

空中水文学 初探

张学文 周少祥 著

地球的水科学

空中：空中水文学

地表：陆地水文学、海洋学

地下：水文地质学

空中水文学

初 探

张学文 周少祥 著



气象出版社

China Meteorological Press

内容简介

本书提出了建立与地表水文学、地下水文学相对应的“空中水文学”这一目标,指出空中水文学是关于空中水知识的主体化和系统化。本书还提出了空中水资源总量应当是目前公认数值的6倍;自由大气中的水汽存在相对于空气的运动;目前的云滴初始凝结模型有悖于热力学第二定律;降水时间面积深度的统计力学模型;不同地点的蒸发、降水的定量关系;空中水文学的提纲框架等具有新颖性和争议性的问题。

图书在版编目(CIP)数据

空中水文学初探/张学文,周少祥著. —北京:气象出版社,2010.2

ISBN 978-7-5029-4939-6

I. ①空… II. ①张…②周… III. ①气象学:水文学—研究 IV. ①P4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 028809 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码:100081

总 编 室:010-68407112

发 行 部:010-68409198

网 址:<http://www.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@263.net

责任编辑:吴晓鹏

终 审:黄润恒

封面设计:博雅思企划

责任技编:吴庭芳

印 刷:北京奥鑫印刷厂

开 本:850 mm×1168 mm 1/32

印 张:6.25

字 数:150 千字

版 次:2010 年 3 月第 1 版

印 次:2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~1000 册

定 价:15.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

序 言



得知张学文先生有新作,我很高兴。

现代气象学以流体力学和热力学为理论基础,以全球实时气象资料作为初始场,以大型的计算机作为技术依托,以预报员的经验为补充,开展了天气预报等多种气象服务工作和理论探索,这已取得巨大成绩。数日内的温度、风力的气象预报比较准确是其重要表现。

从社会需要角度看,人们对于从空中降落的雨雪问题更为关切。2008年2月我国南方的雾凇、雪害和2009年莫拉克台风在台湾倾倒了3000 mm的暴雨都显示着“大气水分的野性”。认识空中水的规律性,以至利用空中水问题都是很迫切又进展缓慢的气象难题。

空中水仅占空气总质量的千分之几。研究大气运动规律自然不能以空中水为中心。但是,考虑到降水来自空中水;空中的水汽和云都对地球的能量平衡(辐射能、相变潜热能)有重要作用以及空中水更新很快(每年大约40次)等特点,所有这些都表明空中水的相对重要程度不能用它在大气中占的百分比来比拟。在这个认识基础上作者提出“空中水文学”这个名称,迎合社会需要和学术需要。张先生还认为“地球水科学”已经有了地下部分

(地下水科学)、地表部分(水文学),所以补上地上部分的空中水科学(空中水文学)也是顺理成章。而《空中水文学初探》一书的出版,宣扬了作者的这种主张。

张先生在气象部门工作多年,有接触实际问题的鲜活体会,又喜欢探索邻近学科知识在气象上的横向应用。20世纪70年代他利用信息论知识,指出使输出的信息比输入的信息还多的天气预报方法是根本不可能存在的。这些新鲜的论点给我留有深刻印象。他与马力等人探索用统计物理学的分布函数概念对很多气象现象做定量概括,并且试图用熵最大原理说明这种分布。他们写成的《熵气象学》体现了他们横向运用知识的努力和成绩。

《空中水文学初探》使我们再次看到作者的努力。例如他从物理学知识那里提出自由大气中未饱和空气的比湿不具有保守性(不变性),而是随大气压力、水汽、温度的梯度而变化。这种认识突破了气象学关于空中水的理论思维空间。

近10年以来“开发空中水”几乎成为我国气象界的一个口号。可空中究竟有多少水分,空中水究竟有哪些规律等核心问题,并没有系统地盘算。张先生从学术上对它做分析,这也呼应了社会需要。他提出空中水数量可能是目前公认值6倍的观点值得关注。

本书固然没有展开介绍作者心目中的学科内容,但却把作者们特别分析的几个问题摆了出来。不能说我完全认同作者对这些问题的具体观点,但是我承认这些确实是重要的、需要探讨的问题。把这些问题汇集到“空中

水文学”名下也有利于空中水知识的集中和一个独立知识系统的形成。

应当承认,作者在本书中提出的新问题多于验证的问题。我们可以批评作者的努力不够,不过在提倡创新的时代,作者通过本书把问题摆出来本身就是积极的学术奉献。我们不能求全责备,积极的态度是热情审定这些认识,努力参与对应的验证工作。

“地球水科学”里应当包括“空中水”、应当有“空中水研究所”,这些提法都有道理。编写关于空中水的教材是张先生的愿望,我看我国学术、教育界是可以做这个事的。让水文、气象领域的业务人员在大学、中专的专业教育中获得系统的空中水知识,确实是一种社会需要。

丑纪范

2009.11.21 于北京

(丑纪范教授系中国科学院院士)

自序

我曾在新疆气象台当过 20 年的天气预告员,“天为什么会下雨,水分在空中是如何运行变化的”是多年挥之不去的问题。我深感书本上有关大气水分的知识不够用而且还零散,它们缺乏以空中水为主体的系统性概括。我曾经有写一本“空中水文气象学”的想法,但是多年来难以实现。现在的《空中水文学初探》是这个想法的折中结果。

1960 年我计算了新疆的空中水的含量和输送量,随后在分析新疆的降水、河水、冰川、地下水的数量基础上写成“新疆的水分循环和平衡”长文。此后注意到出现大降水时,对流层空气不仅是饱和的,而且其温度的铅直分布与湿绝热大气的理论分布相同。据此我计算了湿绝热大气的含水量与地面温度的函数关系,又在一种铅直运动的分布配合下,计算出了高大山体的中山地带的降水量比山顶、山脚都要大的特点,发现它与天山的实际降水分布很一致。20 世纪 70 年代华东水利学院詹道江教授发现了我的这些工作并且给予肯定和支持。随后我完成的“湿绝热大气及其降水模型”等工作,也对水文部门搞的最大可能降水分析提出了不同的认识。基于天气预报

值班中的分析,我还提出过“过饱和猜想和广义湿绝热过程”。

20世纪80年初廖树生先生把统计物理学中的波尔兹曼分布的思路用于说明单站降水的概率分布,这启发我把最大熵原理用到降水的历时、笼罩面积和深度等的关系中。由此得到的理论公式与暴雨分布的一致性给我很大的鼓舞。1985年我就写成了《降水统计力学初探》的小册子。后来马力女士又在其硕士论文的基础上进而把这些认识扩展为暴雨学习班的教材——《降水统计力学及其应用》(本书有简要介绍)。

20世纪80年代我发现大气中不同比湿的空气所占有的空气质量与比湿值为负指数关系,而它也是最大熵原理的一种体现。后来,关于稳定云层的滴谱存在一个峰值问题,我和郑国光先生从云滴表面自由能的最任意分布对应熵最大的角度也给出了理论说明。

20世纪90年代我发现统计物理学里有一个混合气体在非均匀场中的扩散公式可以用到湿空气场合。该公式说明压力梯度、温度梯度、水汽梯度都可以导致水汽相对于空气的运动。这突破了自由大气里未饱和的空气的比湿具有保守性的假设(本书用一章讨论它)。

很早我就注意到比空气轻的水汽竟然集中在大气的下层的怪现象,它与气层厚度计算中引入有虚温订正的静力方程其实是互相矛盾的。我用前面提到的理论试图说明它固然是一个思路,但是对此还可以提出另外一个思路:空气的水汽不是单个的水汽分子,它们可能是以6

个水分子的聚合体的形式而存在于空中。分子量是 108 的水汽聚合体的模型可以消除水汽集中在低层的“怪现象”。如果真的如此,大气中存在的水资源就是目前公认值的 6 倍,这显然扩宽了开发空中水的思路(本书中有讨论)。

在空中并不存在物理学上的典型凝结过程所要求的表面平直的液态水体,但是空气里的水汽在空中存在凝结而变成云的物理过程。气象学提供的云滴初始凝结的热力学物理模型我一直表示怀疑。有幸得知周少祥教授对此的质疑,他著文指出这违反了热力学第二定律。我就请他写了本书的第 6 章。

2001 年前后我根据气候上的水分平衡,提出了蒸发水分的去向函数和降水水分的来源函数两个概念,并且在这个基础上获得了世界各地的蒸发对世界各地的降水的互相关系的公式。它们解决了不同地点的降水、蒸发的内在定量联系问题(本书对此有介绍)。

2002 年新疆维吾尔自治区气象局科技处支持过本工作。沙漠气象研究所的杨青、杨莲梅研究员、《水科学进展》杂志原主编刘国纬教授、南京信息工程大学丁裕国教授都给我很多鼓励与支持。我对这些单位与个人的鼓励和支持在此表示感谢。我还特别感谢丑纪范院士为本书写了热情推荐的序言。气象出版社吴晓鹏编辑为本书的顺利出版做了很多工作。在此一并表示感谢。

在本书出版之际,不由想到老师谢义炳院士。当年,他一再说明降水是气象上的难题,号召我们主攻这个方

向。他提出搞湿空气研究作为其突破口,他期待国人在此领域有所建树。他的学生雷雨顺已经为此而献身。作为学生,我希望这里的努力也能宽慰谢院士。

我心目中的本书读者是学习气象学和水文学的大学生、研究生,有关的研究人员、老师,人工影响天气工作者以及工作在气象预报和水文预报第一线的业务技术人员。

我们期待《空中水文学》的知识体系的建设问题,会得到广泛认同和有力推进。我们的努力仅是抛砖引玉。确实,本书涉及的理论环节超过了经典气象学范畴,作者尝试性地应用于本论题中,其中不妥以至错误之处在所难免。承望各界朋友提出意见。

本人的学术网站(<http://zxw.idm.cn>)上还有一些有关资料,欢迎关注。大家的各种意见可以通过电子邮箱(zhangxw@xj.cninfo.net)与我联系。

张学文

2009-10-18 于乌鲁木齐

前 言



水是生物赖以存在的必要条件,也是地球表层最活跃的成分。水分也是对人类活动的影响大,随机性也非常大的自然因素。关于地球的水的知识,笼统地称为水文学。其中的地球表面以下的水分的知识属于地下水文学(水文地质学),关于地球表面的水分的知识一般直接称为水文学(陆地水文学、海洋学等)。作者建议把空中的水(水汽、云、降落中的雨、雪、雹等)的存在、运动、变化、作用的系统性知识称为空中水文学(大气水文学)。

过去有“水文气象学”这个名称,它似乎是气象学与水文学的交叉科学。但是多年来,在这个名称下的具体知识框架一直含糊不清。目前本书的做法是把气象领域(大气中)的水分知识组织起来,形成一个主体性、系统性的空中水知识框架,并且把它与地球表面的、地下的水文学并列。作者认为,这样的知识结构的定位比较清晰。

空中水仅是空气质量的千分之几,它一般混合于空气中,并且随空气一起运动。在这种认识下,知道了大气环流,也就知道了空中水的运动;仅在水分凝结变成雨滴、雪花、冰雹后,它们才脱离空气变成雨雪而降落到地面;另外,地面水分蒸发时水分才有相对于空气的向上的

运动。所以在大气是主角的背景下,关于空中水的知识固然得到了特别的关注,但是它们在大气环流的爱护下,反而丧失了作为一门学科而独立存在的地位。提出空中水文学这个名称本身,就是呼吁用独立的视角看待空中水,建立空中水的独立的知识体系。

如何建立一个知识体系? 作者认为,这涉及下面七点:

- 有较统一的研究对象、领域;
- 有适用于该领域的通用性比较强又比较精确的概念;
- 有研究这些对象的若干仪器、手段和方法;
- 发现了较丰富的客观事实、现象;
- 通过归纳、分析与推理得到了若干规律;
- 有若干应用事例和一些预言(成功的和还没有兑现的);
- 在社会上得到了一定程度的传播。

空中水文学有明确的研究领域,如果适当地吸收气象学中对空中水的知识、数据、概念、原理、方法和技术,并且创立对它有特殊意义的基本概念,建立独立的空中水知识体系,未尝是不可能的。

作者在空中水问题方面有过长期思考与探索,愚者千虑也有一得,回顾过去自己写的文章中涉及空中水分的占了很大的比例。这其中,作者也尝试把分布函数概念、复杂程度概念和熵最大原理等应用于这个领域。在这样的背景下,作者写就了《空中水文学初探》。本书固

然不足以构成一个空中水文学知识体系,但是它提出了问题,概括了有关空中水的一些新的观点、概念、方法。

过去我们看惯了介绍经典知识的教科书,但是在创新成为时代强音的今天,我们需要有勇气探索新领域、新问题,我们需要在新的视角下、在新的概念下获得新的认识。第一部电视机肯定是最蹩脚的电视机,但是它却是今天所有电视机的起点,这第一本关于空中水文学的书,肯定是最蹩脚的空中水文学的著作。但是作者希望这成为一个新的知识体系的起点。在此,作者也热忱希望它的读者能参加进来,成为它的开拓者。

在提出空中水文学这个学科应当独立存在以后,本书讨论了几个比较具体的问题

- 空中究竟有多少水分问题。就此作者提出空中水资源可能是目前公认值的 6 倍的论点。而这个问题涉及的知识点是水分观测技术、水分子的聚合体问题、一般气象知识分析等。

- 空中水是否被动地随着空气运动问题。作者提出温度、气压空间分布的不均匀可以引发水汽对空气的相对运动。这个认识不同于多年来气象学认定的水分输送量的计算公式的绝对地位,也为理解降水提出了新视角。这里涉及的知识主要是关于不均匀气体中的统计力学。

- 水滴(云滴)形成的基本物理过程是当前公认的那样吗?周少祥教授提出过去公认的凝结模型是违反热力学第二定律的。他提出需要考虑云滴的辐射能量的作用,重新认识云滴的形成过程。

● 降水预报问题是气象学里最头疼的问题,也是社会对气象学的重要期盼。降水的维持时间、笼罩面积和降水量的关系被水文界称为“降水时面深”问题。我们这里把它作为分布函数概念、最大熵原理、波尔兹曼统计理论的一种应用来对待,这涉及了统计物理、概率论等知识点。对气象学和水文学,这是新知识,它被我们称为降水统计力学。

● 从气候角度认识不同地点的蒸发量与不同地点的降水量的定量关系问题。这里借助新引入的水分扩散函数和水分辐合函数概念,巧妙地利用质量守恒原理把不同地点的蒸发与降水联系了起来。它为具体计算各地的水分(蒸发、降水)的来龙去脉提供了思路。

● 对于空中水文学的一般知识框架,提出了一个提纲。

希望本书对空中水知识的系统化有所促进。作者也借此机会呼吁:气象与水文专业的中专和高等学校的学生应当有专门的空中水的课程和教材;国家还应当有空中水研究室、研究所。作者期待这类图书的编写,期待这些课程和研究机构的设置。

本书第6章由周少祥教授执笔,张学文负责其余部分和统稿。

我们热忱希望知道读者的各种看法,更欢迎大家参与进来。来信请寄:张学文: xjbwh@163.com, 周少祥: zsx@ncepu.edu.cn。

目 录

序言

自序

前言

第1章 引 论/1

空中的水分数量虽然远比干空气少,可它的活动却使地球生机勃勃(刘国纬语)。空中水的知识重要又分散于气象学的各个部分。建议把分散的空中水知识汇集到一个统一的、不重叠、自洽又比较完备的知识体系内。“空中水文学”就是我们对它的称呼。

1.1 大气水分问题的特殊性和重要性/1

1.2 空中水文学的定义/4

1.3 空中水文学与其他科学的关系/5

1.4 空中水文学的观测与资料基础/7

1.5 空中水文学的理论基础/8

1.6 空中水文学的应用/8

第2章 基本认识和问题/10

本章介绍关于“水”的基础知识,还讨论“空中水”的几个重要问题。

2.1 关于水分的基本物理知识/10

2.2 空中水的三种基本存在形态/13

- 2.3 循环是空中水的重要特征/18
- 2.4 空中究竟有多少水分问题/20
- 2.5 水汽与空气的相对运动问题/20
- 2.6 水汽初始凝结模型问题/22
- 2.7 降水的时间面积深度的关系问题/23
- 2.8 各地的降水、蒸发与径流的关系问题/24

第3章 空中究竟有多少水分问题/26

大气里有多少水分？本章指出过去的答案与某些理论、事实不能自洽。而对此问题的质疑使作者认为全球大气中存在的水汽数量可能被严重低估了：空中水应当是目前认可数值的6倍！

- 3.1 直接用地面水汽压计算空中水的数量/26
- 3.2 目前公认的空中水数据/28
- 3.3 两个空中水的数据不一致/30
- 3.4 大气和水汽压铅直分布的提示/33
- 3.5 比湿铅直分布的提示/37
- 3.6 小结/39

第4章 空中水汽的聚合模型—— $(\text{H}_2\text{O})_6$ /41

针对不同计算思路得到的空中水总量可以差6倍等疑问，本章提出空中水汽可能以6个水分子聚合成的粒子的形态而存在，其“分子量”就是 $18 \times 6 = 108$ 。水汽的聚合模型解决了上一章揭露的矛盾，也引出了很多重要的新问题，它还等待进一步判定和实验证实。

- 4.1 一个假说/42
- 4.2 新模型下的水汽状态方程/43
- 4.3 新模型下的水汽参数/45
- 4.4 新模型化解了水汽的静力学之迷/46
- 4.5 新模型的其他好处/48
- 4.6 湿空气的状态方程,虚温新公式/51
- 4.7 检验本模型的一个简单办法/52
- 4.8 小结/54

第5章 水汽与空气的相对运动问题/54

空气的运动统称为大气环流,而自由大气中的水汽被认为随空气一起运动的,不需要单独研究,只有雨滴雪花的相对于空气的运动被单独观测和研究。

本章认为未饱和的水汽并不完全随空气运动,它存在着相对于空气的运动。这种相对运动可以使空气的比湿变大或者减少。这对自由大气中的水分(比湿)具有保守性的传统假设是个挑战。可它能解释,例如地球上为什么多为薄的层云,台风为什么有眼,锋面附近为什么多雨等一系列涉及云雨的现象。

- 5.1 水汽输送量问题/56
- 5.2 已经默认的水分与空气的相对运动/57
- 5.3 水汽相对运动的方程/60
- 5.4 水平方向的单项分析/60
- 5.5 垂直方向的分析/64
- 5.6 未饱和空气的比湿的变化/67
- 5.7 小结/67