

航天机械工程中的精密测量技术与质量控制方法研究

张 振 郑 芳 任海滔 尹新润
首都航天机械有限公司 北京 100076

摘 要：航天机械工程中的精密测量技术与质量控制方法至关重要。精密测量技术包括经纬仪测量系统、关节臂式坐标测量系统、激光跟踪测量系统等，它们具有高精度、非接触式等优点，广泛应用于航天器装配过程中，确保装配精度和质量控制。质量控制方法则强调误差分析与控制策略，运用统计方法分析测量数据，识别异常波动，并采取措施防止缺陷产生。这些技术和方法共同保障了航天机械工程的高质量和可靠性。

关键词：航天机械工程；精密测量技术；质量控制方法

引言：航天机械工程作为高度精密和复杂的系统工程，其成功实施离不开精密测量技术和严格的质量控制方法。精密测量技术能够提供航天器各部件的准确尺寸和形状信息，为设计和制造提供基础数据。而质量控制方法则确保整个生产过程符合预定的质量标准，减少质量问题的发生。因此，深入研究航天机械工程中的精密测量技术和质量控制方法，对于提升航天器的性能和可靠性具有重要意义。

1 航天机械工程中的精密测量技术

1.1 精密测量技术的基本原理

精密测量技术遵循物理学的基本原理，利用高精度的测量工具和仪器，实现对航天器各部件的精确测量。

（1）基于物理常数的标准化测量。标准化测量是精密测量的基础。它依赖于一系列国际公认的物理常数，如光速、电子质量等，为测量提供准确的参考基准。在航天机械工程中，标准化的长度、质量、时间等基本单位，确保所有测量结果的可比性和一致性。此外，基于物理常数的测量还意味着高精度，能够减小因仪器误差、环境变化等因素引起的测量不确定性。（2）误差来源与影响分析。在精密测量中，误差始终是一个需要高度重视的问题。误差来源多样，包括测量仪器本身的精度限制、环境条件的变化（如温度、湿度）、人为操作不当等。这些误差会对测量结果产生直接影响，进而影响航天器各部件的制造精度和性能。因此，在测量过程中，必须采取一系列措施来减少误差，如使用高精度的测量仪器、控制测量环境、加强操作培训等。

1.2 精密测量方法的分类与应用

（1）直接测量技术。直接测量技术通过直接读取测量工具的示值来获取待测对象的尺寸或形状信息。在航天机械工程中，常用的直接测量工具有卡尺、螺旋测微器等。这些工具具有操作简单、读数直观等优点，广泛

应用于航天部件的尺寸测量。例如，在火箭发动机的制造过程中，需要使用卡尺等直接测量工具来精确测量发动机各部件的尺寸，以确保其符合设计要求^[1]。（2）间接测量技术。间接测量技术则是通过测量与待测对象相关的其他物理量来推算出待测对象的尺寸或性能参数。在航天机械工程领域，天平、压力计等间接测量工具常用于材料性能测试。例如，使用天平可以精确测量航天器所需材料的质量，而压力计则可以用于测试材料在特定条件下的抗压能力，从而确保所选材料能够满足航天器的性能需求。（3）比较测量技术。比较测量技术则是通过将待测对象与已知标准进行比较，从而得出待测对象的尺寸、形状或性能参数。在航天机械工程领域，高精度光学仪器和电子显微镜是常用的比较测量工具。这些工具能够实现对航天部件表面微观形貌、粗糙度以及材料内部结构的精确检测。例如，在航天器反射镜的制造过程中，需要使用光学仪器来检测反射镜表面的微小瑕疵和不平整度，以确保其光学性能达到设计要求。

1.3 精密测量技术的发展趋势

随着航天技术的不断进步和航天器性能要求的日益提高，精密测量技术也在不断发展。（1）传感器的小型化、多功能化。随着微电子技术和纳米技术的快速发展，传感器正朝着小型化、多功能化的方向发展。未来的传感器将具有更高的灵敏度、更低的功耗和更强的环境适应性，能够实现对航天器各部件的实时监测和精确测量。此外，多功能传感器还能够同时测量多个物理量，提高测量效率和准确性。（2）信号调理技术的提高。信号调理技术是精密测量中的关键环节之一。未来的信号调理技术将更加注重对测量信号的精确处理和分

量结果的准确性和可靠性。(3) 无线数据采集系统的应用。无线数据采集系统能够实现对测量数据的实时传输和远程监控,提高测量效率 and 安全性。在航天机械工程领域,无线数据采集系统可以应用于航天器各部件的实时监测和故障诊断等方面。通过无线传输技术,将测量数据实时传输到地面控制中心或远程监测站进行分析和处理;同时,还可以利用无线通信技术实现对航天器的远程控制和指令发送。这将为航天器的运行和维护提供更加便捷和高效的支持。

2 航天机械工程中的质量控制方法

2.1 质量控制的基本原理

(1) 过程控制与质量保证。过程控制是质量控制的核心,它强调在航天器的设计、制造、测试等各个阶段实施严格的监控和管理,确保每个过程都符合预定的质量标准和要求。质量保证则是对整个质量控制体系的评估和改进,通过定期审核和反馈机制,确保质量控制体系的有效性和持续改进。(2) 质量控制统计方法的应用。统计方法在质量控制中扮演着重要角色。通过运用统计工具和方法,可以对生产过程中的数据进行分析 and 预测,及时发现潜在的质量问题,并采取相应的纠正措施。这些统计方法不仅提高了质量控制的精度和效率,还为决策提供了有力的数据支持。

2.2 质量控制方法的分类与实践

(1) 统计过程控制(SPC)。统计过程控制(SPC)是一种基于统计原理的过程控制方法。它通过使用控制图、过程能力指数等工具,对生产过程中的关键参数进行实时监控和分析,及时发现和纠正偏差,确保生产过程的稳定性和可控性。在航天机械工程领域,SPC方法被广泛应用于制造过程中的各种关键质量控制点,如材料性能、加工精度、装配质量等方面。(2) 六西格玛方法。六西格玛方法是一种基于数据驱动的质量改进方法。它强调以顾客需求为导向,通过DMAIC(定义、测量、分析、改进、控制)过程,对生产过程中的问题进行深入分析,找出根本原因,并采取有效措施进行改进。六西格玛方法不仅关注生产过程中的质量控制,还注重流程优化和持续改进,以实现更高的生产效率和更低的废品率。在航天机械工程领域,六西格玛方法被用于解决各种复杂的质量问题,如提高部件的可靠性、降低制造成本等。(3) 质量管理工具。质量管理工具如因果图、流程图、直方图等,在质量控制中发挥着重要作用。这些工具可以帮助我们更好地理解问题产生的根本原因,找出关键影响因素,并制定有效的改进措施。例如,因果图可以用于分析质量问题产生的多种原因及其

相互关系;流程图则可以清晰地展示生产过程中的各个环节和关键控制点;直方图则可以用于展示数据的分布情况,帮助我们评估生产过程的稳定性和可靠性^[2]。

2.3 质量控制方法在航天机械工程中的案例分析

(1) 某航天器制造过程中的质量控制实践。以某型号航天器的制造过程为例,质量控制实践贯穿了整个生产过程。在原材料采购阶段,采用了严格的检验和测试程序,确保所有材料均符合航天级标准。在加工和装配过程中,实施了SPC方法,利用控制图对关键尺寸和加工精度进行实时监控,及时发现和纠正偏差。此外,还应用了六西格玛方法,对生产流程进行了优化,减少了不必要的工序和浪费,提高了生产效率和产品质量。在质量控制过程中,还广泛使用了质量管理工具。例如,通过绘制因果图,分析了影响航天器关键部件性能的各种因素,并制定了相应的改进措施。流程图则用于展示整个生产过程的关键环节和控制点,帮助团队更好地理解生产过程,优化作业流程。直方图则用于评估生产过程的稳定性和一致性,及时发现潜在的质量问题。(2) 质量控制方法在降低废品率、提高生产效率方面的效果评估。通过上述质量控制方法的实施,该航天器制造过程中的废品率显著降低,生产效率得到了大幅提升。SPC方法的应用,使得生产过程中的偏差得以及时发现并纠正,避免了大量废品的产生。六西格玛方法的引入,则进一步优化了生产流程,减少了不必要的工序和浪费,提高了生产效率。同时,质量管理工具的使用,使得质量问题能够迅速定位和解决,提高了团队的工作效率和质量意识。具体来说,通过实施质量控制方法,该航天器制造过程中的废品率降低了近30%,生产效率提高了约20%。这不仅为航天器的成功制造提供了有力保障,也为企业的可持续发展奠定了坚实基础。此外,这些质量控制方法的实施还促进了企业质量管理文化的建设,提高了员工的质量意识和责任感,为企业的长远发展注入了新的活力。

3 航天机械工程中的精密测量与质量控制技术应用

3.1 精密测量技术在航天器制造中的应用

(1) 火箭发动机性能测试中的精密测量。火箭发动机是航天器的核心部件,其性能直接影响航天器的发射成功率和运行效率。在火箭发动机的制造和测试过程中,精密测量技术发挥着关键作用。例如,通过高精度传感器和测试仪器,可以实时监测发动机的推力、燃油消耗率、燃烧室温度等关键参数,确保发动机在极端环境下的稳定运行。此外,利用光学测量技术,还可以对发动机的喷管形状、喷嘴流速分布等进行精确测量,进

一步优化发动机性能。(2) 航天器部件尺寸与形状的高精度测量。航天器由众多精密部件组成,这些部件的尺寸和形状精度对航天器的整体性能和安全性至关重要。在制造过程中,采用高精度的测量设备和工具,如激光测距仪、三坐标测量机等,可以对航天器部件的尺寸和形状进行高精度测量,确保它们符合设计要求。这些测量数据不仅用于部件的制造和装配,还为后续的测试和调整提供了有力支持。

3.2 质量控制方法在航天器制造中的实施

(1) 航天器制造过程的质量控制策略。在航天器制造过程中,实施严格的质量控制策略是确保产品质量和一致性的关键。这包括制定详细的质量控制计划,明确各阶段的质量标准和检验要求;实施全面的质量检验和测试,包括原材料检验、部件测试、整机性能测试等;建立质量追溯体系,确保产品质量的可追溯性和可控制性。此外,还采用先进的质量管理工具和方法,如统计过程控制(SPC)、六西格玛等,对生产过程进行实时监控和改进,提高产品质量和生产效率。(2) 质量控制方法在确保产品质量与一致性方面的作用。质量控制方法的应用,不仅提高了航天器制造过程的稳定性和可控性,还确保了产品质量与一致性。通过实施严格的质量控制策略,航天器制造过程中的每个环节都得到了有效的监控和管理,从而降低了质量风险,提高了产品的可靠性和安全性^[3]。例如,在航天器制造过程中,采用统计过程控制(SPC)方法可以实时监控生产过程中的关键参数,及时发现潜在的质量问题,并采取相应的纠正措施,确保生产过程始终处于受控状态。此外,六西格玛等先进的质量管理方法的应用,进一步推动了质量控制的精细化和标准化,使得航天器制造过程中的质量问题和缺陷得到了有效控制,产品的一致性和可靠性得到了显著提升。

3.3 精密测量与质量控制技术的融合应用

(1) 精密测量与质量控制技术的相互促进关系。精密测量与质量控制技术在航天机械工程中的融合应用,

形成了相互促进的良性循环。一方面,精密测量技术为质量控制提供了准确、可靠的数据支持,使得质量控制更加精确和高效。另一方面,质量控制技术的应用又推动了精密测量技术的不断发展和完善,提高了测量精度和效率。这种相互促进的关系,使得航天机械工程中的质量控制和精密测量水平不断提高,为航天器的高质量制造提供了有力保障。(2) 融合应用在提高航天机械工程效率与质量方面的效果分析。精密测量与质量控制技术的融合应用,在航天机械工程领域取得了显著成效。一方面,通过实施精确、高效的质量控制策略,航天器制造过程中的质量问题和缺陷得到了有效控制,生产效率和产品质量得到了显著提升。另一方面,利用精密测量技术,可以对航天器制造过程中的关键参数进行实时监测和评估,为生产过程的优化和改进提供了有力支持。这种融合应用不仅提高了航天机械工程的生产效率和产品质量,还降低了生产成本和风险,为航天事业的持续发展注入了新的活力。

结束语

综上所述,精密测量技术与质量控制方法在航天机械工程中发挥着不可替代的作用。它们共同构成了航天器制造和质量控制的核心体系,为航天事业的发展提供了坚实的技术支撑。未来,随着技术的不断进步和航天器性能要求的提高,我们需继续深入研究和完善这些技术,以满足更加复杂和多样的航天工程需求,推动航天事业持续健康发展,为人类的太空探索和利用作出更大贡献。

参考文献

- [1]沈俊明,孙军.现代机械制造过程中的精密测量与质量控制研究[J].机械制造与自动化,2020,(02):14-15.
- [2]王刚,刘强.精密测量技术在机械制造中的应用及发展趋势[J].机械设计与制造,2019,(06):32-33.
- [3]龙文彪,赵宇.质量控制技术在机械制造过程中的应用研究[J].制造业自动化,2021,(05):48-49.