**摘  要：**阐述了我国航天器测控网组成部分地基测控网、天基测控通信网和深空测控通信网发展现状。提出了我国航天器测控网的发展思路是优化地基测控网、发展天基测控通信网和深空测控通信网、构建天地一体化测控通信网。探讨了构建天地一体化测控通信网的架构和关键技术，还进一步探讨了构建由航天器、导弹、临近空间飞行器和无人机组成的天地一体化飞行器测控通信网的架构和关键技术。最后，通过智能航天测运控技术探讨提出了测运控一体化管控、星上请求式按需管控和随机接入式管控等模式；通过商业航天探讨明确了坚持业务上军用、民用、商用三位一体，坚持管理上军队、国企、民企三位一体，是我国军民商航天器测控发展之路。

**关键词：**航天器测控网；天基测控通信网；深空测控通信网；天地一体化测控通信网；智能航天；商业航天

**引言**

航天测控是指对承担空间活动的航天器及其运载器飞行状态进行跟踪、测量、监视和控制，本文主要介绍我国航天器测控网发展现状，并探讨其发展趋势。

我国航天器测控网经过数十年的发展和完善，已形成了包括国内外陆基测控站与测量船组成的地基测控网，中继卫星与导航卫星组成的天基测控通信网以及国内外陆基站组成的深空测控通信网，圆满完成了中低轨道卫星、地球同步轨道卫星、载人航天器、深空航天器等不同特点的航天器测控任务。我国航天器测控网将来一段时间的发展思路是：优化地基测控网，发展天基测控通信网和深空测控通信网，构建天地一体化测控通信网[1]；与此同时，与导弹航天器发射场测控通信网、临近空间飞行器测控通信网、无人机测控通信网构建空天地一体化飞行器测控通信网。在构建过程中，逐步形成各种飞行器测控通信资源综合利用、优化配置、整体性能最优的智能化的高可靠性的飞行器测控通信网。最后，为推进上述发展思路实现，还对我国智能测运控模式和商业航天测运控发展提出了建议。

**我国航天器测控网发展现状**

航天器测控取得成就[2]

我国航天器测控网经过数十年的发展和完善，已形成了包括国内外陆基测控站与测量船组成的地基测控网，中继卫星与导航卫星组成的天基测控通信网以及国内外陆基站组成的深空测控通信网，圆满完成了包括运载火箭、中低轨道卫星、地球同步轨道卫星、载人航天器、深空航天器等不同特点的航天器测控任务。在此期间我国航天测控取得了如下重大突破性成就：

我国分别于1970年初建成低轨卫星观测网，1973年基本建成具有控制和回收功能的卫星观测网，先后在东方红一号卫星和返回式遥感卫星发射任务中发挥了重要作用。以远程导弹全程飞行试验任务、潜地导弹海上飞行试验任务和地球同步通信卫星发射试验任务等三大任务为重点，成功实现我国导弹航天测控网成体系规划、设计和建设的新跃升，改变了“测控跟着型号跑”的被动局面，成为我国的测控综合设施。以远望测量船队的建成为标志，实现了我国航天测控由陆地向远洋拓展的重要突破。其中，远望五号和远望六号两艘新测量船于2008年9月同时出海参加神舟七号载人航天飞行任务。

自主建成载人航天测控通信网，实现载人航天的重大突破。载人航天工程测控通信系统，是我国迄今为止规模最大、功能最全、技术最先进的测控通信网，既能满足载人航天任务的需要，又能同时为多种卫星提供测控通信支持，在技术上实现了多项重大突破。“北斗”卫星导航系统与“天链”卫星中继系统的建设与应用，标志着我国航天测控网的发展实现了由地基测控网向天基测控通信网的重要跨越。以探月工程为牵引，嫦娥一号卫星测控任务的圆满完成标志着我国深空测控能力实现重要突破。我国测控系统正在设计建设自己的深空网，为实现我国月球探测二、三期工程的任务目标和未来的深空探测任务而努力。

航天器地基测控网[3]

地基测控网组成

我国的航天器地基测控网由西安卫星测控中心、陆基固定TT＆C站、活动TT＆C站和远洋航天测量船等组成。根据任务测控覆盖率的要求，进行不同的组合，可对各种航天器提供测控支持。

卫星测控网配置了C频段统一测控系统、S频段统一测控系统、超短波统一测控系统、单脉冲精密测量雷达等测控设备。各主要TT＆C站（船）均具有数据处理功能。卫星通信、有线通信构成的通信网把西安卫星测控中心与TT＆C站（船）连接起来，支持数据、语音、电报、传真等通信。

1996年3月我国的航天器地基测控网除了原有的西安卫星测控中心外，又增建了北京航天飞行控制中心 。他是中国载人航天工程任务的指挥调度、飞行控制、分析计算、数据处理和信息交换中心，也是我国绕月探测工程的飞行控制中心，承担绕月探测卫星“嫦娥一号”飞行控制和长期管理任务。

测控网功能和提供服务

1.测控网功能

跟踪测轨，确定卫星飞行轨道；接收和处理卫星遥测数据，监视卫星工况；向卫星发送遥控指令和注入数据，对卫星飞行轨道、姿态、转速、返回及星上设备的工作状态进行控制；回收卫星回收舱；当卫星出现故障时，实施故障对策；进行测控网内外的信息交换。

2.测控网提供服务

对近地轨道卫星（包括返回式卫星和其它航天器）进行全过程测控及长期在轨管理；对太阳同步轨道卫星进行全过程测控及长期在轨管理；对地球同步轨道卫星进行全过程测控及长期在轨管理；对在轨航天器提供测控支持；同时支持多颗卫星的测控与长期在轨管理；对外星发射支持服务及卫星测控国际联网；为各用户提供有关数据资料。

测控网设备配置和用途

1. 设备配置
2. 西安卫星测控中心：它是卫星测控网的指挥决策中心，信息处理、交换中心和卫星在轨管理中心。它由计算机系统、监控显示系统、通信系统、时间频率系统、计量测试系统组成。
3. 固定TT＆C站：国内有喀什站、渭南站、南宁站、厦门站、长春站、青岛站、闽西站、东风站、兴县站、宜宾站、库尔勒站、佳木斯站、三亚站、西沙站等，还可以根据需要综合利用发射场所属的测控站。驻国外的有马林迪站、纳米比亚站、卡拉奇站、圣地亚哥站和基律纳站等。
4. 活动TT＆C站：第一活动站、第二活动站、着陆场站。
5. 测量船：远望一号至远望六号测量船。根据任务需求，可布设于我国领海和公海上的任何海域。
6. 设备用途
7. C频段统一测控系统：地球同步轨道卫星的跟踪测量、控制、遥测信号的接收解凋；与国际同频段测控网联网。
8. S频段统一测控系统：近地轨道卫星、太阳同步轨道卫星和地球同步轨道卫星的跟踪测量、控制、遥测信号的接收解调；与国际同频段测控网联网。
9. 单脉冲精密测量雷达：近地轨道卫星，太阳同步轨道卫星和其它航天器入轨段、运行段和返回段的轨道测量；兼顾其他空中目标的跟踪测量。
10. 超短波统一测控系统：近地轨道卫星和太阳同步轨道卫星的跟踪测量、控制、遥测信号的接收解调。
11. 限动天线C频段统一测控系统：地球同步轨道卫星定点后的长期在轨测控管理。
12. C频段卫星遥测单收站：卫星遥测数据的接收与解调。

航天器天基测控通信网

中继卫星系统[4-6]

1.组成

我国第一代中继卫星由用户中继终端、中继卫星和地面应用系统组成，如图 1所示。

我国从2007年以来已发射了“天链一号”的4颗中继卫星。其中由定点于76.95°E的01星、定点于176.76°E的02星、定点于16.65° E的03星和定点于76.40°E的04星实现全球组网。前3颗卫星组网可对350km以上的中继用户提供100％全球覆盖，对地面中继用户提供80％以上覆盖，其覆盖特性显著优于地面站组网。

2.用途

中继卫星的主要优点是覆盖性大、实时性强、经济性好。它有广泛用途。

1. 导弹、运载火箭测控：对导弹全程测量，对火箭飞行动力段实施测控，并尽可能实现全程测控，缓解测量船数量及调配时效性的需求。
2. 航天器发射及早期运行段测控：在航天器发射入轨段及早期轨道段，对卫星入轨的姿态建立、帆板展开等平台状态进行监视，必要时进行控制和应急处置。
3. 中低轨卫星长期管理测控：卫星长期在轨应用期间，卫星的实时操作及应急处置(如卫星轨道及姿态的应急调整、载荷工作状态的实时改变、卫星异常状态的应急处置等工作)。
4. 载人航天器测控：在发射及早期轨道段主要是增强测控能力，减少对测量船的使用压力，提高测控效能；在运行段，只有利用中继卫星的高覆盖率支持，才能使地面人员随时了解掌握在轨航天器及航天员的运行状况，一旦出现紧急情况，即可开展应急处置工作，最大限度保障人员的安全；在返回段正常条件下，通过中继卫星和地基测控网的共同支持以提高飞船返回段的测控能力，异常条件下，掌握飞船返回过程及航天员状态，提升异常条件下飞船返回的测控能力。
5. 对地观测卫星实时数据传输：可为我国中低轨道资源卫星提供高、中或低速率的数据中继服务。
6. 多目标测控：能同时为多个用户提供跟踪与数据中继服务。

应用示例：我国自2008年4月第1颗 “天链一号”01星发射并试用以来，已成功应用于载人飞船的数据中继、测控和跟踪、空间交会对接，遥感卫星高速数据传输，航天器测控以及航空器、舰船等非航天器平台的数据中继传输。 图 2为“天链一号” 01星、02星组网相助“神舟八号” 载人飞船与“天宫一号”目标飞行器空间交会对接示意图。

导航卫星系统[7-9]

1.组成和功能

我国的导航卫星系统为北斗卫星导航系统。它的星座（见图 3）由5颗GEO卫星、3颗倾斜地球同步轨道(IGSO)卫星和27颗中圆地球轨道卫星组成，具有星间链路。该系统具有实时导航、快速定位、精确授时、位置报告和短报文通信服务五大功能，此外还有全球搜救功能。2020年前后，完成35颗卫星发射组网，为全球用户提供服务。

2.天基测控应用

对北斗卫星导航系统作为天基测控来说，主要功能是为各种飞行器提供时空基准，如图 4所示。其主要应用如下：

各种轨道航天器自主定轨；北斗卫星导航系统其L频段用户波束受其波束覆盖范围限制，一般只能用于低轨航天器自主定轨；其Ka频段星间链路波束，除了用于导航系统自身自主定轨外，还可用于低、中、高轨道用户航天器自主定轨。

1. 外弹道测量：用于武器试验场导弹和反导弹等高速武器的跟踪和精确弹道测量、时统建立与保持等。
2. 构建导弹武器组合制导：用于构建弹道导弹、巡航导弹等各种精密打击武器的组合制导系统，提高导弹武器远程打击精度和综合作战效能。

航天器深空测控通信网[10-11]

1.深空测控目标与任务

对月球探测器、火星探测器以及其它深空探测器进行跟踪测量导航、健康状态监视、任务飞行控制、探测任务操作和数据传输通信。

2.深空测控系统组成

我国深空测控站部署在喀什、佳木斯和南美的阿根廷，测控站的典型组成如图 5所示，它是一套复杂的多频段（S/Ｘ/Ｋa）测控系统。该系统除常规TT&C测控站测量方式外，还包括三向测量、甚长基线干涉测量（Very Long Baseline Interferometer，VLBI） 等满足深空任务特点的测量方式。前者可以完成深空大时延情况下的测速测距功能，后者可以完成远距离深空探测器的精密角度测量。

3.深空任务测控任务基本工作流程

深空测控任务基本工作流程如图 6所示。

1. 首先各类用户提出深空任务需求，用户包括国内各使用单位及国际合作组织；
2. 北京任务中心判断任务需求合理性后，向西安网管中心发送设备使用申请；
3. 西安网管中心根据各个测控任务对测控网的使用要求，进行测控网资源的分配和调度，制定测控计划；
4. 各测控站的设备在测控网的测控计划驱动下进行测控设备的自动控制，控制测控设备自动运行完成测控任务；
5. 测控任务中，各测控站将测控数据发送到西安网管中心，经由北京任务中心分发至各用户单位。

**我国航天器天地一体化测控通信网发展思路**

我国航天器测控网的发展目标是构建由地基测控网、天基测控通信网和深空测控通信网组成的天地一体化测控通信网。

天地一体化测控通信网网络体系是基于面向空间应用的网络技术。它将地基测控网、天基测控通信网和深空测控通信网组成单元和测控对象（各种航天器）等均作为标准网络节点，按照标准化网络传输协议，实现互联互通互操作的公共基础设施。

航天器天地一体化测控通信网架构[11-13]

我国航天器测控网的发展目标是构建由地基测控网、天基测控通信网和深空测控通信网组成的天地一体化测控通信网。借助NASA为满足2005～2030年期间为探索和应用空间航天任务而提出空间通信和导航体系结构，我国的天地一体化测控通信网络体系架构如图 7所示。它由地基地球单元、近地中继单元、月球中继单元和火星中继单元等4个测控通信物理单元以及相互交迭的网络、频谱、测控和安全结构组成。

上述4个单元通过一体化的网络结构紧密联结在一起。这种一体化结构在地面互联网技术基础上，将其扩展到整个太阳系，使用户可以顺利地从一个单元到另一个单元无缝过渡。这种一体化结构通过远程无线电和激光链路将地球、月球和火星周围按特性分组的联网业务与地球相联接，为每个用户航天器，提供一套灵活的端到端数据通信（含遥测、遥控、低高速数据、综合音频和视频以及应急操作）业务和无线电外测跟踪服务。

该体系结构具有互操作、标准化、提高资源利用率，支持多种端到端用户应用的标准化分层次数据通信业务的特点。

图 7中4个模向结构组成和功能如下：

1.网络结构：由地基地球单元、近地中继单元、月球中继单元和火星中继单元等4个测控通信物理单元综合在网络中，将更充分地利用测控通信资源，全面掌控飞行器态势，进一步提高效费比。作为组网基础的网络各协议层结构如图 8所示。

2.频谱结构：使用UHF、L、S、C、X、Ku、K a无线电频段和光学等频段，以足够的带宽、数传速率和尽量简单的硬件配置，提供测控通信服务。其中UHF频段主要用于火星中继卫星到火星表面的测控，L频段主要用于自主导航和定时，S、C频段主要用于测控，X、Ka频段主要用于地一月、地一火、地一日拉格朗日点的测控和任务数据传输。

3.测控结构：综合利用无线电测控、数据跟踪与中继、全球卫星定位、脉冲星X射线导航等技术，为各种航天器、航天靶场提供无缝的测控通信服务，实现航天器高覆盖、低成本的统一管理。

4.安全结构：为需要数据安全的用户提供可供选择的数据保护业务，包括加密和认证，尤其是遥控信息的端到端保护。另外，还需要从信号体制和信号处理上防止信号被非法获取和人为干扰等。

航天器天地一体化测控通信网关键技术

天地一体化航天器测控通信网涉及到的关键技术很多，具体如下所述：

总体技术：空间测控通信网络体系架构设计、网络化测控基带研制、网络安全防护技术、星间导航定位技术、智能识别技术等。

物理层：高精度无线电跟踪测量技术、组阵技术、多目标同时测控技术、抗干扰抗多径技术、高速调制解调技术等。

链路层：高效编译码技术、时空编码技术、高效信道接入技术等。

网络层：标准化空间网络层协议、空间高速路由分配技术等。

传输层：标准传输层协议改进技术、存储转发技术等。

应用层：任务规划自动形成、资源冲突自动检测技术、综合网络管理技术等。

**我国飞行器空天地一体化测控通信网发展思路**

各类飞行器测控网 [14]

在未来10年左右的时间内，航天器、导弹航天器发射场、临近空间飞行器、无人机四大应用领域的飞行器测控系统将在现有基础上，通过各自性能提高、手段完善、网络化演进等历程，最终统一为空天地一体化测控通信网，以实现测控任务统一指挥控制、飞行器态势综合显示、测控通信资源综合利用并可持续发展的目的。上节已单独阐述了航天器天地一体化测控通信网，本节将阐述航天靶场、临近空间、无人机三大应用领域的飞行器测控通信网。

导弹航天器发射场测控通信网

1.导弹航天器发射场任务

对航天器及其运载火箭、导弹和其它新概念飞行器的发射支持。应具备支持覆盖地球表面和低地球轨道的快速反应发射、全射向发射、全球机动发射、在轨操作、轨道转移和再入的能力。

2.导弹航天器发射场测控通信网组成

由天基测控资源 (包括全球卫星定位系统、跟踪与中继卫星系统)、空基测控资源（包括测控与监视飞机、无人机、飞艇）、地基（陆基和海基）测控与监视站以及航天发射场指挥与操作中心构成，如图 9所示。

3.导弹航天器发射场测控通信网结构

1. 网络结构：中期以点对点连接为主，逐渐将天基、空基和地基资源通过网络无缝综合。
2. 频谱结构：主要使用L、S、C、X、Ka频段，其中L频段用于卫星定位与授时，S、C、X频段用于一般运载和导弹的测控，Ka频段用于卫星中继和超高声速导弹的测控。
3. 测控结构：以天基测控资源（全球卫星定位系统、跟踪与中继卫星系统或其它星座的应用）为主，辅以空基和地基无线电跟踪测量。测控与监视空域可以覆盖半个地球。
4. 安全结构：主要从信号体制、信号处理和数据保护上采取措施。

临近空间飞行器测控通信网

临近空间通常是地球表面以上20—100 km高度之间的空域。临近空间飞行器可分为低动态飞行器和高动态飞行器。低动态飞行器包括自由浮空器、半可控浮空器、平流层飞艇、升浮一体飞行器、太阳能无人机等。高动态飞行器包括超音速有动力巡航飞行器、高超音速有动力巡航飞行器(HCV)、无动力通用再入飞行器(CAV)、空天往返飞行器(如空天飞机、应急轨道飞行器)等。

1.临近空间飞行器测控通信网任务

对低动态、高动态临近空间飞行器提供从起飞或发射、飞行／作战、降落等全过程的测控和数据传输支持。

2.临近空间飞行器测控通信网组成

由天基资源(包括全球卫星定位系统、跟踪与中继卫星系统和其它星座)和地基测控站，以及临近空间飞行器指挥与操作中心构成，如图 10所示。

3.临近空间飞行器测控网通信结构

1. 网络结构：中期以点对点连接为主。逐渐将天基和地基资源通过网络无缝综合。
2. 频谱结构：根据国际电联(ITU)的规定，临近空间飞行器可使用L频段、Ka频段和V频段相关频率范围。
3. 测控结构：由地基测控站提供视距测控和数传支持，由天基资源提供超视距，甚至全程测控与数传支持。
4. 安全结构：主要从信号体制、信号处理和数据保护上采取措施。

无人机测控通信网

在未来．无人机的应用范围将越来越大，甚至代替有人机作战。

1.无人机测控通信网任务

在无人机起飞或发射、空中作业或作战、着陆或回收等阶段提供定位、遥控、遥测和数据传输支持。

2.无人机测控通信网组成

由天基资源(全球卫星定位系统、跟踪与中继卫星系统、通信卫星系统等)、临近空间资源(飞艇或临近空间站)、空基资源 (中继无人机)、地基资源(地面测控站和数据链终端)，以及地面指挥控制中心等组成，如图 11所示。

3.无人机测控通信网结构

1. 网络结构：一般单机为点对点连接；多机构成机群时，以中继机为中心构成无线局域网。
2. 频谱结构：根据国际电联规定和我国实际情况，无人机测控数据链通常使用VHF、UHF、L、C、X、Ku、Ka频段。
3. 测控结构：由天基和临近空间基资源提供超视距定位、遥测和遥控，地基资源提供视距测控，空基资源提供多机组网测控。
4. 安全结构：主要从信号体制、信号处理和数据保护上采取措施。

飞行器空天地一体化测控通信网架构

在远期，随着航天器、导弹、临近空间飞行器和无人机测控通信任务的不断增多、测控通信基础设施的完善，以及空间互联网技术的成熟，把航天器测控通信、航天器导弹发射场测控监视、临近空间飞行器测控通信、无人机测控通信四个单元综合成一个空天地一体化测控通信系统，将能更充分地利用测控通信资源，全面掌握飞行器态势，进一步提高效费比。

空天地一体化飞行器测控通信系统为各类飞行于空间、临近空间和空中的飞行器提供测控和通信服务。体系架构由航天器、航天靶场、临近空间飞行器和无人机测控通信系统4个物理单元和相互交迭的网络、频谱、测控和安全结构组成。该体系架构通过网络技术将测控通信能力扩展到整个太阳系，使用户从一个单元到另一个单元时可无缝顺利过渡。联网结构具有互操作、标准化和提高资源利用率，支持多种端到端用户应用的标准化分层数据通信业务的特点。图 12是天空地—体化飞行器测控通信体系的示意图。

网络结构：采用异构开放的互操作标准，建立通用空间互联网的基础结构。它由骨干网、接入网、飞行器间的网络和临近行星网络组成。其中骨干网包括地面网络和空间网络、飞行器指挥控制中心的内联网、虚拟专用网等；接入网包括骨干网络与任务飞行器(含其上的局域网络)之间的通信接口；飞行器间的网络包括星座、编队、星群、无人机群中飞行器间的网络；临近行星网络包括连接空间运载器、着陆器、传感器等的网络。

频谱结构：使用VHF、UHF、L、S、C、X、Ka、V和光学等频段，以足够的带宽、数传速率和尽量简单的硬件配置，提供测控通信和定位服务。

测控结构：综合利用无线电测控、卫星跟踪与中继、全球卫星定位、脉冲星X射线导航和相对导航等技术，为航天器、导弹航天器发射场、临近空间飞行器和无人机提供无缝的测控通信服务，实现飞行器高覆盖、低成本的统一管理。

安全结构：为需要数据安全的用户提供可供选择的数据保护业务，包括加密和认证，以及应对人为射频干扰的措施等。

飞行器空天地一体化测控通信网关键技术[14][15]

根据目前技术现状，构建飞行器空天地一体化测控通信网尚需解决从物理层、链路层、网络层等所面临下列关键技术。

1. 高精度无线电跟踪测量技术：再生式PN码测距、宽带测距、单向测速、差分单向测距(ADOR)、同波束干涉测量技术(SBI)，以及编队飞行的相对导航等技术。
2. 高速数据传输技术：高速数字解调器数字采样精度、高速算法、载波恢复、差分译码和信道均衡技术；高速数字调制器调制方式、信道编码等技术。
3. 高超音速临近空间飞行器测控技术：高超音速临近空间飞行器 “黑障”条件下的全程、实时测控和安控技术。
4. 多目标同时测控技术：地基单站 (有源多波束相控阵天线、数字多波束天线等) 多目标测控技术、天基(中继卫星系统+导航卫星系统)多目标测控技术等。
5. 激光测控通信技术：激光测控通信具有高码速率信息传输、高精度位置测量的新型测控通信手段。需要解决高精度跟瞄技术、高功率高重频激光器技术、强背景条件下微弱信号检测技术等。
6. 新兴导航定位技术：脉冲星X射线导航、星上光学导航、组合导航等飞行器自主定位等技术。
7. 网络技术：测控通信中应用的空间容延迟网络(DTN)技术和自组织网络(Ad Hoc)技术。
8. 安全防护技术：混沌序列扩频测控通信技术、扩/跳结合的测控通信技术、空—时／空—频自适应处理技术，以及新型加密认证技术。
9. 模块化开放式结构设计技术：采用开放式硬件设计技术、模块化软件设计技术和标准化接口设计技术，以使设备能即插即用、升级和重构，以使系统能互联、互操作。
10. 远程诊断与维护技术：现代检测技术、故障诊断专家系统、数据库技术和多媒体通信技术。

**我国智能航天测运控模式思考**

随着我国卫星在轨数量快速增长、在轨测运控服务需求大幅增加，我地面测控体系面临站网满负荷运转、任务人员高强度工作的问题，因此有必要构建智能测运控试验系统，提高卫星测运控系统智能化水平，合理分配站网资源、降低任务人员工作压力。这里考虑在测运控一体化管控模式、星上请求式按需管控模式和随机接入测控管控模式三方面开展工作。

测运控一体化管控模式

考虑到星上综合电子信息系统将实现卫星平台、载荷一体化，开展测运控一体化管控模式探索，从地面管控发展来看，可以促使测控数传资源集约高效，从商业卫星服务来看，更有利于降低成本。

文献[16]提出了一种商业卫星测运控一体化的无人值守地面管理系统，仅用一套地面设备实现多颗低轨卫星的测控和运控管理工作。该系统由数据收发分系统、系统运行管理分系统和数据处理分系统组成。其中数据收发分系统主要完成卫星测控信号和数传信号的收发、信号处理和信号调制解调等功能，系统运行管理分系统主要完成全部系统的设备监控、任务计划生成、远程控制和卫星的日常理等工作，数据处理分系统主要进行卫星下行遥测数据和业务数据的处理工作。图 13为该系统对多颗低轨商业卫星测运控一体化管理示意图。

星上请求式按需管控模式

“有需求、有服务，无需求，不打扰”的星地工作模式，其内涵是：卫星在轨运行期间，当需要地面管控或测控系统配合完成时，主动向地面发出请求（如星地校时、星历更新、故障修复、载荷任务等），触发地面管控系统进行服务响应。相对于传统地面管控模式来说，服务的发起者不再是应用系统或任务中心，而是智能卫星；轨道预报、任务规划或是资源调度功能不由地面主导、卫星执行，而是由卫星主导，地面配合完成。星上主动请求式按需管控，充分利用了星上先进计算能力，智能信息处理能力，可以自主向地面发出请求，从而实现真正意义上的“按需管控”，减轻地面负担，如图 14所示。

图 14 智能卫星“主动请求式”管控示意图

随机接入管控模式[17]

随机接入的概念起源于计算机网络，现已普遍应用于蜂窝移动通信系统，是指从用户发送随机接入前导码开始尝试接入网络到与网络间建立起基本信令连接之前的过程。借鉴蜂窝移动网络的随机接入机制，将卫星、测控站分别看做移动终端和基站，将单圈次测控过程看作一次移动终端与基站的数据交互，就能在地基测控网中引入随机接入技术，而近年来对全空域多波束测控设备的建设研究使其成为可能。这种测控组织形态是对现有组织体系的一次结构性革新，优势明显，表现在：

1. 改变了传统地基测控网组织形态，能有效解决未来因卫星数量激增而导致测控资源不足的问题。
2. 卫星可同时与不止一个测控站建立控制链路，在必要时进行快速切换，实现了多站备份，测控可靠性提高；
3. 将单圈次跟踪测控任务由网管中心计划驱动的模式变成了卫星自主随机接入，改变了传统资源调度难以适应日趋密集测控业务量的情况；
4. 灵活开放，卫星或地面设备出入网均可动态自动，能很好适应未来包含军事应用在内的多种任务需求。

关键技术：以传统的地面主导计划驱动模式转变为以卫星主导需求驱动模式；全空域多波束多目标地基测控设备；地基测控站异构组网部署；卫星接入最优化选择策略。

**我国商业航天测控发展思考**

商业航天通常是指运用市场模式建设和运营航天器工程项目的活动。其中,航天器工程项目包括：航天器、运载火箭、地面设备制造和发射场建造；航天器发射、测控和在轨管理；航天器应用。

美国的商业航天起步最早,也是发展得最为成功的国家。其他国家,如加拿大、阿根廷航天商业公司也有自己的卫星发射、运营计划。过去,我国航天产业主要处于国家投资、国企研制的传统计划模式下,商业航天刚刚起步。近年来,我国政府大力鼓励民企进入航天领域,在国家一系列政策的鼓励下,国内一些从事商业火箭制造、商业卫星制造和商业卫星测控和运营的创新企业如雨后春笋般涌现出来。

国内商业航天测控现状

我国自1970年4月成功发射第一颗人造卫星东方红一号以来，近50年内我国发射的200多个各种航天器按军队、国企、民企三家运行管理者分管军、民、商三种用途卫星分类如表 1所示。由表知，军队、国企测控管理的航天器轨道类型和业务类型最多。

表 1 我国发射的各种航天器管理分类

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 用途 | 军用 | 民用(公益、科学考察等) | 商用 |
| 轨道 | 近地 | 对地静止 | 深空 | 近地 | 对地静止 | 深空 | 近地 | 同步 | 深空 |
| 测控运行管理单位 | 军队 | 导航卫星等 | 通信、导航、预警卫星等 |  | 载人航天器 |  | 探月 |  |  |  |
| 国企 |  |  |  | 气象、资源、探测等卫星 | 气象等卫星 |  | 通信、遥感等卫星 | 通信卫星 |  |
| 民企 |  |  |  |  |  |  | 通信、遥感等卫星 |  |  |

目前，作为商业航天测控运行管理国企和民企单位据不完全统计有下述单位：

1. 公司拥有自己的卫星,建立相应的地面测控网络。 如国家气象局风云系列气象卫星在多地建有地面站，,负责多颗对地静止卫星和低轨卫星的载荷控制。中国卫通集团股份有限公司、亚洲卫星控股有限公司各自拥有多颗对地静止轨道通信卫星，在多地建有测控站，各自负责多颗对地静止轨道卫星的平台和载荷测控。这类测控站仅支持行业专业卫星应用,一般不支持其他卫星测控。
2. 在建“虹云”低轨星座和“行云”低轨星座等商业航天公司，除了自建低轨星座外，还要自建卫星测控网。
3. 已于2016年先后成立的北京航天驭星科技有限公司和北京牧星人航天科技有限公司，他们都是民企商业航天测控专业公司。他们正在筹建覆盖全球的测控和数据通信网络,面向多种卫星提供测控、在轨运维服务。

做好商业航天测控建议

1. 加强航天立法。从国家层面、行业规范层面制定航天法规，规范商业航天和商业航天测控商业活动，促进商业航天和商业航天测控有序发展。
2. 鼓励航天测控商业活动。支持商业测控公司自建测控管理中心、自建测控站，承包商业卫星公司各种卫星测控、在轨运维服务；支持商业测控公司自建网络对外联网，开展航天器测控国际合作。
3. 探索航天测控新模式。要研究和协调国企与民企承建航天器工程测控项目的分工与合作关系，研究和协调军队、国企、民企承担航天器在轨测控管理任务的分工与合作关系，以推进航天测控产业良性发展。
4. 加强商业航天器管理。对包括商业航天器在内的所有航天器，加强管理，做好服务，以保障国家信息安全和卫星在轨飞行安全。

**结束语**

我国航天产业军民融合深度发展和商业航天的兴起，对我国航天测控网发展和应用带来了新的机遇和挑战。网络技术已经改变了商业模式、组织机构和业务流程，把人类世界变成了地球村。

我们相信网络技术也会改变航天器测控网原有结构模式，逐步演变成天地一体化航天器测控通信网，进而扩大为包括导弹、临近空间飞行器、无人机在内的天地一体化飞行器测控通信网。我们也相信，在军民融合和商业航天政策指引下，随着我国商业航天器产业发展，作为商业航天器重要组成部分，我国商业航天测运控产业也会取得相应发展。我们还相信，坚持业务上军用、民用、商用三位一体，坚持管理上军队、国企、民企三位一体，这是我国军民商航天器发展之路，也是我国军民商航天器测控发展之路。