军用物资集装箱内部低温环境条件研究

赵世宜[1]，冒云[2]，马强[3]
（1. 军事交通学院 汽车指挥系，天津 300161；2. 中国人民解放军94942部队，上海 200434；
3. 中国人民解放军68070部队，兰州 730020）

摘要：以天津和齐齐哈尔两个低温地区军用物资集装箱运输为背景，分别对两个地区的集装箱内部温度变化及大气温度等数据进行测试并对比分析。对齐齐哈尔地区的数据进行回归分析，建立了集装箱内部温度模型，预测出集装箱内部最恶劣的低温极值范围，为危险军用物资集装箱安全储运提供理论依据，并提出了相应的对策及建议。

关键词：集装箱内部低温环境；回归分析；预测模型；对比分析
DOI：10.7643/issn.1672-9242.2013.04.014
中图分类号：U695.2+2　　**文献标识码：**A
文章编号：1672－9242(2013)04－0056－05

Low Temperature Environmental Conditions of Inside Container for Military Materials

ZHAO Shi-yi[1], *MAO Yun*[2], *MA Qiang*[3]
(1. Dept. of Auto Command, Military Transportation University, Tianjin 300161, China;
2. Unit 94942 of PLA, Shanghai 200434, China; 3. Unit 68070 of PLA, Lanzhou 730020, China)

Abstract: With the background of container transport for military materials in Tianjin and Qiqihaer, variety of container's inner temperature and humidity, and atmospheric temperature was tested. The data of Qiqihaer were analyzed by regression method, the temperature mathematical model in container was established, and the worst range of low temperature inside container was predicated. The purpose was to provide guidance for safe storage and transportation of dangerous military materials with container.

Key words: low temperature environment inside container; regression analysis; predictive model; contrastive analysis

据资料记载，军队真正开始进行大规模、有系统的自然环境试验，是由第一次世界大战所促成的。当时由于战争中存在的大量军事装备的失效问题，促使有关国家的军方开始重视军事装备的自然环境适应性及可靠性问题[1]。特别是在第二次世界大战，美国在热带和亚热带地区使用的作战装备及物资中，许多电工电子产品受到很大损失。为此，美空军专门对沿海基地装备的损坏原因进行了统计，其中

收稿日期：2013-02-07
作者简介：赵世宜(1977—)，男，辽宁锦州人，博士，副教授，主要研究方向为公路军事运输。

由环境因素造成的产品损坏占到了52%,温度、湿度等气候环境占31%,振动冲击机械环境占14%,砂尘、盐雾等化学环境占7%,导致每年1万多件电工电子产品失效,不仅造成了830万美元的经济损失,而且贻误了战机,影响了战争进程[2]。军用物资在利用集装箱储运时,其相对封闭的环境会使内部条件变差。冬季,在寒冷的气候环境条件下,那些对低温非常敏感的物资,很容易发生损坏或变质。为了找出影响集装箱内部温度变化的因素,在我国天津和齐齐哈尔两个低温地区分别进行了为期一周的测试,通过对两个地区数据的对比分析,建立预寒冷地区集装箱内部温度变化模型,预测出最低温度极值范围,为相关部门安全开展军用物资集装箱储运提供理论依据。

1　低温环境条件对物资的影响[3]

1) 使材料收缩、结冰、变硬、发脆,降低产品机械强度。

2) 润滑剂黏度增大,润滑效果降低,零件磨损加剧。

3) 机电部件和变压器的性能改变,减震架刚性增加。

4) 电工电子产品(电容、晶体管等)的性能发生变化。

5) 因膨胀与收缩系数不一致,使零件互相咬死或开裂,对结构造成破坏。

6) 受约束的玻璃产生水冷凝、静疲劳和结冰等不良现象。

7) 固体爆炸药丸或药柱(如硝酸铵)破裂、开裂、脆裂,强度大大降低。

2　测试情况

东北和华北是我国冬季比较典型的严寒地区,因此选择了具有代表性的天津和齐齐哈尔作为测试点。特别是齐齐哈尔,该地区全年最低温度在-30 ℃以下,属于高寒气候。天津地区集装箱内部低温环境条件试验日期为1月22日至27日,共计6 d,获得样本数据2300多个;齐齐哈尔地区集装箱内部低温环境条件试验日期为1月19日至25日,共计7 d,获得样本数据3200多个。

2.1　温度测量系统

温度测量系统如图1所示,该巡检仪测试温度范围为 - 50~150 ℃,分辨率为0.1 ℃,精度≤0.5 ℃,包含16个探头,具备定时采集和自动打印的功能;温度传感器(WZC-010L1000型)30个。

图1　温度测量系统

Fig. 1　Temperature measuring system

2.2　测试内容

1) 集装箱内部空气温度和箱体内外表面温度。

2) 集装箱测试地点大气温度。

3) 集装箱内部相对湿度。

2.3　测点设置

两个地区的温度测点分布为:选择箱体8个内角(1-8号点)和集装箱中部断面上中下3个点(10-12号点)作为集装箱内空气温度的测点,在未经阳光照射的箱体内外表面也各安装了一个温度传感器(分别为9号点和13号点)。同时,为了知道试验地点的大气温度,专门在通风条件好、避免太阳辐射的地点布置了14号测点。

3　测试结果

3.1　大气温度

天津和齐齐哈尔地区全年最低温度一般出现在12月、1月和2月,试验期间每天大气极值温度见表1。

两个地区大气温度变化曲线如图2所示。从图2中可以看出,大气温度最低值出现在每日凌晨6点至7点之间。

3.2　集装箱温度

在分析预测集装箱最低温度时,均选取了出现最低温度时的数据。其中,齐齐哈尔地区为1月25

表1　试验期间大气最低温度

Table 1　Atmosphere lowest temperature during experiment

℃

天津	日期	1月22日	1月23日	1月24日	1月25日	1月26日	1月27日	
	最低温度	−5.1	−3.5	−4.5	−4.5	−1.6	−4.8	
齐齐哈尔	日期	1月19日	1月20日	1月21日	1月22日	1月23日	1月24日	1月25日
	最低温度	−18	−21.1	−21.5	−22	−15.7	−21.6	−23.2

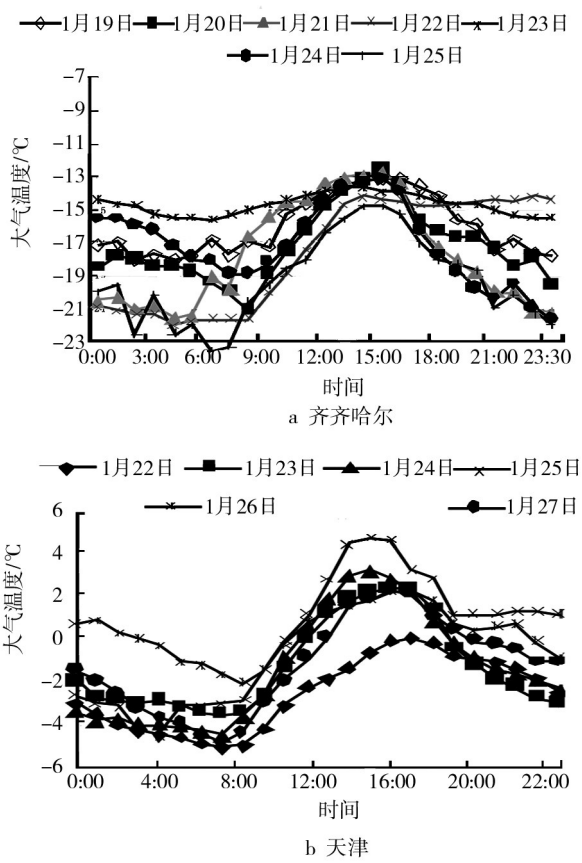


图2　大气温度变化曲线

Fig. 2　Changing of atmospheric temperature

日，天津地区为1月22日，从图1和图2可以看出这一天正好也是当地大气温度最低的一天。

3.2.1　集装箱箱壁温度

两个地区集装箱箱壁均布置了两个测点，集装箱内箱壁的温度均比外箱壁温度略低，而且最低温度均出现在凌晨6:00至7:00之间。其中，齐齐哈尔地区温度变化曲线如图3a所示，该天箱壁外表面13号点最低温度为−24.6 ℃，内箱壁9号点为−26.2 ℃，两者相差1.6 ℃。天津地区22日温度变化曲线如图3b所示，箱壁13号点最低温度为−5.6 ℃，内箱壁9号点这天最低温度为−5.9 ℃，相差0.3 ℃。

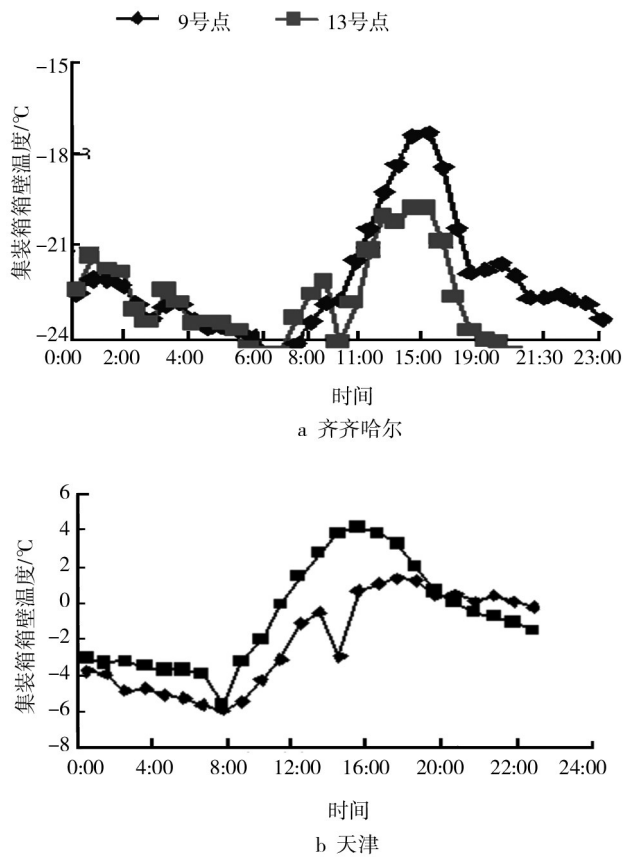
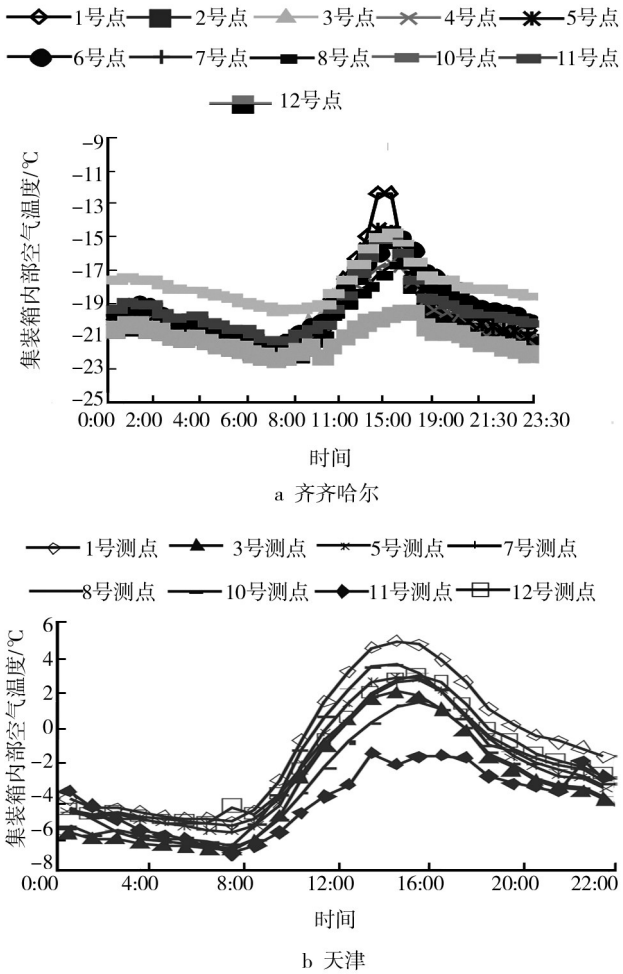


图3　集装箱箱壁温度变化曲线

Fig. 3　Changing of container wall temperature

3.2.2　集装箱内部空气温度

在集装箱内布置了11个测点，目的是测出集装箱内部空气温度。25日齐齐哈尔地区温度变化曲线和22日天津地区温度变化曲线如图4所示。从图4中可以看出，两个地区箱内的11号点为空气最低温度点，分别为−22.4 ℃和−7.1 ℃，然后是集装箱的4个角点。通过统计发现，这些测点的温度变化在其它几天也有着一样的规律。因此，把11号点作为集装箱内部最低温度点进行统计预测。



a 齐齐哈尔

b 天津

图4　集装箱内部空气温度变化曲线

Fig. 4　Changing of atmosphere temperature in container

3.3　结果

通过两个地区集装箱内外温度的测试,可知集装箱内箱壁温度比外箱壁温度要低。箱内空气温度中,集装箱中心11号点温度最低,主要是因为箱内集装箱中心点接受的辐射最少,而箱体上层和下层的10号点和12号点则都会受到大气散射和地面辐射的影响,因此温度均比11号点温度略高。可见在低温环境条件下,集装箱内部的温度要比外部的温度低一些。

4　集装箱内部温度回归模型

回归模型建立采用齐齐哈尔地区测试的数据。用SPSS软件得出大气温度与集装箱内部空气温度的变化曲线,如图5所示。

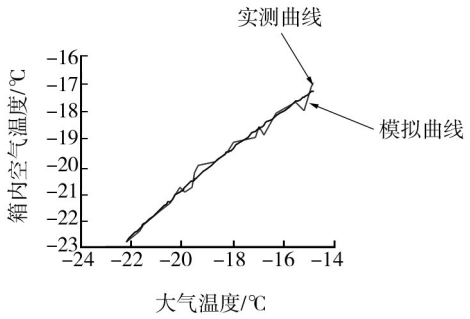


图5　箱内空气温度与大气温度回归曲线

Fig. 5　Regression curve of temperature between atmosphere and inner container

从图5中可以看出,大气温度与集装箱内部温度之间是二次曲线的关系,回归模型应为Quadratic型[4],方程表达见式(1)。

$$t_{箱内}=b_0+b_1t+b_2t^2 \tag{1}$$

式中:$t_{箱内}$为集装箱内部温度;t为大气温度。利用SPSS统计分析后得出模型参数及各系数:相关系数R=0.990,判定系数R^2=0.983,显著性概率$sigf$=0;系数b_0=−12.893,b_1=0.0065,b_2=−0.0192。则:

$$t_{箱内}=-12.893-0.0065t-0.0192t^2 \tag{2}$$

将齐齐哈尔大气温度历史最低值代入式(2),即t=−39 ℃时,集装箱内部最低温度预测值为−41.84 ℃。

5　结论与建议

5.1　结论

1) 大气环境温度直接决定集装箱的内部温度。寒冷条件下,集装箱内部受到的太阳辐射较少,内部温度要低于外界的大气温度。通过对两个地区的实地测试来看,一般低1~3 ℃。

2) 集装箱在露天存放时,其内部空气最低温度的分布规律一般为箱内中心点的温度最低,然后为箱底部的4个角点。

3) 集装箱内部空气最低温度值出现的时间与大气温度基本同步,一般是在每天早上7点左右。

5.2　建议

1) 寒冷条件下,军用物资集装箱运输应注意其

内部温度可能低于大气温度的情况。

2）普通干货集装箱没有保温功能，不宜把集装箱当作保温设备长期储存那些对低温比较敏感的物资[5]。

3）为防止温度变化对物资造成应力性的破坏，冬季集装箱内部物资禁止瞬间从温度低的环境转移到温度较高的环境，应该有一个逐渐过渡的过程。

4）冬季如橡胶、皮革、电工电子产品等对低温比较敏感的物资，应避免长期在集装箱内部储存，以免受到损坏。

5）对于低温敏感的物资，应采用保温集装箱储运或在包装环节做好保暖等措施，避免物资损坏或变质，确保储运质量。

参考文献：

[1] 张伦武，许明，王津梅. 军用自然环境试验与民用自然环境试验的关系[J]. 包装工程，2003，24(4)：48—49.

[2] 邢申承. 公路水路货物运输环境指南[M]. 北京：中国标准出版社，1995.

[3] 航空工业总公司第301研究所. 环境工程考虑和实验室试验[R]. 北京：航空工业总公司第301研究所，2000.

[4] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京：电子工业出版社，2000.

[5] 田润良，李勤真，杨会军. 军用集装箱运输[M]. 北京：解放军出版社，2003.

（上接第33页）

G_t=−1.83 dB（失效判据依照GJB 3492—1998）代入：

$$Y = \ln - (10^{G_t - G_0/10} - 1) \tag{18}$$

式中：Y为表1中随自变量lg(t)变化的因变量。根据式(17)可得：

$$t = e^{2\cdot(Y+\ln S_0 + E/KT)} \tag{19}$$

取常温贮存温度为20 ℃，最终得到中频对数放大器的常温贮存时间为17.2 a。

4 结论

中频对数放大器的主要失效机理为其GaAs极管的栅金属下沉导致的电参数变化。通过运用失效物理的方法，分析其失效模型，得到其退化的时间方程。根据高温加速试验获得的数据，依照GJB 3492—1998确定的失效判据，得到其在高温环境中的失效时间为350 h。拟合数据并对照常温观测数据计算出其激活能为0.4507 eV，最终计算出中频对数放大器的常温贮存失效年限为17.2 a，与观测数据相符，证实了模型的准确性，为今后的相关研究提供了参考。

参考文献：

[1] 黄云. GaAs微波单片集成电路的主要失效模式及机理[J]. 电子产品可靠性与环境试验，2002，1(3)：37—39.

[2] 吴海东，庄志强，莫郁薇，等. GaAs MMIC可靠性研究与进展[J]. 电子产品可靠性与环境试验. 2001，5(1)：29—33.

[3] YAMADA F M，OKI A，STREIT D，et al. Performance and Reliability of an Advanced Production GaAs HBT Process Technology[J]. GaAs ManTech Digest，2000，9(7)：33—37.

[4] CRAMER H，OLIVER J，DIX G. MMIC Capacitor Dielectric Reliability[C]// Proceedings of GaAs Reliability Workshop，1998. IEEE，1998：46—51.

[5] 雷剑宇，霍佳倩，楚丽妍. 载人航天器关键电子产品综合环境应力试验[J]. 装备环境工程，2012，9(5)：6—8.

[6] 范志峰，齐杏林，雷彬. 加速可靠性试验综述[J]. 装备环境工程，2008，5(2)：37—39.

[7] SWANSON D. Thin-film Lumped-element Microwave Filters[C]// Microwave Symposium Digest，1989，IEEE MTT-S International. IEEE，1989：671—674.

[8] SCHNIEDER F，HEINRICH W. Model of Thin-film Microstrip Line for Circuit Design[J]. Microwave Theory and Techniques，IEEE Transactions on，2001，49(1)：104—110.

[9] TESSMANN A. 220-GHz Metamorphic HEMT Amplifier MMICs for High-resolution Imaging Applications[J]. Solid-State Circuits，IEEE Journal of，2005，40(10)：2070—2076.

[10] LEE T，WATSON K，CHEN F，et al. Characterization and Reliability of TaN Thin Film Resistors[C]// Reliability Physics Symposium Proceedings，2004 IEEE International. IEEE，2004：502—508.

[11] VINAYAK S，VYAS H P，MURALEEDHARAN K，et al. Ni-Cr Thin Film Resistor Fabrication for GaAs Monolithic Microwave Integrated Circuits[J]. Thin solid films，2006，514(1)：52—57.