

# 农村水能与太阳能混合发电系统的设计与应用

张仁贡

(浙江同济科技职业学院, 杭州 311231)

**摘要:** 针对农村水能和太阳能 2 种可再生能源混合发电创新模式, 该文设计了一种互补型的混合发电系统。在系统特点分析的基础上, 构架了总体设计方案。在混合发电系统的设计过程中重点应用了混合直流系统构建技术、光伏谐波抑制与无功补偿技术、共享型微机监控技术等关键技术。核心技术的应用使光伏电站可为水电站提供直流电源和无功补偿、为电网提供谐波抑制; 同时通过共享型微机监控技术使水电站和光伏电站共享现有控制单元、数据通讯网络、工作站及服务器, 节约了投资成本。实践和计算表明, 农村水能与太阳能混合发电系统的设计能够节约一次性投资成本超过 50%, 并产生长期的谐波抑制和无功补偿效益; 每 1 kW 电量能节约 0.4 kg 标准煤, 减少 0.997 kg 二氧化碳 (CO<sub>2</sub>); 同时具有保护大坝和节约国土资源等社会效益。

**关键词:** 太阳能, 水资源, 可再生能源, 光伏发电系统, 混合发电模式, 无功补偿

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.14.029

中图分类号: TM615

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-14-0190-06

张仁贡. 农村水能与太阳能混合发电系统的设计与应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 190-195.

Zhang Rengong. Design and application of rural hydro-solar hybrid power system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(14): 190-195. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

随着太阳能电池转化效率的提高、生产成本的降低、使用寿命和稳定性的提高以及政策的鼓励使中国的太阳能发电工程迎来了新的发展契机<sup>[1-2]</sup>。太阳能属于可再生能源, 国内外相关研究表明, 采用独立光伏发电系统和并网光伏发电系统两种形式的普遍较多, 而采用多种可再生能源混合发电的光伏发电系统较少。张希照等<sup>[3]</sup>研究了风能与光伏混合发电系统, 对风能与光伏混合微电网在并网和孤岛 2 种模式中的运行特性进行了仿真分析, 验证控制方式的可行性。樊启祥<sup>[4]</sup>介绍了山东即墨大管岛风力、光伏、波浪能混合发电系统组成和功能, 提出了在该项目中配套的光伏系统的设计, 探讨了在海岛开发利用多种可再生能源混合发电系统的可行性。但国内少有太阳能与水能混合发电系统的应用研究报道。

中国很多农村水电站的水库具有较大面积的大坝<sup>[5]</sup>。充分利用大坝面积建立太阳能光伏发电系统其优点在于: 1) 节约国土资源。水库大坝下游坡面上无其他用途, 在水库大坝下游坡面上铺设太阳能电池板节约了国土资源。2) 延迟大坝寿命。铺设太阳能板能使大坝免受阳光直接照射, 减少大坝热胀冷缩的破坏作用。3) 减少系统投资。可以充分利用现有的农村水电站电网<sup>[6]</sup>, 共享电力

输送系统、升压站和计算机监控系统, 节约系统建设的投资成本。4) 水电站发电并网的无功功率往往不足, 而并网太阳能光伏发电系统可以对水电站进行无功补偿, 同时还对电网有谐波抑制作用。为此本文结合应用实践, 着重论述农村水能与太阳能混合发电系统的设计与应用。

## 1 总体方案设计

铺设在大坝上的光伏组件把太阳能转化为直流电能, 通过控制器: 一方面为蓄电池充电, 蓄电池的电能为水电站的直流系统提供电能; 另一方面由 DC/AC 逆变器把直流转化为交流电, 经母线、变压器并网。水库中的水能通过压力管道由水轮机把水能转化为旋转机械能, 再由发电机把机械能转化为电能, 经母线、变压器并网, 如图 1 所示。

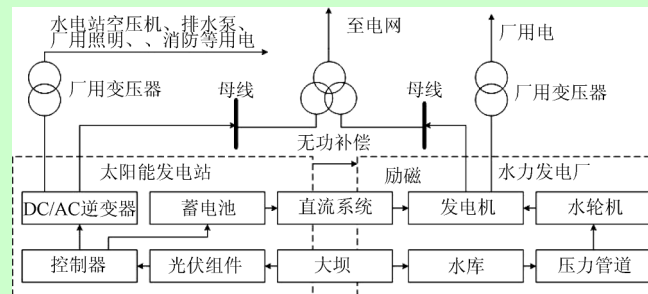


图 1 水能与太阳能混合发电模式总体设计方案图

Fig.1 Overall design scheme of hydro and solar hybrid power mode

从图 1 可知, 光伏发电系统的直流电源不但能为水电站的励磁系统所用, 同时可以为水电站的空压机、排水泵、厂用电照明、消防等所用, 而且光伏发电系统的多余电能可以通过水电站现有输电网络进行并网运行。同时当水电

收稿日期: 2011-12-14 修订日期: 2012-06-20

基金项目: 浙江省重点科技创新团队项目 (2012R10022-09); 浙江省哲学社会科学规划课题 (11YD39YB); 水利部公益性行业科研专项经费项目 (201001031)

作者简介: 张仁贡 (1975-), 男, 浙江文成人, 副教授, 博士生, 研究方向: 控制理论与控制工程。杭州 浙江同济科技职业学院, 311231。

Email: zrgmail2002@yahoo.com.cn

站无功不足时，太阳能发电站可以起到无功补偿作用。

### 2 关键技术研究

水能和太阳能都属于可再生能源，多种可再生能源混合系统的建设具有创新性，对一些通用技术本文不作介绍，重点论述混合直流系统构建技术、光伏谐波抑制与无功补偿技术、共享型微机监控技术等关键技术。

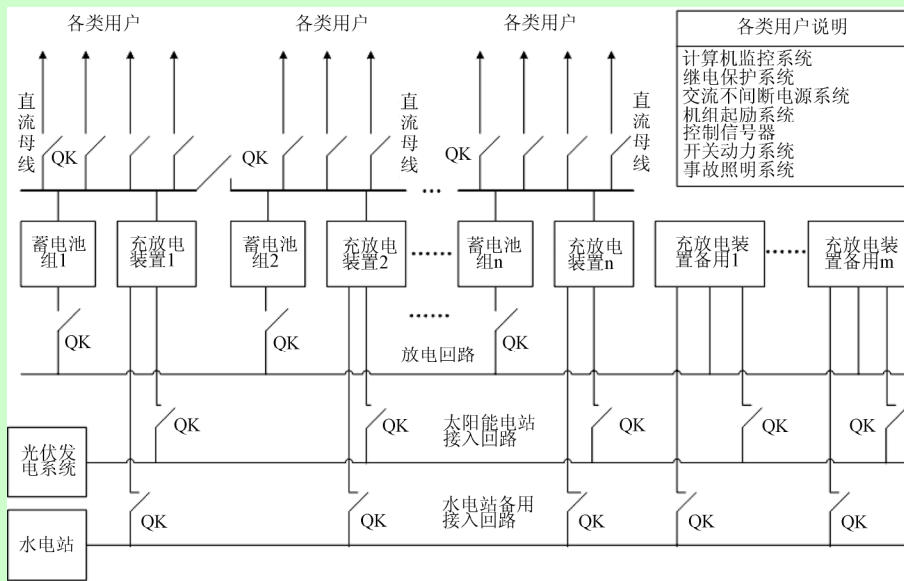
#### 2.1 混合直流系统构建技术

水电站直流系统可以为水电站的计算机监控系统、继电保护系统、交流不间断电源系统、机组起励系统、控制信号器、开关动力系统、事故照明系统等提供直流电源。

以往水电站直流系统的充电要从电网或水电站本身发出的交流电，通过整流装置变为直流电后为蓄电池组

充电，在整流过程中存在损耗和稳定性等问题。而太阳能光伏电池组发出的电本身就是直流电，是蓄电池组充电的便捷选择。但太阳能受天气影响比较大，尤其在南方地区，需要和水电站或电网配合组建混合直流系统，其中太阳能光伏系统和水电站或电网互为备用，如图 2 所示。

从图 2 可知，蓄电池组和充放电装置构成直流系统主要部件，蓄电池组和充放电装置之间采用放电回路链接，每个蓄电池组和充放电装置与直流母线联接，通过 QK 开关输出到各类用户，为了保证直流系统的稳定性，在设计时可以配置多组充放电装置与放电回路联接。直流小母线一般采用分段接线方式，直流小母线之间采用 QK 开关相连。光伏发电系统和水电站或电网分别由太阳能电站接入回路和水电站备用接入回路为直流系统充电<sup>[7]</sup>。



注：QK 为开关。

图 2 混合直流系统设计图

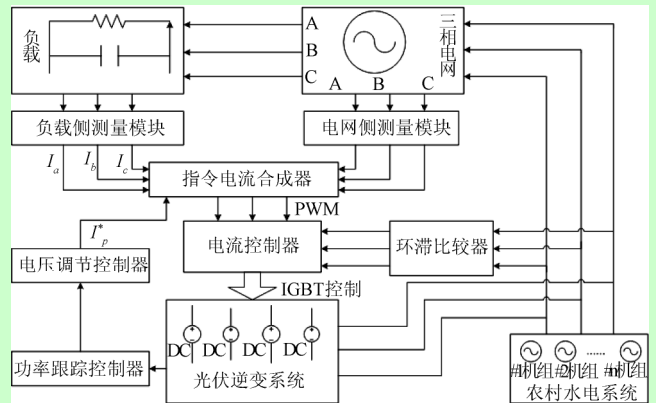
Fig.2 Design chart of hybrid direct current system

#### 2.2 光伏谐波抑制和无功补偿技术

无功不足和谐波不稳定性是农村水电站普遍存在的问题，对于电压 400 V 的农村低压水电站往往采用并联低压电容器组的方法进行补偿，而大部分农村水电站由于历史原因设计上都采用 6.3 kV 的高压发电机出线，这给并联低压电容器组的方法进行补偿带来困难，虽然有采用并联高压电容器组的方法进行补偿，但总体安全性不是很高<sup>[8]</sup>。随着光伏并网技术的发展，光伏电站可以设计为并网逆变系统，对电网进行谐波抑制和无功补偿，如图 3 所示。

指令电流合成器是系统的核心部件，它接收负载侧测量模块的负载电流和电压，并提取负载电流谐波及无功分量形成指令电流，再把指令电流与来自电网测量模块的并网电流进行比较，产生脉冲宽度调制 PWM (pulse width modulation) 波，由电流控制器控制光伏逆变系统中各个绝缘栅双极型晶体管 IGBT (insulated gate bipolar transistor) 的通断，实现了并网电流对指令电流的跟踪<sup>[9]</sup>。图中功率跟踪控制器完成了光伏逆变系统最大功率点的

工作电压控制，电压调节器调节输出并网电流的有功分量的给定幅值。电流控制器和环滞比较器实现了环滞控制方式<sup>[10-11]</sup>。



注：A、B、C 分别表示三相线路， $I_a$ 、 $I_b$  和  $I_c$  为三相负载电流， $I_p^*$  为电压调节器调节输出并网电流的有功分量给定幅值，PWM 为脉冲宽度调制，IGBT 为绝缘栅双极型晶体管。

图 3 光伏逆变系统谐波抑制和无功补偿原理图

Fig.3 Schematic diagram of harmonic suppression and reactive power compensation for PV inverter system

指令电流合成器作为该技术的核心部件，主要合成指令电流。这里先计算无功和谐波电流的补偿指令电流，再计算光伏并网发电有功指令电流，最后由无功和谐波电流的补偿指令电流和光伏并网发电有功指令电流合成指令电流。设三相负载电流为  $I_a$ 、 $I_b$  和  $I_c$ ，电压调节器调节输出并网电流的有功分量的给定幅值为  $I_p^*$ 。依据瞬时无功功率理论，三相负载电流经过变换矩阵和低通滤波器后可以得到基波有功直流分量  $I_{af}$ 、 $I_{bf}$  和  $I_{cf}$ ，把  $I_p^*$  和基波有功直流分量  $I_{af}$ 、 $I_{bf}$  和  $I_{cf}$  进行叠加可以得到叠加基波有功直流分量  $I_{afp}$ 、 $I_{bfp}$  和  $I_{cfp}$ ，将叠加基波有功直流分量与负载电流相减即得到指令电流  $I_a^*$ 、 $I_b^*$  和  $I_c^*$ ，指令电流表达式如下

$$\begin{bmatrix} I_a^* \\ I_b^* \\ I_c^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} I_{afp} \\ I_{bfp} \\ I_{cfp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_a(t) - \sqrt{\frac{2}{3}} \sin \omega t \overline{I_p(t)} \\ I_b(t) - \sqrt{\frac{2}{3}} \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \overline{I_p(t)} \\ I_c(t) - \sqrt{\frac{2}{3}} \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \overline{I_p(t)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$-\sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} I_p^*(t) \sin \omega t \\ I_p^*(t) \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \\ I_p^*(t) \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix}$$

式中， $I_a(t)$ 、 $I_b(t)$ 、 $I_c(t)$  分别为  $t$  时刻 A、B、C 三相负载电流， $\overline{I_p(t)}$  为电压调节器调节输出并网电流的有功分量，

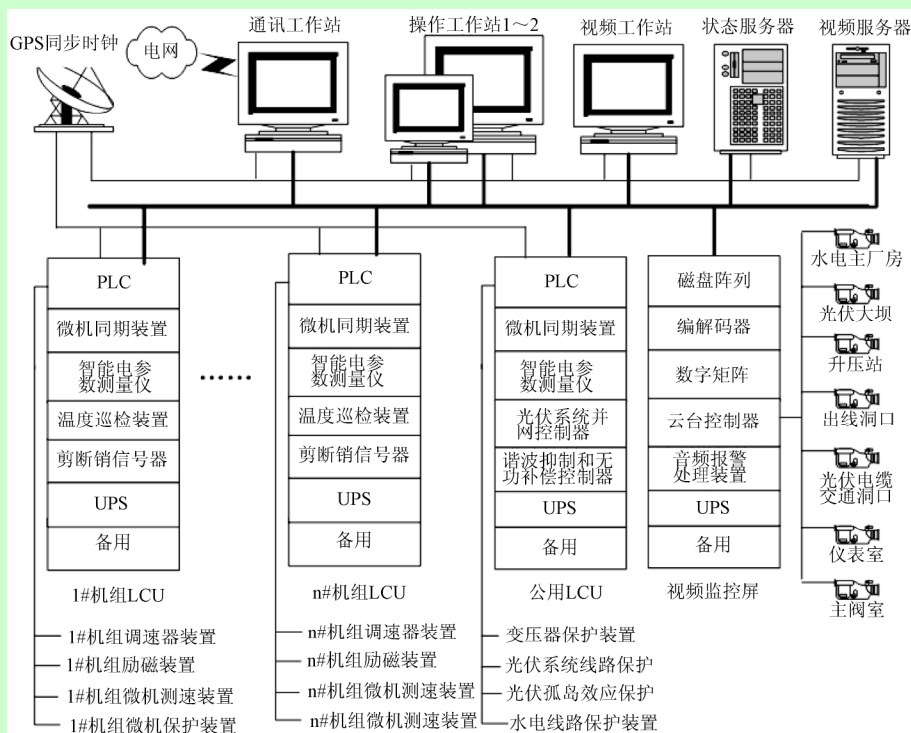
$I_p^*(t)$  为电压调节器调节输出并网电流的有功分量给定幅值，单位皆为安培。

由式 (1) 可知，指令电流  $I_a^*$ 、 $I_b^*$  和  $I_c^*$  由两部分组成，前者为即为光伏并网指令电为瞬时无功功率理论下的无功及谐波电流分量，代表并网电流的无功分量指令；后项为光伏阵列输出的并网电流有功分量指令，代表光伏阵列发电功率的大小<sup>[12-13]</sup>。

### 2.3 共享型微机监控技术

目前新建的农村水电站都采用水电站计算机监控技术，老的水电站也通过更新改造逐步采用计算机监控技术。农村水电站计算机监控系统包括状态监控和视频监控两个方面，状态监控和视频监控一般分开布置，数据通讯相互独立，并采用不同的服务器进行数据存储，但上位机工作站都布置在计算机监控中心，以便工作人员进行集中监控和问题处理。水电站计算机监控系统一般采用分层分布方式进行链接<sup>[14]</sup>，这为系统的拓展提供了有利的条件。光伏发电系统同样需要进行状态监控和视频监控，可以把光伏发电系统的状态监控和视频监控分别接入水电站计算机监控系统，共享服务器、数据传输网络和监控中心。光伏和水电共享型微机监控系统结构如图 4 所示。

从图 4 可知，首先，按照水电站的机组数  $n$  设置  $n$  个机组现地控制单元 (local controller unit, LCU)，LCU 屏柜中安装可程序控制器 PLC (programmable logic controller)、微机同期装置、智能电参数测量仪、温度巡检仪、剪断销信号器、稳压电源 UPS (uninterruptible power system) 等<sup>[15-18]</sup>。



注：PLC 为可编程控制器，LCU 为现地控制单元，UPS 为不间断稳压电源。

图 4 光伏和水电共享型微机监控系统结构图

Fig.4 Chart of shared microcomputer monitoring system of solar and hydro

PLC 同时链接控制微机调速器、微机励磁装置、微机测速装置、微机保护装置等<sup>[19-20]</sup>。其次，系统配置一

个公用现地控制单元，用以监控光伏发电系统和水电站各机组公用设备，公用 LCU 屏柜中安装 PLC、微机同期



装置、智能电参数测量仪光伏系统并网控制器、谐波抑制和无功补偿控制器、UPS 等，同时 PLC 链接控制变压器保护装置、光伏系统线路保护装置（包括并网系统以及光伏为水电站提供直流电源线路部分）、光伏孤岛效应保护装置（主动防御型或被动防御型）、水电站线路保护装置等。再次，把视频监控系统进行扩展集成，配置一个视频监控屏，安装有磁盘阵列、编解码器、数字矩阵、云台控制器、音频报警处理装置、UPS 等，同时按照视频监控要求在水电站主厂房、光伏大坝、升压站、出线洞口、光伏电缆交通洞口、仪表室、主阀室等布置多个摄像装置，由云台控制器进行控制，并将视频信号通过网络传输到视频工作站。最后，状态监控数据和视频监控数据通过工业以太网传输到监控中心<sup>[21-24]</sup>，监控中心由通讯工作站、操作员工作站（主、备 2 台）、视频工作站、状态服务器和视频服务器<sup>[25]</sup>等组成，通讯工作站完成与电网的通讯调度，操作员工作站完成系统的状态监控，视频工作站完成视频信号监控；状态服务器安装状态数据库<sup>[26-28]</sup>，用以存储和管理状态数据；视频服务器安装视频监控服务器，视频数据通过视频服务器存储在磁盘阵列中，实现视频回放、事故分析等功能<sup>[29-30]</sup>。

### 3 案例分析

#### 3.1 工程简介

浙江省丽水滩坑水库电站位于浙江省丽水市瓯江流域小溪支流中段的青田县境内，水库水域面积 7 133 万 m<sup>2</sup>，总容积 41.5 亿 m<sup>3</sup>，水电站装机容量 3×200 MW，装机年利用小时 1 725 h。拦河大坝拟用混凝土面板堆石坝，坝顶高程为 171 m，坝顶长 506 m，最大坝高 162 m。该水库以发电为主，兼顾防洪及其他综合利用，是一座具有多年调节能力的大型水电站。

滩坑大坝具有面积巨大的下游坝坡，下游坝坡面南，为光伏发电系统的安装具备了理想日照条件。本案例的光伏发电系统设计布置 20 000 块 230 Wp 电池组件，设计容量为 4 600 kWp。该电站大坝的工程地理位置在 28°08'N，120°02'E，气象资料如表 1 所示。

表 1 浙江省丽水市滩坑水电站大坝气象资料

Table 1 Meteorological information of Tankeng hydropower station dam in Lishui city, Zhejiang Province

月份	月平均温度 /℃	水平面平均日辐射 / (kWh·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	23°倾斜面平均日辐射 / (kWh·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	40°倾斜面平均日辐射 / (kWh·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )
1 月	9.2	2.42	2.93	3.03
2 月	10.4	2.58	2.88	2.88
3 月	14.1	2.87	2.95	2.84
4 月	19.2	3.75	3.62	3.38
5 月	23.1	4.15	3.88	3.51
6 月	26.5	4.19	3.84	3.44
7 月	30.0	5.51	5.01	4.43
8 月	29.4	4.76	4.56	4.18
9 月	26.3	3.78	3.85	3.67
10 月	21.2	3.4	3.83	3.82
11 月	16.2	2.83	3.42	3.54
12 月	11.2	2.7	3.52	3.74
年平均辐射 / (kWh·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )		3.58	3.70	3.54

由表 1 可知水平面上年均日辐射量为 3.58kWh/(m<sup>2</sup>·d)，23°斜面上（朝南方向）年均日辐射量为 3.7kWh/(m<sup>2</sup>·d)，40°斜面上（朝南方向）年均日辐射量为 3.54 kWh/(m<sup>2</sup>·d)，属于太阳能资源第 3 类地区<sup>[12]</sup>，十分适合建设太阳能光伏电站。

根据工程的实际情况，发电系统采用“农村水能与太阳能混合发电系统”方案。设计光伏电池组件选多晶硅电池型，倾斜角度 40°，光伏发电总装机容量 4 600 kWp，总效率  $\eta$  为 76.70%，年发电量 270 万 kWh，总投资 7 424 万元。光伏发电系统共享农村水电已有的电网，经过 0.4 kV/10 kV 变压配电装置并入水电站已有的 10 kV 输电网络，进行并网发电。并在后续研究和设计中光伏发电系统能为农村水电站直流系统提供直流电源，为电网和水电站提供谐波抑制和无功补偿功能，同时对原有计算机监控系统进行扩展形成共享型计算机监控系统，以节约投资。

#### 3.2 效益分析

##### 1) 节约一次性投资

节约一次性投资包括控制系统、升压系统和输电系统的节约投资。①控制系统节约的投资。光伏发电系统的控制系统投资一般为 120 万元，采用共享型计算机监控系统后，可以共享水电站原有的视频服务器（约 30 万）、状态服务器（约 20 万）以及其他设备（如磁盘阵列、云台控制器、音频报警处理装置、信号传输系统等，约 20 万），仅需投资 50 万元，节约 70 万元。②升压系统节约的投资。10kV 升压系统投资包括升压站场地工程建设和系统设备配置等费用，一般需要 400 万元，而共享水电站 10kV 升压系统后，升压站场地工程建设至少节约投资 50%，即 200 万元。③输电系统节约的投资。如果单独组建光伏发电系统需要投资电网输电系统，而混合发电系统方案可以共用原有的水电站电网输电系统，该部分投资节约要依据实际情况确定。

##### 2) 谐波抑制和无功补偿效益

滩坑水电站的水库承担了防洪的重要功能，例如 2010 年 6 月浙江连续暴雨，6 月 23 日 14 时，浙江丽水滩坑水电站首次开闸泄洪，经过连续 76 h 的泄洪，共完成泄洪 1.39 亿 m<sup>3</sup>。为提高发电效益，减少防洪弃水，水电站机组可以采用增发有功，减少无功，而无功不足部分可以由光伏发电系统进行补偿。滩坑水电站有 3 台发电机组，以 1 台机组为例，假设机组有功功率由 200MW 增发到 230 MW 时，则计算如下

$$S = P / \cos \varphi \tag{2}$$

$$Q = S \times \sin \varphi \tag{3}$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \tag{4}$$

式中， $\cos \varphi = 0.8$ ， $S$  为机组容量，kVA； $P$  为有功功率，kW； $\varphi$  为功率角； $Q$  为无功功率，kVar。

由以上计算可知，未进行补偿时，机组有功功率为  $2.0 \times 10^5$  kW，无功功率为  $1.5 \times 10^5$  kVar 时为满载。

当光伏发电系统进行补偿时，机组有功功率增加到

230MW, 设补偿功率为  $Q_c=0.9 \times 10^5 \text{kVar}$ , 则由 (2)、(3)、(4) 可知:

$$\Delta Q = Q - Q_c = 7.9 \times 10^3 \text{kVar} \quad (5)$$

式中,  $\Delta Q$  为补偿后的机组无功功率, kVar。

由上面计算可知, 当补偿功率为  $Q_c=0.9 \times 10^5 \text{kVar}$  时, 发电机只需发无功功率  $\Delta Q$  为  $7.9 \times 10^3 \text{kVar}$ , 而此时的功率因素  $\cos\varphi$  达到了 0.92。

当保证  $\cos\varphi=0.8$  时

$$S = P / \cos\varphi = 2.875 \times 10^5 \text{kVA}$$

$$Q = S \times \sin\varphi = 1.725 \times 10^5 \text{kVar}$$

$$\Delta Q' = Q - Q_c = 8.25 \times 10^4 \text{kVar}$$

$$Q_\theta = \Delta Q - \Delta Q' = 1.54 \times 10^4 \text{KVar} \quad (6)$$

式中,  $\Delta Q'$  为保证  $\cos\varphi=0.8$  时的无功功率, kVar;  $Q_\theta$  为机组无功功率可调裕度, kVar。由以上计算可知, 机组只需发无功功率  $\Delta Q'$  为  $8.25 \times 10^4 \text{kVar}$  即可达到功率因素  $\cos\varphi=0.8$ , 且机组尚未满载, 有  $Q_\theta=1.54 \times 10^4 \text{kVar}$  的无功功率可调裕度。

水电站该项的年增加效益可以由下式计算

$$W = n \times \Delta P \times t \times E \quad (7)$$

其中,  $W$  为年增加效益, 元;  $n$  为机组台数,  $\Delta P$  为机组增加出力, kW;  $t$  为电站年利用小时数, h,  $E$  为滩坑水电站上网电价, 元。滩坑水电站机组台数为 3 台, 设增加有功功率  $\Delta P$  为 30 MW, 设计年利用小时数  $t$  为 1 725 h, 依据《印发国家发展改革委关于审批浙江瓯江滩坑水电站项目建议书的请示的通知》核定滩坑水电站的上网电价  $E$  为 0.52 元, 代入式 (2) 得年增加效益为 8 073 万元。

### 3) 社会效益

光伏发电属于可再生清洁能源, 按照光伏发电系统装机 4 600 kWp 计算, 年上网电量 270 万 KWh, 可节约标准煤 1 080 t, 减少二氧化碳排放量 2691 t (注: 根据专家统计, 每 1 kWh 电量, 相当节约 0.4 kg 标准煤, 减少 0.997 kg 二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)); 另外, 在大坝上铺设太阳能电板, 避免大坝受夏天烈日直照, 在保护大坝的同时节约了国土资源; 因此该项目具有明显的节能减排、保护大坝和节约国土资源等社会效益。

## 4 结论与讨论

采用农村水能和太阳能混合发电的创新模式, 使 2 种可再生能源在发电到并网过程中互补优势。本文提出了混合发电系统的总体设计方案, 采用了混合直流系统构建技术、光伏谐波抑制与无功补偿技术、共享型微机监控技术等关键技术, 通过浙江省丽水市滩坑水电站的设计案例和计算结果表明, 该混合系统不但能节约一次性投资超过 50%, 也能带来长期的谐波抑制和无功补偿效益。通过计算可知, 每千瓦装机能节约标准煤 0.205 t、减排二氧化碳 0.447 t; 同时具有保护大坝和节约国土资源等社会效益。农村水能和太阳能混合发电系统是一种开创性的设计模式, 还有很多关键技术有待研究, 例如水能混合调节下的孤岛保护技术、继电保护技术、视频监控技术等

方面需要实践中不断研究和突破。

### [参 考 文 献]

- [1] Tony Dorsey, A chim Steiner, Michael Acrem an. Large dams: Learning from the past and looking at the future[A]. In: Work shop Proceedings[C]// Glang, itnerland, 1997. 37239.
- [2] 刘洋. 光伏系统在体育场设计中的应用[J]. 建筑节能, 2011, 39(10): 46-48.  
Liu Yang. Solar photovoltaic system applied in stadium design[J]. Building Energy Efficiency, 2011, 39(10): 46-48. (in Chinese with English abstract)
- [3] 张希照, 张希建, 张中建, 等. 大鱼山岛光伏太阳能海水淡化示范工程[J]. 水处理技术, 2010, 36(12): 67-70.  
Zhang Xizhao, Zhang Xijian, Zhang Jianzhong, et al. Demonstration project of photovoltaic solar desalination at dayushan island[J]. Technology of Water Treatment, 2010, 36(12): 67-70. (in Chinese with English abstract)
- [4] 樊启祥. 水力资源开发要与生态环境和谐发展: 金沙江下游水电开发的实践[J]. 水力发电学报, 2010, 29(4): 1-5.  
Fan Qixiang. Water resources utilization based on sustainable ecosystems: Practice of Jingsha River hydropower development[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 29(4): 1-5. (in Chinese with English abstract)
- [5] 周念成, 王强钢, 杜跃明. 风能与光伏混合微电网的建模和仿真[J]. 中国电力, 2010, 43(4): 81-85.  
Zhou Niancheng, Wang Qianguang, Du Yueming. Modeling and simulation of wind/PV hybrid micro-grid[J]. Electric Power, 2010, 43(4): 81-85. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张熙霖, 武鑫, 吴志民, 等. 风力/光伏/波浪能混合发电系统的应用研究[J]. 可再生能源, 2004, 114(2): 42-44.  
Zhang Xilin, Wu Xin, Wu Zhimin, et al. Research on wind/photovoltaic/wave energy hybrid system applications on islands[J]. Renewable Energy, 2004, 114(2): 42-44. (in Chinese with English abstract)
- [7] 杨乾鸿. 泸定水电站直流系统接线方式设计缺陷及改进措施[J]. 水力发电, 2011, 37(5): 68-70.  
Yang Qianhong. Design defects on the direct-current system connection of luding hydropower station and its improvement[J]. Hydroelectric power, 2011, 37(5): 68-70. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王萍, 郑常宝. 具有谐波抑制与无功补偿功能的光伏并网系统[J]. 微型机与应用, 2011, 30(14): 58-61.  
Wang Ping, Zheng Changbao. A grid connected photovoltaic system with harmonic suppression and reactive power compensation[J]. Microcomputer and Its Applications, 2011, 30(14): 58-61. (in Chinese with English abstract)
- [9] 杨立永, 王周龙, 田红芳. 光伏并网系统中的无功及谐波电流检测与补偿[J]. 北方工业大学学报, 2011, 23(1): 48-55.  
Yang Liyong, Wang Zhoulong, Tian Hongfang. Detection and compensation of reactive and harmonic currents for photovoltaic grid-connected system[J]. Journal of North China University of Technology, 2011, 23(1): 48-55. (in Chinese with English abstract)
- [10] 王兆安, 杨君, 刘进军, 等. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [11] 刘文华, 焦阳, 宋强, 等. 三相光伏发电系统瞬时电流控制及其孤岛检测技术[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2011, 51(3), 345-350.  
Liu Wenhua, Jiao Yang, Song Qiang, et al. Instantaneous current control and islanding detection for a three-phase grid connected photovoltaic generation system[J]. Journal of

- Tsinghua University: Science and Technology, 2011, 51(3): 345—350. (in Chinese with English abstract)
- [12] 陈树勇, 鲍海, 吴春洋, 等. 分布式光伏发电并网功率率直接控制方法[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(10), 6—11. Chen Shuyong, Bao Hai, Wu Chunyang, et al. Direct grid-tie power control method for distributed photovoltaic generation[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(10), 6—11. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007. (环滞比较)
- [14] 杨武. 水电站综合自动化数据库管理系统的研究[J]. 机电工程技术, 2008, (7): 33—35. Yang Wu. Hydropower station automation database management system[J]. Mechanical and Electrical Engineering, 2008, (7): 33—35. (in Chinese with English abstract)
- [15] 张仁贡. 水电站动力特性分析数据库系统的研究与应用[J]. 水力发电学报, 2010, 29(4): 240—244. Zhang Rengong. Study and application of the dynamic analysis database software for hydropower station[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 29(4): 240—244. (in Chinese with English abstract)
- [16] Wiley Wrox. Beginning Database Design[M]. E-books, 2008.
- [17] 徐金寿, 张仁贡. 水电站计算机监控技术与应用[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2011.
- [18] 张仁贡, 王万良, 赵燕伟. 农村水电站电能生产动态不确定性优化调度模型[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 275—278. Zhang Rengong, Wang Wanliang, Zhao Yanwei. Rural hydropower electricity production optimal scheduling model under dynamic uncertain environment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(5): 275—278. (in Chinese with English abstract)
- [19] Shawn Wildermuth, Jim Wightman, Mark Blomsma. Microsoft .NET Framework 3.5-ADO.NET Application Development [M]. USA:Microsoft Press, 2009. 3.
- [20] Petroustos E. Mastering Visual Basic.NET[M]. Sybex, 2002.
- [21] Andrew J.Brust, Stephen Forte. Programming Microsoft SQL Server 2005[M]. USA:Microsoft Press, 2007.
- [22] American Institute of Down-to-earth Quality of Learning.Microsoft SQL Server 2005 Based Technology[M]. World Book Publishing Company, 2007.
- [23] Jeff Tapper, Matthew Boles.Adobe Flex 2--Training from the Source[M].USA:Adobe Press, 2006.10.
- [24] Yakov Fain.Rich Internet Applications with Adobe Flex and Java[M]. USA:SYS-CON MEDIA, 2007, 3.
- [25] Brown.C.E.The Essential Guide to Flex 2 with ActionScript 3 [M]. USA: Apress, 2007.
- [26] Rod JoHeson, Juergen Hoeller waiting,Chiang Pei translation. Spring framework of the high-level programming[M]. Beijing: China Machine Press, 2006-04.
- [27] Craig Walls, Ryan Breidenbach(Lei, Cheng Li, Zhou Yuehong translation). Spring in Action[M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2006.
- [28] Yangtze River Water Resources Commission Survey, Planning and Design Institute. People's Republic of water resources, review the results of 2003 (the Yangtze River Study)[M].Wu Han:2003.
- [29] 秦敏, 李志蜀. 利用 Hibernate 框架简化 Java 数据库访问[J]. 计算机应用与软件, 2006, 23(6): 46—47. Qin Min, Li Zhishu. Simplification of java database access with Hibernate framework[J]. Computer Applications and Software, 2006, 23(6): 46—47. (in Chinese with English abstract)
- [30] 戒伟, 张双. 精通 Struts-Java 流行服务器、框架、工具及整[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.

## Design and application of rural hydro-solar hybrid power system

Zhang Rengong

(ZheJiang TongJi Vocational college of Science and Technology, Hangzhou 311231, China)

**Abstract:** According to the generation innovation model with two renewable energy mixed for rural hydropower and solar energy power, this paper discussed the design of a hybrid-type hybrid power generation system. Based on the system characteristics, the general design plan was designed. Focused on mixed DC systems harmonic suppression and reactive power compensation in construction technology, photovoltaic technology, shared-key technologies such as computer monitoring technology in hybrid power system design process were applied. Core technology made the application of photovoltaic power stations provide DC power supply for hydropower station and provided for the power grid harmonic suppression and reactive power compensation. The share-type technologies that share-type hydropower station computer monitoring technology and photovoltaic power stations shared local control unit, data communication networks, workstations, and servers, were cost-saving. Practices and calculations show that rural hydropower and solar hybrid power system designed saves a initial investment cost over 50%, and generates long-term harmonic suppression and reactive power compensation benefits; installed capacity per kW can save the normal vectors 0.4 kg and carbon dioxide emissions 0.997 kg. And the power system can realize protection and social benefits such as land and natural resource conservation.

**Key words:** solar energy, water resources, renewable energy resources, photovoltaic power generation system, hybrid power mode, reactive power compensation