

新型风光互补发电模式研究

孔昭杰, 黄远东

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 提出了以聚光镜加热空气使之对流并通过伞状透光材料整流为水平方向的风力, 生成的热风与自然风联合推动普通风力发电机发电的新型模式. 通过建立量纲分析模型, 揭示了各个变量间的关系. 以直径 1.5 m 聚光镜进行造风实验, 测得了同一热源下不同高度处的风速波动和温度差的变化、同一高度差 0.7 m 处不同热源强度下的风速波动与温度差的变化、测点相同温度差 25 °C 下不同位置处风速波动和风速随高度变化的幅度与温度差的关系. 运用方差齐次性检验和方差分析, 比较了各组数据的显著性差异, 证明了该新型发电模式的可行性.

关键词: 量纲分析; 聚光镜; 风力; 方差分析

中图分类号: TK 514 **文献标志码:** A

A New Type of Wind/Solar Hybrid Power Generation Mode

KONG Zhaojie, HUANG Yuandong

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: A new power generation mode was proposed, where the air was heated by a collecting mirror, gathered by umbrellalike transparent material and combined with the natural wind to drive a wind turbine so as to generate electricity. The relationships among variables affecting power generation were revealed by a dimensional analysis approach. Furthermore, the variation of wind speed fluctuations and temperature difference along with the height under one and the same heat source; the variation of wind speed fluctuations and temperature difference under different heat sources when the height difference was 0.7 m; the variation of wind speed fluctuations along with the height difference when the temperature difference was 25 °C; and the relation between the range of wind speed changing with the height and the temperature difference. The relations among variables affecting power generation were analyzed using the experimental data by the test of variance homogeneity and variance analysis. This new type of power generation mode was proved to be feasible in the study.

Key words: dimensional analysis; collecting mirror; wind power; variance analysis

收稿日期: 2013-10-25

基金项目: 上海市大学生创新基金资助项目(SH1110252105)

第一作者: 孔昭杰(1993-), 男, 本科生. 研究方向: 环境工程专业. E-mail: 1109097144@qq.com

通讯作者: 黄远东(1965-), 男, 教授. 研究方向: 大气污染控制. E-mail: huangyd@usst.edu.cn

德国 Schlaich 等^[1] 1978 年首先提出了建造太阳能烟囱电厂 SCPP 的设想. 1981 年, 德国和西班牙合作在西班牙 Manzanares 建造了第一座 SC 示范电厂^[2]. 该发电系统主要由集热棚、涡轮机、烟囱和蓄热层 4 个部件组成, 其中由透光集热棚集中太阳热量, 加热空气, 推动涡轮机发电^[3].

在此种模式的启发下, 想到是否能改进一下和普通风力发电方式结合起来. 因为普通风力发电塔受自然风作用转速普遍不快, 产生能量的效率也很低. 所以改进风力发电塔, 使其转速加快是一个重要课题.

改进方案是构造抛物聚光器, 或者以定日镜技术组成聚光阵列, 如图 1 所示. 在阳光的直射下, 光能被集中于一个焦点, 形成一个巨大的温室, 使周围空气迅速加热而上升, 并与自然风一起联合推动风力发电机发电, 形成某种意义上的风光互补. 当然, 自然风与生成热气流夹角为 90° , 风力发电机叶片无法接受自下而上的气流推动, 所以通过伞状透光材料整流, 使热空气变为水平风. 且热空气进入透光材料也避免了外部气流的干扰, 倒漏斗型使得下部空气能补充充足.

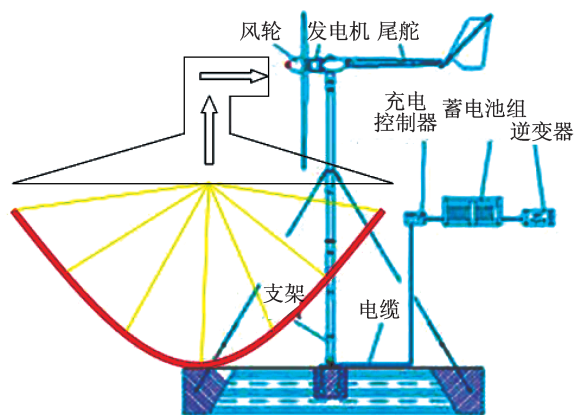


图 1 发电模式示意图

Fig.1 Schematic diagram of power generation mode

由于没有建造大型装置的条件, 仿效一些研究者通过小型装置进行模拟实验^[4-6]. 使用直径 1.5 m 的抛物聚光器, 不使用整流设备的情况下测量数据, 研究不同太阳辐射能量、测量点不同高度位置、测量点不同温度等因素对造风效果的影响关系, 建立数学模型, 对于未来大规模普及提供了理论支持. 本项目突破了原有风光互补(太阳能电池与风力发电结合)的方法, 利用太阳能转换风能, 再转为电能的方式, 并且与普通风力发电相结合, 更为环保, 大大降低成本. 本设计在国内外均无研究先例, 相关资料

较少, 所以具有较强的研究价值.

1 模型的建立与数据分析

1.1 量纲分析

对于本问题, 采用 E 为焦斑能量, J; t 为测点空气温度与环境温度差, $^\circ\text{C}$; r 为离焦斑高度距离, m; P 为大气压强, Pa; ρ 为空气密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; v 为热气体速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. 建立量纲分析模型^[7], 从而确定它们之间的关系. 设基本量纲为长度 L, 质量 M, 时间 T, 温度的量纲 Θ , 则

$$[v] = \text{LT}^{-1}$$

$$[E] = \text{L}^2\text{MT}^{-2}$$

$$[t] = \Theta$$

$$[\rho] = \text{L}^{-3}\text{M}$$

$$[P] = \text{L}^{-1}\text{MT}^{-2}$$

$$[r] = \text{L}$$

得到量纲矩阵

$$A_{4 \times 6} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 & -3 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 0 & -2 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

齐次方程 $\mathbf{AY} = 0$ 有 $6 - 4 = 2$ 个基本解, 为 $\mathbf{Y}_1 = (3, 0, -1, 0, 1, 0)^T$, $\mathbf{Y}_2 = (3/2, 0, -1/2, 1/2, 0, 1)^T$

根据量纲分析的 Buckingham Pi 定理, 由这 2 个基本解可以得到 2 个无量纲量

$$\pi_1 = r^{\frac{3}{2}} E^{-\frac{1}{2}} \rho^{\frac{1}{2}} v, \pi_2 = r^3 E^{-1} P$$

$$F(\pi_1, \pi_2) = 0$$

根据隐函数存在定理, 则 $\pi_1 = f(\pi_2)$. 所以,

$v = \left(\frac{E}{r^3 \rho} \right)^{\frac{1}{2}} f\left(\frac{r^3 P}{E} \right)$, f 函数待定. 可以看到, 当 E , P , ρ 恒定时, 气流速度 v 只与 r^3 有关.

1.2 同一热源能量下的 v, r, t 的关系

实验测得数据绘制如图 2 所示, 4 条曲线呈较明显的分层. 因为所测得每组数据的气流随机误差波动服从正态分布, Matlab 软件作方差齐次性检验通过后, 可以用方差分析法得到 4 组数据是否具有显著性差异^[7-8]. 方差分析得失误差率 $p = 4.58206 \times 10^{-13} < 0.01$ 极小, 说明 r 变化对 v 的差异极显著. 随着 r 的增大, 则 t 减小, v 减小. 距离热源越近则温度越高, 风速越大, 这与我们的普遍认识相一致.

1.3 相同 r 值, 不同热源下 t 与 v 的关系

实验测得数据如图 3 所示, 4 条曲线呈较明显的分层. 方差齐次性检验通过后, 方差分析得失误差

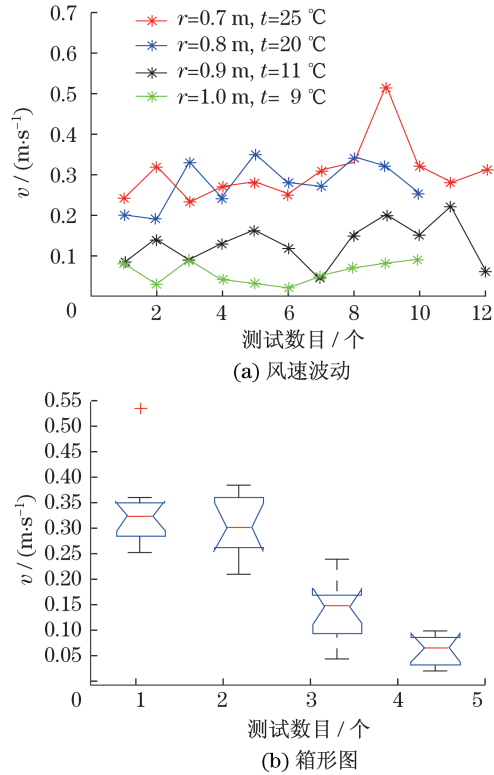


图2 同一热源下不同高度处的风速波动和箱形图
Fig.2 Variation of wind speed fluctuations and box-plot along with the height under the same heat source

概率极小, $p = 1.126\ 05 \times 10^{-5} < 0.01$, t 对 v 影响极其显著. 随着 t 的增大则 v 增大, 这与我们的普遍认识相一致.

1.4 相同温度差时 r 与 v 的关系

实验测得数据如图4所示, 4条曲线呈较明显的分层. 方差齐次性检验通过后, 用方差分析得到失误差率极小, $p = 5.2951 \times 10^{-9} < 0.01$, r 对 v 影响极其显著. 当测点温度差 t 相同时, 此处高度 r 越大, 则风速也越大. 这是一个有趣的现象, 分析原因, 热源能量 E 越强, 对周围整体空气的影响越强, 使得处在相同的温差下, 该处位置越高, 下部空气流动量越大, 从而整体风速越大.

1.5 v 随 r 的变化幅度与 t 的关系

图5(见下页)为不同温差下, 风速随高度的变化关系. 图5(a)中两组数据经方差齐次性检验值为 $0.964\ 9 > 0.05$, 说明方差齐次. 后用方差分析得到失误差率 $p = 0.307 > 0.05$, 数据差异不显著.

图5(c)中两组数据经方差齐次性检验值为 $0.832 > 0.05$, 说明方差齐次. 后用方差分析得到失误差率 $p = 4.133\ 34 \times 10^{-6}$ 极小, 两组数据差异极其显著.

图5(a)折线分层明显弱于图5(c), 比较两者 p

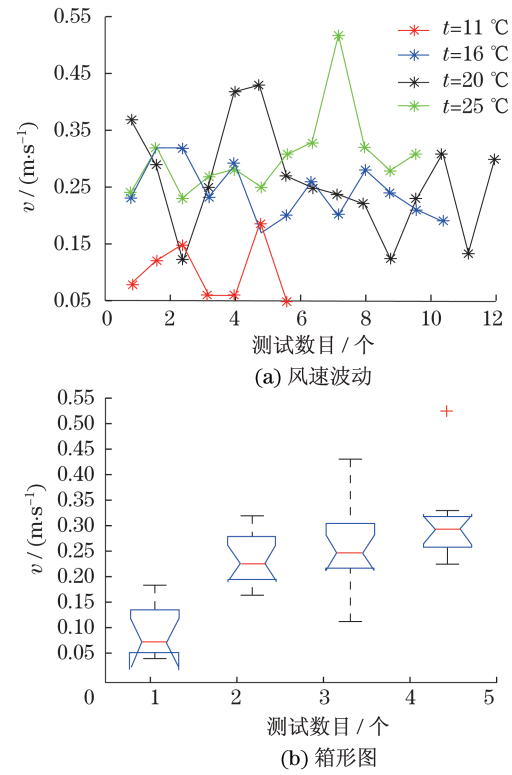


图3 同一高度差 0.7 m 处不同热源强度下的风速波动和箱形图
Fig.3 Variation of wind speed fluctuations and box-plot under different heat source at $r = 0.7\text{ m}$

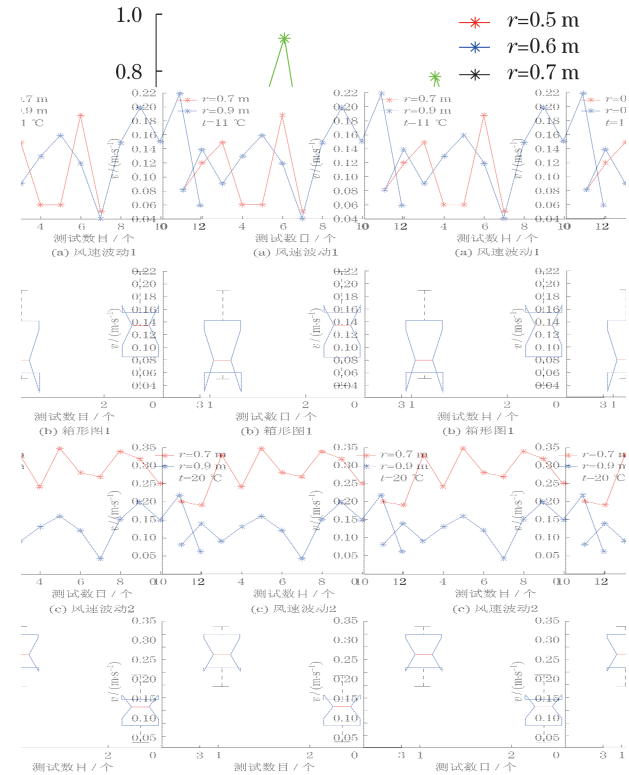


图4 测点相同温度差 25 °C 下不同位置处风速波动和箱形图
Fig.4 Variation of wind speed fluctuations and box-plot along with the height difference at $t = 25\text{ °C}$

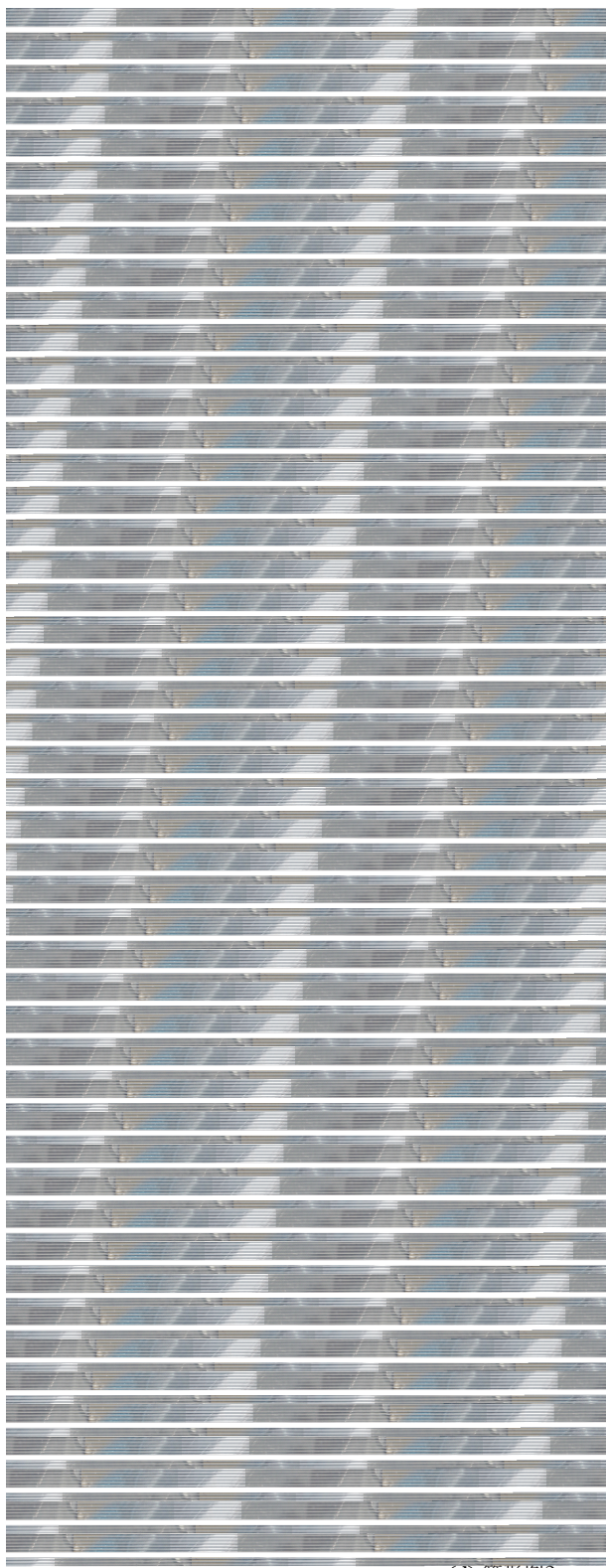


图5 风速随高度变化的幅度与温度差的关系

Fig.5 The relation between the range of wind speed changing with the height and the temperature difference

值大小也得到同样结果.说明温差 t 越大,高度 r 对风速 v 的影响越显著.

2 结束语

通过建立量纲分析模型,得到 $v = \left(\frac{E}{r^3 \rho}\right)^{\frac{1}{2}} f \cdot \left(\frac{r^3 P}{E}\right)$, f 函数待定.可以看到,当 E, P, ρ 恒定时,气流速度 v 只与 r^3 有关.对已测得的数据通过 Matlab 软件进行方差齐次性检验和方差分析,得到下述结论: E 一致时,随着 r 增大则 t 减小, v 减小; r 一致时,随着 t 增大则 v 增大; t 一致时,随着 r 增大则 v 增大; t 越大, r 对 v 的影响越显著.

综上所述,此新型风光互补发电模式在造风方面具有较强的可行性,可以进行小规模의普及实验.

参考文献:

- [1] Schlaich J, Mayer G, Haff W. Auf wind kraft werke-die demon stration sanlage in Manzanares, Spanien [C]// Proceedings of the National Conference on Power Transmission. Hamburg, 1980:97 - 112.
- [2] Robert R. Spanish solar chimney nears completion[J]. MPS Review, 1981, 6:21 - 23.
- [3] 左璐,郑源,周建华. 太阳能烟囱发电技术研究进展[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2009, 37(1): 41 - 47.
- [4] 张华,张静敏,黄惠兰,等. 太阳能热风发电系统的空气集热器试验装置的研制[J]. 上海理工大学学报, 2007, 29(4):383 - 385.
- [5] 周新平,杨家宽,肖波. 太阳能塔内发电试验装置内流场的 CFD 模拟研究[J]. 热力发电, 2006, 35(3): 23 - 27.
- [6] 范振河,刘发英. 太阳能烟囱发电系统的 CFD 模拟研究[J]. 可再生能源, 2009, 27(4):7 - 9.
- [7] 韩中庚. 数学建模方法及其应用[M]. 北京:高等教育出版社, 2005.
- [8] 何正风. Matlab 在数学方面的应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2012.

(编辑:董 伟)