

UDC

中华人民共和国行业标准

TB

P

TB 10024—20XX
J XXX—20XX

铁路北斗卫星导航定位基准站网 建设技术规程

Technical Specification for Construction of Railway BeiDou Satellite
Navigation and Positioning Reference Station Network

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

国 家 铁 路 局 发 布

中华人民共和国行业标准

铁路北斗卫星导航定位基准站网建设技术规程

Technical Specification for Construction of Railway BeiDou Satellite Navigation
and Positioning Reference Station Network

TB 100XX—20XX

J XXX—20XX

主编单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司

国家铁路局规划与标准研究院

批准部门：国家铁路局

施行日期：20XX 年 XX 月 XX 日

20XX 年 · 北 京

前 言

为统一铁路北斗卫星导航定位基准站网建设技术要求，满足铁路工程勘察设计、施工建设、运营维护及变形监测等全生命周期需求，本规程在总结国内北斗卫星导航测量领域科研成果和实践经验，借鉴国家及相关行业标准技术要求基础上编制而成。

本规程遵循稳定、可靠、安全、集约利用原则，积极推进北斗卫星导航定位基准站网在铁路领域的应用，为铁路北斗卫星导航定位基准站网工程建设提供技术保障。

本规程本规程共 13 章，内容包括总则、术语和符号、基本规定、网形设计与站址遴选、土建工程、设备选型及安装、数据中心建设、通信网络、基准站网测量、集成测试与评定、基准站网应用、故障处置与应急维护、资料汇交，另有 5 个附录。

主要内容如下：

1. 提出了规程的编制目的、适用范围及基准站网建设的通用要求。
2. 规定了基准站网建设中的基本术语、符号。
3. 明确了基准站网建设的一般规定，界定各参建单位在项目中的职责和分工。
4. 规范了基准站网网形设计、站址遴选，明确布设、选址、命名、实地遴选及测试要求。
5. 规定了基准站土建工程，对观测墩、防雷、辅助工程施工建设作出技术要求，明确观测墩类型及埋设规格要求。
6. 明确了基准站各类设备选型、安装调试，规定设备参数、防护及运行

监控要求。

7. 规定了数据中心软硬件配置的整体性能、硬件性能、软件性能等要求，规范数据处理播发、软件功能与信息安全防护。

8. 提出了通信网络架构划分，规定了数据回传、播发、服务接入的技术指标与安全要求。

9. 规定了基准站网测量联测、外业作业，明确了数据预处理、基线解算与网平差要求。

10. 规定了基准站网现场、远程、应急、精度测试，明确了系统集成测试评定标准。

11. 提出了基准站网在平面控制测量、动态测量、变形监测方面的应用技术要求。

12. 明确了基准站网运维体系，提出了站点、数据中心、网络维护及应急处置要求。

13. 规定了基准站网全流程资料汇交，明确了各阶段需提交的纸质及电子资料内容。

在执行本规程过程中，希望各单位结合工程实践，认真总结铁路北斗卫星导航定位基准站网建设经验，积累资料。如发现需要修改和补充之处，请及时将意见和有关资料寄交中铁第四勘察设计院集团有限公司（武汉市和平大道745号，邮政编码：430063），并抄送国家铁路局规划与标准研究院（北京市西城区广莲路1号，邮政编码：100055），供今后修订时参考。

本规程由国家铁路局科技与法制司负责解释。

主编单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司、国家铁路局规划与标准研究院。

参编单位：中国铁路设计集团有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司、中铁第五勘察设计院集团有限公司、中关村智联轨道交通运营产业联盟。

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术 语.....	2
2.2 符 号.....	3
3 基本规定.....	4
3.1 一般规定.....	4
3.2 组织与管理.....	4
4 网型设计与站址勘选.....	7
4.1 一般规定.....	7
4.2 网形设计.....	7
4.3 基准站站址勘选.....	8
5 土建工程.....	11
5.1 一般规定.....	11
5.2 观测墩建设.....	11
5.3 防雷工程.....	13
5.4 辅助工程.....	14
6 设备选型及安装.....	15
6.1 一般规定.....	15
6.2 接收机.....	15
6.3 天线.....	16
6.4 气象设备.....	18
6.5 电源设备.....	18
6.6 监控设备.....	19

6.7 网络设备.....	20
6.8 雷电防护设备.....	21
7 数据中心建设.....	23
7.1 一般规定.....	23
7.2 整体性能.....	23
7.3 硬件性能.....	24
7.4 软件功能.....	25
7.5 信息安全防护.....	26
8 通信网络.....	27
8.1 一般规定.....	27
8.2 数据回传.....	28
8.3 数据播发.....	28
8.4 服务接入.....	29
9 基准站网测量.....	30
9.1 一般规定.....	30
9.2 测量要求.....	30
9.3 数据处理.....	32
10 集成测试与评定.....	37
10.1 现场测试.....	37
10.2 远程测试.....	37
10.3 应急测试.....	39
10.4 精度测试与评定.....	39
11 基准站网应用.....	42
11.1 平面控制测量.....	42

11.2 动态测量.....	44
11.3 变形监测.....	44
12 故障处置与应急维护.....	46
12.1 一般规定.....	46
12.2 基准站维护.....	46
12.3 数据中心维护.....	47
12.4 网络维护.....	48
12.5 应急维护.....	48
13 资料汇交.....	50
附录 A 基准站勘址记录.....	52
附录 B 基准站示意图.....	54
B.1 基岩观测墩示意图.....	54
B.2 土层观测墩示意图.....	55
B.3 屋顶观测墩示意图.....	56
B.4 基准站机柜示意图.....	58
B.5 观测墩顶面强制对中标志.....	58
附录 C 基准站点之记.....	59
C.1 基准站点之记（正面）.....	59
C.2 基准站点之记（反面）.....	60
C.3 基准站铭牌示例.....	61
附录 D 卫星定位测量手簿记录格式.....	62
附录 E.....	63
E.1 基准站土建工程建设质量检查评分表.....	63
E.2 基准站设备安装质量检查评分表.....	64

E.3.1 现场维护巡检记录表.....	65
E.3.2 远程维护巡检记录表.....	66
E.4 基准站信息变更表.....	67
本规程用词说明.....	68
《铁路北斗卫星导航定位基准站网建设技术规程》条文说明.....	69

1 总 则

1.0.1 为统一和规范铁路北斗卫星导航定位基准站网的建设技术要求，保障基准站网提供连续、稳定、高精度的定位与导航服务，满足铁路工程勘察设计、施工建设、运营维护全生命周期需求，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于铁路北斗卫星导航定位基准站网设计、建造、测试、验收、应用和维护。

1.0.3 铁路北斗卫星导航定位基准站网建设应遵循自主可控、安全可靠、精度适配、经济高效、兼容扩展和资源共享的原则，满足铁路工程毫米级静态定位和厘米级动态定位精度要求。

1.0.4 铁路北斗卫星导航定位基准站网建设应采用国家大地坐标系（CGCS2000）、1985 国家高程基准和北斗时（BDT），并与国际导航卫星系统服务组织（IGS）站及国家连续运行参考站联测，建立统一的三维地心坐标基准与时间基准。

1.0.5 铁路北斗卫星导航定位基准站网建设除应符合本规程外，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 铁路北斗卫星导航定位基准站 railway BeiDou reference station

沿铁路线路带状布设、纳入铁路北斗卫星导航定位基准站网的北斗卫星导航定位基准站。简称基准站。

2.1.2 铁路北斗卫星导航定位基准站网 railway BeiDou reference station network

沿铁路线路走向呈带状布设、服务于铁路工程勘察、施工、运营维护和变形监测的北斗卫星导航定位基准站网。简称基准站网。

2.1.3 数据可用率 data availability rate

有效观测历元数与总观测历元数之比，以百分数表示。

2.1.4 内符合中误差 internal accord accuracy

在某点上测量得到的瞬时坐标值与其坐标均值较差后的统计值。

2.1.5 外符合中误差 external accord accuracy

在某点上测量得到的坐标值与其已知坐标较差后的统计值。

2.1.6 系统可用度 system availability

系统在规定时间和规定条件下处于正常工作状态并能够提供规定服务的时间比例。

2.1.7 观测数据完整率 observation data completeness rate

实际获得的完整观测值历元总数与规定观测条件下应获得的理论观测历元总数之比，以百分数表示。

2.1.8 基准动态维持 dynamic maintenance of reference frame

通过定期解算、稳定性分析和坐标更新等措施，保持基准站网坐标框架长期稳定和一致的技术过程。

2.1.9 独立施工平面控制网 independent construction horizontal control network

为满足长大隧道及复杂特大桥等重点工程施工测量的要求，以基准站网为基准建立的独立平面控制网。

2.1.10 线下工程平面控制网 substructure horizontal control network

以基准站网为基准沿线路布设的平面控制网，为路基、桥涵、隧道和站场等线下工程施工提供平面定位基准。

2.1.11 线上工程平面控制网 trackwork horizontal control network

以基准站网为基准沿线路布设的平面控制网，为轨道结构等线上工程施工和运营维护提供平面定位基准。

2.2 符 号

σ ——基线长度中误差

a ——接收机基线固定误差

b ——接收机基线比例误差系数

MP_1 、 MP_2 、 MP_3 ——多路径误差

d ——基线长度

v ——线路速度目标值

R ——系统可用度

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 新建、改建铁路平面控制网测设应结合工程建设进度开展，基准站网测设应在勘察设计阶段完成。

3.1.2 测量精度应以中误差衡量，极限误差（简称限差）规定为中误差的 2 倍。

3.1.3 基准站网的设计、施工和运维应遵循稳定、可靠、安全和集约利用的原则。所有观测数据、差分数据、坐标成果等应保障数据传输、存储和使用全过程的保密性与安全性。

3.1.4 基准站网应充分利用既有基准站资源，新建、改建铁路宜在定测前完成建设，全程为勘察设计、施工和运营提供观测数据、统一坐标基准及实时差分服务；为工程建设、运营维护时期人员、车辆、施工机具提供位置服务。

3.1.5 基准站接收机应具备独立接收北斗卫星导航系统全频段信号的能力。

3.1.6 基准站接收机、天线等计量设备安装前应取得检定合格证书。

3.1.7 基准站应建立常态化保养和维护制度，并开展经常性现场检查，设备状态不合格不得继续投入使用。

3.1.8 基准站网网络服务系统、基线解算、观测数据后处理等配套软件，均应具备独立解算北斗卫星导航系统观测数据的能力。

3.1.9 基准站网应具备全天时连续运行能力，配套供电、通信、防雷、防盗和电磁防护等附属设施应同步建设、同步验收，保障基准站网长期稳定运行。

3.2 组织与管理

3.2.1 建设单位主要工作应包括下列内容：

- 1 负责组织基准站网各阶段方案和成果的评估和验收。
- 2 组织推进基准站网在各建设阶段的应用,铁路工程竣工后组织移交运营单位。

3.2.2 勘察设计单位主要工作应包括下列内容:

- 1 负责基准站网的建设方案编写和实施,完成成果交付和技术交底,负责工程勘察设计和建设期间基准站网的运营与维护。
- 2 协助建设单位、运营单位组织推进基准站网服务在施工测量、变形监测和运营维护中的应用,提供基准站网应用技术支持。

3.2.3 施工单位主要工作应包括下列内容:

- 1 接收建设单位移交的基准站网成果,以基准站网为起算基准开展本标段独立施工平面控制网和线下工程平面控制网的测设。
- 2 线上工程施工前完成线上工程平面控制网的测设。
- 3 施工过程中应统一使用基准站网差分定位服务。
- 4 定期和不定期使用基准站网复测标段内平面控制点,发现点位异常立即上报建设单位。
- 5 施工过程中施工机械应远离基准站,设置围挡和警示标识,严禁开挖、堆载和电磁干扰设备靠近站点。若施工可能扰动基准站点位,应提前上报建设、设计单位,采取防护或迁站方案。

3.2.4 监理单位主要工作应包括下列内容:

- 1 协助建设单位完成基准站网的验收工作。
- 2 审核施工单位应用基准站网开展测量工作时的相关测量技术方案及测量成果,协助建设单位完成基准站网应用过程中的监督和验收工作。

3.2.5 评估单位主要工作应包括下列内容:

- 1 负责基准站网成果资料的复核评估, 出具基准站网质量评估报告。
- 2 依托基准站网统一全线平面控制测量基准,开展平面控制测量咨询评估工作。

3.2.6 运营单位主要工作应包括下列内容:

- 1 负责做好基准站网管理工作的衔接, 保持基准站网运行维护的延续性。
- 2 负责线路运营期基准站网的应用、维护和管理工作的。

4 网形设计与站址遴选

4.1 一般规定

4.1.1 基准站网站址应沿铁路线路走向左右侧交替呈带状布设，站址应统一规划和设计。

4.1.2 线路起点、终点应各布设 1 个基准站，每条线路基准站网站点总数不应少于 3 个。

4.1.3 基准站应选址在基岩、稳定持力层地质块体或稳定的建（构）筑物上。

4.1.4 基准站站址遴选前应收集铁路沿线地区的地形图、交通图、地质构造图以及已建站点、冻土深度及地下水位、气象信息等其他相关资料，并制定基准站站址遴选技术设计方案。

4.1.5 基准站站址遴选时应进行站址环境测试和分析，周围环境应便于站点土建施工、设备安装、信号接收和长久使用等。

4.2 网形设计

4.2.1 基准站网应与沿线既有铁路基准站网实现兼容互联，重叠覆盖区域的站点应优先共用已有站点设施。

4.2.2 一般区段基准站布网原则应符合下列规定：

- 1 相邻站点间距不应大于 15km，站点距线路中线垂直距离不应大于 5km。
- 2 各基准站与其最邻近的两个基准站组成的三角形的最短边和最长边之比不宜小于 0.5。

4.2.3 特殊区段基准站布网原则应符合下列规定：

1 隧道长度大于 15 km 时，应在隧道进、出口处各布设 1 座基准站；隧道长度大于 30 km 时，除进、出口基准站外，宜结合斜井、竖井、横洞等辅助坑道口根据需要增设基准站。

2 线路跨越宽度大于 15 km 的水域时，应在两岸岸线稳定区域各布设 1 座基准站，基准站距水岸距离不应小于 200 m；水域宽度大于 30 km 时，应在两岸岸线稳定区域各布设 2 座基准站，基准站距水岸距离不应小于 200 m，且同侧相邻基准站间距宜大于 3 km，条件具备时可在水域中增设基准站。

4.2.4 基准站点选址时高程宜与周边铁路长大隧道、重点桥梁或大型车站等重要工点平均高程大致相同。

4.2.5 与相邻铁路工程基准站网衔接时，重叠共用的基准站数量不宜少于 2 个。

4.2.6 线路穿越活动构造块体、全新世活动断裂带区段时，基准站点优先布设至活动构造域外稳定基岩场地。

4.3 基准站站址遴选

4.3.1 基准站站点遴选应采用线路规划地形图和线路带状地形图开展初选，并应符合下列规定：

1 应建立在稳定的地质块体上或结构稳定的屋顶上，同时结构设计应考虑阻抗环境震动。

2 宜选在长大隧道进出口、特大型桥梁、车站等重要工点附近。

3 应优先考虑建设在便于接入通信网络、具有稳定的供电条件及交通便利地区，并具有良好的安全保障环境，便于站点长期连续运行。

4 距高大建筑、树木、水体等易产生多路径效应地物的距离应大于 200m。

5 应满足 10°以上地平高度角的北斗卫星通视条件，困难条件下，高度角

可放宽至 25°，且遮挡物水平投影影响范围应低于 60°。

6 与微波站和微波通道、无线电发射台等电磁干扰区距离宜大于 200m。

7 应考虑周边地块未来的规划和建设，选择周围环境变化较小的区域进行建设。

8 禁止在军事管辖区、信号干扰区等敏感区域布设。

9 应避开采矿区、铁路、公路等易产生振动的地带。

4.3.2 基准站站点命名规则应符合下列规定：

1 应以线路名简称+所在地+序号（三位）命名。

2 站点代码应分别进行十位和四位的代码编码，并建立对应关系表。

3 十位代码第一位表示属性，“T”为铁路用基准站，第二、三位为基准站所在路局代码，第四、五、六、七位为基准站所在线路代码，线路代码未明确时为线路首字母四位简称，最后三位数字为同一线路顺里程方向建站顺序号。

4 四位代码根据基准站所在线路名称、所在地和序号等关键字的字母或数字编码，单个线路应确保代码唯一，并入既有基准站网，代码重复时应重新编码。

4.3.3 基准站初选完成后应进行实地遴选，并应符合下列规定：

1 应按本规程第 4.3.1 条的要求实地选定点位，并加以标定。当利用已有站点时，应检查既有站点遴选报告，符合要求方可利用。

2 应落实土地使用以及供电、通信、站址安全防护等基础设施条件，确定基准站观测墩建设类型，分析环视条件。

3 应填写基准站勘址记录，格式见本规程附录 A。

4 宜同时遴选附近 1 至 2 个备选站址。

4.3.4 实地遴选时应对站址进行 BDS 数据质量测试，并应符合以下要求：

1 应在站址上架设带有大地测量型扼流圈天线的设备,天线架设的高度应与拟建观测墩的高度一致。

2 实地进行观测时,设置卫星高度截止角为 10° ,以 1s 采样间隔记录卫星信号观测数据,连续测试时间不应小于 24h。

3 测试结果中观测数据完整率不应小于 95%,平均多路径影响 $MP1 < 0.5m$ 、 $MP2$ 和 $MP3 < 0.65m$ 。

4.3.5 最终站址应符合以下要求:

1 根据备选站址实地勘选测试数据质量、网形结构、基础设施条件等进行确定,并按本规程第 4.3.2 条的要求命名。

2 应编写基准站勘选技术报告,报告内容包括实施过程、地质及地形概述、实地测试情况、用地及维护等内容。

3 最终站址点位处应设立具有站名、经纬度坐标的标识牌,并拍摄 6 张照片,站址东、南、西、北方向应拍摄 4 张与测试天线高度一致的远景照片,站址近景应拍摄 1 张照片,站址远景应拍摄 1 张照片。

5 土建工程

5.1 一般规定

- 5.1.1 基准站土建工程应包括观测墩、防雷工程和辅助工程等内容，宜选择少雨的季节完成。
- 5.1.2 基准站设备宜优先选用一体化机柜存放。一体化机柜规格见本规程附录 B。
- 5.1.3 基准站观测墩类型应根据建设需求和地理、地质环境确定，可分为基岩观测墩、土层观测墩和屋顶观测墩，观测墩埋设规格见本规程附录 B。
- 5.1.4 基准站站址如需征地，应依法办理土地使用手续，取得土地使用证明或租赁协议。
- 5.1.5 站点土建工程施工前应编制土建工程实施方案，明确施工工艺、质量控制和安全防护措施等。
- 5.1.6 站点土建工程完工后应进行质量检查，合格后方可进行设备安装和测试。

5.2 观测墩建设

5.2.1 基岩观测墩建设应符合下列规定：

- 1 应采用钻探、挖孔等方式入岩，钻探入岩深度不应小于 0.5m，直径不应小于 130mm，钻孔垂直度偏差不应超过 1°，且在标杆与孔壁之间以及标杆管内部灌满标号不应低于 M15 的水泥浆。
- 2 观测墩基础钢筋规格不应低于 $\Phi 20$ ，箍筋规格不应低于 $\Phi 6$ ，基础承台内应放置 3 层钢筋，地面观测墩内应放置 2 层钢筋，每层钢筋间应使用 $\Phi 20$ 钢筋竖向捆扎，形成钢筋笼。

3 观测墩与地面接合四周应设防震槽，防震槽宽度不应小于 50mm，应与观测墩基础同深，并在其内填粗砂。

4 墩柱直径不应小于 400mm，高度不应低于 2100mm，观测墩基础不应小于 1200mm×1200mm×1200mm，并应在一侧预留不小于 800mm×800mm×400mm 的长方体凹槽空间作为机柜。

5 观测墩混凝土浇筑应符合下列要求：

1) 应采用不低于 C30 规格强度的混凝土进行现场浇筑，混凝土应搅拌均匀，并用电动振动棒充分捣固，保证固结良好和外部光洁。

2) 观测墩应保证垂直，其垂直度偏差应小于 5%。

3) 室外日平均气温连续 5 天低于 5℃时，应采取保温措施保证混凝土浇筑质量。

5.2.2 土层观测墩建设应符合下列规定：

1 墩体基础底部应位于当地冻土线以下 0.5m，观测墩基坑开挖时如遇软土、流沙、涌水等不良地层时，应持续向下开挖直至良好持力土层，深度不小于 0.5m。

2 混凝土浇筑及其他设计施工要求与基岩观测墩相同，具体见本规程第 5.2.1 条第 2~5 款。

5.2.3 屋顶观测墩建设应符合下列规定：

1 屋顶观测墩可采用钢筋混凝土观测墩或钢管观测墩。

2 观测墩所在建筑应为钢筋混凝土框架结构，宜以低层建筑物为主。

3 观测墩应保证垂直，其垂直度偏差应小于 5%。

4 观测墩基础应与房屋主承重结构连接紧密，进行防水处理并修复原建筑物的防水层。

5.2.4 观测墩测量标志设置应满足下列要求：

- 1 观测墩基础承台顶面埋设水准测量标志不应少于 2 个，其埋设要求应符合本规程附录 B 的要求。
- 2 观测墩墩柱顶面安装强制对中标志时，对中标志顶面水平偏差应小于 30 "。

5.2.5 基准站观测墩建设完成后的测量时间应符合下列规定：

- 1 基岩观测墩应经过一个月稳定期后再进行测量。
- 2 土层观测墩宜经过一个雨季，冻土地区宜经过一个冻融期后进行测量。
- 3 屋顶观测墩应在混凝土浇筑完成 7d 后再进行测量。

5.2.6 天线防护罩安装应平整稳固，不应增加信号的延迟和多路径效应。

5.2.7 基准站埋设完成后，应按本规程附录 C 的要求制作点之记。

5.3 防雷工程

5.3.1 防雷工程应包括基准站防雷、供电防雷和等电位连接等工程，应由专业工程人员施工和安装。

5.3.2 基准站应设置避雷针和防雷地网并应可靠接地，接地电阻不应大于 4Ω 。

5.3.3 避雷针高度应高于观测墩，避雷针和天线之间连线与垂直线夹角不宜大于 45° 。

5.3.4 防雷地网安装应符合下列规定：

- 1 防雷地网应按 $3.3\text{m}\times 3.3\text{m}$ 正方形布设在栅栏外侧，并应开挖宽度不小于 0.15m、深度不小于 0.3m 的引线沟槽。
- 2 防雷地网引线沟槽每边应埋入不少于 4 根 1.5m 长的铜包钢接地极，并与镀锌扁钢焊接成一体。
- 3 镀锌扁钢宽度应为 40mm，厚度应为 4mm。

5.3.5 避雷针、观测墩基础、设备箱、电源防雷器和金属防护套管等应与防雷地网连接。

5.3.6 防雷工程应在避雷针、防雷地网等关键设施安装完成后拍摄现场照片。

5.4 辅助工程

5.4.1 辅助工程应包括防护栅栏、警示标牌，以及电力线、通信线等管线敷设工程。

5.4.2 辅助工程建设时应考虑当地实际环境、铁路规划和民族特色等因素。

5.4.3 防护栅栏应为封闭式，栅栏高度不应低于 2.0m 且不高于天线底部，主体及配件应为热镀锌钢材质，并配备栅栏门、滚丝网、防盗锁具和警示标牌等。

5.4.4 电力线、通信线等管线敷设前应预埋防护套管，并分开敷设，防护套管材质可采用 PVC 管或钢管，管道内径不应小于 50mm。

5.4.5 站点土建施工完成后，应对观测墩基础和墩柱外立面进行硬化装饰，并按照本标准附录 C.3 制作基准站铭牌。

6 设备选型及安装

6.1 一般规定

6.1.1 基准站设备应包括接收机、天线、气象设备、电源设备、网络设备、监控设备和雷电防护设备等。

6.1.2 应选用支持北斗卫星导航系统（BDS）的多频设备，技术指标应符合现行《北斗卫星导航系统测量型接收机通用规范》GB/T 39399 的规定。

6.1.3 设备安装应遵循安全可靠、便于维护和利于散热等原则，安装环境宜满足设备温度和湿度工作要求。

6.1.4 系统集成应保证各设备间的兼容性和数据互通性，统一接口协议和数据格式，预留扩展接口；集成方案应符合铁路工程信息化建设要求，支持远程管理和集中监控。

6.2 接收机

6.2.1 接收机设备应具备以下能力：

1 具备接收北斗卫星导航系统 B1I、B1C、B2a、B2b、B3I 等频点的观测数据能力。

2 静态基线测量水平标称精度应优于 $5mm+0.5\times10^{-6}d$ ，垂直标称精度应优于 $10mm+0.5\times10^{-6}d$ 。

3 各接口端应有明显标记和防插错措施，接口应有防静电功能，应有过流、过压、电源瞬间变化和偶然极性反接的保护装置。

4 信号接收灵敏度不大于-133dBm。

5 应能够在-40℃ ~ +65℃温度环境中可长期正常工作；MTBF≥20000h；MTTR<30min；平均寿命≥5 年。

6 外壳防护等级应符合现行《外壳防护等级（IP 代码）》GB/T 4208 规定的 IP65 等级要求。

7 电磁兼容性应符合现行 GB/T 39399 相关标准，避免对其他设备产生干扰。

6.2.2 接收机应安装在集成机柜内通风良好和干燥避光的位置，做好接地保护。机柜内设备应分层安放，预留足够的操作和散热空间。

6.2.3 接收机参数配置应符合下列要求：

1 原始观测数据采样间隔可在 0.1s ~ 60s 范围内设置，基准站原始观测数据采样间隔不应大于 1s。

2 应配置北斗卫星导航系统的所有可用观测参数；RTK 工作模式下位置更新率不应低于 1Hz。

3 接收机应配置自动存储功能，原始观测数据存储能力不应小于 30 天（1s 采样间隔），告警及故障状态数据存储能力不应小于 90 天。

6.2.4 接收机状态监测应符合下列要求：

1 接收机应支持远程升级、远程复位和远程参数设置等功能，运行状态可通过数据中心实时监控。

2 应实时监测接收机的卫星跟踪数量、信号载噪比、数据存储状态、电源状态及通信链路状态，出现异常时自动发出告警信息。

6.3 天线

6.3.1 基准站天线选型应符合下列要求：

1 天线应能接收北斗卫星导航系统 B1I、B1C、B2a、B2b、B3I 等频点的导航信号。

2 应采用抗多路径效应的天线设备（如扼流圈天线等），相位中心偏差

应小于 1.5mm，天线相位中心改正值应经具有资质的第三方机构认证。

3 天线工作温度范围应满足-40℃ ~ +70℃下正常工作，外壳防护等级不低于 IP67，应配备防护罩。

6.3.2 天线安装应符合下列要求：

1 天线应紧固于观测墩/安装支架的强制对中标志上，天线底座与对中器紧密贴合和无松动，对中误差不应大于 1mm；天线定向指北标志与磁北方向差异应小于 5°。

2 天线安装高度应保证 10°以上地平高度角的卫星通视条件，困难环境条件下可适当放宽，但应保证观测数据质量，遮挡物水平投影范围应低于 60°。

3 天线防护罩安装应平整稳固，不增加信号延迟和多路径效应。

6.3.3 天线线缆处理应符合下列要求：

1 天线电缆应采用专用低损耗射频电缆，敷设时应尽可能直伸，拐弯半径应大于 0.3m；电缆剩余长度应盘成直径不应小于 0.5m 的线圈固定。

2 天线与电缆接口处应充分紧固，并缠绕防水防油胶布，电缆外露部分应安装防水、耐高低温套管。

3 电缆应加装馈线防雷器，按 GB/T 3482 进行接地电阻测试；馈线长度不宜超过 100m，需延长时应加装在线放大器。

4 电缆进入机柜后应加装馈线防雷器，电缆线剩余长度较长时应盘起。

5 天线电缆应内穿于不锈钢管或 PC 穿线管中进行防护，避免碾压、拉扯和动物啃咬。

6.3.4 天线高测量应符合下列要求：

1 天线高应量取至接收机制造商指定的参考面，测量精度应精确至 1mm。

2 应间隔 120°左右量取 3 次天线高，量测互差不超过 2mm 时，取平均值作为最终天线高；互差超限时应重新量测并查明原因。

6.4 气象设备

6.4.1 基准站网建设气象设备宜按需配置。并应符合下列要求：

- 1 基准站配置的气象设备应能采集气压、温度和相对湿度等气象参数。
- 2 气象设备应配备温度、湿度和气压监测模块，采样频率 $\geq 1\text{Hz}$ ，配有防阳光辐射罩和安装支架；沿海地区气象设备应具备防盐雾腐蚀能力。
- 3 气压测量范围应在 $500\text{hPa} \sim 1100\text{hPa}$ ，分辨率 0.1hPa ，准确度 $\pm 0.3\text{hPa}$ 。
- 4 温度测量范围应在 $-45^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ ，分辨率 0.1°C ，准确度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。
- 5 相对湿度测量范围应在 $0\%\text{RH} \sim 100\%\text{RH}$ ，分辨率 $1\%\text{RH}$ ，准确度 $\pm 3\%\text{RH}$ 。
- 6 气象设备防护等级应 $\geq \text{IP66}$ ，具备防尘和防溅水能力。
- 7 气象传感器架设高度应与天线上平面高度大致相同，高度误差不应大于 1m ，平面位置距离应小于 5m ；安装位置应远离空调出风口和烟囱等热源或污染源，抗风能力应符合当地气象条件。

6.4.2 气象设备校准应符合下列要求：

- 1 气象设备应经法定计量检定机构检定合格。
- 2 安装前应对气象设备进行通电测试，确认各项参数测量准确和数据传输正常后方可投入使用。

6.4.3 气象数据传输应符合下列要求：

- 1 气象数据采样间隔不应大于 30s ，并可调时间间隔，将气象数据同步传输至数据中心；数据异常时应即时推送告警信息。
- 2 气象数据应与卫星观测数据同步存储，本地存储时间不少于 30 天。

6.5 电源设备

6.5.1 基准站供电配置应符合下列要求：

1 基准站宜采用市电和不间断电源（UPS）的供电方式，具备自动切换功能；偏远无市电区域可采用太阳能+蓄电池组的供电方式。

2 UPS 后备电源单独供电时，在额定功率下应能保证基准站全部设备连续工作时间不少于 15 天；太阳能供电系统应保证连续阴雨天不少于 10 天的供电能力。

3 不间断电源、蓄电池组工作环境温度 $-20^{\circ}\text{C} \sim +65^{\circ}\text{C}$ ；使用寿命 ≥ 5 年。

6.5.2 基准站电源系统应具备保护功能，并应符合下列要求：

1 电源系统应具备过流、过压、欠压、电源瞬间变化和偶然极性反接等保护功能。

2 电源线路应具备电涌防护能力，且必须加装电源防雷器。

3 蓄电池组应具有抗电、抗浸水能力，安装在通风干燥、温度适宜的位置。

6.5.3 基准站电源设备状态监控应符合下列要求：

1 UPS 主机和太阳板供电系统应具备数据通信接口，可接入机柜监控系统，实现远程监控输入电压、输出电压、电池剩余容量、负载率等参数。

2 电源系统出现市电中断、电池组电压过低和故障等异常情况时，应自动发出声光告警和远程告警信息。

6.6 监控设备

6.6.1 基准站监控应满足下列要求：

1 设备运行状态监控内容包括接收机、气象设备、电源设备、网络设备的工作状态和参数配置及故障信息。

2 环境状态监控内容包括机柜内的温度、相对湿度、水浸和火灾等环境参数。

3 安防监控内容包括站点周界入侵和设备盗窃等安全情况，关键位置应安装视频监控设备。

6.6.2 基准站监控数据应符合下列要求：

1 设备运行状态和环境参数监控数据应采用触发式传输，异常状态下实时上报；正常状态下应定时上报，上报间隔不大于 1h。

2 所有监控数据应本地存储不少于 30d，视频监控数据本地存储不少于 90d。

3 监控数据格式应标准化，支持与数据中心平台对接和数据共享。

6.6.3 基准站监测应具备联动功能，并符合下列要求：

1 当监测到环境温度超过设备工作上限、水浸、火灾等紧急情况时，应自动切断非必要设备电源并发出告警信号。

2 当监测到通信链路中断和设备故障时，应自动切换至备用链路或重启设备，并将故障信息实时推送至运维人员。

6.7 网络设备

6.7.1 基准站网络选择应符合下列要求：

1 应采用有线专线作为主通信链路，可优先利用既有铁路专用光纤通道，并配备无线通信链路作为备份，实现双链路冗余传输。

2 通信协议应采用 TCP/IP、UDP、HTTPS、NTRIP 等标准协议，支持数据加密传输。

6.7.2 基准站网络性能应符合下列要求：

1 通信速率不小于 5Mbit/s，满足原始观测数据和监控数据的实时传输需求。

2 数据传输误码率小于 10^{-8} ，通信链路可用性大于 95%。

3 基准站数据传输时延不应大于 20ms（数据从接收机发出至从基准站路由器发出的时间差）。

4 网络设备应配置防火墙，阻止外部信号非法入侵，保障数据传输安全。

6.8 雷电防护设备

6.8.1 设备的接地设计和施工应符合现行《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB 50343、《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》GB 50169 等规范的规定。

6.8.2 雷电防护设备配置应符合下列要求：

1 应配置完整的雷电防护系统，包括建筑物防雷、供电防雷、信号防雷三部分。

2 供电系统应安装对应防雷器，包括入室端防雷器、机柜电源端防雷器、设备电源端防雷器。

3 信号线路应安装对应防浪涌保护器：天馈线路、网络线路以及信号线路浪涌保护器，应满足《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB 50343 要求。

6.8.3 雷电设备检测应符合下列要求：

1 每年雷雨季节前应进行一次全面检查。

2 防雷器损坏或性能下降时应及时更换，更换后应重新进行接地电阻测试。

6.8.4 雷电接地应符合下列要求：

1 室外接地可接入既有综合地网或独立设置接地极，接地电阻应 $\leq 4\Omega$ ；室内接地应接入室内地网，接地电阻应 $\leq 1\Omega$ 。

2 所有设备的金属外壳、机柜、电源线、数据线和防雷器等均应做等电位连接，与接地网可靠连接，形成统一接地系统，连接线应用截面 $\geq 16\text{mm}^2$ 铜

芯线。

7 数据中心建设

7.1 一般规定

7.1.1 数据中心应由服务器、存储设备、网络设备等硬件系统及专业软件系统组成，具有基准站网管理、数据处理分析、产品服务和设备运行状态监控等功能，用于汇集、存储、处理、分析和发布基准站数据。

7.1.2 数据中心应配置门禁、消防、防电涌和空调等安防措施，数据传输、处理、存储和发布应采取相应技术防护措施，确保信息安全。

7.1.3 数据中心应符合以下规定：

- 1 保障软硬件设备、数据流程的稳定可靠，关键设备、重要数据应冗余备份。
- 2 具备物理安全、运行安全、信息安全的技术保障措施。
- 3 应保证为用户提供各类产品及服务的准确性和时效性。
- 4 数据交换格式规范化、数据产品规范化及业务流程规范化。

7.2 整体性能

7.2.1 数据中心应具备独立处理北斗卫星导航系统全频段数据的能力。

7.2.2 当基准站发生故障时，应具有过滤或排除故障基准站数据的能力；当基准站修复后，应具有恢复数据使用的能力。

7.2.3 数据处理中心应采用 TCP/IP、NTRIP、HTTPS 或 UDP 协议接收和传输数据，协议的版本应符合现行规范 GB/T 39783 的规定。

7.2.4 数据处理中心接入和播发的产品数据格式应符合现行规范 GB/T 37018 的规定。

7.2.5 数据处理中心应能够处理不小于 120 颗卫星数据和不小于 500 个基准站数据的能力，系统可用度（R）应不小于 0.999，区域差分数据产品输出延时应不大于 2s。

7.3 硬件性能

7.3.1 数据中心应配备服务器、储存设备、网络设备和 UPS 等硬件设备。

7.3.2 数据中心服务器应满足以下要求：

- 1 CPU 的主频应不小于 2.5GHz，并支持多线程技术。
- 2 内存需要支持双通道，带宽应不小于 50GB/s。

7.3.3 数据中心应根据数据量和备份需求配备磁盘阵列、双机冗余备份等存储设备，并具备存储容量扩展能力。

7.3.4 数据中心网络设备应符合以下规定：

- 1 数据处理中心网络安全应符合 GB/T 22239 中网络安全等级保护三级及以上要求。
- 2 网络设备的性能应符合 GB/T 39783 的有关规定。
- 3 接入的通信链路应首选铁路内部网络或专线，带宽应不低于 5Mbit/s，并应有备用链路。
- 4 使用互联网等公网环境进行数据传输时，应优先采用商用密码进行通道和数据保护。
- 5 可采用 TCP/IP 协议、以太网及快速以太网协议建立内部局域网，带宽不低于 100Mbit/s。

7.3.5 数据中心应根据功耗和负载需求配备 UPS，且 UPS 供电时间不宜小于 24h。

7.4 软件功能

7.4.1 数据中心软件应具有数据接收与管理、数据处理、产品播发和用户管理等功能模块。

7.4.2 数据接收与管理功能模块应符合下列规定：

- 1 具有规范化和自动化的数据接收与管理功能。
- 2 具有原始观测数据实时解码、格式转换和数据转发功能。
- 3 具有基准站数据完好性监测和数据质量评价功能。
- 4 具有双机冗余备份和数据储存功能。
- 5 具有基准站设备运行状态远程监控功能。
- 6 具有设备运行完好性、连续性和可用性监测评估功能。

7.4.3 数据处理功能模块应符合下列规定：

- 1 具有不规则三角形或其他方法构网功能。
- 2 具有建立线路沿线区域内电离层延迟和对流层延迟改正模型的功能。
- 3 具有实时差分改正数计算并生成相应产品的功能。
- 4 具有 CGCS2000 国家大地坐标系位置服务功能，并可根据项目需求提供其他坐标系位置服务功能。
- 5 具有事后精密星历、快速精密星历、超快速精密星历下载功能。
- 6 具有线路沿线区域电离层、对流层状态监测，以及基准站网坐标动态维持功能；应对实时服务数据应进行质量监测，并及时发布服务数据的完好性信息。

7.4.4 产品播发功能模块应符合下列规定：

- 1 具有实时差分改正数据播发功能，提供厘米级动态定位服务。
- 2 具有系统运行状态、异常事件记录功能。

3 具有提供基准站原始观测数据和基准站信息的功能。

7.4.5 用户管理功能模块应符合下列规定：

1 具有用户注册、授权、审核、认证、统计和分析等功能。

2 具有用户信息存储和管理功能。

7.5 信息安全防护

7.5.1 基准站观测数据应采取加密、访问控制等保护措施。

7.5.2 数据中心的计算机和网络设备应选用通过安全认证的产品，配备防火墙、入侵检测、防病毒等安全防护设施，满足网络安全规定。

7.5.3 对涉密数据的存储、处理和传输应进行保密技术处理，如采用数据加密、访问控制等技术手段，防止数据泄露，满足保密规定。

7.5.4 应定期对数据中心的硬件、软件、供电、消防和防雷等进行巡视检查，及时发现和排除安全隐患，确保数据中心运行正常。

8 通信网络

8.1 一般规定

8.1.1 基准站网通信网络总体架构应由数据回传网络、数据播发网络和服务接入网络三部分构成。

8.1.2 基准站网通信网络应符合下列规定：

- 1 数据回传应优先采用专网传输。
- 2 数据播发宜采用运营商无线通信、卫星通信或其他无线通信等方式。
- 3 服务接入宜优先采用有线传输。
- 4 采用互联网等公网环境进行数据传输时，应优先采用商用密码进行通道和数据保护，并符合信息安全和网络安全等级保护规定。

8.1.3 基准站网通信网络数据传输类别及格式应符合表 8.1.3 的规定。

表 8.1.3 数据传输类别及格式

类别	项目	内容	说明	格式	频度
数据回传	观测数据	卫星导航系统数据	BDS 等卫星导航系统的伪距码、载波相位、多普勒频移、载噪比、导航电文等	RTCM 或自定义二进制格式	1s
		气象数据	温度、湿度、气压等	自定义二进制格式	30s
	设备运行状态与告警数据	接收机工作状态	接收机内存情况、天线状况等	自定义格式	触发
		电源工作状态	输入电压、输出电压、电池剩余容量等		触发
		通信链路状态	通信速率、调制解调器工作状态等		触发
数据播发	数据中心产品数据	差分数据	实时载波相位和伪距差分数据	RTCM 或自定义二进制格式	1s

	控制指令	参数设置	采样间隔、文件的提取与删除、其他参数设定等	自定义格式	触发
	查询命令	参数查询	基准站各设备状态的查询等		触发

续表 8.1.3

类别	项目	内容	说明	格式	频度
服务接入	备份数据	基准站原始观测数据、差分数据、设备运行状态与告警数据、操作系统与关键软件配置	数据回传的所有项目	自定义格式	自动
	用户数据	用户管理信息	注册、权限、认证、服务状态等	自定义格式	触发

8.2 数据回传

8.2.1 基准站接入的通信和数据协议应满足下列要求：

- 1 通信速率应大于 64kbit/s。
- 2 误码率应小于 10^{-8} 。
- 3 链路可用性应大于 95%。
- 4 网络协议宜采用 TCP / IP。

8.2.2 基准站卫星通信接入技术指标应符合下列规定：

- 1 通信速率不应小于 8kbit/s。
- 2 误码率不应大于 10^{-5} 。
- 3 通信成功率不应小于 95%。

8.3 数据播发

8.3.1 数据播发网络应满足向用户终端可靠、实时地播发卫星定位增强服务数据的要求，其性能应保障服务的连续性、完整性与广泛覆盖。

8.3.2 数据播发网络技术指标应满足下列要求：

- 1 应满足不同播发路径的延时要求。
- 2 可用率大于 99.9%。
- 3 带宽不小于 $8\text{kbps} \times \text{用户数}$ ，并预留必要的冗余。

8.4 服务接入

8.4.1 服务接入网络应满足数据处理中心与运营服务平台、备份系统之间数据传输的高可靠、高安全与高效率要求，保障基准站网运营服务的连续性与数据完整性。

8.4.2 服务接入网络技术指标应满足下列要求：

- 1 延时小于 200ms。
- 2 可用率大于 99.9%。
- 3 带宽不小于 $8\text{kbps} \times \text{用户数}$ ，并预留必要冗余。

9 基准站网测量

9.1 一般规定

- 9.1.1 基准站测量原始观测值应采用北斗坐标系统。
- 9.1.2 基准站测量时间基准采用北斗时，观测记录应采用公历纪元和北京时间。
- 9.1.3 基准站网应与附近国家/省级连续运行参考站或高等级国家大地控制点进行联测，联测点数不应少于 3 个，联测点应均匀分布。
- 9.1.4 基准站应与线路水准基点联测，联测等级与线路水准基点控制网精度等级保持一致。
- 9.1.5 基准站网正式解算前，应连续稳定运行不少于 7 日。
- 9.1.6 数据处理软件应支持北斗卫星导航系统全频段信号。

9.2 测量要求

- 9.2.1 基准站网与高等级国家大地控制点或既有铁路控制点联测时，技术要求应符合表 9.2.1 的规定。

表 9.2.1 控制点联测技术要求

项目	技术指标要求
卫星截止高度角 (°)	≥ 15
同时观测有效卫星数	≥ 4
有效观测卫星总数	≥ 20
观测时段数	≥ 3
时段长度 (h)	≥ 23
采样间隔 (s)	30

- 9.2.2 雷电、风暴天气时，不宜进行基准站网测量。

9.2.3 天线定向标志应指向正北，定向误差应不大于 $\pm 5^\circ$ ，对于定向标志不明显的天线，可预先设置标记，每次按标记安置天线。

9.2.4 作业前应检查和紧固三脚架各部件，检验和校正基座等设备的水准器和光学对中器；观测前应检查接收机电源电缆和天线等各项连接无误。

9.2.5 观测组应按规定的时间进行作业。当不能按计划观测时，作业组间应及时沟通，并调整观测时段。

9.2.6 观测期间不应在天线附近 50m 以内使用电台、10m 以内使用手机或对讲机。作业员不得擅自离开测站，应防止过往车辆、行人、动物等触碰仪器。

9.2.7 用三脚架安置天线时，其中误差不应大于 1mm。天线高应量取到接收机指定的量取位置。应每时段观测前后各量取一次天线高，两次量高之差不应大于 3mm，取平均值作为最后天线高。若互差超限，应查明原因，提出处理意见记入测量手簿。

9.2.8 同一时段观测过程中严禁进行以下操作：接收机重新启动，进行自测试，改变接收设备参数，改变天线位置，按动关闭文件和删除文件功能键。

9.2.9 除强制对中观测墩外，外业观测的不同时段间，作业员宜改变天线高，并重新对中整平安置天线。

9.2.10 应按本规程附录 D 要求及时填写各项内容，可采用电子记录。

9.2.11 高程联测方法和技术要求应按《铁路工程测量规范》TB 10101、《高速铁路工程测量规范》TB 10601 规定执行。

9.2.12 线路水准基点大地高测量可采用 RTK 方式，应采用三脚架对中、整平，天线高量取精确至 1mm，并记录天线高类型和量取位置，连续采集 30 个历元为一组，采样间隔不少于 2s，每点单独采集 3 组，大地高较差应不大于 3cm，满足要求后取 3 组均值为最终成果。

9.3 数据处理

9.3.1 基准站网数据处理应包含预处理、基线解算和网平差等过程。

9.3.2 预处理包括基准站信息整理、数据和文件整理及观测数据质量检查。

9.3.3 基准站信息整理的内容应满足下列要求：

- 1 基准站网名称、运行时间和基准站数量。
- 2 基准站名称、代码和建设时间等。
- 3 基准站观测数据采样率、观测时长、时段数量、文件格式、卫星导航系统和观测值类型等。
- 4 基准站设备安装和天线安置照片、设备更换记录表等运行维护信息。
- 5 基准站所在区域的地质环境、地震、工程施工和观测环境变化等信息。
- 6 接收机和天线的固件版本号、序列号和类型等信息。
- 7 应核对天线高和量高方式。

9.3.4 数据和文件整理应满足下列要求：

- 1 观测数据文件格式应选用 RINEX 3.02 及以上版本。
- 2 观测数据文件应按年积日或基准站代码进行整理和存储。
- 3 卫星精密星历、钟差等采用 IGS 分析中心等组织发布的数据产品。
- 4 应进行数据、参数和表文件的完整性、正确性、可靠性和一致性检查。

9.3.5 观测数据质量检查应满足下列要求：

- 1 应统计观测数据的卫星导航系统类型、频段类型、观测值类型和各类观测值数量等信息。

2 应按卫星导航系统，分别统计分析观测时长、数据可用率、多路径误差和周跳比等指标。

3 数据质量指标出现异常时，应对相应的观测数据进行单独的分析处理，处理后不能满足质量要求的应舍弃。

9.3.6 基线解算应采用精密星历和长基线解算方法，并采用多基线解算，基线解算的起算点坐标应采用国际地球参考框架（ITRF）下的坐标成果，该坐标框架应与所采用的精密星历坐标框架保持一致。

9.3.7 基线解算起算点选取应满足下列要求：

- 1 起算点数量不少于 1 个。
- 2 起算点坐标中误差应优于 5cm。

9.3.8 基线解算质量检查应满足下列要求：

- 1 应包括重复基线差、相邻点基线各分量中误差、环闭合差等。
- 2 同一基线不同时段重复观测长度较差应满足式（9.3.8-1）要求。

$$d_s \leq 2\sqrt{2}\sigma \quad (9.3.8-1)$$

$$\sigma = \pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (9.3.8-2)$$

式中 σ ——基线长度中误差（mm）；

a ——固定误差（mm）， $a=5$ ；

b ——比例误差系数（mm/km）， $b=0.5$ ；

d ——相邻点间距离（km）。

3 同一基线不同时段的基线向量各分量及边长较差应满足式（9.3.8-3）要求：

$$\begin{cases} d_{\Delta X} \leq 2\sqrt{2}R_{\Delta X} \\ d_{\Delta Y} \leq 2\sqrt{2}R_{\Delta Y} \\ d_{\Delta Z} \leq 2\sqrt{2}R_{\Delta Z} \\ d_{\Delta S} \leq 2\sqrt{2}R_{\Delta S} \end{cases} \quad (9.3.8-3)$$

式中 R 按下式计算：

$$R = \left(\frac{\frac{n}{n-1} \times \sum_{i=1}^n \left(\frac{(C_i - C_m)^2}{\sigma_{C_i}^2} \right)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_{C_i}^2}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9.3.8-4)$$

式中 n ——同一基线重复观测的总时段数；

i ——时段号；

C_i —— i 时段基线的某一坐标分量或边长；

C_m ——各时段基线的某一坐标分量或边长加权平均值；

$\sigma_{C_i}^2$ ——相应于 i 时段基线的某一坐标分量或边长的方差。

4 基线向量组成的独立闭合环的各坐标分量闭合差应满足式 (9.3.8-5)

要求，环线全长闭合差应满足式 (9.3.8-7) 要求。

$$\begin{cases} W_X \leq 2\sigma_{W_X} \\ W_Y \leq 2\sigma_{W_Y} \\ W_Z \leq 2\sigma_{W_Z} \end{cases} \quad (9.3.8-5)$$

其中：

$$\begin{aligned} \sigma_{W_X} &= \left(\sum_{j=1}^r \sigma_{\Delta X(j)}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \\ \sigma_{W_Y} &= \left(\sum_{j=1}^r \sigma_{\Delta Y(j)}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \\ \sigma_{W_Z} &= \left(\sum_{j=1}^r \sigma_{\Delta Z(j)}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (9.3.8-6)$$

式中 W_X 、 W_Y 、 W_Z ——独立闭合环坐标分量闭合差；

σ_{W_X} 、 σ_{W_Y} 、 σ_{W_Z} ——闭合环坐标分量方差；

j ——闭合环（线）中第 j 条基线；

r ——闭合环（线）中基线数；

$\sigma_{C(j)}^2$ ——第 j 条基线 C （ $C=\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ）分量的方差。

$$W_S \leq 2\sigma_w \quad (9.3.8-7)$$

$$\sigma_w = \left(\sum_{j=1}^r W D_j W^T \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$W = \begin{bmatrix} W_X & W_Y & W_Z \\ W_S & W_S & W_S \end{bmatrix}$$

$$W_S = (W_X^2 + W_Y^2 + W_Z^2)^{\frac{1}{2}}$$

式中 W_S ——环线全长闭合差；

σ_w ——闭合环坐标方差；

D_j ——闭合环（线）中第 j 条基线的方差—协方差阵；

W_X 、 W_Y 、 W_Z ——独立闭合环坐标分量闭合差。

9.3.9 基准站网平差应符合下列规定：

- 1 无约束平差基线向量分量改正数绝对值应满足下式要求：

$$V_{\Delta x} \leq 3\sigma$$

$$V_{\Delta y} \leq 3\sigma \quad (9.3.9-1)$$

$$V_{\Delta z} \leq 3\sigma$$

式中， σ 按式（9.3.8-2）计算。

- 2 无约束平差应输出 ITRF 国际地球参考框架下各点的三维坐标、各基线向量平差值、各基线的坐标分量、改正数及其精度。

- 3 应选用联测的国家/省级连续运行参考站、高等级国家大地控制点、国际导航卫星系统服务（IGS）参考站或铁路既有控制点作为基准站网约束平差

的起算点，数量不少于 3 个。

4 约束平差前，应对外部数据进行质量检核。由联测站点的已知坐标成果与无约束平差成果间差值的绝对值计算的基线长度相对误差应小于 $0.3 \times d \times 10^{-6}$ 。

5 未建立控制网的线路，基准站网应以 CGCS2000 作为坐标基准，并以国家/省级连续运行参考站或高等级国家大地控制点作为约束点，进行基准站网整体三维约束平差。

6 已建立控制网的线路，基准站网应以 CGCS2000 作为坐标基准，并以既有控制网高等级稳定控制点作为约束点，进行基准站网整体三维约束平差。

7 三维约束平差中基线向量各分量改正数与无约束平差同一基线分量改正数较差的绝对值应符合下式规定：

$$\begin{cases} d_{\Delta X} \leq 2\sigma \\ d_{\Delta Y} \leq 2\sigma \\ d_{\Delta Z} \leq 2\sigma \end{cases} \quad (9.3.9-2)$$

式中， σ 按本规程式 (9.3.8-2) 计算。

8 基准站网成果应采用三维约束平差结果。平差后应输出 CGCS2000 中各点的地心坐标、大地坐标、各基线向量平差值、各基线的坐标分量、改正数及其精度。

9 约束平差后相邻基准站点间最弱边边长相对中误差不应低于 1/1000000。

9.3.10 BDS 高程转换宜采用基于似大地水准面模型精化的高程异常拟合法和高程异常差值拟合法等。

10 集成测试与评定

10.1 现场测试

10.1.1 基准站网土建施工和设备安装完成后，应进行土建工程现场质量检查、设备安装状态检查，保证符合本规程相应要求。

10.1.2 土建工程现场质量检查应包括下列工作内容：

- 1 检查提交的资料是否齐全，核对现场土建情况与提交的资料是否一致。
- 2 检查基准站观测墩、防雷工程以及辅助工程是否符合第 5 章中相关建设要求。
- 3 对检查过程中出现的问题应提出整改意见，并对土建工程建设质量进行评分，评分格式参见附录 E.1，评分不低于 95 分判定为质量合格。

10.1.3 设备安装状态检查应包括下列工作内容：

- 1 检查提交的设备安装登记表、设备集成测试报告等资料是否齐全，核对现场设备型号、安装方式与提交的资料是否一致。
- 2 检查接收机、天线、气象、电源、通信、监控、雷电防护等设备的组成、安装与连接方式是否符合第 6 章中相关要求。
- 3 对检查过程中出现的问题应提出整改意见，并对设备安装质量进行评分，评分格式参见附录 E.2，评分不低于 97 分判定为质量合格。

10.2 远程测试

10.2.1 在基准站网现场质量检查合格且数据中心建成并稳定运行的情况下，应进行整网运行测试并形成测试报告。

10.2.2 基准站网运行测试应包含下列内容：

1 基准站数据采样能力测试:控制基准站接收机在本地采集不少于 2h 的观测数据文件,下载观测数据并转换为 RINEX 格式文件,应查看卫星观测数据采样时间间隔,时间间隔不应大于 1s。

2 基准站数据采样可用率测试:控制基准站接收机在本地采集不少于 24h 的观测数据文件,卫星观测数据采样时间间隔不应大于 30s,下载观测数据并转换为 RINEX 格式文件,对测试数据进行分析,数据可用率应高于 95%。

3 基准站数据存储、告警及故障状态数据存储能力测试:远程控制基准站在本地以 1s 采样间隔存储观测数据,在网页浏览器或远程终端登录基准站,应能够存储 30d 以上的数据文件;远程控制基准站在本地存储告警及故障状态数据,在网页浏览器或远程终端登录基准站,应能够存储 90d 的数据文件。

4 基准站到数据中心之间数据传输的延迟测试:控制数据中心接收基准站的观测数据、运行状态数据和告警及故障数据等,数据传输延迟应小于 0.5s。

10.2.3 数据中心测试应包含下列内容:

1 测试数据中心能否按照数据格式或采样率等形式进行数据分类存储和数据备份功能测试。

2 测试服务软件是否具备 RTCM 实时数据格式的解析、生成及播发功能,存储数据文件格式配置选项是否有 RINEX 格式。

3 测试数据中心对基准站接收机和备用电源等设备的远程监控功能,是否能查看运行状态并对相关参数进行调整。

4 测试数据中心实时解算、差分信息播发等功能,并通过采用禁用、新增部分基准站的方式,测试服务软件是否能够实现自动构网和解算。

5 采用运行策略后,不经过人工干预,测试数据中心 24h 自动不间断地向用户提供数据服务能力。

6 测试数据中心数据下载、数据存储、数据管理、数据完整性分析和数据质量分析等功能。

7 测试通信网络的通信时延、速率和误码率是否符合第 8 章相关规定。

10.3 应急测试

10.3.1 在基准站网完成远程测试后，宜针对基准站网整体开展电源中断、基准站设备故障的应急测试。

10.3.2 电源中断测试应符合下列要求：

1 切断基准站设备电源，基准站应自动切换至 UPS 电源供电，维持向数据中心传输原始观测数据，且时长应满足本规程第 6.5.1 节要求。

2 切断数据中心整体市电电源，数据中心设备应自动切换至 UPS 电源供电，维持数据处理与服务播发功能，且时长应满足本规程第 7.3.5 节要求。

10.3.3 切断基准站与数据中心的通信以模拟基准站设备故障，数据中心应自动重新构建网络通信，且不影响其他覆盖区域定位服务，在基准站通信恢复正常后，数据中心应自动恢复该基准站覆盖区域定位服务。

10.4 精度测试与评定

10.4.1 在基准站网具备提供定位服务能力后，应进行 RTK 定位精度测试、服务可靠性测试和设备兼容性测试。

10.4.2 系统中 RTK 精度测试点分布和精度统计应符合下列规定：

1 测试点应均匀分布在铁路沿线两侧各 1km 范围内，测试点宜布设在不易被破坏、稳定可靠、便于测量的地方，测试点数宜为基准站网站点数的两倍，但不应少于基准站网站点数。

2 动态测试宜选用标称精度小于 $5mm+1\times10^{-6}d$ 的 BDS 接收机，三维坐标分量内符合中误差不应大于 1.5cm，平面坐标点位外符合中误差不应大于

3cm。

3 设置 BDS 接收机工作模式为网络 RTK 定位模式，终端通过接入系统实时定位服务，获取有效定位结果后，连续采集 30 个历元为一组，每点独立采集 3 组，每组需重新初始化。

4 每组测试结果单独计算外符合精度和内符合精度，3 组的平均值作为测试点实时定位精度，所有测试点实时定位精度的平均值作为系统实时定位精度指标。

5 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：

$$M_X = \sqrt{\frac{[d_X d_X]}{K-1}} \quad (10.4.2-1)$$

$$M_Y = \sqrt{\frac{[d_Y d_Y]}{K-1}} \quad (10.4.2-2)$$

$$M_Z = \sqrt{\frac{[d_Z d_Z]}{K-1}} \quad (10.4.2-3)$$

$$M_S = \sqrt{\frac{[d_S d_S]}{K-1}} \quad (10.4.2-4)$$

$$d_S = \sqrt{d_X^2 + d_Y^2 + d_Z^2} \quad (10.4.2-5)$$

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）；

d_X 、 d_Y 、 d_Z ——测试点坐标分量观测值与其平均值的差值（cm）；

d_S ——测试点点位观测值与其平均值的差值（cm）；

K ——测试点的观测次数。

6 进行 RTK 外符合精度测试前，应按平面四等测量测试点平面坐标，并按下列公式计算 RTK 外符合精度：

$$M_P = \sqrt{\frac{[d_P d_P]}{K}} \quad (10.4.2-6)$$

$$d_P = \sqrt{d_X^2 + d_Y^2} \quad (10.4.2-7)$$

式中 M_P ——测试点的平面点位外符合中误差（cm）；

d_P ——测试点的平面点位观测值与其已知值的差值（cm）；

d_x 、 d_y ——测试点坐标分量观测值与其已知值的差值（cm）；

K ——已知点个数。

10.4.3 系统中 RTK 可靠性测试应符合下列规定：

1 应在系统服务区域内，选择 1 个已知坐标的点，按 3s 采样率进行连续不少于 24h 的 RTK 测量。

2 满足精度要求的定位结果数量占定位结果总数的比例应大于95%。

10.4.4 进行设备兼容性测试时，应在基准站网覆盖范围内，选择 1 个已知坐标的测试点，选用 3 个及以上不同厂家的 RTK 接收机在不同时间段进行测试，定位精度应满足设计要求。

11 基准站网应用

11.1 平面控制测量

11.1.1 基于基准站网的线路平面控制测量应用，主要包括独立施工平面控制网、线下工程平面控制网和线上工程平面控制网测量。

11.1.2 线下、线上工程平面控制测量应优先采用静态相对定位测量方法，精度等级依次划分为一等、二等、三等、四等。一等、二等主要用于复杂特大桥和长大隧道独立施工平面控制网的测量；三等主要用于无砟轨道或速度目标值 $v \geq 250\text{km/h}$ 线路的线下工程平面控制网、线上工程平面控制网的测量；四等主要用于有砟轨道或速度目标值 $v \leq 200\text{km/h}$ 线路的线下工程平面控制网、线上工程平面控制网的测量。

11.1.3 各级平面控制网的布设应满足表 11.1.3 的要求。

表 11.1.3 各级平面控制网布设技术要求

平面控制网类型	轨道结构或列车设计时速	测量等级	点间距	备注
独立施工平面控制网	—	一等、二等	—	—
线下工程平面控制网	无砟轨道或 $v \geq 250\text{km/h}$	三等	300m ~ 600m	一般地段
	有砟轨道或 $v \leq 200\text{km/h}$	四等		
线上工程平面控制网	无砟轨道或 $v \geq 250\text{km/h}$	三等	400m ~ 800m	—
	有砟轨道或 $v \leq 200\text{km/h}$	四等		

11.1.4 线下工程平面控制网应联测就近的基准站，联测基准站数量不应少于 3 个；同时应联测相邻施工标段范围内线下工程平面控制点，联测控制点数量不应少于 2 个。

11.1.5 当线下工程平面控制网不能满足特长隧道及复杂特大桥等重点工程的平面控制精度要求时，应建立线下工程独立施工平面控制网，其他地段的线下

工程平面控制网应与相邻重点工程的线下工程独立施工平面控制网进行联测，联测点不应少于 3 个。

11.1.6 复杂特大桥线下工程独立施工平面控制网应与邻近的基准站联测，且联测站点数不应少于 2 个。

11.1.7 特长隧道独立施工平面控制网应就近联测不少于 2 个基准站，并联测隧道两端的线下工程平面控制点。

11.1.8 特长隧道独立施工平面控制网的布设应符合下列规定：

1 洞外独立施工平面控制网应沿两洞口连线方向布设成多边形组合图形，构成闭合检核条件。

2 进、出口控制点应与至少 2 条直接观测边连接，形成双后视边进洞，且后视边的长度应大于 500m，困难时不宜短于 300m。

3 每个洞口子网控制点个数不应少于 3 个。

11.1.9 线上工程平面控制网应起闭于邻近的基准站点和测段内部分稳定的控制点，每个测段联测基准站的个数不少于 2 个。

11.1.10 同一条铁路应建立不同等级线下工程平面控制网、线上工程平面控制网时，可分段分等级建立。

11.1.11 各等级平面控制网外业观测、数据处理及精度指标应符合现行《铁路工程卫星定位测量规范》TB 10054 及以下规定：

1 独立施工平面控制网以联测的基准站点作为固定点起算点进行约束平差。

2 线下工程平面控制网以联测的基准站点、相邻测段独立施工平面控制点、相邻标段的线下工程平面控制点作为固定起算点点进行约束平差。

3 线上工程平面控制网以联测的基准站点、相邻标段或测段线上工程平面控制点、稳定的线下工程平面控制点作为固定起算点点进行约束平差。

4 除基准站点外的其他固定起算点,在各级平面控制网约束平差前,应进行起算精度的兼容性分析。

11.2 动态测量

11.2.1 基准站网实时定位动态测量应用场景,主要包括新建铁路中线测量、断面测量、桥涵水文测量、数字地形图测绘、像控点测量、路基和桥涵基础施工放样、用地界线测量和既有普速铁路线路测量等。

11.2.2 采用基准站网开展实时定位动态测量前,应收集下列资料:

- 1 基准站网资料应包括基准站分布和基准站网有效服务范围等。
- 2 铁路工程平面基准和高程基准参数应包括参考椭球参数、中央子午线经度、投影面高程、纵横坐标加常数、高程异常改正模型等。
- 3 测区内已有平面和高程控制点成果。
- 4 铁路线路线形设计参数,包括线路起终点坐标、交点坐标、曲线要素表、断链表、坡度表和断高表等。
- 5 测区线路走向方案平面图,施工放样设计资料。

11.2.3 采用基准站网进行实时动态测量时,流动站应处于基准站网的有效服务覆盖范围内,并能实现与数据中心的稳定数据通信。

11.2.4 采用基准站网进行实时动态测量时,技术要求和指标应符合现行《铁路工程卫星定位测量规范》TB 10054 规定。

11.3 变形监测

11.3.1 铁路路基、高边坡、隧道洞口边坡、滑坡和桥梁等变形监测应以基准站网为基准。

11.3.2 变形监测等级和精度等技术要求应符合现行《铁路工程卫星定位测量规范》TB 10054 规定。

11.3.3 变形监测应优先利用基准站作为基准点，当变形监测点至基准站距离不符合表 11.3.3 规定时，应加密变形监测工作基点。

表 11.3.3 变形监测点至基准站距离要求

监测等级	变形监测点至基准站距离（km）
一等	≤ 1.0
二等	≤ 3.0
三等	≤ 5.0
四等	≤ 10.0

12 故障处置与应急维护

12.1 一般规定

12.1.1 基准站网建设阶段，应同步建立运行维护保障体系，制定运行维护方案，方案应明确维护周期、维护内容与应急保障机制。维护内容应包括基准站、数据中心、坐标基准与网络的维护。

12.1.2 基准站网运行维护宜采用现场维护和远程维护相结合的方式。现场维护由运维人员在现场对设施硬件设备、物理运行环境等进行维护，远程维护由运维人员通过网络对设备及系统软件的运行状态、服务状态等进行维护。

12.1.3 维护单位在现场维护和远程维护发现系统硬件、软件故障时，应及时向相关方报告并组织技术人员进行修复。

12.2 基准站维护

12.2.1 基准站宜每半年现场维护一次，对接收机设备、观测天线、观测墩、观测环境、网络、供电和防雷工程等进行检修，检查线缆磨损情况，并做好相应的统计与记录，格式参见附录 E.3.1。

12.2.2 基准站设备在线情况与工作状态应每月至少远程维护一次，并做好相应的统计与记录，格式参见附录 E.3.2。

12.2.3 基准站应利用观测数据，每月进行一次数据完整率、多路径、周跳比等项目测试，测试方法与要求参照本规程第 10.2 节的相关规定。

12.2.4 基准站设备的硬件、软件应及时进行更新和升级，防范安全漏洞攻击。

12.2.5 基准站信息发生变化时，应及时做好记录并填写附录 E.4，同时更新数据中心信息。

12.2.6 基准站应定期与国家连续运行参考站或 IGS 基准站联合解算，解算周期不应超过 1 年。在地壳运动频繁、地面沉降严重的区域，应提高解算频率。

12.2.7 基准站坐标维护应符合下列规定：

1 基准站网坐标基准动态维护宜采用相邻 7d 的观测数据进行基线解算和拟稳平差。

2 拟稳平差后，对相邻基准站点间坐标增量之差的相对精度低于 $1/700000$ 或基准站点坐标分量较差 $> 10\text{mm}$ 的基准站进行稳定性分析，根据分析结果采用同精度内插更新复测超限基准站坐标。

3 基准站坐标更新后，应及时做好记录并长期保存。

4 应对坐标分量更新量 $\geq 20\text{mm}$ 的基准站点附近的线下工程平面控制网、已建成和在建的构筑物进行影响评估。

12.3 数据中心维护

12.3.1 数据中心宜每半年现场维护一次，对数据中心机房、设备、软件、网络、供电、消防和防雷工程等进行检修及清洁维护。

12.3.2 数据处理软件巡检应每月至少开展一次，检查其相关配置与工作状态，巡检内容包括：

1 检查和更新站点与站网的基本信息。

2 检查和更新站点的属性信息，包括站点坐标、天线型号、天线高等。

3 通过软件监控模块检查站点观测数据接入、整体网解、产品输出等运行状态，在发现存在故障时应及时组织技术人员进行修复。

4 检查软件运行日志，对记录中存在的异常报警及时进行处理。

12.3.3 至少每半年应对数据中心服务器、网络设备、不间断电源等硬件设备的资源冗余度进行一次巡检，冗余度应保持在 20% 以上，必要时进行扩充。

12.3.4 数据处理中心应用软件应及时进行更新和升级，系统软件应及时安装系统补丁。涉及到提供实时服务的数据处理软件在更新、升级前，应进行功能、性能及稳定性等相关测试。

12.3.5 杀毒软件应定期更新病毒库并开展病毒扫描，发现病毒感染应及时清除。

12.3.6 数据处理中心宜定期备份数据，备份时应做好分类整理和记录，保证数据一致性和安全。

12.4 网络维护

12.4.1 网络设备工作状态、传输速率、延迟时间、丢包率、网络安全等应每月至少开展一次检测，检测应满足本规程第 8 章相关规定。

12.4.2 网络带宽应每月至少开展一次检测，根据基准站和用户接入设备数量扩充带宽。

12.4.3 网络安全隐患应每月至少开展一次排查。

12.4.4 网络防火墙应及时进行更新和升级。

12.5 应急维护

12.5.1 基准站网应建立应急维护响应机制，制定应急工作预案，对数据中心和基准站软硬件故障、网络通信故障、系统故障以及数据安全等突发事件做出应急处置。

12.5.2 基准站软硬件发生损坏导致站点观测数据无法采集或传输数据时，应及时组织人员进行维修或更换，在无法恢复时，应尽快开展站点搬迁与重建工作。

12.5.3 数据中心宜建立异地备份系统，在数据中心因自然或人为因素造成严

重故障时，能够快速恢复服务能力。

13 资料汇交

13.0.1 资料汇交应满足下列规定：

- 1 应涵盖基准站网从遴选、建设、验收到运行测试及成果应用全过程的资料，内容与数量应齐全、无损。
- 2 资料内容和格式应符合国家相关标准及技术设计书的规定，各报告、记录表等应签字盖章齐全，信息填写准确。
- 3 资料应设置可识别、可追溯的标识，形成闭环管理。
- 4 电子版资料应与纸质版资料内容一致，并采用可共享、可交换的开放数据格式存储。

13.0.2 基准站遴选工作完成后，应提交下列资料：

- 1 现场绘制的点之记。
- 2 遴选站点实拍照片。
- 3 测试数据。
- 4 遴选技术方案和报告。

13.0.3 土建工程施工完成后，应提交下列资料：

- 1 土建工程实施方案和工作总结；
- 2 土建工程关键工序实拍照片。
- 3 土建工程完成后根据实际建设情况完善后的点之记。
- 4 用地证明或场地租赁协议。

13.0.4 设备安装完成后，应提交下列资料：

- 1 设备的出厂合格证或检定合格证书。
- 2 设备安装过程和最终状态的实拍照片。
- 3 基准站设备安装登记表。

4 测试报告、设备安装工作总结。

13.0.5 基准站网测量完成后应提交技术方案和技术总结报告。

13.0.6 基准站网集成测试与评定完成后，应提交下列资料：

1 基准站网现场检查的土建工程建设质量与设备安装质量评分表。

2 基准站网整网测试方案，内容应包括系统远程测试、应急测试、精度测试等测试项目的具体测试流程与评价方法。

3 最终测试报告，内容应包括测试概况、测试内容和结果、存在的问题、测试结论等。

4 测试过程中产生的原始数据与反应测试过程的原始记录表。

附录 A 基准站勘址记录

项 目	具体内容
站 名	
勘选单位	
勘选者	
勘选时间	
代 码	十位代码、四位代码
类 型	基岩/土层/屋顶
标墩类型	钢筋混凝土墩/钢管观测墩
建设类型	新建/改造
概略经度	度.分.秒
概略纬度	度.分.秒
概略大地高	m
所在线路	(线路、里程)
实地数据测试结果	
接收机型号	
天线型号	
起止观测时间	
数据采集频率	
数据完整率	
MP1	
MP2	
MP3	
观测者	
选址位置详细信息	
(利用电子地图标注并截取，粘贴在此处)	

环境图片	
说明（其他需要说明的情况）	

附录 B 基准站示意图

B.1 基岩观测墩示意图

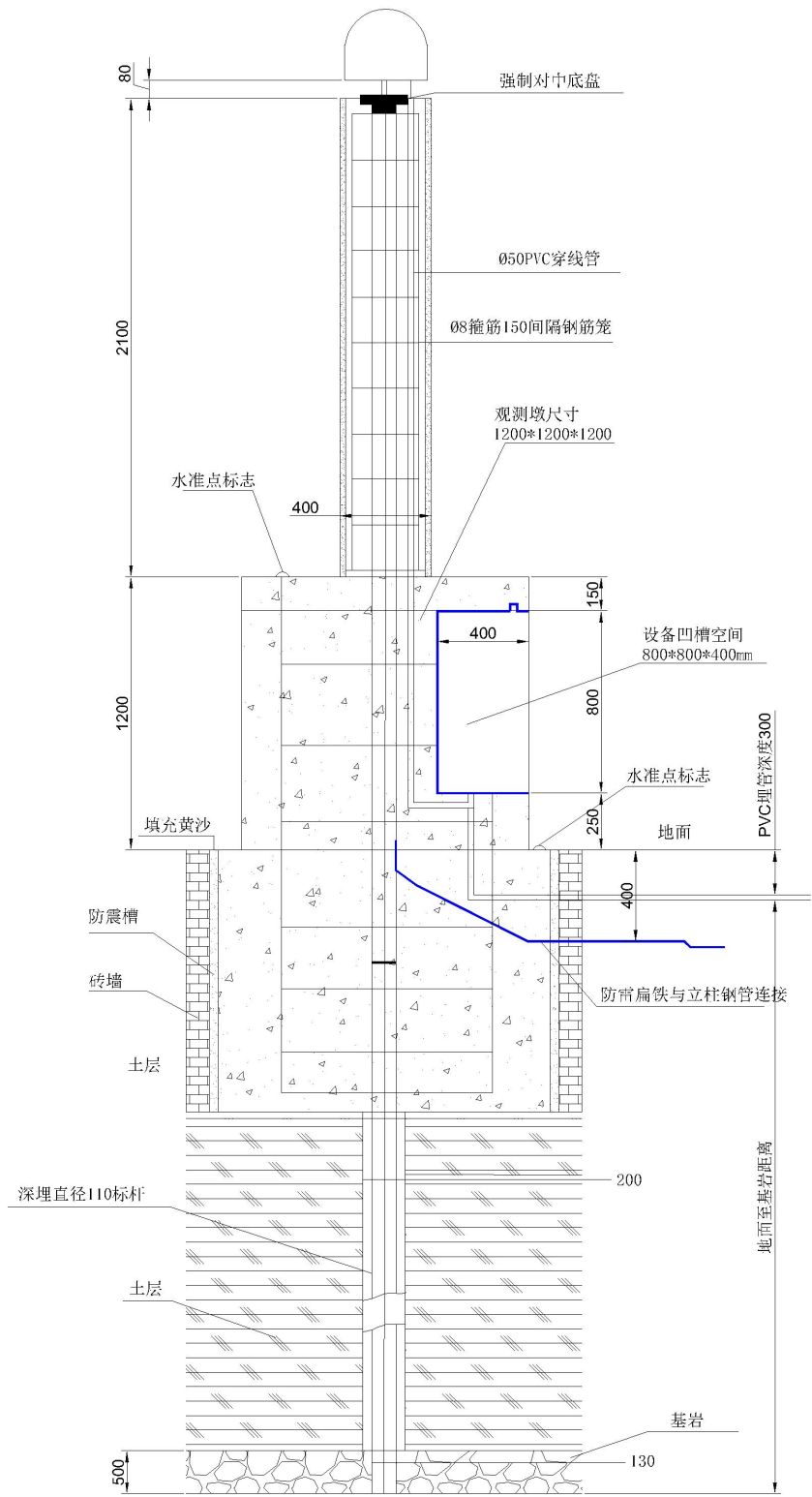


图 B.1 基岩观测墩示意图 (单位:mm)

B.2 土层观测墩示意图

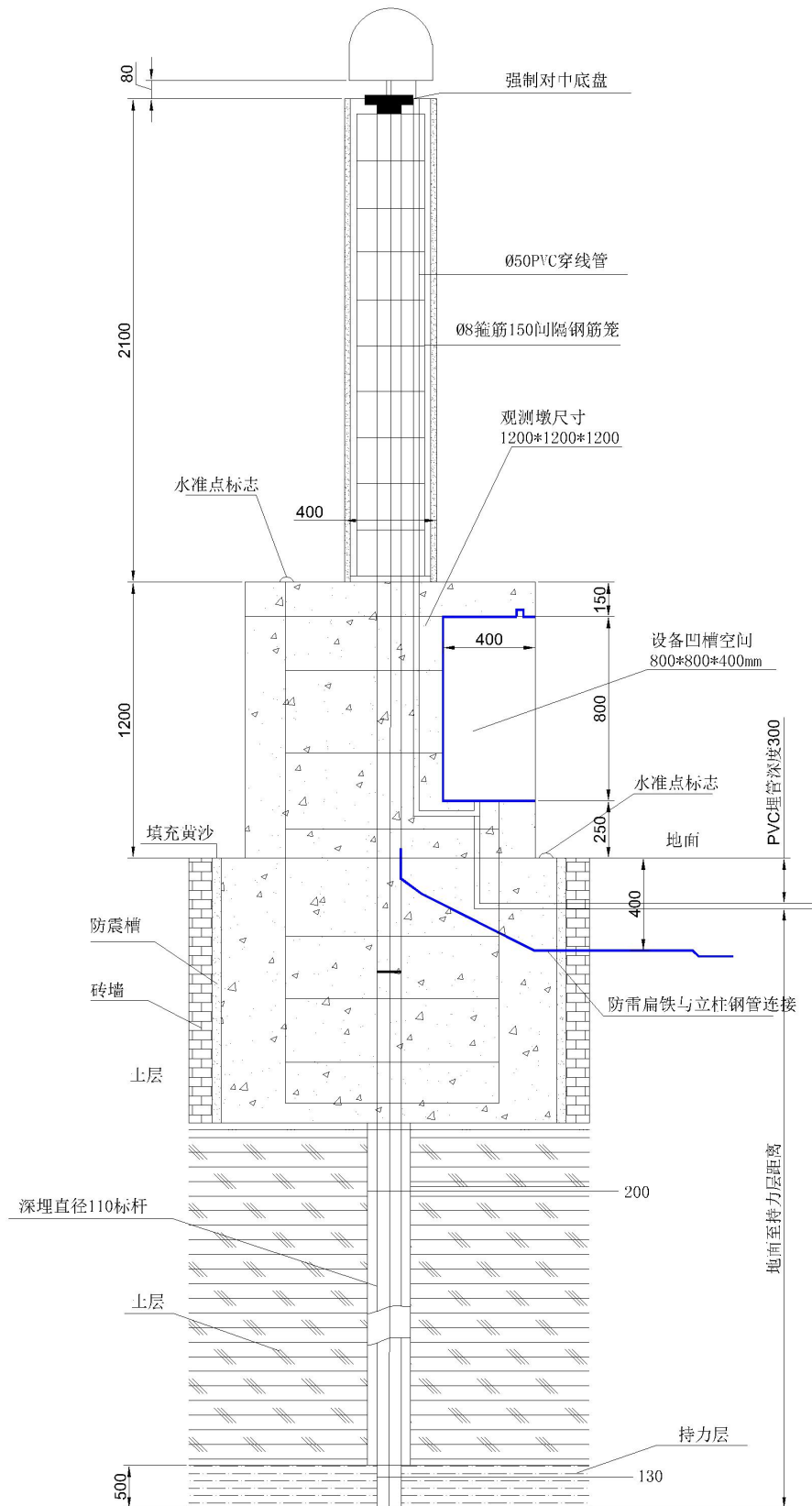


图 B.2 土层观测墩示意图 (单位:mm)

B.3 屋顶观测墩示意图

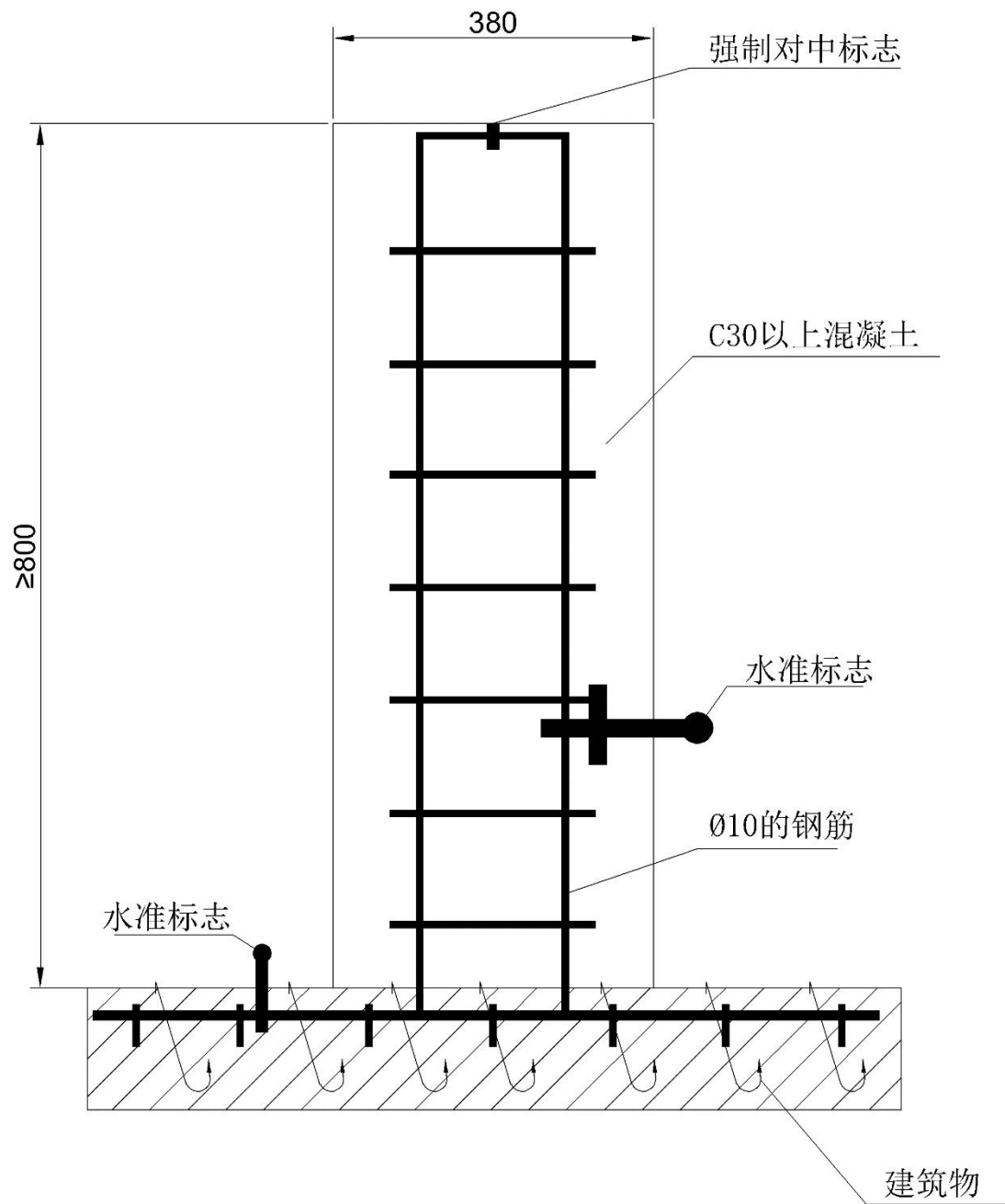


图 B.3.1 钢筋混凝土屋顶观测墩 (单位:mm)

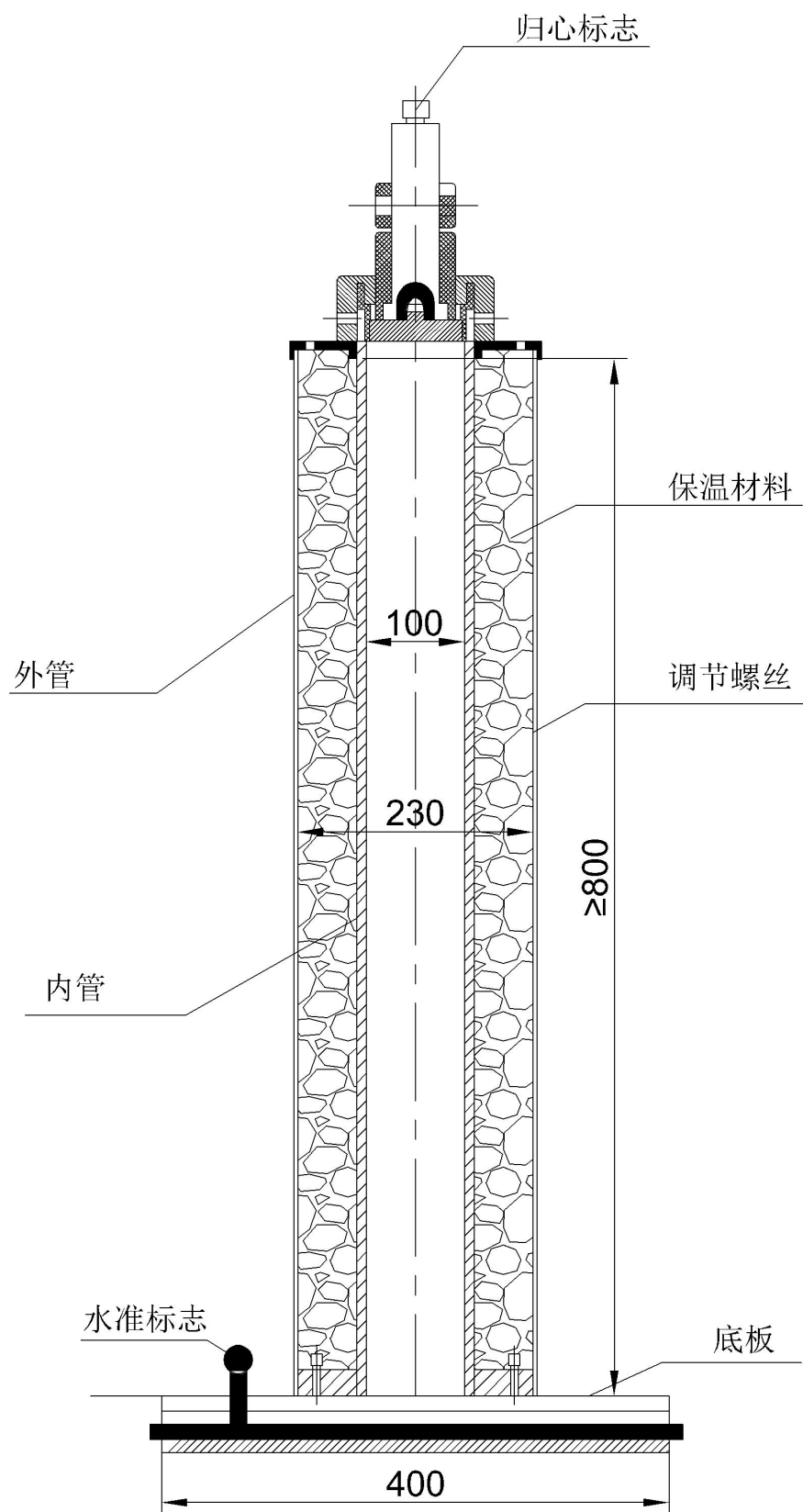


图 B.3.2 钢管屋顶观测墩 (单位:mm)

B.4 基准站机柜示意图

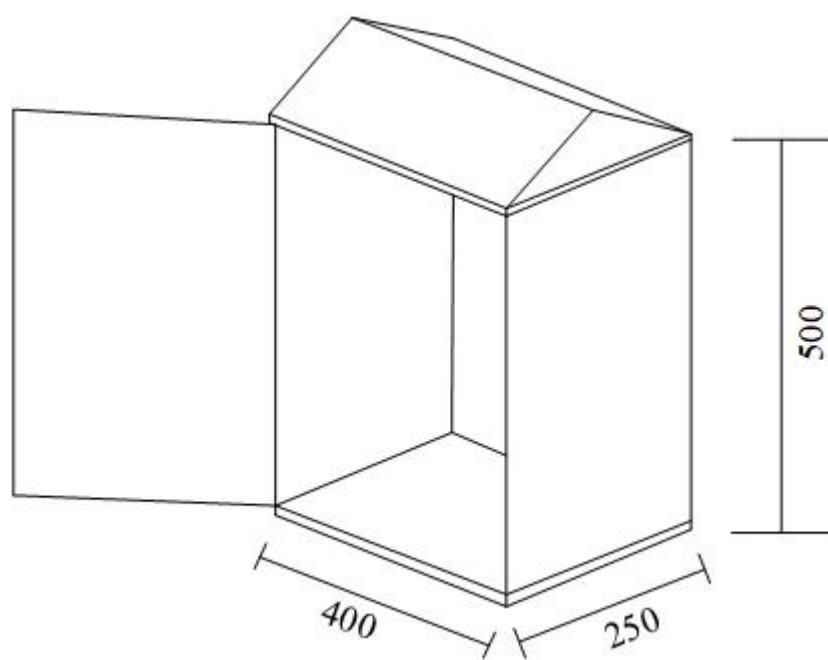


图 B.4 机柜示意图（单位:mm）

B.5 观测墩顶面强制对中标志

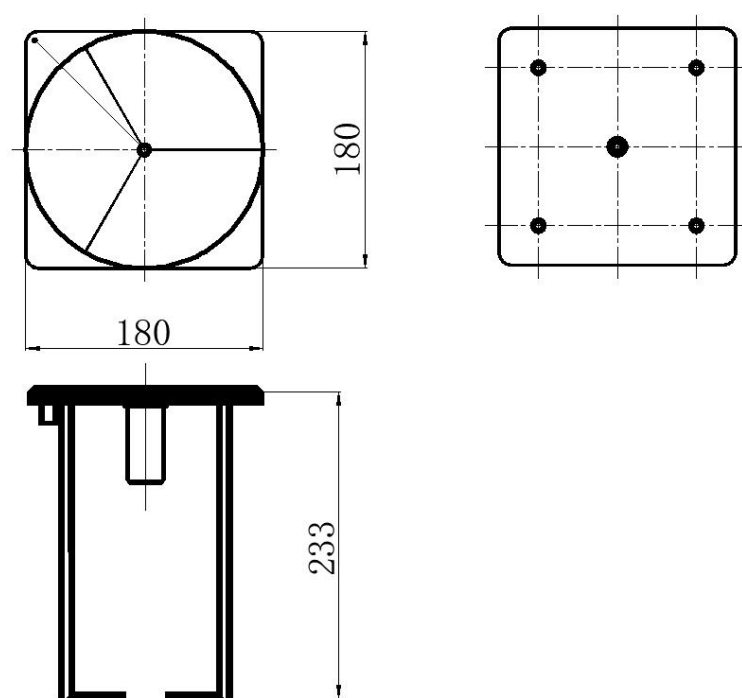


图 B.5 观测墩顶面强制对中标志（单位:mm）

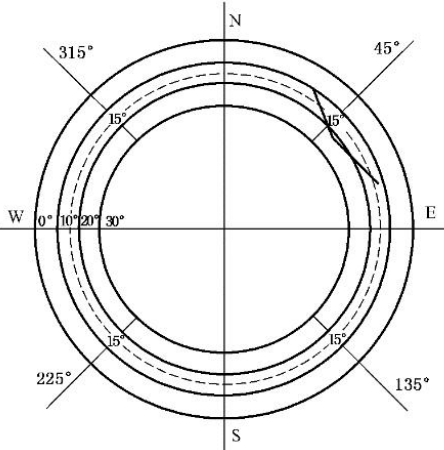
附录 C 基准站点之记

C.1 基准站点之记（正面）

基准站点之记

站名		编号		网段	
概要信息				点位略图	
所在地					
最近住所					
供电情况					
电信情况					
线路里程					
地 类		土质			
冻土深度		解冻深度			
交通情况					
交通概况				交通路线图	
点位近视图片				点位远景、远视图片	

C.2 基准站点之记（反面）

选址情况		便于联测的水准点等级、点名、点号及联测里程	
选址者			
单位			
选点日期			
概略位置	B:		
	L:		
	H:		
点位环视图说明		点位环视图	
			
建站情况		观测墩情况	
建站者		观测墩断面图	
单位		单位：m	
建站时间			
委托保管情况			
保管人			
单位			
地址			
邮编			
电话			
备注			

C.3 基准站铭牌示例

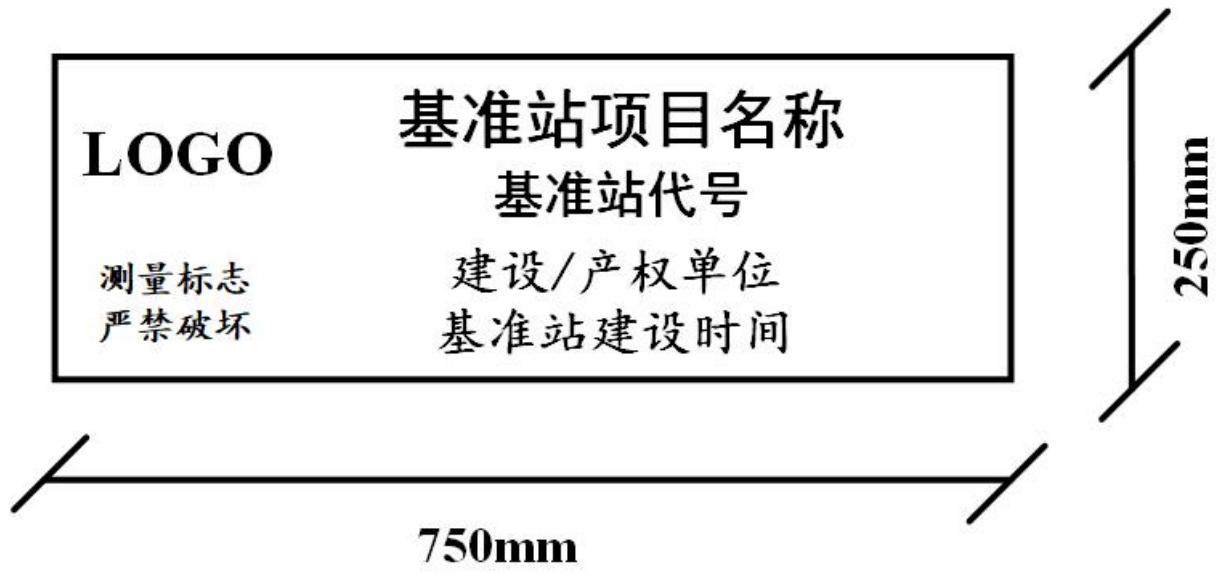


图 C.3 基准站铭牌示例

附录 D 卫星定位测量手簿记录格式

观测日期		观测者			测量模式	
接收机编号		天线编号			采样间隔	
天气状况		气象元素			时间系统	
日时段序号	设站点名	观测时间		天线高		
		开机时间	关机时间	类型	高度 (m)	测定方法及略图
1				测前		
				测后		
				平均		
2				测前		
				测后		
				平均		
3				测前		
				测后		
				平均		
4				测前		
				测后		
				平均		
记事						

附录 E

E.1 基准站土建工程建设质量检查评分表

基准站编号：

检查者：

检查日期：

检查大类	检查项	单项分	检查得分	说明、整改建议
观测墩基础与外观质量	观测墩基础	2		
	形体尺寸	3		
	表面平整度	5		
	露筋	5		
	蜂窝空洞	10		
	表面裂缝	10		
	光滑度	2		
	碰损掉角	2		
	强制对中装置	10		
	隔震槽	1		
防雷工程	建筑物防雷	4		
	供电防雷	3		
	等电位连接	3		
机柜	尺寸	2		
	防盗	2		
	保温	2		
	防水	2		
	排水	2		
辅助工程	供电系统	5		
	通信系统	5		
	线缆工程	5		
	警示标识	5		
基准站归档材料整理		10		
总评分		100		

E.2 基准站设备安装质量检查评分表

基准站编号：

检查者：

检查日期：

检查大类	检查项	单项分	检查得分	说明、整改建议
基准站天线	安装位置	10		
	安装稳固性	5		
	安装方向	5		
	线缆连接	2		
基准站接收机	安装位置	5		
	线缆连接	2		
	馈线防雷器	3		
	电气、运行	3		
气象设备	安装位置	3		
	线缆连接	2		
	设备接地	2		
	电气、运行	3		
电源设备	安装位置	3		
	线缆连接	2		
	防浪涌	3		
	设备接地	2		
	电气、运行	3		
通信设备	安装位置	3		
	线缆连接	2		
	设备接地	2		
	电气、运行	3		
监控设备	安装位置	3		
	线缆连接	2		
	设备接地	2		
	电气、运行	3		
雷电防护设备	避雷针安装位置	3		
	馈线安装	3		
	防雷器	3		
	防浪涌	3		
设备安装归档材料整理		10		
总评分		100		

E.3.1 现场维护巡检记录表

序号	检查类	检查项目	运行状态	出现问题及 处理情况	巡查时间	巡查人员
	基准站维护	接收机设备				
		观测天线				
		观测墩				
		观测环境				
		机柜				
		网络				
		供电				
		防雷工程				
		线缆情况				
	数据中心维护	机房基础设施				
		软件运行状态				
		网络设备				
		供电设备				
		消防设施				
		防雷工程				

E.3.2 远程维护巡检记录表

序号	检查类	检查项目	运行状态	出现问题及处理情况	巡查时间	巡查人员
1	基准站维护	在线情况				
		工作状态				
		观测数据质量				
		软件是否需要更新				
		基准站信息是否变化				
2	数据中心维护	站点与站网的基本信息是否需更新				
		站点观测数据接入、整体网解、产品输出等运行状态				
		软件运行日志记录是否存在异常报警				
		服务器、网络设备、不间断电源等硬件设备的资源冗余度				
		应用软件是否需要更新和升级				
		杀毒软件是否需更新病毒库并开展病毒扫描				
		数据中心备份工作				
3	网络维护	网络设备工作状态				
		网络带宽冗余量				
		安全隐患排查，如非法接入、弱口令等				
		网络防火墙是否需更新和升级				

E.4 基准站信息变更表

项目	是否变更	变更原因	变更前	变更后	变更人	变更时间
基准站名称						
基准站十位代码						
基准站四位代码						
基准站位置						
接收机型号与规格						
基准站固件						
基准站坐标						

本规程用词说明

执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

1 表示很严格，非这样做不可的用词：

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用词：

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用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4 表示允许有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

《铁路北斗卫星导航定位基准站网建设技术规程》条文说明

条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行过程中应注意的事项等予以说明，不具备与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。为减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

1.0.1 北斗卫星导航系统（BDS）已全面建成并在铁路领域规模化应用，基准站网是铁路精密测量与时空服务的核心基础设施。制定本规程旨在解决铁路平面控制网带状分布、高精度需求、复杂环境适配等特有问题，统一建设标准，确保成果质量，支撑铁路工程测量从传统平面控制网向北斗卫星导航定位基准站网模式转型。现行《铁路工程卫星定位测量规范》TB 10054中对卫星定位连续运行基准站网进行了简要规定，但未结合铁路工程的特点充分发挥北斗卫星导航定位基准站网的作用，实现基于基准站网的平面控制测量、高精度动态测量，本规程明确了新建和改建铁路的基准站网建设和应用要求，对于未按本规程建设基准站网的铁路工程，其采用卫星定位开展的平面控制测量、动态测量仍参照现行有关标准执行。

1.0.2 结合铁路工程全生命周期特点，基准站网服务贯穿勘察设计（控制测量）、施工（放样、监测）、运营（基础设施变形监测、列车定位）各阶段。适用范围覆盖不同时速、不同类型铁路，同时明确包含基准站、数据中心等全系统建设，符合铁路工程“统筹规划、一网多用”的需求。

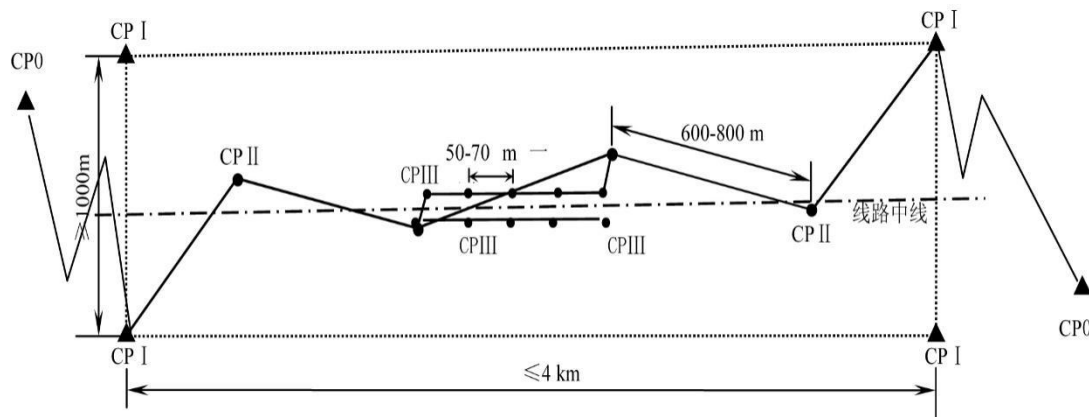
1.0.3 铁路北斗卫星导航定位基准站网建设应贯彻国家北斗产业化战略，核心设备与技术自主可控，保障时空信息安全；适配铁路沿线复杂地质、气象及电

磁环境，具备抗干扰、防破坏和连续运行能力；兼顾高速铁路、普速铁路或不同应用场景的精度需求；适配未来北斗卫星导航系统技术的发展；统筹铁路行业内各类基准站资源，避免重复建设。

1.0.4 统一平面控制测量基准是确保铁路工程测量成果全生命周期“三网合一”的核心保障。CGCS2000 为国家法定大地坐标系，1985 国家高程基准为我国铁路高程基准，BDT为北斗系统专用时间基准；与IGS站、国家连续运行参考站联测可实现基准站网与国家基准的无缝衔接，确保成果可追溯和可共享。

1.0.5本规程需与《全球导航卫星系统连续运行基准站网技术规范》GB/T 28588、《铁路工程卫星定位测量规范》TB 10054、《铁路工程测量规范》TB10101、《高速铁路工程测量规范》TB10601等标准协调一致；同时基准站网建设涉及国家安全、测绘保密和电磁防护等要求，需遵守国家相关法律法规。

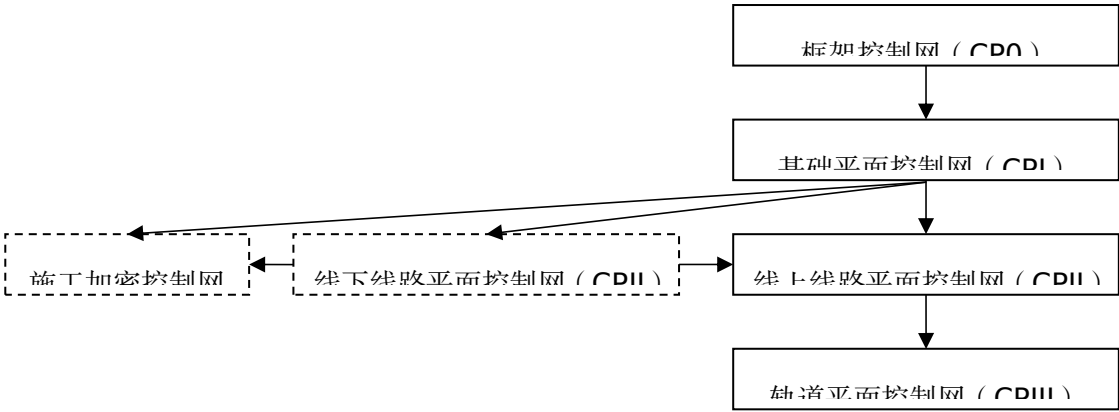
3.1.1 按现行《铁路工程测量规范》TB 10101 和《高速铁路工程测量规范》TB 10601 要求，铁路工程测量平面控制网采用分级布网逐级控制的四级平面控制网，现行铁路精密平面控制测量体系如说明图 3.1.1-1 所示。



说明图 3.1.1-1 现行铁路精密平面控制测量体系示意图

现行铁路平面控制测量体系应在框架控制网（CP0）基础上建立第二级基础平面控制网（CP I），主要为勘测、施工和运营维护提供坐标基准；然后在基

基础平面控制网（CPⅠ）基础上建立第三级线路平面控制网（CPⅡ），主要为勘测和施工提供控制基准；最后在线路平面控制网（CPⅡ）基础上建立第四级轨道控制网（CPⅢ），主要为轨道铺设和运营维护提供控制基准。四级平面控制网之间的相互关系如说明图 3.1.1-2 所示：

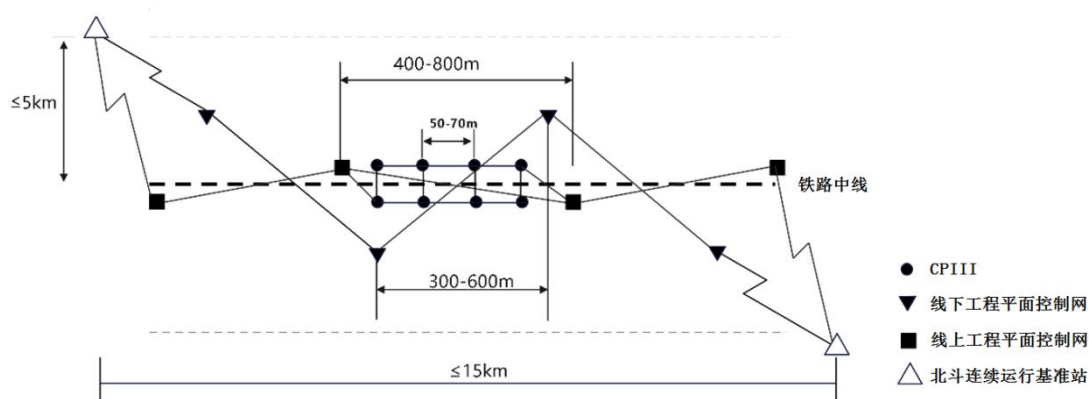


说明图 3.1.1-2 现有铁路平面控制网分级布设相互关系示意图

但当前的平面控制测量体系存在以下特点：

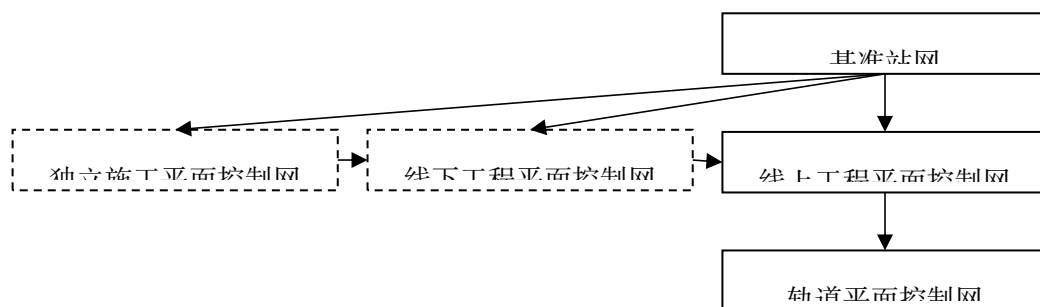
- （1）线下精密控制点易受工程建设及其他外界因素扰动损毁；现阶段精密控制网主要依靠定期或不定期复测开展维护工作，该维护模式难以保障控制网整体稳定性。
- （2）勘测设计、施工及运营各阶段对控制网的使用需求存在差异，造成不同等级控制点的服务生命周期各不相同。例如 CP0 控制点服务于铁路项目全生命周期，线下 CPⅠ、CPⅡ 控制点、施工加密控制网及工程独立控制网则主要服务于施工阶段，由此造成现场需布设、维护的控制点数量庞大，显著加大工程投入。

本规程针对铁路工程现有平面控制测量体系存在的不足,提供了一种新的铁路工程平面控制测量体系，如说明图 3.1.1-3 所示。



说明图 3.1.1-3 本规程基于基准站网的铁路平面控制测量体系示意图

本体系由基准站网、线下工程平面控制网、线上工程平面控制网和轨道平面控制网（CPIII）组成。该体系突破了现有从框架控制网（CP0）→基础平面控制网（CPI）→线路平面控制网（CPII）→轨道平面控制网（CPIII）的平面控制测量体系，直接基于基准站网测设线下工程平面控制网和线上工程平面控制网，不再布设 CP0 和 CPI 控制点，缩短了建网周期和节约了建网及其复测成本。同时基准站亦可连续运行，位置精度可靠，能够在勘测、施工和运维全周期提供高精度定位服务，实现“三网合一”，确保了统一的坐标基准。本规程各级平面控制网间相互关系如说明图 3.1.1-4 所示。



说明图 3.1.1-4 本规程铁路各级平面控制网相互关系示意图

3.1.3 结合铁路带状工程、长期服役和数据涉密的特点，明确站网建设核心原则；强调数据安全与保密要求，落实测绘成果及铁路时空数据安全管理规定。

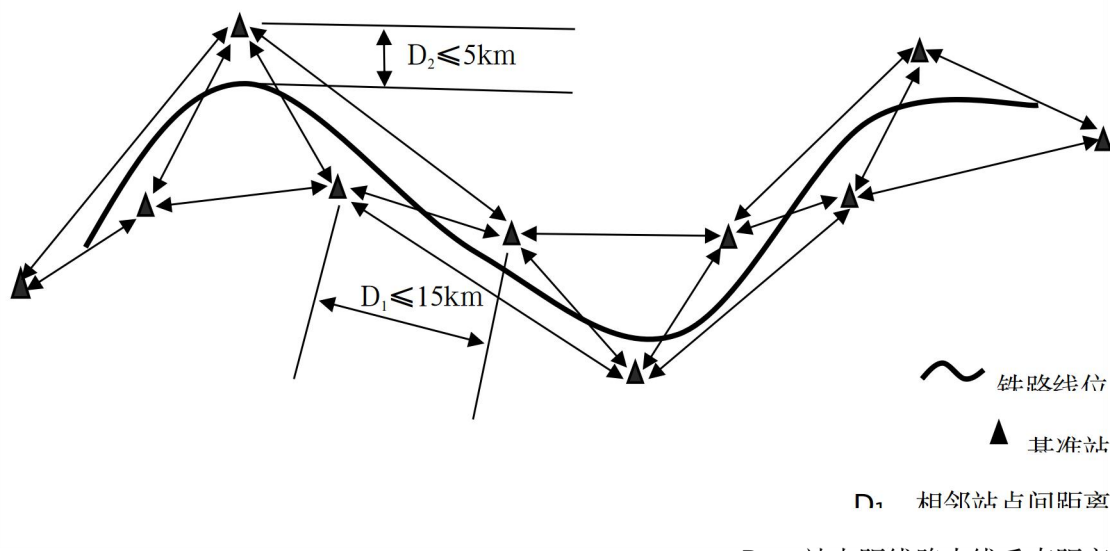
3.1.5 GB/T 39399-2020《北斗卫星导航系统测量型接收机通用规范》中明确测量型北斗接收机必须支持北斗 B1I、B1C、B2a、B2b、B3I 等全工作频段，具

备独立完成定位、测速和授时功能，不依赖其他 GNSS 系统即可正常工作。铁路北斗卫星导航定位基准站网建设所用北斗接收机同样需满足上述要求，保障无 GPS/GLONASS 信号区域正常作业，落实“北斗自主可控”国家战略。

3.1.8 按照国家《北斗卫星导航系统应用推广实施方案》及《北斗卫星导航系统测量型接收机通用规范》GB/T 39399 配套软件要求，铁路北斗基准站网软硬件需实现全链路北斗自主化，从数据采集、传输、解算和差分播发全流程不依赖其他 GNSS 系统及配套软件。

4.2.2 铁路北斗卫星导航定位基准站网采用沿铁路沿线带状布网模式，与按省、自治区、直辖市行政区划布设的基准站网存在布局差异。相较于现行国家标准《北斗地基增强系统基准站建设和验收技术规范 第 1 部分：建设规范》GB/T 39772.1，本规程充分结合铁路线路长距离带状分布的工程特征，依托规程构建的铁路基准站网平面控制测量体系，兼顾高精度动态测量对基准站网布设密度的技术要求，对《铁路工程卫星定位测量规范》TB 10054 规定的相邻基准站间距指标做了加密优化处理。

当线路经过丘陵、平原或低山等一般区段时，规定相邻站点间距不应大于 15km，能够满足铁施工控制测量和施工放样对实时动态定位精度的要求。规定点位距线路中线垂直距离不应大于 5km，是为了避免因距离过远导致大气延迟误差相关性降低；规定各基准站与其最邻近的两个基准站组成的三角形最短边与最长边之比不宜小于 0.5，旨在控制网形的几何强度。若比值过小，表明三角形过于狭长，会导致基线向量解算的几何条件恶化，降低基准站坐标框架的整体稳定性，并影响网络 RTK 内插模型的精度。一般区段基准站布设网形图参考说明图 4.2.2。



说明图 4.2.2 基准站网网形参考图

4.2.3 本条针对长大隧道、宽阔水域等难以按一般区段间距布设基准站的特殊地形，规定了差异化的布网原则，旨在保障网络 RTK 改正数的空间相关性和平面控制测量的精度。

（1）关于长大隧道区段基准站网布设

当线路经过长度大于 15km 的长大隧道时，规定在隧道进、出口前方视野开阔、地质稳定的地带各布设 1 座基准站，为隧道洞外控制测量提供稳定的坐标基准。当隧道长度大于 30km 时，为满足特长隧道高精度贯通测量及进洞方位传递需求，除进、出口基准站外，宜结合辅助坑道（斜井、竖井、横洞）的地理位置，在其洞口附近视地质、交通及基础设施条件增设基准站。

（2）关于宽阔水域区段基准站网布设

当线路以大跨度桥梁跨越长度大于 15km 的宽阔江河、湖泊或海域时，水中无法设立固定基准站，且近水区域多路径效应显著。规定基准站距水岸不应小于 200m，旨在削弱水面反射引起的多路径误差，保障观测数据质量。两岸各布设 1 座基准站，可确保两岸控制点与基准站网可靠联测，满足跨河（海）桥梁施工对坐标基准一致性的要求。当水域宽度大于 30km 时，单一基准站难以有效控制对岸网络 RTK 作业的初始化效率与定位精度，且长距离跨水面对

流层、电离层延迟差异增大。规定同侧布设 2 座基准站且间距宜大于 3km，是为了构建局部高强度子网，增强改正数的内插可靠性，削弱跨水域空间相关误差。条件具备时，可在水域中稳定区域（如岛屿、人工构造物）增设基准站，进一步优化网形结构，提升大跨度桥梁及水上构筑物的测量精度。

当线路以隧道穿过大型海湾等宽阔水域时，参照本规程 4.2.3 条第 1 款执行。

4.3.1 本条参考《北斗地基增强系统基准站建设技术规范》BD 440013 中基准站选址章节的内容，并考虑铁路线路特点，对基准站点选址作了明确要求。

4.3.2 本条针对基准站命名规则做了相应规定，包括基准站十位和四位的代码，其中基准站站点十位代码为基准站唯一识别编号，主要用于基准站的资料归档、提交等场景；基准站站点四位代码为基准站对应的外业代码，需要避免与已有的既有简码重复，主要用于网络服务器、外业测量和数据处理等场景。在十位代码编码时，如暂无所在线路代码，可以线路首字母四位简称代替。以京沪高铁 2 号站为例，该站地处丰台区，则其站点名称为：京沪高铁丰台区 002 号站，十位代码为 T033002002(线路代码未明确时为 T03JHTL002)，四位代码为 JHFT。

5.1.3 本条参考《全球导航卫星系统连续运行基准站网技术规范》GB/T 28588 中基准站观测墩分类规定，结合铁路工程沿线地质条件多样性，将观测墩分为基岩观测墩、土层观测墩和屋顶观测墩三种类型，以适应不同站址的施工条件。观测墩埋设规格详见本规程附录 B。

5.1.6 站点土建工程质量直接决定后续设备安装的精度和长期稳定性，将土建工程质量检查作为设备安装的前置条件，可避免因土建遗留缺陷导致设备运行异常或精度下降，实现站点土建与设备安装两个专业的工序衔接与责任划分。

5.2.1 基岩观测墩各构造参数主要依据《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和

《混凝土结构设计规范》GB 50010 编制。入岩深度不小于 0.5m 可确保墩体与基岩锚固可靠；墩柱直径不小于 400mm 和高度不低于 2100mm 兼顾天线安装需求与多路径效应抑制；基础承台尺寸 1200mm×1200mm×1200mm 并在一侧预留机柜凹槽，满足一体化机柜安装空间；防震槽可隔离地面微振动对天线相位中心的干扰；C30 混凝土与垂直度偏差小于 5%可保证墩体的长期结构稳定性与测量精度。

5.2.2 土层观测墩基础进入稳定持力层深度不小于 1.0m 参照 GB 50007 中浅基础的埋深要求。墩体基础位于当地冻土线以下 0.5m 旨在避免季节性冻胀对观测墩稳定性的影响，该要求对北方季节性冻土区的基准站而言尤为重要。基坑开挖遇软土、流沙和涌水等不良地层时持续向下开挖至良好受力土层，可避免不均匀沉降导致的墩体倾斜。

5.2.4 本条规定了观测墩顶部强制对中装置的对中偏差和水平度偏差两项指标。水平度偏差应小于 30″，参照《全球导航卫星系统连续运行基准站技术规范》GB/T 28588 中有关基准站观测墩的精度要求。对中偏差直接影响天线相位中心的平面位置精度，水平度偏差影响天线相位中心的高度精度，这两项指标是保证基准站坐标精度的基础。

5.2.5 基岩观测墩的一个月稳定期主要考虑混凝土水化热消散和早期收缩的完成时间，参照《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 中混凝土养护的基本要求。土层观测墩宜经过一个雨季和冻土地区宜经过一个冻融期，是因为土层在含水率变化和冻融循环作用下会发生显著沉降变形，经过一个自然周期后可判断墩体是否已趋于稳定。屋顶观测墩的 7 天稳定期主要考虑混凝土达到设计强度的时间，且屋顶环境受自然因素影响较小。

5.3.2 基准站接地电阻不大于 4Ω是参照《建筑物电子信息系统防雷技术规范》

GB 50343 和《建筑物防雷设计规范》GB 50057 中关于电子信息系统防雷接地的要求制定。北斗基准站通常配置 BDS 接收机、通信设备等高灵敏度电子设备，较低的接地电阻能有效泄放雷电流，保障设备和人员安全。

5.3.4 防雷地网参数主要依据 GB 50057 编制。3.3m×3.3m 正方形网格布设可形成均匀的接地电场，降低跨步电压和接触电压。铜包钢接地极兼具铜的耐腐蚀性和钢的高强度，可延长接地网在土壤环境中的使用寿命。接地极与镀锌扁钢焊接连接可确保接地网的电气连续性。引线沟槽深度不小于 0.3m 可保证接地体与土壤的有效接触，宽度不小于 0.15m 便于施工操作。

5.4.3 防护栅栏高度不低于 2.0m 主要考虑防盗和人员安全防护需求，热镀锌钢材质可保证栅栏在铁路沿线露天环境下的长期耐腐蚀性。封闭式栅栏配合滚丝网、防盗锁具和警示标牌，形成基准站安全防护的完整体系，可降低设备被盗和人为破坏的风险。

5.4.4 电力线与通信线分开敷设是参照《综合布线系统工程设计规范》GB 50311 中电力线与通信线的间距要求，旨在避免电力线路的电磁干扰对通信信号传输造成影响。管道内径不小于 50mm 可满足单模/多模光纤及馈线的穿管需求，并为日后扩容预留空间。

7.1.3 本条参考《全球导航卫星系统连续运行基准站网技术规范》GB/T 28588-2012。

7.2.5 本条中数据中心处理卫星数量、处理基准站数量、系统可用度（R）、区域差分数据产品输出延时的规定，是参考《北斗地基增强系统数据处理中心技术要求》GB/T 39783-2021 中 4.3 节相关规定。

7.3.2 本条参考《北斗地基增强系统数据处理中心技术要求》GB/T 39783-2021 中 6.4.1 节中对 CPU 和内存的参数要求。

7.3.4 本条中第 3 款和 5 款是参考《全球导航卫星系统连续运行基准站网技术规范》GB/T 28588-2012 第 8.6 节的部分内容。

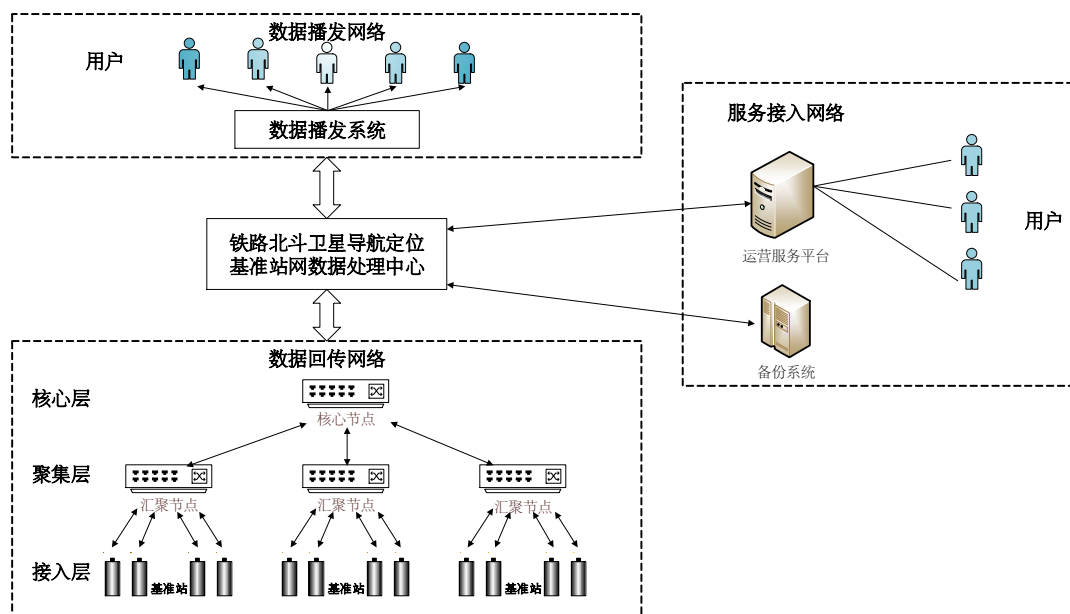
7.4.3 电离层延迟和对流层延迟是影响北斗卫星定位精度及其稳定性的主要误差源之一，基准站网沿铁路线路呈线性和长距离分布，跨越不同地理区域和气候条件，沿线电离层电子密度和对流层水汽分布具有明显的空间非均匀性和时间动态变化特征，建立铁路沿线区域的电离层延迟和对流层延迟改正模型，有助于提高铁路北斗定位服务的精度、稳定性和连续性。

数据中心的沿线区域电离层、对流层状态解算异常会对差分改正效果产生影响，而基准站坐标变化会导致差分服务的定位结果产生整体偏差，严重影响动态定位精度。数据中心对电离层、对流层改正模型实施持续监测和维护，开展基准动态维持，并对实时服务数据进行质量监测和完好性评估，有助于提高基准站网服务的精度和可靠性。

7.5.2 基准站观测数据在传输过程中易受到网络攻击或窃取风险，本条参考《北斗地基增强系统数据处理中心技术要求》GB/T 39783-2021 中第 9 章的规定，同时根据铁路行业对信息安全的要求，规定观测数据传输应采用专网或密码技术进行数据加密。

7.5.3 基准站网涉及的部分数据与铁路基础设施位置和运行状态相关，具有一定的敏感性，对涉密数据在存储、处理和传输环节实施保密技术处理，可防止敏感信息泄露或被不当利用。

8.1.1 基准站网通信网络核心是构成一个完整的数据传输与交换体系的桥梁，连接基准站、数据中心和用户，并对所有观测数据、用户信息、系统信息等进行备份。基准站网通信网络整体架构如说明图 8.1.1 所示。



说明图 8.1.1 基准站网通信网络系统架构图

8.1.2 根据自然资源部、国家保密局关于印发《测绘地理信息管理工作国家秘密范围的规定》，军事禁区以外卫星导航定位基准站坐标、基准站网观测数据保密等级为秘密级。同时根据自然资源部令第 19 号《卫星导航定位基准站管理办法》第十六条中传输卫星导航定位基准站观测数据的规定，应当采用有线专网或者商用密码等手段实行加密保护。数据回传网络主要负责基准站与数据中心间通信，传输卫星观测数据和运维监控数据，因此应优先采用专用网络。数据播发网络主要是数据中心向用户播发处理后的差分产品，对于 RTK 等设备，无法使用专用线路传输信号，一般采用运营商无线信号传输。服务接入网络主要是数据中心的数据备份以及用户管理等，保障服务连续性，有线网络进行数据传输即可满足相关需求。同时对采用互联网等公网环境进行数据传输时，应提出相应加密要求。

8.1.3 主要参照《卫星导航地基增强系统数据处理中心数据接口规范》GB/T 37018-2018、《北斗铁路地基增强系统基准站暂行技术要求》TJ/DW223—2019

以及《北斗地基增强系统基准站建设技术规范》BD440013—2017 等内容，对主要传输数据格式和频率进行规范，有助于基准站网之间数据的互联互通。

9.1.1 北斗卫星定位测量原始观测值采用北斗坐标系统，北斗坐标系统的原点位于地球质心，Z 轴指向 IERS 定义的参考极（IRP）方向，X 轴为 IERS 参考子午面（IRM）与通过原点且同 Z 轴正交的赤道面的交线，Y 轴与 Z、X 轴构成右手直角坐标系，长度单位为米，在 1984.0 时初始定向与国际时间局（BIH）的定向一致，定向随时间的演变使得整个地球的水平构造运动无整体旋转，采用笛卡尔坐标，基本参数包括 BDCS 参考椭球的长半轴 $a=6378137\text{m}$ 、短半轴 $b=6356752.3141\text{m}$ 、扁率 $\alpha=1/298.257222101$ 、地球引力常数 $GM=3986004.418\times 10^8\text{m}^3/\text{s}^2$ 和地球自转角速度 $\omega=7292115\times 10^{-11}\text{rad/s}$ 。

9.1.2 时间系统是卫星定位测量的重要基准，北斗卫星定位系统使用公历纪元和北京时间作为观测记录的时间系统，数据处理后需将计算的测量成果转换为公历纪元和北京时间。

9.1.3 基准站网与国家/省级连续运行参考站或高等级国家大地控制点联测的目的，是将基准站网坐标基准归化到 2000 国家大地坐标系中。

9.1.4 基准站与线路水准基点联测是为后续利用 BDS 实现高程转换。

9.1.5 设置“7 日”试运行期，核心目的是确保基准站网产出的数据产品质量达标。通过连续多日的稳定运行，可全面验证整个系统是否达到设计指标。对硬件设备的稳定性、数据链路的畅通性、观测质量和数据中心处理能力进行检验。

9.2.1 主要参照《全球导航卫星系统（GNSS）测量规范》GB/T 18314-2024 中 B 级 GNSS 网观测的基本规定，同时结合我国南北方 BDS 测量数据的有效性差异，综合考虑基准站网的测量精度和工作量，最终确定观测技术要求。

9.2.2 当必须在雷雨天作业时，应确保基准站防雷装置有效。

9.2.3 由于天线的相位中心与几何中心不重合,通过标准化观测条件来消除或减弱这种系统性误差,限制为 $\pm 5^\circ$ 是为确保因定向不准确引入的附加误差被限制在一个足够小的范围内,使其不会对高精度测量结果构成实质性影响。

9.2.4 外业观测前做好脚架、对中器、电缆和天线的检查,是保证基准站网测量作业顺利实施的必要措施。

9.2.5 卫星定位测量需多人协作,作业时间长、分布范围广,因此应按规定的时间进行作业,并做好作业过程中的沟通与交流工作。

9.2.6 本条可规避射频电磁干扰对 BDS 信号接收的破坏,保障观测数据的准确性与稳定性。BDS 卫星信号到达地面时极其微弱(功率仅-130dBm~-160dBm,相当于手机信号的十亿分之一),而电台、手机和对讲机均为主动射频发射设备,其产生的电磁辐射可能通过多种机制干扰接收机,最终导致定位精度下降甚至观测失败。

9.2.7 天线安置的对中偏差和天线高的量取规定,主要是为了减少人为误差对测量精度的影响。

9.2.8 作业过程中不得进行接收机关闭等操作,目的是为了确保同步观测的数据量与数据质量,也是为了保证观测计划的有效实施。

9.2.9 不同观测时段重新对中整平天线,并改变天线高是为了抵消固定系统性偏差、重置累积偶然误差并验证数据可靠性。虽然增加了少量的外业工作量,但可以显著提升基准站网与国家/省级高等级控制点联测成果的可信度。

9.2.10 采用电子记录便于对观测记录进行整理,提升内业效率。

9.2.11 按线路高程控制网等级,将线路水准基点高程引测至基准站点水准标志。

9.2.12 采用 RTK 测量时,由于仪器对中偏差、天线高误差,都会对 RTK 测

量成果造成影响，正确量取天线高是 RTK 高程测量的基础。多组观测是为保证观测结果的独立性。

9.3.8 基线处理结果质量检核要求执行《全球导航卫星系统 (GNSS) 测量规范》GB/T 18314-2024 B 级 GNSS 网的规定，并以“极限误差规定为中误差的 2 倍”为标准，对同一基线不同时段基线向量各分量及边长较差限差进行规定。

9.3.10 将大地高转换为正常高的关键在于得到观测点的高程异常。有多种确定高程异常或进行高程转换的方法。根据利用的测量数据类型，可以分为重力法、GNSS/水准法和组合法（重力法和 GNSS/水准法结合）。根据利用的数学计算方法，可分为高程拟合法、区域似大地水准面精化法和地球模型法。仅通过地球模型法计算高程异常误差较大，精度低，不适于区域应用，所以通常采用区域似大地水准面精化法和几何拟合法（包括直线拟合法、曲线拟合法、平面拟合法、曲面拟合法、双 B 样条拟合法等）。

（1）基于似大地水准面模型精化的高程异常拟合法

1. 采用已知高程基准地区 RTK 测量的大地高 H 与线路正常高 H_r ，计算得到高程异常 $\zeta^{\text{BDS/L}} = H - H_r$ 。

2. 利用下述模型对地区重力场模型计算的高程异常 ζ^{GM} （模型高程异常）进行修正或精化，以提高模型高程异常的精度。

$$\zeta^{\text{BDS/L}} = \zeta^{\text{GM}} + \alpha_0 + \alpha_1 \cos(B) \cos(L) + \alpha_2 \sin(B) \sin(L) \quad (\text{说明} \quad 9.3.10-1)$$

式中 B, L ——BDS 水准点的大地纬度、经度；

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ ——待求系数。

模型高程异常按下式计算：

$$\zeta^{\text{GM}} = \frac{\text{GM}}{\gamma^v} \sum_{n=2}^{N_{\max}} \left(\frac{\alpha}{\gamma}\right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \varphi) \quad (\text{说}$$

式中 GM——万有引力常数与地球总质量的乘积；

α ——参考椭球的长半轴；

φ, λ, γ ——地心纬度、地心经度、地心向经；

$\bar{P}_{nm}(\sin \varphi)$ ——完全规格化的缔合勒让德函数；

$\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ ——完全正常化的地球重力位系数；

$n, m, N_{\max}$ ——地球重力场模型的阶、次以及最大阶数。

(2) 基于似大地水准面模型精化的高程异常差拟合法，采用实测高程异常对模型高程异常差进行精化或修正，以提高模型高程异常差的精度。考虑地形起伏对高程异常差的影响，精化模型如下：

$$\Delta\zeta_{ij} = \Delta\zeta_{ij}^{GM} + \alpha_0 + \alpha_1(B_j - B_i) + \alpha_2(L_j - L_i) + \alpha_3(h_j - h_i) + \alpha_4(B_j L_j - B_i L_i) + \alpha_5(B_j^2 - B_i^2) + \alpha_6(L_j^2 - L_i^2) \quad (\text{说明 9.3.10-3})$$

式中 $\Delta\zeta_{ij}$ ——任意两点 i、j 的实测高程异常差；

$\Delta\zeta_{ij}^{GM}$ ——任意两点 i、j 的模型高程异常差；

h_i, h_j ——i、j 两点的大地高。

10.1.2 现场对基准站土建工程建设情况进行评分，以明确工程质量是否合格。本条参考《北斗地基增强系统基准站建设和验收技术规范第2部分验收规范》GB/T 39772.2-2021中第4章相关评分要求，并结合本规程中第5章相应要求综合制定。

10.1.3 现场对设备安装状态进行评分，以明确各设备安装质量是否合格。本条参考《北斗地基增强系统基准站建设和验收技术规范第2部分验收规范》GB/T 39772.2-2021中第4章相关评分要求，并结合本规程中第6章中相应要求综合制定。

10.2.2 本条主要规定了基准站设备主要功能和性能的测试项目,验证数据传输链路是否通畅,保证基准站满足使用要求。

10.2.3 数据中心作为基准站网系统核心,在建成后应对其进行主要功能和性能的测试。

10.3.1 基准站网系统建成后,推荐针对突发断电、基准站设备故障情况进行应急能力测试。

10.4.2 由于基准站网系统以组网形式对外提供定位服务,因此本条参考《北斗卫星导航系统测量型接收机通用规范》GB/T39399-2020中单点定位精度测试方法制定。本条中第3款BDS接收机在连续采集有效定位结果时,为尽可能保持各历元观测值独立,应关闭设备载波平滑及其他滤波功能。

10.4.4 由于网络协议不同版本之间请求服务方式存在不同,且不同厂家设备默认采用的协议版本也不尽相同,因此需要验证基准站网系统对于不同设备间的兼容能力。

11.3.3 参考现行《铁路工程卫星定位测量规范》TB 10054和《工程测量标准》GB50026中的变形监测等级,根据铁路工程建设中不同建(构)筑物的变形特点和国内外变形监测经验,本规程中的变形监测等级以一、二、三、四等划分。一等监测适用于变形特别敏感的建(构)筑物、特大型桥梁、路基和精密工程设施等;二等监测适用于变形比较敏感的建(构)筑物、大型桥梁和危害性较大的滑坡;三等监测适用于一般建(构)筑物、小型桥梁和站房等;四等监测适用于观测精度要求较低的建(构)筑物和普通滑坡等。

12.2.7 基准站坐标更新将涉及到之前测量结果的变化,因此更新不宜太过频繁。本条参考《卫星导航定位基准站网运行维护技术规范》GB/T 39618-2020中9.2节综合制定。

铁路北斗卫星导航定位基准站网建设
技术规程（征求意见稿）

编制说明

2026年09月

目 录

一、任务来源.....	1
二、编制原则.....	1
三、编制过程.....	2
四、主要编制内容.....	3
五、工作大纲审查会专家意见执行情况.....	5
六、与相关标准协调情况.....	6
七、需要说明的其他问题.....	8

一、任务来源

1. 《国家铁路局 2025 年铁路工程建设（含造价）标准编制计划》（国铁科法函〔2025〕83 号）。

2. 《国家铁路局规划与标准研究院关于公布<铁路北斗地基增强站网建设技术规程>编制单位的函》（研院标准函〔2025〕120 号）。

二、编制原则

按照《铁路技术标准管理办法》有关规定，本规程按以下原则开展编制工作：

1.目标引领，服务铁路高质量发展。规范铁路北斗卫星导航定位基准站网建设要求，保障基准站网提供连续、稳定、高精度的定位与导航服务，满足铁路工程勘察设计、施工建设、运营维护全生命周期的需求，充分利用面向带状铁路工程的北斗高精度定位技术等相关技术储备，深化完善基于北斗卫星导航定位基准站网的应用场景，明确北斗卫星导航定位基准站网建设应用的关键技术指标，服务铁路高质量发展。

2. 问题导向，贴合铁路实际需求。结合铁路工程带状、长距离的特点，全面梳理近年来北斗地基基准站网在铁路工程及其他领域的精密控制测量、实时定位测量应用现状，深入总结铁路工程项目设计、施工及运营各阶段的实践经验，明确基准站网布设要求，解决国家北斗卫星导航基准站网在铁路工程建设应用中，高精度位置服务能力不足、工程控制测量精度不够等突出问题，

切实保证规程的系统性、安全性、经济性与实用性。

3. 技术先进，推动关键技术应用。依托前沿科研攻关，将带状铁路工程北斗地基增强、铁路工程北斗精密测量、北斗毫米级监测等先进技术成果固化为规程条款。规范北斗卫星导航定位基准站网建设技术要求，打通先进技术与工程实践的转化通道，全面提升铁路工程测量中北斗技术的应用水平与规模化推广效能。

4. 标准协同，强化兼容衔接。系统梳理与现行北斗卫星导航定位国家及行业标准规范的内在联系。确保基准站网建设与国家及北斗重大专项标准无缝对接，并在建设规范与技术标准层面与现行标准保持高度统一，保障规程在标准体系中具备良好的兼容性与可操作性。确保依据本规程建设的基准站网满足现行《铁路工程测量规范》TB 10101、《高速铁路工程测量规范》TB 10601、《铁路工程卫星定位测量规范》TB 10054 的应用需求。

三、编制过程

本标准主编单位为中国铁路第四勘察设计院集团有限公司、国家铁路局规划与标准研究院，参编单位为中国铁路设计集团有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司、中铁第五勘察设计院集团有限公司、中关村智联轨道交通运营产业联盟等。主要编制过程如下：

1. 前期准备阶段。2025 年 7 月-2025 年 8 月，完成项目申请立项，同时启动项目。开展国内外相关标准的深度调研，明确

任务分工，成立标准编制工作组。

2. 工作大纲阶段。2025 年 9 月～2025 年 12 月，确定工作分工，制定工作计划，完成工作大纲编制工作。2026 年 1 月 27 日在北京召开工作大纲审查会，依据专家会意见对工作大纲进行修改完善。

3. 征求意见稿阶段。2026 年 1 月～2026 年 7 月，梳理分析现行的北斗卫星导航定位国家和行业标准，重点比对基准站网建设及质量评估指标；归纳总结已完成的《铁路领域北斗测量关键技术及应用研究》等项目成果，将带状铁路工程北斗地基增强技术等成熟技术结论转化为规程条款；调研了沿江高铁、长赣铁路、南昌局既有铁路等重大工程中基准站网建设与实际应用情况，开展了平面控制测量、高程拟合、动态测量、变形监测等方面的技术条款论证与验证。起草规范各章节初稿及条文说明，形成征求意见稿。

四、主要编制内容

本规程共 13 章，包括总则、术语和符号、基本规定、网形设计与站址遴选、土建工程、设备选型及安装、数据中心建设、通信网络、基准站网测量、集成测试与评定、基准站网应用、故障处置与应急维护、资料汇交，另有 5 个附录。

主要技术内容如下：

1. 提出了规程的编制目的、适用范围及基准站网建设的通用要求。

2. 规定了基准站网建设中的基本术语、符号。

3. 明确了基准站网建设的一般规定，界定各参建单位在项目中的职责和分工。

4. 规范了基准站网网形设计、站址遴选，明确布设、选址、命名、实地遴选及测试要求。

5. 规定了基准站土建工程，对观测墩、防雷、辅助工程施工建设作出技术要求，明确观测墩类型及埋设规格要求。

6. 明确了基准站各类设备选型、安装调试，规定设备参数、防护及运行监控要求。

7. 规定了数据中心软硬件配置的整体性能、硬件性能、软件性能等要求，规范数据处理播发、软件功能与信息安全防护。

8. 提出了通信网络架构划分，规定了数据回传、播发、服务接入的技术指标与安全要求。

9. 规定了基准站网测量联测、外业作业，明确了数据预处理、基线解算与网平差要求。

10. 规定了基准站网现场、远程、应急、精度测试，明确了系统集成测试评定标准。

11. 提出了基准站网在平面控制测量、动态测量、变形监测方面的应用技术要求。

12. 明确了基准站网运维体系，提出了站点、数据中心、网

络维护及应急处置要求。

13. 规定了基准站网全流程资料汇交，明确了各阶段需提交的纸质及电子资料内容。

五、工作大纲审查会专家意见执行情况

1. 标准名称改为：铁路北斗卫星导航定位基准站网建设技术规程。

2. 第 1.0.2 条标准适用范围改为：本规程适用于铁路北斗卫星导航定位基准站网设计、建造、测试、验收、应用及维护。

3. 总则第 1.0.4 条明确高程系统和坐标系统的要求。

4. 增加第 11 章“基准站网应用”，包括平面控制测量、动态测量和变形监测；增加第 13 章“资料汇交”，将各章节的资料统一汇总。

5. 第 9 章和第 11 章增加高程测量的相关要求。

6. 第 4 章名称“增强站网遴选”改为“基准站址遴选”。

7. 第 5.1 节名称改为“观测墩建设”。

8. 第 6 章名称改为“设备选型及安装”。

9. 第 7.4 节改为“软件功能”；第 8.2、8.3、8.4 节名称修改为“数据回传”、“数据播发”、“服务接入”。

10. 第 9 章“测量”和第 10 章“数据处理”合并为第 9 章“基准站网测量”。

11. 第 9.3.10 条增加大地水准面精化内容。

12. 第 4.2.6 条增加地质活动板块基准站网的遴选要求。

六、与相关标准协调情况

1. 本规程在现行国标基础上，针对铁路带状分布、毫米级/厘米级精度、全生命周期服役等行业特点进一步细化完善，整体与现行国标体系协调一致。关键环节对比如下：

（1）站址遴选与网形设计方面：15 km 站间距是本规程针对带状线路经实验确定的专门规定，本规程 4.2.2 已明确与现行国家标准《北斗地基增强系统基准站建设和验收技术规范 第 1 部分：建设规范》GB/T 39772.1 的差异在于充分考虑铁路长距离带状分布特点，更好适配铁路行业。

（2）观测墩与土建方面：观测墩种类、土建指标与国标基本一致，并结合铁路工程特点进行了优化，可施工性更强。

（3）设备选型方面：本规程 3.1.5、3.1.8 条强调“接收机具备独立接收北斗全频段信号能力”“配套软件均应具备独立解算北斗观测数据能力”，这是对《北斗卫星导航系统测量型接收机通用规范》GB/T 39399 的行业化加码，落实北斗自主可控战略，与国标协同不冲突但要求更高。

（4）数据中心方面：本规程 7.2.5 条参考了《北斗地基增强系统数据处理中心技术要求》GB/T 39783 中 4.3 节中的网络安全

等级和 UPS 供电等关键指标，并进行了进一步细化，本规程要求更严。

（5）验收评分方面：合格线数值和附录 F.1/F.2 中的评分表结构参考借鉴了《北斗地基增强系统基准站建设和验收技术规范 第 2 部分：验收规范》GB/T 39772.2 中相关内容。

2.本规程与行业标准《铁路工程卫星定位测量规范》TB 10054 对比：

（1）优化了相邻基准站间距指标。本规程充分结合铁路线路长距离带状分布的工程特征，依托构建的铁路基准站网平面控制测量体系，兼顾高精度动态测量对基准站网布设密度的技术要求，对《铁路工程卫星定位测量规范》规定的相邻基准站间距指标做了进一步加密优化处理。

（2）与现行铁路测量标准体系无缝衔接。本规程 11.1.11 明确规定，各等级平面控制网外业观测、数据处理及精度指标应符合《铁路工程卫星定位测量规范》的规定。

（3）补充完善了未涵盖或不便展开的工程化内容。本规程作为建设类规程，补充了《铁路工程卫星定位测量规范》第 9 章未涵盖内容，包括铁路带状布网的网形设计、基准站勘选的环境量化指标、土建工程的硬指标、自主可控的设备选型体系、数据中心与通信网络的系统级要求等内容。

(4) 优化了铁路工程平面控制测量体系。充分发挥了北斗卫星导航定位基准站网的作用，为平面控制测量、动态测量、变形监测统一基准。

七、需要说明的其他问题

无。