



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 41493.2—2022/ISO 19097-2:2018

---

## 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

Accelerated life test method of mixed metal oxide anodes for  
cathodic protection—Part 2: Application in soils and natural waters

(ISO 19097-2:2018, IDT)

2022-04-15 发布

2022-11-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会



## 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。

本文件是 GB/T 41493《阴极保护用混合金属氧化物阳极的加速寿命试验方法》的第2部分。GB/T 41493已经发布了以下部分：

- 第1部分：应用于混凝土中；
- 第2部分：应用于土壤和自然水环境中。

本文件等同采用 ISO 19097-2:2018《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》。

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。

本文件由中国钢铁工业协会提出。

本文件由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本文件起草单位：中国船舶重工集团公司第七二五研究所、冶金工业信息标准研究院、青岛双瑞海洋环境工程股份有限公司、青岛钢研纳克检测防护技术有限公司、北京科技大学。

本文件主要起草人：许立坤、辛永磊、侯捷、田子健、王廷勇、杨朝晖、李晓刚、孟超、杜翠薇。

## 引 言

GB/T 41493《阴极保护用混合金属氧化物阳极的加速寿命试验方法》是全国钢标准化技术委员会金属和合金的腐蚀分技术委员会(以下简称“委员会”)负责制订的腐蚀试验方法标准之一。GB/T 41493旨在规范阴极保护用混合金属氧化物阳极的加速寿命试验方法,加速寿命试验结果可用于比较不同金属氧化物阳极材料的耐久性,并评估阳极在额定电流输出时是否满足设计预期寿命的要求。

GB/T 41493 由两部分构成。

- 第1部分:应用于混凝土中。目的在于规范在混凝土环境中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。目的在于规范在土壤和自然水环境中阴极保护用混合金属氧化物阳极的加速寿命试验方法。

对未经委员会书面授权获认可的其他机构对标准的宣贯或解释所产生的理解歧义和由此产生的任何后果,本委员会将不承担任何责任。

# 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

## 1 范围

本文件规定了土壤和自然水环境阴极保护用混合金属氧化物阳极的加速寿命试验方法。加速寿命试验结果可用于比较不同金属氧化物阳极材料的耐久性,并评估阳极在额定电流输出时是否满足设计预期寿命的要求。

## 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。

ISO 8044 金属和合金的腐蚀 术语(Corrosion of metals and alloys—Vocabulary)

注: GB/T 10123—2022 金属和合金的腐蚀 基本术语和定义(ISO 8044:2020, IDT)

## 3 术语和定义

ISO 8044 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**混合金属氧化物阳极 mixed metal oxide anode**

在钛基体上涂覆混合金属氧化物导电涂层而构成的外加电流阴极保护用辅助阳极。

注: 阴极保护用金属氧化物阳极最常用的涂层为氧化铌和氧化钽的混合物,涂层具体成分可变化。

### 3.2

**加速寿命 accelerated life**

混合金属氧化物阳极在规定试验介质中大电流密度下加速试验时的寿命。

注: 以混合金属氧化物阳极失效前的总试验时间作为加速寿命。

### 3.3

**槽压 cell voltage**

单个电解池(槽)中阳极和阴极之间的电压差。

## 4 试验方法

### 4.1 原理

混合金属氧化物阳极加速寿命试验是在特定的模拟环境中,对阳极施加远高于正常工作条件下的

大电流密度进行电解试验,该试验能显著缩短阳极失效的时间。

## 4.2 试验溶液

4.2.1 用于测试的电解液组成应适于促进阳极析氧、阴极析氢的水电解反应。离子浓度应保证溶液具有合适的电导率,从而避免对电源的电压要求过高。

4.2.2 可选择使用的溶液如下:

- a) 1 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- b) 1 mol/L  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ;
- c) 180 g/L  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,并采用 4.9 g/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  使溶液 pH 值保持在 1。

4.2.3 电解液中不宜含有氯化物。氯化物的存在导致阳极易发生析氯反应而非析氧反应。在测试过程中,氯气会带来操作和安全问题。对钛基金属氧化物阳极的寿命试验来说,析氧环境比析氯环境条件更为苛刻。

4.2.4 每次试验应使用新鲜的电解液。

4.2.5 在整个试验过程中,溶液浓度误差不应超过 $\pm 5\%$ 。

4.2.6 电解液的温度应保持在  $30\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ 。

## 4.3 试验装置

4.3.1 试验装置主要包括阳极(试验样品)、阴极、温度计、玻璃容器、电解液搅拌装置(如磁力搅拌器)、玻璃烧杯用橡胶塞、用于在试验期间添加去离子水的漏斗、通气管和电源等。试验装置示意图见附录 A。

4.3.2 选择合适尺寸的玻璃容器,尽量减小试验过程中由于水电解以及蒸发造成的液位波动。可采用 1.0 L 的玻璃烧杯。

4.3.3 应采用合适的方法固定阳极试样、阴极和温度计的相对位置。可采用橡胶塞,其上开孔以固定各种设备、通风管。或者采用一系列支架和夹具作为固定装置。阳极和阴极之间的间距应固定。阳极顶端和底端边缘应分别距离液面和烧杯底部至少 10 mm。

4.3.4 阳极和阴极之间应相距约 20 mm。

4.3.5 阴极应为锆、钛、铌或铂等惰性材料。阴极的尺寸应足以从烧杯的底部延伸到烧杯顶部的上方。在电解池外部,阴极导电杆应和截面不小于  $1\text{ mm}^2$  的带绝缘层的铜导线牢固连接。该导线的另一端应连接到电源的负极。

4.3.6 温度计应插入电解池中。如果使用多个电解池,每个电解池应安装一个温度计。所用温度计的类型应符合实验室的一般安全规范,并且不应有任何会发生腐蚀或造成溶液污染的材料暴露在电解液中。也可以采用热电偶来代替温度计。温度计的温度范围应为  $20\text{ }^\circ\text{C} \sim 100\text{ }^\circ\text{C}$ 。不锈钢或其他金属热电偶不应暴露在电解液中,以免造成腐蚀和污染。

4.3.7 电源应选择实验室常用的直流稳流电源,所需的电流大小应取决于试样尺寸和加速试验施加的电流密度。例如,5 A 电流适用于工作面积为  $500\text{ mm}^2$  的试样在  $10\text{ kA/m}^2$  的电流密度下试验。一台电源可同时为多个串联的电解池供电,所需电压取决于用来测试的串联电解池的数量。通常,以每个电解池 8 V 乘以串联电解池的数量所计算的输出电压完全可以满足试验要求。

4.3.8 应采用数据采集设备或电压表连续监测每个电解池的槽压,直至阳极失效。电压测量仪器应具有  $10\text{ M}\Omega$  或更高的输入阻抗,槽压测量精度应能达到 $\pm 1\%$ 。

4.3.9 根据实验室的环境条件,可能需要采用温度控制设备将电解液温度保持在要求的范围之内。实

际上,可采用流体来间接地提供或吸收电解液的热量,例如,带夹套的烧杯或放置烧杯的恒温水浴锅。

#### 4.4 试样

4.4.1 试样数量和种类应根据待测阳极材料或产品的有关规定选择。为保证试验数据的准确性,每种阳极通常有三个或至少有两个平行样在相同的操作条件下和单独的电解池中进行测试。

4.4.2 试验前应仔细清洗试样,以去除那些可能会影响试验结果的污物(灰尘、油渍或其他杂质)。试样清洗后应注意避免因处置不当而再次被污染。

#### 4.5 试验过程

4.5.1 试验应在通风良好的实验室通风柜内进行。从电解池中释放的气体为具有潜在爆炸风险的氢气和氧气混合气体,应保持良好通风。

4.5.2 试验电解池应加入新鲜试验溶液,确保阳极样品完全浸没在溶液中,并用磁力搅拌器或类似的方法搅拌,以确保混合均匀。

4.5.3 试验过程中蒸发的水应用蒸馏水或去离子水补充,以保证试验溶液的液位基本稳定( $\pm 5\%$ )。任何时候液位都不应低于要求值,以免影响试验装置的正常运行。

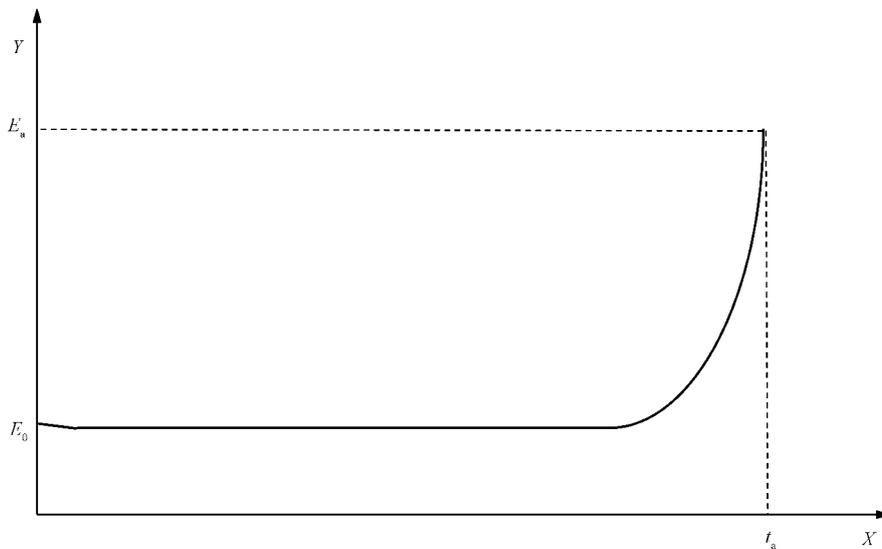
4.5.4 电源通电后,增大电流直至达到试验设定值,然后稳定 3 h。以阳极和阴极表面产生气泡情况来确认是否有电解电流流过。如果电流变化超过设定值的 1%,则应停止试验并检查故障原因。在采取适当的纠正措施后,试验可以继续。对于串联多个电解池的试验,如果因测试阳极失效导致电解池槽压超过临界电压,则应暂停试验并从回路中及时移除失效的电解池,然后重新开始试验,以便完成剩余阳极样品的测试。

4.5.5 在整个试验期间,试验溶液的温度应保持在  $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4.5.6 试验期间,应每隔 1 h 对电解池电流和槽压进行一次监测和记录。在首次记录槽压之前应先试运行 3 h,以确认电解池工作稳定性。该时间应包括在寿命试验的总时长中。

4.5.7 图 1 给出了典型的槽压随电解时间变化曲线。当电解池槽压急剧上升时即标志着阳极发生失效。槽压大小取决于选定的工作电流密度和试验条件。当测试阳极样品失效时,停止试验。

4.5.8 当槽压  $E_a$  比初始槽压  $E_0$  (稳定性试验进行 3 h 后的槽压值作为初始槽压) 升高超过 1.5 V 时,即认为测试阳极失效。从开始试验到阳极失效时所累计的电解时间作为阳极的加速寿命( $t_a$ ) (见图 1)。



标引序号说明：

$X$  —— 电解时间,单位为小时(h)；

$Y$  —— 槽压,单位为伏(V)；

$E_0$  —— 试验进行3 h后的槽压值；

$E_a$  —— 阳极失效时的槽压值；

$t_a$  —— 从开始试验到阳极失效时所累计的电解时间。

图 1 典型的槽压随电解时间变化曲线

4.5.9 应确认槽压升高不是因阳极失效之外的任何其他因素所导致,如电缆连接接头松动等。

4.5.10 应使用可靠稳定的电源设备,以避免测试过程中发生电流波动和断电现象。

4.5.11 如果试验目的是要与相关曲线(见附录 B)进行比较,那么在已进行过的试验时间足以证明阳极产品符合设计预期寿命要求后,即可停止试验。

#### 4.6 试验的连续性

在整个试验期间,宜连续进行试验且不中断。如果需要中断试验过程进行取样检查时,中断时间应尽可能保证最短。

如果试验过程需要中断较长时间,试样应尽快从试验溶液中取出,进行干燥处理,然后保存在干燥器中直至试验重新开始。

#### 4.7 试验完成后试样的处理

试验结束后,应立即将试样从电解池中取出,用蒸馏水或去离子水冲洗,并进行干燥处理。

### 5 试验报告

每个阳极样品的试验结果应以表格形式记录,应包括试验日期、时间、施加的电流及电解池槽压等,同时应记录试验中断和溶液更换的情况。槽压随电解时间的变化也可以图 1 的形式给出。

报告中应描述阳极试样的形状和尺寸,还应记录阴极的材质、形状和尺寸。任何其他相关信息,如电解质颜色的变化、测试前后试样的照片或外观描述等也应记录。任何与本文件试验方法不一致的内

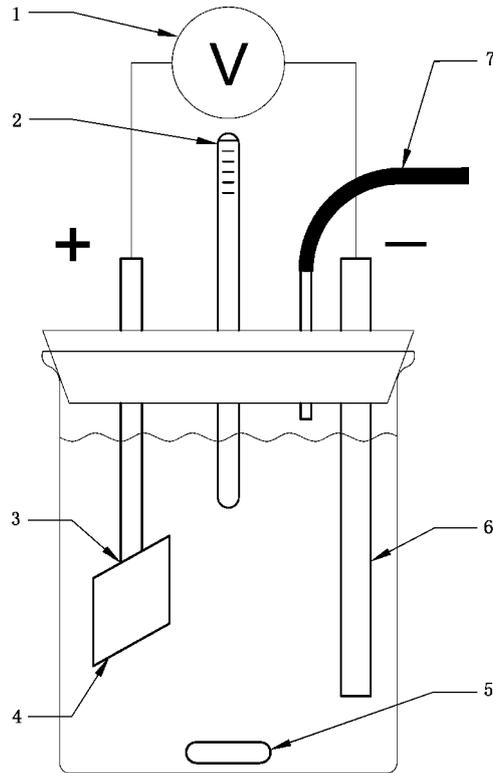
容都应记录在报告中。

## 6 试验结果的应用

试验结果可用于比较不同阳极在相同试验条件下的耐久性,加速寿命试验结果还可用于评价阳极在规定工作电流密度下的预期寿命是否满足设计要求,如附录 B 所示。由于加速寿命测试条件比正常使用工况更加苛刻,使得混合金属氧化物阳极加速寿命试验结果偏于保守。

附录 A  
(资料性)  
加速寿命试验装置

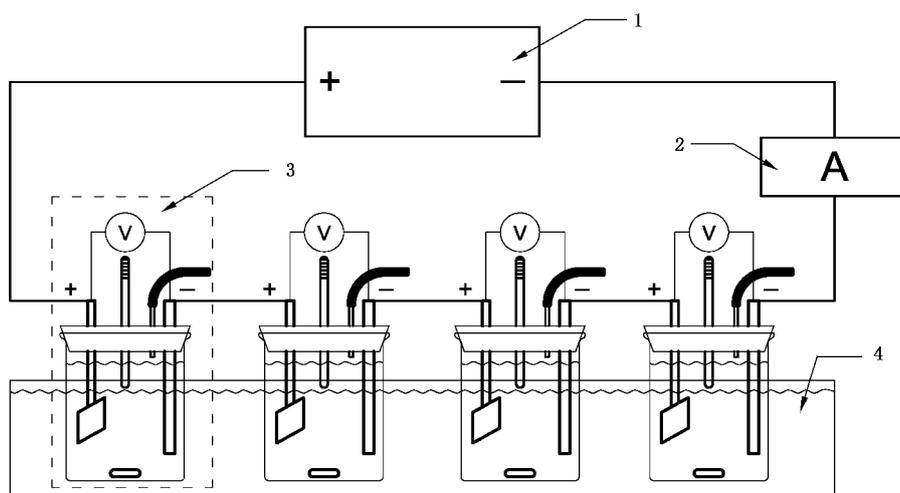
图 A.1 和图 A.2 为金属氧化物阳极加速寿命试验的典型装置示意图。



标引序号说明：

- 1——数据采集器或电压表；
- 2——温度计；
- 3——焊点；
- 4——测试阳极；
- 5——磁力搅拌器；
- 6——阴极；
- 7——排气口。

图 A.1 加速寿命试验用电解池



标引序号说明：

- 1——恒流电源；
- 2——电流表；
- 3——单个电解池；
- 4——恒温水浴槽。

图 A.2 串联连接的电解池组

附录 B

(资料性)

阴极保护用金属氧化物阳极使用寿命评价方法

加速试验旨在提供一种能够在较短时间内测评阳极寿命是否满足设计要求的方法。通常情况下，对于给定面积的阳极，其设计要求可用使用寿命期(年)内通过的额定电流量(安)来表达。

混合金属氧化物阳极的寿命  $L$  和阳极工作电流密度  $i$  之间具有一定的关系，通常认为  $\log L$  和  $\log i$  之间呈线性关系，如图 B.1 所示。该关系可用公式(B.1)表示：

$$\log L = A - B \log i \quad \dots\dots\dots ( B.1 )$$

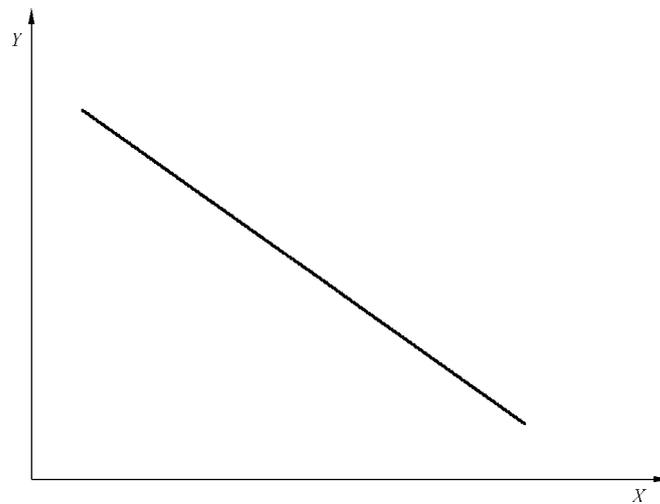
式中，

$L$  —— 阳极寿命，单位为年；

$i$  —— 电流密度，单位为安每平方米(A/m<sup>2</sup>)；

$A$  和  $B$  —— 取决于阳极材料和试验条件的常数。

采用本文件中描述的加速寿命试验方法，可以获得很多组包含阳极加速寿命和工作电流密度的数据。可用公式(B.1)对这些数据组进行拟合，并绘制相关曲线。宜考虑获取尽可能多的数据，以提高拟合结果的准确性。



标引序号说明：

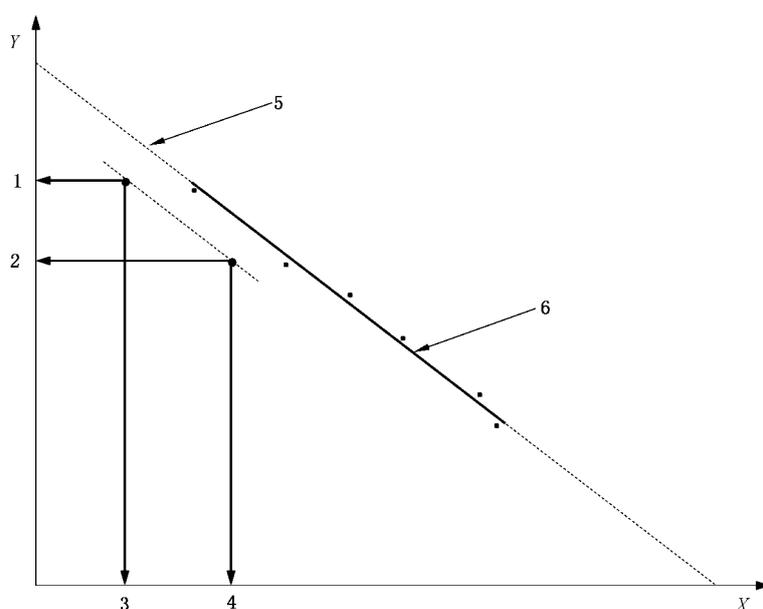
$X$  ——  $\log i$ ，单位为安每平方米(A/m<sup>2</sup>)；

$Y$  ——  $\log L$ ，单位为年。

图 B.1 阳极寿命  $L$  和电流密度  $i$  的典型相关曲线

拟合曲线可以外推到阳极工作电流密度范围。如果阳极工作电流密度和使用寿命的设计值低于(在曲线的左侧)或在拟合曲线上，则认为该金属氧化物阳极满足要求(见图 B.2)。

尽管这并不是使用这些试验结果信息的唯一方法，但所述方法确实是一种合理的用法。



标引序号说明：

X ——  $\log i$ , 单位为安每平方米 ( $A/m^2$ )；

Y ——  $\log L$ , 单位为年；

1 —— 设计寿命；

2 —— 加速试验寿命指标；

3 —— 设计工作电流密度；

4 —— 加速试验施加电流密度；

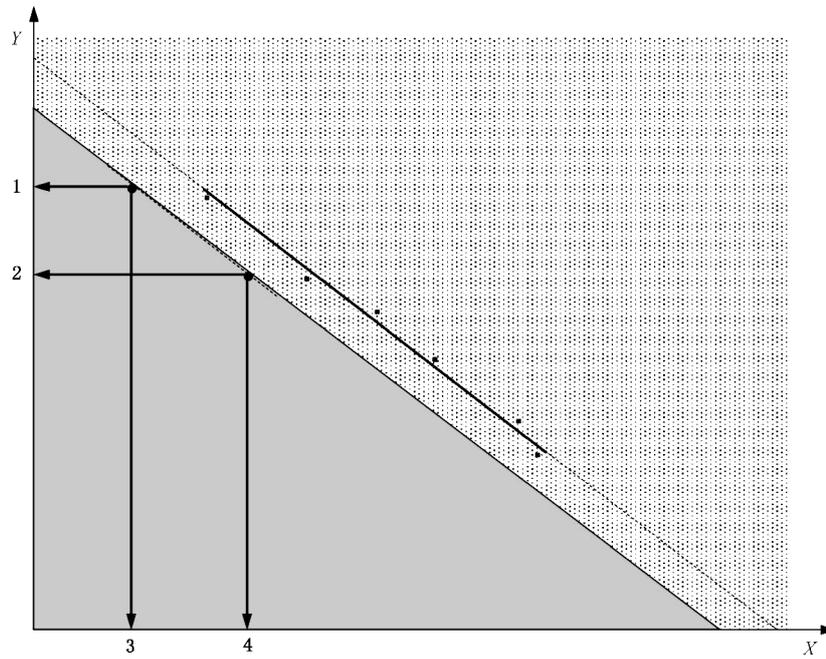
5 —— 相关曲线外推至应用范围；

6 —— 相关曲线。

图 B.2 设计要求-测试数据的相关图

如果代表阳极设计要求指标值的点不是恰好落在拟合的相关曲线上,则绘制一条与线性相关曲线平行且包含该设计指标点的直线,这条线有时被称为“应用线”。通过该条“应用线”,可选取加速试验的电流密度并了解对应的加速寿命。试验人员沿着“应用线”向右下方移动,找到应用线上与预期加速试验寿命相对应的数据点,其对应的电流密度值即为加速试验时应施加的电流密度。

将试验样品的失效时间与要求的加速试验寿命进行比较,样品失效时间不应小于“应用线”(代表满足设计要求)中标出的加速试验预期寿命。如果样品失效时间处于“应用线”右侧或上方的区域,则认为样品符合要求。应该针对所选用的加速试验电流密度进行比较。图 B.3 采用虚线条纹描绘了“应用线”上方的阳极合格区域,采用实灰色表示“应用线”下方的阳极不合格区域。考虑到试验人员可能会选择应用线上的任意一点,所以示出了整个区域范围。只要阳极加速寿命试验结果不低于“应用线”中确定的预期加速寿命,试验样品即为合格。



标引序号说明：

X ——  $\log i$ , 单位为安每平方米 ( $A/m^2$ )；

Y ——  $\log L$ , 单位为年；

1 —— 设计寿命；

2 —— 加速寿命试验指标；

3 —— 设计工作电流密度；

4 —— 加速试验施加电流密度。

图 B.3 采用相关图评估试样试验结果

参 考 文 献

- [1] NACE Standard TM0108—2002 Testing of catalyzed titanium anodes for use in soils or natural waters
-

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准

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 41493.2—2022/ISO 19097-2:2018

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn)

服务热线: 400-168-0010

2022年4月第一版

\*

书号: 155066 · 1-70186

版权专有 侵权必究



GB/T 41493.2-2022



码上扫一扫 正版服务到