



机器人焊接节点质量控制与缺陷返修

黄鹿

【摘要】 本文以SinoStruct公司承建的澳大利亚Origin Energy公司APLNG管线项目为案例，将机器人自动焊管对接单面焊双面成形作为课题，着重展开对其焊接质量控制管理的研究，目的是保证机器人管对接单面焊双面成形全熔透的一次性外观检查合格率与一次性射线检测成功率，旨在进一步提高机器人焊接在批量生产中的实用性。

关键词： 机器人焊接；全熔透；焊前准备；质量控制；射线检测

1. 概述

焊接机器人的最新研发与使用主要来自欧美与日韩等国家，我国的机器人焊接技术也从国外引进逐步迈向国产自主研发的台阶。根据项目进度管理与质量控制要求，DN100以上口径的管对接焊均要求采用焊接机器人施焊。但在单面焊双面成形具体操作过程中存在着一定的难度与挑战。本文主要通过机器人焊前、焊中、焊后及返修为重要节点实行控制与管理，通过不断总结与改进的焊接工艺与合理的技术管理，完成打底、填充与盖面，获得焊接质量与生产效率的双赢。

2. 机器人焊接的优缺点

自动化生产要求减少人力，提高产品一致性和产品质量，更适应大批量生产，降低生产成本，提高生产效率。可以说，焊接机器人很大程度上满足了焊接自动化的要求。本项目中该焊接

机器人是产自日本的川崎RS15X型机器人，综合性能良好。

(1) 机器人焊接优点 机器人焊接稳定和提高焊接质量，能将焊接质量以数值的形式反映出来，这样能及时发现与解决施焊过程中的各项问题；不仅提高劳动生产率，而且改善工人劳动强度，可在特定的环境下工作；相对降低了对工人操作技术的要求；缩短了产品改型换代的准备周期，减少相应的设备投资。

(2) 机器人焊接缺点 首先，焊接操作工需要从手工焊到机器人焊的转变，不仅体现在上岗前专业合格培训上，而且需要在自动化操作的观念改变。其次，电流、电压、焊接速度、焊丝摆幅等参数体现在特定的编程上，机器人焊接操作工在焊接过程中对熔池的控制手段变少，这要求焊接操作工要严格遵循已输入的焊接参数和操作要求；同

时对于铆工的装配要求也更加严格，具体到接头坡口角度、钝边大小、组对间隙以及点焊打磨等要求。

3. 机器人焊接工艺及过程节点控制

(1) 机器人焊接工艺分析 根据ASME IX-2015以及ASME B31.3标准，管子材料节选为ASTM A106-B，管子为DN100mm，壁厚等级为SCH80。确定以单面V形坡口为例，单面焊双面成形。钢的焊接性分析：碳当量 $C_{eq} \approx 0.415\%$ ，小于0.45%，由此可见母材的焊接性良好。根据焊接工艺评定确定选用以AWS A5.36为标准的E71T15型ESAB焊丝，此焊丝属于金属粉型管状药芯焊丝，主要有以下优点：①熔敷速度高。焊接时电流密度大，熔化速度较快，药芯中含有大量铁粉，因此比实芯焊丝更具熔敷速度，熔敷

效率达到97%。②焊缝表面渣量很少，这样不但能减少脱渣时间和提供劳动生产率，而且能够避免夹渣等缺陷。③比熔渣型药芯焊丝飞溅和烟尘要少。④由于电弧投射区较宽，熔池扰动较少，所以焊缝成形良好。

通过焊接工艺评定，确定该项目机器人焊接参数如附表所示。

(2) 焊前准备 坡口准备：坡口角度为 $60^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ，钝边为 $1.5(-0.5)\text{mm}$ ，组对间隙为 $2 \pm 0.2\text{mm}$ ，管子对接错边最大允许 1.5mm ，坡口及两侧 25mm 范围内保证清洁，焊前预热按照ASME B31.3表格330.1.1，最小预热温度为 10°C 。

焊前由培训合格的焊接检验人员检查焊工资质，只有通过培训以及考试合格的氩弧焊工点焊固定装配。点焊长度为 25mm ，点焊的背面余高不宜过高，确保固定焊没有任何缺陷并要求将点焊两端正反两面打磨薄，呈斜坡刀口状，并且刀口面位于坡口钝边以下位置，如图1所示。同时焊接检验员检查每段管节是否留有余量，以及尺寸正确性。

(3) 焊接过程节点控制 根据工程师将焊接工艺输入的编程，确定焊枪起始位置和焊枪角度、焊丝干伸长度以及焊枪距离管件高度，然后点击预焊按钮使管子转动与焊丝摇摆相结合试运行一遍，确保焊接过程“不撞枪、不偏焊、不跳焊”，且焊枪与垂直方向夹角为 $15^{\circ} \sim 17^{\circ}$ ，如图2所示。当焊完打底后，在机器人焊接操作工将焊接接头打磨平顺的同时，检验员应当及时

检验管子内部焊接缺陷情况。若无缺陷监控焊接层间温度继续施焊，若有缺陷，要及时返还焊接装配区由焊工及时切开返修，待返修合格后送回机器人焊接区继续施焊。这样减少了焊后目视检测发现的内部缺陷返修的难度，提升了焊接质量与生产效率。

(4) 焊后检测及控制 根据项目检测计划，焊后检验主要分为目视检测与射线检测。目视检测包括对焊缝外观质量的检测，对如母材缺陷、尺寸精度、焊后变形等进行检查。现场检验人员在焊接质量管理过程中始终要将目视检测放在首位，同时要敦促焊工做好焊后自检的工作，这样既体现了工作过程中焊接检验员与焊工的相互配合，又能够将所发现的缺陷及时发现与返修，从而对焊接过程中存在的问题及时总结与改进。

4. 机器人焊接缺陷及返修节点控制

通过目视检测并结合射线检测，检验人员会发现机器人管子

对接焊主要存在未熔合、未焊透、打底焊穿，以及少量气孔、咬边及夹杂等焊接缺陷。下面主要以前三种常出现的缺陷为例，通过分析与总结，制定相应的防控措施与解决方案。

(1) 未熔合产生原因与预防 未熔合按其所在部位，未熔合可分为坡口未熔合、层间未熔合和根部未熔合三种。通过外观与射线检测结果发现，机器人焊接主要会产生表面坡口的未熔合与根部未熔合，如图3、图4所示。

机器人焊接在焊接过程中也存在着在打底焊接起初热输入太低，工装夹具偏差及管子失圆带来的焊接电弧位置偏斜，坡口侧壁的金属杂物或氧化皮，层间打磨不彻底等情况。对于图5所示的根部打底主要位于定位焊缝两端接头处的未熔合，还应该从焊前装配查找原因，是否存在钝边及间隙的配合低于要求，是否存在接头处的打磨不到位等。通过一系列的问题原因排查，外观合

机器人焊接参数

焊道	方法	位置	焊丝/mm	保护气体	极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	焊丝摆幅/mm
打底	GMAW-P	1G	$\phi 1.2$	$10\% \text{CO}_2 + \text{Ar}$	DCEP	185~205	25~27	235~255	4~6
填充	GMAW-P	1G	$\phi 1.2$	$10\% \text{CO}_2 + \text{Ar}$	DCEP	225~250	28~30	330~360	2~4
盖面	GMAW-P	1G	$\phi 1.2$	$10\% \text{CO}_2 + \text{Ar}$	DCEP	225~255	29~31	280~305	2~4



图1 良好的焊前装配点焊



图2 焊枪位置与角度



图3 表面坡口的未熔合



图4 打底根部未熔合

格率大幅提高。

(2) 未焊透产生原因与预防 产生未焊透的主要原因：焊接电流过小，熔深较小；坡口和间隙尺寸搭配不当，钝边过大；焊层与焊根间清理不良；焊丝摆动过快；磁偏吹的影响。

基于上述分析，在机器人焊接过程中，首先注意机器人程序的调整，适当减小焊丝摆幅或摆动频率，注意在保证熔透与不焊穿的前提下，适当加大电流的合理调节，做到电流与工件转动速度的吻合。其次是焊前坡口角度控制，钝边略大时组对间隙也要略大，钝边略小时组对间隙也要随之略小。经过问题筛选，确定最合适的焊接工艺与操作方法，将缺陷发生几率降低到最小。

(3) 打底焊穿产生原因与预防 打底焊穿是直接导致焊接失败的情况之一，不仅阻碍了生产的进度，同时又给焊接返修带来了一定的难度。由于打底焊穿的同时也将坡口的根部击穿，进而导致了返修组对间隙过大的困难。在这种情况下不得不采用氩弧焊修补坡口的方式，使得机器人打底焊进行下去。

经分析，打底焊穿在成批量的管对接单面焊双面成形案例中产生的主要原因：焊前坡口钝边

与间隙的匹配不当、机器人程序的波动导致电流瞬间过大、局部热输入过大、焊接速度过慢导致电弧停留时间过长等。

因此在焊接前严格控制坡口准备情况，装配前检查机床加工坡口精度，然后具体到装配中坡口角度、钝边、间隙、错边情况，均须符合要求。在焊接中检查机器人编程的正确性，确立合理的焊接参数，在保证转速稳定合适的前提下，适当减小焊接电流并略微增加焊丝摆幅。在此过程中检验员要做到及时监控打底焊情况，一旦发现焊穿及时要求隔离并返修。

(4) 缺陷返修与小结 根据该项目返修工艺，焊接返修预热温度至少达到50℃，并且同样位置的焊接缺陷只允许返修一次。以上三种典型的缺陷均需通过从焊缝表面打磨切削的方式将缺陷去除，切不可使用碳弧气刨的方式，焊接返修方法为钨极氩弧

焊。

对于出现概率较高的缺陷为打底接头处的根部未熔透，此种情况就是通过打磨的方式来达到返修的焊前要求，如图5所示。焊缝打磨处的两端呈斜坡口状，接头处两端打磨呈“U”形，方便打底接头的熔透，这种修复方式适合于外观检测或射线检测所发现的氩弧点焊缩孔、焊穿、气孔、焊瘤、未焊透、根部未熔合等缺陷。表面未熔合修复的焊前状态见图6，将未熔合或低于母材的侧边打磨呈凹沟形，去除氧化皮的过程同时保证熔透。修补完成后将焊缝打磨光顺，焊工将焊接返修信息写于焊缝旁，便于返修信息记录与追踪。

现场检验人员应当在返修过程中做到认真监督与技术指导，确定缺陷去除后坡口组对合格才能放行，进行下一步焊接，并根据要求填写返修记录。当返修完成后，检验员确认外观合格的情况下送交返修部位的射线检测。确认合格后，要求具备磁粉检测资格的无损检测人员做好返修部位的操作。总之，严格执行以上缺陷返修工艺，在整个返修的过程显得尤为重要。

5. 结语

管对接单面焊双面成形在机



图5 根部缺陷的修复焊前



图6 表面未熔合的修复焊前



焊接机器人 在风力发电机后底座的应用

曹晓民 豆飞飞 郑海维

【摘要】通过对2.0MW风力发电机后底座产品的分析，自主开发设计了焊接机器人系统以及焊接变位机，实现了后底座零部件及总体焊缝的全自动焊接。通过在2.0MW风力发电机后底座产品中应用，满足了用户要求，取得了良好的效果。

关键词：焊接机器人；柔性制造；焊接；风电底座

1. 概述

我公司是一家制造焊接式风力发电机底座的专业公司，先后为国内外十余家风力发电设备整机制造商生产过不同型号、不同规格的焊接式风力发电机底座，尤其为维斯塔斯公司生产后底座已经形成批量。该后底座焊接质量要求高，焊接生产过程要求严格按照ISO5817标准进行，焊接尺寸要求严格。下面就该型后底座实现焊接机器人自动焊过程做

一介绍。

2. 产品简介

2.0MW风力发电机后底座作为风力发电机部件的支撑结构，结构复杂，钢板规格多，厚度大，焊接工作量大，质量要求高，大部分尺寸公差为 $\pm 1\text{mm}$ ，箱型梁表面平面度 2mm/m ，横向直线度 1mm 。其结构如图1所示，尺寸范围 $3600\text{mm} \times 2300\text{mm} \times 668\text{mm}$ 。该后底座由横梁、端板、箱型梁

组成，箱型梁由焊接工字梁和侧板组成。工字梁的焊接、整体六道外焊缝的焊接量大，效率低，机器人系统的设计以此为依据进行。

3. 机器人系统设计

(1) 垂直升降系统的设计 因为需要焊接的后底座高度 2300mm ，机器人升降范围必须达到此要求，因此垂直升降系统按照 3000mm 设计，加上底座及机器人可升降高度，完全可以满

足。机器人焊接质量控制过程中需要攻克的难题可归纳为三点：一是焊前坡口制备的严格要求，二是焊接过程中工艺参数临时性可调节困难，三是焊缝缺陷返修过程的繁琐。

另外，根据“人、机、料、法、环”的管理理念，在整个机器人焊接质量管理过程中，还需要做好对机器人的设备保养与定期维护，最重要的是对焊接操作

工、机器人调试及焊接检验人员不断地进行质量要求、方式方法的培训教育，将出现的问题不断总结、防控与改进，只有这样，机器人单面焊双面成形的焊接质量控制水平才能够达到一个新的高度。

[M]. 北京：化学工业出版社.2008，4：1-2.

[2]吴九澎.焊接机器人实用手册[M].北京：机械工业出版社.2014，6：1-3.

作者简介：黄鹿，江阴赛福咨询服务有限公司。

参考文献：

[1]李亚江.焊接质量控制与检验

MW 20170824