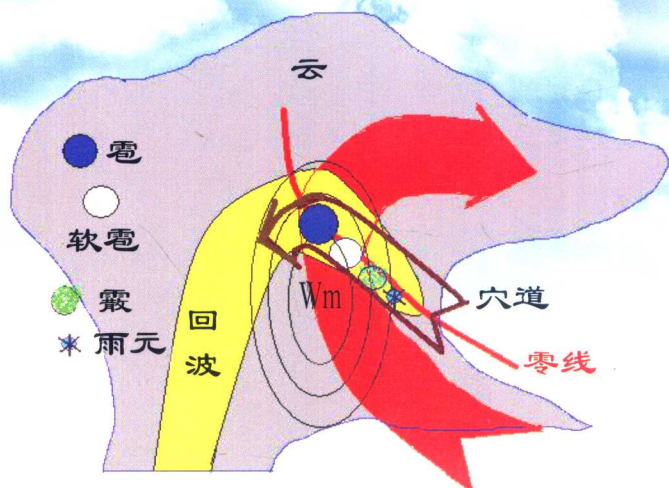


# 人工影响天气 科学技术问答

——探索理论通往应用之路

The Questions and Answers about Science and  
Technology in Weather Modification


许焕斌 著



# 人工影响天气 科学技术问答

——探索理论通往应用之路

许焕斌 著

 气象出版社  
China Meteorological Press

## 内容简介

人工影响天气是一门新兴学科,也是一个发展中的气象业务,需要用“拾遗补缺”的方式来完备理论体系,也需要去梳理业务发展中遇到的疑难问题,并探索理论通往应用之路,力图不断为学科发展和提升业务水平“添砖加瓦”。本书着重从对流云(系)物理学及其应用于防雹和增雨的角度,对12个部分的130个科学技术问题进行了试问答。

本书可供从事人工影响天气、云-降水物理学、中小尺度天气动力学和强对流性灾害天气预警的科学研究、业务、教学和管理人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

人工影响天气科学技术问答:探索理论通往应用之路/许焕斌著.

—北京:气象出版社,2014.12

ISBN 978-7-5029-5808-4

I. ①人… II. ①许… III. ①人工影响天气—问题解答

IV. ①P48-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 301051 号

Rengong Yingxiang Tianqi Kexue Jishu Wenda—Tansuo Lilun Tongwang Yingyong zhi Lu

## 人工影响天气科学技术问答——探索理论通往应用之路

许焕斌 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.qxcbs.com>

责任编辑:李太宇

封面设计:博雅思企划

印 刷:中国电影出版社印刷厂

开 本:710 mm×1000 mm 1/16

字 数:280千字

版 次:2015年3月第一版

定 价:60.00元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: [qxcbs@cma.gov.cn](mailto:qxcbs@cma.gov.cn)

终 审:章澄昌

责任技编:吴庭芳

印 张:15.5

印 次:2015年3月第一次印刷

# 序 一

中国是世界上气象灾害最严重的国家之一,气象灾害具有灾种多、突发性强、频率高、分布广、危害重等特点,平均每年造成的经济损失占全部自然灾害损失的70%以上,每年因各种气象灾害造成的农作物受灾面积和经济损失都很大。中国还是世界上缺水国家之一,全国人均水资源不及世界平均水平的四分之一。因此,开展人工影响天气作业,预防和减轻气象灾害,合理开发云水资源,具有显著的现实意义。

各级党委、政府高度关心和支持人工影响天气工作,大力推进人工影响天气现代化建设,着力提高人工影响天气科学水平和作业效益。最近,国家发展和改革委员会和中国气象局联合印发了《全国人工影响天气发展规划(2014—2020年)》,确定了中国人工影响天气工作的目标、布局、任务,明确了需求引领、科技驱动等基本原则,以及到2020年建立较为完善的人工影响天气工作体系,基础研究和应用技术研发取得重要成果等发展目标。实施好这个规划,“科技驱动”是基础,必须进一步重视和加强人工影响天气基础研究和应用技术研发,不断提升人工影响天气科学水平,不断提高人工影响天气作业效益。

《人工影响天气科学技术问答——探索理论通往应用之路》一书回答了人工影响天气作业中涉及的科学技术问题,并用“拾遗补缺”的方式帮助从事人工影响天气作业人员深入认识和理解人工影响天气科学技术问题,特别是在实际人工影响天气作业中可能遇到的具

体疑难问题。本书作者从事人工影响天气科学研究、教育和作业技术发展等工作 50 余年,无论基础理论还是实践经验都是中国人工影响天气领域的权威专家,是我最敬重的科学家之一。作者将一生都奉献给中国人工影响天气事业。多年来,他孜孜不倦,任劳任怨,辛勤耕耘,既有众多的学术论文和专著,也有丰富的实践经验,还有遍及全国各地、得到他培养和培训过的学生。《人工影响天气科学技术问答——探索理论通往应用之路》是作者综合多年学术研究和实践经验积累献给读者的又一专著,是一本值得从事人工影响天气科研、教学、作业和管理工作人员阅读和参考的科技书籍。我相信,该书的出版将对进一步提高中国人工影响天气科技水平和效益起到积极的促进作用。

郑国光

(郑国光,中国气象局局长)

2014 年 12 月 26 日于北京

## 序 二

人工影响天气是指在适当条件下通过人工手段对局部大气的宏观物理过程进行人工干预,使天气过程向着有利的终态发展演变,从而达到有效利用天气资源和防灾减灾的目的。人工影响天气是大气水资源调控和有效利用的重要手段之一,直接关系到区域水资源平衡和合理分配的宏观决策。

人工影响天气涉及大气科学、物理学、化学、统计学等多个学科,其发展依赖于多个学科的发展和实际应用的综合结果。许焕斌教授长期致力于人工影响天气的科学研究,潜心于云-降水物理学应用理论和数值模拟研究,在人工影响天气应用理论方面有颇深的造诣,对云-降水物理学认知和人工影响天气应用技术发展做出了重要贡献。

许焕斌教授对云-降水物理学在人工影响天气业务中的应用提出的诸多独到见解,对我国人工影响天气应用技术的发展很有启示意义。《人工影响天气科学技术问答——探索理论通往应用之路》一书采用问答形式,囊括了众多典型研究实例,深入浅出地阐明了云-降水物理学过程和人工影响天气机制,生动地描述了云系特征及其生命史的演变模型,在某种程度上可以说“点”到了云-降水过程发生发展“穴道”。

本书内容涵盖了人工影响天气的理论基础和方法、云-降水物理机理及形成过程、人工影响天气作业条件与业务技术系统、催化剂与催化技术、大气水循环与水资源、青藏高原的对流云特点、对流云系动力学、强对流大风、雷暴云及防雷、观测和分析等诸多方面成果,可为人工影响天气理论研究、业务应用和科学决策提供科学依据。同

时,该书也可作为科研单位云物理与人工影响天气专业人员和高等院校相关专业的参考书。



(徐祥德,中国工程院院士,中国科学院云降水物理与强风暴重点实验室(LACS)学术委员会主任,云降水物理研究与云水资源开发北京市重点实验室(LCPW)特聘顾问)

2015年2月5日

## 序 三

呼风唤雨、趋利避害，实现人与自然和谐相处是人类梦寐以求的美好愿望。很早以前，中国基层群众就尝试用土炮进行驱雹作业，积累了一些防雹经验。1950年，竺可桢先生撰文对山西武乡县群众防雹工作进行了评述，并提出防雹需要的条件和可能的办法。此后，以顾震潮先生为代表的老一代科学家更是亲自深入基层，考察总结群众防雹经验，开展高炮防雹试验，为这项兴起于劳动人民的伟大实践给予技术指导。从那时起，许焕斌老师就一直从事人工防雹研究工作，是中国半个多世纪人工防雹工作的亲历者、见证者。即使在古稀之年，许老师仍以饱满的热情经常深入到基层，与防雹增雨一线科技人员进行交流，总结整理他们在识别雹云、确定作业的时机和部位、感知作业前后雨雹变化等方面的现场经验，结合自己的理论研究，释疑解惑，指导基层改进防雹、增雨作业方法。同时，他又孜孜以求，锲而不舍，开展雹云物理、人工影响天气动力学等基础理论研究，取得了丰硕成果，近三年每年都有著述付梓出版。许老师对科学的执着和毅力、对基层科技人员的厚爱和鞭策，让人由衷敬佩。

本书汇集了130个人工影响天气关键技术问题的问与答，不仅包括许老师长久研究的雹云结构与判识、防雹理论与技术、对流云动力学中的关键问题，而且涉及对流云增雨、防雷、防风的技术思路，并且对喷雾能否消除大气尘埃、人工影响天气是否是“效益搬家”等热点问题进行了探讨。有些问题是许老师在与基层作业人员交流中提炼的，是基层防雹作业经验的总结和闪光点。“问”是问题的聚焦，“答”是对现有认识的梳理和对疑惑问题的辨析回应。在一问一答中，我



们可以体察到许老师一贯坚持的以观测事实为基础,理论分析为主线,数值模拟为手段来揭示云降水物理规律的研究思路和方法,更可以看到他着眼于实践应用所进行的具体探索。相信本书对于我们把握人工影响天气的关键科学问题,明确努力方向,增强攻坚克难的信心大有裨益。

目前,虽然有关云降水物理的综合观测分析、人工影响天气作业技术等多方面的研究取得很大进展,但困惑人工影响天气发展的许多疑难问题仍未得到破解。本书所列问题不可能涵盖全部人工影响天气问题,问题的回答也不是最终答案,澄清解决有些问题,还需要一代又一代气象工作者不断努力。

龚佃利

(龚佃利,山东省人工影响天气办公室研究员级高级工程师)

2014年12月14日

## 读后感

品书、品茶是我的爱好。

事情总是有一些巧合。晚上，翻开许焕斌老师的《人工影响天气科学技术问答——探索理论通往应用之路》一书的初稿，沏上一杯茶，准备慢慢品味。现在我冲茶的这杯水可能来自长江，因为电视里正在播放南水北调之水到达北京的新闻，北京市民喝上了长江水，政府在庆祝，市民在感谢，这个时间是2014年12月27日，星期六。

茶的味道很好，苦涩味很淡，回甘明显。

喝水吃饭问题，一直是中国历朝历代面临的重大问题之一。经济和人口的高速增长以及城镇化的发展，不只是农业用水，现在连百姓的喝水都成为让人操心的事情了。解决缺水的办法，除了人工调水之外，另外一个做法就是人工增雨了。

人工影响天气工作，一直是在困难和争议中前行的。也许有人会说，美国人在20世纪60年代就做了不少人工影响天气的尝试，为什么现在他们基本不搞了呢？为什么世界气象组织“关于人工影响天气现状的声明”（见本书第58个问答）对中国的人工影响天气工作不理解呢？

我也学着许老师来个一问一答。对于第一个问题，让我们一起来看看美国地图。美国东部濒临大西洋，西部濒临太平洋，南部是墨西哥湾，北部是五大湖，中部是密西西比河等大河自北向南贯穿美国大陆，从自然条件上讲，美国是“上帝”最为眷顾的国家：他们不缺水资源，所以他们没有人工增雨的动力。

对于第二个问题，属于科学认识的问题。这让我想起大气科学

史上一段有趣的典故:20世纪20年代,当28岁的瑞典人罗斯贝初到美国的时候,对美国的气象业务工作提出了不同意见,结果是被美国气象总局开除了。之后他去了美国加利福尼亚州气象局,建立了航空气象网,为高空气象学的理论和观测系统的发展做出了卓越的贡献。后来,美国气象局改正了上述错误并接收了这个航空气象网。

中国人面临的问题需要中国人自己来解决。中国人从来都是自力更生解决问题,这次也不例外。

人工增雨防雹绝不是一件容易的事情。大气以其高度的湍流性著称,而人工影响天气研究的对象从时空尺度上又是最具挑战性的。人工影响天气科学技术在受益于整个大气科学技术和其他科学技术发展的同时,也必将推动和引领大气科学的发展。这也是中国大气科学工作者的历史使命。

从实践层面来讲,国家和各级地方政府以及气象、农业和水利等部门一直在花大力气做这件事情,但是这些工作都需要有人来总结。许老师不仅长期亲临一线指导人工增雨防雹工作,而且还积极总结经验,在对多个具体个例进行分析中,提出了不少理论:比如他的“穴道”理论,为提高人工影响天气的效率找到了好的和有效的方法。除了本书《人工影响天气科学技术问答——探索理论通往应用之路》之外,在这几年中,许老师连续出版了《强对流云物理及其应用》、《人工影响天气动力学研究》、《雹云物理与防雹的原理和设计》等著作,其实都是在人工影响天气科技领域探索理论通往应用之路。

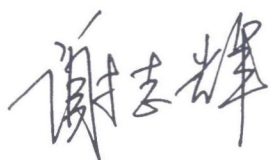
本书“形散而神不散”,从文体上讲,是最吸引人的。以这种方式著书,显示了许老师在学术上化难为简、深入浅出的高超功力。我们读很多科学著作时,常常有不得其门而入的感觉。这本书用问答的方式,把复杂深奥的科学问题一下子简单化了。有些问题专业而重要,比如第115个问题“为什么说,在人工影响天气工作中观测比预报更重要?”,又比如第122个问题“为什么中、小尺度天气观测资料的定性分析比定量分析更实际?”,对这个问题的认识,是来自实践,又去指导实践的最好例子。不同的读者可以直接去找感兴趣的问题和内容去阅读,这本书不仅适合人工影响天气和其他大气科学专业人员

阅读,甚至有关官员和普通科技爱好者也可以找到他们喜欢或者感兴趣的问题去读,这对于扩大人工影响天气科技的影响也是大有裨益的。

先说到这里,且让我们再一起去品书品茶。

要是没有对水资源的担忧,我们可以一边品茶,一边看这本问答,把读书搞学问当成一件轻松快乐的事。

现在有了对水资源的担忧,我们可以一边品茶,一边看这本问答,把读书搞学问当成一件真正带来快乐的事。

A handwritten signature in black ink, reading '谢志辉' (Xie Zhihui). The characters are written in a cursive, flowing style.

(谢志辉,理学博士)

2014年12月27日

## 著者的话

我是个非常喜欢与业务人员交流的人。这些工作在一线的人，不仅了解学科现有的理论，而且能运用其于实际。这才是真学问、真本事！他们知道哪些科学结论是可用的，哪些方面还存在问题，这是他们之所以能做出高水平成果的业务功底。别看这些实际工作者说起来不如科学家那么“头头是道”，也不如“权威人士”那么自信和自负，但做出的判断经常是准确的。这不得不令我钦佩之至！由此使我感到，要获得超水平的大气科学理论与实践相结合的效果，必然与正确的思考方法有关，即：了解天气实况后，会设想出多种可能的演变景象，并提出相关疑问——演化倾向、转折指标，借助各种观测分析产品，不断消除疑问，判定方向，找出指标，估计出哪些景象最可能出现。教条式的知识是做不到这一点的，只有活的知识才可能有超水平的发挥。学习书本知识可以靠勤奋，掌握活的知识就得靠悟性，因而实践者经常是处于可以领悟而不可言传的境界。如何来向他们学习呢？看来，提疑问、设景象是最为关键的。

人工影响天气是一新兴的研究型业务。在工作中，我感到现在的学科基础欠牢固，技术手段有缺失，业务流程有空档，特别需要能超水平地综合利用现有的知识。于是，我就尝试先学着提出问题，并试着来回答问题。

人们往往遇到这样的情形：在应用实践中遇到了问题，而看了一大堆书籍、文献和报告后却得不到结论，哪怕是概念性的提示。这自然与学科发展的水平（即完备性）有关，但也有受知识系统化程度的制约之故，为此需要做些“拾遗补缺”的工作。通过“拾遗”，把知识系

统化;通过“补缺”,使学科更完备,这是理论和应用工作者共同要重视的事。在本书中,“拾遗”就是集合了近来的研究新成果,并尽可能地把知识串接起来,以便于应用;“补缺”就是对需要了解但尚处于朦胧状态的“对流云系动力学”和人工影响天气中的“上下游效应”等进行一些探索。在本书中,无论是“拾遗”或是“补缺”我都只做了一点点工作,而且皆是本人从人工影响天气的角度来思考的。

本书起名为《人工影响天气科学技术问答——探索理论通往应用之路》,意思是只涉及科学技术问题,而且多是疑难问题,因而是人工影响天气中关键疑难科学技术问题的问与答。“问”是在与实际工作人员交流中听来的,“答”是试着给出的一个意见或一种理解,绝不是定论。

写本书的目的是想探索理论通往应用的路,而在动笔后感到在这样的路上有着重重障碍需要打通,不是“踏着几块石头就能跳过去的”。现代大画家范曾在画“陈省身和杨振宁”卷头诗中,书有“真情妙悟铸文章”的名句,点睛了他对理论大家的赞赏。理论成果虽然是根基性的,经常能斩获的却是几块必须要有的“石头”。而对于应用研究者来说,要达到应用,还需要“真知彻悟现神灵”。鑿出一条应用之路,使“真情”升格到“真知”;把“妙悟”扩展成“彻悟”;从“铸文章”羽化而“现神灵”,功夫可谓大哉!

本书是问答式的写法,共12部分130个问与答。第一部分,引言(1~4问);第二部分,对流云的分类(5~7问);第三部分,冰雹云和冰雹结构(8~40问);第四部分,防雹(41~61问);第五部分,强对流——阵雨云及增雨(62~78问);第六部分,强对流——雷暴云及防雷(79~85问);第七部分,强对流——大风及防风(86~87问);第八部分,层积混合云及增雨(88~90问);第九部分,对流云系动力学研究(91~108问);第十部分,青藏高原对流云的特点及效应(109~114问);第十一部分,人工影响天气观测和分析中的问题(115~122问);第十二部分,讨论和结语(123~130问)。

由于此书着重于应用,而且是直面所问的写法,在一问一答中力求知识是闭合且不重复或少重复。为此,仅引述了主要参考文献,其

他相关的文献请读者查阅作者在气象出版社出版的另外两本书:《强对流云物理及其应用》和《人工影响天气动力学研究》。

本书的出版,得到了山东省人工影响天气办公室和该单位承担的科研项目“空中云水资源监测评估与可催化条件分析技术研究(2012SDQXZ07)”的资助,在此深表感谢!

作者

2014年12月10日

北京

# 目 录

序一  
序二  
序三  
读后感  
著者的话

## 第一部分 引 言

- 1 为什么要写这样的一本书? ..... ( 1 )
- 2 如何写这本书? ..... ( 2 )
- 3 怎么才能来解答疑难问题? ..... ( 2 )
- 4 人工影响天气的大气学科和业务特征是什么? ..... ( 3 )

## 第二部分 对流云的分类

- 5 为什么要对对流云进行分类? ..... ( 4 )
- 6 如何来作对流云的分类? ..... ( 4 )
- 7 如何来对冰雹分类? ..... ( 5 )

## 第三部分 冰雹云和冰雹结构

- 8 形成冰雹的基本动力条件是什么? ..... ( 7 )
- 9 形成冰雹的过程是怎样的? ..... ( 7 )
- 10 雹胚形成的条件和时间长短? ..... ( 9 )
- 11 冰雹云概念模型有哪些? ..... ( 11 )
- 12 超级单体雹云的结构特征是什么? ..... ( 16 )
- 13 冰雹云的形成、发展演变的概念模型是怎样的? ..... ( 17 )
- 14 为什么强冰雹云具有非对称的水平旋转着的垂直对流环流? ..... ( 18 )



15	为什么强冰雹云具有上升支气流与下沉支气流对峙着的对流环流? .....	( 20 )
16	冰雹形成中的疑问有哪些? .....	( 22 )
17	如何发现强对流云中有“穴道”结构? .....	( 24 )
18	“穴道”有些什么功能? .....	( 29 )
19	“穴道”有几种特征走向? .....	( 30 )
20	“穴道”的体积有多大? 为什么说“穴道”区域只占强对流云体的 1/16? .....	( 31 )
21	什么是“穴道”的强度? 什么是冰雹“穴道”? 什么是阵雨“穴道”? .....	( 32 )
22	判定“穴道”位置的流体力学原则是什么? .....	( 32 )
23	“穴道”中各种水凝物粒子的优势平衡位置在哪儿? .....	( 32 )
24	新的典型超级单体雹云的概念模型是什么样? .....	( 33 )
25	在实际自然雹云中能观测到“穴道”结构吗? .....	( 35 )
26	为什么外国学者“失之交臂”,没有发现冰雹“穴道”? .....	( 36 )
27	多重循环运行增长是冰雹的分层结构的成因,但在自然云中是如何进行重复循环增长呢? .....	( 40 )
28	为什么强冰雹云的雷达回波在特征 RHI 上具有 BWER 或 WER 结构? .....	( 43 )
29	为什么强冰雹云的雷达回波在特征 PPI(平面位置显示)上常具有低层勾状回波结构? .....	( 45 )
30	为什么具有强垂直运动的强对流系统可用水平涡旋来识别? .....	( 46 )
31	强冰雹云的雹、雨、云区分布为什么会是这样的? .....	( 47 )
32	为什么强冰雹云形成要有“前赴后继”的酝酿时段? .....	( 48 )
33	超级单体与一般单体结构上的差别是什么? .....	( 49 )
34	为什么冰雹有分层结构? 而有些大冰雹的主体结构只占众多层中的 1~2 层? .....	( 49 )
35	如何正确理解冰雹浓度与雨滴浓度的差别? .....	( 50 )
36	冰雹云雷达回波结构与云体气流分布的关系? .....	( 50 )
37	为什么强对流云体的合并与分裂都是强化的反映? .....	( 52 )
38	超级单体雹云的变异(或非典型)的概念模型是什么样? .....	( 53 )
39	强对流云过境时的地面要素变化的含义是什么? .....	( 54 )
40	为什么冰雹云会发出“蜂子朝王声”? .....	( 56 )