

中国焊接协会团体标准

T/CWAN 0050—XXXX

球形储罐无导轨全位置爬壁焊接机器人 焊接工艺规范

Welding process specification of trackless unguided all-position crawling welding
robot for spherical vessel

（征求意见稿）

（本稿完成时间：2020-11-16）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国焊接协会发布

目 次

1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 定义和术语.....	1
4 一般要求.....	1
5 焊缝的检验和返修.....	4
6 焊后热处理.....	5
7 安全要求.....	5
附录 A （资料性）无导轨爬壁焊接机器人焊接工艺卡.....	6

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国焊接协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

球形储罐无轨导爬壁焊接机器人焊接工艺规范

1 范围

本文件规定了无轨导爬壁焊接机器人在球形储罐焊接中的一般要求、焊缝的检验和返修、焊后热处理及安全要求等。

本文件适用于无轨导爬壁焊接机器人焊接球形储罐。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB 50094 球形储罐施工规范(GB 50094—2010)
- GB/T 699 优质碳素结构钢(GB/T 699—2015)
- GB/T 700 碳素结构钢(GB/T 700—2006,ISO 630:1995, NEQ)
- GB/T 713 锅炉和压力容器用钢板 (GB/T 713—2014, ISO 9328—2:2011,NEQ)
- GB/T 985.1 气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口(GB/T 985.1—2008, ISO 9692-1:2008,MOD)
- GB/T 3531 低温压力容器用钢板(GB/T 3531—2014)
- GB/T 8110 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝(GB/T 8110—2008)
- GB/T 12337 钢制球形储罐(GB/T 12337—2014)
- GB/T 18591 焊接预热温度、道间温度及预热维持温度的测量指南(GB/T 18591—2001,ISO 13916:1996,IDT)
- GB/T 19418 钢的弧焊接头 缺陷质量分级指南 (GB/T 19418—2003, ISO 5817: 1992, IDT)
- NB/T 47013 承压设备无损检测(NB/T 47013.1 ~ NB/T 47013.6—2015, NB/T 47013.7 ~ NB/T 47013.9—2012, NB/T 47013.10~NB/T 47013.13—2015)
- NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定(NB/T 47014—2011)
- NB/T 47015 压力容器焊接规程(NB/T 47015—2011)
- NB/T 47018.1~47018.5承压设备用焊接材料订货技术条件(NB/T 47018.1~NB/T 47018.5—2017, (NB/T 47018.6~NB/T 47018.7—2011))
- JB/T 3223 焊接材料质量管理规程(JB/T 3223—2017)
- T/CWAN 0006 焊接材料可追溯信息化标识 (T/CWAN 0006—2018)

3 定义和术语

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

无轨导爬壁焊接机器人 trackless unguided all-position crawling welding robot

无轨导爬壁焊接机器人是利用磁吸附技术进行焊接作业的特种工业机器人,具备三维曲面爬行技术及自主跟踪焊缝进行焊接能力。

4 一般要求

4.1 人员

- a) 参加施焊的设备操作人员应经过培训、考核并取得相应资格证书。
- b) 无损检测人员应具有相应的等级资格证书。

4.2 焊接设备

自动化焊接设备应满足以下要求：

- a) 单台设备即可同时满足全位置焊接；
- b) 能进行直径4 m以上的球形储罐的焊接，不能另外使用轨道及导向装置；
- c) 采用激光跟踪控制，精度要求控制在 ± 0.2 mm；
- d) 无需预先编程就可以实时跟踪和焊接；
- e) 可以长时间工作并能保持控制系统灵敏；
- f) 应具备自检功能，自检异常时闭锁全部操作，并发出报警信息；
- g) 具备监视、设置和记录功能。

装置的显示记录功能应满足以下要求：

- a) 应具有焊接设备服役环境工作状态监视功能；
- b) 应具有系统运行参数记录和系统状态监视功能；
- c) 应具有运行参数和保护定值设置功能；
- d) 应具有事件显示及其记录功能。

4.3 球形储罐材料

应按照业主和监理方的要求及有关标准(GB/T 713—2014,GB/T 3531—2014)、规范和钢材质保书的规定，对球形储罐母材进行验收，经验收合格后方可投入使用。

4.4 焊接材料

焊材的保管、烘干、发放程序应严格按照(JB/T 3223—2017、NB/T 47018—2017、GB/T 8110—2008、T/CWAN 0006—2018)执行，并确保其全程使用过程中可追溯。

a) 焊丝在保管和使用时有下列要求：焊丝应存放在干燥、通风良好的库房中，不允许露天存放或放在有害气体和腐蚀性介质（如SO₂等）的室内室温应控制在10℃~15℃，相对湿度 $\leq 60\%$ 。室内应保持整洁。堆放时不宜直接放在地面上，最好放在离地面和墙壁 ≥ 300 mm的架子或垫板上，以保持空气流通，防止受潮。

b) 焊丝应在开包后48 h内用完。开包后的焊丝要防止其表面被凝结露，或被锈、油脂及其他碳氢化合物所污染，保持焊丝表面干净、干燥。

c) 当焊丝没用完时，要用帆布、塑料布或其他物品将送丝机（或焊丝盘）罩住，以减少与空气中接触。

d) 对于72 h以上时间不用的焊丝，要从送丝机内取下。放回原包装内，封口密封，然后再放入具有良好保管条件的仓库中。

4.5 焊接要求和焊接工艺评定

4.5.1 焊接要求

a) 焊前准备：焊接前应检查电源极性是否按照要求进行连接；检查气管是否连接、漏气，气瓶气压是否足够；检查焊枪导电嘴是否熔化，堵塞；焊枪不能有小曲率的弯曲。

b) 焊接环境：当施焊环境出现下列情况之一时，应采取有效防护措施，否则不得施焊。①、空气相对湿度 $\geq 90\%$ ；②、风速 $\geq 2\text{ m/s}$ 。

c) 球形储罐球壳板焊接应该先焊接立焊缝，再焊接赤道带横焊缝，最后焊接上下极板焊缝。立缝和环缝组对时定位焊处一般情况下均应作虚焊处理，在产品正式施焊时应予以清除。球形储罐的焊接应该由多台爬行机均匀分布在球形储罐的焊缝上，并且采用等速、同向、分段退焊的方法进行焊接，立焊缝采用立向上焊接，在多层多道焊接时，层间接头应该间隔 50 mm 以上。起弧时应避开各焊道接头位置，长度不低于 200 mm ，收弧时应填满弧坑，整条焊道有接头时，需要将接头的弧坑打磨清除后在接头以 20 mm 处进行起弧焊接，完成后将起弧点多余焊缝打磨清除，保证焊道的平整度。

d) 针对不同的坡口形式焊缝背面采用相应的陶瓷衬垫进行焊缝强制成形，焊缝背面严禁使用碳弧气刨清根；如遇到需要返修的情况，使用机械打磨的方式清除。

e) 在横缝和立缝交汇处，即T口位置，三个方向各 200 mm 范围内不允许起弧停弧。对于X型坡口，背面粘贴圆形陶瓷衬垫，正面焊接完成后，背面采用机械打磨的办法清理背部焊道，然后再焊接背部焊缝。

f) 对于上下不等板厚的横焊缝，焊接时要求焊缝面圆滑过渡，避免应力集中。

g) 焊缝余高按照相关标准进行判定，对于余高过高的部位进行打磨处理，打磨时应该保证焊缝圆滑过渡而避免产生应力集中。

h) 焊接预热和焊后热处理：参照GB 50094—2010球形储罐施工规范中的6.4.2条款要求进行。

4.5.2 焊接工艺评定

工程施焊前，应具备按照相关规范（NB/T 47014）评定合格的，能全面覆盖该工程项目的焊接工艺评定；并根据合格的工艺评定结果编制焊接工艺卡。推荐的焊接工艺卡形式见附录 A。

4.6 球壳板下料

对球壳板焊接坡口进行如下规定：

- 1) 平面度应小于等于球壳板名义厚度的 0.04 倍，且 $\leq 1\text{ mm}$ ；
- 2) 钢板平滑表面粗糙度 $\leq 25\text{ }\mu\text{m}$ ；
- 3) 坡口角度的允许偏差为 $\pm 2.5^\circ$ ；
- 4) 坡口钝边及坡口深度允许偏差应控制在 $\pm 1\text{ mm}$ 以内。

4.7 组对

坡口表面不应有裂纹和分层等缺陷，熔渣与氧化皮应清除干净，抗拉强度下限值 $\geq 540\text{ N/mm}^2$ 的钢材制造球壳板时，坡口表面应经磁粉或者渗透检测抽查，不应有裂纹、分层和夹渣等缺陷；抽查数量不应少于球壳板数量的 20% 。球壳板周边 100 mm 范围内应进行全面的超声检测抽检，抽检数量不少于球壳板总数的 20% ，且每带不应少于 2 块，上、下极各不应少于一块；合格等级应符合设计图样的要求。

a) 组对：球形储罐组装时，可采用工卡具调整球壳组对间隙和错边量，不得进行强力组装。定位焊的长度 $\geq 80\text{ mm}$ ，间距保持在 300 mm - 400 mm ，定位焊的引弧和熄弧都应在坡口内；工卡具的焊点均应在工卡具上引弧熄弧，严禁在非焊接位置引弧熄弧。工卡具的安装间距保持在 300 mm - 400 mm 。

b) 根部间隙：罐体在组装时要求对所有对接焊缝在组装时，要求对组对间隙、错边量的检查应沿对接接头每 500 mm 测量一点，立焊和平焊根部间隙控制在 4 mm - 6 mm ，其余焊缝根部间隙控制在 3 mm - 4 mm ，所有板厚相等的焊缝错边量应控制在 $\pm 1\text{ mm}$ 以内。

c)球形储罐赤道带组装时，每块球壳板的赤道线水平误差应 $\leq 2\text{ mm}$ ，相邻两块球壳板的赤道线水平误差应 $\leq 3\text{ mm}$ ，任意两块球壳板的赤道线水平误差 $\leq 5\text{ mm}$ 。

d)球形储罐组装时应对应球形储罐的最大直径和最小直径的相互差均应小于设计内径的3‰，5000 m³以下的球形储罐 $\leq 50\text{ mm}$ ；5000 m³及以上的球形储罐 $\leq 70\text{ mm}$ 。

5 焊缝的检验和返修

5.1 焊缝的检验

a) 焊缝的外观检验

在进行焊缝检验前，需要将焊缝周边的熔渣，飞溅等清理干净；焊缝的表面质量应符合GB/T 19418 钢的弧焊接头 缺陷质量分级指南的标准要求。

- 1、焊缝和热影响区表面不得有裂纹、气孔、未熔合、咬边、夹渣、凹坑、未焊满等缺陷。
- 2、焊缝的宽度应比坡口面增宽1 mm~2 mm。
- 3、焊缝高度不能低于母材，按疲劳分析设计的球形储罐，对接焊缝表面应与母材表面平齐，不应保留余高；其他焊缝余高应满足表1要求。

表 1 对接焊缝的余高

坡口深度 $\delta(\text{mm})$	焊缝的余高(单位: mm)	
	纵向	环向
≤ 12	≤ 2.5	≤ 3
$12 < \delta \leq 25$	≤ 2.5	≤ 3
$\delta > 25$	≤ 2.5	≤ 3

注：单面坡口时，坡口深度为母材厚度；双面坡口时坡口深度为坡口钝边中点至母材表面的深度，两侧分别计算。

- 4、工卡具去除后的表面，不得有裂纹、气孔、咬边、夹渣、凹坑、未焊满等缺陷。

b) 焊缝的无损检测

有延迟裂纹倾向的材料和钢材标准抗拉强度下限值 $\geq 540\text{ N/mm}^2$ 钢材制造的球形储罐，对接缝的无损检测应在焊接完成后36 h后进行，其他钢制球形储罐应在焊后24 h进行无损检测。

1、焊缝的射线探伤和超声波检测应按现行标准NB/T 47013—2015《承压设备无损检测》有关规定执行，符合下列条件之一的球形储罐球壳的对接焊缝或所规定的焊缝，必须按照设计图样规定的检测方法进行100%的射线或者超声检测。

- ①设计压力 $\geq 1.6\text{ MPa}$ ，且划分为第Ⅲ类压力容器的球形储罐；
- ②按分析设计标准设计的球形储罐；
- ③采用气压或气液组合耐压试验的球形储罐；
- ④钢材标准抗拉强度下限值 $\geq 540\text{ N/mm}^2$ 的球形储罐；
- ⑤设计图样中规定应进行全部射线或者超声探伤的球形储罐。

2、球壳板对接焊缝的局部检测方法应按设计文件执行，监察长度不得少于各焊缝长度的20%，局部检测部位应包含所有的焊缝交叉部位及每个焊工所施焊的部分部位。

5.2 焊缝的返修

当射线检测或者超声检测不合格时，需要对照射线底片或超声位置进行缺陷位置确定。采用机械打磨的办法清除缺陷，不允许使用碳弧气刨的方式清除焊缝缺陷，清除部位应超出缺陷位置，如有需要可

以再打磨清除缺陷后进行着色探伤，确保缺陷位置完全清除，再进行返修焊，返修焊接应严格按照返修流程和返修工艺进行返修。返修完成后使用砂轮机打磨直至圆滑。

同一位置的焊缝返修不能超过两次，超过两次后必须经项目总工程师批准并通知监理方。

6 焊后热处理

焊后球形储罐整体热处理按照 GB 50094—2010《球形储罐施工规范》要求进行。

7 安全要求

- a) 无导轨爬壁焊接机器人使用场所不应超过本标准规定的范围；
- b) 无导轨爬壁焊接机器人使用场所不应有火灾、爆炸危险的介质、不应有腐蚀、破坏绝缘气体及导电介质、不应充满蒸汽及有严重的霉菌；
- c) 户外使用须有防御雨、雪、风、沙的设施；
- d) 焊接人员须正确配带劳动保护品。高空作业应戴安全带，磨砂轮带护目镜；
- e) 焊机、烘干机等设备应具备一机、一闸、一保护措施。小型机具应装有漏电保护器；
- f) 罐内焊接应安装通风设备；
- g) 高空焊接时，要清理垂直下方10 m²之内易燃物，焊接完后及时清理焊接现场，防止发生火灾；
- h) 射线探伤时应在周围50 m²范围内设警示标志，并设专人监护。

附录 A 无导轨爬壁焊接机器人焊接工艺卡
(资料性)

单位名称				工艺卡编号																									
项目名称				部件名称																									
环境参数及焊机、焊枪、辅材				热处理参数																				接头特性					
温度/℃		相对湿度%		预热方式		母材材质																							
气压/KPa		风速 m/s		预热温度/℃		材质厚度/mm																							
焊机品牌		焊机型号		层间温度/℃		坡口形式																							
焊枪类型		接口				坡口角度/°																							
正面气体		流量				接头形式																							
背面气体		L/min				间隙 R/mm																							
焊接位置		焊剂类型		背面保护		钝边 N/mm				坡口示意图																			
焊机参数										机器人参数																			
焊层道号	焊接方法	焊机程序编号	焊接材料		电特性	V 送丝(m/min)	L 弧长调节	电弧挺度	时间 /s	焊枪角度/°		焊速 (mm/min)	线能量 (KJ/cm)	摆动参数					干伸长度	焊接长度	焊接时间	操作时间							
			焊材牌号	焊材规格		电流范围/A	电压范围/V			向下	偏左			左摆速 mm/s	摆幅 mm	右摆速 mm/s	右停/s												
其他事项																													
1	焊前检查工件及坡口清理情况；注意对口质量，防止错口、折口； 选择合理的施焊顺序；																												
2	注意层间清理和焊后自检，注意检查工件隐蔽位置焊缝质量；																												
3	施工过程中不能损伤管件；严禁在管件表面引弧和试验电流，引弧应在坡口内进行；																												
4	定位焊工艺和施焊工艺应相同；注意焊缝接头和收弧质量。																												
记录人			编制			审核			批准																				