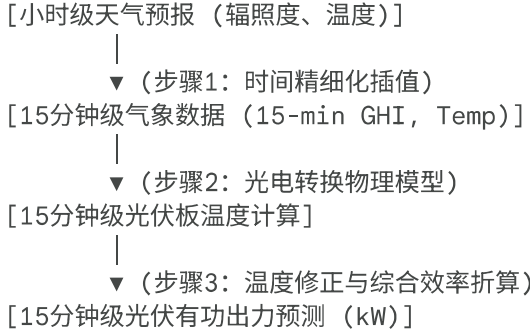


15分钟步长光伏出力预测技术方案与计算实例

在实际配电网和微电网调度中，通常需要将气象局提供的 **1小时/3小时分辨率** 天气预报，转化为 **15分钟步长（96点/天）** 的超短期光伏出力预测。以下是完整的算法原理与推导实例。

一、整体技术路径

从天气预报到15分钟光伏出力，核心分为以下三个步骤：



二、核心转换算法与公式

1. 时间精细化插值（气象级插值）

如果直接对太阳辐照度（GHI）进行线性插值，在日出和日落阶段会产生严重的物理失真。行业标准做法是引入**晴空辐照度模型（Clear Sky Model）**，利用“晴空指数”进行插值：

设 $G_{cs}(t)$ 为 t 时刻的晴空辐照度（理论无云最大值，可通过纬度、经度和时间精确计算）。定义 t 时刻的晴空指数为 K_t ：

$$K_t = \frac{G_{\text{forecast}}(t)}{G_{cs}(t)}$$

- 对每小时预报的 K_t 进行三次样条（Cubic Spline）插值，得到15分钟步长的 K'_t 。
- 恢复得到15分钟步长的实际辐照度 $G(t')$ ：

$$G(t') = K'_t \cdot G_{cs}(t')$$

注：为简化下面的计算实例，我们暂用更直观的一阶分段线性插值作为示例。

2. 光伏板工作温度计算

光伏发电效率随温度升高而降低。光伏组件（板）的实时工作温度 T_{cell} 不等于环境温度 T_{amb} ，它受辐照度 G 的热效应影响：

$$T_{\text{cell}} = T_{\text{amb}} + G \cdot \frac{\text{NOCT} - 20}{800}$$

其中：

- T_{amb} 为环境温度 ($^{\circ}\text{C}$)
- G 为15分钟实时辐照度 (W/m^2)
- NOCT 为组件额定工作温度 (标准一般为 45°C)
- 800 和 20 分别是标准测试工况下的辐照度和基准温度。

3. 光伏出力功率预测模型

根据光伏组件的物理特性，最终的有功出力功率 P_{pv} 计算公式为：

$$P_{pv} = P_{rated} \cdot \frac{G}{1000} \cdot [1 - \gamma \cdot (T_{cell} - 25)] \cdot \eta_{sys}$$

其中：

- P_{rated} 为光伏电站装机容量 (kW，如 100 kW)
- $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ 为标准测试辐照度
- γ 为组件功率温度系数 (通常单晶硅为 $0.35\%/^{\circ}\text{C} \sim 0.4\%/^{\circ}\text{C}$ ，即 0.0038)
- 25°C 为标准测试组件温度
- η_{sys} 为系统综合效率 (考虑逆变器效率、尘埃遮挡、线损等，通常取 $0.8 \sim 0.85$)

三、 具体计算实例

1. 场景假设与输入数据

我们有一个装机容量为 100 kW 的光伏电站，参数如下：

- 额定容量 $P_{rated} = 100 \text{ kW}$
- 组件温度系数 $\gamma = 0.0038 /^{\circ}\text{C}$
- 组件额定工作温度 $\text{NOCT} = 45^{\circ}\text{C}$
- 系统综合效率 $\eta_{sys} = 0.82$

天气预报给出了中午两个整点 (11 : 00 和 12 : 00) 的预测数据：

预测时刻	辐照度 $G \text{ (W/m}^2\text{)}$	环境温度 $T_{amb} \text{ (}^{\circ}\text{C)}$
11:00	600	26.0
12:00	800	28.0

我们现在需要预测 11:15 这个过渡时间点的光伏出力。

2. 第一步：时间插值（求11:15的气象数据）

由于 11 : 15 是 11 : 00 到 12 : 00 四等分点中的第一个点（跨度比例 $\alpha = 0.25$ ）。我们采用线性插值：

- 11:15 的辐照度 G ：

$$G(11 : 15) = 600 + (800 - 600) \cdot 0.25 = 650 \text{ W}/\text{m}^2$$

- 11:15 的环境温度 T_{amb} ：

$$T_{\text{amb}}(11:15) = 26.0 + (28.0 - 26.0) \cdot 0.25 = 26.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3. 第二步：求11:15的光伏组件实时工作温度

将插值得到的气象数据代入温度公式：

$$T_{\text{cell}}(11:15) = 26.5 + 650 \cdot \frac{45 - 20}{800}$$

$$T_{\text{cell}}(11:15) = 26.5 + 650 \cdot \frac{25}{800}$$

$$T_{\text{cell}}(11:15) = 26.5 + 20.31 = 46.81 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

计算结果：在阳光暴晒下，虽然环境温度只有 $26.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，但光伏板由于吸热，实际组件温度已高达 $46.81 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4. 第三步：求11:15的光伏组件实时有功出力

考虑温度引起的效率衰减和系统损耗，代入发电公式：

$$P_{\text{pv}} = 100 \cdot \frac{650}{1000} \cdot [1 - 0.0038 \cdot (46.81 - 25)] \cdot 0.82$$

先计算括号内的温度修正系数 f_{temp} ：

$$f_{\text{temp}} = 1 - 0.0038 \cdot (21.81) = 1 - 0.0829 = 0.9171$$

(这意味着因为组件发热，发电能力衰减了约 8.29%)

最后计算总有功功率输出：

$$P_{\text{pv}}(11:15) = 100 \cdot 0.65 \cdot 0.9171 \cdot 0.82 \approx 48.97 \text{ kW}$$

5. 输出：11:00 - 12:00 预测结果序列展示

按照同样的方法，对 11:00 到 12:00 的 4 个 15 分钟间隔进行计算，最终输出如下高频预测曲线：

系统时间	插值辐照度 G (W/m ²)	插值组件温度 T _{cell} (°C)	温度修正系数 f _{temp}	预测光伏有功出力 P _{pv} (kW)
11:00	600.0	44.75	0.9250	45.51
11:15	650.0	46.81	0.9171	48.97
11:30	700.0	48.88	0.9093	52.15

11:45	750.0	50.94	0.9014	55.08
12:00	800.0	53.00	0.8936	57.75

结论与建议

- 1. **非线性效应：**可以看出，由于温度效应的存在，辐照度从 11 : 00 到 12 : 00 虽然呈现完美的**线性增长**（从 600 到 800），但输出功率的增长率却在**逐渐放缓**（由于温度升高导致转换效率下降）。
- 2. **工程实现：**在实际编写代码（如 Python 或 MATLAB）时，你只需要将一天的气象网格数据先做 1D 插值，然后使用 NumPy 矩阵化运行上述公式，零点几秒内即可生成全天 96 点的精细出力曲线。