

张培昌教授学术论文整理与分类研究

王振会^{①*}, 王雪婧^{①②}

① 南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心/中国气象局气溶胶与云降水重点开放实验室/大气物理学院, 江苏 南京 210044;

② 甘肃省白银市气象局, 甘肃 白银 730900

* 联系人, E-mail: eiap@nuist.edu.cn

2019-09-24 收稿, 2019-11-01 接受

国家自然科学基金资助项目(41675028; 41275043; 40875016); 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2007AA061901); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306078)

摘要 张培昌教授是著名的雷达气象专家, 是我国天气雷达发展过程(尤其是在我国新一代天气雷达建设)中的参与者和主要倡导者。初步整理张培昌教授已发表的论文106篇, 内容涵盖张教授及其团队重点研究的方向有: 雷达气象领域中天气雷达组网拼图与定量估测降水、雷达气象方程与衰减订正、雷达数据反演产品及应用、大气折射指数与雷达数据质量控制和降水粒子微波特性研究等。本文介绍张培昌教授论文整理和分类研究初步结果, 对张教授论文发表时间特征、论文内容分类特征以及论文作者群体特征进行了分析, 希望此工作能有助于张教授的《张培昌雷达气象文选》早日出版。该文选的出版将帮助我们了解张教授对我国天气雷达和雷达气象学发展所做的贡献, 有助于我们学习张教授的科研和教学经验, 为我国天气雷达和雷达气象的进一步发展做出更大的贡献。

关键词

张培昌;
雷达气象;
论文整理;
论文分类

雷达气象学是一门在第二次世界大战期间因为微波雷达的使用而发展起来的新兴边缘学科(张培昌等, 2001)。雷达气象学主要研究利用雷达发射电磁波对大气进行探测, 研究雷达波与大气中的粒子相互作用, 通过识别大气中粒子散射回来的电磁波特性来观测云、雨、冰雹等粒子特性以及降水位置和灾害性天气生消过程(张培昌和王振会, 1995)。雷达气象学的形成, 促进了雷达技术发展和气象雷达的出现, 而由于气象雷达的发展, 又使得一系列新的雷达气象问题得以解决, 促进了雷达气象学的发展。雷达气象学和气象雷达技术的相互促进发展极大地促进了大气科学的发展, 在探测理论和技术以及灾害性天气的监测和预报等方面发挥了重要作用(孙继松等, 2013; 刘红艳等, 2015; 闵锦忠等, 2015; 沈菲菲等, 2016; 孙娟珍等, 2016; 唐顺仙等, 2017)。

张培昌教授是这一发展过程的参与者和主要倡

导者。尤其是在我国新一代天气雷达建设中, 张培昌教授作为著名的雷达气象专家, 1995年任专家组组长主持了中国气象局“十五”期间“新一代天气雷达建设方案”的论证。随后, 在中国气象局原局长邹竞蒙倡导下, 他参与了中美合资北京敏视达雷达有限公司(前期称为华云-罗奥公司)的筹建工作, 作为专家组组长并被任命为公司的中方董事, 指导公司的建设和发展。张培昌教授主持过国内多种新型天气雷达的方案评审、招标评审、雷达设备出厂、安装验收及软硬件开发、改进等项目论证, 加速了我国新一代气象雷达网的系统建设和业务应用。他还主持过国内多种风廓线雷达、新型探空、测风设备的方案论证及验收工作; 军队的毫米波测云雷达、能见度仪、雷电定位仪、激光测云雷达等方案评审、产品验收及成果鉴定工作, 指导相关工厂和科研单位更好地掌握相关原理和关键技术, 设计评估试验方法等。

引用格式: 王振会, 王雪婧, 2019. 张培昌教授学术论文整理与分类研究[J]. 大气科学学报, 42(6): 953-960.

Wang Z H, Wang X J, 2019. Collection and classification of Professor Zhang Peichang's published articles in radar meteorology[J]. Trans Atmos Sci, 42(6): 953-960. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20190924001. (in Chinese).

张培昌,籍贯江苏省无锡市,我国雷达气象专家、教授。1962 年毕业于北京大学大气物理专业,多年来一直在南京信息工程大学(原南京气象学院)工作,曾任南京气象学院院长及中国共产党南京气象学院委员会书记,曾先后为本科生讲授气象观测、普通物理、流体力学、热力学、气象学、雷达气象学、大气探测基础,为研究生讲授大气微波遥感基础等课程。先后出版了《大气微波遥感基础》(张培昌和王振会,1995)、《雷达气象学》(张培昌等,2001)、《雷达气候学》(戴铁丕和张培昌,1995)、《双线偏振多普勒天气雷达探测原理与应用》(张培昌等,2018)、《龙卷形成原理与天气雷达探测》(张培昌等,2019)等著作,都是研究生教材、本科生国家级重点教材,也是我国气象部门和相关科研院所的重要参考书。曾主持并参与了许多重大科研项目,在国内外发表论文 100 余篇,对从事大气遥感、雷达气象与气象雷达的研究和业务应用以及高校相关专业学生学习,都是非常宝贵的重要资料。

近 20 a 来,我国气象领域的专家不断有论文集出版。例如,丑纪范院士,我国现代长期数值天气预报和非线性大气动力学的创建人之一,2013 年出版了《丑纪范文选》(丑纪范,2013)。梁必骥教授,我国知名热带气象学专家,于 2015 年出版《热带气象研究:梁必骥学术论文选集》(梁必骥,2015)。王鹏飞教授,我国著名气象学家,长期从事云雾物理、人工影响天气等方面的研究,2001 年出版了《王鹏飞气象史文选》(王鹏飞,2001),2010 年再次出版了《王鹏飞气象史文选(Ⅱ)》(王鹏飞,2010),内容较第一部更加丰富,涵盖了更广泛的领域,涉及了他一生的研究兴趣。云雾物理专家李子华教授 2014 年出版《李子华云雾物理文选》(李子华,2014)。在其他学科领域,也有越来越多的专家专业文集出版。例如,《王性炎学术论文选集》(王性炎,2001),2001 年出版,包括有我国著名经济林专家王性炎教授关于中国漆和漆树等研究的 47 篇论文。2008 年出版的《蔡睿贤论文选集》(蔡睿贤,2008)是我国工程热物理学家、能源动力科学家蔡睿贤院士关于叶轮机械气动热力学、能源动力系统等方面的学术论文精选。

众所周知,我国天气雷达网已经遍布全国并在继续快速发展(简菊芳,2018)。但在雷达气象研究领域,目前还没有一本科学、系统的专家论文集。张培昌教授从我国“雷达气象”学科初期开始,就是该领域的领军人物,现在是国内外著名雷达气象专家。

因此,整理张教授雷达气象论文、并能出版论文选集,是一件非常有意义的事。为此,在张教授的支持下,我们收集了张教授发表的 100 余篇论文,并结合雷达气象的发展历史、文章发表年代、作者次序等因素,对论文作了排序和分类,为《张培昌雷达气象文选》的出版做些准备工作。本文简要介绍此工作进展和我们的点滴体会。

1 张培昌教授学术论文状况概述

根据张教授提供的素材以及我们的广泛查阅,现收集并整理出论文共 106 篇(清单略)。下面从论文的发表时间、出版物类型、作者群体等 3 方面进行特征分析和描述。

1.1 论文发表时间特征

张教授发表的 106 篇论文的年代分布,如图 1 所示,清晰地反映了我国天气雷达和雷达气象发展史。

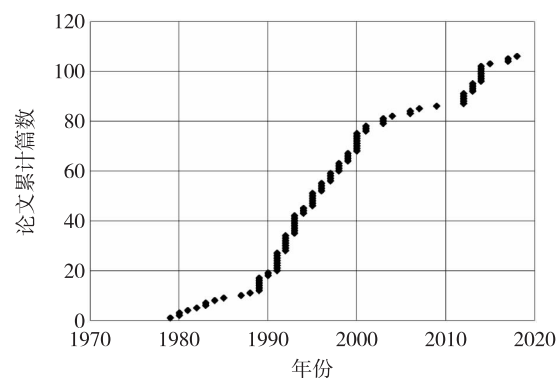


图 1 张教授 106 篇论文的发表年代统计

Fig.1 Chronological features of the 106 articles authored by Prof.Zhang Peichang

据葛润生(1974)研究表明,1943 年美国开始使用 3 cm 军用机载雷达 AN-/APQ-13 对降水天气进行监视,1944 年建立第一个可用于天气监测的雷达站网,1950 年代开始设计专门用于天气监测的气象雷达,1959 年定型生产 WSR-57,并用于强对流灾害性天气的警戒。同时,日本、英国、苏联等其他一些国家也相继建立天气雷达观测站网。我国 60 年代着手研制测雨雷达,70 年代初定型并生产 711 型 X 波段测雨雷达,随着 711 测雨雷达的普遍使用,我国雷达进入 711 时代。张教授和他的一批同事在南京气象学院大气探测专业首次开设了“雷达气象学”和“气象雷达原理”课程,利用 711 雷达进行实物教学实验,并带着学校新购置的 711 雷达到校外参加人工防雹实验,在现场收集数据、为学生讲课、为社

会献策。那时候的雷达数据主要显示在荧光屏上,完全靠眼睛观看和手工素描来记下回波特征,即使配有一部照相机也需要观测员视情况来判断是否拍照。如何充分用好雷达并记录下回波数据,是雷达生产单位工程技术人员和气象用户普遍关心的问题。针对这一实际问题,张培昌教授对亲历的实际观测经验和资料进行分析总结,一边开展讲课讲学,一边发表了他第一篇期刊论文《711 测雨雷达探测及摄取回波资料的一些考虑》(张培昌等,1979),该文对利用平面位置显示器(PPI)和距离高度显示器(RHI)进行回波资料摄取时具体需要考虑的问题进行了细致讨论,对当时的雷达观测与应用工作起到了指导性作用。在 711 雷达在业务部门普遍使用时,我国雷达探测资料的观测使用急需由定性向定量发展,张教授发表的《711 雷达测定回波数据订正的方法》(张培昌,1982)一文为雷达定量化计算作了突出贡献。在人们意识到单部雷达探测范围有限、需要开展多部雷达组网观测时,张教授在《天气雷达组网的四维同化方法》(张培昌等,1989)一文中详细介绍了首次实现的我国天气雷达组网技术。不过由于那时的技术限制,多部雷达组网主要是体现在将分布在不同地点的多部雷达的观测图像“拼接”成一幅图像,即雷达拼图,这面临数据量庞大而当时计算机资料处理与传输速率慢的问题,张培昌教授指导团队开展研究、发表数篇论文(如《天气雷达数字图象的无失真编码》(顾松山和张培昌,1989)、《数字化天气雷达资料的一种无失真压缩方法》(张培昌等,1993)、《一种数字化天气雷达回波原始资料的数据压缩方法》(袁招洪等,1993)等),设计了一套针对雷达回波图像资料特点进行数据压缩编码的软件,用于数据传输。为了提高雷达资料反演大气中气象粒子特性的精度,提出了能准确自动识别 0℃层亮带的三级识别方式。1970 年代我国不仅能生产 711 型气象雷达,还生产了 713 型 C 波段气象雷达(张培昌等,2001)。张培昌教授及其合作者探讨了 713 测雨雷达探测区域降水量的可能性,并提出采用雷达-雨量计系统联合探测降水时精度会进一步提高(戴铁丕等,1987;张培昌等,1992)。

随着数字技术、半导体技术以及计算机技术的出现和发展,形成了数字化雷达系统(葛润生和余志敏,1984),并开始有条件可以考虑用球形粒子反演降水时产生的误差,因此对非球形粒子的电磁波特性研究显得尤为重要。张培昌教授带领团队发表

多篇论文(如《小旋转椭球粒子群的微波衰减系数与雷达反射率因子之间的关系》(王振会和张培昌,2000)、《小旋转椭球粒子群的微波散射特性》(张培昌和殷秀良,2000)、《旋转扁椭球水滴散射特性的快速算式研究》(郭丽君等,2012)),分别讨论小旋转椭球、圆锥球等不同形状粒子的微波散射和衰减特性及与雷达反射率因子之间的关系,有关研究成果为提高反演精度提供了理论依据。

20 世纪 80 年代我国研制成功了具有数字处理系统的 714 型 S 波段天气雷达,美国研制出 S 波段全相干脉冲多普勒天气雷达。之后不久,在中国气象局支持下,张培昌教授率领团队从美国引进我国第一部多普勒天气雷达,安装位置就是现在的南京信息工程大学长望塔,于 1986 年开始在南京信息工程大学(原南京气象学院)应用于教学、科研、人才培养和师资队伍建设,并不断接待气象业务和科研部门专家的参观访问,对促进我国大气科学探测发展、及时跟上发达国家水平,起到了重要作用。1988 年美国全相干脉冲多普勒雷达研制定型为 WSR-88D,该型雷达在 90 年代作为美国“新一代雷达”(NEXRAD)在美国国内进行业务布网(张培昌等,2001)。1997 年上海市气象局从美国引进了一部 WSR-88D 雷达。在这一时期,我国先后研制成功 714CD、714SD 型脉间相干多普勒天气雷达和 C 波段 3824 型全相干多普勒天气雷达(张培昌等,2001),1998 年研制出第一部 CINRAD-A/S(即 S 波段 A 型全相干脉冲多普勒天气雷达)雷达。其后不久(20 世纪末),我国开始在全国对新一代气象雷达进行布网建设。新一代天气雷达网由数百部多普勒雷达组成。对于雷达本身技术而言,如何保证数百部雷达的技术性能指标和运行的稳定是一项新的挑战(许小峰,2003;高玉春,2017)。针对国家这一需求,张教授带领团队开展相关研究并撰写文章如《多普勒天气雷达探测原理简述》(张培昌,2000),对新一代天气雷达进行系统的介绍,并详细介绍雷达系统原理、多普勒速度及速度谱宽数据的获取与处理、数据产品的生成和显示、数据的分析与应用方法等。因此,统计(图 1)表明张培昌教授在 20 世纪 90 年代发表文章最多,恰逢我国新一代天气雷达业务应用快速发展阶段。

张教授在退休期间及退休以后,依然保持对雷达气象科技的关注。2014 年,南京信息工程大学在中国气象局支持下建设了我国第一部双偏振 C 波段多普勒天气雷达。随着双线偏振多普勒天气雷达

的普及,我们又面临着新的雷达参量怎么用的问题(刘黎平等,2016)。实际上张培昌教授提前考虑到了这些问题,指导雷达研究团队针对双偏振雷达在数据处理和业务运行中发挥作用的 key 问题,研究了非球形粒子群的微波衰减和散射特性,并对雷达新参量的应用做了具体讨论,尤其对检测强风、暴雨、台风、飑线以及超级对流单体等灾害性天气系统有巨大价值。例如,雷达衰减校正是雷达回波定量计算中的重要问题,发表的《天气雷达回波衰减订正算法的研究(I):理论算法》(张培昌和王振会,2001)和《天气雷达回波衰减订正算法的研究(II)数值模拟与个例实验》(王振会和张培昌,2001)提出了逐库订正算法并验证了在衰减订正中的优势。张培昌教授发表的《双/多基地天气雷达探测小椭圆粒子群的雷达气象方程》(张培昌等,2012)、《双线偏振雷达探测小椭圆粒子群的雷达气象方程》(张培昌等,2013)、《偏振雷达探测小椭圆粒子群 LDR 的雷达气象方程》(胡方超等,2017),详尽推导了小椭圆散射的方向函数及侧向散射截面表达式,并重新定义了相应的雷达反射率因子。针对多普勒雷达反演风场问题,国内外很多学者提出很多反演风场的方法,张教授指导他的学生针对实际个例情况,推导出改进后的反演公式,在《单多普勒天气雷达反演中尺度气旋环流场的方法》(马翠平等,2000)、《简化 VVP 反演算法在台风风场反演中的应用》(周生辉等,2014)等文中做了详细解释。

1.2 论文内容分类特征

张培昌教授一直致力于对天气雷达和雷达气象的教学和科学研究,曾主持并主要参与国家“七五”、“八五”重大科技攻关项目“天气雷达资料的收集和预处理方法的研究”“雷达定量估算降水强度和区域降水量监测技术的研究”“台风暴雨灾害性天气监测预报技术研究”以及国家自然科学基金项目“旋转椭圆雨滴群的微波辐射特征及降水遥感研究”“非均匀轴对称形状气象粒子散射理论研究(含实验)”“建立适用于双线偏振雷达的雷达气象方程组”“零度层亮带的成因理论模拟与分析研究”等。因此,张培昌教授的论文在内容上涵盖“天气雷达组网拼图与定量估测降水研究”“大气折射指数与雷达数据质量控制研究”“雷达气象方程与衰减订正研究”“降水粒子微波特性研究”“雷达数据反演产品及应用研究”等5个主要方面。因此张教授发表的论文初步分为5类,如图2a所示。

依据张培昌教授对文集所选录论文的思考,参

考其他专家论文选集(王鹏飞,2001,2010;王性炎,2001;蔡睿贤,2008;丑纪范,2013;李子华,2014;梁必骐,2015),并结合论文集篇幅计划,初步确定从106篇论文中选49篇文章全文录入文集。图2b为49篇论文的分类统计。在拟全文收录的49篇文章中,“天气雷达组网拼图与定量估测降水研究”一类收录了7篇代表作,包括使用变分方法对雷达估算的降水强度和区域降水量进行校准、用最优化原理求 $Z-I$ 关系的新方法、对数字化天气雷达回波图像的无失真压缩等。雷达气象方程与衰减订正研究依然是目前提高雷达回波强度定量处理精度的研究热点,这一类包含了9篇代表作,在讨论了双/多基地天气雷达、双线偏振雷达探测非球形粒子、小椭圆粒子群电磁波特性基础上,提出对探测数据进行衰减订正的方法。利用雷达回波反演出气象数据产品及其应用,也是张教授重点研究的对象,这一类收录9篇文章,涵盖雨滴谱估算、湍流信息获取、 0°C 层亮带识别以及风场反演和利用天气雷达回波资料作临近预报等。大气折射指数与雷达数据质量控制一类共收录了9篇文章,例如,以711测雨雷达为例,研究由于雷达电磁波折射而产生的天气过程位置和强度的偏差,提出对其进行质量控制的理论和方案。关于降水粒子微波特性研究的文章数占比为21%(图2a),收录其中的10篇代表作(图2b所示为13%)重点讨论了非球形降水粒子在不同取向时的电磁波特性。

张教授发表的论文所覆盖的上述5个方面,代表了雷达气象学的研究热点,也反映出南京信息工程大学的雷达气象研究高地。尤其是在天气雷达组网拼图与定量估测降水研究方面,张教授及其团队应我国雷达业务应用的需求,率先开展天气雷达组网拼图研究,解决了雷达组网拼图、不同雷达强度数据同化以及回波数据压缩编码等一系列关键技术,在国内首次实现了南京、上海、盐城三市天气雷达回波的自动拼图。气象雷达研究人员在张教授及其团队发表的有关雷达组网四维同化方法的文章的基础上,陆续实现了7部、13部雷达组网,直至现今实现全国雷达组网。有关定量估测降水强度和区域降水量监测技术研究的文章中,全面深入研究了雷达反射率因子与雨强之间的关系,提出利用雷达和雨量计联合观测确定雨滴谱的新方法,建立了雷达反射率因子 Z 与雨强 I 的关系,提出最优化 $Z-I$ 关系、利用变分法校准雷达测定区域降水量的新方法。对大雨滴、冰雹等非球形降水粒子的散射,用椭圆粒子、

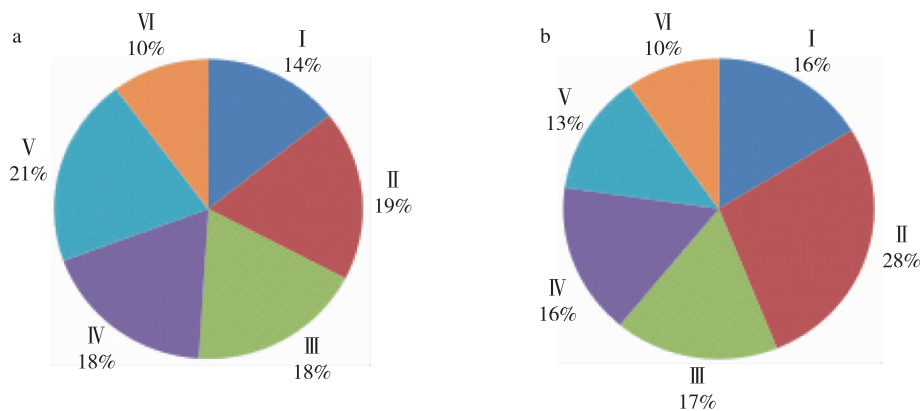


图 2 张培昌教授论文内容分类(I -天气雷达组网拼图与定量估测降水; II -雷达气象方程与衰减订正; III -雷达数据反演产品及应用; IV -大气折射指数与雷达数据质量控制; V -降水粒子微波特性研究; VI -其他):(a) 106 篇论文的内容分类;(b) 拟全文录入文选的 49 篇论文内容分类

Fig.2 Content taxonomy of the articles authored by Prof.Zhang Peichang(Topic I -Weather radar networking, image mosaic and quantitative precipitation estimation; Topic II -Radar equation for meteorology and attenuation correction; Topic III -Retrievals from radar observations and their applications; Topic IV -Atmospheric refraction and radar data quality control; Topic V -Precipitable particle's features in microwave bands; Topic VI -Others) : (a) All 106 articles; (b) 49 articles selected for collection

锥形粒子去逼近,并采用难度较大的分离变量法求精确解。在有关旋转椭球雨滴群的微波辐射特征及降水遥感的研究论文中,推导出了椭球粒子旋转轴三种取向下的平均衰减截面公式及确定衰减系数的方法,以便能对雨区中测得的雷达反射率因子进行订正,并计算分析不同状态下衰减截面随降水粒子相态、形状、大小和入射波长变化的特征,研究了小旋转椭球粒子群的微波衰减系数 k 与 Z 之间的关系。在有关雷达波传输特征的研究论文中,对雷达探测降水过程中出现的衰减、折射等误差因素作了深度分析,提出了雷达反射率因子径向积分取样观测资料衰减订正的逐库订正算法、逐库近似算法及稳定性判据,研究了大气折射对雷达探测方向的影响,以提高雷达探测和估算降水的精度。这些研究提出的理论和方法成果对改进辐射传输方程和雷达气象方程有重要理论意义,如今依然是进一步提高雷达定量估测降水精度的工作基础。设计并建立了“数字化天气雷达定量估测区域降水业务系统”的先进系统,其中,非球形雨滴群雷达反射率因子的理论表达和用吸收法消除地杂波的实验分析,被认为是当时国际研究的前沿水平。

1.3 论文作者群体特征

在张培昌教授发表的 106 篇文章中,以第一作者或指导第一作者以第二作者发表的文章为 73 篇,其余为和其他合作者合作发表的文章,如图 3 所示。

合作者共涉及 77 名,其中本单位教师 20 名、研究生 57 名,如今这些研究生和当年的年轻教师绝大多数人在国内已经成为科研、业务、教学或管理单位的骨干,折射出南信大雷达气象人才培养与科学研究团队建设状况的一角。

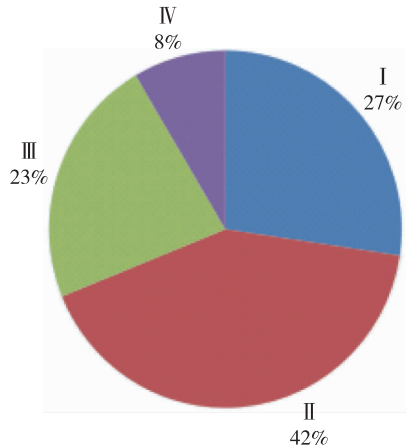


图 3 张培昌教授在其 106 篇论文中的作者次序统计(I -第一作者; II -第二作者; III -第三作者; IV -其他)

Fig.3 Author order statistics for the 106 articles authored by Prof. Zhang Peichang (I -First author; II -Second author; III -Third author; IV -Others)

2 结语

我们很高兴在张培昌教授的指导和支持下初步

完成了对张培昌教授已发表论文的整理。

我们希望此工作能促进张教授的《张培昌雷达气象文选》早日出版。张教授初步确定此文选全文收录具有代表性的近 50 篇文章。当然,文选出版前还需要对一些文章中模糊的文字、公式、图表进行仔细修改、校对和标注,尤其是对发表年代久远的文章,可能需要修复甚至重新录入。但我们相信,文选的出版将有助于我们了解张教授、了解张教授对我国天气雷达和雷达气象发展所做的贡献,有助于促进我们向张教授学习、为我国天气雷达和雷达气象的进一步发展做出我们的贡献。

象的进一步发展做出我们的贡献。

致谢:感谢张培昌教授提供了他和他的同事们发表的论文稿,以及他对论文收集和整理工作的支持和指导。感谢气象出版社和出版社黄红丽老师对本文所述工作的支持,并感谢她将为后续的《张培昌雷达气象文选》编辑出版工作所做的付出。感谢李晓、王雨润等大气探测专业 2019 届毕业生所参与的工作以及在文献收集集中给予支持的所有单位和个人。感谢两位匿名审稿专家对本工作的肯定以及为本文修改所提出的宝贵建议。

参考文献 (References)

- 蔡睿贤,2008.蔡睿贤论文选集[M].北京:清华大学出版社. Cai R X,2008.Selected collection of CAI Ruixian's works [M].Beijing:Tsinghua University Press.(in Chinese).
- 丑纪范,2013.丑纪范文选[M].北京:气象出版社. Qiu J F,2013.Selected collection of Qiu Jifan's works [M].Beijing:China Meteorological Press.(in Chinese).
- 戴铁丕,张培昌,1995.雷达气候学[M].北京:气象出版社. Dai T P,Zhang P C,1995.Radar Climatology[M].Beijing:China Meteorological Press.(in Chinese).
- 戴铁丕,张培昌,魏鸣,1987.713 测雨雷达测定区域降水量初探[J].南京气象学院学报,10(1):87-94. Dai T P,Zhang P C,Wei M,1987.Experimental measurement of areal precipitation with model 713 weather radar[J].J Nanjing Inst Meteor,10(1):87-94.(in Chinese).
- 高玉春,2017.气象业务发展对新一代天气雷达技术性能提升的要求[J].气象科技进展,7(3):16-21. Gao Y C,2017.Requirements of meteorological operational development for the technical performance improvement of CINRAD[J].Adv Meteorol Sci Technol,7(3):16-21.(in Chinese).
- 葛润生,1974.气象雷达发展概况及趋势[J].气象科技资料,2(4):8-12. Ge R S,1974.Development and trend of meteorological radar[J].Meteorological scientific and technological data,2(4):8-12.(in Chinese).
- 葛润生,余志敏,1984.我国雷达气象工作的新进展[J].气象,10(10):15-18. Ge R S,Yu Z M,1984.Progress of radar meteorological work in China[J].Meteor Mon,10(10):15-18.(in Chinese).
- 顾松山,张培昌,1989.天气雷达数字图象的无失真编码[J].南京气象学院学报,12(3):181-187. Gu S S,Zhang P C,1989.Distortionless coding of digital weather radar images[J].J Nanjing Inst Meteor,12(3):181-187.(in Chinese).
- 郭丽君,王振会,董慧杰,等,2012.旋转扁椭球水滴散射特性的快速算式研究[J].高原气象,31(4):1081-1090. Guo L J,Wang Z H,Dong H J,et al.,2012.Study of quick for calculating liquid oblate spheroid scattering properties[J].Plateau Meteorology,31(4):1081-1090.(in Chinese).
- 胡方超,辛岩,张培昌,等,2017.偏振雷达探测小椭球粒子群 LDR 的雷达气象方程[J].大气科学学报,40(5):715-720. Hu F C,Xin Y,Zhang P C,et al.,2017.Radar meteorological equation of LDR for polarimetric radar detecting small spheroids[J].Trans Atmos Sci,40(5):715-720.(in Chinese).
- 简菊芳,2018.天气雷达 40 年:从“引进来”到“走出去”[N].中国气象报,2018-10-30(3). Jian J F,2018.Forty years of weather radar:from “come in” to “go out” [N].China Meteorological News,2018-10-30(3).(in Chinese).
- 李子华,2014.李子华云雾物理文选[M].北京:气象出版社. Li Z H,2014.Selected collection of Li Zihua's works in cloud physics [M].Beijing:China Meteorological Press.(in Chinese).
- 梁必骐,2015.热带气象研究:梁必骐学术论文选集[M].北京:气象出版社. Liang B Q,2015.Study on tropical meteorology:a selected collection of Liang Biqu's academic works [M].Beijing:China Meteorological Press.(in Chinese).
- 刘红艳,魏鸣,管理,2015.多普勒雷达风场资料在临近预报中的应用[J].大气科学学报,38(4):483-491. Liu H Y,Wei M,Guan L,2015.Application of Doppler radar radial velocity data to nowcasting[J].Trans Atmos Sci,38(4):483-491.(in Chinese).
- 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[J].气象科技进展,6(3):28-33. Liu L P,Hu Z Q,Wu C,2016.Development and application of dual linear polarization radar and phased-array radar[J].Adv Meteorol Sci Technol,6(3):28-33.(in Chinese).
- 马翠平,张培昌,匡晓燕,等,2000.单多普勒天气雷达反演中尺度气旋环流场的方法[J].南京气象学院学报,23(4):579-585. Ma C P,Zhang P C,Kuang X Y,et al.,2000.Method of inverting mesocyclone circumfluence field with a single Doppler radar[J].J Nanjing Inst Meteorol,23(4):579-585.(in Chinese).
- 闵锦忠,刘盛玉,毕坤,等,2015.基于 Hybrid EnSRF-En3DVar 的雷达资料同化研究[J].大气科学学报,38(2):213-221. Min J Z,Liu S Y,Bi K,et al.,2015.Study on the assimilation of Doppler radar data using a hybrid EnSRF-En3DVar method[J].Trans Atmos Sci,38(2):213-221.(in

- Chinese).
- 沈菲菲, 闵锐忠, 许冬梅, 等, 2016. Hybrid ETKF-3DVAR 方法同化多普勒雷达速度观测资料 I: 模拟资料试验[J]. 大气科学学报, 39(1): 81-89.
- Shen F F, Min J Z, Xu D M, et al., 2016. Assimilation of Doppler radar velocity observations with hybrid ETKF-3DVAR method part I: experiments with simulated data[J]. Trans Atmos Sci, 39(1): 81-89. (in Chinese).
- 孙继松, 何娜, 郭锐, 等, 2013. 多单体雷暴的形变与列车效应传播机制[J]. 大气科学, 37(1): 137-148. Sun J S, He N, Guo R, et al., 2013. The configuration change and train effect mechanism of multi-cell storms[J]. Chin J Atmos Sci, 37(1): 137-148. (in Chinese).
- 孙娟珍, 陈明轩, 范水勇, 2016. 雷达资料同化方法: 回顾与前瞻[J]. 气象科技进展, 6(3): 17-27. Sun J Z, Chen M X, Fan S Y, 2016. Radar data assimilation methods: review and future perspective[J]. Adv Meteorol Sci Technol, 6(3): 17-27. (in Chinese).
- 唐顺仙, 吕达仁, 何建新, 等, 2017. 天气雷达技术研究进展及其在我国天气探测中的应用[J]. 遥感技术与应用, 32(1): 1-13. Tang S X, Lyv D R, He J X, et al., 2017. Research of weather radar technology and application on Chinese weather observation[J]. Remote Sens Technol Appl, 32(1): 1-13. (in Chinese).
- 王鹏飞, 2001. 王鹏飞气象史文选[M]. 北京: 气象出版社. Wang P F, 2001. Selected collection of Wang Pengfei's works in meteorology history [M]. Beijing: China Meteorological Press. (in Chinese).
- 王鹏飞, 2010. 王鹏飞气象史文选(II)[M]. 北京: 气象出版社. Wang P F, 2010. Selected collection of Wang Pengfei's works in meteorology history (II) [M]. Beijing: China Meteorological Press. (in Chinese).
- 王性炎, 2001. 王性炎学术论文集[M]. 成都: 四川民族出版社. Wang X Y, 2001. Selected collection of Wang Yanyan's academic works [M]. Chengdu: Sichuan Ethnic Publishing House. (in Chinese).
- 王振会, 张培昌, 2000. 小旋转椭球粒子群的微波衰减系数与雷达反射率因子之间的关系[J]. 气象学报, 58(1): 123-128. Wang Z H, Zhang P C, 2000. Relationship between attenuation of microwaves by polydisperse small spheroid particles and their radar reflectivity factor[J]. Acta Meteorol Sin, 58(1): 123-128. (in Chinese).
- 王振会, 张培昌, 2001. 天气雷达回波衰减订正算法的研究(II): 数值模拟与个例实验[J]. 高原气象, 20(2): 115-120. Wang Z H, Zhang P C, 2001. A study on the algorithm making attenuation correction to observations of radar reflectivity factor (II): numerical simulations and a case study[J]. Plateau Meteorol, 20(2): 115-120. (in Chinese).
- 许小峰, 2003. 中国新一代多普勒天气雷达网的建设与技术应用[J]. 中国工程科学, 5(6): 7-14. Xu X F, 2003. Construction, techniques and application of new generation Doppler weather radar network in China[J]. Engineering Science, 5(6): 7-14. (in Chinese).
- 袁招洪, 张培昌, 顾松山, 1993. 一种数字化天气雷达回波原始资料的数据压缩方法[J]. 南京气象学院学报, 16(4): 432-438. Yuan Z H, Zhang P C, Gu S S, 1993. A compression method for the primitive data of the digital weather radar echoes[J]. J Nanjing Inst Meteor, 16(4): 432-438. (in Chinese).
- 张培昌, 1979. 711 测雨雷达探测及摄取回波资料的一些考虑[J]. 南京气象学院学报, 5(1): 30-33. Zhang P C, 1979. Considerations of radar detecting and receiving echo data with model 711 weather radar[J]. J Nanjing Inst Meteor, 5(1): 30-33. (in Chinese).
- 张培昌, 1982. 711 雷达测定回波数据订正的方法[J]. 南京气象学院学报, 5(1): 83-90. Zhang P C, 1982. Some methods for correction of echo data measured by model 711 radar[J]. J Nanjing Inst Meteor, 5(1): 83-90. (in Chinese).
- 张培昌, 2000. 多普勒天气雷达探测原理简述[J]. 山东气象, 20(3): 9-13. Zhang P C, 2000. Principle for Doppler weather radar detection [J]. Journal of Shandong Meteorology, 20(3): 9-13. (in Chinese).
- 张培昌, 王振会, 1995. 大气微波遥感基础[M]. 北京: 气象出版社. Zhang P C, Wang Z H, 1995. Fundamentals of atmospheric microwave remote sensing [M]. Beijing: China Meteorological Press. (in Chinese).
- 张培昌, 殷秀良, 2000. 小旋转椭球粒子群的微波散射特性[J]. 气象学报, 58(2): 250-256. Zhang P C, Yin X L, 2000. Characteristics of microwave scattering for groups of small rotating spheroid particles[J]. Acta Meteorol Sin, 58(2): 250-256. (in Chinese).
- 张培昌, 王振会, 2001. 天气雷达回波衰减订正算法的研究(I): 理论分析[J]. 高原气象, 20(1): 1-5. Zhang P C, Wang Z H, 2001. A study on algorithm to make attenuation correction to radar observations of radar reflectivity factor (I): theoretical analysis[J]. Plateau Meteorol, 20(1): 1-5. (in Chinese).
- 张培昌, 李晓正, 顾松山, 1989. 天气雷达组网拼图的四维同化方法[J]. 南京气象学院学报, 12(3): 22-28. Zhang P C, Li X Z, Gu S S, 1989. Four-dimensional assimilation of weather radar network mosaic[J]. J Nanjing Inst Meteor, 12(3): 22-28. (in Chinese).
- 张培昌, 戴铁丕, 傅德胜, 等, 1992. 用变分方法校准数字化天气雷达测定区域降水量基本原理和精度[J]. 大气科学, 16(2): 248-256. Zhang P C, Dai T P, Fu D S, et al., 1992. Principle and accuracy of adjusting the area precipitation from digital weather radar through variational method [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 16(2): 248-256. (in Chinese).
- 张培昌, 袁招洪, 顾松山, 1993. 数字化天气雷达资料的一种无失真压缩方法[J]. 南京气象学院学报, 16(2): 139-147. Zhang P C, Yuan Z H, Gu S S, 1993. A distortionless compression method for digital weather radar data[J]. J Nanjing Inst Meteor, 16(2): 139-147. (in Chinese).
- 张培昌, 杜秉玉, 戴铁丕, 2001. 雷达气象学[M]. 2 版. 北京: 气象出版社. Zhang P C, Du B Y, Dai T P, 2001. Radar Meteorology [M]. 2nd ed. Beijing: China Meteorological Press. (in Chinese).
- 张培昌, 王振会, 胡方超, 2012. 双/多基地天气雷达探测小椭球粒子群的雷达气象方程[J]. 气象学报, 70(4): 867-874. Zhang P C, Wang Z H, Hu F C, 2012. Radar meteorological equations for bistatic/multistatic weather radar systems detecting small spheroid raindrops[J]. Acta Meteorol

- Sin, 70(4):867-874. (in Chinese).
- 张培昌, 胡方超, 王振会, 2013. 双线偏振雷达探测小椭圆粒子群的雷达气象方程[J]. 热带气象学报, 29(3):505-510. Zhang P C, Hu F C, Wang Z H, 2013. A study on meteorological equations for dual-polarization radar detecting small ellipsoids[J]. J Trop Meteor, 29(3):505-510. (in Chinese).
- 张培昌, 魏鸣, 黄兴友, 等, 2018. 双线偏振多普勒天气雷达探测原理与应用[M]. 北京: 气象出版社. Zhang P C, Wei M, Huang X Y, et al., 2018. Principles for detection with dual-polarized Doppler weather radar and its applications[M]. Beijing: China Meteorological Press. (in Chinese).
- 张培昌, 朱君鉴, 魏鸣, 2019. 龙卷形成原理与天气雷达探测[M]. 北京: 气象出版社. Zhang P C, Zhu J J, Wei M, 2019. Tornado formation and weather radar detection[M]. Beijing: China Meteorological Press. (in Chinese).
- 周生辉, 魏鸣, 张培昌, 等, 2014. 简化 VVP 反演算法在台风风场反演中的应用[J]. 遥感学报, 18(5):1128-1137. Zhou S H, Wei M, Zhang P C, et al., 2014. Simplified volume velocity processing method in retrieving typhoon wind field[J]. Journal of Sensing, 18(5):1128-1137. (in Chinese).

Collection and classification of Professor Zhang Peichang's published articles in radar meteorology

WANG Zhenhui¹, WANG Xuejing^{1,2}

¹ Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD)/Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration/School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

² Weather Service of Baiyin, Baiyin 730900, China

Zhang Peichang, Professor of Information Science and Technology at Nanjing University, is a well-known expert in Radar Meteorology, and one of the few key participants and initiators in the development and construction of China's weather radar CINRAD network system. Prof. Zhang has published 106 articles according to the preliminary collection, all of which are associated with topics of interest in Radar Meteorology, such as weather radar networking and image mosaic, qualitative precipitation estimation, radar equation for meteorology and attenuation correction, retrievals from radar observations, atmospheric refraction and radar data quality control for ground clutters, and precipitable particles' features in microwave bands. This paper summarizes the task we have completed for processing and classification on the collected particles, and includes a review on the features of the collected particles in terms of chronology, content taxonomy, and co-authors. It is our hope that accomplishing this task will promote the early publication of Selected Collection of Zhang Peichang's Works in Radar Meteorology. We believe that this anthology will be conducive to understanding Prof. Zhang's contributions to developing Chinese weather radar systems and radar meteorology, as well as to learning from him so that we may make our own contributions to this field.

ZHANG Peichang; radar meteorology; collection for published articles; article classification

doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20190924001

(责任编辑: 刘菲)