

人造太阳的技术发展综述研究

黄志新

华成工贸公司 广东 广州 510000

DOI:10.12238/etd.v3i4.5323

摘要: 基于前人的经验与教训的基础上: 本文提出了一个“太空人造太阳”的方案, 就是在太空中适当的轨道上设置很多反光镜阵, 把太阳光反射到地面上, 这样既保留了原太空太阳能发电的大规模而且便宜的优点, 也解决了从太空中把能量传输至地面的困难, 还减少了不必要的大规模储能装置。除此之外, “人造太阳”的装置还可以提供地面上夜间大规模的照明功能(相当于人造月亮); 而且它还能改造灾害性天气(如减弱台风, 龙卷风, 暴风雪, 暴风雨等等灾害)。

关键词: 太空人造太阳; 模块式人造太阳空间站; 小行星式人造太阳空间站

中图分类号: TK01 **文献标识码:** A

A Review of the Technological Development of Artificial Sun

Zhixin Huang

Huacheng Industry and Trade Company Guangdong Guangzhou 510000

Abstract: On the basis of previous experience and lessons: This paper proposes an "artificial sun in space" plan, which is appropriate in space orbit set many mirrors array, and reflects the sun's light onto the ground. It both retained the original space solar power on a large scale and the advantages of cheap, also solved the energy transmitted to the ground from space in difficulty, also reduces unnecessary large-scale energy storage device. In addition, "artificial sun" devices can provide large-scale illumination of the ground at night (equivalent to the artificial moon); and it can also modify catastrophic weather (such as weakened typhoons, tornadoes, blizzards, storms, etc.).

Keywords: Artificial sun in space; Modular artificial solar space station; Asteroid artificial solar space station

前言

美国工程师 Peter Glaser 于 1968 年, 提出了一个太空轨道发电站的方案: 就是在同步轨道设置很多太阳能硅发电板, 在空中日夜发电, 然后用微波输电的形式向地面大规模回电^[1-2], 这好像是一个不错的发电方案, 但是可惜, 现在连极短距离的微波输电的技术还远未成熟, 更不用说是太空大规模的微波输电技术了。

另外, 1993 年 2 月 4 日, 俄罗斯在和平号空间站上发射了名为“Znamya2”的人造月亮试验: 它的反射镜的直径为 20m, 把太阳的光能反射到地面, 形成一个 5km 的大亮斑区域, 光斑的亮度相当于满月的亮度, 该光斑以 8km/s 的速度从法国南部穿越欧洲到达俄罗斯西部, 由于大气阻力的作用, 该反射镜几小时后就坠入到大气层销毁了^[3]。后来俄罗斯又在 1999 年 2 月 5 日发射了“Znamya 2.5”的人造月亮试验, 它反射镜的直径为 25m, 能在地面上产生 7km 的光斑, 亮度相当于满月的 5-10 倍。在轨展开后, 被和平号上的天线挂住而失败^[3]。人造月亮的建造目的, 是为地面上的城市或矿区提供照明, 以便节电, 也可以为灾区提供照明; 后来我们国家又准备在四川成都市上空发射三个反射镜, 制造三个人造月亮, 以达到 24 小时有光照的目的, 后来由于费用, 技术等问题, 此计划又搁浅了。

鉴于上述的文献所载及俄罗斯的试验, 它们在各自的领

域都是很有创建的, 但又有很大的局限性: 太空发电站, 由于需要 3 万多公里的无线微波输电的技术, 在可见的将来还不能实现; 而人造月亮由于作用有限, 但投入太大, 近期也没有再深入研究的迹象。

另据网易新闻, 鹰之翼报道, 今年 9 月 12 日我国在甘肃敦煌的沙漠地区, 建成了世界上最大的光热太阳能发电站, 它用了 12000 面镜子组成的向心圆形反光镜阵, 已经发出很强的电力了^[4]。

综合上述几种方案的优缺点, 本文提出人造太阳的方案: 把所研究的人造月亮的规模扩大几百乃至上万倍, 它就是挂在天空的另一颗人造太阳, (有别于地面上的热核电站)。它真正具有太阳的功能: 既可以照明, 又可以配合大规模地面站进行发电, 还可以改造糟糕的天气, 把极地以及其他高寒地区改造成鱼米之乡!

1 人造太阳的原理综述

1.1 人造太阳系统工程由两部分组成

地球卫星轨道上的镜面反射阵列系统, 以及地面上的太阳能发电系统, 下面分别进行介绍:

地球卫星轨道上的反光镜阵在电脑的控制下, 把太阳光反射聚焦在地面上某一区域, 而在该地区同样也安装大量的反光镜, 把卫星上反射下来的强光再一次反射到设在高塔上的接收器上, 该接收器的温度达到几百度, 熔解了塔上的金

属, 该液态金属流到地下的储存室, 然后用热交换器, 把热量交换到水, 使水变成蒸气, 水蒸气推动汽轮机带动发电机发电。

1.2 人造太阳的基本原理

因为太阳光球的圆盘面到达地球的张角是 $32'$ 相当于 0.0093 弧度, 故轨道反射镜反射到地面的光线也有 0.0093 弧度的散射角; 设反射镜阵到地面的距离为 h km, 当这些反射光线垂直到达地面时, 地面的有效光斑直径为:

$$D = 2h \tan\left(\frac{32'}{2}\right) = 0.00931h \approx 0.01h \quad (1)$$

设轨道反射镜阵是圆形的, 的镜面积为 $C = \pi d^2 / 4$, 其中 d 是镜面阵的直径; s 是地面光斑的有效面积, D 是它的直径, 则地面站的平均光照强度 q 与地面的光斑面积成反比结合 (1) 式有:

$$q = \epsilon k C / s$$

$$= \frac{\epsilon k \pi d^2 / 4}{\pi D^2 / 4} = \frac{\epsilon k d^2}{(0.00931h)^2} \quad (2)$$

式中上式是以面积表示的地面光斑平均光照强度公式, 适用于任何形状的轨道反射镜阵, 而下式表示当反射镜阵为圆形时的平均光照强度公式, 其中 $k = 1367 \text{ w/m}^2$ 为太阳辐射常数, ϵ 是太阳能经大气吸收, 散射等衰减后剩下的有效数值 (在晴天, 光线垂直入射时, ϵ 在 $0.5-0.7$ 之间, 阴雨天还会更少) 把它们代进 (2) 式, 再叠加一些很小的随机的散射量, 就可以得到地面站的平均光照强度, 它与镜阵的直径平方 (或面积) 成正比, 而与镜阵距离地面站的平方成反比:

$$q = 0.0946 \left(\frac{d^2}{h^2} \right) \quad (3)$$

上式是当轨道镜面阵与地面垂直时的地面平均光强公式, 是最理想的公式; 下面推导而当镜面阵与地面有 θ 角时, 公式 3 应该如何修改? 当有一束平行光以 θ 角从空中入射地面时, 它的光强应比垂直入射减少, $q_\theta = q \cos \theta$, 由于轨道反射镜面阵的散射角很小, 可以近似看作是平行光, 结合公式 (3), 因此当空间反射镜面阵的入射光与地面有 θ 角时地面光斑的平均光照强度为:

$$q_\theta = 0.0946 \left(\frac{d^2}{h^2} \right) \cos \theta \quad (4)$$

另外, 当 $h = H_1 = 1000 \text{ km}$ 的高空时, 地面上的光斑直径约为 10 km 左右; 而当: $h = H_1 = 3594 \text{ km}$ 的高空时, 地面上的光斑直径约为 36 km (后一个高度为航天器全年不进入地球阴影的最低高度, 3.1.4 节将会详细推导介绍)。

若把 H_1 在 1000 km 的高空时的地面站平均光强定义为 1 , 则当 H_3 在 3594 km 的高空时, 地面上的平均光强则为 0.077 。

到达地面上的反射光强度呈高斯曲线状, 中间最高四边低, 而到达光斑半径的最外一圈边缘地带光强就接近于 0 了。

虽然平均光强与轨道反射镜阵器近离地面高度的平方成反比, 但对同一时间段, 在轨道反光镜在正常光照工作时, 对地面上各种光斑的全部光能进行积分, 它的总和是一样的, 等于轨道反光的总和打一个折扣, 这个折扣就是光线穿过大气层的损耗 ϵ 剩下的只有 $0.5-0.7$ 在公式 (3) (4) 中已经扣除:

$$k\pi \int_0^r dr \int_0^{2\pi} d\varphi = \epsilon k A \cos \theta \quad (5)$$

式中 k 为太阳常数, A 空间太阳反射镜总有效面积。

当太空轨道上的太阳光被反射并聚焦到地面上特定的站点之后, 形成一个上述所说的光斑, 在最高光强的中间部分竖立一座高塔, 在光斑的中间地带围绕高塔的几圈同心圆, 安装着几百个反光镜, 以接收四面八方反射过来的阳光, 它们把地面上的太阳光能反射到高塔上的接受器, 接受器里面有一些相变金属, 被高强度的大量太阳光溶解之后, 把热能储存起来, 均衡的供热蒸汽推动汽轮机发电。

而四周光强较低的部分就用硅太阳能电池板直接发电。然后把两部分所发的电能升高到同一的频率和电压, 一起并入电网。这是晚上的人造太阳发电方式 (这一方式类似于我国在西部已建成的最大太阳能发电站)。

而在该地区进入白天时 (地方时早上 8 时至下午 5 时), 轨道反射器远离该地面, 而且反射角太窄, 不能有效地把太阳光反射回该区域, 这时地面的太阳能发电站就利用真正的直射太阳能直接发电。这样该发电系统就能在一天中连续 24 小时不间断地发电, 晚上发电量较多, 白天相对少一点。

由于地面的太阳能发电系统在技术上业已十分成熟, 我国已建成超大规模的光热发电系统及大规模的硅太阳能发电系统。但是在太空人造太阳发电站在这个系统里, 要把它做得更大 (直径近 10 km) 便可。因此本文对此就不再多费笔墨了, 主要是论述轨道上的太阳光反射系统。

2 人造太阳各系统分述

人造太阳系统除了发电之外, 还可以利用它改造天气; 也可以制成人造月亮, 以利大城市或灾区照明……。所有这些用途的人造太阳, 其轨道上的设备, 基本是一样的, 不同的是所投射的区域不同及聚焦方式不同, 这些可以通过电脑控制, 从而达到不同的用途。在本节中, 主要以人造太阳发电介绍它的空间轨道系统。

2.1 人造太阳空间轨道要素

参见文献[6]图 3-15, [7]的图 4.7, 日心轨道一般取黄道面, 地心轨道取天赤道面, 惯性坐标轴 $O-XYZ$ 的 X 轴指向春分点; 经典轨道要素一般取 $\sigma = (\alpha, e, i, \Omega, \omega, \tau)$ 六个分量: 半长轴 α , 偏心率 e , 轨道倾角 i , 升交点赤经 Ω , 近地点角距 ω , 近地点时刻 τ 。本文主要讨论 (α, e, i, ω) 四个, 其余两个要在具体发射时再讨论。

人造太阳的空间轨道需要符合以下几点要求:

- (1) 地球每天晚上它都同步出现在地面太阳能电站的上方天空。
- (2) 晚上反射轨道运行段尽可能离地面需照区域不能太远。
- (3) 避开空间辐射较强的区域。
- (4) 晚上轨道反射器尽可能少的进入地球阴影区。
- (5) 太阳光压摄动尽量与大气阻力摄动平衡。

由于该轨道有这么多的要求, 因此比较难以确定, 下面根据参考文献的资料以及本人的研究慢慢推导出来。

2.1.1 地球同步轨道

因为轨道反射器需要每天晚上都要反照到地球上同一区域进行发电, 因此该反射器肯定是安放在地球同步轨道上。

轨道周期 T 与半长轴 a 的关系: $T = 2\pi\sqrt{\frac{a^3}{GM}} = \frac{2\pi}{n}$ (6)

式中 G 为引力常数, M 为地球质量, K 为常数。

回归轨道: $\frac{24}{T} = \frac{n}{D}$ (7)

式中 D, n 分别为轨道器重复间隔及飞行圈数, 当它们都为 1 时: 此时轨道半长轴 $a=42164.171\text{km}$, 轨道周期 $T=1$ 个恒星日, 这就是著名的地球同步轨道^[6-7]。

2.1.2 偏心轨道

由于同步轨道的半长轴为 42164km, 但是反射镜离地面的星下光斑直径约为公式 4 考虑, 它的距离 h 又不能太远, 因此轨道宜选择偏心轨道: 因为轨道反射器主要在晚上工作, 因此需要在地面电站区域地方时深夜 0 时最接近地面, 轨道近地点应选择在此时, 即近地点赤经与地面接收站的地理经度一致, 并且近地点 h 又越低越好。从空间大气阻力摄动方面考虑, 近地点离地面越远越好; 再从空间的范艾伦 (J.Van Allen) 辐射带 $h=1000-6000\text{km}$, 磁纬度范围 $\pm 40^\circ$ 之间。外辐射带 $13000-19000\text{km}$, 磁纬度范围 $\pm 50-60^\circ$, 以及太阳光压力摄动等各方面考虑, 下面再详细论述。

2.1.3 冻结轨道^[6-8]

当考虑到地球为扁球体时就要考虑摄动系数 $J_2 = 1.0826355 \times 10^{-3}$, 它对轨道反射器的轨道产生影响, 而当倾角等于临界倾角 $i_c = 63^\circ 26'$ 或 $116^\circ 34'$, 此时由于 J_2 的摄动: 轨道近地点拱线停止转动, 且轨道偏心率保持不变, 这就是所谓的冻结轨道 (Frozen Orbit)^[6-8]。若与地球同步轨道结合起来, 就形成了地球同步冻结轨道 (简称同步冻结轨道), 本文所述固定的人造太阳空间站, 都是运行在这些轨道上。当考虑到摄动系数 $J_3 = -2.5324105 \times 10^{-6}$ 时, 还可以得到不同轨道倾角, 偏心率及近地点高度^[6-8]。

2.1.4 地球阴影的遮盖

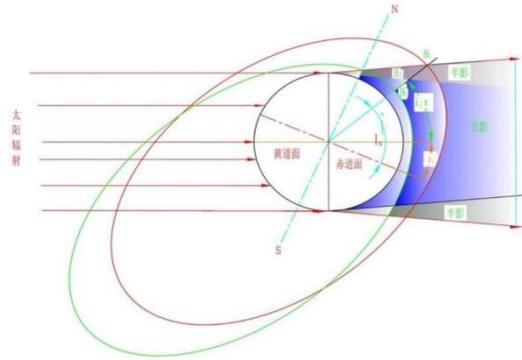


图1 地球阴影遮盖人造太阳的轨道示意图

由于在地球卫星轨道上看太阳光球圆盘的张角是 $32'$, 相当于 0.0093 弧度, 在不太远的范围内, 可以不予考虑半影阴影。地球的阴影, 就相当于以地球平均半径 $R \approx 6368\text{km}$ 所张的一个圆盘产生的一个阴影, 太阳在冬至这一天直射南回归线, 这天的地球赤纬 $\phi \approx -23^\circ 26' 21''$ 轨道器对黄道面的倾角为 $(i_c - \varphi)$, 轨道器在冬至这一天对黄道面的倾角最小, 所以, 北半球在这一天深夜最容易被阴影所遮蔽, 以此来确定航天器不进入地球阴影, 就可以确保空间轨道反射站全年都没有任何一刻时间进入地球阴影, 设 R 为地球的半径, h 计算公式如下: $(R + h) \sin(i_c - \varphi) \geq R$ 整理后得: $h \geq \frac{R}{\sin(i_c - \varphi)} - R$ 。

把 R, i_c , 以及 φ 的数值代进上式, 可以求得 $h \geq 3538.8\text{km}$, 这是只考虑不进入地球阴影, 还未考虑半影时的最小近地点距离:

$$h \geq 3538.8\text{km}$$

当考虑到半影时, 首先要考虑太阳光射到地球边缘时有 $32'$ 的散射角, 在这个散射角之内, 就是半影地带, 下面参照图 1, 推导出计算考虑半阴影状态时的最小近地点高度。设 Δh_{11} 为当 $h = 3538.8\text{km}$ 时, 太阳光散射角 $32'/2$ 的范围, $\Delta h_{12} = (R + h) \cos(i_c - \varphi) \tan(\frac{32'}{2})$ 。

把已知的数值都代进上式即可求得:

$$\Delta h_{12} = (6368 + 3539) \cos(40^\circ) \tan(16')$$

$$\Delta h_{12} = 35.3\text{km}$$

$$\text{而 } \Delta h_1 = \Delta h_{12} / \sin 40^\circ = 54.9\text{km}$$

$$H_3 = (h + \Delta h_1) = 3538.8 + 54.9 = 3594\text{km}$$

$$H_2 = (h - \Delta h_1) = 3538.8 - 54.9 = 3484\text{km}.$$

式中 H_2 为完全阴影与半影的交界处, H_3 为无阴影与半影的交界处, 并且考虑张角 $32'$ 很小, 所以, $\Delta h_1 \approx \Delta h_2$ 。

这里有三种不同近地点距离的轨道 (由于它们都是地球同步冻结卫星, 因此半长轴 a 是一样的等于 42164.171km), 首先设 $H_1 = 1000\text{km}$ 为反射镜阵的最近距离:

- 1) (1000km = $H_1 \leq H_{1-2} \leq H_2 = 3484\text{km}$)
- 2) (3484km = $H_2 \leq H_{2-3} < H_3 = 3594\text{km}$)
- 3) (3594km = $H_3 < H_4$)

第1)种轨道的特点是：离地面站较近，因为地面站的平均光强度与空间站的距离平方成反比，因此在这一点上是很优势的；但是在冬至这天前后，都有长短不一的时间进入地球的阴影之中。

第3)种轨道的特点是：空间轨道站一年365天都没有进入地球的阴影之中，但是由于空间站离地面站较远，地面站上的平均光强度小很多。

第2)种轨道的特点是：它介于上述两种轨道之间，冬至前后空间站有一段短时间会进入地球的半阴影之中，它的轨道离地面站也是介于上述两者之间。

表1 各种不同轨道的情况比较表

近地点高度 Km	$H_1=1000$	$H_1 \leq H < H_2$	$H_2 = 3484$	$H_2 \leq H < H_3$	H_3 及 H_4
地面光斑直径 D 与面积 S	$D_1=10\text{km}$ $S_1 = 78.5(\text{km})^2$	$10 < D < 35$	$D_2=35\text{km}$ $S_2 = 908(\text{km})^2$	$35 < D < 36$	$D_3 = 36$ $S_3 = 962(\text{km})^2$
地面站平均光强 q	$q_1 = 1$	$1 > q > 0.082$	$q_2=0.082$	$0.082 > q > 0.077$	$q_3=0.077$
地面站耗材 C	$C_1 = 1$	$1 < C < 11.6$	$C_2=11.6$	$11.6 < C < 12.3$	$C_3 = 12.3,$
地球阴影遮蔽时间	进入阴影时间与日期最长。	随着离地面越远，进入阴影时间越短。	冬至日，进入地球半影。	随着离地面越远，进入地球半影的时间越少。	全年都脱离地球阴影。
总评	地面站材料最省。但受地球阴影遮蔽的时间较长。	随着近地点越来越远，地面站建设需要的材料越来越多；但受地球阴影遮蔽的时间却越少。			需要的建设材料最多；但空间站没有受到地球阴影的一点遮蔽。

注：①在轨道镜面面积固定的情况下比较。

②我们今后的工作是在这几种轨道类型中，比较进入阴影的时间长度与地面站光强之间，寻找最大的发电输出，而地面站耗材比较少，等几方面最佳的合适轨道。

2.1.5 大气阻力摄动与太阳光压摄动的影响

1) 地球的大气阻力对轨道空间站的摄动，当 $h \geq 1000\text{km}$ 时大气阻力的摄动已趋于 0 (量级为 $10^{-10}/g$)^[6]。

2) 太阳光压在地球附近对轨道空间站的摄动强度基本是恒定的，它是：

$$F_s = k \cos^2 \alpha^{[10]} \quad (8)$$

此处 F_s 为一个天文单位处太阳光压与太阳对轨道站引力的差值， k 为系数在 1.5-2 之间； α 为太阳入射光与镜面之间的夹角。

太阳光压对镜阵的摄动，在白天与晚上基本相反：白天摄动把镜阵推向地球，而晚上则相反，使得镜阵远离地球。

3) 在本设计中，上述两种摄动力基本上是相反的：大气阻力的摄动基本上是要把空间站拉回地球，而太阳光压的

摄动强度基本是恒定的，在低轨道，两者相减；而在高于 1000km 的轨道上，大气阻力的摄动 ≈ 0 ，太阳光压的摄动基本上是恒定值，它的作用力是把轨道反射镜的近地点推向离地球更远一些，虽然其单位面积光压的强度不是很大，但是由于反光镜的总面积很大，因此其力度是不容忽视的，并且日积月累，还是对空间站的轨道有一定的影响的，我们必须加以研究和预防。

4) 应优选一个地球同步冻结轨道，它的近地点高度使得太阳光压与大气压力的两种摄动达到动态平衡：即既不会被大气压力的摄动拉回地面，也不会被太阳光压摄动推向更远的深空。

2.1.6 综合考虑上述诸多约束条件

- 1) 选择地球同步冻结轨道，轨道临界倾角 $i_c=63^\circ 26'$ ，
- 2) 近地点的赤经选择应与地面接收站的地理经度相同。

3) 由于冻结轨道的临界倾角 i_c 绝对值大于外辐射带的在磁纬度绝对值范围 $|\pm 60^\circ|$ ，更大于范艾伦 J 辐射带磁纬度绝对值范围 $|\pm 40^\circ|$ ，因此可以有效地避免两条辐射带对轨道航天器的损害，因而对此可以不予考虑。

4) 剩下的仅在于航天器的近地点的考虑: 原则上反光镜的聚光效果是离地面越近, 效果越好, 并且地面站的建设耗材 (反光镜的总面积) 越少。但考虑到地球的大气阻力的摄动, h 却不能太低, 当 $h \geq 1000\text{km}$ 时大气阻力的摄动已趋于 0。原则上轨道近地点 $1000 \leq h \leq 3594\text{km}$ 的范围之内, 在这一范围内, 随着近地点距离越远, 受地球阴影遮蔽的时间越少; 但地面站建设需要的材料越多。若近地点距离大于此范围, 则此轨道的航天器整年都没有一分钟会进入地球阴影。

选择地球同步轨道, 半长轴为 42164.171km , 若地球平均半长轴取 6368km , 轨道短半轴 (近地心点) 应取: $(7,368 \leq r_p < 9,962\text{km})$ 之间; 轨道长半轴 $r_a = 2a - r_p$, 它介于: $(76,960 \geq r_a > 74,366\text{km})$ 之间。

轨道偏心率 $e = 1 - \frac{r_p}{a}$, 把 r_p 与 a 的值代进去 4 式, 得: $(0.825 \geq e \geq 0.764)$ 之间。

3 人造太阳空间站的布置

3.1 模块式人造太阳空间站

俄罗斯的“Znamya 2”及“Znamya 2.5”的人造月亮试验, 仅有的一个反射镜的直径为 20m , 及 25m 。它的缺陷是明显的: 只能做人造月亮, 不能做人造太阳。

本文所述的轨道反射器是做成标准的模块形式: 每一个反射镜面积不宜太大做成直径 $5-10\text{m}$ 的圆形或每边长 5m 的正 6 边形, 每个镜子都有一个控制器, 受控于中央电脑主机, 以便使反射光对准地面太阳能接收装置, 使得地面太阳能电站能日夜发电; 这样就组成了一个反射单元。几百, 甚至几千个这样的反射单元组成一个大的太阳能轨道反光镜阵列, 这些阵列安装在一个扁的圆盘形桁架上, 它的直径为 $500-1000\text{m}$, (也可以是其他形状的桁架), 桁架厚度为 $3-10\text{m}$ 左右, 桁架圆心上安装一个太空控制实验室。桁架上安装一系列向心排列的圆形 (或正六边形) 的反射镜, 然后把每一个反射器模块单元连接到控制器的主电脑上, 由电脑统一控制每一个反射镜的反射光方向, 一起同时射向地面同一接收站。这样的反射器面积几乎是不受限制的, (只要桁架直径足够大就可以了)。它可以比人造月亮射出的光线大几千甚至上万倍, 地面接收器的热辐射强度甚至比真的太阳辐射到达地面的光强还要强得多。

3.2 小行星式人造太阳空间站

上面所述的标准式人造太阳空间站, 是建立在现有成熟的太空技术之上的, 主要是规模大得多而已。这一节所描述的是另外一种设计: 它首先要选择一个离地球轨道较近的小行星, 该星边长 500m 到 1000m 之间, 最好是接近圆形或方形, 起码有一面较为平坦。然后人为把它拖到 2.1.4 节所述的轨道上, 让他有较为平整的一面始终对准地球。以这一平面做支撑, 树立起很多与 3.2 节相似的反射镜模块, 在小行星的另一面建造一个空间实验控制器, 既有能够控制全部反射镜模块的大型机器, 又可以兼有空间实验室的功能, 若然条件许可, 还可以做一个空间实验农场, 既可以研究植物在

宇宙空间中的生长发育情况, 又可以为空间站的工作人员提供部分新鲜的蔬果甚至粮食。

利用一个小行星做基础建成的空间太阳能反射基地, 既可以节省很多材料费用, 更可以节省很多地空之间的运输费用。但是我们现在对小行星情况还不太熟悉, 关于如何拖拽到特定的轨道, 这更是困难重重。所有这些问题, 还没有任何研究经验, 因此我们必须长远规划, 逐步进行研究。

4 人造太阳地面发电站的布置

4.1 地面站选址的要素

- 1) 电站选址要尽量靠近用电负荷中心。
- 2) 电站周围的多年平均晴天日数尽可能多, 灾害天气尽可能少。
- 3) 电站周围半径 30km 没有大的矿藏或工矿企业。
- 4) 电站周围半径 30km 没有主要的航空线, 铁路线, 高速公路线。
- 5) 电站周围 40km 要求人口稀少。

符合上述 5 条的主要应该为沙漠戈壁地区, 况且尽可能靠近东边。

下面是我国几个适合建造人造太阳地面站的大沙漠的资料 (由东到西顺序) 排列如下:

敦煌沙漠, 东经 95° , 北纬 41° (已建成世界上最大的太阳能光热电站);

腾格里沙漠, 东经 105° , 北纬 38° ;

巴丹吉林沙漠, 东经 102° , 北纬 40° ;

柴达木盆地, 东经 $92-95^\circ$, 北纬 37° ;

塔里木盆地, 东经 $78-92^\circ$, 北纬 $37-41^\circ$ 。

在这些沙漠的腹地选择一块符合上述 1)-5) 点要求, 然后比较一下其中优点最多, 最好的地块, 作为人造太阳地面发电站的候选站址。

世界上其他国家在有大量沙漠存在的地方, 如撒哈拉大沙漠, 中东的沙漠, 美国的沙漠, 以及其他的大沙漠都可以建造大规模的人造太阳发电站。另外在广大的浅海地方也可以同样建造大规模的人造太阳发电站。这样一种长久可再生的全球能源, 必将造福全人类。

4.2 人造太阳地面站的设计

1) 地面站的大小: 若按照第 2.1.4 节, 全年不进入地球阴影, 近地点最小距离为: $h_1 = 3539\text{km}$ 设计, 当轨道站与地面垂直时, 它们的光斑为圆形, 半径约为 $r_1 \approx h \tan(32'/2) = h \tan(16') = 17.7\text{km}$, 光斑直径约为 35.4km 。

2) 若允许一年中有一定的时间, 空间站进入地球阴影, $h_1 = 1000\text{km}$ 时地面的光斑半径约为 $r_2 \approx 5\text{km}$, 直径约为 10km 。

3) 比较上述两种轨道方案, 方案 1) 优点是轨道反射器全年都不进入地球阴影, 发电时间较多; 但它反射到地面上的光斑较大, 单位面积发电较低, 并且地面站投资较大。

方案 2) 则相反, 轨道反射器在冬至前后有一段时间,

轨道反射器会进入地球阴影，发电时间小了些，但它反射到地面上的光斑较小，单位面积的发电效率较高，而且地面站投资较小。

4) 如果轨道站与地面不垂直，而是有一个角度 θ 时，则地面的光斑变成一个椭圆形，光斑最亮点（中心点）在离空间站近侧的一个焦点上，光斑的长半轴为：

$$r_{\theta} = \frac{h \tan(16')}{\cos(\theta+16')} \geq r_j, j = 1, 2, \dots$$

因为 $(\theta \gg 16')$ ，所以

$$r_{\theta} \approx \frac{h \tan(16')}{\cos(\theta)} \geq r_j, j = 1, 2, \dots$$

因此最大半径 $r_{16'}$ 约 20km，直径为 40km； $r_{2\theta}$ 最大半径约选 6km，直径为 12km。由于很难使得该太空轨道站与地面发电站垂直，因此第 4) 点所述的光斑直径才是符合大多数情况的，设计时应以此作为考虑。

4.3 人造太阳地面站的布置

地面上现有的大型太阳能发电站主要有两种：一种是聚光式热力发电站，另一种是硅太阳能发电板，两种都比较成熟且应用于不同的场合。

1) 人造太阳地面站对上述两种发电方式都要用到：在站场的中心位置矗立一座聚光高塔，该塔除了用于接收太阳的光热能之外，还肩负着向太空轨道站发送定位脉冲微波（或定位激光），以供太空站作为反射镜瞄准之用。

聚光塔的四周布满了一圈又一圈的反光镜，这些反光镜晚上把来自太空人造太阳的光线反射聚集在高塔的吸热器上储存，并且利用热蒸汽推动发电机发电。

2) 当反射镜的圈层达到一定的尺度，离开中心高塔半径有一定的距离，在这一距离上，硅太阳能发电的效率高于热力发电时，从这一圈开始改为硅太阳能发电，也是一圈又一圈地围着中心转，直到人造太阳地面站的光斑结束为止。

这两种发电方式所发的电，一起送到变电站变成统一频率，统一压的电能，并网输出。

3) 人造太阳地面站不光是晚上接收天上太空基站反射来的阳光发电，每到白天，太空轨道站远离地面站，地面站所能接收到太空站反射的光强较少，发电量不足；此时地面站转向对准真太阳，成为现在普遍使用的大漠太阳能发电站。具体时间如下（以当地地方时计算）：1) 真太阳能发电，从早上 7 时至 17 时，共 10 个小时；2) 人造太阳发电下午 5 时至次日早晨 7 时，共 14 个小时。这样用两套系统轮流发，可以 24 小时不间断地发电，也省却大量的储能装置。

4) 人造太阳地面站就怕自然灾害；其效率的高低主要受到晴天日数的影响。因此选址时这两点要给予充分的考虑。

5 人造月亮

其实人造月亮就是缩小版的人造太阳：

(1) 它的空间轨道根数，与人造太阳相似。

(2) 它的光照射到地面时，聚焦方式为均匀分布，而人造太阳的聚焦方式为正态分布。

(3) 它没有地面站，只要几个定位的坐标便可。

(4) 它的空间反射镜总面积比人造太阳少得多。

(5) 它可以作为人造太阳的前期试验工作。

(6) 它完成实验与测试之后可以逐渐增加天空中镜子的数量，使得总面积逐渐增大到足够多，也就变成了人造太阳。

6 太空人造太阳在其他天体上的应用

6.1 月球上的人造太阳

其实人造太阳除了在地上空安装，也可以在大规模开发其他天体上同样可以应用，先说离我们最近的月球。

月球的天文轨道要素：

1 恒星月=月球公转周期=月球自转周期=27.321661d=1 朔望月=29.530558d。

平均半径：1737.5km≈地球半径的 27%。

月球质量=7.352×10²²kg ≈ 1/81 地球质量。

白道面与黄道面的夹角为：5°9'。

地月平均距离=384800km。

在月球开发中，因为月球既有围绕地球的公转，其自身也有围绕自己轴心的自传，因此在它月面上直接安装太阳能发电装置就有周期性的停电的毛病，若合理选择围绕月球旋转的轨道上（月球同步轨道）装置太阳反光镜阵列，在月面处于背光时反射太阳光到月球电站发电，而在电站有太阳光照射时就利用太阳光直接发电，这样可以使得月面发电站可以连续不间断的发电。

月球轨道反光镜的轨道根数：

轨道周期：月球同步轨道，周期为 1 个恒星月=27.32166155 平太阳日。

根据 (6) 式得：
$$\sqrt{\frac{a^3}{M}} = \left(\frac{2\pi G}{n} \right),$$

方程式的右边令 $n=1$ 圈，G 为引力常数，因此整个括号内都是一个常数，一下引用角标 E 为地球，M 为月球，用比例算出月球的同步卫星的长半轴：

$$\frac{a_E^3}{M_E} = \frac{a_M^3}{M_M}$$

$$a_M = a_E \sqrt[3]{M_M/M_E} \quad (9)$$

把 $a_E=42164\text{km}$ ， $M_M/M_E=0.0123$ 代进 (9) 式，然后计算得： $a_M=20969\text{km}$ 。

若定反光镜阵离月面距离为 9.5km（高于月球最高环形山的高度 8km），则月面光斑直径为 95m；并且月球同步轨道的近月短半轴为 1747km，长半轴为 40191km，至于轨道倾角等，还需要知道月球的形状摄动系数，以后再求。

在月球上建这样的发电站有个最大的优点：由于月球上

没有大气,也没有磁场(或者说磁场很弱),所以月球上的轨道电站反光镜可以装得很低,理论上月球同步轨道的近月点高度只要高于月面最高的环形山便可,这样反光镜0.0093的散射率所形成的光斑直径就不会太大,反光的效率就会大大地提高,并且由于月球上没有空气对阳光的衰减,其发电效率比地球更高。而且轨道反光镜的面积就可以大大地减少,大大的有利于实施。

不利条件是地月间的距离达到38万公里,大大提高了运送建造材料的费用,权衡利弊可以先在月球建造一个小型的实验电站,用以检验太空电站的有效性,还可以给月球车以连续不断提供太阳能发电,用以提供月面在背光时的月球车的行走动力,以及月面实验用的电力。月面太阳能综合电站其结构类似于地球空间发电站,宜先造成空间反光镜加月面光伏发电联合装置,以后再搞大型的发电装置,若搞大型的发电站也可以把月面电站搞成反光高塔式电站。

6.2 空间太阳能发电站在火星及其他行星上的应用

它们的设计原理与地球、月球上的人造太阳基本相同,空间反射镜与月球反射镜轨道大同小异:首先根据它的自转周期,重力加速度,等计算出它的同步轨道,也是选择偏心轨道。然后在计算出它的冻结轨道。由于类似的设计原理,在此从略。

7 总结

本文在前人的人造月亮与太空电站研究的基础上,提出了人造太阳发电的基本原理:晚上以空间反光镜阵列直接把太阳能反射到地面,然后在地面上收集太空反射回来的太阳光用于发电,白天继续直接使用太阳能发电,这样就能24小时不间断地利用太阳能发电了。并且推导了几种近地点较低的地球同步倾斜轨道。还简单地设计了桁架式和小行星式轨道反射镜阵。

它完全基于现在的航天工程技术,以及现有的太阳能发电技术为基础,它在技术上是完全可行而且是成熟的。

它可以实现的大规模的太阳能发电,将为我国和世界提供长久的清洁的能源开辟一个新的途径。唯一的难度是要使得航天材料及施工费用大规模地降低,并且大大地降低航天运输费用,由于当前的初级火箭回收技术以及正在研究的空天飞机技术,将可以提供有力的保障。

8 今后还需继续进行的研究工作

继续对太空太阳反射镜阵轨道进行研究,以便找出一条离地面站较近,又使得稀薄大气与太阳光压摄动平衡的同步

轨道,以保证太空反射镜阵能较近距离而且可以长久地保持在太空中工作。

除了发电以及照明之外,还要研究人造太阳在改造天气,减弱台风的灾害,并可以移动雨云,减弱暴风雨灾害;还可以抗击旱灾等等的作用。

人造太阳大量的外太空可控的能量辐射,还可以改变高寒山区(如青藏高原)及两极地区为米粮川的作用,以解决人类长久以来粮食短缺的矛盾;还可以打通亚洲地区从白令海峡经北冰洋沿岸往西及往东的航线,以便缩短亚洲与欧洲及北美的海上航线,大量节省运费造福中国及世界人民。

这些设计都是过去的太空发电站所没有的功能,也是人类千百年来的梦想。

参考文献:

- [1] 太空电站:解决人类能源危机的终极出路?[OL].中国新闻周刊,2021,08,03.
- [2] Folger T. New Moon-Russian Satellite Acts as a Mirror to Light Remote Areas[J]. Discover, Jan, 1994.
- [3] [http://en.Wikipedia.Org/wiki/Znamya_\(Space_Mirror\)](http://en.Wikipedia.Org/wiki/Znamya_(Space_Mirror))
- [4] 鹰之翼,人造太阳在中国问世[OL].网易新闻.2021-9-12.
- [5] J.A.Duffie,W.A.Bekman. Solar Energy Thermal Processes. John Wiley &, 1974
- [6] 张洪波编著.航天器轨道力学理论与方法[M].国防工业出版社.2015,10:p72, p230-235.
- [7] 赵文策,张平,高家智等编著.人造地球卫星轨道理论及应用[M].机械工业出版社,2021:p74-244
- [8] 谷良贤,龚春林编著.航天飞行器设计[M].西北工业大学出版社,2016.3:P373-375.
- [9] 方群,李国新等主编.航天飞行动力学[M].西北工业大学出版社,2015:p371-373
- [10] 吴季著.空间科学概论[M].科学出版社,2020.P73-76.
- [11] 张涛,王学谦,刘宜成编著.航天器控制基础[M].清华大学出版社,2020,4:P25-37.
- [12] 龚胜平,李俊峰著.太阳帆航天器动力学与控制[M].北京:清华大学出版社,2015:23-25.
- [13] 刘洪涛编著.中英对照,Atlas of China[M].中国地图出版社,2012.

作者简介:黄志新,生于1960年11月,男,汉族,毕业于中山大学数学专业,研究方向:数学、物理、工程。