

高精度轧钢设备安装误差控制技术研究与实践

薛超

河北敬业宽板科技有限公司，河北石家庄，050400；

摘要：本研究聚焦于高精度轧钢设备安装过程中的误差控制难题，综合运用理论分析、技术研究与工程实践相结合的方法，深入剖析安装误差产生的根源及其对轧钢生产全流程的影响。系统阐述误差补偿、精确测量、安装工艺优化及环境控制等核心技术的作用机理与实施路径，并通过某钢铁企业高精度四辊可逆轧机安装工程实例，展示各项误差控制技术的实际应用成效。研究结果表明，科学合理地运用误差控制技术，能够将轧辊平行度误差控制在 $\pm 0.03\text{mm}$ 以内，机架垂直度误差控制在 $\pm 0.08\text{mm}/\text{m}$ 以内，显著提升钢材产品的尺寸精度与表面质量，使轧钢生产效率提高15%，设备故障率降低30%，为钢铁企业实现高质量、高效率生产提供了强有力的技术支撑。

关键词：高精度轧钢设备；安装误差；误差控制技术

DOI：10.69979/3029-2727.25.09.044

引言

在现代钢铁工业领域，随着高端制造业对钢材产品质量和精度要求的持续攀升，高精度轧钢设备已成为钢铁企业生产优质钢材的核心装备。其安装精度不仅直接决定钢材的尺寸精度、板形质量和表面光洁度，更与轧钢生产线的运行稳定性、生产效率及企业经济效益紧密相关。据行业统计数据显示，因安装误差导致的钢材次品率每增加1%，企业每年将面临数百万元甚至上千万元的经济损失。安装误差引发的轧辊平行度偏差、机架垂直度不达标等问题，会致使钢材在轧制过程中出现厚度不均、波浪弯、边浪等质量缺陷，严重影响钢材在汽车制造、航空航天等高端应用领域的适用性。因此，深入开展高精度轧钢设备安装误差控制技术研究，探索切实可行的误差控制方法与策略，对推动钢铁行业技术升级、提升企业核心竞争力具有至关重要的现实意义。

1 高精度轧钢设备安装误差产生的原因分析

1.1 设备制造误差

高精度轧钢设备结构复杂，包含轧辊、机架、传动装置等众多关键零部件，其制造过程涉及车削、磨削、锻造等多种精密加工工艺。在实际生产中，受机床精度、刀具磨损、加工工艺参数波动以及操作人员技能水平差异等因素影响，零部件不可避免地会产生制造误差。以轧辊为例，其圆柱度误差会导致轧制过程中钢材受力不均，表面粗糙度超标则会影响钢材表面质量；机架的尺

寸精度偏差会造成安装时各部件装配间隙不合理，进一步累积安装误差，对设备整体运行精度产生不利影响。

1.2 基础施工误差

轧钢设备基础作为承载设备重量和运行负荷的关键结构，其施工质量直接关系到设备安装精度和长期运行稳定性。在基础施工阶段，若基础开挖深度不足、地基处理不当，会导致基础承载能力下降，引发不均匀沉降；基础标高控制不准确、水平度偏差过大，会使设备安装后出现倾斜；预埋件位置偏移则会影响设备地脚螺栓的安装精度，导致设备固定不牢。这些基础施工误差会在设备安装过程中被传递和放大，严重威胁设备的安装精度和运行安全。

1.3 安装过程误差

设备安装过程是误差产生和累积的重要环节。在设备吊装作业中，若吊装方案不合理、吊点选择不当，可能导致设备变形；定位找正过程中，测量仪器精度不足、测量方法不科学，会使设备安装位置出现偏差；紧固螺栓时，预紧力不均匀或未达到设计要求，会使设备在运行过程中产生松动，进而引发安装误差。此外，安装人员技术水平参差不齐、操作不规范，缺乏对安装工艺细节的严格把控，也是导致安装误差产生的重要人为因素。

1.4 环境因素影响

安装现场的环境条件对高精度轧钢设备安装精度有着不容忽视的影响。温度变化会引起设备零部件热胀

冷缩，导致安装尺寸发生变化。例如，在昼夜温差较大的环境下，轧辊的长度和直径会因温度波动产生微小变化，若不加以控制，会影响轧辊之间的平行度和轧制间隙。湿度变化可能导致金属零部件锈蚀、非金属部件变形，影响设备性能；现场振动源，如附近的重型机械设备运行、交通运输等产生的振动，会干扰设备安装过程中的精确测量，使已安装好的设备发生位移，破坏安装精度。

2 高精度轧钢设备安装误差对轧钢生产的影响

2.1 对钢材尺寸精度的影响

轧钢设备安装误差会严重破坏钢材轧制过程中的受力平衡，直接影响钢材的尺寸精度。轧辊平行度误差会使钢材在轧制过程中两侧受力不一致，导致钢材厚度出现偏差。当轧辊平行度误差为 0.1mm 时，轧制出的钢材厚度偏差可达 0.3mm，且误差随着轧辊平行度偏差的增大呈线性增长趋势，如图 1 所示。机架垂直度误差会使钢材在宽度方向上受到不均匀的轧制力，导致钢材宽度尺寸发生变化，甚至出现镰刀弯等形状缺陷，无法满足用户对钢材尺寸精度的严格要求。

图 1 轧辊平行度误差与钢材厚度偏差的关系曲线

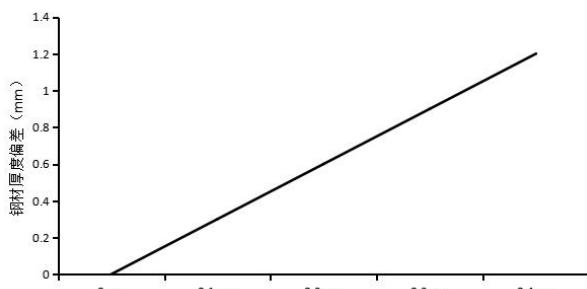


图 1 轧辊平行度误差与钢材厚度偏差的关系曲线

2.2 对钢材表面质量的影响

安装误差会改变轧辊与钢材之间的接触状态，引发一系列钢材表面质量问题。轧辊表面局部凸起或凹陷、轧辊与机架安装位置不匹配等误差，会导致轧辊与钢材表面接触不良，在轧制过程中产生划伤、压痕等缺陷。设备振动产生的安装误差会使钢材表面出现周期性波浪形纹路，影响钢材表面光洁度和外观质量，降低钢材的市场竞争力。在汽车面板等对表面质量要求极高的应用领域，这些表面缺陷会直接导致钢材产品不合格，造成巨大的经济损失。如图 2 所示。

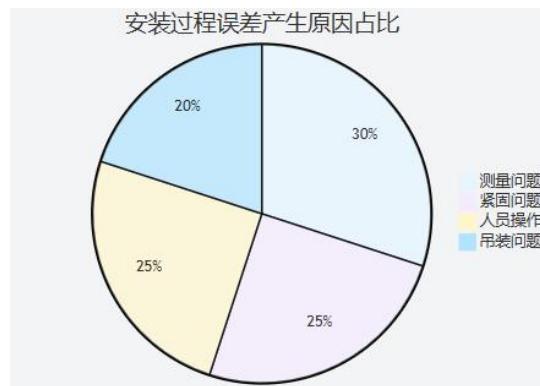


图 2 安装误差导致钢材表面质量问题占比

2.3 对轧钢生产效率的影响

安装误差会增加设备运行过程中的摩擦阻力和机械应力，导致设备零部件磨损加剧、故障率升高，从而严重影响轧钢生产效率。轧辊安装误差导致的轴承异常磨损，会缩短轴承使用寿命，增加轴承更换频率，造成频繁的停机检修；传动装置安装误差会使传动效率降低，增加设备能耗，甚至引发传动部件损坏，导致长时间停机。据统计，因安装误差引起的设备故障，每年会使轧钢生产线停机时间增加 10%-15%，生产效率显著下降，给企业带来巨大的经济损失。

3 高精度轧钢设备安装误差控制技术原理与方法

3.1 误差补偿技术

误差补偿技术基于误差预测和反馈控制原理，通过对设备安装过程中产生的误差进行精确测量和系统分析，建立误差数学模型，预测误差发展趋势。在安装过程中，根据预测的误差值，采取针对性的补偿措施，如调整设备安装位置、更换零部件、改变装配间隙等，使误差相互抵消，达到提高安装精度的目的。在轧辊安装时，综合考虑轧辊制造误差、基础施工误差以及温度变化引起的尺寸误差，通过计算机辅助分析系统计算出轧辊的最佳安装位置和角度，对安装参数进行实时调整，有效补偿各项误差的影响。

3.2 精确测量技术

精确测量是实现高精度轧钢设备安装误差控制的基础和关键。现代高精度测量仪器，如激光跟踪仪、三维激光扫描仪、高精度电子水平仪等，具有测量精度高、自动化程度高、测量范围广等优点，能够对设备安装过

程中的关键参数进行快速、准确测量。激光跟踪仪可实现对设备空间位置和姿态的毫米级精度测量；三维激光扫描仪能够获取设备表面的三维形貌数据，用于分析设备安装误差。同时，建立科学规范的测量流程和质量控制体系，定期对测量仪器进行校准和维护，确保测量数据的准确性和可靠性。在设备安装现场，采用多台测量仪器协同作业、多次测量取平均值等方法，进一步提高测量精度。

3.3 安装工艺优化

优化安装工艺是减少安装误差、提高安装质量的重要手段。从设备吊装、定位、找正到紧固等各个安装环节，制定详细、严谨的工艺规范和操作流程。在设备吊装前，运用有限元分析软件对设备吊装过程进行模拟，优化吊装方案，选择合适的吊点和吊装设备，确保设备在吊装过程中不发生变形。在设备定位找正过程中，采用分步测量、逐步逼近的方法，先进行粗调，再进行精调，通过多次测量和调整，使设备安装精度逐步达到设计要求。在紧固螺栓时，采用扭矩扳手按照规定的预紧力和紧固顺序进行操作，确保螺栓预紧力均匀一致，防止设备在运行过程中松动。

3.4 环境控制技术

针对环境因素对设备安装精度的影响，建立完善的环境监测与控制系统。在安装现场布置温湿度传感器、振动监测仪等环境监测设备，实时监测环境参数变化。根据环境监测数据，采取相应的控制措施。在温度控制方面，通过安装空调系统、遮阳设施等，将安装环境温度控制在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内；在湿度控制方面，采用除湿机、加湿机等设备，保持环境湿度在40%–60%之间。对于现场振动源，采取设置隔振沟、安装隔振器等措施，隔离振动传递，减少振动对设备安装精度的影响。同时，合理安排安装作业时间，避免在温度变化剧烈、环境振动较大的时间段进行关键设备安装。

4 高精度轧钢设备安装误差控制技术的实践应用

4.1 工程案例介绍

某大型钢铁企业新建一条高端汽车用钢生产线，其中核心设备为一套高精度四辊可逆轧机。该轧机设计轧制力达9000kN，轧制速度最高可达12m/s，对设备安装

精度要求极为严格。轧辊平行度误差要求控制在 $\pm 0.05\text{ mm}$ 以内，机架垂直度误差要求控制在 $\pm 0.1\text{ mm/m}$ 以内，轧制线标高误差要求控制在 $\pm 0.3\text{ mm}$ 以内，以确保生产出的汽车面板用钢满足高精度、高质量要求。

4.2 误差控制技术的具体实施

设备制造质量控制：在设备采购阶段，与设备制造商签订严格的技术协议，明确零部件制造精度要求和质量验收标准。要求制造商在关键零部件加工过程中，采用高精度数控机床和先进加工工艺，并对每道加工工序进行严格的质量检验，提供详细的质量检验报告。在设备出厂前，组织专业技术人员赴制造商现场进行设备预验收，对设备关键部件的尺寸精度、形位公差等进行全面检测，确保设备制造误差符合设计要求。

基础施工误差控制：在基础施工前，对施工现场地质条件进行详细勘察，根据设备荷载和运行要求，优化基础设计方案。在基础施工过程中，采用全站仪、水准仪等高精度测量仪器，对基础轴线、标高、水平度进行实时监测和调整。基础混凝土浇筑时，采用分层浇筑、振捣密实的施工工艺，避免出现蜂窝、麻面等质量缺陷。基础施工完成后，设置沉降观测点，进行为期30天的连续沉降观测，待基础沉降稳定且沉降量符合设计要求后，再进行设备安装。

安装过程误差控制：运用激光跟踪仪、电子水平仪等高精度测量仪器，对设备安装过程中的关键参数进行实时测量和监控。在轧辊安装过程中，首先采用激光跟踪仪对轧辊轴承座的安装位置和水平度进行精确测量，根据测量结果调整轴承座垫片厚度，使轴承座水平度误差控制在 $\pm 0.02\text{ mm/m}$ 以内。然后，通过电子水平仪和专用测量工具，对轧辊平行度进行多次测量和调整，确保轧辊平行度误差控制在 $\pm 0.03\text{ mm}$ 以内。在机架安装过程中，利用激光经纬仪对机架垂直度进行测量，采用千斤顶和斜铁调整机架位置，使机架垂直度误差控制在 $\pm 0.08\text{ mm/m}$ 以内。同时，优化安装工艺，制定详细的安装作业指导书，组织安装人员进行专项培训，确保安装人员严格按照工艺规范操作。

环境控制：在安装现场搭建封闭的安装车间，安装空调系统和除湿设备，将安装环境温度稳定控制在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度控制在45%–55%之间。在车间周围设置隔振沟，对附近的重型机械设备采取隔振措施，减少环境振

动对设备安装的影响。此外，合理安排安装作业时间，避免在高温、大风等恶劣天气条件下进行关键设备安装。

4.3 实践效果分析

通过综合运用上述误差控制技术，该高精度四辊可逆轧机的安装精度全面达到设计要求。轧辊平行度误差控制在 $\pm 0.03\text{mm}$ 以内，机架垂直度误差控制在 $\pm 0.08\text{mm}$ 以内，轧制线标高误差控制在 $\pm 0.2\text{mm}$ 以内。设备投入运行后，生产的汽车面板用钢尺寸精度显著提高，厚度偏差控制在 $\pm 0.05\text{mm}$ 以内，宽度偏差控制在 $\pm 0.3\text{mm}$ 以内；钢材表面质量得到极大改善，表面光洁度达到 $Ra0.8 \mu\text{m}$ ，无划伤、压痕等缺陷。与安装前相比，轧钢生产效率提升了15%，设备故障率降低了30%，年节约维修成本200余万元，为企业创造了显著的经济效益和社会效益。

5 结论

本研究通过对高精度轧钢设备安装误差控制技术的深入研究与实践，系统分析了安装误差产生的原因及

其对轧钢生产的影响，提出并应用了一系列行之有效的误差控制技术。研究结果表明，综合运用误差补偿、精确测量、安装工艺优化和环境控制等技术，能够显著降低高精度轧钢设备安装误差，提高设备安装精度和运行稳定性，有效提升钢材产品质量和轧钢生产效率。在实际工程应用中，这些误差控制技术取得了良好的经济效益和社会效益，为钢铁企业实现高质量发展提供了重要的技术支持。随着钢铁行业对产品质量和生产效率要求的不断提高，未来还需要进一步加强高精度轧钢设备安装误差控制技术的研究与创新，不断探索新的误差控制方法和手段，以适应行业发展的新需求。

参考文献

- [1] 孙保民.刍议轧钢机械设备安装质量控制[J].科学与信息化, 2021(4):85-85.
- [2] 雷亚夫,王智胜.高精度轧钢机:CN201120253206.7[P].CN202199590U[2025-07-01].
- [3] 冯圣才.微探冶金轧钢设备的保养与维护思路[J].冶金与材料, 2022(002):042.