

尿素合成塔全面检验中的典型缺陷

王春茂, 祝卫国, 袁 涛, 申孝民

(山东省特种设备检验研究院, 济南 250013)

摘 要: 归纳了尿素合成塔腐蚀、物料管管口裂纹和泄露等内检缺陷, 以及外部裂纹、埋藏缺陷等尿素合成塔全面检验中常见缺陷的类型、部位和成因, 给出了检验中发现的缺陷典型照片。

关键词: 尿素合成塔; 缺陷; 内检; 外检; 埋藏缺陷

中图分类号: TG115.28

文献标志码: B

文章编号: 1000-6656(2009)11-0906-04

The Typical Defects of Urea Reactor in Comprehensive Testing

WANG Chun-Mao, ZHU Wei-Guo, YUAN Tao, SHEN Xiao-Min

(Shandong Special Equipment Inspection & Research Academy, Jinan 250013, China)

Abstract: The typical defects, such as crack of material pipe, corrosion and leakage of urea reactor in comprehensive testing, were introduced. The position and causes of the defects were analyzed in detail. In order to provide reference, typical photos of the defects were given.

Keywords: Urea reactor; Defects; Interior testing; Exterior testing; Embedding defects

尿素合成塔是尿素生产的关键设备之一。目前我国在用尿素合成塔以多层包扎结构为主。筒体由尿素级不锈钢($X_2CrNiMo18143MoD$)衬里层、盲板层和多层层板包扎筒体几部分组成。

尿素合成塔内介质具有强烈的腐蚀性能, 且其在高温高压下运行, 使用过程中会产生多种类型的缺陷。笔者现把检验过程中遇到的典型缺陷进行归纳, 以供同行参考。

1 内检缺陷

尿素合成塔内检以渗透检测为主, 辅以超声和电磁等检测方法。主要检测范围包括筒节内衬层、封头堆焊层、托架和物料接管等部位。

尿素合成塔内检发现的缺陷主要是由腐蚀造成, 腐蚀类型有均匀腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀和冷凝腐蚀等, 其中危害较大的是晶间腐蚀和应力腐蚀。

钝化良好的尿素级不锈钢在正常条件下, 能保

持钝化膜的厚度和完整性, 因此腐蚀速度很低, 但如果在操作过程中出现超温、断氧和硫化氢超标等情况, 则使钝化膜受到破坏, 腐蚀速度成倍增加。由于使用材质和尿素生产工艺不同, 合成塔的年腐蚀速率也各不相同^[1]。

腐蚀严重的部位主要有焊接接头及其热影响区、封头堆焊层(特别是搭接处附近)、进出料接管的根部以及塔板托架处等。

1.1 腐蚀坑和孔

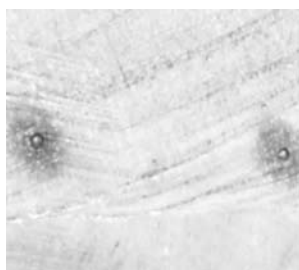
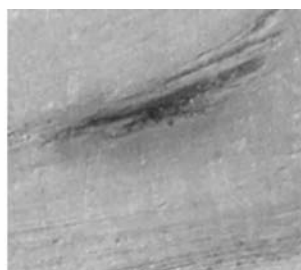
由于塔内介质的强腐蚀作用, 使用过程中很容易造成衬里的减薄。内衬的腐蚀并不均匀, 尿素合成塔筒体内衬或下封头堆焊层检测最常见的缺陷是腐蚀坑或孔(图 1)。这些腐蚀孔有的光滑可见底, 有的严重疏松发黑、不可见底, 甚至发展为破裂。这些腐蚀的直接成因是局部氧的缺乏, 造成金属表面钝化膜的破坏, 但形成因素与焊接材料及焊接质量有关^[2]。

有的厂家在尿素合成塔内件安装或检修时造成内衬划痕, 致使该处局部缺氧, 不易形成钝化膜, 容易造成腐蚀(图 2)。

收稿日期: 2008-12-16

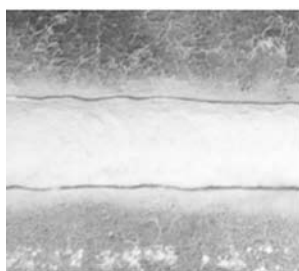
基金项目: 国家 863 计划先进制造技术领域重大产品和重大设施寿命预测技术专题资助项目(2006AA04Z417)

作者简介: 王春茂(1978—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事特种设备检验等工作。

图1 内衬层
腐蚀孔图2 内衬层因划擦
造成的腐蚀坑

1.2 腐蚀沟槽和裂纹

由于焊接程序、工艺或材质等原因,衬里环焊缝有时在熔合线附近由于晶间腐蚀,容易导致腐蚀沟槽,形状如同刀口,习惯称之为刀口腐蚀(图3)。沟槽腐蚀的深度一般 $<1\text{ mm}$,严重的腐蚀深度 $\geq 2\text{ mm}$ 。尿素级不锈钢是耐晶间腐蚀的,造成晶间腐蚀的原因主要是焊接过程中达到了其敏化温度($500\sim 850\text{ }^{\circ}\text{C}$),此时奥氏体中的碳以富铬碳化物(主要是 M_{23}C_6)的形式从固溶体中析出,使靠近晶界的一薄层固溶体的铬降到钝化所需的最低含铬量以下($<12\%$)而成为阳极,碳化物本身和稍远的不贫铬的固溶体成为阴极,与具有很强晶间腐蚀破坏力的尿液接触,阳极受到强烈的电化学腐蚀。由于制造工艺和腐蚀等原因,不锈钢内衬层焊缝热影响区附近有时会出现裂纹(图4)。

图3 内衬环焊缝
腐蚀沟槽图4 内衬热影响
区腐蚀裂纹

1.3 物料管管口裂纹

尿素合成塔下封头物料管很容易在使用过程中形成管口裂纹。三个物料管中最常见的是液氨物料管管口裂纹(图5)。主要是使用过程中物料温度较低(如液氨预热后进入尿素合成塔前约 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$),而尿素合成塔内部反应温度较高(下部反应温度约为 $178\text{ }^{\circ}\text{C}$),导致其接管内壁环向应力过大产生的^[3]。

1.4 塔板托架焊接不牢

个别塔的塔板托架存在漏焊和焊不全等问题。

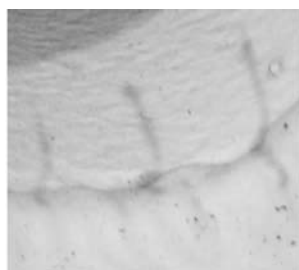


图5 液氨物料管管口裂纹

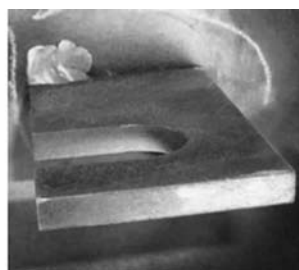


图6 漏焊的塔板托架

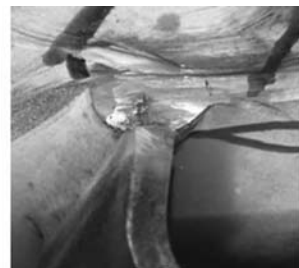
这些部位很容易成为腐蚀加剧的部位,产生腐蚀坑、孔以及腐蚀沟槽等(图6)。此外,由于这些部位有塔板托架挡着,检测中比较容易被忽略,有可能已造成严重腐蚀甚至腐蚀穿透等问题后才被发现。

1.5 密封面腐蚀

尿素合成塔顶部镶环材料一般也为尿素级不锈钢。在有氧存在的条件下,钢材表面形成一层致密坚韧的氧化膜,对甲胺液和尿液有较强的耐腐蚀作用。由于生产工艺以及密封面垫片放置不当等原因,会造成尿素合成塔的介质进入存在微小缝隙的镶环密封面、垫片及大盖密封面等,积存在缝隙中的尿素-甲胺溶液缺氧产生腐蚀。又由于氨与二氧化碳合成尿素的过程中有氰酸根(CNO^-),对氧化膜具有强烈的腐蚀作用,因此破坏了密封面,使镶环密封面形成腐蚀坑,并冲刷成凹槽。如不能及时有效地对其进行处理,严重的会发生大盖泄漏,泄露液体腐蚀筒体外层板,致使整个系统停车。

1.6 衬里腐蚀泄漏

由于缝隙中的介质和周围介质的流动性差,以上所述腐蚀缺陷如果不能及时发现和采取有效的处理措施,腐蚀作用消耗了介质中的氧,很容易造成衬里蚀坑局部缺氧。缺氧又加速不锈钢衬里的活化腐蚀,使缝隙中介质的腐蚀性越来越强,造成恶性循环,直至将衬里腐蚀穿透,发生泄漏(图7和8)。由于碳钢和低合金钢在尿液中的腐蚀速度很快,所以

图7 尿素合成塔衬
里层泄漏图8 托架处发生
的腐蚀泄漏

一旦泄漏必须立即停车排料,避免更严重恶性事故的发生。1992年7月28日美国路易斯安娜州尿素合成塔发生爆炸就是因塔板托架角焊缝破坏,第七道环焊缝上部东北部衬里应力腐蚀开裂、焊缝缝隙腐蚀所致。

2 外检缺陷

尿素合成塔外检以磁粉检测为主。主要检测范围包括筒节外层板、外接管、检漏管盖板和大盖主螺栓等。外检常见的缺陷是裂纹,主要是应力腐蚀裂纹^[4-5]。

2.1 裂纹

2.1.1 外层板裂纹

尿素合成塔外层板会存在裂纹,最常见的是应力腐蚀裂纹。该裂纹比较密集,一般较浅,应打磨消除并圆滑过渡,以免因应力集中造成裂纹进一步扩展(图9)。此外外层板也存在一些较深的裂纹,对其应在打磨消除后采取补焊措施。

外层板裂纹如不能被及时消除,很容易向层板内部扩展,直至层板开裂,降低塔体的承载能力,极有可能引发重大安全事故。2000年至今,陕西、新疆和山东等地多台尿素合成塔先后因外层板严重开裂而报废。

2.1.2 深环焊缝裂纹

深环焊缝筒节部位缺陷的主要形态是裂纹,主要存在于深环焊缝或其热影响区。有时裂纹比较严重,形成纵横交错的形状,分别沿着纵向和横向开裂,并连成一体(图10)。

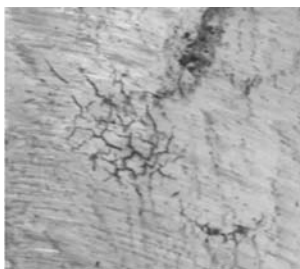


图9 外层板裂纹



图10 深环焊缝裂纹

2.1.3 封头裂纹

尿素合成塔的封头也会存在裂纹(图11)。由于多层包扎的尿素合成塔封头是单层的,一旦产生裂纹,其开裂的后果会比多层包扎筒体更加严重。2006年湖北省某化肥厂因下封头开裂导致尿素合成塔报废。

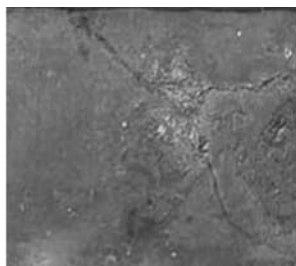


图11 封头
裂纹



图12 使用多年一直
未打开的通气孔

2.2 通气孔被堵死

通气孔的作用是在使用中将层板间的空气排除,一旦发生检漏蒸汽泄漏,能够将检漏蒸汽排除。为防止运输和安装过程中杂物入内,制造企业在尿素合成塔出厂的时候,都在厚壁筒节的通气孔上旋有丝堵。使用企业在安装投用前应当卸下丝堵,使通气孔呈敞口状,以利于多层板层间的气体排出。有些使用企业在安装投用前忽视了这个环节,在尿素合成塔安装就位后并未将通气孔运输旋塞拆除而使用至今(图12),或者是将通气孔焊死,使通气孔呈封闭状。通气孔被堵塞后,如果发生泄漏,冷凝液无法排除,高温环境下不断浓缩,将引发并加剧筒体腐蚀,直接影响尿素塔的使用安全,缩短使用寿命,构成安全隐患。

2.3 其它缺陷

除了以上所述缺陷,尿素合成塔还可能有大盖主螺栓螺纹裂纹、检漏孔盖板角焊缝裂纹以及筒体变形等外检缺陷。这些缺陷都可能对安全生产构成威胁,都应及时消除,以保障设备的安全运行。

3 内部缺陷

3.1 埋藏缺陷

目前我国在用的尿素合成塔多数采用单个筒节多层包扎后再焊接环焊缝的深环焊缝结构,因结构所致不能进行焊后热处理,环焊缝部位存在较大的应力集中,且焊接缺陷不易检测,尤其以深环焊缝内部裂纹(图13)或内部层板裂纹(图14)等埋藏缺陷最为严重。

由于多层层板的作用,这些缺陷很难用常规检测方法检测,相比内外检缺陷,埋藏缺陷危害性更大。目前对于尿素合成塔内部埋藏缺陷比较有效的检测方法是声发射检测^[6]。但是由于尿素合成塔多为多层包扎结构,所以在声发射检验方面,与单层容器有很大不同,例如在升压过程中由于层板摩擦等

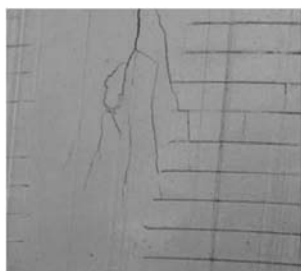


图 13 深环焊缝
内部裂纹

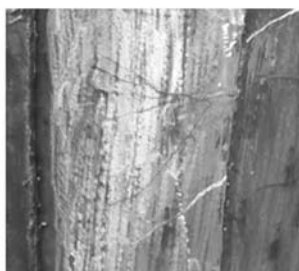


图 14 筒体内部第 3
层层板裂纹

原因产生的噪声信号较多,内层层板发出的信号不易收集,声发射源不易定位等。因此对尿素合成塔声发射检测过程中软硬件参数设置、传感器布置方式、定位方式、声发射信号分析、识别以及声发射源的分类和级别评定方法等都应进行专门的研究。

3.2 串气

串气是指检漏通道与多层板层间贯通时,检漏蒸汽从厚壁筒节的透气孔(或外层板开裂缝隙)冒出。串气后,检漏蒸汽在蒸汽压力的作用下串入多层板各层间,形成冷凝液后沉积在厚壁筒节下端与深环焊缝连接部位,由于结构原因沉积液无法排出。沉积液与多层板金属材料所敏感的有害介质混合成为腐蚀介质溶液,虽然溶液开始的浓度很低,但是由于局部位置上的浓缩作用,溶液浓度会逐渐提高。在尿素合成塔高温、高压工作状态下,冷凝液沉积部位极易产生应力腐蚀,严重时可能导致应力腐蚀开裂。当采用酸洗方法疏通检漏管道,残留酸洗液也会沉积在厚壁筒节下端与深环焊缝连接部位。一旦发生泄漏,内筒介质流入检漏管孔,渗入多层板层

间,腐蚀损伤多层板。

3.3 层板贴合不良

由于加工工艺的原因,不少尿素合成塔存在层板贴合不良的弱点。部分尿素塔在工作条件下层板不能贴合在一起,削弱了筒体的强度。一旦串气,检漏蒸汽充满其内,相当于在筒体强度层形成了一个压力区,致使强度层破坏加剧。

4 总结

尿素合成塔的缺陷形式多种多样,形成原因也各不相同,因此需要在使用和检测过程中多加注意。尿素合成塔的检验是一个综合过程,要根据其具体情况来制定具体的检测方案和处理措施,以保证尿素合成塔的安全运行。

参考文献:

(上接第 905 页)

- [1] 浮雪艳,朱涛,朱兵. 氨汽提合成塔腐蚀控制探讨[J]. 化工设计,2006,16(4):30—32.
- [2] 周军. 尿素合成塔的腐蚀检查[J]. 中国特种设备安全,2007,23(6):41—43.
- [3] 周泉水,廖定友. 在用尿素合成塔液氨接管裂纹原因分析[J]. 中国特种设备安全,2006,22(8):47—49.
- [4] 吕延茂. $\phi 1.4$ m 尿素合成塔基体的应力腐蚀裂纹[J]. 特种设备安全技术,2006(4):1—5.
- [5] 陈长宏. $\phi 1200$ mm 尿素合成塔裂纹原因分析[J]. 化工机械,2007,34(4):218—220.
- [6] 宋明大,王威强,李梦丽,等. 多层包扎尿素合成塔无损评价方法[J]. 山东大学学报(工学版),2007,37(4):50—54.
- [7] 浮雪艳,朱涛,朱兵. 氨汽提合成塔腐蚀控制探讨[J]. 化工设计,2006,16(4):30—32.
- [8] Zhang C S, Zou D H, Madenga V. Numerical simulation of wave propagation in grouted rock bolts and the effects of mesh density and wave frequency[J]. International journal of rock mechanics & mining sciences, 2006,43(4):634—639.
- [9] Denos C Gazis. Three-dimensional investigation of the propagation of wave in hollow circular cylinders. I. Analytical Foundation[J]. The Journal of the Acoustical Society of America,1959,31(5):568—573.
- [10] Friedrich M, Laurence J, Qu J. Modeling elastic wave propagation in wave guides with the finite element method[J]. NDT&E International,1999,32(4):225—234.
- [11] Rose J L. 固体中的超声波[M]. 何存富,吴斌,王秀彦,译. 北京:科学出版社,2004.
- [12] Long R, Lowe M, Cawley P. Attenuation characteristics of the fundamental modes that propagate in buried iron water pipes[J]. Ultrasonics,2003,41(7):509—519.
- [13] Vogt T, Lowe M, Cawley P. The scattering of guided waves in partly embedded cylindrical structures[J]. The Journal of Acoustical Society of America,2003,113(3):1258—1272.
- [14] Cui Y, Zou D H. Numerical simulation of attenuation and group velocity of guided ultrasonic wave in grouted rock bolts[J]. Journal of Applied Geophysics,2006,59