

山 东 省 地 方 标 准

DB37/T 1028—2023

代替DB37/T 1028—2008

在用尿素合成塔安全运行评估技术规范

Technical specification for safety operation assessment of in-use urea reactor

2023-04-16 发布

2023-05-16 实施

目 次

前言 II

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般规定 1

5 评估前的准备工作 2

 5.1 资料审查 2

 5.2 现场条件检查 2

6 安全运行评估内容与方法 3

 6.1 评估内容 3

 6.2 宏观检查 3

 6.3 壁厚测定 4

 6.4 无损检测 4

 6.5 螺柱检查 5

 6.6 安全附件检查 5

 6.7 耐压试验 5

7 缺陷修理 6

8 安全运行评估状况等级 6

9 评估报告 6

10 信息化管理要求 7

附录 A（资料性） 尿素级不锈钢超声测厚试块 8

 A.1 材料 8

 A.2 尺寸 8

 A.3 制作 8

附录 B（资料性） 尿素合成塔常见缺陷及其建议处理措施 9

 B.1 内检缺陷 9

 B.2 外检缺陷 9

 B.3 埋藏缺陷 9

 B.4 其它问题 10

参考文献 11

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替DB37/T 1028—2008《尿素合成塔综合检验规程》，与DB37/T 1028—2008相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 将标准名称更改为《在用尿素合成塔安全运行评估技术规范》；
- b) 更改了范围有关规定（见第1章，2008年版的第1章）；
- c) 更改了规范性引用文件（见第2章，2008年版的第2章）；
- d) 增加了“术语和定义”一章（第3章）；
- e) 更改了评估人员数量（见4.2，2008年版的第3章）；
- f) 更改了评估周期（见4.3，2008年版的第4章）；
- g) 删除了尿素合成塔使用年限有关规定（2008年版的第4章）；
- h) 更改了资料审查有关内容（见5.1，2008年版的5.1）；
- i) 增加拆除有关附属部件或其他物体清理和拆除有关规定（见5.2 a））；
- j) 增加评估项目有关规定（见6.1）；
- k) 更改了对检漏孔检查有关规定（见6.2.2 d），2008年版的6.2）；
- l) 增加结构和几何尺寸首次定检有关规定（见6.2.2）；
- m) 删除了尿素合成塔支撑中安全附件有关规定（见2008年版的6.3）；
- n) 增加堆焊层检查有关规定（见6.2.5）；
- o) 增加壁厚测定一般规定（见6.3）；
- p) 删除了衬里层贴合度测量有关规定（见2008年版的7.2）；
- q) 增加了接管测厚有关规定（见6.3.4）；
- r) 增加了无损检测一般规定（见6.4）；
- s) 更改了磁粉检测比例的有关规定（见6.4.2，2008年版的8.2）；
- t) 增加声发射检测发现超标缺陷有关规定（见6.4.3）；
- u) 增加螺柱检查有关规定（见6.5）；
- v) 增加安全附件检查有关规定（见6.6）；
- w) 增加耐压试验时机有关规定（见6.7）；
- x) 增加耐压试验时关于水温和氯离子含量有关规定（见6.7.3）；
- y) 删除了缺陷修理时有关修理人员规定（见2008年版的第10章），增加了缺陷修理时需要进行监督检验的有关规定（见第7章）；
- z) 增加“安全运行评估状况等级”一章（见第8章）；
- aa) 增加报告中安全附件有关规定（见第9章）；
- bb) 增加“信息化管理要求”一章（见第10章）；
- cc) 更改了附录B中内检时关于腐蚀坑、孔、沟槽腐蚀缺陷打磨消除有关规定（见B.1.1.2，2008年版的A.1.1.1.2）；
- dd) 更改了附录B中关于层板裂纹打磨消除有关规定（见B.2.1.2，2008年版的A.2.1.2）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省市场监督管理局提出并组织实施。

本文件由山东省特种设备标准化技术委员会归口。

本文件及其所替代文件的历史版本发布情况为：

——2008年12月15日首次发布为DB37/T 1028—2008；

——本次为第一次修订。

引 言

本文件是在贯彻落实《固定式压力容器安全运行技术监察规程》基础上针对在用尿素合成塔检验项目的具体和细化的技术规范。

在用尿素合成塔安全运行评估技术规范

1 范围

本文件规定了在用尿素合成塔进行安全运行评估一般规定、评估前的准备工作、安全运行评估内容与方法、缺陷修理、安全运行评估状况等级、评估报告及信息化管理等内容。

本文件适用于评估机构为确保在用尿素合成塔安全运行进行评估，同时具备以下条件的尿素合成塔，其他衬里材料的尿素合成塔的评估参考执行：

- a) 设计压力不大于 21.6 MPa；
- b) 设计温度不大于 200 ℃；
- c) 衬里材料为尿素级超低碳奥氏体不锈钢（以下简称“不锈钢”）；
- d) 生产工艺为水溶液全循环法、二氧化碳汽提法和氨汽提法使用的多层包扎式和热套式以及单层结构的不锈钢衬里尿素合成塔。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 9842 尿素合成塔技术条件
GB/T 18182 金属压力容器声发射检测及结果评价方法
NB/T 47013（所有部分） 承压设备无损检测
TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

甲铵腐蚀 ammonium carbamate corrosion

金属与尿素合成过程中的中间产物甲铵接触时发生的腐蚀。

3.2

安全运行评估 safety operation assessment

评估机构受使用单位委托，通过对尿素合成塔的结构、受压元件和安全附件等进行符合性验证，评估尿素合成塔的整体运行状况与承载能力，判断其可正常使用、监控使用或不可使用的活动。

4 一般规定

4.1 使用单位宜提前 1 个月，向评估机构提出安全运行评估申请，并且做好相关准备工作。

4.2 评估人员数量应能满足现场评估工作量的要求，评估人员中至少应有压力容器检验师 1 人，无损检测人员应按规定取得国家无损检测人员资格鉴定机构颁发或认可的无损检测等级资格证书，从事相应资格等级规定的检测工作。评估人员掌握一定的尿素合成塔相关知识，具有现场评估经验，遵守使用单位有关动火、用电、高空作业、压力容器内作业、安全防护、安全监护等规定。

4.3 评估时机应结合使用单位停车检修时机。具体评估周期由评估人员根据受检尿素合成塔的评估结果和使用单位协商确定。安全运行评估状况等级为 1 级和 2 级的，一般评估周期不超过 6 年；安全运行评估状况等级为 3 级的，一般评估周期不超过 3 年~6 年；安全运行评估状况等级为 4 级的，监控使用，累计监控使用时间不应超过 1 年；安全运行评估状况等级为 5 级的，应对缺陷进行处理，否则不应继续使用。

5 评估前的准备工作

5.1 资料审查

评估人员在评估前，一般需要审查下列内容和资料：

- a) 设计资料，包括设计单位资质证明，设计、安装、使用说明书，设计图样，强度计算书和风险评估报告等；
- b) 尿素合成塔安装竣工资料；
- c) 改造或者重大修理资料，包括施工方案和竣工资料，以及改造、重大修理监检证书；
- d) 使用管理资料，包括《使用登记证》和《特种设备使用登记表》，以及运行记录，开停车记录，运行条件变化情况以及运行中出现异常情况的记录；
- e) 历次检查与安全运行评估报告。

5.2 现场条件检查

使用单位和相关辅助单位，应按要求做好停机后的技术处理和评估前的安全检查，确认现场条件符合评估工作要求，评估前现场应至少具备以下条件：

- a) 影响评估的附属部件或其他物体，按照评估要求进行清理或拆除。使用单位应拆除所有影响评估塔盘，保证尿素合成塔内部所有焊接部位可以进行评估；
- b) 为评估而搭设的脚手架，轻便梯等设施安全牢固（对离地面 2 m 以上的脚手架设置安全护栏），且脚手架和踏板不应与筒体外表面接触；
- c) 需要进行评估的表面，特别是腐蚀部位和可能产生裂纹缺陷的部位（如衬里层、多层包扎层板、M36 以上（含 M36）螺柱等），彻底清理干净，露出金属本体，进行表面无损检测的表面达到 NB/T 47013（所有部分）的相关要求；
- d) 将内部介质排放、清理干净，用盲板从被检尿素合成塔的第一道法兰处隔断所有液体、气体或者蒸汽的来源，同时设置明显的隔离标志。不应用关闭阀门代替盲板隔断。二氧化碳汽提法和氨汽提法工艺使用的尿素合成塔，进塔后应首先盖好溢流管口；
- e) 进入尿素合成塔内部前，应进行置换、中和、消毒、清洗，取样分析，气体成份经确认符合相关规范、标准规定，取样分析的间隔时间应符合使用单位的有关规定，间断作业应重新分析塔内气体。尿素合成塔应采取强制通风，并保证风源独立，成份安全可靠；
- f) 尿素合成塔停车时，使用单位应按照操作规程的要求缓慢的降温，塔内壁最高温度低于 40℃ 后方可进入；

- g) 切断与尿素合成塔有关的电源，设置明显的安全警示标志，提供外部用 220 V 电源和进入尿素合成塔 24 V 低压电源、照明灯等，应有漏电保护装置，进入尿素合成塔的插座、电线应绝缘良好，接地可靠；
- h) 控制氯离子来源，包括检测用试剂、标记用记号笔、酸洗钝化用溶液、密封垫、入塔人员工装及携行具；
- i) 塔内不应使用碳钢工器具；
- j) 水压试验准备：
 - 1) 尿素合成塔各连接部位的紧固螺栓应装配齐全，紧固妥当。与试验无关人员不应在试验现场停留；
 - 2) 在尿素合成塔顶部装设压力表，压力表应在检定合格有效期内，精度不低于 1.6 级，表盘直径不小于 100 mm，量程以 40 MPa 为宜；
 - 3) 试验水温不应低于 15 ℃，水中氯离子含量不应超过 25 mg/L。

6 安全运行评估内容与方法

6.1 评估内容

尿素合成塔的主要损伤模式为甲铵腐蚀和敏化-晶间腐蚀，安全运行评估项目以宏观检查、壁厚测定、表面缺陷检测、螺柱检查、安全附件检查为主，必要时增加埋藏缺陷检测、材料分析、强度校核、耐压试验、泄漏试验等项目。

6.2 宏观检查

6.2.1 保温层

保温层拆除前检查保温层厚度、外护层有无破损、雨水是否渗入、有无结晶产物。出现以下情况的尿素合成塔，应拆除相应部位的保温层进行检查：

- a) 两次安全运行评估期间运行过程中出现过壁温大范围波动情况的区域；
- b) 上次安全运行评估中外表面修理部位；
- c) 上次安全运行评估后塔体未进行防腐处理；
- d) 塔体结构不符合设计规定且上次安全运行评估发现问题的部位；
- e) 评估人员认为必要的部位。

6.2.2 碳钢壳体

碳钢壳体应检查以下内容：

- a) 检查表面防腐、各种标记及铭牌是否完好；
- b) 检查尿素合成塔实际结构（包括封头型式、开孔补强、焊缝布置、支座型式等）与竣工图纸标注是否一致；
- c) 检查尿素合成塔同断面最大与最小直径、封头凹凸量。测量纵、环焊缝的错边量、棱角度及焊缝余高；
- d) 对检漏孔结构有怀疑时，拆除检漏孔外防护板，检查检漏孔结构与竣工图纸是否一致。调查检漏孔在使用过程中是否通畅，层板通气孔是否存在堵塞或者覆盖情况，检查检漏介质成分；

- e) 检查封头与筒体连接环缝、人孔接管焊缝、筒体纵环焊缝等部位有无裂纹、变形、泄漏等情况。

结构和几何尺寸评估项目应在首次评估时进行。

6.2.3 尿素合成塔支撑

尿素合成塔支撑应检查以下内容：

- a) 检查基础有无下沉、开裂、倾斜，基础地脚螺栓、裙座紧固螺栓是否完好；
- b) 检查螺纹孔、螺栓、螺母有无裂纹和机械损伤。

6.2.4 不锈钢衬里层

对所有与介质接触的衬里内表面进行检查，包括：

- a) 人孔密封面有无缺陷；
- b) 衬里纵环焊缝、接管焊缝、盖板焊缝以及封头堆焊层颜色有无异常、选择性腐蚀、鼓包和裂纹，以及有无铁锈色；
- c) 所有塔盘支架（门型钩）与衬里连接角焊缝是否满焊，有无气孔、空隙、蚀坑；
- d) 所有表面的颜色、粗糙度，有无蚀坑或异常现象；
- e) 溢流管、 γ 液位计套管、测温管的腐蚀状况。

6.2.5 堆焊层检查

检查堆焊层表面腐蚀、龟裂、脱落、局部鼓包以及机械接触损伤，发现缺陷时应作图标记缺陷的位置以及尺寸。

6.3 壁厚测定

壁厚测定，一般采用超声测厚方法。测定位置应有代表性，有足够的测点数。测定后标图记录，对异常测厚点做详细标记，并增加测厚点。

6.3.1 不锈钢衬里层测厚

应定点测量，并尽可能查找厚度最小点，每块板不少于4点。应采用与衬里同材质试块标定测厚仪器，试块制作方法可参考附录A。

6.3.2 堆焊层测厚

应定点测量，并尽可能查找厚度最小点，每条带级测量不少于4点。应采用与衬里同材质试块标定测厚仪器。

6.3.3 外层板测厚

应定点测量，并尽可能查找厚度最小点，每需测外层板不少于4点。

6.3.4 接管测厚

测厚部位应包括尿素合成塔物料出入口和温度计套管等。

6.4 无损检测

无损检测应采用NB/T 47013（所有部分）所规定的方法，表面缺陷的检测，优先采用磁粉检测和渗透检测。

6.4.1 渗透检测

由于甲铵腐蚀强烈的腐蚀作用，对尿素合成塔衬里层的纵环焊缝、托架角焊缝、接管角焊缝、封头堆焊层、人孔盖密封面、衬里层原始缺陷部位及以前检修部位以及对其他评估方法有怀疑需要验证的部位进行100 %渗透检测。工艺和评定按照NB/T 47013（所有部分）和GB/T 9842等相关标准执行。

6.4.2 磁粉检测

对尿素合成塔外层板A、B类焊接接头抽查比例不低于20 %，同时应考虑接管焊缝、裙座安装焊缝进行磁粉检测。工艺和评定按照NB/T 47013（所有部分）和GB/T 9842等相关标准执行。

磁粉检测过程中发现超标缺陷时，应扩大检测比例。

6.4.3 声发射检测

对尿素合成塔纵、环焊缝及各层板内部活性缺陷进行整体性检测。

对于在检测过程中出现的异常信号源，应分析其事件数、撞击数、幅度、强度等参数，并按照GB/T 18182对声发射源进行综合等级评价。

声发射检测发现超标缺陷的，应采用其他无损检测方法对缺陷性质、尺寸、形状进行评定。

6.4.4 其他检测

评估人员根据具体情况和使用单位协商确定是否需增加以下评估项目。

- a) 铁素体含量测定。如果焊缝或者修理部位颜色异常应进行铁素体含量测定，并用超声波检测仪测定耐蚀层厚度；铁素体含量应不大于0.6 %；
- b) 金相检查。对出现裂纹或局部腐蚀严重的母材、焊接接头进行金相检查。应详细记录检查点的位置，并拍摄现场金相照片；
- c) 光谱分析。对螺栓、螺母等材质有怀疑时，应进行现场光谱分析。不应将不同材质的螺栓和螺母混用。

6.5 螺柱检查

M36以上（含M36）螺柱在逐个清洗后，检查其损伤和裂纹情况，必要时进行渗透检测。重点检查螺柱及过渡部位有无环向裂纹。

6.6 安全附件检查

安全附件检查的主要内容如下：

- a) 安全阀是否在校验有效期内；
- b) 安全阀整定压力；
- c) 爆破片装置，检查是否如期更换。

6.7 耐压试验

安全运行评估过程中，评估人员和使用单位协商是否进行耐压试验。耐压试验按照TSG 21相关规定执行。

6.7.1 最高试验压力

试验压力为最高操作压力的1.25倍。

6.7.2 耐压试验升压程序

为配合声发射检测，耐压试验包括两次升压过程，第一次升压首先将压力升至最高工作压力，确认无泄漏后继续升至试验压力，保压30 min，然后降至试验压力的80%，保压足够时间进行检查；第二次升压将压力升至试验压力的97%，保压时间不少于10 min。

6.7.3 耐压试验注意问题

耐压试验注意以下问题：

- a) 试压时升压、降压应缓慢，分级进行；每级最大压差不应超过 4.9 MPa，每级应保压一定时间，当设备、管道无异常现象时，方可继续升压；
- b) 当检测衬里与承压壳体间隙较大时，耐压试验后应再次进行内表面检查；
- c) 试验合格后，应立即将水渍去除干净；
- d) 试压时，如发现容器的焊缝、法兰、封头、阀门及其他管道附件有泄漏、异常响声、加压装置故障、容器出现可见变形，应立即停止试验。

7 缺陷修理

7.1 尿素合成塔修理应选择具有相应资质单位，按报批修理方案实施修理，需要进行监督检验的，应按规定进行监督检验。

7.2 尿素合成塔常见缺陷及其建议处理措施见附录 B。

7.3 修理时应采用原发现缺陷检测方法确认缺陷已消除，补焊后根据补焊深度选择合适检测方法确认修理合格。修理合格后由修理单位出具修理合格报告。

8 安全运行评估状况等级

根据在用尿素合成塔安全运行评估结果按照TSG 21—2016中8.5相关规定对在用尿素合成塔安全运行评估状况等级进行综合评级：

- a) 安全运行评估状况等级根据压力容器检验结果综合评定，以其中项目等级最低者为评定等级；
- b) 需要改造或者修理的压力容器，按照改造或者修理结果进行安全运行评估状况等级评定；
- c) 安全附件检查不合格的压力容器不允许投入使用。

注1：对尿素合成塔内衬，腐蚀深度不超过衬板厚度1/2的不影响定级，否则进行内衬层修理及更换。

注2：外表面不允许有裂纹。如果有裂纹，打磨消除，打磨后形成的凹坑在允许范围内的，不影响定级；否则，补焊或者进行应力分析，经过补焊合格或者应力分析结果表明不影响安全使用的，可以定为2级或者3级。

9 评估报告

安全运行评估报告应具备下列内容：

- a) 设备名称、注册代码、使用登记证号、设计单位、制造单位、制造日期、投用日期、材质、容积、内径、长度、介质等基本参数；

- b) 原始资料情况;
- c) 评估依据, 参考标准;
- d) 上次评估问题记载;
- e) 宏检结果;
- f) 测厚结果;
- g) 无损检测结果;
- h) 水压试验结果;
- i) 安全附件检查结果;
- j) 结论;
- k) 评估日期、参加评估人员和报告人签字。

10 信息化管理要求

10.1 尿素合成塔使用单位和评估机构应按照特种设备信息化工作规定, 及时将所要求的数据上传至特种设备使用登记和检验信息系统。

10.2 评估机构应按照规定将评估结果汇总上报使用登记机关。

附录 A
(资料性)
尿素级不锈钢超声测厚试块

A.1 材料

超声测厚标准试块采用尿素级奥氏体不锈钢制作。

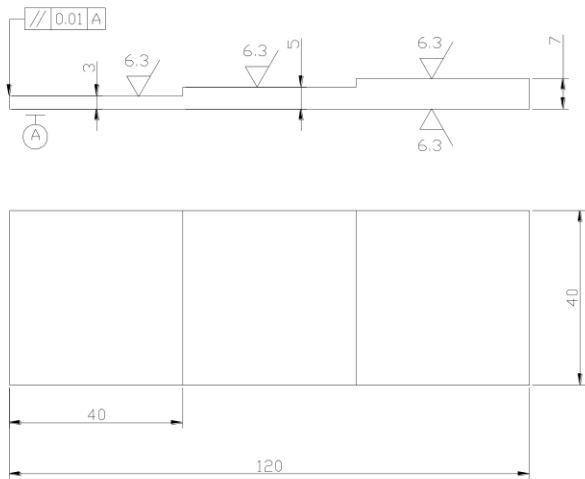
本文件所提到的“尿素级奥氏体不锈钢”是指超低碳铬镍钼奥氏体不锈钢的化学成分和金相组织除符合相关标准要求外，还应符合下列条件：

- a) 铁素体形成元素 (Cr, Mo, Si) 和奥氏体形成元素 (Ni, C, N, Mn) 的配比应使不锈钢固溶处理后形成全奥氏体组织；
- b) 对 00Cr17Ni14Mo2 (尿素级) 奥氏体不锈钢，要求 Cr 大于等于 17 %、Ni 大于等于 13 %、Mo 大于等于 2.2 %、N 小于等于 0.22 %；
- c) 铁素体含量不超过 0.6 %。

用于制作对比试块的材料其晶粒度、热处理状态、物理性能、化学成分、表面粗糙度和制造方法应与尿素合成塔衬里层相同。用于制作对比试块的材料应100 %扫描。标准试块的材质应均匀，且经超声检测无缺陷。

A.2 尺寸

试块尺寸如图1所示，所有尺寸公差均为 $\pm 0.01\text{ mm}$ 。



图A.1 试块尺寸

A.3 制作

试块的其他制作要求可参照GB/T 19799.1、GB/T 19799.2和GB/T 11259相关规定执行。

附录 B

(资料性)

尿素合成塔常见缺陷及其建议处理措施

B.1 内检缺陷

B.1.1 腐蚀坑、孔，沟槽腐蚀

B.1.1.1 缺陷常见部位：衬里层焊接接头、封头堆焊层（特别是搭接处附近）、托架连接处、密封面。

B.1.1.2 建议处理方式：

- a) 建议打磨消除，经渗透检测确认缺陷已消除；
- b) 如打磨深度较深采用合理工艺进行补焊，同一部位修补次数不宜超过两次。

B.1.2 物料管裂纹

B.1.2.1 缺陷常见位置：物料管管口，尤以液氨进料管管口裂纹最为常见。

B.1.2.2 建议处理方式：

- a) 如裂纹较浅，建议打磨消除后继续使用；
- b) 如裂纹较深，打磨消除后补焊处理，同一部位修补次数不宜超过两次；
- c) 如裂纹较深，现场局部修理无法保证使用安全，应更换物料管。

B.1.3 衬里腐蚀泄漏

B.1.3.1 缺陷常见位置：尿素合成塔衬里，尤以焊缝、托架等部位常见，有时母材也可能出现贯穿性缺陷。

B.1.3.2 建议处理方式：采用可靠方式检漏寻找泄漏源，并采取合理工艺对缺陷部位进行补焊。

B.2 外检缺陷

B.2.1 层板裂纹

B.2.1.1 缺陷常见位置：外层层板，尤以加工时工卡具夹持部位常见。严重的，会造成层板严重开裂，而导致尿素合成塔失效。

B.2.1.2 建议处理方式：

- a) 如果有裂纹，应打磨消除，打磨后形成后的凹坑按照 TSG 21—2016 中 8.5.4 相关规定处理；
- b) 当裂纹裂穿最外层层板时，应剥开已发现裂纹的层板，继续检查下一层板。需更换层板的，应由具备相应压力容器制造资格或维修资格的单位进行。

B.2.2 深环焊缝裂纹

B.2.2.1 缺陷常见位置：主要存在于深环焊缝或其热影响区。

B.2.2.2 建议处理方式：应将裂纹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，当深度过大时，应采取合理工艺进行补焊。当挖补深度大于壁厚一半时，修理复验合格后进行水压试验。

B.3 埋藏缺陷

B.3.1 常见位置：主要是存在于深环焊缝内部的裂纹、夹渣等缺陷，也有筒体内部层板裂纹等缺陷。

B.3.2 建议处理方式：按合理工艺修复复验合格后，进行水压试验。

B.4 其它问题

除了以上所述的缺陷，尿素合成塔还可能有大盖主螺栓螺纹裂纹、进料管裂纹，检漏孔盖板角焊缝裂纹以及筒体变形、串气等缺陷。这些缺陷都可能对安全生产构成威胁。这些安全隐患都应及时联系修理、制造等单位及时消除。

参 考 文 献

- [1] GB/T 11259 无损检测超声检测用钢参考试块的制作和控制方法
 - [2] GB/T 19799.1 无损检测 超声检测 1号校准试块
 - [3] GB/T 19799.2 无损检测 超声检测 2号校准试块
 - [4] 杜卫东、邹石磊等. 在役尿素合成塔检验案例分析
 - [5] 宋明大, 王威强, 曹怀祥, 袁涛. 尿素合成塔声发射检测与评价方法研究
 - [6] 郭建. 关于尿素合成塔出料管结构设计意见
 - [7] 李永保. 尿素合成塔检漏孔泄露处理及预防措施
 - [8] 张纲, 张建荣等. 尿素合成塔产生裂纹原因分析及对策
 - [9] 刘燕. 尿素合成塔用15MnVR板的断裂与疲劳性能研究
 - [10] 宋明大. 多层包扎尿素合成塔检验与剩余寿命评估方法研究
 - [11] 宋明大, 曹怀祥, 王春茂等. 多层包扎尿素合成塔开裂环境分析
-