第34卷第4期 河北科技大学学报 Vol. 34, No. 4
2013年8月 Journal of Hebei University of Science and Technology Aug. 2013

文章编号:1008-1542(2013)04-0377-04 doi:10.7535/hbkd.2013yx04019

太阳能吸收装置超调跟踪系统效能分析

魏 博,罗智文,马小晶,贺小威,陈 涛,王 刚

(新疆大学电气工程学院,新疆乌鲁木齐 830047)

摘 要:太阳光线入射角是太阳能辐射效率的重要影响因素,以兰贝特定律为基础,借鉴太阳在地外斜面曝辐量的定义,引入了超调跟踪的概念。在对超调跟踪系统进行了效能分析后发现,实时跟踪系统所能吸收的太阳能最多,但需要实时检测与控制,而固定式太阳能吸收装置利用效率很低。使用超调跟踪系统在1天中仅使接收装置调整3次就可达到平均效率95%以上的效果。

关键词:超调跟踪;效能分析;三点定位;太阳跟踪系统

中图分类号:TU831 **文献标志码**:A

Efficiency analysis of overshoot tracking system on solar energy absorb device

WEI Bo, LUO Zhiwen, MA Xiaojing, HE Xiaowei, CHEN Tao, WANG Gang

(College of Electrical Engineering, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830047, China)

Abstract: The incident angles of solar rays have great effects on the solar energy radiation efficiency. Based on Lambert's law and the definition of exposure radiation value within the inclined plane outside the earth surface, the concept of tracking overshoot is introduced. Through the efficiency analysis of overshoot tracking system, it is found that the received solar energy by a real-time tracking system can reach the maximum, but require the real-time detection and control. The overshoot tracking system could achieve average efficiency of 95% of the above with only adjusting the receiving apparatus 3 times.

Key words: overshoot tracking; efficiency analysis; three point location; solar tracking system

随着煤炭、石油等化石能源逐渐枯竭,人们对清洁能源的利用越来越迫切。太阳能作为一种清洁无污染的绿色能源,已成为当前最重要的研究方向。在中国,太阳能资源非常丰富,尤其是西部地区,太阳能年辐射总量均在5 400 MJ/(m^2·a)[1]。虽然太阳能资源丰富,但利用也存在很多弊端。由于太阳的照射强度及角度等均受到所处地点的纬度、季节等条件的影响,存在密度不均以及间歇性、光照角度和强度随时间不断变化等问题[2]。伍春生等通过计算与实验发现,采用跟踪式太阳能接收器,可大幅提高太阳能转化效率[3]。一般双轴跟踪系统可提高效率35%左右,而单轴系统也可提高20%左右。

近几年,针对太阳能跟踪系统的研究越来越多,包括太阳跟踪方式、太阳方位检测方法、太阳能接收器控制方法等。如张晓霞等和梁勇等在分析太阳运行规律的基础上,提出了一种在聚光条件下太阳跟踪的方案[4-5];许启明等在总结了近年来国内外太阳能跟踪技术的发展情况,并明晰了太阳能自动跟踪系统的内涵,给出了太阳能自动跟踪系统的定义和分类,最后评述了跟踪系统的工程应用情况[6]。王春雷设计了五点法检测太阳方位的方法[7]。朱方园等更是采用粗调与细调,精确地定位了太阳的方位[8]。

收稿日期:2013-04-04;修回日期:2013-05-19;责任编辑:王海云

作者简介:魏 博(1985-),男,新疆阿克苏人,讲师,硕士,主要从事强化换热与过程节能方面的研究。

E-mail:weibo_shan@163.com

而兰贝特定律指出，太阳入射角在90°时最大，但在60°～120°之间，其辐射强度变化并不大，而实时检测与控制必然耗费相当的电能[9]，因此，为提高太阳能接收装置的转化效率，定时检测与控制可减少中间检测控制消耗的电能。本文提出了一种新型的超调跟踪策略，即在跟踪过程中，将全天太阳时分为若干个区域，采用定时调整太阳能电池板的法线方向至下一区域中间。这种方法可在满足较高效率的前提下，降低检测、控制与机械传动频繁导致的能源消耗，为提高太阳能跟踪装置效率提供理论参考依据。

1 超调跟踪系统效能分析

王炳忠曾提到地球上某一点朝向赤道倾斜平面的地外小时曝辐量的计算公式[10-11]为

$$H_{op}=\frac{12}{\pi}E_{ac}(r_0/r)^2\int_{\tau_1}^{\tau_2}[\sin\delta\sin(\varphi-\beta)+\cos\delta\cos(\varphi-\beta)]\mathrm{d}\tau。\tag{1}$$

式中：H_{op}为曝辐量；E_{ac}为太阳到达地球的不考虑大气影响的能量强度；r_0为日地间平均距离；r为地球在椭圆轨道中运行时的实际日地间距离；δ为太阳入射光与赤道平面的夹角；φ为地球上某点的地理纬度；β为朝向赤道的平面与当地水平面(切面)之间的夹角；τ为太阳时角，太阳入射光与当地的地球径向平面的夹角。根据式(1)得到的结论，首先跟踪太阳时角τ，使得$\cos\tau=1$，此时式(1)变为

$$H_{op}=\frac{12}{\pi}E_{ac}(r_0/r)^2\int_{\tau_1}^{\tau_2}[\sin\delta\sin(\varphi-\beta)+\cos\delta\cos(\varphi-\beta)]\mathrm{d}\tau=$$
$$\frac{12}{\pi}E_{ac}(r_0/r)^2\int_{\tau_1}^{\tau_2}[\cos(\delta-\varphi+\beta)]\mathrm{d}\tau。\tag{2}$$

此时如果能够将$\cos(\delta-\varphi+\beta)=1$，只需$\delta-\varphi+\beta=0$[12-13]，也就是在安置朝向赤道的太阳电池板平面与太阳光在地球经面内垂直，在时角完全跟踪太阳，则$\cos\tau=1$，则式(2)可以简化为

$$H_{op}=\frac{12}{\pi}E_{ac}(r_0/r)^2(\tau_2-\tau_1)。\tag{3}$$

如果固定方位安装太阳能电池板，一般使得$\varphi-\beta=0$，一天内太阳赤纬角值的变化可以忽略不计，并且使得$\cos\delta=1$，假设时间间隔$(\tau_2-\tau_1)$较小，可以认为$\cos\tau$为$[\tau_1,\tau_2]$中间的值$\cos\tau_0$[14-15]。这样式(1)化为

$$H'_{op}=\frac{12}{\pi}E_{ac}(r_0/r)^2\int_{\tau_1}^{\tau_2}\cos\tau_0\mathrm{d}\tau=\frac{12}{\pi}E_{ac}(r_0/r)^2\cos\tau_0(\tau_2-\tau_1)。\tag{4}$$

而采用定时超调跟踪系统，同时在安装电池板时，同样需要使$\varphi-\beta=0$，$\cos\delta=1$，但是使时间间隔$(\tau_2-\tau_1)$较大，在这时，并非是时时跟踪太阳，而是太阳每过固定时角，超过电池板法线方向并达到对称时，提前调整其法线方向至太阳转动到下一个时角范围的中间，这时，就不可以认为$\cos\tau$为$[\tau_1,\tau_2]$中间的值$\cos\tau_0$，而需要对式(1)进行积分求得该时间段内的曝辐量：

$$H''_{op}=\frac{12}{\pi}E_{ac}(r_0/r)^2\int_{\tau_1}^{\tau_2}\cos\tau\mathrm{d}\tau=\frac{12}{\pi}E_{ac}(r_0/r)^2(\sin\tau_2-\sin\tau_1)。\tag{5}$$

2 计算结果

将实时跟踪、固定不动与定时超调跟踪3种情况同时除以曝辐量最大值，也就是实时跟踪时的曝辐量，将其无量纲化，实时计算其吸转化效率，并进行对比。在定时跟踪系统中，将全天[－90° 90°]分为多个区域，每个区域为10°，20°，30°，40°，50°，60°，90°时实时效率与实时跟踪和固定不动情况进行对比，如图1所示。

从图1可见，当实时跟踪时，其无量纲化曝辐量恒为1；接收装置固定不动时，其无量纲化曝辐量成余弦函数曲线变化；而使用超调跟踪系统，其划分区域越小，无量纲化曝辐量越高。

将上述结果在全天时间范围内求平均值，可在不同旋转角度下，对一天内转化总效率进行对比，结果如图2所示。

从图2可见，当实时跟踪时，其无量纲化曝辐量平均值为1；接收装置固定不动时，其无量纲化曝辐量平均值为0.64；而使用超调跟踪系统，对于只调整一次，即间隔90°时旋转一次平均效率可达90％以上；调整3次，即间隔60°旋转1次，平均效率可达95％以上。

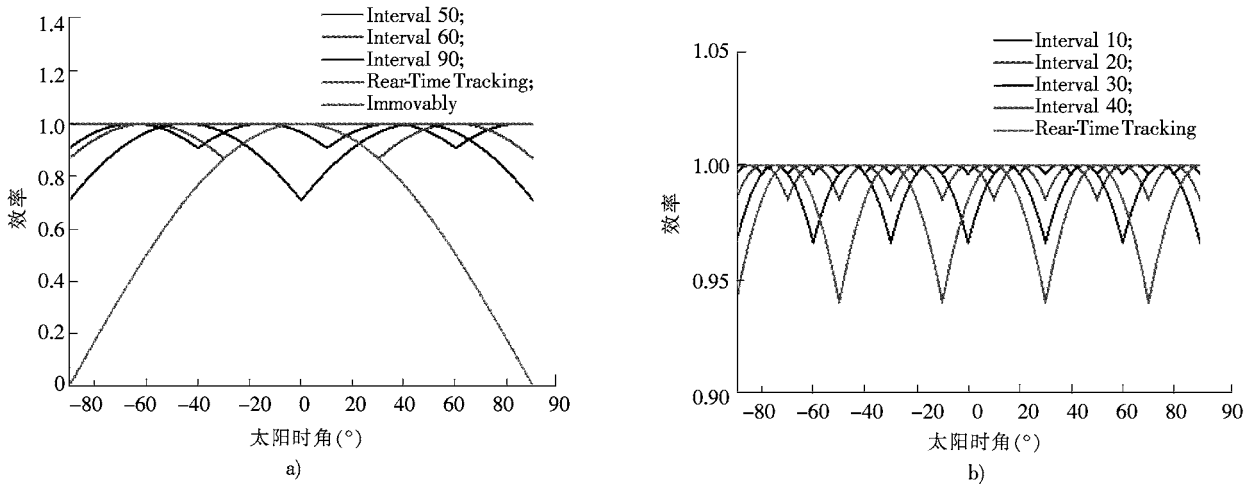

图 1　无量纲化曝辐量对比图

Fig. 1　Comparison chart of dimensionless solar irradiance

3　结　语

提出了一种新型的超调跟踪系统，通过对太阳能接受装置在实时跟踪、固定不动及划分若干区域进行超调跟踪进行了无量纲曝辐量对比，得出以下结论：

1)采用实时跟踪太阳能接收装置，其无量纲曝辐量恒为 1，也就是系统可接受太阳能最多，但需要耗费大量装置实时检测、控制及机械传动的能量；

2)采用固定不动式太阳能接收装置，其无量纲曝辐量成余弦曲线，在太阳时角为 0°附近时较大，在两侧区域较小，接受能量较少；

3)采用超调跟踪系统，将全天太阳时角划分为若干个区域，每天只用调整 3 次即可使全天平均转化效率达到 95%以上，同时耗费控制、检测能量较少。

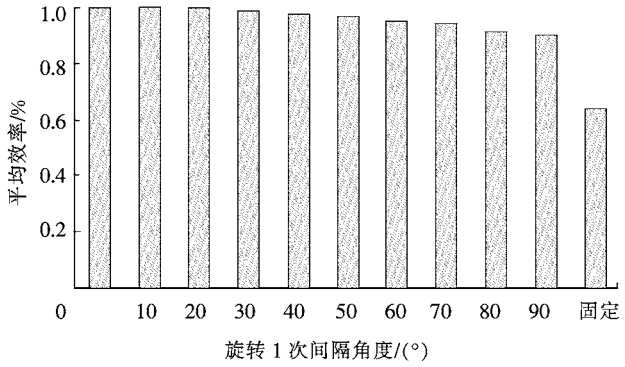

图 2　不同间隔角度旋转平均效率对比图

Fig. 2　Comparison diagram of average efficiency under different interval angle rotating

参考文献/References：

[1]　王炳忠，邹怀松，殷志强，等. 我国太阳能辐射资源[J]. 太阳能，1998(4)：19.
WANG Bingzhong, ZOU Huaisong, YIN Zhiqiang, et al. The solar radiation resources in China[J]. Solar Energy, 1998(4):19.

[2]　贾英新，张　雷，靳　晔，等. 太阳能供暖系统的设计与研究[J]. 河北工业科技，2012，29(6)：509-511.
JIA Yingxin, ZHANG Lei, JIN Ye, et al. Design and reseach of solar energy heating system[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2012,29(6):509-511.

[3]　伍春生，刘四洋，彭燕昌，等. 基于 PIC16F877A 自动太阳跟踪器的设计[J]. 现代电子技术，2007，30(20)：147-149.
WU Chunsheng, LIU Siyang, PENG Yanchang, et al. Design of automatic sun trackers based on PIC16F877A[J]. Modern Electronics Technique, 2007,30(20):147-149.

[4]　张晓霞，殷盼盼，张　国，等. 蝶式聚光光伏发电自动跟踪太阳装置的设计[J]. 太阳能，2008(9)：32-34.
ZHANG Xiaoxia, YIN Panpan, ZHANG Guo, et al. The design of auto tracking solar device based on butterfly concentrator photovoltaic power generation[J]. Solar Energy,2008(9):32-34.

[5]　梁　勇，梁维铭. 太阳能任意方位跟踪系统设计[J]. 电测与仪表，2008，45(5)：65-68.
LIANG Yong, LIANG Weiming. Arbitrariness azimuth tracking of solar cell system design[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2008, 45(5): 65-68.

[6]　许启明，冯俊伟，宫　明，等. 太阳能利用跟踪技术的研究进展[J]. 安徽农业科学，2011，39(10)：6 294-6 297.

XU Qiming, FENG Junwei, GONG Ming, et al. Research advance of solar energy tracking technology[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(10): 6 294-6 297.

[7] 王春雷. 五点法自动跟踪太阳装置[J]. 太阳能, 2005(5): 30-31.
WANG Chunlei. Auto tracking solar device based on five-point method[J]. Solar Energy, 2005(5): 30-31.

[8] 朱方园, 韩满林, 丰济济. 太阳能发电用太阳跟踪器的设计[J]. 控制工程, 2009, 16(11): 109-111.
ZHU Fangyuan, HAN Manlin, FENG Jiji. Design of sun tracker used on solar battery[J]. Engineering of China, 2009, 16(11): 109-111.

[9] 崔明辉, 王 刚. 热计量供暖系统及相关技术问题探讨[J]. 河北工业科技, 2010, 27(5): 317-320.
CUI Minghui, WANG Gang. Discussion on heat metering heating system and relative technologic problems[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2010, 27(5): 317-320.

[10] 王炳忠. 太阳辐射计算讲座(第四讲): 地外斜面辐射量的计算[J]. 太阳能, 2000(2): 16-17.
WANG Bingzhong. The lecture of solar radiation calculation(Part Ⅳ): The calculation of radiation quantity on inclined plane outside the earth surface[J]. Solar Energy, 2000(2): 16-17.

[11] 王炳忠. 太阳辐射计算讲座(第五讲): 地表斜面上辐射量的计算[J]. 太阳能, 2000(3): 20-21.
WANG Bingzhong. The lecture of solar radiation calculation(Part Ⅴ): The calculation of radiation quantity on inclined planeinside the earth surface[J]. Solar Energy, 2000(3): 20-21.

[12] 樊国梁, 张晓燕. 定时跟踪太阳时角提高光伏发电效率[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2010, 41(1): 116-119.
FAN Guoliang, ZHANG Xiaoyan. Improving the PV efficiency by tracking solar time angle at fixed time[J]. Journal of Inner Mongolia University(Natural Science), 2010, 41(1): 116-119.

[13] 陈 晓, 罗会龙. 昆明地区南墙面上小时太阳辐射量的计算[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(13): 3 063-3 065.
CHEN Xiao, LUO Huilong. The calculation of hourly solar radiation by building at south azimuth in Kunming[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(13): 3 063-3 065.

[14] 王 敏, 丁 明. 太阳日总辐射量的 Box-Jenkins 模型[J]. 太阳能学报, 2012, 33(3): 386-390.
WANG Min, DING Ming. Box-Jenkins model for daily solar olar radiation[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2012, 33(3): 386-390.

[15] 卢育发, 李旗号, 李 倩, 等. 双轴跟踪装置对太阳能发电系统增效的理论研究[J]. 安徽电子信息职业技术学院学报, 2009, 8(5): 43-45.
LU Yufa, LI Qihao, LI Qian, et al. Theoretic study of efficiency increment of two-axis tracker for solar energy generator[J]. Journal of Anhui Vocational College of Electronics & Information Technology, 2009, 8(5): 43-45.

(上接第 296 页)

[15] YONEMURA S, TANAKA T, TSUJI Y. In gas-solid flows[J]. ASME, 1993, 166: 303-309.

[16] DAVIDSON J F. Symposium on fluidization-discussion transactions of the institute of chemical engineers[J]. AIChE, 1961, 39: 230-232.

[17] BOLTON L W, DAVIDSON J F. Recirculation of particles in fast fluidized risers[A]. Proceedings of the 2nd International Conference on Circulating Fluidized Beds[C]. Oxford: Pergamon Press, 1988. 139-146.

[18] LI J, KWAUK M. Particle-Fluid Two-Phase Flow: Energy-Minimization Multi-Scale Method[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1994.

[19] GE W, LI J. In Circulating Fluidized Bed Technology[M]. Beijing: Science Press, 1996.

[20] 马银亮. 高浓度气固两相流的数值模拟研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2001.
MA Yinliang. The Study of the Dense Gas-solid Two-phase Flows[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2001.

[21] 葛 蔚, 李静海. 颗粒流体系统的宏观拟颗粒模拟[J]. 科学通报, 2001, 46(10): 802-806.
GE Wei, LI Jinhai. Macroscopic pseudo-particle simulation of particle-fluid systems[J]. Science Bulletin, 2001, 46(10): 802-806.

[22] 葛 蔚, 李静海. 颗粒流体系统拟颗粒模拟的进展[J]. 过程工程学报, 2002(2): 450-453.
GE Wei, LI Jinghai. Developments in pseudo-particle simulation of particle-fluid systems[J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2002(2): 450-453.

[23] 李静海, 欧阳洁, 高士秋, 等. 颗粒流体复杂系统的多尺度模拟[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
LI Jinghai, OUYANG Jie, GAO Shiqiu, et al. Multiscale Simulation of Particle Fluid Complex System[M]. Beijing: Science Press, 2005.