

# 电力行业大坝安全监测标准化技术委员会

大坝标函〔2023〕413号

## 关于征求《水电工程卫星导航系统变形监测技术规范》（征求意见稿）意见的函

各有关单位及专家：

电力行业大坝安全监测标准化技术委员会组织国家能源局大坝安全监察中心等单位编制的《水电工程卫星导航系统变形监测技术规范》已完成征求意见稿，现公开征求意见，请审阅并提出具体修改意见和建议，于2023年12月30日前以信函或邮件方式反馈至国家能源局大坝安全监察中心。

《水电工程卫星导航系统变形监测技术规范》（征求意见稿）的全文可登录国家能源局大坝安全监察中心网站（<https://www.dam.nea.gov.cn>）的“中心通知”栏下载，或中国电力企业联合会网站（<https://dls.cec.org.cn/>）的“电力标准化-标准征求意见”栏下载。

联系人：韩荣荣

电话：0571-56626340，18757112198（微信同号）

邮箱：han\_rr@hdec.com

邮寄地址：浙江省杭州市余杭区高教路 201 号

邮 编：311122

- 附件：1. 电力行业标准征求意见表
2. 《水电工程卫星导航系统变形监测技术规范》  
（征求意见稿）
3. 《水电工程卫星导航系统变形监测技术规范》  
（征求意见稿）编制说明

电力行业大坝安全监测标准化技术委员会

2023 年 11 月 22 日

（主动公开）

附件 1

## 电力行业标准征求意见表

标准名称： 《水电工程卫星导航系统变形监测技术规范》

填表单位： \_\_\_\_\_

填表人： \_\_\_\_\_ 联系电话： \_\_\_\_\_ 电子邮箱： \_\_\_\_\_

序号	章节或页码	原条文内容	建议修改内容	修改理由
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
...				

填表日期： 2023 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日

注 1： 纸张不够请另附页；

注 2： 手写或打字均可。

附件 2

ICS 27.140

P 59

备案号

DL

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T ××××—202×

## 水电工程卫星导航系统变形监测技术规范

Technical code for deformation monitoring of satellite navigation of  
hydropower projects

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

国家能源局

发布

## 目 次

前 言.....	I
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 基本要求.....	3
5 卫星导航系统变形监测设计.....	3
5.1 一般规定.....	3
5.2 监测站和基准站布设.....	4
5.3 监测设备.....	5
5.4 系统通信.....	7
5.5 供电电源.....	8
5.6 系统防雷.....	8
5.7 监测信息管理系统.....	8
5.8 系统性能要求.....	9
6 安装调试.....	10
6.1 一般规定.....	10
6.2 设备安装.....	10
6.3 系统调试.....	10
6.4 试运行.....	10
7 验收与运行维护.....	12
7.1 一般规定.....	12
7.2 验收.....	12
7.3 运行维护.....	12
附录.....	14
附录 A（资料性）GNSS 测站实地测试结果记录表.....	14
附录 B（资料性）GNSS 测站查勘、建设记录表.....	15
附录 C（资料性）GNSS 站点观测墩结构图.....	16
附录 D（资料性）GNSS 站点安装埋设考证表.....	18
附录 E（资料性）平均无故障工作时间.....	19
附录 F（资料性）数据缺失率.....	20
附录 G（资料性）原位精度试验.....	21

## 前 言

本文件按照 GB/T1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由电力行业大坝安全监测标准化技术委员会（DL/TC32）归口。

本文件起草单位：……。

本文件主要起草人：……。

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 水电工程卫星导航系统变形监测技术规范

## 1 范围

本文件规定了水电工程卫星导航系统变形监测设计、设备安装调试、验收和运行维护的技术要求。

本文件适用于水电工程大坝、边坡、区域地表等的表面变形 GNSS 自动化监测。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 2423.17 电工电子产品基本环境试验规程试验 Ka:盐雾试验方法

GB 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GB/T 6107 使用串行二进制数据交换的数据终端设备和数据电路终接设备之间的接口

GB 7450 电子设备雷击保护导则

GB/T 22239 信息系统安全等级保护基本要求

GB/T 22240 信息系统安全等级保护定级指南

GB/T 22385 大坝安全监测系统验收规范

GB 50057 建筑物防雷设计规范

GB 50174 电子信息系统机房设计规范

GB 50343 建筑物电子信息系统防雷技术规范

GB 50348 安全防范工程技术标准

DL/T 1321 大坝安全监测数据库表结构及标识符标准

DL/T 5178 混凝土坝安全监测技术规范

DL/T 5211 大坝安全监测自动化技术规范

DL/T 5259 土石坝安全监测技术规范

DL/T 5796 水电工程边坡安全监测技术规范

NB/T 35029 水电工程测量规范

NB/T 35116 水电工程全球导航卫星系统(GNSS)测量规程

## 3 术语、定义和缩略语

### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1.1

#### **监测站 monitoring station**

安装卫星导航系统变形监测接收机和天线等设备，用于观测、传输卫星导航信号、进行数据质量和定位精度评估、前端解算及将数据传输给数据处理中心，由数据处理中心进行数据解算等处理的表面变形 GNSS 测点监测设施。

### 3.1.2

#### **基准站 ground-based station**

安装卫星导航系统变形监测接收机和天线等设备，具有基准坐标，用于长期连续观测、传输卫星导航信号，并将数据传输给监测站及数据处理中心，由数据处理中心进行数据解算、差分等处理的表面变形 GNSS 基准监测设施。

### 3.1.3

#### **原始观测数据 raw observation data**

接收机接收到导航卫星信号后所获取的载波相位、载噪比、导航电文、多普勒频移、伪距等数据。

### 3.1.4

#### **完整观测值 complete observation**

在某个历元（时刻）接收机对某颗卫星观测所得到的观测值（且观测值中伪距观测值和载波相位观测值均没有缺失），为应包含的所有观测值。

### 3.1.5

#### **周跳比 observations per slip**

在某时间段内规定时间间隔对所有可观测卫星观测，接收机观测数据中含完整观测值的历元数目与其中发生周跳历元数目的比值。

### 3.1.6

#### **观测数据完整率 observation data integrity rate**

在某时间段内规定时间间隔对所有可观测卫星观测，接收机观测数据中含完整观测值的历元数目与理论历元数目的比值。

### 3.1.7

#### **多路径影响 multi-path impact**

接收机天线接收到天线周围物体或地面反射的卫星信号，与直接接收的卫星信号叠加，引起天线相位中心位置的迁移，从而使观测量产生误差。高反射环境会显著增大影响误差量值，还会导致接收的卫星信号失锁，使载波相位观测量发生周跳。多路径影响是 GNSS 监测的重要误差来源之一。

## 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CGCS 2000: 国家大地坐标系（China Geodetic Coordinate System 2000）

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

BDS: 北斗卫星导航系统 (Beidou Navigation Satellite System)

GPS: 全球定位系统 (Global Positioning System)

GLONASS: 格洛纳斯(Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)

GALILEO: 伽利略导航卫星系统(Galileo Navigation Satellite System)

CORS: 连续运行参考站(Continuously Operating Reference Stations)

PDOP: 位置精度因子(Position Dilution of Precision)

UPS: 不间断电源 (Uninterruptible Power Supply)

USB: 通用串行总线(Universal Serial Bus)

LAN: 局域网(Local Area Network)

TCP/IP: 传输控制协议/因特网互联协议(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)

MTBF: 平均故障间隔时间(Mean Time between Failures)

MTTR: 平均修复时间(Mean Time to Repair)

FR: 数据缺失率 (Failure rate)

RINEX: 接收机自主数据交换格式(Receiver Independent Exchange Format)

RTCM: 海事无线电技术委员会(Radio Technical Commission for Maritime Services)

TNC: 终端节点控制器(Terminal Node Controller)

BNC: 同轴电缆连接器(Bayonet Nut Connector)

SMA: 超小 A 型接口(SubMiniature version A)

ID: 编号(Identity Document)

## 4 基本要求

- 4.1 GNSS 变形监测系统应纳入工程的安全监测系统统一规划设计、运行管理。
- 4.2 GNSS 变形监测系统应综合考虑布设目的、精度要求、卫星接收状况、接收机类型和数量、测区已有的资料、测区地形和交通状况以及作业效率等因素开展设计工作。
- 4.3 GNSS 变形监测系统应综合设计方案和现场情况开展设备安装埋设，安装后应进行系统调试。
- 4.4 GNSS 变形监测系统投运后应定期开展监测设备状态监控、巡检维护等工作。

## 5 卫星导航系统变形监测设计

### 5.1 一般规定

5.1.1 水电工程 GNSS 变形监测设计应搜集分析工程有关资料和现场踏勘，对基准站、典型监测站的卫星接收环境条件进行现场测试。

5.1.2 GNSS 变形监测设计应根据现场测试结果进行方案设计，可采用与自动全站仪等其他监测方法相结合的监测方式。设计方案确定后应编写设计报告。

**5.1.3** GNSS 变形监测可进行水电工程水平和垂直位移监测，宜采用连续自动监测作业模式，特殊情况下也可采用定期监测作业模式。

**注 1:** 连续自动监测作业模式，采用固定 GNSS 变形监测设备进行长时间的数据采集，获得变形数据的时间系列，其监测数据是长期且连续、而且具有较高的时间分辨率，可对所测数据进行分析 and 预测。

**注 2:** 定期监测作业模式，利用两台以上 GNSS 变形监测设备同步观测一段时间，其观测时段长度和时段个数可依据监测精度的要求而定，采用边连接方式构成监测网，用后处理软件进行数据处理与分析。通过计算两个观测周期之间监测点相对位置的变化来测定建筑物变形。

**5.1.4** GNSS 变形监测设备的选择应满足监测周期、监测内容与方法的要求，监测设备的精确度、稳定性和耐久性应满足要求，宜具有兼容性和可扩展性。

**5.1.5** GNSS 变形监测系统的通信、供电、防雷应耐用、可靠且适用工程监测的需要。

**5.1.6** GNSS 变形监测信息管理系统应具备数据采集、解算、分析、管理、预警等功能，能与相关系统进行信息交互。

**5.1.7** GNSS 变形监测设备及解算软件应具备独立对北斗导航卫星系统进行信号接收、数据处理和服务的能力。

**5.1.8** 基于 GNSS 的水电工程变形监测平差计算应在 CGCS 2000 坐标系下完成。监测成果宜能转换为工程所用的平面坐标系统。

**5.1.9** GNSS 变形监测精度应以监测站相对于基准站的位移中误差作为衡量指标，并以 2 倍中误差作为极限误差。GNSS 变形监测精度宜符合现行 DL/T 5178《混凝土坝安全监测技术规范》、DL/T5259《土石坝安全监测技术规范》、DL/T 5796《水电工程边坡安全监测技术规范》的相关要求。

**5.1.10** 采用 GNSS 进行监测控制网观测时，最大相邻网点边长 $\leq 3\text{km}$ ，宜采用连续自动监测作业模式，解算时长不宜小于 12h，静态整体网平差后，最弱边基线平面中误差宜 $\leq 3\text{mm}$ ，最弱边基线垂直中误差宜 $\leq 3\text{mm}$ ；最弱点位平面中误差宜 $\leq 2\text{mm}$ ，最弱点位垂直中误差宜 $\leq 3\text{mm}$ 。

**注 1:** 解算检核采用固定误差 $\leq 3\text{mm}$ ，比例误差 $\leq 1\text{mm/km}$ 。

**注 2:** GNSS 监测控制网平均边长 $> 3\text{km}$ 以上时，应进行专项论证。

## 5.2 监测站和基准站布设

**5.2.1** 监测站的点位选择应符合下列要求：

a) 表面变形监测点的布设应符合现行 DL/T 5178《混凝土坝安全监测技术规范》、DL/T5259《土石坝安全监测技术规范》、DL/T 5796《水电工程边坡安全监测技术规范》等的规定。

b) 各监测站宜分别进行连续 24h 以上的实地环境测试，高度角在  $15^\circ$  以上时段内数据可用率宜大于 85%，多路径影响宜小于 0.5m。测站实地测试结果记录表见附录 A。

**5.2.2** 基准站布局

a) 单个工程基准站的数量不宜少于 2 座。

b) 基准站应选在受变形区影响区域之外且相对稳定的位置。

c) 基准站离变形监测站点基线最长距离不宜超过 3km，基准站离变形监测站点基线最大高差不宜超过 200m。

d) 多基准站时,基准站间距离不宜小于基准站与监测站最远距离的 1/3,基准站间高差不宜大于基准站与监测站之间最大高差的 1/3。

### 5.2.3 基准站的点位选择应符合下列要求:

a) 基准站应便于 GNSS 设备的安装和操作,顶空视野开阔,视场内障碍物的高度角不应超过 15°。特殊困难地区,水平视角不超过 60°时,高度角可放宽至 25°。

b) 距高大建筑、水体等易产生多路径影响地物的距离应大于 100 m,距大面积水域等强烈反射卫星信号的物体不宜小于 50 m。

c) 远离电视台、电台、微波站等大功率无线电发射源,其距离不宜小于 200 m,避开高压线和微波无线电信号传输通道的距离不宜小于 50 m。

d) 各基准站宜分别进行连续 24h 以上的实地环境测试,高度角在 10°以上时段内数据可用率宜大于 85%,多路径影响宜小于 0.5 m,测站实地测试结果记录表见附录 A。

e) 基准站与监测站在观测时段内同时观测的有效卫星数应不少于 5 颗,位置精度因子(PDOP)应不大于 6。

### 5.2.4 GNSS 变形监测站和基准站的观测墩应符合下列要求:

a) 基准站和监测站均应埋设带强制固定装置的观测墩,确保顶部平整,其天线安置对中误差应不大于 0.2 mm。

b) 基准站观测墩基础应位于稳定地基。基准站观测墩结构见附录 C。

c) 监测站观测墩基础应与被监测对象牢固结合。

d) 基准站、监测站建造应同时为通信和供电线缆预埋保护硬质管道。

e) 基准站和监测站宜建立保护设施。

f) 观测墩高出地面应不少于 1.2 m,不高于 5 m。

### 5.2.5 基准站的稳定性校测应符合以下要求:

a) 可采用 GNSS 监测网、三角形网、专业 CORS 站/网、倒垂线等形式进行校测。校测精度应与 GNSS 变形监测系统精度要求相适应,能对基准站稳定性进行评价。

b) 有 3 个以上基准站的组成 GNSS 实时自组网,观测工作应按 NB/T 35116《水电工程全球导航卫星系统(GNSS)测量规程》的规定执行。

c) 采用三角形网对基准站进行检测时,控制网的建立和观测应按现行 NB/T 35029《水电工程测量规范》专用控制网测量相关要求执行。

## 5.3 监测设备

5.3.1 根据监测精度要求应选择耐用、可靠、适用的 GNSS 变形监测仪器设备,应具备双向通讯和远程控制功能,可动态调整监测频次。

### 5.3.2 GNSS 变形基准站设备要求

#### 5.3.2.1 基准站接收机性能应满足以下要求:

a) 仪器标称精度不低于表3中要求。

表3 基准站接收机测量精度要求

参数类型	技术指标	
测量精度	静态相对定位精度	水平: 2.5 mm+0.5 ppm 或 3 mm+0.1 ppm
		垂直: 5 mm+0.5 ppm
	动态相对定位精度	水平: 8 mm+1 ppm
		垂直: 15 mm+1 ppm
接收机内部噪声水平优于0.2 mm		

b) 应支持北斗三代卫星, 能接收BDS (B1I、B1C、B2I、B2a、B2b、B3I等), GPS (L1C/A、L1C、L2C、L2P、L5), GLONASS (L1、L2)、GALILEO (E1、E5a、E5b) 等四个系统的至少八个频点的十六种观测信号。

c) 采集到的原始观测数据应包含伪距、载波相位、多普勒、导航电文、载噪比等。

d) 至少具有不低于1 Hz采样数据的能力。

e) 应具有输出原始观测数据、导航定位数据、差分修正数据的能力。

f) 端口至少应具有天线接口1个 (TNC或SMA或BNC接口), 气象设备接口1个 (GB/T 6107串口), 电源接口1个 (形式不限定), 外接频标输入接口1个 (可配5 MHz或10 MHz的SMA或者TNC接口), USB接口1个 (形式不限定), LAN网口1个 (RJ 45等), 检测调试接口1个 (GB/T 6107串口)。

g) 内部数据存储能力不小于30天 (1 s采样间隔)。

h) 平均无故障工作时间 (MTBF) 不小于20000 h。

i) 数据格式支持RINEX、RTCM32原始数据及实时动态结果数据上传。

j) 接收机在非正常断电时, 应具有数据保存功能。

k) 工作环境应满足表4要求, 外壳防护等级应符合GB 4208规定的IP 67等级。

表4 设备工作环境条件要求

项目	室外	室内
防腐蚀	沿海、海岛地区应按 GB/T 2423.17 的方法进行盐雾试验, 不出现腐蚀现象	
工作温度	-45°C~+70°C	-30 °C~+ 55 °C
储存温度	-55°C~+85°C	-40°C~+65°C
相对湿度	≤95%	

5.3.2.2 基准站天线性能应满足以下要求:

a) 支持北斗三代卫星, 不低于四星八频。

b) 应配置扼流圈或抑径板。

c) 天线相位中心偏差应小于±1 mm。

d) 工作环境应满足表4要求, 外壳防护等级应符合GB 4208规定的IP 68等级, 并应安装天线保

护罩。

e) 相位中心改正模型应具有第三方有资质的独立测试机构认证的天线，并提供各卫星系统信号的相位中心改正模型。

f) 天线线缆应加装源射频线防雷装置。

5.3.2.3 根据需要可配置气象观测设备，技术指标应符合以下要求：

a) 可连续测定气压、温度、湿度气象元素。

b) 气压测量范围500 hpa~1100 hpa，测定精度±0.1 hpa；温度测量范围-45 °C~70 °C，测定精度±0.2 °C；湿度测量范围0% RH~100% RH，测定精度±1% RH。

c) 可设置采样间隔。

d) 具备数据通信接口，可进行实时或定时数据传输。

### 5.3.3 监测站设备要求

5.3.3.1 监测站接收机性能应满足以下要求：

a) 监测站接收机的标称精度宜同5.3.2.1。

b) 支持北斗三代卫星，宜采用多频GNSS接收机，并应具备同时跟踪至少12颗GNSS卫星的能力。

c) 至少具有1Hz数据采样的能力。

d) 端口至少应具有天线接口1个（TNC或SMA或BNC接口），USB接口1个（形式不限定）、LAN网口1个（RJ 45等）、检测调试接口1个（GB/T 6107 串口）。

e) 内部数据存储能力不小于1天（1 Hz采样间隔）。

f) 平均无故障工作时间（MTBF）不小于10000 h。

g) 数据格式支持RINEX、RTCM32原始数据及实时动态结果数据上传。

h) 应能在温度-40 °C~+60 °C的环境中长期正常工作，外壳防护等级满足IP 67要求。

5.3.3.2 监测站天线的性能指标应符合下列规定：

a) 支持北斗三代卫星，不低于四星八频。

b) 宜配置扼流圈或抑径板。

c) 天线相位中心偏差应小于±2 mm；

d) 天线线缆应加装有源射频线防雷装置。

e) 应能在温度-40 °C~+60 °C的环境中长期正常工作，并应安装天线保护罩，外壳防护等级满足IP 67要求。

## 5.4 系统通信

5.4.1 系统通信宜采用TCP / IP作为数据通信协议。

5.4.2 通信方式的选择应根据基准站与管理中心站，以及监测站与管理中心站的距离、传输介质通过的环境条件等确定，采取有线传输或无线传输方式。

**5.4.3** 有线通信传输介质可根据需要及现场条件，选择光缆、五类及以上网络线缆等。无线通信可采用蜂窝物联网数据传输、窄带自组网数据传输、宽带自组网数据传输、卫星数据传输等方式。交换机应采用工业级交换机，支持网络拓扑管理、端口管理和远程程序升级。

**5.4.4** 管理中心站到用户的实时通信方式宜建设北斗短报文应急通信系统，可采用移动通信方式或地面网络与卫星通信相结合的双模通讯方式。

## **5.5 供电电源**

**5.5.1** 基准站和监测站供电可根据实际情况采用市电、太阳能、风电、风光互补等供电方式。采用非市电供电的仪器设备，配套的蓄电池容量必须保证监测设备在无日照条件下至少能连续工作30天，在久雾久雨及日照率小于30%的地区应适当增大容量。太阳能电池板功率应与蓄电池容量匹配。

**5.5.2** 管理中心站供电系统应采用市电供电，电压为 $220\pm 10\%$  V交流电，应配备不间断电源（UPS），额定功率下可连续工作24 h。

## **5.6 系统防雷**

**5.6.1** 系统防雷宜参照GB 50343《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。

**5.6.2** 室外直击雷的防护宜结合工程的防雷和接地系统进行布置。直击雷防护应设置避雷针，避雷针针尖高度应高过GNSS接收天线。各基准站和监测站宜与工程接地网相连，无接地网可用时应单独设置接地装置，接地电阻小于 $10\ \Omega$ 。

**5.6.3** GNSS设备的感应避雷防护，应设置天线馈线和通信线的浪涌保护器。天线馈线应采用低损耗的射频电缆，保护器必须接地良好，接地电阻小于 $10\ \Omega$ 。

**5.6.4** 监测管理中心站接地电阻不宜大于 $4\ \Omega$ 。

## **5.7 监测信息管理系统**

**5.7.1** GNSS变形监测信息管理系统运行的监测管理中心站宜结合大坝安全监测自动化系统统一规划和设计，应在监测管理中心站配置单独的运行服务器、系统软件、通信设备、电源供电设备、雷电防护设备和专用机柜等。

**5.7.2** 系统本地部署的运行服务器应选择符合工业标准的计算机。应具备RJ 45、USB等类型的数据通信接口，其中RJ 45端口不少于2个，USB端口不少于2个。计算机至少应具备连续存储1年采样率为1Hz的观测数据的能力。

**5.7.3** 服务器信息需要和生产控制大区进行信息交换时，必须设置经国家指定部门检测认证的电力专用单向安全隔离装置。

**5.7.4** GNSS变形监测信息管理系统软件应包括数据采集、数据解算及数据后处理分析预警软件，系统数据库表结构及标识符应按照现行行业标准DL/T 1321《大坝安全监测数据库表结构及标识符标准》的要求执行。

**5.7.5** 数据采集软件要求如下：

- a) 应具备接入各种GNSS接收机的能力。

- b) 应具备对监测站、基准站接收机远程管理的功能。
- c) 应能采集原始卫星信号载波相位、载噪比、导航电文、多普勒频移、伪距等数据。
- d) 应可以通过图形、图表等可视化的形式实时、动态地显示现场接收设备的工作状态、报警信息以及各项参数指标。
- e) 可实时显示接收机的卫星信号跟踪状况，应可以通过图形、图表等可视化的形式实时展示如星空图、信噪比、钟差等。
- f) 宜具备自诊断设备故障报警、通讯故障报警、断电记录等的功能。
- g) 应具备原始采集数据的自动保存功能，宜支持精密星历自动下载。

#### 5.7.6 数据解算软件要求如下：

- a) 应支持北斗独立解算。
- b) 应支持动态 GNSS 实时解算与静态数据自动后处理，可自定义静态解算时段长度，支持高度角配置。
- c) 宜能够进行无约束平差、约束平差，分析各网点的稳定情况，能自动剔除故障站点并重新组网解算。
- d) 应具备解算结果的自动保存功能。
- e) 应支持历史数据重复解算。
- f) 应支持结果展示和输出，解算结果包括监测点 ID、解算时间、解算状态、解算时长、历元数量、三维坐标等信息。
- g) 应开放数据端口，具有数据推送功能。

#### 5.7.7 数据后处理分析预警软件要求如下：

- a) 应具备坐标转换功能，可实现 CGCS 2000 坐标与工程独立坐标的转换。
- b) 应具备数据检索查询功能，可生成数据统计报表以及过程线图。
- c) 宜具备接入水情、气象数据的接口。
- d) 应具备第三方软件接口，可实现远程管理。

5.7.8 GNSS 变形监测信息管理系统应符合 GB/T 22240《信息系统安全等级保护定级指南》、GB/T 22239《信息系统安全等级保护基本要求》等的要求。

### 5.8 系统性能要求

GNSS 变形监测系统的主要性能应符合下列要求：

- a) 系统运行方式应能支持 24 h 不间断运行；
- b) 系统平均无故障工作时间 (MTBF) 应大于 6300 h，平均无故障时间计算方法见附录 E；
- c) 位移成果数据缺失率 FR 应不大于 3%，数据缺失率计算方法见附录 F；
- d) 监测站接收机通信网络数据传输率应大于 64 kbit/s，通信误码率应小于  $10^{-8}$ ，通信延时应小于 500 ms，可用性应大于 95%；
- e) 系统应具有完备的信息安全保障体系，包括硬件和软件的安全防护。

## 6 安装调试

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 GNSS变形监测设备出厂前应经过专业检测、检定并合格方能使用。
- 6.1.2 GNSS变形监测设备安装前应进行检查测试。
- 6.1.3 卫星导航监测系统中主、辅设备安装调试完成后，应进行系统整体调试、性能测试。

### 6.2 设备安装

- 6.2.1 表面变形监测的观测墩墩顶强制对中底盘安装倾斜度应不大于4'。
- 6.2.2 接收机和天线的检查测试内容应包括型号、外壳，自测试及卫星信号接收情况等。
- 6.2.3 供电电源的检查测试内容应包括供电电压检测、电池容量检验、供电设备及配套设施完备性。
- 6.2.4 分体式接收机宜安装在IP 65防护等级及以上的保护箱内，箱内线缆应规整排列、绑扎紧固。
- 6.2.5 天线必须固紧于观测墩的强制对中底盘上，天线定向指北标志与磁北方向差异应小于5°。
- 6.2.6 供电设备安装应依据GB 50174敷设安装。蓄电池宜结合接收机安装或安装在地埋箱内。
- 6.2.7 直击雷的防雷设施安装宜参照GB 50343《建筑物电子信息系统防雷技术规范》的规定执行。感应雷的防雷设施安装应依据GB 50057和GB 7450的要求执行。
- 6.2.8 室内通讯设备宜远离接收机，并进行测试误码率和延迟等测试。
- 6.2.9 线缆敷设及接续连接宜按照现行国家标准《安全防范工程技术标准》GB 50348的有关线缆敷设的工程施工技术要求执行。

### 6.3 系统调试

- 6.3.1 系统调试前应对监测设备设施进行通电、通信检查。
- 6.3.2 GNSS接收机调试包括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运行参数设定，GNSS观测数据完整率、多路径影响等方面满足5.3相关技术要求。
- 6.3.3 网络通信调试包括接收机、交换机、服务器等设备IP地址的设置、远程管理功能测试等。数据网络通信延迟、通信数据丢包率及网络安全满足5.8相关技术要求。
- 6.3.4 软件调试包括卫星高度角、数据采样间隔、解算时段长度及成果输出间隔等参数的设定。数据采集功能应满足5.7.5的要求，解算功能应满足5.7.6的要求，数据后处理分析预警功能应满足5.7.7的要求。
- 6.3.5 系统试运行前，应对所有站点进行不低于3天的数据连续接收测试，并对接收数据进行多种时段长度解算和精度测算，系统24h时长解算每日产出监测点三维变形量的监测精度应满足5.1的要求。

### 6.4 试运行

- 6.4.1 试运行期为一年。
- 6.4.2 试运行期间应选择具有代表性的监测站，开展外部模拟位移比测和采用其他观测手段验证系

统监测精度。

**6.4.3** 试运行期间定期对 GNSS 监测设施进行巡视检查，汛前、震后等特殊工况下应及时开展巡视检查。

**6.4.4** 试运行期间应生成系统运行日志，关注卫星信号接收、数据质量、设备完好性。

**6.4.5** 系统试运行期间应对原始观测数据质量进行统计，包括观测数据完整率、数据可用率以及多路径影响等。监测成果宜结合同部位或周边的其他变形监测项目的监测数据进行初步分析。

**6.4.6** 系统试运行期间性能指标应满足 5.8 的要求。

## 7 验收与运行维护

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 系统验收应在 GNSS 变形监测系统分部分项工程验收基础上开展，分部分项工程验收应符合 GB/T 22385《大坝安全监测系统验收规范》的要求。

**7.1.2** 系统验收包括 GNSS 变形监测系统的功能性、稳定性、可靠性、安全性等考核内容。

**7.1.3** 运行维护应包括 GNSS 变形监测系统的设备设施、系统软件及监测数据等内容。

### 7.2 验收

**7.2.1** 系统试运行一年合格且有完整的运行记录，可进行验收。

**7.2.2** 系统验收宜包括基准站、监测站设备设施检查，系统软硬件功能、性能检查与测试，相关资料审查等。资料包括 GNSS 监测系统设计报告、GNSS 监测系统安装调试报告、GNSS 监测系统试运行总结报告、GNSS 监测系统工程监理报告、GNSS 监测系统建设管理报告，以及软硬件设备清单、系统软硬件使用说明书等。

**7.2.3** 系统验收应经过现场检查、测试、考核，GNSS 监测自动化软硬件功能和性能各项技术指标达到要求，系统可进入正式运行。

- a) 系统功能性应满足本文件 5.7 的要求；
- b) 系统稳定性应满足本文件 5.8 d) 的要求；
- c) 系统可靠性应满足本文件 5.8 a)、b)、c) 的要求；
- d) 系统安全性应满足本文件 5.8 e) 的要求。
- e) 系统验收前宜进行原位精度检验，包括短期精度检验和长期精度检验，检验方法见附录 G。

### 7.3 运行维护

**7.3.1 系统硬件的运行维护应满足下列要求：**

- a) 数据采集模块应进行日常运行检查，检查内容包括 GNSS 采集模块通讯、时钟和采集周期、数据采集情况、数据信息分析等。
- b) 监测设备故障应根据故障自诊断程序确定，并及时更换故障部件恢复系统运行。
- c) 定期进行现场巡视检查，查看监测设备状态、电源电压、电线电缆和设备工作环境变化情况。
- d) 通讯故障应检查软硬件设置、线缆连接、通讯干扰、网络信号等。
- e) 基准站和监测站的防雷接地电阻宜定期检测。
- f) 监测数据发生异常、规律发生改变或定期测试数据异常时，应分析原因，对设备进行检查维护或检验标定。
- g) 主要硬件设备或易损件应有足量的备品备件，满足平均维修时间小于 24h。

**7.3.2 系统软件的运行维护应满足下列要求：**

- a) 系统软件应定期进行测试验证，内容包括数据采集、存储、处理、分析及信息管理和软件安全性等。
- b) 系统升级或系统功能完善后，应在服务器上进行更新。软件维护过程中应形成运行日志。

**7.3.3 监测数据的运行维护应满足下列要求：**

- a) 日常工作中应定期检查数据采集和存储状态，对异常测值应及时分析处理并做好记录。
- b) 定期应完成原始数据整理和备份工作，监测成果应全部入库保存且 3 个月作一次备份。
- c) 原始数据备份存储时间宜长期存储，监测成果应永久存储。

## 附录

附录 A  
(资料性)

## GNSS 测站实地测试结果记录表

表 A.1 GNSS 站点实地测试结果记录表

站名	
测试人员	
基准站接收机	
基准站接收天线	
观测文件名称	
起止观测日期和时间	
多路径影响 m	
周跳比	
观测数据完整率 %	
<p>注：站点实地测试结果表按以下要求填写：</p> <p>a) “基准站接收机”填写基准站接收机型号和生产批号；</p> <p>b) “基准站接收机天线”填写基准站接收机天线型号和生产批号；</p> <p>c) “观测文件名称”填写站名/代码、日期和时间；</p> <p>d) “多路径影响”、“周跳比”、“观测数据完整率”填写数值。</p>	

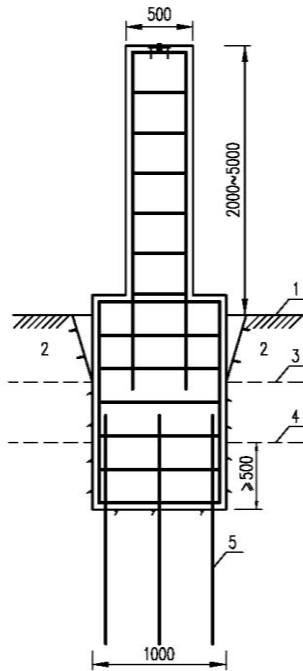
附录 B  
(资料性)  
GNSS 测站查勘、建设记录表

表 B.1 GNSS 基准站查勘、建设记录表

点名			编号	网类别		
纬度	N		站 位 略 图			
经度	E					
高程	H					
站址所在地						
供电系统						
通信系统			地形地质构造略图			
地形地貌						
站址岩性			概 地 要 质			
概 地 要 质						
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			
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	
	选点时间					
对观测墩工作的建议:				委托保管单位及详细地址:		
备 注						

附录 C  
(资料性)  
GNSS 站点观测墩结构图

单位为毫米



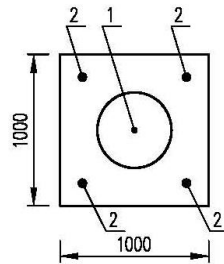
标引序号说明:

- 1—地面线
- 2—土层
- 3—基岩面
- 4—完整基岩面
- 5— $\phi 20\text{mm}$ 锚筋

观测墩宜采用C25及以上混凝土浇筑，锚筋入岩深度不应小于1000mm。

图 C.1 GNSS 连续运行监测系统基准站基岩观测墩

单位为毫米

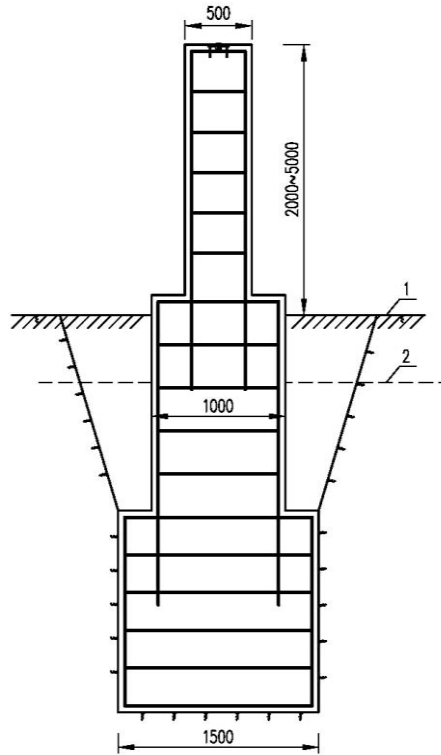


标引序号说明:

- 1—强制对中装置
- 2—水准标志

图 C.2 GNSS 连续运行监测系统基准站基岩观测墩平面图

单位为毫米



标引序号说明:

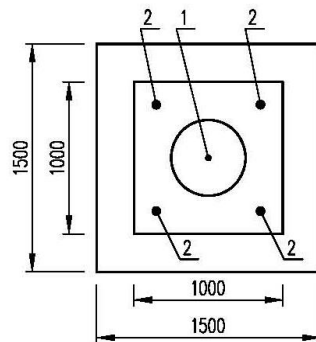
1—地面线

2—最大冻土线

观测墩宜采用C25及以上混凝土浇筑，观测墩重心应位于冻土线以下不小于500mm。

图 C.3 GNSS 连续运行监测系统基准站土层观测墩

单位为毫米



标引序号说明:

1—强制对中装置

2—水准标志

图 C.4 GNSS 连续运行监测系统基准站土层观测墩平面图

附录 D  
(资料性)  
GNSS 站点安装埋设考证表

表 D.1 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 E  
(资料性)  
平均无故障工作时间

**E.1** 系统可靠性可用平均无故障工作时间来考核。平均无故障工作时间 (MTBF) 是指两次相邻故障间的正常工作时间 (短时间可恢复的不计)。

**E.2** 故障定义: 数据采集单元不能正常工作, 造成所控制的单个或多个测点测值异常或停测, 称为采集单元发生故障。

**E.3** 在一年考核期内, 平均无故障时间可按下式计算:

$$MTBF = \left( \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{1+r_i} \right) / n \quad (\text{E.1})$$

式中:  $t_i$ ——考核期内, 第  $i$  个测点或采集单元的正常工作时数;

$r_i$  ——考核期内, 第  $i$  个测点或采集单元出现的故障次数;

$n$  ——系统内测点或数据采集单元总数。

附录 F  
(资料性)  
数据缺失率

数据缺失率 (FR) 是指在考核期内未能测得的有效数据个数与应测得的数据个数之比。错误测值或超过一定误差范围的测值均属无效数据。对于因监测仪器损坏且无法修复或更换而造成的数据缺失, 以及系统受到不可抗力及非系统本身原因造成的数据缺失, 不计入应测数据个数。统计时段长度可根据大坝实际监测需要取 1 天、2 天或 1 周, 最长不得大于 1 周。数据缺失率 FR 按下式计算:

$$FR = \frac{NF_i}{NM_i} \times 100\% \quad (F.1)$$

式中:  $NF_i$  ——缺失数据个数;

$NM_i$  ——应测得的数据个数。

附录 G  
(资料性)  
原位精度试验

G.1 短期精度检验应选择观测条件不同的有代表性的监测站，在监测站稳定不动或建筑物运行条件稳定的时段进行检验。短期精度检验应进行给定位移实测精度检验。系统实测数据与同时同条件人工给定位移偏差 $\Delta \delta$ 保持基本稳定，无趋势性漂移。与人工比测数据对比结果 $\leq 2\Delta \delta$ 。

G.2 垂直位移的长期精度检验宜采用满足观测精度的精密水准法、三角高程法等进行比测。

G.3 水平位移的长期精度检验宜采用全站仪测量、垂线测量、视准线测量、引张线等适当的常规手段进行比测。

附件 3

中华人民共和国电力行业标准  
水电工程卫星导航系统变形监测技术规范  
(征求意见稿)

编制说明

国家能源局大坝安全监察中心  
中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司  
中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司  
中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司  
中国三峡建工(集团)有限公司  
国家电投集团青海黄河电力技术有限责任公司  
浙江华东测绘与工程安全技术有限公司

2023 年 11 月

# 目 录

1	任务来源.....	1
2	编制依据.....	1
3	编制单位及编制组成员.....	1
4	制订过程.....	2
5	编制目的和原则.....	3
6	标准主要内容.....	3
7	重要内容和解释说明.....	4
8	主要试验验证情况和预期达到的效果.....	4
9	与现行法律、法规、政策及相关标准的协调性.....	5
10	贯彻标准的要求和措施建议.....	5
11	代替或废止现行标准的建议.....	5
12	标准实施后的经济效益和社会效益.....	5

## 1 任务来源

本标准是根据《国家能源局综合司关于下达 2022 年能源领域行业标准制修订计划及外文版翻译计划的通知》（国能综通科技〔2022〕299 号）的要求制订的。

## 2 编制依据

编制程序依据是国家能源局关于印发《能源标准化管理办法》及实施细则的通知（国能发科技〔2019〕38 号）。编制格式依据是《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T1.1-2020）。

## 3 编制单位及编制组成员

本标准由国家能源局大坝安全监察中心主编，参编单位 6 家，分别为：中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司、中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司、中国三峡建工（集团）有限公司、国家电投集团青海黄河电力技术有限责任公司、浙江华东测绘与工程安全技术有限公司。编制单位及编制组成员见表 1。

表 1 编制单位及编制组成员

编制单位		编制组成员	职称
主编单位	国家能源局大坝安全监察中心	黄 维	正高
		周建波	正高
		郑晓红	正高
		韩荣荣	高工
		陈 锴	高工
		赵 程	高工
参编单位	中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司	王玉洁	正高
		张 猛	高工
		季 昀	高工
		尚剑涛	高工
	中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司	王永晖	正高
		翟明成	正高
		刘绍英	正高
	中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司	华博深	副高
		赵 亮	工程师
	中国三峡建工（集团）有限公司	於三大	正高
		权录年	正高
		杜泽东	工程师
	国家电投集团青海黄河电力技术有限责任公司	武志刚	正高
		张 治	高工
	浙江华东测绘与工程安全技术有限公司	刘 强	正高
		马向阳	正高

#### 4 制订过程

本标准主要制订工作过程如下：

2022 年 11 月，国家能源局发布《国家能源局综合司关于下达 2022 年能源领域行业标准制（修）订计划及英文版翻译出版计划的通知》（国能综通科技〔2022〕299 号）》，

正式将《水电工程卫星导航系统变形监测技术规范》列入 2022 年能源领域行业标准制（修）订计划。

2023 年 1 月，国家能源局大坝安全监察中心开展前期准备和资料收集工作。

2023 年 2 月，国家能源局大坝安全监察中心会同各参编单位成立标准编制小组，制定编制工作大纲（初稿）。

2023 年 3 月 13 日，召开编制组第一次会议，讨论通过了规范编制工作大纲及分工。

2023 年 3 月～2023 年 7 月，根据工作大纲，各参编单位进行标准相应章节的编写工作和调研工作，于 2023 年 8 月汇总完成《水电工程卫星导航系统变形监测技术规范》初稿和调研报告。

2023 年 9 月 11 日～15 日，召开编制组第二会议，对《水电工程卫星导航系统变形监测技术规范》（初稿）进行讨论。

2023 年 10 月～11 月，按照第二次会议要求，进一步对标准进行完善，形成征求意见稿。

## 5 编制目的和原则

为规范水电水利工程建筑物导航卫星系统的应用，指导导航卫星系统变形监测的方案设计、安装调试、验收以及后期运行维护，特制定本规范。本标准为推荐性标准，是我国电力行业标准化建设中的基础性标准之一。

导航卫星系统变形监测在水工建筑物安全监测方面应用较为广泛，相应的监测设计、施工和运行维护等也积累了丰富的经验，但尚未形式明确的标准文件来规范其应用。为做好工程经验总结和设计成果的推广应用，提升水电水利工程导航卫星系统变形监测技术应用的设计合理性、建设质量和运行可靠性，因此制定本标准是非常有必要的。

本标准制订原则是广泛收集资料、深入调研、全面总结当前电力行业水电工程卫星导航系统变形监测技术应用的实践经验基础上，整理归纳形成的成果总结，规范具有较强的实用性和可操作性。

## 6 标准主要内容

本标准适用范围：水电工程卫星导航系统变形监测设计、设备安装调试、验收和运行维护的技术要求。按照《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求，主要内容共 7 章和 7 个附录，包括：

- 1 范围
- 2 规范性引用文件
- 3 术语、定义和缩略语
- 4 基本要求
- 5 卫星导航系统变形监测设计
- 6 安装调试
- 7 验收与运行维护

附录 A GNSS 测站实地测试结果记录表

附录 B GNSS 测站查勘、建设记录表

附录 C GNSS 站点观测墩结构图

附录 D GNSS 站点安装埋设考证表

附录 E 平均无故障工作时间

附录 F 数据缺失率

附录 G 精度试验

## 7 重要内容和解释说明

目前行业内导航卫星系统现有的规范多与工程控制测量相关，工程控制测量技术路线与工程安全监测又有一定的差异，因此没有完全针对卫星定位系统开展工程安全监测的相关规范。

本文件涵盖水电工程大坝、地面厂房及其它水工建筑物、自然及工程边坡、库区滑坡体及变形体，以及工程区域地表等部位卫星导航系统变形监测工作，主要内容包括卫星导航系统变形监测系统设计、设备选型和性能、数据采集、解算和分析系统、安装及测试要求、验收及运行维护等技术要求。特别针对卫星导航系统高精定位变形监测技术的查勘测试选点原则、多基点局域组网平差、与其他手段表面变形手段联合应用等方面提出了标准，对于促进水电工程安全监测领域的基于全球卫星导航系统技术的应用提供了依据。

## 8 主要试验验证情况和预期达到的效果

本标准未开展相关试验验证。

## 9 与现行法律、法规、政策及相关标准的协调性

本标准完全满足现行法律、法规、政策的要求与规定，格式符合标准规范。

## 10 贯彻标准的要求和措施建议

本标准为您推荐性标准，发布后建议在电力全行业内宣贯和培训。

## 11 代替或废止现行标准的建议

本标准为首次制定的标准。

## 12 标准实施后的经济效益和社会效益

本标准颁布实施后，规范卫星导航系统变形监测技术在水电工程的设计、施工及运行管理，为电力行业提供统一的通用技术要求，引领行业提升卫星导航系统变形监测技术的使用标准化，促进卫星导航系统高精定位技术在水电监测工程中的应用，全面提升水电工程 GNSS 监测技术水平。