

马进山,肖辉,孔令军. 济宁东部山区风能资源开发潜力研究[J]. 气象, 2010, 36(1): 72-78.

济宁东部山区风能资源开发潜力研究

马进山¹ 肖 辉² 孔令军³

1 山东省济宁市气象局, 济宁 272037

2 中国科学院大气物理研究所云降水物理与强风暴实验室, 北京 100029

3 山东省泗水县气象局, 泗水 273200

提 要: 分别利用常规地面观测站、区域气象观测站(无人值守加密自动气象站)和临时人工测量站的资料对济宁地区东部山区风能资源进行了对比分析研究。结果表明,处在不同位置的观测站资料对济宁东部山区风能资源开发潜力的估算有较大影响,常规地面观测站或处于测风环境不好的观测站往往低估山区的风能资源;计算结果表明,济宁地区东部山区春季风能资源丰富,可利用风力发电灌溉农田,有效地缓解济宁东部山区部分地区春旱。

关键词: 风能资源, 气象站资料, 山区, 风能利用

Evaluation of Wind Resources in Mountainous Areas of Eastern Jining, Shandong

MA Jinshan¹ XIAO Hui² KONG Lingjun³

1 Jining Meteorological Office of Shandong Province, Jining 272037

2 Lab of Cloud-Precipitation Physics and Severe Storms, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

3 Sishui Meteorological Station of Shandong Province, Sishui 273200

Abstract: Using data from many surface weather observing stations and regional weather stations, the resources of wind energy are analyzed. The results indicate that different place of weather data has a tremendous influence on the evaluation of wind energy potentials for economic development in the eastern Jining. The conventional surface weather observations tend to underestimate wind energy resources in mountainous areas. However, the data from regional weather stations in mountainous areas especially near the summit (i. e. the site of automatic weather stations) track the mountainous resources of wind energy fairly well. According to data from the latter weather stations, it illustrates that Jining mountainous areas can be used to gather lots of wind energy and in the spring it is abundant in wind energy. And still harnessing the power of wind to make electricity for irrigation can alleviate spring drought in those areas.

Key words: wind energy, data from different weather stations, mountainous area, utilization

引言

新能源的开发利用是国家能源建设、实施可持续发展战略的需要,是促进能源结构调整、减少环境污染、推进技术进步的重要手段。在传统能源对地球环境污染日趋严重且日渐枯竭的现今,特别是在

全球气候变暖、常规能源逐步衰竭的背景下,节能减排和开发利用低污染的新能源,特别是可再生清洁能源,已成为全球关注的热点问题^[1-8]。中国各级政府对风能等可再生清洁能源的开发给予了高度重视,因此,研究和开发风能资源具有重要意义。

风能是一种可再生清洁能源。风力发电是当今世界新能源开发中技术最成熟、最具发展前景的

一种发电方式,在国内各地已相继开展风能利用和发电潜力研究^[9-13]。对一个特定地区来说,其是否具有开发潜力的前提是要有充足的风力资源。济宁地区地处鲁南山地丘陵与鲁西南黄泛平原的交接地带,东部多山,地势高亢。山前冲积平原由西向东微斜,中南部凹陷。全地区共有低山 141 座,其中海拔 400~500 m 的 21 座,全地区共有丘陵 800 多座,然而,由于山区风能资源监测难度大,观测资料匮乏,风能开发潜力的评估存在很大难度和不确定性。2006 年济宁地区安装了大量区域气象站(简称区域站),是一种无人值守的加密自动气象站,为进一步研究山区风能资源提供了大量资料。

为了开发利用山区自然资源,帮助解决山区大部分群众生活较为困难状况,当地政府对科学地开发利用当地风能等的气候资源十分重视,因此,本文对济宁地区山区风能资源进行调查,评估风能资源可开发利用的潜力,为地方政府开发利用当地风能资源,为地方政府提出的农田提水灌溉供电计划的实施提供科学依据。

1 使用资料说明

风能资源是风电开发的关键问题,同时风场的地形地貌和交通等条件也对风电开发有重要影响^[14-15]。经查泗水气象站(属于地面观测一般站)历史资料,发现 1971—2000 年的平均风速仅为 $2.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,这与当地群众反映的山区情况差距较大,通过实地考察并查阅当地地形资料,分析发现:由于济宁地区所有常规地面天气观测站都建在县城附近的平地上,地势较低,风速小,因而不能反映当地人所所说的大风现象。

图 1 是济宁市周围 2008 年 12 月 21 日 10 时 00 分风速分布图,该时次共读取 217 个气象观测站资料,其中大于 6 级风站数达到 25 个,5 个测站风力达 8 级以上。从图中明显看出,大于 6 级风的地面气象观测站只有嘉祥站($11.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)和滕州站($11.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),风速较大中心点均在区域站,图中地面气象观测站的风速明显小于区域站风速。

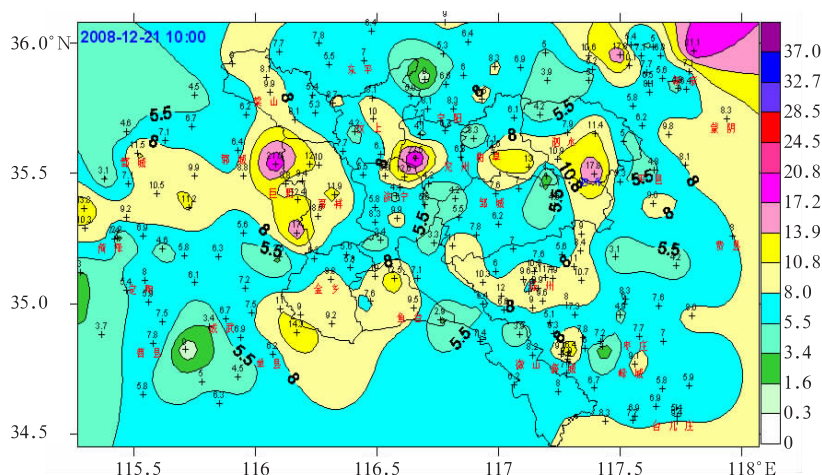


图 1 2008 年 12 月 21 日 10 时 00 分济宁市周围风速分布平面图($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

(图中下有红色标注的站点“+”为常规地面观测站,其他“+”为区域站)

Fig.1 Map of wind speed distribution around Nansihu Lake at 10:00 BT 21 December 2009

(Sites marked with a red “+” for conventional surface observation stations, the other “+” for intensive automatic weather stations)

综合考虑全市区域站位置和地形特点,本文采用 4 个区域站、1 个人工测量站和 1 个地面气象观测站资料进行计算分析,分别是:

(1) 山顶站:泗张站,海拔高度为 239 m,泗水县泗张乡区域气象站,该站是济宁地区海拔最高的区域气象站,站址在 $35^{\circ}29'54''\text{N}$ 、 $117^{\circ}23'30''\text{E}$ 。

(2) 地势较高站:苗馆站,海拔高度为 109 m,泗水县苗馆乡区域气象站,站址在 $35^{\circ}39'06''\text{N}$ 、 $117^{\circ}23'54''\text{E}$ 。

(3) 测风环境较差站:尼山站,海拔高度 129 m,位于曲阜市尼山水库旁的区域站,虽然地势较高,但四面环山;圣水峪站,海拔高度 208 m,位于一

企业院内,周围有遮挡。

(4) 人工测量站:小安山站,海拔高度为 231 m,位于泗水县大黄沟乡小安山山顶。站址在 $35^{\circ}41'53''\text{N}$ 、 $117^{\circ}27'37''\text{E}$ 。

(5) 常规地面气象观测站:泗水站,海拔高度为 110 m,位于 $35^{\circ}39'23''\text{N}$ 、 $117^{\circ}17'06''\text{E}$ 。

由于当初建站时考虑到安装及维护方便,该区域内只有一个人工测量站安装在山顶(泗张站),为了更多了解山区风能信息,通过走访当地群众决定选择小安山山顶作为进行人工测量的站点,并安排专人每天 14:50 至 15:00 到小安山山顶使用便携式测风仪进行风速测量,目的是找出小安山山顶风速与周围自动站测量站点之间的相关关系,然后用相关公式估算小安山山顶风速。选择 15 时进行风速测量主要是考虑到本时次为日风速最大(见图 3),防止当风速过小时某站出现零风速,造成相关计算时出现错误。

测量时间从 2009 年 3 月 7 日到 2009 年 6 月 7 日,共测量了 93 组数据。图 2 为小安山风速与周围 4 个区域站在同一时间风速的关系曲线及与各站风速的相关系数。

图 2 中小安山站风速与周围 4 个区域站风速都存在正相关,在现有资料情况下,选择相关系数相对较高的泗张站 ($R^2 = 0.4128$) 和圣水峪站 ($R^2 = 0.4395$) 的资料,通过关系公式进行小安山站历史数据的估算。

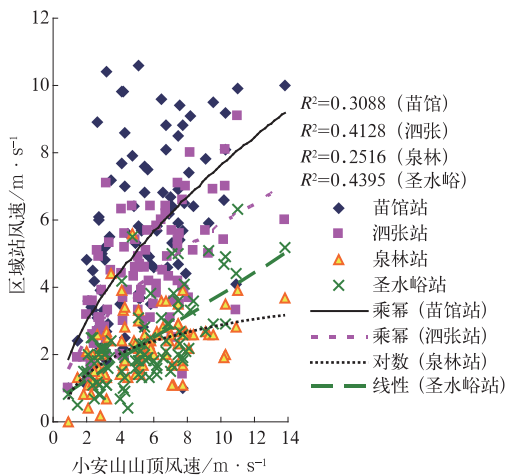


图 2 小安山站风速与周围 4 个区域站风速关系

Fig. 2 The relationship between Xiao-Ansan wind speed and wind speeds at the surrounding four intensive automatic weather stations

本文中,区域站资料统计时段为 2006 年 11 月 1 日 00 时至 2008 年 10 月 31 日 23 时,读取每小时一次风速资料;泗水站采用 1971 年 1 月 1 日至 2000 年 12 月 31 日观测资料。

2 风能计算方法

目前,通常采用的评价风能资源开发潜力的主要指标是有效风能密度和年有效风速时数。目前市场主要类型的发电机在风速 $3 \sim 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时有效,有效风能是指 $3 \sim 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风速所产生的能量^[16],有效风能密度是根据有效风速计算得到的风能密度。

目前常用的风能公式如下式所示^[3]:

$$\omega = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (1)$$

式中 ω 为单位时间单位面积获得的风能 (W); ρ 为空气密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); v 为风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

空气密度按下式计算^[17]:

$$\rho = \frac{1.276}{1 + 0.00366t} \frac{p - 0.378e}{1000} \quad (2)$$

式中 p 为平均大气压 (hPa); e 为平均水汽压 (hPa); t 为气温 ($^{\circ}\text{C}$)。

平均风能密度 \bar{w} ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) 是指该地某段时间内,风速 $v > 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的全部风能的平均:

$$\bar{w} = \frac{1}{2} \rho \frac{\sum N_i v_i^3}{N} \quad (3)$$

式中 v_i 为第 i 时段的风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); N_i 为 v_i 持续时间 (h)。

平均有效风能密度 \bar{w}_e ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) 是指该地某段时间内风速在风力机起动风速到截止风速范围内的风能密度的平均, \bar{w}_e 可以写成:

$$\bar{w}_e = \frac{1}{2} \rho \frac{\sum_{i=3}^{25} N_i v_i^3}{\sum_{i=3}^{25} N_i} \quad (4)$$

有效风速的小时数 T (h) 是指该地某段时间内风速在 $3 \sim 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 内的小时数, 即:

$$T = \sum_{i=3}^{25} N_i \quad (5)$$

年有效风能总量是指一年内风速在有效范围内单位面积风能量的总和,用下式表示:

$$w_e = \frac{1}{2} \rho \sum_{i=3}^{25} N_i v_i^3 \quad (6)$$

由于本文所选区域站均为四要素区域气象站, 装有气温和风速传感器, 但不采集气压、湿度参数, 为了计算区域站的上述参数, 需要有气压、湿度信息参与计算, 因此, 本文采用距离区域站最近的泗水站 1971—2000 年每月平均气压、水汽压信息进行计算, 但需要对气压参数进行高度订正。采用地面气象观测规范^[17]的气压订正方法对气压参数进行订正:

$$\Delta p = p_1(e^{-0.03415\Delta h/T_1} - 1) \quad (7)$$

式中 Δp 为气压订正值(hPa); p_1 气压(hPa); T_1 气温(K, 绝对温度); Δh 为海拔高度差(m)。

3 风能资源分析

3.1 风速、风能日变化

图 3 分别给出了 4 个区域站平均风速日变化, 图中各站风速变化趋势相同, 每日 4 时风速最低, 14 时到 15 时风速最高, 处于山顶泗张站风速大于 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的时间在 7:30 到 19 时之间, 小安山站全天平均风速均在 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。相应地, 图 4 中可以看到平均有效风能变化规律与风速变化基本相同, 大值区在 7 时到 19 时之间。

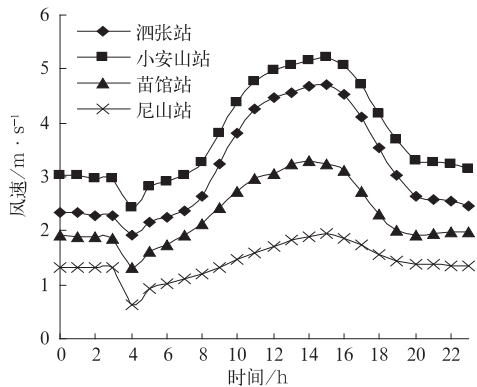


图 3 不同区域站风速日变化
Fig. 3 Daily change of wind speed

3.2 风速、风能年变化

图 5 给出了 5 个站平均风速年变化, 图 6 给出了 4 个站有效风能密度的年变化。由图 5、图 6 可见, 各月平均风速存在明显的月季变化, 均表现为 3 月的风速和有效风能密度最大, 山顶测站泗张站平均风速大于 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的月份为 3、4、5、7、8 和 10

月, 山顶测站小安山站各月平均风速均大于 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。相应的 3 月份泗张站平均有效风能密度最大为 $367.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 小安山站平均有效风能密度达到 $277.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

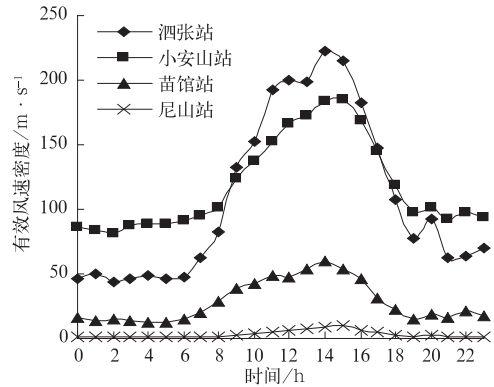


图 4 有效风能密度日变化

Fig. 4 Daily change of the effective wind energy density

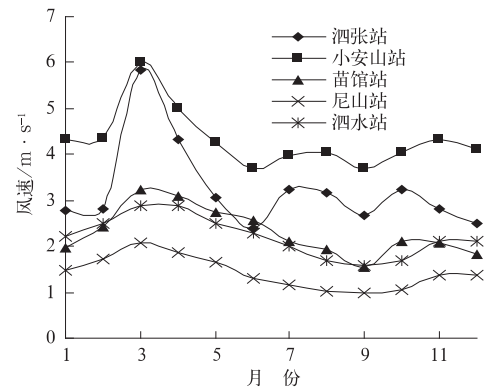


图 5 风速月变化

Fig. 5 Monthly changes in wind speed

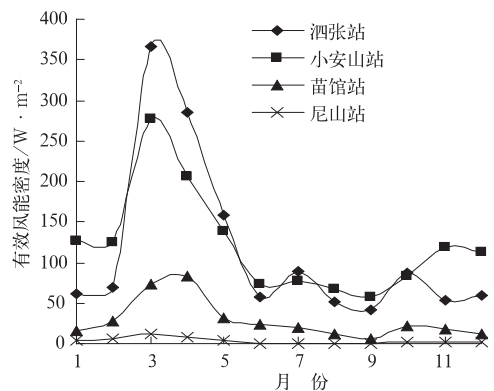


图 6 有效风能月变化

Fig. 6 Monthly changes in the effective wind energy

图 5 中泗水站月均风速观测资料除 3、6 月份风速接近 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 外,其他月份平均风速远远小于处于山顶站的风速,因此,泗水站风能资料不能代表泗水县周围山区风能实际情况。因此,利用泗水站观测的风速资料对山区的风能进行评估将产生较大误差。

表 1 详细列出了本次计算的所有区域站风能信

息,表 1 中泗张站年均风速 $3.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,年平均有效风能密度 $118.1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,年有效风速的小时数为 3604 小时,根据我国风能指标^[18](表 2),泗张站属于风能可利用区;小安山站平均风速 $4.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,年平均有效风能密度 $121.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,年有效风速的小时数为 6241 小时,应处在可利用区和较丰富区之间。

表 1 区域站风能表

Table 1 List of wind energy at intensive automatic weather stations

区域站名	海拔高度/m	测风环境	年平均风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	年平均风能密度/ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	年平均有效 风能密度/ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	年有效风能总量/ $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$	年有效风能 小时数/h
泗张	239	好	3.2	118.11	114.85	806.8	3604
小安山	231	好	4.3	124.16	121.87	916.7	6241
苗馆	109	中	2.3	30.94	28.24	221.0	2399
尼山	129	差	1.4	5.5	3.23	25.4	611
圣水峪	208	差	1.8	16.9	14.2	112.2	1691

表 2 中国风能指标

Table 2 The wind energy indicators of China

风能指标	丰富区	较丰富区	可利用区	贫乏区
年有效风能 密度/ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	≥ 200	200~150	150~50	≤ 50
风速 $\geq 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的年小时数/h	≥ 5000	5000~4000	4000~2000	≤ 2000

4 风能资源利用

4.1 风力发电能力的评估

一台风力发电机的发电量可由下式计算^[19]:

$$P_w = \frac{1}{2} C_p \eta_m \eta_e \rho A V^3 \quad (8)$$

式中, P_w :单位时间空气流过风力发电机叶轮断面面积的风能,即风能功率(W); C_p :叶轮的风能利用系数; η_m :齿轮箱和传动系统的机械效率,一般为 0.80~0.95,直驱式风力发电机为 1.0; η_e :发电机效率,一般为 0.70~0.98; ρ :空气密度($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); A :风力发电机叶轮旋转一周所扫过的面积(m^2); V :风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

发电效率与风力发电机的种类有关,因本文主要讨论贫困山区利用风能发电提水灌溉,所以选用价格相对便宜的螺旋桨式风力发电机,此种发电机一般计算时取 $C_p \eta_m \eta_e = 0.3$ 。

图 7 为不同测站采用螺旋桨发电机在不同直径

发电机上每年的发电量。处于山顶的泗张站、小安山站具有较大的风能发电能力,其他 3 站风能远小于上述 2 站。

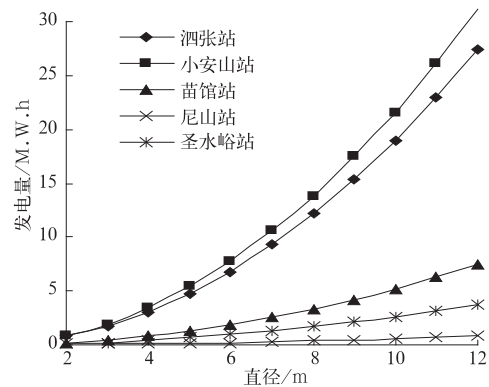


图 7 不同直径发电机年内发电量

Fig. 7 Generating capacity (MW · h) of different diameter generator during a year

4.2 山区春季抗旱的需求与春季风能

表 3 为泗水站 1971—2000 年月平均降水量,春季降水量为 66.2 mm,占全年降水量的 9.7%。由于泗水站冬季平均降水量最少,仅占全年的 4.9%。随着春季气温不断升高,蒸发量加大,植物生长需要大量的水分,而春季降水量仍较少,干旱就产生了。济宁市普遍存在春季干旱问题,也符合山东省旱灾规律^[20]。

表 3 泗水站 1971—2000 年各月平均降水量
Table 3 The monthly average precipitation (mm) over Sishui conventional surface meteorological stations from 1971 to 2000

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
雨量/mm	7.9	10.9	21.3	34.0	45.1	88.3	197.0	149.4	66.7	39.1	16.4	9.5	685.7

图 6 所示,山区春季风能资源十分丰富,泗张站整个春季平均有效风能密度达到 $241.1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,春季有效风能时数为 964 h;小安山站整个春季平均有效风能密度 $202.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,春季有效风能时数为 1609 h。图 8 为春季不同测站在不同直径风力发电机上平均风能功率,图中显示春季处于山顶的测站具备较大风力发电能力。

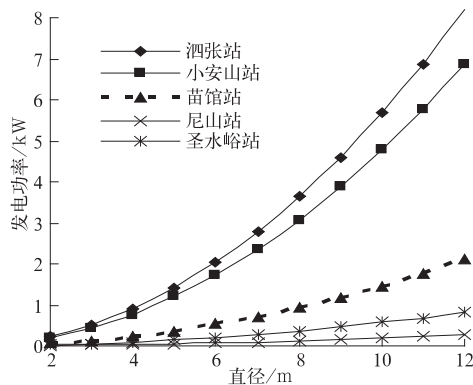


图 8 春季不同测站不同直径发电功率
Fig. 8 The electric power(kW) produced by generators with different diameters in the spring

济宁地区共有大中型水库 5 座,小型水库 246 座,大多集中在山区,一般周围环山,如果把风力发电机安装在水库附近的山顶,利用风力发电带动水泵灌溉农田,将能解决许多农田干旱问题。

4.3 提水总量计算

重力势能公式为 $E = mgh$,如果设提水扬程按 20 m,水泵效率按 0.8 计算,则山区各站不同直径风力发电机年提水量如图 9 所示。可见泗张站和小安山站有较大提水能力。

4.4 风力发动机直径选择

首先需要考虑提水需要的流量和扬程,然后根据“功率=流量×扬程×密度×重力加速度”的关系估算水泵功率,最后根据所需水泵功率查图 8 估算风力发电机直径^[21-22]。

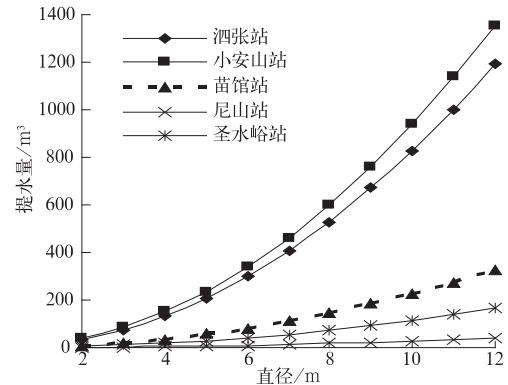


图 9 各站不同直径发电机年提水量
Fig. 9 The annual pumping water amount (m^3) by generators with different diameters

5 结论和讨论

(1) 计算济宁东部山区风能的大小与测量位置和测量环境密切相关,风能丰富区在山顶附近,如果测量点周围有遮挡,即使地势较高,风能也不大。

(2) 位于山顶的泗张站、小安山站风能资源丰富(尤其是春季),有较大的开发利用价值。在风能丰富区安装风力发电机提水灌溉农田,能部分地缓解当地山区春旱问题。

(3) 为了开发利用山区气候资源为科学发展农村经济服务,应当有计划地在不同地区建设自动气象观测站,以准确掌握不同地区尤其是边远山区的气候资源,这对解决贫困山区充分利用当地气候资源具有重要的作用。

参考文献

- [1] 朱瑞兆,薛衍. 风能的计算和我国风能的分布[J]. 气象, 1981, 7(8): 26-28.
- [2] 植石群,钱光明. 广东省沿海风能的分析及计算[J]. 气象, 2001, 27(5): 43-46.
- [3] 张希良主编. 风能开发利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

- [4] 廖顺宝,刘凯,李泽辉. 中国风能资源空间分布的估算[J]. 地球信息科学,2008,10(5): 551-556.
- [5] 齐丽丽. 国际风力发电的现状 & 展望[J]. 辽宁气象, 2005, (04): 36-38.
- [6] 李静秋,罗立军,王明辉,等. 齐齐哈尔风能资源分析及利用[J]. 黑龙江气象,2003,(04): 34-35.
- [7] 朱瑞兆. 我国太阳能风能资源评价[J]. 气象,1984,10(10): 19-23.
- [8] 朱瑞兆,薛桁. 我国风能资源[J]. 太阳能学报,1981,2(2): 117-124.
- [9] 徐焕,杜慧珠,孟昭翰. 关于风能在农田灌溉中的应用[J]. 气象,1982,8(7): 16-17.
- [10] 河南省气象局科研所. 嵩山气象站的风力发电试验[J]. 气象,1985,11(2): 49.
- [11] 陈双溪,聂秋生,曾辉,等. 鄱阳湖区风能资源储量及分布研究[J]. 气象与减灾研究. 2006. 29(1): 1-6.
- [12] 黄梅丽,史彩霞,谭强敏,等. 广西山地风能资源开发利用可行性分析——以大容山为例[J]. 成都信息工程学院学报,2007, 22(2): 247-252.
- [13] 张容焱,张秀芝,蔡连妃,等. 热带气旋对中国沿海风电开发的影响[J]. 2009,35(12),88-95.
- [14] 申华羽,吴息,谢今范,等. 近地层风能参数随高度分布的推算方法研究[J]. 气象,2009,35(7): 54-60.
- [15] 刘学锋,任国玉,梁秀慧,等. 河北地区边界层内不同高度风速变化特征[J]. 气象,2009,35(7),46-53.
- [16] 刘旭,卢晓东. 风力发电场可行性研究阶段的风资源评价[J]. 山东气象,2002,(01): 31-32.
- [17] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社, 2003: 28-34.
- [18] 张洪卫,马立娟,张立清. 东营市风能资源探讨[J]. 陕西气象, 2000,(06): 8-10.
- [19] 田德. 国内外风力发电技术的现状与发展趋势[J]. 农业工程技术(新能源产业),2007,01: 51-56.
- [20] 顾润源,汤子东. 2002年夏季山东干旱成因分析[J]. 气象, 2004,30(8): 22-26.
- [21] 朱瑞兆. 风力机位置选择中的一些气象问题[J]. 气象,1981,7 (11): 13-14.
- [22] 包应宗. 风力机在提灌中的应用[J]. 干旱气象. 1984,01: 32-34.