Wire-on-bolt试验样品参数设计研究

刘聪[1,3]，刘彬[2]，唐其环[1,3]，李迪凡[1,3]
（1. 中国兵器工业第五九研究所，重庆 400039；2. 中国人民解放军驻296厂军事代表室 重庆 400054；
3. 重庆市环境腐蚀与防护工程技术研究中心，重庆 400039）

摘要： Wire-on-bolt技术是一种大气腐蚀性快速评估技术。设计合理的试验样品参数是Wire-on-bolt技术研究的一项重要内容。根据不同参数样品的大气暴露试验数据，分析了各项样品参数对金属丝腐蚀率的影响。最终确定试验样品的电偶材料为T2铜和1100铝，铜螺栓为*M*25×6普通螺纹，铝丝长度为1 m、直径为3 mm。

关键词： WOB试验；对比试验；大气腐蚀
中图分类号： TG172.3　　**文献标识码：** A
文章编号： 1672－9242(2012)04－0031－04

Study on Design of Wire-on-bolt Test Specimen Parameter

LIU Cong[1,3], *LIU Bin*[2], *TANG Qi-huan*[1,3], *LI Di-fan*[1,3]
(1. No.59 Research Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China;
2. PLA Military Representatives of 296 Factory, Chongqing 400054, China;
3. The Engineering and Technology Center of Environmental Corrosion and Protection of Chongqing, Chongqing 400039, China)

Abstract: Wire-on-bolt technology is a kind of fast evaluation technology for atmospheric corrosivity. Appropriate design of specimen parameter is an important problem of Wire-on-bolt technology study. Specimen parameters' influence on wire corrosion rate was analyzed by atmosphere exposure test of specimens in different parameters. It was concluded that the proper parameter is that galvanic couple material of test specimen is T2 copper and 1100 aluminum; the copper bolt is *M*25×6; and dimension of aluminum wire is 3mm diameter and 1m length.

Key words: WOB test; contrast test; atmosphere corrosion

常用的大气腐蚀性分类分级方法是ISO 9223规定的环境因素法和标准金属法[1]。Wire-on-bolt技术（以下简称WOB技术）是一种大气腐蚀性快速评估技术，其原理是将低电位的金属丝紧密缠绕在高电位的金属螺栓上构成电偶对，通过电偶腐蚀来加快金属丝腐蚀，从而大幅缩短评估时间。早在20世纪50年代，贝尔实验室就提出应用该技术对大气腐蚀性进行快速评价；Laque腐蚀中心与ASTM也分别颁

收稿日期： 2011-12-04
作者简介： 刘聪(1986—)，男，湖北仙桃人，工程师，主要研究方向为环境适应性验证。

布过WOB技术相应的评级准则，这些准则规定的分级范围较宽，确定试验参数的依据不明，并不适用于我国各地区的大气腐蚀性评估[2]。因此，需开发适用于我国各地区的WOB大气腐蚀性快速评估技术，而首要的研究内容正是对WOB试验样品参数进行优化设计。笔者利用不同参数的WOB试验样品在万宁近海暴露场（海洋大气）和江津站（工业大气）的大气暴露试验数据，探讨电偶材料、螺栓形状、金属丝直径与长度等试验参数对试验结果（金属丝腐蚀质量损失）的影响，最终确定WOB试验样品的各项参数。

1 试验

1.1 样品

针对样品材料、螺栓形状、金属丝直径等参数，共设置了3组对比筛选试验，见表1。

表1 对比试验设置

Table 1 Setting of contrast test

	样品材料筛选试验		螺栓形状筛选试验		金属丝直径筛选试验
	阴极螺栓	阳极金属丝	螺距/mm	形状	直径/mm
对比试验参数	Q235碳钢，T2纯铜	1100铝，锌（纯度为99.5%）	3，6	梯形螺纹，普通螺纹	1，2，3
其它参数	金属丝直径为3 mm，螺栓为6 mm普通螺纹螺栓。		螺栓材料为T2铜，金属丝材料为1100铝；3 mm螺距螺栓缠绕的金属丝直径为2 mm，6 mm螺距螺栓缠绕的金属丝直径为3 mm。		螺栓材料为T2铜，金属丝材料为1100铝；1 mm直径的铝丝缠绕在2 mm螺距的普通螺纹铜螺栓上，2 mm直径的铝丝缠绕在4 mm螺距的普通螺纹铜螺栓上，3 mm直径的铝丝缠绕在6 mm螺距的普通螺纹铜螺栓上。

1.2 试验地点、时间

各项试验在万宁近海暴露场、江津站同步进行。各项对比试验均安排6个周期，每个周期为3个月。

1.3 试验方式

利用支座和螺帽将螺栓固定于样品架上，垂直于地面方向，户外暴露。

1.4 样品酸洗与称量

参考GB/T 16545—1996《金属和合金的腐蚀 腐蚀试样上腐蚀产物的清除》，对阳极金属丝在试验前后分别进行酸洗、称量，并计算腐蚀质量损失[3—5]。

1.5 结果计算

以腐蚀质量损失百分数表示金属腐蚀率。每组样品有3个平行样，结果取平均值。

$$腐蚀率=\frac{金属丝腐蚀质量损失}{金属丝初始质量}\times 100\%$$

2 结果与讨论

2.1 不同电偶材料对比

图1为万宁试验站不同电偶对的对比试验结果。暴露3个月后，铜螺栓–铝丝电偶对的金属丝腐蚀率最高，均值为2.84%；其次为碳钢螺栓–铝丝电偶对；最低为碳钢螺栓–锌丝电偶对，均值仅为1.42%。

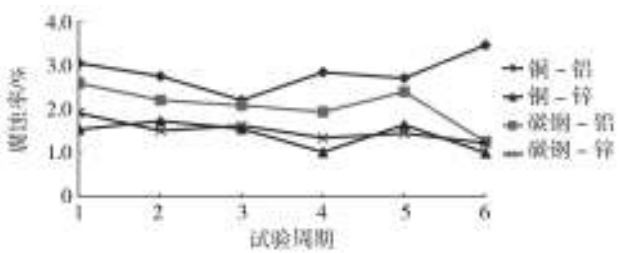

图1 万宁试验站不同电偶对试验结果

Fig. 1 Test result of different galvanic couple in Wanning

图2为江津试验站不同电偶对的对比试验结

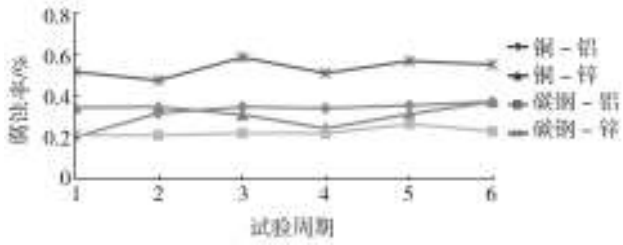

图2　江津试验站不同电偶对试验结果

Fig. 2　Test result of different galvanic couple in Jiangjin

果。暴露3个月后，碳钢螺栓-锌丝电偶对的金属丝腐蚀率最高，均值为0.54%；碳钢螺栓-铝丝电偶对的金属丝腐蚀率最低，均值为0.23%；铜螺栓-铝丝电偶对与铜螺栓-锌丝电偶对的金属丝腐蚀率较为接近。

为研究金属丝腐蚀率与电位差之间的关系，对各电偶金属对之间的电位差进行了测试。鉴于万宁试验站的腐蚀介质主要是海盐粒子，而江津站主要是酸雨（试验期间雨水pH值平均为4.9），分别在3.5%（质量分数，后同）NaCl溶液和pH值为4.9的硫酸溶液中对4种电偶对的电位差进行了测试。测试显示，在3.5%NaCl溶液中电位差排序为铜-铝＞铜-锌＞碳钢-锌＞碳钢-铝，这与金属丝腐蚀率排序并不完全一致，电位差最小的碳钢-铝比铜-锌、碳钢-锌金属丝腐蚀率要高。在pH值为4.9的硫酸溶液中测得的电位差排序为铜-锌＞铜-铝＞碳钢-锌＞碳钢-铝，这与江津试验站电偶对金属丝腐蚀率也不完全一致，电位差最大的铜-锌电偶对金属丝腐蚀率却低于电位差相对较小的铜-铝电偶对。不一致的原因，一方面是电位差只能判断阳极金属丝腐蚀倾向的大小，并不能判断腐蚀速率的大小，另一方面是腐蚀产物的累积、异种金属的接触面积、金属丝耐蚀性等因素均会影响金属丝的腐蚀速率。

2.2　不同形状的金属螺栓对试验结果的影响

在万宁、江津两站，3 mm螺距普通螺纹铜螺栓上的2 mm铝丝腐蚀率比3 mm螺距梯形螺纹铜螺栓上的2 mm铝丝要高，如图3、图4所示。对6 mm螺距而言，两种螺栓上的3 mm金属丝腐蚀率均相差不大。这表明，螺距与金属丝直径较为接近时，螺栓形状对金属丝腐蚀率有一定影响，金属丝直径与螺距差距较大时，螺栓形状对金属丝腐蚀率无明显影响。

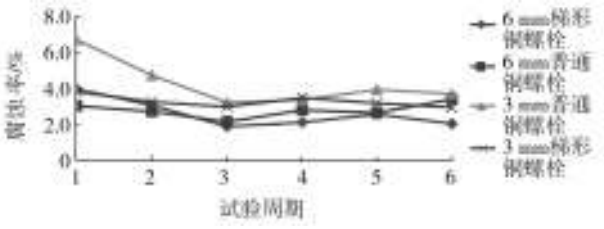

图3　万宁试验站不同形状金属螺栓试验结果

Fig. 3　Test result of difformity bolt in Wanning

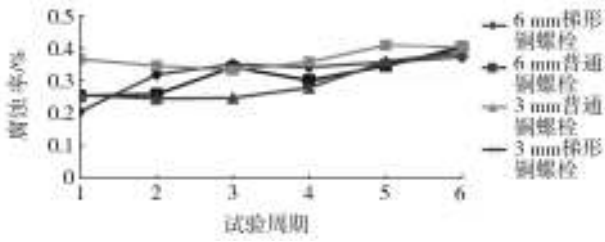

图4　江津试验站不同形状金属螺栓试验结果

Fig. 4　Test result of difformity bolt in Jiangjin

2.3　金属丝不同直径对试验结果的影响

万宁、江津两站的试验结果如图5和图6所示。

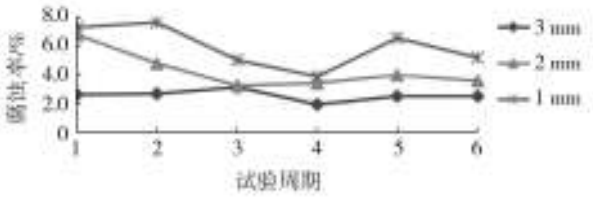

图5　万宁试验站不同直径金属丝试验结果

Fig. 5　Test result of different diameter bolt in Wanning

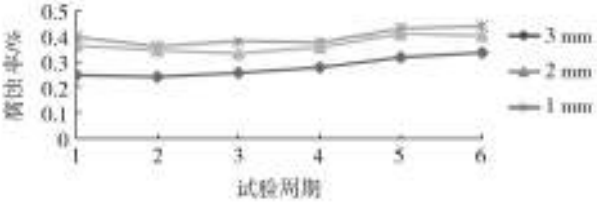

图6　江津试验站不同直径金属丝试验结果

Fig. 6　Test result of different diameter bolt in Jiangjin

试验结果表明，金属丝直径越小，腐蚀率越高。对万宁站不同试样平行样数据之间的偏差进行计算可知，直径为1 mm与2 mm的金属丝，其腐

蚀率标准偏差均值分别为0.67%和0.59%，远高于3 mm金属丝的腐蚀率标准偏差均值(0.21%)。江津站的数据也显示，金属丝直径越小，腐蚀率数据的偏差越大。

3 试验参数设计

3.1 设计原则

为实现快速评估，阳极金属丝应具有较高的腐蚀率，3个月的腐蚀率不应低于ISO 9223规定的标准金属法同种金属1 a的腐蚀率；为保证结果的精确性，偏差应尽可能小。

3.2 试验参数确定

1）电偶材料种类。在万宁站，铜-铝电偶对金属丝腐蚀率最大，在江津站则是碳钢-锌电偶对腐蚀率最大。对万宁站的样品观察显示，阴极碳钢螺栓腐蚀非常严重，腐蚀产物已将铝丝部分掩埋。这说明，采用碳钢作为阴极螺栓会导致试验样品在腐蚀性很严酷的地区试验结果失真。因此，可选择T2铜和1100铝作为电偶材料。

2）螺栓形状。试验显示，螺距约为金属丝直径2倍时，梯形螺纹螺栓与普通螺纹螺栓上的金属丝腐蚀率无明显差别。鉴于普通螺纹易加工，可选择螺距为金属丝直径2倍的普通螺纹螺栓。

3）金属丝直径。直径为3 mm的铝丝腐蚀率虽然较1 mm和2 mm的铝丝低，但其试验结果偏差最小。万宁站与江津站3个月的腐蚀率均超过了按ISO 9223试验方法同种金属1 a的腐蚀率。因此，选择直径为3 mm的铝丝能满足试验要求。

4 结论

1）电偶材料对WOB试验结果有显著影响，但腐蚀率大小排序与电偶电位差大小排序并不完全一致。

2）不同形状的螺栓与金属丝间的缝隙不同，在一定情况下会因为缝隙腐蚀的不同而影响试验结果。

3）金属丝直径越小，腐蚀率越大，偏差也越大。

4）为快速、准确、稳定地利用WOB技术评估我国大气腐蚀性，建议试验样品的电偶材料为T2铜和1100铝，铜螺栓为$M25\times6$普通螺纹，铝丝长度为1 m、直径为3 mm。

参考文献：

[1] ISO 9223—1992, Corrosion of Metals and Alloys—Corrosively of Atmospheres—Classification[S].

[2] 唐其环，万军，张伦武. 国外Wire-on-bolt技术分级准则在我国的适用性研究[J]. 装备环境工程，2006，3(1)：85—88.

[3] GB/T 16545—1996，金属和合金的腐蚀 腐蚀试样上腐蚀产物的清除[S].

[4] 何建新，秦晓洲，易平，等. Q235钢海洋大气腐蚀暴露试验研究[J]. 表面技术，2006，35(4)：26—28.

[5] 文邦伟，李继红. 铝及铝合金在热带海洋地区大气腐蚀[J]. 表面技术，2004，33(6)：23—25.

(上接第30页)

[7] MANDELBROT B. Fractal Geometry of Nature[M]. San Francisco：Freeman，1982.

[8] MANDELBROT B. NESS J W. Fractional Brownian Motions, Fractional Noises and Applications[J]. SIAM Rev，1968，10(4)：422—437.

[9] GANGEPAIN J，ROQUES Carmes C. Fractal Approach to Two Dimensional and Three Dimensional Surface Roughness[J]. Wear，1986，109：119—126.

[10] SARKAR N，CHAUDHURI B B. An Efficient Differential Box-counting Approach to Compute Fractal Dimension of Image[J]. IEEE Transaction on Systems Man and Cybernetics，1994，24(1)：115—120.