

ICS 93.160

CCS P 55



# 团体标准

T/CEATEC XXX—2025

## 橡胶坝智能运维技术规范

Technical specification for intelligent operation and maintenance of rubber  
dams

(征求意见稿)

2025-X-XX 发布

2025-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

# 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本要求 .....	2
4.1 运维管理体系 .....	2
4.2 技术保障要求 .....	2
4.3 基础条件要求 .....	2
5 智能监测系统 .....	2
5.1 监测项目设置 .....	2
5.2 监测系统组成 .....	2
5.3 监测频次与数据处理 .....	3
5.4 监测系统校准 .....	3
6 智能控制与操作 .....	3
6.1 控制目标与原则 .....	3
6.2 控制系统配置 .....	4
6.3 自动控制逻辑 .....	4
6.4 操作安全要求 .....	4
7 智能诊断与评估 .....	4
7.1 诊断评估内容 .....	4
7.2 诊断评估指标与标准 .....	5
7.3 诊断评估方法 .....	5
7.4 诊断评估频次与报告 .....	5
8 维护保养 .....	5
8.1 维护保养分类与周期 .....	5
8.2 主要设施维护保养要求 .....	6
8.3 维护保养记录 .....	6
9 应急处置 .....	6
9.1 应急预案制定 .....	6
9.2 常见应急处置措施 .....	6
9.3 应急物资与演练 .....	7
10 资料管理 .....	7
10.1 资料分类与内容 .....	7
10.2 资料管理要求 .....	7

10.3 资料保存期限..... 7

## 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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

# 橡胶坝智能运维技术规范

## 1 范围

本文件规定了橡胶坝智能运维的基本要求、智能检测系统、智能控制与操作、智能诊断与评估、维护保养、应急处置、资料管理。

本文件适用于坝高5m及以下袋式橡胶坝工程的智能运维工作。

## 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 528 硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定

GB/T 531.1 硫化橡胶或热塑性橡胶 压入硬度试验方法 第1部分：邵氏硬度计法（邵尔硬度）

GB/T 3512 硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验

GB/T 5080.7 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案

GB/T 50979 橡胶坝工程技术规范

SL/T 812.1 水利监测数据传输规约 第1部分：总则

## 3 术语和定义

GB/T 50979界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**橡胶坝智能运维** intelligent operation and maintenance of rubber dam

采用传感器、物联网、大数据、人工智能等技术，对橡胶坝工程的运行状态进行实时监测、智能控制、故障诊断和精准维护的全过程管理活动，实现运维工作的自动化、数字化和智能化。

### 3.2

**智能监测系统** intelligent monitoring system

由感知层、传输层和数据层组成，具备坝袋状态、锚固结构、水力参数、设备运行等数据自动采集、传输、存储和预处理功能的监测体系。

### 3.3

**智能控制与操作** intelligent control and operation

基于预设规则和实时监测数据，通过自动控制单元实现坝袋充排介质（水/气）的精准调节、设备启停及运行参数优化的操作模式，含本地自动控制和远程控制。

### 3.4

**智能诊断与评估** intelligent diagnosis and evaluation

利用数据分析和人工智能算法，对监测数据进行深度处理，识别橡胶坝结构及设备的异常状态、故障类型和老化程度，评估工程安全等级并提出处置建议的过程。

### 3.5

**设计内外压比** designed internal-external pressure ratio

坝袋内压水头与坝袋设计坝高的比值，充气式坝袋宜采用 1.25~1.60，充水式坝袋宜采用 0.75~1.10。

**3.6****安全监测频次** safety monitoring frequency

智能监测系统对各类监测参数的采集间隔时间，分为实时监测、定时监测和触发式监测三种类型。

**4 基本要求****4.1 运维管理体系**

应满足以下要求：

- a) 机构与人员：应建立专门的智能运维管理机构，配备专业技术人员，人员应经培训考核合格后方可上岗，熟悉智能监测设备、控制系统的操作及数据分析方法；
- b) 制度与流程：应制定智能运维管理制度，包括设备操作规程、数据管理制度、维护保养制度、应急处置预案等，明确各岗位职责和工作流程；
- c) 安全管理：管理范围内严禁爆破、采砂、游泳、捕鱼、排污、未经批准的工程施工等危害橡胶坝安全的活动，并应设置安全警示标识。

**4.2 技术保障要求**

应满足以下要求：

- a) 系统性能：应具备可靠性、稳定性和扩展性，平均无故障运行时间（MTBF）不低于 8760 小时（按 GB/T 5080.7 进行测试），数据传输成功率不低于 99.5%；
- b) 设备性能：控制设备的响应时间不超过 2s，实际充、排水时间偏差不得超过设计值的 10%；
- c) 应急电源：应配置应急备用电源（如柴油发电机组），其输出功率应满足应急操作需求，确保断电后 15 分钟内可启动并完成坝袋应急降落；
- d) 系统安全：智能运维系统应具备数据加密、权限管理等安全功能，防止数据泄露和非法操作。

**4.3 基础条件要求**

应满足以下要求：

- a) 设备安装环境：智能监测设备的安装位置应避开强磁场、强振动、水流冲击等恶劣环境，保证设备正常工作；
- b) 通信网络：数据传输网络应覆盖整个工程区域，采用有线与无线结合的方式，无线信号强度不低于-85dBm；
- c) 数字档案：建立工程数字化档案，包含设计图纸、施工资料、设备参数、监测点布置图等，实现全生命周期数据管理。

**5 智能监测系统****5.1 监测项目设置**

智能监测项目应全面覆盖橡胶坝安全关键部位，至少包括以下内容：

- a) 坝袋状态监测：内压力、变形量、厚度、老化程度（硬度变化、表面缺陷）、密封性等；
- b) 锚固结构监测：锚固构件位移、螺栓扭矩、腐蚀程度、锚固槽变形等；
- c) 水力参数监测：上下游水位、水流流速、流量、河床冲淤厚度、渗漏量等；
- d) 设备运行监测：充排泵（风机）电流、电压、功率、温度，阀门开度、管路压力等；
- e) 环境监测：空气温度、湿度、风速、水流温度、冰凌厚度等。

**5.2 监测系统组成**

### 5.2.1 感知层

应满足以下要求：

- a) 压力传感器：充水式坝袋采用渗压计，充气式坝袋采用压力表，精度等级不低于 0.25 级，安装在坝袋两端及中部，每跨坝袋不少于 3 个监测点；
- b) 位移传感器：采用激光位移计或倾角传感器，测量坝袋变形和锚固结构位移，测量范围 $\pm 15^\circ$ ，精度 $\pm 0.1^\circ$ ；
- c) 厚度传感器：采用超声波测厚仪，每个检测单元设置不少于 5 个测点，测量范围 5~50mm；
- d) 水位传感器：采用超声波液位计或压力式水位计，测量范围 0~10m，安装在上下游水位观测井内；
- e) 流速流量传感器：采用多普勒流速仪，测量范围 0~10m/s，安装在坝体下游合适断面；
- f) 环境传感器：温度湿度传感器、风速传感器、冰凌传感器，分别安装在坝体附近开阔位置和水面上。

### 5.2.2 传输层

应满足以下要求：

- a) 采用工业以太网、LoRa、4G/5G 等通信方式，宜根据传输距离和环境选择；
- b) 数据传输协议应符合 SL/T 812.1 的规定，支持数据加密和断点续传，确保数据完整性；
- c) 设置数据采集网关，实现多协议转换和数据预处理，网关响应时间不超过 1s。

### 5.2.3 数据层

应满足以下要求：

- a) 建立智能运维数据库，存储实时监测数据、历史数据、设备参数、运维记录等；
- b) 数据库应具备高可靠性和扩展性，数据存储时间不低于 10 年；
- c) 配备数据服务器和备份服务器，采用异地备份或云备份方式，防止数据丢失。

## 5.3 监测频次与数据处理

应满足以下要求：

- a) 实时监测参数：坝袋内压力、上下游水位、设备运行状态等，采集间隔 $\leq 10s$ ；
- b) 定时监测参数：坝袋变形、厚度、河床冲淤等，采集间隔 $\leq 1h$ ；环境参数采集间隔 $\leq 30min$ ；
- c) 触发式监测：当监测数据超过规定的预警阈值时，自动提高采集频次至 1s/次，并启动报警功能；
- d) 数据处理：对采集数据进行滤波、去噪、补全处理，剔除异常值，计算统计指标（均值、最大值、最小值、变化率等）。

## 5.4 监测系统校准

应满足以下要求：

- a) 监测设备应定期校准，压力传感器、水位传感器每年校准 1 次，位移传感器、厚度传感器每 2 年校准 1 次，校准合格后方可继续使用；
- b) 校准误差应在允许范围内，校准记录存档备查；
- c) 系统整体联调每年不少于 1 次，检查数据采集、传输、存储的准确性和可靠性。

## 6 智能控制与操作

### 6.1 控制目标与原则

应满足以下要求：

- a) 可维持坝袋内压力在设计范围内，保证坝体稳定运行；可根据水位变化自动调节坝高，满足挡水、泄洪、灌溉等要求；优化设备运行参数，降低能耗；
- b) 遵循“安全优先、自动控制为主、手动控制为辅”的原则，自动控制与手动控制可无缝切换，手动控制优先级高于自动控制；
- c) 坝袋不应超高超压运用，充水（气）不得超过设计内压力；单向挡水的橡胶坝，不应双向运用。

## 6.2 控制系统配置

应满足以下要求：

- a) 控制单元：采用 PLC 控制柜，具备逻辑控制、PID 调节、故障诊断等功能；
- b) 执行机构：包括充排泵（风机）、电动阀门、液压系统等，阀门开度控制精度 $\pm 1\%$ ，液压系统控制精度 $\pm 0.5\%$ ；
- c) 人机交互界面：配备触摸屏或上位机，显示实时监测数据、设备运行状态、控制指令等，支持参数设置和手动操作；
- d) 远程控制模块：支持手机 APP 端和 PC 端远程监控，实现远程启停设备、调节参数、查看数据等功能。

## 6.3 自动控制逻辑

### 6.3.1 充坝控制

应满足以下要求：

- a) 根据设计坝高和上下游水位，自动计算目标内压力，充水式坝袋内压力控制在设计内外压比 1.25~1.60 范围内，充气式坝袋控制在 0.75~1.10 范围内。
- b) 启动充排泵（风机），缓慢提升坝袋内压力，压力上升速率 $\leq 0.01\text{MPa}/\text{min}$ ，避免压力突变导致坝袋损伤；
- c) 当内压力达到目标值时，自动关闭泵（风机）和阀门，维持压力稳定，压力波动范围 $\pm 0.02\text{MPa}$ 。

### 6.3.2 坍塌控制

应满足以下要求：

- a) 正常坍塌：根据运行需求，自动打开排水（气）阀门，控制泄压速率 $\leq 0.015\text{MPa}/\text{min}$ ，多跨橡胶坝应均匀对称、缓慢坍塌，避免下游有害冲刷；
- b) 应急坍塌：当监测到坝袋内压力超标、坝体变形异常、遭遇特大洪水等紧急情况时，自动启动应急坍塌程序，快速打开所有排水（气）阀门，确保坝袋在规定时间内降至安全高度；
- c) 坍塌泄流前，自动向相关单位和危险区域发出预警信号。

### 6.3.3 恒水位控制

应满足以下要求：

- a) 根据预设的上下游水位目标值，自动调节坝袋内压力，维持水位稳定，水位控制误差 $\pm 5\text{cm}$ ；
- b) 当水位超过目标值 5cm 时，自动启动坍塌程序；当水位低于目标值 5cm 时，自动启动充坝程序。

## 6.4 操作安全要求

应满足以下要求：

- a) 操作人员应严格按照操作规程进行操作，操作前检查设备状态和监测数据，确认无异常后方可进行；
- b) 远程操作时，应确认现场无人员作业，避免误操作导致安全事故；
- c) 每次操作后，记录操作时间、操作内容、设备状态和监测数据变化，形成操作日志；
- d) 控制系统应设置权限管理，不同岗位人员分配不同操作权限，防止非法操作。

## 7 智能诊断与评估

### 7.1 诊断评估内容

应包括以下内容：

- a) 坝袋健康诊断：评估坝袋老化程度（硬度变化、拉伸强度、断裂伸长率）、表面缺陷（裂纹、磨损、脱层）、密封性（渗漏量）等；
- b) 锚固结构诊断：评估锚固构件腐蚀程度、螺栓松动情况、锚固槽变形等；
- c) 设备故障诊断：识别充排泵（风机）、阀门、传感器等设备的故障类型和故障位置；
- d) 工程安全评估：根据诊断结果，结合历史数据和设计标准，评估橡胶坝工程安全等级（分为安全、基本安全、不安全三个等级）。

## 7.2 诊断评估指标与标准

橡胶坝健康诊断评估指标与标准见表1。

表1 橡胶坝健康诊断评估指标与标准

评估项目	评估指标	安全标准	基本安全标准	不安全标准	检测方法
坝袋老化	邵氏硬度变化率	$\leq 10\%$	10%~20%	$> 20\%$	GB/T 531.1
	拉伸强度	$\geq 15\text{MPa}$	12~15MPa	$< 12\text{MPa}$	GB/T 528
	断裂伸长率	$\geq 400\%$	300%~400%	$< 300\%$	GB/T 528
	老化系数	$\geq 0.7$	0.6~0.7	$< 0.6$	GB/T 3512
坝袋缺陷	裂纹宽度	无裂纹	$\leq 0.5\text{mm}$	$> 0.5\text{mm}$	裂缝观测仪
	磨损深度	$\leq$ 设计厚度 20%	20%~30%	$> 30\%$	超声波测厚仪
	渗漏量	$\leq 0.5\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	0.5~1.0L/( $\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )	$> 1.0\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	流量计量法
锚固结构	螺栓扭矩损失	$\leq 10\%$	10%~20%	$> 20\%$	扭矩扳手
	腐蚀面积占比	$\leq 5\%$	5%~15%	$> 15\%$	目视检查+涂层测厚仪
	位移量	$\leq 30\text{mm}$	30~50mm	$> 50\text{mm}$	激光位移计
设备运行	电机温度	$\leq 75^\circ\text{C}$	75~85 $^\circ\text{C}$	$> 85^\circ\text{C}$	温度传感器
	阀门泄漏量	$\leq 1\%$	1%~3%	$> 3\%$	压力测试

## 7.3 诊断评估方法

应按照以下方法进行：

- 数据驱动诊断：基于机器学习算法，建立正常运行状态下的数据分析模型，通过对比实时监测数据与模型数据，识别异常状态；
- 故障树诊断：建立橡胶坝常见故障树，根据监测数据和故障现象，追溯故障原因和故障位置；
- 综合评估：结合数据驱动诊断结果、故障树分析和人工巡查情况，采用层次分析法确定各评估指标权重，计算综合评估得分，确定安全等级。

## 7.4 诊断评估频次与报告

应满足以下要求：

- 日常诊断：实时监测数据自动分析，发现异常立即报警并启动诊断程序；
- 定期评估：每月进行1次月度评估，每年进行1次年度全面评估；
- 专项评估：发生洪水、地震、强风等突发事件后，或设备大修后，进行专项评估；
- 评估报告：评估完成后编制评估报告，包括监测数据统计、诊断结果、安全等级、存在问题及处置建议等内容，上报相关主管部门并存档。

## 8 维护保养

### 8.1 维护保养分类与周期

应满足以下要求：

- 日常养护：每日进行，主要包括设备清洁、环境清理、数据检查等；
- 定期维护：每月进行1次，包括设备运行状态检查、传感器校准、管路清理等；
- 季度维护：每3个月进行1次，包括阀门润滑、电气设备绝缘检测、控制系统功能测试等；

d) 年度大修：每年汛后进行 1 次，包括坝袋全面检查与修补、锚固结构除锈防腐、设备全面检修与更换等。

## 8.2 主要设施维护保养要求

### 8.2.1 坝袋维护

应满足以下要求：

- a) 及时清除坝袋表面和坍塌区底板上的砂石、漂浮物等杂物，避免划伤坝袋；
- b) 定期检查坝袋表面，发现裂纹、磨损等缺陷，及时采用专用修补材料修补：裂缝宽度 $\leq 0.5\text{mm}$ 时采用表面涂刷修补， $> 0.5\text{mm}$ 时采用粘贴修补；
- c) 坝袋表面可涂刷防老化涂层，每 2~3 年涂刷 1 次；
- d) 寒冷地区冬季充水式橡胶坝宜坍塌越冬；若不能坍塌越冬，应采取防冻破冰措施。

### 8.2.2 锚固结构维护

应满足以下要求：

- a) 金属锚固构件每年除锈 1 次，涂刷防锈剂，锈蚀严重（腐蚀面积占比 $> 15\%$ ）的应更换；
- b) 定期检查螺栓松紧度，发现松动及时旋紧，扭矩损失 $> 20\%$ 的应更换螺栓；
- c) 木质锚固构件应防止生物蛀蚀和腐烂，定期涂刷防腐涂料；
- d) 及时清除锚固槽内的淤积物和杂物，检查锚固槽有无破损，发现破损及时修补。

### 8.2.3 监测设备维护

应满足以下要求：

- a) 定期清洁传感器表面，避免灰尘、污垢影响测量精度；
- b) 检查传感器安装牢固性，发现松动及时固定，线缆有无破损，发现破损及时更换；
- c) 定期校准传感器，确保测量精度符合要求，校准记录存档；
- d) 数据采集网关、服务器等设备定期清理灰尘，检查运行状态，确保正常工作。

### 8.2.4 控制设备维护

应满足以下要求：

- a) 充排泵（风机）定期检查润滑油位、轴承温度，每运行 500 小时更换 1 次润滑油；
- b) 阀门定期进行启闭试验，检查开度控制精度，每年进行 1 次密封性能测试，添加润滑脂；
- c) 电气设备定期检查绝缘电阻，动力线路绝缘电阻 $\geq 1\text{M}\Omega$ ，控制线路 $\geq 2\text{M}\Omega$ ；
- d) PLC 控制柜、触摸屏等设备定期清洁，检查接线端子有无松动，每年进行 1 次功能测试。

## 8.3 维护保养记录

应满足以下要求：

- a) 每次维护保养后，详细记录维护时间、维护内容、维护人员、设备状态、存在问题及处理结果等信息；
- b) 建立维护保养档案，将维护记录、检测报告、校准证书等资料整理归档，保存时间不低于 10 年。

## 9 应急处置

### 9.1 应急预案制定

应满足以下要求：

- a) 制定针对不同突发事件的应急预案，包括坝袋破损漏水（气）、锚固结构失效、设备故障、洪水漫坝、冰凌撞击等场景；
- b) 应急预案应明确应急组织机构、应急响应程序、应急处置措施、应急物资储备等内容，并定期组织演练。

### 9.2 常见应急处置措施

#### 9.2.1 坝袋破损应急处置

应按照以下方法进行：

- a) 发现坝袋破损漏水（气），立即启动应急坍塌程序，快速降低坝袋内压力；
- b) 若破损较小，可在坝袋排空后进行临时修补；若破损较大，无法临时修补，应设置临时挡水设施，组织专项抢修；
- c) 抢修完成后，进行充水（气）试验，检查密封性和强度，合格后方可恢复正常运行。

#### 9.2.2 设备故障应急处置

应按照以下方法进行：

- a) 充排泵（风机）故障：立即启动备用设备，若无备用设备，采用手动操作或应急排水（气）设施；
- b) 控制系统故障：切换至手动控制模式，安排专业人员抢修，抢修期间加强人工监测；
- c) 供电故障：启动备用发电机组，确保应急操作和关键监测设备供电。

#### 9.2.3 洪水漫坝应急处置

应按照以下方法进行：

- a) 接到洪水预警后，提前降低坝高，预留足够的泄洪空间；
- b) 若洪水即将漫坝，立即启动应急坍塌程序，完全排空坝袋，确保洪水顺利下泄；
- c) 洪水过后，及时检查坝体、锚固结构、设备等受损情况，进行专项评估和修复。

### 9.3 应急物资与演练

应按照以下方法进行：

- a) 应急物资：储备坝袋修补材料、螺栓、阀门、水泵、发电机、照明设备、救生设备等应急物资，定期检查物资状态，及时补充和更换；
- b) 应急演练：每年至少组织 1 次应急演练，模拟常见突发事件，检验应急预案的可行性和应急处置能力，演练后总结改进。

## 10 资料管理

### 10.1 资料分类与内容

应包括以下内容：

- a) 工程档案：包括设计图纸、施工资料、竣工验收报告、设备说明书、监测点布置图等；
- b) 运维资料：包括监测数据、操作日志、维护保养记录、诊断评估报告、应急处置记录等；
- c) 管理制度：包括智能运维管理制度、操作规程、应急预案等。

### 10.2 资料管理要求

应满足以下要求：

- a) 建立数字化资料管理系统，实现资料分类存储、快速查询、共享和备份；
- b) 纸质资料应分类整理，装订成册，存放于干燥、通风的档案室，防止受潮、霉变和损坏；
- c) 电子资料采用本地存储和云存储相结合的方式，定期备份（每周），确保数据安全；
- d) 资料管理人员应熟悉资料分类和管理要求，负责资料的收集、整理、归档、借阅等工作。

### 10.3 资料保存期限

应满足以下要求：

- a) 工程档案、管理制度等永久性保存；
- b) 监测数据、操作日志、维护保养记录等保存期限不低于 10 年；
- c) 诊断评估报告、应急处置记录等保存期限不低于 15 年。