

CR4 级碳钢板加速腐蚀与户外曝晒的相关性研究

宋元

(上海建科检验有限公司, 上海 201108)

摘要: 将用于汽车零部件和电子电器等高标准产品冲压的材料——CR4 级碳钢板作为研究对象, 研究了中性盐雾腐蚀试验和户外曝晒测试的相关性。研究结果表明, 行业经验分享提及的“48h 中性盐雾试验可反映产品在自然环境下使用 2 年”不具有参考性。结合进一步的测试结果, 本文具体介绍了相关的试验方法, 探讨了相关性差的原因, 希望能为相关领域的发展提供一些参考和经验。

关键词: CR4 级碳钢板; 中性盐雾腐蚀; 户外曝晒; 相关性

腐蚀是材料破坏的主要形式之一, 据报道, 全世界每年因金属材料腐蚀环境造成的直接影响经济损失约 7000 亿美元, 我国因金属腐蚀问题造成的损失占国民生活生产总值的 2%~4%。为此, 金属大气腐蚀研究具有重要的意义。

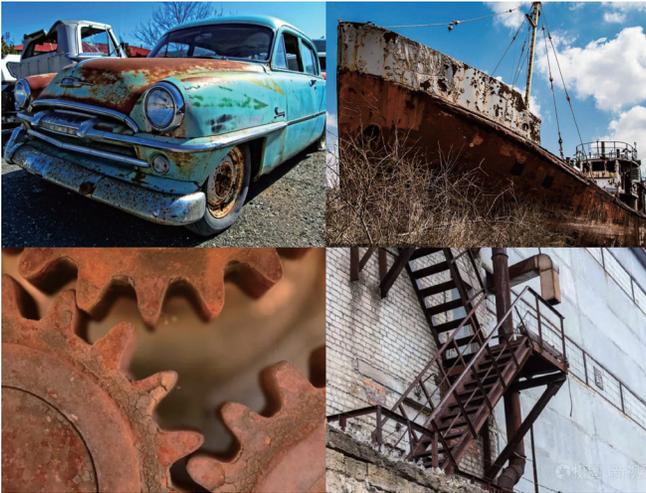


图 1 户外金属腐蚀情况

户外曝晒测试可以最直接反映金属材料在其服役环境下的腐蚀情况。然而, 户外曝晒腐蚀过程缓慢, 需要很长周期才能反映腐蚀效果。作为替代方案, 实验室加速腐蚀的方法被广泛研究, 它能在短期内快速地、真实的再现材料在自然大气环境条件下的失效规律。

加速腐蚀试验结果与大气暴露试验结果的相关性已成为大气腐蚀研究领域的热点之一。一些行业经验分享提出, 48h 中性盐雾试验可反映产品在自然环境下使用 2 年的状况。

CR4 级碳钢板是一种用于汽车零部件以及电器产品零部件等高标准产品冲压的材料, 抗拉强度高, 韧性好。此经验在 CR4 级冷轧碳钢板上是否有借鉴意义, 本论文对此进行了详细研究。

一、试验条件及方法

测试用 CR4 级碳钢板为国产 ISO 3574-CR4 级冷轧碳钢板, 其化学组成成分分析见表 1, 试样板厚 $1\text{ mm} \pm 0.2\text{ mm}$, 试样尺寸 $150\text{ mm} \times 70\text{ mm}$, 表面磨光, R_a 为 $0.8\text{ mm} \pm 0.3\text{ mm}$, 采用 3 件平行样。

表 1 试验用 CR4 级冷轧碳钢的主要化学成分 (wt%)

钢种	C	Mn	P	S	Ti	Alt
CR4 级碳钢	≤ 0.08	≤ 0.300	≤ 0.020	≤ 0.020	≤ 0.02	≥ 0.015

实验室中性盐雾测试条件见表 2。采用清水冲洗试样表面, 清洗后的试样用吹风机吹干, 称重, 精确到 $\pm 1\text{ mg}$ 。试验后, 在 $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, 20% (质量分数) 的分析纯级别的柠檬酸二胺 (NH_4) $2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7$ 中浸泡 10 min, 浸泡后, 先用清水清洗试验, 再用乙醇清洗, 吹风机吹干后称重。

表 2 实验室中性盐雾腐蚀试验方案

试验设备	试样编号	关键试验条件	试验标准
Q-fog CCT 型盐雾试验箱 (CCT600)	01#-03#	盐溶液浓度: $50\text{ g/L} \pm 5\text{ g/L}$ pH 值: 6.5 ~ 7.2 沉降率: $1.5\text{ mL/h} \pm 0.5\text{ mL/h}$ (80 cm^2) 试验温度: $35^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 试样放置: 25° ? 测试时间: 48 h	GB/T 10125-2012

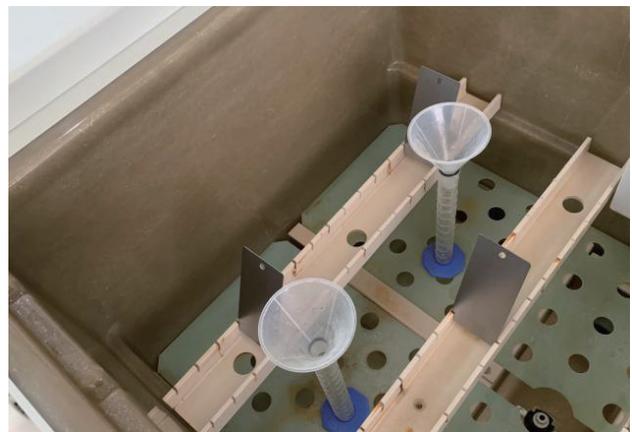


图 2 样品在盐雾试验箱中的放置状态

实验室中性盐雾选用 Q-fog CCT 型盐雾试验箱 (CCT600), 利用此设备进行的 2021 年上海市检验检测机构能力验证 (SHSCJG-2021-03 金属材料腐蚀试验) 评价结果为“满意”, 故此设备能满足本研究的需要。



图 3 Q-fog CCT 型盐雾试验箱 (CCT600)

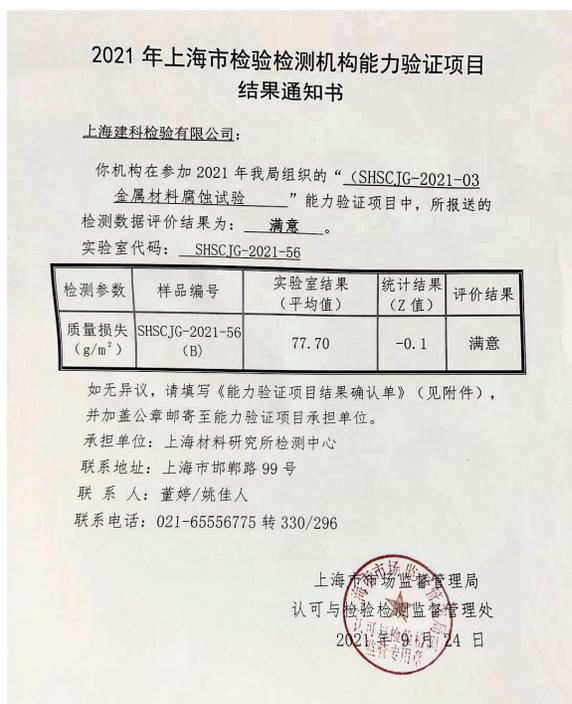


图4 2021年上海市检验检测机构能力验证(SHSCJG-2021-03金属材料腐蚀试验)评价结果

户外曝晒选在上海建科金山园区户外曝晒测试场,考虑产品在户外使用时可能存在接受阳光直射、不接受阳光直射两种情况,设计了表3的户外曝晒试验方案。每组测试均采用3件平行样。试样试验前后的处理方式和实验室中性盐雾腐蚀试验保持一致。图1是试样在户外曝晒测试台架上的放置状态。

表3 户外曝晒试验方案

试验设备	试样编号	关键试验条件	试验标准
户外曝晒测试台架(有顶棚)	04#~06#	试样放置角度: 45° 测试时间: 12周	STD 5711, 101
户外曝晒测试台架(无顶棚)	07#~09#	试样放置角度: 45° 测试时间: 12周	STD 5711, 101



图5 试样在户外曝晒测试台架上的放置状态

二、试验结果与分析

(一) 试验后试样表面腐蚀形貌

试验后,实验室中性盐雾腐蚀试验和户外曝晒测试试样均出现了明显腐蚀。图2是试样48h中性盐雾腐蚀试验后的状态,图3是试样12周户外曝晒测试(有顶棚)后的状态,图4是试样12周户外曝晒测试(无顶棚)后的状态。



图6 试样48h中性盐雾腐蚀试验后的状态



图7 试样12周户外曝晒测试(有顶棚)后的状态



图8 试样12周户外曝晒测试(无顶棚)后的状态

从腐蚀程度看,呈现出以下特点:

1. 经48h测试后,中性盐雾腐蚀试样仍有部分区域未发生腐蚀,表面腐蚀率约50%~70%,且腐蚀层并不致密;
2. 经12周测试后,户外曝晒测试试样100%完全腐蚀,并且腐蚀层十分致密;
3. 在户外曝晒测试中,对比有顶棚遮的试样和直接曝晒的试样,直接曝晒试样腐蚀层颜色更深。

(二) 试验后试样质量变化

表4 试验后试样质量变化(中性盐雾、户外曝晒)

试样编号	试验前质量(g)	试验后质量(g)	质量差(g)	平均质量差(g)
01#	80.708	79.941	-0.767	-0.730
02#	81.249	80.502	-0.747	
03#	81.193	80.517	-0.676	
04#	80.795	81.298	+0.503	+0.544
05#	80.942	81.536	+0.594	
06#	80.944	81.479	+0.535	
07#	80.949	81.640	+0.691	+0.679
08#	80.733	81.360	+0.627	
09#	80.928	81.646	+0.718	

根据实验前后试样质量变化数据,有以下发现:

1. 经 48h 测试后,中性盐雾腐蚀试样质量发生减少,试样平均质量差为 -0.730g;

2. 经 12 周测试后,户外曝晒测试试样质量发生增加,直接曝晒试样质量差最大,达到 +0.679g,与中性盐雾腐蚀试样相比,质量差异达到 1.409g;

综上,研究发现 CR4 级冷轧碳钢板中性盐雾测试和分享结果的参考性很差,48h 中性盐雾无法表征产品在自然大气环境下使用 2 年的情况。

(三) 测试结果相关性不好的原因分析

1. 不同金属材料的腐蚀速率不同

盐雾对金属材料的腐蚀主要是由于导电盐溶液渗入金属形成“低电位金属-电解质溶液-高电位杂质”微电池体系的电化学反应引起的,在这种体系中,电子转移发生,金属作为阳极溶解,形成一种新的化合物,即腐蚀产物。不同金属材料,阳极电位不同,腐蚀速率也因此不同,故不能进行笼统可以认定研究实验室中性盐雾与户外曝晒测试的相关性。

为此,针对中性盐雾测试,重新选择新样,持续进行测试,直到试样表面腐蚀程度和自然大气环境使用 12 周时相当,即停止试验。试样质量变化见表 5。

表5 试验后试样质量变化(中性盐雾)

试样编号	测试条件及时长	试验前质量(g)	试验后质量(g)	质量差(g)	平均质量差(g)
10#	GB/T10225-2012 测试 400h	81.133	81.631	+0.498	+0.519
11#		81.108	81.652	+0.544	
12#		80.987	81.500	+0.513	
13#	GB/T10225-2012 测试 500h	80.927	81.563	+0.636	+0.692
14#		80.851	81.564	+0.713	
15#		80.943	81.669	+0.726	

试验结果显示,试样 400h 中性盐雾试验后的状态和 12 周户外曝晒测试结果(有顶棚)比较接近;试样 500h 中性盐雾试验的状态和 12 周户外曝晒测试(无顶棚)比较接近。

2. 试样放置角度

金属试样放置角度的变化会严重影响水平面上的投影面积和试样表面的盐雾沉积。投影面积越大,腐蚀程度越高。实验室中性盐雾腐蚀试验方案中,试样放置角度为 25°,户外曝晒测试试样放置角度为 45°。未来可考虑测试采用相同的测试角度,减少干扰。

3. 沿海地区腐蚀影响

上海建科金山园区处于沿海,户外曝晒测试台架位于 6 层高楼楼顶,周围无遮挡物,这为加速腐蚀提供了有利环境。未来可以考虑在多地设计户外曝晒测试台架,研究不同地域的相关性。

三、结论

1. 对比试验样板的表面状态、质量损失,CR4 级冷轧碳钢板中性盐雾测试 48h 中性盐雾无法表征产品在自然环境下使用 2 年。经过持续对比测试发现,试样处理 400h 的状态和户外曝晒测试(有顶棚)比较接近,试样处理 500h 的状态和户外曝晒测试(无顶棚)比较接近。

2. 由于实验室盐雾加速腐蚀无法完全表征产品的真实使用环境,例如产品有遮挡和无遮挡时,腐蚀速率不同。因此在进行实

验室盐雾加速腐蚀时,为确保能真实反映产品使用表现,也有必要开展相应的户外曝晒测试。

参考文献:

- [1] 祁庆璐. 金属腐蚀数据库的研究进展与展望[J]. 四川化工, 2006, 9(1): 4.
- [2] 唐毅, 宋爱民. 盐雾试验条件对试验结果的影响[J]. 微电子学, 2019, 39(2): 4.
- [3] 王秀静, 陈克勤, 张炬, 等. 金属大气暴露与模拟加速腐蚀结果相关性探讨[J]. 装备环境工程, 2012, 9(1): 6.
- [4] 郭军科, 于金山, 彭翔, 等. 加速腐蚀实验研究碳钢的大气腐蚀行为[J]. 表面技术, 2014(004): 68-73.
- [5] 唐伦科. 自然暴露试验与加速腐蚀试验的相关性及防蚀设计研究[D]. 重庆大学, 2006.
- [6] 刘明. 大气腐蚀模拟加速试验及相关性研究[D]. 北京航空材料研究院, 2003.

作者简介: 宋元, 现供职于上海建科检验有限公司 中级工程师。