**文章编号:**1671-8860(2012)05-0573-04

文献标志码:A

# 利用不同气候类型的 GPS 可降水量比较研究

邹友峰1 王 勇1,2 闻德保3 苏幼坡2

(1 河南理工大学测绘与国土信息工程学院,焦作市世纪大道 2001号,454000)
 (2 河北省地震工程研究中心,唐山市新华西道 46号,063009)
 (3 长沙理工大学交通运输工程学院,长沙市天心区赤岭路 45号,410004)

摘 要:利用高精度定位定轨软件 GAMIT 对 2000~2004 年的中国地壳运动监测网络数据进行了处理,获得 各测站的可降水量时间序列,并以不同气候类型将各测站的可降水量进行了分类比较。在不同气候类型的可 降水量的比较中,青藏高原高寒地区的可降水量最低,温带大陆性气候的可降水量次之,温带季风气候的可降 水量居中,热带季风气候的可降水量最高,亚热带季风气候的可降水量为次高。在可降水量的图形变化比较 中,不同气候类型的可降水量序列的波形变化也不相同,对可降水量峰值时间进行了量化比较。 关键词:GPS;对流层延迟;可降水量;气候类型;中国地壳运动监测网络 中图法分类号:P228.42

对流层高度为 40 km 以下的大气层,由于其 离地面近,因此大气密度较电离层的密度大,且大 气状态随地面气候的变化而变化<sup>[1]</sup>。对流层延迟 通常可分对流层干大气所产生的"干项"和由大气 中水蒸气所产生的"湿项"[2]。水汽是大气中活跃 多变的成分,它是产生降水的物质基础,直接关系 到各地的降水天气及气候。文献[3]中 GPS 对流 层延迟直接推算可降水量的研究证明了对流层延 迟与可降水量具有很好的相关性。如果知道可降 水量的变化规律,就可以掌握其降雨趋势,也可以 为气象部门提供基础数据源。自20世纪末以来, 国内众多学者研究了地基 GPS 反演大气水汽含 量的原理,并在香港、武汉、三峡、渤海等地区进行 了 GPS 气象学应用方面的研究[4-12],取得了一系 列的研究成果,为GPS技术在气象学领域的推广 应用提供了基础。本文拟采用 2000~2004 年的 中国地壳运动监测网络 GPS 数据和气象数据解 算出各 GPS 测站的可降水量,以可降水量序列进 行不同气候类型的比较研究。

### 1 中国地壳运动监测网络数据解算

中国地壳运动监测网络的 GPS 数据解算采

用 GAMIT 10.3 软件,星历采用 IGS 提供的精密 星历,GPS 数据采样间隔为 30 s,每天的观测时 间为 UTC 时间 00:00 至 24:00,对流层延迟按小 时估算,卫星截止高度角为 10°,基线解算模式为 Relax,按天解算,GAMIT 软件估算对流层延迟 采用的气象参数采用默认标准值。在用 GAMIT 处理 GPS 数据时,GPS 网内应具有大于 500 km 长度的基线,这样得到的对流层延迟是独立的估 计值,否则结果会有偏差,这个偏差对于整个 GPS 网来说是一个常数,从而得到的对流层延迟 为测站间的相对估计值<sup>[13-15]</sup>。中国地壳运动监测 网络的基线大部分满足此要求,因而解算出来的 对流层延迟为绝对估计值。本文对 2000~2004 年的中国地壳运动监测网络数据进行了处理,提 取了各测站的对流层延迟时间序列。

# 2 IGS 站点对流层延迟序列及中国 地壳运动监测网络解算结果比较

#### 2.1 IGS 站点对流层延迟序列

IGS 不仅提供精密、快速预报等星历、IGS 站 点观测数据,还提供测站对流层延迟处理结果。笔 者从 IGS 下载了 1997~2007 年国内 IGS 站点的对

收稿日期:2012-03-15。

**项目来源**:河北省自然科学基金资助项目(D2010000921);国家自然科学基金资助项目(40804002);中国博士后科学基金资助项目 (20100470144)。



图 1 IGS 站点对流层延迟

Fig. 1 Tropospheric Delay of IGS GPS Stations

由图1可以看出,对流层延迟呈现明显的年 周期变化趋势,在每年的开始和末尾,对流层延迟 处于低值;在年中时,对流层延迟处于峰值。由于 纬度、海拔的不同,BJFS、LHAS、SHAO的对流 层延迟差别较大,SHAO 与 WUHN 的对流层延 迟接近,这是由于两者的纬度和海拔接近的缘故。

# 2.2 中国地壳运动监测网络解算对流层延迟的 可靠性比较

中国地壳运动监测网络包含多个 IGS 站点,而 IGS 分析中心提供的对流层延迟具有很好的精度, 因此,为了验证中国地壳运动监测网络估算的对流 层延迟的正确性及精度,本文将笔者解算的对流层 延迟与 IGS 提供的对流层延迟进行了比较。

图 2 为由笔者解算的 2000 年 LHAS 站对流 层延迟与 IGS 提供的对流层延迟的比较。可以 看出,基于中国地壳运动监测网络的对流层延迟 与 IGS 提供的对流层延迟基本一致,说明基于中 国地壳运动监测网络解算的对流层延迟是正确可 靠的,可以用于气候变化研究。



# 3 不同气候类型的 GPS 可降水量

在提取所解算测站的对流层延迟的基础上, 获取中国地壳运动监测网络 GPS 站点的气压、温 度数据,利用 Black 模型计算静力学延迟,由对流 层延迟减去静力学延迟获得湿延迟,湿延迟乘以 0.15即可获得相应的可降水量。

中国的气候类型可以分为五种,根据其各自覆 盖的区域范围,把中国地壳运动监测网络的 28 个 GPS站点进行分类,情况如下(括号内站点为没有 气象数据):① 热带季风气候:QION、(YONG); ② 亚热带季风气候:LUZH、WUHN、SHAO、 KMIN、GUAN、XIAM、(WHJF、XIAG);③ 温带季 风气候:HLAR、CHUN、BJFS、XIAA、YANC、 (HRBN、SUIY、BJSH、JIXN、TAIN、ZHNZ);④ 温 带大陆性气候:URUM、(TASH、WUSH、DXIN); ⑤ 青藏高原高寒气候:DLHA、XNIN、LHAS。

#### 3.1 热带季风气候

图 3 为 QION 站的 GPS 可降水量。可以看 出,测站可降水量以年为周期变化,可降水量变化 值为 10~70 mm,可降水量平均值为 41 mm,可 降水量在 50 mm 以上的时间为 110 d,可降水量 序列的波形变化平缓,峰值持续时间长。热带季 风气候的特点是全年高温,降水集中在 6~10 月, 可见,QION 站可降水量的变化规律与热带季风 气候的特点是吻合的。



图 3 热带季风气候类型的 GPS 可降水量 Fig. 3 GPS Precipitable Water Vapor in Tropical Monsoon Climate

#### 3.2 亚热带季风气候

亚热带季风气候的覆盖范围为北纬 25°~ 35°之间,其中,KMIN 与其他几个测站不同,它属 于高海拔区域,高程接近 2 000 m。如图 4 所示, KMIN 站的可降水量最大值只有 40 mm,远低于 同气候区域的其他站的可降水量最大值 70 mm。 可降水量与高程关系密切,在纬度大致相当的情 况下,可降水量与测站高程成反相关,高程越大, 可降水量越小。



Fig. 4 GPS Precipitable Water Vapor in Sub-tropical Monsoon Climate

由图 4 可以看出,亚热带季风气候类型的 GPS 可降水量序列的波形变化小,较为平缓,峰 值持续时间长。WUHN 站可降水量变化值为1 ~70 mm,平均值为 28 mm,一年中可降水量大于 50 mm 的时间为 50 d;SHAO 站可降水量变化值 为1~69 mm,平均值为28 mm,一年中可降水量 大于 50 mm 的时间为 48 d; GUAN 站可降水量 变化值为 4~74 mm,平均值为 40 mm,一年中可 降水量大于 50 mm 的时间为 102 d; XIAM 站可 降水量变化值为 5~74 mm,平均值为 38 mm,一 年中可降水量大于 50 mm 的时间为 88 d; LUZH 站可降水量变化值为 3~69 mm,平均值为 32 mm, 一年中可降水量大于 50 mm 的时间为 58 d;KMIN 站可降水量变化值为 0~40 mm,平均值为 17 mm, 一年中可降水量大于 27 mm 的时间为 74 d。 GUAN 和 XIAM 两站可降水量变化与热带季风气 候类型的 QION 站相似,可降水量峰值时间长,不 同于亚热带季风气候地区的其余4个站点。

#### 3.3 温带季风气候

温带季风气候的覆盖范围在北纬 35°~55°左 右的亚欧大陆东岸,与热带、亚热带季风气候的可 降水量相比,温带季风气候的可降水量较小,原因 在于该区域的温度低于热带、亚热带,而纬度高于 这两个区域,而可降水量的大小与温度成正相关, 与纬度成反相关。

从图 5 可以看出,BJFS 站的可降水量变化值为 0~64 mm,平均值为 16 mm,一年中可降水量 大于 40 mm 的时间为 21 d;XIAA 站可降水量变 化值为 0~56 mm,平均值为 17 mm,一年中可降 水量大于 40 mm 的时间为 22 d; YANC 站可降水 量变化值为 0~49 mm,平均值为 14 mm,一年中 可降水量大于 30 mm 的时间为 23 d; CHUN 站 可降水量变化值为 0~58 mm,平均值为 14 mm, 一年中可降水量大于 35 mm 的时间为 21 d; HLAR 站可降水量变化值为 0~44 mm,平均值 为 10 mm,一年中可降水量大于 27 mm 的时间为 20 d。温带季风气候类型 GPS 站点的可降水量 波形变化大,峰值持续时间短,可降水量序列的变 化与温带季风气候的特点是一致的。



图 5 温带季风气候类型的 GPS 可降水量 Fig. 5 GPS Precipitable Water Vapor in Temperate Monsoon Climate

#### 3.4 温带大陆性气候

该区域测站的特点是高程较大,与温带季风 性气候测站相比,两区域的纬度相当,但是高程差 别较大,因而温带大陆性气候的可降水量小于温 带季风性气候的可降水量。

从图 6 可以看出, URUM 站可降水量变化值 为 0~38 mm, 平均值为 12 mm, 一年中可降水量 大于 25 mm 的时间为 23 d。URUM 站可降水量 的波形变化小,峰值持续时间短。



图 6 温带大陆性气候类型的 GPS 对流层延迟 Fig. 6 GPS Precipitable Water Vapor in Temperate Continental Climate

#### 3.5 青藏高原高寒气候

青藏高原高寒气候的特点是日照强烈,气温低,变化大,降水稀少,地高天寒。该区域的高程 大,温度低,导致该区域的可降水量明显低于其他 气候区域的可降水量。从图 7 可看出,DLHA 站 的可降水量变化值为 0~30 mm,平均值为 7 mm,一年中可降水量大于 15 mm 的时间为 35 d; XNIN 站可降水量变化值为 0~33 mm,平均值为 9 mm,一年中可降水量大于 15 mm 的时间为 65 d;LHAS 站可降水量变化值为 0~30 mm,平均 值为 10 mm,一年中可降水量大于 17 mm 的时间 为 73 d。该区域气候类型的可降水量的波形变化 小、平缓,峰值持续时间长。





由以上5个气候类型的可降水量比较可看 出,各气候类型的可降水量存在较大的差异,可降 水量序列峰值持续时间长短也有很大的差别。纬 度、大气环流、海陆分布和地形是影响气候的主要 因素,也是影响水汽变化的重要因素。① 纬度位 置是影响气候的基本因素。纬度不同的地方,各 地方的太阳高度角不同,接受太阳光热的多少就 不一样,气温的高低也相差悬殊。② 大气环流是 形成各种气候类型和天气变化的主要因素,是大 气中热量、水汽等输送和交换的重要方式。大气 环流对气候的影响显著,上升气流和从低纬度流 向高纬度的气流,气温由高变低,水汽容易凝结, 降水机会较多;下沉气流和从高纬度流向低纬度 的气流,气温由低变高,水汽不易凝结,降水机会 就少。在不同气压带和风带控制下,气候特征尤 其是降水的变化有显著的差异。③ 海陆分布改 变了气温和降水的地带性分布。在海洋或近海的 地区,气温的日变化和年变化较小,降水比较丰 富,降水的季节分配也比较均匀,多形成海洋性气 候。在相同的纬度,处于同一气压带或风带控制 之下的地区,由于所处的海陆位置不同,形成的气 候特征也不同。④ 地形的起伏能破坏气候分布 的地带性。在同一纬度地带,地势越高,气温越 低,降水在一定的高度范围内是随高度的升高而 增加的。

从以上分析可看出,中国地壳运动监测网络 测站处于不同的气候区域,各气候区域的纬度、大 气环流、海路分布、地形等存在较大的差别,这导 致了不同区域气候类型的可降水量在数值上差别 大,峰值变化时间长短也不同。

#### 参考文献

- [1] 张守信. GPS 卫星测量定位理论与应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社,1996:100-102
- [2] 叶叔华,黄珹.天文地球动力学[M].济南:山东科学 技术出版社,2000:140-144
- [3] 王勇,刘严萍,柳林涛,等.无气象要素的 GPS 对流 层延迟推算可降雨量的研究[J]. 测绘科学,2007, 32(3):122-124
- [4] 陈俊勇. 地基 GPS 遥感大气水汽含量的误差分析 [J]. 测绘学报,1998,27(2):113-118
- [5] 陈永奇,刘焱雄,王晓亚,等.香港实时 GPS 水汽监测系统的若干关键技术[J].测绘学报,2007,36
  (1):9-13
- [6] 王勇,柳林涛,肖建华,等.武汉地区 GPS 气象网试验研究[J].武汉大学学报・信息科学版,2007,32
  (5):435-438
- [7] 陈波,史瑞琴,陈正洪. 2007 年湖北省梅雨期可降水量的 GPS 观测和分析[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(6):535-539
- [8] 张化疑,刘焱雄,周兴华,等.渤海区域对流层加权
  平均温度研究[J].测绘信息与工程,2010,35(4):
  1-2
- [9] 丁金才,叶其欣. 长江三角洲地区近实时 GPS 气象 网[J]. 气象,2003,29(6):26-30
- [10] 王贵文,王泽民,杨剑. 地基 GPS 准实时反演三峡 地区大气可降水量的研究[J]. 武汉大学学报・信 息科学版, 2007,32(9):761-764
- [11] 王留朋,白征东,过静珺,等.利用地基 GPS PWV 序列和相对湿度 RH 序列研究暴雨过程[J].测绘科 学,2007,32(3):142-145
- [12] 常亮,何秀凤. 综合 GPS 和 NCEP 在区域降雨预报 中的应用研究[J].中国科学:物理学 力学 天文学, 2010,40(5):685-692
- [13] 宋淑丽. 地基 GPS 网对水汽三维分布的监测及其 在气象学中的应用[D].上海:中国科学院上海天文 台,2004
- [14] Duan J, Bevis M, Fang P, et al. GPS Meteorology: Direct Estimation of the Absolute Value of Precipitable Water[J]. J Appl Meteorol, 1996, 35: 830-838
- [15] 李征航,徐晓华,罗佳,等.利用 GPS 观测反演三峡
  地区对流层湿延迟的分布及变化[J].武汉大学学报
  ・信息科学版,2003,28(4):393-396

**第一作者简介:**邹友峰,教授,博士,博士生导师,现从事大地测量 应用研究。

E-mail:ZOUYF@hpu.edu.cn

(下转第581页)

量、变形分析与预报、测量数据处理方面的科研和教学工作。 E-mail;zzl623@whu.edu.cn

# **General Reliability of Measurement**

ZHANG Zhenglu<sup>1,2</sup> FAN Guoqing<sup>1</sup> ZHANG Songlin<sup>3,4</sup> YANG Xiping<sup>1</sup>

- (1 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)
- (2 Key Laboratory of Precise Engineering & Industry Surveying of NASMG, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)
- (3 Department of Surveying and Geomatics, Tongji University, 1239 Siping Road, Shanghai 200092, China)

(4 Key Laboratory of Geological Hazards on Three Gorges Reservoir Area, Ministry of Education,

China Three Gorges University,8 Daxue Road, Yichang 443002, China)

**Abstract**: The definition of general reliability of measurement is proposed for the first time. We discussed the extended error theory, and analyzed the systematic effect of stochastic error and the randomization of systematic error. The concept of uncertainty in measurement and the application of general reliability are discussed, it is valuable for surveying scheme design, data adjustment, verification of measuring instrument and the setup and explanation of standard for surveying.

Key words: general reliability; extended error theory; systematic effect of stochastic error; randomization of systematic error; uncertainty in measurement

(上接第 576 页)

# **GPS** Precipitable Water Vapor of Different Climate Types

ZOU Youfeng<sup>1</sup> WANG Yong<sup>1,2</sup> WEN Debao<sup>3</sup> SU Youpo<sup>2</sup>

 School of Surveying & Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, 2001 Shiji Road, Jiaozuo 454000, China)

(2 Hebei Research Center of Earthquake Engineering, 46 West Xinhua Road, Tangshan 063009, China)

(3 School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science & Technology,

45 Chiling Road, Changsha 410004, China)

**Abstract**: From the GPS data of crustal movement observation network of China (CMONOC) from 2000 to 2004, the precipitable water vapor time series of all stations are obtained. According to the different climate types, the GPS stations of CMONOC are clarified. During the comparison of precipitable water vapor among different climate types, the values of precipitable water vapor in different regions were arranged from lowest to highest. These regions are of alpine climate, temperate continental climate, temperate monsoon climate, sub-tropical monsoon climate and tropical monsoon climate. The results show that the waveform changes of precipitable water vapor of different climate types are different.

Key words: GPS; tropospheric delay; precipitable water vapor; climate type; CMONOC

About the first author: ZHANG Zhenglu, professor, Ph. D supervisor. He is concentrated on the research and education in precise engineering geodesy, deformation monitoring analysis and forecast, measurement data processing and engineering geo-information system. E-mail: zzl623@whu.edu.cn

About the first author: ZOU Youfeng, professor, Ph. D, Ph. D supervisor, majors in the applications of Geodesy. E-mail: ZOUYF@hpu.edu.cn