

CO 缓冲罐的经济性研究

曾详洋（中科卫星（山东）信息技术有限公司，山东 济南 250033）

摘要：CO 缓冲罐主要用于缓冲系统的压力波动，使系统工作更平稳。本文介绍了缓冲罐的具体生产工艺流程，并尝试通过对生产工艺的研究，达到改善工艺流程，避免或者减轻焊接缺陷的目的。

关键词：缓冲罐：焊接缺陷：经济效益；经济性研究

1 引言

焊接工艺是将原材料或坯料加工成焊接构件和完整的焊接结构的方法、技术和过程。对于压力容器这种产品，焊接成本约占总成本的 50%，因此优化焊接工艺，可以显著降低生产成本，给生产企业提质增效。

2 CO 缓冲罐概况

本次所选 CO 缓冲罐，筒体壁厚 46mm，封头壁厚 23mm，材质 Q345R，部分零部件材质 16Mn III。设计压力 9.6MPa，设计温度 50℃，介质为中度危害、易燃的 CO。筒体 100%UT 探伤，封头 20%UT 探伤。整体进行消除应力热处理。外形及生产流程见下图。

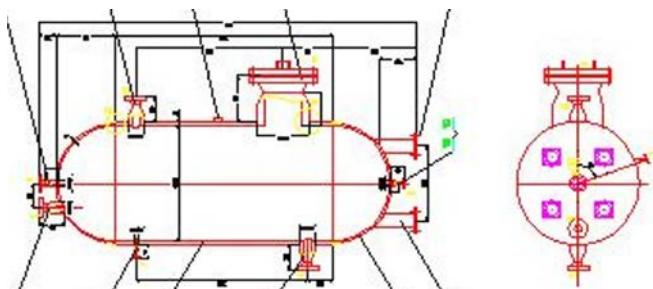


图 1 外形图

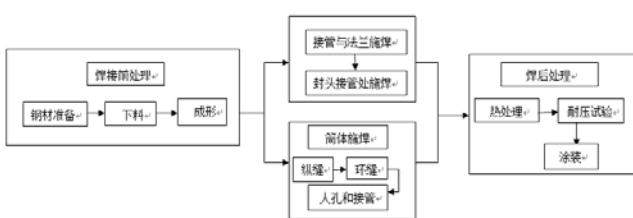
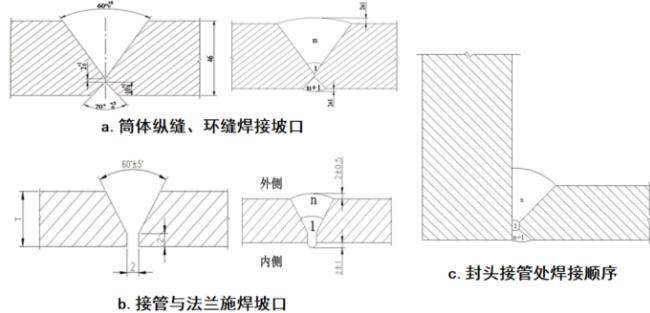


图 2 生产流程

3 焊接工艺

焊接工艺评定是为验证所拟定焊件焊接工艺的正确性而进行的实验过程及结果的评价。本案例材质常见，焊接性能优异，故省略焊接工艺评定过程，焊接工艺参数见下图。



位置	焊层	焊接方法	焊材	规格 (mm)	电流 (A)	电压 (V)	焊接速度 (cm/min)
a	1	SMAW	J507	Φ 4	160~170	/	/
	n	SAW	H10Mn2+HJ350	Φ 4	450~650	32~38	34~40
	n+1	SAW	H10Mn2+HJ350	Φ 4	450~650	36~40	34~40
b	1	GTAW	H10MnSi	Φ 2.4	100~120	10~13	10~15
	n	SMAW	J507	Φ 4	160~170	/	/
c	1	SMAW	J507	Φ 4	160~170	/	/
	n	SMAW	J507	Φ 4	160~170	/	/
	n+1	SMAW	J507	Φ 4	160~170	/	/

图 3 焊接工艺

4 施焊前的准备

4.1 钢材的准备

①原材料检验：板材应符合 GB/T 713-2008 的规定；锻件应符合 JB4726-2000 中的Ⅱ级要求，人孔接管应符合Ⅲ级要求；焊材按照 JB/T 3223-1996 的规定验收和存储。

②表面预处理：表面处理技术可以提高钢板的耐蚀性。在实际生产中可采用喷丸进行除锈处理。

③矫正：板材可采用辊子数 5~11 的多辊矫平机进行矫平，局部挠度应 $\leq 1\text{mm}$ 。

4.2 下料

板材下料采用数控气切割机可明显提高效率和精度。桶节部分采用 Q345 材质 46mm 厚板，坯料余量定为 15mm。

封头部分采用 Q345 材质的 23mm 中厚板。坯料直径 D_p 计算公式：

$$D_p = 1.42(D_n + \delta) + 2h \quad (1)$$

式中 D_n —封头内径，mm； δ —板材壁厚，mm； h —直边高度，mm。

4.3 焊缝布局

单层受压壳体上的焊接接头按其受力状态及所处的部位可以分为 A、B、C、D、E、F 六类。由于案例结构简单，对焊缝接头按 A、B、C、D 四类进行简化编号，见下图。

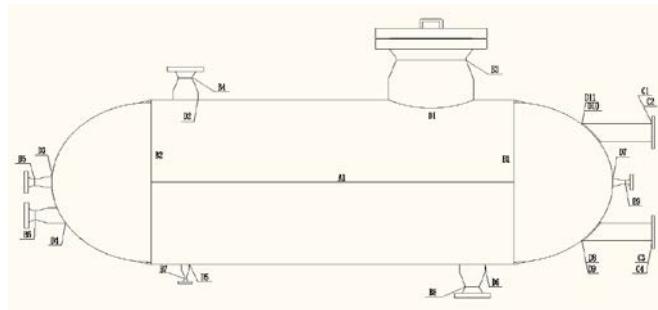


图 4 焊缝编号

4.4 筒体成形

①预弯：生产中可采用通用模具和压力机，对板料两个短边进行逐段压弯，在压制过程中随时用样板检查曲率半径。

②对中：板料滚卷之前必须使板料的母线与辊的轴线平行，使板料纵向中心线与辊的轴线垂直。实际操作时可利用下辊对中槽对中。

③滚卷：利用上辊压住板料使其产生一定弯曲，开动机床滚卷。每滚卷一次，适当下调上辊一次。待滚卷至两个纵缝的边对紧后，将坡口内点固焊接紧，每条点固焊缝长 50mm，间隔 150mm。

4.5 封头成形

封头的成形可采用旋压机进行旋压成型。先将封头的中心圆弧部分压制成曲率半径为 1400mm 的形状，然后翻边把封头的周围旋压到所要求的球面。

焊接吊耳。使用板厚 23mm 与封头材质一致的钢板制作吊耳。每个封头在上部焊接两个吊耳，具体位置以方便吊装为宜。

在两个封头上分别使用气体火焰切割开口，方便后续焊接法兰。

5 焊接

5.1 接管与法兰施焊

使用车床对焊缝 B3~B9（即法兰和接管焊缝）的部位开坡口。坡口开好后使用氩弧焊（GTAW）组对和打底焊，使用焊条电弧焊（SMAW）填充和盖面焊接。焊后进行 100% 磁粉检测（MT），探伤要求 I 级。

5.2 封头接管处焊缝施焊

采用定位板和定位焊缝装配法，对 D3、D4 和 D7 处的接管进行定位。对已经组对好的 D3、D4 和 D7

处的接管施焊。先焊封头外侧，再焊内侧。

5.3 筒体施焊

5.3.1 焊前准备

吊装：卷制完的桶节，由于是先对桶内侧的焊缝进行施焊，故需要将筒体调整至纵缝在正下方的位置，且纵缝成水平状态。

清理：将坡口内侧和距离坡口 15mm 的母材表面的油污、铁锈等杂质清理干净。避免焊缝金属 S 元素增多，增大焊缝产生结晶裂纹倾向。

坡口间隙处理：坡口间隙大于 3mm 时容易出现焊穿问题，需要对相应部位进行处理：

①使用手工电弧焊对间隙过大位置进行修补。

②可剪切一段合适的埋弧焊丝铺在相应位置，堵住间隙。

③吊转筒体，在焊缝背侧铺垫焊丝或使用手工电弧焊修补。

④筒壁较薄或者 V 型坡口时，可在背面铺焊剂或铺垫垫板进行接漏。

5.3.2 施焊

在焊接完内侧焊缝后使用碳弧气刨清根，需要将气孔、夹渣、裂纹等缺陷清理干净。清理后的焊道光滑，无凹坑、夹碳。

施焊后，需要对筒节进行矫圆，曲率合格后再进行下一步工序。

5.3.3 无损探伤

施焊完成后，均需要进行 100% 超声波探伤（UT），探伤要求为 I 级。

5.3.4 焊接注意事项

①焊丝倾斜角度：焊丝顺着焊接方向倾斜称为焊丝前倾，反之为焊丝后倾。焊丝前倾时，倾斜的电弧吹力能把熔池中液态金属向后推移，使电弧可进一步潜入基体金属，熔深增大，熔宽减小，余高增大。焊丝后倾时，电弧把液态金属吹在未熔化的基体金属上，液态金属阻碍了电弧潜入基体金属，使熔深减小，同时电弧浮在上面，其活动范围增大，结果使熔宽增大，而余高减小。在实际焊接过程中，一般是焊丝垂直于焊件钢板。

②上坡焊与下坡焊：当焊件倾斜，焊件在焊接方向上呈现上升的趋势时，称为上坡焊。相反称为下坡焊。上坡焊时，熔池液态金属在重力和电弧作用下流向熔池尾部，电弧能深入熔池底部，使焊缝厚度和余高增加，宽度减小。下坡焊时，焊缝成型呈现余高减小，

熔宽增大，严重时，还会导致未焊透和熔池铁水溢流的现象。

a. 工件放置出现倾斜和焊机及轨道不平造成整体性的上下坡焊。

b. 焊接过程中，处理焊接缺陷后的痕迹（通常是指磨痕），在局部出现类似如下图的凹坑。当焊接到此处时，会出现局部的下坡焊。熔池到达此处后，受重力的影响，熔融态金属会优先流到凹坑内部。在这种情况下，熔敷金属会将部分焊剂颗粒埋至底部，很容易产生夹渣。由于熔敷金属先进入凹坑，这会阻止电弧侵入基体金属，造成凹坑根部未焊透未熔合。

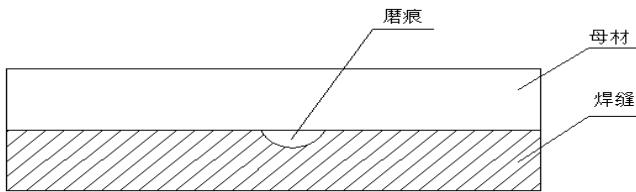


图 5 磨痕凹坑

c. 使用碳弧气刨时，刨削表面不平整，经常会出现类似上图磨痕处的凹坑，焊接到该处时，也会产生局部下坡焊。产生的影响，同 b 一致。

d. 引弧板和收弧板在与筒体接触部分，实际生产中，经常不受重视，很容易过渡不均，出现局部上下坡焊。由于在纵缝焊接完后，环缝会被车削掉，故而在此不再细说。

处理办法：对于 a，调节筒体位置和焊机位置就可以。b、c、d 三种情况，把相应部位处理成圆滑过渡，或者直接用手工电弧焊补平即可。

埋弧焊在焊接第一层焊缝时，推荐使用旧焊剂。由于此时的焊接电流与电压选择的偏小，电弧能量低，熔宽和熔深都很小，熔池存在时间短。在使用焊接时，新焊剂的颗粒大，夹杂的空气多，这就增大了熔池接触空气的机会。再加上此时熔池的特点，使得气体特别不容易析出，从而产生气孔。

6 焊后处理

消除应力热处理常采用松弛残余应力方法。先将容器吊运至热处理炉中，升温至 600~650℃，保温 2.0~2.5h 后，随炉冷却至室温即可。去应力退火后的冷却应尽量缓慢，以免产生新的应力。

7 耐压试验

压力容器的耐压试验是指在压力容器停机检验时，所进行的超过最高工作压力的液压试验或者气压试验。水压试验步骤：

①实验前将容器内部残留物清理干净，外部不得覆盖影响对渗漏情况做检查的物质。对容器进行封闭，准备合适试压泵、施压管道及压力表，压力表量程在 1.5~3 倍实验压力合适；

②对容器加水，此时容器顶部排气孔要打开。水温为室温，如果室温低于 0℃，需要保持水温在 5℃；

③容器装满水后封闭容器，使用试压泵向容器内打水加压至 9.6MPa，然后暂停。此时检查各连接处，如无泄漏，可缓慢平缓地升压至试验压力 12MPa，该升压过程 ≥ 5min；

④保压 15min，然后降至工作压力 9.0MPa，检查各焊缝以及各连接处有无泄漏，容器有无局部或者整体塑性变形等。检查后，便可将容器内的水放干净，并将筒体内部的水吹干。

8 涂装

涂装就是涂料在被涂表面形成涂膜的过程。涂装步骤：

①涂前预处理：将表面的各种油污、铁锈等除去。将筒体表面过于光滑部位轻微打磨以获得合适粗糙度，增加涂料吸附性；

②涂装：将容器运至喷涂室，进行喷涂成客户要求的颜色；

③涂膜干燥固化：使用热风，对容器涂层进行加热干燥。

9 CO 缓冲罐经济影响分析

随着新能源、新材料、储能设备设施等新兴产业的崛起，对高效、稳定的缓冲罐设备的需求持续增长，可以预见缓冲罐市场在未来一段时间内将保持持续增长态势。特别是在新兴市场和发展中国家，随着工业化进程的加速和基础设施建设的不断完善，对缓冲罐的需求将更加旺盛。缓冲罐的经济影响主要体现在以下几个方面：

①带动属地经济。缓冲罐作为压力容器的一种，其生产制造需要配套人员、钢材、耗材、生产设备等，对促进地区经济、带动属地 GDP、培育专业化技术人员有显著助力；

②稳定生产流程，减少维护成本。缓冲罐能够提高系统的整体运行效率，减少热泵频繁启动和停机的次数，有利于降低能源消耗、提升社会化生产效率；

③节能减排。缓冲罐有助于减少能源消耗，从而减少温室气体排放，这有助于企业达到环境目标，并可能获得绿色认证。

10 结论

本文对 CO 缓冲罐的生产工艺过程，做了一次细致全面的整理和研究。在编写过程中，无论筒体的加工设备、生产流程，还是具体到焊缝的布局、焊接可焊性，都参照了实际生产的要求。由此得到几点结论：

①在文中，对压力容器的纵缝及环缝着重做了探讨与研究。在实际生产中，埋弧焊所遇到上坡焊与下坡焊问题，由于多数情况下，极其容易被忽略，使的在这一部分中，最为侧重叙述。受操作者水平所限，纵缝与环缝碳在弧气刨清根后，焊道特别容易出现凹坑。这直接导致了局部下坡焊的产生，在此处容易产生夹渣和未熔合等缺陷。这就需要我们对相应部位进行补焊后，再进行后续操作；

②埋弧焊在焊接第一层焊缝时，推荐使用旧焊剂。由于此时的焊接电流与电压选择的偏小，熔池存在时间短。新焊剂的颗粒大，夹杂的空气多。这就造成实际焊接中，气体不容易析出，产生气孔；

③缓冲罐在工业生产中发挥着重要作用，其经济影响体现在提升生产效率与稳定性、降低经济成本、

促进环境保护以及推动市场发展等多个方面。随着技术的不断进步和市场需求的增长，缓冲罐行业有望继续保持快速发展的态势。

参考文献：

- [1] 宗培言 . 焊接结构制造技术与装备 [M]. 北京：机械工业出版社 ,2007:10-8.
- [2] 方洪渊 . 焊接结构学 [M]. 北京：机械工业出版社 ,2008:306-307.
- [3] 刘会杰 . 焊接冶金与焊接性 [M]. 北京：机械工业出版社 ,2007:77-78.
- [4] 溪泉 . 埋弧焊技术 [M]. 北京：中国劳动社会保障出版社 ,2011:61-62.
- [5] 崔忠圻，谭耀春 . 金属学与热处理 [M]. 北京：机械工业出版社 2007:281-282.

作者简介：

曾详洋（1990-），男，山东泰安人，中科卫星（山东）信息技术有限公司工程总调度、质管办主任，机械专业，工学学士学位，航天领域从事工程管理、质量管理、体系建设等工作。

