



基于 GNSS 的桥梁健康监测预警系统

解 决 方 案

上海海积科技股份有限公司

股票代码【833521】

2015.12

桥梁健康 GNSS 形变监测预警系统

1. 监测系统简介

我国是个桥梁大国，据交通部最新数据统计，我国约有 75.71 万座公路桥梁（不含市政桥梁）。而近年来，桥梁安全事故频发，影响健康安全桥梁的因素众多：人为因素、车辆长期超载、材料自身退化等，缺乏及时到位的管理养护导致结构各部分在远没有达到设计年限前就产生不同程度的损伤和劣化等。损伤如果不能及时得到检测和维修，轻则影响行车安全和缩短桥梁使用寿命，重则导致桥梁突然破坏和倒塌。因此，建立一套针对桥梁的智能在线监测系统显得尤为迫切。

海积形变检测系统以高精度北斗定位技术为核心，结合现代传感器、信号采集与处理、通信、远程控制、计算机技术、桥梁结构计算分析等技术，对大桥的健康状态进行实时监测，为大桥的灾害事件预防及应急预案提供科学可靠的数据支持。

海积形变监测系统由高精度 GNSS 位移检测系统 Monitor、传感器监测系统、数据传输系统和数据处理中心组成。

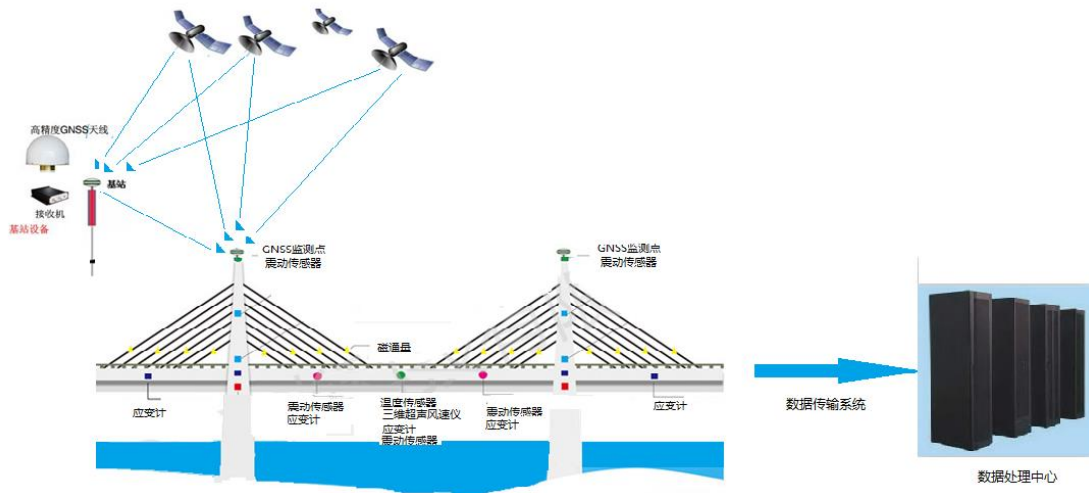


图 1-1 海积形变监测系统架构示意图

2. 系统方案

桥体在运行期间都会受到行车荷载、风力、温度以及突发的自然灾害等外界

因素的影响，也会受到混凝土收缩徐变、混凝土老化、混凝土碳化、钢筋松弛、钢筋锈蚀、斜拉索锈蚀、墩台基础沉降等内在因素的影响。在内外因素的影响之下，大跨度斜拉桥将产生几何变化、内力变化和索力变化等各种效应。如果这些变化过大，超过了桥梁能够承受的安全范围，将会产生灾难性的后果。

基于上述原因，海积桥梁形变监测系统以高精度北斗定位技术为主，对桥梁进行墩台沉降观测、桥面线形与挠度观测、主梁横向水平位移观测、高塔柱摆动观测，确保全方位监测桥梁的健康安全状况。

2.1 软件系统

海积桥梁形变检测软件系统由综合管理系统、数据采集系统、数据传输系统、数据处理系统、监测预警系统和 Web 在线发布系统等系统组成，其中综合管理系统是服务器软件管理中心，数据处理系统数据解算中心、监测预警系统是监测数据分析中心，也是高精度变形监测预警系统的核心。整个系统的结构与功能如下图所示：

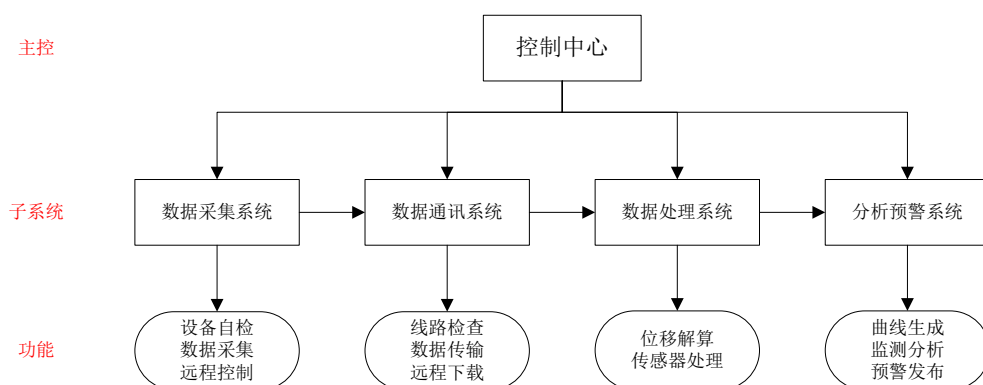


图 2-1 软件系统结构

2.1.1 综合管理系统

综合管理系统可有效进行用户管理、数据管理、系统运行管理，确保系统安全和数据安全，可方便进行参数设置、状态本地/远程浏览、数据本地/远程下载以及数据共享等。

2.1.2 数据采集系统

采集系统的关键设备采用海积自主研发的高精度 GNSS 天线和板卡，可确保毫米级的解算精度。GNSS 位移监测数据采集系统由基准站、监测站以及包括野外电源和防雷系统组成的保障支持系统组成。

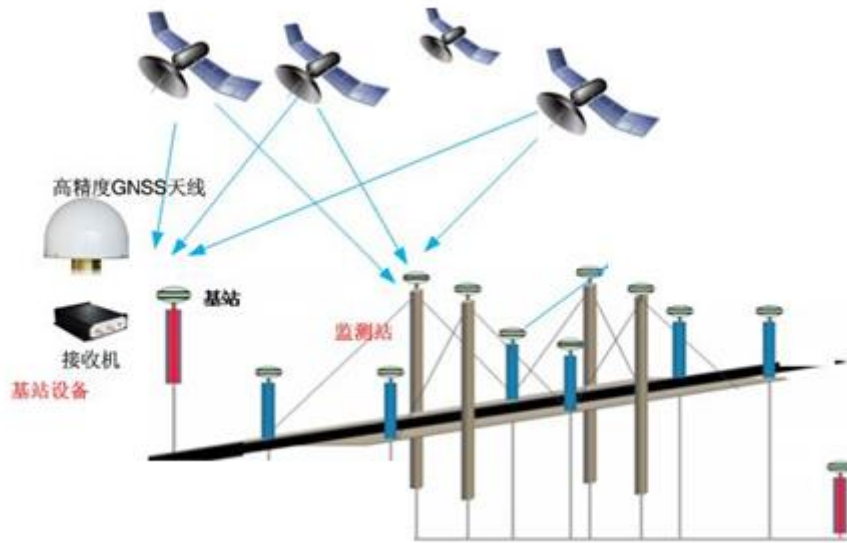


图 2-2 GNSS 位移监测系统

为全面监测大桥的健康状况，数据采集系统还使用了多种传感器，包括风速风向仪、环境温湿度仪、加速度传感器、应变传感器、结构温度传感器等。传感器负责将荷载作用以及结构响应的物理量转换可供采集的光、电信号传给主控中心进行数据处理和分析。

表 2-1 数据采集内容

监测内容	监测参数	监测仪器	部位	备注
环境监测	温度	温度传感器	结构附近或内部	主要用于大跨径桥梁
	风速、风向	风速风向仪	结构空旷处	
变形监测	沉降	GNSS 监测	桥墩、桥塔	
	挠度	压差式变形测量仪	桥面	
	斜度	GNSS、倾斜仪	桥墩、桥塔	
	相对变形	位移计、裂缝计	桥台、伸缩缝	
应力/应变监测	混凝土结构内部应变	内埋式应变计	梁身、桥塔、桥墩、桩基	
	混凝土表面应变	表面应变计	梁身、桥塔、桥墩	以振弦式为主
	钢筋受力	钢筋计	桩基、混凝土主要部件	
振动监测	桥梁固有频率、振动大小	振动传感器	桥塔、桥身、桥墩	
受力监测	拉锁、吊杆预应力等索力	振动法、磁通量等	拉锁暴露部位	

2.1.3 数据传输系统

数据传输系统可采用 RS232、专线有线或无线 Modem、TCP/IP、UCP、GPRS 无线和 CDMA 无线通信、UHF 无线电台等方式，组建传输网络方便灵活。系统不仅支持野外就地拖拽式数据下载，还能实现远程实时数据流传输和文件包下载。

2.1.4 数据处理系统

数据处理系统又分为 GNSS 数据处理系统和传感器系统。GNSS 位移监测系统（HG-Monitor）的功能：

（1）工程管理、测站管理、数据预处理、数据管理等模块。在连续运行的动态监测应用中，实时下载并处理由数据采集软件获得的 GNSS 观测数据。



（2）可对位移监测点进行长时间连续实时监测和数据处理，为适应不同需求，解算模式多样化（单历元解算、静态后处理、卡尔曼滤波等），定位精度可达毫米级。

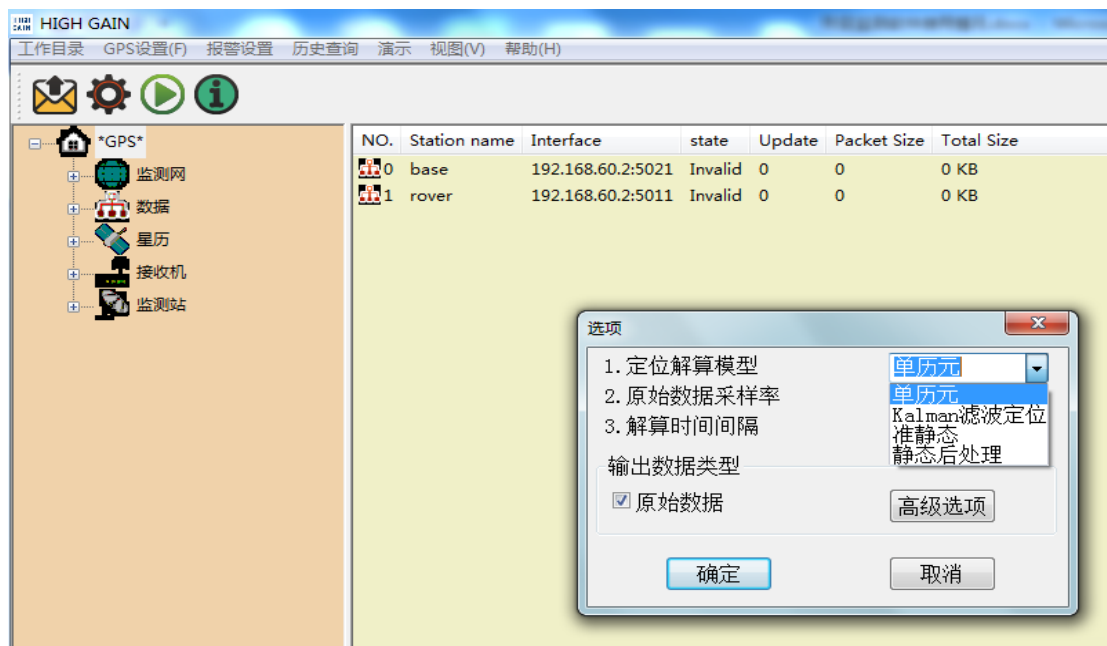
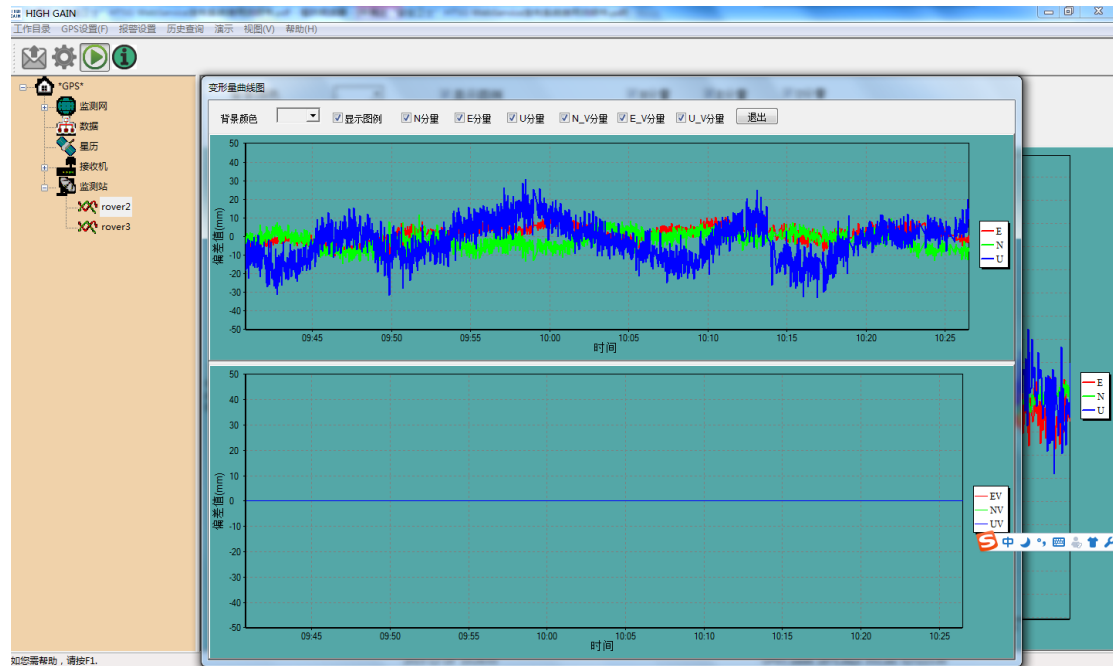


图 2-3 GNSS 位移监测数据处理系统

(3) 站点位移实时显示，可选择特定的观测点查询相应时间内的位移变化趋势并进行图形化显示。



(4) 历史查询，可选择特定的观测点查询相应时间内的位移变化趋势并进行图形化显示。

NO.	Station name	Interface	state	Update	Packet Size	Total Size
0	base	192.168.10.11:6011	Invalid	0	0	0 KB
2	rover2	192.168.10.11:6021	Invalid	0	0	0 KB

标记	时间	N	E	U	N_V	E_V	U_V
<input type="checkbox"/>	1 2015/12/15 21:18:56	3449491.015	527581.175	31.214	0.001	0.001	0.001
<input type="checkbox"/>	2 2015/12/15 21:23:48	3449491.014	527581.174	31.215	0.001	0.001	0.001
<input type="checkbox"/>	3 2015/12/15 21:28:49	3449491.013	527581.176	31.213	0.001	0.001	0.001
<input type="checkbox"/>	4 2015/12/15 21:33:52	3449491.014	527581.175	31.213	0.001	0.001	0.001
<input type="checkbox"/>	5 2015/12/15 21:38:48	3449491.013	527581.175	31.213	0.001	0.001	0.001
<input type="checkbox"/>	6 2015/12/15 21:43:52	3449491.014	527581.175	31.211	0.001	0.001	0.001
<input type="checkbox"/>	7 2015/12/15 21:48:50	3449491.014	527581.174	31.211	0.001	0.001	0.001
<input type="checkbox"/>	8 2015/12/15 21:53:48	3449491.012	527581.175	31.214	0.001	0.001	0.001
<input type="checkbox"/>	9 2015/12/15 21:58:49	3449491.015	527581.175	31.211	0.001	0.001	0.001
<input type="checkbox"/>	10 2015/12/15 22:03:53	3449491.015	527581.174	31.213	0.001	0.001	0.001
<input type="checkbox"/>	11 2015/12/15 22:08:48	3449491.014	527581.175	31.212	0.001	0.001	0.001
<input type="checkbox"/>	12 2015/12/15 22:13:48	3449491.013	527581.175	31.217	0.001	0.001	0.001

图 2-4 站点数据历史查询

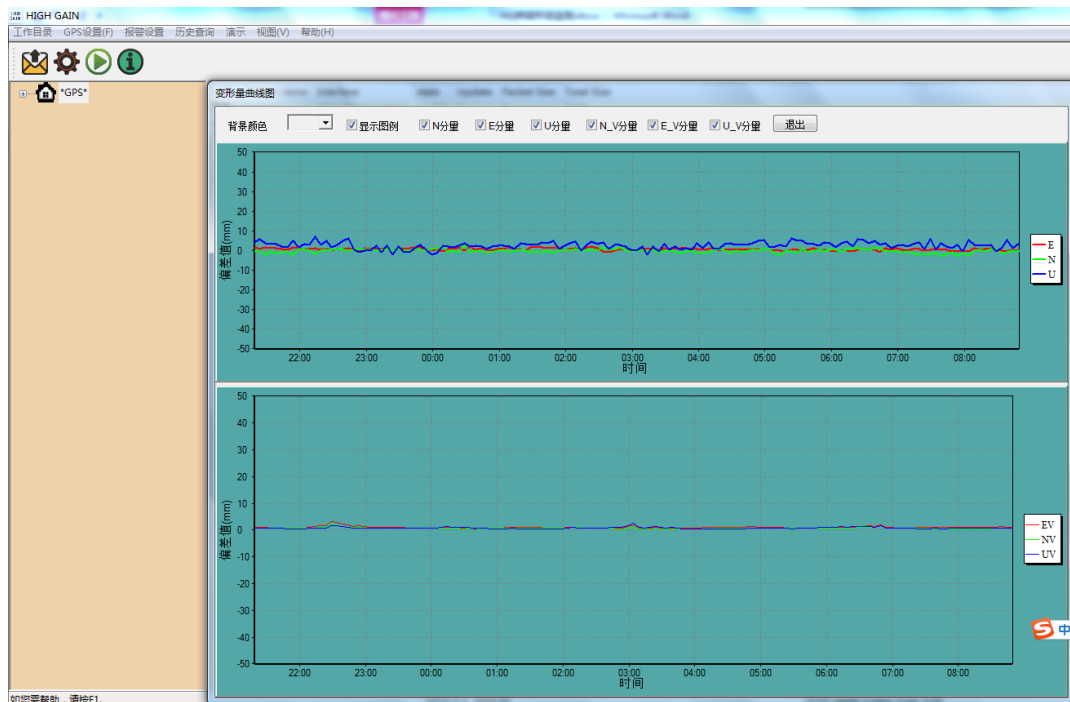


图 2-5 站点数据图形化显示

2.1.5 监测分析预警系统

海积监测分析预警系统的数据分析处理能力非常强大，分析角度多、手段丰富，能计算三维位移分量及各向变形速率，自动生成变形历时曲线、变形分布图和多因素相关图；能根据实地地形数据生成三维仿真图，并生成变形场等高图或渐变色谱图以及变形场任意剖面图；能综合其他监测数据进行初步分析与简单评价；能根据预设警界值进行风险断别，实时以短信、声音或屏显等形式进行多渠道状态信息发布，异常状态条件下还能适时多渠道多形式进行预警信息播报（发布渠道包括运行技术人员、单位领导、上级管理部门信息中心等，形式包括短信、语音电话、警报声音、大屏幕显示等）。

2.1.6 Web 在线发布系统

HGWebMonitor 能对变形监测数据进行初步分析与简单评价，能根据预设警界值和实测值进行判别，能及时进行多渠道（基于文件、数据库、流数据）多形式（B/S 及 C/S 结构）监测预警信息或状态信息发布，随时随地掌握运行状态，真正实现远程监控和无人值守。系统主要包括：

- （1）数据库管理(查询、删除和备份)；
- （2）形变监测数据多形式存储：基于文件、数据库、流数据；
- （3）形变监测结果数据分发：支持面向 B/S 及 C/S 结构的在线监测系。

2.2 硬件配置

2.2.1 GNSS 接收机

H1/H1R 高精度测量型接收机产品是上海海积信息科技股份有限公司自行研制开发的一款可接收 GPS L1/L2 和 BD-2 B1/B2 的双模四频高精度测量型接收机，它具有高精度 RTK 定位、高精度单天线定向、高质量原始观测量采集、内置 UHF 接收电台（H1R 型）等特点。

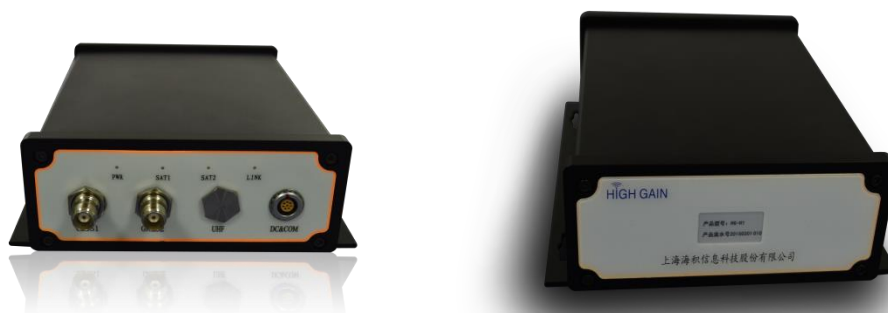


图 2-6 H1R 接收机

H1R 功能性能指标：

表 错误!文档中没有指定样式的文字。-2 功能性能指标表

H1 接收机 功能性能指标		
GNSS 信号接收	GPS 系统：L1 C/A, L1P (Y), L2P (Y)	L1 C/A 通道 12 个, L1P(Y)通道 12 个, L2P(Y)通道 12 个
	北斗系统：B1 I, B2 I	B1 I 通道 12 个, B2 I 通道 12 个
信号捕获时间	冷启动时间	<50s
	温启动时间	<30s
	重捕获时间	<1s
测量精度	伪距精度	GPS: L1<10cm, L2<10cm BDS: B1<10cm, B2<10cm
	载波相位精度	GPS: L1<0.5mm, L2<1.0mm BDS: B1<0.5mm, B2<0.5mm
定位授时精度	单点定位精度	单频: H≤3m, V≤5m (1σ, PDOP≤4) 双频: H≤2m, V≤3m (1σ, PDOP≤4)

H1 接收机 功能性能指标		
	单天线定向精度	<5°
RTK	RTK 初始化时间	< 10s （基线长小于10km）
	初始化置信度	> 99.9%
	动态差分精度	H: $\pm(10 + 1 \times 10^{-6} \times D)$ mm V: $\pm(20 + 1 \times 10^{-6} \times D)$ mm
数据接口	数据更新率	5Hz（MAX: 10Hz）
	串口波特率	9600bps—256000bps
	串口	2路3线全双工RS232串口
数据协议	NMEA-0183	GPGGA, GPGSV, GPGLL, GPGSA, GPDHV, GPRMC, GPVTG, GPZDA, GPTRA, PNTL
	RTCM3.0	RTCM 1002, 1004, 1005, 1006, 1019, 1104, 4011
	RTCM3.2	RTCM 1074, 1124
	HighGain Binary	海积自定义二进制格式, 可转换为RINEX2.1或RINEX3.0协议
通信电台	电台类型	UHF 450-470 MHz接收电台 或UHF 430-435 MHz接收电台
	通信速率	空空波特率: 9600bps 串口通信速率: 115200bps
电源供电	供电电压	+6V~+25V DC
	功耗	<3.3W
物理参数	尺寸	188mm×144mm×56mm
	重量	<1.0kg
环境要求	工作温度	-40℃ — +80℃
	储存温度	-45℃ — +85℃

2.2.2 GNSS 天线

HG-GCYH8321 GNSS 全频段扼流圈天线, 拥有多卫星系统导航定位能力, 包

括北斗 B1/B2/B3、GPS L1/L2/L5、GLONASS L1/L2、GALILEO E1/E2/E5/E6 等。采用独特的扼流圈底盘设计，提供了卓越的抗多路径干扰能力。该天线适用于测量、测向、授时、导航等各种应用领域，广泛应用于参考站、形变监测、地震预报、卫星信号转发等场所。



表 2-3 天线技术参数

无源天线				
频段	GPS L1/L2/L5	GLONASS L1/L2	北斗 B1/B2/B3	GALILEO
最大增益(dBi)	L1 \geq 6.5 L2 \geq 5.5 L5 \geq 5.0	L1 \geq 6.5 L2 \geq 6.0	B1 \geq 6.5 B2 \geq 6.0 B3 \geq 5.0	E5a,b \geq 5.0 E6 \geq 5.0 E1,E2 \geq 6.0
极化方向	RHCP			
水平面覆盖角度	360			
输出阻抗(Ω)	50			
驻波	< 1.5			
顶点轴比(dB)	< 1.5			
相位中心稳定性	$< 1\text{mm}$			
低噪声放大器				
增益(dB)	48 \pm 2			
输出驻波	≤ 2.0			
噪声系数(dB)	≤ 1.8			
工作电压(V)	3.5-5.5 (可扩展到 18V)			

工作电流(mA)	≤60
机械特性	
直径(mm)	322
高度(mm)	263
重量(kg)	4
接头	TNC-K
工作环境	
工作温度(°C)	-45~+85
存储温度(°C)	-55~+85
湿度	95%不冷凝

技术特点：

- (1) 相位中心稳定、精度达到毫米级；
- (2) 采用扼流圈结构可有效实现多径信号抑制；
- (3) 天线低仰角增益高、对低仰角卫星跟踪能力强，保证接收卫星信号灵敏度；
- (4) 低噪声放大器增益可选、所配线缆可达 100m；
- (5) 天线罩结构可有效提供防水、防冰雪及防污保护，适合户外长年工作。

3、系统功能

- 1、24 小时实时监测：对桥梁变形、受力、环境等自动化在线监测，实时掌握桥梁整体施工/运行安全状态。
- 2、报表自动推送：监测结果实时发布，定期将监测报表推送给用户。
- 3、多重分级预警：数据异常时，系统会触发三级报警机制，第一时间以短信、邮件、声光等形式通知用户。
- 4、应急预案处理：从专家库直接提取相应处理办法，及时采取人员介入、封锁道路等办法，将安全隐患消除在萌芽状态。
- 5、结构趋势分析：通过对桥梁结构定量安全评价和监测指标数据安全度分析，实现结构稳定性趋势分析。
- 6、提供参考依据：监测数据的存储，为今后同类工程设计、施工提供类比依据。