

CAP 核电堆型冷却辅助水箱焊接安装研究

聂晓宇

中国核工业二三建设有限公司 北京顺义 101300

DOI: 10.12238/ems.v8i1.17668

[摘要] 针对水箱罐体较大导致现场整体拼装困难、罐体焊缝长度较长及底板焊缝数量多导致的焊接应力大产生的焊接变形、施工周期长,环境多变及焊接措施不合理导致的焊接质量不达标等难点。通过对储罐焊接应力、焊接变形的机理及组装的先后焊接施工顺序及各种影响因素的分析,了解其规律及内在因素,编制合理的施工方案,制定正确的焊接工艺措施。焊接后采取全面的、正确的检测方法,使罐体焊接变形控制到最小程度,焊缝质量达到一定要求。保证储罐制作的质量的同时,降低整体工程成本,缩短整体组工期,提高经济效益。

[关键词] 储罐安装; 变形控制; 焊接工艺因素

CAP 核电堆型冷却辅助水箱是立式圆柱形碳钢水箱,设计基准事故 72 小时后,冷却水箱仅需有限的操纵员动作即可提供连续 4 天的安全壳和乏燃料池冷却水。为解决水箱安装焊接过程中出现的相关问题,特进行此次研究。

1. 储罐的组成

冷却辅助水箱主要由罐顶、罐壁、罐底、梯子平台、护栏、人孔法兰等其他附件组成,罐壁直径为 20m,高度为 15.12m,共 6 层。

2. 储罐的安装

2.1 罐壁拼装顺序

水箱罐壁共 6 层,逐层正装会导致施工高度越来越高,高处作业困难,难以保证工程质量。为了解决此问题,首先每 3 层分成 1 环进行拼装,各环拼装完成后再拼装成一个整体。罐壁 1 环和罐壁 2 环采用“倒装法”拼装,首先拼装顶层壁板,依次倒序拼装各层壁板。

壁板安装顺序为从上往下拼装,采用液压顶升装置提升储罐壁板。这样降低了施工高度,且大多施工作业为地面作业,罐体高度不受影响,同时分成两环可同时进行施工作业,施工作业空间大,不仅安全得到保证、同时提高了效率。

2.2 焊接变形及焊接应力

现场钢板的焊接过程中,钢板内部会随着焊接产生不同区域的温度范围,焊缝区域受热产生纵向的膨胀,因受邻近区域较低温度的母材的刚性约束,会使钢板塑性变形,从而产生焊接应力。

而产生焊接变形的主要原因就是这些分布不均匀的焊接应力导致的,因此焊接过程中我们要严格控制焊接应力的产生。

2.3 罐底焊接过程中的控制

罐底的焊接应在全部钢板铺平摆开并点焊后,按照图 1 的顺序进行;焊缝由数名焊工均匀分布焊接,由焊缝长度中点处向外,分段退焊;

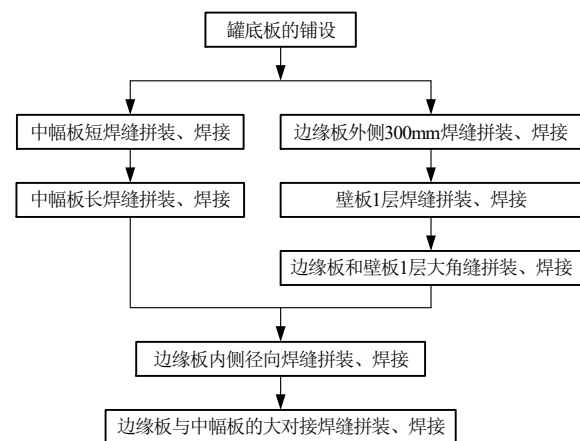


图 1 罐底拼装、焊接顺序图

罐底和罐壁 1 层之间的大角缝焊接时,应将一圈均匀的分成 N 个 ($N \geq 2$) 分区,由 N 名焊工同时同向对称施焊。每个分区再均匀分段,各分区内的焊缝采用分段退焊或分段跳焊。焊接时焊工应同向施焊,焊接层道应控制尽量同步;先焊内侧环形角焊缝,再焊完外侧环形角焊缝,以防止边缘板外侧翘起;可在罐体内部,沿圆周 M 等分,等分间距 1~2m,

在等分点上用不锈钢槽钢或钢板与底板成对 45° 夹角焊在壁板与边缘板之间，使壁板与边缘板成垂直刚性固定（见图 2），限定底板翘起变形，从而减少大角焊缝的角变形。

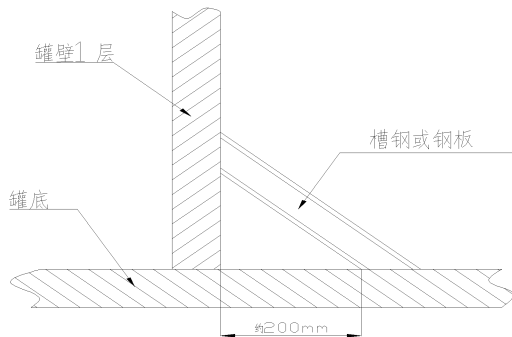


图 2 罐底和罐壁 1 层刚性固定

2.4 罐壁焊接过程中的控制

罐壁焊接时，应先焊接纵焊缝，再焊接环焊缝，相邻两层罐壁的纵焊缝焊接完毕后，方可进行两层罐壁之间的环焊缝的焊接，纵焊缝焊接时，单条纵焊缝可以分为 4 段，自下而上交替焊接；

纵焊缝焊接时，上下两端可以各留至少 300mm 长的预留段暂时不焊，待临近环缝组对完成后再进行预留段的焊接；

环焊缝焊接时，应将环焊缝一圈均匀的分为 N 个 (N ≥ 2) 分区，由 N 名焊工同时同向对称施焊。每个分区再均匀分段，各分区内的焊缝采用分段退焊或分段跳焊。焊接层道应控制尽量同步，焊接时焊工应同向施焊，焊接层道应控制尽量同步。

3. 焊接工艺措施控制

3.1 焊接工艺

焊缝焊接时，应保证待焊位置无有害物质污染，且环境相对湿度小于 90%，同时周围风速小于 8m/s。依据母材强度选用直径为 $\phi 3.2\text{mm}$ 的超低氢焊材，AWS 型号为 E7018 的碳钢焊条；同时焊条使用前，严格按照焊条的烘干技术要求，在 350-400℃ 内烘干 2h 后进行使用，以保证焊缝中氢含量足够低；焊接过程中，应严格执行合格的焊接工艺规程，根据工艺规程，参数电流打底焊道控制在 80A-110A，填充焊道控制在 100A-130A 之间，盖面焊道控制在 100A-120A。总体热输入控制 $\leq 27.05\text{kJ/cm}$ ，最大限度控制焊接热输入，以减少母材的形变量的同时，保证整体的焊接质量。

3.2 预热措施

焊接前应对焊缝母材区进行局部预热，用来减轻焊接区与相邻母材区的温度差，降低低温区的冷却速率，从而降低焊接应力，其中罐壁的 1 层、2 层之间的焊缝焊接前至少预热到 95℃ 以上，其余焊缝应至少加热到 40℃ 以上，且需要预热的焊件在整个焊接过程中应不低于预热温度；预热的范围为焊缝两侧各不小于焊件厚度的 3 倍，且不小于 100mm；同时焊接过程中，严格监测层道间温度，层道间温度应低于 250℃。

4. 焊接后的无损检测及产生相应缺陷的原因分析

4.1 无损检测方式

表 1 无损检测要求

焊缝类型	检测要求	检测时机
罐壁焊缝	VT	焊后
	RT	焊后、VT 检验完成后
	UT	焊后、VT 检验完成后
	真空箱	RT/UT 完成后
罐底焊缝	VT+MT+真空箱，依次进行	焊后
罐底和罐壁 1 层的连接焊缝	VT (初始焊道和完工焊缝)	初始焊道/焊接完成后
	MT+真空箱，VT 完成后进行，先进行 MT	焊后
罐顶焊缝	VT+真空箱，先进行 VT	焊后

5. 产生的缺陷及原因分析

5.1 产生的缺陷

罐壁一层与二层环缝检测过程中，RT 检测合格后进行了 UT 检测发现部分片位存在裂纹缺陷；

5.2 原因分析

通过对检测结果的初步分析为焊道下裂纹，产生的原因有以下几种：氢含量过高、存在一定的应力、材料较为敏感，结合现场情况，作出以下原因分析：

1、控制氢含量：选用超低氢焊材、增加预热、增加层间温度，焊后缓冷。结合现场实际情况，选用的焊材为超低氢焊材，推测原因为现场拼装场地处于室外，且施工过程中处于冬季，环境温度较低，母材预热过程中可能存在预热不充

分的情况,同时1层罐壁母材厚度达到38mm,火焰加热的方式加热不均匀,母材内部温度可能达不到预期的预热温度,环境温度较低,母材散热较快,板材焊接完成后保温措施不足导致氢无法扩散,氢含量较高;

2、控制应力:焊材选用等低匹配、良好的焊接顺序、预热和层间温度的控制。结合现场实际情况,焊材的选用由已经评定合格的焊接工艺规程控制,焊接工艺规程已经过验证,

表2 母材化学成分表

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Nb	V
含量%	0.17	0.27	1.43	0.008	0.0022	0.09	0.12	0.11	0.015	0.016	0.002

碳当量 C_{eq} 计算公式:

$$CE(AWS) = C + (Mn + Si/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5) \times 100\%$$

$$CE(AWS) = [0.17 + (1.43 + 0.27)/6 + (0.11 + 0.12)/15 + (0.09 + 0.015 + 0.002)/5] \times 100\% = 0.49\%$$

热裂纹敏感指数:

$$UCS = 230C + 190S + 75P + 45Nb - 12.3Si - 5.4Mn - 1$$

$$UCS = 230 \times 0.17 + 190 \times 0.0022 + 75 \times 0.008 + 45 \times 0.016 - 12.3 \times 0.27 - 5.4 \times 1.43 - 1 = 28.795$$

5.3 解决措施及施工优化

1、以电加热片的加热方式替代火焰加热的预热方式,同时提高加热温度至150℃,并且增加预热宽度,以防钢板在未焊接的过程中,周边母材极速降温;

2、同时在一侧罐壁焊接的过程中,另一侧要同时保证保温棉的覆盖,焊接完成后及时覆盖保温棉,使整体焊缝缓慢冷,以防热量散失过快加快氢的扩散;

3、严格控制焊接工艺纪律,控制好层间温度的同时,严格按照罐壁的焊接顺序,多名焊工同时进行施焊,减少整体应力的影响;

4、依据当前实际状况,调整焊后的检测方式顺序,考虑到射线检验对气孔、夹渣之类的体积缺陷有很高的检出率,对于裂纹的检出率则受透照的角度影响,不易检出垂直透照方向的薄层缺陷,因此调整焊缝的检测顺序,先进行超声检测后进行射线检测,因为超声检测对于面积型缺陷较为敏感,容易检测出罐壁易出现的裂纹缺陷,且超声检测较为方便,

排除此项原因,焊接顺序经由罐壁2层-3层的验证,焊接后成型良好且质量合格,推测还是由于预热温度的因素导致应力的集中。

3、材料的敏感性:母材的实际质量不是很高,分析钢板母材本身材质,计算钢板碳当量,发现钢板的整体碳当量处于中碳水平,对于温度较为敏感,可焊性较差且热裂纹敏感指数偏高。

不像射线检验的影响因素较多。优先检测出易产生的裂纹缺陷,及时进行返修处理,可以避免射线检验合格后进行超声检验发现裂纹后,返修结束后重复进行射线检验,可以有效的避免同一部位重复进行射线检验而延长工期的情况。

6. 结论

依据上述的安装方式及工艺过程控制,根据实际安装检测,罐体整体变形量可控,且经过相应的无损检测及水压测试,整体罐体安装质量可控。

1、焊接应力的产生是不可避免的,通过合理的焊接顺序进行控制,有效的补偿变形收缩量,可以实现焊接应力均匀分布,从而抵消部分焊接应力,同时采取适宜的工装进行辅助固定,可以很好的控制焊接变形,使之最终成型可控;

2、通过对缺陷产生的原因分析,可知合适的焊接工艺参数的选用,以及合适的焊接填充材料,适宜人员布置,正确的焊接顺序以及控制合适的外界因素影响、预热温度以及质量高的母材是影响焊缝最终成型质量的重要因素。通过此次研究分析的焊接应力避免措施及焊接顺序,以及焊接缺陷的原因分析法可以为后续同类施工项目提供一些经验。

[参考文献]

- [1]王庆玲.石油储罐工程安装技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2012.12期:第113页-114页
- [2]方福凯.浅析大型储罐罐底的焊接变形[J].机电技术,2009.01期:第71页-74页
- [3]王翠玲.金属储罐的特点与焊接安装方法[J].中国高新技术企业,2016.20期:第74页-75页