

机电安装中焊接工艺应用浅析

徐 建

中国电子系统工程第四建设有限公司 河北 石家庄 050051

摘 要：本文围绕机电安装工程焊接施工质量控制展开系统论述。首先，对比手工电弧焊、钨极氩弧焊、CO₂气体保护焊三类主流工艺的操作特性与适用场景。其次，深入剖析气孔与夹渣、未焊透与未熔合、焊接变形与外观缺陷三类常见工艺问题的核心成因。在此基础上，针对压力管道、薄壁风管与精密管件、重型设备支架与基座钢结构三种典型工况，分别提出复合焊接、短弧TIG焊、多层多道对称焊接等关键工艺控制要点。最后，从焊前工艺交底与母材预处理、焊接过程动态监督、焊后外观与无损自检三个环节，构建全过程工艺质量管控措施，为保障机电安装焊接接头力学性能与密封性能提供技术支撑。

关键词：机电安装；焊接工艺；焊缝质量；现场施工；应用

引言

机电安装工程涉及给排水、消防、暖通空调及电气等多专业系统，焊接作为管道连接、支架固定及设备基座安装的核心工艺，其质量直接决定系统运行安全性与使用寿命。当前施工现场普遍存在气孔、夹渣、未焊透、未熔合及焊接变形等工艺缺陷，且不同工况下构件材质、壁厚、受力条件差异显著，工艺控制要点各有侧重。本文系统梳理机电安装常用焊接工艺及适用场景，深入分析现场常见工艺缺陷的成因机制，针对压力管道、薄壁风管、重型钢结构三类典型工况提出关键工艺控制要点，并从焊前交底、过程监督、焊后自检三个维度构建全过程质量管控体系，为现场焊接施工提供系统性工艺指导。

1 机电安装工程常用焊接工艺及适用场景

结合机电安装构件材质、壁厚、使用功能及现场作业环境，目前施工现场主要采用手工电弧焊、钨极氩弧焊、二氧化碳气体保护焊三种主流焊接工艺，三类工艺操作难度、成型效果、适配构件差异明显，具体适用场景如下。

1.1 手工电弧焊

手工电弧焊依靠焊条与工件之间产生的电弧熔化母材与焊芯，完成接头焊接，该工艺设备轻便、无需额外保护气体、抗风能力强，适配机电安装大部分露天、高空、狭小空间作业场景。该工艺主要用于厚度4mm以上碳钢给排水管道、电气大型钢结构支架、设备底座加固焊接，缺点是焊缝成型平整度一般，焊接飞溅物较多，薄壁构件焊接易出现烧穿问题。

1.2 钨极氩弧焊（TIG焊）

钨极氩弧焊以氩气作为保护气体，焊接过程无飞

溅、焊缝成型美观、热输入量小，焊接接头密封性与力学性能优异。该工艺主要用于薄壁不锈钢水管、空调冷媒铜管、仪表精密小管径管线焊接，这类管线对焊缝密封性要求极高，杜绝渗漏风险；同时也适用于机电设备精密附件焊接。缺点是焊接效率低、设备成本高，露天大风环境下保护气体会失效，仅适合室内无风作业^[1]。

1.3 二氧化碳气体保护焊（CO₂气保焊）

二氧化碳气体保护焊焊接电流密度大、熔深大、施工效率远高于手工电弧焊，自动化适配性强，适合大批量钢结构构件焊接。在机电安装中主要用于大面积风管法兰焊接、成套支吊架批量加工、大型设备基座钢板拼接。该工艺防风性能较差，室外作业需要搭设防风棚，且焊缝存在少量氧化飞溅，后期需要做好焊缝打磨处理。

2 机电安装现场焊接施工常见问题及成因

2.1 焊缝内部缺陷：气孔与夹渣

气孔与夹渣是机电管线焊接施工中发生频率最高的内部质量缺陷，直接削弱焊缝的致密性与力学性能，尤其在水管、消防喷淋管线中，缺陷部位在后期水压试验时极易出现渗漏，造成返工。其成因主要有三方面：

（1）焊前坡口及两侧20mm范围内未彻底清除铁锈、氧化皮、油污及水汽，熔池凝固过程中夹杂气体与杂质，冷却后形成气孔；（2）采用CO₂气体保护焊或氩弧焊时，现场未设置有效防风装置，侧风导致保护气流紊乱，空气中的氮、氧侵入熔池，引发氮气孔与氧化气孔；（3）焊接速度偏快，熔池存在时间不足，熔渣与气体未能充分上浮逸出，冷却后残留于焊缝内部形成夹渣。此外，机电安装中大量小管径管道（DN50及以下）焊接作业空间极为有限，操作灵活性差，上述缺陷的发生概率显著高于常规钢结构焊接，是现场质量管控的重

点环节^[2]。

2.2 焊缝连接缺陷：未焊透与未熔合

未焊透是指焊缝根部母材未被电弧完全熔化，焊道底部与母材之间留有连续性间隙；未熔合是指焊道与母材之间、或相邻焊道之间未能形成有效的冶金结合，界面处存在明显的分离面。两类缺陷均属于焊接接头的连接性缺陷，会导致接头有效承载截面大幅缩减，抗拉强度与抗疲劳性能显著下降。在机电安装工程中，高空承重支架、吊架等受力构件一旦存在此类缺陷，在长期交变载荷与自重作用下极易萌生裂纹并扩展，存在断裂风险。

其核心工艺成因主要有三方面：（1）管道组对时坡口角度设计偏小、钝边尺寸过大或对口间隙未满足工艺规程要求，电弧热量无法有效传递至焊缝根部，母材熔化深度不足；（2）焊接电流选取偏低，单位长度热输入量不足，母材侧壁熔化程度达不到工艺标准；（3）多层多道焊接作业中，层间焊渣及氧化膜清理不彻底，残留物直接阻隔后续焊道与母材或前层焊道之间的熔合，形成层间未熔合缺陷。

2.3 构件焊接变形与外观缺陷

机电安装工程中，薄壁管线及薄钢板风管因壁厚小、刚度低，焊接后极易产生弯曲、翘曲、角变形等几何偏差，直接影响后续设备法兰对口的同轴度与平行度，增加安装调整难度。同时，现场焊接还常伴随咬边、焊瘤、焊缝余高不均、焊缝宽度不一致等外观质量问题，虽不直接影响结构强度，但会降低焊缝表面平整度，影响防腐涂装附着性及整体观感质量。

其核心工艺成因主要集中在三方面：（1）焊接热输入量控制不当，单道焊缝连续焊接时间过长，焊缝区域局部温升过高，冷却收缩时因受热不均产生残余应力，导致构件向热源侧弯曲或翘曲；（2）焊工操作手法不稳定，运条速度忽快忽慢，电弧在坡口两侧停留时间不均，造成焊缝熔宽与余高不一致，出现宽窄不一、咬边或焊瘤等外观缺陷；（3）对称结构件焊接时未严格执行分段退焊或对称施焊工艺，单侧连续焊接导致应力集中于一侧，无法通过对称释放实现应力平衡，最终引发整体变形。

3 机电安装不同工况下焊接工艺关键控制要点

3.1 压力管道焊接工艺控制（给排水、消防、空调管道）

压力管道作为机电安装中承压输送介质的核心构件，对焊缝的密封性与耐压性能要求最为严格。给排水、消防、空调冷媒等系统管道一旦发生渗漏，将直接影响系统运行可靠性。因此，现场优先采用氩弧焊打底

加手工电弧焊盖面的复合焊接工艺，氩弧焊保障根部焊缝的致密度与密封性，手工电弧焊提升整体焊接效率，二者配合兼顾质量与进度^[3]。

焊前工艺控制方面：管道组对时对口间隙严格控制在2~3mm范围内，坡口采用角磨机打磨至露出金属光泽，管口内外各20mm范围内的油污、铁锈及氧化皮须彻底清除，防止杂质熔入焊缝引发内部缺陷。焊接参数控制方面：打底焊选用小电流、慢速运条，确保根部完全熔透，杜绝内凹及未焊透缺陷；盖面焊采用匀速运条，焊缝余高控制在0~3mm，余高过大将影响后续防腐涂装及管道支吊架安装。焊后严禁快速浇水强制冷却，应在室温环境下自然缓冷，避免因冷却速率过快产生冷裂纹。焊接完成后须逐道焊缝做好标识记录，并按规范要求同步开展水压试验，验证焊缝密封性能。

3.2 薄壁风管与精密管件焊接工艺控制

通风空调系统风管及不锈钢精密管件壁厚普遍在1.2~2.0mm之间，材料刚度低、热容量小，焊接工艺的核心难点在于防止烧穿与控制热变形。此类构件全程采用钨极氩弧焊（TIG）施工，利用氩气保护隔绝空气，避免薄壁母材高温氧化，同时保证焊缝成形质量。

焊接过程中严格采用短弧操作手法，电弧长度控制在1~2mm以内，减小单点电弧停留时间，有效降低母材单位面积热输入量，从根本上抑制烧穿风险。针对方形风管法兰连接，采用分段点焊固定后再满焊的施工顺序，每段焊接长度严格控制在50mm以内，通过分段施焊逐步释放焊接残余应力，防止整体翘曲变形。焊接电流参数须控制在60~90A区间，严禁使用大电流操作，避免因热输入过量导致薄壁构件局部过烧或贯穿。焊后处理方面，严禁使用角磨机强力打磨焊缝表面，应完整保留焊缝氧化保护层及热影响区，防止薄壁构件因打磨减薄而产生二次氧化或应力集中，确保构件长期使用的耐腐蚀性能。

3.3 重型设备支架与基座钢结构焊接工艺控制

设备基座及重型承重支架主要承受竖向静荷载与设备运行时的动态交变载荷，焊接质量直接关系到结构整体安全，因此工艺控制重点在于保障焊缝力学强度与疲劳性能。此类构件优先选用CO₂气体保护焊，该工艺熔深大、效率高，适用于中厚板钢结构的高效连接。

厚板钢结构焊接采用多层多道焊工艺，每层焊道厚度严格控制在4mm以内，避免单道热输入量过大导致晶粒粗化及残余应力集中。每层焊道完成后须使用钢丝刷与角磨机彻底清除层间焊渣及氧化膜，确保后续焊道与前层焊道之间实现有效冶金结合。对于对称型钢支架，

严格执行对称同步焊接工艺,两侧同时施焊,使焊接应力在构件内部相互抵消,防止单侧连续焊接引发整体弯曲变形。转角部位及节点连接处属于应力集中区域,应适当增大焊缝焊脚尺寸,提升接头抗弯折能力,避免在长期荷载作用下产生疲劳裂纹。此外,高空钢结构焊接作业前须提前搭设防风围挡,有效屏蔽现场气流对电弧稳定性的干扰,防止保护气体被吹散导致焊缝产生气孔缺陷^[4]。

4 机电安装焊接施工现场全过程工艺质量管控措施

4.1 焊前工艺交底与母材预处理管控

正式施焊前,须针对本项目涉及的构件材质牌号、壁厚规格、作业空间条件开展专项焊接工艺交底,交底内容应明确焊接方法、电流电压范围、坡口角度与间隙尺寸、运条速度及层间温度等关键参数,形成书面记录并由焊工签字确认,杜绝焊工凭个人经验随意调整焊接参数,确保同一工况下焊接质量的一致性与可追溯性。母材预处理须统一执行标准化作业流程:所有焊接接头坡口必须采用角磨机等机械方式加工至露出金属光泽,严禁使用气割直接加工坡口,避免坡口边缘产生淬硬层及氧化层,影响焊缝根部熔合质量。在潮湿环境或雨季施工时,焊前须采用中性火焰对坡口两侧各50mm范围进行烘烤,彻底去除表面吸附水汽,防止焊接过程中水分分解产生氢气孔,从源头消除气孔类内部缺陷的诱发因素。

4.2 焊接过程动态工艺监督

现场质检人员须对关键工序焊接作业实施全程动态监督,重点核查以下三项内容:第一,气体保护焊防风措施是否落实到位,现场配备风速仪实时监测,当室外风速超过2m/s时立即停止氩弧焊与CO₂气体保护焊作业,防止保护气流被吹散导致空气侵入熔池产生气孔;第二,多层多道焊接时层间清渣质量是否达标,每层焊道完成后须逐道检查焊渣及氧化膜清除情况,未清理干净严禁开展下一道焊接,避免层间未熔合缺陷;第三,焊接热输入量是否超出工艺规程限值,针对薄壁构件采用红外测温仪实时监控焊缝区域温度,严禁长时间连续施焊,防止局部过热引发烧穿或热变形。此外,高空焊接

作业须规范焊工操作姿势与站位,确保焊工视线与焊缝坡口保持清晰可视角度,防止因视角偏差导致电弧偏离坡口根部,造成未焊透等连接性缺陷^[5]。

4.3 焊后外观与无损自检工艺管控

焊接完成且焊缝自然冷却至常温后,须分两步开展自检工作。第一步为外观检查,依据验收标准逐道排查咬边、焊瘤、表面气孔、焊缝余高超标及变形等可见缺陷,不合格焊缝须打磨至合格后补焊。第二步为针对性无损检测,压力管道关键焊缝采用渗透检测排查表面细微裂纹,重型承重支架重点焊缝采用磁粉检测排查内部隐性裂纹。所有不合格焊缝须制定专项返修工艺方案,明确打磨范围与焊接参数,禁止未消除原始缺陷即直接覆盖补焊,防止产生二次焊接缺陷。

结束语

机电安装焊接质量控制是一项系统性工程,需从工艺选型、过程管控、焊后验证三个层面协同推进。工艺选型应严格匹配构件材质与壁厚条件,压力管道优先采用氩弧焊加手工电弧焊复合工艺,薄壁构件全程采用TIG焊,重型钢结构选用CO₂气保焊。过程管控重点在于焊前母材预处理标准化、焊接参数实时监控及层间清渣彻底性。焊后须严格执行外观检查与针对性无损检测,不合格焊缝制定专项返修方案。只有将工艺标准贯穿施工全过程,才能有效控制焊缝内部缺陷与连接性缺陷,保障机电系统长期安全运行。

参考文献

- [1]姚洋.机电设备安装质量通病及控制措施解析[J].中国设备工程,2024,(19):253-255.
- [2]尚永昌.航站楼建设中的机电设备安装施工主要环节及改进[J].大众标准化,2023,(04):104-106.
- [3]徐斌.机电设备安装项目中的技术要点及管控措施[J].造纸装备及材料,2023,52(01):41-43.
- [4]张丰,张克银.机电设备安装中的问题与对策研究[J].造纸装备及材料,2022,51(11):52-54.
- [5]陈永阳.机电类特种设备在洪灾中的受损分析与防范措施[J].机电技术,2021,34(01):133-135.