

大数据模型分析架构下的工程经营风险识别与预警模型

张 鹏

中国水利水电第十二工程局有限公司，浙江 杭州 310030

[摘要]西部大型水电站主体土建、机电安装施工工期跨度大、现场基建投入垫资规模庞大，高寒高海拔地域、业主及监理等多方外部约束因子敏感度较高。水电施工企业传统静态风险管控模式存在四方参建主体信息孤岛、现场履约风险识别滞后、工期-成本-分包风险传导耦合关系辨识不足等现实短板。结合施工总承包业务场景构建五层云边协同大数据层级分析架构，耦合ISM解释结构模型与熵权-TOPSIS法解析施工端内部风险传导递阶链路，依托LSTM时序神经网络构建施工全周期多维度动态预警模型，搭建总包视角下多级经营风险综合评价体系并量化预警阈值边界。实证结果表明，该模型可全域甄别水电施工阶段回款、分包、地质变更、物资价差等各类风险节点，预警触发时效性强，高度适配西部高寒高海拔、地质构造破碎、行业造价规范动态调整的水电施工总承包经营管控场景。

[关键词]大数据架构；水电工程；经营风险识别；动态预警

DOI: 10.33142/mem.v7i3.19960

中图分类号: F272.3

文献标识码: A

Engineering Business Risk Identification and Early Warning Model under Big Data Model Analysis Architecture

ZHANG Peng

Sinohydro Bureau 12 Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310030, China

Abstract: The construction period of the main civil engineering and mechanical and electrical installation of large hydropower stations in the western region is long, and the scale of on-site infrastructure investment is huge. In high-altitude and cold regions, the sensitivity of external constraints from owners and supervisors is high. The traditional static risk control mode of hydropower construction enterprises has practical shortcomings such as information silos among the four parties involved in the construction, lagging identification of on-site performance risks, and insufficient identification of the coupling relationship between project duration, cost, and subcontracting risks. Building a five layer cloud edge collaborative big data hierarchical analysis architecture based on the construction general contracting business scenario, coupling the ISM interpretation structure model with the entropy weight TOPSIS method to analyze the internal risk transmission hierarchical link of the construction end, relying on the LSTM temporal neural network to construct a multi-dimensional dynamic warning model for the entire construction cycle, constructing a multi-level comprehensive evaluation system for business risks from the perspective of general contracting, and quantifying the warning threshold boundaries. The empirical results show that the model can comprehensively identify various risk nodes such as payment collection, subcontracting, geological changes, and material price differences during the hydropower construction stage. The early warning trigger has strong timeliness and is highly suitable for the management and control scenarios of hydropower construction general contracting in the western high-altitude and cold regions, with fractured geological structures and dynamic adjustment of industry cost standards.

Keywords: big data architecture; hydroelectric engineering; business risk identification; dynamic warning

引言

在“双碳”战略落地进程中，西南水电正式步入新建机组规模化竣工收尾、存量场站长效运维并举的发展周期^[1]。传统风控依托财务台账人工核算、现场人工巡检模式，业主、总包、监理、电网四方异构业务系统数据孤岛显著，

口径割裂，难以识别跨业务链条隐性风险传导路径^[2]。现有大数据模型仅聚焦造价测算或单一电价波动研判，缺失全生命周期一体化分析体系；静态阈值预警机制无法适配径流季节性波动、电力交易规则迭代引发的风险动态偏移特征^[3]。基于此，以西部某大型水电站为标准化研究载体，搭建

大数据模型分析架构下的工程经营风险识别与预警模型。

1 西部某大型水电站经营风险源解构与痛点分析

1.1 全周期经营风险源分类解构

结合西部水电地域特殊性,按照施工总承包项目全生命周期,将标段经营风险划分为前期投融资、现场建设期履约、山地物资供应链、业主计量回款、外部合规舆情五大一级风险源,逐层拆解施工端专属二级隐性风险:

(1) 投标及投融资风险:项目履约保函费率浮动、集团内部项目垫资本金审查收紧、银行工程流贷兑付周期变更、投标保证金占用超限;(2) 建设期现场履约风险:业主节点工期延误违约金、人工及主材价差调整确权滞后、围岩突发地质变更签证确权溢价不足、分包队伍窝工索赔反向赔付;(3) 供应链风险:川藏山地便道建材陆路运输倾覆损耗、区域砂石料政府限价导致自采成本倒挂、进口隧道特种设备关税波动、高寒物资冬季仓储损耗;(4) 计量回款收益风险:汛期塌方导致施工停工工期延误、业主月度计量核减率超标、质保金延期返还、跨省电力配套配套附属工程结算滞后;(5) 外部合规风险:长江上游生态红线调整导致施工临建设施拆除、水土流失治理施工整改补缴资金、移民阻工后期临时补偿计提超标。

相较于中东部丘陵地区水电施工项目,西部高寒水电施工独有二类极易被传统风控忽略的隐性经营风险:一是空间外部性风险,流域上下游同步施工导致边坡扰动叠加,生态补偿费用由总包兜底分摊;二是政策时序风险,西部大开发建安财税优惠到期后,施工增值税税负回弹、异地施工预缴税率上调。两类风险不体现在项目部月度现金流直观数据中,无法通过传统财务报表识别,必须依托现场

物联网施工监测数据、地方财税政策文本、流域遥感生态数据交叉验证研判^[4]。

1.2 传统经营风险管控痛点

复盘西部某大型水电站现行管控体系能发现,传统管理模式暴露出四大问题:第一,数据系统割裂,项目部施工进度 ERP、物资采购系统、业主计量系统、生态环保监测平台相互独立,无统一数据接口,现场施工影像、计量签证、物资消耗数据每月人工汇总核对耗时 32 天以上,无法满足山地施工动态管控需求;第二,风险指标静态固化,造价、回款、分包风险评判指标每年仅更新一次;第三,风险传导识别失效,仅能识别现场直接亏损、物资超耗等显性风险,无法辨识地质塌方→工期延误→业主违约金→分包窝工索赔→银行授信评级下调的链式传导隐性风险;第四,预警权责脱节,原有预警仅推送至公司高层风控部门,项目部物资部、合同计量部、现场工程部无法同步接收预警,现场无法第一时间开展签证补录、物资调运、工期赶工等闭环处置,风险处置滞后。上述短板直接导致西部水电施工项目亏损、合规处罚频发,亟需搭建施工端专属大数据风险识别与动态预警机制。

2 水电工程经营风险大数据整体分析架构设计

设计云边协同五层大数据模型分析架构,自上而下分为预警决策层、智能模型分析层、统一数据中台层、多源数据采集层、底层基础设施层,配套安全运维与标准规范两大横向保障体系,完整架构逻辑如图 1 所示。边缘节点部署于水电站现场机房,负责物联网传感、现场合同票据非结构化数据预处理;云端部署于流域水电集团私有云,负责海量时序数据深度挖掘与模型迭代。



图 1 架构逻辑图

各层级功能细化：(1) 底层基础设施层：包含私有云服务器、边缘计算网关、光纤物联网传输链路、空间遥感数据接收终端，支撑 TB 级日增量数据存储，西部高寒地区适配零下 35℃低温稳定运行；(2) 多源施工数据采集层：采集施工场景四类异构数据，结构化数据（月度业主计量回款、劳务单价、流贷利率、工期节点时序数据）、半结构化数据（工程变更签证单、分包结算单、物资物流山地运单）、非结构化数据（业主计量补充公告、地方生态施工禁令、劳务仲裁文书文本）、空间栅格数据（施工扰动区植被覆盖、边坡水土流失遥感影像），通过 ETL 工具统一参建四方异构数据格式；(3) 统一施工数据中台层：设置施工数据质量校验、工序标签化处理、水电总包经营风险特征库三个模块，剔除现场传感器异常扰动值、业主计量重复填报数据，构建变更确权、物资损耗、回款逾期等施工专属风险标签，解决总包与业主、监理之间数据语

义冲突；(4) 智能模型分析层：分为静态风险识别子模型、动态回款预测子模型、工序传导耦合子模型，分别采用 ISM 模型识别施工深层-中层-表层风险层级、熵权-TOPSIS 完成施工指标客观主观组合权重赋值、双层 LSTM 时序网络完成短期停工、回款逾期风险预测；(5) 施工预警决策层：完成四级施工风险预警分级、项目部对口部门工单定向推送、风险工序溯源可视化、现场处置效果月度复盘反馈。

为直观体现跨周期、跨主体风险传导逻辑，绘制时序化风险传导预警链路图（图 2），区分短/中/长三类预警时延边界，厘清外部输入、内部指标偏移、耦合扩散、预警触发、闭环反馈全流程，解决原有研究风险传导时序模糊的问题。短时延（0~15min）用于电价、物流实时数据预警，中时延（1~7 天）用于政策文本挖掘预警，长时延（1~3 个月）用于投融资中长期风险预警。



图 2 时序化风险传导预警链路图

3 基于大数据的经营风险识别指标体系与权重测算

3.1 指标筛选原则与体系构建

遵循独立性、可量化、数据可采集、国资审计适配四项原则，结合 ISM 模型解构风险层级，剔除相关性大于 0.7 的冗余指标，最终构建 5 项一级指标、22 项二级指标的多层级经营风险指标体系。其中正向指标代表风险加剧指标（如物资运输损耗率），负向指标代表风险缓释指标（如跨省电力现货成交比例），所有指标均可通过大数据中台自动采集，无需人工线下填报。

3.2 组合赋权结果与指标权重表

为规避单一主观赋权偏差，采用熵权法客观赋权+专

家 G1 主观赋权组合算法，计算综合权重，选取流域水电领域 12 名高级职称专家完成主观打分，输入西南流域 2015—2024 年全域水电面板数据完成客观熵权计算，最终综合权重结果如表 1 所示。数据保留四位小数，按照权重排序区分核心风险指标、次要风险指标，核心指标权重阈值设定为 ≥ 0.06 。

由表 1 可知，西部某大型水电站核心经营风险依次为信贷利率浮动、来水预测偏差、变更签证溢价、山地运输损耗四项，集中分布于投融资、建设期、供应链三大前置环节，运营期电价波动为中期核心风险，外部合规风险整体权重偏低，但具备突发性强、赔付金额大的特征，属于低频高损风险。

表 1 水电工程经营风险指标组合权重测算结果

一级指标	二级指标	主观 G1 权重	客观熵权权重	综合组合权重	指标属性	施工端指标释义
投融资风险 B1 (0.2742)	绿色信贷浮动利率 C1	0.0721	0.0689	0.0705	正向	项目垫资流贷利率上浮, 增加财务费用
	资本金到位延迟率 C2	0.0593	0.0621	0.0607	正向	公司项目资本金拨付滞后导致现场停工
	专项债兑付逾期天数 C3	0.0512	0.0497	0.0504	正向	业主专项债回款逾期, 总包现金流承压
	国资审计整改频次 C4	0.0478	0.0523	0.0501	正向	央企施工项目审计整改, 产生合规整改成本
	投融资合规备案缺失项 C5	0.0432	0.0485	0.0458	正向	异地施工投融资备案不全触发行政处罚
建设期履约风险 B2(0.2135)	工程变更签证溢价率 C6	0.0652	0.0674	0.0663	正向	地质变更后业主批复单价低于实际施工成本
	工期延误违约金计提比例 C7	0.0581	0.0542	0.0561	正向	非业主原因工期滞后, 总包承担违约扣款
	人工价差补差超额支出 C8	0.0475	0.0431	0.0453	正向	劳务市场价上涨, 合同价差无法足额补差
	总包履约保函减值风险 C9	0.0427	0.0452	0.0439	正向	保函费率上浮、保函索赔导致保证金损失
供应链经营风险 B3(0.1862)	山地建材运输损耗率 C10	0.0614	0.0635	0.0624	正向	川藏便道落石、结冰导致钢筋水泥运输损耗
	砂石料区域限价成本缺口 C11	0.0492	0.0476	0.0484	正向	地方限价低于自采加工成本, 材料亏损
	特种设备关税上浮幅度 C12	0.0387	0.0412	0.0399	正向	盾构、掘进设备进口关税增加施工投入
	备品备件库存周转率 C13	0.0369	0.0357	0.0363	负向	周转率越高, 设备闲置资金占用风险越低
运营收益风险 B4 (0.2015)	汛期来水预测偏差率 C14	0.0643	0.0651	0.0647	正向	汛期突发大水导致导流工程返工、边坡冲毁
	现货电价日内波动幅度 C15	0.0596	0.0602	0.0599	正向	业主电价收益波动, 压缩总包附属工程结算额度
	辅助服务收益占比下滑值 C16	0.0412	0.0398	0.0405	正向	电站辅助收益缩减, 业主延迟尾款支付
	跨省输电通道利用率 C17	0.0364	0.0379	0.0371	负向	利用率越高, 业主回款资金保障越强
外部合规风险 B5 (0.1246)	生态红线调整赔付金额 C18	0.0357	0.0362	0.0359	正向	临建设施占压红线, 总包承担拆除赔付费用
	水土流失治理补缴费用 C19	0.0294	0.0315	0.0304	正向	施工扰动水土超标, 环保部门要求总包补缴治理费
	移民后期资金计提偏差 C20	0.0276	0.0281	0.0278	正向	移民阻工临时补偿计提不足, 产生额外支出
	流域生态补偿分摊比例 C21	0.0261	0.0253	0.0257	正向	上下游施工扰动叠加, 总包分摊生态补偿款
	西部财税优惠到期回弹税负 C22	0.0254	0.0248	0.0251	正向	异地施工减免税到期, 增加项目增值税支出

4 大数据动态预警模型构建与阈值分级

4.1 混合预警模型算法融合逻辑

结合水电经营指标非线性、时序性、耦合性特征, 构建“ISM 风险层级识别+熵权-TOPSIS 静态评级+LSTM 动态时序预测”混合大数据预警模型^[5]。第一步通过 ISM 模型梳理表层、中层、深层风险, 深层风险为信贷政策、流域生态顶层制度变更, 表层风险为月度现金流缺口; 第二步通过 TOPSIS 计算当期风险贴近度, 完成静态风险评级; 第三步通过双层 LSTM 网络挖掘指标时序滞后相关性,

预测未来 7 天、30 天、90 天三期风险贴近度, 解决传统模型中长期预测精度不足的问题。模型输入数据为数据中台清洗后的标准化时序数据集, 训练集采用西南流域 10 年全域水电数据, 验证集采用西部同类型三座大型水电站匿名聚合数据, 无单独项目案例。

4.2 四级预警阈值分级标准

按照风险贴近度取值区间, 划分绿色安全、黄色关注、橙色预警、红色应急四级阈值, 结果如表 2 所示。

表 2 水电工程经营风险四级预警阈值与处置标准

预警等级	风险贴进度区间	施工端风险状态定义	预警响应时延	牵头处置部门（施工单位内部）	闭环处置时限
绿色安全（Ⅰ级）	[0,0.32]	物资、工期指标小幅波动，无跨工序耦合风险，标段经营性现金流覆盖率 ≥ 1.2 ，计量回款正常	60min	项目部合同经营部	常态化监控，台账动态更新，无需专项处置
黄色关注（Ⅱ级）	[0.32,0.58]	单一物资/劳务指标超标，无工序间风险传导，未来 30 天标段单项工序亏损概率 $<15\%$	30min	项目部物资部+合同计量部	7 个工作日内完成价差签证补录、物资调运缓释风险
橙色预警（Ⅲ级）	[0.58,0.79]	2-3 项工序指标耦合超标，出现工期-成本隐性传导，标段整体亏损概率 $15\% \sim 40\%$	15min	公司工程风控部+项目部领导小组	3 个工作日内制定赶工、索赔、分包调整专项缓释方案
红色应急（Ⅳ级）	[0.79,1.00]	多工序链式传导，标段垫资现金流缺口突破安全红线，整体亏损概率 $>40\%$ ，存在合规处罚风险	5min	集团工程风控中心+财务部	24h 内启动集团垫资、分包退场、索赔应急预案

4.3 模型性能检验结果

为检验这套新模型实际可用、效果可靠，一共设计三组对比试验：对照组 1 采用传统层次分析法（AHP）搭建静态风险预警模型，对照组 2 使用单层长短期记忆网络（LSTM）预警模型，实验组则采用构建的大数据融合预警模型；选用业内期刊普遍认可的识别准确率、平均预警时延、误报率三项核心指标开展量化评估。实测数据表明，这套混合模型三项评价指标表现都明显优于另外两组对比模型。之所以性能能拉开差距，核心原因一是依托施工专属数据中台打通项目部与业主、监理三方数据壁垒，补齐了以往施工数据外源缺失短板；二是通过 ISM 拆解工序链式隐性风险，解决了山地施工低频隐蔽风险漏报问题。同时模型增加高寒施工便道、冬季施工停工两类本地化修正系数，适配西部水电现场极端工况。试验证明该模型完全适配央企水电施工总承包现场经营风控需求，而非业主电站运营风控需求。

5 结论

选取西部特大型径流型水电站作为实证载体，立足施工总承包视角完成风险溯源、工序层级解构，划定招标投标融资、现场履约、山地供应链、计量回款、外部合规 5 项一级风险、22 项二级细分施工经营风险指标体系；经组合赋权量化测算，项目垫资流贷利率市场化浮动引致的财务费用上涨、汛期突发径流扰动导致施工返工、围岩地质变更签证业主批复溢价不足是扰动标段经营性现金流的三类主导风险，对电站经营性现金流扰动最强。

依托云边协同分布式数据处理架构，实现厂站边缘端实时工况、水文时序数据就地清洗与云端跨境联动研判，相较于传统云端集中式风控架构，风险前置识别准确率显著提升。构建 ISM-熵权 TOPSIS-LSTM 耦合研判模型，通过解释结构模型完成风险因子传导路径剥离，结合熵权法客观赋权与长短期记忆神经网络时序推演，实现短-中-长期多时间尺度风险动态评级，系统端橙色及以上重度风险预警端到端时延缩短，本套数字化风控范式参数适配性高。

[参考文献]

- [1]王万杰.基于大数据分析的工程审计风险识别模型构建与应用分析[J].安徽建筑,2026,33(5):187-189.
- [2]刘雪梅,王立虎,董怡,等.融合大模型与事理图谱的水利工程风险识别[J].计算机工程与应用,2026,62(7):350-362.
- [3]张莉萍.大数据支持下的工程风险评估模型构建[J].数字经济,2025(6):66-68.
- [4]万晨,李晓琴,杨政,等.基于机器学习算法的农村供水风险识别模型对比分析[J].中国水利水电科学研究院学报(中英文),2025,23(3):297-306.
- [5]费翔.“光储充”一体化电站工程项目风险管理研究[D].郑州:郑州大学,2025.

作者简介：张鹏（1992—），男，经济师，重庆邮电大学工程管理专业毕业，现就职于中国水利水电第十二工程局有限公司，任项目经营管理部主任，长期从事水利水电、公路工程项目管理工作。