

摘要

水库降等或报废是水库生命周期的一个重要阶段,是水库工程管理工作的一项重要内容,对化解水库大坝风险、消除水库大坝安全隐患、合理资源配置、提高水库大坝安全管理能力具有重要意义。而评判一个水库是否达到降等报废的条件,可以用水库的综合效能来作为其评判的标准。

本论文通过查阅水库降等报废的相关文献和资料,结合小型水库降等报废主要原因分析,建立了一套科学的面向小型水库降等报废的综合效能评价体系,结合 AHP 和模糊综合评价法构建水库综合效能评价模型,并对江西省某小(2)型水库进行论证,论证结果符合预期。其主要研究内容和成果如下:

(1) 建立了一套较为完善的面向小型水库降等报废的综合效能评价指标体系。本文通过查阅相关文献和规范,结合小型水库降等报废原因对水库综合效能的影响因素进行分析,划分了库容与功能、工程安全条件、生态环境、经济与社会、水库运行管理 5 个一级评价指标和 19 个二级评价指标,构建了水库综合效能评价指标体系。

(2) 构建了一个基于指标体系分类考量的小型水库服役综合效能评价模型。本文的评价模型是采用 AHP 层次分析法和模糊综合评价相结合的方法,即小型水库服役综合效能评价模型。首先运用层次分析法确定各个评价指标的权重,构造判断矩阵,并进行一致性检验。之后采用专家咨询对定性指标进行分析,采用典型函数法对定量指标进行分析,确定隶属度矩阵,最后通过多级模糊综合评价,得到最终水库综合效能评价结果。

(3) 根据建立的水库综合效能评价指标体系 and 小型水库服役综合效能评价模型,以某小(2)型水库进行实践运用。根据最终评价结果判断该水库需进行降等措施,这也与水库实际情况相符,体现了水库综合效能评价指标体系 and 小型水库服役综合效能评价模型的合理性,并对该水库降等善后管理提供了一些建议。

本文构建的小型水库服役综合效能评价模型虽然结合了层次分析法和模糊综合评价法的优点,但在面向小型水库降等报废的综合效能评价中依然依赖专家的经验和个人主观判断,对于定性指标评估标准描述存在一定的模糊性具有一定的局限性和主观性。如何进一步减少评估的主观性和模糊性,是后续研究的重要方向。

关键词: 水库降等报废; 综合效能; 评估体系; 层次分析法; 模糊综合评价法

ABSTRACT

Reservoir downgrading or scrapping is an important stage in the life cycle of a reservoir and is an important element of reservoir project management, which is of great significance in resolving reservoir dam risks, eliminating the safety hazards of dams, rationalising resource allocation and improving the safety management capacity of reservoir dams.

This thesis has established a scientific comprehensive performance evaluation system for scrapped the main reasons for scrapped the relevant documents and materials such as reservoir drops, combined with the main reasons of small reservoirs such as small reservoirs. The comprehensive efficiency evaluation model of the reservoir is demonstrated, and a small (2) reservoir in Jiangxi Province meets expectations. Its main research content and results are as follows:

(1) Established a relatively complete comprehensive performance evaluation indicator system for scrapped small reservoirs. This article analyzes the influencing factors of comprehensive efficiency scrapped by consulting relevant literature and specifications, combined with the cause of scrapped small reservoirs, and divides 5 first -level evaluations of library capacity, engineering safety conditions, ecological environment, economy and society, and reservoir operation management. The indicators and 19 secondary evaluation indicators have built the comprehensive performance evaluation index system of the reservoir.

(2) Build a model suitable for comprehensive efficiency of reservoir. The evaluation model of this article is a combination of hierarchical analysis method and fuzzy comprehensive evaluation, that is, the AHP-vague evaluation model. First, the hierarchical analysis method is used to determine the weight of each evaluation indicator, the constructing the judgment matrix, and the consistency test. After that, expert consultation was used to analyze the qualitative indicators, and the typical function method was used to analyze the quantitative indicators to determine the affiliation matrix. Finally, through the multi -level fuzzy comprehensive evaluation, the final reservoir comprehensive performance evaluation results were obtained.

(3) Based on the establishment of the comprehensive performance evaluation index system and the AHP-vague evaluation model established, a small (2) reservoir is used for practice. According to the final evaluation results, it is judged that the reservoir needs to be downgraded, which is also consistent with the actual situation of

the reservoir, which reflects the rationality of the comprehensive efficiency evaluation index system and the AHP-blur evaluation model, and provides some aftercare management such as the reservoir downside. suggestion. Shortcomings and outlook: although the AHP-Impact analysis model constructed in this article combines the advantages of hierarchical analysis and vague comprehensive evaluation method, it still relies on the experience and personal subjective judgment of experts in scrap evaluations such as reservoir falls. Vagueness has certain limitations and subjectivity. How to further reduce the subjectivity and ambiguity of evaluation is an important direction for future research.

Although the AHP-fuzzy evaluation model constructed in this article combines the advantages of hierarchical analysis method and fuzzy comprehensive evaluation method, it still relies on the experience and personal subjective judgment of experts and personal subjective judgments in comprehensive performance evaluations such as small reservoirs. There are certain fuzzyness in descriptions that have certain limitations and subjectivity. How to further reduce the subjectivity and ambiguity of evaluation is an important direction for future research.

Key Words: Reservoir downgrading scrapping; comprehensive effectiveness; Assessment systems; Hierarchical analysis; Impact analysis

摘 要	I
ABSTRACT	II
目 录	IV
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的和意义	3
1.3 国内外研究现状	3
1.4 本文研究内容和技术路线	5
1.4.1 研究内容	5
1.4.2 技术路线	6
第 2 章 面向小型水库降等报废的综合效能评价体系	8
2.1 概述	8
2.2 水库综合效能评价体系的构建原则与方法	8
2.2.1 水库综合效能评价体系的构建原则	8
2.2.2 水库综合效能评价指标体系的构建方法	9
2.3 水库综合效能评价体系的构建	10
2.3.1 水库综合效能评价体系的影响因素分析	10
2.3.2 水库综合效能评价体系的构建	12
2.4 水库综合效能评价指标赋权方法	16
2.4.1 主观赋权法	17
2.4.2 客观赋权法	17
2.4.3 水库综合效能评价指标的赋权方法选取	19
2.5 本章小结	19
第 3 章 基于指标体系分类考量的小型水库服役综合效能评价模型	21
3.1 概述	21
3.2 水库综合效能评价方法的确定	21
3.2.1 综合评价的相关概念	21
3.2.2 综合评价方法	22
3.2.3 评价方法的选择及适用性分析	23
3.2.4 小型水库服役综合效能评价模型构建	23
3.3 基于层次分析法的水库综合效能评价指标权重计算	24

3.3.1 指标层次结构的建立	24
3.3.2 判断矩阵的构建	25
3.3.3 权重计算	26
3.4 基于模糊综合评价法的水库综合效能评价的运用	26
3.4.1 因素集和评语集的确定	26
3.4.2 隶属度矩阵的确定	27
3.4.3 模糊综合评价法的步骤	28
3.5 本章小结	29
第 4 章 基于服役综合效能评价的某小型水库降等报废分析	31
4.1 概述	31
4.2 水库工程现状分析	31
4.2.1 水库工程基本资料	31
4.2.2 评价指标集和评价标准的确定	34
4.3 基于小型水库服役综合效能评价的水库综合效能评价	40
4.3.1 指标权重的计算	40
4.3.2 指标隶属度的确定	44
4.3.3 多级模糊综合评价	50
4.4 水库降等善后管理建议	52
4.5 本章小结	52
第 5 章 结论与展望	54
5.1 结论	54
5.2 展望	54
致 谢	56
参考文献	57
附录：层次分析权重打分表	60

第1章 绪论

1.1 研究背景

水库可以通过拦蓄洪水、调节径流、集中落差等方式，在航运、农业灌溉、城乡供水、旅游、养鱼、改善环境、防洪和水力发电等诸多方面发挥重要作用，可以带来巨大的社会经济和环境效益。我国水库数量众多，但是大多修建于上世纪五六十年代，特别是小型水库^[1]，限于当时技术条件和历史原因，一些小型水库在建设过程中存在工程质量、管理等方面的诸多问题，以及在以后的运行过程中出现问题，造成了严重后果。其中一些小型水库淤积严重，功能及效益基本丧失，无法发挥其原有作用，甚至由于自然灾害造成结构损坏^[2]，存在重大安全隐患。对于这些水库来说，如果采取排险加固的方式，耗费大量的人力、物力、财力，对社会资源造成浪费。而且随着小型水库使用年限的增加，结构老化加剧，不断出现新的病险水库，无法满足我国目前对水库安全管理的严格要求^[3]。对所有病险水库在短时间内全部进行除险加固是不合理的，也是不现实的，因此采取降低等别与报废相结合的管理措施，对部分现状极差的小型病险水库很有必要。

水库降等与报废，是指经过工程论证，对于失去原设计标准使用功能的水库，采用除险加固方式不可行，需要降低水库工程等别或禁止水库运行的一种工程措施^[4]，其主要目的是降低水库运行风险，保证水库的安全，在节约运行成本的同时能更好的发挥水库的功能效益。作为水库生命周期的重要阶段甚至是必然阶段，水库降等废库是水库工程管理中十分重要的一项内容，对于水库大坝的正常运行、水库安全隐患的排除、水库管理能力的提高、水库综合资源合理的分配非常重要，如图 1.1 所示。



(a) 河南省石龙区病险水库改造

(b) 浙江省新桥电站旧址

图 1.1 典型病险水库降等报废

据国家统计局统计显示，截至 2021 年底，我国现有水库 97036 座，总库容

9853 亿 m^3 ，其中小型水库 92057 座，占 94.9%。截至 2017 年底，全国实施降等的水库 4021 座，其中小型水库 4018 座；实施报废的水库 2518 座，其中小型水库 2515 座^[5]，如图 1.2 所示。随着我国社会进步和经济发展，人们对于水库安全管理的要求逐步提高，对于水库降等与报废的工作也愈发重视。但水库降等与报废需要考虑多方面因素，工作协调难度较大，除涉及工程技术问题外，还涉及利益相关方的利益冲突、工程处理、水土保持、环境保护、安全保障、管理调整、职工安置、资产处置、债务处理和档案管理等，是政策性、技术性较强的工作^[6]。水库降等报废评价决策本质上是对水库当前整体运行状态进行判断，而水库当前整体运行状态定义较为模糊，所以可以用水库的综合效能来反映水库当前整体运行状态，即通过对水库综合效能的评价来决定水库是否需要降等或报废处理。过去评估水库降等和报废的大多数决定都是基于各级水务管理部门的经验^[7]。2003 年《水库大坝降等与报废管理办法试行》颁布，其中规定必须成立专家组来对水库的降等和报废进行完整地评估和决策，并对论证报告的主要内容进行说明，从而将水库降等报废工作规范化^[8]。2014 年，水利部颁布了《水库降等与报废标准》，作为 2003 年《办法》的技术配套标准，对水库降等报废的一般规定、水库降等适用条件、水库报废适用条件、善后处理等方面进行了阐述。但是，由于水库降等与报废决策的复杂性，除了明确的技术标准外，科学实用的决策方法对于推行水库降等报废工作同样重要。但是，对于水库降等报废决策方法的研究还在探索阶段，对水库降等报废评估体系的研究也缺乏系统性和完整性。所以，开展面向小型水库降等报废的综合效能的评价研究，是当前我国水库降等报废的实际需要。

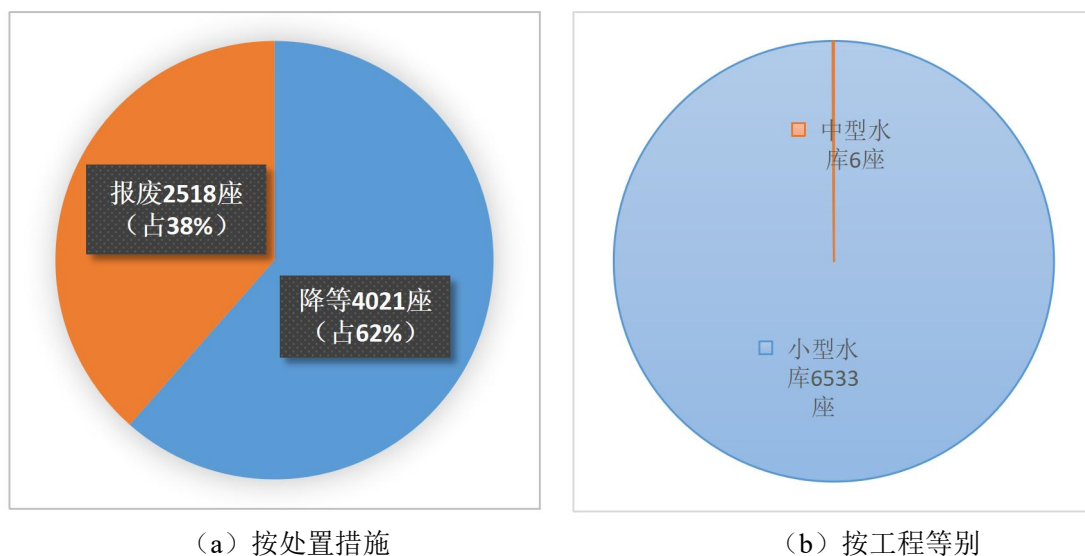


图 1.2 截至 2017 年底水库降等报废数量图

1.2 研究目的和意义

虽然我国对水库降等报废的研究一直在深入进行,但在大坝降等报废工作中,仍有不少问题有待进一步研究,主要是降等报废影响因素的多元性、复杂性问题。我国大多数水库大坝建于 20 世纪 60 年代至 70 年代,其中大部分为小型水库大坝,运行至今存在大量安全隐患,需要进行大规模的除险加固措施^{[9][10]}。但是,有些小型水库在运行过程中安全隐患问题十分严重,水库按照原设计标准使用的功能基本丧失,对于这类水库,究竟是采取安全改造、降低等别或者是报废处理,成为一个具有理论价值和现实价值的研究方向。水库的降等报废不仅涉及水库自身的安全状况和经济效益,还包括对社会和自然环境方面的影响,所以对水库降等报废的评估需要考虑许多因素,实际操作起来非常繁杂。为了简化工作,我国降等报废相关标准中存在“一票否决项”^[11],即仅考虑水库降等报废中部分重要的指标,如库容、工程安全等,其评估方式非常单一且保守。而目前的水库降等报废的评估研究中,主要是基于水库的成本效益进行论证,对于生态环境和工程管理缺乏关注,评估体系不够完整。本文面向小型水库降等报废,将水库的综合效能作为其评判标准,通过研究水库降等报废的影响因素,采用 AHP 和模糊综合评价法,建立一套完整的水库综合效能评价体系,通过构建的水库综合效能评价模型,结合江西省某小型水库进行水库综合效能评价,评价结果即为水库是否需要进行降等报废的依据,这对于指导小型水库降等报废工作具有重大意义。

1.3 国内外研究现状

针对病险水库如何处理以及是否降等报废,国内外开展了大量研究,并且取得了一定的科研成果。

国外通常将水库降等与报废统称为水库退役^[12]。对于水库退役相关的研究,国外有着较为丰富的理论成果。*Science and Decision Making* 中对水库的大致步骤进行了简单的论述,对水库退役后可能带来的一系列影响展开重点研究,构建了水库大坝退役评估的简单框架^[13],但是该研究对大坝退役方案评价和选择缺乏详细说明。*American Rivers* 在大坝拆除决策指南中,总结了拆坝后造成的一系列影响,主要包括成本收益、社会和环境等方面因素^[14],但是大坝退役涉及的因素非常多,而且部分决策目标之间常常存在冲突,仅仅通过比较成本和收益的数据,没有明确的标准对决策方案的好坏进行评定,在备选方案间进行选择十分困难。*Brown* 等人分别通过社会、经济和环境对大坝拆除的成本收益进行模拟,构建了

简易的大坝评估模型^[15],该模型将明确了决策目标(成本收益),将定性指标和定量指标相结合并进行赋值,得到最终评价结果,不过该模型对指标权重的影响未进行分析,评价结果存在一定偏差。Zhao X 等人结合历史上造成严重影响的水库退役案例,采用洪水后果法,重点从生态、经济、社会等方面选取评价指标,构建基于单一指标的评价体系^[16]。Corsair 针对水库退役构建了一套包含多准则决策方法的评估框架^[17],具体步骤为:确定目标方案,选取合适的指标构建相应的指标体系,通过专家咨询确定指标权重,对于定量指标采取相应方法进行计算,最后对备选方案进行优势度比较,该框架对于水库退役研究有较高的参考价值。

国内对于水库大坝降等报废的相关研究较少,但水库大坝风险问题相关研究较为丰富,近年来对水库大坝降等报废决策研究的关注度越来越高。1991年,我国颁布了《水库大坝安全管理条例》^[18],对病险大坝的要求进行了潜在影响问题的分析,明确病险大坝种类、除险加固和报废的界限^[19],并制定了相应对策和措施。1995年顾淦臣结合实例,总结了病险坝失事的主要原因^[20],针对土石坝可能存在的风险问题进行讨论。1998年,姜树海总结了洪水漫坝的原因,对病险水库潜在的风险进行详细的阐述,并建立了评价模型对水库的模糊风险进行分析。2003年姜树海采用事故树法对洪水漫坝的原因进行论述,分析了大坝的容许风险^[21],并在评估溃坝造成生命损失的同时,对大坝的危险概率进行了定量评估。2005年,向衍制定了大坝降等报废鉴定的相关制度,主要包括降等报废鉴定流程、水库大坝寿命“诊断”等,要求评估过程需要逐步鉴定或诊断^[22]。2008年,荆茂涛、杨正华等结合有关情况,就进一步完善水库降等与报废工作制度和程序,梳理问题和困难,总结成效和经验,提出了意见和建议^[23]。同年,向衍、盛金保等从水库大坝降等报废后带来的影响角度,研究国内外水库大坝降等报废及大坝拆除现状,分析大坝拆除原因及大坝降等报废后对环境的影响^[24]。2009年,彭辉与刘德富制定了水库退役决策的流程图^[25],但该流程图对于备选方案的选择与评估缺乏足够的论述。2010年,严祖文对我国中小型水库除险加固过程中存在的主要问题^[26]进行了分析研究,提出我国不可能全部采用工程除险加固病险水库,并建议通过加强水库除险加固等报废工程措施的研究,同时提倡水库降等报废工作的推行,最终提出了加强我国病险水库除险加固安全保障的对策思路。2011年,仲琳通过相关工程实例,认为工程安全、成本效益和生态环境是我国水库降等报废的主要原因^[27],并提出了水库降等报废评价等主要研究内容。同年,杨孟根据多准则决策理论中的网络分析方法,通过整合定量研究成果,灵活满足不同侧重点水库大坝降等报废实际需求,针对中小型病险水库,构建了水库大坝降等报废决策的收益风险模型^[28],符合我国实际情况。2015年,任亚周对国内外不同的水库大坝降等报废标准进行了研究,总结了我国大坝降等报废标准存在

的缺点和不足，并对此提出了修改意见，建立了水库降等报废评价模型^[29]，根据层次分析法进行了研究，但仅对水库降等报废评价方法进行了初步的研究和讨论，评估过程仅基于主观判断，没有考虑到各方面的因素，研究成果缺乏一定的普适性。

水库安全涉及国计民生，如何确定水库降等与报废工作，如何评价水库综合效能，在降低水库运行风险、保证水库的安全的前提下，实现水库安全隐患排除、水库管理能力提高、水库资源综合有效是当前水库设计及运行管理中常见问题。本文拟在前人研究基础上，结合小型水库降等报废的主要原因，构建面向小型水库降等报废的综合效能评价体系，并基于 AHP 和模糊综合评价法构建综合评价模型，评价结果可作为小型水库降等报废的决策参考标准。

1.4 本文研究内容和技术路线

1.4.1 研究内容

本文通过查阅相关文献并结合小型水库降等报废的主要原因，对水库综合效能影响因素进行分析，拟构建面向小型水库降等报废的综合效能评价指标体系，结合 AHP 和模糊综合评价法建立基于指标体系分类考量的小型水库服役综合效能评价模型，并用所建立的评价模型对江西省某小（2）型水库综合效能进行评价，继而对评价结果进行分析。论文研究内容包括：

（1）面向小型水库降等报废的综合效能评价体系

本文通过查阅相关文献并结合小型水库降等报废的主要原因，对水库综合效能影响因素进行分析，围绕水库综合效能评价体系的构建原则，结合水库综合效能评价的特点，采用层次分析法，建立层次结构，选取合适的评价指标，包含一级指标和二级指标，最终建立一套科学的面向小型水库降等报废的综合效能评价体系

（2）构建小型水库综合效能评价模型

本文结合 AHP 和模糊综合评价法，构建基于指标体系分类考量的小型水库服役综合效能评价模型。通过 yaahp 软件建立层次结构，构造判断矩阵并进行一致性检验，在确定水库降等报废评价指标的权重后，采用典型函数法和专家咨询相结合，运用模糊综合评价法对水库综合效能评价定性定量指标进行分析，确定评价等级，得到指标的隶属度矩阵，最后通过多层次模糊综合评价得到最终隶属度大小，根据隶属度最大原则得到最终的评价结果。

（3）结合工程实例进行论证

根据建立的面向小型水库降等报废水库综合效能评价指标体系和基于指标体系分类考量的小型水库服役综合效能评价模型，以江西某小（2）型水库进行实践运用。根据最终评价结果判断该水库是否达到降等报废的标准，并与水库实际情况进行比较，论证水库综合效能评价指标体系和小型水库服役综合效能评价模型的可行性和合理性。

1.4.2 技术路线

水库安全涉及国计民生，如何确定水库降等与报废工作，如何评价水库综合效能，在降低水库运行风险、保证水库的安全的前提下，实现水库安全隐患排除、水库管理能力提高、水库资源综合有效是当前水库设计及运行管理中常见问题。本文拟通过查阅水库降等报废的相关文献和资料，结合小型水库降等报废的主要原因，构建面向小型水库降等报废的综合效能评价体系，并基于 AHP 和模糊综合评价法构建综合评价模型，结合江西省某小型水库，对水库进行降等与报废综合评价分析研究，针对评价结果提出相应的善后处理意见。

技术路线如图 1.2 所示。

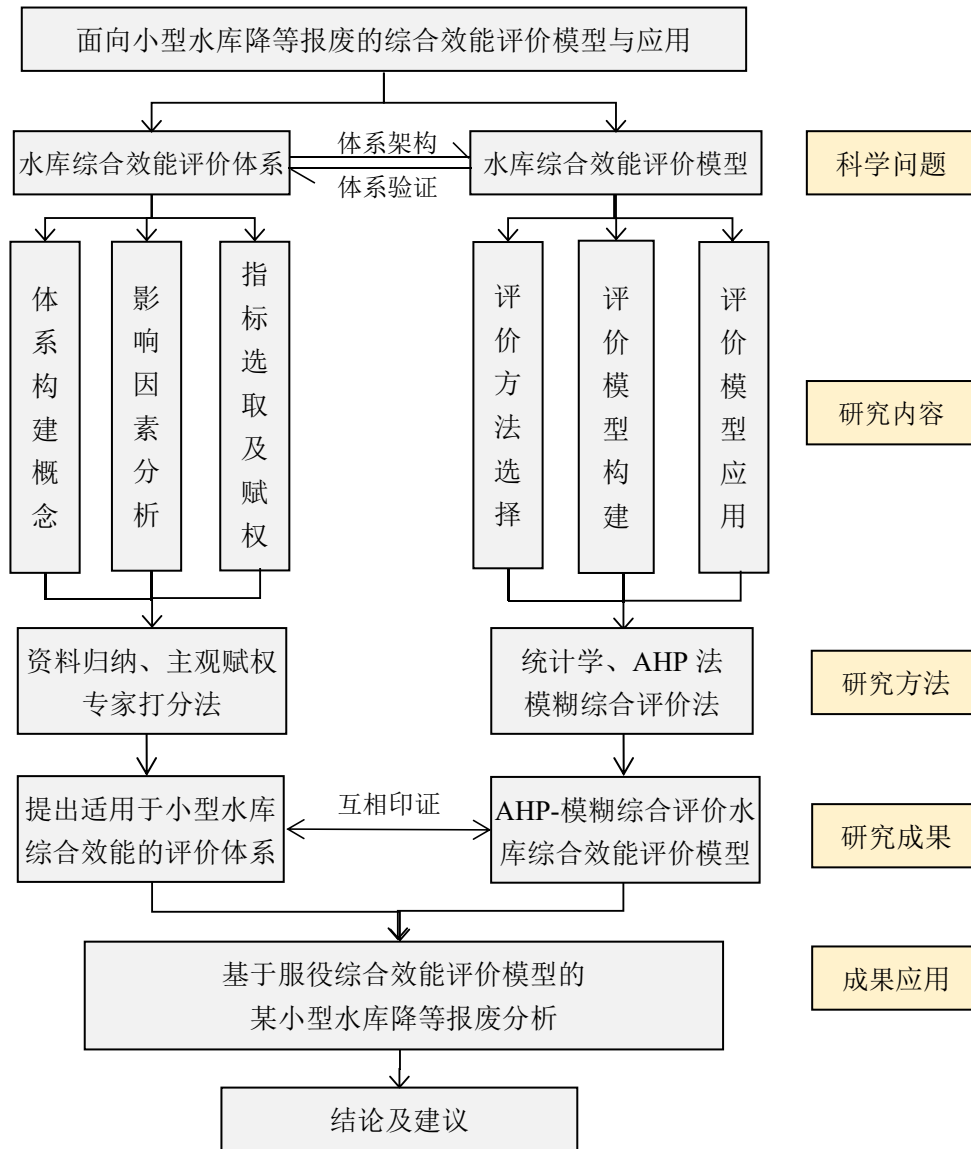


图 1.2 技术路线流程

第2章 面向小型水库降等报废的综合效能评价体系

2.1 概述

本章主要阐述面向小型水库降等报废的综合效能评价体系的概念和建立原则,结合水库降等报废的原因对水库综合效能影响因素进行分析,建立面向小型水库降等报废的综合效能评价指标体系,并确定了水库综合效能评价指标的赋权方法。

2.2 水库综合效能评价体系的构建原则与方法

2.2.1 水库综合效能评价体系的构建原则

要综合评价一个复杂的对象,在选取评价指标时,需要对评价指标进行整理分类,确保得到的评价指标体系科学且合理^[30]。建立一个科学且实用的评价指标体系是面向小型水库降等报废的综合效能评价中非常重要的一环,对于所选取的指标因素集,需完整地反映水库的综合效能,但影响水库综合效能评价的因素众多,若选取的指标过多,操作起来非常困难。因此要尽量将主要的、有代表性的评价指标用于水库综合效能评价中。综上,在构建水库综合效能评价指标体系的过程中,需要遵循以下几个原则^[31]:

(1) 科学性原则

选取水库综合效能评价指标不能过于繁杂,否则就会使水库综合效能评价出现偏离,从而与指标体系的科学性原则相违背。因此,对于能够突出水库综合效能评价影响因素主要特征的指标,所选指标的概念要明确,要有科学性^[32]。

(2) 可操作性原则

指标体系要求所选取的指标有相应的标准或计算方法进行定义,这样在评价过程中才能进行操作。对于水库综合效能评价指标来说,选取的指标不能过多,指标含义要有代表性且概念清晰,这样指标体系不会显得臃肿且可减少不必要的计算。

(3) 层次性原则

水库综合效能评价体系涉及因素众多,采用层次结构可以使复杂的系统层次化。所以,把水库综合效能评价复杂的体系分解成一层一层的系统来考虑,再对下至上、局部至整体的水库综合效能评价情况进行深入分析研究,最后

对水库综合效能进行综合评价。

(4) 相对独立性原则

水库综合效能评价选用的指标体系要在一定方面能够相对独立地体现出水库降等报废状态的特点,如果指标体系存在互相兼容的情况,会导致评价过程会变得非常复杂,而且也会影响最终评价结果。

(5) 定性与定量原则

影响水库综合效能评价的因素因素较多,不过许多指标无法定量化计算,只能进行定性的描述。对于难以量化的定性指标,需要进行一定的处理,结合相关领域的专家,建立科学的评价标准,对指标进行评价量化。结合定性指标与定量指标,对水库综合效能进行评价,可使评价结果真实可信。

(6) 系统性原则

所选指标应具有广泛的覆盖性,能将各种影响因素完整、全面地反映出来,使水库综合效能评价工作能够得到全面的开展。

2.2.2 水库综合效能评价指标体系的构建方法

常用的指标体系构建方法^[33]主要有归类法、交叉法、分析法、属性分组法、层次分析法等,具体见下表 2-1,本文采用目标层次法用于面向小型水库降等报废的综合效能评价体系构建。

表 2.1 评价指标体系构建方法

指标体系构建方法	原理	优点	缺点	应用领域
归类法	现有指标集合按一定标准分类	可以通过吸取以往的经验,一定程度上降低主观性,将各种不同的关注点相融合	需要参考旧现有的指标集,难以对新的对象进行评价	社会领域评价等
交叉法	衍生出一系列评价指标,通过多维交叉比较构建指标体系	可以反映不同元素之间的对比和协调	适用范围有一定的局限性,只能用于元素与元素之间能明显进行比较的评价对象	经济效益评价等
分析法	通过具体指标,逐步细分,直到每个底层单位都能描述出来,评价对象被划分成不同的子系统	对评价对象可进行系统的分析,能反映评价对象不同方向具有代表性的因素	非常依赖评价者自身的经验,且工作量较大	可持续发展评价等

属性分 组法	从指标属性角度出发，按静态、动态，平均数、相对数、绝对数来划分	指标体系较为丰富全面	指标与指标之间关联性较高，存在一定的重叠	失业状态评价等
层次分 析法	评价体系按照目标层、准则层、指标层三个层次进行建设	结构清晰，避免指标间交叉、重叠，而且便于计算，具有较强的实用性	准则层和指标层的选取依赖决策者的主观判断	工程评价等

2.3 水库综合效能评价体系的构建

2.3.1 水库综合效能评价体系的影响因素分析

对于面向小型水库降等报废的综合效能评价，应该结合小型水库降等报废的主要原因进行指标体系影响因素分析。对于水库降等报废的具体原因，虽然目前国内还并未有详细的统计数据，但结合相关文献规范和部分完成降等或报废的水库案例可知，水库降等报废的主要原因包括工程安全问题、经济效益问题和生态环境问题三个方面。

(1) 工程安全问题

水库的安全运行是所有水库管理单位必须保证的事情，一旦发生溃决，将带来严重的生命财产损失和恶劣的社会影响^[34]。所以，水库安全问题是水库降等报废工作必须优先考虑的事情。由于工程安全而进行降等或报废的水库往往存在着结构老化、工程质量差等问题。

1) 结构老化

目前我国对于水库大坝的合理使用年限已有相应的规定^[35]，针对水库大坝的预期寿命，通常来说可以通过定期相应的维护进行延长。然而，我国存在相当多的结构老化且年久失修的小型水库，其中大部分为20世纪50~70年代修建的。这类水库在日常运行中由于结构的老化已无法满足安全规范的要求，出现各种险情，甚至存在溃坝的风险^[36]。为了降低这类水库带来的风险，需要采取相应的处理措施，若进行全方面维护，花费大量的人力物力，在经济和技术上可能会存在各种问题。那么对于这样的水库，采取降低或者报废的办法来应对，就显得更加科学合理了。体现结构老化的因素有结构安全和抗震安全。因此，面向小型水库降等报废的综合效能评价指标体系应包括结构安全和抗震安全等。

2) 工程质量差

水库工程由于规划设计不当、施工过程质量不过关，常常会带来严重的安全

隐患,比如渗流破坏、防洪能力不足、坝坡失稳等问题。据统计,约40%的小型病险水库由于工程质量问题存在严重的大坝渗漏问题^[37],这也是小型土坝发生渗流破坏的主要原因之一。体现工程质量差的因素有防洪安全和渗流安全等,因此,面向小型水库降等报废的综合效能评价指标体系应包括防洪安全和渗流安全等。

3) 工程选址问题

水库选址首先要考虑的地形地质条件,若选地址地形或低质条件不当,会造成水库库区存在无法忽视的渗漏问题,严重的会影响到水库的蓄水甚至无法正常蓄水导致失去水库的基本功能。例如水库库区是石灰岩,水库在完成建设后不仅无法蓄水,而且存在严重的险情问题。对于这类水库,其功能和安全性均无法满足社会的要求,最终会采用降等或报废措施进行处理。

(2) 经济效益问题

水库的建设,很大一部分原因是水库可以产生相应的经济效益,若水库由于功能方面的问题,或者外在情况导致水库无法获得相应的经济效益,而自身又需要一定的运行及维护成本,则水库的运行会难以维持。所以,水库的经济效益问题也是水库降等报废的主要原因之一^[38]。由于经济效益而进行降等或报废的水库往往存在着功能丧失、管理维护成本太大等问题。体现经济效益的因素有水库费用与效益、水库运行影响、水库溃坝影响等。因此,面向小型水库降等报废的综合效能评价指标体系应包括水库费用与效益、水库运行影响、水库溃坝影响等。

1) 功能丧失

水库除了能抵御洪水,还具备一定的发电、灌溉、养鱼、旅游及航运等功能,能给水库带来一定的经济效益。影响水库功能最主要的因素是水库的蓄水能力,若水库失去蓄水能力,则会使水库功能彻底丧失,更不能产生经济效益。据调查,我国部分小型水库,就是由于水库自身淤积严重或工程设计问题导致的水库蓄水不足,完全丧失了水库功能,从而进行降等报废处理。体现功能丧失的因素有:是总库容、防洪拦蓄、灌溉和供水、水力发电等。因此,面向小型水库降等报废的综合效能评价指标体系应包括总库容、防洪拦蓄、灌溉和供水、水力发电。

2) 管理维护成本太大

为满足水库大坝安全管理的相关要求,水库的管理部门需要对水库进行日常的运行管理和定期的除险加固。不少水库由于缺乏管理经费,无法承担水库巨大的管理维护成本,且除险加固在经济上考虑并不合理,所以对水库采取降等报废的工程措施。体现水库运行管理的因素有管理设施、管理人员和标准体系。因此,面向小型水库降等报废的综合效能评价指标体系应包括总库容、防洪拦蓄、灌溉和供水、水力发电。

(3) 生态环境问题

虽然水库带来的环境影响在我国水库降等报废工作中并非侧重点,但国外发达国家在水库降等报废时,对生态环境中的水文条件、水生生物和上下游湿地等方面关注颇高^[39],甚至部分水库以此作为出发点考虑。将水库大坝拆除,可以还原河流天然形态、恢复鱼类洄游通道,形成良好的自然生态环境^[40],可以有效保护因水库而影响的珍稀动植物。因此,面向小型水库降等报废的综合效能评价指标体系应包括水文条件、水生生物和上下游湿地。

2.3.2 水库综合效能评价体系的构建

为了综合评价水库综合效能,首先要明确水库综合效能所涉及的影响因素,这是建立水库综合效能评价指标体系的基础。水库综合效能影响因素众多,不同水库各具特点,在进行具体的水库综合效能评价时,要结合水库的特殊性^[41],选择相应的评价指标体系,才能对水库的真实状况进行客观、实际的评价。结合前文,建立一套综合反映一般适用性的评价体系,选取主要指标如下:

(1) 库容与功能:库容与功能是能直接体现水库综合效能的指标之一,包括总库容、防洪拦蓄、灌溉和供水、水力发电等。其中,总库容是判断水库是否达到设计要求和正常运行的情况;防洪拦蓄主要考虑蓄水和防洪两个方面,判断溢洪道是否达到行洪能力要求;水库的供水和灌溉功能是由水库实际供水量和灌溉区域决定的;若低于标准发电量,则无法满足设计所需的水力发电功能。因此,应从总库容、防洪拦蓄、灌溉和供水、水力发电等评价其是否满足功能要求。

1) 总库容

水库库容是判断水库是否达到设计要求和正常运行情况最直接的指标之一,其不仅决定了水库发挥各项功能效益的能力,还影响了水库的防洪安全。对于因上游常年来水减少或者库区淤积严重而导致库容萎缩严重,远达不到设计要求的水库,通常会成为降等或报废处理的对象,如图 2.1 所示。



图 2.1 典型水库淤积

2) 防洪拦蓄

水库的防洪功能是水库最重要的功能之一，通过水库将洪水进行拦截储蓄，可以有效降低流入下游的洪峰流量，从而避免洪水可能造成的灾害。水库通常依靠滞洪和蓄洪对即将到来的洪水进行人为调节，其中滞洪即将洪水暂时滞留在水库中，通过提前降低水库水位，让水库能够接收更多的洪水，结合溢洪道等泄流设施，在蓄洪的同时还能对下泄流量进行控制。

3) 灌溉和供水

水库通过蓄水调节河川径流，可以有效解决灌溉用水与自然径流在时间和空间上不相适问题，对于农业灌溉以及地方供水发挥极大的作用。水库灌溉和供水功能主要体现在水库运行期间年灌溉量和年供水量的大小。

4) 水力发电

水库由于自身蓄水特性，可以很好的利用水流的势能，通过水轮机进行可控制的水力发电。随着水库长期的运行，水库由于各种原因导致水库发电量远远不足设置失去发电功能，比如来水骤降、水库质量问题、社会发展规划的需要等。评价水库水力发电能力需参考水库运行期间年发电量。

(2) 工程安全条件

工程安全是影响水库综合效能的最主要因素，包括防洪安全、渗流安全、抗震安全和结构安全等。其中，防洪能力从溢洪道和坝顶高程两个方面考虑；渗流安全主要考虑坝体渗漏、坝基渗漏和下游坡面散浸几个方面；结构安全主要考虑大坝抗滑稳定及坝踵、趾垂直应力均满足规范要求等。

1) 防洪安全

水库的防洪安全关系着水库下游人民的生命和财产安全，是水库降等报废和综合效能评价中非常重要的一环。水库防洪安全评价需对水库的防洪能力进行复核，具体为结合水库基本概况和水文资料，确定洪水标准和洪峰流量，计算设计洪水和调洪演算，结合坝顶高程和溢洪道对大坝抗洪和泄洪安全进行复核。

2) 渗流安全

水库大坝的渗流问题影响着水库的安全运行，对于水库降等报废和综合效能评价来说，水库大坝渗流安全需考虑大坝的防渗设施和反滤排水设施是否满足标准、设计施工质量有没有符合当前相关规范、对大坝渗流安全形态进行分析、对大坝渗透稳定性进行相应评判、水库运行期间是否存在渗流异常问题及潜在影响。

3) 结构安全

水库大坝的结构安全主要指水库大坝在正常运行的条件下,其变形、强度及稳定是否满足相应的规范要求。对于水库降等报废和综合效能评价来说,水库的结构安全包括应力、变形及稳定分析,需要考虑大坝总体变形性状及坝体沉降情况、大坝变形监测评价等。

4) 抗震安全

水库大坝的抗震安全需复核大坝的设计地震烈度,结合《水工建筑物抗震设计规范》确定水库大坝的抗震设防类别及相应的地震效应设计方法。

(3) 生态环境: 水库是主要的供水源之一,水源是否充足、水质能否保障都是重要的考量标准。在水库大坝建设之初可能会影响动物、植物的生存环境同时,在经过长期服役后,水库也是生态环境中的重要一环,可能成为一些珍稀动植物的栖身之所,如若报废处理需要充分保护生物的多样性。因此,从生态环境角度分析,评价体系主要选取水文条件、水生生物、上下游湿地。

1) 水文条件

水库水文特征条件一般包括库区上游河流含沙量、库区泥沙淤积量、水库下泄流量、库区水位变化、库区水体质量等,对于水库降等报废和综合效能评价来说,水库水文条件主要考虑水库泥沙和水质指标。

2) 水生生物

水库建成后,原河流的水文条件会发生明显变化,河道直接变成湖泊型,水位显著增高。一方面对于陆生动植物,其栖息地会由于库区蓄水而直接被淹没,生态系统发生变化;另一方面对于水生动植物,影响程度和范围更广,不仅会改变库区动植物的生存环境,对水库下游河流地区的水生生物和栖息环境也会有显著影响。同理,水库的拆除也会反过来改变库区原有的生态系统,对于水库降等报废和综合效能评价来说,水库水生生物指标需要考虑水生动植物群落的分布、范围和种类。

3) 上下游湿地

水库作为人工湿地,在建成及运行后,由于蓄水和泥沙输送等情况可能会在水库上下游形成不同规模的湿地系统,对于周边环境和动植物生存有着显著影响,对于水库降等报废和综合效能评价来说,水库上下游湿地指标需要考虑原湿地的形态和分布。

(4) 经济与社会: 通过来说,水库的建设是以创造经济价值为目的的,包括水库能带来的直接收益和服务社会的潜在价值。若水库无法创造预先设计的经济效益和社会服务,那么就无法满足建设时候的设计标准。所以,社会经济效益也是水库综合效能的原因之一。经济与社会主要体现在水库运行的费用与效益、水库运行影响以及水库溃坝影响三个方面。

1) 水库运行的费用与效益

水库在日常运行中需要的费用包括管理费用、维修养护费用、保障措施及其它费用,其中管理费用主要用于保持水库正常运行,包括管理人员工资及相应管理设施费用;维修养护费用主要包括对水库大坝、闸门等相关水利设施进行相关检修和维护;保障措施主要包括为保障水库正常运行而组织相关工作所需的费用。水库运行效益主要包括防洪效益、供水效益、灌溉效益、发电效益和其它效益。

2) 水库运行影响

新建水库往往会面临征地和移民问题,如果没有妥善解决,会带来许多冲突和矛盾,影响水库的建设和运行。对于水库降等报废和综合效能评价来说,水库运行影响需考虑是否有征地移民等遗留问题以及日常运行中是否产生水事纠纷问题。

3) 水库溃坝影响

水库溃坝影响主要为水库溃坝的风险问题,对于水库降等报废和综合效能评价来说,水库溃坝影响需要考虑溃坝可能影响的人数和可能造成的经济损失。

(5) 水库运行管理:水库的运行管理主要体现在管理设施、管理人员与体系、应急管理三个方面。我国小型水库受长期重建设轻管理的影响,目前一些小型水库运行管理情况不是太好^[42],随着水库运行年龄增长以及复杂外部环境侵蚀破坏,小型水库会发生不同程度的功能性丧失,根据水利部发布《水库报废与降等评价导则》,并结合水库的病损程度,综合判诊水库运行状况。因此,综合效能评价时也将运行管理情况作为一个指标。水库运行管理主要包括管理设施、管理人员与标准体系、应急管理。

1) 管理设施

水库管理设施对于水库安全管理非常重要,其体现了水库日常管理水平的优劣。水库管理设施主要包括通讯、工程和水文观测设施等,对于小型水库,由于大多修建的位置比较偏僻,路程遥远,交通不方便,如果发生险情难以第一时间组织抢险救灾。对于水库降等报废和综合效能评价来说,水库管理设施指标需考虑防汛交通和通讯观测设施,以及防汛救灾物质的储备等问题。

2) 应急管理

水库应急管理能力体现了水库对突发事件的处理能力,主要包括水库应急预案、应急管理专业技能培训 and 应急机制。对于水库降等报废和综合效能评价来说,水库应急管理需要考虑水库是否有详细的应急预案,且水库发生突发事件时能否迅速成立应急指挥机构和完善的应急措施。

综上,水库综合效能评价指标体系建立如图 2-2 所示。

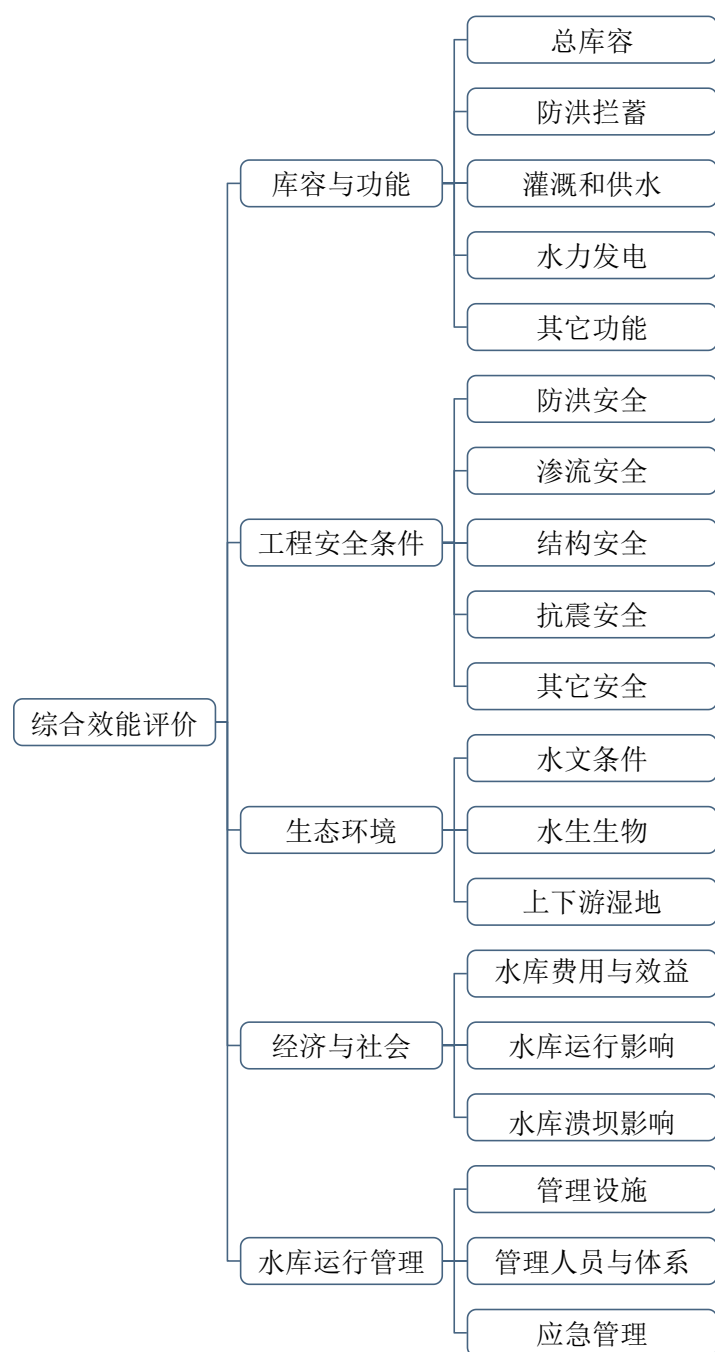


图 2.2 水库综合效能评价指标体系

水库综合效能评价指标赋权方法

水库综合效能评价指标体系包含较多指标，不同指标重要程度存在差异，对评价结果有着直接影响，为了更好的评价不同指标之间的重要性大小，需赋予指标对应的权重。常见的权重赋值方法分为主观赋权法和客观赋权法^[43]。

2.4.1 主观赋权法

主观赋权法主要是根据人们的经验和知识来确定每个指标因素的相对重要性,是基于各评价指标的主观重视程度进行赋权的一种方法,具有很大的主观性和不确定性。该方法需要决策者具有丰富的知识和相关经验,最好是领域的相关专家,否则会由于主观性造成的偏差而使得结果脱离实际。常用的主观赋权法有:层次分析法、德尔菲法、环比较法等^[44]。

(1) 层次分析法

首先对要解决的问题进行分解,并将每一层内的指标成对进行比较,以获得相对重要性,然后通过一致性检验确保评价矩阵满足一致性要求,从而量化定性问题。层次分析法方法清晰、简洁、实用,是目前应用最广泛的主观加权方法,然而定量数据较少,定性成分较多,导致结果可靠性偏低。

(2) 德尔菲法

使用匿名通信询问来收集专家组的意见,整个过程中,专家们只与组织者交流,而专家们之间不存在联系,几轮过后,由专家组的意见确定所有指标的权重。德尔菲方法结合了多位专家的知识和经验,结果具有一定的可靠性。然而,其过程相对复杂,通信询问时间跨度大,专家之间缺乏讨论和沟通。结果可能存在偏差。

(3) 环比评分法

从上到下比较两个相邻指标的相对重要性,并给出重要性值。将最后一个比较指标的重要性值设置为1,并以此为基础逐步校正重要性比,将下一个指标的校正重要性比与上一个指标重要性比相乘,得到上一个指标的校正重要性比。将每个指标的校正重要性比除以校正值的总和,确定每个指标的权重。环比较评分法的指标只与上下指标进行比较,不与所有指标进行比较。计算简单。然而,指标之间必须有明确的可比性,这就要求指标之间有很高的可比度。

2.4.2 客观赋权法

客观赋权法主要包括主成分分析法、熵权法、CRITIC法等^[45]。

(1) 主成分分析法

主成分分析法通过指标之间存在的联系,将部分存在相关性的指标进行合并,同时将主要信息进行保留,原来的部分指标在合并后会被一些综合指标替代,这样可以将工作简化,并易于在计算机上一标准化方式进行计算。然而,主成分分析方法要求指标之间有很强的相关性。

(2) 熵值法

熵值法是基于熵的基本概念和类型,以及每个指标相对重要性的不确定性来确定指标的权重^[46]。其基本原理如下:首先,根据每个指标的信息内容构建初始评价矩阵,再通过归一化得到特征权重,然后计算每个指标的熵值。从评价信息离散偏离程度的角度来看,离散偏离越大,包含的有效信息就越小,即指标的权重就越小;反之离散偏离越小,指标的权重就越大。

熵值法主要计算步骤如下:

1) 首先对评价指标的具体数据进行分析,构建矩阵 $A = \{x_{ij}\}_{mm}$, 因为不同指标各自的单位可能不一样,所以要对评价指标的具体数据进行一定的规范化处理,得到标准矩阵

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (2.1)$$

2) 计算出各评估指标信息熵值

$$e_i = -k \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} (i=1,2,\dots,m) \quad (2.2)$$

式中: $k = \frac{1}{\ln n}$ 为信息熵系数。

3) 计算各评估指标的熵权

$$\tau_i = \frac{1-e_i}{m - \sum_{i=1}^n e_i} (i=1,2,\dots,m) \quad (2.3)$$

其中, $0 \leq \tau_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^n \tau_i = 1$ 。

4) 计算修正后权重

$$w_{oi} = \frac{w_i \tau_i}{\sum_{i=1}^n w_i \tau_i} (i=1,2,\dots,n) \quad (2.4)$$

式中: τ_i 为熵值法权重, w_i 为层次分析法权重, w_{oi} 为修正后权重。

该方法主要以数学公式计算权重,赋权非常客观,但是依赖收集足够的数据,工作量非常大,并且只考虑数据具体数值,忽略了不同因素在水库综合效能评价方面的作用。

(3) CRITIC 法

CRITIC 方法根据指标的比较强度和指标之间的冲突来综合衡量指标权重。

对于指标的可变性和相关性，这两个指标之间的正相关性越大，冲突就越小，指标权重就越低。

CRITIC 方法主要计算步骤如下：

- 1) 对数据进行标准化处理，设有 n 条记录， m 条指标
- 2) 计算每个指标的标准差 σ_j 和相关矩阵 R

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

- 3) 计算每个指标包含的信息量

$$C_j = \sigma_j \sum_{i=1}^n (1 - r_{ij}) \quad (2.5)$$

- 4) 计算指标权重

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^m C_j} \quad (2.6)$$

CRITIC 方法仅适用于指标数据值稳定并且指标之间存在一定相关性的情况，且对指标数据准确度要求较高。

2.4.3 水库综合效能评价指标的赋权方法选取

对于客观赋权法，其利用指标值之间的关系或者指标值的变化程度根据一定的数学方法赋予指标权重，不受人为因素的影响，具有较强的客观性。但过于依赖指标值数据样本，易受样本数据的影响，忽略了人的主观能动性，赋权结果可能不符合实际情况。由于水库综合效能评价指标体系包含元素较多，且大部分指标无具体的数据进行计算，比较依赖专家的经验判断，采用客观赋权法不易操作；而主观赋权法主要根据专家的主观判断赋予指标权重，可以充分吸纳专家丰富的知识和经验，得到业内较为公认的指标权重。所以，本文采用主观赋权法中的层次分析法进行水库综合效能评价指标的赋权。

2.5 本章小结

本章主要围绕面向小型水库降等报废的综合效能评价体系进行研究，主要结论如下：

- (1) 阐述了面向小型水库降等报废的综合效能指标体系的概念和建立原则，

并结合小型水库降等报废的原因对水库综合效能影响因素进行分析。

(2) 建立了面向小型水库降等报废的综合效能评价指标体系，包含 5 个一级指标和 19 个二级指标。其中一级指标包括库容与功能、工程安全条件、生态环境、经济与社会、水库运行管理，二级指标包括总库容、防洪拦蓄、灌溉和供水、水力发电、其他功能、防洪安全、渗流安全、结构安全、抗震安全、其他安全、水文条件、水生生物、上下游湿地、水库费用与效益、水库运行影响、水库溃坝影响、管理设施、管理人员与体系、应急管理。

(3) 通过对水库综合效能评价指标赋权方法进行分析，确定了采用主观赋权法中的层次分析法进行水库综合效能评价指标的赋权。

第 3 章 基于指标体系分类考量的小型水库服役综合效能评价模型

3.1 概述

上一章节主要围绕着面向小型水库降等报废的综合效能指标体系的研究，构建了水库综合效能评价体系，明确了指标赋权方法。本章将对水库综合效能评价方法进行相关介绍，结合 AHP 和模糊综合评价法构建小型水库服役综合效能评价模型，并且说明该评价模型对于水库综合效能评价的优势，重点阐述运用 AHP-模糊综合评价法对水库综合效能评价的详细步骤和方法。

3.2 水库综合效能评价方法的确定

3.2.1 综合评价的相关概念

综合评价是指对多属性体系结构中其描述对象的全局性评价，主要包括评价的主体和对象，具体的评价指标，指标对应的权重大小、采用的评价模型等。该方法首先要明确评价目的，根据实际问题确定评价对象；然后对评价对象的特点进行综合分析，找出其影响因素及其相互关系，确定评价指标体系，针对指标相关标准收集指标的对应数据或资料，确定评价指标的实际数值；再对指标之间的重要程度进行分析，确定不同指标的权重大小；最终选择综合评价模型，综合评价结果根据评价指标体系、评价指标数值、权重系数三个指标综合评价后得出。综合评价一般流程如图 3-1 所示。

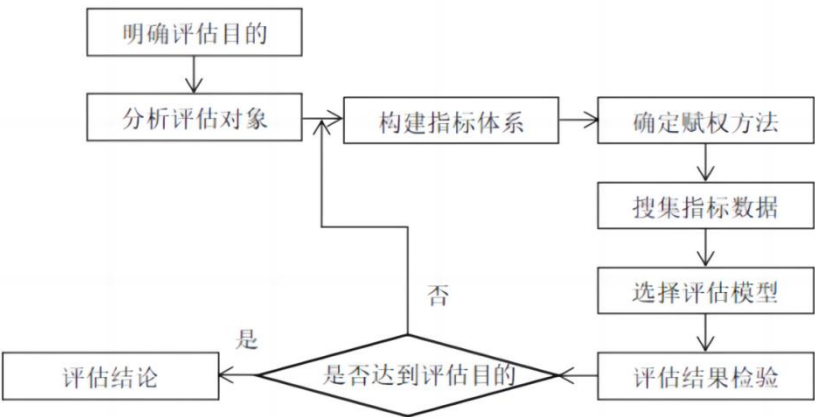


图 3-1 综合评价工作流程图

3.2.2 综合评价方法

通过查阅相关文献^{[47][48]}，目前主要采用的综合评价方法有数理统计分析法、信息论方法、多准则决策法、层次分析法、模糊综合评价法等。下面对这些评价方法进行简单介绍：

（1）数理统计分析法

数理统计分析方法包括主成分分析法、判别分析法和因子分析法等。数理统计分析方法以数学中的概率论为基础对数据进行统计分析，在损失信息量较小的前提下，将多个变量提炼成较少的相互独立的变量，以此达到简化评价问题的目的。其优点是将指标体系进行简化，降低指标间的关联性，减轻了指标赋权的工作量，数据处理不通过计算机也能进行；缺点对统计数据的获取和处理要求高。该类方法适用于经济相关的统计分析。

（2）信息论方法

信息论方法以信息熵评价法为代表，主要包括绝对信息熵方法和相对信息熵方法。信息论方法以信息论为基础，通过分析评价对象信息差和数据分布情况，建立基于熵的评价模型。其优点是避免了人为因素产生的误差，能够反映评价对象的客观信息；缺点是过于依赖样本数据，缺乏决策者的经验判断，评价结果可能不符合实际情况。适用于投资方案排序和宏观政策评价。

（3）多准则决策法

多准则决策方法分为多属性和多目标决策两类，主要包括目标规划法、线性加权法、ELECTRE 法等^[49]。多准则决策方法要求先明确评价的对象，接着根据不同准则将对象进行分解，构建一个层次清晰的结构模型，根据结构模型，选择最优备选方案。其优点是能够对评价对象进行精确地描述，评价的结果较为准确；缺点是不能对存在模糊因素、难以直观描述的对象进行评价。适用于多目标、多指标的动态评价问题。

（4）灰色关联度分析法

灰色关联分析作为灰色系统理论中一个非常重要的方法，其主要是将研究对象及其影响元素化为同一条线上的点，同时与待识别对象及影响元素的因子值所绘制的曲线进行贴进度比较，通过相关计算进行量化，得到研究对象与待识别对象各影响因素之间的贴近程度的关联度，通过比较各关联度的大小来判断待识别对象对研究对象的影响程度。其主要原理是根据序列曲线几何形状的相似程度来判断不同序列之间的联系是否紧密，主要思路是通过线性插值的方法将系统因素的离散行为观测值转化为分段连续的折线，根据折线的几何特征构造测度关联程度的模型。折线几何形状越接近，相应序列之间的关联度就越大，反之就越小。

（5）层次分析法

层次分析法是一种结构化、模式化、系统化地分析评价对象的方法。层次分析法通过将决策问题分解,构建总目标、评价准则、评价指标、备选方案的层次体系,构造判断矩阵计算权重,对定性指标进行模糊量化处理^[50],得到层次单排序和总排序。它的优点是利用较少的量化数据信息,在深入分析复杂评价决策问题的性质、影响因素和内部关系的基础上,数字化、系统化,可靠性比较高,误差较小,易于接受人们的思维判断;不足之处在于主观性较强,依赖专家经验。适用于评价对象结构繁杂、多决策层次的决策与评价问题。

（6）模糊综合评价法

模糊综合评价法结合了模糊数学和综合评价,对受多种因素制约的评价对象,根据模糊数学中的隶属度理论,将界定模糊、难以量化的因素定量化,按多项模糊的准则参数进行综合评价。其优点是适用性强,对于主观因素和客观因素的综合评价均可用,同时评价的最终结果是一个向量,可以体现更多的信息,对于复杂的评价对象能进行比较贴近实际的详细评价。缺点是无法解决因评价因素之间的关联性导致的信息重复问题,隶属函数和合成算法在一定程度上具有较强的主观性。适用于评价对象类属不清晰、专家认识模糊等模糊性问题的评价。

3.2.3 评价方法的选择及适用性分析

水库综合效能评价涉及一些模糊的元素,评价过程需处理多种因素影响产生的变化。不同的因素指标存在着相对重要性的差异,对水库综合效能评价的影响程度会有很大的不同,而有的指标没有具体的数据进行定量分析,只能选取相应的标准结合模糊性的描述进行分析。层次分析法可以将评价指标层次结构化,再通过咨询专家将指标间相对重要性进行分析,构建相应判断矩阵,最终确定所有指标的权重大小。模糊综合评价基于模糊数学中的隶属度理论^[51],对于定性分析的指标可以按照一定标准达到量化处理的目的。

基于层次分析法和模糊综合评价法,构建小型水库服役综合效能评价模型。该模型能够较好地发挥两种评价方法的优势,通过多位专家的评价结果,增加评价的可信度^[52],又可以有效处理评价中模糊不清的问题,使评价过程更加科学合理。

综上所述,AHP-模糊综合评价法构建的评价模型可以很好的解决水库综合效能评价指标权重的确定和定性、定量的转化,以及评价过程中存在的模糊性问题,因此该评价模型适用于对水库综合效能评价研究。

3.2.4 小型水库服役综合效能评价模型构建

本文所构建的小型水库服役综合效能评价模型由层次分析法和模糊综合评价法两部分组成。其具体步骤如下：

首先，在已经完成指标体系的构建的工作后，需对评价体系的结构层次进行划分^[53]。本文采用层次分析法将水库综合效能评价分为三个层次，分别为的目标层层、准则层和指标层，这是水库综合效能评价的基础部分。

然后，通过反复咨询经验丰富的专家，判断指标的重要性，具体为采用1~9标度法将同一准则内的指标进行一一比较，得到相应的判断矩阵，并对判断矩阵进行一致性检验，然后计算出指标权重的大小。

最后，采用模糊综合评价法，结合典型函数法和专家咨询对定性定量指标分别计算，得到指标的隶属度矩阵^[54]，根据最大隶属原则确定评价等级，即可得出评价结论。

其技术路线图如图3-2所示：

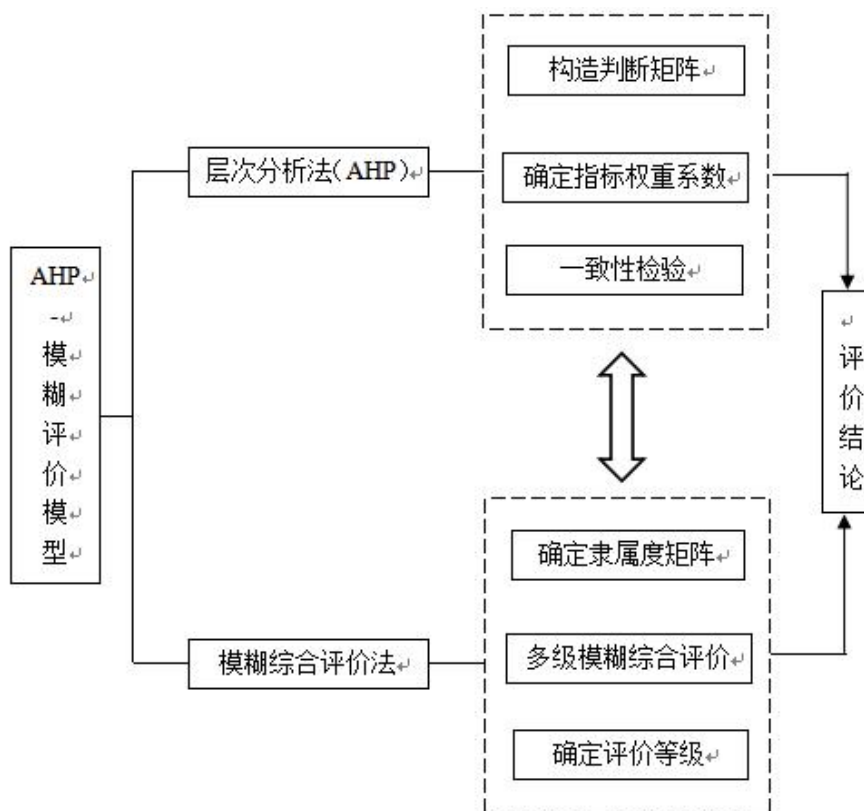


图 3-2 小型水库服役综合效能评价模型

3.3 基于层次分析法的水库综合效能评价指标权重计算

3.3.1 指标层次结构的建立

水库综合效能评价指标体系较为复杂，不过主要可从功能、安全、经济、环

境、管理等角度进行整理，通过指标之间的隶属关系，将指标进行分层归类。对于同一层次的指标，需要互相独立；对于不同层次的指标，需要满足被支配的关系。通常将评价指标体系分为目标层、准则层和指标层。

目标层（最高层）：即评价的目标，针对具体待解决的问题，确定希望达到的目标，目标层一般只有一个元素。

准则层（中间层）：即影响目标实现的主要因素，这类因素对目标层有直接影响。

指标层（最低层）：由于评价目标过于复杂，涉及的因素较多，可以通过指标间的隶属关系将准则层要素进一步细化，从而更好的实现评价目标。

3.3.2 判断矩阵的构建

在确定指标的层次结构后，就要对同层次间（准则层和指标层）的因素建立判断矩阵。所谓判断矩阵，即低层次的几个因素相对于高层次某一个因素的相对重要性，通常采用 1~9 标度法（见表 3-1），将同一层相关指标进行两两比较，从而构建对于的判断矩阵表格 U ，具体可见表 3-2。设某一层准则为 N_k ，该准则包含 m 个元素， N_k 对于这 m 个元素具有支配关系，对于这 m 个元素采用 1~9 标度法两两比较其对于准则 N_k 的重要性程度。例如将 U_1 分别和 U_2 、 U_3 进行比较得到的 u_{12} 、 u_{13} ，分别代表元素 U_1 和 U_2 、 U_3 相比对于准则 N_k 的重要性大小，以此类推得到所有准则对应的判断矩阵如下：

$$X = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1m} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{m1} & u_{m2} & \cdots & u_{mm} \end{pmatrix}$$

表 3-1 1-9 标度及含义

标度	含 义
1	两个指标重要性一样
3	前者指标比后者指标略微重要
5	前者指标比后者指标明显重要
7	前者指标比后者指标强烈重要
9	前者指标比后者指标极端重要
中间值	上述重要性比值的中间值，即 2，4，6，8
倒数	上述重要性比值的倒数，即 1/3，1/5，1/7，1/9 等

表 3-2 判断矩阵表格 U

N_k	U_1	U_2	...	U_m
U_1	u_{11}	u_{12}	...	u_{1m}
U_2	u_{21}	u_{22}	...	u_{2m}
...	...	...	...	...
U_m	u_{m1}	u_{m2}	...	u_{mm}

3.3.3 权重计算

构建判断矩阵后，需要对其进行一致性检验。所谓的一致性检验，就是检验判断矩阵中所有元素重要度之间的协调性，避免出现一些不合理的主观判断。其具体步骤为：首先计算出判断矩阵最大特征值 $\lambda_{\max}$ ，最大特征值的求解，可以采用层次分析法算法中的方根法，然后通过公式 3-1 得到判断矩阵一致性指标 CI ，再通过表 3-3 找到对应的平均随机一致性指标 RI ，由公式 3-2 得到随机一致比率 CR ，当 $CR < 0.1$ 时，认为该判断矩阵符合一致性，否则需要对判断矩阵的取值进行修改，直到满足一致性检验。

通过计算得到相对的特征向量 W ，将特征向量 W 进行归一化后，即为各因素相对应的权重向量。

$$CI = (\lambda_{\max} - 1) / (n - 1) \quad (3-1)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3-2)$$

表 3-3 平均随机一致性指标 RI 值

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI 值	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

3.4 基于模糊综合评价法的水库综合效能评价

3.4.1 因素集和评语集确定

(1) 评价因素集合的确定

针对已经确定的评价指标，建立评价因素集合 U ， $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$ ，其中， $u_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 为评价指标因素， n 为同一层次上评价因素的具体个数。

(2) 评语集合的确定

评价系统得出的评判结果组成评语集合 V ， $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ ，其中 $v_j (j=1,2,3,\dots,m)$ 指第 j 种评价结果， m 为评价等级数。对于定量的指标，评语集合 V 是具体的数据；对于无法定量的指标，评语集合 V 是模糊的定性描述。对于评价等级数，其取值如果太大，会出现应评语过多而造成评价混乱的现象；若取值太小，又会由于评语过少而使得评价结果不够客观^[55]。所以，评价等级数 m 的取值要在一个合理的范围内，一般为 4 或 5 较为合理。

3.4.2 隶属度矩阵的确定

在确立好评价因素集合 U 和评语集合 V 之后，下一步就是确定隶属度矩阵 R 。隶属度指从单个角度来看被评价对象评价等级的隶属程度，也即第 i 个评价因素 u_i 对评价结果 v_j 的隶属程度，其隶属度 $R_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}\}$ ， $i=1,2,3,\dots,n$ 。对 n 各元素进行综合评价，可得一个 n 行 m 列的矩阵，即为隶属度矩阵，隶属度矩阵如下所示：

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

其中， $0 < r_{ij} < 1$ ，表示评价因素

(1) 定量指标隶属度的计算

典型函数法是通过现有的分布函数，结合指标因素的特点，可用于确定定量指标隶属程度。本文采用典型函数法中的半梯形分布函数计算定量指标的隶属度。半梯形分布函数主要是在连续的区间上划分一定的分界点，再根据定量指标的取值，以线性内插计算的方式求得与之相对应的定量指标的隶属关系。其具体的分布函数如下：

设评价因素集合 $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$ ，评价等级标准集合 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ ，设 v_j 和 v_{j+1} 是相邻的评价等级标准，且 $v_{j+1} > v_j$ ，则评价等级标准 v_j 隶属度函数为：

$$r_1 = \begin{cases} 1 & u_i \leq v_1 \\ \frac{v_2 - u_i}{v_2 - v_1} & v_1 < u_i < v_2 \\ 0 & u_i \geq v_2 \end{cases} \quad (3-3)$$

$$r_2 = \begin{cases} 1-r_1 & v_1 < u_i \leq v_2 \\ \frac{v_3 - u_i}{v_3 - v_2} & v_2 < u_i < v_3 \\ 0 & u_i \leq v_1 \text{ 或 } u_i \geq v_3 \end{cases} \quad (3-4)$$

$$r_j = \begin{cases} 1-r_{j-1} & v_{j-1} \leq u_i \leq v_j \\ \frac{v_{j+1} - u_i}{v_{j+1} - v_j} & v_j < u_i < v_{j+1} \\ 0 & u_i \leq v_{j-1} \text{ 或 } u_i \geq v_{j+1} \end{cases} \quad (3-5)$$

根据上述式子，计算出评价因素 i 对于评价等级 j 的隶属度 r_{ij} ，得到隶属度函数 R ，

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

(2) 确定定性指标隶属度

对于定性指标，由于其不能用具体数值表示，其只能基于主观判断进行模糊的描述进行定性评价。通常采用专家打分，即通过咨询多为经验丰富的专家，结合不同指标相应的评判标准，将专家最终的评价结果用百分比统计法进行整理。从而确定定性指标隶属度矩阵。

最终得到的隶属度矩阵为：

$$R' = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

3.4.3 模糊综合评价法的步骤

(1) 确定因素集和评语集合

评价因素集合 U ， $U = \{u_1, u_2, u_3, \cdots, u_n\}$ ，其中， $u_i (i=1, 2, 3, \cdots, n)$ 为评价指标因素；评语集合 V ， $V = \{v_1, v_2, \cdots, v_m\}$ ，其中 $v_j (j=1, 2, 3, \cdots, m)$ 指第 j 种评价结果。

(2) 确定评价指标的权重系数

运用层次分析法将评价指标分层归类整理，第一层为评价目标层，第二层为指标层，记为 $U = \{u_1, u_2, u_3, \cdots, u_n\}$ ，第三层为具体的评价指标，对第二层因素 $u_i (i=1, 2, 3, \cdots, k)$ 划分，记为： $U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, u_{i3}, \cdots, u_{in}\}$ ， $(i=1, 2, 3, \cdots, n)$ 。评价因素

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/436131021201010035>