

# 推动中国海洋气象学发展的两位大师 ——第II部分：王彬华的故事

■ 傅刚

青岛是中国现代气象学的发源地和中国气象学会的诞生地，对中国海洋气象学的历史演变过程有重要影响。本文主要介绍王彬华先生的生平概览、科学研究和教书育人，以及蒋丙然与王彬华师生两人的历史命运，从中折射出我国海洋气象学的发展脉络，期盼能为深入理解中国海洋气象学的发展历史提供多角度的认识。

中图分类号：P4

文献标志码：A

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2024.03.005

青岛是现代气象学的发源地和中国气象学会的诞生地，对中国近代气象学的历史演变过程有重要影响。在推动中国海洋气象学发展的两位大师的第I部分，主要介绍了海洋气象学的定义，以及中国最早的气象学家、中国近代气象事业的开拓者之一、中国气象学会第一届至第五届理事长蒋丙然先生的生平概览及其在海洋气象学领域的学术贡献。本文是系列文章的第II部分，主要介绍蒋丙然的学生王彬华先生的生平和学术贡献，以及蒋丙然与王彬华师生两人的历史命运。

## 1 王彬华生平概览

王彬华(图1)，原名王华文，字彬华，20世纪50年代后以字代名。他于1914年3月5日出生在安徽省寿县南部的一个“普通乡绅”(王彬华先生自称)家庭，2011年4月13日在青岛逝世，享年98岁。



图1 王彬华先生20世纪80年代的照片

## 1.1 王彬华的早期生涯

王彬华于1934年考入山东大学物理系<sup>①</sup>，1935年开始师从蒋丙然先生攻读气象学。1937年王彬华在南京北极阁紫金山实习时抗日战争爆发，1938年在重庆进入中央大学，1939年毕业于中央大学，次年考入中央研究院气象研究所，师从竺可桢先生，1943年，应招进入“中美特种技术合作所”气象组，从事抗日战争时期中国战区的气象预报工作。1945年9月，王彬华受命接管青岛观象台并任台长，1948年3月，组织编纂出版了《青岛市观象台五十周年纪念特刊》(图2)。1950年9月，青岛观象台改名，王彬华继续担任台长。1956年，他调入山东大学，创建了海洋气象学专业。

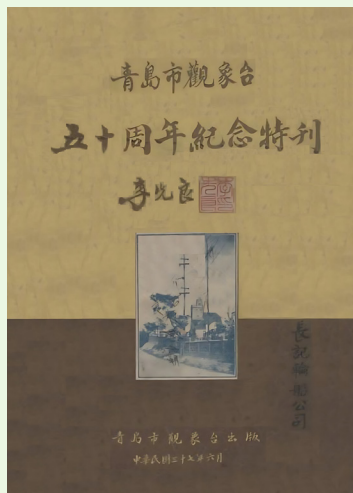


图2 王彬华先生组织编纂的《青岛市观象台五十周年纪念特刊》

收稿日期：2023年5月12日；修回日期：2023年12月12日

作者：傅刚(1963—)，Email: fugangouc@qq.com

资助信息：国家重点研发计划(2022YFC3004204)；国家自然科学基金面上项目(42275001)

① 据王彬华先生长子王立玮于2021年11月30日提供给笔者的微信信息，当时山东大学物理系气象组学生有王华文(王彬华)、孙月浦和牛振义3人，不能确定是否包括万宝康。

1937年夏,王彬华在南京紫金山天文台和北极阁气象台实习时抗日战争爆发,他的实习被迫终止。王彬华于1938年夏辗转到了重庆,但由于他没有随山东大学一起到万县,故山东大学并入到中央大学的学生名单中没有他的名字。他直接求助于中央大学校长罗家伦先生,被“破格”接收并给予他继续求学的机会。

1942年,太平洋战争爆发后,为争夺西太平洋和东南亚的战略要冲,美国 and 当时中华民国政府合作开展气象培训。作为中方专家,王彬华除了承担培训班授课任务,还要为太平洋岛屿登陆的“盟军”提供气象预报,这需要考虑海上港口的涌浪、潮汐等海洋因素以及天文情况。王彬华通过这一阶段的工作,深刻认识到要做好海洋气象预报,需要更多的知识,仅有气象知识是难以获得准确预报效果的。在实践第一线,王彬华开始把气象知识与海洋知识融合在一起,为“盟军”提供准确的预报服务,也开始对海洋气象学产生了浓厚的兴趣。

在抗日战争时期,王彬华为“中美特种技术合作所”气象班培训了大量气象人员,为美国海军在太平洋战场打击日本军国主义作出了重要贡献。他在抗日战争胜利后奉命接管青岛观象台,在三年之内将一个满目疮痍的台站,整顿发展成为有影响的观象台。他是新中国第一个观象台台长,为新中国海军的气象事业作出了卓越贡献。在事业的巅峰,他选择回到大学,开创了我国第一个海洋气象学学科,为国家培养了上千名海洋气象人才。他从20世纪40年代开始思考,并于1983年完成的学术著作《海雾》,是世界上最早系统研究海雾的权威著作。

## 1.2 王彬华的学术研究

1941年,27岁的王彬华在《气象学报》上发表论文《四川之春荒及其预防》(署名为王华文)。1954年,王彬华调入山东大学海洋系工作,先后独著或合著发表了《在西藏高原影响下中国动力性气旋的生成及其发展》《人工造雾试验报告》等海雾研究文章(图3)。《人工造雾试验报告》介绍了王彬华等5位老师带领12名同学于1958年12月1—5日开展的5次人工造雾试验情况,其中4次试验成功。作者在文中非常敏锐地指出:“人工造雾的成功,不仅可以应用在国防上,而且在农业上预防霜冻,亦具有更广泛更现实的重要意义。”该文不仅详细介绍了采用燃烧赤磷方法进行“人工造雾”的基本原理、开展造雾试验时的天气形势,还有清晰的照片对比展示造雾试验前后的结果。文末

还附有4次成功试验的“人工造雾实验记录”,包括地点、每隔5 min的时间信息、干球和湿球温度、相对和绝对湿度、风向和风速以及大气能见度等气象信息。该文的前瞻性、科学性、严谨性不仅堪称典范,还可以说是王彬华先生系统开展海雾研究的前奏曲。2023年8月,该文第二作者、年近九十岁的秦曾灏向笔者详细介绍了王彬华先生如何严谨思考科学问题、带领海洋气象专业师生开展“人工造雾”试验的历史背景。“1958年,我们以新生的山东海洋学院的王彬华先生为首的群体,在有利于成雾的自然条件下,利用分散布点燃烧赤磷的方法,进行人工造雾的野外现场试验研究,虽使用监测手段简陋,但实施方案合理,能获得基本成功和可信的科学结论。在当年时代背景下,这种坚持科学求真不动摇的精神,不贻误读者,得以自慰。且不谈学术水平,美国用相同方法在室内对不同的相对湿度条件,对人工成雾进行控制性试验,对气溶胶大小进行光谱研究,至少在时间上落后我们二十年。”

1961年和1962年,在繁忙的教学工作之余,王彬华还出版了教材《普通气象学》。该书分上下两册,共有28章,上下册各14章,共821页。其内容非常广泛,不仅涉及大气组成、气象要素、气压与风、静力平衡、大气稳定性、气压分布、气温分布、风场分布等普通气象学的基本内容,还包括太阳辐射、地球辐射、大气中的热量传递、蒸发与凝结、大气中光的散射、折射、衍射、云及降水、热带气象、雷暴、飓风和龙卷、气象观测等专业内容。书中“绪论”部分用15页的篇幅介绍了气象学的发展简史,以及气象学对国计民生诸多领域(如农林、渔牧、盐粮、工程交通等)的影响。该教材洋洋洒洒约52万字,不但展示了王彬华先生深厚的学术功力,也是当时国内外最新学术成果的集中体现。

## 1.3 《海雾》及其学术影响

从20世纪40年代起,王彬华就关注海上天气,特别是海雾预报问题,并不断积累资料写出专文。《海雾》由海洋出版社出版,获得1983年国家科技图书二等奖,并被联邦德国Springer-Verlag公司列为“海气交换丛书”之一,1985年被组织翻译成英文,在世界各地发行(图4)。书中总结了国内外的研究成果,全面论述了海雾生成原因和分布问题。

1987年5月,澳大利亚Peter G. Baines教授在国际著名学术期刊*Dynamics of Atmospheres and Oceans*杂志上发表了对其著作《Sea Fog》一书的评论。由于在英文版的前

人工造雾试验报告

试验者：人工天气小组 执笔者：王彬华 秦曾灏

1958年11月，我校海洋系气象学天气学两个教研组部分教师及海洋气象专业二、三年级部分同学所组成的人工天气小组，决定进行人工造雾试验，在做好一系列的准备工作以后，于12月1日开始试验。从1日到5日共准备了五次试验，由于3日天气条件不好，从00时—04时风力强劲，不利于雾的形成和持续（我们几次试验，都是在子夜以后开始布置，黎明前进行），因而取消这次试验，实际上只在1、2、4、5、四天内进行四次试验，现在把试验的方法、过程、每次试验情况以及今后应如何推广改造的几点意见，分述于后。

一、试验方法和过程

人工造雾试验，对我们小组成员来说，还是首次尝试，因此应该怎样做才好，并没有什么把握。好在每次试验前都经过讨论准备，试验后会总结，不断改进工作方法，儘可能选择并掌握成雾的有利条件，终于完成了人工造雾试验，并获得成功。人工造雾的成功，不仅可以应用在国防上，而且在农业上预防霜冻，亦具有更广泛现实的重要意义。

1、气象条件

进行人工造雾，并使雾可以比较长时间的持续下去，最理想的气象条件应该是：相对湿度大，风力小。冬季在青岛选择这样的天气条件并不是很困难的。只要没有象骤雨那样大型天气系统的影响，一般地黎明前后的相对湿度，常在80%以上，风速常常不足3—5米/秒，这都对于人工造雾的成功，已经具有很好的气象保证条件。

2、地形的利用

本组造雾是采用燃柴亦确的办法进行的，因此燃柴地点的选择是很重要的，在地

\* 人工天气小组由海洋系天气学气象学两个教研组王彬华、孙月娟、于宝珊、梅文民、秦曾灏、王拉敏及海洋系气象专业二、三年级孙德庆、王树刚、徐立德、高晓宇、于瑞波、华琳、于佩余、曹国雄、李奕刚、董升清、梅为华、王耀等十二位同学，共计十七人组成。  
\* 接收你海洋水文气象系。

中国近海海雾的几个特征

王彬华

(山东海洋学院)

从中国近海雾的分布形式、生消过程、地区效应和立体形状等方面进行分折，可以归纳出四个特征。

一、几个海区的海雾分布

海岸区域海雾持续存在的有利风向，应为从海区吹向岸边的风，但渤海海区雾季（4—7月）的盛行风向，除营口和长兴岛分别为SW风（6—7）和W及SW风（5—8月）外，其余各地仍为偏南方向的风（表1），不利于海雾的生成和持续。从中国近海的四

表1 渤海、南海夏季盛行风向

月份	3	4	5	6	7	8
辽 营 口	N	SSW	SSW	SW,SSW	SW,SSW	SSW
东 莱 阳 烟 台	NE,S	S	S	S	S	S
渤 海 长兴岛	N	N	SW	W	SW	SW
莱 州 龙 口	S	S	S	S	S	S
冀 南 烟 台	C,W,SW	SSW	SSW	SSW	C,S	C,SE
渤 海 威海	NW	S,W	SSW	S	S	S

个海区来说，渤海雾区最小，雾日最少。南海雾区虽大于渤海，但与共海面积比，实在微乎其微，因此讨论中国近海雾特征，重点放在黄海和东海，在这两个海区里的海雾面积相差不多，但雾区在其所在海区所占面积比却相差很大。黄海基本上全海区有雾，东海只其西部有雾，东部雾少，东南雾更少。烟台、也多数属雾区，因此，从渤海、东海

\* 本文在1979年武汉举行的中国海洋湖沼学会第三届年会上宣读，并将摘要于会后印成文集。

中国近海海雾持续和消散问题的探讨

王彬华

(物理海洋学系)

摘 要

本文从空气稳定性和天气型两方面讨论海雾生成之后，如何持续和消散问题。发现在一定条件下，低空空气层中“干层”的存在，利于雾的持续，而天气型转变带来的风和降水，常使海雾趋于消散。

我们曾经讨论过中国近海雾的生成条件<sup>1)</sup>，现在进而探讨海雾的持续和消散问题。以下从空气稳定性和天气型两方面进行分析。

一、空气稳定度的影响和作用

从水汽较差关系中知道，促使海雾生成的低空空气层常有逆温现象，这种现象

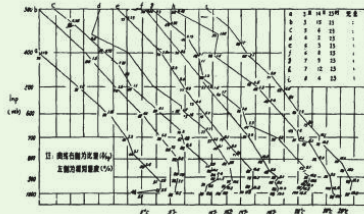


图1 1956年青岛海雾中的气团属性

中国近海海雾的初步分析

王彬华

(山东海洋学院)

本文所讨论的海雾，指的是纯粹由于海洋条件影响而形成的雾。此外，出现在移行到海上的雾，只能称为“海上的雾”，不应叫做海雾。至于海岸地区的雾，类型就更多了，即使纯粹大陆性质的雾，也可以在海岸地区出现，因此，海岸地区的雾，并不是海雾。

一、中国近海海雾的分布和变化

中国近海雾季出现在海上的雾，主要是平流雾和锋面雾。前者称为海雾，后者只能叫做“海上的雾”。辐射雾在海上很难见到，即使海岸地区可以出现，但在海雾季节出现的次数亦很少。另外，南海冬季虽然有可能生成辐射雾，但据实际观测和少记载有雾区的数据，因此，海雾季节出现在中国近海的雾，就是海雾和锋面雾。至于二者所占比率多少，各个海区不尽相同。以黄海西部为例，据青岛1961—1965年资料，在199次雾中，锋面雾57次，占29.1%；海雾142次，占70.9%（表1），表明海雾是黄海的主要雾型，东海就不一定是这样了；海雾时期正是东海的梅雨季节，锋面和气旋比较频繁，因此锋

表1 青岛海雾季节与锋面雾的频率（1961—1965年4—7月）

月份	4		5		6		7		4—7月	
	海雾	锋面雾	海雾	锋面雾	海雾	锋面雾	海雾	锋面雾	海雾	锋面雾
雾次数	31	17	26	10	41	10	44	20	142	57
频率(%)	64.4	35.4	72.2	27.8	80.4	19.6	68.8	31.2	70.9	29.1

面雾的比率可能多些。至少平流雾和锋面雾交错出现的次数不会少。日本西部及其近海在东海范围内，本雾雾期较少的海区，可是根据长崎县属资料，雾季4—7月，起因于锋面和气旋所成的雾占2/3<sup>2)</sup>，说明真正的海雾，在这里比率显著减少。以下在讨论海雾生成条件时，虽然那是针对平流冷却雾说的，但在统计这些海区雾的次数和频率中，并未分类加以区别，事实上，凡是在海上出现的雾，都作为海雾计算了。

(一) 中国近海海雾分布

我们根据中国近海雾的纪录<sup>1)</sup>以及日本西岸、琉球群岛、亚洲东部沿岸<sup>2)</sup>、南海及其沿

1) 王彬华, 1966. 海雾专题报告. 山东海洋学院海洋气象专业讲义.

图3 1959—1981年王彬华发表的关于海雾研究的学术论文

言里，王彬华没有介绍其开展海雾研究的历史背景，Baines教授也不了解该书艰难曲折的出版经历，故Baines教授对Sea Fog的认识不够全面，一些评论也是片面的，但整体上来看还是比较客观公正的。Baines教授的全部评论翻译如下：

“以前似乎没有关于海雾主题的书，我读本书的目的是了解该主题的一些东西，这一目标仅能部分实现。该书是由中文翻译的，包含了大量可能被称为

‘非惯用的’短语，并在参考文献中有一些拼写错误。然而在大多数情况下，该书表达的意思是相当清晰的，读起来也相当容易。

目前学术文献中关于雾形成的物理学和动力学机制有相当多的不确定性，这可能是由于我们缺乏对夜间大气边界层、湍流特性和相关云微物理的知识。本书没有详细说明这些问题的现状。在题为‘海雾的生成及其分类’的第一章（共六章）中，海雾分为平流

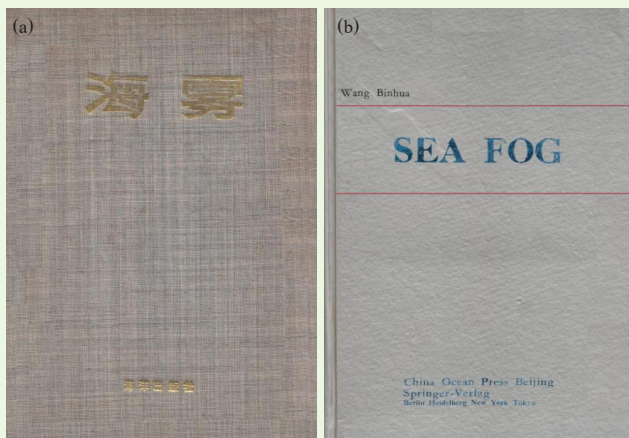


图4 王彬华1983年出版的中文版《海雾》(a)及其1985年的英文版(b)

雾、混合雾、地形雾和辐射雾，并有更细的分类。根据块体输运公式、热力学和涡流混合系数所体现的基本物理过程，讨论了这些雾类型可能形成的方式。雾通常由上述几种雾混合而成，这使得理解一些观测结果更加困难。

本书的第二章、第三章和第四章分别为‘世界海雾的分布和变化’‘海雾及其水文气象特征’和‘东亚

海域的海雾分析’。这些章节大约占全书的一半，都是关于世界各地和海洋上的海雾发生、频率、类型和特性的描述，并对东亚地区给予了最大的关注。这种有点百科全书式的地理信息覆盖难以引人入胜地阅读，但那些研究雾的专家和对特定地区有兴趣的人会对本书材料感兴趣。本书的第五章是‘海雾的物理性质’，第六章是‘海雾预报’。总之，这本书是同类书中唯一的，对研究雾的专家而言，本书内容是非常有价值的。书中关于物理性质的讨论有些过时（第一章的最新参考文献是1975年）。当前的研究问题没有解决，书的大部分是描述性观察材料的整理。”

#### 1.4 王彬华的人文情怀

1948年3月1日是青岛观象台成立50周年纪念日。是年王彬华34岁，风华正茂，负责组织、设计、整编了自观象台创建以来的全部资料，包括气象、太阳黑子、地磁等观测资料，并对青岛天气、海雾、台风、地磁等进行了分析研究，编纂出版了《青岛市观象台五十周年纪念特刊》，珍贵的科学数据得以保存并流传下来。青岛观象台也举行了隆重的纪念仪式，全体同仁合影留念(图5)。



图5 1948年青岛观象台成立50周年全体同仁合影留念  
(前排左起第五人为青岛观象台台长王彬华，照片由王彬华先生长子王立玮提供)

1948年秋，王彬华先生的恩师、时任台湾大学教授的蒋丙然先生收到学生王彬华寄给他的特刊后，感慨万千，特赋诗一首：

高耸层台入望遥，当年日日此登楼。  
抛将心血成陈迹，赢得浮名愧白头。

惨淡经营惊破碎，从容恢复费筹谋。  
遑遑巨册闲披览，往事依稀眼底留。

王彬华先生收到恩师蒋丙然先生的赋诗后，从韵和诗一首：

山自青葱径自幽，念年往事忆登楼。

挥毫但见风云变，对镜难穷宇宙头。  
一代宗师精设计，千秋大业庆宏谋。  
残篇待辑烽烟里，劫后层台共我留。

1984年，中国气象学会成立六十周年大会表彰了34位从事气象工作50年的气象科技人员，王彬华先生位列其中。2004年，中国气象学会成立八十周年庆祝大会授予26位气象学家“气象科技贡献奖”荣誉

称号，90岁的王彬华先生也位列其中。他虽然没能出席大会，但听到消息后很高兴，欣然题写了“气象人员之家”，对中国气象学会颁给他的荣誉表示了感谢。

为铭记王彬华先生开创我国海洋气象学事业的丰功伟绩，2008年2月18日，中国海洋大学海洋气象学系部分教师与王彬华先生合影留念(图6)。



图6 2008年2月18日中国海洋大学海洋气象学系部分教师合影(前排左起:王赐震、秦曾灏、王彬华、左中道、周发琇、刘秦玉;后排左起:罗德海、王启、徐天真、孙即霖、傅刚、盛立芳)

## 2 蒋丙然和王彬华师生的历史命运

1922年，39岁的蒋丙然被中华民国政府任命为青岛观象台接收组组长。蒋丙然先生从日本人手里接收青岛观象台时有过一番波折。1922年2月6日，在美国华盛顿签署的《九国公约》宣称尊重中国的主权、独立和领土完整，要求日本将其在第一次世界大战后占领的青岛和胶济铁路交还中国。日本方面答应了有关条件，但唯独没有移交青岛观象台。日本方面的拒绝理由是，中国没有合适的技术人员能够让青岛观象台顺利运转，胶州湾来往的各国船只会失去科学的指挥和管理，将给这个繁忙的港口带来无法估量的损失。不过他们最后还是答应，只有时任中央观象台气象科科长蒋丙然能够胜任这里的工作，如果他能来上任，马上就可移交青岛观象台给中国。

王彬华先生的命运比其老师蒋丙然先生的命运更加坎坷曲折。他在晚年曾总结到，自己从小学到大学，就先后经历了三次辍学。第一次辍学：1926年，王彬华考取了安徽省寿县的初中，但只读了一学期，

由于北伐战争的影响，寿县初中休整一年，于1928年春才复学。第二次辍学：高中毕业后，因为家庭经济困难，他报考了南京中央政治学校(该校全部公费)，但因口试没通过。懊恼之余，他赴休宁二中附属小学任教一年，积攒了一点钱，第二年考入山东大学物理系，选读天文气象学。次年考取安徽省奖学金，读完三年。第三次辍学：1937年，抗日战争爆发，王彬华在南京紫金山天文台和北极阁气象台的实习被迫终止。从此各机关和学校纷纷西迁。山东大学西迁四川万县后被教育部下令解散，师生并入中央大学。如前所述，山东大学并入中央大学的学生名单中没有他的名字，在中央大学校长罗家伦先生的帮助下，才得以继续求学。

## 3 结束语

本文从历史的角度，介绍了中国气象学会主要创建者之一蒋丙然先生以及他的学生王彬华先生的人生故事，折射出我国海洋气象学的发展脉络。历史将永远铭记他们为推动中国海洋气象学发展做出的杰出贡

献。回顾他们师生不平凡的人生经历，笔者深刻感悟到，历史长河里个人仅是一粒微小的沙子，个人命运与祖国的命运紧密相连；老师对学生的影响是无形的、巨大的。现代生活和研究环境条件远远优于前辈们的环境和条件，怎样才能做出超越前辈的成就？如何继承、发扬和光大先辈们开创的海洋气象学事业值得后

辈深思！

致谢：本文得到原山东海洋学院海洋气象学专业秦曾灏教授，以及王彬华教授亲朋好友的关心和鼓励，特别是王彬华教授的长子王立玮提供了一些有价值的线索和史料，表示衷心感谢。

### 深入阅读

- 傅刚, 2024. 推动中国海洋气象学发展的两位大师——第 I 部分: 蒋丙然的故事[J]. 气象科技进展, 14(2): 56-59.
- 王彬华, 1954. 在西藏高原影响下中国动力性气旋的生成及其发展[J]. 山东大学学报(4): 94-110.
- 王彬华, 1961a. 普通气象学(上册)[M]. 济南: 山东人民出版社.
- 王彬华, 1961b. 普通气象学(下册)[M]. 济南: 山东人民出版社.
- 王彬华, 1980a. 中国近海海雾持续和消散问题的探讨[J]. 山东海洋学院学报, 10(2): 20-30.
- 王彬华, 1980b. 中国近海海雾的几个特征[J]. 海洋湖沼通报, 2(3): 9-20.
- 王彬华, 1981. 中国近海海雾的初步分析[M]//海洋与湖沼论文集. 北京: 科学出版社, 1-18.
- 王彬华, 1983. 海雾[M]. 北京: 海洋出版社.
- 王彬华, 秦曾灏, 1959. 人工造雾试验报告[J]. 山东海洋学院学报

- (1): 50-64.
- 王华文, 1941. 四川之春荒及其预防[J]. 气象学报, 15(2): 73-82.
- 王秀芹, 1990. 中国近代气象事业的先驱——蒋丙然[J]. 中国科技史料, 11(1): 41-54.
- Baines P G, 1987. Sea fog: Wang Binhua (Editor). China Ocean Press, Beijing, 1985. Distributed by Springer Verlag, Berlin, 1985, 330 pp., 199 Figs., DM215.00, hardcover[J]. Dynamics of Atmospheres and Oceans, 11(1): 92-93.
- Fu G, Li P Y, Chen L J, et al, 2023. Historic and future perspectives of storm and cyclone[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 40(3): 447-463.
- Wang B H, 1985. Sea Fog[M]. Beijing: China Ocean Press. Berlin: Springer Verlag.

(作者单位: 中国海洋大学海洋与大气学院海洋气象学系;  
中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室)

(编辑: 郑秋红)

(上接19页)

- pilot project[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2007, 88(8): 1197-1214.
- [27] Buongiorno Nardelli B, Tronconi C, Pisano A, et al. High and ultra-high resolution processing of satellite sea surface temperature data over southern European seas in the framework of MyOcean project[J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 129: 1-16.
- [28] Joyce R J, Janowiak J E, Arkin P A, et al. CMORPH: a method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution[J]. Journal of Hydrometeorology, 2004, 5(3): 487-503.
- [29] De Vera A, Terra R. Combining CMORPH and rain gauges observations over the Rio Negro Basin[J]. Journal of Hydrometeorology, 2012, 13(6): 1799-1809.
- [30] Maggioni V, Vergara H J, Anagnostou E N, et al. Investigating the applicability of error correction ensembles of satellite rainfall products in river flow simulations[J]. Journal of Hydrometeorology, 2013, 14(4): 1194-1211.
- [31] Shen Y, Zhao P, Pan Y, et al. A high spatiotemporal gauge-satellite merged precipitation analysis over China[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2014, 119(6): 3063-3075.
- [32] Guillod B P, Orłowsky B, Miralles D G, et al. Reconciling spatial and temporal soil moisture effects on afternoon rainfall[J]. Nature Communications, 2015, 6: 6443.
- [33] Lee H, Zhang Y, Seo D J, et al. Utilizing satellite precipitation estimates for streamflow forecasting via adjustment of mean field bias in precipitation data and assimilation of streamflow observations[J]. Journal of Hydrology, 2015, 529: 779-794.
- [34] Ushio T, Sasashige K, Kubota T, et al. A Kalman filter approach to the global satellite mapping of precipitation (GSMaP) from combined passive microwave and infrared radiometric data[J]. Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, 2009, 87A: 137-151.
- [35] Joyce R J, Xie P P. Kalman filter: based CMORPH[J]. Journal of Hydrometeorology, 2011, 12(6): 1547-1563.
- [36] Huffman G J, Bolvin D T, Braithwaite D, et al. NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG)[EB/OL].(2014-09-15)[2023-06-05]. [https://gpm.nasa.gov/sites/default/files/document\\_files/IMERG\\_ATBD\\_V4.4.pdf](https://gpm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_ATBD_V4.4.pdf).
- [37] Mears C A, Scott J, Wentz F J, et al. A near-real-time version of the cross-calibrated multiplatform (CCMP) ocean surface wind velocity data set[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2019, 124(10): 6997-7010.
- [38] 国家气象信息中心. 全球气象数据资源月报[R]. 2023年第1期.
- [39] Liu Z Q, Jiang L P, Shi C X, et al. CRA-40/atmosphere - the first-generation Chinese atmospheric reanalysis (1979 - 2018): system description and performance evaluation[J]. Journal of Meteorological Research, 2023, 37(1): 1-19.
- [40] Yin J F, Liang X D, Xie Y X, et al. East Asia reanalysis system (EARS)[J]. Earth System Science Data, 2023, 15(6): 2329-2346.
- [41] Chen L F, Cao L J, Zhou Z J, et al. A new globally reconstructed sea surface temperature analysis dataset since 1900[J]. Journal of Meteorological Research, 2021, 35(6): 911-925.

(编辑: 郑秋红)