

偏振天气雷达在气象中的应用简介

王致君, 楚荣忠

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要 : 具有偏振和多普勒功能的多参数雷达是今后天气雷达的发展方向。本文根据国内外偏振雷达的研究发展情况, 简要介绍了偏振雷达的探测原理、发展现状、主要参量及其所反映的气象信息以及其在气象领域的应用潜力。

关键词 : 偏振天气雷达 ; 气象应用

中图分类号 : P412.25

文献标识码 : A

1 偏振天气雷达原理及其发展现状

偏振雷达是近 20 多 a 来发展起来的新型天气雷达。由于它的问世, 极大地促进了雷达气象及云和降水物理学科的发展, 促进了其在气象领域的应用, 增强了人类认识和抗御天气灾害的能力。

偏振雷达的探测原理是基于电磁波的散射特性。电磁波不仅有强度特性, 还有偏振特性。通常用电场矢量在垂直于波传播方向平面内的变化轨迹来描述偏振状态。依其轨迹为线、圆和椭圆而分为线偏振、圆偏振和椭圆偏振波, 且发射相应偏振波的雷达分别叫线偏振、圆偏振和椭圆偏振雷达。根据散射理论, 在忽略传输介质的影响时, 球形散射体对给定偏振电磁波的后向散射电磁波仍然是单一偏振电磁波, 即不产生退偏振效应。但对于非球形粒子, 其后向散射电磁波除了与入射波偏振状态相关的主分量外, 还有不同的正交分量, 其大小反映了偏离球形状态的程度, 这就是退偏振效应。由于云内许多水成物粒子都不是理想的球体, 而且粒子的轴在空间分布上存在优势取向, 所以可用偏振技术对其进行研究, 这就是偏振气象雷达(为了叙述方便, 后面所提到的偏振雷达, 包括圆偏振、椭圆偏振和双线偏振雷达均指相应偏振的气象雷达)发展的理论基础。

早在 20 世纪 50 年代, 科学家就对水成物粒子对偏振波的后向散射效应进行了研究^[1~2]。60 年代苏联科学家也曾用偏振方法研究云和降水, 试图

确定降水物相态和评价人工影响天气的效果。直到 60 年代末, 自从加拿大科学家研制成高精度双通道圆偏振雷达起, 偏振雷达的气象应用研究才真正开展起来^[3]。到了 70 年代中期, 美国科学家 Seliga and Bringi 提出了双线偏振雷达的理论, 并在外场试验中取得成功后^[4], 偏振雷达才如雨后春笋般发展起来^[5]。80 年代法国^[6]、德国、英国^[7]、澳大利亚、日本等国都相继发展了自己的偏振雷达。中国科学院寒区旱区环境与工程研究所(原兰州高原大气所)也研制成功了我国第一部线圆偏振和 5cm 波长双线偏振雷达^[8~9]。并开展了双线偏振雷达在云和降水物理、遥测区域降雨量和人工影响天气方面的应用研究^[10~12]。

20 世纪 90 年代偏振雷达技术和应用研究得到了进一步发展, 技术日益成熟。美国布网的 WSR - 88D 雷达已准备加装双线偏振技术。从偏振雷达所用波长讲, 已发展研制了 10cm、5cm、3cm 和毫米波偏振雷达; 从采用的偏振方式讲, 有双线偏振、圆偏振和椭圆偏振雷达。多普勒雷达技术已相当成熟。由于多普勒雷达发展比较早, 所以随后发展起来的偏振雷达都有多普勒雷达功能, 或者就是在多普勒雷达基础上改装, 使其成为有多普勒、偏振等多种探测能力的多参数雷达。中国科学院寒区旱区环境与工程研究所(原兰州高原大气所)正在研制的多普勒偏振气象雷达就是一部 3cm 波长, 同时具有多普勒和双线偏振功能的多参数雷达。从应用研究方面看,

收稿日期 : 2004 - 04 - 08 改回日期 : 2004 - 05 - 31

基金项目 : 甘肃省政府和甘肃省人影办“平凉防雷减灾试验研究”项目资助。

作者简介 : 王致君(1944 -), 男, 陕西省西安市人, 研究员, 主要从事雷达气象、大气探测技术和人工影响天气方面的研究工作。Email : wzj

@ns.lzb.ac.cn

偏振雷达技术被用于遥测降水、云内粒子相态识别、云内水成物粒子(包括空气污染物)的传输和扩散、人工影响天气效果检验等许多方面,并取得了巨大的成功。本文主要介绍其在气象领域的应用潜力。

2 偏振天气雷达的主要参量及其所反映的气象信息

偏振天气雷达在气象领域的应用能力主要决定它能获取哪些气象信息。不同的偏振天气雷达所获的信息不同。在介绍它们的应用前,有必要对它们所能获得的参量及其这些参量所反映的云和降水粒子的信息有所了解。通常圆偏振雷达都有发射左旋和右旋圆偏振波的功能,所以也叫双圆偏振雷达,但一般都简称为圆偏振雷达。它有 2 个有较高信号隔离度的正交通道。雷达通常由 1 个发射机、相移器和 2 个接收机组成,接收机要求稳定,接收灵敏度要高。这样当发射一种圆偏振波时,2 个通道分别接收探测目标的后向散射回波,依据其回波信号幅度和相位的变化,就可算出回波的左旋和右旋圆分量,其中一个通道接收的是与发射波相同旋向(假设发射波为右旋圆偏振波)的由目标退偏振引起的正交回波 Z_{cr} ,另一通道接收的是与发射回波旋向相反的主圆回波 Z_{cl} ,它反映了目标回波的强度信息,它们比值大小的对数就是目标的圆退偏振比 $CDR = 10\lg(Z_{cr}/Z_{cl})$,其大小反映了目标的变形程度。 CDR 仅与探测目标的变形大小、密度有关,而与其空间取向关系不大,这是它与线性退偏振比 LDR 不同的地方,也是圆偏振雷达相对线偏振雷达探测的不同点。

所谓双线偏振,就是雷达有水平和垂直 2 个偏振通道,可以同时或交替发射和接收水平和垂直 2 种线偏振波。它有 2 种制式,一种是工作时雷达同时发射和接收水平和垂直 2 种偏振信号,其中接收到的垂直和水平回波信号的大小之比的对数就是差反射率 Z_{dr} ,它反映了探测目标偏离球形的大小和在水平和垂直方向上的优势取向程度。如只发射水平线偏振波,而分别接收回波的水平线偏振和其正交分量,则回波的正交分量和水平线偏振分量之比的对数就是水平线性退偏振比 LDR (要得到 LDR 信息,还要求 2 通道的隔离度足够大和要求接收机有足够高的接收灵敏度,其大小视不同雷达而不同),它也反映了探测目标的形状、大小、取向或倾斜角分布(均值和方差)以及湿度和成份。对于这种制

式的双线偏振雷达,要求有性能完全相同的 2 个发射机和接收机,技术相对复杂且造价高,它的优点是 2 通道的隔离度可以做得较高,相关性好,偏振性能优越,可以直接获得高质量的 Z_{dr} 、 Φ_{dp} 。还有一种制式是雷达只有 1 个发射和接收机,工作时雷达以触发脉冲为时间间隔,交替发射和接收水平和垂直两种线偏振波,这样得到的 Z_{dr} 、 Φ_{dp} 和 LDR 的相关性稍微差些,它要求雷达的触发脉冲频率较高^[13]。这种雷达相对简单,造价低,在常规雷达上改装较容易。各国在开始发展双线偏振雷达技术时大都采用此种制式。中国科学院寒区旱区环境与工程研究所(原为兰州高原大气所)20 世纪 80 年代在 713 雷达基础上改装的偏振雷达就是采用这种方法。早期的偏振雷达是在普通常规雷达基础上发展起来的,与普通雷达比,仅增加了 ZDR 和 LDR 信息。然而在雨介质中, ZDR 和 LDR 会受到衰减的影响,有时需要加以纠正,这限制了它的应用范围。另外还有由 1 个发射机和 2 个接收机构成的偏振雷达,它们交替发射水平和垂直线偏振波,而由 2 台接收机分别同时接收其回波的主分量和正交分量。这样可直接得到相关性高的 LDR 参数。

现在的双线偏振雷达大都有多普勒探测能力。它充分利用了多普勒雷达的信号处理器功能,除能得到 Z_H 、 Z_{dr} 和 LDR 信息外,还能得到水平和垂直偏振信号的差相移 Φ_{dp} ,由它又可导出反射相位差 δ 和双程传播相位差 ϕ_{dp} , δ 可用于区别有特定取向的冰雹,对于雨介质 δ 的值接近于零。 ϕ_{dp} 的变化率反映了传播介质颗粒的形状,由于雨滴的形状为扁球形,因此电磁波在雨中传播时就有附加的相移。理论上讲它是距离的函数,它的斜率叫比相差 K_{dp} , (r),对于估计雨强非常有效(与 ZDR 改善测雨精度相比,它不受衰减的影响),可以大大提高雷达测雨的精度^[14]。还有一个参数 ρ_{hv} ,它为水平和垂直偏振回波信号互相关系数的幅值,它对估计冰雹大小、提高降雨量的估计精度以及探测空中水凝结物融化层都有不可忽视的作用^[15]。若传播介质的主轴为水平和垂直方向, ρ_{hv} 不受传播效应的影响。

椭圆偏振雷达是介于圆和线偏振之间的一种雷达。从其探测原理和技术实现方面讲,它与圆偏振雷达相似,发展得也比较少。这里不再多述。

在偏振雷达中,双线偏振雷达技术是发展最快的。它的技术要求相对简单,在常规雷达上添加偏振功能较容易,这大概是它发展较快的原因之一吧。

另外它的优越性能和广泛的应用潜力可能是它发展较快的更重要的原因。

传播介质对偏振信号的影响主要表现在退偏振比。对于双线偏振雷达主要表现在衰减差和相位移差。下面对一些主要参数的定义及其估算方法进行说明。

1. 圆退偏振比 CDR , $CDR = 10\lg(P_{CLL}/P_{CLR})$ 。其中 P_{CLL} 为目标对发射左旋圆偏振波回波的正交分量, P_{CLR} 为目标对发射左旋圆偏振波回波的主分量。

2. 椭圆退偏振比 EDR , $EDR = 10\lg(P_{ELL}/P_{ELR})$ 。其中 P_{ELL} 为目标对发射左旋椭圆偏振波的回波的正交分量, P_{ELR} 为目标对发射左旋椭圆偏振波的回波的主分量。

3. 线性退偏振比 LDR , $LDR = 10\lg(P_{HV}/P_{VV})$ 。其中 P_{HV} 为目标对发射水平线偏振波的回波正交分量, P_{VV} 为目标对发射垂直线偏振波回波的主分量。

4. 差反射率 Z_{dr} , $Z_{dr} = 10\lg(P_{HH}/P_{VV})$ 。其中 P_{VV} 为目标对发射垂直线偏振波的回波主分量, P_{HH} 为目标对发射水平线偏振波回波的主分量。

对于双线偏振雷达的其它参数,通过斜方差矩阵的元素可导出来。如:

5. 水平反射率 Z_H , $Z_H = 10\lg[4\lambda^4 |S_{HH}|^2/\pi^4 |k_w|^2]$ 。其中 S_{HH} 为探测目标对水平发射线偏振波的后向散射回波的水平偏阵分量,其大小不仅与探测目标的大小、形状和性质有关,还与目标的距离有关。 k_w 是与目标介电常数有关的量。

6. 差相移 Φ_{dp} , $\Phi_{dp} = \arg[(S_{VV}S_{HH}^*)] + 2(k_h^r - k_v^r)r = \delta + \psi_{DP}$ 。其中 $*$ 代表复数的共轭。 δ 为反射相位差, ψ_{DP} 为双程传输相位差。 S_{VV} 为探测目标对垂直发射线偏振波的后向散射回波的垂直偏阵分量,其大小不仅与探测目标的大小、形状和性质有关,还与目标的距离有关。 k_h^r 为不同目标物对水平线偏振波的衰减系数, k_v^r 为不同目标物对垂直线偏振波的衰减系数,它们都是距离的函数。

7. 比相差 $K_{dp}(r)$, $K_{dp}(r) = [\psi_{DP}(r) - \psi_{DP}(r - \Delta r)]/2 \cdot \Delta r$ 。其中 r 为距离。

8. 互相关系数 $\rho_{hv}(0)$, $\rho_{hv}(0) = |(S_{VV}S_{HH}^*)|/\sqrt{(|S_{HH}|^2)(|S_{VV}|^2)}^{0.5}$ 。 $\rho_{hv}(0)$ 为水平偏振回波信号与垂直偏振回波信号互相关系数的幅值。

9. 差多谱勒速度 VDR , $VDR = V_{HH} - V_{VV}$ 。其中 V_{HH} 为水平线偏振波探测到的目标平均多谱

勒速度, V_{VV} 为垂直线偏振波探测到的目标平均多谱勒速度。

3 偏振雷达在气象中的应用

圆偏振雷达,主要用于识别冰雹云的研究。直径 $> 2\text{cm}$ 的冰雹大都是非球形的,因此利用圆偏振技术可以很好地区分云内大冰雹区。也可用于云中气流的传输和扩散研究,在云中播洒铝箔条,由雷达观测其传输路径和扩散变化。这对空气污染、沙尘暴和人工影响天气的研究工作很有帮助。另外,它还被成功地用于雷暴、云的起电机理、风切变、龙卷风、人工增雨、气溶胶在对流云中的传输等研究方面。

双线偏振气象雷达可同时得到 Z_H 、 ZDR 、 Φ_{DP} 、 ρ_{HV} 、 V 、 σ_V 和 DDV (差多谱勒速度)等参数,这些参数的综合利用,对于改善雷达测雨精度和识别云内水成物粒子的相态及其变化非常有用^[16-17]。

下面就国内外的一些研究结果,谈谈它们在气象方面的应用。

3.1 用于识别云中粒子的相态

早期的工作如(Siliga and Bringi, 1978)^[18]利用偏振雷达判别冰雹存在和计算其大小的研究,随后 Hall(1980)^[19]等给出了偏振参量 Z_h 、 Z_{dr} 与不同水成物粒子类型的关系表。更详细的如 Doviak 和 Zrnic^[20]在 1993 年分析计算了双线偏振雷达对不同水成物粒子的识别能力及一些主要参量的取值范围。在此基础上,Straka and Zrnic(1993)^[21]发展了基于概率密度原理的区分不同类型水成物粒子的方法。接着 Straka(1996)^[22]又提出了识别水成物粒子边界的模糊分类方法, Liu 和 Chandrasekha(2000)^[23]也提出了利用反馈原理来调整模糊分类权重函数的方法等。除了偏振参量, Zrinc 等(2000)^[24]又提出了把环境温度也作为区分不同类型水成物粒子的一个参量,与偏振雷达参量一起综合考虑的分类方法,并分析了这些参量在区分不同类型水成物粒子的重要程度,给出了具体的权重数值和自动分类的算法,还对实际的观测数据作了分类,取得了很好的结果。他们把云中水成物粒子分成小雨、中雨、大雨、大粒子降雨、雨夹雹、冰雹、霰、干雪、湿雪、水平排列冰晶、垂直排列冰晶共 11 类。所用偏振参量包括 Z_h 、 Z_{dr} 、 K_{dp} 和 ρ_{hv} 共 4 种,外加一个环境温度共 5 个参数变量。图 1 就是一次对流的分类结果:

在用偏振雷达识别粒子的相态方面,我国做的

工作不多,主要原因是我国偏振雷达技术的发展相对滞后。原兰州高原大气所 20 世纪 80 年代末发展了我国第一部双线偏振雷达,由于当时经费和技术的限制,该雷达只能获取云的 Z_{dr} 偏振信息。在此

基础上,刘黎平开展了用 Z_H 和 Z_{dr} 识别云中冰雹区的研究,得出了 $H_{DR} > 0$ [其中 $H = Z_H - f(Z_{DR})$] 为冰雹区的判别公式^[25]。

3.2 遥测区域降水量

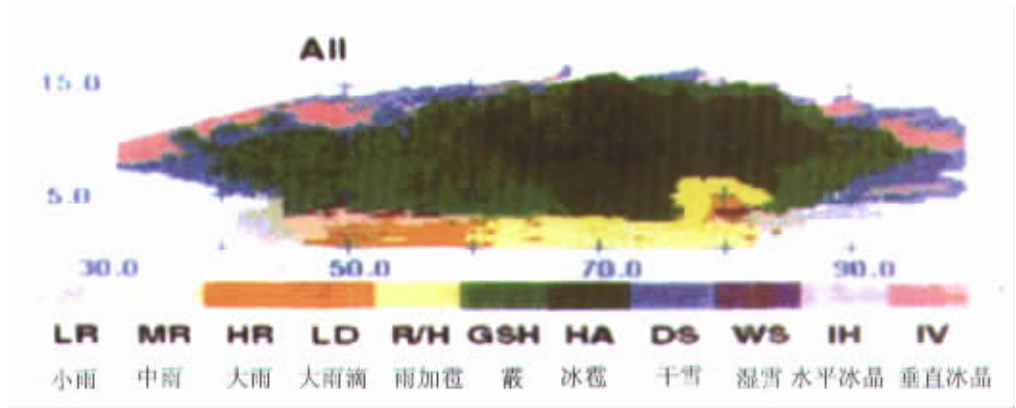


图 1 用偏振雷达识别对流云中粒子相态的类型

Fig.1 Type identification of particle styles in convective clouds using polarization radar

准确快速获取区域降雨量的信息,对防洪减灾至关重要,而偏振雷达由于能以比常规雷达高得多的精度实时快速获取降雨量数据,是防止局地暴洪较好的探测工具。偏振参量 K_{dp} 和 Z_{dr} 相 Z_h 对与雨强有更好的相关性,因此能以较高精度遥测区域降雨量。常规雷达只能得到降水的强度信息 Z_h ,它由于受到雨区的衰减和不能反映雨滴谱的变化,所以利用它测雨误差较大(可达 34% 的误差),常出现小雨高估和大雨低估的现象,算式为 $R = 0.9573 \times 10^{0.0131Z_h}$ 。 Z_{dr} 能反映雨滴谱的变化,但受衰减的影响较大,它和 Z_{dr} 结合起来测雨比单独用效果好,原兰州高原大气所在上世纪 90 年代开展了双线偏振雷达测雨外场试验研究,楚荣忠等通过在平凉站的试验,得出了 $R = 0.0166 \times 10^{0.1Z_h - 0.512Z_{dr}}$ 的测雨计算公式^[10],可比单用 Z_h 提高 6% ~ 14% 的精度。 K_{dp} 由于既能反映雨滴谱的变化,又不受衰减的影响,因此,具有比前者更高的测雨精度。Ryzhkov 和 Zrnic^[26] 通过试验,得出了 $R = 40.6 | K_{dp} |^{0.866} \sin(K_{dp})$ 的测雨公式,误差一般不超过 14%。其结果如图 2。

3.3 用于雷电探测

冰相粒子和强烈上升气流的存在,是云中粒子电荷产生的主要原因。其中有些粒子带正电荷,有的带负电荷,它们之间存在电场,在电场力的作用下,正负粒子会形成有序排列,特别是带电的冰晶粒

子,在电场作用下,有时会产生有序的垂直(或接近垂直)排列,这种有序排列又起到了加强电场强度的作用,其中包括云内电场和对地电场。当电场强度足够强时,就会引起闪电。利用偏振雷达能判断云内非球形粒子在水平和垂直方向的优势取向能力,用它可作为雷电研究的工具,也可用于闪电发生前的预测,在电力和森林防火等领域有着广泛的应用前景。图 3 是 Scott^[27] 利用偏振雷达所作出的云内粒子排列图,其为垂直雷达波传播方向的剖面,左图中黑色线条的方向代表粒子排列的方向,其长短代表电场的大小。右图是 RHI 扫描图,其中所显示的是偏振参量的图,右上角黑色部分表示的是垂直排列的粒子,表示这里有强电场产生,预示着闪电即将发生。

3.4 用于人工影响天气工作

在人工影响天气作业中,了解云发展过程中一系列微物理变化特征是非常重要的。这是人工影响天气工作中是否进行作业以及在何时何部位作业判断的基础。偏振雷达(特别是短波长云偏振雷达)由于其固有的特性,能在了解云发展过程中一系列微物理变化特征方面发挥重要作用。例如用偏振雷达能很好地区分云内平面型和柱状冰晶、大云滴、毛毛雨滴、霰、冰雹、雨滴、雪花等不同水成物粒子,特别是用 Ka 波段椭圆偏振雷达能观测到云发展初期的粒子形状和密度的变化,能观测到初始冰晶的出现,能识别云中过冷水晶化、碰并生长等物理过程的出

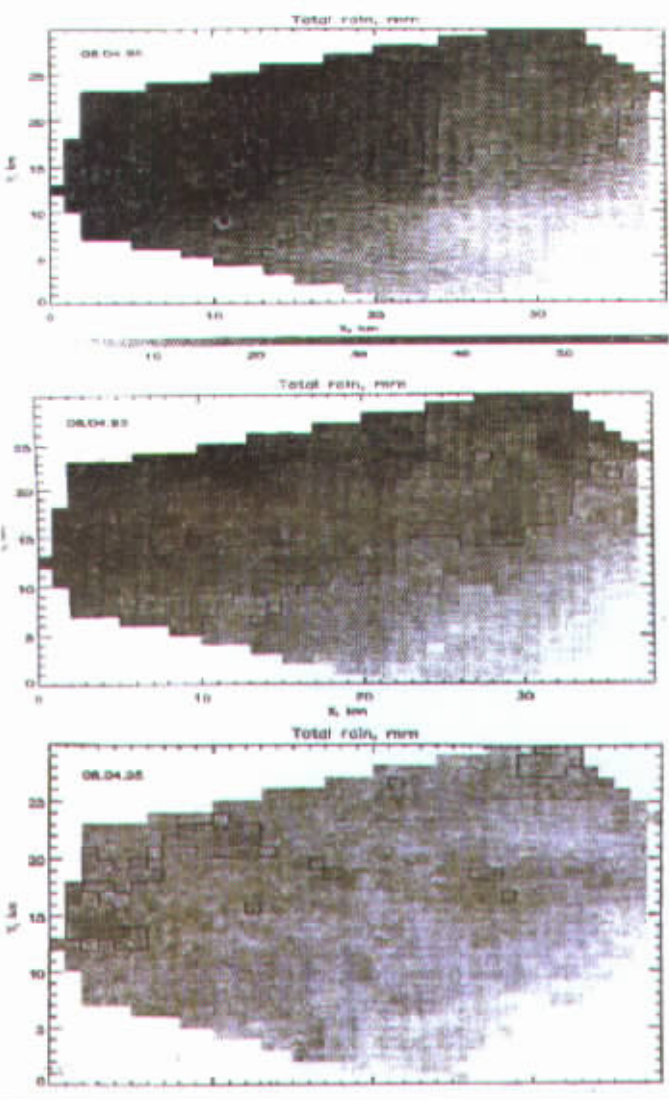


图2 几种方法测雨结果的比较,上图为雨量计算的区域降雨量分布,中图和下图分别为 $R(K_{dp})$ 和 $R(Z)$ 得出的结果

Fig.2 The results comparing of telemetering rainfall using different methods, up one is the distribution of rainfall by rain gauge, middle one and down one are the distribution of rainfall by $R(K_{dp})$ and $R(Z)$

现时机和其在云中的部位,这种时机和部位,也正是作业和人工引晶的时机和部位。另外,这些不同相态的水成物粒子和转化过程,对应于云的不同发展阶段,这是我们估算云通过人工引晶增加降水潜力和选择作业区域和作业时机的基本依据。另外,通过对被作业云的连续监测,观看云内水成物粒子的生长转化过程,也可在一定程度上判断作业的效果。

该图是利用对美国 Houston 的一个对流降雨云

的实际观测数据做出的,图中纵坐标为高度,横坐标为退偏振比的相对值。

图4所示为 Reinking^[28] 利用播撒吸湿性催化剂后云粒子谱及其粒子相态的变化过程以及这些水成物粒子在空间的高度和它们退偏振比的关系,该图是利用对美国 Houston 的一个对流降雨云的实际观测资料做出的。由图可以看出,吸湿性催化剂的播撒促进了云滴谱的扩展,产生毛毛雨滴,它们的退偏振比非常小,分布于整个云层,然后高处的毛毛雨滴凝结产生冰晶,冰晶粒子的退偏振比最大,分布在云的上部,它们下落通过淞附和碰并进一步生成雪、霰等粒子,高度降低,退偏振比减小,到了融化层,雪、霰等粒子开始融化,退偏振比增大,穿过融化层,固态粒子完全融化变成雨滴,退偏振比有所减少,最后降到地面,这就是冷云降水可能的物理转化过程。偏振雷达正是有了识别这些过程的能力,所以在人工影响天气工作中,可用它进行人工影响天气效果的物理检验。方法是对于适合作业的云,首先选择最佳作业区,然后把该区分为两部分,一部分由飞机(或其它作业工具)进行引晶作业,另一部分不作业,这两部分由飞机(或其它作业工具)在它们之间和两端播撒铝箔条(铝箔条的长度是观测雷达波长的一半)把它们分割开来,以便确定它们在空间正确定位。这两部分可以是由铝箔条围起来的圆,也可以是由铝箔条分开的矩形区。然后由 K_a 波段椭圆偏振雷达对准所选区域进行连续观测,观测其内部粒子及微物理过程的变化。同时可用另一部 3cm 波长圆偏振雷达,观测所选区域随时间在空间的位置变化,并把这种变化及时通知给 K_a 波段椭圆偏振雷达,使它始终对准所选区域。铝箔条由于对圆偏振雷达有很大的退偏振比,所以用它很好地对所选区域进行空间定位。如果观测到作业区和非作业区的回波强度 Z_e 和退偏振比 EDR 有差异,再结合其粒子相态的变化情况以及微物理过程的变化过程推断,就可在一定程度上判断引晶作业的效果。Bruitjes 等曾在 Arizona 做过这种试验,结果表明,播撒区的回波强度增强,发现了不同于非播撒区的冰晶,这说明人工引晶是有效果的^[17]。

偏振雷达在人工影响天气中的应用国外已有不少研究工作,也取得了不少研究成果,研究表明,偏振雷达在人工影响天气工作中可以发挥很好的作用,特别是在作业时机作业部位的选择以及效果检验方面都可以发挥很好的作用。

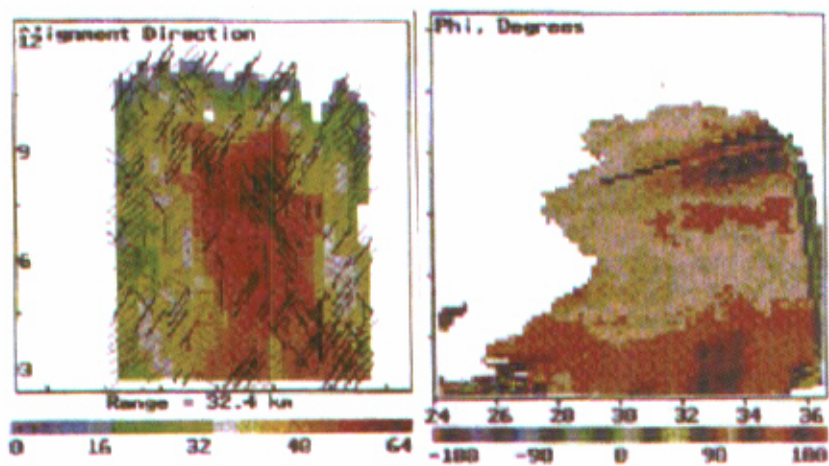


图 3 云中带电粒子排列图

Fig.3 Arrange map of some particles bringing electric charge in cloud

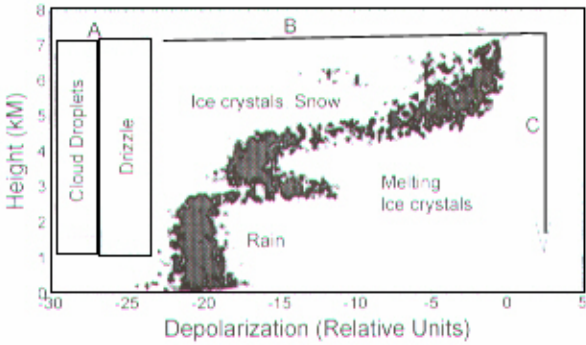


图 4 利用人工催化冷云产生降水的粒子相态转化和可能的微物理过程以及它们在空间的分布和退偏振比大小的示意图

Fig.4 Phase conversion and microphysical process of particles leading to rainfall by seeding in the cold cloud,the spatial distribution of these particles and their depolarization

4 展 望

偏振雷达在气象中的应用当前主要在研究探索方面,还没有大规模地用于气象业务。但就目前的科研成果看,它在气象方面有着巨大的应用潜力,而且有些技术在气象方面的应用已趋于成熟,这也就是美国探索在已有的 WSR-88D 多普勒布网雷达上增加偏振功能的原因。研究表明,它在遥测区域降雨量和人工影响天气以及防灾减灾方面将会有很好的应用。另外,在雷达硬件方面,由于它可直接应用多普勒雷达的信号处理器,主要改装工作在天线方面,所以在现有多普勒雷达上相对改装比较容易,这也为它将来的推广应用提供方便。我国布网雷达

要加偏振功能,主要改造工作也在天馈方面。

我国偏振雷达的研究工作起步较晚,除了原兰州高原大气所在上世纪 80 年代末研制了我国第一部交替发射式双线偏振雷达并开展了其应用研究外,再没有新的偏振雷达研究成果出来。因无圆偏振雷达,所以更没有这方面的研究成果。我国要使偏振雷达技术尽快应用于气象领域,当务之急是要发展偏振雷达技术,加大对其应用理论研究和应用软件开发的投资,取得其应用方面的研究成果,待条件成熟时,再在气象领域推广。由于其有识别粒子相态变化的能力,因此它首先在人工影响天气方面有很好的应用潜力,特别是在作业时机和作业部位的选择方面发挥作用。另外在遥测区域降水量方面,理论和技术相对成熟,也可以发挥很好的作用,为防洪减灾服务。上面所举偏振雷达研究结果多数是国外做出来的。这几年我国在偏振雷达的发展方面有加快发展的势头,中科院寒区旱区环境与工程研究所和北京大气所以及南京大学、河海大学等都在研制新的具有多普勒和偏振功能的多参数天气雷达,相信这些研究工作将促进我国偏振雷达在气象方面的应用和发展。也希望有更多的单位和科学家参加到这项工作中来,共同为发展我国的雷达气象事业和防灾减灾工作做贡献。

参考文献：

[1] Atlas D M, Hittchfeld W. Scatting and attenuation by non-spherical atmospheric particles[J]. J Atmos and TrrestPhys, 1953, (3) : 108-119.

[2] Gent H I M Hunter, Robinson N P. Polarization of radar echoes,

- Including aircraft, precipitation and terrain [J]. Prof. of IEE, 1963, 110(12) 2139 – 2148.
- [3] McCormic G C. An antenna for obtaining polarization – related data with the Alberda hail radar. Pro. 13th radar meteor. conf, AMS, 1968.
- [4] Seliga T A, Bringi V N. Potential use of radar differential reflectivity measurements at orthogonal polarisations for measuring precipitation [J]. J Appl Meter, 1976, (15) 59 – 76.
- [5] 徐宝祥, 叶宗秀, 王致君, 等. 双线偏振雷达的气象应用 [J]. 气象学报, 1987, 42(4) 86 – 91.
- [6] Gilet M, Sauvegeot H, Testud J. Weather radar programs in France. Proc. 22th Conf. On radar meteor, AMS, 1984.
- [7] Collier C G. radar meteorology in United Kingdom. Proc. On radar Meteor, AMC, 1984.
- [8] 徐宝祥, 张鸿发, 吕应刚, 等. 线圆偏振雷达的改装 [J]. 气象学报, 1984, 42(4) 416 – 422.
- [9] 王致君, 蔡启铭, 徐宝祥, 等. 713 双线偏振雷达的改装 [J]. 高原气象, 1988, 7(2) 177 – 185.
- [10] 楚荣忠, 贾伟. 双线偏振雷达的降水估测, I 排序配对逼近法 [J]. 高原气象, 1999, 18(1) 97 – 108.
- [11] 楚荣忠, 李小平. 双线偏振雷达的降水估测, II 误差分类分析 [J]. 高原气象, 1999, 18(1) 109 – 117.
- [12] 刘黎平, 张鸿发, 王致君, 等. 利用双线偏振雷达识别冰雹区方发初探 [J]. 高原气象, 1993, 12(3) 333 – 337.
- [13] Barge B L. Hail detection with a polarization diversity radar. PH. D. thesis, Dept. of meteor. McGill Univ. Montreal, 1 – 81, 1972.
- [14] 刘力. 新一代天气雷达——具有双线偏振功能的多普勒雷达 [J]. 气象, 1996, 22(8) 49 – 55.
- [15] Balakrishnan N, Zmic D S. Use of polarization to characterize precipitation and discriminate large hail [J]. Journal of Atmospheric Science, 1990, 47 1525 – 1540.
- [16] Bringi V R Rasmussen, Vivkeanandan J. Multiparameter radar measurements in Colorado convective stormes. Part 1, Graupel melting studies, 1986a [J]. J Atom Sci, 43 2545 – 2563.
- [17] Bringi V R Rasmussen, Vivkeanandan J. Multiparameter radar measurements in Colorado convective stormes. Part 2, Hail detection studies, 1986b [J]. J Atom Sci, 43 2564 – 2577.
- [18] Seliga T A, Bringi V N. Differential reflectivity and differential phase shift: Applications in radar meteorology [J]. Radio Sci, 1978, 13 271 – 275.
- [19] Hall M P M, Mcherry S, Goddard J W E, et al. Raindrop sizes and rainfall rate measured by dual – polarization radar [J]. Nature, 1980, 285 195 – 198.
- [20] Doviak R J, Zonic D S. Doppler Radar and Weather Observations [M]. Academic Press, 526.
- [21] Straha J, Zmic D. An algorithm to deduce hydrometeor types and contents from multiparameter radar data. Preprints 26th International Conf. On Radar Meteor, Norman Oklahoma. Amer. Meteor. Soc., Boston, 1993.
- [22] Straka J M. hydrometeor fields in a supercell storm as deduced from dual – polarization radar. 18th Conf. on severy local Storms, San Francisco, CA, Amer. Meteor. Soc, 1996.
- [23] Liu H, Chandraseka V. Classification of hydrometeor type based on multiparameter radar measurements Development of a neuro – fuzzy system and in situ verification [J]. J Atmos Oceanic Technol, 2000, 17 140 – 164.
- [24] Zmic D S, Ryzhkov A, Straka J. Testing a Procedure for Automatic Classification of Hydrometeor Types [J]. J. Atmos. Oceanic Technol, 2000, 18 892 – 913.
- [25] 刘黎平. ‘利用双线偏振雷达识别冰雹区方法初探’ [J]. 高原气象, 1993, 12(3) 333 – 337.
- [26] Alexander Ryzhkov, Dusan Zmic. Assessment of Rainfall Measurement That Uses Specific Differential Phase [J]. Journal of applied meteorology, 1996, 35(4) 111 – 131.
- [27] Richard D Scott, Paul R Krehbiel, William Rison. The use of simultaneous horizontal and vertical transmissions for dual polarization radar meteorological observation [J]. American Meteorological Society, 2001, 18(4) 232 – 241.
- [28] Reinking R S, Martner B. Polarimetric short – wavelength radar technologies for assessing the evolution of clouds and precipitation following hygroscopic seeding [J]. J Weth Mod, 1999, 31 83 – 86.

A Brief Introduction about the Application of Polarization Radar in Meteorology

WANG Zhi – jun, CHU Rong – zhong

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract Developing the polarization radar will be a developing direction of the weather radar. This paper gives a brief introduction about the principle of polarization radar and its developing situation in the world, its main parameters and the weather information revealed by these parameters, and the application potentiality of polarization radar in meteorology.

Key words polarization radar; meteorological application