

机场供油不锈钢复合管焊接技术

李晨浩, 刘欢, 李庆恒

(民航机场建设工程有限公司)

摘要:为解决 Q355B+S30408 内衬不锈钢复合管焊接过程中的技术问题, 结合某机场供油工程输油管线施工实例, 通过原材料选择及检测、焊接方法及工艺分析, 选定了氩弧焊(GTAW)方法进行 Q355B+S30408 内衬不锈钢复合管焊接, 确定了焊接工艺。采用外观检验、X 射线检测以及力学性能试验等方法对焊接接头进行检查, 结果均符合设计及规范要求; 按压力试验方法进行强度和严密性试验, 结果均满足设计要求。该不锈钢复合管焊接技术研究为工程施工质量提供了保证, 同时也可类似机场供油工程输油管线施工提供参考。

关键词: 机场供油工程; Q355B+S30408 内衬不锈钢复合管; 氩弧焊; 焊接技术; X 射线检测

0 引言

内衬不锈钢复合管是一种新兴的复合管材, 钢管采用热轧不锈钢复合板通过抛光、弯曲成型以及直缝焊接方法制造^[1-3], 具有耐腐蚀、耐高温、高延伸性、高强度等优良特点, 因此被推广应用于石油化工管道工程建设中, 也是流体输送用管道的重要发展方向^[4-6]。

机场供油工程输油管道具有线路长、对管道质量要求高等特点, 内衬不锈钢复合管适合推广应用。现有机场供油工程输油管道施工实例较少, 因此机场供油管道工程内衬不锈钢复合钢管焊接技术研究有重要的意义。

本文结合某机场供油工程输油管线施工实例, 对 Q355B+S30408 内衬不锈钢复合管焊接技术进行研究。根据设计及规范要求确定了原材料、焊接方法和焊接工艺, 并通过 X 射线检测、力学性能试验、压力试验等试验检测方法进行充分验证, 保证了本工程的焊接质量, 有效提高现场施工管理的水平和效率, 同时也为今后不锈钢复合管的焊接提供施工经验, 为类似机场供油工程输油管线焊接提供充分理论依据及参考。

1 工程概况

某机场场道供油工程位于华东地区某沿海城市, 为机场场道供油工程, 建设内容包括新建储油库、储油库到场道间的加油管道、回油管道以及配套设施。其中输油管道总长约 2 000 m, 为埋地设置, 主要施工内容包括管沟开挖、管道焊接、埋设以及管沟回填。

2 设计及规范要求

2.1 设计要求

按照设计要求, 输油管道材料采用 Q355B+S30408 内衬不锈钢复合管; 工艺管道设计压力为 1.6 MPa, 根据设计及业主要求, 强度试验压力为设计压力的 1.25 倍(2.0 MPa), 严密性试验压力为设计压力的 1.1 倍(1.76 MPa)。

2.2 规范依据

供油管线施工及探伤、力学、压力试验标准规范依据主要包括: GB50235—2010《工业金属管道工程施工规范》; GB50184—2011《工业金属管道工程施工质量验收规范》; GB 50236—2011《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》; GB 50683—2011《现场设备、工业管道焊接工程施工质量验收规范》; SH/T 3558—2016《石油化工工程焊接通用规范》。

3 原材料选择及检测

3.1 不锈钢复合管

本工程设计使用管材为 Q355B+S30408 内衬不锈钢复合管, 规格尺寸为 $\phi 325 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$, 壁厚 (7.0 mm+1.0 mm), 基层碳钢 Q355B 厚度为 7.0 mm, 复层不锈钢 S30408 厚度为 1.0 mm, 内衬不锈钢复合管示意图如图 1 所示。



图 1 内衬不锈钢复合管示意图

Q355B+S30408 内衬不锈钢复合管生产厂家为江苏新澎复合材料有限公司，对原材料的理化性能进行复检，各项力学性能及化学成分均满足设计、规范要求，具体参数见表 1—表 2。

表 1 复合管力学性能

项目	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%	冲击吸收能量/J	弯曲试验	压扁试验
规范要求	470~630	≥355	≥22	≥14	试样不应完全断裂	试样内外表面及边缘不允许出现裂纹、断裂
实测值	534	438	25	77	试样无断裂和裂纹	试样内外表面及边缘无裂纹、断裂

表 2 复合管化学成分

参数		化学成分							
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
基管	规范要求/%	≤0.24	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035	≤0.30	≤0.30	≤0.40
	实测值/%	0.15	0.20	0.46	0.017	0.006	0.01	0.01	0.03
复管	规范要求/%	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.040	≤0.030	—	8~11	18~20
	实测值/%	0.05	0.55	0.95	0.031	0.005	—	8.06	18.14

3.2 焊接材料

根据基管和复管的化学成分及力学性能参数，同时考虑 Q355B 碳钢以及 S30408 不锈钢的焊接匹配性，ER309L 是超低碳不锈钢用药芯焊丝，焊缝金属含碳量低，具有良好的力学性能、耐蚀性和抗裂性，同时具有良好的焊接工艺性能，电弧稳定、飞溅小、成形优良，可进行全位置焊接，结合以往的施工经验，选择焊丝 ER309L 作为 Q355B+S30408 内衬不锈钢复合管的焊接材料。

焊丝 ER309L 生产厂家为上海大西洋焊接材料有限公司，规格为 $\phi 2.5$ mm。对原材料的理化性能进行复检，各项力学性能及化学成分均满足设计、规范要求，具体参数见表 3—表 4。

表 3 焊丝ER309L力学性能

项目	抗拉强度/ MPa	屈服强度/ MPa	伸长率/ %	V 型冲击	
				冲击温度/℃	冲击功/J
规范要求	490~670	≥390	≥18	-30	≥54
实测值	612	516	28.5	-30	246

表 4 焊丝ER309L化学成分

项目	化学成分									
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Cu
规范要求/%	0.06~0.15	1.4~1.85	0.8~1.15	≤0.015	≤0.025	≤0.15	≤0.15	≤0.15	≤0.03	≤0.50
实测值/%	0.076	1.42	0.82	0.008	0.012	0.017	0.015	0.001	0.003	0.013

4 焊接方法及工艺

4.1 焊接前准备

主焊人员应选用熟练掌握不锈钢复合管焊接技术的特种作业人员，必须持有焊工证，并且有半年内进行过此类管材焊接的经验。焊接前采用机械方法及有机溶剂(丙酮、酒精、香蕉水等)清除焊丝表面和焊接坡口两侧各 30 mm 范围内的油污、锈迹、氧化膜及其他污物，钢管对口检查合格后再进行焊口焊接。多层多道焊接时，应清除前道焊缝表面的熔渣、氧化层与缺陷等，并露出金属光泽。

4.2 焊接方法选定

目前用于焊接管材的方法主要包括手工焊条电弧焊(SMAW)、直埋电弧焊(STWL)、钨极氩弧

焊(GTAW)等。在焊接过程中当热量输入较大，冷却较慢时易产生热裂纹、变形等缺陷。钨极氩弧焊的热输入较小，且除了氩气流出可以保护高温金属外，还具有一定的冷却作用，能够提高焊缝的抗裂能力，同时钨极电弧相较更稳定^[7-9]，且在很小的焊接电流下仍可稳定燃烧，特别适用于薄壁管的焊接。由于本工程管材为不锈钢复合管，壁厚共 8 mm，属于薄壁管，通过上述分析及以往经验，选择钨极氩弧焊(GTAW)方法进行焊接。

4.3 焊接工艺

焊工在管外对焊时，首先对管道进行刚性固定，采用机械夹具调整坡口间隙。坡口设计采用 V 形坡口，焊接顺序为：打底焊—填充焊—盖面焊，如图 2 所示。

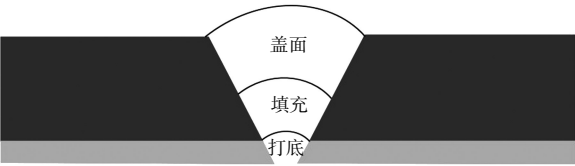


图2 焊接顺序

先打底焊接内衬不锈钢复层,打底焊前充氩气,焊接时间约40 min;冷却10 min后再填充焊接碳钢基层,焊接时间约30 min;再冷却10 min,最后进行盖面焊接,焊接时间约30 min。焊接过程中,底面采用仰焊,两边采用立焊,中间采用平焊。

在内焊结束后、外焊盖面前,采用不锈钢刷或角向砂轮机将外侧坡口焊缝表面氧化层清理干净,直至露出金属光泽。管道焊缝外观应成型良好,焊接完成后立即去除渣皮、飞溅,清理干净焊缝表面。焊缝表面不得低于管材表面,不得高于1.5 mm。

5 试验结果与讨论

为了检测不锈钢复合管焊接质量并对焊接工艺进行评价,焊后对焊缝进行外观检验、X射线探伤检测、拉伸试验、弯曲试验及夏比V型冲击试验结果分析,并对按本焊接方法及工艺施工的管道进行打压试验,验证管道的强度及严密性。

5.1 外观检验

焊接完成后对焊接试件焊缝进行外观检验,试件表面无气孔、夹渣、咬边、未焊透等质量缺陷,观感良好,符合设计及规范要求。

5.2 X射线探伤检测

对焊接试件焊缝进行X射线探伤检测,如图3所示。检测结果为焊缝质量Ⅱ级,符合设计及《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》要求。

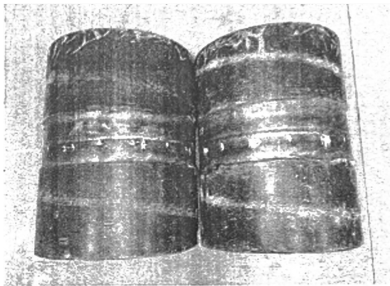


图3 焊缝X射线检测

5.3 力学性能试验

对焊接接头试件进行拉伸试验,拉伸强度不低于基层材料抗拉强度的下限值,试验结果如表

5所示。

表5 拉伸试验结果

编号	断裂载荷/kN	抗拉强度/MPa	断裂部位和特征
L1	152.5	510	母材
L2	151.8	500	母材

抗拉强度符合规范要求,拉伸破坏均断裂于母材,表明焊接接头拉伸性能良好。

对焊接试件进行弯曲试验,试验结果均合格。对试件进行180°侧弯,弯心直径为40 mm,焊缝处无裂纹,表明焊接接头弯曲性能良好。

对焊接试件进行夏比V型冲击试验,试验温度为常温,试验结果见表6。冲击位置分别选在焊缝及热影响区,吸收冲击功为80 J,试验结果均合格,断面无缺陷,表明试件的韧性良好。

表6 冲击试验结果

编号	缺口类型	缺口位置	试验温度/℃	吸收冲击功/J	结果
C1	夏比-V	焊缝	常温	80	合格
C2	夏比-V	焊缝	常温	80	合格
C3	夏比-V	焊缝	常温	80	合格
C4	夏比-V	热影响区	常温	80	合格
C5	夏比-V	热影响区	常温	80	合格
C6	夏比-V	热影响区	常温	80	合格

5.4 压力试验

选定本焊接方法及工艺进行大面积输油管道焊接施工,对施工完成后的输油管道进行打压试验。根据设计及业主要求,本工程管道设计压力为1.6 MPa,强度试验压力为2.0 MPa,严密性试验压力为1.76 MPa。

试验前,必须用空气进行预试验,试验压力宜为0.2 MPa。试验时逐步、缓慢增压,当升压至试验压力的50%时,如未发现异常或泄漏,继续按试验压力的10%逐级升压,每级稳压3 min。达到强度试验压力2.0 MPa后,稳压10 min。再将压力降至严密性试验压力1.76 MPa,稳压1 h,进行查漏。压力表以压降不大于1%严密性试验压力值、发泡剂检验不泄漏为合格。

按压力试验方法进行强度和严密性压力试验,结果均合格,表明按照本焊接方法及工艺进行焊接施工的输油管道满足强度和严密性要求。

6 安全技术措施

6.1 检测安全技术措施

现场检测时,探伤人员必须戴好安全帽,严

禁违章作业。现场射线作业时,应在射线作业区各要道设置警戒标志或警戒灯,以防他人误入。

每次探伤作业前应检查控制区,确保控制区内无任何人员。作业场所启用时,应围绕控制区边界测量辐射水平,边界处必须设置清晰可见的“禁止进入放射性工作场所”警示标识,未经许可人员不得进入该范围。控制区应设置警示标志,白天用警示线,夜间用警示灯。监督区位于控制区外,允许有关人员在此区活动,培训人员或探访者也可进入该区域。

6.2 试压安全技术措施

试压前及试压过程中应详细检查被试设备、管道的盲板、法兰盖、压力表的加压情况以及试压中的变形等,具备升压条件时方可升高压力。检查受压设备和管道时,法兰、法兰盖的侧面和对面不得站人,不得带压紧固螺栓、补焊或修理。

带压设备、管道严禁受到强烈冲撞或气体冲击,升压降压应缓慢进行。在压力试验过程中,如有响声、压力下降、表面油漆剥落等情况,应立即停止试验,查明原因。

试验区域应设置围栏或警示牌,无关人员不得进入试验区域。试压环境温度宜 5℃以上,低于 5℃应做防冻保护。

6.3 用电安全技术措施

施工前,严格按照要求建立安全用电制度,安排专职专业电工检查维护,任何现场用电线路的工作必须由专业电工操作,任何人不得随意搭接,施工现场采用正规厂家生产的符合国家规范要求的配电开关柜。

电焊机的下部要铺设木板,电焊机的间距不小于 0.5 m,二次引线的架设要整齐,绝缘良好,防止砸断、压坏和烧损;电焊机外壳应有防护性的接地线,以免由于漏电而造成触电事故。在潮

湿的地方工作时,应穿上胶鞋或用干燥的木板作垫板。

7 结语

通过对某机场供油工程内衬不锈钢复合管焊接技术进行研究并应用于工程施工,得出了以下结论:

1) 确定了焊丝 ER309L 为 Q355B+S30408 内衬不锈钢复合管的焊接材料,选定了氩弧焊 (GTAW) 方法进行焊接,对焊接接头进行外观检验、X 射线检测及各项力学性能测试,结果均符合设计及规范要求。

2) 确定了 Q355B+S30408 内衬不锈钢复合管的焊接工艺并应用于本工程施工,对施工管道进行压力试验,强度和严密性均满足设计要求,为本机场供油工程输油管道施工质量及安全提供了保证。

参考文献:

- [1] 孙倩,范蕙萍. 不锈钢复合管的焊接性探讨[J]. 科技资讯, 2017,15(6):118-119,121.
- [2] 李海霞. 白鹤滩水电站内衬不锈钢复合管焊接技术应用[J]. 人民黄河,2020,42(S1):104-105.
- [3] 杨胜金,肖国豪. 316L+20G 不锈钢复合管焊接技术[J]. 焊接, 2006(1):58-61.
- [4] 谭芳铭,姜欢欢,汤海东,等. 20+Inconel625 复合管焊接工艺研究[J]. 金属加工(热加工),2015(22):35-37.
- [5] 冯玉兰,李睿,张丙静. Q295B/S32205 复合管焊接工艺及焊接接头力学性能[J]. 焊管,2019,42(3):42-46.
- [6] 曾君. L415/316L 复合管焊接施工质量控制[J]. 电焊机,2015(8):200-202.
- [7] 卢忠华,晏宏学. 内衬不锈钢复合管焊接技术的研究及应用[J]. 金属加工(热加工),2017(6):30-33.
- [8] 刘春艳,张爱芳,肖少平. 内衬不锈钢复合管焊接[J]. 化学工程与装备,2011(7):123-125.
- [9] 吴星东,谢树军. X65/316L 与 AISI4130/Inconel625 复合管焊接接头力学性能及腐蚀行为研究[J]. 焊管 2014,37(3):14-18.