

空间太阳能发电

徐建中* 陈焕倬 张世铮

(工程热物理研究所 北京 100080)

摘要 空间太阳能发电技术是一种新能源技术,是人类摆脱对矿物能源的依赖,寻求无污染、可持续利用能源的重要途径。我国尽早开展此项工作。

关键词 新能源,太阳能,空间发电

1 发展空间太阳能发电技术的意义

空间太阳能发电是以现代航天、能量转换和无线输电技术为基础的新能源技术,是人类摆脱对地球矿物能源的依赖,寻求无污染、永久性能源的重要途径。

当前能源以化石燃料为主体。但是化石燃料作为地球资源,终有一天会枯竭。粗略的估算表明,即使按照现有生产水平,全世界每年开采 30 亿吨石油,地球上已探明的石油也只能开采 40—50 年。矿物能源的大量使用造成了生态环境的恶化;特别在我国,煤是主要能源,大量燃煤造成了严重的污染。为了我国经济的可持续发展,需要洁净、可靠、持久的能源。太阳为地球提供了取之不尽的能源。但是太阳光能量密度较低,穿过大气层时受到大气的吸收和散射,地球表面单位面积得到的能量大大减少,而且由于昼夜循环、季节、气候和地理等因素的影响,使地面上太阳能的利用受到很大的限制。因此,尽管地面利用太阳能的研究取得了很大进展,却难以成为人类的主体能源;而空间太阳能发电,则可避免这些问题。

空间太阳能发电 (Space Solar Power, 简称 SSP) 或者太阳能发电卫星 (Solar Power Satellite, 简称 SPS) 的基本构想是在地球外层空间建立太阳能发电基地,通过微波将电能传输到地面的接收装置,再转变成电能。

2 国外研究现状

近年来,SSP 或 SPS 的工作受到了国际上的广泛重视。早在 70 年代末期,美国能源部 (DOE) 和航天局 (NASA) 就共同组织了 SPS 的概念研究,获得了技术上是可行的结论。

1995 年,美国重新重视这项技术。NASA 成立了研究组对其进行了全面的分析,提出了新

* 中国科学院院士

收稿日期:1998 年 4 月 15 日

的方案。研究提出:考虑到核聚变技术研究的现状和发展速度,以及现行能源的使用对环境的影响,下世纪 SSP 是人类唯一可行的大规模生产电能的技术。

该研究提出,采用渐进的自发展模式:先建立一个 25 万 kW 规模的 SPS,向国内外市场出售电力以回收资金和获取利润,然后再逐渐扩大 SPS 的规模。估计在 2010 年以后,SPS 将实用化。为了实现这一目标,美国正加速研究可重复使用的运载系统,近期目标使发射费用降为 \$2 000/kg,远期目标(10—20 年)达到 \$200/kg,甚至 \$100/kg。

日本一直重视 SSP 工作。宇宙科学研究所(ISAS)于 1987 年成立 SPS 研究组,设 13 个专题小组开展研究。研究组提出了两个 SPS 模型:功率分别为 7 万 kW 热动力发电方案和 1 万 kW 光伏电池发电的 SPS 2000。SPS 2000 卫星除了发电、集电及送电部分外,还有通信、控制、卫星骨架结构、机器人等,总重量约为 240 吨,计划 2000 年前发射到空间。同时,加紧进行地面设施的配套工作:与 4 个赤道国家(坦桑尼亚、巴布亚新几内亚、巴西和印度尼西亚)签定了建立地面微波接收站协议,并准备向这几个国家出售电力。

据日本科学技术厅科技政策研究所最近发表的“未来 30 年科学技术预测”的研究报告预计,2020 年 SSP 将在宇宙中建成。

其他国家,如德国也开展一些工作,提出 GSEK 计划,即全球太阳能方案。计划在 2005 年将功率为 1 000kW 的 SPS 系统发射至地球低轨道运行。

1995 年,在美国宇航局和加拿大空间局的支持下,来自 16 个国家的国际航天界知名人士进行了题为 2020 年发展远景(Vision 2020)的研究。研究报告提出了 4 项基本计划,其中一项就是发展 SPS 系统,并预计 2010—2020 年 SPS 开始进入实用阶段。

3 太阳能发电卫星的技术特点分析

太阳能发电卫星系统基本由 3 部分组成:太阳能发电、微波转换和发射、地面接收和转换装置。

3.1 发电方式

SPS 按发电方式提出了两种方案:光伏电池和闭式循环热机发电。典型方案的分析比较指出,热动力发电系统的性能随着功率的增加而得到改善,其装置质量和阻力面积比光伏系统小,卫星的轨道维持耗能低,但热动力发电系统结构较复杂,维护较困难。

空间发电带来了一系列新的技术问题。例如,热机内流体在微重力条件下的流动规律不同于地球重力场下的情况,因而热机的设计方法需要加以研究。SPS 系统在空间环境下散热很困难,高效、质轻的大型辐射换热器应认真研究。

3.2 输电技术

空间输电可采用逆导向性输电方式,即从地面向空间的输电天线发射引导信号,输电天线在接收到信号后,再准确地将微波发射给地面天线。这种方式可保证微波束总是对准地面的接收天线,安全性自动得到保证。

3.3 其它的技术支持

建造 SPS 的工作需要众多学科的参与和支持,以解决一系列技术问题,如大型空间稳定结构、空间在轨安装、自动化控制和机器人等,尤其是低费用的运载系统。

3.4 安全问题和对其他空间活动的影响

安全问题主要集中在无线输电方面。有两个传输方案:激光和微波输电。激光送电定向性好,地面天线面积要比微波接收天线面积小,但是大功率激光束的安全性问题当前难以解决。微波输电的安全性要比激光好。

需要考虑的 SPS 对其它空间活动的影响是:

(1)对通讯的影响。电磁波的频率分配是国际电信联盟(ITU)下的国际无线电咨询委员会(CCIR)制定的,对于不同用途分配了不同波段。未来的微波送电使用的频率是 2.45 GHz,利用这个波段送电不会对通信造成影响。

(2)对生物和人体的影响。为使微波不危及生物和人体的安全,各国分别制定出本国的安全标准:美国和西欧为 $10\text{MW}/\text{cm}^2$;我国和日本为 $5\text{MW}/\text{cm}^2$ 。送电的微波强度由设计方案决定,日本 SPS 2000 的发射能量密度设计为 $57.4\text{MW}/\text{cm}^2$ (这样可以减小空间发射天线的面积),到达地面的能量密度为 $0.9\text{MW}/\text{cm}^2$,不会对人类造成危害。

(3)微波束传播对空间等离子体和大气的影响。目前的研究认为微波束与大气不发生相互作用,大功率微波束通过等离子体区时引起的电子加热和等离子体波的激发,对通讯和微波束不造成影响。

4 空间太阳能发电的经济性及其比较

就石油而言,美国现在人均消费量是中国的 25 倍。如果我们达到美国的水平,则全球目前石油产量不够中国一个国家消费。石油和煤炭资源是不可再生的,而且是非常好的化工原料,把它们简单烧掉非常可惜。随着科学技术的发展,更好地利用这些资源(例如利用生物工程技术从石油中生产蛋白质),将会给人类社会带来深刻变化。

加拿大空间局的 R. B. Erb 将空间太阳能发电和地面太阳能发电的经济性进行了比较。假定发电能力为 10 万 kW,设备寿命为 30 年,所需占地面积、投资和发电成本如下表。

表 1 空间和地面太阳能发电的经济性比较

系 统	占地面积(km^2)	投资(\$/kW)	成本(美分/kWh)
空间太阳能	4	3 770	8.6
地面太阳能	26	20 000	45

从表 1 可以看出,空间太阳能发电的投资费用及发电成本低于地面太阳能发电。其主要原因是空间发电所需占地面积和设备均小于地面发电;地面太阳能发电还需要庞大的储能设备。

DOE 预测 2010 年的美国平均电力价格将达到 7.2 美分/kWh,而 SSP 的电价将接近这一水平,日本 SPS2000 的电价估计为 10 日元/kWh,接近美国和加拿大估计的电价。考虑到常规

能源所带来的环境治理的投资费用,SSP 发电具有更好的竞争性。

日本对发展 SPS 2000 的费用及贷款条件进行了估算,如通过银行贷款来修建,而银行贷款年利率为 2.4%,按 10 日元/kWh 的价格出售电力,则 15 年可偿还贷款。

5 我国应尽早开展空间太阳能发电研究工作几点结论

我国电力工业的装机总容量 1995 年已达 2.1 亿 kW,其中火电占总发电量的 80%,而燃煤电站占总发电量的 76%,耗煤 4 亿吨。据能源战略研究的预测,2010、2020 和 2050 年我国火电耗煤分别需要 10 亿、13 亿和 20 亿吨。这样大的煤耗量,一方面,煤的生产及运输能力的发展速度难以满足需要;另一方面,严重的污染将给我国的生态环境造成灾难性的影响。现在,全国已有 1/3 国土是酸雨区。据联合国的报告,全球空气中 SO₂ 含量最高的十大城市中,中国就占了 3 个:沈阳、西安和北京,分别列第二、第七和第八。即使在发电设备上增加脱硫装置(这样会大大增加电厂的投资,同时使发电效率降低 1%—2%),以解决 SO₂ 的排放问题,然而 CO₂ 的排放问题仍无法解决。目前我国排放的 CO₂ 量已居世界第二位。因此,在开发洁净煤燃烧和节能技术的同时,必须加强可再生能源的研究工作。SSP 的实现,可为下世纪我国经济发展提供可持续的绿色能源。

SSP 技术的基础是航天技术的发展。中国是世界上少数几个掌握航天技术的国家之一,具备了发展 SSP 技术的基础。但是,SSP 技术复杂,有必要尽早开展预先研究工作。SSP 涉及专业领域多,实验周期长,因此需要及早制定规划,统筹安排基础研究、应用研究和开发工作,争取早日转化为生产力,形成产业。我国是社会主义国家,能够集中力量办大事,只要措施得力,可以在这一领域上有所作为,使我国的能源利用技术水平跨上一个新台阶,同时也大大推动航天工业的发展。

参考文献

- 1 Mankins J.C. Space solar power. A fresh look, AIAA Paper 95-3653. 1995.
- 2 Mankins J.C. Highly reusable space transportation. Strategies that may enable \$200/kg transportation to earth orbit. Proceedings SPS'97 Conference, Montreal, Canada. 1997.
- 3 Sasaki S. et al. Engineering research for solar power satellite SPS 2000. Proceedings SPS'97 Conference, Montreal, Canada. 1997.
- 4 Erb R.B. Power from space for a sustainable world. 47th International Astronautical Congress, IAA-96-R. 2. 03, Oct. 7-11, Beijing. 1996.