

光伏发电/电动汽车充电一体化停车棚的研制

吴少波, 魏川川, 余江

(深圳市新天光电科技有限公司, 广东深圳 518116)

[摘要] 描述了停车棚结构及电气控制设计方法, 并提供了设计效果。停车棚长 50 m, 宽 5.5 m, 可停放 18 辆小轿车, 在系统智能控制下, 光伏电池发电自动优先给停车棚下停放的电动汽车充电, 多余电能由蓄电池储存备用。蓄电池充满电后, 光伏电池发出的电能将由光伏并网逆变器直接并入公共电网; 当遇阴雨天而太阳能发电不足时, 由公共电网自动接入为电动汽车充电。

[关键词] 光伏发电; 电动汽车充电; 一体化停车棚; 设计; 控制

[中图分类号] TK519 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)11-0063-06

1 前言

世界能源问题位居世界十大焦点问题(能源、水、食物、环境、贫穷、恐怖主义和战争、疾病、教育、民主、人口)之首^[1]。任何事物的生存、发展、变化和运动都离不开能量^[2]。宇宙间的能量形式多种多样, 其相对应的能源形式也是各不相同, 而且不同的能量形式间还可以相互转换。随着社会的发展和人类生活水平的提高, 能源的需求越来越大, 而化石能源是地球经过亿万年的转化形成的, 根据英国石油公司(BP)发布的《2011年世界能源统计年鉴》报告^[3], 截至 2010 年年底, 全球石油探明储量还能支持未来 46.2 年的能源需求, 而按照目前的探明储量(148 亿桶)和开采速度(20×10^8 t/a), 中国石油只够用 9.9 年; 全球煤炭探明储量可以满足今后 118 年的煤炭生产需求; 全球天然气探明储量可以满足今后 58.6 年的生产需求, 而且这些石化燃料的使用还伴随着温室气体及酸雨等对环境的严重破坏。为应对日益突出的环境污染与化石能源匮乏的问题, 汽车行业正经历着新一轮革命, 以电动汽车(EV)为主的新能源汽车产业作为解决能源安全、环境污染问题的主要途径, 已成为世界各国在新能源

领域竞争的主战场, 世界各大汽车厂商都逐步将研发重点由传统内燃机汽车转向了电动汽车, 电动汽车充电站是电动汽车发展的重要基础支撑系统和电动汽车商业化过程中的重要环节, 新能源储能型电动汽车充电站利用新能源发电和便宜“谷电”存储在蓄电装置中, 白天为电动车充电, 在特殊时期, 此类充电站还可以作为临时电站为重要部门和设备供电。因此, 新能源储能型电动汽车充电站必将成为未来电动汽车充电站的重要发展趋势^[4]。

2 停车棚主体结构设计

太阳能光伏(PV)电动汽车充电一体化停车棚, 首先必须具备一般停车棚的基本功能, 即方便汽车的停放、遮阳、挡雨; 其次具有太阳能发电功能以及可以给停放的电动汽车补充电能的充电装置; 最后尽量突出此太阳能一体化停车棚的整体外观新颖性和美观性。因此, 设计时既要充分发挥各自优势, 又要兼顾好彼此间的协调, 以下是太阳能光伏电动汽车充电一体化停车棚主体设计过程。

2.1 场地位置和外观形式

为得到尽可能多的太阳能, 太阳能停车棚一般选址在横向朝南、周围无太阳光遮挡的地方。但在

[收稿日期] 2012-03-26

[基金项目] 中国南方电网新能源实验项目(03HC0901578)

[作者简介] 吴少波(1966—), 男, 广东揭阳市人, 高级工程师, 主要从事通信及太阳能应用研究; E-mail: wushbo@126.com

实际的操作中,可能不一定能满足此条件,因此只能尽量做到兼顾。根据中华人民共和国建设部行业标准《汽车库建筑设计规范》(JGJ 100—98)的规定,小型汽车停车位最小尺寸为:长 5.3 m、宽 2.4 m。根据建造现场情况,选定一个汽车的停车位,长为 5.3 m、宽 2.7 m,总共一排纵长为 48.6 m,可同时停放 18 辆标准小汽车。为停车方便同时增加停车棚的美观度,每隔 2 个车位中间竖立 1 个圆形停车棚支柱,作为太阳能光伏遮阳板的基础支架,如图 1 所示。

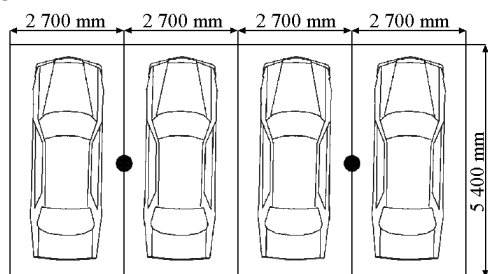


图 1 停车棚车位及光伏遮阳板支柱位置图
Fig. 1 Position plan of parking space and PV sun shield support pillars

2.2 光伏板阵列顶棚倾角和方位角的确定

对于太阳能光伏并网发电系统,为了最大化利用太阳能发电,在不考虑当地气候(云、雾、雨等)条件下,地球上任何纬度上的固定地点、面朝正南(北半球)、与地平面成与当地纬度值相等倾角的平面,其年平均接收到的太阳直接辐射能最大^[5]。考虑到气候的巨大差异,同时考虑到大气对太阳直射辐射的折射、反射与散射作用,一般而言,根据各个地方的地理环境的不同,电池板平面与地面水平面的倾斜角度等于当地的地理纬度,或根据实际情况设置成当地纬度加减 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$,才能保证一年当中全年发电量最大^[6]。根据此太阳能光伏停车棚建设当地的场地位置条件,其光伏阵列棚面只能朝向正西。当光伏阵列偏离正南时,对不同方位角,通过选择合适的倾角,可以使光伏阵列的年产出电能下降很少^[7]。因此,为减少光伏阵列面因非正南朝向而影响发电量,同时考虑停车棚整体外观,可减小光伏顶棚倾角,经综合分析确定此停车棚光伏顶棚方位角朝正西,倾角为 10° 。

2.3 光伏板顶棚钢管支柱及基础尺寸确定

为使太阳能停车棚整体美观大方,外形新颖,决定采用钢结构设计,配以白色,其中,圆柱形支柱外观结构如图 2 所示。

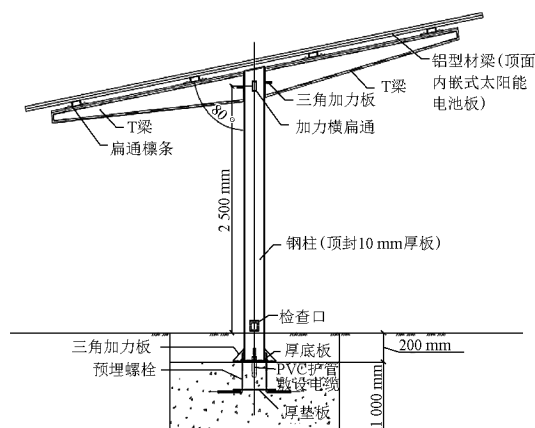


图 2 太阳能光伏电动汽车充电一体化停车棚支柱图

Fig. 2 Parking shed support pillars of PV and EV charging integration

根据前面设计方案,可得出每 2 个车位由 1 个圆钢管支柱支撑,即 1 根圆钢管的强度必须能撑起 2 个车位面积大小的电池板重量和侧风荷载所产生的弯矩,而 1 个汽车的停车位大小为长 5.3 m、宽 2.7 m,对应的电池板顶棚长 5.5 m、宽 2.7 m,由 9 块太阳能电池模块和相应铝支承框架及矩形钢檩条组成,总自重约为 180 kg,选用 Q235 圆钢管作支柱,高(长)2.7 m,忽略钢管支架自重,按最大 12 级风荷载设计,其综合稳定受力分析见图 3。

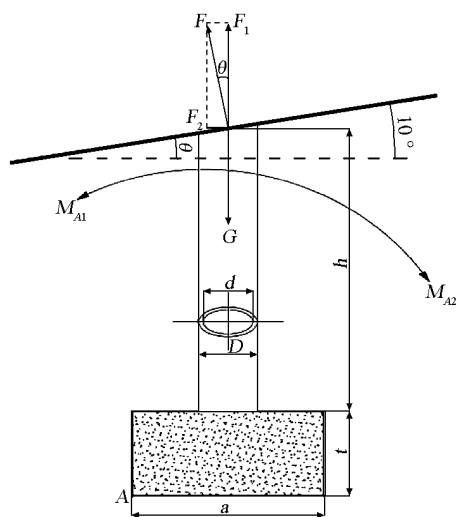


图 3 太阳能光伏建筑一体化(BIPV)停车棚圆钢管支柱系统受力分析图

Fig. 3 The forces and moments analysis of BIPV array shed and steel pipe stanchion

根据风荷载计算公式^[8]

$$F = 0.5CA\alpha I\rho V^2 \quad (1)$$

式(1)中, C 为风力系数, 负压 $C = 0.71 + 0.016 = 0.726$, 正压 $C = 0.65 + 0.009\theta = 0.74$; A 为受风面积, $A = 5.5 \times 2.7 = 14.85 (\text{m}^2)$; I 为用途系数, 普通的太阳能光伏发电系统取 1; α 为高度补偿系数, 10 m 以下取 1; J 为环境系数, 中层建筑物地域安装场所取 0.7; ρ 为空气密度, 取冬季最大值 $1.274 (\text{N} \cdot \text{s}^2)/\text{m}^4$; V 为风速, 12 级风速取 36 m/s 。所以, 左上方向负压风荷载: $F = 0.5 \times 0.87 \times 14.85 \times 1 \times 1 \times 0.7 \times 1.274 \times 36 \times 36 \approx 7466 (\text{N})$; 右下方向正压风荷载 $F = 0.5 \times 0.74 \times 14.85 \times 1 \times 1 \times 0.7 \times 1.274 \times 36 \times 36 \approx 6350 (\text{N})$; 顶棚重力 $G = 180 \times 9.8 = 1764 (\text{N})$ 。

2.3.1 水泥基础尺寸确定

根据图 3 受力分析, 可得在如图 3 的负压风荷载作用下, 风力 F 向上的提升力: $F_1 = F \cos \theta$; 风力 F 对 A 点的力矩 M_{A1} 为: $M_{A1} = 0.5aF \cos \theta + (t+h) \cdot F \sin \theta$; 下面水泥基础(设长宽为 a 米、深为 t 米)与顶棚的总重力 $= 2500 \times 9.8a^2t + G$, 其对 A 点的力矩 $M_{A2} = 0.5a(2500 \times 9.8a^2t + G)$ 。为使系统稳定, 根据力学平衡条件, 可得

$$0.5aF \cos \theta + (t+h)F \sin \theta \leq 0.5a(2500 \times 9.8a^2t + G) \quad (2)$$

$$F \cos \theta \leq 2500 \times 9.8a^2t + G \quad (3)$$

把 $F = 7466 \text{ N}$, $G = 1764 \text{ N}$, $\theta = 10^\circ$ 代入式(3), 可得 $a^2t \geq 0.208$, 取 $a = 1 \text{ m}$, 则 $t \geq 0.208 \text{ m}$, 再把 $h = 2.7 \text{ m}$ 代入式(2)可得 $t \geq 0.575 \text{ m}$, 最后可取水泥基础大小为: 长 1 m、宽 1 m、深 0.6 m。

2.3.2 支柱钢管尺寸确定

根据以上分析可知, 圆钢管支柱的最大风荷载产生的弯矩为

$$M = (t+h)F \sin \theta = (0.5 + 2.7) \times 7466 \times \sin 10^\circ \approx 4149 (\text{N} \cdot \text{m})$$

设圆钢管的外径为 D , 内径为 d , 根据工程力学与材料力学原理, 纯弯情况下的正应力计算公式为

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_z} \quad (4)$$

式(4)中, σ 为横截面上某点正应力, N/m^2 ; M 为该横截面弯矩, $\text{N} \cdot \text{m}$; y 为该点到中性轴距离, m ; I_z 为该截面惯性矩, m^4 。

从式(4)可知, 横截面上正应力 σ_{\max} 最大的点位于 y 值最大处, 对于圆钢管, 此处 $y = 0.5D$, 而圆

$$\text{钢管横截面的惯性矩 } I_z = \int_A y^2 dA = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4),$$

所以可得

$$\sigma_{\max} = 4148 \times 0.5D / [\pi(D^4 - d^4)/64] \approx 42251D / (D^4 - d^4) \quad (5)$$

由于圆钢管材料 Q235 钢许用(弯曲)应力 $[\sigma] = 158 \text{ MPa}$, 许用剪切应力 $[\tau] = 98 \text{ MPa}$, 许用挤压应力 $[\sigma]_p = 240 \text{ MPa}$ 。

根据梁弯曲强度条件

$$W_z = \frac{I_z}{y_{\max}} \sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z} \leq [\sigma]$$

$$\text{可得: } 42251D / (D^4 - d^4) \leq 158 \times 10^6$$

$$\text{推出: } d \leq \sqrt[4]{D^4 - \frac{D}{3739}} \quad (6)$$

若圆钢管外径取 $D = 244 \text{ mm} = 0.244 \text{ m}$, 则可得圆钢管内径

$$d \leq 0.2429 \text{ m} \quad (7)$$

另外, 圆钢管支柱的最大风荷载产生的向上拉力为 F_1 。 $F_1 = F \cos \theta = 7466 \times \cos 10^\circ \approx 7353 (\text{N})$ 。则圆钢管受到的拉力为 N , $N = F_1 - G = 7353 - 1764 = 5589 (\text{N})$

材料力学强度条件

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma] \quad (8)$$

式(8)中, 圆钢管材料 Q235 钢许用应力 $[\sigma] = 158 \text{ MPa}$, $N = 5589 \text{ N}$, $A = 0.25\pi(D^2 - d^2)$ 。

$$\text{可得: } d \leq \sqrt{D^2 - 4.51 \times 10^{-5}} \quad (9)$$

当 $D = 244 \text{ mm} = 0.244 \text{ m}$ 时, 可得圆钢管内径为

$$d \leq 0.24399 \text{ m} \quad (10)$$

根据中华人民共和国国家标准(GB 50017—2003)钢结构设计规范, 对于受压或受弯圆管, 为避免出现局部屈曲, 其外径 D 与壁厚 t 之比应满足

$$D/t \leq 100 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (11)$$

对于 Q235 钢, $f_y = 235 \text{ MPa}$, 再把 $D = 244 \text{ mm}$ 代入式(11), 可得

$$t \geq D/100 = 2.44 (\text{mm}) \quad (12)$$

而一般钢结构设计中, 为方便焊接及防腐, 受力钢管的壁厚不得小于 2 mm, 也不宜大于 24 mm。根据式(7)、(10)、(12)这 3 个约束条件, 再综合考虑各种因素, 可选取外径 244 mm、壁厚 5~12 mm 的圆钢管作太阳能光伏停车棚的主支柱。

3 太阳能光伏顶棚结构设计

太阳能光伏电池板作为停车棚遮阳顶棚, 其结

构首先必须稳固安全,耐久不漏雨,其次外观新颖,安装维护方便,再次价格适宜。综合考虑后的结构设计如图4~图7所示。

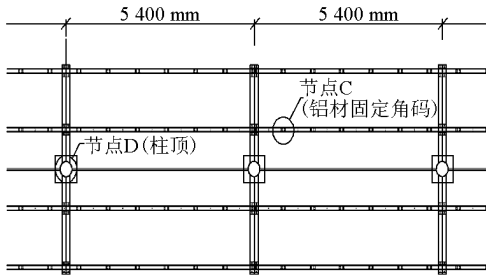


图4 太阳能光伏建筑一体化停车棚电池模块阵列支承檩条图

Fig.4 The PV modules array bearing purlines of BIPV parking shed

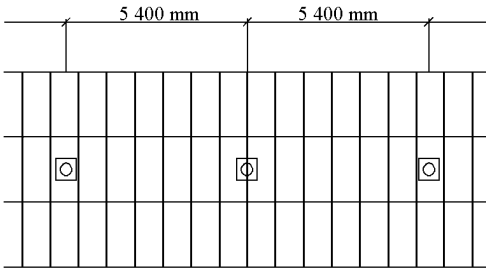


图5 太阳能光伏建筑一体化停车棚电池模块铝型材安装图

Fig.5 The PV modules aluminum support of BIPV parking shed

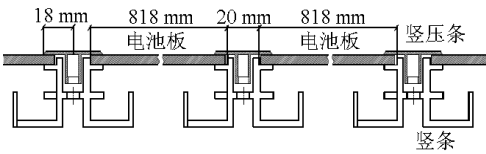


图6 太阳能光伏建筑一体化停车棚电池模块横向安装图

Fig.6 The PV modules transverse assembly of BIPV parking shed

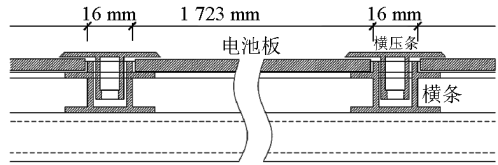


图7 太阳能光伏建筑一体化停车棚电池模块竖向安装图

Fig.7 The PV modules vertical assembly of BIPV parking shed

光伏电站差别不大。但该项目是太阳能光伏建筑一体化应用的示范项目,肩负着新能源应用实验基地的主要任务,因此其设计时就被赋予了多方面的综合应用方案。首先是汽车停车棚,不但要停放汽车,还要给停放在此车棚下的电动汽车充电;其次还是太阳能光伏并网发电站,在汽车不充电时太阳能发电全部送上公用电网;最后增加一个示范功能,就是太阳能离网独立发电系统,这样即使在没有电力到达的荒山野岭,通过太阳能光伏电站,照样可为路过的电动汽车提供充电服务。为了使以上多种功能有机地协调工作,特别设计了光伏接入系统和系统智能控制系统,见图8,其控制原理框图见图9。在系统智能控制器的控制下,太阳能光伏电池发的电自动优先地给停车棚下停放的电动汽车充电,多余的太阳能电能由蓄电池储存起来备用,蓄电池充满电后,太阳能光伏电池发出的电能将由光伏并网逆变器直接转换为市电并入公共电网,供给千家万户,同时光伏发电一直保持对蓄电池的保护浮充。当遇阴雨天太阳能发电不足时,由公共电网自动接入为电动汽车充电。由于安装场地方位限制,BIPV 较难做到太阳能光伏发电最大化,实际系统运行效率约为70%,平均日发电量约75 kW·h,能完全充满5辆比亚迪F3DM混合动力电动汽车,若太阳能电力不够,系统可自动转为用公用电网为电动汽车充电(系统可根据需要设置为并网发电优先还是离网发电优先)。

为了方便停放在停车棚下面的电动汽车充电,在每个车位后面设置了一个交流充电桩。同时为方便参观示范,特意设置了一个展示玻璃房,实际系统完全按设计自动运行,也可手动演示,功能完美,部分照片见图10。

4 太阳能光伏发电电气系统设计

对于太阳能光伏发电系统部分,BIPV与一般光

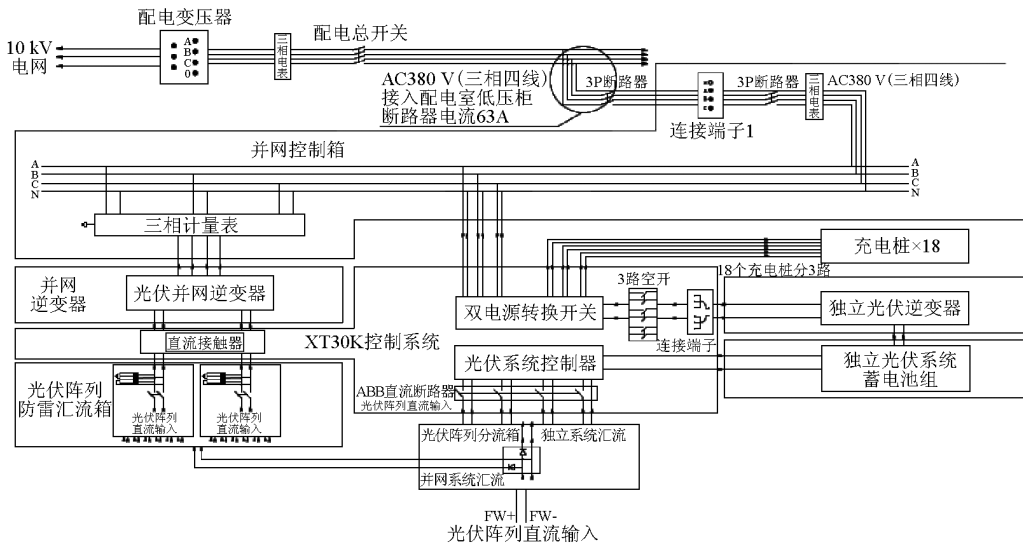


图 8 太阳能光伏建筑一体化停车棚电气系统拓扑图

Fig. 8 The electrical system topology of BIPV parking shed

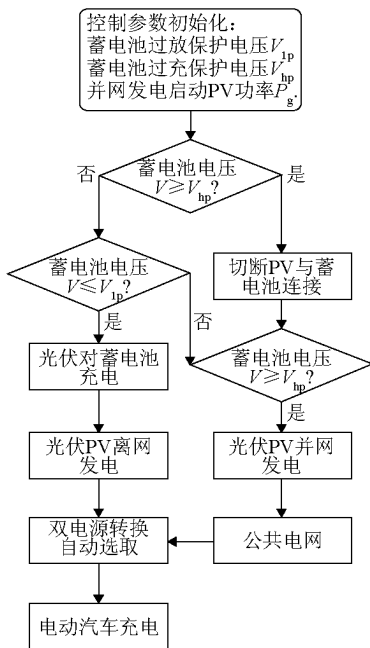


图 9 XT30K 智能控制器原理框图

Fig. 9 The principle sketch of XT30K smart controller



图 10 太阳能光伏建筑一体化充电停车棚实际照片

Fig. 10 The pictures of BIPV charging and parking shed

可给过路电动汽车临时补充能量,达到发电、停车、充电三不误,同时其新颖的外观让人赏心悦目,达到美化环境的作用。近年来,随着全球石油资源紧张、大气污染严重和电池技术的提高,电动汽车已被世界公认为是 21 世纪汽车工业改造和发展的主要方向^[9]。世界范围内,电动汽车时代的序幕正在拉开,各国政府纷纷制定战略、出台政策、培育市场^[10]。我国也已经出台了多个鼓励发展新能源汽车的产业政策。电动汽车的商业化建立在新能源的产业化基础之上,只有电动汽车的动力完全来自清洁能源时,其节能和环保优势才能得到充分体现^[11]。回溯自然与人类的历史,可从发现人类还未出现时的自然生态系统是一个完全平衡的循环再生系统,该系统由太阳能提供能量,然而在现代的工业

5 结语

该实验项目完美地展现并验证了太阳能光伏发电与电动汽车停车、充电及公用电网的有机融合,太阳能光伏建筑一体化电动汽车充电停车棚与电网结合可以减轻汽车充电对电网的冲击,而在无电地方

经济时期,生态系统的能量主要由矿物燃料来提供,系统已经不再平衡,产生了污染与废物^[12]。太阳能作为最清洁的和永不枯竭的免费能源,其发展前景无限广阔,随着电动汽车的普及,停车、充电等一系列问题将出现在人类面前,而太阳能光伏建筑一体化电动汽车充电停车棚,不论是并网发电还是在电力覆盖不到的荒山野岭,都能完美地解决这个问题,并充分体现了电动汽车的节能环保优势,具有广阔的发展前景。

参考文献

- [1] Smalley R E. Nanotechnology, energy and people [R]. Rice University. MIT Forum River Oaks, 2003.
- [2] Darwish Al Gobaisi, Omran Sultan M, Al Halami, et al. The tragedy of energy policy in the Arab Region [C] // International Conference on Renewable and Alternative Sources of Energy. Beirut, 2010.
- [3] BP. 世界能源统计年鉴 [EB/OL]. <http://www.bp.com/statistics>

ticalreview, 2011 - 06.

- [4] 张华民. 电动汽车及充电站技术现状及前景 [C] // 中国化学会第 27 届学术年会. 厦门, 2011.
- [5] 吴少波. 太阳能光伏阵列年最大发电量固定倾角的确定 [J]. 太阳能, 2011, 169 (5): 27 - 29.
- [6] 杨金焕, 葛亮, 陈中华, 等. 季节性负载光伏方阵的倾角 [J]. 太阳能学报, 2003, 24 (2): 241 - 244.
- [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] 太阳光发电协会. 太阳能光伏发电系统的设计与施工 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [9] 毛永志, 张翀, 李永伟, 等. 电动车及其能源系统的发展 [J]. 物理化学学报, 2007, 23 (增刊): 107 - 112.
- [10] 杨方, 张义斌, 葛旭波. 中美日电动汽车发展趋势及特点分析 [J]. 能源技术经济, 2011, 23 (7): 40 - 44.
- [11] 辛凤影, 王海博. 电动汽车发展现状与商业化前景分析 [J]. 国际石油经济, 2010, 18 (7): 20 - 24.
- [12] 陈清泉. 现代电动车、电机驱动及电力电子技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

Development of photovoltaic power/electric vehicle charging integration parking shed

Wu Shaobo, Wei Chuanchuan, Yu Jiang

(Shenzhen Xintian Solar Technology Co. Ltd., Shenzhen, Guangdong 518116, China)

[Abstract] The photovoltaic (PV) shed system structure and design in detail with the present of its actual photos were described. The shed is 50 m long and 5.5 m wide and capable of parking 18 cars. Under the control of system intellectual controller, the power produced by PV from sunlight will charge the parking electric vehicle (EV) car prior to charge the storage battery, charge the storage battery prior to grid power at last, and charge the EV by utility grid while on a cloudy or rainy day.

[Key words] PV generator; EV charge; integrated parking shed; design; control