



中华人民共和国国家标准

GB/T 30103.3—2013

冷库热工性能试验方法 第3部分：围护结构热流量检测

Methods of testing for thermal performance on cold store—
Part 3: Heat flux testing for envelop enclosure

2013-12-17 发布

2014-11-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

前 言

GB/T 30103《冷库热工性能试验方法》分为以下 3 个部分：

- 第 1 部分：温度和湿度检测；
- 第 2 部分：风速检测；
- 第 3 部分：围护结构热流量检测。

本部分为 GB/T 30103 的第 3 部分。

本部分由中华人民共和国商务部提出。

本部分由全国制冷标准化技术委员会(SAC/TC 119)归口。

本部分起草单位：国内贸易工程设计研究院、常州晶雪冷冻设备有限公司、烟台冰轮集团有限公司、浙江盾安冷链系统有限公司、大连冷冻机股份有限公司、上海海洋大学、欧文斯科宁(中国)投资有限公司、天津商业大学、集美大学、哈尔滨商业大学、上虞市春晖风冷设备有限公司、济南一诺振华防腐保温工程有限公司、蓬莱市保温防腐工程有限公司、北京华都茂华聚氨酯制品有限公司、北京朝阳新兴制冷设备厂、保定欣达制冷空调工程有限公司、北京二商集团有限责任公司、北京华商冰山制冷空调成套设备有限公司、全国商业冷藏科技情报站、国家商用制冷设备质量监督检验中心。

本部分主要起草人：刘小明、肖杨、万锦康、孙国良、徐庆磊、张建一、焦玉学、郭皓、张力、曹际、唐俊杰、申江、贾富忠、倪黎敏、李文江、于苗根、赵荣华、顾众、仇子军、王聪慧、王室元、唐大明、沈忠炎。

冷库热工性能试验方法

第3部分：围护结构热流量检测

1 范围

GB/T 30103 的本部分规定了土建冷库及装配式冷库保温性能中围护结构热流量和传热系数的检测方法。

本部分适用于各种类型新旧冷库冷间隔热性能和对能耗影响的计算。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3399 塑料导热系数试验方法 护热平板法

GB/T 10294 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法(GB/T 10294—2008, ISO 8302:1992, IDT)

GB/T 10295 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 热流计法(GB/T 10295—2008, ISO 8301:1991, IDT)

GB/T 10297 非金属固体材料导热系数的测定 热线法

GB/T 10801.1 绝热用模塑聚苯乙烯泡沫塑料

GB/T 10801.2 绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)

GB/T 15912.1 制冷机组及供制冷系统节能测试 第1部分：冷库

GB/T 20219 喷涂硬质聚氨酯泡沫塑料(GB/T 20219—2006, ISO 8873:1987, IDT)

GB/T 21668 建筑绝热用硬质聚氨酯泡沫塑料

GB 50072 冷库设计规范

GB/T 30103.1 冷库热工性能试验方法 第1部分：温度和湿度检测

GB/T 30103.2 冷库热工性能试验方法 第2部分：风速检测

GBJ 17 室外装配冷库设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

单位面积热流量 heat flux

从一个温度较高的物体或环境，向另一个温度较低的物体或环境，在单位时间、单位面积里传输的热量。又称热流密度，用 q 表示，单位： W/m^2 。

3.2

围护结构 envelop enclosure

围合建筑空间四周的墙体、顶板、地坪、门等及构成冷库空间，抵御环境不利影响的构件（也包括某些配件）。具有保温、隔热、防水、防潮、耐火、耐久等性能。其特点是，在冷库的内外墙面之间，采用具有较高热阻的材料构成的隔热体。

3.3

冻结间 freezing room

对产品进行冻结加工的房间。

3.4

冷藏间 cold storage room

用于贮存经冷却或冻结加工产品的房间。具有适合货品固有特性的温、湿度环境,能最大限度地延长食品贮藏期限的冷间。冷藏间分为冷却物冷藏间、冻结物冷藏间及多种用途冷藏间等。

3.5

直接电能消耗量 direct electrical energy consumption

DEC

电气部件的能量消耗,单位:kW/h。

3.6

制冷电能消耗 refrigeration electrical energy consumption

REC

常规制冷系统所必须的能量消耗,单位:kW/h。

3.7

总能量消耗 total energy consumption

TEC

制冷电能消耗(REC)和直接电能消耗(DEC)的总和。

4 试验方法

4.1 总则

测试冷库围护结构传热量可采用本部分所述试验方法。对于土建冷库结果应符合 GB 50072 的规定,对于室外装配冷库结果应符合 SBJ 17 的规定,如表 1 所示。由于冷库能耗与围护结构的热流量密切相关,在进行围护结构热流量测量的同时,可参照附录 A 进行冷库能耗的测量和计算,对围护结构热流量的情况进行验证。

表 1 围护结构的单位面积热流量设计值

单位为瓦每平方米

围护结构类型	冷间外墙、屋面或顶棚	冷间隔墙
设计温差下的单位面积热流量	$\leq 11(7\sim 11)$	$\leq 12(10\sim 12)$

4.2 热平衡法(分新库与旧库两种情况)

4.2.1 新库试验

4.2.1.1 试验原理

本试验方法基于一维稳态传热原理。在新库无制冷的条件下,在冷库内设置电加热装置,调节库内电加热装置的耗电量,稳定库内外环境温度,库内、外温差为 20℃ 以上,通过库体隔热板之间的传热达到稳定状态。在此稳定状态下,测量库内外空气温度和输入到库内的功率等参数,计算出冷库库体的热流量。

4.2.1.2 试验条件

试验应满足以下要求:

- a) 库内外温度差应大于 20℃;

- b) 库内应装风扇以搅动空气,使温度分布均匀;
- c) 库内电加热装置应均匀地辐射热量;
- d) 数据采集期间,冷库应密闭,所有通风孔应堵塞,防止空气流通。

4.2.1.3 仪器和设备

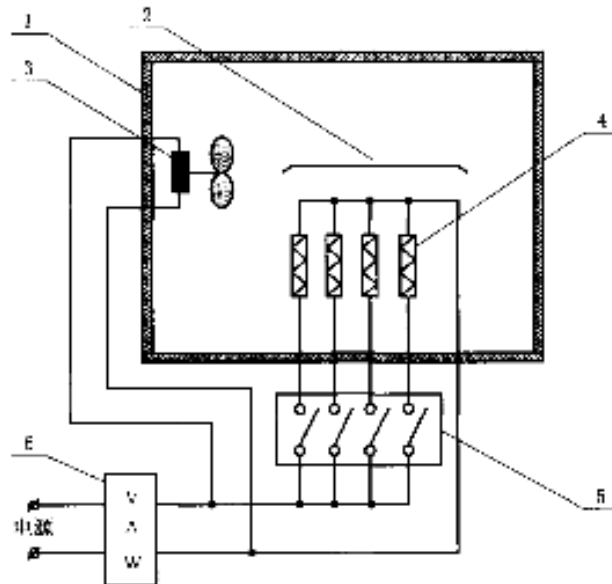
试验应配备以下的仪器和设备:

- a) 电热元件、风扇和调压器;
- b) 电压表、电流表、功率表或电能表,精度 $\pm 1\%$;
- c) 用于库内温度测量的传感器应符合 GB/T 30103.1《冷库热工性能试验方法 第1部分:温度和湿度检测》的要求,精度 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- d) 时间测量仪表,精度 $\pm 0.1\%$ 。

4.2.1.4 试验步骤

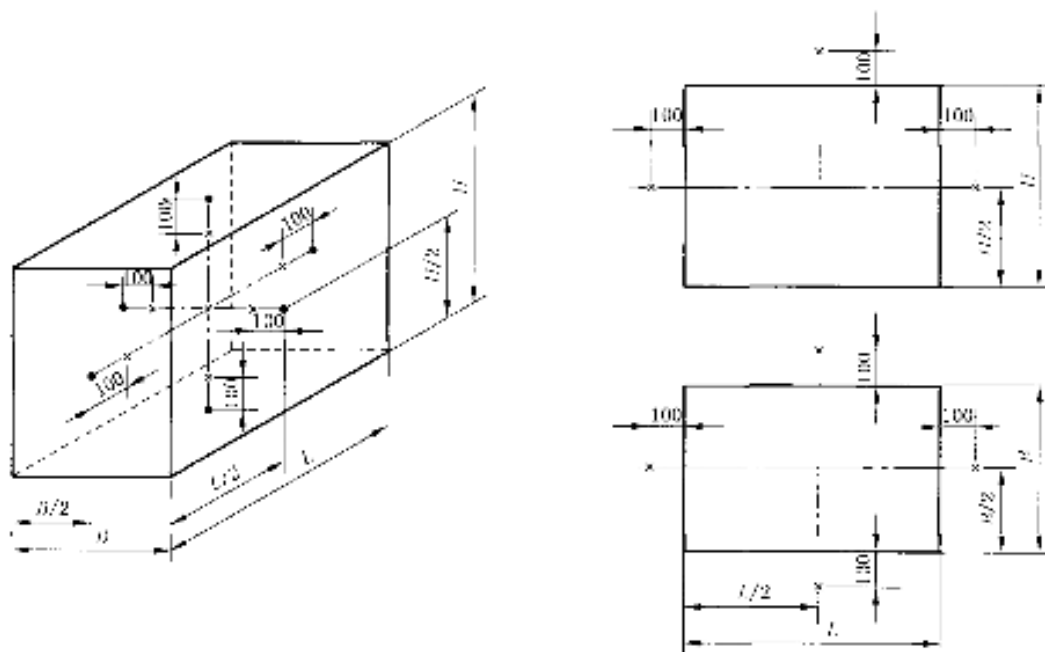
应按以下试验步骤进行试验:

- a) 试验按图 1 所示,温度测量传感器的位置和数量按图 2 所示;
- b) 建立需要的试验温度,当达到稳定状态后 30 min 开始试验。其间,电源电压波动不超过 $\pm 3\%$;
- c) 试验周期:达到试验条件后,至少每隔 15 min 读取和记录一次仪表读数。稳定环境条件下(库内外平均温度波动值小于 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)试验应至少持续 6 h。自然环境条件下试验应至少持续 13 h;且应有稳定的天气条件及稳定的周期性温度变化,冷库库内不同制冷周期平均温度(库内工作温度)的差值不大于 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$,库外 24 h 不同周期平均温度的差值不大于 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$,应在库外风速相近的情况下进行测量。



- 1——冷库;
- 2——防辐射屏;
- 3——风扇;
- 4——电加热器;
- 5——开关;
- 6——电参数表。

图 1 热平衡法温度传感器布置图



注1: x为测点位置;

注2: 当冷库L>10 m时,需在库内增加5个测点,库外增加3个测点,位于L/3等距分布的横断面内。

图2 热平衡法温度测点布置图

4.2.1.5 计算

每次读数按下式计算传热系数:

$$K_i = \frac{Q}{A(T_{in} - T_{out})} \dots\dots\dots(1)$$

$$A = \sqrt{(A_1 \cdot A_2)} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

K_i ——每次试验的传热系数,单位为瓦每平方米开尔文[W/(m²·K)];

Q ——为热流量,即为输入到库内的总有功功率,单位为瓦(W);

A ——为传热面积,单位为平方米(m²);

A_1 ——库体外表面面积,单位为平方米(m²);

A_2 ——库体内表面面积,单位为平方米(m²);

T_{in} ——库外平均温度,单位为摄氏度(°C);

T_{out} ——库内平均温度,单位为摄氏度(°C)。

试验结果应按下式确定:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

n ——为试验中总的读数次数,对于自然环境条件下试验,应取24 h左右一个完整周期的数据。

K ——为传热系数,单位为瓦每平方米开尔文[W/(m²·K)]。

除图2所示方法外,温度测点布置也可采用如下方法:视库房大小把空间划分为若干个立方体,一

般划分为 8 个或 16 个立方体,在各立方体中心布一测点,外侧气温测点离壁面距离为 150 mm,每个面均匀布 4~6 个测点。

4.2.2 旧库试验

4.2.2.1 试验原理

4.2.2.1.1 将空库升温,参照新库的测量方法测试传热系数。

4.2.2.1.2 只能在低温下测试时,制冷系统的制冷量 Q_0 的测试宜采用空气侧和制冷剂侧两种方法同时测量。在旧库且为空库条件下,在库房内均匀布置若干电加热装置,调节发热量使库内空气温度维持在规定的低温下(如 $-18\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或更低),由已知该工况下制冷量 Q_0 及其他冷耗 Q_2 ,按式(4),计算出围护结构传热流量 Q_1 。

4.2.2.2 试验条件

试验应满足以下要求:

- 库内温度,测量精度 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 蒸发器进/出口温度,测量精度 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 制冷剂压力,测量精度 $\pm 1\%$;
- 制冷剂流量,测量精度 $\pm 3\%$;
- 其他条件同 4.2.1.2。

4.2.2.3 仪器和设备

同 4.2.1.3。

4.2.2.4 试验步骤

同 4.2.1.4。

4.2.2.5 计算

每组中计算四次原始数据,按公式(4)和公式(6)算出一个平均值,四组平均值再求出平均值为试验结果值。

$$Q_1 = Q_0 - Q_2 - Q_3 \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

Q_0 ——制冷系统的制冷量,可按照 GB/T 30103.2《冷库热工性能试验方法 第 2 部分:风速检测》中附录 A 中冷风机的产冷量计算方法计算,单位为瓦(W);

Q_1 ——围护结构热流量,单位为瓦(W);

Q_2 ——工况平衡时电加热装置热流量,单位为瓦(W);

Q_3 ——其他冷耗、照明等其他发热设备的的热流量,单位为瓦(W)。

试验结果应按下式确定

$$Q_1 = \frac{\sum_{j=1}^4 Q_{1j}}{4} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

j ——为每组试验中的读数次数;

Q_{1j} ——为每组 4 次试验的组平均围护结构热流量,单位为瓦(W)。

$$Q_i = \frac{\sum_{j=1}^i Q_j}{i} \dots\dots\dots(6)$$

4.3 热流计法

热流计法不宜用于评价整体库房的传热系数,通常用于黏贴热流计板处的局部单位面积热流量的测量。

4.3.1 试验原理

将一组串联的热电偶堆组成的热流计感应元件粘贴在冷库的内表面上,当有热流通过感应元件时,其两表面间存在温差,热电偶堆因此产生热电势,由此测出热流量。热流计是由几百对或上千对铜-康铜热电偶串联而成的薄板,其本身热阻较小,而冷库围护结构热阻较大,把热流计敷贴在围护结构表面上,不会影响热量的传递。

4.3.2 试验条件

试验条件应满足以下要求:

- a) 库内外温差应大于 20 ℃;
- b) 在测试周期之内严禁开启库门进出货,试验期间应防止人员走动和冷风机启动时对测量的扰动。

4.3.3 仪器和设备

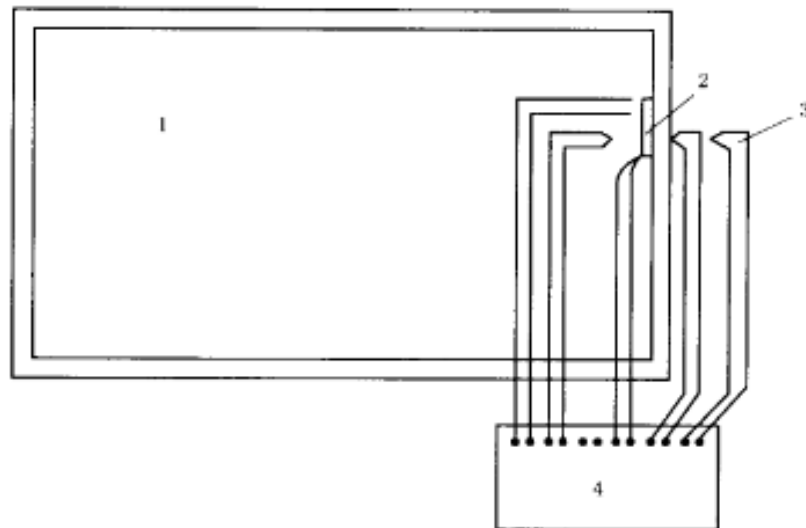
试验所用仪器和设备应满足以下要求:

- a) 热流计板,精度 ±5 %;
- b) 温度传感器,精度 ±0.5 ℃;
- c) 电压仪表,精度 0.5 级。

4.3.4 试验步骤

应按以下步骤进行试验:

- a) 选点
在需要测量的冷库壁面布置测点,或每个壁面至少布 4 个测点,壁面要求平整光洁。
- b) 敷板
在壁面上涂上一层薄黄油,在热流计元件贴面上均匀涂一层黄油,在贴板中心处及对应的外壁处各放置一支热电偶,空气中也放一支热电偶,然后紧密敷贴在壁面上不得留有空隙。
- c) 接线
热流计板接线、内外壁面电偶及空气中热电偶接线与显示仪表的连接按图 3 进行。
- d) 试验周期
贴板后稳定一段时间(6 h~10 h),达到试验条件后,至少每隔 30 min 读取和记录一次仪表读数,在稳定环境条件下(库内外平均温度波动值小于 ±0.5 ℃),试验应至少持续 6 h,自然环境条件下试验应至少持续 48 h,且应有稳定的天气条件及稳定的周期性温度变化,冷库库内不同制冷周期平均温度(库内工作温度)的差值不大于 2 ℃,库外 24 h 不同周期平均温度的差值不大于 3 ℃,应在库外风速相近的情况下进行测量。



- 1——冷库；
 2——热流计；
 3——热电偶二支壁温、二支气温；
 4——数字电压表。

图3 热流量测量接线图

4.3.5 数据记录及处理

试验应记录以下数据：

- a) 冷库外壁温度,单位:℃;
- b) 库外空气温度,单位:℃;
- c) 冷库内壁温度,单位:℃;
- d) 库内空气温度,单位:℃;
- e) 热流计温差电势值,单位:mV;
- f) 热流计常数 c ,单位: $W/(m^2 \cdot mV)$;
- g) 试验期间机房运行情况;
- h) 压缩机开机、停机时间;
- i) 库房供液和停止供液时间、温度、库房开、停风机时间;
- j) 通过围护结构的热流量,对于读取电压值的热流计按式(7)计算单位面积热流量的值;

$$q = c \cdot \Delta E \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

q ——单位面积围护结构热流量,单位为瓦每平方米(W/m^2);

c ——热流计常数,单位为瓦每平方米毫伏 [$W/(m^2 \cdot mV)$];

ΔE ——热流计温差热电势读数,单位为毫伏(mV)。

- k) 记录试验周期内的各组数据,对于自然环境条件下试验,应取 $24\text{ h} \pm 1\text{ h}$ 一个较完整的周期性数据(开始与结束时的环境温度尽量一致),进行整理。热流计位置号需按现场画出贴板位置和编排。按式(8)计算出测试周期内冷库围护结构平均单位面积热流量。

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n} \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中:

n ——围护结构单位面积热流量读取次数。

宜采用连续自动记录方式。

4.4 现场取样法

在冷库围护结构适当的位置提取隔热材料样本或在冷库施工现场提取施工材料样本,进行试验室测试,应至少在2个不同的有代表性的部位各提取1个或1组样本,样本尺寸等要求应符合相关材料的国家标准和行业标准,其试验结果应满足标准要求。现场样品提取后应对提取部位修复。

对于现场喷涂的硬质聚氨酯泡沫塑料应符合 GB/T 20219 的要求。

对于硬质聚氨酯样本应符合 GB/T 21558 的要求。

对于模塑聚苯乙烯泡沫塑料应符合 GB/T 10801.1 的要求。

对于挤塑聚苯乙烯泡沫塑料应符合 GB/T 10801.2 的要求。

测量绝热材料导热系数的试验方法,可按照 GB/T 3399、GB/T 10294、GB/T 10295、GB/T 10297 进行。

导热系数的测量可选择其中一种试验方法进行测量,其样品应符合所采用试验方法所对应的标准要求。

根据样品试验室测试结果和冷库现场测量的尺寸及温度参数等推算冷库热流量。

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} A \Delta t \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

Q ——冷库围护结构热流量,单位为瓦(W);

λ ——通过取样测得的围护结构隔热材料的导热系数,单位为瓦每米摄氏度[W/(m·℃)];

δ ——围护结构隔热材料的厚度,单位为米(m);

A ——冷库围护结构面积,单位为平方米(m²);

Δt ——冷库围护结构内外壁面温差,单位为摄氏度(℃)。

4.5 制冷量现场测试——热流量换算法

4.5.1 制冷剂流量焓差法

根据制冷原理,在适当的位置测量制冷系统的制冷剂流量、供液温度和压力、回气温度和压力,按照焓差法计算出所对应的制冷系统的制冷量 Q_0 ,并以此推算该制冷系统所对应的冷库冷间的围护结构热流量 Q_1 可按式计算:

$$Q_1 = Q_0 - (Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

Q_0 ——制冷系统的制冷量(也可按照 GB/T 30103.2《冷库热工性能试验方法 第2部分:风速检测》中附录 A 中冷风机的产冷量计算方法计算),单位为瓦(W);

Q_1 ——冷间围护结构热流量,单位为瓦(W);

Q_2 ——冷间内货物热流量,单位为瓦(W);

Q_3 ——冷间通风换气热流量,单位为瓦(W);

Q_4 ——冷间内电动机运转热流量,单位为瓦(W);

Q_5 ——冷间操作热流量,单位为瓦(W);但对冷却间及冻结间则不计算该热流量;包括照明热流量;库门开启热流量;操作人员热流量。

注:冷间内货物的呼吸热 Q_2 可查阅 GB/T 15912.1。在现场测试时,不进行通风换气及操作,关闭照明,则 Q_2 和 Q_5 可取值为零。

在冷库测试现场,可在制冷管道上串接安装质量流量计或安装耐低温的超声波流量计。

使用超声波流量计时,应注意供冷管道壁厚、管道材质和制冷剂热物性参数的获取。宜使用测厚仪测量冷库现场制冷管道壁厚,根据设计资料选择确定的管道材质,制冷剂的热物性参数可查阅制冷剂热

物性表。

采用本测试方法的测试周期不小于 48 h, 冷库库内不同制冷周期平均温度(库内工作温度)的差值不大于 2 ℃, 库外 24 h 不同周期平均温度的差值不大于 3 ℃。

4.5.2 压缩机负荷焓差法

根据制冷原理, 在适当的位置测量单个压缩机独立系统的排气温度和压力、吸气温度和压力, 根据压缩机负荷, 查阅压缩机手册图表得出该压缩机系统所对应的冷库间室的产冷量 Q_c , 可按公式(10)进行计算。

采用本测试方法的测试周期不小于 48 h, 冷库库内不同制冷周期平均温度(库内工作温度)的差值不大于 2 ℃, 库外 24 h 不同周期平均温度的差值不大于 3 ℃。

5 报告

5.1 总则

报告应包括试验编号; 试验冷库编号, 环境条件; 试验日期、时间、地点; 试验检测人员, 审核人员签名。

5.2 被测冷库的基本情况

应包括:

- 冷库概况, 如类别、库容、围护结构、运行状况、年度耗电量等;
- 冷库制冷系统的流程图及技术特征;
- 主要设备清单及技术参数。

5.3 对于冷库的每一温区(冷间)

监测报告至少应包括以下内容:

- 库温及储存货物的名称和质量, 对于多温库应当分别加以说明;
- 测点的布置图;
- 计算过程与计算结果;
- 原始数据应以附件或图表的形式作为报告的有效组成部分;
- 进行测试误差分析的结果;
- 测试、计算方案的说明, 保证在出现复测需要时可以根据报告中的说明进行复测;
- 应给出是否符合 GB 60072 要求的说明;
- 根据客户要求给出是否符合设备额定值和特定要求的说明;
- 当测试过程存在本标准未加规定的、且影响测试、计算和最终结果的因素时, 应在监测报告中详细加以说明。

5.4 仪器仪表

检测仪器仪表名称、型号、编号及校准有效期。

5.5 试验结果和结论

试验结果数值对照围护结构传热量设计值, 作出符合规范或不符合规范的结论, 如有异议, 以热平衡法作为仲裁依据。

附 录 A
(资料性附录)

冷库围护结构热流量测试时的冷库能耗测量和计算方法

A.1 总则

在进行冷库围护结构热流量测试以及制冷量测试的同时,可进行冷库总能耗和各用能设备能耗的测量,并计算能耗系数。能耗测量时,有关能耗测量的仪器设备要求同本部分 4.2.1.3。采用本计算方法的测试周期不小于 48 h。

A.2 冷库日耗电量

耗电量通过以下方法获得。

- a) 通过读取电表读数获得直接电能消耗 DEC;
- b) 通过下列经验公式折算 24 h 制冷电能消耗 REC;

$$REC = \sum_{i=1}^{24} \left[\Phi(i) \cdot \frac{T_c - T_{ev}(i)}{0.34 \times T_{ev}(i)} \right] \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

或当蒸发温度变化较小时,

$$REC = Q_{24} \times \frac{T_c - T_{m, ev}}{0.34 \times T_{m, ev}} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

REC —— 24 h 制冷电能消耗,单位为千瓦小时每 24 小时(kW·h/24 h);

$\Phi(i)$ —— 单位时间间隔的制冷量,单位为千瓦小时(kW·h);

$T_{ev}(i)$ —— 瞬时蒸发温度,单位为开尔文(K);

$T_{m, ev}$ —— 平均蒸发温度,单位为开尔文(K);

T_c —— 冷凝温度,单位为开尔文(K)(取恒定冷凝温度为 308.15 K=35℃,但计算时温度单位用 K);

Q_{24} —— 24 h 总制冷量,单位为千瓦小时每 24 小时(kW·h/24 h)。

- c) 冷库 24 h 总能量消耗,TEC,单位为千瓦小时每 24 小时(kW·h/24 h)

$$TEC = DEC + REC \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

A.3 冷库能耗系数

能耗系数可用每吨位日耗电量 and 每立方米日耗电量两种方法表示。

A.3.1 冷库每吨位日耗电量表示法

A.3.1.1 冷库的计算吨位

$$G = \frac{\sum V_i \rho_i \eta}{1\ 000} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

G —— 冷库的计算吨位,单位为吨(t);

- V_i ——冷间的公称容积,单位为立方米(m^3);
 η ——冷间的容积利用系数;
 ρ_s ——食品的计算密度为千克每立方米(kg/m^3)。

A.3.1.2 每吨位日耗电量表示法

$$\frac{TEC}{G} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{max}} TEC_i}{G} \quad kW \cdot h / (t \cdot 24 h) \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

- N_{max} ——冷库的冷间数;
 G ——冷库吨位,单位为吨(t)。

A.3.2 每立方米日耗电量表示法

$$\frac{\sum_{i=1}^{N_{max}} TEC_i}{\sum_{i=1}^{N_{max}} V_i} \quad kW \cdot h / (m^3 \cdot 24 h) \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

- V_i ——冷库容积,单位为立方米(m^3)。