

团 体 标 准

T/SZS 4072—2023

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

(发布稿)

2023-4-23 发布

2023-4-24 实施

深圳市深圳标准促进会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 基本要求	2
6 准备工作	2
7 监测管道布置	3
8 数据获取	4
9 数据处理与反馈	5
10 成果质量检查与验收	5
11 成果整理与归档	6
附录 A（规范性） 管道测量机器人元数据	7
附录 B（规范性） 管道垂直位移量监测记录	8
附录 C（规范性） 管道水平位移量监测记录	9
附录 D（规范性） 管道挠度变形量监测记录	10

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、国能大渡河流域水电开发有限公司、雅砻江流域水电开发有限公司、深圳市环境水务集团有限公司、南方电网储能股份有限公司、深圳市原水有限公司、深圳市东江水源工程管理处、长江设计集团有限公司、黄河勘测规划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、广东省水利电力勘测设计研究院有限公司、水利部新疆维吾尔自治区水利水电勘测设计研究院、深圳市广汇源环境水务有限公司、深圳市水务规划设计院股份有限公司、深圳市标准技术研究院。

本文件主要起草人：李清泉、陈智鹏、朱家松、张德津、殷煜、元鹏鹏、李鹏、龚利民、朱松、张贵科、吴穹、刘豪杰、牟林、黎昌杰、杜泽快、雷厚斌、熊小虎、杨波、马洪玉、郑永胜、王晋明、付山、王锋、罗来辉、井向阳、曹小武、彭木站、马国骏、郑栋、沈明毅、肖磊、陈晓年、张坤、王建学、袁媛、韦冠宁、柯兵、徐响、周哲、李佩霖、苏巍、郭静文、冯雪萍。

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。

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、准备工作、监测管道布置、数据获取、数据处理与反馈、成果质量检查与验收、成果整理与归档。

本文件适用于新建土石坝内部变形监测的测量作业。

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 地理信息 元数据

GB/T 24356 测绘成果质量检查与验收

SL 551—2012 土石坝安全监测技术规范

3 术语和定义

GB/T 19710、GB/T 24356 和 SL 551 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

土石坝 rockfill dam

以土石料为主体并辅以防渗结构构建而成的大坝。

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。

[来源：SL 551—2012，2.0.4]

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

管道截面中心线。

3.5

惯性测量单元 inertial measurement unit

测量载体角运动和线运动参数的传感器，包含一个三轴加速度计和一个三轴陀螺仪。

3.6

控制点 control point

用于约束管道线形测量的已知坐标点。

3.7

相对精度 relative accuracy

观测值的中误差与观测值之比。

3.8

重复精度 repeated accuracy

重复测量同一目标，多次测量结果的均方误差。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CGCS2000：2000国家大地坐标系（China Geodetic Coordinate System 2000）

5 基本要求

5.1 测量要求

测量过程符合以下要求：

- a) 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；
- b) 柔性监测管道的管径、壁厚以及热熔套管等参数的选择应满足抗压强度的设计要求；
- c) 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。

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CGCS2000，如采用其他平面坐标系统，应与CGCS2000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见附录 B，垂直位移监测成果见附录 C，挠度监测成果见附录 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，精度应符合 SL 551—2012 中 4.3 的规定。

5.7 高程精度

高程重复精度应以相对精度进行评价，精度应符合 SL 551—2012 中 4.3 的规定。

5.8 设备要求

测量设备应符合如下要求：

- a) 惯性测量单元截面外接圆直径应小于管道内径 10 mm 以上；
- b) 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，宜采用 RS-422 或 BiSS 协议。

6 准备工作

6.1 总体要求

监测项目启动前应进行充分的资料分析，确定监测系统布设方案、施工方案、监测频次、成果类型与形式、质量控制等要求，形成项目执行计划。

6.2 资料收集

应收集以下资料：

- a) 大坝设计资料，包括但不限于大坝选址、坝体高度、大坝设计图纸、其它监测系统布设情况；
- b) 已有外业控制点信息；
- c) 其他相关资料。

6.3 现场踏勘

现场踏勘应按以下要求进行：

- a) 对已有控制点位置进行现场踏勘；
- b) 对所搜集资料的可靠性和准确性进行分析和现场判断。

7 监测管道布置

7.1 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，能反映坝体整体情况。

7.2 布设方案

监测管道应采用 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，管道布设的垂直间距应满足设计要求。

7.3 沟槽开挖

监测沟槽开挖应严格控制沟槽底部高程，应实时测量沟槽底部高程，相关测量结果应存档。监测沟槽的开挖施工应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：

- a) 沟槽底部宽度、沟槽深度应控制在 1.5m~1.8m；
- b) 开挖面坡度比应控制为 1:1；
- c) 沟槽底面高程应与设计监测高程一致；
- d) 沟槽的坡度应控制在 1%。

7.4 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。管道熔接遵循以下要求：

- a) 管道分段应严格按照标号顺序熔接；
- b) 熔接时，对接管口应适当打磨粗糙；
- c) 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；
- d) 对接完成后，需要内窥影像设备观察接缝大小及错台，接缝大小不应大于 1mm；
- e) 熔接过程为 15min，熔接完成后应让其静置，自然冷却大于 30min。

7.5 管道埋设

监测管道埋设工艺图见图 1，监测管道的埋设遵循以下要求：

- a) 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；
- b) 细沙以及垫层料的包裹厚度均大于 30cm；
- c) 细沙以黄砂为宜，垫层料颗粒大小应在 3cm~4cm。

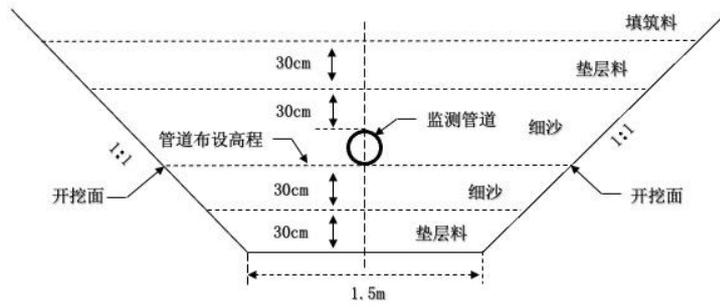


图1 监测管道埋设工艺图

7.6 管道初次测量

管道埋设完成后，随坝体同步变形，应测量管口控制点初始坐标，并对监测管道进行初次测量，取得管道初始参考曲线，即管道初始三维位置，曲线图例如图2所示。

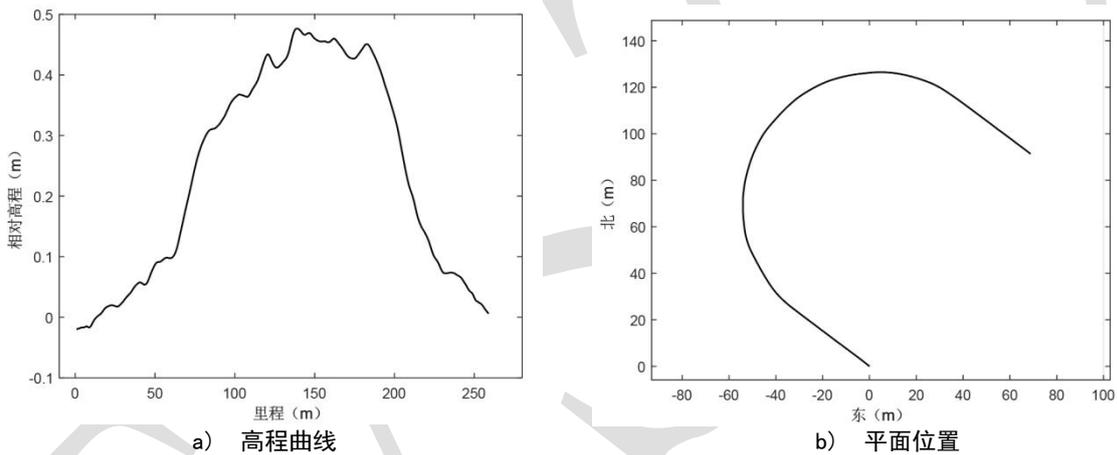


图2 管道曲线图例

7.7 管道维护

除测量期间，其它时段监测管道两端口都应封口，防止砂石落入或雨水渗入管道。每次测量任务开始前，应先对管道进行清理，确保管道的干净清洁。

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，精确标定惯性测量单元安装误差和里程轮比例误差，以消除系统误差造成的测量结果偏差。

8.2 测量方法

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：

- a) 车体与管道卡口位置对齐;
- b) 车体在管道内部以 1.0m/s~2.0m/s 速度运动测量;

8.3 测量内容

管道变形数据监测内容包括:

- a) 管口控制点坐标;
- b) 预埋监测管道三维曲线;

8.4 监测频次

监测的最低频次应符合 SL 551—2012 中附录 A.2 的规定。

9 数据处理与反馈

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曲线信息,大坝内部变形参数则是通过多期测量的管道三维曲线关联配准后进行对比计算得到。

9.2 数据整理

获取数据后,应对管口控制点、惯性测量单元、里程仪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:

- a) 管口控制点坐标测量数据;
- b) 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,计算平均管道三维曲线。

9.4 监测指标计算

将管道当期监测曲线与初始监测曲线根据里程配准,计算沉降、水平位移或挠度等变形指标。

9.5 数据结果与反馈

测量数据结果应当进行现场预处理,检查数据格式正确性以及数据完整性;若出现监测结果异常,应及时反馈至大坝安全主管部门。

10 成果质量检查与验收

10.1 总体要求

成果质量检查验收应符合 GB/T 24356、SL 551 的要求,且满足技术设计书的要求。

10.2 监测成果检查

10.2.1 垂直位移

垂直位移质量检查的主要内容：

- a) 监测管道高程曲线的重复性；
- b) 垂直位移量的重复性。

10.2.2 水平位移

水平位移质量监测的主要内容应包括：

- a) 监测管道平面位置的重复性；
- b) 水平位移量的重复性。

10.2.3 挠度

挠度质量检查的主要内容应包括：

- a) 监测管道挠度变形曲线的重复性；
- b) 挠度值的重复性。

11 成果整理与归档

11.1 成果提交要求

成果提交应符合下列要求：

- a) 设计图纸及技术文档齐全、完整，内容真实，表述准确。
- b) 各项数据资料和成果完整。

11.2 成果提交内容

成果提交内容主要包括：

- a) 监测管道施工及部署方案设计图纸；
- b) 管道测量机器人检定证书；
- c) 原始观测数据及成果图件；
- d) 大坝变形监测报告；
- e) 项目成果审查及验收报告；
- f) 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	坐标系统	字符串	必填	CGCS2000
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)

管道垂直位移量监测记录

垂直位移监测记录表见表 B.1。

表 B.1 管道垂直位移量监测记录

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)			
观测房高程		观测房沉降	
监测管道最大沉降及位置描述			
上次测量垂直位移累计值			
注：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：
年 月 日

记录人员：
年 月 日

检查人员：
年 月 日

附 录 C

(规范性)

管道水平位移量监测记录

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)			
监测管道最大水平位移量及位置描述			
上次测量水平位移累计值			
注：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包括监测点里程位置、水平位移，其中，监测点里程位置为监测点距离管口的里程长度。			

测量人员：
年 月 日

记录人员：
年 月 日

检查人员：
年 月 日

附录 D

(规范性)

管道挠度变形量监测记录

管道挠曲变形监测记录表见表 D.1。

表 D.1 管道挠度变形量监测记录

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)			
监测管道最大挠度变形量及位置描述			
上次测量挠度变形累计值			
注：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包括监测点里程位置、挠度，其中，监测点里程位置为监测点距离管口的里程长度。			

测量人员：
年 月 日

记录人员：
年 月 日

检查人员：
年 月 日