

团 体 标 准

T/CISA XXXX—2021

金属和合金的腐蚀 实验室浸泡腐蚀试验指南

Corrosion of metals and alloys—Guide for laboratory immersion corrosion testing

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国钢铁工业协会 发布

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：酒泉钢铁（集团）有限责任公司、冶金工业信息标准研究院、钢铁研究总院青岛海洋腐蚀研究所有限公司。

本文件主要起草人：刘森、王林虎、李倩、丁国清、蔺晓亮、侯捷、曲政、马敏敏、田子健。

引 言

由于腐蚀试验的特性，无法使其完全标准化。本文件并不是一个标准化的过程，而是作为一个辅助参考的指南，以尽可能避免设计实验室浸泡腐蚀试验时的未知缺陷。经验表明，影响金属和合金腐蚀的因素很多，加速腐蚀试验的结果只能被看作是一种指示性的结果，甚至可能完全误导。提出一种不灵活的标准试验程序是不实际的，除非需要进行标准化的材料指标测试。在设计实验室浸泡腐蚀试验时，应考虑本文件中所提及的各种因素；通过更详细地记录有意义的因素和条件，促进未来结果的相关性，并减少报告间的冲突。

实验室浸泡腐蚀试验所获得的试验结果，仅能用来评价被试材料在特定表面状态下在该腐蚀介质中的耐蚀性，不具有泛指性；更不能说明该材料在其他腐蚀介质中的耐蚀性。

金属和合金的腐蚀 实验室浸泡腐蚀试验指南

警示——本文件的应用可能涉及有危险的材料、操作和设备。本文件并不意图解决其使用中可能相关的所有安全问题。本文件的使用者有责任预先制定适当的安全和健康防护措施，并确定相关文件限制的适用范围。

1 范围

本文件提供了设计实验室浸泡腐蚀试验的指南。试验人员可以作为参考，确保试验时将降低各因素的影响。

本文件给出了影响实验室浸泡腐蚀试验因素的说明。这些因素包括试验装置、试验条件、试样、试验程序、试验结果。

腐蚀结果的评价不属于本文件的范围，请依据相关产品的要求进行最终评价。

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 4334—2020 金属和合金的腐蚀 奥氏体及铁素体-奥氏体（双相）不锈钢晶间腐蚀试验方法
- GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法
- GB/T 8170 数据修约规则与极限数值的表示和判定
- GB/T 9258.2 涂附磨具用料 粒度分析 第2部分 粗磨粒 P12~P220 粒度组成的测定
- GB/T 10123 金属和合金的腐蚀 基本术语和定义
- GB/T 16545 金属和合金的腐蚀 腐蚀试样上腐蚀产物的清除
- GB/T 18590 金属和合金的腐蚀 点蚀评定方法
- YB/T 5362 不锈钢在沸腾氯化镁溶液中的应力腐蚀试验方法

3 术语和定义

GB/T 10123 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

黏度 viscosity

又称黏性或内摩擦，是流体内阻碍其相对流动的一种特性，即承受应力的液体物质在变形时的性质，取决于变形的速率。也可认为应力是引起变形速率的原因。

注：切向力 τ 和切向速率 D 的关系如下式所示：

$$\tau = \eta D$$

将 η 定义为动力黏度。

对于牛顿流体，在所有的切向速率下黏度都是常数，其大小由压力和湿度决定。对于非牛顿流体，黏度则随切向速率的改变而改变。

如果用毛细管黏度计不外加压力测定黏度的话，所得的测定值是动力黏度和密度的比值，为运动黏度。动力黏度的SI单位是Pa·s，实际使用时较为适用的单位是mPa·s，它们之间的换算关系为：

$$1 \text{ mPa} \cdot \text{s} = 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

运动黏度的SI单位是m²/s，1 mm²/s=10⁻⁶ m²/s。

4 试验装置

4.1 典型试验装置

典型的试验装置要求如下：

——盛装溶液及试样的容器材质应选用相对腐蚀介质呈惰性的材料（如玻璃、塑料、陶瓷等），同时应考虑到容器对试验温度的承受能力。

——控温系统（如加热板、水浴等）及测温系统（如温度计、测温仪表等）。对于室温试验，仅需测温系统即可。对于高温试验，还需考虑加装回流冷凝装置。推荐使用与之配套的容器，如YB/T 5362中所示的容器。对于低温试验或试验温度低于室温的情况，优先考虑简单有效的降温措施，如向水浴中添加冰水。如果冰水不足以满足试验温度，再考虑液氮、干冰等其他冷却措施。

——试样支撑或悬挂系统。详见6.6.3和6.6.4。

——搅拌系统，如有必要。可以考虑使用磁力搅拌器。

——通气系统，如有必要。详见5.4。

4.2 试验装置的其他要求

4.2.1 考虑蒸发和污染的因素，对于较长试验时间的浸泡腐蚀试验，不宜使用烧杯等敞口容器作为盛装系统。如果使用此类容器，应对容器上口封盖，非沸腾试验可以盖一片表面皿或用保鲜膜将容器上口封盖。

4.2.2 在更复杂的试验中，可能需要提供持续流动腐蚀介质或补充腐蚀介质的装置。

5 试验条件

5.1 通则

5.1.1 应根据试验目的选择试验条件。

5.1.2 如果试验是为某一特定目的的选材作指导，则应确定控制因素的限制。这些因素包括氧气含量，以及腐蚀介质的其他重要特性等。

5.1.3 对于模拟腐蚀试验，应尽可能模拟实际的服役条件。

5.1.4 试验条件应该在整个试验过程中可控，以使试验结果得到良好的重复性和再现性。

5.2 试验溶液

5.2.1 配制试验溶液所用的化学药品纯度应在分析纯(AR级)及以上。试验用水的纯度应至少符合GB/T 6682中规定的三级水。大量试验结果表明，次要成分会影响腐蚀速率，尽可能的控制次要成分。若有条件可以取到实际服役环境的腐蚀介质，可不考虑此条款的限制，优先采用能够复现实际服役环境的所有条件。

注1：实际服役环境的腐蚀介质并不一定都是溶液，也有可能是悬浊液、乳浊液或混合物。为避免名词多用造成混淆，下文通常是以实验室配制的试验溶液来说明。

- 5.2.2 试验溶液的成分应尽可能精确控制，并尽可能完整地记录配制过程。
- 5.2.3 试验溶液的成分含量通常按溶液质量百分比的形式给出。摩尔浓度也有助于某些试验溶液中定义化学物质的浓度。建议溶液密度和 pH 值也在记录中注明。
- 5.2.4 对于试验期间溶液成分可能产生变化的试验，建议制定溶液抽检计划。
- 5.2.5 试验期间应考虑溶液的蒸发情况，尤其是高温试验或长时间的浸泡试验。从试验溶液浓度变化的角度来看，通过频繁添加溶液的方式来保持试验溶液的原有体积并不可取。有些试验溶液的蒸发仅仅是溶液中水分的蒸发，而有些则会连同带出溶质成分。在可以确定蒸发损失成分的情况下，可以通过适当添加溶液的方法补充，且溶液补充前后的体积差宜控制在 1% 以内。为避免溶液成分的波动，推荐使用回流冷凝装置。
- 5.2.6 在某些情况下，试验溶液的成分可能会由于催化分解、试样的反应或腐蚀产物的积累而改变。需要时，应预备新的试验溶液加以补充或者替换。通常情况下，试验时间超过 7 d 的，建议每 7 d 彻底更换一次溶液。

注 2：几种不同金属同时暴露于同一试验溶液中时，一种金属的腐蚀产物可能会影响另一金属的腐蚀速率。

5.3 试验温度

- 5.3.1 试验溶液的温度波动宜控制在 ± 1 °C 以内。在试验温度明显高于环境温度（温差 > 10 °C）的试验中，通常采取搅拌等措施来降低试验溶液的温度梯度。如果试验中有通气系统，可同样起到搅拌的作用。
- 5.3.2 试验溶液温度即使是沸点，也有必要监测溶液温度，并在记录中注明。因为地域的差异性，尤其是海拔的差异性，溶液沸点也不尽相同。在沸点进行试验时，建议使用回流冷凝装置。
- 5.3.3 在使用磁力搅拌器或沸点浸泡试验时所使用的防爆珠等惰性物质均应避免与试样以及试样支撑物发生碰撞。
- 5.3.4 为了体现实际服役环境的苛刻性，试验温度可设计成该地区或该环境下的极限温度。

5.4 试验通气

- 5.4.1 除非另有要求，试验溶液不宜通气。大多数与工艺过程相关的试验宜在工况中固有的环境下进行，比如沸腾溶液的蒸汽或受控的气氛环境。
- 5.4.2 如果采用通气系统，应避免将试样放置于气流或气泡中（除非是模拟实际服役环境）。
- 5.4.3 假设其他所有因素都是等效的，改变通气流量与溶液总体积的比值以及气泡的平均直径，可能是改善通气效率的有效措施。
- 5.4.4 如果有必要排出溶液中的溶解氧，则需要特定的技术手段，如试验前确定溶液成分，整个容器采取密封，从进气口通入一种惰性气体（通常是氮气），排气口再接一组液封装置，以防止进气污染溶液。
- 5.4.5 如果要求高氧浓度的溶液，则需要接纯氧进行通气。对于氧浓度较低的溶液，溶液中可能会有氧气与空气或惰性气体的混合气体。溶液中氧的饱和浓度与气体混合物中氧气成分的分压成正比。在使用纯氧或高纯氧气时，试验人员需特别注意避免产生火花，因为很多材料在富氧气氛中增强了可燃性。
- 5.4.6 全程保持通气的试验，应避免中途中断。通气的中断会影响溶液的温度梯度。
- 5.4.7 除了试验期间全程保持通气的情况外，通气时间一般视通气目的及容器大小而定。通常至少通气 0.5 h。
- 5.4.8 容易产生泡沫的溶液中应避免通气。

5.5 溶液流动

5.5.1 在正常的实验室试验中，尽管一些具体的试验是为了某个目的而特别设计的，但对于溶液流动的影响依然是不确定的。因此，控制溶液流动试验不在本文件范围内。

注3：ASTM G170、ASTM G184及ASTM G185提供了有关在流动条件下试验的有用信息。

5.5.2 在沸点（或微沸）试验中，蒸汽气泡是溶液搅拌的主要来源；在沸点以下的试验中，热对流是溶液搅拌的主要来源。

5.5.3 如果有条件，可以关注试验温度下溶液的黏度。原则上，动力黏度大于 $0.1\text{Pa}\cdot\text{s}$ 的试验溶液做高温试验时，推荐使用磁力搅拌器辅助溶液流动，同时应避免中途中断，搅拌的中断会影响溶液的温度梯度。不论是否使用搅拌器，均建议在最终的记录中注明。

5.6 溶液体积

5.6.1 试验溶液的体积应该足够大，以避免由于腐蚀成分的耗尽或腐蚀产物的积累而引起溶液腐蚀性的变化。

5.6.2 在试验时间大于30 d的试验中，溶液体积与试样暴露面积比首选最小溶液量为 $20\text{ mL}/\text{cm}^2$ 。

5.6.3 如果试验目的是确定金属或合金对试验溶液特性的影响（如：确定金属对染料的影响）时，需要重现溶液体积与实际存在的暴露金属表面的比例。金属与溶液接触的实际时间也宜保持一致，以确保其模拟效果。

5.7 试验时间

5.7.1 任何试验的时间都应取决于试验的性质和目的。

5.7.2 原则上，腐蚀严重的材料不需要长时间试验来获得精确的腐蚀速率。但有些情况下，这种原则性的设定是无效的。例如：铅一开始暴露于硫酸溶液中，在形成保护膜的同时，也会以极高的速率继续腐蚀。而后，腐蚀速率又大大降低，此时进一步的腐蚀可以忽略不计。这种形成保护膜的现象在许多耐腐蚀材料中都能出现。对此类材料的短期测试可能表现出的高腐蚀速率，往往具有误导性。

5.7.3 短时间的试验也会对形成钝化膜的合金产生误导性的结果，比如不锈钢。在临界条件下，可能需要很长时间的试验，以便钝化膜的分解以及之后更快速的腐蚀。因此，此种情况下长时间的试验要比短时间的试验更接近实际结果。

5.7.4 有规划的长周期腐蚀试验是评价试验时间对金属腐蚀效果的一种很好的方法，同时也对实验室试验中腐蚀介质环境的腐蚀性进行了评价（见附录A）。

5.7.5 电化学技术，如极化电阻、线性极化、电化学阻抗谱、电阻探针和电化学噪声测量等，通常能确定时间对腐蚀行为的影响。

5.7.6 如果预期的腐蚀速率偏于中低速，建议的试验时间见公式（1）：

$$\text{试验时间 (h)} = 50/\text{腐蚀速率 (mm/a)} \dots\dots\dots (1)$$

5.7.6.1 例如：当腐蚀速率为 0.25 mm/a （即 0.25 毫米每年 ）时，建议试验时间应至少进行200 h。

5.7.6.2 试验结束后，可使用该公式来评估是否需要更长的试验时间重复做一次试验。常用的试验时间为 $24\text{ h}\sim 240\text{ h}$ 。

5.7.7 在某些情况下，可能需要知道腐蚀产物所引起的污染程度。通过对腐蚀发生后的溶液成分进行分析可以达到这一目的。可以通过溶液中金属基体离子的浓度计算腐蚀速率，并与试样的质量损失进行比较。但是，一些腐蚀产物容易粘附在试样表面，因此通过溶液中金属离子浓度计算出的腐蚀速率并不总是正确的，有时可能会大大低估材料的实际腐蚀速率。

6 试样

6.1 通则

6.1.1 在每组试验中，建议至少取三个平行试样，备样数个。如果是均匀腐蚀，平行试样的腐蚀速率差异通常在±10%以内，结果应取平行试样的平均值报出。如果差异超过了这个指标，则应考虑重新试验。结果以符合腐蚀速率差异标准的一组试样的平均值。但所有试样的腐蚀速率均小于0.1 mm/a时不在此列，无需重复试验，但应报出所有平行试样的腐蚀速率。偶然的例外情况，临界钝化条件下的金属或耐蚀性依赖于钝化膜的合金的腐蚀速率会出现很大的差异。试着查找造成差异的原因，如果找不到，则应该考虑重新试验。当测得的腐蚀速率依然存在较大差异时，不应再以平均值报出，而是报出全部平行试样的腐蚀速率。

6.1.2 如果以机械性能的变化来表征腐蚀的程度，腐蚀样品应与相同温度(环境温度或试验温度)下非腐蚀环境中的对照样品进行比较。

6.2 试样的形状和尺寸

6.2.1 因试验的目的、材料的性质和试验仪器的不同，试样的形状和尺寸也有所不同，试样的形状和尺寸可视这些因素的综合结果而定。原则上，试样总表面积宜大于10 cm²，且试样边缘表面积与试样总表面积比宜小于20%。条件允许的情况下，矩形或圆形的试样形状更适用于实验室的腐蚀试验。推荐的尺寸如下：

- a) 矩形试样：外形尺寸 $l \times b \times h$ ：50 mm × (20~25) mm × (1.6~5) mm；
- b) 圆形试样：外形尺寸 $\phi \times h$ ：30 mm × (2~5) mm。

根据试验目的不同，或条件所限，也可选用其他尺寸和形状的试样。

注1：可通过减薄试样厚度来得到预期的试样边缘表面积与试样总表面积比。但一些由机械加工或冷轧成型的材料制成的薄试样与不经过这些加工过程的材料可能会有不同的腐蚀速率。

注2：试样遮蔽封包也可得到预期的试样边缘表面积与试样总表面积比，但试样遮蔽封包可能也会带来其他的问题，如缝隙腐蚀。

6.2.2 应仔细测量试样，以便对暴露的区域面积进行精确的计算。表面积的测量精确到±1%以内。

6.2.3 同组试验的平行试样形状和尺寸应保持一致。

6.3 试样的制备

6.3.1 原则上可以用机械方法加工得到预期的试样形状和尺寸，但应避免由此引起的试样性能的变化。

6.3.1.1 采用剪切法时，除非试验目的是研究剪切操作的影响，或剪切所造成的变形是不影响腐蚀的，否则应去除边缘。

注3：厚试样由于剪切造成的边缘变形会对试样的表面积计算带来误差。

6.3.1.2 采用激光切割时，除非试验目的是研究激光切割的影响，否则激光切割的试样边缘应进行再次加工而去除边缘（至少125 μm）。

6.3.2 在板材或带材上取样时，通常应沿轧制方向切取，如轧制方向不清或不沿轧制方向切取时，需在最终的报告中注明。应尽量避免在板带边缘取样。

6.3.3 在棒材上取样时，通常应从棒材截面中部沿纵向切取。如沿径向切取，需在最终的报告中注明。

6.3.4 铸件、焊接件、熔敷金属材料等取样方法由协商确定，也可参照GB/T 4334-2020中所示的取样方式制取。

6.3.5 试样的棱角应保留，不应倒角。

6.3.6 如有需要，可在试样上打孔。

6.3.7 为了提高试验结果的再现性，可以通过化学处理（酸洗）、电解去除、砂纸研磨或其他机械方法（如磨床）去除原始金属表层。试样最终的表面建议使用符合GB/T 9258.2中规定的粒度不粗于P120的砂纸打磨。如使用干磨，应小心不要使表面硬化。如果金属是质软的，可能会在表面上残留研磨材料，

如果不清除干净，可能会导致磨蚀。原则上，同一张砂纸（布）上只能磨同一种材料的试样。需要注意的是：此方法仅仅是为了提高试验的再现性，其试验结果并不代表该材料在该腐蚀介质中的实际耐蚀性，甚至可能得出误导性的结果。如果可以，直接采用原始金属表面（或实际服役表面）会更贴近实际结果。

6.3.8 如有需要，可在试样上打号予以标记。需要提醒的是：打号的同时，引入了冷加工和易导致局部腐蚀、应力腐蚀的应力。外部环境带来的压力会对这类敏感性腐蚀起到一定促进作用。即使最终的试验结果没有开裂也不代表就没有影响。若想明确的研究压力的影响，还需进行额外的试验。

6.3.9 在试样表面进行最后的处理后，直到使用前，试样应一直保存于干燥器中。对于会形成钝化膜的材料，不同的静置时长，以及暴露存放在不同的环境下，均可能会产生不同的试验结果。在特殊情况下（如铝和某些铜合金），应在干燥器中静置至少 24 h。

6.4 试样的清洗

6.4.1 试样可使用无漂白作用的洗涤剂进行清洗，然后在水中清洗，并用适当的有机溶剂清洗，擦干或吹干后进行干燥。因研磨粉可能会破坏试样表面，对于镁、铝、铜等较软的金属，不建议使用研磨粉进行擦洗。

6.4.2 试样可使用超声波进行清洗，但应注意超声介质是否会对试样（或试样镀膜）产生影响。

6.4.3 因毛巾可能会带入油脂或棉绒等污染物，不宜使用毛巾擦干试样。

6.4.4 在清洗后，避免直接拿取试样，推荐戴手套、用镊子等来拿取试样，以免污染试样。

6.5 推荐使用电子天平或分析天平等高精度的仪器称量试样质量，测量精度应至少精确到 1mg。

6.6 试样的放置方式

6.6.1 试样的放置方式主要取决于试验的目的。从试样的悬置方式来分，可分为底座支撑、打孔悬挂和随机摆放。从试样的朝向来分，可分为水平式、垂直式和倾斜式。从试样与溶液的相对位置来分，可分为全浸没、半浸没和悬空于溶液上方。对于全浸没，还可细分为试样放置于溶液底部和中部。对于半浸没和悬空于溶液上方的试验，试样悬置方式还可以采用挤压式固定，如利用中间带孔的塞子或泡沫等将试样挤住。

6.6.2 大多数实验室浸泡腐蚀试验采用的是底座支撑水平式全浸没（于溶液中）。半浸没和悬空的方式通常是与全浸没做比对；或者，是为了研究液面或溶液蒸汽对试样的影响等。

6.6.3 支撑或悬挂的部件不应与溶液及试样发生反应，同时也不应污染溶液及试样。通常选用惰性材料来制成这类部件。试样与试样，或试样与其他部件贴得越紧密，越容易发生缝隙腐蚀，因此用来支撑或悬挂的部件与试样的接触区域越小越好。

6.6.4 一些塑料材质的支架在试验溶液中可能会出现上浮的情况。通常的方式是用其他金属或重物进行缠绕或压盖等方式使之增重；在选择支架增重材料时需注意：所选的增重材料本身也应遵循 6.6.3 中的规定，且这些材料（尤其是金属）的腐蚀产物或氧化物也应避免出现 5.2.6 后注 2 中所提到的情况。

6.7 试验后试样的处理

6.7.1 试验后试样的处理是腐蚀试验过程中一个重要环节。如果处理不当，很可能会造成误导性的结果。

6.7.2 在清洗试样前，宜观察并记录外观状态（如腐蚀产物沉积的位置、特点以及产物类型的变化等）。对于外观变化明显的（尺寸、颜色等）试样，宜使用游标卡尺或千分尺等测量工具对试样的尺寸测量并进行记录，必要时留下照片。这些信息对于评估局部腐蚀（如点蚀、晶间腐蚀）是非常重要的。试验前后的照片，也有助于对试验结果进行评估。

6.7.3 规定严格的程序来对试样进行处理显得不切实际，因为各类浸泡腐蚀试验的装置系统、程序不尽相同，同时还取决于处理金属的类型和腐蚀产物的附着程度。

6.7.3.1 机械法清洗包括刷、擦、敲击、超声波等。用刷子（最好是非金属的）和研磨剂擦洗是最普遍的方法。

6.7.3.2 化学法清洗是指将试样浸在一种适当的化学溶液中，使之表面上的腐蚀产物在溶液中溶解。在 GB/T 16545 中详细描述了对特定金属和合金进行化学清洗的方法。诸如乙醇等有机溶剂是用来去除油脂、树脂之用，通常是在其他清洗方法之前使用。

6.7.3.3 采用电解法处理腐蚀产物时，应先用其他方法进行预清洗，以去除表面相对疏松的腐蚀产物。在使用电解法时，需要额外注意避免使用带有易还原的金属离子的清洗液，同时还需注意是否对缓蚀剂造成影响，以确保缓蚀剂不被分解。

6.7.4 试验后，不论采用哪种处理方法，都应确定其对去除试样原金属基体的影响，并对质量损失进行相应的处理（见附录 B）。对于始终无法去除干净的，最后需在记录中注明。

6.7.5 需要计算质量损失的，建议在样品处理后置于干燥器中静置 24 h 后再称量。

7 试验程序

7.1 根据试验目的，参照 4.1 选择合适的试验装置及组件。针对特别规格的样品参照 4.2 对试验装置进行改进和完善。

7.2 按 5.2 配制试验溶液或直接取实际服役环境的液体置于试验容器中。

7.3 根据试验目的，将试样全浸没、半浸没或其他指定方式放置于试验装置中。放置时应避免试样与溶液接触时产生气泡。如果试验装置需要通气，则应至少通气 0.5 h 后再放入试样。

7.4 若多个试样在同一容器中，应避免互相接触（除非有特别要求需要叠放的），每个试样间距宜在 1 cm 以上。

7.5 试验温度为非室温的，应尽快使整个系统达到规定温度，此时开始计时。

7.6 试验期间应经常观察试样和溶液的变化情况，必要时做好记录。到达预定试验时间后取出试样，按 7.7 对试样进行清洗处理。

7.7 需要计算腐蚀速率的，按 8.2 进行计算。

8 试验结果

8.1 称量试验后的试样质量，精度应与试验前保持一致。

8.2 平均腐蚀速率的计算

8.2.1 若没有发生局部腐蚀和内部腐蚀（如黄铜脱锌、晶间腐蚀），平均腐蚀速率的计算如公式（2），并按照 6.1 之规定报出。

$$R = \frac{K \times (M - M_1)}{S \times T \times D} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

R —— 腐蚀速率（见表 1）；

K —— 常数（见表 1）；

M —— 试验前的试样质量，单位为克（g）（至少精确至 0.001g）；

M₁ —— 试验后的试样质量，单位为克（g）（至少精确至 0.001g）；

S —— 试样的总表面积，单位为平方厘米（cm²）（至少精确至 0.01cm²）；

T —— 试验时间，单位为小时（h）（至少精确至 0.01h）；

D —— 试样的密度，单位为克每立方厘米（ g/cm^3 ）。

8.2.1.1 根据需求的不同，试验结果可用不同的腐蚀速率单位表示。表 1 给出了不同单位所对应的 K 值。

表 1 不同腐蚀速率单位所对应的 K 值

| 腐蚀速率单位 | 腐蚀速率中的 K 值 |
|---|-------------------------------|
| 毫米每年（ mm/a ） | 8.76×10^4 |
| 微米每年（ $\mu\text{m}/\text{a}$ ） | 8.76×10^7 |
| 皮米每秒（ pm/s ） | 2.78×10^6 |
| 克每平方米每小时（ $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ） | $1.00 \times 10^4 \times D^a$ |
| 毫克每平方分米每天（ mdd ） | $2.40 \times 10^6 \times D^a$ |
| 微克每平方米每秒（ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ） | $2.78 \times 10^6 \times D^a$ |

^a 此处不再需要用密度来计算腐蚀速率；因为常数 K 值中的密度已经抵消掉了腐蚀速率公式中的密度。

8.2.1.2 测量、计算的数值需要修约时，按 GB/T 8170 的规定处理。

8.2.1.3 不同腐蚀速率单位之间也可以公式（3）、（4）相互转换。公式（5）中需要考虑材料的密度，对于不锈钢这样表面钝化膜的密度与基体密度并不相同的材料，并不建议进行此类换算，因为简单的使用基体密度进行换算会造成不必要的误差。

示例 1:

$$15 \text{ mm/a} = 15 \times [(2.78 \times 10^6) / (8.76 \times 10^4)] \text{ pm/s} = 476.03 \text{ pm/s} \quad \dots\dots\dots (3)$$

示例 2:

$$1 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} = 1 \times [(2.40 \times 10^6 \times D) / (1.00 \times 10^4 \times D)] \text{ mdd} = 240 \text{ mdd} \quad \dots\dots\dots (4)$$

示例 3:

$$10 \text{ mdd} = 10 \times [(8.76 \times 10^4) / (2.40 \times 10^6 \times D)] \text{ mm/a} = 0.365/D \text{ mm/a} \quad \dots\dots\dots (5)$$

8.2.1.4 试验后尺寸发生明显变小的试样（即总表面积发生显著变小），此公式可能不再适用，因为这样计算出来的结果很可能大大低估了材料的真实腐蚀速率。如有此类情况，需在报告中注明“试样尺寸规格在试验后发生明显变小”字样。

8.2.2 对于直径远小于长度的圆柱状试样，可以用公式（6）、（7）进行腐蚀速率的计算。

$$\text{当 } \frac{M}{M - M_1} \leq 50 \text{ 时:} \quad R = \frac{d \times (M - M_1)}{4 \times M \times T} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{当 } \frac{M}{M - M_1} > 50 \text{ 时:} \quad R = \frac{1000 \times d \times \sqrt{1 - \frac{M - M_1}{1000 \times M}}}{2T} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

R —— 腐蚀速率，单位为毫米每年（ mm/a ）；

M —— 试验前的试样质量，单位为克（g）；

M-M₁ —— 质量损失，单位为毫克（mg）；

d —— 试样的直径，单位为毫米（mm）；

T —— 试验时间，单位为年（a）。

8.3 一些金属（如钛、锆等），它们的腐蚀产物是一层坚固致密的氧化物，难以用化学方法或一般的机械方法去除，此时试验结果可用质量增加法来表达腐蚀速率。

8.4 计算腐蚀速率后，如有需要，可以将试样放在低倍显微镜（或放大镜）下进行进一步的观察，以确定是否发生局部腐蚀。如果观察到麻点或凹坑，应按照 GB/T 18590 进行评估。

8.4.1 放大观察时，需关注蚀坑的形状、大小、深度和分布。蚀坑的深度等测量应以毫米单位记录。需要提醒的是：所测得的蚀坑深度是不能外推的，不能将该试验时间下所测得的蚀坑深度外推到毫米每月、毫米每年等其他周期。点蚀的发生并不是在试验期初就开始的，通常会有一个起始阶段。同时，在记录中需注明该腐蚀坑位于试样的哪一试验面。一些试验结果表明，在溶液中不同方位的试验面所形成的点蚀坑会有所不同。如果试样是水平置于溶液中部的，那么，位于朝上的试验面所形成的点蚀坑往往比朝下的严重，且点蚀坑向基体内部的延展趋势也不同。

8.4.2 如果材料发生的是局部腐蚀，从质量损失中计算出的腐蚀速率会低估该材料的实际腐蚀速度。在这种情况下，质量损失往往并不适合预测性能。局部的腐蚀穿透通常不会随着暴露的时间呈线性的模式进行，因此局部腐蚀的穿透率不能简单的以试验时间这一单一指标来衡量。

8.4.3 如果试样有发生晶间腐蚀的迹象，则应在高倍显微镜下进一步放大检查，以确定是否发生晶间腐蚀。

8.4.4 试样还可以进行简单的弯曲，以观察弯曲处是否有因腐蚀而产生的裂纹，参见 GB/T 4334-2020 的 7.4 规定。

9 试验报告

9.1 试验报告宜包含但不限于以下内容：

- a) 操作人员及审核人员的署名；
- b) 试验溶液及其浓度（包括在试验期间的任何变化）；
- c) 溶液的体积及在试验期间添加或去除的任何溶液；
- d) 环境温度及试验溶液温度（包括最高、最低、平均）；
- e) 是否进行通气（描述试验条件及采取的技术手段）；
- f) 是否进行搅拌（描述试验条件及采取的技术手段）；
- g) 用于试验的仪器或容器类型，以及密封手段；
- h) 试样的放置方式及位置；
- i) 试验日期及试验时间；
- j) 试样的牌号（或材料的成分）；
- k) 如果是焊接试样，表述注明焊接条件（何种基材及采用何种焊条）、焊接方法（采用何种焊接工艺及焊接道次）及取样位置；
- l) 精确测得的试样尺寸、规格及表面积；
- m) 试验平行样的数量，以及这些平行样是分别在不同容器中进行的试验，还是在同一容器中进行的试验；
- n) 试验前后清洗试样的方法（尽可能详尽，尤其是试验后试样的处理环节）；
- o) 每个试样的试验前质量、试验后质量以及实际质量损失；
- p) 试验后试样的外观，以及对腐蚀的评估。如果不是均匀腐蚀（例如开裂、裂缝、剥落、点蚀等），还需添加相关照片（宏观的和显微镜下放大后的）；如果有条件的话，提供相关测量数据（如裂纹宽度、裂纹长度、点蚀深度、凹坑周长或等效直径等）；
- q) 试验期间发生的意外情况及处置方法（如果有的话）。

9.2 在重复试验测得腐蚀速率的情况下，试验报告还应包括每组测得的平均值、标准偏差及变异系数（即标准偏差除以平均值的百分比）。

附录 A
(资料性)
有规划的长周期腐蚀试验方法

A.1 试验目的

检验试验时间对溶液腐蚀性及金属腐蚀速率的影响，并以此选择最佳的试验时间。

A.2 试验方法

A.2.1 取 4 组试样，每组至少 2 片。4 组试样都置于同一容器的介质中进行试验。如容器不够大时，可每组取一个试样置于一个容器中试验，也可用两个容器进行条件相同的平行试验。

A.2.2 4 组试样的试验时间按图 A.1 安排：

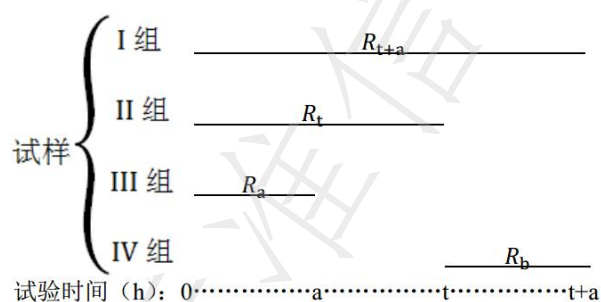


图 A.1 试验时间安排

I、II、III 组同时开始试验，I 组为全程试验（试验时间为 $t+a$ ），II 组为长程试验（时间为 t ），III 组为短程试验（试验时间为 a ）。当试验进行到 t 时，将第 IV 组试样置入上述溶液中开始试验，试验时间为 b ($b=a$)。

A.2.3 全部试验都按本文件进行，将获得的 4 组试样的单位面积质量损失作为评级依据。

A.2.4 评价

A.2.4.1 设 R_{t+a} 、 R_t 、 R_a 、 R_b 分别为 I、II、III、IV 组试样的腐蚀损失， $R_c = R_{t+a} - R_t$ 。

A.2.4.2 试验期间发生的情况根据表 A.1、表 A.2 进行判断。

表 A.1 腐蚀试验期间发生的情况

| 类型 | 结论 | 判据 |
|--------|------|-------------|
| 溶液的腐蚀性 | 没有变化 | $R_a = R_b$ |
| | 下降 | $R_a > R_b$ |
| | 增加 | $R_a < R_b$ |
| 金属腐蚀速率 | 没有变化 | $R_c = R_b$ |
| | 下降 | $R_c < R_b$ |
| | 增加 | $R_c > R_b$ |

表 A.2 综合情况评价表

| 序号 | 溶液腐蚀性 | 金属腐蚀速率 | 判据 |
|----|-------|--------|-------------------|
| 1 | 没有变化 | 没有变化 | $R_a = R_b = R_c$ |
| 2 | 没有变化 | 下降 | $R_a = R_b > R_c$ |
| 3 | 没有变化 | 增加 | $R_a = R_b < R_c$ |

表 A. 2 (续)

| 序号 | 溶液腐蚀性 | 金属腐蚀速率 | 判据 |
|----|-------|--------|-------------------|
| 4 | 下降 | 没有变化 | $R_a > R_b = R_c$ |
| 5 | 下降 | 下降 | $R_a > R_b > R_c$ |
| 6 | 下降 | 增加 | $R_a > R_b < R_c$ |
| 7 | 增加 | 没有变化 | $R_a < R_b = R_c$ |
| 8 | 增加 | 下降 | $R_a < R_b > R_c$ |
| 9 | 增加 | 增加 | $R_a < R_b < R_c$ |

附录 B
(资料性)
空白试样处理方法

B.1 取 2 片备样（材料、状态、尺寸等均与腐蚀试验的试样相同的试样），按与被测试样完全相同的程序（表面处理、清洗、称重等）处理后在未受腐蚀的状态下，用同一方法进行电解或化学清洗。

B.2 将清洗后的试样洗净、干燥、称重。计算出两片试样的平均失重。

B.3 在计算被测试样的腐蚀速率时，将 B.2 中得到的失重列入公式（B.1）进行计算：

$$R = \frac{K \times (M - M_1 - M_b)}{S \times T \times D} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

M_b ——空白试样的失重；

其他符号的意义同 8.2。

B.4 如果是直径远小于长度的圆柱状试样，则将公式（6）和公式（7）中的“ $M - M_1$ ”换成“ $M - M_1 - M_b$ ”进行计算。