



中华人民共和国国家标准

GB/T 39490—2020

纤维增强塑料液体冲击抗侵蚀性试验方法 旋转装置法

Test method for liquid impingement erosion resistance of fiber-reinforced
plastics—Rotating apparatus method

2020-11-19 发布

2021-10-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由全国纤维增强塑料标准化技术委员会(SAC/TC 39)归口。

本标准起草单位:北京玻璃钢研究设计院有限公司、巨石攀登电子基材有限公司、重庆国际复合材料股份有限公司、佐敦涂料(张家港)有限公司、上纬新材料科技股份有限公司、明阳智慧能源集团股份有限公司、上海康达化工新材料集团股份有限公司、中材科技风电叶片股份有限公司、北京鉴衡认证中心有限公司、上海挪华威认证有限公司。

本标准主要起草人:杨德旭、许康、叶凤林、周信伟、张海雁、陈淳、姚其胜、王艳丽、林伟、张金峰、孙林。



纤维增强塑料液体冲击抗侵蚀性试验方法

旋转装置法

1 范围

本标准规定了纤维增强塑料及其保护层液体冲击侵蚀性试验的原理、试验设备、试样、试验条件、试验步骤、试验报告。

本标准适用于用旋转装置法来测定纤维增强塑料及其保护层液体冲击抗侵蚀性,其中失效时间法和侵蚀-时间曲线法适用于纤维增强塑料及保护层,退化状态法仅适用于保护层。

本标准不适用于连续的液体喷射流侵蚀以及液体或泥浆的冲刷侵蚀。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 1446 纤维增强塑料性能试验方法总则

GB/T 1463 纤维增强塑料密度和相对密度试验方法

GB/T 3854 增强塑料巴柯尔硬度试验方法

GB/T 3961 纤维增强塑料术语

GB/T 5206 色漆和清漆 术语和定义

GB/T 13452.2 色漆和清漆 漆膜厚度的测定

GB/T 30789.1 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

GB/T 30789.2 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:起泡等级的评定

GB/T 30789.4 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:开裂等级的评定

GB/T 30789.5 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:剥落等级的评定

GB/T 30789.6 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6部分:胶带法评定粉化等级

ISO 13076 色漆和清漆 涂层的目测评估用照明和程序 (Paints and vanishes—Lighting and procedure for visual assessments of coatings)

ISO 19403-2 色漆和清漆 润湿性 第2部分:通过测量接触角确定固体表面的自由能 (Paints and vanishes—Wettability—Part 2: Determination of surface free energy of solid surfaces by measuring the contact angle)

3 术语和定义

GB/T 3961、GB/T 5206 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

暴露面积 exposed area

试样暴露表面上经受液体冲击侵蚀的区域。

3.2

累积侵蚀量 cumulative erosion

在液体冲击侵蚀下材料损失的质量或体积的总量。

3.3

潜伏期 incubation period

侵蚀速率-时间曲线上侵蚀速率为零或同随后的阶段相比可忽略的初始阶段。

3.4

液体冲击侵蚀 liquid impingement erosion

由于液体冲击,试样表面逐步出现材料损失。

3.5

最大侵蚀速率 maximum erosion rate

侵蚀速率的最大值,以一个瞬时峰值或一个能持续一段时间的稳态值形式出现。

3.6

标称抗侵蚀性 normalized erosion resistance

相同测试条件下,测试材料的最大体积侵蚀速率与参比材料的最大体积侵蚀速率的比值。

3.7

标称潜伏期抗侵蚀性 normalized incubation resistance

相同测试条件下,测试材料的名义潜伏期与参比材料的名义潜伏期的比值。

3.8

名义潜伏期 nominal incubation period

累积侵蚀量-时间曲线上最大斜率处切线的延长线与横坐标轴相交所得的截距。

3.9

有理化侵蚀速率 rationalized erosion rate

在试样的同一区域面积上,每单位体积液体的冲击造成材料损失的体积。

3.10

有理化潜伏期 rationalized incubation period

名义潜伏期内冲击数量,用冲击频率乘以名义潜伏期时间计算得到。

3.11

冲击数量 impact numbers

试样暴露表面上典型的点经受液滴冲击循环的次数。

3.12

冲击频率 impact frequency

单位时间内,试样暴露表面上典型的点经受液滴冲击循环的次数。

4 原理

将试样安装在以规定速度旋转的试样架上,重复地经受液体冲击侵蚀。随着试验的进行,试样出现表观变化、质量(体积)损失、性能及微观形貌的变化等,采用失效时间、退化状态或侵蚀-时间曲线来评价材料的抗冲击侵蚀性能。

5 试验设备

5.1 分析天平

精度 0.1 mg。

5.2 烘箱

能控制在 $(50\pm3)^{\circ}\text{C}$ 或其他商定的温度 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

5.3 超声波清洗仪

频率范围:20 kHz~30 kHz。

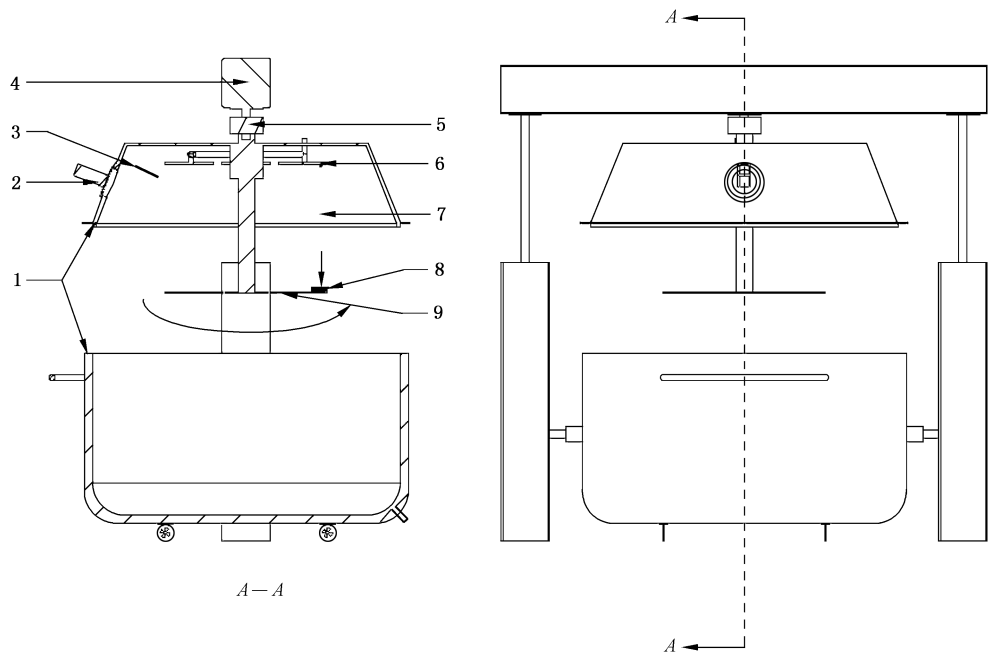
5.4 显微镜

放大倍数不低于 50 倍且具有拍照功能。

5.5 液体冲击试验机

5.5.1 液体冲击试验机整体装置

液体冲击试验机包括试验舱、喷淋系统和试样架,其整体装置示意图见图 1。



说明:

- 1——试验舱;
- 2——观察孔及视频监控装置;
- 3——温度传感器;
- 4——升降架;
- 5——电动机;

- 6——喷淋系统;
- 7——雨滴;
- 8——试样;
- 9——试样架。

图 1 液体冲击试验机整体装置示意图

5.5.2 试验舱

试验舱是一个将试样架和喷淋系统包含在内的封闭舱室,内壁至试样架边缘的距离至少为 250 mm,舱室上应设置观察孔和视频监控装置,保证试验过程中实时观察舱室内的运转情况。

5.5.3 喷淋系统

5.5.3.1 喷淋区域应当覆盖试样经过的整个区域或者部分区域。液滴直径分布范围为 0.1 mm~5.0 mm,入射角度应为 90° ,液滴初始位置到试样表面的垂直距离至少为 200 mm。

5.5.3.2 喷淋量控制在 10 mm/h~720 mm/h,流量偏差控制在 $\pm 10\%$ 以内。

5.5.4 试样架

5.5.4.1 试样架应使用惰性材料,能抵抗试验介质的腐蚀和冲击。试样架的类型分为两种:旋转臂和旋转盘。对于旋转臂类型的试样架,其旋转臂的个数最多为 3 个。

5.5.4.2 旋转臂或旋转盘上应带有可避免引起空气扰动的装置,确保试样在试验过程中不脱落,并且能重复拆装,以便于清理和称重试样。试样安装后,应能保证旋转中心至试样中心位置的距离至少为 0.5 m。

5.5.4.3 旋转臂或旋转盘外边缘转动速度控制在 10 m/s~250 m/s,速度偏差控制在 $\pm 0.5\%$ 以内。

注:其他的设备和不同的控制参数也可使用,但可能得到不同的测试结果。

6 试样

6.1 试样形状和尺寸

试样为 U 型或平板型,U 型轮廓试样如图 2 所示,U 型试样暴露表面的面积应该大于试样的实际暴露面积;平板型试样如图 3 所示。其他符合试验设备和测试目的试样类型也可使用。

单位为毫米

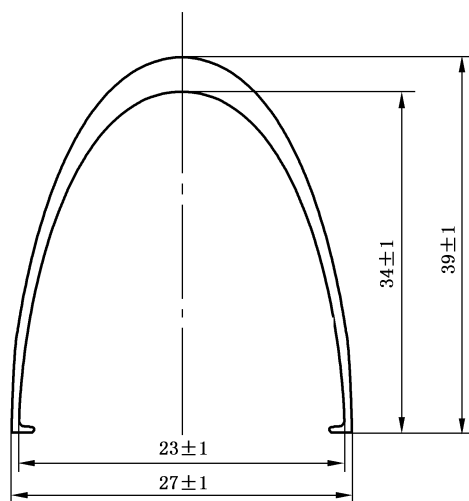


图 2 U 型试样

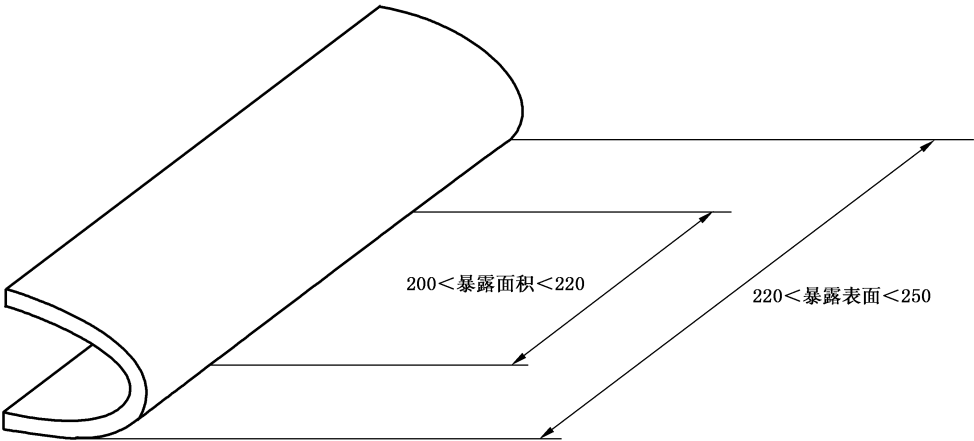
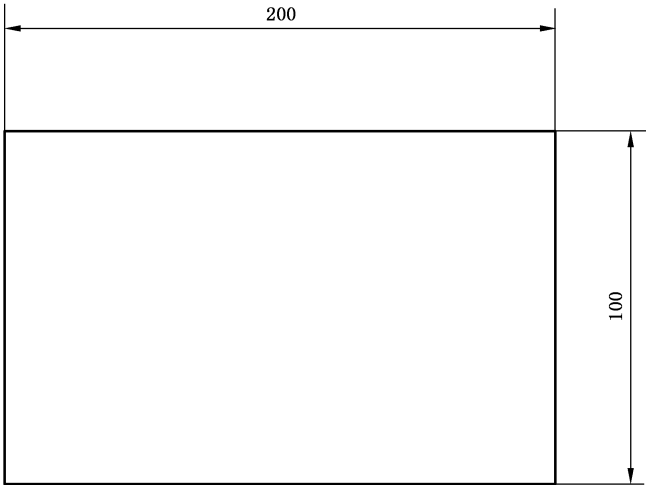


图 2（续）



单位为毫米



注：试样的厚度为实际产品厚度，或其他商定的厚度。

图 3 平板型试样

6.2 试样制备

- 6.2.1 试样的制备应按照供应商推荐方法或符合相关方商定的要求。
- 6.2.2 试样的暴露表面不宜进行机械加工。
- 6.2.3 采用失效时间法和退化状态法进行测试时，试样的有效数量至少为 1 个。采用侵蚀-时间曲线法进行测试时，试样有效数量不少于 3 个。

7 试验条件

7.1 状态调节

- 7.1.1 纤维增强塑料试样按 GB/T 1446 进行调节。

7.1.2 带涂层试样应在试验室标准环境条件下至少放置 48h。

7.2 试验介质

按照测试要求选择试验介质,可选用蒸馏水、自来水、盐水、人工海水或者其他由相关方商定的介质,介质温度为 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 。

8 试验步骤

8.1 失效时间法

8.1.1 外观检查

按 GB/T 1446 的规定检查纤维增强塑料试样外观,有缺陷、不符合要求的试样,应予作废。

按 ISO 13076 的规定检查带涂层试样外观,有缺陷、不符合要求的试样,应予作废。

8.1.2 测试

8.1.2.1 按 GB/T 13452.2 的规定测试带涂层试样的涂层厚度。按 GB/T 3854 的规定测试纤维增强塑料试样的巴柯尔硬度,测试巴柯尔硬度时,应避免试样的暴露区域。

8.1.2.2 在试验前规定一个失效条件,涂层的失效条件通常包括:开裂、涂层部分剥落、涂层破坏至基材等,纤维增强塑料的失效条件通常包括:裂纹、树脂剥落、纤维外露等,其他由相关方商定的失效条件也可使用。

8.1.2.3 将试样安装在试验设备上,设置转动速度、喷淋量等试验参数,开启试验设备,待设备达到稳定状态后,打开喷淋装置并记录时间。

8.1.2.4 选取合适的时间间隔,定期中断试验。移走试样,用滤纸或清洁的布除去表面水分,然后检查试样是否达到规定的失效条件,拍照记录试样的状态。若试样达到失效条件,结束试验,若未达到则继续进行试验,直至试样达到规定的失效条件。

8.1.3 试验结果

以达到规定失效条件所需的累积侵蚀时间来表征试验结果。采用的失效条件应在报告中注明。

8.2 退化状态法

8.2.1 外观检查

按 ISO 13076 的规定检查带涂层试样的外观,有缺陷、不符合要求的试样,应予作废。

8.2.2 测试

8.2.2.1 测试试样的初始性能,用光学显微镜或轮廓仪测定仪测定试样表面的粗糙度,按 GB/T 13452.2 的规定测试带涂层试样的涂层厚度,按 ISO 19403-2 的规定测试带涂层试样的润湿性。

8.2.2.2 试验时间根据材料的实际应用情况或者相关方商定的要求确定。

8.2.2.3 将试样安装在试验设备上,设置转动速度、喷淋量等试验参数,开启试验设备,待设备达到稳定状态后,打开喷淋装置并记录时间。当达到规定的试验时间后,取出试样,用滤纸或清洁的布除去表面水分。按 8.2.2.1 规定的方法测试试样的粗糙度、涂层厚度、润湿性。

8.2.2.4 按 ISO 13076 的规定进行外观检查。如果发现任何缺陷或破坏,则应根据以下规定进行测试:

- a) 按 GB/T 30789.5 的规定测试涂层的剥落等级;
- b) 按 GB/T 30789.2 的规定测试试样的起泡等级;

- c) 按 GB/T 30789.4 的规定测试试样的开裂等级；
- d) 按 GB/T 30789.6 的规定测试试样的粉化等级；
- e) 按 GB/T 30789.1 的规定测试试样上出现的其他缺陷,包括贯穿所有或者大部分涂层的缺陷。

8.2.3 试验结果

根据 8.2.2.3 和 8.2.2.4 各测试项目中最严重的结果,按表 1 进行功能性评级。

表 1 功能性评级

等级	退化状态	描述
0	无退化	无可见缺陷,疏水性保持不变
1	很轻微退化	有刚值得注意的缺陷,疏水性未发生明显变化,但能观测到试样表面水分的存在
2	轻微退化	有少量值得注意的缺陷,疏水性损失,试样表面潮湿,涂层仍具备完好保护性能
3	中等退化	有中等数量的缺陷,目视表面粗糙,涂层仍具备良好保护性能
4	较严重退化	有较多数量缺陷,缺陷大于 0.5 mm 且小于或等于 5 mm,涂层的保护性能部分破坏
5	严重退化	有密集型的缺陷,缺陷大于 5 mm,涂层大部分脱落,基材可见或基材破坏,涂层保护性能完全丧失

8.3 侵蚀-时间曲线法

8.3.1 外观检查

外观检查同 8.1.1。

8.3.2 测试

8.3.2.1 用天平称量试样的初始质量,精确至 0.1 mg。按 GB/T 13452.2 的规定测试带涂层试样的涂层厚度。按 GB/T 1463 和 GB/T 3854 的规定分别测试纤维增强塑料试样的巴柯尔硬度和密度。

8.3.2.2 将试样安装在试验设备上,设置转动速度、喷淋量等试验参数,开启试验设备,待设备达到稳定状态后,打开喷淋装置并记录时间。

8.3.2.3 选取合适的时间间隔,定期中断试验,记录时间并停止设备。移走试样,放置在超声波清洗仪中清理试样表面残留的杂质,用滤纸或清洁的布去除表面水分。

8.3.2.4 将试样放置在 50 ℃的烘箱内至少 16 h,取出试样,将其放在干燥器中冷却至室温,称量试样的质量,精确至 0.1 mg。重复该步骤,直至试样恒重。

8.3.2.5 重复步骤 8.3.2.2~8.3.2.4。记录累积暴露时间和对应的累积的质量损失,用累积质量损失除以材料的密度可得到累积体积损失量,绘制累积质量损失量-暴露时间曲线、累积体积损失-暴露时间曲线。

8.3.2.6 当试验进行到可以通过坐标原点画一条直线,该直线与累积侵蚀量-暴露时间曲线相切时,说明侵蚀速率开始下降,此时可停止试验,如图 4a) 所示。如需获得材料的极限侵蚀速率,可延长试验时间。

注 1: 时间间隔足够短,以便能获得侵蚀速率-时间曲线,使得名义潜伏期和最大侵蚀速率能够清楚地确定。

注 2: 在确保试样恒重的条件下,其他的干燥方式也可选择。

8.3.3 试验结果

8.3.3.1 侵蚀-时间曲线

根据测试数据绘制累积侵蚀量-暴露时间曲线,对累积侵蚀量-暴露时间曲线进行一阶求导可得到侵蚀速率-暴露时间曲线,典型曲线见图 4。

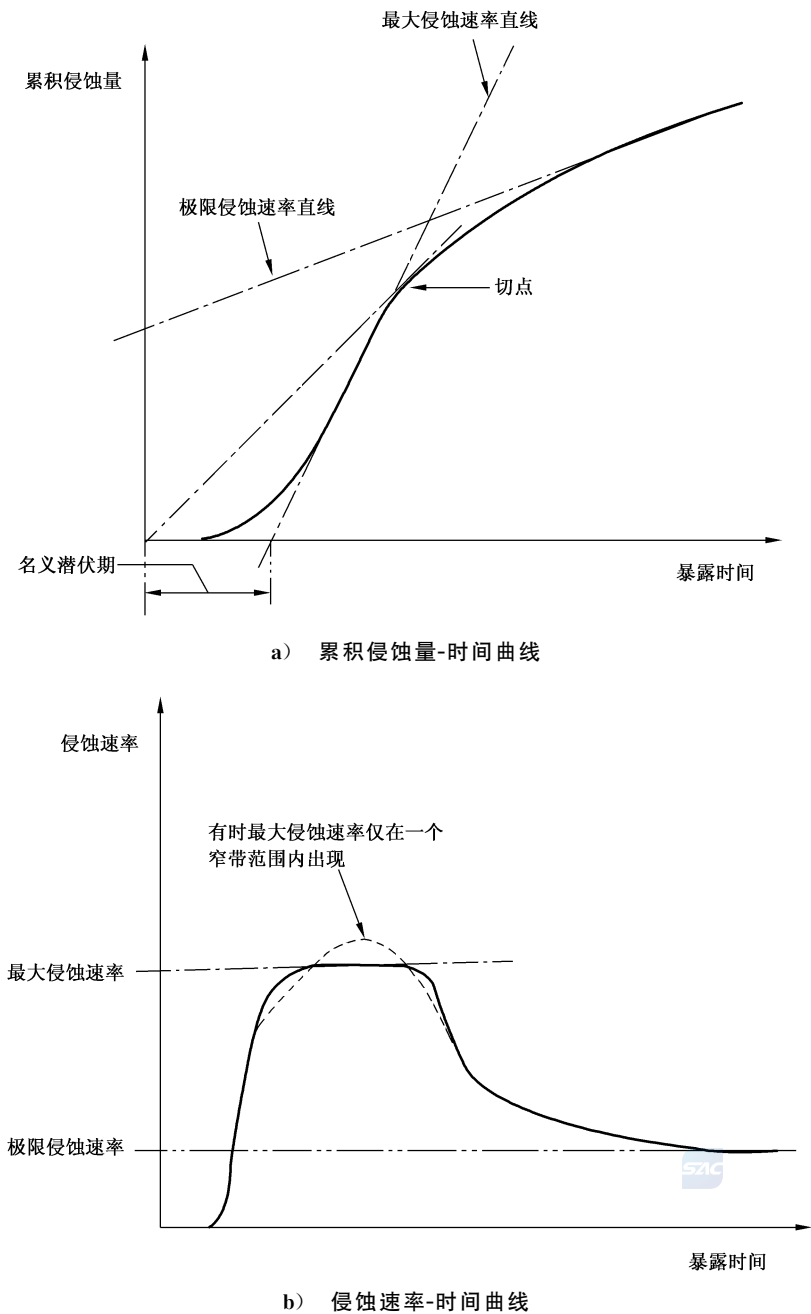


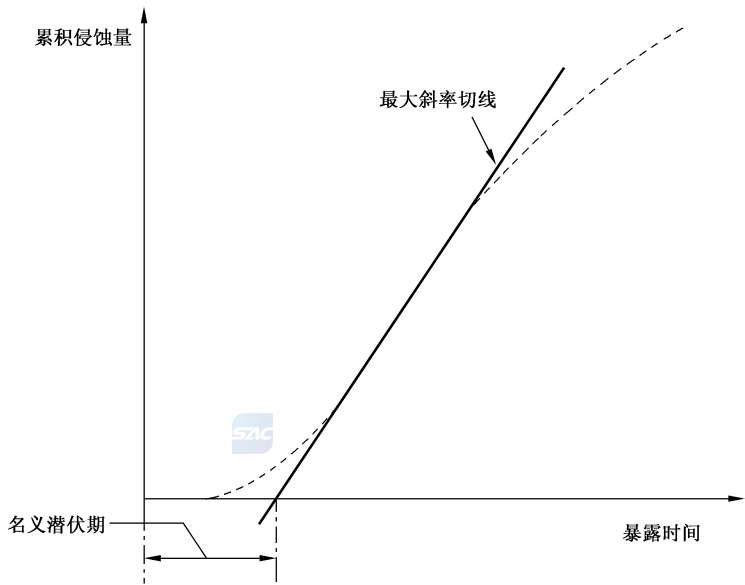
图 4 典型的侵蚀-时间曲线

8.3.3.2 名义潜伏期和最大侵蚀速率

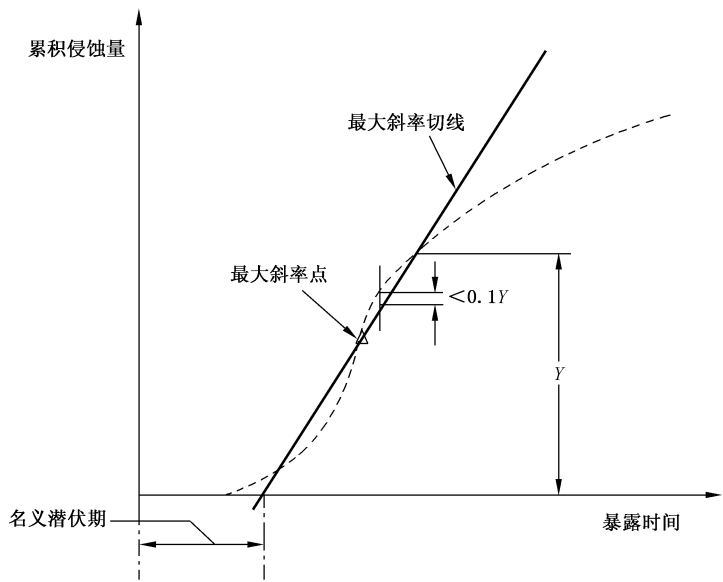
在累积侵蚀量-暴露时间曲线上绘制一条能代表其最大斜率的直线,如图 5a)所示,该直线的斜率即

为最大侵蚀速率,该直线与暴露时间轴的截距即为名义潜伏期。

若累积侵蚀量-暴露时间曲线的最大斜率仅在某一个点出现,则绘制一条穿过该最大斜率点的直线,此直线与实际曲线的最大偏差不能超过其与实际曲线的另一交点纵坐标的 1/10,如图 5b)所示,该直线的斜率即为最大侵蚀速率,该直线与暴露时间轴的截距即为名义潜伏期。



a) 最大侵蚀速率以稳态的形式出现



b) 最大侵蚀速率以瞬时极大值的形式出现

说明:

Y——穿过最大斜率点的直线与实际曲线另一交点处的累积侵蚀量。

图 5 最大斜率直线

8.3.3.3 极限侵蚀速率

若要评价材料抗液体冲击侵蚀的长期性能,可延长试验时间,若能得到趋于稳定的极限侵蚀速率,

则可以此来表征材料的抗侵蚀性能。

在累积侵蚀量-时间曲线上绘制一条穿过或逼近绝大部分代表极限侵蚀阶段测试点的直线,直线斜率即为极限侵蚀速率,见图 4a)。

8.3.3.4 结果计算

计算名义潜伏期、最大侵蚀速率、极限侵蚀速率的算术平均值,当最大值和最小值之比大于 1.5 时,取几何平均值。若需要进行参比和有理化分析见附录 A。

9 试验报告

试验报告的内容应包括以下部分或全部:

- a) 试验项目名称及本标准编号;
- b) 测试材料的详细信息;
- c) 试样描述,包括:基材和表面处理的详细描述、涂层的制备工艺及涂层厚度、纤维增强塑料巴柯尔硬度等;
- d) 测试环境条件;
- e) 试验设备;
- f) 试样架形式;
- g) 试验介质、介质温度;
- h) 设置的试验参数,包括:运转速度、液滴直径、降水量、介质流量等;
- i) 测试方法及结果;
- j) 测试方法的任何偏离;
- k) 相关方认为重要的信息(如:试样破坏照片);
- l) 测试过程观测到的特殊状态;
- m) 测试日期、试验人员及其他。

附 录 A
(规范性附录)
测试结果分析

A.1 测试结果的标称分析

A.1.1 参比材料

在测试过程中,通过引入参比材料来衡量测试材料的标称抗侵蚀性能。推荐的参比材料见表 A.1。

表 A.1 推荐的参比材料

序号	测试材料	参比材料
1	纤维增强塑料	环氧树脂基玻璃纤维复合板(不带胶衣)
2	带有涂层材料	聚氨酯

A.1.2 标称抗侵蚀性能和标称潜伏期抗侵蚀性能

在相同试验条件下,将参比材料与测试材料同时进行测试,得到其侵蚀速率和潜伏期,标称抗侵蚀性能和标称潜伏期抗侵蚀性能分别按公式(A.1)和公式(A.2)计算:

$$S_{ex/r} = \frac{Q_{ex}}{Q_{er}} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:
S_{ex/r}——标称抗侵蚀性,无量纲;
Q_{ex}——测试材料的最大体积侵蚀速率,单位为立方米每秒(m³/s);
Q_{er}——参比材料的最大体积侵蚀速率,单位为立方米每秒(m³/s)。

$$S_{ox/r} = \frac{t_{ox}}{t_{or}} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:
S_{ox/r}——标称潜伏期抗侵蚀性,无量纲;
t_{ox}——测试材料的名义潜伏期时间,单位为秒(s);
t_{or}——参比材料的名义潜伏期时间,单位为秒(s)。

A.2 测试结果的有理化分析

A.2.1 概述

如需对不同冲击条件下的结果进行定量比较,则对测试结果进行有理化分析。

A.2.2 冲击速率

冲击速率按公式(A.3)计算:

$$U_i = \frac{U_r}{1.44 \times 10^7 \times d^{0.56}} V \cos \theta \dots\dots\dots (A.3)$$



式中:

U_i ——试样暴露区域单位面积上单位时间内经受的冲击液体的量,单位为米每秒(m/s);

U_r ——降水速率,单位为米每秒(m/s);

d ——液滴直径,单位为米(m);

V ——液滴与试样的相对速度,单位为米每秒(m/s);

θ ——在冲击点处,液滴冲击方向和垂直于固体表面冲击点方向之间的角度,单位为度(°)。

A.2.3 有理化侵蚀速率

有理化侵蚀速率按公式(A.4)计算,也可用平均侵蚀深度-平均累积冲击量曲线的最大斜率来表示。

$$R_e = \frac{U_e}{U_i} = \frac{Q_e}{U_i A} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

R_e ——有理化侵蚀速率,无量纲;

U_e ——线性侵蚀速率,单位为米每秒(m/s);

U_i ——试样暴露区域单位面积上单位时间内经受的冲击液体的量,单位为米每秒(m/s);

Q_e ——体积侵蚀速率,单位为立方米每秒(m³/s);

A ——试样的暴露面积,单位为平方米(m²)。

A.2.4 有理化潜伏期

有理化的潜伏期按公式(A.5)计算:

$$N_0 = f_i t_0 = \frac{a U_i t_0}{b} = \frac{a H_0}{b} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

N_0 ——有理化潜伏期,无量纲;

f_i ——冲击频率,单位为次每秒(s⁻¹);

t_0 ——测试试样名义潜伏期时间,单位为秒(s);

a ——冲击液体在试样上的投影面积,单位为平方米(m²);

b ——液体冲击试验时,液滴的体积,单位为立方米(m³);

U_i ——试样暴露区域单位面积上单位时间内经受的冲击液体的量,单位为米每秒(m/s);

H_0 ——潜伏期内,试样暴露区域单位面积上经受的冲击液体的总量,单位为米(m)。

注:对于液滴 $a = \pi d^2 / 4$, $b = \pi d^3 / 6$,因此 $a/b = 3/2d$ 。