

T/WEA

团 体 标 准

T/WEA XXXX—2026

水库除险加固工程进度智能风险防控规范

Specification for intelligent risk prevention and control of
construction progress in reservoir rehabilitation and reinforcement
projects

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

中国智慧工程研究会 发布

目 次

前言 III

引言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求与防控原则 3

5 进度计划体系与关键节点控制 4

6 进度风险识别与分级 6

7 数据采集、治理与集成要求 8

8 进度偏差诊断、预测预警与指标体系 11

9 风险响应与协同联动 13

10 实施运行与持续改进 15

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。

本文件由中国智慧工程研究会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

全国团体标准信息平台

引 言

水库除险加固工程通常具有工期约束强、施工窗口期受汛期与调度影响显著、参建单位多、作业面分散且交叉作业频繁、关键路径受材料供应与设备资源制约明显等特点。工程实施过程中，进度偏差往往不是单一因素导致，而是由水文气象、征地移民与地方协调、设计变更与现场条件偏差、施工组织与资源配置、质量安全约束、供应链与物流、资金支付节奏以及监理与验收程序等多因素耦合叠加形成。一旦关键节点失控，可能引发度汛风险上升、临时度汛措施投入增加、质量安全隐患累积、成本超支及合同索赔等问题，进而影响工程总体目标实现与水库安全运行。

随着数字孪生水利、智慧工地与工程项目管理信息化的推进，进度管理正由传统“事后统计、经验判断”的模式，向“数据驱动、动态预测、主动干预”的模式演进。通过统一的进度计划基线、工程量与资源数据、现场感知数据（人员、设备、材料、关键工序状态）、质量安全与验收数据以及外部环境数据（降雨、水位、交通、供应链）等的集成，可实现进度风险的早识别、早预警、早处置，并形成“监测—分析—预警—响应—复盘改进”的闭环管理机制。与此同时，进度风险防控需要标准化的指标体系、分级判定规则、数据口径与接口要求，以及与合同管理、变更管理、质量安全管理相协同的联动机制，避免“数据不一致、口径不统一、预警不可执行、处置不可闭环”等问题。

为规范水库除险加固工程进度智能风险防控的建设与应用，提升进度管理的可视化、可预测与可干预能力，本文件基于水库除险加固工程实施特征，提出进度风险识别与分级、进度基线与计划体系、数据采集与治理、进度偏差诊断与预测预警、风险响应与纠偏措施、关键节点与度汛约束下的协同控制、考核评价与持续改进等技术要求，形成可执行、可核查、可追溯的进度智能风险防控体系。

本文件适用于新建、改建、扩建条件下水库除险加固工程的施工阶段进度风险防控，也适用于已实施工程的进度管理体系升级与智能化改造。使用本文件时，应结合工程规模等级、施工组织模式、合同结构与度汛要求，合理确定风险阈值、预警响应等级与纠偏资源配置策略，确保进度风险防控措施与质量安全、度汛安全及投资控制目标协调一致。

水库除险加固工程进度智能风险防控规范

1 范围

本文件规定了水库除险加固工程进度智能风险防控的总体要求与防控原则，进度计划体系与关键节点控制，进度风险识别与分级，数据采集、治理与集成要求，进度偏差诊断、预测预警与指标体系，风险响应与协同联动，实施运行与持续改进等内容，旨在通过数据驱动与闭环管控实现工程进度风险的可视化、可预测、可干预与可追溯。

本文件适用于水库除险加固工程施工阶段的进度风险防控，包括大坝加固、防渗处理、溢洪道与泄洪建筑物改造、放水设施与输水建筑物整治、闸门启闭设备更新、坝基处理、附属设施改建以及必要的临时工程与度汛工程等。对采用EPC、施工总承包或多标段组织实施的工程，可按本文件要求建立统一的进度基线与数据标准，开展跨标段、跨专业、跨参建方的进度协同与风险联动控制。

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 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

GB/T 19001 质量管理体系 要求

GB/T 24001—2016 环境管理体系 要求及使用指南

GB/T 45001 职业健康安全管理体系 要求

GB/T 51212 建筑信息模型应用统一标准

DB13/T 5542—2022 水利水电工程施工组织设计编制指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水库除险加固 reservoir rehabilitation and reinforcement

为消除水库大坝及其附属建筑物病险隐患，提高防洪、供水与安全运行能力而实施的工程措施，包括结构加固、防渗处理、泄洪能力恢复或提升、设备更新改造及相关配套工程等。

3.2

进度基线 schedule baseline

经批准作为控制依据的进度计划版本，包括工作分解结构、工期安排、关键路径、里程碑节点、资源计划与约束条件等，用于对比实际执行情况并开展偏差分析。

3.3

关键节点 key milestone

对工程总体目标、度汛安全、关键工序转换或阶段性验收具有决定性影响的计划节点，如围堰导流完成、度汛措施到位、关键结构封顶、闸门安装调试完成、蓄水条件验收等。

3.4

关键路径 critical path

决定工程总工期的工作序列，其任一关键工作延误将直接导致总工期延误的路径。

3.5

进度偏差 schedule variance

实际进度与进度基线之间的差异，通常以工期偏差、节点偏差或完成量偏差等形式体现。

3.6

进度绩效指数 schedule performance index

衡量进度执行效率的指标，可基于挣值管理等方法形成，用于评价“完成量与计划量”的偏离程度。

3.7

进度风险 schedule risk

可能导致进度偏差、关键节点失控或工期延误的事件或不确定因素，包括外部环境风险、组织协同风险、资源供应风险、技术与工艺风险、质量安全约束风险、审批验收与变更风险等。

3.8

智能预警 intelligent early warning

基于数据采集与模型分析，对进度偏差趋势、关键节点失控概率或风险事件触发条件进行自动识别并发出分级预警的机制。

3.9

纠偏措施 corrective action

为消除或降低进度偏差、恢复计划可控状态而采取的组织、技术、资源或管理措施，包括调整施工组织、增加资源投入、优化工序衔接、变更计划与重新基线化等。

3.10

闭环管控 closed-loop control

围绕进度风险形成“识别—评估—预警—响应—验证—复盘改进”的连续管理过程，确保责任明确、措施有效、记录完整且可追溯。

3.11

工作分解结构 work breakdown structure, WBS

为实现项目目标，将项目可交付成果及其相关工作按层级逐级分解为更小、可管理的工作组成部分所形成的分层结构，用于明确项目工作范围并为计划、资源配置、进度与成本控制提供依据。

4 总体要求与防控原则

4.1 总体要求

水库除险加固工程应建立覆盖施工全过程的进度智能风险防控体系，形成统一的计划体系、统一的数据标准、统一的预警规则与统一的工单闭环机制，并与质量、安全、度汛、变更、资金支付等管理体系协同运行。进度智能风险防控应满足以下要求：

- a) 基线可控：工程应建立经批准的进度基线，包括工作分解结构、关键路径、里程碑节点、资源计划与主要约束条件，并保持版本受控；
- b) 数据可用：进度相关数据应实现及时、准确、可追溯采集与集成，关键数据口径一致，支持跨标段、跨专业汇总分析；
- c) 分析可解释：进度偏差诊断应能解释偏差来源与影响路径，避免仅输出“红黄绿”而无处置依据；
- d) 预警可执行：预警等级应与责任人、处置时限、纠偏措施清单与验证方法绑定，确保预警可落地；
- e) 处置可闭环：纠偏应形成工单闭环，记录触发依据、措施实施、效果验证与复盘结论；
- f) 协同可联动：进度风险防控应与度汛约束、质量安全与验收程序、变更索赔与资金支付联动，避免单线管理造成局部优化与整体失控。

4.2 防控目标

进度智能风险防控目标应结合工程度汛要求与合同目标确定，至少包括：

- a) 关键节点按期达成，满足度汛与阶段性验收要求；
- b) 关键路径可控，关键工作延误风险可预警并可干预；
- c) 进度偏差可量化、可追溯并可通过纠偏措施逐步收敛；
- d) 进度计划与资源、成本、质量安全约束协同，避免以抢工牺牲质量安全；
- e) 形成可复制的进度风险数据资产与规则库，支撑后续工程持续改进。

4.3 防控原则

进度智能风险防控应遵循以下原则：

- a) 计划先行、基线控制：以批准的进度基线为唯一对比基准，未经审批不得随意变更基线；

- b) 关键导向、分级管控：以关键路径与关键节点为核心对象，实行风险分级与差异化管控；
- c) 数据驱动、模型辅助：以数据为依据开展偏差诊断与预测预警，模型结果应可解释、可复核；
- d) 预警联动、闭环处置：预警应触发责任落实与纠偏动作，形成闭环工单并验证效果；
- e) 约束协同、综合平衡：统筹度汛、质量安全、验收程序、变更审批、资金支付等约束，避免单目标优化；
- f) 持续复盘、经验回灌：对偏差与预警事件开展复盘，形成规则与措施库并固化到管理流程。

4.4 智能风险防控闭环流程

进度智能风险防控宜按“数据采集—偏差诊断—风险评估—预测预警—响应处置—效果验证—复盘改进”的闭环流程实施，闭环流程结构应与图1相符合。

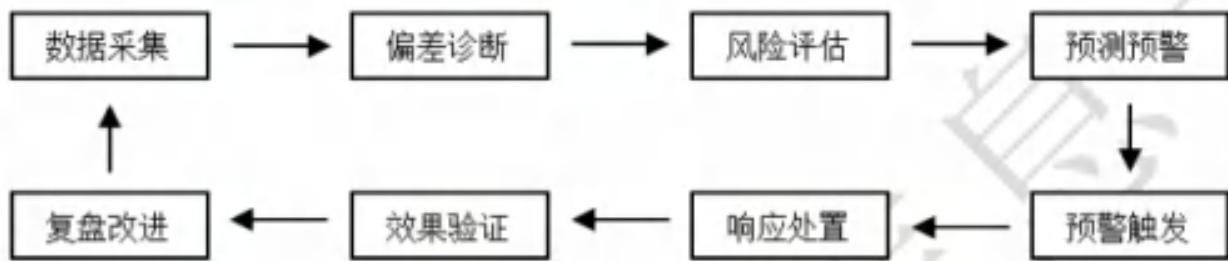


图1 水库除险加固工程进度智能风险防控闭环流程示意图

5 进度计划体系与关键节点控制

5.1 计划分层体系与工作分解结构

工程应建立分层进度计划体系，至少包括：

- a) 总控计划：以合同工期与度汛控制目标为约束，明确阶段目标、关键节点、关键路径与资源总体策略；
- b) 年/月/周滚动计划：以总控计划为依据，分解形成可执行的滚动计划，明确工作面、资源配置、交叉作业组织与验收接口；
- c) 专项计划：针对导流围堰、度汛措施、关键设备采购与安装、闸门启闭调试、关键防渗处理等关键事项编制专项计划；
- d) 作业计划与班组计划：以周计划为牵引，形成日作业计划、工序衔接与质量安全控制要点。

计划编制应建立统一的工作分解结构（WBS），WBS编码应贯通计划、工程量、合同清单、资源、成本、质量验收与资料归档等对象，确保后续数据集成与分析口径一致。

5.2 进度基线建立与版本控制

5.2.1 基线建立要求

进度基线应由总控计划及其关键支撑计划组成，经项目法人（或建设单位）批准后生效。基线应至少包括：

- a) WBS与作业清单；
- b) 工作持续时间、逻辑关系与关键路径；
- c) 里程碑节点与关键节点；
- d) 资源需求与关键资源约束；
- e) 主要外部约束（度汛窗口期、审批验收、材料设备到货、交通与场地条件等）；
- f) 计划假设与风险清单（关键假设、敏感因素、应对策略）。

5.2.2 版本控制要求

进度基线应实施版本化管理，未经批准不得随意调整。发生设计变更、重大工况变化（如水文气象异常、度汛要求调整）、重大资源变化或合同范围调整时，应按变更管理流程进行计划调整与基线重置。

版本控制应满足：

- a) 基线版本号、发布日期、审批记录可追溯；
- b) 变更原因、影响范围、关键路径变化与节点变化可复核；
- c) 旧版本保留与对比分析可实现；
- d) 基线调整应同步更新预警阈值与纠偏策略库。

5.3 关键节点库与关键路径识别

5.3.1 关键节点库建立

工程应建立关键节点库，至少包含：节点名称、节点定义、验收条件、责任单位、计划日期、前置条件、风险要点与替代方案。关键节点应覆盖度汛控制节点与关键验收节点，并与合同约定及施工组织设计一致。

关键节点库应纳入信息化系统管理，作为预警对象与工单闭环对象，并与图1所示流程的“预测预警—响应处置—效果验证”环节联动。

5.3.2 关键路径识别与动态维护

工程应识别关键路径并进行动态维护。关键路径识别应考虑：

- a) 工序逻辑关系与约束条件（导流、降排水、交通组织等）；
- b) 关键资源约束（专用设备、关键班组、材料供应等）；
- c) 验收与转序约束（隐蔽验收、质量评定、专项验收等）；
- d) 度汛窗口期与水位调度约束。

关键路径应在计划系统中明确标识，并在进度监测与预警中给予更高权重；关键路径发生变化时，应触发风险复核与预警规则校核。

5.4 度汛约束下的计划编制与校核

水库除险加固工程计划编制应充分考虑度汛约束。应明确度汛前必须完成的结构节点、临时度汛措施到位节点、关键设备启闭与备用电源等保障节点、应急预案与演练节点等。计划校核应满足：

- a) 度汛前关键节点与必要的验收条件可实现；
- b) 涉水作业、围堰与导流工程在汛期的风险可控并具备应急预案；
- c) 汛期停工或限制施工的工作面安排合理，避免关键路径工作集中在高风险窗口；
- d) 必要时设置“度汛缓冲期”，并在资源与工序上预留纠偏空间。

度汛约束节点应作为最高优先级预警对象，预警阈值与响应等级应在后续章节中明确。

5.5 计划—资源—验收协同校核

进度计划应与资源计划、采购计划及验收计划协同校核，确保计划可执行。应至少核查：

- a) 关键材料设备到货周期与安装调试周期是否满足关键节点；
- b) 关键工序的人员、机械、工器具、临设与交通组织是否满足作业需求；
- c) 质量检验、监理旁站、隐蔽验收与专项验收的接口是否嵌入计划并具备时间资源；
- d) 交叉作业与作业面切换是否存在冲突与拥堵风险。

协同校核结果应形成记录，并作为后续风险识别与预警模型参数的重要输入。

6 进度风险识别与分级

6.1 风险分类框架

进度风险应按“外部环境—组织协同—技术工艺—资源供应—质量安全—审批验收—合同变更—资金支付—信息系统”维度进行分类管理，分类应覆盖工程全要素并便于形成可执行的风险清单。进度风险分类宜包括：

- a) 外部环境风险：降雨、洪水过程、水位调度变化、极端高温/低温、交通中断、地质条件偏差等；
- b) 组织协同风险：多标段界面不清、交叉作业冲突、分包协调不足、信息传递滞后等；
- c) 技术与工艺风险：关键工艺适应性不足、试验段失败、施工方案需调整、设备调试反复等；
- d) 资源供应风险：关键材料设备到货延误、供应链中断、关键机组故障、劳动力不足或技能不匹配等；
- e) 质量与安全约束风险：质量缺陷返工、隐蔽验收延误、安全事故停工整顿、重大隐患整改等；
- f) 审批验收风险：监理签证滞后、专项验收组织不及时、政府审批或外部协调延误等；
- g) 合同变更与索赔风险：设计变更频繁、工程量偏差、变更审批周期长导致计划重排；
- h) 资金支付风险：资金到位不及时、支付节点与实际完成不匹配导致资源投入受限；
- i) 信息系统与数据风险：数据缺失、口径不一致、系统故障影响统计与预警，导致决策滞后。

风险分类应与风险库字段体系一致，便于统计分析与模型训练以及规则化预警配置。

6.2 风险识别方法与时点要求

进度风险识别应覆盖工程策划、开工准备、关键工序转换、度汛前后、重大变更发生、关键设备到货与安装调试、阶段性验收等关键时点，并形成动态更新机制。风险识别宜采用以下方法组合：

- a) 基于计划的识别：围绕关键路径、关键节点与资源瓶颈识别“单点失效”风险；
- b) 基于约束的识别：围绕度汛窗口期、审批验收周期、交通与场地条件等外部约束识别风险；
- c) 基于历史与类比的识别：引用同类工程典型问题形成风险清单；
- d) 基于数据的识别：利用进度偏差趋势、资源到位率、验收滞后率、质量返工率等指标识别风险信号；
- e) 基于现场巡查的识别：通过现场作业面与关键工序巡查识别组织冲突、资源不足与工序阻塞风险；
- f) 专家评审：对度汛关键节点、重大工艺与重大变更开展专项风险评审。

风险识别应形成记录，至少包括风险事件描述、触发条件、影响范围（WBS范围与关键节点）、责任单位、建议措施与需要监测的指标。

6.3 风险库建设与维护要求

工程应建立进度风险库（风险清单/风险台账），并纳入信息化系统统一管理。风险库应至少包含以下字段：风险编号、风险类型、风险描述、触发条件、影响对象（WBS/关键节点/关键路径）、影响程度、发生概率、风险等级、监测指标与阈值、责任人、应对措施清单、处置时限、验证方法、状态与关闭条件、复盘结论与经验标签。

风险库应具备版本管理与动态更新机制。新增风险、等级调整、阈值调整、措施调整应留痕可追溯。风险库中的应对措施应与工单系统联动，实现预警触发后可直接生成处置任务。

6.4 风险分级判定要素

进度风险分级应综合考虑风险发生概率、影响程度与可控性，并体现对度汛与关键节点的优先级。分级判定要素宜包括：

- a) 影响范围：影响的WBS范围、关键节点数量、关键路径长度与总工期影响天数；
- b) 时间敏感性：距关键节点剩余时间、缓冲时间（float）大小、纠偏窗口可用性；
- c) 约束强度：度汛窗口期刚性约束、审批验收刚性约束、材料设备交付刚性约束等；
- d) 可替代性：是否存在替代工艺、替代资源或替代作业面；
- e) 关联性：是否会引发质量返工、安全停工或合同变更连锁反应；
- f) 数据信号：偏差趋势、资源到位率、关键工序产能与计划产能差异等。

6.5 风险等级划分与阈值设置原则

风险等级宜划分为四级（I—IV级），并与预警等级与响应强度对应。分级结构宜与表1相符合。表1为示例，工程可根据合同工期、度汛要求与管理成熟度细化阈值，但应确保“等级—预警—处置—验证”闭环一致。

表1 进度风险分级与响应

风险等级	典型判定依据	管控要求	响应建议
I级	局部偏差可在缓冲期内消化；不影响关键路径	常态监测	周计划调整；现场协调
II级	影响关键节点但仍有可纠偏窗口；偏差趋势上升	加密监测，专项协调	资源优化；工序重排；接口加快
III级	关键路径偏差显著；距度汛或关键节点缓冲不足	启动预警与专项纠偏	增加资源/多班组；加快验收；并行施工
IV级	关键节点失控概率高或已失控；影响度汛安全或合同总工期	启动应急响应	项目层面统筹；重大资源调配；计划重基线；合同与调度联动

6.6 风险分级复核与动态调整

风险等级应支持动态复核与调整。当出现以下情形时应复核风险等级：

- a) 偏差趋势发生显著变化（加速或收敛）；
- b) 关键资源到位状态变化（到货延误、设备故障、劳动力变化）；
- c) 质量安全事件导致停工或返工；
- d) 度汛要求、水位调度或审批验收计划调整；
- e) 重大设计变更或合同范围调整。

风险等级调整应记录依据与审批，并同步更新预警规则与处置措施清单，确保图1闭环流程中的预警与响应逻辑一致。

7 数据采集、治理与集成要求

7.1 数据体系总体要求

工程应建立“一个基线、一套编码、一个口径、一条链路”的数据体系，至少满足以下要求：

- a) 统一主数据：WBS、标段、单位工程、构筑物、作业面、资源（人机料）、合同清单、验收单元等应统一编码并贯通使用；
- b) 覆盖关键要素：进度、工程量、资源、质量安全、验收、变更签证、采购到货、资金支付、外部环境与度汛工况等数据应纳入集成范围；
- c) 支撑闭环：数据应支撑“偏差诊断—风险评估—预警触发—工单处置—效果验证—复盘改进”的闭环；
- d) 可追溯可审计：数据来源、采集方式、采集时间、责任主体、版本变更与修订记录应可追溯；
- e) 分级共享：数据访问应满足最小必要原则，按角色授权并保留审计留痕。

7.2 数据模型与编码体系要求

7.2.1 进度数据模型

进度数据模型应至少包含以下对象与字段：

- a) 计划对象：WBS编码、工作名称、计划开始/完成、持续时间、逻辑关系、关键路径标识、缓冲时间、里程碑属性、约束类型与约束日期；
- b) 实施对象：实际开始/完成、当期完成量、累计完成量、实际工期、停工与等待原因、工序状态；
- c) 节点对象：关键节点定义、验收条件、责任单位、计划日期、实际日期、偏差天数、节点状态；
- d) 版本对象：基线版本号、生效日期、审批记录、变更原因与影响范围。

进度数据模型应支持“计划—实际—预测”的三态管理，并支持跨标段汇总与关键路径动态识别。

7.2.2 工程量与计量对象

工程量数据应与合同清单、设计工程量与现场计量口径对应，至少包括清单编码、计量单位、计划工程量、累计完成量、当期完成量、计量依据、签认状态与对应WBS映射关系。工程量统计口径应统一，避免“进度完成率”与“计量完成率”长期背离导致预警失真。

7.2.3 资源对象

资源数据应至少包括关键劳动力、关键机械设备与关键材料的计划需求、到位数量、可用率、稼动率、故障停机时间、供应周期与库存水平等，并与对应WBS与关键节点建立关联，以支撑资源瓶颈识别与纠偏措施评估。

7.2.4 主数据与编码贯通

WBS编码应作为核心主键，贯通计划、工程量、资源、质量验收、变更签证与支付等业务对象。对多标段工程，应建立统一编码映射规则与接口清单，确保跨标段数据可汇总、可对比、可追溯。

7.3 数据来源、采集方式与接口要求

7.3.1 数据来源分类

进度智能风险防控的数据来源宜包括：计划系统数据、现场填报数据、设备与人员定位数据、材料采购与到货数据、质量安全与验收数据、变更签证数据、资金支付数据以及外部环境与水情工况数据等。数据来源与采集要求可按表2组织。

表2 数据来源与采集要求

数据类别	主要数据项	典型来源	采集频次建议	用途
计划与基线	WBS、逻辑关系、关键路径、里程碑	进度计划软件/项目管理系统	基线发布/变更时	偏差对比基准、关键路径识别
实际进度	实际开始/完成、完成量、停工原因	施工日志/现场填报/移动端	日/周	偏差诊断、趋势预测

表2 数据来源与采集要求（续）

数据类别	主要数据项	典型来源	采集频次建议	用途
工程量与计量	清单计量、签认状态	计量支付系统/监理 签证	周/月	完成率核验、支付联动
资源（人机料）	到位率、可用率、库存	设备台账/采购系统 /仓储系统	日/周	瓶颈识别、纠偏评估
质量安全与验收	隐蔽验收、质量评定、停工 整顿	质量安全系统/监理 系统	事件触发/周	约束识别、转序风险
变更与签证	变更单、审批状态、影响 工期	变更管理系统	事件触发	基线调整、索赔支撑
外部环境 with 工况	降雨、水位、调度指令	水情系统/气象数据 /调度系统	小时/日	度汛约束、工期窗口判断

7.3.2 接口与数据交换要求

系统集成应明确数据接口清单、字段口径、时间戳规则、状态码定义与异常处理策略，至少满足：

- a) 接口可追溯：接口调用日志、失败重试、数据校验与补传机制完善；
- b) 口径一致：同一指标（如完成率、偏差天数、到位率）在不同系统中应统一定义；
- c) 时间统一：采用统一时间基准，确保跨系统数据可对齐分析；
- d) 权限可控：接口调用应具备身份认证、授权校验与审计留痕。

7.4 数据质量控制与治理要求

数据质量控制应覆盖完整性、准确性、一致性、及时性与唯一性，并建立可执行的治理机制：

- a) 完整性：关键数据缺失应触发提示或告警，明确补录责任人及时限；
- b) 准确性：对异常值、逻辑冲突（如实际完成早于实际开始）、超范围数据应自动校验并返工；
- c) 一致性：计划—工程量—计量—支付口径冲突应定期对账并形成差异闭环；
- d) 及时性：关键节点与关键路径相关数据应设置更高的时效要求；
- e) 唯一性：同一WBS任务在同一版本下应保持唯一标识，避免重复填报与重复统计。

数据治理应形成“规则—校验—工单—整改—复核”的闭环，整改记录应可追溯并用于复盘改进，闭环逻辑应与图1相符合。

7.5 数据安全、权限与审计留痕

进度风险防控系统应按角色实施分级授权，至少区分建设单位、监理单位、施工单位与分包单位的访问范围，并对关键操作（基线发布、阈值调整、关键节点状态变更、关键数据导出、变更影响工期确认等）保留审计留痕。对涉及合同与支付、索赔与争议的数据，应确保证据链完整，满足复核与追溯需要。

7.6 数据资产沉淀与复用

工程宜建立进度风险数据资产库，沉淀关键节点库、风险库、预警规则库、纠偏措施库与典型案例库，并形成可复用模板，支撑后续类似工程快速部署。资产库内容应与项目复盘机制联动，持续更新与优化。

8 进度偏差诊断、预测预警与指标体系

8.1 总体要求

工程应建立“计划—实际—预测”三态一体的进度分析机制，做到偏差可度量、原因可定位、影响可量化、风险可预测、预警可执行。进度分析应至少满足以下要求：

- a) 诊断对象聚焦关键路径与关键节点，并覆盖度汛约束节点；
- b) 指标口径统一，计算规则、统计窗口与数据来源可追溯；
- c) 诊断结论可解释，能够明确偏差来源、影响链路与纠偏方向；
- d) 预警触发与工单闭环绑定，预警不以“提示”为终点，应以“纠偏收敛”为目标；
- e) 预警阈值可配置、可复核、可动态调整，调整需留痕可审计。

8.2 偏差诊断方法与流程

8.2.1 偏差诊断的基本流程

偏差诊断宜按以下步骤实施：

- a) 偏差识别：对比基线计划与实际执行，识别工期偏差、节点偏差与完成量偏差；
- b) 偏差定位：定位偏差所属WBS、标段、作业面与责任主体，判断是否处于关键路径、是否影响关键节点；
- c) 原因归因：结合资源、质量安全、验收、变更与外部环境数据，识别导致偏差的主因与次因；
- d) 影响评估：量化对关键节点与总工期的影响（如影响天数、缓冲消耗比例、关键路径变化）；
- e) 风险判定：按第6章分级规则判定风险等级，形成预警建议与纠偏方向；
- f) 工单生成：触发预警工单，明确措施、时限与验证条件，并进入第9章响应处置闭环。

8.2.2 偏差类型与诊断要点

进度偏差诊断应至少覆盖以下类型，并明确诊断要点：

- a) 工期偏差：以实际开始/完成日期与计划日期对比，重点识别关键工作延误、工序等待与停工时间；
- b) 节点偏差：以里程碑节点计划日期与实际状态对比，重点识别节点前置条件未满足的瓶颈因素（资源、验收、到货、工况等）；
- c) 完成量偏差：以计划完成量与实际完成量对比，重点识别产能不足、作业面受限与工效下降原因；

d) 缓冲消耗偏差 以关键工作浮动时间（float）与缓冲消耗比例为核心，识别“尚未延误但已失去纠偏窗口”的隐性风险；

e) 协同界面偏差：对多标段界面任务、交叉作业任务，重点识别“接口移交延误、验收卡点、场地交接不清”造成的链式影响。

8.3 指标体系构成与口径要求

8.3.1 指标体系构成

进度智能风险防控指标体系宜由“进度执行指标、节点控制指标、资源保障指标、约束联动指标、预测预警指标”构成，指标应与风险分级与预警联动相适配。指标体系应覆盖以下核心维度：

- a) 计划维度：关键路径状态、关键工作浮动时间、关键节点剩余时间与缓冲时间；
- b) 执行维度：实际完成率、产能达成率、计划兑现率、停工等待时长；
- c) 资源维度：关键资源到位率、可用率、稼动率、关键材料库存与到货偏差；
- d) 约束维度：验收滞后率、返工率、安全隐患整改周期、变更审批周期、资金支付匹配度；
- e) 预测维度：节点失控概率、工期延误预测值、风险趋势指数、预警触发次数与闭环周期。

8.3.2 指标口径与计算规则要求

指标定义应在系统中固化并形成可查的“指标字典”，至少包括：名称、定义、计算公式、数据来源、统计周期、适用范围、阈值建议与责任归属。对跨系统指标（如完成率、偏差天数、到位率、验收滞后）必须统一口径，避免出现同一指标多版本并存导致预警失真。

8.4 预测预警机制与模型要求

8.4.1 预测预警的基本要求

预测预警应在“解释性优先、可落地优先”的原则下选择方法。对管理成熟度较高、数据完备的项目，可采用统计预测或算法模型；对数据基础较弱的项目，可采用规则阈值与趋势外推为主，但应确保预测逻辑可复核。预测预警至少应覆盖：

- a) 关键节点失控预警：预测在当前产能与约束条件下关键节点能否按期达成；
- b) 关键路径延误预警：预测关键路径的延误趋势及其对总工期影响；
- c) 度汛约束风险预警：在汛期临近或水位调度变化时，预测涉水作业与度汛措施到位节点风险；
- d) 资源供应风险预警：预测关键材料设备到货是否满足安装调试窗口；
- e) 验收与变更约束预警：预测验收滞后、变更审批滞后对转序与节点的影响。

8.4.2 预警触发方式

预警触发宜采用“阈值触发 + 趋势触发 + 事件触发”的组合方式：

- a) 阈值触发：当偏差天数、缓冲消耗比例、到位率、验收滞后等超过阈值时触发；

- b) 趋势触发：当偏差连续扩大、产能连续低于计划、关键资源可用率持续下降等趋势出现时触发；
- c) 事件触发：当发生暴雨洪水过程、重大设计变更、关键设备故障、质量安全停工、道路中断等事件时触发。

8.5 预警等级与工单联动要求

预警等级应与第6章风险等级对应，可采用I—IV级预警（或蓝/黄/橙/红），但必须明确：

- a) 每级预警的触发条件（阈值、趋势或事件条件）；
- b) 责任主体与响应时限（如日内响应、24小时内响应、48小时内响应等）；
- c) 必选纠偏措施类型（组织协调、资源补强、工序重排、验收加快、变更前置等）；
- d) 验证方式与关闭条件（偏差收敛、节点预测恢复、缓冲回补或经批准基线调整等）；
- e) 复盘要求（III级及以上必须复盘，形成经验回灌）。

工单应具备全流程留痕：触发依据、派单、执行、验收、关闭与复盘结论，并与对应WBS、关键节点及风险库条目关联。

8.6 可视化分析与报送要求

工程应建立面向不同角色的进度风险可视化看板与报送机制：

- a) 建设单位/项目法人层：关注关键节点达成、度汛风险、总工期风险、跨标段协同与重大风险处置闭环；
- b) 项目管理层：关注关键路径、缓冲消耗、资源瓶颈、验收与变更卡点、预警工单闭环周期；
- c) 施工与分包层：关注周计划兑现率、作业面冲突、资源到位、关键工序产能与现场问题工单。

可视化输出应能回溯到数据来源与计算口径，避免“只展示结果不展示依据”。对度汛前关键时期宜加密报送，并在预警升级时同步报送处置计划与验证节点。

9 风险响应与协同联动

9.1 响应组织与职责分工

工程应建立分级响应组织体系，明确建设单位（项目法人）、监理单位、施工单位及相关参建方在不同预警等级下的职责。响应组织应至少满足：

- a) I级预警由施工单位项目部牵头处置，监理单位监督与协调；
- b) II级预警由项目管理层组织专项协调，必要时跨标段协调资源与作业面；
- c) III级预警应启动项目法人牵头的专项纠偏机制，形成专项行动计划并明确资源保障；
- d) IV级预警应启动应急响应与高层统筹，必要时联动调度部门与地方协调机制，实施重大资源调配、计划重排与基线重置。

各级响应应明确责任人、处置时限、必选措施类型与验证条件，并在工单系统中留痕。

9.2 纠偏措施库建设与应用要求

工程应建立纠偏措施库并与风险库、预警规则库联动。纠偏措施库应至少包含：措施类型、适用场景、实施前置条件、资源需求、预计缩短工期效果、质量安全风险提示、审批要求与验证方法。纠偏措施应优先选择不降低质量安全与度汛安全的方案，避免以抢工导致返工或停工的“反向偏差”。

纠偏措施库宜覆盖以下类别：

- a) 组织协调类：界面协调、作业面移交、工序衔接优化、穿插施工组织；
- b) 资源保障类：增加班组、增加机械、关键材料备货、供应链替代；
- c) 工艺优化类：工艺改进、施工方法调整、并行施工、预制装配替代；
- d) 约束突破类：验收加快、审批前置、变更并行评审、签证资料同步完善；
- e) 计划调整类：滚动计划重排、关键路径重构、缓冲回补、必要时基线重置；
- f) 风险隔离类：度汛临时措施加固、涉水作业窗口调整、雨季施工专项保障。

9.3 资源调配与产能提升措施

当预警指向资源瓶颈或产能不足时，应优先采取可量化、可验证的资源调配措施：

- a) 劳动力：增加关键工种班组、优化班组结构与技能匹配，必要时实行多班倒；
- b) 机械设备：增加关键设备台班、设置备用设备与关键部件备品备件，降低故障停机时间；
- c) 材料供应：建立关键材料清单与安全库存，设置到货预警与替代供应方案；
- d) 场地与交通：优化运输路线、堆场与吊装通道，减少二次倒运与等待；
- e) 生产组织：优化作业面划分与流水段组织，提高并行度与连续作业能力。

资源调配应与计划重排同步，明确对关键节点与关键路径的缩短天数预期，并在实施后通过指标（产能达成率、计划兑现率、偏差收敛速度）验证效果。

9.4 工序优化与计划重排

当预警指向工序逻辑不合理、界面冲突或关键路径风险上升时，应实施工序优化与计划重排：

- a) 关键路径优先：优先保障关键路径工作面、资源与验收接口；
- b) 并行施工论证：对可并行的工序实施并行组织，但必须开展质量安全与度汛风险论证，并明确责任与监控措施；
- c) 缓冲回补：通过非关键工作压缩、资源转移或工序调整回补关键路径缓冲；
- d) 里程碑拆解：对关键节点进行前置条件拆解，逐项闭环，避免节点“到期才发现不可达”；
- e) 计划重基线：当合同范围、关键约束或关键路径发生实质变化且原基线不再适用时，应按批准程序进行基线重置，并同步更新预警阈值与规则。

计划重排应形成可追溯记录，说明重排依据、影响范围与关键路径变化，并在系统中保留版本对比。

9.5 与质量安全管理的联动要求

进度纠偏不得突破质量与安全底线。进度风险响应应与质量安全管理协同：

- a) 对因质量返工导致的进度风险，应优先采取“质量问题清零 + 工序恢复”的策略，避免边返工边推进造成隐患；
- b) 对安全隐患整改导致的停工，应将整改计划与复工条件嵌入进度计划，并作为关键节点前置条件管理；
- c) 对抢工措施（夜间施工、多班倒、交叉作业）应同步开展安全风险评估与专项交底，并设置监理旁站与巡查加密；
- d) 对关键工序应强化首件制与样板引路，减少返工概率，从源头降低进度风险。

9.6 与验收、审批与签证的联动要求

验收与审批滞后是除险加固工程常见进度瓶颈。应建立“验收前置 + 资料同步 + 节点绑定”的联动机制：

- a) 将隐蔽验收、阶段验收、专项验收作为计划任务纳入WBS并设定责任人；
- b) 资料同步：施工记录、试验检测、监测数据、影像资料应同步归集，避免“完工未验收”；
- c) 验收加快：对关键路径与度汛节点相关验收，应建立快速通道与专项组织机制；
- d) 签证闭环：签证与计量资料应与进度完成量同步闭环，避免支付滞后反向影响资源投入。

9.7 与变更索赔与资金支付的联动要求

变更与支付节奏直接影响进度可控性。应建立变更—计划—支付联动机制：

- a) 变更影响评估：设计变更应同步评估对关键路径与关键节点的影响，并形成计划调整建议；
- b) 变更并行评审：对影响度汛与关键节点的变更，应实施并行评审与前置沟通，缩短审批周期；
- c) 支付匹配：建立“完成量—签证—计量—支付”链路对账机制，确保关键资源投入可持续；
- d) 索赔证据链：对因外部原因、变更或停工导致的工期影响，应固化证据链（指令、日志、监测数据、照片、会议纪要等），支撑合理索赔与争议解决，避免管理不确定性拖累进度。

9.8 度汛约束下的应急响应

当预警达到IV级或度汛关键节点存在失控风险时，应启动度汛约束下的应急响应：

- a) 优先保障度汛安全节点，必要时调整施工窗口与作业面，实施临时度汛措施加固；
- b) 联动调度与地方协调机制，及时获取水位调度与天气预报信息并调整计划；
- c) 对涉水高风险作业实施停工或限制施工，并制定复工条件；
- d) 必要时实施计划重排与阶段目标调整，并履行审批程序。

应急响应的处置过程与效果验证应形成专项记录，并纳入复盘改进。

10 实施运行与持续改进

10.1 实施运行要求

10.1.1 系统部署与运行保障

工程应结合信息化条件部署进度智能风险防控系统或模块，至少实现计划管理、数据采集集成、偏差诊断、预警触发、工单闭环、可视化看板与资料归档等功能。系统运行应满足：

- a) 稳定性：关键时期（度汛前后、关键节点冲刺期）系统可用性满足管理需要；
- b) 连续性：支持断点续传与本地缓存，避免网络不稳定导致数据缺失；
- c) 适配性：支持多标段、多参建方协同与角色权限配置；
- d) 可追溯性：基线版本、阈值调整、关键节点状态变更、工单处置等关键操作留痕可审计；
- e) 兼容性：与现有进度、质量、安全、计量支付、变更管理等系统具备数据接口或可导入导出能力。

10.1.2 运行管理制度

工程应制定系统运行管理制度，至少明确数据填报责任、数据校验规则、预警值维护机制、工单闭环时限与升级规则、报表报送节奏以及权限审批流程。制度应固化到项目管理体系中，确保“有人用、用得起来、用得一致”。

10.2 考核评价指标体系

考核评价应覆盖计划管理质量、数据质量、预警有效性、纠偏效果与闭环效率等维度。评价指标应口径统一、可计算、可追溯。评价指标体系宜包括：

- a) 计划管理类：计划兑现率、关键节点按期达成率、关键路径稳定性（关键路径频繁变更次数）、计划滚动更新及时率；
- b) 数据质量类：关键数据完整率、异常数据整改闭环率、跨系统口径一致率、数据上报及时率；
- c) 预警有效性类：预警命中率（预警后实际发生风险的比例）、误报率、漏报率、预警提前量（提前发现天数）；
- d) 处置闭环类：工单按期关闭率、平均闭环周期、升级处置比例、复发率；
- e) 纠偏效果类：偏差收敛速度、缓冲回补率、关键节点恢复率、资源措施达效评估结果；
- f) 协同联动类：验收滞后率改善幅度、变更审批周期改善幅度、支付匹配度改善幅度。

评价指标的定义、公式与数据来源应纳入指标字典并在系统中固化。

10.3 预警处置绩效评估

预警处置绩效评估应以“是否提前发现、是否快速响应、是否有效纠偏、是否形成经验回灌”为主线，至少包括：

- a) 预警触发是否及时，触发依据是否充分、可复核；
- b) 响应是否按等级执行，是否在规定时限内形成处置计划；

- c) 纠偏措施是否落地，资源投入是否到位，是否对关键路径与关键节点产生实质改善；
- d) 效果验证是否达标，偏差是否收敛，风险等级是否下降或稳定；
- e) 是否形成复盘结论与规则/措施库更新，是否避免同类问题复发。

对III级及以上预警事件，应形成专项复盘报告并纳入案例库。

10.4 复盘机制与持续改进

工程应建立常态化复盘机制，至少包括月度复盘与重大事件复盘：

a) 月度复盘：对偏差来源、预警事件统计、工单闭环周期与关键节点风险进行复盘，形成改进清单；

b) 重大事件复盘：对IV级预警、度汛关键节点险情、重大停工、重大变更等事件开展专项复盘，形成制度与规则优化建议。

复盘应形成“问题—原因—措施—验证—固化”的闭环。固化内容宜包括 预警阈值调整、风险库更新、纠偏措施库补充、计划编制规则优化、数据质量治理规则优化等。

10.5 数据资产沉淀与推广应用

工程宜沉淀以下数据资产并可复用：

- a) 关键节点库模板（含度汛节点与验收节点）；
- b) 风险库与典型风险条目；
- c) 指标字典与预警规则库；
- d) 纠偏措施库与措施达效参数；
- e) 典型案例库（含复盘报告、证据链与处置成效）；
- f) 多标段协同编码与接口清单。

数据资产应通过版本管理持续更新，并可用于后续水库除险加固工程快速部署与能力复制。

10.6 附则性要求与衔接说明

实施运行过程中如涉及合同约定、政府审批与地方管理要求，应以满足相关约束为前提执行本文件。对采用新技术、新系统或新模型的项目，应开展试点验证并明确应用边界，避免模型结果替代工程管理责任。