



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 40285—2021

---

## 智能水电厂大坝安全分析评估系统技术规范

Technical specification for dam safety analysis and evaluation system of  
smart hydropower plant

2021-05-21 发布

2021-12-01 实施

---

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 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 基本规定 .....                    | 1   |
| 5 功能要求 .....                    | 2   |
| 6 性能要求 .....                    | 4   |
| 7 测试要求 .....                    | 4   |
| 附录 A (规范性) 大坝安全分析评估应用组件分级 ..... | 5   |
| 附录 B (资料性) 大坝安全分析评估应用组件信息 ..... | 7   |
| 附录 C (资料性) 监测数据粗差识别性能评价方法 ..... | 8   |

## 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。

本文件由中国电力企业联合会提出并归口。

本文件起草单位：南瑞集团有限公司、国家能源局大坝安全监察中心、中国长江三峡集团有限公司、国家电投集团五凌电力有限公司、中国水利水电科学研究院、南方电网调峰调频发电有限公司、国网新源控股有限公司、国家电投集团黄河上游水电开发有限责任公司、国电大渡河流域水电开发有限公司、华能澜沧江水电股份有限公司、广州健新科技股份有限公司。

本文件主要起草人：崔岗、凌骐、赵斌、胡波、周建波、於三大、钟平、卢正超、章鹏、武志刚、黄会宝、胡晓云、刘福、刘勇、吴伟、张锋、桑兴旭、向正林、马保东、李林扬、王凯、陶丛丛、张岚、沈慧、陈俊生、郑健兵、向南、孔庆梅、江德军、徐小坤、苏怀智、王东栋、赵二峰、荣笙、魏彩云。

# 智能水电厂大坝安全分析评估系统技术规范

## 1 范围

本文件规定了智能水电厂大坝安全分析评估系统的功能、性能和测试要求。

本文件适用于智能水电厂大坝安全分析评估系统的设计、建设和运行。

## 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 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 30976(所有部分) 工业控制系统信息安全

GB/T 36572 电力监控系统网络安全防护导则

GB/T 39264 智能水电厂一体化管控平台技术规范

GB/T 40222—2021 智能水电厂技术导则

DL/T 5313 水电站大坝运行安全评价导则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**智能水电厂 smart hydropower plant**

以自动化、数字化、信息化为基础,利用云计算、大数据、物联网、移动互联、人工智能等技术,具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应能力,实现安全、稳定、高效运行的水电厂。

### 3.2

**大坝安全分析评估应用组件 application component for dam safety analysis and evaluation**

用于分析和诊断大坝安全相关信息,评估大坝安全状态和预测发展趋势,为智能水电厂风险预控、故障处置和优化运行提供辅助决策支持的一体化管控平台应用组件。

## 4 基本规定

4.1 大坝安全分析评估应用组件的整体功能、外部接口、部署方式应符合 GB/T 40222—2021 的要求。

4.2 大坝安全分析评估应用组件应综合监测数据与巡视检查成果、工程结构特性、地质条件、施工质量、闸门及机组运行状况、环境条件、缺陷及问题、结构安全复核结果等资料,对结构性态进行分析诊断,判断结构物局部乃至整体当前的安全状况,预测分析潜在风险,为水电厂运行管理提供技术支持和辅助决策。

4.3 大坝安全分析评估应用组件智能化级别宜根据其主要特征和能力进行划分,具体要求应符合附录 A。

4.4 大坝安全分析评估应用组件宜部署在管理信息大区。

4.5 大坝安全分析评估应用组件应通过一体化管控平台实现与以下应用组件的数据交互、信息共享及业务联动：

- a) 大坝安全监测；
- b) 水库调度；
- c) 水情测报；
- d) 防汛决策支持；
- e) 闸门控制与振动监测；
- f) 机组运行监控；
- g) 大坝强震动监测；
- h) 地质灾害监测；
- i) 气象监测；
- j) 安防监控；
- k) 应急广播。

4.6 运行环境的信息网络安全应符合 GB/T 22239、GB/T 30976(所有部分)及 GB/T 36572 的规定。

4.7 大坝安全分析评估应用组件应采用开放的结构,功能可扩展。

4.8 大坝安全评估应用组件宜支持跨平台、跨开发语言的访问和调用。

## 5 功能要求

### 5.1 信息获取和预处理

5.1.1 大坝安全分析评估应用组件应能获取大坝安全监测、水情监测、闸门控制与振动监测、机组运行监控、地质灾害监测、气象监测等信息。

5.1.2 大坝安全分析评估应用组件应收集基本信息、日常监测信息及管理信息,内容见附录 B。

5.1.3 大坝安全分析评估应用组件应实现数据采集设备运行状态监控,数据有效性和完备性自动判断,记录和统计结果,并发出告警。

### 5.2 分析和诊断

5.2.1 大坝安全分析评估应用组件应分析水工结构物状态的时空规律、变化趋势、量值水平和因果关联等,识别结构异常的发生部位、类别及程度,并对可能原因和产生机理进行诊断。

5.2.2 大坝安全分析评估应用组件应具备对重要监测物理量的定性和定量分析功能。

5.2.3 监测量定性分析功能应满足以下要求：

- a) 分析监测量的周期性和趋势性等时序变化规律,并统计周期性变幅、趋势变化速率、极值及发生时间等特征量,识别监测量规律出现变异的时间及发展趋势。
- b) 分析同类监测量的空间分布规律,识别存在异常分布的监测点位置及异常发生时间。
- c) 给出具有高相关性的监测量集合,识别监测数据量值和变幅异常的测点。
- d) 判断各监测量之间的因果关联性,并通过自学习进行迭代修正。
- e) 筛查经常或持续超限的效应量。当出现原因量的不利组合时,自动筛查测值变化明显或超限的效应量。
- f) 进行监测量与监控指标相互比较、监测量之间相互比对、监测量与理论或实验成果相互对照。

5.2.4 监测量定量分析功能应满足以下要求：

- a) 监测效应量与原因量的相关性、敏感性分析。
- b) 统计模型、混合模型和确定性模型分析,宜提供多种分析算法。

- c) 筛选适合通过统计回归方法建立数学模型的效应量,并优选建模时间段。
- d) 评估分析模型的拟合效果,可自动或通过人工干预方式优选建模方法和调整优化模型。
- e) 在获得监测量新增样本数据后及时自动更新模型。
- f) 按原因量类别分解模型各分量,对比各分量的贡献大小,辨识时效分量的敛散性。
- g) 对存在空间分布关系的效应量集合建立分布模型。

5.2.5 大坝安全分析评估应用组件应具备基于监测数据的结构物理及力学特性参数反演分析功能,并可进行监测效应量正分析,判断结构性态有无异常变化。

5.2.6 大坝安全分析评估应用组件应具备大坝泄洪振动和强震工况下的结构动力响应分析功能,并判断结构性态有无异常变化。

5.2.7 针对存在异常现象的效应量,应关联分析其原因量、相关效应量以及巡视检查信息,并判断结构性态有无异常变化。

5.2.8 大坝安全分析评估应用组件应具备结构异常人工辅助诊断功能。可自动对结构异常类别、涉及部位及范围、可能的成因给出分析结论,诊断过程和结果可通过自学习不断完善。

5.2.9 大坝安全分析评估应用组件应建立针对监测量和巡视检查结果的异常监控方法及指标,实现异常现象在线监控、实时告警和分析诊断,并具备可组态的报警信息发送策略。

5.2.10 在线监控方法及指标应支持按照汛期和非汛期等不同时段、正常或极端等不同工况、大坝和边坡等不同部位的条件分别设置,并可通过自学习进行修正。

5.2.11 大坝安全分析评估应用组件应实时监视经分析确认异常的效应量,并能够针对最新异常变化发出告警。

5.2.12 大坝安全分析评估应用组件应具有对大坝等水工建筑物的监控图像、视频识别和比对功能,可自动识别水工结构物表面裂缝、渗水、析出物等异常现象。

### 5.3 评估和预测

5.3.1 评估大坝局部和整体结构安全状况时应综合监测资料分析和诊断结论、复查和复核结果及危害性,并根据 DL/T 5313 的规定给出安全评估结果。

5.3.2 大坝安全分析评估应用组件可基于监控判断规则、数学模型方法、专家经验、历史异常问题及隐患风险等要素对大坝安全状态进行综合评估。

5.3.3 大坝安全分析评估应用组件应具备大坝安全等级的评估和预测功能,并给出处置策略建议。

5.3.4 大坝安全分析评估应用组件应能及时对水库调度库水位预测期内的大坝运行风险进行预测,并对可能出现的险情推算库水位警戒值。

5.3.5 出现极端工况或结构异常时,大坝安全分析评估应用组件应自动对大坝安全状态进行评估和风险预测。

5.3.6 大坝安全分析评估应用组件应具备专家在线会商功能。

### 5.4 成果输出

5.4.1 大坝安全分析评估应用组件应具备大坝安全分析评估报告自动生成功能,报告中的图形、报表可自动更新。

5.4.2 大坝安全分析评估应用组件应具备大坝安全相关信息的各类图表组态和综合展示功能,提供基于建筑信息模型(BIM)和地理信息系统(GIS)的多元信息展示功能,宜支持基于虚拟现实和增强现实(VR/AR)等技术的虚拟实景信息展示。

5.4.3 大坝安全分析评估应用组件应具备基于评估和预测结论的预警信息自动发布功能。

5.4.4 大坝安全分析评估应用组件应支持通过一体化管控平台向其他业务应用组件或特定客户端推送各类信息及指令。

5.4.5 大坝安全分析评估应用组件应能向大坝安全监测、水库调度、防汛决策支持、闸门控制与振动监测、机组运行监控、厂区安防监控和应急广播系统等推送告警信息。

## 6 性能要求

6.1 大坝安全分析评估应用组件可靠性和实时性指标应满足 GB/T 39264 要求,并具备数据自动备份能力。

6.2 数据采集与处理性能应满足以下要求:

- a) 大坝安全监测数据粗差识别查全率和查准率在具备初级智能化程度时均不低于 90%,在具备中级智能化程度时均不低于 95%,在具备高级智能化程度时均不低于 97%。粗差识别性能评价宜采用附录 C 中所列方法。
- b) 报警信息向 PC 客户端推送时间不大于 5 s,向移动客户端推送时间不大于 1 min。
- c) 报表输出时间不大于 30 s。

6.3 对单类异常现象的自主诊断分析时间不大于 3 min。具备中级智能化程度时诊断结果与专家诊断结论符合率不低于 80%,具备高级智能化程度时诊断结果与专家诊断结论符合率不低于 90%。

6.4 经历特殊工况后,大坝安全评估应用组件应在 30 min 内完成大坝安全状态评估。评估结论和预警信息生成后,应在 1 min 内推送至智能水电厂其他相关业务系统。

## 7 测试要求

7.1 大坝安全分析评估组件应进行联调测试,并进行符合性评价。

7.2 测试环境应尽可能模拟实际运行环境。测试内容应包括功能测试、用户界面检查、响应时间测试、压力/负载测试和安全测试,并覆盖各类业务场景。

7.3 大坝安全分析评估组件应与一体化管控平台的其他业务组件进行数据交互测试和联动测试。

7.4 所有的测试过程应有详细记录,测试完成后评估测试过程及结果。

## 附录 A

(规范性)

## 大坝安全分析评估应用组件分级

智能水电厂大坝安全分析评估分级要求见表 A.1。

表 A.1 大坝安全分析评估分级要求

| 层次划分 | 初级智能化  | 中级智能化   | 高级智能化  |
|------|--|---|--|
| 主要特征 | 具备监测数据的自动粗差识别、剔除,以及数据审核入库和成果图表绘制等功能,可自动进行资料整理整编。支持多业务应用联动监测功能,通过预设监控警戒值和判别规则实现自动告警和信息推送。支持常规数学建模和统计分析功能,通过人机交互方式实现异常现象成因诊断、趋势分析及安全评估 | 在具备初级智能化特征基础上,实现从监测数据采集到安全评估的主要过程自动完成。具备初步的机器学习能力,支持数据挖掘和模型参数自动寻优功能。实现异常数据监控值的训练优化,通过预置的知识库、方法库,可进行异常现象的成因机理辅助分析诊断和大坝安全等级评估预测   | 在具备中级智能特征基础上,通过机器学习、持续演进对知识库、方法库等进行自动优化完善。具备自主的异常信息告警、隐患工况预知预判、安全等级评估和预测、辅助决策等功能   |
| 能力要求 | 信息获取和预处理   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 具备监测数据自动审核和粗差识别处理能力;</li> <li>2) 具备异常数据自动复测能力</li> </ol>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 具备机器自主的信息获取、数据清洗能力,可自动选择数据采集策略;</li> <li>2) 具备与其他业务系统的自主联动交互信息能力;</li> <li>3) 具备自主获取和融合多元数据信息能力;</li> <li>4) 具备通过自学习方式完善方法库、知识库的能力;</li> <li>5) 具备监控指标和判断规则自动选取和自修正能力</li> </ol> |
|      | 分析和诊断  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 具备应用对象各类监测量整编分析和综合分析能力;</li> <li>2) 具备通过人机交互方式对应用对象定性和定量分析的能力;</li> <li>3) 具备结构安全快速分析能力;</li> <li>4) 具备监测数据预测和异常趋势分析预报能力</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 具备以机器分析为主、人工干预为辅的监测量定性和定量分析能力;</li> <li>2) 具备大坝物理力学参数反演分析和监测效应量正分析能力;</li> <li>3) 具备大坝结构动力响应分析能力;</li> <li>4) 具备图像、视频自动识别比对能力;</li> <li>5) 实现基本合理的结构异常原因诊断分析</li> </ol>          |



表 A.1 大坝安全分析评估分级要求（续）

| 层次划分 |       | 初级智能化   | 中级智能化  | 高级智能化  |
|------|-------|---|--|--|
| 能力要求 | 评估和预测 | 1) 具备通过人机交互方式对大坝安全状态和风险等级进行综合评估的能力；<br>2) 具备生成运行管理和工程技术措施或处置建议的能力 | 1) 具备以机器分析为主、人工干预为辅的大坝安全状态和等级综合评估能力；<br>2) 具备特殊工况或异常情况下对大坝安全状态自动评估和预测的能力                     | 1) 具备机器自主的大坝安全状态和等级综合评估能力；<br>2) 具备可靠的大坝工作性态隐患预知、异常预判和趋势预测能力     |
|      | 成果输出  | 1) 具备监测资料成果编辑及图表综合展示能力；<br>2) 具备告警信息自动推送能力                        | 1) 具备大坝安全相关信息的二维、三维仿真成果可视化展示能力；<br>2) 具备基于 BIM+GIS、VR/AR 技术的成果展示能力；<br>3) 具备大坝安全分析成果报告自动生成能力 | 1) 具备大坝安全相关信息及分析成果的实时全景展示能力,输出动画形式成果；<br>2) 具备大坝安全分析成果报告自主择机生成能力 |

## 附录 B

(资料性)

## 大坝安全分析评估应用组件信息

**B.1** 基本信息(包括但不限于):

- a) 工程概况和主体建筑物特征参数;
- b) 工程平面布置图、主要建筑物剖面图及地质剖面图;
- c) 工程建设期相关地勘、设计和施工报告及图纸;
- d) 监测布置图、巡视检查线路图;
- e) 大坝 GIS 数据;
- f) 监测仪器基本资料。

**B.2** 日常监测信息(包括但不限于):

- a) 大坝、边坡等自动化和人工监测数据;
- b) 库区水文站、水位站监测数据和库区泥沙监测数据;
- c) 水情、雨情、气象等监测数据;
- d) 机组运行监控数据;
- e) 大坝泄洪调度信息;
- f) 大坝强震监测数据;
- g) 近坝区地质灾害监测数据;
- h) 大坝、库区巡视检查信息;
- i) 闸门振动监测数据;
- j) 视频图像信息;
- k) 水下检测、结构检测信息。

**B.3** 管理信息(包括但不限于):

- a) 大坝 BIM 模型信息;
- b) 工程补强加固及改造资料;
- c) 大坝结构二、三维仿真数据;
- d) VR/AR 虚拟实景数据;
- e) 重要测点监控指标;
- f) 与结构安全相关的理论计算或实验成果信息;
- g) 异常判断规则;
- h) 信息告警策略;
- i) 监控数学模型;
- j) 防洪度汛信息;
- k) 泄洪消能设施及水工建筑物运行信息、闸门启闭运行信息;
- l) 近坝库岸和工程边坡运行信息;
- m) 设备设施状态监控信息,如故障信息、缺陷信息等。

附录 C

(资料性)

监测数据粗差识别性能评价方法

C.1 大坝安全分析评估应用组件的监测数据粗差识别性能宜采用查全率和查准率指标进行评价。

C.2 监测数据粗差识别查全率是指在统计时段内,由系统正确识别出的粗差个数与数据样本中所有粗差个数之比,见公式(C.1)和公式(C.2)。

$$Q_r = \frac{TP}{N_a} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(C.1)$$

$$N_a = TP + FN \quad \dots\dots\dots(C.2)$$

式中:

$Q_r$  ——监测数据粗差识别查全率;

$N_a$  ——数据样本中所有粗差个数;

$TP$  ——系统正确识别出的粗差个数;

$FN$  ——系统未正确识别出的粗差个数。

C.3 监测数据粗差识别查准率是指在统计时段内,由系统正确识别出的粗差个数与系统识别出的所有粗差个数之比,见公式(C.3)和公式(C.4)。

$$Q_p = \frac{TP}{N_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(C.3)$$

$$N_s = TP + FP \quad \dots\dots\dots(C.4)$$

式中:

$Q_p$  ——监测数据粗差识别查准率;

$N_s$  ——系统识别出的所有粗差个数;

$TP$  ——系统正确识别出的粗差个数;

$FP$  ——系统错误识别出的粗差个数。