

ICS 75.200

CCS P 72

C I E S C

团 体 标 准

T/CIESC XXXX—202X

石油化工设备和管道绝热层下腐蚀
第 1 部分：腐蚀风险评估与检测实施导则

Corrosion under insulation of petrochemical equipment and pipelines

Part 1: Guidelines for corrosion risk assessment and testing

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国化工学会 发布

目 次

前 言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般原则	2
5 工作程序	2
6 基础资料	3
7 绝热层下腐蚀风险等级评估	3
7.1 CUI 风险等级评估方法	错误!未定义书签。
7.2 CUI 失效概率评估	4
7.3 CUI 失效后果评估	8
7.4 CUI 风险等级划分	9
7.5 不同风险等级应对策略	9
8 绝热层下腐蚀现场检测	9
8.1 检查策略	9
8.2 检查比例和频次	10
8.3 检查方法	10
8.4 检查工作流程	10
8.5 检查结果评价	11
9 维修要求	11
10 记录与存档	12
附录 A (资料性) 设备和管道绝热层下腐蚀管理台账	13
附录 B (资料性) 绝热层下腐蚀检查记录表	14
附录 C (规范性) 绝热层下腐蚀风险等级评估	166

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。

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这些专利的责任。

本文件由中国化工学会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

石油化工设备和管道绝热层下腐蚀

第 1 部分：腐蚀风险评估与检测实施导则

警示：本文件并未指出所有可能的安全问题。使用者有责任采取适当的安全和健康措施，并保证符合国家有关法规规定的条件。

1 范围

本文件规定了石油化工企业设备和管道绝热层下腐蚀的一般原则、工作程序、基础资料、风险评估、现场检测、维修要求以及记录与存档。

本文件适用于石油化工企业在役装置、停用装置等所有被绝热层覆盖设备和管道系统。天然气、煤化工及石油工程企业设备和管道系统可参照使用。

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 26610.1	承压设备系统基于风险的检验实施导则	第1部分：基于要求和实施程序
GB/T 26610.2	承压设备系统基于风险的检验实施导则	第2部分：基于风险的检验策略
GB/T 26610.3	承压设备系统基于风险的检验实施导则	第3部分：风险的定性分析方法
GB/T 26610.4	承压设备系统基于风险的检验实施导则	第4部分：失效可能性定量分析方法
GB/T 26610.5	承压设备系统基于风险的检验实施导则	第5部分：失后果定量分析方法
HG/T 5178	保温层下金属表面用防腐涂料	
SH/T 3010	石油化工设备和管道绝热工程设计规范	
SH/T 3522	石油化工绝热工程施工技术规程	

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

绝热层下腐蚀 Corrosion under insulation (CUI)

操作温度 $-12^{\circ}\text{C}\sim 175^{\circ}\text{C}$ 时，碳钢及低合金钢管道、设备和结构部件因保温层中滞留电解质而导致的外部腐蚀。奥氏体和双相不锈钢在绝热状态下的外部应力腐蚀开裂也归类为 CUI。

3.2

基于风险的检验 Risk-based inspection (RBI)

一种重点针对材料损伤引起的设备失效的风险评估和管理风险过程。

3.3

绝热层下腐蚀概率 Probability of corrosion under insulation

基于基材保护、涂层保护、水润湿保护和设计保护四个方面对绝热层下腐蚀发生可能性的综合评估。

3.4

涂层失效概率 Probability of coating failure

绝热层下防腐涂层发生失效的可能性。

3.5

水润湿失效概率 Probability of water wetting failure

绝热结构滞留水分的可能性。

4 一般原则

4.1 企业应组建CUI评估团队，包括设备、工艺、腐蚀、检测等专业人员，必要时可邀请外部专业技术人员参加。

4.2 企业设备管理部门应组织制定CUI检查计划和实施方案，协调各职能部门和外协单位完成绝热拆装、脚手架搭拆等工作。

4.3 企业生产运行部门负责收集装置设备和管道的台帐、基础信息、维修记录、检测记录等资料，建立CUI检查档案。

4.4 企业生产运行部门负责开展设备和管道CUI风险等级评估、制定CUI检查计划和实施方案，并组织实施。

4.5 CUI检测单位和人员应具备相关资质和工作经验，负责CUI检测实施、结果分析及检查报告的编写，并提出整改和维修措施。

5 工作程序

5.1 绝热层下腐蚀评估和检查应按照图1所示的程序开展。

5.2 绝热层下腐蚀评估和检查的基本程序包括成立CUI评估团队、基础资料收集、CUI风险等级划分、CUI分类/分级管理策略、CUI检查方案制定及实施、CUI现场检测结果评价、处理措施、记录存档等。



图 1 绝热层下腐蚀评估与检查的基本程序

6 基础资料

绝热层下腐蚀风险评估的基础资料应至少包括以下内容：

——石化装置操作规程、工艺流程图（PFD）、工艺管道及仪表流程图（P&ID）、工艺运行参数及变更等工艺资料；

——设备和管线台帐、设备平面布置图、单线图、设备结构图等设备和管道资料；

——设备和管道维修记录、检测记录和整改方案等检维修记录。

设备和管道台帐未包括绝热和防腐涂层信息时，应提供绝热材料和防腐涂层的详细信息。

7 绝热层下腐蚀风险等级评估

7.1 CUI 风险等级评估方法

7.1.1 CUI 风险等级评估基于 GB/T 26610.1 的基本要求和实施程序执行，主要包括失效概率评估和失效后果评估。根据失效概率和失效后果评估结果，参照 GB/T 26610.3 的分析方法确定 CUI 风险等级。

7.1.2 失效概率基于基材保护、涂层保护、水润湿保护和设计保护四个方面进行综合确定，具体分析参照 GB/T 26610.4 执行。

7.1.3 CUI 失效后果基于人员安全、环保和财产损失三个方面进行综合确定，具体分析参照 GB/T 26610.5 执行。

7.1.4 绝热层下腐蚀风险等级评估方法如图 2 所示，CUI 风险等级分为非常低（VL）、低（L）、中等（M）、高（H）和非常高（VH）五个类别。

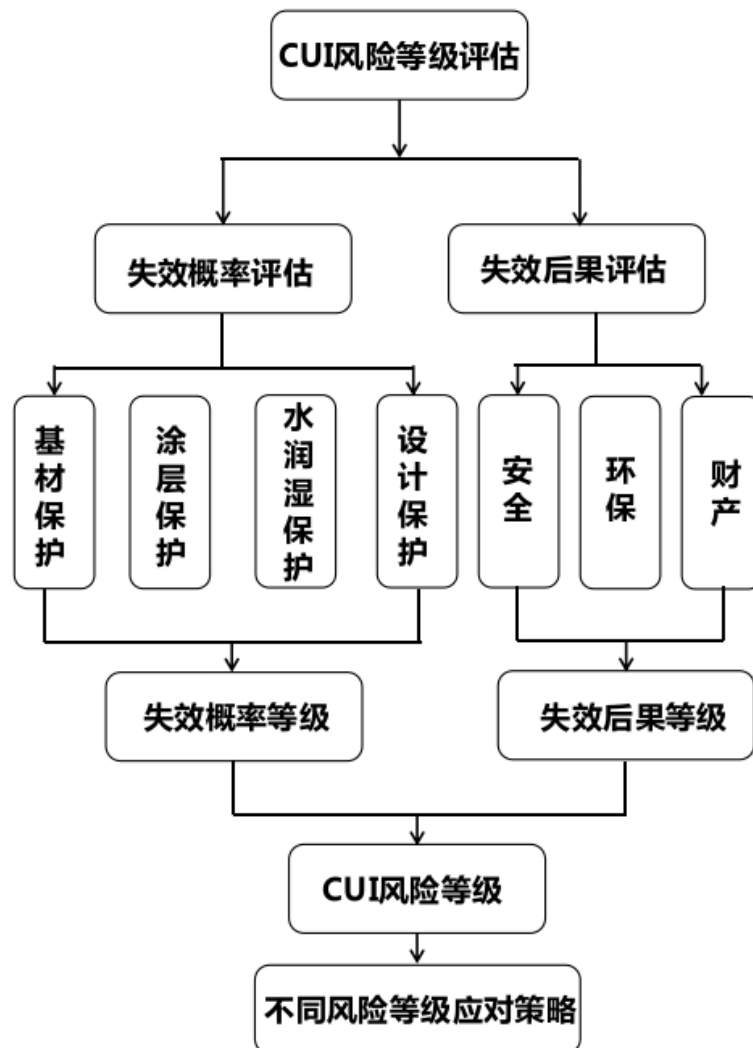


图 2 绝热层下腐蚀风险等级评估方法示意图

7.2 CUI 失效概率评估

7.2.1 基材保护评估

碳钢和低合金钢基材发生绝热层下腐蚀失效概率按照表1确定。

表 1 碳钢和低合金钢发生绝热层下腐蚀失效概率

服役温度范围	基材失效概率等级	备注
70℃~110℃	非常高 (VH)	包括所有间歇运行的设备或管道均评级为非常高 (VH)
40℃~70℃或 110℃~120℃	高 (H)	—
-4℃~40℃或 ≥120℃	中等 (M)	—
-12℃~-4℃	低 (L)	—
≤-12℃	非常低 (VL)	—

7.2.2 涂层保护评估

绝热层下涂层防护效果的影响因素包括操作温度、涂料类型、干膜厚度、施工质量及服役年限等，绝热层下涂层类型及厚度要求应满足 HG/T 5178 中的要求，失效概率评估方法按照附录 C.1 执行。

7.2.3 水润湿保护评估

7.2.3.1 水润湿保护评估从水接触和绝热结构工艺两个方面进行。

7.2.3.2 水接触可能性评估分为非常低到非常高五种类型，其影响因素包括区域位置、水分进入绝热层的可能性（保护层措施）、绝热材料滞留水分的可能性（绝热材料和排水功能）。

7.2.3.3 区域位置分为接触水和不接触水两类，接触水的情况包括受雨水、海浪、恶劣天气、水源、水雾等影响的区域，以及操作温度低于露点温度的工况，不接触水指干燥且操作温度高于露点温度的区域。

7.2.3.4 外保护层结构应满足 SH/T 3010 的要求，根据防水效果分为不良、常规和优异三类，不同保护层方案的防水保护等级按照附录 C.2 执行。

7.2.3.5 绝热材料防水性能根据防水特性分为滞留水分、非滞留水分和排水功能优异三类，不同绝热材料的吸水性特性按照附录 C.3 执行。

7.2.3.6 系统复杂性可作为水接触评估的一个因素，对于复杂系统失效概率可提升一个等级，简单直管段可降低一个等级。

7.2.3.7 水接触的可能性评估的决策逻辑如图3所示。

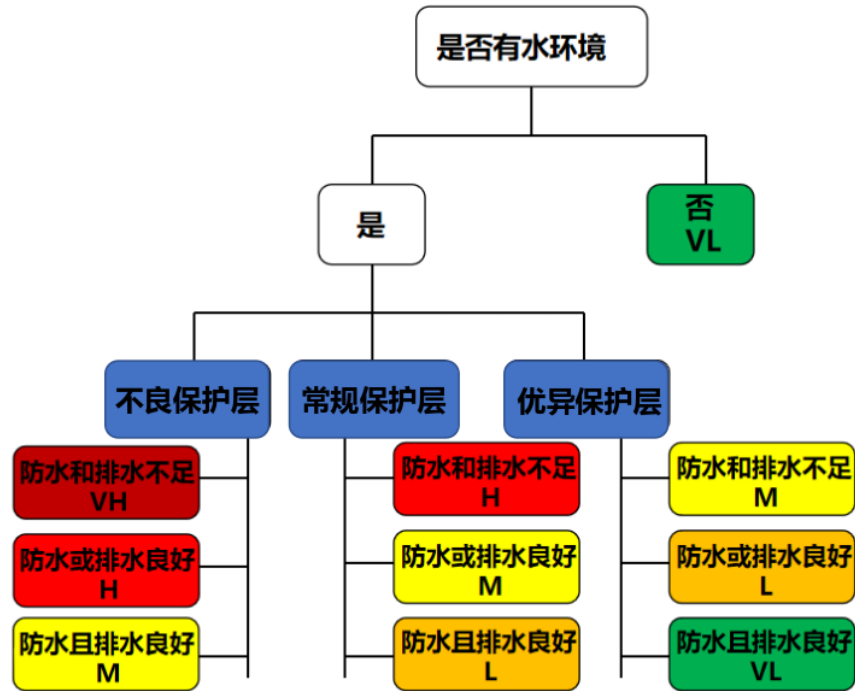


图3 水接触的可能性评估决策逻辑图

7.2.3.8 根据绝热层和保护层的施工工艺及其质量控制保障，可将绝热结构工艺评估为低、中、高三个等级。绝热结构工艺评估决策逻辑图如图4所示。其具体决策依据包括三部分内容，分别是是否按照标准规范和行业惯例实施、是否落实检查和计划以及绝热结构服役时间。

7.2.3.9 根据实施过程中的控制和检查情况，首先将绝热工程质量评估为良好或不良。若绝热工程符合SH/T 3522的要求，且施工过程由专业人员进行监督，并经过现场检查确认保护层密封良好，即评估为“良好”；若不符合上述标准，或者经检查和评估发现存在防水缺陷，则评估为“不良”，等级为高。

7.2.3.10 对于判定为“良好”的绝热工程，进行检查和维护计划分类，如表2所示。若无检查和维护计划，则根据绝热工程服役时间进行判定，完工四年以上时，等级判定为高。

表2 检查和维护计划分类

检查和维护计划分类	说明
无检查和维护计划	未来的8年内没有检查和维护计划
薄弱的检查和维护计划	防水层在破坏（泄漏）后4年内未被检测到，检查程序为每两年一次的常规目视检查或者每4年一次对保护层的近距离目视检查，损坏的防水层在发现后得到了维护，本文中的维护是指去除所有潮湿的绝热层并采用与原有相同或更高等级的新绝热层和保护层材料进行替换
强有力的检查和维护计划	防水层在破坏后的4年内被发现并进行了维护，检查程序为每两年一次的常规目视检查且每4年一次对保护层的近距离目视检查

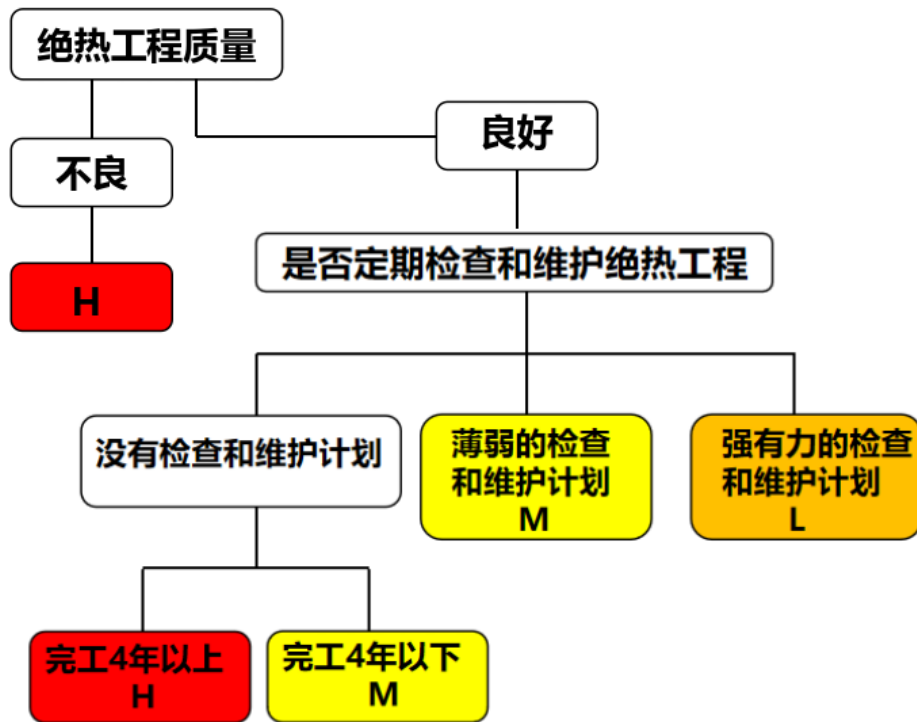


图4 绝热结构工艺评估决策逻辑图

7.2.3.11 将上述水接触评估结果和绝热工艺评估结果进行汇总，参照表3进行水润湿概率评估。在特殊情况下可以直接判定，若无水进入的可能性，则评估为非常低；若操作温度低于环境露点温度，则评估为非常高。

表3 水润湿的概率评估汇总表

水接触 评估结果	非常高	高	高	非常高
	高	中等	高	非常高
	中等	低	中等	高
	低	非常低	低	中等
	非常低	非常低	低	低
		低	中等	高
	绝热工艺评估结果			

7.2.4 设计保护评估

7.2.4.1 外径小于4英寸或壁厚小于8mm的管道，设计保护失效概率等级为高。具体参见附录C.4。

7.2.4.2 设计屏障失效概率评估可结合无损检测结果，决策逻辑参见图5。

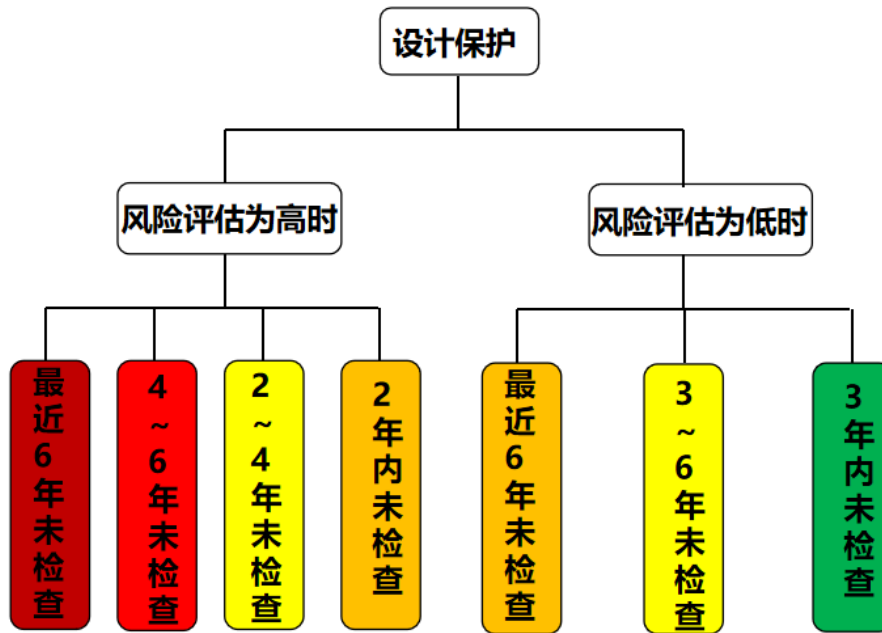


图5 设计屏障失效概率评估决策逻辑图

7.3 CUI 失效概率等级划分

不同保护类型的评估结果按照表4进行赋分，并按照以下公式进行计算：

——CUI失效概率评估分值=（基材保护分值+涂层保护分值+水润湿保护分值）/3+设计保护分值

获得 CUI 失效概率评估分值后，结合表 4 中的分值及等级对应关系，最终得到 CUI 失效概率等级，如表 5 所示。

表4 不同保护类型 CUI 失效概率定量数值

类型	非常低 (VL)	低 (L)	中等 (M)	高 (H)	非常高 (VH)
基材保护	-15	-10	3	6	10
涂层保护	-15	-10	3	6	10
水润湿保护	-15	-10	3	6	10
设计保护	-5	-3	0	2	3

表5 CUI 失效概率评估结果

等级	非常低 (VL)	低 (L)	中等 (M)	高 (H)	非常高 (VH)
分值	小于-5	大于-5且小于等于-1	大于-1且小于等于3	大于3且小于等于6	大于6

CUI 失效概率评估影响因素清单参见附录 C. 5。

7.4 CUI 失效后果等级评估

CUI失效后果评估及等级见表6。

表 6 CUI 失效后果评估等级

等级	非常低 (VL)	低 (L)	中等 (M)	高 (H)	非常高 (VH)
安全	释放无毒、不易燃的液体	释放具有腐蚀性但无毒、不易燃的液体	释放具有腐蚀性但无毒、不易燃的气体	释放无毒但易燃的液体	释放有毒和/或易燃的气体
环保	无环境影响	对装置内环境有影响	对车间内环境有影响	对厂区内环境有影响	对厂区外环境有影响
财产	微不足道的影响	<100 万人民币财产损失	100 万~1000 万人民币财产损失	1000 万~1 亿人民币财产损失	>1 亿人民币财产损失

7.5 CUI 风险等级划分

CUI 风险等级划分见表 7。

表 7 CUI 风险等级划分表

类型		失效后果				
		非常低	低	中等	高	非常高
失效 概率	非常高	低	中等	高	非常高	非常高
	高	低	中等	高	高	非常高
	中等	低	低	中等	高	高
	低	非常低	低	低	中等	中等
	非常低	非常低	非常低	低	低	低

7.6 不同风险等级应对策略

- 7.6.1 高风险和非常高风险为不可接受风险，应采取措施降低风险。
- 7.6.2 对不可接受风险，应拆除绝热结构进行外观检查，必要时可结合无损检测检查。
- 7.6.3 中等风险应通过检查 CUI 保护状态，防止 CUI 风险等级升高。
- 7.6.4 中等以下等级风险为可接受风险，按照企业的运行管理制度执行，无需采取针对性措施。

8 绝热层下腐蚀现场检测

8.1 检查策略

- 8.1.1 CUI 评估与检测团队根据装置信息、巡检结果、维修记录和风险评估结果，依据 GB/T 26610.2 制定 CUI 检查工作策略，内容包括设备和管道检查清单，CUI 检查清单应该根据巡检和维修结果及时更新。
- 8.1.2 企业每年根据 CUI 检查清单编写年度检查方案，纳入年度维修计划。
- 8.1.3 CUI 检查方案应包括但不限于：检查人员、检查设备/管道、检查区域、检查项目以及应急预案。
- 8.1.4 选择检查区域时，宜采用目视检查或红外热成像初选，必要时采用脉冲涡流进行筛查。
- 8.1.5 是否需要拆除绝热取决于所选的无损检测方法，必要时应拆除绝热结构。
- 8.1.6 应力腐蚀开裂检查应拆除绝热结构。
- 8.1.7 碳钢及低合金钢材质的设备和管道宜采用超声测厚或脉冲涡流检测壁厚减薄。
- 8.1.8 奥氏体及双相不锈钢材质的设备和管道宜采用渗透或涡流方法检测应力腐蚀开裂。

8.2 检查比例和频次

8.2.1 不同 CUI 风险等级的检查比例和频次如表 8 所示。

表 8 不同 CUI 风险等级的检查比例和频次

CUI 风险等级	检查比例	检查频次
非常高	检查所有可能产生 CUI 区域	至少每半年进行一次检测
高	检查 50%可能产生 CUI 区域	
中等	检查 25%可能产生 CUI 区域	至少每年进行一次检测
低	检查 10%可能产生 CUI 区域。	
非常低	检查 5%可能产生 CUI 区域	每年或每两年进行一次检测

8.3 检查方法

8.3.1 目视检查法为人工拆除绝热层后检查金属基材表面腐蚀情况，拆除绝热层后，检查前应进行金属表面处理和清洁，如有防腐涂层，首先检查涂层的状况。此外应重点关注绝热层密封不严、绝热外层的损坏、绝热材料的暴露、绝热外层生锈、绝热系统膨胀或其它损坏迹象，并进行记录，检查完成后将绝热层恢复原状。

8.3.2 奥氏体不锈钢和双相不锈钢外部应力腐蚀裂纹宜采用液体渗透检测法（PT），并记录检测结果。

8.3.3 间接检查方法包括半定量方法和定性方法。半定量方法包括 X 射线和脉冲涡流检测等，用于检测表面腐蚀的相对程度。定性方法包括红外热成像检测等，用于检测绝热结构潜在破损情况。

8.4 检查工作流程

8.4.1 绝热层下腐蚀现场检查宜按图6所示的流程执行。

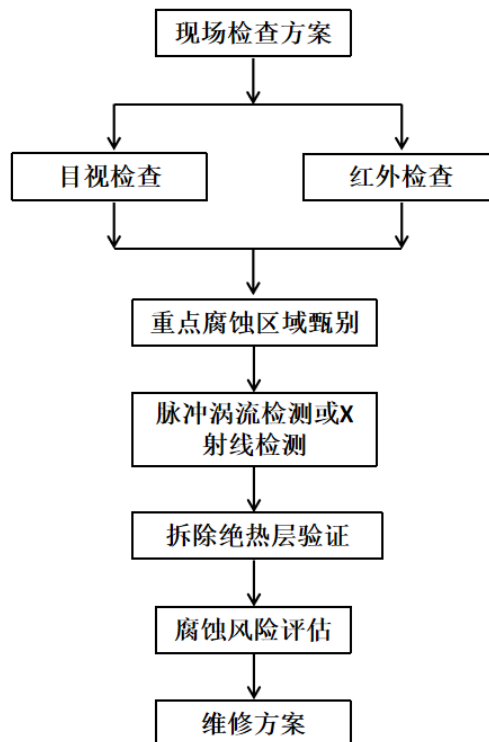


图 6 绝热层下腐蚀现场检测的实施流程

- 8.4.2 目视和红外初筛，对筛选出来的重点腐蚀部位进行脉冲涡流测厚或X射线检测。对脉冲涡流检测减薄或X射线检测存在缺陷的部位进行拆除绝热结构，并进行外观检查和超声测厚。
- 8.4.3 检查时间应根据装置运行状况确定。
- 8.4.4 CUI损伤评估的要求。
- 8.4.4.1 检测发现绝热层潮湿，应采用湿度仪检测绝热层湿度，并对设备和管道上的腐蚀或结构损坏程度进行评估，必要时宜采用拆除绝热层或无损检测方法。
- 8.4.4.2 应检查碳钢上的锈蚀和奥氏体/双相不锈钢上的沉积物，重点检查部位包括真空环和保温支撑环上方、人孔上下，以及顶部封头防潮层的破裂处。
- 8.4.4.3 若设备和管道表面没有发生腐蚀并且绝热层干燥，则将绝热层恢复原状。
- 8.4.4.4 若表面没有发生腐蚀，但绝热层是潮湿的，则拆除绝热层直到完全干燥部位，并采用适当的绝热层安装技术，消除水的渗入。
- 8.4.4.5 如果表面已经发生腐蚀，则应拆除损伤区域的所有绝热层，同时对金属表面重新进行防腐涂料的涂覆以及绝热。
- 8.4.5 奥氏体或双相不锈钢的应力腐蚀裂纹检查，只有经评估团队和相关部门审查和批准，确认对氯化物应力腐蚀开裂不敏感时，才可放弃此类检查。
- 8.4.6 不拆除绝热的无损检测方法主要包括红外热成像仪、脉冲涡流检测、X射线检测和超声导波检测等。

8.5 检查结果评价

- 8.5.1 根据绝热层是否完好、有无腐蚀或泄漏、腐蚀程度、测厚数据、剩余强度、点蚀、裂纹、使用环境等综合判断设备和管道的腐蚀状况。
- 8.5.2 CUI腐蚀等级判定及处理措施按表9执行。

表9 设备和管道 CUI 腐蚀等级判定

腐蚀等级	主要表现	处理措施
轻微腐蚀	涂层完好，面积超过 80%涂层附着牢固，未发生明显锈蚀	无需处理
一般	涂层剥落或辅助不牢固面积占比 20%~80%，剥落处锈蚀轻微（仅一层锈蚀产物，无蚀坑）	增加此设备/管线上的检查点
较严重	涂层剥落面积超过 80%，剥落处锈蚀有蚀坑（凹凸不平），但锈蚀产物未分层	应拆除所有绝热，全面检查
严重	涂层剥落面积超过 80%，剥落处锈蚀，锈蚀处出现分层	及时进行维修更换

- 8.5.3 检查中发现具有代表性或异常的问题，应进行失效分析，查明原因并采取针对性措施。
- 8.5.4 发现均匀腐蚀时，应计算最小允许壁厚和剩余使用寿命。
- 8.5.5 发现裂纹时，应进行维修或更换。

9 维修要求

- 9.1 应根据设备和管道的具体损伤程度确定需要维修的方法和范围。
- 9.2 维修前应评估损伤程度，选择符合规范的维修方法。
- 9.3 若CUI损伤严重，影响设备和管道的完整性时，应更换设备和管道。
- 9.4 发现保护层密封胶失效时，宜采用聚硅酮或硅树脂修补。

9.5 发现设备绝热支撑圈部位CUI损伤严重时，宜采取直接排水措施。

10 记录与存档

10.1 现场检查完成后，应及时分析采集的腐蚀产物或垢样，整理和归纳现场检查数据，并分析腐蚀成因。

10.2 检查结果记录应遵循以下原则：

- a) 检查点位置应精确记录；
- b) 检测报告应准确并可追溯；
- c) 宜留存检查照片；
- d) 记录整改措施。

10.3 绝热层下腐蚀检查与评估的相关资料进行存档。

10.4 宜建立绝热层下腐蚀案例库，完善绝热层下腐蚀数据库信息。

附录 A
(资料性)

设备和管道绝热层下腐蚀管理台账

A.1 表 A.1 为设备和管道绝热层下腐蚀管理台账示例。

表 A.1 设备和管道绝热层下腐蚀管理台账

序号	设备/管道名称	编号	运行温度	材质	保温类型	检查照片	检查结果	责任人	整改措施	整改完成情况
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										

附录 B
(资料性)
绝热层下腐蚀检查记录表

B.1 表 B.1 为设备绝热层下腐蚀检查记录表，表 B.2 为管道绝热层下腐蚀检查记录表。

表 B.1 设备绝热层下腐蚀检查记录表

装置名称		检查日期			
设备名称		工艺编号			
投用日期		规格型号			
介质		操作/设计温度℃			
材质		壁厚/腐蚀余量			
外保护层		绝热材料及厚度			
涂料及厚度		CUI 评估等级			
设备示意图					
腐蚀状况 描述及照片					
检测点	序号	绝热层	涂层	金属表面	无损检测及测厚
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
腐蚀原因分析					
整改措施					
整改效果 及日期					

表 B.2 管道绝热层下腐蚀检查记录表

装置名称		检查日期			
管道名称		工艺编号			
投用日期		规格型号			
介质		操作/设计温度℃			
材质		壁厚/腐蚀余量			
外保护层		绝热材料及厚度			
涂料及厚度		CUI 评估等级			
管道示意图					
腐蚀状况描述及照片					
检测点	序号	绝热层	涂层	金属表面	无损检测及测厚
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
腐蚀原因分析					
整改措施					
整改效果及日期					

附录 C
(规范性)
绝热层下腐蚀风险等级评估

C.1 涂层失效概率评估方法

表 C.1 为绝热层下防腐涂层失效概率评估表。

表 C.1 绝热层下防腐涂层失效概率评估表

类型	NORSOK M-501 系统参 考资料	NACE SP0198-2010 系统参考资料	温度范围	服役年限								备注	
				0-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	>35		
车间底漆 (<50μm)	NA	NA	<60°C	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	不应用作绝热层下涂层。
热镀锌 (HDG)	NA	NA	<200°C	L	M	H	VH	VH	VH	VH	VH	VH	参考 ISO 14713-1。
顶部密封硅酸锌	NA	NA	<105°C	L	M	H	VH	VH	VH	VH	VH	VH	按照 NORSOK M-501, 不得在绝热层下使用。
两涂层, 第一层为富锌底漆	系统 1	NA	<80°C	M	H	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	按照 NORSOK M-501, 不得在绝热层下使用。
三涂层, 第一层为富锌底漆	系统 1	NA	<80°C	VL	L	M	H	VH	VH	VH	VH	VH	按照 NORSOK M-501, 不得在绝热层下使用。
双组分环氧树脂或聚酯基涂料	系统 7A	NA	<80°C	VL	VL	L	M	H	VH	VH	VH	VH	按照 NORSOK M-501, 不得在绝热层下使用。
三层环氧底漆 (无锌)	系统 6 (A/B) (SS)	NA	<80°C	L	M	H	VH	VH	VH	VH	VH	VH	按照 NORSOK M-501, 不得在绝热层下使用。
两层环氧涂层 (>350μm)	系统 7 (B/C)	SS-1/CS-1	-45-60°C	VL	L	M	H	VH	VH	VH	VH	VH	需要根据实际情况进一步评估。
酚醛环氧漆	系统 6C (SS) 系统 9 (CS)	SS-2/3/CS-3/4	-45-120/150°C	VL	VL	L	M	H	VH	VH	VH	VH	参考 NORSOK M-501 和 NACE SP0198 均允许在绝热层下使用
熔结环氧树脂 (FBE)	NA	CS-2	-45-60°C	L	M	H	VH	VH	VH	VH	VH	VH	参考 NACE SP0198, 仅限车间使用。可能开裂。
涂覆封闭漆热喷涂铝 (TSA)	系统 2A	SS-6/CS-5	-45-595°C	VL	VL	VL	VL	L	M	H	VH	VH	参考 NORSOK M-501 和 NACE SP0198, 均允许在绝热层下使用
风干硅胶或改性硅胶	NA	SS-4	-45-540°C	M	H	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	参考 NACE SP0198, 允许在绝热层下使用
惰性无机共聚物	NA	SS-5/CS-6	>100-650°C	L	M	H	VH	VH	VH	VH	VH	VH	参考 NACE SP0198, 允许在绝热层下使用

C.2 绝热结构防水等级评估方法

表 C.2 为不同绝热结构方案的防水保护等级。

表 C.2 不同绝热结构方案的防水保护等级

保护层方案	防水保护等级			实施效果
	差	正常	优秀	
双重防水-如 PVC 带和密封的金属外层			√	事实证明，对双层防水层的投资在恶劣条件下是有效的。
带密封的 GRE/GRP 覆层 ¹⁾			√	GRE/GRP 覆层较少受到机械损伤。
带密封的 SS 316 (301/302) 包层 ²⁾		√		标准解决方案，密封维护需求得到验证。
柔性聚合物包层		√		具有良好的抗紫外线和恶劣环境的能力，但容易受到机械损伤。
铝包层	√			随着时间的推移，事实证明这种解决方案的防水能力较差。
带 PVC 胶带的单层包层 ³⁾	√	√		这种解决方案面临着在恶劣环境中分解和紫外线降解的挑战。如果不暴露在恶劣环境和紫外线下，效果更好一些。
箱式解决方案（阀门和法兰）	√	√		这包括不同的解决方案和不同的材料（玻璃纤维增强塑料、不锈钢等），SS 解决方案经证明防水能力较弱，而玻璃纤维增强塑料防水能力较强。
夹克解决方案	√			由于安装和改装方面的困难，该解决方案不用于防水。
<p>注：</p> <p>1) 建议对 GRE 覆层进行涂层处理，以防止 GRE 因紫外线照射而分解。</p> <p>2) SS 316 (301/302) 保护层如果没有密封，防水性能会很差。</p> <p>3) 用 PVC 胶带粘贴的单层防水层使用不到 10 年时，防水性能正常。</p>				

C.3 常用绝热材料的吸水特性

表 C.3 为常用绝热材料的吸水特性对比。

表 C.3 常用绝热材料的吸水特性对比

隔热材料类型	温度范围℃	吸水材料	备注
硅酸钙（I型）	65-650	是	吸水材料且排水功能不是非常有效。
硅酸钙（II型）	650-980	是	吸水材料且排水功能不是非常有效。
珍珠岩	65-650	是	吸水材料且排水功能不是非常有效。
矿物棉	20-650	是	吸水材料且排水功能不佳。
玻璃纤维	65-480	是	吸水材料且排水功能不佳。
疏水型微孔毯	65-760	是	吸水材料且排水功能不是非常有效。
针状玻璃纤维	65-650	是	吸水材料且排水功能不佳。
泡沫玻璃	-270-480	否	闭孔--不保水。如果安装不当且外保护层缺乏排水功能，可能导致积水。
二氧化硅气凝胶（I型） ¹⁾	-270-120	否	憎水材料且排水功能不是非常有效。
二氧化硅气凝胶（III型） ¹⁾	65-675	否	憎水材料且排水功能不是非常有效。
聚异氰脲酸酯（PUR/PIR 泡沫）	-185-175	否	闭孔--不保水。如果安装不当且保护层缺乏排水功能，可能导致积水。
酚醛泡沫	-155-150	否	闭孔--不保水。如果安装不当且保护层缺乏排水功能，可能导致积水。
注： 1) 某些类型的气凝胶含有碱性缓蚀剂，可能对 TSA 构成威胁。			

C.4 设备和管道设计保护评估结果

表 C.4 为管道设计保护评估等级。

C.4 管道设计保护评估等级

公称管径 DN/NPS		OD mm	管道壁厚 mm													
15	1/2	21.3			2.77	2.77			3.73	3.73					4.78	7.47
20		26.7			2.87	2.87			3.91	3.91					5.56	7.82
25	1	33.4			3.38	3.38			4.55	4.55					6.35	9.09
32	1	42.2			3.56	3.56			4.85	4.85					6.35	9.70
40	1 ^{1/4}	48.3			3.68	3.68			5.08	5.08					7.14	10.15
50	2	60.3			3.91	3.90			5.54	5.54					8.74	11.07
65	2 ^{1/2}	73.0			5.16	5.16			7.01	7.01					9.53	14.02
80	3	88.9			5.49	5.49			7.62	7.62					11.13	15.24
90	3 ^{1/2}	101.6			5.74	5.74			8.08	8.08					-	-
100	4	114.3			6.02	6.02			8.56	8.56		11.13			13.49	17.12
125	5	151.3			6.55	6.55			9.53	9.53		12.70			15.58	19.05
150	6	168.3			7.11	7.11			10.97	10.97		14.27			18.26	21.95
200	8	219.1	9.35	7.04	8.18	8.18	10.31	12.70	12.70	15.09	18.26	20.62	22.01	22.23		
250	10	273.1	9.35	7.08	9.27	9.27	12.70	12.70	15.09	18.26	21.44	25.40	28.58	25.40		
300	12	322.9	6.35	8.38	9.53	10.31	14.27	12.70	17.48	21.44	25.40	28.58	33.32	25.40		
350	14	355.6	7.92	9.53	9.53	11.13	15.09	12.7	19.05	23.83	27.79	31.75	35.71			
400	16	406.4	7.92	9.53	9.53	12.70	16.66	12.7	21.44	26.19	30.96	36.53	40.49			
450	18	457.2	7.92	11.13	9.53	14.27	19.05	12.7	23.88	29.36	34.93	39.67	45.24			
500	20	508.0	9.53	12.70	9.53	15.09	20.62	12.7	26.19	32.59	38.10	44.45	50.01			
550	22	558.0	9.53	12.70	9.53	22.23	22.23	12.7	28.58	34.93	41.26	47.63	53.98			
600	24	609.6	9.53	14.27	9.53	17.48	24.61	12.7	30.96	38.89	46.02	52.37	59.54			
650	26	660.4	12.70	-	9.53	-		12.7								
700	28	711.2	12.70	15.88	9.53	-		12.7								
750	30	762.0	12.70	15.88	9.53	-		12.7								
800	32	812.8	12.70	15.88	9.53	17.48		12.7								
850	34	862.6	12.7	15.88	9.53	17.48		12.7								
900	36	914.4	12.70	15.88	9.53	19.05		12.7								
950	38	965.2			9.53			12.7								
1000	40	1016.0			9.53			12.7								
1050	42	1066.8			9.53			12.7								
1100	44	1117.8			9.53			12.7								
1150	46	1168.4			9.53			12.7								
1200	48	1219.2			9.53			12.7								

C.5 CUI 失效概率评估影响因素清单

表 C.5 为开展 CUI 失效概率评估所需清单。

C.5 开展 CUI 失效概率评估所需清单

类型	基材保护	涂层保护	水润湿保护	设计保护
基材类型	√			
操作温度	√	√	√	
温度范围	√	√		
涂层种类		√		
涂层年限		√		
涂装质量		√		
涂层的 T _g		√		
环境（是否有水）			√	
露点温度			√	
保护层类型			√	
隔热层类型			√	
绝热工程质量			√	
绝热工程检查和维护情况			√	
绝热工程服役年限		√	√	
壁厚				√
管径				√
无损检测结果				√

参考文献

- [1] AMPP SP0198-2017 Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Materials—A Systems Approach
- [2] API 510-2017 Pressure Vessel Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration
- [3] [API 570-2024 Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair and Alteration of Piping Systems
- [4] API RP 571-2011 Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry
- [5] API RP 581-2019 Risk-Based Inspection Methodology
- [6] API RP 583-2021 Corrosion Under Insulation and Fireproofing
- [7] DNVGL RP G109-2019 Risk Based Management of Corrosion Under Insulation
- [8] NORSOK M-501-2022 Surface Preparation and Protective Coating

本标准版权归中国化工学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国化工学会文字上的许可外，不许以任何形式复制该标准。

中国化工学会地址：北京市朝阳区安定路 33 号化信大厦 B 座 7 层
邮政编码：100029 电话：010-64455951 传真：010-64411194
网址：www.ciesc.cn