

# KL WC-5 含水量仪原理及在人工增雨中的应用

王柏忠 刘卫国 王广河 党 娟

(中国气象科学研究院人工影响天气研究所,北京 100081)

**摘要** 简要介绍了热线含水量仪的研究进展,讨论了目前人工增雨试验中使用的机载 KL WC 含水量仪的工作原理、显示模块及其在微物理探测中的应用。这些飞机观测数据资料有助于加深人们对云物理结构的了解,从而提高人工增雨作业效率。

**关键词** 人工增雨 云物理探测 KL WC-5 含水量仪

## 引言

干旱是我国最重要的农业气象灾害,由于全球气候变暖,干旱区域有扩大的趋势,人工增雨作业作为减轻自然灾害和水资源短缺的一条有效科技途径,受到国家和各级部门的重视。为了进一步发挥人工增雨作业飞机在人工影响天气领域中的重要作用,了解机载云物理探测设备的原理和应用更显得十分必要。本文介绍了 KL WC-5 含水量仪的工作原理及在云物理探测中的应用。

## 1 热线含水量仪简介

20 世纪 50 年代仿热线风速仪的原理,出现了固定电压式热线含水量仪,并以其发明者的名字来命名为 J W 热线含水量仪。J W 热线含水量仪限于热线直径,云中的大粒子以及大的含水量在热线上来不及全部蒸发而流失,使测量结果偏低。热线两端受夹持物影响温度降低,整个热线温度状态不一,测量结果也大受影响。随着恒温型热线风速仪的出现,澳大利亚人 W. D. King 设计的热线含水量仪获得专利并得到广泛应用(PMS 公司的 KL WC-8)。其感应元件由 J W 含水量仪的单丝改为用铜漆包线绕制成的螺线管,以增加取样面积和捕获液态水在其上的停留时间。但人们在使用中发现 PMS 公司 KL WC-8 型,由于反馈电路的调整管承担

的功耗负荷过大极易损坏,于是 DMT 公司生产出变型的 L WC-100 含水量仪,它克服了 KING 探头的缺陷。感应元件的形状也有所变化,前后方向加长并固定在支架上,不但避免了大含水量时的水分流失造成的大含水量测值偏低的缺陷(但也相应增加了较大水滴的冷却效应),而且避免了 KING 探头中元件悬空架装时振动造成的损坏<sup>[1]</sup>。

## 2 KL WC-5 热线含水量仪的工作原理

PMI 公司生产的 KL WC-5 含水量仪性能比 L WC-100 含水量仪稍逊一些,但优于其它的含水量仪。目前安装在美国夏延-3 飞机上的 KL WC-5 含水量仪探头的工作原理是:当一个热线圈传感器(感应部分)在恒温下工作时,通过线圈额外消耗的能量与碰撞到它上面的水的质量成正比。插入式传感器元件包括一个中心主线圈和两个终端的副线圈,线圈由 38 号标准漆包铜线绕在一个不锈钢的钢管上组成。主线圈长度 20 mm,电阻在 20 °C 时大约是 2.1 Ω,每个副线圈的长度和电阻都精确为主线圈的一半。

在工作中,为使主线圈保持恒温,两个终端副线圈通过串联后与主段并联在同一电压下加热,它们就可以被动地与主线圈保持相同的温度,副线圈通过减少轴线的热量损耗而使主线圈在它的整个长度上工作在完全相同的温度下,除冰加热器则是这个功能元件的辅助设备。

国家科技攻关计划“人工增雨综合监测技术研究”项目资助

作者简介:王柏忠,男,1951 年生,副研究员,主要从事人工增雨外场资料数据分析处理和人工影响天气综合资料数据库建设

收稿日期:2003 年 9 月 23 日;定稿日期:2003 年 10 月 15 日

图1为综合电路示意图。把主线圈安装在一个有负反馈的桥电路中,从而使主线圈保持恒温。在桥电路中主线圈是一个独立的电阻器,因此,它的工作温度通过位于控制电路模块中PMS 81E PCB上或其附近的其它桥电路电阻来确定,一个差分运算放大器监控着桥电路两边的平衡。运算放大器的输出通过一个功率三极管(一个安装在传感器头颈部的115 W的NPN)并被反馈到桥电路的上端,主线圈一端与运算放大器的反向(转换)输入端相连,运算放大器提供的反馈将是负值。导致桥电路不平衡的重要因素,是主线圈上的水或空气的冷却作用,这种冷却效果越大,电压反馈(VS)就越大,就有更多的能量传送到热线圈中以保持其工作温度。

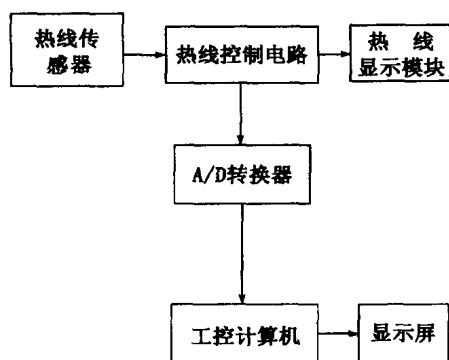


图1 KLG-5工作程序示意图

### 3 显示模块

从控制模块传送来的输出信号被输入到PMS 82D集成电路板上,该电路板安装在含水量仪的显示模块内部,位置在仪表显示盘的后面。电路板上的电路用于缓冲模拟输出电压,驱动含水量仪的仪表显示盘,并提供一个辅助的监控输出信号。模拟的输出电压信号分别输入到两个放大器A1和A2中。其中第一个放大器用于缓冲该信号并将其转换为正电压信号以用于记录;第二个放大器则用来提供信号来驱动含水量仪的显示仪表,因为它只能提供与当前液态含水量成正比的输出信号,为达到此目的,它需要另外接收来自速度调节开关和调零电位器的输入信号,这两个附加信号的功能除了提供必须的增益来驱动含水量仪的显示仪表外,还用来从其接收的模拟输出电压信号中清除干项。放大器A3以差分模式运行,并在副线圈起作用时提供正的输出信号。这个信号进入到比较器A4,当两个副线

圈都工作正常时,A4输出高电压信号,当两个副线圈中一个或全部都断开时,A4输出低电压信号。

### 4 KLG-5热线含水量仪在微物理探测中的应用

含水量仪是机载云物理探测仪器之一,它与PMS(粒子测量系统)探头起到同样重要的作用。云中含水量的测定是人工增雨非常关键的参数,用于确定作业飞机在云的什么部位播撒催化剂,它直接关系到人工降雨、降雪的效果。观测含水量仪记录的输出信号电压与总功率成正比,总功率包括干项和湿项两部分。为了从输出信号所包含的数据中获得准确的含水量值,必须知道精确的 $|V_A|$ 干值以便从记录的输出数据中扣除该值。输出的 $|V_A|$ 干对应于 $P_{干}$ ,并与 $P_{干}$ 成正比,虽然 $P_{干}$ 的值可以使用经验公式得到,但是通过飞机进云前或出云后在晴空进行飞行探测可以获得更精确的 $P_{干}$ 值。有了 $P_{干}$ 值,则 $P_{湿}$ 值也可更准确的求出,知道了精确的 $P_{湿}$ 和空速,则液态含水量 $= P_{湿}/0.099 V$ 。云是由于空气上升冷却水汽凝结成的大量水滴(云滴)构成的聚合体,每单位云体积之中包含的云滴的总质量通称为云水含量。云中液态水的含水量是云的物理特征的重要参数。降水是由云水转化形成的,云中云水的多少常用以评估云中降水的转化效率。云中云水越多人工增雨的潜力越大。在过冷云中由于过冷云水的存在还可能造成飞机积冰。观测云水含量常采用以下的方法:①观测云滴的尺度和数目,通过计算得到云中的含水量。如通过PMS系统中的FSSP探头探测到的云滴谱资料可计算出云中的含水量。②通过观测暴露在云中的电热感应探头被云水带走的热量大小测量云水含量。③早期的方法是利用暴露在云中的涂有染料的滤纸的色斑大小计算云水含量。其中热线式探头法是最简便和最易操作的,也是当前在云物理探测中使用最广泛的电热线含水量仪。FSSP探头只能观测某一范围大小的云滴,不能概括全部云滴的含水量,而热线含水量仪可监测更宽云滴尺度范围的云水。

### 5 应用实例

图2为2003年7月30日飞机飞行探测由KLWG-5含水量仪观测的含水量和FSSP-ER探头(测量范围 $5 \sim 95 \mu m$ )观测的含水量的对比图。其中FSSP-ER LWC代表FSSP-ER探头的计算含水量,

KLWC 代表含水量仪的实测含水量。可见二者分布趋势相同,但后者比前者要大,主要原因在于 FSSP-ER 探头只是根据一定范围的粒子(5 ~ 95 μm)计算出的含水量,而含水量仪所能探测的粒子范围则要比前者大,其探测的含水量能比较真实反映云中的实际含水量。在有雨滴的情况下,也存在着雨滴的冷却作用造成测值偏高的可能性。

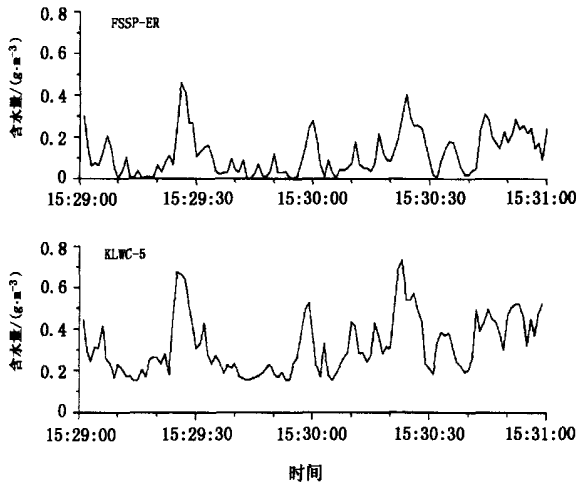


图 2 2003 年 7 月 30 日机载 KLWC-5 测得含水量和 FSSP-ER 测得含水量对比

图 3 为 2003 年 7 月 30 日飞行探测的含水量垂直分布图。左图为含水量仪实测值,右图为 FSSP-ER 探头计算值。同样,二者变化趋势基本相同,但量值上有差别。在实际操作中,当飞机还没有离开地面时不能打开含水量仪加电开关,不然就会烧坏含水量仪,只能在飞机起飞后到达一定高度时打开。在作业飞机升高到云底时应打开含水量仪控制盒上开关,进行调零操作,去除干风引起的影响,得到精确的云中含水量数据。另外,当云中温度在小于等

于 - 5 °C 时打开含水量仪的加热开关(冬天)。

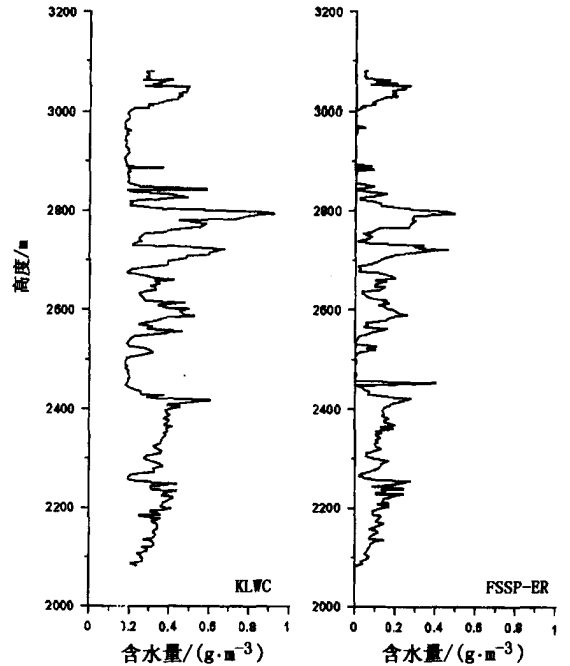


图 3 2003 年 7 月 30 日飞行探测的含水量垂直分布图

6 结语

在过冷云催化中,含水量仪能发现过冷云水区的存在和含水量的多少,对于催化部位、时机和催化剂量的选择都有特别意义,大的过冷水云区将得到更好的增雨效果。另一方面,过冷云容易引起飞机结冰,对于人工增雨作业飞机飞行来说,当含水量仪观测到大的过冷云区时应尽量避免进入,以确保安全。

参考文献

1 马培民. 人工影响天气现状与展望. 北京:气象出版社,2002. 213 - 214

## Principles of KLWC-5 Liquid Water Content Gauge and Its Application in Cloud Seeding

Wang Baizhong Liu Weiguo Wang Guanghe Dang Juan  
( Chinese Academy of Meteorological Sciences , Beijing 100081 )

**Abstract:** The progress in hot-wire water content gauge development is described briefly and discussions are made on the working principles and the display module of the KLWC-5 liquid water content gauge and its application to microphysical sounding. The aircraft measurements can be used to improve the understanding of cloud microphysical structure, so to increase the effectiveness of rain enhancement.

**Key words:** precipitation enhancement, cloud physics sounding, KLWC-5 liquid water content gauge