

# 程控气割与手工气割的经济性、精度及适用范围对比分析

解文娣

宁夏西北骏马电机制造股份有限公司 宁夏 石嘴山 753000

**摘要：**火焰切割是金属加工领域应用广泛的热切割技术，气割（氧-乙炔或氧-丙烷切割）在中厚板钢材下料中不可或缺。自动化与数字化发展催生了以数控（CNC）为基础的程控气割技术，并渐成主流，但传统手工气割因灵活、低成本在特定场景仍有地位。本文系统对比分析程控与手工气割在经济性、切割精度、适用范围三大维度的差异，深入剖析二者工作原理、成本构成、精度影响因素及应用场景，揭示其优劣势与发展边界。研究表明，程控气割在大批量、高精度、复杂图形生产环境优势明显；手工气割在小批量、单件、现场维修及应急作业等场景价值独特。企业应结合自身产品结构、生产规模、成本预算和技术战略，科学选配这两种切割方式，实现资源与效益最优。

**关键词：**程控气割；手工气割；经济性分析；切割精度；数控切割

## 引言

20世纪初氧-燃气切割技术诞生，凭借设备简单、成本低、切割厚度大等优势，成为钢铁工业基础工艺。传统手工气割依赖工人技能、经验与眼力，手持割炬沿轨迹移动切割，虽灵活，但受主观因素限制，切割质量、效率与一致性难保证，面对复杂几何形状更是力不从心。21世纪，信息技术与制造业深度融合，以计算机数字控制（CNC）为核心的自动化技术革新了气割。程控气割系统将设计图纸转化为机器可识别的指令，驱动割炬多轴高精度运动，实现无人或半自动化精确切割，提升质量与效率，为柔性、精益生产奠基。不过，手工气割因设备投入低、操作门槛不高、适应性强，在机械制造业仍是常用便捷手段。对二者全面客观对比，对制造企业制定工艺路线、优化资源配置、提升竞争力意义重大，本文将从经济性、精度和适用范围展开探讨。

## 1 工作原理与技术特点概述

### 1.1 手工气割

手工气割是一种完全由人工操控的热切割方法。其基本原理是利用可燃气体（如乙炔、丙烷、天然气）与氧气混合燃烧产生的高温火焰（预热焰）将待切割的钢材表面加热至燃点（约1300℃）。随后，打开高压切割氧气阀门，一股高速、高纯度的氧气流喷射到已被加热的区域，使炽热的金属在纯氧中剧烈燃烧（氧化反应），生成熔融的金属氧化物（熔渣）。这股高速氧气流同时将熔渣吹离切口，形成割缝，从而实现材料的分离。整个过程高度依赖操作者的个人技艺，从最初的划线定位，到预热火焰的调节，再到切割过程中对速度、

角度和距离的实时把控，每一步都充满了主观性和不确定性。这种技术模式赋予了手工气割无与伦比的灵活性，使其能够在任何缺乏电力供应或空间受限的场合下开展工作，设备本身也极为简单，仅由气瓶、减压器、胶管和割炬构成，几乎不存在使用门槛。然而，也正是这种对“人”的过度依赖，注定了其在切割质量的一致性和生产效率上存在难以逾越的瓶颈。

### 1.2 程控气割

程控气割是在手工气割原理基础上，引入了数控技术的自动化切割方式。其核心是一个由计算机控制系统、机械传动系统（龙门架、悬臂梁或台式结构）、伺服电机/步进电机、割炬升降机构、气体控制系统以及配套软件组成的集成系统。其工作流程始于设计端，技术人员利用CAD软件绘制出精确的零件图，再通过FASTCAM软件将这些图形转化为详细的运动轨迹TXT代码。这套代码被传输至切割机的控制系统后，操作工需完成钢板的找正、割嘴的安装和气体压力的设定、割缝大小、切割速度等准备工作，便可启动程序<sup>[1]</sup>。此后，整个切割过程便在计算机的精确指挥下自动运行，割炬会严格按照预设路径移动，自主完成预热、穿孔、切割直至回程的所有动作。这种模式彻底解放了人力，将切割从一项依赖工匠经验的手艺活，转变为一项可量化、可重复、可追溯的标准化工业流程。

## 2 经济性对比分析

### 2.1 初始投资成本

手工气割其初始投资成本极低。一套完整的设备（含两瓶气体、减压器、胶管、割炬）价格通常在数千

元人民币以内。这对于资金有限的小微企业或个体户而言，几乎是零门槛。程控气割初始投资成本高昂。一台入门级的国产小型数控火焰切割机价格通常在5万至15万元之间；中型龙门式设备价格在20万至50万元；而大型、高精度、多头或多工位的高端设备，价格可达百万元以上。此外，还需配备计算机、CAD/FASTCAM软件（正版授权费用不菲）、稳压电源等配套设施。

## 2.2 运营与人力成本

一旦跨越了初始投资的门槛，两种技术在长期运营中的成本表现便开始发生戏剧性的逆转。手工气割看似简单，但其背后的人力成本却十分惊人。要获得高质量的切割效果，必须依赖经验丰富、技术娴熟的操作工，这类人才不仅培养周期长，而且薪酬要求高。更为关键的是，一名工人在同一时间内只能操作一把割炬，生产效率天然受限。在当今劳动力成本持续攀升的大环境下，这种对高技能人力的重度依赖，构成了巨大的隐性成本负担。同时，由于切割过程全凭手感，不同工人甚至同一工人在不同状态下的气体消耗量差异巨大，往往远超理论最优值，造成了不必要的浪费。反观程控气割，其运营成本结构则截然不同。经过短期培训的操作工取得操作证后即可胜任设备监控工作，一人可同时照看多台设备，极大地降低了对稀缺高技能工人的需求。更重要的是，数控系统能够对预热火焰大小、预热时间和切割氧气流量进行毫秒级的精确控制，确保在满足切割质量的前提下，将气体消耗降至最低。研究表明，程控气割的气体利用率通常比手工气割高出10%至20%，这笔节省下来的费用在长期运行中积少成多，蔚为可观。

## 2.3 材料利用率（套料效率）

手工气割排料（即在钢板上安排零件位置以最小化废料）完全依靠人工经验。对于简单矩形件尚可，但对于异形件，很难做到最优排布，通常会大量产生边角余料。此外，手工切割的割缝宽度（Kerf）不均匀，且为了保证切割顺利，往往需要预留较大的切割间隙，进一步降低了材料利用率<sup>[2]</sup>。综合材料利用率通常在70%-80%左右。程控气割借助专业的套料软件（Nesting Software），可以在几秒钟内完成成百上千个不同形状零件的最优排布。软件能智能计算共边切割、桥接连割等高级策略，最大限度地减少空行程和割缝重叠，将材料利用率提升至90%甚至95%以上。这种“省下来的就是利润”的效应，在钢材价格高昂的背景下，其经济效益是极其可观的。

## 2.4 综合经济性评估

综上所述，两种技术的经济性呈现典型的“短期vs长

期”、“小批量vs大批量”的特征。对于小批量、单件、试制或维修业务：由于产量低，节省的人力和材料成本不足以覆盖程控设备的折旧费用，此时手工气割的总体成本更低。对于中大批量、标准化、重复性生产：程控气割通过节省的人力、优化的气体消耗和极高的材料利用率，能够在较短时间内（通常1-3年）收回设备投资，并在此后持续创造显著的经济效益。

## 3 切割精度对比分析

### 3.1 尺寸精度

手工气割尺寸精度完全取决于操作者的技能、专注度和稳定性。即使是最优秀的技师，也难以保证每次切割的尺寸都在严格的公差范围内（例如 $\pm 1\text{mm}$ ）。手部的微小抖动、行走速度的不均匀都会导致尺寸超差。对于长度超过1米的直线，累积误差可能达到数毫米。程控气割尺寸精度由机械系统的制造精度和控制系统的分辨率决定。现代数控切割机的定位精度通常可达 $\pm 0.1\text{mm/m}$ ，重复定位精度更高。只要程序正确、设备状态良好，切割出的所有零件尺寸都高度一致，完全能满足一般机械制造的公差要求。

### 3.2 几何精度与形状复杂度

手工气割仅能有效切割简单的直线和大半径圆弧。对于内轮廓、小孔、尖角、复杂的曲线（如椭圆、抛物线、样条曲线）等，要么无法切割，要么切割质量极差（如尖角被烧塌、曲线呈锯齿状）。程控气割理论上可以切割任何由数学方程定义的二维平面图形。FASTCAM软件能精确计算刀具补偿（割缝补偿），确保内外轮廓的尺寸准确。通过控制拐角减速、尖角平滑处理等功能，能完美再现设计意图，即使是0.5mm宽的狭槽或带有锐角的星形图案也能精确切割<sup>[3]</sup>。

### 3.3 切割面质量

手工气割切割面粗糙度（Ra值）较大，挂渣（尤其是下缘挂渣）严重，切割面倾斜度（垂直度）难以保证。这些缺陷需要大量的后续打磨、清渣工序，增加了二次加工成本和时间。程控气割通过精确匹配切割速度与材料厚度、优化气体参数，可以获得非常光滑、垂直的切割面，挂渣极少甚至无渣。这不仅提升了零件外观质量，也大大减少了甚至免除了后续处理工序。

## 4 适用范围对比分析

### 4.1 材料与厚度

在材料适用性上，程控气割与手工气割遵循相同的物理原理，因此它们的应用范围高度重合。两者都主要适用于切割具有良好氧化特性的碳钢和低合金钢，这是它们在工业领域得以广泛应用的根本原因。对于不锈

钢、铝、铜等金属，由于其表面会形成高熔点的氧化物薄膜，或者导热性过高导致热量无法集中，使得氧化燃烧反应无法持续进行，因此无论是程控还是手工，气割工艺均告失效，必须转而采用等离子、激光或水射流等其他切割技术。在切割厚度方面，两者都具备切割超厚板材的能力，理论上上限均可超过一米<sup>[4]</sup>。然而，在处理薄板（通常指6毫米以下）时，两者的差距开始显现。手工气割由于热源集中度差，操作者难以精确控制热输入，极易导致薄板因局部过热而产生严重变形甚至烧穿。而程控气割则可以通过程序精确调控热输入，并配合快速的切割速度，有效抑制热变形，从而较好地完成薄板切割任务。

#### 4.2 生产模式与场景

手工气割的典型适用场景包括：（1）现场安装与维修：在建筑工地、管道铺设、船舶甲板等无法使用大型设备的场合，进行局部切割、开孔或拆除作业。（2）小批量、单件、非标件生产：如艺术铁艺、定制家具、小型农机具制造等，产品种类繁多，每种数量极少。（3）应急与抢险：在灾害救援、事故处理中，需要快速、灵活地破拆金属结构。（4）作为辅助工具：在拥有程控设备的工厂里，用于处理程控设备无法覆盖的边角料或进行临时修补。

程控气割的典型适用场景包括：一是大批量、标准化生产：如工程机械、压力容器、钢结构桥梁、船舶分段等行业的零部件下料。二是高精度、复杂零件制造：需要精确配合或美观外观的零件，如机床底座、模具镶块、装饰构件等。三是柔性制造单元（FMC）：作为自动化生产线的一部分，与其他设备（如机器人、折弯机）集成，实现无人化生产。四是追求精益生产的现代工厂：通过精确的成本控制和高效的材料利用，降低整体制造成本。

#### 4.3 对操作人员的要求

技术的变迁也深刻地重塑了对操作人员的能力要求。手工气割时代呼唤的是“工匠”，他们需要在长期的实践中积累丰富的感性经验，具备敏锐的空间感知能力和稳定的心理素质，能够“人机合一”地驾驭割炬。

这种人才的培养周期漫长，且难以标准化，属于典型的稀缺资源。而在程控气割时代，主角则转变为“技术工人”。他们不再需要精湛的手上功夫，而是需要掌握基本的计算机操作技能，能够读懂工程图纸，理解TXT代码的含义，并具备对设备进行日常点检和简单维护的能力。这种知识型、复合型人才的培养路径更为清晰，周期更短，也更容易通过标准化的培训体系进行大规模复制，从而更好地适应现代工业对人力资源的需求。

#### 5 结语

通过对程控气割与手工气割在经济性、精度及适用范围三个维度的系统对比，结论清晰：经济性上，程控气割在中厚板、大批量生产中因节省人力、优化气体消耗和提升材料利用率，长期成本优势显著，手工气割则在小批量、单件生产中更具成本优势；精度方面，程控气割在尺寸、几何精度及切割面质量上全面领先，手工气割受人为因素制约难满足精密制造；适用范围上，二者互补共存，程控气割主导工厂化、规模化生产，手工气割在现场作业、维修和小作坊市场占据优势。展望未来，智能制造推进下，程控气割将向更高精度、速度和智能化发展，如集成激光扫描、应用人工智能算法、结合物联网技术等，巩固其在主流制造业的地位；而手工气割因“简单、直接、无所不在”的本质，在非结构化、临时、小规模金属切割需求中不会消失，企业构建制造体系时应兼顾二者，实现刚性与柔性平衡。

#### 参考文献

- [1]于浩楠.大/超大厚度铸锻件火焰切割割嘴结构与切割性能研究[D].东北石油大学,2025.DOI:10.26995/d.cnki.gdqsc.2025.001313.
- [2]宗亮,虞永博.火焰切割后局部钢材力学性能研究[J].建筑钢结构进展,2025,37(11):45-56.
- [3]陈立敏,周昀,宋世和.厚板火焰切割的影响因素及工艺性研究[J].电焊机,2024,54(05):98-103.
- [4]王一鸣,周光杰,刘晓玮.中厚板火焰切割工艺研究与火焰切割侧弯变形机理分析[J].金属材料与冶金工程,2023,51(04):27-32.