

绿色民航

——
环境保护与节能减排

谭惠卓 著



中国民航出版社

绿色民航

——环境保护与节能减排

谭惠卓 著

中国民航出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

绿色民航：环境保护与节能减排/谭惠卓著. —
北京：中国民航出版社，2013. 7
ISBN 978-7-80110-890-6

I. ①绿… II. ①谭… III. ①民航运输-节能-研究
IV. ①F56

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 099850 号

责任编辑：杨玉芹

绿 色 民 航

——环境保护与节能减排

谭惠卓 著

出版 中国民航出版社
地址 北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼 (100028)
排版 中国民航出版社照排室
印刷 北京金吉士印刷有限责任公司
发行 中国民航出版社 (010) 64297307 64290477
开本 787×1092 1/16
印张 14. 75
字数 332 千字
版本 2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-80110-890-6
定价 38.00 元

(如有印装错误，本社负责调换)

序 言

《绿色民航——环境保护与节能减排》专著即将问世，其内容的深度和广度尚属罕见。该书完善了环境保护的理论体系，填补了民航领域节能减排专著的空白，可喜可贺！

党的十八大明确提出要全面建设经济发达、政治文明、文化昌盛、社会文明、生态文明“五位一体”的社会主义现代化强国和实现中华民族伟大复兴的宏伟目标，环境保护与节能减排已成为国家可持续发展的必由之路和基本国策。为贯彻国家加强节能环保工作的要求，民航局与国家发改委于2008年12月联合下发了《民航行业节能减排规划》；2011年3月，民航局又下发了《关于加快推进行业节能减排工作的指导意见》。《绿色民航——环境保护与节能减排》一书正是在全面建设和发展绿色民航的大背景下应运而生的。

《绿色民航——环境保护与节能减排》一书，科学论述了航空活动与环境的辩证关系，并首次诠释了绿色民航的理念；在科学分析民航节能减排现状与存在问题的基础上，借鉴国内外民航节能减排的成功经验，对航空公司节油、机场节能、空管保障和政策支持等方面提出相应对策与建议。该书对于全面推进民航环境保护与节能减排工作，具有较强的现实意义和指导作用。

该书作者谭惠卓教授，虽年逾六旬，仍勇于创新，总结并运用近10多年的教学与科研成果，沥数年心血，完成此作，可敬可叹！

时值2012年度全国科学技术奖励大会圆满落幕之际，衷心祝愿我院乃至中国民航的科技园地百花盛开，新人辈出。

中国民航管理干部学院院长 孙晓梅

2013年春

前 言

为贯彻国家节能环保的基本国策，民航“十二五”发展规划中首次提出了建设绿色民航的要求。归纳总结民航“十二五”发展规划和行业节能减排规划的要求，绿色民航的实质就是要全面推进民航的节能减排与环境保护工作，积极应对全球气候变化。

应该看到，目前绿色民航的建设还亟待加强。正如《民航行业节能减排规划》中所指出的，民航目前的节能减排工作还存在意识不强、投入不足、管理基础薄弱、空域利用效率不高、国际应对措施不足等诸多问题。迄今为止，除少数大型航空公司为降低航油成本而采取相应措施外，大多数民航企事业单位的节能减排工作效果欠佳，仍处于观望、等待阶段。2008年我院承担的“中国民航燃油发展战略”的研究结论表明，民航的节油降耗尚有巨大发展空间。

《绿色民航——环境保护与节能减排》一书的主要内容有以下三个方面：

一是扼要阐述了环境保护的理论，介绍了环境污染和生态破坏问题、中国人口发展与环境问题、可持续发展战略、环境污染治理、全球气候变暖及其应对等环保知识。

二是首次论述了航空活动与环境的辩证关系，归纳了影响航空活动的环境因素，提出了航空环境容量的有限性，系统分析了航空活动的污染源及其影响。

三是明确了绿色民航的实质是节能减排与环境保护；在客观描述中国民航节能减排现状与存在问题的基础上，科学分析影响民航节能减排的主要因素，总结国内外民航节能减排的成功经验，并分别从航空公司节油降耗、机场节能和地面保障、空管部门的空中保障与政府的宏观调控等方面提出相应对策和建议。

在本书绿色民航一章的编写中，重点参考了民航行业节能减排规划和本人参与研究的“中国民航燃油发展战略”节油部分的研究结论以及国航、南航等航空公司的节油经验介绍等文献，在此对相关研究人员表示由衷感谢。

节能减排对于民航企事业单位而言，节能所获得的直接效益是真金白银，减排所产生的环境效益功在千秋；笔者殷切希望通过此书，进一步激发全体民航人节能环保的热忱，为全面推进民航的环境保护与节能减排工作贡献微薄力量！

谭惠卓
2013年3月

目 录

序言

前言

第一章 环境保护概述.....	1
第一节 环境与环境学.....	1
第二节 人类活动与环境.....	6
第三节 世界人口发展	13
第四节 人类的资源争夺与战争	17
第五节 我国人口发展	21
第六节 我国人口与资源环境	27
第七节 可持续发展战略	35
第二章 环境污染及治理	42
第一节 环境污染分类	42
第二节 大气污染及其防治	43
第三节 水污染及其防治	55
第四节 土壤污染及其防治	64
第五节 噪声污染及其防治	73
第六节 放射性污染	78
第七节 热污染与气候变化	84
第八节 全球气候变暖	89
第九节 气候变化应对	96
第三章 航空活动与环境.....	101
第一节 影响航空活动的环境因素分析.....	101

第二节	大气环境及其对飞行的影响·····	106
第三节	影响飞行的重要天气·····	110
第四节	航空活动的环境容量与资源配置·····	114
第五节	航空活动中的污染源及其对环境的影响·····	123
第六节	机场环境安全保护·····	128
第七节	机场净空管理·····	135
第四章	绿色民航·····	152
第一节	民航节能减排现状与特点·····	152
第二节	民航节能减排影响要素分析·····	158
第三节	民航节能减排体系建设·····	168
第四节	航空公司节油是重中之重·····	179
第五节	航空公司节油工作·····	183
第六节	航空运输模型·····	197
第七节	绿色机场建设·····	200
第八节	空管运行保障·····	211
第九节	政策环境保障·····	215
第十节	合同能源管理·····	218
主要参考文献·····		227

第一章 环境保护概述

第一节 环境与环境学

一、环境定义

环境是指影响其主体生存和发展的一切自然的或经人为作用形成的外部世界的物质和能量的总和。环境是一个复杂系统、一个综合体。

（一）环境主体与人类环境

环境是指相对于某一主体的外部世界。从生态学的角度分析，人类以及所有的野生动植物都可以作为环境的主体，都有其外部世界。

就人类而言，环境指影响人类生存和发展的一切自然的或经人为作用形成的外部世界的物质和能量的总和。以人类为主体的环境可分为自然环境和人为环境。

（二）环境综合体

人类外部世界的物质与能量包罗万象。物质包括：人类赖以生存的阳光、空气、水、食物，人类生活所必需的居所、交通、通信等各种条件，人类生产所必需的土地、空间、能源、矿产等生产资料以及生产工具等各类资源；能量包括：来自地球的各种内能以及来自太阳、月球等天体的辐射能、引力、电磁等。与此同时，人类还要受到太阳活动、地壳运动、火山地震、气候变化等自然现象以及人类自身活动的影响。因此，任何环境都是一个复杂的系统，都是由各种要素有机构成并相互影响的综合体。

1. 自然环境综合体

人们置身于大自然中，脚踩的可能是岩石、风化物、土壤，能够看到的大地轮廓可能是高原、山地、丘陵、平原、盆地，能观察到的自然景观可能是森林、灌木、草原、荒漠以及各类野生动物；夜晚遥望天空，可看到浩瀚宇宙中的各类天体；同时，能够感

受到冷、暖、干、湿。因此，自然环境是各类自然要素共同形成的综合体，也就是通常所说的自然地理环境或大自然。

2. 人为环境综合体

迄今为止，地球上没有受到人类活动影响的纯自然环境几乎不存在，只是受影响的程度不同而已。人类活动包罗人类社会经济发展的各个方面，涉及工业、农业、交通、建筑、旅游等各行各业，活动范围上至地球外围空间，下至海洋万米深处。由此，人为环境是在自然环境综合体基础上，经人为影响形成的更为复杂的综合体。

（三）国家环境保护法对环境的定义

《中华人民共和国环境保护法》第二条明确规定：本法所称环境，是指影响人类社会生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素总体，包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生动物、自然古迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等。

按此定义，环境要素也包括自然、人文两大类。

（1）自然类：大气、水、海洋、土地、矿藏、自然保护区、风景区、森林、草原、野生动植物；

（2）人文类：名胜古迹、风景名胜区、疗养区、生活居住区等。

二、环境问题

环境问题主要是指因自然变化或人类活动导致的各种环境破坏和环境质量恶化，以及由此带来的不利影响。按照原因可分为原生环境问题和次生环境问题。

（一）原生环境问题

由自然原因造成的火山爆发、地震、海啸、旱涝等自然灾害，称之为原生环境问题。此类问题人类目前还难以解决。

（二）次生环境问题

主要指因人类活动导致的生态破坏和环境污染，此类问题称之为次生环境问题，也是人类着重研究并解决的主要问题。次生环境问题又分为生态破坏和环境污染两类。

1. 生态破坏

人类违背自然规律进行不当开发、滥用资源而引起的生态破坏。如，为了解决粮食、居住等问题而大量开垦土地，破坏草原、山林，引起水土流失、土地沙化等。

2. 环境污染

人类活动排放的污染物超过环境本身的承受能力和自净能力时,就会导致环境质量恶化。从污染源考虑,有生物污染、放射性污染、噪声污染、电磁污染等;从被污染物考虑,可分为大气污染、水污染、土壤污染、热污染等。

三、环境的特性

人类环境具有如下显著特性:

(一) 环境容量的有限性

在特定的历史时期及其相应的生产、技术水平之下,相对于人类活动而言,环境容量是有限的,即环境的空间与资源有限,容纳污染物的能力及其自净能力也有限。当人类活动量超过环境可承受容量或者排放的污染物超过环境自净能力时,就会导致环境质量恶化。环境容量的有限性是人类可持续发展理论的研究基础。

(二) 环境问题的地域性与整体性

环境问题具有明显的地域性。由于地球上不同区域的地形、气候、资源等自然条件以及社会经济发展水平的不同,其环境问题也有所差异。如,草原沙化问题集中分布于北半球中高纬地区,沙尘暴总是产生于大风肆虐的干旱、半干旱地区及其下风向区域,酸雨集中分布在大量燃烧煤炭的工业区。

对地球的整体环境而言,局部区域的环境污染与破坏,也会影响其他地区乃至地球的整体环境。如,苏联切尔诺贝利核事故的影响遍及欧洲;日本福岛核电站的放射性尘埃危及太平洋彼岸,放射性废水的排放污染海洋;工业集中地区的温室气体排放会造成全球气候变暖;城市空调设备所使用的大量氟化物会破坏大气臭氧层,带来全球性的紫外线超强辐射。

(三) 环境影响的隐蔽性与持久性

大量环境问题的教训表明,某些环境污染与生态破坏所造成的后果,在当时并不明显,但在一定时间后,其危害程度不断显现。如核污染、农药污染、重金属水污染等造成的后果往往随着时间的推移而逐渐显露,且危害时间持久,特别是核辐射的危害可能持续数百年甚至上万年。

四、环境学

（一）环境学的概念与重要性

环境学是以人类社会的可持续发展为目标，以研究人类活动与环境关系为主线，探求环境协调发展、环境污染综合防治技术与管理的学科。

环境学在宏观上研究人类与环境之间的相互作用，揭示社会经济发展与环境保护协调发展的基本规律；在微观上研究环境中污染物的分子、原子等物质与能量的产生、迁移、转化和积蓄过程，探索它们对人类生命的作用机理与影响；同时提出人类对环境保护的全球性战略、环境污染防治与区域环境改善的技术手段和具体措施。

鉴于环境学研究的内容与人类生存甚至每个人的生命密切相关，它在人类的科学体系中具有极其重要的作用和难以取代的地位。为了解决全球性环境问题，1983年，联合国成立了世界环境与发展委员会（World Commission on Environment and Development, WCED），以人类可持续发展为基本纲领，制订“全球的变革日程”。1992年，联合国环境与发展大会的《里约宣言》把可持续发展列为全球发展战略，并制订了具有划时代意义的行动计划——《全球21世纪议程》，使这一战略思想被世界各国所接受。1994年，我国制订了把可持续发展作为国家战略的行动计划——《中国21世纪议程》；议程中明确提出：要在大、中、小学的课程中加入资源、生态、环境和可持续发展的内容，并将其贯穿于整个教育过程之中。在人类科学现有的学科体系中，其研究内容受到全球以及各国的高度关注，非环境学莫属。环境学的基础知识已经成为21世纪每个地球人的必备常识。

（二）环境学的发展与特性

20世纪50年代以来，大量的环境问题引起众多学者与专家的高度关注。各领域的专家在自身学科理论与方法的基础上，研究探讨环境问题，相继产生了众多与环境相关的分支学科，如，环境物理学、环境化学、环境地学、生态学、环境医学、环境工程学、环境经济学、环境法学等。这种来自不同学科、运用不同理论和方法研究解决环境问题的趋势，恰恰反映了环境是综合体的本质特性。

20世纪70年代以来，越来越多的学者与专家认识到单一学科各自研究环境问题只能是管中窥豹，难以真正全面解决各类环境问题。为此，各环境分支学科相互借鉴、渗透、融合，一个高度综合的、独立的环境学应运而生。环境学具有综合性、实践性两大显著特性。

1. 综合性

上述环境学的产生与发展过程，已经注定了它的高度综合性与整体性。而大多环境问题的解决往往涉及地学、生态学、物理、化学、医学等众多学科。局部地区的环境问

题也会影响其他地区乃至全球，环境问题的解决需要从整体出发，统筹考虑，综合治理。

2. 实践性

环境学的产生与发展过程表明，环境学始终伴随着人类的实践活动而发展，其研究的最终目的也是要解决人类实践中所遇到的各种环境问题，任何脱离实践的研究都是没有意义的。

（三）环境学的研究内容与任务

根据上述环境学的概念、特性及其产生过程，环境学的主要研究内容包括以下四个方面。

1. 环境基础理论研究

在地学、生态学、医学、环境物理、化学等相关学科研究的基础上，运用系统论、信息论、控制论等现代科学理论，归纳总结人类改造自然的经验与教训；研究污染物在环境中的生成、迁移、转化与消亡的规律；研究环境自净能力、环境质量评价体系、环境污染对人类生态系统的影响等。

2. 环境污染的控制、预防与治理

包括污染防控过程的生产工艺、对污染物的治理，以及净化处理技术等。

3. 生态系统破坏的控制、预防与修复

依据环境容量的有限性、环境问题的隐蔽性与持久性等特点，研究人类如何加强自然资源的合理开发、适度利用与保护；研究重大环境问题的应急机制、生态系统修复的途径；制定并实施资源利用与环境保护的规划等。

4. 环境监测及预报

探索环境监测的方法与技术，及时有效地对环境问题 and 环境质量作出预报。

根据上述内容，归纳总结出环境学的四大主要任务为：一是探索全球范围内自然环境演化的规律；二是揭示人与环境的相互作用和依存关系；三是协调人类生活、生产活动与生态保护的关系；四是探索区域污染综合防治的技术与途径。

第二节 人类活动与环境

一、人类与环境的相互作用

人类与其环境相互作用，相互影响。人类不断从环境中获取资源，同时排放大量废弃物。适度开发、合理利用资源，会良性发展，即可持续发展；而过度开发，甚至掠夺性开发必然会遭到大自然的制约和惩罚。

应该指出，人类与自然环境的相互作用并非对等。人类目前对自然的改造能力与自然力相比还难以抗衡；人类所创造的物质和能量与自然界相比也是比较有限的；人类对大自然的认识还远远不够，尚不能预测火山爆发、地震等自然灾害的发生。迄今为止，在人类赖以生存与发展的环境中，大自然的影响仍居主导地位。

环境作为一个复杂的开放系统，系统内外不断进行物质与能量的交换，在一定时空尺度内，如物质与能量的输入与输出适度，称为生态平衡。当人类活动超过环境可承受的容量或者排放的污染物超过环境自净能力时，就会打破这一平衡，导致环境质量恶化。人类历史发展的经验表明，每当人类为改造了大自然而沾沾自喜的时候，也必然受到大自然的惩罚。

二、人类破坏环境的惨痛教训

（一）环境污染的重大事件

环境污染事件是指直接向环境排放污染物所造成的危害事件。人类有史以来，环境污染的事例数不胜数，屡见不鲜，其中较为突出并为环境学家所关注的重大事件见表1-1。

表 1-1 20 世纪以来的重大公害事件

序号	年份	发生地及名称	主要危害	污染物	诱发主因
1	1930	比利时马斯河谷烟雾	1000 多人中毒，60 多人死亡	SO ₂ 烟尘	大量煤炭燃烧
2	1931	日本富山骨痛病事件	280 人中毒，34 人死亡	金属镉	含镉废水排放
3	1931	日本四日市哮喘病事件	500 多人中毒，36 人死亡	SO ₂ 烟尘	大量煤炭燃烧
4	1943	美国多诺拉烟雾事件	4 天内 6000 人中毒，17 人死亡	SO ₂ 烟尘	大量煤炭燃烧

续表

序号	年份	发生地及名称	主要危害	污染物	诱发主因
5	1945	洛杉矶光化学烟雾	半数居民红眼病, 400 多老人死亡	氮氧化物	汽车尾气排放
6	1952	英国伦敦雾事件	5 天内 4000 人中毒死亡	SO ₂ 烟尘	大量煤炭燃烧
7	1953	日本熊本县水俣病事件	180 人中毒, 50 多人死亡	甲基汞	含汞废水排放
8	1968	日本爱知县米糠油事件	5000 多人中毒, 16 人死亡	多氯联苯	食用油污染
9	1978	法国油轮触礁漏油	附近海域动植物绝迹	石油	石油泄漏
10	1979	美国三里岛核泄漏	引起 10 多万居民恐慌撤离	铀燃料	核泄漏
11	1984	墨西哥油气爆炸事件	400 人死亡, 4200 人受伤, 10 万人疏散	燃烧气体	液化气站爆炸
12	1984	印度博伯尔农药污染	1408 人死亡, 2 万人中毒, 20 万人逃	异氰甲脂	农药泄漏
13	1985	英国威尔士河流污染	200 万居民饮用水污染, 44% 中毒	酚类	污水排放
14	1986	瑞士莱茵河段污染	下游 100 英里鱼类死亡, 生物绝迹	硫、磷、汞等	仓库爆炸
15	1986	苏联切尔诺贝利核事故	5.5 万人死亡, 7 万人残疾, 30 万人患病	核燃、废料	核电站爆炸
16	1988	中国上海食用毛蚶中毒	29 万人食用后患甲肝	甲肝病毒	近海海水污染
17	1991	韩国洛东江水污染	13 条支流污染, 1000 万人受影响	酚类	污水排放
18	1992	西班牙油轮原油泄漏	100 公里海岸严重污染	原油	油轮泄油
19	1993	俄核废料倾倒日本海	日、韩、朝强烈谴责	核废料	不当排放
20	1999	比、荷、法、德食品污染	奶制品、肉类等严重污染	二噁英	工业排放
21	2001	新加坡油轮原油泄漏	附近海域严重污染	原油	油轮泄油
22	2003	中国重庆有毒气体井喷	243 人死亡, 4000 多人受伤	硫化氢	矿井喷发
23	2005	中国松花江污染	8 人死亡, 70 人受伤, 下游河道污染	苯类	储存罐爆炸
24	2006	中国珠江北江水污染	下游韶关等三城市饮用水安全受威胁	镉	超标排放
25	2007	中国太湖蓝藻泛滥	无锡市饮用水污染	需氧化物	大量有机物排放
26	2008	中国长江流域酸雨	全国 40% 的面积为酸雨区	SO ₂ 烟尘	大量煤炭燃烧
27	2009	中国陕西凤阳儿童铅中毒	600 多儿童血铅超标, 160 多人住院	铅	冶炼厂超标排放
28	2010	墨西哥湾石油泄漏	11 人死亡, 400 万桶原油泄漏	石油	钻井平台爆炸
29	2010	中国大连石油管道爆炸	沿海海产品、风景区严重污染	石油	管道爆炸
30	2011	日本福岛核电站核泄漏	3 万多人死亡	碘、铯等	地震海啸引发
31	2011	中国渤海湾燃油泄露	840 平方千米海域严重污染	石油	海上平台漏油

表 1-1 所列的污染事件涉及全球数十个国家。就时空分布而言,环境污染与各国相继进入工业化时代密切相关。最初,污染集中分布于较早工业化的欧美国家,多是因大量煤炭、汽油燃烧生成的硫氧化物、氮氧化物造成的大气污染,且多以酸雨形式直接危害人类。此后进入工业化的日本,又出现了汞、镉等重金属,苯类、酚类等有机物污染食物链的事件。进入 20 世纪 80 年代,随着我国工业化和城镇化进程的迅速加快,也相继出现各类污染事件;在逐渐成为“世界工厂”的同时,也逐步发展为污染比较严重的国家之一。进入 21 世纪,因石油泄漏、核泄漏造成的污染事件,成为全球关注热点。

(二) 生态破坏的严重危害

除了直接排放污染物造成的环境污染外,还有因违背自然规律,不当使用、滥采滥伐有限资源而造成的生态破坏,其中,较为突出的危害主要体现在草原沙化、森林锐减、土地荒漠化、石化资源枯竭等方面。

1. 草原沙化

按照自然植被所必备的热量与水分条件,除热带部分地区外,草原大面积分布于中高纬地区的半湿润、半干旱地区,其根系盘根错节网罩地表,对于这些地区的水土保持乃至整个生态环境的保护,具有不可替代的重要作用。20 世纪以来,由于人类对草原的不当开垦,在北美、苏联、中国都先后出现了“黑风暴”——草原的沙漠化现象。

1) 20 世纪 30 年代的北美黑风暴

20 世纪 30 年代,北美人口的快速增长带来了不合理的农垦、过度放牧,导致植被和地表结构受到破坏,使西部大片草原沙漠化,生态系统失衡。1934 年 5 月 11 日凌晨,



图 1.1 北美黑风暴

美国西部草原地区发生了一场人类历史上空前未有的黑色风暴。风暴整整刮了 3 天 3 夜,形成一个东西长 2400 千米、南北宽 1440 千米、高 3400 米的迅速移动的巨大黑色风暴带,如图 1.1 所示。风暴所经之处,溪水断流,水井干涸,田地龟裂,庄稼枯萎,牲畜渴死,数千万人流离失所。

黑风暴的袭击给美国的农牧业生产带来了严重的影响,使原已遭受旱灾的小麦大片枯萎而死,引起美国谷物市场的价格大幅波动,严重冲击了美国经济的发展。同时,黑色风暴一路“洗劫”,将肥沃的土壤表层刮走,露出贫瘠的沙质土层,使受害之地的土壤结构发生变化,严重制约了灾区日后农业生产的发展。为此,美国开始了因地制宜的农业带的生产模式,见图 1.2。

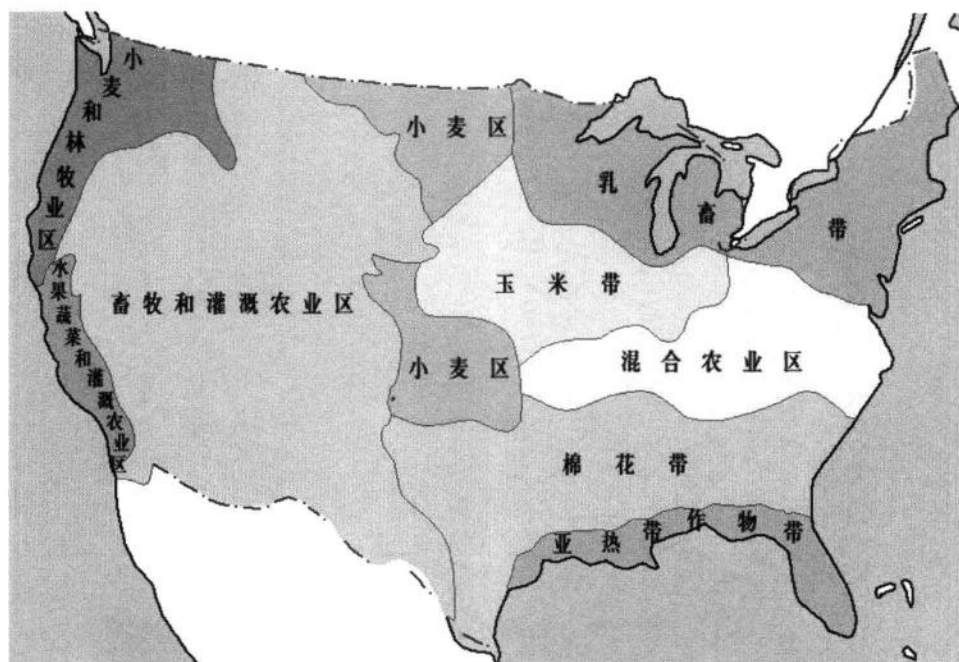


图 1.2 美国的农业带

2) 20 世纪 60 年代的苏联黑风暴

20 世纪 50 年代，苏共中央主席赫鲁晓夫到美国访问，参观了美国绵延上千公里的玉米带，深受震撼，回国后决心在西部及西伯利亚的大草原上开发玉米地。从 1954 年开始，苏联在哈萨克、西伯利亚、乌拉尔、伏尔加河沿岸和北高加索的部分地区，动员了全国众多的劳动力，进行了大规模的移民，开垦了大量的荒地。由于在开垦荒地过程中滥用土地，耕作制度混乱，缺乏防护林带，同时又遭受连年的干旱，造成了新开荒地的严重风蚀。1960 年以后，这些地区时常遭到黑风暴的侵袭，造成了庄稼大面积被毁，大量新垦土地沦为寸草不生的沙丘，许多新垦荒地不得不因此而弃耕。

1960 年 3 月和 4 月，苏联新开垦地区先后两次遭到黑风暴侵蚀。这两场黑风暴席卷了俄罗斯大草原南部的广大地区，使新垦荒地上的土粒、种子甚至幼苗和大块的土壤都被刮得腾空而起。由于这里的黑风暴强度最大，因而受到的灾害也最为严重。在哈卡斯草原重灾区，黑风暴将这里 15 万公顷耕地的表土层全部刮走，砂土填平了 150 千米长的灌溉网，同时填塞了道路和公路边的沟壑。

据苏联当局后来对灾情的统计，1960 年的这两次黑风暴，使苏联垦荒地区的春季作物受灾面积达到 400 万公顷以上。大量的砂土淤塞了灌溉水渠，毁坏了大片的庄稼和田地。不少耕地肥沃的表土层被刮走，有的被刮走的土层厚度达 300~500 毫米。据估计，在 400 万公顷的耕地上，被刮到天空的砂土总量约有 9.6 亿~12.8 亿吨。

苏联西部的广大地区，甚至与苏联相邻的罗马尼亚、保加利亚、匈牙利和南斯拉夫也是尘雾弥漫，犹如乌云压顶一般。在白俄罗斯和波兰东部，砂粒尘土遮住了阳光，能见度极差，数米之内见不到建筑物。狂风挟带尘砂扶摇直上，黑色的尘埃在山顶形成了黑云，云层厚达 1500~2500 米，见图 1.3。

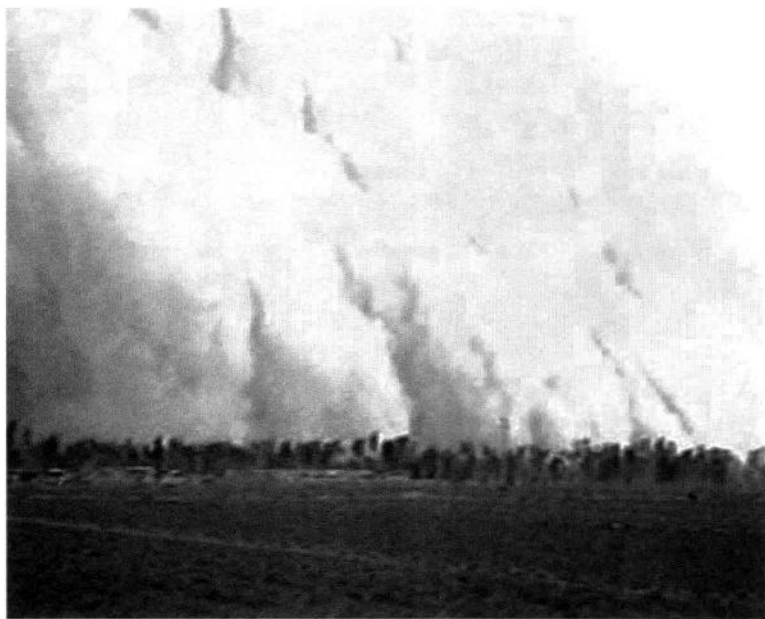


图 1.3 苏联黑风暴

3) 20 世纪 90 年代的我国黑风暴

1993 年 5 月 5 日下午 15:30 分左右，甘肃金昌西北方荒漠上空突然出现一团高大的黑浪，上下翻卷，气势磅礴。当时测到的最大风力是每秒 32 米，已达到 11 级。黑风宛如原子弹爆炸后的千米高的蘑菇状烟云瞬间升起，卷着沙尘向上翻滚，如图 1.4 所示。刚才还是风和日丽的晴空，顿时电闪雷鸣，飞沙走石，能见度降为零，完全漆黑一片。金昌经历了两次、共 31 分钟伸手不见五指的黑夜。



图 1.4 我国“5·5 黑风暴”

事后经环保部门测算，当日金昌市 9600 平方千米的面积共降尘 244800 吨。在黑风到达时，金昌上空粉尘浓度达到每立方米 1016 毫克，超过国家大气质量标