

激光精密测距的发展和应用

金和钟

(杭州大学区域与城市科学系, 杭州)

摘要: 本文综合介绍国内外激光精密测距技术的发展, 例举了近30年国内外主要精密激光测距仪和其它激光测量仪器的研制和生产, 详细分析了这些仪器的主要性能、特点以及在天体测量、大地测量、工程建设测量等领域内的广泛应用和发展前景, 指出在我国开发和研制短程激光测距仪的必要性。

The development and application of laser precision distance measuring

Jin Hezhong

(Department of Regional and Urban Science, Hangzhou University)

Abstract: In this paper, the development of laser distance measuring technology at home and abroad is introduced, the scientific research and the manufacture of the prominent precision laser optical distance measuring instruments and other laser measuring instruments for almost thirty years are enumerated, the principal properties and characters of these instruments, the wide application and the developing prospects in various fields of celestial body survey, geodetic survey and engineering building survey are analysed in detail, and the necessity of exploitation and manufacture of short range laser rangefinders in our country are pointed out as well.

一、引 言

在大地测量中, 三角网的起始边或精密导线边, 都要进行高精度的距离测量。本世纪60年代以前, 采用膨胀系数极小的因瓦线尺丈量, 在地形复杂地区无法丈量, 精度也难以提高。直到本世纪60年代梅曼研制成功世界上第一台激光器, 对激光测距起了关键性的推动作用, 为研究高精度、长测程、白天、夜间均好作业的激光测距仪创造了有利条件。美国首先研制成第一个连续波激光器(氦氖气体激光器), 把它附在Geodimeter 4型上, 测试结果良好, 首次获得研制激光测距的经验。接着美国光谱物理公司于1966年研制成功Geodolite 3G型长测程激光测距仪, 以He-Ne激光器5mW为辐射源, 白天可测30km, 夜间可测80km, 精度为 $\pm (1\text{mm} + 1\text{ppm} \cdot D)$, (D 为公里数, 下同)。1967年瑞典AGA厂又推出用5mW, He-Ne激光器作光源, 磷酸二氢钾晶体(KDP)作光调制器, 白天可测30km、夜间60km, 精度为 $\pm (5\text{mm} + 1\text{ppm} \cdot D)$ AGA-8型精密激光测距仪, 1977年又研制了AGA-600型。我国

地震研究所于1980年研制了JCY-3型激光测距仪,采用5mW He-Ne激光器作光源, KDP调制器,调制频率为15MHz,白天测40km、夜间可测50km,精度与AGA-8型同。

此后,随着激光、红外光、半导体、集成电路、微机处理等的发展,先后发展了各种新型的高效率、小而轻、自动化、全能化的中、短程激光和红外光电测距仪。瑞典、西德、瑞士、美国、英国、日本和中国等国家都研制了各种型号的测距仪。其中发展较快、我国引进比较普遍的有瑞典AGA、西德Opton、瑞士Kern、Wild、日本测机舍等厂的仪器。如AGA16、AGA110、AGA220、西德ELDI2、瑞士DM501、ME3000、ME5000、日本的REDmini2、RED21等。这类测距仪可用气体激光器为光源,也可用半导体激光器为光源,如美国HP公司中程测距仪HP3808A采用砷化镓激光二极管作光源,光源本身可直接调制。这类测距仪的测程大都在5~15km,精度为 $\pm(3\text{mm} + 5\text{ppm} \cdot D)$ 或 $\pm(5\text{mm} + 1\text{ppm} \cdot D)$ 。

当今世界各国都在向小而轻、高精度方向发展。最小最轻的是AGA-220型,主机仅重1.3kg,体积为 $175 \times 90 \times 110(\text{mm})^3$;精度最高的是瑞士的Kern厂和英国COM-RAD电子仪器公司合作研制的Mekometer ME3000和ME5000激光测距仪。当前国际市场上可供选择亚毫米级的高精度测距仪极少,ME3000的精度指标为 $\pm(0.2\text{mm} + 1\text{ppm} \cdot D)$ 。1986年研制的ME5000,以He-Ne激光管发出波长为632.8nm的连续性偏振光为光源,主机重仅1.1kg,精度为 $\pm(0.2\text{mm} + 0.2\text{ppm} \cdot D)$ [11]。

1982年后,瑞士Wild厂又研制出DI3000和DIOR3002两种红外激光测距仪,测程14km和9km,主机重1.7kg,精度为 $\pm(5\text{mm} + 1\text{ppm} \cdot D)$ 。DI3000在正常天气条件下单只棱镜就可测6km,而后者在200m内不用棱镜也可测距,精度为5~10mm [12]。

我国自1974年开始研制和生产激光测距仪样机,如武汉地震所、北京光仪厂、常州第二电子仪器厂,先后都生产了以He-Ne激光器为辐射源的激光测距仪,目前可供商品出售的尚有北光厂的DCJ32-1、DCH-3和常州二电仪的DCH2,精度为 $\pm(5\text{mm} + 5\text{ppm} \cdot D)$ 以及不用反光镜,测程7km,精度为0.5m的JCM-3激光测距仪。

近十年来,高效率、自动化、全能化的测距仪迅速发展,测角、测距实现电子测量,称电子速测仪(Electronic Tacheometer),其结果可以自动存储,也称全站型仪器(Total Station)。如西德的Elta2,瑞典的E1-DM502、美国的HP3820A、Autoranger以及日本的DTM-1、MD-20等都是具有代表性的全站型仪器,测程一般为2~5km,精度大都为 $\pm(3\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot D)$ 。

本文主要介绍精密激光测距仪以及伴随激光技术日益发展而问世的其它天体测量、大地测量和工程测量的激光测量仪器,如卫星激光测距仪,多载波激光测距仪、电子速测仪等激光测量仪器的发展水平和现状,以及在测绘科学领域中的主要应用、存在问题和发展方向。

二、人卫激光测距技术已达国际先进水平

随着激光测距技术的发展,使地面的激光测距发展到宇宙间的测距——人卫激光测距和激光测月技术,随之迅速发展起来。

首次激光测月是1962年在美国麻省理工学院进行,当时用的是1ms的激光脉冲,因脉冲持续时间较长而没有取得好结果。1965年苏联用Q开关红宝石激光器输出的50ns的脉冲,由于地球曲率和地表不规则的限制,精度仅达 $\pm 200\text{m}$ 左右。1964年第一个装有棱镜反射镜的卫星送入轨道,1969年阿波罗11号在月球表面放置棱镜反射器阵列(包含100块反光镜),使

激光测月精度达到 $\pm 15\text{cm}$ 。目前,卫星激光测距(SLR)对Lageos和Starlette的观测已可达 $\pm 1\text{cm}$ 的精度,激光测月(LLR)美国测得的测距精度为 $\pm 5\text{cm}$ 。

我国1972年开始人卫激光测距方面的研究工作,到1981年分别在北京、上海、云南、西安等地建立了第一代人卫激光测距系统(只能观测低轨卫星,精度为 $1\sim 2\text{m}$)。1978年开始,上海天文台和长春人卫站研制第二代测距系统,同年11月首次观测到距离 $6\sim 7000\text{km}$ 的LAGEOS卫星,观测资料经美国MERIT的SLR数据分析中心处理后,精度达 15cm 左右。1984年上海-西安人卫站联测了该两城市的基线长度,其精度小于 20cm 。最近,我国地震研究所研制成功我国精度最高的卫星激光测距仪,鉴定结果,测量 8000km 高空的卫星单程测距精度误差仅 $2\sim 3\text{cm}$,测算精度仅次于美国^[3]。

目前,我国已有上海、长春等十个SLR站,其中测距精度 5cm 左右的有 $4\sim 5$ 个站,即第三代系统,这已可与整个欧洲相比。

三、多载波激光测距技术的发展

高精度精密激光测距技术发展的另一个方面是双色激光测距与多载波激光测距技术的崛起。自1966年生产样机,1975年国际大地测量协会肯定,逐步研制了一些产品,限于篇幅,将国际上几种典型的多载波测距仪型号、性能参数列于表1。

从表1可见,目前世界上双色激光测距仪多采用He-Ne $0.6328\mu\text{m}$ 与He-Cd $0.4416\mu\text{m}$ 的红、蓝两种激光作为光源,1974年英国伦敦帝国大学与国家物理实验室(NPL)共同研制的蓝光(458nm),绿光(514nm)两种光谱线,调制器采用磷酸二氧钾晶体(KD_2P),调制频率为 500MHz ,测程 30km ,精度为 $\pm(0.1\text{mm} + 0.5\text{ppm}\cdot\text{D})$ 。美国华盛顿大学两台三载波激光测距仪精度分别为 1×10^{-7} 和 5×10^{-8} ,是当代精度最高的产品。

四、激光测距技术在大地测量中的应用

现代空间大地测量技术主要包括下述四大支柱:卫星多普勒定位,卫星射电定位,甚长基线射电干涉测量,宇空激光测距(它是卫星激光测距和地月激光测距的总称)。它们的成果不仅在大地测量学中应用,还扩大到了地球动力学和地球物理学,以及天体力学和空间物理学。

激光测距技术的发展,给大地测量领域开辟了广阔的应用前景;激光地面测距、激光测卫(月)、激光子午定位、全球定位系统、卫星测高、甚长基线干涉法测量和惯性测量系统为代表的大地测量技术都随着激光技术的发展而发展。使空间大地测量技术取代了大多数地面大地测量技术,从而使大地测量进入了一个高精度、高效率、低劳动强度、廉价获取地面点三维定位数据的新时代。

1.激光测距技术为高程测量提供新途径:以前各等级高程测量均用几何水准测量方法,这对山地、高山地测量造成困难,可以说根本就无法进行。自70年代以来,激光测距技术在高程测量中的应用一直受到国内外测绘界的重视和关注,普遍进行了理论探讨和外业测试。现在已经实现了用光电测距三角高程测量的方法来代替国家I、II等水准测量,精度完全达到“国家精密水准测量规范”的要求^[4]。

美国国家大地测量局(NGS)于1984~1985年在国家大地高程网的测量中,进行了三种摩托化精密三角高程测量方法代替水准测量的试验,结果都满足美国一等水准测量的精度

表1 各种多载波测距仪的型号及性能参数

测距仪型号	年代	测程(km)	精度	工作方式	载波	调制及调制频率(GHz)	调制器激励功率(W)	调制频率(Hz)	调制光重复率(Hz)	调制脉冲宽度(μs)	占空比	发射口径(cm)
K.B.Earnshaw 双色J.C.Owens	1966	8	3×10^{-7}	变频式	100W高压汞灯	KDP	10	1000	1000	100	1:10	20
					He-Ne 6328 Å	3						
K.B.Earnshaw 双色E.N.Hernandez	1972	8	2×10^{-7}	变频式	He-Ne 7mW	KDP	6	1000	1000	100	1:10	20
					He-Cd 15mW	2.7						
双色Georan I	1974	30	2×10^{-7}	可变光路	Ar离子激光	KD ₂ P	500	100	100	40	1:250	10
					5140 Å 4580 Å	0.5						
G.R.Huggett 三载波 L.E.Slater	1974	15	1×10^{-7}	变频式	He-Ne 5mW	KDP	20	1000	1000	50	1:20	20
					He-Cd 5mW 微波 100mW	3						
Terra 双色LDM-2	1975	20	1×10^{-7}	变频式	He-Ne 5mW	KDP						20
					He-Cd 10mW	3						
三载波J.Levine	1978	25~50	5×10^{-8}	单程接收 测相式	He-Ne 5mW	KDP	4					
					He-Cd 5mW 微波 100mW	2.7						
双色(日本)	1981 (开始)	>25	2×10^{-7}	单程接收 测相式	He-Ne 5mW	KDP						20
					He-Cd 14mW	1.8						
双色L.E.Slater	1986	10	1×10^{-7}	变频式	He-Ne 7mW He-Cd 14mW	KDP	20	1000	1000	50	1:20	20

要求。加拿大的试验结果是当距离在250m内,高程的标准误差不大于 $\pm 2\text{mm}\sqrt{KM}$ 。法国地理院1983年作了高精度摩托化三角高程测量试验,结果是当距离在1500m以内,高程的或然公里误差为 $\cong 3\text{mm}$;当距离小于400m时,则为 $\cong 1\text{mm}$ 。西德卡尔斯鲁厄大学精密三角高程测量试验,在距离250~280m内,高程闭合差为2.3mm,达到了几何水准闭合差的数量级。

我国四川省第一测绘大队1986年在水库大坝试验施测,精度也完全达到了国家I、II等跨河水准测量的精度^[6]。浙江省测绘局1990年5月用电磁波测距技术实现了我国首次跨海测距获得成功,使舟山群岛海拔高程与国家规定的高程基准统一起来,边长5km内,高程误差 $\cong 36\text{mm}$ ^[6]。

2.高精度与远程激光测距技术的发展特别适用于监测地壳构造应变,断层活动与火山变化,能按月为周期提供以前需要几年甚至更长时间连续观测才能得到的信息。美国将双色激光测距仪用于地壳形变测量,根据多年观测数据分析,长期稳定性可达到0.01ppm,能提供长期可靠的测量数据^[7]。

3.美国国家海洋局和制图与大地测量局正在开发激光光盘技术在制图和大地测量中的应用,用激光光盘技术编制导航图和调查飞机在飞行环境状态下数字光盘存储和显示航空图导航的资料处理,已获得很好的效果。

4.常规大地测量和工程测量激光测量仪器发展很快,激光经纬仪、激光水准仪、激光干涉仪等都是70年代发展的新型大地测量仪器,既提高了观测精度又灵活地适用于某些特殊的工程项目。根据目前我国的情况,研究新型大地测量光电产品和开拓新的应用领域是一个主要的方面;其次,对于共同性的关键技术和关键组件也应组织力量共同过关,使其品种、数量、技术水平能满足国内的需要。

五、结束语

激光技术已广泛应用于天体测量、大地测量、工程建设和地形测量的各个领域。

激光测距技术,特别是近几年发展的高精度的精密激光测距技术是大地测量和工程测量手段和方法上的一大突破,也是我国激光技术进一步开发的一个重要窗口。利用激光对人造卫星进行精密测距,近几年来已日益成为促进地球动力学、大地测量学、地球物理学和地震预报科学研究的一项新技术。

变形观测、激光准直、近景摄影是当前世界上工程测量的研究中心。我们应重视开发以电荷耦合器件(CCD)为接收传感器的激光导向经纬仪、准直水准仪、电子倾斜仪、激光位移仪等光电子产品,这对高层建筑、大坝变形观测和山体位移变化监测都有很大的现实意义。

远程激光测距仪的使用目前主要是第三世界,估计每年约需30~40台。根据我国的技术力量和现状,没有必要花很大精力去开发远程激光测距仪或多色激光测距技术,开发1~2km和2~5km、精度为 $\pm(5\text{mm} + 5\text{ppm} \cdot D)$ 的激光测距仪和激光水准仪是当务之急。

发展我国的卫星定位技术,不必建设一些昂贵的VLBI观测站,而可充分利用我国的卫星激光测距观测站,从现在开始,有意识地强化现有的几个激光测卫站及其数据处理中心。为了定轨观测和其它学科的需要,可在适当地方增设二、三个新的激光测卫观测站。这样,就可利用均匀分布在全国的激光测卫站来进行GPS或Glonass卫星精密定轨。

