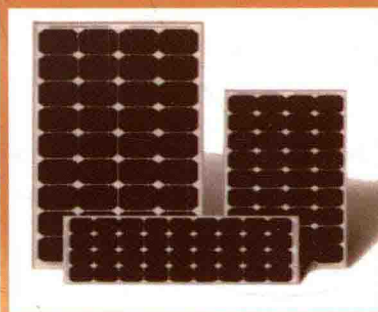
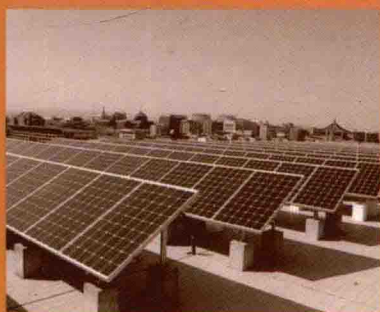


TAIYANG DIANCHI

JIAGONG JISHU WENDA

太阳电池 加工技术问答

第二版



刘寄声 编著



化学工业出版社

第二版

太阳能电池 加工技术问答

TAIYANG DIANCHI
JIAGONG JISHU WENDA

刘寄声 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从提高太阳电池加工企业人员素质和能力入手,系统地叙述了太阳能光伏电池生产企业人员应知和应会的技术和理论问题,并对大量疑问与难题进行了详细解答。编者除了根据多年的实践经验进行编写之外,还参考了国内外有关最新资料,既有操作实践,又有基础理论;力求深入浅出,通俗易懂。有关内容较第一版在广度和深度上做了相当大的拓展。全书主要内容如下:有关能源和太阳能方面的基础知识;半导体的基础知识;太阳能光伏电池的基础知识;有关硅材料的基础知识;硅烷、三氯氢硅、二氯二氢硅和四氯化硅的生产;多晶硅的制备;单晶硅的制备;太阳能光伏电池的生产工艺;太阳能光伏电池组件与发电系统;有关其他材料的性质及制造;有关用电的知识和电气设备;有关环保节能的问题;有关安全生产、事故防范与处理;有关对硅太阳能光伏电池生产工艺的改进及展望。

本书适于广大从事太阳光伏电池生产、加工、制造、管理人员阅读,也适合新能源材料研究人员和在校大中专师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

太阳电池加工技术问答/刘寄声编著. —2版.

北京:化学工业出版社,2015.9

ISBN 978-7-122-24601-1

I. ①太… II. ①刘… III. ①太阳能电池-问题解答
IV. ①TM914.4-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第156789号

责任编辑:朱 彤

装帧设计:刘丽华

责任校对:边 涛

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:高教社(天津)印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张16¼ 字数435千字 2016年1月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:68.00元

版权所有 违者必究

第二版前言

低碳经济是当今最热门话题之一。太阳能是取之不尽、用之不竭的绿色能源，将太阳能转换成电能的太阳电池是解决能源和环境问题、发展低碳经济的途径之一。由于国家和政府的大力支持，近几年我国的光伏产业发展特别迅猛，一跃成为全球第一大太阳能光伏电池生产大国。目前我国光伏太阳能产业与太阳电池行业仍然处于高速发展之中。

本书第一版自出版以来，深受广大读者欢迎，帮助太阳电池行业人员提高了理论水平和实际操作技能。为适应行业发展的需要，我们对第一版进行了修订。第二版在第一版的基础上，针对广大读者在第一版使用时提出的一些建议，结合太阳电池加工方面的最新进展，进行了全面修订。本书第二版依然保持第一版的实用性强、通俗易懂的特点。

在该书的第二版中，一方面丰富了原有的内容，补充了最新的一些资料，另一方面将第一版中的一些内容进行了删除和合并。有关内容较第一版在广度和深度上做了相当大的拓展。全书主要内容如下：有关能源和太阳能方面的基础知识；半导体的基础知识；太阳能光伏电池的基础知识；有关硅材料的基础知识；硅烷、三氯氢硅、二氯二氢硅和四氯化硅的生产；多晶硅的制备；单晶硅的制备；太阳能光伏电池的生产工艺；太阳能光伏电池组件与发电系统；有关其他材料的性质及制造；有关用电的知识和电气设备；有关环保节能的问题；有关安全生产、事故防范与处理；有关对硅太阳能光伏电池生产工艺的改进及展望。

化学工业出版社对本书的出版给予大力的支持和帮助，并经常关心本书的写作进程，在此对他们的辛勤工作和关心表示深深的谢意和崇高的敬意！

由于时间和水平有限，书中疏漏与不足在所难免，敬请广大国内、国外同行多加指正。

编著者

2015年9月

第一版前言

自1954年美国贝尔实验室研制成功光电转换效率6%的实用型单晶硅太阳能电池以来，目前太阳能光电方面研究和应用在全世界范围内方兴未艾，相关太阳能光电工业〔又称为光伏（photovoltaic）工业〕发展迅速，20世纪90年代以来一直以每年30%~40%的速度上升，在2004年甚至达到60%的增长速度，成为非常令人瞩目的朝阳产业。我国也不例外，1980年以后，国家高技术研究发展计划（863计划）和国家重大基础研究计划项目（973项目）等都对太阳能光伏研究和开发给予了重要支持。2002年我国政府开始启动“光明工程”，投资20亿元重点发展太阳能光伏发电。由于国家和政府的大力支持，近几年来，我国光伏产业就像雨后春笋，发展特别迅猛。

最近我国政府又加大了对太阳能光伏发电的支持力度，新出台了投资高达数万亿元的新能源行业振兴计划，而且还规定将对符合条件的太阳能光电建筑应用示范项目给予补贴。由此看来，太阳能光伏发电行业的前景是光明的，可以确信在不久的将来，我国一定会进入“太阳能技术大发展的新时代”。

由于种种原因，目前人们对于有关太阳能电池材料和太阳能光伏电池生产技术方面的知识还不够，为满足这一需求，编者采用了问答形式编写本书，书中所列多是有关太阳能光伏电池生产企业人员应知和应会的技术及理论问题。为了确保答案准确，在问题解答时，编者除了根据多年的实践经验进行编写之外，还参考了国内外有关最新资料，既有操作实践，又有基础理论；力求深入浅出，通俗易懂。全书主要内容如下：有关能源和太阳能方面的基础知识；半导体的基础知识；太阳能光伏电池及其生产工艺；有关硅材料的基础知识；硅烷、三氯氢硅、二氯二氢硅和四氯化硅的生产；多晶硅的制备；单晶硅的制备；有关其他材料的性质及制造；有关用电的知识和电气设备；有关环保节能的问题；有关安全生产、事故防范与处理；有关对硅太阳能光伏电池生产工艺的改进及展望。

由于编者学识和能力有限，书中疏漏在所难免，衷心希望能够得到广大读者的批评和指正。

编 者

2009年11月

目 录

第 1 章 有关能源和太阳能方面的基础知识

1-1 什么是能源? 当前能源存在的主要问题是什么?	1
1-2 什么是太阳能? 太阳能具有哪些优势?	2
1-3 太阳的构造是怎样的? 太阳能的资源有多少?	2
1-4 到达地球的太阳能是多少?	3

1-5 什么是光? 什么是辐射光谱?	4
1-6 什么是日照强度? 什么是日照量?	5
1-7 什么是太阳常数? 太阳常数是多少?	7
1-8 太阳辐射有什么规律? 我国哪些地区太阳辐射量大?	8
1-9 太阳能能量的转换方式有几种? 太阳能发电的方式有几种?	9

第 2 章 半导体的基础知识

2-1 什么是半导体? 半导体有哪些独特性能?	10
2-2 半导体材料的种类有多少?	11
2-3 什么是电阻率? 什么是电导率?	12
2-4 半导体与(金属)导体有什么不同? ..	13
2-5 为什么半导体的导电不如导体?	14
2-6 杂质在半导体中有什么作用?	15
2-7 什么是纯度?	15
2-8 什么是 3N? 什么是 ppb?	16
2-9 为何采用硼含量来表示纯度? 为何采用测量电阻率来测定纯度?	16
2-10 半导体中的杂质可分为哪两类? 电中性杂质对半导体有哪些作用?	17
2-11 杂质在半导体的晶格中占什么位置?	18
2-12 什么是载流子? 什么是带正电的载流子?	18
2-13 什么是载流子浓度?	18
2-14 什么是载流子迁移率?	19
2-15 什么是载流子复合? 什么是平衡状态? 什么是寿命?	20
2-16 什么是多数载流子? 什么是少数载流子?	20
2-17 什么是 P 型半导体? 什么是 N 型半导体?	20
2-18 什么是 P-N 结? P-N 结是怎样形成的?	21
2-19 P 型和 N 型半导体独立存在时是怎样	

的情况? 形成 P-N 结后又是什么样的情况?	21
2-20 什么是 P-N 结的单向导电性?	22
2-21 什么是光生伏特效应?	23
2-22 什么是漂移电流? 什么是扩散电流? ..	23
2-23 什么是 P-I-N 结?	24
2-24 半导体是怎样导电的?	24
2-25 什么是本征半导体? 什么是杂质半导体?	24
2-26 什么是正离子? 什么是负离子?	25
2-27 什么是电子云? 什么是自由电子?	25
2-28 什么是共价键? 什么是空穴?	26
2-29 什么是能级? 什么是能带?	26
2-30 什么是禁带? 什么是价带、导带和满带?	27
2-31 为什么说电子在满带中是不能导电的? 为什么说电子在导带中是可以导电的?	28
2-32 导体、半导体和绝缘体的能带有什么不同?	28
2-33 什么是浅能级杂质? 什么是深能级杂质?	29
2-34 什么是分凝系数?	30
2-35 什么是偏析提纯法?	30
2-36 什么是晶体缺陷? 什么是位错?	31
2-37 什么是晶胞? 什么是各种晶系与晶格?	32
2-38 什么是霍尔效应?	33

- 3-1 什么是太阳能光伏电池? 太阳能光伏
电池有几种类型? 34
- 3-2 太阳能光伏电池是什么时候发明的?
它的发展历史是怎样的? 36
- 3-3 太阳能光伏发电有哪些优点? 太阳能
光伏发电的前景如何? 38
- 3-4 怎样来分辨太阳能光伏电池是用哪种
材料制造的? 39
- 3-5 用不同材料制造的太阳能光伏电池有
哪些特点? 40
- 3-6 太阳能光伏电池除了用于人造卫星等及
日常生活的小型电子产品外, 还可用于
哪些方面? 42
- 3-7 太阳能光伏电池是怎样发电的? 43
- 3-8 单晶硅太阳能光伏电池的主要结构是
怎样的? 44
- 3-9 什么是等效电路? 44
- 3-10 什么是照度特性? 太阳能光伏电池的
照度特性是怎样的? 46
- 3-11 什么是太阳能光伏电池的转换效率?
怎样计算? 46
- 3-12 太阳能光伏电池的光谱特性是怎
样的? 47
- 3-13 太阳能光伏电池能吸收紫外线吗? 48
- 3-14 太阳能光伏电池的温度特性是怎
样的? 48
- 3-15 目前太阳能光伏电池的效率是怎
样的? 49
- 3-16 影响太阳能光伏电池转换效率的主要
因素有哪些? 49

第4章 有关硅材料的基础知识

- 4-1 为什么说硅占据电子半导体材料当之无
愧的“第一把交椅”? 51
- 4-2 什么是硅? 硅有什么性质? 52
- 4-3 何谓非晶硅? 何谓单晶硅? 何谓多
晶硅? 52
- 4-4 何谓工业硅? 53
- 4-5 工业硅是怎样生产的? 53
- 4-6 对工业硅有什么要求? 54
- 4-7 什么是微晶硅? 55
- 4-8 为何太阳能光伏电池多以硅为原料? ... 55
- 4-9 什么是硅石? 55
- 4-10 什么是石英粉? 56
- 4-11 什么是白炭黑? 56
- 4-12 硅材料的电阻与纯度有何关系? 57
- 4-13 什么是太阳能级多晶硅? 57
- 4-14 原子的基本结构是怎样的? 58
- 4-15 为什么说硅是四族元素? 58

第5章 硅烷、三氯氢硅、二氯二氢硅和四氯化硅的生产

- 5-1 什么是硅烷? 60
- 5-2 硅烷是怎样制备的? 61
- 5-3 硅化镁是怎样制备的? 61
- 5-4 工业硅是怎样选择与处理的? 62
- 5-5 对生产四氯化硅所用的氯是怎样处
理的? 62
- 5-6 四氯化硅是怎样制备的? 63
- 5-7 对制备三氯氢硅所用的氯化氢是怎样处
理的? 65
- 5-8 什么是三氯氢硅? 三氯氢硅是怎样制
备的? 65
- 5-9 什么是固定炉? 什么是沸腾炉? 67
- 5-10 一般四氯化硅和三氯氢硅中有哪些伴
随物? 68
- 5-11 什么是二氯二氢硅? 二氯二氢硅是怎
样生产的? 69
- 5-12 何谓沸点? 何谓饱和蒸气、饱和蒸
气压? 70
- 5-13 何谓物理提纯? 何谓化学提纯? 70
- 5-14 何谓易挥发组分? 何谓难挥发组分?
何谓低沸点、高沸点? 71
- 5-15 何谓回流比? 71
- 5-16 何谓理论塔板? 何谓塔的全流量? 72
- 5-17 何谓液泛现象? 何谓液泛温度? 72
- 5-18 什么是精馏法? 72
- 5-19 精馏塔有几种? 72
- 5-20 什么是填料塔? 73
- 5-21 什么是筛板塔? 74
- 5-22 怎样区分精馏中的三个组分? 四氯化硅
或三氯氢硅是怎样精馏的? 74
- 5-23 四氯化硅的颜色太重是什么原因? 77
- 5-24 什么是吸附提纯法? 77
- 5-25 精馏塔中的爆响是怎么回事? 77
- 5-26 什么是湿氮去磷法? 78

- 6-1 什么是物理法和化学法？常见的提纯方法有哪几种？ 79
- 6-2 多晶硅的传统生产方法有几种？ 80
- 6-3 什么是四氯化硅还原法？ 81
- 6-4 什么是改良西门子法？它的优缺点是什么？ 82
- 6-5 什么是硅烷裂解法？ 83
- 6-6 什么是三氯氢硅和四氯化硅混合源生产多晶硅的方法？ 84
- 6-7 什么是多晶硅和石英玻璃联合制备法？ 84
- 6-8 多晶硅和石英玻璃的联合制备法有哪些优点？ 86
- 6-9 三氯氢硅合成的尾气是怎样回收的？ ... 88
- 6-10 还原炉尾气中的氢气、四氯化硅和三氯氢硅是怎样回收的？ 89
- 6-11 什么是干法回收？ 90
- 6-12 四氯化硅加氢是怎么回事？ 92
- 6-13 一种没有四氯化硅排放的多晶硅生产法是怎么回事？ 92
- 6-14 四氯化硅和三氯氢硅的氢还原的温度是多少？ 94
- 6-15 还原炉的启动方法有几种？ 94
- 6-16 有几种吸附方法？ 94
- 6-17 什么是还原炉？ 95
- 6-18 在多晶硅生产中对氢气的纯度有哪些要求？ 98
- 6-19 什么是流化床？ 98
- 6-20 什么是铸造多晶硅？ 99
- 6-21 用于拉制单晶硅的多晶硅材料一般为
什么形态？ 100
- 6-22 为何说多晶硅是光伏产业大厦的
基石？ 100
- 6-23 什么是还原炉节能器？ 100
- 6-24 什么是夹层？ 101
- 6-25 什么是冶金法生产太阳能级多
晶硅？ 101
- 6-26 什么是气液沉积法生产粒状太阳能级
多晶硅？ 101
- 6-27 生产多晶硅最难去除的是哪种杂质
元素？ 101
- 6-28 什么是多晶硅的物理生产法？ 103
- 6-29 多晶硅物理生产法的工艺流程是怎
样的？ 103
- 6-30 生产多晶硅为何要对原料进行粉碎和
酸洗？ 104
- 6-31 什么是炉外精炼？ 105
- 6-32 物理法生产多晶硅为何要真空
冶炼？ 106
- 6-33 什么是干法冶金？什么是湿法
冶金？ 107

第7章 单晶硅的制备

- 7-1 什么是单晶硅？单晶硅的生产方法有
哪几种？ 109
- 7-2 直拉法是怎样制造单晶硅的？ 111
- 7-3 什么是区熔提纯法？区熔提纯法有哪些
优点？哪些材料不宜采用区熔提
纯法？ 114
- 7-4 什么是悬浮区熔法？ 116
- 7-5 悬浮区熔法生长单晶有什么优
缺点？ 117
- 7-6 有分解压的材料怎么拉单晶？ 117
- 7-7 什么是液封直拉法？ 118
- 7-8 掺杂方法有哪几种？ 118
- 7-9 拉单晶时会出现哪些不正常现象？ ... 119
- 7-10 直拉法和区熔法生产单晶硅各有哪些
缺点？ 120
- 7-11 单晶硅是必须要以多晶硅为原
料吗？ 120
- 7-12 直拉单晶炉中的晶体和坩埚是怎样旋
转的？坩埚里的固液界面是怎样变
化的？ 120
- 7-13 什么是直拉单晶炉？什么是区熔单
晶炉？ 121
- 7-14 什么是基磷？什么是基硼？ 121
- 7-15 单晶硅中都含有哪些杂质？ 122
- 7-16 氧杂质对单晶硅有什么影响？什么是
内吸杂工艺？ 122
- 7-17 碳杂质对单晶硅有什么影响？ 122
- 7-18 金属杂质对单晶硅有什么影响？ 123
- 7-19 单晶硅中有哪些缺陷？ 123
- 7-20 单晶硅中的位错对太阳能光伏电池有
何影响？怎样避免产生位错？ 124
- 7-21 晶体旋转和坩埚旋转对单晶生长界面
有何影响？ 124
- 7-22 为使单晶生长界面尽量平坦，在拉晶

时采取哪些措施?	124	7-26 哪些因素影响硅单晶纵向电阻率均匀性? 如何使硅单晶电阻率均匀?	125
7-23 直拉单晶生长界面为什么出现凸、平、凹变化?	124	7-27 什么是温度振荡? 如何消除温度振荡?	125
7-24 在直拉单晶整个生长过程中, 热传输方式如何变化?	125	7-28 如何防止产生硅跳、挂边和搭桥? 一旦出现如何处理?	125
7-25 哪些因素影响硅单晶径向电阻率均匀性? 为了使径向电阻率均匀, 可采取哪些方法?	125	7-29 什么是籽晶? 什么是石英坩埚?	126
		7-30 什么是真空? 什么是真空度?	126

第 8 章 太阳能光伏电池的生产工艺 127

8-1 太阳能光伏电池是用石头生产的吗? 晶硅太阳能光伏电池的生产主要包括哪些部分?	127	为什么说多晶硅铸锭炉对硅也有提纯作用?	144
8-2 什么是晶体硅片? 晶体硅片与太阳能光伏电池片有什么区别?	128	8-12 为什么说太阳电池的“祖先”是硅二极管?	144
8-3 单晶硅片是怎样生产的? 多晶硅片是怎样生产的?	128	8-13 什么是熔铸法? 什么是印带法?	145
8-4 晶体硅太阳能光伏电池片是怎样生产的?	134	8-14 单晶硅棒是怎样变成硅片的?	145
8-5 什么是绒面结构? 绒面是怎样制作的?	135	8-15 我国的多丝切割技术和抛光技术已达到何种水平?	146
8-6 单晶硅太阳能光伏电池的 P-N 结是怎样制备的?	137	8-16 配制切割料浆应该注意的事项有哪些? 线切割硅片上的线痕是怎么形成的?	147
8-7 什么是铝背场? 铝背场是怎样制备的?	138	8-17 什么是外延?	148
8-8 金属电极是怎样制备的?	138	8-18 外延生长工艺有什么新的进展?	149
8-9 什么是减反射层? 减反射层是怎样制备的?	139	8-19 什么是扩散?	150
8-10 多晶硅太阳能光伏电池有哪些优缺点?	141	8-20 什么是离子注入?	150
8-11 多晶硅铸锭炉是生产多晶硅的吗?		8-21 什么是氧化?	151
		8-22 什么是薄膜太阳能光伏电池?	152
		8-23 太阳能光伏电池生产为何要检测? 太阳能光伏电池的生产都有哪些检测?	153
		8-24 什么是电致发光?	154

第 9 章 太阳能光伏电池组件与发电系统 156

9-1 什么是太阳能光伏电池组件?	156	9-9 什么是环氧树脂胶封装? 环氧树脂胶封装的具体方法是怎样的?	165
9-2 什么是太阳能光伏电池的失配? 失配的原因有哪些? 失配有哪些危害?	156	9-10 什么是透明 PET 层压板封装? 透明 PET 层压板封装有哪些特点?	166
9-3 什么是热岛效应?	158	9-11 什么是钢化玻璃封装?	166
9-4 太阳能光伏电池片是怎样串联的? 怎样并联的?	158	9-12 除了上述常规的太阳能光伏电池组件之外, 还有哪些新式的组件?	167
9-5 太阳能光伏电池组件上的电池片是怎样连接的?	162	9-13 什么是面板玻璃?	169
9-6 电池组件与电池组件怎样连接?	163	9-14 什么是 EVA 胶膜?	169
9-7 太阳能光伏电池组件的功能是什么? 太阳能光伏电池组件的封装方法有哪几种?	164	9-15 什么是 TPT 背板?	170
9-8 对太阳能光伏电池组件的基本要求是什么?	165	9-16 太阳能光伏电池组件的生产工艺是怎样的?	170
		9-17 太阳能光伏电池片手工焊接的具体工艺是怎样的?	173

9-18	什么是太阳能光伏电池发电系统? ...	175	9-21	什么是太阳能光伏电池的交流发电系统?	177
9-19	太阳能光伏电池发电系统有哪几种? ...	176	9-22	什么是并网太阳能光伏发电系统? 并网光伏发电系统的优势有哪些?	178
9-20	什么是太阳能光伏电池的直流发电系统?	176			

第 10 章 有关其他材料的性质及制造 180

10-1	制造太阳能光伏电池都用什么材料?	180	10-15	什么是天然水? 什么是纯水?	198
10-2	什么是氢气? 氢气有哪些用途? 氢气是怎样生产的?	180	10-16	什么是蒸馏水?	198
10-3	什么是氯气? 氯气有哪些用途? 氯气是怎样生产的?	184	10-17	什么是去离子水?	199
10-4	什么是氯化氢? 氯化氢有哪些用途? 氯化氢是怎样生产的?	185	10-18	什么是纯水? 什么是高纯水?	199
10-5	什么是氧气? 氧气有哪些用途? 氧气是怎样生产的?	187	10-19	什么是石英玻璃?	200
10-6	什么是氮气? 氮气有哪些用途?	188	10-20	什么是天然石英玻璃? 什么是合成石英玻璃?	201
10-7	什么是氩气? 氩气有哪些用途?	189	10-21	石英玻璃在太阳能光伏工业中有什么用处?	202
10-8	氢气是怎样净化的?	189	10-22	什么是析晶? 怎样来防止石英玻璃析晶呢?	203
10-9	什么是钯膜? 什么是钯管?	194	10-23	什么是砷化镓?	203
10-10	什么是变压吸附法?	194	10-24	什么是氮化镓?	204
10-11	什么是硅胶? 什么是分子筛?	195	10-25	什么是碳化硅?	204
10-12	氯碱工业的副产品氢气能用来生产多晶硅吗? 氯碱氢气怎样净化?	196	10-26	什么是工业氢、超纯氢、高纯氢、纯氢?	205
10-13	氮气是怎样生产的?	197	10-27	各种行业对氢气有什么要求?	205
10-14	氮气中的氧是怎样除掉的? 氮气中除氧后为何还要通过分子筛处理才可以用?	197	10-28	什么是不锈钢? “不锈”的原理是什么?	206
			10-29	不锈钢为什么会有吸磁与不吸磁?	206
			10-30	什么是 304 不锈钢?	207

第 11 章 有关用电的知识和电气设备 208

11-1	什么是电? 什么是直流电? 什么是交流电?	208		实际意义?	212
11-2	什么是电流强度? 什么是电流密度? ...	208	11-12	什么是可控硅? 可控硅的工作原理是什么?	212
11-3	什么是电阻?	208	11-13	什么是整流和逆变?	213
11-4	什么是电能? 什么是电功率?	209	11-14	还原炉为何要采用交流电加热?	213
11-5	什么是电流的热效应? 怎样计算电流的热效应?	209	11-15	何谓无触点开关?	213
11-6	什么是有功功率? 什么是无功功率? 什么是视在功率?	209	11-16	多晶硅有怎样的导电特性?	213
11-7	什么是功率因数? 怎样才能提高功率因数?	210	11-17	还原炉的伏安特性是怎样的?	214
11-8	怎样选择电阻炉电阻丝的直径?	210	11-18	还原炉热载体的种类有哪几种?	214
11-9	什么是趋肤效应? 为什么交变电流会产生趋肤效应?	211	11-19	用硅芯作为发热体为何要用高压电击穿?	215
11-10	什么是导体的欧姆电阻和有效电阻?	212	11-20	钼丝炉有什么优点?	215
11-11	什么是电流透入深度? 它有什么		11-21	什么是短路电流和开路电压?	215
			11-22	什么是峰值电流、峰值电压和峰值功率?	216
			11-23	什么是填充因子?	216

第 12 章 有关环保节能的问题217

12-1 为何要环保节能?	217	炭黑?	219
12-2 还原炉为何要用油冷却?	217	12-9 为何要用还原尾气来生产盐酸?	219
12-3 可以采用蒸汽冷却还原炉吗?	217	12-10 为何要用还原尾气来生产有机硅?	219
12-4 怎样采用热油制冷?	217	12-11 可以让四氯化硅与三氯氢硅一起进还原炉吗?	220
12-5 精馏塔怎么节能?	218	12-12 为何从还原炉排出的尾气首先要进入节能器?	220
12-6 增加还原炉的硅棒数可以节能吗?	218	12-13 为何还原炉的尾气最终还需用淋洗法处理后才可排放?	220
12-7 多晶硅生产为何要与石英玻璃联产?	218		
12-8 为何要用还原尾气来生产白			

第 13 章 有关安全生产、事故防范与处理221

13-1 在太阳能光伏电池的生产中为何非要强调安全生产呢?	221	13-20 为什么使用氢气的厂房屋顶不宜采用机械排风?	227
13-2 氢气有哪些危险性?	221	13-21 为何多晶硅和外延生产厂房要上下都有通风口?	228
13-3 氧气有哪些危险性?	221	13-22 为什么硅烷的储存需要用高纯氮或氢稀释?	228
13-4 三氯氢硅有哪些危险性?	221	13-23 为什么三氯氢硅的储罐需要用水降温?	228
13-5 四氯化硅有哪些危险性?	222	13-24 多晶硅生产中跑漏料该怎么办?	228
13-6 氢气设备对厂房有什么要求?	222	13-25 何谓气体置换?	229
13-7 对四氯化硅合成和提纯厂房有什么要求?	223	13-26 为什么氧气阀门不能碰到油污?	229
13-8 对三氯氢硅合成和提纯厂房有什么要求?	223	13-27 电气设备发生火灾应采取怎样的灭火措施?	229
13-9 对氢气净化厂房有什么要求?	224	13-28 为什么四氯化硅跑漏时要用氨水去处理?	231
13-10 对多晶硅氢还原厂房有什么要求?	224	13-29 三氯氢硅操作应注意哪些问题?	231
13-11 对石英玻璃制砵厂房有什么要求?	224	13-30 什么是静电效应?	232
13-12 对四氯化硅或三氯氢硅合成和提纯设备有什么要求?	224	13-31 静电有哪些危害? 怎样防止?	233
13-13 对氢气净化设备有什么要求?	224	13-32 为何非要等还原炉、单晶炉降温后才能让产品出炉?	233
13-14 对多晶硅氢还原设备有什么要求?	225	13-33 什么是石英化?	234
13-15 对石英玻璃制砵设备有什么要求?	225	13-34 对于四氯化硅和三氯氢硅储运方面都有什么规定?	234
13-16 对氢气管道有什么要求?	225	13-35 为什么氧气瓶在使用中要留有一定压力的余气?	234
13-17 对氧气管道有什么要求?	226	13-36 为什么氢气、氧气瓶绝对不能混用?	235
13-18 为什么氢气管路上要加阻火器?	227		
13-19 为什么使用氢气的厂房不宜采用有井字梁的结构?	227		

第 14 章 有关对硅太阳能光伏电池生产工艺的改进及展望236

14-1 多晶硅生产对环境有什么影响? 如何改进?	236	改进?	236
14-2 多晶硅生产耗能为何高? 如何		14-3 怎样提高单位时间的厚度沉积速率?	237

14-4	加大硅芯直径对产率有什么影响? ...	240	14-8	为何说多晶硅生产厂最好建在大海中?	244
14-5	加大硅棒的最终直径对产率有什么影响?	242	14-9	什么是带硅? 目前有几种种带硅的生产技术?	244
14-6	有哪些新式精馏方法? 有哪些新式精馏塔?	243	14-10	有可以替代硅的材料吗?	245
14-7	为何说多晶硅生产厂最好建在氯碱工厂旁边?	244	14-11	太阳能光伏电池的前景是怎样的?	245

第1章 有关能源和太阳能方面的基础知识

1-1 什么是能源？当前能源存在的主要问题是什么？

人类的生产、生活等一切活动以及我们的生命都离不开能量，而且每时每刻都需要消耗能量。可以说，没有能量就没有生命，没有能量就没有人类，能量是人类生存和社会发展的基础。这些能够提供我们所需能量（如热能、电能、光能和机械能等）的物质就被称为能量的资源或能量的源泉，简称能源。

目前可知，我们人类曾使用的能源有两类。一类是一次能源（也称为天然能源），是指自然界中以天然形式存在且没有经过加工或转换的能源。另一类是二次能源，是指由一次能源加工转换而成的能源产品。可以作为一次能源的主要有煤炭、石油、天然气、水能、太阳能、风能、地热能、海洋能、生物能以及核能等。人类正在使用的二次能源主要有电力、煤气、汽油、柴油、焦炭、洁净煤、激光、沼气及各种石油制品等。

当前能源主要存在两大问题：一个是能源短缺问题；另一个是能源污染问题。

（1）能源短缺问题 造成能源短缺的原因很多，但最主要的原因也是两个：一个是能源的储量有限；另一个是能源的消耗量过大。其实，不仅消耗量过大，而且呈逐年增加趋势，增加的速度过快。

随着世界人口的增加、社会的进步和经济的发展，对能源的需求越来越大，使得能源消耗量不断增加，1995年世界8个主要国家的能源消耗总量只有8564.9Mtoe^①，可12年后的2007年，这8个主要国家的能源消耗总量已达到11099.3Mtoe，增加了2534.4Mtoe。我国能源消耗总量增加更为明显，1995年能源消耗总量为916.7Mtoe；2007年，能源消耗总量为1863.4Mtoe，12年增加了一倍多。

本来传统化石能源的储量有限，已经使能源处于供不应求且面临短缺的窘境，再加上能源消耗量过大和逐年增加的态势，必然会使危机进一步加剧。

（2）能源污染问题 能源是具有两面性的，能源的大量使用在给人类带来文明和繁荣的同时，也给人类的生存环境带来了不利影响。特别是传统的化石能源，它们的排放物是有害的，大量排放，必然会污染环境，破坏人类的生存空间。因此，我们希望在能源消费中，传统化石能源的比例尽量减少。但目前在世界能源消费构成中，传统化石能源的消费量仍然很高。

化石能源消费过多，排放的有害物质就越多，环境污染就更严重，这必然会引发严重的环境危机。

据统计，近一个世纪以来，全球化石燃料的使用量几乎增加了30倍。目前全世界每年向大气中排放的CO₂约为210亿吨，

由于CO₂等温室气体引起的“温室效应”，全球气候明显变暖。科学家预测，到22世纪

① 1toe=4.1840×10⁷kJ。

中叶,地球表面平均温度将上升 $1.5\sim 4.5^{\circ}\text{C}$,从而导致南北极冰雪部分融化,加上海水本身的热膨胀,世界海平面将会上升 $25\sim 100\text{cm}$ 。一些地势低洼的沿海城市将葬入海底,数亿沿海居民将被迫迁居。同时,地球变暖将使不少国家和地区干旱少雨,虫害增多,农业减产。

此外,全世界每年向大气中排放的 SO_2 、氮氧化物等有害气体也在急剧增多。当大气中的 SO_2 与氮氧化物遇到水滴或潮湿空气即转化成硫酸与硝酸溶解在雨水中,使降雨的 pH 值降低到 5.6 以下(正常为 5.6),这种雨称为酸雨。如果大气中 SO_2 和氮氧化物浓度很高时,可以使降雨的 pH 值低至 3 左右。

在我国, SO_2 等气体主要来自煤炭的燃烧。据 23 个省市测定表明,其中 21 个省市发现酸雨,占 90% 以上,而且我国降雨酸度由北向南呈逐渐增加趋势。长江以南酸雨已成为比较普遍的问题,最严重的是西南和华南。在我国的华北、东北和西北过去很少出现酸雨,如今酸雨也成为了某些地区的困扰。由于能源排放而使大气臭氧层遭破坏所产生的很多问题都与能源有密切关系。

1-2 什么是太阳能? 太阳能具有哪些优势?

太阳是一颗硕大、炽热的恒星,其内部的氢原子在不断地发生热核反应,释放出大量能量。太阳能就是指来自太阳辐射的能量。

说起太阳能,有人认为是一种新能源。其实不然,从地球诞生,生命出现,地球就没有离开过太阳,也没有离开过太阳能。人类也不例外,人类离不开太阳能,赋予人类生命的就是太阳能。没有太阳能,哪会有地球的今天? 没有太阳能,哪会有生命? 没有太阳能,哪会有人类?

地球上的风能、水能、海洋温差能、海流能、波浪能和生物质能以及部分潮汐能都是来源于太阳,广义来说,它们都是太阳能,是太阳能的另一种形式。即使是地球上的化石燃料(如煤、石油、天然气等是由古代埋在地下的动植物经过漫长的地质年代形成的)从根本上说也是远古以来贮存下来的太阳能,所以广义上的太阳能所包括的范围非常大。

但现在通常所指的太阳能,是狭义的太阳能,仅限于太阳辐射能的光热、光电和光化学的直接转换。

太阳能与传统的化石能源相比,具有比传统的化石能源更巨大的能量,而且它的资源丰富,取之不尽,用之不竭,所以不存在资源枯竭的问题。再有,太阳能可免费使用,又无须运输,而且是无毒的,也没有任何的排放物,因此没有任何的污染问题。由此看来,若能全部采用太阳能,我们就不用再去担心能源枯竭,也不用再为环境污染问题而烦恼了。

1-3 太阳的构造是怎样的? 太阳能的资源有多少?

想了解太阳能,首先要了解太阳的构造。太阳是距离地球最近的一颗恒星,简单来说,太阳是一个炽热的气球。它的直径约为 $139\times 10^4\text{km}$,是地球直径的 109 倍,其体积是地球的 130 万倍,而质量为地球的 33 万倍,所以,它的密度只是地球的 $1/4$ 。太阳通常可分为内球和太阳大气两大部分。内球的外层是处于对流之中的流体区域;太阳大气又分为两层,其底层称为光球,就是人们平常所能看见的部分。其上面是厚约几千公里的色球层,最外面是一层密度很小的日冕,它的形状不规则,而且经常变化。从太阳球心到平均半径为 $1/4$ 的范围内,含有总质量的 40%,温度高达 $1500\times 10^4^{\circ}\text{C}$,密度超过 $1009\text{g}/\text{cm}^3$ 。在平均半径的 70% 处,温度降至 $50\times 10^4^{\circ}\text{C}$;在外面的对流层中,温度进一步降至约 6000°C ,密度降至 $0.01\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 。

太阳的主要成分是氢和氦,其中氢约占 78%,氦约占 20%。在异常的高温、高压下,原

子失去了全部或大部分核外电子，它们在高速运动和互相碰撞之中，发生多种核反应。其中最主要的是氢聚合变成氦核的反应，称为热核反应。

根据爱因斯坦相对论可知，通过热核反应，质量可以转换为能量，其公式为：

$$E=mc^2$$

式中， m 为物质的质量； c 为真空中的光速（ $3\times 10^8\text{m/s}$ ）。

太阳每秒将 6 亿多吨氢变为氦并产生大量的能量。这些能量发射出来，总功率相当于 $3.8\times 10^{20}\text{MW}$ 。尽管太阳的发射功率如此巨大，但是太阳的质量非常巨大，照这样消耗下去，仍然能够维持几十亿年。

1-4 到达地球的太阳能是多少？

在地球上，虽然有白昼也有黑夜，但太阳却每时每刻都在照耀地球。虽说如此，但不是所有的太阳能都能来到地球上。太阳的能量是通过光的形式向四面八方发射，把能量散发到宇宙空间。

地球绕太阳公转的轨道呈椭圆形，日地之间的距离很远，平均距离约为 $1.495\times 10^8\text{km}$ （最远距离和最近距离分别为 $1.52\times 10^8\text{km}$ 和 $1.47\times 10^8\text{km}$ ）。对于宇宙来说，地球又很小，所以地球接收太阳能就很少，大部分太阳能都散发到宇宙空间。以地球和太阳的大小和相对位置为依据计算后可以得知，太阳总辐射能量中，只有 22 亿分之一到达地球大气层的上界，约为 $1.73\times 10^{12}\text{kW}$ 。

要知道，这只是到达地球大气层的上界，而不是地球表面得到的太阳能数量。太阳辐射的太阳能通过大气时，分别受到大气中的水汽、二氧化碳、微尘、氧和臭氧以及云滴、雾、冰晶、空气分子的吸收、散射、反射等作用，而使投射到大气上界的太阳辐射不能完全到达地面。

如图 1-1 所示，太阳能到达地球大气层的上界后，遇到空气分子、尘粒、云滴等质点时，都要发生反射。据统计，太阳能向地球辐射的太阳能还有 30%（约为 $51.9\times 10^{12}\text{kW}$ ）以光的形式又反射到宇宙中去，只有 70%（ $121.1\times 10^{12}\text{kW}$ ）进入了大气层。

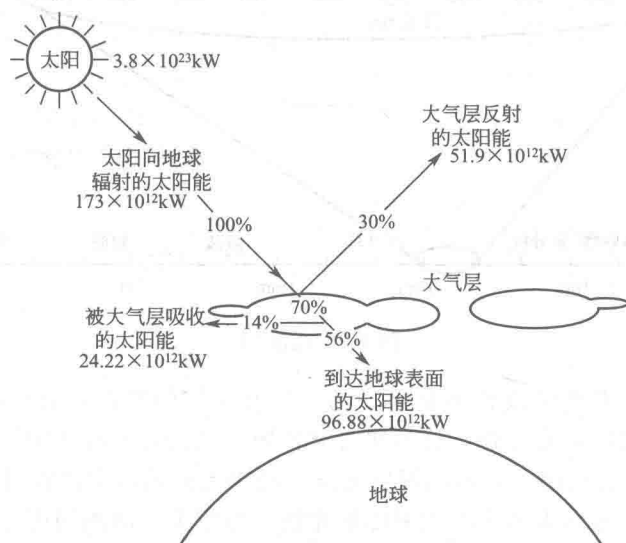


图 1-1 太阳能辐射示意

从宇宙飞船上看地球，可以非常清晰地看到，具有高反射率的海洋和云层的地球，闪着蔚蓝色的光，这一点已得到证实。

太阳辐射穿越大气层时,大气中某些成分具有选择吸收一定波长辐射性能的特性。大气中吸收太阳辐射的成分主要有水汽、氧、臭氧、二氧化碳及固体杂质等。太阳辐射被大气吸收后变成热能,因而使太阳辐射减弱。因此,进入大气层中的太阳能中还要有 20% (约占太阳向地球辐射太阳能总量的 14%) 被大气层散射或吸收,只有其中约 80% (约占太阳向地球辐射太阳能总量的 56%) 多的太阳能穿过了大气层,最终到达了地球表面。由于大气层的散射和吸收,最后到达地球表面的太阳辐射功率约为 $96.88 \times 10^{12} \text{ kW}$ 。这与整个太阳辐射能量相比是太微不足道,可实际上,它仍然是全球发电容量的数十万倍。

1-5 什么是光? 什么是辐射光谱?

太阳是个炽热的大火球,它的表面温度可达 6000°C ,它以光辐射方式不断把巨大的能量散发到宇宙,也传送到地球上来,哺育万物生长。

光是一种电磁波,是以 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 的速度进入空间的波。光除了有干涉、衍射等波的性质以外,还有光电效应、康普顿散射等,具有只有看成高能粒子才能解释的性质。将光看成粒子时,称为光子,但与日常看到的粒子不同,光子没有尺寸大小。

人们所见到的太阳光是无色 (也可说是白色) 的,其实它的颜色不是单一的,而是由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫不同颜色的光组成的。每种颜色光的波长各不相同:红色光的波长是 $622 \sim 770 \text{ nm}$;橙色光的波长是 $597 \sim 622 \text{ nm}$;黄色光的波长是 $577 \sim 597 \text{ nm}$;绿色光的波长是 $492 \sim 577 \text{ nm}$;蓝色光的波长是 $455 \sim 492 \text{ nm}$;紫色光的波长是 $390 \sim 455 \text{ nm}$ 。

这只是可见光,是太阳光的一小部分,如图 1-2 所示。可见光的波长是 $390 \sim 770 \text{ nm}$,小于 390 nm 的是紫外线,大于 770 nm 是红外线。其实,这也不是太阳光的全部,在波长上看,仍然是一小部分,比紫外线波长短的还有 X 射线和 γ 射线,比红外线波长长的还有微波、短波和无线电波。

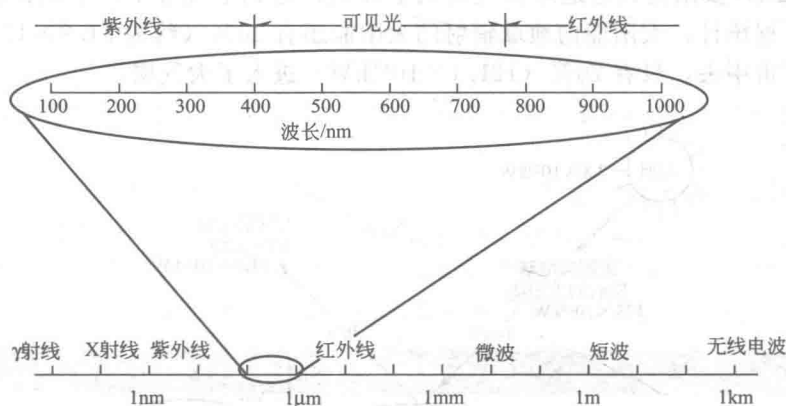


图 1-2 光波图

也就是说,太阳辐射光的波长不是单一的,各有不同的波长,波长越短,光子的能量越大。通常紫外线的能量比可见光强,这意味着波长短的光是具有较高能量的光。

图 1-3 为太阳的辐射光谱。太阳的辐射光谱可便于人们搞清太阳辐射光波的波长分布及辐射能量的大小。图中,地球表面上的太阳辐射光谱,与宇宙空间的辐射光谱相比,变成了锯齿状杂乱的形状。这是因为大气中存在的水蒸气、二氧化碳、臭氧等吸收红外线的缘故,这些气体的增加,成为地球变暖的原因。200~300nm 的紫外线到达不了地面。这是由于高度为 10~50km 的等温层中存在的氧和臭氧吸收了这些光。300nm 以上的光也减少,也是受臭氧吸收光的影响。在图 1-3 还可以看出,太阳辐射光可分为三个主要区域,即波长较短的紫外区、

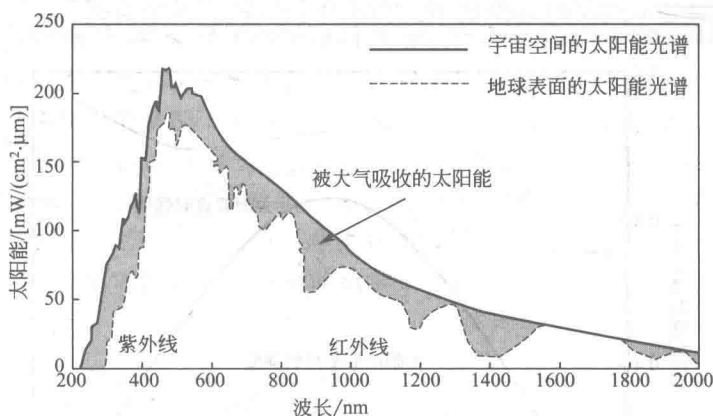


图 1-3 太阳的辐射光谱

波长较长的红外区和介于二者之间的可见光区。太阳辐射的能量主要分布在可见光区和红外区，前者占太阳辐射总量的 50%，后者占 43%。紫外区只占能量的 7%。在波长 480nm 的地方，太阳辐射的能力达到最高值。

1-6 什么是日照强度？什么是日照量？

地球接收到的太阳光并不是一个恒量，而是一个随时间变化的量。这样，用太阳能光伏电池进行发电，其输出电量也将随太阳光的不同强度而改变。不仅如此，对于地球表面来说，所接收到的太阳光还受云雾和环境的影响，因此不仅有直射的光，也有散射的光。如图 1-4 所示，晴天时，直射的光较强，散射的光较弱；多云时，直射的光被云遮挡，衰减较大，而且衰减的程度也受云层的多少和疏密影响；阴天时，地球表面接收不到直射的光，主要是散射的光。

用太阳能光伏电池进行发电，其输出的电量随太阳光的不同强度而改变。因此，太阳光的强弱程度，成为太阳能光伏电池设计和太阳能光伏电池特性测量时，应知的一个物理量。

表示太阳光的强弱程度的物理量被称为太阳能辐射强度，同时也被称为日照强度。

所谓太阳能辐射强度，是指太阳光在单位面积上、单位时间内的能量密度。其单位可用两种形式表示：若为热能利用，则为 kcal/(m²·h) 或 cal/(cm²·min)；若为电能利用，则为 kW/m²。上述单位之间的换算参见表 1-1。

表 1-1 日照强度的单位换算

不同量纲	kW/m²	cal/(cm²·min)	kcal/(m²·h)
kW/m²	1	1.43	860
cal/(cm²·min)	0.698	1	600
kcal/(m²·h)	0.00116	0.00167	1

日照量也称为太阳能辐射量。其单位也根据利用方式而不同，若为热能利用，则为 MJ/m² 或 cal/cm²；若为电能利用，则为 kW·h/m²。上述单位之间的换算参见表 1-2。

表 1-2 日照量的单位换算

不同量纲	MJ/m²	cal/cm²	kW·h/m²
MJ/m²	1	23.9	0.278
cal/cm²	0.0418	1	0.0116
kW·h/m²	3.6	86	1