

声雷达在污染扩散问题中的应用

吕 乃 平

(中国科学院大气物理研究所)

单点测温声雷达和多普勒测风声雷达能够提供边界层大气中温度层结和风速、风向等气象要素随时间的连续变化和空间分布的资料。与其它遥测技术相比,声雷达的造价比较低廉,维护方便,适合于野外观测使用。近十几年来,声雷达探测在国际上得到了广泛的应用。在我国,中国科学院大气物理研究所于1975年研制成功了单点测温声雷达,进行了多次野外观测,取得了较好的资料。1983年又研制成功了多普勒测风声雷达。测温声雷达已由无锡无线电二厂进行生产,即将在我国的教学、生产、科研等方面投入使用。

声雷达探测在大气边界层物理方面的研

究已取得了许多结果。这里,我们只侧重于介绍声雷达在研究大气扩散方面的应用。

一、声雷达探测逆温层和混合层结构

用声雷达探测边界层大气中的逆温层和混合层结构已为大家所熟知。逆温层厚度、混合层高度是污染扩散模式中的重要参数。我们用声雷达观测资料初步分析了北京地区逆温层的生消规律和混合层结构的一些特征。在中国科学院环境委员会组织的京、津、渤地区污染的观测试验中,大气物理所曾于1981年冬季用两台测温声雷达进行了北京市城区和郊区逆温层和混合层结构的对比观测。城区的观测点设在日坛公园,郊区的观

测点设在北郊 320 米气象观测塔附近。结果表明,无论城区或郊区,混合层高度随时间的变化规律与一般的分析结果一致。其差异主要是(1)在同一时间里,城区的混合层高度比郊区高,如早晨 7 时至 8 时差 30 米,到中午 11 时可差 120 米。在这次个例中,可以得到城区混合层高度与郊区的比大体上为 3 比 2。(2)城区出现对流的时间比郊区早,城区大约在 10 时左右,郊区则在 10 时以后,时间相差约 1 个多小时。(3)在城区,混合层抬升时逆温层盖子波动的幅度比郊区更大些。这些差异是由于城市热岛效应所产生的。

在国外,用声雷达探测逆温层和混合层结构方面已做了大量工作,我们不一一加以介绍。其中 Russel 和 Utke(1978)在美国旧金山用 13 部声雷达布点,同时测量了不同地点的混合层高度,得到了该城市不同时间混合层高度的等值线,能够了解该地区温度场结构的详细分布。此外,国外的一些研究单位,为了开展边界层物理、波的传输,及污染扩散等方面的工作,用声雷达进行长期的连续观测。如美国国家海洋大气局波传播实验室,从 1979 年以来,一直进行着单点声雷达的连续观测,阿贡(Argonne)国立实验室也积累着声雷达的观测资料,日本电波研究所用 16 米直径的水泥天线进行了连续两年的观测。日

本电力中央研究所、公害资源研究所也都有相应的观测。

二、复杂地形的研究

研究复杂地形条件下温度场和风场的分布是比较困难的,声雷达是比较有效的一种手段。近年来,在美国加利福尼亚大学 Lawrence Livermore 国立实验室领导下进行了一次规模较大的为期三年(1979—1981)的复杂地形条件下污染扩散试验,简称 ASCOT 试验(The Atmospheric Studies in Complex Terrain)。该试验是在加州北部一个狭长山谷中地热喷泉区的发电厂进行的。主要是研究和计算冷却塔的烟羽抬升模式,发展并改进地热能工厂排放的污染物 H_2S 的大气扩散和输送模式,并为其它冷却塔排放的污染模式提供参考。这次试验中采用的仪器有(a)示踪物质的地面和垂直廓线取样系统,(b)地面和垂直方向的气溶胶采样系统,(c)机载激光雷达,(d)一套照相装置,(e)五套系留气球,(f)无线电探空仪,(g)五台声雷达(包括一套测风声雷达),(h)十个地面气象站。声雷达在山谷中的布局如图 1 所示。从测风声雷达的观测中可以清楚地看到清晨的抬升气流,从西面太平洋吹来的海风以及夜间出现的山风。

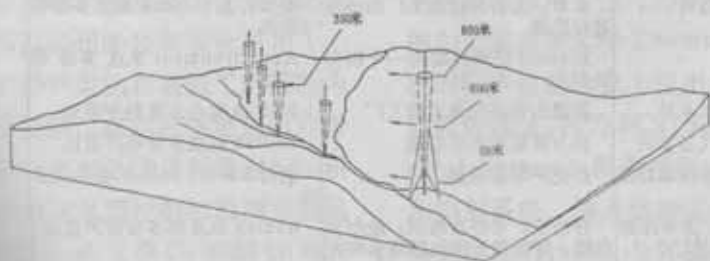


图 1 ASCOT 试验中声雷达的布局

此外,澳大利亚 Malfray (1981)用多普勒声雷达在悉尼北部 160 公里的 Hunter 山谷中进行风速、风向及其它参数的测量,应用于空气污染问题的研究。Eberhard(1981)由美国环境保护局资助用测温声雷达和测风声

雷达在 Idaho 一个孤立的小山附近研究温度场和气流场的分布特征。

三、厂区污染状况的预评价和 污染事件的监测和预告

在准备建造能源工厂、化工厂、地面矿井时,对于厂区可能产生的污染状况需要进行

预评价,为工厂的合理布局和生产提供有效的依据。表1和表2分别列举了声雷达在厂区污染状况预评价及污染事件的监测和预告方面应用的概况。

法国用 Bertin 的多普勒测风声雷达从

表1 声雷达在厂区污染状况预评价中的应用

部 门	地 区	声 雷 达	日 期
1. 法国电力部	法国圣阿邦(St. Alban) 核能工厂	Bertin 单点多普勒声雷达	1980年9月至今
2. 法国电力部	法国克里斯马维尔(Creysma-ville)核能工厂	Bertin 单点多普勒声雷达	1981年9月至今
3. 加拿大辛克鲁特(Syncrude)有限公司	福特马克姆雷, 阿卑尔地北面40 km 油页岩工厂	Xontech 双点多普勒声雷达	1978年末至今
4. 加拿大安大略水利局	多伦多附近安大略湖北岸	Aerovironment 公司的 两台单点非多普勒和一台双点非多普勒声雷达	1981年至今
5. 北美天气咨询处	犹他州能源工厂	Aerovironment 单点 多普勒声雷达	1 年
6. 南加利福尼亚州	加利福尼亚和内华达交界处的能源工厂	Aerovironment 单点 多普勒声雷达	1 年(1981—1982)
7. 洛杉矶水利电力部	Ely, 内华达计划中筹建的能源工厂	Aerovironment 三台单点 多普勒声雷达	1981年至今
8. ARCO 油气公司	Prudhoe 海湾, 阿拉斯加, 监测可能出现的空气品质问题	Radian 双点多普勒 声雷达	1979至1980
9. 太平洋电气公司	加利福尼亚, 圣安东计划中筹建的能源工厂	Aerovironment 单点 多普勒声雷达	1981年至今
10. 休斯顿区域监测合作计划	得克萨斯州休斯顿区域	两台 Radian 公司的双点多普勒声雷达	1981年7月(三年)
11. 新布鲁斯维克环境计划	Fundy 海湾	加拿大 AES 单点 非多普勒声雷达	时间不详

表2 声雷达在污染事件的监测和预告中的应用

部 门	位 置	声 雷 达	日 期
1. 日本的多种能源公司	日本, 为各种能源工厂的场地进行监测	至少有五台 Tech 双点多普勒声雷达	不明
2. EPRI	Kincaid 伊利诺斯的一个研究计划	Aerovironment 单点 多普勒声雷达	不明
3. 新墨西哥州公共事业局	新墨西哥州四角能源工厂	Radian 双点多普勒声雷达	1978年至今
4. EPA 区域 III 空气品质网	宾夕法尼亚州匹兹堡	Radian 双点多普勒声雷达	1980年夏季
5. 得克萨斯空气品质控制部夏季 O ₃ 的研究	得克萨斯休斯顿	两台 Radian 双点多普勒声雷达	1981年5—10月
6. 巴特勒(Battelle)太平洋西北实验室	乔治亚, 卡特斯维尔, 鲍尔发电站, 进行通过烟羽的降水研究	Radian 单点非多普勒声雷达	1981年初2个月
7. 加利福尼亚州立大学	加利福尼亚契卡(Chico)附近	两台 Radian 双点多普勒声雷达	1981年8月至今
8. 西班牙电力部	西班牙巴尔波(Balboa)	两台 Bertin 单点 多普勒声雷达	1980年10月 1981年11月至今
9. 意大利电力部	意大利米兰	Bertin 单点多普勒声雷达	1980年9月至今
10. 法国电力部	法国贝斯, 诺尔曼德	Bertin 单点多普勒声雷达	1981年3月至今
11. 西德气象研究所	卡斯路(Karlsruhe) 核能研究中心, 联邦德国	Bertin 单点多普勒声雷达	1981年10月至今
12. 瑞典水利部	瑞典 Ringhals 核能工厂	Sensitron 单点多普勒声雷达	即将开始
13. 斯德哥尔摩公共卫生部	瑞典斯德哥尔摩	Sensitron 单点多普勒声雷达	即将开始

1980 年开始在欧洲的核能工厂进行观测,其主要目的在于得到烟羽高度上的风速、风向,并确定在该高度上的稳定度。加拿大辛克鲁特有限公司在这方面也做了大量工作,他们在油页岩工厂附近用 Xontech 公司的三维多普勒声雷达进行风速测量,观测高度到 700 米左右,将测出的风速、风向资料用于烟羽抬升模式之中。在加拿大多伦多西部安大略湖北面用声雷达观测了强污染情况下的温度层结和速度分布特点。此外,在多伦多附近的核能工厂,用声雷达的长期观测资料进行扩散气候学方面的研究。

在美国休斯顿地区进行了一次大范围的区域监测计划。其中用两台 Radian 公司的多普勒测风声雷达从 1981 年开始进行三年连续观测,为休斯顿地区提供有关空气品质和气象方面的信息。采用声雷达布阵可以大大改进整个区域的大范围外场观测资料。这里值得指出的一点是在美国环境保护局(EPA)区域 IX 已经同意用多普勒测风声雷达代替高耸气象塔的观测。

当工厂建成后,对污染物的严重程度进行监测和预告是十分重要的。日本在一个矿物燃料发电厂附近用五台 Xontech 公司的多普勒声雷达进行测量,其规模类似于欧洲的核能工厂扩充后的监测计划。在美国将声雷达用于监测污染物严重程度的计划是比较广泛的。如新墨西哥州的公共事业局用 Radian 公司的多普勒声雷达在能源工厂范围内进行连续三年的观测。在匹兹堡地区将声雷达布阵测量的资料应用于区域污染方面的研究。得克萨斯州空气品质控制部用两台测风声雷达配合进行了一次夏季 O_3 观测计划。此外,声雷达还用于监测由冷却塔烟羽通过降水引起的化学物质的沉降而产生的污染。

如表中所列,自 1980 年以来,法国、西班牙、意大利等国也将声雷达应用于能源工厂污染监测方面的工作。

四、声雷达观测资料在空气品质模式中的应用

如上所述,声雷达已广泛应用于厂区污染状况的预评价和污染事件的监测。而人们更为关心的问题,是如何将声雷达观测资料直接而有效地应用于空气品质的模式中。从 1978 年开始,这方面的工作开始引起人们的重视,并提出了相应的研究计划。

声雷达探测资料可以提供污染模式中所需要的一些参数,如逆温层厚度、混合层高度、对流热羽高度、平均风速和风向廓线、垂直风速脉动和水平风速脉动方差以及风向脉动方差。Kerman(1978)提出用声雷达观测资料估算对流条件下地面最大浓度的方法。MacCready (1978)提出用单点声雷达的观测加上地面 10 米高度上直接测量的风速资料送入空气品质模式中,得出污染物的地面浓度分布。但他只给出了模拟的计算结果,没有与实测资料对比。大气物理所肖经纬等用改进了的箱模式,根据声雷达观测的混合层厚度及风场的观测资料,计算了北京市区冬季取暖前后 SO_2 的地面浓度,并与实测资料做了对比,结果较为一致。此外,还对一次特殊的混合层个例进行了分析计算。

近两年来,已开始提出了一些将声雷达观测资料应用于空气污染模式的详细计划。例如美国宾州大学 Thomson (1982) 在第一次国际声遥感会议上提出了他所设计的声雷达软件系统,称为 SCS (Supplementary Control System),即为控制动力排放方法的附加控制系统。该方法的主要目的是通过对污染物浓度的计算,与环境标准和实测浓度值比较,控制动力排放源,有效地调整燃料燃烧计划。图 2 是 SCS 的方框图。

在 SCS 系统中包括烟羽抬升模式、逆温层抬升模式和烟羽扩散模式。白天对流混合层的厚度从太阳升起后的 100 米左右增加到午后 1 公里,对地面污染物的浓度有较大影响。Zeman 和 Tennekkes(1976)给出的逆

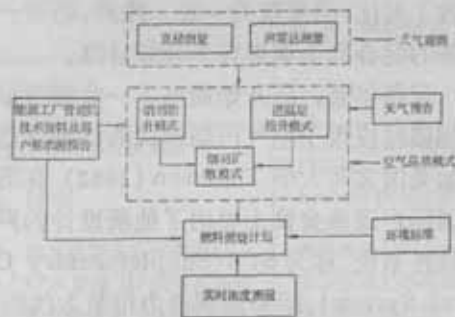


图 2 SCS 系统框图

温层抬升模式，作为预告混合层厚度随时间的变化在 SCS 系统中起着重要作用。高斯模式是该系统中采用的扩散模式，尽管其它扩散模式可能更接近实际，但目前高斯模式是使用得最广泛的。有效烟囱高度是采用 Briggs(1975)的烟羽抬升模式。

从能源工厂的高烟囱释放出来的污染

物，当烟囱高度处于逆温层上部时，由于静力稳定度的阻碍，使烟囱的污染物不易达到地面，当太阳升起后，地面浓度明显地增加。这是由于对流作用使逆温层抬升，并夹卷了高层的烟羽。因此，白天地面污染物的浓度主要取决于风速、大气稳定度和混合层厚度。操作人员可以将大气观测的资料输入模式计算，将计算的浓度值和实测值进行比较，这就为操作人员提供了足够的信息，安排合理的燃烧计划，保证不超过环境标准。

随着人们对环境保护等问题的逐步重视，以及探测技术的发展，今后可能设计出一种实用的系统，包括对声雷达和直接测量资料的自动采集、资料的判别以及对模式的自动化处理的软件系统，以便对污染物浓度进行实时的监测和预告，为合理安排生产、保护环境提供有效的信息。