



风能概论

FENGNENG GAILUN

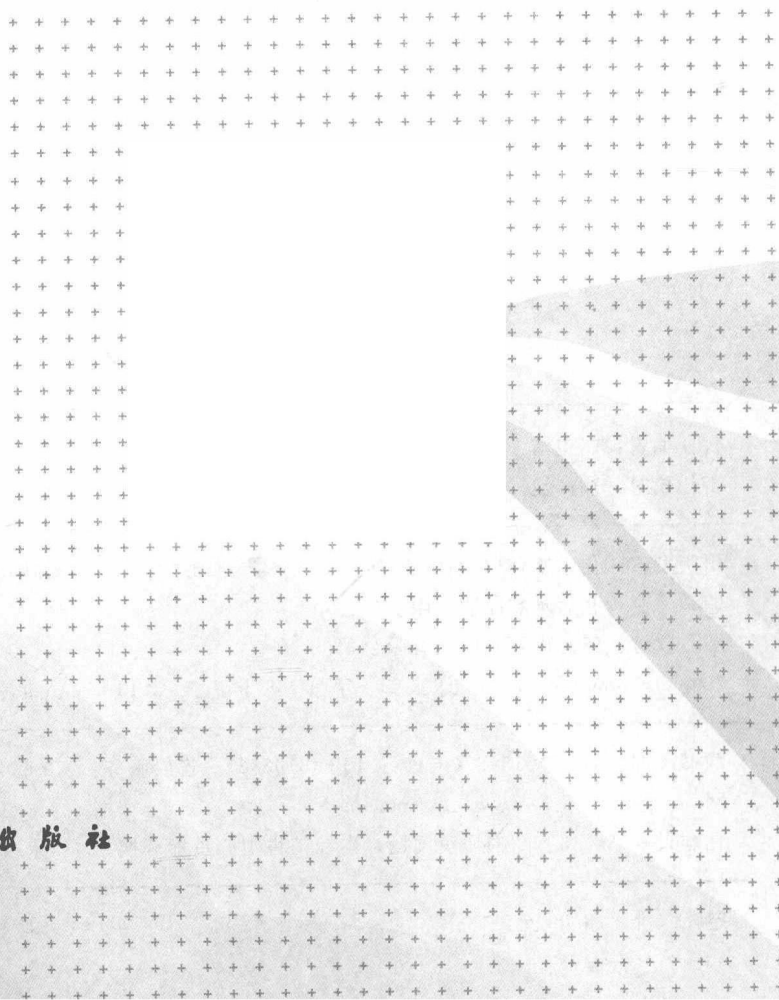
原 鲲 王希麟 编著

化学工业出版社

风能概论

FENG NENG GAILUN

原 鲲 王希麟 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

TK81
Y931

图书在版编目 (CIP) 数据

风能概论/原鲲, 王希麟编著. —北京: 化学工业出版社, 2009. 12

ISBN 978-7-122-06903-0

I. 风… II. ①原…②王… III. 风力能源-概论
IV. TK81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 191857 号

责任编辑: 赵玉清

文字编辑: 颜克俭

责任校对: 郑捷

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装订: 三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张 11 字数 168 千字 2010 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

序

当今，无论如何强调发展新能源和可再生能源的意义都不过分。我们的世界正面临着由于以化石燃料为基础而支撑的能源系统带来的一系列威胁：资源枯竭、环境污染、生态恶化、气候变化、贫富不均，直至由于能源问题而引发的国与国之间、地区之间的冲突、纠纷不断，直至战争。新能源和可再生能源具有资源可持续、清洁、分布均衡等特点，必将成为未来可持续能源系统的支柱。

我国的经济社会正在快速发展。在能源方面，我们既需要充足的能源供应以保障全面建设小康社会目标的实现，同时我们也面临着国内资源和环境的威胁，国际社会温室气体减排的压力。因此，国家把发展新能源和可再生能源作为长期能源战略的重要组成部分，而且制订了以《可再生能源法》为基础的一系列政策措施。几年来，新能源可再生能源在我国得到了快速发展，其广阔的前景正日益显现出来。

清华大学长期致力于能源科学研究和人才培养，形成了新型核能、太阳能、风能、生物质能以及新能源战略和政策等领域的新能源科研和教学体系，取得了一批有影响的科技成果。以这些科研和教学经验为基础，并吸收了国内外同行的大量研究成果，在化学工业出版社的支持下，几位教师编写了这套新能源丛书。

丛书按能源种类分册，内容涉及发展新能源的战略和政策，各类新能源资源核技术的特点、技术和产业发展现状、未来的发展趋势展望等。丛书内容丰富、通俗易懂，从中可以较清晰地了解发展新能源的意义，各种新能源技术的基本原理和发展路线、发展前景等，对于广泛和系统了解和认识新能源，这是一套很好的读物。

当然，新能源的发展是一个很复杂的系统工程，是一个很长的产业链、政策链和基础设施链，牵涉到技术、体制、政策、社会和个体的行为。所以，要起到有份额的作用，还有很长的路要走，尤其和我国国情有十分紧密的联系。在此期间，各种技术的发展有可能不一致，会有

很大的差异性。我们目前的认识，在技术发展有新突破、政策上有新措施的前提下将会有很大的变化。今天我们认为有前途的方向可能将来会“边缘化”，一些新的方向可能“异军突起”。总之，我们作为科技工作者应该结合国情不断变化地在技术创新方面下功夫，走出我国自己的新能源和可再生能源发展的道路来。相信这套丛书的发行，会在提高社会各界对新能源的了解，普及新能源知识，促进我国新能源快速发展方面做出应有的贡献。

虽然丛书中有有关可再生能源的描述，社会上的专家不见得完全意见一致，有些同志会有不同的看法，这是很正常的。一个新生事物的发展总不可避免的有各种看法，在争议中成长。但是，了解它是第一位的，只有不断深入的了解，不断实践才会逐渐接近真理，这套丛书的作用就在于此。

清华大学教授

工程学院院长

倪维斗

2009.12.4

前 言

能源是人类社会经济发展的基石。人类社会自工业革命以来，对能源的需求一直呈现单调上升的趋势。在短短的一百多年间，GDP增长了近100倍，年均化石能源消耗量增长了约50倍。但必须清醒地看到，今天的现代文明是建立在对宝贵而又稀少的化石能源的大量使用的基础上的，现有的能源系统不可持续，在能源安全、环境污染、气候变化等各个方面都面临巨大的挑战。

近几十年来，人类开始将目光投向储量巨大、分布广泛、清洁安全的可再生能源，并在开发、示范和推广方面迈出了坚实的步伐。在主要的可再生能源中，风电是除水电外成本最接近商业利用的能源，也是近年来全球发展最快的能源种类之一。2008年全球新增风电装机容量超过2700万千瓦，比2007年增长了29%。风力发电量在全球能源消耗量中的比重已占到1.5%，而1997年时还不过0.1%。

我国是全球风电发展最快的国家之一。2007年9月国家发展和改革委员会（发改委）在公布中国《可再生能源中长期发展规划》时，风电的发展目标是2010年达到500万千瓦装机容量。但这个规划其实在2007年当年就已经实现。时隔仅半年，2008年3月发改委发布《可再生能源发展“十一五”规划》，将风电2010年装机容量目标调整到1000万千瓦，比《中长期发展规划》翻了一番。但即便这个扩容了一倍的目标，仍然比计划提前两年完成，并使中国超过印度，成为第四个装机容量超过1000万千瓦的大国，当年新增装机容量占全球新增装机总量的23%。

风能正成为政府、投资方、科技界、产业界各界的关注焦点。在了解风能的政策、战略、技术、产业等方面的综合信息方面，产生了较大的阅读需求。但纵观现有的图书，有些过于肤浅，把风能涵盖在能源、新能源或可再生能源中一并进行概述；有些过于微观，成为针对风能利用技术特定方面的专业论著。通过一本图书，使读者在较短的时间内，

对风能有一个全面而系统的认识，成为本书的编写宗旨。

本书主要介绍了人类对风能认识和利用的发展历程、风的本质及产生机理、风力机原理及种类、风力发电及其他应用系统，最后介绍了我国及全球的风电技术、产业、政策发展趋势和展望。本书在编写中力求图文并茂、深入浅出，使读者对风能有一个总体的、全面的了解。

本书可作为普通高等学校各专业本科生或高等职业技术学校各专业高职生能源类通选课的教学参考书，也可作为风能知识的普及读本，为从事风能技术领域工作的科研开发人员、项目管理人员以及广大风能爱好者全面了解风能提供参考。

本书在编写过程中得到了编者所在单位领导和同事们的支持与帮助。编写过程中参考了大量的有关专著与文献，在此向其作者表示感谢。

由于水平所限，书中难免不妥之处，敬请读者给予批评指正。

编 者

2009年9月于清华园

作者简历

原鲲，工学博士，清华大学核能与新能源技术研究院副研究员。1972年出生于山西阳城，1989~1994年就读于清华大学工程力学系，获工学学士学位；1994~2001年就读于中国科学院力学研究所，获工学博士学位；2001~2002年在中国科学院工程热物理研究所作博士后，随后留所工作，2003年晋升副研究员。2005年调入清华大学核研院工作，从事能源政策、战略和相关技术研究，曾获中科院科技进步一等奖一项，国家发明专利三项，发表学术论文三十余篇，专著及译著三部。

王希麟，1970年清华大学工程力学数学系毕业后留校任教，1990~1991年赴德国斯图加特大学空气动力研究所合作研究，1992年晋升副教授，1998年晋升教授，1999年被批准为博士生导师，历任清华大学工程力学系工程热物理研究所副所长、实验室主任，清华大学煤的清洁燃烧技术国家重点实验室副主任，清华大学北京市3E能源重点实验室主任，中国工程热物理学会两相流专业委员会委员，中国力学学会实验流体专业委员会副主任，北京市专家顾问团顾问，《实验力学》、《实验流体力学》等期刊编委，主要从事两相流动、燃烧、环境与新能源技术等研究，曾获国家教委科技进步一等奖、三等奖及北京市科技进步三等奖。已发表学术论文一百余篇。

目 录

1 人类认识和利用风能的历程 / 1

1.1 远古的风神传说	1
1.2 人类利用风能的历史	4
1.2.1 风帆助航	4
1.2.2 农业生产	6
1.2.3 风力发电	8
1.3 人类对风的认识进展	12
参考文献	18

2 风的本质及其表征 / 19

2.1 空气的宏观静态特征	19
2.2 空气的流体力学特征	23
2.3 风的形成机制	28
2.4 大气的流动图案	32
2.5 风的测量与表征	42
2.5.1 风向测量	42
2.5.2 风速测量	44
2.5.3 风速与风级	46
2.5.4 风速随时间的变化	47
2.5.5 风速随高度的变化	48
参考文献	50

3

风力机概论 / 51

3.1 风力机简介	51
3.1.1 风力机空气动力学基础	51
3.1.2 风力机工作原理	52
3.2 各种类型的风力机	58
3.2.1 水平轴风力机	58
3.2.2 竖直轴风力机	63
3.3 水平轴和竖直轴风力机对比	70
3.4 水平轴风力机产业及技术现状	73
3.5 竖直轴风力机产品及应用	77
参考文献	83

4

风力发电系统 / 85

4.1 系统组成	85
4.2 运行方式	90
4.2.1 独立运行	90
4.2.2 风力-柴油互补发电	92
4.2.3 并网发电	93
4.3 风电场选址	95
4.3.1 选址程序	95
4.3.2 宏观选址技术条件	96
4.3.3 微观选址要则	97
4.4 风能与其他新能源的互补系统	98
4.4.1 风能-水能互补发电	100
4.4.2 风能-太阳能互补发电	103
参考文献	108

5

风能的其他利用 / 111

5.1 风力提水	111
----------	-----

5.1.1	我国风力提水概况	111
5.1.2	风力提水技术简介	113
5.1.3	风力提水市场潜力	116
5.2	风力制氢	118
5.2.1	氢能与燃料电池	118
5.2.2	以氢为载能体的风能发电系统实践	121
参考文献		129

6 我国风能发展概况 / 131

6.1	我国风能资源储量及分布	131
6.1.1	我国风能资源储量	131
6.1.2	我国风能资源分布	132
6.2	风能对我国能源可持续发展的意义	134
6.2.1	能源可持续发展定义	134
6.2.2	我国能源利用现状、障碍和挑战	135
6.2.3	风能对于可持续发展的意义	138
6.3	我国风能发展概况	139
6.3.1	风能相关发展规划、项目、政策和法规	139
6.3.2	风能产业发展概况	145
6.4	我国风能展望	151
参考文献		153

7 全球风能发展概况 / 155

7.1	全球风能资源与特征	155
7.2	全球风能开发利用和实践	156
7.3	典型地区的风能开发利用	161
参考文献		165

1 人类认识和利用风能的历程

1.1 远古的风神传说

风，无形无骨，随形而赋势；风，依树枝的方向，可东可西；风，依地势的起伏，可旋可升……风是自然界中一种最没有规律最不可捉摸的现象，它来无影、去无踪，扬起一阵风尘一片迷蒙就再也无迹可寻。

但是，在以年为单位的漫长岁月里，风又是有规律可循的。我们的祖先们年复一年，随着四季风雨的流转轮回，日出而作，日入而息，春耕夏耘、秋收冬藏……他们知道同样的风会在同样的时候如期而至，带来大地风光的变化，也给他们带来丰收或灾难，每年如约而至的风就像是一个从不误时的信使，因此，他们就将这种季候风现象称为信风，把风称为天的使者。殷墟卜辞就有“帝使风”的记载，以及四时风神的记载。《山海经》中还有四方风神，即东风之神折，南风之神因，西风之神石夷，北风之神鹑。这四位风神分居东、南、西、北四方，负责控制春、夏、秋、冬之风的出入。纬书《河图帝通纪》说：“风者，天地之使。”《白虎通义·八风篇》云：“风之为言萌也，养物成功。”风化成万物，也决定人间礼乐教化。《乐纬动容仪》说：“风气者，礼乐之使，万物之首也。物靡不以风成熟也。”这说的不是比喻，而是实情。《国语·周语》说朝廷的乐官太师负责听协风，即春风。发现春风开始吹拂了，就要报告天子，然后朝野上下全面动员，举行盛大的春耕仪式，即籍礼。《月令》是古人的时宪书，其中就不仅明确地记载了古人对四时风之变化及其对自然物候和人间生活的影响，也规定了与每个季节相适应的庆典、礼仪和政令，“孟春之月，……东风解冻，”“季夏之月，……温风始至，”“孟秋之月，……凉风至，白露降，寒蝉鸣。”“仲秋之月，……盲风至，鸿雁来，玄鸟归，群鸟养羞。〔1〕”

正因为古人切身地体会到，人间的生活是由四时来风推动的。因此，就遵循风的提示认识和理解自己的生活，就顺理成章地把人世间那

些世代流传的、亘古不变的生活节律和生活方式称为“风俗”。不仅如此，人类还从无休无止的风中进行感悟，创造出各种各样的风之意象。从庄子《齐物论》的“夫大块噫气，其名为风”的自然之风，到宋玉《风赋》的“夫风生于地，起于青萍之末”的大王之雄风和“夫庶人之风，塙然起于穷巷之间”的庶人之雌风，乃至刘邦《大风歌》的“大风起兮云飞扬”的雄壮浩然之气势。古人对风的感悟，展示了极其精彩的风之意象，令人为之震撼。

风作为一种普遍的直观气象，从远古就成为人们崇拜的对象。古典文献早有风伯、风师、风姨以及奇异的风山、风穴、风井的记载。在民间也一直有拜“风婆婆”的信仰习俗，许多地区建有风神庙。

在汉族，风神亦称风伯、风师，其信仰起源甚早。《山海经·大荒北经》记载：“蚩尤作兵，伐黄帝。请风伯、雨师，纵大风雨。”《周礼·大宗伯》称，“以燎祀司中、司命、风师、雨师”。东汉蔡邕《独断》则称，“风伯神，箕星也。其象在天，能兴风”。箕星即是人马座的V、B、E、Y四星，为二十八宿中东方七宿之一。

楚地亦有称风伯为飞廉（或蜚廉）的。屈原《离骚》有句称“前望舒使先驱兮，後飞廉使奔属”。晋灼注飞廉曰“鹿身，头如雀，有角而蛇尾豹文”。高诱注蜚廉曰“兽名，长毛有翼”。

秦汉以后，道教吸收了这一信仰，列风神入神系，将两者信仰进行统一。如《云笈七羲》称风神名吒，号长育。吒是说明风的特征，长育是指风吹拂大地，化生生物。《三教源流搜神大全》卷七称风伯神为飞廉，正如应昭所说的能致风气，身似鹿，头似爵，有角，尾似蛇，大如豹。

后来人们将风神进一步人格化，从而出现了几位比较著名的风神，如方天君、孟婆等。《集说诠真》引《事物异名录》曰：“风神名巽二，又名风姨，又名方天道彰。今惜塑风伯像，白须老翁，左手持轮，右手执扇，若扇轮状，称曰风伯方天君。”

孟婆为南方风神，大约在北齐时信仰盛行。明人田艺蘅《留青日札》卷九中称：北齐李陶酴（音涂）问陆秀士，江南的孟婆是何神。秀士答道，据《山海经》中记载，帝之女游于江中，出入必以风雨自随。这帝女，就是孟婆。

在猎民、渔民、船家的信仰中，风神信仰占有重要位置。像鄂温克人认为刮风是大地边上有个老太太用大簸箕扇的结果。我国福建沿海州

县人民，生活深受风暴的影响。人们对风神的崇拜十分虔诚，大多数州县都建有风神庙。《闽杂记·飓母》载：“今闽中滨海，诸处皆有风神庙，塑像多作老嫗。”

仡佬族创世史诗《十二段经》记载：风怪兴风，吹得天地昏暗，大地发抖，山坡变形，岩崩石垮，树倒泥飞。本领高强的阿利出来领头捉风，他把牛杀了，肉分给大家吃，牛皮铺在山垭口上。先放狗去追风，后来阿利从山下、山冲、山崖、箐林、坝子一直追到山垭口。风怪踩到牛皮上滑倒了，风怪九兄弟被捉住压在石坑里。后来风又刮起来，阿利先后派喜鹊、斑鸠、箐鸡去查看，它们都一去不回，所以后来它们成了野鸟。最后叫野猫去看，才发现是老鼠打了两个洞，放掉了风怪两兄弟。阿利便把风喊来，与它们订下条规：二三月间春草发，毛呼呼（猫头鹰）叫你你转来；三伏天来天气热，打口哨逗你你再来……从此，风便按阿利的吩咐，每逢季节才吹起。

傣族创世史诗《巴塔麻嘎捧尚罗》（意译为《神创造万物》或《神开天辟地》）提到：“相传在远古的时候，太空里是茫茫一片，分不清东南西北，四周也没有边沿。它没有天地，没有万物，没有日月星辰，没有鬼怪和神。只有烟雾在滚动，只有气浪在升腾，只有大风在逞能，只有大水在晃荡。……气浪、烟雾和大风，在太空里翻腾，在水面上狂欢；忽而浮上，忽而沉下，忽而向左，忽而向右；互相裹卷，互相拥抱；有时还互相撞击，发出隆隆的响声。在太空里动荡了千亿年，气浪慢慢聚集在一起；冷风使它渐渐凝结，就像那巨大的蜂窝；随风势流动，跟烟雾沉浮；飘游 10 万年，终日不停息。气浪孕育 10 万年后，生出太空第一神，他样子像巨人，有头有身，有手有脚，有嘴有脸，有眼有鼻。最初的这个大神，由于是气浪变成，福名就叫英叭。他母亲是气浪，他父亲是大风，它们是远古时代的神种。”

类似的风神崇拜，在古代的西方也一样盛行。据传，“飓风”一词源自加勒比海语言的 Hurican（恶魔）；亦有说是玛雅人神话中创世众神的其中一位，就是雷暴与旋风之神 Hurakan。而“台风”一词则源自希腊神话中大地之母盖亚之子 Typhon，它是一头长有一百个龙头的魔物，传说其孩子就是可怕的大风。

在西方的神话中，自北风神“Boreas”首次离开她的洞穴以后，人类就与大气层的流动发生了关联。古时人类深信一切有关大气现象的变化，皆归属于神力、神灵或是部落祭司，主宰着气候的变化。约在公元

前一千多年，荷马（Homer）即曾以诗句形容神与气候的关系。在《伊利亚特》（Iliad）中记载道：正当希腊人攻击特洛伊城的时候，宙斯神找来猛烈的雷电，因而吓退了希腊船舰。在《圣经》中也可找到许多神力影响天气的例子。例如，在 107 节中记载道：他们看见神的伟业，它那无比的力量。由于它的旨意，造成暴风，把海水掀起大浪^[2]。

1.2 人类利用风能的历史

风能利用，已有数千年的历史，在蒸汽机发明以前，风能曾经作为重要的动力，用于船舶航行、提水饮用和灌溉、排水造田、磨面和锯木等。总体而言，可归结为农业和运输两大领域。近一个多世纪来，风力发电成为其最重要的利用方向。

1.2.1 风帆助航

人类最早利用风能的方式是“风帆行舟”。我国是最早使用帆船和风车的国家之一，大约公元前 700 多年的春秋时代，中国水域上就出现了原始的帆船，有珠海岩画和湖南出土文物上表现的桅形和帆影可为佐证。

有了船的记载，也就有了帆的记载。商代卜辞中有卅、𠂔的字形，就像一面面帆的形状。传说帆的出现，是大禹受到一种叫鲎鱼的启发。鲎鱼形状奇特，身体扁而宽，眼睛长在背上，嘴长在肚腹之下，背上生有高七八尺的鳍。每当有风吹来，鳍就响应。帆的出现就是为了解决木船只用桨橹推进十分吃力、速度慢的问题。当能借助大自然风力进行远距离航行的木帆船出现后，人类的航海活动才不断扩展，到达了更辽阔遥远的海域。

风帆的使用到汉代已较普遍。涪江上已有“布帆来往不停舟”的记载。东汉刘熙在《释名》中记载：“帆，泛也，随风张漫日帆，使舟疾泛泛然也。”晋代周处《风土论》说：“帆从风之幔也，施于船前，各随宜大小而制，大者用布 120 幅，高 9 丈”。这样大的帆，当然用于中大型舟船。

初期的帆只是简单的单帆，而且也不能转动。至三国时，已出现了

四帆至七帆的多桅帆船，特别是出现了能使前侧风的平衡纵帆。孙吴的丹阳太守万震所著的《南洲异物志》，对这种帆的性能有翔实的介绍：“随舟大小，或作四帆，前后沓载之，有庐头木叶如牖形，长丈余，织以为帆，其四帆不正前向，皆使邪移相聚，以取风吹。风后者，激而相射，亦并得风力，若急则随宜增减之，邪张相取风气，而无高危之虑，故行不避迅风激波，所以能疾”。描述中表明，帆不是正向前方，而是转至一个角度，帆的总面积是随风大小而增减的。这种纵帆操作简便，转动自如，适应不同的风向。它的出现在帆的发展史上是很大的突破，为远洋航行提供了必不可少的条件。这一时期，我国的航海在世界上已处于领先地位。不仅完全开通了渤海到南海的海上航路，而且向东拓展到日本，向北至朝鲜，向西远达印度洋，还开辟了内地和台湾的联系^[3]。

最辉煌的风帆时代是中国的明代。我国伟大的航海家郑和，在永乐三年（1405年）至宣德八年（1433年）的28年间，率领百余艘船舶和二万七千多人组成的庞大船队，七次远航，遍访了亚洲、非洲30多个国家和地区，为促进中国与各国的传统友谊和经济文化交流做出了重大贡献。1405年郑和首下西洋，比哥伦布探险活动早87年，比达伽马早92年，比麦哲伦到菲律宾早116年。从规模上，无论在船队规模、船舶载重吨位、航海应用技术领域均领先于欧洲同行。

与同时代的东方相比，欧洲人的造船和航海术一直处于相对落后的位置。7世纪以后，欧洲才使用风可以转动的三角形纵帆，15世纪才出现多桅多帆船。而同样的技术在我国三国时代就出现了。但其新兴的制度、新兴的精神和观念，“解放”了的人的自信和勇气，激励人们义无反顾地向着水天浩渺的陌生海域前进，并在前进过程中不断优化船舶的质量和性能，提升了航海技术水平。

中世纪之前的欧洲，帆船是沿着南欧和北欧两种风格分别发展的。

北欧地区水域宽广，居民们很早就建造了船只作为水上交通工具。8世纪，维京人的船开始发展为帆船。后来开始发展为有一根或者最多两根张着纵帆的桅杆。桅杆一般立在中心处，并有支桅索。船上还设计有帆脚索，可以牵动帆顶风的那一面，使船在横风的情况下仍能借风航行。

欧洲南部的造船历史可溯源到接受过地中海东岸文明的克里特人。公元前2世纪中期的克里特帆船两端起翘，单桅，悬一方帆。9世纪左

右,拜占庭人接受了阿拉伯人的技术,建造平滑船体的船,使用新式大三角帆装置,船能在风向的 60° 角内行驶。这种船型在12、13世纪发展成具有3层甲板、多种帆桅组合的形式。

14世纪末以后,南北船特点开始混合,产生了一种新的大型船只“卡拉克”(carrack)船。15世纪后,卡拉克船从一桅一帆演变成为三桅大船。三桅是前桅(foremast)、主桅(mainmast)和后桅(mizzenmast)。最初,前桅挂一大三角帆。后来,在船首置一杆后送,上挂一方形斜杠帆,这就可使前桅后移并增加高度。后又增加了一些横桅索来做辅助用途,增加梯索(系于横桅索上)取代了以往用于攀缘桅杆的木梯。在行驶过程中,由于感觉到驾驭大帆太累,结果导致了一系列小帆的使用。先是有些大船在主桅上挂三面帆,从下到上依次为主帆(course)、顶帆(topsail)和上桅帆(topgallant),后来船的每桅上一般都有三截帆。三桅多帆的卡拉克船,奠定了16~18世纪大帆船时代船的桅帆装置的基本样式^[4]。

全装置帆船在16世纪基本定型,此后几个世纪西欧帆船的标准装置,多为3桅26帆。帆船技术在17世纪以后,除船体在逐渐增大外,没有更进一步的发展。

随着18、19世纪蒸汽机和内燃机的发明、蒸汽机和内燃机船相继出现,风帆船的垄断地位逐渐被取代,至20世纪中叶已几乎从远洋运输中消失了。中国直到20世纪50年代,在沿海还成千上万艘地大量使用帆船捕鱼,承担货运。1960年1月出版的《中国海洋渔船图集》辑集了50年代中后期,全国进行普查时,四个海区主要渔船共有97型,其中风帆船占78型,机帆船占19型。但进入60年代中后期,风帆船开始退役。70年代后期,所有的风帆船几乎全部退出生产领域^[5]。

近来,随着70年代初世界石油危机的出现以及人类对环境污染的严重忧虑,具有显著节能效果和减少污染等优点的风帆推进装置重新引起船舶工作者的重视。

1.2.2 农业生产

我国古代先民在农业生产实践中,对风能进行了充分的开发利用,取得了很大的成就。谷物清选加工技术及工具经历了由利用枚杵和颍篮对自然风直接利用的“扬”法,到利用簸箕产生间断人造风的“簸”