

无线输电技术的应用前景

王秩雄, 胡劲蕾, 梁俊, 王长华

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:无线输电由微波源或激光器、发射与接收天线、微波或激光整流器等组成,其中最关键的是把微波或激光束的能量转变为直流电的整流器。这是一种新的、非传统的输电方法,一般应用于特殊场合,如低轨道军用卫星、天基定向能武器、微波飞机、卫星太阳能电站等许多新的、意义重大的科技领域,具有美好的发展前景。

关键词:输电;微波;激光

中图分类号:TM72 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)01-0082-04

自从工业革命以来,人类对初级能源的使用经历了柴薪、煤、石油和天然气4个阶段。到了21世纪,节能和新的、可再生利用的能源开发是摆在能源工作者面前的首要问题。太阳能是取之不尽、用之不竭、可再生利用的干净能源。除核能、地热能和潮汐能之外,地球上的所有能源都来自太阳,建造卫星太阳能电站是解决人类未来能源危机的重要途径^[1]。要将地球静止同步轨道上的电能输送到地面,传统的有线输电方式是不可能的,唯一的办法是采用无线输电技术。

1 无线输电原理

无线输电由电源1、电磁波发生器2、发射天线3、接收天线4、高频电磁波整流器5、变电设备6和有线电网7等组成,如图1所示。电源可以是卫星太阳能电站输出的电能,也可以来自是水电站、风力电站、原子能电站。电磁波发生器指的是微波源或激光器,它把电能转变为高功率、高频的电磁波,然后馈送给发射天线,被接收天线收集的电磁波束的能量经连接线路后输入高频电磁波整流器,输出的高压直流电压经变电设备后送入有线电网。

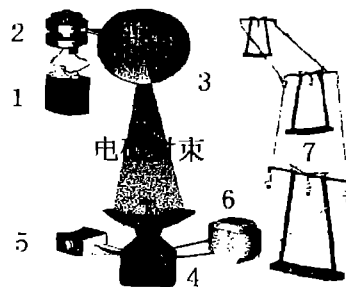


图1 无线输电原理

电磁波用于传递信息,发射天线的口径一般不大,在自由空间中电磁波能流密度也很低,所以传输的功率一般是几十瓦的数量级。为了输送装机容量几百万千瓦的电能,原则上只要增大发射天线的面积和提高能流密度就可以了。例如,要将离地面35 800 km、容量 5×10^6 kW的卫星太阳能电站的电能送入地面电网,如果考虑到大功率电磁辐射对生态环境的影响,那么微波发射天线的口径约1 km,在纬度 35° 地域安装的接收天线阵的面积约 $10 \times 13 \text{ km}^2$;如果使用波长 $10.6 \mu\text{m}$ 的激光器,则发射与接收天线的尺寸减少到31 m和 $31 \times 40.3 \text{ m}^2$,但传输效率较低(估计18%~30%)^[2]。

2 无线输电器件与参数

收稿日期:2002-06-28

基金项目:俄罗斯基础研究基金项目(99-02-16012)、俄罗斯总统基金资助项目(96-15-96956)

作者简介:王秩雄(1962-),男,浙江黄岩人,俄罗斯莫斯科大学副博士,主要从事非传统微波器件、电子保护技术、超高重复频率超短微波脉冲、无线输电技术和卫星太阳能电站的研究。

微波源或激光器是可供无线输电技术选用的电磁波发生器。作为输电应用,首先要考虑的是能量转换效率。在厘米波段,理想磁控管和放大管的效率分别为90%和80%,而理论上效率最高的磁旋束管放大器可达到100%,放大系数无限大;在毫米波段,回旋管的实际效率已达到40%;在光波波段,阳光直接泵浦的激光器的效率约20%^[2]。若用于卫星太阳能电站,重量、体积、寿命等参数也是至关重要的。这是因为运载火箭、航天飞机的有效载荷约2.5%,重量、体积的增加会大大增加发射费用和难度。宇宙空间中背光一面的温度只有2.7 K,而。受阳光照射的器件表面温度较高,此外还有宇宙射线、陨石、航天垃圾等因素,所以在制造工艺方面有特殊的要求

天线的结构视具体情况而定。对于地面的无线输电,发射与接收天线均可用面天线;对于空间电能输送,发射天线采用相控阵形式,而接收天线用柱面天线加接缝隙天线。考虑到云霜雨雪等对电磁波的吸收和散射,大气层内的传输频率宜低于3 GHz,最佳为2.45 GHz。

无线输电的关键器件是把微波能量转变为直流电的整流器。目前研制成功的有回旋波微波整流器和半导体微波整流器2种,在实际使用中各有千秋。前者单个器件较重,但是可输出10 kW以上的大功率和20 kV以上的高电压,工作性能稳定,具有微波过载自我保护特性;后者重量轻,但是单管输出的功率小(2~6 W)、电压低(10~20 V)、稳定性差。两者单管的整流效率相近,约85%。如果用于大功率整流,优先选择前者;若用于小功率输电,后者占有优势。譬如功率为5 GW的卫星太阳能电站,要用数目约 1×10^9 个半导体微波整流器,这将消耗大量的稀有材料,安装、连接、测试、维护也很费力;若用回旋波微波整流器,可以很好地回避这些问题。俄罗斯长期从事微波能源动力学和物理电子学的研究,与微波公司合作,研制出了一系列真空电子管整流器产品,已用于空间电能向地面传输试验和给低轨道军用卫星供电,并已出售给日本空间和宇宙科学研究所,在即将建成的俄罗斯“自由号”空间站的日本模块上进行试验。

3 无线输电技术应用领域

无线输电技术一般用于特殊的场合,具有广阔的应用前景。

1) 给一些难以架设线路或危险的地区供应电能

高山、森林、沙漠、海岛等地的台站有时遇到架设线路困难的问题,而工作在这些地方的边防哨所、无线电导航台、卫星监控站、天文观测点等需要生活和工作用电,无线输电可补充电力不足。此外,无线输电技术还可以给游牧等分散区村落无变压器供电和给用于开采放射性矿物、伐木的机器人供电。

2) 加电或拯救低轨道军用侦察卫星

低轨道军用侦察卫星进入地球阴影区时,太阳能电池不再工作,这时蓄电池起作用。由于现代侦察设备的复杂性和侦察手段的多样性,单凭蓄电池供应的电力往往不足,不能完成预期的军事侦察任务。为了解决这一问题,俄罗斯科学家提出在地面上建立一系列无线供电点,当同步卫星飞掠自己国土上方时,给它们不断供电。另一方面,随着高功率微波和激光武器反卫星技术的出现,太阳能电池板处于暴露状态,最容易受到损伤,无线输电技术可以解决太阳能电池出故障时的电能供给问题,挽救失去功能的卫星。

3) 保障天基定向能武器系统的电力

定向能武器——微波武器、激光武器和粒子束武器是继核武器之后的高新技术武器,其主要用途是进行软杀伤,即破坏C⁴I系统中敏感的电子元器件,使其失灵或失效,以达到制胜对方的目的。近些年来,微波武器、激光武器反导弹、反卫星技术受到世界许多国家的重视,特别是美国和俄罗斯,这方面的资金投入和技术遥遥领先。从原理分析,在近地表空间使用定向能武器来杀伤大气层外的目标将遇到不可逾越的困难,这是因为空气分子要与高功率电磁射束发生相互作用和大气密度的不均匀性,使得传输的能流密度受到了限制,导致武器发挥不了应有的作用。因此,若能在外层空间建立定向能武器基地,自然的超高真空状态提供了极好的条件。除了核燃料是可供选择的能源外,借助于无线输电技术,卫星太阳能电站可作为天基定向能武器的初级能源基地。

4) 用于研制微波飞机

所谓微波飞机就是以微波作为动力推进运动的无人驾驶的飞行器。这种飞机的结构与一般飞机类似,不同的是它装有微波接收天线和整流器,可把地面和空中供给它的微波能转变成直流电,用来驱动飞机发动机。美国曾做过微波飞机的试验。96年在日本举行的空间能源会议上,也有人做了微波飞机的原理性演

示,飞行高度3 m,持续时间十几分钟。微波飞机可代替人员担任昼夜不停的边防巡逻警戒任务,也可用于战场监视、预警和目标侦察等。微波飞机与无人驾驶的预警飞机和侦察飞机相比,重量轻、体积小,比一枚导弹的造成价低得多,即使遭到对方的袭击,也可换取可观的效费比,在现代电子战中扮演着重要的角色。

5) 在空间建立超大尺寸反射镜,用于反射大功率微波

建立超大尺寸的空间反射镜是空间技术的重点内容之一。俄罗斯提出在地球北极上空建造面积巨大的反射镜——人造太阳,用来将太阳光反射至地面,使得地球上某一区域不出现黑夜。这样,地面上的太阳能电站就可以全天工作,也可以用来开展其它方面科研试验。为了实现这一计划,可用运载火箭或航天飞机将高反射率的材料送到空间站上,在那里通过某种装置张开,再由宇航员进行适当的调整。俄罗斯在空间站上曾经进行过几次人造太阳的试验。从本质上看,太阳光和微波都属于电磁波,当然可以在空间建造面积很大的微波反射镜,具有军事和民用应用前景。例如,通过高空的微波反射镜和利用无线输电技术,可以建立未来的环球输电网络,用来方便地解决未来世界各国的电力供求问题。

6) 解决地面太阳能电站、水电站、风力电站、原子能电站的电能输送问题

我国的新疆、西藏、青海等地降雨量少、日照充足(年日照时间3 000 h)、存在大片荒芜土地,有利于建造地面太阳能发电站。可是,这些地区人烟稀少、地形复杂,架设线路比较困难。利用无线输电技术,可以建立一系列微波中继站,将电能输送到便于架设线路的地方后再归入有线电网。又如我国云南等地水力、风力资源丰富,但在崇山峻岭之中难以架设线路,无线输电技术就有了用武之地。采用无线输电技术,可把核电站建在沙漠、荒岛等地。这样一方面便于埋葬核废料,另一方面当电站运行发生故障时也可以避免对周围动植物的大量伤害和耕地的污染。

7) 建造无塔电视台

大家知道,发射电视信号的电视塔都很高,中继站一般也建在山头等高处,卫星那就更高了。利用无线输电技术,可以建造高度介于电视塔和卫星之间的无塔电视台。所谓无塔电视台,就是在某一地区上空持续飞行或停留的携带有关视频设备的飞行器,功能相当于电视台或卫星,动力由地面的微波束通过无线输电方式供给。从功能方面看,无塔电视台比一般的电视塔高很多,因而信号覆盖的范围更加宽广。从技术经济的观点出发,无塔电视台造价比卫星的费用低,技术难度也小些,特别适合于建在电视信号难于到达的森林地带和山区。

8) 传送卫星太阳能电站的电能

所谓卫星太阳能电站,就是用运载火箭或航天飞机将太阳能电池板或太阳能聚光镜等材料发送到赤道上空35 800 km的地球静止同步轨道上,在那里宇航员或机器人将它们安装起来,或者太阳能电池把阳光直接转变为电能,或者用太阳能聚光镜把阳光汇聚起来作为热源,像地面热电厂一样发电,这样产生的电能供给微波源或激光器,然后采用无线输电技术将大功率电磁束发送至地面,接收到的微波能量经整流器后变成直流电,由变、配电设施供给用户。

9) 微重力环境中的晶体生长

宇宙空间为科学技术实验提供良好的环境。宇宙空间中万有引力作用减弱,周围不受灰尘、细菌等污染,背景辐射温度低,自然处于超高真空状态,这些在地面上根本不可能实现或很难做到,对于开展科学技术实验是十分有利的。例如,1999年法国人建议在空间小卫星上生长单晶,与俄国人合作,采用无线输电技术,将空间站上太阳能电池板的电能由回旋管微波源转换为微波束,供给离空间站1 km的小卫星,用于加热功率400 W的单晶生长炉子,可以生长出非常均匀的单晶。

10) 给以微波发动机推进的交通运输工具供电

现在大部分交通运输工具燃烧石油产品,其发动机叫做柴油发动机、汽油发动机等。与此类比,以微波作为能源推进的发动机叫做微波发动机。微波是工作频率在0.3~300 GHz的电磁波,不能直接用它来驱动电动机,因为设计出工频50 Hz的电车发动机很容易,但要设计出在如此高的频率下工作的发动机非常困难(有人曾经作了尝试,后来放弃了)。如果思路加以改变,加接把微波能量转变为直流电流的整流器,那么微波就可以直接作为交通工具的能源了。设计微波发动机具有潜在的应用前景,这是因为煤、石油、天然气的存储量有限,而日消耗量巨大,总有耗尽之日,到那时卫星太阳能电站可望成为能源供给的主干,通过无线输电技术可以直接把微波能量输给交通运输工具。

11) 在月球和地球之间架起能量之桥

世界人口的不断增长和地球资源的日益耗尽,太阳系中其它星球的开发利用是人类的必经之路。月球是地球的天然卫星,其上资源丰富,地域辽阔,是首先要开发的星体。未来人类对月球的利用主要是移民和资源获取。月球的土壤里富含 SiO_2 ,是制造太阳能电池的原料。如果先在月球上建立起工厂,然后把太阳能电站直接建在月球上,比起建在地球静止同步轨道上要容易些,借助于微波束或激光束把电能发送到地球。

12) 给星际空间的探测器供电

地球人造卫星的电力主要靠太阳能电池供给。可是当探测太阳系中比地球更远的行星时,例如火星,太阳能电池不起作用了,要靠蓄电池或核电池供应电能。当电池耗尽时,探测器就不再工作。无线输电技术可解决这一问题。

13) 实现宇宙电梯的设想

由于地球的引力,遨游太空需要付出巨大的能量,要求非常高的技术。所谓宇宙电梯就是在太空中建立一系列平台,人类乘坐宇航交通工具先到离地球最近的平台,然后从这一平台再换乘到更高一级的平台,这样逐级远离地面飞向太空,就像要到摩天大楼的顶层游览,先在底层坐电梯到十层,再从十层换乘电梯到二十层,最后到达顶端一样。宇宙电梯的各个平台的能量可以由卫星太阳能电站通过无线输电技术供给。

4 展望

无线输电技术具有雄厚的技术基础,宽广的应用领域,受到世界各国的普遍重视,俄罗斯、美国、法国和日本正在进行着从空间站朝地面传输电能的试验。由于技术经济的原因,无线输电技术目前没有得到大规模的工程实施,但从长远看来,其意义是重大的,具有潜在的广泛应用前景。

参考文献:

- [1] Ванке В А, Лопухин В М, Саввин В Л. Проблемы Солнечных Космических Электростанций [J]. Успехи Физических Наук, 1977, 123(4): 633 - 655.
- [2] Чернянский Г М, Чернов А А. Лазерные Системы в Космосе [М]. Радио и Связь, 1995.

(编辑: 门向生)

Application Prospect of Wireless Electric Power Transmisson Technology

WANG Zhi - xiong, HU Jing - lei, LIANG Jun, WANG Chang - hua

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: Wireless electric power transmisson consists of microwave sources or lasers, transmitting and receving antennas, microwave or laser rectifier, etc. , among which the most important device is the rectifier that converts microwave or laser energy into direct current. This is a new and non - traditional method that in general is applied to some special cases, for example, lower military satellite, directional energy weapon in outer space, microwave airplane, solar energy satellite power station, etc. in all fourteen new, significant and potential fields of science and technique.

Keywords: electric power transmisson; microwave; laser