ICS 点击此处添加 ICS 号
CCS 点击此处添加 CCS 号

T/

团 体 标 准

T/CASEI XXXX—XXXX

《基于流程工业的压力容器定期检验方法--氯碱装置》

XXXX－XX－XX 发布 XXXX－XX－XX 实施

中国特种设备检验协会 发 布

目录

1 范围 3
2 规范性引用文件 3
3 术语和定义 3
4 一般规定 3
5 典型压力容器损伤模式及检验策略 6
6 安全附件检验 15
7 耐压及泄漏试验 15
8 缺陷及问题处理 15
9 安全状况等级评定 15
10 检验周期 15
附件 A 工艺流程及典型设备简介 16
A.1 盐水工段 17
A.2 烧碱工段 21
A.3 制氢工段 24
A.4 制氯工段 25
附件 B 损伤模式分布图(资料性) 28
B.1 盐水工段流程图 28
B.2 烧碱工段流程图 29
B.3 制氢工段流程图 30
B.4 制氯工段流程图 32

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专利的责任。

本文件由中国特种设备检验协会提出并归口。

本文件起草单位：略。

本文件主要起草人：略。

基于流程工业的压力容器定期检验方法--氯碱装置

1 范围

本文件适用于离子膜电解法生产工艺的氯碱装置压力容器的定期检验方法，隔膜电解法和水银电解生产工艺的氯碱装置压力容器定期检验方法可参照本文件规定执行。装置中常压容器定期检验方法也可参照本文件规定执行，装置中压力管道的损伤模式可参照本文件规定执行。

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 150（所有部分）《压力容器》

GB/T 19624 《在用含缺陷压力容器安全评定》

GB/T 30579 《承压设备损伤识别模式》

GB/T 35013 《承压设备合于使用评价》

GB/T 42606 《固定式压力容器修理导则》

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》

TSG 92《承压类特种设备安全附件安全技术规程》

T/CMES 16005-2022 T/CPASE PT 020-2022《超设计使用年限压力容器评估与检验导则》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 氯碱装置 Chlor-alkali plant

氯碱装置是指以饱和食盐水为原料，在电解作用下经过制氢、制氯、烧碱工段生产出氢气、氯气及烧碱（NaOH）的整套流程设备。

3.2 离子膜电解法 Ion-exchange Membrane Electrolysis

利用阳离子交换膜分隔电解槽阴阳极，将精制饱和食盐水电解产出氯气、氢气及烧碱溶液的工艺方法。

4 一般规定

4.1 资料审查及工艺、运行情况调查

资料审查应符合TSG 21第8.2节的基本要求，并重点关注工艺参数对压力容器损伤模式的影响，应满足以下工作要求：

a) 识别由工艺参数偏离或波动所引起的损伤模式；

b) 根据工艺和介质条件，确定压力容器的高风险部位；

c) 为制定针对性的检验、检测方案提供直接输入依据。

4.2 依据装置工艺操作规程、PFD图及物料平衡表等工艺设计文件，搜集并审查工艺物流中腐蚀性成分及其含量、初步判定潜在损伤模式；当装置无法提供完整的工艺设计文件，应重点关注表4.1规定的工艺物流。

表4.1 通用工艺条件及判定原则

工段名称	审查参数	相关损伤模式	判定原则
盐水工段	盐水温度、pH值、游离氯含量、盐酸浓度、盐水中固体悬浮物含量、介质流速、衬里完好情况、保温完好状态。	盐酸腐蚀、含盐水腐蚀、冲刷、大气腐蚀（有隔热层）。	1.介质含游离氯、盐酸，局部介质浓缩、存在沉积物，易发生盐酸腐蚀、沉积物下腐蚀； 2.盐水悬浮物高、介质流速大，接管、进出口位置易产生冲刷损伤； 3.环氧玻璃鳞片衬里开裂、破损，基体直接接触盐水介质，腐蚀风险显著升高； 4.保温破损、介质渗漏，会引发保温层下大气局部腐蚀； 5.温度升高会加速各类腐蚀进程
烧碱工段	烧碱浓度、工作温度、介质流速、蒸汽冷凝水水质、保温完好状态、焊接残余应力。	碱腐蚀、碱应力腐蚀开裂、冲刷、大气腐蚀（有隔热层）、锅炉冷凝水腐蚀。	1.烧碱浓度、温度越高，碱腐蚀、碱应力腐蚀开裂风险越高；焊接接头、应力集中区域风险加剧； 2.碱液、蒸汽流速高的进出口、管板角接接头，冲刷腐蚀风险增大； 3.蒸汽冷凝水中氧含量高，易产生点蚀、溃疡状锅炉冷凝水腐蚀；

			4.保温破损、介质渗漏，产生覆盖层下大气腐蚀； 5.开停车温度压力波动，会促进碱应力腐蚀裂纹萌生扩展
制氢工段	氢气温度、冷凝水含量、介质流速、环境湿度、涂层完好状态	锅炉冷凝水腐蚀、大气腐蚀（无隔热层）	1.氢气携带冷凝水，底部、接管、紊流区易发生锅炉冷凝水点蚀； 2.设备无保温，环境潮湿、防护涂层破损，产生大气均匀/局部腐蚀减薄； 3.介质流速波动、排净口区域，冲刷加剧局部腐蚀； 4.开停车造成凝液积聚，提升底部腐蚀风险
制氯工段	液氯含水量、温度、介质流速、沉积物含量、保温完好状态	盐酸腐蚀、冲刷、大气腐蚀（有隔热层）	1.液氯中含水，会生成盐酸和次氯酸，在液面交界、底部沉积物区域发生局部、垢下盐酸腐蚀或点蚀； 2.介质流速大的进出口接管、底部紊流区，冲刷腐蚀风险高； 3.保温破损、介质渗漏，引发保温层下大气腐蚀； 4.开罐、水洗后残留水分，会显著加速设备腐蚀损伤

4.3 资料审查时，应重点审查运行记录、开停车记录及变更管理记录中的异常工况，结合DCS历史趋势、操作日志和报警记录等记录文件，识别关键工艺参数偏离设计允许范围的各类事件。重点审查项目及对应损伤模式应符合表4.2的规定。

表4.2 重点设备及关键工况参数

设备名称	应审查的工况偏离参数	易发生的损伤模式/异常现象	重点关注部位
加压溶气罐	盐水温度超设计、PH值波动、盐酸浓度超标、盐水中悬浮物含量升高；介质流量流速大幅波动；衬里	盐酸腐蚀、含盐水点蚀/沉积物下腐蚀、冲刷腐蚀、保温层下大气腐蚀；环氧玻璃鳞片开裂脱落，基体金属局	环氧玻璃鳞片衬里、盐水/空气进出接管及周边、人孔法兰、液位计接管、筒体死角、保温破损位置

	异常破损；压力频繁波动；保温破损、介质渗漏	部减薄	
降膜式蒸发器	烧碱浓度、工作温度超出设计范围；碱液流量/蒸汽流速波动大；开停车频繁，温度压力交变；蒸汽冷凝水水质劣化；保温破损	碱腐蚀、碱应力腐蚀开裂、冲刷腐蚀、保温层下大气腐蚀；换热管泄漏，管子-管板接头裂纹；焊缝蜘蛛网状裂纹	管箱内壁、接管死角、汽液分界位置、管子-管板角接接头缝、接管角接接头、焊缝及热影响区、封头变径部位、波纹管膨胀节焊接接头等
生蒸汽冷凝槽	冷凝水氧含量超标；液位大幅波动；温度压力频繁交变；保温破损、法兰泄漏	锅炉冷凝水点蚀（溃疡状腐蚀）、保温层下大气腐蚀；局部坑蚀，腐蚀鼓包	接管角接接头、底部紊流区、底部沉积物覆盖区域、封头与筒体焊接接头、手孔、液位计接管、保温支撑圈等
气液分离器	氢气温度、冷凝水含量异常升高；介质流速波动大；开停车凝液积聚；设备外表面防护涂层破损、环境潮湿	锅炉冷凝水点蚀、无隔热层大气腐蚀；底部积液部位坑蚀锈蚀	氢气进出口接管、排净口接管、封头与筒体焊接接头、内表面成型不良焊接接头、人孔、视镜、下封头积液区域等
液氯储罐	液氯含水量超标；介质流速波动；罐底沉积物累积；超温、压力异常波动；开罐检修水洗残留水分；保温破损渗漏	盐酸腐蚀（露点/沉积物下腐蚀）、冲刷腐蚀、保温层下大气腐蚀；底部垢下点蚀，接管角焊缝腐蚀开裂	气液交界面、筒体底部、液氯进出口接管、液位计接管、进口接管对侧筒体、罐底焊接接头、法兰及保温破损部位等

4.4 典型压力容器损伤模式识别按照GB/T30579、GB/T150.1进行识别。无损检测应采用NB/T47013(所有部分)方法。除特殊说明外,表面缺陷检测应采用磁粉检测、渗透检测、涡流检测和阵列涡流检测方法；埋藏缺陷检测应采用射线检测、超声检测、TOFD检测和相控阵超声检测方法。

4.5 如企业采用RBI检验模式,需满足TSG 21第8.10条的规定，其损伤模式识别、检验策略制定可参照本文件和其他相关技术文件执行。

4.6 金属本体部分和非金属衬里部分安全状况分别评级，最终等级应综合评级，以其中项目等级最低者作为该压力容器的安全状况等级；检验周期根据最终安全状况等级进行确定。

4.7 除符合本文件规定外，还应遵守国家相关法律法规、TSG 21及相关文件的技术要求。

5 典型压力容器损伤模式及检验策略

本文件制定了各工段中典型压力容器的常见损伤模式和检验策略，各工段中的其他压力容器可根据实际工况参照执行，检验策略原则主要依据压力容器服役中产生的腐蚀减薄、环境开裂、材质劣化、机械损伤四大类损伤模式。

当实际工况出现偏离设计参数，材质和结构不满足制造要求时，检验时需要准确识别相应的损伤模式，制定相应的检验策略。

当存在首次检验错边量和棱角度超标焊缝部位，检验时发现焊缝内外表面裂纹部位，使用过程中补焊过的部位，使用中出现焊接接头泄漏的部位及其两端延长部位，承受交变载荷压力容器的焊接接头和其他应力集中部位，需要进行埋藏缺陷检测；已进行过埋藏缺陷检测的，使用过程中如果无异常情况，可以不再进行检测。

当超设计使用年限压力容器评估和检验时，除参照本文件检验要求外，还需满足T/CMES 16005、T/CPASE PT 020相关内容要求。

5.1　盐水工段

5.1.1 加压溶气罐

5.1.1.1 加压溶气罐损伤模式见表5.1，损伤敏感部位见图5.1。

表 5.1 加压溶气罐损伤模式

序号	主要损伤模式	典型损伤形态	损伤敏感部位	检验检测方法	备注
①	盐酸腐蚀	均匀减薄(局部浓缩或露点：局部腐蚀或沉积物下腐蚀)。	CDEFG	宏观检查、壁厚测定。	重点检查环氧玻璃鳞片开裂处，接管等死角处。
②	含盐水腐蚀	腐蚀部位结垢严重，腐蚀凹坑或者点蚀坑。	CDEFG	宏观检查、壁厚测定。	重点检查环氧玻璃鳞片开裂处，接管等死角处。
③	冲刷	冲刷形成的坑，沟，锐槽，孔和波纹状形貌，且具有一定的方向性。	AG	宏观检查、壁厚测定。	重点检查盐水和空气进出接管周围处。
④	大气腐蚀（有隔热层）	覆盖层下局部减薄，片状疏松锈皮。	ABCDFG	宏观检查、壁厚测定、表面检测。	重点检查接管盐水渗漏处，保温破损处。

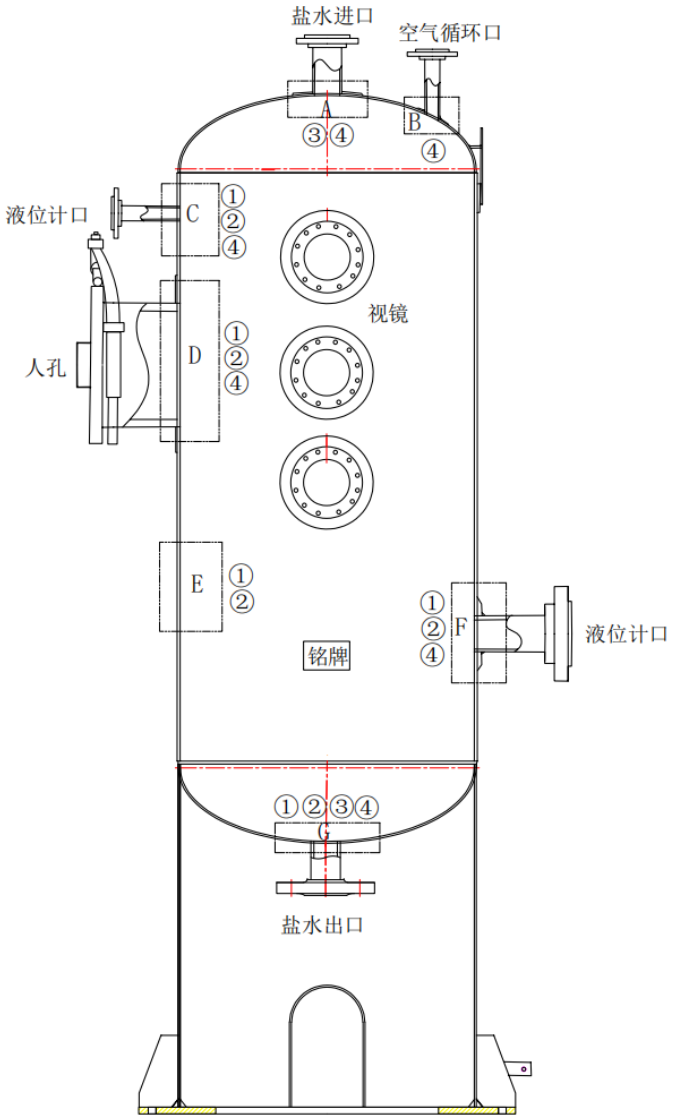


图5.1 加压溶气罐损伤敏感部位图

5.1.1.2 宏观检查

a) 内表面的腐蚀和机械接触损伤；

b) 环氧玻璃鳞片表面是否有腐蚀迹象，是否有磨损，机械接触损伤，爆瓷脱落；

c) 法兰和接管边缘的环氧玻璃鳞片层是否有脱落；

d) 对于环氧玻璃鳞片存在修复部位的，检查是否存在腐蚀、开裂和脱落；

e) 泄漏孔是否有泄漏痕迹；

f) 保温层是否完好；

g) 保温层破损和接管法兰面泄漏的，需要对保温层进行拆除检查腐蚀情况。

5.1.1.3 壁厚测定

外表面筒体和接管腐蚀处的部位重点测厚，定点抽查历年测厚部位。

5.1.1.4 表面检测

a）外表面存在腐蚀的焊接接头,盐水进出接管角接接头；

b）接管法兰面泄漏处角接接头。

5.1.1.5 防腐层检测

a） 对环氧玻璃鳞片安全状况有怀疑或者存在损伤时，按照设计要求进行直流高电压检测，如设计无明确规定时，可进行不小于3KV直流高电压检测；

b） 采用涂层测厚仪对内表面和内表面盐水进出接管处的环氧玻璃鳞片进行测厚。

5.2 烧碱工段

5.2.1 降膜式蒸发器

5.2.1.1 降膜式蒸发器损伤模式见表5.2.1。检验还应根据实际工况中烧碱溶液运行浓度和温度，对照镍基合金在碱液中的腐蚀区域图，确定设备所处腐蚀风险区域，并据此调整检测比例和检验策略。损伤敏感部位见图5.2.1。

表 5.2.1 降膜式蒸发器损伤模式

序号	主要损伤模式	典型损伤形态	损伤敏感部位	检验检测方法	备注
①	碱腐蚀	多为局部腐蚀，腐蚀沟槽或隔热垢层下局部减薄，腐蚀坑被垢层充满。	ACGIJKLMO	宏观检查、壁厚测定	重点检查管箱内壁和接管死角处、汽液分界处、管子-管板角接接头。
②	碱应力腐蚀开裂	多为蜘蛛网状细小裂纹，常起始于焊接缺陷处；一般穿晶开裂。	ABCFIJKLMNO	宏观检查、表面检测	重点检查接管角接接头，管子-管板角接接头，靠近焊缝的母材、焊缝和热影响区，封头变径部位。
③	冲刷	冲刷形成的坑，沟，锐槽，孔和波纹状形貌，且具有一定的方向性。	ACDEGHIKO	宏观检查、壁厚测定	重点检查碱液和蒸汽进出接管周围处、管子-管板角接接头。
④	大气腐蚀（有隔热层）	覆盖层下局部减薄，片状疏松锈皮。	ADEHJKLMO	宏观检查、壁厚测定、表面检测	重点检查接管渗漏处，保温破损处。

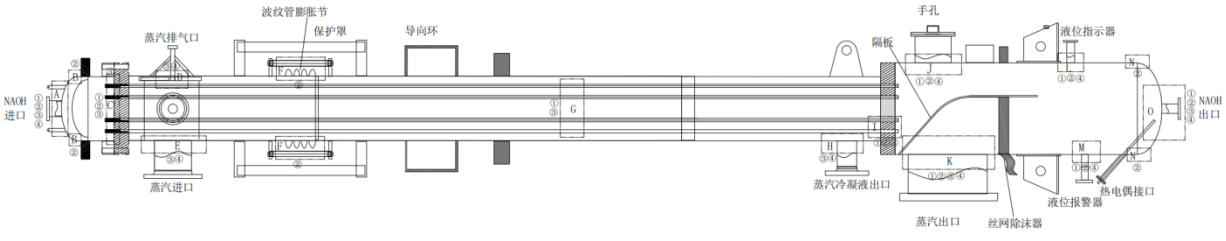


图5.2.1 降膜式蒸发器损伤敏感部位图

5.2.1.2 宏观检查

a）内表面是否有腐蚀迹象，是否有冲刷，机械接触损伤部位；

b）法兰密封面是否存在泄漏；

c）换热管是否存在腐蚀泄漏及穿孔，换热管和管板处是否存在泄漏，必要时可采用内窥镜辅助检测；

d）存在修复部位的，检查是否存在腐蚀、开裂；

e）保温层是否完好；

f）保温层破损和接管法兰面泄漏的，需要对保温层进行拆除，检查腐蚀情况。

5.2.1.3 壁厚测定

a）内表面筒体和进出接管处进行测厚；

b）外表面存在腐蚀部位，定点抽查历年测厚部位；

c）换热管或管子-管板处存在泄漏，需对壳程底部筒体进行超声测厚。

d）存在冲刷腐蚀的部位增加测厚点布置密度。

5.2.1.4 表面检测

a）管箱内表面焊接接头、接管角接接头、管子-管板角接接头，靠近焊缝的母材和热影响区；

b）外表面存在腐蚀的焊接接头、进出接管角接接头、法兰接管面泄漏处角接接头等；

c）波纹管膨胀节及其与筒体的连接焊接接头，必要时可采用超声检测方法对焊接接头进行内表面焊缝检测；

d）无法进入内部检验的管箱，应通过内窥镜辅助检测、超声检测方法对内表面焊接接头进行检测。

5.2.1.5 涡流检测

重点对宏观发现存在腐蚀的换热管管束进行抽查。

5.2.2 生蒸汽冷凝槽

5.2.2.1 生蒸汽冷凝槽损伤模式，见表5.2.2，损伤敏感部位见图5.2.2。

表 5.2.2 生蒸汽冷凝槽损伤模式

序号	主要损伤模式	典型损伤形态	损伤敏感部位	检验检测方法	备注
①	锅炉冷凝水腐蚀	点蚀，呈溃疡状，在金属表面形成黄褐色或砖红色鼓包。腐蚀产物去除后，可见金属表面的腐蚀坑。	BCD	宏观检查、壁厚测定	重点检查内表面接管角焊缝和底部紊流区部位，底部沉积物覆层部位，封头与筒体焊接时最后一道焊接接头。
②	大气腐蚀（有隔热层）	覆盖层下局部减薄，片状疏松锈皮。	ABCD	宏观检查、壁厚测定、表面检测	重点检查接管渗漏处及保温破损处。

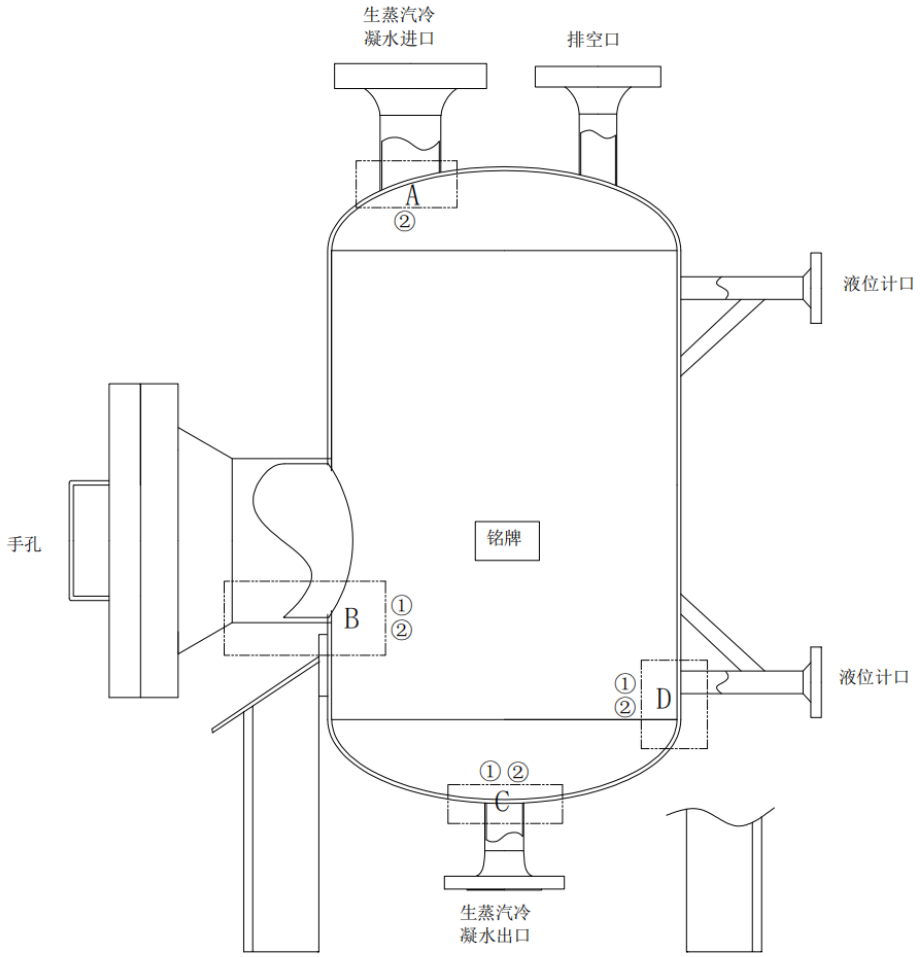


图5.2.2 生蒸汽冷凝槽损伤敏感部位图

5.2.2.2 宏观检查

a）内表面是否有点蚀迹象，是否有冲刷，机械接触损伤部位，必要时可采用内窥镜辅助检测；

b）法兰密封面是否存在泄漏；

c）存在修复部位的，检查是否存在腐蚀、开裂；

d）外表面是否完好，对于保温层破损和接管法兰面泄漏的需要对保温层进行拆除，检查腐蚀情况。

5.2.2.3 壁厚测定

重点对筒体气液交界面处、进出接管处、底部筒体和封头进行超声测厚。

5.2.2.4 表面检测

重点检查外表面接管角接接头，外表面腐蚀部位；必要时，可采用超声检测方法抽查内表面缺陷。

5.2.2.5 水质分析

内表面存在严重腐蚀时，需增加水质分析检测。

5.3 制氢工段

5.3.1 气液分离器

5.3.1.1 气液分离器损伤模式见表5.3.1，损伤敏感部位见图5.3.1。

表 5.3.1 气液分离器损伤模式

序号	主要损伤模式	典型损伤形态	损伤敏感部位	检验检测方法	备注
①	锅炉冷凝水腐蚀	为点蚀，呈溃疡状，在金属表面形成黄褐色或砖红色鼓包。腐蚀产物去除后，可见金属表面的腐蚀坑。	BCD	宏观检查、壁厚测定	重点检查内表面接管角接接头和底部紊流区部位，底部沉积物覆层部位，封头与筒体焊接时最后一道焊接接头。
②	大气腐蚀（无隔热层）	均匀减薄或局部减薄。	ABCD	宏观检查、壁厚测定	重点检查潮湿环境中、涂层差、吸附水的部位。

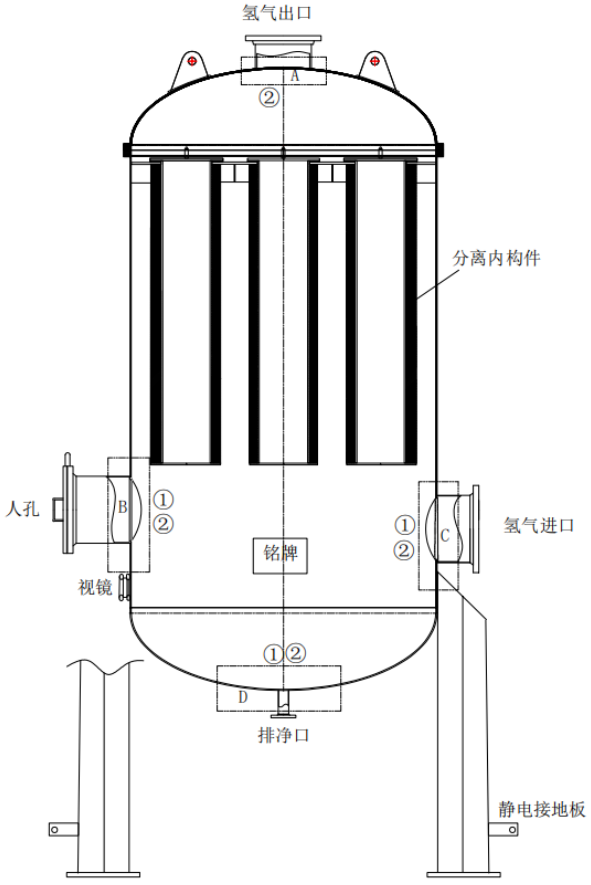


图5.3.1 气液分离器损伤敏感部位图

5.3.1.2 宏观检查

a）内表面是否有点蚀迹象，是否有冲刷，尤其是排净口接管；必要时可采用内窥镜辅助检测；

b）法兰密封面是否存在泄漏；

c）存在修复部位的，检查是否存在腐蚀、开裂；

d）外表面涂层完好情况，外表面潮湿锈蚀部位。

5.3.1.3 壁厚测定

重点对进出接管和排净接管处，筒体和下封头内表面腐蚀部位，外表面腐蚀部位进行超声测厚。

5.3.1.4 表面检测

重点检查内表面接管角接接头，封头与筒体焊接时最后一道焊接接头和焊缝内表面存在未焊透、未焊满、成型不良的焊接接头等。

5.4 制氯工段

5.4.1 液氯储罐

5.4.1.1 液氯储罐损伤模式见表5.4.1，损伤敏感部位见图5.4.1。

表 5.4.1 液氯储罐损伤模式

序号	主要损伤模式	典型损伤形态	损伤敏感部位	检验检测方法	备注
①	盐酸腐蚀	局部浓缩或露点形成的局部腐蚀或沉积物下腐蚀。	ABCD	宏观检查、壁厚测定	重点检查内表面液面下和沉积物底母材和焊缝。液氯出口接管和液位计接管角接接头。
②	冲刷	冲刷形成的坑，沟，锐槽，孔和波纹状形貌，且具有一定的方向性。	ABCD	宏观检查、壁厚测定	重点检查液氯进口接管周围处，底部紊流区部位。
③	大气腐蚀（有隔热层）	覆盖层下局部减薄，片状疏松锈皮。	ACD	宏观检查、壁厚测定、表面检测	重点检查接管渗漏处及保温破损处。

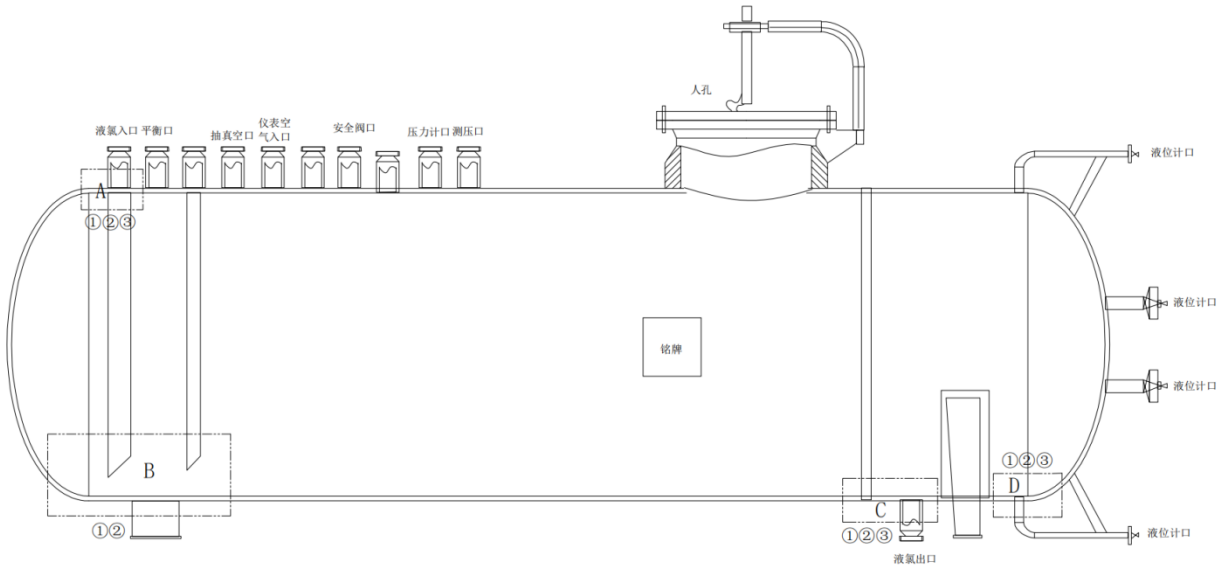


图5.4.1 液氯储罐损伤敏感部位图

5.4.1.2 宏观检查

a）内表面是否有点蚀迹象，是否有冲刷；尤其是气液交界面部位，液氯进口接管对侧筒体和液氯出口接管部位；

b）法兰密封面是否存在泄漏；

c）检查开罐时间较久或者水洗后腐蚀情况；

d）存在修复部位的，检查是否存在腐蚀、开裂；

e）接管法兰保温层是否完好，对于保温层破损和接管法兰面泄漏的需要对保温层进行拆除检查腐蚀情况。

5.4.1.3 壁厚测定

重点对内表面筒体底部,液氯进口接管对侧底部筒体,液氯出口接管和底部液位计接管周围进行超声测厚，也可采用脉冲涡流检测技术对底部筒体进行辅助检测；当发现底部筒体存在腐蚀减薄时，应扩大壁厚测定范围。

5.4.1.4 表面检测

a）内表面底部筒体焊接接头和接管角接接头；

b）外表面接管法兰面泄漏周围部位，保温层破损部位；

c）如不开罐检验，建议可采用超声相控阵检测方法、TOFD检测方法对内表面底部筒体焊接接头进行表面缺陷检测。

5.4.1.5 腐蚀产物检测

当内表面及筒体底部存在腐蚀或点腐蚀、建议对底部沉积物进行酸碱度检测，以判断是否存在酸

性腐蚀环境。

6 安全附件检验

按照TSG 21中8.3.12条和TSG92相关规定进行。

7 耐压及泄漏试验

按照TSG 21中8.3.13条和8.3.14相关规定进行。

8 缺陷及问题处理

压力容器发现缺陷或问题时，应根据缺陷性质、严重程度及运行条件，选择采用修理的方法消除缺陷或者进行合于使用评价的处理方式。压力容器的修理应按照TSG21和GB/T42606等要求进行，压力容器的合于使用评价应按照TSG21和GB/T19624、GB/T35013等要求进行。

9 安全状况等级评定

按照TSG 21中8.1.5条规定进行。

10 检验周期

按照TSG 21中8.1.6和8.1.7条规定进行。

附件 A 工艺流程及典型设备简介

电解法生产烧碱最早是采用食盐熔融电解法，1808年Davy在研究熔融盐的电解时发现金属钠与汞能生成汞齐，为后来的水银法(汞法)电解制烧碱奠定了基础。Watt取得了电解食盐水制备氯的专利。隔膜法与水银法电解几乎是同时发明的。电解法生产工艺目前主要有以下三种方法：

1）隔膜电解法

隔膜电解法是指在阳极与阴极之间设置隔膜，把阴阳极产物隔开。隔膜是一种多孔渗透性隔层，它不妨碍离子的迁移和电流通过，并使它们以一定的速度流向阴极，但可以阻止OH^-向阳极扩散，防止阴阳极产物间的机械混合。目前，工业上用得较多的是立式隔膜电解槽。阳极用石墨或金属，阴极用铁丝网或冲孔铁板。当输入直流电进行电解后，食盐水溶液中的部分Cl^-在阳极上失去电子生成Cl_2并逸出，阳极溶液中剩下的Na^+随溶液一同向阴极迁移，流入阴极的电解液，其中的H^+在阴极得到电子生成H_2自电解槽阴极室逸出，由于H^+不断放电析出H_2，从而进一步促使水电离，溶液中所剩的OH^-与Na^+形成NaOH碱溶液，与未电解的NaCl溶液一起不断自电解槽中排出。新盐水不断得到补充，在电解槽的阳极室进行连续生产。隔膜电解法设备投资小，工艺成熟，曾经是我国生产烧碱的主要方法。但隔膜法电能消耗高，产品质量低，目前，大部分已被离子膜法所取代。

2）水银电解法

水银电解法是指利用流动的水银层作为阴极，在直流电作用下使电解质溶液的阳离子成为金属析出，与水银形成汞齐，与阳极的产物分开。水银法的主要设备电解槽由电解室和解汞室组成，在电解室中，Hg得到电子生成液态的钠和汞的合金。在解汞室中，钠汞合金与水作用生成NaOH和H_2，析出的Hg又回到电解室循环使用。水银法电解食盐水原理为：

$$2NaCl+2Hg\rightarrow 2HgNa+Cl_2\uparrow$$

$$2HgNa+2H_2O\rightarrow 2NaOH+H_2\uparrow+2Hg$$

水银法较隔膜法消耗电力虽然多些，但此法的优点是制得的碱液浓度高，质量好，成本低。可直接生产含50%NaOH液碱，不需要蒸发装置，节省大量蒸汽，适宜于水电丰富而缺煤地区。水银电解法所产烧碱质量好，含NaCl低于50mg/kg，适用于化学纤维与合成纤维工业。欧洲国家西班牙由于产汞，大多采用水银法，德国原来几乎也全是水银法。日本原先也以水银法为主，20世纪70年代初，在日本水俣地方出现了一种受汞污染的严重病害，迫于社会舆论，日本于1973年起将水银法逐渐转换为隔膜法或其他方法。水银法的最大缺点是汞会对环境造成污染。管理不善易造成汞污染，近年来除降低能耗外，主要改进工作在于消除汞的污染，所以此法已逐渐减少使用。

3）离子膜电解法

离子膜法是指采用离子交换膜法电解食盐水而制成烧碱。其主要原理是使用具有特殊的选择透过性的阳离子交换膜，该膜只允许阳离子通过而阻止阴离子和气体通过，即只允许H^+、Na^+通过，而Cl^-、OH^-和两极产物H_2和Cl_2无法通过，因而起到了防止阳极产物Cl_2和阴极产物H_2相混合而可能导致爆炸的危险，还起到了避免Cl_2和阴极另一产物NaOH反应，而生成NaClO影响烧碱纯度的作用。目前氯碱工艺生产使用最多的是离子膜电解法。

以离子膜电解法为例，根据生产工艺可分为四个工段，分别为盐水工段、制氢工段、制氯工段、烧碱工段。

A.1 盐水工段

A.1.1 盐水工段工艺流程

盐水工段可分为化盐和盐水精制两个单元。

A.1.1.1 化盐单元工艺

详见图 A.1.1.1。

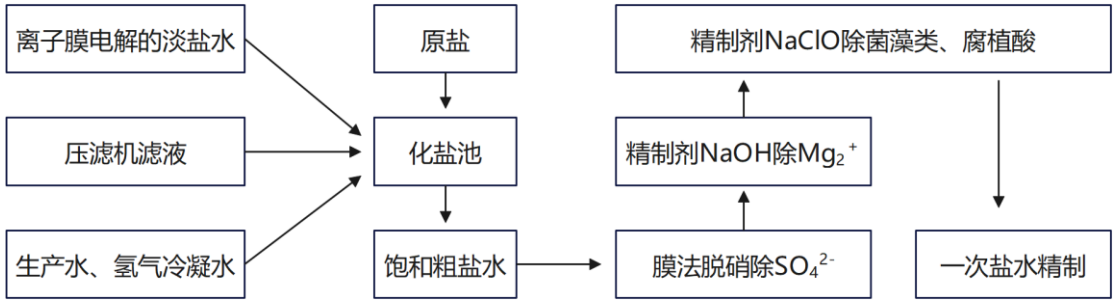


图 A.1.1.1 化盐单元工艺流程图

A.1.1.2 盐水精制单元工艺

盐水精制主要分为一次盐水精制和二次盐水精制。目前，国内一次盐水精制有以下三种方法。

1）澄清桶法

除去盐水中钙、镁、硫酸根等杂质。目前，此方法已被国内新建和改建的氯碱企业淘汰。

2）有机聚合物膜过滤法

目前，国内离子膜法制烧碱多采用凯膜法、颇尔膜法等。该法特点是先加入烧碱，产生氢氧化镁沉淀，在预处理器中除去粗盐水中的镁离子；再加入碳酸钠使粗盐水中的钙离子产生碳酸钙沉淀，然后采用有机聚合物膜过滤使盐水达到一次精制盐水的要求。

3）无机陶瓷膜过滤法

国内自行研发的无机陶瓷管式膜过滤法处理粗盐水是近几年在我国应用发展较快的一种方法，已在一些氯碱企业成熟采用，效果良好。

其特点主要有：不需先除去粗盐水中的镁离子，可以钙镁离子同时过滤去除；流程简单，生产装置占地面积小；设备投资低于采用有机聚合物膜过滤方法设备的费用；陶瓷膜寿命长，过滤盐水精度高，运行费用低，装置大型化。

A.1.1.2.1 一次精制盐水单元主要有有机凯膜过滤法、无机陶瓷膜过滤法工艺。

a）有机凯膜过滤法一次盐水精制工艺，详见图 A.1.1.2.1-1。

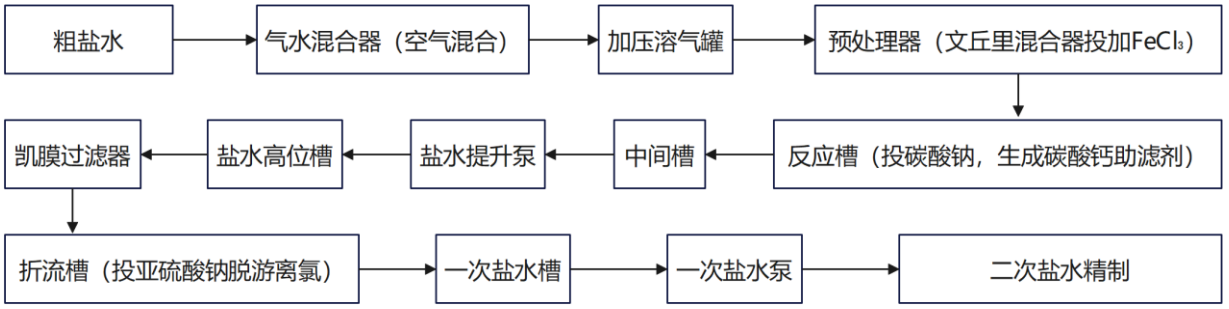


图 A.1.1.2.1-1 有机凯膜盐水精制工艺流程图

附属滤渣处理流程，详见图 A.1.1.2.1-2。

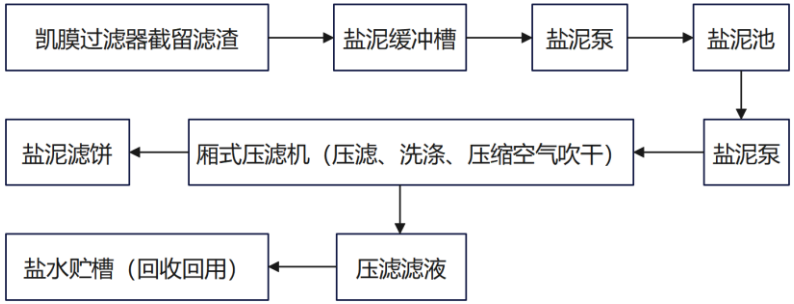


图 A.1.1.2.1-2 有机凯膜盐水精制附属滤渣处理工艺流程图

附属膜再生流程：凯膜过滤器运行周期到期→采用15%盐酸进行化学再生→恢复膜过滤性能。

b）无机陶瓷膜过滤法一次盐水精制工艺，详见图 A.1.1.2.1-3。

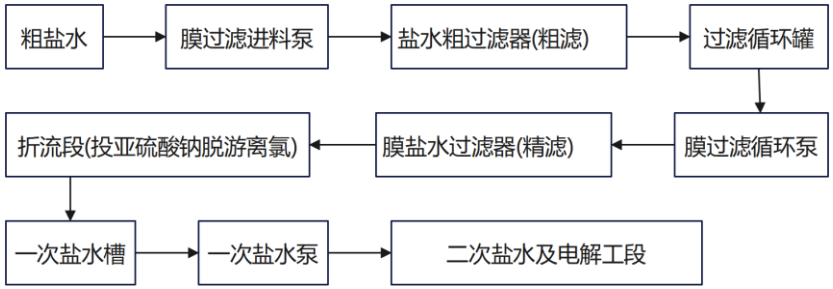


图 A.1.1.2.1-3 无机陶瓷膜盐水精制工艺流程图

附属盐泥处理流程，详见图 A.1.1.2.1-4。

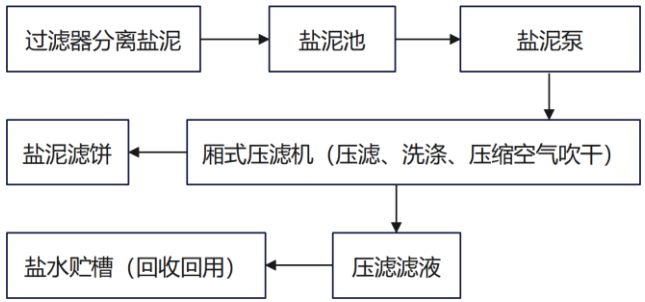


图 A.1.1.2.1-4 无机陶瓷膜盐水精制附属滤渣处理工艺流程图

附属膜再生流程：无机膜过滤器运行周期到期→采用22%盐酸+纯水进行化学再生→恢复膜过滤性能。

A.1.1.2.2 二次盐水精制单元工艺；

c）工艺流程中盐水经换热升温后进入螯合树脂塔深度除杂，完成二次精制；精制合格盐水依次经中转、升压、高位自流输送至电解槽，全程自动化管控，保障盐水水质满足电解生产要求。详见图 A.1.1.2.2。

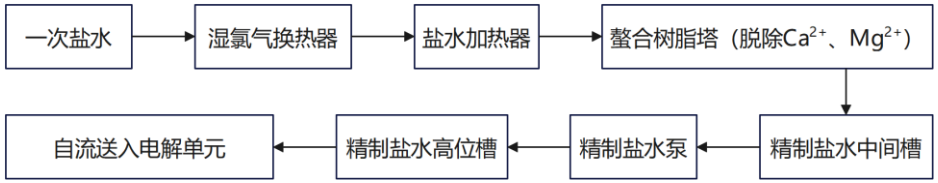


图 A.1.1.2.2 二次盐水精制工艺流程图

A.1.2 盐水工段典型设备

盐水工段典型设备主要加压溶气罐、气水混合器、过滤循环罐，工况基本相同，以下以加压溶气罐为例介绍其工况。

A.1.2.1 加压溶气罐

A.1.2.1.1 设备主要工艺

加压溶气罐多用于有机凯膜工艺，粗盐水在罐内带压溶入空气，为后续预处理器气浮除杂提供微气泡；稳压缓冲盐水流量、压力，保证后续工序运行稳定。

A.1.2.1.2 加压溶气罐结构特点

主要部件有:封头、筒体、盐水进出口，空气循环口、视镜、液位计口、人孔。筒体和封头的主体受压件材质为16MnR+环氧玻璃鳞片。

A.1.2.1.3 加压溶气罐基础参数

表 A-1 加压溶气罐**基础参数**

产品名称	加压溶气罐	容器类别	Ⅰ类
产品标准	GB/T150	容器规格	Ø2200x8145mm
筒体材料	16MnR+环氧玻璃鳞片	筒体厚度	10mm
封头材料	16MnR+环氧玻璃鳞片	封头厚度	10mm
设计压力	0.7MPa	设计温度	70℃
工作压力	0.6MPa	工作温度	60℃
容器介质	盐水和空气	保温绝热方式	岩棉
主体结构型式	单层	焊接接头系数(筒体/封头)	0.85
支座型式	支撑式	安装型式	立式

A.2 烧碱工段

A.2.1 烧碱工段工艺流程

烧碱工段为氯碱装置的核心工段，本文件引用采用离子膜法制烧碱工艺，将烧碱工段主要分为精制盐水电解单元、脱氯单元和碱蒸发单元共三个单元。

A.2.1.1 精制盐水电解单元

饱和精制盐水的电解装置选用先进、可靠、洁净、节能的自然循环、高电流密度、零极距的复极式离子膜电解槽，生产烧碱、氯气和氢气，从根本上杜绝了环境污染。

二次精制盐水由高位槽进入电解槽进行电解。从阳极室流出的淡盐水进入淡盐水脱氯工序；湿氯气汇入总管送配套工程氯处理工序；从阴极室流出的电解液（32%NaOH）进入电解液贮槽，用泵送成品贮罐，阴极液用烧碱液循环泵在各单元槽的阴极液槽之间少量循环。为保持电解液温度在85～90℃，部分电解液送入阴极液冷却器中用冷却水进行冷却后回电解槽循环使用。阴极室分离出来的氢气送配套工程氢处理工序。

本单元中涉及的化学方程式：$2NaCl + 2H_2O = 2NaOH + H_2\uparrow + Cl_2\uparrow + Q$

A.2.1.2 淡盐水脱氯单元

淡盐水脱氯有两种工艺路线：一种采用空气吹除法，该法脱氯效果欠佳，从淡盐水中分离出来的废氯气纯度低，无法汇入湿氯气总管送氯气处理工序，只能由烧碱液循环吸收，制成次氯酸钠溶液。另一种采用真空脱氯和化学脱氯相结合的方法，真空系统由蒸汽喷射器或机械真空泵来实现，真空度高且稳定，经真空脱氯后的淡盐水含游离氯≤50mg/L；真空脱氯后的淡盐水加Na_2SO_3进一步化学脱氯，以保证返回一次盐水单元的淡盐水不含游离氯，从而保证下游单元的设备和管道不被腐蚀。

由淡盐水泵送来的淡盐水被送入脱氯塔的顶部，入塔前加入盐酸，控制pH值在1.3左右，降低氯气在淡盐水中的溶解度，调节阀门的开度，使脱氯塔的真空度达到-350mmHg。淡盐水进入脱氯真空系统后液相表面压力被降低，氯气从液相中逸出转真空系统后回收送入氯气总管。脱氯塔真空系统由顶部脱氯塔冷却器通过真空泵产生真空，再经过蒸汽冷凝器，液相氯水流往阳极液排放槽，气相部分汇入氯气总管。脱氯塔出来的淡盐水，含游离氯55mg/L以下，并添加32%NaOH调节pH值为9～11，在亚硫酸钠槽中用纯水配制成10%的亚硫酸钠溶液，然后用亚硫酸钠泵计量后加入到脱氯盐水泵出口管内，以完全除去淡盐水中的游离氯，脱氯之后的淡盐水用泵送到配套装置的化盐工序。

A.2.1.3 碱蒸发单元

来自电解工序泵出口的32%碱液经外管进入碱液贮槽，然后用32%碱液泵经控制一定流量送至三效蒸发器，加热浓缩至37%碱液，其蒸汽经循环水冷凝器，其冷凝液由冷凝水泵加压经外管送至一次盐水工序，其不凝气体经真空泵抽出放空，控制真空度。37%的碱液经三效碱液泵预热器中，在此分别用二效蒸发器的蒸汽冷凝水加热后送入二效蒸发器，进一步浓缩至42%碱液，再用二效碱液泵送至预热器，回收其显热，在此用48%浓碱液和一效蒸发器加热室蒸汽冷凝水加热后，送入一效蒸发器进一步浓缩为48%的成品碱。热碱液用一效泵送到预热器中回收其显热后，再经成品碱冷却器用循环水冷却至 40℃后送至成品罐区。

A.2.2　烧碱工段典型设备

烧碱工段主要设备有降膜式蒸发器、42%碱液预热器、生蒸汽冷凝槽，其中降膜式蒸发器和42%碱液预热器工况相似，故以降膜式蒸发器和生蒸汽冷凝槽为例介绍其工况。

A.2.2.1 降膜式蒸发器

A.2.2.1.1 设备主要工艺

降膜式蒸发器用于32%烧碱与蒸汽的三效逆向蒸发制备高浓度碱，32%烧碱与蒸汽逆向接触，碱温升高，碱中水份随水蒸汽被带走，烧碱浓度增加。水蒸汽与低温烧碱接触，温度和压力下降，最终冷凝成液态水被收集。

A.2.2.1.2 降膜式蒸发器结构特点

主要部件有:蝶形封头、筒体、管箱、NaOH进出口，蒸汽进出口、蒸汽排气口、蒸汽冷凝液出口、波纹管膨胀节、保护罩、导向环、隔板、丝网除沫器、热电偶接口、液位指示器、液位报警器。管箱主体受压件材质均为高强度、耐高温、耐腐蚀的镍基材料NO2201,壳程筒体材料Q345R。

A.2.2.1.3 降膜式蒸发器基础参数

表 A-2-2-1 降膜式蒸发器基础参数

产品名称	降膜式蒸发器	容器类别	Ⅰ类
产品标准	GB/T150	容器规格	Ø1000x9991mm
筒体材料	壳程/管程：Q345R/NO2201	筒体厚度	壳程/管程：8/5/8mm
封头材料	NO2201	封头厚度	4/6/8mm
设计压力	壳程/管程:1.2/0.2MPa	设计温度	壳程/管程:200/180℃
工作压力	壳程/管程:0.95/0.12MPa	工作温度	壳程/管程:184/166℃
容器介质	壳程/管程：蒸汽/NAOH 溶液	保温绝热方式	岩棉
主体结构型式	单层	焊接接头系数(筒体/封头)	0.85/1.0
支座型式	鞍座	安装型式	卧式

A.2.2.2 生蒸汽冷凝槽

A.2.2.2.1 设备主要工艺

生蒸汽冷凝槽用作存储蒸汽给碱液加热浓缩后形成的冷凝水，并作为热源预热前序低浓度碱液。

A.2.2.2.2 生蒸汽冷凝槽结构特点

主要部件有:封头、筒体、生蒸汽冷凝液进出口、排空口、手孔、液位计口。筒体和封头材质为Q245R。

A.2.2.2.3 生蒸汽冷凝槽基础参数

表 A-2-2-2 生蒸汽冷凝槽基础参数

产品名称	生蒸汽冷凝槽	容器类别	Ⅰ类
产品标准	GB/T150	容器规格	Ø800x2300mm
筒体材料	Q245R	筒体厚度	8mm
封头材料	Q245R	封头厚度	8mm
设计压力	1.2MPa	设计温度	200℃
工作压力	0.95MPa	工作温度	182℃
容器介质	蒸汽冷凝水	保温绝热方式	岩棉
主体结构型式	单层	焊接接头系数(筒体/封头)	0.85
支座型式	支腿式	安装型式	立式

A.3 制氢工段

A.3.1 制氢工段工艺流程

该工段是将来自离子膜电解槽阴极的氢气经洗涤、冷却、除雾、压缩、精制后，产品即为干燥洁净氢气送下游工段使用。

由电解槽出来的氢气温度高、含水量大且含碱雾，故必须进行冷却。冷却分直接冷却和间接冷却两种方式。直接冷却方式是采用填料塔，利用氢气冷凝下的液体作为循环使用的洗涤液；间接冷却是采用列管换热器冷却的方式。设置氢气缓冲罐进行缓冲，保证系统氢气压力的稳定。氢气输送依用户的需要，可选用水环式压缩机、往复式压缩机。

来自电解工序的温度约85℃的湿氢气进入氢气洗涤塔洗涤后，再进入氢气压缩机压缩至90KPa后，依次通过氢气冷却器冷却，再经氢气除雾器后至氢气分配台，一部分输送至盐酸合成，另一部分经氢气分配台后至高压压缩机。经高压压缩机压缩至1.65MPa后经高压氢气分配台送出至氢气精制。经

脱氧塔进行氢氧反应，除去粗氢气中的氧，再经氢气冷却器冷却后进入预分水罐，分离出游离水，再进入干燥装置。干燥塔设置两塔，一塔干燥，一塔再生，两塔交替进行干燥和再生，达到连续生产的目的。处理合格的氢气至下游装置。

A.3.2　制氢工段典型设备

盐水工段典型设备主要脱氧器、干燥塔、加热器、冷却器、气液分离器。其中脱氧器、干燥塔、加热器、冷却器主要在氢气精制流程，气液分离器多次使用在整个制氢工段流程中。以下以气液分离器为例介绍其工况。

A.3.2.1 气液分离器

A.3.2.1.1 设备主要工艺

气液分离器用于分离经冷却后的氢气和冷凝水，保证后续干燥工序运行稳定。

A.3.2.1.2 气液分离器结构特点

主要部件有:封头、筒体、氢气进出口、排净口、视镜、人孔、分离内构件、静电接地板。筒体和封头材质为Q245R。

A.3.2.1.3 气液分离器基础参数

表 A-3-2-1 气液分离器**基础参数**

产品名称	气液分离器	容器类别	Ⅱ类
产品标准	GB/T150	容器规格	Ø2000x5200mm
筒体材料	Q245R	筒体厚度	8mm
封头材料	Q245R	封头厚度	8mm
设计压力	0.11MPa	设计温度	40℃
工作压力	0.1MPa	工作温度	15℃
容器介质	氢气	保温绝热方式	/
主体结构型式	单层	焊接接头系数(筒体/封头)	0.85
支座型式	支撑式	安装型式	立式

A.4 制氯工段

A.4.1 制氯工段工艺流程

该工段是将来自离子膜电解槽阳极的氯气经洗涤、冷却、干燥、除雾、压缩，产品即为干燥洁净氯气送下游工段使用。主要有以下三种氯气处理工艺：

a） 填料塔与泡罩塔干燥流程

来自离子膜电解槽阳极的氯气经洗涤、冷却、过滤、干燥、压缩除雾，即为干燥洁净氯气。由于泡罩塔的塔板上留有一定厚度的硫酸层，氯气从硫酸层中通过时，能使气液两相得到充分接触；而且泡罩塔处理量大,塔板上安装圆形或条形泡罩，增加了设备的操作弹性和对负荷变化的适应性。因此，该流程能很好地适应气体流量的变化，即在气体流量较小时,填料塔承担干燥责任；而在满负荷运行状况下，泡罩塔则以较快的速度完成传质吸收过程。

b） 串级组合填料塔干燥流程

该流程与双塔干燥流程工艺基本一致，只是在经过过滤除沫以后的湿氯气依次进入四台串联的填料塔，用不同浓度的硫酸对氯气进行干燥脱水，因而称之为串级组合填料塔干燥流程。该干燥流程采用了多台填料干燥塔串联，其操作弹性较大、简易方便；但是占地面积大、操作维修费用高、投资较多。

c） 单塔干燥流程

氯气干燥工艺还有采用单塔干燥流程，即由一台填料加泡罩的复合干燥塔投入生产，其氯气含水量≤50ppm。该工艺流程的日常运行和维修费用比双塔流程低，单台处理能力大，但一次投资高。

本标准引用填料塔与泡罩塔干燥工艺简单介绍：一台填料塔和一台填料泡罩组合塔干燥流程。

干燥后的氯气经干氯气除雾器除去酸沫后，送氯气透平压缩机压缩后送氯化氢合成和液氯单元。目前氯气输送设备有两种方式，一种是液环泵，另一种是透平式压缩机。通常的液环泵对氯气中含水量要求不甚苛刻，但动力消耗大，输送量小，出口氯气压力低，适于生产规模在5万t/a烧碱能力以下的氯气输送。透平式压缩机具有输送量大、排气压力较高、电耗低、运转平稳、工作环境得以改善等优点。该设备能量消耗与同气量液环泵相比节电50%，但要求氯气中含水量＜100wtppm，适于5万t/a烧碱规模以上的装置输送氯气。

A.4.2　制氯工段典型设备

盐水工段典型设备主要氯气液化器、气液分离器、液氯储罐、液氯排污缓冲罐，其工况基本相同，以下以液氯储罐介绍其工况。

A.4.2.1 液氯储罐

A.4.2.1.1 设备主要工艺

液氯储罐用于储存前序流程中氯气液化分离出少量氯气后的液氯。

A.4.2.1.2 液氯储罐结构特点

主要部件有:封头、筒体、液氯进出口、真空口、空气入口、安全阀口、压力计口、人孔、液位计口。筒体和封头材质为16MnDR。

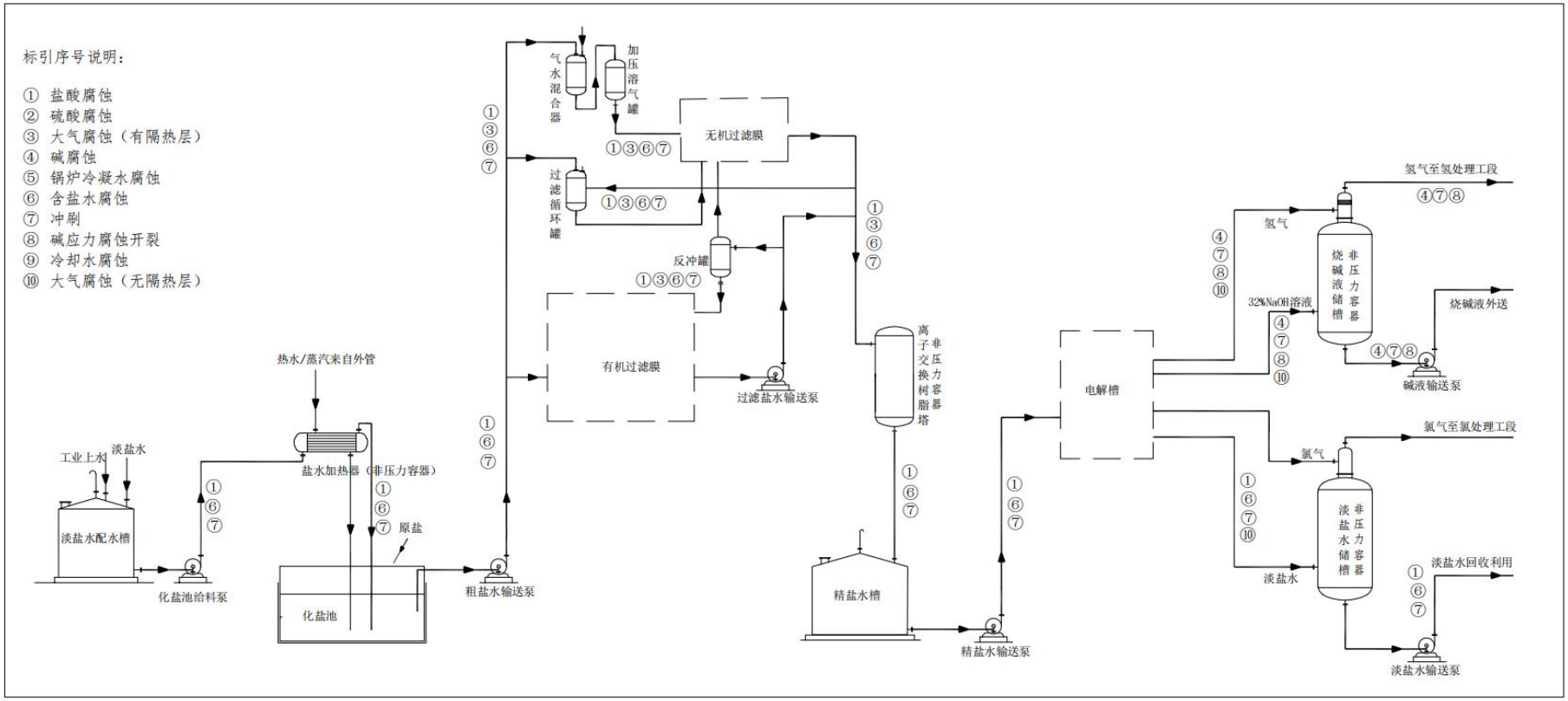
A.4.2.1.3 液氯储罐基础参数

表 A-4-2-1 液氯储罐基础参数

产品名称	液氯储罐	容器类别	Ⅲ类
产品标准	GB/T150	容器规格	ø2600x10618mm
筒体材料	16MnDR	筒体厚度	18mm
封头材料	16MnDR	封头厚度	18mm
设计压力	1.6MPa	设计温度	-25/60℃
工作压力	1.2MPa	工作温度	-25/50℃
容器介质	液氯	保温绝热方式	阻燃聚氨酯
主体结构型式	单层	焊接接头系数(筒体/封头)	1.0
支座型式	鞍座	安装型式	卧式

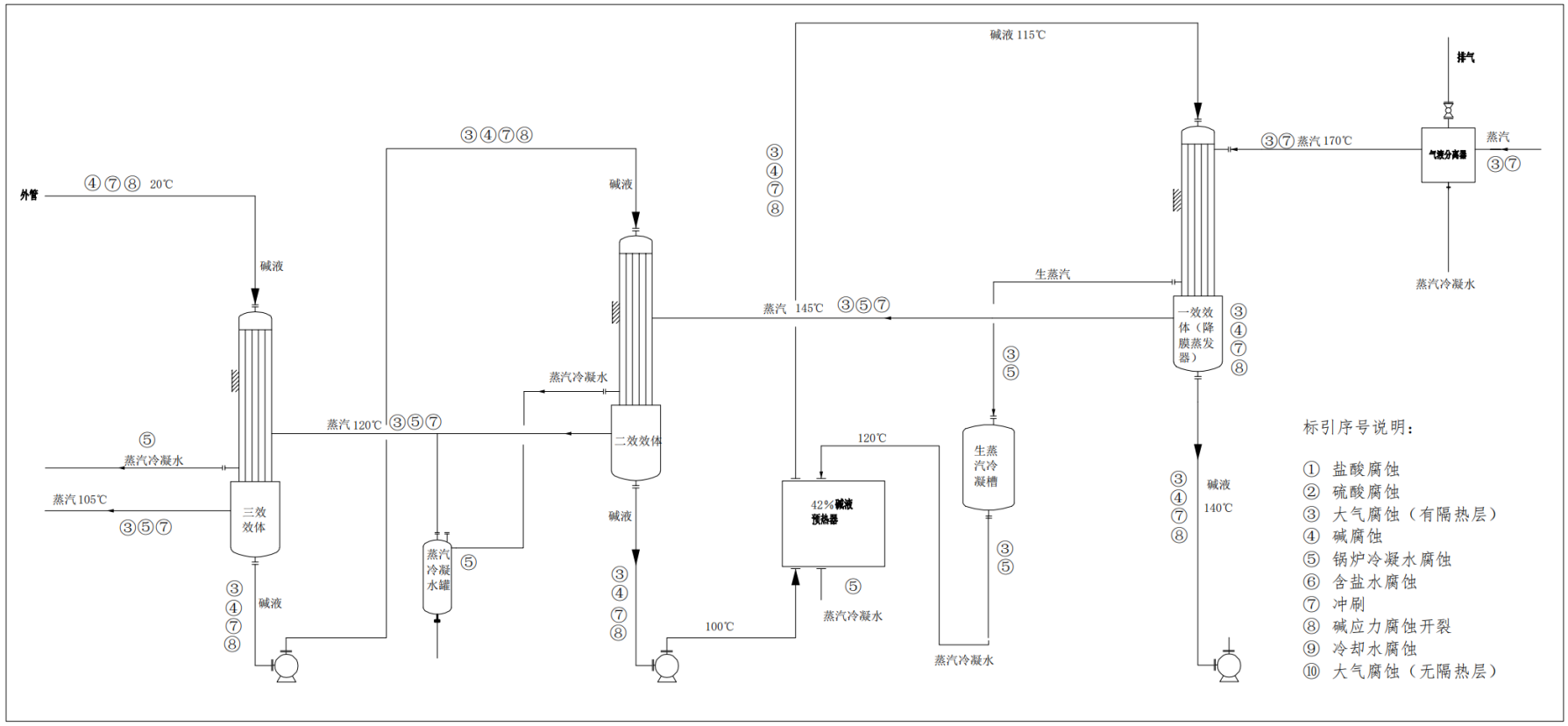
附件 B 损伤模式分布图(资料性)

B.1 盐水工段流程图



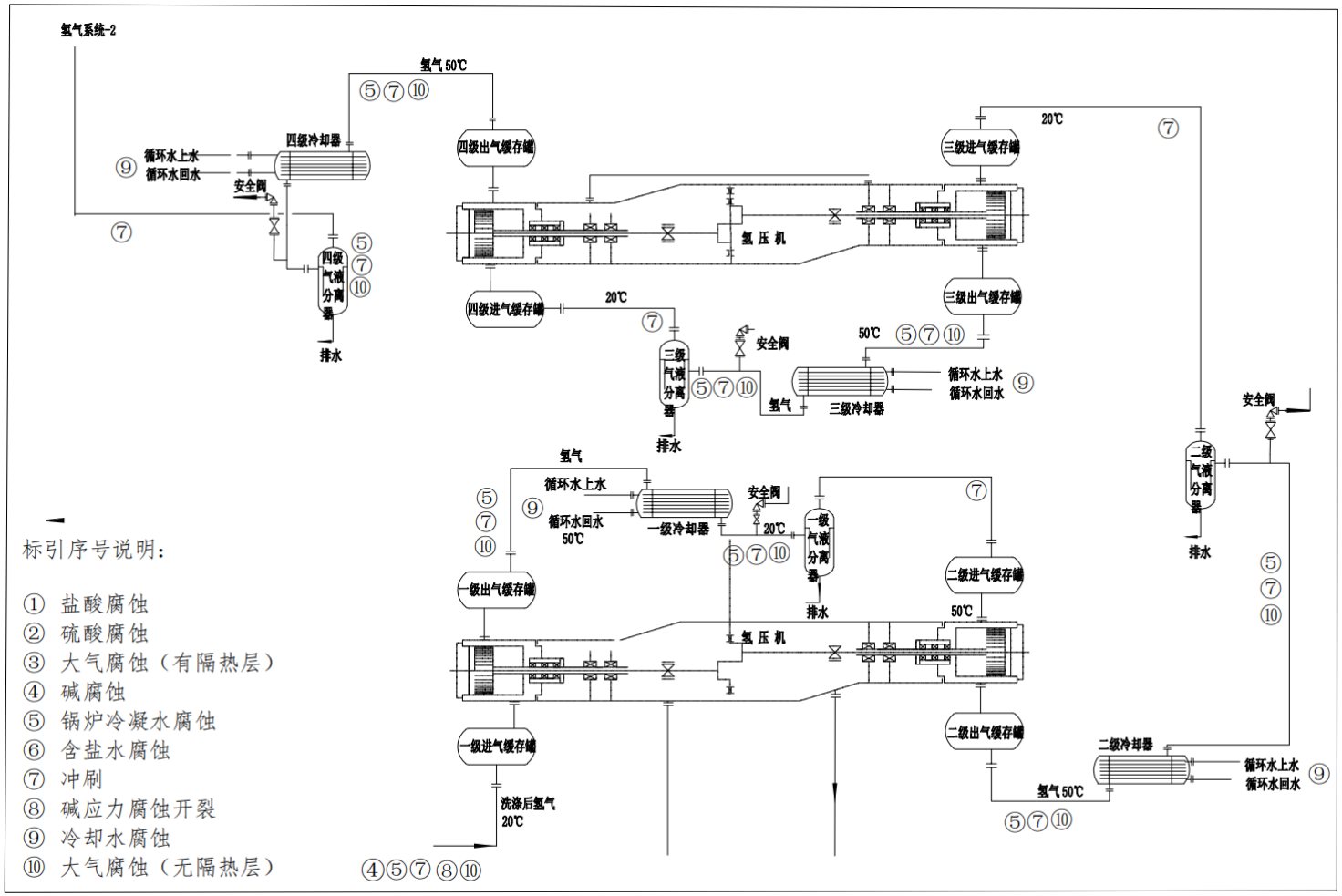
盐水工段工艺流程图

B.2 烧碱工段流程图

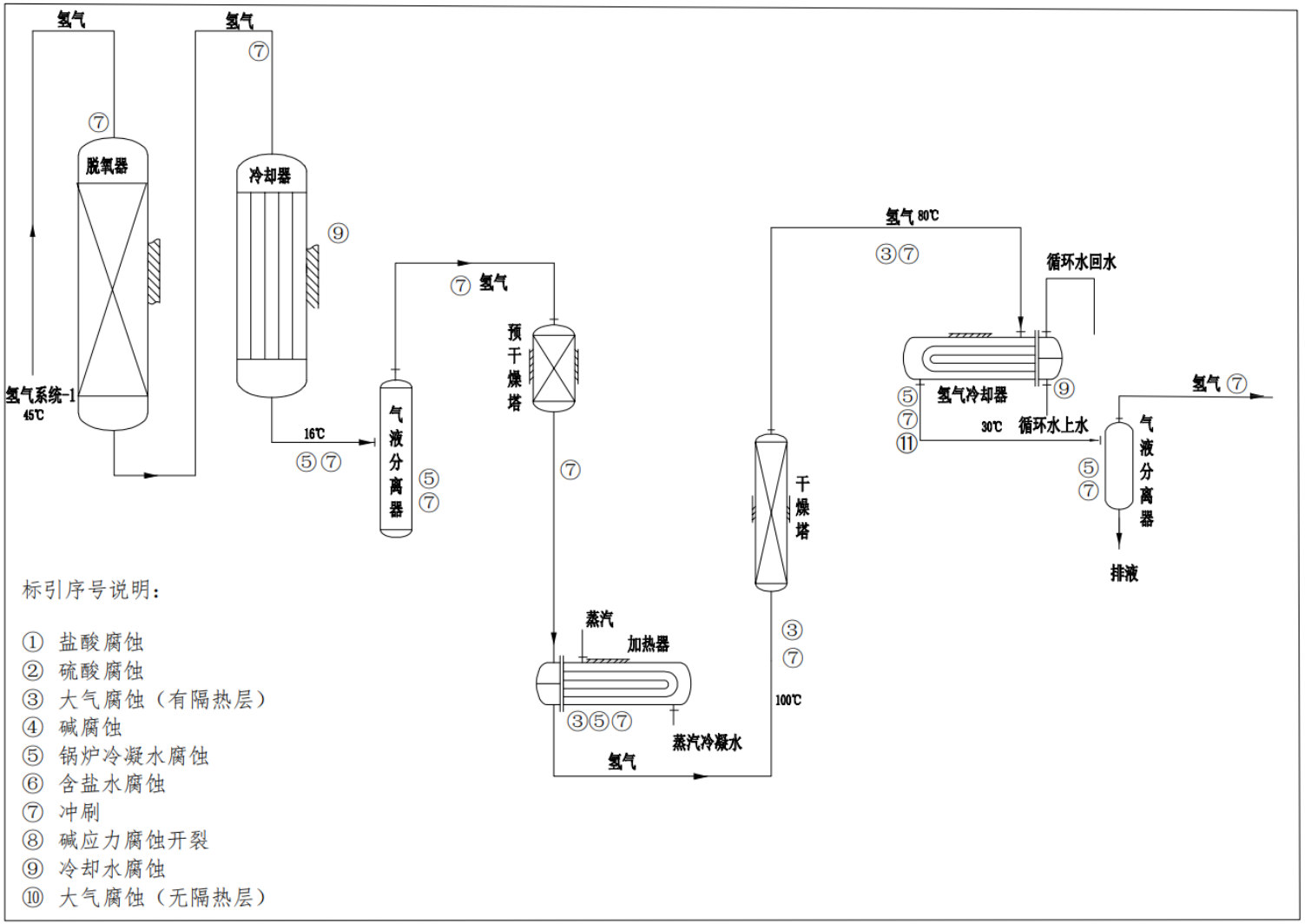


烧碱工段工艺流程图

B.3 制氢工段流程图

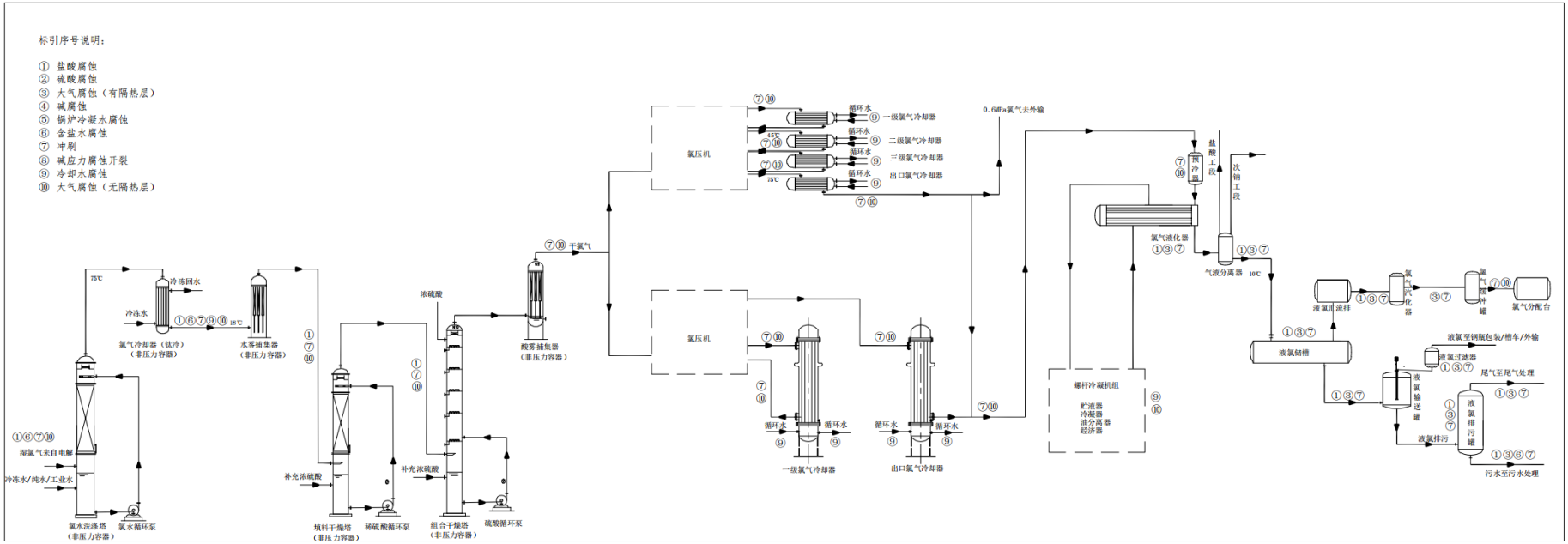


制氢工段工艺流程图1


氢气
氢气
⑦
⑦
脱氧器
冷却器
⑨
氢气系统-1
45℃
16℃
⑤⑦
气液分离器
⑤
⑦
⑦ 氢气
预干燥塔
⑦
氢气 80℃
③⑦
循环水回水
⑤
⑦
⑪
氢气冷却器
⑨
30℃ 循环水上水
氢气 ⑦
气液分离器
⑤
⑦
排液
干燥塔
③
⑦
100℃
蒸汽
加热器
③⑤⑦
蒸汽冷凝水
氢气
标引序号说明：
① 盐酸腐蚀
② 硫酸腐蚀
③ 大气腐蚀（有隔热层）
④ 碱腐蚀
⑤ 锅炉冷凝水腐蚀
⑥ 含盐水腐蚀
⑦ 冲刷
⑧ 碱应力腐蚀开裂
⑨ 冷却水腐蚀
⑩ 大气腐蚀（无隔热层）

制氢工段工艺流程图2

B.4 制氯工段流程图



制氯工段工艺流程图1　　制氯工段工艺流程图2

《基于流程工业的压力容器定期检验方法——氯碱装置》

标准编制说明

一、工作简况

1.1 编制目的

氯碱装置是以饱和食盐水为原料，在电解作用下经盐水、烧碱、制氢、制氯等工段生产出氢气、氯气和烧碱（NaOH）的整套流程设备，是我国基础化工原料生产的重要组成部分。目前工业上应用最广泛的是离子膜电解法。装置内配置的加压溶气罐、降膜式蒸发器、生蒸汽冷凝槽、气液分离器、液氯储罐等压力容器，长期服役于含氯、含碱、含湿氢（氯）的复杂腐蚀环境中，介质条件苛刻、开停车与工况波动频繁。

氯碱装置压力容器的损伤与其工艺流程及工艺参数高度耦合：盐水中游离氯、盐酸及固体悬浮物可引起盐酸腐蚀、含盐水（沉积物下）腐蚀与冲刷，环氧玻璃鳞片衬里一旦开裂、爆瓷脱落，基体金属直接接触盐水介质，腐蚀风险显著升高；高浓度、高温烧碱环境可引起碱腐蚀和碱应力腐蚀开裂，裂纹多呈蜘蛛网状、以穿晶为主，常起始于接管角接接头、管子—管板角接接头及焊缝热影响区等应力集中部位；氢系统中氢所携带的冷凝水易在底部、排净口接管及紊流区形成溃疡状锅炉冷凝水点蚀；液氯中含水会生成盐酸和次氯酸，在气液交界面与底部沉积物区域发生露点腐蚀和垢下腐蚀；保温层破损并伴随介质渗漏时，还会引发保温层下大气腐蚀。由此可见，氯碱装置压力容器的定期检验必须建立在对工艺流程、介质条件和运行工况充分识别的基础上，否则难以准确判定检验部位和检测方法。

TSG 21 对固定式压力容器定期检验的资料审查、检验项目、安全状况等级评定和检验周期等作出了基本规定，但其规定面向通用金属压力容器，未针对氯碱装置典型设备的损伤模式给出检验部位、检测方法与检测比例的具体指引。现场检验中“检什么、在哪里检、用什么方法检”在很大程度上依赖检验人员个人经验，各检验机构编制的检验方案差别较大，接管死角、衬里背后、底部沉积物区域等高风险部位漏检的情况时有发生。同时，氯碱装置中相当数量的设备不具备开罐、进塔检验条件，需要采用内窥镜辅助检测、脉冲涡流、阵列涡流、超声相控阵、TOFD 等替代检测手段，而这类手段的适用条件尚缺乏统一规定。

经调研，目前尚无针对氯碱装置压力容器定期检验的专项国家标准或行业标准。为统一检验尺度、提高损伤识别与风险部位判定的准确性，并为使用单位实施基于风险的检验（RBI）和缺陷合于使用评

价提供技术支撑，有必要制定基于流程工业、面向氯碱装置的压力容器定期检验方法团体标准。

1.2 主要工作过程

立项阶段：本文件于 2024 年 4 月在南京召开团体标准编制启动会议，讨论了编制标准的技术路线。主要讨论了编制的团体标准与国内规程的关系，现有标准如何与团标标准协调应用，装置设备历史性资料的处理、新技术应用、典型缺陷的处理、极端工况下的检验等内容；会议还讨论了标准格式和编写内容。2024 年 7 月在宁波召开了团体标准编制工作讨论会，组建了编制组，确定了检验机构、使用单位及生产单位等参与单位。提出了后续工作重点，主要完成工艺流程编写、关键设备和失效问题收集、典型损伤模式识别、典型介质、危害性、腐蚀性资料审查等工作，10 月份完成框架初稿。2024 年 11 月完成了团体标准项目任务书和立项申报书，并通过立项审查。

起草阶段：2025 年 1 月起正式开展起草与技术研究工作。起草组收集了 GB/T 150、GB/T 30579、NB/T 47013、TSG 21、TSG 92、T/CMES 16005—2022/T/CPASE PT 020—2022 等相关法规标准最新版本的资料；对多家氯碱企业离子膜法装置的典型压力容器开展了现场调研，统计分析历次定期检验记录、测厚数据与失效案例，梳理盐水、烧碱、制氢、制氯四个工段典型设备的损伤模式、典型损伤形态、损伤敏感部位及检验检测方法，形成了通用工艺条件及判定原则、重点设备及关键工况参数等表样和各典型设备的损伤模式表；针对不宜开罐、不可进入的设备，对直流高电压防腐层检测、内窥镜辅助检测、脉冲涡流检测、超声相控阵检测和 TOFD 检测等方法的适用性进行了验证，2025 年 12 月底完成标准草案初稿。2026 年 3 月在常州溧阳组织召开标准编制会议对标准草案初稿进行审议。提出了《基于流程工业的压力容器定期检验方法》系列标准统一的编写模板，工艺范本，协同推进等内容。2026 年 8 月在锡林郭勒组织召开标准编制推进研讨会，对损伤模式判定原则、检验项目与检测比例、衬里与本体分别评级并综合定级等关键技术内容进行了重点讨论并修改完善，形成征求意见稿送审稿。

征求意见阶段：2026 年 9 月，主要起草单位将征求意见稿送审稿征求行业专家、检验机构和使用单位的意见，并根据反馈意见进行讨论和修改后，形成目前的征求意见稿。

2026 年 10 月《基于流程工业的压力容器定期检验方法》系列标准经江苏省特种设备安全监督检验研究院申报并立项为 2026 年度市场监管行业标准。

二、标准制定原则和主要依据

2.1 制定原则

本文件按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草，在 TSG 21 对固定式压力容器定期检验有关规定的基础上，针对氯碱装置定期检验中的突出问题进行补充和细化，主要遵循以下原则：

一是坚持基于流程工业的技术路线。以装置工艺操作规程、PFD 图及物料平衡表等工艺设计文件和 DCS 历史趋势、操作日志、报警记录等运行资料为输入，识别由工艺参数偏离或波动所引起的损伤模式，进而确定高风险部位并有针对性的检验策略，使检验项目与装置实际损伤风险相匹配。

二是坚持损伤模式驱动。按照 GB/T 30579 识别损伤模式，围绕腐蚀减薄、环境开裂、材质劣化、机械损伤四大类损伤模式，对典型设备逐项给出损伤模式、典型损伤形态、损伤敏感部位、检验检测方法及检验实施要点，做到部位明确、方法具体、结果可验证。

三是坚持法规依据充分、不与上位要求冲突。安全附件检验、耐压及泄漏试验、安全状况等级评定、检验周期等法规已有明确要求的内容，本文件采取与 TSG 21、TSG 92 引用的方式衔接，避免重复规定和降低要求。

四是坚持与其他技术文件协调配套。无损检测方法按 NB/T 47013（所有部分）选择，缺陷修理按 GB/T 42606 执行，合于使用评价按 GB/T 19624、GB/T 35013 执行，超设计使用年限压力容器的评估与检验同时满足 T/CMES 16005、T/CPASE PT 020 的要求，形成从损伤识别到评价处理的完整链条。

2.2 主要依据

GB/T 150（所有部分）《压力容器》

GB/T 19624 《在用含缺陷压力容器安全评定》

GB/T 30579 《承压设备损伤识别模式》

GB/T 35013 《承压设备合于使用评价》

GB/T 42606 《固定式压力容器修理导则》

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》

TSG 92《承压类特种设备安全附件安全技术规程》

T/CMES 16005-2022 T/CPASE PT 020-2022《超设计使用年限压力容器评估与检验导则》

三、标准编制内容说明

第 1 章 范围

1.1 本文件规定了氯碱装置在用压力容器定期检验的一般规定（资料审查及工艺、运行情况调查，损伤模式识别与无损检测方法选择，安全状况等级综合评级原则等）、典型压力容器损伤模式及检验策略、安全附件检验、耐压及泄漏试验、缺陷及问题处理、安全状况等级评定和检验周期等要求。

1.2 本文件适用于离子膜电解法生产工艺氯碱装置压力容器的定期检验方法。确定该适用范围的主要考虑是：离子膜电解法是当前我国氯碱工业的主流工艺，装置配置的设备种类、介质条件与运行工况最具

代表性，起草组在调研和案例统计中获得的数据也最为充分，据此形成的损伤模式表和检验策略具有较好的可操作性。

1.3 隔膜电解法和水银电解法生产工艺氯碱装置压力容器的定期检验方法规定为可参照执行。两种工艺装置的介质条件和主要损伤类型与离子膜法相近，但装置数量较少且逐步被离子膜法取代，作为参照执行既符合产业现状，也为存量装置的检验提供了依据。

1.4 装置中常压容器的定期检验方法、装置中压力管道的损伤模式同样规定为可参照执行。常压容器、压力管道与压力容器承受相同的介质与工艺损伤驱动力，允许参照可提高本文件在现场使用中的完整性；涉及法定检验要求时，仍应满足相应法律、法规及安全技术规范的规定。

第 3 章 术语和定义

为使检验对象边界清晰，本章给出了两个术语和定义：

3.1 氯碱装置。定义为以饱和食盐水为原料、在电解作用下经过制氢、制氯、烧碱工段生产出氢气、氯气及烧碱（NaOH）的整套流程设备，用于界定本文件所适用的装置范围，并说明装置由若干工段构成的整体属性，为按工段组织检验内容提供基础。

3.2 离子膜电解法。定义为利用阳离子交换膜分隔电解槽阴阳极、将精制饱和食盐水电解产出氯气、氢气及烧碱溶液的工艺方法，用于明确本文件适用工艺的技术特征，并便于与隔膜电解法、水银电解法相区分。

第 4 章 一般规定

4.1 资料审查及工艺、运行情况调查。本条与 TSG 21 第 8.2 节的基本要求相衔接，并结合氯碱装置特点强调重点关注工艺参数对压力容器损伤模式的影响，明确了三项工作要求：识别由工艺参数偏离或波动所引起的损伤模式；根据工艺和介质条件确定压力容器的高风险部位；为制定针对性的检验、检测方案提供直接输入依据。将资料审查由“资料齐备性核查”提升为“损伤风险识别的输入环节”，是本文件区别于通用检验要求的核心内容。

4.2 通用工艺条件及判定原则（表 4.1）。考虑到部分使用单位无法提供完整的工艺设计文件，本条规定依据工艺操作规程、PFD 图及物料平衡表等文件搜集并审查工艺物流中腐蚀性成分及其含量以初步判定潜在损伤模式；当文件不完整时，应按表 4.1 执行。表 4.1 按盐水、烧碱、制氢、制氯四个工段分别列出应审查的工艺参数、相关损伤模式及判定原则，形成现场可执行的最小审查集，保证在资料不完整条件下仍能完成损伤模式初步判定。

4.3 重点设备及关键工况参数（表 4.2）。本条要求资料审查时重点审查运行记录、开停车记录及变更管理记录中的异常工况，并结合 DCS 历史趋势、操作日志和报警记录识别关键工艺参数偏离设计允许范围的各类事件。表 4.2 针对加压溶气罐、降膜式蒸发器、生蒸汽冷凝槽、气液分离器、液氯储罐五类典型设备，规定了应审查的工况偏离参数、易发生的损伤模式或异常现象以及重点关注

部位，为检验方案中检验项目、检验比例和重点关注部位的确定提供直接依据。开停车频繁、温度压力交变是氯碱装置设备损伤的重要促进因素，故在表中予以专门体现。

4.4 损伤模式识别与无损检测方法选择。明确典型压力容器损伤模式按照 GB/T 30579、GB/T 150.1 识别，无损检测按照 NB/T 47013（所有部分）执行，并对方法选择作出规定：除特殊说明外，表面缺陷检测采用磁粉检测、渗透检测、涡流检测和阵列涡流检测方法，埋藏缺陷检测采用射线检测、超声检测、TOFD 检测和相控阵超声检测方法。规定上述方法组合的目的在于适应氯碱装置设备不宜开罐、不便进入内部的现场条件，为采用非接触或可外壁实施的检测手段提供依据。

4.5 与基于风险的检验（RBI）的衔接。企业采用 RBI 检验模式时，需满足 TSG 21 第 8.10 条的规定，其损伤模式识别与检验策略制定可参照本文件和其他相关技术文件执行，使本文件可作为 RBI 工作中损伤模式识别和检验策略制定的技术输入。

4.6 安全状况等级综合评级原则。规定金属本体部分与非金属衬里部分安全状况分别评级，最终等级综合评级并以其中项目等级最低者作为该压力容器的安全状况等级，检验周期根据最终安全状况等级确定。氯碱装置盐水设备以环氧玻璃鳞片等非金属材料作为防腐蚀屏障，衬里开裂、脱落会使基体金属直接接触介质而使腐蚀速率显著上升，故将衬里作为独立评级对象并按最低项定级，可避免仅按本体状况定级造成风险低估。

4.7 兜底条款。明确除符合本文件规定外，还应遵守国家相关法律法规、TSG 21 及相关文件的技术要求。

第 5 章 典型压力容器损伤模式及检验策略

5.1 本章为本文件的核心内容。检验策略原则依据压力容器服役中产生的腐蚀减薄、环境开裂、材质劣化、机械损伤四大类损伤模式制定，按盐水、烧碱、制氢、制氯四个工段分别针对典型设备给出要求；各工段其他压力容器可根据实际工况参照执行。每台典型设备均按“损伤模式表（主要损伤模式、典型损伤形态、损伤敏感部位、检验检测方法、备注）＋损伤敏感部位示意图＋宏观检查、壁厚测定、表面检测等实施要点”的结构编写，使检验人员能够按图定位、按表选方法。当实际工况偏离设计参数、材质和结构不满足制造要求时，要求检验时准确识别相应损伤模式并制定相应检验策略。

5.2 埋藏缺陷检测主要依据 TSG21 通用规定：存在首次检验错边量和棱角度超标焊缝部位、检验时发现焊缝内外表面裂纹部位、使用过程中补焊过的部位、使用中出现焊接接头泄漏的部位及其两端延长部位、承受交变载荷压力容器的焊接接头和其他应力集中部位时，需要进行埋藏缺陷检测；已进行过埋藏缺陷检测且使用过程中无异常情况的可不再进行检测。该规定既保证高风险焊接接头被有效检测，又避免无差别检测造成的过度检验。

5.3 超设计使用年限压力容器进行评估和检验时，除参照本文件检验要求外，还需满足 T/CMES 16005/T/CPASE PT 020 的相关内容要求。

第 6 章 安全附件检验

规定按照 TSG 21 中 8.3.12 条和 TSG 92 的相关规定进行。安全附件的选型、校验与更换要求已由安全技术规范和 TSG 92 统一规定，本文件不再重复细化，仅作引用衔接，避免与法规要求不一致。

第 7 章 耐压及泄漏试验

规定按照 TSG 21 中 8.3.13 条和 8.3.14 条相关规定进行。耐压试验与泄漏试验的条件、介质和合格指标涉及规范要求，采取引用方式执行更为稳妥。

第 8 章 缺陷及问题处理

规定压力容器发现缺陷或问题时，应根据缺陷性质、严重程度及运行条件，选择采用修理的方法消除缺陷或者进行合于使用评价的处理方式；修理按照 TSG 21 和 GB/T 42606 等要求进行，合于使用评价按照 TSG 21 和 GB/T 19624、GB/T 35013 等要求进行。氯碱装置检修周期紧张，对不宜立即处理的缺陷需要在安全前提下作出技术判断，故本章明确了“修理”与“合于使用评价”两条处理路径及其依据，并强调处理决策应结合缺陷性质与运行条件确定。

第 9 章 安全状况等级评定

规定按照 TSG 21 中 8.1.5 条规定进行，并与第 4.6 条相衔接，即金属本体部分与非金属衬里部分分别评级后综合评级，以其中项目等级最低者作为该压力容器的安全状况等级。

第 10 章 检验周期

规定按照 TSG 21 中 8.1.6 和 8.1.7 条规定进行，检验周期根据最终安全状况等级确定，与企业实施 RBI 检验时的周期要求相协调。

附录 A 工艺流程及典型设备简介

本附录介绍了电解法生产烧碱的工艺沿革，包括隔膜电解法、水银电解法和离子膜电解法三种方法的原理与现状；并以离子膜电解法为例，按盐水、烧碱、制氢、制氯四个工段介绍工艺流程、典型设备的结构特点与主要部件，以及加压溶气罐、降膜式蒸发器、生蒸汽冷凝槽、气液分离器的基础参数（设计压力、设计温度、工作压力、工作温度、介质、材质、结构型式和安装形式等）。设置本附录的目的在于：氯碱装置损伤模式与介质条件、工况参数直接相关，而检验人员对化工工艺流程与介质来源的熟悉程度参差不齐，提供工艺流程与设备参数说明有助于检验人员正确理解损伤驱动力、准确判定腐蚀风险区域和检验重点，提高损伤模式识别和检验方案编制的质量。

附录 B 损伤模式分布图（资料性）

本附录按盐水、烧碱、制氢、制氯四个工段给出带损伤模式标注的工艺流程图，将各设备的损伤模式落实到装置流程的具体位置上。该附录为资料性附录，便于检验人员在制定检验方案时整体

把握装置范围内损伤模式分布，识别工艺关联性强、相互影响的设备组合，避免仅以单台设备为单元开展检验而遗漏关联风险。

四、标准中涉及专利的情况

本文件不涉及专利问题。

五、采用国际标准或国外先进标准的程度

本文件的采标程度为：无。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

七、其他应予说明的事项

无。

《基于流程工业的压力容器定期检验方法——氯碱装置》标准工作组

二〇二六年十一月