

国外洁净能源精品著作系列

(影印版)

CONTROL OF SOLAR ENERGY SYSTEMS

太阳能系统控制

Eduardo F. Camacho
Manuel Berenguel
Francisco R. Rubio
Diego Martínez



科学出版社

国外洁净能源精品著作系列

Control of Solar Energy Systems

太阳能系统控制

Eduardo F. Camacho, Manuel Berenguel
Francisco R. Rubio, Diego Martínez

科学出版社

北京

图字：01-2013-6887

Reprint from English language edition:

Control of Solar Energy Systems

by Eduardo F. Camacho, Manuel Berenguel, Francisco R. Rubio and Diego Martínez

Copyright © 2012 Springer London

Springer London is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

This reprint has been authorized by Springer Science & Business Media for distribution in China Mainland only and not for export therefrom.

本影印版由施普林格科学商业媒体授权仅在中国大陆境内发行,不得出口。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能系统控制=Control of Solar Energy Systems:英文影印版/(西)卡马乔(Camacho,E. F.)等著. —北京:科学出版社,2013.9

(国外洁净能源精品著作系列)

ISBN 978-7-03-038679-3

I. ①太… II. ①卡… III. ①太阳能-控制系统-英文 IV. ①TK51

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第226223号

责任编辑:吴凡洁 陈构洪 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:张倩 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年9月第一版 开本:B5(720×1000)

2013年9月第一次印刷 印张:29 1/2

字数:521 000

定价:118.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



编者的话

《工业控制进展》系列丛书旨在报道和激励控制工程中的技术转移。控制技术的快速发展对整个控制学科领域产生了深远影响。新理论、新控制器、执行器、传感器、新工业过程、计算方法、新应用、新理念……当然,还有新挑战,这些新发展在工业报告、可行性研究报告及高级合作项目报告中都有所提及。此系列丛书给研究人员提供了介绍工业控制各方面新工作的机会。

在发达国家,能源独立、二氧化碳排放、气候变化及与核电站相关的风险等,已成为优先开发新能源的政策推动力。对于商业化发电站而言,在新能源领域的关键技术包括氢能、潮汐能、生物质分解技术及风力涡轮机的利用和大规模风场的发展。

现在正在寻找的一种能够更广泛应用的技术为太阳能系统,其利用太阳辐射作为系统“燃料”。对于家庭用水及区域供热而言,小规模系统中的屋顶太阳能电池板较为常见。然而,什么是工业规模级太阳能系统呢?此类系统及其控制在 Eduardo F. Camacho、Manuel Berenguel、Francisco R. Rubio 和 Diego Martínez 写的《太阳能系统控制》中有具体的介绍。在这本面向工业规模运行的专著中,许多特定的小规模太阳能聚光器的应用并不像电站及系统安装那样得到特别的强调。正如随着风力涡轮机尺寸的增大,大规模的风电场能够产生巨大电能。因此,捕获太阳能的基本机制也需要向着工业规模应用方向进一步发展,以确保能够像风能一样为社会能源供给作出贡献。

我们从本书中可以了解太阳能的两种捕获利用方式。第一种是利用光伏直接产生电;第二种是利用太阳能聚光器捕获太阳辐射能,或者如槽式系统那样使传热流体传输至局部聚焦辐射能的近处,或者如塔式系统那样将太阳辐射能全部聚焦。这些概念的简单框架对应了本书的结构。因此,第 1、2 章首先介绍太阳能系统的基本要素和一些具体的控制原理。第 3 章着眼于光伏电站的控制。而第 4、5 章侧重于槽式系统的先进控制。第 6 章研究中心塔式系统。太阳能的潜在应用(主要是太阳炉及制冷)在第 7 章中进行集中的描述。最后,第 8 章考虑了将这些电站及装置集成到大规模市场化系统中的关键问题,包括具有每日运行特征的电站控制及考虑全电站控制问题,因此上位监督过程控制出现在本章中并不意外。作者在本书中很早就提到:“太阳能电站的并网问题是个挑战”。事实上,并网对许多新能源系统而言确实是个问题,控制系统理论和技术在电站实现并网中起到至关重要的作用。

本专著对于多种太阳能系统的控制提供了颇有价值的过程知识概要,同时也可作

为学习这些系统知识的参考书；对于太阳能系统的控制研究及该领域的工程人员尤其有价值。控制研究人员和学生也许注意到虽然第 5 章研究了许多的先进控制解决方案,但对于所提出的不同控制方案的共同个案问题仍有着明显的研究需要。本书描述了许多实际电站的建造和应用,这为我们提供了很有价值的参考,这些装置为书中描述的许多控制解决方案及控制实验结果提供了试验平台,验证了仿真结果,阐明了实际应用。

在 1997 年,《工业控制进展》系列丛书出版了第一本专著,书名为《太阳能电站的先进控制》(978-3-540-76144-6),作者是 Eduardo F. Camacho、Manuel Berenguel 和 Francisco R. Rubio。近年来,该学科已经成熟并得到了进一步的发展。这本新著作即向我们展示了作者和控制界为太阳能系统的控制工程持续做出的重要贡献。

M. J. Grimble
M. A. Johnson
苏格兰格拉斯哥工业控制中心

(王志峰 译)

序

在过去的 30 年中,相当多的研究致力于从控制和优化角度出发研究提高太阳能电站的效率。本书介绍了太阳能系统的建模与控制技术。书中给出的实验结果来源于欧洲最大的聚焦太阳能技术研发测试中心(PSA)。

在阅读本书之前,读者需要具备基本的控制理论和采样数据系统知识,本书主要面向太阳能行业及控制工程行业从业人员。

本书的结构如下:第 1 章简要介绍太阳能基础,包括太阳辐射相关概念和太阳能热利用分类及储能系统;第 2 章介绍太阳能系统中的控制问题,研究了太阳跟踪系统,对太阳辐射估计及预测技术进行了简要的总结,解释了基本变量的控制策略及太阳能系统的集中控制;第 3 章简要介绍光伏电站,主要集中在自动跟踪策略方面;第 4 章介绍抛物面槽式聚光器太阳能热电站的基本建模与控制方法,在回顾了此类系统的不同建模方法后,解释了基本的控制算法,并突出其各自的优缺点,包括前馈控制、PID 控制及串级控制;在第 5 章中,进一步介绍了槽式系统先进控制技术,覆盖了一大类在 PSA 已经测试的控制策略,包括自适应控制、模型参考预测控制、非线性控制和模糊逻辑控制等;第 6 章则涉及塔式系统的控制问题,在对此类系统的主要控制问题,包括控制系统的一般描述和吸热器类型,进行解释说明后,提出定日镜场控制策略及基本控制方法;第 7 章介绍太阳炉及太阳能制冷系统的控制问题;最后,第 8 章介绍了最新的太阳能系统集中控制方法。

本书的内容主要来源于作者撰写的论文、技术报告及为研究生授课用的课件。

E. F. Camacho
M. Berenguel
F. R. Rubio
D. Martínez
西班牙
塞维利亚,阿尔梅里亚

(王志峰 译)

致 谢

作者感谢众多研究人员和机构的努力,共同推动此书的出版。首先,感谢 Janet Buckley 将本书由西班牙语翻译成英文,并对本书进行校正和润色。其次,感谢 Javier Aracil 介绍我们有幸认识了来自不同高校的众多自动控制界的同事和朋友,尤其是 M. R. Arahál, C. Bordóns, F. Gordillo, M. G. Ortega, F. J. García-Martín, P. Lara, F. Rodríguez, J. L. Guzmán, J. C. Moreno, J. D. Álvarez, C. M. Cirre, A. Pawlowski, M. Pasamontes, D. Lacasa, J. González, M. Peralta, C. Rodríguez, M. Pérez, L. Valenzuela, E. Zarza, L. J. Yebra, M. Romero, L. Roca, J. Bonilla, A. Valverde, D. Alarcón, R. Monterreal, S. Dormido, J. E. Normey-Rico, 他们帮助我们开阔思路并完成校稿。

书中的绝大部分材料来源于由西班牙科学与创新部、EU-ERDF 基金会、西班牙教育部、CIEMAT、欧洲委员会、Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía 等机构资助的科研项目的成果。对于以上机构的支持我们表示由衷的感谢。本书的编写工作也是在由 PSA 和 Universidad de Almería 的自动控制及电子与机器人研究团体议定的“光热电站控制系统与工具的发展”框架下完成的。

书中描述的实验是在 PSA 及其员工的帮助下完成的。

最后,作者感谢家人的支持、耐心和理解。

E. F. Camacho
M. Berenguel
F. R. Rubio
D. Martínez
西班牙
塞维利亚,阿尔梅里亚

(王志峰 译)

缩略词对照表

首字母缩写

2DOF	两自由度
AC	交流电/自适应控制
AI	人工智能
AIC	Akaike信息准则
ANFIS	自适应网络模糊推理系统
ANN	人工神经网络
ARIMA	自回归综合移动平均
ARIMAX	具有外在输入的自回归综合移动平均
ARMA	自回归移动平均
ARMAX	具有外在输入的自回归移动平均
ARX	具有外在输入的自回归模型
BCS	光束特征描述系统
BPF	带通滤波器
B/W	黑/白
CARIMA	受控自回归综合移动平均
CARMA	受控自回归移动平均
CC	串级控制
CCD	电荷耦合器件
CE	控制效果
CESA-1	阿尔梅里亚太阳能发电厂1
CIEMAT	能源与环境研究技术中心
CF	多通带滤波器
CPC	复合抛物面聚光器
CRS	中央吸热器系统
CSP	聚焦式太阳能发电
CSR	太阳周边辐射
CST	聚焦式太阳能热
CV	控制容积
DAE	微分代数方程
DAPS	动态目标处理系统
DAS	数据采集系统
DC	直流电
DHA	离散混合自动机
DIR	数据图像辐射计
DCS	集散系统
DES	双指数平滑
DHA	离散混合自动机

DISS	直接太阳能蒸汽
DLR	德国宇航中心
DSCF	分布式太阳能集热器镜场
DSG	直接蒸汽发生器
DTC	死区补偿器
ECMWF	欧洲中期天气预报中心
EHAC	扩展水平自适应控制
EPSAC	扩展预测自适应控制
ELC	扩展线性补偿
EWMA	指数权值移动平均
FAM	模糊联想记忆
FF	前馈
FFFV	前馈功能给水阀
FFNN	前馈神经网络
FIR	有限脉冲响应
FIT	上网电价
FL	反馈线性化
FLC	模糊逻辑控制
FM	流量模型
FOPDT	一阶加死区
FPPI	过滤预测比例积分
FRG	模糊推理调节器
FSM	有限状态机
FVM	有限体积法
GA	遗传算法
GFS	全球预报系统
GM	增益余量
GPC	广义预测控制
GPCIT	广义预测控制交互工具
GPS	全球定位系统
GS	增益预置
HAC	定日镜阵控制器
HTF	传热流体
IAE	绝对误差积分
IAS	图像分析系统
IC	智能控制
IFPIC	增量模糊PI控制
IMC	内模控制
IncCond	递增电导方法
I/O	输入/输出
I-PD	积分-比例-微分
IR	下文红色
ISE	误差平方的积分
ITAE	时间乘绝对误差的积分

ITSE	时间乘平方误差的积分
JD	儒略日
KBS	知识系统
KF	卡尔曼滤波
KDFD	具有数据融合的卡尔曼滤波
LBL	劳伦斯伯克利实验室
LCP	线性补偿问题
LQ	线性二次型
LQG	线性二次高斯
LS	最小二乘
LTI	线性时不变
LTR	回路传输复位
MBM	移动边界模型
MED	多效蒸馏
MIMO	多输入多输出
MIP	混合整数规划
MISO	多输入单输出
MIN-MAX	最小-最大
MLD	混合逻辑动力学的
MLP	多层感知器
MMPS	极小-极大-加-比例
MPC	模型预测控制
MPP	最大能量点
MPPT	最大能量点跟踪
MRAC	模型参考自适应控制
MSE	均方误差
MUSMAR	多变量自调整多预测器自适应调节器
NARX	具有外在输入的非线性自回归模型
NC	非线性控制
NCEP	环境预测国家中心（美国）
NDFD	国家数字预报数据库
NEPSAC	非线性扩展预测自适应控制器
NI	数值推理
NIP	标准入射热量计
NMP	非最小相位
NN	神经网络
NNC	神经网络控制器
NNLS	非负最小二乘
ODE	常微分方程
OPC	适用于过程控制的对象链接
OR	输出调节
ORG	最优化参考调节器
PC	个人计算机
PCM	相变材料
PCS	能量转换系统

PDE	偏微分方程
PI	比例积分
PID	比例积分微分
PM	相位裕度
PPI	预测比例积分
PRBS	伪随机二进制序列
PSA	阿尔梅里亚太阳能实验基地
PTC	抛物线槽式集热器
PV	光伏
PWA	分段仿射
P&O	扰动及观测方法
QFT	量化反馈理论
QP	二次型规划
RBFN	径向基函数网络
RC	鲁棒控制
RLS	递归最小二乘
RMSE	均方根误差
RNN	周期神经网络
SAPS	静态对准过程系统
SCADA	监督控制和数据采集
SEGS	太阳能发电系统
SISO	单输入单输出
SP	史密斯预测器
SPGPC	史密斯预测器广义预测控制
SPSA	同步扰动随机逼近
SPT	塔式太阳能
SSE	平方误差和
SSPS	小型太阳能系统
STC	自调节控制
TDC	时滞补偿
TDL	多接头时滞线
TEP	太阳能热电站
TP	三角划分
TPE	具有均匀间隔点的三角划分
TS	训练集
TSA	太阳能空气吸热器技术图
UBB	有界未知
UCM	不能观测元素模型
UV	超紫外线
VS	确认设置
VSCS	变结构控制系统
WRF	天气研究与预测
ZOH	零阶保持器
ZN	Ziegler-Nichols

符号

\mathbb{N}	自然数集
\mathbb{R}	实数集
$\arg(\cdot)$	幅角
$\det(\cdot)$	矩阵行列式
$(\cdot)^T$	转置
\mathbf{I}	合适维数的单位阵
$\sin(\cdot)$	正弦函数
$\cos(\cdot)$	余弦函数
$\exp(\cdot), e^{(\cdot)}$	指数函数
$\log(\cdot)$	自然对数函数
$\min(\cdot)$	集的最小值
$\max(\cdot)$	集的最大值
s	拉普拉斯变换中的复变量
z^{-1}	后移算子
z	前移算子及Z变换中的复变量
\forall	所有
$\ \cdot\ $	$C^{n \times m}$ 范数
$\ \cdot\ _2$	$L_2^{n \times m}$ 范数
$\ \cdot\ _\infty$	无穷范数
\doteq	定义
$E[\cdot]$	期望算子
$\hat{\cdot}$	期望值
$\bar{\cdot}$	均值
$\hat{x}(k+j k)$	具有变量信息的 $x(k+j)$ 在时刻 k 的期望值
\wedge	逻辑与
\vee	逻辑或
\neg	逻辑或非
$equalAB$	$A = B$
$AgtB$	$A > B$

(王志峰 译)

变量与参数

符号	描述	单位	章节
a	离散传递函数极点描述参数		4, 5
	辅助传递函数 (共振线性模型)	-	4
A	百叶窗开口	m	7
\mathbf{A}	状态矩阵		2
A_{ac}	储蓄罐面积	m ²	7
a_f	离散传递函数极点描述参数		5
A_f	内管横截面积	m ²	4, 5
a_{fv}	所需DSG进气阀口径	%	
a_i	模糊集的中点		5
A_i	模糊集		5
a_{iv}	所需DSG喷油阀口径	%	4
A_m	管壁横截面积	m ²	4-6
	定日镜镜面面积		6
a_n	定日镜法向方位角	rad, °	2
a_{pv}	DSG蒸汽压力阀口径	%	4
a_s	方位	rad, °	1, 2
A_{st}	储蓄罐面积	m ²	7
a_t	固定塔方位角	rad, °	2
b	辅助传递函数 (共振线性模型)	-	4
B	收益	\$	8
B_{spot}	预期收益	\$	8
$b_{..}$	离散传递函数分子参数		5
b_D	DES模型中的估计趋势		2
c	辅助参数 (共振线性模型)	m	4-6
c_f	HTF比热	J/(kg K)	4-8
C_g	几何聚焦因子	-	2
c_m	管壁金属比热	J/(kg K)	4-6
C_{op}	运行成本	\$	8
c_s	样本比热	J/(kg K)	7
	熔融盐每千克比热	J/K	8
d	离散时间死区	samples	4, 5
D	太阳-地球距离	km	1, 2
D_0	太阳-地球距离均值	km	1, 2
D_f	内管内径	m	4, 5

符号	描述	单位	章节
D_m	管外径	m	2, 4, 5
D_{st}	储油罐直径	m	8
dT_f	指示目标点调节的阈值	K, °C	6
dT_h	指示定日镜调整的阈值	K, °C	6
e	跟踪、辨识或建模误差 或者零均值离散白噪声		5, 6 5
E	热能	J	6
\bar{e}	平均绝对误差		2
$\bar{e}\%$	平均百分误差	%	2
e_1	电价	\$	8
e_b	最高购电价	\$	8
E_b	直射辐射量	W/m ²	2
E_c	太阳常数	W/m ²	1
E_d	散射辐射量	W/m ²	2
E_{ext}	地球大气层外的太阳辐射	W/m ²	1
$E_{ext,h}$	落在平行于地面的表面的宇宙太阳辐射	W/m ²	1
E_g	全球辐射	W/m ²	2
e_{m_in}	DSG入口质量流误差	kg/s	4
e_s	最低售电价	\$	8
e_{st}	储能价格	\$	8
E_{st}	储能	kJ	8
e_T	DSG温度误差	K, °C	4
e_{xc}	偏差校正系数	-	2
f	辨识算法遗忘因子	-	5
f_1	辅助参数	1/s	6
F_1	应用到对象输入的过滤器		7
F_2	应用到对象输出的过滤器		7
f_{at}	由于大气浑浊引起的衰减系数	-	6
f_d	抛物面镜面的焦距	m	2
f_{di}	截获的散射辐射总量	-	2
g	辅助参数	1/s	6
G	聚光器开口	m	4, 5
g_0	离散PI传递函数系数		5
g_1	离散PI传递函数系数		5
G_H	天然气加热器激活/钝化信号	-	7
G_{Hoff}	天然气加热器关信号	-	7
G_{Hon}	天然气加热器开信号	-	7
H	输出矩阵		2
H_{st}	储蓄罐热损系数	W/(m ² K)	7
h_{in}	聚光器列入口处HTF的比焓	J/kg	2, 4

符号	描述	单位	章节
h_{in_c}	聚光器入口处水的DSG比焓	J/kg	4
h_{inj}	聚光器入口处入射水的DSG比焓	J/kg	4
H_l	外管对流换热系数	W/(m ² K)	2, 4-6
\tilde{H}_l	全局热损系数	J/s	4
\tilde{H}_l	全局热损函数	J/s	4
h_n	定日镜法向高度角	rad, °	2
h_{out}	聚光器列出口处HTF的比焓	J/kg	2, 4
h_{ref}	聚光器出口处蒸汽参考比焓	J/kg	4
h_s	太阳高度	rad, °	1, 2
h_{st}	储蓄罐高度	m	8
h_t	固定塔高度角	rad, °	2
H_t	内管对流换热系数	W/(m ² K)	4-6
I	直射	W/m ²	2, 4-7
	PV板电流	A	3
I_{CS}	日晕辐射密度	W/m ²	6
I_{MPP}	获取MPP的PV电流	A	3
I_{ref}	FF控制器的参考直射	W/m ²	7
I_s	定日镜反射的太阳辐射	W/m ²	7
I_{Sun}	太阳辐射密度	W/m ²	6
J	儒略日	-	1, 2, 6
	余弦函数		5
k	离散时间	sample	2-8
$K_{..}$	传递函数静增益		4, 5, 7
k_f	HTF热传导	W/(m K)	4, 8
K_P	PID控制器比例增益	-	4, 5, 7
l	管长	m	4
L	集热器回路长度或管长	m	2, 4-6
L	RLS算法校正增益		5
L_2	出入口回路两端距离	m	4
L_{loc}	当地子午线经度	rad, °	1
L_{PCS}	PCS内的热损	kW	8
L_{ref}	参考子午线经度	rad, °	1
L_{rs}	传至制冷系统中的热能	kW	8
L_s	百叶窗板长度	m	7
ℓ	距离	m	4
m	正整数——预测	samples	2
\dot{m}	HTF流量	kg/s	2, 5, 6
\dot{m}_{12}	鼓风机G1和G2端空气流量差	kg/s	6
\dot{m}_1	鼓风机G1空气流量	kg/s	6
\dot{m}_2	鼓风机G2空气流量	kg/s	6
\dot{m}_{ff}	DSG流量	kg/s	4

符号	描述	单位	章节
\dot{m}_{ff_iv}	注水阀DSG水流量	kg/s	4
\dot{m}_{in}	聚光器列端入口HTF水流	kg/s	4
\dot{m}_{in_c}	聚光器入口DSG水/蒸汽流量	kg/s	4
\dot{m}_{inj_dem}	聚光器入口需求的DSG注水流量	kg/s	4
\dot{m}_{inj_set}	聚光器入口参考DSG注水流量	kg/s	4
\dot{m}_{inj}	聚光器入口DSG注水流量	kg/s	4
\dot{m}_{in_dem}	主回路计算获得的DSG流量	kg/s	4
\dot{m}_{out}	聚光器列端出口HTF水流量	kg/s	4
m_s	采用质量	kg	7
n	正整数——PTC离散化元素的个数		2, 4-6
\mathbf{n}	定日镜法向		2
N	预测范围或数据窗口长度	samples	2, 4-6
N_1	预测范围下限	samples	5
N_2	预测范围上限	samples	5
N_{CV}	DISS列中完全模型的CV数	-	4
N_d	天数	-	1
N_D	微分作用滤波器参数	-	4
n_{ope}	运行回路数	-	4
n_p	模式数	-	4
N_r	重复控制的复位速率	-	5
N_u	控制水平	samples	5
p, \mathbf{p}	干扰(向量)或噪声	-	4, 5
P	PV阵列输出能量	W	3
	压力	bar	4
	蒸汽发生器空气输入能力	kW	6
\mathbf{P}	辨识算法中的协方差阵		5
	后验估计误差协方差		2
\mathbf{P}^-	先验估计误差协方差		2
P_{abs}	吸热器吸收能量	kW	2
P_c	对流损失	W	7
$P_{contract}$	预订功率	kW	8
P_{gross}	PCS总产能	kW	8
P_h	单个定日镜反射至吸热器中的能量	kW	6
P_{HTF}	PCS入口HTF能量	kW	8
P_i	输入功率	W	7
P_{load}	基础载荷消耗的能量	kW	5, 8
$P_{m \rightarrow a}$	金属管至外部环境的能量损失	kW	2
$P_{m \rightarrow f}$	PTC产生的热能	W/m	2
P_{MPP}	最大输出功率	W	3
P_r	上网电能	kW	5, 8
	辐射损失	W	7

符号	描述	单位	章节
P_{ra}	普朗特数	—	4
P_{rc}	单位长度外管对流热损	W/m	4
P_{ref}	参考能量	kW	8
P_{s+}	时间间隔 $[k-1, k]$ 内存储能量	kW	8
P_{s-}	时间间隔 $[k-1, k]$ 内从储能罐提取传输至电网的能量	kW	8
P_{sol}	吸热器表面入射能	W/m	2
P_{solar}	太阳产生的能量	kW	8
P_{start}	启动电站所需的电能	kW	8
P_{stored}	总储能	kW	8
P_{th}	镜场提供的热能	kW	5
q	HTF泵容积率	m ³ /s, l/s	4, 5, 7, 8
Q	过程噪声协方差矩阵		2
q_f	过滤油泵容积率	m ³ /s, l/s	5
q_{st}	HTF存储器流量	m ³ /s, l/s	8
q_T	HTF从储能系统到PCS的流量	m ³ /s, l/s	8
r	镜面反射率	—	2, 6
	通用参考量		5-7
R	地球半径	km	1
R	测量噪声协方差矩阵		2
R^2	测定系数	—	2
r_c	百叶窗第二聚光器反射率	—	7
r_h	定日镜镜面反射率	—	7
s	拉普拉斯变换中的复变量	—	4, 5, 7
S	有效表面面积	m ²	2
S_{abs}	聚光器回路吸热管面积	m ²	4
S_c	百叶窗第二聚光器表面面积	m ²	7
$S_{f(90\%)}$	90%太阳能聚焦面积	m ²	7
S_I	时变离散误差信号积分		3
S_{ref}	聚光镜场镜面反射面面积	m ²	2
S_s	采样表面面积	m ²	7
S_{st}	储能罐表面面积	m ²	7
t	时间	s, min	4-8
T	温度/采样温度	K, °C	4-7
T_0	平衡点处采样温度	K, °C	7
T_2	采样中间区温度	K, °C	7
T_3	基准采样的温度	K, °C	7
T_a	环境温度	K, °C	2, 4-8
T_b	法向辐射透射比	—	2
t_d	输入-输出时滞	s, min	4, 5