

# 四川德昌阿月太阳能光伏发电系统工程 总体方案设计

王俊<sup>1</sup>, 张事坤<sup>2</sup>, 赵越<sup>1</sup>

(1. 国电大渡河新能源投资有限公司, 四川 成都 610041; 2. 中水顾问集团贵阳勘测设计研究院, 贵州 贵阳 550081)

**摘要:**介绍了四川省德昌县阿月太阳能光伏发电系统工程总体方案设计情况,提出了光伏发电工程研究中系统工程将要面对及需要解决的问题。

**关键词:**光伏发电工程; 系统工程; 综述; 方案设计

**中图分类号:**TK511;TK51;TK519;TK513

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2014)01-0096-03

四川省德昌县位于四川省西南部,县城附近常年平均气温为 18℃,全年日照总辐射 5 600 MJ/m<sup>2</sup>,常年日照数为 2 147.4 h,全年日照百分率为 51%~68%,平均每天日照 4.2~8.7 h,是四川省太阳辐射富集地区之一。该县紧邻 G5 高速公路,交通便利,电网完善,较为适合开发太阳能光伏发电项目。本工程总装机容量为 10 MW<sub>p</sub>,采用分块发电、集中并网方案。

## 1 太阳能电池组件的选择

### 1.1 太阳能电池类型的选择

目前,太阳能电池的种类主要分为单晶硅电池、多晶硅电池和薄膜电池。由于国内薄膜电池生产厂家较少,规模较小,商业化生产的薄膜电池平均转换效率较低(约 6%左右);而晶硅电池国内生产厂家多,且晶硅电池平均转换效率较高

(单晶硅电池为 16%~20%,多晶硅电池为 15%~18%),故该电站未采用薄膜电池,推荐选用晶硅电池。

晶硅类电池中的单晶硅电池和多晶硅电池最大的差别是单晶硅电池的光电转化效率略高于多晶硅电池,但单晶硅电池造价相对较高,故该电站选择采用多晶硅太阳能电池。

### 1.2 多晶硅太阳能电池选型

由于本工程系统装机容量为 10 MW<sub>p</sub>,组件用量多,占地面积大,组件安装量大,故设计优先选用单位面积功率大的电池组件,以减少占地面积,降低组件安装量。采用不同规格多晶硅电池组件组成 10 MW<sub>p</sub> 电池方阵的组件用量比较情况见表 1。

表 1 不同规格多晶硅电池组件组成的 10 MW<sub>p</sub> 电池方阵组件数量比较表

参 数	方 案		
	方案一	方案二	方案三
组件峰值功率/W <sub>p</sub>	175	230	280
串联数量/块	26	21	20
1 MW <sub>p</sub> 子方阵并联数量/路	232	212	180
1 MW <sub>p</sub> 子方阵组件数量/块	6 032	4 452	3 600
10 MW <sub>p</sub> 方阵组件数量/块	60 320	44 520	36 000

由表 1 的比较情况可以看出:采用 230 W<sub>p</sub> 组件和 280 W<sub>p</sub> 组件组成 10 MW<sub>p</sub> 光伏阵列所使用的组件数量均较少。组件数量少意味着组件间连接点少,施工进度快且故障几率减少,接触电阻小,线缆用量少,系统整体损耗相应降低。

另外,通过市场调查得知,国内主流厂商生产

的多晶硅太阳能组件规格以 200 W<sub>p</sub> 到 280 W<sub>p</sub> 之间居多。在综合考虑组件效率、技术成熟性、市场占有率以及工程投资等因素后,本工程推荐选用多晶硅太阳能组件规格为 280 W<sub>p</sub>。

## 2 电池阵列的运行方式设计

### 2.1 电池阵列的运行方式分类

在光伏发电系统的设计中,光伏组件阵列的

收稿日期:2013-11-07

运行方式对发电系统接收到的太阳总辐射量有很大的影响,从而影响到光伏发电系统的发电能力。光伏组件的运行方式分为固定式、倾角季度调节式和自动跟踪式三种型式,其中自动跟踪式又分单轴跟踪式和双轴跟踪式。

## 2.2 电池阵列运行方式的比较

表2 1 MWp 阵列各种运行方式比较表

项目	固定式	单轴跟踪方式	双轴跟踪方式
发电效率/%	100	120	130
占地面积/万 m <sup>2</sup>	2.2	4.6	4.9
支架造价	1元/Wp	3元/Wp	5元/Wp
支架费用/万元	100	300	500
估算电缆费用/万元	240	400	420
直接投资增加百分比/%	100	115	124
运行维护	工作量小	有旋转机构,工作量较大	有旋转机构,工作量更大
支撑点	多点支撑	多点支撑	单点支撑
板面清洗	布置集中,清洗方便	布置分散,需逐个清洗,清洗量大	布置分散,需逐个清洗,清洗量大

经对固定式和跟踪式两种运行方式进行初步比较,考虑到本工程规模较大,固定式初始投资较低且支架系统基本免维护,而自动跟踪式虽然能增加一定的发电量,但初始投资相对较高且后期运行过程中维护工作量较大,运行费用亦相对较高,根据以上综合分析,本工程推荐选用固定式运行方式。

## 3 逆变器的选择

本工程系统容量为 10 MWp,从工程运行及维护考虑,选用容量大的逆变设备,可在一定程度上降低投资并提高系统的可靠性;但逆变器容量过大,则在一台逆变器发生故障时,将造成发电系统损失发电量过大。因此,本工程推荐选用容量为 500 kW 的逆变器,逆变器型号为 SG500 KTL。该类型并网逆变器采用专用 DSP 控制芯片,主电路采用 IGBT 模块组装,运用电流控制型 PWM 有源逆变技术,可靠性高,保护功能齐全且具有电网侧高功率因数正弦波电流、无谐波污染供电等特点。

## 4 太阳能电池阵列的设计

### 4.1 太阳能电池阵列最佳倾角及方位角的确定

对于固定式阵列的并网光伏发电系统,应选择光伏组件阵列最佳倾角,使倾斜面上的辐射总量达到最大,从而达到光伏电站年发电量最大的目标。

一般情况下,太阳能并网发电系统的方阵倾

根据对已建工程进行调研得到的数据,若采用单轴跟踪方式,系统的实际发电量可提高约 18%;若采用双轴跟踪方式,系统的实际发电量可提高约 25%。在此条件下,以固定安装式为基础,对 1 MWp 光伏阵列采用三种运行方式进行比较后的情况见表 2。

角一般等于当地纬度的绝对值,该倾角通常可使全年在方阵表面上的太阳辐射能达到最大,适于全年工作系统使用。本项目中固定安装系统的方阵倾角经过 RETScreen 能源模——光伏项目软件优化,并综合考虑节约用地的原则,本次采用固定的太阳能支架方阵倾角为 28°。

固定的太阳能支架方位角是指输入垂直照射到方阵表面上的光线在水平地面上的投影与当地子午线间的夹角,一般将正南方向定为零点,故太阳能阵列的方位角为 0°。

### 4.2 太阳能电池阵列子方阵的设计

#### 4.2.1 太阳能电池组件的串、并联设计

太阳能电池组件串联的数量由逆变器的最高输入电压和最低工作电压以及太阳能电池组件允许的最大系统电压决定。太阳能电池组串的并联数量由逆变器的额定容量确定。

本工程所选 500 kW 逆变器的最高允许输入电压  $V_{dmax}$  为 880 V,输入电压 MPPT 的工作范围为 450 ~ 820 V。280 Wp 多晶硅太阳能电池组件的开路电压  $V_{oc}$  为 44.8 V,最佳工作点电压  $V_{mp}$  为 35.2 V,开路电压温度系数为  $-0.33\%/K$ 。电池组件串联数量计算公式:

$$INT(V_{dmin}/V_{mp}) \leq N \leq INT(V/V_{oc})$$

式中  $V_{dmax}$  为逆变器输入直流侧最大电压; $V_{dmin}$  为逆变器输入直流侧最小电压; $V_{oc}$  为电池组件开路电压; $V_{mp}$  为电池组件最佳工作电压; $N$  为电池

组件串联数。

经计算,多晶硅串联光伏电池数量  $N$  为:  $15 \leq N \leq 18$ 。根据逆变器最佳输入电压以及电池板工作环境等因素进行修正后,最终确定的太阳能电池组件的串联数为 16(串)。按上述最佳太阳能电池组件串联数计算,多晶硅电池每一路组件串联的额定功率容量 =  $280 \text{ W}_p \times 16 = 4\,480 \text{ W}_p$ ; 多晶硅电池计算并联的最大路数  $N = 5\,500 / 4.48 = 122$ (路)。考虑到逆变器的额定容量为 500 kW,本次取每个逆变器并联 112 路。

#### 4.2.2 太阳能电池组串单元的排列方式

一个太阳能电池组串单元中太阳能电池组件的排列方式有多种。但是,为了接线简单,线缆用量少,施工复杂程度低,在工程计算的基础上,对多晶硅电池的排列进行了分析。

经过综合分析,将 1 组多晶硅太阳能电池组串(每串 16 块)每块横向放置,排成 4 行 4 列。为减少风压,组件与组件之间留有间距为 30 mm 的空隙。太阳能电池组串单元排列方案见图 1。

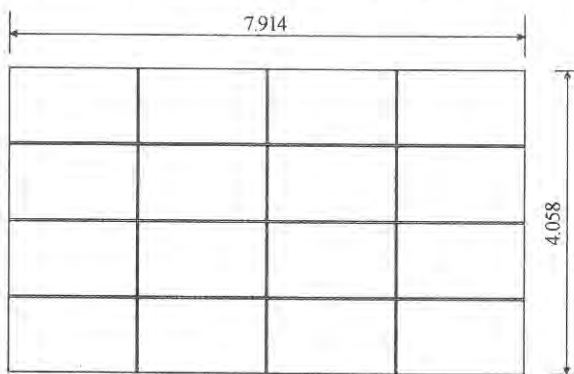


图 1 太阳能电池组串排列图

#### 4.2.3 太阳能电池阵列行间距的计算

太阳能阵列必须考虑前、后排的阴影遮挡问题,并通过计算确定阵列间的距离或太阳能电池阵列与建筑物的距离。一般的确定原则:冬至日当天早晨 9:00 至下午 15:00(真太阳时)的时间段内,太阳能电池阵列不应被遮挡。计算公式如下:

光伏阵列间距或可能遮挡物与阵列底边的垂直距离应不小于  $D$ :

$$D = \cos A \times H / \tan [ \sin^{-1} ( \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos h ) ]$$

式中  $D$  为遮挡物与阵列的间距,  $m$ ;  $H$  为遮挡物与可能被遮挡组件底边的高度差,  $m$ ;  $\varphi$  为当地纬度,  $\text{deg}$ ;  $A$  为太阳方位角,  $\text{deg}$ ;  $\delta$  为太阳赤纬角,  $\text{deg}$ ;  $h$  为时角,  $\text{deg}$ 。

经计算后得到:本工程电池阵列行间最小距离为 7 m。

#### 4.2.4 逆变器室的布置

本工程采用 10 个 1 MW<sub>p</sub> 多晶硅电池方阵, 280 W<sub>p</sub> 多晶硅电池板总数量为 35 840 块, 光伏发电系统总容量 =  $35\,840 \times 0.23 \text{ kW}_p = 10\,035.2 \text{ kW}_p$ 。采用每座逆变器室装设 2 台 500 kW 逆变器、2 面直流配电柜, 逆变器室位于 2 个 500 kW<sub>p</sub> 发电单元的中间, 15 个电池组串(部分为 14 个电池组串)经一个汇流箱汇流接至逆变器上, 10 MW<sub>p</sub> 多晶硅电池方阵共需要 10 座逆变器室, 以达到节约土建投资的目的。

#### 5 太阳能电池阵列汇流箱的设计

本工程 1 MW<sub>p</sub> 多晶硅电池方阵的并联路数为 224, 需设置 20 路汇流箱 13 或 14 个, 整个 10 MW<sub>p</sub> 的电池阵列需要 20 路汇流箱 135 个。太阳能电池组串按单元接入防雷汇流箱并经电缆接入直流配电柜, 然后经并网逆变器逆变成 0.27 V 交流电源接入箱式变电站。两路交流电源经 1 台 1 000 kVA 双分裂变升压至 35 kV, 然后再通过光伏电站升压站内的主变压器升压至 35 kV 送至电网。

#### 6 结语

综上所述,通过对该项目进行系统工程总体设计并经过分析优化,从而使该项目总体设计方案更加科学合理,项目经济效益和社会效益将得到进一步提高。该项目如成功实施,将给四川地区太阳能开发利用起到示范效果。

#### 作者简介:

王 俊(1985-),男,湖北黄冈人,副处长,助理工程师,学士,从事新能源建设前期技术与管理工作;

张世坤(1979-),男,河南镇平人,主任,高级工程师,学士,从事新能源规划设计工作;

赵 越(1986-),男,山东枣庄人,学士,助理工程师,学士,从事新能源建设前期管理工作。

(责任编辑:李燕辉)