

Technology
实用技术

风力提水与 风力致热



王士荣 沈德昌 刘国喜 编著



科学出版社

风力提水与风力致热

王士荣 沈德昌 刘国喜 编著

科学出版社

北 京

前 言

能源是人类生存和发展的物质基础。半个世纪以来,世界各国为了自身的发展,加大了对煤炭、石油和天然气的开采力度,然而这些化石能源的储量毕竟是有限的,日益加剧的开采,将导致这些燃料资源的枯竭。在发展经济的过程中,大量燃用这些化石燃料,造成了空气污染,给人类的生存环境带来了负面影响,已成为全球性的重大问题之一。为了缓解和改善这种局面,目前世界各国纷纷采取提高能源利用效率、减少能源消耗、改善能源消费结构等措施,寻求化石燃料的替代能源,其中包括太阳能、生物质能、风能、水能、地热能和海洋能等可再生能源。这些可再生能源储量巨大,分布广泛;使用过程中污染少,是清洁能源;它能陆续再生,不必担心用完。

作为可再生能源的一种——风能,它主要来源于太阳能,只要太阳在照射,地球在转动,风能总是存在的。人类对风能的利用已有悠久的历史,开始是用风力助航,后来发展到用风车磨面、提水、榨油等作业,到了 19 世纪末,逐渐兴起了用风力来发电。近 30 年来,风力发电已成为风能利用的一个主要方面。与此同时,风力提水作业在世界范围内应用得仍比较普遍。20 世纪后期,风能利用的另一个途径——风力致热,在一些发达国家首先开始研究和运用。接着,包括我国在内的发展中国家,也陆续开展了这方面的探索,并逐渐在生产和生活中试用。

我国政府对可再生能源及其他新能源的开发利用非常重视,先后制定了一系列方针、政策以及相关法律。2005 年 2 月,通过了《中华人民共和国可再生能源法》,此法“将可再生能源开发利用的科学研究和产业化发展列为科学发展与高新技术产业发展的优先领域”,“并安排资金支持可再生能源开发利用的科学研究、应用示范和产业化发展”,“将可再生能源知识和技术纳入普通教育、职业教育课程”,对“促进可再生能源的开发利用,增加能源供应,改善能源结构,保障能源安全,保护环境,实现经济社会的可持续发展”,起到了积极推动作用。

作者曾较长时间从事可再生能源方面的技术工作,深感包括风能在内的可再生能源的研究、开发和应用的重要性。为了与同行和对风能利用技术感兴趣的同志们一道探讨,本着为推动新能源事业的发展多做点有益工作的想法,编著了本书,旨在向广大读者介绍,除风力发电以外,在其他领域,风能技术也得到了广泛的应用。而且,无论在国内还是国外,这些应用技术的历史更加久远,可以说是人类文明史上的一颗璀璨的明珠。

各位作者的分工如下:刘国喜教授编写了第2章,沈德昌研究员编写了第5章,其余章节由王士荣高级工程师编写,全书由王士荣高级工程师审校并定稿。

本书编写过程中所参考的主要著作和论文已列入书后的参考文献,以便读者进一步查阅,在此对这些文献的作者表示衷心的感谢。

对于科学出版社及其相关人员在完成本书过程中所给予的指导和帮助谨致谢意。

由于水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

2011年5月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 能源及可再生能源	1
1.1.1 能源是人类赖以生存和发展的物质基础	1
1.1.2 能源及可再生能源	3
1.1.3 积极开发利用可再生能源	5
1.2 风能与风能资源	7
1.2.1 风的形成	7
1.2.2 风的能量	13
1.2.3 我国的风能资源	16
1.3 国内外风力提水及风力致热开发概况	18
1.3.1 国外开发概况	19
1.3.2 国内开发概况及前景	20
第2章 风力提水与风力致热的理论基础	23
2.1 流体力学基础	23
2.1.1 流体的几个基本概念	23
2.1.2 作用在流体上的力	29
2.1.3 流体在流动过程中的能量转换	33
2.1.4 阻力与升力	40
2.2 热力学基础	44
2.2.1 几个基本概念	44
2.2.2 传热与储热	49
2.2.3 热管、热泵与制冷装置	54
第3章 风力提水与风力致热的动力源——风力机	63
3.1 风力机的类型、结构及工作原理	63

3.1.1	风力机的类型	63
3.1.2	风力机的结构	64
3.1.3	风力机的工作原理	67
3.2	风力机的功率	71
3.2.1	风轮的功率	71
3.2.2	系统效率与有效功率	72
3.3	风轮面积	73
3.3.1	水平轴升力型风力机的风轮面积	73
3.3.2	风轮实度及叶片形状	74
3.3.3	垂直轴阻力型风力机的风轮面积	76
3.4	风轮正面压力与风轮转矩	77
3.4.1	风轮正面压力	77
3.4.2	风轮转矩	80
3.5	风力机的气动性能	81
3.5.1	风轮的转矩系数	81
3.5.2	风力机的动力特性	81
3.5.3	风轮的功率-转速和转矩-转速特性	83
3.5.4	阻力型风力机动力特性试验研究	84
第4章	风力提水机及其应用	87
4.1	古老的风车	87
4.1.1	波斯风车	87
4.1.2	荷兰风车	88
4.1.3	中国风车	89
4.1.4	风车的改进	90
4.2	现代风力提水机概述	91
4.2.1	风力提水机被广泛应用的主要原因	91
4.2.2	风力提水机的结构特点	92
4.3	俄罗斯的风力提水机	92
4.3.1	ТБ-5 型风力提水机	92
4.3.2	ТБ-8 型风力提水机	96
4.3.3	ВИМ Д-12 型风力提水机	100

4.4 美国的风力提水机	104
4.4.1 概 述	104
4.4.2 丹普斯特风力提水机	105
4.4.3 贝克风力提水机	107
4.4.4 增压提水与风电提水	108
4.5 日本的风力提水机	110
4.5.1 萨瓦里欧斯式风力提水机	110
4.5.2 风力机与水泵的组合类型	112
4.5.3 充气和防冻	113
第5章 我国的风力提水机	115
5.1 高扬程小流量风力提水机	115
5.2 低扬程大流量风力提水机	118
5.3 风力机-空压泵远距离提水机组	121
5.4 几种新型风力提水机	123
5.4.1 FT-2.6 型风力提水机	123
5.4.2 FS-5.8 型风力提水机组的研制	125
5.4.3 IT-2 型风力提水机组的研制	126
5.4.4 风力机配套的离心泵提水	128
5.4.5 风电/光电互补提水系统	129
第6章 风力提水机的提水设备	131
6.1 往复式提水设备	131
6.1.1 单作用式活塞泵的结构与工作原理	131
6.1.2 单作用式活塞泵的工作特性	133
6.1.3 双作用式活塞泵	135
6.1.4 龙骨水车与钢管链条式水车	138
6.1.5 膜片式水泵	139
6.2 旋转式提水设备	141
6.2.1 离心泵的工作原理及其结构	141
6.2.2 离心泵性能的主要参数	144
6.2.3 离心泵的性能曲线和运转工作点	149

6.2.4	自吸式离心泵	154
6.2.5	长轴井泵与潜水电泵	156
6.2.6	螺旋泵与螺杆泵	158
6.3	流体作用式提水设备	161
6.3.1	气力作用式提水设备	161
6.3.2	液力作用式提水设备	164
第7章	风力致热的机理及装置	167
7.1	风力致热的意义及途径	167
7.1.1	风力致热的意义	167
7.1.2	风力致热的途径	167
7.2	风力致热的机理	168
7.2.1	搅拌液体致热	168
7.2.2	油压阻尼孔致热	169
7.2.3	固体摩擦致热	170
7.2.4	液力偶合器式致热器	171
7.2.5	涡电流致热器	172
7.2.6	电热致热系统	174
7.2.7	压缩空气致热	175
7.2.8	热泵等致热方式	175
7.3	热能存储	176
7.3.1	显热存储	176
7.3.2	潜热存储	180
7.3.3	化学存储	183
7.4	换热器	186
7.4.1	换热器的类型	186
7.4.2	表面式换热器的应用	188
7.4.3	换热器计算基本方程式	193
7.4.4	换热器的技术经济指标	194
第8章	风力致热的研究及应用	197
8.1	国内外风力致热的研究及应用举例	197

8.1.1 丹 麦	197
8.1.2 美 国	199
8.1.3 日 本	201
8.1.4 英 国	204
8.1.5 荷 兰	204
8.1.6 中 国	205
8.2 风力致热技术的应用	206
8.2.1 牛奶保鲜及为奶牛场供应热水	207
8.2.2 干燥农产品	208
8.2.3 为沼气池增温和给洗浴供热水	209
8.2.4 风能与太阳能联合调节室内温度	211
8.2.5 风能与太阳能联合淡化海水	212
8.2.6 风力致热的其他应用	214
参考文献	215

第 1 章

绪 论

1.1 能源及可再生能源

1.1.1 能源是人类赖以生存和发展的物质基础

能源是指能够产生能量(如热能、光能、机械能、电能等)的物质,它是人类赖以生存和发展的物质基础。人们的各种活动,无论是劳动生产,还是日常生活,时时处处都离不开能源。对于每个人,能源如同空气和水一样重要,没有能量的供给,人的生命也就停止了。人们的衣、食、住、行、用,都以能源为依托。可以想象,在没有能源或能源极度缺少的情况下,生活、环境将是什么样。

没有能源作后盾,社会进步、经济发展就无从谈起。若是没有电力和燃料,机器就不能运转,工厂只好停工,拖拉机、农机具将停在田间不动;火车、汽车将停止行驶,飞机将不能起飞,轮船将不能航行;各种武器成了一堆废铁;夜间城市、乡村将是漆黑一片……下面再引用一些数据,来进一步说明能源与发展经济和提高人民生活水平之间的关系。

20 世纪是人类发展史上进步很快的阶段,在这一时期,各种能源的开发利用,对促进世界经济的繁荣与发展起到了重要作用,与此同时,能源的消费量也逐年增加。表 1.1 列出了 20 世纪不同年代世界能源的消费情况。

从表 1.1 中可以看出,20 世纪的前 50 年,世界各国的经济发展还不算很快,1950 年的能源消费量(26.64 亿 tce)是 1900 年能源消费量(7.75 亿 tce)的 3.44 倍。第二次世界大战以后,许多国家的经济建设以较快的速度向前发展,能源的消费量也相应地大幅度上升,到 1998 年,能源消费量竟达 121.11 亿 tce,是 1900 年能源消费量(7.75 亿 tce)的 15.63 倍。

进入 21 世纪以后,能源消费更是突飞猛进。2007 年,世界一次能源消费总量(不含生物质能)为 158.93 亿 tce,比 1998 年增加了 31%。

表 1.1 20 世纪世界能源消费构成

年 份	能源消费量 (亿 tce)	能源消费构成(%)			
		煤 炭	石 油	天然气	水力及核能
1900	7.75	95.0	4.0	—	1.0
1950	26.64	59.3	29.8	9.3	1.6
1960	42.33	48.9	35.8	13.4	1.9
1973	84.48	28.0	48.1	21.4	2.5
1975	85.70	29.1	46.1	21.9	2.9
1978	87.55	32.0	45.2	19.9	2.9
1990	114.76	27.3	38.6	21.7	12.4
1996	119.72	26.9	39.6	23.5	10.0
1997	121.56	27.0	39.9	23.2	9.9
1998	121.11	26.2	40.0	23.8	10.0

注:tce 表示“吨标准煤”。

1987 年 5 月,意大利的能源专家来北京作学术报告,从专家的报告中整理归纳出以下数字:若以 1985 年美国的人均国民收入和人均能源消费量各为 100,则其他几个发达国家同期的相对比例如表 1.2 所示。尽管人均能源消费量与技术水平、能源利用效率和经营管理等因素有关,但是,在通常的情况下,人均国民收入高者,人均能源消费量也要多一些。

表 1.2 1985 年几个发达国家人均国民收入与人均能源消费量的相对比例

	国 家						
	美 国	日 本	联邦德国	法 国	英 国	意大利	西班牙
人均国民收入	100	66.91	62.04	56.34	47.76	38.27	26.80
人均能源消费量	100	42.65	58.47	46.30	47.43	33.44	26.15

从世界范围看,经济越发达,能源消费量就越大。虽然从 2010 年起我国的经济总量已经上升至世界第二位,但我国仍属于发展中国家,人均 GDP 水平仍然较低,与欧美发达国家相比,一次能源人均消费量仍然很低。1997 年人均能源消费量仅为 1.16tce,不到世界人均能源消费量(2.4tce)的一半,而同一年北美人均能源消费量竟超过 10tce,欧洲和独联体人均能源消费量在 5tce 左右。近几年,随着我国经济的快速增长,人均能源消费量也逐渐上升,2007 年达到 1.99tce,但这也仅仅是世界平均水平的 80%左右。

2001 年,我国人均 GDP 为 878 美元;2010 年,我国人均 GDP 已经接近 4000 美元。预计到 21 世纪中叶,我国要实现经济社会发展的第三步战略目标,国民经济将达到中等发达国家水平,届时人均 GDP 将达到 12 000 美元,但

我国每年人均能源消费量估计也仅相当于目前的世界平均值。

由此可见,能源对人类文明、社会进步,经济建设的发展和人民生活水平的提高是何等的重要。

1.1.2 能源及可再生能源

在能探测到的星系里,地球是一颗得天独厚的行星,它有多种能源供人类生存与发展,人们正是有效地利用了这些能源,才把地球装扮得美丽多彩、生机勃勃。宏观地讲,地球上的能源来自三个方面。

一是来自太阳的能源。太阳除了其光和热可以直接被人类利用外,太阳能还是地球上多种能源的主要来源。目前人类所需能量的绝大部分都直接或间接地来源于太阳能。各种植物通过光合作用,把太阳能转变成化学能,在植物体内储存下来,一部分在地球表面,供人类和动物利用,另一部分由于地壳的变迁被埋入地下,变成了化石燃料,如煤炭、石油、天然气等矿物燃料,它们是古代被埋在地下的动植物,经过漫长的年代,在不同的地质条件下形成的,所以矿物燃料实质上是古代生物固定下来的太阳能;另外,风能、水力能和海洋波浪能等,也都是由太阳能转换而来的。

二是地球内部固有的能源,如地热能与核能。地球是个巨大的热库,里面蕴藏着异常丰富的热能,其热量一方面是地球形成时所固有的,另一方面是地球内部非稳定元素的同位素衰变所释放出来的。已有核电站所用的主要原料是重金属元素铀、钚等,它们通过原子核分裂(裂变)释放出能量;目前,由轻元素的原子核发生聚合反应(聚变)而释放能量的核电站,其主要原料是氢的同位素(氘或氚)。核能所用的主要原料可分别从矿石和海水中提取。

三是潮汐能。潮汐是由月球(主要的)、太阳(次要的)乃至其他天体(更为次要的)对随地球旋转的海水产生的引力而形成的涨潮和落潮。海洋水位的升降伴随着海水的流动,当其运动受到弯曲的海岸阻碍时,会使涨潮和落潮的水位高度差(潮差)产生较大的变化,如加拿大的芬地湾,最大潮差竟达 16m。潮汐电站就是为了利用海水位能的变化而建造的。

从不同侧面来分析研究时,能源可以有不同的分类方法,现将其概括于表 1.3 中,并做简要的说明。

表 1.3 中所列的一次能源和二次能源是按能源的生成方式来划分的。一次能源又称自然能源,它是自然界中以天然形态存在的能源;二次能源则是指

人们将一次能源经过加工转换,变为符合需要的能量形式。例如,煤炭是一次能源,经过干馏处理,变成了焦炭和煤气等二次能源;石油是一次能源,经过提炼,得到了汽油、煤油、柴油和重油等二次能源。

表 1.3 能源分类

类 别		来自太阳的能源			星体间相互作用产生的能源	地球上固有的能源
一次能源	可再生 能源	常规能源	新能源			
		水能	太阳能 风能 生物质能	海洋能		地热能
				海洋波浪能 海水温差能 盐度差能 海洋流能	潮汐能	
	非再生 能源	煤炭 石油 天然气	油页岩			核 能
二次能源		焦炭、煤气、电力、氢气、蒸汽、柴油、酒精、汽油、煤油、重油、液化气、木炭、生物质燃气、沼气、电石				

一次能源按其是否能够源源不断、用之不竭,分为可再生能源与非再生能源。太阳能、水能、风能、生物质能、海洋能和地热能,随着时间的推移而不断生成,是可再生能源,不会因人类的开发利用而日益减少,具有自然的恢复能力;煤炭、石油、天然气、油页岩和核燃料,越用越少,它们是非再生能源。

对于来自太阳的可再生能源,人们很容易理解,因为只要太阳不毁灭,这些种类的能源就会源源不断地形成;潮汐能是星体间相互作用产生的能源,只要星体间的作用力存在,它的形成就不会终止。把地热能划为可再生能源,大体上是这样考虑的:地球内部是个非常巨大的“热库”,其热量约为 $1.25 \times 10^{31} \text{ J}$,一般认为其热量与地球(及地壳)的形成与固化(收缩及压力)有联系;还和地球物质中放射性元素衰变(原子核能的释放过程)产生的热量有关,而且这种放射性元素的衰变将连续、长久地进行下去。

常规能源与新能源是这样划分的:技术上比较成熟,已被人类广泛应用的能源,称为常规能源;新能源一般是指在新技术基础上进行开发利用的能源。表 1.3 中所列的生物质能,不是指生物质被直接、粗放地燃用,而是指用新技术(如气化、发酵等)开发利用的现代能源。新能源与常规能源是相对而言的,现在的常规能源过去也曾是新能源,如今的新能源将来也会成为常规能源。

另外,能源还有商品能源与非商品能源之称。商品能源是指通过流通环节大量销售的能源,如煤炭、石油、电力等;而风能、太阳能等就地开发利用的能源,则常常是非商品能源。

1.1.3 积极开发利用可再生能源

随着世界经济的发展,对煤炭、石油、天然气等化石燃料的需求越来越大,然而它们的储量毕竟是有限的,日益加剧的开采和使用,终究将导致这些化石燃料枯竭。大量燃用这些化石燃料,还会造成空气污染和地球变暖等重大环境问题。为了缓解和改善这种局面,目前世界各国都纷纷采取提高能源利用效率、节省能源消耗、改善能源结构,寻求化石燃料的替代能源,其中包括太阳能、生物质能、风能、水能、地热能和海洋能等可再生能源。这些可再生能源储量巨大,分布广泛,能陆续再生,不必担心资源枯竭的问题。

1. 必须寻求化石燃料的替代能源

当今世界所用的能源主要是石油、天然气和煤炭等化石燃料。1997 年对世界一次常规能源消费构成的调查结果中,石油占 39.9%、煤炭占 27%、天然气占 23.2%,三者合计为 90.1%。随着经济的发展、人口的增加及生活水平的提高,世界能源消费量将以每年 3% 左右的速度增长,到 2020 年,世界一次常规能源消费总量将由 1997 年的 121.56 亿 t 增加到 200 亿~250 亿 t。按目前国际上通行的能源预测方法估算,石油资源将在 40 年内枯竭,天然气资源将在 60 年内用光,煤炭资源也只能使用 220 年左右。

我国的能源资源虽然比较丰富,但是人口太多,人均能源资源相对较少,其中,煤炭的人均探明储量为世界人均值的 70%;石油的人均探明储量为世界人均值的 11%;天然气的人均探明储量为世界人均值的 4%。面对我国经济快速发展的形势,能源问题不容乐观。

在人类开发利用能源的历史长河中,以石油、煤炭和天然气能源为主的时期,仅是一个不太长的阶段,终将结束,最终将被新的能源时期所代替。根据国际权威机构的预测,到 2060 年,全球新能源(含核能、氢能等)与可再生能源占世界能源构成的比例将会达到 50% 以上,成为人类社会未来能源的基石,是目前大量燃用的化石燃料的替代能源。

可再生能源数量巨大,但是一般都很分散;与化石燃料相比,它的能量密度低(单位质量或单位体积所能获得的能量少);有的可再生能源是间歇性的、变

化的,给收集、利用带来不便。

2. 可再生能源清洁干净,污染物排放少,有利于保护环境

全球气候变化是当前国际社会普遍关注的重大环境问题,主要是因为大量燃用化石燃料会产生 CO_2 等温室气体。我国是全世界少数几个以煤炭为主的能源消费大国,我国煤炭的消费量占世界煤炭总量的 27% 左右。1999 年,我国排放的 CO_2 中含有 6.19 亿 t 碳,居世界第二位,其中,85% 是由燃煤排放的。2000 年,我国排放的 SO_2 为 1995 万 t,居世界第一位,其中,90% 是由燃煤排放的;排放烟尘 1165 万 t,其中,70% 是由煤炭等燃烧排放的。燃烧煤炭所产生的温室气体的排放量比燃烧同热值的天然气高 61%,比燃油高 36%。大量使用化石燃料(特别是煤炭)对环境造成的污染非常严重,排放到大气中的 SO_2 形成的酸雨也给经济造成了相当大的损失。

可再生能源清洁干净,应用过程中排放的污染物很少。以发电为例,目前各种发电方式的碳排放量 $[\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$:煤发电为 275,油发电为 204,天然气发电为 181,太阳能热发电为 92,太阳能光伏发电为 55,波浪发电为 41,海水温差发电为 36,潮汐发电为 35,风力发电为 20,地热发电为 11,核能发电为 8,水力发电为 6。这些数据是将各种发电方式所用的原料和燃料的开采和运输、发电设备的制造、电源和网架的建设、发电设备的运行和维护保养、废弃物排放的处理等所有环节中消费的能源的碳排放量,按照各种发电方式在寿命期的发电量计算得出的。从中可见,使用可再生能源是保护人类赖以生存的生态、环境,走经济社会可持续发展之路的重大措施。

3. 可再生能源分布广泛,可就地采用

可再生能源多种多样,分布极为广泛,人们可根据需要就地开发、就地使用。

迄今为止,世界上欠发达地区还有 20 多亿人口尚无电可用,他们多数仍过着贫困落后的生活;还有一些特殊的领域,如高山气象站、地震测报台、森林火警监视站、光缆通信中继站、微波通信中继站、边防哨所、输油输气管道阴极保护站、海上航标等,那里一般没有常规的电源可用,燃料供给也很困难,开发可再生能源是解决供电、供热问题的重要途径。

开发利用可再生能源,对于偏远地区、山区、电网覆盖不到的地区及居民分散、落后贫困、交通不便的地区更为有利,既可以解决能源供给问题,又有利于增加劳动就业机会,有助于改善当地居民的生活质量。

4. 实施激励政策,促进可再生能源的开发利用

近 20 年来,全世界越来越重视可再生能源的开发利用,很多国家把可再生能源资源开发利用作为可持续发展总战略的组成部分,在立法、规划、税收、应用等诸多方面予以支持、鼓励和实施优惠政策,有许多重大项目被列入国家计划。1992 年,美国政府颁布新的政策支持光伏电池发展计划;1997 年 6 月 26 日,美国总统克林顿宣布了“太阳能百万屋顶计划”。2000 年,德国修订并实施了“可再生能源优先权法案”,同时还实施了“1000 个屋顶光伏系统计划”。日本自 1993 年开始执行“新月光计划”,1994 年开始实施“韩日七年计划”。丹麦政府对用风力发电实施安装补贴政策……

我国政府对新能源与可再生能源的发展也十分重视,已先后出台了一系列方针、政策、规章制度乃至相关法律。2006 年 1 月 1 日正式实施了《中华人民共和国可再生能源法》,此法“将可再生能源开发利用的科学研究和产业化发展列为科学发展与高技术产业发展的优先领域”,“安排资金支持可再生能源开发利用的科学研究、应用示范和产业化发展”,“将可再生能源知识和技术纳入普通教育、职业教育课程”,对“促进可再生能源的开发利用,增加能源供应,改善能源结构,保障能源安全,保护环境,实现经济社会的可持续发展”起到了积极的推动作用。

现在,世界各国对加大可再生能源的开发力度的历程虽然不长,但其发展前景一片光明,可再生能源对人类的发展将会有越来越多的贡献。

1.2 风能与风能资源

1.2.1 风的形成

我们通常所说的风,主要是指空气相对于地球表面的平行流动,它是最常见的自然现象之一。风形成的主要原因是太阳辐射而起的空气流动。当地面(或海面)受到太阳辐射,温度升高,空气的体积膨胀、变轻,向上流动,地面气压降低,附近的温度低、气压高的空气就会流来补充。流来的冷空气受热后,又会上升,如此不断流动的空气便形成了风。相邻地域的空气压差越大,空气流动就越快,风也就越大。

在不同的地域,形成风的条件也不同。假如地球表面各处地貌是一样的;地球也不转动;赤道处温度高,两极处温度低,则赤道附近空气受热膨胀上升

后,从高空流向两极;两极处的冷空气,沿地球表面流向赤道,就形成了简单的、有规律的环流。然而,实际情况并非如此。例如,地球由西向东在不停地转动,从南、北方向沿地球表面流到接近赤道附近的冷空气,由于惯性作用而向西偏移;地球的旋转轴线与地球绕太阳旋转平面的垂线呈 $23^{\circ}27'$ 的夹角,致使地球表面各处在一年的之内接受太阳光的条件在变化着,形成了春、夏、秋、冬,各地的气温在不停地变化,空气的流动情况则受到了季节的影响。

地球表面各处地貌千差万别,有海洋、陆地、高山、平原、湖泊……由于陆地的比热比海洋小,因此白天陆地上的气温比海面上的气温上升得更快,这样,陆地上较热的空气就膨胀上升,而海面上较冷的空气便流向陆地,以补充上升的热空气,这种吹向陆地的风称为“海风”。在夜间,其风向恰恰相反,因为陆地比海洋冷却得更快,所以陆地上的冷空气流向海面以补充那里上升的热空气,这种从陆地吹向海洋的风称为“陆风”。它在中纬度地区可以从海岸线深入内陆 50km;而在热带地区则可深入内陆 200km。海风、陆风的形成过程如图 1.1 所示。这种现象在内陆较大的湖泊附近也能感受到。

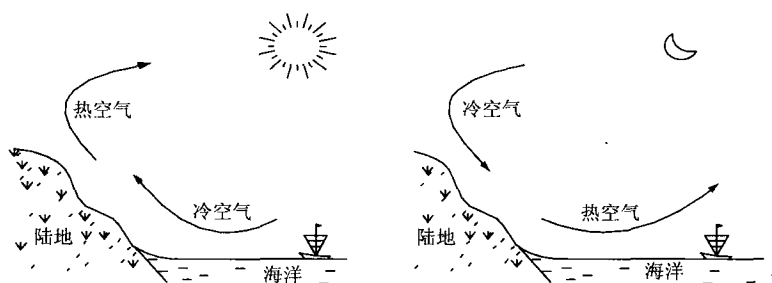


图 1.1 海风、陆风的形成过程示意图

在多山地区也会出现类似的地方性风。白天因为山顶比山谷热得早,所以山顶上的空气受热变轻上升,山谷里冷而重的空气就沿着山坡流向山顶以补充上升的空气,风由山谷吹向山顶,称为“谷风”;而夜间则发生相反的过程,风是从山顶吹向山谷,称为“山风”。变化情况如图 1.2 所示。

一般用风向和风速来表征风的基本特征。在不同地区、不同自然环境、不同时间里,风向和风速是各不相同的,并且是变化着的,但是,就某一地域而言,在年复一年的岁月里,风向和风速的变化却又常常具有一定的规律性。

风向是指风吹来的方向,如从西面吹来的风称为西风。地球上各地域的风向是不同的,并且常常在变化着。影响风向的因素较多,如地理位置、地表状