

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.02.005

20 MW 光伏发电系统与电气一次设计

明 瑞, 周少武

(湖南科技大学 信息与电气工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘 要: 根据 20 MW 光伏发电系统的工程条件和需求, 系统总体方案采用分块发电、集中并网方式, 光伏组件选用 260 W 多晶硅太阳能组件, 光伏阵列运行方式为固定式安装式, 倾斜角为 23° , 逆变器为 500 kW, 光伏方阵的南北间距为 5.2 m。对电气一次系统的接入电力系统、电气主接线和电气设备布置进行了设计。根据计算结果可知, 该系统的平均年上网电量为 $17\,954\text{ MW}\cdot\text{h}$, 年等效满负荷利用时间为 896.4 h, 容量系数为 0.102, 节能和环保效益良好。

关键词: 光伏发电; 光伏组件; 并网逆变器; 光伏方阵; 电气一次系统

中图分类号: TM615^{+.2}

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2016)02-0026-06

Design of 20 MW Photovoltaic Power Generation System and Electric Primary System

MING Rui, ZHOU Shaowu

(School of Information and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan 411201, China)

Abstract : According to the engineering conditions and requirements of 20 MW photovoltaic power generation system, the mode of block power generation and centralized grid connection is used in the overall scheme of the system. The 260 W polysilicon solar modules is chosen, the fixed installation method is adopted in operation mode of photovoltaic array, and the inclined angle of photovoltaic array is 23° , 500 kW grid connected inverters are put to use, and distance between the North and South is 5.2 m in photovoltaic arrays. The design of access power system, main electrical connection and electric equipment configuration are carried out in electric primary system. The calculation results show that annual average on-grid energy is $17\,954\text{ MW}\cdot\text{h}$, annual utilization hour of equivalent full load is 896.4 h, capacity coefficient is 0.102, and the energy-saving and environmental benefit are well.

Keywords : photovoltaic power generation; photovoltaic module; grid connected inverter; photovoltaic arrays; electric primary system

0 引言

为缓解能源危机, 世界各国都在积极开发利用

可再生能源, 如太阳能、生物质能等。在可使用的能源中, 太阳能是一次性转换效率最高的能源, 且

收稿日期: 2016-02-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51577057)

作者简介: 明 瑞(1992-), 男, 湖南株洲人, 湖南科技大学硕士生, 主要研究方向为电力系统控制与设计,

E-mail: mxz9036@126.com

通信作者: 周少武(1964-), 男, 湖南湘潭人, 湖南科技大学教授, 博士, 博士生导师, 主要从事电力系统优化控制方面的研究, E-mail: shaowuzhou@163.com

使用简单、经济、环保。因此,近几年,太阳能光伏发电技术^[1]得到了迅速发展,成为了利用太阳能的主要方式之一。从资源量和太阳能产品的发展趋势来看,开发太阳能光伏发电项目,将有利于改善电网能源的电力结构,有利于增加可再生能源的比例,有利于优化系统电源结构^[2]。据最新统计,全球太阳能市场复合年均增长率达47.4%。在国家政策的大力支持下,我国太阳能光伏发电技术得到了快速发展,产量和产能不断增加,2015年我国太阳能发电量占全球总量1/4。

国内外研究学者对太阳能光伏发电技术进行了深入研究。赵争鸣等^[3]研究了大容量并网光伏电站的运行机理与特性,分析了其在光伏阵列、变换器及并网方面存在的问题,阐述大容量并网光伏电站的关键技术和发展趋势。杨晓红^[4]对鄂尔多斯电网接入光伏系统进行了详细分析,从技术和管理方面提出改进措施,以光伏电站20 MWp金太阳屋顶示范工程接入系统进行实例分析;Kim S. K.等^[5]采用功率电流控制的逆变并网方式,对系统故障及负荷变化时的电磁暂态特性进行了分析;M. C. Alonso-Garcia等^[6]发现实际运行条件的不同,会导致光伏组件工作温度、日照强度的不同,从而达不到理想的光伏阵列组合特性要求,影响了光伏发电单元的效率。

针对某县区域的光伏电站建设项目要求,本文设计了20 MW光伏发电系统及其接入电力系统方案。该20 MW光伏发电系统能合理开发太阳能资源,可获得较好的社会、经济、环境效益,且本文所设计的电气一次系统也能满足项目技术要求。

1 20 MW 光伏发电系统设计

在某县区域建设的光伏发电站总面积约为0.28 km²,供电范围为市电网。20 MW光伏发电系统采用分块发电、集中并网方案,其由17个光伏发电单元组成,每个发电单元与1台双分裂箱式变压器连接,双分裂箱式变压器再分接2台500 kW的并网逆变器,即采用1 MW为一子系统,整个电站由若干个1 MW子系统组成。光伏场区共装设17台容量1 000 kV·A的35/0.315-0.315 kV双分裂式箱式变压器,箱变低压侧电压为0.315 kV;装设34台500 kW并网逆变器,其输出电压为315 V,最大效率为98.7%。

本文对20 MW光伏发电系统的光伏组件、光伏组件方阵、逆变器、光伏方阵进行了设计,并对光伏发电系统的年上网电量进行计算。

1.1 光伏组件

太阳能电池是光伏发电系统的核心器件。太阳能电池组件种类繁多,有单晶硅太阳能电池、多晶硅太阳能电池、非晶硅薄膜太阳能电池、碲化镉薄膜太阳能电池等。由于单晶硅、多晶硅太阳能电池的制造技术成熟、产品性能稳定、使用寿命长、光电转化效率较高,因此,被广泛应用于大型并网光伏电站^[7]。根据电站周围的自然环境、光资源状况、施工条件、交通运输状况和光伏电站年发电量,本系统选用多晶硅太阳能电池组件。

由于20 MW光伏发电系统的组件用量大,占地面积广,组件安装量大,故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。目前在大型并网光伏发电系统中,多晶硅太阳能组件的规格主要在250~320 W之间。综合考虑组件价格、效率、技术成熟性、市场占有率,以及采购订货时的可选择余地,本系统选用260 W多晶硅太阳能组件77 044块。

1.2 光伏组件方阵

光伏组件方阵的运行方式对系统接收到的太阳总辐射量有很大影响,从而影响光伏供电系统的发电能力。光伏组件的运行方式有固定安装式和自动跟踪式2种^[8]。

对于自动跟踪式系统,其倾斜面上能最大程度地接收太阳总辐射量,从而增加发电量,但有以下问题^[8]:1)装置复杂,电池阵列的同步性对机电控制和机械传动构件要求较高,初始成本和维护成本都较高;2)本系统采用的电池组件多,场址占地面积比固定式安装要大;3)自动跟踪式系统本身要消耗一部分电量,其逆变器多采用并联分散式布置,不便于集中控制,同时相对固定式逆变器投资加大。安装跟踪装置获得额外的太阳能辐射产生的效益,无法抵消其所需要的综合成本。因此,本系统光伏组件方阵采用固定安装式。

光伏阵列的安装倾角对光伏发电系统的效率影响较大,因此,需先计算固定式电池阵列的最佳倾角,即光伏发电系统全年发电量最大时的倾角^[7]。本文采用所选工程代表年的太阳辐射数据,利用PVSYST模拟软件计算斜面上各月平均太阳辐射量,不同角度下倾斜面太阳辐射变化曲线如图1所示。由图1可知,当组件方位角为0°(朝正南方向),倾角为23°时,全年平均太阳总辐射量最大。该倾斜面在工程代表年的各月太阳辐射值如表1所示。由表可知,斜面上太阳年总辐射量为4 617.2 MJ/m²。

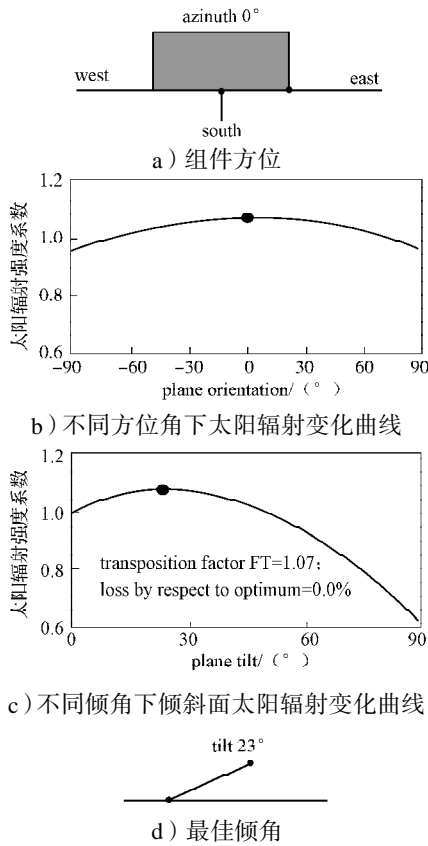


图1 不同倾斜面上太阳辐射变化曲线

Fig. 1 Variation curve of solar radiation on different inclined planes

表1 倾斜面上工程代表年各月的太阳辐射值
Table 1 Monthly values of solar radiation on inclined planes in the representative year of the project MJ/m²

月份	太阳辐射值	月份	太阳辐射值
1	212.7	8	593.1
2	220.8	9	470.5
3	257.8	10	378.8
4	336.0	11	285.9
5	465.5	12	249.3
6	487.1	年总量	4 617.2
7	659.4		

1.3 逆变器

逆变器是将直流电转换为交流电的装置^[7]。本系统规模较大, 根据目前市场占有率和产品成熟程度, 本文选择较大容量的并网型光伏逆变器, 采用 34 台 500 kW 逆变器, 其输出电压为 315 V, 最大效率为 98.7%, 其主电路拓扑结构如图 2 所示。由图可知, 并网逆变电源通过三相桥式变换器, 将光伏阵列输出直流电压变换为高频的三相斩波电压, 再通滤波波器滤波变成正弦波电压并入电网发电。为了使光伏阵列以最大功率发电, 在直流侧采用先进的 MPPT 算法。

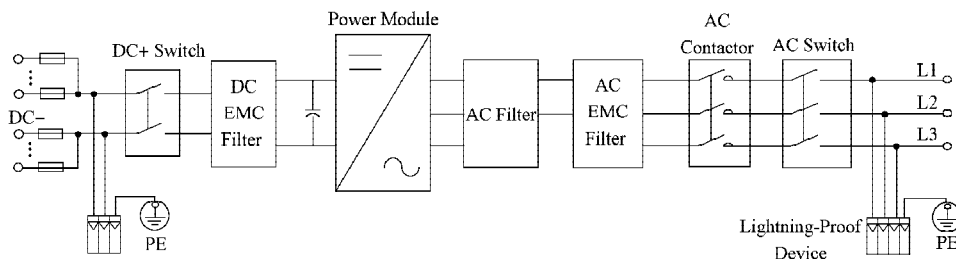


图2 并网逆变器的主电路拓扑结构图

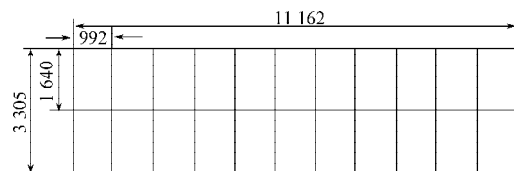
Fig. 2 The topological structure of main circuit of grid connected inverter

1.4 光伏方阵

光伏方阵设计包括组件阵列平面布置、方阵间距设计。

1) 组件阵列平面布置

光伏组件支架采用固定式的安装式, 倾斜角为 23°, 每个支架由 22 块光伏组件串联组成 1 个直流回路, 总容量为 5 720 W; 每个光伏发电单元装设 206 个光伏组件支架。光伏组件以 2 × 11 (纵向 × 横向) 方式排列, 每块光伏组件规格为 1 640 mm × 992 mm, 2 块组件之间东西向和南北向的间距都为 25 mm。因此支架包含 22 块光伏组件的规格为 3 305 mm × 11 162 mm, 如图 3 所示。



注: 图中单位为 mm。

图3 单个支架光伏组件阵列的平面布置

Fig. 3 The plane layout of photovoltaic modules array of single bracket

2) 方阵间距设计

太阳能阵列必须考虑前后排的阴影遮挡问题。本文通过计算来确定阵列间的距离。当光伏阵列倾斜角为 23° 时, 经计算得到冬至日方阵各时刻电池

组件的阴影长度随时间变化的曲线如图4所示。由图可知, 方阵南北间距至少为 $D=5.2\text{ m}$, 阴影长度为 $L=2.1\text{ m}$ 时, 才能保证冬至日早晨9:00至下午15:00(真太阳)时, 太阳能阵列不会被遮挡。因此, 本文设置光伏阵列的南北间距 D 为 5.2 m 。

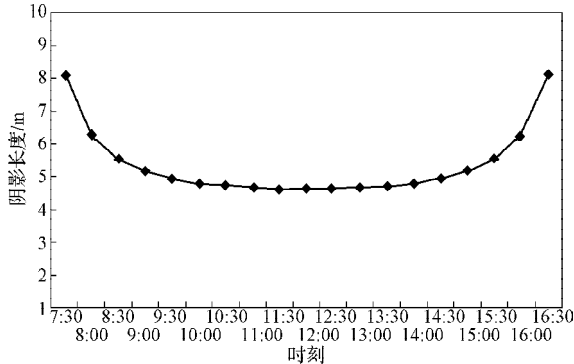


图4 冬至日不同时刻组件阴影长度变化图

Fig. 4 The length variation of module shadow at different times of the winter solstice

1.5 光伏发电系统年上网电量计算

1.5.1 计算条件

由上文可知, 某县区 20 MW 光伏发电系统安装了 77 044 块峰值功率为 260 W 的多晶硅电池组件, 当光伏组件倾斜角为 23° 时, 斜面上太阳年总辐射量为 $4\ 617.2\text{ MJ/m}^2$ 。

该系统年上网电量的主要参数设置如下: 阴影遮挡折减系数为 98%, 平均温度效率折减系数为 93.8%, 逆变器综合效率为 98.4%, 变压器效率折减系数为 98%, 站用电效率折减系数为 99%, 直流与交流集电线路损折减修正系数取为 98%, 灰尘折减修正系数为 99%, 不匹配折减修正系数为 97%, 检修及其他不确定因素折减修正系数为 97%。

1.5.2 计算结果

根据上述计算条件, 通过 PVSYST 模拟软件进行计算, 得出本系统光伏电站年上网电量计算结果见表 2, 运营期 (25 a) 各年上网电量计算结果见表 3, 各年等效满负荷利用时间见表 4。

表2 光伏电站年上网电量计算结果

Table 2 Calculation results of annual on-grid energy of photovoltaic power station MW · h

理论年发电量	未衰减年发电量	运营期内年均发电量
25 273	20 244	17 954

根据上述计算结果可知, 本系统安装 77 044 块 260 W 多晶硅光伏组件, 光伏电站总容量为 20.03 MW, 电站运营期内平均年上网电量为 $17\ 954\text{ MW} \cdot \text{h}$, 年等效满负荷利用小时 896.4 h, 容量系数为 0.102。

表3 光伏电站运营期各年上网电量计算结果

Table 3 Calculation results of annual on-grid energy of photovoltaic power station in the operating period MW · h

年数	年发电量	年数	年发电量
1	19 738	14	17 781
2	19 580	15	17 638
3	19 423	16	17 497
4	19 268	17	17 357
5	19 114	18	17 218
6	18 961	19	17 081
7	18 809	20	16 944
8	18 659	21	16 809
9	18 509	22	16 674
10	18 361	23	16 541
11	18 214	24	16 408
12	18 069	25	16 277
13	17 924	年平均	17 954

表4 运营期内各年等效满负荷利用时间

Table 4 Annual utilization hours of equivalent full load in the operating period h

年数	时间	年数	时间
1	985.4	14	887.7
2	977.5	15	880.6
3	969.7	16	873.6
4	961.9	17	866.6
5	954.2	18	859.6
6	946.6	19	852.8
7	939.0	20	845.9
8	931.5	21	839.2
9	924.1	22	832.5
10	916.7	23	825.8
11	909.4	24	819.2
12	902.1	25	812.6
13	894.9	年平均	896.4

2 电气一次设计

光伏发电电气一次系统是承担电能的输送和电能分配任务的高压系统^[4]。

2.1 接入电力系统

本系统建设地点位于某县区, 考虑对侧变电站接纳能力、变电站与电站场址之间的距离等要求, 本光伏电站接入系统方案为: 以 1 回 35 kV 架空线路送入 110 kV 网岭变电站, 导线型号为 LGJ-185, 输送容量为 20 MW, 输送距离为 11 km。

2.2 电气主接线

电气一次 35 kV 开关站的电气主接线设计如图 5 所示。电气一次 35 kV 开关站电气主接线包括开关站 35 kV 侧接线、35 kV 箱式变电站、光伏电站集电线路、站用电源。

1) 开关站 35 kV 侧接线。接入系统电压等级为

35 kV, 开关站 35 kV 侧接线方式为单母线接线方式, 35 kV 母线上共安装 6 面 35 kV 高压开关柜, 即 1 面总出线开关柜、2 面集电线路开关柜、1 面无功补偿装置开关柜、1 面站用接地变开关柜、1 面 PT 柜。

2) 35 kV 箱式变电站。双分裂箱式变电站高压侧电压等级为 35 kV, 有 17 个光伏发电单元, 每个发电单元容量为 1178.32 kW。每个发电单元配一台容量为 1 000 kV · A 的双分裂箱式变压器, 箱变低压侧电压为 0.315 kV。可知, 光伏场区共装设 17 台容量为 1 000 kV · A 的 35/0.315-0.315 kV 双分裂式箱式变压器。

3) 光伏电站集电线路。输电线路可选择电缆或

架空线。架空线的美观性较差, 且会对光伏组件产生阴影影响, 易出现遭雷击、绝缘子污闪等故障, 后期维护成本高, 损耗也比电缆方案大^[9], 故本光伏电站集电线选择电缆, 采用 2 回 35 kV 集电线路。

4) 站用电源。本光伏电站工程站用电采用 380/220 V 三相四线制接地系统, 2 回低压交流进线。380/220 V 站用电系统为单母线分段接线, 正常分列运行, 站用电系统设 2 台 250 kV · A 站用变, 每台站用变各带一段母线, 重要负荷分别从两段母线双回电源引取, 其中 1 台从 35 kV 母线引取, 另一台采用外接 10 kV 电源。站用电自备投功能, 由交直流一体化电源系统实现。

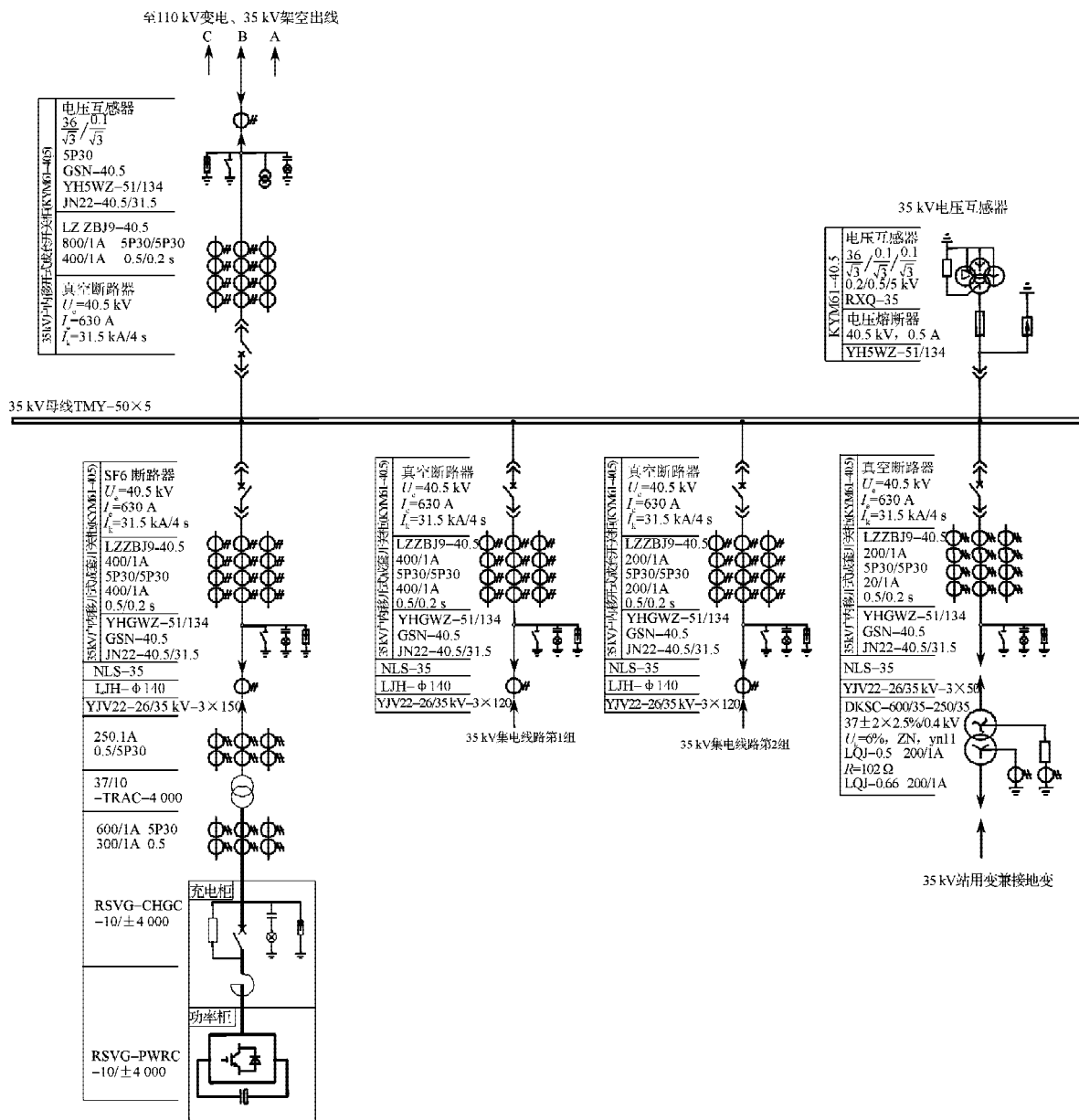


图5 电气一次 35 kV 开关站电气主接线

Fig. 5 The main electrical connection of 35 kV switch station of electric primary system

2.3 电气设备布置

电气设备布置包括电缆布置, 35 kV 配电装置、站用接地变成套装置布置, 35 kV 无功补偿装置布置, 站用电设备布置。

1) 电缆布置。35 kV 集电电缆采用直埋敷设, 直埋敷设的埋深为 800 mm, 沟底铺细砂或筛过的土, 且沿全长以砖或水泥板遮盖。

2) 35 kV 配电装置、站用接地变成套装置布置。35 kV 配电装置采用户内成套装置 KYN61-40.5 开关柜; 站用接地变压器成套装置采用干式无油化设备。35 kV 开关柜和接地变压器成套装置集中布置在设备楼一层的 35 kV 配电装置室内。

3) 35 kV 无功补偿装置布置。35 kV 无功补偿装置采用降压型 SVG 型无功补偿装置, 集中布置在开关站的北侧。

4) 站用电设备布置。本系统 35 kV 站用变压器布置在站用配电室内, 10 kV 站用变压器采用预装箱式变压器, 布置在户外。

3 结论

1) 本 20 MW 光伏发电系统采用分块发电、集中并网方案。通过技术与经济性综合比较, 光伏组件采用 260 W 多晶硅电池组件, 光伏场区共装设 34 台 500 kW 并网逆变器, 最大效率为 98.7%, 光伏组件方阵运行方式采用固定安装式, 光伏阵列南北间距 $D=5.2$ m。光伏阵列最佳倾角为 23° 时, 斜面上太阳年总辐射量为 $4\ 617.2$ MJ/m²。

2) 对电气一次系统的接入系统、电气主接线、电气设备布置进行了设计。接入系统采用以 1 回 35 kV 架空线路送入 110 kV 网岭变电站, 导线型号为 LGJ-185, 输送容量为 20 MW, 输送距离为 11 km。

3) 该系统选择节能型设备和产品, 平均每年可为电网提供清洁电能 $17\ 954$ MW·h, 年等效满负荷利用时间为 896.4 h, 容量系数为 0.102。该系统既节能又环保。

参考文献:

[1] 章激扬, 李 达, 扬 苹, 等. 光伏发电发展趋势分析

[J]. 可再生能源, 2014, 32(4): 127-132.

ZHANG Jiyang, LI Da, YANG Ping, et al. Development Trend Analysis of Photovoltaic Power Generation[J]. Renewable Energy Resources, 2014, 32(4): 127-132.

[2] 谢 宁, 罗 安, 马伏军, 等. 大型光伏电站与电网谐波交互影响[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(34): 9-15.

XIE Ning, LUO An, MA Fujun, et al. Harmonic Interaction Between Large-Scale Photovoltaic Power Stations and Grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(34): 9-15.

[3] 赵争鸣, 雷 一, 贺凡波, 等. 大容量并网光伏电站技术综述[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(12): 101-107.

ZHAO Zhengming, LEI Yi, HE Fanbo, et al. Overview of Large-Scale Grid-Connected Photovoltaic Power Plants [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(12): 101-107.

[4] 杨晓红. 光伏系统并网管理应用项目研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.

YANG Xiaohong. Applied Project Research on Management of Photovoltaic System Connected to Power Grid[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.

[5] KIM S K, JEON J H, CHO C H, et al. Modeling and Simulation of a Grid-Connected PV Generation System for Electromagnetic Transient Analysis[J]. Solar Energy, 2009, 83(5): 664-678.

[6] ALONSO-GARCIA M C, RUIZ J M, CHENLO F. Experimental Study of Mismatch and Shading Effects in the I-V Characteristic of a Photovoltaic Module[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2006, 90(3): 329-340.

[7] 王长贵, 王斯成. 太阳能光伏发电实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 13-26.

WANG Changgui, WANG Sicheng. Practical Technology of Solar Photovoltaic Power Generation[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 13-26.

[8] 侯鹏飞, 印 江. 自动跟踪型独立式光伏发电系统的设计[J]. 电力学报, 2014, 29(1): 70-72.

HOU Pengfei, YIN Jiang. Design of Automatic Tracking Independent Photovoltaic Power Generation System[J]. Journal of Electric Power, 2014, 29(1): 70-72.

[9] VEERACHARY M, SENJYU T, UEZATU K. Feed-Forward Maximum Power Point Tracking of PV Systems [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2012, 38(3): 969-981.

(责任编辑: 邓 彬)