

太 阳 电 池 阵 设 计 手 册

光电能转换原理及其应用

〔美〕 汉斯.S.劳申巴赫 著

张 金 熹 廖 春 发
傅 德 棟 李 芙 蓉 译

陈 烈 民 校

宇航出版社

译者说明

能源是目前国民经济发展中一个极为关键的问题。在世界矿藏资源日趋枯竭的今天，太阳能的利用具有突出的重要意义。近二十多年来发展的太阳能电池阵技术，可直接把太阳能转化为电能，它在空间和地面的应用中，已能获取几十甚至几百千瓦的功率，因而成为目前引人注目的、大有发展潜力的新技术。国内太阳能电池阵技术的研究与应用也取得了很大进展，但尚缺少介绍太阳能电池阵技术的专门书籍。

本书根据美国Hans.S.Rauschenbach所著的 Solar Cell Array Design Handbook, The Principles and Technology of Photovoltaic Energy Conversion, 19一书译出，它系统地叙述了太阳能电池阵的各个技术问题，包括太阳能电池阵系统的理论基础、分析计算、设计方法、发展应用；太阳能电池阵各类元件（电池片、光学、电气、机械元件）的构造特性、设计方法；太阳能电池阵的材料工艺、测试方法、环境条件，等等。由于原书内容偏多，为了节省篇幅，译文中删去了原书第十章、所有附录和各章参考文献目录，以及许多不太重要的附图、附表、例题和一些文字说明。为此译文重新作了相应的编排，但原书主要的技术内容仍均保留。对原书中明显的错误之处亦均作了更正。

本书对太阳能电池阵系统及各元件的原理、特性、设计方法都作了由浅入深的详细介绍，并汇集了大量有实用价值的资料。因此本书不仅可供从事太阳能利用方面工作的广大科技人员作为设计参考手册之用，而且也是学习这方面专业知识的学生和业余爱好者的必读参考书。

原书涉及的知识面很广，限于译者水平，书中错误之处难以完全避免，敬希读者批评指正。

目 录

第一部分 太阳电池阵

第一章 太阳阵系统	(1)
太阳阵的概念	(1)
1-1. 太阳阵和蓄电池	(1)
1-2. 太阳阵、太阳板和元器件	(1)
1-3. 太阳阵的类型	(2)
1-4. 作为能源系统一部分的太阳阵	(3)
1-5. 作为一个系统的太阳阵	(4)
1-6. 混合系统	(4)
太阳阵的发展历史	(5)
1-7. 地面太阳阵的历史	(5)
1-8. 空间太阳阵发展史	(6)
1-9. 太阳电池阵的前景	(11)
太阳阵的应用	(12)
1-10. 地面应用	(12)
1-11. 空间应用	(13)
1-12. 来自空间的能源	(13)
太阳阵系统的性能	(13)
1-13. 太阳阵的几个额定值	(13)
1-14. 地面平板式太阳阵	(14)
1-15. 地面聚光式太阳阵	(16)
1-16. 空间平板式太阳阵	(16)
1-17. 自旋式空间太阳阵	(17)
1-18. 空间聚光式太阳阵	(18)

1-19. 空间太阳阵的轨道性能	(18)
第二章 太阳能电池阵分析	(22)
电路分析	(22)
2-1. 电路模型	(22)
2-2. 电路简化	(22)
2-3. 电路响应	(24)
2-4. 电路方程	(25)
2-5. 工作点	(27)
半导体和太阳能电池模型	(28)
2-6. 量子力学	(28)
2-7. 半导体材料	(30)
2-8. 半导体结	(30)
2-9. 太阳能电池的工作过程	(31)
2-10. 太阳能电池方程	(31)
2-11. 太阳能电池的直流模型	(34)
2-12. 太阳能电池的分布参数模型	(35)
2-13. 用于计算机的解析模型	(36)
2-14. 计算机的非解析模型	(39)
2-15. 适当模型的选择	(39)
2-16. 太阳能电池的交流模型	(40)
太阳能电池阵模型	(42)
2-17. 太阳能电池的并联与串联	(42)
2-18. 受光照的太阳能电池阵	(43)
2-19. 部分遮挡的并联电池	(45)
2-20. 部分遮挡的串联电池	(46)
2-21. 带有分路二极管的太阳能电池串	(48)
2-22. 遮挡系数	(48)
2-23. 无光照的太阳能电池阵模型	(50)
2-24. 阻塞二极管模型	(50)
2-25. 受反向偏压的太阳能电池	(51)
2-26. 反向偏压太阳能电池的功率耗散	(51)
太阳能电池阵性能预计	(53)
2-27. 太阳阵输出分析	(53)
2-28. 移动I-V曲线的顺序	(55)
2-29. 入射角的计算	(55)
2-30. 有效太阳光强的计算	(57)
2-31. 太阳能电池和太阳阵I-V曲线的计算	(58)
阴影分析	(60)
2-32. 阴影	(60)
热分析	(63)
2-33. 热流与温度	(63)
2-34. 传导传热	(66)

2-35. 对流传热	(67)
2-36. 辐射传热	(68)
2-37. 传热的电学模拟	(71)
2-38. 地面太阳阵的工作温度	(72)
可靠性分析	(73)
2-39. 可靠性与失效率	(73)
2-40. 失效模式与失效效应	(74)
2-41. 可靠性模型	(76)
轨道分析	(77)
2-42. 航天器的轨道运行	(77)
2-43. 简化的轨道理论	(78)
2-44. 椭圆轨道的高度	(80)
2-45. 航天器在空间的位置	(81)
2-46. 轨道面的照度	(82)
2-47. 太阳角	(84)
2-48. 日食阴影区	(86)
第三章 太阳能电池阵设计	(87)
设计概念	(87)
3-1. 设计过程	(87)
3-2. 设计阶段	(87)
3-3. 设计人员	(88)
3-4. 不定因素与风险性	(88)
3-5. 优化设计	(88)
3-6. 设计要求、设计准则和设计接口	(89)
3-7. 政策限制	(91)
3-8. 设计鉴定	(92)
3-9. 生产力与成本	(93)
3-10. 人事管理	(94)
光电系统设计	(94)
3-11. 负载分布图的制定	(94)
3-12. 照度分布图的制定	(95)
3-13. 太阳阵尺寸初步估算——面积法	(96)
3-14. 太阳阵尺寸初步估算——电池效率法	(97)
3-15. 太阳阵尺寸初步估算——电池功率法	(97)
太阳阵的详细设计	(97)
3-16. 太阳阵尺寸的详细估算	(97)
3-17. 空间太阳阵的外形选择	(100)
3-18. 太阳能电池片的需要量	(100)
3-19. 太阳能电池阵的布局	(102)
3-20. 太阳能电池阵的布线	(102)
3-21. 热点设计考虑	(104)
3-22. 可靠性设计	(105)

3-23. 高压设计.....	(105)
热设计.....	(105)
3-24. 在空间的温度控制.....	(105)
3-25. 地面太阳阵的温度控制.....	(107)
3-26. 降低吸收比.....	(107)
3-27. 增大辐射比.....	(108)
3-28. 增大对流.....	(109)
3-29. 改善几何形状.....	(109)
3-30. 尽量降低日食阴影区出口温度.....	(110)
辐射屏蔽设计.....	(110)
3-31. 太阳电池的辐射屏蔽.....	(110)
3-32. 轨道上损害当量的通量值.....	(111)
3-33. 屏蔽厚度的确定.....	(114)
3-34. 1兆电子伏通量值分析的程 序.....	(116)
3-35. 抗低能质子的屏蔽措施.....	(117)
3-36. 盖片和盖片胶粘剂的吸收剂 量.....	(119)
电磁设计.....	(119)
3-37. 静电屏蔽.....	(119)
3-38. 磁净度.....	(120)
3-39. 最大限度地减小磁矩.....	(122)
3-40. 静电充电控制.....	(123)

第二部分 太阳电池阵列构件

第四章 太阳电池.....	(125)
光电原理.....	(125)
4-1. 太阳电池器件.....	(125)
4-2. 直接能量转换.....	(125)
4-3. 光电效应的发现.....	(126)
4-4. 现代硅电池的发展史.....	(126)
4-5. 非硅电池的发展历史.....	(129)
太阳电池类型.....	(131)
4-6. 太阳电池的分类.....	(131)
4-7. 按应用分类.....	(131)
4-8. 按材料和工艺分类.....	(132)
4-9. 按构造分类.....	(134)
4-10. 按光学特性分类.....	(135)
4-11. 现代空间硅太阳电池.....	(137)
4-12. 现代地面硅太阳电 池.....	(137)
电特性.....	(138)
4-13. 太阳电池的极性.....	(138)
4-14. 电流—电压特性.....	(138)
4-15. 串联电阻.....	(140)

4-16. 并联电阻.....	(140)
4-17. 能量转换效率.....	(141)
4-18. 曲线系数和占满系数.....	(141)
4-19. 太阳强度效应.....	(142)
4-20. 温度的可逆效应.....	(143)
4-21. 温度系数.....	(144)
4-22. 温度的不可逆效应.....	(146)
4-23. 高光强和高温工作条件.....	(147)
4-24. 低光强和低温工作条件.....	(148)
4-25. 反向特性.....	(148)
光学特性.....	(150)
4-26. 光学特性对电池效率的影响.....	(150)
4-27. 光谱响应的定义.....	(151)
4-28. 太阳电池的光谱响应.....	(151)
机械特性.....	(153)
4-29. 太阳电池的尺寸和外形.....	(153)
4-30. 电池厚度.....	(153)
4-31. 活性区面积.....	(154)
太阳电池的接触.....	(154)
4-32. 太阳电池接触的类型.....	(154)
4-33. 接触的构造型式.....	(156)
4-34. 接触强度.....	(157)
辐射效应.....	(158)
4-35. 太阳电池的辐射损害.....	(158)
4-36. 1兆电子伏通量密度的损害当量.....	(159)
4-37. 基阻效应.....	(160)
4-38. 低能质子损害.....	(160)
4-39. 辐射损害的退火和输出不稳定性.....	(161)
实际的考虑.....	(162)
4-40. 装玻璃电池的输出.....	(162)
4-41. 参数分布.....	(162)
4-42. 操作规则.....	(162)
4-43. 贮存.....	(163)
太阳电池的性能数据.....	(163)
4-44. 太阳电池的空间飞行数据.....	(163)
4-45. 空间电池的实验室试验数据.....	(176)
第五章 光学元件.....	(178)
光学元件的功能.....	(178)
5-1. 平板光学.....	(178)
5-2. 聚光光学.....	(178)
5-3. 发展历史.....	(179)
光能转换.....	(182)

5-4. 光学系 统.....	(182)
5-5. 空气(或真空空间)与盖片的界 面.....	(184)
5-6. 盖片与电池的界 面.....	(185)
5-7. 装玻璃系 数.....	(186)
5-8. 入射角效 应.....	(187)
5-9. 温 控.....	(187)
空间应用的盖片.....	(189)
5-10. 盖片和涂层的分 类.....	(189)
5-11. 盖片材 料.....	(190)
5-12. 涂层和滤光层.....	(191)
5-13. 机械特 性.....	(192)
5-14. 导电涂 层.....	(193)
5-15. 盖片胶粘剂.....	(194)
5-16. 有机整体盖片.....	(195)
地面应用的窗口.....	(195)
5-17. 窗口结 构.....	(195)
5-18. 窗口的要 求.....	(195)
5-19. 窗 口材料.....	(196)
日光聚光器.....	(197)
5-20. 日光聚光原 理.....	(197)
5-21. 聚 光器类型.....	(197)
第六章 电气元件.....	(200)
太阳能电池互连元件.....	(200)
6-1. 互连元件的术 语.....	(200)
6-2. 互连元件的类型.....	(201)
6-3. 太阳能电池互连元件的设计要求.....	(202)
6-4. 太阳能电池和互连元件的失效模式.....	(203)
6-5. 太阳能电池互连元件的发展史.....	(203)
6-6. 采用钎焊连接还是熔焊连接?	(206)
互连元件的设计问题.....	(206)
6-7. 互连元件材料的选 择.....	(206)
6-8. 互连元件的电 设计.....	(207)
6-9. 尽量减小热机械应力.....	(209)
6-10. 刚性接点的热机械应 力.....	(209)
6-11. 在接点中由于外力引起的应 力.....	(214)
6-12. 电池间间隙宽度的变 化.....	(216)
6-13. 伸缩环的变 形.....	(217)
6-14. 互连条伸缩环的应 力.....	(218)
6-15. 无应力的互连条伸 缩环.....	(219)
6-16. 在预埋的互连元件和导线中的应 力.....	(220)
6-17. 实用互连条的设计考 虑.....	(220)
6-18. 柔性接合层中的应 力.....	(223)

互连元件的疲劳.....	(226)
6-19. 静态和动态的材料应力.....	(226)
6-20. 应力加载和应变加载.....	(227)
6-21. 材料的疲劳.....	(228)
6-22. 互连条的疲劳寿命.....	(230)
二极管.....	(231)
6-23. 二极管的应用.....	(231)
6-24. 保存能量用的阻塞二极管.....	(232)
6-25. 故障隔离用的阻塞二极管.....	(232)
6-26. 阻塞二极管的特性.....	(234)
6-27. 分路二极管的应用.....	(235)
6-28. 分路二极管的特性.....	(235)
6-29. 齐纳二极管.....	(236)
电线和电缆的布设.....	(237)
6-30. 导线和电缆.....	(237)
6-31. 布线方法.....	(237)
6-32. 地面太阳能电池阵的布线方法.....	(239)
6-33. 空间太阳能电池阵的布线方法.....	(239)
6-34. 导线绝缘特性.....	(239)
6-35. 载流能力.....	(240)
接线头和接插件.....	(241)
6-36. 导线的接线.....	(241)
6-37. 空间太阳能电池阵的接插件和接线头.....	(241)
6-38. 地面用的接插件和接线头.....	(242)
6-39. 接线设计原则.....	(242)
第七章 机械元件.....	(244)
太阳阵的机械特性.....	(244)
7-1. 太阳阵的设计方案.....	(244)
7-2. 太阳阵的机械元件.....	(245)
地面平板式太阳阵.....	(247)
7-3. 平板组件.....	(247)
7-4. 敞开式框架支撑结构.....	(247)
7-5. 房顶支撑结构.....	(248)
7-6. 平板定向机构.....	(249)
地面聚光器太阳阵.....	(250)
7-7. 线性聚光器太阳能电池组件.....	(250)
7-8. 轴向聚光器的太阳能电池组件.....	(251)
7-9. 镜场系统.....	(253)
空间太阳阵.....	(254)
7-10. 空间太阳阵概述.....	(254)
7-11. 刚性蜂窝板.....	(256)
7-12. 加筋蜂窝板.....	(258)

7-13. 具有刚性框架的柔性基板	(261)
7-14. 柔性折迭式敷层	(263)
7-15. 柔性卷式敷层	(266)
7-16. 混合式太阳阵	(268)
7-17. 其它类型的太阳阵	(271)
展开机构	(274)
7-18. 可展开支杆	(274)
7-19. 弹簧作动器展开方案	(275)
定向驱动	(294)
7-20. 定向机构	(294)
7-21. 步进驱动示例	(295)
7-22. 连续驱动示例	(296)

第三部分 辅助资料

第八章 制造和试验	(299)
组装工艺	(299)
8-1. 钎焊	(299)
8-2. 熔焊	(301)
8-3. 热压连接	(302)
8-4. 超声连接	(303)
8-5. 因连接而造成的电衰减	(303)
8-6. 胶接	(304)
组装工艺控制	(304)
8-7. 金属连接控制	(304)
8-8. 无损检验	(305)
8-9. 胶接控制	(307)
8-10. 目测检查	(307)
8-11. 工作质量标准	(307)
光电试验	(308)
8-12. 太阳电池试验的历史	(308)
8-13. 标准太阳电池	(311)
8-14. 太阳电池试验的光源	(312)
8-15. 太阳模拟器	(313)
8-16. 太阳电池输出测量	(315)
8-17. 太阳阵输出测量	(316)
8-18. 标准试验条件	(316)
8-19. 引线电阻和接触电阻的影响	(316)
8-20. 太阳电池的三种I-V曲线	(318)
8-21. 太阳电池串联电阻的测量	(318)
8-22. 无光照正向特性试验	(319)
8-23. 绝缘电阻和电压击穿	(319)
热—光测量	(320)

8-24. 光谱分布和光谱响应的测量.....	(320)
8-25. 太阳吸收率的确定.....	(320)
8-26. 半球向放射率的确定.....	(320)
8-27. 光谱反射率的测量.....	(321)
8-28. 总反射率的测量.....	(322)
环境试验.....	(322)
8-29. 粒子辐射试验.....	(322)
8-30. 紫外辐射试验.....	(323)
8-31. 远紫外试验.....	(323)
8-32. 联合环境试验.....	(324)
8-33. 温度交变试验.....	(325)
试验数据的意义.....	(326)
8-34. 误差.....	(326)
8-35. 不确定性.....	(327)
8-36. 检查时的不确定性.....	(327)
8-37. 采样量的重要性.....	(329)
第九章 环境及其影响	(331)
9-1. 太阳能电池阵的环境.....	(331)
太阳能.....	(331)
9-2. 太阳.....	(331)
9-3. 太阳常数.....	(332)
9-4. 反照率.....	(334)
9-5. 太阳辐射压.....	(334)
9-6. 地面日照.....	(335)
9-7. 紫外辐照.....	(336)
地面环境.....	(336)
9-8. 地面温度.....	(337)
9-9. 湿度.....	(338)
9-10. 冷凝物.....	(338)
9-11. 风.....	(339)
9-12. 沙子、尘埃和污物.....	(340)
9-13. 地震.....	(340)
9-14. 重力.....	(341)
9-15. 大气.....	(341)
9-16. 天电.....	(342)
9-17. 腐蚀.....	(342)
9-18. 臭氧.....	(344)
9-19. 霉和细菌.....	(344)
9-20. 盐雾.....	(345)
9-21. 生态环境.....	(345)
9-22. 人为的破坏行为.....	(345)
装卸和运输.....	(345)

9-23. 装卸和 装 配.....	(345)
9-24. 运输过程中的振动和 噪 声.....	(346)
9-25. 运输过程中的 机 械冲击.....	(346)
9-26. 太阳阵的 储 存.....	(346)
9-27. 运输过程中的气压和 高 度.....	(347)
空间太阳阵的发射和飞行.....	(347)
9-28. 发射和飞行期 间 的动态力.....	(347)
9-29. 加 速 度.....	(347)
9-30. 机械 冲 击.....	(348)
9-31. 振 动	(349)
9-32. 声 场	(351)
空间环境.....	(351)
9-33. 太 阳 系.....	(351)
9-34. 空间 真 空.....	(352)
9-35. 流 星 体.....	(354)
9-36. 沉 积 物.....	(355)
9-37. 空间 引 力.....	(355)
9-38. 空 间 寿 命.....	(355)
9-39. 磁 场	(356)
9-40. 空间 温 度.....	(356)
9-41. 轨道上的太阳 电 池阵.....	(357)
9-42. 日食阴 影 区.....	(358)
空间辐射环境.....	(358)
9-43. 有关辐射的 术 语.....	(358)
9-44. 空间辐射及其 影 响.....	(359)
9-45. 行星际空 间 的辐射.....	(361)
9-46. 太阳 耀 斑.....	(361)
9-47. 近地 辐 射.....	(363)
9-48. 同步轨道高度上的 辐 射.....	(364)
9-49. 地磁 亚 暴.....	(365)

第一章 太阳阵系统

太阳阵的概念

1-1 太阳阵和蓄电池

“阵”是由若干元件有规则地纵横排列而成，太阳电池阵是由连入一定电路的太阳电池纵横排列而成。太阳电池阵亦称太阳电池组，简称太阳阵。这里的电池组是指多个连在一起的、从而能发电的电池单片组合。因此用上述任何一个名称来称谓太阳电池构成的阵列都是正确的。然而，为了清楚地区别光电转换型太阳电池和其它化学型电池，在本书中将用电池阵来表示太阳电池，而用蓄电池来表示化学电池。

太阳电池利用阳光直接发电而无化学过程，化学电池则通过一种物质转换为另一种物质的化学反应来发电，而不靠太阳光。手电筒、晶体管收音机、照相机和汽车上用的化学电池均属这一类型。

1-2 太阳阵、太阳板和元器件

太阳电池阵除了最小型的以外，其它都是由若干块被称之为太阳电池分组件、太阳电池组件、太阳板、太阳子阵和其它部件组成的。为了在叙述不同内容时尽量不采用同一名词来表达，我们将用太阳电池板或简称太阳板来表示小型太阳阵或较大型太阳阵的一部分，它只是关系到制造、试验和组装而不考虑其电气性能的一个独立的机械整体。

一块太阳板由下列元器件组成：太阳电池片、引线、太阳电池盖片、太阳电池支撑件和支撑结构。太阳电池是太阳阵的“心脏”，由它把太阳能转换为电能。（关于太阳电池如何将太阳能转换为电能，参见第四章的前几节。）太阳板的引线把所有的电池片发出的电流汇集到太阳板的接线端。透明的太阳电池盖片允许太阳光正常通过，并能使太阳电池免受恶劣环境的影响。太阳电池支撑件使太阳电池机械定位，其典型形式是平板状的基板。基板通过支撑结构安装在地面、飞行器或太阳跟踪机构上。

1-3 太阳阵的类型

太阳阵可以按其使用要求、构造、太阳定向方式、有无阳光聚集器以及应用情况分为如下各种不同的类型。

地面太阳阵是在大气环境中工作的太阳阵，它能经受住各种与地面气候有关的影响。**空间太阳阵**是一种主要在地球大气层外工作的太阳阵，它能经受住空间环境的影响。**无聚光器式太阳阵**有时也称为平板式太阳阵（实际它们也可以是弯曲的）。这种太阳阵直接利用自然照射到太阳电池片上的阳光，太阳电池可以对日定向，也可以不对日定向。**带聚光器式太阳阵**采用某些装置来增加太阳电池上的太阳光强。通常是采用镜子（反射器）或透镜（折射器）来增加太阳光强，亦称为太阳聚光。与无聚光器式太阳阵相比，它能用较少的电池片发出较多的电能，但为此也要付出一定的代价。**平板式太阳阵**，正如它的名称的含意一样，是一种平板结构，其所有太阳电池均朝向同一方向。它可用于地面，也可用于空间；可以装在大致指向太阳的固定位置上，亦可装在太阳跟踪装置上。**曲面式太阳阵**利用圆柱壳、圆锥壳或球壳的一部分作为安装太阳电池的结构。太阳电池可以贴在凸面，亦可贴在凹面上。它既可用于地面，也可用于空间；既可采用太阳跟踪，也可不用太阳跟踪。**本体安装太阳阵**是一种刚性地固定在飞行体内部结构上的太阳阵，而不是指那种装在外伸结构（如刚性或活动框架、悬臂梁或支杆）上的太阳阵。**固定式太阳阵**是指刚性地固定在飞行器或地面结构上的太阳阵，它的太阳电池表面和太阳光线之间的角度是连续变化的。**定向太阳阵**是一种总是指向太阳以获取最大的输出功率。由于总是指向太阳，所以也称跟随太阳阵、太阳跟踪阵和可操纵太阳阵。对日定向是由定向驱动机构或称之为太阳跟踪器或指日镜来实现的。跟踪过程可以是连续不断地转动或间歇地一步一步地运动。定向设备可采用具有复杂反馈线路的太阳敏感器，或按预定程序运动的简单钟表装置。在一些特殊设计和特殊应用场合，太阳阵必须非常精确地指向太阳，而对一般的设计和应用来说，只要粗略地定向就已足够了。**单轴定向太阳阵**采用单轴转动方式来跟踪太阳。采用这种方式，在一年中除了几天外，其它时间都不能很精确地跟踪太阳。这种太阳阵的转动轴可以与地面或飞行器成任何合适的角度；同样，太阳阵也可以相对于转动轴倾斜任意角度。**两轴定向太阳阵**用绕着两根不同的轴的转动来跟踪太阳。采用这种方式就可以完全精确地跟踪太阳。这两根轴可以与地面、飞行器或太阳成任意合适的角度，而且两轴之间不必互相垂直。**高压型太阳阵**产生的电压要比过去和现在的普通太阳阵的24到30伏电压高得多。电压究竟达多少才算是高压，至今还未有一致的看法，有些人把100伏太阳阵称之为高压太阳阵，而另一些人则认为这类太阳阵的电压至少应该是1000伏。**加固型太阳阵**是一种特殊设计，它用于某些军用设备上，能经受得住核武器或激光武器的攻击。

其它型式的太阳阵还可以列出许多，如高空气球式太阳阵（半离地球半空间高度），水下使用的潜水式太阳阵，用于月球或火星表面站的固定式宇宙太阳阵，高功率质量比（千瓦/公斤）的轻型太阳阵，每瓦输出功率成本（美元/瓦）极低的低成本太阳阵，既可发电也能供热（热水等）的混合式太阳阵等等。

1-4 作为能源系统一部分的太阳阵

在大多数实际应用中，太阳电池阵是能源系统中的发电分系统，如图1-1所示。

在图1-1中，太阳阵定向分系统使太阳电池始终对着太阳，因此使太阳阵获得最大的功率输出。从太阳电池或太阳板上输出的功率由功率收集分系统进行汇集，其中一部分功率输送到能量储藏分系统，一部分到功率转换和调节分系统。当太阳阵得不到光照或不能充分得到光照时，则由能量储藏分系统供电。功率转换和调节分系统的作用是稳定经常变动的太阳电池原始输出功率，然后通过功率分配分系统向负载提供稳定电源。管理系统负载是指能源系统本身所需的负载，如太阳阵定向驱动马达、供电状态及性能监视电路、冷却设备或其它类似工作所需的负载。用户负载是指那些耗电设备，建造整个能源系统首先就是为它们服务的。

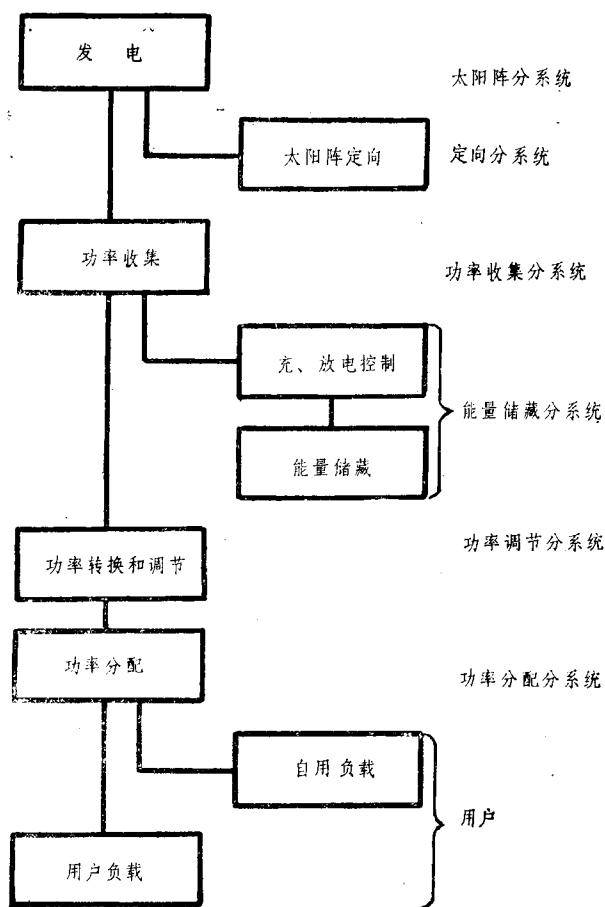


图 1-1 能源系统中的太阳阵分系统

当然，不是所有的能源系统都具有与图1-1相同的方框图，有的没有定向机构，有的没有能量储藏系统，有的不需要自用电。在具有能量储藏系统的能源系统中，有一些所产生的功率可能刚满足管理系统负载的基本需要，而另一些所提供的功率可能比用户负载所需要的还多一些。有些能源系统很简单；而另一些很复杂，甚至为了有效地进行工作，还要用计算机

控制。有些能源系统，无论是地面应用还是空间应用，均可在无人照料下自动地工作多年；而另一些则需要经常有人看管。无人空间飞行器上用非自动能源系统由地面进行无线电遥控。

1-5 作为一个系统的太阳阵

太阳电池阵也可看作是由若干分系统组成的一个系统，如图1-2所示。光学分系统包括阳光聚集器（如果有的话）、太阳电池或太阳电池阵的玻璃盖片。所有的太阳电池及其引线组成电气分系统。太阳电池的机械支撑件组成机械分系统；而支撑结构和太阳跟踪机构则属于定向和结构分系统。太阳阵的温度传感器（遥控温度计）、定向敏感器、电压和电流传感器（遥控电流表和电压表）和其它一些用以监视其状态或性能的装置，包括它们的线路在内，都属状态敏感分系统。温控分系统由热辐射器、冷却散热片、温控涂层和其它用来尽可能降低太阳电池工作温度的设施组成。环境保护分系统指那些尽可能减少环境对太阳电池有害影响的太阳电池封装材料。

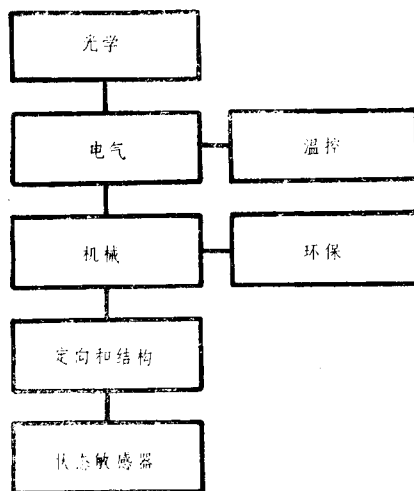


图 1-2 太阳阵的各分系统

1-6 混 合 系 统

太阳电池阵的混合系统是一种由不同技术领域的许多部件组成的系统。目前已设计了下列混合系统：

1. 光电和热能转换系统，
2. 本体安装和可展开式太阳电池阵（见7-18节），
3. 刚性和柔性可展开式太阳电池阵（见7-18节）。

在光电和热能混合系统中，当进行光电转换的时候（见4-2节），太阳电池把光能转换成电能，电池的热能（温升）又被一个降温系统所吸收。根据其能量转换效率和工作条件，