ICS 93.160

|  |
| --- |
| CCS P 13 |

基于预埋柔性管道测量的

土石坝内部变形监测技术规范

Technical specification for internal deformation monitoring of earth-rock dam based on embedded flexible pipeline measurement

（征求意见稿）

|  |
| --- |
|  |
|  |

2023 - XX - XX发布

2023 - XX - XX实施

**深圳市深圳标准促进会** 发布

**团体标准**

T/SZS XXXX—2023

目 次

[前 言 II](#_Toc24276)

[引 言 III](#_Toc12172)

[1 范围 1](#_Toc4716)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc15460)

[3 术语和定义 1](#_Toc4522)

[4 缩略语 3](#_Toc30589)

[5 基本要求 3](#_Toc14209)

[6 监测管道部署 3](#_Toc31659)

[7 准备工作 4](#_Toc22655)

[8 数据获取 5](#_Toc25660)

[9 数据处理 5](#_Toc16327)

[10 成果质量检查 6](#_Toc16534)

[11 成果整理与上交 7](#_Toc5322)

[附录A（规范性） 管道测量机器人元数据 8](#_Toc8570)

[附录B（规范性） 柔性监测管道垂直沉降量记录 9](#_Toc30711)

[附录C（规范性） 柔性监测管道水平位移量记录 10](#_Toc30084)

[附录D（规范性） 柔性监测管道挠曲变形量记录 11](#_Toc21946)

[参考文献 12](#_Toc22193)

前 言

本文件按照GB/T 1.1—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。

本文件由深圳大学提出。

本文件由深圳市深圳标准促进会归口。

本文件起草单位：深圳大学、深圳市智源空间创新科技有限公司、深圳市环境水务集团有限公司、深圳市原水有限公司、长江设计集团有限公司、广东省水利电力勘测设计研究院有限公司、深圳市水务规划设计院股份有限公司、新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司、深圳市标准技术研究院。

本文件主要起草人：。

引 言

内部变形是土石坝安全监测的重要指标，主要包括垂直位移和水平位移。目前国内土石坝内部变形监测仍以水管式沉降仪和引张线式水平位移计等传统点式监测方法为主。传统点式监测方式离散布设，无法连续监测土石坝内部的不均匀变形情况，难以精细反映坝体内部不均匀变形情况。此外，对于大型土石坝内部变形监测，监测路线长度大大增加，传统引张线式水平位移计、水管式沉降仪等技术存在性能极限，存在测量误差大、传感器死亡率高等问题，从而导致后期监测数据缺失，不能满足土石坝长期可靠变形监测需求。

通过测量土石坝内部埋设管道变形推算坝体内部变形是一种新型的土石坝变形监测技术。内部管道在形成测量通道的同时与土石坝同步变形，通过测量管道的多期线形，可监测管道在水平和垂直方向的空间连续位移变化，具有部署安装容易、连续性好、测量精度高、可靠性强的特点。该技术可满足全生命周期的土石坝内部变形监测需求，是一种具有巨大潜力和推广价值的新型内部变形监测技术。利用埋设管道监测土石坝内部变形技术涉及测量系统、安装部署、数据采集作业、数据处理方法等多个环节，但目前尚未有基于预埋柔性管道连续测量的土石坝内部变形监测相关的技术规范。

本文件面向土石坝内部变形监测需求，在分析现有技术的基础上，结合国内外土石坝内部变形监测技术发展的水平和特点，对基于预埋柔性管道测量的土石坝内部变形监测作业提出规范化的技术要求，有助于推广该新型土石坝内部变形监测技术。

基于预埋柔性管道测量的土石坝内部变形监测技术规范

1 范围

本文件规定了基于预埋柔性管道测量的土石坝内部变形监测的基本要求、系统部署、准备工作、数据获取、数据处理、成果质量检查和成果整理与提交。

本文件适用于基于预埋柔性管道测量的土石坝（心墙土石坝、面板土石坝）内部变形（垂直沉降、水平位移、面板挠度）监测的测量作业。

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 19710-2005地理信息 元数据

GB/T 24356-2009测绘成果质量检查与验收

SL 551 土石坝安全监测技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

土石坝 rockfill dam

一种以土石料为主体并辅以防渗结构构建而成的大坝类型。

3.2

变形 deformation

因载荷作用引起结构形状或尺寸的改变为变形，结构任意一点的变形表现为位移。

3.3

管道测量机器人 pipeline measuring robot

用于管道线形测量的测量仪器。集成有惯导、里程计等多种传感器。

3.4

管道线形 pipeline

管截面中心线。

3.5

导航坐标系 navigation frame

一般以地理坐标系作为导航坐标系，即地心地固坐标系。

3.6

惯性坐标系 inertial frame

即地心惯性坐标系，为原点在地心的直角坐标系，z轴为地球自转轴，x、y轴在赤道平面内相互垂直。

3.7

载体坐标系 body frame

以载体质心为原点的右手直角坐标系。

3.8

惯性测量单元 inertial measurement unit

一般包含一个三轴加速度计和一个三轴陀螺仪，加速度计测量物体在载体坐标中的加速度信号，而陀螺仪测量载体的角速度信号，通过牛顿运动定律解算出物体的姿态、位置和速度。

3.9

里程计 distance measurement instrument

测量车轮速度或行走里程的传感器，可以是光电编码器或霍尔传感器等。

3.10

控制点 control point

用于约束管道线形测量的已知坐标点。

3.11

水平位移 horizontal displacement

垂直于坝轴线的水平面上位移。

3.12

垂直沉降 vertical settlement

垂直于水平面的位移。

3.13

挠度 deflection

垂直于构件轴线方向的位移。

3.14

中误差 mean square error

即均方误差，衡量观测精度的一种数值标准。

3.15

相对精度 relative accuracy

中误差与观测值之比。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

DMI：里程仪（Distance measurement instrument）

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

IMU：惯性测量单元（Inertial measurement unit）

RTK：实时动态（Real-time kinematic）

WGS84：世界坐标系1984（World Geodetic System 1984）

5 基本要求

5.1 一般要求

基于预埋柔性管道的土石坝内部变形测量方法应符合以下要求：

1. 该测量方法采用的管道测量机器人及其辅助设备应在计量检定或校准的有效期内使用，并处于正常工作状态；
2. 选用的柔性监测管道的管径、壁厚以及热熔套管等参数应满足设计要求；
3. 监测沟槽的开挖以及监测管道安装、回填应严格遵照施工要求进行；
4. 日常监测工作流程应包括准备工作、数据获取、数据处理、质量控制和成果整理与提交。

5.2 时间基准

日期应采用公元纪年，时间应采用北京时间。

5.3 空间基准

5.3.1 平面坐标系统应采用WGS84坐标系，如采用其他平面坐标系统，应与WGS84建立联系。

5.3.2 高程基准应采用1985国家高程基准，如采用其他高程基准，应与1985国家高程基准建立联系。

5.4 元数据

管道测量系统的元数据应符合GB/T 19710-2005中6.1的规定，管道测量机器人元数据应符合附录A。

5.5 测量日志与监测成果

测量日志包含了内部变形测量结果以及时间、地点、观测员等日志信息，其中水平位移监测成果应包含但不限于附录B，垂直沉降监测成果应包含但不限于附录C，挠度监测成果应包含但不限于附录D。

5.6 平面精度

水平位置重复精度应以相对精度进行评价。

5.7 高程精度

高程重复精度应以相对精度进行评价。

6 监测管道部署

6.1 总体要求

监测管道的部署应依据坝型、坝高、坝体横断面等因素全面考虑，若需安装其他类型的监测设备，则需与用户充分沟通，综合考虑优化施工方案。

6.2 布设方案

监测管道的布设应采用水平分层布设，一般采用U形或弧形布设，监测管道两端分别延伸至安全监测观测房内。

6.3 沟槽开挖

监测沟槽的开挖需严格控制沟槽底部高程，应通过GNSS RTK实时指导工程机械进行作业，相关测量成果资料应作为资料存档。监测沟槽的开挖施工应该在坝体填筑至设计监测高程后进行。沟槽开挖应遵循以下要求：

1. 沟槽底部宽度应控制在1.5~1.8m；
2. 开挖面坡度比应控制为1:1，即沟槽深度也应为1.5~1.8m；
3. 沟槽地面高程应在设计监测高程；
4. 沟槽的坡度应控制在1%。

6.4 管道熔接

监测管道应采用一体挤压成型高密度聚乙烯管，内径小于204mm。为了方便运输，监测管道需进行分段切割，并按序严格标号，运抵现场后按照标号顺序进行熔接。管道熔接应遵循以下要求：

1. 管道分段应严格按照标号顺序熔接；
2. 熔接时，对接管口应适当打磨粗糙；
3. 对接过程中，应保证两端对接管道的位置水平，可通过丝杠辅助固定装置；
4. 对接完成后，需要内窥影像设备观察接缝大小及错台，接缝大小应不大于1mm；
5. 熔接过程为15分钟，熔接完成后应让其静置，自然冷却大于30分钟。

6.5 管道埋设

监测管道埋设工艺图见图1，监测管道的埋设应遵循以下要求：

1. 回填料应遵循内细外粗的原则，依次为细沙、垫层料、坝体填筑料；
2. 细沙以及垫层料的包裹厚度均大于30cm；
3. 细沙以黄砂为宜，垫层料颗粒大小应在3~4cm;
4. 监测管道吊装之前，应先用小型震动碾将地面压实；
5. 吊装完成后，应使用GNSS RTK及时调整管道上顶面高程，保证安装坡度；
6. 高程调整完成后，按照回填料回填顺序，并压实；
7. 回填完成即可继续向上填筑。

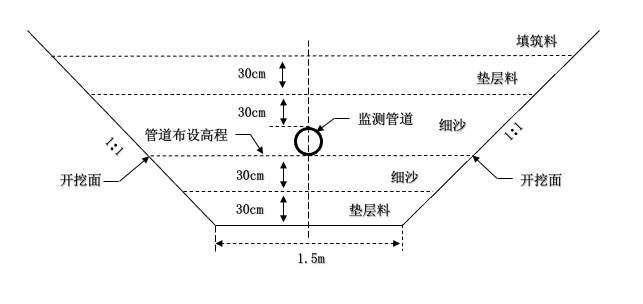


图1 监测管道埋设工艺图

7 准备工作

7.1 总体要求

监测项目启动前应进行充分的资料分析，与业主、设计方达成一致，确定监测系统布设方案、确定施工方案、测量频次、成果类型、质量及成果形式等要求，形成项目执行计划。

7.2 资料收集

应收集以下资料：

1. 大坝设计资料，包含但不限于大坝选址、坝体高度、大坝设计图纸、其它监测系统布设情况；
2. 已有外业控制点信息；
3. 其他相关资料。

7.3 现场踏勘

现场踏勘应符合以下要求：

1. 对通视观测房底板观测墩的控制点位置进行现场踏勘；
2. 对所搜集资料的可靠性和准确性进行分析和现场判断；
3. 环境允许的条件下，可进行外业控制点数据的试采集。

7.4 管道内测量设备

管道内测量设备主要指管道测量机器人，应符合如下要求：

1. 惯性测量单元截面外接圆直径小于管道内径10mm；
2. 惯性测量单元选用陀螺零偏稳定性小于0.01°/h，加速度计零偏稳定性小于30ug；

c) 里程仪数据接口应符合数据采集装置对应接口的电气特性，推荐RS-422或BSSi协议。

7.5 技术设计书编写

技术设计应依据项目的总体要求、已有资料的分析结果、项目的目标书等编写设计书。技术设计书包含的内容应包含如下：

1. 通过需求分析形成关键任务指标；
2. 已有资料及施工情况；
3. 任务总体要求，包括测量频次、采用基准、精度要求等；
4. 测量装备及仪器检验要求；
5. 数据处理内容，包括对原始测量数据的处理、惯导/里程计融合管道线形计算、变形指标的计算等；
6. 管道测量数据质量检查及成果评价方法和内容；
7. 成果提交的要求。

8 数据获取

8.1 设备标定

设备标定应采用实验室标定装置标定或在线标定，精确确定惯性测量单元安装误差和里程轮比例误差。

8.2 管道测量

管道测量作业应采用重复测量的方式，根据管道测量机器人的车头朝向，分别测量；各测量三组，每组需在管道内转动一定角度（如60°、180°、300°），每组三个来回。测量过程应满足以下要求：

1. 车体到管道两头的起止位置应保持一致；
2. 车体在管道内部以1.0-2.0m/s速度运动测量；
3. 管口控制点坐标测量应与管道机器人的观测同步进行，可借用观测房观测墩的坐标。

9 数据处理

9.1 数据处理流程

管道测量机器人数据处理包括了预处理和大坝内部变形参数计算两部分，预处理阶段通过数据处理软件对惯导、里程计以及运动约束进行融合解算获得监测管道的三维信息，大坝内部变形参数则是通过多期测量的管道三维数据关联配准后进行对比计算得到。

9.2 数据整理

获取数据后，应对控制点、IMU/DMI数据进行整理并检查数据的完整性。整理后的数据应包括以下内容：

1. 控制点坐标测量数据；
2. 惯导/里程计测量数据。

9.3 管道线形计算

9.3.1 预处理

从管道机器人原始测量数据中提取包括时间标志、惯导、里程计等测量数据，并检查正确性。

9.3.2 粗差剔除

通过数据处理软件对以时间为基准的严格对齐的惯导/里程计数据进行筛选，剔除异常数据。

9.3.3 线形配准

将同期观测的多趟测量数据根据里程进行配准。

10 成果质量检查与验收

10.1 一般要求

成果质量检查验收应符合GB/T 24356-2009中第5章的要求，且满足技术设计书的要求。作业成果应依次通过测绘单位作业部门的过程检查、测绘单位质量管理部门的最终检查和生产委托方的验收。各级检查工作应独立进行，不应省略或代替。

10.2 原始采集成果检查

原始采集成果的检查内容应包括：

1. 控制点测量数据的正确性；
2. 惯导数据的完整性；
3. 里程数据的完整性；
4. 里程数据的重复性。

10.3 后处理成果检查

10.3.1 管道三维曲线

管道三维曲线质量检查的主要内容应包括：

1. 坐标转换关系的正确性；
2. 管道三维曲线的重复性。

10.3.2 水平位移

水平位移质量监测的主要内容应包括：

1. 坐标转换关系的正确性；
2. 监测管道平面位置的重复性；
3. 水平位移量的重复性。

10.3.3 垂直沉降

垂直沉降质量检查的主要内容：

1. 坐标转换关系的正确性；
2. 监测管道高程曲线的重复性；
3. 垂直沉降量的重复性。

10.3.4 挠度

挠度质量检查的主要内容应包括：

1. 坐标转换关系的正确性；
2. 监测管道挠度变形曲线的重复性；
3. 挠度值的重复性。

11 成果整理与上交

11.1 成果提交要求

成果提交应符合下列要求：

1. 设计图纸以及技术文档应当齐全、完整，内容真实，表述准确。
2. 各项数据资料和成果应当完整。

11.2 成果提交内容

成果提交内容应主要包括：

1. 监测管道施工及部署方案设计图纸；
2. 管道测量机器人检定证书；
3. 原始观测数据及成果图件；
4. 大坝变形监测报告；
5. 项目成果审查及验收报告；
6. 其他相关资料。

附 录 A

(规范性)

管道测量机器人元数据

管道测量机器人元数据的基本内容见表A.1。

表 A.1 管道测量机器人元数据

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 数据项 | 数据类型 | 约束条件 | 说明 |
| 1 | 项目编号 | 字符串 | 必填 |  |
| 2 | 仪器名称 | 字符串 | 必填 |  |
| 3 | 仪器编号 | 字符串 | 必填 |  |
| 4 | 仪器固件版本号 | 字符串 | 必填 | DateFW.Version 例如: 2020-11-12 10:11:52 |
| 5 | 成果采集日期 | 字符串 | 必填 | 2021-11-05 10:38:53 |
| 6 | 采样频率 | 字符串 | 可选 | 500Hz |
| 7 | 惯导精度 | 字符串 | 必填 | 0.1°/hr |
| 8 | 里程计精度 | 字符串 | 必填 | 1000p/r 或17bits |
| 9 | 速度单位 | 字符串 | 必填 | m/s |
| 10 | 角度单位 | 字符串 | 必填 | rad |
| 11 | 平面坐标系统 | 字符串 | 必填 | WGS84 |
| 12 | 高程基准 | 字符串 | 必填 | 1985国家高程基准 |
| 13 | 管道线形测量重复性 | 字符串 | 必填 | 中误差 |
| 14 | 高程精度 | 字符串 | 可选 | 相对精度值 |
| 15 | 水平精度 | 字符串 | 可选 | 相对精度值 |
| 16 | 挠度精度 | 字符串 | 可选 | 相对精度值 |

附 录 B

(规范性)

管道垂直沉降量记录

垂直沉降监测记录表见表B.1。

表B.1 柔性监测管道垂直沉降量记录

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 大坝名称 |  | 基准日期 |  |
| 监测高程 |  | 测量日期 |  |
| 管道测量机器人型号 |  | | |
| 管道线形重复误差(m) |  | | |
| 管口起点位置（经度、纬度、高程） |  | | |
| 观测房高程 |  | 观测房沉降 |  |
| 监测管道最大沉降及位置描述 |  | | |
| \*监测连续沉降数据以表格文件存档，表格应定义管口起点位置，沉降监测记录应包括<监测点里程位置>、<绝对沉降量> | | | |

测量人员： 审核人员：

年 月 日 年 月 日

附 录 C

(规范性)

管道水平位移量记录

水平位移量监测记录表见表C.1。

表C.1 管道水平位移量记录

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 大坝名称 |  | 基准日期 |  |
| 监测高程 |  | 测量日期 |  |
| 管道测量机器人型号 |  | | |
| 管道线形重复误差（m） |  | | |
| 管口起点位置（经度、纬度、高程） |  | | |
| 监测管道最大水平位移量及位置描述 |  | | |
| \*监测连续水平位移数据以表格文件存档，每条水平位移监测记录应包括<监测点里程位置>,<水平位移>,其中监测点里程位置应为监测点距离管口的里程长度。 | | | |

测量人员： 审核人员：

年 月 日 年 月 日

附 录 D

(规范性)

管道挠度变形监测记录

管道挠曲变形监测记录表见表D.1。

表D.1管道挠度变形监测记录

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 大坝名称 |  | 基准日期 |  |
| 监测高程 |  | 测量日期 |  |
| 管道测量机器人型号 |  | | |
| 管道线形重复误差(m) |  | | |
| 管口起点位置（经度、纬度、高程） |  | | |
| 监测管道最大挠曲变形量及位置描述 |  | | |
| \*监测连续挠度数据以表格文件存档, 每条挠度变形监测记录应包括<监测点里程位置>,<挠度>,其中监测点里程位置应为监测点距离管口的里程长度。 | | | |

测量人员： 审核人员：

年 月 日 年 月 日

参 考 文 献

1. GB/T 22385-2008 大坝安全监测系统验收规范
2. GB/T 35644-2017 地下管线数据获取规程
3. SL 531-2012 大坝安全监测仪器安装标准
4. SL 551-2012 土石坝安全监测技术规范
5. SL 648-2013 土石坝施工组织设计规范
6. SL 766-2018 大坝安全监测系统鉴定技术规范
7. DL/T 5385-2007 大坝安全监测系统施工监理规范
8. DL/T 5256-2010 土石坝安全监测资料整编规程
9. DL/T 5259-2010 土石坝安全监测技术规范
10. DL/T 1558-2016 大坝安全监测系统运行维护规程
11. CH/T 1028-2012 变形测量成果质量检验技术规程
12. CH/T 1033-2014 管线测量成果质量检验技术规程
13. CH/T 6002-2015 管线测绘技术规程

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_