

基于 JSCORS 层析连云港沿海水汽的三维特征分析

董春来, 王香兰, 蒋廷臣, 周立

(淮海工学院, 江苏连云港 222005)

3D Feature Analysis of Water Vapor over the Coastal Areas of Lianyungang Based on Tomography of JSCORS

DONG Chunlai, WANG Xianglan, JIANG Tingchen, ZHOU Li

摘要: 基于连云港沿海灌云、赣榆、燕尾港 3 个站点的 JSCORS 数据信息, 选用 GAMIT 软件解算水汽斜路径湿延迟数据, 通过 Matlab 软件解算斜路径方向上的水汽含量, 运用层析技术, 分析连云港沿海区域水汽的三维特征, 取得良好的分析效果。

关键词: JSCORS; 网格层析; Matlab; 水汽三维特征

一、引言

大气水汽是地球大气中的一种重要成分, 是云和降水形成的物质基础, 影响着辐射平衡、能量输送、云的形成和降水。水汽的三维分布对于校正数值天气预报预测模式的初始场是非常重要的, 特别是对于水汽时空变化比较激烈的区域, 能否准确地获取水汽的垂直剖面信息影响着数值天气预报的准确度。目前, 常规大气水汽的监测主要依靠无线电探空观测, 但是探空观测每 12 h 观测一次, 且空间分辨率一般在 200~300 km, 其时空分辨率难以满足天气预报及气候研究的要求^[1]。已有的研究表明, GPS 观测的每条斜路径方向的水汽含量 (slant water vapor, SWV) 包含水汽的垂直剖面信息, 利用 GPS 观测计算 SWV, 通过层析可获得水汽的三维分布结构特征。

连云港市地处南北气候过渡带, 兼具海陆水汽特点, 气候复杂多变。JSCORS 在此区域内布设有赣榆、燕尾港、灌云 3 个基准站, 空间和时间的连续性对于复杂水汽的监测具有独特的优势, 为海州湾海域进行大气水汽三维含量时空特征分析研究提供了基础数据资料。本文基于 JSCORS 网提供的 GPS 观测值, 利用层析技术及 Matlab 工具, 进行区域三维水汽分布特征分析, 探讨提高水汽分析、天气预报及气候预测的新手段。

二、连云港沿海区域网格层析模型的构建

层析技术即利用一定研究区域内不同方向和位置的积分观测值反演各部分信息的方法。在层

析连云港沿海区域水汽三维分布的问题中, 观测值是 JSCORS 信号斜路径方向上水汽密度的积分, 利用划分网格的形式把问题离散化, 认为所划分的每一个网格内的水汽密度是均匀的, 在解算时设为一个未知参数。根据 JSCORS 信号在所经过网格内穿过的长度, 列出观测方程。实际解算时, 由于观测值的数量比较少且分布不均匀, 方程不能得到唯一解, 需要其他的辅助信息如水平约束、垂直约束、边界条件和先验信息等约束条件^[2]。

1. 连云港海岸带网格划分

GPS 水汽层析所用的 GPS 网和网格的划分需要满足以下两个条件:

1) 站间距小于 60 km。为了消除多路径效应等因素的影响, 使用的截止仰角 e 为 10° 。当然还可以更高, 但是观测到的信号会减少。考虑到 10 km 以上水汽密度一般小于 0.1 g/m^3 , 可选择层析的高度为 10 km, 对应 GPS 站的站点间距, 即网格距, 最大约为 57 km。

2) 垂直分层间隔的选择。Flores 等的研究表明, GPS 层析可分辨的最小垂直厚度约为 300 m, 如果厚度小于此值, 则噪音会影响层析结果, 但层析适宜的垂直分辨率是多少, Flores 并没有给出结果。毕研盟分别以 600 m、800 m 和 1 000 m 的垂直分辨率进行过层析结果的比较, 发现 800 m 的垂直分辨率的层析结果相对较好^[3]。

根据以上条件, 连云港地区网格划分的间距为 0.54° 和 0.37° , 垂直方向从地面至 4 000 km, 分层间隔高度为 1 km, 网格数为 3×3 , 如图 1 所示。

收稿日期: 2011-03-02; 修回日期: 2011-09-20

基金项目: 江苏省海洋资源开发研究院开放基金资助项目 (JSIMR10C01); 江苏省测绘科研开放基金资助项目 (JSCHKY201005)

作者简介: 董春来 (1963—), 男, 安徽安庆人, 副教授, 主要从事大地测量及数据处理等方面的教学与科研工作。

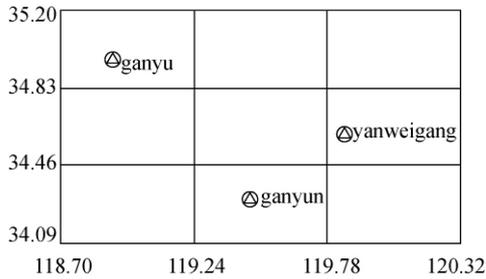


图1 连云港区域网格划分图

2. 三维层析模型

如图2所示,设每一个网格内的水汽密度为 x_{ijk} ,第 p 条信号穿过该网格的长度为 a_{ijk}^p 。设研究区域内东西网格数为 n_e ,南北网格数为 n_n ,高程方向分 n_h 层,则第 p 个观测值对应的观测方程为^[4]

$$\sum_{i=1}^{n_e} \sum_{j=1}^{n_n} \sum_{k=1}^{n_h} a_{ijk}^p x_{ijk} = SWV^p \quad (1)$$

式中 SWV^p 代表GPS信号斜路径方向的水汽含量; i, j, k 表示网格的三维坐标。

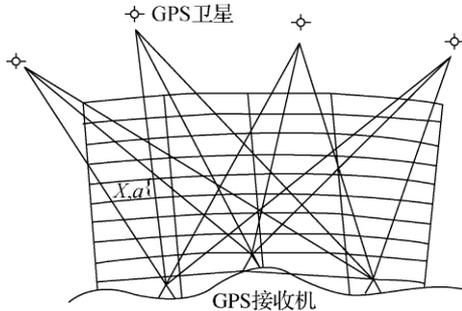


图2 层析三维单元网格划分

根据连云港地区GPS网进行层析试验的实际情况可知,连云港地区的边界条件是在10 km高度的水汽密度接近于 0.1 g/m^3 。解算时把水平约束、垂直约束、边界条件和先验信息等约束条件与GPS观测方程一起解算,解算模型为

$$\begin{bmatrix} SWV \\ M_0 \\ D_0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \\ M \\ D \\ H \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \\ \Delta_4 \end{bmatrix}$$

式中 A, M, D, H 分别对应JSCORS倾斜路径水汽、数值预报先验信息、边界条件和水平约束方程的系数阵; X 为未知系数阵; $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ 分别对应改正数; SWV, M_0, D_0 分别对应观测值、先验信息和边界值^[4]。

三、JSCORS反演计算SWV

1. 斜路径湿延迟数据处理过程

GPS数据处理选用GAMIT软件,数据处理过程

分为GPS数据准备、GAMIT配置文件重置、GAMIT解算等过程。其斜路径湿延迟数据处理可分两步:

1) 编辑数据。采用快速解编辑数据,生成“干净”的观测数据文件——X. file。

2) 参数估计。利用生成的X. file文件进行几何模型派生的偏差、检测数据的异常域、整周模糊度等参数解算。

2. 连云港沿海JSCORS站斜路径湿延迟计算

利用GAMIT软件解算连云港沿海JSCORS的赣榆、燕尾港、灌云3个基准站,获取斜路径湿延迟数据,赣榆县站示例如图3所示,详细数据略。

图3 赣榆县斜路径湿延迟

3. 解算沿海大汽中SWV

1) 在Matlab的Command命令窗口中将连云港赣榆县湿延迟数据zbtgu导入Matlab中,在Workspace工作区会显示赣榆县(zbtgu)数据文件。

2) Command命令窗口中输入计算连云港赣榆县斜路径水汽含量的代码“zbtguSWV = zbtgu.*0.15”,Workspace工作区会显示所计算的SWV(如图4所示)。



图4 赣榆县斜路径水汽含量

3) Command命令窗口中输入“save('C:\Program Files\MATLAB71\work\savedzbtgu.txt', 'zbtguSWV', 'ascii')”,就可以把赣榆县斜路径水汽含量数值(zbtguSWV)保存到文件中。

重复上述步骤依次计算灌云(zbtgy7)、燕尾港(zgtyw7)的斜路径水汽含量,图示及详细数据略。

四、连云港海岸带水汽层析三维特征分析

1. 三维水汽层析数据计算

以灌云县为例 将设计代码(如图5所示)输入 Matlab 的 Command 命令窗口,可得到如图6所示的灌云县三维水汽含量^[6]。从图6中可以看出水汽含量变化趋势比较陡,说明随着时间的变化,水汽含量变化幅度较大。

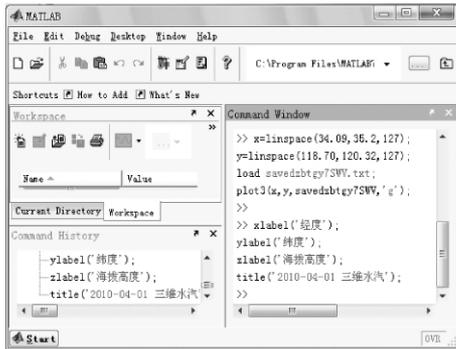


图5 灌云县三维水汽的代码

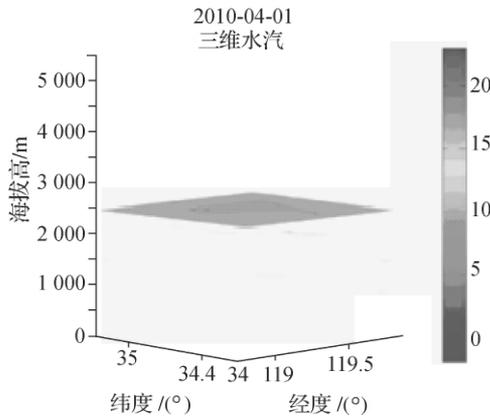


图6 灌云县三维水汽含量

2. 水汽含量的日变化分析

运用 Matlab 绘图 如图7~图9所示。根据分析可知 2010年4月1日在海拔500m处燕尾港水汽日变化总体趋势是白天水汽含量低,夜晚水汽含量高,晚上8点以后水汽含量突然升高,说明此时可能出现降雨。在海拔2500m处赣榆县水汽含量变化的总体趋势是白天高、晚上低,但总的水汽含量比较低,说明该日高空大气整体比较干燥。在海拔5500m处灌云县水汽含量更低,水汽变化有一定的规律。

3. 水汽含量垂直尺度的变化分析

在 Matlab 的 Command 命令窗口中输入代码,即可得到连云港燕尾港、赣榆县、灌云县3个站点的三维水汽含量,如图10所示^[6]。

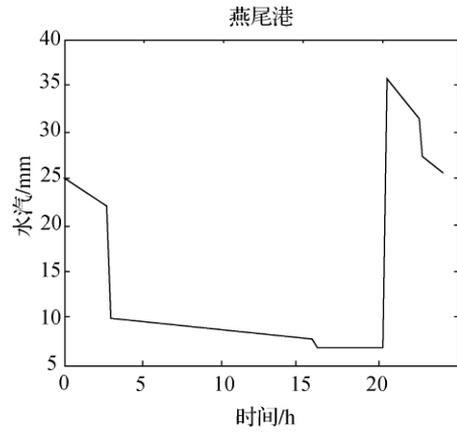


图7 燕尾港500m水汽日变化

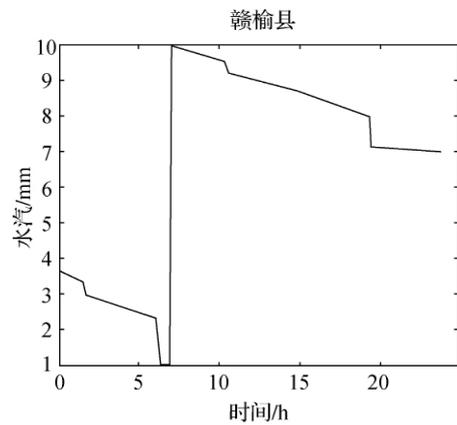


图8 赣榆县2500m水汽日变化

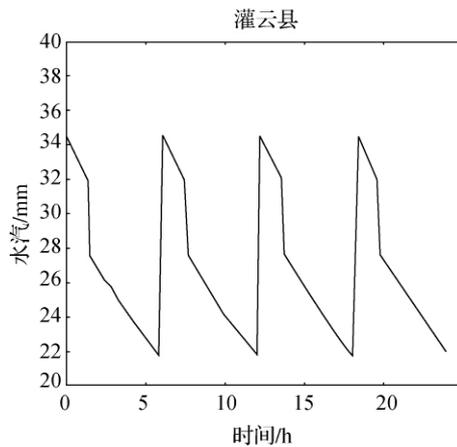


图9 灌云县5500m水汽日变化

综合分析可知,对于连云港赣榆县测站,不同海拔高度水汽含量变化增量为4mm,经过1h后,距地面100m水汽含量增高,说明此后可能出现强降水。随着海拔高度的增加,水汽含量降低。对于连云港的灌云测站,水汽含量变化增量为5mm,底层水汽含量较高。对于燕尾港测站,水汽含量变化增量是3mm,有的高层出现水汽突然增高,说明此时大气含水量较高,出现降雨的可能性比较大。

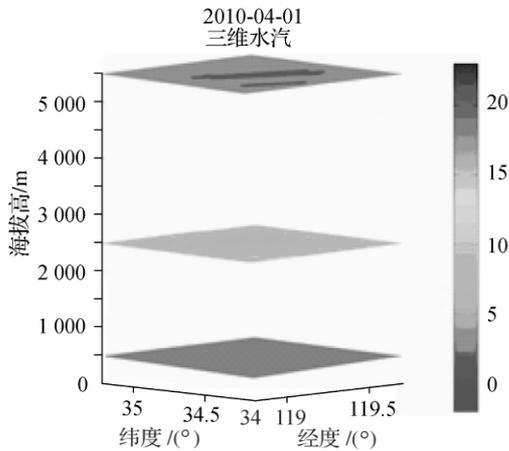


图 10 3 测站的综合三维水汽含量

五、结束语

本文在连云港沿海区域灌云、赣榆、燕尾港 3 个 JSCORS 站点基础上,以 2010 年 4 月 1 日为例,提出并实施了运用 GAMIT 软件、Matlab 工具及层析技术反演区域三维水汽特征的研究。结果表明,连云港海岸带大气水汽总体变化趋势是底层大气水汽含量较高,随着海拔高度的增加,水汽含量相应降低,而且在同一海拔高度的不同时间,水汽含量变化也不相同。局部地区水汽变化幅度较大,但不会影响总

体水汽总体变化趋势较平稳。水汽含量底层变化平稳,上层变化比较大。结果证明了利用 GPS 观测信息层析三维水汽特性的可行性、适用性与先进性,在具有一定密度的 GPS 网点信息量的沿海地区,可作为水汽分析、天气预报及气候预测的新手段。

参考文献:

- [1] 宋淑丽,朱文耀,程宗颐,等. GPS 信号斜路径方向水汽含量的计算方法[J]. 天文学报,2004,45(3): 338-346.
- [2] 李国翠,李国平,景华,等. 华北三站地基 GPS 反演的大气可降水量及其特征[J]. 气象科学,2008,28(4): 389-394.
- [3] 毕研盟,毛节泰,刘晓阳,等. 应用地基 GPS 遥感倾斜路径方向大气水汽总量[J]. 地球物理学报,2006,49(2): 335-342.
- [4] 曹玉静,刘晶森,梁宏,等. 基于地基 GPS 层析大气水汽资源的方法研究[J]. 自然资源学报,2010,25(10): 1786-1796.
- [5] 王勇,何荣,杨彬云,等. GPS 反演的可降水量与降水的对比分析研究[J]. 测绘科学,2010,35(5): 80-82.
- [6] 刘敏,郭鹏,叶其欣,等. 上海地区地基 GPS 水汽三层析技术和初步应用[J]. 天文学报,2010,51(3): 299-308.

(上接第 4 页)

离为 5.904 m。从而得到庙子湖岛上 1985 国家高程水准点(南码头)的高程为 2.874 m。

3. 数据对比分析

由表 2 可以看出,庙子湖岛南码头的海拔高为 2.962 m,而由同步验潮的方法得到南码头水准点的高程为 2.874 m,两者相差 0.088 m,未超过 10 cm。没有前期观测数据的情况下,同步水位观测技术和 GPS/重力移去-恢复法均可进行远离大陆海岛礁的高程传递。

表 2 基于移去-恢复法得到 3 个验潮站的海拔高 m

| 点 名 | 大地水准面高 | CGCS2000 的大地水准面高 | 海拔高 |
|--------|--------|------------------|-------|
| 南码头 | 16.498 | 16.087 | 2.962 |
| 岱山验潮站 | 14.963 | 14.552 | 4.930 |
| 沈家门验潮站 | 15.351 | 14.939 | 3.348 |

四、结束语

利用 GPS 大地高与 EGM2008 重力场模型的重

力大地水准面高,得到 GPS 点的海拔高以及利用同步水位观测技术得到 GPS 点多年平均海面的 1985 国家高程两种技术,在缺乏前期测绘基础信息的情况下,使用两种技术所确定的高程基准,具有一定的参考价值,可为远离大陆的海岛提供公共可行的高程基准值。

参考文献:

- [1] 李建成. 我国现代高程测定关键技术若干问题的研究及进展[J]. 武汉大学学报: 信息科学版,2007,32(11): 980-987.
- [2] 李建成,姜卫平. 长距离跨海高程基准传递方法的研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版,2001,26(6): 514-517.
- [3] 章传银,郭春喜,陈俊勇,等. EGM2008 地球重力场模型在中国大陆适用性分析[J]. 测绘学报,2009,38(4): 283-289.
- [4] 张利明. 与陆地一致的海岛(礁)高程传递方法: 中国,20100198624 [P]. 2010-06-12.