

文章编号:1671-6833(2011)03-0048-04

太阳能光伏建筑一体化(BIPV)系统发电效益评估研究

杨莹^{1,2}, 李志民¹

(1. 西安建筑科技大学 建筑学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安工业大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710032)

摘 要: 太阳能光伏建筑一体化(BIPV)应用是目前研究的热点, 其中, 太阳能辐射量是设计该系统的重要参数之一。基于已有的研究成果, 建立了简易的太阳能光电板日辐射量的推算模型, 并结合 PVSYST 软件实现了对系统发电量的计算, 然后通过案例以斜面倾角分别为 0° 、 15° 、 90° 进行分析和验证。结果表明, 推算的太阳能光电板日辐射量模拟值与实测数值吻合较好, 可以为太阳能光伏建筑一体化(BIPV)系统发电效益的设计提供一定的参考。

关键词: 太阳能; 光伏建筑一体化; 发电量; 太阳能辐射

中图分类号: TU241.92

文献标志码: A

0 引言

太阳能利用技术以其干净无污染且普遍存在的特性受到各国的重视, 而将太阳能电池模版改良作为建筑构件、材料, 以取代部分建材使用的构想, 在未来建筑规划中具有极大的可行性。太阳能光伏建筑一体化(BIPV)是将太阳能利用设施与建筑有机结合。光伏与建筑一体化(简称 BIPV)是“建筑物产生能源”新概念的建筑物, 是利用太阳能可再生能源的建筑物。BIPV 的设计流程作业大致可区分为: 设置场所设计条件调查、太阳光电设备空间配置设计、太阳能光电系统设计、太阳能光电系统应用的效益评估等; 而太阳能光电系统应用的效益评估在整个设计过程中尤为重要^[1]。

1996 年石原修等^[2]架设多晶系及非晶系太阳能电池模块实验量测系统, 探讨日射量、气温、风速等气象因子对于电池模块发电效率的影响; 并建立电池发电力回归分析式。C. M. Whitaker 等^[3]提出新的太阳光电系统发电力推估式(Sandia 式), 依虑光电模组电力特性推估发电力; 并与过去一般采用的 PVUSA 推估式比较, PVUSA 式依据气象条件推估发电力。Takeharu Yamawaki 等^[4]实测并评估不同方位屋顶上光电板的发电量。周鼎金等^[5]应用 BIPV 光电发电仿真软件, 探讨太阳光

电板应用于建筑外壳的设计方法, 并分析建筑整合型光电系统之外遮阳效果与发电效益。王云峰等^[6]对太阳能辐射资源、太阳能系统的最大转换功率进行了深入的研究。陈维等^[7]通过倾斜面上太阳辐照量计算模型和太阳能电池组件电学模型, 对广州地区的光伏建筑一体化(BIPV)并网发电系统中发电性能进行了评估和分析。以上学者的研究针对 BIPV 系统的发电效益评估操作比较复杂, 且地域上有所差异。笔者基于以上研究成果对光伏建筑一体化(BIPV)系统的发电效益进行分析, 建立一种简易的太阳能光电板日辐射量模型并推算系统输出电力, 并与实例结果进行对比验证。

1 BIPV 发电效益评估分析及实现

太阳能发电效益评估取决于发电量、成本、环境、美学等因素, 其中发电量是其中最重要的指标之一。笔者结合建筑设计应用太阳光发电量的推算, 探寻适用的太阳光发电的建筑空间与设备以及适用方式以提升发电效益, 以此进行建筑设计时整合应用太阳光电技术的方案。在此, 笔者试图建立一种简单的太阳能光电板日辐射量推算模型, 并结合相应的 BIPV 软件计算建筑表皮太阳能发电系统的发电量, 评估系统发电效益。基于文

收稿日期: 2010-12-10; 修订日期: 2011-03-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(50878174)

作者简介: 杨莹(1970-), 女, 河北南宫人, 西安工业大学副教授, 西安建筑科技大学博士研究生, 主要从事节能建筑设计及其理论方面的教学与设计研究工作。

献[8]的相关经验公式对太阳能光电板的日辐射量进行推算,过程如图1所示。

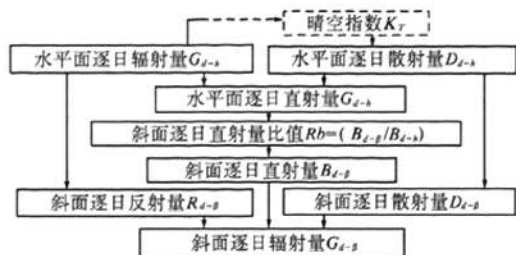


图1 斜面辐射量比值推算过程

Fig.1 The calculation process of radiation ratio in inclined plane

若月平均单日水平面辐射量 G_{d-h} 与月平均单日水平面散射量 D_{d-h} 为已知之量测值,日平均斜面直射量 $B_{d-β}$ 如式(1), R_b 为日平均斜面直射量与日平均水平面辐射量之比;以北半球南向垂直面为例,则 R_b 计算如式(2)^[9]。

$$B_{d-β} = (G_{d-h} - D_{d-h}) R_b = B_{d-h} \times R_b \quad (1)$$

$$R_b = \frac{[\cos(\varphi - \beta) \cos\delta \sin\omega' + (\pi/180)\omega' \sin(\varphi - \beta) \sin\delta]}{[\cos\varphi \cos\delta \sin\omega + (\pi/180)\omega \sin\varphi \sin\delta]} \quad (2)$$

式中: B_{d-h} 是逐日水平面直射量; φ 是纬度; β 是斜面倾角度; ω 是日出时间角; ω' 是斜面月平均日出时间角; δ 是日赤纬; n 是日序; 相关模型参数如图2所示。

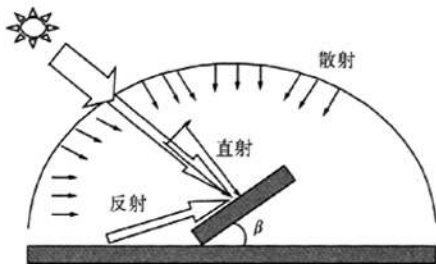


图2 斜面辐射量模型参数

Fig.2 The model parameter of radiation in inclined plane

$$\delta = 23.45^\circ \sin[(284 + n)360/365] \quad (3)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\varphi \tan\delta) \quad (4)$$

$$\omega'_s = \min\{\cos^{-1}(-\tan\varphi \tan\delta), \cos^{-1}[-\tan(\varphi - \beta) \tan\delta]\} \quad (5)$$

$R_{d-β}$ 是逐日地表反射量,可以由式(6)计算得, ρ 为地表反射率。

$$R_{d-β} = G_{d-h} \rho (1 - \cos\beta) / 2 \quad (6)$$

林文贤^[8]参考文献[10]的非等向性模型,以万方数据

式(7)计算得逐日天空散射量 $D_{d-β}$ 。

$$D_{d-β} = D_{d-h} \left\{ \left[(B_{d-h}/E_o) R_b + [1 - B_{d-h}/E_o] \right] (1 + \cos\beta) / 2 \right\} \quad (7)$$

依式(8)可计算得逐日大气圈外水平面辐射量 E_o ($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$), S 是太阳常数, $S = 1367 \text{ W/m}^2$ 。

$$E_o = (0.024/\pi) S [1 + 0.033] \cos(360n/365) [\cos\varphi \cos\delta \sin\omega_s + (\pi/180)\omega_s \sin\varphi \sin\delta] \quad (8)$$

逐日斜面辐射量 $G_{d-β}$ 可由式(9)计算。

$$G_{d-β} = B_{d-β} + D_{d-β} + R_{d-β} \quad (9)$$

本文中并未有实测的天空散射量资料 D_{d-h} , 因此,引用文献[11]中的式(10)得到水平面辐射量以推算水平面天空散射量,如下式(11)所示:

$$K_T = G_{d-h} / E_o \quad (10)$$

$$D_{d-h} = G_{d-h} (1.00 - 1.13 K_T) \quad (11)$$

为验证上述模型的正确性,将上述理论公式进行 Visual Basic 语言编程,植入 PVSYS V 3.41 软件中实现数值模拟。PVSYS 软件是由日内瓦大学能源中心—CEUPE 研究团队所研发太阳能光伏系统设计软件,可以依据不同的太阳能系统(独立运转型、并联市电型等等)以及太阳能板,分别设定环境参数,如日射量、温度、经纬度及建筑物相对高度等,计算出太阳能发电系统的发电总量。笔者用 PVSTST 软件的接口来实现斜面逐日辐射量参数的输入和发电量数值的输出。

2 案例分析

本研究以上述理论为基础,试图比较 PVSYS 软件包与实际案例的数值差异性。自建太阳能光伏一体化建筑如图3所示。该建筑的大部分材料均由再生建材系统构造而成,周边无高层建筑遮挡,采光效能极好,可以较好地用于分析和计算太阳能光伏一体化(BIPV)可能产生的功率总量。根据 BIPV 设计的建议,此模式也被应用于太阳光电技术应用于建筑设计的评估与策略研究的模型,以获得一年中由 PV 系统提供的总电量。建筑面积约为 201.35 m^2 , 建筑位置为北纬 $31^\circ 14'$, 东经 $121^\circ 29'$ 。

(1)采用的太阳能发电系统。选定的案例使用 BIPV 的设计规程,采用 Sanyo hybrids 太阳能板的型号 HIP-200BA3 的模块,原因是与其它不同的太阳能板比较,新版的混合型(hybrid)太阳能板具备独特结构的电池芯,该模块具有更高的转换效率、低高温耗损率以及强化的架构,故在效益的考量之下,采用上述太阳能板发电系统。

(2)推估面积的计算.由于计算面积会受到实际太阳能板施作尺寸的限制,因此在面积的计算上,作为BIPV的参数,会有两个不同的面积.

其一是架设于建筑构造上的面积;其二是最终架设PV板的实际面积,如表1所示.

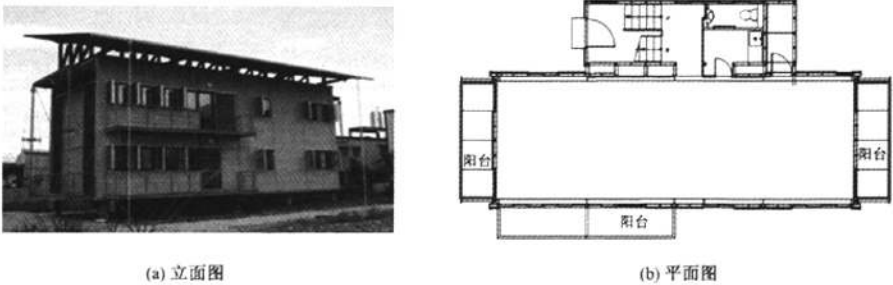


图3 太阳能光伏一体化建筑(BIPV)立面及平面图

Fig.3 The elevation and planar graph of building integrated photovoltaic (BIPV)

表1 BIPV建筑的PV板参数

Tab.1 The parameter of PV plate in BIPV building

	可用面积			平板面积		
	X/m	Y/m	A/m ²	X/m	Y/m	A/m ²
屋顶	8.73	17.6	153.65	8.05	17.15	137.96
1楼檐窗	0.60	3.60	2.16	0.55	3.30	1.82
2楼窗户屋檐	0.60	3.60	2.16	0.55	3.30	1.82
东阳台边	0.85	0.95	0.81	0.77	0.88	0.68
西阳台边	0.85	0.95	0.81	0.77	0.88	0.68
南阳台(1楼)	7.20	0.95	6.84	6.60	0.89	5.90
南阳台(2楼)	7.20	0.95	6.84	6.60	0.89	5.90
南侧总面积			19.62			16.78
2楼窗户屋檐	1.03	4.66	4.80	0.99	4.62	4.57
东阳台	0.95	4.20	3.99	3.96	0.89	3.54
南阳台边(1楼)	0.85	0.95	0.81	0.77	0.88	0.68
南阳台边(2楼)	0.85	0.95	0.81	0.77	0.88	0.68
东侧总面积			10.40			9.47
楼梯面积(北塔)2楼	2.42	2.45	5.93	2.20	1.76	3.87
2楼窗户屋檐	1.03	4.66	4.80	0.99	4.62	4.57
西阳台	4.20	0.95	3.99	3.96	0.89	3.54
南阳台边(1楼)	0.85	0.95	0.81	0.77	0.88	0.68
南阳台边(2楼)	0.85	0.95	0.81	0.77	0.88	0.68
西侧总面积			16.33			13.34
总面积/m ²			200			177.55

3 实测和模拟结果对比

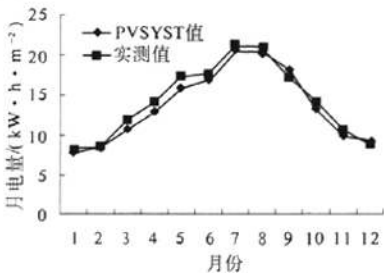
在上述原则下,本研究所装置的太阳能光电板其装设位置于建筑的屋顶及其东、西、南向的立面,总面积为175.55 m².以中央气象局所提供的资料作为太阳辐射量数据依据,以PVSYST V3.41软件作本案例的发电量试算,其结果如表2所示.

案例实测与采用笔者推导的模型的计算结果

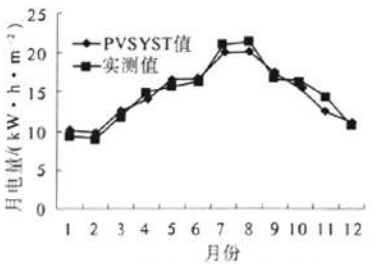
表2 基于本文模型的计算案例系统的模拟发电量

Tab.2 Calculated value of electricity generation in real model													kW · h · m ⁻²	
$\beta/(^{\circ})$	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	年总发电量
0	8.23	8.55	11.93	14.15	17.43	17.82	21.34	20.93	17.24	14.26	10.69	8.88	14.29	171.43
15	10.04	9.68	12.59	14.07	16.59	16.63	20.01	20.22	17.52	15.47	12.46	11.15	14.70	176.44
90	-2.02	4.06	7.03	10.08	14.11	15.10	18.21	17.14	12.12	8.05	4.01	2.07	9.16	109.96

作对比如图4所示,可见,笔者所建立的模型得出的数值与实测的结果吻合良好,且两者在逐月份间维持相同的趋势.可见推导的模型有一定的正确性.可以为BIPV系统的发电效益评估工作予以指导.



(a) β=0° 时的数值解与实测值对比



(b) β=15° 时的数值解与实测值对比

图4 案例实测与本文推导的模型
的BIPV发电量对比

Fig.4 Comparison of the measured value and the derived model in BIPV electricity generation

4 结论

把太阳能同建筑结合起来,将房屋发展成具有独立电源且自我循环式的光伏建筑一体化(BIPV)技术是建筑发展的必然趋势,而太阳能辐射量与系统发电效率是影响太阳光发电效益的重要因素。笔者基于已有研究成果建立了BIPV系统太阳能光电板的日辐射量推算模型,经与案例实测结果对比可知,通过该模型计算得出在斜面倾角度分别为 0° 、 15° 、 90° 时,每月输出电力结果是准确的,即基于每月日照辐射量的参数得出的系统输出电力与案例实测值是基本一致的,吻合较好,其在一定程度上可为太阳能建筑光电发电提供设计参考。

参考文献:

- [1] 牛志恒,李云鹏.我国太阳能建筑发展的现状及太阳能与建筑一体化[J].中国科技博览,2010(17):7-11.
- [2] 石原修(Osamu Ishihara),藤广圣,吉原文子.太阳能电池模块发电效率与室外影响因子之关系[C]//日本建筑学会会计画系论文集.日本建筑学会,1996:33-40.
- [3] WHITAKER C M, KING D L, COLLIER D E, et al. Application and validation of a new PV performance characterization method[C]//Proceedings of the IEEE 26th PVSC, Sept. 30 - Oct. 3, Anaheim. US:IEEE, 1997:1253-1256.
- [4] YAMAWAKI T, MIZUKAMI S, MASUI T. Experimental investigation on generated power of amorphous PV module for roof azimuth[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2001,85:591-600,.
- [5] 周鼎金,邱继哲,李魁鹏,等.建筑整合型光电外遮阳设计与应用之研究[C]//中华民国建筑学会第十五届建筑研究成果发表会论文集.台湾:中华民国建筑学会,2003:6-11.
- [6] 王云峰,李明,林文贤,等.平板式与槽式聚光太阳能电池组件性能分析[J].光学学报,2009(8):2287-2292.
- [7] 陈维,沈辉,刘勇. BIPV中光伏阵列朝向和倾角对性能影响理论研究[J].太阳能学报,2009,30(2):206-210.
- [8] 林文贤.用非参数统计法评估太阳辐射模型的性能优劣[J].新能源,1998,20(2):14-19.
- [9] MARKVART T. Solar Electricity[M]. John Wiley & Sons,2000.
- [10] DUFFIE J A, BECKMAN W A. Solar Engineering of Thermal Process[M]. 2nd ed. New York: Wiley, 1991.
- [11] MUNEEER T. Solar radiation and daylight models[M]. 2nd ed. Butter worth-Heinemann, 2004.

Study on the Generation Benefit Assessment in Building Integrated Photovoltaic (BIPV) System

YANG Ying^{1,2}, LI Zhi-min¹

(1. School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. School of Civil Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

Abstract: Solar building integrated photovoltaic (BIPV) has been widely used, and the solar radiation and power generation efficiency is an important parameter in the design of this system. Based on existing research results, the evaluation model of day radiation amount was established and the system generation amount was also proposed through using of the computer programming language PVSYST. The generating capacity of the system at the different incline plane 0° , 15° , 90° were analyzed and vivificated. The results show that the assessment of solar radiation model fits with the measured values, which can provide a reference to evaluate the effectiveness of building integrated solar photovoltaic (BIPV) system.

Key words: solar energy; building integrated photovoltaic (BIPV); power generation; solar radiation