



第五章 太阳能电池的测定



太阳能电池的输出特性除了与所用的光的辐照强度有关外，还与使用时的光源种类、温度以及外接电路等因素有关。本章将要介绍太阳能电池在使用和测试时的光照、温度等特性。

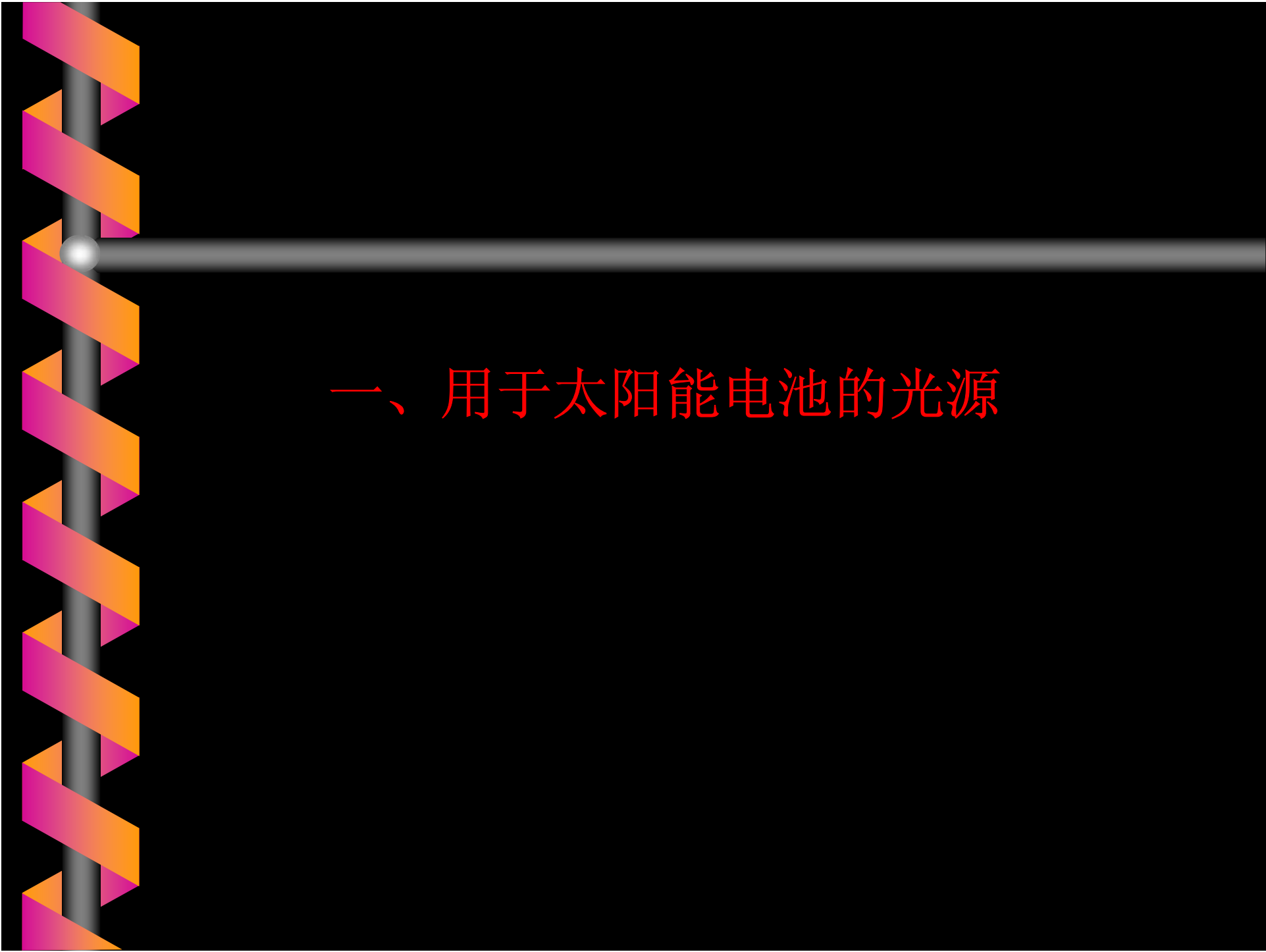


在介绍本章内容之前，我们先来复习一下光强的概念。

人们一般用辐射通量来表示光强，指的是单位时间里通过单位面积的能量，单位是 W/cm^2 。

另外，由于人的眼睛只对可见光有视觉，所以也有用光能与人的视觉灵敏度结合起来表示光强的，也即用在单位时间里入射的可见光的量对人的视觉所产生的亮度来表示，可见光的量叫光通量，单位用流明。在受光照的面上，单位面积的光通量叫照度，单位用勒克司表示。

因此，在太阳能电池的应用中，光强一般用 W/cm^2 表示，但在电子产品中，有时也用lx（勒克司）表示。



一、用于太阳能电池的光源

一般用于太阳能电池的光源在室外是太阳光，在室内主要是荧光灯和白炽灯。

表 4-1 以太阳能电池为对象的光源

用于太阳能电池的光源	自然光 (太阳光)	AM-0 AM-1 AM-1.5 其 他	大气层外(地球平均公转轨道上的太阳光) 太阳正中 (太阳在南面正中时赤道海平面上的垂直日照) 一定的天顶角 (设正中为 0° ，太阳光的人射角 48° 时的日照) AM-2 (天顶角 60° 时的日照)等
	人 工 光	白炽灯 荧光灯 各种放电灯	普通白炽灯、卤钨灯，A-D 光源等 日光色、白色、温白色等 水银灯、钠灯、氙灯等



1、太阳光

我们前面言中已经介绍过：太阳是一个有炽热气体组成的球体，其巨大的热能是由发生在球心的核聚变产生的，其中心附近温度估计可达两千万度，其表面的温度大约为6000K。

太阳光作为光源有以下特点：

1、与室内光相比能量密度大；

在地球表面上每一平方米最大约有1KW的光能，这相当于通常荧光灯的光强的一百多倍。

表 4-2 太阳光、荧光灯光的照度比较

光 源	状 况	照 度 (lx)
太 阳 光	直射光(最大值)	100,000—120,000
	晴天	80,000—100,000
	稍晴、薄云	40,000— 80,000
	阴雨	10,000— 30,000
荧 光 灯	设计台桌等(局部照明)	~1000
	办公室、会议室用	~ 500
	食堂、走廊用	~ 200
	楼梯、茶室用	~ 100



2、能量的频谱分布很宽；

正如前面所介绍的，太阳光谱具有紫外光-可见光-红外光这样分布很宽的光谱。

3、光照特性随时间和季节的变化大；

太阳光强度不仅在地球的各个地方不一样，而且就是在同一个地方，随时间（例如：早上和中午和晚上）和四季的不同也有很大的差别。



在涉及到太阳光做光源时，常用到 Air Mass (AM) 的概念。

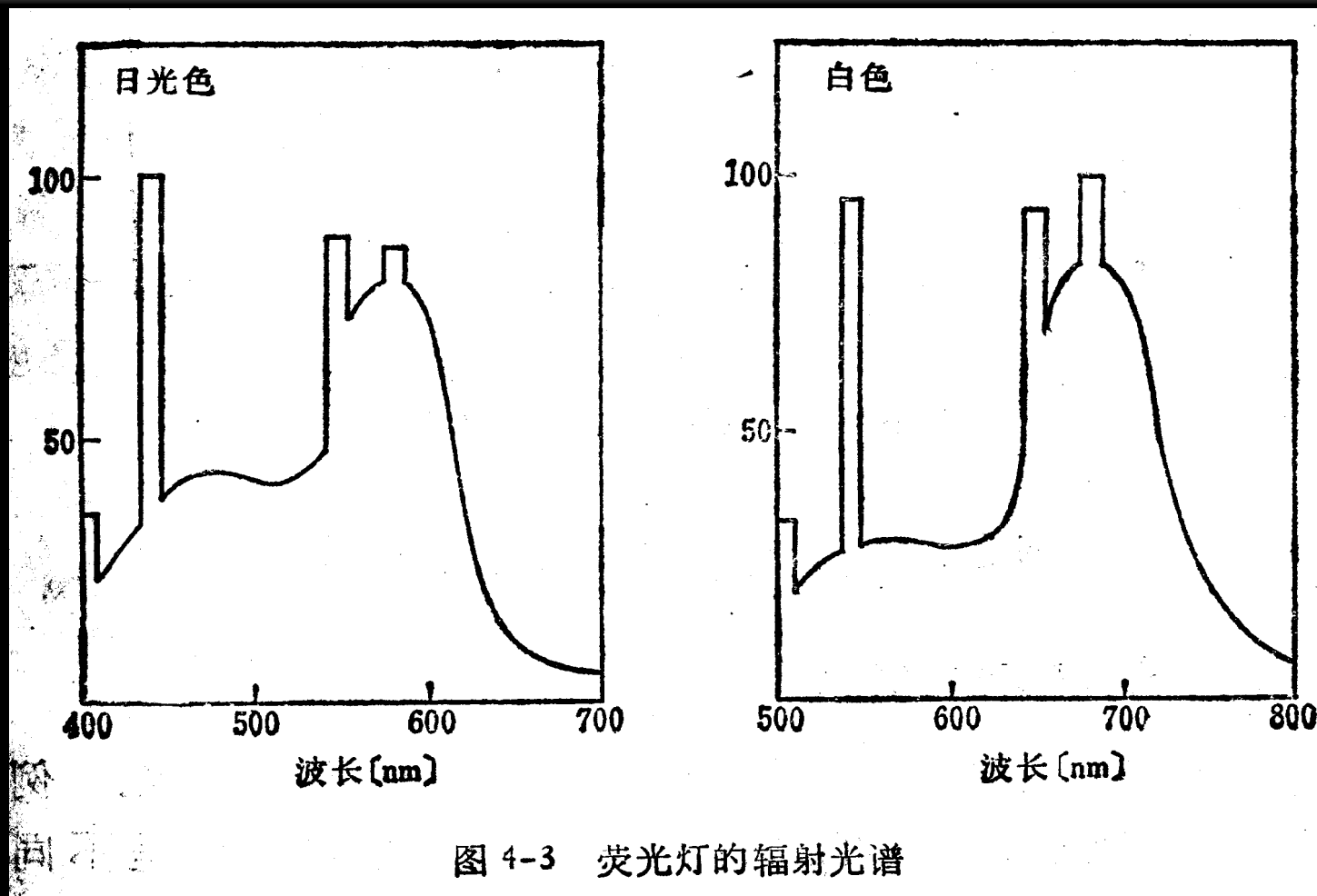
AM0: 表示太阳光通过的大气量为零，即为大气层以外的太阳光。其值就是太阳常数，为 140mW/cm^2 。宇宙用的太阳能电池的特性，通常是对 AM0 的太阳光而言的。

AM1: 表示太阳在正上方、恰好是赤道上海拔为零米处正南中午时的垂直日射光。晴朗时的光强约为 100mW/cm^2 ，该值有时被称为一个太阳。所谓太阳的单位多半用于聚光型的太阳能电池，例如三个太阳意味着 300mW/cm^2 。

AM1.5和AM2: 分别指天顶角为48度和60度时的太阳光，光强是 100mW/cm^2 和 75mW/cm^2 。

2、荧光灯

室内最一般的照明光源是荧光灯，其特点是大部分的辐射能量分布在波长400-700纳米的可见光范围。





3、标准光源

如果能够得到与标准太阳光谱一致的并且光照强度又可以任意改变的人工光源当然是最理想的太阳能电池的测试光源，但是目前而言还是很困难的，只能在某些方面满足要求。

现在的标准照明电源主要采用Xe灯光源以及充气钨灯泡（A光源）等。其余的所谓B、C、D光源都是由A光源加上不同的光学滤光片组合而成，从而改变了色温度。



Xe灯作为标准光源有以下特征：

- 1、色温度为6000K，与太阳表面温度(5762K)非常接近；
- 2、亮度高，用适当的光学装置就可以得到平行性很好的光束；

但是，Xe灯也有不足之处，主要是在近红外区域（800-1000nm）存在着较强的发光线，必须要进行补正。

下图是Xe灯的分光光谱，可以看出在近红外区域的强发光线并随灯丝电流的增加而变强。

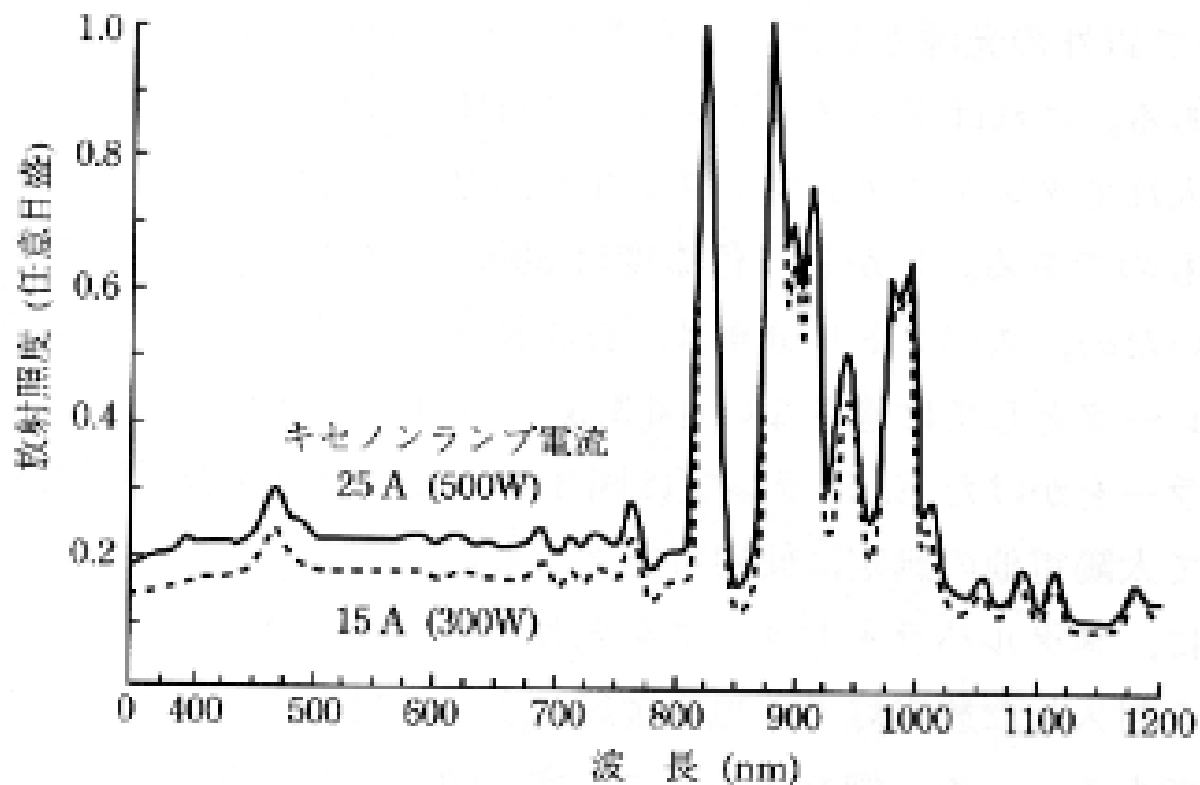


図 3.3 500 W Xe ランプ分光放射照度のランプ電流依存性

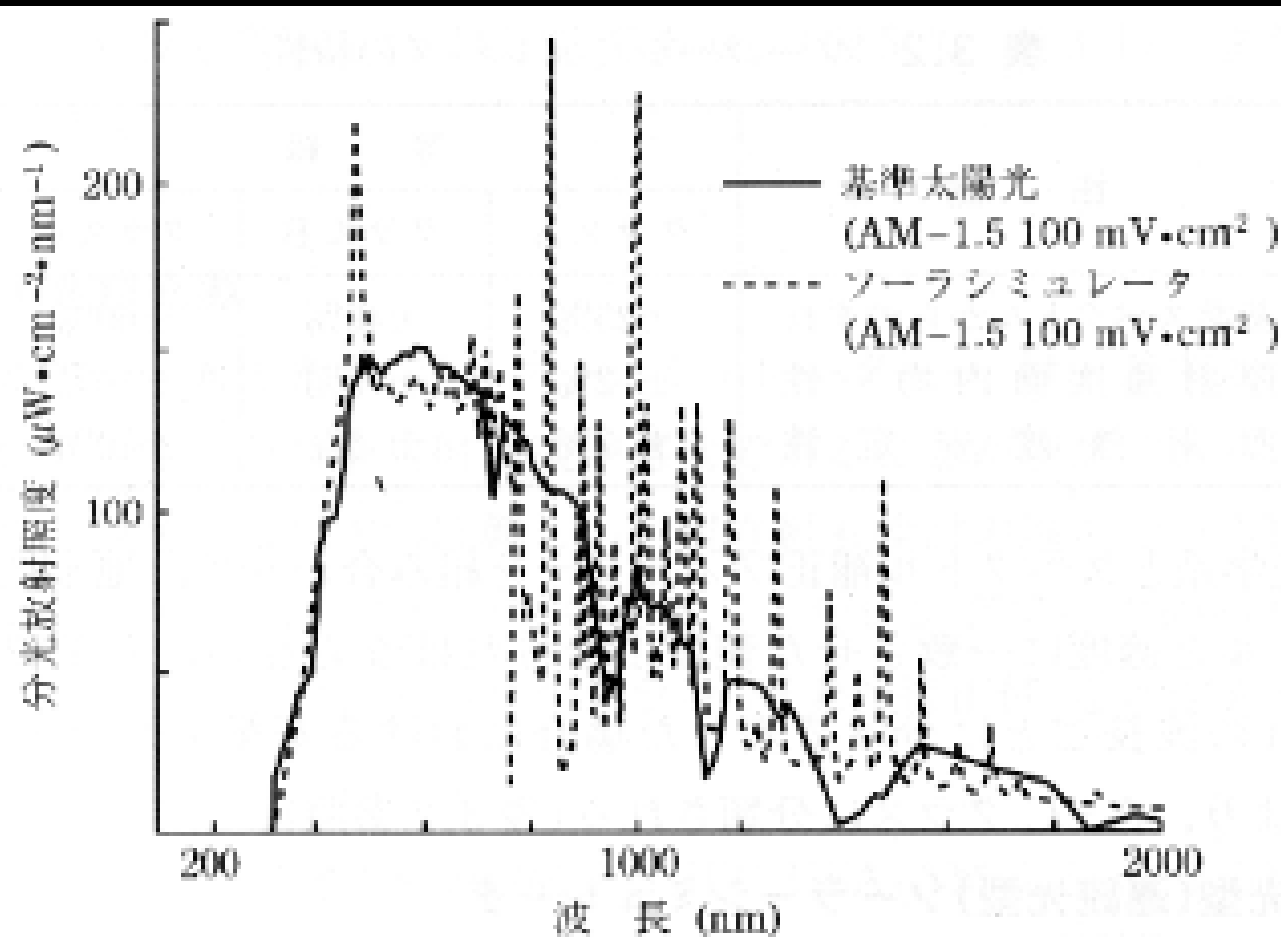
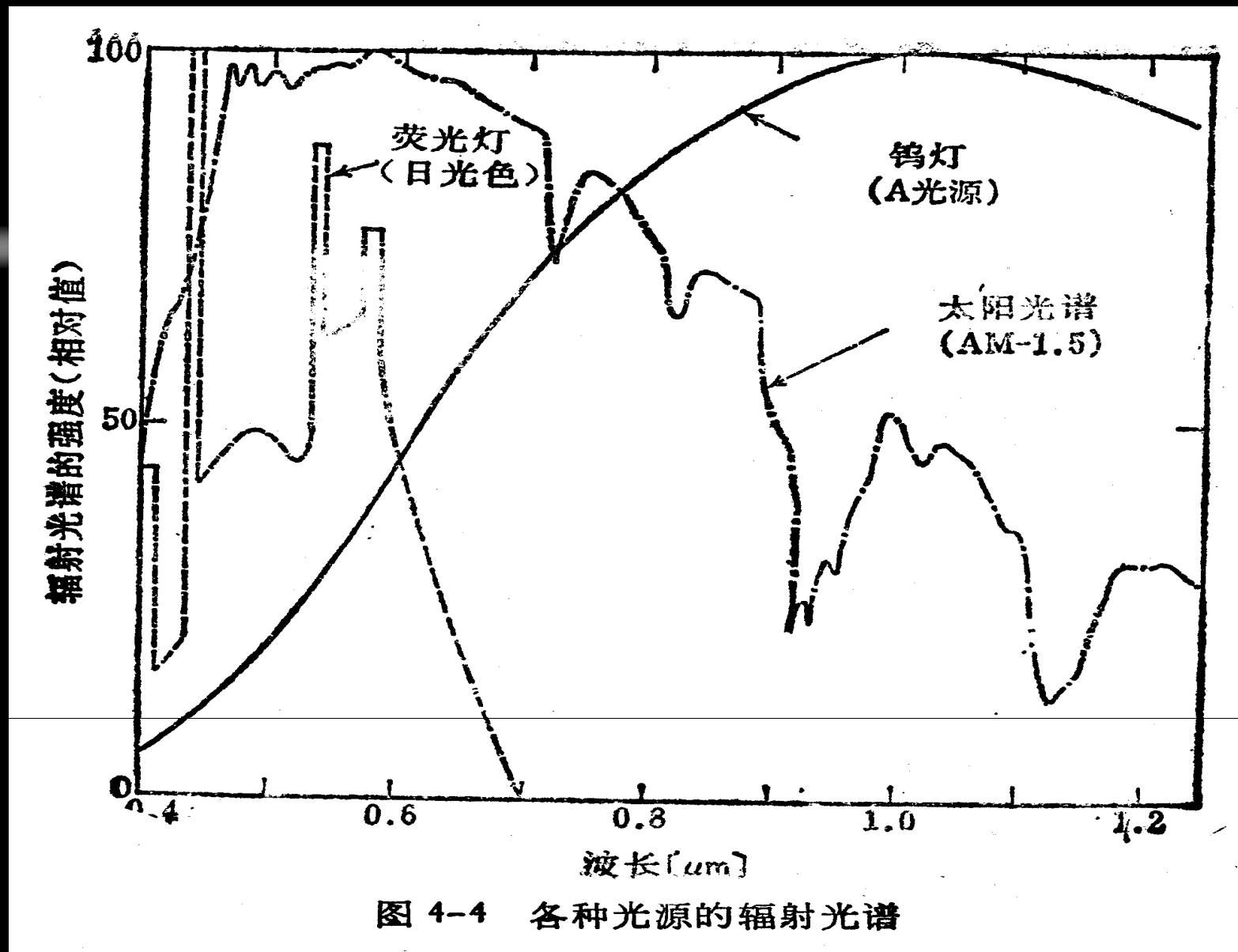
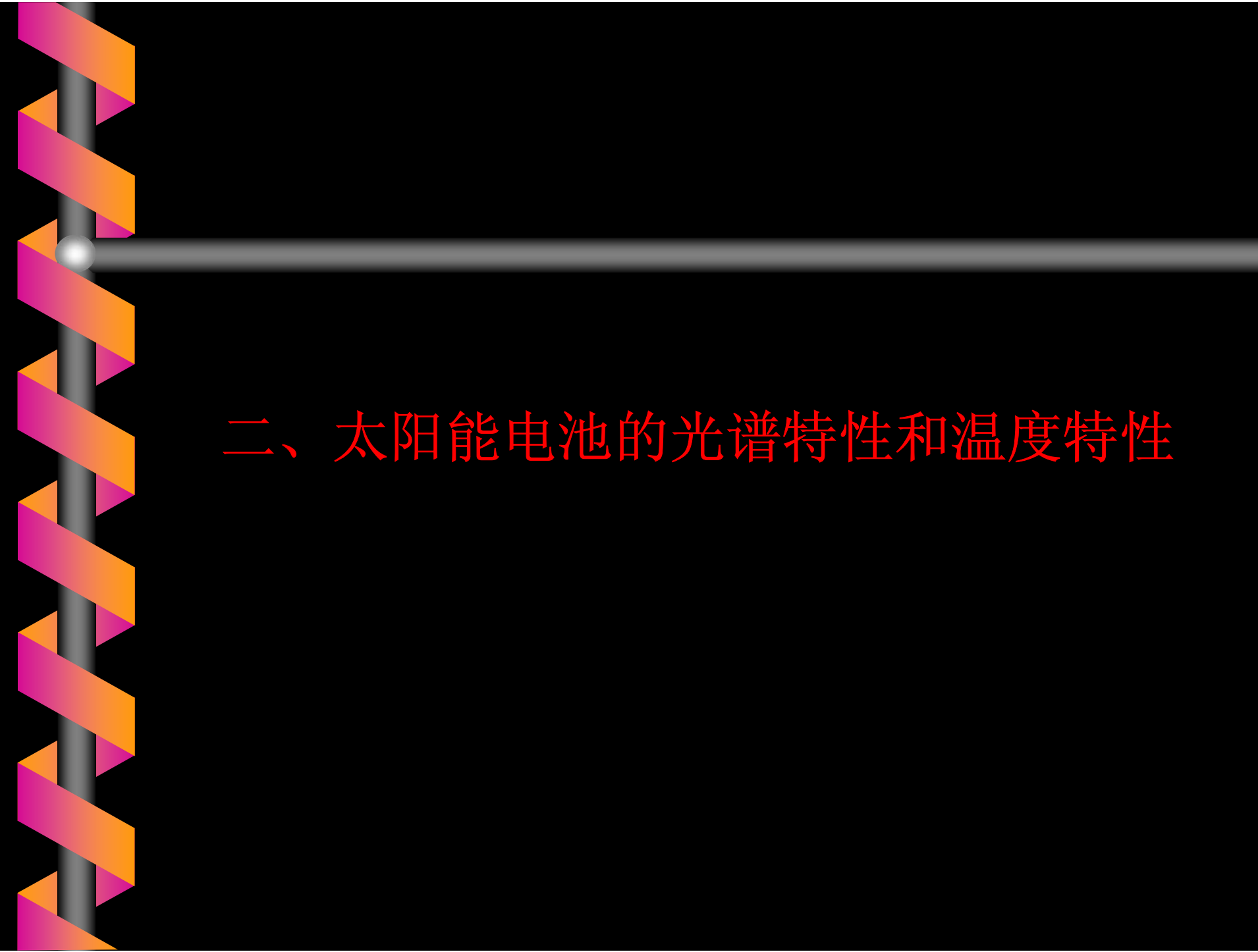


図 3.4 AM-1.5 ソーラシミュレータの分光放射特性

上图是补正后的标准光源与AM1.5太阳光谱的比较。



这是各种光源，包括钨灯A光源的辐射光谱的比较。



二、太阳能电池的光谱特性和温度特性



1、光谱特性的意义

太阳能电池并不能把任何一种光都同样地转换成电。例如：通常红光转变为电的比例与蓝光转变为电的比例是不同的。

由于光的颜色（波长）不同，转变为电的比例也不同，这种特性称为光谱特性。



光谱特性通常用收集效率来表示；所谓收集效率就是用百分数（%）来表示一单位的光（一个光子）入射到太阳能电池上，产生多少电子（和空穴）。一般而言，一个光子产生的电子（和空穴）数目是小于1的。

光谱特性的测量是用一定强度的单色光照射太阳能电池，测量此时电池的短路电流，然后依次改变单色光的波长，再重复测量以得到在各个波长下的短路电流，即反映了电池的光谱特性。

2、各类太阳能电池的光谱特性

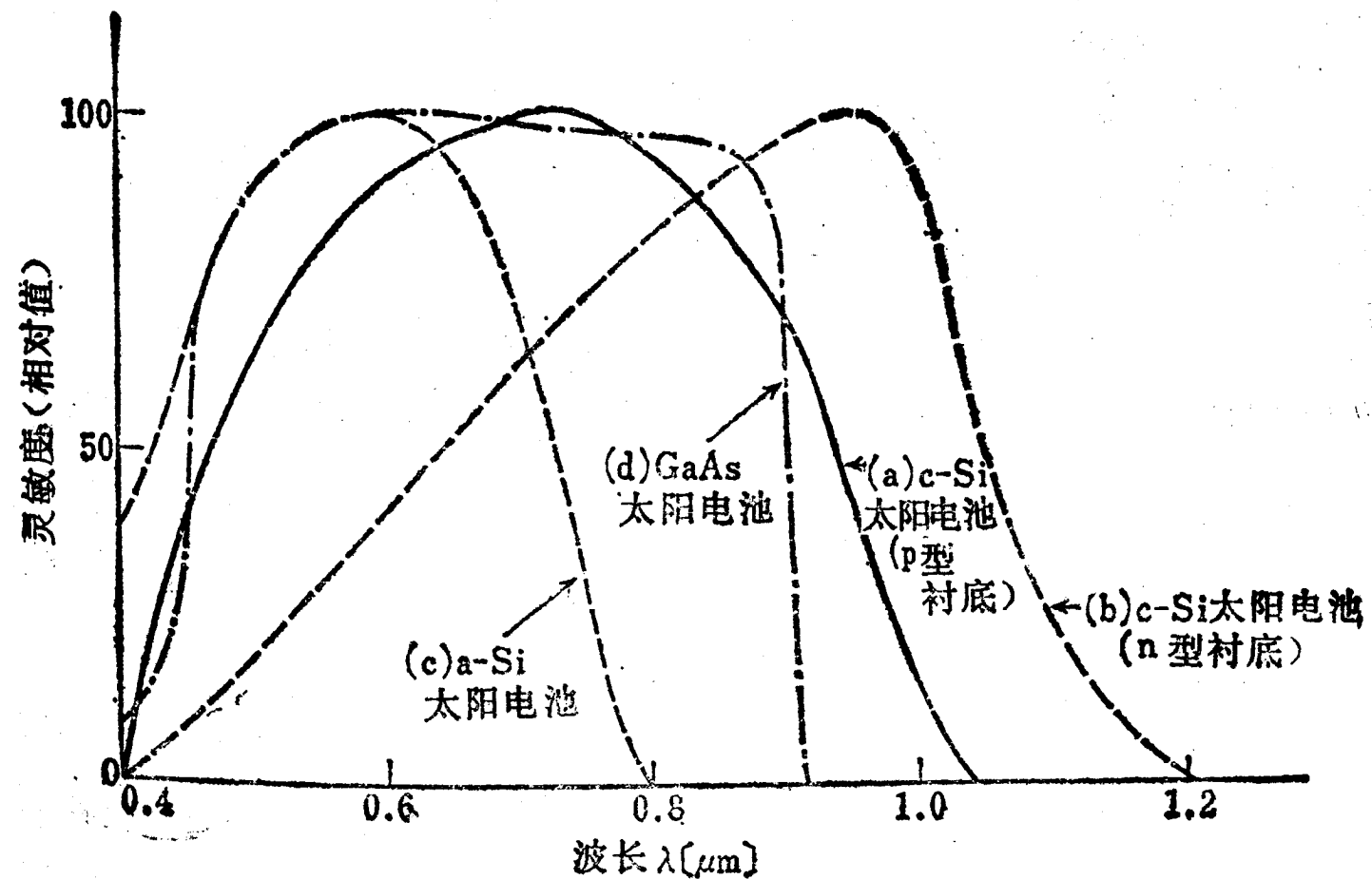


图 4-5 各种太阳能电池的光谱特性



单晶硅太阳能电池的光谱特性:

单晶硅太阳能电池的特点是对大于 $0.7\mu\text{m}$ 的红外光也有一定的灵敏度。以p型单晶硅为衬底，其上扩散n型杂质的太阳能电池与n型单晶硅为衬底的太阳能电池相比，其光谱特性的峰值更偏向左边（短波长一方）。另外，对于前面介绍过的紫外光太阳能电池，它对从蓝到紫色的短波长（波长小于 $0.5\mu\text{m}$ ）的光有较高的灵敏度，但其制法复杂，成本高，仅限于空间应用。此外，带状多晶硅太阳能电池的光谱特性也接近于单晶硅太阳能电池的光谱特性。



非晶硅太阳能电池的光谱特性:

非晶硅太阳能电池的光谱特性随着其材料的组成和结构、膜厚等因素的变化而有很大的不同。前面所示的是典型的非晶硅太阳能电池的光谱特性。非晶硅薄膜的带隙是 1.7eV ，比单晶硅的带隙 1.1eV 大，所以其灵敏度比单晶硅更偏向短波一侧，这是它的一个优点。



化合物半导体太阳能电池的光谱特性：

化合物半导体太阳能电池有许多种类，其光谱特性也各种各样。前图中给出了最常见的GaAs-GaAlAs太阳能电池的光谱特性，它在短波长一侧的收集效率较高。



3、光谱特性与太阳能电池的应用

从太阳能电池的应用角度来说，太阳能电池的光谱特性与光源的辐射光谱特性相匹配是非常重要的，这样可以更充分地利用光能和提高太阳能电池的光电转换效率。例如，有的电池在太阳光照射下能确定转换效率，但在荧光灯这样的室内光源下就无法得到有效的光电转换。

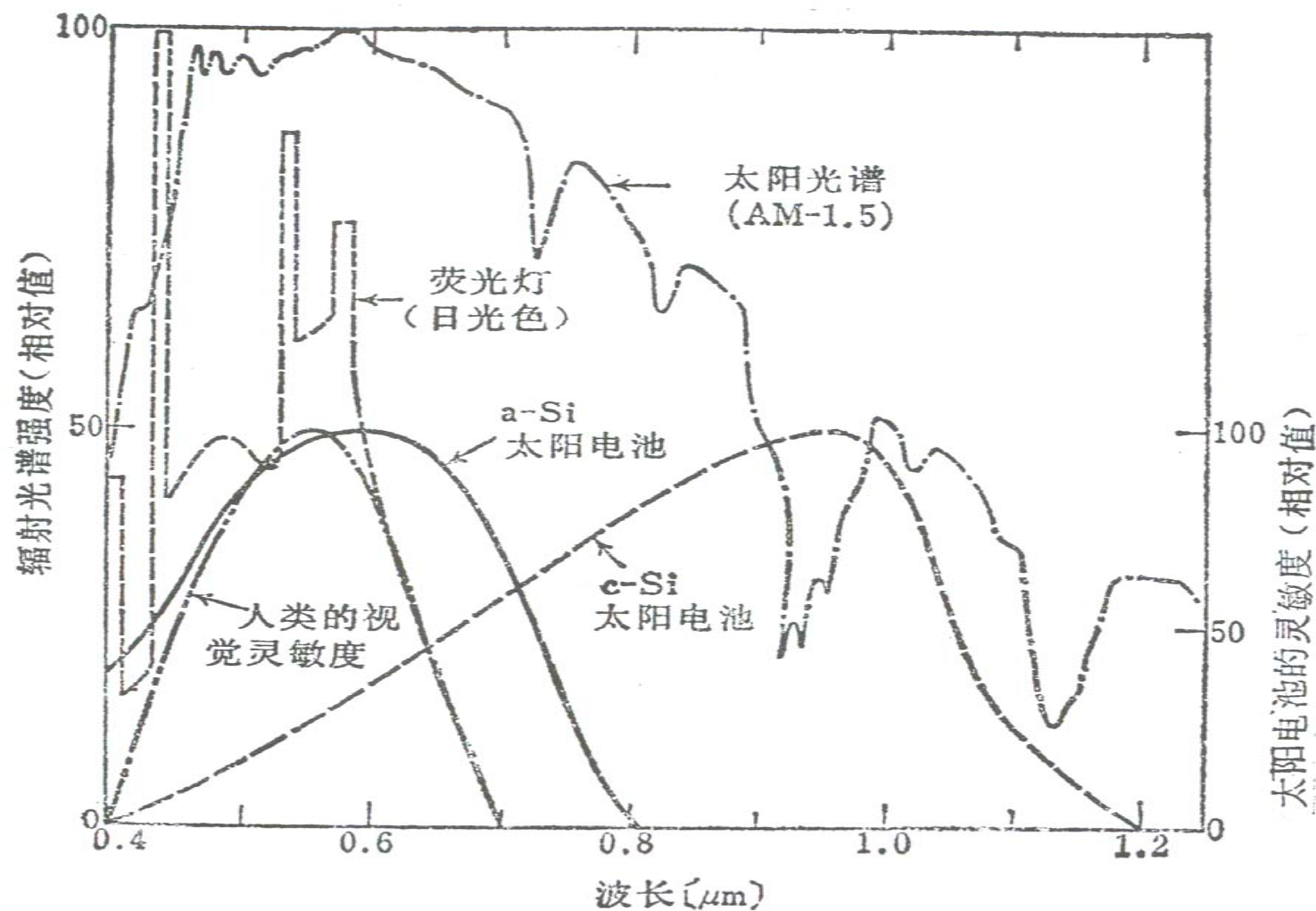


图 4-6 光源的辐射光谱和太阳电池的光谱特性

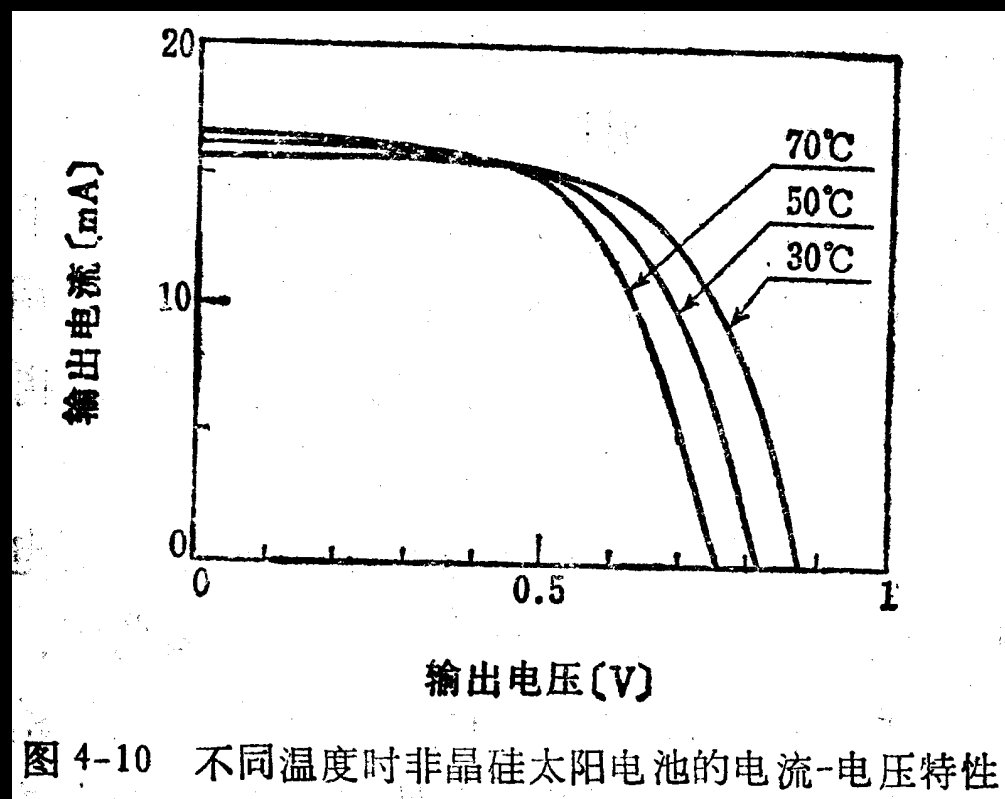
图中给出了各种光源的辐射光谱特性和一些太阳能电池的光谱特性以及人类视觉的灵敏度。



如前图反映的那样，不同的太阳能电池与不同的光源的匹配程度是不一样的。而光强和光谱的不同，会引起太阳能电池输出的变动。就人眼的感觉而言，在室外太阳光下和在室内荧光灯下，其亮度并不觉得差别很大。但其能量的绝对值却相差数百倍。由于各种太阳能电池的光谱特性不同，所以太阳能电池的输出特性随所用的光源的光谱不同而变化较大。这是在太阳能电池应用时需要注意的问题。

4、太阳能电池的温度特性

除了太阳能电池的光谱特性外，温度特性也是太阳能电池的一个重要特征。对于大部分太阳能电池，随着温度的上升，短路电流上升，开路电压减小，转换效率降低。下图是非晶硅太阳能电池的输出特性随温度变化的一个实际例子。



下表中给出了单晶硅、多晶硅和非晶硅太阳能电池的输出特性的温度系数。可以看出，随着温度变化，开路电压变小而短路电流略微增大，导致转换效率的降低。单晶硅与多晶硅的转换效率的温度系数几乎相同，而非晶硅因为它的带隙大因而温度系数较低。

表 4-3 太阳电池输出特性温度系数的实例 (太阳光下)
(表中的数值表示温度变化 1°C 的变化率($\%/^{\circ}\text{C}$))

种 类	V_{oc}	I_{sc}	F. F.	η
单晶硅太阳电池	-0.32	+0.09	-0.10	-0.33
多晶硅太阳电池	-0.30	+0.07	-0.10	-0.33
非晶硅太阳电池	-0.36	+0.10	+0.03	-0.23

在太阳能电池实际应用时，就必须考虑到它的输出受到温度的影响。特别是室外使用的太阳能电池，由于阳光的作用，太阳能电池在使用过程中温度可能会变的较高。在这方面，带隙大的材料做成的电池的温度效应就小于带隙窄的材料（如下图所示）。因而 GaAs太阳能电池的温度效应较小，有利于做成高聚光型太阳能电池。

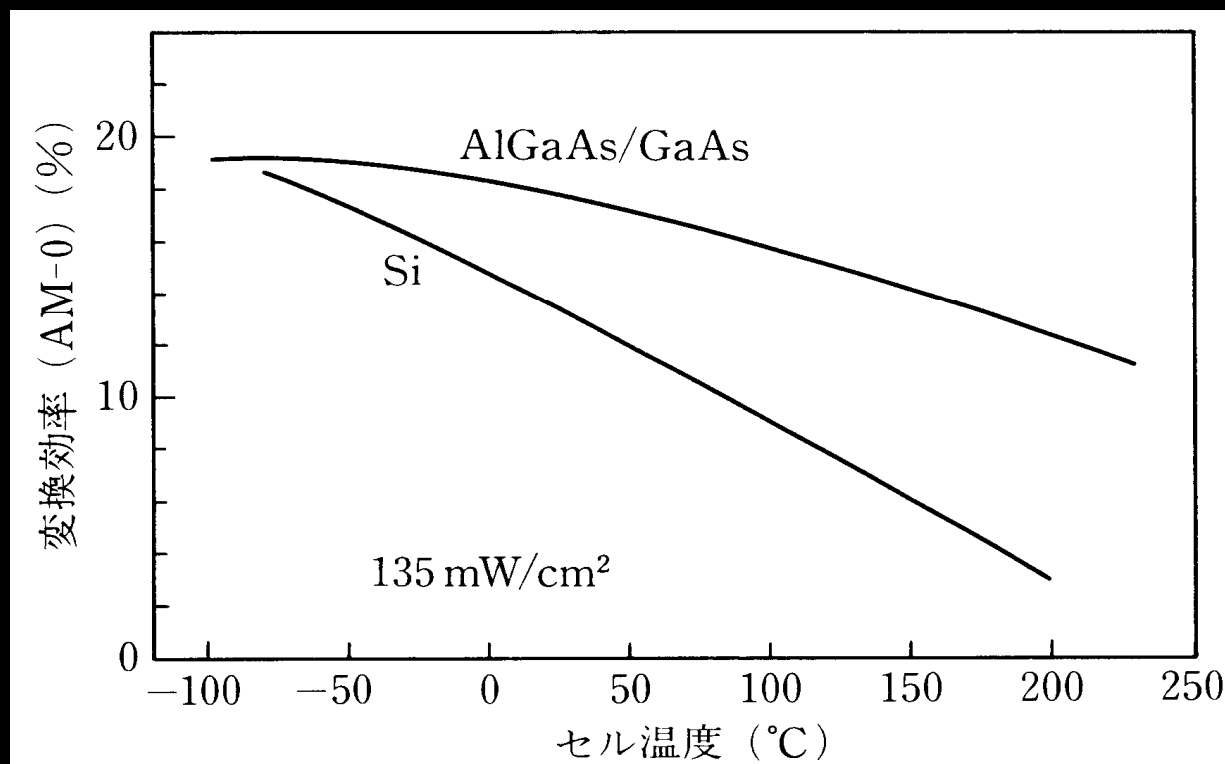


図 4.79 Si および GaAs 太陽電池の効率の温度依存性



三、太阳能电池的测量



1、太阳能电池输出特性测量的基本方法

直接用辐射强度计测量阳光的入射功率，然后用被测电池的最大输出功率与阳光入射功率相比，即可求得该电池的转换效率。这种方法看起来简单，实际上却比较复杂，因为电池性能不仅决定于光源的入射功率，还与光谱成分有关，并且在室外测试时，气象条件的影响也很大，加上辐射强度计本身有5%的定标误差，因而同一电池在不同时间、不同地点测出的数据也可能很不一样。



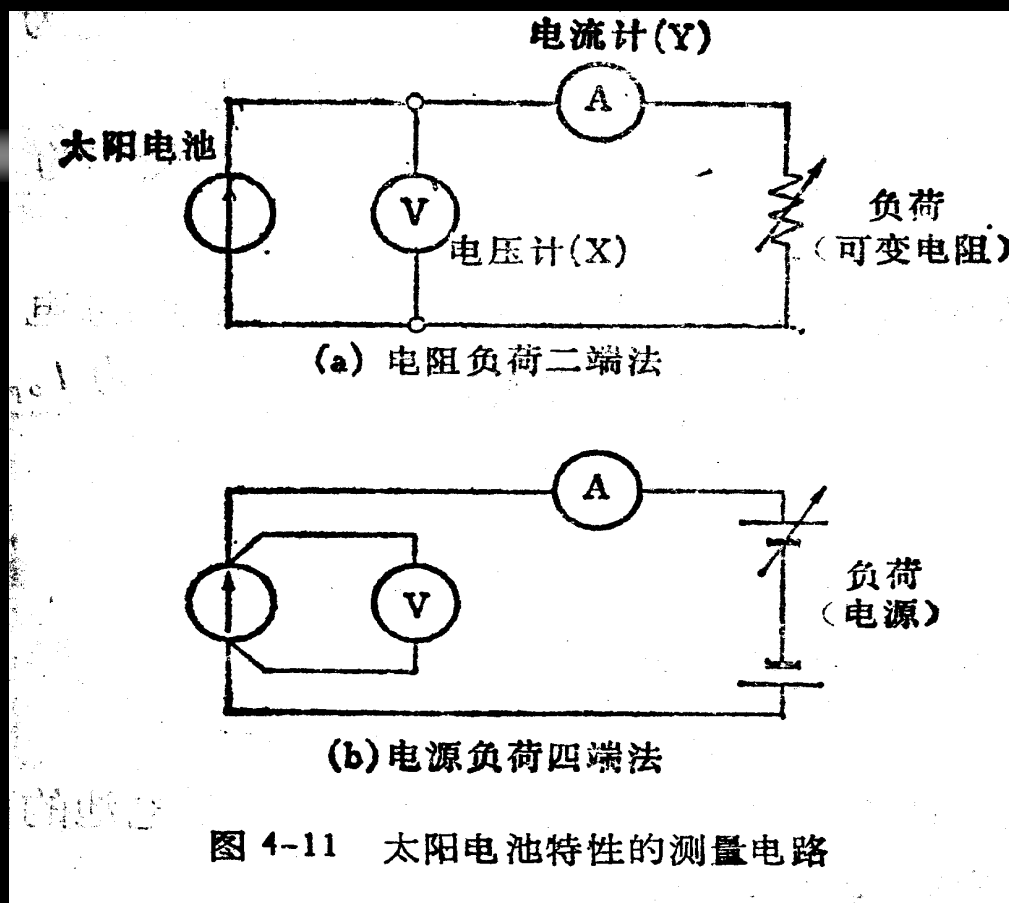
为了对太阳能电池的输出特性作出正确的评价，
测量和计算应该按下面三个步骤依次进行：

1、测量入射于太阳能电池的光强；

要想知道在室内照明灯下太阳能电池的特性，首先要确定光源的种类（白色荧光灯、白炽灯等），再测量照度。要了解太阳光下太阳能电池的特性时，采用室外的太阳光，或者采用接近于太阳光的模拟太阳光作光源，再测量光的强度。

在测量光的强度时，要用一预先已知光强和输出电流关系的参考电池作为标准，或者直接测量光的能量和光谱。

2、测量太阳能电池的输出特性；



左图是太阳能电池输出特性测量电路示意图。其中图(a)由电池、电压表、电流表和可变负载组成，改变可变电阻值即可得到电池的输出特性；当太阳能电池的输出电流很大时，由于电流表的内电阻和太阳能电池的引线电阻，就不能正确测量了。

此时，要用图(b)所示的电路用两个回路来分别测量电压和电流以减少导线电阻的影响，同时用可变电源作负载以补偿电流表内电阻的影响。



在使用电路(a)测量太阳能电池的输出特性时，可使可变电阻开路来测开路电压，使可变电阻短路来测短路电流；在用电路(b)进行测量时，可调节电源负载使电流为零来测量开路电压，调节电源负载使输出电压为零时，则可得到短路电流。

3、计算电池的转换效率；

根据所测得的太阳能电池的输出特性，计算出各点的电压与电流乘积，然后求出：

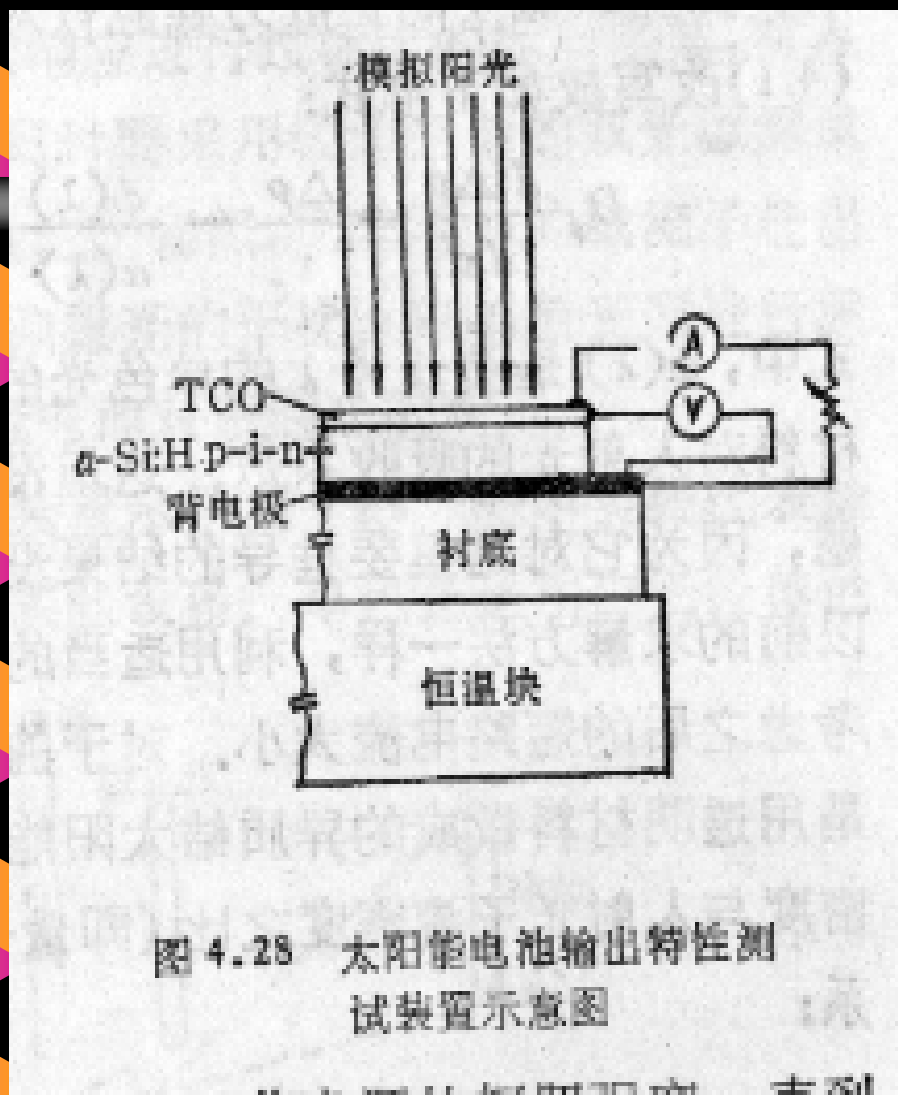
最佳工作电压 V_{op} ：即太阳能电池输出为最大时的电压；
最佳工作电流 I_{op} ：即太阳能电池输出为最大时的电流；

据此计算出填充因子和转换效率：

$$FF = V_{op} \times I_{op} / V_{oc} \times I_{sc}$$

$$\eta = V_{op} \times I_{op} / S \times P_{in}$$

其中 S 是电池面积，而 P_{in} 是步骤1中得到的入射光功率。



下图是太阳能电池输出特性测试的装置示意图。此处为了消除测试引线的串联电阻和相关的接触电阻对测量结果的影响，电压引线和电流引线是分开的。同时，整个被测电池与恒温块接触，保持温度在25度或28度，这两个温度都是太阳能电池测试的标准温度。测试前，先用标准电池调节光源的辐照度，直到标准电池的输出特性达到其标定参数为止。然后再测试待测的太阳能电池样品。



2、太阳光下的转换效率与输出特性

如果要想得到在太阳光下的电池的转换效率和输出特性，特别是把室外太阳光直接作为测试光源时，必须注意取光条件以及日照的变化，周围有建筑物时，还要考虑它们的散射光的影响，因而比较复杂。所以多采用模拟太阳来作为测量用光源。

模拟太阳是Xe灯和滤光镜的组合。包括短弧氙灯（Xe灯）、反射镜、空气质量滤光器、积分器、石英透镜等装置。

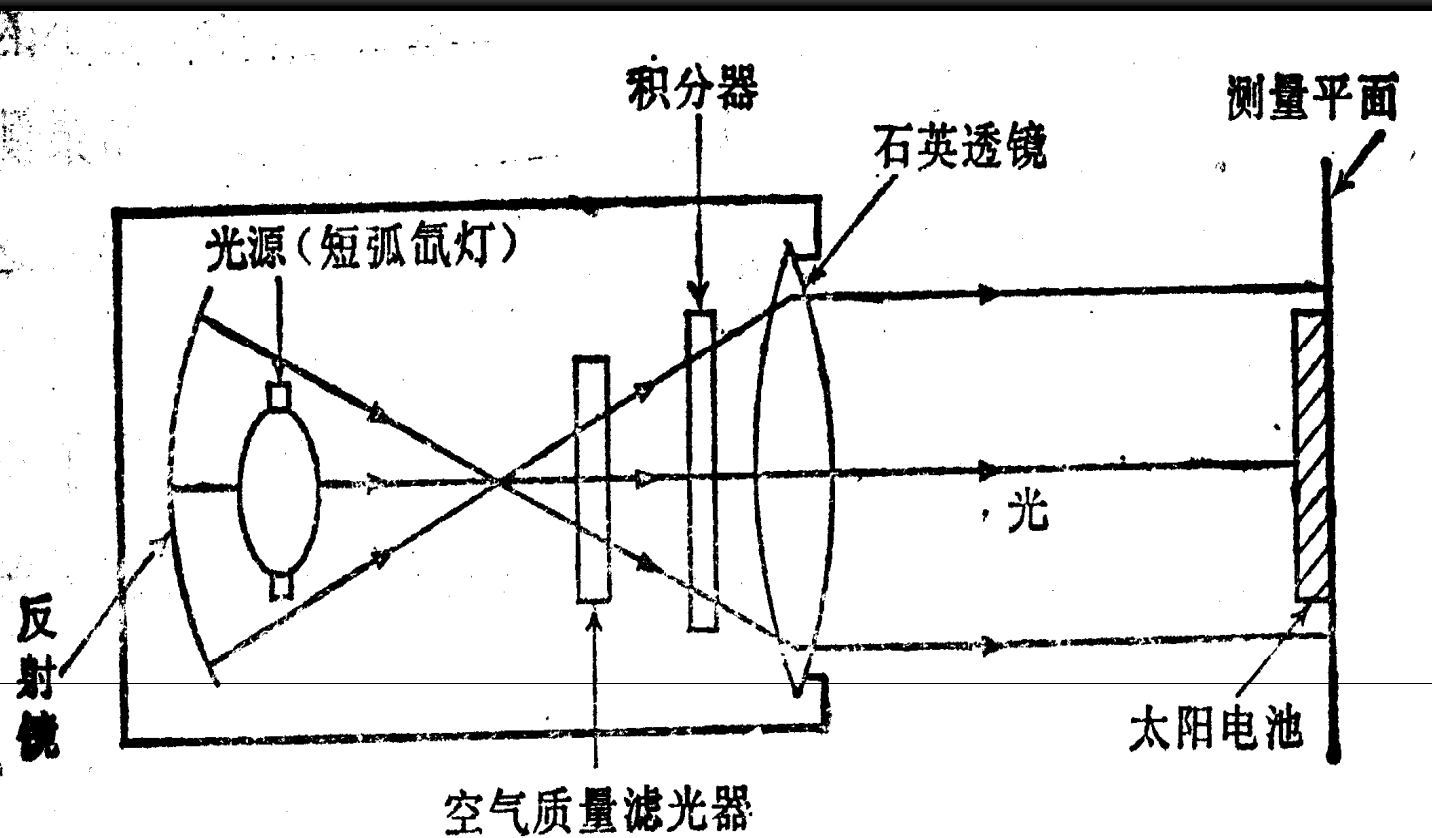


图 4-12 太阳模拟器的基本组成



由氙灯发出的光经过反射镜（蒸铝的凹面镜）而聚焦，接着通过空气质量滤光镜除去氙灯特有的在800-1000nm的光谱，并使整个光谱接近于AM1或AM1.5的太阳光。然后利用积分器和石英透镜形成面分布均匀的平行光，使得在测量平面上的太阳能电池受到均匀模拟太阳光的照射。

但是，由于模拟太阳光不可能得到严格与AM1或AM1.5一样的光，所以要准确地测量，必须对光谱灵敏度进行换算。此外，在太阳光下进行测量时，强光照射引起太阳能电池本身的温度上升以及大的输出电流时，电路的串联电阻的影响会比较明显，需要进行校正。



3、荧光灯下的转换效率和输出特性

荧光灯和白炽灯等室内照明灯光，其光强用勒克司(lx)来表示。勒克司的单位不是描述光的能量强度，而是描述人眼感觉的亮度的单位，所以不能直接代入计算公式求出转换效率。可以用与太阳光测量时一样的方法，用功率计来测量光能。不过，要准确测量较低的光能是困难的，通常不去计算转换效率，而是计算一定照度下单位面积太阳能电池的最大输出功率。



测量室内照明灯光下的太阳能电池的特性时，需要注意的是杂散光和测量仪器（电压表）的内阻。所谓杂散光，是测量用光源以外的光，准确的测量必须在暗室。使杂散光的影响减到最小的情况下进行。至于电压表的内阻，由于输出电流很小，如果测量仪器的内阻小，则有较多的电流消耗在测量仪器的内部，这在测量时也要注意。



第六章 太阳能电池的应用与未来展望



在使用太阳能电池前，首先要明确是哪一种应用，例如：考虑用于计算器电源，因为计算器一般是在室内使用，很少直接以太阳光作为光源，并且计算器由计算处理用的大规模集成电路部分和液晶显示部分组成，它们的功耗现在大约 $10\mu\text{W}$ ，驱动电压是 1.5V 至数伏。所以用于计算器的太阳能电池要选择在荧光灯下能获得功率为 $10\mu\text{W}$ 、电压为 1.5V 至数伏的太阳能电池，据此，集成型非晶硅太阳能电池应该是较合适的选择。



所以，在应用太阳能电池时，要明确以下几项：

- 1、所需的功率；
- 2、必须的电压；

这两项是由使用的负载装置决定的，应注意的是所需的功率是否是恒定的，如需瞬时大功率输出时，最好考虑采用蓄电装置（如电容器或蓄电池）。此外，要了解电压对稳定度的要求。

- 3、可能利用的光源；

可能利用的光源由所使用的场所决定。大致分为室外自然太阳光为光源和以室内荧光灯等人造光为光源。要注意的是室内弱光条件下使用的太阳能电池不能用于需大功率的负载的机器。



4、光源的稳定性；

对于太阳光必须考虑光源的稳定性，在不同时间和季节入射光的强度是不同的，不能得到稳定的功率输出。

5、使用时的环境；

在室内使用的太阳能电池问题不大，在室外使用的电池必须考虑环境问题，包括使用时的温度以及自然气候（风、雪、冰雹等）的影响。



一、太阳能电池应用系统



太阳能电池发电的特点:

1、太阳光能量几乎是无限的;

我们前面已介绍过, 太阳位于离地球一亿五千万公里远的地方, 因核聚变反应而产生巨大的能量, 赐予地球的能量也达 $1.77 \times 10^{14} \text{KW}$ 。太阳的寿命与人类历史相比可以说是半永久的, 而且它供应的燃料是免费的。

2、无污染的清洁能源;

太阳能电池是利用光生伏特效应直接由光变为电, 所以那些燃料燃烧过程以及马达等运动部件均不需要了。因此既无废弃物排除, 也无噪音。



3、无论规模大小，发电效率几乎相同；

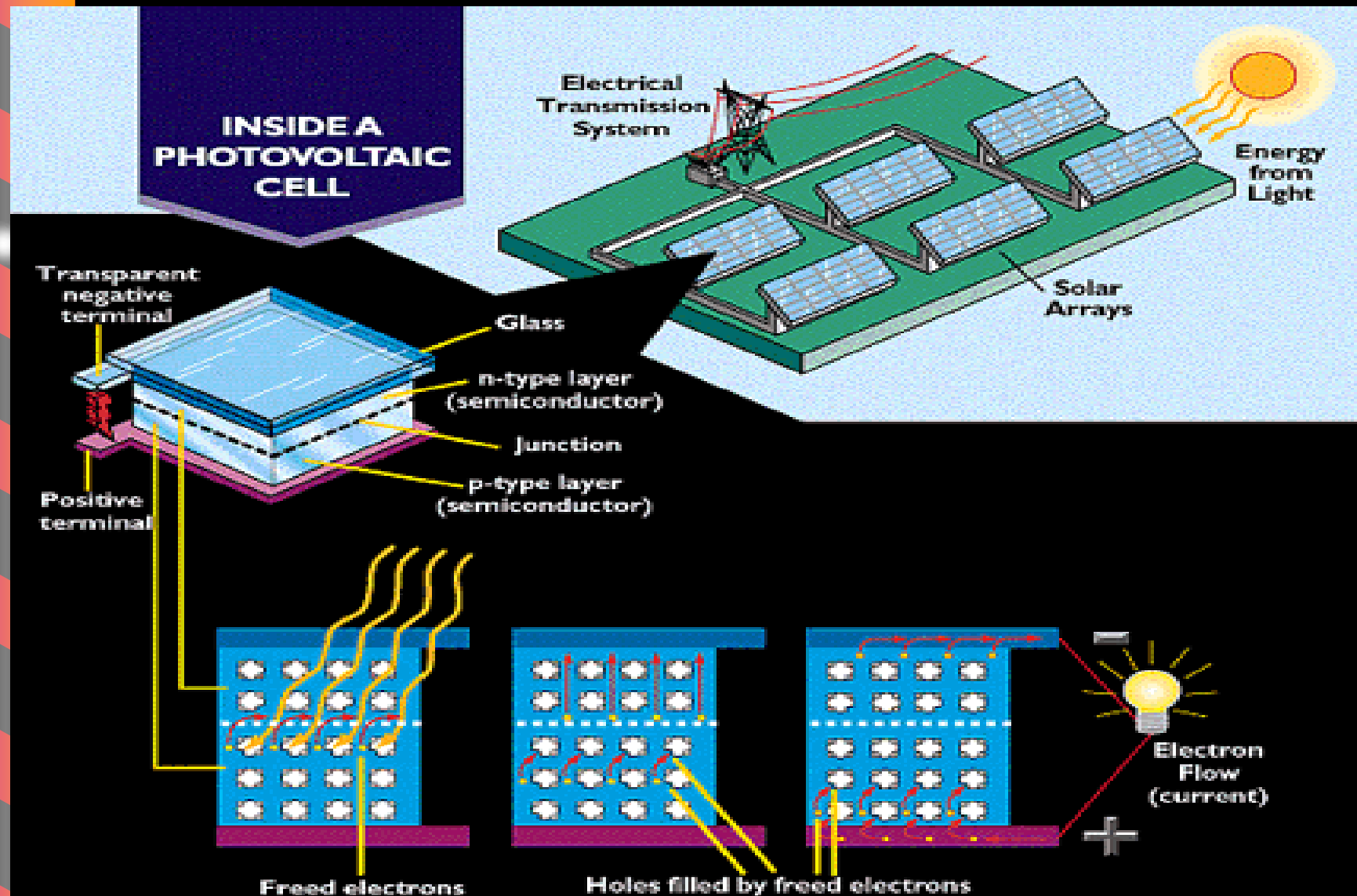
由于是利用半导体中的量子效应来发电的，因此无论是1W的发电系统还是100KW的发电系统，其效率几乎是相同的。

4、能在用电现场发电；

以往的发电系统从发电站到消费地需要送电，而太阳能发电，只要把装置安装在有阳光的地方，即在用电点现场就能发电用电。

5、即使利用散射光也能发电；

太阳能电池不只是在直射的日光下能发电，即使是阴天的阳光或是室内的荧光灯等也能发电，其转换效率几乎不随光的强弱而变化。



图示为太阳能电池如何工作的原理示意图



PV-generated power offers advantages over diesel generators, primary (one-time use) batteries, and even conventional utility power. These benefits make PV the power of choice in more and more cases every day:

- ▶ High Reliability
- ▶ Low Operating Costs
- ▶ Modularity
- ▶ Low Construction Costs

High Reliability

PV cells were originally developed for use in space, where repair is extremely expensive, if not impossible. PV still powers nearly every satellite circling the earth because it operates reliably for long periods of time with virtually no maintenance.



This PV-powered water-level monitor on the Laramie River in Wyoming will operate reliably for several years with little or no maintenance. (Photo: W. Gretz, NREL)

Low Operating Costs

PV cells use the energy from sunlight to produce electricity—the fuel is free. With no moving parts, the cells require little upkeep. These low-maintenance, cost-effective PV systems are ideal for supplying power to communications stations on mountain tops, navigational buoys at sea, or homes far from utility power lines.



Once installed, PV power systems can operate continuously with little upkeep and minimal operating costs.



Modularity

A PV system can be constructed to any size based on energy requirements. Furthermore, the owner of a PV system can enlarge or move it if his or her energy needs change. For instance, homeowners can add modules every few years as their energy usage and financial resources grow. Ranchers can use mobile trailer-mounted pumping systems to water cattle as the cattle are rotated to different fields.

Low Construction Costs

PV systems are usually placed close to where the electricity is used, requiring much shorter power lines than if power is brought in from the utility grid. In addition, using PV eliminates the need for a step-down transformer from the utility line. Less wiring means lower costs, shorter construction time, and reduced permitting paperwork, particularly in urban areas.



In the village of Cacimbos in the state of Ceará, Brazil, people are several miles from a utility grid. So, each of these homes has a 50-watt PV system to provide enough power for two fluorescent lights. (Photo: R. Taylor, NREL)



当然，太阳能发电也有一些必需考虑到的问题，主要是：

1、入射能量低，所需发电面积较大；

太阳光的强度在晴天时约为 $1\text{KW}/\text{m}^2$ ，假如用转换效率为10%的太阳能电池，每平方米只能得到100W电力。所以想得到大的电力，就需要大面积的太阳能电池。

2、输出取决于气象条件和入射光；

因是光生伏特效应，所以当入射光随气象条件而变化时，输出也变化。



3、输出是直流；

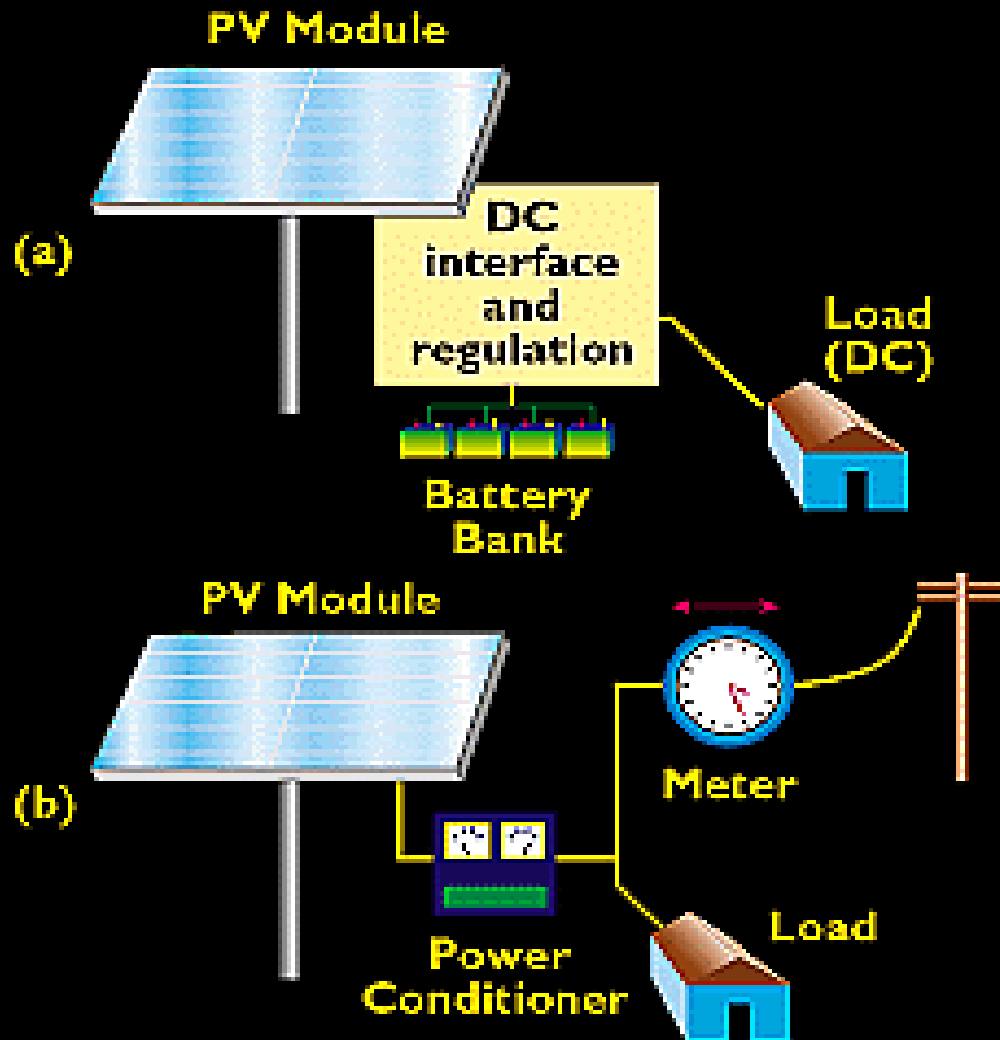
半导体光生伏特效应产生的电流是直流，因此如负载机器是用交流驱动的，则必须把直流变换为交流。

4、没有蓄电功能；

太阳能电池仅当有光照射时才能发电，因此在需要恒定输出的情况时，必需配备蓄电池。



We may think of a complete PV system as comprising three subsystems. On one side, we have the PV devices (cells, modules, arrays, etc.) that convert sunlight into direct-current (dc) electricity. On the other side, we have the load, or the application for which the PV electricity is intended. Between these, we need a third subsystem to enable the PV electricity to be properly applied to the load. This third subsystem is generally referred to as the "balance of system" or BOS.



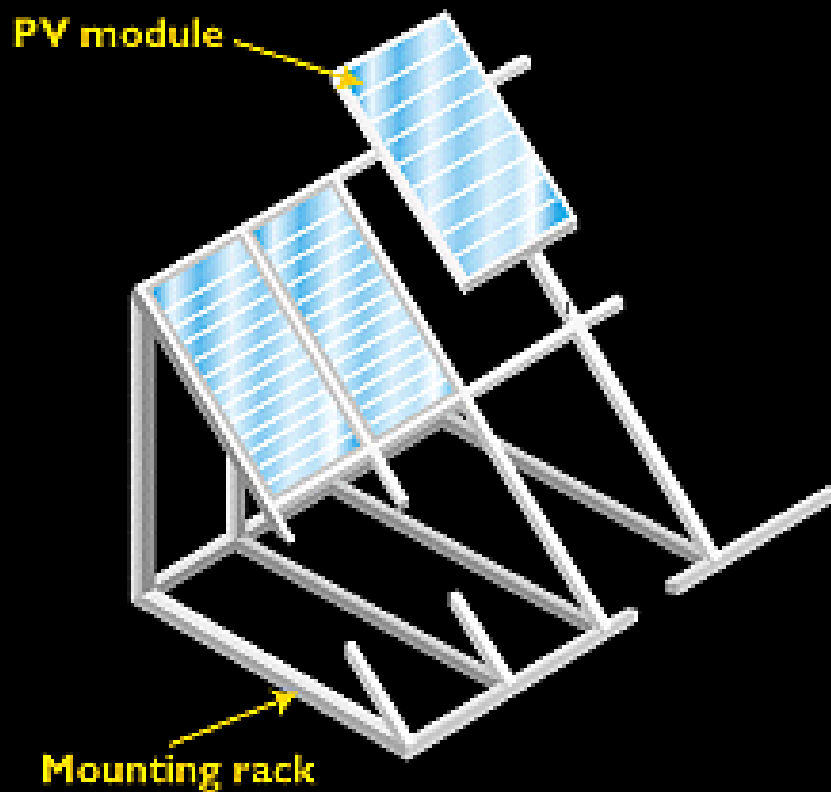
This simple illustration shows the elements required to get the power created by the PV system to the end load (in this example a house). The stand-alone system (a) uses battery storage to provide dependable dc electricity day and night. Even for a home connected to the utility grid (b), PV can produce electricity during the day (converted to ac through the power conditioner).

This configuration is desirable because extra electricity can be sold to the utility during the day, and the utility can in turn provide electricity at night or during poor weather. See this in action



The BOS typically consists of structures for mounting the PV arrays or modules and the power-conditioning equipment that adjusts and converts the dc electricity to the proper form and magnitude required by an alternating-current (ac) load. If required, the BOS also includes storage devices, such as batteries, for storing PV-generated electricity to be used during cloudy days or at night.

Photovoltaic arrays have to be mounted on some sort of stable, durable structure that can support the array and withstand wind, rain, hail, and other adverse conditions. Sometimes, the mounting structure is designed to track the sun.



Stationary structures are usually used with flat-plate systems and generally tilt the PV array at a fixed angle that is determined by the latitude of the site, the requirements of the load, and the availability of the sunshine.

There are two general kinds of tracking structures: one-axis and two-axis. Single-axis trackers are typically designed to track the sun from east to west on its daily route. They are used with flat-plate systems and some concentrator systems. The two-axis type is primarily used for PV concentrator systems. These systems track not only the sun's daily course but its seasonal course between the northern and southern hemispheres. Naturally, the more sophisticated the system the more expensive and the more maintenance it may require.





PV modules, because of their electrical properties, produce direct rather than alternating current (ac). Direct current (dc) is electric current that flows in a single direction. Many simple devices, such as those that run on batteries, use direct current. Alternating current, in contrast, is electric current that reverses its flow direction at regular intervals. This is the type of electricity provided by utilities and is required to run most modern appliances and electronic devices.

In the simplest systems, dc current produced by PV modules is used directly. In applications where ac current is necessary, an inverter can be added to the system to convert the dc current to ac current.



Power conditioners process the electricity produced by a PV system to make it suitable for meeting the specific demands of the load. Although most of this equipment is standard stock, it is extremely important to match the capabilities of these devices with the characteristics of the load. Power conditioners may have to perform these functions:

- Limit current and voltage to maximize power output
- Convert dc power to ac power
- Match the converted ac electricity to a utility's electrical network
- Safeguard the utility network system and its personnel from possible harm during repairs.

This 300-kW
power inverter is part of
a stand-alone PV
system.





The requirements of power conditioners generally depend on the type of system they are integrated with and the applications of that system. For dc applications, power conditioning is often accomplished with regulators, which control output at some constant level of voltage and current to maximize output. For ac loads, power conditioning must include an inverter that converts the direct current generated by the PV array into alternating current.



This bank of batteries stores dc electricity for a large PV system.



二、太阳能电池应用实例



1、在电子产品中的应用

最近，太阳能电池在电子产品中已获得了广泛的应用。这是因为：

- 消费者想要获得不带导线的产品；
- 希望省掉调换电池的麻烦；

同时，由于集成电路技术的不断进步，电子产品的能耗越来越小，而低成本太阳能电池，特别是非晶硅太阳能电池的开发正好适应了这种进步。



2、太阳能发电

从太阳能电池获得电力，其燃料是免费的。而且，只要有光照，它都能以一定的效率发电。

根据使用情况的不同，太阳能发电分为小规模发电系统(100W-数10KW)供给家庭、独立电源等用，中规模发电系统(数10KW-数100KW)可供学校和医院等用，大规模发电系统(数100KW以上)可以供工厂、村庄、小城市等用。



These basic PV systems have several advantages for the special jobs they do. The energy is produced where and when it is needed, so complex wiring, storage, and control systems are unnecessary. Small systems, under 500 watts (W), weigh less than 68 kilograms (150 pounds), making them easy to transport and install. Most installations take only a few hours. And, although pumps and fans require regular maintenance, the PV modules require only an occasional inspection and cleaning.

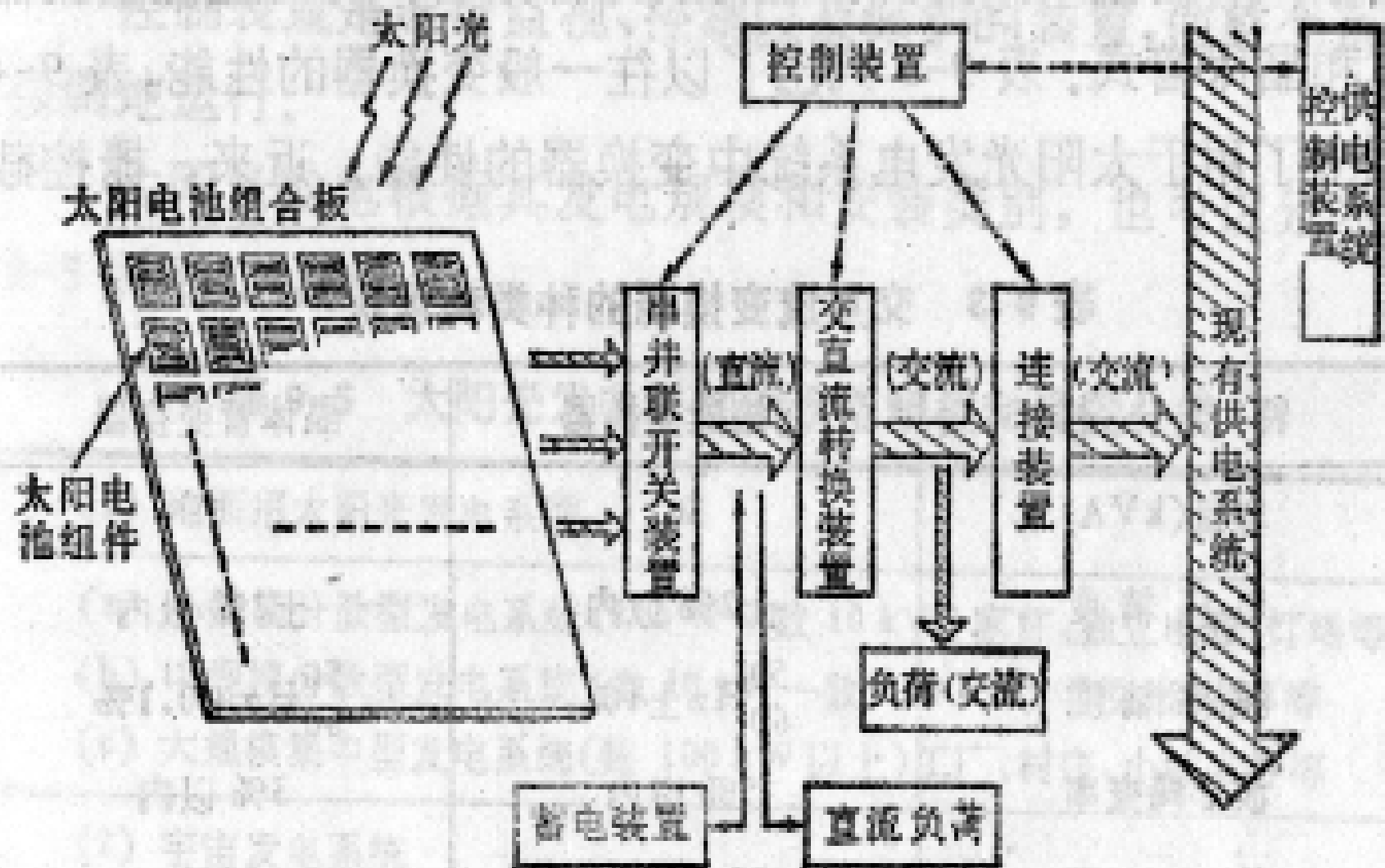


图 9-1 太阳光发电系统的构成实例

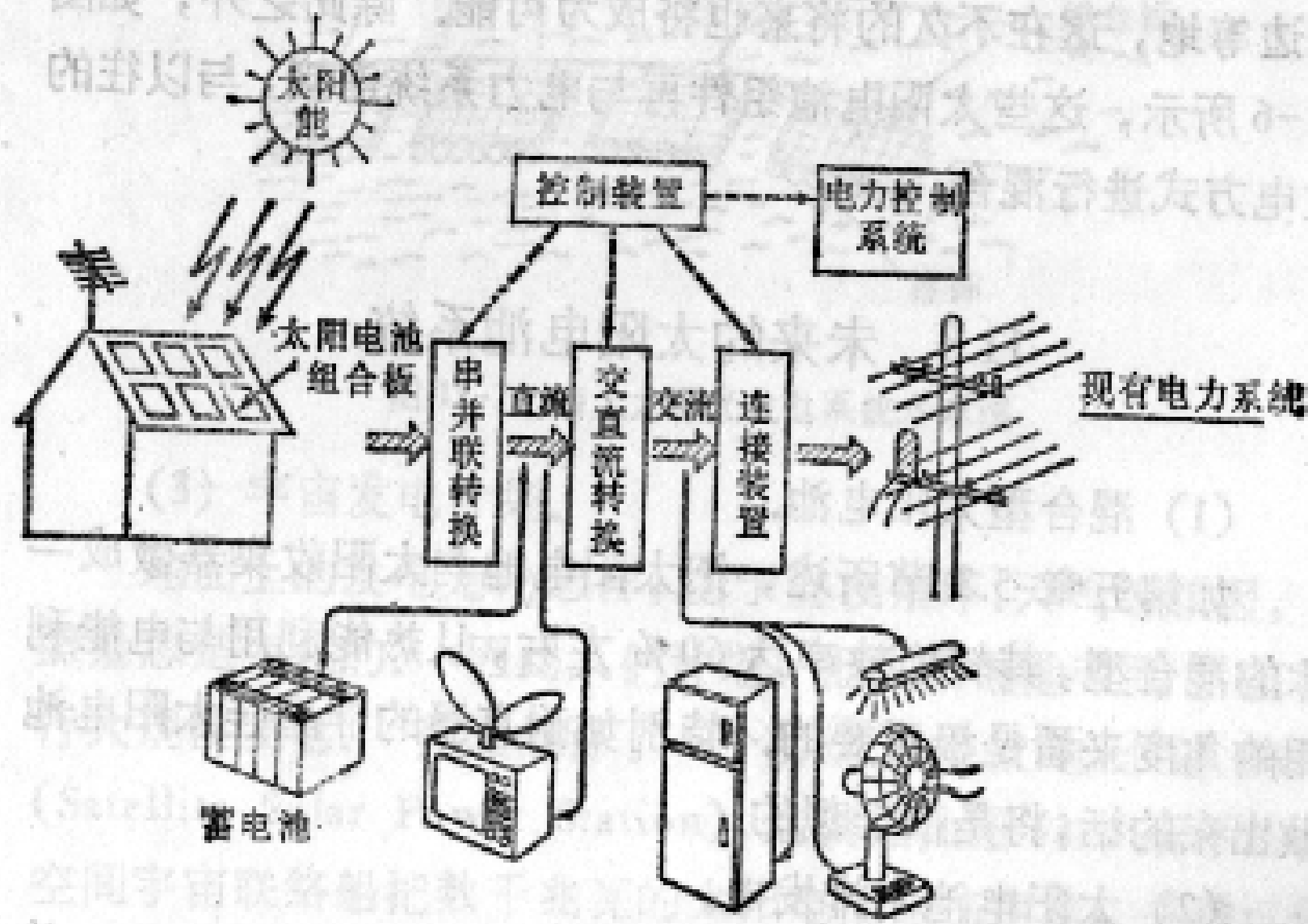


图 11-5 一般家用太阳能电池发电系统的构成



This woman in India is collecting water from a pump powered by PV.





This electric vehicle recharging station in southern Florida is powered by a grid-connected PV array mounted on the roof. When no vehicles need charging, power from the modules is transferred to the utility line.

Sacramento
Municipal Utility
District's (SMUD) 2-
MW plant produces
enough power to serve
660 Sacramento-area
homes. The 1600
modules are spread
across an 8094-m² field
in this very sunny region
of California.
Incidentally, SMUD
opted to close down the
nuclear reactors in favor
of "cleaner" energy
technology.





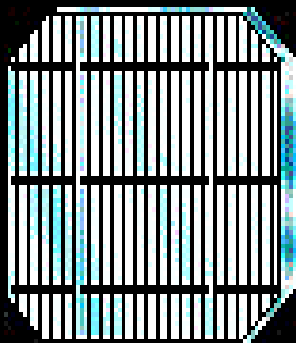
Unfortunately, PV generation plants have several characteristics that have slowed their use by utilities. Under current utility accounting, PV-generated electricity still costs considerably more than electricity generated by conventional plants, and regulatory agencies require most utilities to supply electricity for the lowest cash cost. Furthermore, photovoltaic systems produce power only during daylight hours and their output varies with the weather. Utility planners must therefore treat a PV power plant differently than they would treat a conventional plant.

Hybrid systems combine a number of electricity production and storage pieces to meet the energy demand of a given facility or community. In addition to PV, engine generators, wind generators, small hydro plants, and any other source of electrical energy can be added as needed to meet energy demands and fit the local geographical and temporal characteristics. These systems are ideal for remote applications such as communications stations, military installations, and rural villages.

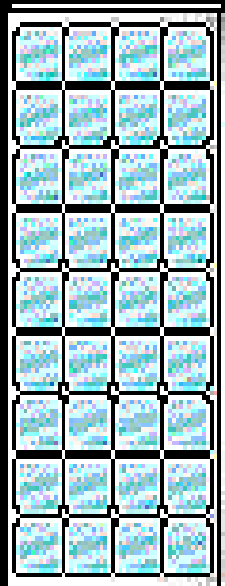
In the village of Xcalak, Mexico, PV is part of the largest hybrid generation system in the Americas. The system includes six wind turbines, 234 PV modules, 36 batteries, a 40-kW inverter to convert power to AC, a diesel generator, and a sophisticated control system. As electrical needs increase, the system can be expanded.



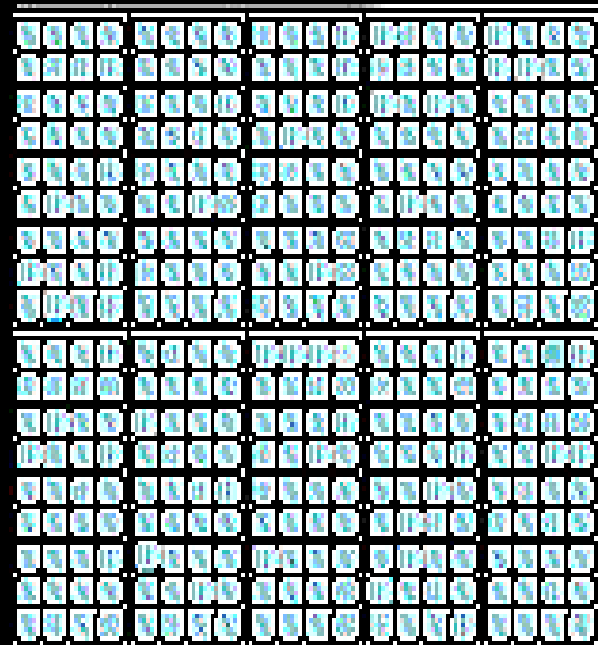
从手表电池到小规模发电系统再到大规模的太阳能发电系统，所要求的供电功率都是不同的，因而对太阳能电池的构成也各不相同，可以是单个太阳能电池，也可能是多个太阳能电池元件串联起来得到的太阳能电池组件或太阳能电池阵列。



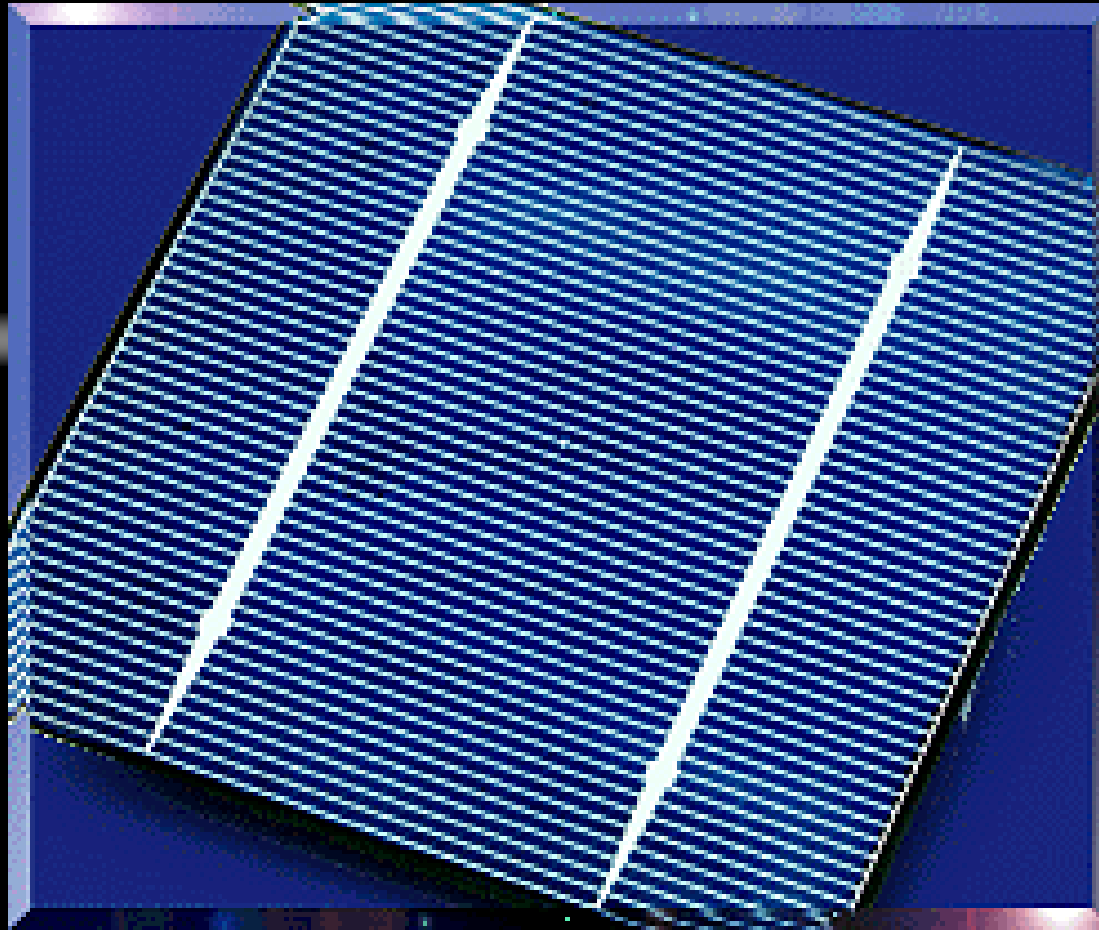
Cell



Module



Array



The solar cell is the basic building block of a PV system. Individual cells can vary in size from about 1 cm (1/2 in.) to about 10 cm (4 in.) across. However, one cell only produces 1-2 W, which isn't enough power for most applications.



A module typically consists of several solar cells, although thin-film materials like amorphous silicon and cadmium telluride can be made directly into modules, effectively bypassing the solar cell. These two silicon modules are rated at approximately 50 W each and provide power for a street light using 12 V battery storage. Modules such as these can also be connected into arrays for more power.



Arrays are the large power producers and consist of several modules. They can be used to provide up to several megawatts of electric power.



三、未来展望



For PV to grow in domestic and international markets, it's critical that we reduce the cost of the electricity it generates. We are doing this in three primary ways: by making devices more efficient, by making PV systems less expensive, and by validating the technology through measurements, tests, and prototypes.



未来的太阳能电池系统

混合型发电系统：把太阳能电池和太阳能收集器做成一体的混合型，其转换效率可达60%左右，从热能利用与太阳能利用的角度来看是极重要的，特别是低成本、耐高温的非晶硅太阳能电池能研制开发出来的话，将是很理想的。

宇宙发电计划：地面上的发电无论怎样，由于昼夜循环、天气等原因，日照量总是变化的。因此人们计划把太阳能电池发电系统放到宇宙中进行大规模发电。美国曾制订了一个卫星发电计划，即用宇宙飞船把数千兆瓦的太阳能电池送往太空，并通过微波把电力传回地面使用。

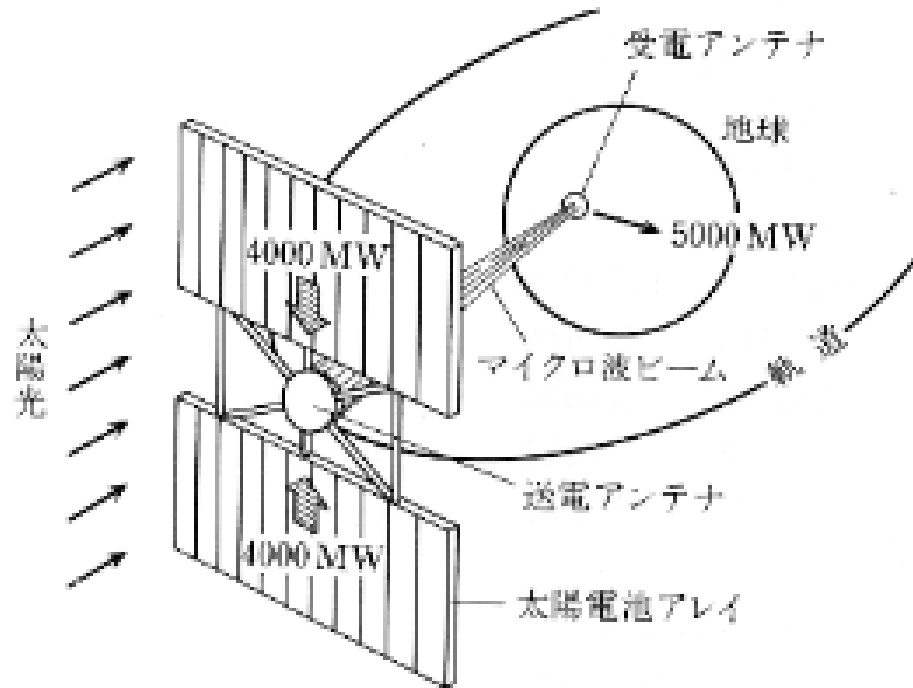


図 7.12 宇宙ステーションでの太陽光発電(SSPS)システムの概念図

总之，把赐予地球的无限能源-太阳光直接变为电能，是人类的一个美好理想。实现这个理想的器件-太阳能电池已经问世并取得了极大进展和应用，与我们的关系也变得越来越近。但我们要完全实现这个理想，面临的挑战还很多，还需要人类不懈的工作。在加强基础研究，改进技术和工艺，增大生产规模，降低制造成本，拓宽应用市场等各个方面共同努力。

