

A Trend-Surface Analysis on the Effect of Battery Plate Temperature and Radiation Levels on Pv Generating Capacity

Xuemei Lv¹, Zongyi Sun¹, Zhangchi Cao²

¹Meteorology Bureau of Pingyi County, Pingyi

²Meteorology Bureau of Linyi City, Linyi

Email: lxm234@126.com

Received: Dec. 4th, 2013; revised: Jan. 5th, 2014; accepted: Jan. 16th, 2014

Copyright © 2014 Xuemei Lv et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Xuemei Lv et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: Using PV data from Linyi Juhuang PV tracking demonstration power plant in 2011 and observational data of synchrotron radiation, and adopting trend-surface analysis, this paper analyzes effect of temperature changes of polycrystalline silicon solar panels and radiation changes of four seasons as spring, summer, autumn and winter and a whole year on generating capacity. The results show that the second and third trend-surfaces fit degrees of four seasons and a whole-year generating capacity reaches significant level. The effect changing trends can be revealed. The second trend-surface fitting equation of effect of temperature of the battery plate and radiation changes on PV generating capacity can be used in forecast of PV power station output. In addition, the study finds that the effect of plate temperature and radiation changes on generating capacity is rather complex. They restrict each other and work together. In a whole, they show a bi-directional trend, that is, if radiation level has the positive change, strip temperature has the negative change. Power generations in different seasons are influenced by strip temperature and radiation changes, and the change trend and range are different. The influence of strip temperature on PV generating capacity is more complex.

Keywords: Battery Plate Temperature; Radiation Level; Pv Generating Capacity; Trend-Surface Analysis

电池板温度及辐射量对光伏发电量影响的趋势面分析

吕学梅¹, 孙宗义¹, 曹张驰²

¹平邑县气象局, 平邑

²临沂市气象局, 临沂

Email: lxm234@126.com

收稿日期: 2013年12月4日; 修回日期: 2014年1月5日; 录用日期: 2014年1月16日

摘要: 利用临沂巨皇光伏跟踪示范电站 2011 年光伏发电数据和同步辐射观测资料, 采用趋势面分析法进行春、夏、秋、冬四季和全年多晶硅太阳能板温度变化和辐射量变化对发电量影响分析, 结果表明: 四季和全年发电量二次和三次趋势面拟合度均达显著水平, 可以揭示其影响变化趋势, 电池板温度和辐射量变化对光伏发电量影响的二次趋势面拟合方程完全可以用于光伏电站发电量的预报预测。另外研究发现板温和辐射量变化对发电量的影响较为复杂, 二者相互制约又共同发挥作用, 总体表现出双向渐变趋势, 即辐射量正向变化、板温负向变化。不同季节发电量受板温和辐射量变化影响其变化趋势和幅度也有所不同, 板温对光伏发电量的影响较为复杂。

关键词: 板温; 辐射量; 发电量; 趋势面分析

1. 引言

随着光伏发电产业的发展, 太阳能光伏发电技术成为当今世界可再生能源发电领域的一个研究热点^[1-6]。近年来, 我国大规模的并网光伏发电系统得以快速发展, 但目前我国对太阳能光伏发电量预报方法的研究还很薄弱, 几乎没有可满足实际太阳能光伏发电量预报需求的方法和系统^[7-10]。

太阳能光伏发电系统是将太阳能转化成电能的发电系统, 利用的是光生伏打效应。光伏发电系统的主要部件是太阳能电池板、蓄电池、控制器和逆变器。因此太阳能光伏发电不仅受昼夜、晴雨、季节等的影响, 同时还会受到光伏发电系统主要部件对转化率的影响。王建军^[4]指出光伏发电系统在实际应用中, 其发电性能受自然环境条件的影响较大, 其中系统主要部件——太阳电池组件和蓄电池的工作温度是影响光伏发电系统性能的重要因素之一。王艳等^[5]对比分析了光强和温度对电池输出特性的影响, 数据结果表明在温度对开路电压的负影响比较显著, 光强比对短路电流的正影响比较显著。综合来讲, 在高倍聚光条件下, 温度对太阳电池输出特性的影响较大, 实际工作中需要采用散热设施。刘玉兰等^[6]研究表明光伏电站逐日、逐时输出功率与日照时间、光照强度呈高度正相关, 日照时间越长、光照强度越大组件输出功率越多; 云量和相对湿度对光伏功率起削弱作用, 且低云量的影响要大于总云量的影响, 云状也有显著影响; 温度对光伏电站功率的影响较为复杂, 温度升高光伏功率减少, 其机制需进一步深入研究。诸多研究表明^[4-6]辐射和温度是影响光伏发电量的两大主要因素, 目前对辐射或是温度的研究仅限于单一因素的影响研究, 实际上两种因素的影响是同时存在的, 同时种种研究表明其影响并非线性的, 因此需要采取合适的方法、模型进行进一步深入研究。

2. 资料来源及处理

2.1. 资料的来源

资料来自临沂巨皇光伏跟踪示范电站。该示范电站是临沂市光伏工程技术研究中心和山东巨皇光电科技有限公司联合设计施工投资的 20 兆瓦级光伏跟踪电站一期工程, 属于并网太阳能光伏发电系统。

电站位于临沂市平邑县平邑镇小井村, (117°47'E, 35°28'N), 电站采用高精度双轴跟踪方式, 电池板为多晶硅光伏电池板, 规格为 1480 mm @ 990 mm @ 50 mm, 逆变器型号 SG-250-K3。电站同步安装辐射表, (型号为 TBQ-2 总辐射表), 进行了太阳总辐射资料的观测收集。

2.2. 资料的处理

原始资料为 2011 年全年逐日逐时光伏发电资料。原始资料包括光伏发电运行日志和光伏发电环境观测资料。光伏发电环境观测资料每五分钟记录一次, 包括辐射强度、辐射量、板温、环境温度、风向、风速、累计辐射量等观测项目。光伏发电运行日志记录了四个逆变器的逐小时的电压、电流、输出功率及累积发电量, 当日总发电量为四个逆变器输出发电量之和。考虑研究需求, 对光伏电站环境观测资料和运行日志的数据进行整理和处理。从 2011 年光伏跟踪电站的发电资料中提取 4 时至 21 时逐小时太阳辐射、板温、发电量。另外进行板温、辐射度对发电量分季节和全年的影响分析, 由于数据量过大, 分别用 1、4、7、10 月数据代表冬、春、夏、秋季, 以 4 月之和代表全年。

3. 数据分析方法

采用 DPS (v14.10) 数据处理系统进行趋势面分析。

趋势面分析是拟合数学面的一种统计方法。具体的方法就是用数学方法计算出一个数学曲面来拟合数据中的区域性变化的“趋势”, 二次为抛物面、椭圆面或双曲面, 三次以上的趋势面为更复杂的图形^[11,12]。在利用趋势面分析拟合回归模型时, 所选择的模型必须是剩余值较小, 回归平方和比较大, 这样才能使拟合度较高, 结果才能达到足够的准确性。

这里就是用多元回归的方法来拟合出一个发电量与电池板温度和辐射量及其二者的各种组合的曲面方程, 当 x 和 y 的最高次数为 2 时, 二次趋势面方程的模型为:

$$Z = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 y + \beta_3 x^2 + \beta_4 xy + \beta_5 y^2 + \varepsilon_{ij}$$

式中, 为 β 回归系数; x 为板温; y 为辐射量; Z 为发电量。拟合精度为回归平方和 SS_R 占剩余平方和 SS_T 的比值百分数, 即 $C = SS_R / SS_T \times 100\%$, 最后用 DPS 提供的 3D 作图功能做出等值线 - 趋势面图。

4. 结果与分析

4.1. 春季板温、辐射量对发电量影响的趋势面分析

分别以春、夏、秋、冬和全年小时发电量为因变量，以板温和辐射量为自变量进行趋势面回归分析，二元二次和二元三次趋势面分析的拟合精度和显著性均符合统计要求，如表 1，其二元二次趋势面回归方程见表 2。

4.2. 春季板温、辐射量对发电量影响的趋势面分析

由表 1 可以看出，春季板温、辐射量变化对发电量影响趋势面分析拟合结果达显著水平，二元二、三次趋势面拟合度为分别 75.19% 和 75.66%。

由图 1 可以看出，春季辐射量大约在 0~0.9873 km/m² 之间，板温在 -1.0℃~42.4℃ 之间变化。发电量的变化呈双向渐变，随辐射量的增加，发电量逐渐增加，且变化较快；随板温升高发电量逐渐减少，变化相对缓慢。辐射量变化的影响大于板温，在低温区表

现尤为明显。三次趋势面分析结果较为复杂，三次趋势面分析较二次分析结果更能表现局部变化规律，在板温在 10℃~30℃ 之间随辐射量的增加发电量达到最大。在低温区发电量随辐射量增加呈现出抛物式变化，高温区发电量随辐射量增加相对缓慢。

4.3. 夏季板温、辐射量对发电量影响的趋势面分析

由表 1 可以看出，夏季板温、辐射量变化对发电量影响趋势面分析拟合结果达显著水平，二元二、三次趋势面拟合度为分别 84.68% 和 85.06%。

由图 2 可以看出，夏季辐射量大约在 0~0.9195 km/m² 之间，板温在 18.0℃~54.2℃ 之间变化。发电量的变化呈双向渐变，随辐射量的增加，发电量逐渐增加，且变化相对均匀；随板温升高发电量逐渐减少，低辐区尤为明显，影响幅度随温度升高发电量减少幅度也逐渐加大。三次趋势面分析结果较为复杂，发电量变化总趋势为沿着高温低辐区向低温高辐区逐渐增加，中间区域影响相对平缓。在高温低辐和低温高辐区影响较为明显，呈两极分化。

Table 1. Fitting effect for trend surface analysis on the effect of battery plate temperature and radiation levels to Pv generating capacity
表 1. 电池板温度和辐射量对光伏发电量影响的趋势面拟合效果

	二次拟合				三次拟合			
	残差标准差 σ	F	P	拟合度 C/%	残差标准差 σ	F	P	拟合度 C/%
春季	125.6041	298.7628	0.0000	75.19	124.9182	168.8547	0.0000	75.66
夏季	84.1387	304.0066	0.0000	84.68	83.6987	171.4396	0.0000	85.06
秋季	88.5142	403.0118	0.0000	84.88	84.9029	247.2573	0.0000	86.24
冬季	157.5276	139.4366	0.0000	66.26	158.2280	76.8765	0.0000	66.34
全年	120.7656	295.3568	0.0000	75.20	118.6782	172.2747	0.0000	76.25

Table 2. Regression equation of trend surface analysis on the effect of battery plate temperature and radiation levels to Pv generating capacity
表 2. 电池板温度和辐射量对光伏发电量影响的二次趋势面回归方程

二元二次趋势面拟合方程	
春季	$Z = -10.58959 + 0.6269954753 \times X + 1659.479117416 \times Y - 0.10037880678 \times X^2 - 12.127022559 \times X \times Y - 537.822542370 \times Y^2$
夏季	$Z = -54.24850 - 0.21841626104 \times X + 1145.645435556 \times Y + 0.09358512207 \times X^2 - 7.973368072 \times X \times Y - 269.975751900 \times Y^2$
秋季	$Z = 0.35909 - 0.7193517621 \times X + 1350.503562854 \times Y - 0.07169823140 \times X^2 + 11.492512319 \times X \times Y - 1069.983494978 \times Y^2$
冬季	$Z = 14.88070 - 3.755538566 \times X + 1727.236481284 \times Y - 0.7421478271 \times X^2 + 18.369626883 \times X \times Y - 778.215013345 \times Y^2$
全年	$Z = 40.52660 - 11.292077092 \times X + 1707.192135067 \times Y + 0.27764296607 \times X^2 - 11.768259154 \times X \times Y - 708.598011061 \times Y^2$

4.4. 秋季板温、辐射量对发电量影响的趋势面分析

由表 1 可以看出，秋季板温、辐射量变化对发电量影响趋势面分析拟合结果达显著水平，二元二、三次趋势面拟合度为分别 84.88% 和 86.24%。

由图 3 可以看出，秋季辐射量大约在 0~1.1627 km/m² 之间，板温在 0.0℃~47.0℃ 之间变化。发电量的变化呈现为以低温低辐至高温高辐方向逐渐增加为对称轴的抛物面变化。三次趋势面分析结果总趋势与二次趋势面变化基本一致，两级分化更为明显。

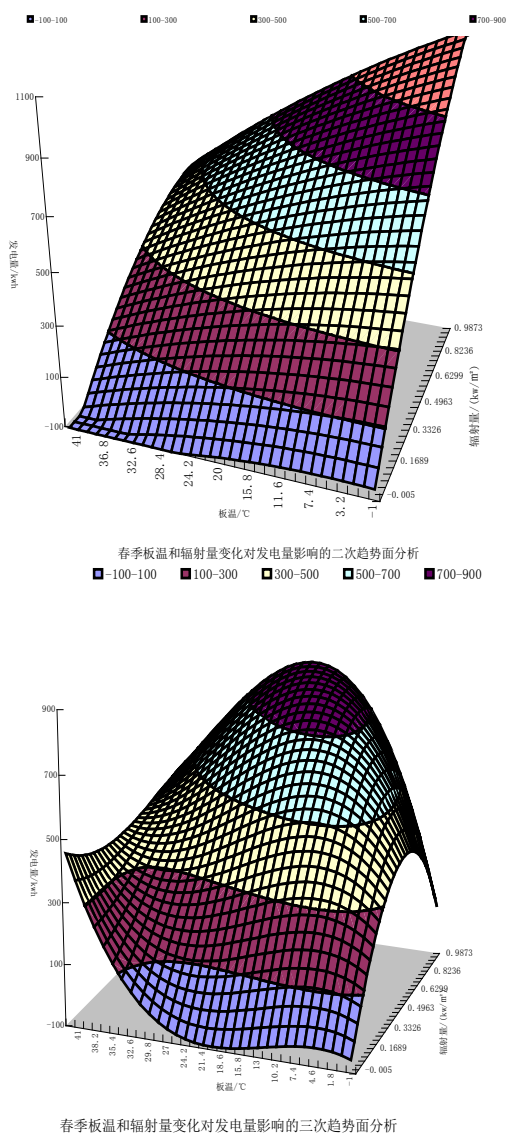


Figure 1. Diagram of two-three power contour-trend surface of battery plate temperature and radiation levels to Pv generating capacity in spring
图1. 春季板温、辐射量对发电量影响的二~三次等值趋势面图

4.5. 冬季板温、辐射量对发电量影响的趋势面分析

由表 1 可以看出，冬季板温、辐射量变化对发电量影响趋势面分析拟合结果达显著水平，二元二、三次趋势面拟合度为分别 66.26% 和 66.34%。

由图 4 可以看出，冬季辐射量大约在 0~0.5882 km/m² 之间，板温在 -8.0℃~17.8℃ 之间变化。发电量的变化呈现为以低温低辐至高温高辐方向逐渐增加为对称轴的抛物面变化。二、三次趋势面分析结果较为一致，均呈现出双向变化趋势，板温负向变化，辐射量正向变化，也就是说发电量沿着高温低辐向低温高辐方向逐渐增加，且变化相对均匀，三次趋势面变化的两极分化较二次更明显些。

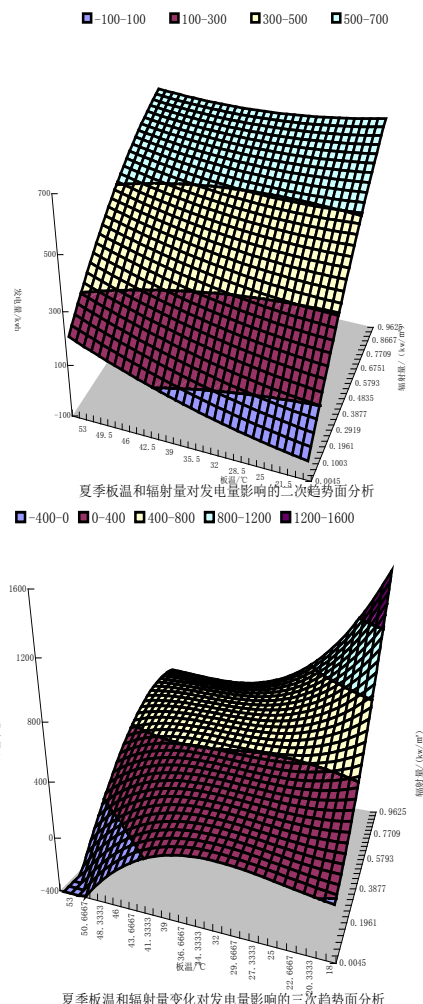


Figure 2. Diagram of two - three power contour-trend surface of battery plate temperature and radiation levels to Pv generating capacity in summer
图2. 夏季板温、辐射量对发电量影响的二~三次等值趋势面图

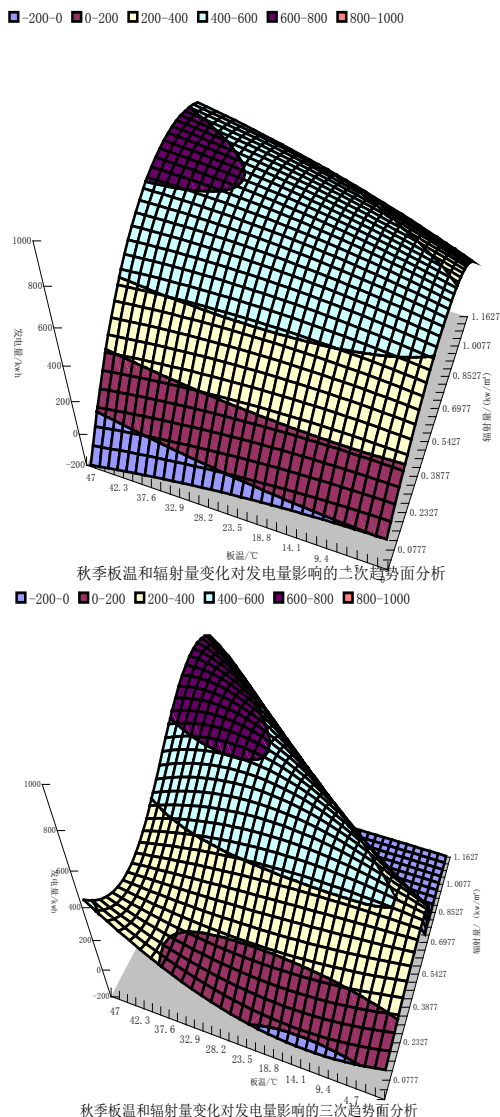


Figure 3. Diagram of two-three power contour-trend surface of battery plate temperature and radiation levels to Pv generating capacity in autumn
图 3. 秋季板温、辐射量对发电量影响的二~三次等值趋势面图

4.6. 全年板温、辐射量对发电量影响的趋势面分析

由表 1 可以看出，对全年板温、辐射量变化对发电量影响进行趋势面分析，其拟合结果同样达显著水平，二元二、三次趋势面拟合度为分别达 75.20%和 76.25%。

由图 5 看出板温和辐射量变化对发电量的影响较为复杂，二者相互制约又共同发挥作用。相同板温情况下辐射量不同发电量变化趋势和幅度有所不同；相同辐射量的情况下，板温不同发电量变化趋势和幅度

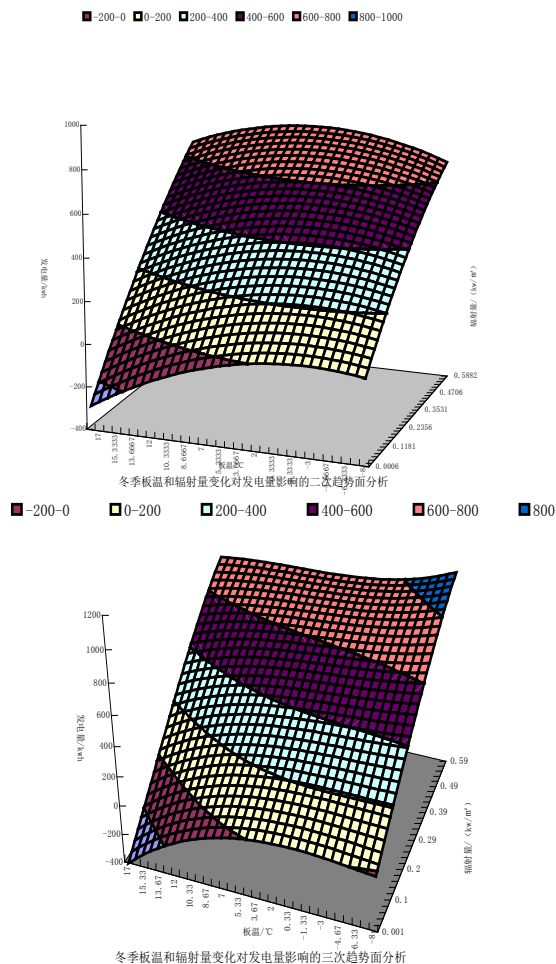


Figure 4. Diagram of two-three power contour-trend surface of battery plate temperature and radiation levels to Pv generating capacity in winter
图 4. 冬季板温、辐射量对发电量影响的二~三次等值趋势面图

也有所不同。

5. 结论与讨论

从表 1 可以看出，四季和全年板温和辐射量对发电量趋势面分析结果表明：二次和三次趋势面拟合度均达显著水平，可以揭示其影响变化趋势；三次拟合度较二次略有提高但提高幅度不大，故完全可以利用电池板温度和辐射量变化对光伏发电量影响的二次趋势面拟合方

程进行光伏电站发电量的预报预测。另外拟合结果表明：夏、秋季拟合度较高，冬季拟合度最小，全年拟合度和春季拟合度接近。

由不同季节的二~三次等值趋势面图结果看出：临沂巨皇光伏跟踪示范电站所在地板温分布由低到高分别为冬、春、秋、夏；辐射量的由小到大依次为

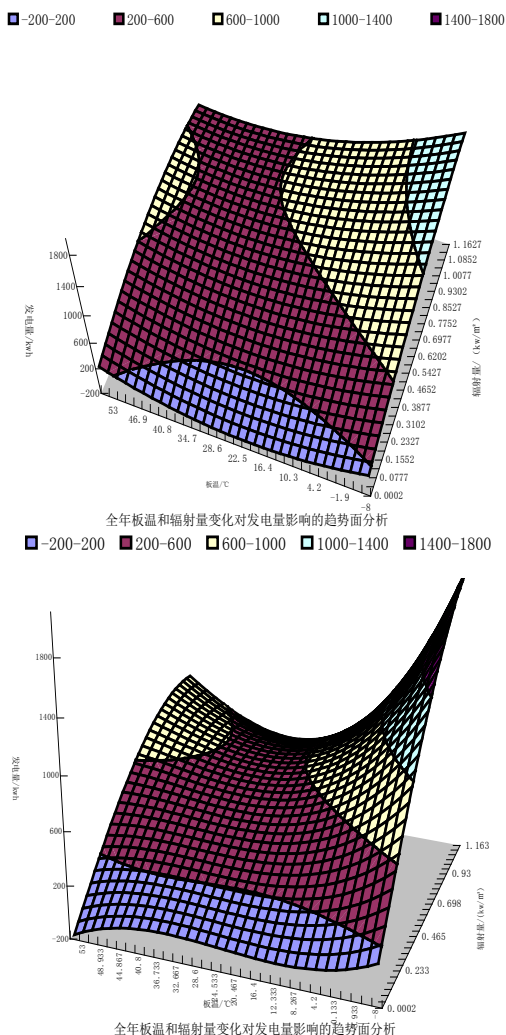


Figure 5. Diagram of two-three power contour-trend surface of battery plate temperature and radiation levels to Pv generating capacity a year

图 5. 全年板温、辐射量对发电量影响的二~三次等值趋势面图

冬、夏、春、秋季；板温和辐射量变化对发电量的影响较为复杂，二者相互制约又共同发挥作用。不同季节情况下发电量受板温和辐射量变化影响其变化趋势和幅度也有所不同，总体趋势表现出双向变化趋势，即辐射量正向变化、板温负向变化，但局部变化以及板温对光伏发电量的影响更为复杂。

研究结果进一步表明辐射和温度是影响光伏发

电量的两大主要因素，两种因素的影响是同时存在的，其影响并非线性的这一观点是正确的。

该研究只是基于太阳能电池板温度和辐射量变化为指标进行了分析，因此其它因素的影响尚未得到充分表达，比如气象因素、太阳能板的清洁度、转换率、寿命等等，同时数据采集过程中也存在诸多限制因素，因此还有待于进一步做更深入的研究。

基金项目

国家公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006036)太阳能预报技术研究；山东省气象局气象科学技术研究项目(2012sdqx08)光伏发电与气象条件的关系研究。

参考文献 (References)

- [1] 胡志文, 张明锋, 郑继华 (2011) 太阳能发电研究综述. *能源研究与管理*, **1**, 14-16.
- [2] 李芬, 陈正洪, 成驰, 等 (2011) 太阳能光伏发电量预报方法的发展. *气候变化研究进展*, **7**, 136-141.
- [3] 方祖捷, 陈高庭, 叶青, 等 (2009) 太阳能发电技术的研究进展. *中国激光*, **1**, 2-5.
- [4] 王建军 (2005) 太阳能光伏发电应用中的温度影响. *青海师范大学学报(自然科学版)*, **1**, 28-30.
- [5] 王艳, 康志龙, 刘赫, 等 (2011) 光强和温度对多结太阳能电池的影响研究. *电子设计工程*, **19**, 57-59.
- [6] 刘玉兰, 孙银川, 桑建人, 等 (2011) 影响太阳能光伏发电功率的环境气象因子诊断分析. *水电能源科学*, **12**, 200-202, 156.
- [7] 马金玉, 罗勇, 申彦波, 等 (2011) 太阳能预报方法及其应用和问题. *资源科学*, **33**, 829-837.
- [8] 何明琼, 成驰, 陈正洪, 等 (2011) 太阳能光伏发电预报效果评价. *水电能源科学*, **12**, 196-199.
- [9] 周晋, 吴业正, 晏刚, 等 (2005) 利用神经网络估算太阳辐射. *太阳能学报*, **26**, 509-512.
- [10] 林星春, 曹家枫, 刘春雁 (2007) 基于小波网络的次日太阳逐时总辐射, 预测技术研究. *能源技术*, **28**, 70-75.
- [11] 唐启义, 冯明光 (2007) DPS 数据处理系统. 科学出版社, 北京, 1027-1055.
- [12] 刘志龙, 虞木奎, 马跃, 等 (2011) 不同种源麻栎种子和苗木性状地理变异趋势面分析. *生态学报*, **31**, 6796-6804.