

小型水利工程项目管理成熟度评价方法研究

王浩¹ 刘冠峰¹ 赵茜¹ 靳兰芳²

1. 西藏民族大学 陕西咸阳 712082; 2. 江河安澜工程咨询有限公司 河南郑州 450000

DOI: 10.32629/ems.v8i8.21579

[摘 要] 针对小型水利工程项目管理水平参差不齐、缺乏量化评价工具的现实问题，构建基于成熟度模型的项目管理能力评价方法，为管理诊断与持续改进提供科学工具。以能力成熟度模型（CMM）五级框架为理论基础，将安全管理作为项目管理的有机组成部分纳入统一评价体系，构建包含组织与人员保障、进度与过程控制、质量与验收管理、合同与成本管理、安全管理 5 个二级指标及 18 个三级指标的评价体系。采用层次分析法（AHP）确定指标权重，运用模糊综合评价法（FCE）进行成熟度等级判定。以两个小型水利工程为案例进行实证分析，两项目综合成熟度均为 L3（规范级），得分分别为 65.04 和 66.87。雷达图分析表明，两项目在进度与过程控制维度均表现偏弱（<65 分）；项目 A 在合同与成本管理维度得分仅 56.05（L2 等级），与项目 B 相差 6.45 分，为显著薄弱环节；项目 B 的安全管理维度优于项目 A（相差 4.43 分），但质量验收管理的时效性存在不足。改进优先级矩阵分析显示，安全管理（高权重-中低得分）和合同成本管理为待改进的关键领域。该评价模型能够有效识别小型水利工程项目管理的优势维度与薄弱环节，为针对性改进提供量化依据，具有较好的适用性与可操作性。

[关键词] 型水利工程；项目管理；成熟度模型；层次分析法；模糊综合评价；评价指标体系

引言

水利工程建设具有投资规模大、建设周期长、技术复杂等特点，其管理水平直接影响工程质量、投资效益和安全生产。随着...其中小型水利工程数量占水利工程总量的多数，分布面广、类型多样，是区域水利基础设施的重要组成部分。然而与大型水利工程相比，小型水利工程在管理规范化、标准化方面存在不足，突出表现为管理制度不健全、管理过程粗放、安全管控不足、专业人员匮乏等问题，仍依靠经验管理。如何构建一套科学适用的评价工具，帮助管理者量化管理评价、识别薄弱环节、明确改进路径，实现持续改进是一个具有实践价值的研究课题。

1 评价模型构建

1.1 理论基础

能力成熟度模型的核心思想是将组织能力的提升视为一个由低到高、逐级递进的演化过程。CMM 将软件组织的成熟度划分为初始级、可重复级、定义级、可管理级和优化级五个等级^[4]。这一分级框架的逻辑是：组织首先摆脱对个人能力的完全依赖，建立可重复的基本过程；继而将过程制度化、标准化；随后引入量化管理手段，实现过程的可预测性；最终达到持续优化的状态。该分级逻辑具有较好的跨领域迁移性，本文以此为理论基础构建小型水利工程项目管理成熟度。

1.2 成熟度等级划分

参照 CMM 五级框架，结合小型水利工程管理实际，将项目管理成熟度划分为五个等级。各等级名称及核心特征见表 1-1。

表 1-1 项目管理成熟度等级及核心特征

等级	名称	核心特征描述
L1	初始级	管理活动依赖个人经验，制度规范缺失或流于形式。施工组织随意性较大，进度计划粗略且变更频繁。安全防护投入不足，事故应对呈被动反应特征。文档资料零散，难以追溯。
L2	计划级	初步建立管理制度框架，关键工序有书面交底。配备专（兼）职管理人员，形成基本的例会协调机制。安全经费有预算安排，开展常规安全教育。但制度执行的稳定性和系统性不足。
L3	规范级	管理流程实现制度化、标准化。施工组织设计完整并经审批，质量责任落实到人，“三检制”有效运行。安全管理体系完整，危险源辨识定期开展，安全经费足额保障。档案管理规范，过程记录可查。
L4	控制级	引入量化指标对管理过程进行监控。进度执行率、成本偏差率、隐患整改率等数据系统采集分析，管理决策基于数据支撑。风险管控实现分级动态管理，安全管理绩效可量化评估。
L5	改进级	形成持续改进的管理文化。管理流程根据运行反馈不断优化，信息化工具得到应用。安全管理从合规导向转向预防导向，具备风险预警和前瞻性防控能力。

1.3 指标体系设计

指标体系设计遵循以下原则：覆盖项目管理的关键领域，反映小型水利工程的管理特点，指标定义清晰便于操作，与现行水利行业管理规范相衔接。

一级指标为项目管理成熟度综合指标。二级指标设置 5 项，分别为组织与人员保障（B1）、进度与过程控制（B2）、

质量与验收管理（B3）、合同与成本管理（B4）、安全管理（B5）。安全管理作为二级指标纳入整体框架，而非独立设置评价维度，这一安排体现了将安全视为项目管理的有机组成而非割裂环节的基本认识。三级指标共 18 项，具体设置见表（1-2）。

表 1-2 项目管理成熟度评价指标体系

二级指标	三级指标	主要观测内容
B1 组织与人员保障	C11 管理机构与职责	项目经理及主要管理人员配置情况，岗位职责书面化程度

	C12 人员资质与培训	管理人员持证情况，培训计划制定与落实
B2 进度与过程控制	C21 施工组织设计	编制内容的完整性与审批程序的合规性
	C22 进度计划管理	总进度计划与阶段计划的编制与执行，偏差分析与调整
	C23 变更与协调管理	设计变更审批流程，施工协调会议制度及执行记录
B3 质量与验收管理	C31 质量控制体系	质量责任制落实，“三检制”执行，材料进场检验
	C32 过程验收管理	分部分项工程验收及时性，隐蔽工程签证规范性
	C33 质量问题整改	问题台账建立，整改闭环的时效与有效性
B4 合同与成本管理	C41 分包管理	分包单位资质审查，分包合同规范性，分包队伍现场管理
	C42 成本控制	成本预算编制，费用变更审批，成本核算与偏差分析
	C43 文档资料管理	档案管理制度，施工日志与影像资料的归档完整性
B5 安全管理	C51 安全机构与制度	专职安全员配备及持证，安全生产责任制签订，制度完整性
	C52 安全经费保障	安全生产费用提取比例，费用使用台账，防护设施投入
	C53 危险源辨识与管控	辨识与评价开展情况，风险分级管理，辨识结果的动态更新
	C54 隐患排查治理	日常检查记录，隐患整改率，重大隐患处置的合规性
	C55 安全技术措施	安全技术交底记录，危险性较大工程专项方案编制与论证
	C56 现场安全防护	临边洞口防护，临时用电规范性，警示标识设置
	C57 安全培训与应急	三级安全教育落实，特种作业人员持证，应急预案与演练

2 评价方法

2.1 权重确定

本次研究采用层次分析法，层次分析法（Analytic Hierarchy Process, AHP）由美国运筹学家 T.L. Saaty 于 20 世纪 70 年代提出，是一种将定性判断与定量分析相结合的多准则决策方法。该方法通过将复杂问题分解为有序的递阶层次结构，由专家对同一层次指标进行两两比较，构造判断矩阵，经数学处理后得到各指标相对于上层准则的权重排序。在水利工程管理评价领域，AHP 已有多项应用实践

采用层次分析法确定各级指标权重。本次研究邀请 5 名具有水利工程管理经验的专家，采用 1-9 标度法对同一层次指标进行两两比较，构造判断矩阵。采用层次分析法确定各级指标权重。设同一层次有 n 个指标，专家对指标 i 与指标 j 的相对重要性进行两两比较，得到判断矩阵 A=(a_{ij})，其中 a_{ij} 满足：a_{ij}>0，a_{ji}=1/a_{ij}，a_{ii}=1。采用 1-9 标度法赋值。下面以其中一位专家数据收集作为示例，见表（2-1）。

表 2-1 某专家二级指标判断矩阵示例

	B1	B2	B3	B4	B5
B1 组织与人员保障	1	1/2	1/3	1	1/2
B2 进度与过程控制	2	1	1/2	2	1
B3 质量与验收管理	3	2	1	3	2
B4 合同与成本管理	1	1/2	1/3	1	1/3
B5 安全管理	2	1	1/2	3	1

2.1.1 权重向量计算

采用和积法计算判断矩阵的归一化特征向量作为权重向量。首先将判断矩阵按列归一化：

$$\bar{a}_{ij}=\frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^na_{kj}},i,j=1,2,...,n$$

然后将归一化矩阵按行求和并取平均，得权重向量 W=(w₁, w₂, ..., w_n)：

$$w_i=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^n\bar{a}_{ij},i=1,2,...,n$$

式（2-1）

式中：a_{ij} 为判断矩阵第 i 行第 j 列元素；n 为矩阵阶数；w_i 为第 i 个指标的权重。

2.1.2 一致性检验

为验证判断矩阵的逻辑一致性，计算最大特征值 λ、一致性指标 CI 和一致性比率 CR：

$$\lambda_{max}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n\frac{(AW)_i}{w_i}$$
 式（2-2）最大特征值

$$CI=\frac{\lambda_{max}-n}{n-1}$$
 式（2-3）一致性指标

$$CR=\frac{CI}{RI}$$
 式（2-4）一致性比率

式中：(AW)为向量 AW 的第 i 个分量；RI 为平均随机一致性指标（n=5 时，RI=1.12）。当 CR<0.10 时，判断矩阵通过一致性检验，权重分配合理。

综合 5 位专家意见，取各专家权重的算术平均值作为最终权重。各判断矩阵的 CR 值均小于 0.10，通过一致性检验。各级指标权重计算结果汇总于表（2-2）。

表 2-2 各级指标权重及一致性检验结果

层次	指标	单层权重	综合权重	CR
二级	B1 组织与人员保障	0.120	0.120	0.006
	B2 进度与过程控制	0.220	0.220	
	B3 质量与验收管理	0.280	0.280	
	B4 合同与成本管理	0.130	0.130	
	B5 安全管理	0.250	0.250	
B1 下属三级指标	C11 管理机构与职责	0.550	0.066	0.000
	C12 人员资质与培训	0.450	0.054	

B2 下属三级指标	C21 施工组织设计	0.400	0.088	0.008
	C22 进度计划管理	0.350	0.077	
	C23 变更与协调管理	0.250	0.055	
B3 下属三级指标	C31 质量控制体系	0.500	0.140	0.008
	C32 过程验收管理	0.300	0.084	
	C33 质量问题整改	0.200	0.056	
B4 下属三级指标	C41 分包管理	0.350	0.046	0.008
	C42 成本控制	0.400	0.052	
	C43 文档资料管理	0.250	0.033	
B5 下属三级指标	C51 安全机构与制度	0.180	0.045	0.005
	C52 安全经费保障	0.150	0.038	
	C53 危险源辨识与管控	0.200	0.050	
	C54 隐患排查治理	0.180	0.045	
	C55 安全技术措施	0.120	0.030	
	C56 现场安全防护	0.100	0.025	
	C57 安全培训与应急	0.070	0.018	

从权重分布看，质量与验收管理（0.280）和安全管理（0.250）的权重最高，二者合计占比过半，体现了小型水利工程“质量为本、安全第一”的管理导向。进度与过程控制（0.220）权重次之，组织与人员保障（0.120）和合同与成本管理（0.130）权重相对较低，这与小型水利工程管理层级简单、合同关系清晰的实际特征相吻合。

2.2 模糊综合评价模型

2.2.1 评语集与分值向量

项目管理成熟度评价涉及大量定性指标，专家评判具有模糊性与不确定性。模糊综合评价法（Fuzzy Comprehensive Evaluation, FCE）通过隶属度函数将定性判断转化为定量评价，能有效处理此类问题。

建立评语集与分值向量。将成熟度等级划分为 5 级，评语集 $V = v_1, v_2, v_3, v_4, v_5$ 分别对应初始级、计划级、规范级、控制级、改进级。为便于定量比较，设定各等级对应的分值区间及中值，构成分值向量 $S = (20, 50, 67.5, 82.5, 95)^T$ （表 2-3）。

表 2-3 成熟度等级分值标准

等级	L1	L2	L3	L4	L5
分值区间	[0, 40)	[40, 60)	[60, 75)	[75, 90)	[90, 100]
中值	20	50	67.5	82.5	95

2.2.2 单因素模糊评价

设第 k 个二级指标下含 m 个三级指标，其权重向量为 $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ ，根据专家评判统计得到的隶属度矩阵为 $R = (r_{ij})$ ，其中 r_{ij} 表示第 i 个三级指标被评为第 j 等级的专家比例。则该二级指标的模糊评价向量 B 由加权平均型算子 $M(\cdot, +)$ 合成：

$$B_k = W_k \circ R_k = (b_{k1}, b_{k2}, b_{k3}, b_{k4}, b_{k5})$$

式中： $b_{kj} = \sum_{i=1}^m w_{ki} \cdot r_{ijk}$ ， $j=1,2,3,4,5$ ；运算符“ $\circ$ ”表示普通矩阵乘法，以综合全部评价信息，避免取大取小算子的信息丢失。

3 结语

3.1 研究总结

本文将能力成熟度模型（CMM）五级框架应用于小型水利工程项目管理评价，将安全管理作为管理体系的有机组成部分纳入统一框架，构建了包含 5 个二级指标和 18 个三级指标的评价体系。运用 AHP-FCE 组合方法对两个小型水利工程案例进行评价与对比，主要结论如下：

3.2 研究局限

样本局限性。仅选取两个小型水利工程项目进行案例验证，样本量不足以支撑统计意义上的普适性结论。主观性问题。AHP 权重确定和 FCE 等级评判均依赖专家主观判断。5 名权重专家的数量和 10 名评判专家的来源结构可能影响评价结果的客观性。后续研究可引入熵权法、CRITIC 法等客观

赋权方法，与 AHP 主观权重进行组合赋权，以降低单一方法的主观偏差。

指标体系覆盖不足。现行指标体系聚焦于施工阶段的项目管理活动，对项目前期（规划设计、立项审批）和后期（竣工验收后的运维移交）的管理活动覆盖不足，尚不能反映工程项目全生命周期的管理成熟度。后续可考虑扩展评价维度，构建覆盖“规划-设计-施工-运维”全过程的成熟度评价模型。

等级标准的细化有待加强。各成熟度等级的核心特征描述以定性表述为主，虽配置了分值区间，但等级边界仍有模糊空间。后续研究可针对各三级指标分别设计等级锚定标准，降低专家评判的主观随意性，进一步提高评价的一致性和可复现性。

【参考文献】

[1] 陈述, 胡志根, 刘全, 等. 水利工程施工安全标准化体系评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(2): 167-172.

[2] 余航. 水利水电工程造价管理成熟度模型研究[J]. 水利技术监督, 2022(5): 65-68.

[3] 王浩, 张会庆, 陈烽. 面向教育新基建的高校信息化成熟度模型及其评价体系研究[J]. 2022(6): 100-109.

[4] 王立福, 麻志毅, 张世琨. 软件工程（第二版）[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006.