

FENG GUANG FADIAN JI CHUAN SHU JI SHU

风光发电及传输技术

鲍玉军 ▲ 著 ▲



 东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

风光发电及传输技术

鲍玉军 著

内 容 提 要

目前,世界各国都在加大对新能源和可再生能源研究的力度。本书中对新能源和可再生能源的相关原理进行了分析,对可再生能源的发电技术进行了研究,重点研究了太阳能、风能及其相关发电的关键技术,并分析了风、光发电的电力并网和传输的技术方法,并参考了相关行业专家的意见。本书可作为高等院校电气、自控、机电类等相关专业的专业课教材,也可供相关工程技术人员解决实际问题时参考,还可以作为高校相关专家学者的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

风光发电及传输技术/鲍玉军著. —南京:东南大学出版社,2014. 12

ISBN 978 - 7 - 5641 - 5313 - 7

I. ①风… II. ①鲍… III. ①电力发电系统 ②太阳能发电 IV. ①TM614 ②TM615

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 259694 号

风光发电及传输技术

出版发行 东南大学出版社

出版人 江建中

社 址 南京市四牌楼 2 号

邮 编 210096

经 销 江苏省新华书店

印 刷 南京工大印务有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 16.25

字 数 413 千字

版 次 2014 年 12 月第 1 版

印 次 2014 年 12 月第 1 次印刷

印 数 1—1500 册

书 号 ISBN 978 - 7 - 5641 - 5313 - 7

定 价 39.00 元



(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系,电话:025-83791830)

前 言

能源是人类社会和经济发展的物质基础。在 21 世纪,新能源的开发和应用得到包括中国在内的世界各国的普遍重视,很多国际组织、跨国公司、高校和研究机构对新能源和可再生能源的获取进行了深入研究,新能源和可再生能源的应用前景光明。在中国,目前在沿海和西部地区已经普遍建设了规模较大的风力、太阳能发电场,而且中国太阳能电池块总产量和出口量多年居全球第一。为了拓宽本书的使用范围,在撰写过程中,也充分考虑到使用的广泛性,可供相关工程技术人员解决工程问题和高校师生作研究参考资料。

本书特色鲜明,实用性强、简明清晰、结论表述准确,适用不同层次的读者学习和参考。在对可再生能源发电的介绍时,将每个知识点紧密结合到相关学科,突出实用知识和特色鲜明的经典案例,方便相关工程技术人员参考。本书对可再生能源发电技术的公式不求严格证明,但对可再生发电原理表达清晰,结论准确,有利于帮助相关工程技术人员建立可再生能源发电的数理模型,提高相关工程技术人员形象思维能力和解决实际工程问题的能力。

本书是在常州工学院鲍玉军老师主要参与的江苏省自然科学基金项目(10KJD480003)研究基础上撰写而成的,在撰写过程中,调研并参考了相关行业专家的意见,努力做到难易适中,适用面广。但由于种种原因,书中难免存在有误的地方,欢迎各位同仁提出宝贵意见,如需要交流和相关资料,请用 baoyj@czu.cn 邮箱与作者联系。

鲍玉军

于常州工学院

2014 年 5 月

目 录

1	风光发电技术发展现状及趋势	(1)
1.1	中国风能及分布	(1)
1.1.1	风能的形成及特性	(1)
1.1.2	风能的分布与计算方法	(11)
1.1.3	风能发电的现状 & 趋势	(21)
1.2	太阳能及太阳能分布	(22)
1.2.1	太阳的结构	(22)
1.2.2	太阳的能量及太阳光谱	(24)
1.2.3	太阳辐射能	(26)
1.3	风力发电技术的现状 & 发展方向	(33)
1.3.1	风力发电技术	(33)
1.3.2	风力发电的发展趋势	(33)
1.4	我国风力发电的技术水平 & 应用	(35)
1.4.1	江苏风力发电前景展望	(35)
1.4.2	我国风电技术研发 & 进展	(35)
2	空气动力学及风力机负载研究	(38)
2.1	空气动力学	(38)
2.1.1	空气动力学简介	(38)
2.1.2	空气动力学发展简史	(38)
2.2	空气动力学的基本公式	(40)
2.2.1	叶片翼型的几何形状 & 空气动力学特性	(40)
2.2.2	风力机主要部件的设计	(41)
2.3	风力机的原理	(46)
2.3.1	风力机的功效	(46)
2.3.2	各类风力机简介	(48)
2.4	功率负载特性曲线	(50)
2.4.1	最佳功率负载线	(50)
2.4.2	实际功率负载线 & 负载调节方法	(51)
2.5	负载控制器	(52)
2.5.1	多级负载控制器	(52)
2.5.2	负载控制器 & 变速恒频风力发电	(53)
2.6	风力 & 发电机的匹配	(54)
2.7	风力发电输出 & 电网的匹配	(56)

3	风力机的设计方法	(59)
3.1	风机叶片	(59)
3.1.1	虚拟原型	(59)
3.1.2	虚拟原型的特点	(61)
3.1.3	VPD 技术在风机叶片设计中的应用	(62)
3.1.4	建立虚拟原型的方法	(62)
3.1.5	虚拟原型的集成框架	(62)
3.1.6	计算机在风力发电风机叶片设计中的应用	(64)
3.1.7	计算机在风力发电风机叶片设计中的优势	(64)
3.2	叶片的有限元设计方法	(65)
3.2.1	有限元法分析	(65)
3.2.2	有限元单元类型的分类与选择	(67)
3.2.3	离散化处理	(69)
3.3	飞轮储能技术	(70)
3.3.1	功能样机数字化	(70)
3.3.2	设计优化	(70)
3.3.3	虚拟技术在飞轮储能设计中的应用	(71)
4	风力发电系统的飞轮储能技术	(73)
4.1	风能储能装置技术简介	(73)
4.1.1	飞轮蓄能	(73)
4.1.2	电解水蓄能	(74)
4.1.3	抽水蓄能	(74)
4.1.4	压缩空气蓄能	(75)
4.1.5	蓄电池蓄能	(75)
4.2	飞轮储能	(75)
4.2.1	飞轮电池的组成及工作原理	(76)
4.2.2	飞轮电池转子控制技术	(77)
4.2.3	飞轮电池的应用前景	(80)
4.3	飞轮储能的控制技术	(81)
4.3.1	飞轮能量的转换方法	(81)
4.3.2	永磁同步电机	(83)
4.3.3	永磁同步电机的控制方法	(85)
4.4	飞轮储能的特性	(86)
4.5	飞轮储能技术未来的发展趋势及研究热点	(88)
5	风力发电及并网技术	(90)
5.1	独立运行风力发电机及其发电系统	(90)
5.1.1	独立运行风力发电机	(91)
5.1.2	独立运行的风力发电系统	(95)
5.2	并网运行风力发电机及其发电系统	(96)

5.2.1 并网运行风力发电机	(96)
5.2.2 并网运行的风力发电系统	(104)
5.3 风力发电机变流技术	(111)
5.3.1 变流整流器	(111)
5.3.2 变流逆变器	(112)
5.4 风力发电主要设备	(114)
5.4.1 风力发电机组	(115)
5.4.2 升压变压器、配电线路及变电所要求	(119)
6 太阳能发电原理及储能控制	(121)
6.1 太阳能光伏电池及电池方阵	(121)
6.1.1 太阳能电池及其分类	(121)
6.1.2 太阳能电池的工作原理及其特性	(122)
6.1.3 太阳能电池阵列	(128)
6.2 光伏发电	(130)
6.2.1 太阳能光伏发电的原理与组成	(130)
6.2.2 光伏发电系统的主要分类	(134)
6.3 光伏发电设计及实例	(136)
6.3.1 太阳能光伏发电系统的设计方法	(136)
6.3.2 太阳能光伏电池板入射能量的计算	(139)
6.4 太阳能光伏发电储能技术	(141)
6.4.1 充、放电控制	(141)
6.4.2 直流—交流逆变技术	(152)
6.5 光伏发电配电系统	(157)
7 风能和光能互补发电	(160)
7.1 风力发电并入电网主要技术要求	(160)
7.2 光伏发电并入电网相关技术分析	(163)
7.2.1 接入系统分析	(163)
7.2.2 以青海电网为例分析光伏电站入网后的暂态稳定性	(164)
7.3 以青海风光发电为例分析其接入承载能力	(165)
7.3.1 大规模光伏、风电并网对电网的影响	(165)
7.3.2 以青海地区电网为例分析局部电网对风光发电接入承载能力的影响	(166)
7.4 电网对风光发电的适应性	(171)
7.4.1 风光发电并网运行要求	(171)
7.4.2 风光发电建设成本分析	(173)
7.5 飞轮储能技术在风光互补发电中的应用研究	(178)
7.5.1 飞轮储能技术国内外研究状况	(178)
7.5.2 飞轮储能技术应用于风光互补发电的可行性	(179)
7.5.3 风光互补发电理化互补储能系统	(181)
7.5.4 “5 kW 风光互补发电机系统”设计实例	(183)
7.6 适用于风光互补电场的 CAN 网络数据采集转换卡的设计	(187)

7.6.1	CAN 网络数据采集转换卡的硬件结构	(187)
7.6.2	CAN 网络数据采集转换卡的主要硬件设计	(188)
7.6.3	CAN 网络数据采集转换卡的软件设计	(190)
7.7	网络化数据采集监控系统在风光互补发电厂中的应用	(192)
7.7.1	基于 CAN 总线的网络化数据采集系统	(193)
7.7.2	基于 CAN 总线的数据采集节点设计	(193)
7.7.3	基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 环境下的多任务设计	(196)
8	风光发电场中的电力传输技术	(202)
8.1	供电与电力负荷	(202)
8.1.1	电力系统与供电	(202)
8.1.2	电力系统标准电压	(204)
8.1.3	电力系统电能质量评价	(206)
8.1.4	负荷曲线与负荷计算	(208)
8.1.5	设备的负荷计算	(211)
8.1.6	供电系统的功率损耗	(218)
8.2	短路分析及短路电流计算	(219)
8.2.1	短路分析	(219)
8.2.2	短路过程分析	(220)
8.2.3	短路电流计算	(224)
8.2.4	预防短路电流的措施	(233)
8.3	功率因数补偿技术	(233)
8.3.1	功率因数	(234)
8.3.2	提高功率因数的方法	(235)
8.3.3	电容器补偿方式中的高压集中补偿计算	(236)
8.4	智能化供配电系统	(240)
8.4.1	供配电系统信息化的基本功能	(240)
8.4.2	网络化终端电能表设计	(242)
参考文献		(247)

1.1 中国风能及分布

1.1.1 风能的形成及特性

1) 大气环流

温差形成的空气流动。风的形成是空气流动的结果。空气流动的原因是多方面的,由于地球绕太阳运转,日地距离和方位不同,地球上各纬度所接收的太阳辐射强度也就各异。赤道和低纬度地区比极地和高纬度地区太阳辐射强度强,地面和大气接收的热量多,因而温度高,这种温差形成了南北间的气压梯度,在等压面空气向北流动。

地球自转形成的空气流动。由于地球自转形成了科里奥利力,简称偏向力或科氏力。在此力作用下,在北半球,气流向右偏转,在南半球,气流向左偏转。所以,地球大气的运动,除受到气压梯度力的作用外,还受到地转偏向力的影响。地转偏向力在赤道为零,随着纬度的增高而增大,在极地达到最大。

由于地球表面受热不均,引起大气层中空气压力不平衡,因此,形成地面与高空的大气环流。各环流圈伸屈的高度,以赤道最高,中纬度次之,极地最低,这主要是由于地球表面增热程度随纬度增高而降低的缘故。这种环流在地球自转偏向力的作用下,形成了赤道到纬度 30°N 环流圈(哈德来环流)、纬度 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 环流圈和纬度 $60^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{N}$ 环流圈,这便是著名的三圈环流,如图 1.1 所示。当然,所谓三圈环流乃是一种理论的环流模型。由于地球上海陆的分布不均匀,因此,实际的环流比上述情况要复杂得多。

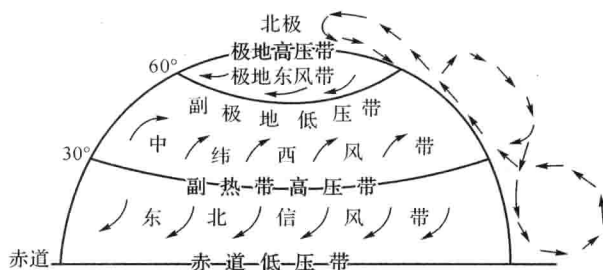


图 1.1 三圈环流示意图

2) 季风环流

在一个大范围地区内,盛行风向或气压系统有明显的季节变化,这种在一年内随着季节不同有规律转变风向的风,称为季风。季风盛行地区的气候又称季风气候。

亚洲东部的季风范围主要包括我国的东部、朝鲜、日本等地区。亚洲南部的季风,以印度半

岛最为显著,这就是世界闻名的印度季风。

我国位于亚洲的东南部,所以东亚季风和南亚季风对我国天气气候变化都有很大影响。

图 1.2 是季风的地理分布图,形成我国季风环流的因素很多,主要是由于海陆差异、行星风带的季风转换以及地形特征等因素综合形成的。

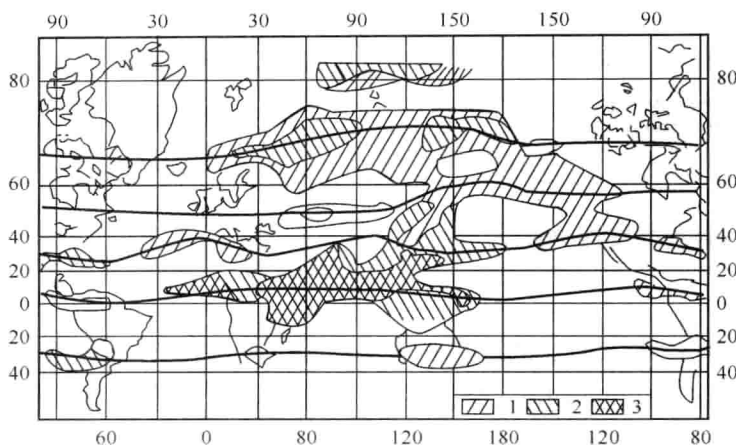


图 1.2 季风的地理分布

(1) 海陆分布对中国季风的作用

海洋的热容量比陆地大得多。冬季,陆地比海洋冷,大陆气压高于海洋,气压梯度力自大陆指向海洋,风从大陆吹向海洋;夏季则相反,陆地很快变暖,海洋相对比较冷,陆地气压低于海洋,气压梯度力由海洋指向大陆,风从海洋吹向大陆,如图 1.3 所示。

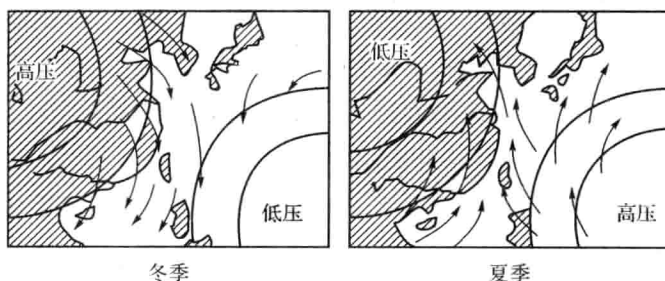


图 1.3 海陆热力差异引起的季风示意图

中国东临太平洋,南临印度洋,冬夏的海陆温差大,所以季风明显。

(2) 行星风带位置的季节转换对中国季风的作用

地球上存在着 6 个风带,从图 1.1 可以看出,信风带、中纬西风带、极地东风带在南半球和北半球是对称分布的。这 6 个风带,在北半球的夏季都向北移动,而冬季则向南移动。这样,冬季西风带的南缘地带在夏季可以变成东风带。因此,冬夏盛行风就会发生 180° 的变化。

冬季,我国主要在西风带的影响下,强大的西伯利亚高压笼罩着全国,盛行偏北气流。夏季,西风带北移,全国在热低压控制之下,副热带高压也北移,盛行偏南风。

(3) 青藏高原对中国季风的作用

青藏高原占我国陆地面积的四分之一,平均海拔在 4 000 m 以上,它对周围地区具有热力作用。在冬季,高原上温度较低,周围大气温度较高,这样形成下沉气流,从而加强了地面高压

系统,使冬季风增强;在夏季,高原相对于周围自由大气是一个热源,加强了高原周围地区的低压系统,使夏季季风得到加强。另外,在夏季,西南季风由孟加拉湾向北推行,沿着青藏高原东部南北走向的横断山脉流向中国的西南地区。

3) 局地环流

(1) 海陆风

海陆风的形成与季风相同,也是由大陆和海洋之间的温度差异的转变引起的。不过海陆风的范围小,以日为周期,势力也相对薄弱。

由于海陆物理属性的差异,造成海陆受热不均,白天,陆上增温较海洋快,空气上升,而海洋上空气温相对较低,使地面有风自海洋吹向大陆,补充大陆地区上升气流,而陆上的上升气流流向海洋上空而下沉,补充海上吹向大陆的气流,形成一个完整的热力环流;夜间环流的方向正好相反,所以风从陆地吹向海洋。将这种白天从海洋吹向大陆的风称海风,夜间从陆地吹向海洋的风称陆风,将一天中海陆之间的周期性环流总称海陆风(见图 1.4)。

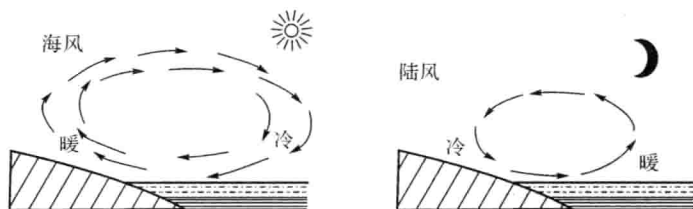


图 1.4 海陆风形成示意图

海陆风的强度在海岸最大,随着离岸距离的增加而减弱,一般影响距离约为 20~50 km。海风的风速比陆风大,在典型的情况下,风速可达 4~7 m/s。而陆风一般仅为 2 m/s 左右。海陆风最强烈的地区,发生在温度日变化最大及昼夜还陆温差最大的地区。低纬度日照强,所以海陆风较为明显,尤以夏季为甚。

此外,在大湖附近同样日间有风自湖面吹向陆地,称为湖风,夜间风自陆地吹向湖面,称为陆风,合称湖陆风。

(2) 山谷风

山谷风的形成原理跟海陆风是类似的。白天,山坡接受太阳光热较多,空气增温较多;而山谷上空,同高度上的空气因离地较远,增温较少。于是山坡上的暖空气不断上升,并从山坡上空流向谷地上空,谷底的空气则沿山坡向山顶补充,这样便在山坡与山谷之间形成一个热力环流。下层风由谷底吹向上坡,称为谷风。到了夜间,山坡上的空气受山坡辐射冷却影响,空气降温较多;而谷地上空,同高度的空气因离地面较远,降温较少。于是山坡上的冷空气因密度大,顺山坡流入谷地,谷底的空气因汇合而上升,并从上面向山顶上空流去,形成与白天相反的热力环流。下层风由山坡吹向谷地,称为山风。山风和谷风又总称为山谷风(见图 1.5)。

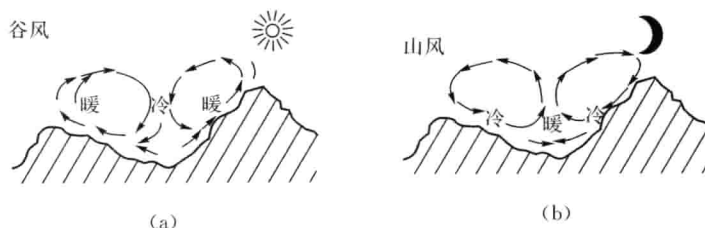


图 1.5 山谷风形成示意图

山谷风风速一般较弱,谷风比山风大一些,谷风速度一般为 $2\sim 4\text{ m/s}$,有时可达 $6\sim 7\text{ m/s}$ 。谷风通过山隘时,风速加大。山风速度一般仅为 $1\sim 2\text{ m/s}$ 。但在峡谷中,风力还能增大一些。

4) 中国风能资源的形成

风资源的形成受多种自然因素的影响,特别是天气气候背景及地形和海陆的影响至关重要。由于风能在空间分布上是分散的,在时间分布上也是不稳定和不连续的,也就是说风速对天气气候非常敏感,时有时无,时大时小,尽管如此风能资源在时间和空间分布上仍存在着很强的地域性和时间性。对中国来说,风能资源丰富及较丰富的地区,主要分布在北部和沿海及其岛屿两个大带里,其他只是在一些特殊地形或湖岸地区成孤岛式分布。

(1) 三北(西北、华北、东北)地区风能资源丰富区

冬季(12~2月份)整个亚洲大陆完全受蒙古高压控制,其中心位置在蒙古人民共和国的西北部,在高压中不断有小股冷空气南下,进入中国。同时还有移动性的高压(反气旋)不时的南下,南下时气温较低,若一次冷空气过程中其最低气温在 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,且这次过程中日平均气温 48 h 内最大降温达 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时,称为一次寒潮,不符合这一标准的称为一次冷空气。

影响中国的冷空气有 5 个源地,这 5 个源地侵入的路线称为路径。第一条路径来自新地岛以东附近的北冰洋面,从西北方向进入蒙古人民共和国西部,再东移南下影响中国,称西北 1 路径,如图 1.6 中的 NW1;第二条是源于新地岛以西北冰洋面,经俄罗斯、蒙古国进入中国,称西北 2 路径,如图 1.6 中的 NW2;第三条源于地中海附近,称西路径,东移到蒙古国西部再影响中国,如图 1.6 中的 W;第四条源于太梅尔半岛附近北冰洋洋面,向南移入蒙古国,然后再向东南

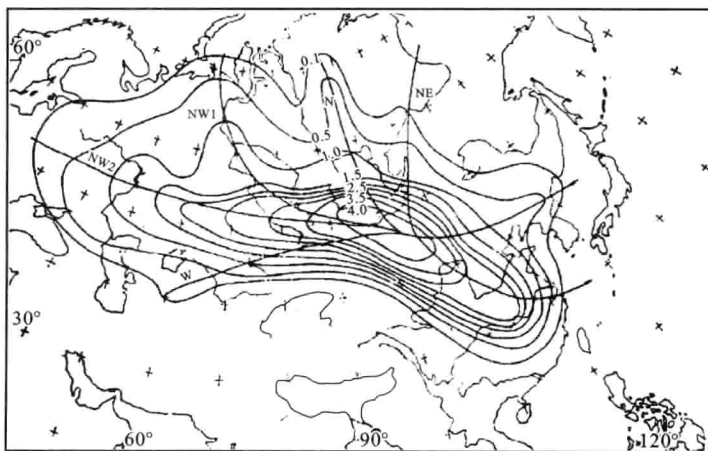


图 1.6 寒潮路径图

影响中国,称为北路径,如图 1.6 中的 N;第五条源于贝加尔湖以东的东西伯利亚地区,进入中国东北及华北地区,称为东北路径,如图 1.6 中的 NE。

从图 1.6 中还可以看到,这 5 条路径进入中国后,分两条不同的路径南下,一条是经河套、华北、华中,由长江中下游入海,有时可侵入华南地区,沿此路径入侵的寒潮可以影响中国大部分地区,出现次数占总次数的 60%左右,冷空气经过之地有连续的大风、降温,并常伴有风沙。另一条经过华北北部、东北平原,冷空气路径东移进入日本海,也有一部分经华北、黄河下游,向西南移入两湖盆地。这一条出现次数约占总次数的 40%。它常使渤海、黄海、东海出现东北大风,也给长江以北地区带来大范围的大风、降雪和低温天气。

这 5 条路径除东北路径外,一般都要经过蒙古人民共和国,当经过蒙古高压时得到新的冷高压的补充和加强,这种高压往往可以迅速南下,进入中国。每当冷空气入侵一次,大气环流必定发生一次大的调整,天气也将发生剧烈的变化。

欧亚大陆面积广大,北部气温低,是北半球冷高压活动最频繁的地区,而中国地处亚欧大陆南岸,正是冷空气南下的必经之路。三北地区是冷空气入侵中国的前沿地区,一般冷高压前锋称为冷锋,在冷锋过境后的 200 km 附近经常可出现大风,可造成一次 6~10 级(10.8~24.4 m/s)大风。而对风能资源利用来说,就是一次可以有效利用的高质量风速。强冷空气除在冬季入侵外,在春秋也常有入侵。

从中国三北地区向南,由于冷空气从源地长途跋涉,到达黄河中下游再到长江中下游,地面气温有所升高,原来寒冷干燥的气流性质逐渐改变为较冷湿润的气流性质(称为变性),也就是冷空气逐渐变暖,这时气压差也变小,所以,风速由北向南逐渐减小。

中国东部处于蒙古高压的东侧和东南侧,因此盛行偏北风。三北地区多为西北风,秦岭-黄河下游以南的广大地区,盛行风向偏于北和东北之间。

春季(3~5 月份)是由冬季到夏季的过渡季节,由于地面温度不断升高,从 4 月份开始,中、高纬度地区的蒙古高压强度已明显减弱,而这时印度低压(大陆低压)及其向东北伸展的低压槽已控制了中国的华南地区,与此同时,太平洋副热带高压也由菲律宾向北逐渐侵入中国华南沿海一带,这几个高、低气压系统频繁交替,它们的强弱、消长都对中国风能资源有着重要的作用。

春季是中国气旋活动最多的季节,特别是中国东北及内蒙一带气旋活动频繁,造成内蒙和东北的大风和沙尘暴天气。同样,江南气旋活动也较多,但造成的却是春雨和华南雨季。这也是三北地区风资源较南方丰富的一个主要原因。春季的全国风向已不如冬季那样稳定少变,但仍以偏北风居多,但风的偏南分量显著地增加。

夏季(6~8 月份)东南地面气压分布形势与冬季完全相反。这时中、高纬度的蒙古高压向北退缩的已不明显,相反的,印度低压继续发展控制了亚洲大陆,为全年最盛的季风。太平洋副热带高压此时也向北扩展和向大陆西延伸。可以说,东亚大陆夏季的天气气候变化基本上受这两个环流系统的强弱和相互作用所制约。

随着太平洋副热带高压的西伸北跳,中国东部地区都会受到它的影响,此高压的西部为东南气流和西南气流带来了丰富的降水,但由于高、低压间压差小,风速不大,夏季是全国全年风速最小的季节。

夏季,大陆为热低压,海上为高压,高、低压间的等压线在中国东部几乎呈南北向分布的形

式,所以此地区夏季盛行偏南风。

秋季(9~11月份)是由夏季到冬季的过渡季节,这时印度低压和太平洋高压开始明显衰退,而中高纬度的蒙古高压又开始活跃起来。冬季风来得迅速,且维持稳定。此时,中国东南沿海已逐渐受到蒙古高压边缘的影响,华南沿海由夏季的东南风转为东北风。三北地区秋季已确立了冬季风的形势。各地多为稳定的偏北风,风速开始增大。

(2) 东南沿海及其岛屿风能资源丰富区

东南沿海地区的天气气候背景与三北地区基本相同,所不同的是海洋与大陆由两种截然不同的物质组成,二者的辐射与热力学过程都存在着明显的差异。大陆与海洋间的能量交换不同,海洋温度变化慢,具有明显的热惰性,大陆温度变化快,具有明显的热敏感性,冬季海洋较大陆温暖,夏季较大陆凉爽。在冬季,每当冷空气到达海上时,风速增大,再加上海洋表面平滑,摩擦力小,一般风速比大陆增大 $2\sim 4\text{ m/s}$ 。

东南沿海又受台湾海峡的影响,每当冷空气南下到达时,由于狭管效应使风速增大,因此是风能资源最佳的地区。

在沿海,每当夏秋季节均受到热带气旋的影响,中国现行的热带气旋名称和等级标准见表1.1。当热带气旋风速达到8级(17.2 m/s)以上时,称为台风。台风是一种直径为 $1\,000\text{ km}$ 左右的圆形气旋,中心气压极低,距台风中心 $10\sim 30\text{ km}$ 的范围内是台风眼,台风眼中天气较好,风速很小。在台风眼外壁,天气最为恶劣,最大破坏风速就出现在这个范围内,所以一般只要不是在台风正面直接登陆的地区,风速一般小于10级(26 m/s),它的影响平均有 $800\sim 1\,000\text{ km}$ 的直径范围,每当台风登陆后,沿海可以产生一次大风过程,而风速基本上在风力机切出风速范围之内,这是一次满发电的好机会。

表 1.1 热带气旋名称和等级标准

中心附近最大风力等级	国际热带气旋名称	中国现行热带气旋名称	
		对国内	对国外
6、7	热带低压	热带低压	热带低压
8、9	热带风暴	台风	热带风暴
10、11	强热带风暴		
12 或 12 以上	台风	强台风	台风

登陆台风在中国每年有11个,而广东每年登陆台风最多,为3.5次,海南次之,为2.1次,台湾为1.9次,福建为1.6次,广西、浙江、上海、江苏、山东、天津、辽宁等合计仅为1.7次,由此可见,台风影响的地区由南向北递减,从台湾路径通过的次数,进行等频率线图的分析可看出(见图1.7),南海和东海沿海频率远大于北部沿海,对风能资源来说也是南大北小。由于台风登陆后中心气压升高极快,再加上东南沿海东北—西南走向的山脉重叠,所以形成的大风仅在距海岸几十千米内。风能功率密度由 300 W/m^2 锐减到 100 W/m^2 以下。

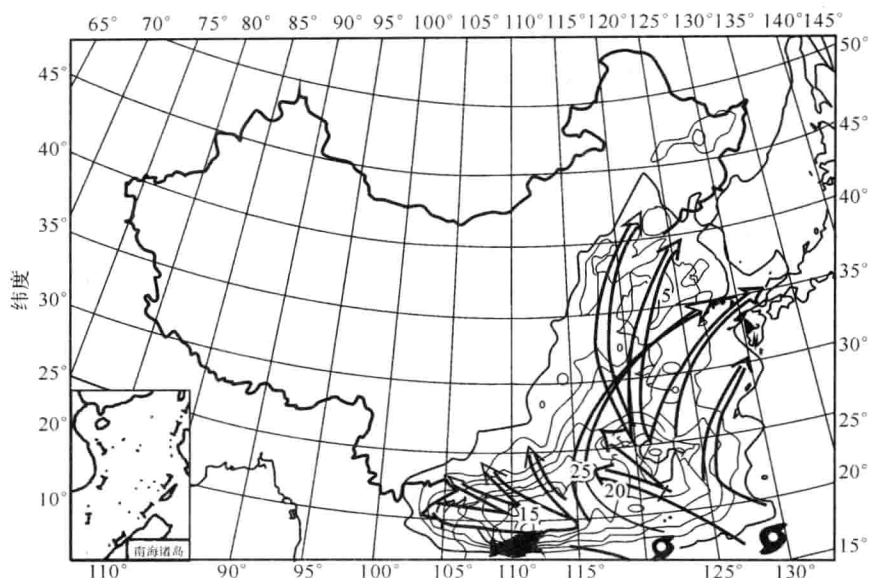


图 1.7 5~10 月台风频率

综上所述,冬、春季的冷空气和夏、秋季的台风都能影响到沿海及其岛屿。相对内陆来说,这里形成了风能丰富带。由于台湾海峡的狭管效应的影响,东南沿海及其岛屿也是风能资源最丰富的地区之一。中国的海岸线有 18 000 多千米,有 6 000 多个岛屿和近海广大的海域,这里是风能大有开发利用前景的地区。

(3) 内陆风能资源丰富区

在两个风能丰富带之外,风能功率密度一般较小,但是在一些地区,由于湖泊和特殊地形的影响,风能比较丰富,如鄱阳湖附近较周围地区风能就大,湖南衡山、湖北九宫山和利川、安徽的黄山、云南太华山等也较平地风能大。但是这些只限于很小范围之内,不像两大带那样有大的面积。

青藏高原海拔在 4 000 m 以上,这里的风速比较大,但空气密度小,如海拔 4 000 m 以上的空气密度大致为地面的 0.67 倍,也就是说,同样是 8 m/s 的风速,在平原上风能功率密度为 313.6 W/m^2 ,而在海拔 4 000 m 只为 209.9 W/m^2 ,所以对风能利用来说仍属一般地区。

5) 中国风速变化特性

(1) 风速年变化

各月平均风速的空间分布与造成风速的天气气候背景和地形以及海陆分布等有直接关系,就全国而论,各地年变化有差异,如三北地区和黄河中下游,全国风速最大的时期绝大部分出现在春季,风速最小出现在秋季。以内蒙古多伦为代表,每年 3~5 月份风速最大,7~9 月份风速最小。冬季冷空气经三北地区奔腾而下,风速也较大,但春季不但有冷空气经过,而且气旋活动频繁,故而春季比冬季风要大些。北京也是 3 月份和 4 月份全年风速最大,7~9 月份风速最小。但在新疆北部,风速年变化情况和其他地区有所不同,而是春末夏初(4~7 月份)风速最大,冬季风速最小,这是由于冬季处在蒙古高压盘踞之下,冷空气聚集在盆地之下,下层空气极其稳定,风速最小,而在 4~7 月份,特别是在 5、6 月份,冷锋和高空低槽过境较多,地面温度较高,冷暖平流很强,容易产生较大的气压梯度,所以风速最大,如图 1.9 所示。

图 1.8 为风向示意图。

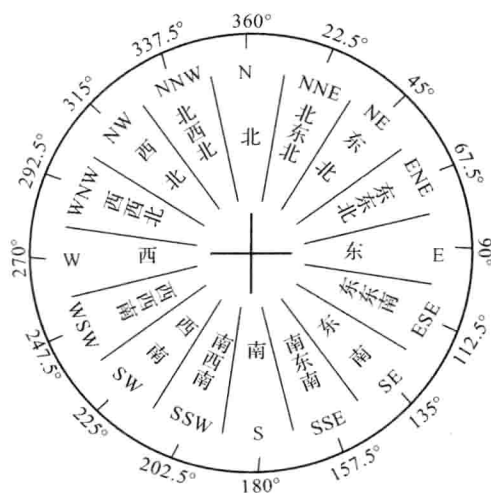


图 1.8 风向示意图

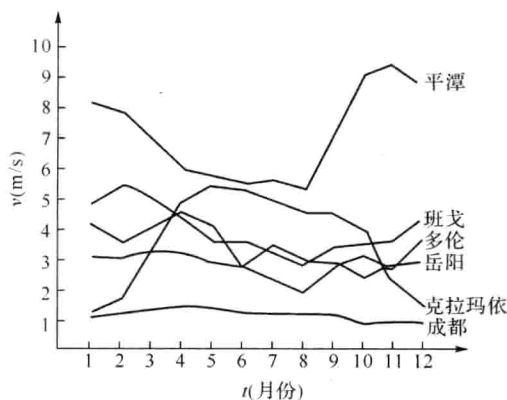


图 1.9 风速年变化

东南沿海全年风速变化以福建平潭为例,如图 1.9 所示,夏季风速最小,秋季风速最大。由于秋季北方冷高压加强南下,海上台风活跃北上,东南沿海气压梯度很大,再加上台湾海峡的狭管效应,因此风速最大;初夏因受到热带高压脊的控制,风速最小。

青藏高原以班戈为代表,风速年变化如图 1.9 所示,它是春季风速最大,夏季风速最小。在春季,由于高空西风气流稳定维持在这一地区,高空动量下传,所以风速最大;在夏季,由于高空西风气流北移,地面为热低压,因此风速较小。

(2) 风速日变化

风速日变化即风速在一日之内的变化。它主要与下面的性质有关,一般有陆地上和海上日变化两种类型。

陆地上风速日变化是白天风速大,午后 14 时左右达到最大,晚上风速小,在黎明前 6 时左右风速最小。这是由于白天地面受热,特别是午后地面最热,上下对流旺盛,高层风动量下传,使下层空气流动加速,而在午后加速最多,因此风速最大;日落后地面迅速冷却,气层趋于稳定,风速逐渐减小,到日出前地面气温最低,有时形成逆风,因此风速最小,如图 1.10 所示是某城市某日的湿度—风速变化曲线。

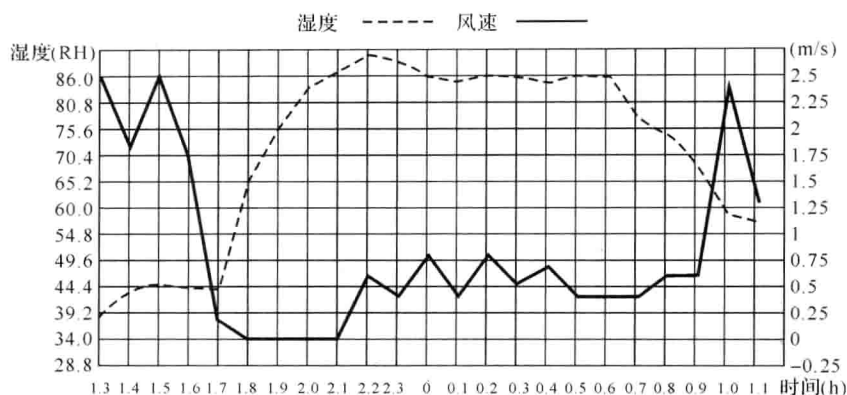


图 1.10 某城市某日湿度—风速变化曲线

海上风速日变化与陆地相反,白天风速小,午后 14 时左右最小,夜间风速大,清晨 6 时左右风速最大,地面风速日变化是因高空动量下传引起的,而动量下传又与海陆昼夜稳定变化不同有关。夜间,海水温度高于气温,大气层热稳定度比白天大,正好与陆地相反。另外,海上风速日变化的幅度比陆面小,这是因为海面上水温和气温的日变化都比陆地小,陆地上白天对流强于海上夜间的缘故。

但在近海地区或海岛上,风速的变化既受海面的影响又受陆地的影响,所以风速日变化的类型不太明显。稍大的一些岛屿一般受陆地影响较大,白天风速较大,如成山头、南澳、西沙等。但有些较大的岛屿,如平潭岛,风速日变化几乎已经接近陆上风速日变化的类型。

风速的日变化还随着高度的增加而改变,如武汉阳逻铁塔高 146 m,风的梯度观测有 9 层,即 5 m、10 m、15 m、20 m、30 m、62 m、87 m、119 m、146 m。通过 5 年的观测,结果表明不同高度风速日变化特点很不相同,如图 1.11 所示。

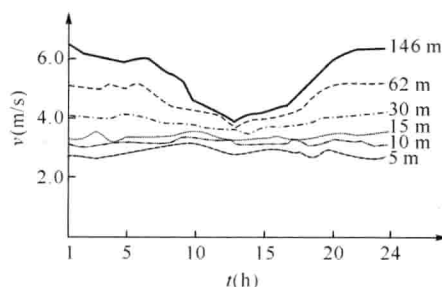


图 1.11 武汉阳逻铁塔平均风速日变化

由图 1.12 可见,大致在 15~30 m 处是分界线,在 30 m 以下的日变化是白天风大,夜间风小,在 30 m 以上随高度的增加,风速日变化逐渐由白天风大向夜间风大转变,到 62 m 以上基本上是白天风小,夜间风大。