

### 3.3 最大功率跟踪算法

近些年来，人们对最大功率跟踪技术进行了深入的研究，现已取得了多种的算法<sup>[9][12][13][14][15][16]</sup>。微扰观察法(Perturbation and Observation Method,简称 P&O)和增量电导法(Incremental Conductance Method,简称 IncCond 法)是目前比较流行的方法。

#### 1.微扰观察法 (P&O 法) <sup>[13][18][19]</sup>

微扰观察法实质是引入一个小的变化，然后进行观察，并与前一个状态进行比较，进而调节<sup>[4]</sup>。

具体方法是：先测量太阳能电池第  $i$  时刻的电压  $V_i$  和电流  $I_i$ ，由  $P_i = V_i \times I_i$  计算出功率  $P_i$ 。然后与第  $i-1$  时刻功率比较。根据比较的结果调节太阳能电池的工作点。这里引入一个参考电压  $V_{REF}$ ，当进行比较后，调节参考电压，使之逐渐接近最大功率点的电压。在调节太阳能电池工作点时，依据这个参考电压进行调节。

图 3-3 是围绕观察法的流程图。

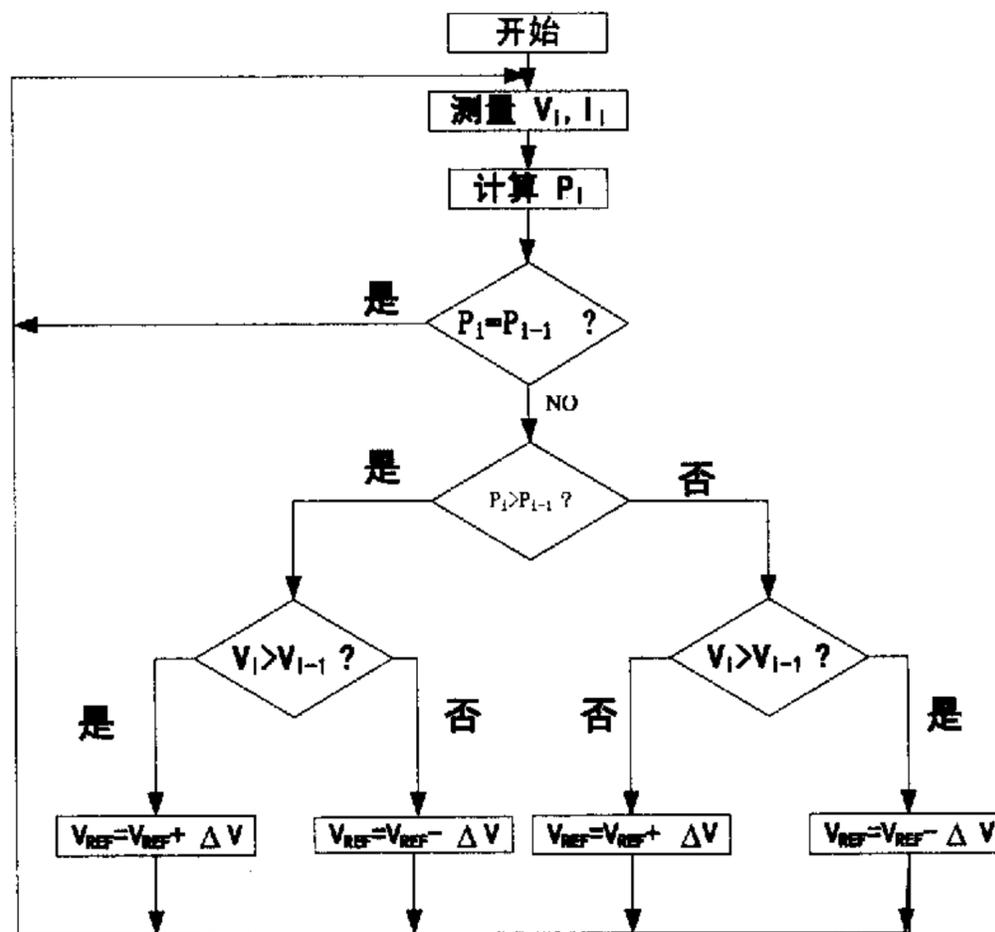


图 3-3 微扰观察法流程图

Fig.3-3 Flow chart of P&O

图中， $V_i, I_i, P_i$  为第  $i$  时刻的电压，电流和功率。 $V_{i-1}, P_{i-1}$  为第  $i-1$  时刻的电压和功率。

从流程图中可以看出，采样第  $i$  时刻的电压  $V_i$  和电流  $I_i$ ，计算出功率

$P_i$ ，与第  $i-1$  时刻的功率  $P_{i-1}$  比较后。判断电压的变化，在参考电压  $V_{REF}$  加（减）一个调整因子  $\Delta V$ ，然后进入下一次测量，比较。这种方法简单易懂，容易实现，是目前比较常用的方法。但是这种方法依赖于  $V_{REF}$  初始值的设定，不适于气候快速变化的情况。当  $V_{REF}$  初始值与最大功率点的电压相差较大，且调整因子  $\Delta V$  设置不是很合理时，将会花较大的时间才能使工作点到达最大功率点，而且有可能会使工作点远离最大功率点。

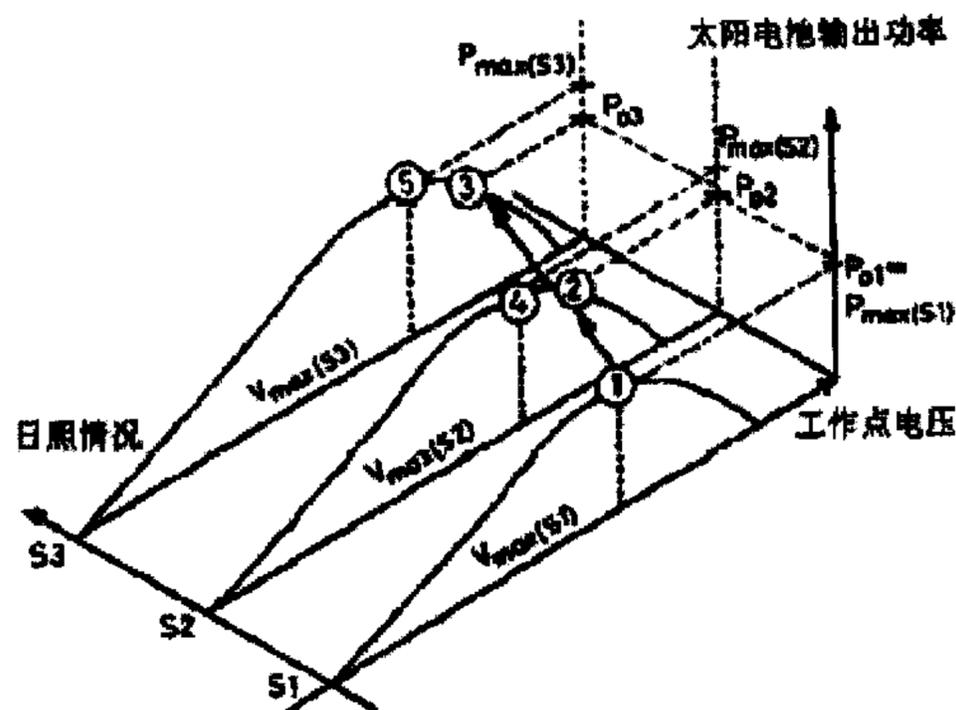


图 3-4 工作点偏离最大功率点的情况

Fig.3-4 operating point deviating maximum power point

图 3-4 中， $S_1, S_2, S_3$  分别为三种不同的光照， $S_3 > S_2 > S_1$ 。

$P_{\max}(S_1), P_{\max}(S_2), P_{\max}(S_3)$  分别为  $S_1, S_2, S_3$  对应的最大功率点。

$P_{01}, P_{02}, P_{03}$  分别为  $S_1, S_2, S_3$  对应的工作点。

$V_{\max}(S_1), V_{\max}(S_2), V_{\max}(S_3)$  分别为最大功率点对应的电压。

①②③ 分别为  $S_1, S_2, S_3$  对应的工作点。

①④⑤分别为  $S_1, S_2, S_3$  对应的最大功率工作点。

假设日照是  $S_1$  时，工作点正好处于最大功率点①。当光强快速增强时（例如云朵散开）。光强由  $S_1$  变化到  $S_2$ ，太阳能电池输出功率增加，输出电压增大，则  $V_{REF} = V_{REF} + \Delta V$ ，参考电压的增加将使太阳能电池的工作点从①转移到②。从图 3-4 可以看出，工作点②远离最大工作点④。但是由于日照增强， $P_{02} > P_{01}$ ，参考电压仍然会继续增大，致使在光强增加到  $S_3$  时，工作点③更加远离最大功率点⑤。

## 2. 增量电导法 (IncCond 法)

微扰观察法通过调整工作点电压，使之逐渐接近最大功率点电压来实现太阳能电池最大功率跟踪。但是这种方法并不知道最大功率点大致在什么方向。增量电导法 (IncCond 法) 避免了微扰观察法的盲目性，可以

判断出工作点电压与最大功率点电压之间的关系<sup>[20][21][22][23][50]</sup>。

其原理如下：

假设太阳能电池输出功率为  $P$

$$P = V \times I$$

(3-3) 方程 (3-3) 中，对  $V$  求导：

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (3-4)$$

假设最大功率点电压为  $V_{\max}$

由图 (P-V 曲线) 可知，当  $\frac{dP}{dV} > 0$  时， $V < V_{\max}$ ；当  $\frac{dP}{dV} < 0$  时， $V > V_{\max}$ ；当

$\frac{dP}{dV} = 0$  时， $V = V_{\max}$ 。

将上述三种情况带入方程 (3-4)，可得：

$$\text{当 } V < V_{\max} \text{ 时，} \frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \quad (3-5)$$

$$\text{当 } V > V_{\max} \text{ 时，} \frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V} \quad (3-6)$$

$$\text{当 } V = V_{\max} \text{ 时，} \frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (3-7)$$

可以根据  $\frac{dI}{dV}$  与  $-\frac{I}{V}$  之间的关系来调整工作点电压，从而实现最大功率跟踪。

图 3-5 为增量电导法流程图。图中， $V_i, I_i$  为第  $i$  时刻的电压，电流。由于  $dV$  是分母，首先判断  $dV$  是否为 0。如果  $dV = 0, dI = 0$ ，则认为找到最大功率点，不需要调整。如果  $dV = 0$ ，电流变化量不为 0，依据  $dI$  的正负调整参考电压。若  $dV$  不为 0，则根据方程 (3-5)，(3-6)，(3-7) 对参考电压进行调整。

从以上分析看出：采用增量电导法，对工作点电压的调整不再是盲目的，即通过每次测量和比较，预测出最大功率点的大致位置，再根据结果进行调整。这样，即使在气候变化较快的时候，也不会出现远离最大功率点的情况。通过对比可知：在对太阳能电池进行最大功率跟踪时，增量电导法效果较好。但是由于其计算量比较大，需要记录的数据较多，必须采用高速处理器。

### 3. 调整因子 $\Delta V$ 的确定

在围绕观察法和增量电导法中，均涉及调整因子  $\Delta V$  的问题。 $\Delta V$  的取

值与能否很好的实现最大功率跟踪关系紧密。 $\Delta V$ 设置太大，导致跟踪精度不够，太阳能电池的工作点将始终在最大功率点附近； $\Delta V$ 设置太小，虽然提高了跟踪精度，但是跟踪速度很慢，系统会浪费很多能量。

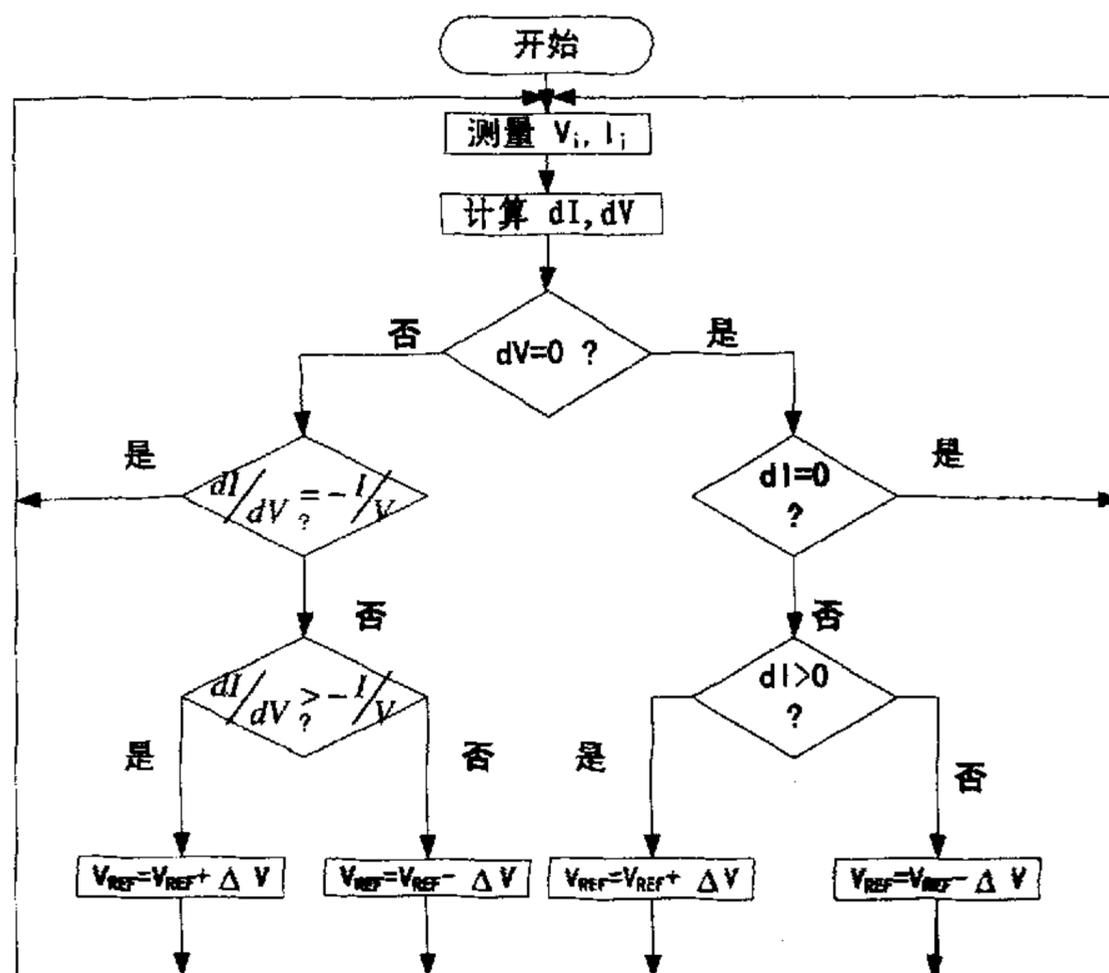


图 3-5 增量电导法流程图

Fig.3-5 Flow chart of IncCond

目前， $\Delta V$ 的确定有很多方法，概括起来主要分为两类：(1)固定 $\Delta V$ ，(2)变化的 $\Delta V$ 。

比较简单的方法是依据经验采用固定 $\Delta V$ 。采用此法，设计简单，计算容易，但由于太阳能电池的输出功率存在非线性，跟踪精度和跟踪速度之间的矛盾很难较好的解决。

变化的 $\Delta V$ 则依据每次测量和计算的结果不断调整 $\Delta V$ 。当远离最大功率点时，增大 $\Delta V$ ，加快跟踪速度；当接近最大功率点时，减小 $\Delta V$ ，提高跟踪精度。

调整 $\Delta V$ 的算法有 PID 算法，自适应搜索算法，模糊算法<sup>[24][25]</sup>，神经网络<sup>[26][27][28][29]</sup>等。考虑到本课题的设计要求，采用自适应搜索算法。

### 3.4 最大功率跟踪的软件实现

#### 3.4.1 软件设计思想

太阳能电池的输出功率随温度和光强的变化而改变（图 3-6 和图