

腐蚀与加速老化综合试验： 十几年研究验证了这一理念

J Quill, J Gauntner, S Fowler和J Regan

Q-Lab Corporation, 800 Canterbury Road, Cleveland, Ohio 44145, USA

(美国俄亥俄州克利夫兰市)

当涂层受紫外光照射质量下降时，常常更加不耐腐蚀。上世纪九十年代初，ISO和ASTM就规范了腐蚀与加速老化综合试验方法。当前，该方法仍被视为确定工业维护涂层有效性的最有效的试验方法。

本文回顾了不同工业维护涂层系统目前进行该试验的结果，包括较低挥发性有机化合物涂层，如水性丙烯酸涂层和硅基涂层。此外，一些行业专家针对腐蚀/老化试验提出了他们的见解，同时推荐针对特殊应用而开发改进的试验循环。

背景

腐蚀加速试验是用于测试耐腐蚀性能的优选方法。在加速试验中，相比运行环境，实验室暴露条件与实际环境越接近，得到的数据则越有用。

传统的、应用最广泛的腐蚀加速方法是盐雾法，即在35°C下连续喷洒5%的盐溶液。该试验(ASTM B117)在1914年左右首次应用于腐蚀试验。即使长期以来人们都知道传统盐雾法不能最大程度的模拟运行环境，然而在很多材料规范中它都被列为必备试验方法。

上世纪六十年代初，工程师和科学家们就尝试建立循环腐蚀试验方法，以更准确地预估出材料的腐蚀性。相比传统的稳态暴露方法，循环腐蚀试验更具有现实意义。由于实际暴露环境通常包括潮湿和干燥两种条件，因此应在这些自然循环条件试验后再进行实验室加速试验。研究证明，采用循环腐蚀试验，其相对腐蚀率、结构和形态与户外更接近。因此，相比传统的盐雾试验，循环腐蚀试验通常与户外环境具有更好的相关性。[A]

目前已设计开发出多种不同的循环腐蚀试验方法。简单循环法(如Prohesion，该方法尤其适用于测定工业维护涂层)包括盐雾和干燥条件之间的循环。更精密的方法则需要采用包含多个步骤的循环，除盐雾和干燥外，还包括静置、潮湿、饱和湿度或其它条件。这些试验均采用潮湿/干燥循环，以开发模拟更接近户外循环条件的实验室条件。腐蚀与加速老化综合试验方法是循环试验的一种，由Sherwin Williams公司的研究人员于上世纪八十年代开发出，用于检测工业维护涂层。

腐蚀与加速老化综合试验

Sherwin Williams研究人员通过Prohesion试验研究三种涂层系统，发现在多个涂层作用时Prohesion本身并不会将不同类别进行区别(醇酸(铬酸锌抑制剂) - 醇酸外涂层；丙烯酸乳胶(偏硼酸钡抑制剂) - 丙烯酸乳胶外涂层；环氧聚酰胺(磷酸锌抑制剂) - 环氧聚酰胺外涂层)。[B]

理论上，随着紫外光曝晒涂层质量下降，会降低耐腐蚀性能，因此开发设计出新的腐蚀与加速老化综合试验方法。新的试验方法综合了Prohesion(ASTM G85)和QUV®紫外光曝晒两种试验法(ASTM G154)。

在进行了新的循环腐蚀与加速老化综合试验后，三个涂层系统的性能排序与实际运行环境的排序保持一致(见表1)。同时发现，相比仅使用Prohesion法或传统盐雾法，产品的总腐蚀率和形态与户外情况更加接近。

Sherwin Williams的研究员Brian Skerry总结认为，腐蚀与加速老化综合试验的排序结果与户外的排序结果最为接近。但也不难推断出，曝晒温度、试验时间和循环顺序最好与最终应用环境的相同。[C, D]

曝晒条件	排序(最好到最差)
户外 — 海洋环境	乳胶>醇酸树脂>环氧
户外 — 工业环境	乳胶=醇酸树脂>环氧
传统盐雾方法	环氧>醇酸树脂>乳胶
Prohesion方法	乳胶=醇酸树脂 = 环氧
腐蚀与加速老化综合试验方法	乳胶>醇酸树脂>环氧

表1: Sherwin Williams 户外与实验室曝晒的排序关系

腐蚀与加速老化试验循环

腐蚀与加速老化试验循环包括一周的Prohesion试验和一周的QUV加速老化试验交替进行，试验条件如表2所述。一般试验持续约2000小时。

	腐蚀循环(1周, Q-FOG® CCT试验箱)	QUV循环(1周)
试验循环	在25°C(或室温)下喷雾1小时 35°C下干燥1个小时*	60°C下, UVA-340灯管, 紫外光曝晒4个小时 50°C下冷凝4个小时(纯水)
试验条件说明	* 通过往试验箱内输送新鲜空气, 来进行干燥, 这样在3至4个小时内, 样品上所有可见的水滴均可烘干。	Prohesion电解溶液: 0.05%氯化钠+0.35%硫酸铵 溶液酸度: pH 5.0 - 5.4 典型时长: 2,000小时

表2: 腐蚀与加速老化试验循环的试验条件

随着时间的推移, 证明腐蚀与加速老化综合循环试验可对水性涂层的性能进行有效等级评估。该方法应用于上世纪九十年代中期(ISO 11997-1&2和ASTM D5894)。颜色和光泽保持率均在ASTM D5894标准中有所说明。

验证腐蚀与加速老化综合试验

克利夫兰涂层学会(CCS)、钢结构油漆委员会(SSPC)和几家制造商已对腐蚀与加速老化综合循环试验进行了深入研究。研究已证明, (相比其它加速腐蚀试验)该试验方法可更真实模拟表面形态劣化、腐蚀产品形成和相对涂层性能。采用综合试验法得出的试验结果与户外评估结果更接近(见表3)。

钢结构油漆委员会(SSPC)对15个不同的系统进行了试验, 包括醇酸、丙烯酸、环氧和聚氨酯橡胶。SSPC比较了腐蚀与加速老化综合试验、传统盐雾试验、采用5%氯化钠溶液的循环盐雾试验、Prohesion试验和两种循环浸渍试验的结果与户外腐蚀的结果(31个月)。

实验室试验方法	与恶劣海洋环境的关联系数
传统盐雾试验	-0.11
Prohesion试验	0.07
循环浸渍试验	0.48
循环浸渍与紫外光照综合试验	0.61
腐蚀与加速老化综合试验	0.71

表3: 不同试验循环和实际海洋环境的相关性

SSPC研究确认, 腐蚀与加速老化综合试验可提供与恶劣户外海洋暴露条件最一致的环境。[E, F]

克利夫兰涂层技术学会(CSCT)研究了多个实验室加速腐蚀试验与恶劣户外运行环境的相关性。研究的加速试验包括盐雾(ASTM B117)、潮湿-干燥循环(5%盐溶液)、Prohesion和腐蚀与加速老化综合试验。户外试验场包括新泽西州、北卡罗莱纳州海岸、佛罗里达州、加利福尼亚内陆、加利福尼亚海岸、俄亥俄州、密苏里州以及俄勒冈州。试验样品是以冷轧钢为底板的9种涂层。

评估方法包括常用于评估漏电、生锈、起泡、丝状腐蚀和镜面光泽的ASTM评估法。用Spearman相关系数来比较户外结果与实验室结果。

比较起泡和表面生锈程度时，CSCT发现ASTM B117盐雾法与户外环境相关性不大。采用5%氯化钠溶液的潮湿-干燥试验法比B117盐雾法的相关性稍好。腐蚀与加速老化综合法与大多数户外试验场的相关性较好。[G]

美国国家公路与运输协会（AASHTO）进行15个腐蚀与加速老化综合试验循环，对专用于钢铁表面（如桥梁）的富锌底漆的涂层系统进行评估。如Corbett所说：“ASTM B117更常被称作“盐雾”法，是腐蚀试验公认的行业标准，有些人认为该标准已过时，而倾向于使用ASTM D5894标准。ASTM D5894是综合腐蚀试验和紫外光暴露试验的循环腐蚀试验法，该方法与‘现实世界’环境条件更接近。”[H]

腐蚀与加速老化综合试验法修改

由于在加速的形式下模拟大气腐蚀，ASTM D5894一般公认为是传统盐雾试验（B117）的实质性改进。然而很少有一个试验就能充分展示出在复杂环境中（内陆炼油厂）使用的涂层特点。“将有意义的试验方案综合起来的第一步是定义涂层工作的环境。”[I]

多年来，许多研究人员对腐蚀与加速老化循环法进行修改，以适用于特定材料或应用。以下为几个相关示例：

荒漠工业环境是非常特殊的一种情况。实践证明，在科威特等工业区的条件下，涂层劣化似乎比开发大部分涂层的西方国家更迅速。在11个工业涂层系统的研究中，将来自科威特工业地带的五个区域的两年半的数据与主要工业环境条件的相关涂层性能进行比较。

实验室试验包括对较早期腐蚀与加速老化试验项目进行修改等。采用了不同的循环和方案，以便更好地模拟科威特的工业环境。实验室试验综合了采用5%氯化钠和3000ppm硫酸溶液进行100小时的盐雾试验，然后室温下干燥16小时，再在60°C下的QUV条件下暴露12小时，最后在40°C下冷凝12小时。研究人员发现该试验循环可提供与科威特工业环境极为相关的条件。[J]

国际集装箱出租商协会（IICL）针对集装箱涂层已采用腐蚀与加速老化综合循环试验的更新版本进行试验。由于集装箱需要在海上运输的特点，从而增加了腐蚀的潮湿时间（试验规定在30°C下喷雾4小时，在40°C下干燥2小时）。[K]

美国联邦公路管理局发现ASTM D5894标准的“逻辑试验方法”是针对较热气候的，从而制定出了针对较冷气候的包含冷冻/融化循环的改进版暴露程序。其变更包括测试桥梁涂层的机械应力和考虑了热循环。进行紫外光和连续冷凝的循环后进入低温期，最后再进行盐雾和干燥循环。该循环条件参见法国标准NF T 34-600-1997的附录B。[L]

Rohm和Haas对ASTM D5894试验稍加修改，采用较低的冷凝和紫外光暴露温度。针对其涂层，Rohm和Haas“发现该循环试验的结果与户外暴露的结果更接近。”[M, N]

结论

在其制定了20年后，工业专家仍一致认为，腐蚀与加速老化综合试验法是测试易受光照影响发生退化的涂层耐腐蚀性的最佳方式。该方法已经过一系列的相关加速和户外试验结果的验证。[O]

研究人员通过修改ASTM和ISO中的原方法，加入酸性溶液、进行冷冻/融化循环和其它调整，开发出与产品的最终使用环境更接近的条件，对试验结果进行了成功验证。

Sherwin Williams公司的Skerry 对此进行了最好的总结：“虽然强烈推荐（腐蚀与加速老化综合试验法），但这个实验方法并不是万灵药。性能关联性的量化、试验循环条件以及试验时长因素优化方面，还有待进一步改善。尽管如此，该方法仍是目前最可行的试验方法。它提供了多种可能性，使我们能针对特定用户需求进行客观化修改。”[P]

鸣谢

特别感谢Gary Cornell对本文的大力协助。

References

- A Cremer N D, 'Prohesion compared to salt spray and outdoors: cyclic methods of accelerated corrosion testing,' Federation of Societies for Coatings Technologies *Paint Show*, 1989
- B Skerry B S, A Alavi and K I Lindren, 'Environmental and electrochemical test methods for the evaluation of protective organic coatings,' *Journal of Coatings Technology*, 60, (765), 97–106, October 1988
- C Skerry B S, 'Combined corrosion/weathering accelerated testing of coatings for corrosion control,' *The NACE Annual Conference and Corrosion Show*, March 1991
- D Simpson C H, C J Ray and B S Skerry, 'Accelerated corrosion testing of industrial maintenance paints using a cyclic corrosion weathering method,' *Journal of Protective Coatings and Linings*, 8, (5), 28–36, May 1991
- E Boocock, SK 'A report on SSPC Programs to Research Performance Evaluation Methods,' *Journal of Protective Coatings and Linings*, October 1994
- F Boocock, SK 'Meeting Industry Needs for Improved Tests,' *Journal of Protective Coatings and Linings*, September 1995)
- G 'Correlation of Accelerated Exposure Testing and Exterior Exposure Sites, Part III.: Two Year Results' The Cleveland Society for Coatings Technology Technical Committee, Federation of Coatings Technology, *Paint Show* 1995
- H Corbett W, 'The future of bridge coating: a national qualification system for structured steel coatings,' *Journal of Protective Coatings and Linings*, 14–16, 95–98, January 2002
- I Weldon, D 2000, 'Which Accelerated Test Is Best?,' *Journal of Protective Coatings and Linings*, 23, August 2000
- J Carew J, A Al-Hashem, W T Riad, M Othman and M Islam, 'Performance of coating systems in industrial atmospheres on the Arabian Gulf,' *Material Performance*, December 1994
- K Brennan, Grossman and Raymond, 'The development and application of corrosion/weathering cyclic testing,' Australian Corrosion Conference, November 2001
- L Artificial weathering cycles critiqued,' *Journal of Protective Coatings and Linings*, 50, June 2002
- M Bacho A M, L Procopio, L, Vandry and D Scott, 'Surface-tolerant elastomeric water-borne acrylic coatings for the protection of steel,' *PACE*, 2005
- N Campbell, C, Procopio, L, 'The Performance of Waterborne Acrylic Coatings in Accelerated Testing Protocol.
- O Gardner G, 'Recently developed ASTM test addresses interactive effects of weathering and corrosion,' *PACE*, 88, February 1999
- P Skerry, B, 'Which Accelerated Test Is Best?,' *Journal of Protective Coatings and Linings*, 17, August 2000

References Identified in Text by Letters as Shown

- 1 ASTM B117, Method of Salt Spray (Fog) Testing
- 2 ASTM G85, 'Practice for modified salt spray (fog) testing'
- 3 ASTM G154, 'Practice for operating fluorescent light apparatus for exposure of non-metallic materials' E
- 4 ASTM D5894–05, 'Standard practice for cyclic salt fog/UV exposure of painted metal, alternating exposures in a fog/dry cabinet and a UV/condensation cabinet'
- 5 ISO-11997–1, 'Determination of resistance to cyclic corrosion conditions – Part 1: Wet (salt fog)/dry/humidity'
- 6 ISO-11997–2, 'Paints and varnishes – determination of resistance to cyclic corrosion conditions – Part 2: Wet (salt fog)/dry/humidity/UV light'

Q-Lab Corporation

www.q-lab.com



Q-Lab Headquarters
Westlake, OH USA
Tel: +1-440-835-8700
info@q-lab.com

Q-Lab Florida
Homestead, FL USA
Tel: +1-305-245-5600
q-lab@q-lab.com

Q-Lab Europe, Ltd.
Bolton, England
Tel: +44-1204-861616
info.eu@q-lab.com

Q-Lab Arizona
Buckeye, AZ USA
Tel: +1-623-386-5140
q-lab@q-lab.com

Q-Lab Deutschland GmbH
Saarbrücken, Germany
Tel: +49-681-857470
vertrieb@q-lab.com

Q-Lab China 中国代表处
Shanghai, China 中国上海
电话: +86-21-5879-7970
info.cn@q-lab.com