

# 某雷达挂车在海洋大气环境下的防腐蚀技术

俞伟, 唐小容, 李雪峰

(零八一电子集团四川红轮机械有限公司, 四川 广元 628003)

**摘要:** **目的** 研究某雷达挂车在海洋大气环境下的防腐蚀技术。**方法** 对类似结构装备的腐蚀问题进行分析, 然后根据该型雷达挂车的结构特点, 分析和探讨其薄弱环节的防腐蚀技术。详细分析设计选材、结构耐蚀设计、防护层设计、加工制造等方面的防护技术。**结果** 结构设计不当、选材不合理、涂层质量差是类似装备防护的主要问题。**结论** 在该雷达挂车的设计、制造每道环节都要考虑防腐蚀要求, 综合应用各种防腐蚀技术, 从源头上提高产品的耐蚀性。

**关键词:** 雷达挂车; 腐蚀问题; 防腐蚀技术

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2014.02.017

**中图分类号:** TG172.3 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2014)02-0087-06

## Corrosion Protection Technology of a Certain Radar Trailer in Marine Atmosphere

YU Wei, TANG Xiao-rong, LI Xue-feng

(Lingbayi Electronic Group Sichuan Honglun Machinery Co., Ltd, Guangyuan 628003, China)

**ABSTRACT: Objective** To study corrosion protection technology of a certain radar trailer in marine atmosphere. **Methods** The corrosion problems of similar equipment were analyzed, and then according to the specific characteristics of the Radar Trailer, the anti-corrosion technology of its weak links were analyzed and discussed. The anti-corrosion technology was analyzed in detail in aspects of design material selection, structure design, coating Design and manufacturing technique etc. **Results** The irrational design of structure, unreasonable material selection in design and a poor quality of surface coating were the main anti-corrosion problems of similar equipment. **Conclusion** The anticorrosive requirements should be considered during procedures such as designing or manufacturing, and various techniques should be used to improve the anti-corrosion property.

**KEY WORDS:** radar trailer; corrosion problems; corrosion prevention technology;

收稿日期: 2013-12-03; 修订日期: 2014-02-12

Received: 2013-12-03; Revised: 2014-02-12

作者简介: 俞伟(1982-),男,四川阆中人,工程师,主要研究方向为装备腐蚀控制及防护工艺。

**Biography:** YU Wei(1982-), Male, from Langzhong, Sichuan, Engineer, Research focus: equipment corrosion control and protection technology.

某雷达挂车将服役于文昌某基地,该地区气候具有典型的热带海洋大气环境特征<sup>[1]</sup>,其腐蚀环境较为恶劣。用户单位要求,该产品在日常不维护或少维护的条件下,5年内不出现严重的锈蚀问题。该雷达挂车带有回转车厢,整车包括底架、回转机构、骨架式车厢三大部分。整车体型较大,全长近12 m,质量约为20 t,结构较为复杂,存在大量的铆焊接点和内腔结构,整车防护施工难度很大。如何有效而经济地解决该型雷达挂车的防腐蚀问题,是该产品研发中的关键问题。

## 1 腐蚀特点及其防腐蚀存在的问题

鉴于该雷达挂车在结构特征上兼有大型雷达挂车和骨架式舱厢的结构特点,对在海南类似环境下服役5年以内的骨架式舱厢和雷达挂车出现的腐蚀问题进行了调查,并进行了筛选和分析,排除了运输、使用及维护保养等环节导致的腐蚀问题后,其主要的腐蚀问题见表1。

表1 类似结构产品的腐蚀现象及腐蚀部位

Table 1 The corrosion phenomenon and location

序号	腐蚀现象/类型	腐蚀部位
1	缝隙腐蚀及积水处锈蚀	常见于外部螺接缝和装配件间的接触缝;外露的十字螺钉头、凹坑等易积水积尘的部位
2	零件边沿生锈	常见于尾灯架、钢制轮罩、备胎架、工具箱口边、紧箍件等钣金件
3	零件表面涂层透锈点	主要是外部钢铁件涂层透锈,常见于厂标件、外购件
4	耐蚀材料生锈	常见于未喷漆的不锈钢材料(如门把手、登顶梯、螺帽、螺钉等)以及外露的铝铭牌等
5	电偶腐蚀	铝铆钉与钢骨架组合处、铝蒙皮与钢骨架组合处(铆钉密封不严时易发生)
6	表面涂层提前失效	常见于底层刮腻子处、玻璃钢表面以及受石子撞击、人员踩踏、摩擦等物理机械作用的部件表面

由表1可以发现,腐蚀问题主要集中在涂层失效及涂层下金属的腐蚀、缝隙腐蚀、耐蚀材料锈蚀等三大类。产生这些腐蚀问题的原因主要与以下问题有关。

1) 设计的零部件表面存在易进水的缝隙或存在积水结构。如车体外部紧固件缝隙不密封,备胎架、天线支座等部件积水积尘等问题。

2) 涂覆件的工艺性差。如钣金件存在棱边和锐角,内管或型腔结构过长或不利于表面防护施工和检验。

3) 材料或表面防护层耐蚀性差,存在马氏体不锈钢裸露使用,钢结构材料表面镀装饰铬等问题。

4) 受摩擦或撞击部位的表面涂层不耐磨、不耐撞等。常见于底架钢制轮罩、车体踏板、门把手等部位。

5) 防护施工质量差,存在底层处理质量差,未喷底漆直接罩面漆等问题。

## 2 该型雷达挂车的防护技术

设计和制造是影响产品耐蚀性能的关键环节<sup>[2-3]</sup>,

而耐蚀材料不耐蚀、结构设计不合理、表面防护层质量差是防腐蚀设计和制造环节中的主要问题。鉴于文昌基地维护保养条件不足的状况,在该雷达挂车的设计和制造过程中,应着重避免在设计、制造环节中出现防护缺陷,提高防护可靠性。

### 2.1 合理选材

选材的合理性直接影响到产品的使用性能和使用成本。根据该雷达挂车各部件的功能要求和结构特点,车架、回转台、车厢骨架等大型结构件选用低碳合金钢,并辅以长效防护技术较为经济适用;车厢蒙皮、车架平台、外部紧固件、外露标牌等工作环境较为恶劣且腐蚀损坏后难以更换的部件选用防锈铝、不锈钢等耐蚀材料则更为可靠;固定式登顶梯、门窗铰链、门锁与锁扣、门把手等经常承受摩擦、撞击的部件,在选用耐蚀材料的同时,还应考虑零部件间的摩擦问题,在条件允许时,应考虑加装减震套或垫片等措施;车顶汇流槽、排水管、遮雨板、挡泥板等

力学性能要求不高且工作环境恶劣的零部件,在满足结构强度、热稳定性和抗老化性的前提下,优先考虑玻璃钢、塑料、橡胶、防水布等非金属材料。

需要说明的是,选用不锈钢时推荐选用316奥氏体的不锈钢,304不锈钢在制造加工过程中极易出现不耐蚀的马氏体组织,可能并不能满足海洋大气环境的使用要求。某304不锈钢登顶梯在文昌使用2个月后的腐蚀照片如图1所示。



图1 车梯腐蚀照片(材质:304不锈钢)

Fig.1 A vehicle ladder with corrosions (material: AISI 304 stainless steel)

## 2.2 结构的耐蚀设计

结构的合理性对制件耐蚀性能的影响很大,不合理的结构形式是一种先天缺陷,很难用其他措施予以弥补。设计结构时必须全面考虑防腐蚀需求,避免顾此失彼。

### 2.2.1 结构的防水和排水

水是导致金属发生腐蚀的主要腐蚀介质<sup>[4-5]</sup>,避免水接触金属表面是抑制金属腐蚀的有效措施,防水和排水是结构设计必须优先考虑的问题<sup>[6]</sup>。该型雷达挂车结构较为复杂,尤其要注意结构件的防水和排水。结构件的表面应尽量平整、光滑,尽量避免凹槽、盲孔、死角等易积水和积尘的结构,具体要注意以下事项。

1) 外部安装件尽量不使用易积水积尘的内六角或十字槽螺钉,必须使用时应用弹性密封胶将凹槽填平或将紧固位置布置在不易进水的地方。

2) 车顶、空调架等直接受雨水浸蚀的结构件应设计排水通道或开设排水孔,避免雨水滞留或无序流淌。

3) 电气控制柜/盒、机柜等电气结构件通常采用结构密封来防水防潮,但需要注意在内外温差较大

时,机柜内部凝露对内部元气件的影响,必要时采取密封前加温除潮、内部放置干燥剂或将印制板竖直放置等措施<sup>[7-9]</sup>。

4) 车厢包边与蒙皮贴合面、蒙皮搭接处以及所有穿过外蒙的铆钉和紧固件应采取密封措施,如涂密封胶后湿法装配等。车厢的门窗及顶盖孔口、工具箱孔口等经常需要开闭的孔口,应设计密封结构,以防进水。车厢孔口的密封结构推荐采用如图2所示的结构,其中密封胶条应选用压缩永久变形量小、抗老化性好的橡胶条,如三元乙丙橡胶。

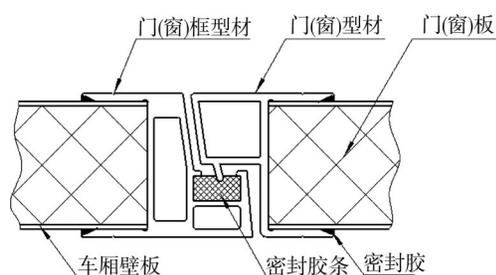


图2 车厢孔口的密封设计

Fig.2 Seal design for the orifice

### 2.2.2 避免结构缝隙

缝隙腐蚀是雷达挂车常见的腐蚀形式之一<sup>[10]</sup>,发生缝隙腐蚀的缝隙宽度一般在0.025~0.1 mm之间。绝大部分的金属材料都可能产生缝隙腐蚀,不锈钢、铝合金等依赖富氧环境下钝化而耐蚀的材料对缝隙腐蚀尤其敏感<sup>[2,10]</sup>。不连续的焊缝、铆接缝、装配缝等金属与金属的连接部位,亲水性非金属垫片与金属的接触部位都易诱发缝隙腐蚀。从减少缝隙腐蚀的角度考虑,结构件外壳应尽量采用整体外壳,以减少表面缝隙,必须拼焊时应尽量采用连续焊,焊缝处尽量修平;独立零件之间应留有足够大的间隙;装配件贴合面的形状应尽量简单、平直,以免强迫装配或形成缝隙。对于不能避免的缝隙,应用密封胶将所有的缝隙填平,防止缝隙内进水。该雷达挂车2种典型缝隙结构的密封结构示意图如图3所示。

### 2.2.3 电偶腐蚀的防止

电偶腐蚀是发生在异种金属结合面间的腐蚀形式<sup>[10]</sup>,阳极性金属腐蚀速度加速,阴极性金属腐蚀速度减缓。雷达挂车的车厢蒙皮采用铝铆钉铆接时,铝蒙皮与钢骨架、铝铆钉与钢骨架的连接部位,不锈钢螺钉与铝合金连接缝隙处均可能发生电偶腐蚀。

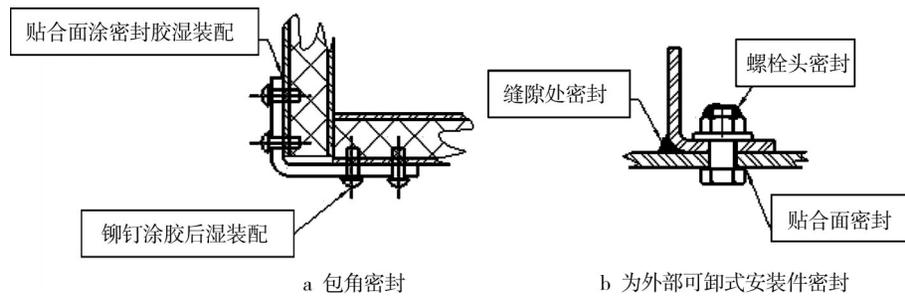


图3 典型的密封结构

Fig.3 The seal design for certain typical structure

预防电偶腐蚀的主要方法是在异种金属接触面间插入绝缘材料或密封材料,如在接触面加绝缘垫片、涂密封胶或涂漆,将异金属结合面边缘密封等。

车厢骨架与蒙皮连接结构的的结构示意如图4所示。需要注意的是,采取涂层绝缘防护时要避免产生大阴极小阳极的组合。在图4中铝蒙皮与钢骨架连接处采用了涂漆防护,应在骨架表面涂漆,或在骨架和铝蒙皮表面同时涂漆,决不能只涂在铝蒙皮表面。因为涂层均存在一定孔隙,一旦涂层被水浸透或涂层被破坏,将形成小阳极(铝)/大阴极(钢骨架)的组合,从而发生更剧烈的电偶腐蚀使铝板穿孔。

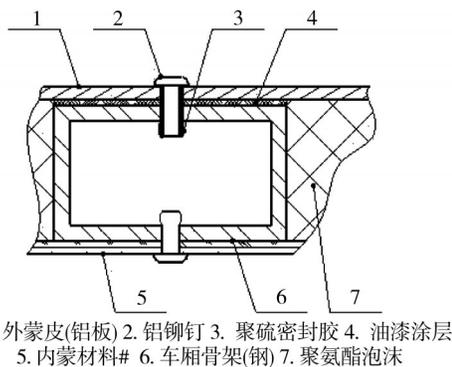


图4 防止电偶腐蚀的设计

Fig.4 The Design for galvanic corrosion control

### 2.2.4 基于工艺性的考虑

在进行结构设计时必须要有工艺性方面的考虑。防腐蚀的工艺性要求主要有2方面内容。

1) 结构构型要方便,排除制造过程中产生的多余物,如机械加工产生的切削液、废铁削,电镀过程产生的腐蚀性废液等。

2) 结构内外形状要利于后续防护施工,有良好的可达性。如电镀零件不宜有过深的内腔结构;装配件应先进行表面防护处理再装配;零部件的棱边和边

缘应设计成圆角,其圆角大小通常在 $R1 \sim R3$ 之间。

### 2.3 表面防护技术

表面防护是提高材料耐蚀性能的重要措施,雷达挂车上绝大部分的材料都需要进行表面防护处理。根据雷达挂车各部件的使用环境,可用的表面防护技术主要有表面涂镀(如镀锌、镀镍、镀铬、涂装、喷塑、热喷涂等)、表面改性(钢铁氧化和磷化、不锈钢钝化、铝合金阳极氧化或导电氧化等)以及相应的复合技术(如热喷涂与涂装的复合、电镀与涂装的复合、表面改性技术与涂装的复合等)。进行表面防护层设计时,要综合考虑制件防护和装饰性要求,工厂设备或协作厂家的设备状况、经济性等因素,优选技术可靠、经济合理、施工可行的表面防护方案。

#### 2.3.1 涂层防护

涂层防护是迄今为止所有防护技术中最经济、最有效和应用最普遍的防护技术<sup>[4,11]</sup>。防腐蚀涂层的防护寿命与涂层配套体系、漆膜厚度、金属表面状况和前处理质量等因素有关。其中,金属表面状况和前处理质量对涂层防护寿命的影响最大<sup>[12-13]</sup>,而磷化处理或硅烷处理能显著提高涂层附着力<sup>[14]</sup>,并具有较好的协同保护作用,是较为理想的涂前预处理方法。外部普通钢结构件推荐采用磷化底漆/涂富锌底漆( $40 \mu m$ )/2道环氧云母氧化铁漆( $40 \mu m$ )/2道丙烯酸耐候漆( $40 \mu m$ )的涂层系统。

#### 2.3.2 热喷涂

热喷涂技术是一种用于大型钢结构件的长效防护技术,经热喷涂后的钢结构基体可以实现在服役环境下20年内免维护或40年内少维护<sup>[15]</sup>。热喷涂的材料主要有锌和铝,以及锌、铝合金材料,铝主要用于工业大气环境及海洋大气环境,锌则用于普通大气环境。热喷涂的喷涂方法主要有火焰喷涂、电

弧喷涂、告诉电弧喷涂、等离子喷涂等。其中电弧喷涂法具有施工简便、效率高、涂层防护能力好、设备投入低、生产成本低等优点,是大型钢结构件理想的防腐蚀方法。对于雷达挂车的车架、转台、升降机构等大型重要结构件,优先考虑热喷铝。热喷涂层存在一些孔隙,进行封闭处理后可以进一步延长热喷涂层的防护寿命,最简便的封闭方法是涂漆封闭。

### 2.3.3 新型防护技术

喷涂聚脲弹性体(SPUA)技术是一种新型无溶剂、无污染的重腐蚀技术<sup>[16]</sup>。相比传统的涂装技术,该技术使用专用喷涂设备,施工方便,涂层成膜速度快,涂层的物理化学性能优良且硬度范围可调。该技术主要用于化工设备防腐蚀、防水密封、耐磨防滑、保温隔热等领域。雷达挂车的牵引装置、轮罩、底架下部、车体踏板、车架平台、车顶等部件需要经常承受物理撞击、人员踩踏、摩擦等物理作用,通常的防护手段难以满足防腐蚀、耐磨、耐石击的综合要求,这些部件可考虑喷涂聚脲弹性体进行防护。

达克罗处理(dacrotized,国内称锌铬涂层)是一种新型表面防护技术,其涂料主要由片状锌和(或)铝粉以及六价铬的化合物组成,在300℃左右的温度下固化成膜,涂层具有优异的耐盐雾、耐大气腐蚀性能<sup>[17-18]</sup>。雷达挂车紧固件、机柜、配电柜/箱、机箱组合以及小型基座、桁架/支架等设备应考虑达克罗处理<sup>[19]</sup>。

## 2.4 制造过程的防护技术

表面防护层发挥防护作用的前提是防护层要完整而致密,其与基体的附着要牢固可靠,一旦因外力出现破裂、脱层,防护层就失去了防护作用。因此,在制造环节,要严格按图纸规范进行防护施工,保证防护施工质量。同时,加工制造工艺不能破坏材料及防护层的耐蚀性,更不能引入新的腐蚀介质。制件在表面防护后,一般不宜再进行机械加工、焊接或修锉处理,以免破坏表面防护层。确应设计变动或制造工艺需要必须进行后续焊、修处理的,必须对破损处进行修复或加强处理。

## 3 结语

现代的防腐蚀研究认为,产品的防腐蚀工作必须贯穿于设计、制造、储运、使用、维护及维修各个

环节。从该雷达挂车的使用环境条件、现场保养和维修条件来看,该雷达挂车的腐蚀控制又必须以预防为主。在设计 and 制造环节,综合应用各种先进可靠的防腐蚀技术,精心设计、制造,从源头上保证该产品的防腐蚀效果。

### 参考文献:

- [1] 穆山.文昌地区大气腐蚀环境因素分析[J].装备环境工程,2010,10(5):119-122.  
MU Shan.Analysis of Atmospheric Corrosion Environmental Factors in Wenchang Area[J].Equipment Environmental Engineering,2010,10(5):119-122.
- [2] 肖纪美,曹楚南.材料腐蚀学原理[M].北京:化学工业出版社,2002.  
XIAO Ji-mei, CAO Chu-nan.The Principles of Material Corrosion Science [M].Beijing: Chemical Industry Press, 2002.
- [3] 侯彬.军事电子装备的三防设计[J].装备环境工程,2009,6(5):106-108.  
HOU Bin.Three-proof Design of Military Electronic Equipment [J].Equipment Environmental Engineering, 2009, 6 (5): 106-108.
- [4] EVANS U R.The Corrosion and Oxidation of Metals [M]. London:Edward Arnold Ltd,1960.
- [5] 曹楚南.腐蚀电化学原理[M].北京:化学工业出版社,2008.  
CAO Chu-nan.Principles of Electrochemistry of Corrosion [M].Beijing:Chemical Industry Press,2008.
- [6] 李金桂.腐蚀控制设计手册[M].北京:化学工业出版社,2006.  
LI Jin-gui.Corrosion Control Handbook for Design [M]. Beijing:Chemical Industry Press,2006.
- [7] 杨万均,肖敏,张燕,等.舰面电子设备机柜防护失效分析与对策研究[J].装备环境工程,2012,9(6):83-87.  
YANG Wan-jun, XIAO Min, ZHANG Yan, et al.Failure Analysis and Countermeasure Study of Protection for Warship Electronic Equipment Cabinet[J].Equipment Environmental Engineering,2012,9(6):83-87.
- [8] 杨喜存,单军勇.某机载站控制分系统温度循环试验凝露积水问题[J].装备环境工程,2013,10(2):93-95.  
YANG Xi-cun, SHAN Jun-yong.Solution to Waterproof Problem of Moisture Deposition in Temperature Cycle Test [J].Equipment Environmental Engineering,2013,10(2): 93-95.
- [9] 范民,周广宴.军用电子设备整机三防技术研究[J].装备

环境工程,2009,6(4):72-75.

FAN Min, ZHOU Guang-yan. Research on Three-proof Technology of Whole Set Military Electronic Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering,2009,6(4):72-75.

[10] 杨武.金属的局部腐蚀[M].北京:化学工业出版社,1995.

YANG Wu. Localized Corrosion of Metals [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1995.

[11] NGUYEN T N, HUBBARD J B, MCFADDEN G B. A Mathematical Model for the Cathodic Blistering of Organic on Steel Immersed in Electrolytes[J]. J Coat Tech, 1991, 794(63):43-52.

[12] 徐永祥,严川伟,高延敏,等.大气环境中涂层下金属的腐蚀和涂层的失效[J].中国腐蚀与防护学报,2002,22(4):249-256.

XU Yong-xiang, YAN Chuan-we, GAO Yan-min, et al. Underfilm Corrosion of Metals and Failure of Organic Coatings in Atmosphere[J]. J Chinese Society for Corrosion and Protection, 2002, 22(4):249-256.

[13] 李金桂,吴再思.防腐蚀表面工程技术[M].北京:化学工业出版社,2003.

LI Jin-gui, WU Zai-si. Surface Engineering Technology for Anticorrosion[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.

[14] 赵平,孙广霞,杨玉鹏,等.有机硅烷偶联剂在涂装前处理中的应用[J].电镀与精饰,2010,32(3):25-28.

ZHAO Ping, SUN Guang-xia, YANG Yu-peng, et al. Application of Organic Silane Coupling Agents on Metal Surface Pretreatment for Painting [J]. Plating & Finishing, 2010, 32(3):25-28.

[15] 张中礼.热喷涂技术在钢铁结构件防腐方面的应用[J].腐蚀科学与防护技术,2000,12(6):354-358.

ZHANG Zhong-li. Application of Thermal Spraying Technology for Corrosion Protection [J]. Corros Sci Protec Technol, 2000, 15(6):354-358.

[16] 黄微波.喷涂聚脲弹性体技术 [M].北京:化学工业出版社,2005.

HUANG Wei-bo. Spray Polyurea Elastomer [M]. Beijing: Chemical Industrial Press, 2005.

[17] 于兴文,曹楚南.达克罗技术研究进展[J].腐蚀与防护,2001,22(1):1-4.

YU Xing-wen, CAO Chu-nan. Research Progress of Dacromet Technology [J]. Corrosion & Protection, 2001, 22(1):1-4.

[18] 李海洪,赵永韬,王洪仁,等.海洋环境中渗锌层和镀铬涂层的耐蚀性研究[J].装备环境工程,2006,3(2):14-16.

LI Hai-hong, ZHAO Yong-tao, WANG Hong-ren, et al. Study on Corrosion Resistance of Sherardizing and Zinc-chromium Coating in Marine Environment [J]. Equipment Environmental Engineering, 2006, 3(2):14-16.

[19] 胡裕龙,陈伟然,张晓东,等.达克罗处理紧固件耐蚀性能研究[J].材料开发与应用,2008,23(3):66-69.

HU Yu-long, CHEN Wei-ran, ZHANG Xiao-dong, et al. An Investigation on Corrosion Resistance of Fasteners Treated with Dacromet Technique [J]. Development and Application of Materials, 2008, 23(3):66-69.

信息资讯

## 美国热测公司通过新的代理商,启动新的市场战略

美国热测公司作为环境模拟试验设备的领导品牌,50多年来一直致力于技术创新,不断地推出新产品来满足日益增长的对可靠性试验设备的需求。作为该领域的领军企业,美国热测设计与生产的设备产品广泛应用于电子、汽车、通讯、计算机及相关设备、航空航天、国防、仪表、半导体及生物医学研究等领域。是保障产品具有卓越性能和可靠质量的重要手段。半个世纪的经验积累,使热测公司成为世界上综合环境模拟和可靠性试验设备领域颇具盛名的公司。同时热测公司还是美国军标环境试验部分的编订者之一。

美国热测公司不仅设计传统的温湿度试验箱,具有型号全,温变速度快,产品质量值得信赖的优势,而且还是同时提供三综合试验箱与电磁振动台的制造商,能够提供完整的解决方案,同

时热测设计的Halt&Hass试验系统,已经取得了多项发明专利,提供最严酷的测试条件,已经成为Halt&Hass测试的新选择。

早在80年代,热测产品就开始进入中国市场,成为较早为中国用户提供可靠性试验设备的供应商,三十多年来,已经为中国的数百家用户,提供数千台的试验设备,不仅拥有较高的市场占有率,也拥有较高的市场知名度。为加快热测的全球化市场战略,热测非常注重中国市场的发展,自2014年1月1日起,爱派泰克测试设备(北京)有限公司将作为热测在中国大陆地区的新的代理商,进一步完善热测公司产品在中国的产品应用,加强商业道德水准与规范,提高售后服务质量,更好地为中国用户提供产品和服务,实现热测的新的全球市场战略。