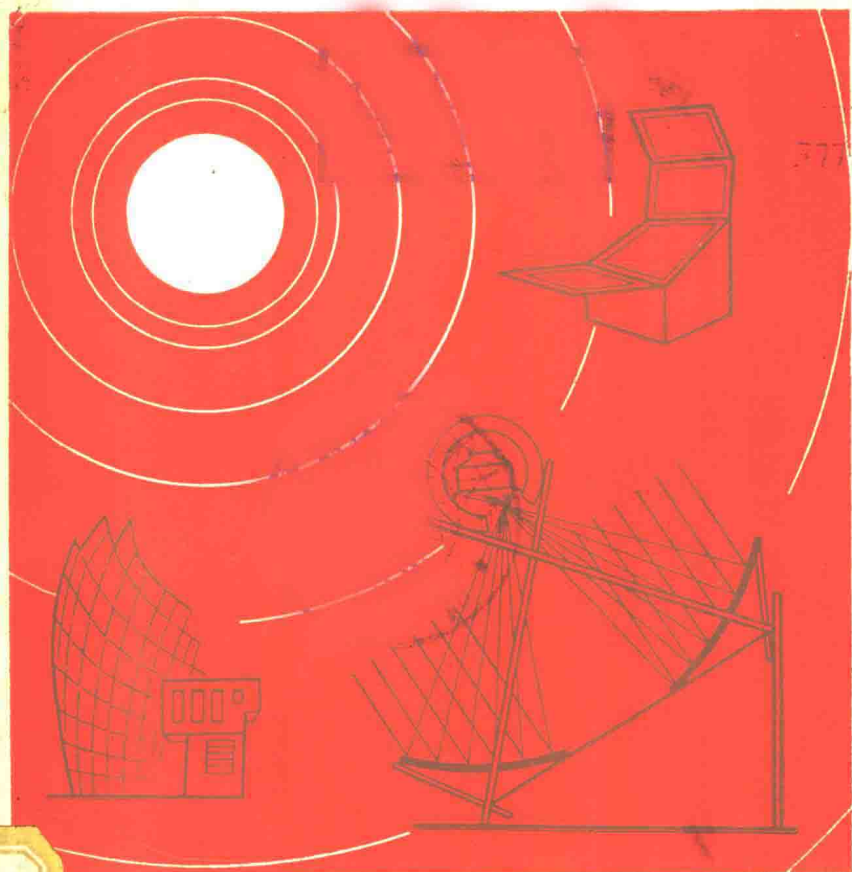


李德巨等编



iyangneng jiqi liyong

太阳能及其利用

内 容 简 介

本书共六章。前两章介绍了利用太阳能的有关原理；第三、四、五章介绍了目前各领域中利用太阳能的研究和实践的情况；最后一章展望了利用太阳能的前景。本书可供具有高中文化程度的读者阅读。本书由李德巨、黄宁庆、胡子雄等同志编写。

太 阳 能 及 其 利 用

李德巨等编

责任编辑：陈清山

*

湖南科学技术出版社

湖南省新华书店发行

湖南省新华印刷厂印刷

*

1979年12月第1版第1次印刷

字数：130,000 印数：1—3,500 印张：6.375

统一书号：13204·13 定价：0.51元

目 录

第一章 太阳辐射能.....(1)

§ 1—1 能量(1)

§ 1—2 地球上的能源(7)

§ 1—3 太阳辐射能和太阳常数(8)

§ 1—4 辐射通量(11)

§ 1—5 日照和辐射总量(18)

§ 1—6 太阳光谱(19)

第二章 太阳能的转换(25)

§ 2—1 太阳能转变成热能(25)

§ 2—2 太阳能直接转变为电能(35)

§ 2—3 太阳能转换成热能后再转换成电能(41)

§ 2—4 太阳能转变成化学能(46)

§ 2—5 太阳能的储存(48)

§ 2—6 接收太阳能装置中的若干问题(52)

第三章 太阳能在日常生活上的利用

——太阳能热水器和太阳灶(60)

§ 3—1 箱式太阳能热水器(61)

§ 3—2 箱式太阳能热水器的应用(69)

§ 3—3	镜面式太阳能热水器	(73)
§ 3—4	箱式太阳能热水器阳光收集问题	(76)
§ 3—5	太阳能的吸收和转换问题	(80)
§ 3—6	太阳能热水器的隔热保温问题	(89)
§ 3—7	太阳灶的概述	(92)
§ 3—8	太阳聚光灶	(93)
§ 3—9	粘土底座的聚光灶	(99)
§ 3—10	对反射镜面的简单讨论	(105)
§ 3—11	箱式太阳灶	(107)
§ 3—12	太阳能蒸气灶	(109)
§ 3—13	光学纤维太阳灶	(110)

第四章 太阳能在农业上的利用(113)

§ 4—1	太阳温室和薄膜阳畦	(114)
§ 4—2	太阳能农产品干燥	(116)
§ 4—3	太阳能育种	(124)
§ 4—4	太阳能提水	(125)
§ 4—5	太阳能在农业其他方面的应用	(132)

第五章 太阳能在工业上的利用(139)

§ 5—1	太阳能供暖的概述	(139)
§ 5—2	供暖的太阳能空气加热系统	(143)
§ 5—3	供暖的太阳能水加热系统	(147)
§ 5—4	太阳能致冷	(150)
§ 5—5	利用太阳能降低室内温度	(157)
§ 5—6	利用太阳能获得高温	(159)
§ 5—7	太阳能热力发电	(164)

§ 5—8 太阳电池及其应用	(170)
----------------------	-------

第六章 太阳能利用的展望	(176)
--------------------	-------

§ 6—1 太阳能大功率热发电	(176)
-----------------------	-------

§ 6—2 太阳能大功率光发电	(185)
-----------------------	-------

§ 6—3 太阳能利用的展望	(190)
----------------------	-------

第一章 太阳辐射能

§ 1—1 能 量

(一) 能，机械能——太阳辐射能又叫太阳能。那么，什么是能呢？辐射能又是什么呢？为了理解什么是能，我们必须首先来谈谈功这个概念。

拖拉机耕地时，拖拉机对犁有一个向前的拉力，沿着拉力的方向，犁前进了一段距离，我们说拉力对犁作了功。起重机吊重物，给重物以向上的拉力，使重物向上升高了一段距离，我们说拉力对重物作了功。如果用 F 表示力， S 表示物体在力 F 方向上移动的距离，用 A 表示力所做的功，那么功等于 F 乘 S ，即：

$$A = FS$$

上述关系式是物理学中对功这一概念的定义，它和日常生活中的工作或功劳的含义并不完全一致。一个肩负重物站着不动的人会说，他正在工作，例如肩负旅行袋在汽车站候车的旅客就常会这样想。从生理学的角度来看，他确实在工作，因为他负重而产生疲劳的感觉，但从物理学的角度来看，他未作任何功。这是因为他对重物所施的力并未引起物体的任何移动，

也即 $S=0$ ，所以 $A=0$ 。如果一个物体由于惯性而作匀速直线运动，这时物体虽然移动了距离 S ，但由于物体没有受力作用，即 $F=0$ ，所以功 A 仍然等于零。综合以上所述，我们明确做功有两个因素，缺一不可，一个是作用在物体上的力，另一个是物体在力的方向上移动的一段距离。

我们知道，力是物体对物体的相互作用，所以，一个物体得到功，必然是另一个物体对它施加作用力的结果。那么，什么物体可以对别的物体做功呢？

生活经验告诉我们，如果挥动锤子，锤子就能把钉子钉入木头内，钉子受到锤子所施的力的作用，向木头内移动了一段距离，这时，锤子对钉子作了功。流动着的水给水轮机叶片以力的作用而使水轮机转动，从而水对水轮机作了功。风吹到帆船上，给帆以力的作用而使帆船前进，因此，风对帆船作了功。我们看到，挥动着的锤子，流动着的水和流动着的空气（即风）都具有做功的本领。

我们把物体具有做功的本领称为物体具有能。物体由于运动而具有的能叫做动能。

生活经验还告诉我们，举到高处的夯落下时，能把木桩打进土里，夯给木桩一个作用力，使木桩向土里移动了一段距离，所以，夯对木桩作了功；儿童玩的弹簧枪，当把弹簧压缩，扣动板机，弹簧恢复原来形状时给子弹一个作用力，使子弹弹了出去，从而对子弹作了功。夯是由于举到高处才具有能的，弹簧是由于发生了弹性形变而具有能的。

我们把物体由于位置或形状的变化而具有的能叫做势能。

势能和动能统称为机械能。

(二) 热运动能——除了机械能这种形式的能量以外,还具有其它形式的能量。

煮开水时,茶壶盖有时被水蒸气冲开,这时蒸气对壶盖作了功,可见水蒸气具有能量。水蒸气是由无数的水分子构成的,它们在不停地无规则地运动着,所以每个水分子均具有动能。同时,水分子相互之间还有作用力,正如重物和地球相互之间由于引力作用而具有势能那样,水分子相互之间也具有势能。我们把所有水分子的动能和水分子相互间的势能的总和称为水蒸气的热运动能量,或简称热能。因为分子的无规则运动叫做热运动,所以,这种取决于分子热运动状态的能量叫做热运动能量。无数的水分子碰撞到壶盖上,就能推动壶盖运动而作功。大家知道,一般物体都是由分子组成的,而一切分子均在不停地运动着,也就是说,一切物体的分子均处于热运动状态,所以任何物体均具有热运动能量。

(三) 电磁能——一个物体,如果带电,它周围就有电场,此时,就具有吸引轻小物体(例如纸屑等)的本领,使纸屑受力作用而移动,从而对纸屑作功。可见电场能够作功,因而,我们说电场具有能量。电场的能量简称为电能。

一根磁铁棒周围或通电导线周围存在磁场,可以吸引铁屑。磁场对铁屑施以力作用并使其移动,因而磁场对铁屑作了功,可见磁场也具有能量,我们把磁场具有的能量简称磁能。

电能和磁能统称为电磁能。

无线电台广播时,向外发射无线电波。无线电波是电磁场

组成的波，所以又叫电磁波。电磁波也具有能量，也是电磁场能。通常把电磁波的能量叫做辐射能。

不仅无线电波（包括长波、中波、短波、超短波、微波）是电磁波，红外光、可见光、紫外光、 x 射线、 γ 射线等也是电磁波，所以它们具有的能量也是电磁能。不过，通常习惯地把红外光、可见光、紫外光、 x 射线、 γ 射线等的能量叫做光能。当然，也可以叫做辐射能。

上述各种电磁波的名称是按电磁波波长来划分的，大致情况如下：波长在 $3 \times 10^{14} \text{ \AA} \sim 10^7 \text{ \AA}$ 的叫无线电波（ $1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ 米）。波长在 $10^7 \text{ \AA} \sim 7600 \text{ \AA}$ 的叫红外线，波长在 $7600 \text{ \AA} \sim 4000 \text{ \AA}$ 的叫可见光，即我们人眼通常感觉到的光。波长在 $4000 \text{ \AA} \sim 200 \text{ \AA}$ 的叫紫外线。波长在 $200 \text{ \AA} \sim 0.04 \text{ \AA}$ 的叫 x 射线，波长比 $0.04 \text{ \AA}$ 更短的可通称为 γ 射线。对红外线来说，又可以把波长短于 $30000 \text{ \AA}$ 的红外线叫做近红外线，波长长于 $30000 \text{ \AA}$ 的红外线叫做远红外线。太阳的辐射能主要分布在从紫外线到近红外线的波长范围内。

（四）化学能——炸药燃烧起化学变化时，就能在很短的时间内迸发出巨大的能量来作功，使岩石飞散到数百米的高空。我们把物质由于化学反应而释放出的能量叫做化学能。我们燃烧木柴、煤炭、天然气、煤油、汽油、柴油、沼气、乙炔等均是利用这些物质中所储存的化学能。

（五）原子能——一种原子核转变成另一种原子核时，释放出来的巨大的能量叫做原子能。例如，我们可以用人工的方法，使某些重原子核发生分裂而变成较轻元素的原子核，此时会释

放出巨大的能量，此反应叫做裂变反应。原子弹就是利用铀原子核发生分裂而引起爆炸的。此外，某些轻原子核可以聚合起来形成一种新的较重的原子核时，也会释放出巨大的能量；此反应叫做聚变反应。氢弹就是利用这一反应制成的。还有一些原子核能自发地转变成另一种原子核，在转变时也释放出能量来。这种原子核有的是天然生成的，也有的是人工制造的，具有这种原子核的元素被叫做放射性元素。

特别要指出的是，太阳能是太阳上氢原子核的聚变反应所释放出的能量，它以光能的形式向太阳周围的宇宙空间中辐射出去，所以，太阳能来自于太阳中的原子能。

(六) 能量转换和守恒定律——能量的形式尽管是多种多样的，但它们彼此之间是可以互相转化的。电流通过电灯的钨丝，电灯发出光，同时灯泡变热，这时电能转换成了光能和热能。电流通过电动机的绕组，电动机转动，同时电动机本身也发热，这时大部分电能转换成了机械能，一小部分变成了热能。手电池中的干电池，是将化学能转换成电能的一种装置。对蓄电池充电，是将电能转变成化学能的过程。锯木头时，锯条发热，锯条的机械能转变成了热能。水力发电，是将水的势能变成水的动能，运动的水冲动发电机的涡轮，水的动能又变成了电能。火力发电，是把燃料中的化学能通过燃烧转变成热能，再通过发电机而转变成电能。风力发电，是把空气运动的机械能转变成电能。通常，由于电能使用起来最方便，人们常把各种形式的能量转换成电能形式来使用，在转换过程中，有一部分能量变成了电能，还有一部分变成了热能而散失在环境中。

人类从大量实践活动中,总结出关于能量转换的下述基本规律,

能量可以从一种形式转换成另一种形式,而在转换过程中能量的总量是不变的——能量转换和守恒定律。它是自然界最基本、最普遍、最重要的定律之一。在太阳能的利用中也要经常运用它。

(七) 能量的单位——把一个物体的能量传递给另一个物体通常有两种方式。一种方式叫作功,甲物体对乙物体作功 A ,也就是甲物体给了乙物体的能量等于 A 这么大,所以,作功是能量传递的一种方式,功的单位也就应当是能量的单位。还有一种方式叫传热,例如甲物体比乙物体温度高时,若把甲和乙两物体接触,则甲物体将有能量传给乙物体,此时被传递的能量叫做热量。所以热量的单位也就应当是能量的单位。功的单位叫焦耳,它是这样来定义的:如果我们用一力作用于质量为1千克的物体上,使它产生 1米/秒^2 的加速度,那么此时所用的力的大小叫做1牛顿(普通使用的1公斤力单位相当于9.8牛顿)。若用1牛顿力推一物体前进了1米,此时作的功是 $1\text{牛顿} \times 1\text{米} = 1\text{牛顿} \cdot \text{米}$,叫做1焦耳。热量的单位是卡,它是这样来定义的:1克纯水在1大气压下,其温度升高1度时,所需要吸收的热量叫做1卡。卡和焦耳都应是能量单位,所以它们之间必定存在确定的关系,这个关系是1卡等于4.18焦耳,这个关系常叫做热功当量。有时,使用千卡或千焦耳这样的大单位,1千卡等于1000卡,1千焦耳等于1000焦耳。

单位时间内作的功叫做功率,如果1秒钟内作1焦耳的功,即1焦耳/秒,功率的这一单位叫做瓦特,简称瓦。若1秒钟内

作1千焦耳的功，即1千焦耳/秒，功率的这一单位叫做1千瓦。

§ 1—2 地球上的能源

地球上有着各种形式的能源。最常用的是煤、石油、天然气以及由它们制造出来的煤气、汽油、煤油、柴油等。有时也把它们变成电能来使用。此外，还使用各种植物燃料。

水力和风力也是常用到的一种能源，帆船靠风力行驶，水磨靠水力推动，但更多的场合也是将它们变成电能来使用。

沼气也是一种能源，它是靠动植物的腐烂在一定条件下生成的，因此，它实际上是来自动植物身上的一种能源。

动物在地球上可以到处活动，飞跑。人们可以利用马或牛来拉车、耕地。动物的能量是由于它们吃了其它的动物和植物而获得的，由于动物是依赖于植物而生存的，所以，动物的能量归根结底来自于植物。

人们不禁要问，植物、水力、风力、各种燃料的能量又是从哪里来的呢？

地质学的研究指出，煤、石油、天然气都是由古代的动植物变成的，由于古代的地壳运动，古代的动植物被深埋在地下，在地层内高温、高压的作用下，长年累月逐渐变成了煤、石油和天然气。所以归根结底，它们的能量都来自古代植物。植物的能量又是从何处来的呢？生物学的研究指出，植物的绿色叶子吸收了太阳光能，就把水和二氧化碳合成碳水化合物、蛋白质或脂肪，这种作用叫光合作用。植物有着各式各样的绿色叶

子。叶子上有种叫做叶绿素的组织就具有这种功能。所以，太阳能被植物所吸收转变成了植物体的化学能。因此，我们可以说，当利用煤、石油和天然气时，我们是利用了古代的太阳能；当我们利用植物燃料、沼气、畜力时，是利用了现在的太阳能。人类能够从事各种生产劳动和其他活动，是因为我们吃了各种动植物而取得了能量。归根结底，仍是太阳给了人类以活力，真是“万物生长靠太阳”。

太阳光照射到地球表面，把地面和水面晒热，太阳能就变成了土壤和水的热能，土壤和水把热传给空气，空气运动起来就形成风。所以，风的机械能是太阳能转化来的。太阳照在地面和水面上，还会使水分蒸发，上升到空中形成云，云又成雨、雪等形式落回地面，通过江河流入海洋。可见水的位能和动能也是由太阳能转变来的。所以，水力发电，水磨等也是在利用太阳能。

可以说，地球上能被利用的能源，目前仍然大部分来自太阳能。只有少数几种例外，如原子能，地热和潮汐的能量。

§ 1—3 太阳辐射能和太阳常数

人们每天都和太阳打交道，无时无刻不感到太阳给予我们的光辉和温暖。人们在生活和生产中，许多工作离不开太阳。例如，农作物的生长，海盐的晒制，衣服和其它生活物资的干燥等。难怪很多文艺作品中都用最美丽的词藻来描写太阳。人们不禁要问，太阳究竟是什么？

科学研究指出，太阳是一颗恒星，天空中有许多恒星，但太阳是离我们最近的一颗恒星，它是一个非常大的球形气团，但温度极高，表面热力学温度约六千度〔热力学温度通常用 T 、 K 表示，它和通常用 $t^{\circ}C$ 表示的摄氏温度的关系是 $T = (t + 273.15)K$ 〕。中心热力学温度估计约两千万度。这个气团的密度很大，约为地球上水的密度的七十倍，压力也极大，约两千亿个大气压。在这样高的温度和压力下，太阳内部不停地进行着热核反应，将氢聚变为氦而释放出原子能，太阳的巨大能量来于此。释放出的能量的绝大部分以光能形式辐射到宇宙空间，每秒钟内，向宇宙空间辐射出大约 3.75×10^{26} 焦耳的能量，也即是说，太阳总的辐射功率约 3.75×10^{26} 瓦。由于太阳中氢的含量极高，所以上述热核反应可以持续数千亿年，因而，太阳宇宙空间辐射能量也可持续进行数千亿年。我们把太阳辐射出的能量称为太阳辐射能或简称太阳能。

太阳的表面叫做光球，光球的直径约一百三十九万公里，比地球的直径大一百多倍，所以光球的体积比地球的体积就大一百多万倍，光球的外面是太阳大气层，接近光球的大气层叫反变层，再高一点的大气层叫色球层，比色球层更高的叫日冕，在日全蚀时才能观察到色球层和日冕，其景象是极其壮观的。

尽管太阳很大，但由于地球离太阳很远，所以，太阳看起来并不大。太阳周围有所谓九大行星绕它旋转，组成太阳系。离太阳最近的是水星，其次是金星，再其次是地球，按由近至远的顺序，其后就是火星、木星、天王星、冥王星、海王星。它们绕太阳运行的轨道都呈椭圆形，而且这些轨道几乎都在同

一平面内。

地球绕太阳的旋转叫做公转，转一周回到原处需一年时间。太阳在椭圆轨道的一个焦点上。椭圆的长半轴和短半轴相差不大，所以，地球离太阳最远时的距离（叫远日点）为一亿五千二百万公里，最近时距离（叫近日点）为一亿四千七百万公里，二者相差不大。可以计算出地球距太阳的平均距离（叫日地平均距离）为一亿四千九百五十万公里。这一距离和地球的截面积（即 πR^2 ， R 为地球半径，约等于六千七百公里）决定了地球能截获的太阳辐射功率。因为，若以太阳为中心，以日地平均距离为半径作一球形面，则地球截面可认为正好在此球面上，显然，截面积愈大，日地平均距离愈小，则地球截获的太阳辐射功率将愈多。可以计算出，地球能截获的太阳辐射功率约为 1.8×10^{17} 瓦，约为太阳总辐射功率的二十二亿分之一。这 1.8×10^{17} 瓦的太阳能是否能全部到达地球表面呢？不能。这是因为地球被一层大气包围着，大气层也象很多物质那样对阳光具有反射和吸收的本领，大约有百分之三十的阳光被大气层反射回宇宙空间去了，有百分之二十三被大气层吸收，变成了大气层的热能，剩下约百分之四十七的太阳能才真正到达地球表面。它大约是地球上目前正在被人类利用的各种能源的功率之和的两万倍。由此可见，太阳能是一个多么丰富的能源啊！

人们要利用太阳能，就会关心这样的问题，地球上每平方米，每秒钟内能接受到多少太阳能呢？在日、地之间平均距离时，在地球的大气层的顶部，在垂直于太阳光线的表面上，每平方米，每秒钟内截获的太阳能，根据实际观察，其平均值约

为1353焦耳。这个数据叫做太阳常数，用符号 S_0 表示之，也即太阳常数

$$S_0 = 1353 \text{ 瓦/米}^2$$

若换用别的单位来表示，则：

$$S_0 = 1.94 \text{ 卡/厘米}^2 \cdot \text{分}$$

在地面上，每平方米，每秒钟内能收到多少太阳能呢？由于地面上接受太阳能受到很多因素的影响（在后面将讲述这些因素），我们只能指出，在万里无云的最好天气，中午时刻，地面上每平方米最多能收到约一千瓦的太阳能。

§ 1—4 辐 射 通 量

单位时间内，单位面积所截获的太阳能叫做辐射通量。地面上的辐射通量随下面一些因素而变化。测量地区的地理位置，包括该地区的纬度和海拔高度；测量的时间，也就是在一年中那个月份，一天中那个时刻测量的；测量时的气候条件，是阴天还是晴天；测量的具体环境，即测量时空气是否清洁，周围是否有烟尘，周围是否有高大建筑物或其它东西对阳光的反射；测量表面相对于光线的角度等。摸清某一特定地区的辐射通量的变化规律，对该地区利用太阳能具有重大意义。

（一）大气层和辐射通量——前面谈到的因素只是表观的，从本质上看，我们可以归纳为两大原因，一个是大气层的影响，另一个是测量表面相对于光线的角度。如果我们规定测量时的表面均垂直于光线，则此时测出的叫垂直辐射通量，影响它的

因素就主要是大气了，所以我们首先来介绍一下大气的情况。

地球的周围包围着一层致密的大气，大气含有约百分之七十八的氮气，百分之二十一的氧气，约百分之一的二氧化碳气、水蒸气、臭氧，及其它惰性气体（如氦、氖、氩、氪、氙等），此外，还夹杂着各种烟尘，特别是在地球表面附近的空气中较为严重。大气密度由海平面往高处逐渐减小，数百里高空只有极稀薄的气体存在。我们到达很高的山顶上，感到呼吸有些困难，就是因为气体稀薄而造成的，所以，登山队员有时需要携带氧气瓶来补充氧气的不足。大气层可作如下划分，由海平面至十二公里高空叫做对流层，对流层中的空气占大气总重量的四分之三，气候变化均在此层中进行。从十二公里至八十公里叫平流层，平流层中的空气占大气总重量的五分之一，这里阳光灿烂，没有风云变换，温度稳定，很适于飞机航行。再高一些，直到约八百公里的范围内叫电离层，它对地球上进行无线电短波通讯起重要作用。比电离层更高处叫做散逸层。电离层加上散逸层中大气的重量也只不过占大气总重量的百分之五，由此可见，大气主要分布在地球表面附近，若将大气全变为海平面附近的大气密度那样的大气，则包围地球的大气的厚度，距海平面约八公里高。

太阳辐射穿过大气层到达地面时会被大气削弱，这是因为大气分子会吸收太阳能，变成分子的热运动能。此外，大气分子还引起阳光的散射。所谓光的散射是指光线中的一部分无规则地偏离其原来传播方向的现象。例如，天空深处发出深蓝色光，就是大气分子散射现象。又例如，在晴朗的早晨，太阳尚未露