

团 体 标 准

T/CPASE XX XXX—2022

覆土式钢制储存容器的腐蚀防护要求

Corrosion protection requirement for mounded steel storage vessels

(征求意见稿 20220927)

2022-XX-XX 发布

2022-XX-XX 实施

中国特种设备安全与节能促进会 发布

目录

前 言.....	II
引 言.....	III
1 范围.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语和定义.....	5
4 通则.....	6
6 施工.....	12
7 验收.....	20
8 运行维护.....	21
参考文献.....	23

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

本标准为首次制定。

本文件由中国特种设备安全与节能促进会（CPASE）提出并归口。

本标准主要起草单位：

本标准主要起草人：

本标准由 XXXXX 负责解释。

引 言

覆土式钢制储存容器的腐蚀防护要求

1 范围

1.1 为了规范覆土式钢制储存容器腐蚀防护工程的设计、施工、验收、运行维护与管理制定本标准。

1.2 本标准适用于新建覆土式钢制储存容器的腐蚀防护工程。

1.3 覆土式钢制储存容器的腐蚀防护工程除应符合本标准外,还应符合国家现行有关标准(规范)的规定。

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标准必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本标准;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本标准。

GB/T 6739 色漆和清漆 铅笔法测定漆膜硬度

GB 50991 埋地钢质管道直流干扰防护技术标准

GB 50160 石油化工企业设计防火规范

GB 7692 涂装作业安全规程 涂漆前处理工艺安全及其通风净化

GB 6514 涂装作业安全规程 涂漆工艺安全及其通风净化

GBZ 1 工业企业设计卫生标准

GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范

GB 7691 涂装作业安全规程 安全管理通则

GB/T 8923.1-2011 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分:未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级

GB/T 50393-2017 钢质石油储罐防腐蚀工程技术标准

GB/T 18570.3 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第3部分:涂覆涂料前钢材表面的灰尘评定(压敏粘带法)

GB/T 5210 色漆和清漆 拉开法附着力试验

GB/T 8923.1-2011 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分:未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级

GB/T 1728 漆膜、腻子膜干燥时间测定法

GB/T 1408.1 绝缘材料 电器强度试验方法 第1部分:工频下试验

GB/T 1733 漆膜耐水性测定法

GB/T 1771 色漆和清漆 耐中性盐雾性能的测定

GB/T 9274 色漆和清漆 耐液体介质的测定

GB/T 1725 色漆、清漆和塑料 不挥发物含量测定

GB/T 1731 漆膜柔韧性测定法

GB/T 1732 漆膜耐冲击测定法

GB/T 1865 色漆和清漆 人工气候老化和人工辐射曝露滤过的氙弧辐射

SY/T 0407-2012 涂装前钢材表面处理规范

SY/T 0087.1-2018 钢质管道及储罐腐蚀评价标准 第1部分：埋地钢制管道外腐蚀直接评价

SY/T 0457 钢质管道液体环氧涂料内防腐层技术标准

SY/T 0442 钢质管道熔结环氧粉末内防腐层技术标准

SY/T 0319 钢制储罐液体环氧涂料内防腐层技术标准

SY/T 0320 钢制储罐氯磺化聚乙烯外防腐层技术标准

T/CPASE GP 020-2022 覆土式钢制储存容器通用要求

3 术语和定义

3.1 汇流点 drain point

阴极保护系统中的阴极电缆与被保护覆土式钢制储存容器的连接点，阴极保护电流通过此点流回电源设备。

3.2 辅助阳极 impressed current anode

强制电流阴极保护系统中用于提供保护电流的电极。

3.3 IR 降 IR drop

阴极保护回路中由于电流的流动在参比电极与覆土式钢制储存容器之间的电解质内产生的电压降。

3.4 保护电位 protection potential

容器的金属腐蚀速率下降至可以接受状态下的覆土式钢制储存容器对电解质电位。

3.5 极化 polarization

由外部电流引起的覆土式钢制储存容器对电解质电位的变化。

3.6 参比电极 reference electrode

在电解质中，具有稳定可再现电位的电极，用于测量被保护覆土式钢制储存容器的电位。

3.7 恒电位仪 potentiostat

能自动保持覆土式钢制储存容器对电解质电位恒定的电源设备。

3.8 导电聚合物线性阳极 conductive polymer linear anode

将具有导电能力的高分子聚合物包覆于铜芯导线外层所构成的阳极。

3.9 混合金属氧化物线性阳极 mixed metal oxide linear anode

线状混合金属氧化物与铜芯导线并行连接构成的阳极。

3.10 防爆接线箱 explosion-proof junction box

用于连接强制电流阴极保护电缆的设施。

3.11 联合阴极保护 joint cathodic protection

多座覆土式钢制储存容器作为一个被保护整体采用一套阴极保护系统。

3.12 业主 owner

覆土式钢制储存容器的最终用户或使用者。

3.13 施工方 constructor

实施覆土式钢制储存容器防腐蚀工程的施工单位。

3.14 设计方 designer

完成覆土式钢制储存容器防腐蚀设计文件的单位。

3.15 供应商 supplier

提供覆土式钢制储存容器防腐蚀工程所需材料的单位。

4 通则

4.1 职责

4.1.1 业主应向设计方和施工方提供容器结构尺寸、储存介质及其组分等主体工程有关的资料，并提供覆土式钢制储存容器所安装地区的土壤环境数据及容器腐蚀防护工程的设计寿命要求。

4.1.2 设计方应根据业主提供的资料，确定覆土式钢制储存容器各部位的腐蚀环境和等级，并在此技术上完成容器的防腐设计文件。当业主提供的资料不全面时，设计方需要与业主沟通获取资料，或按照有关标准的要求制定相关文件，但必须得到业主的确认。

4.1.3 防腐材料供应商根据设计文件的要求提供合格的材料，并提供该材料详细的施工指导说明书。

4.1.4 阴极保护系统应在专业阴极保护承包商或专业人员的专业监督下进行设计和安装

4.2 腐蚀等级

4.2.1 介质环境腐蚀等级

按照 GB/T 50393-2017《钢质石油储罐防腐蚀工程技术标准》，介质环境腐蚀等级可按容器内部介质对覆土式钢制储存容器金属的均匀腐蚀速率 $v_1(\text{mm/a})$ 和点腐蚀速率 $v_2(\text{mm/a})$ 分为四个等级，符合表 4.2.1 划分。

表 4.2.1 介质环境腐蚀等级

腐蚀等级	均匀腐蚀速率 $v_1(\text{mm/a})$	点腐蚀速率 $v_2(\text{mm/a})$	腐蚀程度
I	$v_1 < 0.025$	$v_2 < 0.130$	无腐蚀
II	$0.025 \leq v_1 < 0.130$	$0.130 \leq v_2 < 0.200$	轻腐蚀
III	$0.130 \leq v_1 < 0.250$	$0.200 \leq v_2 < 0.380$	中腐蚀
IV	$v_1 \geq 0.250$	$v_2 \geq 0.380$	强腐蚀

注：以 v_1 和 v_2 两者中的较严重结果确定腐蚀程度和腐蚀等级。

4.2.2 土壤环境腐蚀等级

按照 SY/T 0087.1-2018《钢质管道及储罐腐蚀评价标准埋地钢质管道外腐蚀直接评价》，土壤环境腐蚀等级可按腐蚀速率分为五个等级，符合表 4.2.2-1 的规定，也可按照 GB/T 50393-2017《钢质石油储罐防腐蚀工程技术标准》将土壤电阻率分为五个等级，符合表 4.2.2-2 的规定。

表 4.2.2-1 按腐蚀速率划分土壤腐蚀等级

指标/等级	弱腐蚀	较弱腐蚀	中腐蚀	较强腐蚀	强腐蚀
平均腐蚀速率（试片失重法） [g/(dm ² ·a)]	<1	1~3	3~5	5~7	>7
最大腐蚀速率（腐蚀坑深测试法） (mm/a)	<0.1	0.1~0.3	0.3~0.6	0.6~0.9	>0.9

表 4.2.2-2 按土壤电阻率划分土壤腐蚀等级

指标/等级	极弱腐蚀	弱腐蚀	中腐蚀	强腐蚀	极强腐蚀
土壤电阻率 (Ω·m)	>100	20~100	10~20	5~10	<5

4.2.3 土壤细菌（微生物）腐蚀等级

按照 SY/T 0087.1-2018《钢质管道及储罐腐蚀评价标准埋地钢质管道外腐蚀直接评价》，土壤细菌腐蚀可按氧化还原电位划分为四个等级，符合表 4.2.3 的规定

表 4.2.3 土壤微生物腐蚀等级

指标/等级	弱腐蚀	中腐蚀	较强腐蚀	强腐蚀
氧化还原电位 (mV)	≥400	200~400	100~200	<100

4.3 其它

4.3.1 覆土式钢制储存容器的腐蚀防护工程应与主体工程同时勘察、设计、施工和投运。

4.3.2 覆土式钢制储存容器的腐蚀防护工程的施工除应符合本标准的规定外，还应符合设计文件的规定，当需要变更设计或变更材料时，需要征得设计方及业主的书面确认。

4.3.3 腐蚀防护工程所用材料需具有产品质量证明文件，证明文件至少包括：

（1）产品质量合格证和材料检测报告；

（2）质量技术指标和检测方法。

4.3.4 覆土式钢制储存容器的腐蚀防护工程应经验收，并在养护期满后投用。闲置期间宜采取必要的保护措施。

4.3.5 腐蚀防护工程所涉及的有关工业卫生、安全、劳动保护和环境保护应符合现行国家标准。应符合现行国家标准 GB 50160《石油化工企业设计防火规范》、GB 7692《涂装作业安全规程 涂漆前处理工艺安全及其通风净化》、GB 6514《涂装作业安全规程 涂漆工艺安全及其通风净化》、GBZ 1《工业企业设计卫生标准》和 GB 50058《爆炸危险环境电力装置设计规范》和 GB 7691《涂装作业安全规程 安全管理通则》中的规定。

5 设计

5.1 基本要求

5.1.1 覆土式钢制储存容器内壁防腐蚀设计，建议采用预留腐蚀裕量的方案，如有必要也可采用涂层方案；覆土式钢制储存容器外壁防腐蚀设计，宜采用涂层或涂层和阴极保护组合的方案。

5.1.2 当覆土式钢制储存容器的腐蚀等级或者防腐蚀涂料的性能不能确定时，应进行试验验证。

5.1.3 在有强腐蚀性地基和土壤环境，存在电化学腐蚀风险时，覆土式钢制储存容器外壁需要安装由重防腐涂层和阴极保护组合而成的防腐系统。

5.1.4 除非采购方明确允许外，不应使用牺牲阳极系统，当覆土式钢制储存容器内壁需采用阴极保护时，宜采用牺牲阳极措施，牺牲阳极系统的设计寿命一般不小于 10 年，也可与覆土式钢制储存容器检修周期一致。

5.1.5 覆土式钢制储存容器外壁阴极保护宜采用强制电流阴极保护方式，强制电流阴极保护系统的设计寿命应与主体工程一致。

5.1.6 强制电流阴极保护系统设计时，应避免保护系统与相邻金属结构物之间的直流干扰影响，存在干扰时应采取防护措施，防护措施和效果应满足 GB 50991 的规定。

5.1.7 覆土式钢制储存容器的接地极不应使用比容器本体电极电位更正的材料。

5.1.8 对并行安装的多座覆土式钢制储存容器可视其规模大由专业的阴极保护设计人员综合考虑进行联合阴极保护。

5.1.9 覆土式钢制储存容器的涂层涂装要求需要满足^[1]：

- (1) 涂层的设计需要与覆土式钢制储存容器的使用条件、材料、设计完全兼容；
- (2) 涂层的设计需要与地基、土壤、内部储存介质完全兼容；
- (3) 涂层的设计需要满足覆土式钢制储存容器制造安装和服务期间的要求；
- (4) 涂层为覆土式钢制储存容器的设计寿命提供充分的保护；
- (5) 经济合理；
- (6) 满足施工要求。

5.2 涂层

5.2.1 内涂层

覆土式钢制储存容器内壁的防腐蚀设计，建议采用基于内壁材料在介质中的腐蚀速度 and 设计寿命预留足够腐蚀裕量的方案。如有必要，覆土式钢制储存容器内壁防腐蚀设计也可采用涂层方案。

覆土式钢制储存容器内壁防腐如采用内涂层时，通常选用环氧、环氧酚醛类和环氧玻璃鳞片等类型的涂料，采用“多层同类”结构的涂装工艺，并根据容器内介质的腐蚀等级，调整涂层的干膜厚度，以期获得满意的防腐效果^[1,2]。

容器内涂层系统应满足以下要求：

- (1) 涂层在基体上有良好的附着力；
- (2) 涂层对内部介质有良好的耐蚀性；
- (3) 当内部介质为易燃易爆且在操作过程中易产生静电荷累积时，应采用导静电涂层；在没有其他导静电措施时，与介质接触部位的内涂层应采用表面电阻率为 $1 \times 10^8 \sim 1 \times 10^{11} \Omega$ 的导静电型涂料。

5.2.2 外涂层

覆土式钢制储存容器外部涂层系统应满足《覆土式钢制储存容器通用要求》及以下要求^[1]：

- (1) 针对土壤中的腐蚀环境，涂层能够形成有效屏障；
- (2) 涂层与安装的阴极保护系统匹配；
- (3) 涂层具备足够附着力，能够承受在所有运行条件下容器和周围土壤之间正常压力、摩擦力、冷热冲击而不脱落。

外涂层系统宜为多层玻璃纤维增强的沥青涂层或环氧树脂类的涂层系统。容器本体

上所有需要涂覆部位的外部边缘应打磨至不小于 R5 圆滑半径。

如果土壤中可能含有化学类试剂，容器外壁应使用合适的环氧树脂类或聚氨酯类涂层系统。

暴露在大气中的容器底部、套筒内的接管和封头（或管帽），应使用底漆+中间漆+面漆的涂层系统，如环氧富锌底漆+环氧中间漆+聚氨酯面漆。不允许使用玻璃纤维增强沥青等大气条件下易劣化涂层。

5.3 外壁阴极保护

5.3.1 阴极保护准则

5.3.1.1 无 IR 降阴极保护电位

覆土式钢制储存容器阴极保护系统应满足《覆土式钢制储存容器通用要求》及本文件相关要求。相关电位要求满足覆土式钢制储存容器直接置于砂床之上的结构。

一般情况下覆土式钢制储存容器外壁的保护电位应达到 $-850\text{ mV} \sim -1200\text{ mV}$ （相对于铜/饱和硫酸铜参比电极，无 IR 降）或达到 $+250\text{ mV} \sim -100\text{ mV}$ （相对于高纯锌参比电极，无 IR 降）有支撑

当覆土式钢制储存容器的覆土电阻率在 $100\ \Omega\cdot\text{m} \sim 1000\ \Omega\cdot\text{m}$ 时，覆土式钢制储存容器外壁的保护电位应达到 $-750\text{ mV} \sim -1200\text{ mV}$ （相对于铜/饱和硫酸铜参比电极，无 IR 降）或达到 $+350\text{ mV} \sim -100\text{ mV}$ （相对于高纯锌参比电极，无 IR 降）。

当覆土式钢制储存容器的覆土电阻率大于 $1000\ \Omega\cdot\text{m}$ 时，覆土式钢制储存容器外壁的保护电位应达到 $-650\text{ mV} \sim -1200\text{ mV}$ （相对于铜/饱和硫酸铜参比电极，无 IR 降）或达到 $+450\text{ mV} \sim -100\text{ mV}$ （相对于高纯锌参比电极，无 IR 降）。

如果存在或可能存在硫酸盐还原菌腐蚀风险的缺氧土壤时，其保护电位应达到 $-950\text{ mV} \sim -1200\text{ mV}$ （相对于铜/饱和硫酸铜参比电极，无 IR 降）或达到 $+150\text{ mV} \sim -100\text{ mV}$ （相对于高纯锌参比电极，无 IR 降）。

5.3.1.2 100 mV 极化准则

当以上电位无法达到时，可采用阴极电位负向偏移至少 100 mV 的原则，即瞬时断电 24 h 内的电位衰减至少为 100 mV 。

注：100 mV 极化准则不适用于温度大于 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境，含硫酸盐还原菌的土壤，存在干扰电流的情况，存在外部应力腐蚀风险的情况，以及覆土式钢制储存容器连接处由多种金属组成的部件。

5.3.2 阴极保护设计资料

覆土式钢制储存容器外壁阴极保护设计时，应收集以下资料：

- （1）覆土式钢制储存容器的数量、规格及尺寸参数；
- （2）总平面布置图（容器和附属管道等）和基础图；
- （3）覆土式钢制储存容器的设计资料，如容器设计寿命、容器数据表（储存介质、温度和设计压力等）、接地系统和覆土式钢制储存容器外壁防腐涂层类型和等级等；
- （4）相邻埋地金属和钢筋混凝土结构及距离；
- （5）覆土式钢制储存容器的电绝缘和电跨接情况；
- （6）可放置恒电位仪的位置及可利用电源情况；
- （7）防爆区域及非防爆区域；
- （8）相关电缆走向及配套桥架位置；

(9) 可能的杂散电流干扰情况；

(10) 气候条件、地形地貌、地下水和土壤特性参数，包括覆土式钢制储存容器覆土层和砂层的电阻率（基于四极法测量）、化学成分、含氧量、pH 值、微生物情况、冻土层深度等。

5.3.3 保护电流密度选取

有涂层保护的新建覆土式钢制储存容器外壁的保护电流密度宜取 $0.01 \text{ mA/m}^2 \sim 4 \text{ mA/m}^2$ 。

5.3.4 强制电流阴极保护系统

强制电流阴极保护系统主要由电源设备、辅助阳极、参比电极、阴极保护电缆、分线箱等组成。

5.3.4.1 电源设备

5.3.4.1.1 一般要求

(1) 电源设备一般放置在非防爆区域的配电间或专用的阴极保护间内，房间应保持清洁、无尘、通风、干燥，仪器摆放整齐；

(2) 电源设备宜采用恒电位仪或整流器；

(3) 电源设备应具备恒电压、恒电流、恒电位或整流器运行模式；

(4) 电源设备的额定输出电流、额定输出电压宜不低于实际需要的 1.5 倍。

5.3.4.1.2 电源设备基本要求

(1) 电源设备应能长期连续稳定供电，可靠性高；

(2) 对工作环境适应性强，操作维护简便；

(3) 电源设备的输出电压不宜超过 50 V；

(4) 电源设备的输入端子和输出端子对机壳的绝缘电阻应不小于 $10 \text{ M}\Omega$ ；

(5) 电源设备的输出电压和输出电流应连续可调；

(6) 电源设备应安装过电流、防雷和故障保护装置；

(7) 电源设备应在单相 $\sim 200(1+10\%) \text{ V}$ ，频率： $50(1+5\%) \text{ Hz}$ ，或三相 $\sim 380(1+10\%) \text{ V}$ ，频率： $50(1+5\%) \text{ Hz}$ 的外部电源条件下正常工作。

5.3.4.2 辅助阳极

覆土式钢制储存容器外壁辅助阳极的布置宜采用近阳极地床，可采取以下两种设计方式：

(1) 在覆土过程中安装辅助阳极，辅助阳极围绕容器水平敷设在不同标高的覆土层中。

(2) 在覆土完成后安装辅助阳极，辅助阳极围绕覆土式钢制储存容器垂直安装在容器的覆土层中。

辅助阳极可选用混合金属氧化物线性阳极或导电聚合物线性阳极，相邻线性阳极之间的距离一般为 $2 \sim 4 \text{ m}$ ，线性阳极与容器的距离不宜小于 0.5 m 。当覆土式钢制储存容器外设置防渗膜时，线性阳极应安装在容器与防渗膜之间。如遇特殊情况可适当调整，但应确保阴极保护的均匀性。线性阳极的用量应满足阴极保护设计寿命要求并留有适当的裕量。

5.3.4.2.1 辅助阳极的主要性能

5.3.4.2.1.1 混合金属氧化物线性阳极

混合金属氧化物线性阳极主体应采用线性的、连续的钛基混合铌/钽金属氧化物阳极和一根连续的铜芯电缆，阳极主体应外覆焦炭粉并预包装于连续的柔性的织物覆盖层中，线性阳极的性能应符合表 5.3.4.2.1.1 的规定。

表 5.3.4.2.1.1 MMO-Ti 线性阳极性能指标

项目	性能指标
基材	一级钛
氧化膜	氧化铌/氧化钽
金属氧化物含量 (g/m ²)	≥6
电缆截面积 (m ²)	≥10
阳极主体与电缆节点连接	每隔 3 m 压接或焊接，满足节点防腐、密封防水和绝缘要求
在额定最大电流密度下的使用寿命 (a)	≥25
最大工作电流密度 (A/m ²)	≥100
最大输出线电流密度 (mA/m)	≥52

5.3.4.2.1.2 导电聚合物线性阳极

导电聚合物线性阳极的性能符合表 5.3.4.2.1.2 的规定。

表 5.3.4.2.1.2 导电聚合物线性阳极主要性能

最大输出电流密度 (mA/m)	阳极铜芯截面积 (mm ²)	阳极外径 (mm)	最小弯曲半径 (mm)	在额定最大电流密度下的使用寿命 (a)
≥52	≥10	13	150	≥25

5.3.4.2.2 测试与监测

阴极保护监测点的数量和分布位置能充分有效反映覆土式钢制储存容器外壁的保护情况，并应满足以下要求：

- (1) 所有监测点均埋设长效铜/饱和硫酸铜参比电极测量覆土式钢制储存容器外壁的保护电位，部分监测点同时埋设高纯锌参比电极相互结合使用；
- (2) 监测点应布置在不同标高、不同腐蚀程度或其它有代表性的位置；
- (3) 每座覆土式钢制储存容器至少设计两根零位接阴电缆，分别位于覆土式钢制储存容器的两端，零位接阴电缆和参比电极电缆连接至防爆接线盒；
- (4) 可选择性地在覆土式钢制储存容器覆土层中埋设检查片，检查片的材质与被保护容器相同。一部分检查片与被保护覆土式钢制储存容器和阴极保护系统相连，受到保

护，另一部分则不予相连，不受保护。在特定保护周期后，取出检查片，计算保护度和保护效率。

5.3.4.2.3 阴极保护电缆

(1) 所有阴极保护电缆均采用铜芯阻燃电缆，并确保足够的机械强度和电气连续性；

(2) 所有埋地电缆宜采用铠装电缆，电缆的尺寸应确保不会出现过度电压降；

(3) 埋地的参比电极电缆和零位接阴电缆的截面不宜小于 10 mm²，防爆分线箱至恒电位仪的参比电极电缆和零位接阴电缆可采用多股屏蔽电缆，每股导线截面不宜小于 2.5 mm²；

(4) 阳极分支电缆截面不宜小于 10 mm²，阴极电缆和阳极电缆截面不宜小于 16 mm²；

(5) 所有埋地电缆在地面上安装电缆标识桩，电缆引到地面后采用标签标识。

5.3.4.2.4 防爆分线箱

从覆土式钢制储存容器覆土层中引出的阳极电缆和阴极电缆在防爆接线箱内连接，防爆接线箱位于覆土式钢制储存容器附近便于检修的位置，并符合所在位置的防爆要求。

从覆土式钢制储存容器覆土层中引出的参比电极电缆和零位接阴电缆在防爆测试箱内连接，防爆测试箱位于覆土式钢制储存容器附近便于检修的位置，并符合所在位置的防爆要求。

6 施工

6.1 基本要求

6.1.1 涂层的施工应在覆土式钢制储存容器表面处理合格后及时进行。

6.1.2 防腐蚀施工单位应具有相应施工资质。

6.1.3 涂装前，施工单位应制定一份书面的施工技术方案。此方案应满足涂料制造商的涂料施工指导书和本部分的要求。如涂料制造商的涂料施工指导书与本部分不一致，应提交书面报告进行说明。

6.2 涂层施工^[3]

6.2.1 表面预处理

表面预处理方式及处理后的表面状况应满足本部分及涂料供应商的要求，并至少不低于待涂覆涂层系统进行鉴定时试板的表面预处理要求。如果涂料供应商的表面预处理要求与本部分冲突，应提交业主审核。

根据待处理表面的状况、处理范围、要求达到的处理等级、拟采用的涂层系统等，选择清洗、喷（抛）射除锈、工具除锈等，作为涂层施工前的表面预处理。

6.2.1.1 清洗

在喷（抛）射除锈和工具除锈前，应通过清洗除掉钢材表面可见的油脂、积垢和化学污染。

(1) 钢材表面上所有可见的油、油脂、灰土、润滑剂和其他可溶污物，可采用溶剂、乳剂或碱清洗剂等清洗。清洗前应先用刚性纤维刷或钢丝刷除掉钢材表面的松散物，并刮掉附着在钢材表面上较厚的油或油脂。

(2) 钢材表面如被酸、碱、盐污染，可用高压水或热水冲洗。表面可溶性氯化物残

留物不得高于 50 mg/m²。

6.2.1.2 喷（抛）射除锈

（1）应按 SY/T 0407-2012《涂装前钢材表面处理规范》规定的方法进行磨料喷（抛）射处理，表面除锈等级应达到 GB/T 8923.1-2011《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》规定的 Sa2.5 级要求。只有在喷（抛）射处理无法到达的区域方可采用动力或手工工具进行处理，除锈等级应达到 St3 级；

（2）表面锚纹深度宜为 40~80 μm；

（3）喷射处理后，应采用排刷由上至下依次清扫粉尘，并采用干燥、洁净、无油污的压缩空气将表面吹扫干净，焊缝、边缘角落等易沉积灰尘部位应使用真空吸尘器吸尘。灰尘数量等级和灰尘尺寸等级应达到 GB/T 18570.3《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第 3 部分：涂覆涂料前钢材表面的灰尘评定（压敏粘带法）》规定的 3 级或 3 级以下；

（4）喷（抛）射除锈后的金属表面不应使用包括防锈剂在内的任何酸洗液或其它清洗剂和溶剂；

（5）喷（抛）射除锈合格后的表面应尽快涂装。涂刷底漆，一般不超过 4 h，保护环境下不超过 8 h，在海洋露天环境下不应超过 2 h。如果涂漆前发现钢铁表面出现锈蚀，应重新进行表面预处理。

6.2.1.3 工具除锈

当喷（抛）射处理难以实现除锈时，可以使用手动或动力工具通过刷、铲、磨、刮等方法进行表面除锈，但应遵循下列规定：

（1）采用铲削方法时只允许对基底材料造成轻微的冷作硬化；

（2）用硬刷（金属刷或硬毛刷）刷过后，再使用软刷（纤维刷或聚毛刷）清扫；

（3）铲、刷、磨后，用干燥无油的压缩空气除尘；

（4）处理后的表面除锈等级应达到 GB/T 8923 中的 St3 级。

6.2.2 涂装^[3]

涂装车间至少应保证满足相应涂层系统的表面预处理和涂装的需要，且符合相应的作业安全规范和法规要求。无特殊规定时，涂装一般应在温度为 5~35℃、相对湿度低于 75%的条件下进行。当相对湿度达到 85%时，应停止施工。基底表面应干燥清洁，温度应至少高于露点温度 3℃。

涂装规程应至少包括：

（1）涂层系统的使用类别；

（2）待涂表面的预处理；

（3）每道涂层所用涂料的牌号、厚度；

（4）涂料施工的工序和详细规定；

（5）检查和验收要求；

（6）涂装范围（对于滑动部、配合部、密封面螺纹面以及各类反馈连接接头和铰链等活动部件，一般不要求涂装）。

6.2.2.1 涂料的配制

（1）涂料的底漆、面漆应配套使用。不同厂家、不同品种的防腐涂料，不应配套使

用；

(2) 涂料开桶后应用动力搅拌器搅拌均匀。如发现有结皮或其它杂质应将其清除或滤出；

(3) 对于双组份涂料，在固化剂添加到漆料后要将两组份完全混合均匀。并应根据环境温度、涂料的适用期和涂刷速度定量配制，一般应少配、勤配，随配随用，确保配制好的涂料在适用期内用完；

(4) 在防腐作业前应配制少量涂料，在样板上做小样实验，用以测定涂覆工艺的适用性、湿膜和干膜厚度、干燥时间等参数。

6.2.2.2 稀释剂的使用

(1) 只有当施工涂料粘度过大而造成涂覆困难时，才可加入稀释剂。一般情况下不应加入稀释剂；

(2) 稀释剂的使用量不能超过产品说明书的规定；

(3) 应该使用涂料产品说明书推荐的稀释剂；

(4) 稀释剂应该在混合过程中加入。涂料调至合适粘度后，不应再加入；

(5) 稀释剂的种类和加入量应该合适，并应在正确的监督指导下进行。

(6) 无溶剂环氧涂料不允许添加稀释剂。

6.2.2.3 涂敷

(1) 涂覆时采用高压无气喷涂，不便于喷涂的局部区域可采用刷涂。对于锐角、焊缝和其他缝隙等不规则表面，应进行预涂，防止该处出现漏涂，确保防腐层厚度达到设计要求；

(2) 涂覆前，表面应清理干净，表面应采用压缩空气吹扫，应无砂粒尘埃。有锈的表面应该重新除锈；

(3) 每道漆的漆膜都应均匀、完整，并应在涂覆下一道漆以前达到产品规定的干燥时间。为了减少涂层的污染，确保涂层间的粘结力，在规定的最大涂覆间隔时间内应尽可能快地涂刷下一道漆；

(4) 如果上道涂层受到污染时，应在污染面清理干净后进行下道施工。

6.2.2.4 破损涂层的补伤处理

(1) 在每层新涂层施工以前，都应对破损涂层进行补伤处理。破损的边缘应该用砂纸或砂布进行打磨，再涂刷指定的底漆和面漆。修复涂层过程中，不得损害其它和周边涂层，并要使修复的涂层与原有涂层衔接良好。

(2) 面漆施工完后，涂层有破损时应进行如下补伤处理。顶层破损，但底层未破损：

1) 用手挫或砂纸等工具将破损涂层除去；

2) 用指定的涂料涂一层新的面漆，直至涂层厚度达到设计规定的要求。

(3) 涂层破损面积大于 0.2 m^2 时（整体漆膜破损），应用动力工具将破损表面清理至 St3 级，涂上指定的底漆、中间漆和面漆。

(4) 涂层破损面积小于 0.2 m^2 时（整体漆膜破损），可以根据厂家推荐的方法进行补伤，或通过动力工具进行表面处理达 St3 级，再按下列方法进行涂漆：

1) 刷指定的底漆；

2) 刷指定的面漆；

3) 漆膜表面要平整光滑并覆盖周边涂层至少 50 mm，调整涂层干膜厚度，确保

补伤处的涂层厚度达到设计要求。

6.3 阴极保护

6.3.1 基本要求

6.3.1.1 施工单位应按设计文件及图纸编制详细的施工方案，并应得到业主或其委托单位的书面批准。

6.3.1.2 施工单位应具有相应的资质和专业的阴极保护技术人员。

6.3.1.3 施工前应检查并确认所有设备与材料符合设计要求。

6.3.2 线性阳极及电缆安装

6.3.2.1 施工前应检查线性阳极，线性阳极表面应完整无损坏，每根线性阳极长度应符合安装位置的要求。

6.3.2.2 线性阳极安装应按照设计图纸进行施工，线性阳极沿容器外壁弹性安装在覆土层中，线性阳极连接阳极分支电缆后铺设至防爆接线箱内。

6.3.2.3 线性阳极与电缆、电缆与电缆的连接接头均采用专用的阳极电缆接头，所有连接接头应进行绝缘防腐处理，保证所有接头均有可靠的连接和优良的绝缘密封。

6.3.2.4 覆土层中的线性阳极及电缆在铺设过程中应留有一定裕量，满足覆土层的沉降要求。

6.3.2.5 安装过程中应避免损坏线性阳极外表面和电缆的绝缘层，如发现破损，应立即进行更换或修补。

6.3.2.6 在覆土层的回填密实处理过程中，不应使用振捣棒等容易造成线性阳极损坏的工具和措施。

6.3.2.7 回填前应仔细检查电缆及连接接头的完好性，并进行标识，防止混乱。

6.3.3 汇流点和测量点的安装

6.3.3.1 阴极电缆和零位接阴电缆可通过焊接或机械方式与容器电连接，汇流点和测量点应做好防腐处理，其防腐等级不应低于原容器的防腐等级。例如，电缆可采用电焊焊接在容器上；或可采取电缆接线鼻子、螺母、垫片的机械连接方式安装，采用机械连接时其接头不应埋设于地下。

6.3.3.2 汇流点和测量点一般安装在与覆土式钢制储存容器相连的附属管道和其他附属金属设备上，确保覆土式钢制储存容器与汇流点和测量点的电连续性良好。

6.3.4 电源设备的安装

6.3.4.1 电源设备的安装应按阴极保护设计和产品说明书的要求进行安装。

6.3.4.2 电源设备与阴极保护电缆应采用机械连接，电气接触应导通良好，电缆应明确标识并确保连接正确。

6.3.4.3 电源设备应有良好的接地。

6.3.4.4 电源设备机柜前后应留有足够的空间用于接线安装、检测与维护。

6.3.5 参比电极的安装

6.3.5.1 安装前将带填料的参比电极充分用水浸润。

6.3.5.2 根据图纸的设计位置埋设参比电极，参比电极埋设时应尽量靠近容器，但不得与容器外壁接触，并在参比电极电缆上做好标记。

6.3.5.3 参比电极搬动和埋设时，不准提拉参比电极电缆，以免损伤参比电极接头。

6.3.5.4 检查参比电极接头及其电缆的完整性，参比电极电缆应弹性铺设并留有足够的余

量。

6.3.5.5 同一监测点的高纯锌参比电极和铜/饱和硫酸铜参比电极应尽量靠近但不能接触。

6.3.5.6 覆土回填时应注意避免损伤参比电极及电缆。

6.3.6 防爆接线箱的安装

6.3.6.1 每根阳极电缆、阴极电缆、参比电极电缆和零位接阴电缆接入相应的防爆接线箱内，并做好标记。

6.3.6.2 防爆接线箱应做明确标志，并符合防爆要求。

6.3.6.3 防爆接线箱的结构应考虑防水防潮。

6.4 过程监察与施工质量控制

6.3.1 涂层质量控制

6.3.1.1 涂料涂层性能指标

覆土式钢制储存容器常用涂料、涂层的性能指标按照 GB/T50393-2017《钢质石油储罐防腐蚀工程技术标准》应符合表 6.3.1.1-1~6 的要求。

表 6.3.1.1-1 无溶剂环氧涂料和涂层性能指标

序号	项目		技术指标	测试方法
1	容器中的状态		搅拌后均匀无硬块	目测
2	固体含量（%）		≥98	SY/T 0457
3	干燥时间 (h)	表干	≤4	GB/T 1728
		实干	≤24	
4	电气强度（MV/m）		≥25	GB/T 1408.1
5	附着力（MPa）		≥10	GB/T 5210
6	抗 3°弯曲		无裂纹	SY/T 0442
7	抗冲击（8J）		无针孔	SY/T 0442
8	耐热水性（90℃~100℃，48h）		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 1733
9	耐汽油性（常温，720h）		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	SY/T 0319
10	耐盐雾（1000h）		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 1771
11	耐化学 介质性	5%H ₂ SO ₄ （常温，720h）	不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 9274
		5%NaOH（常温，720h）		
		5%NaCl（常温，720h）		

表 6.3.1.1-2 溶剂型环氧涂料和涂层性能指标

序号	项目	技术指标	测试方法
1	容器中的状态	搅拌后均匀无硬块	目测
2	不挥发无含量（%）	≥80	GB/T 1725

序号	项目		技术指标	测试方法
3	干燥时间 (h)	表干	≤4	GB/T 1728
		实干	≤24	
4	电气强度 (MV/m)		≥25	GB/T 1408.1
5	附着力 (MPa)		≥8	GB/T 5210
6	柔韧性 (mm)		1	GB/T 1731
7	耐冲击性 (cm)		50	GB/T 1732
8	耐热水性 (90°C~100°C, 48h)		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 1733
9	耐汽油性 (常温, 720h)		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	SY/T 0319
10	耐盐雾 (1000h)		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 1771
11	耐化学 介质性	5%H ₂ SO ₄ (常温, 720h)	不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 9274
		5%NaOH (常温, 720h)		
		5%NaCl (常温, 720h)		

表 6.3.1.1-3 水性环氧涂料和涂层性能指标

序号	项目		技术指标	测试方法
1	容器中的状态		搅拌后均匀无硬块	目测
2	不挥发无含量 (%)		≥50	GB/T 1725
3	干燥时间 (h)	表干	≤4	GB/T 1728
		实干	≤24	
4	电气强度 (MV/m)		≥25	GB/T 1408.1
5	附着力 (MPa)		≥5	GB/T 5210
6	柔韧性 (mm)		1	GB/T 1731
7	耐冲击性 (cm)		50	GB/T 1732
8	耐热水性 (90°C~100°C, 48h)		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 1733
9	耐汽油性 (常温, 720h)		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	SY/T 0319
10	耐盐雾 (1000h)		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 1771
11	耐化学 介质性	5%H ₂ SO ₄ (常温, 720h)	不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 9274
		5%NaOH (常温, 720h)		
		5%NaCl (常温, 720h)		

表 6.3.1.1-4 酚醛环氧涂料和涂层性能指标

序号	项目		技术指标	测试方法
1	容器中的状态		搅拌后均匀无硬块	目测
2	不挥发无含量 (%)		≥ 80	GB/T 1725
3	干燥时间 (h)	表干	≤ 4	GB/T 1728
		实干	≤ 24	
4	电气强度 (MV/m)		≥ 25	GB/T 1408.1
5	附着力 (MPa)		≥ 8	GB/T 5210
6	柔韧性 (mm)		1	GB/T 1731
7	耐冲击性 (cm)		50	GB/T 1732
8	耐高温高压性 (120°C自来水, 0.25MPa, 168h)		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	SY/T 0319
9	耐汽油性 (60°C, 720h)		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	SY/T 0319
10	耐盐雾 (1000h)		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 1771
11	耐化学介质性	5%H ₂ SO ₄ (60°C, 720h)	不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 9274
		5%NaOH (60°C, 720h)		
		5%NaCl (60°C, 720h)		

表 6.3.1.1-5 环氧玻璃鳞片涂料和涂层性能指标

序号	项目		技术指标	测试方法
1	容器中的状态		搅拌后均匀无硬块	目测
2	不挥发无含量 (%)		≥ 80	GB/T 1725
3	干燥时间 (h)	表干	≤ 4	GB/T 1728
		实干	≤ 24	
4	电气强度 (MV/m)		≥ 25	GB/T 1408.1
5	附着力 (MPa)		≥ 8	GB/T 5210
6	柔韧性 (mm)		1	GB/T 1731
7	耐冲击性 (cm)		50	GB/T 1732
8	耐热水性 (90°C~100°C, 48h)		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 1733
9	耐汽油性 (常温, 720h)		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	SY/T 0319
10	耐盐雾 (1000h)		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 1771
11	耐化学介质性	5%H ₂ SO ₄ (60°C, 720h)	不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 9274
		5%NaOH (60°C, 720h)		
		5%NaCl (60°C, 720h)		

表 6.3.1.1-6 聚氨酯涂料和涂层性能指标

序号	项目		技术指标	测试方法
1	细度 (A, B 组分混合后) (μm)		≤ 55	GB/T 1724
2	不挥发无含量 (%)		≥ 50	GB/T 1725
3	干燥时间 (h)	表干	≤ 4	GB/T 1728
		实干	≤ 24	
4	附着力 (MPa)		≥ 8	GB/T 5210
5	柔韧性 (mm)		1	GB/T 1731
6	耐冲击性 (cm)		50	GB/T 1732
7	耐化学介质性	5% H_2SO_4 (60°C, 720h)	不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 9274
		5% NaOH (60°C, 720h)		
		5% NaCl (60°C, 720h)		
8	耐盐雾 (1000h)		不起泡、不生锈、不开裂、不脱落	GB/T 1771
9	耐人工加速老化 (1000h)		不起泡、不开裂、不脱层, 允许 1 级变色、1 级失光和 1 级粉化	GB/T 1865
10	冻融循环 (5 个循环) (级)		合格	SY/T 0320

6.3.1.2 有效保护标准

涂层表面不应有粘附砂粒和灰尘, 不得有漏涂、不匀、皱皮、气泡、刷痕、流挂、堆积或颜色不一等缺陷, 并用 5~10 倍放大镜检查涂层的针孔情况, 抽查率应不小于涂装面积的 5%, 检验质量参数参照表 6.5.1.2。

表 6.5.1.2 涂装质量要求

项次	检查项目	质量要求	检查方法
1	脱皮、漏刷、反锈	不允许	目测
2	透底、流附、皱皮	大面积不允许	目测
3	光亮与光滑	光亮、均匀一致	目测
4	分色界限	允许偏差 $\pm 3\text{ mm}$	钢尺
5	颜色、刷纹	颜色一致, 纹通顺	目测
6	干燥涂膜厚	不小于设计厚度	磁性测厚仪 (精度 $\pm 1\%$)
7	针孔数	$\leq 3\text{ 个} / \text{m}^2$ (参照普通级防腐层的要求)	DY0063
8	附着力	$\geq 10\text{ MPa}$ 或按技术要求	GB/T 5210

9	硬度（2H 铅笔）	无划痕	GB/T 6739
10	漏点检测	无漏点（无电击穿）	电火花检漏仪

6.3.2 阴极保护系统检查

6.3.2.1 阴极保护系统的检查主要包括以下内容：

- （1）投运前检查；
- （2）阴极保护系统投运；
- （3）投运后有效性测试与调整。

6.3.2.2 阴极保护投运前检查

- （1）投运前应检查并确认阴极保护系统安装符合设计要求。
- （2）开展下列检查和测试，并应做好记录：
 - 1) 阴极保护系统的完整性；
 - 2) 辅助阳极的安装位置和数量；
 - 3) 参比电极的安装位置和数量；
 - 4) 电缆连接接头的连接电阻和防腐情况；
 - 5) 电源设备接线、阴极保护电缆接线是否正确；
 - 6) 接线箱内电缆接线、电缆标识、紧固情况等；
 - 7) 所有监测点的容器自腐蚀电位；
- （3）检查完成后应提交投运前检查报告。

6.3.2.3 阴极保护系统投运

- （1）投运后阴极保护系统运行情况检查；
- （2）若投运后容器电位变化异常应立即关机并检查阴极保护电缆接线是否正确；
- （3）调整电源设备输出参数使容器的保护电位满足阴极保护准则要求；
- （4）记录电源设备的输出电压和输出电流。

6.3.2.4 投运后有效性测试与调整

- （1）阴极保护系统投运且容器极化完成后，应对其它监测点的保护电位进行测量，监测点的保护电位均应满足阴极保护准则要求；
- （2）若覆土式钢制储存容器其他监测点电位未达到有效保护时，应调整电源设备的输出参数，并重新测量，直到所有监测点的保护电位均满足阴极保护准则的要求。

7 验收

- （1）覆土式钢制储存容器按照本规定的表面预处理、涂装作业和涂层质量控制，对施工各质量控制点进行检查确认。
- （2）覆土式钢制储存容器的涂层系统验收包括：涂刷前检查、中间检查和竣工后的检查。
- （3）对隐蔽工程均需作检查记录，必须经质检人员签字认可。
- （4）按规定办理验收手续，并提交下列文件：
 - 1) 原材料质量证明文件、检验或复验报告；
 - 2) 隐蔽工程验收记录及质量检查验收记录；
 - 3) 设计变更、材料代用等施工过程中有关的技术问题的处理记录；

4) 返修记录。

(5) 阴极保护系统按照 6.3.2.4 投运后有效性测试与调整进行验收。

8 运行维护

8.1 一般规定

8.1.1 业主应建立覆土式钢制储存容器腐蚀防护工程管理档案，档案应至少包括下列内容：

- (1) 交工验收资料（设计单位的资质、设计总图及设计变更等）；
- (2) 覆土式钢制储存容器腐蚀防护措施清单；
- (3) 覆土式钢制储存容器的腐蚀管理制度是否齐全有效；
- (4) 检查、维护和维修记录等。
- (5) 需要进行型式试验产品的型式试验报告（证书），所设计型号与型式试验报告中所描述的型号是否一致；

(6) 监检单位在监检过程中形成的监检资料，一般应包括：《监检记录表》、《监检证书》、《监检意见通知书》、《监检联络单》、《质保体系实施状况评价报告》。

8.1.2 覆土式钢制储存容器投运后，应进行日常检查与维护和不定期全面检查与维护。

8.2 日常检查与维护

8.2.1 阴极保护系统投运初期，每天观察记录一次电源设备的输出参数，直至电源设备的参数稳定后，可每周观察记录一次。

8.2.2 不可随意调节电源设备的工作模式，如发现阴极保护参数显示异常时，应由专业技术工程师立即进行检测，重新调整参数，并对当天的气象、液位等参数进行记录，日常记录及调整措施均作为技术档案妥善保管。

8.2.3 覆土式钢制储存容器外其它监测点的保护电位每三个月测试一次，检测应满足 5.3.1 的要求。

8.2.4 由于电源设备本身出现的超温或异常等情况时，现场检修人员可重新启动电源设备，若电源设备仍不能正常工作，应由专业技术工程师排除故障。

8.3 不定期检查与维护

8.3.1 不定期检查与维护应符合下列规定：

- (1) 与覆土式钢制储存容器主体的全面检查与维护同时进行；
- (2) 应对不易进行日常检查的部位重点检查；
- (3) 进行阴极保护参数测量和检验，验证是否满足设计要求；
- (4) 参比电极有效性检查；
- (5) 覆土式钢制储存容器防腐涂层的服役情况及破损率；
- (6) 在检查维修中，不得擅自改变阴极保护的结构和线路；需要改装时，要提出申请，报业务主管部门或设计单位批准，并绘制改装后的图纸存档；
- (7) 维护检修记录及相关资料应归入覆土式钢制储存容器的腐蚀防护管理档案，至少包括维护检修项目、部位、定期检测记录以及维修记录等内容等。

8.3.2 存在下列情况之一时，应对腐蚀防护系统进行全面测试及必要调整：

- (1) 覆土式钢制储存容器经过技术改造、检修后；
- (2) 阴极保护系统意外长时间停机重新启用时；

- (3) 覆土式钢制储存容器所在区域发生改扩建后；
- (4) 阴极保护系统输出参数发生明显变化时；
- (5) 覆土式钢制储存容器本体出现其他不可抗力的改变。

参考文献

- [1] Guide for the design, construction and use of mounded horizontal cylindrical vessels for pressurised storage of LPG at ambient temperature (edition 1). : 国外-国外学协会-英国工程设备和材料用户协会 GB-EEMUA, 2017.
- [2] 张红兵, 刘志林, 郑云萍, et al. 管道内涂层涂敷技术及其应用[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2003, 15(2): 4.
- [3] 京博石化覆土罐试验项目球罐防腐说明书