

# 基于 NCEP 资料的我国大气可降水量的计算及其时空分布

刘丹<sup>1</sup> 邱新法<sup>1</sup> 史岚<sup>1</sup> 施国萍<sup>1</sup>

## 摘要

利用 1948—2009 年的 NCEP 再分析资料获取多年平均大气可降水量,分析我国大气可降水量的空间分布和季节变化,并选用 2001 年的资料与同期探空资料进行对比验证.结果表明:我国大气可降水量的空间分布总趋势是低纬大于高纬,平原大于高原,沿海地区大于内陆地区;季节变化明显,冬季大气可降水量较小,夏季较大;NCEP 资料与探空资料的计算结果基本一致.

## 关键词

大气可降水量;NCEP 再分析资料;探空资料;空间分布;季节变化

中图分类号 P426

文献标志码 A

收稿日期 2011-11-22

资助项目 国家自然科学基金(41175077);江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CX10B\_300Z);转基因生物新品种培育科技重大专项(2009ZX08011-019B)

## 作者简介

刘丹,女,硕士生,主要研究 3S 集成与气象应用. liudan128200@126.com

邱新法(通信作者),男,教授,博士生导师,主要从事资源遥感与地理信息系统应用方面的研究. qiuxinfa@sina.com

## 0 引言

大气可降水量是一个重要的气象参数,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,对降水的形成、辐射能的吸收和放射、以及气候的形成与变化都有重要的影响.大气可降水量的获取来源主要有常规气象资料(探空站和地面站点资料)、卫星遥感资料、再分析资料和全球定位系统(GPS)观测资料等.其中,再分析资料的应用是目前较为广泛研究的课题.

再分析资料的内容非常丰富,它资料时间长且汇总了非常广泛的观测资料<sup>[1]</sup>.目前,再分析资料时间序列较长的 3 个主要中心是 NCEP、ECMWF 和 NASA/DAO,其中最长的中心是 NCEP.1997 年 10 月召开的第 1 次世界气候研究计划(WCRP)国际会议对 NCEP 再分析资料的使用给予了承认和赞同,指出再分析资料已被用在气候研究的许多方面,尤其是在年际变率和模式及预测研究中.第 2 次世界气候研究计划(WCRP)国际会议再一次肯定了再分析资料在各种科学研究中的应用价值,目前,再分析资料为研究年际变率提供了一个非常好的基础,但由于再分析期间观测系统的改变和观测中的一些不能排除的不确定的偏差使得再分析资料对于分析长期趋势仍有困难.

目前,获取大气可降水量的基本方法主要有 3 大类:一类是对探空台站或再分析资料中的比湿或相对湿度资料进行积分来获得大气可降水量.例如,孙治安<sup>[2]</sup>用 100 个探空站资料计算了我国各月平均水汽含量,分析了平均水汽含量和水汽压的空间变化特征以及水汽含量的时空分布特征;杨红梅等<sup>[3]</sup>用单站探空资料分析了对流层气柱水汽总量及其与降水的关系;权维俊等<sup>[4]</sup>用 MODIS 与 NCEP 大气可降水量资料进行比较分析,并进一步统计出地面相关的物理量(如温度)同大气可降水量之间的关系,之后由地面测得的相关物理量反推大气可降水量;杨景梅等<sup>[5]</sup>用地面湿度参量计算我国的整层大气可降水量.另一类是遥感的方法,该类方法的主要依据是大气中的水汽对电磁波的衰减作用.例如,陈洪滨等<sup>[6]</sup>通过计算红外太阳波段的透过率来反演大气可降水量;姜立鹏等<sup>[7]</sup>、赵有兵等<sup>[8]</sup>利用 MODIS 近红外数据反演大气可降水量.除此之外,目前还有一种比较新的 GPS 探测方法,例如李国平等<sup>[9]</sup>关于成都地区地基 GPS 观测网遥感大气

1 南京信息工程大学 遥感学院,南京,210044

可降水量的初步试验,曹云昌等<sup>[10]</sup>、向玉春等<sup>[11]</sup>都利用 GPS 遥感获得了大气可降水量。

本文主要应用第一类方法中的 NCEP 再分析资料和 GrADS 气象绘图软件来计算大气可降水量,然后应用 GIS 方法和软件对计算结果进行制图,继而分析了我国范围内的大气可降水量的空间分布情况、季节变化以及它们的影响因子,最后再与探空资料所获得的大气可降水量进行对比分析,旨在分析 NCEP 资料在计算我国大气可降水量上的可用性程度。

## 1 NCEP/NCAR 再分析资料

本文选用的资料是 NCEP/NCAR 月平均再分析资料。NCEP/NCAR 再分析资料是由美国气象环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)联合制作的<sup>[12]</sup>,得到了 NOAA 全球计划办公室和一些气象组织和国家的支持。NCEP/NCAR 再分析资料是一个综合的观测资料集,采用了当今最先进的全球资料同化系统和完善的数据库,对各种来源的观测资料进行质量控制和同化处理,包含的要素多,范围广,而且延伸的时段长。在当前有关气候变化的研究中,NCEP 再分析资料被作为诊断资料进行一系列分析和研究<sup>[13-20]</sup>。尤其是在一些全球、区域气候变化的模拟和预测中,以 NCEP 再分析资料作为气候模式的初始场和驱动场资料。

NCEP/NCAR 再分析资料包含自 1948 年以来  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  网格上的再分析资料,其内容包括气候日、月平均,历年各月平均,标准差,四季昼夜距平,要素场正交展开的主分量等。本文选用其中的历年月平均资料,它是由每月的每天 4 次资料计算所得的,选用气温、相对湿度和地面气压 3 个要素,覆盖时段是 1948 年 1 月—2009 年 3 月,覆盖范围选用我国范围,前两个要素包括 1 000 ~ 10 hPa 共 17 个等压面,但由于水汽在 300 hPa 以上含量很小,所以相对湿度资料只有 8 层,本文只用到 1 000、925、850、700、600、500、400 和 300 hPa 共 8 个等压面层数据。

## 2 计算方法

大气可降水量又称大气水汽含量,定义为地面上大气柱中的总水汽量,它代表着假设整个大气柱中的水汽全部凝结时所能得到的液态水量,是表征空中水资源以及气候干湿程度的重要指标,是一个重要的气象参数。

本文在 GrADS 气象绘图软件平台上对 NCEP/NCAR 月平均再分析资料进行处理计算,得到逐年月平均大气可降水量之后,再计算大气可降水量多年月平均值,为后面的分析做准备。

NCEP 资料是气象格点资料,本文先计算全球上空整层的大气可降水量,然后再提取我国上空整层的大气可降水量(简称为  $W$ ), $W$  由下式定义<sup>[21]</sup>:

$$W = \frac{1}{g} \int_{p_s}^{p_t} q dp. \quad (1)$$

式(1)中  $g$  为重力加速度, $q$  为比湿, $p$  为气压, $p_s$  为地面气压,由 NCEP 资料给出, $p_t$  为大气柱顶层气压,由于水汽在 300 hPa 以上含量很小可以忽略,所以本文取  $p_t = 300$  hPa。

本文采用文献[4]中的方法利用相对湿度资料来计算  $q$ 。比湿  $q$  通常根据水汽压  $e$  计算出来,它和水汽压  $e$  的关系可由下式<sup>[22]</sup>给出:

$$q = \frac{\varepsilon e}{p - (1 - \varepsilon)e}. \quad (2)$$

其中, $\varepsilon = \frac{\mu_v}{\mu_d}$ , $\mu_v$  和  $\mu_d$  分别为水汽和干空气的平均摩尔质量。文献[3]中取  $\varepsilon = 0.622$ , $p$  由 NCEP 资料给出, $e$  为实际水汽压:

$$e = H_R \times E. \quad (3)$$

其中  $H_R$  为相对湿度,由 NCEP 资料给出; $E$  为饱和水汽压,是温度  $T$  的函数,由下式得出:

$$\begin{aligned} \lg E = & 10.79574 \left( 1 - \frac{T_1}{T} \right) - 5.02800 \lg \frac{T}{T_1} + \\ & 1.50475 \times 10^{-4} \left[ 1 - 10^{-8.2969 \left( \frac{T}{T_1} - 1 \right)} \right] + \\ & 0.42873 \times 10^{-3} \left[ 10^{4.76955 \left( 1 - \frac{T_1}{T} \right)} - 1 \right] + \\ & 0.78614. \end{aligned} \quad (4)$$

其中  $T_1$  为水的三相点温度,等于 273.16 K; $T$  为绝对温度,可由 NCEP 资料给出。

## 3 计算结果和分析

本文利用 GIS 的制图分析方法在 ArcGIS 软件平台上对多年月平均大气可降水量进行相关数据处理和空间制图,分别得到大气可降水量的多年年平均和代表四季的 1、4、7、10 月多年月平均的空间分布图。对我国年平均大气可降水量空间分布情况和四季变化特征进行分析,继而将 NCEP 与探空资料数据做了对比验证,以讨论 NCEP 资料在计算我国大气可降水量上的可用性程度。

### 3.1 多年年平均大气可降水量的空间分布

图 1 给出了多年年平均大气可降水量的空间分

布. 影响大气可降水量的首要因素是热力条件. 一般而言, 气温越高, 则大气从地面获得的水汽就越多, 夏季和低纬度地区(沙漠地区除外)大气可降水量较大, 而冬季和高纬度地区较少. 此外, 大气可降水量的空间分布还受纬度、海陆分布、大气环流(季风)、洋流和大地形拦截以及海拔高度等的影响, 其分布形式比较复杂<sup>[23]</sup>. 纬度的高低影响各地接收的太阳辐射, 太阳辐射多则地面增温快, 水汽蒸发量增加, 大气可降水量增加, 反之减小; 海陆分布使得近海洋地区大气可降水量增多而内陆地区减少; 大气环流, 特别是季风, 是输送水汽的动力机制, 能够携带大量的水汽, 再加上季风风向的季节变化, 影响季风区大气可降水量的强度和分布; 暖洋流能够增加近海岸的水汽含量, 而冷洋流携带的水汽较少; 大地形如青藏高原对气流具有机械阻挡作用和绕流分支作用, 影响水汽的输送; 水汽含量随着海拔高度的增加而减少.

受以上因素的综合影响, 由图 1 可见, 我国大气可降水量的空间分布总体趋势是从南向北、从东到西减小的, 即低纬大于高纬, 平原大于高原, 沿海地区大于内陆地区. 最大值约为 40.67 mm, 出现在华南沿海, 最小值约为 1.60 mm, 出现在青藏高原地区. 在我国东部, 大气可降水量等值线大致沿纬线分布, 华南地区年平均值最大, 大约在 31 ~ 41 mm 之间, 江淮流域约为 24 ~ 34 mm, 华北地区约为 11 ~ 24 mm, 东北地区的大气可降水量是我国东部地区中最小的, 仅约 8 ~ 15 mm. 我国的西北地区位于内陆, 又受青藏高原的屏蔽作用, 大气可降水量较少, 大约在 5 ~ 18 mm 之间, 天山南北两侧的准噶尔盆地和塔里木盆地大气可降水量是西北地区最多的, 大约在 11 ~ 18 mm, 这可能是受地形和西风气流的影响. 在我国西南地区, 包括青藏高原、四川盆地和云贵高原, 其中四川盆地多年年平均值大约在 24 ~ 34 mm, 是一明显的高湿区, 其西侧大气可降水量的梯度较大. 在云贵高原地区, 大气可降水量大约在 11 ~ 31 mm 之间, 其中云南西南部大气可降水量较多, 这可能是受西南季风的影响. 青藏高原地区大气可降水量最小, 大部分在 1.6 ~ 8 mm 之间, 但是在青藏高原最南部大气可降水量较大, 大约为 8 ~ 18 mm, 这可能是由于青藏高原的阻挡作用, 使得迎风坡水汽聚集的缘故.

假设其他条件相同时, 我国各地区地理纬度的不同决定了各地的气温, 使得气温由低纬向高纬减

少, 进而也决定了空气的含水能力和大气可降水量的分布. 从图 1 中可以看出我国大气可降水量大致沿纬线方向展布而按纬度方向递变, 体现了纬度地带性的特点. 所以, 地理纬度是影响大气可降水量分布的基本因素.

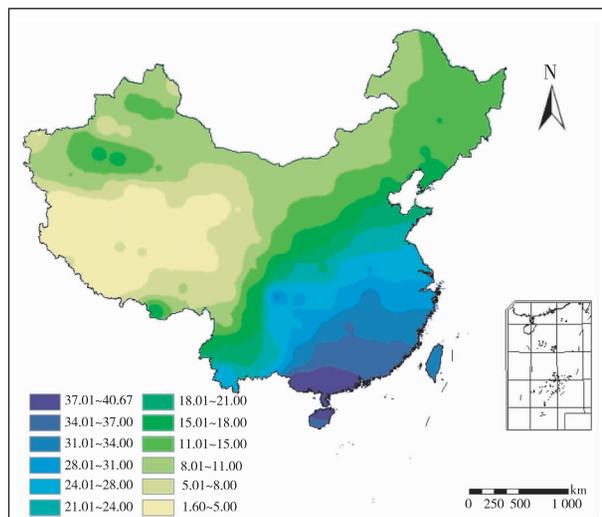


图 1 多年年平均大气可降水量空间分布(单位: mm)

Fig. 1 Spatial distribution of normals of annual mean atmospheric precipitable water(units: mm)

高大地形不但本身具有特殊的气候特征, 既决定了其上空气柱的厚度, 也决定了气柱的含水能力, 而且还影响着邻近地区的气候. 高大地形如青藏高原地区海拔高、气柱厚度小、气压低、温度低、蒸发少, 使得大气可降水量少. 青藏高原地区由于其与周围的热力差异形成了独特的高原季风, 改变了大气运动所携带的水汽量, 使得青藏高原成为分割其周围区域内不同季风区和干旱气候区的巨大气候分水岭, 并形成了高原独特的干寒气候单元. 除此之外, 高大地形的机械阻挡作用使得热带西南季风的一部分长驱深入, 带着大量的水汽到达我国东部, 增加了云南南部和我国东部的的水汽含量, 成为我国东部尤其是华南地区大气可降水量较大的原因之一.

季风对我国东部地区大气可降水量的影响是非常大的. 我国位于东亚季风区, 季风会携带大量的水汽, 季风风向的改变会影响水汽输送, 影响大气可降水量的季节变化. 在多年年平均大气可降水量的空间分布上, 季风的影响主要体现在我国东部地区的大气可降水量较其他地区多.

### 3.2 大气可降水量的季节变化

本文选用四季中具有代表性的 1、4、7 和 10 月

(分别代表冬季、春季、夏季和秋季)的多年月平均大气可降水量数据来分析我国大气可降水量的季节变化.从图2中可以看出各季都出现了许多能反映各地地形及气候细节的分布特征,如四川盆地、准噶尔盆地和塔里木盆地的高湿区,祁连山及天山山区的低湿区.比较图2中4个季节的数据可见,我国大气可降水量的季节变化明显,充分体现了热力条件和季风等对大气可降水量季节变化的影响.冬季气温低,大气可降水量较小,1月达最小,春季迅速增加,夏季气温最高,大气可降水量较大,7月达到最大,秋季锐减.这主要是由于我国位于东亚季风区,冬季风盛行时,我国低温、干燥、少雨,夏季风盛行时,我国高温、湿润、多雨.下面分季节叙述.

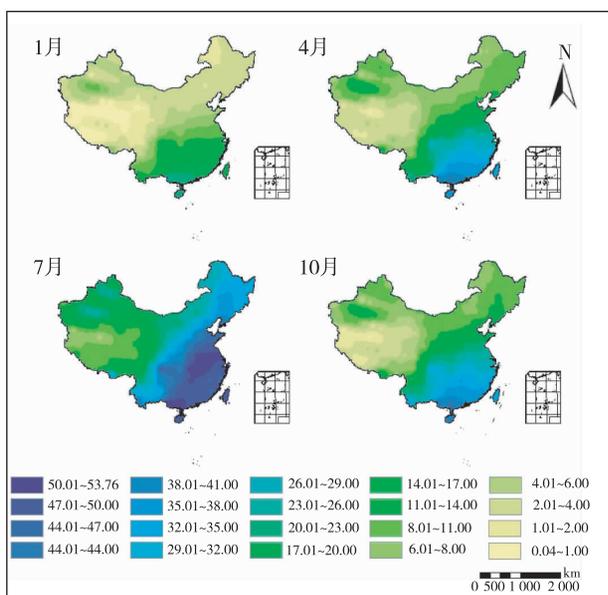


图2 冬(1月)、春(4月)、夏(7月)、秋(10月)多年月平均大气可降水量空间分布(单位:mm)

Fig. 2 Spatial distribution of normals of monthly mean atmospheric precipitable water in January, April, July And October(units:mm)

### 3.2.1 冬季

由图2(1月)可见,冬季的大气可降水量是4个季节中最小的,其分布是低纬大于高纬,平原大于高原,沿海地区大于内陆地区.在我国东部平原地区大气可降水量等值线大致沿纬线分布,间距比较均匀.最大值出现在华南沿海地区,大约在23~26 mm之间,在我国东北地区、内蒙古地区东部因气温低、蒸发量小,大气可降水量在4 mm以下,青藏高原地区是图中大气可降水量最少的地区,最小值约为0.04 mm.

我国东部地区的大气可降水量等值线大致沿纬线分布可能与地理纬度有关.除此之外,冬季风等环流因子对大气可降水量的分布也有明显影响,由于我国位于东亚季风区,且冬季风强烈,使得我国东部季风区干燥而低温,故大气可降水量较其他季节少.其中,华北地区因受对流层低层干冷的强东北冬季风及中层东亚大槽后部强下沉辐散气流的影响,大气可降水量在8 mm以下,和西北地区东部相近,反比深居内陆,但平均气温稍高一些的塔里木盆地更少.

### 3.2.2 春季

由图2(4月)可见,春季是冬季到夏季的过渡季节,其大气可降水量较冬季已有明显增加,其中以华南及其沿海一带增加最快,最大值达到42 mm以上,江淮流域及华北沿海地区也比同纬度的内陆地区增加得快,东北地区大气可降水量在11 mm以下.最小值依然在青藏高原地区,以藏北高原最少,最小值在1 mm以下.我国西北地区大气可降水量也有明显增加,最大值出现在塔里木盆地,为一高湿区,最小值出现在天山山区.

### 3.2.3 夏季

由图2(7月)可见,夏季是四季中大气可降水量最多的季节,最大值可达53.76 mm,这与夏季高温、含水能力增加有关.因临近海洋和东亚夏季风的影响,我国东部地区的大气可降水量明显比其他季节大,其等值线与纬线成很大交角,大致为东北—西南走向.华北地区的大气可降水量明显超过西北地区,在新疆地区有一干中心,位于天山山区,准噶尔盆地和塔里木盆地依然是高湿区.距海洋较远的四川盆地为—高湿中心区,其大气可降水量与长江中下游地区相当,该地区在其他季节也是明显的高值区,这可能与其地形有关:四周被高原和山脉环抱,暖湿空气输送至此因地形的屏蔽而容易集中;盆地内河流较多,植被茂盛,地面蒸发量比较大,故大气可降水量较大.在盆地西侧,各季大气可降水量的梯度都很大,由此可以看出,地形对大气可降水量的分布有很大的影响.

图3给出了夏季与冬季大气可降水量的差值分布情况.由图3可见,夏季各地的大气可降水量均比冬季有明显增加,但由冬季到夏季的增加幅度不同.我国东部地区,尤其是华北平原和长江中下游平原的大气可降水量的季节差异较大,最大值达到42.71 mm,由此向南、向北和向西显著减小,青藏高

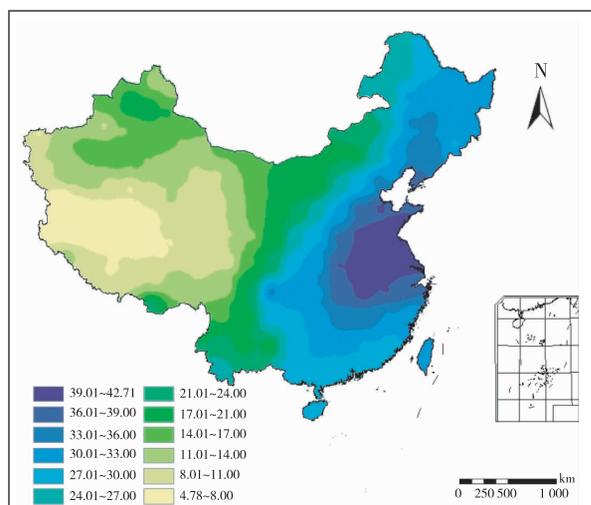


图3 夏季与冬季大气可降水量的差值(单位:mm)

Fig. 3 Difference between summer and winter atmospheric precipitable water(units:mm)

原地区最小,最小值仅有 4.78 mm 左右,这可能是受高大地形的影响.

### 3.2.4 秋季

由图 2(10 月)可见,秋季与春季大气可降水量的数值大致相当,介于夏季和冬季之间,最大值约为 43.01 mm,略大于春季,最小值约为 0.66 mm,略小于春季.秋季大气可降水量的空间分布规律也与春季相似,在我国东部地区大致沿纬线分布;低纬大于高纬,华南地区最大,东部大于西部,沿海大于内陆,青藏高原地区最小.

### 3.3 NCEP 资料与探空资料的对比验证分析

为了说明 NCEP 资料的可用性,本文选取我国范围内 2001 年 1、4、7 和 10 月代表 4 个季度的月平均的 NCEP 资料和探空资料的大气可降水量进行对比验证,主要进行统计分析,包括相关性分析和误差分析.分析之前利用 GIS 的方法对数据进行格式和投影的转换,对数据进行移位和格点提取,使这两种数据在地理位置上相对应.表 1 列出了 NCEP 资料与探空资料大气可降水量的相关系数、平均绝对误差和平均相对误差情况.

由表 1 可以看出,NCEP 资料和探空资料获得的大气可降水量的相关性良好,除 7 月相关系数为 0.879 外,其他月份的相关系数都在 0.93 以上,其中 4 月的相关性最好,相关系数达到 0.961.平均绝对误差均在 2.3 ~ 6.5 mm 之间,平均相对误差在 12.9% ~ 19.5% 之间,10 月最小,约为 12.9%.因此,NCEP 资料与探空资料的计算结果基本一致,在计

表 1 NCEP 资料与探空资料大气可降水量的相关系数、平均绝对误差和平均相对误差

Table 1 Correlation and error statistics between NCEP and the sounding data in atmospheric precipitable water

月份	相关系数	平均绝对误差/ mm	平均相对误差/ %
1	0.936	2.310	19.5
4	0.961	3.350	17.5
7	0.879	6.497	13.2
10	0.953	3.104	12.9

算我国大气可降水量上是可用的,可以用于分析大气可降水量的时空变化.除此之外,如图 4 所示,NCEP 资料是格点数据,分布均匀,能够遍布全国范围,而计算大气可降水量的可用探空站相对较少,且覆盖范围不均匀,仅在我国东部和新疆西北部有站点,青藏高原等西部地区没有数据,因此,从这一点上来讲,NCEP 资料也有一定的优势.

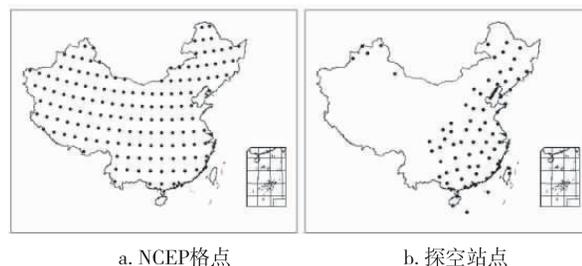


图 4 NCEP 格点和探空站点分布

Fig. 4 Distribution of NCEP grids and sounding stations

## 4 结论与展望

本文主要利用 NCEP 再分析资料来获得大气可降水量,并采用 GIS 方法分析了其空间分布和季节变化,此外,还与探空资料的大气可降水量产品进行了对比分析,所得结论如下:

1) 我国大气可降水量的空间分布总趋势是:低纬大于高纬,平原大于高原,沿海地区大于内陆地区.

2) 我国大气可降水量季节变化明显,冬季大气可降水量较小,1 月达最小,夏季较大,7 月达到最大,春季和秋季介于两者之间.夏季我国东部大气可降水量等值线与纬线成很大交角,大致为东北—西南走向,其他季节大致与纬线平行.各季大气可降水量的最大值均出现在华南沿海地区,东部地区大气可降水量的季节变化大于西部地区.

3) NCEP 资料与探空资料计算结果基本一致, 平均相对误差在 19.5% 以内, 在计算我国大气可降水量上是可用的, 可以用于分析大气降水量的时空变化.

本文对大气降水量的多年年平均值进行了空间分布的分析, 并选取了具有代表性的 4 个月份进行季节变化的分析, 选用了反距离加权法进行空间内插和统计分析, 由于 NCEP 计算结果格点较稀疏, 内插结果有个别同心圆现象, 有待于在今后的工作中进一步改进.

## 参考文献

### References

- [ 1 ] 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 美国 NCEP/NCAR 近 50 年全球再分析资料在我国气候变化研究中可信度的初步分析[J]. 应用气象学报, 2001, 12(3): 337-347  
XU Ying, DING Yihui, ZHAO Zongci. Confidence analysis of NCEP/NCAR 50-year global reanalyzed data in climate change research in China [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2001, 12(3): 337-347
- [ 2 ] 孙治安. 我国平均水汽含量的气候计算及其时空分布特征[J]. 南京气象学院学报, 1987, 10(1): 74-80  
SUN Zhian. Climatological calculation and distributive features of mean atmospheric water content over China [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1987, 10(1): 74-80
- [ 3 ] 杨红梅, 葛润生, 徐宝祥. 用单站探空资料分析对流层气柱水汽总量[J]. 气象, 1998, 24(9): 8-11  
YANG Hongmei, GE Runsheng, XU Baoxiang. Analysing troposphere air moisture content with single radiosonde station data [J]. Meteorological Monthly, 1998, 24(9): 8-11
- [ 4 ] 权维俊, 陈洪滨, 肖稳安. MODIS 与 NCEP 大气可降水量资料的比较分析[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(2): 169-177  
QUAN Weijun, CHEN Hongbin, XIAO Wenan. Comparison of atmospheric precipitable water amounts between MODIS and NCEP [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2004, 27(2): 169-177
- [ 5 ] 杨景梅, 邱金桓. 用地面湿度参量计算我国整层大气可降水量及有效水汽含量方法的研究[J]. 大气科学, 2002, 26(1): 10-22  
YANG Jingmei, QIU Jinhuan. A method for estimating precipitable water and effective water vapor content from ground humidity parameters [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2002, 26(1): 10-22
- [ 6 ] 陈洪滨, 吴北婴, 章文星, 等. 从红外太阳透过率反演大气可降水量的研究[J]. 大气科学, 1996, 20(5): 1-6  
CHEN Hongbin, WU Beiyong, ZHANG Wenxing, et al. A study of determining precipitable water from solar infrared transmission [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1996, 20(5): 1-6
- [ 7 ] 姜立鹏, 覃志豪, 谢雯. 针对 MODIS 近红外数据反演大气水汽含量研究[J]. 国土资源遥感, 2006(3): 5-10  
JIANG Lipeng, QIN Zhihao, XIE Wen. Retrieving atmospheric water vapor from MODIS near infrared data [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2006(3): 5-10
- [ 8 ] 赵有兵, 顾利亚, 黄丁发, 等. 利用 MODIS 影像反演大气水汽含量的方法研究[J]. 测绘科学, 2008, 33(5): 51-53, 45  
ZHAO Youbing, GU Liya, HUANG Dingfa, et al. Study on the atmospheric water vapor from MODIS image [J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(5): 51-53, 45
- [ 9 ] 李国平, 黄丁发, 刘碧全. 成都地区地基 GPS 观测网遥感大气降水量的初步试验[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(12): 1-6  
LI Guoping, HUANG Dingfa, LIU Biquan. Experiment on driving precipitable water vapor from ground-based GPS network in Chengdu plain [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(12): 1-6
- [ 10 ] 曹云昌, 方宗义, 夏青. GPS 遥感的大气可降水量与局地降水关系的初步分析[J]. 应用气象学报, 2005, 16(1): 54-59  
CAO Yunchang, FANG Zongyi, XIA Qing. Relationship between GPS precipitable water vapor and precipitation [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2005, 16(1): 54-59
- [ 11 ] 向玉春, 陈正洪, 徐桂荣, 等. 三种大气可降水量推算方法结果的比较分析[J]. 气象, 2009, 35(11): 48-54  
XIANG Yuchun, CHEN Zhenghong, XU Guirong, et al. A comparison and analysis of the results of three methods for the calculation of water vapor resources [J]. Meteorological Monthly, 2009, 35(11): 48-54
- [ 12 ] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40 years reanalysis project [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1996, 77(3): 437-471
- [ 13 ] Wu R G, Xie S P. On equatorial pacific surface wind changes around 1977: NCEP-NCAR reanalysis versus COADS observation [J]. Journal of Climate, 2003, 16(1): 167-173
- [ 14 ] Zhang Y, Sperber K R, Boyle J S. Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: Results from the 1979—1995 NCEP/NCAR reanalysis [J]. Monthly Weather Review, 1997, 125(10): 2605-2619
- [ 15 ] Annamalai H, Slingo J M, Sperber K R, et al. The mean evolution and variability of the Asian summer monsoon: Comparison of ECMWF and NCEP-NCAR reanalysis [J]. Mon Wea Rev, 1999, 127: 1157-1186
- [ 16 ] 邓伟涛, 孙照渤, 倪东鸿, 等. NCEP/NCAR 再分析资料中北半球夏季海平面气压的年代际变化[J]. 南京气象学院学报, 2009, 32(2): 239-245  
DENG Weitao, SUN Zhaobo, NI Donghong, et al. Interdecadal variation of Northern hemisphere summer sea level pressure in NCEP/NCAR reanalysis data [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2009, 32(2): 239-245
- [ 17 ] 徐国强, 朱乾根. 1998 年夏季青藏高原及其邻近地区低频降水分布和传播特征[J]. 高原气象, 2000, 19(4): 476-486  
XUE Guoqiang, ZHU Qiangen. The LFP distribution and propagation features over Qinghai-Xizang plateau and its

- vicinity in summer of 1998 [J]. Plateau Meteorology, 2000, 19(4):476-486
- [18] 纪晓玲,冯建民,陈晓娟,等. 利用 NCEP 再分析资料和新一代天气雷达资料对干旱区一次持续阴雪天气的分析研究[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2):432-438  
JI Xiaoling, FENG Jianmin, CHEN Xiaojuan, et al. Study of a continual cloudy-snowy weather in arid area using NCEP reanalyzed data and Doppler radar data [J]. Journal of Desert Research, 2010, 30(2):432-438
- [19] 刘永和,张万昌,朱时良,等. 基于广义线性模型和 NCEP 资料的降水随机发生器[J]. 大气科学, 2010, 34(3):599-610  
LIU Yonghe, ZHANG Wanchang, ZHU Shiliang, et al. A stochastic precipitation generator based on generalized linear models and NCEP reanalysis data [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2010, 34(3):599-610
- [20] 何跃,管兆勇,林永辉. 强弱南海夏季风年水汽输送路径特征分析[J]. 南京信息工程大学学报:自然科学版, 2009, 1(1):32-37  
HE Yue, GUAN Zhaoyong, LIN Yonghui. Characteristics of the water vapor transporting path in strong and weak SCS summer monsoon years [J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2009, 1(1):32-37
- [21] 蔡英,钱正安,宋敏红. 华北和西北区干湿年间水汽场及东亚夏季风的对比分析[J]. 高原气象, 2003, 22(1):14-23  
CAI Ying, QIAN Zhengan, SONG Minhong. Contrast analyses on water vapor and EASM between dry and wet years of Northwest and North China [J]. Plateau Meteorology, 2003, 22(1):14-23
- [22] 杨景梅,邱金桓. 我国可降水量同地面水汽压关系的经验表达式[J]. 大气科学, 1996, 20(5):620-626  
YANG Jingmei, QIU Jinhuan. The empirical expressions of the relation between precipitable water and ground water vapor pressure for some areas in China [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1996, 20(5):620-626
- [23] 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所. 空中水资源 [EB/OL]. (2010-10-29) [2011-09-15]. [http://www.careeri.cas.cn/kxcb/szy/201010/t20101029\\_2999146.html](http://www.careeri.cas.cn/kxcb/szy/201010/t20101029_2999146.html)  
中国科学院寒区旱区环境与工程研究所. 空中水资源 [EB/OL]. (2010-10-29) [2011-09-15]. [http://www.careeri.cas.cn/kxcb/szy/201010/t20101029\\_2999146.html](http://www.careeri.cas.cn/kxcb/szy/201010/t20101029_2999146.html)

## Estimation of atmospheric precipitable water in China with NCEP data and its spatio-temporal distribution

LIU Dan<sup>1</sup> QIU Xinfu<sup>1</sup> SHI Lan<sup>1</sup> SHI Guoping<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

**Abstract** As an important meteorological parameter, atmospheric precipitable water exerts great impact on many climatic processes such as the formation of precipitation, the absorption and emission of radiation, even the formation and change of the whole climate. There are several methods available for calculation of atmospheric precipitable water. This paper uses the NCEP reanalysis data to obtain multi-year mean atmospheric precipitable water, and analyses the spatial distribution and seasonal variation of the atmospheric precipitable water in China, then compares the obtained atmospheric precipitable water data with that from sounding data in the same period. The spatial distribution analysis shows that the atmospheric precipitable water is higher in low latitudes than in high latitudes, higher in plain than in plateau, higher in coastal area than in interior area. The atmospheric precipitable water shows an obvious seasonal variation, which is low in winter, and high in summer. The calculation result of atmospheric precipitable water based on NCEP reanalysis data is close to that from sounding data, and the average relative error is less than 19.5%. Thus the proposed method is applicable on estimation of atmospheric precipitable water in China.

**Key words** atmospheric precipitable water; NCEP reanalysis data; sounding data; spatial distribution; seasonal variation