

从第39届国际气象雷达会议看 相控阵天气雷达发展

高玉春 陈浩君 步志超 陶法 徐鸣一 王箫鹏 张乐坚 李瑞义 文浩 马舒庆

相控阵多波束快速扫描的特点，成为气象和大气探测领域的关注点。会议上交流了不同类型的短程探测相控阵天气雷达的共同点：径向探测范围大部分为几十千米，峰值发射功率较小（几百瓦量级），采用有源天线体制，采用数字波束形成技术（DBF），一维相控阵（俯仰电扫、方位机械扫描），体扫时间显著缩短。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.06.004

相控阵天气雷达相比其他天气雷达，技术更复杂，采样速度成倍提高。2002年，美国强风暴实验室（NSSL）联合多家单位把宙斯盾舰船上的相控阵雷达改装成一个相控阵天气雷达（NWRT），并进行了外场探测试验，这是天气雷达历史上的第一部具有相控阵快速扫描的雷达，随着NWRT外场试验展现出的精细化探测结果，相控阵技术逐渐走入天气雷达领域。2009年，美国新研制的一维X波段车载相控阵天气雷达MWR-05XP参与了VORTEX2的风暴观测实验，与移动X波段、W波段天气雷达联合观测，得到了龙卷、超级单体等强对流天气的精细结构。日本大坂大学和东芝公司研制了X波段的相控阵天气雷达（PAWR），第一部安装在大阪大学，并于2012年7月开始进行场外试验，该雷达可以在1 min内对积雨云进行三维探测，通过该雷达的探测数据，证明了雷电活动和风暴结构之间的关系。我国电科集团14所、38所、航天科工第23所、湖南宜通华盛公司、珠海纳睿达公司也研制了相控阵天气雷达，在北京、上海、广东、江苏、湖南等地开始试验和应用。相控阵天气雷达的研发与应用已成为天气雷达领域的重要发展趋势。

第39届雷达气象学国际会议于2019年9月16—20日在日本奈良召开，这是美国气象学会（AMS）主办的雷达气象学国际年会，是当前世界上规模最大的雷达气象学学术交流会议，26个国家和地区的426位专家参加了这次会议（图1），就9个方面主题进行了交

流（图2）。

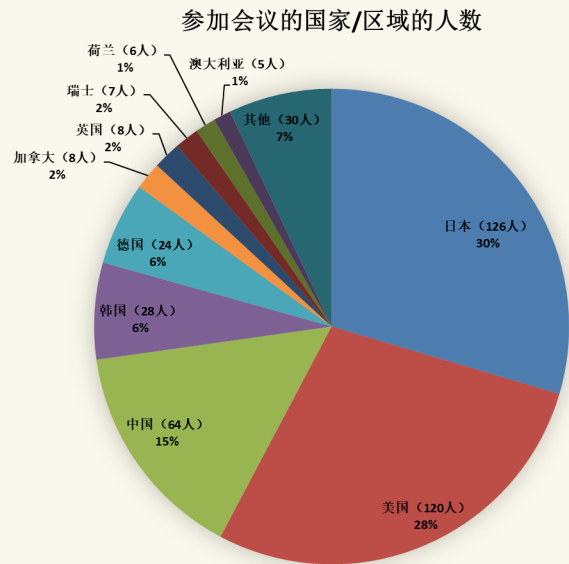


图1 参会国家/区域的人数分布

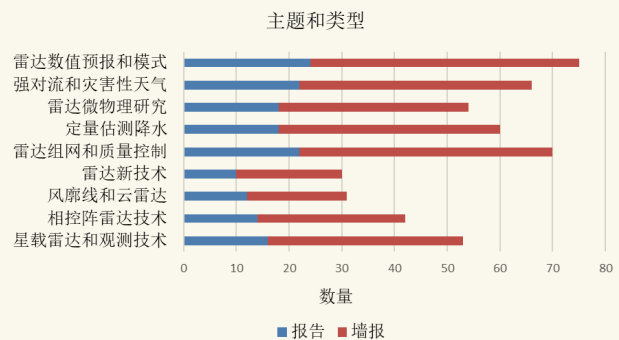


图2 会议交流主题和类型

收稿日期：2020年5月26日；修回日期：2020年11月5日
第一作者：高玉春（1961—），Email: gycaoc@cma.gov.cn

中国气象局系统向会议提交了19 篇论文，口头交流2篇。来自上海市气象局的专家在大会上做了相控阵列天气雷达应用报告，介绍了我国自主设计、研制的新型相控阵天气雷达——阵列天气雷达和新颖的应用成果。

1 相控阵天气雷达技术发展特点

相控阵天气雷达由天线阵列、接收发射模块组件、信号处理组件、伺服、电源等构成，在这次会议的相控阵雷达交流中报告了天线、信号处理、天线罩等方面的新技术。

1.1 相控阵天线技术

相控阵雷达天线是相控阵天气雷达最有代表性关键部件，会议中多个报告介绍了相控阵天线研制。

相控阵天线的方向图可以在远场和近场进行测量。两者都需要特殊的设计，包括接近天线范围或在天线前安装探头的复杂机制。所有指向的方向图测量极其耗时。仿真计算是一种很好的实用方法。东京都立大学设计了平面型、圆柱型和半球型三种类型的相控阵天线，利用仿真技术对三种天线的差分反射率、差分相位相移、相关系数等偏振参数进行数值模拟，评估三种天线对雷达参数估计的影响。结果表明，由于平板天线波束宽、斜向旁瓣高，与圆柱形和半球形天线相比，平板天线的雷达反射率因子被高估，在水平方向（如方位角），真值与估计值之间的平均绝对误差约为3.0 dB。对于圆柱形天线，仅在垂直方向被高估，绝对误差是1.4 dB。半球形天线的估计精度与抛物面天线的估计精度相当，绝对误差是1.0 dB。

俄克拉何马大学等针对共形天线阵列方向图，提出了一种改进的粒子群优化算法。其主要目标是优化圆柱偏振相控阵雷达的波束形成权重。提出了一种新的两步目标优化方法，实现换向扫描所需的方向图。该算法首先定义水平偏振的粒子群优化算法，使得水平偏振达到低旁瓣和所有转换波束的期望波束宽度。第二步，对垂直偏振进行多目标优化，以获得高匹配的水平垂直共混模式以及低狭缝垂直偏振。提出了转换波束扫描的优化方向图，并与单波束机械扫描进行了比较。仿真和测量结果都证实了转换扫描双偏振方向图高度匹配。

三菱电气公司设计研制了一种注塑树脂制成的波导隙缝阵列天线，在交叉偏振特性和天线效率方面，与传统贴片阵列天线相比，具有良好的性能，对减轻重量和降低成本也有贡献。天线口径为 $3.2\text{ m}\times 3.2\text{ m}$ 。天线由每个偏振 74×16 子阵组成，每个子阵有4个辐射单元。阵列的波束宽度小于 1.2° ，

实现低于 -30 dB 的旁瓣电平。

1.2 波束形成技术

传统的天气雷达体积观测的更新时间（体扫时间）是驻留时间和波束位置数的乘积。相控阵天气雷达通过数字波束形成（DBF）发射更宽的波束，同时产生多个窄接收波束，从而大大缩短了体扫时间。此外，DBF允许雷达波束自适应成形，以更好地抑制地杂波、干扰等，并提供更好的天气观测。大会上针对自适应波束形成技术做了展板交流，Shuhei Uchida等采用基于最小均方误差的自适应波束形成（MMSE）技术对相控阵天气雷达（MP-PAWR）进行了改进，以减小地杂波的影响。

1.3 数据传输和处理技术

相控阵天气雷达体扫时间短，数据更新快，覆盖仰角范围大，因此数据量和数据流量远大于抛物面天线雷达，数据传输的问题突显出来。日本国家地球科学和抗灾研究所（NIED）、名古屋大学等开发了一个流数据处理系统，可以从相控阵天气雷达（MP-PAWR）的观测数据中实时生成各种产品。在主机和处理系统之间建立一个TCP流。由MP-PAWR同时观测到的多个高程数据组成的数据块立即通过流发送给国家地球科学与抗灾研究所。到达的数据存储在处理服务器的共享内存中。接下来数据处理程序从共享存储器中搜索到的数据，并执行质量控制、差分相位常数（KDP）估计、衰减校正等。这个过程逐项并行，10 s内完成，结果保存在共享内存中。

1.4 脉冲压缩技术

相控阵天气雷达通常采用固态有源发射技术，因此脉冲压缩技术是相控阵天气雷信号处理的关键技术之一。脉冲压缩后会有具有距离旁瓣，并可能导致来自相邻距离位置的污染。即使理论上设计的压缩波形具有可接受的距离旁瓣电平，由系统引入的实际效果可能会使这些旁瓣电平超过可接受的限度。俄克拉何马州的中尺度气象研究所为了满足严格的距离分辨率要求，在波形设计过程中考虑实际的系统效应，典型的解决方案包括预失真波形或失配滤波器的设计。一方面，波形预失真可以降低灵敏度为代价在距离旁瓣电平方面产生更好的性能；另一方面，由于接收数据的欠采样性质，与预失真发射波形相比，使用失配滤波器来补偿实际效果可能不是很有效。此外，水平偏振和垂直偏振的系统畸变可能不同，也会影响偏振变量估计的质量。

1.5 天线罩技术

雷达天线罩是雷达系统的重要组成部分，提供

结构强度，以保护雷达天线免受风载，并提供稳定性和完整性，以应对温度、湿度和压力等环境因素。此外，天线罩有利于系统的运行和维护，延长了系统的使用寿命。天线罩的一个不利影响是当外表面存在水或冰时雷达信号的性能下降。由于雨强不同，天线罩上形成了各种各样的水层，产生不同的衰减。根据工作频率，降雨强度，风力条件，以及天线罩的形状和材料，天线罩会显著地衰减、反射和消偏雷达信号。对于低于2.0 GHz 的频率，湿天线罩的影响相对较小。双偏振天气雷达对偏振产品，如差分反射率（ZDR）和线性退偏振比（LDR）的精度要求很高。水平偏振和垂直偏振之间的不匹配，以及交叉偏振分量的上升，在ZDR和LDR的测量中引入了偏差。俄克拉何马大学开展这项研究旨在调查雷达天线罩表面不同水层对偏振相控阵雷达信号质量的影响。对不同形状的天线罩进行了分析，包括球形、圆柱形天线罩。提出了一种实时校准技术，以减小湿天线罩产生的H偏振信号与V偏振信号之间的失配。

2 相控阵天气雷达和国家天气雷达网发展

相控阵天气雷达与抛物面天线天气雷达气象学意义上的差别就是相控阵天气雷达能够多波束同时扫描，而抛物面天线天气雷达只能单波束扫描。如果相控阵天气雷达同时N个波束扫描，那么，在脉冲重复周期、FFT点数、扫描俯仰角、扫描方位角、方位分辨率、俯仰分辨率等等决定体扫时间的参数相同情况下，相控阵天气雷达体扫时间是抛物面天线天气雷达时间的1/N。体扫时间减少带来的意义：一是时间分辨率提高，容易发现短周期的天气变化，容易捕捉小尺度天气；二是使得同一体扫资料不同空间位置的资料可比性提高。现在的新一代天气雷达体扫时间6 min，那么对于6 min内的变化就难以了解；再者，零度仰角的资料与最高仰角资料差6 min。对于分析天气的垂直结构增加了很大困难。正是相控阵天气雷达多波束同时扫描，大大缩短体扫时间的能力吸引了国内外气象人。美国国家气象局NWS明确提出了利用相控阵雷达达到建立更快的扫描速度的国家雷达网更新换代目标。

美国国家天气雷达网从20世纪80年代末开始建设到现在，已经30多年了。美国国家天气雷达网如何发展，从这次会议上美国专家发表的报告看，他们已经将目光投向了相控阵雷达。美国国家海洋和大气管理局（NOAA）的几个国家实验室已经开始评估到2040年更换气象监视雷达（WSR-88D）网的战略。NWS明确提出了更快的扫描速度的“客观”要求，这可能会增加龙卷风和其他高影响天气的警报提前时间，并

提高相关的检测概率，降低虚警概率。美国已提出一个时间表，2020年开始雷达技术和应用评估，2025年推出原型机，开始业务验证和评估工作，2030—2035年完成采购，开始生产，2040完成布设。

由NOAA、联邦航空管理局、林肯实验室、通用动力任务系统和俄克拉何马大学联合开发了先进的验证雷达（Advanced Technology Demonstrator, ATD），ATD是一个S波段双偏振有源的相控阵天气雷达，有发射单元4864个，48（2×24）个接收机。伺服系统俯仰180°旋转、方位360°旋转。与我们现有S波段业务雷达不同，其不采用真空管作为发射源，采用固态发射技术，利用脉冲压缩波形来满足灵敏度和距离分辨率要求。这个雷达是一个验证平台。根据近几年ATD系统的研究成果，美国计划基于现有ATD系统再开发二代系统，支持美国国家气象局（NWS）主导的相控阵雷达运行评估，为探讨下一代用于国家雷达网的相控阵雷达技术和业务建立提供支撑。

在过去的4年里，通过NOAA海洋及大气研究中心（OAR）的持续资助，以及可行性研究支持的高效率国家监视雷达（SENSR）计划，在气象标准化的研究方面取得如下进展：1）体系结构（阵列大小、数字化水平）；2）偏振标定和补偿；3）与WSR-88D标准相比的数据质量差异；4）相控阵雷达技术的发展（能力和成本）；5）扫描策略、预报员接口、同化方法；6）预报和预警服务效益；7）雷达网和辅助传感器的布局。

美国气象部门在研究用相控阵雷达作为下一代国家天气雷达网的组网雷达，所做的工作和取得的成果，我们清楚的看到了两点：1）相控阵天气雷达相对与WSR-88D有明显的时间分辨率优势，对于扩展国家雷达网捕捉小尺度强烈天气，提高防灾减灾预警能力有重要作用；2）相控阵天气雷达用于国家天气雷达网具有技术和业务可行性。鉴于这两点，相控阵雷达成为国家天气雷达网的组网雷达将成为一种发展趋势。

3 多种类型短程探测相控阵天气雷达

2003年，美国CASA计划提出了短程雷达近距离布设，协同观测的概念，由此，多雷达短程（几十千米）协同观测成为天气雷达一个新的重要发展方向，中科院大气物理研究所也开展这方面工作。CASA计划的几个子计划都采用了抛物面天线雷达，因此，在对天气系统的空间覆盖和数据时差（同一空间点不同雷达数据获取时间的差）都难以满足应用需求。用相控阵天气雷达将很好的弥补上述不足。这次会议除了报告远程探测相控阵天气雷达，如ATD外，更多报告介绍了多种短程探测相控阵天气雷达，这些雷达

有双偏振雷达，单偏振雷达，有X波段雷达，也有C和S波段雷达。这些相控阵雷达有一些共同特点：径向探测范围为几十千米；峰值发射功率不大，在几百瓦量级；采用有源天线体制；采用数字波束形成技术（DBF）；一维相控阵（俯仰电扫，方位机械扫描）；体扫时间几十秒。

美国俄克拉何马大学的高级雷达研究中心研发了一种移动式X波段相控阵雷达（AIR），AIR使用数字波束成形技术（DBF）来进行垂直方向扫描，在方位角上通过机械转向。该雷达在 110° 方位角 $\times 20^\circ$ 仰角扇区体积上以7 s的时间分辨率获得观测数据。

俄克拉何马大学的高级雷达研究中心正在与NOAA的国家强风暴实验室合作，开发S波段数字波束双偏振相控阵移动天气雷达（Horus）。Horus雷达具有1024（ 32×32 ）个双偏振信道，在自适应波束形成等方面将具有极大的灵活性。每个信道将产生10多瓦的峰值功率，支持10%的占空比，在50 km处的灵敏度约为12.5 dBZ。

美国国家科学基金会资助的移动C波段相控阵天气雷达系统（PAIR），借鉴了AIR和其他雷达系统的开发和部署中的经验教训，提高了可靠性、可维护性、易用性、安全性和可现场快速部署能力等。PAIR的体系结构提供了独特的扫描灵活性，以及双偏振探测，具有快速的体扫时间，PAIR能够同时在仰角方向上执行DBF操作，通过机械旋转实现方位角覆盖。最快体扫时间为6~10 s。

日本无线电有限公司研发了一种单偏振X波段相控阵天气雷达。它只需要30 s就可以完成半径80 km以内，高度20 km内的体积扫描。它从16个缝隙天线单元发射水平偏振波，126个缝隙天线单元接收回波信号，采用数字波束形成DBF，空间分辨率高达50 m。

美国俄克拉何马大学牵头研制的圆柱形偏振相控阵雷达（CPPAR），首次采用圆柱形相控阵天线进行气象探测应用，使用单束机械扫描和换向束电子扫描，可以在各个方向上具有方位角和偏振扫描不变束的特性，从而可以进行高质量的天气测量。

中国气象科学研究院采用X波段相控阵天气雷达和两个极化天气雷达开展联合探测强对流天气。通过对2016年5月9日广东佛山发生的一次超级单体的观测分析，超级单体中的偏振特征与特定的微物理过程有关，这些过程可以揭示风暴演变的不同阶段。相控阵雷达的观测在短时间尺度上显示了抛物面天线雷达无法观测到的详细变化。中国气象科学研究院开展了相控阵天气雷达雷达定标技术研究和应用。

会议报告的多种短程探测相控阵天气雷达，从种

类的和数量可以看出短程探测将是相控阵天气雷达发展的极为重要的方向。这些短程探测相控阵雷达体扫时间大大缩短，仰角 $0^\circ \sim 90^\circ$ 覆盖条件下，一般体扫时间不超过60 s，在时间分辨率上具有显著优势。距离分辨率也比较高，一般都是几十米。在小尺度强烈天气，如冰雹、龙卷、短时强降水探测中，能更精细的揭示其结构。随着短程探测相控阵天气雷达的应用，短临预报将得到新的发展。

4 阵列天气雷达及动力学与热力学结合探测

在这次会议上上海市气象局报告了独具特色的阵列天气雷达（AWR）试验。中国气象局气象探测中心、上海市气象局和湖南宜通华盛公司在上海开展AWR探测试验。AWR是由气象部门和湖南宜通华盛公司共同设计和研制的，并于2018年11月开始在上海安装。目前，S和C波段抛物面雷达系统已被证明是一种有效的天气监测系统，特别是在100 km以上的大范围内。然而，典型的S波段或C波段雷达系统在空间和时间解析度上的局限性不足以捕捉迅速变化的小尺度天气，更重要的是目前的天气雷达主要提供的是天气系统的热力学信息，通过回波强度和偏振量可知大气产生了凝结、凝华，释放了潜热，将产生对流，然而对流的强度，整个流场的变化并不能知道，虽然可探测到径向速度，但仍然不能准确确定3维风场分布。AWR是一种新型的分布式相控阵天气雷达，AWR包括至少三个相控阵子阵（AWR的前端）。本次试验中安装的三个子阵列，分别位于上海宝山、浦东和崇明三个地区，形成一个类似于等边三角形的观测网络。三个子阵列作为一个整体进行同步扫描，保证同一空间点的数据时差小于5 s，从而利用子阵列的径向速度合成正确的流场。AWR的一次体扫时间是30 s。覆盖整个天空，距离分辨率30 m，距离探测范围43 km。子阵采用俯仰电扫数字波束形成技术，方位采用机械旋转方式。它发射4个宽波束，接收64路后向散射信号。在上海市区开展了探测试验，与S波段雷达系统的初步比较表明，AWR不仅可获得强度（反射率因子）数据，并探测得到的高分辨率三维风场，获取了动力学信息，能更详细地反映降水的结构和动态过程。这样不仅能得到降水天气系统的云降水的水成物信息，同时也得到对应的动力学结构和变化，这将为短临预报的进一步发展提供了新的参量。

5 小结

第39届国际气象雷达会议第一次将相控阵天气雷达列为一个交流主题。从相控天气雷达交流的内容，可以看到天气雷达的发展和相控阵天气雷达的重大作用。

1) 会议交流展示出了对天气雷达的发展有影响

力的工作成果。美国气象部门表达了选择相控阵天气雷达作为国家雷达网组网雷达的基本观点——利用相控阵快速扫描的特点，缩短体扫时间，提高雷达网捕捉小尺度天气系统的能力。他们在技术层面和业务层面的研究，让人们看到了相控阵天气雷达作为下一代业务使用天气雷达的可能性。

2) 短程探测将是相控阵天气雷达发展的极为重要的方向。这些短程探测相控阵雷达体扫时间一般体扫时间不超过60 s。距离分辨率也比较高，一般都是几十米。在小尺度强烈天气，如冰雹、龙卷、短时强降水探测中，能更精细的揭示其结构。

3) 介绍了不同类型的相控阵天气雷达，在波段上有S、C、X，在偏振方式上有单偏振、双偏振。这些相控阵天气雷达也有不少共同点，大部分径向

探测范围为几十千米；峰值发射功率不大，在几百瓦量级；采用有源天线体制；采用数字波束形成技术（DBF）；一维相控阵（俯仰电扫，方位机械扫描）；体扫时间短。

4) 这次会议的相控阵雷达交流报告中涉及到了天线、信号处理、天线罩等相控阵天气雷达的主要技术。其中注塑树脂制成的波导缝隙阵列天线和多输入输出技术都是过去未采用的新技术，这些技术对于相控阵天气雷达发展有可能带来重要影响。

5) 报告了我国独立设计研制的新型相控阵天气雷达——阵列天气雷达，AWR采用分布式技术体制和扫描同步技术，解决了阻碍风场合成的时差过大问题，实现了风场与云降水相结合的探测。

深入阅读

- Andrew M, Kyle P, Yu T Y, et al, 2019. Assessing the benefits of a rapid-scanning phased array weather radar. 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- Bluestein H, Howard B, French M, et al, 2010. A mobile phased-array Doppler radar for the study of severe convective storms. Bull Amer Meteor Soc, 91: 579-600.
- Casey G, David B, Javier L, et al, 2019. High-temporal resolution observations of weak-echo reflectivity bands in the 16 may 2017 wheeler, Texas, Tornado. 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- Chen H J, Mu H Z, Wang Q D, et al, 2019. Shanghai Urban Array Weather Radar Network Experiment. 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- David S, Sebastián M T, 2019. Design of practical pulse compression waveforms for polarimetric phased array radar. 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- Igor R, David S, 2019. A first look at the ATD data corrections. 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- Jorge L S, 2019. The impact of a wet radome on polarimetric quality of phased array weather radars: analysis and calibration. 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- Kento N, Hiroshi K, Tomoaki M, et al, 2019. Preliminary analysis to design C-band polarimetric phased array weather radar. 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- Mark E W, Kurt H, 2019. Research to operations strategy for meteorological phased array radar. 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- Mohammad H G H, Hadi S M, Zhang G F, 2019. Pattern synthesis for conformal phased array antenna using a multi-objective optimization. 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- Robert P, Caleb F, Jorge S, et al, 2019. An update on the “Horus” all-digital polarimetric phased array weather radar. 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- Shigeharu S, Kazuomi i, Saori K, et al, 2019. X-band phased array weather radar observations of a mesocyclone in the Tokyo urban area. 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- Takeshi M, Kaori K, Koyuru I, et al, 2019. Streaming data processing for multi-parameter phased array weather radar (MP-PAWR) data. 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- Tomoya M, Ikuya K, Yoshihiko K, et al, 2019. Development of a dual-polarized slotted waveguide array antenna made of injection-molded resin. 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- Wu C, Liu L P, 2014. Comparison of the observation capability of an X-band phased-array radar with an X-band Doppler radar and S-band operational radar, Adv Atmos Sci, 31(4): 814-824.
- Wu C, Liu L P, Liu X, 2018. Advances in Chinese dual-polarization and phased-array weather radars: observational analysis of a supercell in southern china. Journal of atmospheric and oceanic technology, 35(9):1785-1806.
- Wu T, Takayanagi Y, Yoshida S, et al, 2013. Spatial relationship between lightning narrow bipolar events and parent thunderstorms as revealed by phased array radar. Geophysical Research Letters, 40(3): 618-623.
- Wurman J, Dowell D, Richardson Y, et al, 2012. The second verification of the origins of rotation in tornadoes experiment: VORTEX2. Bull Amer Meteor Soc, 93(8): 1147-1170.
- Yu T Y, Matthew S M, Jorge L, et al, 2019. Development of a shared mobile c-band polarimetric atmospheric imaging radar (pair). 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- Yu T Y, Matthew S, Jorge L, et al, 2019. Development of a Shared Mobile C-band Polarimetric Atmospheric Imaging Radar (PAIR). 39th international conference on radar meteorology. Nara, Japan.
- 刘黎平, 胡志群, 吴翀, 2016. 双线偏振雷达和相控阵天气雷达技术的发展和应. 气象科技进展, 6(3): 28-33.
- 刘黎平, 吴翀, 汪旭东, 等, 2015. X波段一维扫描有源相控阵天气雷达测试定标方法. 应用气象学报, 26(2):129-140.
- 刘黎平, 吴林林, 吴翀, 等, 2014. X波段相控阵天气雷达对流过程观测外场试验及初步结果分析. 大气科学, 38(6): 1079-1094.
- 马舒庆, 陈洪滨, 王国荣, 等, 2019. 阵列天气雷达设计与初步实现. 应用气象学报, 30(1): 1-12.
- 吴翀, 刘黎平, 汪旭东, 等, 2014. 相控阵雷达扫描方式对回波强度测量的影响. 应用气象学报, 4(3): 406-414.
- 杨金红, 高玉春, 程明虎, 2008. 相控阵技术在大气探测中的应用及面临的挑战. 地球科学进展, 23(2): 142-150.

(作者单位: 高玉春、步志超、陶法、徐鸣一、王箫鹏、张乐坚、李瑞义、文浩、马舒庆, 中国气象局气象探测中心; 陈浩君, 上海市气象局)