

机械装配过程中螺栓预紧力不足问题及改进措施

罗强 甄少华 明哲 杨松源 陈硕日

北方工程设计研究院有限公司 河北 石家庄 050000

【摘要】：螺栓预紧力不足在机械装配过程中是一个常见的问题，严重影响了机械设备的安全性与可靠性。通过分析螺栓预紧力不足的原因，主要表现在操作不当、设备老化、以及预紧力标准不明确等方面。针对这一问题，提出了优化预紧力控制的技术方案和改进措施，包括使用高精度扭矩工具、规范装配操作流程、加强质量检测等手段，以确保螺栓连接的稳定性和机械装配的质量。改进措施的实施不仅能够有效防止预紧力不足引发的设备故障，还能提高生产效率和机械使用寿命。

【关键词】：螺栓预紧力；机械装配；改进措施；扭矩控制；装配质量

DOI:10.12417/2811-0528.26.07.013

引言

螺栓在机械装配中起着至关重要的作用，尤其是预紧力的控制对于确保机械连接的强度和稳定性至关重要。在实际装配过程中，螺栓预紧力不足的问题往往被忽视，却可能导致严重的设备故障和安全隐患。预紧力不足不仅影响螺栓的连接效果，还可能导致机械装置在使用过程中的震动、松动等问题。因此，深入研究预紧力不足的成因并提出改进措施，是保证机械设备正常运行的关键。通过分析螺栓预紧力不足的现象、成因及其影响，结合科学的预紧力控制技术，能够有效地提高机械装配的质量和可靠性。

1 螺栓预紧力不足的原因分析

螺栓预紧力不足的原因可以从多个角度进行分析。在机械装配过程中，操作人员的技能水平直接影响着螺栓的预紧过程。若操作人员对预紧力的要求认识不清或操作不规范，常常导致螺栓预紧力未能达到标准。尤其是在采用手动工具进行预紧时，操作者的力量控制不精确，导致预紧力的不一致，进而影响连接质量。由于预紧力的标准缺乏统一性，企业在装配过程中往往无法依赖于标准化的操作流程，这也加剧了螺栓预紧力控制的困难。

设备本身的精度问题也在一定程度上导致了预紧力不足。扭矩扳手等工具的精度不高，难以保证每次操作时扭矩的准确性。这些工具如果没有经过定期的校准和检修，极易出现误差，导致预紧力的不足^[1]。长期使用后，设备的磨损可能导致扭矩输出不稳定，从而产生不准确的预紧力。与此同时，螺栓本身的质量问题也是导致预紧力不足的原因之一。螺栓材料的强度和硬度不符合标准，或者螺纹损伤，都会影响预紧力的正常发挥，导致螺栓连接力不足。

环境因素同样是不可忽视的因素。温度、湿度的变化对螺栓的性能会产生较大影响。特别是在温度波动较大的工作环境中，螺栓的膨胀和收缩现象会影响预紧力的保持，导致装配过

程中螺栓的松动。同时，装配工序中的振动和冲击也可能对螺栓连接造成影响，导致螺栓松动或预紧力丧失。螺栓预紧力不足的原因复杂多样，涵盖了操作、设备、螺栓本身以及环境等多个方面，这些因素共同作用，导致预紧力无法达到要求，从而影响机械装配的质量和安全性。

2 螺栓预紧力不足的影响与危害

螺栓预紧力不足会在机械装配过程中带来一系列严重的影响，最直接的后果便是连接力的不足，进而导致机械零件之间的接触不牢固。由于预紧力的缺失，螺栓连接部位的摩擦力不够，容易引起松动，尤其在高震动和高负荷的工作环境下，螺栓松动的风险显著增加。这种松动不仅会降低装配精度，还可能导致设备的工作状态不稳定，从而影响机械设备的整体性能和安全性。螺栓预紧力不足还可能导致应力分布不均，产生局部过载现象。由于连接部位的螺栓承载能力减弱，承受的负荷无法均匀分布，导致某些部位的过度磨损甚至破损。这种不均匀的应力分布不仅加剧了螺栓的疲劳损坏，还可能导致周围结构的变形或者损坏，从而影响整个机械系统的可靠性和寿命。

预紧力不足还会影响设备的密封性^[2]。在许多机械设备中，螺栓不仅承担连接功能，还起到密封的作用。如果预紧力不够，螺栓连接处的密封面无法紧密接触，导致液体或气体泄漏，造成设备效率降低，甚至出现安全隐患。在高温、高压环境下，泄漏问题更加严重，可能引发设备故障或安全事故。长期存在的螺栓预紧力不足问题，最终将导致设备的维护成本增加。由于螺栓连接松动，设备的运行状态不稳定，需要频繁进行检查和维修。更为严重的是，设备因连接松动或破损而发生故障时，可能造成生产停滞，影响整个生产线的正常运作，甚至造成不可挽回的经济损失。因此，螺栓预紧力不足的影响不仅仅体现在装配质量的下降，更深远的是它对机械设备的安全性、稳定性及经济性带来的危害，必须引起足够的重视。

3 改进螺栓预紧力控制的技术措施

改进螺栓预紧力控制的技术措施是解决螺栓预紧力不足问题的关键。为了确保螺栓连接的可靠性与安全性，首先需要引入高精度的预紧力控制工具。常规的手动工具由于操作误差较大，难以保证预紧力的精确控制，尤其在需要高精度预紧的场合。使用电动或气动扭矩扳手以及智能扭矩控制工具，可以有效地解决这一问题。这些工具能够实时监控和调节预紧力，确保每个螺栓都能够达到设定的预紧力值，从而减少人为操作误差带来的影响。自动化的预紧力检测系统也可以被应用到螺栓装配过程中。这些系统能够实时反馈预紧力的数值，通过数据采集和监控平台，操作人员可以随时检查螺栓的预紧力是否符合要求。这种系统的优势在于它能够在装配过程中实时对预紧力进行跟踪，及时发现异常并进行调整，从而大大降低了装配过程中预紧力不足的风险。

对装配工艺的标准化也是改进措施之一。制定明确的装配标准，规范操作流程，并对操作人员进行定期的培训，能够有效提高装配质量。在生产过程中，操作人员应该按照标准的预紧力要求进行螺栓装配，避免因操作不当造成预紧力的不足^[3]。标准化的操作不仅可以提高装配的一致性，还能够减少因操作不当带来的质量问题，确保每一个螺栓连接都能达到设计要求。螺栓本身的质量也是影响预紧力控制的一个重要因素，因此在选择螺栓时应严格控制其质量标准。螺栓材料的选择直接影响其承载能力和耐久性，采用符合标准的高强度螺栓材料可以保证螺栓的预紧力在长时间的使用过程中保持稳定。

参考文献:

- [1] 李旭健,李和昌,周玉宝,胡云鹏,王赫.基于预紧力-扭矩修正公式的螺栓装配方法与连接均一性研究[J].机械,2025,52(8):42-48.
- [2] 朱尧,袁明清,程卓,孙岩辉,陈剑.螺栓预紧力对搭接结构动力学响应的有限元研究[J].轻工机械,2025,43(2):42-52.
- [3] 崔强,李艳杰,郎智明,卜春光,梅诺.巷道管道螺栓装配机器人的柔顺控制[J].科学技术与工程,2025,25(10):4192-4198.

对于螺栓的表面处理工艺也应予以关注，经过合理处理的螺栓可以减少摩擦和磨损，确保预紧力得到有效传递和保持。

环境因素对螺栓预紧力的影响不容忽视。温度、湿度等变化可能导致螺栓的膨胀或收缩，进而影响预紧力的稳定性。在这一方面，可以通过采取适当的补偿措施来对环境变化带来的影响。在高温环境下使用具有温度补偿功能的扭矩工具，或者通过增加螺栓的预紧力值，抵消温度变化带来的影响，这样可以更好地确保螺栓连接的稳定性。加强对螺栓装配后的质量检测也是一项不可忽视的技术措施。通过采用非破坏性检测技术（如超声波检测、X射线检测等），可以实时检查螺栓连接的质量，确保装配过程中预紧力是否达到要求，避免因预紧力不足造成的潜在安全隐患。这些检测技术能够有效排查螺栓连接中的隐患，为设备的安全运行提供保障。改进螺栓预紧力控制的技术措施涉及多个方面，从工具的精准控制到操作规范的标准化，再到螺栓本身质量的保障以及环境因素的补偿，都是确保螺栓预紧力充足的关键措施。

4 结语

螺栓预紧力不足的问题对机械装配质量和设备安全性具有重要影响。通过分析其原因及危害，提出了包括高精度工具应用、自动化检测、操作标准化和环境补偿等多项技术措施。这些改进措施的实施将有效提高螺栓连接的稳定性，减少设备故障率，提升装配质量和生产效率。未来应继续加强技术创新，以确保机械装配的可靠性和安全性。