

中国地球自转和地壳运动监测的研究工作

朱 文 耀 张 强

(中国科学院上海天文台 上海 200030)

摘 要

主要介绍了 1995 年至 1998 年期间有关中国地球自转和地壳运动监测的研究工作及取得的进展。

关键词 地球自转参数 — 地壳运动监测 — VLBI、SLR、GPS

分类号：P183.31

1 引 言

中国地球自转和地壳运动监测的研究工作主要包括观测设备、观测数据及关于地球自转和地壳运动的研究,其中关于地球自转和地壳运动的研究内容主要有:地球定向参数 EOP 的确定、地球自转与大气角动量、地球自转与海洋角动量、地球自转与海平面变化、地球自转与气候变化、地球自转与地震活动、地球自转与太阳风、岁差和章动、VLBI 和 SLR 数据的处理方法以及利用 VLBI 和 GPS 技术对中国大陆地壳运动的监测。此外,还包括亚太空间地球动力学 (APSG) 项目的活动等。

2 观测设备和观测数据

2.1 SLR

目前,中国的 SLR 网是由位于上海、长春、武汉、北京和昆明的 5 个固定站和一个流动站构成,该网的观测数量和观测质量每年都在稳步地提高(见表 1)。在 1997 年,中国 SLR 网观测了 20 颗卫星,获得了 5453 个观测弧段,总计 2103426 个观测数据,其中长春站获取了 2621 个弧段,测距误差小于 20 mm,已成为世界上高性能的 SLR 站之一^[1]。上海站于 1997 年建成了国内第一个白天 SLR 观测系统^[2]。到 1998 年为止,上海站和长春站所获取的标准点的精度都已达到了 8mm。昆明站拥有一个 1.2m 口径的望远镜,是一个发展中的、潜在的激光测月观测站。

IUGG 大会国家报告之一 国家重点基础研究发展项目“大陆强震机理和预测”(编号 G1998040703)

国家攀登项目(编号 970231003) 国家自然科学基金重点项目(编号 KJ951-01-304, 19833030)

1999-01-06 收到英文稿 1999-07-05 收到中文稿

中国 SLR 网已制定了一个长远的发展计划, 该计划得到了国家重大工程项目“中国地壳运动观测网络”的支持。从 1998 年开始, 每个测站都配备了一些新的反射器、频标及一些仪器和零件的备份。中国 SLR 网的第二个流动 SLR 系统也正由武汉地震研究所加紧研制, 预计将于 1999 年底完成。

表 1 中国 SLR 网观测弧段数

| 年份 | 上海 | 长春 | 北京 | 武汉 | 总计 |
|------|------|------|------|-----|------|
| 1995 | 591 | 948 | 356 | 118 | 2013 |
| 1996 | 599 | 1158 | 518 | 250 | 2525 |
| 1997 | 1118 | 2621 | 1151 | 206 | 5453 |

第十届国际激光测距仪器专题讨论会于 1996 年 11 月 11~15 日在中国科学院上海学术活动中心召开, 这是首次在亚洲召开的关于激光测距的专题讨论会, 有 18 个国家的 110 位代表参加了会议。

2.2 VLBI

近几年中, 上海和乌鲁木齐的 VLBI 观测站已连续参加了多次国际大地测量的 VLBI 联测, 如: IRIS-A、NEOS-A、IRIS-S、STRF、DOSE 和 CORE 联测。为了提高观测精度, 在过去的几年里, 两个测站在 VLBI 观测系统性能的改进方面 (包括接收机、氢钟和数据获取终端) 都作出了不懈的努力。目前, 从 24h 观测资料中获得的基线观测精度已达到了亚厘米级的水平。主要的改进工作包括当前正在进行的 MARK IV 型的 VLBI 数据获取终端 (DAT) 的改进, 预计于 1999 年年内完成, 这项改进会明显地提高两个测站的观测性能, 将使两测站的观测精度达到毫米级水平。此外, 还有一个用于监测中国地壳运动的天线为 3m 的流动 VLBI 站也正在安装之中, 预计 1999 年年内将能投入运转。值得一提的是, 在技术改造中, 上海 VLBI 站还得到了有关国际 VLBI 专家的帮助, 一个 Team-China 小组在参观上海 VLBI 站的过程中, 检测了上海 VLBI 的观测系统, 修正了其中的一些问题, 还对 VLBI 站的技术人员进行了技术培训, 并对如何提高 VLBI 的观测性能提供了宝贵的意见。

上海 VLBI 站主要的改进工作包括以下几个方面:

(1) 1996 年安装了一个由 NASA 提供的 TAC 型号的 GPS 接收机。

(2) 从 1996 年开始, 安装了一个俄制 X 波段的低温接收机用于 VLBI 观测, 系统的噪声温度为 60K 左右。在 1997 年还研制了一个新的室温 S 波段的接收机, 使得相应系统的观测噪声温度从 180K 下降到 120K。

(3) 对氢钟进行了改进。氢钟提供的 100MHz 的信号已被用于锁定所有接收机的 LOs, 这不仅将 LOs 的相位噪声减少了大约 10dB, 而且也提高了 BBCs 的谱线质量。

(4) 提高氢钟的热性能和相位稳定度。在 1998 年, 基于 JIVE 和 EVN 的帮助, MK IV 型终端的更新已经开始^[3]。

2.3 GPS

作为国家重点基础研究项目之一的“现代地壳运动和地球动力学研究”在国内建立了一个 GPS 网, 用于测量和监测中国地壳运动。该网包括了 23 个由地学专家精心挑选的测量点, 这些点基本覆盖了中国大陆。在 1992、1994 和 1996 年, 该 GPS 网分别进行了三次联测, 在第一次联测中, 仅涉及了青藏高原的部分区域, 而后两次则包括了整个中国大陆部分^[4,5]。一个由 22 个点构成的、覆盖整个中国大陆的 A 级 GPS 网也于 1992 年和 1996 年进行了联测

[6]。此外,从 1998 年起我国地震部门在我国主要活动地震断裂带布测了总数达 140 个点的滇西、青藏、华北、西北等七个区域性 GPS 监测网;地矿、测绘部门与美国麻省理工学院合作布测了龙门山 GPS 监测网;国家测绘局与德国合作,布测了新疆、西藏 GPS 监测网等。所有这些 GPS 联测资料都可用来研究中国的地壳运动。

作为国家重大科学工程项目的“中国地壳运动观测网络”也于 1997 年正式启动。该监测网络把 GPS 技术作为主要的观测手段,VLBI 和 SLR 技术作为辅助手段。整个监测网是由国家基准网(25 个 GPS 站)、国家基本网(56 个 GPS 站)、区域网(1000 个 GPS 站)、5 个固定的和 2 个流动的 SLR 站及 2 个固定的和 1 个流动的 VLBI 站组成。该监测网已于 1998 年 8 月开始正常运转。

3 地球自转

3.1 地球定向参数的确定 (EOP)

作为全球 VLBI、SLR 和 LLR 数据处理中心之一,中国科学院上海天文台于每年的 3 月 15 日之前都要向 IERS 提供 EOP 序列和其它分析结果。目前,上海天文台通过 VLBI 技术获得的 EOP 精度优于 $\pm 0.3\text{mas}$ 。

在 1949.10~1990.12 期间,大地测量、地球物理和天文工作者使用的是由上海天文台提供的对应历元 1968.0 平原点的中国的联合世界时和极坐标。此外,上海天文台还提供了对应于 FK5 星表、IAU 1980 章动系列、IAU 1976 天文常数系统及相应的光行差常数的地球自转参数系列,并且还对该序列与 ERP(BIH)87C02 的地球自转参数系列进行了比较 [7]。

在考虑了地球固体潮、海潮的情况下,基于 FK5 星表、IAU 1980 章动系列和 IAU 1976 天文常数系统,上海天文台还计算了对应于不同极点(如 CIO、历元平极和历元 1968.0 平极)的中国经度原点 [8]。

3.2 大气角动量与地球自转

通过对地球自转与大气角动量(AAM)的研究可以探讨大气对地球自转造成的高频激发。研究表明大气可以解释日长变化(LOD)中周期小于 30d 的非潮汐高频变化的大部分。此外,研究结果还表明极移运动中周期小于 30d 的高频变化也主要是由大气激发的 [9,10]。

根据日长变化的时间序列,以及从日本国家气象中心(NMC)和国家环境预报中心/国家大气研究中心(NCEP/NCAR)提供的 1979~1995 的全球气象资料中分析得出的大气角动量资料,可以分析日长变化的激发因素,检测大气角动量对日长变化的影响,主要的结果包括:(1)基于 NCEP/NCAR 资料获得的大气角动量比基于 NMC 资料的精度更高,噪声更低,相应的大气角动量也与日长变化的时间序列更一致。(2)基于 NCEP/NCAR 资料获得的大气角动量能更好地解释非潮汐日长变化中季节内到年际尺度上的变化,特别是也能解释周年和准两年尺度的变化 [11]。

依据南方涛动(ENSO)资料的研究,在年内的时间尺度上华盛顿地区纬度方向的残差非常显著,这也许表明关于地球的垂线方向的变化与海洋—大气系统的大尺度运动有关 [12]。

同样,利用大气角动量和极移序列,也可以研究大气对地球极移的激发机制。根据钱昌夏等人的研究,大气对 x 分量的影响在周年尺度上是 16%,在半周年尺度上是 9%,而对 y 分量的影响在周年尺度上是 43%,在半周年尺度上是 30% [13,14]。

3.3 海平面变化与地球自转

利用分布在太平洋上的 300 个验潮站的海平面资料, 可以分析出赤道和高纬度地区的海平面年际变化与相应的地球自转变化率的关系。通过一个简化的海洋模型, 可以研究地球自转变化率对海洋极向运动影响的物理过程^[15]。

TOPEX/POSEIDON 测高卫星的成功发射使得对海平面进行高精度的观测成为可能。利用 TOPEX/POSEIDON 的观测资料可以研究全球与局部的海平面的变化, 以及这些变化与地球自转和厄尔尼诺 / 南方涛动现象的关系。通过研究已获得如下一些有意义的结果: (1) 在 1992~1994 年间, 海平面升高的速率为 1.2mm/yr。(2) 对南、北半球, 海平面都存在周年变化, 变化的相位相反。(3) 卫星测高数据展现了海平面变化与地球自转和厄尔尼诺 / 南部涛动事件的关系^[16]。

3.4 海洋角动量与地球自转

利用中国科学院大气物理研究所的一个 20 层的海洋模型, 对海洋角动量 (OAM) 的理论模型和计算模型进行了研究。结果表明海洋角动量 (OAM) 序列有明显的周年变化。从完整的海洋角动量序列中可以分析出南、北半球 OAM 轴向分量的相位相反, 而在赤道上两个相互垂直的分量则分别有 3 个月和 5 个月的滞后。海洋激发对于日长变化中残余的周年变化约为 82%, 对于极移的 x 分量约为 64%, 对于 y 分量约为 93%^[11,17]。

3.5 气候变化与地球自转

通过对 1964~1993 年间的日长年际变化、ENSO 和大气准两年的变化 (QBO) 进行的小波分析, 得到 ENSO 和 QBO 是引起日长年际变化的主要因素, 它们是地球自转速率年际变化的主要激发源的结果^[18,19]。

除了 ENSO, 北大西洋涛动 (NAO) 可能是最显著的、最值得研究的年际气候变化系统。宏观上看, ENSO 是在太平洋 / 印度洋的赤道带上进行东西交互, 而 NAO 则基本上是围绕北大西洋的中纬度带进行的南北双极交互模式。通过研究发现这两者有明显的相关性, 而且也是与地球自转动力学相符的。根据这一点可以检测气候系统对极移年际变化的激发^[20]。基于从本世纪初开始的极移和 NAO 数据, 还发现了 NAO 对极移 10 年际变化的影响^[21]。此外, 研究表明: 如果能将 ENSO、NAO 及其它系统相结合, 应该可以更好地解释极移的年际变化甚至钱德勒摆动。对季度以上尺度 (包括准 50d 和准 120d) 的日长变化进行小波频谱分析, 可以看出季度内尺度的振动幅度在年际尺度上有明显的变化。在 ENSO 发生前, 准 50d 的日长变化要比 ENSO 发生时强, 这似乎可以作为 ENSO 即将发生的一个前兆。对于准 120d 的日长变化, 它在 ENSO 发生时比在 La Nina 发生时要强^[22]。

3.6 地震活动与地球自转

通过对地球自转的 10 年波动和季节变化与全球地震活动之间的关系进行分析, 可以得出: (1) 地球自转变化和全球地震活动在时间尺度上有全面的相关性, 在空间尺度上有区域上的差异, 特别是欧亚地震带和低纬度加利福尼亚东阿拉斯加地震带的地震活动与地球自转变化符合得相当好。(2) 这个相关性的结果也能较好地与动力学分析相符。(3) 对地球自转的观测可以为监测全球地震提供一个参考依据^[23]。

利用断层平面参数、震中位置、步函数以及由 Dahlen 给出的表达式, 可以计算在 1977~1994 年间发生的地震的轴向和赤道方向的惯性矩的累积变化。结果表明地球上两个赤道主方向和轴向上的惯性矩有极强的长期变化。地震有使旋转极向东经 130° ~ 150° 方向偏移的趋

势 [24,25]。

3.7 太阳风与地球自转

通过太阳风和磁大气层的相互作用, 考虑到磁大气层中的磁力线随着地球自转的“冻结”将会引入额外的压力或张力, 这也许是影响地球自转长期变化的一个因素 [26,27]。

3.8 岁差和章动

通过对由 VLBI 的观测得出的天极偏移序列 ($\delta\Delta\psi, \delta\Delta\varepsilon$)(1979~1997) 的分析, 可以确定对 IAU 1976 岁差常数和一些 IAU 1980 章动项的修正。天极偏移的后拟合残差表明自由核章动的时变特性。而从对天极偏移序列的小波分析中可以看出自由核章动的时变性比周年章动项的异相分量的变化更明显。利用多步滤波器, 可以从天极偏移序列中修正自由核章动成分, 结果表明其在 80 年代的幅度要大于 90 年代 [28,29]。

4 VLBI 和 SLR 数据的处理方法

在 SLR 的数据处理中可以采用一种新的稳健 (L_p) 估计方法来替代最小二乘 (L_s) 估计方法, 该方法有 50% 的崩溃点, 不受杠杆点的影响, 在 SLR 数据的处理中具有很好的剔除野值的性能, 能自动地剔除野值 [30]。分析表明 SLR 观测是一个 p - 范分布, 同利用 L_s 估计相比, 合适的 L_p 估计可以给出更稳健的、更有效的仿效参数。当观测的粗差高达 66% 时, 合适的 L_p 估计仍能给出可靠的稳健仿效参数, 而此时 L_s 估计已失效 [31]。在 VLBI 数据处理中, 卡尔曼滤波方法的理论和实际应用得到了深入的研究。为了有效地利用 VLBI 技术监测 UT1 的周日变化, 提出了单参数分段卡尔曼滤波 (OKF) 方法, 利用这一方法可从 24h 的 VLBI 观测资料中可靠地分离出分辨率为 1h 的 UT1 变化量 [32]。基于 SOLVK 和 CALC 的基础, 在南京大学的 SUN 工作站上已建立了一套完整的 VLBI 数据处理软件 NUVP。利用 NUVP, EOP 参数 ($x, y, UT1, d\psi, d\varepsilon$) 的估计精度分别可以达到 0.11mas, 0.09mas, 0.005ms, 0.19mas 和 0.08mas [33]。

在 GPS 定位对流层折射改正的研究中, 为了用随机过程模拟对流层折射, 提出了一种最小二乘递推算法, 采用此法可有效地提高测站垂直方向的定位精度 [34]。

通过在海潮负荷参数的计算中采用球谐函数展开的方法 [35], 计算了东亚 11 个 VLBI 站和史瓦西海潮模型中的四个海潮分量 M2、S1、K1 和 O1, 其中在用格林函数计算负荷质量的卷积中采用了 Pagiatakis 地球模型。

利用映射函数的母函数方法研究了天体测量中对流层引起的折射和延迟问题, 基于余误差函数的连分式, 建立了新的对应于标准大气模型和 Hopfield 大气模型的映射函数形式 UNSW931 和 UNSW932, 并对几种不同的映射函数对大气折射和延迟的影响进行了比较, 对于光学波段, 则需采用与频率有关的映射函数 [36~39]。

5 中国地壳运动的监测

中国地壳运动 GPS 监测网分别于 1992、1994 和 1996 年进行了三次联测。基于这三次联测资料与全球 IGS 站的观测联合处理获得了分布在中国大陆的 22 个 GPS 点的水平速度, 大部分点的测量精度都优于 3mm/yr。由此可以看出在欧亚板块上的中国大陆地壳运动的一些

特征: (1) 中国大陆地壳运动的动力主要来自于印度板块对中国西南部的北向推力, 这个推压作用从南到北逐渐减弱。若以中国南北地震带作为分界线, 中国东西部的地壳运动有明显的差异, 中国西部的地壳运动比东部的更强更复杂。(2) 中国西部的水平运动南北向缩短, 东西向伸长, 而且伸长的速率大于缩短的速率。其中有两块区域的北向运动最强, 一块是中国新疆的西部(喀什、和田属于该区域), 另一块是西藏东南部(拉萨、温泉属于该区域)。(3) 中国西部有两个特殊的块体, 一个是位于云南省西部的川滇块体, 该块体有一个明显的右旋且整体向南的运动, 这使得该块体与西藏块体有一个强烈的相对运动。另一个块体是新疆南部的塔里木块体, 该块体有较强的向北运动, 并且相对周围块体有明显的向西运动^[40~42]。

中国 GPS 网在青藏高原分别于 1993 和 1995 年进行了两次 GPS 联测, 结果表明: 目前, 青海 - 青藏高原正在以 38.6mm/yr 的速度向西伯利亚东北方向运动, 这个结果与基于地质资料的运动学模型相一致^[43,44]。

对喜马拉雅山脉临近区域的地壳运动和地球动力学的研究也已取得了一些成果。在过去的 30yr 当中, 中国共进行了三次(1966, 1975 和 1992 年)大地测量, 获得了一些很有意义的结果: 从 70 年代中期开始, 喜马拉雅山脉以 113mm/yr 的水平速度向方位角为 252° 的方向运动, 垂直升高速率为 35mm/yr。如此高的垂直上升速率是由于该区域内的山谷冰河造成的。此外, 似乎还有一些瞬时变化, 在 1966~1975 年间的速率比 1975~1992 年间的大 3 倍。喜马拉雅山脉区域形变速率的变化与中国地震活动的相关性对于理解地震的发生和地震周期的实质有着重要的意义^[6]。

根据中国大陆及其周边地区的 12 个 IGS 站在 1995 年 5 月~1998 年 6 月间获得的 GPS 数据, 可以计算这些 IGS 站的水平位移。这些结果能被用来研究中国大陆地壳运动的背景场。研究表明印度板块、欧亚板块和西伯利亚块体对中国大陆的作用在过去的几百万年中是稳定的, 太平洋板块的间接影响是非常小的^[45,46]。除了 GPS 站的观测以外, 位于上海和乌鲁木齐的 VLBI 站已连续多次参加了国际间的 VLBI 联测(如 CORE(Continuous Observations of the Rotation of the Earth)、NASA 和 APSG(Asia-Pacific Space Geodynamics) 的 VLBI 联测), 这将有助于提高这两个站的坐标和速度精度。这两个 VLBI 站相对于欧亚板块的最近的速度如表 2 所示

表 2 VLBI 站相对欧亚板块的速度

| 站 | 水平速度 /mm·yr ⁻¹ | 方位角 / (°) |
|------|---------------------------|-----------|
| 上海 | 8.9 | 98 |
| 乌鲁木齐 | 13.6 | 28 |

6 亚太空间地球动力学 (APSG) 项目

亚太地区是一个地质构造复杂、地壳运动剧烈的区域。整个区域人口稠密, 自然灾害频发, 当前正处于经济迅速发展的时期。基于亚太地区的这些特点, 上海天文台的叶叔华院士及时地提出发展 APSG 项目的构想, 目的就是为了鼓励亚太地区的科学家进行国际合作, APSG 项目的主要内容包括: (1) 推动和加强对地壳运动、地壳形变和海平面变化的研究。(2) 为减小自然灾害的影响, 提供有关自然灾害发生和预防的信息。(3) 丰富地球动力学领域

的知识。(4) 推动国际间的科学交流和合作。(5) 提高发展中国家的科学研究水平。根据 1994 年的 IAG 决议, APSG 的第一届工作会议于 1997 年的 3 月 13~17 日在中国科学院上海学术活动中心召开, 会议通过了决议: 建立三个科学工作团组(即: a. 青藏高原的地壳运动和动力学, b. 西太平洋火山-地震带的地壳/板块运动, c. 海平面变化对亚太地区的影响)和五个观测技术小组(分别为: a. GPS 和其它无线电技术, b. 重力仪, c. 遥感(合成孔径雷达)(SAR), d. 人卫激光测距(SLR), e. 甚长基线干涉(VLBI))。APSG 项目由管理委员会负责指导和统一, 叶叔华院士被大会选为管理委员会主席。第二届 APSG 会议是于 1998 年 3 月 12~16 日在法属 Papeete 召开的。会议由太平洋法国大学的大地海洋实验室与 CNES、上海天文台、国家宇航局和 NASA 的空间署共同组织。这届会议的决议是: (1) 加强各科学工作团组, 使它们能按计划和组织实体发挥作用, 具体为: a. 协调当前的观测和分析, b. 发展和实施新的项目; (2) 加强观测技术小组, 以便他们能更有效的支持科研活动; (3) 加强 APSG 组织, 以便能为科学项目的开展提供必要的基础条件。在会议上, 所有的科学工作团组和技术小组都作了报告。下一届 APSG 会议将于 1999 年 11 月 18~22 日在日本的 Tsukuba 召开, 会议的主题是 GPS 技术在地球科学中的应用及与其它空间测地技术的结合。

致谢 感谢金文敬、杨福民、郑大伟、顾震年、钱志翰、蒋栋荣、严豪健、李金岭、杨志根、周永宏和吴斌等先生为本文提供了多方面的资料。

参 考 文 献

- 1 Zhao Y et al. Proceedings of the 11th International Workshop on Laser Ranging, 1998, Deggendorf, Germany
- 2 杨福民等, 中国科学(A辑), 1998, 28(11): 1048
- 3 Qian Z H., Proceedings of the Technical Workshop for APT and APSG, 1996(TWAA96), Kashima, Japan, 1996:48
- 4 朱文耀等, 自然杂志, 1998, 20(6)
- 5 Zhu W Y et al. Science in China (Series D), 1998, 41(3):314
- 6 Chen J Y et al. On the Crustal Movement and Geodynamics in Mt. Everest and its adjacent area: Study on the collision zone along the Eurasian and Indian plate boundary, Report on the second Meeting of APSG, 1998, Tabiti, French Polynesia
- 7 陆佩珍等. 测绘学报, 1995, 24(2): 67
- 8 金文敬等. 测绘学报, 1995, 24(3): 178
- 9 郑大伟, 谢伯全. 科学通报, 1995, 40(5): 433
- 10 谢伯全, 郑大伟. 天文学报, 1996, 37(2): 113
- 11 虞南华, 郑大伟. 天文学报, 1998, 39(2): 122
- 12 李正心. 天文学报, 1995, 36(1): 47
- 13 钱昌夏, 顾震年. 天文学报, 1996, 37(2): 124
- 14 虞南华, 郑大伟. 天文学进展, 1998, 16(1): 35
- 15 郑大伟等. 天文学报, 1996, 37(1): 97
- 16 郑大伟, 吴宏秋, 科学通报, 1997, 42(17): 1451
- 17 虞南华, 郑大伟. 地球物理进展, 1996, 11(3): 70
- 18 顾震年, 王广利. Earth, Moon and Planet, 1996, 73: 74
- 19 周永宏, 郑大伟. 天文学报, 1997, 38(2): 209
- 20 Zhou Y H et al. Global and Planetary Change, 18: 79
- 21 郑大伟等. 天文学报, 1997, 38(2): 204
- 22 钟敏, 高布锡. 天文学报, 1998, 39(1): 52
- 23 周永宏, 郑大伟. 地震学报, 1995, 8(1): 31

- 24 顾震年等. 天文学报, 1995, 36(3): 65
 25 Gu Z N et al. Bull Astro. Belgrade, 1995, 152: 21
 26 顾震年等. 天体物理学报, 1998, 18(4): 449
 27 Gu Z N. Astrophysics and Space Science, 1998, 236: 1
 28 李金岭, 王广利. 科学通报, 1996, 43(12): 1019
 29 李金岭, 郑大伟. 天文学报, 1998, 39(3): 308
 30 贾沛璋等. 测绘学报, 1995, 23(4): 302
 31 吴杰等. 天文学报, 1996, 37(2): 132
 32 郑勇等. 测绘学报, 1996, 25(3): 161
 33 郑勇等. 天文学报, 1998, 39(1): 76
 34 葛茂荣, 刘经南. 测绘学报, 1996, 25(4): 285
 35 杨志根等. 天文学报, 1998, 39(4): 362
 36 Yan H J, Ping J S. A. J., 1995, 110(2), : 934
 37 Yan H J, Feng C G. Proceedings of the 10th International Workshop on Laser Ranging Instrumentation, Shanghai, China, 1996
 38 Ping J S et al. M.N.R.A.S., 1997, 287: 812
 39 平劲松等. 空间科学报, 1997, 17(4): 37
 40 黄立人等. 地震学报, 1997, 19(1): 21
 41 朱文耀等. 天文学进展, 1997, 15(4): 373
 42 朱文耀等. 中国科学, 1997, 27(5): 385
 43 蔡宏翔等. 中国科学, 1997, 27(3): 233
 44 刘经南等. 地球物理学报, 1998, 41(2): 520
 45 朱文耀等. 天文学进展, 1998, 16(4): 346
 46 Zhu W Y, Cheng Z Y. Proceedings of the Technical Workshop for APT and APSG, 1996(TWAA96), Kashima, Japan, 1996:220

Research Work Related to Earth Rotation and Crustal Motion Measurement in China

Zhu Wenyao Zhang Qiang

(Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030)

Abstract

The research works related to earth rotation and crustal motion measurement in China from 1995 to 1998 are reviewed in this report. The main contents are an introduction of instruments and observations, a summary of studies on precession and nutation, the Earth rotation excitations due to atmosphere, ocean, seismic activity and solar wind respectively, and a detail presentation of measurement of crustal motion of chinese mainland by VLBI and GPS. Some data-reduction methods are also expressed. Finally, the activities of Asia-Pacific Space Geodynamics(APSG) program is briefly stated.

Key words Earth Orientation Parameters—Crustal motion measurement—VLBI, SLR, GPS