

近 10 a 我国大气水汽研究趋势及进展

姚俊强^{1,2}, 杨青²

(1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054;
2. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要:自 20 世纪 50 年代末我国学者开展空中水研究以来,水汽的研究在我国获得了快速发展。本文针对所检索的 2000~2010 年我国空中水汽研究的相关文献 699 篇,分不同专题进行分类统计,并在此基础上对 21 世纪初我国水汽研究进行分析和论述,为我国大气水文及气象学者了解和把握中国大气水研究热点和发展趋势提供依据。

关键词:大气水汽;文献;空中水文学;中国

中图分类号:P426

文献标识码:A

引言

水汽是大气降水的物质基础,是全球水循环过程中最为活跃的成分,是天气和地球系统中的关键因子之一,同时也是大气中主要的温室气体,其变化深刻影响着全球气候系统和水资源系统的结构和演变,也影响着人类社会的发展和生产活动^[1-2]。20 世纪 90 年代特别是 21 世纪以来,我国积极参加国际科学合作计划,把大气水汽研究和水分循环、气候变化研究紧密结合,并作为全球变化研究的主要内容。目前,分析水汽研究趋势的文章很少,而全面系统的定量统计分析几乎没有。本文采用计量统计学方法^[3],对 2000~2010 年发表的有关水汽的文献进行了较全面的定量统计分析,为水文气象及相关学者了解和把握我国水汽研究热点和发展趋势提供依据。

1 数据来源及研究方法

本文的数据来源于中国知识资源总库(CNKI)期刊全文数据库。以“水汽”为“主题或题名”进行初次检索,再此基础上分别以“水汽”、“大气水”、“水汽含量”、“水汽输送/收支”及“大气可降水量”为“关键词”进行二次检索,遵循文献检索的主

要原则,剔除与地理学科或大气科学类中水汽研究无关的文献。将 2000~2010 年与大气水汽研究有关的全部文献数据下载到 EXCEL 进行统计分析。检索统计截止时间为 2011 年 2 月 28 日。

2 结果与分析

2.1 文献总量

2000~2010 年,根据以上方法进行文献检索,共获取文献 757 篇,其中学术论文 699 篇,学位论文 58 篇。关于水汽研究的文献年产量快速稳定增长,尤其 2005 年以来,相关文献比 20 世纪初翻了几番。从 20 世纪 60~70 年代不足 50 篇,21 世纪初每年 20 多篇,2003~2006 年每年平均 50 多篇,发展到 2010 年的 120 多篇,增长了近 6 倍。

2.2 期刊分布

2000~2010 年,699 篇文献出版在 140 多种学术期刊上。其中发表有关大气水汽研究的文献达 8 篇(包括 8 篇)以上的期刊有 17 种,占有期刊总数的 12.2%,占相关文献总数的 47.4%。从表 1 可以看出,中国大气水汽研究文献主要分布于气象科学类期刊,其中文献集中分布的前 5 种期刊分别为《高原气象》、《气象》、《气象科技》、《气候与环境研

收稿日期:2011-03-07;改回日期:2011-04-12

基金项目:国家重点基础研究发展计划 973 项目(2010CB951001);中国气象局气候变化专项(CCSF-09-20);新疆维吾尔自治区自然科学基金(200821176)共同资助

作者简介:姚俊强(1987-),男,甘肃通渭人,硕士研究生,主要研究方向为气候变化与空中水资源. E-mail:yaojq824@sina.com

究》和《气象科学》。

表 1 中国大气水汽文献主要集中分布刊物

Tab.1 Main publications about water vapor in China(2000 - 2010)

名次	期刊名称	篇数	比例/%
1	高原气象	50	7.2
2	气象	39	5.6
3	气象科技	29	4.1
3	气候与环境研究	29	4.1
5	气象科学	28	4.0
6	应用气象学报	27	3.9
7	气象学报	22	3.1
8	大气科学	20	2.9
8	热带气象学报	20	2.9
10	南京气象学院学报	19	2.7

2.3 地域分布

地域分布按相关文献的研究区域来确定。刘国纬、崔一峰等^[4]将中国大陆划分为 6 个水文气候条件不同的区域来研究水文循环的大气过程,即东北区、华北区、长江区、华南区、西南区和西北区。考虑到西北区气候系统的复杂多样性和青藏高原在整个东亚甚至全球水文气候中的特殊性,将青藏高原及周边地区从西北区中划分出来成一个独立单元,这样就形成了 7 大不同区域,再结合亚洲季风区及全球其他区域进行分类统计。结果表明,我国学者对全球及半球尺度的水汽研究还很少见,相关论文年均不足 1 篇;对亚洲季风区水汽的研究也远远不够,总论文量为 26 篇,占全部文献的 5.0%,年均不足 3 篇;对中国大陆水汽的研究也呈区域性特征,主要集中在长江流域、青藏高原、西北地区东部及祁连山区、淮河流域和黄河中下游等区域,特别是长三角地区、京津地区及江河源区,涉及的论文量占区域论文总量的 30% 以上。究其原因,其一是该区域都处于水汽变化的敏感地带,水汽的收支与循环影响着我国降水及雨带的变化;其二是长三角及北京周边地区长期积累的资料丰富,近年来又完善了地基 GPS 水汽探测网络,为水汽研究提供了更加全面的资料。而对西北地区中部、新疆、东北及西南山区的研究较少。

2.4 研究内容

研究内容主要通过关键词来体现,关键词通常反映了文章的主题,进行关键词分析可以帮助我们确定研究趋势和热点^[5]。根据《水文循环中的大气过程》^[4]中有关大气水汽的研究内容,结合新的方法和技术,将大气水汽的研究内容分为以下几大部

分,并综述其进展。

2.4.1 水汽含量及其分布

水汽含量及其分布是本领域研究的基础。20 世纪中后期刘国纬^[4]、翟盘茂^[6]等研究了中国大陆尺度水汽含量及其分布。曹丽青^[7-8]等研究了华北和江淮地区大气水汽含量特征及其变化,并对比分析了旱涝月份江淮地区水汽特征,认为水汽含量是形成旱涝的一个内在原因。蔡英^[9]等研究发现青藏高原及周边地区的可降水量有明显的地区及季节变化,并分析了我国南北方水汽含量的年代际变化以及华北及西北东部干湿年夏季可降水量的差异,认为可降水量的北干南湿形成了我国降水北旱南涝的格局。王宝鉴^[10]等对西北地区水汽的区域分布及变化特征进行了分析,认为西北受东亚季风、西风及高原气候的影响形成 3 个气候影响区。史玉光^[11]等研究了新疆水汽含量的气候特征及变化,认为海拔高的山区为水汽低值区,盆地内为高值区;决定新疆降水差异的根本原因不在水汽的多少,而是由降水产生的动力条件、水汽辐合及其他因素差异决定的。杨青^[12]等得出了塔克拉玛干沙漠周边新的水汽分布形式。大多类似研究揭示了一些区域尺度水汽的基本事实,在区域尺度上水汽含量研究已经取得了明显的进展。

2.4.2 水汽输送与收支研究

水汽输送与水汽收支依然是本领域研究的重点,近 10 a 在区域水分循环研究方面取得了一系列的成果。最具代表性的是周长艳等^[13-17]分别对长江流域水汽输送与水汽收支的系统性研究,分析了旱涝异常的水汽输送结构与环流特征、夏季风期间水汽输送状态、1998 年洪涝的主要原因等问题,为区域水循环的研究提供较好的参考。徐祥德^[18]等研究了长江流域梅雨期水汽输送源—汇结构,提出了高原周边降水异常区水汽输送结构、夏季南海—青藏高原—长江流域水汽远距离输送模型及遥相关源—汇结构。卓东奇^[19]等对江淮流域夏季典型旱涝年水汽输送和收支进行综合定量对比分析,为区域旱涝预测及提高水汽输送监测的针对性提供帮助。黄荣辉^[20]等对比分析了我国东部季风区与西北干旱—半干旱区夏季水汽输送与水分平衡的差异。王可丽等^[21-22]研究了西北地区水汽输送特征及变化,认为西风和季风共同对水汽输送起作用,平流输送受西风带影响,辐合输送与南亚夏季风显著相关。可以看出大陆或区域尺度上水分循环取得明

显进展,揭示了水汽输送和收支的基本事实,但规律性研究还很少;主要集中于个例研究及早涝年整体变化状况的研究,对典型早涝年不同地区的水汽输送及收支的定量对比分析研究较少。

2.4.3 水文循环与大气水应用研究

赵瑞霞^[23]等研究了长江流域与黄河流域的水分收支与水分平衡。王可丽^[24]等分析了祁连山—黑河流域水循环中的大气过程。张顺利^[25]等研究了雅鲁藏布江流域地气系统的水平衡,认为夏季是水汽辐合区,秋末至次年春季是水汽辐散区。大气水应用研究主要包括水汽输送与降水异常和旱涝变化、水汽输送与暴雨、雨季和雨带变动以及水汽收支与水资源评价等方面,王宝鉴^[26]等对东亚季风期间水汽输送与西北干旱的关系进行研究;田红^[27]等讨论了我国夏季3类雨型与异常水汽输送的关系;Jiang^[28]等分析了区域水汽输送异常与长江流域旱涝的关系;黄玉霞^[29]等对青海高原夏季降水异常与水汽输送特征进行了分析。这些研究对于增强区域暴雨等灾害性天气监测、提高预报精度和建立预警机制具有重要意义。

2.4.4 GPS水汽研究

20世纪90年代,我国开始了利用GPS反演大气水汽的方法研究。近10 a来,国内一些重大科学试验观测计划均把GPS水汽观测作为主要观测内容之一加以实施,如北京地区GPS/VAPOR水汽观测试验、海峡两岸暴雨观测试验、长江中下游梅雨暴雨观测试验等,并开始GPS水汽探测网的建设,这些研究推动了我国GPS水汽研究、试验和应用的发展^[30-32]。王维佳^[33]等利用地基GPS遥感川西高原可降水量特征;刘旭春^[34]利用GPS跟踪观测资料结合气象资料反演哈尔滨地区水汽含量,得出GPS反演的水汽含

量与实际降水和地面气象元素的对应关系,并提出GPS遥感水汽时注意的事项。

结合以上方面分析和统计出相关内容的论文量,结果表明水汽含量及分布、水汽输送与收支依然是本领域研究的重点,出现频率居于前列,但大多数研究仅仅揭示了区域尺度水汽的基本事实,缺乏规律性的认识,限制了大气水的应用研究和水汽资源的开发利用。从发展趋势看,遥感等新技术(包括GPS、卫星、多通道微波辐射计等)应用于水汽的研究主题在近年已上升为第一位,占总文献的26.8%,3S等新技术的应用已成为目前水汽研究的焦点。大气水资源开发利用主要结合天气预报、旱涝诊断及分析等实际问题展开,对人工影响天气做了有益的尝试,出现频率呈上升趋势。另外,模式及数值模拟研究还刚刚起步,相关研究成果较少。

2.5 研究方法

目前,大气水汽含量的计算方法主要有4种,具体见表2。从文献情况来看,利用NCEP等再分析资料计算水汽是目前最为广泛采用的方法,相关研究区遍布全国;而探空实测资料常用来验证其它计算方法,相关文献较多;张学文等^[35-36]建立了适用于全国和某些区域的经验计算模式,但在其他区域的应用较少。向玉春^[37]等以湖北为例比较分析了4种大气可降水量推算方法,结果发现:地面经验公式计算结果比探空计算结果偏小,变化趋势一致;GPS法比探空法计算结果偏大5.6%(宜昌),同期地面法比探空法偏小3.5%;有降水日地面法、GPS法推算的整层水汽含量与探空法计算结果分别相差-1.4%和8.4%。可以看出,地面法和GPS法推算空中水汽资源精度均比较高,但GPS法推算精度略低于地面法,有待进一步订正优化。

表2 4种计算大气水汽含量的方法比较

Tab.2 Comparison of four methods about calculation of water vapor

计算方法	优点	缺点	代表性研究
探空实测资料直接计算	数据客观准确,资料序列较长;可以用来验证其他方法	探空站分布少(尤其在西部地区及山区)	张良(2007)、郭良才(2007)、周长艳(2009)等;
地基GPS结合遥感资料反演方法	运行成本低;可得到连续实时、可全天候观测的高精度、高时间分辨率的观测数据	观测年限短;数据序列不足	毛节泰、曹云昌(2005)、毕研盟(2006)、李国平(2006)、万蓉(2008)等;
水汽含量与地面气象要素的经验公式	可增加区域站点数量;计算方法简单,效果较好	受纬度、海拔等影响,计算结果存在一定误差	张学文(2004)、杨景梅(2002)、杨青(2010)等;
再分析资料计算	获取免费、方便;数据时间序列长,覆盖面广;网格化数据	数据网格较粗,影响精细化计算;其结果适用性需实测数据验证	蔡英、王维佳、王可丽、王宝鉴等

从发展趋势来看,地基 GPS 结合遥感资料反演是近些年来发展并被广泛应用的新技术,上升趋势明显,成为目前研究水汽最主要的方法之一,并有很大的发展空间。此外,卫星^[38]、多通道微波辐射计^[39]、风廓线雷达、系留探空系统等高密度时间和空间分辨率的水汽探测手段的发展丰富了水汽的研究方法。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1)过去 11 a 我国大气水汽研究文献年产量稳定快速增长,2010 年约为世纪初年的近 6 倍。

(2)699 篇相关文献出版在 140 多种学术期刊上,40.5% 的文献发表在《高原气象》等 10 种气象科学类期刊上。

(3)研究区域相对集中,主要集中在长江中下游、北京周边地区和青藏高原东部等区域,而对西北地区中部、新疆、东北及西南山区的研究相对薄弱。

(4)研究内容广泛,涉及到大气水汽的全部内容;研究方法丰富多样,遥感等新技术新方法(包括地基 GPS、卫星、微波辐射计等)应用于水汽的研究已成为目前水汽研究的焦点。

3.2 讨论

我国大气水汽研究经历了半个多世纪的探索和发展,已经积累了丰富的水汽知识和相关资料,取得了明显的进步。与此同时,我们也发现,近 10 a 来中国大气水研究存在明显不足:(1)对水汽的研究大多还停留在基本事实的描述上,对水汽及运动的机制等理论问题的研究不够。水汽含量的精确计算、水汽运动各参数间的相互作用、区域水汽输送与收支的规律等还需进一步探讨;(2)我国水汽研究还多集中于区域尺度的个例研究,尚缺乏半球、全球尺度上的系统性、综合性成果。因此,在全球变化的大背景下开展水汽研究,突出水汽在气候系统和水循环中的作用,使研究不断深入;(3)研究力量分散,专业化程度不够。还没有形成专门的研究机构和交流平台,也没有专门的学术期刊,国家项目的支持也不足,严重影响着专业化、系统化的研究;(4)国际交流合作还有待加深。我国学者应积极介入国际科学计划中有关大气水的合作研究,共享全球资料,加深合作交流。

早在 21 世纪初,张学文、杨青等^[40]就注意到这一问题,提出从“地球的水科学”的角度建立“大气

水文学”以填补空中水文学科学空白的观点,认为大气水文学是研究大气中水分的存在、运动、变化、作用和利用的知识体系,水汽是其主要的研究对象,并估计 10 a 后可形成基本理论框架。可喜的是,2010 年张学文的专著《空中水文学初探》^[41]问世,它是我国大气水研究领域的开拓性成果,也应该标志着大气水文学在我国首先建立。但我们也要清醒地认识到,学科体系的建设是一个不断探索的过程,要不断地整合新理论、探究新方法、提出新问题。“空中水文学”应该能在地球水科学和全球变化研究中发挥作用,能更加清晰地认识大气水汽的规律,解决旱涝防治和水资源问题。

致谢:原新疆气象科学研究所所长张学文研究员对本文的修改提供了建议,在此表示诚挚的感谢!

参考文献:

- [1] 陆桂华,何海. 全球水循环研究进展[J]. 水科学进展,2006,17(3):419-424.
- [2] 张强,赵映东,张存杰,等. 西北干旱区水循环与水资源问题[J]. 干旱气象,2008,26(2):1-8.
- [3] Zitt M, Bassecouard E. Development of a method for detection and trend analysis of research fronts built by lexical or cocitation analysis[J]. Scientometrics, 1994, 30(1):333-351.
- [4] 刘国纬. 水文循环的大气过程[M]. 北京:科学出版社,1997.
- [5] Ho Yuh-Shan. Bibliometric analysis of adsorption technology in environmental science[J]. Journal of Environmental Protection Science, 2007(1):1-11.
- [6] 翟盘茂,周琴芳. 大气水分气候变化研究[J]. 应用气象学报,1997,8(3):342-351.
- [7] 曹丽青,葛朝霞. 江淮地区大气中平均水汽含量特征及变化趋势[J]. 河海大学学报,2004,32(6):636-639.
- [8] 曹丽青,余锦华,葛朝霞. 华北地区大气水汽含量特征及变化趋势[J]. 水科学进展,2005,16(3):439-443.
- [9] 蔡英,钱正安,吴统文,等. 青藏高原及周围地区大气可降水量的分布、变化与各地多变的降水气候[J]. 高原气象,2004,23(1):1-10.
- [10] 王宝鉴,黄玉霞,陶健红,等. 西北地区大气水汽的区域分布特征及其变化[J]. 冰川冻土,2006,28(1):15-21.
- [11] 史玉光,孙照渤. 新疆水汽输送的气候特征及其变化[J]. 高原气象,2008,27(2):310-319.
- [12] 杨青,魏文寿,李军. 塔克拉玛干沙漠及周边地区大气水汽量的时空分布[J]. 科学通报,2008,53(增刊):62-68.
- [13] 周长艳,李跃清. 长江上游地区水汽输送的气候特征[J]. 长江科学院院报,2005,22(5):18-22.
- [14] 苗秋菊,徐祥德,张胜军. 长江流域水汽收支与高原水汽输送分量“转换”特征[J]. 气象学报,2005,63(1):93-99.
- [15] 谢安,毛江玉. 长江中下游地区水汽输送的气候特征[J]. 应用气象学报,2002,13(1):68-77.
- [16] 张增信,姜彤,张金池,等. 长江流域水汽收支的时空变化与

- 环流特征[J]. 湖泊科学, 2008, 20(6): 733-740.
- [17] 赵瑞霞, 吴国雄. 长江流域水分收支以及再分析资料可用性分析[J]. 气象学报, 2007, 65(3): 416-427.
- [18] 徐祥德, 陈联寿, 王秀荣, 等. 长江流域梅雨带水汽输送源~汇结构[J]. 科学通报, 2003, 48(21): 2288-2294.
- [19] 卓东奇, 郑益群, 李炜, 等. 江淮流域夏季典型旱涝年大气中的水汽输送和收支[J]. 气象科学, 2006, 26(3): 244-251.
- [20] 黄荣辉, 陈际龙. 我国东、西部夏季水汽输送特征及其差异[J]. 大气科学, 2010, 34(6): 1035-1045.
- [21] 王可丽, 江灏, 赵红岩. 西风带与季风对中国西北地区的水汽输送[J]. 水科学进展, 2005, 16(3): 432-438.
- [22] 王秀荣, 徐祥德, 王维国. 西北地区春夏降水的水汽输送特征[J]. 高原气象, 2007, 26(4): 749-758.
- [23] 赵瑞霞. 中国长江、黄河流域的水分收支与水分循环[D]. 中国科学院研究生院, 2004.
- [24] 王可丽, 程国栋, 江灏. 祁连山-黑河流域水循环中的大气过程[J]. 水科学进展, 2003, 14(3): 91-97.
- [25] 张顺利, 陶诗言. 雅鲁藏布江流域地-气系统的水平衡[J]. 水科学进展, 2001, 12(4): 509-515.
- [26] 王宝鉴, 黄玉霞, 何金海, 等. 东亚夏季风期间水汽输送与西北干旱的关系[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 912-918.
- [27] 田红, 郭品文, 陆维松. 中国夏季降水的水汽通道特征及其影响因素分析[J]. 热带气象学报, 2004(4): 401-408.
- [28] JIANG Xingwen, LI Yueqin, WANG Xin. Water vapor transport over China and its relationship with drought and flood in Yangtze River Basin[J]. J. Geogr. Sci. 2009(19): 153-163.
- [29] 黄玉霞, 王宝鉴, 王鹏祥. 青海高原夏季降水异常及其水汽输送特征分析[J]. 气象, 2006, 32(1): 18-23.
- [30] 李延兴, 徐宝祥, 胡新康, 等. 应用地基 GPS 技术遥感大气柱水汽量的试验研究[J]. 应用气象学报, 2001, 12(1): 61-69.
- [31] 李国平, 黄丁发. GPS 气象学研究及应用的进展与前景[J]. 气象科学, 2005, 25(6): 651-661.
- [32] 万蓉, 郑国光. 地基 GPS 在暴雨预报中的应用进展[J]. 气象科学, 2008, 28(6): 697-702.
- [33] 王维佳, 赵兴炳. 川西高原地基 GPS 遥测可降水量特征[J]. 干旱气象, 2010, 28(3): 279-296.
- [34] 刘旭春, 王艳秋, 张正禄. 利用 GPS 技术遥感哈尔滨地区大气可降水量的分析[J]. 测绘通报, 2006(4): 10-12.
- [35] 张学文. 可降水量与地面水汽压力的关系[J]. 气象, 2008, 30(2): 9-11.
- [36] 杨景梅. 用地面湿度参数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, 2(1): 9-22.
- [37] 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.
- [38] 孙凡, 陈渭民, 杨昌军, 等. GMS-5 卫星资料和常规地面资料反演大气可降水量[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(5): 641-649.
- [39] 李万彪, 刘盈辉, 朱元竞, 等. HUBEX 试验期间地基微波辐射计反演资料的应用研究[J]. 气候与环境研究, 2001, 6(2): 203-208.
- [40] 张学文, 杨青, 杨莲梅. 大气水文学初探[J]. 水科学进展, 2004, 15(5): 679-682.
- [41] 张学文, 周少祥. 空中水文学初探[M]. 北京: 气象出版社, 2010.

Trends and Advances on Water Vapor Research in Recent Ten Years in China

YAO Junqiang^{1,2}, YANG Qing²

(1. College of Geographic Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2. Institute of Desert Meteorology, CMA, Urumqi 830002, China)

Abstract: Atmospheric water vapor research has achieved great progress since its introduction to China in the end of the 1950s. Based on 699 papers about water vapor research from 2000 to 2010, the water vapor research going in China in the 2000s was discussed and analyzed in this paper. And the current focus and trend of water vapor research was revealed, which provided some basis for hydrologist and meteorologists in China.

Key words: water vapor; literature; hydrology