

ICS 07. 060  
A 47  
备案号: 48132—2015



# 中华人民共和国气象行业标准

QX/T 244—2014

---

## 太阳能光伏发电功率短期预报方法

Short term forecasting methods for solar photovoltaic power

2014-10-24 发布

2015-03-01 实施

---

中 国 气 象 局 发 布

中华人民共和国  
气象行业标准  
太阳能光伏发电功率短期预报方法  
QX/T 244—2014

\*

气象出版社出版发行  
北京市海淀区中关村南大街46号  
邮政编码:100081  
网址:<http://www.qxcbs.com>  
发行部:010-68409198  
北京中新伟业印刷有限公司印刷  
各地新华书店经销

\*

开本:880×1230 1/16 印张:1.25 字数:37.5千字  
2015年4月第一版 2015年4月第一次印刷

\*

书号:135029-5701 定价:12.00元

如有印装差错 由本社发行部调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68406301

## 目 次

前言 .....	Ⅲ
1 范围 .....	1
2 术语和定义 .....	1
3 预报方法总则 .....	2
4 光伏阵列发电功率短期预报 .....	2
5 光伏电站发电功率短期预报 .....	3
附录 A(资料性附录) 光伏发电功率预报流程图 .....	4
附录 B(规范性附录) 光伏发电功率效率计算方法 .....	5
附录 C(规范性附录) 光伏阵列斜面总辐照度预报方法 .....	7
附录 D(规范性附录) 太阳辐射预报简化计算公式 .....	9
附录 E(规范性附录) 动力—统计法建模预报方案 .....	12
参考文献 .....	13

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国气候与气候变化标准化技术委员会风能太阳能气候资源分技术委员会(SAC/TC 540/SC 2)归口。

本标准起草单位:湖北省气象服务中心、中国气象局公共气象服务中心。

本标准主要起草人:陈正洪、成驰、李芬、白永清、申彦波、何明琼、杨宏青、许杨、王林。

# 太阳能光伏发电功率短期预报方法

## 1 范围

本标准规定了太阳能光伏阵列、光伏电站发电功率短期预报方法。

本标准适用于光伏电站发电功率的短期预报服务,也适用于短期太阳辐照度的简易预报服务。

## 2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 2.1

**短期预报 short term forecasting**

对未来 72 h 内发电功率或太阳辐照度的预报。

### 2.2

**数值天气预报 numerical weather prediction**

基于大气运动的初始状态,通过数值求解描述大气运动规律的动力、热力学方程组,计算未来一定时段内不同时刻的大气状态的一种客观定量的天气预报方法。

注:改写 GB/T 21984—2008,定义 2.21。

### 2.3

**模式预报订正 model output statistics; MOS**

根据数值天气预报模式输出的物理量与同期实测气象要素的统计关系对模式预报结果进行的有效订正预报。

### 2.4

**太阳辐射 solar radiation**

太阳以电磁波或粒子形式发射的能量。

[GB/T 12936—2007,定义 3.12]

### 2.5

**辐[射]照度 irradiance**

物体在单位时间、单位面积上接收到的辐射能。

### 2.6

**[水平面]总辐射[辐照度] horizontal global solar irradiance**

水平面从上方  $2\pi$  立体角范围内接收到的直接辐射[辐照度]和散射辐射[辐照度]之和。

### 2.7

**斜面总辐照度 inclined total solar irradiance**

倾斜面接收到的直接辐射辐照度、散射辐射辐照度和反射辐射辐照度之和。

### 2.8

**大气透明度 transparency of atmosphere**

地表水平面上的太阳总辐照度与地外太阳辐照度之比,取值范围为 $[0,1)$ 。

2.9

**直射比 direct irradiation ratio**

水平面直接辐射辐照度在总辐射辐照度中所占的比例。

2.10

**直散分离 direct and scattered radiation separation**

估算总辐射辐照度中水平面直接辐射辐照度和散射辐射辐照度的量值。

2.11

**光伏电池 solar cell**

将太阳辐射能直接转换成电能的一种电子器件。

[GB 2297—1989,定义 2.2]

2.12

**光伏阵列 photovoltaic(PV) array**

由若干个光伏电池组件或电池板在机械和电气上按一定方式组装在一起并且有固定的支撑结构而构成的直流发电单元。地基、太阳跟踪器、温度控制器等类似的部件不包括在光伏阵列中。

注:改写 GB 2297—1989,定义 4.10。

2.13

**光伏阵列光电转换效率 photo-electric conversion efficiency of photovoltaic(PV) array**

单位面积光伏阵列输出直流功率与到达光伏阵列的倾斜面总辐射辐照度的比值。

2.14

**逆变器转换效率 grid-connected inverter efficiency**

规定的测量时段内,逆变器在交流端口输出的能量与直流端口输入的能量之比。

2.15

**光伏电站 grid-connected photovoltaic(PV) power station**

将太阳辐射能直接转换成电能并接入到电网的发电系统,一般包含光伏阵列、逆变器、变压器以及相关的系统平衡部件等。

### 3 预报方法总则

3.1 根据光伏电站历史资料和预报因子资料条件,选择采用原理预报法、动力—统计预报法、时间序列预报法和相似预报法 4 种方法之一,预报出光伏电站逐个光伏阵列光伏发电功率序列。在此基础上,进行光伏电站发电功率短期预报。

3.2 实时观测数据和历史数据完整的情况下,可对数值天气预报模式输出的向下短波辐射通量进行模式预报订正(MOS),提高预报准确率;当缺乏历史数据时,也可直接采用模式输出向下短波辐射,然后采用原理预报法预报。

3.3 动力—统计预报法适用于发电功率历史数据完整但辐射观测和历史数据缺乏的情况。

3.4 当日数值预报结果因故未到时,可采用时间序列预报法或相似预报法。

### 4 光伏阵列发电功率短期预报

#### 4.1 原理预报法

原理预报法流程图参见附录 A 的图 A.1。计算步骤如下:

a) 计算光伏阵列直流发电功率,公式如下:

$$P_{dc} = \eta_{pv} \times I_t \times S \times K_1 / 1000 \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中：

- $P_{dc}$  —— 光伏阵列的直流发电功率,单位为兆瓦(MW)；
- $\eta_{pv}$  —— 光伏阵列的光电转换效率,计算方法见附录 B 的 B. 1；
- $I_t$  —— 光伏阵列斜面总辐照度,单位为千瓦每平方米 ( $\text{kW}/\text{m}^2$ ),预报方法见附录 C 和附录 D；
- $S$  —— 光伏阵列有效面积,单位为平方米( $\text{m}^2$ )；
- $K_1$  —— 直流回路线路损失系数,无量纲,可取值为 0.95。

b) 计算光伏阵列交流发电功率,公式如下：

$$P_{ac} = P_{dc} \times \eta_{inv} \times K_c \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中：

- $P_{ac}$  —— 光伏阵列的交流发电功率,单位为兆瓦(MW)；
- $\eta_{inv}$  —— 逆变器效率,无量纲,计算方法见附录 B 的 B. 2；
- $K_c$  —— 交流回路线路损失系数,无量纲,取值为 0.95。

#### 4.2 动力—统计预报法

动力—统计法流程图参见附录 A 的图 A. 2。计算步骤如下：

- a) 基于数值天气预报模式数据或气象观测资料、光伏阵列发电功率资料,建立静态或动态统计预报模型。统计学方法可采用多元线性回归、神经网络方法。建模预报方案见附录 E。
- b) 以数值天气预报模式预报量,驱动光伏发电功率统计预报模型,得到光伏阵列发电功率短期预报。

#### 4.3 时间序列预报法

通过光伏阵列发电功率数据序列间自回归模型、滑动平均模型、自回归—滑动平均模型等相关统计模型,得到发电功率短期预报值。

#### 4.4 相似预报法

以近期与预报日天气类似的某一日的实际发电功率数据序列作为预报日的发电功率预报值。

### 5 光伏发电站发电功率短期预报

光伏发电站发电功率采用以下公式预报：

$$P_{sum} = \sum_{i=1}^n P_{ac,i} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中：

- $P_{sum}$  —— 光伏发电站的交流发电功率,单位为兆瓦(MW)；
- $P_{ac,i}$  —— 光伏发电站第  $i$  个光伏阵列单元交流发电功率,单位为兆瓦(MW)；
- $n$  —— 光伏发电站光伏阵列单元数量。

附录 A  
(资料性附录)  
光伏发电功率预报流程图

A.1 原理预报法流程

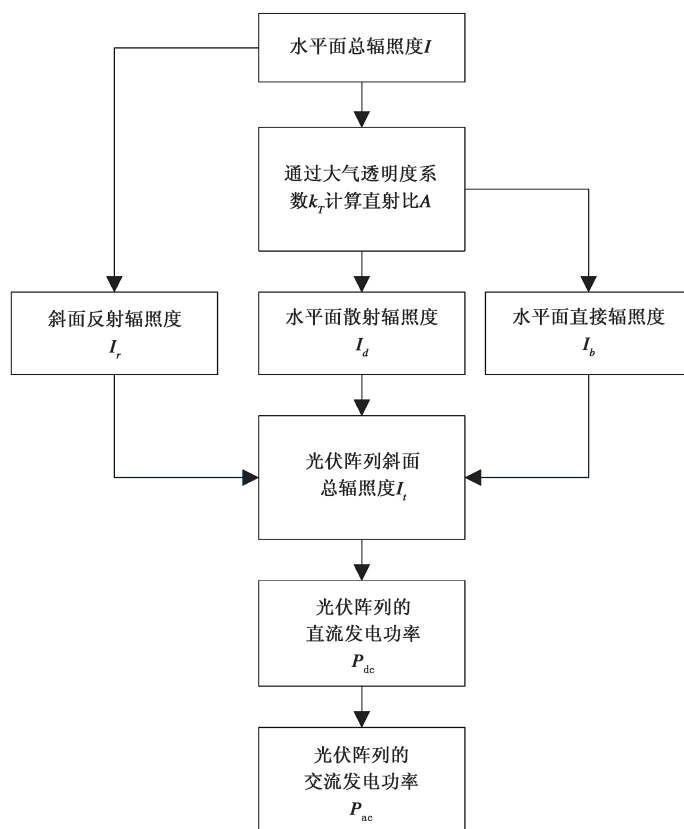


图 A.1 原理预报法流程图

A.2 动力—统计预报法流程

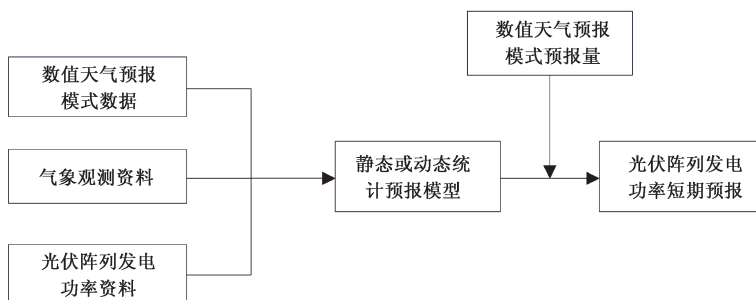


图 A.2 动力—统计预报法流程图



**附 录 B**  
(规范性附录)  
光伏发电功率效率计算方法

**B.1 光伏阵列光电转换效率计算**

计算公式如下：

$$\eta_{pv} = \eta_s \times (1 - \alpha(T_c - 25)) \times K_2 \times K_3 \times K_4 \quad \dots\dots\dots(B.1)$$

$$T_c = T_a + \frac{I_t(T_{NOCT} - 20)}{0.8} \quad \dots\dots\dots(B.2)$$

$$K_2 = (1 - Y_a)^l \quad \dots\dots\dots(B.3)$$

式中：

- $\eta_{pv}$  —— 光伏阵列的光电转换效率；
- $\eta_s$  —— 光伏组件标准测试条件下(入射光辐照度为 1 kW/m<sup>2</sup>、气温为 25℃、大气质量为 1.5)的光电转换效率；
- $\alpha$  —— 光伏组件温度系数,与太阳能电池材料有关,单位为℃<sup>-1</sup>,对于晶体硅材料,取值范围为 0.003℃<sup>-1</sup>~0.005℃<sup>-1</sup>；
- $T_c$  —— 阵列板温,单位为摄氏度(℃)；
- $K_2$  —— 光伏阵列老化损失系数,无量纲,每年按照一定比例递减,具体算法见式(B.3)；
- $K_3$  —— 光伏阵列失配损失系数,无量纲,取值范围为 0.95~0.98；
- $K_4$  —— 尘埃遮挡损失系数,无量纲,取值范围为 0.9~0.95；
- $T_a$  —— 气温,单位为℃；
- $I_t$  —— 光伏阵列斜面总辐照度,单位为千瓦每平方米(kW/m<sup>2</sup>)；
- $T_{NOCT}$  —— 光伏电池额定工作温度,单位为摄氏度(℃)；
- $Y_a$  —— 不同太阳能电池材料年衰减率,宜按年衰减率 0.8%计算；
- $l$  —— 光伏电站投入使用的年数。

**B.2 逆变器效率计算**

逆变器转换效率,表示逆变器输出的交流发电功率与光伏阵列最大直流发电功率的比值,数学表达式如下：

$$\eta_{inv} = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} \quad \dots\dots\dots(B.4)$$

式中：

- $\eta_{inv}$  —— 逆变器效率,无量纲；
- $P_{ac}$  —— 逆变器输出的交流发电功率,单位为兆瓦(MW)；
- $P_{dc}$  —— 逆变器输入的直流发电功率,单位为兆瓦(MW)。

可采用指数曲线分月建立逆变器转换效率的非线性回归模型,公式如下：

$$\eta_{inv} = a + be^{cx} \quad (0 < a < 1, b < 0, c < 0) \quad \dots\dots\dots(B.5)$$

$$x = \frac{P_{dc}}{P_N} \quad \dots\dots\dots(B.6)$$

式中：

- $\eta_{\text{inv}}$  —— 逆变器效率,无量纲;
- $a, b, c$  —— 回归方程系数;
- $e$  —— 自然对数;
- $x$  —— 光伏阵列输入直流功率相对值,无量纲;
- $P_N$  —— 光伏阵列发电单元对应的逆变器额定装机容量。

## 附录 C (规范性附录)

### 光伏阵列斜面总辐照度预报方法

#### C.1 水平总辐照度预报方法

预报某一地点水平面总辐照度( $I$ )可采用如下方法之一:

- a) 模式直接输出法:直接采用数值天气预报模式输出的向下短波辐射通量作为水平面总辐照度的预报值;
- b) 模式输出统计法:对数值天气预报模式输出的向下短波辐射通量进行模式预报订正(MOS),得到水平面总辐照度预报值;
- c) 天气型分类订正法:先计算某一地点的水平面上地外太阳辐照度( $I_0$ ),见 D.3;再乘以该点天气类型(晴到少云、多云、阴、雨等)参考订正系数,见表 C.1,得到水平面总辐照度预报值。
- d) 自相关统计法:通过实测辐射数据序列间的自相关统计模型,得到水平面总辐照度预报值。

表 C.1 天气类型参考订正系数

天空状态	订正系数	天空状态	订正系数
晴	0.8~0.9	多云间阴	0.4~0.5
晴到少云	0.7~0.8	多云到阴	0.3~0.4
少云	0.6~0.7	阴	0.2~0.3
多云	0.5~0.6	阴雨	0.1~0.2

#### C.2 固定光伏阵列斜面总辐照度预报方法

在水平面总辐照度预报值的基础上,对到达固定倾角和方位角的光伏阵列斜面总辐照度( $I_t$ )进行预报。步骤如下:

- a) 将水平面太阳辐照度进行直散分离:先计算大气透明度系数( $k_T$ ),见式(D.8);再推算出直射比( $A$ ),见式(D.9);然后分别计算出水平面直接辐照度( $I_b$ )和散射辐照度( $I_d$ ),见式(D.12)与式(D.13);
- b) 通过地面反射率(表 D.2)计算出斜面反射辐照度( $I_r$ );
- c) 根据斜面总辐照度(D.6)的计算公式,计算光伏阵列斜面总辐照度( $I_t$ )。

注:如已经给出了水平面总辐照度( $I$ )、直接辐照度  $I_b$  和散射辐照度  $I_d$ ,才可以省略本节 a) 步骤。

#### C.3 跟踪式光伏阵列斜面总辐照度预报方法

在水平面总辐照度、直接辐照度和散射辐照度预报值的基础上,对到达跟踪式布置的光伏阵列倾斜面总辐照度( $I_t$ )进行预报,按跟踪方式不同分为方位角跟踪和全跟踪,预报步骤分别如下:

- a) 方位角跟踪光伏阵列,计算步骤:
  - 1) 针对每个预报时刻计算太阳方位角( $\gamma_s$ ),见 D.2;
  - 2) 其他预报步骤同 C.2 中项 a)、b);

- 3) 以太阳方位角( $\gamma_s$ )代替式(D.11)中的光伏阵列方位角( $\gamma_t$ ),利用式(D.10)计算每个预报时刻光伏阵列斜面总辐照度( $I_t$ )。
- b) 全跟踪光伏阵列,计算步骤:
- 1) 针对每个预报时刻分别计算太阳高度角( $\alpha_s$ )和太阳方位角( $\gamma_s$ ),见 D.2;
  - 2) 其他预报步骤同 B.2 中项 a)、b);
  - 3) 根据斜面总辐照度计算公式(附录 D 中的 D.6),以计算的太阳高度角( $\alpha_s$ )代替式(D.11)、式(D.10)中的光伏阵列倾角( $\beta$ ),以太阳方位角( $\gamma_s$ )代替式(D.11)中的光伏阵列方位角( $\gamma_t$ );利用式(D.10)计算每个预报时刻光伏阵列倾斜面总辐照度( $I_t$ )。

**附录 D**  
(规范性附录)  
**太阳辐射预报简化计算公式**

**D.1 概述**

式(D.2)—(D.5)为太阳辐射预报简化计算公式,可对太阳位置和天文辐射近似计算<sup>1)</sup>。

**D.2 太阳高度角和方位角**

$$\alpha_s = \arcsin(\sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega) \quad \dots\dots\dots(D.1)$$

$$\gamma_s = \arcsin\left(\frac{\cos\delta\sin\omega}{\cos\alpha_s}\right) \quad \dots\dots\dots(D.2)$$

$$\omega = 15^\circ \times z - 7.5^\circ \quad \dots\dots\dots(D.3)$$

式中:

- $\alpha_s$  —— 太阳高度角,单位为度( $^\circ$ );
- $\gamma_s$  —— 太阳方位角,单位为度( $^\circ$ );
- $\varphi$  —— 地理纬度,单位为度( $^\circ$ );
- $\delta$  —— 赤纬角,单位为度( $^\circ$ );
- $\omega$  —— 时角,单位为度( $^\circ$ );
- $z$  —— 预报时刻距离地方平太阳时 12:00 的小时数,时角上午为负,下午为正。

**D.3 水平面上地外辐照度**

$$I_0 = \frac{\int_t^{t+t_0} G_0 dt}{t_0} \quad \dots\dots\dots(D.4)$$

$$G_0 = \gamma E_\infty (\sin\delta\sin\varphi + \cos\delta\cos\varphi\sin\omega) \quad \dots\dots\dots(D.5)$$

$$\gamma = 1 + 0.033\cos\frac{360^\circ m}{365} \quad \dots\dots\dots(D.6)$$

$$\delta = 23.45\sin\left(360^\circ \times \frac{284 + m}{365}\right) \quad \dots\dots\dots(D.7)$$

式中:

- $I_0$  —— 预报间隔时间内平均地外辐照度,单位为千瓦每平方米( $\text{kW}/\text{m}^2$ );
- $t$  —— 预报开始时刻;
- $t_0$  —— 预报的时间分辨率;
- $G_0$  —— 瞬时地外辐照度,单位为千瓦每平方米( $\text{kW}/\text{m}^2$ );
- $\gamma$  —— 日地距离订正系数,无量纲;
- $E_\infty$  —— 太阳常数为 1.367,单位为千瓦每平方米( $\text{kW}/\text{m}^2$ );
- $m$  —— 年中的日序数(1月1日,  $m = 1$ ;1月2日,  $m = 2$ ;……余类推);

1) 如果要进行更精确的计算,可采用 WMO《气象仪器和观测方法指南》(第六版)中所列公式。

$\delta$  ——赤纬角,单位为度( $^{\circ}$ )。

**D.4 大气透明度系数**

$$k_T = I/I_0 \dots\dots\dots(D.8)$$

式中:

- $k_T$  ——预报间隔时间内大气透明度系数,无量纲;
- $I$  ——预报间隔时间内水平面太阳总辐照度,单位为千瓦每平方米 ( $\text{kW}/\text{m}^2$ );
- $I_0$  ——预报间隔时间内地外辐照度,单位为千瓦每平方米 ( $\text{kW}/\text{m}^2$ )。

**D.5 直射比拟合**

$$\begin{cases} A = a_0 \times k_T & k_T < b_0 \\ A = c_0 + c_1 k_T - c_2 k_T^2 + c_3 k_T^3 - c_4 k_T^4 & b_0 \leq k_T \leq b_1 \\ A = a_1 & k_T > b_1 \end{cases} \dots\dots\dots(D.9)$$

式中:

- $A$  ——直射比(直接辐照度与总辐照度的比值),无量纲;
- $k_T$  ——预报间隔时间内大气透明度系数,无量纲;
- $a_0, a_1$  ——回归方程的拟合系数,无量纲;
- $b_0, b_1$  ——分段拟合的划分区间系数,无量纲;
- $c_0, c_1, c_2, c_3, c_4$  ——回归方程的拟合系数,无量纲。

**D.6 斜面总辐照度**

$$I_t = R_b I_b + I_d \times \left[ (I_b/I) R_b + (1 - I_b/I) \frac{1 + \cos\beta}{2} \right] + I \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \rho \dots\dots\dots(D.10)$$

$$R_b = \frac{\sin\delta \sin\varphi \cos\beta - \sin\delta \cos\varphi \sin\beta \cos\gamma_t + \cos\delta \cos\varphi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \sin\varphi \sin\beta \cos\gamma_t \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma_t \sin\omega}{\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\omega} \dots\dots\dots(D.11)$$

$$I_b = AI \dots\dots\dots(D.12)$$

$$I_d = (1 - A)I \dots\dots\dots(D.13)$$

式中:

- $I_t$  ——光伏阵列斜面总辐照度,单位为千瓦每平方米 ( $\text{kW}/\text{m}^2$ );
- $R_b$  ——斜面与水平面直接辐射辐照度比值,无量纲;
- $I_b$  ——水平面直接辐照度;
- $I_d$  ——水平面散射辐照度。
- $\delta$  ——赤纬角,单位为度( $^{\circ}$ );
- $\varphi$  ——地理纬度,单位为度( $^{\circ}$ );
- $\beta$  ——光伏阵列倾角,单位为度( $^{\circ}$ );
- $\gamma_t$  ——光伏阵列方位角,单位为度( $^{\circ}$ );
- $\omega$  ——时角,单位为度( $^{\circ}$ );
- $\rho$  ——地面反射率,取值见表 D.1;

A ——直射比,无量纲。

表 D.1 不同地面反射率取值

地面状态	反射率	地面状态	反射率	地面状态	反射率
沙漠	0.24~0.28	干草地	0.15~0.25	新雪	0.81
干燥地	0.10~0.20	湿草地	0.14~0.26	残雪	0.46~0.70
湿裸地	0.08~0.09	森林	0.04~0.10	水表面	0.69
冰面	0.30~0.40				

附 录 E  
(规范性附录)

动力—统计法建模预报方案

动力—统计法采用 3 种建模预报方案,适应不同的数据条件状况:

- a) 采用多元线性回归模型建模,利用过去一段时间中尺度数值天气预报模式预报的各要素数据和质量控制后的光伏发电功率数据每日建立滚动预报模型,利用该模型进行发电功率预报;
- b) 采用神经网络模型建模,利用过去一段时间 WRF 预报各要素数据和质量控制后的光伏发电功率数据每日建立滚动预报模型,利用该模型进行发电功率预报;
- c) 利用一年以上数值模式回算资料与历史光伏电功率资料,宜分季建模,利用该固定预报模型进行发电功率预报。



## 参 考 文 献

- [1] GB/T 2297—1989 太阳光伏能源系统术语
- [2] 陈正洪,李芬,成驰,等. 太阳能光伏发电预报技术原理及其业务系统[M]. 北京:气象出版社,2011
- [3] 李芬,陈正洪,成驰,等. 太阳能光伏发电预报方法的发展 [J]. 气候变化研究进展,2011, 7(2):136-142
- [4] 世界气象组织(WMO). 气象仪器和观测方法指南(第六版)[M]. 北京:气象出版社,1996
- [5] 杨金焕,于化丛,葛亮. 太阳能光伏发电应用技术[M]. 北京:电子工业出版社,2009
- [6] EN 50530:2010. Overall Efficiency of Grid Connected Photovoltaic Inverters
- [7] Lorenz E, Hurka J, Heinemann D, et al. Irradiance forecasting for the power prediction of grid-connected photovoltaic systems [J]. IEEE Journal of Selected Topics in applied Earth Observations and Remote Sensing, 2009, 2(1): 2-10
- [8] Perpignan O, Lorenzo E, Castro M A. On the calculation of energy produced by a PV grid-connected system [J]. Progress in Photovoltaics: Research and applications, 2006, 15(3): 265-274
-