

气象数据处理技术概论

解放军理工大学气象学院

二〇〇七年一月

目 录

第1章 概 述.....	5
1.1 气象信息的流程	5
1.2 气象数据的来源	7
1.2.1 地面气象仪器的种类	9
1.2.2 气象仪器的基本组成	10
1.2.3 常用气象传感器的特性	12
1.2.4 常用气象数据采集器	26
1.3 气象数据的误差分析	31
1.3.1 气象观测的“三性”要求与仪器的技术要求	31
1.3.2 气象仪器的特性指标	33
1.3.3 测量误差的主要来源	35
1.3.4 地面气象要素观测误差分析	38
1.4 气象数据的表达	47
1.4.1 地面气象资料数据模式	47
1.4.2 高空气象资料数据模式	51
1.4.3 气象传真图模式	53
1.4.4 静止气象卫星资料的文件格式	55
1.4.5 天气雷达资料的文件格式	60
1.5 气象资料的管理	68
1.5.1 信息处理分系统	68
1.5.2 数据库分系统	69
1.5.3 层次化数据存储管理分系统	74
1.5.4 应用服务分系统	75
1.5.5 系统运行监控分系统	76
1.5.6 系统备份和灾难恢复	77
1.6 气象信息处理技术的发展	77
1.6.1 气象信息处理系统的结构	77
1.6.2 气象信息处理系统的功能	78
1.6.3 气象信息技术重点支持的开发内容	79
1.6.4 由外军气象保障计划看发展	81
1.6.5 气象信息处理系统的技术基础	84

第2章 气象数据传输技术	87
2.1 气象数据的时效性	87
2.2 气象数据的传输	88
2.2.1 数据通信系统基本概念	89
2.2.2 VSAT 通信系统	106
2.2.3 图文电视广播 VBI 和数字视频广播 DVB	119
2.2.4 无线网	122
2.3 气象仪器设备常用数据通信接口	125
2.3.1 串行通信的基本概念	125
2.3.2 RS-232-C 接口	127
2.3.3 RS—422 标准串行接口总线	136
2.3.4 RS—485 标准串行接口总线	137
2.3.5 RS—422/485 标准应用举例——主从多机通信	141
2.3.6 电话通信接口	144
2.4 气象数据压缩技术	145
2.4.1 数据压缩	145
2.4.2 常用气象数据压缩编码方法	147
2.4.3 气象图像及网格数据压缩编码方法	147
第3章 天气图自动分析处理技术	151
3.1 图形网格的划分	151
3.1.1 概述	151
3.1.2 三角网格划分的基本原理	151
3.1.3 三角网格划分算法简述	152
3.1.4 三角网格划分的数学定义	153
3.1.5 三角网格划分算法的详细步骤	154
3.1.6 三角网格划分算法的比较	160
3.1.7 三角网格的优化	160
3.1.8 三角网格的应用	161
3.2 等值线图生成方法	161
3.2.1 概述	161
3.2.2 网格插值	162
3.2.3 逐点判别、生成等值线图	164
3.2.4 三角形剖分参数	165

3.2.5 三角形法生成等值线图.....	166
3.2.6 矩形法生成等值线图.....	172
3.2.7 曲线的生成.....	175
3.2.8 小结.....	176
3.3 气象图形动画的实现.....	176
3.3.1 概术.....	176
3.3.2 系统的主要功能.....	177
3.3.3 系统的总体结构.....	178
3.3.4 系统的数据处理.....	179
3.3.5 气象动画的设计方法.....	180
3.3.6 气象动画系统的应用.....	181
第4章 气象图像分析技术.....	183
4.1 基本概念.....	183
4.1.1 图像的含义及分类.....	183
4.1.2 数字图像.....	184
4.1.3 数字图像处理.....	186
4.1.4 数字图像的显示.....	187
4.2 常用的图像处理方法.....	190
4.2.1 图像的增强.....	190
4.2.2 灰度直方图的修改.....	190
4.2.3 图像的频域处理增强.....	191
4.2.4 空间滤波增强.....	192
4.2.5 伪彩色增强.....	193
4.2.6 图像增强的应用.....	194
4.3 图像的分割.....	194
4.3.1 直方图门限化的二值分割.....	195
4.3.2 基于边界线的分割.....	195
4.3.3 区域检测找边界.....	195
4.3.4 Hough变换.....	196
4.4 雷达图像处理技术.....	196
4.4.1 气象雷达图像的种类.....	196
4.4.2 气象雷达图像数据的积分和订正.....	198
4.4.3 气象雷达图像的坐标变换和几何校正.....	198

4.4.4 气象雷达图像的增强	199
4.4.5 气象雷达图像的分割与识别	199
4.4.6 气象雷达体数据可视化	199
4.5 卫星云图处理技术	200
4.5.1 气象卫星的种类	200
4.5.2 卫星云图成像原理	201
4.5.3 卫星云图的种类	202
4.5.4 卫星云图的灰度表达	203
4.5.5 投影变换	204
4.5.6 削弱干扰和噪声	207
4.5.7 几何纠正	208
4.5.8 增强处理	209
4.5.9 图像分割	212
4.5.10 图像在预报中的应用	213
第5章 气象水文信息网络系统	215
5.1 系统组成	216
5.2 信息流程	217
5.3 信息传输及组织	218
5.3.1 VSAT 气象水文通信系统	218
5.3.2 卫星电视气象水文数据广播接收系统	219
5.3.3 公用数据网气象水文业务应用系统	219
5.4 信息存储与分发	220
5.5 信息处理与应用	221
附 录	222
附录1 大气科学年谱	222
附录2 中华人民共和国气象法	228
附录3 第一章附图	236

第1章 概 述

1.1 气象信息的流程

为了能对气象信息的流程有更加感性的认识,我们不妨从气象保障的发展历史谈起。

气象,是运用科学方法研究大气现象(例如闪电、台风、降水过程),以及研究大气与海洋和陆地之间互相作用的一门学科,其目的是了解大气的各种物理过程,从而预测天气现象。

人类生活在地球大气层的底层。人类社会的所有活动,无不受到大气层中天气现象的影响。如何认识大气中的各种现象,如何及时而又正确地预报未来的天气气候,并对不利的天气气候条件进行人工调节和防御,是人类自古以来一直不断探索的领域。

在古时人们根本没有精确的仪器来测量和预测天气,因此人们以前对天气的认识是凭直觉和经验的。如千百年来所获取的感性知识—农谚,天气谚语是人们凭视觉和感觉来测天的。而人们所看到和感觉到的天气,和造成天气变化的天气系统相比,和地球相比,只是极小的一块。而且天气系统还是不断移动和发展的。因此从这个角度讲,用天气谚语测天属于“坐井观天”。而且天气谚语定性不定量,表达比较笼统,理解因人而异,因而预报结果也可能相差很大。所以,古代天气谚语不可能发展成为科学,建立天气预报业务。

古希腊哲学家亚里士多德(Aristotle, 384-322B. c.)在他的专著《气象汇论》(Meteorological)中,最先叙述和粗浅地解释了风、云、雨、雪、雷、雹等天气现象。但直到18-19世纪,随着物理学和化学的发展以及气压、温度、湿度和风等测量仪器的陆续发明,才使大气科学研究由单纯的描述进入了可以定量分析的阶段,也就产生了气

象数据的概念。

早期的气象观测并没有统一的观测规定,获得的数据也不进行实时交换,极大影响了气象预报的准确性,19世纪英、法和俄国之间的一场战争改变了这一切。1854年11月,历史上著名的克里米亚战争,英法联军包围了塞瓦斯托波尔,陆战队准备在黑海的巴拉克拉瓦港登陆。这时候,黑海上突然狂风大作,巨浪滔天,一场11~12级风暴重创了英法联军,沉没了30多艘舰艇。英法联军不战自溃,几乎全军覆灭。事后调查才知道这个风暴前二天已经在法国和西班牙造成灾害。因此调查者法国天文台台长勒弗里埃建议用电报把各地气象报告集中在一起,绘制天气图,作天气预报。至此气象学开始了近代科学探索的历史,对气象数据的处理开始进入新阶段。

地面天气变化与高空形势变化关系密切,地面天气系统明显地受地理位置、地形和海拔高度等因素的影响,高空则不然。20世纪30年代,无线电探空仪的广泛使用,真正开始了三维空间的大气科学研究。根据大量探空资料绘制的高空天气图,在制作天气预报时,一般与地面天气图配合起来分析。根据大量探空资料绘制的高空天气图,发现了大气长波,1939年罗斯贝(Carl-Gustaf Arvid Rossby, 1898-1957)提出了长波动力学,他的理论对天气预报有莫大的贡献。

1950年代至1960年代,大气科学得到高速发展。电脑,天气雷达,卫星和遥感技术的应用,使大气的各种现象,从大气环流到雨滴的形成过程,都可依照物理学和化学的数学形式来表示,从而使大气科学有了突飞猛进的发展。

卫星的出现为对地球体系的观测提供了基本条件。经过三十年的发展,在地球体系的大气、陆地、海洋三大领域,各自形成了特定的信息获取与处理应用技术。

从气象预报业务发展的角度看,观探测技术的出现产生了各类气象数据;雷达、卫星技术在气象中的应用产生了各种气象图像;通信技术的出现产生了数据的共享;计算机技术在气象中的应用,产生了各种气象数据的处理技术。

从军事角度看,气象水文信息是实施军事气象保障、开展军事气象科学研究的基础和基本依据。各军兵种气象保障部门必须全面及时获取和掌握战区及大范围地区的气象

水文资料、气候水文背景和军事气候水文统计分析产品,才能制作气象水文预报,综合分析气象水文环境对各军兵种作战行动的影响,为战区指挥机关决策提供依据。各部队气象台站必须及时掌握有关地区气象水文信息,接收上级中心的预报指导产品,才能准确制作本区气象水文预报,有效地实施军事气象保障。诸军兵种联合作战要求气象保障部门必须建立联合保障体系,才能有效实施战役、战术气象保障。建立联合气象保障体系的首要条件是气象水文信息必须共享。

由此可见,气象数据的处理涉及气象保障的各个环节,他们在气象业务发展的各个时期均发挥出关键的作用。根据以上描述,我们不妨将气象数据在气象保障业务中的相互关系用流程的形式用图 1.1 表达出来。

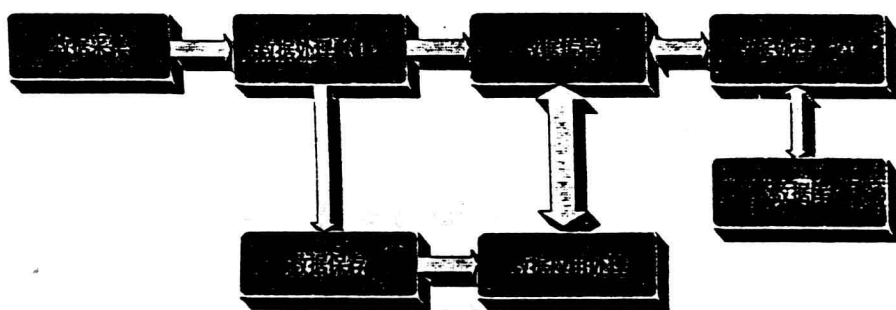


图 1.1 气象数据流程图

1.2 气象数据的来源

人类为了生存和发展,必须认识自然、利用自然、改造自然,而自然界的一切事物都是由一定的“量”组成的,并且是通过“量”来体现的。或者说,“量”是一切现象、物体或物质可定性区别于定量确定的一种属性。因此,要认识五光十色的大千世界、为人类造福,就必须对各种“量”进行分析和确认,既要分清“量”的性质,又要确定其量值。测量,就是为确定量值而进行的操作。在这一过程中,借助于专门的仪器设备,通过实验的方法,求出以所采用的测量单位表示的未知量的大小,即测量结果或量值,

如图 1.2 所示。

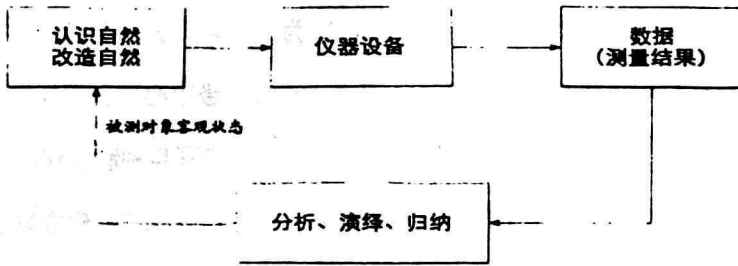


图 1.2 测量意义示意图

大气探测即是应用于气象领域的一种测量，是对表征大气状况的气象要素、天气现象及其变化过程进行个别或系统的、连续的观测，并对获得的数据进行一定的处理，如图 1.3 所示。大气探测为天气预报、气候分析、空间科学研究以及国民经济各部门直接提供代表大气实际状态的数据，是大气科学的一个重要分支，也是大气科学的基础。

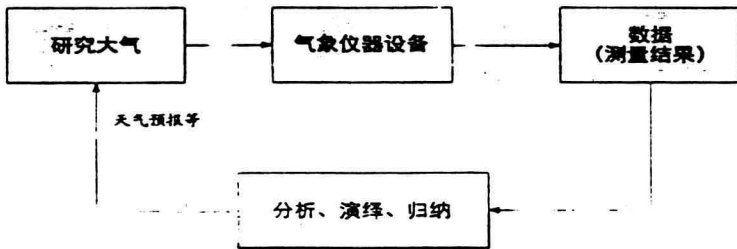


图 1.3 大气探测意义示意图

可见，科学研究基于测量，而测量一般需借助于专门的仪器设备，才能得到含有被测量信息的测量结果，即测量数据；若将仪器设备作为一个测量系统来看，则测量数据是仪器设备的输出量，而被测量是仪器设备的输入量，数据来源于通过仪器设备所进行的测量，包括数值和单位两要素。如图 1.4 所示。

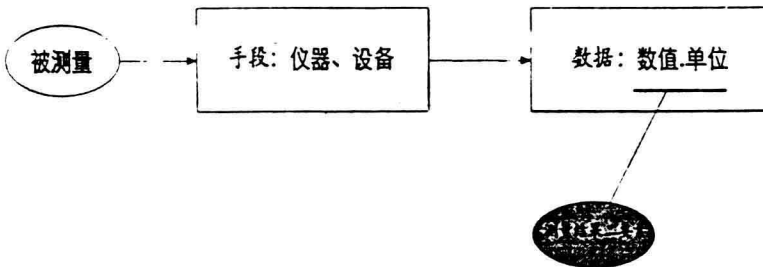


图 1.4 测量与仪器的关系

由于技术和经济的原因,大气探测既包括器测,也包括目测;而器测既包括直接测量,也包括间接测量。直接测量是指感应器直接与被测介质相接触的传感技术,根据传感元件的物理、化学性质受被测气象要素的作用而产生变化来直接测量气象要素的变化,目前地面气象要素主要采用这种方式获取。间接测量是指感应器不直接与被测介质相接触的遥感探测技术,根据对大气中发生的声、光、电磁波等信号传播过程中性质变化的检测,反演出气象要素的时空变化。遥感探测又分主动遥感和被动遥感,主动遥感是指仪器对被测目标发射信号,信号在大气中传播时产生相应的吸收、散射、反射,形成带有大气特征的回波信号,如多卜勒天气雷达等;被动遥感则是直接测量被测目标发出的信号,如微波辐射计即是接收水汽在 1.35cm 波长处的强辐射信号来反演出大气中的水汽含量。

随着生产和科学的发展,大气探测的范围和内容越来越广泛,观测方法也越来越多样。根据探测的对象和范围,大气探测可分为地面气象观测、高空气象探测和专业性气象探测。地面气象观测是以目力或仪器对近地面层的大气状况进行观察和测定,观测的项目包括云、能见度、天气现象、温度、湿度、气压、风、降水、蒸发、辐射能、日照时数以及冻土深度、积雪和电线积冰等。高空气象探测是利用气球、无线电探空仪、气象探测飞机、气象火箭、气象雷达、气象卫星等对自由大气的温、压、湿、风等要素进行探测。专业性或特殊项目的观测是根据各种不同的专业研究需要而进行的大气探测工作,如大气污染监测、农业气象观测、中高层大气探测等。近几十年来,作为主动遥感的各种气象雷达探测和作为被动遥感的气象卫星探测,以及地面微波辐射探测等能获得较多信息的探测方法和探测设备,正在越来越广泛地应用于大气科学的研究领域,成为大气探测的重要手段。

本节以地面气象观测为例,讨论原始地面气象数据的来源。

1.2.1 地面气象仪器的种类

地面气象数据来源于气象仪器所进行的气象观测。气象仪器是对一个或几个气象要

素进行监测及定性或定量测量的仪器，它为天气预报、人工影响天气、科学规划、国土开发、资源利用及防止自然灾害提供测量手段。气象仪器的发展水平，在一定程度上决定了大气科学的发展水平。

目前，地面气象观测的主要项目及所采用的气象仪器见表 1.1 所示。

表 1.1 气象台站装备的地面气象观测仪器

观测项目	观测仪器	野战、便携、自记、备用仪器
气压	振筒气压仪	空盒气压表
气温	玻璃液体温度表 双金属温度计	机械通风干湿表
空气湿度	百叶箱干湿表、 毛发湿度表	
风向风速	电传风向风速仪、 数字式风向风速仪	轻便风向风速表
降雨量	雨量筒、翻斗式雨量计	
云高	云幕灯	便携式激光测云仪
能见度	目测，前向散射式能见度仪	
天气现象	目测	
大气电场	大气电场仪	
多要素	自动气象站	野战气象仪
云状云量	目测	
辐射	辐射仪	

1.2.2 气象仪器的基本组成

气象仪器有机械式和电子式等。从最简单的玻璃液体温度表、毛发湿度表到自动气象站等综合遥测设备，都有共同的组成，即传感器、放大传输部分和处理显示部分，如图 1.5 所示。如玻璃液体温度表，其水银介质就是感应部分，毛细管将水银体积的热胀

冷缩转变为其长度变化,可认为是转换部分,而刻度板就是显示部分;毛发湿度表的感应部分是毛发,转换部分是将毛发长度变化进行放大并变换为转动角的杠杆放大机构,显示部分则是刻度和指针。

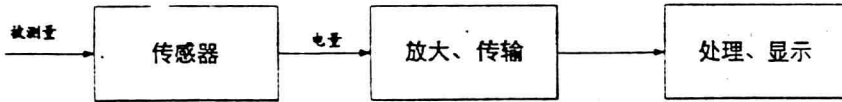


图 1.5 气象仪器的基本组成框图

随着生产、科学技术特别是军事科学、航空航天技术的不断发展,气象观测进一步大规模开展,气象仪器及其制造业随之得到了迅速发展。气象仪器已逐渐向定量化、遥测自动化、系统化和遥感化发展,逐步成为电子测量仪器。传感器技术、通信技术和计算机技术成为气象仪器产业的三大支柱。

电子式气象仪器常由传感器和主机构成,如图 1.6 所示。通常,主机是以单片机为核心的数据采集、处理、显示系统,对传感器信号进行数字化,并作进一步的计算、处理,转变为可以直接应用的量值,对测量结果进行存储、传输和打印等。目前,主机不但配有本地显示,还常配置 RS-232 串行通信接口,可与远端计算机进行长距离数据传输,并实现仪器的远程控制和诊断。如果一台主机配置一个传感器,则称为单项或单要素气象仪器;配置一个以上要素的传感器,则称为多要素或综合仪器。

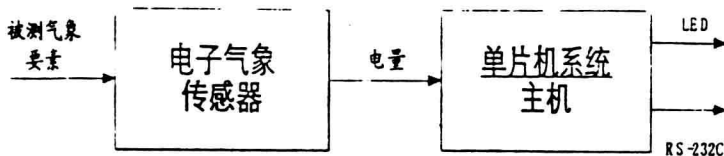


图 1.6 典型的智能仪器模型

自动气象站即为多要素的地面自动综合气象观测系统,用于气象业务的称为 AWOS (Atmospheric Weather Observing System); 用于航空港的称为 ASOS (Automated Surface Observing System)。一般,最基本的观测项目包括温度、湿度、

气压、风向风速和降水六个要素，中型规模的观测站可以扩展地温、云高、能见度、辐射能分量等观测项目。机场 ASOS 的观测项目比较全面，除了最基本的六个要素之外，还包括跑道视程、云高、降水性质识别、冻雨探测、跑道干湿和冻结状况识别，以及单站闪电定位等。

自动气象站可按多种方式进行分类，如按自动采集要素的多少、按是否有人值守、按数据传输方式等。如，按数据传输方式不同，分为有线自动遥测站和无线自动遥测站，有线遥测站常用于固定站，而无线遥测站常用于机动站或海岛、荒漠地区；按提供资料的实时性，有提供实时资料或在应急环境里及根据额外要求提供资料的实时自动气象站，还有记录资料供非实时分析用的非实时自动气象站，它在观测点记录观测资料，将资料存储在内部或外部的存储器中，需要时再将存储资料发送给遥远的用户。

某些自动气象站业务使用时，可以人工输入资料，也可以对还不能自动化观测的项目或人工观测项目进行编辑。这些项目包括：现在和过去天气现象等，或者那些自动观测费用很高的项目，如云高和能见度。这类站也可称为半自动气象站。

一个自动气象站往往是某个气象站网的一个组成部分，网中的每个气象站通过各种传输方式将各自的资料传送到中心站网处理系统。这个中心处理系统所执行的任务与这些自动气象站的任务密切相关，对它们起补充作用。因此，中心站和各子站的功能和技术要求是协调一致的。

自动气象站及其站网利用现代自动观测技术、通信技术、数据处理技术和网络技术，把观测、传输和资料处理结合成一个有机的整体，构成了完整的地面气象网，能够能够采集数量更多、质量更好，时间和空间分辨率更高，更加适用的气象资料，能在人们难以到达或不适应居住的地点和人工观测正常工作以外的时间来提供观测资料，使地面观测的面貌焕然一新。但是，仍有部分地面观测项目目前尚不能使用仪器测量，如云状、云量等。

1.2.3 常用气象传感器的特性

对于电子式气象仪器，传感器将被测量转换成电量。按国家标准 GB7665-87，传感器定义为“能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成”。如图 1.7 所示。气象传感器是大气探测的重中之重，它是获取原始气象数据的手段，气象仪器的测量特性也主要取决于所采用的传感器。

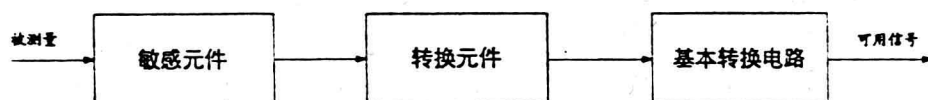


图 1.7 传感器的基本组成

气象传感器首先要满足探测设备关键性能的要求，如测量性能、长期稳定性、环境适应性、可靠性、维修性等，以保持观测资料的准确性和代表性及设备工作的可靠性；其次是其输出为标准信号形式，以易于被数据采集器所接收；最后是元件的互换性，即标准化。

1. 温湿度传感器

常采用 Viasala HMP-45D 型一体化温湿度传感器，具有较强的防电磁干扰的能力，如图 1.8 所示。该传感器的温度敏感元件为铂电阻 Pt100，湿度敏感元件为湿敏电容。

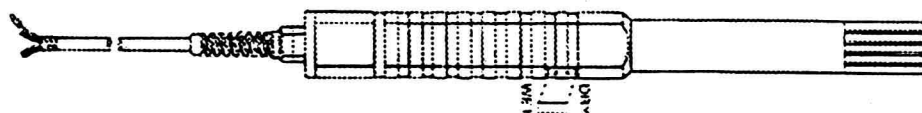


图 1.8 HMP-45D 温湿度传感器外型图

(1) 铂电阻

铂电阻的阻值与温度之间的关系为：

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2) \quad (1)$$

其中， R_0 —— 0℃ 时的电阻；

α , β ——一次、二次温度系数。

铂电阻的线性最好, 且具有较好的长期稳定性, 通常制成薄膜状。Pt100, 即其 0℃ 的电阻值为 100 Ω , 温度/电阻分辨率一般为 0.3958 Ω /℃。其温度与电阻关系如表 1.2。

表 1.2 Pt100 温度与电阻值的对应关系

温 度, ℃	电 阻, Ω	温 度, ℃	电 阻, Ω
50	119.625	-10	96.025
40	115.725	-20	92.050
30	111.810	-30	88.060
20	107.880	-40	84.050
10	103.945	-50	80.050
0	100.000		

与半导体电阻温度表相比, 铂电阻阻值很小, 测温灵敏度较小, 如果直接用欧姆表测量电阻以换算为相应的温度值, 其温度测量的分辨率很低。测量电路通常采用四线制接法, 以消除引线电阻的影响。如图 1.9 所示。

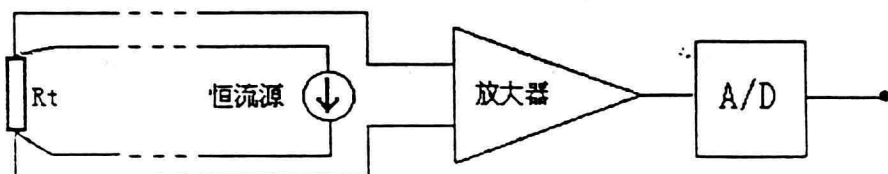


图 1.9 铂电阻的四线制测量电路

铂电阻接成四线制, 即在电阻的两端分别引出两根线。恒流源与铂电阻组成的回路为电流回路, 放大器和铂电阻组成的回路为电压回路。电流回路中的电流是恒定的, 当铂电阻的电阻值随温度发生变化时, 其两端的电压会发生相应的变化, 此电压与温度之间具有很好的线性关系。放大器是输入阻抗极大的集成电路, 因此电压回路中的电流极小, 铂电阻两端的电压可以经过很长的导线传输而几乎没有损失, 从而消除了导线电阻的影响。放大器的输出经过 A/D 转换器即可转换为相应的数字信号。图中虚线表示长

电缆线，可长达 200m 以上，恒流源、放大器和 A/D 转换器可以安装在远离测温铂电阻的室内主机里。

考虑到铂电阻通过电流会产生热效应，激励电流应尽量小，为 1.2mA。

(2) 湿敏电容

高分子有机膜湿敏电容是由芬兰 Vaisala 公司首先研制成功的，它体积小，响应快，目前的测量准确度在 0°C 以上达到 $(3\sim5)\% \text{RH}$ ，在 0°C 以下为 $(5\sim8)\% \text{RH}$ ，且调整方便，便于批量生产，已在世界上广泛应用于探空仪上和地面气象自动观测系统中。

在一个有机玻璃或玻璃基片上首先用扩散法制做两个金电极，然后涂上有机膜作为介质，形成一个电容器件，如图 1.10 所示。感湿膜厚度仅 $0.5\sim 1\mu\text{m}$ ，其厚度直接关系到测湿特性：太薄会使表面与底部的电极短路，太厚则使时间常数增大，以至完全不能感湿。基片厚约 0.5mm ，长、宽约 5mm ，电极引线很短、极薄，难于焊接，因此两引线都从基片上引出，形成两个电容串联的形式。

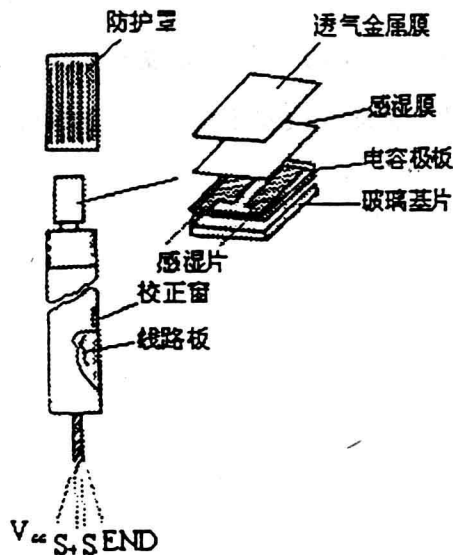


图 1.10 湿敏电容的结构

在外界湿度变化时，感湿膜能吸附和释放水汽分子，引起其介电常数发生变化，从而使元件电容量改变。利用电容量与相对湿度的函数关系即可测量湿度。图 1.11 即反

映了湿敏电容电容量与相对湿度的典型函数关系。

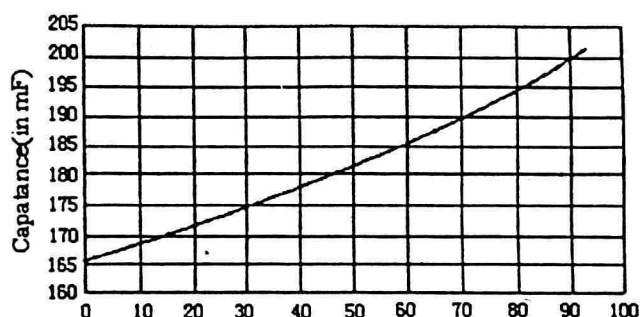


图 1.11 典型的湿敏电容校准曲

该曲线可以用三次多项式表达:

$$C(\text{pF}) = C_{55\%} (1.25 \times 10^{-7} U^3 - 1.36 \times 10^{-5} U^2 + 2.19 \times 10^{-3} U + 9.0 \times 10^{-1})$$

湿敏电容对于相对湿度的变量很小,相对湿度变化 100%时,其电容变量约 (10~50) pF 左右,接在高频振荡电路中可获得具有一定湿度分辨率的输出量。对应 0~100%RH,传感器输出为 0~1V 的电压,灵敏度为 10mV / 1%。

常温条件下,湿敏电容的动态响应较迅速,时间常数在 30s 左右,如图 1.12 所示。

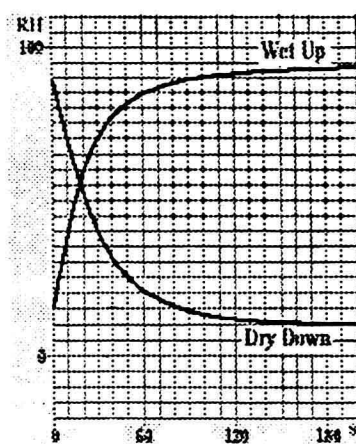


图 1.12 湿敏电容的动态响应

2. 气压传感器