

ICS 编号
CCS 编号

团体标准

T/CHES XXX—20XX

代替 T/CHES XXX—XXXX

土石坝全球卫星导航系统表面变形监测 技术规程

Technical Specification of GNSS Automatic Deformation Monitoring System for
Earth-Rock Dams

（征求意见稿）

与国际标准的一致性程度标识

专利声明

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

目 次

目次..... I

前 言..... III

土石坝全球卫星导航系统表面变形监测技术规程..... 1

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语..... 2

4 GNSS 监测设备技术要求..... 3

 4.1 GNSS 监测系统组成..... 3

 4.2 监测系统设备..... 3

 4.3 监测设备要求..... 3

5 测点布设与仪器安装技术要求..... 5

 5.1 GNSS 基准点布设..... 5

 5.2 GNSS 监测点布设..... 7

 5.3 GNSS 设备安装..... 7

 5.4 防雷设备安装..... 7

6 监测数据采集管理软件..... 8

 6.1 系统功能..... 8

 6.2 GNSS 监测功能..... 9

 6.3 监测数据库表结构及标识符..... 9

 6.4 监测坐标系及其转换..... 9

7 GNSS 监测系统集成调试与试运行..... 10

 7.1 系统集成调试与试运行的目的..... 10

 7.2 系统调试..... 10

 7.3 系统试运行与总体指标测试..... 11

8 在线监测系统验收..... 12

 8.1 验收条件..... 12

 8.2 验收内容..... 12

9 水库群 GNSS 与 InSAR 组合监测..... 12

 9.1 组合监测的必要性..... 12

 9.2 InSAR 监测技术要求..... 13

10 监测资料整编与分析..... 13

 10.1 一般性规定..... 13

 10.2 监测设施考证资料..... 13

 10.3 监测资料整编..... 13

 10.4 监测月报..... 14

10.5 监测年报.....	14
10.6 监测预警.....	14
10.7 监测资料分析.....	15
11 监测系统运行维护.....	15
11.1 运维系统建立.....	15
11.2 数据维护.....	15
11.3 软件维护.....	15
11.4 设备维护.....	15
附 录 A（资料性附录） GNSS 站点点之记.....	17
附 录 B（资料性附录） GNSS 站点观测墩.....	19
附 录 C（资料性附录） GNSS 站点安装埋设考证表.....	20
附 录 D（资料性附录） GNSS 仪器检验方法.....	21
附 录 E（资料性附录） GNSS 变形监测结果日常报表.....	22
1. 日报模板.....	22
2. 月报模板.....	1
3. 月报附表.....	2

前 言

全球卫星导航系统（GNSS）变形监测技术具有全天候、高精度、实时、自动化变形监测的特点和实时预警的能力。尤其在台风暴雨等极端气象条件下，以 GNSS 技术为基础，开展土石坝表面变形监测结果的实时分析，可大幅提高水库安全管理水平。随着水利事业转向精细化管理，以及人力成本的不断提升，自动化变形监测将成为必然趋势，而 GNSS 变形监测技术将成为其中的主要组成技术。

当前，全球卫星导航系统变形监测技术应用于土石坝表面变形监测已有诸多案例。未来随着终端设备成本的降低，面向为数众多的中小型土石坝变形监测应用，该技术将有着广阔的前景。但是，当前的土石坝 GNSS 表面变形监测系统建设缺少统一的技术标准，有必要总结现有成功案例形成成套的技术规范，用于指导未来水利设施信息化建设。

在已有工作基础上，基于土石坝 GNSS 监测应用需求和当前行业规范现状，相关单位编制了土石坝全球卫星导航系统表面变形监测技术规程，对土石坝 GNSS 表面变形监测系统实施技术标准进行制定，用于规范在线 GNSS 监测系统的方案设计、工程实施，做到技术先进、经济合理、安全实用、确保质量。

本规范共分 10 章和 8 个附录，包括范围、规范性引用文件、术语和定义、GNSS 监测设备技术要求、测点布设与仪器安装技术要求、监测数据采集管理软件系统、在线监测系统集成调试与试运行、在线监测系统验收、监测资料整编与分析、监测系统运行维护等。本规范起草过程中，依据水利部发布的土石坝安全监测技术规范，参考了深圳市已建成的多个土石坝 GNSS 监测系统经验。

本标准按 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》的规则起草。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准批准部门：

本标准主持机构：

本标准解释单位：

本标准主编单位：

本标准参编单位：

本标准出版、发行单位：

主要起草人：

本标准技术内容审查人：

本标准体例格式审查人：

土石坝全球卫星导航系统表面变形监测技术规程

1 范围

本规程规定了建设土石坝全球卫星导航系统表面变形监测系统的基本要求,包括监测设备的主要技术指标、变形监测站点与仪器设备安装技术要求、数据采集监控及监测管理软件系统、在线监测系统集成调试与试运行、在线监测系统验收和运行维护等。本规程适用于土石坝全球卫星导航系统表面变形监测系统的设计、施工、验收和运行维护。

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,仅所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 18314-2009 全球定位系统(GPS)测量规范

GB/T 22385-2008 大坝安全监测系统验收规范

GB/T 28588-2012 全球卫星导航系统连续运行基准站网技术规范

GB 50026-2007 工程测量规范

GB 50343-2012 建筑物电子信息系统防雷技术规范

SL 26-2012 水利水电工程术语

SL 197-2013 水利水电工程测量规范

SL 531-2012 大坝安全监测仪器安装标准

SL 551-2012 土石坝安全监测技术规范

DL/T 1134-2009 大坝安全监测数据自动采集装置

DL/T 1558-2016 大坝安全监测系统运行维护规程

DL/T 5211-2005 大坝安全监测自动化技术规范

JGJ8-2016 建筑变形测量规范

BD 110001-2015 北斗卫星导航术语

CH/T 6006-2018 时间序列 InSAR 地表形变监测数据处理规范

JJF 1118-2004 全球定位系统（GPS）接收机（测地型和导航型）校准规范

3 术语

3.1

全球卫星导航系统 Global Navigation Satellite System (GNSS)

能在全球范围内提供导航服务的卫星导航系统的通称。

3.2

土石坝 Earth Rockfill Dam

用土、砂、砂砾石、卵石、块石、风化岩等当地材料填筑而成的坝。

3.3

变形监测 Deformation Monitoring

指对建构筑物及其地基、建筑基坑或一定范围内的岩体及土体的位移、沉降、倾斜、挠度、裂缝和相关影响因素(如地下水、温度、应力应变等)进行监测，并提供变形分析预报的过程。本规范中主要指坝体表面的水平位移、垂直位移（沉降）。

3.4

GNSS 测量型接收机 Geodetic GNSS Receiver

又称GNSS测地型接收机。能够提供伪距、载波相位等原始观测数据，用于高精度定位的GNSS终端设备。本规程中简称GNSS接收机。

3.5

基准站 Datum Station

布设在基准点上，对卫星导航信号进行长期连续观测，并由通信设施将观测数据实时或定时传送至数据中心的地面固定观测站。

3.6

监测站 Displacement Monitoring Station

布设在变形监测点上，对卫星导航信号进行长期连续观测，并由通信设施将观测数据实时或定时传送至数据中心的地面固定观测站。

3.7

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

同一地区不同期次SAR数据中的相位信息进行干涉计算的技术，本规程中特指利用SAR数宜据提取水库等灾害体变形的技术，包括差分合成孔径雷达干涉测量（D-InSAR）、短基线集合成孔径雷达干涉测量（SBAS-InSAR）和永久散射体合成孔径雷达干涉测量（PS-InSAR）等。

4 GNSS 监测设备技术要求

4.1 GNSS 监测系统组成

土石坝全球卫星导航系统表面变形监测系统（以下简称GNSS监测系统）采用北斗、GPS等全球卫星导航系统信号和GNSS相对定位技术，实现大坝表面水平位移、垂直位移监测数据的自动采集、自动处理。GNSS监测系统一般由数据采集、控制中心、供电和通信等部分组成。数据采集部分用于采集GNSS原始数据，由GNSS基准站和GNSS监测站组成。控制中心用于接收、存储、处理和分析基准站、监测站的GNSS数据。供电部分用于向基准站、监测站、数据中心供电。通信部分用于基准站、监测站、控制中心之间的数据通信。

4.2 监测系统设备

4.2.1 设备组成

按照部署位置，GNSS监测设备可分为：

- a) 基准站和监测站设备；
- b) 数据中心设备；
- c) 其他配套设备。

4.2.2 基准站和监测站设备

基准站和监测站的设备类型相同，可分为：

- a) GNSS接收机；
- b) GNSS天线；
- c) 网络通信设备；
- d) 雷电防护设备；
- e) 电源供电设备；
- f) 仪器箱。

4.2.3 数据中心设备

数据中心设备可分为：

- a) 计算机；
- b) 数据采集管理软件；
- c) 电源供电设备（包括不间断电源）；
- d) 通信设备；
- e) 雷电防护设备；
- f) 机柜。

4.3 监测设备要求

4.3.1 工作环境要求

4.3.1.1 温度

系统核心设备高低温性能应满足：

- a) 基准站和监测站设备，应能在 $-10^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的温度环境下正常工作，严寒地区应能在 $-30^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的温度环境下正常工作；
- b) 数据中心设备应能在 $-10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 的温度环境下正常工作。

4.3.1.2 相对湿度

系统核心设备防潮性能应满足：

- a) 基准站和监测站设备应能在相对湿度 $\leq 95\%$ 的环境下正常工作，GNSS 接收机防护安全级别应满足 IP67 或以上等级；
- b) 数据中心设备应能在相对湿度 $\leq 85\%$ 的湿度环境下正常工作。

4.3.1.3 电源

系统核心设备供电性能应满足：

- a) 交流电源：额定电压为 220V 或 36V，允许偏差 $\pm 10\%$ ；频率为 50Hz，允许偏差 $\pm 2\%$ ；
- b) 直流电源：额定电压为 9~24V。

4.3.2 GNSS 接收机

GNSS 接收机性能应满足：

- a) 应支持北斗卫星系统，可兼顾 GPS、GLONASS、Galileo 卫星系统；
- b) 应具有 1Hz 的采样能力，并可根据需要改变参数设置；
- c) 观测数据应包括：测距码、载波相位观测值、卫星广播星历；
- d) 接收机内部噪声水平应不大于 1mm；
- e) 具备 2 类以上的数据通信接口，数据通信接口类别包括 RJ45、RS232、RS485、USB、WiFi、蓝牙等；
- f) 具有输出原始 GNSS 观测数据和卫星导航电文数据的能力；
- g) 内部电池续航时间： $\geq 24\text{h}$ ；
- h) 内部存储容量： $\geq 8\text{GB}$ ；
- i) 具备远程监控能力，可远程获取设备工作状态及 GNSS 卫星跟踪情况（如卫星健康状况、跟踪卫星数目、信号状态、信噪比、观测历元数、电压、剩余存储空间）等数据信息。

4.3.3 GNSS 天线

GNSS 天线性能应满足：

- a) 天线相位中心稳定性应优于 1mm。
- b) 天线宜配备抗多路径效应的扼流圈或抑径板；
- c) 天线具有定向指北标志；
- d) 气候恶劣地区应配有防护罩；
- e) 天线必须紧固于观测墩的强制对中标志上；
- f) 天线电缆应采用低损耗的射频电缆；
- g) 天线电缆宜加装低损耗射频电缆防雷装置；
- h) 在满足上述要求的情况下，可采用集成接收机和天线的一体机。

4.3.4 计算机

本地部署的计算机应满足以下要求：

- a) 计算机至少应具备 500GB 存储容量；
- b) 计算机应具备 4 个以上的数据通信接口，包括 RS232、USB、LAN 等；
- c) 应配置综合的软硬件安全系统，减少数据和资源被攻击的可能性。

4.3.5 电源供电设备

- a) 供电设施可根据现场实际情况采用市电或太阳能供电；
- b) 采用太阳能供电的，应根据 GNSS 接收机的功耗和当地日照条件，合理选择太阳能电池板发电功率、蓄电池容量等参数；
- c) 采用太阳能供电的，GNSS 接收机应具备可远程控制的自动休眠功能；
- d) 采用市电供电的，应对相应的供电路线进行专业设计，保证供电线路的安全可靠。

4.3.6 通信设备

4.3.6.1 数据通信可采用无线或有线通信传输设备。

4.3.6.2 网络互联协议应遵循传输控制协议/互联网协议，用户数据报协议(TCP/IP, UDP)。

4.3.6.3 GNSS接收机接入端技术指标包括：

- a) 通信速率大于 64kbit/s；
- b) 误码率小于 10^{-8} ；
- c) 链路可用性大于 95%。

4.3.6.4 数据中心接入端技术指标包括：

- a) 通信速率应大于 64Kbit/s×接收机数量；
- b) 误码率小于 10^{-8} ；
- c) 链路可用性大于 98%。

4.3.7 雷电防护设备

系统防雷宜参照《建筑物电子信息系统防雷技术规范》的相关规定，防护等级按 D 级执行。

5 测点布设与仪器安装技术要求

5.1 GNSS 基准点布设

5.1.1 基本要求

5.1.1.1 基准点宜建立在稳固的基岩或土层上。

5.1.1.2 基准点应具备良好的数据采集、传输和维护条件。

5.1.1.3 基准点应选择在工程施工以外区域，一般布置在土石坝下游地质条件良好，基础稳固，能长久保存的位置。基准点数量不应少于 3 个，选择其中 1~2 个基准点安装 GNSS 设备形成基准站，其余基准点用于定期校核基准站。

5.1.1.4 基准站距离监测站的直线距离，不宜超过 5km。

5.1.2 资料收集

基准点设计施工前宜收集下列资料：

- a) 所在地区地形图和交通图；
- b) 所在地区地质构造图；
- c) 所在地区已有的 GNSS、水准等大地测量成果资料；
- d) 与设计有关的交通运输、物资供应、通信、水文、气象、冻土和地下水位等资料；
- e) 与设计有关的文件，包括工程项目建议书、可行性报告，布设要点和技术规程等。

5.1.3 实地勘选和测试

5.1.3.1 选址应注意用地、供电、通信、安全、防护等基础设施支撑条件。选址工作开始前，选址人员对技术设计、区域情况进行充分研究，并制定选址工作计划。

5.1.3.2 基准点应选择在安全僻静、交通便利并利于测量标志长期保存和观测的地方。

5.1.3.3 基准点位置各方向视线高度角 15° 以上应无阻挡物。特殊困难地区，可在一定范围内（水平视角不超过 60° ），高度角可放宽至 25° 。

5.1.3.4 基准点选址人员应携带双频GNSS接收机在选定的站址上进行实地测试，观测站址概略坐标和接收GNSS卫星信号的状况。连续观测时间应不少于24h，高度角在 10° 以上的观测时段应不少于整个观测时段的85%，多路径影响应小于0.5m。

5.1.3.5 站址选定后，应设立一个注有编号、编码、站名、标石类型的点位标记，拍摄点位的远景、近景照片各一张，并按附录1的格式，填绘基准站点之记。

5.1.4 土建设计

5.1.4.1 观测墩按所在地的地质情况分为基岩观测墩和非基岩观测墩。GNSS 站点观测墩按附录2规格埋设。

5.1.4.2 观测墩高出地面一般不超过5m，但不宜低于2m。

5.1.5 施工设计后应上交下列资料：

- a) 选址点之记（见附录A）；
- b) 所选站址实地测试结果；
- c) 设计书和图件；
- d) 选址中收集的有关资料。

5.1.6 土建工程

5.1.6.1 基准站观测墩可采用钢筋混凝土现场浇筑，同时预埋适合线缆进出的管道。

5.1.6.2 观测墩浇筑时应预埋强制对中装置，并用置平工具安平。

5.1.6.3 建站结束后应上交的资料

- a) 建站后的基准站点之记；
- b) 建站照片；
- c) 基准站的施工（竣工）报告。

5.2 GNSS 监测点布设

5.2.1 表面变形监测点布置应符合现行《土石坝安全监测技术规范》的规定。

5.2.2 监测墩设计时宜考虑仪器安装位置、防水、防高低温及防盗措施。

5.2.3 监测点的埋设

5.2.3.1 中型以上水库的监测点宜采用带有强制对中基座的混凝土墩，其对中误差不超过 $\pm 0.1\text{mm}$ 。监测点应具有良好的视线（对空）条件，其离障碍物距离应在 1.0m 以上。

5.2.3.2 监测点埋设后，应及时认真填写安装埋设考证表（见附录C），表中各种信息均应精确测量，准确记录。

5.3 GNSS 设备安装

5.3.1 设备检验

5.3.1.1 GNSS 设备在安装前必须进行检验，仪器出现故障需要更换主机或天线的，必须对更换的主机或天线进行检验。

5.3.1.2 一般项目检验：

- a) 接收机及天线外观是否良好，型号是否正确，各部件是否完好；
- b) 电缆型号是否符合要求，接头是否完好、配套，天线电缆的长度是否符合要求；
- c) 天线与基座连接件是否完好、配套，需固紧的部件是否有松动和脱落；
- d) 接收机数据传输接口配件及软件是否齐全，数据传输性能是否完好。

5.3.1.3 仪器性能检验的内容和方法见附录D。

5.3.1.4 应进行仪器观测数据质量（TEQC）检验。检验方法见附录D-1。

5.3.1.5 可采用短基线测量方法测试接收机的测量误差，方法参见《全球定位系统（GPS）接收机（测地型和导航型）校准规范》。

5.3.1.6 宜对天线相位中心稳定性进行检验，相位中心稳定性应优于 1mm 。

5.3.1.7 仪器检验完毕后要提交检验报告，其中包括仪器信息（厂商、配件号、序列号等）、数据采集情况简介、基线解算结果、检验结果分析及结论。

5.3.2 设备安装

5.3.2.1 天线架设

量取天线高就是量取天线参考面到观测墩标志面的垂直距离。安装后应详细记录量取的位置及方式。天线高量取要在天线参考面互成 120° 的三个位置量取，三个位置取平均数作为一次天线高数据，读数和平均数精确至 1mm 。

5.3.2.2 接收机架设

- a) 机箱内做好各类线缆的规整与排列，并绑扎紧固。
- b) 按仪器操作手册规定程序完成接收机与电源连接。
- c) 接收机安装时，应采取必要的防盗保护措施。

5.4 防雷设备安装

5.4.1 防雷工程施工宜参照《建筑物电子信息系统防雷技术规范》的相关规定和项目的设计文件进行。

5.4.2 浪涌保护器

5.4.2.1 采用分体式 GNSS 接收机时，天馈线路浪涌保护器的安装应符合下列规定：

- a) 天馈线路浪涌保护器应安装在 GNSS 天线与 GNSS 接收机之间；
- b) 天馈线路浪涌保护器的接地端应采用截面积不小于 6mm^2 的铜芯导线就近连接到交界处的等电位接地端子板上，接地线应短直。

5.4.2.2 信号线路浪涌保护器的安装应符合下列规定：

- a) 信号线路浪涌保护器应连接在被保护设备的信号端口上。
- b) 信号线路浪涌保护器接地端宜采用截面积不小于 6mm^2 的铜芯导线就近连接到交界处的等电位接地端子板上，接地线应短直。

5.4.3 线缆敷设

5.4.3.1 线槽或线架上的线缆，其绑扎间距应均匀合理，绑扎线扣应整齐，松紧适宜；绑扎线头宜隐藏不外露。

5.4.3.2 为减小雷击电磁脉冲在线缆内产生的浪涌，宜采取线缆屏蔽和线缆合理布设措施。

5.4.3.3 线缆宜敷设在金属线槽或金属管道内。布置线缆路由走向时，应尽量减少由线缆自身形成的电磁感应环路面积。

5.4.3.4 采用屏蔽电缆时，应在屏蔽层两端并宜在雷电防护区交界处做等电位连接并接地。光缆的所有金属接头、金属护层、金属防潮层、金属加强芯等，应在进入建筑物处直接接地。

- a) 接地线在穿越墙壁、楼板和地坪处宜套钢管或其它非金属的保护套管，铜管应与接地线做电气连通。
- b) 接地线、浪涌保护器连接线的敷设宜短直、整齐。
- c) 接地线、浪涌保护器连接线转弯时弯角应大于 90° ，弯曲半径应大于导线直径的 10 倍。

6 监测数据采集管理软件

6.1 系统功能

6.1.1 适应性

数据采集监控及监测管理软件系统应具有良好的适应性，可以兼容主流品牌的 GNSS 接收机，通过系统参数配置后可以实现对不同对象的在线监测。

6.1.2 接口与显示

6.1.2.1 系统软件应配备完善的双向数据传输接口，将监测数据采集至监测控制中心，确保监控系统对异常状况的实时监测。

6.1.2.2 使用过程中，系统软件应可以通过图形、图表等可视化的形式实时、动态地显示现场的工作状态、报警信息以及各项参数指标。

6.1.3 自诊断

系统软件应具备监测自诊断功能(传感器故障报警、通讯故障报警、断电记录等)，并可以记录有效数据个数。

6.1.4 信息安全

6.1.4.1 系统应具备安全管理功能且系统操作管理权限不少于 3 个。操作人员登录系统前须通过用户名密码认证。系统具有记录功能，所有操作记录均录入数据库。

6.1.4.2 系统宜依据国家信息安全等级保护制度相关要求，进行系统定级后报所在地公安部门备案，并同步规划、设计安全防护建设方案。在项目实施过程中，要依据所定等级级别同步建设安全防护措施。

6.1.4.3 系统上线前宜查验软件安全性测试报告，部署在互联网应用的软件上线前还要查验由第三方专业机构出具的应用软件安全性测试报告。

6.1.4.4 软件的后台管理与前台必须分开，后台管理必须通过安全认证后才能进行远程操作。

6.1.5 数据处理与检索

6.1.5.1 系统应具备数据存储功能以及报表生成功能。可存储 1 年以上原始观测数据、记录测定数据以及仪器运行状态，并自动生成系统运行参数报告、数据报告、掉电记录报告、操作记录报告。

6.1.5.2 测定数据和仪器运行状态数据：

- a) 记录并统计有效数据个数；
- b) 记录电源故障情况；
- c) 记录仪器操作和维护情况；
- d) 记录仪器故障情况。

6.1.5.3 系统应具备自启动功能，当仪器由于受外界强干扰、掉电后又上电等突发情况造成程序中断，系统可以自动启动，恢复运行状态并记录故障时间以及恢复运行时间。

6.1.5.4 系统应对操作过程具备自记录功能，记录内容包括系统各项参数的设置、修改，并可随时查看调用。

6.1.5.5 系统具备数据检索检查功能，通过设置检索时间对历史数据进行检索，生成数据统计报表以及曲线分析图，并根据需求设置自动生成日报、月报、年报。

6.2 GNSS 监测功能

6.2.1 测站信息管理

测站信息管理功能指的是通过可视化操作界面对测站进行远程配置（增加/删除站点，配置/修改基准站信息等），并实现对测站接收机的远程管理。测站信息管理功能包括：测站管理、接收机管理、接收机设备工作的状态管理、观测数据查询等。

6.2.2 监测数据分析查询

系统应当支持基于监测布置图的大坝变形观测点实时、历史数据查询，同时具备设备管理状态查询、卫星信号质量分析、监测数据异常分析等功能。

6.3 监测数据库表结构及标识符

GNSS 监测数据库表结构及标示符应参照《大坝安全监测数据库表结构及标识符》执行。

6.4 监测坐标系及其转换

6.4.1 GNSS 监测数据采集、数据存储、基线解算等过程，应在 CGCS2000 坐标系下完成。

6.4.2 为便于水平位移监测成果使用，宜建立大坝监测独立平面直角坐标系。监测坐标系 X 轴可沿坝轴线方向，由右坝肩指向左坝肩为正方向；监测坐标系 Y 轴可沿垂直于坝轴线方向，以下游方向为正方向。

6.4.3 垂直位移监测以下沉为正、上升为负。

6.4.4 建立大坝监测独立平面直角坐标系时，应说明 CGCS2000 坐标系至大坝监测独立平面直角坐标系的坐标转换方法，以及所使用的坐标转换参数。

7 GNSS 监测系统集成调试与试运行

7.1 系统集成调试与试运行的目的

GNSS 监测系统正式提供服务前，应进行系统集成调试与试运行。系统集成调试是为了排除和发现仪器设备、通信网络、软件参数配置、计算机系统平台兼容性等多个方面的故障和问题，为系统正常运行和维护提供保障。系统试运行通过连续的运行测试评估系统的稳定性与可靠性，目的是为了检验系统相关技术参数指标能否达到系统标称的指标要求，评估系统是否满足变形监测的基本业务需求。

7.2 系统调试

7.2.1 系统调试内容

GNSS 监测系统的调试包括 GNSS 接收机的安装调试、网络通讯调试、变形监测软件平台系统调试、系统软硬件兼容性调试等。通过系统调试，确保 GNSS 接收机、数据处理软件、通讯网络具有很好的兼容性，可以连续稳定提供服务，达到在线运行的能力。

7.2.2 GNSS 接收机调试

根据项目要求，设定接收机的运行参数，包括 GNSS 数据的采样频率、输出数据的格式、数据通讯协议、兼容的卫星导航系统等。

7.2.3 网络通信调试

7.2.3.1 对各联网设备的 IP 地址进行设置，包括接收机、交换机、服务器等。

7.2.3.2 以 web 模式远程登录接收机，测试接收机远程控制功能、远程配置功能以及相关的数据下载功能等。

7.2.4 GNSS 数据传输及变形监测软件调试

GNSS 变形监测软件与接收机之间应能完成正常的数据通信。

7.2.5 变形监测软件平台系统调试

变形监测软件平台系统安装调试完成后，应具备 GNSS 数据采集、GNSS 基线解算、

GNSS 变形监测结果输出等功能。

7.3 系统试运行与总体指标测试

7.3.1 系统试运行数据与网络通信质量要求

系统正式提供服务前应对基准站数据质量与网络通信质量进行测评。基准站数据质量综合反映基准站工作性能的重要指标，从 GNSS 信号捕捉能力、数据质量等多方面，对基准站和监测站硬件设备进行全面的评估测试。

7.3.1.1 基准站和监测站 GNSS 观测数据可用率应大于 85%。

7.3.1.2 基准站多路径影响应小于 0.5m，监测站多路径影响宜小于 0.5m。

7.3.1.3 GNSS 基线解算结果质量评价包括北斗基线解算结果质量、GPS 基线解算结果质量和北斗 GPS 联合解算结果质量等。

7.3.1.4 网络通信延迟应小于 500ms。

7.3.1.5 网络通信数据丢包率应小于 0.1%。

7.3.1.6 网络安全要求

- a) 接收机端应设置安全协议；
- b) 数据接收服务器端应设置网络安全协议。

7.3.2 系统总体指标测试

7.3.2.1 系统总体指标

- a) 4 小时产出监测点三维变形量，水平方向变形监测精度优于 3mm (RMS)；
- b) 每日 (24 小时) 产出监测点三维变形量，水平方向变形监测精度优于 3mm (RMS)，垂直方向变形监测精度优于 3mm (RMS)；
- c) 可采用模拟变形或人工对比观测手段验证系统精度。

7.3.2.2 系统完好性要求指标

- a) GNSS 接收机自主完好性；
- b) 网络通信性能完好性；
- c) 卫星信号完好性；
- d) 数据质量完好性；
- e) 软件平台完好性；
- f) 用户定位状态可靠性。

7.3.2.3 系统日志要求

- a) 接收机故障日志；
- b) 变形监测结果日志；
- c) 网络通信状态日志；

- d) 用户使用情况报表;
- e) 硬件设备故障日志;
- f) 系统异常状况统计报表。

8 在线监测系统验收

8.1 验收条件

- 8.1.1 GNSS 监测系统总体指标达到 7.3.2.1 节的要求,数据采集装置平均无故障工作时间 (MTBF) 不小于 6300h,监测系统自动采集数据的缺失率应不大于 3%。
- 8.1.2 已完成 GNSS 监测系统在线调试、试运行工作,并出具系统调试与试运行报告。
- 8.1.3 已完成 GNSS 接收机、GNSS 天线等在线监测仪器的检测工作,并出具检测报告。
- 8.1.4 应提供包含 GNSS 监测系统的设备选型、工程设计、工程施工、系统安装调试等内容的技术总结报告。

8.2 验收内容

8.2.1 基准点和监测点验收

应满足本规程第5章的技术要求。

8.2.2 监测仪器设备验收

应满足本规程第4章的技术要求。

8.2.3 通信稳定性验收

应满足本规程第7.3.1.4条至7.3.1.6条规定的技术指标。

8.2.4 数据传输安全性验收

采用公共网络传输数据时,数据传输设备宜采取加密方法进行加密处理,采用一端请求连接另一端身份验证的通讯方式,保证数据传输的安全性。

8.2.5 系统运行稳定性

系统连续运行时间大于一个月,除特殊情况下出现通信稳定性、通信协议正确性、数据传输正确性等问题外,无其他运行故障。

8.2.6 系统监测精度

应满足本规程第7.3.2.1条规定的精度指标。

9 水库群 GNSS 与 InSAR 组合监测

9.1 组合监测的必要性

- 9.1.1 InSAR 监测技术可实现全天候、大范围、毫米级精度变形监测,与 GNSS 监测技术具有互补性。
- 9.1.2 组合运用 GNSS 和 InSAR 监测技术开展水库群大坝及其库岸边坡监测,对监测对象开展 InSAR 全覆盖监测,对重点设施开展 GNSS 在线监测,既有利于弥补小型水库变形监测空白,又有利于降低水库群变形监测成本。

9.2 InSAR 监测技术要求

9.2.1 星载 SAR 影像数据

9.2.1.1 InSAR 监测的精度与 SAR 影像的质量高度相关,常见星载 SAR 影像参数可参见 CH/T 6006《时间序列 InSAR 地表形变监测数据处理规范》附录 B。

9.2.1.2 SAR 影像获取时段,应依据监测任务需求和 SAR 影像存档情况综合考虑。

9.2.1.3 SAR 影像获取频率,应依据监测对象变形的发生周期、季节变化等特点选择。水库群监测宜每 1~2 个月获取一期影像。

9.2.1.4 水库群大坝监测宜选择高分辨率 SAR 影像(地表分辨率 3m 左右)。

9.2.4 数据处理方法

9.2.4.1 水库群监测宜选择 PS-InSAR、DS-InSAR 等时序 InSAR 处理方法。

9.2.4.2 针对易受植被生长、施工干扰的坝面或库岸边坡,应布设角反射器开展 InSAR 监测。

10 监测资料整编与分析

10.1 一般性规定

10.1.1 GNSS 监测资料整编与分析时,宜整合同时期的巡视检查、环境量、渗流渗压监测成果。

10.1.2 监测资料应及时整理和整编,当监测资料出现异常并影响工程安全时,应及时分析原因,并上报主管部门。

10.2 监测设施考证资料

10.2.1 监测系统建设完成后,应编制监测设施考证资料,包括以下各项:

- a) 工程基本资料,包括水库枢纽及主体建筑的概况和特征参数。
- b) 监测点的平面布置图,图中应标明监测点的点位及标号;
- c) 基准站、校核基准点、监测站的平面坐标、高程、结构、安设情况、设置日期和测读日期、基准值等文字和数据考证表;
- d) GNSS 接收机与天线的仪器型号、规格、购置日期、生产厂家、仪器使用说明书、出厂合格证、出厂日期、检验证书等资料;
- e) 与 GNSS 接收机相关的供电设施、通信设施的考证或资料说明。

10.2.2 在监测期间,GNSS 接收机、GNSS 天线、电缆、光缆等设备有变化或仪器损坏、失效、报废、停测、新增或扩建等,均应重新填制或相应的考证图表,并注明变更原因、内容、时间等有关情况备查。

10.3 监测资料整编

10.3.1 每天应按时检查 GNSS 接收机采集的监测数据的准确性、可靠性和完整性;如有异常,应及时解决,并记录相关情况。

10.3.2 资料定期整编应符合以下要求:

10.3.2.1 每月月初完成上月的资料整编,每年年末完成上一年年度的监测资料整编。

10.3.2.2 监测资料的收集工作包括以下主要内容:

- a) 第一次整编时应收集监测设施和仪器设备考证资料，并单独刊印成册。以后每年根据变动情况，及时加以补充及修正；
- b) 每年应对监测数据的采集有效率和 GNSS 观测数据质量进行统计，分析北斗、GPS 等不同类型导航定位系统的数据完整率、数据可用率以及多路径效应是否满足规范要求；
- c) 对历年 GNSS 监测数据、相关物理设计值和环境量进行相关分析，确定 GNSS 大坝监测变形的预警值。

10.3.2.3 应对整编时间段内的各项监测值按时序进行列表统计和校对。如发现可疑数据，应标注记号，并加注说明，不得随意删改。应校绘各监测值过程线图，绘制能反应各监测值时间和空间上的分布特征图以及与有关因素的相关图。

10.3.2.4 整编资料应完整、连续、准确，并符合以下要求：

- a) 整编资料的内容（包括监测项目、测次等）应齐全，各类图表的内容、规格、符号、单位以及标注方式和编排顺序应符合相关规定和要求。
- b) 监测资料整编的时间应与前次整编相衔接，监测部位、测点及坐标系统等历次有关规定和要求统一。
- c) 各监测物理量的计算和统计正确，相关图件准确、清晰。整编说明全面，资料分析结论、处理意见和建议等符合实际。

10.4 监测月报

10.4.1 监测系统运行期间，根据需要每月编制监测月报。

10.4.2 监测月报的内容包括：

- a) 监测工程概况
- b) 监测月报时限
- c) 监测内容和监测点布置情况；
- d) 当月监测系统运行情况简介；
- e) 当月监测结果及分析；
- f) 当月监测预警情况；
- g) 当月监测工作总结。

10.5 监测年报

10.5.1 监测系统运行期间，每年应编制监测年报。

10.5.2 监测年报的内容包括：

- a) 监测工程概况
- b) 监测年报时限；
- c) 监测内容和监测点布置情况；
- d) 年度内监测系统运行情况简介；
- e) 年度内监测结果及分析；
- f) 年度内监测预警情况；
- g) 大坝工作状态和存在问题的综合评价及其结论；
- h) 对下年度工程的安全管理、监测工作、运行调度以及安全防范措施等方面的建议。

10.6 监测预警

10.6.1 监测报警值宜根据大坝情况合理设置。

10.6.2 监测报警阈值可设置单次变形量、累计变形量、变形速率等指标。

10.6.3 变形超过预警值时，水库管理单位宜组织地质、水利、测绘方面的专家进行会诊，以便确定进一步的措施。

10.7 监测资料分析

10.7.1 监测资料分析分为初步分析和系统分析。

10.7.2 在对监测资料进行分析时，应对由于测量系统故障产生的异常值进行处理，以保证分析的有效性及可靠性。

10.7.3 GNSS 监测资料分析的方法有作图法、特征值统计法、数学模型法等。

11 监测系统运行维护

监测系统的运行维护工作包括数据维护、软件维护、硬件维护等方面，按发生时间分日常维护、定期维护、应急维护等。

11.1 运维系统建立

11.1.1 应建立专门的运维系统，组织专业人员成立专业的运维部门，为系统运行提供保障。

11.1.2 编写运维规范，明确人员分工、工作内容以及具体实施方法。

11.1.3 相关运维人员应定期组织培训，提高运维人员系统管理能力、故障排查能力以及问题解决能力。

11.2 数据维护

11.2.1 日常工作中应定时检查数据采集和存储状态。

11.2.2 应定期完成原始数据整理和备份工作，确保接收机、服务器有足够的空余存储空间。

11.2.3 监测成果数据、监测数据库应长期存储；原始数据备份存储时间不低于 3 年，有条件的情况下可长期存储。

11.3 软件维护

11.3.1 日常工作中应定期开展软件维护工作，从而延长系统使用寿命；

11.3.2 软件维护的主要工作有：

- a) 改正性维护：对程序使用期间发现的程序错误进行诊断和改正；
- b) 适应性维护：配合环境变化修改软件；
- c) 完善性维护：增加新功能或修改已有功能的软件维护；
- d) 预防性维护：改善未来的可维护性或可靠性的软件维护。

11.3.3 软件维护过程中应形成用户文档和系统文档。

11.4 设备维护

11.4.1 必须指定专人保管与维护仪器并由专业人员安装调试，注意设备防盗、防震、防潮、防晒与防尘处理。

11.4.2 仪器要存放于通风良好的固定位置，每月都要对仪器进行一次全面检验。

11.4.3 设备维护过程中，对设备运行情况做详细记录，包括数据质量、卫星搜索、设备温度、运行稳定性、供电情况、网络通讯情况等。

11.4.4 严禁擅自拆卸 GNSS 接收机主机及天线的各部件。如发生故障，应认真记录有关情况，并立即向有关管理人员与部门汇报。

11.4.5 对设备维护过程中遇到故障要作详细记录。

附录

附 录 A
(资料性附录)
GNSS 站点点之记

点名		编号	
纬度	N	站 位 略 图	
经度	E		
高程			
站址所在地			
供电系统			
通信系统			
地形地貌		地形地质构造略图	
站址岩性			
地质概要			
交通情况		交通路线图	

点位环视图		标石类型					
		实埋墩标剖面图					
		单位: mm					
有关点位环视图的必要说明:							
便于联测的水准点点名、点号、等级及联测里程:							
选 点 者	选 点 人			建 站 者	建 站 人		
	单 位				单 位		
	地 质 员				建站时间		
	单 位				委托保管人		
	选点时间				委托保管单位及详细地址:		
对埋石工作的建议:							
备 注							

附 录 B
(资料性附录)
GNSS 站点观测墩

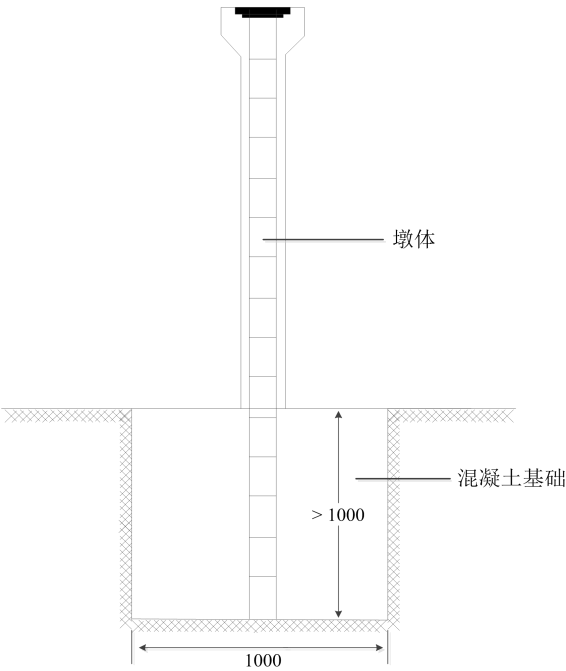


图 1 GNSS 站点观测墩样式

附 录 C
(资料性附录)
GNSS 站点安装埋设考证表

工程部位					测点编号		
桩号 (m)			坝轴距 (m)				
观测墩类型			观测墩尺寸				
观测墩结构图							
接收机型号			接收机编号				
天线型号			天线编号				
天线连接方式			天线高 (m)				
初始坐标	X (m)		Y (m)		Z (m)		
水准标志			水准点高程 (m)				
现场照片							

制表:

检查:

日期:

附 录 D
(资料性附录)
GNSS 仪器检验方法

1. 观测数据质量 (TEQC) 检验

选择最佳卫星通视观测环境, 观测场地周边不得有高度角大于 10° 的遮蔽物与多路径反射物。连续观测 24 小时, 截止高度角设置为零, 采样间隔 30 秒。采用预报星历做 TEQC 的检验。

仪器必须在 3 分钟内完全锁定所有可见卫星并能正常记录所有必须观测的数据; 接受卫星数量不少于 24 颗; 高度角在 10° 以上的观测量中应有大于 95% 的有效观测量; 测距观测质量 MP1 和 MP2 小于 0.5 m; 钟的日频稳定性不低于 1×10^{-8} , 对于个别情况, 在保证观测精度的前提下, 可适当放宽, 但不得低于 1×10^{-7} 。

2. 月报模板

XX 水库 GNSS 监测月报表

仪器型号		初始观测日期			年 月 日			解算时长			时		
测点位置	监测日期 测点编号	累计变形值 (mm)						本月变形值 (mm)			本月变形速率 (mm/d)		
		上月底 (20**年 3 月 31 日)			本月底 (20**年 4 月 30 日)								
		DX	DY	DZ	DX	DY	DZ	Δ DX	Δ DY	Δ DZ	dDX	dDY	dDZ
1 号纵断面	1L01												
	1L02												
	1L03												
	1L04												
2 号纵断面	2L01												
	2L02												
	2L03												
	2L04												
3 号纵断面	3L01												
	3L02												
	3L03												
	3L04												
监测说明 (监测内容分析和判断性结论)		X 方向: 本月变形最大值为: XX(点号: XX), 累计变形最大值为 XX (点号: XX); Y 方向: 本月变形最大值为: XX (点号: XX), 累计变形最大最为 XX (点号: XX); Z 方向: 本月变形最大值为: XX (点号: XX), 累计变形最大最为 XX (点号: XX)。											
备注:													

监测:

校对:

审核:

3. 月报附表

XX 水库 GNSS 监测 X 月累计变形量统计表（20XX 年 XX 月 01 日-20XX 年 XX 月 31 日）

测点位置		1 号纵断面									2 号纵断面									3 号纵断面								
监测次数	监测点号																											
	监测时间	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	DZ	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	**.																											
2	**.																											
3	**.																											
4	**.																											
5	**.																											
6	**.																											
7	**.																											

8	**.8																													
9	**.9																													
10	**.10																													
11	**.11																													
12	**.12																													
13	**.13																													
14	**.14																													
15	**.15																													
16	**.16																													
.....																														

监测：

校对：

审核：