

# 舟山摘箬山岛风能资源评价\*

徐 珊<sup>1</sup>, 郭 晟<sup>2</sup>, 何巧力<sup>1</sup>, 季 建<sup>1</sup>, 范会生<sup>1</sup>

(1. 浙江省海洋开发研究院 舟山 316100; 2. 南昌工学院建筑工程学院 南昌 330108)

**摘 要:** 文章利用摘箬山岛风电场 70 m 高测风塔 2011 年 1 月—2014 年 1 月的观测资料, 对平均风速、风速频率、风向频率、风能频率、有效风力时数及风功率密度等风能参数进行计算分析, 并依据国标《风电场风能资源评估方法》(GB/T18710—2002) 中风功率密度等级划分标准对风电场的风能资源进行评估。结果表明: 风电场各高度年平均风速在 3.28~6.56 m/s, 风速频率主要集中在区间为 1~8 m/s, 有效风力时数为 54.5%~86.9%, 年平均风功率密度为 54.8~283.2 W/m<sup>2</sup>。风电场 10 m 和 70 m 处主导风向分别为 N 风和 S 风, 频率分别为 13.0%和 13.4%, 主导风能分别为 N 风和 NNW 风, 频率分别为 14.7%和 14.8%。该风电场风功率密度接近 3 级, 具有一定开发利用价值。

**关 键 词:** 风电场; 风能资源; 评价

## 1 引言

舟山是我国首个以海洋经济为主题的国家级新区, 海洋经济发展离不开能源供给, 而舟山作为一个海岛城市, 常规能源十分匮乏, 远不能满足新区建设的需求。因此, 开发利用新能源, 优化能源结构, 满足能源供给, 已成为舟山能源发展的必然趋势。风电是新能源领域中技术最成熟、最具规模开发条件和商业化发展前景的发电方式之一, 发展风电对于调整能源结构、减轻环境污染等发挥着重要意义。风能资源作为舟山继深水岸线之后的又一战略性稀缺资源, 风能资源十分丰富。近年来, 舟山大力推进风电发展, 目前已建成衢山美达、国电舟山岑港和华电长白等 3 个风电场, 总装机容量为 9.78 万 kW, 在建定海小沙、嵎泗 1 号、岱山美达、岱山长涂、金塘岛和六横等 6 个风电场, 总装机容量为 17.05 万 kW。根据《舟山市风电发展规划》, 到 2015 年全市风电场总装机容量将达 87 万 kW, 其中陆上风电场 27 万 kW, 近海风电场 60 万 kW, 舟山风电将进入一个快速发展阶段<sup>[1]</sup>。因此, 风能资源评估是建设风电场的关键, 对风能资源进行详细勘测和分析

是进行风能资源评估的前提条件。

本研究利用摘箬山岛的测风数据, 对其风能资源进行分析和评价, 旨在为摘箬山岛建设风光流混合供电集成控制系统示范工程提供科学依据。

## 2 摘箬山岛概况

摘箬山岛是我国目前唯一一个以发展科技为主要使命的海洋科技岛, 将建设成为集科研、教育、示范、中试、休闲、旅游、生态为一体的国家级海洋科教岛。该岛位于离舟山本岛 8 km 的南部海域, 29°56' N, 122°5' E。海岸线线长 7.27 km, 属基岩海岸, 面积 2.7 km<sup>2</sup>, 其中陆域面积 2.34 km<sup>2</sup>, 滩涂面积 0.36 km<sup>2</sup>。全岛地形多为山地丘陵, 最高点海拔 215 m。该岛属北亚热带南缘海洋性季风气候, 年平均气温为 16 ℃, 空气湿润, 适合休闲观光旅游。岛上有东、西、北三岙, 每个岙口都三面环山, 一面临海, 中央形成 3 个较大的腹地。该岛为舟山各岛中水深条件最好最深的岛屿之一, 其南部海域螺头水道为国际航道所经处, 也是宁波北仑港、大树港等的主要进出通道。

\* 基金项目: 国家“863”计划先进能源技术领域主题项目 (2011AA050204)。

### 3 测风数据来源

为准确评估摘箬山岛风能资源, 在该岛山顶安装了一座 70m 测风塔进行现场测风。测风塔位于 29°56′44.7″N, 122°05′05.0″E, 海拔 206 m, 测风设备采用 Nomad-2 型测风仪, 其中在 10 m、30 m、50 m、60 m 和 70 m 处安装 C3 风速传感器, 在 10 m 和 70 m 处安装 PV-1 风向传感器, 并在 70 m 处安装了温度和气压传感器<sup>[2]</sup>。

本研究分析采用 2011 年 1 月 20 日—2014 年 1 月 20 日 3 个完整年的逐时风速、风向资料。依据中华人民共和国国家标准《风电场风能资源评估方法》(GB/T18710-2002) 对资料的合理性和完整性进行检验, 测风资料均属于合理数据, 10 m、30 m、50 m、60 m 和 70 m 5 个高度资料的完整率分别在 91.2%、92.3%、92.7%、93.8%、93.6%, 符合 GB/T18710-

2002 中风电场风能资源评价所用资料完整率必须在 90% 以上的要求<sup>[3]</sup>。

### 4 风能资源评估

#### 4.1 平均风速

计算得到测风塔 10 m、30 m、50 m、60 m 和 70 m 处年平均风速为 3.28 m/s、4.74 m/s、5.60 m/s、6.16 m/s、6.56 m/s (表 1)。可见, 随着高度的增加, 风速不断增大。从不同高度逐月平均风速看, 10 m 处月平均风速在 2.08~4.51 m/s, 30 m 处月平均风速在 3.93~5.78 m/s, 50 m 处月平均风速在 4.46~6.39 m/s, 60 m 处月平均风速在 4.52~7.02 m/s, 70 m 处月平均风速在 5.82~7.18 m/s。不同高度平均风速的年变化趋势基本一致, 均是 6 月最小, 12 月最大。

表 1 测风塔各高度月及年平均风速

高度/m	月份												平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
10	4.04	3.57	3.42	3.00	2.88	2.08	2.29	2.55	3.38	4.24	3.43	4.51	3.28
30	5.22	5.05	5.14	4.42	4.25	3.93	4.47	5.19	5.21	5.63	4.99	5.78	4.74
50	5.77	5.53	5.71	5.18	5.10	4.46	5.43	5.94	5.73	6.21	5.69	6.39	5.60
60	6.23	6.00	5.78	6.11	6.17	4.52	6.38	6.64	5.98	6.77	6.29	7.02	6.16
70	6.31	6.30	6.60	6.51	6.86	5.82	6.92	6.10	6.71	6.99	6.46	7.18	6.56

图 1 为各高度平均风速日变化图。5 个高度上风速日变化趋势基本一致, 均呈现典型的“双峰

型”特征。在早上 5—6 时和晚上 19—20 时之间出现 2 个峰值, 最大峰值出现在晚上 19—20 时之间。

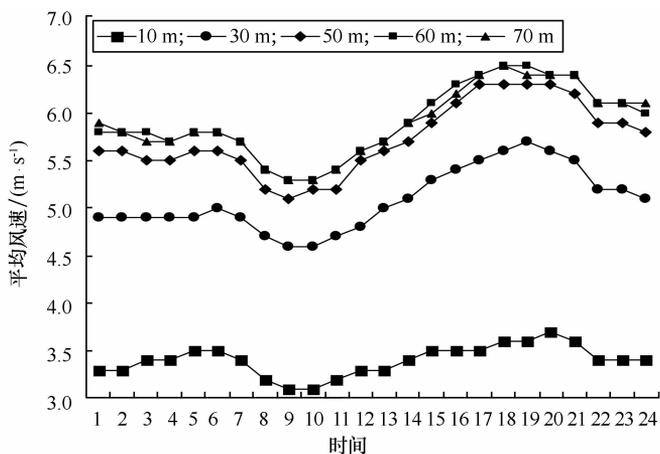


图 1 测风塔各高度平均风速日变化

### 4.2 风速频率

不同高度的风速频率分布见表2。在10 m处, 1 m/s 风速出现的频率最大, 占18.7%, 在30 m处, 4 m/s 和5 m/s 风速出现频率最大, 均占16.3%, 而50 m、60 m 和70 m 处均是5 m/s 风速出现频率最大, 分别占15.6%、15.1%和16.4%。此外, 不同高度风速频率主要集中在区域不同, 10 m 处风速频率主要集中在1~5 m/s 风速区间, 此区间风速频率为

78.7%。30 m 处风速频率主要集中在2~7 m/s 风速区间, 此区间风速频率为77.4%。50 m、60 m、70 m 处风速频率主要集中在3~8 m/s 风速区间, 此区间风速频率分别为72.9%、71.7%、70.0%。其中10 m、30 m、50 m、60 m、70 m 5个高度风速小于3 m/s 的小风速频率分别为41.1%、15.8%、11.9%、11.3%、9.1%, 风速大于等于9 m/s 的大风速频率分别为2.9%、9.7%、15.2%、17%、20.9%。

表2 测风塔各高度风速频率

%

高度/m	风速/(m·s <sup>-1</sup> )													
	≤0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	≥13
10	4.2	18.7	18.2	16.7	14.6	10.5	6.9	4.7	2.6	1.4	0.8	0.4	0.2	0.1
30	1.8	4.9	9.1	13.5	16.3	16.3	13.0	9.2	6.2	3.8	2.2	1.5	0.7	1.5
50	1.8	3.5	6.6	10.6	14	15.6	14.0	10.8	7.9	5.3	3.5	2.5	1.5	2.4
60	1.7	3.5	6.1	9.6	12.7	15.1	13.8	11.4	9.1	6.2	4.2	2.5	1.6	2.5
70	1.5	2.8	4.8	7.4	10.4	16.4	15.3	10.7	9.8	7.0	4.5	3.2	2.2	4.0

### 4.3 风向频率

从图2中可以看出, 不同高度16个风向出现频率不同。10 m处, 以北风(N)、西北风(NW)及西南风(SW)、西南偏南风(SSW)出现频率较多, 这4个风向累计频率为39.3%, 其中主导风向为北风(N), 频率为13.0%, 次主导风向为西南风(SW), 频率为9.6%。70 m

处, 以北风(N)、西北偏北风(NNW)及南风(S)、东南偏南风(SSE)、东南风(SE)出现频率较多, 这5个风向累计频率为52.2%, 其中主导风向为南风(S), 频率为13.4%, 次主导风向为西北偏北风(NNW), 频率为12.4%。

### 4.4 风能频率

表3为测风塔10 m和70 m处各风向风能频率, 10 m处主导风能为北风(N), 频率为14.7%, 次主导风能为西南风(SW), 频率为11.2%, 主次风能频率之和为25.9%; 70 m处主导风能为西北偏北风(NNW), 频率为14.8%, 次主导风能为南风(S), 频率为14.1%, 主次风能频率之和为28.9%。由此可见各风向风能分布规律基本与风向频率分布相似。

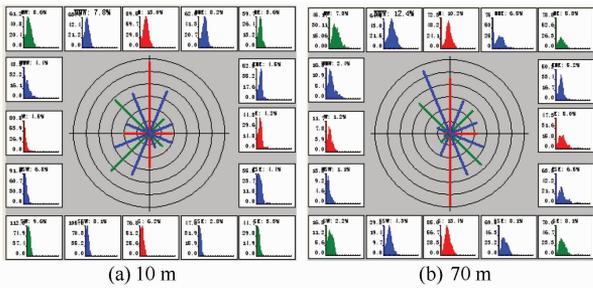


图2 测风塔10 m和70 m处风向玫瑰图

表3 测风塔10 m和70 m处各风向风能频率

%

高度/m	风向							
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
10	14.7	8.4	2.4	3.0	3.1	3.5	2.4	2.1
70	11.3	6.0	4.5	4.2	5.3	6.6	8.4	7.4
高度/m	风向							
	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
10	5.6	8.2	11.2	7.0	4.4	4.8	10.2	9.0
70	14.1	3.6	1.5	0.5	0.7	2.1	9.0	14.8

#### 4.5 有效风力时数

在实际风力利用中, 风速  $< 3 \text{ m/s}$  时风力机一般不能启动, 而  $> 20 \text{ m/s}$  的风速有可能损坏风机, 常采用停机措施。因此一般将  $3 \sim 20 \text{ m/s}$  的风速作为有效风速, 有效风速直接决定了该地风力发电的能力。经过计算统计 3 年摘箬山岛主要风能特征数据, 共 26 304 h, 实际接收到

的测试数据时数为 24 725 h, 不同高度有效风力时数如表 4 所示。其中 10 m、30 m、50 m、60 m、70 m 高处 3 年有效风力时数分别为 12 036 h、17 921 h、18 903 h、19 135 h、17 790 h, 分别占总时数的 54.5%、81.3%、85.6%、86.9%、80.6%。

表 4 测风塔不同高度有效风力时数

项目	高度/m				
	10	30	50	60	70
有效风力时数/h	13 475	20 101	21 165	21 486	19 928
占总时数百分比/%	54.5	81.3	85.6	86.9	80.6

#### 4.6 风功率密度

风功率密度蕴含风速、风速分布和空气密度的影响, 是风电场风能资源评估的综合指标。利用逐小时测风资料计算测风塔不同高度年平均风功率密度 (表 5), 10 m、30 m、50 m、60 m、70 m 高度处年平均风功率密度分别为

54.8  $\text{W/m}^2$ 、148.1  $\text{W/m}^2$ 、208.0  $\text{W/m}^2$ 、275.1  $\text{W/m}^2$ 、283.2  $\text{W/m}^2$ 。按照中华人民共和国国家标准《风电场风能资源评估方法》(GB/T18710—2002) 中给出的风功率密度等级<sup>[4-5]</sup>, 该风电场风功率密度等级接近 3 级风况标准, 其风能资源具有一定的开发价值。

表 5 测风塔不同高度各月及年平均风功率密度

高度/m	月份												平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
10	69.2	59.4	59.4	37.2	32.6	28.2	14.3	35.5	60.7	103.2	62.6	95.8	54.8
30	134.8	130.4	129.6	95.8	81.4	96.2	133.5	275.1	155.5	216.5	140.5	187.8	148.1
50	180.5	173.0	177.2	148.5	131.6	132.0	213.4	377.1	203.3	286.3	210.6	263.0	208.0
60	232.7	223.3	226.9	242.6	258.7	232.0	305.7	368.1	280.3	346.1	268.3	316.9	275.1
70	222.6	214.4	211.9	245.7	226.0	208.2	332.6	503.6	243.4	351.7	283.3	354.9	283.2

#### 5 测风背景分析

舟山市气象局具有 1971 年以来的长期测风资料, 常年风速主要集中在  $3.0 \text{ m/s} \sim 6.8 \text{ m/s}$  之间, 年平均风速为  $4.83 \text{ m/s}$ , 其中 1 月、3 月、12 月平均风速最大, 6 月平均风速最小, 全年风速频率在  $3 \sim 8 \text{ m/s}$  风速区间最大。

全年主导风向为偏北风, 主导风能为偏北风和偏南风, 其中当年 9 月至翌年 3 月, 其风向主要集中为 NNE、N、NNW 风, 主导风向为偏北风, 4 ~ 8 月, 其风向主要集中为 S、SSE、SE 风, 主导风向为偏南风。年有效风力时数达

7 000 h 以上, 其百分率占 80% 以上, 近海岸风功率密度达  $200 \text{ W/m}^2$  以上, 远海岛屿风功率密度达  $280 \text{ W/m}^2$  以上。

比较摘箬山岛风电场与舟山市气象局多年统计的测风数据, 可以看出: 摘箬山岛风电场在测风期间的平均风速在  $3.28 \sim 6.56 \text{ m/s}$  之间, 年平均风速为  $5.27 \text{ m/s}$ , 稍高于舟山市多年测风数据。

此外, 其主导风向、主导风能、有效风力时数及风功率密度与多年测风数据接近。由此表明, 摘箬山岛风电场测风期间是在平均风速

稍高于多年平均风速的气候背景下进行的。

## 6 小结

(1) 测风塔 10 m、30 m、50 m、60 m 和 70 m 处年平均风速分别为 3.28 m/s、4.74 m/s、5.60 m/s、6.16 m/s、6.56 m/s，而且不同高度风速频率集中区间会各不相同，其中 50 m、60 m、70 m 处风速频率主要集中在 3~8 m/s 风速区间，同时此区间风速频率分别为 72.9%、71.7%、70.0%。

(2) 不同高度风向频率和风能频率分布不同，但同一高度各风向频率分布与风能频率分布基本相似。10 m 处，主导风向和风能均为 N，频率分别为 13.0% 和 14.7%。70 m 处，主次风向分别为 S 和 NNW，频率分别为 13.4% 和 12.4%，主次风能分别为 NNW 和 S，频率分别为 14.8% 和 14.1%。风向和风能频率集中有利于风机的排列布局和稳定运行。

(3) 测风塔在不同高度 10 m、30 m、50 m、60 m 和 70 m 处的有效风力时数百分比分别为 54.5%、81.3%、85.6%、86.9%、80.6%。从风速分布来看，较大比例在可利用区间，风

能品质较好。

(4) 测风塔在不同高度 10 m、30 m、50 m、60 m 和 70 m 处的风功率密度分别为 54.8 W/m<sup>2</sup>、148.1 W/m<sup>2</sup>、208.0 W/m<sup>2</sup>、275.1 W/m<sup>2</sup>、283.2 W/m<sup>2</sup>。按照国家标准《风电场风能资源评估方法》中给出的风功率密度等级，摘箸山岛风功率密度等级接近 3 级，其风能资源具有一定的开发价值。

## 参考文献

- [1] 张海春, 郁小芬, 孙兆栋, 等. 舟山群岛新区新能源开发应用现状及发展建议[J]. 中外能源, 2013, 18(1): 95-100.
- [2] 辛焕海, 周飞, 杨欢, 等. 摘箸山岛新能源电网设计关键技术[J]. 系统科学与数学, 2012, 32(4): 396-409.
- [3] 杨凤群, 林苗青, 翁永安. 南澳岛风能资源的评估[J]. 气象研究与应用, 2011, 32(3): 58-61.
- [4] 蔡志民. 辽宁省建平县白山风力发电工程项目选址的分析与研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [5] 仇中柱, 龚少林, 李芃, 等. 上海横沙岛风能资源评估[J]. 上海电力学院学报, 2010, 26(3): 223-226.