ICS 25.220.99
CCS A 29

中华人民共和国国家标准

GB/T 33637—2025
代替 GB/T33637—2017

阴极保护　MMO/Ti柔性阳极

Cathodicprotection—MMO/Tiflexibleanode

2025-10-31发布　　2026-05-01实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 ..... Ⅲ
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语、定义和缩略语 1
4　产品结构、型号 2
5　技术要求 4
6　检验与验收 7
7　标志、包装、贮存与运输 8
8　产品的使用 9
附录 A（规范性）　弯曲半径试验方法 12
附录 B（规范性）　耐磨编织网覆盖密度试验方法 13
附录 C（规范性）　阳极工作性能试验方法 14
附录 D（规范性）　在场站区域保护中的施工图设计 16
附录 E（资料性）　在机坪管网保护中的施工图设计 18
附录 F（资料性）　在储罐底板保护中的施工图设计 19
参考文献 21

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 GB/T 33637—2017《阴极保护　MMO/Ti柔性阳极》,与 GB/T 33637—2017相比,除结构调整和编辑性改动外,主要技术变化如下:

a) 增加了术语“线密度”“设计寿命”“额定输出电流”“测断柔性阳极”和定义(见 3.1.4,3.1.5,3.1.6,3.1.8);
b) 增加了测断柔性阳极型号的表示方法(见 4.2.2);
c) 更改了产品外径尺寸(见 5.1.2,2017年版的 5.1.2);
d) 增加了产品线密度的要求(见 5.1.3);
e) 增加了 MMO/Ti丝技术性能的要求(见 5.2.1);
f) 增加了柔性阳极内置电缆绝缘护套类型对环境的适用性的影响因素(见 5.2.2);
g) 增加了柔性阳极节点的技术要求(见 5.2.3);
h) 更改了焦炭填料固定碳含量和颗粒度的要求(见 5.2.4,2017年版的 5.2.3);
i) 更改了产品的最小弯曲半径的技术要求(见 5.3.1,2017年版的 5.3.1);
j) 增加了柔性阳极在不同额定输出电流条件下的设计寿命(见表 4);
k) 增加了阳极工作性能试验时最大输出电流的计算公式(见 5.3.3.1);
l) 更改了产品在最大输出电流下应连续工作时间的要求(见 5.3.3.2,2017版的 5.3.4);
m) 增加了对 MMO/Ti丝公称尺寸、线密度、涂层结合力和设计寿命进行检验的要求(见表 5),增加了测量数据的判定方法(见 6.1.2);
n) 更改了产品出厂检验的要求(见 6.2.1和 6.2.3,2017年版的 7.2.1);
o) 增加了产品包装标志的要求(见 7.1.2);
p) 增加了产品装卸的要求(见 7.3.1);
q) 增加了产品安装(一般要求、管道阴极保护安装、储罐底板阴极保护安装)的要求(见 8.2);
r) 将附录 D 的性质更改为 “规范性”(见附录 D,2017年版的附录 B)。

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 。

本文件由中国石油和化学工业联合会提出 。

本文件由全国腐蚀控制标准化技术委员会(SAC/TC381)归 口 。

本文件起草单位 :北京碧海云智新材料技术有限公司、国家石油天然气管网集团有限公司西气东输分公司、沈阳中科环境工程科技开发有限公司、苏州热工研究院有限公司、中国石化工程建设有限公司、浙江钰烯腐蚀控制股份有限公司、中核核电运行管理有限公司、北京市鼎新新技术有限责任公司、绵阳宏博环保有限公司、中国华能集团有限公司重庆分公司、华能重庆珞璜发电有限责任公司、临沂博思导电材料有限公司、焦作市立博轻合金股份有限公司、西安泰金新能科技股份有限公司、中蚀国际腐蚀控制工程技术研究院(北京)有限公司、陕西优创环保科技有限公司、陕西辉腾实创新材料科技有限公司、湖南安广检验检测有限公司、上海赟申船舶工程有限公司、深圳智高博实工程有限公司、中铁上海工程局集团有限公司、四川润熹防腐工程有限公司、中国石油大学(北京)、中国腐蚀控制技术协会 。

本文件主要起草人 :丁宝峰、邸泰深、郭磊、游姜、王树国、赵万祥、欧曙辉、文杰、胡义勇、陈宁、周刚、

吴明畅、刘子豪、王水勇、杜柱兵、郝杰勇、孙立刚、李杰、刘列、赵晓晴、李洪烈、李济克、孔全兴、王卫民、冯庆、张林、王贵明、武宏让、闫健伟、李峰光、陆云、胡卫兵、吴迅、谭咏、衡廷阳、姜子涛、任光陈、杨洋阳、张玉萍、徐柳、任志峰、徐雷、骆辉、曾多、徐尚元。

本文件于2017年首次发布，本次为第一次修订。

阴极保护　MMO/Ti柔性阳极

1　范围

本文件规定了阴极保护的 MMO/Ti柔性阳极(以下简称 “产品”) 的结构、型号、技术要求、检验与验收和标志、包装、贮存与运输、产品的使用。

本文件适用于土壤环境中阴极保护系统用 MMO/Ti柔性阳极的设计、制造及使用。

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 1804—2000　一般公差　未注公差的线性和角度尺寸的公差

GB/T 2001　焦炭工业分析测定方法

GB/T 3620.1—2016　钛及钛合金牌号和化学成分

GB/T 3623　钛及钛合金丝

GB/T 4208—2017　外壳防护等级(IP代码)

GB/T 8170　数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 9174　一般货物运输包装通用技术条件

GB/T 12706.1　额定电压 1 kV(U_m=1.2 kV)到 35 kV(U_m=40.5 kV)挤包绝缘电力电缆及附件 第 1部分:额定电压 1 kV(U_m=1.2 kV)和 3 kV(U_m=3.6 kV)电缆

GB/T 15078　贵金属电触点材料接触电阻的测量方法

GB/T 16921　金属覆盖层　覆盖层厚度测量　X射线光谱法

GB/T 19976　纺织品　顶破强力的测定　钢球法

GB/T 19978　土工布及其有关产品　刺破强力的测定

GB/T 21196.2　纺织品　马丁代尔法织物耐磨性的测定　第 2部分:试样破损的测定

GB/T 24521　炭素原料和焦炭电阻率测定方法

GB/T 34016　防鼠和防蚁电线电缆通则

GB/T 41493.2　阴极保护用混合金属氧化物阳极的加速寿命试验方法　第 2部分:应用于土壤和自然水环境中

GB/T 51253　建设工程白蚁危害评定标准

FZ/T 54064　涤纶单丝

YS/T 587.12　炭阳极用煅后石油焦检测方法　第 12部分:粒度分布的测定

3　术语、定义和缩略语

3.1　术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

柔性阳极　flexibleanode

一种以长线型阳极芯材为主体的一体化辅助阳极。

注：通常由阳极材料、焦炭填料、包裹织物层和耐磨编织网组成。

3.1.2

混合金属氧化物　mixed metaloxide

由铂族金属(Pt、Ir、Ru)氧化物和阀金属(Ti、Ta、Nb、Zr)氧化物按照一定比例构成的混合物。

3.1.3

节点　joint

MMO/Ti柔性阳极内置的 MMO/Ti丝和电缆铜芯的导电连接点。

3.1.4

线密度　lineardensity

单位长度柔性阳极的质量。

3.1.5

设计寿命　design life

阴极保护系统设计时,预计柔性阳极不失去使用功能的有效使用时间。

3.1.6

额定输出电流　rated outputcurrent

额定输出电流密度　rated outputcurrentdensity

单位长度柔性阳极满足设计寿命条件下的最大输出电流值。

3.1.7

最小弯曲半径　minimum bending radius

在生产、存储、施工和工作状态,柔性阳极不受损伤条件下所能承受的最小弯曲圆弧所在的圆的半径。

3.1.8

测断柔性阳极　breakpoint-measurable flexibleanode

一种可以用阳极故障测量仪对隐蔽工程的柔性阳极的断点位置进行精确定位的功能型柔性阳极。

3.2　缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CSE:铜/饱和硫酸铜参比电极(Copper-Copper Sulphate Reference Electrode)

MMO:混合金属氧化物(Mixed Metal Oxide)

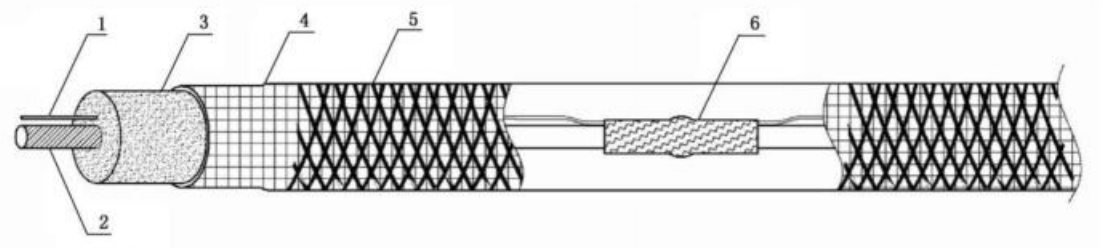
SCC:应力腐蚀断裂(Stress Corrosion Cracking)

SRB:硫酸盐还原菌(Sulfate Reducing Bacteria)

4　产品结构、型号

4.1　产品结构

产品结构示意图见图 1。



标引序号说明：

1—MMO/Ti丝；

2—内置电缆；

3—焦炭填料；

4—包裹织物层；

5—耐磨编织网；

6—节点(以固定间隔设置)。

图 1 MMO/Ti柔性阳极结构示意图

4.2 型号

4.2.1 产品的型号应符合表 1的规定。

表 1 产品的常见型号

型号	MMO/Ti丝直径 mm	电缆铜芯截面积 mm^2
FA-0810α、FA-0810β、FApro-0810α、FApro-0810β	0.8	10
FA-0816α、FA-0816β、FApro-0816α、FApro-0816β		16
FA-0825α、FA-0825β、FApro-0825α、FApro-0825β		25
FA-1010α、FA-1010β、FApro-1010α、FApro-1010β	1.0	10
FA-1016α、FA-1016β、FApro-1016α、FApro-1016β		16
FA-1025α、FA-1025β、FApro-1025α、FApro-1025β		25
FA-1510α、FA-1510β、FApro-1510α、FApro-1510β	1.5	10
FA-1516α、FA-1516β、FApro-1516α、FApro-1516β		16
FA-1525α、FA-1525β、FApro-1525α、FApro-1525β		25
FA-2010α、FA-2010β、FApro-2010α、FApro-2010β	2.0	10
FA-2016α、FA-2016β、FApro-2016α、FApro-2016β		16
FA-2025α、FA-2025β、FApro-2025α、FApro-2025β		25
以型号 FA-1016α和 FApro-1016β为例，FA表示柔性阳极(flexible anode的缩写)，FApro表示测断柔性阳极，10表示 MMO/Ti丝的公称直径为 1.0 mm，16表示电缆铜芯的有效截面积为 16 mm^2，α表示 MMO/Ti丝表面涂层为氧化铱-氧化钽涂层，β表示 MMO/Ti丝表面的涂层为氧化钌-氧化铱涂层		

4.2.2 用户需要定制表 1以外其他新型号产品时，可与制造商协商并按照表 1表注说明进行标注和申购。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 外观质量

产品表面均匀、完整,无漏填料,耐磨编织网无断丝、跳丝。

5.1.2 公称尺寸

产品横截面的外径尺寸应为(38±2) mm。

5.1.3 线密度

产品的线密度应大于 1.30 kg/m。

5.2 材料

5.2.1 MMO/Ti丝

5.2.1.1 MMO/Ti丝的基体应采用钛丝,其化学成分应符合 GB/T 3620.1—2016 中 TA1G 或者 TA2G 的规定,钛丝的性能应符合 GB/T 3623的要求。

5.2.1.2 MMO/Ti丝的直径公差应符合 GB/T 1804—2000 中公差等级为中等(m) 的规定或者由供需双方约定。

5.2.1.3 MMO/Ti丝的涂层与基体结合牢固、无剥离,检验方法为截取长度为 100 mm 的 MMO/Ti丝绕在直径 20 mm 的金属棒上弯曲 180°,涂层应无剥离。

5.2.1.4 MMO/Ti丝的涂层厚度宜大于或等于 6 g/m^2,检验方法按照 GB/T 16921执行。

5.2.1.5 非盐渍化土壤环境中使用的柔性阳极应采用氧化铱-氧化钽(IrO_2-Ta_2O_5)涂层的 MMO/Ti丝,盐渍化土壤或盐碱地土壤环境中使用的柔性阳极采用氧化钌-氧化铱(RuO_2-IrO_2)涂层的 MMO/Ti丝。

5.2.2 内置电缆

5.2.2.1 柔性阳极内置连续的单芯铜芯绞合电缆,其电缆铜芯的截面积应满足柔性阳极输出电流量的要求且大于或等于 10 mm^2。电缆的技术性能应符合 GB/T 12706.1 的规定。

5.2.2.2 应根据以下因素确定柔性阳极内置电缆绝缘护套类型对环境的适用性,以避免柔性阳极在服役过程中意外失效:

a) 土壤环境对绝缘外护套的侵蚀作用;
b) MMO/Ti丝表面电极反应产物对绝缘外护套的侵蚀作用;
c) 柔性阳极敷设时的环境温度;
d) 生物侵害的可能性;
e) 在土壤热阻率高的环境下,电缆热扩散对绝缘护套性能的影响;
f) 环境保护的要求。

5.2.2.3 在符合工作电压、工作电流及其特征和环境条件下,柔性阳极内置电缆的绝缘寿命应大于或等于预期使用寿命。

5.2.2.4 在非盐渍化土壤环境中使用的柔性阳极,其内置电缆应选用高密度或高分子量聚乙烯外护套。在盐渍化土壤或盐碱地土壤环境中使用的柔性阳极,其内置电缆应选用含氟聚合物绝缘高密度聚乙烯外护套或者聚乙烯交联外护套。

5.2.2.5 地下水位高于柔性阳极埋设深度的地区，柔性阳极内置电缆应选用透水率低的护套，优选聚乙烯外护套。

5.2.2.6 柔性阳极的使用环境温度如果低于 -15 ℃，则柔性阳极内置电缆应选用交联聚乙烯、聚乙烯或者耐寒橡皮绝缘护套，不宜选用聚氯乙烯绝缘护套。柔性阳极的使用环境温度如果高于 60 ℃，则柔性阳极内置电缆应选用耐热聚氯乙烯、交联聚乙烯或者乙丙橡皮绝缘等耐热型护套，不宜选用普通聚氯乙烯绝缘护套。

5.2.2.7 在白蚁严重危害的地区，柔性阳极内置电缆应选用较高硬度的外护套。根据 GB/T 51253 的规定判定白蚁危害为 Ⅲ级的地区，柔性阳极内置电缆的防白蚁特性量值应符合 GB/T 34016 中 FY1 的规定。

5.2.3 节点

5.2.3.1 柔性阳极的节点应牢固，节点间距应小于或等于 5 m，节点位置误差应不大于间距的 10%。

5.2.3.2 MMO/Ti丝与内置电缆铜芯之间的接触电阻应小于或等于 0.000 9 Ω。

5.2.3.3 节点处绝缘密封结构的防水性能应满足 GB/T 4208—2017中 IPX8等级的要求，IPX8等级试验的条件为施加气压大于或等于 0.1 MPa,试验时间大于或等于 60 min。试验后应检查产品节点的进水情况，接受条件为水不进入节点。

5.2.4 焦炭填料

焦炭填料应采用煅后石油焦,其性能指标应满足表 2 的要求。

表 2 焦炭填料性能指标

项目	指标	检验方法
固定碳含量	≥90%	GB/T 2001
颗粒度	98%的颗粒尺寸小于 1.27 mm， 80%的颗粒尺寸大于 0.254 mm	YS/T 587.12
体积电阻率/(Ω·cm)	≤0.06	GB/T 24521

5.2.5 包裹织物层

应采用包裹织物层将焦炭填料包裹在 MMO/Ti丝和内置电缆周围，包裹织物层性能指标应满足表 3的要求。

表 3 包裹织物层性能指标

项目	指标	检验方法
顶破强力(幅宽 ≤140 mm)/N	≥500	GB/T 19976
耐磨性能(0.600水砂纸)/次	≥100	GB/T 21196.2
刺破强力/N	≥280	GB/T 19978

5.2.6 耐磨编织网

5.2.6.1 包裹织物层外应包裹耐磨编织网，耐磨编织网单丝宜采用涤纶单丝类产品，涤纶单丝应符合FZ/T 54064的规定。

5.2.6.2 产品表面耐磨编织网的覆盖密度应大于或等于 60%。

5.2.6.3 耐磨编织网的单丝直径宜大于或等于 0.8 mm。

5.3 产品性能

5.3.1 弯曲半径

产品的最小弯曲半径应满足公式(1)的要求：

$$R \leq 1.6 \times \max(R_{cable}, R_{mmo}) \quad \cdots\cdots(1)$$

式中：

R —产品的最小弯曲半径，单位为毫米(mm)；

$\max(R_{cable}, R_{mmo})$ —R_{cable}和 R_{mmo}中的最大值；

R_{cable} —产品内置电缆的最小弯曲半径，单位为毫米(mm)，可根据 GB 50303或者供货商提供的数据取值；

R_{mmo} —产品内置 MMO/Ti丝的最小弯曲半径，单位为毫米(mm)，其计算方法见公式(2)：

$$R_{mmo} = K \times d \quad \cdots\cdots(2)$$

式中：

R_{mmo}—MMO/Ti丝的最小弯曲半径，单位为毫米(mm)；

K —MMO/Ti丝的弯曲系数，无量纲，弯曲系数值取决于 MMO/Ti丝的应用环境条件、钛丝基材的化学成分、力学性能和热处理状态、MMO涂层类型和涂层厚度，通常取值为3~25；

d —MMO/Ti丝的直径，单位为毫米(mm)。

5.3.2 设计寿命

5.3.2.1 涂层类型为氧化铱-氧化钽的 MMO/Ti柔性阳极在输出额定电流的条件下的设计寿命应满足表 4的要求。

表 4 不同额定输出电流条件下的设计寿命

MMO/Ti丝直径 mm	额定输出电流 mA/m			
	25年	30年	40年	50年
1.0	52	43	33	26
1.5	78	65	49	39
2.0	104	87	65	52

5.3.2.2 涂层类型为氧化铱-氧化钽的 MMO/Ti柔性阳极的设计寿命以柔性阳极内置的 MMO/Ti丝的强化寿命试验结果验证，检验方法按照 GB/T 41493.2执行。

5.3.3 工作性能

5.3.3.1 将产品置于质量分数为 3%的 NaCl溶液中，施加 100A/m^2 的给定电流，换算成给定电流值的计算公式见公式(3)：

$$i_{test} = 100 \times \pi dL \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

式中：

i_{test}— 给样品施加的给定电流值，单位为毫安(mA)；

d —柔性阳极内置的 MMO/Ti丝直径，单位为毫米(mm)；

L —— 柔性阳极试验样品的长度，单位为米(m)。

5.3.3.2 产品在给定电流下连续工作满 15 d后，应符合以下要求：

a) 产品仍能在最初的电流输出下运行，试验过程中稳压电源输出电压的偏离量在 ±10%的范围内；

b) 节点处的 MMO/Ti丝和电缆铜芯连接牢固；

c) 节点处的绝缘密封结构密封性良好，水不进入节点。

6 检验与验收

6.1 检验方法

6.1.1 产品外观、性能检验应符合表 5的规定。

表 5 产品外观、性能检验

序号	项目	检验方法
1	外观质量	肉眼观察
2	公称尺寸	测量
3	线密度	测量
4	MMO/Ti丝直径	测量
5	MMO/Ti丝涂层结合力	肉眼观察
6	弯曲半径	附录 A
7	耐磨编织网覆盖密度	附录 B
8	绝缘密封特性	GB/T 4208—2017
9	节点接触电阻	GB/T 15078
10	设计寿命	GB/T 41493.2
11	阳极工作性能(3%NaCl溶液、最大输出电流，15 d)	附录 C

6.1.2 测量数据的判定应采用修约比较法，数值修约规则按 GB/T 8170的规定执行。

6.2 出厂检验

6.2.1 产品的出厂检验，以同材料、同生产线、同规格生产的 5 000 m 为一批；若不足 5 000 m，也视为一批。

6.2.2 同一个订单或者项目的柔性阳极长度小于 5 000 m，则产品出厂检验应符合 5.1.1、5.1.2、5.1.3、5.3.2的规定。

6.2.3 同一个订单或者项目的柔性阳极长度大于或等于 5 000 m，在出厂检验结果符合 5.1.1、5.1.2、5.1.3、5.3.2规定的产品中，随机选取 3个包装单位(一般为轴盘)作为样品，在每个样品端部截取 10 m长柔性阳极进行检验，应全部符合 5.2.3.2、5.2.3.3、5.2.6.2、5.3.1、5.3.3的要求。若有一个样品检验不合格，则应加倍抽样重新检验；若仍有不合格项，应视该批次产品为不合格产品。

6.2.4 出厂的产品应附有产品合格证和质量证明文件。

6.3 型式检验

6.3.1 有下列情况之一,应进行型式检验:

— 新产品或者产品转厂生产的试制定型鉴定;
— 正式生产后,如结构、材料、工艺有较大改变,可能影响产品性能时;
— 正常生产中,每年进行一次型式检验;
— 产品停产超过一年后,恢复生产时;
— 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时。

6.3.2 型式检验的样品应从出厂检验已合格的产品中随机抽取,型式检验项目为5.1、5.2.3.2、5.2.3.3、5.2.6.2和5.3中要求的项目。

7 标志、包装、贮存与运输

7.1 标志

7.1.1 产品标志

产品上应有明显的标志:商标和型号。

7.1.2 包装标志

产品包装上应标明下列内容:

a) 商标;
b) 产品的名称、型号;
c) 生产单位的地址和联系方式;
d) 批号、数量;
e) 生产日期;
f) “禁止叉车方向”“堆码质量极限”“禁止堆码”“旋转方向”等图示标志;
g) 供需双方约定的其他信息。

7.2 包装

7.2.1 产品采用轴盘包装,外覆泡沫膜和防水塑料膜,包装方法应符合GB/T 9174的规定。

7.2.2 随同产品包装的物品应包括产品合格证、质量证明书以及相应的产品附件、配件和供需双方约定的其他物品。

7.3 贮存与运输

7.3.1 产品轴盘在装卸时应符合安全作业的规定。叉车装卸应注意可叉车方向和禁止叉车方向,正对轴盘圆盘的两个方向为可叉车方向,且货叉只允许插入轴盘的镂空位置,与可叉车方向垂直、正对柔性阳极产品的方向为禁止叉车方向。

7.3.2 产品在贮存和运输过程中应采取适当的支撑和固定措施,防止轴盘意外滚动。

7.3.3 产品在贮存和运输过程中应防止与有毒、有害、易腐蚀、易燃、易爆等危险物品接触。

7.3.4 产品应贮存在安全、通风、干燥、阴凉的场所。

8 产品的使用

8.1 产品的施工图设计

8.1.1 场站区域阴极保护的施工图设计按附录 D执行。

8.1.2 机坪管网阴极保护的施工图设计见附录 E。

8.1.3 储罐底板外壁阴极保护的施工图设计见附录 F。

8.2 产品安装

8.2.1 一般要求

8.2.1.1 施工前应对 MMO/Ti柔性阳极的规格、数量、外观、尺寸、电导通性、出厂检验文件、合格证进行检查,不合格的产品不准许安装。

8.2.1.2 对于整盘供货的产品,单盘轴柔性阳极每 400 m 最多允许有 2个接头;对于分段供货的产品,长度小于 100 m 的阳极段不应有接头;长度大于或等于 100 m 且小于 400 m 的阳极段最多允许有1个接头,长度大于或等于 400 m 的产品允许的接头数量按整盘供货的要求执行。接头两侧的柔性阳极内置电缆铜芯之间的接触电阻应小于或等于 0.01 Ω。

8.2.1.3 MMO/Ti柔性阳极允许敷设的环境温度应不低于表 6 的规定,当环境温度低于表 6 的规定时,可将柔性阳极移至室内预热,室内温度保持在 25 ℃左右且严禁明火。待柔性阳极温度达到并高于表 6规定的最低温度后,可以进行柔性阳极的敷设施工,敷设时间宜在 2 h 以内。敷设现场的最高环境温度不宜高于 40 ℃。

表 6 柔性阳极允许敷设的最低环境温度

柔性阳极内置电缆护套类型	允许敷设的最低温度/℃
塑料绝缘护套	0
铅护套钢带铠装	-7
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套	-10
橡皮绝缘聚氯乙烯护套	-15
橡皮或聚氯乙烯护套	-15
耐寒护套	-20

8.2.1.4 安装过程中不准许拖拽 MMO/Ti柔性阳极。如果柔性阳极包裹织物层意外破损而导致焦炭填料泄漏,应密封漏点后再进行阳极的敷设。

8.2.2 管道阴极保护安装

8.2.2.1 MMO/Ti柔性阳极沿着被保护管道平行布置。柔性阳极敷设时与被保护管道及附近其他设施之间允许的最小距离应符合表 7 的要求。

表 7　柔性阳极敷设时与被保护管道及附近其他设施之间允许的最小距离

柔性阳极附近的设施	平行		交叉	
	一般情况	特殊情况	一般情况	特殊情况
被保护埋地管道	≥300 mm 且与管底平齐	≥ 300 mm 且增加柔性阳极埋深	≥300 mm 且将柔性阳极保护的平行管道与交叉管道跨接	按一般情况执行
非保护埋地金属管道	柔性阳极如果和非保护管道平行，则柔性阳极应和非保护管道处于被保护管道的不同侧	按一般情况执行	≥300 mm 且柔性阳极用绝缘隔离套管包覆，套管在管道两侧宜超出至少 300 mm	按一般情况执行
柔性阳极	近距离平行的柔性阳极应敷设在被保护管道的两侧	按一般情况执行	≥100 mm 且至少一根柔性阳极用绝缘隔离套管包覆，套管在柔性阳极两侧均至少超出 100 mm	按一般情况执行
接地极	柔性阳极如果和接地极平行，则柔性阳极应和接地极处于被保护管道的不同侧	如果接地极和柔性阳极在被保护管道的同一侧，接地极用绝缘隔离套管包覆且与柔性阳极的距离应≥300 mm	≥300 mm 且接地极用绝缘隔离套管包覆，包覆长度≥300mm	按一般情况执行
控制电缆	≥100 mm	按一般情况执行	≥500 mm	按注[a]执行
10 kV及以下电力电缆	≥100 mm	按一般情况执行	≥500 mm	按注[a]执行
10 kV 以上电力电缆	≥250 mm	采用隔板分割或电缆穿管时≥100 mm	≥500 mm	按注[a]执行
树木的主干	≥700 mm	按一般情况执行	—	—
建筑物基础	≥600 mm	按注[b]执行	—	—
1 kV及以下架空线杆	≥1 000 mm	按注[b]执行	—	—
1 kV 以上架空线杆	≥4000 mm	按注[b]执行	—	—
公路	≥1 500 mm	按注[b]执行	按注[c]执行	按一般情况执行
非直流电气化铁路路轨	≥3 000 mm	按一般情况执行	按注[c]执行	按一般情况执行
直流电气化铁路路轨	≥10 000 mm	按一般情况执行	按注[c]执行	按一般情况执行

[a] 采用隔板分割或电缆穿管时≥250 mm。

[b] 特殊情况可适当减小间距，减少值不应大于 50%。

[c] 交叉时柔性阳极用电缆替代，电缆应穿于保护套管内，保护套管与路基上表面的距离应大于或等于 1 000 mm，保护管应有不低于 1%的排水坡度，保护套管在路基两侧均至少超出 500 mm，柔性阳极和电缆接头距离最近的套管口的距离应≥1 000 mm。

8.2.2.2 MMO/Ti柔性阳极安装时应在地床内处于松弛状态，并留有一定的裕量，以防止土壤沉降可能对阳极造成的破坏。

8.2.2.3 如果柔性阳极的内置电缆为铠装电缆，则柔性阳极在安装过程中应将钢带铠装层两端接地。

8.2.2.4 柔性阳极转角时，如果柔性阳极转角内侧无平行敷设的电缆时，柔性阳极的转角半径应大于或等于 16D。D 为柔性阳极外径。

8.2.2.5 柔性阳极在 20°～50°斜坡地段敷设，其倾斜角度应不大于地形自然坡度，坡度小于或等于 30°时，每 15 m 固定柔性阳极一次；坡度大于 30°时，每 10 m 固定柔性阳极一次。固定材料应为绝缘材料。

8.2.2.6 柔性阳极地床在回填时，应将回填土过筛以避免块状坚硬物对柔性阳极的损坏。

8.2.3 储罐底板阴极保护安装

8.2.3.1 柔性阳极底部的砂垫层厚度应大于或等于 50 mm。

8.2.3.2 柔性阳极及引线电缆应保持自然松弛状态，避免因储罐底板的沉降而使电缆受到破坏。

8.2.3.3 在砂垫层的回填密实处理过程中不准许使用振捣棒等容易造成柔性阳极损坏的工具和措施。

附 录 A
（规范性）
弯曲半径试验方法

A.1 试样

截取一段长度大于或等于 2 m 的产品作为试样，两端头进行密封处理。

A.2 试验步骤

把试样尽量弯曲，如图 A.1所示，在试样上标注点 A 和点 B，测量 AB两点之间的距离，再试样上再找一点 C，使 AC两点之间的距离等于 AB两点之间的距离，且 BC位于柔性阳极圆弧和圆弧的圆心之间，再测量 BC之间的距离，测量数据精确到 mm。记录试验温度。

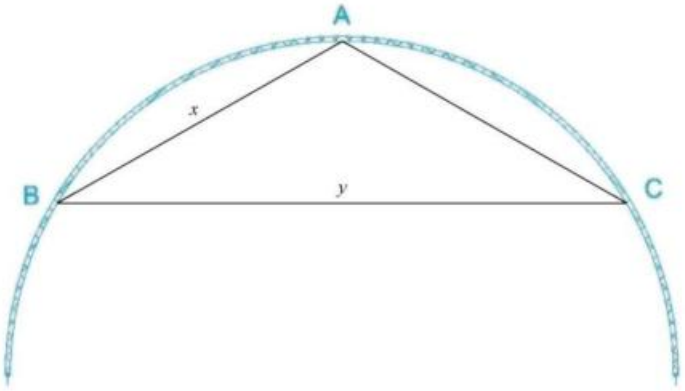


图 A.1 柔性阳极弯曲半径测量示意图

根据公式(A.1)计算柔性阳极的弯曲半径：

$$R = \frac{x^2}{2 \times \sqrt{x^2 - \frac{y^2}{4}}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (A.1)$$

式中：

R — 柔性阳极的弯曲半径，单位为毫米(mm)；

x — 短弦 AB的长度，单位为毫米(mm)，AB的长度与 AC的长度相等；

y — 长弦 BC的长度，单位为毫米(mm)。

A.3 结果判定

试验之后检测产品外观和 MMO涂层，如果产品外观无变形，炭粉无泄漏，MMO涂层无剥离，则计算出的柔性阳极弯曲半径数据有效，否则试验数据无效。以有效数据满足 5.3.1 的要求为合格。

附 录 B
（规范性）
耐磨编织网覆盖密度试验方法

B.1 耐磨编织网覆盖密度

柔性阳极耐磨编织网的覆盖密度按照公式(B.1)和公式(B.2)计算：

$$P = (2p - p^2) \times 100\% \quad \cdots\cdots (B.1)$$

式中：

P —耐磨编织网覆盖密度；

p —单向覆盖系数。

$$p = \frac{m \times n \times d}{\pi \times D} \sqrt{1 + \frac{\pi^2 \times D^2}{L^2}} \quad \cdots\cdots (B.2)$$

式中：

D —耐磨编织网层外径的测量值，单位为毫米(mm)；

d —耐磨编织纤维单丝直径的测量值，单位为毫米(mm)；

m —编织机同一方向锭数；

n —每锭的编织线根数；

L —编织节距的测量值，单位为毫米(mm)。

B.2 结果判定

计算的耐磨编织网覆盖密度大于或等于 60%为合格。

附 录 C
（规范性）
阳极工作性能试验方法

C.1 仪器设备

仪器设备包括以下几种：

—阴极：带绝缘支架的钢质容器，容器规格为 1.8 m × 0.6 m × 0.3 m，绝缘支架高度不小于 150 mm；
—可调直流稳压电源：0 V～20V；
—相应的连接电缆；
—直流电流表。

C.2 电解液

质量分数为 3%的 NaCl溶液。

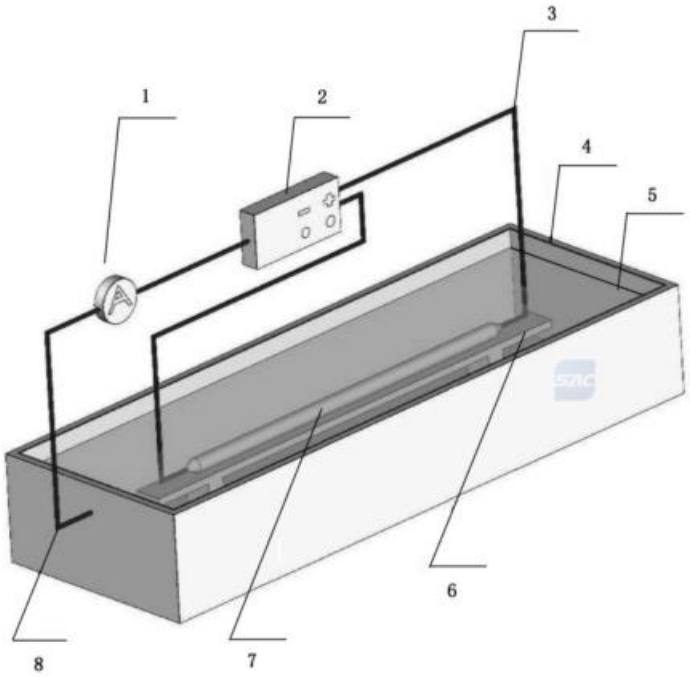
C.3 样品

截取一段长度为 1 m、含节点的产品作为样品，两端头连接电缆且在接头处进行绝缘密封处理。

C.4 试验步骤

试验分为以下步骤：

a） 将样品放置在绝缘支架上；
b） 将样品两端连接至直流稳压电源的正极，将钢质容器连接至直流稳压电源的负极，阳极工作性能试验接线如图 C.1所示；
c） 向容器内注入质量分数为 3%的 NaCl溶液，使液面高出样品 50 mm 以上；
d） 接通电源，使阳极输出电流密度达到产品最大输出电流；
e） 试验时间为 15d，每天观察液面高度，并及时补充蒸馏水或去离子水以保持液面高度和盐度不变；并记录直流稳压电源的输出电压、直流电流表显示的电流、试验持续的时间和试验溶液温度。



标引序号说明：

1—直流电流表；

2—可调电压直流电源；

3—导线；

4—钢质容器；

5—3%NaCl溶液；

6—绝缘支架；

7—柔性阳极样品；

8—导线。

图 C.1　阳极工作性能试验接线示意图

C.5　结果判定

试验结果满足 5.3.3 的要求，判定合格。

附 录 D
（规范性）
在场站区域保护中的施工图设计

D.1 设计要求

D.1.1 阴极保护准则

D.1.1.1 埋地管道阴极保护的有效性依据阴极保护准则判断，一般情况下采用经典准则：

a） 埋地管道的阴极保护电位(vs. CSE且不含 iR 降，下同)区间应为 -850 mV~-1 200 mV；

b） 在厌氧菌或 SRB存在的土壤环境以及淤泥、沼泽等缺氧或者无氧环境中，埋地管道的阴极保护电位区间应为 -950 mV~-1 200 mV；

c） 在土壤电阻率为 100 Ω·m~1 000 Ω·m 的环境中，埋地管道的阴极保护电位区间应为 -750 mV~-1 200 mV；

d） 在土壤电阻率大于 1 000 Ω·m 的环境中，埋地管道的阴极保护电位区间应为 -650 mV~-1 200 mV；

e） 在温度高于 60 ℃的环境中，埋地管道的阴极保护电位区间应为 -950 mV~-1 200 mV；

f） 对高强度钢(最小屈服强度大于 550 MPa)和耐蚀合金钢，极限保护电位则根据实际析氢电位来确定，其保护电位可能比 -850 mV 稍正，但在 -650 mV~ -750 mV 的电位范围内，管道处于高 pH值 SCC 的敏感区，应予以充分重视。

D.1.1.2 当阴极保护经典准则难以达到时，可采用经济准则作为判据：

a） 管道阴极极化或去极化电位差大于 100 mV；

b） 经济准则不适用于温度大于 40 ℃的环境，含硫酸盐还原菌的土壤，存在干扰电流、平衡电流和大地电流的情形，存在外部应力腐蚀风险的情形，以及管道连接处或由多种金属组成的部件。

D.1.1.3 在有杂散电流干扰的情况下，采用干扰准则作为阴极保护系统有效性的判据：

a） 存在动态直流杂散电流干扰的情况下，管道/地电位正于最小保护电位准则的时间比例不超过测试时间的 10%，且管道/地电位正于最小保护电位准则 +50 mV 的时间比例不超过测量时间的 5%，且管道/地电位正于最小保护电位准则 +100 mV 的时间比例不超过测量时间的 1%，且管道/地电位正于最小保护电位准则 +850 mV 的时间比例超过测量时间的 0.2%；

b） 存在稳态直流杂散电流干扰的情况下，管道的阴极保护电位满足经典准则的规定。

D.1.2 一般要求

D.1.2.1 场站区域阴极保护系统在运行过程中应满足场地的防爆等级要求。

D.1.2.2 场站区域阴极保护系统投运之后，站外干线管道阴极保护系统的输出电流应恢复到站内区域阴极保护系统投运前的水平，干线管道的保护电位和保护距离不因站内系统的投运而受影响。

D.1.2.3 阳极地床在场地内产生的跨步电压应小于或等于 0.5 mV/m，否则应在阳极地床上方安装防爆安全地面以满足跨步电压的要求。并基于安全考虑，直流电源的输出电压不宜超过 50V。

D.1.2.4 场站区域阴极保护系统的设计宜充分考虑站内接地极对阴极保护电流的泄漏量。场站内的接地材料应采用锌棒、镀锌扁钢锌包钢等材料，不宜采用自然电位比碳钢正的接地材料。

D.2 柔性阳极设计

D.2.1 场站区域阴极保护系统应采用强制电流方式，阳极地床形式优选 MMO/Ti柔性阳极地床。

D.2.2 在保护单根埋地管道时，柔性阳极沿着管道布置。阳极输出电流量大于被保护管道和管道接地的保护电流需求量，如果不能满足保护电流需求量，则需增加布置柔性阳极以满足管道的保护电流需求或增加柔性阳极内置 MMO/Ti丝的直径。

D.2.3 柔性阳极保护多根并行的埋地管道时，柔性阳极宜沿着管道两侧布置，柔性阳极的输出电流量应大于被保护管道和管道接地的保护电流需求量，多根并行的被保护管道之间应设置电气跨接线。

D.2.4 为保证施工时敷设的柔性阳极的松弛度，柔性阳极的设计量可增加 2%～5%的裕量。

D.2.5 场站区域阴极保护布置的柔性阳极宜根据现场情况分为多段，每段柔性阳极的长度不宜超过 300 m，每段柔性阳极均设置一个对应的阴极回流点，回流点的位置附近如果有交叉或平行的埋地管道，则在回流点的位置布置电气跨接线将交叉和平行的管道全部电性连接。

D.2.6 为了避免第三方破坏导致站内服役柔性阳极的意外折断而难以发现断点位置，场站区域阴极保护可采用测断柔性阳极，可利用阳极故障测量仪快速测量出从测量点到柔性阳极断点之间的距离，以便于确定柔性阳极的断点位置并快速修复断点。

D.2.7 测断柔性阳极测试断点位置的最远距离取决于阳极故障测量仪的量程；阳极故障测量仪的测量精度与量程存在相关性，以量程 4 km 的阳极故障测量仪为例，其测量柔性阳极断点位置的误差小于 0.1 m；

D.2.8 传统 MMO/Ti柔性阳极允许用一形连接和 T形连接；而测断柔性阳极允许用一形连接而不准许 T形连接(见图 D.1)，以避免 T形接头对阳极故障测量仪的测断信号的干扰。



a) 柔性阳极的一形连接接头　　b) 柔性阳极的 T形连接接头

图 D.1 MMO/Ti柔性阳极连接方式示意图

D.3 柔性阳极接地电阻

柔性阳极的接地电阻按公式(D.1)计算：

$$R=\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{2L}{r}+\ln\frac{L}{D}-2+\frac{2D}{L}\right) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (D.1)$$

式中：

R — 柔性阳极的接地电阻，单位为欧姆(Ω)；

ρ — 土壤电阻率，单位为欧姆米(Ω·m)；

L — 柔性阳极长度，单位为米(m)；

r — 柔性阳极的横截面半径，单位为米(m)；

D — 柔性阳极埋深，单位为米(m)。

附 录 E
（资料性）
在机坪管网保护中的施工图设计

E.1 柔性阳极设计

E.1.1 机场机坪管网阴极保护系统采用强制电流方式，辅助阳极地床形式可选择 MMO/Ti柔性阳极地床或者深井阳极地床，阳极地床的选择原则为：

a） 没有机坪场地的地质勘探报告，或者地勘勘探报告显示场地的地质条件不适用深井阳极地床的情况下选择 MMO/Ti柔性阳极地床；

b） 机坪附近的地下金属结构物对杂散电流干扰敏感的情况下选择 MMO/Ti柔性阳极地床；

c） 场地的地质勘探报告显示场地的地质条件适用深井阳极地床，且机坪附近的地下金属结构物对杂散电流干扰不敏感的情况下可选择 MMO/Ti柔性阳极地床或者深井阳极地床，一般情况下深井阳极地床更经济。

E.1.2 机坪管网 MMO/Ti柔性阳极可采用普通柔性阳极或者测断柔性阳极，柔性阳极沿着管道同沟敷设；每路直流电源驱动的柔性阳极长度取决于埋地管道及与其相连的接地极的电流需求量、土壤电阻率等因素。

E.1.3 单独设置一根阳极主电缆和一根阴极主电缆，阳极主电缆可每隔 500 m 和 MMO/Ti柔性阳极的内置电缆电连接一次；阴极主电缆可每隔 500 m 和埋地管道电连接一次；阳极连接点的位置和阴极连接点的位置沿着管道方向交错布置。MMO/Ti柔性阳极宜两端通电。

E.1.4 为了避免第三方破坏导致柔性阳极的意外折断而难以发现断点，机坪管网阴极保护可采用测断柔性阳极。

E.2 阳极接地电阻

直流电源的输出电压和回路电阻有关，回路电阻组成部分的柔性阳极的接地电阻可根据公式(D.1)计算。

附 录 F
（资料性）
在储罐底板保护中的施工图设计

F.1 柔性阳极设计

F.1.1 单个储罐 MMO/Ti柔性阳极最小用量的计算方法见公式(F.1)：

$$L_{FA} \geqslant \frac{i \times \pi R^2}{i_{output}} \quad \cdots\cdots(F.1)$$

式中：

L_{FA}—柔性阳极最小用量，单位为米(m)；

i —— 储罐底板的保护电流密度，单位为毫安每平方米(mA/m^2)；

R —储罐底板的直径，单位为米(m)；

i_{output}—柔性阳极的额定输出电流，单位为毫安每米(mA/m)；根据表 4 中柔性阳极的设计寿命选取阳极的额定输出电流，表 4 中没有的数据，可根据公式(F.2)计算柔性阳极额定输出电流：

$$i_{output} = 414 \times \frac{\pi d_{mmo}}{Y} \quad \cdots\cdots(F.2)$$

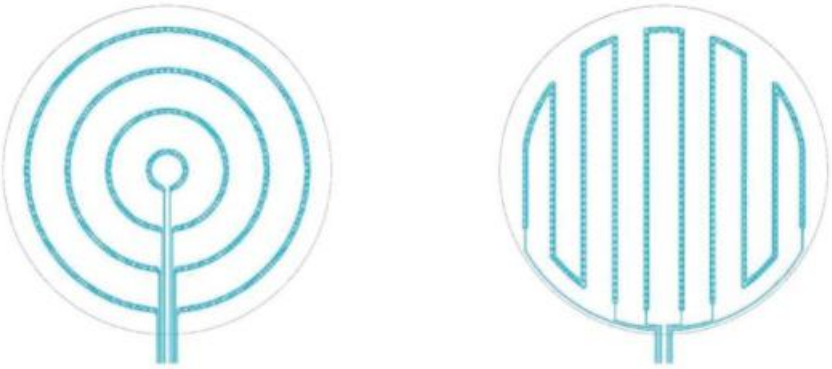
式中：

i_{output}—柔性阳极额定输出电流，单位为毫安每米(mA/m)；

d_{mmo}—柔性阳极内置 MMO/Ti丝的直径，单位为毫米(mm)；

Y —— 柔性阳极的设计寿命，单位为年(a)。

F.1.2 MMO/Ti柔性阳极宜根据同心圆环方式或者蛇形方式布置，布置方式示意图见图 F.1。根据公式(F.1)计算出来的柔性阳极长度和选择的布置方式推算出柔性阳极的间距。



a) 同心圆环方式布置　　b) 一种蛇形方式布置

图 F.1 储罐阴极保护系统柔性阳极布置方式示意图

F.1.3 确定了布置方式和柔性阳极间距(s)，一根柔性阳极的保护区域默认是其两侧间距一半距离(s/2)的范围。全部柔性阳极的保护区域在储罐底板外壁的射影以完全覆盖储罐底板外壁的圆形区域为有效保护的前提。

F.1.4 采用 MMO/Ti柔性阳极保护储罐底板外壁，则 MMO/Ti柔性阳极预期使用寿命的计算公式见公式(F.3)：

$$Y = 414 \times \frac{d_{mmo} \times L}{R^2 \times i} \quad \cdots\cdots (F.3)$$

式中：

Y ——MMO/Ti柔性阳极预期使用寿命，单位为年(a)；

d_{mmo} —柔性阳极内置 MMO/Ti丝的直径，单位为毫米(mm)；

L ——单座储罐敷设的柔性阳极总长度，单位为米(m)；

R —被保护储罐的底板半径，单位为米(m)；

i ——储罐底板外壁的保护电流密度，单位为毫安每平方米(mA/m^2)。

F.1.5 储罐阴极保护可选用测断 MMO/Ti柔性阳极，测断柔性阳极的设计原则和传统 MMO/Ti柔性阳极一致。

F.2 阳极接地电阻计算

F.2.1 每个储罐设计一路直流电源，直流电源的输出电压和输出电流与回路总电阻和总保护电流相匹配。MMO/Ti柔性阳极的接地电阻可根据公式(D.1)计算。

F.2.2 以圆环状布置的柔性阳极的接地电阻(R_a)可根据公式(F.4)计算：

$$Ra = \frac{\rho}{2\pi^2 D}\left(\ln\frac{8D}{d} + \ln\frac{2D}{s}\right) \quad \cdots\cdots (F.4)$$

式中：

R_a —MMO/Ti柔性阳极的接地电阻，单位为欧姆(Ω)；

ρ —储罐砂垫层电阻率，单位为欧姆米(Ω·m)；

D —柔性阳极圆环的直径，单位为米(m)；

d —柔性阳极的直径，单位为米(m)；

s —柔性阳极埋深，单位为米(m)。

参 考 文 献

[1] GB 50303 建筑电气工程施工质量验收规范