

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0154—2019

地面沉降测量规范

Specifications for land subsidence surveys

(报批稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中华人民共和国自然资源部

发布

目 次

前 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 缩略语 2

4 总则 3

5 精密水准测量 4

 5.1 一般规定 4

 5.2 技术设计 4

 5.3 建设 7

 5.4 观测 8

 5.5 数据处理 11

 5.6 补测和重测 11

6 GNSS 测量..... 12

 6.1 一般规定 12

 6.2 技术设计 12

 6.3 建设 14

 6.4 观测 15

 6.5 数据处理 16

 6.6 补测和重测 17

7 InSAR 测量..... 17

 7.1 一般规定 17

 7.2 技术设计 17

 7.3 建设 18

 7.4 观测 19

 7.5 数据处理 19

 7.6 补测和重测 20

8 测量成果的综合分析 20

 8.1 参考基准及其稳定性分析 20

 8.2 沉降量计算 20

 8.3 沉降量精度估计 21

 8.4 地面沉降等值线图与剖面图的编制 21

 8.5 地面沉降测量数据入库要求 22

9 成果汇交..... 22

 9.1 报告编写..... 22

 9.2 验收与成果汇交..... 22

附录 A（资料性附录） 地面沉降测量方法选择..... 24

附录 B（规范性附录） 地面沉降测量技术设计书编制..... 25

附录 C（规范性附录） 水准点埋设 28

附录 D（规范性附录） 地球椭球和参考椭球的有关说明..... 31

附录 E（资料性附录） GNSS 点结构设计与建设要求..... 32

附录 F（规范性附录） GNSS 观测墩的点之记与环视图 34

附录 G（规范性附录） GNSS 测量手簿格式..... 36

附录 H（规范性附录） 技术总结大纲 38

参考文献..... 39

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准代替DZ/T 0154—95。本标准与DZ/T 0154—95相比，主要技术内容变化如下：

——名称修改为《地面沉降测量规范》，增加了GNSS、InSAR测量技术方法及相应的技术要求；

——增加了数字水准仪观测技术要求。

本标准由中华人民共和国自然资源部提出。

本标准由全国国土资源标准化委员会（SAC/TC 93）归口。

本标准主要起草单位：上海市地质调查研究院、长安大学、中国国土资源航空物探遥感中心。

本标准主要起草人：方正、熊福文、杨天亮、张勤、郭小方、庄翔麟、王寒梅、李家权、王艳、王利、赵超英、方志雷、朱万明。

本标准代替了DZ/T 0154—95。

DZ/T 0154-95的历次版本发布情况为：

——DZ/T 0154—95。

地面沉降测量规范

1 范围

本标准规定了地面沉降精密水准测量、GNSS测量、InSAR测量的监测网布设、测量方法、数据处理、成果汇交的技术要求。

本标准适用于地面沉降及伴生地裂缝测量工作。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12897	国家一、二等水准测量规范
GB/T 18314	全球定位系统（GPS）测量规范
GB/T 24356	测绘成果质量检查与验收
CH/T 1004	测绘技术设计规定
CH/T 2008	全球导航卫星系统连续运行参考站网建设规范
CH/T 8016	全球定位系统（GPS）测量型接收机检定规程
DZ/T 0283	地面沉降调查与监测规范
JJF 1118	全球定位系统（GPS）接收机（测地型和导航型）校准规范

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 12897、GB/T 18314、GB/T 24356、CH/T 1004、CH/T 2008、CH/T 8016、DZ/T 0283、JJF 1118界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了其中的某些术语和定义。

3.1.1

地面沉降 land subsidence

因自然因素和人为活动引发松散地层压缩所导致的地面高程降低的地质现象，包括在其发育过程中伴生的地裂缝现象。

[DZ/T 0283-2015，定义 3.1]

3.1.2

地面沉降监测 land subsidence monitoring

采用多种测量技术手段通过定期重复测量地面（地层）高程变化，为地面沉降的研究与防控、治理提供准确、可靠资料的各项监测工作。

3.1.3

地裂缝 ground fracture

地表岩层、土体在自然因素或人为因素作用下，产生开裂，并在地面形成一定长度和宽度的裂缝的一种宏观地表破坏现象。

3.1.4

正常高 normal height

通过地面点的正常重力线到似大地水准面的距离。

3.1.5

全球导航卫星系统 global navigation satellite system

基于卫星的定位、导航、授时系统，又称天基PNT系统。

3.1.6

天线高 antenna height

观测时GNSS接收机天线平均相位中心到测站中心标志面的距离。

3.1.7

大地高 geodetic height

地面点沿参考椭球面法线到参考椭球面的距离。

3.1.8

合成孔径雷达干涉测量 Interferometric Synthetic Aperture Radar

利用合成孔径雷达(SAR)数据中的相位信息进行干涉测量处理，结合雷达参数和卫星位置信息反演地表三维及其变化信息的遥感技术。

[DZ/T 0283-2015， 定义 3.3]

3.1.9

人工角反射器干涉技术 CR-InSAR

指仅在安装的人工角反射器像元上进行差分干涉解算，从而获取这些CR点之间的相对形变的一种InSAR新技术。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CGCS: 中国大地坐标系 (China Geodetic Coordinate System)

CORS: 卫星定位连续运行基准站 (Continuously Operating Reference Station)

CR: 角反射器 (Corner Reflector)

CST: 中国标准时间，又称北京时间 (China Standard Time)

GNSS: 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)

SAR: 合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar)

InSAR: 合成孔径雷达干涉测量 (Interferometric Synthetic Aperture Radar)

D-InSAR: 差分合成孔径雷达干涉测量 (Differential InSAR)

PS-InSAR: 永久散射体合成孔径雷达干涉测量 (Persistent Scatterer InSAR)

SBAS-InSAR: 短基线集成孔径雷达干涉测量 (Small Baseline Subsets InSAR)

CR-InSAR:角反射器合成孔径雷达干涉测量 (Corner Reflector InSAR)

UPS:不间断电源 (Uninterrupted Power Supply)

UTC: 协调世界时 (Coordinated Universal Time)

4 总则

4.1 目的任务

开展地面沉降及伴生地裂缝测量,获取地面沉降量监测数据,为地面沉降的预警、防治决策和科学研究提供依据。

4.2 工作内容

4.2.1 建立地面沉降及伴生地裂缝测量控制网。

4.2.2 宜采用精密水准、GNSS、InSAR 等技术手段,对地面沉降及伴生地裂缝动态变化进行测量。测量方法的选择参见附录 A。

4.2.3 对测量成果进行整理、分析、汇总,编制成果报告,数据入库供使用。

4.3 工作流程

工作流程包括下列内容:

- a) 测量方法选择;
- b) 测量技术设计编写;
- c) 站点建设;
- d) 观测;
- e) 数据处理;
- f) 测量成果综合分析;
- g) 成果汇交。

图1给出了地面沉降测量工作流程示意图。

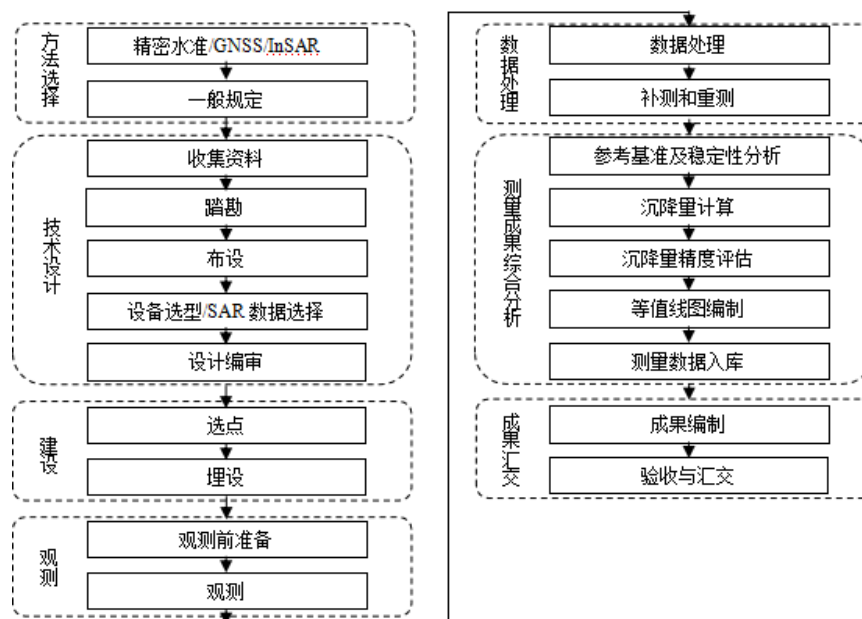


图1 地面沉降测量工作流程示意图

4.4 基本要求

- 4.4.1 测量设施应埋设永久性标志，并采取稳固耐久、防腐抗蚀、保持垂直稳定等保护措施。
- 4.4.2 高程基准起算点宜采用国家统一的高程系统，亦可根据测量需要采用经国家和地方行政主管部门审批备案的与国家高程系统相联的独立高程系统。
- 4.4.3 同一测量区采用不同的测量方法时，应统一测量基准。
- 4.4.4 测量综合分析应考虑地质背景条件。

5 精密水准测量

5.1 一般规定

- 5.1.1 根据地面沉降及伴生地裂缝测量目的任务、现场情况，合理选取精密水准测量的方法组织测量。
- 5.1.2 地面沉降及伴生地裂缝测量应以基岩标为测量基准点。
- 5.1.3 分层标组测量时应以基岩标为主标，缺失基岩标的标组应以埋设最深的分层标为主标，且应保持主标高程起算数据稳定、连续。

5.2 技术设计

5.2.1 收集资料

收集资料应包括下列内容：

- a) 测区的 1:50 000 或 1:25 000 地形图、行政区划图、交通路线图、规划图等；
- b) 测区内有关居民、交通运输、物资供应、水文、气象、地质、地震、土壤冻结等资料；
- c) 测区内已有的水准测量成果资料，包括水准路线图、点之记、技术总结、成果表等；
- d) 测区内已有的地面沉降监测资料，包括技术设计、监测网点分布图、沉降量等值线图、点之记、技术总结、成果表等；
- e) 测区内及其外围地下水开采与动态监测资料。

5.2.2 踏勘

踏勘应包括下列内容：

- a) 核实已有资料中点位的相关信息；
- b) 考察监测路线的可行性；
- c) 补充收集相关现场资料。

5.2.3 布设

5.2.3.1 布设应符合下列原则：

- a) 在重点地区布设，按照水准测量等级由高至低逐级控制，可分为三个测量等级，其应用条件可按表 1 的规定执行。

表1 地面沉降水准测量等级

测量等级	测量控制网	应用条件	布设区域
特等水准	特级高程控制网	基岩水准点之间的联测	新建基岩水准点
一等水准	首级高程控制网	重要地区或城市且沉降速率较缓	地面沉降漏斗外围区

表1 地面沉降水准测量等级（续）

测量等级	测量控制网	应用条件	布设区域
二等水准	次级（加密）水准监测网	沉降速率较快地区	在一等水准网（环线）内布设

b) 地面沉降及伴生地裂缝水准监测网、监测点、基岩标、分层标（组）布设应符合 DZ/T 0283 的要求。

5.2.3.2 布设要求应包括下列内容：

- 图上标出测区内主要城镇、铁路、公路、较大的河流，水库及工矿企业等；
- 图上标出测区内各地面沉降区的大致范围；
- 标出测区内已测的各等水准路线和水准点的位置；
- 标出监测区内地下水开采井的位置；
- 结合测区地面沉降情况，遵循逐级布设的原则，按照最高等级水准网（路线）、其它等级水准网（路线）的顺序进行设计；
- 水准网、水准路线、剖面线确定后，应在图上标出各水准点及分层标、基岩标的位置。

5.2.3.3 水准路线命名及水准点编号规则按表2的规定执行。

表2 水准路线命名及水准点编号规则

内 容	编号规则
水准路线	以起止地名的简称定为线名，顺序为起西止东、起北止南 特、一、二等水准路线、水准网的等级，分别以 T、I、II 写于线号、网名号之前
水准支线	以其所测高程点名后加“支”字命名。支线上的水准点，按起始水准点到所测高程点方向，以数字 1、2、3……顺序编号
普通水准点	应自该线起始水准点起，以数字 1、2、3……顺序编定号数 利用旧水准点，应使用旧水准点名号。若确需重新编号，应在新名号后以括号注明该点标石埋设时的旧名号
基岩水准点	以所在地命名，在地名后加“基岩标”三字 基本水准点应在名号后加“基”字，上、下标志分别再加“上”或“下”字

5.2.4 测量精度

5.2.4.1 精密水准测量以每千米水准测量的偶然中误差 M_{Δ} 以及每千米水准测量的全中误差 M_w 划分精度等级。

5.2.4.2 各等水准测量的每千米水准测量的偶然中误差 M_{Δ} 和每千米水准测量的全中误差 M_w 不得超过表3规定的数值。当水准路线长度小于 100 km，或测段数不足 20 个时，可并入相邻路线计算。

表3 精密水准测量每千米中误差

单位为毫米

等 级	特 等	一 等	二 等
M_{Δ}	0.30	0.45	1.0
M_w	0.70	1.0	2.0

每千米水准测量的偶然中误差 M_{Δ} 按式（1）计算。

$$M_{\Delta} = \pm \sqrt{[\Delta\Delta / R] / (4 \cdot n)} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

M_{Δ} ——每千米水准测量的偶然中误差，单位为毫米（mm）；

Δ ——测段往返测高差不符值，单位为毫米（mm）；

R ——测段长度，单位为千米（km）；

n ——测段数。

每千米水准测量的全中误差 M_w 按式（2）计算。

$$M_w = \pm \sqrt{[WW / F] / N} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

M_w ——每千米水准测量的全中误差，单位为毫米（mm）；

W ——经过各项改正后的水准环闭合差，单位为毫米（mm）；

F ——水准环线周长，单位为千米（km）；

N ——水准环数。

5.2.4.3 分层标沉降观测两次观测中数的中误差 M 应满足表 3 中一等水准测量 M_{Δ} 的规定。

两次观测中数的中误差 M 按式（3）计算。

$$M = \pm \sqrt{[\Delta\Delta] / (4 \cdot n)} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

M ——两次观测中数的中误差，单位为毫米（mm）；

Δ ——两测回高差不符值，单位为毫米（mm）；

n ——取样个数。

观测中误差 m 按式（4）计算。

$$m = \pm \sqrt{[\Delta\Delta] / (2 \cdot n)} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

m ——观测中误差，单位为毫米（mm）；

Δ ——两测回高差不符值，单位为毫米（mm）；

n ——取样个数。

升降变量中误差 ΔM 按式（5）计算。

$$\Delta M = \pm \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

ΔM ——升降变量中误差，单位为毫米（mm）；

M_1 ——上一次观测中数的中误差，单位为毫米（mm）；

M_2 ——本次观测中数的中误差，单位为毫米（mm）。

5.2.5 测量频率

测量频率应符合下列要求：

a) 区域地面沉降宜 1 次/年；

- b) 重大工程沿线地面沉降宜(1~2)次/年，重点区段可按需要加密；
- c) 基岩标、分层标（组）人工观测应不少于 1 次/月，自动化方式观测可适当加密。

5.2.6 设备选型

- 5.2.6.1 地面沉降水准测量使用的仪器标称精度应不低于表 4 的要求。
- 5.2.6.2 仪器的检定和校准应符合下列要求：
 - a) 应按说明书和计量检定要求进行仪器检定和校准，并在检定和校准的有效期内使用，测前检验应按 GB/T 12897 执行；
 - b) 自动安平光学水准仪每天检校一次 i 角；
 - c) 气泡式水准仪每天上、下午各检校一次 i 角，作业开始后的 7 个工作日内，若 i 角较为稳定，以后每隔 15 天检校一次；
 - d) 数字水准仪，整个作业期间应每天开测前检校 i 角。若开测为未结束测段，则在新测段开始前进行检校。

表4 仪器指标要求

序 号	仪器名称	最 低 精 度			附 注
		特等	一等	二等	
1	光学水准仪、数字水准仪	DS02	DSZ05	DSZ1	
			DS05	DS1	
2	水准标尺	线条式因瓦标尺、条码式因瓦标尺			
3	经纬仪、全站仪	DJ1	DJ1	DJ1	跨障碍测量
4	光电测距仪、全站仪	I 级	II 级	II 级	跨障碍测量
5	GNSS 接收机	大地型双频接收机	大地型双频接收机	大地型双频接收机	用于跨河水准测量

5.2.7 设计编审

- 设计编审应符合下列要求：
- a) 技术设计书的主要内容详见附录 B，其它要求应符合 CH/T 1004 的规定；
 - b) 设计完成后，须经审定批准后方可实施，如需调整须经委托方同意后进行。

5.3 建设

5.3.1 选点

水准路线、水准点、基岩标、分层标（组）选点应符合 DZ/T 0283 的要求。

5.3.2 埋设

- 5.3.2.1 水准点埋设应符合下列要求：
 - a) 可根据测区自然地理特点确定地面沉降监测埋设的水准标石类型，包括普通混凝土水准标石（见图 C.1），岩层水准标石（见图 C.2），普通钢管水准标石（见图 C.3 a），冻土区钢管水准标石（见图 C.3 b）；
 - b) 水准标石顶面中央应嵌入铜质或不锈钢质的水准标志，水准标志的设计样图见图 C.4；
 - c) 埋设混凝土水准标石时可采用现场浇灌，也可预制柱体运往现场埋设；

- d) 出露岩层上埋设水准标石应清除表层风化物，在坚硬的岩层平面上开凿深不小于 0.15 m、口径不小于 0.2 m 的孔洞，清洗干净后浇灌混凝土镶嵌水准标志，标志安放应端正、平直。待混凝土初凝（常温下约 1 h）后，加盖标志保护盖（铁保护盖内应涂抹黄油），做好外部整饰。不应在高出地面的孤立岩石上埋设水准标石；

- e) 冻土地区埋设水准标石时，应采用现场浇灌的方法，具体按 GB/T 12897 规定执行。

5.3.2.2 水准点埋设标志结束后，应绘制水准点之记（见表 C.1）并办理委托保管手续。

5.3.3 资料汇交

资料汇交应包括下述内容：

- a) 水准点之记，水准路线（网）图、结点接测图；
- b) 选点中收集的有关资料；
- c) 选点埋石工作技术总结，包括：
 - 1) 扼要说明测区的自然地理情况；
 - 2) 选点工作实施情况及埋标与观测工作的建议；
 - 3) 利用旧标志的情况；
 - 4) 拟设标志类型、数量统计表等；
- d) 测量标志委托保管书。

5.4 观测

5.4.1 测前准备

测前准备应包括下列内容：

- a) 观测前 30 min，应将仪器置于测伞下，使仪器与外界气温趋于一致，无论是自动安平水准仪，还是气泡式仪器，设站时仪器与脚架均须用测伞遮蔽阳光；迁站时应罩仪器罩；
- b) 气泡式水准仪，观测前应测出倾斜螺旋置平零点，作好标记，并随气温变化及时调整。自动安平水准仪的圆水准仪，应严格置平。

5.4.2 水准路线观测技术要求

5.4.2.1 观测方式：

- a) 特等水准测量，主要用于基岩标之间的联测，采用 2 台同一型号仪器同时对向往返观测；一、二等水准测量，采用单路线一次往返观测；分层标沉降观测应观测两个测回；
- b) 同一条路线的往返测，应使用同一型号的仪器和转点尺承沿同一道路进行；
- c) 在观测路线上安置水准仪脚架时，应使其中的两脚与测线方向平行，而第三脚轮换置于路线的左侧与右侧；
- d) 在相邻结点间可进行所有测段的往测（或返测）后，进行所有测段的返测（或往测）；
- e) 同一测段的往返测，应分别在上午或下午对称进行。不对称观测的总站数，自动安平水准仪观测应不超过该区段观测总站数的 30%；气泡式水准仪观测应不超过该区段总站数的 10%；
- f) 应选择下沉量最小的季节，以最短观测时间一次观测完毕。不同年份的复测应尽可能安排在相同的时间段内沿相同的水准路线进行；
- g) 地裂缝带短水准剖面 and 监测对点宜主要采用人工监测，地裂缝活动仪器监测站宜采用人工或自动化远程遥控监测；

- h) 水准测量观测间歇, 尽量在水准点或固定点上停止, 否则应选择两个稳定、突出的固定点作间歇点。如无合适固定点, 可用转点尺桩或三个带帽钉的木桩, 妥善安置后作为间歇点 (尺台不能作间歇点);
- i) 水准测量的其他要求应符合 GB/T 12897 的有关规定。
- 5.4.2.2 观测应选择标尺分划清晰, 成像稳定的环境下进行。遇下列情况之一时不应进行观测:
- 日出后与日落前 30 min 内;
 - 太阳中天前后各约 2 h 以内;
 - 标尺分划线的影像跳动而观测难以照准时;
 - 气温突变时;
 - 风力过大而使标尺与仪器不能稳定时。
- 5.4.2.3 水准路线在必要时可以在隧道中施测, 观测时应符合下列规定:
- 在隧道中进行水准测量必须确保仪器照准丝、水准管有清晰的照明; 标尺的视线高度范围内有均匀的照明。保障仪器置平, 照准读数准确无误;
 - 观测可以在夜间进行。隧道内成果另列, 可不要求上下午对称观测;
 - 隧道施测除遵守隧道管理部门的一切有关规定之外, 作业务必装备安全标志, 作业人员必须着装安全识别服, 以确保安全。
- 5.4.2.4 测站与转点尺承的设置应符合下列规定:
- 转点尺承须根据路面土质, 选用尺桩或尺台 (尺台重量不低于 5 kg, 面积 $200\text{ cm}^2 \sim 300\text{ cm}^2$, 尺台脚做成锥形垂直于尺台面), 所使用尺桩或尺台数应不少于 4 个, 城市沥青路面亦可使用大帽钉;
 - 视线长度、前后视距差、视线高度、重复测量次数应符合表 5 的要求; 几何法数字水准仪视线高度的高端限差一、二等允许到 2.85 m, 相位法数字水准仪重复测量次数可为表 5 中数值减少一次。所有数字水准仪, 在地面震动较大时, 应随时增加重复测量次数。

表5 观测指标要求

单位为米

等级	仪器类型	视线长度		前后视距差		一测站前后视距差累积		视线高度		数字水准仪重复测量次数
		光学	数字	光学	数字	光学	数字	光学 (下丝读数)	数字	
特等	DS02	≤ 30	≥ 4 且 ≤ 30	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 3.0	≥ 0.5	≤ 2.80 且 ≥ 0.65	≥ 3
一等	DSZ05 DS05	≤ 30	≥ 4 且 ≤ 30	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 3.0	≥ 0.5	≤ 2.80 且 ≥ 0.65	≥ 3
二等	DSZ1 DS1	≤ 50	≥ 3 且 ≤ 50	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 3.0	≤ 6.0	≥ 0.3	≤ 2.80 且 ≥ 0.55	≥ 2
注: 下丝为近地面的视距丝。										

5.4.2.5 观测限差:

- a) 水准测量测站观测限差应符合表 6 规定，使用双摆位自动安平水准仪观测时，不计算基辅分划读数差；
- b) 水准测量间歇后应对间歇点进行检测，检测高差应符合表 6 要求，即可由此起测（保留检测成果，计算高差不采用），若超过限差，可变动仪器高再检测一次，如仍超限再检测前一测站高差，如仍超限，则应在前一水准点起测；
- c) 一测站观测误差超限，均应重测，在本站发现，且后尺转点尺承未动，可立即重测，否则应从水准点或间歇点起重新观测；

表6 测站观测限差

单位为毫米

等级	上下丝读数平均值 与中丝读数的差	基辅分划读数差	基辅分划所测高 差之差	检测间歇点高差 之差	双转点前后测站 左右桩高差之差
特等	1.5	0.2	0.3	0.5	0.5
一等	1.5	0.3	0.4	0.7	---
二等	3.0	0.4	0.6	1.0	---

- d) 往返测高差不符值，环线及附和路线闭合差应符合表 7 的要求，检测已测测段高差之差的限差，单程或往返检测均适用，检测长度小于 1 km 时，按 1 km 计算。

表7 高差不符值、闭合差的限差

单位为毫米

等级	测段、路线、往返、测高差 不符值	环闭合差及附和路线闭合差	检测已测测段高差之差
特等	$1.8\sqrt{K}$	$1.4\sqrt{F}$	—
一等	$1.8\sqrt{K}$	$2\sqrt{F}$	$3\sqrt{R}$
二等	$4\sqrt{K}$	$4\sqrt{F}$	$6\sqrt{R}$
注：K——测段、路线长度，单位为千米（km）； F——环线长度，单位为千米（km）； R——检测测段长度，单位为千米（km）。			

5.4.2.6 观测中应遵守的事项：

- a) 除路线转弯处外，每一测站上仪器与前后视标尺应尽量在一条直线上，不得为了增加标尺读数而将尺桩（台）安置在壕坑中。尽量在土质或水泥路面上观测，困难时第三条腿安置在沥青路面上，在沥青路面上施测时，应采取有效措施保证观测仪器的稳定；
- b) 在同一测站上不得两次调焦。转动倾斜螺旋和测微鼓的最后旋转方向，均应为旋进；
- c) 每一测段的往测与返测，其测站数均应为偶数。由往测向返测时，两支标尺需互换位置并重新整置仪器；
- d) 当连续若干测段的往返高差不符值都保持同一符号，且大于限值的 20% 时，则在以后各测段的观测中，除酌量缩短视线外，还须加强仪器隔热和防止尺桩（台）位移等措施；
- e) 使用自动安平水准仪时，应使圆水准器气泡居中后再读数，每小时观测站数不得多于 35 站；
- f) 当观测水准点及其他固定点时，应查看该点是否有损坏，周围是否有影响点位稳定的因素存在；应仔细核对点位位置、编号是否与点之记相符；
- g) 在水准点及其他固定点放置标尺前，应卸下标尺底面零点保护套环；
- h) 各类水准点及固定点观测后，均应按原理设状况填埋妥当，对需要加固的点位应及时组织加工。

5.4.3 分层标观测技术要求

5.4.3.1 分层标沉降观测应观测两个测回，测回间应变动仪器高，变动量不少于 3 cm，观测应符合下列要求：

- a) 第一测回：
 - 1) 主标读定上、下丝计算视距；
 - 2) 主标基本分划读数；
 - 3) 分层标基本分划读数；
 - 4) 分层标读上、下丝计算视距；
 - 5) 分层标辅助分划读数；
 - 6) 主标辅助分划读数。
- b) 第二测回：
 - 1) 分层标上、下丝读定，计算视距；
 - 2) 分层标基本分划读定；
 - 3) 主标基本分划读定；
 - 4) 主标上、下丝读定，计算视距；
 - 5) 主标辅助分划读定；
 - 6) 分层标辅助分划读定。

5.4.3.2 分层标沉降观测视距应相等，各项限差应符合表 8 的规定。

表8 分层标沉降观测限差

仪 器	视距不等之差 m	基、辅读数差 mm	基辅高差之差 mm	两测回高差之差 mm
DS05	≤0.5	≤0.3	≤0.4	≤0.4
DS02	≤5.0	—	≤0.4	≤0.4

5.5 数据处理

水准测量数据处理要求应符合GB/T 12897和DZ/T 0283的有关规定。

5.6 补测和重测

5.6.1 测段往返测高差不符值超限，应先就可靠程度较小的往测或返测进行整测段重测，并按下列原则取舍：

- a) 若重测的高差与同方向原测高差之差超过往返测高差的限差，但与另一高差比较不超出限差，则取用重测结果；
- b) 若同方向两高差之差未超出限差，且其中数与另一单程高差比较亦不超出限差，则取同方向中数作为该方向单程的高差；
- c) 若 a) 中的重测高差或 b) 中两同方向高差中数与另一单程的高差不符值超出限差，应重测另一单程；
- d) 若超限测段经过两次或多次重测后，出现同向观测结果靠近而异向观测结果间不符值超限的分群现象时，如果同方向高差不符值小于限差之半，则取原测的往返高差中数作往测结果，取重测的往返高差中数作为返测结果。

5.6.2 路线往返测高差不符值超限时，应就往返测高差不符值同符号中较大的测段进行重测，若重测后仍超出限差，则应重测其他测段。

5.6.3 环线闭合差超限时，应就路线上可靠程度较小（往返测高差不符值较大或观测条件较差）的某些测段进行重测，如果重测后仍超出限差，则应重测其他测段。

5.6.4 每千米水准测量的偶然中误差 M_{Δ} 或每千米水准测量的全中误差 M_n 超限时，应分析原因，重测有关测段。

6 GNSS 测量

6.1 一般规定

6.1.1 根据地面沉降及伴生地裂缝测量目的任务、现场情况，合理选取 GNSS 测量方法进行监测。

6.1.2 特级 GNSS 点埋设应符合 GB/T 18314 中 A 级点埋设的有关规定。

6.1.3 一级 GNSS 点应设立带有强制对中装置的 GNSS 观测墩，二级 GNSS 点宜设立带有强制对中装置的 GNSS 观测墩；

6.1.4 应采用 2000 国家大地坐标系（CGCS2000）。当应用其它坐标系统测量成果时，应按 GB/T 18314 规定进行不同坐标系统之间坐标系转换，各参考系地球椭球和参考椭球基本几何参数见附录 D。

6.1.5 原始观测值应采用相应导航卫星系统的系统时间记录，手簿记录应采用协调世界时（UTC）或北京时间（CST）。当采用北京时间 CST 时，应与协调世界时 UTC 进行换算。CST 时与 UTC 时两者关系按式（6）换算。

$$CST = UTC + 8h \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

CST——北京时间，单位为小时（h）；

UTC——世界协调时，单位为小时（h）。

6.1.6 当进行大范围地面沉降和地裂缝测量时，应建立若干个 GNSS 连续运行参考站（CORS 站），并与监测水准网联测。GNSS 数据处理应采用适合本地区的卫星轨道、电离层和大气层改正模型。在沉降速率较大的地段，可采用连续 GNSS 观测。

6.1.7 用于地面沉降及伴生地裂缝的 GNSS 测量宜安排在大气含水量较低、电离层活动较弱的季节进行。

6.2 技术设计

6.2.1 收集资料

收集资料应包括下列内容：

- a) 测区范围既有的三角点、导线点、天文重力水准点、水准点、甚长基线干涉测量站、卫星激光测距站、天文台和已有的 GNSS 站点资料，包括点之记、网图、成果表、技术总结等。
- b) 测区范围内有关的地形图、交通图及测区总体建设规划和近期发展方面的资料。若任务需要，还应搜集有关的地震、地质资料、验潮站等相关资料。

6.2.2 踏勘

踏勘应包括下列内容：

- a) 核实已有资料中点位保护、周边天空通视情况、电磁波干扰等相关信息；
- b) 考察点位周边车辆交通情况；
- c) 补充收集相关现场资料。

6.2.3 布设

GNSS 测量控制网布设应符合 DZ/T 0283 和 GB/T 18314 的有关规定。

6.2.4 测量精度

测量精度应满足下列要求：

- a) 特级 GNSS 网平均边长 20 km~30 km，测量精度应满足表 9 的要求。

表9 特级 GNSS 网测量精度要求

坐标年变化率中误差	坐标年变化率中误差		相对精度	地心坐标各分量 年平均中误差 / mm
	水平分量/ (mm / a)	垂直分量/ (mm / a)		
特 级	2	3	10^{-8}	0.5

- b) 一等、二级 GNSS 网点平均边长与监测精度应满足表 10 的要求。

表10 一、二级 GNSS 网测量精度要求

级 别	相邻点基线分量中误差		相对精度	相邻点平均边长 / km
	水平分量 / mm	垂直分量 / mm		
一 级	3	6	10^{-7}	10
二 级	5	10	10^{-6}	5

6.2.5 测量频率

测量频率应符合DZ/T 0283和GB/T 18314的有关规定。

6.2.6 设备选型

6.2.6.1 接收机选择

各级GNSS网采用的接收机应满足表11的要求。接收机天线应配备扼流圈天线（Choke Ring Antenna）或经检定证明其实际相位中心迁移误差小于1 mm的大地型双频天线。

表11 GNSS 接收机技术要求

项目等级	特 级	一 级	二 级
接收机类型	双频/全波长	双频/全波长	双频/全波长
每种模式 GNSS 系统中 观测量至少有	两个频率载波相位	两个频率载波相位	两个频率载波相位
同步观测接收机数	≥ 6	≥ 6	≥ 3

6.2.6.2 仪器的检验应符合下列规定：

- a) GNSS 接收机及天线应定期按 CH/T 8016 和 JJF1118 的规定进行全面检验，检验合格后方可在检验有效期内使用；
- b) 当采用不同型号的接收机同步作业时，应在已知基线上进行对比测试，对于测试结果超过相应等级限差的接收机不得使用；

- c) 天线基座的圆水准器、光学对中器、天线高测量尺，在作业期间至少每月检校一次；
- d) 通风干湿表、空盒气压表与其他辅助设备应定期送计量检定部门检验，并在有效期内使用；气象仪表应符合 GB/T 18314 中的有关规定。

6.2.6.3 仪器维护应符合下列规定：

- a) 接收机及辅助设备应指定专人负责保管和维护，未经许可非作业人员不得擅自操作仪器；
- b) 在作业与运输途中应注意接收机及辅助设备的维护，做好防震、防潮、防尘、防蚀、防幅射工作；
- c) 作业期间应严格遵守技术规定和操作要求，作业结束应及时做好仪器设备的保养工作；
- d) 接收机及辅助设备交接时应进行一般检视和通电检验；
- e) 在使用外接电源前，应检查电源电压是否正常，查明电源的正负极标记避免接反；
- f) 接收机及辅助设备室内存放期间，应定期进行室内通风。每隔一、二个月进行一次通电检查，接收机内置电池应保持充满电状态，外接电池应按要求按时进行充放电。

6.2.7 设计编审

设计编审应符合下列规定：

- a) 技术设计书的主要内容见附录 B，其它要求应符合 CH/T 1004 的规定；
- b) 设计完成后，须经审定批准后方可实施，如需调整须经委托方同意后进行。

6.3 建设

6.3.1 选点

GNSS 测量点位选择应符合 DZ/T 0283 和 GB/T 18314 的有关规定。

6.3.2 埋设

6.3.2.1 特级 GNSS 点建设要求

特级GNSS点建设应符合下列要求：

- a) 天线墩建造应符合 GB/T 18314 和 CH/T 2008 的有关规定；
- b) 用于地面沉降 GNSS 基准点时，天线墩应建在已有的基岩标上；
- c) 天线墩应埋设水准标志并进行二等以上水准联测，水准标志与天线墩强制对中标志间高差测定误差应不大于 1mm；
- d) 天线墩应设置避雷装置；
- e) 设备室应符合下列规定：
 - 1) 设备室位置应建在天线墩周围，也可在天线墩底部预制容纳仪器集成柜的空间；
 - 2) 设备室中仪器设备应整合安装在集成柜中，并注意保证各设备具有适宜的工作条件，应设置通风、通电、安全、防雷等设施；
 - 3) 设备室地基应牢固，并敷设防水层，周围应有排水设计；结构中应预埋进出两种管线通道（电力和信号通道），并具有防护动物损坏装置。
- f) 特级 GNSS 点应加装在线式 UPS 供电保护，至少应保证 48 小时连续稳定独立供电。电力线接入 UPS 之前，应加装电涌防护设备，隔离 UPS 和电力线；
- g) 埋设作业及其相关资料汇交应符合 GB/T 18314 和 CH/T 2008 的有关规定；

6.3.2.2 一、二级 GNSS 点观测墩建设要求

一、二级GNSS点观测墩建设应符合下列要求：

- a) 一级 GNSS 点应设立带有强制对中装置的观测墩，二级 GNSS 点宜设立带有强制对中装置的观测墩；
- b) 观测墩高度宜不低于 1.8 m，应建在地面基础坚固、易于保存的位置，底部宜设置水准测量标志。观测墩结构与建设要求参见附录 E；
- c) 观测墩的顶部应严格整平，并在其中心部位安装强制对中装置，保证接收机天线对中误差小于 1 mm；
- d) 一般地区天线墩至少需经过一个雨季，冻土地区还需经过一个冻解期方可使用；
- e) 观测墩埋设后应在实地绘制点之记，并办理测量标志委托保管手续(见附录 F)；
- f) 埋设作业及其相关资料汇交应符合 GB/T 18314 的有关规定。

6.3.3 资料汇交

资料汇交应包括下列内容：

- a) GNSS 点之记；
- b) 测量标志委托保管书；
- c) 埋设中拍摄的照片；
- d) 埋设工作总结。

6.4 观测

6.4.1 测前准备

- 6.4.1.1 GNSS 观测前应根据测区地形和交通条件、采用的 GNSS 构网方案及同步观测的接收机台数等因素综合考虑制定观测调度计划，编制观测调度计划表，并按该表对作业组下达作业调度命令。
- 6.4.1.2 各级 GNSS 网观测前应将接收机天线通过强制对中装置正确安装在天线墩上，并调整基座脚螺旋，使集成在天线或基座上的圆水准器气泡居中。
- 6.4.1.3 天线的定向标志应指向正北，定向误差应不超过±5°。
- 6.4.1.4 天线高应量测至毫米，测前、测中、测后应各量测一次，三次较差不应大于 3 mm，并取平均值作为最终成果；较差超限时应查明原因，并记录至 GNSS 外业观测手簿备注栏内。

6.4.2 观测技术要求

- 6.4.2.1 观测应符合下列基本要求：
 - a) 特级 GNSS 网的观测技术要求应符合表 12 和 CH/T 2008 的要求；
 - b) 一、二级 GNSS 网的观测技术要求应符合表 12 的要求；
 - c) 一、二级 GNSS 网测量时可不观测气象元素，而只记录天气状况；
 - d) GNSS 观测数据文件的文件名中应包含测站名（或点号）、日期、时段号等信息；
 - e) 雷电、风暴天气不宜进行一、二级 GNSS 观测。

表12 各级 GNSS 网观测技术要求

项 目	级 别		
	特级	一级	二级
卫星截止高度角/(°)	10	10	15
同时观测有效卫星数/颗	≥4	≥4	≥4

表 12 各级 GNSS 网观测技术要求（续）

项 目	级 别		
	特级	一级	二级
有效观测卫星总数/颗	≥ 20	≥ 20	≥ 6
观测时段数/个	连续观测	≥ 1	≥ 1
观测时段长度	连续观测	≥ 24 h	≥ 12 h
采样间隔/s	30	30	15 或 30
注1：同时观测有效卫星数是指同一 GNSS 系统内能观测到的有效卫星数。			
注2：观测时段长度是指由开始记录数据到结束记录的时间段。			

6.4.2.2 观测作业应符合下列要求：

- a) 按规定时间开机和关机。开机前应检查接收机电源、天线等各项连接是否有误，在检查确认连接正确无误后方可开机；
- b) 开机待接收机有关指示灯显示正常、自测试通过后，方可输入测站名、采样间隔、高度角限值等控制信息；
- c) 接收机启动前与作业过程中，应随时逐项填写测量手簿中的记录项目，测量手簿格式、记录内容及要求见附录 G；
- d) 接收机开始记录数据后，可使用专用功能键和选择菜单，查看测站信息、接收卫星数、卫星号、卫星健康状况、各通道信噪比、相位测量残差、实时定位的结果及其变化、存储介质记录和电源情况等，如发现异常情况或未预料到的情况，应记录在测量手簿的备注栏内，并及时报告调度组织者；
- e) 在 GNSS 观测过程中，白天每 2 h 进行一次气象观测，夜间放宽到 4 h；
- f) 气象观测所用通风干湿表需悬挂在测站附近，与天线相位中心大致等高度处。悬挂地点应通风良好，避开阳光直接照射，便于读数。空盒气压表可置于测站附近地面，其读数应顾及至天线相位中心高度，加入相应的高程修正；
- g) 作业期间不得有以下操作：
 - 1) 在仪器附近使用手机和对讲机；
 - 2) 接收机重新启动，进行自测试；
 - 3) 改变卫星截止高度角；
 - 4) 改变数据采样间隔；
 - 5) 改变天线位置；
 - 6) 按动关闭文件和删除文件等功能键；
- h) 观测结束后，经检查所规定作业项目均已全面完成，并符合要求，记录与资料完整无误，方可迁站；

6.4.2.3 原始数据应符合下列要求：

- a) 观测记录应包含原始数据与 Rinx 格式数据；
- b) 观测数据文件应及时从接收机下载到存储介质上，并作好备份，在适当位置粘贴说明标签；
- c) 观测数据文件下载到存储介质上时，不允许进行剔除、删改、编辑。

6.5 数据处理

数据处理应符合下列技术要求：

- a) 数据处理前，应按规范、技术设计和 GB/T 24356 的要求及时对外业全部资料全面检查和验收；
- b) 应检查 GNSS 测量手簿中 GNSS 接收机和天线的型号、序列号、天线高量取次数、天线高量取方式、天线高量取部位、天线高数值等记录内容的完整性、正确性，并与数据处理软件中各测站 GNSS 接收机和天线输入信息保持一致；
- c) GNSS 基线处理应采用精密星历；
- d) GNSS 数据处理应符合 DZ/T 0283 和 GB/T 18314 的有关规定。

6.6 补测和重测

6.6.1 未按技术设计要求，外业缺测、漏测，或数据处理后观测数据不满足表 9、表 10 规定的有关成果应及时补测；

6.6.2 允许舍弃在复测基线边长较差、独立环或符合线路闭合差检验中超限的基线，而不必进行该基线或与该基线有关的同步图形的重测；

6.6.3 补测或重测的原因与实施情况应写入数据处理报告。

7 InSAR 测量

7.1 一般规定

7.1.1 应根据地面沉降与地裂缝测量需要选择适宜的 InSAR 方法和 SAR 数据。

7.1.2 应借助其它测量技术（如水准、GNSS）获取的形变信息对 InSAR 测量成果进行外符合精度评价。

7.2 技术设计

7.2.1 收集资料

收集资料应包括下列内容：

- a) 测区范围既有的 SAR 数据；
- b) 测区范围内地面沉降和地裂缝测量相关资料，包括：
 - 1) 地面沉降和地裂缝沉降等值线图；
 - 2) CR 基准点和监测点；
 - 3) 基岩标、分层标、IGS 站、GNSS 观测墩、水准点分布情况；
 - 4) 测区地面沉降测量现状；
- c) 测区范围内有关的遥感影像图、地形图、交通图等资料。若任务需要，还应搜集有关的地震、地质资料、验潮站等相关资料。

7.2.2 踏勘

踏勘应包括下列内容：

- a) 核实现场 CR 基准点、监测点和其他监测设施情况；
- b) 核实现场植被、建筑物等与 SAR 数据质量有关的因素；
- c) 补充收集相关现场资料。

7.2.3 布设

7.2.3.1 布设原则应符合 DZ/T 0283 的有关规定。

7.2.3.2 布设应考虑下列因素：

- a) 监测区域地面沉降发展现状。对于地面沉降发展缓慢的地区，应采用短波长的数据（如 C 波段、X 波段等），并可采用较长的监测周期、较低的 SAR 数据地面分辨率；对于地面沉降快速发展的地区，则应采用 L 波段的数据，并采用较短的监测周期、较高的 SAR 数据地面分辨率；
- b) 项目研究的时间区间。InSAR 技术可根据项目要求的时间区间，调用已存档的 SAR 数据，研究该地区地面沉降发育的历史进程和特征。项目工作期间的 SAR 数据，可依据 DZ/T 0283 制定预订计划；
- c) 测量精度要求。应根据测量精度要求选用不同波段的数据；
- d) 测区地表覆盖状况。应综合分析各种不同波长的 SAR 数据对于地表覆盖的敏感程度，并结合测量精度要求，确定是否需要安置人工角反射器以及安置的数目、位置等；
- e) 测区的地形起伏特征。应顾及测区的地形起伏特征。地形起伏较大地区宜选用高精度和高分辨力的 DEM 数据，地形起伏较小地区宜选用精度和分辨力要求较低的 DEM 数据；
- f) 测区的气候特征。当在湿润和沿海等大气变化剧烈的区域进行 InSAR 测量时，应同时获取气象数据，如 MODIS、MERIS 或 GNSS 等数据来减弱大气影响。

7.2.4 测量精度

D-InSAR、SBAS-InSAR 监测雷达垂直向形变精度为 $\pm 10\text{mm}$ ，PS-InSAR 监测垂直向形变精度为 $\pm 5\text{mm}$ ，CR-InSAR 监测垂直向形变精度为 $\pm 3\text{mm}$ 。

7.2.5 测量频率

测量频率宜（1~2）次/年，可根据地面沉降速率及季节变化特点等情况进行调整。

7.2.6 SAR 数据选择

SAR 数据的选择应符合下列要求：

- a) SAR 数据的选择应符合 DZ/T 0283 的有关规定；
- b) 数据的选用应与拟采用的 InSAR 技术方法和测量精度要求一致，应考虑影像成像模式、覆盖范围、雷达波长、地面分辨率和成像重复周期等因素；
- c) 在同一区域、同一时间段应有多个干涉组合（包括同一数据的升降轨或不同数据的干涉组合）进行内符合精度的检验；
- d) 应根据地面沉降测量的需要和所获取的 SAR 数据、CR 安装计划等选择 InSAR 测量模式；
- e) 应按照 InSAR 测量技术设计书选择或预订 SAR 数据的种类、等级、极化、分辨率、数量、覆盖范围、获取时间以及获取方式等。

7.2.7 设计编审

7.2.7.1 技术设计书的主要内容详见附录 B，其它要求应符合 CH/T 1004 的规定；

7.2.7.2 设计完成后，须经审定批准后方可实施，如需调整须经委托方同意后进行调整。

7.3 建设

7.3.1 选点

CR 点的选择应符合下列要求：

- a) CR 点分为基准点和监测点，CR 基准点和监测点的点位选择原则与 GNSS 点相同，在 5 km 的范围内应有一个 CR 基准点；
- b) 选点应符合 DZ/T 0283 的有关规定。

7.3.2 埋设

CR点的埋设应符合下列要求：

- a) CR 尺寸和材质应符合 DZ/T 0283 的有关规定；
- b) CR 安装应符合 DZ/T 0283 的有关规定。

7.3.3 资料汇交

资料汇交应包括下列内容：

- a) 原始 SAR 数据列表文件和光盘资料；
- b) 光学遥感影像、DEM、气象等辅助资料；
- c) 角反射器点之记和现场照片资料。

7.4 观测

7.4.1 测前准备

应检查SAR数据预订计划落实情况。

7.4.2 观测技术要求

观测技术要求应符合DZ/T 0283的有关规定。

7.5 数据处理

7.5.1 SAR 数据的质量检查

SAR数据的质量检查应符合下列要求：

- a) 检查垂直基线是否超过干涉的要求，一般 C 波段数据垂直基线低于 500 m，L 波段数据垂直基线低于 1 500 m；
- b) 干涉图的相干性应大于 0.3。

7.5.2 数据处理技术要求

数据处理应符合下列技术要求：

- a) 应符合 DZ/T 0283 的有关规定；
- b) InSAR 数据预处理包括 SAR 数据质量的检查，辅助数据如精密轨道和外部 DEM 或大气数据的准备，InSAR 数据处理详细方案的制定。其中配准精度优于 1/8 像元；
- c) 采用 D-InSAR、SBAS-InSAR 技术时干涉图的相干值应大于 0.5，宜采用多视处理方法提高干涉图的信噪比。对于 PS-InSAR 和 CR-InSAR 技术可不进行多视处理，直接提取单个像元的干涉相位；
- d) 对于常规差分 InSAR 一般采用最小费用流算法或路径跟踪法进行相位解缠，并通过目视法来检视解缠图中是否存在解缠粗差。PS-InSAR 可不进行相位解缠，而采用时间序列参数估计的方法来提取形变相位；
- e) 根据干涉几何条件和地理编码参数，将形变解缠相位转化为视向形变，并依据先验信息将视向形变转换为地理坐标系下的垂直形变。

7.5.3 结果检校

数据处理结果检校应符合DZ/T 0283的有关规定。

7.6 补测和重测

7.6.1 未按数据预订计划要求测量，外业缺测、漏测，或数据处理后 SAR 数据不满足技术设计要求的应及时补测；

7.6.2 补测或重测的原因与实施情况应写入数据处理报告。

8 测量成果的综合分析

8.1 参考基准及其稳定性分析

8.1.1 地面沉降监测网的参考基准，可根据沉降地区的具体情况采用固定基准或拟稳基准。如监测网中存在不动点，则应优先采用固定基准；如监测网中因某种原因仅存在相对稳定点，则可采用拟稳基准。除非特殊情况，不宜采用伪逆基准。

8.1.2 采用精密水准、GNSS 技术进行监测时，应定期复测参考基准网的稳定性。

8.1.3 当采用精密水准测量进行复测时，分别对两期参考基准网分别作秩亏自由网平差，如平差后某监测点的两期正常高差值满足式（7），可认为该点是稳定点，否则就是不稳定点。

$$\Delta < 2m_{\Delta h} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

Δ ——两期高程平差值的差值，单位为毫米（mm）；

$m_{\Delta h}$ ——沉降量中误差，单位为毫米（mm）。

8.1.4 当采用 GNSS 技术进行复测时，应在相同的起算数据下对两期参考基准网分别作三维无约束平差，如平差后监测点的两期大地高差值满足式（7），可认为该点是稳定点，否则就是不稳定点。

8.2 沉降量计算

8.2.1 地面沉降量计算在似静态点场中进行。即假定每期观测在静态点场中完成，而相邻两期或多期测量之间存在变形。

8.2.2 当应用精密水准测量方法监测地面沉降时，水准点的沉降量为在相同的参考基准下两期平差结果所获得的正常高之差，即两期监测所得到的正常高变化量。

水准点的沉降量由式（8）计算。

$$\Delta h_{i,j} = H_j - H_i \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$\Delta h_{i,j}$ ——水准点在第 i 期到 j 期之间的沉降量，单位为米（m）；

H_i ——水准点第 i 期监测结果的正常高平差值，单位为米（m）；

H_j ——水准点第 j 期监测结果的正常高平差值，单位为米（m）；

i, j 为正整数 1, 2, …, n 。

由式（9）计算所得结果，若 $\Delta h_{i,j}$ 的符号为“+”则代表上升，为“-”则代表下沉。

8.2.3 当应用 GNSS 方法监测地面沉降时，沉降量仍由式（8）计算，但符号 H 的意义代表监测点的大地高。沉降量为在相同的参考基准下，两期平差结果所获得的大地高之差，即两期监测结果的大地高变化量。

8.2.4 当地面沉降监测网网形发生改变，应根据下列变化情况分别处理：

- a) 如果监测点发生移位、丢失或增添，则照常进行经典平差或拟稳平差，并根据平差结果计算地面沉降量；
- b) 如果基准点发生了移位、丢失或增补，则应调整参考基准。按新的参考基准平差前后两期监测数据，在相同的参考基准下计算地面沉降量。

8.2.5 应参照式（7）对沉降量进行显著性检验。如沉降量满足式（7），认为该点未发生显著的沉降；否则，认为该点发生了显著的沉降。

8.3 沉降量精度估计

监测点第 i 与第 j 两期之间的沉降量的精度由沉降量中误差 $m_{\Delta h}$ 评定。

沉降量中误差 $m_{\Delta h}$ 按式（9）计算。

$$m_{\Delta h} = \pm \sqrt{m_i^2 + m_j^2} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$m_{\Delta h}$ ——监测点第 i 与第 j 两期之间的沉降量中误差，单位为毫米（mm）；

m_i ——监测点第 i 期正常高或大地高中误差，单位为毫米（mm）；

m_j ——监测点第 j 期正常高或大地高中误差，单位为毫米（mm）；

i, j ——观测期数，为正整数 1, 2, …… , n 。

8.4 地面沉降等值线图与剖面图的编制

8.4.1 异常点的分析与筛选

在编制地面沉降等值线图与剖面图前，应检查监测成果中是否存在异常点。一旦发现存在异常点，应进行实地调查，查明产生异常的原因，决定取舍。

8.4.2 地面沉降监测点的位置分布图

地面沉降监测点的位置分布图应符合下列要求：

- a) 应在研究区域的地理底图上标出水准点、分层标、基岩标、GNSS 监测点以及 InSAR 测量角反射器等各类监测点的位置。对于监测点均以比较醒目的符号突出表示其位置和点号，对于底图上的地理要素则以浅色表示；
- b) 沉降量特征点的选取应遵循重点地区以精密水准测量成果为主、区域上以 GNSS 测量和 InSAR 测量成果为主的原则；采用 InSAR 测量成果时应按照成图比例尺抽稀成果数据。

8.4.3 标注沉降量

对于分布图上的各类监测点均应加注其沉降量。上升量（包含 0）用蓝色注记，下沉量用红色注记，注记字体与大小同点号，注记位置应能清楚说明不产生混淆并保持图面美观。

8.4.4 地面沉降等值线图的编制

地面沉降等值线图可采用合适的插值方法，加密监测点并通过应用软件生成。插值方法的选用应考虑到研究区域地面沉降的分布特点，等值线绘图软件应具备法定机构的鉴定证书。

8.4.5 剖面图比例尺

剖面图的垂直与水平比例尺选择应以合理反映地面沉降现状为原则。

8.5 地面沉降测量数据入库要求

地面沉降监测结果所获得的水准测量资料、分层标（组）测量资料、GNSS测量资料、InSAR测量资料、地面沉降综合研究资料等各类数据和图形资料，应经检查并按数据库要求格式进行系统整理后，方可输入地面沉降测量数据库。

9 成果汇交

9.1 报告编写

9.1.1 每期监测结束都应编写技术总结报告；

9.1.2 技术总结报告由内业与外业两部分组成，编制大纲应见附录 H。

9.2 验收与成果汇交

9.2.1 验收的重点应包括下列内容：

- a) 测量是否符合规范和技术设计要求；
- b) 补测、重测和数据剔除是否合理；
- c) 数据处理软件是否符合要求，处理的项目是否齐全，起算数据是否正确；
- d) 各项技术指标是否达到要求；
- e) 报告、图、表格的规范性，技术内容的全面性、科学性，结论的准确性、合理性。

9.2.2 验收结束，应写出成果验收报告，并按 GB/T 24356 对成果质量作出评定。

9.2.3 按照要求归档下列资料：

- a) 测量任务书（或合同书）；
- b) 技术设计书；
- c) 报告：
 - 1) 技术总结和验收报告；
 - 2) InSAR 测量成果的后处理质量评定与精度分析文件和图表；
- d) 附录：
 - 1) 水准仪、GNSS 接收机等测量设备，气象仪器及其它设备的检验资料；
 - 2) 测量标志委托保管书；选点和埋石资料；
- e) 附图：
 - 1) 各类测量点的点之记（GNSS 点含环视图）；
 - 2) 各类测量点的展点图；
 - 3) 等值线图与剖面图；
 - 4) InSAR 形变监测图，以及关键的中间产品，如差分相位图、相干图和解缠相位图、形变图、地理编码后的 DEM、强度图、相干图等；
- f) 附表：
 - 1) 外业观测记录、测量手簿及其他记录；

- 2) 数据处理中生成的文件、资料和成果表；
- 3) 各测量点本期地面沉降测量成果表；
- 4) 地面沉降测量数据库电子文档。

附 录 A
(资料性附录)
地面沉降测量方法选择

表A. 1可用于地面沉降测量方法的选择。

表 A. 1 面沉降监测网和测量方法选择

按行政区划分类	按区位功能、服务对象分类	属性	监测网性质	监测设施	采用测量方法	用途
国家级监测网	区域骨干监测网	点	实时监测站	1) 全天候 GNSS 固定站 2) 地面沉降自动化监测站 3) 区域地面沉降监控中心	优先采用 GNSS 测量、InSAR 技术	国家层面快速、全面获取行政区或跨行政区地面沉降信息
		线	综合控制剖面	1) 全天候 GNSS 固定站 2) GNSS 一级网点 3) 基岩标、分层标组 4) 城市水准网点 5) 地下水动态监测井		
		面	骨干监测网	1) GNSS 一级网 2) 国家级地下水动态监测井		
省（区、市）级监测网	区域控制监测网	点	实时或人工	基岩标、分层标组	GNSS 测量、InSAR 技术为主，精密水准测量为辅	在区域骨干监测网基础上的适当加密和完善
		面	控制监测网	1) GNSS 二级网 2) 精密水准监测网		
地区级监测网	重点地区监测网	点	实时或人工	基岩标、分层标组	以精密水准测量、基岩标分层标组监测技术为主	在区域控制监测网基础上的适当加密和完善
		面	局部重点监测	精密水准监测网络		

附 录 B
(规范性附录)
地面沉降测量技术设计书编制

B.1 地面沉降测量技术设计书提纲

地面沉降测量技术设计书应包括下列内容：

- a) 任务概述；
- b) 测区自然地理概况和已有资料情况；
- c) 引用文件；
- d) 主要技术指标；
- e) 设计方案。

B.2 任务概述

任务概述部分应包括下列内容：

- a) 任务来源、目的、任务量；
- b) 测区范围、测区周边环境概况、行政隶属等基本情况；
- c) 技术要求；
- d) 主要测量内容；
- e) 测量起止日期；
- f) 投入人员、主要仪器设备；
- g) 完成工作量。

B.3 测区自然地理概况和已有资料情况

测区自然地理概况和已有资料情况部分应包括下列内容：

- a) 测区自然地理概况。根据需要说明与设计方案或作业有关的测区自然地理概况，内容可包括测区地理特征、居民地、交通、气候情况和困难类别等；测量区地形、地貌概况；测量区地质概况；测量区水文概况；测量区以往工作程度；
- b) 已有资料情况。说明已有资料的数量、形式、施测年代、采用的坐标系统、高程和重力基准，资料的主要质量情况和评价、利用的可能性和利用方案等。

B.4 引用文件

说明技术设计书编写中所引用的标准、规范或其他技术文件。文件一经引用，便构成技术设计书设计内容的一部分。

B.5 主要技术指标

主要技术指标包括下列内容：

- a) 作业或成果的坐标系；
- b) 高程基准；
- c) 重力基准；
- d) 时间系统；
- e) 投影方法；
- f) 精度或技术等级；
- g) 其他主要技术指标等。

B.6 设计方案

设计方案主要包括下列内容：

- a) 选点、埋石方案：
 - 1) 规定作业需要的主要装备、工具、材料和其他设施；
 - 2) 规定作业的主要过程、各工序作业方法和精度质量要求；
 - 3) 选点：
 - 测量线路、标志布设的基本要求；
 - 点位选址、重合利用旧点的基本要求；
 - 需要联测点的踏勘要求；
 - 点名及其编号规定；
 - 选址作业中应收集的资料和其他相关要求等；
 - 4) 埋石：
 - 测量标志、标石材料的选取要求；
 - 石子、沙、混凝土的比例；
 - 标石、标志、观测墩的数学精度；
 - 埋设的标石、标志及其附属设施的规格、类型；
 - 测量标志的外部整饰要求；
 - 埋设过程中需获取的相应资料（地质、水文、照片等）及其他用注意的事项；
 - 路线图、点之记绘制要求；
 - 测量标志保护及其委托保管要求；
 - 其他有关的要求；
 - 5) 汇交和归档成果及其资料的内容和要求；
 - 6) 有关附录。
- b) 地面沉降测量技术设计方案：
 - 1) 规定测量仪器的类型、数量、精度指标以及对仪器校准和检定的要求，规定作业所需的专业应用软件及其他配置；
 - 2) 规定作业的技术路线和流程；
 - 3) 规定作业方法和技术要求：
 - 基准点和监测点的布设方案、标石埋设规格、施测方法及其精度要求；
 - 规定测量周期和观测要求；
 - 规定数据处理方法、计算公式和统计检验方法等；
 - 规定手簿、记录和要求；
 - 其他有关要求和规定；

- 4) 任务分工与质量控制:
 - 任务分工;
 - 任务管理;
 - 质量控制;
- 5) 组织实施:
 - 组织、人员结构;
 - 控制架构;
 - 工作进度(表);
- 6) 成果资料检查验收:
 - 成果质量检查;
 - 成果质量验收;
- 7) 预期提交成果:
 - 各类测量点的点之记(GNSS点含环视图);
 - 测量标志委托保管书;选点和埋石资料;
 - 测量设备(水准仪、GNSS接收机等),气象仪器及其它设备的检验资料;
 - 外业观测记录、测量手簿及其它记录;
 - 数据处理中生成的文件、资料和成果表;
 - 各类测量点的展点图;
 - 本期地面沉降量测量成果表;
 - 等值线图与剖面图;
 - 地面沉降测量数据库电子文档;
 - 技术总结和验收报告;
- 8) 汇交和归档成果及其资料的内容和要求;
- 9) 有关附录。

附 录 C
(规范性附录)
水准点埋设

C.1 水准标石的埋设

水准标石类型见图C.1、图C.2、图C.3，水准点标志设计见图C.4。

单位为毫米

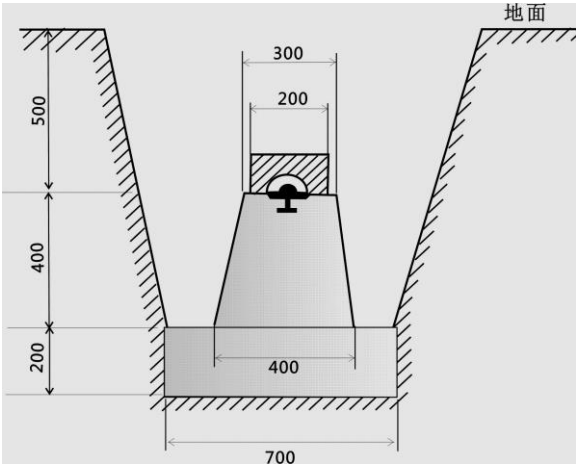


图 C.1 混凝土水准标石

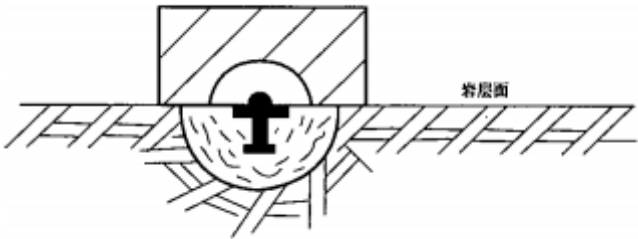


图 C.2 岩层水准标石

单位为米

单位为米

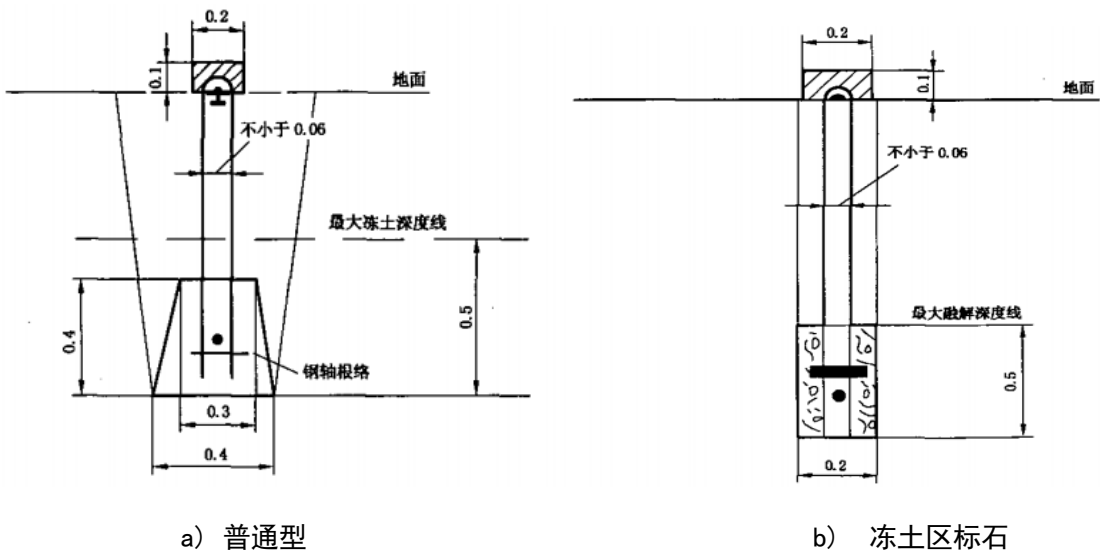


图 C.3 钢管水准标石

单位为毫米

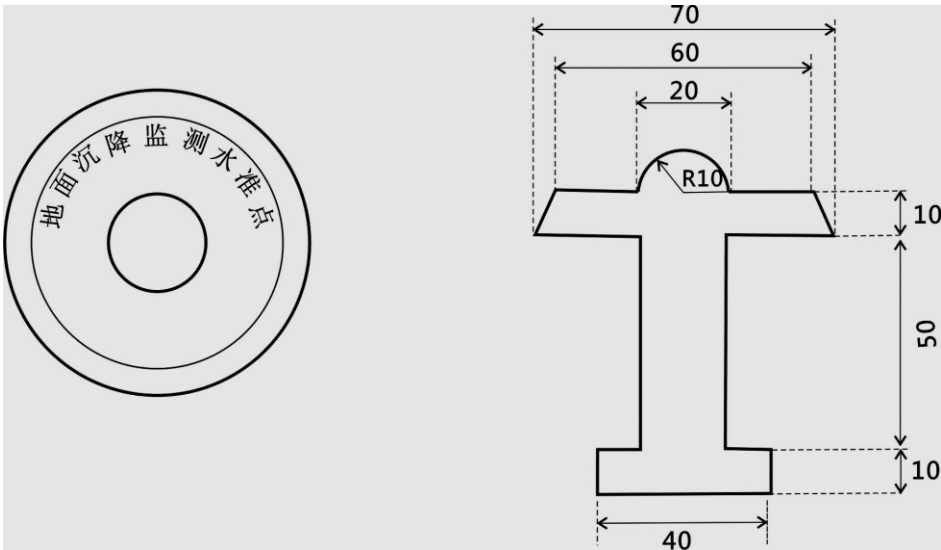


图 C.4 水准标志设计

C.2 水准点之记

C.2.1 说明

- C.2.1.1 水准点位置图中应标出水准点到三个以上明显地物的方位和距离，距离应实地丈量至分米。
- C.2.1.2 水准标石断面图应按埋设的实际尺寸标注。
- C.2.1.3 点位经纬度可实际测量或从地形图上量取，精度0.1'。

C.2.1.4 埋设点土质栏中应填写覆盖植被类型，说明埋石坑底土质，注明沙石比例。

C.2.2 水准点点之记

水准点点之记见表C.1。

表 C.1 水准点点之记

水准路线名		水准点点名和等级	
水准点位置		水准点断面图	
测 区		标石类型	
经 纬 度		标石材质	
所 在 地		土地权属	
埋设点土质		地下水深度	
交通路线提示			
水准点位置详细说明：			
保 管 单 位		保管者	
选 点 单 位		选点者	
埋 石 单 位		埋石者	
选 点 日 期		埋 石 日 期	
维 修 记 录	维修单位： _____ 维修日期： _____ 维修者： _____		
备 注			

附 录 D
(规范性附录)
地球椭球和参考椭球的有关说明

地球椭球和参考椭球的基本几何参数应符合表D. 1的规定。

表 D. 1 地球椭球和参考椭球的基本几何参数

参数名称	地 球 椭 球		参 考 椭 球	
	CGCS2000	WGS84	1980 西安坐标系	1954 北京坐标系
长半轴 a (m)	6378137	6378137	6378140	6378245
长半轴 b (m)	6356752. 3141	6356752. 3142	6356755. 2882	6356863. 0188
扁率 α	1/298. 257222101	1/298. 257223563	1/298. 257	1/298. 3
第一偏心率平方 e^2	0. 00669438002290	0. 0066943799901413	0. 00669438499959	0. 006693421622966
第二偏心率平方 e'^2	0. 00673949677548	0. 0067394967422764	0. 00673950181947	0. 006738525414683

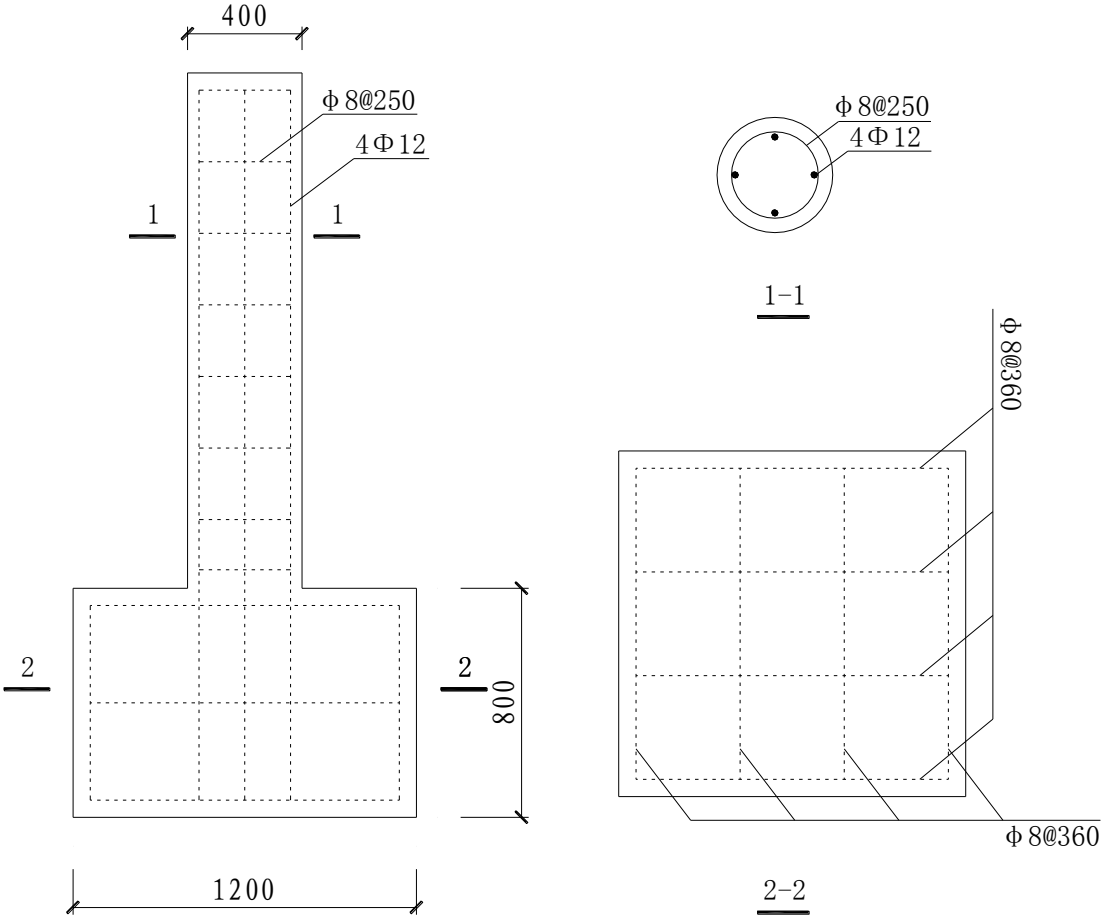


图 E. 2 GNSS 观测墩结构设计剖面图

附 录 F
(规范性附录)
GNSS 观测墩的点之记与环视图

GNSS观测墩的点之记与环视图应符合表F. 1、图F. 1的规定。

表 F. 1 GNSS 观测墩的点之记

点 名		概略坐标		B=	
点 号				L=	
级 别				H=	
点位交通情况描述			GNSS 观测墩点位交通图		
GNSS 观测墩点位埋设断面图			GNSS 观测墩点位略图		
建点单位				委托保管人	
选点		日期		委托保管单位	
埋石		日期		联系电话	
委托保管责任人				联系地址	
委托保管单位				备注	

XX点环视图

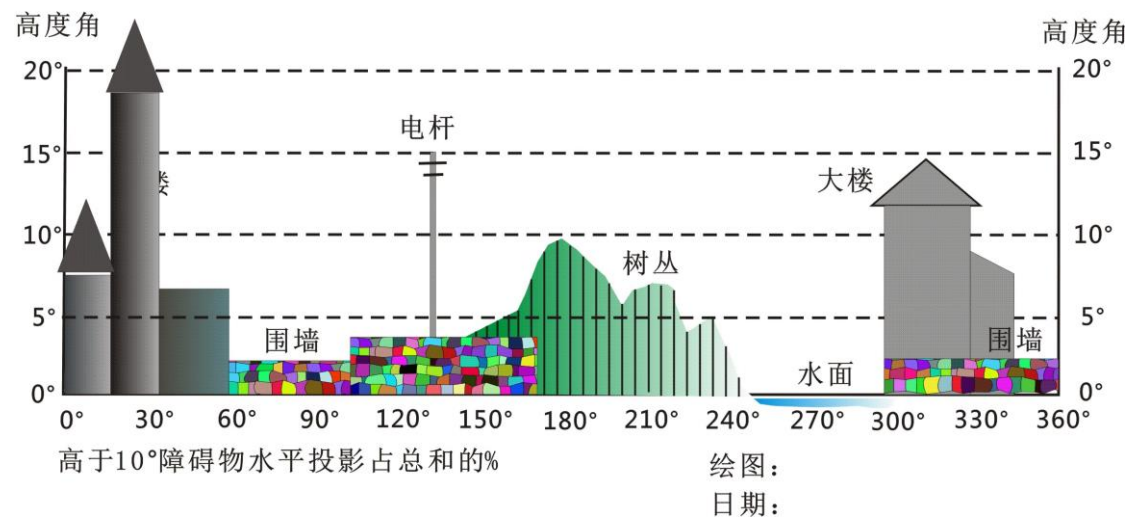


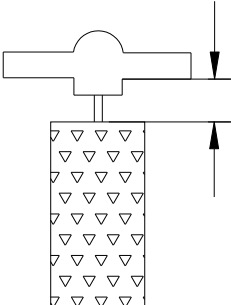
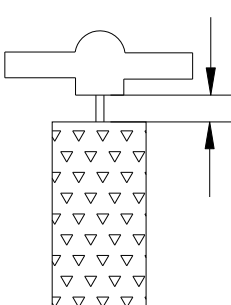
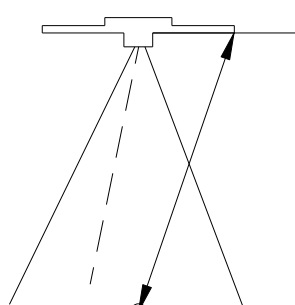
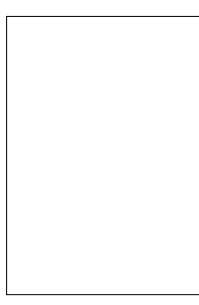
图 F.1 GNSS 点环视图

附 录 G
(规范性附录)
GNSS 测量手簿格式

GNSS测量手簿、气象元素及天气状况记录表见表G. 1、表G. 2。

表G. 1 GNSS测量手簿

共 页 第 页

项 目					
点 号			点 名		
时段序号			开机时间 (北京时间)		
			关机时间 (北京时间)		
主机厂商		型 号		序列号 (S/N)	
天线厂商		型号 <input type="checkbox"/> 扼流圈 <input type="checkbox"/> 其 它		序列号 (S/N)	
天 线 高	读数/m				
		1	2	3	平均
	测前				
	测中				
	测后				
注：每个位置要测前、测中、测后各量取一次。 天线高量取示意图：					
<div><div> <input type="checkbox"/> 方式 1</div><div> <input type="checkbox"/> 方式 2</div><div> <input type="checkbox"/> 方式 3</div><div> <input type="checkbox"/> 其它</div></div>					
同步观测 点 号					
测站小结：					

观测者：_____

日期：_____年_____月_____日

检查者：_____

日期：_____年_____月_____日

表G.2 气象元素及天气状况记录表

北京时间	气压（ mb ）	干温（ ° C）	湿温（ ° C）	测站天气状况

附 录 H
(规范性附录)
技术总结大纲

H.1 技术总结大纲

技术总结包括下列内容：

- a) 技术总结外业部分；
- b) 技术总结内业部分。

H.2 技术总结外业部分

技术总结外业部分应包括下列内容：

- a) 测区范围与位置，自然地理条件，交通、通信及供电情况；
- b) 测量控制网与剖面线的名称、覆盖面积、长度、等级和基本精度要求；
- c) 施测单位、施测起讫时间、作业人员数量和技术状况；
- d) 作业执行的技术标准；
- e) 作业使用的仪器型号，标称精度以及检验和使用情况；
- f) 对 InSAR 网则应说明所选用的 SAR 数据类型，人工角反射器的设计与安装等；
- g) 外业作业方案及作业中发生与存在的问题；
- h) 外业观测数据的检核与质量分析。

H.3 技术总结报告内业部分

技术总结内业部分应包括下列内容：

- a) 数据处理方案，所采用的软件、起算数据、坐标与高程系统，对于 GNSS 网还需说明所采用的星历，对 InSAR 网应说明干涉图生成、相位解缠、形变结果生成等关键技术；
- b) 数据处理结果所获得的成果表；
- c) 成果误差检验与精度估计；
- d) 参考基准的稳定性分析；
- e) 地面沉降分析所采用的技术方案；
- f) 各监测点的沉降量及其精度估计；
- g) 地面沉降剖面图和等值线图；
- h) 上交资料清单与需要说明的问题；
- i) 各种附表与附图。

参 考 文 献

- [1] DD2014-11 地面沉降干涉雷达数据处理技术规程
 - [2] T/CAGHP 013—2018 地质灾害InSAR监测技术指南（试行）
-