

# 夹层隔热板相对挠度的一种新测试系统 及对有关部标的商榷

何其渝 徐道端

(农业部冷库及制冷设备质量监督检验测试中心,上海水产大学,200090)

**摘要** 文章介绍了以水重作为均布载荷的夹层隔热板相对挠度的一种新测试系统以及精度的确定。并对有关部颁标准 ZBX99003—86和 JB/T6527—92作了探讨提出了修改意见。

**关键词** 挠度,标准,均布载荷,夹层隔热板

随着我国的社会主义经济的发展,人们生活水平提高,食品贮存用的冷库及其新型材料有很大发展。其中装配式冷库以建造方便,施工期短,适合工业化、标准化生产,而获得广泛应用。新型隔热建筑材料的出现是装配式冷库得以发展的重要条件之一。夹层隔热板就是众多的新材料中的一种,它具有重量轻、易加工等优点,成为装配式冷库的专用材料。

为了保证材料的质量和满足设计的要求,商业部于1986年颁布了 ZBX99003—86[中华人民共和国标准局,1987],机械电子工业部于1992年颁布了 JB/T6527—92等标准[中华人民共和国机械电子工业部,1993],对夹层隔热板的物理力学性能作了规定。

但是作为一种新型材料,人们对它的物理力学性质,包括测试方法的合理性和实用性都是有待进一步深入研究。农业部冷库及制冷设备质量监督检验测试中心对该新型材料进行了大量的测试和研究,积累了一些经验。本文将对冷库夹层隔热板的相对挠度性能的测试原理及方法进行研讨,并对目前使用的部颁标准提出商榷,供修订时参考。

## 1 测试任务的提出及部颁标准

冷库夹层隔热板不仅具有隔热作用,而且应具有一定的强度和刚度,可直接当作建筑的板材构件用于冷库地坪、墙体和顶棚等结构上。

当板材的平面几何尺度较大,又使用在有一定跨度的场合时,在载荷作用下,会产生弯曲下挠现象。如果挠度过大,就不能满足正常和安全的使用要求。为此,我国有关部委颁布了相应的标准条款,规范该新材料的挠度性质及限值。

中华人民共和国商业部颁发的标准 ZB99003—86要求:①夹层隔热板在490pa均布载荷作用下的相对挠度不超过1/250;②要求测出在最大使用载荷作用下的相对挠度的实际值;③要求有一具有加均布载荷和自动测力机构的试验机,其量程范围选择使实际示值在满刻度的10%—90%之间,准确度为±1%。还规定要用精度为0.02mm的百分表测量位移,位移测量值

准确度为0.05mm。④要求在3分钟内完成均布载荷的加载过程。

而中华人民共和国机械电子工业部颁发的标准 JB/T6527—92要求：①夹层隔热在500Pa均布载荷作用下的相对挠度不超过1/250；②要求加载后放置20分钟，才测量板的位移量；③对测试装置、测点布置等没有更详细具体规定。

## 2 测量原理、测试方法和测试装置

根据标准，为了测量夹层热板的相对挠度值，必须具备一套能准确施加均布载荷和准确测出(或读出、记录)所加载荷量值的加载系统，以及能同时准确测出隔热板在均布载荷作用下的相应位移量的测量系统。

根据市场调查，目前我国没有生产专门用于测试隔热板相对挠度的现成设备。在1995及1997年两届国际质量控制与检测设备展览会暨交流会上，对国外有关厂家进行了调查(如日本、英国等)也均未找到专门测试的设备。我国某些高校的实验室，也只是临时搭个架子为支撑，以砖石、砂袋或砝码来模拟均布载荷，进行相对挠度测试。对于强度，刚度，承载能力比较大的构件，少量的加载误差相对其总承载能力来说是微小的，可忽略的。故这些方法是可行的，但对夹层隔热板来说，要求就有所不同。

在90年代初，上海水产大学力学实验室主持下，对夹层隔热板相对挠度的测试方法和测试装置进行了大量的调查研究，设计研制出一套满足标准要求的，专门用于夹层隔热板相对挠度测试的装置。并根据实际测试中出现的种种问题，不断地加以改进。该装置由农业部冷库及制冷设备质量监督检验测试中心采用和改进，于1997年6月通过部级验收。测试结果表明完全能满足 ZBX99003—86及 JB/T6527—92标准中有关挠度测试的各项要求。

该测试装置主要由加载测载系统及位移测量系统组成。并选用水重作为均布载荷。

### 2.1 加载及测载系统

加载及测载系统由一对支撑板材的支座，一个大小尺寸可变的三维立方体框架，硬箱体及软箱体组成的加载系统及测量仪器组成。

考虑到隔热板几何尺寸的多样化，支座是由两根平行钢管构成，按被测的隔热板的实际长度来调整钢管的支撑间距；根据隔热板的宽度调整框架大小；采用灌水的软箱体对夹层板施加均布载荷，载荷的大小可通过测量水位的高度来换算。本系统采用玻璃连通管和钢直尺测出水深，即可获得均布载荷值。

### 2.2 位移测量系统

选用光栅式数显长度测量仪来代替百分表实现自动化连续测量，既减轻了工作量，又满足标准要求的精度。按规定共布置6个或6个以上测点，其中2个测点设在支座下，用以测量支座的下沉量。

### 2.3 记录系统

采用计算机数据采集及打印系统。

## 3 系统测量精度分析

### 3.1 加载及测载系统

首先,标准(ZBX99003-86)规定载荷的准确度在±1%以内。该装置的均布载荷值是通过钢直尺读取连通管内的水位高而获得隔热板上单位面积载重量。因为在常温下,1mm水柱高相当9.8Pa的均布载荷,而钢直尺测量水位高的最小读取值为0.5mm。则0.5mm×9.8Pa/mm=4.9Pa。按标准要求,测试的均布载荷为490Pa,则载荷的准确度为4.9Pa/490Pa=1%,满足载荷准确度的要求。此外,随着载荷的增加,其准确度相应增加。例如,均布载荷为980Pa时,其准确度应为980×1%=9.8Pa,而钢直尺的精确度仍为0.5mm,即达0.5%。

因为测力系统的零位随隔热板的上表面一同升降,故测力值将不受板的变形的影响。至于因板的挠度带来载荷的均布性和大小的微小变化对载荷准确度的影响是极其微小和次要的,可以略去不计(何其渝,1995)。

### 3.2 位移测试系统

标准中规定选用百分表测量板的变形和位移,即隔热板挠度。但在实际测量中发现,国内生产的百分表的量程较小,最大量程为10mm。而隔热板在到达最大使用载荷作用时,最大变形位移量往往超过10mm。在测试过程中百分表需多次调零,安装及读数都很麻烦,又必须有多名测试人员对多个测点同步测量,工作量较大,而且测量中容易带入误差。对此,我们在该系统中,采用了特制的数显长度测量仪,其最大量程可达25mm,一次完成全部测量。该表的灵敏阈是0.01mm,满足标准的要求(上海市计量技术研究所,1997)。

## 4 测试结果的分析

根据误差理论,对隔热板相对挠度测试的误差分析结果表明,由仪器精确度给测试结果带来的绝对误差 $\Delta S_1$ 是一常量。具体分析如下:

隔热板长度L用钢卷尺测量,其误差为0.5mm。

隔热板的相对挠度为S,计算公式为:

$$s = \frac{f_a - f_b}{L}$$

其中, $f_a$ 为试样跨中变形位移的平均值,其误差为±0.01mm。

$f_b$ 为支座位移平均值,其误差为0.01mm。

L为隔热板的长度平均值,其误差为±0.5mm。

### 4.1 测试系统的误差传递

#### 4.1.1 相对挠度的相对误差

$$\frac{\Delta S_1}{S} = \sqrt{\left[ \frac{\Delta(f_a - f_b)}{f_a - f_b} \right]^2 + \left( \frac{\Delta L}{L} \right)^2} \quad [\text{达式奎等,1987}]$$

其中, $\Delta(f_a - f_b)$ 是跨中绝对位移的误差,决定于数显长度测量仪的显示值,为0.01mm×2=0.02mm。

由于 $\frac{\Delta L}{L}$ 很小,可略去不计。故

(1)何其渝等,1995。室内装配式冷库夹层隔热板相对挠度性能测试设备的说明,农业部冷库及制冷设备质量监督检验测试中心第一检测室技术报告。

(2)上海市计量技术研究所测试报告第9601782号,1997。

$$\frac{\Delta S_1}{S} \approx \frac{\Delta(f_a - f_b)}{f_a - f_b}$$

#### 4.1.2 相对挠度的绝对误差

$$\Delta S_1 = S \times \frac{\Delta S_1}{S} = \frac{f_a - f_b}{L} \times \frac{\Delta(f_a - f_b)}{f_a - f_b} = \frac{\Delta(f_a - f_b)}{L}$$

当取板长  $L = 2000\text{mm}$  时,其绝对误差  $\Delta S_1 = \pm 10^{-5}$ 。

#### 4.2 相对挠度的最大极限偶然误差

在实际测试中,对一块夹层隔热板5次重复测试所得结果的分析可知,相对挠度的最大极限偶然误差为  $\Delta S_2 = \pm 10^{-4}$  (何其渝等,1996)。这表明,该设备的绝对误差比极限偶然误差小一个数量级。因此,可只考虑其极限偶然误差的影响。所以,该测试装置的准确度为  $\pm 10^{-4}$ 。

又如在本测试中心验收时的抽验项目中,对一块隔热板在载荷为490Pa以及最大使用均布载荷作用下的相对挠度进行了两次测试。在490Pa时,其相对挠度两次测量值完全相等,均为0.0035。在600Pa时,其相对挠度两次结果为0.0045和0.0044,其差值为0.0001满足  $10^{-4}$ 。再次验证了该测试装置的准确度达到  $10^{-4}$ ,二次测量数据的比较如下表:

	50×9.8Pa	100×9.8Pa	200×9.8Pa	300×9.8Pa	400×9.8Pa	500×9.8Pa	600×9.8Pa	
$fb_1$		0.20	0.45	0.96	1.44	1.92	2.58	3.04
$fa_1$		0.89	1.92	3.89	5.84	7.78	10.01	12.09
$A = (fa_1 - fb_1)/L$		0.000346	0.000737	0.001469	0.002206	0.002937	0.003724	0.004536
$fb_2$		0.25	0.48	1.02	1.45	1.90	2.37	2.85
$fa_2$		0.92	1.98	4.02	5.88	7.74	9.69	11.62
$B = (fa_2 - fb_2)/L$		0.000336	0.000752	0.001504	0.002221	0.002927	0.003669	0.004396
$A - B$		-1E-05	1.5E-05	3.51E-05	1.5E-05	-1E-05	-5.5E-05	-0.00014

## 5 分析与讨论

(1)影响测试准确度的重要因素是对位移的测量。目前采用的光栅式数显长度测量仪,其示值误差平均值为0.005mm。仪表数显值可达0.01mm,故可认为是准确值,并超过标准中采用百分表的0.02mm精度的要求。

(2)标准中规定隔热板的标准试样的板长  $L$  应为厚度  $H$  的24倍,而在我们测试中心所接受的测试任务中,大多为原板测试,送检的隔热板的  $L/H$  大多为12-20。在490Pa均布载荷时,标准中规定相对挠度值应小于1/250,而实测值仅为几千分之一(如1/4167),远远小于标准的规定。由此可知,对于目前常用的隔热板材来说,标准中规定的均布载荷值偏小,它所引起的相对挠度很小。故从测试准确度来说,均布载荷略有误差不影响板材的相对挠度性能,也可以说,载荷测量的准确度不直接影响相对挠度的测试值。从另一方面讲,当  $L/H$  较小时,板的相对挠度可以免检。

(3)关于加载的速度和加载时间问题。根据我们的测试数据,在按规定在3分钟内加载完毕后,变形位移量读数很不稳,当保持近20分钟后,读数才趋于稳定;如果载荷是在20分钟内缓慢

(3)何其渝等,1996。室内装配式冷库甲层隔热板相对挠度性能测试设备的说明(二),农业部冷库及制冷设备质量监督检验测试中心第一检测室技术报告。

增加到规定值,则位移量读数相当稳定。因此,建议在修订标准时,可以参考机械电子工业部部标 JB/T6527—92关于加载20分钟后测量的要求,将商业部部标 ZB99003—86中关于在3分钟内加载完毕的规定,改为在20分钟内均匀缓慢加载完毕。这样可提高读数的稳定性,还可避免因加载过快的而带有动载荷性质的载荷所引起读数不准确以及快速加载对测试装置带来操作上的不便。

(4)关于均布载荷问题。据了解,常用的均布载荷有砝码、沙包、米袋以及砖块等。尽管在一定的精度要求下,可视为均布载荷,但在加载卸载时,不可能达到均匀连续加载的要求,难免有一定的波动,而且,测载不方便。相比之下,以水重作为均布载荷具有均布性好,连续性好;测载准确,方便可靠,不需专门量重和标定;加载卸载方便、便于控制,适用于连续测量;干扰力小等优点。但是,利用水重作为载荷时,需要专用的注水控制管路系统及蓄水池等设备,适用于专业的实验室使用。

(5)实践表明,以水重作为均布载荷的夹层隔热板的相对挠度测试装置具有载荷连续均匀,精度高,操作方便等优点。完全满足现行有关标准的要求,是一种实用的装置。

(6)关于加载软箱体中的水位测量,可以进一步试用压力传感器或超声波测深仪等,对加载系统的管路实行自动控制,全系统与计算机相联,实现加载、测量、记录、卸载和数据采集处理全自动化。

该项工作是由测试中心第一检测室完成的,并得到第二检测室及中心的支持。在测试结果误差分析中,周华云副教授给予热情的指导和帮助,在此一并表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国标准局,1987.中华人民共和国专业标准 ZBX 99003—86室内装配式冷藏库,商业部提出,1997.1.1实施。
- [2] 中华人民共和国机械电子工业部,1993.中华人民共和国机械行业标准 JB/T 6527—92组合冷库用隔热夹芯板技术条件,1993.7.1实施。
- [3] 达式奎等,1987.食品工程测试,3—38.上海交通大学出版社。

## A NEW MEASURING SYSTEM OF RELATIVE DEFLECTION OF HEAT INSULATION SANDWICH PLATE AND DISCUSSION CONCERNING MINISTRY STANDARDS

He Qi-yu and Xu Dao-duan

(Quality Inspection and Testing Centre for Cold-Storages and Refrigerators,  
Ministry of Agriculture, SFU, 200090)

**ABSTRACT** This paper introduced a new measuring system, using water as a king of even distributed load, for measuring of relative deflection of heat insulation sandwich plate which widely used in cold stores. The results show that the accuracy of measurements by means of the system sufficiently approaches to  $10^{-4}$ . Appraisal has been raised for modification of the Standard of ZBX99003—86 and JB/T6527—92.

**KEYWORDS** deflection, standard, even distributed load, insulation plate