

# 紧固件紧固工艺技术研究

顾计松

浙江中达新材料股份有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i6.8144

**[摘要]** 作为关键机械连接元件，紧固件的装配质量直接决定装备结构的可靠性与安全性。科学规范的紧固工艺是保障机械系统持久稳定运行的核心要素。通过针对不同应用场景实施工艺参数组合优化，结合预紧力精准调控、扭矩加载流程标准化及接触界面改性处理等工艺改进，可显著抑制松脱现象并提升部件使用寿命。基于此，本文主要论述了紧固工具和顺序，并给出了紧固件紧固工艺方法，为现代工业设备高效装配提供理论支撑。

**[关键词]** 紧固件；紧固工艺；技术研究

## Research on fastener fastening technology

Gu Jisong

Zhejiang Zhongda New Materials Co., LTD.

**[Abstract]** As a critical mechanical connection component, the assembly quality of fasteners directly determines the reliability and safety of equipment structures. A scientifically standardized fastening process is a core element in ensuring the long-term stable operation of mechanical systems. By optimizing process parameters for different application scenarios, combined with precise control of preload, standardization of torque loading procedures, and modification of contact interfaces, significant improvements can be made to prevent loosening and enhance component lifespan. Based on this, this paper mainly discusses fastening tools and sequences, and provides methods for fastener assembly processes, offering theoretical support for efficient assembly of modern industrial equipment.

**[Key words]** fastener; fastening process; technical research

在工业制造向高精度化与智能化演进的背景下，传统紧固技术面临多维动态工况适应性薄弱、质量调控维度单一等系统性挑战，亟需开展体系化创新研究。现阶段技术研究普遍存在单参数优化倾向，对装配系统耦合效应及过程参量交互作用解析不足，致使工艺优化维度受限。本研究旨在深入探讨紧固件的紧固工艺技术，通过分析影响紧固效果的关键因素，系统研究不同紧固工艺对连接性能的影响。

### 一、紧固件概述

紧固件属于机械制造范畴里用来衔接，加固或者确定位置

的普遍基本部件，它最关键的作用就是把许多单独存在的构件联合成稳固牢靠的构造整体。此类零件是工业生产系统当中十分关键的一部分，因为具备较高的规范化程度以及适用面比较宽泛等优点，所以已经成为当代各类工业装置，设施还有日用品不可缺少的安装单元。不论重工业还是轻工业，从大型机械一直到精细器械，再由建筑物桥涵直到家庭用具电器之类的东西，凡是牵涉到工业制作的各个层面都会用到紧固件。它们在维持各种构造完好无缺并且能够正常运作方面起到根本性的支撑效果，最突出之处表现在产品种类齐全，规格参数特别序

列化，依靠创建一致的大小规范以及效能标准系统，达成不同行业之间，不同领域之间的通用替换。

按照结构原理以及功能特性上的不同划分标准来分，紧固件大致可以分为两大类即螺纹型与非螺纹型两大技术系统，其中螺纹紧固件依靠内、外螺纹之间的精准咬合达到机械连接效果，代表性的品种就是螺栓、螺钉及其相匹配的螺母组合，这类紧固件凭借螺旋副所产生的机械作用去掌控预紧力水平；而非螺纹型紧固件采取不一样的结构形式以适应特定场合下的安装要求，包含那些通过过盈配合适当实现定位效果的销子部件，利用塑性变形达成永久性结合的铆接装置，这两种类型的紧固件在实际工程项目当中互相补充形成一套完整的产品系列，从而给各种工业产品结构的设计制作给予必要的技术支持。

## 二、紧固工具

作为机械装配工艺的关键执行机构，紧固工具通过精准调控预紧力与装配参数保障结构连接的可靠性。依据驱动原理差异，此类装备可分为手动与自动两大技术谱系：手动类工具基于机械传动原理实现扭矩传递，典型应用如扭矩标定扳手系列，其具备操作灵活性优势并适配基础装配需求；自动类装备采用机电一体化驱动系统提升作业精度，按能量转化机制可细分为气动驱动装置与电动调控设备，前者通过压缩空气动力源驱动执行单元完成高频旋转作业，后者借助电-机能量转换系统实现高精度扭矩调控。

在汽车工业等对连接质量与稳定性需求严格的精密装配流程中，自动化设备依托程序化调控优势与动态检测技术，可精准达成规模化生产中紧固作业的工艺一致性标准，并通过整合传感装置与数据记录模块实现作业参数的即时监控与质量溯源。两类技术装备在应用场景中形成协同配合，传统手持设备凭借成本优势与操作灵活性在设备检修领域保持应用价值，智能化装备则通过提升生产节拍与工艺稳定性成为现代数字化制造的重要技术支撑，二者协同完善了工业紧固技术的应用生态。

## 三、紧固件紧固控制方法

### (一) 扭矩控制法

扭矩控制法作为紧固件连接技术中的基础控制手段，其核心原理在于利用扭矩与轴向预紧力之间的线性关联特性实现

紧固效果。该方法通过调节旋转紧固工具输出的力矩值，间接控制螺栓轴向产生的夹紧载荷，从而实现被连接部件的可靠固定。作业过程中只需配备常规扭矩施加工具即可完成操作，无需配置高精度传感器或实时监测系统，显著降低了设备投入与维护成本。但由于实际工程中摩擦系数的动态变化、接触面状态差异及人为操作误差等因素影响，预紧力离散度普遍偏高，导致该方法难以实现高精度紧固要求。摩擦副表面润滑条件、螺纹配合精度及工具操作角度等变量均会对扭矩系数产生干扰，进而造成轴向预紧力偏离理论计算值。这种非线性干扰使得材料强度利用率受到限制，无法达到理想的设计承载能力。尽管存在精度局限性，该方法凭借操作简便、经济性突出等优势，仍广泛应用于对紧固质量要求不苛刻的常规装配场景。

### (二) 扭矩-转角控制法

紧固件紧固控制方法中的扭矩-转角控制法，采用分阶段操作实现预紧力精确控制。该方法首先施加基础扭矩使螺栓与被连接件接触面达到初步贴合状态，消除装配界面因加工误差或表面粗糙度引起的间隙，确保后续操作在稳定接触条件下进行。随后通过精确控制螺栓旋转角度，利用螺纹副的导程特性将角位移转化为轴向伸长量，使螺栓产生弹性变形的同时对被连接件施加压缩载荷。此阶段通过直接调控螺栓的机械变形量建立目标预紧力，有效降低了摩擦系数波动对轴向力的影响。相较于单纯依赖扭矩控制的方法，该技术将摩擦因素主要限制在初始贴合阶段，而核心预紧力的形成过程依赖于转角与轴向变形的线性关系，显著提高了装配精度的一致性。实施过程中需根据材料特性、连接结构刚度等参数建立转角与预紧力的对应模型，通过试验验证确定最佳转角参数。该方法在精密装配领域具有重要应用价值，尤其适用于对预紧力离散度要求严格的工况环境。

### (三) 屈服点控制法

屈服点控制法属于一种依靠检测紧固件材料屈服状况，来达成精确装配的先进拧紧手段，它的基本原理就是借助材料处于塑性变形期间的力学特性执行动态管控。此办法是在扭矩-转角复合控制法的基础上发展起来的，会随时算出扭矩-转角曲线的斜率改变情况以确定材料屈服临界点。操作步骤分成两部分，先让紧固件抵达预先设定好的起始扭矩数值当作基点，接着不停地观察扭矩以及转角增加量之间的比率走向，一

且这个斜率减小程度超过预定范围, 就表示材料已达屈服限度, 马上停止拧紧动作。相比传统的扭矩控制法容易被摩擦系数变动干扰以及转角控制法对于最初参照点特别敏感等缺陷而言, 这种做法凭借直接观测材料力学性质方面的改变, 可以将各种摩擦系数不一样的连接件准确拧紧到各自的材料屈服强度边缘, 从而加强装配一致性并改进连接可靠度。这种方法要想真正投入使用还存在不少技术上的限制条件, 比如必须要有高精度的动态检测装置还有快速反应的执行机构才行, 所以购买设备或者保养的费用要比一般工艺贵得多; 而且它还对紧固件所用材料本身的质量均匀程度以及结构设计是否合理有着非常严格的要求标准。

#### 四、紧固顺序

机械装配工艺中, 紧固顺序作为关键控制要素, 其规划策略需依据连接部件的结构特性和功能要求实施针对性调整。对于孔位数量有限的连接结构, 常规采用对角线交替紧固的基础工艺, 借助对称施力方式实现初始载荷分布的相对平衡, 防止局部应力过度集中引发结构变形。当连接孔数量显著增多时, 特别是在高密度孔群布局或大尺寸法兰面等复杂应用场景中, 传统对角线紧固方式难以适应多孔系统的协同承载需求。这类多孔连接结构常见于设备核心承力区域或密封结合面, 对接触面压力均匀度、防松稳定性和密封完整性存在严苛标准, 要求紧固方案设计需同时满足力学性能提升和工艺实施要求。

工程实践中, 技术人员需要在装配质量与作业效率之间建立平衡关系: 首先通过多级交叉紧固工艺逐步构建预紧力传导网络, 保证各连接点应力分布的同步协调性; 其次需根据产线节拍和设备条件, 设计可操作性强的工艺简化方案, 例如采用环形递进或螺旋式分步紧固模式以提高作业效率。这种双效平衡机制推动现代装配技术形成了分级递进与交叉验证相结合的复合型紧固工艺体系, 既遵循基础力学理论的核心指导, 又整合了智能制造场景下的工艺改进要素, 最终达成结构安全性与生产效益的双重保障目标。

#### 五、工艺对紧固件性能的深远影响

制造工艺是紧固件性能的关键形成因素, 它的技术水平直接影响产品内部品质以及服役期间的表现情况。精密成型的加工过程通过对材料微观组织改变及应力分布状况实施精确掌控, 从而让紧固件在抗拉强度, 疲劳寿命这些主要力学性质方

面得到改进, 这样一种由分子层面一直到整体尺寸范围内的联合改良, 促使高等级紧固件可以应对繁杂变化着的负载压力而不会产生塑性变形或者断裂损毁现象。表面处置工艺方面的更新改善, 则明显加强了物品对周围环境的适应力, 不管是采用镀层方法时那种利用离子堆积而成的涂层, 还是执行钝化操作之后所生成的那种氧化物薄膜, 它们都是凭借创建起一道物理化学性质方面的阻碍来减慢侵蚀物质侵入速度的过程, 进而维持更长时间的正常运作状态。

工艺参数不准或者工序控制缺位会造成材料晶界弱化, 螺纹导程偏离之类系统性的毛病, 这类隐患一旦处于动态负荷之下就容易出现应力积聚并引发裂纹蔓延, 进而致使连接部位产生渐进式的毁坏乃至突然崩塌。特别是当涉及到高压封堵或者震动频繁的情形时, 工艺方面的瑕疵所引发的尺寸协调失调现象, 会立刻减小连接面的接触刚性, 使得介质发生渗漏或者脱落的风险呈几何倍数上升。当代制造系统借助采用数字工艺模拟以及在线品质观测手段, 把诸如热处理相变掌控, 冷锻成形精确程度之类的步骤归入到回路管控范畴之内, 这样既改进了产品的性能稳定水平, 又打造出一种覆盖全部生命时段的质量追踪体制。

#### 总结

综上所述, 紧固件紧固工艺技术研究之路, 是一个不断发展和适应时代变化的过程。未来发展中, 紧固件紧固工艺将持续向智能化与集成化方向深化探索, 通过融合数字孪生与物联网技术构建动态工艺优化体系, 实现装配质量的全生命周期管控, 为工业基础件技术革新提供新的范式参考。

#### [参考文献]

- [1]刘春辉. 紧固件防腐工艺技术研究进展[J]. 科技创新与应用, 2024(4): 173-176.
- [2]王勃, 赵祥. 汽车耐热钢紧固件材料及热处理工艺[J]. 大众汽车, 2023(9): 0136-0139.
- [3]朱理智, 梁元军. 金属紧固件防护能力提升工艺研究[J]. 新技术新工艺, 2021(6).

作者简介: 顾计松, 出生年: 1971-06, 性别: 男, 民族: 汉族, 籍贯: 嘉兴市海盐县, 职务: 设备部长, 职称: 工程师, 学历: 大专, 研究方向: 机电制造。