



从测试角度透视低轨卫星 在轨测试与监测

当我们仰望星空，看到的不仅是璀璨的星河，更是一个由数千颗低轨卫星组成的庞大网络。这些卫星以每小时27,000公里的速度绕地球飞行，为全球提供通信、导航和遥感服务。然而，在这壮观的太空芭蕾背后，隐藏着极其复杂的技术挑战：如何在地面快速移动的卫星短暂过顶的几分钟内，完成对其信号的精准捕获、分析和验证？

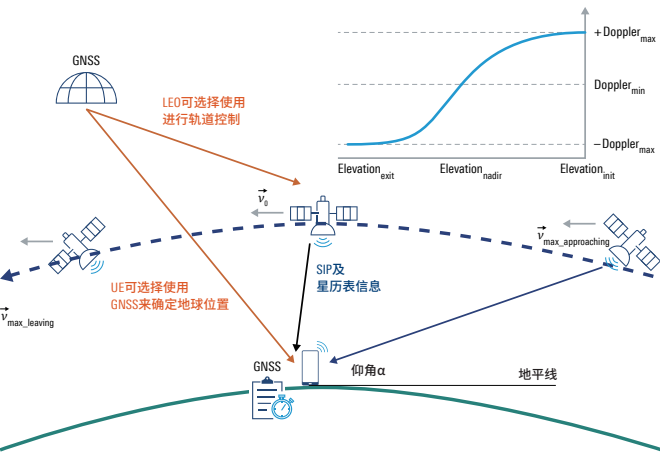
传统的测试方法已无法满足现代低轨卫星星座的测试需求。卫星过顶时间短、信号动态变化剧烈、测试精度要求高，这些因素共同推动了测试技术的革命性进步。基于精准授时的在轨测试与监测系统应运而生，成为支撑太空基础设施健康发展的重要技术保障。

低轨卫星测试：技术挑战与突破

独特的测试环境挑战

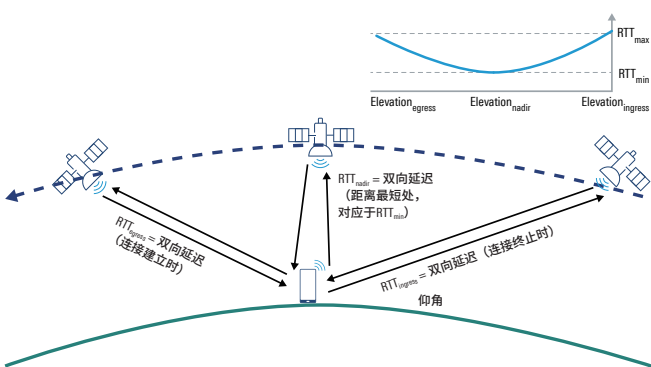
低轨卫星因其特殊的轨道特性，带来了前所未有的测试难题。在测试新一代通信卫星时发现，卫星过顶时间仅有10~20分钟，在这极短的时间窗口内，需要完成信号捕获、参数测量、数据记录等一系列复杂操作。

多普勒频移挑战：在Q/V波段，由于卫星相对地面站的高速运动，产生的多普勒频移可达±100 kHz以上。如在测试50 GHz通信载荷时，观测到达到87 kHz的频率偏移，这对接收机的频率跟踪能力提出了极高要求。



LEO (低轨卫星) 场景中的星历与多普勒频移

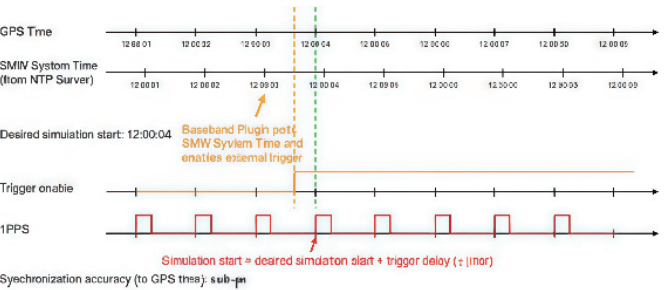
时延变化挑战：卫星与地面站之间的距离不断变化，导致传输时延持续变化。在测试中就会发现，单次过顶过程中，传输时延变化范围超过20毫秒，需要实时补偿。



技术突破与解决方案

面对这些挑战，行业提出了基于精准授时的创新解决方案。通过集成GNSS授时与NTP同步机制，实现了微秒级的时间同步精度，彻底改变了传统测试模式。

时间同步突破：采用GNSS 1PPS秒脉冲配合NTP服务器授时，将时间同步精度从传统的±10微秒提升至±100纳秒以内。这项突破使得在67 GHz频段下实现端到端时延测量精度±5纳秒成为可能。



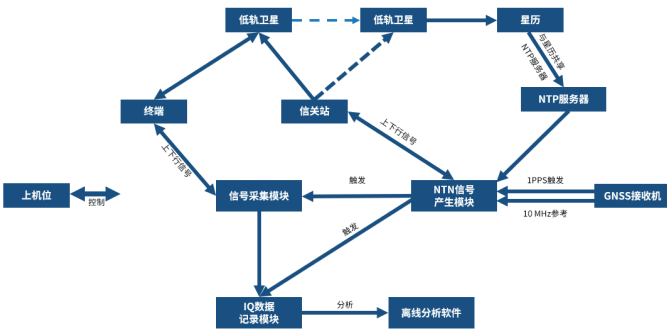
信号处理创新：现代测试系统支持2 GHz的瞬时带宽，能够处理最复杂的信号格式。在100 MHz信道带宽条件下，实现了EVM≤0.1%的惊人精度，为5G NR等先进通信标准的在轨验证提供了可能。

项目	创新方案	传统方案
时间同步	±10 µs (手动触发)	±1 µs (GNSS1PPS+NTP)
时间戳	需要额外配置时间戳	时间戳和IQ信号一一对应
线缆/转接头损耗	每组件0.2-0.5 dB	集成射频链路
总测量不确定性	≥1.5 dB	≤0.5 dB

精准授时：时空标尺的技术革命

GNSS与NTP的协同授时机制

精准授时系统的核心在于GNSS与NTP的协同工作。GNSS接收机提供绝对时间基准和地理位置信息，而NTP服务器确保整个测试系统的时间同步。这种协同机制创造了测试领域的"时空标尺"。



测试系统框图

技术实现细节：

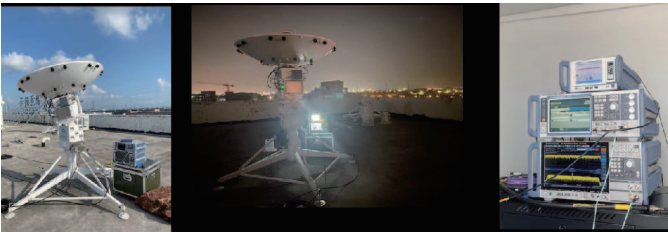
- ▶ GNSS接收机提供1PPS秒脉冲信号，精度达到 $\pm 100\text{ ns}$
- ▶ NTP服务器通过网络同步所有测试设备
- ▶ 时间戳嵌入模块将绝对时间信息实时写入IQ数据
- ▶ 地理位置信息与时间信息关联，形成完整的时空标签

应用案例：

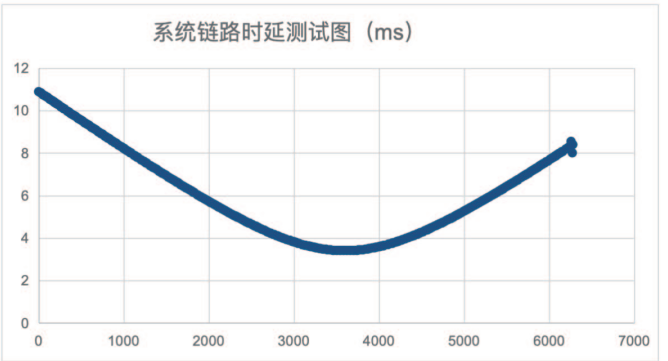
某卫星系统时延精确测量某星座系统测试中，需要精确测量星间链路时延。传统方法存在 $\pm 10\text{ 微秒}$ 的同步误差，无法满足高精度时延测量要求。

测试过程：

- ▶ 利用GNSS秒脉冲触发测试序列
- ▶ 在绝对时间 t_0 时刻发送测试信号
- ▶ 记录信号经过卫星转发的到达时间
- ▶ 计算精确的传输时延



测试结果：系统成功测量出卫星过顶期间端到端时延最大值为10.6毫秒，最小值为8.3毫秒，测量精度达到 $\pm 100\text{ 纳秒}$ ，为星间链路优化提供了关键数据支撑。



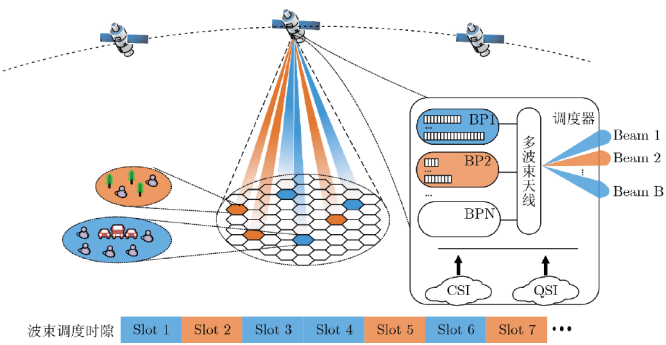
创新应用案例深度分析

跳波束时延精确标定

在测试其跳波束系统时，面临着波束切换时延精确测量的挑战。跳波束技术通过时间切片实现资源动态分配，但需要精确知道每个环节的时延特性。

测试方案：

- ▶ 时延参考产生单元生成特定时延脉冲测试信号
- ▶ 信号通过Q/V上下变频器进行频段转换
- ▶ 经信关站射频前端下变频处理
- ▶ 时延测量单元进行精确时延采集

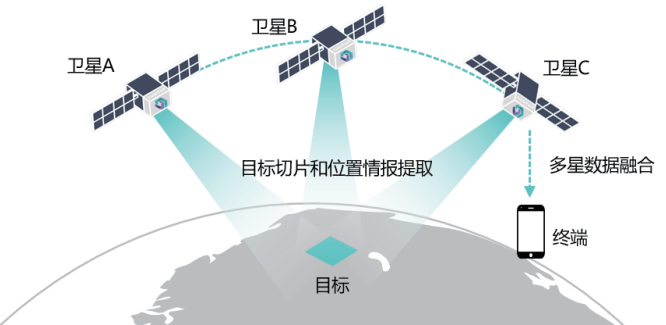


多星协同测试验证

某卫星运营商在进行星座系统测试时，需要同时跟踪多颗卫星的信号状态。通过系统的绝对时间触发能力，成功实现了4颗卫星的同时测试。

测试过程：

- ▶ 利用绝对时间同步，协调多个地面站
- ▶ 同时捕获多颗卫星的信号
- ▶ 记录完整的信号交接过程
- ▶ 分析星座系统的协同性能

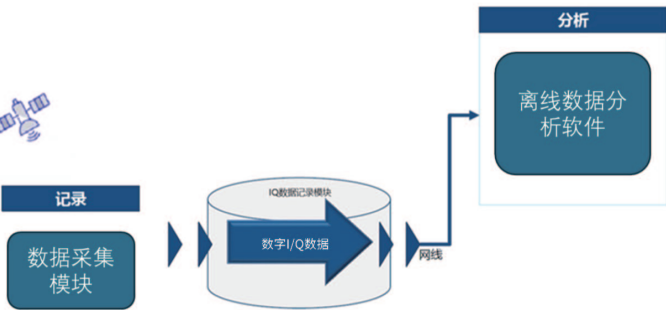


全生命周期健康监测

为地面站系统部署了全生命周期监测平台，实现了从在轨测试到长期运维的全过程监控。系统特点：

系统特点：

- ▶ 7×24小时不间断监测
- ▶ 实时记录带时标IO数据
- ▶ 自动异常检测与报警
- ▶ 历史数据回溯分析



技术优势与行业价值

与传统方案的对比优势

- ▶ **时间同步精度：**传统方案依赖手动触发，同步精度仅±10微秒；现代方案采用GNSS+NTP同步，精度达到±100纳秒，提升两个数量级。
- ▶ **测试效率：**传统测试需要多次过顶才能完成全面测试；现代系统单次过顶即可完成全部测试项目，效率提升5倍以上。
- ▶ **数据质量：**传统方法的时间戳需要后期添加，存在误差；现代系统原生支持时间戳嵌入，确保数据准确性。

行业价值与影响

- ▶ **降低测试成本：**单次测试即可获得全面数据，减少了测试次数和成本。某运营商表示，新系统帮助其节省了40%的测试费用。
- ▶ **加速系统部署：**快速准确的测试加快了卫星星座的部署进度。据估计，使用新测试系统可使星座部署时间缩短30%。
- ▶ **提高系统可靠性：**精准的测试数据为系统优化提供了依据，显著提高了通信系统的可靠性和性能。

应用前景展望

- ▶ **手机直连卫星：**随着手机直连卫星技术的发展，对测试系统提出了更高要求。精准授时测试系统将为这项技术的商业化提供重要支撑。
- ▶ **全球物联网：**低轨卫星星座为全球物联网提供了基础设施，测试系统将确保这些服务的可靠性和稳定性。
- ▶ **应急通信：**在灾害应急通信场景下，快速准确的测试系统能够确保通信系统的及时部署和可靠运行。

方案系统配置

测试方案系统参数描述

- ▶ **时间同步精度：**传统方案依赖手动触发，同步精度仅±10微秒；现代方案采用GNSS+NTP同步，精度达到±100纳秒，提升两个数量级。
- ▶ **测试效率：**传统测试需要多次过顶才能完成全面测试；现代系统单次过顶即可完成全部测试项目，效率提升5倍以上。
- ▶ **数据质量：**传统方法的时间戳需要后期添加，存在误差；现代系统原生支持时间戳嵌入，确保数据准确性。

参数	指标
频率范围	100 kHz - 67 GHz
瞬时带宽	2 GHz (信号生成与采集)
调制精度 (EVM)	≤0.1% (5G NR 64QAM, 3.4 GHz载波)
相位噪声	-139 dBc/Hz @1 GHz, 20 kHz偏移
动态范围	88 dB
时延测量精度	±5 ns (端到端全链路)
数据记录速率	40 Gbps

仪表配置

R&S SMW200A矢量信号发生器

- ▶ 基础选件：B1067O (67 GHz频段扩展)、B709。
- ▶ 核心能力：生成2 GHz带宽信号，相位噪声 ≤ -139 dBc/Hz，EVM $\leq 0.1\%$ 。

R&S FSW67信号与频谱分析仪

- ▶ 基础配置：B2001 (2 GHz分析带宽)。
- ▶ 核心能力：实时测量EVM、ACLR、频谱模板，支持脉冲信号时域分析。

R&S IQW IQ数据记录仪

- ▶ 配置：BD115 (40 Gbps高速存储)、K112 (GPS坐标嵌入)。
- ▶ 核心能力：连续记录24小时数据，支持离线回放与协议分析。

重要选件简介：

- ▶ K114 (通用OFDM)：支持Wi-Fi 6、LTE等标准信号生成与分析。
- ▶ K116 (DVB-S2/S2X)：模拟卫星广播信号，验证地面站解调性能。
- ▶ K184 (自定义5G NR)：支持3GPP NTN标准帧结构生成，满足低轨卫星通信测试需求。
- ▶ B40G (高速接口板)：实现IQ记录仪与上位机的实时数据传输，降低信号延迟。

配置信息：

- ▶ SMW200A基础选件：B1067O + B9 + B13XT + B709 + K525 + K527
- ▶ SMW多载波选件：K61
- ▶ SMW数字调制选件：K114 (通用OFDM) + K144&K184 (自定义5G NR) + K116 (DVB-S2/S2X) + K169 (DVB-RCS2)
- ▶ FSW67基础配置：B4 + B24 + B2001 + B517/B1017 (数字IQ接口)
- ▶ VSE解调选件：K70&K70M (VSA) + K144&K184 (自定义5G NR) + K96 (OFDM)
- ▶ 数据记录仪：IQW/IQW1000 + BD106/BD115 (内存包) + B40G (接口板) + K110 (IQ数据输入/输出) + K112 (记录GPS坐标)
- ▶ GNSS接收机与NTP服务器：确保时间同步与触发精度。

结语：开启太空测试新纪元

基于精准授时的在轨测试与监测系统代表了卫星测试技术的最新发展水平，它不仅解决了低轨卫星测试面临的技术挑战，更为整个卫星通信行业的发展提供了强大支撑。

随着技术的不断进步，我们有理由相信，这些测试系统将变得更加智能、高效和可靠，为人类探索和利用太空提供更加坚实的技术保障。在不久的将来，随着更多创新技术的应用，我们有望看到测试系统从被动监测向主动预测发展，从地面测试向天地一体化测试演进，最终实现太空基础设施的智能化运维和管理。

太空探索永无止境，测试技术革新亦然。基于精准授时的在轨测试与监测系统正在开启一个全新的太空测试时代，为人类航天梦想的实现保驾护航。

更多NTN技术内容与罗德与施瓦茨解决方案请关注：



NTN技术方案合集



白皮书

增值服务

- ▶ 遍及全球
- ▶ 立足本地个性化
- ▶ 可定制而且非常灵活
- ▶ 质量过硬
- ▶ 长期保障

关于罗德与施瓦茨公司

罗德与施瓦茨科技集团开发、生产和销售种类广泛的专业电子产品。公司推出丰富的产品组合，旨在缔造一个更加安全的互联世界。在测试与测量、安全通信、网络和网络安全以及广播和媒体等市场，全球客户都信赖罗德与施瓦茨及其提供的先进解决方案。在成熟的业务领域之外，罗德与施瓦茨还大力投资人工智能、工业物联网(IIoT)、6G、云解决方案和量子技术等各种未来技术。自公司创立以来的90多年，罗德与施瓦茨是众多行业客户的可靠合作伙伴。

罗德与施瓦茨 (中国) 科技有限公司

800-810-8228 400-650-5896

info.china@rohde-schwarz.com

www.rohde-schwarz.com.cn

官方微信



官方视频号



Certified Quality Management

ISO 9001

Certified Environmental Management

ISO 14001

可持续性的产品设计

- ▶ 环境兼容性和生态足迹
- ▶ 提高能源效率和低排放
- ▶ 长久性和优化的总体拥有成本

北京

北京市朝阳区紫月路18号院1号楼 (朝来高科技产业园) 罗德与施瓦茨办公楼 100012
电话: 010-56108074 传真: +86-10-64312828

上海

中国上海市浦东新区张江高科技园区盛夏路399号亚芯科技园11号楼
罗德与施瓦茨办公楼 201210
电话: 021-63750018/63750028

深圳

深圳市南山区高新南环路43号 威新软件科技园1号楼2楼东/南翼 518057
电话: 0755-22985864 传真: +86-755-82033070

成都

中国成都市高新区天府大道 天府软件园A4号楼南一层 610041
电话: 028-62677640 传真: +86-28-85194550

西安

西安市高新区锦业一路56号 研祥城市广场5楼502室 710065
电话: 029-83663470 传真: +86-29-87206500

武汉

中国湖北省武汉市武汉经济技术开发区201M地块海棠路6号
华中智谷项目二期D2办公室2层1号 430051
电话: 025-83484142

R&S®是罗德与施瓦茨公司注册商标

商品名是所有者的商标 | 中国印制

2025年12月 | 从测试角度透视低轨卫星在轨测试与监测

文件中没有容限值的数据没有约束力 | 随时更改