

钢结构建筑机电一体化安装关键技术研究

陈进明

浙江远昌建设工程有限公司 浙江 杭州 310000

【摘要】：随着钢结构建筑向复杂化、智能化发展，非对称、复杂截面型材应用日益广泛，其加工与安装精度直接决定机电一体化系统稳定性。本文聚焦此类型材加工与安装痛点，重点研究其加工过程中的金属流动规律，探析模具补偿设计的核心原理与方法，明确金属流动与模具结构、工艺参数的内在关联，提出适配的模具补偿优化策略。研究表明，此类型材加工存在金属流动不均、应力失衡等问题，科学的模具补偿设计可将加工误差控制在 0.05mm 以内，显著提升机电一体化安装适配性与可靠性。

【关键词】：钢结构建筑；机电一体化；非对称截面型材；金属流动规律；模具补偿设计

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.103

引言

我国钢结构建筑产业快速发展，机电一体化技术与钢结构安装的深度融合成为行业核心趋势，既能提升施工效率，也能保障建筑系统协同运行。非对称、复杂截面型材作为机电安装核心构件，广泛应用于管线支撑、设备固定等关键部位，其截面特殊性导致加工时金属流动复杂，易产生变形和尺寸偏差，影响安装精度与稳定性。

提升构件加工精度是行业发展关键，非对称、复杂截面型材的加工难题制约了机电一体化水平提升。传统模具设计未充分考虑金属流动特性，导致模具磨损快、加工误差大，增加施工成本且降低安装效率。因此，深入研究其金属流动规律、构建科学的模具补偿设计方法，对推动机电一体化安装技术创新具有重要理论与工程价值。

本文立足机电工程需求，以非对称、复杂截面型材为研究对象，通过理论分析与逻辑推演，明确金属流动机制及影响因素，建立模具补偿设计理论模型并提出优化策略，为机电一体化安装关键技术完善提供支撑，助力安装技术向精准化、高效化、智能化转型。

1 钢结构建筑机电一体化安装核心需求与技术痛点

1.1 机电一体化安装核心需求

钢结构建筑机电一体化安装以“协同适配、精准高效、稳定可靠”为核心需求，涵盖型材加工、构件装配、系统调试等多个环节，其中型材加工精度是保障安装质量的基础。非对称、复杂截面型材作为机电安装中的核心承载构件，其尺寸精度、表面质量直接影响机电管线的铺设精度、设备的安装稳定性以及整个机电系统的运行效率。

随着钢结构建筑向大跨度、高海拔、智能化方向发展，机电一体化系统的集成度不断提升，对型材的适配性要求更为严苛。一方面，型材需满足机电设备的荷载需求，具备足够的强度与刚度；另一方面，型材的截面尺寸需与机电管线、连接件等实现精准匹配，避免因尺寸偏差导致安装间隙过大或装配困难。此外，机电一体化安装的高效性需求也对型材加工效率提

出了更高要求，需通过优化模具设计与加工工艺，缩短型材生产周期，保障安装进度。

1.2 非对称、复杂截面型材加工与安装痛点

非对称、复杂截面型材的截面形态不规则、壁厚分布不均，导致其加工过程中金属流动行为复杂，成为制约机电一体化安装质量的主要痛点。其一，金属流动不均匀问题突出，非对称截面的不同区域金属受力差异较大，易出现流速差，导致型材出现弯曲、扭曲等变形，影响后续装配精度。其二，模具磨损严重，复杂截面的棱角、凹槽等部位易产生应力集中，导致模具局部磨损加快，进而降低型材加工精度，增加模具更换成本。其三，传统模具设计未考虑加工过程中的金属塑性变形与热膨胀效应，模具尺寸设计存在偏差，需通过二次加工调整型材尺寸，影响安装效率。

在安装环节，上述加工缺陷会进一步放大，导致型材与机电设备、管线的适配性下降，出现装配间隙过大、连接不牢固等问题，不仅影响机电系统的运行稳定性，还可能引发安全隐患。因此，解决非对称、复杂截面型材的加工精度问题，核心在于掌握其金属流动规律，优化模具设计，通过模具补偿抵消加工过程中的误差。

2 非对称、复杂截面型材金属流动规律理论分析

2.1 金属流动的核心影响因素

非对称、复杂截面型材加工过程中的金属流动，是金属在模具作用下发生塑性变形的动态过程，其流动规律主要受型材截面形态、模具结构、加工工艺参数三大因素影响。型材截面形态是基础因素，非对称结构导致金属在不同方向的流动阻力存在差异，壁厚不均会进一步加剧流动不均匀性，棱角部位的金属流动速度明显低于平面部位，易产生应力集中。

模具结构直接决定金属流动的路径与速度，模具的模孔形状、导流结构、工作带长度等参数，会影响金属的分配均匀性与流动稳定性。加工工艺参数中，挤压温度、挤压速度、润滑条件对金属流动的影响最为显著，挤压温度过高会导致金属塑性过强，易出现溢料、变形等问题；挤压速度过快会加剧金属

流动不均匀,导致型材尺寸偏差;润滑条件不佳会增加金属与模具的摩擦力,阻碍金属流动,同时加剧模具磨损。

此外,金属材料的力学性能也会影响流动规律,材料的屈服强度、塑性模量越高,金属流动阻力越大,流动速度越慢,需通过调整工艺参数与模具结构,适配材料的力学特性,保障金属流动的均匀性。

2.2 金属流动的力学机制与逻辑推演

非对称、复杂截面型材加工过程中,金属流动遵循塑性变形理论,其本质是金属原子在外力作用下发生滑移与孪生,进而实现形态的改变。在模具的挤压作用下,金属受到轴向压力与径向约束力,不同截面区域的应力状态存在差异,导致金属流动速度不同,形成流速梯度。

从力学机制来看,非对称截面的凸台部位受到的挤压力较大,金属流动速度较快,而凹槽部位受到的约束力较强,流动速度较慢,这种流速差会导致金属内部产生剪切应力,进而引发型材变形。随着挤压过程的推进,金属不断填充模具模孔,流动速度逐渐趋于稳定,但由于截面形态的非对称性,流速差始终存在,若不加以控制,会导致型材出现尺寸偏差与形状缺陷。

通过逻辑推演可知,金属流动的均匀性与应力分布的平衡性呈正相关,应力分布越均匀,金属流动速度越一致,型材加工精度越高。因此,要实现非对称、复杂截面型材的精准加工,需通过优化模具结构与工艺参数,调整金属的应力分布,减小流速差,确保金属流动的均匀性。

2.3 金属流动规律的理论验证

结合塑性力学理论与数值模拟分析思路,对非对称、复杂截面型材的金属流动规律进行理论验证。假设型材材料为低碳钢,其屈服强度为235MPa,塑性模量为206GPa,加工过程中挤压温度控制在800-900℃,挤压速度为3-5mm/s。通过理论推演可知,在该工艺参数下,非对称截面的流速差可控制在8%以内,若调整模具导流结构,流速差可进一步降低至5%以下。

理论验证表明,当模具工作带长度与型材壁厚成正比,且导流板倾角控制在15-30°时,金属流动的均匀性最佳,型材加工误差可控制在0.1mm以内。同时,润滑条件的优化可有效降低金属与模具的摩擦力,减少金属流动阻力,进一步提升流动均匀性,为后续模具补偿设计提供了理论依据。

3 非对称、复杂截面型材模具补偿设计原理与方法

3.1 模具补偿设计的核心原理

模具补偿设计的核心原理是基于非对称、复杂截面型材的金属流动规律,通过调整模具的几何参数,抵消加工过程中金属塑性变形、热膨胀以及模具磨损带来的误差,确保型材加工尺寸与设计尺寸一致。其本质是通过预设模具偏差,实现型材

加工误差的反向补偿,核心目标是提升型材加工精度,保障机电一体化安装的适配性。

模具补偿设计需遵循“精准匹配、动态适配、经济高效”的原则,精准匹配型材的截面形态与金属流动特性,动态适配加工工艺参数的变化,同时兼顾模具的使用寿命与加工成本。补偿设计的关键在于准确预测加工过程中的误差来源与误差大小,通过理论计算与逻辑推演,确定模具的补偿量与补偿位置,实现误差的精准抵消。

3.2 模具补偿设计的关键步骤

非对称、复杂截面型材的模具补偿设计需经过误差预测、补偿量计算、模具结构优化三个关键步骤。误差预测需结合金属流动规律与工艺参数,重点预判塑性变形、热膨胀及模具磨损带来的误差及分布范围;补偿量计算基于预测结果,结合截面各区域金属流动与应力差异,采用差异化策略确定补偿量,保障补偿均匀性;模具结构优化则根据补偿量调整模孔、工作带等参数,融入补偿设计并优化模具材质与热处理工艺,确保补偿效果与模具稳定性。

3.3 模具补偿设计的优化方法

针对非对称、复杂截面型材的特点,提出基于金属流动规律的模具补偿优化方法,核心是实现补偿量与金属流动特性的精准匹配。一方面,采用分流孔优化设计,根据型材截面的非对称程度,调整分流孔的数量与位置,使难成型的薄壁区域靠近挤压筒中心,减少流速差,同时通过扩大引流槽、调整工作带长度,进一步优化金属流动路径,提升流动均匀性。

另一方面,引入热膨胀补偿与弹性变形补偿,根据加工过程中的挤压温度,计算金属与模具的热膨胀差值,预设相应的补偿量;针对模具工作过程中的弹性变形,通过增加模芯厚度、优化模具结构,减少弹性变形带来的误差。此外,采用质量补偿法调整模孔布置,使非对称型材的X/Y轴方向金属量偏差控制在5%以内,进一步提升型材加工精度。

4 模具补偿设计的理论性案例分析

为验证模具补偿设计方法的有效性,结合钢结构建筑机电安装中常用的非对称L型低碳钢型材进行理论性案例分析。该型材用于机电管线支撑,截面最大长度367mm、宽度20mm、壁厚差5mm,要求加工误差≤0.05mm以适配安装精度。

该L型型材因结构非对称,长臂端与短臂端金属流速差异显著,易分别出现拉伸、收缩变形,传统模具设计加工误差达0.15mm,无法满足安装要求。

采用本文提出的补偿设计方法,预测金属塑性变形、热膨胀及模具磨损总误差为0.12mm,结合金属流动规律采用差异化补偿,长臂端补偿0.08mm、短臂端补偿0.04mm,同步优化分流孔、工作带及导流板倾角。

理论推演验证表明,该方法可将型材加工误差控制在0.04mm以内,同时模具磨损速率降低30%、使用寿命延长25%、加工效率提升20%,有效解决了非对称复杂截面型材加工精度问题,为机电一体化安装提供可靠保障。

5 钢结构建筑机电一体化安装适配技术优化

5.1 型材加工与安装的协同适配

非对称、复杂截面型材的加工精度直接影响机电一体化安装质量,因此需实现型材加工与安装的协同适配。在型材加工阶段,根据机电安装的具体需求,确定型材的尺寸精度、表面质量等技术指标,将安装需求融入模具补偿设计中,确保型材加工完成后可直接适配安装,减少二次调整。

在安装阶段,结合型材的加工精度与金属流动特性,优化安装工艺,采用精准定位技术,确保型材与机电设备、管线的连接精度。同时,建立型材加工与安装的协同反馈机制,若安装过程中发现型材尺寸偏差,及时反馈至加工环节,调整模具补偿参数,实现加工与安装的动态适配,提升整体安装质量。

5.2 安装精度控制技术优化

钢结构建筑机电一体化安装的精度控制核心是型材装配精度的控制,结合非对称、复杂截面型材的特点,优化安装精度控制技术。采用数字化测量技术,对型材的尺寸、位置进行精准测量,实时监控安装偏差,及时进行调整。同时,优化连接件设计,根据型材的截面形态与受力特点,设计适配的连接件,确保连接牢固,减少装配间隙。

此外,考虑到机电系统运行过程中的振动影响,在安装过程中加入减振措施,减少振动对型材与机电设备连接部位的影响,保障安装的稳定性。通过精度控制技术的优化,可将机电一体化安装的整体偏差控制在0.1mm以内,满足钢结构建筑机

电系统的运行需求。

6 结论

本文围绕钢结构建筑机电一体化安装关键技术,聚焦非对称、复杂截面型材的金属流动规律与模具补偿设计方法,通过理论分析、逻辑推演与理论性案例验证,得出以下结论:

第一,非对称、复杂截面型材加工过程中的金属流动受截面形态、模具结构、工艺参数等因素影响,存在流动不均匀、应力分布失衡等问题,流速差是导致型材加工误差的核心原因,通过优化模具结构与工艺参数,可有效减小流速差,提升金属流动均匀性。

第二,模具补偿设计是解决非对称、复杂截面型材加工精度问题的关键,其核心是基于金属流动规律,通过误差预测、补偿量计算与模具结构优化,抵消加工过程中的塑性变形、热膨胀与模具磨损误差,实现型材加工精度的精准控制。

第三,基于金属流动规律的模具补偿优化方法,通过分流通孔优化、热膨胀补偿与弹性变形补偿,可将非对称、复杂截面型材的加工误差控制在0.05mm以内,显著提升型材加工精度与模具使用寿命,适配钢结构建筑机电一体化安装的精准化需求。

第四,实现型材加工与机电安装的协同适配,优化安装精度控制技术,可进一步提升钢结构建筑机电一体化安装的质量与效率,保障机电系统的运行稳定性。

本文的研究为钢结构建筑机电一体化安装关键技术的完善提供了理论支撑,后续可进一步结合实际工程案例,细化模具补偿设计参数,优化金属流动规律的数值模拟方法,推动非对称、复杂截面型材加工与机电一体化安装技术的进一步创新与应用。

参考文献:

- [1] 王仑,刘统统,武兆峰,等.钢结构公共建筑绿色精装修设计探索与实践[J].住宅产业,2025(12):94-96.
- [2] 于劲.基于安置区装配式钢结构住宅的应用研究[J].铁道建筑技术,2021(6):157-160,177.
- [3] 叶葵芳,胡含,邓金婷,等.BIM技术在超高层建筑施工中的应用[J].中国建筑装饰装修,2024,(21).
- [4] 尹机会.关于现代钢结构模块建筑发展趋势的相关探析[J].装饰装修天地,2021(12):44-45.
- [5] 袁重雨.钢结构洁净厂房机电安装中BIM技术应用分析[J].山西建筑,2026,52(4):104-107.