

2/2
105
1-13-6

内部资料
不得外传

二〇〇〇年的中国研究资料

第六十六集

测绘科学技术的国内外水平与展望

中国科协二〇〇〇年的中国研究办公室

第 66 集

测绘科学技术的国内外水平与展望

中国测绘学会

中国科协2000年的中国研究办公室

1985年10月

前 言

本集包括大地测量、摄影测量与遥感、地图制图、工程测量、海洋测绘等五篇专题性论文，其内容主要反映当前国内外测绘科学技术的现状、水平和动态，展望2000年国内外测绘科学技术的发展趋势，并对发展我国测绘科学技术提出一些建议。本集可供有关专业人员和领导同志在考虑和规划技术发展方向，进行技术改造和开发以及对新技术、新仪器、新设备的引进时作为参考资料。

本集的完成曾得到了国家测绘局、测绘科学研究所、武汉测绘学院、海军海洋测绘研究所的大力支持。陈永奇、李道义、文湘北、张卫平等同志参加了撰稿工作。王之卓、陈俊勇、胡明城、楚良才、序克、张清浦、姚绪荣等同志参加了审稿工作。中国测绘学会办公室朱长盛同志负责本集的编辑工作。

由于本集涉及的专业范围较广，而收集掌握的文献资料不够全面，加之水平有限，又缺乏编辑工作的实际经验，疏漏和不当之处在所难免，敬希读者批评指正。

中国测绘学会办公室

目 录

前言

大地测量发展现状及面向2000年的我国大地测量科学技术·····	文湘北 (1)
摄影测量与遥感技术的现状及未来发展·····	张卫平 (25)
地图制图学现代水平及发展趋势展望·····	李道义 (46)
2000年我国工程测量的发展·····	陈永奇 (69)
2000年我国海洋测绘的发展·····	海军海洋测绘研究所 (80)

大地测量发展现状及面向2000年 的我国大地测量科学技术

文 湘 北

一、2000年大地测量总的发展趋势

大地测量学的经典意义是“测量与划分地球”。后来增加了确定地球形状，确定地球上及其周围外部空间的重力结构和确定地球的几何与重力参数的时间变化等内容。随着人类社会发展和科学技术的进步，一方面，人们对大地测量提出了越来越多、愈来愈高的要求，促使大地测量学向更深更广的应用领域发展；另一方面，由于电子技术和空间技术的飞速发展及其在大地测量中日益广泛的应用，又促进大地测量技术的长足前进。因此，现代大地测量科学技术已经并正在产生戏剧性的变化。面向2000年的大地测量总的发展趋势将是：

由于空间技术与电子技术的发展，大地测量定位系统的发展趋势是朝向空间技术，定位仪器越来越高精度、小型化、低价格、高效能；以传算地面点位置为其职能的经典大地网将会逐渐消失，逐步为空间定位技术所取代。

大地测量的重点将逐渐转到建立地球动态监测网以及为空间定位系统提供参考标架的基准网。在这方面，用常规方法施测的地面控制网仍将起长久性的作用。

由卫星求定全球重力场的技术和地面重力测量将会长期并用，取长补短，促进新的地球重力场模型的发展，并为陆地和海洋提供精度更高、数量更多的重力数据。

为了把可供利用的各类大地测量数据最佳化地综合起来，以便最佳地解决各种大地测量问题，现代大地测量学的理论重点将是整体大地测量学。

由于大地测量观测手段及其精度的极大提高，大地测量将为地球物理学、海洋学、天文学、地震学等提供更多、更精确的数据资料，它与相邻学科的关系将越来越密切。

将有越来越多的大地测量工作用于满足现代工程建设、城市建设、环境控制以及用于大陆架和海洋测量。

从测量地球发展到测量月球和太阳系的各行星，这是航天技术的发展向大地测量提出的新课题，即测定太阳系所有天体的大小、形状、表面形态、重力场、自转速度及可能存在的动力过程。

面对现代大地测量总的发展趋势，朝着2000年，在世界新技术革命的浪潮中，我国大地测量科学技术应如何发展，如何贯彻中央的方针，结合我国国情，走自己的发展道路，前景如何？下面结合我国当前发展大地测量科学技术的一些情况，对2000年我国大地测量的发展前景提出一些看法和意见，供研究参考。

二、地面大地测量技术的发展

处在飞速发展的电子时间和空间时代,常规地面大地控制测量仍然起重要作用。当前世界各国在这方面的动向是:(1)巩固已有的曾用常规地面控制测量方法建立起来的大地控制网,并根据实际需要,进行必要的加密,以供继续使用;(2)用多普勒网、高精度导线网或其它方式加强已测的天文大地网,并在一国或多国范围内进行整体平差;(3)将传统的归算至椭球面的大地坐标变换到地心坐标系,以进一步满足经济建设、国防建设、空间技术与地学研究的需要;(4)继续进行有关的理论研究,如大地网的优化设计、三维平差及数据处理技术等。

我国的常规大地平面测量工作经过几十年来的努力,特别是建国三十余年来的工作,全国范围内共布设了4.5万个大致均匀分布的一、二等三角点和导线点,三、四等点的数量达30多万个。这是我国广大测量工作者辛勤劳动所取得的宝贵成果,一直为国家基本地形图的施测、各种工程测量和国防建设提供良好的测量控制基础,在国家各个时期的建设中发挥了重要作用。在此基础上建立的我国国家天文大地网的整体平差计算已于1982年一次解算成功。这次平差对全网近5万个点的30多万个观测结果,近420万个各类数据按照严密的数学理论进行统一处理,最大限度地挖掘了该网的潜在精度。通过平差计算自身的理论检核,大地网几何条件的检验及两单位分别按各自的平差方案且在不同的计算机上解算的结果比较(同一点坐标之差最大只有4厘米),证明我国天文大地网整体平差方案归算严格,方法严密,成果精度高,结果可靠,无论在规模上、精度上、速度上,都可以无愧地站在世界先进行列。在此同时,还建立了我国独立的1980年国家大地坐标系。

在这方面,我们面临的主要问题是怎样使用这个具有国际先进水平的平差成果以及如何维持和进一步改善并加强我国的天文大地网。朝着2000年,今后我国的常规平面控制测量应考虑在以下几个方面作出努力。

(一) 继续改善全国天文大地网

随着近二十年来空间大地测量技术的飞速发展,常规大地测量技术在越来越多的方面有被空间大地测量技术逐步取代的趋势。有人分析估计,在今后二十年或者更长一点时间,新的定位仪器可能只有我们今天的座钟或者甚至象电子手表那样大小,然而却能以厘米级的高精度实时提供定位数据,定位就象现在人们“定时”那样方便。到了那时,经典天文大地网以传算地面点坐标为其主要职能的作用将会消失,网的特点及其功能也将会有所变化。但在近期的一、二十年内,天文大地网还将保持其本来的面目并不会消失其原有的作用,而且还要进一步扩大其作用和应用领域。目前全球几个主要大地网的现状及近期发展就是如此,例如:

北美大地网的重新平差及大地基准的重新定义。这是美国国家科学院的一个委员会于1971年提出的,其目的在于满足对于大地控制网越来越多的高精度要求。后来发展到包括美国、加拿大、墨西哥、丹麦和中美各国参加。这是目前全球最大的一

次大地网平差，大约包括38.5万个点，385万个观测数据，这一工作原定1982年完成，1983年公布结果。但由于涉及到一些共同边界，需要有关国家之间的配合，现在推迟了。为了重新平差和定义北美大地基准，并用于导弹发射，美国从1963年到1978年花了十五年时间布设了横贯大陆的包括2127个测站的高精度导线，以此作为北美天文大地网的骨架，为该网提供尺度控制；与此同时，在美国大陆接壤的48个州中，大约有150个多普勒站，在阿拉斯加、夏威夷和波多黎各大约有100个多普勒站，加上加拿大和墨西哥等国的多普勒站，总共测设有500多个，这些多普勒站的位置数据一方面用于加强已测的天文大地网，另一方面将把新的北美大地基准的椭球安置到地球质心，从而提供所需的两种大地坐标。此外，还有增测的大约5000个测站上的天文观测将提供比以前好得多的方位控制。

欧洲大地基准是西欧各国大地控制网的重新平差，1979年公布了总平差结果，为了得到在严格科学意义上的大地基准，欧洲三角网的重新平差还在做更多的理论工作和实践，诸如统计检验、改进随机模型、修正天文经度、利用更新的垂线偏差和改进的大地水准面高、重新化算角度和距离、与多普勒观测结合、计算三角点的三维地心坐标等等。此外，一些国家还对已有的大地控制网进行了加密，如联邦德国最近几年新测定的三、四等点将近两万个；为了改进网的质量，于其中还加测了许多一、二等边。

印度三角网的重新平差目前正在积极准备，现在已经完成了用Geodimeter测距仪施测的高精度导线，用于控制三角网的尺度，并最佳地布置了多普勒站，以用于检查和提高网的质量。

苏联的天文大地网近年来继续加密，以供不断增长的大比例尺测图之用，同时城市控制测量工作也大量增加。由于得到了充分的重力测量数据的支持，在许多地区可以0.2的精度求定重力垂线偏差分量，用这些数据估算天文大地网中天文测量的精度，进一步检查天文测定的个别粗差，并研究了在进行天文重力水准的同时求定天文测定改正数的可能性。该网也准备采用现代平差方法重新平差。

我国天文大地网西部的网点比较稀疏，在某些地区，特别是二等补充网区，网的精度可能还不适应国家经济建设和国防建设发展的需要；在近期，我国使用空间定位技术来达到目前用常规方法所测定的地面控制网的密度和精度还有困难。因此，我国今后10~15年内，常规大地测量技术不仅不能放弃，而且还要进一步提高，还要有计划地适当发展，在需要和可能条件下，要有步骤地用空间技术与常规技术相结合来继续改善天文大地网。从七十年代以来，我国在发展常规大地测量技术与空间大地测量技术方面已做了不少试验研究并已部分投入实际应用，今后也将抓紧这方面的工作（下面另有叙述）。因此，到了2000年，我国的天文大地网将以更新的面貌、更高的精度出现在地球上，而地面上高高矗立的测量觇标会逐渐消失，我国大地测量外业工作者也将从繁重的体力劳动中解放出来。因为现阶段大地测量耗费在造标上的费用和劳动实在太大了（约占整个费用的50~80%），我们为何不把这些财力、人力、物力用在新技术的改造上呢？这是值得我们认真思考的问题。

(二) 高程控制测量的发展

七十年代末,八十年代初世界各国在水准网的更新、扩展和平差方面做了大量工作。

欧洲统一水准网在1973年已经平差,从1979年起又由联邦德国重新组合和计算,其中包括西欧、北欧等十几个国家的水准测量数据,计算结果使人们对欧洲广大区域中的高程及其变化情况、观测精度和几个国家中可能有错误的观测值有了广泛的认识。

联邦德国拟定了1980~1985年对国家一等水准网进行复测的计划。重测的目的,一是保证高程基准的安全可靠;二是使国家一等水准网在稳定性、埋石和测量技术等方面有所改进;三是作为研究现代地壳垂直运动的基础;四是将高程变化与重力变化结合起来进行研究。

北美高程基准(NAVD)包括美国、加拿大、墨西哥和中美各国的水准测量数据。考虑到水准网的动态性质,为了对该网作合理的重新平差,美国国家大地测量局正在实施10万公里水准路线的重测计划,预计1986年完成全部野外观测工作,1988年进行北美高程控制网的重新平差。在此以前,美国大地测量局还从1978年开始在全国水准路线上进行了广泛的重力测量,到1982年7月大约已测设了23万个新重力点,这些重力点数足以进行水准点上的精密重力内插,以供计算重力改正之用。

苏联近年来在继续进行国家一、二等水准网的加密,并对个别用于研究地壳运动的水准路线进行重复水准测量。

对于水准测量的方法和理论,当前各国研究的重点,一是提高作业效率;二是研究消减系统误差影响,诸如自动安平水准仪的磁误差问题、大气折射、尺长改正等。

我国五、六十年代共完成了一、二等水准测量路线20多万公里,不仅用于测图的高程控制,而且还广泛用于农田水利工程和道路工程建设等。为了进一步满足国家建设及地质研究的需要,从1976年开始对已有的精密水准路线进行复测,并补充了大量新路线,现构成了一个新的、全国均匀分布的国家精密水准网。新网共9.3万公里的一等水准路线已于1982年完成外业工作,目前正在积极准备内业平差计算工作;13.7万公里二等水准路线的观测正在进行,预计在1990年前可以完成。地震、水利等其它部门所测的未纳入国家网的局部地区一、二等水准路线还有10万多公里。总的看来,我国国家精密水准网的布测已做了大量工作,但从各方面的需要看,我国在完成二等水准测量后将很快转入一等水准的复测。因此今后一、二十年内,我们在水准测量的作业速度和精度方面还要大大加强。为此,需要研究和解决以下几个科学技术问题。

1. 研究磁场对自动安平水准仪测量结果的影响。

据有关方面报导,国外许多大地测量学者认为,磁场对自动安平水准仪的影响是近十年来在实用大地测量方面的一个惊人发现。其水准测量成果的系统性影响可达1毫米/公里以上,已超出了精密一等水准测量本身所要求达到的测量精度(不超过0.7毫米/公里),因此,这是一项不可忽视的误差源。这不仅严重影响到近二十年来世界各国用自动安平水准仪施测的精密水准测量成果,而且使长期根据这些水准成果所进行的各种地学研究失去了根据。所以各国大地测量工作者及有关地学工作者对此都非常关

心。

许多国家近年来进行的室内和外业试验都一致证实，联邦德国蔡司Nil自动安平水准仪受磁场影响较大，在没有更换防磁型补偿器以前不能再应用于一等水准测量；对德意志民主共和国耶拿Ni002水准仪有不同意见，有的认为该仪器受地磁场影响较小，因为它的补偿器挂线与视准轴的长度比为1：1。最近美国国家大地测量报导的试验结果表明，其受地磁影响的平均误差仅为0.04毫米/公里，但对类似于高压线附近的交变磁场，产生的误差就很显著。其它自动安平水准仪也都有类似的误差。

为了研究和解决磁场对自动安平水准仪测量结果的影响问题，一些国家，如联邦德国、美国等专门研制了建立在地磁台的专用设备，用来检验和测定自动安平水准仪受磁场的影响（包括静磁场和交变磁场）；研究了根据测定的常数用于改正过去采用自动安平水准仪测量结果的公式及有关问题；与此同时，一些厂家也成功地给自动安平水准仪装上了新的抗磁补偿器。但据联邦德国法兰克福工学院的报告，他们通过对这些新的“非磁性”自动安平水准仪样机在大约为地球磁场50倍的磁场中的检定证明，所有仪器都没有消减交变磁场的影响。因此，在精密工程水准测量中，当遇有强交变磁场时，仍是不可忽视的。此外，一些自动安平水准仪的磁致误差还随方位角而变化。据美国大地测量局报导，当水准测量朝向或背离磁极方向时，磁场影响的误差最大，并且与地理纬度有关，越近赤道影响越大。因此用于一等水准测量的自动安平水准仪都必须经过全面检定。

目前我国已有个别单位（如长江流域规划办公室勘测总队）对上述问题作了一些探讨，可供参考。为了切实解决这个问题，并考虑到我国目前正着手进行一等水准平差计算的准备及今后繁重的外业测量任务，因此，我国应抓紧对这一问题的研究试验，包括建立专用的检定设备，对自动安平水准仪进行检定及外业检测等，还要研究对过去已测并确定受磁场影响较大的成果进行内业改正的办法。

2. 研究大气折光影响

减少大气折光影响，长期以来也是水准测量期望的目标。但实际进行这方面的试验研究还是近十年前的事。美国大地测量局首次试验发现，美国某些地区大气折光影响的改正数竟要超过一等水准限差的3~4倍（这与他们精密水准测量允许较长的视线也有关系）。七十年代末、八十年代初，该局又与地质测量局合作再次进行了水准测量折光影响的试验，并研究了计算这项影响的改正数的方法及折光改正模型，从而能把折光误差减少80%以上。现美国在进行精密水准测量时，都观测温度差，将计算的折光改正加入到水准测量数据中去，对过去没有观测温差的水准测量数据，则根据模型化温差加入大气折光改正。

我国与美国的自然条件很相似，在精密水准测量中，这项改正也是不可忽视的。今年我国测绘部门进行的局部试验证实，这项影响的系统性确实存在，通过改正计算可以部分消减其系统误差影响，但这项研究试验刚刚开始，还有待进行大范围、较广泛的观测试验，并研究出切实可行的改正办法来，包括利用气象资料研究符合我国各类地区的温差模型，对已往的水准测量成果加入折光改正的问题。

3. 因瓦水准标尺的尺长改正

对标尺的尺度因子、温度变化引起的因瓦带随时间的变化和标尺刻划误差加入改正数,并改进获取这些改正数的方法,可使精密水准测量的精度有显著提高。为了提高检定标尺刻划误差和尺度因子的精度,联邦德国研制了一种利用特种光电显微镜的激光干涉比长仪,设有水平式和竖式检定装置进行自动检定,精度为 ± 10 微米。Karlsruhe大学还首创了高精度烫分划线法,由一激光干涉仪控制,用高效率的脉冲气体激光器在因瓦带上烫分划线,精度优于 ± 5 微米;为了量取水准测量时标尺的实际温度,该校还制造了一种用于外业的测温装置,以比较外业测量时与标尺检定时温度之差,计算尺度改正。

我国过去由于技术上的限制,只能搞每米真长改正,现在已引进了检定尺长的先进设备。这种设备可以很快检验出每根水准标尺每个分划相对于尺子参考零点的长度改正,并通过微机记入盒式磁带。这样,外业水准测量的所有前后视读数就可在外业或在内业进行这项改正,得出改正后的“真长”读数。对于温度变化引起的标尺改正,据有关部门试算,一个测段可达毫米级,在青海、新疆交界处的个别测段改正达4毫米之多,因此,这个改正因素也不可忽视。我国现已开始筹建因瓦水准标尺的温度膨胀系数检定室,但进度不快,应抓紧这项工作。

4. 日月引力改正

这是顾及太阳和月亮对地球等位面产生的潮汐加速度的影响,所以亦称潮汐改正或天文改正。这项改正虽然不大(约相当于0.1毫米/公里),但它积聚在南北方向上,例如,从美国的阿拉斯加到巴拿马,累积可达15厘米。因此,对区域性范围或大陆范围的水准测量网就应施加这项改正。据估计,在我国南北三千公里以上的测线,系统积累可达10厘米以上。

这项改正的计算现国外已有成熟的理论,但在具体计算上过去尚有一定困难,因为这需要太阳和月亮的天顶距和方位角值。今天,通过计算机的子程序很容易算出这些量。因此我国要自行研究设计一个实用的软件来方便地计算这项改正数。

5. 高程系统与高程基准问题

这个问题的确定与变动牵涉的面广,各个国家所采用的高程系统与高程基准也不大一致。但有逐渐走向大区域范围统一的趋势,如欧洲水准网的统一平差及重新定义北美高程基准。由于这个问题不仅牵涉到地形图上的高程,而且还关系到大地水准面的确定问题,它涉及到的应用部门也很多,既有科学技术问题,还有经济效益问题。所以我国在解决这个问题时,要结合全国一等水准网的平差及各种方案的实际效益综合考虑,研究制定切合我国实际的解决办法。

6. 其他理论研究与技术问题

为取得高程测量的最高精度,除上述理论技术问题外,目前及今后一段时期还有不少理论问题有待深入研究,如:水准测量的相关性;水准网及测线平差时权的确定;待平差成果中的粗差检验;建立水准测量试验环线等。

综观上述,到2000年,我国高程控制测量将在使用包括摩托化水准测量系统等最现代化的测量设备的基础上,配合最有效的获取数据方法,高速度地全面完成一等水准网的复测;对那些用仪器设备和观测方法不能足以控制的系统误差,将分别情况以适当的

科学方法对观测数据加以改正,使之减至最小,与此同时,将以最严密的平差方法重新考虑全国一等水准网的平差,为国民经济各有关部门及地学研究提供更精确的高程控制成果。

(三) 引进惯性测量技术

能够用于精密测量工作的惯性测量系统是加拿大Litton公司于1975年提供的IPS-1。到1977年,这一系统的精度是:测定位置的中误差不大于1米,重力测量的中误差约为2毫伽,测定垂线偏差的中误差为2"。现精度又有了提高,位置中误差为0.3~0.5米,垂线偏差中误差可达0."5~0."7。目前国际市场上又出现了两种新的系统,一是Honeywell公司的GEO/SPIN,也称IPS-2;另一种是Ferranti公司的FIL S系统。其定位精度均与前者差不多。

惯性测量技术有很多优点:(1)作业迅速;(2)相邻测站间不需要通视,当然也就不需要造算,可节省大量造标费用和工时;(3)全天候作业并且充分独立,不需要观测卫星或其它目标,不依赖于任何国外的信息源;(4)它的一次测量成果能实时得出包括测站点的平面位置、高程、垂线偏差和重力等全部大地测量数据。它的缺点是:测量系统本身造价昂贵,结构复杂,维护工作量繁重、要求作业人员水平高。

七十年代末加拿大广泛利用惯性测量系统在多普勒站之间施测导线。美国国家大地测量局也租用这种系统在沿海岛屿布设导线。据了解,当时租用这种系统每天租金是3000~4000美元,他们用直升飞机每天可测50个导线点,平均每个测点连同其它费用在内不过300美元,而采用常规测量方法,每点需要6000美元。

近年来,在降低惯性测量系统的造价、简化其结构、提高测量精度等方面又有不少进展。它的精度是以满足一般常规测量工作的要求,每测设一站的全部费用平均来说仅为常规测量方法的1/3~1/2,在交通不便、常规测量作业困难的地区效益更为明显。

我国西北、西南大部地区,地形、气象等条件恶劣,大地测量作业甚为困难。而目前的卫星多普勒定位技术,由于我国缺乏精密星历,因此其相对定位精度还难以达到用于三、四等短边控制加密的要求。从目前大地定位技术的发展来看,比较理想的办法就是引进惯性测量技术,从研究并租用惯性测量系统进行实地作业,到研究这种系统设备,直至广泛用于大地控制网的加密,这是本世纪末可以实现的目标。为国家发展西北、西南地区的战略决策提供测绘保障,积极开展惯性测量技术的研究,引进这种先进技术,快速定位和加密我国西北、西南地区的大地控制网,具有重要的现实意义和战略意义。

(四) 建立大地测量数据库

大地测量成果的数据处理和管理是一项十分繁杂而精细的工作。七十年代以来,随着电子技术的迅速发展和日益广泛应用,国外已有不少国家成功地运用电子计算机解决了这一问题,世界各国测绘部门都相继建立了大地测量数据库及其他自动化的数据处理系统。例如,美国国家大地测量局的控制数据库从1976年11月起至1978年年中共输入了约20万个大地点坐标,成功地解决大地定位数据存储、检索、维护和更新问题;目前,

该局已掌握了24万个大地点数据, 5千个天文点数据, 140万个重力点数据以及1400万个数字化地形点高程数据, 建立和维持了许多子数据库。美国国防制图局还建立了多普勒定位大地测量数据库。

1978年5月, 波兰根据国家测绘企业的要求, 由测绘情报中心建立的中央测绘数据库交付使用。除了为国家各个地区服务的区域大地测量数据库外, 还建立了全国大地测量数据库。自动检索系统保证能迅速获取所需材料, 而且编有专用程序系统, 可据此选出解决某些具体任务所需要的资料。

在墨西哥大地测量数据库中, 将包括有三角点、导线点、惯性测量定位点、卫星多普勒观测点、天文点、基线、水准点、验潮站、重力点等在内的各种大地测量数据分成两类, 分别存入两类磁盘文件中, 一类供政府机构及民间企业事业使用, 是为用户服务的; 另一类供平面控制网和高程控制网平差之用。

近年来, 联邦德国报导了利用大地测量数据库操作系统来改进大地控制网的计算工作及建立的新数据系统。

相比之下, 我国在这方面的工作比较落后。因此, 我们要尽快抓紧改变现阶段我国大地测量成果先进, 但利用和管理落后的状况, 迫切需要建立一个统一、完整的大地测量数据库, 有一个自动化的数据处理系统。它的建立不仅便于大地成果的快速提取和使用, 使某些参数能随时得到修改和更新, 而且将对大地测量科学的发展产生深远影响, 特别是对所有涉及大地测量数字计算方面的理论研究和实际方法将会有极大的促进和改善。当前, 我国电子技术突飞猛进, 电子计算机已日益广泛地应用于国民经济各部门, 国家测绘局计划建立的包括大地测量数据库的国土资源基础信息系统已开始着手准备工作。因此, 我们要抓紧研究和借鉴国外建立大地测量数据库的理论、规范和设计方案, 结合我国国情探讨大地测量中各种不同类型数据的存贮、检索、使用、更新和修改的最佳方案, 把我国国家大地测量数据库尽快建立起来。

(五) 发展电磁波测距仪等常规大地测量仪器

电磁波测距仪的迅速发展和广泛应用是七十年代以来常规地面大地测量仪器和测量方法的重大突破。全世界数以百种的各种类型的测距仪现已普及到大地控制测量、地形测量、工程测量及航空摄影测量等各个领域, 并已使野外数控自动测图成为现实。

目前电磁波测距仪总的发展趋势是: (1) 进一步提高测距精度, 如美国研制并投入市场的双色电磁波测距仪Terrameter LDM2, 测程20公里, 精度已达0.1毫米(千万分之一); (2) 扩大测程, 如瑞典AGA公司的短程红外测距仪Geodimeter 14A测程扩大到了15公里; 美国光谱物理公司的激光测距仪Geodlite3G测程为70公里, 最远甚至可达150公里; (3) 缩小体积, 减轻重量, 如瑞士威特厂生产的DI4L, 采用了最先进的超大规模集成电路, 主机重量仅为1.1公斤, 体积仅为190×60×60毫米, 而且采取自动读数方式, 功能相当完善; (4) 与测角仪器结合, 发展成多功能的测量仪器, 如瑞典的AGA700、AGA710, 瑞士威特厂的TC1, 联邦德国的REG ELTA14、ELTA2、ELTA4及美国的HP3820A电子全站仪等, 都能同时测距和测角, 并能直接显示水平距离、垂直距离、斜距和天顶距。仪器高度自动化, 作业效率高, 可节省大

量人力。

我国在这方面的发展比较落后,原因是多方面的,经历了几次大的起伏,也有过几次突破。当前突出要解决的还是质量问题。由国家测绘局牵头的“中短程光电测距仪”国家攻关项目正在抓紧实施。我们相信,通过攻关能在技术和工艺方面真正解决我国生产这类仪器的质量问题,在提高仪器稳定的可能性、精度的保持性、环境的适应性方面达到国际先进水平,并为进一步研制和发展电磁波测距仪打下牢固的基础。

我国其他常规大地测量仪器的研制和生产,近几年来已经取得了很大进展,品种系列基本齐全,经纬仪、水准仪达到了国际上七十年代的水平,自动安平水准仪已达到或接近世界先进水平,但先进仪器向数字电子化发展,电子激光技术,微处理技术等新技术、新元件的应用,以及仪器向组合积木式发展的趋势应值得我们密切注视和研究。

为了消除大气折射对角度观测的影响,进一步提高测角精度,目前联邦德国、瑞典、英国和苏联都在试制双波长测角仪器。可以预测,一旦这种仪器获得成功,地面大地测量技术将要产生三方面的变化:(1)三角高程测量可能取代大部分水准测量;(2)天文经纬度和方位角的观测精度会明显提高;(3)将为利用三角高程测量这个理论上测定地球形状的独立手段提供实践的途径,丰富地面大地测量的内容。

此外,我国目前在常规仪器发展方面还有一个重要的薄弱环节,即外业采集数据与内业处理数据之间普遍缺少“接口”。例如,现在角度、长度和高程的野外观测读数大多已直接记入电子计算器,用计算器进行外业测站计算和检核,然后将这些测站成果打印;在内业计算时,又将上述所有外业成果数据一个个输入计算机,这是一个繁重单调、容易出错而又不容易检核的方法,而且对于某些需要直接利用外业原始读数的计算,由于在计算器的打印结果中没能保留而无法进行计算。最好的办法应是将外业的读数及其计算成果全部存入计算器的存贮器,然后在内业数据处理时将存贮器内的数据通过“接口”直接读入内业电子计算机。据了解,现在我们测绘部门注意到了外业的电子记录和内业计算软件的开发和利用,但对这个内外业“接口”问题还没有引起足够的重视。1984年5月在我国常规大地测量学术讨论会上,国家测绘局的技术负责人已提出要重视和解决这个关系到测绘生产作业流水线现代化的重要环节,预计这个问题将能较快地得到落实。到本世纪末,我国测绘生产作业流程现代化的目标一定能实现。

三、大地天文测量的发展

(一) 国外大地天文测量的现代发展及其动向

七十年代末、八十年代初国外这一领域的主要发展动向是:(1)天文定位仪器观测的自动化;(2)解决长期存在的天文方位角测定精度偏低问题;(3)研究新的测定天文经纬度的方法和仪器,以提高测定天文大地垂线偏差的经济效益。

1975年美国报导了一种自动天文定位系统,1976年报导了该系统的改进和试验,但可能还没有完全满足规定的性能,仍待继续发展。1977年有人提出“利用自动扫描光学敏感器阵列进行自动天文定位”,其基本概念是:当恒星通过时,敏感器阵列把星影的光能变换成为电信号,再由数字时钟记录,这个时钟有效地代替了观测员。采用这个途

径，由5颗恒星测定天文经度的精度是 $\pm 0.''5$ 。

天文方位角测定中，由于过去长期以来存在未能解决的系统性轴颈误差，其实际精度低于表观精度，使得三角网中方位角的精度同起始边长度的精度不相称，导线网中各边长度同其方位角的精度也不相称。这一情况导致三角网与导线网中的横向误差大于纵向误差，是一个长期存在的问题。为了解决这一问题，美国Purdue大学近年来提出了“利用水银水准器和轴反射镜的自动准直测定精密天文方位角”的方法。其原理是在天文经纬仪上安装水银水准器和轴反射镜。这种经纬仪以水银水准器取代常规的跨水准器或挂水准器，利用来自水银面的自准直可以完全置平，极大地提高了置平精度，而且比较快；经纬仪上安装垂直于水平轴的轴反射镜，由它的自准直就可以消除轴的晃动误差。来自水银面的影像和来自轴反射镜的影像自动准直重合的精度可以达到 $0.''1$ 或 $0.''2$ 。这种新方法和新设备消减了现行观测方法中未知的轴晃动系统误差和水准器置平误差，其所达到的精度可比现行常规一等天文方位角观测获得的精度高一个数量级。美国夏威夷大学和大地测量局还研制生产了一种自动方位角传递装置。它根据由小型计算机控制的刻度台，来控制光学系统在水平面上的运动。现这种装置还在继续发展和不断试验中。

为了减少测定天文方位角的费用，联邦德国探讨了局部大地网的定向是否可用其他方法代替常规方法的问题。经过多次试验，他们得出结论：用精密陀螺经纬仪所测定的方位角在精度方面可以与天文方位角媲美，而费用则低得多。美国也研究了利用惯性旋转敏感器测定天文方位角和纬度的方法。

用常规天文观测方法在大地网中布设垂线偏差点，会涉及到繁重的观测和计算工作。为了克服这方面的困难，七十年代后期，意大利军事地理院利用法国地理院的30厘米卫星摄影机，研制了能够把该摄影机安置到天顶位置、并能使其绕垂直轴旋转的基座上，制成天顶摄影机。用这种摄影机测定天文经、纬度，一个测站所需的作业时间仅约一小时，测定的点位中误差小于 $\pm 1''$ 。意大利采用这种方法布设了数百个垂线偏差点来求定大地水准面的精细结构，并且与奥地利等国的大地测量机构合作，用这种方法测定了阿尔卑斯山地区的大地水准面，取得了明显的效益。

联邦德国汉诺威大学约花了十年时间研制了便输式摄影天顶仪。其目的也在于提供测定天文大地垂线偏差的很经济的仪器。它的原理是在方位角相差 180° 的两个位置上摄取天顶附近的恒星，在摄影机曝光的同时，记录下曝光时刻和旋转轴相对于垂直轴的倾斜。一测站的观测时间（包括仪器的安装与拆卸）约为半小时。通过计算机量测象片计算经纬度的精度优于 $\pm 0.''5$ 。现在已用这种天顶仪在联邦德国以及挪威、丹麦、瑞士、巴西和委内瑞拉等国测定了二百个以上的天文点，用来以高精度求定大地水准面。

近年来美国采用一种装有CCD (charge—Coupled Device) 目镜的经纬仪测定局部垂线偏差，其效益比常规方法提高了一倍。

为了消减异常折光的影响，提高测定经纬度的观测精度，美国研制了双色折光仪，并在海军天文台24英寸望远镜上进行了观测。初步报导观测结果精度为 $\pm 0.''2$ 。联邦德国karlsruhe大学在继续研制适用于外业的DKM3—A经纬仪的光电记录装置。为满足南极考察的需要，该校测量教研室还在研究采用简单仪器在白天进行天文观测的方

法。

(二) 我国大地天文测量的现状与未来

我国过去长期以来采用经纬仪目视法观测测定天文经纬度,观测人员紧张,工作间长,且精度一直难以提高。为了解决这个问题,我国总参测绘研究所从六十年代末开始研制T4经纬仪自动跟星光电装置。1972年进行试验观测,1977年开始用于生产作业,测定精度有较显著的提高。据有关资料统计分析,测定恒星经过时刻的精度比目视法约高1.5倍;经度测定精度约高1倍,此外还能提高工效30%。光电法观测中的主要误差是星象抖动误差、水准仪器误差以及光电倍增管的噪声电流,其中水准器的影响最为严重,星象抖动的影响也是一个不易解决的难题。这些都严重阻碍天文观测精度的进一步提高。此外,还有光电装置中的参数确定和一些系统误差,如迟滞差的理论和测定方法等,都有进一步研究解决。

我国自己设计生产的天文观测经纬仪近几年来已经达到或接近世界先进水平,但在数字化、自动化和新技术的应用以及大地天文测量仪器设备和方法的改进和创新方面,我国与世界先进水平的差距还很大。因此,在这方面我们要努力学习上述国外先进技术,其中多数先进技术我们也是不难解决的,如“利用水银水准器和轴反射镜的自动准直测定精密天文方位角”这个被视为近几十年来在大地天文测量方面的一个重要突破的先进技术,只要我国同行们重视和研究,是能很快掌握和应用的。

我们确信,到2006年,我国在大地天文测量方面将会有很大改观。随着电子技术的飞速发展,我国大地天文观测仪器在全面实现光电观测的基础上,其自动化调整和读数装置将得到进一步简化;由于采用自动化坐标量测仪测量摄影底片,便输式摄影天顶仪的使用将日益普遍;由于广泛采用改进的新仪器设备和方法,测定天文经纬度和方位角的精度可望普遍比目前分别提高半个数量级和一个数量级,且经济效率普遍提高,以不断满足日益增长的需求。

四、空间大地测量的突飞发展及其展望

自从1957年世界上第一颗人造地球卫星上天以来,人类多少世纪梦寐以求的空间探索技术迅猛发展,空间科学以及与此有关的许许多多其他新兴科学技术应运而生。大地测量学这门古老科学也由于空间技术的发展和运用而发生巨大变革,产生了包含卫星大地测量学的广义的空间大地测量学,大大开拓了大地测量学更广阔的领域,赋予大地测量学以新的活力。

1979年11月在澳大利亚首都堪培拉举行的第十七届国际大地测量与地球物理联合会大会上,空间技术应用于大地测量学和地球物理学,已成为最引人注目的议题,引起了有关科学家们的极大关注,纷纷加入这一领域的研究。人造卫星等空间技术对大地测量做出了巨大贡献,正如西方某学者所说,它在几个月内告诉我们的东西,比几个世纪从地面上辛勤测量所得到的东西还要多。从七十年代末到八十年代初,世界各国空间大地测量技术的突飞发展集中表现在卫星多普勒观测、多频率测距、激光对月和对卫星测

距、甚长基线干涉测量、卫星雷达测高以及惯性定位等。

目前,在这一领域中,甚长基线干涉测量已经获得了极有价值的观测结果,子午卫星导航系统的多普勒定位技术继续得到广泛应用,接收机的台数在世界范围内大幅度增加,全球定位系统的定位技术正在全面发展中,其中利用全球定位系统卫星的干涉测量定位技术在美国得到突破之后,已引起其他国家的高度重视,这是大地测量定位技术的重大变革,将影响到传统大地网的前途,激光对卫星测距技术现已发展了第二代和第三代系统,并正在向流动型发展,以提高其使用率,卫星雷达测高将以更高的精度继续发展,而且还要用于测定平坦陆地的高程,卫星—卫星跟踪的设计更具体化了,卫星上的重力梯度仪已试制成功,现正在试验中。

上述所有有关空间大地测量技术都是我国目前正在或正待研究学习或今后需要发展的先进技术,我们一定要认真总结经验教训,结合我国国情,认真分析这些先进技术的先进性、可靠性及其在我国应用的可行性,走我国自己发展空间大地测量的道路。下面分别叙述这些先进技术的发展现状、未来趋势及在我国引进和发展的可能性。

(一) 发展卫星多普勒定位技术及全球定位系统大地定位的有关问题

多普勒定位技术是空间技术用于大地测量最早且现阶段得到最普遍应用的一种先进技术。早在1957年末,美国霍普金斯大学就用卫星多普勒跟踪设备监测苏联第一颗人造卫星,并根据多普勒频移测定卫星轨道获得成功。这导致了美国海军导航卫星系统(即子午卫星导航系统)多普勒定位技术的发展。

本来,在空间技术用于大地测量的初期,多普勒定位与卫星摄影观测技术是同时发展的。欧洲卫星大地测量的第一次主要活动,就是同美国一道采用对卫星摄影观测的方法进行卫星三角测量,从1966年到1972年,曾以5米的精度建立了“全球定位网”。但这种方法受到了两种基本限制:一是作为卫星背景的恒星位置误差;二是大气条件限制了这一方法的现有能力,很难进行显著的改进。专家们认为这种方法已达到了它的潜力极限,所以各国在七十年代后半期都结束了卫星摄影三角网的观测工作,各类卫星摄影机及其附属装备大都闲置起来了。到1979年的第十七届IUGG大会,人们已不再提及这种卫星摄影观测方法。这标志着这种方法作为空间大地测量低级发展阶段的结束。与此同时,卫星多普勒定位技术却一直保持旺盛的生命力,不但得到了现阶段最广泛的应用,而且还在继续向更完善的系统发展。

子午卫星导航系统是1964年开始应用的,现在有六颗卫星在高约一千公里的极轨道上运行。在地球上的轻便式大地接收机或导航接收机,通过接收这六颗卫星中的任何一颗卫星发出的广播星历或精密星历即可计算出接收机天线在通用的地心坐标系中的位置。据1982年国际大地测量协会SFB78专题研究组有关子午卫星导航系统定位精度的总结报告,多普勒单点定位用广播星历精度优于5米,用精密星历精度优于1米,在1000公里×1000公里的范围内,多点定位的相对精度很高,当点距为200公里时,点的相对坐标精度为0.3~0.5米。

由于多普勒定位系统是全天候的,不受天气、时间和地点的限制,且采用最新式的仪器和数据处理设备,操作自动化,观测结果中没有观测员的主观因素;从经济观点

看，它又是当前用于定位的空间技术中最低廉和最方便的，因此广为世界各国导航系统和大地测量所采用。据美国初步统计，1980年年底全世界正在使用的各种类型的多普勒接收机已达16,200余台，其中90%是导航接收机，10%是大地接收机；到1982年年底估计可能要超过45,000台。在1979年第十七届IUGG大会上，很多国家都报告了多普勒定位技术所取得的成果。如在北美大地基准重新平差中，就有500多个分布在美洲大陆及其周围的多普勒测站，以提供一个在分布情况和精度两方面都很均匀的参考标架，西欧各国在1972年结束了摄影观测之后，于1975年和1977年两次组织了多普勒联合观测，包括分布在16个国家的30多个站，这些观测参入了欧洲三角网的重新平差；法国地理院的大地测量局于1971年开始建立空间大地测量处，到七十年代末，除完成本国的多普勒网之外，还为阿尔及利亚、利比亚、圭亚那和加蓬等国测设了100多个多普勒站；素称千岛之国的印度尼西亚，过去无法建立统一的国家大地控制网，七十年代末测设了200多个多普勒站，把大地网统一起来了；在墨西哥，有广大地区过去没有大地测量控制，这些地区的地图、资源调查及经济开发工作难以进行，1972、1975和1976年三次使用多普勒仪器，并与惯性定位系统结合，在一个短时期内，建立了370多个大地控制点，还进行了海岛联测，使墨西哥得以确定自己的领海范围。多普勒定位技术对大地测量及其在国家建设和社会活动中所作的巨大贡献，是显而易见的。

为了把子午卫星导航系统向更高级阶段推进，就在其得到广泛应用的七十年代的中期，美国国防部又开始发展新的更完善的系统。这就是目前已部分完成并进入到全面工程发展阶段的导航卫星授时与测距全球定位系统，简称全球定位系统(GPS)。这个系统将包括24颗卫星，它们分布在相距 120° 的三个轨道上，每一轨道上大致均匀地分布8颗卫星，由于卫星颗数是子午卫星导航系统的4倍，因此在全球的任何地方和任何时刻，都可同时看到至少4颗卫星，这个系统的完成将为军用和民用部门、方便地提供精密导航，也将为大地测量中提高多普勒定位技术的精度提供手段，给大地测量带来巨大好处。到1982年底该系统已发射6颗卫星，整个系统原定1985年开始使用，现在推迟到1987年，卫星颗数减少为18颗。从那时起子午卫星导航系统的工作就将逐步过渡到全球定位系统。美国联邦无线电导航计划已规定，子午卫星导航系统将使用到1992年（必要时再推后一些）。这样，两种导航定位系统将有5年的重叠使用时间。

利用全球定位系统进行精确大地定位，目前已在研究并提出了三种主要观测方法：

(1) 伪距观测法。这是该系统原来设计时准备采用的观测方法。模拟研究表明，作单点定位，观测一天的地心坐标精度为0.5~0.8米；观测五天的精度为0.25~0.40米；如果在基线两端同时观测相同的卫星，测量基线长度的精度可达3厘米。

(2) 多普勒观测法。与子午卫星多普勒观测法相同。观测一天的地心坐标精度为0.65~1.50米；观测五天的精度为0.30~0.75米；测量基线长度的精度约为5厘米。

(3) 干涉测量法。此法是把甚长基线干涉测量(VLBI)的原理用于观测全球定位系统的卫星，用这种方法测量基线三个分量的精度为3厘米。此法是目前空间技术用于大地测量的一项新的重大突破，下节另作详述。

全球定位系统应用于大地测量的总目标在于为地球上任一位置提供比10厘米更好的定位精度。初步研究结果表明，这种系统在满足全世界测量界的要求方面，比其他系统