

[光热电站]

塔式光热电站功率预测分析

文/王晓兵 张 平
中国绿发投资集团有限公司青海分公司

太阳能光热发电作为一种稳定、绿色的新能源电力产业，成为国家重点支持和发展的战略性新兴产业。与光伏发电和风力发电技术相比，配备足够储热容量的塔式光热发电站可以平抑外部多变气象条件扰动，再辅以光热电站功率预测系统等，实现连续、稳定运行，是前景较好的可再生能源利用技术之一。

光热电站在运行过程中，由于太阳直射辐射的随机变化和运行状态的调整，发电功率会出现较大波动，甚至停机。如果能够对太阳直射辐射和光热电站在未来一段时间内的发电功率进行准确预测，可避免机组负荷的大幅度变化，提高电站出力的稳定性，延长电站设备的运行寿命。

塔式光热电站功率预测

塔式光热电站功率预测系统通过获取气象监测数据、镜场运行数据、吸热器能流密度、储换热系统、蒸汽发生系统和汽轮发电机系统等模块数据，实现电站短期、超短期和中长期的功率预测及上报，最终满足电网调度运行的需要。

1. 气象监测与预报模块

采集当前电站运行所需的关键气象参数，数据来自气象监测站。气象参数主要包含直接辐射、水平总辐射、散射辐射、风速、风向、湿度和气压等。分析采集的气象数据各参量，通过人工神经网络算法训练，预测未来时间段内的气象辐射度趋势。

气象数据预测校正模块将气象监测及预报模块和气象预测系统提供的数据进行相关分析，依据镜场的实时气象数据、历史数据的变化率和各辐照度频率分布等参数，基于神经网络算法校正气象变化，得到修正后的天气预报数据，具体预测流程如图1所示。

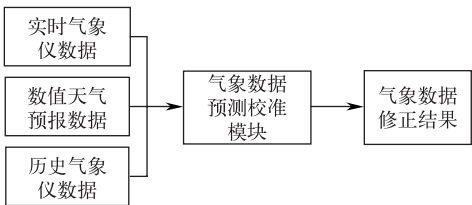


图1 气象数据校正预测流程

历史气象数据库模块将气象仪和气象预测数据进行存储，对历史日、月和设定区间的气象数据进行完整性统计、辐照度频率分布统计和气象参数统计等。

2. 集热场运行监测模块

集热场由液压驱动系统驱动定日镜，根据特有的算法角度跟踪太阳，将太阳光反射到吸热器上，是太阳能系统的集热部件，功能是将接收到的已聚焦的太阳辐射能量转换为热能。本模块监测集热场运行参数，如镜面旋转夹角、镜面工作状态、集热器温度和集热器压力等参数，具体流程如图2所示。

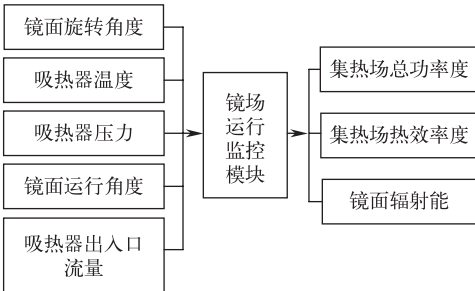


图2 集热场运行监测流程

(1) 主反射镜面辐射能

集热系统接收到的太阳辐射能 Q_{in} 为

$$Q_{in} = IA$$

式中， I 为太阳辐射强度； A 为主反射镜的聚光面积。

(2) 集热场的热效率 η

$$\eta = \frac{\sum_{t=t_0}^{t_1} m(t) [C_{p1}(t)T(t) - C_{p2}(t)T(t)]}{\sum_{t=t_0}^{t_1} I(t)A}$$

式中， $m(t)$ 为 t 时刻集热器进口导热介质流量函数(kg)； $C_{p1}(t)$ 为 t 时刻集热器入口工质温度对应的比热[J/(kg·℃)]； $T_1(t)$ 为 t 时刻集热器入口温度(℃)； $C_{p2}(t)$ 为 t 时刻集热器出口工质温度对应的比热[J/(kg·℃)]； $T_2(t)$ 为 t 时刻集热器出口温度(℃)； $I(t)$ 为 t 时刻法向直接辐射量(kW·h/m²)。

3. 储换热系统预测模块

储换热系统由储热材料、容器、温度、流量、压力测量控制仪器、泵或风机、电动机、阀门管道、支架及绝热材料构成，储存并可提供热能，加热蒸汽发生器，驱动汽轮机发电及探测泄漏，内置燃料，液体搅拌，容器内填充材料等，预测流程如图3所示。

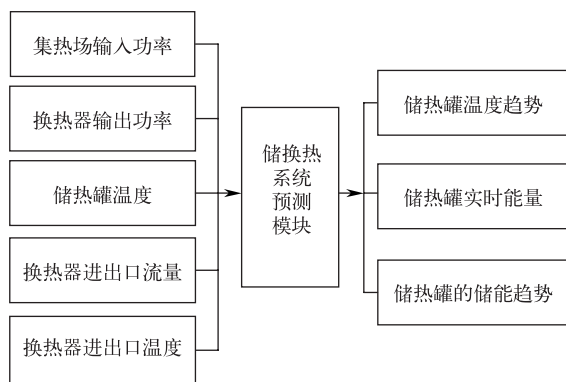


图3 储换热系统预测流程

该模块根据当前储换热系统的运行参数及介质参数进行储能容量预测，获取储热器温度、集热场输入功率、换热器温度和流量，计算储热罐实时储能值，预测储热罐储能趋势。

4. 蒸汽发生系统预测模块

该模块收集蒸汽系统当前运行工况主要参数，根据蒸汽压力、温度和流量等关键参数建模预测蒸

汽出力曲线。根据蒸汽参数的变化(温度、压力及流量)趋势可预测出蒸汽流量曲线，如图4所示。

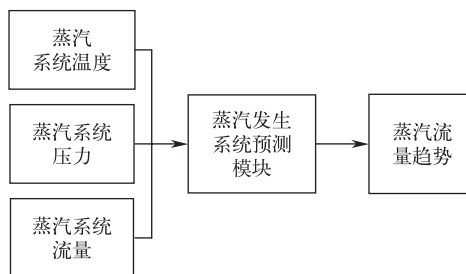


图4 蒸汽发生系统预测流程

5. 汽轮发电机系统预测模块

汽轮发电机组的核心包含汽轮机、冷凝器及发电机等。

(1) 汽轮机状态监测

汽轮机组将高温、高压蒸汽具有的内能转换成机组转子的机械能，从而带动发电机发电，这是一种复杂系统，一旦出现故障，必须及时排除，否则会严重影响机组发电功率。汽轮机组常见的振动故障有转子不平衡故障、转子动静摩擦故障和转子出现不对中故障等。

(2) 发电设备效率预测

发电机作为电站运行中的重要设备之一，对电站的运行质量有很大影响，因此，电站运行过程中必须要加强对发电机故障的检测和排除。主要包含对发电机组温度、冷却介质、电流及电压等的监测，采用发电机组历史数据预测发电设备效率。

汽轮机内功率和蒸汽参数的关系为

$$P_i = \frac{G \Delta h_i \eta_{ti}}{3600} \quad (3)$$

式中， p_i 为内功率(MW)； G 为蒸汽流量(t/h)； Δh_i 为比焓(kJ/kg)； η_{ti} 为汽轮机内效率。

6. 光热电站发电功率预测模块

该模块主要实现电站短期、超短期和中长期的光功率预测，以及参数配置管理、误差分析及预测对比等功能，如图5所示。

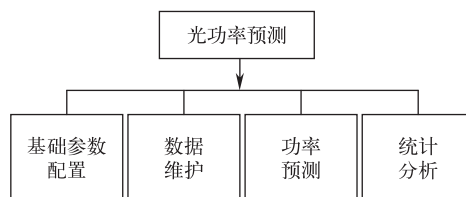


图5 发电功率预测模块功能

7. 电站运行模式优化模块

该模块从气象、功率模块获取电站当前运行主要参数，预测未来发电趋势，并结合电网调度系统下发的调度指令数据进行优化，得出未来一段时间内电站需要采取的最优发电和工作模式，优化流程如图6所示。

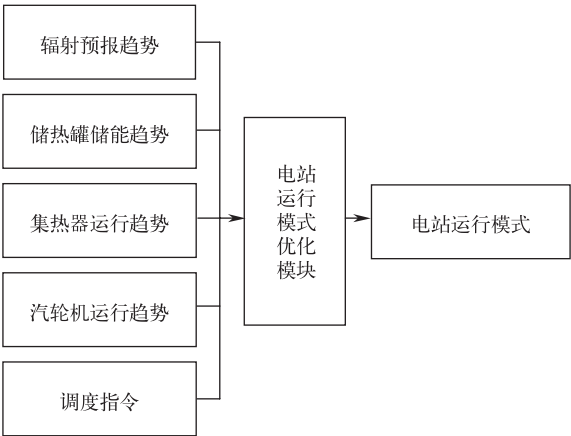


图6 电站运行模式优化流程

8. 电网调度系统通信接口

提供102上报模块，与电网调度建立实时通信，根据用户配置的参数，灵活地上报和接收数据。同时具备上报信息的日志查询功能、上报数据备份功能和分类上报历史数据查询功能，如图7所示。

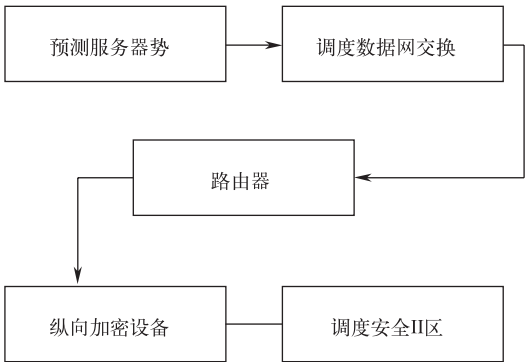


图7 电网调度系统通信接口

在各模块中发电功率预测模块是核心。各模块之间的业务流程如图8所示。

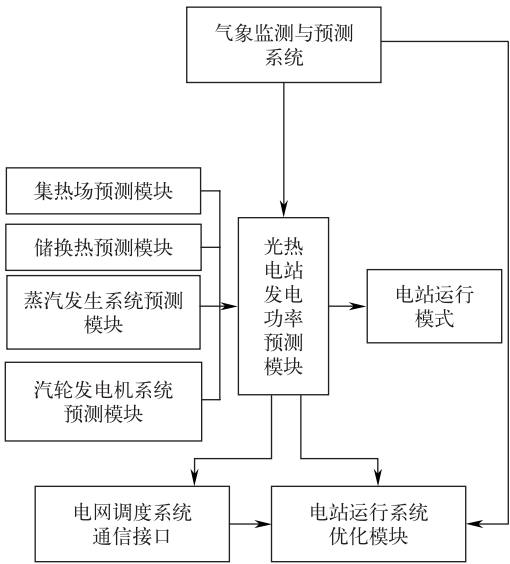


图8 各模块业务流程

结束语

综上所述，塔式光热电站功率预测系统中各个模块之间相辅相成，发电功率预测模块是核心。通过该系统对光热电站在未来一段时间内的发电功率进行准确预测，可避免机组负荷的大幅度变化，提高电站发电的稳定性，延长电站设备的运行寿命。**EA**

(收稿日期：2023-06-19)

参考文献

[1] 中国电力企业联合会.光热发电站性能评估技术要求：GB/T 40614-2021[S]北京：国家市场监督管理总局，国家标准化管理委员会，2022：5.

[2] 中国电力企业联合会. 塔式太阳能光热发电站设计标准：GB/T 51307—2018[S]北京：中华人民共和国住房和城乡建设部，2018：12.

[3] 汤航，李萍，王宽，等. 基于改进蜂群算法优化BP神经网络的短期光伏功率预测[J]. 电气应用，2022，41(5)：18-22.

[4] 张泰铭. 含光热电站的综合能源系统多时间尺度低碳经济调度[J]. 电气应用，2022，41(5)：60-66.