

UDC

中华人民共和国行业标准



P

CJJ/T 73 - 2010
备案号 J990 - 2010

卫星定位城市测量技术规范

Technical code for urban surveying using satellite
positioning system

2010 - 03 - 15 发布

2010 - 10 - 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

卫星定位城市测量技术规范

Technical code for urban surveying using
satellite positioning system

CJJ/T 73 - 2010

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 0 年 1 0 月 1 日

中国建筑工业出版社

2010 北 京

中华人民共和国行业标准
卫星定位城市测量技术规范

Technical code for urban surveying using satellite positioning system

CJJ/T 73 - 2010

*

中国建筑工程出版社出版、发行（北京西郊百万庄）

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：4 1/4 字数：122 千字

2010 年 6 月第一版 2014 年 4 月第二次印刷

定价：**22.00 元**

统一书号：15112 · 17845

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.cabp.com.cn>

网上书店：<http://www.china-building.com.cn>

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 512 号

关于发布行业标准 《卫星定位城市测量技术规范》的公告

现批准《卫星定位城市测量技术规范》为行业标准，编号为 CJJ/T 73-2010，自 2010 年 10 月 1 日起实施。原行业标准《全球定位系统城市测量技术规程》CJJ 73-97 同时废止。

本规范由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2010 年 3 月 15 日

前 言

根据原建设部《关于印发〈2007 年工程建设标准规范制订、修订计划（第一批）〉的通知》（建标〔2007〕125 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实际经验，参考有关国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，对原行业标准《全球定位系统城市测量技术规程》CJJ 73-97 进行了修订。

本规范的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 坐标系统和时间；4. 城市 CORS 系统建设；5. 城市 GNSS 控制网建设；6. 城市 GNSS RTK 测量；7. 城市 GNSS 高程测量。

本规范修订的主要技术内容是：1. 将标准的名称修订为《卫星定位城市测量技术规范》；2. 将原第 2 章术语修订为术语和符号；3. 增加了 2000 国家坐标系；4. 将原第 4~10 章进行了修改并合并为目前的第 5 章；5. 增加了城市 CORS 系统建设、城市 GNSS RTK 测量、城市 GNSS 高程测量和附录 A、B、C、D、E、J 的内容。

本规范由住房和城乡建设部负责管理，由北京市测绘设计研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至北京市测绘设计研究院（地址：北京市海淀区羊坊店路 15 号，邮政编码：100038）。

本规范主编单位：北京市测绘设计研究院

本规范参编单位：清华大学

武汉大学

天津市测绘院

重庆市勘测院

上海市测绘院

广州市城市规划勘测设计研究院

杭州市勘测设计研究院
福州市勘测院
深圳市地籍测绘大队
武汉市勘测设计研究院
昆明市勘察测绘研究院
北京市信息资源管理中心

本规范主要起草人员：陈品祥 洪立波 过静珺 刘 晖
张凤录 朱照荣 张志全 谢征海
余美义 林 鸿 吕松华 陈瑞霖
罗和平 严小平 侯至群 戴连君
本规范主要审查人员：陈俊勇 宁津生 陶本藻 程鹏飞
王 丹 张 鹏 白征东 王双龙
胡亚明 黄北新

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	坐标系统和时间	6
3.1	坐标系统	6
3.2	时间	7
4	城市 CORS 系统建设	8
4.1	一般规定	8
4.2	CORS 网布设	9
4.3	CORS 站建设	10
4.4	通信网络建设	13
4.5	管理中心建设	13
4.6	服务中心建设	15
4.7	坐标联测及数据处理	16
4.8	CORS 系统测试	17
4.9	成果提交	19
4.10	系统维护	20
5	城市 GNSS 控制网建设	22
5.1	一般规定	22
5.2	选点及埋石	23
5.3	GNSS 测量	25
5.4	数据处理	29
5.5	质量检查与技术总结	32
6	城市 GNSS RTK 测量	34

6.1	一般规定	34
6.2	仪器设备	35
6.3	单基站 RTK 测量	35
6.4	城市网络 RTK 测量	39
6.5	数据处理与检验	39
6.6	成果提交	40
7	城市 GNSS 高程测量	41
7.1	一般规定	41
7.2	技术要求	41
7.3	数据处理与检验	43
7.4	成果提交	45
附录 A	地球椭球和参考椭球的基本几何参数	46
附录 B	CORS 站点之记	47
附录 C	CORS 站观测墩埋设及规格	48
附录 D	通信设备登记表	52
附录 E	系统维护日志表	53
附录 F	GNSS 控制点的标志、标石和造埋规格	54
附录 G	GNSS 控制点点之记	59
附录 H	GNSS 外业观测手簿	60
附录 J	GNSS RTK 基准站外业观测手簿	61
	本规范用词说明	62
	引用标准名录	63
	附：条文说明	65

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Coordinates and Time System	6
3.1	Coordinates System	6
3.2	Time System	7
4	Urban CORS System Construction	8
4.1	General Requirement	8
4.2	CORS Network Construction	9
4.3	CORS Station Construction	10
4.4	Communication Network Construction	13
4.5	Control System Construction	13
4.6	Service Center Construction	15
4.7	Coordinates Survey and Data Processing	16
4.8	CORS System Testing	17
4.9	Results Submission	19
4.10	System Sustention	20
5	Urban GNSS Control Network Construction	22
5.1	General Requirement	22
5.2	Reconnaissance and Monumentation	23
5.3	GNSS Survey	25
5.4	Data Processing	29
5.5	Quantity Control and Technical Conclusion	32
6	Urban GNSS RTK Survey	34

6.1	General Requirement	34
6.2	Survey Equipment	35
6.3	Single Station RTK Survey	35
6.4	Urban Network RTK Survey	39
6.5	Data Processing and Verification	39
6.6	Results Submission	40
7	Urban GNSS Elevation Survey	41
7.1	General Requirement	41
7.2	Technic Specifications	41
7.3	Data Processing and Verification	43
7.4	Results Submission	45
Appendix A	Earth's Ellipsoid and Reference Ellipsoid Parameters	46
Appendix B	CORS Station Notes	47
Appendix C	CORS Monumentation and Specification	48
Appendix D	Communication Equipment Registration form	52
Appendix E	System Sustention log	53
Appendix F	GNSS Monumentation Specification	54
Appendix G	GNSS Control station Notes	59
Appendix H	GNSS Field Book	60
Appendix J	Field Book of GNSS RTK Reference Station	61
	Explanation of Wording in This code	62
	List of Quoted Standards	63
	Addition: Explanation for Provisions	65

1 总 则

1.0.1 为了统一卫星定位技术在城市测量中的应用，为城市规划、建设与管理以及科学研究等提供准确、适时、可靠的空间信息，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于城市各等级控制测量、工程测量、变形测量和地形测量等。

1.0.3 卫星定位城市测量技术内容，宜包括城市 CORS 系统建设、城市 GNSS 网建设、城市 GNSS RTK 测量和城市 GNSS 高程测量等。

1.0.4 利用卫星定位技术进行城市测量时，应以中误差作为衡量测量精度的标准，并应以两倍中误差作为测量极限误差。

1.0.5 本规范规定了卫星定位城市测量的基本技术要求。当本规范与国家法律、行政法规的规定相抵触时，应按国家法律、行政法规的规定执行。

1.0.6 卫星定位城市测量，除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 观测时段 observation session

测站上开始记录卫星观测数据到记录停止的时间间隔。

2.1.2 同步观测 simultaneous observation

两台及以上接收机同时对共同卫星进行观测。

2.1.3 同步观测环 simultaneous observation loop

三台及以上接收机同步观测所获得的基线向量构成的闭合环，简称同步环。

2.1.4 异步观测环 unsimultaneous observation loop

由不同时段的观测基线向量构成的闭合环，简称异步环。

2.1.5 独立基线 independent baseline

线性无关的一组观测基线。

2.1.6 星历 ephemeris

表示不同时刻卫星在轨道位置的一组参数。

2.1.7 广播星历 broadcast ephemeris

卫星实时发播的卫星轨道参数。

2.1.8 精密星历 precise ephemeris

利用全球或区域导航卫星跟踪站网的观测数据，经后处理确定的导航卫星精密轨道参数。

2.1.9 单基线 single baseline

由两台接收机同步观测数据解算得到的基线向量。

2.1.10 多基线 multiple baseline

由两台以上接收机同步观测数据解算得到的所有独立基线向量。

2.1.11 数据剔除率 percentage of data rejection

同一时段中未采用的观测值个数与获取的同类观测值总数的比值。

2.1.12 全球导航卫星系统网 global navigation satellite system network

使用卫星定位技术建设的测量控制网，简称 GNSS 控制网或 GNSS 网。

2.1.13 高程异常 height anomaly

从地面点沿正常重力线量取正常高所得端点构成的封闭曲面（似大地水准面）相对于参考椭球面的高度。

2.1.14 全球导航卫星系统高程测量 GNSS height survey

利用 GNSS 技术测得的大地高，结合测量点的高程异常值，获得的该点的正常高，简称 GNSS 高程测量。

2.1.15 连续运行基准站系统 continuously operating reference station system

由多个连续运行的 GNSS 基准站及计算机网络、通信网络等组成，用于提供不同精度、多种方式定位服务的信息系统，简称 CORS 系统。

2.2 符 号

2.2.1 代号

a —— 固定误差；

b —— 比例误差系数；

d —— 相邻点间的距离；

dH —— 拟合点水准高程与模型计算高程的差值；
检测点水准高程与 GNSS 测量的高程的差值；检测点两次测量的高程的差值；

dP —— 测试点的已知平面点位与观测的平面点位平均值的差值；检核点两次测量平面点位的差值；

dS —— 测试点点位平均值和每次观测点位的差值；

复测基线的长度较差；

dX 、 dY 、 dZ ——测试点坐标分量平均值和观测值分量的差值；

$dV_{\Delta X}$ 、 $dV_{\Delta Y}$ 、 $dV_{\Delta Z}$ ——同一基线约束平差基线分量的改正数与无约束平差基线分量的改正数的较差；

K ——测试点的观测次数；

L ——水准检测线路长度；

m_H ——高程异常模型内符合中误差；

M_H ——外符合高程中误差；检测高程中误差；

M_P ——测试点的平面点位外符合中误差；检核点的平面点位中误差；

M_S ——点位内符合中误差；

M_X 、 M_Y 、 M_Z ——坐标分量内符合中误差；

n ——闭合环边数；参与拟合的点数；

N ——检测点个数；测试点个数；

S ——三角高程边长；

$V_{\Delta X}$ 、 $V_{\Delta Y}$ 、 $V_{\Delta Z}$ ——基线分量的改正数绝对值；

W_S ——环闭合差；

W_X 、 W_Y 、 W_Z ——环坐标分量闭合差；

σ ——基线长度中误差；

2.2.2 缩略语

BST Beijing standard time 北京标准时

CDMA code-division multiple access 码分多址

CORS continuously operating reference station 连续运行基准站

ftp file transfer protocol 文件传输协议

GNSS global navigation satellite system 全球导航卫星系统

GPRS general packet radio service 通用无线分组业务

IGS international GNSS service 国际 GNSS 服务

ITRF	international terrestrial reference frame 国际地球参考框架
LAN	local area network 局域网
PDOP	position dilution of precision 空间位置精度因子
Rinex	the receiver independent exchange format 与接收机无关的数据交换格式
RTCM	radio technical committee for maritime services 海事服务无线电技术委员会
RTD	real-time differential 利用伪距差分的实时动态定位
RTK	real-time kinematic 利用载波相位差分的实时动态定位
TCP/IP	transmission control protocol/internet protocol 传输控制协议/互联网协议
UPS	uninterruptible power supply 不间断电源
UTC	coordinate universal time 协调世界时
UTM	universal transverse mercator projection 通用横轴墨卡托投影

3 坐标系统和时间

3.1 坐标系统

3.1.1 GNSS 测量应优先采用 2000 国家大地坐标系 (CGCS 2000)。当 GNSS 测量要求采用 1954 年北京坐标系或 1980 西安坐标系时, 应进行坐标转换。各坐标系的地球椭球和参考椭球基本几何参数应符合本规范附录 A 的规定。

3.1.2 当 GNSS 测量要求采用城市坐标系时, 应进行投影变换, 并应具备下列技术参数:

- 1 参考椭球基本几何参数;
- 2 中央子午线经度, 底点纬度;
- 3 纵、横坐标的加常数;
- 4 投影面正常高;
- 5 测区平均高程异常;
- 6 起算点坐标及起算方位角。

3.1.3 当 GNSS 网的大地坐标系统变换为城市坐标系统时, 应满足投影长度变形值不大于 2.5cm/km 的要求。城市坐标系统可根据城市地理位置和平均高程按下列次序选定:

- 1 采用高斯正形投影统一 3°带的平面直角坐标系统;
- 2 当无法采用高斯正形投影统一 3°带的平面直角坐标系统时, 可采用下列方法选定城市平面坐标系统:

- 1) 投影于抵偿高程面上的高斯正形投影统一 3°带的平面直角坐标系统;
- 2) 高斯正形投影任意带的平面直角坐标系统, 投影面可采用黄海平均海水面或城市平均高程面。

3.1.4 当 GNSS 测量的大地高转换成正常高时, 高程系统应采用 1985 国家高程基准, 也可沿用 1956 年黄海高程系统或城市原

高程系统。

3.2 时 间

3.2.1 GNSS 测量原始观测值应采用相应导航卫星系统的系统时间记录。

3.2.2 GNSS 测量外业记录应采用协调世界时 (UTC) 或北京时间 (BST)。

4 城市 CORS 系统建设

4.1 一般规定

4.1.1 城市 CORS 系统建设应统一规划、设计。一个城市只应建设一个 CORS 系统。CORS 系统建设可一次建设完成，亦可分期、分批建设。

4.1.2 城市 CORS 系统建设内容应包括 CORS 网、通信网络、管理中心和服务中心建设等。

4.1.3 CORS 网相邻点间基线长度精度应按下列公式计算：

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (bd)^2} \quad (4.1.3)$$

式中： σ ——基线长度中误差（mm）；

a ——固定误差（mm）；

b ——比例误差系数（mm/km）；

d ——相邻点间的距离（km）。

4.1.4 CORS 网的主要技术要求应符合表 4.1.4 的规定。

表 4.1.4 CORS 网的主要技术要求

平均边长 (km)	固定误差 a (mm)	比例误差 b (mm/km)	最弱边相对中误差
40	≤ 5	≤ 1	1/800000

4.1.5 应定期对 CORS 网进行坐标解算，解算周期不应超过一年。CORS 站坐标的变化量应符合下列规定：

1 平面位置变化不应超过 1.5cm。

2 高程变化不应超过 3cm。

3 当 CORS 站坐标的变化量不符合规定时，应分析原因，并及时更新 CORS 站坐标或另选新站。对于地面沉降严重的区域，可另行制定高程变化的变化量限值。

4.1.6 城市 CORS 系统的功能应符合下列规定：

1 CORS 站应能实时进行卫星定位数据的采集、记录以及设备完好性监测等；

2 通信网络应能将 CORS 站观测数据实时传输至管理中心、将管理中心的 RTK 或 RTD 差分数据实时发送给用户，并将定制的数据发送给特许用户；

3 管理中心应进行系统运行、系统维护、数据管理等，实现对各 CORS 站进行远程监控，并对定位数据进行分析、处理、计算、存储，完成系统建模、差分数据生成、传输、记录，数据维护和分发等；

4 服务中心应对用户的注册、登记、查询和注销进行管理，还应对用户的管理权限进行设置。

4.1.7 城市 CORS 系统的防雷及防电涌设施应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057 和《电子设备雷击试验方法》GB/T 3482 的规定。

4.1.8 城市 CORS 系统建设完成后应进行系统测试，测试精度应符合下列规定：

1 坐标分量内符合中误差不应超过 2cm；

2 平面位置外符合中误差不应超过 5cm。

4.2 CORS 网布设

4.2.1 CORS 网建设前应收集下列资料，并应进行现场踏勘：

1 已有的城市 CORS 站建设的资料、控制网成果资料、1：10000 和 1：50000 现势性好的地形图资料；

2 区域内及周边地区的地质、水文、气象和交通资源与需求等资料；

3 区域内的无线电发射源、微波站及传输通道分布等资料；

4 城市总体规划和近期建设开发资料。

4.2.2 CORS 网的设计应根据收集的资料和踏勘情况进行，并应对下列内容进行调查、综合分析：

- 1 已有 CORS 站运行情况和地面控制点的可用性分析;
 - 2 区域内可利用的供电、通信和交通等情况分析;
 - 3 共建共享单位资源和需求状况分析。
- 4.2.3** 一个 CORS 网宜建设 1~2 个基岩或深埋的土层 CORS 站点。
- 4.2.4** CORS 网的布设应利用满足条件的已有 CORS 站。

4.3 CORS 站建设

- 4.3.1** CORS 站建设应包括选址、观测墩标建设和设备室建设。
- 4.3.2** CORS 站选址应符合下列规定:
- 1 站址应选在基础坚实稳定,易于长期保存,并有利于安全作业的地方;
 - 2 站址周围应便于安置接收设备和方便作业,视野应开阔;视场内高度角不宜大于 10° ,困难地区视场内高度角大于 10° 的障碍物遮挡角累计不应超过 30° ;
 - 3 站址与周围电视台、电台、微波站、通信基站、变电所等大功率无线电发射源的距离应大于 200m,与高压输电线、微波通道的距离应大于 100m;
 - 4 站址附近不应有大型建筑物、玻璃幕墙及大面积水域等强烈干扰接收机接收卫星信号的物体;
 - 5 站址应避开断层破碎带、易于发生滑坡或沉陷等地质构造不稳定区域和地下水位变化较大的地点;
 - 6 站址应有利于方便架设市电路或具有可靠的电力供应,并应便于接入公共通信网络或专用通信网络;
 - 7 屋顶观测墩应选在坚固稳定的建筑物上,建筑物高度不宜超过 30m;
 - 8 站址选定时,宜用场强仪进行实地场强测试,在卫星导航信号中心频点上的噪声场强宜低于 -100dB/mV 。GNSS 建站条件的测试应连续进行 24h,并应对测试数据进行分析,其中数据有效率应高于 85%,多路径影响宜小于 0.45m;

9 站址选定时，应测设 CORS 站环视图，并应在实地绘制 CORS 站点之记，CORS 站点之记应符合本规范附录 B 的规定；

10 建站所占用的土地，应征得土地所有者和使用者的同意或依据土地管理法办理征地或用地手续。

4.3.3 CORS 站观测墩标可分为基岩观测墩、土层观测墩和屋顶观测墩。墩标建造应符合下列要求：

1 基岩观测墩基础应与基岩紧密浇筑，埋置在基岩内的深度不得少于 0.5m，四角钢筋锚入基岩内的长度不得少于 0.3m；土层观测墩应建在坚实的土层上，墩底埋置深度不应少于冻土线以下 2m；深埋点应根据实际地质情况另行设计；屋顶观测墩应建在建筑物主承重柱上，观测墩的内部钢筋应与建筑物主承重结构连接。观测墩应符合本规范附录 C 的要求。

2 观测墩顶面应水平，应垂直安装强制对中装置，并应加装或预埋保护线缆进出的硬质管道。

3 观测墩与地层接合四周应有不少于 10cm 宽的隔振槽，隔振槽内应填粗砂；屋顶观测墩与屋顶面接合处应作防水处理。

4 基岩上埋设的观测墩应至少经过一个月的稳定期方可用于观测；对于土层内埋设的观测墩，非冻土地区的应经过一个雨季方可用于观测，冻土地区应经过一个雨季和一个冻解期方可用于观测。

5 观测墩应埋设水准标志并应进行三等以上水准联测，水准标志与观测墩顶面的高差测定中误差不应超过 3mm。

6 观测墩必须设置避雷装置。

4.3.4 设备室建设应符合下列规定：

1 设备室应在观测墩周围建造或租用，也可在观测墩中底部预制容纳仪器设备的空间作为设备室；

2 设备室中仪器设备应整合安装在集成柜中，并应保证各设备具有适宜的工作条件；

3 观测墩至设备室的电缆长度不宜超过天线电缆标称距离，当超过标称距离时，应加装信号放大器；

4 设备室应配置通风、通电、安全、防雷等设施；

5 设备室地基应牢固，并应敷设防水层，周围应有排水设施；结构中应分别预埋电力和通信管线通道；应具有防止动物损坏设备的防护装置。

4.3.5 GNSS 天线应符合下列规定：

1 应能在温度 $-40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的环境中长期正常工作，并应安装天线保护罩；

2 应配备扼流圈或抑径板；

3 天线相位中心应稳定，变化量不应超过 1mm；

4 天线线缆应加装有源射频线防雷装置；

5 对于有定向标志的天线，天线的定向误差不应超过 5° 。

4.3.6 GNSS 接收机应符合下列规定：

1 应能在温度 $-40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的环境中长期正常工作；

2 标称固定误差不应超过 5mm、比例误差系数不应超过 1mm/km；

3 应能在交流电、直流电间自动切换；

4 应采用双频 GNSS 接收机，并应能同时接收至少 12 颗 GNSS 卫星信号；

5 GNSS 原始观测数据的采样间隔可在 1s~60s 内设置；

6 应实时输出原始观测数据；

7 应能存储 1s 采样间隔、24h 连续观测的数据；

8 应至少有 2 个 RS-232 标准接口；

9 宜有支持 TCP/IP 的 LAN 的接口或能通过 TCP/IP 进行数据发送。

4.3.7 GNSS 天线应安置在观测墩强制对中装置上。

4.3.8 由观测墩顶面量取天线高时，应从不同方向量测三次，互差不应超过 2mm，并应取平均值加上观测墩顶面高程作为天线高程。

4.3.9 CORS 站应配置在线式 UPS 装置，并应保证至少 24h 连续稳定独立供电。电力线接入 UPS 前，应配置电涌防护设备。

4.4 通信网络建设

4.4.1 通信网络建设应包括 CORS 站与管理中心、管理中心与服务中心以及服务中心与用户间信息交换和发布网络的建设。

4.4.2 通信网络建设应符合下列规定：

- 1 应长期、连续、稳定、可靠、安全地工作；
- 2 数据传输速率应大于 64kbit/s；
- 3 通信误码率应小于 10^{-8} ，通信延时应小于 500ms，可用性应大于 95%。

4.4.3 CORS 站和管理中心宜采用专网进行数据通信，有条件时，可采用两条相互独立的数字通信链路。

4.4.4 城市 CORS 系统实时信息的发布可采用 GPRS、CDMA 等无线通信方式，其他信息发布可采用 ftp、Web 等方式。

4.4.5 通信网络宜采用 TCP/IP 协议。

4.4.6 通信线路上应加装信号线或射频线避雷设备。通信线接入通信终端前，应加装通信线电涌防护设备。

4.4.7 服务中心应通过路由器接入公共网络，并应安装硬件防火墙。

4.4.8 通信网络建设完成后，应进行网络连通测试和时延测试。建设或更新完成后应填写《通信设备登记表》，记录应符合本规范附录 D 的规定。

4.5 管理中心建设

4.5.1 管理中心建设应包括环境建设和硬件、软件及网络配置等内容。

4.5.2 环境建设应符合下列规定：

- 1 机房建设应符合现行国家标准《电子信息系统机房设计规范》GB 50174 的要求；
- 2 后备电源应具有不少于 8h 的连续稳定独立供电能力；
- 3 应配备雷电防护设备，并应符合现行国家标准《建筑物

防雷设计规范》GB 50057 和《电子设备雷击试验方法》GB/T 3482 的规定。

4.5.3 硬件配置应符合下列规定：

1 应至少配置一台服务器，并应配置磁盘阵列或刻录机等数据备份设备；

2 服务器的内存储器容量应不低于 2GB，外存储器容量应满足 1 年以上、1s 采样间隔的连续观测数据的存储；

3 用于提供实时差分数据服务的服务器可采用双机热冗余备份；宜按系统管理、数据处理、存储和服务等功能配置服务器。

4.5.4 管理中心应选用运行稳定、安全性能强的软件。软件应满足下列要求：

1 应能自动监控系统内各 CORS 站的工作状态，发生故障时，应同时报警；

2 应能自动进行数据下载、处理，并形成服务需要的至少一种标准格式的数据文件；

3 应能按预先设定的数据格式和文件类型，自动存储原始数据、过程数据及运行记录；

4 应具有容错能力，在无法提供有效数据服务时，应有示警功能；

5 应支持不同型号的 CORS 站和流动站接收机。

4.5.5 管理中心建设应满足下列要求：

1 应能对 CORS 站 GNSS 接收机及其他配套设备的工作状态进行监控，并进行远程管理、故障分析；

2 应能自动分析并记录系统数据的完整性、CORS 站点的稳定性和多路径影响；

3 应能自动分析电离层和对流层的影响，并生成报告；

4 应能实时对获取的 CORS 站原始观测数据及星历数据进行分析、处理，并形成 Rinex 格式数据文件；

5 应实时生成差分数据，并发送给服务中心；

6 宜每隔 3 个月处理、分析 CORS 站 GNSS 数据，并应能监测 CORS 站稳定情况；

7 应能对 GNSS 数据、管理数据和管理日志进行统一管理，宜每隔 6 个月进行一次备份，保存期限不应少于 5 年。

4.5.6 管理中心建设完成后，应按设计要求进行供电、环境、服务器及软件运行、内部网络和通信网络等调试。

4.6 服务中心建设

4.6.1 服务中心建设应包括环境建设和硬件、软件及网络配置等。

4.6.2 服务中心的环境建设、硬件配置应符合本规范第 4.5 节的规定。

4.6.3 服务中心的软件应满足下列要求：

1 应能接收并处理管理中心发送的不同类型的服务数据；

2 应能及时处理用户的服务请求；

3 应能提供网络 RTK、RTD 和单基准站 RTK、RTD 实时差分定位服务等多种服务方式；

4 后处理数据服务应能提供用户定制的不同采样间隔的 CORS 站原始观测数据；

5 应能对用户进行授权、认证、登陆和使用过程的监控，并应能对用户的使用时间、流量大小等进行统计管理。

4.6.4 服务中心建设应满足下列要求：

1 应能提供厘米级、亚米级精度的实时差分数据，不同采样间隔的 CORS 站原始观测数据及后处理数据；

2 应能对用户进行管理；

3 应能提供技术服务和技术支持。

4.6.5 服务信息发布应满足国家信息安全的要求。

4.6.6 服务中心建设完成后，应按设计要求进行供电、环境、服务器及软件运行、内部网络和通信网络等调试。

4.6.7 服务中心和管理中心可单独建设，也可共同建设。

4.7 坐标联测及数据处理

4.7.1 城市 CORS 网应与国家 CORS 站、高等级国家大地控制点和城市控制点等进行坐标联测。

4.7.2 确定城市 CORS 站的地心坐标系坐标时，应至少联测 3 个国家 CORS 站。

4.7.3 确定城市 CORS 网的参心坐标系坐标时，应至少联测 4 个已有的高等级国家大地控制点或城市控制点。联测的控制网点位应满足本规范第 5.2.2 条中 GNSS 控制点的选点要求。

4.7.4 坐标联测应符合下列规定：

1 CORS 网地心坐标系坐标联测时，使用的国家 CORS 站连续观测数据不应少于 120h，采样间隔应为 30s，截止高度角应为 10° ；

2 CORS 网参心坐标系坐标联测时，控制点观测使用的设备应满足本规范第 5.3.2 条中二等 GNSS 接收机的要求；每个点应与 CORS 站同时连续观测 24h，采样间隔应为 10s~30s。联测布设的 GNSS 网及 GNSS 测量应符合本规范第 5.1 节及第 5.3 节的规定。

4.7.5 数据处理应符合下列规定：

1 基线处理时应采用 IGS 精密星历；

2 城市 CORS 网宜采用 ITRF 作为参考框架，框架与历元应与所联测的国家 CORS 点的框架与历元一致；

3 CORS 网的基线解算应采用国家 CORS 站的地心坐标系坐标作为起算依据；

4 CORS 网的参心坐标联测的基线解算应采用 CORS 网点的地心坐标作为起算依据；

5 数据质量、重复基线、同步环闭合差和异步环闭合差的检验，应符合本规范第 5.4.3 条的规定；

6 CORS 网坐标联测的平差计算应符合本规范第 5.4.5 条的规定；

7 应确定地心坐标系与参心坐标系间的坐标转换参数。

4.8 CORS 系统测试

4.8.1 城市 CORS 系统测试应包括功能测试和性能指标测试。

4.8.2 功能测试应包括下列内容：

1 自动运行能力测试。在正常运行情况下，系统应按设置好的服务内容 24h 自动不间断地向用户提供数据服务。

2 通信网络测试。网络数据的传输率、误码率、时延等应符合本规范第 4.4.2 条的规定。

3 流动站用户并发性测试。测试应按系统设计的最大用户数，通过软件模拟进行。

4 远程控制测试。管理中心应对所有 CORS 站的接收机和 UPS 电源等设备的运行状态进行监控，应能对相关参数进行调整，并应确认调整有效。

5 系统容错性测试。当模拟 CORS 站、通信网络发生故障时，系统应自动报警，并应重新构网计算，继续提供数据服务。

6 用户设备兼容性测试。应至少选用三个品牌的 GNSS RTK 设备，在不同时间段进行测试，记录首次获得固定解的时间，并进行测试点位的精度统计分析。

4.8.3 CORS 系统性能指标测试应包括静态精度测试、动态精度及覆盖范围的测试和 RTK 可用性测试，并应符合下列规定：

1 静态精度测试应符合下列规定：

1) 应在网络设计覆盖范围内均匀选择测试点，点的选择应符合本规范第 5.2.2 条的规定，参与统计的测试点数不宜少于 20 个；

2) 测试应是单点观测，测试点的观测、数据处理等应符合本规范第 5 章关于四等以上 GNSS 网的规定；

3) 测试点观测成果应按平面和高程进行精度统计、分析，并应符合本规范第 4.1.8 条的规定。

2 动态精度及覆盖范围的测试应符合下列规定：

- 1) 测试点应均匀分布在网内及网外 10km~30km 范围内；测试点的选择应符合本规范第 5.2.2 条规定，参与统计的测试点数不应少于 20 个；
- 2) 测试点的观测、数据处理等宜符合本规范第 6.4 节和第 6.5 节关于三级以上控制点的规定，每个测试点宜独立记录 10 个以上的观测结果；
- 3) 精度统计应按网内、网外分别进行，并应进行测试点的内、外符合精度统计，分析测试点的平面、高程精度、收敛时间、覆盖范围及重复性测量精度。精度统计应符合本规范第 4.1.8 条的规定。

3 RTK 可用性测试应符合下列规定：

- 1) 应在系统服务区域内，选择 1 个已知地心坐标的动态测试点。服务中心与流动站间应采用有线连接方式进行通信，连续进行至少 24h 的 RTK 测量，并应每秒记录一个定位结果。
- 2) 满足精度要求的定位结果个数占理论定位结果总数的比率应大于 95%。

4.8.4 系统性能指标测试的精度计算应符合下列规定：

1 测试点的坐标分量内符合中误差 (M_X 、 M_Y 、 M_Z) 和点位内符合中误差 (M_S) 应按下列公式计算：

$$M_X = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{dX dX}{K-1} \right]} \quad (4.8.4-1)$$

$$M_Y = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{dY dY}{K-1} \right]} \quad (4.8.4-2)$$

$$M_Z = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{dZ dZ}{K-1} \right]} \quad (4.8.4-3)$$

$$M_S = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{dS dS}{K-1} \right]} \quad (4.8.4-4)$$

$$dS = \sqrt{dX^2 + dY^2 + dZ^2} \quad (4.8.4-5)$$

式中： M_X 、 M_Y 、 M_Z ——坐标分量内符合中误差 (cm)；

M_s —— 点位内符合中误差 (cm);

dX 、 dY 、 dZ —— 测试点坐标分量平均值与观测值分量的差值 (cm);

dS —— 测试点点位平均值和每次观测点位的差值 (cm);

N —— 测试点个数;

K —— 测试点的观测次数。

2 测试点的平面点位外符合中误差 (M_P) 应按下列公式计算:

$$M_P = \sqrt{\frac{dPdP}{N}} \quad (4.8.4-6)$$

$$dP = \sqrt{dX^2 + dY^2} \quad (4.8.4-7)$$

式中: M_P —— 测试点的平面点位外符合中误差 (cm);

dP —— 测试点的已知平面点位与观测的平面点位平均值的差值 (cm);

N —— 测试点个数。

4.9 成果提交

4.9.1 CORS 站建设完成后应提交下列成果:

- 1 CORS 站建设的技术方案;
- 2 CORS 站建设的工作报告;
- 3 CORS 站点之记;
- 4 CORS 站竣工地形图;
- 5 委托保管报告。

4.9.2 通信网络建设完成后应提交下列成果:

- 1 技术设计书;
- 2 网络测试报告;
- 3 通信设备登记表。

4.9.3 管理中心和服务中心建设完成后应提交下列成果:

- 1 技术设计书;

2 测试报告。

4.9.4 坐标联测完成后应提交下列成果：

1 技术设计书；

2 原始观测数据、记录手簿；

3 重复基线较差、同步环闭合差、异步环闭合差等内容的基线处理报告；

4 三维无约束、三维约束和二维约束平差等内容的数据处理报告及成果表；

5 坐标转换参数及精度分析报告；

6 技术总结。

4.9.5 系统测试完成后应提交下列成果：

1 技术设计书；

2 测试报告。

4.9.6 系统建设完成后应提交下列成果：

1 项目设计书；

2 系统技术报告；

3 系统工作报告；

4 系统使用说明书。

4.10 系 统 维 护

4.10.1 系统日常维护应符合下列规定：

1 应每天填写日志表，记录系统运行中出现的故障及其维护工作情况。日志表填写应符合本规范附录 E 的规定；

2 系统配置不得随意修改；

3 应每天检查网络 RTK、RTD 信息及服务器软件的运行状态，出现故障时，应查找原因，及时排除，并进行记录；

4 CORS 站远程监控检查应每天进行，并记录；

5 CORS 站有人值守时，宜每天巡视并记录；无人值守时，宜每月巡视并记录；

6 管理中心、服务中心、CORS 站的环境应保持清洁，设

备运行应良好；

7 发生自然灾害后，应及时进行设备的检查或更换，并应重新对 CORS 站框架坐标进行联测。

4.10.2 系统维护时的检验分析应符合下列规定：

- 1 CORS 站设备应进行完好性检验；
- 2 CORS 站的接收机及天线的稳定性检验，应通过对原始观测数据的处理分析来进行；
- 3 CORS 站站址的稳定性应进行检验分析；
- 4 通信网络设备的完好性应进行检验；
- 5 系统软件安全运行应进行检验；
- 6 系统防雷应进行检验；
- 7 用户管理应及时有效。

4.10.3 系统维护应包括下列记录：

- 1 日志表；
- 2 接收机原始数据分析报告；
- 3 系统发生故障的记录报告；
- 4 系统硬件、软件升级记录报告；
- 5 CORS 站坐标重新计算数据处理报告。

5 城市 GNSS 控制网建设

5.1 一般规定

5.1.1 GNSS 网的布设应遵循从整体到局部、分级布网的原则。城市首级 GNSS 网应一次全面布设,加密 GNSS 网可逐级布网、越级布网或布设同级全面网。

5.1.2 GNSS 网按相邻站点的平均距离和精度应划分为二、三、四等网和一、二级网。GNSS 网相邻点间基线长度精度应按本规范式 (4.1.3) 计算。

5.1.3 GNSS 网的主要技术要求应符合表 5.1.3 的规定。二、三、四等网相邻点最小边长不宜小于平均边长的 $1/2$, 最大边长不宜超过平均边长的 2 倍。一、二级网最大边长可在平均边长的基础上放宽 1 倍, 当边长小于 200m 时, 边长中误差应小于 $\pm 2\text{cm}$ 。

表 5.1.3 GNSS 网的主要技术要求

等级	平均边长 (km)	a (mm)	b (1×10^{-6})	最弱边相对中误差
二等	9	≤ 5	≤ 2	1/120000
三等	5	≤ 5	≤ 2	1/80000
四等	2	≤ 10	≤ 5	1/45000
一级	1	≤ 10	≤ 5	1/20000
二级	< 1	≤ 10	≤ 5	1/10000

注: 表中 a 表示固定误差; b 表示比例误差系数。

5.1.4 城市 CORS 站应作为城市首级 GNSS 网的起算点, 并应与新布设 GNSS 网共同组成城市首级 GNSS 网。

5.1.5 在进行 GNSS 网设计时, 应利用 CORS 站的连续观测数

据。对符合 GNSS 网布点要求的已有控制点，应利用其标石。

5.1.6 GNSS 网宜由一个或若干个异步观测环构成，也可采用附和线路的形式构成。各等级 GNSS 网中每个异步环或附和线路中的边数应符合表 5.1.6 规定。非同步观测的 GNSS 基线向量，宜按所设计的网图选定，也可由软件自动挑选独立基线构成环路。

表 5.1.6 异步环或附和线路边数的规定

等 级	二等	三等	四等	一级	二级
异步环或附和线路的 边数（条）	≤6	≤8	≤10	≤10	≤10

5.1.7 布设城市首级控制网时，应与 CORS 站和国家控制网进行联测，联测点数均不应少于 3 个，联测点应均匀分布。

5.1.8 GNSS 测量可用于工程形变测量，技术要求应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定。

5.2 选点及埋石

5.2.1 选点准备工作应符合下列规定：

1 技术设计前应收集测区内及周边地区的有关资料，资料应包括下列内容：

- 1) 测区 1 : 10000 至 1 : 100000 比例尺地形图；
- 2) 测区及周边地区的控制测量资料，包括平面控制网和水准路线网成果、技术设计、技术总结、点之记等资料；
- 3) 与测区有关的城市总体规划和近期城市建设发展资料；
- 4) 与测区有关的交通、地质、气象、通信、地下水和冻土深度等资料。

2 应根据项目目标和测区的自然地理情况进行网形及点位设计，并进行控制网优化和精度估算。

5.2.2 选点除应满足本规范第 4.3.2 条 1~4 款的规定外,还应符合下列规定:

- 1 点位应选择交通便利,并有利于扩展和联测的地点;
- 2 视场内障碍物的高度角不宜大于 15° ;
- 3 对符合要求的已有控制点,经检查点位稳定可靠的,可充分利用;

- 4 点位选定后应现场作标记、画略图。

5.2.3 控制点命名应符合下列规定:

- 1 点名可采用村名、山名、地名或单位名等表示;
- 2 利用原有旧点位时,点名不宜更改。

5.2.4 埋石应符合下列要求:

1 城市各等级 GNSS 控制点应埋设永久性测量标志,标石的标志应满足平面、高程共用的要求。标石及标志规格要求应符合本规范附录 F 的规定;

2 控制点的中心标志应用铜、不锈钢或其他耐腐蚀、耐磨损的材料制作,并应安放正直、镶接牢固;控制点的标志中心应刻有清晰、精细的十字线或嵌入直径小于 0.5mm 的不同颜色的金属;标志顶部应为圆球状,并应高出标石面;

3 控制点标石可采用混凝土预制或现场灌制;利用基岩、混凝土或沥青路面时,可现场凿孔灌注混凝土埋设标志;利用硬质地面时,可在地面上刻正方形方框,其中心灌入直径不大于 2mm、长度不短于 30mm 的铜条作为标志;

- 4 埋设 GNSS 观测墩应符合本规范第 4.3.3 条的要求;

- 5 标石的底部应埋设在冻土层以下,并应浇筑混凝土基础;

6 地质坚硬处埋设的标石,可在混凝土浇筑一周后用于观测;除地质坚硬处外,四等及以上 GNSS 测量控制点标石埋设后,应经过一个雨季和一个冻解期后方可用于观测;

7 标石埋设后应在实地绘制控制点点之记,具备拴距条件的,拴距不应少于 3 个方向,拴距方向交角宜在 $60^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 之间,拴距误差应小于 10cm;对二、三等控制点不具备拴距条件的,

应埋设指示标志。控制点点之记绘制应符合本规范附录 G 的规定；

8 二、三等 GNSS 测量控制点标石埋设后应办理测量标志委托保管。

5.2.5 选点与埋石结束后，应提交控制点点之记、控制点选点网图、测量标志委托保管书和选点与埋石工作总结报告。

5.3 GNSS 测量

5.3.1 城市 CORS 系统提供的观测数据可作为布设各等级控制网的起算依据。

5.3.2 GNSS 接收机的选用应符合表 5.3.2 的规定。

表 5.3.2 GNSS 接收机的选用

等级 项目	二等	三等	四等	一级	二级
接收机类型	双频	双频或单频	双频或单频	双频或单频	双频或单频
标称精度	$\leq (5\text{mm} + 2 \times 10^{-6} \times d)$	$\leq (5\text{mm} + 2 \times 10^{-6} \times d)$	$\leq (10\text{mm} + 5 \times 10^{-6} \times d)$	$\leq (10\text{mm} + 5 \times 10^{-6} \times d)$	$\leq (10\text{mm} + 5 \times 10^{-6} \times d)$
同步观测接收机数	≥ 4	≥ 3	≥ 3	≥ 3	≥ 3

5.3.3 GNSS 接收设备的检验应符合下列规定：

1 GNSS 接收设备应按现行行业标准《全球定位系统（GPS）接收机（测地型和导航型）校准规范》JJF 1118 的要求定期进行检定，检定周期宜为一年；

2 新购置的或经过维修的 GNSS 接收设备应进行检验，内容包括一般检验、常规检验、通电检验和实测检验。

5.3.4 一般检验应符合下列规定：

1 接收机及天线型号应与标称一致，外观应良好；

2 各种部件及其附件应匹配、齐全和完好，紧固的部件不得松动或脱落；

3 设备使用手册和后处理软件操作手册及磁（光）盘应齐全。

5.3.5 常规检验应符合下列规定：

1 天线或基座圆水准器和光学对点器应符合现行行业标准《全站型电子速测仪检定规程》JJG 100 的规定，光学对点器的测试方法应符合现行行业标准《光学经纬仪检定规程》JJG 414 的规定；

2 天线高的量尺应完好，尺长精度应符合现行行业标准《钢卷尺检定规程》JJG 4 的规定；

3 数据传录设备及软件应齐全，数据传输性能应完好；

4 数据后处理软件应通过实例计算测试和评估确认结果满足要求后方可使用。

5.3.6 确认 GNSS 接收机的各种电缆正确连接后，可进行通电检验。通电检验应符合下列规定：

1 电源及工作状态指示灯工作应正常；

2 按键和显示系统工作应正常；

3 测试应利用自测试命令进行；

4 应检验接收机锁定卫星时间，接收信号强弱及信号失锁情况。

5.3.7 实测检验应包括下列内容：

1 接收机内部噪声水平测试，测试方法应符合现行行业标准《全球定位系统（GPS）测量型接收机检定规程》CH 8016 的规定；

2 接收机天线相位中心稳定性测试，测试方法应符合现行行业标准《全球定位系统（GPS）测量型接收机检定规程》CH 8016 的规定；

3 接收机野外作业性能及不同测程精度指标测试；

4 接收机高、低温性能测试；

5 接收机综合性能评价等。

5.3.8 用于等级测量的接收机，在使用前应按本规范第 5.3.7

条第 1、2 款的规定进行实测检验，且每年应按本规范第 5.3.7 条第 3、4、5 款的内容进行实测检验。

5.3.9 不同类型的接收机参加共同作业时，应在已知基线上进行比对测试，超过相应等级限差时，不应投入生产使用。

5.3.10 GNSS 接收设备的维护应符合下列规定：

1 接收设备应有专人保管，运输期间应有专人押送，并采取防振、防潮、防晒、防尘、防蚀和防辐射等防护措施；

2 接收设备的接头和连接器应保持清洁，电缆线不应扭折，不应在地面拖拉、碾压。连接电源前，电池正负极连接应正确，观测前电压应正常；

3 当接收设备置于楼顶、高标或其他设施顶端作业时，应采取加固措施，在大风和雷雨天气作业时，应采取防风和防雷措施；

4 作业结束后，应及时对接收设备进行擦拭，并放入有软垫的仪器箱内；仪器箱应放置于通风、干燥阴凉处，箱内应放置干燥剂并及时更换；

5 接收设备在室内存放时，电池应在充满状态下存放，并应每隔 1~2 个月充放电一次；

6 接收机发生故障后，应由专业人员维修。

5.3.11 GNSS 测量各等级作业的基本技术要求应符合表 5.3.11 的规定。

表 5.3.11 GNSS 测量各等级作业的基本技术要求

项 目	等级	二等	三等	四等	一级	二级
	观测方法					
卫星高度角 (°)	静态	≥15	≥15	≥15	≥15	≥15
有效观测 同类卫星数	静态	≥4	≥4	≥4	≥4	≥4
平均重复设站数	静态	≥2.0	≥2.0	≥1.6	≥1.6	≥1.6
时段长度 (min)	静态	≥90	≥60	≥45	≥45	≥45
数据采样间隔 (s)	静态	10~30	10~30	10~30	10~30	10~30
PDOP 值	静态	<6	<6	<6	<6	<6

5.3.12 观测实施计划应符合下列规定：

- 1 观测实施计划可根据测区范围的大小分区编制；
- 2 观测实施计划内容应包括作业日期、时间、测站名称和接收机名称等。

5.3.13 观测准备工作应符合下列规定：

1 安置 GNSS 接收机天线时，天线应整平，定向标志宜指向正北。对于定向标志不明显的接收机天线，可预先设置定向标志；

2 用三脚架安置 GNSS 接收机天线时，对中误差应小于 3mm；在高标基板上安置天线时，应将标志中心投影到基板上，投影示误三角形最长边或示误四边形对角线应小于 5mm；

3 天线高应量测至毫米，测前、测后应各量测一次，两次较差不应大于 3mm，并应取平均值作为最终成果；较差超限时，应查明原因，并应记录在 GNSS 外业观测手簿备注栏内。GNSS 外业观测手簿格式应符合本规范附录 H 的规定。

5.3.14 GNSS 的外业观测应符合下列规定：

1 接收机工作状态正常后，应进行自测试，并应记录测站名、日期、时段号和天线高等信息；

2 接收机开始记录数据后，应查看测站信息、卫星状况、实时定位结果、存储介质记录和电源工作情况等，异常情况应记录在 GNSS 外业观测手簿备注栏内；

3 观测过程中应逐项填写 GNSS 外业观测手簿中的记录项目，记录应符合本规范附录 H 的规定；

4 GNSS 静态测量时，各接收机采样间隔应一致；

5 作业期间使用手机和对讲机时，宜远离接收机；雷雨天气时，应关机停测，并应卸下天线以防雷击；

6 作业期间不得进行下列操作：

- 1) 关机又重新启动；
- 2) 自测试；
- 3) 改变仪器高度值与测站名；

4) 改变 GNSS 天线位置;

5) 关闭文件或删除文件等;

7 作业人员在作业期间不得离开仪器, 并应防止仪器受到振动和被移动、防止人和其他物体靠近天线;

8 观测结束后, 应检查 GNSS 外业观测手簿的内容, 并将点位保护好后方可迁站;

9 每日观测完成后, 应将全部数据双备份, 并应清空接收机存储器, 及时对数据进行处理, 剔除不合格数据。

5.3.15 观测记录整理应符合下列规定:

1 原始观测记录不应涂改、转抄和追记;

2 数据存储介质应贴标识, 标识信息应与记录手簿中的有关信息一一对应;

3 接收机内存数据转存过程中, 不应进行任何剔除和删改, 不应调用任何对数据实施重新加工组合的操作指令。

5.4 数据处理

5.4.1 城市二等 GNSS 网基线解算和平差宜采用高精度解算软件, 其他等级控制网可采用商用软件。

5.4.2 数据预处理应符合下列规定:

1 城市二等 GNSS 网应采用卫星精密星历解算基线, 其他等级控制网可采用卫星广播星历解算基线。

2 当使用不同型号的接收机共同作业时, 应将观测数据转换成标准格式后, 再进行统一的基线解算。

3 基线解算可采用多基线解或单基线解, 每个同步观测图形应选定一个起算点。起算点应按 CORS 站、已知点坐标和单点定位结果的先后顺序选择。

4 观测值应加入对流层延迟修正。对流层延迟修正模型中的气象元素可采用标准气象元素。

5 基线解算宜采用双差固定解。

6 处理结果中应包括相对定位坐标及其方差阵、基线及其

方差阵——协方差阵等平差所需的元素。

5.4.3 数据检验应符合下列规定：

- 1 同一时段观测值的数据剔除率不宜大于 20%；
- 2 复测基线的长度较差应满足下式的要求：

$$dS \leq 2\sqrt{2}\sigma \quad (5.4.3-1)$$

式中：dS——复测基线的长度较差。

3 采用同一种数学模型解算的基线，网中任何一个三边构成的同步环闭合差应满足下列公式的要求：

$$W_X \leq \frac{\sqrt{3}}{5}\sigma \quad (5.4.3-2)$$

$$W_Y \leq \frac{\sqrt{3}}{5}\sigma \quad (5.4.3-3)$$

$$W_Z \leq \frac{\sqrt{3}}{5}\sigma \quad (5.4.3-4)$$

$$W_S \leq \frac{3}{5}\sigma \quad (5.4.3-5)$$

$$W_S = \sqrt{W_X^2 + W_Y^2 + W_Z^2} \quad (5.4.3-6)$$

式中： W_X 、 W_Y 、 W_Z ——环坐标分量闭合差；

W_S ——环闭合差。

4 GNSS 网外业基线预处理结果，异步环或附和线路坐标闭合差应满足下列公式的要求：

$$W_X \leq 2\sqrt{n}\sigma \quad (5.4.3-7)$$

$$W_Y \leq 2\sqrt{n}\sigma \quad (5.4.3-8)$$

$$W_Z \leq 2\sqrt{n}\sigma \quad (5.4.3-9)$$

$$W_S \leq 2\sqrt{3n}\sigma \quad (5.4.3-10)$$

$$W_S = \sqrt{W_X^2 + W_Y^2 + W_Z^2} \quad (5.4.3-11)$$

式中： W_S ——环闭合差；

n ——闭合环边数。

5.4.4 数据检验中，当重复基线、同步环、异步环或附和路线

中的基线超限时,应舍弃基线后重新构成异步环,所含异步环基线数应符合本规范表 5.1.6 的规定,且闭合差应符合本规范第 5.4.3 条的规定,否则应进行重测。舍弃和重测的基线应分析,并应记录在数据检验报告中。

5.4.5 数据处理应符合下列规定:

1 无约束平差应符合下列规定:

- 1) 基线向量检核符合要求后,应以三维基线向量及其相应方差——协方差阵作为观测信息,并按基线解算时确定的一个点的地心系三维坐标作为起算依据,进行 GNSS 网的无约束平差。
- 2) 无约束平差应提供各点在地心系下的三维坐标、各基线向量、改正数和精度信息。
- 3) 无约束平差中,基线分量的改正数绝对值应满足下列公式的要求:

$$V_{\Delta X} \leq 3\sigma \quad (5.4.5-1)$$

$$V_{\Delta Y} \leq 3\sigma \quad (5.4.5-2)$$

$$V_{\Delta Z} \leq 3\sigma \quad (5.4.5-3)$$

式中: $V_{\Delta X}$ 、 $V_{\Delta Y}$ 、 $V_{\Delta Z}$ ——基线分量的改正数绝对值。

2 约束平差应符合下列规定:

- 1) 可选择国家坐标系或城市坐标系,对通过无约束平差后的观测值进行三维约束平差或二维约束平差。平差中,可对已知点坐标、已知距离和已知方位进行强制约束或加权约束。
- 2) 约束平差中,基线分量的改正数与经过剔除粗差后的无约束平差结果的同一基线相应改正数较差应满足下列公式的要求:

$$dV_{\Delta X} \leq 2\sigma \quad (5.4.5-4)$$

$$dV_{\Delta Y} \leq 2\sigma \quad (5.4.5-5)$$

$$dV_{\Delta Z} \leq 2\sigma \quad (5.4.5-6)$$

式中: $dV_{\Delta X}$ 、 $dV_{\Delta Y}$ 、 $dV_{\Delta Z}$ ——同一基线约束平差基线分量的改

正数与无约束平差基线分量的改正数的较差。

- 3) 当平差软件不能输出基线向量改正数时, 应进行不少于 2 个已知点的部分约束平差, 通过平差获得未参加约束已知点的平差坐标, 其点位变化相对于约束点的边长相对中误差不应低于本规范表 5.1.3 规定的上一等级控制网中最弱边相对中误差。

3 方位角应取位至 $0.1''$, 坐标和边长应取位至毫米。

5.4.6 测量成果输出宜包括相应坐标系中的三维或二维坐标、基线向量改正数、基线边长、方位角、转换参数及其精度等信息。

5.5 质量检查与技术总结

5.5.1 质量检查应包括下列内容:

- 1 使用仪器的精度等级、检定状态和检定记录;
- 2 控制点布设情况, 选埋资料的完整性;
- 3 外业观测资料中多余观测、各项限差、技术指标情况;
- 4 数据处理过程中, 数据录入、已知数据的使用, 各项限差、闭合差和精度统计情况;
- 5 记录完整性、准确性, 记录项目齐全性;
- 6 观测数据的各项改正是否齐全;
- 7 计算过程正确性、资料整理的完整性、精度统计和质量评定的合理性;
- 8 提交成果的正确性和完整性;
- 9 技术报告内容的完整性、统计数据的准确性、结论的可靠性。

5.5.2 各项工作完成后应编写项目技术总结, 技术总结应重点突出、文理通顺、表达清楚、结论明确。技术总结应包括下列内容:

- 1 测区概况, 自然地理条件等;

2 任务来源, 施测目的和基本精度要求, 测区已有测量情况;

3 施测单位, 施测起止时间, 技术依据, 作业人员情况, 接收设备类型与数量以及检验情况, 观测方法, 重测、补测情况, 作业环境, 重合点情况, 工作量与工日情况;

4 野外数据检核, 起算数据情况, 数据后处理内容、方法与软件情况;

5 外业观测数据质量分析与野外检核计算情况;

6 方案实施与规范执行情况;

7 提交成果中尚存或需要说明的问题;

8 各种附表与附图。

5.5.3 提交的成果资料应包括下列内容:

1 任务或合同书、技术设计书;

2 利用的已有成果资料情况;

3 仪器检校资料和自检原始记录;

4 点之记、外业原始观测记录、平差计算手簿 (含电子文档);

5 质量检查资料;

6 技术总结;

7 设计网图、观测网图、数据处理用图、成果图;

8 坐标、高程成果及注释资料。

6 城市 GNSS RTK 测量

6.1 一般规定

6.1.1 RTK 测量可采用单基站 RTK 测量和网络 RTK 测量两种方法进行。已建立 CORS 系统的城市,宜采用网络 RTK 测量。在困难地区,也可采用后处理动态测量的模式进行 RTK 测量。

6.1.2 GNSS RTK 平面测量按精度应划分为一级、二级、三级、图根和碎部。各等级的技术要求应符合表 6.1.2 的规定。

表 6.1.2 GNSS RTK 平面测量技术要求

等级	相邻点间 距离(m)	点位中误 差(cm)	边长相对 中误差	起算点 等级	流动站到单 基准站间距离 (km)	测回数
一级	≥ 500	5	$\leq 1/20000$	—	—	≥ 4
二级	≥ 300	5	$\leq 1/10000$	四等及以上	≤ 6	≥ 3
三级	≥ 200	5	$\leq 1/6000$	四等及以上	≤ 6	≥ 3
				二级及以上	≤ 3	
图根	≥ 100	5	$\leq 1/4000$	四等及以上	≤ 6	≥ 2
				三级及以上	≤ 3	
碎部	—	图上 0.5mm	—	四等及以上	≤ 15	≥ 1
				三级及以上	≤ 10	

注: 1 一级 GNSS 控制点布设应采用网络 RTK 测量技术;

2 网络 RTK 测量可不受起算点等级、流动站到单基准站间距离的限制;

3 困难地区相邻点间距离缩短至表中的 2/3, 边长较差不应大于 2cm。

6.1.3 利用 RTK 测量方法布设控制点时, 点位选择应符合本规范第 5.2.2 条的规定。

6.1.4 RTK 测量时, GNSS 卫星的状况应符合表 6.1.4 规定。

表 6.1.4 GNSS 卫星状况的基本要求

观测窗口状态	15°以上的卫星个数	PDOP 值
良好	≥ 6	< 4
可用	5	< 6
不可用	< 5	≥ 6

6.1.5 RTK 测量时, 开始作业或重新设置基准站后, 应至少在一个已知点上检核, 并应符合下列规定:

- 1 在控制点上检核, 平面位置较差不应大于 5cm;
- 2 在碎部点上检核, 平面位置较差不应大于图上 0.5mm。

6.1.6 利用已有 RTK 测设的控制点时, 应进行坐标或几何检核。

6.2 仪 器 设 备

6.2.1 RTK 测量接收设备应符合下列规定:

- 1 接收设备应包括双频接收机、天线和天线电缆、数据链设备、数据采集器等;
- 2 基准站设备应能发送 RTCM 标准格式差分数据;
- 3 流动站设备应能接收并处理标准差分数据;
- 4 宜选用固定误差不超过 10mm、比例误差系数不超过 2mm/km 的 RTK 接收机。

6.2.2 接收设备的检验, 除应符合本规范第 5.3.3 条的规外, RTK 测量前, 还宜进行下列检验:

- 1 基准站与流动站的数据链连通检验;
- 2 数据采集器与接收机的通信连通检验。

6.2.3 接收设备的维护应符合本规范第 5.3.10 条的规定。

6.3 单基站 RTK 测量

6.3.1 基准站设置应符合下列规定:

1 选点应符合本规范第 5.2.2 条的规定。

2 测前准备应符合本规范第 5.3.13 条的规定。

3 仪器对中、天线高的量取应符合本规范第 5.3.13 条的规定。接收机中的天线类型、天线高量取方式以及天线高量取位置等项目设置应和天线高量测时的情况一致。天线高的记录格式应符合本规范附录 J 的规定。

4 基准站的卫星截止高度角设置不应低于 10° 。

5 选择无线电台通信方法时，数据传输工作频率应按约定的频率进行设置。

6 仪器类型、测量类型、电台类型、电台频率、天线类型、数据端口、蓝牙端口等设备参数应在随机软件中正确选择。

7 基准站坐标、数据单位、尺度因子、投影参数和坐标转换参数等计算参数应正确输入。

6.3.2 RTK 观测准备应符合下列规定：

1 GNSS 天线、通信接口、主机接口等设备连接应牢固可靠；连接电缆接口应无氧化脱落或松动；

2 数据采集器、电台、基准站和流动站接收机等设备的工作电源应充足；

3 数据采集器内存或储存卡应有充足的存储空间；

4 接收机的内置参数应正确；

5 水准气泡、投点器和基座应符合作业要求；

6 天线高度设置与天线高的量取方式应一致。

6.3.3 坐标系统转换应符合下列规定：

1 所用已知点的地心坐标框架应与计算转换参数时所用心地心坐标框架一致；

2 已有转换参数时，可直接输入；

3 已有 3 个以上同时具有地心和参心坐标系的控制点成果时，可直接将坐标输入数据采集器，计算转换参数；

4 已有 3 个以上参心坐标系的控制点成果时，可采用直接输入参心坐标，并在控制点上采集地心坐标，计算转换参数；

- 5 计算转换参数的控制点应均匀分布在测区及周边;
- 6 平面坐标转换的残差绝对值不应超过 2cm。
- 6.3.4 在未知点上设置基准站进行 RTK 测量时,应符合下列规定:
 - 1 测区应至少有 3 个分布均匀的已知点;
 - 2 基准站点的等级应低于已知点等级;
 - 3 RTK 测量成果最高等级应定为图根级。
- 6.3.5 RTK 观测前设置的平面收敛阈值不应超过 2cm,垂直收敛阈值不应超过 3cm。
- 6.3.6 RTK 一测回观测应符合下列规定:
 - 1 观测前应对仪器进行初始化;
 - 2 观测值应在得到 RTK 固定解且收敛稳定后开始记录;
 - 3 每测回的自动观测个数不应少于 10 个观测值,并应取平均值作为定位结果;
 - 4 经度、纬度应记录到 0.00001",平面坐标和高程应记录到 0.001m。
- 6.3.7 测回间应对仪器重新进行初始化,测回间的时间间隔应超过 60s。
- 6.3.8 测回间的平面坐标分量较差不应超过 2cm,垂直坐标分量较差不应超过 3cm。应取各测回结果的平均值作为最终观测成果。
- 6.3.9 当初始化时间超过 5min 仍不能获得固定解时,宜断开通信链路,重新启动 GNSS 接收机,再次进行初始化。当重新启动 3 次仍不能获得固定解时,应选择其他位置进行测量。
- 6.3.10 进行后处理动态测量时,流动站应先在静止状态下观测 10min~15min,获得固定解,在不丢失固定解的前提下方可进行动态测量。
- 6.3.11 RTK 控制测量应符合下列规定:
 - 1 控制点应布设不少于 3 个或不少于 2 对相互通视的点;
 - 2 控制点测量应采用三角支架方式架设天线进行作业;测

量过程中仪器的圆气泡应严格稳定居中；

3 控制点应采用常规方法进行边长、角度或导线联测检核，导线联测应按低一个等级的常规导线测量的技术要求执行。RTK 平面控制点检核测量技术要求应符合表 6.3.11 的规定。

表 6.3.11 RTK 平面控制点检核测量技术要求

等级	边长检核		角度检核		导线联测检核	
	测距中误差(mm)	边长较差的相对中误差	测角中误差(″)	角度较差限差(″)	角度闭合差(″)	边长相对闭合差
一级	15	1/14000	5	14	$16\sqrt{n}$	1/10000
二级	15	1/7000	8	20	$24\sqrt{n}$	1/6000
三级	15	1/4000	12	30	$40\sqrt{n}$	1/4000
图根	20	1/2500	20	60	$60\sqrt{n}$	1/2000

注：表中 n 为测站数。

6.3.12 RTK 碎部测量应符合下列规定：

- 1 作业时，应采用带圆气泡的对中杆架设天线进行测量；
- 2 技术要求应符合本规范表 6.1.2 的规定；
- 3 作业前后应进行已知点检核，检核较差应符合本规范第 6.1.5 条的规定。

6.3.13 RTK 定桩应符合下列规定：

- 1 宜采用三脚支架方式架设天线，测量过程中仪器的圆气泡应稳定居中；
- 2 规划道路中线、建筑物边线测量定桩的起算点等级不应低于二级；
- 3 规划红线、拨地测量定桩的起算点等级不应低于三级；
- 4 作业前后应进行已知点检核，检核较差应符合本规范第 6.1.5 条的规定；
- 5 定桩点应按几何或重复测量等方法进行外业检核，检核

限差应符合现行行业标准《城市测量规范》CJJ 8 的规定。

6.4 城市网络 RTK 测量

6.4.1 网络 RTK 的用户应在城市 CORS 系统服务中心进行登记、注册，以获得系统服务的授权。

6.4.2 网络 RTK 测量应在 CORS 系统的有效服务区域内进行。

6.4.3 网络 RTK 测量应符合本规范第 6.3.2 条～第 6.3.11 条的规定。

6.4.4 网络 RTK 测量用于碎部、定桩测量时，应符合本规范第 6.3.12 条和第 6.3.13 条的规定。

6.5 数据处理与检验

6.5.1 应及时将外业采集的数据从数据采集器中导入计算机，并应进行数据备份、数据处理，同时应对数据采集器内存进行整理。

6.5.2 数据输出内容应包含点号、三维坐标、天线高、三维坐标精度、解的类型、数据采集时的卫星数、PDOP 值及观测时间等。

6.5.3 外业观测数据不得进行任何剔除、修改，应保存外业原始观测记录。

6.5.4 地心三维坐标成果可通过验证后的软件转换为参心坐标成果。

6.5.5 RTK 测量成果应进行 100% 的内业检查和 10% 的外业抽检。

6.5.6 内业数据检查应符合下列规定：

- 1 外业观测数据记录和输出成果内容应齐全、完整；
- 2 观测成果的精度指标、测回间观测值及检核点的较差应符合本规范第 6.3.5 条、第 6.3.8 条和第 6.1.5 条规定；
- 3 几何检核应符合本规范表 6.3.11 的规定。

6.5.7 外业检核点应均匀分布于作业区的中部和边缘。外业检

核可采用已知点比较法、重测比较法、常规测量方法等进行，并按下式计算检核点的平面点位中误差。

$$M_P = \sqrt{\frac{[dPdP]}{2N}} \quad (6.5.7)$$

式中： M_P ——检核点的平面点位中误差（cm）；

dP ——检核点两次测量平面点位的差值（cm）；

N ——检测点个数。

6.5.8 检核点位中误差 M_P 不应超过本规范表 6.1.2 的规定。

6.6 成果提交

6.6.1 RTK 测量完成后，宜提交下列成果：

- 1 技术设计书；
- 2 控制点测量示意图。

6.6.2 RTK 测量完成后，应提交下列成果：

- 1 外业观测数据记录文件；
- 2 单基站 RTK 测量起算点成果资料；
- 3 区域坐标转换精度分析；
- 4 测量成果表；
- 5 测量检核资料；
- 6 技术小结/总结。

7 城市 GNSS 高程测量

7.1 一般规定

7.1.1 GNSS 高程测量按作业过程应分为高程异常模型的建立、GNSS 测量和数据处理。高程异常模型可利用已有模型。

7.1.2 GNSS 高程测量按精度等级划分为四等、图根和碎部。高程异常模型内符合中误差（简称模型内符合中误差）、高程中误差、检测较差不应超过表 7.1.2 的规定。

表 7.1.2 GNSS 高程测量主要技术要求 (cm)

地形 等级	平地、丘陵			山 地		
	模型内符合 中误差	高程 中误差	检测 较差	模型内符合 中误差	高程 中误差	检测 较差
四等	2.0	3.0	6.0	—	—	—
图根	3.0	5.0	10.0	4.5	7.5	15.0
碎部	10.0	15.0	30.0	15.0	22.5	45.0

7.1.3 GNSS 高程测量可与 GNSS 控制测量同时进行，也可单独进行。

7.1.4 GNSS 高程测量时，应至少联测一个已知高程控制点进行检核，较差应符合本规范表 7.1.2 的规定。

7.2 技术要求

7.2.1 高程异常模型应利用 GNSS 测量、水准测量、重力测量、地形测量及重力场模型等资料，按物理大地测量计算方法获得。在区域面积小、地形平坦及重力异常变化平缓地区，可利用水准测量和 GNSS 测量资料，通过数学拟合方法，获取该区域的高程异常模型。

7.2.2 GNSS 水准点的布设应符合下列规定：

- 1** 点位应均匀分布于测区范围内；
 - 2** 平原地区点间距不宜超过 5km；
 - 3** 地形起伏大时，应按测区地形特征增加点位；
 - 4** 点位选取应符合本规范第 5.2.2 条和现行行业标准《城市测量规范》CJJ 8 中高程控制点的规定；
 - 5** 计算选取的拟合点数不应少于 5 个。
- 7.2.3 GNSS 水准点观测技术要求应符合表 7.2.3 的规定。**

表 7.2.3 GNSS 水准点观测技术要求

等 级	水准联测等级	GNSS 联测等级
图根	四等	四等
碎部	图根	一级

7.2.4 GNSS 水准点的数据处理应符合本规范第 5.4 节和现行行业标准《城市测量规范》CJJ 8 中有关高程测量数据处理的规定。

7.2.5 采用数学拟合法建立高程异常模型时，应根据拟合区域的面积、地形、区域和地质情况，选择合适的数学模型。

7.2.6 新建立高程异常模型应进行 GNSS 测量高程中误差检测。检测应符合下列规定：

1 检测点应均匀分布于拟合区域，且应位于拟合点间的中部并能反映地形特征。检测点数不应少于拟合点总数的 15%，且不应少于 5 个点；

2 点位选取应符合本规范第 5.2.2 条和现行行业标准《城市测量规范》CJJ 8 中高程控制点的选点规定；

3 观测及数据处理应符合本规范第 7.2.3 条和第 7.2.4 条中水准联测的规定。

7.2.7 GNSS 高程测量应符合下列规定：

1 GNSS 高程测量选点应符合本规范第 5.2.2 条的规定，可采取埋设永久测量标志、实地标注点位等方法设置测量点；

2 GNSS 高程测量的技术要求应符合表 7.2.7 的规定；

表 7.2.7 GNSS 高程测量的技术要求

等级	观测方法	GNSS 观测等级
四等	静态	四等
图根	静态/RTK	二级
碎部	静态/RTK	三级

3 宜选用固定误差不超过 20mm、比例误差系数不超过 2mm/km 的 RTK 接收机；

4 采用静态观测方法时，布网、观测、已知点联测和数据处理应符合本规范第 5 章的规定；

5 采用 RTK 观测方法时，选点、观测和数据处理及检验应符合本规范第 6 章的规定。

7.2.8 GNSS 高程测量应在高程异常模型覆盖区域内进行，不应外扩。

7.3 数据处理与检验

7.3.1 采用 GNSS 静态观测方法时，数据处理应符合本规范第 5.4 节的规定。采用 RTK 观测方法时，数据处理应符合本规范第 6.5 节的规定。

7.3.2 水准测量的数据处理应符合现行行业标准《城市测量规范》CJJ 8 中高程控制测量的规定。

7.3.3 GNSS 高程测量成果应按已确定的区域高程异常模型进行正常高程计算。

7.3.4 新建立的高程异常模型应进行模型内符合中误差计算，并应符合本规范表 7.1.2 的规定。模型内符合中误差 m_H 应按下式计算：

$$m_H = \sqrt{\frac{[dHdH]}{n-1}} \quad (7.3.4)$$

式中： m_H ——高程异常模型内符合中误差（cm）；

dH ——拟合点水准高程与模型计算高程的差值 (cm);

n ——参与拟合的点数。

7.3.5 新建立的高程异常模型应进行模型外符合高程中误差计算, 并应符合本规范表 7.1.2 中高程中误差的规定。外符合高程中误差 M_H 应按下式计算:

$$M_H = \sqrt{\frac{[dHdH]}{N}} \quad (7.3.5)$$

式中: M_H ——外符合高程中误差 (cm);

dH ——检测点水准高程与 GNSS 测量高程的差值 (cm);

N ——检测点数。

7.3.6 GNSS 高程测量工作完成后, 应进行 100% 的内业检查和 10% 的外业同精度检测。内业检查应符合本规范第 6.5.6 条的规定。外业抽检可采取水准测量、光电测距三角高程测量或 GNSS 测量方法进行。

7.3.7 采用水准或光电测距三角高程检测时, 应至少联测一个已知高程点, 并应符合现行行业标准《城市测量规范》CJJ 8 的规定; 采用 GNSS 测量检测时, 应符合本规范第 5 章、第 6 章的规定。

7.3.8 采用 GNSS 方法进行高程检测时, 检测较差不应超过本规范表 7.1.2 的规定; 采用水准或光电测距三角高程检测时, 检测较差不应超过表 7.3.8 的规定。

表 7.3.8 GNSS 高程测量检测较差 (mm)

等级	四 等	图 根		碎 部	
方法	四等及以上水准	图根水准	三角高程	三角高程	水准
检测较差	$30\sqrt{L}$	$60\sqrt{L}$	$0.4S$	300	

注: 1 L 为水准检测线路长度, 以公里为单位。小于 0.5km 的, 按 0.5km 计;

2 S 为三角高程边长, 以米为单位;

3 在山区, 上述限差可放宽 1.5 倍;

4 在山区, 可采用四等电磁波测距三角高程检测。

7.3.9 GNSS 高程测量检测时, 高程中误差 M_H 应符合本规范

表 7.1.2 的规定，并按下式计算：

$$M_H = \sqrt{\frac{[dHdH]}{2N}} \quad (7.3.9)$$

式中： M_H ——检测高程中误差（cm）；

dH ——检测点两次测量高程的差值（cm）；

N ——检测点数。

7.3.10 新建立的高程异常模型外符合高程中误差的计算可与 GNSS 高程测量检测高程中误差的计算进行统一设计、一次完成。

7.4 成果提交

7.4.1 GNSS 高程测量完成后，宜提交下列成果：

- 1 技术设计书；
- 2 仪器鉴定资料；
- 3 控制点示意图。

7.4.2 GNSS 高程测量完成后，应提交下列成果：

- 1 起算点成果资料；
- 2 外业观测原始记录文件；
- 3 平差计算文件；
- 4 高程异常模型及精度评定；
- 5 测量成果表；
- 6 技术总结。

附录 A 地球椭球和参考椭球的基本几何参数

表 A 地球椭球和参考椭球的基本几何参数

项 目	地 球 椭 球	参 考 椭 球	
坐标系 参数名称	2000 国家 大地坐标系	1980 西安坐标系	1954 年北京坐标系
长半轴 a (m)	6378137	6378140	6378245
短半轴 b (m)	6356752.3141	6356755.2882	6356863.0188
扁率 α	1/298.257222101	1/298.257	1/298.3
第一偏心率平方 e^2	0.00669438002290	0.00669438499959	0.006693421622966
第二偏心率平方 e'^2	0.00673949677548	0.00673950181947	0.006738525414683

附录 B CORS 站点之记

表 B CORS 站点之记

站名		编号		等级			
所在图幅				点位略图			
概略位置	B=	L=	H=	N ↑ 单位：m 比例尺：			
所在地							
最近住所							
供电情况							
选点者		选点日期					
单位							
点位环视图说明				点位环视图			
埋石者		埋石日期					
单位							
标石类型							
标石断面图							
				交通路线图			
				N ↑ 比例尺：			
托管单位							
托管人		电话					

附录 C CORS 站观测墩埋设及规格

C.0.1 基岩观测墩的埋设及规格应符合下列规定（图 C.0.1）：

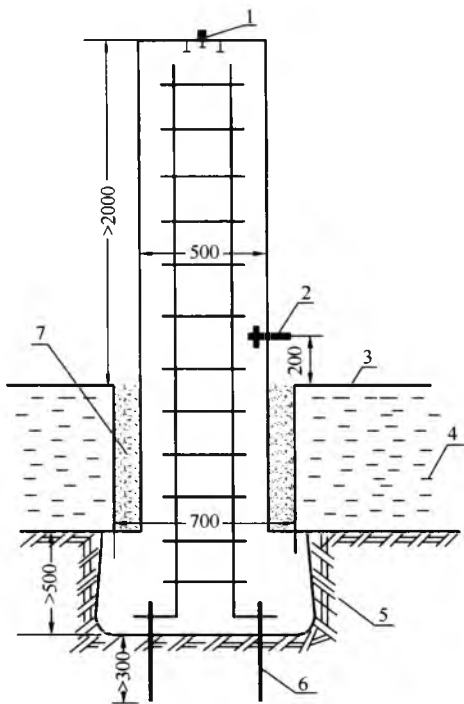


图 C.0.1 基岩观测墩（单位：mm）

1—强制对中标志；2—水准标志；3—地面；4—土层；

5—基岩层；6—直径为 20mm 的钢筋；7—隔振槽

1 基岩观测墩应由盘石和柱石两部分组成，基础应与基岩紧密浇筑，盘石埋置在基岩内的深度不得少于 500mm，四角钢筋锚入基岩内的长度不得少于 300mm；

四周应有不少于 100mm 宽的隔振槽，隔振槽内应填粗砂。

C.0.3 屋顶观测墩的埋设及规格应符合下列规定（图 C.0.3）：

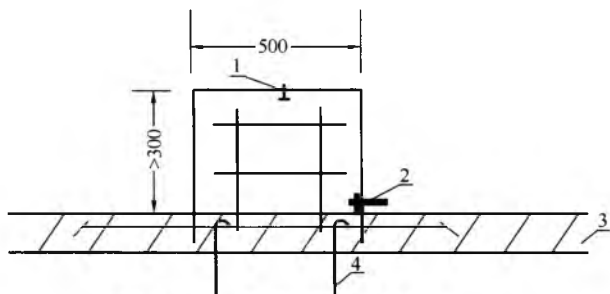


图 C.0.3 屋顶观测墩（单位：mm）

1—强制对中标志；2—水准标志；3—建筑物；4—建筑物主承重柱

1 屋顶观测墩应建在建筑物主承重柱上，观测墩的内部钢筋应与建筑物主承重结构连接；

2 屋顶观测墩的直径宜为 500mm，观测墩距离屋顶的高度不应少于 300mm。

C.0.4 观测墩配筋应符合下列规定（图 C.0.4）：

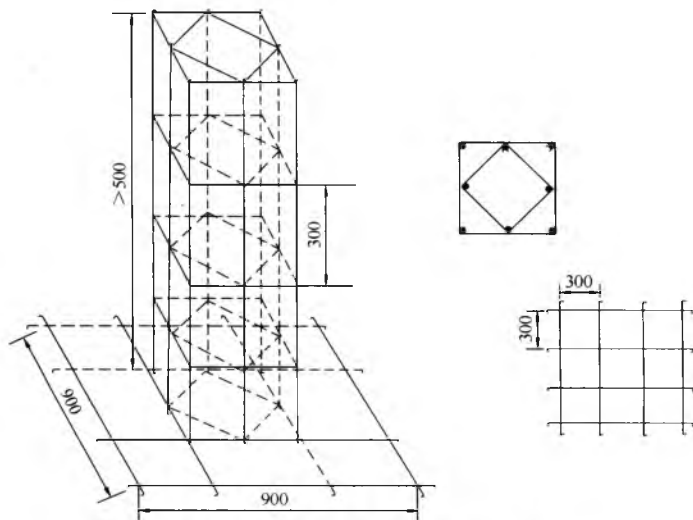


图 C.0.4 观测墩配筋（单位：mm）

1 观测墩中的柱石纵向钢筋的长度不应少于 500mm，箍筋与箍筋之间的距离宜为 300mm；盘石钢筋的长度宜为 900mm，间隔宜为 300mm；

2 观测墩中的纵向钢筋应采用直径不小于 10mm 的螺纹钢，箍筋应采用直径不小于 6mm 的普通钢筋。混凝土保护层的厚度不应小于 7mm。观测墩应采用钢筋混凝土现场浇筑的方法施工。

C.0.5 配制混凝土应符合下列规定：

1 配制混凝土所用材料应符合下列规定：

- 1) 水泥的强度等级不应低于 42.5。在北方地区宜使用普通硅酸盐水泥；在南方地区宜使用矿渣水泥或火山灰水泥，不宜使用粉煤灰水泥；在受盐碱、海水或工业污水侵蚀地区，宜使用抗硫酸盐水泥；在沙漠、戈壁等干燥地区，不宜使用火山灰水泥；
- 2) 石子应采用级配合格的 5mm~40mm 的天然卵石或碎石；砂宜采用中砂；砂、石质量应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定；
- 3) 混凝土拌合用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定；
- 4) 外加剂可根据施工环境选用，其质量应符合国家现行有关标准的规定；不应使用含氯盐的外加剂。

2 混凝土的配合比宜为水：水泥：砂：石子=0.6：1：2.3：4.2。

C.0.6 混凝土施工应符合下列规定：

- 1 浇灌标石时，应逐层充分振捣密实；
- 2 气温等于或低于 0℃时，应加入防冻剂，且拆模时间不得少于 24h；气温高于 0℃时，拆模时间不得少于 12h。

附录 D 通信设备登记表

表 D 通信设备登记表

安装人：	日期：	年 月 日 时
安装地点：		
设备编号：		
设备名称：		
设备型号：		
设备 ID 号：		
设备功率：	电压（电流）：	
设备完好性检查：		
功能描述：		
备注：		

注：表中设备编号是资产管理部门为设备管理按一定规则为该设备所做的序号；
设备 ID 号是设备出厂时的唯一识别号。

附录 E 系统维护日志表

表 E 系统维护日志表

时间： 年 月 日 时 分

责任人：

维护内容 维护项目	正常性监测	故障描述	故障分析处理	说明
系统软件	☐ 正常 ☐ 异常			
CORS 系统	☐ 正常 ☐ 异常			
参考站卫星解算	☐ 正常 ☐ 异常			
数据存储	☐ 正常 ☐ 异常			
参考站坐标监测	☐ 正常 ☐ 异常			
数据分发服务系统	☐ 正常 ☐ 异常			
相关硬件设备	☐ 正常 ☐ 异常			
其他				

- 注：1 检查系统软件工作是否正常，是否自动更新星历数据。
- 2 CORS 系统各参考站通信连接情况，通信延时大于 10s 以上，即为异常。
- 3 解算卫星数是否多于 5 颗（正常），检查电离层等可能影响卫星接收状况的因素。
- 4 数据存储包括各参考站自身数据存储和控制中心数据存储，检查是否有丢失历元的情况。
- 5 若坐标变化量超过规定要求时，即视为异常情况。
- 6 数据分发系统包括实时原始数据流分发和差分数据分发，有拨号服务系统的还需检查拨号服务系统。
- 7 检查工作站服务器、UPS 等硬件设备是否有报警出错信息。

附录 F GNSS 控制点的标志、标石和造埋规格

F.0.1 GNSS 控制点的标志应符合下列规定 (图 F.0.1):

1 GNSS 控制点标志宜为不锈钢材质, 并应同时符合平面、高程测量的要求;

2 标志顶部应为圆球状, 直径为 20mm, 并应高出标石面 5mm; 标志上部宜为圆台状, 上圆直径宜为 50mm, 下圆直径宜为 60mm, 高度宜为 10mm;

3 标志下部宜为圆柱状, 圆直径宜为 40mm, 高度宜为 10mm; 圆台与圆柱之间的长度宜为 50mm。

F.0.2 普通地面标石造埋规格应符合下列规定 (图 F.0.2):

1 普通地面标石由盘石和柱石两部分组成, 柱石顶部边长宜为 250mm, 底部边长宜为 400mm, 高度宜为 400mm; 盘石边长宜为 700mm, 高度宜为 200mm; 普通地面标石顶部宜为地面下 300mm;

2 标石应采用直径不小于 6mm 的钢筋, 混凝土保护层的厚度不应小于 7mm, 浇筑钢筋混凝土应符合本规范第 C.0.5 条、第 C.0.6 条的规定;

3 柱石底盘的钢筋应与盘石钢筋相连。

F.0.3 岩层墩标造埋规格应符合下列规定 (图 F.0.3):

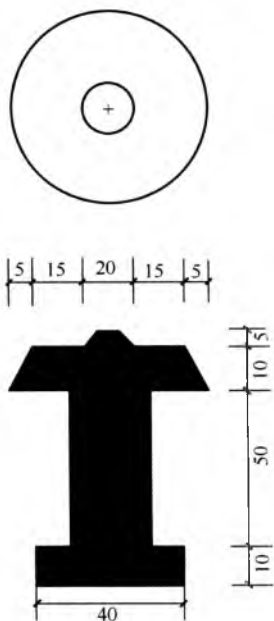


图 F.0.1 GNSS
控制点标志

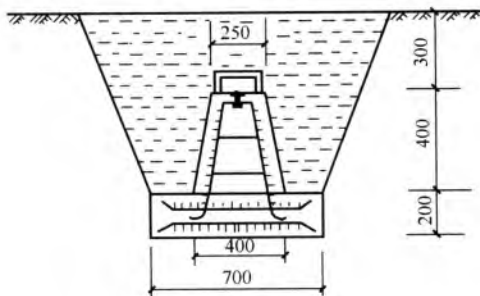


图 F.0.2 普通地面标石埋设

1 岩层墩标应由盘石和柱石两部分组成，盘石的边长宜为 700mm，高度宜为 500mm；柱石的直径宜为 500mm，高度宜为 800mm；

2 浇筑钢筋混凝土观测墩应符合本规范第 C.0.4 条～第 C.0.6 条的规定。

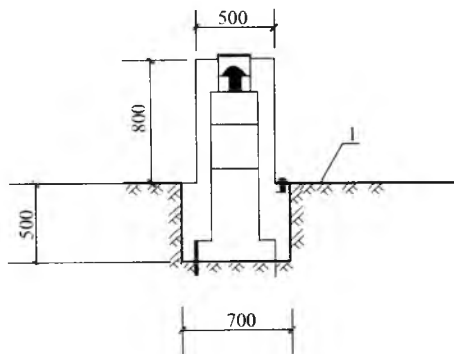


图 F.0.3 岩层墩标埋设

1—基岩面

F.0.4 土层墩标造埋规格应符合下列规定（图 F.0.4）：

1 土层墩标应由盘石和柱石两部分组成，盘石的边长宜为 1200mm，高度宜为 300mm；柱石直径宜为 500mm；土层墩标埋深不应小于 1400mm，冻土线以下不少于 600mm；土层墩标

高出地面宜为 800mm，水准标志宜为地面下 200mm；

2 浇筑钢筋混凝土观测墩宜符合本规范第 C.0.4 条～第 C.0.6 条的规定。

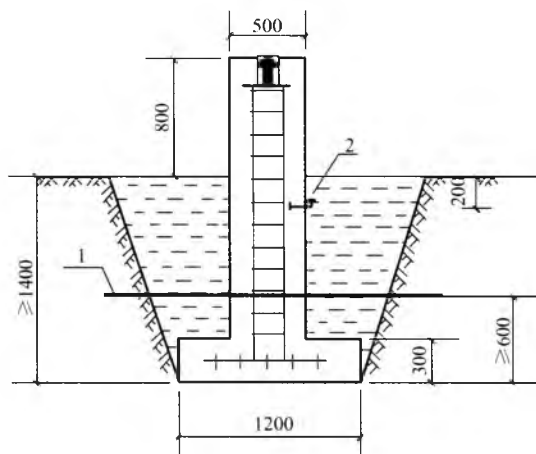


图 F.0.4 土层墩标埋设

1—冻土线；2—水准标志

F.0.5 楼顶墩标造埋规格应符合下列规定（图 F.0.5）：

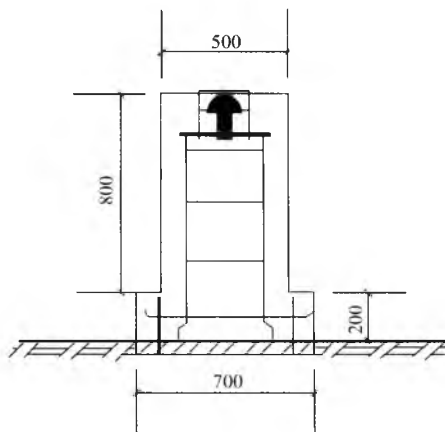


图 F.0.5 楼顶墩标埋设

1 楼顶墩标应由盘石和柱石两部分组成，盘石的边长宜为 700mm，高度宜为 200mm；柱石直径宜为 500mm，高度宜为 800mm；

2 浇筑钢筋混凝土观测墩应符合本规范第 C.0.4 条～第 C.0.6 条的规定。

F.0.6 一二级控制点预制混凝土标石造埋规格应符合下列规定 (图 F.0.6)：

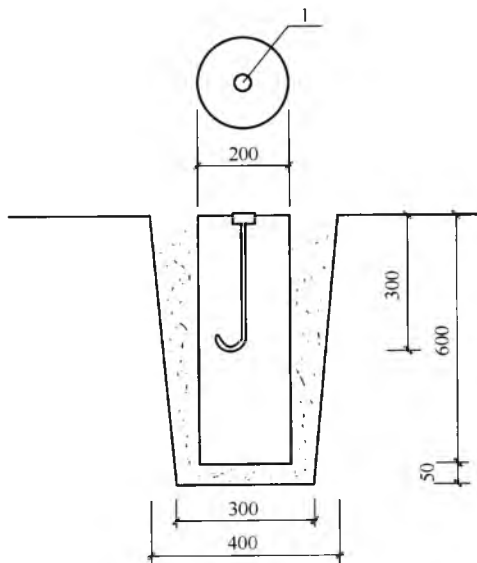


图 F.0.6 一二级控制点预制混凝土标石埋设

1—直径为 1mm 的铜芯

1 一二级控制点预制混凝土标石中心标志宜采用直径为 1mm 的铜芯，标志顶部应为圆球状，并应高出标石面，标志的长度宜为 300mm；

2 标石的直径宜为 200mm，标石的长度宜为 600mm；标石应采用直径不小于 6mm 的钢筋，混凝土保护层的厚度不应小于 7mm，浇筑钢筋混凝土应符合本规范第 C.0.5 条、第 C.0.6 条

的规定；

3 标石埋设的底部边长宜为 300mm，顶部边长宜为 400mm，标石底部应填充 50mm 厚的混凝土。

F.0.7 一二级控制点现场浇筑标石造埋规格宜符合下列规定 (图 F.0.7)；

1 一二级控制点现场浇筑标石中心标志宜采用直径为 1mm 的铜芯，标志顶部应为圆球状，圆球直径宜为 50mm，并应高出标石面，标志的长度宜为 300mm；

2 现场浇筑钢筋混凝土应符合本规范第 C.0.5 条、第 C.0.6 条的规定；

3 标石埋设的直径宜为 150mm，深度宜为 250mm。

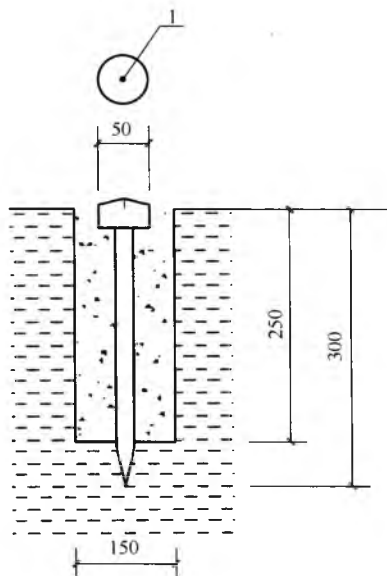


图 F.0.7 一二级控制点现场浇筑埋设

1—直径为 1mm 的铜芯

附录 G GNSS 控制点点之记

表 G GNSS 控制点点之记

等级		点名		点号		所在图幅	
概略经度			概略纬度			概略高程	
所在地							
标石类型				标石质料			
详细位置图				标石断面图			
点位详细说明							
交通线路图				交通情况			
托管单位						保管人	
选点者		埋石者		绘图者			
选点日期		埋石日期		绘图日期			
备注							

附录 H GNSS 外业观测手簿

表 H GNSS 外业观测手簿

观 测 者	日期 年 月 日	
测 站 名	测站号	时段号
本测站为：已知点 ☐ 待定点 ☐		
记录时间：北京时间 ☐ UTC ☐ 区时 ☐		
开机时间：		结束时间：
接收机号：		天线号：
天线高：(m) 1. 2. 3. 平均值		
备注：		

附录 J GNSS RTK 基准站外业观测手簿

表 J GNSS RTK 基准站外业观测手簿

观 测 者	日期	年	月	日
测 站 名	测站号			
基准站为：_____等控制点 _____级控制点				
记录时间：北京时间 ☐ UTC ☐ 区时 ☐				
开机时间：		结束时间：		
接收机号：		天线号：		
天线高：(m) 1. 2. 3. 平均值				
电台型号：		电台功率：		电台频率：
备注：				

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应按……执行”或“应符合……的规定”。

引用标准名录

- 1 《建筑物防雷设计规范》GB 50057
- 2 《电子信息系统机房设计规范》GB 50174
- 3 《电子设备雷击试验方法》GB/T 3482
- 4 《建筑变形测量规范》JGJ 8
- 5 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 6 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 7 《城市测量规范》CJJ 8
- 8 《全球定位系统(GPS)测量型接收机检定规程》CH 8016
- 9 《全球定位系统(GPS)接收机(测地型和导航型)校准规范》JJF 1118
- 10 《钢卷尺检定规程》JJG 4
- 11 《全站型电子速测仪检定规程》JJG 100
- 12 《光学经纬仪检定规程》JJG 414

中华人民共和国行业标准

卫星定位城市测量技术规范

CJJ/T 73 - 2010

条文说明

修 订 说 明

《卫星定位城市测量技术规范》CJJ/T 73-2010，经住房和城乡建设部于2010年3月15日以第512号公告批准、发布。

本规范是在《全球定位系统城市测量技术规程》CJJ 73-97的基础上修订而成。上一版的主编单位是北京市测绘设计研究院，参编单位是武汉测绘科技大学、同济大学、清华大学、南京市测绘研究院、长沙市勘察测绘研究院、青岛市勘察测绘研究院。主要起草人：洪立波、刘大杰、金善焜、孟庆遇、刘经南、过静珺、刘长春、蒋达善。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《卫星定位城市测量技术规范》编制组按照章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。在使用中如果发现本条文说明有不妥之处，请将意见函寄北京市测绘设计研究院。

目 次

1	总则	69
2	术语和符号	71
3	坐标系统和时间	72
3.1	坐标系统	72
3.2	时间	75
4	城市 CORS 系统建设	77
4.1	一般规定	77
4.2	CORS 网布设	79
4.3	CORS 站建设	79
4.4	通信网络建设	80
4.5	管理中心建设	81
4.6	服务中心建设	82
4.7	坐标联测及数据处理	82
4.8	CORS 系统测试	83
4.9	成果提交	86
4.10	系统维护	86
5	城市 GNSS 控制网建设	87
5.1	一般规定	87
5.2	选点及埋石	91
5.3	GNSS 测量	93
5.4	数据处理	99
5.5	质量检查与技术总结	107
6	城市 GNSS RTK 测量	108
6.1	一般规定	108
6.2	仪器设备	109

6.3	单基站 RTK 测量	110
6.4	城市网络 RTK 测量	113
6.5	数据处理与检验	113
6.6	成果提交	114
7	城市 GNSS 高程测量	115
7.1	一般规定	115
7.2	技术要求	117
7.3	数据处理与检验	123
7.4	成果提交	124

1 总 则

1.0.1 本条规定了本规范的制定目的。城市控制网的建立是城市测量的基础工作和重要内容。过去一直采用传统的大地测量技术方法和手段建立城市控制网。随着空间技术的发展,以卫星为基础的全球导航定位系统,即 GNSS 技术成为最新的空间定位技术。该系统具有全球性、全天候、高效率、多功能、高精度的特点,在用于大地定位时,测站间不要求互相通视,无需造标,不受天气条件影响,同时可获得三维坐标。该技术的应用导致传统测量的布网方法、作业手段和内外作业程序发生了根本性的变革,为城市测量提供了一种崭新的技术手段和方法。它将以高速度、高精度、低成本为城市建设服务,快速、及时、准确地为城市规划、建设和管理提供测绘保障。GNSS 技术发展迅速,早在 20 世纪 80 年代只有美国 GPS 卫星定位系统,90 年代又有俄罗斯 GLONASS 卫星定位系统,当前又将出现欧盟 GALILEO 卫星定位系统以及我国北斗定位系统。虽然目前实际广泛应用的还是 GPS 卫星定位系统,但由于有多个卫星系统并重发展,因此接收机也逐渐向多星座、多频接收机方向发展。现在已有 GPS/GLONASS 兼容双频高精度接收机以及 GPS 和 EGNOS 广域差分兼容接收机,2005 年又出现了 GPS/GLONASS/GALILEO 三系统兼容三频共 72 个通道的卫星接收 OEM 板。随着定位技术的发展,GNSS 定位也出现了多种作业方法,如静态、快速静态、RTK、网络 RTK 等方法。原来的《全球定位系统城市测量技术规程》已不能满足技术发展的要求,因此,对其进行了一次全面的修订,增加和补充了已发展成熟的新技术和新经验,调整和删除了一些已不适应的内容,并与有关规范进行了协调。

1.0.2 本条规定了本规范的适用的范围。随着 GNSS 技术的快

速发展，RTK 和网络 RTK 技术的广泛应用，使得卫星定位技术不仅可以用静态定位的方法进行高精度城市控制网建设，还可以用动态定位的方法进行快速的、低精度的控制网测量以及工程测量和地形测量。同时，还可以根据需要用静态、动态结合的方法用于形变测量，使 GNSS 定位技术发挥更大的作用，以多、快、好、省的原则为城市建设提供服务保障。

1.0.3 本条规定了卫星定位城市测量的基本内容。各城市可以根据各自城市经济和技术发展的状况以及实际需要与可能，统筹考虑卫星定位技术的应用。从技术发展的角度考虑，有条件的城市最好完成 CORS 系统建设，辅助布设适当密度的常规 GNSS 网，为卫星定位技术在城市测量的应用提供坚实的基础。

1.0.6 本条规定了本规范与相关规范的关系。本规范是城市测量范围内的专业技术标准，直接为城市测量各专业提供基础服务或技术支撑。本规范与现行其他城市测量技术标准紧密相关，同时与目前的 GNSS 测量也相互联系。所以，本条明确规定，城市 GNSS 定位测量应符合本规范外，还应符合国家现行有关标准、规范的规定。

2 术语和符号

本章主要对本规范中使用的术语和符号进行了说明，以便于理解和使用。

术语和符号主要是按卫星定位测量的特点、技术的发展及实际习惯应用来定义的，删除了一些不准确或修编过程中不适用的定义，如“GPS”、“独立观测环”、“单差”、“双差”和“三差”等，增加了新内容需要的定义，如“GNSS 高程测量”、“CORS 系统”和“高程异常”等。

3 坐标系统和时间

3.1 坐标系统

3.1.1 本条阐明了城市 GNSS 测量采用的坐标系。它是描述和测定空间或地面一点位置及其运动状况的基础，同一个点的位置及其运动状况在不同的坐标系中，它所表示的结果是不同的，理想的坐标系是坐标原点能在空间保持不动或作匀速直线运动，而坐标轴的相互关系又能在空间保持不变。2000 国家大地坐标系（CGCS 2000）已发布启用，它符合上述条件，并与目前国际上通用的国际地球参考框架（ITRF）保持一致。所以，GNSS 测量采用了这种坐标系。在国家 CGCS 2000 坐标系尚未采用前，GNSS 测量采用的是国际地球参考框架（ITRF）。当前，我国大部分地方还沿用参心坐标系，为了便于坐标系转换，在附录 A 中列出各坐标的地球椭球和参考椭球基本几何参数供使用。但在一定时间应逐步把原各参心坐标系转到国家 CGCS 2000 坐标系，以适应 GNSS 测量的需要。

3.1.2 本条规定了城市 GNSS 测量进行投影变换应有的技术参数要求。国家 CGCS 2000 坐标系属地心坐标系，我国各城市多采用统一的高斯 3°带或高斯任意带投影，以及其他的独立坐标系，当 GNSS 测量提供地方独立坐标系，需提供必要的地球元素参数，方能保证坐标转换的精度。

3.1.3 本条规定了城市 GNSS 网平面坐标转换的技术要求。城市 GNSS 网布设的目的大多为扩大控制网面积，提高原地面网的精度。多数城市原控制网建于 20 世纪五六十年代，限于当时技术水平和技术条件，一方面采用的投影方法存在一些缺陷；另一方面，城市网要求根据平面控制网控制点坐标反算的边长与实际测量边长尽可能相符，也就是要求控制网边长归算到参考椭球

体面上（即平均海面上）的高程归化和高斯正形投影的距离改化为总和（即长度变形）限制在 $\leq 1/40000$ （即 2.5cm/km）数值内，才能满足城市 1:500 比例尺测图和市政工程施工放样的需要。所以本规范作统一坐标系的规定，在进行 GNSS 测量的同时，一并解决历史遗留问题，以获取高精度的测量成果。

直角坐标系间相互转换常用方法包括相似变换法、多项式拟合和多元回归模型法、相似变换与多项式综合法和建立在过渡坐标系基础上改进的相似变换模型等。

1 相似变换法

1) Bursa 7 参数空间模型

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} + (1+m) \begin{bmatrix} 1 & \epsilon_Z & -\epsilon_Y \\ -\epsilon_Z & 1 & \epsilon_X \\ \epsilon_Y & -\epsilon_X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中： $[\Delta X_0 \ \Delta Y_0 \ \Delta Z_0]^T$ ——3 个平移参数；

$[\epsilon_X \ \epsilon_Y \ \epsilon_Z]^T$ ——3 个旋转参数；

m ——1 个尺度参数。

2) 3 参数空间模型

3 参数模型是 7 参数模型的特殊形式，只有平移参数。

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

3) 平面 4 参数

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + (1+m) \begin{bmatrix} \cos \vartheta & -\sin \vartheta \\ \sin \vartheta & \cos \vartheta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

2 多项式拟合法

$$\begin{aligned} dX(dY \text{ 或 } dZ) = & L_0 + L_1U + L_2V + L_3W + L_4U^2 + L_5V^2 \\ & + L_6W^2 + L_7UV + L_8UW + L_9VW + \cdots \end{aligned} \quad (4)$$

$$U = (X_i - X_k) \quad (5)$$

$$V = (Y_i - Y_k) \quad (6)$$

$$W = (Z_i - Z_k) \quad (7)$$

式中： X_k 、 Y_k 、 Z_k ——参考点坐标或为大地原点坐标；

L_1 、 L_2 、 $\dots$ ——待求多项式系数。

使用多项式拟合利用多个公共点坐标，采用最小二乘求解，公共点应分布均匀，变化平缓，模型不能用于外推计算，适合于低精度到高精度控制网之间的转换。

3 多元回归模型法

$$dx(\text{或 } dy) = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2 + \dots \quad (8)$$

$$x = k(B - B_0) \quad (9)$$

$$y = k(L - L_0) \quad (10)$$

式中： x 、 y ——原坐标系下已知点坐标，以度为单位；

B_0 、 L_0 ——参考点纬度、经度；

k ——尺度系数，通常取 2~3 倍度化弧度常数；

b_0 、 b_1 、 $b_2 \dots$ ——待求系数。

使用该模型利用多个公共点坐标，采用最小二乘求解，公共点应分布均匀，变化平缓，适合于大区域、低精度到高精度控制网之间的转换。

4 相似变换与多项式综合法

该方法模型就是使用前述相似变换模型进行坐标系间的相似变换，相似变换后公共点残差采用多项式模型进行拟合计算。

5 建立在过渡坐标系基础上改进的相似变换模型

该方法顾及了平面与高程方向精度不匹配造成的坐标变换影响，利用过渡坐标系（站心系）将平面与高程方向的变量进行分离，改进相似变换的数学模型。

将原有空间坐标系按下式进行变换，得到该点的站心系下坐标，旋转矩阵为：

$$\begin{aligned}
 R_i &= R_y(-90 - B_i)R_z(L_i) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} -\sin B_i \cos L_i & -\sin B_i \sin L_i & \cos B_i \\ -\sin L_i & \cos L_i & 0 \\ \cos B_i \cos L_i & \cos B_i \sin L_i & \sin B_i \end{bmatrix} \quad (11)
 \end{aligned}$$

使用上述旋转矩阵，把各公共点变换到站心系下，按 7 参数模型组成方程组求解，可以根据公共点只有平面坐标或部分点有高程，对方程组进行取舍，比较灵活。

3.1.4 本条规定了城市 GNSS 网高程转换的高程系统要求。GNSS 测量的高程值是相对于参考椭球的大地高，而实际应用的正常高或海拔高是相对于大地水准面，即要把大地高转换为正常高，因此要进行水准联测，以便转换。在联测时，联测点分布要均匀。1985 国家高程基准青岛原点高程为 72.260m；1956 年黄海高程系统青岛原点高程为 72.289m。

3.2 时 间

3.2.1 本条规定了 GNSS 测量原始观测值的时间记录要求。GNSS 测量是根据 GNSS 定位卫星在任一时刻的空间坐标来确定地面位置的一种方法。如果时间不准确，卫星在空间的坐标也算不准确，用不准确的卫星位置来确定地面点的位置，当然也不会准确。目前有 GPS 定位系统、GLONASS 定位系统正在提供定位服务，将来还会有 GALILEO 定位系统、中国的北斗定位系统，因此在 GNSS 测量时原始观测值记录应采用相应系统的系统时间，保证在数据处理时，使用正确的系统时间。

3.2.2 时间在 GNSS 测量中是一个非常重要的基本量，因此，所使用的时间是否合适和精确，将直接影响 GNSS 测量成果的精度。时间需要有一定的起算点和单位。计时系统有多种，由于协调世界时（UTC）精度高且稳定，故 GNSS 测量时通常统一采用协调

世界时 (UTC) 作为计时方法。北京标准时 (BST) 是我国采用的时间系统, 符合我国的时间概念、使用方便。若统一采用北京标准时 (BST) 时间记录时, 两者可用 $BST = UTC + 8h$ 式换算, 此时应注意日期变化, 如某日 UTC 时间为 20 : 00, 换算后则为第二天北京时间 04 : 00。

4 城市 CORS 系统建设

4.1 一般规定

4.1.1 城市 CORS 系统建设应根据城市的长期规划进行统一设计和建设,满足城市建设在当前及今后一定时期内的需求。GNSS 技术已在国内导航、定位、科学研究领域得到广泛应用,一个城市只应建设一个城市 CORS 系统,系统建设不但要满足城市测绘部门对定位的需求,还要综合考虑地震、气象、土地和其他行业对系统的需求。具体实施可根据城市和经济发展情况可以一次建设完成,也可分期建设,城市 CORS 系统可以在共建、共享的原则下建设,达到一网多用、一网共用。

4.1.2 城市 CORS 系统作为城市重要的空间数据基础设施之一,首先要满足城市对空间定位的不同服务需求。依据功能设置和建设内容将城市 CORS 系统建设主要分为 CORS 网、通信网络、管理中心和服务中心建设等四部分。

4.1.3 CORS 网相邻点间弦长精度公式中的固定误差 a 和比例误差系数 b ,与 GNSS 接收机厂家给出的精度公式中的含义相似。所不同的是厂家给出的精度公式通常是在某种标准条件下的精度,而式 (4.1.3) 的规定考虑了一些实际工作中外界因素的影响。

4.1.4 城市 CORS 网的布设不同于城市常规 GNSS 网的布设,常规 GNSS 网的边长一般较短,而 CORS 网站间距离可根据系统功能设计而适当加长。表 1 列举了部分城市及地区已建成的 CORS 网平均边长。

本条规定了城市 CORS 网的平均边长为 40km。为满足 CORS 系统厘米级的实时定位服务精度,在具体布设中可以根据城市地理位置、城市规模和建设应用等情况,有针对性地确定

表 1 部分城市及地区 CORS 网平均边长

城市	北京	天津	上海	重庆	广州	深圳	武汉	江苏	平均
平均边长 (km)	37.2	45.2	42.0	51.9	44.3	25.0	41.8	48.9	42.0

CORS 站密度，但相邻 CORS 站最长间距不宜超过 80km。按表 4.1.4 中规定的 CORS 的边长计算边长精度，其边长中误差为 40.3mm，相对中误差为 1/992556，考虑到其他因素影响，本规范在表 4.1.4 中规定了 CORS 站间最弱边相对中误差取 1/800000。

4.1.5 城市 CORS 站作为 CORS 系统的起算点，其点位的稳定至关重要，本条规定了 CORS 网中重新解算周期最长不应超过一年，对 CORS 站点稳定性差的 CORS 网应适当加密解算周期。在同一坐标框架下，系统起算点的误差应小于测量点位误差的 1/3。所以，本条规定了 CORS 站两次解算的平面位置绝对变化量不应超过 1.5cm，高程变化量不应超过 3cm。否则，应进行 CORS 站坐标更新或迁建新站。同时，CORS 网也应保持相对的稳定，不宜频繁更新 CORS 站坐标，对地面沉降严重的区域，可对 CORS 网提供的高程数据服务加以限制，以减少 CORS 站坐标更新的频次。

4.1.6 本条规定了城市 CORS 系统各部分的基本功能，这是城市 CORS 系统正常稳定提供服务的基本要求，各地可以根据自身的需要增添一些相应的功能。

4.1.7 城市 CORS 网建设的雷电防护按设备位置分为露天设备防护和室内设备防护。应在 GNSS 天线附近架设建筑物雷电防护装置进行直击雷防护。室内设备所在建筑物也应有直击雷防护装置，同时对设备电力线、通信线、射频线等进行感应雷电防护。

4.1.8 城市 CORS 网建设完成后应进行系统测试，以检验系统提供数据服务的定位精度及系统运行的稳定性。由于各个城市控制基准建设的情况不一样，一些城市还没有进行似大地水准面精

化工作,控制点成果精度不均匀。因此,无法对系统测试的三维坐标精度作规定。本条只规定了 CORS 网测试的坐标分量内符合、平面外符合精度指标,对高程精度不作具体要求。

4.2 CORS 网 布 设

4.2.2 城市 CORS 网建设作为城市重要的基础设施建设之一,布设时比控制网布设涉及的内容多。同时,城市 CORS 网已广泛应用于地震监测、气象预报和地理信息采集等多个行业。因此,设计前应对区域内的 CORS 站、供电保证和通信连接等已有资源情况进行调研分析,并加以充分利用。

4.2.3 由于地壳形变、自然灾害、地下水的过量开采等原因,可能导致城市 CORS 站站址的不稳定,需要对 CORS 系统的坐标进行定期解算,解算时至少需要一个稳定的基岩站点或深埋的土层站点的坐标作为起算数据。本条规定了一个 CORS 网建设时,宜建设 1~2 个基岩或深埋的土层 CORS 站点。由于各城市地质条件的差异性,本条以建议性条款提出。

4.3 CORS 站 建 设

4.3.2 CORS 站选址应综合考虑多种因素的影响,CORS 站获得的观测数据的质量和数量直接影响到系统的服务质量,站址选择周边环境要基本符合要求,还要考虑到站址的长期稳定性。通信条件、电力供应也是站址选择要考虑的问题,系统需要的是不间断的连续观测、传输,要求通信网络时时畅通、传输延迟符合系统要求。电力供应稳定,停电时间应在系统设计的后备电源有效供电时间范围内。

4.3.3 观测墩标可分为基岩观测墩、土层观测墩和屋顶观测墩三类观测墩,样式可以依照附录 C 进行建造,也可依据当地的实际情况自行设计,但必须保证观测墩的稳定可靠,避免日照、风力等天气因素对观测墩稳定性的影响。观测墩顶面要水平便于各方向量测天线高。观测墩应加装避雷设备,避免直击雷对室外

设备的损害，避雷设施安装完工后应请具有避雷设备检测资质的有关部门进行检测验收。

4.3.4 城市 CORS 站与国家级连续运行跟踪站有一定的区别，城市 CORS 站一般要求建设在电力、通信条件较好和具有一定安全性的地点，通常会有建筑物可以利用。当利用已有建筑物作为设备室时，观测墩距设备室的距离可能超出仪器供应商提供的电缆线最大长度，需要加长电缆线，为保证观测数据的质量，必须加装信号放大器。在困难的 CORS 站点设置室外设备室时，应加设防止人为破坏或其他毁坏的保护装置，并进行经常性的巡视，保证 CORS 站安全、稳定运行。

4.3.5 接收设备的天线因长年置于室外条件下，经受风吹雨打和四季气候变化的影响，所以一定要加装不影响接收卫星信号的天线保护罩。城市 CORS 站的天线电缆一般铺设在人类活动频繁的地区，要对电缆加装硬质的保护套管加以保护。

4.3.6 CORS 站数据应是连续记录并实时传输的，为了应对电力、通信的突然的中断，保证记录数据的连续性，本条规定了接收设备应具有自主存储能力。

4.3.9 城市 CORS 站点间的平均距离为 40km，如果发生意外断电事故时，维修人员无法在第一时间赶到现场进行维修。因此，本规范规定了 CORS 站应配置至少保证 24h 连续稳定独立供电在线式 UPS 装置。

4.4 通信网络建设

4.4.2 通信网络是 CORS 系统建设中数据传输的重要渠道，无论采用有线或无线的方式传输，都要确保数据误码率、安全性以及延时符合标准要求。

4.4.4 信息发布是 CORS 系统提供服务的主要内容之一，实时数据发布的方式应适应不同需求，可采取 FM 调频（单向）、GSM、GPRS、CDMA、3G 等现有通信技术以及将来的 WIN-MAX 先进通信技术，此处不作妨碍技术进步的规定。

4.4.5 网络通信协议采用 TCP/IP 协议，主要基于数据安全性及该协议普遍适用性原则。

4.4.7 服务中心接入公共网络时，应确保网络的安全性，不应成为黑客攻击专网的中继，可通过自行组网、多加硬件防火墙等措施来提高网络安全性。

4.4.8 通信网络建设完成后，为了保证系统通信网络的安全、可靠、有效、稳定地运行，应进行网络连通测试和时延测试；《通信设备登记表》完整记录了通信设备的基本情况，保证设备的完好性、可用性及可追溯性。

4.5 管理中心建设

4.5.2 管理中心的工作环境，是保障城市 CORS 网稳定运行的重要条件，因此在环境建设时，应充分考虑到温度、湿度、独立稳定供电、管网的铺设、防尘、防雷等设施。

4.5.3 管理中心硬件是城市 CORS 系统各种软件安装、运行的操作平台，因此对服务器的存储量、内存、主频等主要指标及外围的设备配置进行了规定，特别提出了在有条件的情况下，对关键服务器采用双机热冗余备份。

4.5.4 管理中心软件是整个 CORS 系统的技术主体，担负着系统日常运行监控、数据传输、处理、分析、管理的任务；因此管理中心应选用运行稳定、安全性能好、自动化程度高、兼容性强并有管理功能的商用软件。

4.5.5 管理中心主要负责 CORS 系统设备的运行状态实时监测、远程管理、故障分析与故障警示；数据质量分析和评价；数据综合、数据分流和数据存储；分析处理各站每天生成的日志文件，评价各 CORS 站运行质量状况并定期进行数据备份等工作。对数据备份的质量应进行检查，确保数据备份有效、可读；并应双备份，宜异地存储。

4.5.6 本条规定了管理中心建设完成后应通过调试使各项技术指标达到或超过设计指标，以保证日后管理中心能够正常工作。

4.6 服务中心建设

4.6.3 服务中心软件主要是处理由管理中心传过来实时的原始观测数据，向用户提供实时差分定位服务和后处理数据服务，同时对用户进行管理。

4.6.4 服务中心是系统向广大用户提供服务的部分，能直接反映系统建设的成功与否。数据服务主要是通过 GPRS、CDMA 等通信方式向用户提供实时动态差分定位服务，通过数据交换或 INTERNET 网提供静态定位服务及其他测绘信息服务。同时，对用户进行管理并提供技术服务和技术支持。

4.6.7 由于用途和职责的不同而分为管理中心和服务中心，但在环境、硬件设备、软件的配置上二者有很大的共性。因此，两个中心可以单独建设，也可共同建设，对于规模较小 CORS 网，共同建设时可以在一台综合服务器上完成。

4.7 坐标联测及数据处理

4.7.1 大地坐标系是进行空间定位的基础和基准，所有的信息采集工作都在一定的大地坐标系中进行。现行的大地坐标系统分为参心坐标系和地心坐标系。若以参考椭球和局部地区大地水准面最为密合为原则建立大地坐标系，由于这些大地坐标系的原点与地球质心不重合，一般称之为参心坐标系；若依据空间大地测量为主要手段建立大地坐标系，要求坐标系原点与地球质心重合，则称之为地心大地坐标系。为了确定城市 CORS 网与现存的各种控制基准的关系，应与国家 CORS 站、高等级国家大地控制点和城市控制点等进行坐标联测。

4.7.2 为了确定城市 CORS 网与地心坐标系之间的关系，将国家 CORS 站点的数据及其精确的地心坐标，与城市 CORS 网一定时间内的同步观测数据进行统一数据处理，获得城市 CORS 网的地心坐标系。同时，为了保证城市 CORS 网较好地符合到国家 CORS 站上，并有一定的多余起算数据，本条规定了至少联

测 3 个国家 CORS 站。

4.7.3 确定城市 CORS 网的参心坐标时，可以利用具有参心坐标的 CORS 站的数据，也可通过在与现有控制点进行联测，进行数据处理，获得城市 CORS 网的参心坐标。考虑到地面控制点的精度不均匀、点位的变动等情况，规定了与地面现有控制网进行联测时，联测点不能少于 4 个。

4.7.4 研究表明，GNSS 基线的精度并不随观测时间的过多增加而一味地提高。为了确定一个合理的联测观测时间，根据已建城市 CORS 网的联测经验，城市 CORS 网站的地心坐标联测时，使用的各 CORS 站的观测数据应不少于 120h，采样间隔 30s，截止高度角 10° ；参心坐标联测时，连续观测 24h，采样间隔 10s~30s，可以满足要求。

4.7.5 GNSS 测量数据的处理是研究 GNSS 定位技术的一个重要内容，选用好的数据处理方法和软件对 GNSS 测量结果影响很大。在 GNSS 静态定位领域里，20km 以下的定位应用已经较为成熟，接收机厂商提供的随机软件已能满足大部分的应用需要，但在定轨应用及长距离的定位应用中，一般接收机厂商提供的随机软件均不能满足需要，因为它们忽略了很多在定轨和长距离定位中不可忽略的因素，如：有关轨道的各种摄动计算，大气对流层改正，基线解算起算点误差的影响，测站位置受地壳运动的固体潮引起的漂移等。城市 CORS 网最大边长可达 80km，基线解算时应利用精密星历，并使用可收集到的最高精度的地心坐标作为基线解算的起算点，并进行相应的数据检核。采用精密处理软件进行数据处理。

4.8 CORS 系统测试

4.8.1 系统功能的实现是城市 CORS 系统建设的基本要求，测试数据指标能够客观地评价系统性能的优劣。系统测试一方面是考证 CORS 网络系统功能的实现；另一方面检定系统运行实际达到的性能指标，为系统服务提供指标依据。

4.8.2 本条规定了系统功能测试需要完成的内容以及应达到的要求。

1 城市 CORS 系统应实现无人值守、全天自动化运行功能。系统调试正常运行后,系统管理软件可以自动处理 CORS 站数据以及接收用户请求,并向用户发送差分改正数据。

2 通信网络测试由专业机构采用专业网络数据传输测试软件来完成,测试内容包括各个 CORS 站到数据中心有线网络线路测试和数据中心到用户无线数据传输线路测试。测试线路数据的传输率、误码率、延时等指标应符合本规范第 4.4.2 条的规定,数据传输率应大于 64kbit/s,实时通信误码率应小于 10^{-8} ,延时应小于 500ms。

3 流动站用户并发性测试。有条件的可以通过模拟设计用户数进行测试,也可以由多个用户同时请求数据中心服务的方式,并发服务用户的数量应能达到系统设计的允许数量。

4 远程控制功能是为了方便数据中心实时监控 CORS 站设备的工作情况,监控 CORS 站接收机、UPS 电源等设备热启动及更改设置参数等,该功能有助于 CORS 站实现无人值守、自动运行。

5 城市 CORS 系统发生个别 CORS 站数据掉线、设备故障、断电等异常情况,从系统可靠性考虑,系统不能因个别 CORS 站出现故障而使系统的应用受到影响。模拟测试分为两种情况:一种是模拟输入错误的 CORS 站数据,系统应可给出提示,并保持正常工作状态;另一种是中断某个或几个 CORS 站数据,系统应在其算法模型许可的条件下重新构网进行计算,恢复正常工作。

6 CORS 系统建设完成后能兼容主要品牌的 GNSS RTK 设备在系统范围内正常工作。利用各种品牌的 GNSS RTK 接收机通过无线数据传输方式获取中心发送的差分改正数据,在较好条件下流动站用户可以在 3min 内获得固定解,固定解的精度能达到系统整体设计、测试的精度指标。

4.8.3 系统性能指标测试针对系统设计的技术指标进行测试,主要进行静态测试、动态测试和可用性测试三项。经数据处理后可以得到系统的定位精度、覆盖范围、空间和时间可用性性能指标。

1 系统静态精度测试主要是通过 CORS 系统覆盖范围内,用户选择具有已知坐标值的测试点,点位观测环境满足相应静态 GNSS 观测的要求,可根据 CORS 站间距离设计观测时间,观测时间一般宜超过 2h。数据处理时下载数据中心记录的 CORS 站数据,根据设站点与邻近 CORS 站的图形关系,选择分布均匀的 CORS 站作为起算数据,基线解算、网平差处理符合本规范第 5.4 节中四等以上精度的 GNSS 测量要求。将平差计算得到的测试点的坐标值与已知坐标值进行比对、统计,精度应符合本规范第 4.1.8 条要求。

2 动态精度及网络覆盖范围测试点宜选择城市四等以上的控制点,控制点应有城市地方坐标成果。测试点宜在 CORS 网络的内、外均匀分布,网外距离选择一般不应超过 30km。动态测试选用的接收机应符合本规范第 6.2.1 条的要求,为了进行内符合精度统计,测试点要记录 10 个以上的观测结果,每个结果可以不是一测回的观测值。

3 CORS 系统的可靠性和可用性是服务的一个重要指标,在不考虑流动站和服务中心通信的前提下,要通过长时间、连续的测试才能获得。根据卫星运行周期,本条规定了测试时间不能少于 24h,按 1 历元/s 计算,在 24h 内理论上应获得 86400 个观测值,用实际得到的满足要求的观测值个数的百分比来作为系统的一个指标。

4.8.4 测试点的内符合精度是综合评价测试的 GNSS RTK 设备和 CORS 系统稳定性的一个最直接的指标,正常情况下, M_X 、 M_Y 两个坐标分量指标要优于 M_Z , M_Z 较易受周边环境的影响。测试点的外符合精度除受到 CORS 系统和 GNSS RTK 设备的影响外,还受到测试点已知坐标精度的影响。当需要将地心坐标转

换成城市地方坐标系后，统计外符合精度时，还要受到坐标转换参数及高程转换精度的影响。

4.9 成果提交

本节规定了城市 CORS 系统建设各阶段提交的成果资料内容。系统的技术报告能全面叙述系统建设过程中对技术设计文件和项目实施方案、技术指标等的执行完成情况。主要包括 CORS 站、通信网络、管理中心和服务中心的建设及测试过程；坐标联测技术报告阐述了坐标联测的方式、方法，数据处理采用的技术方法，CORS 网达到的精度；系统整体测试情况；客观分析存在的问题和解决的方法。系统的工作报告主要描述 CORS 系统建设按照项目设计方案的工作执行情况，主要包括项目工作实施的组织、进度情况、完成的工作量和重要问题的处理以及项目总体完成情况等。

4.10 系统维护

4.10.1 系统日常维护主要是保持管理中心、服务中心、CORS 站有良好的工作的环境；所有设备运行良好；服务器软件稳定、正常运行；为用户提供可靠的数据服务。由于《系统维护日志表》涵盖了日常系统维护时需要查看的主要具体项目，如果有异常情况发生时，可通过记录进行追溯，查找问题，采取必要的措施以保证系统运行正常。

4.10.2 系统维护的检验分析主要是保证系统设备运行不产生影响服务质量的偏离，提供有效的服务。定期对 CORS 站的原始观测数据进行处理、分析、统计，可以对位置偏差、钟差、天线的相位中心偏差等进行评价，保证设备运行的有效性。所以，长期运行的 CORS 站接收机可不进行年检，但新安装的接收机必须有鉴定证书。同时，系统的电子设备都有正常的工作寿命，应及时考虑对即将到期的设备进行更换。

5 城市 GNSS 控制网建设

5.1 一般规定

5.1.1 GNSS 技术的发展,大大减少了布设城市控制网的时间、人力和物力的投入,为了使城市控制网有一个精度统一、均匀及使用方便的控制网,城市首级控制网应一次布设完成,点位密度应能满足一般建设发展的需要,不宜再进行全面的控制网加密。因城市规模扩大,可将首级控制网进行局部扩展;在首级控制网的基础上根据需要进行次级网加密。

5.1.2 GNSS 城市控制网按相邻站点的平均距离和精度应划分为 CORS 网和二、三、四等及一、二级。GNSS 城市控制网分级布设,有利于既考虑当前城市建设的实际需要,又考虑城市的远期规划和发展的需要,分级布网还有利于减少测量误差的积累,从而使 GNSS 点的点位精度均匀。GNSS 测量具有精度高,灵活性强等特点,各等级的观测方法基本相同,观测时间和技术要求有差异,所以允许越级布网,即允许在布设二等 GNSS 网后,直接布设四等网,同时也允许将两级网合并布设成全面网,在全面网中选择部分点构成长边进行观测,并将这些点作为高一级控制网点,在进行 GNSS 网平差计算时,可以先平差首级网,然后把首级网点作为固定点,对次级网平差,也可以将两级网联合进行统一平差。

5.1.3 各等级 GNSS 网相邻点的距离也与城市测量规范中的规定一致,但本规范又具有灵活性,规定了最小距离是平均距离的 $1/2$;最大距离是平均距离的 2 倍。表 5.1.3 所规定的最弱边相对中误差,不是指直接观测的 GNSS 边的精度,而是指最弱间接边平差后的精度要求,是按照常规三角网的边长相对中误差确定的。由于 GNSS 测量的观测精度较高,直接边在 GNSS 网中

平差后的精度也是较高的。又因为边长相对中误差与其边长有关,当较短时相对中误差变大,所以还规定当边长小于 200m 时,以边长中误差应小于 20mm 来衡量。

5.1.4 城市 CORS 站的建设从环境选择、建设规模和质量都远远高于传统控制点的建设,通过联测,CORS 站具有不同坐标系下的坐标。因此,CORS 站的坐标应作为城市首级 GNSS 网的起算数据,并与新布设 GNSS 网点共同组成城市首级 GNSS 网。

5.1.5 在布设 GNSS 控制网时,应充分考虑 CORS 站的连续观测的特点,并结合已有控制点的分布情况,在满足 GNSS 控制网布设原则的前提下,充分利用旧点的标石,可以节省埋设标石的费用,且利用这些标石还具有稳定安全的优点,此外,还可以利用这些点观测成果进行分析和比较。

5.1.6 GNSS 观测受到各种外界因素的影响,有可能产生粗差和各种随机误差,因此要求由非同步观测基线向量构成闭合环或附和线路,是为了对 GNSS 观测成果进行质量检查,以保证成果的可靠并恰当地评定精度。在对 GNSS 网进行图形设计时,应将表 5.1.6 的规定与表 5.3.11 中关于平均重复设站数的规定结合起来考虑。

1 应该注意,由 N 台 GNSS 接收机同步观测一个时段,可计算出 $N(N-1)/2$ 条同步观测边,但其中只有 $N-1$ 条独立边。不应将非独立边作为独立观测边处理,更不能将同步闭合环当作非同步闭合环。

2 GNSS 网中的独立边数 n 与由它们构成的非同步闭合环数 r 有如下关系:

$$r = n - N_p + 1 \quad (12)$$

式中: N_p ——GNSS 网中的总点数;

n ——GNSS 网中的独立边数;

r ——多余观测边数。

当要求 GNSS 网的闭合环均为 m 边形时,若以 $\text{int}(\cdot)$ 表示取整, $\text{Mod}(\cdot)$ 表示取余数,并设:

$$K_0 = (N_p - 2)/(m - 2) \quad (13)$$

$$K_1 = \text{int}(K_0) \quad (14)$$

$$K_2 = \begin{cases} \text{Mod}(K_0) + 2, & K_0 - K_1 > 0 \\ 1, & K_0 - K_1 = 0 \end{cases} \quad (15)$$

$$n \geq K_1(m - 1) + K_2 \quad (16)$$

对于不同的 N_p 和 m , 可按式 (12) ~ 式 (16) 得到相应的 n 和 r 以及比值 r/n 如表 2 所示。从表 2 中可知, 当 $N_p=60$, $m=5$ 时, $n>79$, $r<20$, $r/n=0.25$ 。

表 2 构成 m 边形的 r/n 值

r/n \ N_p \ m	3	4	5	6	8	10
10	8/17= 0.47	4/13= 0.31	3/12= 0.25	2/11= 0.18	2/11= 0.18	1/10= 0.10
20	18/37= 0.49	9/28= 0.32	6/25= 0.24	5/24= 0.21	3/22= 0.14	3/22= 0.14
40	38/77= 0.49	10/58= 0.33	13/52= 0.25	10/49= 0.20	7/46= 0.15	5/44= 0.11
60	58/117= 0.50	29/88= 0.33	20/79= 0.25	15/74= 0.20	10/69= 0.15	8/67= 0.12
100	98/197= 0.50	49/148= 0.33	33/132= 0.25	25/124= 0.20	17/116= 0.15	13/112= 0.12

3 如果不对闭合环的边数作明确规定, 而要求平均在每个点上设站 α 次, 即要求在每个点上至少观测 α 个时段, 则对于一个有 N_p 个点的 GNSS 网, 应有 αN_p 个观测时段。若取 $\alpha=2$, 即要求至少有 $2N_p$ 个观测时段, 若取 $\alpha=1.6$, 即表示要求至少有 $1.6N_p$ 个观测时段。

当采用 N 台 GNSS 接收机进行观测时, 若设:

$$K_0 = \alpha N_p / N \quad (17)$$

$$K_1 = \text{int}(K_0) \quad (18)$$

则需要观测的时段数为:

$$K = \begin{cases} K_1, & K_0 - K_1 = 0 \\ K_1 + 1, & K_0 - K_1 > 0 \end{cases} \quad (19)$$

此时, 独立的 GNSS 边数应为:

$$n \geq K(N-1) \quad (20)$$

而闭合环数仍按式 (12) 计算, 当取 $\alpha=2$ 时, 对于不同的 N_p 和 N , 可按式 (12) 和式 (17) ~ 式 (20) 得到相应的 n 、 r 和比值 r/n , 列出如表 3 所示。从表 3 中可知, 当 $N_p=60$, $N=3$ 时, $r/n=0.26$, 其结果与表 2 中要求构成闭合环的边数 $m=5$ 的情况相近。

表 3 设站 2 次时构成 m 边形的 r/n 值

r/n N_p \ m	2	3	4	5
10	1/10=0.010	5/14=0.36	6/15=0.40	7/16=0.44
20	1/20=0.050	9/28=0.32	11/30=0.37	13/32=0.41
40	1/40=0.025	15/54=0.28	21/60=0.35	25/64=0.39
60	1/60=0.017	21/80=0.26	31/90=0.34	37/96=0.39
100	1/100=0.010	35/134=0.26	51/150=0.34	61/160=0.38

当 $N_p=60$, 对于不同的 N , 若要求平均在每个点上设站数为 $\alpha=1.5$ 、1.6、1.7、1.8 次时, 也按式 (12) 和式 (17) ~ 式 (20) 得到相应的 r 、 n 和 r/n 如表 4 所示, 当 $N_p>60$ 时, 对于不同的 N , 比值 r/n 与表 4 相差很少。

表 4 设站 α 次时 N 台接收机的 r/n 值

r/n α \ N	3	4	5	6
1.5	1/60=0.02	10/69=0.14	13/72=0.18	16/75=0.21
1.6	5/64=0.08	13/72=0.18	21/80=0.26	21/80=0.26
1.7	9/69=0.13	19/78=0.24	25/84=0.30	31/90=0.34
1.8	13/72=0.18	22/81=0.27	29/88=0.33	31/90=0.34

由表 3 和表 4 还可以看到, r/n 与 GNSS 接收机的台数有关, 因此, 在表 5.3.11 中要求二、三等 GNSS 点的平均重复设站不得小于 2, 而对于四等或四等以下的 GNSS 点, 要求其平均重复设站数不得小于 1.6。

4 从上面的分析可以看出, 为了满足表 5.3.11 中在每个点上平均重复设站 α 次要求, 对在 GNSS 网进行图形设计时, 应使闭合环的边数小于表 5.1.6 中的规定, 仅允许个别闭合环的边数等于该表中的边数, 为使外业观测有计划地进行, 避免 GNSS 独立边选择的随意性, 并便于及时检查观测结果, 宜按设计的网图选定 GNSS 独立边, 必要时, 在经过技术负责人审议后, 可根据具体情况作适当调整。

5.1.7 城市地面坐标一般采用地方独立坐标系, 为此, 应适当地选择起算点和起算方位, 按本规范第 3.1.3 条的规定根据实际需要选定, 并按第 3.1.2 条的规定给出有关参数。如果仍采用原有城市坐标系, 而该坐标是不经投影在平面上直接进行计算得到, 应根据具体情况进行分析, 设法将有关参数查询清楚。一般来说, 这种坐标系是以过其起点的子午线为中央子午线的任意带坐标系。

当联测多个原有控制点时, 一般不将它们都作为固定点, 而是用它们的原坐标对成果进行分析比较。

大、中城市的 GNSS 网在考虑与国家控制网的相互连接和转换时, 应联测 3 个以上的国家控制点, 并且要求查得这些点的正常高和高程异常, 以便求定两种坐标系之间的转换参数。

在已建立 CORS 站的城市, 应利用其已知坐标来解算 GNSS 网, 以进一步提高 GNSS 网的精度。

5.1.8 《建筑变形测量规范》JGJ 8 对工程变形测量进行了详细的规定, 因此本规范不另作规定。

5.2 选点及埋石

5.2.1 由于 GNSS 测量观测站之间, 不要相互通视, 而且网的

图形结构也比较灵活，所以 GNSS 选点工作远较经典控制测量的选点工作简便。但由于点位是测量最终的成果，点位的选择对于保证观测工作的顺利进行和测量结果的可靠具有重要意义。所以在选点工作开始之前，应认识到选点埋石工作的重要性，应充分收集和了解有关测区的地理情况，城市总体规划、地质、气象、交通、通信等资料，了解和分析测区原有国家或城市控制测量、坐标系统、高程系统等情况以便充分利用和坐标转换。城市 GNSS 测量是为城市规划、建设、管理服务的，因此，在网设计时就应考虑城市总体规划和近期规划、工程建设等发展情况，以便更好的服务。在了解和分析上述资料情况下和测量任务目的要求后，进行图上技术设计和优化、精度估算，并按技术设计的要求进行现场踏勘，落实 GNSS 点位。

5.2.2 GNSS 点点位的设置，必须符合技术设计的要求，点位要选择在视野开阔，地质坚实稳定，易于长期保存，同时有利于安全作业，有利于网的扩展和联测的地方，若考虑到适用于常规测量方法的加密，GNSS 点可以有 1 个以上的通视方向（可以不是相邻的点）。

GNSS 点应远离大功率的无线电发射台、微波站和高压输电线，其目的就要避免其周围磁场对 GNSS 卫星信号的干扰，接收机天线与其距离应不得小于 200m。在实际作业中电压较低的高压输电线有时影响不大，其远离的距离可因地制宜。

GNSS 点附近不应有大型建筑物、玻璃幕墙、大面积水域或对电磁波反射（或吸收）强烈的物体，以减弱多路径效应的影响。

GNSS 点应选在易于安置接收机设备的和交通便利的地方，且视野开阔。在视场内周围的障碍物的高度角，在实际作业中一般设置为 15° ，以减弱对流层折射的影响，个别点因地理条件限制可适当放宽。

对符合 GNSS 选点要求的旧有控制点应充分利用。

5.2.3 按照技术设计要求进行现场踏勘，在实地确定点位，点

名可取村名、地名、单位名，应向当地政府部门或群众进行调查后确定，利用原有旧点时点名不宜更改，可在原点名前端加“G”字，以免造成混乱。点号编排应适应计算机计算。在选点作业中，还应了解交通路线、水准联测路线。

5.2.4 各等级 GNSS 控制点标石及标志规格要求和埋设方法是城市测量长期积累的实践总结，适用于大、中、小城市，各城市也可以根据当地自己长期实践经验、规格设计和埋设。对城市高层建筑物顶层埋设标志，建议在建楼时同时预先埋设在建筑物承重墙上，在已建成的高层建筑物时，标石应牢固结合在楼板混凝土面上，可在混凝土楼板上打 3~4 个膨胀螺栓，在膨胀螺栓上扎钢筋用现场浇筑的方法施工，并在标石四周密封以免漏水，也可将屋面打毛，用环氧树脂配乙二胺和丙酮的混合物将预制标石和屋面粘结，再用水泥混凝土敷附标石四周。总之，GNSS 点的标石和标志的埋设必须稳定、坚固以利长期保存和安全使用。随着 GNSS 接收机的普及和发展，对于布设低等级的工程控制网，埋设永久性的标志，可能不太经济。

对于建立 GNSS 三维形变网的标石和标志，必须稳定坚固，埋设墩标和强制归心。

5.2.5 GNSS 点埋石所占用土地，应经土地使用者或管理部门同意，并依法办理征地手续，同时办理测量标志委托保管书。GNSS 点选埋完成后，应提交本条规定的相关资料和总结。

5.3 GNSS 测量

5.3.1 城市 CORS 系统经过了一定时期的稳定运行，CORS 站的点位和观测数据经验证是稳定可靠的，提供的观测数据作为布设各等级控制网的起算依据能提高控制网的精度，同时又能节省控制网联测的工作量。

5.3.2 本章涉及的 GNSS 测量是静态 GNSS 测量，采用 RTK 技术布设低等级控制网在第 6 章进行了规定。静态 GNSS 测量接收机选用应按 GNSS 测量网的不同等级选择相应精度的 GNSS

接收机。

GNSS 测量网的等级划分见第 5.1.2 条，所选 GNSS 接收机仪器标称精度应高于 GNSS 测量网的规程要求。

5.3.3 参加作业的 GNSS 接收机都应经过专业检定部门的检验，合格后获得一定时间内的有效使用。对于作业周期较长的工程，应采取必要的措施，保证接收机处于良好状态。

5.3.4 接收机与天线型号及配件组成一套完整的接收设备，出厂检验和仪器检定都是在按标称匹配的情况下进行的，若接收机与天线型号不是标称匹配，就不能保证仪器状态良好。

5.3.5 常规检验项目是在作业过程中仪器容易产生偏离，而专业的检验机构是无法在检定有效期内有效保证的，需要依靠作业人员经常进行校准。

1 光学对点器的检验和校正可按下列方法操作：

1) 检验的方法

把基座置在三脚架上，整平后，用铅笔沿基座的底板四周将他的轮廓画在三脚架头上。在地板上放一张毫米方格纸，读出光学对中器在毫米纸上的十字丝位置，然后转动基座并小心地在其他两个位置上把底座板放进铅笔画的轮廓中，每转动一次应重新整平并读出光学对中器十字丝位置。如果三次读数相符，则光学对中器是正确的，否则不正确，就需进行校正工作。

2) 校正方法

先找出三个位置所构成的误差三角形的中心，然后用校正拨针把两个水平校正螺钉放松，旋转 45° ，使十字丝能随着另一个竖直螺钉的运动而移动。放松竖直螺钉的锁定环，然后旋转这个螺钉，直至看到水平十字丝对准地面标点，再将两水平螺钉拧紧 45° ，稍微松开其中一个，并立即上紧另一个螺钉，再拧紧锁定环，但不要拧得太紧或太松，否则光学对点器不会保持在校正的位置上。

2 天线高量尺可用线纹米尺或更高精度的量具进行长度检验。

3 为了及时检验接收机采集数据的正确性,应每天将接收机内的数据传入计算机进行处理,因此要求数据转录设备及软件应齐全,数据传输性能应完好。

4 新购买的数据后处理软件需通过测试来评估其处理结果的正确性,可以用两种不同软件对同样的数据进行处理,比对结果的差异,判定软件是否可用;用来比对的软件的处理结果经验证无误。

5.3.6 GNSS 接收机接通电源,开机后仪器开始搜索卫星。如果是刚开箱新仪器,或者仪器长期未使用,机内所存广播星历在 3 个月以上,GNSS 接收机从搜索到锁定卫星时间需要 12.5min。若机器内存中是近期(3 个月内)广播星历,一般搜索到锁定卫星时间只需 3min。如果锁定卫星时间很长可能是仪器内电池失效,应送维护部门修理或退换。

载波相位信号失锁检测,应在视野开阔高度角 15° 以上无遮挡物下进行。采用静态观测 1h,利用双差检索卫星失锁情况。

5.3.7 在大型工程作业前,应对 GNSS 接收机进行实测检验,检验设备的精度指标及稳定性情况,是作业工程中的一项重要参考指标。

1 GNSS 接收机内部噪声水平的测试可采用零基线的方法。零基线是采用“GNSS 功率分配器”(简称功分器)将同一天线输出信号分成功率、相位相同的两条路或多路信号送到两台以上的接收机,然后将观测数据进行双差处理求得坐标增量,作为检验仪器固有误差。由于这种方法所测得的坐标增量可以消除卫星几何图形的影响;天线相位偏移;大气传播时延误差;信号多路径效应误差及仪器对中误差等,所以是检验接收机钟差、信号通道时延、延时锁相环误差及机内噪声等电性能所引起的定位误差的一种有效方法。可按下列步骤进行测试:

- 1) 应选择周围高度角 10° 以上无障碍物的地方安放天线,连接天线、功分器和两台接收机。
- 2) 连接电源,两台接收机应同步接收四颗以上卫星

1h~1.5h。

- 3) 当交换功分器和接收机接口时,应再观测一个时段。
- 4) 应用随机软件计算零基线坐标增量和基线长度。其基线误差应小于 1mm,否则应送厂检修或降低级别使用。

2 接收机天线相位中心稳定性测试可在标准基线、比较基线场或 GNSS 检测场上进行。

检验时可以将 GNSS 接收机带天线两两配对,置于基线的两端点。天线应精确对中,定向指标线指向正北,观测一个时段。然后交换接收机和天线再观测一个时段。

按上述方法在与该基线垂直的基线上(不具备此条件,可将一个接收机天线固定指北,其他接收机天线绕轴转动 90°、180°、270°)进行同样观测。

观测结束,应用随机软件解算各时段三维坐标。计算各时段坐标差和基线长,其误差不应超过仪器标称精度的 2 倍固定误差,否则应送厂返修或降低级别使用。

3 GNSS 接收机短边精度测试可采用电磁波测距仪基线检测场。中长边精度测试应在专业 GNSS 测试场进行。

4 仪器高低温试验主要针对仪器需要在特殊环境下作业时的检验,如环境温度超过 40℃或低于-20℃。在高低温测试时,其测试温度范围应在仪器标称的工作环境温度之内,不应超出仪器的标称温度。

5.3.8 等级控制测量的精度高,因此要求作业的仪器各项性能指标稳定。接收机的噪声水平和相位中心是反映接收设备稳定的重要指标,对观测结果影响较大。

5.3.9 不同类型的接收机从数据采集到数据处理都有差异,参加共同作业进行统一处理必须经过验证,符合精度要求后才能开始共同作业。可通过不同组合在已知基线上进行比对验证。

5.3.11 关于技术要求问题

1 研究成果表明,随着卫星高度的降低,GNSS 信号接收

机的信噪比将随之减小,有较多机会获得较小的三维位置的 PDOP,延长最佳观测时间。但是对流层影响愈显著,测量误差随之增大。因此,卫星高度角一般都规定在大于 15° 。

2 为了增强对 GNSS 基线向量观测值的检查,表 5.3.11 规定二、三等 GNSS 点平均重复设站数应不小于 2,而对精度要求较低,点的密度较大的四等或四等以下的 GNSS 测量,要求每个点的重复站数应不小于 1.6,当使用的 GNSS 接收机只有 3 台时,每点的重复站数更大一些,其数据质量还可通过同步闭合环和独立边闭合环等条件进行评定,从而达到既提高生产效率,又保证数据质量的目的。

这里应当说明是,重复设站数的规定,就整个 GNSS 网而言它是一个平均数。对某个测点来讲,则可能设站 1 次或 2 次不等。

3 根据目前数据处理软件的情况,为了达到相应等级的定位精度和整周未知数的求解,需要足够的数据量,即要求在测点上观测时间段具有一定的长度。规定中所列时段长度是留有一定余地的。当采用双频接收机进行快速静态相对定位时,可以增加检验,剔除不正确的整数组合,在这种情况下,四等以下可以缩短观测时段长度至 10min。

4 采集高质量的载波相位观测值是解决周跳问题的根本途径。而适当增加其采集密度,又是诊断和修复周跳的重要措施。因此规定中将采样间隔缩短至 10s。

当接收机有较高的内部采样率,且功能较强有助周跳处理时,可将采样间隔放宽至 30s。

5 PDOP 为卫星的空间位置精度因子,它的大小与观测卫星的高度角和观测卫星在空间的几何分布有关。观测卫星高度角越小,分布范围越大,其 PDOP 值越小。综合考虑其他因素的影响,当卫星高度角在大于 15° 的情况下,选取 PDOP 小于 6 为宜,可提高定位精度。

5.3.12 编制观测计划所需测区中心概略经纬度,可从小比例尺

地图上量取，取位到分。

5.3.13 观测准备工作应注意几个问题。

1 GNSS 接收机天线的定向标志按要求指北，可消除或减小接收机相位中心与天线几何中心不一致给定位成果造成的误差。

2 由于量取天线高的不同方法，则“相位中心到测站中心标志面的高度”将由各个不同的分段高度组成，另外由于当前 GNSS 接收机天线类型的多样化，则天线高量取部位各不相同，因此作业前应熟悉所使用的 GNSS 接收机操作说明有关内容，严格按其要求量取。天线高测定时可按下列方法及要求作业。

- 1) 在觇标基板上安置天线时，采用经过检定的钢尺三次量取标志中心至觇标基板下沿的高度，两次差不应大于 5mm，取平均值为 h_1 ，量取觇标基板厚度 h_2 以及量取基板上沿平面至厂方指定的天线高部位 h_3 。则天线高为：

$$h = h_1 + h_2 + h_3 \quad (21)$$

- 2) 在观测墩上安置天线时用小钢卷尺从天线基座下表面量至标石中心高度值 h_4 ，然后加上厂方指定的平均相位中心至天线基座下表面的高度值 h_5 ，则天线高为：

$$h = h_4 + h_5 \quad (22)$$

- 3) 在三脚架上天线高的量取天线高可按下列方法及要求：

① 当备有专用量取仪器高的直角杆设备时，可直接量取标志中心至厂方指定的天线高部位的高度。

② 当备有专用测杆时，可在 3 个互为 120° 的折线形孔读取标志中心至厂方指定天线高部位的距离，其互差应小于 3mm，取平均值为 L ，已知天线基板半径为 R ，则天线高按下式计算：

$$h = \sqrt{L^2 - R^2} \quad (23)$$

③ 采用无专用测高设备的仪器时，可用小钢卷尺从脚架 3 个空挡（互成 120° ）量取从三脚架上沿至标志中心的距离，互

差应小于 3mm, 取平均值为 L , 并量取脚架上沿至厂方提供天线高部位为 h_6 , 已知天线基板半径为 R , 则天线高按下式计算:

$$h = \sqrt{L^2 - R^2} + h_6 \quad (24)$$

5.3.14 GNSS 测量数据采集的高度自动化, 记录载体不同于常规测量, 往往引起人们忽视数据采集过程的实际操作, 如果不严格要求各项操作, 一旦记录有误而导致人为的测量误差, 如点名、点号混淆将给数据处理造成麻烦; 天线高量误或记错都将影响成果质量, 以致造成超限返工。因此, 本规范对 GNSS 测量外业观测手簿记录和操作作出较为具体的规定, 供作业时执行。

由于城市 GNSS 测量两观测站一般相距仅几公里, 甚至几百米, 被测卫星至两站电磁波传播路径上的大气状况为相似, 此大气状况的系统影响, 在同步观测中, 经电离层折射改正后的基线向量长度的残差小于 1×10^{-6} , 当采用双频接收机时, 其残差会更小, 何况在测站上测定的气象数据, 有一定局限性。因此没有规定观测气温、气压、温度等气象数据。

5.3.15 GNSS 测量过程中形成的文字记录和观测数据, 是反映观测过程的真实情况的, 是数据处理、质量评定的依据。本条对原始记录作了规定。

5.4 数据处理

5.4.1 GNSS 接收机一般都配有相应的基线解算软件, 这些软件解算基线的自动化程度较高, 其模型改正多为固定模型, 软件间的数据处理方法和精度微有区别。一般城市二等控制网为城市首级控制, 控制整个城市管辖或总体规划区域, 要求精度较高; 而二等以下控制网多为小区域或较小城市控制网。因此, 规定城市二等控制网用高精度软件解算基线; 新启用的软件的解算结果应与成熟软件的解算结果进行比对, 满足精度要求后方可使用。

5.4.2 数据预处理中应注意以下问题:

1 基线解算时, 作为已知起算数据类型之一的卫星坐标获取方式。其一是直接采用广播星历计算的卫星坐标, 其二是精密

星历计算的卫星坐标。卫星星历误差对 GNSS 相对定位误差的影响估算一般采取以下经验公式：

$$\frac{1}{4} \frac{\Delta r}{r} \leq \frac{\Delta b}{b} \leq \frac{1}{10} \frac{\Delta r}{r} \quad (25)$$

为保守计，估计时不妨取：

$$\frac{\Delta b}{b} \approx \frac{1}{5} \frac{\Delta r}{r} \quad (26)$$

这里 $\Delta b/b$ 是基线相对误差， Δr 是卫星轨道的误差， r 是卫星至地球表面的平均距离约为 20000km。对于广播星历，在最不利情况下， Δr 一般可达 $\pm 100\text{m}$ ，按式 (26) 估算，其对 GNSS 基线相对定位的影响约为 1×10^{-6} ，这一影响可能是偶然的，但由于广播星历的特点，往往带有系统性，即它可能影响 GNSS 网的尺度标准。无论怎样，这一影响远小于本规范第 5.1 节中有关各等级 GNSS 城市或工程控制网对基线向量弦长精度的要求。因此采用广播星历完全满足一般城市和工程 GNSS 控制网的精度要求。

对于一些特大型城市，其 GNSS 网的布设范围可能大于 10000km^2 ，为了提高整网精度和确保网有严格的尺度标准，可能会采用距离接近或超过 100km 的基线通过多天连续观测作为全网的基准控制。长基线的相对定位精度应优于 0.1×10^{-6} ，采用广播星历就不能满足要求了，应采用精密星历，据一些文献分析，1992 年以前某些单独机构的精密星历，最不利情况其 Δr 一般也小于 $\pm 10\text{m}$ ，按式 (26) 估算，其对基线相对误差影响也小于 0.1×10^{-6} ，1994 年以后，国际 GNSS 服务 (IGS) 发布综合精密星历，精度为 $\pm 10\text{cm}$ ，各 IGS 分析中心的单一精密星历，精度为 $10\text{cm} \sim 40\text{cm}$ ，采用这样的精密星历，GNSS 基线的相对精度可优于 10^{-8} ，即 0.01×10^{-6} 。完全满足长基线精度要求。

2 多台 GNSS 接收机同步观测，得到一个同步观测图形，设有 m 台仪器同步观测，在一个同步观测图形中，总的基线数为 $m(m-1)/2$ ，而独立的观测基线数为 $(m-1)$ ，在总基线数中，任一组 $m-1$ 条不构成封闭多边形的基线都构成一组独立的

基线。所谓单基线模式解算, 是对一个同步观测图形的所有 $m(m-1)/2$ 条基线, 一条接着一条的逐一单个解算, 每次解得一条基线三个分量坐标差和其相应的方差-协方差矩阵。多基线处理模式是在一个同步观测图形中, 只选择一组 $m-1$ 条独立基线, 一并构成观测方程统一解算, 得到这 $m-1$ 条基线的各自分量坐标差和 $m-1$ 条基线的整体方差-协方差矩阵。多基线处理模式顾及了同步观测图形中独立基线之间的误差相关性, 是严密解。同步图形中的其余基线及其方差-协方差矩阵完全可由这 $m-1$ 条独立基线的结果通过线性组合的方式确定。因而其同步环闭合差满足为零这一要求。单基线解没有顾及同步图形中基线之间的误差相关性不是精密解, 因而其同步环闭合差一般不能满足为零的要求。鉴于大多数商业化软件基线解算只提供单基线解算模式, 在精度上也能满足城市和工程 GNSS 网的要求。因此, 规范中规定两种解算模式都是可以的。

3 有关基线解算对地面已知坐标精度的要求。地面已知点对基线相对定位误差的影响, 也可以用以下近似公式予以估算:

$$\frac{\Delta b}{b} \approx \frac{\Delta s}{r} \quad (27)$$

上式中, Δs 为已知点在基线方向上的误差, r 为卫星距地平均距离。显然, 当要求 $\Delta b/b$ 即基线的相对误差小于 1×10^{-6} 时, 起算点的误差应小于 20m, 对于要求 0.1×10^{-6} 和 0.01×10^{-6} 精度的长基线, 起算点的精度分别应优于 $\pm 2\text{m}$ 和 $\pm 0.2\text{m}$ 。

根据国家测绘局有关文件和资料的公布, 我国 A 级网整体平差后任一点的坐标分量精度在某一全球参考框架中可达 $\pm 0.2\text{m}$, B 级网中任一点坐标分量精度可优于 $\pm 1\text{m}$, 因此可分别满足基线相对精度要求 0.01×10^{-6} 和 0.1×10^{-6} 的起算数据精度需要; 已建立的城市 CORS 站与国际 IGS 跟踪站进行了联合解算, 其坐标分量精度不低于 A 级网的精度, 因此也可用城市 CORS 站作为起算点。

4 把接收机收到的某颗卫星的载波相位与接收机钟产生的

同频参考信号的相位的差拍称为该颗卫星的相位观测值，这一观测值中包含了待定的初始整周模糊度参数、卫星轨道误差、卫星钟与 GNSS 标准时间的钟差、传播路径中的电离层延迟和对流层延迟、接收机钟与 GNSS 标准时间的钟差、接收机的热噪声误差等。为了克服这些误差的影响，常常通过基线两端测站的原始相位观测值的线性组合构成所谓差分观测值来削弱或抵消某些误差的影响。两测站对同一颗卫星在同一时刻的原始相位观测值之差称为站间单差相位观测值，它几乎完全抵消了卫星钟差的影响，当两站相距不太远时，大大地削弱了卫星轨道误差和电离层对流层延迟的影响。两个测站相对于两颗不同卫星的站间单差相位观测值之差就称为双差相位观测值，在削弱和抵消上述误差影响的基础上，它又进一步地几乎完全抵消了接收机钟差的影响和大大削弱了接收机热噪声误差的影响。因此，双差相位观测值是一种误差影响很小的观测值，但是双差相位观测值中仍然包含了由初始整周模糊度线性组合形成的双差整周模糊度这一待定参数。解算出这一模糊度参数需要有一定的几何条件和观测条件，一是基线不能太长；二是每颗卫星在空中被基线两端站同时观测的时间不能太短，对于常规静态 GNSS 相对定位，不应短于 15min，对于快速静态定位，目前也不应短于 3min（取决于可见卫星数和软件性能和接收机的特性）；三是观测值中的周跳应消除干净。对于大多数用于城市控制网的基线解算商用化软件来说，由于其采用的处理多种误差的模型和消除周跳的方法都较为简单，长度超过 30km 的基线要解算出其模糊度参数的整数值是十分困难的。由于整周模糊度参数在不发生失锁和周跳的情况下具有数值不变特性，因此将一条基线相对于两颗卫星在不同时刻的双差相位观测值再相减一次。组成所谓三差相位观测值，则整周模糊度参数就被消去了。由于没有整周模糊度参数，三差相位观测值对各种长度的基线解算十分简便可行。但是由于从 8 个原始相位观测值中才能形成一个三差相位观测值，观测量大大减少，其解算基线的精度是不高的。考虑到城市控制网的特点、

GNSS技术的发展和城市 CORS 系统的建设,本次修订将原规程中规定边长超过 30km 的基线解算的有关内容删除。

5.4.3 数据检验包括合格数据采用率、GNSS 网的同步观测环闭合差、异步环闭合差的检验。

1 基线处理中的数据剔除率是指在所采用的双差相位解算模型中,平差剔除的实际不合格观测量与进入平差的总观测量之比。20%是一个经验值,同时,这一比值还受平差中预先选择的控制参数 RMS 的阈值大小的影响。因此,本条只作为一种参考执行的指标,不作为必须执行的硬性规定。

2 本条规定了重复测量的基线的长度较差的限差。两次独立观测基线的长度差的限差公式是按误差传播定律导出的,这一公式是完全严密的公式,式中, σ 也是按式(4.1.3)和表 5.1.3 的规定计算。

3 对采用同一处理数学模型的单基线解产生的同步环闭合差,理论上,在有误差甚至粗差(如仪器高量错)存在的前提下,同步环闭合差也应为零,不存在规定其闭合差限差的依据。但在实际上,同步环中各条基线单独解算时,由于基线间不能做到完全严格的同步,一同步图形中各条基线处理时对应的起算点坐标不是从同一起算点导出的,而是各自端点 C/A 码伪距单点定位值,都可能产生较大的同步环闭合差。若一个等边形的三边形同步环,各基线处理时采用各自端点 C/A 码伪距定位值作起算点,若起算点坐标分量误差为 $\pm 20\text{m}$,则可能引起基线各分量 $\pm 1 \times 10^{-6}$ 的相对误差,三边形坐标分量闭合差则可达 $\pm \sqrt{3} \times 10^{-6}$,顾及同步环闭合差理论上应为零,故式(5.4.3-2)~式(5.4.3-5)规定城市各等 GNSS 网坐标分量闭合差限差。

同步环中超过三角形的多边形同步环,都可由三边形同步环组合得到,故可不重复检核。

4 由独立基线组成的闭合环称为独立环或异步环,在有误差的前提下,异步环闭合差不可能为零,因此它是 GNSS 网质量检核的主要指标。限差式(5.4.3-7)~式(5.4.3-11)把组

成异步环的基线看成是彼此独立的，以 GNSS 基线的边长各等级规定的精度指标为依据，按误差传播定律导出。公式中，限差标准取 2 倍中误差，比较严格，但却是容易实现的。

5.4.4 一个 GNSS 控制点最终不能与两条合格的独立基线相连接，表明该点是一个 GNSS 支线点，其位置可靠性没法检验，因此在城市和工程控制网中，无论哪一等级都是不能允许的。必须进行重测或补测，使这一点至少能与两条合格基线相连接。

允许在复测基线比较检核和异步环检核中有超限的情况存在，在网平差前或平差中，允许舍去这些超限基线而不予重测或补测，但舍去超限基线后，异步环中所含独立基线边数不应超过表 5.1.6 的规定。因为异步环中所含独立基线数太多，将导致这一局部观测基线可靠性降低，平差后间接基线边的相对精度降低。

点位不符合 GNSS 测量要求，将引起失锁、周跳、多路径误差，GNSS 观测中粗差和劣值观测值增多，即使重测因客观条件差也不能补救，因此只能放弃该点位而另设新点。

5.4.5 本条规定了 GNSS 网应完成平差工作。

1 以网中一个点的已知地心坐标作为无约束平差的起算点，实际上是对网的一个位置约束，又称最小约束平差，它与完全无约束的亏秩自由网平差是等价的，通过平移变换可互相转换，因此我们不加区分地都称为无约束平差。无约束平差的观测量是独立基线向量及其方差-协方差阵，待定未知数是 GNSS 网控制点的地心系三维坐标。三维无约束平差唯一起算点的地心系坐标应按第 5.4.2 条第 3 款优先选择。作为观测量的基线应是经过第 5.4.3 条检核后的合格基线。无约束平差的目的是提供全网平差后的地心系三维坐标，这些坐标是进一步用 GNSS 定位方式加密或补充城市控制网的起算依据；二是考察 GNSS 网有无残余的粗差基线向量和其内符合精度。因此进行无约束平差的软件应有剔除粗差基线的能力。为了检验精度和可靠性，无约束平差后应输出各基线向量的改正数，基线边长、方位、点位的精度

信息。

检验无约束平差的基线观测量是否包含粗差,这里提供了一个简单的实用的检验标准。即基线向量每一坐标分量的改正数不应超过本规范规定的该等级基线距离中误差的 3 倍值。而该基线距离中误差的计算仍按本规范式 (4.1.3) 和表 5.1.3 进行。较为严密的粗差检验公式是按下式进行:

$$T_i = \frac{V_i}{\sigma_{v_i}} \quad (28)$$

当取置信水平为 95% 时, $T_i > 2$, 即 V_i 大于其中误差的 2 倍时, 即被认为与它相应观测值是一个粗差。在平差中, 改正数的精度一般相当于且略高于其对应观测值的精度。因此作为规范标准, 我们用基线的距离分量的中误差取代上式的改正数中误差是可行的和合理的。再考虑到减少弃真概率, 上式中取 $T_i > 3$, 相当于置信水平接近 99.7%, 由此便得到本规范式 (5.4.5-1) ~ 式 (5.4.5-3) 的限差公式。

2 GNSS 网在国家或城市坐标系下的平差因为要引入这些坐标系的已知数据或观测数据而称为约束平差。约束平差可以三维方式进行, 也可二维方式进行。在三维方式中, 观测值是经三维无约束平差检核过的原始基线向量, 约束值是三维大地坐标或三维直角坐标、斜距、大地方位角或法截弧方位角。在二维方式中, 观测值是已经转换投影到国家或城市坐标系的高斯或 UTM 平面坐标系的二维基线向量及其转换后的方差-协方差阵, 作为已知数据的约束值是平面坐标系中的点的坐标、平面距离和坐标方位角。约束平差可以是强制性约束, 即所有起算数据的约束值均作为固定值参与平差, 亦即不顾及这些起算数据的误差; 约束也可以是松弛的, 即估计所有或部分约束值的误差, 按其精度的高低定权参与平差并在平差中给予适当的修正。作为强制性约束的起算数据应有很好的内符合精度, 即自身是兼容的, 否则将引起 GNSS 网的扭曲和变形, 损害 GNSS 网精度。在松弛性约束中, 约束值的权的确定须努力做到符合约束值的实际精度, 偏高

可能会引起 GNSS 网的变形, 偏低可能起不到提供基准的作用。

检核作为约束值的起算数据误差及其引起的 GNSS 网的变形。无约束平差的基线向量各分量的改正数反映了 GNSS 网基线本身的内部符合程度, 是不受起算数据误差影响的, 约束平差后, 同名基线在约束平差和无约束平差中的两类改正数差太大, 则说明起算数据误差引起了 GNSS 网变形, 变形超过一定程度, 就会明显降低 GNSS 网的精度, 是不能接受的。对于各等级城市 GNSS 网, 由起算数据误差引起的 GNSS 网最大变形, 原则上说, 应不超过本规定关于 GNSS 网最弱边相对精度的要求 (参见本规范表 5.1.3), 式 (5.4.5-4) ~ 式 (5.4.5-6) 的两类平差法的改正数较差变化的限差正是基于这一原则确定的。表 5、表 6 分别列出了当较差取 2σ 、 3σ 时, 各等级 GNSS 网相对应的边长相对中误差。

表 5 取 2σ 时各等级 GNSS 网相对应的边长相对中误差

等 级	平均距离 (km)	2σ (mm)	相应边长相对中误差
二等	9	2×21	1/21.4 万
三等	5	2×27	1/9.2 万
四等	2	2×22	1/4.5 万
一级	1	2×14	1/3.5 万
二级	0.6	2×19	1/1.6 万

表 6 取 3σ 时各等级 GNSS 网相对应的边长相对中误差

等 级	平均距离 (km)	3σ (mm)	相应边长相对中误差
二等	9	3×21	1/14.3 万
三等	5	3×27	1/6.2 万
四等	2	3×22	1/3.0 万
一级	1	3×14	1/2.4 万
二级	0.6	3×19	1/1.0 万

由表 5、表 6 看出, 取 2σ 是较为合理的, 若取 3σ 时, 三、

四等 GNSS 网边长相对中误差将超过本规范表 5.1.3 对最弱边精度的要求。

在已有的 GNSS 网平差软件中，部分软件不能提供基线增量的改正数，为此用上述方法就不能检核起算点之间的兼容性，则规定对 GNSS 网应进行不少于 2 个已知点的部分约束平差，在部分约束平差结果中未作为约束的已知点的坐标，其相对于约束点的相对中误差应不低于表 5.1.3 规定的上一等级控制网中最弱边相对中误差。

5.4.6 本条规定了 GNSS 网完成平差后应输出的成果信息，以便对网的整体质量进行评价。

5.5 质量检查与技术总结

5.5.1 本条规定了城市 GNSS 控制网测量质量检查的主要内容。根据 GNSS 控制网测量的特点，按工序流程设计了质量检查点。质量检查不可能进行全部重复作业过程，也不可能进行破坏性检查，过程成果的质量主要依靠作业员在作业过程中严格按规范、设计来作业，检查只是一种质量保证的手段。

5.5.2 本条规定了城市 GNSS 控制网测量技术总结应包含的主要内容。GNSS 测量从数据接收、数据处理到成果输出，自动化程度较高，可供检查的记录不多。所以，技术总结对作业过程的描述对检查至关重要，应全面、翔实。

5.5.3 城市 GNSS 控制网测量成果是基础性的测量成果，一般是长期保存的资料，是成果使用者追溯的唯一依据。所以，工作完成后，提交成果应齐全。

6 城市 GNSS RTK 测量

6.1 一般规定

6.1.1 本条对于 RTK 测量的方法进行了说明。单基站 RTK 测量方式是临时架设 1 个（或多个）基准站，在小区域范围内采用电台或 GPRS、CDMA 等无线通信方式向流动站用户发播差分改正数的一种测量方式。与网络 RTK 测量作业方式比较，单基站 RTK 的作业受距离制约，存在定位精度不均匀、可靠性差等缺点。在一些通信信号较弱或覆盖不到的困难地区，无法实时进行单基站 RTK 和网络 RTK 测量，现场可以采用后处理动态测量的模式进行 RTK 测量，内业用最近的基准站数据和外业数据进行处理，获得各流动站坐标。

6.1.2 城市 GNSS RTK 平面测量具有高精度、测点间相互独立等技术特点，根据 GNSS 测量的精度要求和 GNSS RTK 的测量特点，本规范对 GNSS RTK 测量的等级划分为一、二、三级和图根、碎部五级，对应于 GNSS 控制网的一、二、三级及地形测图的图根和碎部等级，并根据各等级的精度要求制定了最小边长，而不是平均边长。为了保证高等级控制测量的精度均匀性，本条对一级 GNSS 控制点布设强调了应采用网络 RTK 进行测量。根据城市测绘的特点，规范对于在对天视讯困难地区，对相邻点间距离可以缩短至表中的 $2/3$ ，但应使用常规方法检测边长，使两者之间的边长较差不大于 2cm，以满足常规测量对控制点几何条件的要求。

对于表 6.1.2 中的相邻点间距离和边长相对中误差的规定是总结了城市测量中布设等级导线的经验，结合满足常规测量对边长相对关系的要求后制定的。《城市测量规范》CJJ 8 中对布设一、二、三级导线的测距精度优于 15mm，边长最大限差放宽 2

倍。再根据 GNSS RTK 测量绝对定位精度可靠、点间相对精度较差的特点,相对于《城市测量规范》CJJ 8 对边长的要求进行适当的放宽,规定了相应等级的相邻点间距离和边长相对中误差。

6.1.3 图根和碎部 RTK 测量是布设最底层的控制点和测设地形、地物特征点,实测点位的选择受到很大限制,满足最低测量条件即可,以工作需要为主。一、二、三级 RTK 控制点测量要照顾到下一级控制布设的需要,精度要求较高。所以,本条控制点的点位选择要求应与 GNSS 网点相同。

6.1.4 RTK 测量精度很大程度受到卫星分布状况影响。这里的卫星为 RTK 流动站和基准站的共视卫星,为保证流动站和基准站收到足够多数目的卫星信号,单基站 RTK 测量时,基准站要选择空旷平地或者地势高处。

6.1.5 静态 GNSS 控制网测量可以通过基线精度、重复基线差及环闭合差和平差等作业过程对成果进行检验;RTK 测量每个测设点都是相互独立的,点与点之间没有直接关系,对于因意外产生的粗差无法发现。因此,为提高 RTK 测量的可靠性,保证仪器各种设置正确,测量过程中应选择一定数量的已知坐标点进行测量校核,以检查用户站设备的可靠性以及坐标转换参数的准确性。本条规定作业前应在测区内或周边至少校核一个已知点,并记录和计算校核结果。控制点校核较差,依据新布设的控制点相对于上一级控制点的点位误差不应超过 5cm;碎部点校核较差,依据不同比例尺地形图的要求来制定。

6.1.6 已有的 RTK 控制点,可以作为 RTK 测量的校核点,也可以作同级布设的控制点,当需要作为控制点使用时,为保证与新布设的控制点统一,应统一进行控制点间的边长、角度以及坐标检核,并应符合表 6.3.11 要求。

6.2 仪器设备

6.2.1 单基站 RTK 和网络 RTK 使用的设备有些不同,但流动

站设备都具备通信、接收卫星信号和差分数据处理的基本功能，只是进行数据通信的方式不同。流动站设备的选用是根据国内外主要仪器生产厂家的精度指标制定的，一般均可满足 RTK 定位测量相对于基准站精度在 5cm 之内的要求。

6.2.2 GNSS 接收机的检验除应满足静态测量的技术内容外，还应满足数据通信链路的检验，稳定的通信链路是 RTK 测量时保证精度和速度的基本关键因素。

6.3 单基站 RTK 测量

6.3.1 单基站 RTK 测量的基准站设置是关键性的第一步，基准站的选择直接影响到作业半径和效率。若基准站选择不当，基准站观测数据质量和无线通信信号传播质量无法保证，该基准站支持的所有流动站都不能顺利作业，或者造成基准站频繁迁站，影响工作进程。基准站的设置要与当前作业方式匹配，还要与流动站的模式匹配。

6.3.3 坐标系统转换参数的获取有多种方式，可视具体情况灵活采用。根据目前仪器设备使用的情况，主要提供 3 种转换参数的作业方式。一是已有该区域的坐标转换参数；二是事先可以收集到足够数量的同时具有地心坐标和参心坐标成果的控制点；最后是事先只收集到足够数量的具有参心坐标成果的控制点，其地心坐标需要实地采集获取。从使用方便和精度考虑，应按上述 3 种方式顺序选择。

由于收集到的控制点来源、精度不一定统一，其相互间的符合性很难一致，坐标系统转换参数是通过一定的数学模型利用重合点来拟合计算的，参与拟合控制点的分布对于参数计算、测量成果的精度都有很大影响，由于无法准确规定拟合的控制点分布，只能用均匀分布来限制拟合误差在作业过程中的扩大。同时，为了控制转换参数的精度，依据测设的 RTK 点的点位精度相对于基准站不超过 5cm 的要求，拟合控制点能控制作业区域前提下，转换参数残差应小于点位误差的 $1/3$ ，综合考虑其他因

素,本条规定了平面坐标转换的残差应不大于 2cm。对于高程转换,可根据实际资料和测量的目的进行设计,本规范不作规定。

6.3.4 基准站架设在未知点上,经过各项设置启动后与流动站建立了通信关系,流动站通过在已知点上采集地心坐标,然后求解坐标转换参数,再进行 RTK 作业。这种作业方式一般适用于小区域范围,由于在小区域内很难同时具有两个以上的高等级控制点,因此,求出来的坐标转换参数精度不高,本条规定了采用这种作业方式的 RTK 测量成果最高等级为图根。

6.3.5 RTK 作业受到地形、地物和电磁波等诸多外界环境因素影响,有些因素是作业员现场可以识别的,还有很多因素是无法现场判定,对观测结果的影响很难通过判断来确定。为了保证成果数据的质量,通过观测前对仪器的精度指标进行设置来获得可靠的结果,因为在周围观测情况不利于 RTK 作业的条件下,也可以获得 RTK 固定解,但获得的多次坐标成果相互间跳动大、不稳定,有存在粗差的可能性。如果在这种情况下进行 RTK 作业,那么 RTK 定位的精度、可靠性会很差。因此,根据 RTK 测量水平精度高、垂直精度低的特性,按照 1/3 点位误差的水平精度、水平精度 1.5 倍的垂直精度收敛阈值进行设置。

6.3.6 本条规定 RTK 一测回观测的技术要求。RTK 测量是一种连续测量,流动站接收机一旦锁定卫星,获得初始化,确定了载波相位观测量的整周模糊度,在每个历元解算过程中是不重新确定整周模糊度,如果初始化时的整周模糊度错误,连续观测多长时间结果都无法纠正。所以,一测回开始测量时,必须重新搜索、锁定卫星,进行初始化,以此来保证各测回间的相互独立、相互校核。

6.3.7 RTK 一测回观测需要搜索、锁定卫星,进行初始化,稳定收敛后才可进行观测,根据多种类型仪器的测试结果,完成测前的一系列准备工作平均在 40s 以上,为了保证测回间的初始化时间,制定了本条。同时,测回间隔一段时间可以消除因卫星分布不同、差分信号不同、电离层扰动影响等产生单次整周模糊度

确定不可靠的影响，从而保证各测回间的相互独立。

6.3.8 经过大量试验统计，RTK 测量的平面点位中误差优于 $\pm 3\text{cm}$ ，坐标分量应优于 $\frac{3}{\sqrt{2}} = 2.1\text{cm}$ ，因此，本规范规定测回间的平面坐标分量较差应小于 2cm （或小于 $0.0007''$ ）。

6.3.9 RTK 解算时是通过无线通信链路获取差分数据，有些地区通信条件较差或者存在未知干扰源，将导致 RTK 测量初始化困难；有时这种影响是短时间的，经过重新启动 GNSS 接收机，可能会恢复正常，当重新启动 3 次仍不能获得固定解时，表明此处不适合进行 RTK 测量，应选择其他位置进行测量以提高工作效率。

6.3.10 后处理动态测量不同于实时单基准 RTK 和网络 RTK 测量，首先要求流动站在静止状态下对卫星进行观测一段时间，获得初始化，这个初始化结果是后续测量的起算数据，在测量过程中不能丢失，一旦丢失，就需要重新初始化。

6.3.11 RTK 测量的精度会受到各种因素的影响，由于载波相位进行测量具有多值性，初始化过程中各种误差以及数据链传输过程中外界环境、电磁波干扰产生的误差的影响，可能导致整周未知数解算不可靠。同时，RTK 测设点间的相互独立，与传统测量强调的相邻点间相对关系有着根本上的区别。为了满足常规测量对控制点几何关系的要求，制定了本条规定。

RTK 测量时，仪器对中误差、测量天线高的误差，都将影响 RTK 测量的成果，因此应对三脚基座和仪器上的水准器进行检查校正，以尽量减少系统误差的影响。

RTK 平面控制点应采用常规方法进行边长、角度检核，表 6.3.11 中各项限差的规定是依据《城市测量规范》CJJ 8 中检测限差可在原精度要求上放宽 $\sqrt{2}$ 倍规定的，导线联测按相应的下一个等级要求执行。当采用导线联测的方法进行检核时，该导线同时可以应用于相应工程，不必另行布设导线。

6.3.12 RTK 碎部测量主要测设地形点和地物点，测量精度较

低,同时,作业环境可能满足不了控制点的点位要求,对其作业设备的要求相应放松,只需要用带圆气泡的对中杆架设天线即可,保证在测点上能够进行初始化。但在作业过程中应注意检查测设点的相对关系,以及地形点、地物点的几何形状。

6.3.13 RTK 定桩因需要定位、钉桩和校核,确定一点时间较长,建议使用三角支架方式架设天线。其他要求执行《城市测量规范》CJJ 8 的有关规定。

6.4 城市网络 RTK 测量

6.4.1 城市 CORS 系统是动态的、连续的空间数据参考框架,是一种快速、高精度获取空间信息的重要基础设施。可以为用户提供事后静态定位和实时动态定位服务。安全、有序和合理使用是系统稳定运行的基础。系统用户需要经过申请、登记、注册,并获得系统的授权后,方可登录系统,得到系统提供的服务。

6.4.2 城市 CORS 系统在建设时设计了网络的有效覆盖区域,用户应在该区域进行作业。如果在城市 CORS 系统覆盖区域之外作业,有可能得不到固定解,即使得到固定解,其解的精度和可靠性无法得到保证。

6.4.3 网络 RTK 测量和单基站 RTK 测量,主要在定位方法、通信手段和相应的设置等方面不一样。但两者在 RTK 测量时对流动站的操作程序、作业方法和技术要求基本一致。

6.5 数据处理与检验

6.5.1 RTK 测量仪器是一种常用设备,其内存是临时存储观测数据,不应作为保存资料的空间。RTK 测量的原始观测数据作为资料应存档保存,从安全角度考虑,外业数据采集器中数据应及时导出。

6.5.2 RTK 测量数据输出时一般采用接收机随机配备的商用软件,需要根据本条要求的输出内容进行设置输出,便于检查人员对外业采集的信息进行相应的检查。

6.5.3 这条规定是要求 RTK 测量人员严格按照规范的要求进行作业，对原始观测记录不得进行任何剔除或修改，防止伪造数据。

6.5.4 网络 RTK 测量时，流动站可能获得的是地心坐标系下的定位结果，而实际应用的是参心坐标系和正常高系统的成果，因此需要进行坐标转换。

6.5.5 RTK 测量因缺少相互间的校核关系，外业检查时要加大抽检比例。

6.5.6 RTK 测量过程基本是自动完成的，人工干预的机会很少，数据输出时考虑到了质量控制的因素，可对照有关规定进行检查。

6.5.7 RTK 测量应有一定数量的检核点，检核点应均匀分布于作业区的中部和边缘，以保证测量成果的可靠性。检核时常采用以下几种方法进行。已知点比较法：用 RTK 测出已知控制点的坐标进行比较检核，发现问题即采取相应措施予以改正。重测比较法：每次初始化成功后，先重测部分已测过的 RTK 测量点，确认无误后才进行 RTK 测量。常规测量方法：用常规仪器对 RTK 测量的点进行边长、角度检核，使其满足相应几何条件，并对检核点的平面坐标进行精度统计。

6.6 成果提交

6.6.1 可根据工程项目的实际情况，结合本条的内容确定 RTK 测量应提交的成果。

7 城市 GNSS 高程测量

7.1 一般规定

7.1.1 高程系统中最常用的有正高系统（以大地水准面作为参考基准面）和正常高系统（以似大地水准面为参考基准面），我国使用的高程系统是正常高系统。采用 GNSS 测量技术测定地面点的高程是以地心坐标的地球椭球面为基准的大地高 H ，大地水准面和似大地水准面相对于地球椭球面有一个高度差，分别称为大地水准面差距 N 和高程异常 ζ 。

大地高 H 、正高 H_g 和正常高 H_y 之间的高程关系按下列公式计算：

$$H = H_g + N \quad (29)$$

$$H = H_y + \zeta \quad (30)$$

如果能够比较精确地确定地面点的高程异常，则用 GNSS 测量方法可精确测定地面点的正常高。

确定地面点高程异常的方法主要有：大地水准面模型法、重力测量法、绘等值线图法、区域几何内插法、转换参数法、整体平差法、区域似大地水准面精化法等。不管采用哪种方法，均是利用已知点的数据，建立高程异常的改正模型，从而计算待求点的高程异常。

本条规定了 GNSS 高程测量分为高程异常模型的建立、GNSS 高程测量和高程计算三部分。

7.1.2 GNSS 测量得到的是测量点的三维坐标，受技术条件的限制，从 20 世纪 80 年代末 GPS 技术引进后，只是使用了 GPS 测量的平面二维成果，高程测量成果一直没有大量使用。随着全球高精度重力场模型的确定及基础理论上的突破，经过大量的实验，GNSS 测量求取正常高成为现实。按照《城市测量规范》

CJJ 8 中高程测量的精度等级, 本条规定了城市 GNSS 高程测量分为四等、图根和碎部三个等级。GNSS 高程测量由于受到自然地理环境的影响以及当前技术手段的限制, 各等级又划分为平原及丘陵和山区两种不同的情况, 并分别制定了各等级的高程异常模型内符合中误差、高程测量中误差、检测较差等精度指标。

GNSS 高程测量中误差可按下式计算:

$$m_k = \sqrt{m_H^2 + m_i^2 + m_g^2} \quad (31)$$

式中: m_k ——GNSS 点正常高中误差;

m_H ——GNSS 点大地高测量中误差;

m_i ——GNSS 测量仪器高测定中误差;

m_g ——模型中误差。

依据《城市测量规范》CJJ 8 中高程测量的规定, 水准网中最弱点的高程中误差不得大于 20mm。两个高程点的高差中误差应不超过 28mm, 四等 GNSS 高程测量按四等 GNSS 测量规定执行, 平均边长 2km, 大地高测量中误差按本规范式 (4.1.3) 的基线长度精度计算, 结果为 14mm, 每站仪器高测定中误差 3mm, 两站取 $2\sqrt{3}$, 约为 4mm。按式 (31) 计算模型中误差为 24mm, 可见模型内符合中误差和模型中误差是有一定区别的, 因此, 本规范规定了四等 GNSS 高程测量的高程异常模型内符合中误差为 20mm。

依据《城市测量规范》CJJ 8 中地形图测绘图根控制点高程中误差应不大于测图等高距的 1/10, 碎部点的高程中误差应不大于测图等高距的 1/3, 1:500 测图比例尺基本等高距 0.5m。平原地区图根控制点高程中误差不大于 50mm、碎部点的高程中误差应不大于 150mm。使用 RTK 测量方法, 距基站距离不应超过 6km, 依据本规范第 7.2.7 条第 3 款的仪器标称精度和式 (4.1.3) 计算, 大地高测量中误差为 23mm, 作业时对中杆量高误差 1mm, 按式 (31) 计算图根控制点模型中误差为 44mm、碎部点模型中误差为 148mm。考虑到模型内符合中误差和模型

中误差的区别、模型选择的差异以及 RTK 测量条件的限制,模型内符合中误差按模型中误差的 $2/3$ 计算。山区的各项技术指标在平原的基础上放宽 1.5 倍执行。

由于在山区大地水准面变化复杂,目前还没有足够的实验数据证明可以利用 GNSS 高程测量来代替四等水准测量,故表 7.1.2 中没有作出规定。

7.1.3 对于小区域的 GNSS 高程测量,一般是与 GNSS 平面控制测量同时布设、施测,根据区域情况和工程特点,控制点中测设部分 GNSS 水准点,通过数学拟合的方法获得高程异常模型,再利用模型计算其他控制点的高程,该高程异常模型可以应用于后续的 GNSS 高程测量中。

7.1.4 本条规定了作业员在进行 GNSS 高程测量时,应至少有一个以上的已知高程控制点进行检核,一方面可以检核该区域高程异常模型的正确性;另一方面可以检核 RTK 作业时各项设置的正确性和 RTK 作业的规范性。

7.2 技术要求

7.2.1 本条规定了高程异常模型的选取的技术要求。

1 对于区域范围大或地形地质情况复杂地区,只依靠 GNSS 测量、水准测量资料确定高程异常模型比较困难,需开展专项的区域似大地水准面精化工作,制定详细的技术设计,收集重力、水准、地形等大量资料,并结合 GNSS 测量、水准测量和重力测量,利用重力场模型和先进的计算方法获得区域高程异常模型成果。在该区域进行 GNSS 高程测量时,可根据精度要求直接使用该模型。

为了推广 GNSS 高程测量技术,国内已完成了十多个省级、三十多个大、中型城市的区域似大地水准面精化工作,为这些区域的 GNSS 高程测量提供了基础。同时,区域似大地水准面精化工作是一个综合了多种测量手段、使用了大量已有的数据、进行了复杂的数据处理的成果,技术难度大,资料、测量成果的互

补性很强，数据处理技术过程繁琐。因此，本规范没有对区域似大地水准面精化进行规定，只规定了使用模型的精度。对于似大地水准面精化工作，建议应另行进行技术设计，由专业的技术人员来完成。四等 GNSS 高程测量应使用区域似大地水准面精化成果。

2 对于测区面积不超过 100km^2 、地形较为平坦的地区或对于一些线形工程项目，可以直接使用水准测量、GNSS 测量资料，通过相对简单的平面或二次曲面高程拟合等数学模型，获取该区域的高程异常模型。区域高程异常模型的正确选取是进行 GNSS 高程测量的先决条件。

7.2.2 参与拟合计算的 GNSS 水准点应能反映区域重力异常变化情况，高程异常模型的精度主要取决于这些拟合点的分布和测量精度。由于重力异常变化人为无法确定，为了真实反映区域的重力异常变化情况，作业时只能覆盖作业区域，根据地形特征均匀布点。拟合计算范围的边沿应具有足够的已知点，以确保内插计算，避免外推。GNSS 水准点的拟合稳健性对拟合精度的影响较大，计算中应进行稳健性分析，筛选出模型兼容性较好的已知点进行。

7.2.3 本条规定了求取模型时 GNSS 测量和水准测量的精度等级。GNSS 测量和水准测量的等级按高于需要进行 GNSS 高程测量的等级来执行。

7.2.5 本条规定了采用数学拟合法建立高程异常模型技术要求：

1 测区面积小、地形较为平坦、重力梯度分布平缓时，高程异常模型可采用曲面拟合方法。

2 GNSS 高程控制网布设成线状或带状时，可采用曲线拟合。

3 测区面积较大（超过 100km^2 ）、没有似大地水准面精化工作的地区或呈大跨度带状分布时，为了控制高程拟合的误差传递，应根据地形地质情况、高程异常变化梯度合理地划分区域，进行分区拟合计算。

高程异常模型建立的数学拟合的方法如下:

1 GNSS 高程异常曲线拟合法可分为包括多项式曲线拟合法、三次样条曲线拟合法和阿克玛 (Akima) 拟合法。

1) 若拟合曲线不长且高程异常平缓时可用多项式曲线拟合法, 并按式 (32) 计算:

$$\begin{cases} \xi(x_i) = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_3 x_i^3 + \cdots + a_n x_i^n + \cdots \\ \xi(x_i) = H_i - h_i \end{cases} \quad (32)$$

式中: $\xi(x_i)$ —— 拟合点的高程异常;
 x_i —— 拟合点在测线上的长度值;
 $a_0, a_1, a_2, \cdots, a_n, \cdots$ —— 各阶拟合系数;
 H_i —— 拟合点的 GNSS 测量高程;
 h_i —— 拟合点的实测高程。

按最小二乘原理使 $[\xi(x_i)\xi(x_i)]$ 最小, 求出式 (32) 中的 $a_0, a_1, a_2, \cdots, a_n, \cdots$ 等各系数后, 可按式 (32) 根据测线的长度值求出测线方向上任一点的高程异常值 ξ 。

2) 当测线过长、已知点较多时, 宜采用三次样条曲线拟合法拟合, 并按式 (33) 计算。

设测线的 n 个已知点, ξ_i 和 x_i (拟合坐标) 在区间 $[x_i, x_{i+1}]$ ($i=0, 1, 2, \cdots, n-1$) 存在下式的三次样条函数关系:

$$\begin{cases} \xi(x) = \xi(x_i) + (x-x_i)\xi(x_i, x_{i+1}) + (x-x_i)(x-x_{i+1})\xi(x, x_i, x_{i+1}) \\ \xi(x_i, x_{i+1}) = [\xi(i+1) - \xi(i)] / (x_{i+1} - x_i) \\ \xi(x, x_i, x_{i+1}) = 1/6 [\xi(x_i) + \xi(x) + \xi(x_{i+1})] \end{cases} \quad (33)$$

$\xi''(x_i)$ ($i=1, 2, \cdots, n-1$) 满足系数矩阵为对称三角阵的线性方程组如下式:

$$\begin{cases} (x_i - x_{i-1})\xi''(x_{i-1}) + 2(x_{i+1} - x_{i-1})\xi''(x_i) + (x_{i+1} - x_i)\xi''(x_{i+1}) \\ = 6[\xi(x_i, x_{i+1}) - \xi(x_{i-1}, x_i)] \\ \xi''(x_0) = \xi''(x_n) = 0 \end{cases} \quad (34)$$

按下式可以求出 $\xi''(x_i)$ 和 $\xi''(x_{i+1})$:

$$\xi''(x) = \xi''(x_i) + (x_i - x_{i-1})\xi''(x_i, x_{i+1}) \quad (35)$$

式中: $\xi(x)$ ——拟合点的高程异常;

x ——待求点坐标;

x_i, x_{i+1} ——待求点两端已知点的坐标;

$\xi(x_i, x_{i+1})$ ——一阶差商;

$\xi(x, x_i, x_{i+1})$ ——二阶差商。

3) Akima 曲线拟合

用 Akima 法进行曲线拟合, 在两个已知点间内插时, 还需用另外两点确保曲线光滑、函数连续。

设给定 n 个不等距 GNSS 测点为 $x_0 < x_1 < \dots < x_{n-1}$, 相应的高程异常值为 ξ_i ($i=0, 1, 2, \dots, n-1$)。

若在子区间 $[x_k, x_{k+1}]$ ($k=0, 1, 2, \dots, n-2$) 上两个端点处满足下式 4 个条件:

$$\begin{cases} \xi_k = f(x_k) \\ \xi_{k+1} = f(x_{k+1}) \\ \xi'_k = g_k \\ \xi'_{k+1} = g_{k+1} \end{cases} \quad (36)$$

式中, g_k, g_{k+1} 可由 Akima 条件唯一确定。

则在区间 $[x_k, x_{k+1}]$ ($k=0, 1, 2, \dots, n-2$) 上可以唯一地确定一个三次多项式如下式:

$$\xi(x) = p_0 + p_1(x - x_k) + p_2(x - x_k)^2 + p_3(x - x_k)^3 \quad (37)$$

式中: $\xi(x)$ ——拟合点的高程异常;

x_k, x_{k+1} ——两端已知点的坐标;

p_0, p_1, p_2, p_3 ——拟合系数。

由式 (37) 即可计算该子区间插值点 t 处的高程异常值 $\xi(x)$ 。

2 GNSS 高程异常曲面拟合方法可分平面拟合法、多项式曲面拟合法、多面函数拟合法等。

1) 平面拟合

对于较小范围的平坦且地势平坦时, 其似大地水准面可以近

似看成平面。这样就可以用一个平面函数来近似拟合出似大地水准面，进而求出测点的正常高。

设已知点 i 的高程异常为 ξ_i ，平面坐标为 (x_i, y_i) ，则平面模型可表示如下：

$$\xi_i = a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i \quad (38)$$

式中： ξ_i ——拟合点的高程异常；

a_1 、 a_2 、 a_3 ——未知参数。

求解时至少需要 3 个公共点，在最小二乘法的准则下，就可求得参数的最佳估计，并进而回代得到未知点的高程异常值 ξ 。

2) 多项式曲面拟合

当测区范围较大时，应采用曲面模型来对似大地水准面进行拟合。设测点的高程异常 ξ_i 和坐标 (x_i, y_i) 之间存在下式函数关系：

$$\xi_i = f(x_i, y_i) + \epsilon_i \quad (39)$$

式中： $f(x_i, y_i)$ ——空间曲面函数；

ϵ_i ——误差。

通常， $f(x_i, y_i)$ 可选用多项式空间曲面表达式如下式：

$$\begin{aligned} f(x_i, y_i) = & b_0 + b_1 x_i + b_2 y_i + b_3 x_i^2 + b_3 y_i^2 + b_4 x_i y_i + b_5 y_i^2 \\ & + b_6 x_i^3 + b_7 x_i y_i^2 + b_8 x_i^2 y_i + b_9 y_i^3 + \cdots \end{aligned} \quad (40)$$

写成矩阵形式： $\xi = XB + \epsilon$

$$\begin{aligned} \xi = \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \xi_n \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b_0 \\ \vdots \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} \quad \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix} \\ X = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & \cdots \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (41)$$

对于每一个已知点，都可列出以上方程。在 $\sum \epsilon^2 = \min$ 条件

下,可解出参数 b_i , 并进而回代得到未知点的高程异常值 ξ 。根据的测区的不同情况,可在式(41)中选用不同的参数进行拟合。选用的参数不同,拟合出的空间曲面形式也不同。

3) 多面函数拟合

当测区地势复杂、高差较大时,似大地水准面的起伏也随之增大,单一的数学曲面不再适用。此时可采用多面函数模型进行拟合。其理论根据是:任何一个圆滑的数学表面总可以用一系列有规则的数学表面总和,以任意的精度逼近。多面函数拟合的基本思想是:在每个插值点上,同所有的已知数据点分别建立函数关系(多面函数),通过将这些多面函数的值叠加起来,获取最佳的曲面拟合值。

设测点的高程异常 ξ_i 和坐标 (x_i, y_i) 之间存在下式函数关系:

$$\xi = f(x, y) = \sum_{i=1}^n a_i Q(x, y, x_i, y_i) \quad (42)$$

式中: a_i —— 待定系数;

x, y —— 待求点的坐标;

x_i, y_i —— 已知点的坐标;

$Q(x, y, x_i, y_i)$ —— 二次核函数。

核函数一般可选用下式:

$$Q(x, y, x_i, y_i) = [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + \delta]^{1/2} \quad (43)$$

其中, δ 为光滑系数,应在试算后加以确定。

当待求点数等于已知点数时,任一点 ξ_p 为:

$$\xi_p = Q_p Q^{-1} \xi = (Q_{1p}, Q_{2p}, \dots, Q_{np}) \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Q_{n1} & Q_{n2} & \dots & Q_{nn} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \vdots \\ \xi_n \end{bmatrix} \quad (44)$$

其中 $Q_{ij} = Q(x, y, x_i, y_i)$

当待求点数多于已知点数时应用下式:

$$\hat{\xi}_p = Q_p (Q^T Q)^{-1} Q^T \xi \quad (45)$$

7.2.6 本条规定了高程异常模型确定后,还应有一定数量的 GNSS 水准点作为检测。检测点也应分布均匀,检验点数不少于 5 个,做到同时兼顾检测工作量和检测的效果质量。检验结果应符合本规范表 7.1.2 的规定。

7.2.7 GNSS 高程测量时应严格满足 GNSS 外业选点、埋石、观测时间、观测环境和仪器高丈量等各方面的要求。对于四等 GNSS 高程测量,应选用双频接收机和性能较好的天线,观测中应分测前、测后量取仪器高,量取准确到毫米,较差小于 $\pm 3\text{mm}$ 时可取其平均值作为结果。外业观测中应注意选择良好的观测窗口,以选择较佳的 PDOP 值时段,同时避开电离层、对流层活跃的时段。

7.2.8 区域高程异常模型均有一定的覆盖范围。采用高程异常模型进行 GNSS 高程测量时,应确保 GNSS 点完全分布在高程异常模型区域范围以内,进行内插计算,不能外推,以确保 GNSS 高程点的精度。

7.3 数据处理与检验

7.3.4 GNSS 高程拟合的各种模型都各有其优势与缺陷,有其一定的适用范围,且不同拟合模型可能对高程异常模型的影响差异较大,关键在于模型函数能否最佳地表达出整个区域的高程异常变化。因此新建的 GNSS 高程异常模型应进行模型的精度评定。

7.3.5 新建的 GNSS 高程异常模型是否合理,需要一定数量的已知点来进行模型外符合检核,检测点的数量较少没有统计意义,只有检测点大于 20 个时才有统计意义,才能够较好地检验高程异常模型的实际精度。

7.3.6 GNSS 高程测量工作完成后,需要对成果进行精度评定。进行一定量的外业抽检,抽检比例应大于常规测量的外检比例,本规范规定外业抽检比例不能低于 10%。通过外部的实测结果

来评定 GNSS 高程测量的精度，已参与模型拟合的 GNSS 水准点不得参与检测计算。本条还规定了可以采用的检测方法。

7.3.7 GNSS 高程测量成果应与区域的高程控制网系统一致，为了避免出现独立的高程系统，本条规定了任何检测方法都要至少联测一个已知高程点。

7.3.8 依据《城市测量规范》CJJ 8 的规定，水准测量同精度检测已测测段高差之差按原等级水准测量限差的 $\sqrt{2}$ 来执行，三角高程测量按对向观测高差或单向两次高差较差执行，碎部检测较差按高程中误差的两倍执行。

7.3.9 按同精度两次观测计算 GNSS 高程测量的高程中误差。

7.4 成果提交

7.4.1 可根据工程项目的实际情况，结合本条的内容确定 GNSS 高程测量应提交的成果。



1 5 1 1 2 1 7 8 4 5



统一书号: 15112 · 17845
定 价: 22.00 元