

卫星姿态动力学与控制

(3)

主 编 屠善澄

副 主 编 鲍百容

主编助理 潘科炎 方蓉初

作 者 徐明庚 王素素 鲍百容 黄明宝
赵健翔 方蓉初 何传五 胡玉琛
吕振铎 潘科炎

责任编辑 李明观

宇航出版社

《导弹与航天丛书》
编辑工作委员会

名誉主任 宋 健 鲍克明 孙家栋 王 主

主 任 刘纪原 王 主 编

副 主 任 任新民 孙家栋

委 员 屠守锷 黄纬禄 梁宋槃 陈怀瑾

王 卫 权振世 谢昌年 赵厚君

曹中俄 张新侠 高本辉

办 公 室 宋兆武 史宗田 任长卿 孙淑艳

《卫星工程》
系列编辑委员会

主任 孙家栋

副主任 戚发轫 杨嘉墀 屠善澄
徐福祥 侯深渊(常务副主任)

委员 林华宝 李祖洪 马兴瑞 邹广瑞
陈宜元 范本尧 朱毅麟 马世俊
李旺奎 黄本诚 陆道中 高慎斌
王金堂 魏钟铨

办公室 陆道中 杨树仁 宋惠兰 居自强
樊涛

，来学上本计从只心取，能器词突能管理出升早高出林业彭。双方
新界国定数吨丁伙，给总中数冥并占自靠能只，来买国伙从游不少
味互数中群长博博群以编的也组系，面全要需，最贵的业事天球作
长，做尖情和的以个学部以用，能器野工其器老，各器作好能似血
的商群吞能口制时，量代主

总 序

导弹与航天技术，是现代科学技术中发展最快的高技术之一，
导弹武器的出现，使军事思想和作战方式发生了重大变革；航天技
术，把人类活动的领域扩展到太空，使人类认识自然和利用外层空
间的能力发生了质的飞跃。

导弹与航天技术是一项复杂的系统工程，它应用了现代科学
技术众多领域的最新成就，是科学技术与国家基础工业紧密结合
的产物，是一个国家科学技术水平和工业水平的重要标志。

中国人民经过 30 年的努力，依靠自己的力量，勇于开拓，坚韧
不拔，在经济和科学技术比较落后的条件下，走出了自己发展导弹
和航天技术的道路，造就了一支能打硬仗的技术队伍，建立了具有
相当规模和水平的导弹和航天工业体系，形成了遍布全国的科研、
生产协作网。这是党中央独立自主、自力更生方针的伟大胜利，是
全国各地、各部门大力协同，组织社会主义大协作的丰硕成果。

30 年来，我国已有多种型号经历了研究、设计、生产、试验、装
备、使用的全过程，装备了各种射程的战略和战术弹道导弹、各种
类型的防空导弹和飞航导弹，用多种运载火箭发射了不同轨道和
用途的人造卫星，这些都是我国导弹和航天工业的物质成果。这些
重大成果对增强我国的国防实力，促进经济发展，带动科学进步，
发挥了重要的作用。

我们不仅取得了丰硕的物质成果，而且积累了宝贵的实践经验，
为了发展中国的导弹和航天事业，多少人投入毕生的精力，贡
献了宝贵的智慧，付出了辛勤的劳动，备尝了失败的苦痛和成功的

欢欣.这些付出高昂代价取得的实际经验,难以只从书本上学来,也不能从外国买来,只能靠自己在实践中总结,为了加速我国导弹和航天事业的发展,需要全面、系统地归纳以往研制过程中建立和应用的设计理论,总结其工程经验,用以指导今后的研制实践,并传授给导弹和航天事业一代又一代新生力量,使他们能在较高的起点上开始工作.为此,我们组织多年来从事导弹、人造卫星和运载火箭研制工作的专家和工程技术人员,编著了这套《导弹与航天丛书》,它以工程应用为主,力求体现工程的系统性、完整性和实用性,是我国导弹和航天技术队伍 30 年心血凝聚的精神成果,是多种专业技术工作者通力合作的产物.

作为一项系统工程,要求参加导弹和航天工程研制工作的各类技术人员,不仅精通自己的专业,而且充分理解相关专业的要求和特点,在统一的总体目标下,相互协调、密切配合地进行工作,因此,本《丛书》也是导弹和航天技术队伍各专业间以及和其他有关人员间进行技术交流的读物.

本《丛书》按液体弹道导弹与动载火箭(I)、固体弹道导弹(II)、防空导弹(III)、飞航导弹(IV)、卫星工程(V)等 5 个系列编排,各系列共用的固体推进技术(VI)和空气动力学(VII)两种专业编为专著,其他共用专业则纳入一个系列,并供其他系列选用.

本《丛书》的各级编委会、各卷册的主编、副主编及各章节的作者是一个庞大的科学技术人员群体,为了编写好这部大型丛书,编著人员在组织和技术上都付出了巨大劳动,期望这套《丛书》能帮助人们加深对于导弹和航天技术的了解,能促进中国的导弹和航天事业向更高的目标迈进.

《导弹与航天丛书》

编辑工作委员会
1987年8月

《导弹与航天丛书》

卫星工程系列

序 言

卫星工程系列丛书是《导弹与航天丛书》的一个系列。

我国坚持自力更生、艰苦奋斗的方针，在人造卫星的研制工作中取得了举世瞩目的成就。1970年4月24日，中国第一颗人造地球卫星——“东方红一号”发射成功，卫星运行正常，跨入了空间大国的行列。至今，我国成功地研制和发射了30颗不同类型的人造卫星，其中包括当代最重要的三类应用卫星：高轨道的静止通信卫星、低轨道的返回式卫星和中轨道的遥感卫星。这些卫星应用于国民经济、国防建设、文化教育和科学研究的很多部门，取得了显著的社会和经济效益。

我国在研制人造卫星的工作中，开展了创造性的科研活动，积累了丰富的实践经验，形成了学科门类齐全的卫星工程知识体系。我们组织众多的工程技术专家编写本系列丛书的目的，在于将这些实践经验和理论知识进一步系统化和理论化，并适当地吸收国外先进的科学技术成果，使其形成一套航天技术专著，用于指导今后的卫星研制工作。本系列丛书共有19种技术专著，包括卫星工程概论、卫星分系统技术和专业技术，以及探空火箭设计，共计29分册。

本系列丛书的内容以人造卫星的研制技术为主，着重论述卫星工程技术方面的问题，并简要论及了许多相关学科的问题，使其具有完整性、系统性。某些分册涉及到载人飞船、空间站等其他类

航天器的工程技术问题,其中论述内容较多的两册,书名冠以航天器。本系列各种分册在内容上具有相对的独立性和系统性。

编纂卫星工程系列丛书尚无经验可循,我们的工作首次尝试,由于编著人员的知识水平和实践经验有限,书中不当之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

本系列丛书的编纂工作,得到很多单位领导、广大科技人员和宇航出版社很多同志的大力支持,在此致以衷心的感谢。

《导弹与航天丛书》

卫星工程系列编辑委员会

1991年6月

前 言

本书《卫星姿态动力学与控制》是《导弹与航天丛书》卫星工程系列中关于卫星姿态运动及控制技术的基础理论和研究成果的专著，它是中国空间技术研究院北京控制工程研究所众多工程技术专家多年来从事卫星控制系统研究和工程实践的经验总结。本书力图根据多年来的研究、开发和实践经验，以对完成卫星总体任务具有重要应用需求的姿态控制技术为主，阐明人造地球卫星姿态的运动规律及其控制技术的基础理论和工程实践。但书中所涉及的大部分内容也适用于更广义的航天器姿态动力学和控制问题。

卫星的控制包括轨道控制和姿态控制两个方面。卫星姿态动力学研究卫星绕其质心的转动运动，而卫星姿态控制主要研究卫星姿态的确定和控制。姿态确定是利用姿态敏感器和测量数据根据状态确定模型计算卫星相对于某个基准或目标的方位，姿态控制是把卫星姿态保持在给定方向或从原方向机动到另一要求方向的过程，它包括姿态稳定和姿态机动控制。

在轨运行的卫星都承担特定的空间探测、开发和应用的任務，为完成这类应用任务，要求卫星姿态正确地定向在给定的方向上或从原姿态机动到另一指向姿态。典型卫星姿态控制系统由姿态敏感器、控制器、控制执行机构与卫星动力学一起构成闭环控制回路。高性能卫星姿态控制系统是在姿态动力学、姿态确定和姿态控制建模的基础上运用经典或现代控制理论和方法实现的。

本书共分四个分册。第一分册——卫星姿态动力学；第二分册——卫星姿态控制系统；第三分册——卫星姿态敏感器；第四分册——卫星执行机构。

本书是理论和工程实践相结合的产物。全书内容丰富,其中很多内容是从研制和工程实践中归纳、综合、提炼并经过飞行验证的研究成果,实用性极强,既可作为从事卫星姿态控制系统研究、设计、试验和应用的工程技术人员的参考书,也可作为高等院校相关专业的高年级学生和研究生的教学参考书。

本书原定篇幅甚巨,由于字数所限,最初撰写的稿件几经删节,有些作者的手稿内容甚至全部被忍痛割爱。参加本书写作的除各章署名的作者外,还有冯学义、孙全性、袁军、周文忠、孙宝祥、耿长福、吕振铎、林来兴、薛沐雍、叶培健、吕培书、陈志怡等同志,这些卫星控制工程技术专家对本书作出了重要贡献,谨向他们表示衷心感谢。

本书原定篇幅甚巨,由于字数所限,最初撰写的稿件几经删节,有些作者的手稿内容甚至全部被忍痛割爱。参加本书写作的除各章署名的作者外,还有冯学义、孙全性、袁军、周文忠、孙宝祥、耿长福、吕振铎、林来兴、薛沐雍、叶培健、吕培书、陈志怡等同志,这些卫星控制工程技术专家对本书作出了重要贡献,谨向他们表示衷心感谢。

本书原定篇幅甚巨,由于字数所限,最初撰写的稿件几经删节,有些作者的手稿内容甚至全部被忍痛割爱。参加本书写作的除各章署名的作者外,还有冯学义、孙全性、袁军、周文忠、孙宝祥、耿长福、吕振铎、林来兴、薛沐雍、叶培健、吕培书、陈志怡等同志,这些卫星控制工程技术专家对本书作出了重要贡献,谨向他们表示衷心感谢。

本书原定篇幅甚巨,由于字数所限,最初撰写的稿件几经删节,有些作者的手稿内容甚至全部被忍痛割爱。参加本书写作的除各章署名的作者外,还有冯学义、孙全性、袁军、周文忠、孙宝祥、耿长福、吕振铎、林来兴、薛沐雍、叶培健、吕培书、陈志怡等同志,这些卫星控制工程技术专家对本书作出了重要贡献,谨向他们表示衷心感谢。

本书原定篇幅甚巨,由于字数所限,最初撰写的稿件几经删节,有些作者的手稿内容甚至全部被忍痛割爱。参加本书写作的除各章署名的作者外,还有冯学义、孙全性、袁军、周文忠、孙宝祥、耿长福、吕振铎、林来兴、薛沐雍、叶培健、吕培书、陈志怡等同志,这些卫星控制工程技术专家对本书作出了重要贡献,谨向他们表示衷心感谢。

本书原定篇幅甚巨,由于字数所限,最初撰写的稿件几经删节,有些作者的手稿内容甚至全部被忍痛割爱。参加本书写作的除各章署名的作者外,还有冯学义、孙全性、袁军、周文忠、孙宝祥、耿长福、吕振铎、林来兴、薛沐雍、叶培健、吕培书、陈志怡等同志,这些卫星控制工程技术专家对本书作出了重要贡献,谨向他们表示衷心感谢。

本书原定篇幅甚巨,由于字数所限,最初撰写的稿件几经删节,有些作者的手稿内容甚至全部被忍痛割爱。参加本书写作的除各章署名的作者外,还有冯学义、孙全性、袁军、周文忠、孙宝祥、耿长福、吕振铎、林来兴、薛沐雍、叶培健、吕培书、陈志怡等同志,这些卫星控制工程技术专家对本书作出了重要贡献,谨向他们表示衷心感谢。

本书原定篇幅甚巨,由于字数所限,最初撰写的稿件几经删节,有些作者的手稿内容甚至全部被忍痛割爱。参加本书写作的除各章署名的作者外,还有冯学义、孙全性、袁军、周文忠、孙宝祥、耿长福、吕振铎、林来兴、薛沐雍、叶培健、吕培书、陈志怡等同志,这些卫星控制工程技术专家对本书作出了重要贡献,谨向他们表示衷心感谢。

本书原定篇幅甚巨,由于字数所限,最初撰写的稿件几经删节,有些作者的手稿内容甚至全部被忍痛割爱。参加本书写作的除各章署名的作者外,还有冯学义、孙全性、袁军、周文忠、孙宝祥、耿长福、吕振铎、林来兴、薛沐雍、叶培健、吕培书、陈志怡等同志,这些卫星控制工程技术专家对本书作出了重要贡献,谨向他们表示衷心感谢。

本书原定篇幅甚巨,由于字数所限,最初撰写的稿件几经删节,有些作者的手稿内容甚至全部被忍痛割爱。参加本书写作的除各章署名的作者外,还有冯学义、孙全性、袁军、周文忠、孙宝祥、耿长福、吕振铎、林来兴、薛沐雍、叶培健、吕培书、陈志怡等同志,这些卫星控制工程技术专家对本书作出了重要贡献,谨向他们表示衷心感谢。

目 录

17.3.3	.....	17.3.3
17.3.4	.....	17.3.4
17.4	.....	17.4
17.4.1	.....	17.4.1
17.4.2	.....	17.4.2
17.5	.....	17.5
17.5.1	.....	17.5.1
17.5.2	.....	17.5.2
17.5.3	.....	17.5.3
16	.....	16
16.1	.....	16.1
16.2	.....	16.2
16.2.1	.....	16.2.1
16.2.2	.....	16.2.2
16.3	.....	16.3
16.3.1	.....	16.3.1
16.3.2	.....	16.3.2
16.3.3	.....	16.3.3
16.4	.....	16.4
16.4.1	.....	16.4.1
16.4.2	.....	16.4.2
17	.....	17
17.1	.....	17.1
17.2	.....	17.2
17.2.1	.....	17.2.1
17.2.2	.....	17.2.2
17.2.3	.....	17.2.3
17.3	.....	17.3
17.3.1	.....	17.3.1
17.3.2	.....	17.3.2

第十六章 太阳敏感器

徐明庚 王素素

16.1	概述	(1)
16.1.1	太阳敏感器简介	(1)
16.1.2	目前技术状态	(2)
16.2	太阳敏感器分类	(3)
16.2.1	模拟式太阳敏感器	(4)
16.2.2	数字式太阳敏感器	(6)
16.3	太阳敏感器设计	(8)
16.3.1	总体设计	(8)
16.3.2	探头设计	(18)
16.3.3	电路设计	(40)
16.4	太阳敏感器试验与标定	(47)
16.4.1	试验设备	(48)
16.4.2	测试与标定	(52)

第十七章 地球敏感器

鲍百容 黄明宝 赵健翔

17.1	概述	(58)
17.2	地球的红外辐射	(61)
17.2.1	从卫星探测地球	(61)
17.2.2	地球红外辐射特性的描述	(62)
17.2.3	地球敏感器敏感波段的选择	(65)
17.3	地球敏感器的主要类型	(69)
17.3.1	自旋扫描地球敏感器	(69)
17.3.2	圆锥扫描地球敏感器	(71)

目 录

董 王 魏 印 尉

(1)
(1)
(5)
(8)
(4)
(81)
(4)
(74)
(84)
(52)
(82)
(10)
(10)
(50)
(20)
(96)
(90)
(17)

17.3.3	摆动扫描地球敏感器	(73)
17.3.4	辐射平衡地球敏感器	(77)
17.4	地球敏感器误差分析	(79)
17.4.1	扫描式地球敏感器误差分析	(79)
17.4.2	辐射平衡式地球敏感器误差分析	(83)
17.5	红外探测器	(86)
17.5.1	红外探测器的类型	(86)
17.5.2	红外探测器的主要参数	(87)
17.5.3	地球敏感器用红外探测器	(89)
17.6	地球敏感器总体设计的若干问题	(92)
17.6.1	地球敏感器框图	(92)
17.6.2	总体设计的依据	(93)
17.6.3	方案论证	(93)
17.6.4	参数优化	(96)
17.7	地球敏感器部件设计	(97)
17.7.1	光学设计	(97)
17.7.2	角度传感器及基准信号装置	(105)
17.7.3	结构设计	(106)
17.7.4	电磁兼容性设计	(108)
17.7.5	可靠性设计	(110)
17.7.6	地球敏感器主要功能电路	(111)
17.8	地球敏感器试验与标定	(115)
17.8.1	专用设备的选择	(115)
17.8.2	功能检查和精度标定	(117)
17.8.3	地球敏感器在轨标定	(119)
第十八章	恒星敏感器	方蓉初
18.1	概述	(122)
18.1.1	恒星敏感器的功能和特点	(122)
18.1.2	恒星敏感器发展简史	(123)
18.2	恒星与背景光的光学特性	(125)
18.2.1	恒星的光学特性	(125)
18.2.2	背景光的光学特性	(131)

(101)	18.3 恒星敏感器的分类	(132)
(102)	18.3.1 机械跟踪式星敏感器	(132)
(103)	18.3.2 穿越式星敏感器	(133)
(104)	18.3.3 固定探头式星敏感器	(134)
(105)	18.4 恒星敏感器总体设计	(135)
(106)	18.4.1 恒星敏感器的主要技术指标	(135)
(107)	18.4.2 总体设计的主要内容	(138)
(108)	18.5 恒星敏感器探头设计	(151)
(109)	18.5.1 挡光罩设计	(152)
(110)	18.5.2 光学系统设计	(154)
(111)	18.5.3 探测器组合件	(155)
(112)	18.5.4 整体结构设计	(156)
(113)	18.6 恒星敏感器电系统设计	(157)
(114)	18.6.1 硬件设计	(157)
(115)	18.6.2 软件设计	(161)
(116)	18.7 恒星敏感器试验与标定	(167)
(117)	18.7.1 试验与标定设备	(167)
(118)	18.7.2 试验与标定	(172)
(119)	18.8 星图识别	(175)
(120)	18.8.1 星图识别的任务	(175)
(121)	18.8.2 导航星表的建立	(175)
(122)	18.8.3 星图识别的方法	(176)
(123)	第十九章 惯性姿态敏感器	何传五 胡玉琛
(124)	19.1 概述	(184)
(125)	19.1.1 惯性仪表的分代	(185)
(126)	19.1.2 惯性仪表在航天器中的应用	(186)
(127)	19.1.3 惯性敏感器描述	(188)
(128)	19.1.4 惯性敏感器分类	(189)
(129)	19.2 单自由度液浮速率积分陀螺	(191)
(130)	19.2.1 工作原理和总体结构	(191)
(131)	19.2.2 陀螺马达及其轴承或支承	(194)
(132)	19.2.3 浮子及其支承	(195)

(131)	19.2.4	传感器和力矩器	(196)
(132)	19.2.5	温度控制技术	(200)
(133)	19.2.6	其他有关问题	(202)
(134)	19.3	非液浮型陀螺简介	(203)
(135)	19.3.1	挠性陀螺	(203)
(136)	19.3.2	激光陀螺	(204)
(137)	19.3.3	静电陀螺	(207)
(138)	19.4	惯性敏感器电子线路	(212)
(139)	19.4.1	功能电路	(213)
(140)	19.4.2	输出电路	(215)
(141)	19.4.3	辅助电路	(222)
(142)	19.5	惯性敏感器测试技术	(232)
(143)	19.5.1	静态模型及试验方法	(232)
(144)	19.5.2	动力学模型及试验方法	(236)
(145)	19.5.3	随机模型	(237)
(146)	19.5.4	惯性姿态敏感器的几个特殊试验	(239)
(147)	19.5.5	陀螺选用准则	(242)
(148)		第二十章 其他姿态敏感器和姿态测量技术	
(149)		鲍百容 吕振铎 潘科炎	
(150)	20.1	概述	(247)
(151)	20.2	地磁姿态敏感器	(248)
(152)	20.2.1	原理与分类	(248)
(153)	20.2.2	磁通门式磁强计	(249)
(154)	20.2.3	地磁姿态敏感器的应用特点	(254)
(155)	20.3	射频敏感器	(255)
(156)	20.3.1	射频敏感器的工作原理	(256)
(157)	20.3.2	射频敏感器的应用	(260)
(158)	20.4	GPS 定姿技术	(264)
(159)	20.4.1	GPS 定姿的基本原理	(264)
(160)	20.4.2	GPS 定姿误差分析	(265)
(161)	20.4.3	GPS 定姿的性能包络	(269)
(162)	20.4.4	GPS 定姿技术在航天器上的应用前景	(271)

第十六章

太阳敏感器

徐明庚 王素素

16.1 概述

16.1.1 太阳敏感器简介

太阳敏感器是卫星姿态控制系统的一个重要测量部件，也是最早用于卫星姿态测量的光学姿态敏感器。

太阳敏感器是通过敏感太阳光而获得卫星姿态信息的仪器，它与简单的太阳光电转换器件不同之处是：配有一定的光学机械装置，给予视场限定，有时甚至波段限定，还配以信号处理电路，使姿态信息具有一定的视场和精度，可以方便地加以利用。在自旋卫星情况下，从太阳敏感器还可以获得卫星自旋速率和相位信息。

太阳敏感器主要特点如下：

1) 在卫星上测得的太阳视直径比地球小得多，因此比地球敏感器容易实现高精度；

2) 太阳辐射强，所以比恒星敏感器信号处理方便，结构简单；

3) 当太阳被地球挡住时，卫星就“看”不到太阳，此时太阳

传感器就起不了作用,而且从阴影区出来时环境变化较大,对太阳传感器的工作有不利影响。

16.1.2 目前技术状态

(1) 小型化、高精度全功能双轴太阳传感器

利用面阵 CCD(电荷耦合器件)作探测器的这种传感器精度高,在 $110^{\circ} \times 110^{\circ}$ 视场范围内的双轴精度均达 $30''$; 备有内部微处理器,通过 MIL-STD-1553 标准接口直接输出太阳角;可根据任务要求编程,灵活性大;比常规太阳传感器质量轻、体积小;价格低于同精度星传感器。

由于太阳信号是强信号,信号源只有一个,所以与星传感器相比,面阵 CCD 太阳传感器较简单,体现在以下几方面:

- 1) CCD 不需要制冷,使结构简单;
- 2) 不需要复杂运算软件;
- 3) 处理电路简单,因为本身信噪比高。

有关的详细情况请看参考文献[1]。

(2) 结构模块化、封装流水化、测试自动化

为了面向低价格、高性能的小卫星市场,EDO 公司的 Barnes 工程部推出了一套新型太阳传感器,具有以下 3 个特点。

1) 结构模块化。由 3 种光学模块(双三角模块、定期校正模块、太阳出现模块)和一种电子模块形成了适应性很强的产品系列。利用这些基本模块可以组成视场、精度、冗余等级不同的多种太阳传感器,最简结构情况下的全视场精度可达 0.3° 。

2) 封装流水化。封装流水化的实现要求模块间的连线尽可能简单,无需精密对准工序(精密对准只在模块内部进行)。设计中采用挠性带状电缆,而且插针排列都是不对称的,不会插错,因此组装快,返修率很低,一套太阳传感器零件的安装只需一天多时间,为大批量生产奠定了基础。

3) 测试自动化。测试自动化需要高度自动化的测试设备,它能测量与标定每个模块的性能,提供每个模块的修正系数,并能进

行误差分析、计算,找出合理算法,对整机进行精度标定,从而降低对精密加工、精密装配的精度要求,提高了性能价格比。

这种太阳敏感器成本低、质量轻、功耗低、模块化,适合大批量生产,是太阳敏感器的一个发展方向。详见参考文献[2]。

(3) 集成于单片的太阳敏感器。把探测器、信号调理电路、模数转换器、信号处理电路等用同一种工艺集成于同一单片上,最终给出太阳中心坐标,从而降低了体积、质量、功耗、价格,提高了寿命、可靠性、稳定性、空间环境适应性。

主要技术特点如下:

- 1) 用 CMOS 工艺,因此功耗很低;
- 2) 探测器用开关型光敏二极管(PSP),不用 CCD,从而统一了工艺;
- 3) 图像中心估算单元由专用集成电路(ASIC)实现,不用微处理器及存储器,这就提高了空间环境的适应性及实时性。

性能改进主要有以下 3 个方面:体积缩小 $4/5 \sim 19/20$;质量减小约 $1/2 \sim 14/15$;降低了响应时间。详见参考文献[3]。

16.2 太阳敏感器分类

太阳敏感器发展至今品种较多,而且各成系列。这里分类的目的是为了说明各类太阳敏感器的工作原理、结构特点和输出形式,以便结合应用要求进行合理的选用或设计。

目前比较通用的太阳敏感器分类依据是以敏感器的输出(更确切地说是敏感器探头的输出)相对于输入太阳角的变化规律或函数是否是连续。据此,可将太阳敏感器分为两大类:模拟式太阳敏感器和数字式太阳敏感器。模拟式太阳敏感器的探头输出信号是太阳角变化的连续函数。数字式太阳敏感器的探头输出信号是离散的编码数字信号,虽然是输入太阳角的函数,但并不是连续函

数.由于现代模数转换和数字电路的广泛应用,任何连续的模拟量都可转换为离散的数字量,所以这里强调用传感器探头的输出作为分类的依据,则可避免这方面的混淆.

要说明的是现有太阳传感器中有一类叫太阳出现式传感器,每当太阳位于其视场内,它就提供一个恒定的输出信号.有时也称它“0-1”式传感器,每当太阳在其视场范围内,输出“1”;在其视场范围之外,则输出“0”.但是这个“0”、“1”信号也是电路处理的结果,其探头的输出,仍然是太阳角的连续函数.所以,仍把它归类于模拟式太阳传感器.

除了上述用的分类依据之外,尚有将传感器分为一般的方位传感器和跟踪器,以及根据光电转换器分为一般的太阳电池太阳传感器和 CCD 太阳传感器等.综观各种分类依据,各有道理,侧重点各有不同.下面将依据通用的分类方法逐一介绍各种类型的太阳传感器,同时在必要时,也指出它们之间的交叉联系.

16.2.1 模拟式太阳传感器

(1) 余弦式太阳传感器

它是模拟式太阳传感器中较简单的一种,一般常用的探测器为硅太阳电池.如图 16-1 所示,单位法线为 n ,太阳光矢量与其夹角为 θ ,在太阳电池表面 dA 上接受的光通量为

$$E = P \cdot n \cdot dA$$

式中, P 为 Poynting 矢量; E 是太阳光入射角 θ 的余弦函数.

太阳电池的短路电流输出为

$$I(\theta) = I(0) \cos \theta$$

式中, $I(\theta)$ 和 $I(0)$ 是在入射角分别为 θ 和 0° 时太阳电池的短路电流(上式中未考虑在电池表面上产生的反射损失和传输损失).

实际传感器都有窗口来限制视场.余弦式太阳传感器可以用来测角,但其精度较粗.常用来检测太阳是否在其视场范围内,也即用作上节所说的太阳出现传感器,其电路的输出仅有“0”或“1”的形式.由于余弦式太阳传感器探测角度大时,探头输出急剧变