

任志鹏. 2021. 纪念我的导师——万卫星院士. 地球与行星物理论评, 52(4): 356-360. doi: 10.19975/j.dqyxx.2021-007

Ren Z P. 2021. In memory of Professor Weixing Wan. Reviews of Geophysics and Planetary Physics, 52(4): 356-360. doi:10.19975/j.dqyxx.2021-007

纪念我的导师——万卫星院士

任志鹏^{1,2,3,4*}

1 中国科学院地质与地球物理研究所 地球与行星物理重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院地质与地球物理研究所 北京空间环境国家野外科学观测研究站, 北京 100029

3 中国科学院地球科学研究院, 北京 100029

4 中国科学院大学地球与行星科学学院, 北京 100049

摘要: 2020 年 5 月 20 日, 万卫星院士永远离开了我们. 先生是学术造诣深厚的空间科学与行星物理学家, 是个人魅力非凡的学术带头人, 是我国行星物理学的开拓者和奠基人. 本文简要回顾了先生一生的学术轨迹, 借此深切怀念先生!

关键词: 万卫星; 行星物理; 空间物理; 电离层

doi: 10.19975/j.dqyxx.2021-007

中图分类号: P351

文献标识码: A

In memory of Professor Weixing Wan

Ren Zhipeng^{1,2,3,4*}

1 Key Laboratory of Earth and Planetary Physics, Institute of Geology and Geophysics,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2 Beijing National Observatory of Space Environment, Institute of Geology and Geophysics,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

3 Innovation Academy for Earth Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

4 College of Earth and Planetary Sciences, University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: On May 20, 2020, Professor Weixing Wan, a world renowned space scientist and planetary physicist, passed away. Prof. Wan was a space and planetary scientist with profound academic attainments, a great academic leader with excellent charisma, and a pioneer and founder of planetary physics.

Key words: Weixing Wan; planetary physics; space physics; ionosphere

0 引 言

2020 年 5 月 20 日, 是一个让我永生铭记的日子. 这一天, 我的导师万卫星先生永远离开了我们, 我失去了一位慈祥而睿智的导师, 中国少了一位卓越的空间科学与行星物理学家.

1958 年 7 月, 先生生于湖北省天门市. 1978 年, 先生考入武汉大学空间物理系. 1982 年, 先生作为中国恢复高考后毕业的第一届大学生, 从武汉大学空间物理系电波传播专业本科毕业后进入中国科学院武汉物理研究所工作, 师从李钧院士, 正式开始

了他的科学人生. 1994 年李钧院士在出差途中因心脏病突发不幸逝世, 先生接过导师留下的重担, 开始担任研究室主任, 带领团队开拓进取, 继续推进电离层学科的发展, 并不断取得新的成绩. 1995 年, 先生获国家杰出青年基金资助. 2004 年, 中国科学院学科调整, 先生带领武汉电离层科学团队, 整体调整到中国科学院地质与地球物理研究所, 组建新的地磁与空间物理研究室. 2011 年, 先生当选为中国科学院院士. 2013 年, 先生带领研究室组建中国科学院电离层空间环境重点实验室. 2014 年, 实验室与中国科学院地球深部研究重点实验室合并成立

收稿日期: 2021-02-24; 录用日期: 2021-03-24

*通讯作者: 任志鹏 (1982-), 男, 研究员, 主要从事地球与行星的电离层与中高层大气物理的研究. E-mail: zpren@mail.iggcas.ac.cn

新的中国科学院地球与行星物理重点实验室, 先生一直都是这些实验室的主任和学科带头人. 2015 年, 先生团队的研究成果“电离层变化性的驱动过程”获国家自然科学二等奖. 2016 年, 先生被推选为中国首次火星探测计划首席科学家和中国地球物理学会常务副理事长. 2017 年, 先生被推选为中国空间科学学会副理事长. 先生是第十三届全国人大常委会委员、九三学社第十四届中央委员会委员. 诸多荣誉背后是先生丰富多彩的科研历程.

1 继往开来, 空间科学默默的耕耘者

先生是一位学术造诣深厚的空间物理学家, 长期从事电离层物理、电离层电波传播、高层大气物理等领域的理论、观测和应用研究, 取得了丰硕成果. 电离层是从距地面约 60 km 一直延伸到约 1 000 km 的部分电离的高层大气区域, 存在大量的自由电子和离子, 能显著改变无线电波的传播特性. 先生的空间物理研究主要围绕电离层以及作为其中性背景的中高层大气展开. 由于物理机制和时空变化的复杂性, 研究电离层需要开展实验观测、理论分析和数值模拟等综合性工作.

电离层物理是一门以观测为基础的科学, 一方面观测数据是电离层研究的基础; 另一方面电离层物理研究也推动着观测技术的发展. 先生传承了我国电离层研究的优良传统, 一直是我国电离层“自主研究”的倡导者和践行者, 十分注重电离层观测技术和实验设施的发展与建设等基础性工作. 我国的电离层观测研究始于上世纪 30 年代, 老一辈科学家陈茂康、任之恭、桂质廷和梁百先等做出了一系列杰出的工作. 1956 年, 中国科学院地球物理研究所与武汉大学合作在武昌珞珈山建立了武汉电离层观象台. 上世纪 70 年代末, 该观象台调整成为中国科学院武汉物理研究所的研究室, 李钧院士成为研究室的主任和学术带头人. 1994 年, 在研究室主任李钧院士不幸突然逝世等困难局面下, 先生临危受命, 出任研究室主任, 并历经十年奋斗将该研究室发展成为当时国内实力最强的电离层研究团队, 也同步将武汉电离层观测站发展为一个综合性的空间环境观测台站.

在此期间, 先生带领研究室团队建立和发展了多个电离层—中高层大气观测系统和新的电离层诊断分析技术, 如: 1993 年建立了 GPS 电离层 TEC 测量分析系统; 1994 年开发了数字测高仪运动剖

面和扰动探测模式; 1996 年建立了短基线 GPS 电离层 TEC 扰动观测网; 2002 年建成了全天空无线电流星雷达; 2004 年建立了国内第一个电离层 TEC 现报演示系统. 先生在电离层无线电诊断原理与方法研究方面也取得了丰硕的科学成果. 如, 先生提出了电离层扰动剖面的高频广义射线反演原理及电离层小尺度不均匀体统计特性剖面的反演原理, 并给出多种高精度数值算法; 成功地解决了新型数字测高仪的多普勒和到达角频高图的分析方法, 是这一领域中的开拓性工作; 先生首次提出了适用于非平稳非单一电离层扰动场传播参量的时频分析方法, 这一工作首先创造性地导出了电离层扰动的台阵探测、单台站多参量探测以及观测点处于运动状态的短基线 GPS 电离层扰动探测时的观测方程, 在此基础上, 引入最大熵谱分析方法和小波分析方法, 用于分析非平稳非单一电离层扰动场, 提高了探测数据的可用性和精度.

2004 年, 根据中国科学院学科整合要求, 先生率领电离层研究团队整体调入中国科学院地质与地球物理研究所, 并出任地磁与空间物理研究室主任. 经过数年时间, 该室即成为国际上最重要的空间物理学研究团队之一. 在院所支持下, 先生的团队整合地质与地球物理所原有的地磁台链(由漠河、北京以及三亚 3 个台站组成)和武汉的电离层观测站, 建立了一条覆盖我国南北的空间环境综合观测台链. 该台链在观测站布局上, 利用在漠河、北京、武汉和三亚的原有台站, 通过改造、更新和添置观测设备, 形成在我国大陆南北跨度最大、以地球经圈为主线、布局合理的、能对我国空间环境进行综合观测的一条子午台链. 先生团队还在南极中山站和北极黄河站建立相关的电离层和地磁观测设备, 从而向南北进一步延伸了该台链. 先生团队综合分析台站位置的地球物理特性, 以科学问题为牵引, 合理选配观测设备, 形成地磁与磁层波动观测、中高层大气观测、电离层结构观测和电离层 TEC 观测四种可长期连续观测手段为主体的观测链. 此外, 团队针对我国空间环境地域特性, 在我国南部建立电离层 VHF 相干散射雷达和 GNSS 电离层闪烁探测手段, 加强对我国低纬地区电离层不均匀体的观测研究, 还进一步开展了观测仪器的研制工作, 于 2009 年建成了电离层相干散射/流星双模 VHF 雷达, 2011 年研制成功了 PDI 敏捷数字电离层测高仪. 该台链在运行管理上, 利用现代化的网络通信和计算机技术, 开发监控和数据分析处理软件,

实现对各观测仪器的远程监控、数据传输和故障处理,并在研究所数据中心实现数据实时处理发布,大大提高了仪器的运行效率.最终,该台链拥有了众多先进设备,探测区域覆盖地球磁场、中高层大气和电离层,为我国空间物理基础研究和空间天气应用服务积累了丰富的观测数据,建成了具有国际先进水平的观测研究基地,有力地支撑了我国空间物理学学科的发展.

先生还于 2013 年率先提出了在电离层低纬地区的我国三亚研制和建设当前国际上最为先进的大型高功率相控阵非相干散射雷达的建议,并在 2014 年获得基金委国家重大科学仪器研制项目(部门推荐)支持.该雷达主要用于研究低纬大气层—电离层—磁层耦合、东亚电离层地区特性和我国南部电离层不均匀体与闪烁等重大科学问题.先生带领项目组,对系统方案设计中每一个关键环节进行了反复的分析和评估,从最基本的非相干散射理论到雷达后端信号处理,再到参量反演算法,开展了大量的研究工作.目前,三亚非相干散射雷达已经初步建成,即将于 2021 年进行验收.

数值模拟是电离层研究的重要手段,而数值模式是数值模拟的基础.先生在中国电离层模式化领域做出了开创性贡献.电离层模式是对电离层物理的基础研究成果和电离层环境的实验观测成果的总结,是进行电离层物理研究的“核心装备”,也是连接电离层理论与观测和电离层数值天气预报之间的桥梁.先生在上世纪 90 年代就认识到电离层模式化的重大意义以及当时国内外现状.经过近 20 年的努力,先生带领团队先后开发了系列的电离层理论模式,极大地促进了国内电离层物理研究事业.先生领导开发的电离层/热层耦合模式,标志着国内电离层模式化研究达到了国际先进水平.先生带领团队进一步把数据同化技术与电离层模式化研究相结合,进一步开拓了国内电离层现报/预报研究,并创新性地提出研发“数字电离层”技术,从而开展自主的电离层数值预报.

在自主观测数据和自主开发的理论模式的有力支撑下,先生在电离层物理、电离层电波传播、高层大气物理等领域取得了大量的科研成果.如,在电离层—中低层大气耦合领域,先生带领团队依靠自主观测数据和自主开发的理论模式主要做了如下两方面的工作:

对我国电离层结构与扰动进行长期观测,从中发现我国电离层扰动的地域特性,并揭示出大尺度

地形地貌是这些特性的重要成因.主要有:利用自主观测资料,发现我国电离层扰动主要有东北、东南两种优势传播方向;改进射线跟踪技术,分析得出这两种扰动的激发源分别位于青藏高原的东南、东北缘的地形突变处;发现扰动源出现率的地理分布及季节变化与青藏高原邻近地区低涡天气事件一致.这一系统性的工作以第一手观测资料揭示出我国电离层扰动的地域特性,为研究与预报提供了一项重要观测基础;并且将电离层扰动与相关气象活动及大尺度地形地貌联系起来,为电离层与其它地球学科的交叉提供了一条创新思路.

对“低纬电离层周期性四波经度结构”这一前沿的科学问题进行了系列研究,并主要基于自主理论模式的数值模拟率先在物理成因方面取得了突破,观测模拟并举,深入揭示了其与大气动力过程的紧密联系.利用卫星及全球地基观测资料,发现了电离层 GPS-TEC、电子温度等参量的经度“四波”结构;首次揭示并解释了“四波”的日变化特征:波形向东漂移,速度白天稍慢夜晚较快;系统总结了“四波”的气候学特性:其强度春季弱、夏秋季强、冬季消失,随太阳活动增强略有减弱,在大气层准两年震荡的东风相位期间略有增强.以数据分析和数值模拟首次定量得出了“四波”与大气潮汐 DE3 模的相关性,从而给出了关于电离层“四波”结构与大气层潮汐关系最有力的直接证据,同时也是“电离层与大气层耦合”的重要证据.

先生还积极将电离层及电波传播的研究成果用于实际应用领域.在某国家专项工程中的“多频信标传播地面试验”项目中,先生组织主攻 GPS 动态定位原理和算法研究,取得了短基线载波相位动态定位较高精度.先生负责承担了“北斗一号”工程中的电波修正子系统的工程研制任务,他创造性地提出了一种大面积电离层电波传播修正方案,该方案充分利用系统本身的资源,巧妙运用数学模型,高精度、高可靠性地解决了“北斗一号”工程系统的电波修正问题.在国家 863 项目支持下,先生团队采用统计本征模技术,利用自主观测台链的实时观测数据,建成了我国首个电离层 TEC 现报系统,并在互联网上(<http://space.iggcas.ac.cn>)实时发布了覆盖我国全境的 TEC 数据.该系统至今已稳定运行 10 余年,其实时性、分辨率、精度等均达到当时国际同类系统的先进水平,相关技术已被移植应用到国家空间天气监测预警中心的“华北电离层 TEC 现报系统”之中,其结果为国家空间天气监测

预警中心等单位的空间天气预报业务所直接采用，受到用户的一致好评。

2 披荆斩棘，行星科学辛劳的拓荒人

二十世纪六十年代，人类开始迈出深空探索的脚步，太阳系内的其它行星、天然卫星、彗星等天体成为了一系列人造卫星的探测目标，并获得了大量的观测数据，催生了行星科学这一新兴交叉学科。在此过程中，行星物理学迅速发展起来，并成长为行星科学的一个重要分支。相对于欧美，我国的深空探测起步较晚，在长期缺乏国家需求牵引和第一手深空探测数据的情况下，我国的行星科学研究一直没有形成规模。本世纪初启动的嫦娥工程为我国的行星科学发展提供了重要契机，行星物理研究也在此时开始孕育。2006年，我国的行星探测计划开始进入立项研究阶段，先生在积极参与到论证工作的同时，研究兴趣也逐渐从地球空间环境拓展到其它行星的空间环境。着手利用欧洲航天局（简称欧空局，ESA）Mars Express等卫星的电离层观测数据对火星电离层的变化性进行了深入研究，还开始指导研究生进行火星电离层数据反演、理论建模和科学研究方面的工作。先生深知，行星物理研究是一个系统工程，需要多层次多方向人才组成体系化的科研队伍对研究进行支撑，因此先生前瞻布局、披荆斩棘、带领自己的团队探索出了一条有中国特色的行星物理学学科建设之路。

2012年，先生领导地磁与空间物理研究室以中科院地学领域第一名的优异成绩通过中国科学院新建重点实验室验收评审，建立“中国科学院电离层空间环境重点实验室”，先生为主任，下辖电离层与高层大气物理研究组、电离层空间天气研究组、磁层电离层耦合研究组、行星空间环境研究组、台站与地基探测研究组以及空间探测传感器研发组，实验室固定人员38人，其中研究员9名、副研究员10名、助理研究员5人、技术支撑人员12名和管理人员2名。实验室正式成立之初，先生就开始在学科拓展方面积极布局，重点培育行星物理学，提出从空间探测、行星研究中认识地球，将团队主要研究方向从地球空间环境向行星空间环境拓展。先生提出，实验室的未来发展方向为从系统地球科学角度研究电离层—地球耦合，从比较行星学角度探索地球/行星空间变化性。实际上，此为国内行星物理学科的开端。实验室定位为：以地球电离层及

行星空间环境为主要研究对象，发展空间探测实验手段，从系统地球科学的角度研究电离层与固体地球及其它空间层次间的耦合过程，从比较行星学的角度探索地球与行星空间环境的变化特性，将实验室建设成具有重要国际影响的空间物理和行星科学研究基地。先生以开展行星空间物理研究作为行星物理方向拓展的切入点，并先后招收了多位具有空间物理背景的博士后，进行行星空间物理开拓研究，他们中多数已经成为实验室行星物理研究的骨干。

2014年4月，为了深化和拓展地球系统科学及行星物理学的创新研究，顺应地球科学的发展趋势，满足国家战略需求，中国科学院地质与地球物理研究所通过整合原“中国科学院地球深部重点实验室”和原“中国科学院电离层空间环境重点实验室”，组建了“中国科学院地球与行星物理重点实验室”，先生担任首届主任，并在当年中国科学院实验室评估中获地学领域第一名。实验室的定位是“围绕地球的起源与演化等重大科学问题，面向资源环境、防灾减灾和深空探测等重大国家需求，以地幔、地核及其衍生的电离层、磁层为主要对象，聚焦于地球内部过程，比较研究太阳系其它行星的内部与空间环境，认识理解行星地球中物质和能量的输运及转换”。实验室确立了4个主要研究方向，即地球与行星内部物质组成、地球与行星内部结构和动力学、地球与行星空间环境，以及内部过程与空间环境的关联。新建成的实验室拥有一支优秀的人才队伍，有固定人员85人，其中高级职称53人，包括了2位中国科学院院士、9位国家杰出青年基金获得者、3位青年千人入选者、7位中国科学院百人计划入选者、3位百千万人才工程国家级人选，以及1个基金委创新研究群体。先生领导的行星物理学研究团队进入了一个蓬勃发展的新阶段，成为我国第一支具有国际影响力的行星物理研究团队。

经过先生的多年努力，中国科学院地球与行星物理重点实验室在行星物理领域的研究团队已经成型，分别在行星水的演化、行星电离层粒子逃逸、行星磁场等研究方向上取得了重要成果。先生被聘为中国首次火星探测首席科学家，开始了探索国家战略指引下的有中国特色的行星科学研究与深空探测工程的融合之路，相关课题组研制了其中的关键载荷——磁强计，用于火星表面的磁场测量；主持创建了新的《Earth and Planetary Physics》学术期刊并担任主编，是中国第一份行星物理英文学术期刊；创建了中国地球物理学会行星物理专业委员会

并担任主任，是中国第一个行星物理学术组织；积极推进行星科学一级学科的建设论证，吸引和凝聚了一批国内外相关学科的研究力量，打造了我国地球和行星科学研究中心。先生还担任中国科学院大学地球与行星科学学院空间物理学教研室主任，主持设立了《行星物理学》课程，拉开了中国行星物理学人才培养的序幕。在先生的号召下，全国多家相关单位的行星物理研究都呈现出迅猛发展之势，我国行星物理学学科雏形已经显现。

3 结 语

万卫星先生是学术造诣深厚的空间科学与行星物理学家，在电离层物理、电离层电波传播、高层大气物理、行星物理等领域都取得了卓越成就；是个人魅力非凡的学术带头人，领导了中国科学院地

球与行星物理重点实验室、漠河—北京—武汉—三亚空间环境综合观测台链、三亚大型相控阵非相干散射雷达等科研平台的建设；是我国行星物理学的开拓者和奠基人，从行星科学发展趋势与国家战略需求出发，提出了有中国特色的行星科学研究与深空探测工程深度融合的创新之路，并担任中国首次火星探测计划首席科学家，对中国空间科学和行星科学的发展做出了开拓性的重大贡献；是一位杰出的教育家，治学严谨、诲人不倦，培养了大批优秀人才和学术骨干，为我国的科研教育事业做出了重大贡献。他一生严于律己、宽厚待人、严谨务实、淡泊名利，始终以科技强国为使命，谱写了精彩的人生，为我们树立了光辉的典范。他的逝世是中国科学界的重大损失。我们深切怀念先生，将学习先生以科技强国为使命的精神，继续沿着先生开拓的方向前进！