

中国科学院大气物理研究所集刊

第 4 号

雷暴探测和雷电物理研究

科学出版社

内 容 简 介

本集刊是中国科学院大气物理研究所在雷暴探测和雷电物理等方面的一些研究成果,共包括八篇论文。其中介绍了雷雨云物理结构的综合遥测方法及探测的初步结果。在实验室条件下,对强电场中水滴的放电及其电磁波辐射进行了试验研究。同时,对自然界雷雨云的射电特征进行了观测和分析,射电频率范围从超低频直到微波。利用雷电的极低频电磁波辐射开展了雷电单站定位的试验研究,并且把雷电多站定位法应用于森林防火。最后,介绍了1968年9月新疆地区日食前后大气地面电场变化的观测分析。

本集刊可供气象和大气物理研究工作者,气象业务工作者和高等院校大气物理等专业师生参考。

中国科学院大气物理研究所集刊

第 4 号

雷暴探测和雷电物理研究

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

北京新华书店发行所发行 各地新华书店经售

*

1976 年 1 月第 一 版 开本 787×1092 1/16

1976 年 1 月第一次印刷 印张: 5 1/2

印数: 0001—4,050 字数: 124,000

统一书号: 13031·377

本社书号: 575·13—15

定 价: 0.70 元

前 言

大气中的雷电现象不仅对航空飞行、森林保护、高压输电、近代军事工程设施等有极大影响。而且,它和云雾降水、冰雹形成等紧密相关。因此,雷电现象的探测、预报以及人工影响显然是大气物理研究的重要课题之一。

雷电现象主要形成于雷暴系统。云从水汽凝结开始一直发展到雷雨云阶段,主要是大气运动、水和电三者之间相互联系、相互制约的辩证发展过程。当云系处于不同发展阶段,其内部的运动、水相和电分布都具有不同的特殊结构,特别由于这三者之间相互作用的结果,某些云系,如雷雨云以及冰雹云都有频谱宽广的电磁波辐射,而且特征各有不同。国外不少研究以及我们的初步分析结果都证实了这点。因此,充分利用丰富的大气射电讯息,发展大气射电的遥感探测,不仅可以探测到雷雨云的空间位置,而且可能探测到其内部的物理过程和结构。

为了解决大气射电的遥感探测问题,一方面要开展雷雨云物理的实验和理论研究,揭示不同云系在不同发展阶段射电形成的物理机理。同时,也必须在理论分析的启示下,开展大气射电遥感探测的野外观测工作。本集刊所汇编的一些成果是我在这方面研究的开始,这些结果对雷暴探测和雷电物理研究作出了有价值的启示。

限于我们的经验和水平,工作中必然存在不少缺点和问题,恳请同志们批评指正。

中国科学院大气物理研究所

1973年8月3日

目 录

雷雨云结构的综合探测.....	大气物理研究所雷雨云遥测组	1
强电场中水滴放电的初步研究.....	赵燕曾、谢威光	12
水滴表面的电晕放电及其电磁波辐射	赵燕曾、谢威光、杨蕴玉	24
雷雨云微波射电观测.....	吕达仁、胡欢陵	29
我国某些地区的雷暴射电特征.....	吕达仁、陈仲文	36
雷电多站定位及其在森林防火中的应用.....	孙景群、郑达洲	52
雷电单站定位的初步分析和试验	陈仲文、王海文、孙景群、周秀骥	60
日食时大气地面电场的观测.....	孙景群、陈宜敬、曾宗泳、黄伯英	78

雷 雨 云 结 构 的 综 合 探 测

大气物理研究所雷雨云遥测组*

摘 要

制成 FM-FM 两路无线电遥测系统,用气球作运载工具,对北京地区雷雨云进行了垂直气流、电场、加速度、水平风、云界以及温度、压力、湿度等多要素的综合探测。地面有跟踪雷达和其他仪器配合观测。

本文介绍了探测系统并对 1965 年观测的一些结果,进行了初步分析。

一、引 言

雷雨云是常见的一种云伴随着它而来的狂风呼啸、大雨倾盆、雷电交加以及常常出现大小不等的冰雹等强烈天气现象和人们密切相关,因而观测了解雷雨云是一项必要的工作。

国外四十年代开始了较多的工作^[1],随着科学技术的发展,六十年代以来采用飞机、雷达、火箭以及卫星等各种手段进行了深入的工作,并取得了相当进展^[2-12]。

1964—1966 年我们开始了雷雨云观测研究的初步工作,用气球做运载工具,以 FM-FM 两路无线电遥测系统传输讯号,进行了雷雨云多要素的综合探测。本文介绍探测系统概况及 1965 年在北京观测的初步结果。

二、探 测 系 统

1965 年在北京地区的雷暴探测,主要探测手段包括综合遥测系统和测风定位的跟踪雷达系统。同时配合有地面宏观观测、地面电场观测和一些自记仪器观测,有时为了解大气层结也不定时地加放探空仪。此外也应用了北京地区部分单位的雷达观测、高空风观测、探空层结、地面流场情况、天气图以及其他资料,以提供雷雨云背景场的研究。以下着重介绍雷雨云综合探测系统情况。

探测系统可分成感应部分、无线电发射部分和无线电地面接收部分。

图 1 是雷雨云综合探测系统空中部分的示意图。在气球下边一定距离悬挂了雷达跟踪的角反射靶,它是 80 厘米见方、1 米高的倒置锥体;在反射靶下依图 1 所示置有各种感应元件(电场针尖式感应元件、云界感应元件、加速度仪、相对垂直风速仪和探空仪上的温度、压力和湿度的感应元件等)和无线电发射部分(各要素输入换路器、副载频和发射机等),最下部为配置系统升速而临时增加的压重物。全长约 20 米左右。为了保证在湍流极强的雷雨区中心成功地施放系统而采用“保险绳”。现将各部分分述如下。

* 参加本工作的有袁箴、陈瑞荣、任丽新、王昂生、蒋本汤、龚沛光、范锡安、徐乃璋、高治一和张建国等同志。本文由王昂生同志执笔。应用地球物理研究所雷达组同志也参加了雷达观测工作。

1. 感 应 元 件

系统探测项目包括雷雨云垂直气流、电场强度、加速度、云界、水平风、气球定位以及温度、压力和湿度等。气球定位和水平风探测是由雷达跟踪反射靶而测出。南郊同时观测的3公分雷达提供了北京近郊雷暴回波概况。气球所带的GZZ-2A(即59)型探空仪元件感应了温度、压力和湿度。雷雨云中的垂直气流、电场强度、加速度和云界则由我们自己研制的元件进行探测。它们的基本原理是:

(1) 垂直气流 W : 它是由雷达或气压测高来确定气球相对于地面的升速 W_a ,由自制相对风速仪测定气球相对于空气的升速 W_0 ,两者之差即是空气相对于地面的垂直速度 W :

$$W = W_a - W_0 \quad (1)$$

为了测定气球相对于空气的垂直运动 W_0 ,我们采用桨叶式风速仪,采取防止结冰的一系列措施,而使之适用于雷雨天气,鉴定公式为

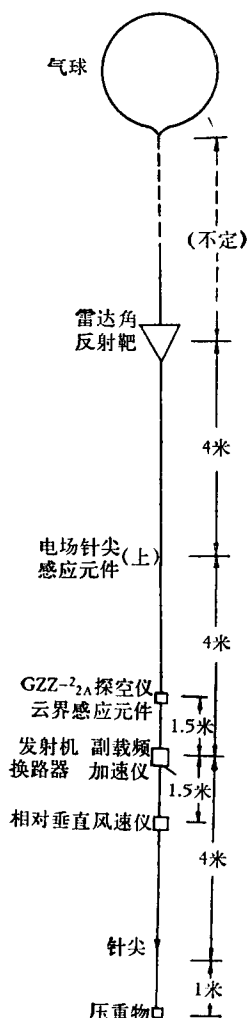
$$W_0 = A\omega + B \frac{\rho_0}{\rho} \quad (2)$$

这里 A 和 B 是地面鉴定系数, ω 为相对垂直风速仪的转速, ρ_0 及 ρ 分别是地面和气球在空中某一位置时的空气密度。

(2) 电场强度 $E^{[13]}$: 它是利用顶端尖锐的长导线在强电场中发生尖端放电的现象为原理而测试的,其放电电流 I 与电场关系为

$$I = 2.4 \times 10^{-3} L E (E - E_k) \left(\frac{P_0}{P} \right)^{1.5} \cos^2 \theta \quad (3)$$

图1 雷雨云综合探测系统空中部分的示意图



式中 L 是针尖间导线全长(常用8米), $E_k = 50/L$, P_0 和 P 分别为地面和气球所在某一位置的气压, θ 是导线与垂直方向的夹角。 I 以微安为单位, L 以米为单位,而 E 和 E_k 则是以伏/厘米为单位。

(3) 加速度 G : 它是利用双簧转动式加速度仪来测定的。基本原理是利用两个弹簧与重锤的转动力矩平衡关系制成。当加速度场变化时,引起仪器转角 α 的变化,由测出 α 变化而反映大气加速度 G ,简化后表达式为

$$G = A + B\alpha + C\alpha^3 \quad (4)$$

式中 A , B 和 C 是仪器参数所决定的常数,由实验鉴定给出。

(4) 云界: 是用自动平衡式水敏云界仪判定。它是将氯化钠涂于铂丝(或镍铬丝)电极间作为感应部分,配以内部恒定加热线路及外部平恒电路。当入云时,云滴使氯化钠潮解,则电路导通,讯号输出即得云底高度;而出云时,内加热电路使氯化钠烤干,电路断开,即得云顶高度。

2. 发 射 部 分

我们采用了抗干扰性较好的 FM-FM 两路无线电遥测系统来传输雷雨云中的观测讯号。图 2 是这个系统的空中无线电发射部分方框图。

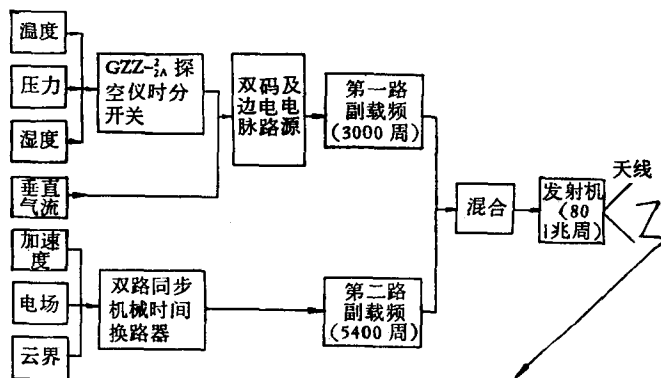


图 2 雷雨云综合探测无线电发射部分方框图

探测系统的七个感应元件感应的讯息分两路进入 FM-FM 无线电遥测系统的发射部分。

在第一路里，温度、压力和湿度感应信息象常规方式一样经过 59 型探空仪的时分开关而变成随时间变化的等幅正脉码；垂直气流所感应的脉码讯号，经双边脉码电路变成负的等幅脉码，当它与探空仪正脉码两者同时出现时，则仅出现正脉码。于是以探空仪信息为等幅正脉码和相对风速仪的等幅负脉码，就组成一组以 0.75 伏，0 伏和 -0.75 伏的双边脉码电压去调制 3 千周副载频，完成这一路的第一次频率调制。

在第二路里，加速度 G 、电场强度 E 和云界在电路里将感应量反映为一系列幅度不等的测量值，加上电池电压、标准讯号等项监测，用制作的一个双路同步机械时间换路器，把上述各项分别取样，得出一组包括上述各项的时分不等幅脉码。然后再用它去第一次调制第二路 5.4 千周的副载波频率。

两路副载频经过调制后的讯号经混合而送入发射机，第二次调制 80 兆周高频载波，由天线发射。发射机功率为 100 毫瓦左右。采用 FM-FM 方式的无线电信号增强了抗干扰能力，增强了系统可靠性。在北京雷雨云观测中无线电传送系统性能良好。

3. 接 收 部 分

图 3 是雷雨云综合探测地面无线电接收部分的示意方框图。

当遥测系统在雷雨云中发射出 FM-FM 无线电信息时，地面接收部分则由无线输入，经过超高频头和 SX-62A 型调幅调频接收机选频接收并放大，经过滤波器阻抗匹配电路后，分别输入 3 千周和 5.4 千周的带通滤波器。3 千周一路经解调及直流放大输出原空中所送入那样一系列正负脉码，分别为探空仪的温度、压力及湿度正脉码和相对风速仪的负脉码。而 5.4 千周一路经频率解调后还需要经过阻抗匹配而进行低通滤波才取出原来在空中测到的加速度、电场和云界等一系列不等幅的观测值，经过直流放大而与 3 千周那一

路同时输入四线记录器。为确定时间利用了时标发生器，输入时标到四线记录器上。这个接收系统的灵敏度可达几微伏。

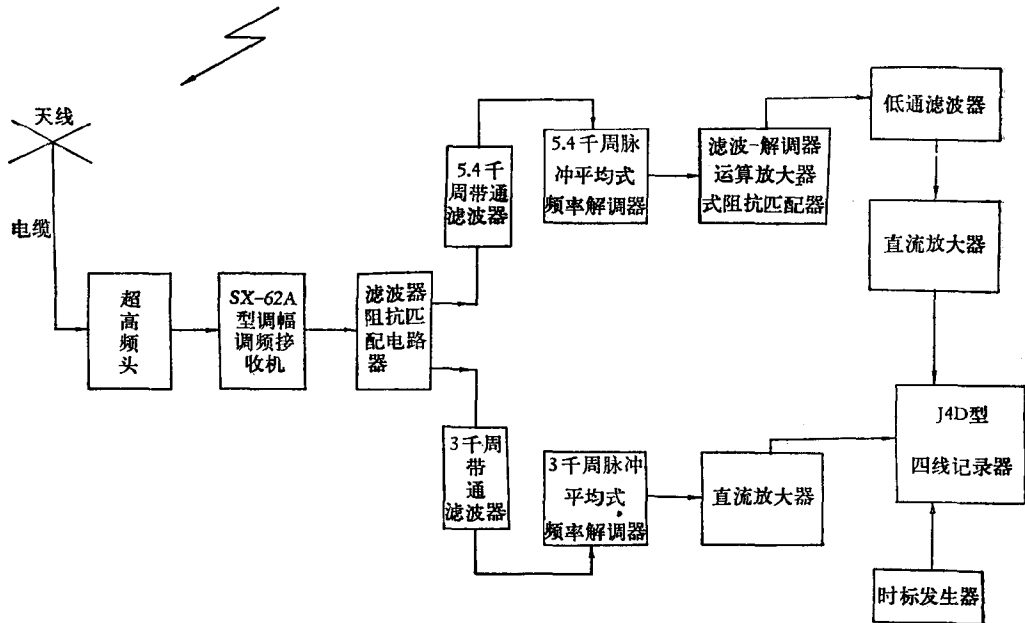


图3 1965年雷雨云探测地面无线电接收部分方框图

三、探测结果的个例分析

1965年7—9月应用上述综合探测系统，在北京西北郊进行了9次雷雨云探测。综合探测系统探测了仪器所到之处雷雨云内部的垂直气流、电场强度、加速度、云界、水平风和温度、压力及湿度，雷达探测了雷雨云回波分布概况及气球在雷暴里的运动轨迹。地面各项观测和有关单位的工作为对雷雨云的进一步了解提供了一系列有益的资料。

下边我们对某些观测结果进行个例分析，主要介绍1965年北京西北郊8月10日23时26分，8月15日07时05分、8月9日14时42分和16时35分的个例情况。

1. 8月10日23时26分个例观测

当天，华北地区上空300—500毫巴有一个强低压控制，我们观测的是在此低压的冷锋过境时的雷雨云。这天北京地区大气层结相当不稳定，当天13时和20时加放的探空层结反映了这一情况。

现场观测情况是：当天晚上23时00分测站西南方有远闪，但未闻雷声；23时25分在测站上空约3—4公里有雷电，地面开始降水并逐渐加大；23时26分放球观测，此后风雨交加，电闪频频，雷声不断；23时36分雨才开始减小，在23时47分闪电仍不时出现，但雨已很小。

这次观测系统进入雷雨云前部，具有与南京64年观测结果类似的特征，即雷雨云前部存在着强烈而连续的垂直上升气流。图4是这次观测的部分结果。图中给出了时间—

高度 ($T-H$) 曲线, 时间-气球相对空气升速 ($T-W_0$) 曲线, 水平风速-高度 ($u-H$) 曲线以及水平风向-高度 ($\alpha-H$) 曲线。并标出入云、出云的高度以及 0°C 和 -40°C 的高度位置。

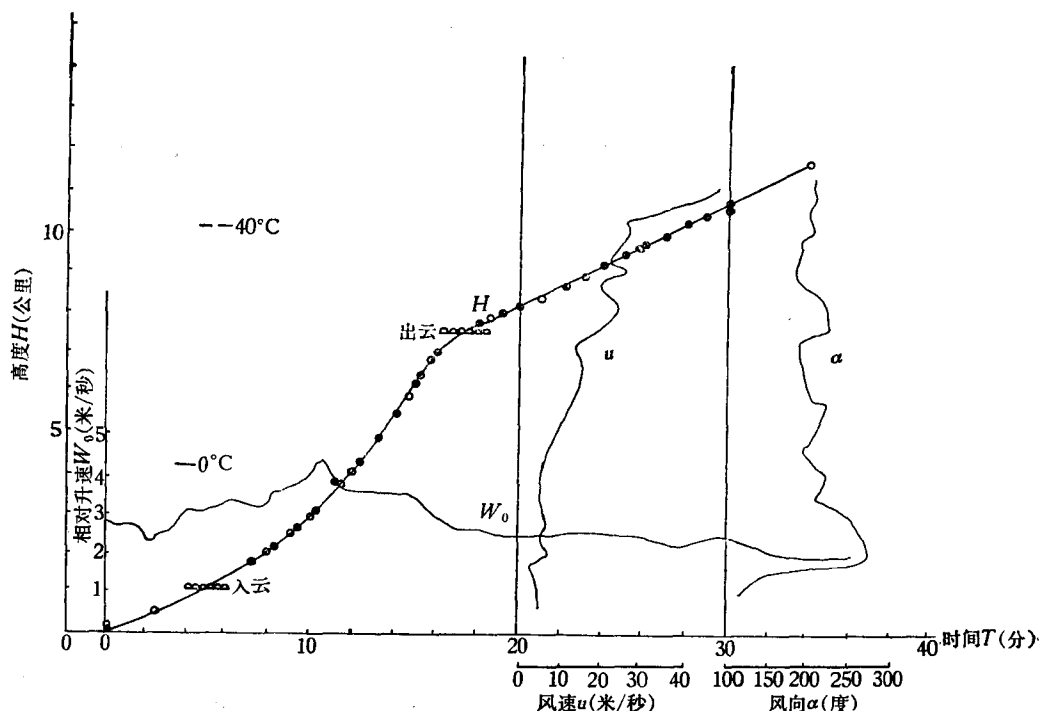


图4 1965年8月10日23时26分北京雷雨云观测的部分结果

○ 为探空仪压力测高记录点, ⊗ 为雷达测高记录点

从风场资料不难看出云体在2公里以上高度是基本为西南风向,而低层1—2公里高度上却有明显切变;云中风速随高度缓慢递增,低层变化不显著,而高空出云后风速显著加强,观测到雷雨云上空存在着急流,在11公里处即达50米/秒。图中的时间-高度曲线上探空仪压力测高和雷达测高的记录点吻合较好,由此也可以看到采用一定专门措施,利用气压方法在雷雨云中测高可以具有一定的可靠性。此外,气球相对于空气的升速 W_0 一定程度上反映了气球经历路径上的降水情况,雷雨云中降水会使气球相对升速变小,从这次观测与历次观测相比较,可以看出云中降水量不是太大。

这次观测垂直气流的结果画在图5上。我们从垂直气流随高度的变化可以清楚地看到观测的雷雨云前部存在着强烈而系统的上升气流。这次观测到从地面到8公里厚的系统而较强烈的上升气流,其极大值在6公里高度上,为12.9米/秒;观测到10米/秒的上升气流连续近1公里厚,从3公里到7.5公里高度上即4.5公里厚层观测的上升气流值均在5米/秒以上。上述均为3百米以上层次的平均测值,可以预料,比这些值更大的瞬间值的存在是可能的。从整个雷雨云前部观测到的垂直气流随高度的分布形式可以看成呈上抛物型,由低层到云体中上层是逐渐加大,而最大值在云的中上部,出云前后则迅速减小,一旦出云还测到了极弱但持续一段时间的下沉气流。从风场观测配合来看,水平风场的低层向云中辐合,而上空雷暴大风辐散,是与这一垂直气流结构相配合的,而雷雨云顶上的急流也可导致云上部垂直方向夹卷,所以测到了出云后的下沉情况。

上述雷雨云前部垂直气流呈上抛物型的结构,即最大值偏近于云区上部,整个上升气流是比较强烈而系统的现象是与英美一些雷雨云或雹云的个例观测^[6,12]事实比较一致,这些工作分别是 Battan 等^[6] 1966 年用多普勒雷达观测的和 1970 年 Marwitz 等^[12]人用飞机在强风暴前区投掷示踪物而后地面雷达跟踪测出的。而与苏联 60 年代初期在 Эльбрус 山对积云和积雨云的观测结果^[14] 不大一致,他们是用雷达跟踪平衡气球而得出的平均情况,结果是呈下抛物型。产生差异的原因可能与观测阶段有关,也和平均与个例的差异有关;苏联的某些个例观测也有上述相似结果^[11]。

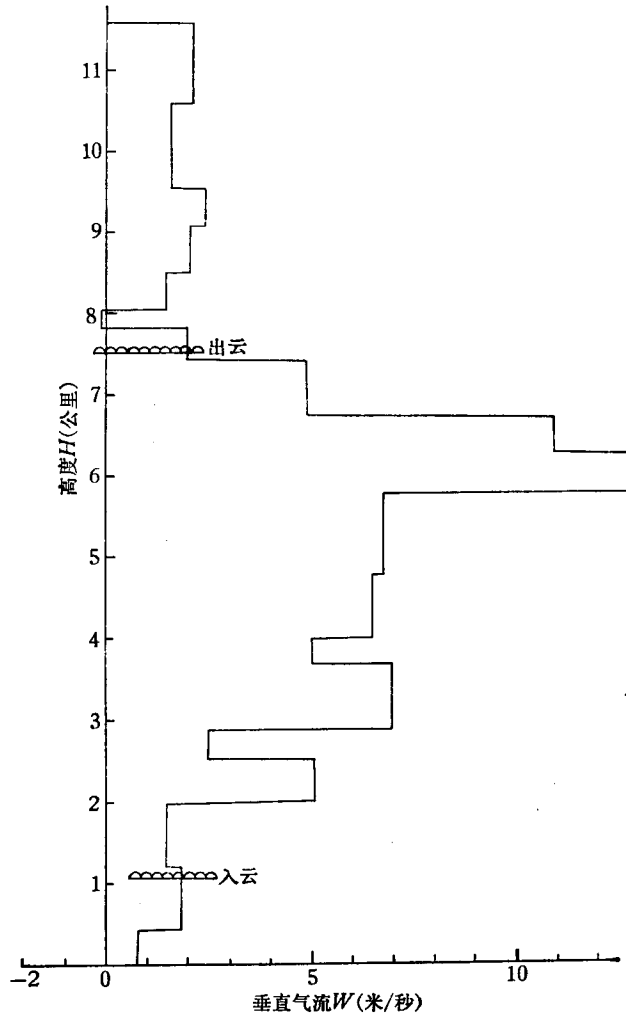


图5 1965年8月10日23时26分北京雷雨云内垂直气流的观测结果

1965年北京地区8月10日23时26分雷雨云前部垂直气流和水平风的观测结果在1965年北京地区7月13日17时35分的观测以及1964年南京7月26日12时45分的观测都有类似现象,可以说明它有某种代表性。云体前区系统而强烈的上升气流是雷雨云发生发展的重要动力因素,对水汽的聚集和云滴、雨滴及冰雹的生长演变可能都有密切关系。

2. 8月15日07时05分个例观测

这是一次槽前锋面雷暴观测。雷暴发生前大气层结很不稳定,开始相对湿度不大,但在雷暴出现前后相对湿度迅速加大。高空风场出现中低层强烈切变,自地面到6公里高度,从下层的西风变成6公里处的南—南南东风系。而高空10公里以上出现强烈大风。因而气流场形势有利于雷暴生长。

地面观测情况是:06时20分观测点南边从东南到西南方位有一条强烈的雷雨云带,前沿边界清晰,并自南向东北迅速移来,06时30分其前沿即达观测点,开始降稀疏小雨,06时40分降水迅速加大,电闪雷鸣。07时05分才放球观测(因准备工作关系),3分钟左右气球进入低云,闪电不断,降雨时大时小,07时21分降水弱而均匀,弱闪不断。从观测情况看来,属于雷雨云强烈降水以后的部分,偏云体后部。

图6是这次观测的部分结果。图中纵坐标是高度 H (公里),横坐标分别是电场强度 E (实曲线,伏/厘米)、体电荷 ρ (虚折线,静电单位/米³)和垂直气流(实折线,米/秒)。图上绘出了 -10°C 层, 0°C 层和入云高度。

从观测结果可以看到,这里云中垂直气流既不同于雷雨云前部有系统的强上升气流,也不同于雷雨云中部有系统的强烈下沉气流,而且也与雷雨云最后部分弱而无规则的气流结构不相同。这次观测处于强雨区刚过,地面仍有时大时小持续降水的部位。观测结果表明低层垂直气流很弱,而且上升与下沉相间,在2—3.5公里高度上却有平均约5米/秒的较强上升气流,此外其他地方垂直气流都是弱而不系统的。这说明,在雷雨云中垂直气流也是复杂的,存在不均匀的起伏结构。从至少两次入云的情况看来,这个雷雨云由于降雨等因素,已出现了分层现象。从较强而较有系统的上升气流

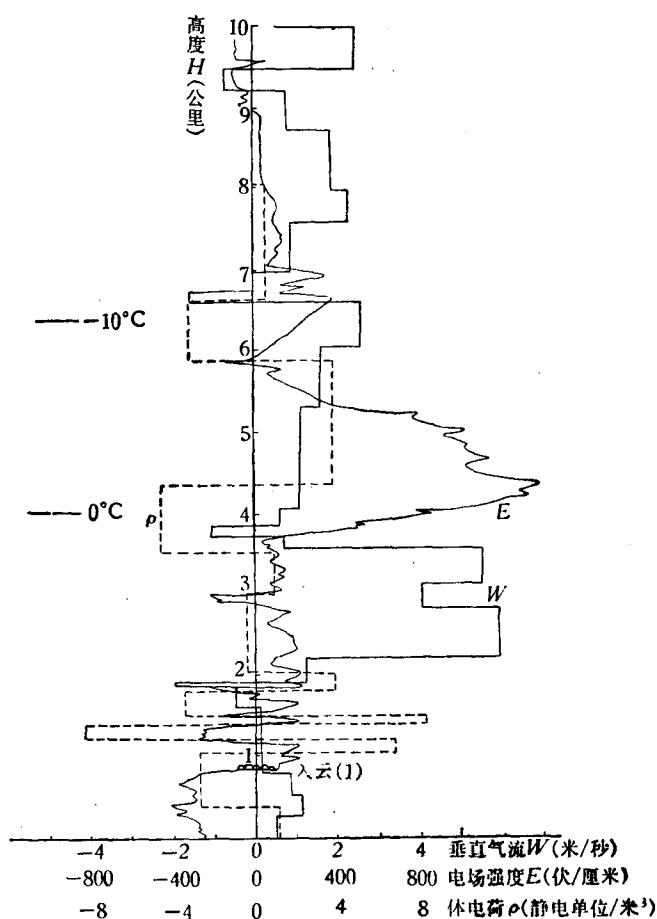


图6 1965年8月15日07时05分北京雷雨云观测结果

(在2—3.5公里高度上)支持着一个较强的电场区(3.5—5公里高度上)的事实,说明第二层云还保持着雷雨云的特点,而且较强的正电场与上升气流有一定关系。

电场的观测告诉我们,在这个区域里存在着多个弱中心,层次薄而且较乱,这个事实也符合云体这个阶段和部位的特点。但是也与气流相似,在 0°C 层附近两公里区域里也有较强的电场,其极值达 1400 伏/厘米。就在 0°C 层附近,电场变化反向,在 3.5—4.5 公里有一负体电荷区,以上 1.5 公里厚层为另一正体电荷区,两区绝对值均在 4—5 静电单位/米³。从 0°C 层到 -10°C 之间观测到较强的电场强度和体电荷中心,这帮助我们加深了对暖云起电机制的认识。

这次观测中相对风速仪帮助判断了气球所经各处存在着较弱但持续的降水。加速度仪指示出这个雷雨云在 5 公里以下加速度值较弱,而在 5 公里高度以上不断出现较强值,极值达 0.8 重力加速度,看来与云中高层湍流较强现象有关。

3. 8 月 9 日 14 时 42 分和 16 时 35 分的个例观测

当天北京地区有一条冷锋过境,大气层结不稳定,低层风场大范围辐合,热力和动力条件均有利于雷暴生成。雷达资料指出当天下午在北京西北郊有一条持续的锋面雷雨云带。观测点在 14 时看到测站南部雷雨云有所发展并北移向测站,后见闪电,14 时 25 分观测站降了较大的雨,以后连续降雨,雷鸣闪电频频。14 时 42 分第一次放球,此时降雨较

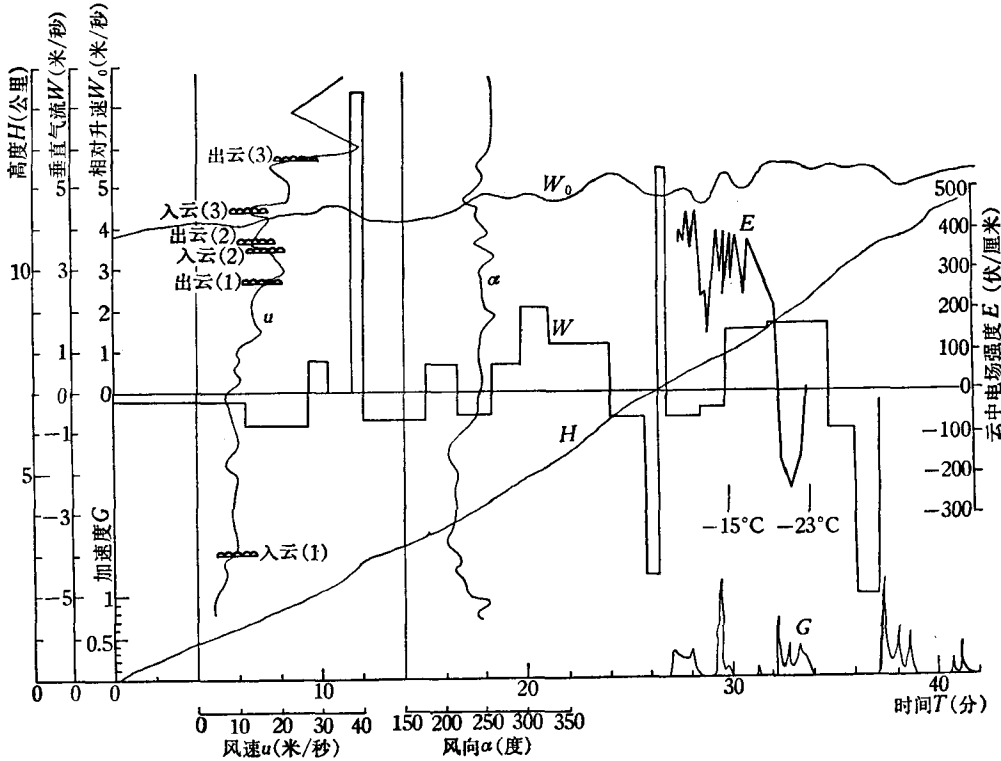


图 7 1965 年 8 月 9 日 14 时 42 分北京雷雨云观测结果

弱,云底均匀且抬高,14 时 55 分观测者看到球入云,此时高度为 3000 米,雷雨云中心已北移。15 时 05 分观测点雨停,雷雨云移出测站。而气球仍在移动的雷雨云后部观测。

图 7 是 14 时 42 分放球观测的结果。图中分别画出了时间 T (相对于放球时间,分)-

气球高度 H (公里)曲线,时间 T -空气垂直运动速度 W (米/秒)曲线,时间 T -气球相对空气速度 W_0 (米/秒)曲线,时间 T -加速度 G (重力加速度单位)曲线,时间 T -电场强度 E (伏/厘米)曲线以及风速 u (米/秒)、风向 α (度)-高度 H 的变化曲线。也给出了入云出云及几个温度层的高度。

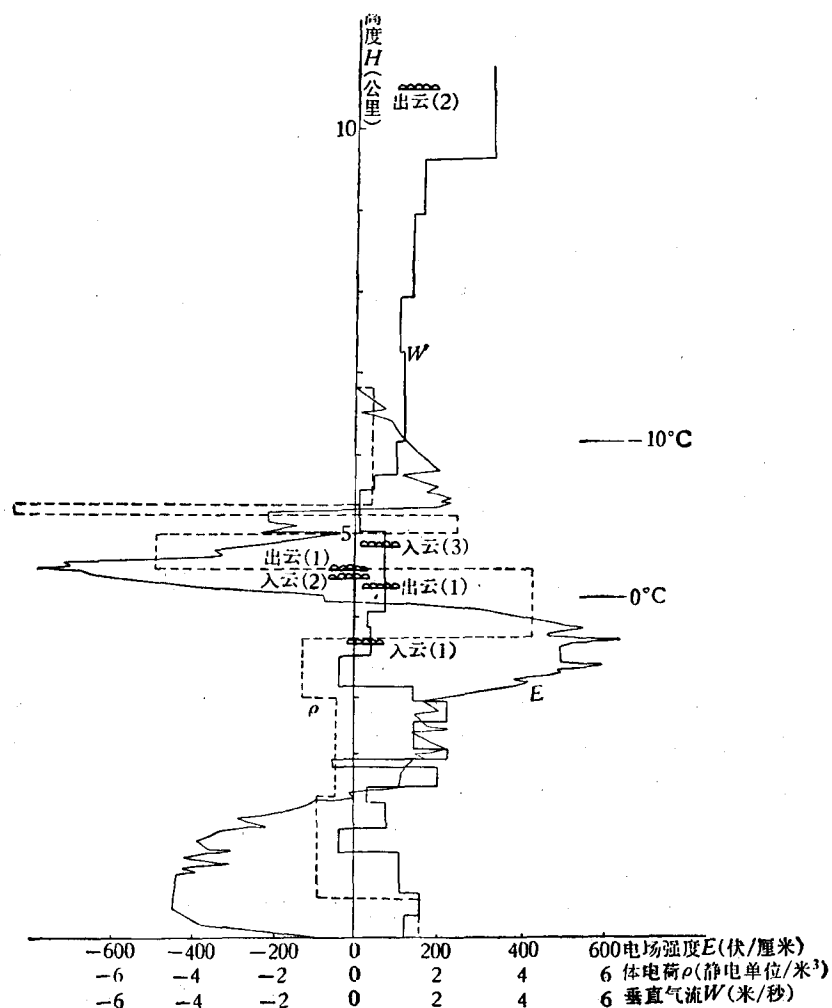


图 8 1965 年 8 月 9 日 16 时 35 分北京雷雨云观测结果

图 8 是同天第二次雷雨云 16 时 35 分的观测结果。气球进入另一雷雨云的后部。图中给出了垂直气流 W 、电场强度 E 和体电荷随高度的变化,所有标号和单位均同前图。

从这两次同属雷雨云后部的观测情况看有以下结果: 水平风场在云中风向变化不大,风速随高度增高而加大,出云后迅速增加,云顶上部高层大风比较明显。雷暴后部的垂直气流总的说来是比较弱而且不系统的,这与其前部和中部显著不同,如第 2 次观测 W 绝对值基本在 2 米/秒以内,第一次多半也很弱。但是也观测到一些较薄层次有较强的上升或下沉气流,如 14 时 42 分时就测到约半分钟的 7.3 米/秒上升气流,这又与云外大不一样。加速度仪在云顶附近测得了较强值,极值达 1.2 个重力加速度值。

14时42分的电场观测在7.3—8.9公里测得一个正电场,极值达450伏/厘米,而在8.9—9.4公里层则有另一个极值为-270伏/厘米的负电场区。16时35分的观测看到从地面到7公里高度电场是正负相间的。从地面到1.7公里极值为-450伏/厘米的负区,1.7—4.2公里是极值为670伏/厘米的正值区,4.2—5.3公里是极值为-780伏/厘米的负区,再上又是极值仅230伏/厘米的正区。从云界判定电场在出云入云前后有反向现象。如第一次入云就正是场强处于极大处,也就是电场强度由小变大转成由大变小的地方。对应就看到体电荷在云界内外有一个明显变化,且多半云底为正,云外为负;如第一次入云前是负体电荷区,而入云后则为4.3静电单位/米³的正体电荷区,其上为负的4.9静电单位/米³的体电荷区。再次入云出云则又有正负体电荷区相配合。从气流与电场关系看来,在雷雨云后部,垂直气流结构是既不系统又不太强,但仍然观测到了相当强的电场强度和体电荷,这一事实又说明气流与起电之间的复杂性。雷雨云后部有弱而不系统的气流场,但却存在一定强度电场的观测事实,和平时看到雷雨云后部弱闪不断并且持续相当时间的现象是相一致的。

四、小 结

1965年制成FM-FM两路无线电遥测系统,用气球做运载工具,对北京地区雷雨云进行了多要素综合观测,从个例研究可以得到下述启示:

(1) 本文所述雷雨云综合探测方法,经过实际观测使用,效果良好,可以进行雷雨云直接地综合探测。

(2) 1965年北京雷雨云内垂直气流观测,测到雷雨云前部具有随高度变化的上抛物型的系统上升气流,其极值达12.9米/秒,在6公里高度上,10米/秒的上升气流厚约1公里,气球运行路径上测到在4.5公里厚层(3—7.5公里高度上)中垂直气流均大于5米/秒。而在雷雨云后部垂直气流则多半不系统,而且比之前部和中部弱得多,但有时也有短时较强的上升或下沉气流,这与云周围及云外又大不相同。事实说明雷雨云内垂直上升气流不同时期不同部位存在着复杂的分布。我们注意到往往在较强的上升气流区上存在着较强的正电场区,它反映垂直气流对电荷分离的某些作用,值得在今后工作中进一步注意。

(3) 雷雨云水平风场资料说明动力因子对雷雨云发展演变的影响。云体前区大范围的中低层风场辐合切变(有时达6公里以上),为形成云体前部较强的上升气流提供了条件。我们注意到雷雨云前部垂直气流呈上抛物型结构,除了浅层水平风辐合外,低中层水平夹卷辐合也有一定的作用。此外,云顶雷暴大风及云顶上部的弱下沉气流也与垂直气流在雷暴前部的迅速增长相互配合。

(4) 雷雨云中观测到正负相间的多中心电场结构。入云或出云时观测到场强变化反向现象,说明云层边界内外电荷荷电相反,观测指出云内底部常为正电荷中心,云底外为负中心。云中电荷中心在0℃和-10℃层之间,且往往接近于0℃层,这反映出暖云起电可能有相当作用。北京地区雷雨云内观测到1400伏/厘米的电场强度和厚到1公里以上的5静电单位/米³的体电荷中心(当然比它更大值的薄层也测到了)。观测中看到雷雨云后部垂直气流虽较弱,但仍存在一定强度的电场强度,这也有助于解释为什么雷雨云后部常常弱闪频频而持续的现象。

(5) 北京雷雨云内观测到低层加速度值较小而高层较大, 极值出现在云顶附近或垂直气流切变区, 最大瞬时值测到1.2个重力加速度单位。

必须指出, 由于我们观测次数少, 上述看法还有待于进一步在实践中验证。但是, 从初步结果看, 雷雨云结构的综合遥测对了解雷雨云及雷电发生发展规律是有一定作用的。

参 考 文 献

- [1] Byers, H. R., and Braham, R. R.: 1949, *The Thunderstorm*. Washington, D. C.: Government Printing Office.
- [2] Atlas, D.: 1963, *Meteorological Monographs*, 5, No. 27, pp. 177—222.
- [3] Fujita, T., and Arnald J.: 1963, *Proceeding of the Tenth Weather Radar Conference*, pp. 178—187.
- [4] Jones, J. R. P., and Harper, W. G.: 1962, *Met. Mag.* 91, pp. 273—284.
- [5] Browning, K. A., and Ludlam, F. H.: 1962, *Q. J. R. Met. Soc.*, 88, No. 376, pp. 369—381.
- [6] Battan, L. J., and Theiss, J. B.: 1966, *J. Atm. Sci.*, 23, pp. 78—87.
- [7] Easthrbrook, C. C.: 1967, *J. Appl. Met.*, 6, pp. 882—888.
- [8] Hart, H. E.: 1968, 13th Radar Meteorology Conference, pp. 196—201.
- [9] Newton, C. M.: 1967, *Advances in Geophysics*, 12, pp. 257—308.
- [10] Donaldson, R. J. Jr.: 1969, *J. Appl. Met.*, 8, pp. 128—133.
- [11] Сулаквелидзе, Г. К.: 1967, *Ливневые осадки и град*, Гидрометеониздат, Ленинград.
- [12] Marwitz, J. D.: 1972, *J. Appl. Met.*, 11, No. 1, pp. 166—201, I, II, III.
- [13] 袁箴等: 1965, *气象学报*, 35, 第4期, 440—448页。
- [14] Библашвили, Н. Ш.: 1961, *Физика облаков и осадков*, Гидрометеониздат, Ленинград.

强电场中水滴放电的初步研究*

赵燕曾 谢威光

提 要

研究了强电场中悬浮于气流中的水滴的放电,观察了放电过程,测出了放电的临界场强和放电电流波形,并应用实验结果讨论了雷雨云中闪电生成的若干问题。

一、引 言

闪电形成和发展过程的研究,对于雷电活动的探测、预报和人工影响都是有意义的。在雷雨云中,雨滴在强电场作用下的放电,很可能就是闪电形成的第一步。早在1931年, Macky 就做了水滴在强电场中放电的实验^[1]得到了不同直径水滴放电的临界场强。1962年,周秀骥、秦仁忠^[2]进行了理论计算,不仅很好地解释了 Macky 的实验,还推广到了水滴带电的情形。但在以往的工作中,空气阻力对水滴形变以至对放电过程的影响,基本上是被忽略了。Macky 实验中的大水滴,在穿过电极之间的空间时,还来不及达到末速度,空气阻力引起的形变还很小。在实际大气中,雨滴在达到或接近末速度时,将发生显著的形变,而且随湍流而变化,这些对水滴放电发生什么影响,是很值得考虑的。在本工作中,用气流“托住”水滴,使它停留在强电场中,然后研究其放电过程,这就更接近于实际情况。

二、实 验 装 置

为了使水滴能稳定悬浮于电场中,我们利用吸尘器设计了一个微型迴路风洞。风洞与平板电极的中心相连,使极间的工作区域正好是迴路风洞的开口段。开口段的扩散角约 6° (随极间距离而稍有变化),以形成垂直速度梯度。管路内放有几层网格,以减弱大尺度湍流,并在工作段产生有利于水滴悬浮的径向速度分布。工作段气流束的直径约3厘米,平行板电极的直径是20厘米,相距约6厘米。选择上述尺寸时,兼顾了水滴悬浮的可能性和电场的均匀性。整个装置的结构见图1。

吸尘器用稳压电源供电,在适当的电压和管路阻尼下,可使水滴稳定悬浮于工作段中心,垂直方向的振动在1厘米以内。平板电极由高压直流电源供电,上极板接地(为了便于控制水滴发生器),下极板接高压,最高可达68千伏,极性可变。

水滴发生器安装在上极板上面的管子中心,滴管口外有保护罩,使得水滴进入气流时

* 本工作中所用实验装置是由欧阳勇、宁江山同志完成的。

有适当的初速度,并且能更有效地避免静电场的感应。在我们的实验中只用了直径 4.8 毫米的一种水滴。

实验时操作的一般程序是: 加电场之先, 将水滴悬浮于工作场的中上部分。加电场



图 1 实验装置全貌

后,水滴开始略有变形,末速度增加,逐渐向下移动。这时要同时加大风速,使水滴处于工作场中心,直到放电为止。放电过程中用 16 毫米电影机拍摄水滴的形变,拍摄速度每秒 64 张,每张曝光 1/120 秒。同时,水滴放电电流波形用高压脉冲示波器(带宽 20 兆周)显示。

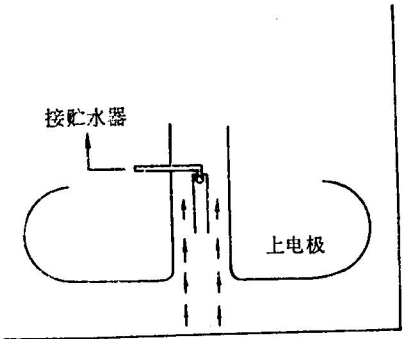


图 2 水滴发生器示意图

三、实验结果

1. 临界放电电场强度

和 Macky 实验中的景象完全不同,我们发现,悬浮于气流中的水滴,其临界放电场强是具有统计性质的,在一定场强下,有时放电,有时等很长时间(几分钟以上)还不放电。对同一直径的水滴(直径稍有变化,但按 Macky 的结果,这种变化引起的临界场强的变化应小于 1%),我们做了多次实验,结果见表 1。

表 1

电 场 方 向	场 强 (千伏/厘米)	电 晕 放 电	火 花 放 电	未 放 电
正 ↓	9.75	0%	0%	100%
	9.90	50%	20%	30%
负 ↑	9.30	0%	0%	100%
	9.40	70%	0%	30%
	9.90	100%*	100%*	0%

* 都是先发生电晕,稍后又发生火花。