



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
北京市高等教育精品教材立项项目
高等学校水土保持与荒漠化防治专业教材



风沙物理学

(第2版)

AEOLIAN PHYSICS (2rd)

丁国栋 主编

中国林业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
北京市高等教育精品教材立项项目
高等学校水土保持与荒漠化防治专业教材

风沙物理学

(第2版)

丁国栋 主编



中国林业出版社

内 容 简 介

本教材以流体力学的基本原理为出发点,从力学和物理学过程系统研究风与各种沙质地表的相互作用机制及其风沙运动规律。全书共分8章,主要内容包括:流体力学理论基础;风及其基本性质;沙物质及其基本性质;风沙运动;风沙地貌的形成及演变;土壤风蚀;沙尘暴;风沙物理学研究方法。

本教材适用于水土保持与荒漠化防治专业的本科生教学,同时可作为环境生态类有关学科研究生的教学用书,也可作为从事防沙治沙、水土保持、环境保护等科技工作者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

风沙物理学/丁国栋主编. —2版. —北京:中国林业出版社,2010.8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 北京市高等教育精品教材立项项目. 高等学校水土保持与荒漠化防治专业教材

ISBN 978-7-5038-5907-6

I. ①风… II. ①丁… III. ①风沙地貌—高等学校—教材 ②风沙流—高等学校—教材
IV. ①P512.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第165175号

中国林业出版社·教材建设与出版管理中心

责任编辑:丰帆

电话:83228701 83220109 传真:83220109

出版发行 中国林业出版社(100009 北京市西城区德内大街刘海胡同7号)

E-mail:jaocaipublic@163.com 电话:(010)83224477

网 址:http://lycb. forestry. gov. cn

经 销 新华书店

印 刷 北京市昌平百善印刷厂

版 次 1992年8月第1版(共印1次)

2010年9月第2版

印 次 2010年9月第2次印刷

开 本 850mm×1168mm 1/16

印 张 16.25

字 数 363千字

定 价 27.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

《风沙物理学》(第2版)编写人员

主 编 丁国栋

副主编 赵廷宁 董 智 汪 季

编 委 (以姓氏笔画为序)

丁国栋(北京林业大学)

王翔宇(北京林业大学)

李玉宝(温州大学)

李红丽(山东农业大学)

严 平(北京师范大学)

汪 季(内蒙古农业大学)

张宇清(北京林业大学)

杨 光(内蒙古农业大学)

杨明元(内蒙古农业大学)

赵廷宁(北京林业大学)

赵名彦(北京林业大学)

高 永(内蒙古农业大学)

高国雄(西北农林科技大学)

凌 侠(内蒙古农业大学)

董 智(山东农业大学)

虞 毅(国际竹藤网络中心)

薛智德(西北农林科技大学)

主 审 孙保平(北京林业大学)

邹学勇(北京师范大学)

吴祥云(辽宁工程技术大学资源与环境学院水土保持系主任,
教授)

吴丁丁(南昌工程学院环境工程系主任,教授)

汪 季(内蒙古农业大学生态环境学院副院长,教授)

张光灿(山东农业大学林学院副院长,教授)

张洪江(北京林业大学水土保持学院副院长,教授)

杨维西(国家林业局防沙治沙办公室总工,教授)

范昊明(沈阳农业大学水利学院,副教授)

庞有祝(北京林业大学水土保持学院,副教授)

赵雨森(东北林业大学副校长,教授)

胡海波(南京林业大学资源环境学院,教授)

姜德文(水利部水土保持监测中心副主任,教授级高工)

贺康宁(北京林业大学水土保持学院,教授)

蔡崇法(华中农业大学资源环境学院院长,教授)

蔡强国(中国科学院地理科学与资源研究所,研究员)

秘 书: 牛健植(北京林业大学水土保持学院,副教授)

张 戎(北京林业大学教务处,科长)

李春平(北京林业大学水土保持学院,博士)

随着社会经济的不断发展,人口、资源、环境三者之间的矛盾日益突出和尖锐,特别是环境问题成为矛盾的焦点,水土流失和荒漠化对人类生存和发展威胁日益加剧。据统计,世界上土壤流失每年 250 亿 t,亚洲、非洲、南美洲每公顷土地每年损失表土 30~40t,情况较好的美国和欧洲,每公顷土地每年损失表土 17t,按后者计算,每年损失的表土比形成的表土多 16 倍。而我国是世界上水土流失与荒漠化危害最严重的国家之一。全国水土流失面积 367 万 km^2 ,占国土总面积的 38.2%,其中水蚀面积 179 万 km^2 、风蚀面积 188 万 km^2 ,年土壤侵蚀量高达 50 亿 t 以上。新中国成立以来,特别是改革开放后,中国政府十分重视水土流失的治理工作,投入巨大的人力、物力和财力进行了大规模的防治工作,尽管如此,但生态环境仍然十分脆弱,严重的水土流失已成为中国的头号生态环境问题和社会经济可持续发展的重要障碍。水土保持和荒漠化防治已成为我国一项十分重要的战略任务,它不仅是经济建设的重要基础、社会经济可持续发展的重要保障,也是保护和拓展中华民族生存与发展空间的长远大计,是调整产业结构、合理开发资源、发展高效生态农业的重要举措,是实施扶贫攻坚计划、实现全国农村富裕奔小康目标的重要措施。

近年来,国家对水土流失治理与荒漠化防治等生态环境问题给予高度重视,水土保持作为一项公益性很强的事业,在“十一五”期间,被列为中国生态环境建设的核心内容,这赋予了水土保持事业新的历史使命。作为为水土保持事业培养人才的学科与专业,如何更好地为生态建设事业的发展培养所需各类人才,是每一个水土保持教育工作者思考的问题。水土保持与荒漠化防治专业是 1958 年在北京林业大学(原北京林学院)创立的,至今在人才培养上已经历了 50 年,全国已有 20 多所高等学校设立了水土保持与荒漠化防治专业,已形成完备的教学体系,但现在必须接受经济全球化的挑战,以适应知识经济时代前进的步伐,找到适合自身发展的途径,培养特色鲜明、竞争力强的高素质本科专业人才。其中之一就是要搞好教材建设。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体,是进行教学的基本工具,也是深化教育教学改革,全面推进素质教育,培养创新人才的重要保证。组织全国部分高校编写水土保持与荒漠化防治专业“十一五”规划教材就是推动教学改革与教材建设的重要举措。

由于水土保持与荒漠化防治专业具有综合性强、专业基础知识涉及面广的特点,既需要较深厚的生态学和地理科学的知识基础,又要有工程科学、生态经济学和系统工程学的基本知识和技能。因此,在人才培养计划制定中一直贯彻厚基础、宽口径、

门类多、学时少的原则，重点培养学生的专业基本素质和基本技能，这有利于学生根据社会需求和个人意向选择职业，并为学生毕业后在实际工作中继续深造奠定坚实的基础。

本套教材的编写，我们一直遵循理论联系实际的原则，力求适应国内人才培养的需要和全球化发展的新态势，在吸纳国内外最新研究成果的基础上，树立精品意识。精品课程建设是高等学校教学质量与教学改革工程的重要组成部分。本套教材的编写力求为精品课程建设服务，能够催生出一批精品课程。同时，力求将以下理念融入到教材的编写中：一是教育创新理念。即以培养创新意识、创新精神、创新思维、创造力或创新人格等创新素质以及创新人才为目的的教育活动融入其中。二是现代教材观理念。传统的教材观以师、生对教材的“服从”为特征，由此而生成的对教学矛盾的解决方式表现为“灌输式”的教学关系。现代教材观是以教材“服务”师生，即将教材定义为“文本”和“材料”，提供了编者、教师、学生与真理之间的跨越时空的对话，为师生创新提供了舞台。本套教材充分体现了基础性、系统性、实践性、创新性的特色，充分反映了要强化学生的实践能力、创造能力和就业能力的培养目标，以适应水土保持事业的快速发展对人才的新要求。

本套教材不仅是全国高等院校水土保持与荒漠化防治专业教育教学的专业教材，而且也可以作为林业、水利、环境保护等部门及生态学、地理学和水文学等相关专业人员培训及参考用书。为了保证教材的质量，在编写过程中经过专家反复论证，教材编写指导委员会遴选本领域高水平教师承担本套教材的编写任务。

最后，借此机会感谢中国林业出版社和北京林业大学对本套教材编写出版所付出的辛勤劳动，以及各位参与编写的专家和学者对本套教材所付出的心血！

教育部高等学校环境生态类教学指导委员会主任 **朱金兆** 教授
高等学校水土保持与荒漠化防治专业教材编写指导委员会主任 **余新晓** 教授

2008年2月18日

风沙作为一种自然现象可以说自古有之，广袤的沙漠、浩瀚的戈壁、连绵起伏的黄土高原都是风沙过程的产物。运用地质学“将今论古”的思维方法，通过地史时期的物质记录来探索沙漠的地质历史，已经证实美国西部已恢复的古沙漠最早见于寒武纪，而且古生代以来各个地质时期都有分布；我国已报道的古代风成沙丘最早见于侏罗系。在人类历史时期，风沙多以其极端形式的“强沙尘暴”出现从而备受关注。例如，在晋代张华的《博物志》中，已有这样的记载：“夏桀之时，为长夜宫于深谷之中，男女杂处，十旬不出听政，天乃大风扬沙，一夕填此空谷。”又如，据甘肃地方志记载，公元503年8月辛巳“民勤县大风，飞沙蔽日，黑雾滔天”；1894年2月27日，“甘州府（今张掖县）寒风暴起，天昼昏，人不相见”；1920年5月，“肃州（今酒泉）黄雾漫天，烈风拔木，三日始息”。再如，广为人知的20世纪30年代美国西部大平原的“黑风暴”，50年代哈萨克斯坦境内的“沙暴”，70年代至80年代非洲撒哈拉沙漠南缘撒赫勒地区的沙尘暴，以及1993年5月5日中国河西走廊的沙尘暴等，也都有较为翔实的资料记载。而对于一般形式的风沙活动，则是在建立了气象观测站以后，才得以被详细记录下来，我国不足百年。

风沙现象过去存在，现在存在，而且还将持续存在。如果说在地质时期它是一种自然现象，而在人类历史上它更多是一种灾害，甚至是灾难，尽管也有一点点益处——风沙形成的碱性吸湿性凝结核产生的降雨可以减轻酸雨的危害，沙尘携带的养分可以在某种程度上提高海洋生物量。风沙活动之灾害，影响地区之广阔，危害程度之深，同洪水、干旱、暴风等自然灾害一样可怕。它掩埋农田、牧场，毁坏庄稼，影响农牧业生产；埋压铁路、公路，阻碍交通，危及行车安全；吹蚀表土，破坏土壤结构，造成土地退化与沙漠化；污染环境，毁坏生活设施和建筑工程，严重威胁人类赖以生存的环境。因此，必须研究和掌握风沙活动的规律和特性。

人类对风沙活动的认识，可以追溯至十分久远的人类历史时期，但详尽的、以空气动力学理论为基础、利用风洞等先进手段对风沙运动规律进行科学研究则是近几十年的事情。1935—1936年间，英国物理学家拜格诺（R. A. Bagnold）在北非利比亚等地的沙漠中进行了长期风沙现象的野外观测，并在室内做了大量模拟实验，于1941年著成《风沙和荒漠沙丘物理学》一书，从而奠定了风沙运动研究的基础。1938年起，苏联也开始应用空气动力学原理并借助室内风洞等设备对风沙运动进行研究；兹纳门斯基（А. И. Знаменский）创立了沙物质的非堆积搬运理论，并于1958年著成

《沙地风蚀过程的实验研究和沙堆防止问题》一书；1972年，伊万诺夫（А. П. Иванов）撰写出版了《沙地风蚀的物理学原理》一书；另外，彼得洛夫（М. П. Петров）、奥斯特洛夫斯基（И. М. Островский）等也都开展过相关研究，获得一些有价值的结果。这些工作和成就极大地推动了风沙物理学的发展。美国对风沙现象的研究主要侧重于农田风蚀问题，以著名土地学家切皮尔（W. S. Chapil）为代表，从20世纪三四十年代开始对农田进行长时期的野外观测，并利用各种不同大小和类型的风洞对风沙运动和土壤风蚀过程进行实验研究，取得显著成就，有效地指导了风蚀的防治工作，特别是土壤风蚀预测方面的研究成果，至今仍占据着重要的地位。埃及、澳大利亚、日本等国家也都相当重视风沙运动方面的研究工作，并获得一定成就，对风沙物理学理论体系有一定的补充。近些年来，学者们从不同角度对风沙现象予以阐述和论证，在世界性的期刊及会刊上大量发表论文，并提出诸多新见解、新观点，对完善风沙物理学理论体系起到重要作用。

我国风沙问题的研究工作始于20世纪50年代，当时主要针对沙区铁路建设及其防沙治沙工程的需要而开展。1967年，中国科学院兰州沙漠研究所建成了我国第一座大型沙风洞，进行了较为系统的风沙运动室内模拟实验，获得大量有价值的资料，从而开创了我国风沙物理学研究的新局面。1985年，内蒙古林学院建成了我国第一座野外沙风洞，并先后在“内蒙古准格尔煤田一期工程”土地沙漠化环境影响评价和毛乌素沙地风沙运动野外实验研究中应用，观测到一批宝贵的数据，分析总结出一些具有理论和实践意义的结论，对风沙物理学野外量化研究工作的开展起到一定的促进作用。1992年，基于人才培养和实际工作的需要，丁国栋、朱朝云、杨明元等在总结国内外有关方面的成果资料和多年为“沙漠治理专业”本科生讲授“风沙物理学”教学经验的基础上，编写出版了《风沙物理学》课程教材，成为我国第一部系统介绍和阐述风沙运动理论的教科书。该教材共分7章，即近地面层气流、沙物质及其基本性质、风沙流运动、沙波及沙丘的形态、土壤风蚀、风洞实验理论、风沙运动的实验方法。如今18年过去，在社会方方面面都发生巨大变革的同时，风沙物理学研究领域也产生很多新理论、新观点，原有教材已经不适合本科教学和人才培养的需要，亟需进行补充与完善。2006年，经教育部环境生态类教学指导委员会的推荐，《风沙物理学》（第2版）被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。2009年，在北京林业大学教务处、水土保持学院的大力支持下，该教材又被北京市教育委员会评为北京市高等教育精品教材立项项目。

为了全面反映风沙物理学研究领域的进展和前沿，高质量完成教材的编写任务，组成了新版《风沙物理学》（第2版）教材编写组。参编单位有北京林业大学、内蒙古农业大学、山东农业大学、西北农林科技大学、北京师范大学、国际竹藤网络中心、温州大学等。

《风沙物理学》（第2版）教材由丁国栋教授任主编，赵廷宁教授、董智副教授和汪季教授任副主编。教材共分8章，由上述参编单位的17人共同编写完成，具体分工如下：第1章（流体力学理论基础）由丁国栋教授和杨明元副教授编写；第2章（风及其基本性质）由丁国栋教授和高国雄副教授、薛智德副教授编写；第3章（沙

物质及其基本性质)由高永教授、虞毅研究员、董智副教授编写;第4章(风沙运动)由赵廷宁教授和杨明元副教授编写;第5章(风沙地貌的形成及演变)由丁国栋教授、张宇清副教授、赵名彦博士、王翔宇博士编写;第6章(土壤风蚀)由李红丽副教授、董智副教授和李玉宝副教授编写;第7章(沙尘暴)由汪季教授、杨光博士、凌侠博士和董智副教授编写;第8章(风沙物理学研究方法)由董智副教授、严平教授和赵廷宁教授编写。全书由丁国栋教授负责统稿;由孙保平教授、邹学勇教授任主审。

值此教材完稿付梓之际,特别感谢的是在本教材第1版编写中付出艰辛劳动的所有同行,他们是主编丁国栋、杨明元、朱朝云,参编人员李玉宝、邬翔,主审原铁道部第一设计院赵性存先生(已故)。同时也向一直关心和支持本教材修订出版的北京林业大学孙保平教授、余新晓教授、张洪江教授以及其他同行表示最诚挚的谢意。

在教材的编写过程中,引用了大量的论文、专著等相关资料,限于篇幅如未能在参考文献中一一列出,谨向文献的作者致以深深的歉意,并表示衷心感谢。

由于我们的水平有限,教材中难免有不妥之处,热切地希望读者批评指正。

丁国栋
2010年4月

第 1 版前言

本教材是根据全国高等林业院校沙漠治理专业（四年制）教学大纲的要求编写的。

风沙物理学是沙漠治理专业的一门重要的专业基础课。自 1983 年内蒙古林学院沙漠治理专业开设这门课程后，我们经过七年多的教学与科研实践，对讲义（本教材的前身）的内容不断补充、修改和完善。为满足从事治沙、水土保持、环境保护科技工作者及高等院校有关专业师生的需要，特将其编辑出版。

本书由朱朝云、丁国栋、杨明远合编，铁道部第一设计院的赵性存先生担任主审。全书共分七章，其中引言由朱朝云编写；第一章由朱朝云与邬翔合编；第二、六两章由丁国栋编写；第三、四两章由杨明远编写；第五章由李玉宝与丁国栋合编；第七章由丁国栋与朱朝云合编。

在教材的编写过程中，得到了周世权教授、张奎璧副教授的热情支持和多方指导，在此，特表示衷心感谢。

限于我们的水平，书中难免有不妥与错误之处，恳请读者批评指正。

编 者
1991 年 3 月

目 录

序	
第 2 版前言	
第 1 版前言	
第 1 章 流体力学理论基础	(1)
1.1 流体及其物理性质	(1)
1.1.1 流体的定义与特征	(1)
1.1.2 流体的连续介质理论模型	(1)
1.1.3 流体的主要物理性质	(2)
1.2 流体静力学基础	(6)
1.2.1 作用在流体上的力	(6)
1.2.2 流体平衡微分方程	(7)
1.2.3 流体静力学基本方程	(8)
1.3 流体动力学基础	(9)
1.3.1 研究流体运动的方法	(9)
1.3.2 描述流体流动的相关概念	(10)
1.3.3 流体流动的连续性方程	(12)
1.3.4 理想流体流动的微分方程和伯努利方程	(13)
1.3.5 流体动量方程	(16)
1.4 黏性流体流动与能量损失	(17)
1.4.1 黏性流体的伯努利方程与能量损失	(17)
1.4.2 黏性流体的两种流动状态	(18)
1.4.3 流动阻力系数	(23)
1.4.4 附面层理论与绕流阻力	(25)
第 2 章 风及其基本性质	(27)
2.1 风的产生	(27)
2.1.1 水平气压梯度力	(27)

2.1.2	水平地转偏向力	(27)
2.1.3	惯性离心力	(28)
2.1.4	地面摩擦力	(29)
2.2	风的表示方法	(29)
2.3	大气的分层结构	(30)
2.4	大气边界层风的特征	(31)
2.4.1	大气边界层风的动力学特性	(31)
2.4.2	大气边界层风的热力学特性	(35)
2.5	近地面层风的垂直分布(风速廓线)	(38)
2.5.1	纯气流在稳定床面上的风速廓线	(38)
2.5.2	风沙流在床面上的风速廓线	(40)
2.6	植被对近地面层气流的影响	(42)
2.6.1	零平面位移	(42)
2.6.2	植被冠层上的风速廓线	(43)
2.6.3	植被冠层内的风速廓线	(43)
第3章	沙物质及其基本性质	(44)
3.1	沙物质及其来源	(44)
3.1.1	沙物质的概念	(44)
3.1.2	沙物质的形成	(44)
3.1.3	沙物质的来源	(45)
3.2	沙物质的颗粒性质	(46)
3.2.1	沙物质颗粒大小度量	(46)
3.2.2	沙物质颗粒粒度分级	(47)
3.2.3	沙物质颗粒的形状、磨圆度与表面组织	(49)
3.2.4	沙物质颗粒的方位与重度	(51)
3.2.5	沙物质细微颗粒的特殊理化性质	(51)
3.3	沙物质的群体性质	(52)
3.3.1	粒径分布表示方法	(52)
3.3.2	粒度参数	(54)
3.3.3	孔隙率	(55)
3.3.4	容重	(56)
3.3.5	渗透率	(56)
3.3.6	含水率	(57)
3.3.7	休止角	(57)
3.3.8	沙物质的热状况	(57)
3.3.9	沙物质水分状况的特殊性	(58)

第 4 章 风沙运动	(59)
4.1 沙粒的起动机制	(59)
4.2 沙粒的起动风速	(64)
4.2.1 粗沙粒的起动	(64)
4.2.2 细小沙粒的起动	(66)
4.2.3 天然混合沙的起动	(66)
4.3 沙粒运动的基本形式	(67)
4.3.1 蠕移运动	(67)
4.3.2 跃移运动	(68)
4.3.3 悬移运动	(69)
4.4 气流和水流中泥沙运动的主要差别	(70)
4.5 沙粒的运动轨迹和轨迹方程	(71)
4.5.1 沙粒的运动轨迹	(71)
4.5.2 沙粒的运动轨迹方程	(73)
4.6 风沙流中沙粒的旋转运动	(77)
4.6.1 沙粒旋转运动特征	(77)
4.6.2 影响旋转运动的因素	(78)
4.6.3 沙粒旋转速度的推算	(79)
4.7 风沙流的输沙量	(79)
4.7.1 输沙量的计算	(79)
4.7.2 输沙量的影响因素	(83)
4.8 风沙流的结构特征	(85)
4.8.1 风沙流中含沙量的垂直分布	(85)
4.8.2 风沙流结构特征指标	(86)
4.8.3 风沙流结构的影响因素	(88)
4.9 风沙流运动模型	(92)
4.9.1 刘贤万的研究结果	(93)
4.9.2 刘大有等的研究结果	(94)
4.9.3 贺大良、高有广的研究结果	(95)
第 5 章 风沙地貌的形成及演变	(97)
5.1 蚀积原理	(97)
5.2 风沙地貌的形成	(98)
5.2.1 风蚀地貌	(98)
5.2.2 风积地貌	(100)
5.3 沙丘运动	(110)
5.3.1 沙丘的运动过程与动力学特征	(111)
5.3.2 沙丘移动的影响因素	(113)

5.3.3	沙丘移动方式	(115)
5.3.4	沙丘移动速度	(116)
第6章	土壤风蚀	(119)
6.1	土壤风蚀原理	(120)
6.2	土壤风蚀的一般过程	(121)
6.2.1	土壤风蚀的初始运动	(121)
6.2.2	土壤风蚀阶段	(122)
6.2.3	土崩	(124)
6.2.4	分选	(125)
6.2.5	风力侵蚀方式	(126)
6.3	土壤风蚀的影响因子	(127)
6.3.1	风蚀侵蚀性因子	(127)
6.3.2	风蚀可蚀性因子	(135)
6.3.3	人为因素	(140)
6.4	土壤风蚀分类与分级	(143)
6.4.1	土壤风蚀分类	(143)
6.4.2	土壤风蚀分级	(145)
6.5	土壤风蚀模型	(147)
6.5.1	通用风蚀方程(WEQ)预报模型	(148)
6.5.2	修正风蚀方程(RWEQ)预报模型	(149)
6.5.3	帕萨克风蚀模型	(151)
6.5.4	Cravaiolic 的风蚀模型	(152)
6.5.5	波查罗夫风蚀模型	(152)
6.5.6	得克萨斯侵蚀分析模型(TEAM)	(153)
6.5.7	风蚀评价模型(WEAM)	(153)
6.5.8	风蚀预报系统(WEPS)模型	(154)
6.5.9	流域多变量风蚀预测模型	(156)
6.6	土壤风蚀荒漠化及其危害	(157)
6.6.1	土壤风蚀荒漠化的定义	(157)
6.6.2	土壤风蚀荒漠化的危害	(157)
第7章	沙尘暴	(160)
7.1	沙尘暴及其危害	(160)
7.1.1	沙尘暴的概念与分级	(160)
7.1.2	沙尘暴天气状况及危害	(161)
7.2	沙尘暴的形成及影响因素	(164)
7.2.1	沙尘暴形成的动力条件	(164)

7.2.2	沙尘暴发生的物质基础	(167)
7.2.3	地形地貌因素	(169)
7.2.4	人为因素	(170)
7.3	沙尘暴的时空分布	(170)
7.3.1	国外沙尘暴的地理分布	(170)
7.3.2	我国沙尘暴的时空分布	(172)
7.4	中国沙尘暴策源地与发生路径	(176)
7.4.1	沙尘暴策源地	(176)
7.4.2	沙尘暴发生路径及影响地域	(177)
7.4.3	沙尘暴引起的气象变化	(178)
第8章	风沙物理学研究方法	(180)
8.1	野外调查与观测	(180)
8.1.1	沙源调查	(181)
8.1.2	风成地貌成因调查	(182)
8.1.3	沙丘基本状况调查	(183)
8.1.4	风沙运动观测	(184)
8.1.5	沙尘的采集与观测	(192)
8.1.6	地表形态变化观测	(194)
8.2	风洞模拟实验	(196)
8.2.1	风洞结构及一般原理	(197)
8.2.2	沙风洞	(201)
8.2.3	相似条件与模型实验方法	(207)
8.2.4	风洞模拟实验研究内容	(209)
8.2.5	风沙现象的相似问题	(212)
8.3	放射性核素示踪法测定土壤风蚀与测年	(214)
8.3.1	^{137}Cs 测定土壤风蚀	(214)
8.3.2	风成沙的年代测定	(218)
8.4	遥感技术和地理信息系统在风沙地貌研究中的应用	(221)
8.4.1	遥感技术的应用	(221)
8.4.2	地理信息系统的应用	(224)
8.5	风信资料整理与应用	(225)
8.5.1	风信资料整理的内容和目的	(225)
8.5.2	分析整理风信资料的方法	(226)
8.5.3	输沙势计算	(230)
参考文献		(233)

1.1 流体及其物理性质

1.1.1 流体的定义与特征

通常我们说能流动的物质为流体,从力学的角度讲,流体是一种受任何微小剪力都能连续变形的物质。只要这种力继续作用,流体就将继续变形(流动),只有当外力停止作用,变形才会停止。固体则不同,当受到剪切力作用时,固体产生一定程度的变形,只要作用力保持不变,固体的变形也就不再变化。由此可见,流体与固体不同,流体具有容易变形(流动)的特征,这就是流体的流动性。

流体按照集态的不同又可分为液体和气体。气体是比液体更容易变形和流动的物质。这是因为,气体的分子分布比液体要稀疏得多。在相同的外界条件下,气相分子与液相分子的大小并无显著差异,而气体所占的体积可以达到相同质量液体体积的约 10^3 倍。可见,气体的分子距很大(与分子直径约为 $2.5 \times 10^{-10} \text{m}$ 相比),分子间的引力是微不足道的。因而,气体的分子除去与器壁和自身相互碰撞外,可以自由运动,故气体极易变形和流动,而且总是充满能够达到的全部空间。液体由于分子距较小,分子间的吸引力较大,在周围分子的作用下能够做没有一定方向和没有固定周期的无规则振动,同时也能够在其他分子间做移动,但不能像气体那样自由运动。所以,液体的流动性不如气体。此外,液体具有一定的体积,并取容器的形状。当液体和气体接触时便会出现液体同气体间的交界面,这种交界面称为液体的自由表面。

1.1.2 流体的连续介质理论模型

众所周知,任何流体都是由分子组成的,分子与分子间是有空隙的。从微观的角度看,流体并不是连续分布的物质。但是,流体力学并不研究微观的分子运动,而是研究由大量分子组成的宏观流体的机械运动。在研究流体的宏观运动时,所取的流体微元是体积无穷小的流体微团(或称流体质点),并认为流体是由无数连续分布的流体微团组成的连续介质。这就是瑞士数学家欧拉(L. Euler)1775年提出的流体作为连续介质的假设。

流体微团的体积虽小,其中却包含着数量非常大的分子。 1mm^3 可以说是很小的体积,但在标准状态下所能包含的气体分子数目就有 2.7×10^{16} 个。可见,气体分子及其