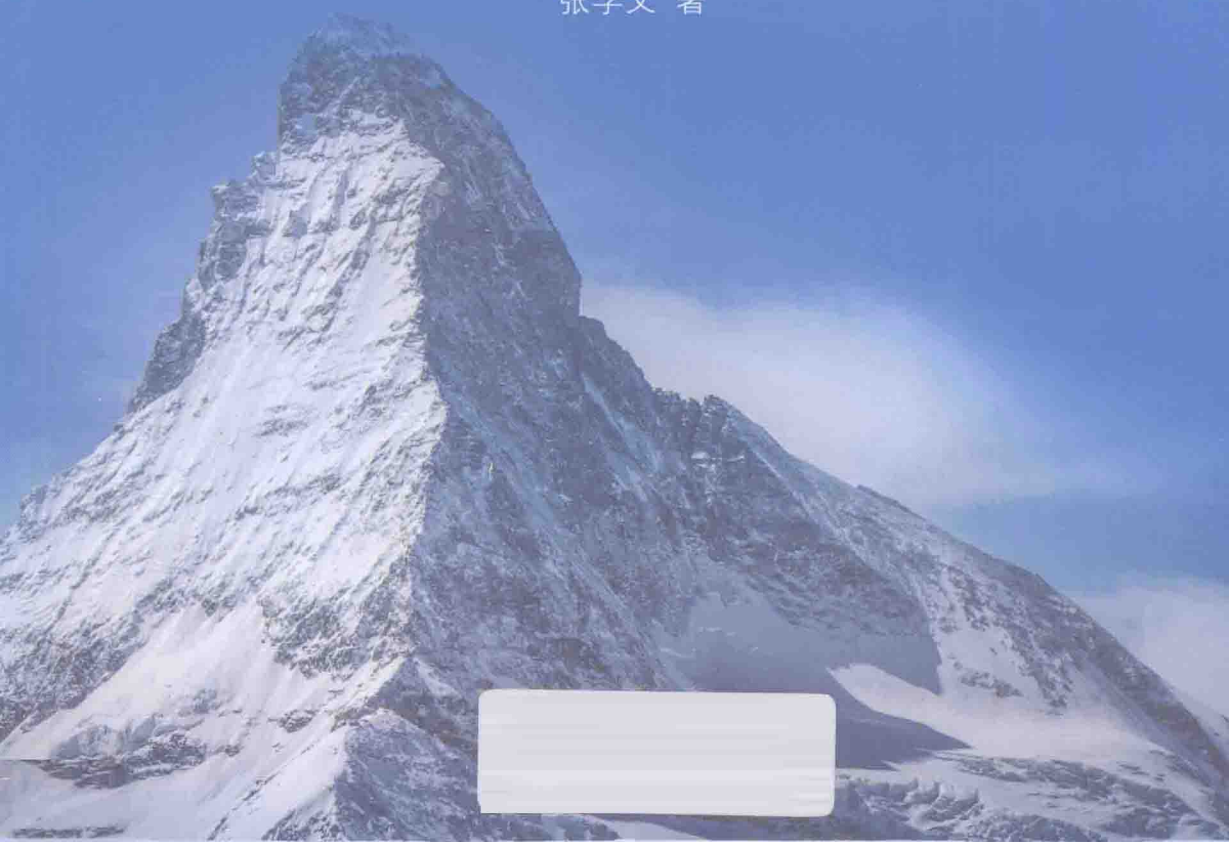


一名预报员的科技探索

——气象、水、复杂性

张学文 著



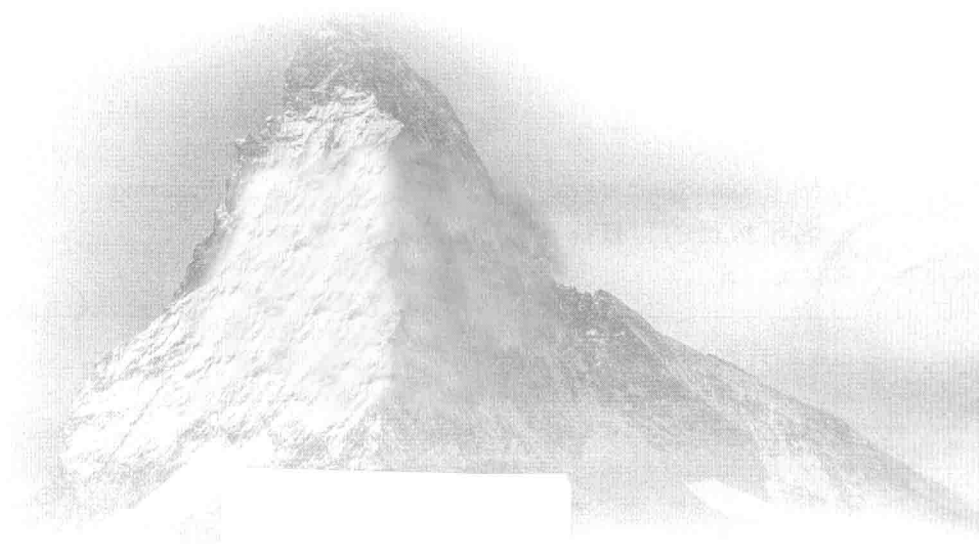
气象出版社

China Meteorological Press

一名预报员的科技探索

——气象、水、复杂性

张学文 著



 气象出版社
China Meteorological Press

图书在版编目(CIP)数据

一名预报员的科技探索:气象、水、复杂性/张学文著.
—北京:气象出版社,2014.3
ISBN 978-7-5029-5897-8

I. ①一… II. ①张… III. ①气象学-文集
IV. ①P4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 042148 号

Yi Ming Yubaoyuan de Keji Tansuo——Qixiang, Shui, Fuzaxing

一名预报员的科技探索——气象、水、复杂性

张学文 著

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

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cma.gov.cn>

责任编辑:胡育峰 杨柳妮

封面设计:符 赋

印 刷:北京京科印刷有限公司

开 本:710 mm×1000 mm 1/16

字 数:254 千字

版 次:2014 年 3 月第 1 版

定 价:30.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@263.net

终 审:章澄昌

责任技编:吴庭芳

印 张:13.25

印 次:2014 年 3 月第 1 次印刷

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 一

张学文老师是我非常敬仰的学者和前辈,但了解、认识这位杰出气象学家的途径还仅是来自他写的书和文章,以及他在科学网上开的博客,其实我与他至今素未谋面。

第一次知道张学文老师的名字大约是在 20 世纪 90 年代中期,同学马力转送来一本《熵气象学》给我,是张学文与马力合著的。那时我还没有听说过“熵气象学”这个名词,感到很新鲜。且刚读过一本很有水准的科普读物——《混沌:开创新科学》,是美国科普畅销书作家詹姆斯·格雷克的成名之作,作者以科学记者的专业素养和鲜活的文笔深入浅出地记录了科学界对混沌现象的研究历程,包括著名气象学家洛伦茨发现混沌现象和蝴蝶效应的具体细节,令人印象深刻。格雷克一句断言:“混沌开始之处,经典科学就终止了。”对于总希望能通过数学、物理方法探索大气系统确定的因果关系的科学探索者而言,无疑会受到很大冲击。而在《熵气象学》中,作者将信息熵概念与原理引入到了气象学当中,对大气中的各类物理量场进行宏观描述,以熵来度量各种形态场结构的复杂性,认为熵原理是自然界的普遍原理,并将其用来诠释大气运动的非决定性特征,不也正是在探求一种认识大气复杂结构与变化的新途径、新视角吗?丑纪范院士在为该书所写的序言中,引用了著名动力气象与数值天气预报专家汤普森(P. D. Thompson)的话:“宇宙间统计秩序随处可见,而决定论则绝无仅有,不懂得这一点的人在这个日益复杂混乱的世界里就会束手无策。”这句经典之言的内涵已超越了大气科学领域,无论对于从事自然科学还是社会科学的研究,显然都具有普遍性的指导价值。

大气科学是一门涉及多学科交叉的研究和应用领域,多种要素的相互影响与作用使其呈现出显著的复杂性特征。尽管随着数学、物理学等学科的介入,以及大气探测、通信、计算机等技术的发展,在很大程度上促进了对大气变化规律性一面的认识和掌握,但其不确定性仍然是气象学家们无法克服也无法回避的现实问题,或者说只有通过结合构建其统计特征才能有所推进。从这一角度来认识,张学文老师进行了非常有益的探索。

张学文老师在 20 世纪 50 年代毕业于北京大学,1957 年分配到新疆工作,在大西北创业、付出、奉献,在气象科学领域里耕耘、探索、成长,锲而不舍,收获累累,直到 1998 年退休。如果我推算得不错,张老师已到古稀之年了,令我惊

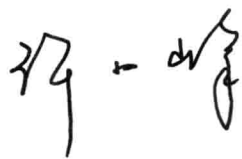
讶的是,老人家退而不休,仍坚持对大气科学的探究,且笔耕不辍,常有新作推出,完全摆脱了功利性,以自己的兴趣和认定的方向为目标,不断思考着新的问题。

跳出气象看气象,这是不少气象工作者在从事气象业务服务工作时常谈到的一句话,大致意思是说要想使气象工作者更好地了解气象,以及让从事其他领域的人和接受气象服务的用户能理解气象,就应该跳出气象领域,换个视角来审视气象,会更加清晰地判断应该做什么和如何做才能使气象工作的效果、效益达到最佳。这样的认识对于气象学科的发展也同样是有意义的,若能从更广义的科学认识论角度来寻求气象的演变规律,去探求气象科学与其他学科领域的关系和共性,应会很有价值,更值得去探索和思考。

张学文老师在边疆工作、奉献了一辈子,不知是否与新疆辽阔的地域有关,其思绪也在浩瀚无边的科学领域中自由遨游着,从具体到抽象,从微观到宏观,从单一学科到交叉领域。《一名预报员的科技探索——气象、水、复杂性》一书通俗介绍了张学文老师 50 多年气象科技生涯中所取得的成果,涉及 13 个方面或领域,并以取得这些成果的过程为主线,记述了这些所涉及的问题是如何从实际业务工作中发现和提出,如何被凝练成科学问题,又如何在探索解决的过程中,逐渐认识到其规律和本质,并形成科学思想的。

翻阅着张老师的文稿,感受到其中既有形而上的思考,也有结合现实问题的探索。实际工作中需求的多样性使他广泛,科学思考地归纳与凝练使他深入,传播科学思想的责任感使他平实。在大西北的独特环境中,张老师一路艰辛地耕耘着,求真求实,不弃不舍,成就了他厚重的气象人生。

我没有能力对张老师的成果深入评论,只能写下这些文字,表达对老先生的敬意,希望张老师保重身体,健康快乐,奉献出更多的成果。



(许小峰:中国气象局副局长)

2013 年 10 月

序 二

1991年被国务院授为有突出贡献的气象学家张学文研究员,1935年2月出生於天津市,回族,1953年就读於北京大学物理系气象专业,从此开始了他的气象生涯,到今年恰是“五十大庆”。在北大,他是比我高一届的学长。在新疆气象局,他是比我早一年(1957年)工作的师兄。我们俩相识很早,相知颇深,相处甚欢。因此,我比较了解他的50年,这是充满坎坷的50年,是顽强拼搏的50年,也是硕果累累的50年,更是为推动气象科技进步、为开发建设新疆做出重要贡献的50年。他可圈可点之处很多,而我印象最深、最为敬佩的是,他敢于创新、善于创新、坚持创新、锐意创新。与时俱进、开拓创新,这已成为他50年气象生涯永恒的追求。

创新是科学研究的生命源泉,气象科技创新分两个层面:一是发现全新的科学原理;二是更多的老原理的新引申、老方法的新应用。具体表现为4个方面:揭示新现象、新事实;应用新资料、新方法;开拓新领域、新方向;提出新观点、新理论。

张学文的创新是从20世纪50年代末期当上自治区气象台天气预报员开始的。当时,世界通行的业务应用的短期天气预报方法是半理论、半经验的天气图方法,报准天气形势的演变过程是报准天气现象变化的前提和基础,“外推法”则是预报员预报天气形势演变的“看家法宝”。张学文也是这么做的,但他比别人高明的一点,就是他不满足于主观“外推”的现状,开始思考“外推法”为什么能够经常取得成功?经过数学推导,他揭示出了“变高(通常指500 hPa等压面图上高度场24小时的变化)保守性”现象,随之自治区气象台增加了一张北京时08时500 hPa的24小时变高图,他用图解法做出了预报图,这受到了预报员的普遍欢迎。“变高图”成功地应用了20多年,直到预报员能够普遍熟练地应用欧洲中期数值预报产品才结束了它的历史使命。

张学文在转到新成立的中、长期预报组后,对原苏联的自然天气周期、自然天气季节的中、长期预报方法做了新引申、新应用:以500 hPa锋区(特征等高线)的演变动态为主要依据,并以第一自然天气区为主来划分天气周期。同时,还根据实践经验与其他同志一起提出以5~6个周期为单位的,平均时间长度为30天的“综合周期”概念。根据对周期平均图的分析,综合周期主要分为纬向型和经向型,而经向型又分为稳定长波类和移动长波类,后者又细分为东移

和西退两种。综合周期概念的提出和应用,对分析和预报候、旬、月尺度天气过程是很有意义的。而候、旬、月尺度天气过程的演变又都有其特定的“气候背景”。他在气候分析中,率先提出了新疆划分四季的指标和四季天气气候特征,以及用树木年轮分析气候变化、用辐射量计算蒸发能力等,这些早期的创新,对提高当时的天气分析与预报水平以及进行气候科研工作起到了重要作用。

1961年底,张学文被调往自治区气象科学研究所天气研究室,从此担当起“职业研究者”的光荣使命,他的研究视野悄然发生了变化,从仅仅面向新疆气象业务技术进步拓展为直接面向新疆经济建设和气象科技进步,并在从事应用研究的同时,还进行“自选”型和定向型基础研究以及技术开发研究,从而赢得了更大的创新空间,取得几项重大的突破性的创新成果。

1. 率先开展了《新疆的水分循环和水分平衡》的研究

新疆属干旱和半干旱气候区,绿洲经济,灌溉农业,生态环境特别脆弱。水是新疆社会经济发展的最大制约因素,水资源处于生态环境系统的核心位置。他敏锐地紧紧抓住“水”这个核心不放,敏锐地提出新疆的水源是什么,水源会真的枯竭吗?为此,20世纪60年代初他刻苦自学了冰川学、水文学和地下水的知识,通过定量计算,得到新疆年均降水量为 $2400 \times 10^8 \text{ t}$ 这一重要降水总资源数据。40多年来,资料补充了很多,但计算结果仍然与此相差无几。其中占新疆总面积40%的山区约占总降水量的85%(约 $2040 \times 10^8 \text{ t}$),而年均地表径流量仅约有 $900 \times 10^8 \text{ t}$ 。计算表明:山区降水量远大于河水流量;自然降水才是新疆的根本水源;冰川和永久积雪是地形与气候的产物,它们是水分循环过程中的一个环节;水源枯竭论是“杞人忧天”,也不符合新疆几千年来有绿洲、草地及人类活动的历史事实。

在此期间,他还提出了估算最大可能降水量的科学方法,比河南“75·8”溃坝事件后全国气象、水文部门普遍进行的这项“浩大工程”所采用的外国人提出的类似方法要早10多年。20世纪70年代他还结合新疆农业生产实际,提出衡量农业的指标不应当用每亩地的产值,而应当用每立方米水的产值。气象研究所的气象专家去搞水研究,这在当时就是一项创举。他提出的新观点和取得的新成果,被40年的实践证明是十分重要和正确的,并逐渐成为新疆科技界的共识,为各级领导和有关部门关于合理开发利用水资源决策提供了重要的科学依据。

原国务委员、国家科委主任宋健院士曾在1987年亲切接见过张学文,对他的观点和成果给予了充分肯定和赞誉。恩格斯指出:“社会一旦有技术上的需

要,则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。”张学文创新的一个有效途径是,从新疆的经济建设、社会发展和气象科技发展的实际中寻找课题,又独创性地分析、解决问题。

2. 率先将信息论应用于气象预报

20世纪60年代后期,一个偶然的机,张学文买到一本对他有重要影响的书,即原苏联学者雅格洛姆写的《概率与信息》的中译本。他开始自学和钻研信息和熵理论,踏上了学习、认识、掌握和应用信息与熵理论的漫长而艰辛的道路。

20世纪70年代,他把信息论用于分析气象预报问题:把气候振动的大小和天气预报任务的大小问题科学地概括为信息熵的大小问题,指出天气预报员制作预报的过程,实质上是在进行信息的加工、转换;从信息在变换中不能使信息增值的原理出发,揭示了对不含预报信息的预报因子的任何数学加工,都不可能使它提供预报信息;指出提高气象预报准确率的有效途径是增加预报信息,提高信息传输速度,提高信息加工、转换水平和能力,以减少预报信息量的耗损和避免浪费宝贵的信息资源。事实上,这为80年代气象部门之所以要急迫地解决通信和计算机两大制约气象科技发展的“瓶颈”问题,提供了理论依据,培育了气象科技发展新的生长点。1981年,科学出版社出版了他的专著——《气象预报问题的信息分析》。

3. 率先推进气象观测数据处理的现代化

张学文善于捕捉和牢牢抓住机遇,这和他精细而敏锐的观察力、发现的兴趣和才能、准确的判断力、创造性思维和丰富的想象力是分不开的。

20世纪80年代初,世界上出现了可以编程序的计算器。张学文敏锐地看到它在气象观测上的应用潜力,认为可以用来推进气象观测业务的现代化。他满腔热情地投身于这个影响面很大的工作,先后主持编写了探空、测风、地面观测和日射程序,并汇编成袖珍计算器上的气象观测程序集。在新疆气象局的大力支持下,他组织对PC-1500计算器软硬件的开发,并举办了多期计算机培训班,培养了大批技术人员;许多成果居全国领先地位,很快在全国一些省(区、市)气象部门得到推广应用,在全国袖珍计算机界也有较高声誉。国务院有关专业机构负责人还到新疆气象局考察,对这项开拓性工作给予了充分肯定和高

度评价。这不仅推进了我国气象观测现代化步伐,开拓了气象科技发展的新方向、新领域,也推动了社会上对计算机的广泛应用。

4. 创立气象学理论新分支——《熵气象学》

在自然科学界,自克劳修斯(R. Clausius)于1854年确切使用熵这一概念100多年来,它已被广泛应用于几乎所有科学领域。正如著名的爱因斯坦(Einstein)所说:“熵理论,对于整个科学来说是第一法则。”凡是学过普通物理的都知道熵和热力学第二定律,看来,熵理论是“很成熟”了。

尽管如此,20世纪80年代张学文勇敢地提出:熵究竟是什么?熵理论能否应用于气象领域?怎么应用?经过科学论证,他指出:熵就是状态复杂(丰富)程度;无序与复杂是两个概念;生物进化也是熵加大。

他进而又把统计物理中的分布函数、热力学第二定律与信息论中的最大熵原理贯通,并且用于降水分析。他把统计力学方法用于研究一场降水在面积上的分布和一场雨在测站上的雨强—历时分布。这不仅为水文学中的降水的时—面—深问题找到了理论依据,也为分布函数的概念渗入气象学给出了新事例,开创性地提出了降水统计力学这一新概念。

他和他的同事们用大量的资料证实:最大熵原理可以有效地用于许多气象问题的分析中。这就促使他发展了分布函数概念,并发现了一批气象要素的分布函数是指数分布或者是其他的解析函数。这些概念和知识,对气象学来说是创新性的,也是系统性的,充分显示了基础研究的基本特征。1992年在气象出版社出版的张学文、马力的合著——《熵气象学》,为气象学开拓、建立了一个新的理论分支。

20世纪90年代,他用最大熵原理推导出气象学中一个新的基本方程——大气密度方程,还把统计物理学中热扩散理论移植到气象上,得出水汽相对运动方程。他还为宣传熵理论知识和拓展新的研究领域做了很多有意义的工作。其中,值得称道的一件事是:1987年在有关部门的大力支持下,发起召开了全国熵与交叉科学研讨会,成立了全国熵与交叉专业委员会,并发展成为中国自然辩证法研究会的一个二级学会,促进了我国科学事业的发展。另外,他还提出了盆地气象学和空中水文学两个研究方向。

5. 创造性地提出了新的理论框架——《组成论》

美国著名学者里夫金(J. Rifkin)称誉熵理论将成为21世纪文明观的基础。

张学文对熵概念、熵理论在气象学中的应用做了深入研究后,必然地要走向探索熵理论的哲学意义,挖掘熵理论在自然科学、社会科学的广阔领域中应用的巨大潜力,综合地阐述应用途径与方法,进而设想搭建某种新的知识框架。张学文新著——《组成论》就是用新视角来讨论自然(社会)科学问题,综合地、横向地分析事物,为各个领域的科学研究提供一种共同的描述组成问题的模型、方法、技术、原理,这是一个综合性的新概念,是一个新的理论框架。

《新华词典》对“概念”的解释是“它是反映事物本质属性的思维形式;是人们在实践的基础上,经过感性认识上升到理性认识而形成的”,而“理论”则指“概念和原理的体系”,创立泛系说的吴学谋教授提出建立概念时要兼顾“相对普适性”、“相对确切性”和“形式的相对具体性”。《组成论》的三块基石是广义集合概念、分布函数概念和复杂程度概念,“广义集合”在描述很多组成问题时简单有效、每个明确的广义集合必然伴有一个具体的“分布函数”。这样定义的3个基础概念都具有吴学谋指出的“三性”。

张学文还指出:客观事物(系统、总体)的内部组成(构成、成分)问题普遍存在于很多事物之中;对组成问题的一般规律性的研究很有必要;《组成论》是多知识的一个新的很好的汇集点。显然,张学文的《组成论》能否成功地、有效地指导人们的科研实践还有待实践的检验,现在来“点”和“评”为时尚早。我只不过“鹦鹉学舌”式地介绍几句而已。但应该指出,这是他1998年退休后仍孜孜不倦、苦苦探索的新成果。正所谓:老骥伏枥,志在千里;年近古稀,壮心不已。

张家宝

(新疆维吾尔自治区气象局原局长)

(本文原刊登在2003年的《新疆气象》上。从2004年起,张学文继续勤于学习,善于思考,勇于创新,笔耕不辍。2006年,他和张家宝共同主编的100万字的《新疆气象手册》由气象出版社出版;2008年他又主编《气象知识我知道》,由新疆科学技术出版社出版,并荣获新疆优秀科普作品奖;2010年由气象出版社出版了他的最新论著——《空中水文学初探》。丑纪范院士指出:“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;认识空中水的规律,以及利用空中水问题都是很迫切又进展缓慢的气象难题。因而得知张学文先生有新作,我很高兴。”)

自序：独进天山

1966年2月隆冬，冬雪盖着天山。我，一个30出头的青年，带上3天的干粮、地图、指南针，竟然从伊犁河谷的那拉提出发，徒步去闯天山冰达坂。那在地图上根本没有路，而我只有目标：东南方55 km外，冰达坂那边天山腹地中的巴音布鲁克气象站。

那时，作为一名新疆气象台天气预报员要到那里去蹲点。历经3天的步行，我真的到了那里！当地气象站用电报把这个事告诉了我工作所在的新疆气象局。一个人，在大雪封山的冬季，凭着一张地图穿过天山冰达坂，这在常人几乎不可思议，可我决定这样做，并且真的到达了目的地！这一时成为气象部门的新闻。

事情过去多年了，不时想来我也几乎不敢相信自己居然有这个胆量。但是想想，这也许恰好是我一生的侧影。是的，独自探索是我一生的特征。

1935年我出生于天津一个普通回族人家，初中时在顾均正先生写的《从原子时代到海洋时代》科普书的激发下，我喜欢上了“科学”。从此我对数理化课程特别感兴趣。那时我读了不少课外书，期望自己也能在科学领域有所成就。

1953年9月29日《光明日报》2版在北京大学物理系的新生名单里有个“张学文”。那时我感到自己向科学王国迈进了一步。随后四年的学习，使我成为北京大学第一批的“三好学生”，可中国1957年的反右风浪也波及我。1957年秋毕业时，西去的火车指定了我的方向：到那边远又没有火车的新疆去！

那时火车仅通到甘肃的玉门，我坐了5天的敞篷汽车才到了新疆首府乌鲁木齐。而这一去也就注定了我命锁新疆的一生。我默默地在气象系统从事着气象科技工作，直到1998年退休。此后，我依然生活在新疆。我依靠互联网和电脑，以及个人对科技的兴趣，居然也能漫步在信息、熵、复杂性、水、气象等领域。

今天看来，我并不是什么爱冒险的行者。我仅是听任了时代的安排，可又喜欢独立思考、独立行事。可以说，我的一生是在比较偏僻的环境中独自探索科学技术问题中度过的。

转眼间数十年过去了。这期间有什么成就？难言。有很多懊悔？不能这么说。独闯天山总是有些收获、体会的。而本书或许就是一种归纳。

本书既反映了我过去探索的大致经历，也对探索的各个具体问题有一定深

度的讨论与介绍。如果这些文稿对不同背景的人群有所影响以致启发,甚至对有关学科的发展有益,我认为这本书也就完成了它的使命。

最后,我感谢为本书的写作及出版提供了各种帮助的各位人士,这包括:我的家庭成员,网站上我的读者,朋友们,陈晓梅女士,中国气象学会黄锡成先生,新疆气象局原局长张家宝先生、局长杜继稳先生。张学文在这里谨向各位致谢了!特别是,中国气象局副局长许小峰先生在百忙中热情地写了序言,这让我十分感动,谢谢许局长!

诚心希望它对您有所启发!

欢迎您反馈对本书的感受与评论!

张学文*

2013 秋,于乌鲁木齐

* 电子信箱: 519079447@qq.com; 个人网站: <http://zxw.xjxmw.com>; 个人博客: <http://blog.sciencenet.cn/?2024>

目 录

序一

序二

自序：独进天山

第 1 篇 气 象	1
气象业务革新与探索研究领域	2
信息论在天气预报中的应用探索	5
大气的统计观	8
对“熵气象学”的探索	19
把“气象统计”提高到“统计气象学”	24
创立盆地气象学的问题	27
盆地气象学和它的某些概念	29
初议干盆地与湿盆地概念	34
再议干盆地和湿盆地的特征	36
干、湿盆地的定义	37
盆地的水汽和空气的封闭程度表	38
近地面的水分循环	39
积雪锁冬寒	41
中国每日雨区面积问题	42
气象台应当学会用“面积”来说话	43
我国是否存在雾季？	44
沙尘暴起因于垂直于下垫面的气流	45
塔里木盆地的坡度是吹出来的？	49
云之南是“云南”	50
地上彩虹——事实与预言	51
说说“天气预报员”	52
第 2 篇 水科学	55
我的“水文”情结	56

对空中水知识的探索	58
空中究竟有多少水?	64
《空中水概论》的提纲	67
地面水汽压与大气含水量的公式	71
漫话空中水	72
水科学的结构	76
水体概念是地球水科学中的基本概念	78
水科学中四种水体的储量关系	79
水体的储量与循环周期的函数关系	80
水科学,不应当包括“水”的所有主题	82
降水量就是水资源	83
我国各省(区、市)的年降水资源量表与说明	85
青藏高原不是中国或者亚洲的水塔	88
径流系数的零值和负值的区域是存在的	90
新疆水源认识的几个误区	92
新疆气候改造与利用问题	96
新疆变湿与中亚开发有关?	98
罗布泊与咸海同命相连?	100
引海水入新疆,有必要吗?	102
漫谈蒸发	105
第3篇 信息、熵、复杂性等	109
我对信息、熵、复杂性的认识进程	110
三个不可能(不存在)	114
“熵”会与其文集	121
《组成论》札记	123
从最大熵原理统一认识主要的概率分布	125
对幂律成因的一种说明	127
概率论和统计数学是数学吗?	129
热力学第二定律与“最可几”的地位需要调整(1)	131
热力学第二定律与“最可几”的地位需要调整(2)	133
热力学第二定律与“最可几”的地位需要调整(3)	135
物理学第○定律	137
热力学第二定律是物理学第○定律的特例	144
某些系统内此消彼长的熵	145

牛顿力学仅是马尔科夫过程的特例吗?	149
相对量(1)	150
相对量(2)	152
相对量(3)	154
把摩尔从 7 个基本科学单位中剔除	156
再论摩尔不是基本单位	157
第 4 篇 杂 议	159
年轮实验室与新疆最早的树木年轮分析	160
填绘第一张平流层的天气图	162
发明气象预报仪	163
全国气象站基础业务现代化的一幕	164
《袖珍计算机 PC-1500》的出版	166
《新疆气象手册》札记	168
《气象知识我知道》札记	169
《家珍丛书》——日记的演化,家谱的新版	170
我与互联网	172
自贺:我当气象统计员 1 周年	174
划一自然灾害的相对等级	175
灾害的时空尺度概念	177
地球科学里的时间是几维的?	180
《神秘又简单的幂律》科普书提纲	182
我担心“科技精英们”要把中文扔进垃圾堆	184
表格是伟大的发明	185
界壳论—界壳们—表格—数据库	187
自然规律和法律有本质区别吗?	189
现代信息论的创立人——申农	190
谁是复杂性研究的先行者?	192
可拓学的一个基础贡献	194
参考文献	196

第1篇 气象

气象是我学习的专业和工作的中心。这里摘记了我负责的某些技术革新项目以及我着力开发的《熵气象学》和提倡的“盆地气象学”等。

气象业务革新与探索研究领域

我从1953年开始学习气象学到1998年在新疆气象局的科技岗位退休，“气象”自然是我耕耘的核心。下面大致以时间为顺序，把我涉及的气象业务革新与研究的项目做一简要说明。

概况：1957年10月我成为新疆气象台的实习员，先是从事地面气象观测、高空气象观测和天气图填图等工作，各实习1个月，随后跟预报员实习天气预报，直到自己正式值班。1957—1983年，我在气象台做过短期、中期、长期天气预报和天气研究工作。此后，成为新疆气象局特意成立的新技术发展办公室主任，专门从事我发现和提倡的袖珍计算机在气象基础业务中的程序开发等工作。1986年转入新疆气象科学研究所，先当了不足3年的所长，后来从事国家自然科学基金会等课题研究，1998年退休。退休以后15年来依靠电脑、互联网继续写一些书、文章，甚至办网站。

开发图解数值预报图：1959年我值班时注意到每天的500 hPa高空图的24小时的变高图上的正负变高中心具有沿着锋区（急流）移动的现象。这是为什么？我思考再三，发现把动力气象中的涡度守恒公式再做一次微分，可以证明“涡度的变化”与“变高”具有一定的等价性，从而认识到“变高”在移动中具有保守性的现象对应动力气象中的涡度守恒。在此基础上，我提出了一种依靠变高的保守性预报24小时以后的500 hPa高度的图解方法（省去了大量的计算，仅用图上的等值线中的“穿线”做“加、减法”，获得新的等值线图的技术，整个操作大约20分钟）。这对预报员预报第二天的天气具有很大的帮助。这个图解的天气形势预报方法在新疆气象台从20世纪60年代初沿用到70年代，后来有了国外的数值预报才被取代。1959年在新疆气象局编印的《气象论文集》第1号上，它以“变高的保守性”为题的论文占了30页（含图，29～58页）。它算是我在天气学方面做出的一个重要技术革新。

提出四季划分标准：大约是1960年在陈汉耀工程师的要求下，我提出了有别于张宝堃教授对我国东部地区的四季划分标准，即以5天平均气温跨过0℃、20℃来划分新疆四季。这个新疆四季划分标准从20世纪60年代一直沿用到21世纪的今天。

发现月尺度大气环流特征——综合周期：20世纪50年代末新疆气象台在陈汉耀工程师带领下开展了中期天气预报的探索，引入了前苏联的天气周期概