



从近代物理学来看我的太阳梦

陈应天



一、人类与能源

人类得以生存和发展,除了能将周围的能源消耗、吸收并化为自身的动力之外,还因为善于利用周围的能源,将自身的力量加以几十、几百甚至成千上万倍的扩大。

近 500 年来,人类文明在经历了第一、二次工业革命后,人类利用能源的能力已经扩张到惊人的程度,即我们对自然界的索取已经使人类同自然界处于对立的状态。伴随着第一台电子计算机的发明而兴起的第三次工业革命——信息工业革命,在经历了大半个世纪以后,已经极大地改变了人类的生存环境。然而,在人类的生活环境逐渐改善,一代又一代的子孙们享受着工业革命成果的同时,因能源需求而对自然界的索取也在不断地扩展,以致对能源的掠夺已经发展成国家之间最大的利益问题,对能源的应用已经演变成对人类生存环境危害巨大的问题。我们可以为了争夺能源而自相残杀,甚至家破人亡;我们更会由于对能源的使用、对生存环境条件的无知而使人类悄悄地在各种毒害中走向灭亡。有人估计地球上的能源还可以维持 150 年,有人甚至说已经维持不到 100 年了,无论如何,几百年的时间相对于人类发展的几十万年来讲只是一瞬间,难道我们人类的历史确实已经走到尽头了吗?如果不是,我们的希望又在哪里呢?

我们地球上的一切全都来自太阳,太阳是人类的生命之源,以前是、现在也是、将来更是,问题仅在于我们人类如何开发技术来进行应用,这就形成了我的太阳梦。

二、正能源与负能源

在这种情况下,许多科学家提出了可再生能源和不可再生能源的概念。不可再生能源包括现有的被大量使用的石油化质的能源,如煤、石油、木材等等;可再生能源是指可以循环使用并永无竭尽的能源,包括现在正在开发中的风能、太阳能、潮汐发电、生物质能、水能等等。

然而对于这样的划分,我本人有一些不同的意见。因为对任何一种可再生能源的利用,我们都要

花费相当的非再生能源去实现。比如说建造一个一定规模的风力发电站,风力无可否认地应该看成是再生能源,然而建立风力发电站所消耗的材料、机械设备等等,特别是大量的钢材、水泥都是以各种形式的非再生能源生产出来的。所以科学的评估应该告诉我们一个重要的问题,这样一个发电站在对社会环境的总体影响上是正效应还是负效应。从全球的长期运作角度,我们需要了解所需要的材料是否可以循环使用,所耗费的非再生能源能否再行回收。也就是说,在这些大型项目中使用的钢铁、金属以及塑料等材料是否都还可以在若干年后循环使用。我们会发现如果大量的水泥、钢筋的使用是不可逆的,那么生产这么多的水泥、钢筋所消耗的能量以及它们对环境的影响应该是我们在建造许多可再生能源项目时所必须进行估价的。

从这个意义上讲,我和许多科学界的同事们提出了正能源与负能源的新概念。正、负能源概念的精确定义以及它的科学意义并非是一篇文章所能够完全阐述的。但是,我们仍然可以举出一些例子来说明所谓正、负能源的新概念与再生能源、非再生能源的区别。譬如使用太阳能的光伏电池应该归类于再生能源,然而通过仔细计算,特别是从全球对环境影响的评估角度来看,可能会使我们对现有的光伏电池的性质产生一些疑虑。我们的确应该深思一下,光伏电池是否是非常优越的正能源呢?让我们做一个简单的计算吧。

三、对现有光伏电池正能源性质的讨论

利用目前的工艺生产光伏电池所消耗的硅材料约为 10 克/瓦,如果加上加工中的损耗、损坏以及其他因素,生产出 1 兆瓦的光伏电池约需 16 吨硅材料;而根据比较现实的统计,平均每生产 1 吨硅材料,现有工艺下约耗电 50 万度,即 1 兆瓦光伏电池所消耗的能量是由 800 万度电置换而成的。

让我们再来考虑这 1 兆瓦光伏电池在它的使用寿命中能够贡献出多少能量呢?这里要注意的是,当我们说 1 兆瓦光伏电池时,是指它的峰值功率,也就是 1 兆瓦的功率是指当温度保持在 25℃,光强在每平方米 1000 瓦的标准情况下所达到的,而这样的

现代物理知识

峰值在绝大多数可以利用太阳能的地方都是无法达到的。当我们在讨论某一类阳光地区的日照时间超过每年 3000 小时时,它在日照时间内的平均功率最高也只能达到每平方米 500~650 瓦。在这样最理想的情况下,每年 1 兆瓦光伏电池所发出来的电也只有 180 万度,如果这样的光伏电池可以连续工作 15 年的话,总发电量也只能达到 2700 万度,因此可以得出结论,光伏电池的代价最起码是需要用 1 度电的负能量来置换不到 3 度电的正能量。所以从整体看来,与其说光伏电池是真正的正能源的话,还不如说它是一种比较好的能源转移工具罢了。然而,更严重的是,在生产这些光伏电池时所造成的环境污染又要花费多少能量去治理呢?

四、太阳热发电

我对太阳梦的编织远不止基于上一节对太阳光伏电池的批评,更主要是基于我对现有的太阳光热发电技术的批判和检讨。按理说,如果太阳能光伏电池的正能量性质值得质疑,那么太阳能热发出的电能应当是比较好的正能源了。然而总结近些年来太阳能热发电的现有技术后,我认为它无论在成本、结构、占地面积等方面都需要认真检讨。

太阳能在地球上的光密度不是很高,所以任何太阳能的热发电都需要对太阳光线进行聚焦,这种聚焦装置一般被称为定日镜。定日镜系统将相对于地球运动的太阳光线跟踪并集中于某一处,在此处进行几倍至几万倍的聚焦。尽管这种跟踪聚焦的方式在不同的太阳热发电系统中具有不同的设计和形状,然而它的原理(基于经典光学所给出的原理)却从来没有被更新过,这应当是时至今日人类在太阳能光热发电方面一直没有大的进展的重要原因。下面就简单介绍一下我对现有太阳能热发电的意见。

塔式热发电 塔式热发电是一种集中式的热发电系统,几十个或几百个定日镜将太阳光集中在吸热器上,而吸热器被置于一个类似塔状的高型建筑物顶端,其高度可以从几十米到上百米。它的缺点显而易见,由于多个定日镜朝向同一目标,定日镜之间的距离将随距中心塔的距离半径的增加而增加,有些像菲涅尔透镜的光环一样,否则定日镜之间的遮光将大大降低集光效率,这是问题之一。问题之二在于定日镜镜面形状如果是平面式的,其塔顶集光器的吸收面积将非常大,一方面是平面镜形状所导致的,另一方面是太阳作为一个有一定大小的光

源产生了反射光斑的“盘面”效应所致。这种“盘面”效应随着定日镜与吸热目标的距离增加而增加,一般来讲,每增加 10 米的距离,光斑的大小将会增加 0.1 米。为了克服这种光斑过大的缺点,人们自然会想到把定日镜的平面形状改为有一定曲率的球面形状,然而这种设计带来的高成本十分可观,因为在塔式结构中,每一面定日镜因距离与方位的不同其曲率的形状也应当不同。

槽式热发电 槽式热发电是在目前太阳热发电中唯一一种开始产业化的结构。已经有数百兆瓦的槽式热发电项目正处于工程实验中,然而我对它的批评主要有三点:第一,这种线性聚焦系统的集光效率虽然由于单轴跟踪而有所提高,然而由于很难实现双轴跟踪,致使余弦效应对光的损失(就每年平均而言)仍要达到 30%左右;第二,槽式发电的庞大结构在我国多风特别是高风沙的区域难以立足;第三,这种线型吸热器的设计由于表面积全部裸露在受光空间中,无法进行绝热处理,所以尽管设计有真空层以减少对流带来的损失,然而其辐射损失也会随温度的升高而增加。

碟式发电系统 碟式发电系统是目前集光效率最高的一种,它将热机(譬如斯特林发动机)直接安装在抛物面型反射镜的焦点附近。该系统所能实现的仅仅是独立的发电系统,由于抛物面形状的可跟踪系统的大小受到制作工艺限制(比如直径为 10 米的镜面),每个系统的发电功率一般不超过几十千瓦,制造这种小功率的斯特林发动机目前主要的障碍是高成本和低可靠性。

对以上系统的批评意见并非完全否定这些系统的优点,科学的发展永远是在批评中获得的。之所以提出这些问题是因为我认为在我们所提出的新系统中的确可以将这些系统的大部分缺点一一加以克服,当然我们所提的方法也的确存在另外一些缺点,但这几年的实践已经逐渐显示新系统的优点在一定程度上补偿了它的缺点。

五、走进太阳梦的第一步 ——

我对自适应光学的认识

为了说明我太阳梦的来源,我将追溯近 20 年以来我所孜孜追求并且从未间断过的研究工作。

20 多年前,作为剑桥大学的一名学者我参加了美国加州理工学院一项规模宏大的实验研究工作,对它的兴趣使我原定 1 年的访问不断延期,以致一

口气工作了3年,直到我认为已经找到了问题的答案。在这3年的有趣工作中,我第一次接触到自适应光学技术,并意识到它的巨大应用前景。

自适应光学摆脱了传统光学中固定几何形状的光学器件概念,在进行光线处理时,光学镜面可以随聚焦或成像的要求随机变化以达到最好的效果。这种变化可以是以负反馈信号的输入或者是以开环形式进行镜面或透镜形状的变化。固定几何形状光学器件的主要问题在于像差和相位问题,像差是一种由几何光学定律确定下来的光学器件对成像的畸变,这种畸变是光学定律所规定的,不能有任何改变。比如说当一束“绝对”平行的光线穿过一个十分完善的球面透镜后,在近轴方向的光线与远轴方向的光线所汇集的位置是不可能在一地点上的。

消除光学器件的像差是所有光学设计师最重要的任务之一,是蔡司照相机与其他照相机价格差别的原因之一,也是许多好的照相机镜头长度加长、厚度加大、设计复杂的原因,更是哈勃太空天文望远镜为了达到接近零像差的效果而耗费巨资的原因。

另一个对成像效果有影响的是光学镜面各部分的相位问题。相位的不同和由此而产生的光线干涉现象是光学设计应注意的另一个重要因素。小时候我曾对一个现象感到十分好奇,就是当一个平面镜破碎以后,无论怎样将它们尽可能完整地拼凑到一起,镜面都不能像原先一样成唯一的像,而是打碎成几个镜面就成几个像。为什么不能再把镜面拼成一片呢?为了解答这个问题,我曾经又试验用玻璃刀在完整的镜面上划了很多道,但发现无论划痕怎样,也不能把一个完整的像分裂成多个。直到后来做了自适应光学的工作以后,我才明白了破镜之所以不能重圆是由于不同镜面之间的错位很难做到小于一个波长的原因。那么到底这种错位可以在小于多少波长的情况下才能形成一个完整的像呢?自适应光学的实验已经证明,如果这种错位小于 $1/4$ 波长,那么它所形成的相位差就能在可接受的范围之内。最近在我研究雷达天线时,也有专家提出,临近子镜之间的错位应当小于十几分之一波长。不过无论怎样,子镜的错位是允许有一定距离变化的,这就给由多个子镜拼凑成一个完整光学镜面的设计留下了可能性。在加利福尼亚大学的一台天文望远镜中,反射镜由几千面子镜组成,开拓了自适应光学的一个最好的应用先例。

然而这种技术的代价十分高昂,因为每个子镜的运动自由度起码有3个(点的欧拉运动有2个自由度,再加上镜面的上下运动,一共3个)。即在一个由 n 行和 m 列子镜所形成的陈列光学面上所需要的控制个数应该是 $3 \times n \times m$ 。这样庞大的控制系统,要把自适应光学的技术推广到更多的应用范围显然十分困难。我对这个问题考虑了十几年,一心想找到一种数学模式能够在上述的陈列光学面结构中,将 $n \times m$ 的控制数量降为 $n + m$,也就是说从几何级数的数量降为代数级数的数量。

六、走进太阳梦的第二步 ——

用行列运动代替子镜的欧拉运动

经过多年的研究和计算,我独立发明了一种在由 n 行和 m 列的子镜所组成的陈列组镜中使用行列运动以实现每个子镜独立欧拉运动的数学方法。这个方法之所以能够实现,是利用了物理学中众所周知的转动算子不对易的原理。转动算子是不对易的,任何读者都可以亲自转动一本书进行检验。研究发现,利用行和列的数字化转动(可以是任意大小的转动,不一定转动 90° ,也不一定是无穷小的转动,而是一个有限大小的转动),只要按照我推导出来的多步运动方式改变它们的顺序,即先转行、后转列的次序以及正转和反转的次序就可以消除行列运动对每个子镜运动的耦合,从而留下纯粹的任意子镜的独立欧拉运动。这种线运动方式的最大优点是极大减少了需要控制的数目,实际控制的数目可以从 $n \times m$ 的数量级别变成 $n + m$ 的数量级。并且数字化的规则运动也带来了超高精度的残余运动,从而极大提高了控制精度。我曾经设想,这样的改革是否可以将整个光学数字化呢?这里所讲的数字化同日常所用数码相机的数字化是不同的,指的是将来大部分光学元件以数字化实现运动,而不必精细加工。

然而,乍一看来,这样的运动在现实中是非常消耗时间的,就好像一个人要从河的一边到达对岸,如果他长上翅膀,可以立即直线飞过,如果没有翅膀,就必须拐弯抹角地在平地上找到远处的桥梁跨河而过,然后再回到对岸的目的地。极长的路径是我们需要付出的代价,可是在子镜比较多的前提下,行和列的运动在相当多的情况下是可以共享的,这就可以利用可共享的编制程序大大节省运动的时间。由于行列运动可以代替子镜的欧拉运动,于是

经典的自适应光学中所能应用的领域都可以在新理论框架内实现。然而,在新理论完成以后,我原先划定的在精密光学中的研究特别是大型天文望远镜的设计和制造工作目标已经改变,因为我们很快就会发现,行列运动以减少像差的理论在太阳能聚光方面可以获得广泛应用,所以当新理论走到这一步时,已经悄悄走完了我的太阳梦的第二步。

七、走进太阳梦的第三步——新的跟踪公式

当考虑用一种最简单的方法验证并实现行列运动的理论时,我们转到太阳能的聚光问题上。此时,我们已经隐约感到上述新理论可以创造出一种简单而低成本的修正太阳能一级像差的装置以提高太阳光的聚焦效率。但是太阳是一个运动的光源,这就存在一个跟踪的问题,我们试图把行列运动的方法应用于传统的太阳跟踪公式,即“方位角-仰角”跟踪方法,但发现这样做时并未取得任何好的效果,除非原来所设定的多步行列运动法在太阳能中也能有所应用。而这样的多步法在精密光学仪器中有可能实现,因为这个领域中的许多项目与研究往往是不惜代价的。但在太阳能的应用中却极大地增加了成本,而不是降低成本。于是,问题变为简单一步式的行和列的运动能否减少定日镜的像差。后来,我才发现解决问题的关键是必须彻底改变惯用的“方位角-仰角”方法,代之以“自旋-仰角”公式。

所谓“自旋”,是将定日镜的一个轴指向固定目标的自旋运动。我欣喜地发现,“自旋-仰角”跟踪公式与行列运动是天然绝配,这就是我经常说的人们为什么经过这么多年的努力,按理说几乎是穷尽了所有的理论,而实际上还留下一个科学秘密让我们来发现的原因。我们的工作实际上是用两块石头同时打中一只鸟,而这样的机会不是很多。比如固定点“自旋-仰角”的跟踪概念在20世纪90年代就曾经多次被德国物理学家 Ries 提出过,他甚至预见到,在这样跟踪的情况下,一个左右曲率对称、上下曲率不对称的镜面可以大大减少太阳光斑像差,然而他和其他人的工作仅停留在概念阶段,准确跟踪公式和行列运动的方法是我于2001年独立提出的。

八、走向太阳梦——

新的方法刷新了太阳能聚光的传统设计

由于有了上述理论突破,我们的研究梯队随即开始了一系列新的设计,以获得各种既廉价又有效的太阳能聚光及跟踪装置。我们对从几倍的太阳聚

光到几十倍、几百倍、几千倍甚至上万倍的聚光进行了各式各样的样机研制,并开始迈向产业化。对于任何一个新的工业设计来讲,理论问题的解决仅仅是第一步。要把理论应用于实践,需要克服一系列工艺和设计上的困难。我们的研究小组经过多年努力,已经迈出了第一步,并且取得了很可喜的成绩。

上万个太阳的聚焦 新型太阳炉的研制在理论完成以后,我们的研究小组最早进行的工作是研制用“自旋-仰角”跟踪方法和行列运动消除一级像差来研制新型太阳炉。传统的太阳炉采用两阶型设计,第一阶是定日镜,采用平面式的反射镜或略有曲率的反射镜,使目标处的光斑面积与定日镜总面积之比为1或略小于1;这样的设计就需要第二阶的反射镜(一般使用球面形状或抛物面形状的反射镜)面积非常庞大,而这样一个直径为几米或者几十米的抛物面镜或球面镜,要使其制造的几何形状达到光学要求,实际上非常耗时耗力,所以其制造成本也相当高。一般来讲,对于能达到3000以上的太阳炉,每千瓦的制造成本可以高达十几万到几十万元人民币。新理论可以实现跟踪与聚光一步完成,使目标处的太阳光斑面积小于定日镜采光面积的几十倍或几百倍。这样的话,所用的二次反射镜就几十倍或几百倍地小于定日镜的反射镜,这种准二阶型太阳炉,或者说聚光跟踪一步到位的太阳炉实际上已经以将近低于10倍的成本在几十千瓦或上百千瓦热量的情况下获得3000~4000的高温。

太阳的能量来自太阳中气体的热核反应,其表面温度大约为6000,如果我们在地球上用上万倍的聚焦方法将太阳光线汇聚在一个直径只有几厘米的空间中,实际上就是在地球上重复了一个由热核反应所产生的小太阳。这一空间内光子的极高密度可以用来进行许多实验室内无法进行的工作。比如模拟飞船返回大气层时所引起的高温;冶炼许多在实验室中无法制造的高温材料;以及高温焊接等等。我们最近用这种新研制成功的太阳炉成功地对一些半导体材料进行真空挥发的提纯实验,达到了比较理想的结果。

利用太阳能提炼硅材料,以再生能源产生再生能源,这是我多年来一个重要的太阳梦。初步实验已经表明该方法耗电量只有传统方法的1/20~1/30,既可以利用太阳炉聚集高密度分子轰击取得的高温对硅材料进行真空熔炼,以消除磷、钙、铝等杂

质,又可以采用改进型的区熔提纯方法去除钨、铜、铁、铬等重金属。要完全实现我的这个太阳梦仍然需要较长时间。然而我认为时至今日,这样的理念已经不是纯粹的理念了。实验室规模研制的成功已经预示着人类将可以使用可再生能源产生纯粹的正能量光伏电池,以产生无穷无尽的能源,特别是如果这种廉价的太阳能电池能够由太阳能直接产生,我们将它覆盖在世界各地的沙漠及荒漠地区,那将是人类补偿几百年工业革命对自然界造成的损害的开始。

这种聚光与跟踪一步到位的理论和实践还提供了太空中解决人造星体能源问题的另外一个途径。目前的人造星体基本上依靠光伏电池产生电力,我们能否直接在太空中以一步到位的形式聚集高密度的太阳光以产生能量呢?用传统两阶式太阳炉的设计显然是不现实的,一步到位的设计提供了这种可能性,特别是提供了在空间利用聚集的太阳能直接产生激光的可能性。而这种激光不但可以提供人造星体本身的能量还可以以激光形式传输到其他星体上,为那些安装在不能接收到太阳光的星体上的设备提供能量。譬如可以将能量传输到月球的背面,那些地方最适于我们安装天文望远镜观察宇宙边缘,然而,在那永远见不到太阳的地方,能源的产生是非常困难的。

新型太阳能锅炉 我们在设计太阳炉时,由于实验室内的各种复杂要求,必须顾及太阳炉光斑的位置以便于进行各种实验。比如在提纯硅的太阳炉设备中,由于提炼硅的系统复杂而庞大,在一般情况下,不可能将接收太阳能量的实验室放置得太高,这样会由于余弦效应或多或少的牺牲相当比例的太阳热能。这样的牺牲对于建造太阳炉及其实验工作的目的来讲是可以接受的,所以太阳炉的建造全面应用了新理论的各种不同参数。这也是新理论诞生以后我们研究组就立即进行太阳炉建造以验证理论的原因。

在新理论被全面验证成功以后,我们的下一个目标则是将新理论用于各种不同的特殊情况,也就是把自旋轴进行方位优化,这种优化技术正在申请专利。根据这种方案,每日平均余弦效应的损失将低于8%,而且更奇妙的是,定日镜可以选择为某一个固定的形状,使聚光比在最坏的情况下不低于槽式的聚光,这种点聚焦的方式可以把导热液体的温

度加温到500~600,以直接进行热发电。新理论所设计的这样一种固定位置的热接收系统,在热效率方面接近上述的碟式发电,在可达温度方面,达到塔式系统的程度,在经济性上又近于槽式发电系统。然而要实现我的这个梦想、证明上述优点,仅仅靠我们研究组目前所进行的一两台小型实验是远远不够的,我们需要一个起码1兆瓦或几兆瓦的研究项目,希望能在不久的将来获得这样的条件。

这种系统排列非常规则,并且定日镜朝上,所以安装这种装置的场地仍然可以进行各种农牧业活动。我们可以在场地上种植甘草、枸杞甚至各种牧草,因为使用的是热发电原理,每个收集器附近都没有电导体或有源电压,所以实际上当所占用地进行牧草生产时,各种牲畜,特别是比较矮小的羊、鹿等可以自由的在定日镜周围放牧。这种上有蓝天晴日,中有光接收器和定日镜,下有牛羊放牧的场景,将是一幅十分和谐的梦中画境,而这个梦是可以实现的。

几十个太阳的聚焦 新的理论还可以找到另外一个特例,就是说把定日镜自旋的方向与上述方向转动90°,这样就可以把空中来的太阳光线聚焦在低于定日镜水平面的方向,这个方法的缺点是其余弦效应较高,但是其优点却被很多前人注意到了。在这个方向上,自旋是以与地球自旋相同速率的方式进行的,而仰角的运动绝不是每天都在变化的,实际操作中十几天调节一次也是可能的。以前已经有不少研究者注意到这种模式,然而我们的理论指出,在这样所取方位的条件下,行和列的运动可以极大地减少光斑面积。更进一步的研究发现,一种固定模式曲面的聚光比可以达到几十个太阳。我们已经推导出这种新曲面的形状,而这种形状恰恰很像Ries描述的那样,是一种左右对称、上下不对称的曲面。在我们所描述的这种曲面的数学表达式中,有许多数学项的系数类似于光学中斯密斯对球面镜像差修正的曲面描述,这也是很有意义的一个结果。希望在不久的将来,我们能找到相应的工业化方法,大量生产这样的镜面。也就是说,在常用的光学镜面中,除了球面镜、圆柱体面镜、抛物面镜、椭球面镜等经典镜面以外,我们又多了一种新的高次曲面镜面。

这种镜面的形状可以随聚焦要求进行一定的变化。具体说来,在用于太阳光聚焦的应用中,我们可以随意设计将太阳光聚焦到最小点的时间选在任何

时间,如果将最小光斑的时间取在太阳时的 12 点(全天太阳入射角最小的时刻),而当时的入射角是零度,这里描述的镜面可以归为旋转抛物面。如果将最小光斑的时间取在太阳时的 14 点半,那么一整天聚光的光斑大小将会更加平均,不至于产生早晚热量太差,中午热量太高的缺点,就可以实现全天应用的较平均的太阳光强。用这种镜面将几十个太阳聚集在一块,可以比较方便的制造出一种固定点式的太阳灶,这种太阳灶的灶具是固定的、与光接收器是分离的,不再像现在所使用的必须将灶具放在反射面的焦点附近、由旋转抛物面镜面制造出来的太阳灶,众所周知这种运动型的灶具虽然造价比较便宜,但使用起来其实很不方便。

新型太阳灶可以将聚集的太阳光通过墙壁上的透光玻璃聚集到室内,而不像传统太阳灶那样,烧水、做饭必须在户外进行。进入到室内的太阳聚焦光可以用具有一定斜面的反射镜将太阳光转向朝上的位置,这样新型太阳灶就如同普通炉灶一样可以烧水、做饭、炒菜或取暖。我梦想着,这种太阳灶的普及将永远结束我国多阳光的西北地区居民拣柴禾、烧牛粪的现状。

更低倍的太阳聚光的应用 作为副产品,我们也研究了不同低倍聚光的各种应用。众所周知,普通的平板式硅基光伏电池在相当多的条件下是大材小用了。在适当的冷却条件下普通光伏电池可以接收 2~4 倍太阳光强的照射,并发出相应比例的光伏电流。

国际上类似的工作已有不少文章发表,然而我的太阳梦中的设计却与众不同。它的特点是:多角型的光反射系统代替了常用的菲涅耳透镜,准单轴的跟踪代替了复杂的双轴跟踪,智能型的跟踪控制保证了相当精度的开环太阳跟踪。我们的研究团队,在这方面耗费了很大工夫,目的在于要开发出一种低成本、高效率的光伏系统,它可以在多风、多沙的荒漠及沙漠地区工作。我的梦想是把这种系统发展成征服沙漠、变沙漠为电站的第一个工具。目前的研究已经表明这种系统起码可以节省 30% 的成本,我们还在继续努力,力争在不久的将来将成本降为传统系统的 50%。根据目前荒漠地区项目的进展以及最近所取得的关于新发展的系统在暴风及沙尘暴条件下的工作数据,我们离这些梦想的实现已经不远了。图为新发明的数倍聚光光伏发电机安装

在西班牙城市屋顶的照片。



中国的太阳能新技术在西班牙 Pamplona

以上所描述的我的太阳梦都是在梦想着如何在沙漠中利用太阳进行一场真正的能源工业革命。我以前曾骑着骆驼在荒芜的沙漠中游荡,那时一直在想:荒漠难道真是上帝送给人类的不毛之地吗?文明的发展已经证明并非如此,相当多的荒漠地带发现了大量的石油储存,并使许多阿拉伯国家因此变得十分富足,这就已经说明上帝的本意并不是这样的。那么对于那些没有石油、没有煤的荒原地区呢,上帝也早已经做了安排,那里的太阳每天在下着永不衰竭的能源雨,等待着人类去开采、利用。这难道还是梦吗?是,是个可以实现的梦。

(中国科学技术大学上海太阳能研究院 201315)

作者简介

陈应天,1943 年 11 月出生于江苏江都,1967 年毕业于中国科学技术大学,1982 年获英国剑桥大学博士学位。数十年于英国剑桥大学、美国加州理工学院、法国巴黎十一大学、马来西亚马来亚大学、华中科学技术大学、中国科学技术大学、中国科学院理论物理所等任教并进行引力、光学及太阳能应用等方面科学研究。

