

中国腐蚀与防护学会标准

T/CSCP 0013-2024

输电线路杆塔及其相关设施用金属材料腐蚀程度评价方法

**Evaluation method for corrosion degree of metal materials
used in transmission line towers and related facilities**

2024-11-01 发布

2025-01-01 实施

中国腐蚀与防护学会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

本标准由中国腐蚀与防护学会提出并归口。

本标准主要起草单位：国网四川省电力公司电力科学研究院

本标准参加起草的单位：北京科技大学、国网四川省电力公司、国网福建省电力有限公司电力科学研究院、中国电力科学研究院有限公司、国网电力工程研究院有限公司、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网湖南省电力有限公司电力科学研究院、国网陕西省电力公司电力科学研究院、国网天津市电力公司电力科学研究院、国网江西省电力有限公司电力科学研究院、国网（西安）环保技术中心有限公司、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院、国网四川省电力公司凉山供电公司、国网四川省电力公司广元供电公司、国网四川省电力公司巴中供电公司、国网四川省电力公司内江供电公司、国网四川省电力公司宜宾供电公司

本标准主要起草人：李富祥、王志高、陈俊杰、兰新生、李旭旭、李训、王方强、杜翠薇、李晓刚、程学群、王昕煜、王涛、张帆、杨小佳、杨国威、王伦滔、李众、李清、徐迪、孙雷、杨体绍、田倩倩、刘涛、王杰、曾晓亮、林德源、万芯瑗、夏晓健、张强、陈云、黄路遥、郝文魁、易盼、黄耀、胡家元、周宇通、柳森、陈军君、王军、谢亿、欧阳克俭、丁德、白晓春、伍发元、张莹、于金山、夏亚龙、毛嫫、李昆、马建刚、吴跃伟、田刚、王玉龙、骆相材、刘卫东

目 录

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 未涂装金属材料腐蚀程度分级..... 3

5 未涂装金属材料腐蚀程度评定方法..... 4

6 金属材料镀锌层腐蚀程度分级..... 5

7 金属材料镀锌层腐蚀程度评定方法..... 6

8 金属材料涂层老化程度分级..... 6

9 金属材料涂层老化程度评定方法..... 8

1 范围

本标准规定了输电线路杆塔及其相关设施用未涂装金属材料及涂装后金属材料表面涂层腐蚀程度的评级方法。

本标准适用于输电线路杆塔及其相关设施用未涂装的金属材料及涂装后金属材料表面涂层腐蚀等级的评定。

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。凡是标注日期的引用文件，仅标注日期的版本适用于本文件。凡是不标注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改版）适用于本文件。

GB 8923-88 涂装前金属材料表面锈蚀等级和除锈等级

GB/T 470 锌锭

GB/T 1766 色漆和清漆 涂层老化的评级方法

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

GB/T 11186.2 涂膜颜色的测量方法 第二部分 颜色的测量

GB/T 11186.3 涂膜颜色的测量方法 第三部分 色差计算

GB/T 12608 热喷涂 火焰和电弧喷涂用线材、棒材和芯材 分类和供货技术条件

GB/T 13912 金属覆盖面 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法

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 30789.1-2015, ISO 4628-1: 2003, IDT）

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 30789.2-2014, ISO 4628-2: 2003, IDT）

GB/T 30789.3 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：生锈等级的评定（GB/T 30789.3-2014, ISO 4628-3: 2003, IDT）

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 30789.4-2015, ISO 4628-4: 2003, IDT）

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（GB/T 30789.6-2005, ISO 4628-6: 2011, IDT）

DL/T 2055-2019 输电线路钢结构腐蚀安全评估导则

ASTM D610 涂漆钢表面锈蚀程度评价的标准试验方法（Standard practice for evaluating degree of rusting on painted steel surfaces）

3 术语和定义

GB/T 10123 和 GB/T 1766 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 全面腐蚀

金属表面广泛且均匀发生的腐蚀现象，通常涵盖了整个金属暴露区域，导致材料均匀且连续地失去质量和厚度。

3.2 局部腐蚀

在材料的小区域范围内集中发生的腐蚀现象，通常形成孔洞、凹坑或裂缝，导致这些区域发生显著的材料损失和结构弱化。

3.3 镀锌层金属材料

将经过前处理的钢或铸铁制件浸入熔融的锌浴中，在其表面形成一定厚度的锌和(或)锌-铁合金镀层。热喷涂用锌金属材质应符合 GB/T 470 及 GB/T 12608 规定质量的要求。

3.4 未涂装金属材料

未进行任何表面涂装处理以提供保护或美观作用的金属材料。

3.5 涂层

施加在金属材料表面的一层或多层保护性物质，旨在防止金属材料腐蚀、提高金属材料耐候性，并增强金属材料的美观性。

3.6 腐蚀图像识别技术

使用计算机机器学习、图像处理和分析方法自动检测和识别材料表面的腐蚀现象，以便于快速评估腐蚀的程度和范围的技术。

3.7 涂层老化

涂层老化是指涂层在长期暴露于环境因素如紫外线、温度变化、湿度、化学污染等影响下，发生的性能退化、颜色变化、强度下降和附着力减弱等过程。

3.8 涂层变色

涂层因长期暴露于环境因素如紫外线、化学污染或温度变化等导致的颜色改变或褪色现象。

3.9 涂层粉化

涂层表面因长期暴露于紫外线和其他环境因素影响下而逐渐退化，导致表面变得松散并形成粉末状物质的现象。

3.10 涂层开裂

涂层在受到机械应力、环境变化或内部应力的影响下，出现从微观到宏观的裂纹，这些裂纹可能会随时间进一步扩展和深化。

3.11 涂层起泡

涂层因局部失去附着力而离开基底（底材或其下涂层）鼓起。使漆膜呈现似圆形的凸起变形。泡内可含液体、蒸汽、其他气体或结晶物。

3.12 涂层锈蚀

由于涂层的损坏或不完整导致水分和腐蚀性物质与金属材料接触而发生，导致涂层下的金属材料开始氧化或受到腐蚀。

3.13 涂层剥落

由于涂层与基底附着力不足或因环境及机械因素影响导致的涂层完整性损失，导致涂层从金属材料上脱落或分离的现象。

4 未涂装金属材料腐蚀程度分级

4.1 分级

未涂装金属材料表面的 4 个腐蚀安全等级分别以零级至三级来表示。“零级”表示无腐蚀损伤，“一级”表示轻微腐蚀损伤，“二级”表示中等腐蚀损伤，“三级”表示严重腐蚀损伤。

4.2 锈蚀等级评定

分别根据未涂装金属材料表面锈蚀形貌、锈蚀面积或平均锈蚀深度等情况对金属材料腐蚀等级进行评定。

4.2.1 锈蚀形貌等级

通过金属材料表面锈蚀形貌评定材料的锈蚀等级，金属材料表面不同等级锈蚀形貌参考标准 GB 8923-88 规定。

4.2.2 锈蚀比例等级

表 1 以金属材料表面锈蚀比例为标准的钢材腐蚀等级评定

等级	钢材表面锈蚀比例（%）
零级	钢材表面没有铁锈，锈蚀面积比例为 0%

一级	钢材表面发生轻微锈蚀，锈蚀面积比例 0-30%
二级	钢材表面发生部分锈蚀，锈蚀面积比例为 30-50%
三级	钢材表面发生极严重锈蚀，锈蚀面积比例 >50%

4.2.3 局部锈蚀深度等级

表 2 以钢材表面局部锈蚀深度为标准的钢材腐蚀等级评定

等级	钢材表面局部锈蚀深度 (mm)
0	0 mm
1	<0.1 mm
2	0.1-0.35 mm
3	>0.35 mm

5 未涂装金属材料腐蚀程度评定方法

5.1 金属材料表面腐蚀形貌评定方法

a) 目视评定

使用肉眼或放大镜观察金属材料表面，记录锈蚀、变形和裂纹情况。

b) 腐蚀图像识别技术

使用图像识别软件分析金属材料表面的锈蚀情况。

5.2 金属材料表面锈蚀比例评定方法

a) 腐蚀图像识别技术

使用图像识别技术计算金属材料表面的锈蚀面积比例。

5.3 金属材料表面锈蚀深度评定方法

a) 锈蚀深度测量技术

一般情况下采用点蚀深度测量仪测量点蚀深度，方法见标准 GB/T 18590-2001 中

4.2.3。

b) 腐蚀图像识别技术

使用图像识别软件计算分析金属材料表面的平均锈蚀深度。

6 金属材料镀锌层腐蚀程度分级

6.1 分级

依据输电线路杆塔镀锌钢结构的腐蚀演化规律与各阶段典型形貌特征,将一般钢构件分为 6 个腐蚀安全等级。镀锌钢表面镀锌层的不同等级锈蚀形貌参考标准 DL/T 2055-2019 规定。

6.2 镀锌层锈蚀程度等级评定

表 3 镀锌层锈蚀程度等级评定

等级	锈蚀程度
A 级: 微腐蚀	钢铁基体与表面镀锌层均完好。没有明显可见锈蚀,也没有明显颜色变化。表面镀锌层保持原来的青灰色或青白色,表面光滑平整。
B 级: 弱腐蚀	钢铁基体完好,镀锌层发生较明显腐蚀,钢铁基体没有明显锈蚀,但表面镀锌层颜色发生变化。局部镀锌层颜色变成暗灰色或灰黑色,或出现白锈、锌盐产物。
C 级: 轻腐蚀	镀锌层腐蚀消耗显著,钢铁基体出现轻微点锈,但点锈尚未连结成片。表面镀锌层出现棕色锈点,用手摸粗糙不平,有毛刺感,表明已露出钢铁基体。如果为均匀腐蚀,锈蚀面积小于 3%,对应 ASTM D61 中的 6 级~9 级锈蚀图片。如果为局部腐蚀,单个黄锈斑面积小于 1 cm ² 。
D 级: 中腐蚀	钢铁基体发生中等强度腐蚀。钢结构表面出现明显的黄锈,黄锈已初步联结成片,较大面积的锈斑主要在构件边角产生。如果为均匀腐蚀,3%≤锈蚀面积<10%,对应 ASTM D610 中 4 级~5 级锈蚀图片;如果为局部腐蚀,1 cm ² ≤单个黄锈斑的面积<4 cm ² ,有可见蚀坑时最大腐蚀深度小于 0.5 mm。
E 级: 重腐蚀	钢铁基体发生较重腐蚀。钢结构表面出现较大的黄锈并联结成片,边角和中间区域均发生。如果为均匀腐蚀,10%≤锈蚀面积<33%,对应 ASTM D610 中的 3 级~4 级锈蚀图片;如果为局部腐蚀,4 cm ² ≤单个黄锈斑的面积<9 cm ² ,有明显蚀坑,0.5 mm≤最大腐蚀深度<1 mm,
F 级: 极重腐蚀	钢铁基体发生严重腐蚀。钢结构表面出现大面积黄锈,且常伴随黄锈联结成片或分层、起壳、穿孔现象。如果为均匀腐蚀,锈蚀面积不小于 33%,对应 ASTM D610 中的 1 级~2 级锈蚀图片。如果为局部腐蚀,单个黄锈斑的面积不小于 9 cm ² ,或有严重蚀坑,最大腐蚀深度不小于 1 mm。

7 金属材料镀锌层腐蚀程度评定方法

a) 目视检查

腐蚀形貌采用直接的目视检查，宜近距离目视，必要时可使用 7 倍~10 倍放大镜，远距离可采用普通望远镜或数码望远镜观察。

b) 成像观察

拍照宜采用百万以上像素的成像设备，拍摄距离宜选择距钢结构 20 cm~50 cm 范围。

c) 图谱对比

腐蚀等级的初步评定采用对照腐蚀特征图谱的方法目视评定。腐蚀特征图谱参考标准 DL/T 2055-2019 规定。

d) 钢铁基体腐蚀面积评定

腐蚀面积比例采用对照 ASTM D610 锈蚀分级图片的方法目视评定。

8 金属材料涂层老化程度分级

8.1 分级

涂装后金属材料表面的六个腐蚀等级分别以 0 至 5 的数字来表示。“0”表示无破化，即无可察觉的变化；“1”表示很轻微破坏，即刚可察觉的变化；“2”表示轻微破坏，即有明显察觉的变化；“3”表示中等破坏，即有很明显察觉的变化；“4”表示较大破坏，即有较大的变化；“5”表示严重破坏，即有强烈的变化。

8.2 涂层老化等级评定

金属材料表面涂层老化等级可分别根据变色程度、粉化程度、开裂程度、起泡程度、锈蚀程度或剥落程度等方面进行评定。涂层如有数种破坏现象，评定破坏等级时，应按照最严重的一项评定。

8.2.1 金属材料表面涂层变色程度等级

表 4 以金属材料表面涂层变色程度等级评定

等级	变色程度的色差值/ ΔE^*	变色程度
0	≤ 1.5	无变色
1	1.6-3.0	很轻微变色
2	3.1-6.0	轻微变色
3	6.1-9.0	明显变色
4	9.1-12.0	较大变色
5	> 12.0	严重变色

8.2.2 金属材料表面涂层粉化程度和等级

表 5 以金属材料表面涂层粉化程度等级评定

等级	粉化程度
0	无粉化
1	很轻微，胶带上微量颜料粒子
2	轻微，胶带上少量颜料粒子
3	明显，胶带上较多颜料粒子
4	较重，胶带上很多颜料粒子
5	严重，胶带上大量颜料粒子

8.2.3 金属材料表面涂层开裂数量和大小等级

当测试区域存在多种尺寸大小的裂纹时，若采用裂纹尺寸进行开裂等级评定，则选择裂纹数量较多且较典型的区域中最大的裂纹作为该测试区域裂纹大小等级。

参考被裂纹穿透的涂层体系来确定裂纹的深度。导致开裂失效的三种类型：

- a) 最面层涂层没有完全穿透（即：龟裂）；
- b) 裂纹穿透了面涂层，但对下面的涂层影响不大；
- c) 裂纹穿透了整个涂层体系。

评级过程必须保持良好的光照条件。

表 6 以金属材料表面涂层开裂数量和大小等级评定

涂层开裂数量等级		涂层开裂大小等级	
等级	开裂数量	等级	开裂大小
0	无可见的开裂	S0	10 倍放大镜下无可见开裂
1	很少几条，小的几乎可以忽略的开裂	S1	10 倍放大镜下才可见开裂
2	少量，可以察觉的开裂	S2	正常视力下目视刚可见开裂
3	中等数量的开裂	S3	正常视力下目视清晰可见开裂
4	较多数量的开裂	S4	基本达到 1 mm 宽的开裂
5	密集型的开裂	S5	超过 1 mm 宽的开裂

8.2.4 金属材料表面涂层起泡密度和大小等级

表 7 以金属材料表面涂层起泡密度和大小等级评定

涂层起泡密度等级		涂层起泡大小等级	
等级	起泡密度	等级	起泡大小（直径）
0	无泡	S0	10 倍放大镜下无可见的泡
1	很少，几个泡	S1	10 倍放大镜下才可见的泡
2	有少量泡	S2	正常视力下目视刚可见的泡

3	有中等数量的泡	S3	<0.5 mm 的泡
4	有较多数量的泡	S4	0.5 mm-5 mm 的泡
5	密集型的泡	S5	>5 mm 的泡

8.2.5 金属材料表面涂层锈点数量和大小等级

表 8 以金属材料表面涂层锈点数量和大小等级评定

涂层锈点数量等级			涂层锈点大小等级	
等级	生锈状况	锈点数量 (个)	等级	锈点大小 (最大尺寸)
0	无锈点	0	S0	10 倍放大镜下无可见的锈点
1	很少, 几个锈点	≤ 5	S1	10 倍放大镜下才可见的锈点
2	有少量锈点	6-10	S2	正常视力下目视刚可见的锈点
3	有中等数量锈点	11-15	S3	<0.5 mm 的锈点
4	有较多数量锈点	16-20	S4	0.5 mm -5 mm 的锈点
5	密集型锈点	>20	S5	>5 mm 的锈点

8.2.6 金属材料表面涂层剥落面积和大小等级

表 9 以金属材料表面涂层剥落面积和大小等级评定

涂层剥落面积等级		涂层剥落大小等级	
等级	剥落面积 (%)	等级	剥落大小 (最大尺寸)
0	0	S0	10 倍放大镜下无可见剥落
1	≤ 0.1	S1	≤ 1 mm
2	≤ 0.3	S2	≤ 3 mm
3	≤ 1	S3	≤ 10 mm
4	≤ 3	S4	≤ 30 mm
5	>15	S5	>30 mm

9 金属材料涂层老化程度评定方法

9.1 变色程度评价方法

依据 GB/T 11186.2 和 GB/T 11186.3 规定的方法测定和计算老化前与老化后的涂层

之间的总色差值。

9.2 粉化程度评价方法

涂层的粉化程度评定依据 ISO 4628-6 规定。

9.3 开裂程度评价方法

使用目测观察计算方法或腐蚀图像识别技术计算涂层开裂的宽度和深度。涂层开裂程度如图 1 所示。

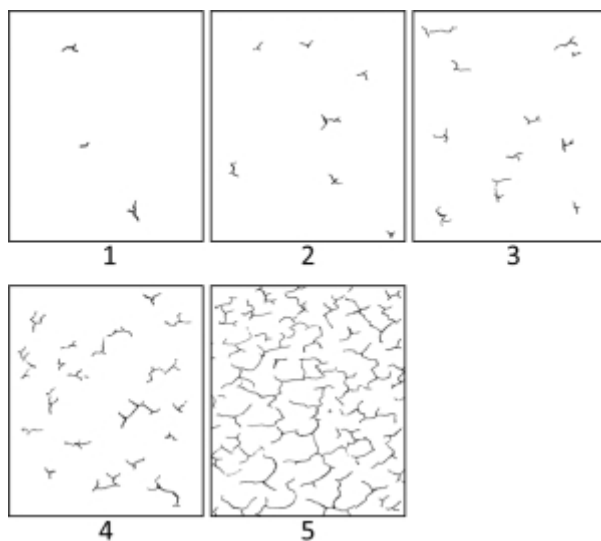


图 1 涂层开裂程度示意图

9.4 起泡程度评价方法

使用目测观察计算方法或腐蚀图像识别软件计算涂层起泡的直径大小和数量。涂层起泡程度如图 2 所示。

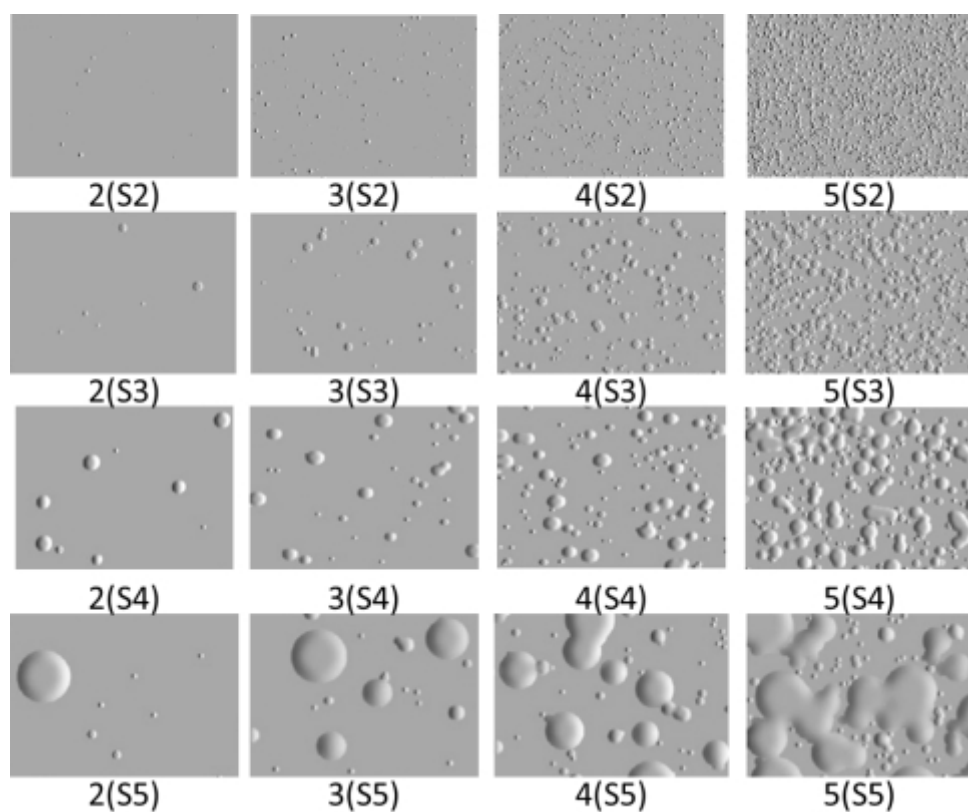


图 2 涂层起泡程度示意图

9.5 锈蚀程度评价方法

使用目测观察计算方法或腐蚀图像识别技术计算涂层表面锈点直径大小和数量。涂层锈蚀程度如图 3 所示。

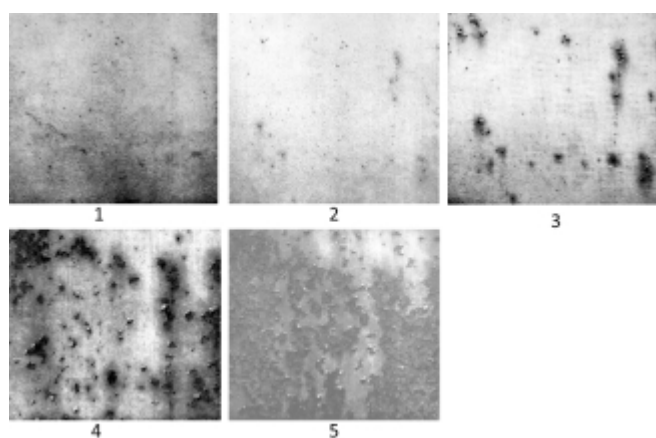


图 3 涂层锈蚀程度示意图

9.6 剥落程度评价方法

使用目测观察计算方法或腐蚀图像识别技术计算涂层表面剥落面积比例和深度。涂层剥落程度如图 4 所示、

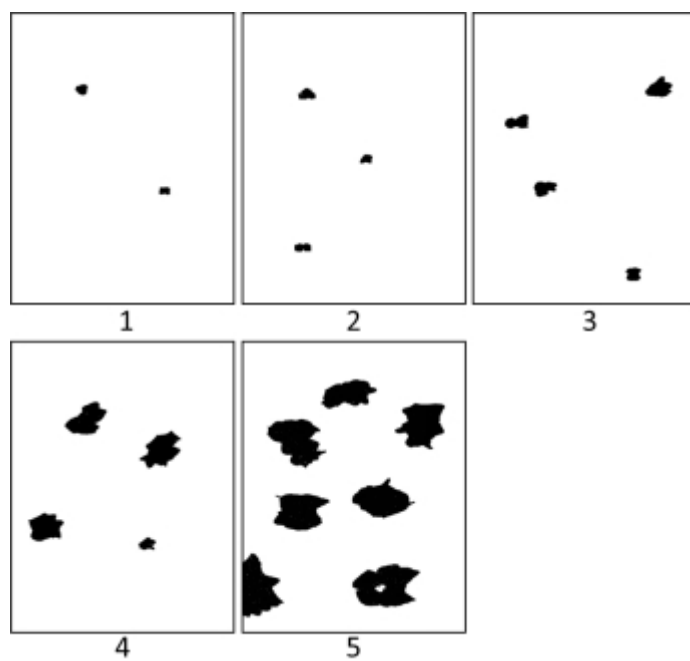


图 4 涂层剥落程度示意图