



中国测绘地理信息院士文库

魏子卿院士文集



(上卷)



测绘出版社



中国测绘地理信息院士文库

魏子卿院士文集



(上卷)



测绘出版社

出版说明

中国工程院魏子卿院士长期从事科学研究工作,参与了多项国家级的重大攻关课题,是我国卫星大地测量学科的开拓者和学术带头人。在不同时期的学术生涯中,魏子卿院士撰写了多篇论文,不仅记录了他不同时期的科研重点,同时也反映了我国卫星大地测量事业的发展进程,展现了其中大大小小的历史节点,如璀璨之星闪耀于我国测绘科技发展的天空。适逢魏子卿院士八十寿辰,特将其近半个世纪以来的学术论文结集以为纪念。

本论文集共收录魏子卿院士从1972年至今撰写的论文115篇,其中39篇曾结集《空间测量进展》,由解放军出版社于1996年出版,但并未广泛发行;63篇曾发表于国内外期刊或论文集上;另有13篇或未曾正式发表或为新撰写的文章。此次特将这些论文按研究内容分为9个板块重新整理、归类介绍。

为方便读者阅读,对一些早期撰写和无法找到电子文档的论文,予以重新录入;涉及地图的图片均在国家测绘地理信息局发布的标准底图上重新绘制。值得一提的是,有两篇论文的原文档图片模糊无法达到印刷要求,经与魏子卿院士沟通,他认为此两篇较为重要,为达到要求,亲自重新编程,通过演算再次生成文中相应图片二十余幅。魏子卿院士严谨治学的态度,至今仍坚持编写程序、笔耕不辍的干劲,皆令人心生敬意并不敢怠惰。

考虑到论文著述的时代背景不同,不同时期采用的名词术语不尽相同,为保持历史原貌,并未强加统一;参考资料因时间久远,无法核查详尽信息,因而无从进行规范著录,但考虑其参考价值,尽量予以保留;外文人名、地名等,有的与现行译法不同,由于时间仓促,亦未加修改。为此,本书基本保持了作品原貌,仅在体例格式上稍作统一。

在论文整理、编纂的过程中,我们深感汲深绁短,错漏之处,敬请读者批评指正。

板块运动模型。在该项目中,他还带领 GPS 测轨网的子课题研究,组织 GPS 卫星测轨试验,将我国的 GPS 测轨研究推进了一步。另外,魏子卿院士支持并参与我所发起的国际合作项目——亚太地球动力学计划(APSG),该计划迄今已历时 20 余年,对我国乃至亚太地区的地球动力学研究起到了推动作用。

进入空间时代以来,大地测量与卫星导航深度融合。魏子卿院士早在 20 世纪 90 年代中期就开展了我国卫星导航系统的论证研究。他积极支持我国发展全球导航定位系统,主张采取由区域而全球分两步走的策略,他还对系统的星座设计进行了专门研究,为我国卫星导航系统的深化论证做出了贡献。随后他又主持开展了旨在改善卫星导航性能的中国广域增强系统的研究。21 世纪初,在脉冲星导航技术兴起之际,他又率领团队开始了 X 射线脉冲星导航的预先研究。X 射线脉冲星导航具有自主、安全、不易受攻击的优点,可为深空或行星际飞行提供空间导航。他们的研究范围涉及该项技术的总体设计和关键技术研究。

魏子卿院士始终站立于学科前沿,工作在科研第一线。他踏实搞科研,扎实做学问。凡提出一种新想法,或承担一项重要课题,他总是亲自参与试验或编程计算。他深有体会地说,“只有亲身实践才有心得体会,才有发言权”。正是依靠这种科学态度和实践精神,他取得了不少重要研究成果。本文集汇集了他科研生涯中发表的部分论文,内容涉及大地测量的诸多方面,具有相当的学术品味与参考价值,读者从中一定会有所收益。我乐见魏子卿院士文集的出版,谨此作序。

叶叔华

2016 年 12 月

* 叶叔华,中国科学院院士,中国科学院上海天文台研究员。

魏子卿传略



魏子卿(1937~),河南睢县人。大地测量专家。1960年毕业于解放军测绘学院天文大地测量系。1995年当选为中国工程院院士。20世纪60年代参加测绘专用电子计算机研制。70年代初从事海上大气折射研究,提出外弹道测量大气折射修正公式。1975年在中国率先开展卫星多普勒定位研究,随后从事卫星多普勒网研究,主持全国卫星多普勒网平差,提出短弧平差和半短弧平差方案。80年代后期至90年代中期,从事全国GPS大地网研究,提出布网方案,主持一级网平差。90年代初至21世纪初,从事全国天文大地网与空间网联合平差研究,参与总体设计,提出地心坐标系平差思想和方案;从事现今中国大陆地壳运动与地球动力学的研究,给出现今

中国大陆板内运动图像,提出全球板块绝对运动模型APM2。90年代中期至今,从事大地坐标系研究,提出2000国家大地坐标系(CGCS2000)的定义和参考椭球的定义常数与正常重力公式,主持中国大陆的速度场计算,完整实现CGCS 2000。90年代中后期,从事广域差分GPS研究,主持完成中国卫星导航增强系统一期工程;从事中国卫星导航发展战略研究,提出中国卫星导航系统的建设目标和发展策略。2006年以来,从事第二大地边值问题研究,提出大地水准面高和垂线偏差公式,以及重力扰动和重力异常向下延拓公式。1978年获全国科学大会奖,1990年、1996年、2006年、2013年分别获国家科技进步奖二等奖。

一、求学生涯

1937年4月15日,魏子卿出生于河南睢县一个农民家庭。父亲魏效文,早年当过私塾先生,到他记事时,父亲已务农。母亲周绍兰,为家庭妇女。父母望子成龙心切,在魏子卿三四岁时,父亲就教他认字,到6岁时,便送他进私塾,读《百家姓》、《三字经》。大约半年之后,本村成立初小,便入了小学堂。教室是一间破庙,几个班级一位先生,加上连课本也没有,没有学到多少知识,几年时光不知不觉就过去了。10岁那年(1947),魏子卿到县城上学,考入私立礼义中学。入学不久,因时局动荡,又回乡重读初小。1948年家乡解放,1949年春,再入礼义中学读书。半年之后,随学校合并进入睢县中学。睢县中学是一所省立中学,远近闻名,他在那里完成了中学学业。初中阶段,学习不自觉,课余贪玩篮球,功课复习全靠晚自习。升了高一,学习自觉性有了提高,时间抓紧了一些。高二时,知道用功读书了,特别对代数、物理、化学产生了较大兴趣。到高三时,成绩在班里排前几名,数理课成绩更突出一些。

20世纪50年代初,热血少年魏子卿,积极响应国家号召,踊跃报名参军,因年龄小未获批

准。本村一位姓孔的志愿军战士捐躯朝鲜战场的事迹,强烈震撼着他的心灵,他暗下决心誓作一个“最可爱的人”,准备为国家献出鲜血和生命。

1954年夏,高中毕业前夕,解放军测绘学院来校招生。魏子卿经再三申请,几年来参军的梦想终于实现了。他当时想,虽不能如愿血洒沙场,但在军事测绘战线上还可以为国效力。所以,一入大学,他就下定决心好好学习。第一步是学习外语。入伍教育尚未结束,他就开始自修俄语,读速成课本,看语法书,一年下来,颇有长进。到二年级开俄语课时,他的阅读能力已经相当不错了。中学时他学的是英语,撂下两年,忘掉不少,经过复习,又拣了起来。外语成为他日后获取科学知识的重要工具。第二步是学好数学课。数学很重要,他也喜欢,学得不错,课堂做微积分练习,经常是第一个做完。第三步是学好专业课。魏子卿深知,专业知识是为人民服务 and 为国家效力的本钱,对专业课的学习花去了他的大部分学习时间。

魏子卿喜欢看参考书,为了弄清一个知识点,往往对照看几本书,也喜欢推导公式,通过自己动手推演,对知识领会更深,掌握更牢。他喜欢自学,自学开阔了知识视野,学到许多课堂上学不到的东西,而对考试成绩并不太在意,在意的是学到更多知识。

1956年,国家发出向科学进军的号召,魏子卿欢欣鼓舞,热烈拥护,以为向科学进军的号角已经吹响,青年学子可以大展宏图了。在这一号角的感召下,学习积极性更高了。不料,没过多久,“反右”斗争开始,由于在交心会上说农民苦等“错误”言论,魏子卿受到批判。连平日抓紧学习,也被批为走“白专”道路。经过几次检讨,总算过了关。这次批判对他来说是个不小的打击,不过他没有沉沦、没有怨恨、没有气馁、没有放弃。

1959年年初,他们系被派往福建执行为期一年的战备生产任务。魏子卿在特大山区作业,条件十分艰苦,他带领全组人员,克服重重困难,较好地完成了任务。在紧张的作业之余,还完成了毕业设计。1960年春,他们从福建回到北京,适逢在他的生日那天举行了毕业典礼,近6年的大学生活结束了。大学时代,可以这样总结:尽管有这样或那样的情况,魏子卿终归是接受了正规的高等教育,学到了有用的知识,为日后的职业生涯打下了较好的基础。

1960年4月,魏子卿一行同学毕业分配到江西鹰潭正在组建中的第六大地测量队。两个月后,他和另一同学又被派往北京接受无线电培训。在为期大半年的训练班上,学习了电工基础、无线电原理等课程。无线电培训,可以说是大学的补课,也可以算是一段求学经历。

二、踏上科研路

1960年年底,无线电训练班结业,魏子卿被调到测绘研究所,开始了他的科研生涯。他平素热爱科学,从事科研,是他的向往;进科研单位,是他的夙愿。魏子卿明白,科学是神圣的,献身科学是人生的幸福;科学研究又是艰苦的,必须准备像马克思所说“沿着崎岖陡峭的山路攀登”。

1960年测绘研究所决定开展测绘专用电子计算机的研制。进研究所后不久,魏子卿他们几个刚毕业的年轻人被指派参与研制任务,另外还有几位安徽计算所的借调人员。研制电子计算机谈何容易!在当时那种条件下,对他们真是一种难以想象的挑战。俗话说,初生牛犊不怕虎,他们一拨年轻人居然迎着困难,认认真真地干了起来,研制逻辑设计的是一摊,研制线路设计的又是一摊。魏子卿参加线路设计,主要从事线路实验。显然,单凭从训练班学来的知识是不够的,于是他边干边学,边学边干。经过一年多的努力,研制工作颇有进展,同时魏子卿也自学了几门课程。可惜的是,这时计算机研制突然被撤销。不久,研究所从某工厂购置一台103型通用计算机,他们几个人又被指派负责这台计算机的验收、安装、调试。1963

年春计算机运抵西安,魏子卿带领全组人员,从机房准备到计算机安装、调试,一直忙至1965年交付对外服务。1967年,“文化大革命”导致科研瘫痪,计算机被迫终止运行,他也随之离开了机房。7年计算机的科研经历,使他增长了学识,锻炼了才干。

魏子卿接受的第二项任务是1970年国防科工委交付的海上大气折射研究,其内容是研究大气折射对于外弹道测量的影响。在深入调研的基础上,他很快提出了垂直角、水平角和距离测量的大气折射修正公式。针对任务要求,后来他们又进一步深化垂直折射修正研究。他从空气折射率随高度按指数律衰减的假设出发,创新性地推导出一个垂直角折射修正公式。为了检验修正公式的精度,他们提出两套海上试验方案:一套方案是用经纬仪观测垂直角与其真值比较,另一套是用温度、气压、湿度数据按模型计算折射量。为此他们开展试验在舰船上释放探空气球,出动飞机测定温度、气压梯度。4个月的南海试验表明,他提出的折射修正公式达到了任务要求,证明提出的折射修正方案是可行的。这项研究工作对中国远程武器试验成功做出了贡献,受到国防科工委的表彰。研究成果获1978年全国科学大会奖。

三、卫星多普勒定位研究

1957年10月,第一颗人造卫星上天,开启了空间时代的新纪元,也开辟了卫星大地测量的新篇章。20世纪60年代是卫星大地测量发展的黄金时期,可惜的是,“文化大革命”使中国失去了宝贵的发展机遇。科研工作者决心通过加倍努力把“文化大革命”中失去的时间补回来,赶上卫星大地测量的国际先进水平。

20世纪70年代的卫星大地测量属于多普勒定位时代。当时天上运行着一个Transit(子午仪)卫星系统,卫星向地球发射400 MHz和150 MHz的射频信号,地面接收机观测卫星信号的多普勒频移,并接收卫星发射的轨道数据,从而得以解算出天线的位置坐标。卫星多普勒定位,能够确定地面点相对于地球质量中心的坐标,能够建立水平和垂直的三维大地控制,而并不要求测站之间的通视。这些都是常规测量技术不可能做到的。卫星多普勒定位技术,吸引着魏子卿去研究它、掌握它。

应当提到的是,当时还有一个重要的背景:中国空间技术和远程武器的发展,要求测绘部门提供地心坐标的保障,而卫星多普勒定位则是测定地心坐标的有效手段。这样卫星多普勒定位研究就成为一种强烈的国家需求。

国家需求和专业志趣,引领着魏子卿积极投入到卫星多普勒定位的研究中。第一步开展卫星多普勒定位的理论研究,第二步开展卫星多普勒定位试验。1975年秋,魏子卿和一位同事在广州黄埔港利用石油部门的设备在国内首次开展了大地定位试验,1976年春又奔赴塘沽港,进行了第二次定位试验。那一年,在电子工业部第20研究所等单位的配合下,他们在西安、乌鲁木齐、北京、哈尔滨和湛江等地展开了多普勒定位测量,获取一批宝贵数据。为了分析这批数据,魏子卿紧接着就投入多普勒定位程序研制工作。1977年,他用自己编制的多普勒定位程序,处理了这批多普勒数据,得到这些实测点的地心坐标。利用这些点的地心坐标与其国家坐标系坐标,计算得到国家坐标系与地心坐标系之间的转换参数。他的结果后来同其他来源的成果一起,综合成为坐标转换参数“DX-1(地心一号)”,提供给航天部等部门使用,产生了很好的效益。

20世纪70年代后期,测绘主管部门提出布设全国卫星多普勒网。布设全国卫星多普勒网的目的是,控制天文大地网、推求地心坐标系与国家坐标系之间的转换参数。全国卫星多普勒网由37个均匀分布于全国陆海区域的多普勒点组成。1980年4月至10月,经过多

单位的通力合作,用十余台接收机完成了多普勒网的野外观测。之后,魏子卿主持完成了全国卫星多普勒网的数据处理和整体平差工作。他首先提出点定位方案、短弧平差和半短弧平差方案,然后又编制数据解码程序,分析平差结果。数据处理与网平差工作于1982年完成。结果表明,点定位坐标精度好于1 m,短弧平差得到的相对精度好于 10^{-6} 。卫星多普勒网的坐标成为构建坐标转换参数“DX-2(地心二号)”的重要数据。全国卫星多普勒网的建成也标志着中国第一代地心坐标系已经实现。这项成果获1990年国家科技进步奖二等奖。

四、GPS 定位研究

20世纪科技发展之快可谓一日千里,卫星定位技术也不例外。20世纪80年代初,当Transit卫星还在轨道运行的时候,新一代导航卫星——GPS(全球定位系统)又上天了。与多普勒定位相比,GPS定位的先进性及其对大地测量冲击之大是难以想象的。有了卫星多普勒定位的经历,魏子卿很快意识到一个卫星大地测量工作者下一步该做什么。

1984年年初,魏子卿作为访问学者,赴美国俄亥俄州立大学大地测量科学与测量工程系,进修卫星大地测量,师从知名卫星大地测量学家I. I. 缪勒(I. I. Mueller)。魏子卿铭记祖国和人民的嘱托,抓紧一切时间潜心进行GPS研究。在不长的时间内,就掌握了GPS定位的理论方法,并成功地研制出多个定位与平差软件,参加多次国际学术会议,发表多篇学术论文,在领域前沿争得了地位。身在异国他乡,魏子卿怀念远方的亲人,更关注祖国的测绘事业。美国当时已经开始GPS大地网试验,GPS定轨试验也在开展。魏子卿不由得联想到,有一天中国能够建立起GPS大地网,建立起GPS测轨网,那该多好!如果他能够为中国测绘事业应用GPS做一点贡献,又该多好!

1986年7月,魏子卿回国。当时GPS热在中国已经兴起,他们单位一个GPS项目正在立项,不久又引进了GPS接收机,开展GPS试验的条件已基本具备。魏子卿和同事们立即着手GPS定位试验,先是在从本单位至附近约100 km内的中短距离,后是在西安、郑州和上海之间的长距离上做定位试验。结果表明GPS相对定位的精度达到了 10^{-7} ,已好于天文大地网的精度。20世纪80年代末,GPS星座日益完善,布设高精度GPS网的条件已经成熟。此时,主管部门正式布置布设全国GPS大地网的任务,魏子卿被责成制定GPS大地网布设方案。在仔细研究几种可能的布设方案并进行详细模拟计算的基础上,他于1988年11月提出布设全国GPS大地网的论证报告,内容包括布设原则、布设方案和技术要求等。提出的布网目的是,建立高精度三维大地控制,加强国家天文大地网;同精密水准结合精化大地水准面,控制现有天文重力水准网,联测西沙和南海岛屿(礁),建立地区地心坐标系,推求世界大地坐标系与国家坐标系之间的转换参数。他提出整个GPS大地网分为一级网和二级网,一级网的边长一般在1 000 km以上,其水平分量的精度好于 10^{-7} ;二级网的边长为100~200 km,其水平分量的精度好于 10^{-6} 。1991年5月至1992年4月,外业单位完成了全国GPS一级网的观测,实际布设边长平均约700 km。后来,他又主持研制GPS网平差软件,并进行了GPS一级网的平差。结果表明,地心坐标的精度好于0.3 m,相对精度好于 10^{-7} ,达到了规定的精度指标。全国GPS一级网的成果获1996年国家科技进步奖二等奖。

GPS一级网的布设为二级网的布设提供了经验。全国GPS二级网,包括500余点,于1992~1997年布设。由于GPS星座与观测条件均得到改善,GPS二级网的精度接近 10^{-8} 。

GPS大地网控制天文大地网是布设GPS大地网的重要目的。在1990~2002年开展的全国天文大地网与空间网的联合平差研究中,魏子卿为总体组成员,参与总体设计,提出了在地

心坐标系平差思想和方案。联合平差提高了全国天文大地网的精度,而且还把约 50 000 个天文大地点纳入地心坐标系。

GPS 定轨与 GPS 定位联系密切,也是 GPS 研究的重要内容。1987 年,他又开展了 GPS 卫星的动力学模型、轨道数值积分研究,并编制了相应的软件。20 世纪 90 年代,主持多次定轨试验,将中国区域定轨研究向前推进一大步。

五、大地坐标系研究

大地坐标系是描述地面和近地空间物体运动的参考系。大地坐标系是大地测量乃至整个测绘的基础,对于经济建设、国防建设以及社会日常生活都具有重要意义。

新中国成立初期,为了经济建设的急需,中国从苏联引进 1942 年普尔科沃坐标系,被命名为 1954 北京坐标系。20 世纪 70 年代,中国用自己的天文大地测量数据,建立了 1980 西安坐标系。这两个坐标系都属于以地面测量为基础的局部坐标系,坐标系原点偏离地球质量中心达 100 m。

测制地形图曾经是测绘工作的主要任务,在局部坐标系进行。当今测绘工作远不只是测图任务,局部坐标系已不适应测绘工作的要求。航天器和远程武器,围绕地球质量中心运行,航天器测控和远程武器制导均要求在地心坐标系进行。特别是自 20 世纪 60 年代以来日益普及的卫星导航,也必须在世界通用的地心坐标系进行。因而建立地心坐标系已成为国家需求和时代要求。

自 20 世纪 70 年代以来,魏子卿的研究工作大都与大地坐标系有关,他对于中国大地坐标系的现状、国际上大地坐标系的发展趋势,以及经济社会对大地坐标系的需求,有比较深刻的了解和认识,一直主张和提倡中国大地坐标系向地心大地坐标系过渡。在 90 年代,当建立地心坐标系提上议事日程时,他又及时提出中国地心坐标系应对准国际地球参考系的建议。魏子卿参加过全国卫星多普勒网和全国 GPS 一、二级网的布设,也参加过中国地壳运动观测网络的建设,这些空间网日后都成为实现中国大地坐标系的基础。

一个国家大地坐标系包括定义、实现和维持三个方面。在这些方面,魏子卿的主要贡献是:关于中国大地坐标系的原点、尺度、定向和定向演变,提出采用国际地球自转服务局(IERS)规定的标准;提出了地心参考椭球的 4 个定义常数(地心引力常数、长半轴、扁率和旋转速度),并计算了常用的导出几何常数和物理常量;提出了椭球面上及其外部的正常重力公式;主持了中国地壳运动观测网络大约 10 年数据的处理,计算了 1 000 余站在参考历元 2000.0 的坐标和速度,精确实现了地心坐标系,并研究了 this 坐标系与世界主要大地坐标系的转换关系。上述这些构成中国现行法定大地坐标系——2000 国家大地坐标系(CGCS2000)的主要内容。此外,还研究了 CGCS2000 的长期维持策略,提出了参考框架的规模与规格;针对大比例尺测图应用,提出了参考框架的更新周期,还研究了坐标系更新对地形图的影响,并提出旧地形图改化方案。为启用和施行新坐标系,2003~2006 年,魏子卿还主持并编写了国家军用标准《2000 中国大地测量系统》。

2000 国家大地坐标系,经国务院批准,自 2008 年 7 月起在全国正式施行。CGCS2000 的启用,标志着中国大地坐标系步入国际先进行列。CGCS2000 的施行,对中国经济社会将产生深远的影响。2000 国家大地坐标系的研究成果,获 2013 年国家科技进步奖二等奖。

六、边值问题和板块运动研究

作为一个大地测量工作者,魏子卿十分关注大地测量的进展,经常思考大地测量还有哪些问题需要研究,中国大地测量还有哪些问题尚待解决。第二大地边值问题,是他近年特别思考和研究的问题之一。代表地球数学表面的大地水准面在大地测量学中占有极重要的地位,确定大地水准面是大地测量的基本任务之一,这一任务当前主要是通过解第三大地边值问题完成。经典的第三大地边值问题(Stokes 问题)是,给定大地水准面上的重力异常,确定大地水准面高和垂线偏差。为此需要将地面重力用大地水准面至地面的高程(正高)归算到大地水准面,而为了知道正高,又必须进行水准测量。

当今,用空间技术可以精确测定从参考椭球面至地面的高程(大地高),这样用大地高可以将地面重力扰动延拓至参考椭球面。已知地心椭球面上的重力扰动,通过解第二大地边值问题可以确定大地水准面高,用这样得到的大地水准面高和测量的大地高,很容易得到正高,从而可以代替繁重的水准测量。鉴于它的重大实用价值,自 2006 年以来魏子卿以很大精力专注第二大地边值问题的研究。

魏子卿解决第二大地边值问题的基本思路是:为使扰动位满足拉普拉斯方程,将参考椭球面以外的地形质量按赫尔默特第二压缩法压缩于边界面(参考椭球面)上,将地面重力扰动延拓到边界面作为边界值,然后用边界值推求边界面外部的扰动位,进而将其转换为大地水准面高和垂线偏差。他提出了解决第二大地边值问题的整套公式,包括扰动位函数公式,扰动位变换为大地水准面高和垂线偏差的公式,压缩地形质量对重力的(直接)影响和对引力位的(间接)影响,以及地面重力扰动到参考椭球面的延拓公式(同样适用于重力异常的延拓)等,其中多数公式是首创性的。第二大地边值问题的研究,丰富和发展了确定大地水准面的理论。

学科之间的交叉是当代科学的显著特点,学科交叉使不同学科的专家走到一起,学科交叉已成为科技创新的滋生点。20 世纪 90 年代,地震、天文和测绘部门的科学家,在国家攀登项目“现今中国大陆地壳运动与地球动力学研究”和重大科学工程项目“中国地壳运动观测网络”的框架内,联合开展了地壳运动监测和地球动力学研究。该项研究把魏子卿引向现代大地测量在地壳运动监测中应用的研究,通过详细分析 GPS 监测数据,他给出了中国大陆板块运动的图像。该项研究甚至把他引入崭新的地球动力学领域。板块运动理论和海底扩张学说令他入迷,他渴望探索岩石圈运动的奥秘,弄明白板块运动的真相。2002 年他阅读一篇关于绝对板块运动的论文,文中一张描绘板块相对热点的速度图吸引了他的注意,并让他产生了质疑:由大西洋洋中脊所隔开的南美板块和非洲板块为什么都是朝向南西方向运动,而不是各自背离洋中脊朝相反方向运动呢?根据海底扩张学说,洋底自洋中脊向两侧扩展。从绝对运动来看,洋中脊两侧的板块可能朝同一方向运动,也可能朝相反方向运动。魏子卿想,作为一个科学工作者,应当通过自己的研究弄明白相对不动的热点,非洲板块到底朝哪方向运动?为此,他深入研究板块运动理论,广泛搜集热点数据,进行大量计算分析,最后得到岩石圈的整体运动速度和各个板块的绝对运动速度,提出称为 APM2 的全球板块绝对运动模型。该模型显示,非洲板块相对热点正在缓慢(运动速度 0.10 度/百万年)朝北东方向运动,换言之,它是背离洋中脊,而不是朝向洋中脊运动。这一论断的正确性,自然同许多地学观点一样,需要用更多数据进一步验证。

七、卫星导航研究

测量与导航的不解之缘源远流长。进入空间时代以来,大地测量与卫星导航更是密不可分,当今卫星导航研究已成为大地测量研究的重要内容。

魏子卿从事的第一项卫星导航研究,是差分 GPS 研究。原来 GPS 导航精度有限,加之美方加入人为干扰信号,致使导航精度降到 100 m。差分 GPS 可以改善导航精度,从而增强 GPS 的可用性。为探索差分 GPS 的可行性,1996 年他提出一项研究课题,其中心意思是,在地面建立 GPS 参考站,采集 GPS 数据,经数据分析生成差分改正数,改正数通过“双星”系统的数据信道传播给用户,供他们改正自己位置。这一课题的申请得到主管部门的支持,并成立了项目组,魏子卿被任命为总体组组长和项目总工程师。经过几番论证,项目定名为“中国卫星导航增强系统”,系统包括空间段(卫星和数据链)、地面段(参考站)和用户段(接收机)。通过 3 年努力,历经设计、研发和建设阶段,初步建成以“双星”为依托的广域差分系统,实现了项目一期工程的目标。一期工程的完成,标志着广域差分 GPS 研究取得了重要进展,但是由于事先需求论证不够充分,广域差分 GPS 系统的应用服务并不算十分成功。

魏子卿从事的第二项卫星导航研究,是关于中国卫星导航系统发展战略的研究。中国卫星导航的历史,可以追溯到 20 世纪 80 年代中期陈芳允提出双星快速定位概念,不过中国真正把建立卫星导航系统提到议事日程,已经是 90 年代中期的事了。当时魏子卿认识到,这些年中国用的卫星导航系统都是外国人的,中国人应当有自己的卫星导航系统。他非常支持中国发展导航系统,也很乐意为此做出自己的贡献。他把切入点选在顶层设计上,并从 1996 年起对中国卫星导航发展战略开展了深入的研究。关于中国卫星导航系统,那时业界的看法并不都是一致的,有人主张应该是一个区域系统,有人主张应该是一个全球系统。经过研究,魏子卿的意见是,目标应是建立全球系统,发展策略是由区域系统过渡至全球系统。他在 1998 年发表的《关于建立中国导航卫星系统的初步意见》一文中写道:“中国的社会经济活动主要在中国领土领海领空和附近区域进行,因而中国的导航卫星系统首先是区域性的,就是说其服务区包括中国及其周边地区。但是中国的社会经济活动又不仅限于国内和周边地区,我们要与世界各国友好往来,我们的商船要航行在四大洋,我们的飞机要飞往五大洲。从这个意义上说,我们的导航系统应是全球性的。”1999 年他在《卫星导航的发展趋势与中国导航卫星系统》一文中又进一步写道:“着眼未来,面对机遇和挑战,我们的系统首先可以是区域系统,但最终应是全球系统。即使是区域系统,也应当是可向全球系统扩展的,它本身应当是全球系统的一个子系统。”

上述这些是他本人当时的看法。十余年过去了,这些论点似乎都得到了检验。令人欣喜的是,今天中国卫星导航系统的研制工作已经取得长足进展,2012 年已进入区域系统试运行阶段,现正向着 2020 年建成全球系统的目标迈进。

八、结束语

魏子卿总结自己所做的科研工作,大抵分为指令性和自选性两类,前一类居多,后一类占少数。他认为,对于一位有良知的科研工作者,有国家需求背景的指令性研究,是自然而然的选择。国家利益是科研的动力所在,研究工作只有与国家需求紧密联系在一起,才能取得更有价值的成果;另一方面他从事自由研究,如大地边值问题研究,主要出自专业兴趣。他知道,兴趣在科研中占有重要的地位,兴趣是求知之源,也是打开创新之门的钥匙。

魏子卿几十年来一直在科研第一线,一心扑在科研上,乐于动手、勤于思考、甘于寂寞、淡于功利。他践行科研之宗旨,努力促进事业发展、勇于探索奥秘。他坚守科研之本,严谨治学、求真务实;他领悟科研之真谛,追求发现与创新。

魏子卿回顾个人经历深深体会到,是人民的哺育、国家的培养,使他从一个农家孩子成长为一个科技工作者;是时代和事业造就了他的人生,使他能够为中国大地测量由传统时代向空间时代的过渡做一点贡献;是环境和平台成就了他的人生价值,使他能够为国家做一点事情。每想到这些,他衷心感谢那些对他的工作给予支持和帮助的人们,感谢那些一起工作的同事们,段五杏、廖家源、周开元、夏健英、许尤楠……许多任务是与他们共同完成的。还要特别提到的是家人,妻子和儿女,是他们的支持和付出,使他做科研工作没有后顾之忧。

古人云,业精于勤,荒于嬉。魏子卿像爱护生命一样珍惜时间,从不轻易浪费一寸光阴,抓紧一切可利用的时间努力学习、勤奋工作。他常说:“如果说我还取得一点成绩的话,那可以说是用时间换来的。”他感叹时光流逝太快,总嫌时间不够支配,觉得还有许多事情没有做。

魏子卿说,过去已成为历史,俱往矣。他表示在有生之年,将一如既往、努力工作,继续为国家做出应有的贡献。

上卷

第一篇 卫星多普勒定位

用 MX-702A 型导航接收机多普勒定位试验	魏子卿(3)
用多普勒数据确定地心坐标	魏子卿(10)
关于精化坐标转换参数的初步设想	魏子卿(24)
多普勒在加强天文大地网中的作用	魏子卿(27)
多普勒定位的数学模型和平差方法	魏子卿(31)
多普勒网短弧平差法	魏子卿(38)
多普勒网半短弧平差法	魏子卿(83)
两类多普勒观测方程的比较	魏子卿(90)
多普勒计数的相对论改正	魏子卿(94)
用单通过多普勒数据分析卫星轨道误差	魏子卿(100)
我国卫星多普勒网短弧法平差	魏子卿,段五杏,夏健英(106)
Adjustment of Satellite Doppler Network in China	WEI Ziqing, DUAN Wuxing, XIA Jianying, et al. (119)

第二篇 GPS大地网布设与大地测量发展战略

关于布设我国 GPS 大地网的若干考虑	魏子卿(131)
布测全国 GPS 大地-水准网的建议方案	魏子卿(143)
GPS 大地-水准网与天文大地网和天文重力水准网的组合网的协方差分析	魏子卿(147)
地面网和 GPS 网的组合	魏子卿(170)
关于布设 GPS 大地-水准网的建议	魏子卿(185)
全国 GPS 一、二级网与中国地壳运动观测网络	魏子卿,段五杏,唐颖哲,等(194)
关于我国空间大地测量的一些情况	魏子卿(200)
空间测量进展	魏子卿(205)

关注 ICESat 魏子卿(215)

关于我国大地测量任务的几点思考 魏子卿(218)

我国大地测量的回顾与任务思考 魏子卿(223)

现代大地测量基础设施与我国大地测量基础建设 魏子卿(229)

论我国大地测量基础建设 魏子卿(238)

第三篇 大地坐标系

大地基准定义问题 魏子卿(245)

大地基准与地面网和空间网联合平差 魏子卿(251)

关于建立北京大地坐标系(BGS)的总体设计 魏子卿(256)

全国 GPS 大地网及天文大地网与空间网联合平差进展 魏子卿(264)

全国天文大地网与空间大地网联合平差 魏子卿,黄维彬,杨捷中,等(270)

联合平差新议 魏子卿(278)

现代大地坐标系进展 魏子卿(282)

关于建立新一代地心坐标系的意见 魏子卿(296)

我国大地坐标系的更新问题 魏子卿,段五杏,杨元喜,等(302)

我国大地坐标系的换代问题 魏子卿(309)

关于 2000 中国大地坐标系的建议 魏子卿(317)

2000 中国大地坐标系 魏子卿(324)

2000 中国大地坐标系及其与 WGS-84 的比较 魏子卿(331)

2000 中国大地坐标系:中国大陆速度场 魏子卿,刘光明,吴富梅(337)

我国大地坐标系六十年志 魏子卿(348)

大地坐标系新探 魏子卿(353)

关于北斗卫星导航系统坐标系的研讨 魏子卿(359)

直角大地坐标变换为曲线大地坐标的直接解法 魏子卿(365)

椭球大地坐标的变换公式 魏子卿(371)

大地测量中的永久潮汐问题 魏子卿(376)

Aligning a Regionally Geodetic Reference Frame to ITRF with the Synthetic Constraints
..... WEI Ziqing, WU Fumei, LIU Guangming (388)

第四篇 高程系统

高程现代化问题 魏子卿(403)

关于国家大地坐标系统和高程系统 魏子卿(408)

我国大地坐标系与垂直基准的有关问题 魏子卿(410)

大地坐标系与高程基准的现代化 魏子卿(413)

水准高差的日月潮汐改正	魏子卿(421)
Determination of Geopotential of Local Vertical Datum Surface	WEI Ziqing, JIAO Wenhai (430)
GPS 重力位水准	魏子卿(435)
用地球位模型和 GPS/水准数据确定我国大陆似大地水准面	魏子卿,王刚(445)
正常重力公式	魏子卿(451)
大地水准面短议	魏子卿(461)
以地心参考椭球面为边界面的第二大地边值问题引论	魏子卿(465)
完全正常化缔合勒让德函数及其导数与积分的递推关系	魏子卿(473)
关于我国卫星重力测量发展战略咨询报告	魏子卿(485)
卫星重力测量	魏子卿(497)

下卷

第五篇 GPS定位定轨

WM101 数据的建议标准格式	魏子卿(505)
WM101/102 的星历和历书记录解码	魏子卿(516)
GPS Positioning Software at the Ohio State University: Franklin County Results	WEI Ziqing(519)
Mathematical Models and Results Comparison for Various Relative Positioning Modes	WEI Ziqing(531)
GPS Network Adjustment Using Nondifferenced Carrier Phase Measurements	WEI Ziqing (540)
GPS 数据处理的若干问题	魏子卿(553)
GPS 定位的发展现状与在我国大地测量中的应用前景	魏子卿(562)
GPS 卫星预报	魏子卿(573)
用载波相位测量进行点定位	魏子卿(578)
用非差载波相位测量精密定位的几个方面	魏子卿(587)
GPS 的大地应用:已知大地经纬度用 GPS 距离测量确定局部坐标系大地高 ...	魏子卿(594)
First GPS Survey in China	WEI Ziqing, DUAN Wuxing, ZHOU Kaiyuan (605)
Nads: A GPS Geodetic Network Adjustment Program	WEI Ziqing, CAI Xiong, TANG Yingzhe, et al. (612)
一级 GPS 大地网试验平差	魏子卿(621)
GPS 点定位:软件与结果	魏子卿(629)
GPS 观测时间偏差改正	魏子卿(637)
卫星定位定轨系统 SPODS:理论与测试	魏子卿,阮仁桂,贾小林,等(641)

GPS 卫星的力模型	魏子卿(647)
关于建立我国 GPS 测轨系统的初步考虑	魏子卿(663)
GPS · 大地测量 · 其他	魏子卿(669)
利用 C/A 码伪距测量确定钟参数	魏子卿(673)
GPS 载波相位测量中电离层影响的改正	魏子卿,蔡雄(680)
广域差分 GPS 算法	魏子卿(690)

第六篇 新一代导航卫星系统与X射线脉冲星导航

关于建立我国导航卫星系统的初步意见	魏子卿(711)
我国导航卫星系统的星座选择与设计	魏子卿(717)
卫星导航的发展趋势与我国导航卫星系统	魏子卿(731)
关于发展我国新一代导航卫星系统的两点思考	魏子卿(739)
导航卫星系统时间与卫星钟问题	魏子卿(745)
差分 GPS 与 GPS 增强	魏子卿(752)
关注 X 射线脉冲星导航	魏子卿(759)
X 射线脉冲星导航	魏子卿(764)
关于脉冲星导航计划的建议	魏子卿(776)
X 射线脉冲星导航误差初析	魏子卿,任红飞(786)

第七篇 测量平差

参数加权平差	魏子卿(801)
广义逆与平差	魏子卿(807)
自由网平差	魏子卿(814)
论分期平差	魏子卿(820)
平差问题的顺序解法	魏子卿(836)
条件平差的顺序解法	魏子卿(842)
用 Givens 变换解最小二乘问题	魏子卿(849)
误差椭球	魏子卿(856)
误差传播	魏子卿(866)

第八篇 板块运动与地球动力学

Crustal Movement Monitoring in China Mainland	WEI Ziqing, DUAN Wuxing, WU Xianbing(873)
---	---

中国大陆大尺度现代地壳运动 魏子卿,段五杏,吴显兵(879)

相对非洲的板块运动 魏子卿,吴显兵(890)

Current Absolute Plate Motions WEI Ziqing (897)

Merit Main Campaign;Reference Frame Intercomparisons MUELLER I I, WEI Ziqing (914)

GPS 测定地球自转参数的初步探讨 魏子卿(920)

地球主惯性矩 魏子卿(929)

第九篇 大气折射及其他

仰角折射改正 魏子卿(941)

海上低空大气折光修正的研究 魏子卿(947)

JCY-1A 型激光测距仪的测距原理 魏子卿(986)

多功能大地测量系统 魏子卿(993)

数字天顶相机 魏子卿(998)

用异轴星地相机摄影时地物点空间方向的确定 魏子卿(1003)