



674399

航空 气象学

[苏] A. M. 巴拉诺夫
C. B. 索罗宁

气象出版社

674390

航空气象学

[苏] A.M. 巴拉诺夫 著
C.B. 索罗宁

宋 日 晨 译
张 杏 珍 校

HK49/23



高等教育出版社



C0239517

内 容 简 介

本书是苏联在1975年出版的教科书基础上修改和增订的第二版(1981年)的中译本。书中分析了气象条件对飞机和直升机飞行的影响。根据对飞行活动有详细规定的新颁发的正式文件,阐述了航空气象保障的原则和方法,以便有效地使用飞机和直升机的飞行技术数据,提高飞行的安全性和正常性。本书探讨了使用新的技术设备和电子计算机来收集、整理、显示和传递供飞行气象保障使用的气象情报等问题。

本书可供高等院校有关专业的师生使用,还可以供高级航空学校的学员、航空气象台和航空气象中心的预报员、飞行人员、调度人员以及中等气象专业学校的学生参考。

A. M. Баранов С. В. Солонин
АВИАЦИОННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

Гидрометеиздат, 1981

航 空 气 象 学

[苏] A. M. 巴拉诺夫 著
 С. В. 索罗宁

宋 日 晨 译

张 杏 珍 校

责任编辑 顾仁俭

* * *

高 教 出 版 社 出 版

(北京西郊白石桥路46号)

国防科工委印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

* * *

开本: 850×1168 1/32 印张: 11.875 字数: 304千字

1987年12月第一版 1987年12月第一次印刷

印数: 1—1000 定价: 3.35元

ISBN 7-5029-0031-4/P·0021

译 者 的 话

二十多年来，随着航空和航天事业的发展，苏联先后出版了几种版本的航空气象学。

这本航空气象学是苏联于1981年出版的最新版本，是作者在1975年第一版的基础上修订的第二版。该书详细地介绍了地面、低空和高空各种气象条件和危险天气现象对飞机飞行的影响，地球高层大气各种现象对航天器飞行的影响；以及在这些条件下航空气象保障的规则和程序。本书还阐述了在飞行气象保障中气象情报的收集、整理、显示和传递以及新的技术设备和电子计算机的应用等问题。内容广泛，论理严谨。

本书对我国正在发展着的航空气象事业会有一定的借鉴作用，对航空气象工作者会有一定的参考价值。

因水平有限，文中错误和不妥之处，欢迎读者批评指正。

在本书译校过程中，得到陶永昕教授、袁天洁副教授以及其他同志的帮助，在此深表谢意。

前 言

供高等学校学习气象专业学生使用的《航空气象学》教科书第一版，于1975年问世，并很快售缺。因此，作者于1977年就着手准备教科书的第二版。С.В.索罗宁过早逝世使这一工作拖延下来。在С.В.索罗宁编写的各章中，新资料的增订工作是由他的学生——В.Д.叶尼克耶娃、В.Н.基谢廖夫、С.И.马佐维尔、А.С.索罗宁完成的。

1975年以后，颁发了详细规定飞行及其气象保障的新的正式文件。在这一期间，苏联水文气象科学研究中心、А.И.沃耶伊科夫地球物理观象总台、中央高空观象台、列宁格勒和敖德萨水文气象学院、国家民航科学研究所、民航学院以及苏联国家水文气象环境监督委员会所属各地区科学研究所，在航空气象学方面都获得了新的资料。在修订教科书时，作者尽力使这些新资料能在书中反映出来。同时也考虑了教科书第一版问世后提出的意见和建议，顾及了教程发展的前景。修改增订后的教科书的内容，符合《航空气象学》教程的教学大纲。

第一章和五到十章由А.М.巴拉诺夫编写，其中6.1和6.2节是由Н.И.马祖林和С.В.索罗宁合写的，6.4节是由А.М.巴拉诺夫和Н.И.马祖林合写的，7.4和7.5节是由С.А.切奇金编写的，9.4节是由В.Н.阿德纳什金编写的，10.9节是由В.Д.叶尼克耶娃、В.Н.基谢廖夫、С.И.马佐维尔和С.В.索罗宁编写的。二到四章是由С.В.索罗宁编写的，其中3.2和4.8节是由В.Д.叶尼克耶娃编写的，3.4节是由В.Н.基谢廖夫和С.В.索罗宁编写的。3.6节是由С.И.马佐维尔编写的。А.С.索罗宁参加了教科书再

版的准备工作。

作者对列宁格勒水文气象学院水文气象航天与航空研究方法教研室的同事在准备教科书第二版时提出的建议和给予的帮助表示感谢。作者向敖德萨水文气象学院理论气象和气象预报教研室的同事、地理学硕士M.Д.鲍利亚耶夫、民航部主任气象员、地理学硕士Ю.М.兹道里克详细审阅手稿,并提出许多有益的批评意见深表谢意。作者向担任教科书编辑工作的地理学博士、教授П.Д.阿斯塔品科致谢。

目 录

译者的话

前言

第一章 绪论	(1)
1.1 航空气象学的对象和任务	(1)
1.2 航空气象学发展史概述	(3)
1.3 民航航空器、飞行分类和空中交通管制	(9)
第二章 大气物理状态对飞行的影响	(13)
2.1 标准大气和飞行试验数据订正到标准大气条件下的 数据	(13)
2.2 确定飞行高度的气压表测高法和航线飞行时规定飞 机高度配置的原则	(20)
2.3 气温对飞机空速表示度的影响	(27)
2.4 气温和空气密度对飞机空气动力特性的影响	(31)
2.5 大气状态物理特性对涡轮喷气式发动机推力和燃料 消耗量的影响	(41)
2.6 气温和气压对飞机起飞和着陆的影响	(48)
2.7 气温对飞机升限的影响	(50)
第三章 风对飞机飞行的影响	(55)
3.1 风速和风向对飞机起飞和着陆的影响	(55)
3.2 近地面大气层中风切变对飞机起飞和着陆的影响	(58)
3.3 风对地速和航向的影响 等效风的概念	(65)
3.4 航程和飞行时间与航线上风状况的关系	(73)
3.5 风的计算对保障航线飞行正常性的意义 等效风的 气候特性	(85)
3.6 选择航线时风的最佳考虑的可能性	(91)
3.7 考虑风的飞机最佳飞行状态的概念	(107)
第四章 大气湍流对飞行的影响	(113)

4.1	决定湍流和影响飞行的物理气象因子	(113)
4.2	湍流脉动对飞机的影响	(120)
4.3	引起飞机颠簸的晴空湍流的结构	(130)
4.4	在各种形状的云中引起颠簸的湍流	(133)
4.5	急流中引起飞机颠簸的湍流	(136)
4.6	地形颠簸	(138)
4.7	飞机颠簸的高空天气条件	(143)
4.8	对流层上部和平流层下部引起飞机颠簸的大气湍流 区的确定	(144)
第五章 云和有限能见度对飞行的影响		(151)
5.1	决定低云和有限能见度形成和演变的基本因子	(151)
5.2	低云和有限能见度对飞机起飞和着陆以及对低空飞 行的影响	(155)
5.3	最低气象条件	(157)
5.4	在不同气象条件下的飞行能见度	(160)
5.5	低云下限高度的时空变率	(167)
5.6	各种云状中的飞行条件	(169)
5.7	在大气锋云系中的飞行条件	(175)
5.8	在雷暴活动区中的飞行条件	(180)
5.9	飞机起电及其对飞机使用的影响	(190)
5.10	在对流层顶区中与云状况有关的飞行条件	(193)
5.11	降水和尘暴对航空活动的影响	(195)
5.12	飞机凝结尾迹及其形成高度的诊断	(199)
5.13	为保障飞机着陆而进行的消雾和消低云的作业	(202)
第六章 飞机积冰及其对飞行的影响		(206)
6.1	飞机积冰的物理气象原因	(206)
6.2	高速飞行时飞机积冰的特点	(213)
6.3	飞机积冰的概率	(216)
6.4	飞机积冰的种类和形状	(220)
6.5	积冰对飞机空气动力特性和动力装置工作的影响	(222)
6.6	直升机的积冰	(225)
6.7	飞机和直升机的地面积冰	(227)

6.8	飞行器积冰概率及其强度的判断	(229)
6.9	飞机和直升机在飞行中和在地面上的防冰方法	(233)
6.10	雨淞对航空的危险性及其预防	(238)
第七章 水文气象条件对机场的建设、设备和使用的		
	影响	(241)
7.1	机场概述	(241)
7.2	在勘测、建设和使用永久机场时对气象条件的考虑	(242)
7.3	水文气象条件对水上机场设备和使用的影晌	(254)
7.4	水文气象条件对建设和使用土机场的影响	(257)
7.5	水文气象条件对冰上机场的设备和使用的影晌	(263)
第八章 在地球高层大气和宇宙空间中的飞行条件		
	(266)	
8.1	地球高层大气和宇宙空间的概念	(266)
8.2	飞行中应考虑地球高层大气和宇宙空间的基本物 理特性	(268)
8.3	高层大气中的飞行条件	(281)
8.4	宇宙射线 太阳粒子辐射 地球辐射带	(285)
8.5	高空和宇宙空间飞行的辐射危险性	(289)
8.6	超音速运输机飞行时的辐射危险性	(291)
8.7	流星和它对飞行的危险性	(293)
第九章 航空气象业务部门工作的组织原则		
	(296)	
9.1	国家水文气象环境监督委员会业务机构对民航气象 保障的任务	(296)
9.2	对飞行气象保障中使用的气象情报的要求	(298)
9.3	气象情报的来源及其主要特点	(299)
9.4	用于航空保障的低云和有限能见度的气象情报	(309)
9.5	保障民航飞行的气象业务部门工作的组织	(315)
9.6	气象观测、高空气象观测和雷达观测的组织	(316)
9.7	气象情报的收集与传递	(318)
9.8	危险天气的通报和警报	(321)
9.9	气象业务部门的预报工作	(324)
9.10	气象业务部门的相互协作	(326)

第十章 民航飞行的气象保障	(329)
10.1 对民航气象保障的基本要求	(329)
10.2 因气象条件和与飞鸟相撞造成的航空事故	(330)
10.3 飞行气象保障总则	(332)
10.4 对空中交通管制部门的气象保障	(334)
10.5 国内航线飞行的气象保障	(337)
10.6 地方航线飞行、航空用于国民经济飞行的气象 保障的特点和特殊情况的飞行气象保障	(339)
10.7 国际飞行的气象保障	(342)
10.8 超音速运输机飞行的气象保障	(344)
10.9 在使用电子计算机的基础上实现飞行气象保障的自 动化	(347)
10.10 民航飞行气象保障亟待解决的问题	(357)
参考文献目录	(360)

第一章

绪论

1.1 航空气象学的对象和任务

航空气象学是气象学的一个应用分支，是研究气象值和大气现象对航空技术装备和航空活动的影响、探讨飞行气象保障理论原理的一门学科^①。航空气象学的主要任务是，深入研究在各种天气条件下保障航空器飞行的安全性、正常性和有效地使用航空技术装备的问题。

社会实践是任何一门科学的基础。社会的物质需要迫使人们收集各种自然现象的资料，注意分析和归纳，使之上升到理性认识，并把得出的结论在实践中进行检验和运用。这个原则也完全适用于航空气象学。随着航空事业的产生和发展，开始出现并继而发展成为服务于它的各种应用科学。航空气象学就是其中之一。

作为一门学科，航空气象学的任务就是使学生掌握相互联系的两方面的知识：气象值和大气现象是怎样影响飞行器（飞机、直升机、航天器等等）飞行的；从气象方面如何保障飞行的安全性、正常性和经济性。

在航空气象学中采用的研究方法，既使用理论研究，也使用

^① 所谓气象值，指的是温度、气压、空气的密度和湿度；风速和风向；云量、云高和云的垂直距离（厚度），气象能见距离等等。所谓大气现象，指的是大气状态有显著（定性）变化的一定的物理过程：云、降水、雾、雷暴、雹、龙卷、吹雪、雨凇、尘暴等等。

试验研究。理论研究方法包括求解与飞行器飞行时同环境(大气)相互作用有关的数学物理学问题。但是,在数学上模拟飞行中出现的物理过程是有困难的,在许多情况下,是不可能彻底解决的,也不可能得出实践需要的结果的。因此,在实验室中和直接在飞行中使用试验研究方法就显得特别重要。

分析和总结直接实施飞行保障的航空气象部门的经验,对科学地组织航空气象保障同样具有特别重要的意义。

航空气象学与航空知识的许多领域,即与空气动力学、航空气学、空中领航等等,以及与宇宙航行学有联系。航空气象学与这些知识领域的联系是完全合乎规律的。总的来说,如果没有这种联系,就不可能深刻认识大气条件对飞行器飞行、对航空活动影响的物理实质。这些知识领域在解决本身问题时,同样与航空气象学有联系。比如说,空气动力学涉及到象大气结构和热力学、湍流等等那样一些问题。航空气学在解决本身一系列问题时,需要利用各高度上流场及其特点的最新资料。

航空气象学与气象科学的其它分支——大气物理学、天气学、高空气象学等有着密切的联系。这种联系是相辅相成的。航空气象学应用气象科学各分支的成就解决航空应用问题。上面提到的气象科学各分支在研究工作中同样需要考虑航空提出的要求,使得研究的成果获得更好的应用价值。气象科学这些分支的相互关系,促进了它们自身的进一步发展。

这方面可以用喷气式飞机发展的例子来说明。在喷气式飞机出现以前,有关高层大气物理学以及高层大气中飞行气象条件的资料是很有限的。喷气式飞机一开始投入使用,就需要在气象上保障其飞行,因而就需要回答一系列新的问题,与此同时,也产生用来解决这些问题的技术设备问题。喷气式飞机多次的研究性飞行和航班飞行,都能获得云、降水、湍流和其它大气现象及其对飞行影响的情报。所有这些又促成航空气象学和大气物理学有关内容的进一步发展。

重型喷气式飞机在不同高度上作大机群飞行时，在进行工程领航计算中需要考虑气象因子。因为如果不考虑气象因子，就不可能极大地发挥现代飞机的技术性能。如果不仔细考虑气温、气流的方向和速度及其它大气物理状态的特性，就不能保障高空飞行的安全性、正常性和经济性。

保障飞机和直升机起飞和着陆的安全，是一个亟待解决的问题。飞行气象条件的复杂程度主要是决定于云的状态和能见度。飞机和直升机的起飞和着陆，对它们的驾驶和领航、飞行的舒适程度和安全性，在很大程度上取决于云的状态和与云有关的气象现象，如雷暴、飑、阵雨、雹等等。

喷气式飞机早已超过音速，越出对流层的范围。在平流层下部飞行已成为很平常的事。将来，在平流层上部和中间层，且速度大大超过音速的飞行，促使航空气象员有责任研究高层大气和近地球宇宙空间的飞行条件。

由于在各种数学理论、最佳控制理论方面获得的成就，快速电子计算机的使用，现在已经有可能使气象情报的获得、传递、整理、分析和显示的某些过程自动化。总的说来，现代化航空的气象保障实现自动化，已有很大的可能性。

所有与航空气象保障有关的人员或者准备从事这项工作的人员，都必须了解上述问题。

1.2 航空气象学发展史概述

航空气象学是在气象学与航空密切联系中发展起来的。在飞机出现之前，曾广泛开展浮空飞行，即轻于空气的可操纵和不可操纵的飞行器随空气的飞行。可以这么说，浮空飞行为航空奠定了基础。

航空气象学发展史，可以有条件地分成以下几个阶段。

浮空飞行和航空初期阶段。在这个阶段，取得了气象条件对气球飞行影响的重要资料。后来，这些资料用来实施航空保障。

Я.Д.扎哈罗夫院士为了进行科学研究工作，于1804年乘坐高空气球作了第一次飞行。他为了测定自由大气中的风向，事先释放了小型气球。

Д.И.门捷列夫从事以解决某些浮空飞行问题为目的的气象研究工作，他编拟了气压高度表的原理，研究了许多气象值随高度的分布。

М.А.雷卡乔夫和М.М.波莫尔采夫在把气象学应用于浮空飞行方面作了重要的工作。М.А.雷卡乔夫于1868年乘坐高空气球完成了他自己首次的旨在科学研究的飞行。此后，又多次进行了这类飞行。М.А.雷卡乔夫把自由大气中测得的资料综合在长篇专著里。他们的研究成果，对探讨飞行条件和解决这样一些问题，如确定飞行器（飞机）飞行的空气阻力定律，制定飞机的升力、稳定性和操纵性原理等等，是一个重要的贡献。

М.А.雷卡乔夫积极帮助А.Ф.莫扎伊斯基制造了世界上第一架飞机，为他解决了有关大气状态及其对飞机飞行影响的一些问题。

随着航空的发展，需要越来越多地了解近地面和高空大气状态。

航空气象学发展史的第一阶段(1910—1940年)，这一阶段的特点是应用近地面观测资料、地面天气图、高空气象学的间接方法和晴天高空风的测风气球资料。

1910年在塞瓦斯托波尔开始训练的俄国第一所军事航校，提出了用天气实况和天气预报保障飞行的任务。为航校制作天气预报的任务，由物理观象总台承担。远在1872年在物理观象总台内建立的海洋气象和危险天气通报处所取得的经验，起到了有益的作用。不久，在塞瓦斯托波尔航校属下建立了自己的航空气象台。在中央通信勤务站属下，在塞瓦斯托波尔和里巴夫（现叫利耶帕亚）组建了中心气象台，保障俄国飞行员在黑海和波罗的海的空域飞行。在俄国开始建立了航空气象部门，它的建立促使航

空气气象学作为气象科学的一个应用分支进一步形成。

航空气象学在理论研究中丰富起来。许多学者，象 A. A. 弗里德曼 П. A. 莫尔恰诺夫、С. И. 特罗伊茨基等人都解决了各种理论问题。

在第一次世界大战期间，由于空军作战和需要进行航空保障，航空气象勤务的作用明显增加。

1915年批准了军事气象总局条例草案，该局主要负责用气象资料保障前线作战的任务。军事气象总局由 Б. Б. 戈利岑院士领导。

在那些年代，飞行和空中领航的气象保障工作是在一起进行的，空军有一个空中领航部门，主要从事飞行气象保障工作。1916年，在 Б. Б. 戈利岑院士的领导下，编写了《空中领航学教程》初稿。其中，气象部分是由 Б. П. 穆利塔诺夫斯基、П. A. 莫尔恰诺夫、A. A. 弗里德曼参予编写的。这一年，在军用航空勤务部门工作的 A. A. 弗里德曼开始研究湍流，以判定它对飞机飞行的影响。

在伟大十月社会主义革命胜利以后，还在国内战争和武装干涉期间，苏联政府就已采取必要的措施保证气象勤务及其机关的正常工作。1918年，为了保障红军及航空部队的行动，在莫斯科建立了天气局。

航空需要的气象情报的收集和传递工作得到了改善。1921年5月3日劳动国防委员会通过了 В. И. 列宁签署的法令，责成邮电人民委员部用“按战斗任务次序优先”电报传递气象报告。

1921年组建了中央高空气象台，该台配属一支航空队专门用来定期探测大气。1922年在莫斯科实验机场属下建立了航行科，1923年改建成中央航空站，其任务是对飞行和转场飞行实施气象保障。

随着航空事业的发展，技术性能的提高，续航时间和航程的增大，对航空保障的要求也随之提高。1926年，中央航空站改组

为航空气象总台，它是航空气象保障业务工作的中心。该台为所有的重要飞行和转场飞行服务，至此，航空气象保障的形式更趋完善。在这方面，作出很大贡献的有B.И.阿尔托夫斯基、M.B.别利亚科夫、П.Л.别索诺夫、A.A.库拉科夫等等。

由于航空提出的要求日益提高，推动了科学研究工作的发展。И.Г.普切尔科、B.H.库尔甘斯卡娅、E.И.戈戈列娃等在飞行气象条件方面作出了有价值的研究。C.И.特罗伊茨基和A.Φ.裘碧克制定的诊断指标，对判定飞行气象条件有很大的帮助。

在这一期间，在高空天气分析的实际工作中，开始应用锋面分析法。П.А.莫尔恰诺夫发明了无线电探空仪，开始广泛使用无线电探测和气压形势法。这些都促进了航空气象学的发展。

航空气象学发展史的第二阶段(1940—1960年)，在这一阶段，在飞行气象保障工作中，广泛使用气压形势图和天气侦察资料，情报工作和预报工作的集中化以及对不同高度上飞行气象条件的科学研究工作进一步展开。

X.П.帕哥乡、H.Л.塔博罗夫斯基和他们的学生所进行的研究工作，促成了在航空气象部门的业务工作中开始应用气压形势图。这一时期建立起来的高空气象台站网提供了用来绘制气压形势图的原始情报。应用气压形势图能够比较深刻地分析大气过程，比较有成效地进行航空天气预报工作。

天气侦察工作得到了很大的进展。在伟大卫国战争年代，天气侦察的作用显得更加突出。那时，为了保障航空兵的战斗行动，不得不用“缺报”天气图制作天气预报。在战争年代形成的航空气象部门业务工作的一些重要方法，至今不失去它的意义。

实施航空保障的气象业务部门，技术设备的不断改进和充实，特别是在保障飞行所必需的气象情报的收集、传递、整理和显示方面的改善，使情报工作和预报工作的集中化成为可能。

由于飞机飞行的升限、速度和航程不断增大，需要仔细研究对流层上部和平流层下部的气象条件。但更为迫切的问题，是需

要详细研究对飞行有危险的那些气象现象。因此，研究飞行危险气象现象——雷暴、强烈湍流、积冰等等给予了极大的注意。

Н.Е.科钦、А.Н.科尔莫戈罗夫、А.М.奥布霍夫、Н.З.皮努斯、М.И.尤金等在研究大气湍流方面所做的工作，有助于航空专业人员深刻认识颠簸时的飞行条件，确定飞机结构的最佳安全系数和全面研究湍流大气中的飞行动力学，从而提出颠簸时驾驶飞机和直升机、保障飞行安全必要的建议。

А.Х.赫尔吉安、И.Г.普切尔科、И.П.马津等曾进行了飞机和直升机积冰气象条件的重要研究。

在国家水文气象主要科研机构，如А.И.沃耶伊科夫地球物理观象总台、中央预报研究所(现为苏联水文气象科学研究中心)、中央高空观象台以及设有水文气象专业的高等院校，都广泛地开展了有关航空气象学问题的研究工作。

区域水文气象科学研究所的成立，促进了科学研究的发展。航空气象中心，特别是航空气象总中心和区域航空气象中心以及民航气象台都参与了航空港地区飞行气象条件的研究工作。

航空气象学发展史的第三阶段(60年代至今)，其特点是在技术上进一步装备保障航空的气象业务部门，接收和使用气象雷达和人造地球卫星的气象情报，使用电子计算机，绘制航空预报天气图。气象情报的收集和传递更加集中。

自从民航配备了喷气式飞机，飞机飞行的速度、高度和航程进一步增大，对气象情报和飞行气象保障提出了更高的要求。这就推动了苏联国家水文气象环境监督委员会的科研机构、设有水文气象专业的高等院校、国家民航科学研究所和民航学院在航空气象学方面的研究工作。

在这个时期，И.Г.普切尔科、Н.В.彼得连科、С.В.索罗宁等对航空气象学的发展作出了很大的贡献。

科学研究范围的扩大，从召开的学术会议可以得到证明。1968年1月底到2月初，在列宁格勒水文气象学院举行了第一届高等