

# TEQC 在河北 CORS 系统站点环境检测中的应用

吴文坛<sup>1</sup>, 张现礼<sup>2</sup>, 史进志<sup>2</sup>

(1. 河北杰奥信息技术有限公司, 河北 石家庄 050031; 2. 河北省基础地理信息中心, 河北 石家庄 050031)



**摘要:** 介绍河北省卫星定位综合服务系统的建设情况, 讨论 TEQC 软件对参考站周边环境的检测方法, 给出了质量控制指标。并针对河北省卫星定位综合服务建设过程中存在问题的几个参考站, 应用 TEQC 软件进行数据质量检查, 对处理结果进行分析和探讨。

**关键词:** GNSS; TEQC; 环境检测; 质量检查

中图分类号: P228.42

文献标志码: B

文章编号: 1672-4623 (2009) 06-0081-04

## Application of TEQC to Environment Testing in Hebei GNSS Continuously Reference Stations

WU Wentan<sup>1</sup>, ZHANG Xianli<sup>2</sup>, SHI Jinzhi<sup>2</sup>

(1. Hebei Geo-information Technology Co., Ltd., Shijiazhuang 050031, China;

2. Hebei Geomatics Center, Shijiazhuang 430079, China)

**Abstract:** The paper introduced the construction status of Hebei-CORS, discussed that environment testing method of GNSS reference stations by TEQC software and the data quality control indexes were given. Combing with some reference stations existing some problems which have occurred in Hebei-CORS construction process, this paper proceeded to a data Quality Checking by using TEQC, and the corresponding result were analyzed and discussed.

**Key words:** CORS; TEQC; environment testing; quality checking

参考站连续正常运行是整个 CORS 系统能否充分发挥效用最为关键的部分, 更清楚地了解已建站周边环境是否存在对参考站的干扰、有否引起多路径效应的反射物、以及对电离层和电离层的影响情况, 对确保系统稳定运行具有重要意义<sup>[1]</sup>。针对河北省 GNSS 连续运行参考站系统中的个别已建参考站在控制中心软件 Trimble RTKNet 中显示异常的情况, 本文介绍了如何应用 TEQC 软件进行数据质量分析, 然后对可能的

原因逐一排除, 实地多方验证, 最终确定了问题原因, 找出了最科学的解决方案。该做法对其他地区或省级 CORS 系统的稳定运行、出现问题时的及时判断、分析原因具有重要参考意义。

### 1 河北省卫星定位综合服务系统简介

河北省卫星定位综合服务系统是由河北省测绘局负责, 同时与河北省气象局、中国人民解放军 66240 部

收稿日期: 2009-07-28

2) 作业时应远离高压线、大功率发射台及树林、高楼等可能遮蔽 GPS 卫星信号的位置, 作业过程中的有效卫星数应不少于 5, 卫星分布几何图形因子(PDOP 值) 应不大于 8。

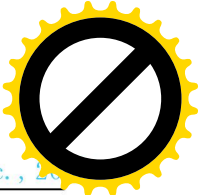
3) 使用 RTK 作业时, 要求 HDOP $\leq 8$  mm、VDOP $\leq 12$  mm 时方可保存数据, 否则应继续观测或重新开始观测直至观测数据符合要求。

4) 正常的 RTK 观测作业不仅能够满足碎部地形测量要求, 而且能够满足图根点测量精度要求、更能满足测站点精度要求。

### 参考文献

- [1] 刘基余, 李征航, 王跃虎, 等. 全球定位系统原理及其应用[M]. 北京: 测绘出版社, 1993
- [2] 周忠谟, 易杰军, 周琪. GPS 卫星测量原理与应用[M]. 北京: 测绘出版社, 1997
- [3] 魏二虎, 黄劲松. GPS 测量操作与数据处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004
- [4] GB/T18314-2001. 全球定位系统(GPS)测量规范[S]
- [5] GB/T17424-1998. 差分全球定位系统(DGPS)技术要求[S]

第一作者简介: 李光辉, 工程师, 主要研究 GPS 测量。



队本着降低系统建设成本、资源互补、共建共享的原则合作建设的。系统目前在河北省境内新建了 GNSS 连续运行参考站 27 个, 利用原有参考站 5 个, 形成由 32 个参考站组成的统一网络, 参考站分布情况见图 1。新建参考站使用的为 Trimble NetR5 接收机, 可以接收 GPS 和 GLONASS 卫星信号以及将来 GPS 的  $L_2C$  信号; 天线采用的为天宝公司最新研制的 Zephyr Geodetic 2 天线, 具备高质量性能和通过亚毫米相位中心稳定性、强劲的低角度跟踪和显著减少基于地面的多路径而实现最优精度。大部分参考站与数据中心的通信采用 2M 光纤气象专网, 部分参考站站采用 ADSL VPN 或无线 GPRS 方式连入; 控制中心采用 Trimble 公司的 RTKNet 软件最新版; 实时动态用户采用 GPRS 或 CDMA 无线通讯网络与数据中心相连。



图 1 河北省卫星定位综合服务系统站址分布图

河北省卫星定位综合服务系统充分考虑了与北京、天津等周边 CORS 系统的兼容性问题。在基准站数量、站间距及子网的设计上充分考虑了与周边系统接合, 并在控制中心预留了与临近系统的接口, 采用 Ntrip 协议, 保证了与周边系统数据交换时的兼容性。系统同时提供一个连续的、动态的、高精度的坐标参考框架, 统一了河北省的坐标基准, 并提供地区独立坐标系的系统转换参数。对于目前应用最广的测绘行业, 实现了坐标系的统一, 也加强了市场管理, 同时对交通、规

划、国土、船舶等领域具有深远的意义。

## 2 参考站环境检测的 TEQC 分析方法

TEQC 是由 UNAVCO 组织开发的, 用于 GNSS 数据预处理和质量分析的共享软件, 主要包含数据转换、数据编辑、质量检查 (Quality Check 简称 QC) 三个功能。TEQC 的 QC 功能是利用虚距观测值和载波相位观测值的线性组合来进行 GNSS 数据中的误差估计, 可以反映出 GNSS 数据的电离层延迟、多路径效应、接收机周跳、卫星信号信噪比等信息, 能非常快速而且准确地评定 GNSS 数据质量。

参考站周边环境检测可以通过对观测数据的分析和评价, 得到参考站接收机数据质量, 确定该参考站是否受到干扰、判断干扰源和能否能继续使用等。TEQC 的 QC 功能所生成的结果文件通常能够反映  $L_1$  载波上的 C/A 码或 P 码多路径观测误差、 $L_2$  载波上的 P 码多路径观测误差、 $L_1$ 、 $L_2$  电离层影响误差、电离层变化率。另外还有接收机信号的抖动、 $L_1$  和  $L_2$  载波的周跳、点位多路径误差平均值、卫星的高度角和方位角、接收机时钟漂移、信噪比和其他有关的参数等。参考站的数据分析可以使用 TEQC 从以下几个方面进行<sup>[2][3][4]</sup>:

1) 多路径影响分析。参考站 GNSS 接收机多路径影响是指天线所收到信号经由建筑物、水面或其他反射物表面反射抵达接收机天线的干扰信号, 经反射的信号路径增长了, 其伪距和相位存在系统偏差, 致使定位结果不准。多路径影响与参考站周边环境、天线架设高度角等有关。TEQC 处理后结果文件中的  $M_{P1}$ 、 $M_{P2}$  分别表示  $L_1$ 、 $L_2$  载波上的多路径效应对伪距和相位影响的综合指标, 其结果以均方差 RMS 表示, 计算公式分别为:

$$M_{P1} = \rho_1 - [1 + \frac{2}{\alpha - 1}] \phi_1 + [\frac{2}{\alpha - 1}] \phi_2 \quad (1)$$

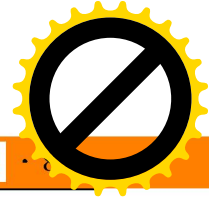
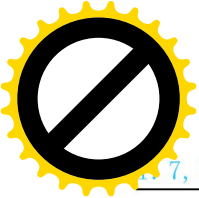
$$M_{P2} = \rho_2 - [\frac{2\alpha}{\alpha - 1}] \phi_1 + [\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1] \phi_2 \quad (2)$$

式中  $\rho_1$ 、 $\rho_2$  分别表示  $L_1$ 、 $L_2$  波段上的码伪距观测值;  $\phi_1$ 、 $\phi_2$  表示  $L_1$ 、 $L_2$  波段上的载波相位观测值;  $\alpha$  为  $L_1$ 、 $L_2$  波段的频率值之比的平方。

根据一般经验原则: 当  $M_{P1}$  和  $M_{P2}$  分别小于 0.35 和 0.45 时, 该参考站的多路径效应所带来的误差不会对系统的稳定运行产生影响。

2) 周跳的探测与分析。周跳是指在 GPS 接收机载波跟踪中由于临时失锁, 导致载波相位观测中整周计数出现不连续的现象。TEQC 中采用电离层残差方法进行周跳的探测与评定。信号电离层延迟随时间变化





率的导数由下式可以得出:

$$\begin{cases} IOD_1 = \frac{1}{a-1} [(\phi_1 - \phi_2)_j - (\phi_1 - \phi_2)_{j-1}] / (t_j - t_{j-1}) \\ IOD_2 = \frac{a}{a-1} [(\phi_1 - \phi_2)_j - (\phi_1 - \phi_2)_{j-1}] / (t_j - t_{j-1}) \end{cases} \quad (3)$$

为了探测  $L_1$  或  $L_2$  载波的周跳, 需要利用上面的电离层变化率公式进行逐个历元计算和监控。因为从  $t_{j-1}$  到  $t_j$  历元间的信号传播路径变化与信号在电离层中传播路径变化、电离层变化率、卫星运动和接收机天线本身运动有关 (还有多路径会引起信号传播路径的变化, 但与其他因素相比可以忽略不计), 所以必须假定一个电离层变化率最小允许值。在 TEQC 软件中的这一默认值为 400cm/minute, 大于此值的观测历元将被视为发生周跳, 当然这一数值也可以通过 `-ion_jump` 命令改变。TEQC 处理结果文件中以 `o/slps` 值来表示观测值和周跳比。

3) 实际历元数与理论历元数。实际历元数可通过实际跟踪到的卫星数及观测时间长度来计算。TEQC 处理结果文件中分别以 `Poss. # of obs epochs` 和 `Epochs w/ observations` 表示。一般情况下, GNSS 连续运行参考站接收机数据统计分析中上述两者比值应大于 95%。

4) 完好观测值与无效观测值。在 TEQC 的 `qc full` 模式下, 包含卫星信号的  $P_1$  或 C/A 码、 $P_2$  码、 $L_1$  和  $L_2$  的载波相位、 $L_1$  和  $L_2$  信噪比、卫星高度角等信息的观测值被定义为完好观测值, 否则视为无效观测值, 分别以 `Complete obs` (> 大于卫星截止高度角) 和 `Deleted obs` (> 卫星截止高度角) 表示。为保证 GNSS 连续参考站的稳定运行, 无效观测值与完好观测值数据个数之比应小于 5%。

### 3 河北 GNSS 连续参考站环境检测数据分析

河北省卫星定位综合服务系统中所有参考站数据通过控制中心 Trimble RTKNet 直接转存至磁盘阵列。对每个站点分别以三种方式进行数据的 Rinex 格式存储: 用于科研或整网精确坐标解算的以 24 h 为单位存档、1 s 采样率的数据; 用于流动站后处理的以 24 h 为单位存档、30 s 采样率的数据; 用于气象部门分析研究的以 1 h 为单位存档、30 s 采样率的数据。

2008 年 10 月开始在省内部分县市气象局院内安装 Trimble Zephyr Geodetic 2 天线及 NetR5 接收机, 通过 2M 气象专用光纤网络与控制中心进行连接及数据传输, 至 2009 年 5 月已完成 32 个。通过控制中心 RTKNet 对已建站的连续监视发现: 泊头、唐山、崇礼三个站与邻近参考站的基线大部分状态显示红色, 可能原因如下:

- 参考站周边环境太差;
- 将未经精确解算的单点定位坐标作为准确坐标进行设置, 导致 RTKNet 对该点与周边站的实时网络解算坐标相对误差超限;
- 室外天线至接收机信号传输距离太远导致部分数据丢失;
- 该县气象局网络不稳定, 影响软件实时数据的接收。

针对以上可能原因, 应用 TEQC 软件对数据进行仔细分析, 逐步排查可能原因, 进而确定该站点是否可用。

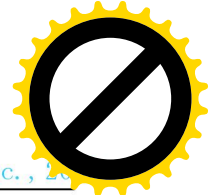
分别从控制中心磁盘阵列中提取泊头、唐山、崇礼及周边河间、盐山、迁安和隆化站 1s 采样率存储的 Rinex 数据, 利用 TEQC 对上述站点 2009 年 3 月 4 号 00: 00 时至 24: 00 时同步数据进行分析。其数据质量分析结果见表 1。

表 1 TEQC 软件数据质量分析结果统计表

		泊头	唐山	崇礼	河间	盐山	迁安	隆化
历元	理论历元总数	86 400	86 400	86 400	86 400	86 400	86 400	86 400
	实际完好观测历元数	85 941	86 294	96 301	84 766	86 293	86 293	86 293
	完好观测历元比例/%	99.46	99.87	99.89	98.11	99.87	99.87	99.87
观测值	预计的观测值总数(>10°)	7 46 678	745 933	747 589	745 753	747 389	747 768	747 590
	完好观测值总数(>10°)	581 519	745 063	743 652	730 666	746 515	741 248	746 734
	无效观测值总数(>10°)	161 491	20	43	874	18	3152	0
	无效观测值比例/%	27.770	0.002	0.006	0.119	0.002	0.425	0.000
多路径	MP1 平均中误差/m	0.32	0.34	0.29	0.34	0.35	0.33	0.32
	MP2 平均中误差/m	0.35	0.39	0.35	0.38	0.39	0.38	0.33
周跳	o/slps	1 998	372 533	453 245	182 667	746 515	148 250	746 734

从表 1 可以得出, 以上 7 个站完好观测历元比例均在 98% 以上, 这说明上述各站与控制中心的网络连接总体上满足要求, 但不排除某些时间段频繁断线重

连的情况; 对于多路径效应而言, 各站  $M_{P1}$  平均值最高为 0.38, 最低为 0.35,  $M_{P2}$  平均值最高 0.39, 最低 0.33, 表明各站多路径效应影响不大, 基本满足系统建设的



要求。

同时从表 1 可以看出,泊头站无效观测值与完好观测值比例为 27.77%,观测值与周跳比为 1998,很明显该站存在严重的遮挡及电磁干扰等因素的影响,需要重点分析。使用 TEQCPlot 提供的 Matlab 程序对该站质量检查后生成的 sn1、sn2 文件进行图形化显示,并对显示结果逐一对比分析该站可见卫星的高度角及  $L_1$ 、 $L_2$  载波信噪比,结果表明:绝大部分时间段内卫星数都在 9 颗以上;在部分时段内,某些卫星高度角较好时且  $L_1$  载波信噪比正常时, $L_2$  载波信噪比很差甚至为 0。图 2~图 5 分别为 G21 号卫星 05:15~07:45 时间段及 G24 号卫星 08:10~09:20 时间段的  $L_1$ 、 $L_2$  载波信噪比图。

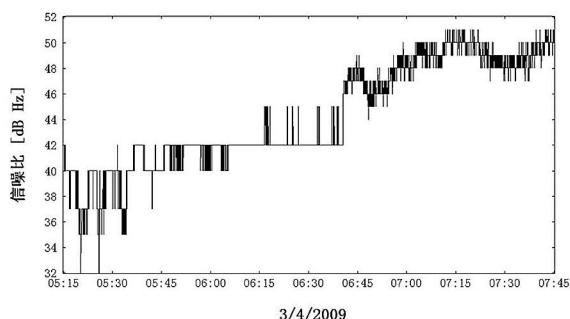


图 2 G21 卫星  $L_1$  载波信噪比

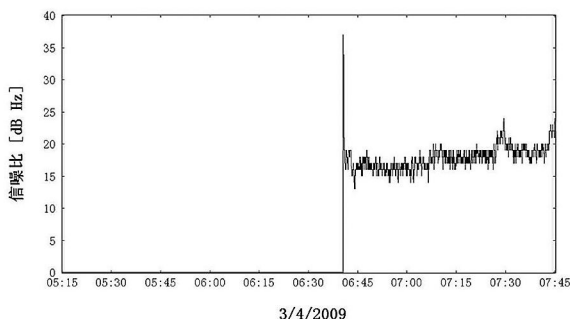


图 3 G21 卫星  $L_2$  载波信噪比

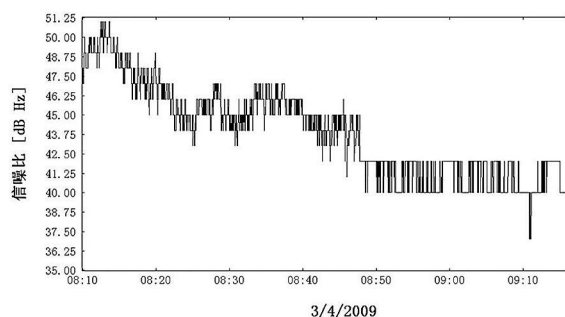


图 4 G24 卫星  $L_2$  载波信噪比

综合 TEQC 各站分析结果,可以得出以下结论:  
1) 泊头站周边环境存在  $L_2$  信号频率电磁或地磁干扰,严重影响了接收机  $L_2$  波段上的信号接收,不适合作为 GNSS 参考站,应考虑更换站点。2) 唐山、崇礼站周

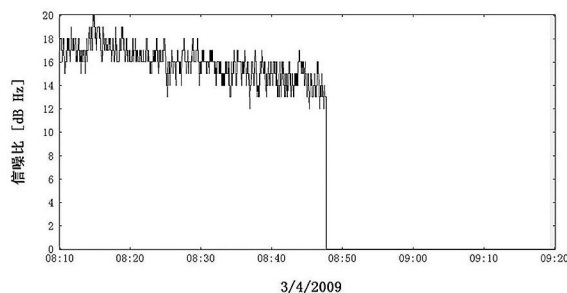


图 5 G24 卫星  $L_2$  载波信噪比

边环境良好,RTKNet 中异常显示与网络稳定性及室外天线至接收机信号传输等有直接的关系,具体原因需做进一步探讨。3) 上述三站邻近参考站盐山、河间等站同步数据质量良好,说明上述问题的出现属个别现象,与电离层活动以及卫星运行状况等无关,不具备普遍性。

#### 4 结 语

基准站周边环境的检测在其出现问题时的及时排查、确定站点是否可用中起着至关重要的作用。本文利用 TEQC 软件对泊头等基站数据进行处理,并从实际历元数与理论历元数比例、无效观测值比例、多路径效应、周跳四个方面进行综合分析,通过 TEQCPlot 的 Matlab 程序以图形化显示了泊头站  $L_1$ 、 $L_2$  载波信噪比,确定了泊头站的周边环境的电磁干扰问题,排除了对唐山、崇礼两站迁站的可能性,对确保系统的建设质量及稳定运行具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] 陈中新,奚长元,范占永,等.应用 TEQC 对 GPS 连续参考站数据进行质量分析[J].全球定位系统,2007,32(3):35~37
- [2] ESTEY L H, MEERTENS C M. TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data [J]. GPS Solution, 1999, 3 (1): 45~48
- [3] The Toolkit for GPS/ GLONASS/ SBAS Data and TEQC Tutorial [EB/OL] <http://www.unavco.org/facility/software/teqc/teqc.html> 2009
- [4] 刘成宝,刘曦灿,牛守明,等.JNCORS 系统站址测试数据分析研究[A].华东地区第十次测绘学术交流大会论文集 [C], 2007
- [5] 胡金林,沈飞,丁玉平,等.GNSS 参考站环境测试分析关键技术研究[A].2007 全国测绘科技信息交流会暨信息网成立 30 周年庆典论文集[C], 2007.
- [6] 范士杰,郭际明,彭秀英. TEQC 在 GPS 数据预处理中的应用与分析[J].测绘信息与工程.2004,04 29(2):33~35
- [7] 周忠谟,易杰军.GPS 卫星测量原理与应用(修订版)[M].北京:测绘出版社.1997

第一作者简介:吴文坛,硕士研究生,主要从事 CORS 系统建设、应用研究和测绘新技术的研发与推广。