

机械设备制造过程中的节能减排技术研究

温金建 周春龙 彭晓辉 施佐磊
红旗仪表(长兴)有限公司 浙江湖州 313000

【摘要】机械设备制造行业的高能耗与污染排放问题日益突出,生产过程中的机加工、热处理和表面处理环节是主要的能源消耗来源,同时也伴随着废气、废水和固体废弃物的排放。节能减排技术的应用在制造环节的优化中发挥关键作用,包括智能能源管理系统、高效传动技术、先进切割技术和绿色热处理工艺等。余热回收和废料再制造也为资源循环利用提供了可行的解决方案。节能减排的推广仍面临高成本、管理体系不完善以及政策标准变化等挑战,需要企业主动优化生产模式,提高资源利用率,实现绿色制造目标。

【关键词】机械设备制造;节能技术;减排措施

Research on energy saving and emission reduction technology in machinery and equipment manufacturing process

Wen Jinjian Zhou Chunlong Peng Xiaohui Shi Zuolei

Hongqi Instrument (Changxing) Co., LTD. Zhejiang Huzhou 313000

【Abstract】The high energy consumption and pollution emissions in the machinery manufacturing industry are becoming increasingly prominent. Machining, heat treatment, and surface treatment processes during production are major sources of energy consumption, accompanied by the emission of exhaust gas, wastewater, and solid waste. The application of energy-saving and emission-reduction technologies plays a crucial role in optimizing manufacturing processes, including intelligent energy management systems, efficient transmission technology, advanced cutting techniques, and green heat treatment processes. Waste heat recovery and remanufacturing of waste materials also provide viable solutions for resource recycling. However, the promotion of energy conservation and emission reduction still faces challenges such as high costs, inadequate management systems, and changes in policy standards. Companies need to proactively optimize their production models, improve resource utilization, and achieve the goal of green manufacturing.

【Key words】machinery and equipment manufacturing; energy saving technology; emission reduction measures

引言:

能源消耗和污染排放是当前机械设备制造行业的两大核心问题,直接影响企业的生产成本、市场竞争力以及可持续发展能力。在现代制造环境下,如何通过先进的节能减排技术降低生产能耗、减少环境污染,已经成为行业发展的关键方向。机加工、热处理、表面处理等环节均是能耗密集区,而废气、废水和固体废弃物的排放进一步加重了环境压力。智能控制、高效能耗管理系统、余热回收和废料再制造等技术,正在推动制造模式向低碳、高效方向发展。

1. 机械设备制造过程中的能耗与排放现状

1.1 机械设备制造过程中主要的能源消耗环节

机械设备制造行业涉及多个高能耗环节,涵盖原材料加工、机械加工、热处理、表面处理和装配测试等阶段。其中,电能、燃料和工业用气体是主要的能源消耗形式^[1]。

机加工环节中,数控机床、电火花加工、磨削设备等设备长期运行,电能消耗占比高达40%以上。尤其是切削加工,电机驱动系统效率不高,导致大量能量以热能形式浪费。热处理工艺,如淬火、回火、渗碳等,需要高温环境,燃气炉、电阻炉的能耗占比可达30%。表面处理环节,如电镀、喷涂等工艺,需要消耗大量化学试剂,同时电镀槽的加热系统和

废液处理设备也是耗能大户。

1.2 常见的污染物排放类型和来源

在机械设备加工行业中产生的污染物多以废气、废水和固体污染物为主。废气主要以热处理、焊接和喷涂时排放为主,电弧焊工序在加工过程中会产生大量金属烟尘和臭氧,长期得不到处理会影响工作人员的健康状况;喷涂工序会产生VOCs,小型企业仍沿用溶剂型涂料,产生的大气污染较为严重。

相比之下,水污染负荷主要来源于冷却润滑、金属清洗以及电镀工序,冷却液中含有重金属污染物,乳化液组成较为复杂,无任何处理直接排放,污染环境,极易在环境中长期存在。某轴承制造有限公司经过测定,未经任何处理的切削液废水,COD值远远超过我国排放标准要求,须进一步使用膜技术以及化学沉淀法去除。

固体废弃物主要是指金属屑、旧砂轮、电镀污泥,传统车铣加工所产生废屑的回收率低于80%时会造成大量的原材料浪费,而电镀污泥中包含了重金属等,如果处理不当会造成土壤和地下水的污染。某企业已有废料再制造技术,将切屑粉末回收制成粉末冶金产品以增加其综合利用程度。

1.3 当前能耗与排放对环境和企业的影响

高能耗和高排放不仅加重了环境负担,也使企业面临严峻的经营挑战。具体而言:

环境影响,工业生产活动产生的碳排放对大气环境、全球气候均产生影响。制造业高温热处理、燃煤锅炉排放的二

氧化碳、二氧化氮、氮氧化物以及锅炉烟尘是工业碳排放的重要污染物，部分工业园区废气排放严重超标，致使区域大气污染更加严重，生态质量下降。排污废水进入水体后造成水环境中重金属污染物的富集，破坏水体生态^[1]。

对企业来说，直接生产成本的增加，随着电价的提高和碳排放成本的上升，倒逼企业利润空间压缩，比如一个工程机械的龙头企业，年电力成本超过 50 万千瓦时占总生产成本的 25%，高效能管理成为企业竞争力所在；环保政策越来越严苛，企业如果不能及早开展节能减排技术改造，有可能会受到限产罚款的处罚，在部分发达地区，环保信用评分为企业能否获得融资成为重要的考量指标，高耗能排放企业很难获得银行授信或政府贴息。

2. 机械设备制造过程中的节能减排技术概述

在机械制造领域，节能与减排技术的合理运用，既能提升生产效率，又能降低环境负荷。

2.1 节能技术分类

在机械设备制造过程中，节能技术主要体现在能源管理系统、高效传动技术、智能控制系统等方面。其中，能源管理系统的核心是优化能源的获取、分配和利用，使能源消耗最小化的同时，确保生产稳定运行。在现代制造企业中，能耗监测与分析系统广泛应用，例如 SCADA（数据采集与监控系统）和 EMS（能源管理系统）。这些系统通过实时监控设备能耗，结合大数据分析，识别能量浪费点，并制定优化方案。

而高效传动技术能够显著减少机械能损失，提升能量转换效率。传统的传动系统存在摩擦损耗大、效率低等问题，而高效电机、变频驱动技术的应用，有助于降低能耗。

至于智能控制系统则是制造过程节能的重要手段。通过 PLC（可编程逻辑控制器）和 AI 算法优化设备运行状态，避免不必要的空载运行。例如，在汽车零部件加工车间，引入 AI 预测性维护系统后，设备空载时间减少了 30%，单台机床的年均能耗降低了约 12%，大幅提升了整体能效。

2.2 减排技术手段

机械制造过程中涉及的污染物主要包括废气、废水和固体废弃物，这些污染物的有效处理直接关系到企业的环境责任和可持续发展。

(1) 废气处理

废气处理方面主要是为了去除切削、焊接、涂装等工序产生的废气。焊接工区产生大量的烟尘、金属氧化物粉末等，传统的抽风除尘处理已不符合当前的环保标准，高效滤芯+静电吸附的方法是当前常用的处理方案^[2]。如在某机械装备制造厂的焊接车间内，将滤筒式除尘装置进行改进并安装静电净化设备后，整个车间的空气颗粒物浓度下降了 60% 以上，净化车间内空气品质，降低污染物排放。

(2) 废水净化

污染治理是制造型企业面临的挑战，特别是金属加工及表面处理中切削液、电镀液大量使用，重金属污染物随之产生。近代工业废水处理工艺主要有物理沉降、化学中和、生物降解等。

(3) 固体废弃物处置

固体废物源头减量主要是指废旧金属、废弃塑料等回收再利用。一般的处理方法是集中回收再利用，在精密制造业中，废旧金属、塑料等有更好的激光切割优化技术对切割过程加以优化。如优化切割板材，边角料缩减 30%，材料利用率较高，减少二次加工过程可能的废弃物。

3. 机械设备制造过程中节能减排技术的应用

3.1 设计阶段的节能优化

制造过程的节能减排，首先要从设计阶段抓起。合理的结构设计能够减少原材料使用，提高能效，并降低生产环节的能源消耗。

(1) 轻量化设计

机械设备的重量直接影响能源消耗。例如，工程机械、机床、汽车制造设备等，如果自身质量过大，在运行过程中需要消耗更多的能源。采用轻量化设计，能够在保证结构强度的同时，降低单位质量的能耗。铝合金、镁合金、高强度钢以及碳纤维复合材料等新型材料的应用，使得设备质量显著降低。例如，一款工业机器人采用碳纤维增强复合材料后，整体质量减少了 20%，单位功率的能耗下降 15%。此外，拓扑优化技术的应用，使得材料分布更加合理，减少不必要的冗余设计。

(2) 仿真模拟降低能耗

传统的设计过程主要依靠经验和试验优化，而现代 CAE（计算机辅助工程）仿真技术的应用，使得能耗优化能够在产品制造前进行预判。通过热分析、流体分析、结构动力学仿真，可以优化设备内部的气流、热传递和受力情况。例如，在数控机床的设计中，通过流体仿真优化冷却液流动路径，使得冷却效率提高 15%，减少了冷却系统的能耗^[3]。此外，3D 打印结合拓扑优化技术，使得零部件在保持原有强度的情况下，重量减少 30%，降低了材料消耗和加工能耗。

3.2 制造工艺中的节能减排措施

(1) 先进切削技术

统切削工艺在材料去除过程中，会产生大量切屑，导致材料利用率偏低，同时切削液的消耗也较大。高效切削技术的应用，提高了材料的利用率，同时降低了加工能耗。例如，采用干式切削技术，使用高性能刀具和优化的切削参数，可以在无需切削液的情况下完成高精度加工，既避免了切削液污染，也减少了能源消耗。某航空零部件加工企业通过干式切削技术，减少了 30% 的切削液消耗，同时降低了废液处理成本。

与此同时，高速切削（HSC）技术的应用，使得切削速度提升 3 倍~5 倍，加工时间大幅缩短，从而降低了单位产品的能耗。在某精密机械加工企业，通过 HSC 技术，单位工件的加工能耗降低了 25%。

此外，等离子切割、激光切割等非接触式加工技术的普及，使得材料利用率大幅提高，减少了废料的产生。

(2) 绿色热处理工艺

热处理是机械制造中能耗最高的工艺之一，占据了生产环节约 20%~30% 的总能耗。传统的燃气加热炉和电阻炉能耗高、排放污染严重，而近年来，高效热处理技术的推广，使得能耗和污染大幅降低。

感应加热技术的应用,使得加热效率提升30%以上,同时避免了传统燃烧式加热的碳排放。在某汽车制造企业,采用感应淬火技术后,能源消耗减少了40%,同时生产效率提高了20%。此外,低温等离子渗氮技术的应用,使得渗氮过程在更低温度下完成,相比传统气体渗氮工艺,能耗降低50%,同时减少了氮氧化物的排放。

3.3 能源回收与再利用技术

(1) 余热回收

机械制造企业的生产过程中会产生大量的余热,如热处理炉、高温切削、空压机排气等环节都伴随着大量的热能损失。余热回收技术的应用,使得这些废热可以再次利用,提高能源利用率^[5]。例如,在金属热处理车间,采用余热回收换热器,将排放的高温烟气转换为热水供给其他工艺使用,使得整体能效提高20%。

比如某机床企业通过在空气压缩机系统上设置余热回收项目,将压缩空气冷却后的热量用于企业供暖,每年可节省用电200万千瓦时,相当于减少二氧化碳排放1500吨。利用热电联产(CHP)技术,生产中余热利用变成了电能,可以充分挖掘和利用能源。

(2) 废料再制造

机械制造行业所产生的金属、塑料废料若直接废弃不仅浪费了资源,也加大了废料处理的困扰。再制造技术让废料得到利用,提高材料利用率,如利用金属粉末冶金再制造,把机加工废料熔化重用,制作成高性能的粉末材料用于3D打印或粉末冶金制造等,实现废料的高附加值。在某轴承生产企业实施金属粉末回收工艺,年产约1000t废钢,减少外排约1000t废钢,降低20%新材料采购成本。

与此同时,做好塑料垃圾再利用,在制造电机外壳、控制面板等部件时,可以通过热熔再造塑形,对塑料垃圾进行再加工处理,形成新的零配件,在某家电设备生产企业,塑料回收率高达40%以上,并且降低了原材料投入,降低了生产开支。

4. 机械设备制造过程中节能减排技术实施的影响因素与挑战

4.1 技术成本与投资回报

由于采用节能减排技术所需的设备和系统的更换升级、新节能技术的研究开发等前期投资较高,部分高效设备、新型节能技术设备的成本比传统设备的安装和使用高出30%

以上,很难承受,而耗资研发完成的新技术设备带来的收益需5年左右才能回收,导致不确定因素增加。另外对长期收益的不确定,使得以小企业为主的应用节能减排技术的资金量过低,使它们更选择不投资节能减排技术。

4.2 企业管理与员工意识

企业的技术水平固会影响生产耗能,但其也有管理层面和操作层面的问题。缺少节能目标和推行指标约束的制造业企业,技术优势无法淋漓尽致地体现出来。比如一家汽车零部件公司的节能灯具系统,投用后因员工基本手动开关,系统的自动节能功能长期没有启用,最后降低的能耗远远低于实施效果。所以如果一个企业的管理高层对节能工作不作出整体性的措施规划,尽管企业拥有节能技术优势,但车间内却会出现耗能浪费。有些企业在内部推行了节能奖励制度和约束制度以增强员工积极性,在一家电子产品公司工厂,内部推动了“节能积分制”,激励员工提升车间的节能努力,实际用能消耗经过数年减少12%。

4.3 政策法规与标准的限制

政府更加严厉的环保政策频繁颁布,不断要求企业进行合规的投资,但是这种政策的反复增加了企业投资的成本。如:某机械企业对VOC排放治理设备进行改造投入了很大的精力和资金,然而时隔一年新的政策出现,治理排放要求再度提高,企业还需要再次改造设备,增加投入了500万元。一些再制造技术由于缺乏相应标准导致难以推广,如废旧金属粉末再制造技术可节约原材料利用,但由于对再生产品没有质量标准认证,导致市场上难被接受。企业面对环境压力时,单纯被动应对环境政策,盲目投资就会陷入不断调整的泥沼中,如果提前规划,主动去迎合标准和政策更新,则可先人一步在竞争中站稳脚跟。

结语:

总而言之,机械设备制造行业的绿色转型已成为大势所趋,节能减排不仅是环保要求,更是企业长期发展的战略选择。从优化设计、改进工艺到实施能源回收,先进技术的应用为生产模式的升级提供了可能。然而,节能减排技术的落地仍面临高投入、管理意识薄弱、政策法规波动等现实挑战。企业要在市场竞争中站稳脚跟,需要提升能效管理能力,加强智能制造技术应用,同时合理规划投资,平衡短期成本与长期收益。

参考文献

[1]王振宇.节能减排理念在机械设计制造中的应用分析[J]中国设备工程.2021(22):61-62.

[2]覃羨烘.绿色理念在机械设计制造中的应用浅析[J]内燃机与配件.2020(03):203-205.

[3]王瑞元.我国机械制造业的创新发展[J]中国油脂.2021(01):1-4.

[4]尹超,徐林勋,孙兴玉.我国工程机械节能减排研究现状与发展趋势[J]装备制造技术.2017(12):39-40.

[5]程严严,王恩鹏.节能设计理念在机械制造与自动化中的应用研究[J]幸福生活指南.2020(05):217-218.

作者简介:温金建,出生年:1982.4,男,汉族,籍贯:江西上饶,职务:副总工程师,职称:工程师/高级技师,学历:本科,研究方向:机械设备及零配件、仪器仪表及仪器仪表配件研发制造。