣标准

综合分析四种预紧工具优劣,采用以下优劣原则:在满足工艺标准的前提下,使用轻巧方便,终端设备配置简单可靠。

2.2 螺栓预紧工具应用及分析

2.2.1 传统手动扳手应用及分析

传统手动扳手特点是使用人力对螺栓进行预紧固,施力速度及角度受操作者影响较大。传统手动扳手操作过程中有一定局限性,操作方法(见图)是不应在扳手

与机械部分 A-B 线成锐角的状态下进行紧固作业（图中实线所示），因为扳手脱口或用力过猛易造成手部受伤，而应在扳手与机械部分与 A-B 线成钝角的状态下进行操作（图中虚线所示）。

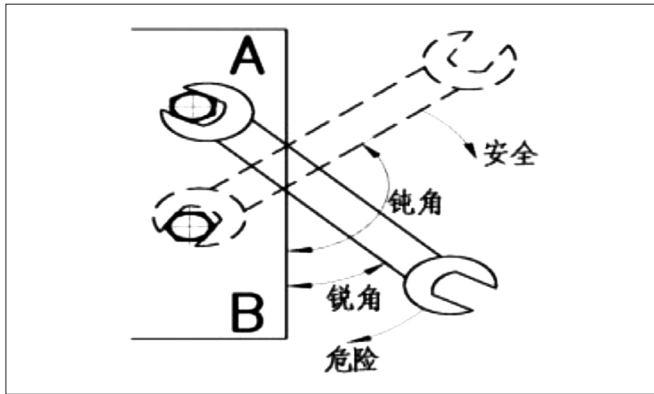


图 传统手动扳手使用示例

在螺栓预紧固实际作业中，保证弹垫圈压平后再使用扭矩扳手，传统手动扳手预紧固不易超过螺栓紧固扭矩值，满足工艺标准。针对特定空间区域，使用传统手动扳手有一定优势，但因人力作用，精度无法给出可靠参考值，而用于大量螺栓需要预紧固，例如动车组裙底板螺栓安装，则会造成人力疲劳，不具备批量作业的条件。

2.2.2 电动扳手应用及分析

电动扳手特点是使用电流控制输出扭矩，过程持续稳定，取决于电机控制系统和传感器的灵敏度，分为可调档式和不可调档式，人力操作对螺栓预紧和连接影响不大，且便于携带和使用。选用某品牌可调档式和不可调档式电动扳手，对 CRH2 型动车组车下部件螺栓预紧固进行试验，使用工艺标准判定，试验数据见表 1。

表 1 电动扳手预紧试验数据

扳手型号	扳手参数	预紧部件螺栓型号	紧固扭矩值 /Nm	测试 1 结果 / 角度	测试 2 结果 / 角度	测试 3 结果 / 角度	工艺标准符合率 /%
扳手 A	定值不可调档式	空调装置 M20	180	≥ 90°	> 90°	> 90°	100
扳手 A	定值不可调档式	主变风机座 M16	90	> 90°	0°	0°	33
扳手 A	定值不可调档式	主变风机 M12	39	0°	0°	0°	0
扳手 B	3 档可调档式	设备舱防雪板 M10	37	< 90°	< 90°	< 90°	0
扳手 B	3 档可调档式	设备舱裙板 M10	25	< 90°	< 90°	< 90°	0

根据以上数据分析，定值不可调档式电动扳手 A 在预紧三种不同部件螺栓后，使用扭矩扳手按螺栓紧固扭矩值进行校打，180Nm 工艺标准符合率 100%，90Nm 工艺标准符合率 33%，39Nm 工艺标准符合率 0。试验

数据工艺标准合格率并未全部达到 100%，相对紧固扭矩值较大的螺栓要适用一些，紧固扭矩值较小的螺栓不适用。

3 档可调档式电动扳手 B 在预紧两种螺栓后，使用扭矩扳手按紧固扭矩值进行校打，37Nm 工艺标准符合率 0，25Nm 工艺标准符合率 0。虽然试验中均可转动但角度小于 90°，但不满足工艺标准，相对紧固扭矩值较小的螺栓也不适用。

综上工艺数据，电动扳手预紧螺栓后，因其相对定值扭矩较大，可调式和不可调式均无法监测动态预紧力，精度与制造工艺有关且范围较广，选用的电动扳手定值扭矩超出紧固扭矩值时，预紧螺栓存在超出螺栓紧固扭矩值的风险，有一定的局限性。

2.2.3 气压驱动扳手应用及分析

气压驱动扳手特点是使用压缩空气作为动力源，由内部的气动转子产生动力，动力传动到脉冲单元后转化为稳定的输出扭矩。普通的气压驱动扳手拧紧过程不连续，有冲击特性，拧紧精度不高。可参考公式^[1]如下：

$$F_f = (0.5 \sim 0.7) \sigma_s A_s \quad (2)$$

式中： F_f —预紧力；

σ_s —螺栓材料的屈服应力；

A_s —螺纹公称应力截面积，一般机械系数比例取 (0.5 ~ 0.7)。

拧紧后的预紧力不得大于其材料屈服点 σ_s 的 80%。

在实际使用螺栓预紧中，由于其冲击的特性，容易让螺栓螺杆转动，使螺纹因为弹性变形之后即将要变形为塑形，扳手输出紧固力超出螺栓材料的屈服应力，将最终造成螺栓螺纹损坏或者断裂^[5]。一般不使用此种普通的气压驱动扳手进行螺栓预紧固。

动车组检修中，选用油压脉冲式扳手，其采用液压

油驱动产生扭矩，并利用液压油流量控制扭矩输出的大小，当预紧螺栓至设定扭矩值后，扳手可自动停止供风。油压脉冲式扳手设定输出扭矩值 ≤ 螺栓紧固扭矩值 × 50%，一些特定的螺栓可取值为紧固扭矩值的 20%。例如设备舱裙板 M10 螺栓紧固扭矩值为 25Nm，油压脉冲式扳手设定输出扭矩值为 12Nm，预紧后再使用定值为 25Nm 扭矩扳手进行校打，可满足工艺标准。按照

规范^[6]进行校准，保证在可调范围内输出的扭矩稳定，其精度可达到 5% ~ 10%。相比于电动扳手，可考虑选用符合螺栓紧固扭矩值的油压脉冲式扳手来进行螺栓预紧。

2.2.4 CAA 智能扳手应用及分析

CAA 智能扳手是计算机装备辅助系统简称,其特点是采用计算机模式,通过电力驱动棘轮头旋转拧紧螺栓,由工控机自动控制转矩大小,传输记录拧紧转矩值、零部件、工艺质量等信息,解决动车组大型或超大型螺栓预紧问题。其采用完整的信息控制系统,采集开工信息、完工信息、扭力数据、装配信息、库存信息、设备数据信息,并通过 ESB 标准接口将数据上传保存并分析。

在动车组转向架检修工艺中,使用 CAA 智能扳手对牵引拉杆螺栓 M36 紧固转矩值为 1000Nm,轴端接地线卡螺栓 M10 紧固转矩值为 21Nm,再使用转矩扳手进行转矩校核,按照规范^[6]进行校准,CAA 智能扳手精度可达 3%,满足工艺标准。同时根据工件上螺栓的位置及坐标,设定紧固顺序,防止遗漏螺栓预紧,这在动车组转向架检修中十分重要。其使用的可靠性及适用范围大大超出传统手动扳手、电动扳手和气压驱动扳手,在螺栓预紧固中具有明显的优势。

2.3 数据结果对比

对以上传统手动扳手、电动扳手和气压驱动扳手、CAA 智能扳手四种预紧工具应用进行数据统计及工艺分析,结果见表 2。

3 结语

本文选取四种预紧工具,结合动车组检修状态,针对螺栓预紧固作业,从工艺标准、适用标准、优劣标准三方面,结合工具特点、工艺标准符合性及螺栓预紧类型等参数进行工艺分析对比,得到结果是油压脉冲式扳手和 CAA 智能扳手在动车组检修中应用适应性较广,可作为螺栓预紧工具的优先选择。同时本文总结了紧固

表 2 四种预紧工具应用对比

预紧工具	优势	劣势	推荐建议
传统手动扳手	不易超过螺栓紧固转矩值	批量螺栓预紧固,作业强度大,精度较难计算	特定作业空间,少量螺栓预紧固
电动扳手	人力操作对螺栓预紧和连接影响不大,携带和使用方便	试验存在超出螺栓紧固转矩值的风险,合格率未达 100%,精度范围较大	试验数据暂不推荐使用
气压驱动扳手	油压脉冲式可调范围内输出的转矩值稳定,精度 5%~10%	普通气动式具有冲击特性,精度不高,易造成螺栓损坏或者断裂	油压脉冲式设定可靠输出转矩值,批量螺栓预紧固可用
CAA 智能扳手	智能控制,数据记录,精度高达 3%,适用螺栓紧固转矩值广泛	需设备终端,费用相对较高	大型螺栓预紧固,应用范围广,可预防螺栓漏紧固

工具选择原则及对比方法,可为后续动车组检修工具的选用提供一定的工艺支撑。

参考文献:

- [1] 杨华,张中元,王龙,等.影响螺栓预紧力因素的工艺研究[J].机电工程技术,2020,49(03):51-52.
- [2] 郭历伦,陈忠富,罗景润.多螺栓连接结构预紧力实验研究[J].机械强度,2016,38(6):1205-1210.
- [3] 王维峰,王兆华,钟睦,等.动车组裙板螺栓预紧力衰减研究[J].五邑大学学报(自然科学版),2020,34(1):26-32.
- [4] 国家标准化管理委员会.螺纹紧固件紧固通则:GB/T 16823.2—1997[S].北京:中国标准出版社,1998.
- [5] 李春国,王栋.动车组设备安装用螺栓转矩计算及强度校核研究[J].民营科技,2017(2):20-21.
- [6] 全国力值硬度计量技术委员会.电动、气动转矩扳子校准规范:JJF 16-2017[S].北京:中国标准出版社,2017.

作者简介:胡飞(1987.10-),男,汉族,湖北十堰人,硕士研究生,工程师,研究方向:高速动车组检修技术。