

# 千寻 CORS 在低空目标前方交会测量中的应用研究

向东 马锐 梅宇庭 师志强

61243 部队

DOI:10.32629/gmsm.v9i1.2411

**[摘要]** 针对信号塔尖等不宜架设测量仪器的低空目标,常采用前方交会法,本文以某区域低空目标为试验对象,采用千寻CORS和GNSS静态测量两种方式测量控制点,分析在控制点成果基础上前方交会目标点坐标和高程的差异,验证千寻CORS测量控制点能否满足低空目标定位精度要求。试验结果表明:千寻CORS控制点精度可靠,能大幅提高外业测量效率,由其解算的低空目标点位置信息满足规范及使用要求,可替代D级GNSS静态测量在低空目标前方交会测量中应用。

**[关键词]** 低空目标测量; 前方交会; 千寻CORS; GNSS测量; 精度验证

中图分类号: P123.41 文献标识码: A

## Research on Application of Qianxun CORS in Low-Altitude Target Measurement by Forward Intersection

Dong Xiang Rui Ma Yuting Mei Zhiqiang Shi

61243 PLA troops

**[Abstract]** For low-altitude targets such as signal tower tips where surveying instruments are not suitable to be set up, the forward intersection method is commonly adopted. This paper takes low-altitude targets in a certain area as test objects, uses Qianxun CORS and GNSS static measurement to obtain control points, and analyzes the differences in coordinates and elevations of target points calculated by forward intersection based on the control point results. The aim is to verify whether Qianxun CORS control points can meet the positioning accuracy requirements of low-altitude targets. The test results show that the accuracy of Qianxun CORS control points is reliable and can greatly improve field measurement efficiency. The position information of low-altitude target points solved by Qianxun CORS meets the specifications and application requirements, and it can replace Grade D GNSS static measurement in the forward intersection survey of low-altitude targets.

**[Key words]** low-altitude target survey; forward intersection; Qianxun CORS; GNSS survey; accuracy verification

### 引言

在电力、通信、测绘等工程中,经常需要对信号塔尖、高压线塔尖、高耸建筑物顶端等目标进行坐标和高程测量。这类目标具有位置高、攀登困难、无法直接架设GNSS接收机、棱镜的特点,因此前方交会<sup>[1]</sup>因无需在目标点上架设仪器、观测灵活、精度可靠,成为此类目标测量最常用的方法。

常规作业流程是在目标点周边、通视良好区域布设控制点,按D级GNSS观测要求测量控制点,在控制点上架设全站仪对低空目标点进行水平角、垂直角测量,通过前方交会解算目标点坐标和高程。为保证成果精度,控制点一般采用GNSS静态测量,但其存在观测时间长、效率低、外业成本高等问题,而全站仪边角交会本身效率较高,因此提升整体效率关键在于优化控制点测量方式。

千寻CORS系统依托连续运行参考网络,采用网络RTK技术,

通过移动站接收差分改正数,实时解算所在位置,可实现实时厘米级定位,具有速度快、操作简便、无需长时间观测等优势。若采用千寻CORS替代D级GNSS静态完成控制点测量,在满足精度的前提下,可显著提升作业效率。基于此,本文通过实测对比,研究千寻CORS测量控制点用于前方交会低空目标定位的可行性与精度可靠性。

### 1 测量原理

#### 1.1 前方交会

前方交会通常在两个或多个已知控制点上架设仪器,观测至待求低空目标点的水平角、垂直角,利用交会原理解算坐标和高程。具体如下:

##### 1.1.1 平面坐标测量

如图1所示,根据交会法的原理可知,当交会角为 $90^\circ$ 时,交会角的精度最高,交会角应介于 $30^\circ$ 至 $150^\circ$ 之间。

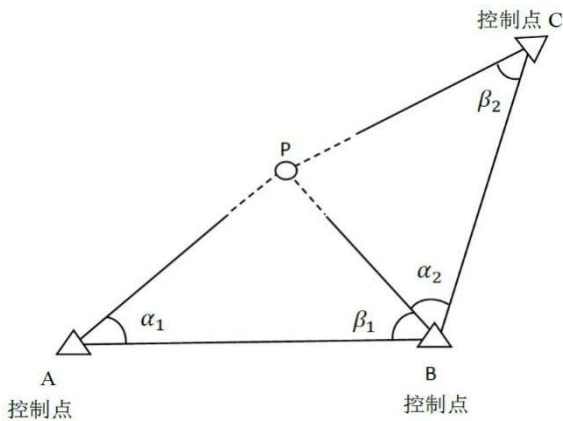


图1 前方交会原理示意图

如图1所示, A、B、C为已知控制点, P为目标点。前方交会三个已知点与目标点可组成两个三角形, 在三个已知点A、B、C上观测水平角  $\alpha_1$ 、 $\beta_1$  及  $\alpha_2$ 、 $\beta_2$ , 通过前方交会余切公式[2]可分别在两个三角形中求出P点的两组平面坐标  $X_p'$ 、 $Y_p'$  和  $X_p''$ 、 $Y_p''$ 。然后, 利用两组平面坐标代表的点位之间的距离, 即移位差e来限制误差。

$$dx = X_p' - X_p'', \quad dy = Y_p' - Y_p'', \quad e = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2}$$

要求  $e \leq 0.05m$ , 当e符合要求时, 取两组平面坐标的平均值作为P点平面坐标  $X_p$ 、 $Y_p$ 。

根据前方交会获取的P点坐标和A、B、C的已知坐标, 可反算出AP、BP、CP在高斯平面上的边长  $D_{AP}$ 、 $D_{BP}$ 、 $D_{CP}$ 。

1.1.2 高程测量

如图2所示, 在任意的两个控制点A、B上, 分别架设全站仪瞄准目标点P, 测量垂直角, 根据反算的高斯平面边长  $D_{AP}$  和  $D_{BP}$ , 可计算得到  $h_{AP}$  和  $h_{BP}$ 。

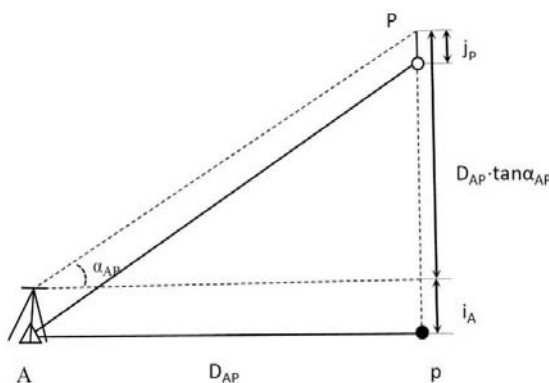


图2 高差计算示意图

p为P点高斯平面的投影点, AP的高差采用通过高斯平面上的边长计算单向观测高差公式<sup>[3]</sup>计算, 可求出P点两组高程  $H_p'$  和  $H_p''$  :

$$H_p' = H_A + h_{AP}, \quad H_p'' = H_B + h_{BP}$$

利用两组高程的互差  $\Delta H$  限制误差, 要求  $\Delta H \leq 0.05m$ 。当  $\Delta H$  符合要求时, 取两组高程的平均值作为P点高程  $H_P$ 。

1.2 GNSS测量

下面对 CORS-RTK 和 GNSS 静态测量从多方面进行详细比较, 具体见下表:

表1 CORS-RTK和GNSS静态测量的比较情况

测量方法	CORS-RTK	GNSS 静态测量
作业模式	网络 RTK 动态定位	静态相对定位
作业前	需要初始化, 获取固定解后方可测量。	无需初始化, 开机同步观测即可。
定位精度	达到厘米级	达到厘米级
通讯方式	依靠 4G/5G 移动网络+CORS 差分数据	无需通讯, 事后传输数据解算。
作业方式	单机实时定位, 可在移动站实时看到点位的测量成果及精度。	多机同步观测, 事后解算平差。
作业半径	受 CORS 服务范围与网络覆盖限制	无作业半径限制, 无网络区域可作业
受卫星信号影响的程度	卫星数量少时易浮点解, 对实时状态敏感, 如果在 大树、建筑物等障碍物的附近, 非常容易失锁。	依靠长时间观测, 对瞬时卫星状况不敏感。
定位精度	环境良好, 平面: 2cm, 高程: 5cm	平面: 2cm, 高程: 2cm。
定位频率	基准站发送差分数据和移动站接收的频率一般为 1-20Hz。	连续记录观测值, 事后解算
作业效率	极高, 外业速度快, 实时出成果。	较低, 耗时久, 内业解算工作量大。
成果可靠性	受环境遮挡影响大, 稳定性一般	精度高、可靠性强, 成果权威

由上表可知, 千寻CORS可快速获取测站点的精确位置, 确保前方交会测量的起算数据精度, 减少坐标传递的误差, 无需架设临时基准站, 单人单机即可完成外业观测, 作业流程简单、效率高, 能够适应低空目标测量机动性强、测点分散的作业特点。同时, 千寻CORS覆盖范围广、信号稳定, 可有效削弱电离层、对流层及多路径效应的影响, 在复杂环境下仍能保持较高的定位可靠性, 提升交会解算成果的稳定性。此外, 系统支持实时解算与数据输出, 无需事后静态解算与网平差, 大幅缩短内业处理时间, 提高低空目标测量的整体作业效率。相比GNSS静态测量, 千寻CORS-RTK在效率、灵活性与实用性上均更具优势, 能够满足低空目标前方交会测量对实时性、准确性、便捷性的要求, 是现代工程测量中低空目标定位的理想技术手段<sup>[4]</sup>。

2 试验方案与数据采集

2.1 试验概况

选取某区域5处低空目标(通信信号塔), 均无法架设棱镜, 采用前方交会法测量。

2.2 测量方案

(1) 基准方案: 控制点采用D级GNSS静态同步观测, 解算平差后作为前方交会的控制点真值。

(2) 试验方案: 千寻CORS网络RTK, 每点观测2次取平均, 作为控制点成果使用。

(3) 全站仪观测: 按规范要求开展前方交会的边角测量。

2.3 实测数据成果表

选取该区域内5个目标点及周边7个控制点, 作为试验数据和精度验证(成果已处理为相对坐标和高程, 不影响试验分析), 具体见下表:

表2 控制点测量成果对比表

控制点	GNSS 静态测量			CORS-RTK			$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	$\Delta H$ (m)
	N	E	H	N	E	H			
K01	3956.489	889.743	585.403	3956.492	889.733	585.402	-0.003	0.010	0.001
K02	3980.075	854.649	590.087	3980.072	854.647	590.067	0.002	0.001	0.019
K03	3942.698	544.722	592.419	3942.696	544.710	592.412	0.002	0.012	0.007
K04	895.911	468.869	607.623	895.913	468.855	607.603	-0.001	0.014	0.020
K05	835.356	502.339	611.026	835.357	502.328	611.023	-0.002	0.011	0.004
K06	829.933	489.859	611.027	829.934	489.844	611.015	-0.001	0.015	0.012
K07	1053.993	471.619	609.210	1053.999	471.615	609.219	-0.007	0.004	-0.009

表3 目标点测量成果对比表

目标点	GNSS 静态测量-前方交会			CORS-RTK-前方交会			$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	$\Delta H$ (m)
	N	E	H	N	E	H			
M01	3580.833	915.076	640.050	3580.834	915.071	640.038	-0.001	0.005	0.012
M02	3642.908	640.366	641.409	3642.908	640.361	641.398	0.000	0.005	0.012
M03	848.839	452.871	634.222	848.840	452.857	634.215	0.000	0.014	0.007
M04	875.053	512.896	634.246	875.055	512.882	634.239	-0.001	0.014	0.007
M05	1049.833	661.892	698.021	1049.832	661.892	698.016	0.002	0.000	0.005

## 2.4 精度分析

(1) 控制点精度。在GNSS数据起算源一致情况下,千寻CORS与D级GNSS静态成果平面坐标和高程较差均不超过2cm,精度稳定,可作为前方交会起算数据。

(2) 低空目标点精度。以GNSS静态方案为基准,千寻CORS方案交会目标点平面坐标和高程较差均小于2cm,优于要求的±5cm的允许误差,满足低空目标点<sup>[5]</sup>前方交会测量的要求。

(3) 作业效率对比。GNSS静态单站点D级观测≥120分钟,千寻CORS单点2分钟即可完成,整体作业效率提升60%以上,在多控制点、多目标测量中优势更加明显。

## 3 结论与建议

### 3.1 结论

(1) 对于不宜直接设站的低空目标,全站仪前方交会法成熟可靠,精度高度依赖控制点质量。

(2) 传统GNSS静态测量精度高,但效率低,是制约作业速度的主要环节。

(3) 千寻CORS测量精度稳定,与D级GNSS测量成果一致性好,可替代D级GNSS测量用于前方交会的控制点测量。

(4) 采用千寻CORS的测量成果解算低空目标点精度满足规范要求,作业效率显著提升。

(5) 在CORS信号覆盖良好区域,千寻CORS替代D级GNSS测量用于低空目标前方交会定位完全可行。

### 3.2 应用建议

(1) 开阔区域优先使用千寻CORS布设控制点,提高作业效率;遮挡严重区域可采用GNSS静态+CORS混合布网,兼顾精度与效率。

(2) 目标点位周边要合理布设控制点,保证交会角在30°-150°之间,提高图形强度,保证测量精度,交会边长介于50m至1000m之间。

(3) 外业采用多余观测,增加检核条件,提高成果可靠性。

### 【参考文献】

[1] 中华人民共和国国家标准.GB50026-2020工程测量规范[S].北京:中国计划出版社,2020.

[2] 潘正风,程效军,邹进贵.数字地形测量学[M].2版.武汉:武汉大学出版社,2019.

[3] 孔祥元,郭际明.控制测量学[M].4版.武汉:武汉大学出版社,2015.

[4] 陈明剑,等.CORS系统在工程测量中的应用研究[J].测绘通报,2018(S1):112-115.

[5] 安治国.机场净空区障碍物测量方法与精度分析[J].测绘地理信息,2016,41(1):54-56.

### 作者简介:

向东(1990—),男,汉族,甘肃临泽人,高级工程师,注册测绘师,硕士,现主要从事大地测量相关工作。