

散热器性能标准试验台的改进及应用研究

**Improvement and Application Research of  
Radiator Thermal Performance Test  
Equipment**

学科专业：热能工程

研究生：张链

指导教师：娄承芝 高级工程师

天津大学环境学院

二零零八年五月

## 中文摘要

在有关散热器产品的研发过程中，按照国际标准和国家标准建造的散热器性能标准试验台起着关键作用。对散热器性能标准试验台来说，它的温度检测、温度控制和流量检测的精度直接影响测试结果，是确定检测产品合格与否的重要组成部分。本文对散热器性能标准试验台系统进行重新设计和改进，提高了控制和检测系统的精度和准确度。同时在软件方面进行改进，提高了散热器热工测试结果的精度。

本文以散热器性能标准试验台作为一个平台研究新型的电子式热分配表的测试方法，对电子式热分配表测试过程中测温点的温度变化进行测试并得出结论热阻塞现象必须避免否则电子式热分配表的读数将明显偏高，在此试验台进行测试，经计算得出该电子式热分配表的 C 值完全符合国家标准。确定的四个测温点温度分布基本反映电子式热分配表的热工性能，对于以后进一步研究和完善电子式热分配表提供了参考和借鉴。

**关键词：** 电子式热分配表 试验台 散热器

# ABSTRACT

Radiator thermal performance test equipment conforming to the international standards ISO3147-3150 and national standard GB/T13754—92 play an key role in the processing of developing a new type of heat radiator. And for a radiator thermal performance test equipment, the precise of temperature controlling, temperature measuring and flux measuring are the vital factors. So this paper modified and optimized the former system. Improve the precise and veracity of the control and measure system of this core problem in radiator thermal performance test equipment. By the excellence of the computer, with the application of the optimized auto-test system with the core of computer, this paper also optimized the software system at the same time. And improved the precision of the auto-test system for radiator thermal performance test equipment

This paper research a new electronic heat cost allocate test method by Radiator thermal performance test equipment. In the test of electronic heat cost allocate, this paper test temperature changed of the four temperature measure point and get a result that a backup of heat appeared. People use electronic heat cost allocate must avoid this backup. In the new electronic heat cost allocate, this paper test temperature distributed and get the result of the new electronic heat cost allocate. And C-value of the electronic heat cost allocate satisfy with GB. From this test and research, we could gain some experience and reference for farther research and perfect the new electronic heat cost allocate.

**KEY WORDS:** Electronic Heat cost allocate    Test Equipment    Radiator

## 独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 天津大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名：张链 签字日期：2008 年 06 月 05 日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 天津大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 天津大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

(保密的学位论文在解密后适用本授权说明)

学位论文作者签名：张链

导师签名：姜承尧

签字日期：2008 年 06 月 05 日

签字日期：2008 年 6 月 6 日

## 第一章 绪论

### 1.1 散热器性能标准试验台和热分配表的发展现状

#### 1.1.1 散热器性能标准试验台的发展现状

在散热器产品的研发过程中，散热器性能标准试验台起着重要作用。在供热系统设计中，设计的基础是清楚的了解所选择散热器产品的热工性能，知道它在某一工况下的散热量。因此，任何新型散热器产品的研发，必须要在散热器性能标准试验台上进行热工性能的实际测试。另外，近年来，随着计量供热等新技术的发展，一些与散热器有关的新产品（如热计量表）也陆续出现进入市场，它们的部分性能检测也需要在散热器性能试验台上进行。检验和测试新型散热器产品以及相关的配套产品，促进新产品的开发和生产，扩大企业的市场占有率，散热器性能标准试验台是必不可少的<sup>[1]</sup>。

国外生产与供热相关产品的大公司例如 HONEYWELL、DANFOSS 也都有自己的试验台。我国目前也已经建成了多套散热器性能试验台，例如国内的清华大学试验台、中国建筑科学研究院空气调节所试验台、哈尔滨工业大学试验台等，这些试验台为我国的散热器产品的设计和定型做出了很大贡献。

#### 1.1.2 热分配表的发展现状和未来

供暖系统是人们冬天正常生活的必要设施，我国用于房屋供暖的锅炉有几百万台，每年供暖的费用高达千亿元。在过去相当长的一段时期内，中国城市的集中供热一直遵循着计划经济的理念，为企事业单位和居民提供福利式的服务，实行的是按供热面积收费，与是否用热无关，因此，房中长期无人居住时不停暖气；暖气过热时宁可开窗，也不肯将阀门关小。这些因素引起的热能浪费高达 20%，价值达百亿元。以上问题的存在，一方面造成热的生产、输送、管理和使用等环节的节能意识淡薄，浪费了资源；另一方面使产、供、需三方的矛盾日益激化，引起越来越多的纠纷，从而影响到企业的经营及人们的日常生活。要改变这一现

状就必须进行结算方式的改革,打破大锅饭式的供暖包费制,采用集中供热按户计量收费制<sup>[2]</sup>。

热能的准确计量和科学、合理的收费,是关系到国计民生的大事,已成为社会关注的焦点。热能表是用来测量一个热流回路中流体吸收或释放热量多少的仪器,是热量计量的基础。这项技术起源于欧洲,早在 20 世纪 20 年代欧洲就开始进行按户计量采暖费用,尤其是经历了 70 年代初期的能源危机后,如何在保持经济发展的同时节省有限的能源成了各国的研究课题。各种商业、民用和工业建筑采暖所需的能量消耗非常巨大,这种情况在气候寒冷的北欧国家更为严重,因为那些国家冬季室内外温差大,采暖期也特别长。从实际调查和理论分析看,单单从加强建筑本身的保温性能来节能是很被动的,节约程度也非常有限。在 80 年代初期,采暖计费制度已经在欧美国家普及了,计费方法也逐步得到完善,热量计量技术也已基本成熟。目前在欧洲广泛采用的热计量设备有三种,即蒸发式热分配表、电子式热分配表和精密复杂的热能计量表。调查资料表明,国外实行集中供热按户计量后节能率为 10%~20%。就目前国内能源供应状况和群众支付能力来看,供热改革已是刻不容缓。从技术角度来看,欧洲这种热能自动计量和控制技术在我国也是行得通的。不过,欧洲的热能表在中国应用存在局限。

蒸发式热分配表在欧洲暖气计量领域运用最为广泛,其数量在所有热计量设备中占主导地位。蒸发式热分配表根据蒸发原理制造,有导热板和蒸发液两部分,由蒸发液的蒸发量来测得单个用户在系统总费用中所占的比例,以此进行热费分配。蒸发式热分配表的特点是计量系统工作原理简单易行,技术成熟可靠,制造和使用成本较低;不受系统流量指标的制约,安装方便,不用改造旧有管道系统;计量的不是物理值,而是分配值,因而便于将公用面积耗热量及管路损耗费用分摊到每个用户,避免了户用热能表收费系统的表外加价难题。

建设部要求 2000 年以后新建住宅和公建工程的供热室内采暖系统必须设计为一户一表系统,其系统应具有分户控制、分户计量和按户收费的功能。凡原有住宅建筑的室内采暖补建工程,也必须按供热计量系统设计。由此开始了我国的热量计量收费改革。北京、天津、沈阳、长春、哈尔滨、济南等城市已着手开展这项工作。这就意味着在今后几年内,全国将需要 5000 万台热能表投入使用。随着该项工作的不断发展,对热能表的需求将有一个巨大的市场,但目前只是在

一些新建的小区进行了小范围试点工程，并没有具体的收费政策出台。

由于热能表将在民用住宅中广泛应用，因此国家质量技术监督局将其列为重点管理的计量器具，在安装使用前必须进行首次强制鉴定。为了适应热能表使用的需要，国家及省市级法定计量鉴定机构将使用热能表的标准装置，用于热能表安装前的首次强制鉴定、产品定型鉴定试验、产品质量监督抽查和产品质量仲裁等工作。热能表的生产厂家在产品的设计、定型、出厂检验时也需要这些装置。由于热能表的需求较大，热能表的标准装置的应用量也会有较大规模。目前已有几个国外厂家的热能表进入国内市场，国内也已有十几个热能表生产厂家进行生产[3],[4]。

## 1.2 散热器性能标准试验台的核心问题

在进行散热器热工性能测试工作中，不可避免的会出现偏差，其偏差主要来源于测量过程和数据处理过程。因此，为了提高测试结果的准确性，必须提高测量和数据整理的精度。

对于一个标准的散热器性能试验台而言，其结构尺寸和围护结构的热工性能都可以比较容易的达到要求，关键的问题在于小室内温度的稳定控制以及温度、流量的准确测量。散热器的热工性能一直由试验测定，我国已有相应标准。随着散热器行业的发展，需要设计并搭建符合国际、国家标准的试验台系统。ISO 标准规定，散热器性能测试必须在稳态条件下进行，稳态条件主要包括温度稳态和流量稳态。为此，必须对供热介质系统和冷却系统进行控制，使供热介质系统的流量、温度和测试小室的温度场(空间温度和壁面温度)稳定在所要求的数值内。

## 1.3 国内外相关标准

### 1.3.1 散热器性能标准试验台的国内外相关标准

散热器性能标准试验台的目的是在统一的测试条件下进行散热器热工性能测试，从而得出散热器的热工参数。从理论上讲，同一个散热器产品在不同的试验台进行试验，或者在同一个试验台进行多次试验，最后得到的测试结果应该是相同的，为此，需要有统一的测试标准和方法。

关于散热器的散热量测定方法，国家早在 1986 年就参照国际标准 ISO3147—1975 (E)《热交换器——供水或蒸汽主环路的热平衡试验——原理和试验方法》、ISO3148—1975《用空气冷却闭式小室确定辐射散热器、对流散热器和类似设备散热量的试验方法》、ISO3149—1975《用液体冷却闭式小室确定辐射散热器、对流散热器和类似设备散热量的试验方法》、ISO3150-1975 (E)《辐射散热器、对流散热器和类似设备散热量计算和结果的表达式》制定了部颁标准：《采用闭式小室测试采暖散热器的热工性能》JGJ32-86，并于 1987 年 5 月 1 日实施。1992 年对该标准重新修订后，上升为国家标准《采暖散热器散热量测定方法》GB/T13754—92<sup>[5]</sup>，于 1993 年 4 月 1 日实施，至今国家一直使用该标准。

欧洲标准《辐射器和对流器》EN442 分为 3 个部分，第一部分：技术说明和要求，EN442—1，1995；第二部分：测试方法和等级评定，EN442—2，1996；第三部分：一致性评价，EN442—3，1997。欧洲标准EN442 是由欧洲标准化委员会/技术委员会CEN所编制，按照CEN内部条例，以下国家必须执行本标准：澳大利亚、比利时、丹麦、芬兰、法国、德国、意大利、波兰、西班牙、瑞典、英国等 18 个国家<sup>[6]</sup>。

### 1.3.2 热分配表的国内外相关标准

热分配表的标准分为两部分：

(1)蒸发式热分配表：这个标准适用于热水采暖热计量系统中确定房间散热器热消耗量的热分配表，不适用于带风扇的散热器热水采暖系统。主要参照欧盟标准《确定室内散热器热消耗量的热分配表—无电源》EN 835-（版本号）的内容，结合我国蒸发式热分配表研制、生产、使用情况制订。

热分配表测量液体的蒸发量是测量被测散热器热媒平均温度与时间积分的近似值，无量纲<sup>[7]</sup>。

(2)电子式热分配表：这个标准的制订结合了我国电子式热分配表研制、生产和使用情况，并参照了欧盟标准《确定室内散热器热消耗量的热分配表—有电源》EN834 中的主要内容。适用于热水的采暖热计量系统中确定房间对流式散热器热消耗量的电子式热分配表，不适用于地板辐射、天花板辐射、带风扇散热器等热水采暖系统<sup>[8]</sup>。



## 1.4 实际工作中出现的问题

在散热器热工性能的测试中，温度控制、温度检测和流量检测的精度对测试结果的正确性起着至关重要的作用。因此，如何提高控制和检测系统的精度一直是散热器性能标准试验台的核心问题。

目前国内外已经建成的散热器性能标准试验台，大多都有各自的一套温度控制与检测系统。其中温度控制采用的多为 PID（比例、积分、微分）控制，通过单片机或者 PC 机实现控制功能，随着控制技术的发展，模糊控制（Fussy Control）、PID 自整定甚至智能控制等技术都已经应用到了散热器性能试验台的温度控制系统中，因此在这个方面已经有了进步，完全能够满足国际标准的要求。

而测试过程的实现，包括温度采集、流量采集、数据处理等，如果依靠人工显然效率太低，因此也应该由计算机程序自动完成。目前，这方面的软硬件的完成大多是由非暖通专业的人员来完成，基本上也能够满足需要。然而，由于非暖通专业人员对散热器测试原理的理解上的欠缺，并不一定能够做出最符合测试要求的系统，而且试验的状况是千变万化的，经常会有一些突发问题，测试结果的可信度究竟有多高，显然非专业人员对这些问题不能很好的解决。

另外，对于测试数据的处理，由于在大多数情况下对一个型号只进行一次测试，就得到它的散热量与散热温差的回归方程，进而计算出其标准散热量，因此如何判断这一次试验结果的正确性也是很重要的问题<sup>[9]</sup>。

## 1.5 本课题的研究内容及方向

本文结合一个散热器性能标准试验台的设计、安装和实验，着重对测试系统硬件和软件进行研究，包括散热器性能标准试验台硬件系统、控制系统（主要研究影响测试结果精度的因素及解决方法）。

为了达到本课题的研究目的，重点进行以下工作：

- (1)设计安装水暖系统和电路系统等软、硬件系统并进行改进。
- (2)重点对其精度进行数值、图表分析，做出偏差分析并改进。
- (3)以散热器性能标准试验台作为平台，研究对电子式热分配表准确性的测试方法。

## 第二章 散热器性能标准试验台的系统设计

### 2.1 散热器性能标准试验台的基本构成

本散热器性能标准试验台是参照国家标准建造的,密闭小室内层净尺寸为 $(4 \pm 0.2 \text{ 米}) \times (4 \pm 0.2 \text{ 米}) \times (2.8 \pm 0.2 \text{ 米})$ ;小室六个壁面外的循环空气夹层;冷却夹层内为循环空气的设备;还包括供给被测散热器能量的热媒循环系统;检测和控制的仪表及设备,其系统平面图和系统图如图 2-1 和 2-2 所示。

### 2.2 水暖系统和小室温度控制系统搭建

热水循环系统主要是由高位水箱、低位水箱、循环水泵、散热器、玻璃转子流量计、电磁阀、电动调节阀和电子秤等组成。循环水泵把低位水箱的水打入高位水箱,在溢流挡板的作用下保持高位水箱的水位恒定。同时为了保证高位水箱水温的均匀,在高位水箱进水口处设有一个水喷射装置,以保证高位水箱内的水混合均匀。高位水箱中的热水自流进入散热器,以保持进入散热器的水维持恒压状态。水经散热器冷却后,经过浮子流量计回到低位水箱,完成了水的循环。为了测量流经散热器的水流量,需设置电子秤。水从浮子流量计流出后通过两个电磁阀的切换,或流入电子秤进行测量,或直接流入低位水箱<sup>[10]</sup>。

小室温度控制系统是由组合式空气调节机组、送风口、静压箱、回风口和空气加热器组成。测试小室冷却系统采用空冷方式,空气在组合式空调机组内经过过滤器、表冷器、风机后,经过送风管道送风;在送风口处经过空气加热器后从小室夹层顶端的 4 个送风口送入夹层,与小室壁进行热交换,再由夹层底部的回风口抽出,回到组合式空调机组。空气加热器的作用是与制冷系统配合来调节和控制小室的温度。因为系统的惰性很大,单独采用制冷来调节和控制温度很难达到所要求的稳定指标。而电加热器的惰性小并且很容易控制,采用空气加热器则弥补了这一不足,可迅速达到稳定条件,保证室内温度场均匀<sup>[11]</sup>。



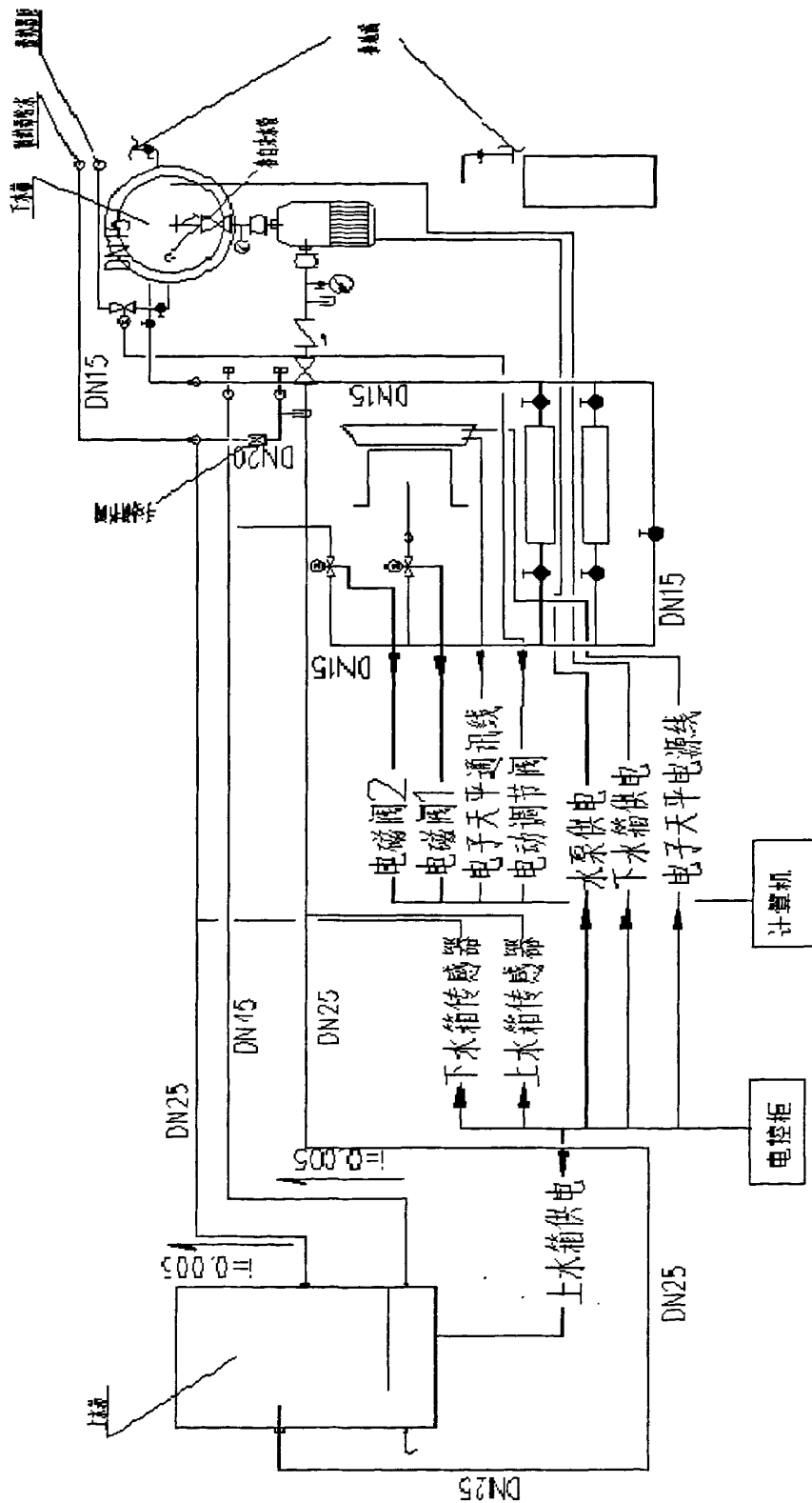


图 2-2 系统流程示意图

## 2.3 散热器性能标准试验台控制系统的研制

### 2.3.1 控制设备

散热器性能标准试验台电路设备包括：上下水箱及小室温度电控柜和温度巡回检测控制箱；被控对象有电动调节阀、电磁阀、电子天秤、小室内测温点上的铂电阻。对于本试验台所用到设备及功能简单介绍如下：

#### (1) 上下水箱及小室温度电控柜

电控柜面板上安装了三块 P4100+型模拟计量表，该表具有以下功能：

- ①可以采集 PT100 铂电阻的信号，将温度值反映到显示器中；
- ②对于低位水箱可以调节双报警点：当温度达到低报警点时候，其中的一半加热器停止加热；当温度达到高报警点时候，剩余加热器停止加热。

③可以对进出口水温和室内温度两部分进行 PID 调节控制、自整定和自适应。其原理如下：

#### a. 单输出 PID 调整过程

在调整 PID 参数前查看设定值上限和下限，使之处于安全的范围。然后对 PID 进行粗调：将设定点调整到目标值，或比目标值略低，以免过冲对系统造成损害；主控输出比例带为零；启动仪表，记录如图 2-3 所示。在调整过程中系统会有一定的振荡，适用于振荡不会对系统造成损坏的场合。

PID 的计算公式如下：

$$PB\_P = \frac{P}{\text{满量程}} \times 100 \quad (2-1)$$

$$I = T \quad (2-2)$$

$$D = \frac{T}{6} \quad (2-3)$$

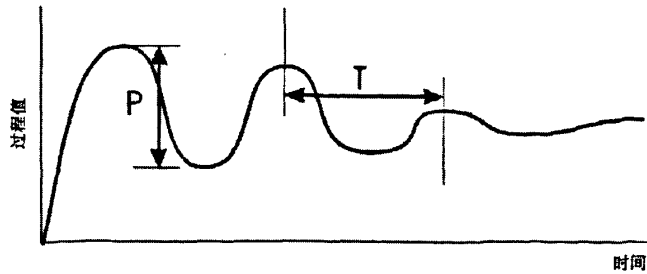


图 2-3 PID 调整

b. 自整定过程

在自整定过程中，应该避免1) 设定点斜率启动；2) 设定值和过程值的差小于满量程的5%；3) 主控输出比例带或第二控输出比例带为零。

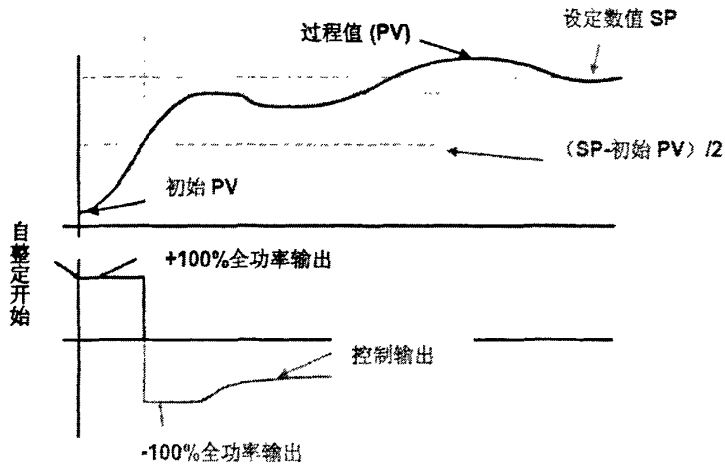


图 2-4 自整定过程原理图

c. 自适应的工作过程

当系统由于设定值变化或负载扰动造成系统振荡时，仪表会不断监测过程值的变化规律，一旦过程值出现周期性变化，仪表便启动自适应算法，不断调整 PID 参数直到过程值趋于稳定，将新的 PID 参数储存在仪表中。但需要注意：并不是所用的场合都能用自适应。

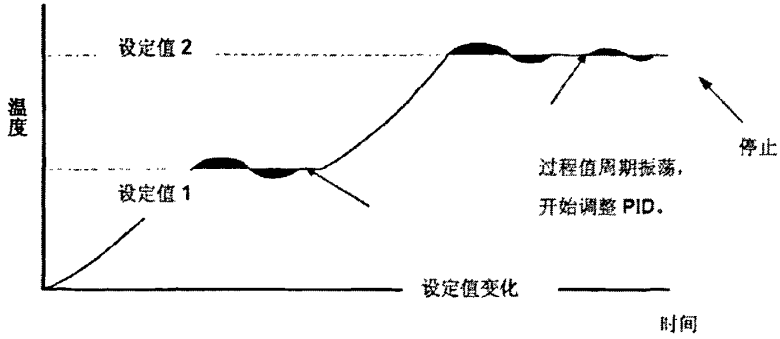


图 2-5 自适应过程原理图

d.可以与电脑进行 Modbus 通讯

物理要求：9600 的波特率，无奇偶校验，8 位数据位。

通过程序：所有通讯采用主从方式，由主机发出命令，从机对主机发出的指令做出应答，3 个仪表均为从机。仪表的通讯过程如下：

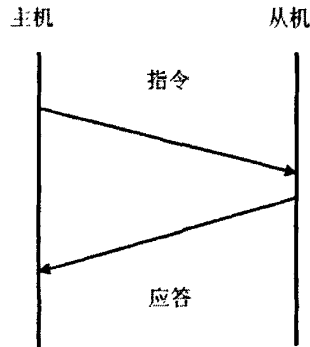


图 2-6 Modbus 通讯

指令格式如下：

表 2-1 指令格式

起始信号	地址	命令	数据	CRC 校验
3 个字符的时间间隔	1 个字节	1 个字节	N 个字节	2 个字节

数据会转换成二进制编码发送，从最低位开始。MODBUS RTU CRC 校验计算采用公式  $2^{16}+2^{15}+2^2+1$ 。地址范围为 1—255 (16 进制 01—FF)，通过模拟表

的地址设置功能进行设置。

## (2) 电子天平

### ① 电子天平产生的偏差分析

本试验台选用的电子天平最大可称重量为 3000g，分辨率为 10mg，最大绝对偏差为 10mg。由于时间偏差对本测量系统测量精度的影响可忽略不计，因此，电子天平的精度就是流量测量精度。在此对采样时间选择、称重使用量程等进行讨论。

电子天平的相对偏差可表示如下：

$$\varphi = \Delta M_{\max} / M \quad (2-4)$$

式中， $\Delta M_{\max}$ —分辨率， $\Delta M_{\max}=0.01\text{g}$ ；

$M$ —天平的示值；

$\varphi$ —该电子天平示值下的最大相对偏差。

从上式可以看出  $\varphi$  与  $M$  之间关系为双曲线关系，为确保本电子天平实际测量精度，规定在测量中使用量程为 1000~2500g。在此范围内，其最大偏差  $\varphi_{\max} = 0.01/1500 = 0.0007\%$ 。由此可见本测量系统的精度达到并超过 ISO 标准规定的 0.02% 精度要求。

流量、采样量、采样时间存在下述关系：

$$M = \frac{G \cdot \Delta \tau}{3.6} (\text{g}) \quad \text{或} \quad G = 3.6M / \tau \quad (\text{kg/h}) \quad (2-5)$$

式中， $G$ —取样时间内的平均质量流量，kg/h；

$M$ —取样质量，g；

$\tau$ —取样时间，s。

为了保证测量精度，对不同流量范围采用不同的采样时间并制成表，如表 2-2 所示。



表 2-2 采样时间参考表

流量(kg/h)	采样时间(s)	流量(kg/h)	采样时间(s)
40	90~225	200	18~45
80	45~113	240	15~38
120	30~75	280	13~32
160	23~56	320	11~28

由于流量采集容器是开式的,在流量采集过程中会有水分蒸发,为了减少蒸发损失,提高测量精度,应对回水进行冷却,冷却后水温保持在  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,从而可最大程度的消除采样时因蒸发而形成的偏差。

### ②电子天平的通讯

通过 RS-232 接口实现与电脑相连,并通过 VISUAL BASIC 的函数功能将电子天平的数值实时反映到用户界面。

### (3)电动调节阀

电动调节阀是以电动机为动力元件,将调节器输出信号转换为阀门的开度,是一种连续动作的执行器。本试验台采用的水阀执行器是 HONEYWELL 公司的 ML7420 电动调节阀,通过电路板的 A/D 部分采集信号,驱动阀杆联动调节阀的阀芯动作,这样可以控制阀的开度以便调节流体流量<sup>[12]</sup>。

### (4)电磁阀

电磁阀是利用线圈通电后产生的电磁吸力提升活动铁芯,带动阀塞运动来控制空调水管/蒸汽管或制冷设备管道中气体或液体流量通断的。本试验台有两个电磁阀,一个控制常开水路,当通电时,电磁铁中的活动铁芯在电磁力的作用下吸起,带动阀塞,开启阀门。当需要测试的时候,关闭常开水路电磁阀打开另外一个电磁阀,可使电子天平检测到流体的重量,再经软件换算可得流量。当试验结束后断电时,通过弹簧等作用复位,阀立即关闭<sup>[12]</sup>。

### (5)小室内测温点上的铂电阻

#### ①测温原理

温度的测量方法目前主要有两种,最常用的方法是采用仪器直接测量,例如使用标准玻璃棒温度计测量温度,只需直接读数即可,这种方法简单方便,但对人的依赖性高,速度慢,自动化程度低,不适合多个测点的巡回检测。在温度自动巡回检测系统中常用间接测量法,这种方法并不是直接测量温度值,而是利用

感温元件的温度特性，测量感温元件的某一个与温度变化密切相关的物理量，然后间接计算出温度值<sup>[13]</sup>。

目前常用的温度传感器主要有热电偶、热敏电阻和热电阻等几种。其中热电阻是利用某些金属材料的电阻随温度而变化的性质来测温的，使用的是温度系数大，线性度好的纯金属丝制成的电阻。大多数的金属当温度升高1℃时，其电阻值约增加0.4%~0.6%，而且电阻与温度的函数关系式也比较简单。根据这一特性，用金属导体制成感温元件，从而把温度的测量改变为电阻的测量，可转成模拟电信号测量。在众多的金属中，铂是一种贵金属，专门用于制造精密电阻温度计。其性能稳定（环境对它影响很小，抗腐蚀，抗化学作用，不易氧化等）、容易加工（能够拉成细丝）、熔点高（在1000℃以下挥发小）、能够得到高纯度（具有可复现的电气特性和化学特性），因此在实际中应用广泛。国际温标（ITS-90）中已经规定在276.8℃到962℃温域内以铂电阻温度计作为标准仪器。

本系统中采用的Pt1000铂电阻，在0~650℃内，其阻值与温度之间存在下述关系：

$$R_t = \alpha + \beta t + \gamma^2 \quad (2-6)$$

式中， $R_t$ —铂电阻的电阻值， $\Omega$ ；

$t$ —铂电阻所处的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ —常数。

只要能够测出铂电阻的阻值，带入公式，就可以求出此时的温度值<sup>[14]</sup>。

## ②测温方法

测温系统中铂电阻的连接主要有两种形式，三线制和四线制。本系统中采用的是四线制，测量引线采用屏蔽线，引线1和引线3两根线连接恒流源，引线2和引线4两根线在铂电阻两端连结放大器，采集铂电阻两端的电压，另外屏蔽线接电路板的公共地。如下图所示：

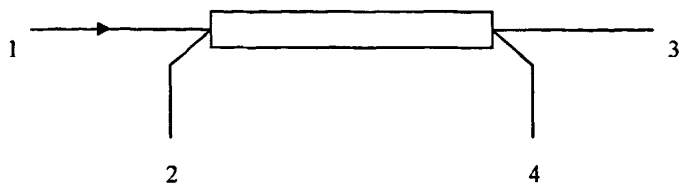


图 2-7 四线制连接示意图

四线制铂电阻连接、恒流源、标准电阻对比法测温原理如下<sup>[15]</sup>：

对于电压运算放大器，在输入范围内，电压放大器的放大特性为：

$$VO = K \cdot VI + \varphi \quad (2-7)$$

式中， $VI$ —输入电压， $V$ ；

$VO$ —输出电压， $V$ ；

$K$ —放大倍数；

$\varphi$ —零点漂移。

在一个巡回测量周期内，由于时间较短，认为放大器特性不发生变化，即  $K$  和  $\varphi$  不发生变化。因此，在放大器的输入范围内，放大器的输入电压与输出电压是一次曲线关系，放大倍数  $K$  是该曲线的斜率，而零点漂移则是该曲线的截距。在本系统测试电路中，由于恒流源的采用以及四线制连接，所以放大器测量每个电阻时的输入电压与该电阻的阻值是正比关系，即

$$VI = Is \cdot R \quad (2-8)$$

式中， $R$ —所测电阻的阻值， $\Omega$ ；

$Is$ —恒流源的电流大小， $A$ 。

带入放大器的特性公式可得：

$$VO = K \cdot Is \cdot R + \varphi \quad (2-9)$$

因此，放大器的输出电压与所测量的电阻值也是一次曲线关系。

在测温电路中设置上限和下限两个标准电阻，也占用两个测温通道，由于上

下限电阻均采用高精度低温度系数的绕线精密电阻，它们的电阻值随温度的变化很微小，可认为在测量环境下上下限电阻的阻值  $R_g$ 、 $R_d$  保持不变，是一个常数。测量时，首先测量上限电阻  $R_g$  两端的电压值  $V_g$ ，然后测量下限电阻  $R_d$  两端的电压的  $V_d$ ，据  $V_g$ 、 $V_d$ 、 $R_g$ 、 $R_d$  可以做出如图 2-8 的运算放大器的特性曲线。

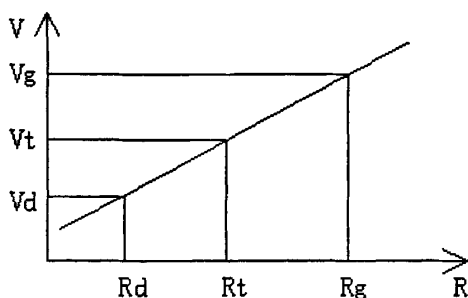


图 2-8 放大器特性曲线

测量测温点铂电阻两端的电压  $V$ ，根据下式计算此时铂电阻的电阻值：

$$R_t = R_d + (R_g - R_d) \cdot (V - V_d) / (V_g - V_d) \quad (2-10)$$

式中， $R$ —本次所测铂电阻电阻值， $\Omega$ ；

$R_d$ —下限标准电阻值， $\Omega$ ；

$R_g$ —上限标准电阻值， $\Omega$ ；

$V_t$ —本次测得的铂电阻电压值， $V$ ；

$V_d$ —测下限电阻时的电压值， $V$ ；

$V_g$ —测上限电阻时的电压值， $V$ 。

求得  $R_t$  后，带入

$$R_t = \alpha + \beta t + \gamma t^2$$

就可以得到对应的温度值<sup>[16]</sup>。

标准电阻阻值的确定是根据测温范围而定的，测温下限温度值对应的 Pt1000

铂电阻的阻值作为下限标准电阻, 测温上限温度值对应的 Pt1000 铂电阻的阻值作为上限标准电阻, 如果没有完全相同, 则尽可能接近。例如: 对于空气温度测点, 按照 Pt1000 铂电阻的一般特性公式, 计算出 Pt1000 铂电阻在 15℃ 的电阻值为 1058.450 欧姆, 在 25℃ 的电阻值为 1097.338 欧姆, 因此低温水测点的放大器的下限标准电阻选取阻值尽量接近 1049.195 欧姆的精密电阻, 上限标准电阻选取阻值尽量接近 1099.864 欧姆的精密电阻; 高温空气测点的放大器的下限标准电阻选取阻值尽量接近 1349.865 欧姆的精密电阻, 上限标准电阻选取阻值尽量接近 1199.894 欧姆的精密电阻。

### 2.3.2 电路硬件控制系统的组成

#### (1) 上下水箱及小室温度电控柜

在散热器的热工性能试验中, 所需要控制的部分主要是进出口水温的控制和室内温度的控制两部分。整个系统的稳定是一个动态平衡, 当室内散热器散热量与冷却系统的冷却量保持平衡, 就可以保证室内温度的稳定。由于温度精度的要求很高, 其控制过程采用计算机控制器完成。

##### ① 进口水温控制系统

在整个试验装置稳定后, 散热器进、出口的水温稳定, 主要受电加热器控制的影响。电加热器置于低位水箱和高位水箱中, 其中低位水箱中设有 6 组粗调加热器, 采用含有两个报警点的手动控制。高位水箱中设有二次加热器, 使用自动控制, 保证散热器供水温度的稳定, 高位水箱的二次加热器进行精调控制, 其控制原理是, 根据高位水箱出口处的水温值与设定值的偏差, 通过可控硅控制装置, 采用占空比的方法对二次加热器进行控制, 使得高位水箱的温度恒定下来, 这样进入散热器的水温也为相应的稳定值。在室内温度稳定为某一温度的条件下, 散热器的散热量也相应为某一稳定值。当经过散热器的水流量稳定时, 散热器回水温度也为一稳定值。

##### ② 测试小室室内空气温度的控制

测试小室基准点处空气温度的控制, 根据室内温度采样点的温度值与要求的设定温度 (18~20℃) 的偏差, 手动控制制冷机的开启以控制制冷量, 采用与上述水温控制相同的原理控制补偿加热器的加热量, 来控制夹层的送风温度, 从而保持测试小室内温度场稳定, 即散热器所散热量恰好全部被冷却系统消耗。对高

位水箱、测试小室基准点温度及稳定性的控制都是通过自整定、自适应PID控制器来实现的调节供水温度，从而使试验小室的空气温度达到要求的偏差范围内，保证室内温度的稳定<sup>[17]</sup>。

### ③电控柜基本组成

6个空气开关，其中包括100A，30A，16A，25A，10A，16A分别对应控制总开关、空气加热器开关、上水箱加热器开关、下水箱加热器开关、水泵开关、空调、电子天平电源开关以及控制箱开关，在空气加热和上水箱加热器的每路加上可控硅达到对控制的精确度，水泵处加装热保护器防止水泵被损坏，另外一小路由6A的开关控制模拟计量表的电源。为了示意性清楚：在每组加热器上都放有指示灯以便观察。实物图、原理图及接线图分别如图2-9、2-10和2-11所示。

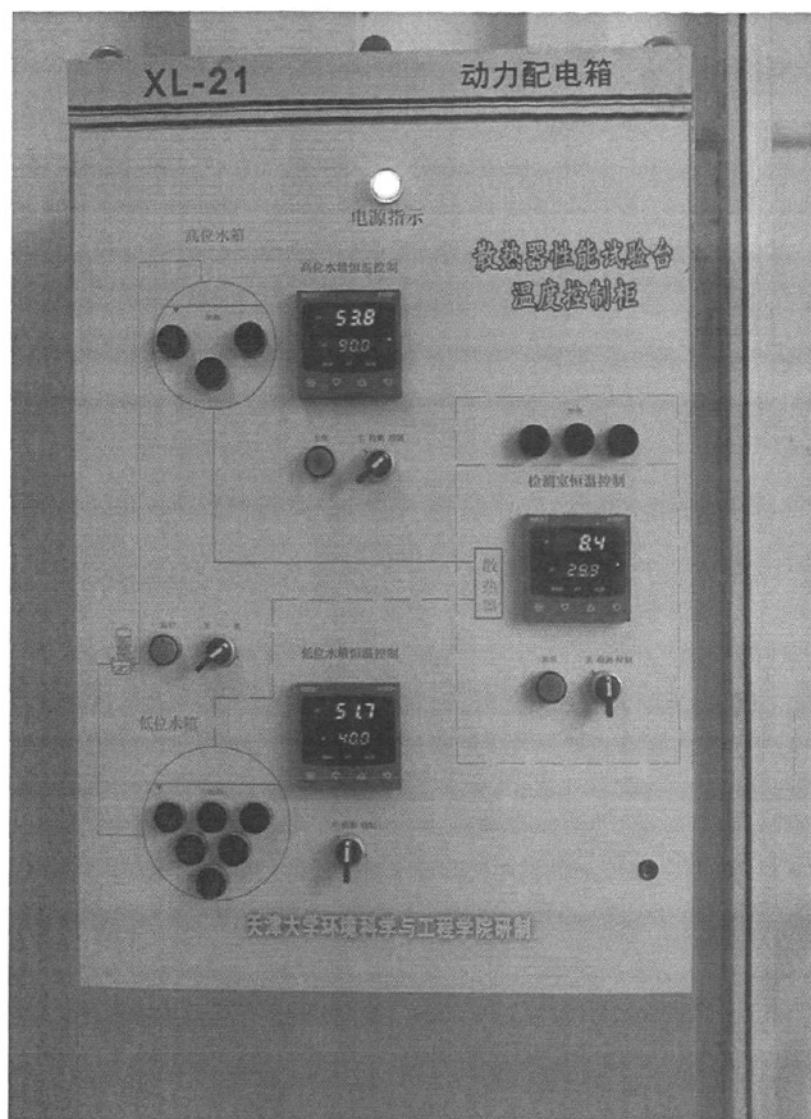


图 2-9 电控柜实物图

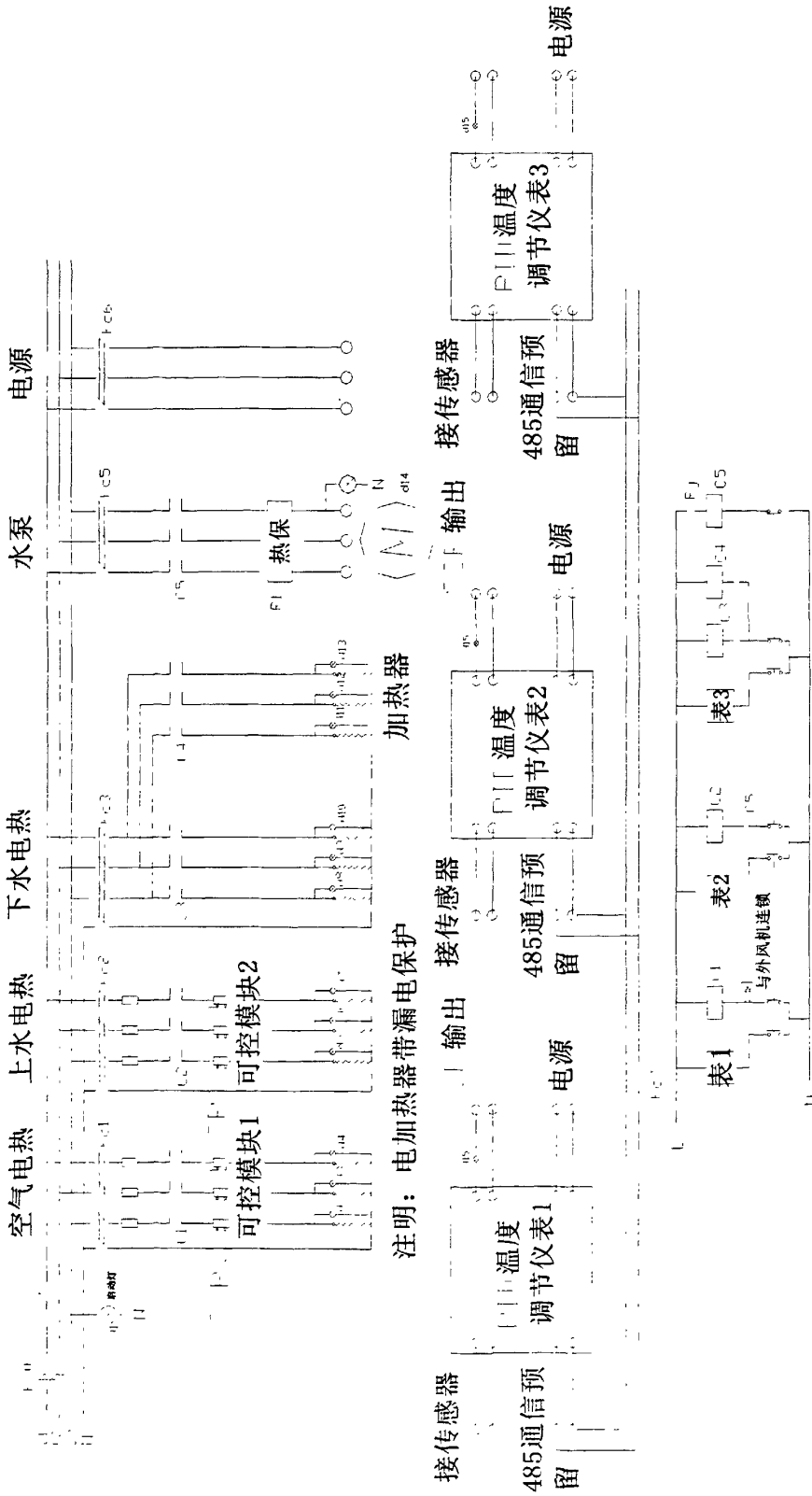


图 2-10 电控柜原理图



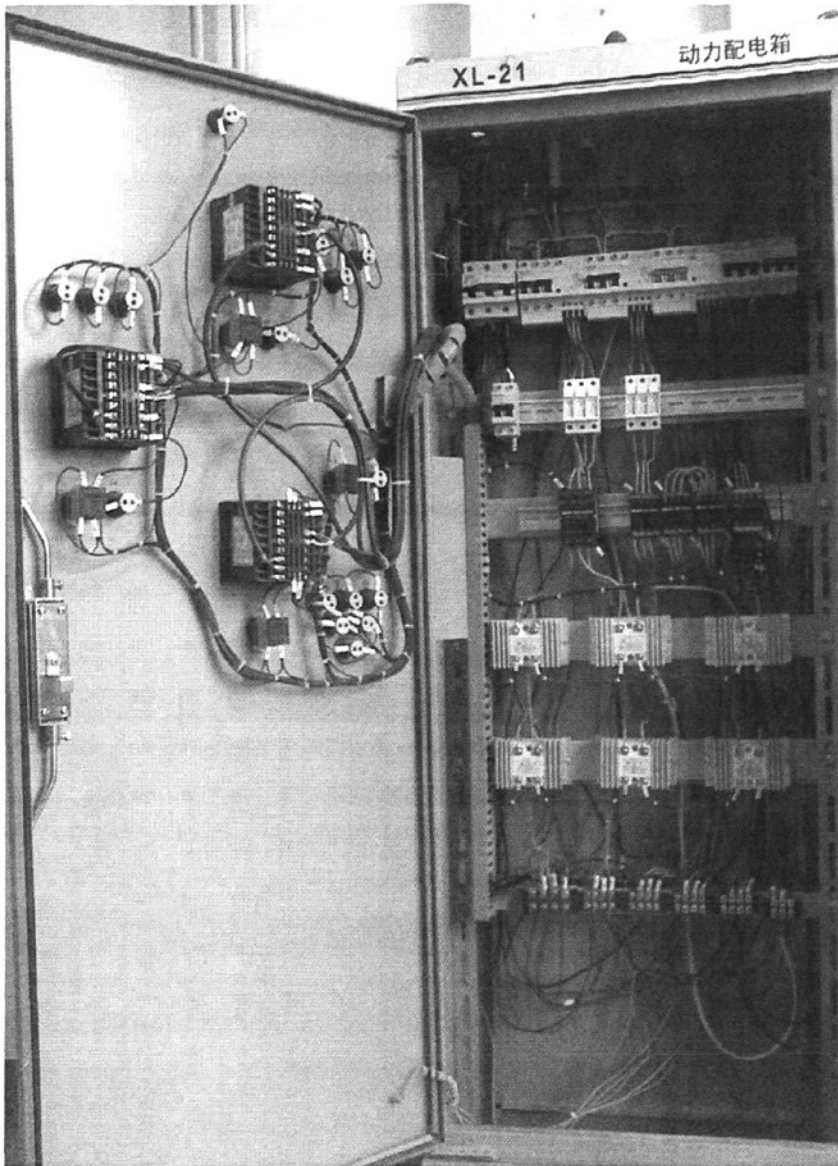


图 2-11 电控柜接线实物图

### (2) 温度巡回检测控制箱及改进

散热器性能标准试验台的2个水温测点和20个室温测点的温度检测要求很高,国家标准中对于基准点空气温度和散热器进出口温度测量的准确度的要求是 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ,其余各点温度(壁面温度及除基准点以外的各空气温度)的测量准确度要求是 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。另外为了对新型电子式热分配表进行性能测试,对小控制箱进行了改进,在高温区增加四个水温测试点,其精度要求在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

本课题中温度检测系统除了测温元件26只Pt1000铂电阻外，还包括控制箱、计算机接口板和中央计算机等部分，系统简图如图2-12。

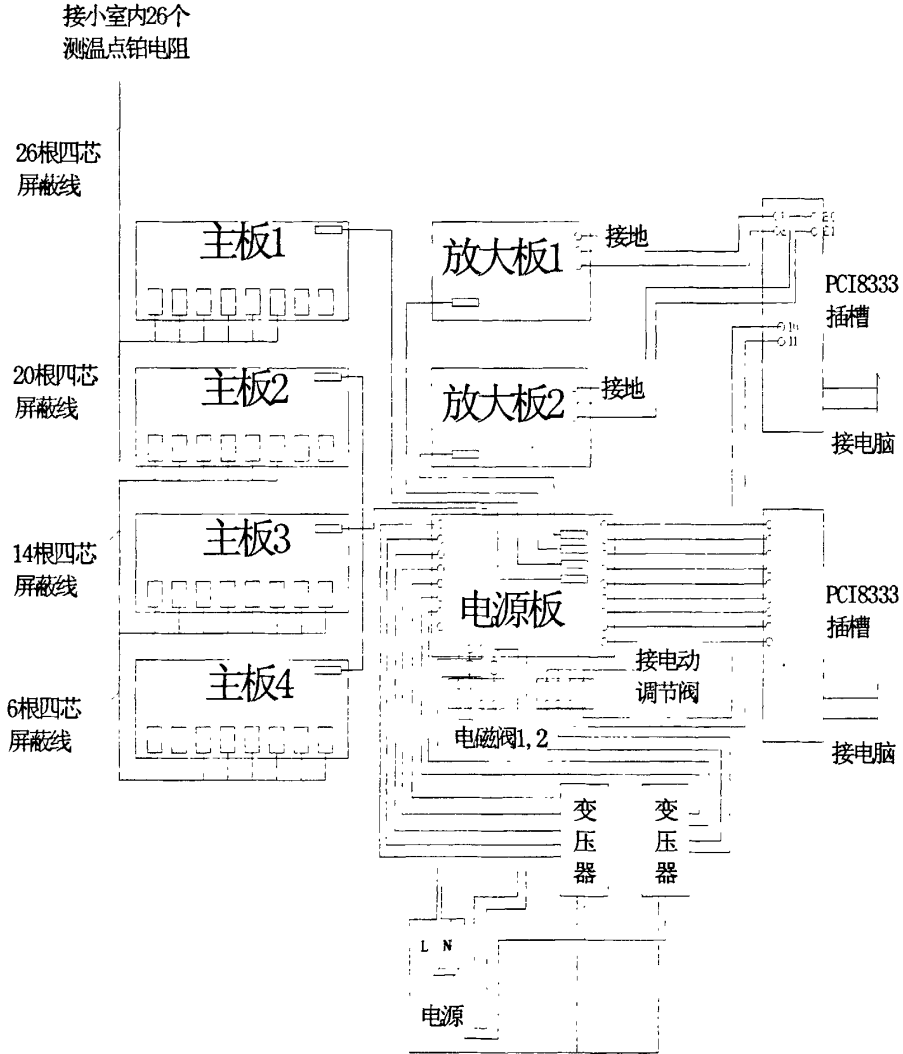


图2-12 巡回检测控制箱电路原理图

①控制箱

控制箱中有整个测试系统的电气部分，主要包括变压器、电源开关、主控板、高温区和低温区放大器板、电源板、4个通道选择板，其中高温区通道子板一个，低温区通道子板三个。

a.电源板。为整个温度检测系统提供稳定的直流电源，将变压器后的交流电

经过整流电路整定后得到+12V, -12V, +5V, -5V, +24 V直流电, 分别送到各个电路部分。主控制板上还有一个电源接线端子排, 一个计算机连接端子排, 高温区放大器电路板数据接口, 低温区放大器电路板数据接口, 连接各通道选择子板的通道选择数据接口, 同时还有控制电磁阀切换的控制电路。

b.放大器电路板。高温区与低温区分别采用一个电压放大电路, 为了提高信号放大的精度, 检测系统中所使用的放大器采用了两极放大器, 前级采用7650斩波自稳式高精度放大器以克服零漂, 后级采用12Bit的OP-77, 根据从铂电阻两端采集的微弱电压信号放大后输出-5~+5伏电压信号<sup>[19]</sup>。

c.主板。每个通道选择子板上主要由一个数据线接口、一个跳线组、一个74LS138译码器、2个74LS04反相器、8组通道开关组成。由74LS138译码器控制着8个通道的选择, 每个通道开关由接线端子、一个干簧继电器、一个发光二极管、一个三极管。

由于测量的精度要求很高, 铂电阻阻值的很小的变化都会引起测量结果的变化, 因此必须让测量电路测出的电阻值能放映铂电阻的真实值。测量电路测出的实际上是放大器电路接口之间的电阻, 即铂电阻的阻值、导线的电阻值以及各接触点的电阻值之和, 并不是电阻的真实值。而继电器的触点接触产生的接触电阻一般都很大, 采用一般的继电器, 不能保证电阻测量值的精度在所要求的精度范围之内, 这样的测量结果就不能作为准确的信号送入计算机进行处理, 否则必然引起最后数据的准确度达不到要求。所以必须选择接触电阻小的继电器。湿簧继电器的触电介质为水银, 其接触电阻在所有的接触继电器中最小, 然而由于水银的挥发性和污染性, 市场上已经很难买到, 因此本课题中选用的是干簧继电器, 它的接触电阻是毫欧级的, 接触电阻很小, 而且寿命长。

主板上的每个放大器电路数据接口最多可以接八块通道选择子板, 每个通道子板有八个通道开关, 因此在理论上该测温系统可以测量128个温度测点, 具有很强的可扩展性。

d.采样控制器的设计和制作。由于在本系统中只有两路放大器电路, 分别用于水温测量和空气测量, 每个放大器电路的测量通道只有一个, 一次仅能进行一个测量点的测量, 这既不能充分利用计算机资源, 也不能满足系统的测量要求, 而每个测量点都设置一套放大器电路, 成本太高。因此, 需要采用采样器, 即一个多路开关对测点进行控制, 以达到多路控制的目的。多路开关必须根据实际的

需要选择, 由于实际的要求复杂多样, 很难在现有采集器中选择出一种能完全符合散热器热工测试要求的, 所以对于采样器, 本课题从实际出发, 设计了一种能满足实际热工需要的多路开关。开关通过一组数据线与计算机中的PC8333入模出接口卡相连, 计算机通过这组接口卡 and 这组数据线的来控制多路开关的动作。这个采样控制器的电路分布在主控制板和各个通道选择板上<sup>[18],[19]</sup>。

## ②PCI-8333多功能模入模出接口卡

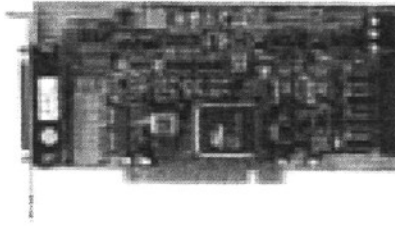


图 2-13 PCI-8333多功能模入模出接口卡实物图

PCI-8333多功能模入模出接口卡适用于提供了PCI总线插槽的PC系列微机, 具有即插即用(PnP)的功能。其操作系统可选用目前流行的Windows系列、高稳定性的Unix等多种操作系统以及专业数据采集分析系统LabVIEW等软件环境。在硬件的安装上也非常简单, 使用时只需将接口卡插入机内任何一个PCI总线插槽中并用螺丝固定, 信号电缆从机箱外部直接接入。

PCI-8333多功能模入模出接口卡安装使用方便, 程序编制简单。其模入模出及I/O信号均由卡上的37芯D型插头与外部信号源及设备连接。对于模入部分, 可根据实际需要选择单端或双端输入方式。对于模出部分, 可根据控制对象的需要选择电压或电流输出方式以及不同的量程。本卡上的A/D、D/A转换均为12位, 同时还备有16路数字量输入和16路数字量输出接口, 三路16位字长的计数/定时器, 以及1Mhz的基准时钟。本卡的A/D转换启动方式可以选用程序触发、定时器自动触发、外同步触发等方式, 转换状态可以用程序查询, 也可以用中断方式通知CPU读取转换结果。

### PCI-8333多功能模入模出接口卡的工作原理

PCI-8333模入模出接口卡主要由模数转换电路、数模转换电路、数字量输入输出电路, 定时/技术起电路和接口控制逻辑电路构成。

模入部分:

外部模拟信号经多路转换开关选择后送入高速放大器处理。放大器前后设有单/双端输入选择跨接器KJ1、KJ2 和转换码制选择跨接器KJ3，处理后的信号送入模数转换器进行转换。模数转换器的启动可以使用程序启动方式或者定时器定时触发启动方式，也可用外部触发方式启动。其转换状态和结果可用程序查询和读出。转换结束信号也可用中断方式通知CPU进行处理。

模出部分：

模拟量输出部分由D/A 转换器件和有关的基准源、运放、阻容件和跨接选择器组成。依靠改变跨接套的连接方式，可分别选择电压或电流输出方式以及不同的输出量程。当采用电流输出方式时，本卡可直接外接II、III型执行器。

D/A部分具有加电自动清零功能，当主机加电启动时，本卡将自动关闭D/A部分的基准源使D/A输出为最低。只有当用户对D/A1进行写操作时，本卡才打开基准源使D/A输出一个需要的信号。因此，在用户需要同时使用两路D/A的情况下，第一次操作时应先写D/A2后写D/A1，以后的操作则不再受此限制。

数字量输入输出部分：

数字量输入输出电路为用户提供16 路DI及16 路DO的信号，DO部分具备加电清零功能。

计数/定时器部分：

计数/定时器电路由一片可编程定时/计数器8254芯片和基准时钟电路以及有关的跨接选择器组成。可为用户提供3个16位字长的计数/定时通道和1MHz、占空比为50%的基准时钟，用户可外接使用三路计数/定时通道。

c.模入模出码制以及数据与模拟量的对应关系：

本试验台所用接口卡是单极性方式工作，即模入模出的模拟量为0~10V时，转换后和写出的12位数码为二进制原码。此12位数码表示一个正数码，其数码与模拟电压值的对应关系为：

$$\text{模拟电压值} = \text{数码}(12\text{位}) \times 10(\text{V}) / 4096 \quad (\text{V}) \quad \text{即：} \quad 1\text{LSB} = 2.44\text{mV}$$

### ③流量检测系统

热水循环系统中的流量检测，采用称重法，就是在一段时间内对流过散热器的流体进行取样，然后对取出的水样进行称重，计算出这段时间的平均质量流量。

该流量检测系统主要由计算机、信号采集板PCI-8333、电磁阀驱动电路、电

磁阀、电子秤等组成。所选用的电子秤是带串行通信的31002型，它最大的特点是即时地将重量数据通过RS232串行通信直接传到计算机的COM口。通过计算机程序读取接收COM口的数据，经过处理后获取重量数据。

#### ④温度检测系统及改进

测试中首先需要测量参与计算和控制的温度点，即散热器供水温度、散热器回水温度、小室内基准点处空气温度。另外按照国际标准和国家标准，为了准确反映小室内的温度场，在室内还设有19个参考温度点：在小室的垂直的中心线上距地面0.05、0.50、1.50m处、距天花板0.05 m处的4个点，在离两相邻墙面1.0m处的4条垂直线上距地面0.75、1.5m处的8个点，小室的6个内壁面的中心处的6个点，在试验设备背后的那面墙的内壁面的垂直中心线上距地面0.3m处的1个点。这样总共有22个温度测点。另外改进的部分还有用于测试新型电子式热分配表的四个测试点。

该系统中测温元件全部采用Pt1000(铂在0℃时的电阻为1000 Q)的铂电阻，连接方法采用四线制，对于电路元器件的要求大大降低，降低了系统的造价，具有较高准确度，完全达到了温度测量偏差不超过 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 的标准。整个测温系统包括计算机、信号采集板PCI-8333、控制柜、测温铂电阻等组成。

铂电阻输出电压信号经放大器放大后，通过PCI-8333接口卡与计算机相连。在温度检测系统中，利用PCI-8333的主通道作为高低温两路模拟信号的输入口，通过编程实现通道的巡回选通和铂电阻输出电压信号的巡回采集。

测温电路中设置上限和下限两个标准电阻，均采用高精度低温度系数的绕线精密电阻。因此可认为在测量环境下，上下限电阻值保持不变，经过比较的方法求得铂电阻阻值，进而求得温度。

## 2.4 测试系统软件搭建的简单介绍

散热器热工性能测试过程是一个很复杂的过程，包括22个温度点的测量、稳态的判断、流量的采集、数据的处理。为了精确和高效地完成上述所有功能，采用Visual Basic 6.0编程语言开发了软件的主程序，进行温度和流量的检测以及数据处理，极大地提高了测试的准确性和速度，并且拥有可视化的界面，便于人机交流，可以很容易地实现数据库操作和通信操作，结合模入模出接口卡可以实现

自动测试的所有功能<sup>[20]</sup>。

软件主程序由数据采集、稳态判断、测试、数据库管理<sup>[21]</sup>、历史数据查询、显示及打印、系统帮助等模块组成，软件流程如图2.14所示，各部分功能分述如下。

### 2.4.1 数据采集

数据采集模块负责各种模拟信号和开关信号的采集，可以设定各路数据采集的时间间隔，巡回采集22个温度点的即时温度，并且保存到数据库中。此外本软件为了对新型电子式热分配表进行性能测试，在高温区增加四个水温测试点，同时也可以巡回采集到这四个温度点的即时温度，并且保存到数据库。

### 2.4.2 稳态判断

根据ISO3147和ISO3148标准规定，散热器性能测试必须在如下稳态条件下进行，至少有6次相等并连续的时间间隔得到的读数与平均值之差不出下列范围：

内壁面中心处温度： $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ；

安装散热器那面墙的内壁面温度： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；

基准点处空气温度： $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ；

散热器供回水温度： $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ；

流量偏差： $\pm 2\%$ [5]。

根据上述要求，将相邻2次测试时间间隔(用于判断稳态条件而不是自动巡回检测的每相邻两组时间间隔)设定为变量，可根据具体要求确定。一般情况下取判断时间间隔为温度巡回检测的周期，即大约2min<sup>[22]</sup>。基于上述分析，读取最新的7组相邻数据进行计算比较，不满足稳态条件则剔除最先测得的那组数据，并采入另一组数据，再比较、剔除，如此反复直至满足初步稳态条件，提示操作者可以进行测试。

### 2.4.3 测试

测试人员设定流量采集时间，程序自动实现电磁阀的切换，自动采集电子秤的重量数据，并将测试工况的时间、温度、流量、散热量等数据写入数据库。测

试时, 随时监测电子秤的重量数据, 经过程序判断, 当重量超过一定值时自动切换回路, 可以避免出现流量采集容器溢出而造成仪器损坏的问题。

对3个测试工况的温度和流量, 程序按最小二乘法进行回归数据处理, 得到散热量和散热温差的拟合曲线, 并且按照回归方程分析方法对回归结果的可靠性做出分析, 最后给出测试报告<sup>[23][25]</sup>。

#### 2.4.4 数据库管理

该系统采用Access数据库, 主要完成数据库的建立、数据保存、整理、刷新、查询等工作。考虑到每次试验数据的独立性和完整性, 在该模块中采用了动态建立表的方式, 即每次测试过程拥有一个独立、唯一的数据表。此外, 为了确保不因各种系统意外故障引起测试数据丢失, 数据库采用了即时存盘的方式。

#### 2.4.5 历史数据查询

从数据库中读取自试验开始以来的所有测点的温度数据, 包括采集时间、测点号、温度值, 并以报表的形式显示出来<sup>[24]</sup>。

#### 2.4.6 显示及打印

显示模块通过文本格式在界面上直观显示出当前的温度值, 包括报表显示和图形显示两种方式。报表显示模块主要完成历史温度数据的查询显示, 图形显示模块主要完成实时温度或历史温度数据图形显示, 采用标准的Windows选单界面风格, 操作方便。

#### 2.4.7 系统帮助

系统帮助模块为用户提供系统的各种帮助和说明, 为测试人员提供本软件的界面说明、操作说明、功能设置、故障以及排除方法等帮助信息<sup>[26]</sup>。



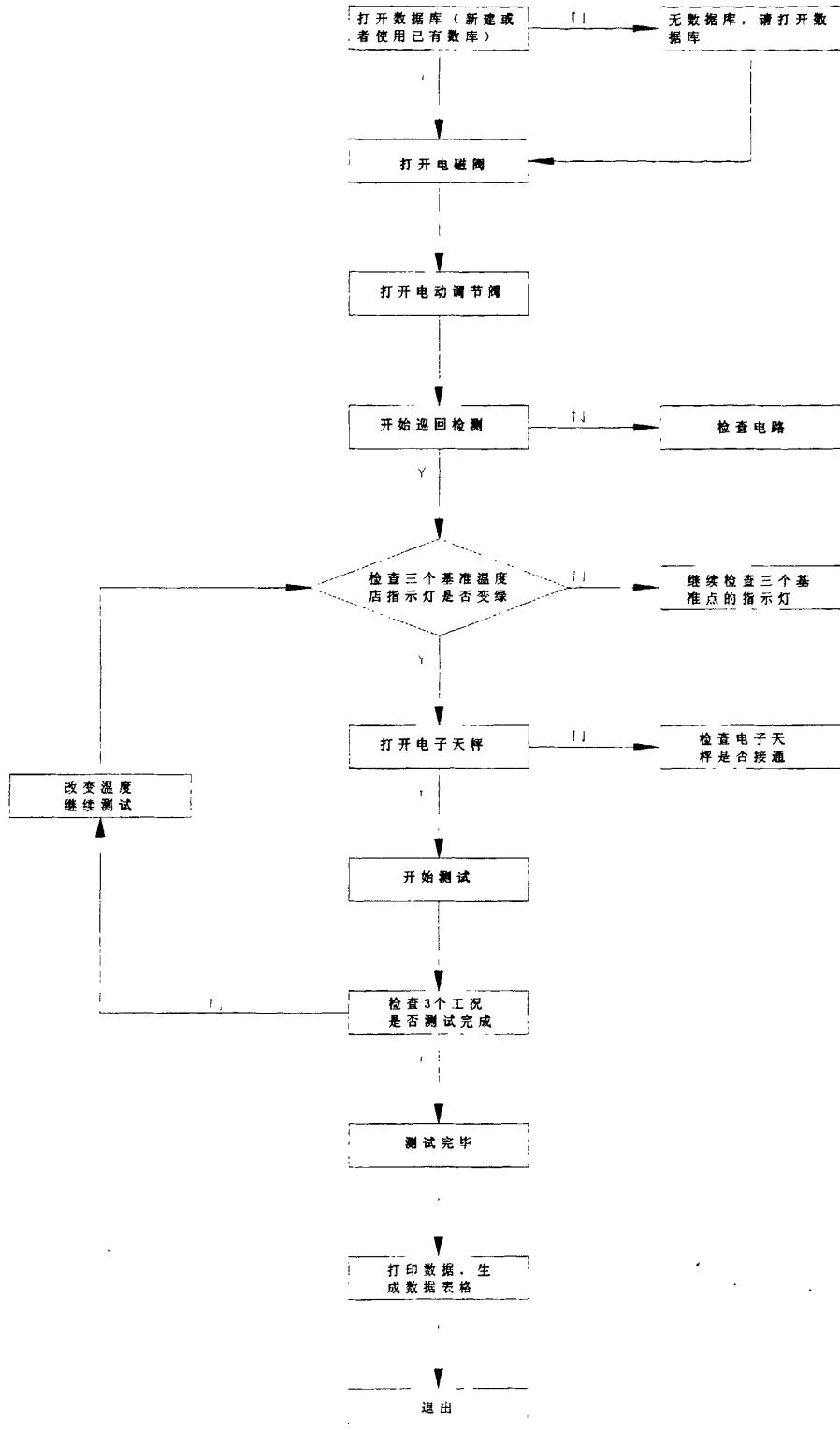


图 2-14 软件流程图

## 第三章 散热器性能标准试验台的精度研究

### 3.1 散热器性能标准试验台的测试原理

#### 3.1.1 散热器散热量

散热器的散热量公式如下：

$$Q = G_p(h_1 - h_2) \quad (3-1)$$

式中：  $Q$ —散热器的散热量，  $W$ ；

$G_p$ —热媒的平均流量，  $kg/s$ ；

$h_1$ —散热器进口处热媒的焓，  $J/kg$ ；

$h_2$ —散热器出口处热媒的焓，  $J/kg$ 。

其中，  $h_1$ 、 $h_2$ 的数值系根据被测散热器进出口热媒的温度和压力，由中国建筑工业出版社 1987 年第一版《供暖通风设计手册》中查得。

#### 3.1.2 热媒参数的测量

本试验以热水为热媒，当热水温度低于大气压力下水的沸点温度时，应测量散热器进口和出口处的水温，或测量其中一处水温及散热器进出口的热水温差；当热水温度高于大气压力下水的沸点温度时，则应测量散热器进口和出口处的水温和压力，或测量其中一处水温及散热器进出口的热水温差和压力差。

热媒参数测量的准确度符合以下要求：

- ①流量：  $\pm 0.5\%$ ；
- ②温度：  $\pm 0.1^\circ C$ ；
- ③压力（绝对）：  $\pm 1\%$ ；
- ④压差：当压差大于  $1\text{ kPa}$  时，  $\pm 5\%$ ；  
当压差小于  $1\text{ kPa}$  时，  $\pm 0.05\text{ kPa}$  [5]。

## 3.2 各参数稳态条件及准确性要求

### 3.2.1 闭式小室内的各测试参数及其测量精度

#### ①小室内的空气温度和内表面温度

小室内的空气温度采用屏蔽的敏感元件进行测量。

#### ②其他参数的测量

a.小室内空气的相对湿度;

b.采用空气冷却时夹层内的空气温度, 准确到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ;

c.大气压力, 准确到 $\pm 0.1\text{kPa}$ 。

### 3.2.2 散热量测试的稳态条件及准确性

#### ①散热器的安装

本试验被测散热器的散热量应不小于 700 w, 同时对于每立方米小室体积不大于 87 w。

#### ②散热器的安装位置

a.散热器平行于小室中某一面墙, 并对称于墙的中心线;

b.安装散热器的墙面与散热器最近表面之间的距离为  $0.05\pm 0.005\text{m}$ ;

c.散热器水平安装, 其底部与地面之间的距离为 0.12m;

d.散热器与支管的连接采用同侧上进下出, 并设有 0.01 的坡度。

#### ③稳态条件

测试必须在热媒循环系统和闭式小室的环境全部达到稳态后方可进行, 并在测试的全过程加以保持。至少六次连续等时间间隔上 (总时间不少于 1 小时) 的取值与所取平均值的波动偏差不得超过如下规定的偏差时, 即认为符合测试条件。

a.热媒循环系统的稳态条件: 测试参数与平均值的最大偏差流量 $\pm 2\%$ ; 最大偏差温度  $0.2^{\circ}\text{C}$ ; 最大偏差压力 $\pm 2\%$ ;

b.小室环境的稳态条件: 各壁面中心温度的最大偏差 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ , 安装散热器墙壁内表面温度的最大偏差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , 基准点温度的最大偏差 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ;

c.小室的温度: 基准点的空气应维持在  $19\sim 21^{\circ}\text{C}$  之间的某一温度, 波动值不可以超过b中所述的稳态条件<sup>[5]</sup>。

### 3.3 测试数据分析并与复现的数据进行比较

#### 3.3.1 试验简单介绍

##### (1) 散热器的选择

选用 760 型散热器，检测标准符合 GB/T13754-92，连接方式为同侧上进下出，表面无涂料。

##### (2) 测试内容

首先进行三个工况的测试，散热器进出口热水的平均温度为下列三个连续值： $50\pm 5^{\circ}\text{C}$ ， $65\pm 5^{\circ}\text{C}$ ， $80\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。每次都在相同流量下进行测试，其流量偏差不超过 $\pm 2\%$ 。且流量符合以下要求：散热器进出口平均水温与基准点空气温度之差为 $60\pm 1^{\circ}\text{C}$ 时，进出口热水温度降：辐射散热器为 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、对流散热器为 $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

##### (3) 测试时间及记录

在确定热媒和小室在某一状态下已达到稳定要求后，开始在每次不超过 10 分钟的等时间间隔上连续进行测试，其总时间不得少于 1 小时，记录测量的热媒和小室的数据，包括温度、压力、流量。在经过几次验证并证实记录值符合所要求的偏差范围之内之后（包括稳态条件）便可采用平均值计算散热器的散热量<sup>[27]</sup>。

#### 3.3.2 三个主要温度点的测试结果

工况 1：散热器进出口热水的平均温度为 $80\pm 3^{\circ}\text{C}$ 时所对应的 3 个主要温度点（达到稳定后两分钟检测一次，共 30 次）：

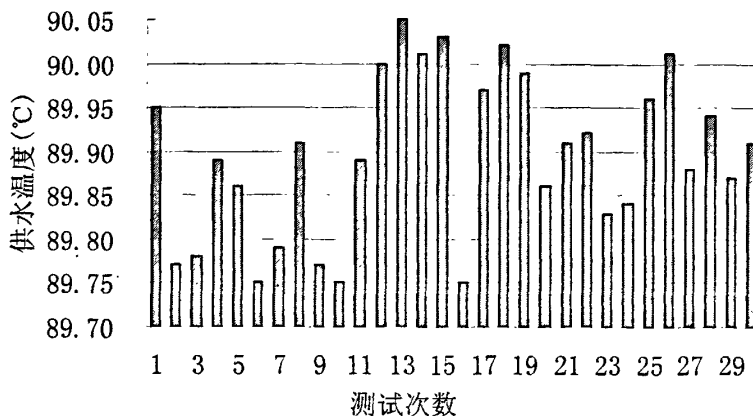


图 3-1 供水温度分析

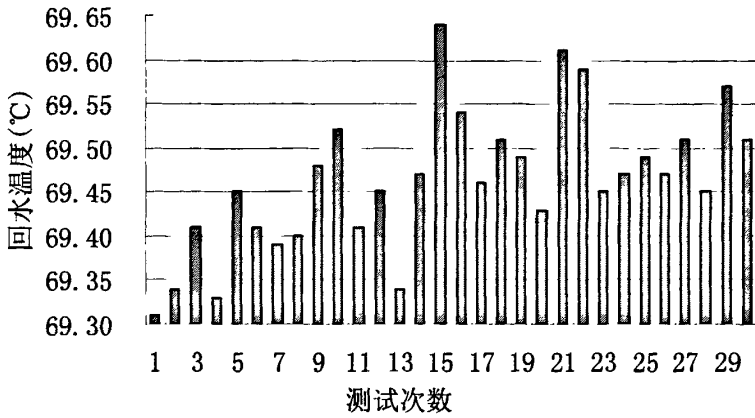


图 3-2 回水温度分析

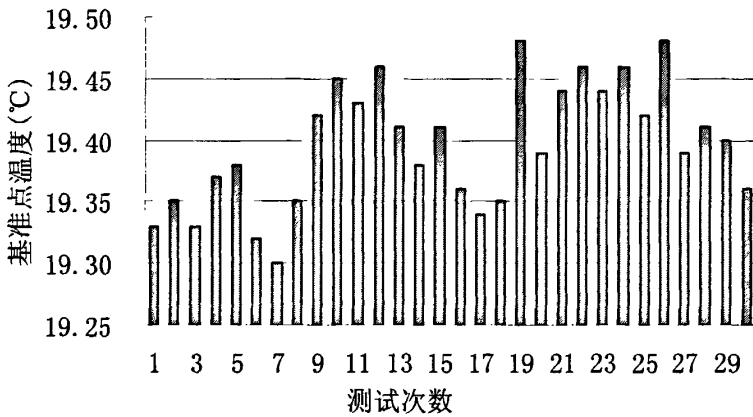


图 3-3 基准点温度分析

工况 2: 散热器进出口热水的平均温度为  $65\pm 5^{\circ}\text{C}$  时所对应的 3 个主要温度点 (达到稳定后两分钟检测一次, 共 30 次):

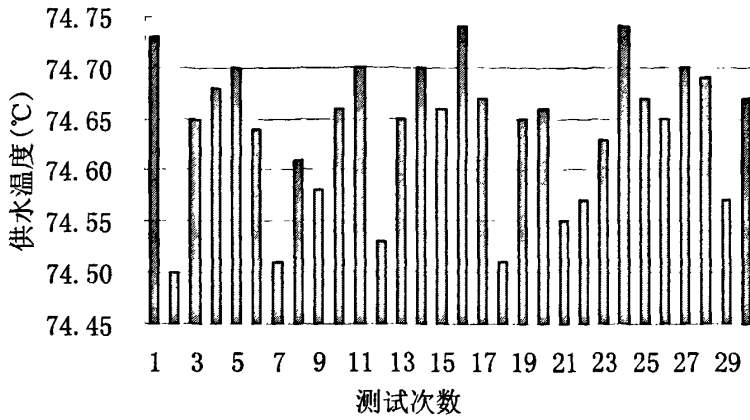


图 3-4 供水温度分析

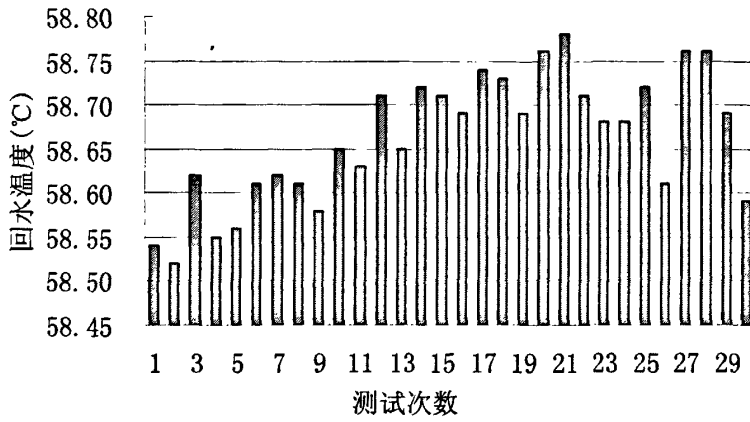


图 3-5 回水温度分析

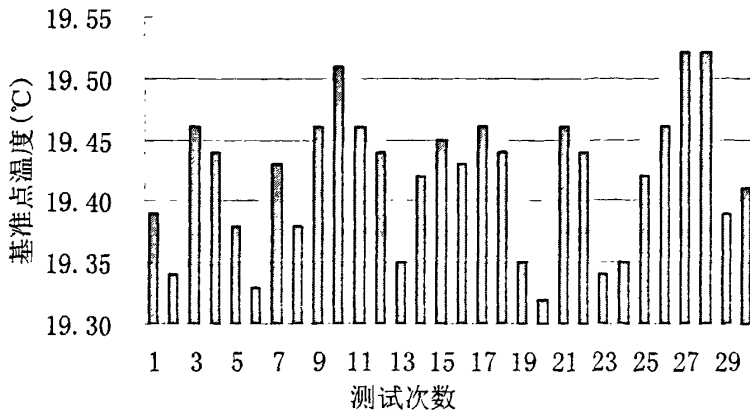


图 3-6 基准点温度分析

工况 3: 散热器进出口热水的平均温度为  $50\pm 5^{\circ}\text{C}$  时所对应的 3 个主要温度点 (达到稳定后两分钟检测一次, 共 30 次):

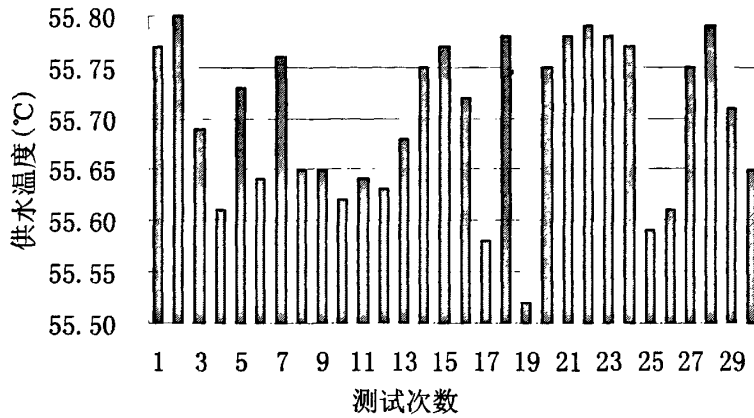


图 3-7 供水温度分析

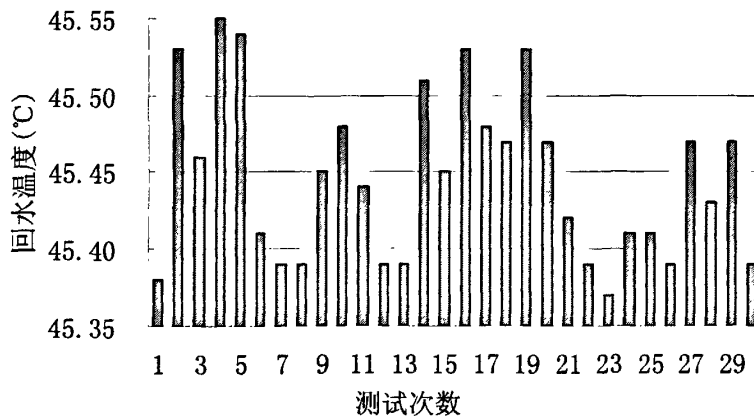


图 3-8 回水温度分析

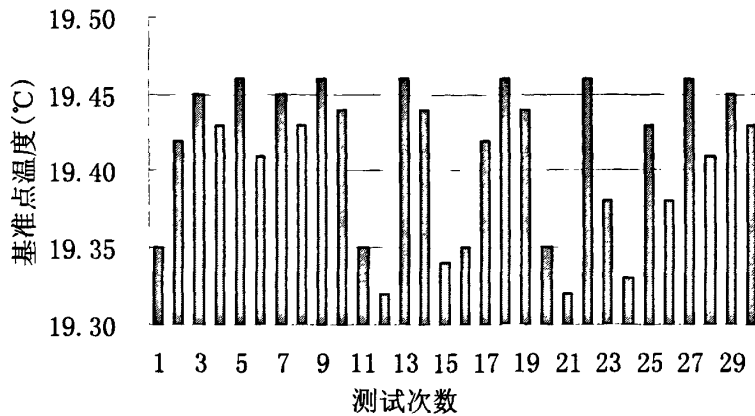


图 3-9 基准点温度分析

通过对上述 9 个图表的分析可知道，供水温度的偏差，回水温度的偏差可以达到 $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ 左右，都小于国家标准小于 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 的要求；基准点温度波动小于国家标准小于 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的要求。可以看出本试验台的改进能够降低供水温度和回水温度偏差，而由于基准点温度要求已经很严格，所以本试验台对基准点的改进效果不是很明显，等待以后进一步提高<sup>[28],[29]</sup>。

### 3.3.3 本试验台的稳定性试验

为了确定试验台的稳定性，本文对同种工况分别在不同时间进行了三次实验，具体如下：

第一次试验：

(1) 工况 1：散热器进出口热水的平均温度为  $80 \pm 3^{\circ}\text{C}$

表 3-1 工况 1 数据

测量序号	供水温度(°C)	回水温度(°C)	基准点温度(°C)	流量(kg/h)	计算温差(°C)	热量(W)
1	89.310	68.810	19.590	177.491	59.435	4224.734
2	89.180	68.870	19.600	171.864	59.250	4128.735
3	89.290	68.950	19.700	177.156	59.370	4235.286
4	89.390	68.980	19.700	179.143	59.275	4276.442
5	89.250	68.860	19.620	176.915	59.855	4178.141
6	89.430	68.850	19.600	178.981	59.385	4185.359
平均	89.308	68.887	19.635	176.925	59.428	4221.450
最大偏差	-0.122	-0.093	-0.065	-2.218		



(2)工况 2: 散热器进出口热水的平均温度为  $65\pm 5^{\circ}\text{C}$

表 3-2 工况 2 数据

测量序号	供水温度( $^{\circ}\text{C}$ )	回水温度( $^{\circ}\text{C}$ )	基准点温度( $^{\circ}\text{C}$ )	流量(kg/h)	计算温差( $^{\circ}\text{C}$ )	热量(W)
1	74.580	58.980	19.860	178.582	46.920	3236.256
2	74.760	59.010	19.700	178.441	47.225	3264.805
3	74.500	58.960	19.790	177.347	46.940	3201.518
4	74.740	58.840	19.710	177.156	47.080	3272.160
5	74.570	58.500	19.810	176.976	46.725	3303.785
6	74.550	58.880	19.770	176.620	46.945	3215.063
平均	74.617	58.862	19.773	177.520	46.973	3248.931
最大偏差	-0.143	-0.148	-0.087	-1.062		

(3)工况 3: 散热器进出口热水的平均温度为  $50\pm 5^{\circ}\text{C}$

表 3-3 工况 3 数据

测量序号	供水温度( $^{\circ}\text{C}$ )	回水温度( $^{\circ}\text{C}$ )	基准点温度( $^{\circ}\text{C}$ )	流量(kg/h)	计算温差( $^{\circ}\text{C}$ )	热量(W)
1	55.520	46.130	19.970	175.874	30.855	1918.447
2	55.520	46.040	19.930	174.456	30.850	1921.214
3	55.630	46.040	19.900	173.369	30.935	1931.395
4	55.630	46.040	19.900	178.124	30.935	1984.374
5	55.600	46.050	19.990	178.265	30.835	1977.655
6	55.600	46.050	19.990	177.984	30.835	1974.540
平均	55.583	46.058	19.947	176.345	30.874	1951.271
最大偏差	-0.047	-0.072	-0.043	-1.92		

由以上分析可知:

a.进口水温、出口水温、基准点温度、流量的测试精度完全符合国家标准的  
要求。

b.按照每个工况的散热温差平均值  $\Delta T$ 、散热量平均值  $Q$ ,  $y = \ln(Q)$ ,  
 $x = \ln(\Delta T)$ , 根据最小二乘法<sup>[30]</sup>, 由程序回归, 得到三个工况的回归曲线参数:

$$y = a + bx \quad (3-2)$$

式中,  $a = 2.07688$ ,  $b = 1.281636$ , 即:

$$\ln(Q) = \ln(A) + B \cdot \ln(\Delta T) = 2.403501 + 1.202986 \cdot \ln(\Delta T)$$

$$Q = 7.97954 \cdot \Delta T^{1.281636}$$

可知  $A = 7.97754$ ,  $B = 1.281636$ , 然后将各个计算的温差平均值带入, 得到散热量  
回归值  $\Delta Q$ , 如表 3-4 所示。

表 3-4 试验 1 数据整理

	散热温差 $\Delta T$	测量平均值 $Q$	回归值 $\Delta Q$	$Q - \Delta Q$	相对误差
工况一	59.595	4221.45	4185.8	45.65	1.08%
工况二	46.975	3248.931	3208.88	40.051	1.23%
工况三	30.874	1951.271	1921.76	29.511	1.50%

第二次试验:

(1) 工况 1: 散热器进出口热水的平均温度为  $80 \pm 3^\circ\text{C}$

表 3-5 工况 1 数据

测量序号	供水温度( $^\circ\text{C}$ )	回水温度( $^\circ\text{C}$ )	基准点温度( $^\circ\text{C}$ )	流量(kg/h)	计算温差( $^\circ\text{C}$ )	热量(W)
1	89.240	68.790	19.790	177.347	59.225	4213.065
2	89.360	68.770	19.890	177.156	59.175	4237.344
3	89.290	68.650	19.700	176.976	59.270	4243.318
4	89.430	68.880	19.700	177.347	59.455	4233.667
5	89.330	68.860	19.720	177.156	59.375	4212.649
6	89.430	68.950	19.800	174.456	59.390	4150.471
平均	89.347	68.817	19.767	176.740	59.315	4215.086
最大偏差	-0.083	-0.133	-0.123	-0.607		

(2) 工况 2: 散热器进出口热水的平均温度为  $65 \pm 5^\circ\text{C}$

表 3-6 工况 2 数据

测量序号	供水温度( $^\circ\text{C}$ )	回水温度( $^\circ\text{C}$ )	基准点温度( $^\circ\text{C}$ )	流量(kg/h)	计算温差( $^\circ\text{C}$ )	热量(W)
1	74.340	58.480	19.760	178.582	46.650	3290.193
2	74.260	58.610	19.700	178.441	46.735	3244.076
3	74.350	58.760	19.720	177.347	46.835	3211.819
4	74.390	58.840	19.800	177.156	46.815	3200.131
5	74.430	58.750	19.630	176.976	46.960	3223.606
6	74.240	58.880	19.670	176.620	46.890	3251.459
平均	74.335	58.720	19.713	177.520	46.814	3220.214
最大偏差	-0.095	-0.15	-0.087	-1.062		

(3) 工况 3: 散热器进出口热水的平均温度为  $50 \pm 5^\circ\text{C}$

表 3-7 工况 3 数据

测量序号	供水温度(°C)	回水温度(°C)	基准点温度(°C)	流量(kg/h)	计算温差(°C)	热量(W)
1	55.720	46.330	19.570	175.874	31.455	1918.447
2	55.660	46.240	19.700	174.456	31.250	1909.055
3	55.630	46.430	19.720	173.369	31.310	1852.850
4	55.480	46.210	19.640	178.124	31.205	1918.159
5	55.460	46.180	19.590	178.265	31.230	1921.742
6	55.620	46.160	19.590	177.984	31.300	1955.931
平均	55.595	46.258	19.635	176.345	31.292	1912.697
最大偏差	-0.125	-0.142	-0.085	-1.92		

a.分析可知,进口水温、出口水温、基准点温度、流量的测试数据,完全符合国家标准的要求。

b.由程序回归 $a=2.403501$ ,  $b=1.202986$ , 即:

$$Q=11.06184 \cdot \Delta T^{1.202986}$$

可知 $A=11.06184$ ,  $B=1.202986$ , 得到散热量回归值 $\Delta Q$ , 具体如下:

表 3-8 试验 2 数据整理

	散热温差 $\Delta T$	测量平均值 $Q$	回归值 $\Delta Q$	$Q - \Delta Q$	相对误差
工况一	59.315	4255.086	4210.045	45.041	1.06%
工况二	46.814	3210.214	3245.389	-35.175	1.10%
工况三	31.292	1912.697	1878.568	34.129	1.38%

第三次试验:

(1)工况 1: 散热器进出口热水的平均温度为 $80 \pm 3^\circ\text{C}$

表 3-9 工况 1 数据

测量序号	供水温度(°C)	回水温度(°C)	基准点温度(°C)	流量(kg/h)	计算温差(°C)	热量(W)
1	89.550	68.580	19.690	176.548	59.375	4300.736
2	89.480	68.730	19.770	177.645	59.335	4282.059
3	89.300	68.450	19.800	176.976	59.075	4286.491
4	89.280	68.790	19.630	178.441	59.455	4226.627
5	89.570	68.760	19.670	177.347	59.495	4287.232
6	89.480	68.650	19.700	177.156	59.365	4286.735
平均	89.443	68.677	19.710	177.352	59.350	4278.313
最大偏差	-0.127	-0.113	-0.09	-1.089		

(2)工况 2: 散热器进出口热水的平均温度为  $65\pm 5^{\circ}\text{C}$

表 3-10 工况 2 数据

测量序号	供水温度( $^{\circ}\text{C}$ )	回水温度( $^{\circ}\text{C}$ )	基准点温度( $^{\circ}\text{C}$ )	流量(kg/h)	计算温差( $^{\circ}\text{C}$ )	热量(W)
1	74.850	58.480	19.800	178.441	46.865	3293.324
2	74.560	58.610	19.630	177.347	46.955	3285.985
3	74.650	58.760	19.670	177.156	47.035	3270.102
4	74.740	58.840	19.700	174.456	47.090	3222.290
5	74.900	58.750	19.640	173.369	47.185	3252.558
6	74.880	58.880	19.670	178.124	47.210	3310.739
平均	74.763	58.720	19.685	176.482	47.057	3289.166
最大偏差	-0.137	-0.15	-0.115	-1.959		

(3)工况 3: 散热器进出口热水的平均温度为  $50\pm 5^{\circ}\text{C}$

表 3-11 工况 3 数据

测量序号	供水温度( $^{\circ}\text{C}$ )	回水温度( $^{\circ}\text{C}$ )	基准点温度( $^{\circ}\text{C}$ )	流量(kg/h)	计算温差( $^{\circ}\text{C}$ )	热量(W)
1	55.120	46.430	19.630	175.874	31.145	1875.432
2	54.980	46.540	19.670	174.456	31.090	1910.448
3	55.050	46.430	19.720	173.369	31.020	1906.040
4	55.080	46.470	19.630	178.124	31.145	1901.591
5	54.970	46.280	19.670	178.265	30.955	1899.562
6	54.890	46.360	19.700	177.984	30.925	1863.646
平均	55.015	46.418	19.670	176.345	31.047	1892.787
最大偏差	-0.105	-0.122	-0.05	-1.92		

a.分析可知, 进口水温、出口水温、基准点温度、流量的测试数据, 完全符合国家标准的要求。

b.由程序回归  $a=2.07688$ ,  $b=1.281636$ , 即:

$$Q = 7.97954 \cdot \Delta T^{1.281636}$$

可知  $A=7.97754$ ,  $B=1.281636$ , 得到散热量回归值  $\Delta Q$ , 具体如下:

表 3-12 试验 3 数据整理

	散热温差 $\Delta T$	测量平均值 $Q$	回归值 $\Delta Q$	$Q - \Delta Q$	相对误差
工况一	59.35	4288.31	4241.8	46.51	1.08%
工况二	46.0567	3263.931	3219.17	44.761	1.37%
工况三	31.0467	1761.12	1781.76	-20.64	1.17%

### 3.4 试验分析

根据三次试验（每次试验测试 6 次），分析试验数据见图 3-10~3-14。

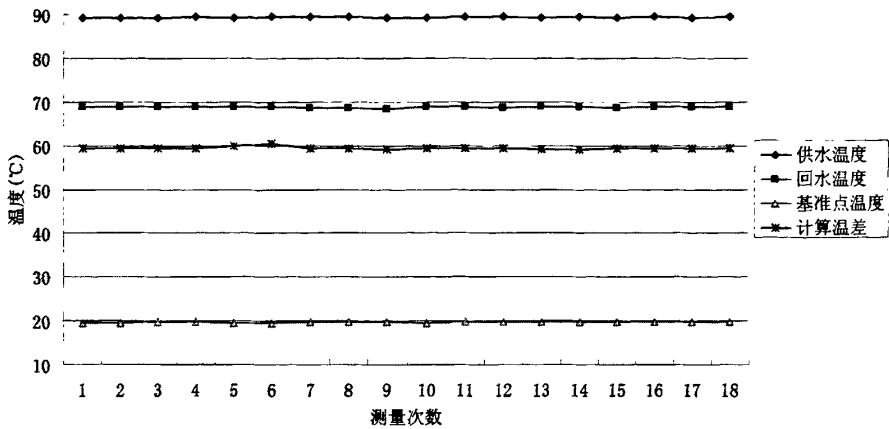


图 3-10 工况 1 的 3 次试验分析

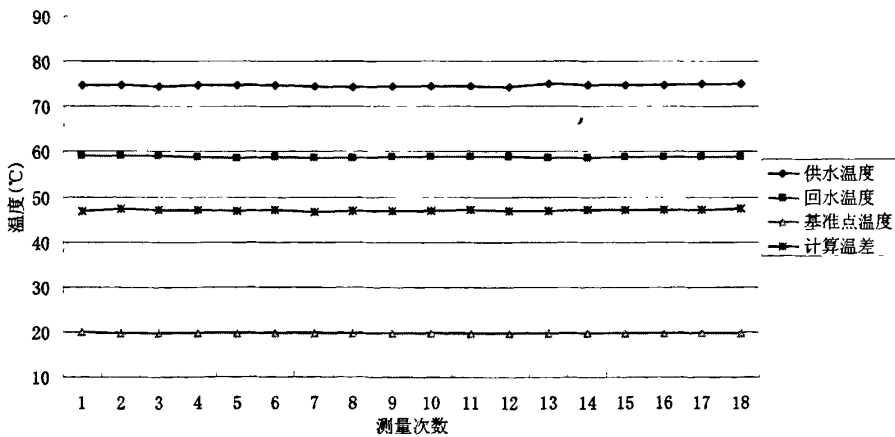


图 3-11 工况 2 的 3 次试验分析

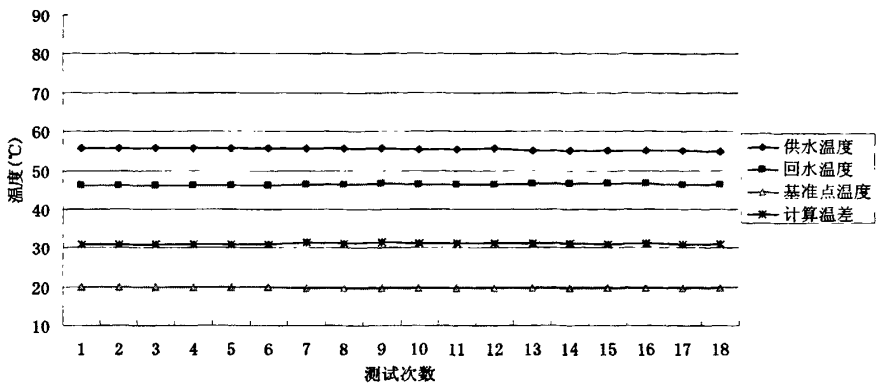


图 3-12 工况 3 的 3 次试验分析

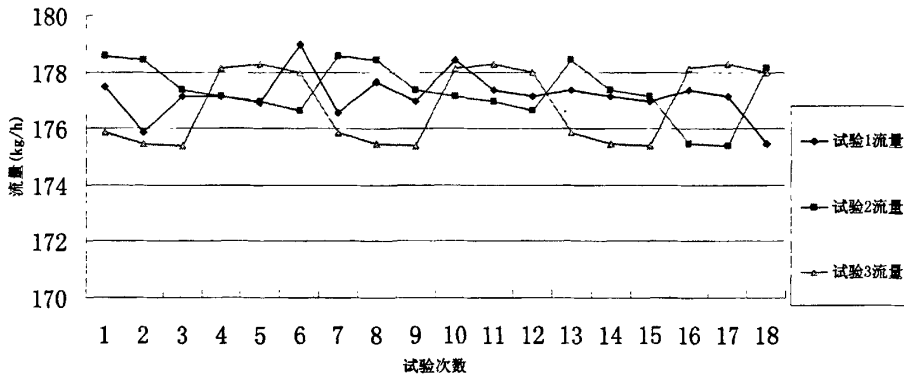


图 3-13 3 次试验流量分析

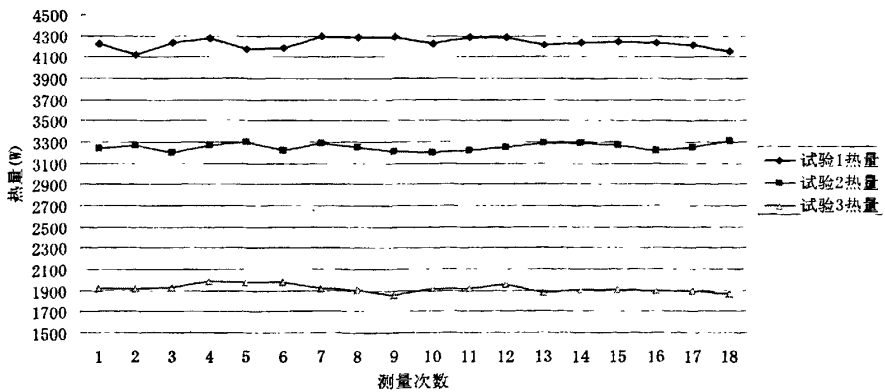


图 3-14 3 次试验热量分析

表 3-13 3 次试验流量偏差分析

	试验 1 流量	试验 2 流量	试验 3 流量
最大值	178.981	178.582	178.265
最小值	175.456	175.369	175.369
最大偏差	3.525	3.213	2.896
偏差	1.97%	1.80%	1.62%

表 3-14 3 次试验热量偏差分析

	试验 1 热量	试验 2 热量	试验 3 热量
最大值	4300.736	3310.739	1945.931
最小值	4178.141	3215.063	1892.850
最大偏差	122.595	95.676	53.081
偏差	2.89%	2.94%	2.77%

以上分析可以看出：

- (1) 试验中流量保持在 175 至 178 左右，精度达到国家标准 2% 的要求；试验的热量随着供水温度和回水温度的不同热量不同，偏差小于±3%。
- (2) 试验台重复性很好。

## 第四章 电子式热分配表在本试验台的测试及分析

本试验台的测试范围包括蒸发式热分配表和电子式热分配表两种，本课题主要针对电子式热分配表进行相关测试研究。

### (1) 电子式热分配表分类

①单传感器电子式热分配表，使用一支温度传感器，测量散热器热媒平均温度。

②双传感器电子式热分配表，使用两支温度传感器，分别测量散热器热媒平均温度和室温。

③三传感器电子式热分配表，使用三支温度传感器，分别测量散热器进水温度、回水温度和室温。

### (2) 电子式热分配表的结构

电子式热分配表由外壳、导热板、温度传感器、微处理器、显示器、电源、固定件及封印等组成<sup>[8]</sup>。

本课题在标准试验台上在不同温度下进行相关参数的测量，同时针对实际应用过程中可能出现的热阻塞问题进行一些实验性研究，主要包括：

a. 人为恶意覆盖电子式热分配表；

b. 装修覆盖，为了美观将暖气装在暖气罩里面<sup>[31],[32]</sup>。

## 4.1 电子式热分配表的测量原理及相关要求

电子式热分配表是测量散热器特征温度与相应采暖时间积分的电子装置，单传感器显示值是散热器被测量特征温度与时间积分的近似值，双传感器显示值是散热器表面平均温度与室内温度的差值对采暖时间积分的近似值。

电子式热分配表的显示值受到表本身、散热器、散热器功率修正系数、热耦合修正系数、设计低室温修正系数、综合修正系数、安装方式及其它因素的影响，为无量纲的数值。

测试要求：



电子式热分配表的国家标准规定：在测试过程中散热器上端进水，平均热媒温度为  $40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。基准室温（房间内高于地面  $0.75\text{m}$ 、距散热器的散热面前方  $1.5\text{m}$  处）为  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。流量是在供水温度为  $90^{\circ}\text{C}$ 、回水温度为  $70^{\circ}\text{C}$ 、基准室内温度为  $20^{\circ}\text{C}$  时测得。

## 4.2 电子式热分配表的试验测试

### 4.2.1 电子式热分配表的组成及原理

#### (1)组成

电子式热分配表是以MSP430单片机为核心，还包括电阻、热敏电阻、LCD液晶显示器、电容等部分。

其中MSP430十六位单片机是世界著名的美国德州仪器公司（TEXAS INSTRUMENTS）研制的，是单片机领域中的一个高性能产品，能效高、功耗低、编程方便、开发工具廉价。超低功耗结构延长了电池的使用寿命，高性能模拟信号处理，16位的精简指令集的CPU，使新应用的代码量只有原来的几分之一<sup>[33][34]</sup>，管脚和系列结构图分别见图4-1和图4-2。

本电子式热分配表的芯片主要使用MSP430F41X的P1.5/TACLK/ACLK引脚，第48序号，该引脚主要功能是：通用数字I/O引脚；Timer—A输入时钟；ACLK输出，使用的是通用数字I/O功能<sup>[35][36]</sup>。

#### (2)原理

本电子式热分配表的测温是先由一般已知电阻对电容进行充放电，然后得到充电时间；再由热敏电阻对同样的电容进行充放电得到又一个充电时间。对前后两次充电时间的比较后，再根据已知电阻值可以得到热敏电阻值，最后根据热敏电阻的阻值求出温度值。



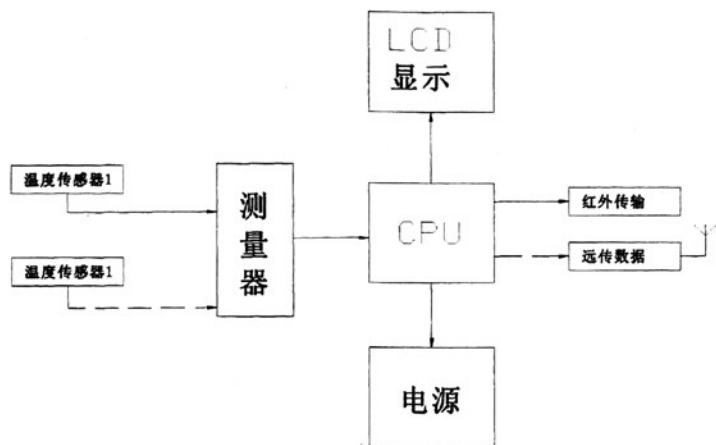
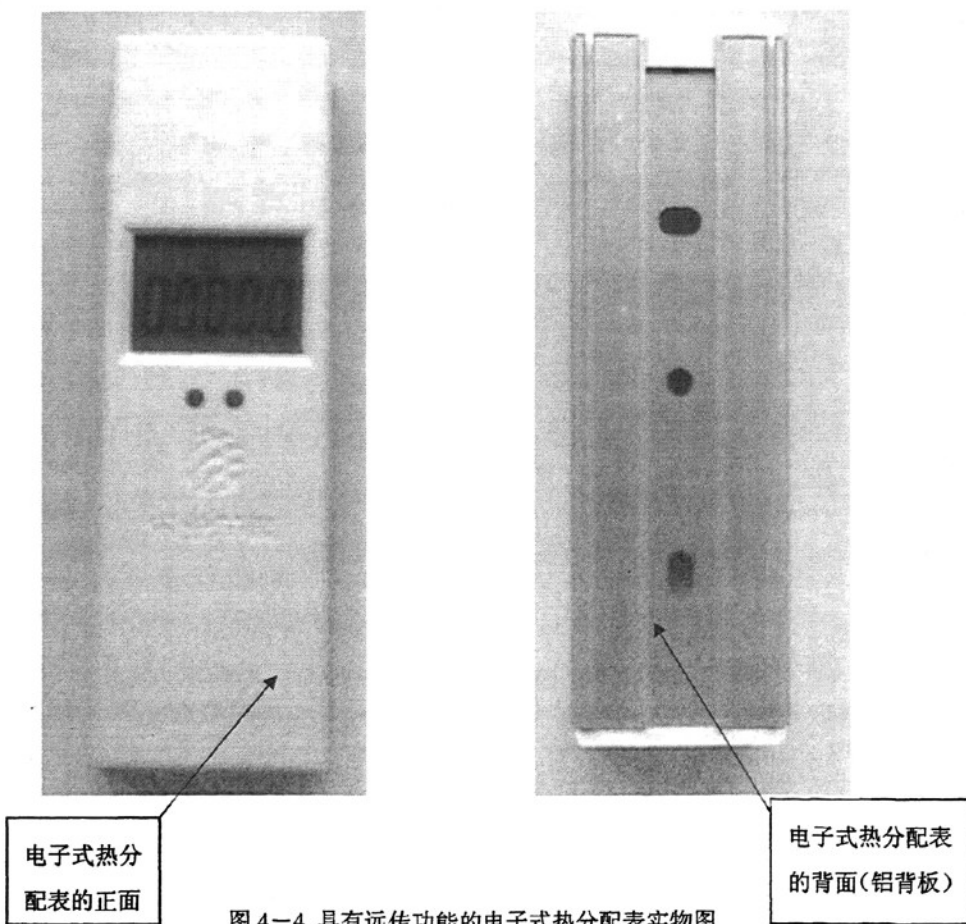


图 4-3 电子式热分配表的电路框图

(3)两种不同电子式热分配表的实物图



电子式热分配表的正面

电子式热分配表的背面(铝背板)

图 4-4 具有远传功能的电子式热分配表实物图

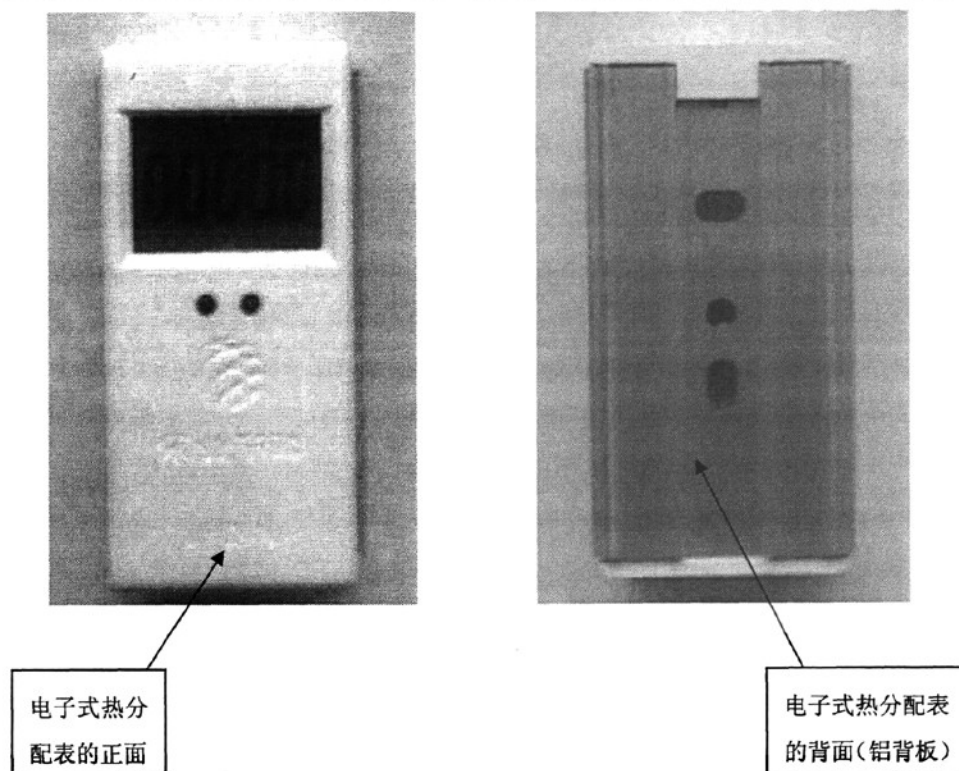


图 4-5 不具有远传功能的电子式热分配表实物图

#### 4.2.2 电子式热分配表测点位置

对于电子式热分配表的试验测试应测出几个典型的温度点, 形成温度场的分布。这几个温度点分别位于:

测试点 1: 散热器上的点(位于散热器中心高 75% 处, 距表壳外表面 5mm), 与供水温度和回水温度的平均值的比较点;

测试点 2: 表壳内表面点(距表壳外表面 15mm), 测量 C 值的点;

测试点 3: 壳内空气点(距表壳外表面 30mm), 测量 C 值的点;

测试点 4: 铝背板内侧点(距表壳外表面 40mm), 参考点。

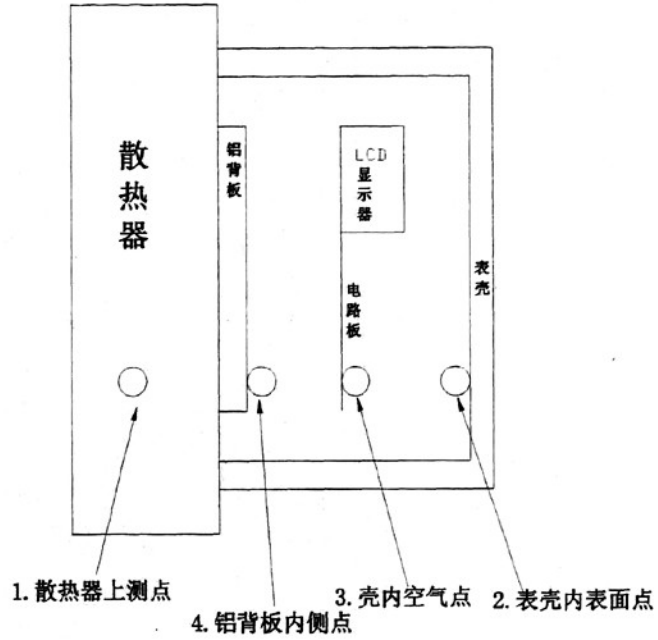
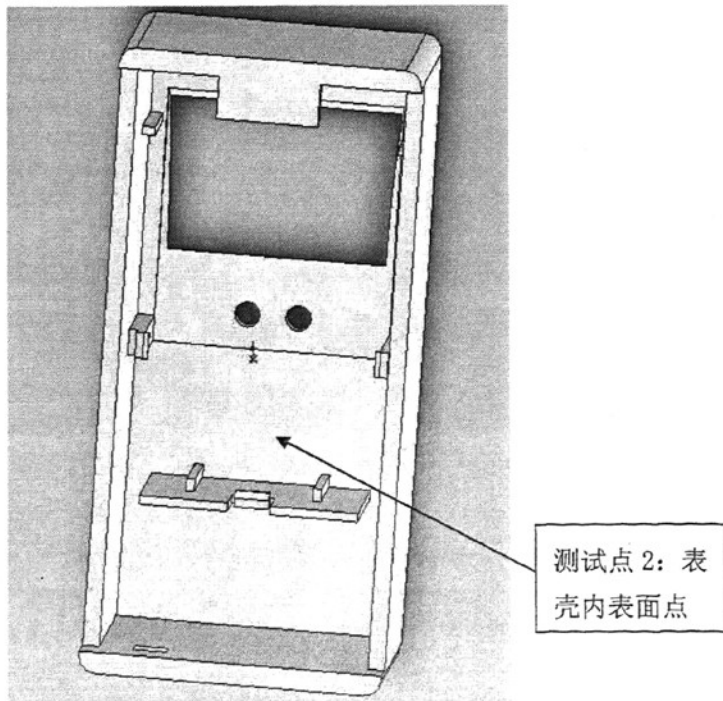


图 4-6 四个测试点的剖面图

以下是电子式热分配表内的温度测点位置：



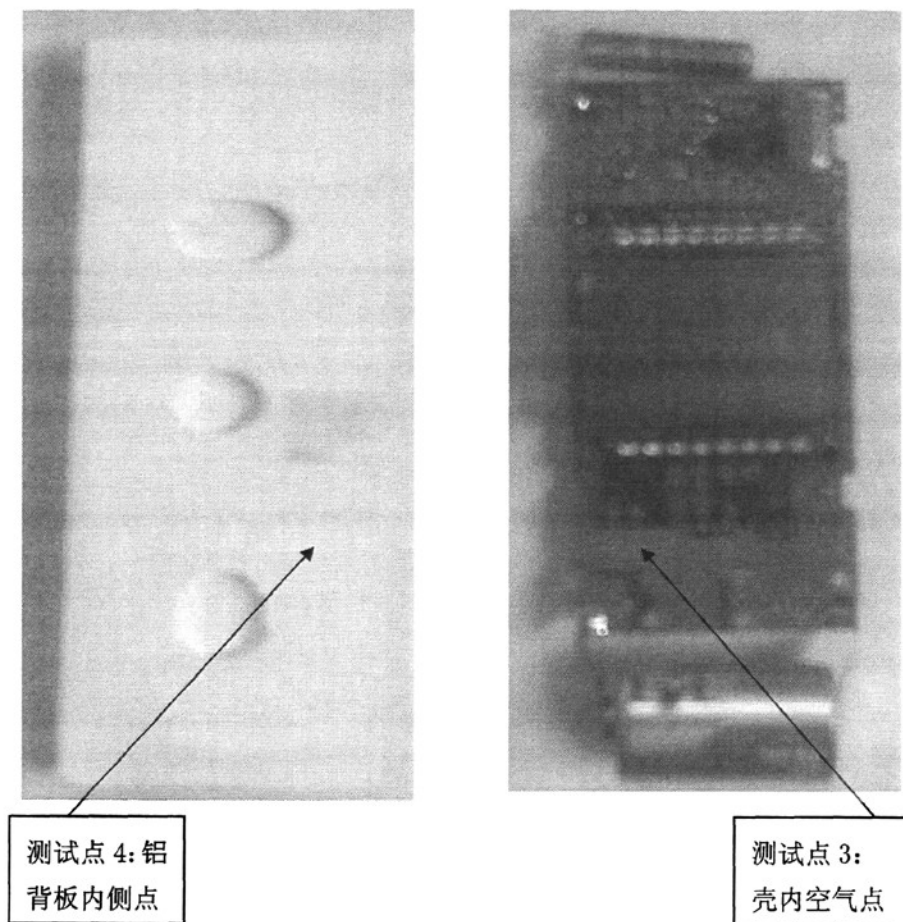


图 4-7 电子式热分配表的温度点分布图

### 4.2.3 电子式热分配表的试验目的

- (1) 检验上述四个点是否能很好地反映电子式热分配表的热工特性;
- (2) 检验上述四个测温点的温度分布是否符正确规律;
- (3) 对电子式热分配表应用过程中可能出现的现象进行模拟,例如: 热阻塞现象;
- (4) 为电子式热分配表的 C 值计算做准备。

### 4.2.4 电子式热分配表的试验准备<sup>[37]</sup>

- (1) 选择四个 PT1000 的铂电阻, 使其从低温 30℃ 左右升温到 80℃ 左右, 然后再降回到 20℃ 左右, 得到电阻值, 具体数据分析如下:

表 4-1 四个电阻与其温度对应表

R1(Ω)	T1(°C)	R2(Ω)	T2(°C)	R3(Ω)	T3(°C)	R4(Ω)	T4(°C)
1140	36.02	1147	37.83	1136	34.98	1143	36.79
1117	30.07	1122	31.36	1116	29.81	1120	30.85
1197	50.79	1220	56.77	1190	48.97	1212	54.69
1227	58.6	1250	64.59	1214	55.21	1235	60.68
1253	65.37	1275	71.12	1237	61.2	1259	66.94
1269	69.55	1291	75.3	1254	65.63	1276	71.38
1279	72.16	1302	78.18	1265	68.51	1286	74
1285	73.73	1308	79.76	1271	70.07	1292	75.57
1292	75.57	1313	81.07	1279	72.16	1298	77.14
1094	24.13	1099	25.43	1089	22.85	1096	24.66
1126	32.4	1141	36.28	1115	29.56	1130	33.43
1174	44.82	1195	50.27	1159	40.93	1181	46.64
1227	58.6	1241	62.24	1201	51.83	1225	58.07
1248	64.07	1271	70.07	1231	59.64	1254	65.63
1266	68.77	1289	74.78	1251	64.85	1272	70.33
1277	71.64	1299	77.4	1263	67.98	1283	73.21
1282	72.95	1304	78.71	1226	69.55	1289	74.78
1289	74.78	1310	80.28	1276	71.38	1294	76.09

(2) 由测试数据可知铂电阻在允许范围内，对它们进行回归<sup>[38]</sup>，确定程序中所要求的a, b, c值，四个电阻的回归曲线如下：

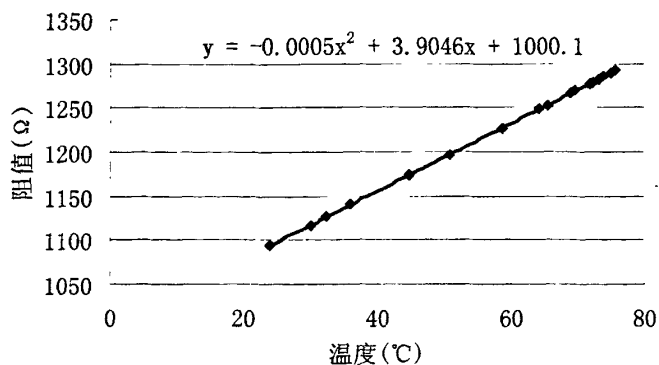


图 4-8 R1 的回归曲线

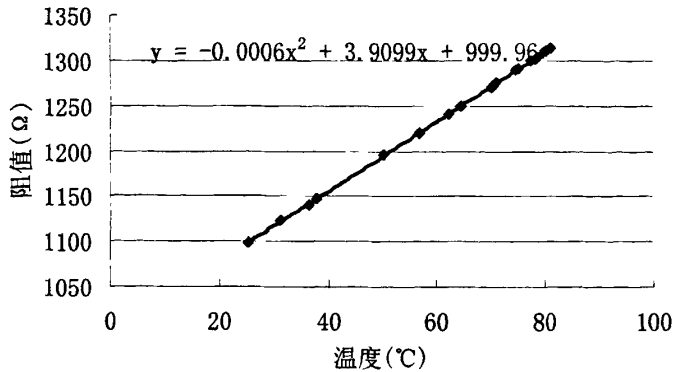


图 4-9 R2 的回归曲线

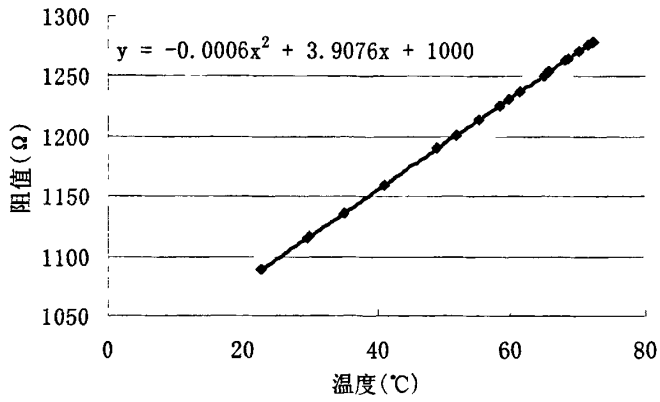


图 4-10 R3 的回归曲线

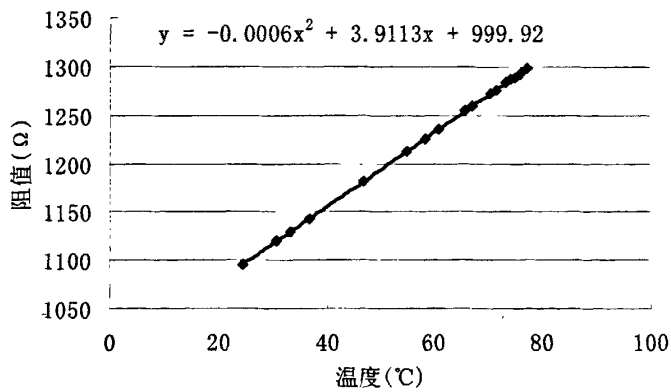


图 4-11 R4 的回归曲线



### 4.2.5 试验测试步骤

(1)将四个标定好的 PT1000 的铂电阻分别放入四个测试点，绝热密封；把电子式热分配表固定在 760 型散热器上。

(2)运行散热器性能标准试验台，以供水温度为参考基准加热。

(3)当达到 50℃的时，稳定不少于半个小时；

(4)继续加热，当达到 60℃的时，稳定不少于半个小时；

(5)继续加热，当达到 70℃的时，稳定不少于半个小时；

(6)继续加热，当达到 80℃的时，稳定不少于半个小时；

(7)继续加热，当达到 90℃的时，稳定不少于半个小时，再用热布把电子式热分配表覆盖（模拟覆盖时的情况）。

(8)当四个测试点稳定以后，去掉热布。

(9)当恢复到 90℃稳定时，开始降温。

(10)当温度降到 40℃以下，试验测试结束，关闭试验台。

### 4.3 电子式热分配表的试验数据及分析

#### (1)测试数据

电子式热分配表的轴侧温度分布是以具有远传功能的电子式热分配表为例进行测试，测试结果如图 4-12 所示。（四个测试点的轴测图见图 4-6）

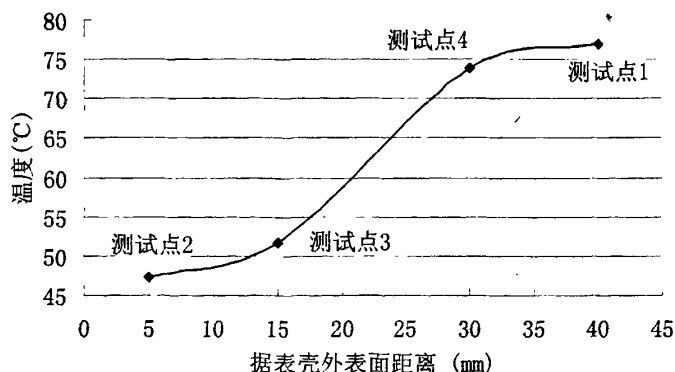


图 4-12 供水温度为 90℃测试点温度分布

两种不同功能的电子式热分配表试验数据曲线详见图 4-13、图 4-14。

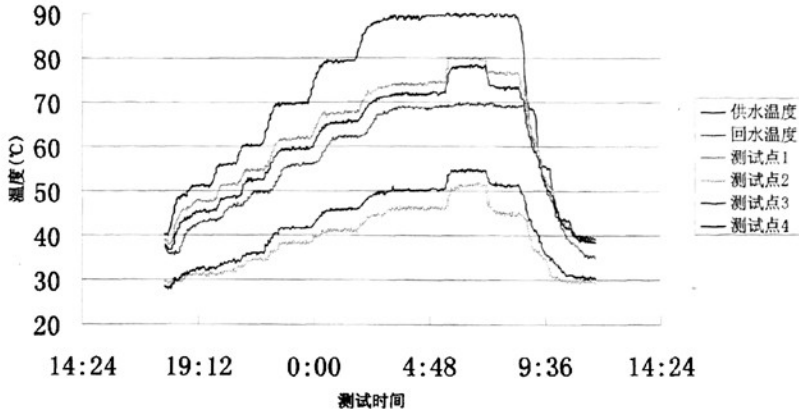


图 4-13 具有远传功能的电子式热分配表的试验数据

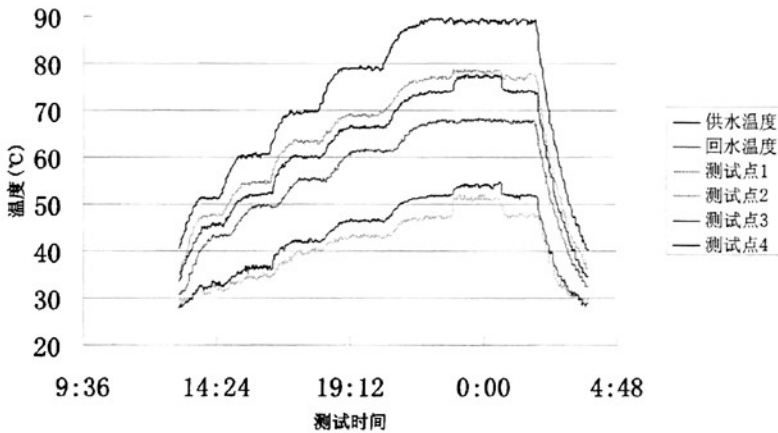


图 4-14 不具有远传功能的电子式热分配表的试验数据

## (2) 测试分析

- ①随着供水温度的升高，测试点 1、2、3、4 处温度同时升高；
- ②随着供水温度在 50℃、60℃、70℃、80℃、90℃ 各个温度点的稳定，测试点 1、2、3、4 的温度也同时达到稳定；
- ③各测点在温度较低的时候，上升的斜率比较大，随着温度的升高斜率变小；
- ④各测点在温度较低的时候，所需要的稳定时间较短，随着温度的升高稳定时间加大；

⑤热阻塞问题：当用布将电子式热分配表包裹后，虽然没有继续加热，但测试点1、测试点2、测试点3、测试点4温度会继续升高，达到一定程度后稳定；去掉后温度降低。

在供水温度为90℃时开始稳定，稳定以后将电子式热分配表用布包裹起来，模拟热阻塞时热分配表的温度变化情况。从90℃稳定结束后开始包裹电子式热分配表，测试点1温度从77℃左右上升到最高的80℃左右；测试点2温度从46℃左右上升到最高的51℃左右；测试点3温度从50℃左右上升到最高的55℃左右；测试点4温度从72℃左右上升到最高的78℃左右。需要25分钟左右的时间后开始稳定，稳定大约1个小时。说明在散热器运行过程中，热分配表处通风不畅会使测试值升高。

⑥由于测试点1、测试点4分别位于散热器上和铝背板内，两者之间的温度比较接近；

⑦降温过程中供水温度显著降低，但最后随着流量的减少供水温度、回水温度、测试点1、测试点2、测试点3、测试点4温度趋于一致。

⑧两种不同型式的电子式热分配表主要区别在于其中一个具有通讯功能，可以实现远距离传输并与计算机和通讯网络连接。因此从图中可以看出两种分配表升温、稳定、降温趋势基本相同。

⑨升温时间以及滞后时间分析

当供水温度在50℃稳定30分钟后，测试点1在2分钟后稳定，滞后2分钟；测试点2在5分钟后稳定，滞后5分钟；测试点3在6分钟后稳定，滞后6分钟；测试点4在7分钟后稳定，滞后7分钟。而且四个测试点在供水温度为50℃、60℃、70℃、80℃、90℃5种工况的滞后时间基本相同。

#### 4.4 电子式热分配表 C 值的计算

C 值：电子式热分配表温度传感器的温度和散热器热媒平均温度间的热耦合程度的数值。

C 值的计算公式：

$$C = 1 - \frac{\Delta t_s}{\Delta t_m} \quad (4-1)$$

式中,  $\Delta t_s$ —散热器温度传感器的温度和室温的差值, 即  $\Delta t_s = t_{sx} - t_{rx}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{sx}$ —散热器温度传感器的温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{rx}$ —室温传感器的温度 (无室温传感器时,  $t_{rx} = t_n$ ),  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta t_m$ —热媒过热温度,  $^{\circ}\text{C}$ <sup>[8]</sup>。

根据电子式热分配表的分布, 本文根据测试点 3 (壳内空气点) 和测试点 4 (铝背板内侧点) 的温度值进行 C 值计算。测试过程中的供水温度分别稳定在 50 $^{\circ}\text{C}$ 、60 $^{\circ}\text{C}$ 、70 $^{\circ}\text{C}$ 、80 $^{\circ}\text{C}$ 、90 $^{\circ}\text{C}$ , 计算上述 5 个温度时电子式热分配表的 C 值。并且检验电子式热分配表的 C 值是否满足国家标准: 在基准状态下, 单传感器电子式热分配表的 C 值应小于等于 0.4 的要求; 在基准状态下, 双传感器电子式热分配表的 C 值应小于等于 0.72 的要求。

#### (1) 不具有远传功能的电子式热分配表的 C 值计算

表 4-2 单传感器电子式热分配表的 C 值

温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	50 $^{\circ}\text{C}$	60 $^{\circ}\text{C}$	70 $^{\circ}\text{C}$	80 $^{\circ}\text{C}$	90 $^{\circ}\text{C}$
C 值	0.36	0.39	0.36	0.37	0.38

根据表 4-2 可知, 电子式热分配表的 C 值最大为 0.39, 最小值 0.36, 满足国家标准。

表 4-3 双传感器电子式热分配表的 C 值

温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	50 $^{\circ}\text{C}$	60 $^{\circ}\text{C}$	70 $^{\circ}\text{C}$	80 $^{\circ}\text{C}$	90 $^{\circ}\text{C}$
C 值	0.54	0.57	0.58	0.61	0.62

根据表 4-3 可知, 双传感器电子式热分配表的 C 值最大为 0.62, 最小为 0.54, 满足国家标准。因此, 与单传感器电子式热分配表的 C 值相比双传感器电子式热分配表 C 值的精度更好, 可靠性更高。

#### (2) 具有远传功能的电子式热分配表的 C 值

表 4-4 单传感器电子式热分配表的 C 值

温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	50 $^{\circ}\text{C}$	60 $^{\circ}\text{C}$	70 $^{\circ}\text{C}$	80 $^{\circ}\text{C}$	90 $^{\circ}\text{C}$
C 值	0.3674	0.3727	0.3876	0.3691	0.3854

根据表 4-4 可知，电子式热分配表的 C 值最大为 0.39，最小为 0.37，满足国家标准。

表 4-5 双传感器电子式热分配表的 C 值

温度 (°C)	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C
C 值	0.5541	0.5781	0.5939	0.6145	0.6324

根据表 4-5 可知，电子式热分配表的 C 值最大为 0.63，最小为 0.55，优于国家标准。因此，与单传感器电子式热分配表的 C 值相比双传感器电子式热分配表 C 值的精度更好，可靠性更高。

由于不具有远传功能的电子式热分配表与具有远传功能的电子式热分配表只是在通信上的区别，因此不具有远传功能的电子式热分配表的 C 值与具有远传功能的电子式热分配表的 C 值基本相同，趋势相似。

## 第五章 结论与建议

### 5.1 结论

本文对散热器性能标准试验台的水暖系统、电路控制系统、自动测试系统的软件和硬件进行了研究和改进,并利用计算机自动检测技术对散热器性能标准试验台的运行进行了控制和分析,得出以下结论:

(1)通过对散热器性能标准试验台电路控制系统的改进(包括大控制柜中采用新型模拟计量表、强电的空气开关采用三相四线制等),提高了PID自整定和自适应的速度和精度,减少了每个工况稳定所需要的时间,并且提高了三个基准点精度。

(2)通过对散热器性能标准试验台中自动测试系统的软件和硬件改进,包括板卡的改进、软件中循环时间的减少,可以使供水温度、回水温度的偏差在 $\pm 0.15$ ℃范围内,基准点温度在 $0.1$ ℃范围内,流量低于2%。

(3)采用供回水、基准点试验数据运用回归理论计算的方法,算出的热量值与热工方法算出的热量值相对偏差小于1.5%,可以认为标准试验台的测试数据精确度较高。

(4)为了验证试验台的复现性,一共进行三次条件相同的试验,得到的流量偏差小于2%,热量相对偏差小于3%,说明试验台复现性好。

在标准试验台上对电子式热分配表进行了相关测试,得到的结论如下:

(5)通过电子式热分配表的试验测试,以及C值的计算,可以看出四个测温点温度分布基本反映电子式热分配表的热工性能。

(6)与供水温度达到稳定时间相比较,四个测试点的温度达到稳定有一定的滞后,可以在供水温度稳定后的一段时间对四个测试点进行测试。

(7)散热器在运行过程中,如果出现热阻塞现象,可以使四个测试点温度明显上升。电子式热分配表的读数将明显偏高,应加强散热器附近的通风。

## 5.2 建议

(1) 由于电子式热分配表具有远传数据和红外传输的功能，建议在小室内设计一个接收通信的装置，这样测试人员就不必再进入小室内，在小室外就可以接收数据取代人工读表，以免人员进入干扰已经稳定的温度场。

(2) 为了配合电子式热分配表的标定，应扩充计算机的接口和相应软件，这样就可以将接收到的电子式热分配表数据传递到计算机进行数据处理，以便可以实时的采集热表数据并保存，并为热表的研发提供准确的数据。

## 参考文献

- [1] 牟灵泉, 我国轻型供暖散热器的发展, 中国建筑金属结构, 2002 (3): 18-22
- [2] 胡必俊, 我国供暖散热器产业结构大变化, 中国建设信息, 2002 (F06): 12-14
- [3] 萧曰嵘, 牟灵泉, 董重成, 《民用采暖散热器》, 北京: 清华大学出版社, 1996
- [4] 涂光备, 田雨辰, 李建兴, 涂岱昕, 电子式热分配表在热计量中的应用, 天津大学硕士论文, 2001
- [5] 国家技术监督局, 《GB/T 13754-92: 采暖散热器热量测定方法》, 1992
- [6] 国际化标准组织, 《国际标准 ISO 3147—3150: 室内采暖设备试验标准》, 1975
- [7] 中华人民共和国建设部, 《中华人民共和国城镇建设行业标准 CJ/T271-2007 蒸发式热分配表》, 2007
- [8] 中华人民共和国建设部, 《中华人民共和国城镇建设行业标准 CJ/T 260—2007 电子式热分配表》, 2007
- [9] 郭戈, 杜红林, 闫继宏, 黄瑞, 热能计量表的技术现状及展望, 《甘肃工业大学学报》2003 (2)
- [10] 袁凤东, 安大伟, 娄承芝, 祁峰, VB在散热器性能标准试验台中的应用, 山东建筑工程学院学报, 2003 (2)
- [11] 王江江, 安大伟, 空冷式散热器试验台测试系统的设计, 《煤气与热力》, 2006, (10)
- [12] 程大章, 智能建筑楼宇自控系统, 北京: 中国建筑工业出版社, 2005
- [13] 张子慧, 《热工测量与自动控制》, 北京: 中国建筑工业出版社, 1996
- [14] 金伟正, 实用四线制 PT100 测温电路研究, 电子测量技术, 2000 (2): 27-28
- [15] 余锋, 高昆, 周泓, 新型四线制精密电阻温度测量方法, 仪表技术与传感器, 1998(4): 30-34
- [16] 刘少强, 新型精密铂电阻测温方法, 传感器技术, 1999, 18 (2): 41-44
- [17] 王江江, 安大伟, 娄承芝, 袁凤东, 基于虚拟仪器的散热器性能计算机辅助测试系统, 《暖通空调》, 2006 (6)
- [18] 侯书新, 蔡波, 李德英, 散热器热工性能试验台的改造, 《北京建筑工程学



- 院学报》，2007，(3)
- [19] 集成运算放大器应用手册，北京：电子工业出版社，1990
- [20] 刘炳文，精通 Visual Basic 6.0 中文版，北京：电子工业出版社，2000
- [21] John.W.Fronckowiak/David J.Helda， Visual Basic 6 数据库编程大全，北京：电子工业出版社，1999 年，123-189
- [22] Mike Gunderloy， Visual Basic Developer's Guide to ADO, Publishing House of Electronics Industry，2000 年
- [23] [美]Noel Jarke 等著，京京翻译组译， Visual Basic 5 开发人员指南，北京：机械工业出版社，西蒙与舒斯特国际出版公司 1998 年
- [24] [美]John Clark Craig/Jeff Webb 著，北京博彦科技发展有限公司译,Microsoft Visual Basic 6.0 程序开发环境，北京：北京大学出版社，1999 年
- [25] 何文俊，马杰， Visual Basic 6.0 编程实例精解，北京：北京希望电子出版，2000
- [26] 祁峰，散热器性能标准试验台计算机自动测试系统，天津:天津大学环境学院，2002
- [27] 刘智敏，《误差与数据处理》，北京：原子能出版社，1981
- [28] Lazer, A./ Ursulean, R., Humidity and temperature data logger, Tallinn, Estonia, 1996
- [29] 郑相启，张艳芳，采暖散热器散热量测定结果评析，华北工学院：测试技术学报，1998，3 (12): 492-496
- [30] 王鸿儒等编著，《Excel在统计学中的应用》，北京：中国铁道出版社，2004
- [31] 江建林，关于集中供暖分户计量的解决方案与措施，  
《<http://chnibs.com.cn/forum>》，2002
- [32] 胡豫杰，张志刚，常茹，浅议我国热计量方法的选用与发展方向，《天津城市建设学院学报》，2001，(4)
- [33] 王福瑞，《单片微机测控系统设计大全》，北京：北京航空航天大学出版社,1999
- [34] 魏小龙，MSP430 系列单片机接口技术及系统设计示例，北京：北京航空航天大学出版社，2002
- [35] 秦龙，MSP430 单片机应用系统开发典型实例，北京：中国电力出版社，2005

[36] MSP430x4xx Family User's Guide, TEXAS INSTRUMENTS, 2003

[37] 田胜元, 萧曰嵘, 《试验设计与数据处理》, 北京: 中国建筑工业出版社, 1988

[38] 裴焕斗, 散热器热工测试中的误差处理, 测试技术学报, 1996, 5

## 发表论文和科研情况说明

### 参与的科研项目：

- (1)苏州净化集团 P3 生物试验室自动控制程序设计，安装与调试。
- (2)北京市华仪乐业节能服务有限公司散热器性能标准试验台的设计，安装与调试及搭建电子式热分配表的试验平台并测试。

## 致 谢

在本课题的工作与完成过程中，我的导师娄承芝高级工程师、安大伟教授自始至终给予了我悉心的指导和关怀，从他们那学到了很多宝贵的知识，导师严谨的治学态度、认真求实的工作作风、开拓进取的敬业精神使我受益匪浅，为我今后的学习、工作树立了良好的榜样。同时导师深厚广博的学识，亲切诚挚的师长风范，平易近人的人格魅力也给我留下了难忘的印象，并将成为永远鼓励我、激励我前进的精神力量。

感谢娄承芝高级工程师在我研究生期间，为我提供的大量的学术机会和指导，使我能够对专业有更深入的认识和了解，尤其是在课题进行过程中给予我许多现场经验的指导。感谢安大伟教授放弃休息时间、不辞辛苦为我的课题进行悉心指导，提出许多思路和宝贵的意见。感谢邢金城、叶天震副教授为我课题提供了指导和充分的试验室环境。在研究生期间，能够和他们一起工作和交流，是我近两年研究生生活里获得的最宝贵的财富。

感谢周志华副教授在百忙当中为我的论文给予指导，帮助我调整思路，明确方向，严格把关。周志华副教授严谨、认真的学术风格给我留下了深刻的印象。

感谢我的同学韩刚在软件 Visual Basic 编程过程提供的帮助，感谢李江龙同学在试验室搭建过程中给予我的帮助。感谢我的各位师弟、师妹对我的论文完成所提高的帮助。

在此论文完成之际，无以表达我内心的激动和感激，只能借此对所有关心和爱护我的老师和同学们表示我最诚挚的谢意。