为载人航天服务的中国数据中继卫星系统

王家胜*, 齐鑫

中国空间技术研究院, 北京 100094

* E-mail: jiasheng_wang@163.com

收稿日期: 2014-01-15; 接受日期: 2014-02-20

摘要 在论述数据中继卫星(以下简称中继卫星)突出优点的基础上, 仔细分析了其研制的难点和必须攻克的重大关键技术(包括高速飞行航天器之间的精密捕获跟踪技术、极大电尺寸展开式双频带跟踪天线技术、卫星姿态和天线指向的复合控制技术等). 介绍了我国天链一号中继卫星系统的研制历程, 该系统具有中国特色, 只在国内设置管控站, 实现了对我国中低轨用户航天器 100% 的轨道覆盖. 它的成功运行使我国成为继美国之后世界上第 2 个具有这一系统的国家. 天链一号中继卫星系统在神七至神十、天宫一号等飞行任务中的成功实践, 说明了天基信息传输的重要作用和巨大效益, 具有广阔的应用前景.

关键词

数据中继卫星
星间链路
卫星系统
天基信息传输
卫星应用

1 引言

中继卫星系统是为航天器与地球站之间提供实时测控和数据中继服务的系统, 它一般位于地球静止轨道(即 GEO, 下同), 从上向下覆盖用户航天器. 它的天基设计思想, 最大限度地克服了由于地球曲率和无线电波直线传播特性带来的影响, 从根本上解决了测控、数传的轨道覆盖率(用户航天器可建立无线联系的轨道弧段占总弧段的百分比)和实时传输信息的问题. 由多颗中继卫星组成的全球覆盖(即 100% 轨道覆盖率, 下同)系统能实现在任何时段对用户航天器的实时信息传输. 它的投入使用已使航天测控和信息传输领域发生了革命性的变化.

随着载人航天的发展, 尽可能提供飞船和地球指挥中心的实时无线联系已成为关系宇航员安全、任务成败的关键问题. 在当前技术条件下, 中继卫星系统是能提供这种服务的唯一系统, 具有重大的应用价值.

美国是最早进行 GEO 中继卫星(TDRS)研制、构建拥有全球覆盖能力的天基信息传输系统的国家, 目前有 8 颗卫星在轨组网运行^[1]. 俄罗斯虽建立了自己的 GEO 中继卫星系统, 但未形成全球覆盖能力^[2]. 而欧洲和日本各自都只发射了一颗试验中继卫星, 未进入实用阶段^[3,4]. 我国于 2008 年研制并发射成功第 1 颗中继卫星—天链一号 01 星, 并于 2012 年和 02 星、03 星组成三星组网系统, 形成对我国中低轨用户航天器 100% 的轨道覆盖. 它的成功运行使中国继美国之后成为世界上第 2 个拥有全球覆盖能力 GEO 中继卫星系统的国家.

2 天链一号中继卫星系统

2.1 中继卫星系统的主要优点

1) 覆盖性: 极大地提高对中、低轨航天器的测控和数传的轨道覆盖率. 例如, 单个地球站一天中只

引用格式: 王家胜, 齐鑫. 为载人航天服务的中国数据中继卫星系统. 中国科学: 技术科学, 2014, 44: 235–242
Wang J S, Qi X. China's data relay satellite system served for manned spaceflight (in Chinese). Sci Sin Tech, 2014, 44: 235–242, doi: 10.1360/092013-1200

有大约 30 min 时间和一颗 500 km 圆轨道的卫星建立无线联系, 其轨道覆盖率不到 3%; 而一颗中继卫星即可使这一覆盖率超过 50%, 如图 1 所示. 利用多颗中继星(如 3 颗)组网形成系统后, 可使对中、低轨航天器的轨道覆盖率提高到 100%, 这大大提高了卫星效能, 是中低轨航天器效能的倍增器.

2) 实时性: 可提供与载人航天器的实时联系; 可实时获得中、低轨航天器观测地球产生的数据和图像, 增加其实效性; 能实时监控这些航天器, 可明显提高其生存能力; 此外和用户星一起, 可具备提供实时观测境外热点地区突发事件的能力. 在目前技术水平下, 这是具备此功能的唯一系统.

3) 经济性: 如果用扩大地球站网络来增加覆盖性和实时性, 例如, 对于轨道高度约 300 km 的极轨卫星, 为了满足 100% 覆盖, 要在地球上设 100 多个站来达到, 但实际上, 考虑到经费、地理环境(如地球表面 3/4 为海洋、沙漠覆盖)和政治因素, 这根本不能实现. 中继卫星可大幅度减少地球站、测量船的数量, 具有很大的经济优势.

4) 高性能的通信链路: 中继卫星的单址链路具有其他 GEO 通信卫星链路不可比拟的特性, 例如, 中继卫星单址链路转发器频带很宽, 一般可达 300 MHz 以上, 其等效全向辐射功率(EIRP 值)可超过 60 dBW, 品质因素(G/T 值)可超过 25 dB/K^[5,6]. 其天线波束很窄, 空间隔离性能极好, 它除了可用于高

速数传中继(如单通道 600 Mbps 甚至更高), 还可提供一些特殊的、安全性要求很高的服务.

2.2 研制中继卫星的难点和必须攻克的关键技术

中继卫星具有很多优点, 但由于性能独特, 研制难度极大. 其关键技术和难点, 至少有如下几个方面.

2.2.1 星载闭环捕获跟踪技术

这是建立星间链路的首要条件. 首先必须在天线波束很窄(一般在 $0.15^\circ \sim 0.3^\circ$)的条件下, 实现高速飞行、航天器之间的高精度捕获跟踪; 其次为了简化系统设计, 用户航天器都不设信标, 中继卫星必须跟踪它发送的数传信号, 而这种信号随用户航天器的不同, 具有不同的数据速率、调制方式、频带宽度、信号电平和多普勒频移, 这也给捕获跟踪电路的设计带来大的困难; 第三, 由于用户航天器资源的限制, 其天线尺寸和发射功率都十分有限, 这些都使中继卫星对用户航天器的捕获跟踪显得特别困难; 第四, 这一性能的地面试验和验证也具有大的难度. 此外, 负责完成这一任务的捕跟分系统具有多个关键部件(如单通道调制器、捕跟接收机等), 在角度误差信号的提取、处理等方面还有多项关键技术. 目前美国中继卫星对中低轨航天器的自动跟踪精度约为 0.06° ^[5,6].

由于用户航天器轨道高度较低(多数只有几百千

图1 一颗数据中继卫星和单个地球站对 500 km 圆轨道卫星覆盖范围的比较
地球站服务区的两个圈分别代表天线仰角为 5° 和 10° 的情况

米), 在地球边缘处开始捕获时信号可能穿过大气顶层, 由此产生的信号衰落将对捕获跟踪功能带来不利影响; 在自跟踪过程中, 还可能出现来自地面和其他卫星的干扰信号, 这些都是捕获跟踪设计师必须面对和尽量解决的问题。

2.2.2 极大电尺寸 D/λ (天线直径/工作波长)的可展开、双频段跟踪天线技术

众所周知, 高的数传速率要求链路具有高的 EIRP 值和 G/T 值。这都要求中继卫星单址天线具有高的增益(对于 Ka 频段, 可达 53~56 dB)。如此高的增益要求其天线具有极高的电尺寸 D/λ , 国际上已有 D/λ 达 400 的中继卫星天线^[5], 这相当于一个工作于 2 GHz 的 60 m 直径天线的电尺寸。可以说, 到目前为止, 无论是哪国研制的中继卫星, 其单址天线的电尺寸都是所研制的卫星天线中最大的。

工作波长越短, 要求天线反射面的形面精度就越高, 例如, 工作于 Ka 频段的的天线, 一般要求其反射面的形面均方根误差小于 0.3~0.4 mm, 这不但应包括加工产生的误差, 还应包括天线在轨时由于极端的真空环境和温差(可达 250°C 以上)环境对反射面形变的影响, 这对于直径达几米的天线是一个异常艰难的任务。目前, 用于中继卫星的大型天线有固面和网状两种, 前者尺寸适中, 一般达 3 m 左右, 后者尺寸可做得大些, 但由于工作于 Ka 频段, 研制难度更大, 网状反射面在轨电性能和形面精度很难保证, 目前美国已开发了反射面在轨形面调整技术^[5], 但这使技术难度明显增加。

此外, 这种天线还应提供双频段的跟踪和收发功能, 具有性能优异的射频敏感器等, 这也给研制工作增添了附加的难度。

2.2.3 卫星姿态和天线指向的复合控制技术

中继卫星在轨工作时, 大型单址天线处于轨迹复杂、速度变化的运动状态, 这种天线一般配置 1~2 副, 每副天线转动部分(包括相应的高频箱)的重量可多达 150 kg, 星体和运动的天线之间存在严重的耦合, 加上天线本身是一个非线性、柔性结构系统, 要想使波束极窄的天线完成对用户航天器的捕获跟踪任务, 必须攻克高精度复合控制技术。应进行的工作至少包括: 考虑各系统和相关部件(例如, 天线反射面、天

线驱动机构、支撑杆和铰链等)的模态频率、阻尼等挠性影响, 完成挠性结构动力学建模和分析, 考虑天线运动速度、产生的干扰力矩和卫星姿态运动的综合影响。国际上采用的手段有前馈、反馈和补偿等^[7]。中继卫星的这一控制难题无论在理论上、设计上和地面验证试验上都是对设计人员的巨大挑战。

如果天线选用网状天线的形式, 其挠性特性、结构振动特性和与卫星的耦合动力学特性将更为复杂, 复合控制也会更加困难。

2.2.4 外热流变化巨大的高频箱热控设计技术

为了提高射频性能, 多数中继卫星的单址天线的巨大主反射面背部都有一个装有多台微波设备的高频箱, 这天线反射面对高频箱的热控影响巨大: 一方面它产生遮挡, 影响高频箱散热面的辐射散热, 另一方面它还引起高频箱外热流在一个日周期内的巨大变化; 再加上天线在轨完成捕获跟踪功能时要不断转动, 使得主反射面、高频箱和太阳光的夹角不断变化, 使外热流变化规律十分复杂, 这给热控设计带来了很大的困难。此外, 由于高频箱内捕获跟踪设备对相位关系要求很严, 又工作在 Ka 频段, 这对相应部位的温度变化提出了高的要求。因此, 为了获得好的性能, 必须攻克这一特殊的热设计问题。并且这一问题对采用固面反射面天线的情况更为突出。

2.2.5 极宽带 Ka 频段转发器技术

由于中继数传速率很高(一般可达每秒几百兆比特^[8]), 转发器的带宽极宽, 一般为普通通信卫星转发器带宽的 4~8 倍。带宽极宽会对频率计划的设置、转发器带内杂波、幅频特性和通带之间的隔离等性能带来新的困难。此外, 由于在相位噪声、群时延波动和幅频特性等指标上有极高的要求, 必须在宽带转发器的幅度和相位均衡技术、转发器相位噪声抑制技术和频率可调转发器设计技术等方面取得突破。

2.2.6 长寿命高精度天线驱动机构技术

到目前为止, 所有中继卫星的单址天线均选用机械驱动的方式, 由于在轨要求精度高(如 0.01°), 载荷惯量大(如 100 kg·m²), 工作环境恶劣(星外剧烈高温差和真空条件等), 要求在轨长期连续工作(如 7~15 年连续工作), 又不可能采用备份设计, 是中继

卫星的一个关键的活动部件,这和其他星载点波束天线驱动机构有明显不同,具有高的技术难度.

2.3 天链一号中继卫星系统的研制历程

我国较早就认识到中继卫星和天基信息传输在航天事业发展中的重要作用.在20世纪80年代空间站的早期论证阶段,我国就提出了发展自己的中继卫星的设想.到了20世纪90年代后期,配合某卫星平台的早期开发,较系统地开展了中继卫星的预先研究.在需求分析和可行性论证的基础上,进行不同技术途径的比较,形成了我国第1代数据中继卫星——天链一号的初步方案.它基于我国较成熟的卫星平台,具有自己的技术特点,能够满足今后一段时期的需求.此外,还完成了星间捕获跟踪、链路功能等关键特性的地面演示验证工作.此后,卫星转入正式研制阶段.

经过几年的努力,研制人员攻克了如2.2节所述的各项关键技术,我国第1颗中继卫星——天链一号01星于2008年4月25日成功发射,顺利定点并正常运行,对中低轨用户航天器的轨道覆盖率超过50%.由于01星在轨的出色表现,我国迅速启动后续星的研制工作.2011年7月11日02星成功发射,把对中低轨用户航天器的轨道覆盖率提高到75%以上.2012年7月25日03星发射成功,形成了包括东、中、西3星组网的中继卫星系统.这一系统具有对我国中低轨用户航天器100%的轨道覆盖率(考虑到用户航天器中继终端天线安装位置和高度局限(航天器可能形成遮挡);且在两个中继卫星覆盖区的交接处用户终端天线的指向调整和重新捕获需要时间,实际覆盖率将小于轨道覆盖率,下同).为此,我国已成为世界上第2个拥有全球覆盖能力GEO中继卫星系统的国家.它也是我国第1个提供全球范围实时信息传输服务的卫星系统.

2.4 具有中国特色的全球覆盖中继卫星系统

为了满足迅速增长的用户需求,构建具有全球覆盖能力的中继卫星系统将是我国在这一领域发展的必由之路.这一般需要在GEO轨道上均布(即经度间隔约 120°)3颗星,并在国外设置控管站才能实现(如美国在 41°W , 171°W 和 85°E 附近布星,在本土外设置地球站对 85°E 星进行控管的3节点系统,如图2所示;而苏联/俄罗斯的两颗中继卫星经度间隔不超

过 111° ^[9]).从战略上考虑,为了摆脱国际政治形势变化的影响,拥有完全独立自主的天基信息传输系统,我们只能考虑在我国本土设置控管地球站,这一限制条件给我国实现中继卫星全球覆盖的要求带来大的困难.

我国技术人员曾对这一问题进行过仔细的探讨^[10].分析了几种已有的或文献中设想的中继卫星系统方案:如类似美国TDRSS的GEO三节点均布系统、具有附加星间链路的GEO三节点均布系统和 orbits(MEO)中继卫星系统等,在我国本土设站限制和现有技术条件情况下,它们均存在明显的缺点.为此,提出并实施了具有我国特色的方案(即构建两节点、大经度间距GEO中继卫星系统,如图3所示):选择在大经度间距(如 160° 左右)GEO定点位置布置东星和西星,利用我国东西地域辽阔(地理经度差超过 60°)和已初具规模的地面高速光纤干线设施,在国土的东西部各设一控管站,利用高速光纤将它们和控管中心连成系统.

这一方案原则上只需要两颗中继星(即东星和西星)即可实现对用户航天器的全球覆盖,第3颗星(中星)位于其间,并不增加系统的轨道覆盖率,但起增强能力和部分备份的作用.此方案比前3种方案具有明显的优点:只需在国内设站;对我国的中低轨航天器(轨道高度均在340 km以上)具有100%的轨道覆盖

图2 美国3节点全球覆盖中继卫星系统示意图

图3 我国的两节点全球覆盖中继卫星系统示意图

率;组成同样能力系统的资源占用最少(构成系统所需的卫星数少、地面控管网络简单且工作效率高,但需要占用部分已有的光纤干线资源);用户航天器最多只需通过两颗中继卫星接力工作即能完成一圈的数据回传任务(美国现有系统需要3星接力).它解决了用户航天器在远离国土轨道段高速数据实时传回的难题,建成了具有中国特色、只在国内设站的全球覆盖中继卫星系统.

由于我国现有航天基础设施和轨道资源的限制,现有的中继卫星系统性能还未达到最佳.最理想的情况是在 GEO 上经度相隔约 180° 的位置布置两颗(或两组)中继卫星(如 11°E 和 169°W 附近,未考虑备份星),在国土东西部的适当地点(如新疆的喀什和黑龙江的虎林)设置相应的控管站.这一配置可达到美国现有中继卫星系统的覆盖能力:即对高度大于 73 km (未考虑大气层的影响)的用户实现 100% 的轨道覆盖^[1,10].这应是我国中继卫星系统今后拓展的方向.

2.5 用户航天器和中继终端

一般情况下,要求用户航天器装有专用的中继终端,主要有如下功能.

1) 工作于国际电联(ITU)规定的星间链路频段(S/Ka 频段,可根据需求同时选用或只选其中一个频段),对高数传速率必须选用 Ka 频段.

2) 终端天线应具有对中继卫星跟踪的能力:根据需求不同,可选程序跟踪(适用于天线波束宽的情况)或自动跟踪(跟踪中继卫星发出的信标信号,窄天线波束的情况必须选用).

3) 应根据传输速率的不同,提供一定的 EIRP 和 G/T 值,以便和中继卫星建立通信链路.

综上所述,为了获得覆盖性和实时性的巨大优点,用户航天器要付出一定星上资源(重量、功耗等)来装中继终端,但综合考虑,这是非常值得的.图4给出了典型双频(S/Ka)中继终端组成示意图;图5给出了从神舟十号拍摄(通过天链一号卫星传回)的对接前天宫一号的视频截图,图片左上部可看到在工作的(指向天链一号中继卫星)中继终端抛物面跟踪天线.

3 天链一号中继卫星系统为载人航天服务的实践

天链一号中继卫星系统的首要任务是为中国载人航天活动服务,是它的配套工程.虽然在5年多来,它还为我国多种遥感卫星、航天运载火箭和非航天用

图4 典型双频(S/Ka)中继终端组成示意图

图5 从神舟十号拍摄(通过天链一号卫星传回)的对接前天宫一号的视频截图

户提供了质地优异和不可替代的服务, 但为载人航天活动保驾护航无疑是它的应用实践中最光辉的一页。

载人飞船(神舟七号、八号、九号、十号)和天宫一号均配置中继卫星用户终端, 根据飞行器和中继卫星位置信息、飞行器姿态信息实时计算 S/Ka 双频段天线指向角度, 并驱动 S/Ka 双频段中继天线, 捕获跟踪中继卫星建立与地面的前、返向链路, 利用中继卫星系统提高载人航天器的通信和测控覆盖率和实时性, 其数据类型包含遥控指令、常规遥测、话音数据、图像数据、星务管理数据等。

2008 年 9 月, 天链一号 01 星首次执行任务, 由于是首次上天, 任务规定神舟七号以地基测控和信息传输为主用链路。天链一号 01 星虽只获得了 7 个圈次的试验机会, 但每个圈次均圆满完成了对神舟七号载人飞船的精确捕获、链路建立、数据中继、测控和跟踪任务, 传回的视频图像清晰, 话音质量好, 数据可靠。图 6 示出了当时下传视频图像的情况。虽然我国过去多年建成的地基测控网(包括多个国内站、国外站和远洋测控船等)成功完成了多次任务, 但其总轨道覆盖率不大于 13%^[11], 存在较大的局限性。而天链一号 01 星一颗星的轨道覆盖率就超过 50%。天链一号 01 星对神舟七号飞船中继终端首飞试验的圆满成功, 不但实现了我国天基信息传输的重大突破, 也大大增强了人们对这一新工作模式的信心, 为我国中继卫星系统的迅速发展奠定了坚实的基础。

2011 年 7 月, 01 星和 02 星形成的双星系统, 它使对中低轨用户航天器的轨道覆盖率提高到 75% 以上, 极大地扩充了可数传和测控的轨道弧段。同年

图6 天链一号 01 星中继上传神舟七号视频的情况

10 月和 11 月, 正式执行神舟八号飞船和天宫一号目标飞行器的交会对接任务, 并圆满完成。其间它提供了稳定可靠的天基信息传输链路支持, 首次实现同一波束内双目标的捕获跟踪和中继数传, 上行数据速率由原来的每秒几千比特提高到了每秒几兆比特, 下行数据速率由原来的每秒几兆比特提高到了每秒几百兆比特, 具备更高的数据传输及处理能力。由于中继卫星的出色表现, 天基传输也逐渐由试验链路过渡为主用链路。

2012 年 6 月神舟九号载人飞船发射升空, 中继卫星系统在神舟九号与天宫一号的自动和手动对接和 3 名航天员进驻天宫一号的活动中, 再次发挥重要作用。在神舟九号在轨 13 天中, 大量数据、图像、音频、电邮及神舟天宫组合体的测控等信息通过中继卫星系统高质量地传到地面指控中心, 为此次任务的圆满完成提供了有力的保障。它还首次实现了在地球站网作用范围之外航天员和地面人员之间的天地双向视频通话和航天员在轨娱乐数据及生理遥测数据中继传输。

2012 年 7 月天链一号 3 星组网成功, 形成对我国中低轨用户航天器 100% 的轨道覆盖率中继卫星系统。2013 年 6 月圆满完成神舟十号和天宫一号的飞行任务。由于覆盖范围更广, 服务的能力更强, 服务项目更多。在任务期间进行的长达 40 min (其间天宫一号已绕地球飞行近半圈) 的我国首次太空授课, 如没有中继卫星极难实现。

天宫一号从 2011 年 8 月发射升空至今, 天链一号中继卫星系统为其完成了日常测控和数据中继工作, 为地面及时和全面掌控天宫一号的状况, 确保安

全做出了重要的贡献. 表 1 是天链一号中继卫星系统为神舟飞船和天宫一号航天器进行中继服务圈次的汇总表.

天链一号中继卫星系统的应用, 大大扩展了载人航天信息传输能力, 有效扩大了载人航天测控覆盖区, 为载人航天器系统状态的监视、故障处置、在轨试验提供了链路通信手段; 为我国首次空间交会对接试验、首次载人手动交会对接试验、首次太空授课任务的顺利开展提供了强有力的通信保障; 获取了丰富的交会对接任务数据及在轨科学试验数据, 对我国天基测控系统、天地一体化测控网的建设实施有着重大的参考意义.

4 结语

天链一号中继卫星系统的建成和迅速得到广泛的应用, 表明我国在天基信息传输领域上实现了历

表 1 天链一号中继卫星系统为神舟飞船和天宫一号航天器进行中继服务圈次汇总(截至 2013 年 9 月)

	天链一号 01 星 (圈次)	天链一号 02 星 (圈次)	天链一号 03 星 (圈次)
神舟七号	7	/	/
神舟八号	95	80	/
神舟九号	70	56	/
神舟十号	9	68	67
天宫一号	598	1971	789

史性的突破. 它在覆盖性、实时性和经济性等方面表现出明显的优点, 将在我国航天活动中发挥越来越显著的作用. 该系统具有中国特色, 只在国内设置管控站, 实现了对我国中低轨用户航天器 100% 的轨道覆盖. 天链一号中继卫星系统为多次神舟飞船和天宫一号目标飞行器服务的成功实践, 说明了它的重要作用 and 巨大效益. 可以预料, 作为天基信息传输系统的关键成员, 我国中继卫星系统将有光辉的未来.

参考文献

1 Mission Service Program Office. Space Network User Guide. Revision 9. GSFC/NASA, 2007

2 王家胜. 苏联/俄罗斯数据中继卫星系统评述. 航天器工程, 2012, 21: 1-6

3 Oppenhaeuser G, Holtz L, Bird A. The Artemis mission—ESA’s latest communication satellite, IAF-01-M-1. 08. Paris: IAF, 2001

4 Fujiwara Y, Sudo Y, Nagano H, et al. Japan’s first data relay test satellite. IAC-03-M. 1. 03, 54th IAC, Bremen, Germany, Sept. 2003

5 Toral M, Heffernan P, Ngan Y, et al. Payload on-orbit performance verification of TDRS HIJ. In: 22nd AIAA International Communications Satellite Systems Conference & Exhibit. Monterey, California, 2004

6 Toral M, Wesdock J, Kassa A, et al. On-orbit performance verification and end-to-end characterization of the TDRS-H Ka-band communications payload, NASA Document ID 20020080795. Washington: NASA, 2002

7 Fujiwara Y, Nagano H, Yonechi H, et al. The Performance of Attitude Control System on Orbit of Data Relay Test Satellite (DRTS). Washington: AIAA, 2003

8 Wolcott T, Gardner J. Performance evaluation of 8PSK at 450 Mbps through TDRSS. In: Conference Record of 1996 IEEE International Conference on Communications. Las Cruces, 1996. 896-900

9 Encyclopedia Astronautica. Luch [2012-09-19]. <http://www.astronautix.com/craft/luch.htm>

10 王家胜. 我国数据中继卫星系统发展的建议. 航天器工程. 2011, 20: 1-8

11 新华社. 中国首颗中继卫星“天链一号 01 星”发射成功. 2013-11-15. http://news.xinhuanet.com/newscenter/2008-4/26/content_8052474.

China's data relay satellite system served for manned spaceflight

WANG JiaSheng & QI Xin

China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China

On the basis of a description of data relay satellite system's out-standing advantages, the difficulties to be overcome and the key technologies to be mastered in the development(including precise acquisition and tracking technology, deployable dual-banded tracking antenna with very large electrical dimension, multiple control technology for satellite attitude control and antenna pointing, etc.) are analyzed in detail. The development course of Tianlian-1 data relay satellite system is introduced. This system, with China's characteristics, has 100 percent orbit coverage for MEO and LEO user-spacecrafts by setting the control stations in-country only. Its successful implementation has made China the second country in the world (USA first) in possession of such a system. Tianlian-1 data relay satellite system's success in supporting Shenzhou-7 to Shenzhou-10 spaceship, Tiangong-1 missions shows its important role, huge benefits and broad application prospects in space-based information transmission.

data relay satellite, intersatellite link, satellite system, space-based information transmission, satellite application

doi: 10.1360/092013-1200