

绕板式高压容器的射线检测

李学锋¹, 肖迪红²

(1. 长沙明鉴检测技术有限公司, 长沙 410015; 2. 中南大学, 长沙 410075)

摘要:对氨合成塔筒体泄漏情况进行了分析, 提出了在制造过程中进行一次半厚度(30mm)射线检测, 焊缝内表面进行100%磁粉检测。同时, 在设备设计、制造和使用过程中应严格控制和管理。

关键词:射线检测; 氨合成塔; 泄漏; 灵敏度

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)04-0232-03

The NDT Analysis for the Leakage Reason of Ammonia Synthetic Tower Shell

LI Xue-Feng¹, XIAO Di-Hong²

(1. Changsha Mingjian Testing Ltd., Changsha 410015, China; 2. Central-South University, Changsha 410075, China)

Abstract: The leakage reason of ammonia synthetic tower shell was analyzed. It was proposed that both radiographic testing at half thickness and magnetic particle testing for weld surface were necessary during manufacture. On the same time, the design, manufacture and management for equipment should be strictly controlled and managed.

Keywords: Radiographic testing; Ammonia synthetic tower; Leakage; Radiographic sensitivity

φ 800 mm 氨合成塔为具有深环焊缝的多层绕板式结构, 该氨合成塔在使用过程中, 筒体安全泄放孔位置出现泄漏。经表面探伤检查, 发现筒体内表面环焊缝存在大量的裂纹缺陷, 造成泄漏的裂纹长度在 200~250 mm, 深度为 40~75 mm。

因该设备接连出现较为严重的质量问题, 制造厂十分重视, 因此对其设计技术条件、检测情况及使用工况进行了认真分析, 以期提出切实可行的解决方法。

1 设备结构

φ 800 mm 氨合成塔由顶盖、端部法兰、绕板筒体和球封头等部件组成。合成塔采用绕板式结构^[1], 即筒体是由多层绕板圆筒节拼接组成。内筒厚度为 22 mm, 层板厚度为 3 mm, 共 27 层, 外面包扎 6 mm 厚的保护板。

设计壁厚 $t = 22 + 3 \times 27 + 6 = 109$ mm, 内筒及

保护层材质为 16MnR, 层板为 16Mn。

2 射线检测分析

2.1 无损检测技术要求

多层绕板结构高压容器是先绕制单个筒节, 筒节两端被机加工成坡口, 表面堆焊, 制造成单个绕板筒节, 单个筒节再逐节焊接形成容器。因此, 该结构存在深度环焊缝的焊接问题。由于该合成塔内径较小(φ 800 mm), 筒体内部焊接操作难度大, 操作环境恶劣。因此, 设计时采用外 V 形焊接结构, 坡口形式见图 1, 焊接为单面焊双面成型。由于很难对 109 mm 厚的环焊缝进行超声波探伤, 因此需作

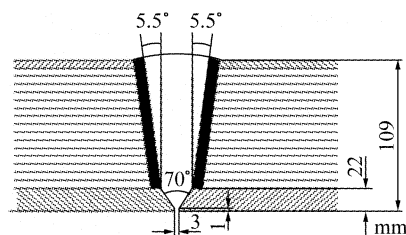


图 1 多层绕板结构坡口形式

收稿日期: 2007-01-30

作者简介: 李学锋(1966—), 学士, 从事无损检测工作。

100%射线探伤,Ⅱ级合格(质量等级为AB级),符合JB 4730—1994《压力容器无损检测》标准,且不作超声波探伤和表面探伤要求。

2.2 射线检测理论

由于筒体厚度达109 mm,只能采用 γ 射线进行探伤。射线照相灵敏度受到很多因素影响,其中最主要的有黑度、不清晰度、对比度和颗粒度。这里主要从几何不清晰度和对比度两方面进行分析。

2.2.1 几何不清晰度

对 $\phi 800$ mm 氨合成塔,在射线探伤时采用周向一次曝光法。按JB 4730 标准,射线探伤时几何不清晰度 U_g 值必须满足一定要求,当质量等级为AB级时, U_g 应满足:

$$U_g \leq \frac{L_2^{1/3}}{10}$$

式中 L_2 为工件表面至胶片的距离。

由上述几何不清晰度公式可知射源至工件表面距离 L_1 必须满足下式要求:

$$L_1 \geq 10dL_2^{2/3}$$

式中 d 为射源尺寸。对于 $\phi 800$ mm 氨合成塔, $L_2 = 111$ mm, $d = 3$ mm,代入上式有:

$$L_1 \geq 10 \times 3 \times 111^{2/3} = 693 \text{ mm}$$

当采用中心法透照时实际 L_1 只有402.5 mm $\approx D_i/2$,远远小于标准的要求,从而造成几何不清晰度过大,使底片灵敏度降低。值得一提的是,JB/T 4730—2005 标准规定中心透照时焦距可减小到规定值的50%,这是因为单壁透照优于双壁透照,单壁内透优于单壁外透,该规定是贯彻单壁透照的一个措施。但减小焦距无疑会增大几何不清晰度。

2.2.2 对比度

由于缺陷为微小裂纹,这里主要分析缺陷宽度对对比度的影响。对微小缺陷,影响对比度的几何因素有焦点尺寸 d_f ,焦点到缺陷距离 l_1 ,缺陷到胶片距离 l_2 ,缺陷截面形状,缺陷宽度 W (图2)。对开口宽度远远小于焦点尺寸的缺陷,设 W' 为到达胶片 P 点的射线在缺陷平面位置的截距,则有:

$$W' = \frac{d_f l_2}{l_1 + l_2}$$

当 $W'/W < 1$ 时缺陷有本影,当 $W'/W > 1$ 时缺陷无本影,当缺陷本影消失时,缺陷影像只由半影组成,其对比度将显著下降。所以对比度计算公式中

要引入一个对比度修正系数 σ , $\Delta D = \Delta D' \sigma$,对裂纹缺陷 σ 值计算公式如下:

$$W' \leq W \text{ 时} \quad \sigma = 1 - \frac{W'}{2W}$$

$$W' > W \text{ 时} \quad \sigma = \frac{W}{2W'}$$

$\phi 800$ mm 氨合成塔射线拍片时,源在内中心透照与源在外单壁透照根部裂纹影像的对比度有很大差异。

源在内中心透照时,缺陷一般靠近内表面,设此时缺陷深2 mm,则缺陷到胶片距离 $l_2 = 109 + 2 = 111$ mm,射源到缺陷距离 $l_1 = 400$ mm。

$$W'_{\text{内}} = \frac{d_f l_2}{l_1 + l_2} = \frac{3 \times 111}{400 + 111} = 0.65 \text{ mm}$$

源在外单壁透照时,缺陷到胶片的距离很小,这里取 $l_2 = 2$ mm。按透照焦距 $F = 800$ mm 计算,得:

$$W'_{\text{外}} = \frac{d_f l_2}{l_1 + l_2} = \frac{d_f l_2}{F} = 3 \times \frac{2}{800} = 0.0075 \text{ mm}$$

设裂纹宽度 $W = 0.1$ mm,源在内中心透照时:

$$W'_{\text{内}} = 0.65 \text{ mm} > W$$

$$\sigma_{\text{内}} = \frac{W}{2W'} = 0.077$$

源在外单壁透照时:

$$W'_{\text{外}} = 0.0075 \text{ mm} < W$$

$$\sigma_{\text{外}} = 1 - \frac{W'}{2W} = 1 - 0.0075/2 \times 0.1 = 0.96$$

源在外单壁透照与源在内中心透照的对比度之比为:

$$\frac{\Delta D_{\text{外}}}{\Delta D_{\text{内}}} = \frac{\sigma_{\text{外}}}{\sigma_{\text{内}}} = \frac{0.96}{0.077} = 12.5$$

由上可见,源在外单壁透照时根部裂纹影像对比度是源在内中心透照时根部裂纹影像对比度的12.5倍,而 $\phi 800$ mm 氨合成塔检测工艺正是采用中心透照,裂纹漏检在所难免。

2.3 无损检测实验及分析

首先对未出厂同类型产品进行检查,由于设备使用时裂纹出现在焊缝内表面,所以首先对产品内表面纵、环焊缝进行磁粉检测。结果显示,纵焊缝检测未发现缺陷,环焊缝检测时发现焊缝根部有许多表面纵向裂纹,有的焊缝裂纹数量达到二十多条,裂纹最长为30 mm,深度一般为1~3 mm,个别超过3 mm。

从2.2的分析可知, $\phi 800$ mm 氨合成塔根部裂纹的漏检原因是由于透照厚度大,采用的 γ 射线线质硬,射线检测工艺选择不当,且裂纹开口宽度小所

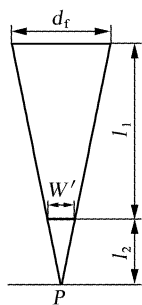


图2 缺陷几何因素对影像对比度的影响

造成的,故下一步需改进检测工艺和选择检测时机。

实验时,要求组焊车间按原焊接工艺对筒节施焊两条焊缝,但不完全焊满,焊缝厚度 30 mm,焊后 24 h 进行射线检测。检测工艺如下:使用 X 射线源在外单壁透照,天津 V 型胶片,透照焦距 $F=800$ mm,每条焊缝拍片 13 张,同时采用 2 mm 铅板进行背散射防护,柯达自动洗片机冲洗胶片。射线拍片结束并得到合格底片后,在筒体内表面进行磁粉检测,然后将焊缝焊满,再进行源在内 γ 射线中心透照,得到两条焊缝合格底片(表 1)。

表 1 不同检测方法发现的裂纹数量 条

焊缝 编号	30 mm 厚 X 射线检测	全厚度 射线检测	30 mm 厚 磁粉检测
1	10	0	13
2	13	0	17

为进一步了解射线检测与磁粉检测所发现裂纹之间的关系,将射线底片上的裂纹位置在焊缝上进行标记,然后对标记位置进行磁粉探伤,结果每一处位置都发现裂纹磁痕,其形状与射线底片上的影像一致。

由上可见,采用 γ 源在内中心透照方式不能检出 $\phi 800$ mm 氨合成塔环焊缝根部微裂纹。利用 X 射线在焊缝厚度 30 mm 时采用源在外单壁透照时能检测出根部裂纹,但检出率低于磁粉检测。所以焊接时所产生的裂纹全部为表面或近表面裂纹,需用磁粉探伤来进行补充检测。

3 工艺分析

3.1 设计要求分析

按《压力容器安全监察规程》的规定,厚度 >38 mm 时,除进行 100% 射线探伤外,还应增加 20% 的局部超声探伤;但 $\phi 800$ mm 氨合成塔为绕板式结构,对筒体环焊缝无法进行超声波检测,所以图纸设计要求中只注明进行 100% 的射线探伤,这显然存在局限性,造成缺陷漏检。

3.2 绕板筒节组焊工艺分析

绕板筒节组焊工艺采用单面焊双面成型方式,即筒节装配后,先用手工焊打底 2~3 遍,然后采用自动焊盖面成形。由于此产品为深环焊缝,手工焊打底时,既未进行焊前预热,又未进行焊后保温,造成手工焊焊缝冷却速度过快,从而产生微裂纹。同时,由于 $\phi 800$ mm 氨合成塔筒体长度 >11 m,筒体

组装时分两节合拢,两部分装配点焊后吊装时,点焊焊缝由于受力较大而容易开裂,加上设备内表面清根和检查困难,因此在环焊缝(特别是合拢环焊缝)根部可能存在裂纹缺陷。在随后 γ 射线探伤时,由于厚度大,周向一次曝光法不能有效检出内侧的缺陷,出现漏检。

3.3 设备使用分析

小化肥企业由于管理水平低,使合成塔长期处于超温超压运行状态,加速了裂纹的扩展。

4 结语

根据以上分析和实验验证,对 $\phi 800$ mm 多层绕板结构氨合成塔筒体提出如下质量控制方案:

(1) 改进无损检测工艺 首先增加一次半厚度(30 mm)射线检测,采用 X 射线源在外单壁透照;整体焊完后再进行 γ 射线中心透照,射线胶片选用天津 V 型;同时对焊缝内表面进行 100% 磁粉检测。

(2) 改进焊接工艺 手工焊打底时,焊前需预热,在手工焊完成后应立即进行自动焊施焊。自动焊完成后,对根部焊缝进行碳弧气刨清根,用手工焊盖面 1~2 遍,然后进行焊后保温。

(3) 改进使用管理 提高化肥企业的管理水平,加强塔壁温度的监控。若在使用过程中发现塔壁温度 $>80^{\circ}\text{C}$ 就应及时地分析并找出原因,确保合成塔的安全运行。

该方案对新造设备的质量控制效果良好。

参考文献:

- [1] JB 4730—1994 压力容器无损检测[S].

作者须知

摘要是以提供文献内容梗概为目的,不加评论和补充解释,简明、确切地论述文献重要内容的短文,因此,必须符合拥有与论文同等的主要信息的原则。摘要可包括研究工作的主要对象和范围,以及具有情报价值的其它重要信息,内容不应空洞、过简,应具备四个要素,即研究目的、方法、结果和结论,其中,后两个是最重要的。中文摘要一般为 200 字左右,如需要可以略多;英文摘要内容应与中文摘要一致。