国际标准 **ISO 11997-3**

第一版

2022-07

色漆和清漆－耐循环腐蚀试验的测定－

第 3 部分：

汽车结构中材料和部件上涂层体系的测试

参考编号
ISO 11997-3：2022(E)

ISO 2022

目录

前言 3
简介 4
1. 范围 5
2. 规范性引用文献 5
3. 术语和定义 6
4. 原理 6
5. 仪器和试验设备 6
6. 试样的制备 8
7. 程序 9
7.1. 试验条件和程序 9
7.2. 试验的中断 9
7.3. 试样在试验箱内的放置 9
8. 评估试验箱腐蚀性的方法 13
9. 评定 13
10. 精密度 14
11. 试验报告 14
附录 A（资料性）质量损失试验板的制备和后处理 15
附录 B（规范性）日循环的气候数据设置 16
附录 C（资料性）编制气候数据的规定数据样本 19
附录 D（资料性）实验室间测试的细节 20
附录 E（资料性）有关试样的补充信息 27
参考文献 28
译者后记 29

前言

ISO（国际标准化组织）是各个国家的标准化机构（ISO 成员团体）共同组织的世界性联合机构。国际标准的制订工作由 ISO 技术委员会负责。每个成员团体都有权派代表参加所关注课题的已建立的技术委员会。各政府性或非政府性的国际组织，凡与 ISO 有联系的，也都参与这项工作。有关电工标准化方面的内容，ISO 与国际电工委员会（IEC）保持着密切合作关系。

本文件的制订和进一步修订程序在 ISO/IEC 指令中第 1 部分中有描述，宜特别注意，针对不同类型的 ISO 文件，有不同的审批标准。本文件的起草符合 ISO/IEC 指令中第 2 部分的相关规则（见 www.iso.org/directives）。

请注意本文件有些部分可能涉及专利权。ISO 不对识别这些专利权负责。关于制订该文件所涉专利权的细节，都将包含在简介和/或收到的 ISO 专利声明清单中（见 www.iso.org/patents）。

本文档中使用的任何商业名称都是为了方便用户而提供的信息，而不是构成背书。

关于标准的自愿性质、与符合性评估有关的 ISO 特定术语和表达的含义，以及关于 ISO 在技术性贸易壁垒（TBT）中遵守世界贸易组织（WTO）原则的信息等方面的解释，请参见以下内容。URL：http://www.iso.org/iso/foreword.html。

这个国际标准是由 ISO/TC35 技术委员会，色漆和清漆的一般试验方法 SC9 分委会制订的。

ISO 11997 标准的所有部分都能在 ISO 官网上找到。

对本文件的任何反馈或问题都应直接向使用者的国家标准机构提出。这些机构的完整清单可在 www.iso.org/members.html 上找到。

简介

本文件是在 SEP 1850[9]和 VDA 233-102[10]的基础上编写的。

上海暄洋化工材料科技有限公司（简称“暄洋化学”英文“SUNVEA Chemical”）是绿色防腐蚀涂料的倡导者和技术领先者，是水性无机富锌涂料和配套重防腐涂料的研发者和技术应用推广者。暄洋化学以“提供高性能防腐涂料和整体涂装解决方案”为使命，致力于为客户提供超值的产品和服务，实现与相关利益主体的共同发展。

特色技术：1）**全配套防腐蚀涂料**：提供工程级全部配套的防腐蚀和防火涂料。2）**无机纳米涂料技术**：水性无机富锌底漆，水性车间底漆技术独树一帜。3）水性涂料分散技术：环氧、聚氨酯、丙烯酸、醇酸类涂料的水性化技术。**4）高固体分涂料降粘技术**：传统涂料固含提升 30-60%，VOCs 略大于无溶剂涂料。5）**无溶剂涂料有机无机杂化技术**：采用纳米硅预聚体使得无溶剂涂料粘度降低到普通涂料水平。6）**维修用低表面处理技术**：采用低粘度、慢反应、高渗透和噬水化合物解决缝隙腐蚀等维修难点。

核心产品：1）水性车间底漆：VOCs 小于 20 克/升；2）水性无机富锌底漆：施工性能好，防腐期限有希望到五十年；3）传统环氧富锌底漆、环氧云铁中间漆、脂肪族聚氨酯面漆；4）氟碳面漆、聚硅氧烷面漆（竞争优势）；5）冷喷锌底漆；6）抗滑移底漆；7）石墨烯系列涂料；8）高强度低表面改性环氧底漆；9）传统涂料的高固体分型号；10）耐高温银粉装甲漆；11）纳米硅特种涂料（无溶剂低粘度）；12）工程维修用渗透性低表面处理环氧漆；13）环氧基膨胀型钢结构防火涂料（烃类燃烧）；14）非膨胀型钢结构防火涂料；15）膨胀型钢结构防火涂料；16）水性钢结构防火涂料。

工程案例：珠机城际金海特大桥、上海虹桥高铁站、苏州东方之门，上海静安嘉里中心等重点工程数百项。

获得荣誉：中国钢结构协会技术创新奖等。

联系方式：上海市松江区新飞路 1500 弄 33 号（公司），四川省广安经济技术开发区新桥园区科塔大道 5 号（工厂）；021-67601509　67601519 13402021290　0826-62666769　www.sunvea.com


中国钢结构协会技术创新奖

证书



国际标准 **ISO 11997-3：2022**

色漆和清漆—耐循环腐蚀试验的测定—

第 3 部分：

汽车结构中材料和部件上涂层体系的测试

1. 范围

本文件规定了一种对汽车上铝、钢或镀锌钢上的涂层体系进行腐蚀防护性能测试的循环腐蚀试验方法。

本试验方法使用了腐蚀性条件（温度和湿度变动以及盐雾）来模拟真实的腐蚀模式。这些腐蚀模式是典型的汽车腐蚀模式，它们在防护涂层体系足够相似的情况下具有可比性。特别是，加速试验研究的是由于人为破坏涂层导致的涂层剥落/腐蚀蔓延。表面和边缘腐蚀的调查或粘结剂样品或部件的调查也包括在内。这种循环腐蚀试验也适用于法兰区域或间隙附近的腐蚀试验。

这个文件是为汽车工业中有涂层的基材（试样、车身和安装部件）的耐腐蚀性的评定而制订的。其他方面的应用，例如未涂金属涂层的部件，不属于本标准化工作的范围。本文件最初是为铝、钢或镀锌钢上的涂层体系而制订的，但它也可用于评定其他金属及其合金上涂层体系的耐腐蚀性。

2. 规范性引用文件

在本文中提及以下文件时，其部分或全部内容构成本文件的要求。对于注明日期的引用文件，只适用所引用的版本。对于未注明日期的引用文件，其最新版本（包括任何修订）适用于本文件。

ISO 2409 色漆和清漆—划格试验

ISO 3574 商用和拉制的冷轧薄碳钢板

ISO 4618 色漆和清漆—术语和定义

ISO 4628-1 色漆和清漆—涂层老化的评价—缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识—第 1 部分：总则和标识体系

ISO 4628-2 色漆和清漆—涂层老化的评价—缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识—第 2 部分：起泡等级评定

ISO 4628-3 色漆和清漆—涂层老化的评价—缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识

—第 3 部分：锈蚀等级评定

ISO 4628-4 色漆和清漆—涂层老化的评价—缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识—第 4 部分：开裂等级评定

ISO 4628-5 色漆和清漆—涂层老化的评价—缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识—第 5 部分：剥落等级评定

ISO 4628-8 色漆和清漆—涂层老化的评价—缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识—第 8 部分：对划线或其它人造缺陷周边的剥落和腐蚀等级评定

ISO 4628-10 色漆和清漆—涂层老化的评价—缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识—第 10 部分：丝状腐蚀等级评定

ISO 9227：2017 人造气候中的腐蚀试验—盐雾试验

ISO 17872 色漆和清漆—腐蚀试验时对金属板上涂层划线的指南

ISO 20567-1 色漆和清漆—涂层耐石击性能的测定—第 1 部分：多次冲击试验

3. 术语和定义

ISO 4618 中给出的术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 在下列网址维护用于标准化的术语数据库：

— ISO 在线浏览平台：https://www.iso.org/obp

— IEC Electropedia： http://www.electropedia.org/

4. 原理

警告：本文件可能涉及危险材料、操作和设备。本文件并不旨在解决所有的安全问题，如果有的话，与它的使用有关。本文件的使用者有责任在使用前建立适当的安全和健康规程，在使用前确定规则限制的适用性。

试样在一个包含了盐雾、湿度和温度梯度变化的循环试验中进行测试。通过这种方式，可以为有涂层的钢、镀锌钢和铝材创建逼真的腐蚀模式。试验结果是由合同各方基于事先商定的主观性验收准则进行评定的。

5. 仪器和试验设备

典型的实验室和玻璃或塑料仪器，并和以下一起使用。

5.1 腐蚀试验箱

试验箱中与盐雾、冷凝液或试验溶液接触的所有部件应采用耐该溶液侵蚀的材料制成，且其本身不影响试验溶液或盐雾/冷凝对试样的作用。

只要满足循环的气候条件，试验可以在单独的试验箱中进行。可以执行所有试验条件的试验箱市面上是可获得的，也是推荐的。

试验箱应由冷却装置、加热装置、压力平衡装置以及必要的测量和控制设备组成，以设置和维持附录 B 中所描述的气候数据（温度±2℃，相对湿度±5%），这些规定的温度/相对湿度值是在关闭的试验箱中的设定测量点测得的。在相对湿度恒定而进行温度变换的阶段，允许的相对湿度波动偏差为- 8%至+ 5%。

试验箱的设计应确保没有水滴从天花板或侧壁滴落到其下方的试样上。已经喷雾使用过的试验溶液不得回收至储存容器。

测试的可用空间和/或放置试样和试样支架的空间仅是试验箱在直接喷射射流之外的那部分。在这个空间中，可以证明喷流是按照 5.4 的规定均匀分布的。

试样支架应由耐用、非金属、不导电材料制成。支架的设计应尽可能防止试验溶液在支架上聚集。试样之间不允许有导电通道。需要悬挂试样时，应当采用耐用、非金属、不导电的悬挂材料，试样上的挂点应距划线左或右至少 20mm。

5.2 喷嘴

使用适合试验温度范围并满足 5.4 条件的喷嘴来产生喷雾。应当采用通过压缩空气（见 5.5）来雾化液滴的喷嘴。有必要将流量设置保持恒定，以使其在 5.4 中规定的限制范围内。需要注意的是，喷射流不能直接指向待测试样。喷嘴数量和布置的选择应符合 5.4 中关于可用空间的规范。

喷嘴应由耐用材料，如玻璃或塑料制成。

5.3 试验用溶液

存储容器中的初始溶液是用 NaCL 溶于蒸馏水、脱盐水或去离子水中配制的。在（25±2）℃下，最大电导率为 20 μS/cm，应符合 ISO 9227 标准，但 NaCL 浓度为 10 g/L。氯化钠的纯度应符合 ISO 9227 的规定。

使用该溶液时，喷雾和收集的试验溶液的氯化钠浓度为（10±1）g/L，取决于不同的试验箱，这可能与制备的溶液浓度有偏差。25℃时对应溶液的密度为（1.005±0.0005）g/ cm^3。pH 值维持在 6.5 至 7.2。必要时可用盐酸或氢氧化钠调节 pH 值。

警告：盐酸（CAS No. 7647-01-0）溶液有毒，有腐蚀性和刺激性，对水生生物毒性极大。有关详细信息，请参阅安全数据表。盐酸溶液的处理仅限于熟练人员或在他们的控制下进行。处理此溶液时应小心。

警告：氢氧化钠（CAS No. 1310-73-2）溶液有毒，有腐蚀性和刺激性。有关详细信息，请参阅安全数据表。氢氧化钠溶液的处理仅限于熟练人员或在他们的控制下进行。处理此溶液时应小心。

5.4 喷雾的数量和分布

根据 5.3 规定的定义时间内试验溶液喷雾数量的选择方式是在所使用的每个收集装置中平均收集（3.0±1.0）ml/h 喷射过的溶液。当试验箱以类似试验程序的方式装载试样时，应控制试验箱中收集的数量。在试验前和定期检查盐雾阶段时，建议持续进行至少 16 小时的盐雾操作。

直径为 100 毫米的玻璃或塑料漏斗，装于玻璃或塑料制成的带塞子的量筒内，就是合适的收集装置的例子。

注：由玻璃或塑料制成的漏斗，其管段位于测量筒内，已被证明是适合的收集装置。直径为 100 毫米的漏斗的收集面积约为 80 平方厘米。

为了证明喷雾的均匀分布，至少两个收集装置—取决于试验箱的大小—应放置在通常放置试样的区域。

在试验箱非常大（步入式试验箱）的情况下，每 4m^2 的定位区域至少要使用一个收集装置。

为了校准和验证喷雾的均匀分布，请遵循 ISO 9227：2017 中 6.5 条规定的程序。

5.5 压缩空气

用于产生盐雾的压缩空气应不含油和固体污染物。应根据喷嘴的类型设置合适的压力，并进行调整，使试验箱中喷雾溶液的收集速率和收集的喷雾溶液的浓度保持在规定的范围内。

注：为防止试验过程中喷雾的蒸发，有必要对喷雾空气进行加湿。ISO 9227 中描述的饱和塔代表了一种加湿空气的常用方法。

5.6 质量损失试验板

用以验证恒定的试验条件。

为了测试仪器，使用至少 3 块质量损失试验板，尺寸为 150 mm × 70 mm，厚度为（0.9±0.2）mm，由符合 ISO 3574 标准要求的 CR4 钢制成，表面几乎无缺陷（粗糙度 Ra = 0.9μm 至 1.4μm）。

当对试验箱进行调试时，应至少使用 5 块质量损失试验板。

5.7 天平

精确到至少 0.001 g。

6. 试样制备

如无特别规定，在涂层上制造人工缺陷（事先破坏），例如：

—按照 ISO 17872 进行划线；

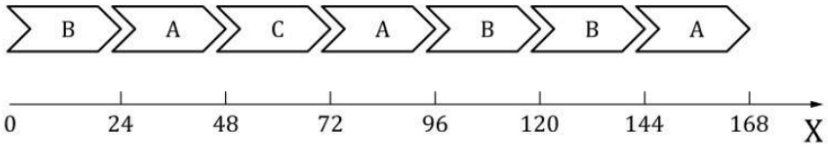
—按照 ISO 20567-1 进行石击；

—按照 ISO 2409 进行划格。

7. 程序

7.1 试验条件和程序

如果没有另外约定，试验持续时间为 6 个试验循环（6 周）。一个试验循环为 7 天。它由每日循环 A、B 和 C 组成，其顺序如图 1 所示。



要素

X 测试时间，单位小时

A、B、C 日循环

图 1—由日循环 A、B、C 按序组成的试验循环

日循环有以下特征：

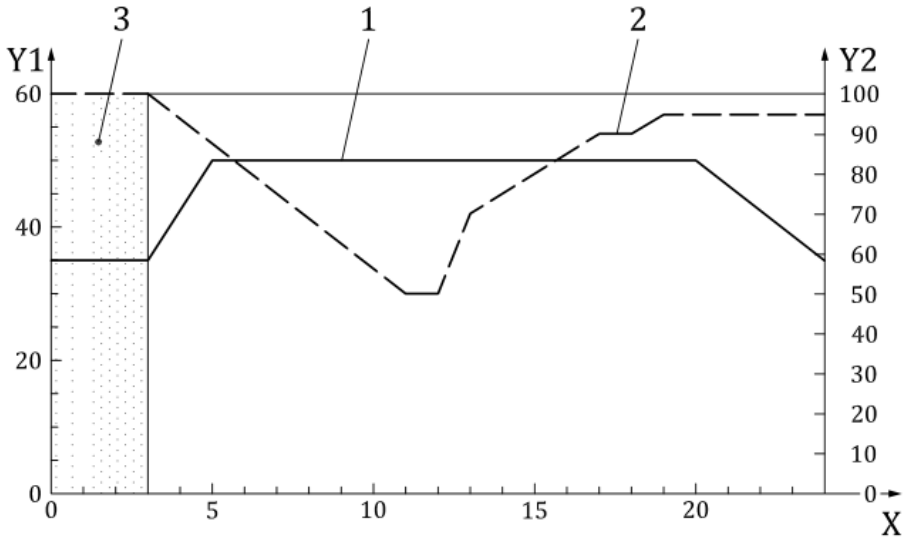
—日循环 A：按照图 2 和表 B.1，含 3 h 盐雾期（10 g/L 氯化钠溶液）；

—日循环 B：按照图 3 和表 B.2，含一个评价期；

—日循环 C：按照图 4 和表 B.3，含一个低温期。

注：本文件中规定的温湿度升降期是基于试验箱控制技术的当前状态。它们的目的是确保可以达到腐蚀过程所需的温度和相对湿度要求。表 C.1 给出了一个试验箱内气候规划的案例。

试样在试验箱内的定位（或试样的移除），仅在第一个日循环 B 的评价期进行，即日循环 B 开始后的第 4、5、6 小时，见图 3。



要素

X 时间，单位小时

Y1 温度，单位摄氏度（℃）

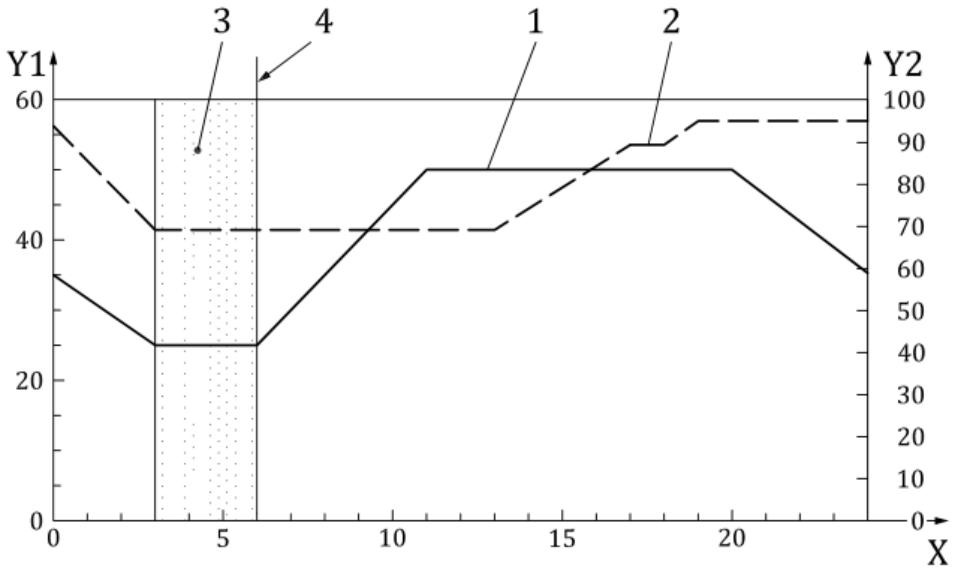
Y2 相对湿度，百分比（%）

1 温度

2 相对湿度

3 盐雾期（10g /L NaCL 溶液）

图 2—日循环 A，盐雾期为 3 h （10g /L NaCL 溶液）



要素

X 时间，单位小时

Y1 温度，单位摄氏度（℃）

Y2 相对湿度，百分比（%）

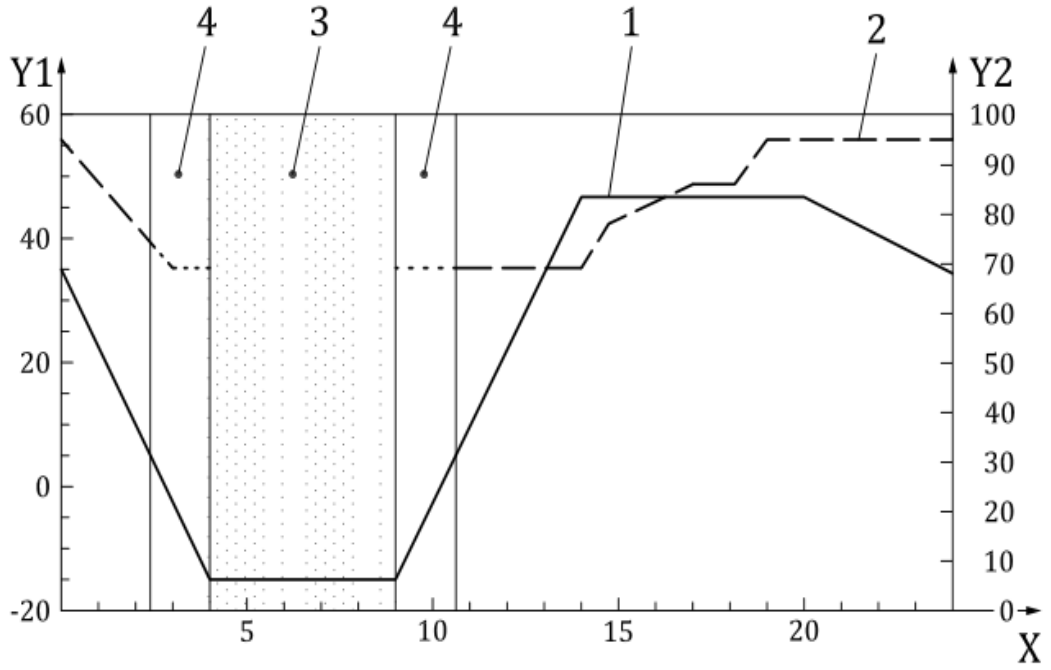
1 温度

2 相对湿度

3 评价期

4 将第一批试样放入试验箱后开始试验

图 3—日循环 B，含评价期



要素

X 时间，单位小时

Y1 温度，单位摄氏度（℃）

Y2 相对湿度，百分比（%）

1 温度

2 相对湿度

3 低温期（-15℃）

4 温度<5℃期间，相对湿度未确定期

图 4—日循环 C，含低温期（-15℃）

7.2 试验的中断

在循环试验期间，只允许在日循环 B 的评价期（第 4、第 5 和第 6 小时）打开试验箱。在此期间，不得关闭试验箱电源。

7.3 试样在试验箱内的放置

如无另外约定，试样的受测面朝上并以与垂直方向成（20±5）°角放置在试验箱中。试样不应相互接触，也不应相互遮挡喷雾。如果溶液不会从试样或试样支架上滴到下面的试样上，则可将试样布置在不同的高度。

如果使用两个或多个试验箱来进行不同阶段（盐雾阶段、低温阶段和气候阶段），当试样从一

个试验箱转移到另一个试验箱时，应避免试样干化。如果使用一个以上的试验箱，应在试验报告中说明。

车辆部件或专用腐蚀试验板也可作为试样。对于部件，应特别注意确保盐溶液不会在试样上聚集，因为这将影响试验条件（气候）。如果无法避免，应每周至少清理一次聚集的盐溶液。

8. 评定试验箱腐蚀性的方法

为了检查一套仪器的试验结果的可重复性和/或不同试验装置试验结果的可再现性，应使用质量损失试验板（见 5.6）进行适当的定期检查。

译者注：可重复性（Repeatability）是指用相同的方法，同一试验材料，在相同的条件（同一操作者，同一设备，同一实验室和短暂的时间间隔）下获得的一系列结果之间的一致程度。

可再现性（Reproducibility）是指用相同的方法，同一试验材料，在不同的条件（指不同操作者、不同实验室、不同或相同的时间）下获得的单个结果之间的一致程度。

以与垂直方向成（20±5）°的角度放置质量损失试验板。质量损失试验板的制备和后处理的适当程序见附录 A。在实验室间测试中，ISO 8407 中描述的去除腐蚀产物的其他方法未被批准。它们可能是合适的，但需要与酸洗方法相关联。

腐蚀试验后，通过测定质量变化，对质量损失试验板进行重量评定。称量质量损失试验板，精度为 1 毫克。将计算出的质量损失除以质量损失试验板暴露表面的面积，得到每平方米质量损失试验板上金属的质量损失。

如果至少有三块质量损失试验板的平均质量损失不在表 1 规定的范围内，则说明该质量损失程序不符合本文件的规定。如果质量损失试验板的质量损失不在表 1 规定的范围内，则检查测试程序和质量损失试验板的制备。

如果单个质量损失值与平均值的差异大于表 1 所示，则应澄清原因。

表 1—至少 3 块质量损失试验板的平均质量损失

试验持续时间	单位面积的质量损失 [a] g/m ^{2}
1 个试验循环	240 ± 75
2 个试验循环	570 ± 160
3 个试验循环	900 ± 220
a 切割边没有算进去	

9. 评定

在规定的试验持续时间结束时，将试样从试验箱中取出，用水冲洗以去除表面的盐溶液残留物。

如无另外约定，立即按照 ISO 4628-1、ISO 4628-2、ISO 4628-3、ISO 4628-4、ISO 4628-5、

ISO 4628-8 和 ISO 4628-10 检查受试表面的破坏情况。或者，如果需要，进行进一步的破坏试验，如石击试验或划格试验。

10. 精密度

对选定的材料进行了实验室间测试（详见附录 D）。 基于这种实验室间测试，不可能对精密度做出规范性声明。

精密度取决于一系列参数，包括评定程序、试样的制备、涂膜厚度、试样的干燥和调节、对试样的划线以及其他事先的破坏。

11. 试验报告

试验报告至少应包括以下内容：

a）识别试样所需的所有信息；

b）注明参照本文件（即 ISO 11997-3：2022）；

c）如有必要，试样的补充信息（见附录 E）；

d）事先破坏的类型（见第 6 章）；

e）试验结果与规定要求的比较（见第 9 条）；

f）与规定的试验方法的任何偏差；

g）试验过程中每次观察到的任何异常现象（偏差）；

h）试验日期。

附录 A

（资料性）

质量损失试验板的制备和后处理

A.1 制备

用正庚烷、石油溶剂油或挥发性石油产品（不要用异丙醇或丙酮）去油。

用合适的可清除胶带保护钢板的背面。切割边缘无需保护。

A.2 后处理

腐蚀作用导致形成厚的、牢固附着的腐蚀产物层，在酸洗之前，应通过弯曲和/或锤击等机械方法将其去除。清除背面胶带，必要时清除残留的胶粘剂。

然后用新鲜配制的化学纯盐酸溶液，浓度（HCL）= 18%，用六亚甲基四胺浓度= 3.5 g/L 作为抑制剂，将板在最高 40℃下浸泡 20 分钟。应清除所有可见的腐蚀产物。随后，用热水冲洗两次并干燥。

警告：六亚甲基四胺（CAS No.100-97-0）易燃、有毒，可能引起皮肤过敏反应。有关详细信息，请参阅安全数据表。六亚甲基四胺的处理仅限于熟练人员或在他们的控制下进行。处理此溶液时应小心。

如果可重复性和可再现性已得到验证，则允许使用 ISO 8407 中规定的替代方法去除腐蚀产物。

德谦新材 - 专注于工业重防腐涂料

德谦新材成立于 2011 年，是一家致力于高性能防腐涂料的研发、生产、销售、施工的专业公司。产品运用在风电、桥梁、光伏、海洋牧场、主题公园等多个领域。在古雷石化创造了海洋腐蚀环境下单个涂装面积超过 50 万㎡最大石墨烯防腐涂料的业绩！

公司业务范围包括：材料选型、腐蚀勘察、成品交付、技术服务等。公司精心做材料，匠心做施工，是您值得信赖的工业防腐涂料供应商。

德谦新材 DACHIN　产学研合作　中国科学院 CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

核心产品

石墨烯环氧富锌涂料

运用纯碳本征石墨烯激活高纯度锌，显著提升阴极保护性能。石墨烯的片层结构，在涂层中形成屏蔽隔离效果，减缓腐蚀因子的入侵。2 者产生协同效益，在重度腐蚀环境中长效保护钢材表面不生锈。

产品测试：100μm 厚度划 × 盐雾试验超过：5000 小时，产品体系通过：4200 小时循环腐蚀测试。

产品体系通过以下认证和测试

NORSOK M-501　ISO 12944-9

SGS　CCS CHINA CLASSIFICATION SOCIETY 中国船级社

环氧石墨烯玻璃鳞片涂料

具有优秀的抗冲击性能和阻隔腐蚀介质的特性，是海洋浪溅区和浸没区的防腐保护优选方案。漆膜坚硬、耐磨损、附着力强，且可以在水下继续固化。体积固体份达 87%，一道成膜超过 350μm 不流挂，最高膜厚可达 1000μm 不开裂。

产品测试: 中性盐雾 4500 小时、湿热 6000 小时、耐盐水 6000 小时，4200 小时循环腐蚀测试。



仿生自洁防污涂层材料

采用最优的降阻光滑的纳米仿生技术、结合新型树脂、环保型防污剂，复合有机硅污损脱附 FRC 防污涂料的优点。该产品无添加 TBT、DDT、汞、锡、金属铜等重金属的杀生剂，鱼类急性毒性测试 0% 死亡率，是海洋生态友好型防污技术。

抗撕裂性能优异，比有机硅 FRC 防污涂料高 10 倍以上；超高柔韧性，耐 180°弯折，优异的耐磨性，在金属、塑料和水泥基材上均有优异的附着力；长效防污期可长达 60 个月。

湖南省德谦新材料有限公司

电话：400-680-8502
网址：www.paint123.cn

办公地址：长沙市国家高新技术开发区麓谷产业园文轩路 27 号

抖音号　微信公众号

附录 B

（规范性）

日循环的气候数据设置

表 B.1 —日循环 A（盐雾循环；总持续时间 24 小时）

<table>
<tr><th>试验时间
h: min</th><th>温度
℃</th><th>相对湿度
%</th><th>备注</th></tr>
<tr><td>0:00</td><td rowspan="4">35，保持恒定</td><td rowspan="4">100，保持恒定</td><td rowspan="4">盐雾</td></tr>
<tr><td>1:00</td></tr>
<tr><td>2:00</td></tr>
<tr><td>3:00</td></tr>
<tr><td>4:00</td><td rowspan="2">从 35 升到 50</td><td rowspan="8">从 100 降至 50</td><td rowspan="24"></td></tr>
<tr><td>5:00</td></tr>
<tr><td>6:00</td><td rowspan="14">50，保持恒定</td></tr>
<tr><td>7:00</td></tr>
<tr><td>8:00</td></tr>
<tr><td>9:00</td></tr>
<tr><td>10:00</td></tr>
<tr><td>11:00</td></tr>
<tr><td>12:00</td><td>50，保持恒定</td></tr>
<tr><td>13:00</td><td>从 50 升到 70</td></tr>
<tr><td>14:00</td><td rowspan="4">从 70 升到 90</td></tr>
<tr><td>15:00</td></tr>
<tr><td>16:00</td></tr>
<tr><td>17:00</td></tr>
<tr><td>18:00</td><td>90，保持恒定</td></tr>
<tr><td>19:00</td><td>从 90 升到 95</td></tr>
<tr><td>20:00</td><td rowspan="5">95，保持恒定</td></tr>
<tr><td>21:00</td><td rowspan="4">从 50 降到 35</td></tr>
<tr><td>22:00</td></tr>
<tr><td>23:00</td></tr>
<tr><td>24:00</td></tr>
<tr><td colspan="4">注：在温湿度升降期，变化在整个持续时间内以大约恒定的速度发生。</td></tr>
</table>

表 B.2 —日循环 B（含评价期；总持续时间 24 小时）

<table>
<tr><th>试验时间
h: min</th><th>温度
℃</th><th>相对湿度
%</th><th>备注</th></tr>
<tr><td>0:00</td><td rowspan="4">从 35 降到 25</td><td rowspan="4">从 95 降到 70</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>1:00</td></tr>
<tr><td>2:00</td></tr>
<tr><td>3:00</td></tr>
<tr><td>4:00</td><td rowspan="3">25，保持恒定</td><td rowspan="8">70，保持恒定</td><td rowspan="3">评价期</td></tr>
<tr><td>5:00</td></tr>
<tr><td>6:00</td></tr>
<tr><td>7:00</td><td rowspan="5">从 25 升到 50</td><td rowspan="14"></td></tr>
<tr><td>8:00</td></tr>
<tr><td>9:00</td></tr>
<tr><td>10:00</td></tr>
<tr><td>11:00</td></tr>
<tr><td>12:00</td><td rowspan="9">50，保持恒定</td></tr>
<tr><td>13:00</td></tr>
<tr><td>14:00</td><td rowspan="4">从 70 升到 90</td></tr>
<tr><td>15:00</td></tr>
<tr><td>16:00</td></tr>
<tr><td>17:00</td></tr>
<tr><td>18:00</td><td>90，保持恒定</td></tr>
<tr><td>19:00</td><td>从 90 升到 95</td></tr>
<tr><td>20:00</td><td rowspan="5">95，保持恒定</td></tr>
<tr><td>21:00</td><td rowspan="4">从 50 降到 35</td></tr>
<tr><td>22:00</td></tr>
<tr><td>23:00</td></tr>
<tr><td>24:00</td></tr>
<tr><td colspan="4">注：在温湿度升降期，变化在整个持续时间内以大约恒定的速度发生。</td></tr>
</table>

表 B.3 —日循环 C（含低温循环；总持续时间 24 小时）

<table>
<tr><th>试验时间
h: min</th><th>温度
℃</th><th>相对湿度
%</th><th>备注</th></tr>
<tr><td>0:00</td><td rowspan="5">从 35 降到-15</td><td rowspan="5">从 95 降到 70，当温度低于 5℃时未规定</td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td>1:00</td></tr>
<tr><td>2:00</td></tr>
<tr><td>3:00</td></tr>
<tr><td>4:00</td></tr>
<tr><td>5:00</td><td rowspan="5">-15，保持恒定</td><td rowspan="10">70，保持恒定。当温度低于 5℃时未规定</td><td rowspan="10">低温期
在<5℃~ - 15℃之间时，湿度自动调节应关闭。70%为目标值，当温度升高至>5℃时应达到该目标值。</td></tr>
<tr><td>6:00</td></tr>
<tr><td>7:00</td></tr>
<tr><td>8:00</td></tr>
<tr><td>9:00</td></tr>
<tr><td>10:00</td><td rowspan="5">从-15 升到 50</td></tr>
<tr><td>11:00</td></tr>
<tr><td>12:00</td></tr>
<tr><td>13:00</td></tr>
<tr><td>14:00</td></tr>
<tr><td>15:00</td><td rowspan="5">50，保持恒定</td><td>从 70 升到 80</td><td rowspan="10"></td></tr>
<tr><td>16:00</td><td rowspan="2">从 80 升到 90</td></tr>
<tr><td>17:00</td></tr>
<tr><td>18:00</td><td>90，保持恒定</td></tr>
<tr><td>19:00</td><td>从 90 升到 95</td></tr>
<tr><td>20:00</td><td rowspan="5">95，保持恒定</td></tr>
<tr><td>21:00</td><td rowspan="4">从 50 降到 35</td></tr>
<tr><td>22:00</td></tr>
<tr><td>23:00</td></tr>
<tr><td>24:00</td></tr>
<tr><td colspan="4">注：在温湿度升降期，变化在整个持续时间内以大约恒定的速度发生。</td></tr>
</table>

附录 C

（资料性）

编制气候数据的规定数据样例

试验时间 h: min	日循环 A		日循环 B		日循环 C	
	温度 ℃	相对湿度 %	温度 ℃	相对湿度 %	温度 ℃	相对湿度 %
0:00	35	100	35	95	35	95
1:00	35	100	32	87	25	89
2:00	35	100	28	78	10	83
3:00	35	100	25	70	-3	X
4:00	43	94	25	70	-15	X
5:00	50	88	25	70	-15	X
6:00	50	81	25	70	-15	X
7:00	50	75	30	70	-15	X
8:00	50	69	35	70	-15	X
9:00	50	63	40	70	-15	X
10:00	50	56	45	70	-2	X
11:00	50	50	50	70	11	70
12:00	50	50	50	70	24	70
13:00	50	70	50	70	37	70
14:00	50	75	50	75	50	70
15:00	50	80	50	80	50	80
16:00	50	85	50	85	50	85
17:00	50	90	50	90	50	90
18:00	50	90	50	90	50	90
19:00	50	95	50	95	50	95
20:00	50	95	50	95	50	95
21:00	46	95	46	95	46	95
22:00	43	95	43	95	43	95
23:00	39	95	39	95	39	95
24:00	35	95	35	95	35	95
注：	盐雾试验期，用 10g /L 的 NaCL 溶液					
	评价期					
	低温期，不控制相对湿度。 当温度低于 5℃时，建议关闭湿度控制。					

注：如有任何疑问，可参阅附录 B 的表格形式。

附录 D

（资料性）

实验室间测试的细节

D.1 实验室间测试

进行了实验室间测试，以确定腐蚀试验程序的精密度。采用按照 ISO 4628-8 的剥落 d 作为验收准则。d 是剥落的平均宽度减去划线宽度，全部除以 2。

14 家公司用 16 套不同的仪器参与了这次实验室间测试。在 14 套仪器的情况下，确定了可以进行统计学评价的结果。

研究了七种不同的基材和涂层，如表 D.1 所示。

表 D.1 —实验室间测试的样本

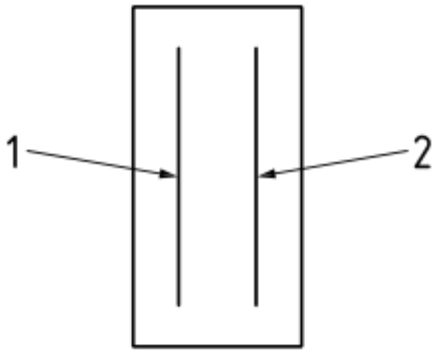
样本[a]	底材	前处理	阴极电泳涂层	腻子	主涂层	清漆涂层	单道涂层材料
1	钢材，未镀锌 DC05	X	X	X	X	X	—
2	钢材，镀锌 DX56D+Z100MB	X	X	X	X	X	—
3	钢材，镀锌 DX56D+Z100MB	X	X	X	—	—	X
4	钢材，未镀锌 DC05	X	X	X	—	—	X
5	钢材，镀锌 HX220BD+ZF100RB	X	X	X	X	X	—
6	铝，打磨 EN AW-6014	X	X	X	X	X	—
7	铝，打磨 EN AW-6014	X	X	X	X	X	—
a 样本 1 和 4 符合 EN 10130；样本 2、3 和 5 符合 EN 10346；样本 6 和 7 符合 EN 573-3							

D.2 试样

采用尺寸为 100mm X 200mm 的涂层板。每个试样都要事先刻划 2 条划线（见图 D.1）。第一条宽度为 1mm 的划线采用机铣装置刻划。

第二条划线由实验室间的每个参与者在进行试验之前使用宽度为 1mm 划线针采用 Sikkens 方法直接刻划。在样本 1 和 4 的情况下，这些划线划透涂层直至钢底材。在镀锌样本 2、3 和 5 的情

况下，划线划透涂层和金属覆盖层直至钢底材。



要素

1 统一刻划的划线（机铣划线，1 毫米，划线深度：涂层+30 微米)

2 单个刻划的划线（划线针，采用 Sikkens 方法，1 毫米）

译者注：这两种划线工具、刻划划线的方法及其形成的划线特征见 ISO 17872 最新版本

图 D.1 - 用于实验室间测试的试板

D.3 腐蚀试验装置

在不同制造商和不同设计的经校准的腐蚀试验装置上进行了实验室间测试。试验箱的尺寸在 1 ~ 90m^3 之间。

D.4 多次测定

每个试验箱为每种样本提供了 5 个重复试样。

D.5 评定

6 周的试验持续时间后，在每个特定的实验室，将试样进行清洗、干燥并允许静置 24h，然后对试样进行评定。评定可以使用尺子手动执行，也可以通过图像分析的方式执行，这取决于每个实验室的能力。

在对试样进行单个评定后，再次统一对两条划线进行图像分析评定。按照 ISO 5725-2 进行统计学评定。

可重复性极限， r

可重复性极限 r 是在可重复性条件下使用此测试程序时，两个测试结果之间的绝对差值（每个

测试结果是两个有效测定值的平均值）低于此数的概率为95%的值。这里的测试结果是由同一实验室的同一测试人员在短时间内按照标准化测试程序使用相同的测试材料确定的。

可再现性极限，R

可再现性极限R是在可再现性条件下使用该测试程序时，两个测试结果之间的绝对差值（每个测试结果都是两个有效测定的平均值）低于此数的概率为95%的值。这里的测试结果是由不同实验室的不同测试人员按照标准化测试程序使用相同的测试材料确定的。

由于腐蚀试验是破坏性试验，必须使用同一批次具有相同基材和相同涂层结构的单独试验板来确定每次测定的重复性极限。

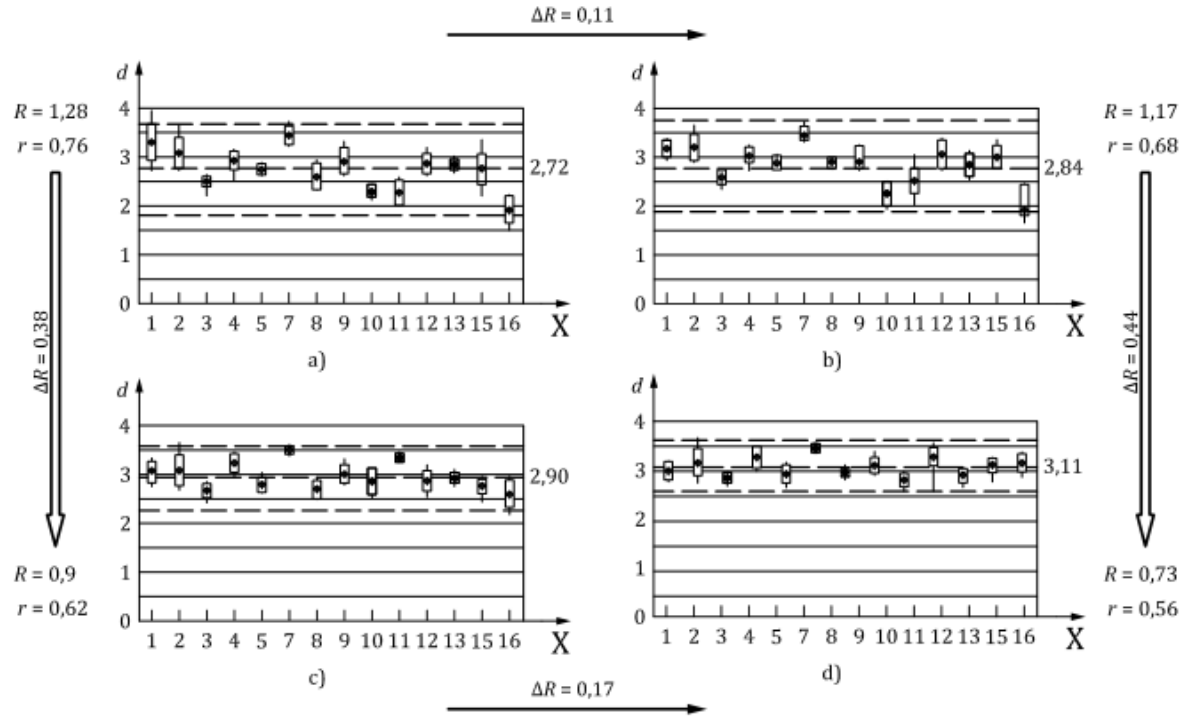
表D.2显示了不同划线和评价方式下的可重复性极限r和可再现性极限R。

表D.2—不同划线和评价方式下的可重复性极限r和可再现性极限R

			单独划线（划线针）单独评定		统一划线（机铣）单独评定		单独划线（划线针）统一评定		统一划线（机铣）统一评定	
样本	底材	涂层（包括阴极电泳涂层和腻子）	r	R	r	R	r	R	r	R
			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	钢材，未镀锌 DC05	多层	0.76	1.28	0.68	1.17	0.62	0.90	0.56	0.73
2	钢材，镀锌 DX56D+Z100MB	多层	0.50	1.04	0.42	0.87	0.45	1.00	0.41	0.55
3	钢材，镀锌 DX56D+Z100MB	单层	0.50	0.77	0.56	0.68	0.47	0.76	0.35	0.46
4	钢材，未镀锌 DC05	单层	0.83	1.53	0.63	1.39	0.52	0.94	0.57	0.79
5	钢材，镀锌 HX220BD+ZF100RB	多层	0.61	1.09	0.49	1.04	0.57	1.02	0.36	0.62
6	铝，打磨 EN AW-6014	多层	0.37	0.62	0.14[a]	0.25[a]	0.33	0.47	0.14[a]	0.20[a]
7	铝，打磨 EN AW-6016	多层	0.67	0.87	0.30[a]	0.39[a]	0.48	0.77	0.22[a]	0.31[a]
a 对于样本6和7，采用机铣划线，几乎没有腐蚀。										

在比较不同划线方式和不同评定样本的r和R时，有可能发现特征的相互关系。

图 D.2 显示了典型的未镀锌钢底材上涂层的相互关系。



要素：

a) 单独划线（划线针），单独评定

b) 统一划线（机铣），单独评定

c) 单独划线（划线针），统一评定

d) 统一划线（机铣），统一评定

X 试验位置（实验室）

d 按 ISO4628-8 评定的剥落，单位为 mm

r 可重复性极限，单位为 mm

R 可再现性极限，单位为 mm

ΔR 可再现性限 R 之差，单位为 mm，（对于不同的划线和评定方法）

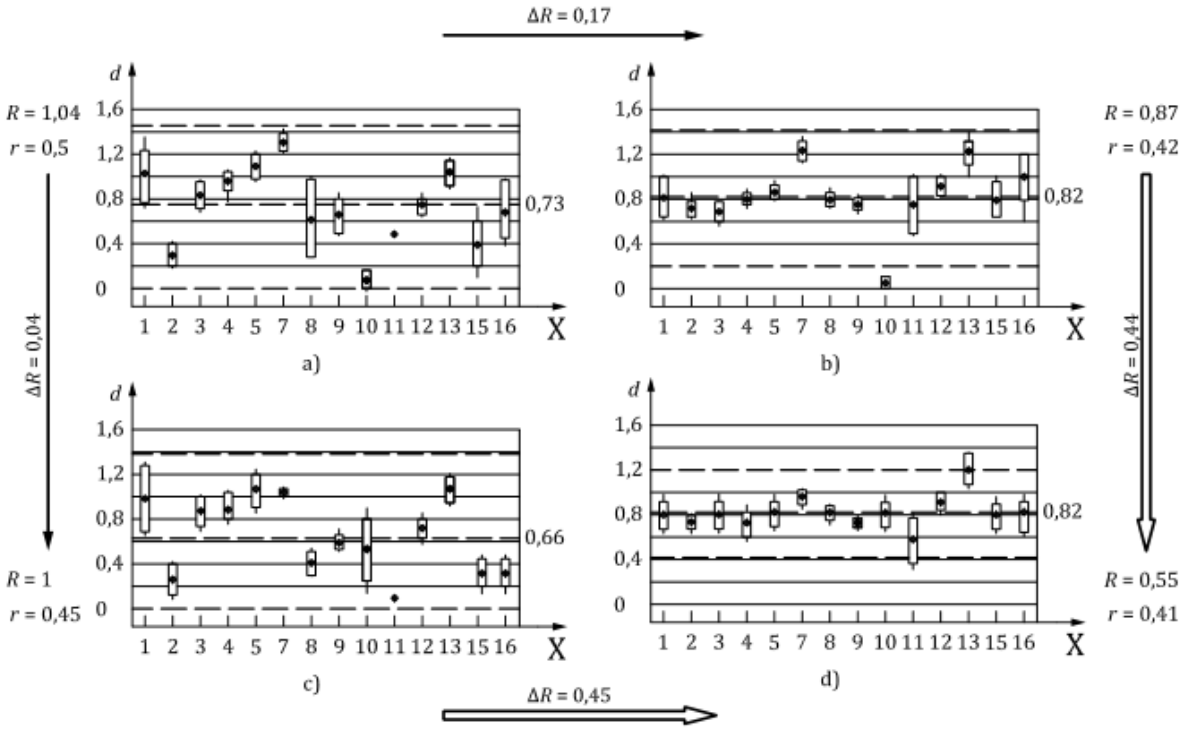
⇨ 高 ΔR

→ 低 ΔR

图 D.2 —不同的划线和评定方式的未镀锌钢底材上涂层（样本 1）的可重复性极限和可再现性极限箱形图

很明显，当使用图像分析方法时，通过统一评定可以实现可再现性极限的降低。使用机铣工艺的划线只能导致可重复性限和可再现性极限的小幅降低。

图 D.3 显示了镀锌钢底材上涂层的可重复性和可再现性极限的一个例子。



要素：

a) 单独划线（划线针），单独评定

b) 统一划线（机铣），单独评定

c) 单独划线（划线针），统一评定

d) 统一划线（机铣），统一评定

X 试验位置（实验室）

d 按 ISO4628-8 评定的剥落，单位为 mm

r 可重复性极限，单位为 mm

R 可再现性极限，单位为 mm

ΔR 可再现性极限 R 之差，单位为 mm，（对于不同的划线和评定方法）

⇒ 高 ΔR

→ 低 ΔR

图 D.3—镀锌钢底材上涂层的可重复性和可再现性极限限箱形图（样本 2）

在镀锌基材的情况下，划线的刻划方法和评定方式都对标准偏差有重大影响。这两个因素影响的相对重要性大致相同。

统一划线和统一评定导致可再现性极限值的最大降低。

单独划线后的统一评定，在任何情况下都不会导致镀锌基材上的可再现性极限的降低，因为划线刀具对锌层的渗透程度不同会导致不同的腐蚀值。由此产生的测量值的高扩散甚至不能通过统一评定来补偿。

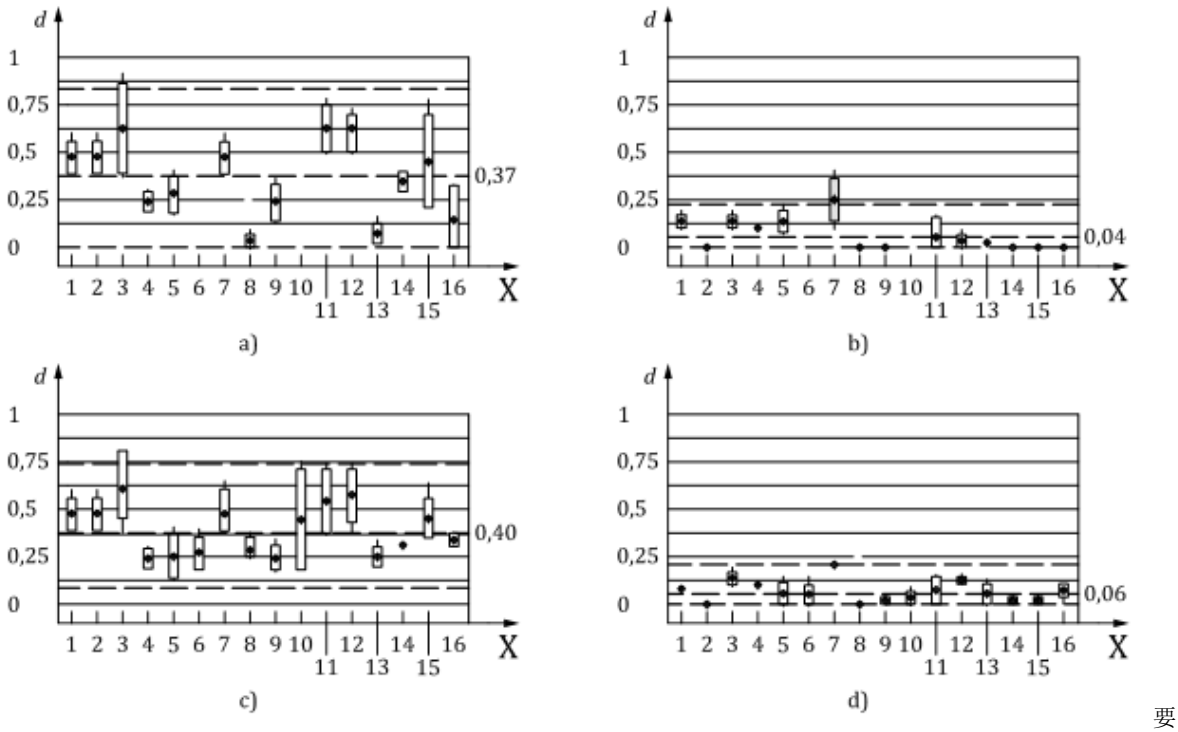
D.6 划线刻划工艺的影响

目前，使用机铣刻划对涂层腐蚀试验试样进行事先破坏，还没有长期的经验。出于这个原因，研究人员调查了这一过程是否会导致平均水平的显著变化。

在四种钢样本（样本 1 至样本 4）中检测到平均增加 0.1 毫米。然而，由于这是非常小的，可以假设机铣工艺适用于对钢试件进行事先破坏，并且它会导致可重复的结果。

在两种铝样本的情况下，可以清楚地看出，相对于采用手动 Sikkens 划线，腐蚀已经大大减少。对腐蚀结果的一种可能解释是，采用手动 Sikkens 划线和机铣划线的边缘特征不同。机铣划线的边缘非常光滑，而 Sikkens 划线的边缘更加参差不齐。对于易于发生钝化的材料，比如铝，腐蚀介质的侵蚀最初是被抑制的。与表面均匀湿润的情况相比，在湿润边缘（水滴边缘）打破腐蚀抑制的速度要快得多。在平滑的机铣边缘的情况下，腐蚀介质迅速而有效地流失。然而，在 Sikkens 划线的锯齿状边缘的情况下，在测试的干燥阶段，许多促使铝局部腐蚀的小液滴沿着划线留下。

因此，在实验室间测试中描述的条件下，机铣工艺不适用于铝试样的腐蚀测试程序（见图 D.4）。



要

要素：

a) 单独划线（划线针），单独评定

b) 统一划线（机铣），单独评定

c) 单独划线（划线针），统一评定

d) 统一划线（机铣），统一评定

X 试验位置（实验室）

d 按 ISO4628-8 评定的剥落，单位为 mm

图 D.4 -铝材的箱形图，样本 6

可以假设，光滑的边缘特征和均匀的干燥是原因—沿着规定的划线深度进入钢底材—对于采用机铣划线的镀锌底材而言，其扩散明显较低。

D.7 加了 3%氯化钠溶液喷雾负荷的自然老化

作为实验室间测试的一部分，测试板按照 DIN 55665 在德国的四个不同地点暴露在自然老化下一年。在这里观察到镀锌钢和钢之间的腐蚀蠕变比为 1:3。相比而言，所述循环腐蚀试验中镀锌钢和钢的比例为 1:4。两种方法的腐蚀机理是相似的。

在循环腐蚀试验中，铝上涂层的腐蚀模式与所描述的自然老化模式相一致。

附录 E

（资料性）

试样的补充信息

如果知道下列有关试样制备的细节，应在试验报告内列明：

a）底材的材料、尺寸和表面处理；

b）用于涂覆底材的方法，包括在多层体系的情况下层与层之间干燥的持续时间和条件以及试板的边缘和背面密封的细节；

c）试验前涂层干燥/硬化（或烘烤）的持续时间和条件；

d）涂层的干膜厚度，以微米为单位，符合 ISO 2808 要求的测量程序，以及体系是单层还是多层体系的说明。

参考文献

[1] ISO 2808 色漆和清漆—膜厚的测量

[2] ISO 5725-2 测量方法和结果的准确度（正确度和精密度）—第 2 部分：测定标准测量方法的可重复性和再现性的基本方法

[3] ISO 8407 金属和合金的腐蚀—从腐蚀试验试样上去除腐蚀产物

[4] EN 573-3 铝和铝合金-锻造产品的化学成分和形式—第 3 部分：产品的化学成分和形式

[5] EN 10130 冷成型用冷轧低碳钢扁平产品—交货技术条件

[6] EN 10346 冷成型用连续热浸涂覆钢板—交货技术条件

[7] DIN 50937 金属和合金的腐蚀—加速腐蚀试验方法及其在不同应用领域和腐蚀防护体系适用性的比较

[8] DIN 55665 色漆和清漆—涂层的自然老化—防腐性能的测定

[9] SEP 1850 汽车结构中材料和部件的循环腐蚀试验 [1)]

[10] VDA 233-102 汽车结构材料和部件的循环腐蚀试验 [2)]

1) Stahl-Eisen-Prüfblätter (SEP) des Stahlinstituts VDEh.

2) VDA Recommendation. Published by: Verband der Automobilindustrie e. V.

译者后记

随着对防护涂料防腐蚀性能要求的不断提高，急需能更准确模拟户外实际暴露腐蚀效果的测试程序。而实验室循环腐蚀试验就是一种比盐雾、湿热、人工光照等单项老化试验更为准确有效的测试方法。因而，对于高性能、高耐久性和高可靠性要求的防护涂层体系，采用循环腐蚀试验对其性能进行测试和评估，将得到更为广泛地使用。现如今，已在海上结构、汽车工业等领域普遍采用了。

中国的工业涂料行业要走向高端化（尤其是在民族品牌涂料占有率低的汽车涂料和海洋防护涂料等领域），就有必要研究关于循环腐蚀试验的仪器设备、试验方法标准等等，并在行业内普及应用。尤其是研究和制造能够自动控制循环腐蚀各个步骤及试验参数的自动化试验箱，更是当务之急。

关于涂层循环腐蚀试验的标准包括但不限于以下一些：

ISO 11997-1：2017 色漆和清漆-耐循环腐蚀试验的测定-第 1 部分：湿润（盐雾）/干燥/潮湿

ISO 11997-2：2013 色漆和清漆-耐循环腐蚀试验的测定-第 2 部分：湿润（盐雾）/干燥/潮湿/紫外线

ISO 11997-3：2022 色漆和清漆-耐循环腐蚀试验的测定-第 3 部分：汽车结构中材料和部件上涂层体系的测试

ISO 12994-6 色漆和清漆-防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护- 第 6 部分：实验室性能测试方法-附录 B：循环老化试验

ISO 12944-9 色漆和清漆-防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护- 第 9 部分：海上建筑及相关结构防护涂料体系和实验室性能测试方法-附录 B：循环老化试验

GB/T 31588.1-2015 色漆和清漆-耐循环腐蚀环境的测定 第 1 部分: 湿润（盐雾）/干燥/湿气（ ISO 11997-1 : 2005 , IDT）

译者作为涂料行业内普通一员，已将上述 ISO 11997 系列标准 3 个部分译成中文，供同行学习参考之用。本译文所有信息并不用于出版、销售等商业用途，而只作防腐爱好者和从业者学习交流之用。译者本人在任何情况下都不承担任何组织和/或个人由于使用本译文信息和数据所带来的任何直接和/或间接损失。译者在翻译时，尽最大努力遵循原文，并加了一些必要的注释。但由于译者水平有限和语言的差异性，疏忽、遗漏乃至错误之处在所难免，所以建议读者对有疑问之处多对照英文原版，以免误解。如能通过电子邮件方式向译者指出错误之处以便更正，将令译者十分感激。

译者介绍：

张斌：从事防腐蚀涂料相关工作 27 年，先后从事防护涂料产品开发、技术服务、技术管理及产品推广等工作，微信号：zblhx84， QQ：153754367。

邓本金：从事涂料涂装防腐工作 29 年，先后在技术服务、技术支持、技术培训和技术市场等岗位就职。微信：dengbenjin701208；邮箱：dbj13901814924@163.com；

2024 年 9 月