DOI:10.3969/j.issn.1004-4701.2020.04-02

小型水库群安全风险等级划分研究

彭月平，周志维，史明涓

（江西省水利科学研究院，江西 南昌 330029）

摘 要：小型水库安全管理是水利工程管理的薄弱环节. 对小型水库进行安全风险等级划分，采取分级管理是提高管理水平的重要措施. 本文根据小型水库的安全现状，采用层次分析法和德尔菲法，确定了小型水库风险指标体系，明确了各指标的等级分类原则，提出了小型水库风险分级计算方法. 选取了 40 座小型水库，开展了风险值计算，计算结果与小型水库实际情况基本相符，表明该方法具有较强的适用性，为今后开展小型水库分级管护奠定了基础.

关键词：小型水库；指标体系；风险分级

中图分类号：TV62+1 **文献标识码：**B **文章编号：**1004-4701(2020)04-0240-07

0 引 言

迄今为止，我国已建成水库 8.7 万多座，其中小型水库 8.3 万多座，占水库总数量的 95.4%[1]，且其中多数为土石坝。小型水库数量众多，管理水平相对落后，已成为水库管理的薄弱环节[2-4]。

为加强小型水库安全管理，2013 年水利部财政部发布了《关于深化小型水利工程管理体制改革指导意见的通知》，要求明晰工程产权，明确管护主体和责任，落实维修养护经费，探索社会化和专业化的多种管理模式，建立健全科学的管理体制和良性运行机制。在小型水库风险管理方面，国内许多学者开展了大量研究，如盛金保[5,6]针对我国小型水库现状，提出了制定配套法规、对工程等别和级别重新分类、按风险大小进行除险排序立项、科学确定除险措施，并提出了一套适用于小型水库的风险分析方法，为除险加固提供决策依据。李超[7]利用风险指数法提出了小型水库溃坝风险分析理论。傅惠寰[8]探讨了水库溃坝风险管理，并提出了建立溃坝风险管理制度、汛期抢险、及时的水库除险加固、建设大坝安全监测与信息平台、建立科学合理的应急预案等措施。李超[1]以区域小型水库为研究对象进行了群坝风险分析方法研究，根据风险指数大小对水库做加固排序、进行资金调配等，为小型水库除险加固决策工作提供理论指导。周振龙[9]分析了小型水库存在的风险，并提出了除险加固、制定应急预案、降等报废、向保险公司投保等风险管控措施。陈安玲[10]以水库运行风险的不确定性为灰色系统，建立功能函数，对小型水库安全运行风险因素的不确定性进行了分析研究。王圣海[11]对辽宁省小型水库安全运行风险进行了分析，并提出了完善安全运行维护机制、建立防汛预警系统等提高小型水库安全运行管理水平的建议。

上述研究有如下特点：一是将小型水库作为一个整体概念进行统筹，宏观性较强，未考虑小型水库个体之间差异化；二是考虑了小型水库存在的风险，但研究背景多站在除险加固角度，风险值大小未与水库管护方式联系在一起。在基于针对性管护的小型水库风险等级划分方面，我国学者暂未开展相关研究。在国外，如澳大利亚等国家对水库的管理采用风险管理技术，先确定水库大坝的风险等级，再根据风险等级分配人力、物力资源，不同等级的水库采取不同的管理措施。这种水库管理方式符合现代化水库管理的需要。

收稿日期：2020-03-14
项目来源：江西省水利厅科技项目(201921YBKT32).
作者简介：彭月平(1990-)，男，硕士，工程师.

因此，开展小型水库风险等级划分，制定差异化管理方法非常必要。通过建立水库风险划分计算方法，计算水库风险值，将水库按风险值大小划分为不同风险等级，再对不同等级水库制定不同的管护要求，可进一步提升小型水库管理水平，这正是践行“水利工程补短板，水利行业强监管”水利改革发展总基调的深刻表现。

1　风险等级划分方法

1.1　指标体系的建立

基本原则：小型水库风险分级管理涉及指标众多，难以用少数几个指标涵盖水库风险分级管理特征的所有信息，也没必要对所有的影响因素都进行考虑，这就需要从众多的影响因素中筛选出具有主导作用的、具有代表性和独立性较强的指标作为评价指标。根据这一思路，小型水库安全风险等级划分评价指标体系的构建遵循以下基本原则：

(1)目的性原则。小型水库风险等级指标要根据水库风险分级管理的目的进行选择，能满足评价要求。

(2)科学性原则。指标必须从小型水库的本质和客观规律出发，符合有关研究理论，具有一定的科学内涵，能够客观地反映我省小型水库管理实际状况。

(3)可操作性原则。指标数据要易于测量、易于量化、易于获取等，便于计算、分析和使用。

1.2　指标体系框架

将风险定义作适当变换，小型水库风险值定义为工程缺陷指数与下游影响指数的乘积。因此，结合小型水库管理实际，在参考相关研究成果和专家意见的基础上，用层次分析法将小型水库风险分级指标体系分为目标层、准则层、子准则层和指标层 4 个层次结构。目标层包含 1 个指标；准则层包含工程缺陷和后果影响 2 个指标；子准则层包含大坝、涵管(隧洞)、溢洪道、闸门启闭机、管理设施、水库特征参数、下游影响等 7 个指标；指标层包含了 19 个指标。小型水库安全风险等级划分指标体系结构见图 1。

1.3　指标病险程度划分

水利部出台的《水利部办公厅关于印发水利水电工程(水库、水闸)运行危险源辨识与风险评价导则(试行)的通知》(办监督函〔2019〕1488 号)中，将水库危险源风险等级划分为极其危险、高度危险、中度危险、轻度危险，共 4 级，且目前国内的工程安全等级一般划分

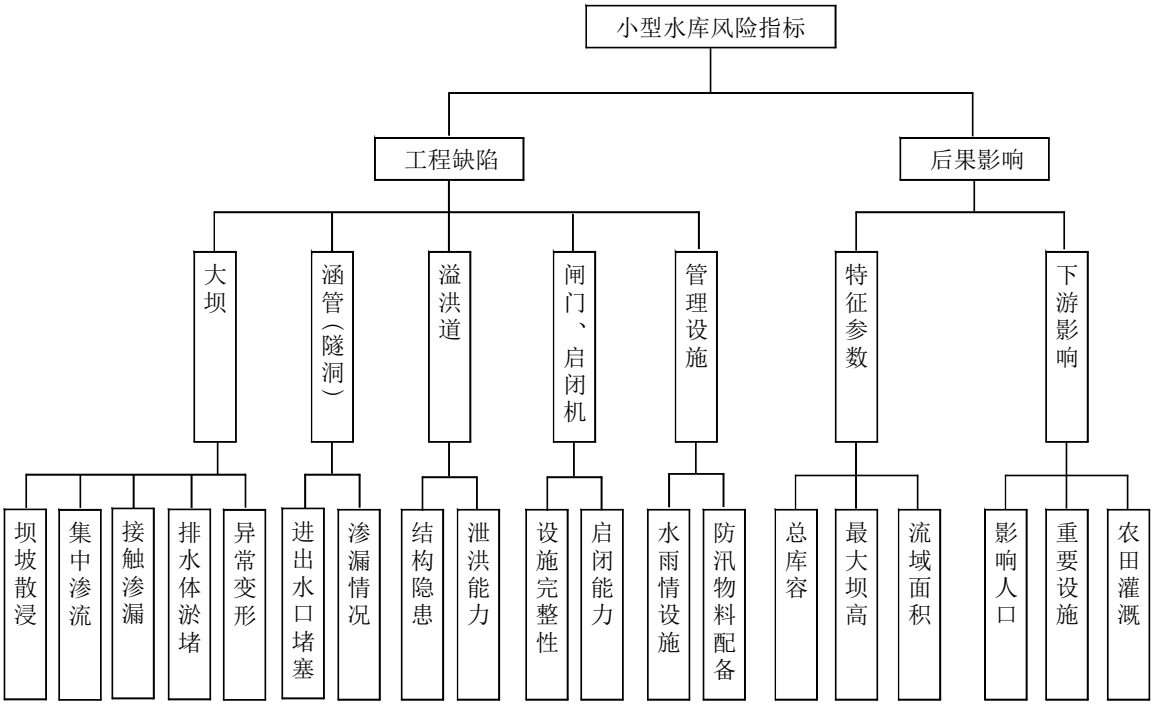

图 1　小型水库安全风险等级划分指标体系

为 4 级，因此，本文将水库大坝各指标的病险严重程度分为轻微、较严重、严重、特别严重 4 个级别。

1.4 影响后果分级

《生产安全事故报告和调查处理条例》(2007 年国务院令第 493 号) 根据安全生产事故造成的人员伤亡或直接经济损失，将事故等级确定为特别重大事故、重大事故、较大事故和一般事故 4 个标准，这种分级是根据既成事实进行分级的，而影响后果应根据大坝潜在溃坝后进行分级，国外加拿大在水库大坝潜在溃坝后果计算时，将生命损失、经济、社会和环境等分为极严重、严重、低和极低 4 个等级。我国学者彭雪辉起草出版的《中国水库大坝风险标准研究》[12]中，对大坝溃坝概率划分了分级标准，将溃坝后果等级分为特别重大、重大、较大、一般 4 个级别。这与《生产安全事故报告和调查处理条例》的分类及加拿大的等级分类描述基本相同。因此，将小型水库存在的风险，即后果划分为特别重大、重大、较大、一般 4 个级别。

1.5 指标定性与定量标准

指标定性描述与定量标准是确定水库风险等级的关键。确定指标定量值应满足以下原则和要求：

(1) 考虑不同指标的相对重要性，对相对重要性较大的指标适当提高量化值；

(2) 考虑同一指标不同病险严重程度的差异性，病险严重程度越高，相应量化值越大；

(3) 考虑计算结果与小型水库整体安全现状的相符性，要经过大量试算，避免绝大部分水库风险值落在同一风险区域，为后续针对不同风险等级水库制定差异化管护措施做准备。

根据以上原则和要求，确定指标体系定性描述及定量值见表 1~4。

表 1 安全缺陷定性描述与定量标准(1/3)

一级指标		大坝				
二级指标		坝体散浸	集中渗漏	接触渗漏	排水体淤堵	异常变形
标准分		8	10	10	6	8
指标病险严重程度及赋分值	特别严重	常年有散浸，且散浸面积超过 $2m^2$ 或散浸最高点超过 1/3 坝高	渗水点(含泡泉)直径大于 2cm 且有土或细沙带出或渗水点(含泡泉)数量超过 3 个且有土或细沙带出或渗漏量大幅增加	常年有渗漏，且出现浑水、夹砂、跌窝等	堵塞面积占排水体表面积 50%以上	纵向(横向)裂缝长度超过 10m 或塌坑直径超过 2m 或雨淋沟深度超过 20cm
	分值	8	8	10	6	8
	严重	散浸面积超过 $1m^2$ 或散浸最高点接近 1/3 坝高以下	渗水点(含泡泉)直径小于 2cm 且有土或细沙带出或渗水点(含泡泉)数量超过 2 个且有土或细沙带出或渗漏量小幅增加	常年有渗漏，渗水部位在排水体以下	堵塞面积占排水体表面积 30%~50%	纵向(横向)裂缝长度超过 5m 或塌坑直径超过 1m 或雨淋沟深度超过 10cm
	分值	6	6	8	4	6
	较严重	散浸面积小于 $1m^2$	渗水点(含泡泉)数量为 1 个，且有土或细沙带出	库水位在汛限水位以上时才出现渗漏	堵塞面积占排水体表面积 10%~30%	纵向(横向)裂缝长度超过 2m 或塌坑直径超过 0.5m 或雨淋沟深度超过 5cm
	分值	4	4	5	2	4
	轻微	散浸不明显或无散浸	有清水渗出或无渗漏	渗漏量很小或无渗漏	堵塞面积占排水体表面积 10%以下	纵向(横向)裂缝长度不足 2m 或塌坑直径不足 0.5m 或雨淋沟深度不足 5cm
	分值	2	2	2	1	2

表 2　安全缺陷定性描述与定量标准(2/3)

一级指标		涵管(隧洞)		溢洪道	
二级指标		进出水口堵塞	渗漏	结构隐患	泄洪能力
标准分		6	8	8	8
指标病险严重程度及赋分值	特别严重	堵塞严重造成出水量不足 20%或出水口被淹(压力管道除外)	漏水量超过 0.5L/s,水质混浊,夹有大量泥沙	溢洪道未完建或溢流堰、边墙、底板等有贯穿性裂缝、大面积损坏或较大范围边坡不稳定	近 5 年内每年均泄洪,或出现最高过水深大于 1.0m 以上
	分值	6	8	8	8
	严重	堵塞严重造成出水量不足 50%	漏水量超过 0.3L/s,水质混浊,夹有少量泥沙	溢流堰、边墙、底板等有较多裂缝、局部严重损坏或局部边坡不稳定	近 5 年内有 3 年泄洪,且过水深度不超过 1.0m。
	分值	4	6	6	6
	较严重	部分堵塞造成出水量不足 80%	漏水量超过 0.1L/s,水质较混浊,夹有少量泥沙	溢流堰、边墙、底板等有少量裂缝、局部损坏	近 5 年内偶而有泄洪,且过水深度不超过 1.0m
	分值	2	4	4	4
	轻微	少量堵塞造成出水存在阻碍	漏水量不足 0.1L/s,夹有极少量泥沙	轻微损坏或无损坏	近 5 年内未泄洪
	分值	1	2	2	2

表 3　安全缺陷定性描述与定量标准(3/3)

一级指标		闸门启闭机		管理设施	
二级指标		闸门启闭设备	正常启闭能力	水雨情设施	防汛物料配备
标准分		6	8	6	8
指标病险严重程度及赋分值	特别严重	锈蚀面积 90%以上,或变形破坏非常严重或累积漏水量达到 10L/s 以上	无法启闭	无设施或者设施完全失效	现场无防汛物料
	分值	6	8	6	8
	严重	锈(腐)蚀面积 50%以上,或存在变形、破损等或累积漏水量达到 5L/s 以上	启闭困难	设施不全	现场砂石料的种类和数量明显少于规定
	分值	4	6	4	6
	较严重	锈(腐)蚀面积 50%以下,且不存在变形、破损等或累积漏水量达到 5L/s 以下	启闭有卡顿	设施不可靠,观测数据准确性差	现场砂石料的种类和数量略少于规定
	分值	2	4	2	4
	轻微	不存在锈蚀及变形、破损,且无漏水	启闭正常	设施齐全,且数据基本准确	现场防汛物料的种类和数量符合规定
	分值	1	2	1	2

表 4 影响后果定性描述与定量标准

一级指标	二级指标	标准值	影响后果							
			特别重大	分值	重大	分值	较大	分值	一般	分值
特征参数	总库容	7	大于 300 万 m^3	7	100~300 万 m^3	5	20~100 万 m^3	3	小于 20 万 m^3	1
	最大坝高	7	大于 30m	7	20~30m	5	10~20m	3	小于 10m	1
	流域面积	6	大于 10km^2	6	3~10km^2	5	1~3km^2	3	小于 1km^2	1
下游影响	影响人口	8	坝脚与村庄(100 人以上)之间的距离 0.5km 以内	8	坝脚与村庄(100 人以上)之间的距离 0.5~2.0km(含 2km)	6	坝脚与村庄(100 人以上)之间的距离 2.0~5.0km	4	坝脚与村庄(100 人以上)之间的距离 5.0km 以上	2
		8	坝脚与村庄(100 人以上)之间的相对高差 5m 以上	8	坝脚与村庄(100 人以上)之间的相对高差不足 5m	6	坝脚低于村庄	4	坝脚低于村庄	2
	重要设施	6	一旦垮坝将影响国家级交通、输电、油气线路及厂矿企业、军事设施	6	一旦垮坝将影响省级交通、输电、油气线路及厂矿企业	5	一旦垮坝将影响县级交通、输电、油气线路及厂矿企业	3	一旦垮坝将影响乡镇一般基础设施	1
	农田灌溉	8	影响实际灌溉面积大于 3 000 亩	8	影响实际灌溉面积 1 000~3 000 亩	6	影响实际灌溉面积 300~1 000 亩	4	影响实际灌溉面积小于 300 亩	2

1.6 大坝风险等级计算

根据国内外的风险等级分类研究经验，加拿大根据溃坝后果严重程度将大坝分为极高风险、高风险、低风险和极低风险 4 个等级。我国一般将风险划分为极高风险、高风险、中风险和低风险共 4 级。因此，本办法同样将风险程度划分为极高风险、高风险、中风险和低风险 4 级，对应的风险等级为 I~IV 级。

根据澳大利亚大坝委员会的定义，风险 R(risk)定义为风险事件发生的概率 P(Possibility)和事件后果 C(Consequence)的乘积，即：

$$R=\sum_{i=1}^{n} P_i \times C_i \tag{1}$$

式中：R 为风险事件的风险值；P_i 为该风险事件可能出现各类风险事故的概率；C_i 为该风险事件可能出现各类风险事故的后果指数。

因此，此处大坝风险值计算参考澳大利亚大坝委员会提出的风险计算方法，即将工程缺陷与后果影响两者风险值相乘计算获得，相关数学表达式如下：

$$R=L_{总} \times S_{总}/5\,000 \tag{2}$$

$$L_{总}=\sum_{i=4}^{14} L_i \tag{3}$$

$$S_{总}=\sum_{j=1}^{3} S_i \tag{4}$$

式中：R 为大坝风险值；$L_{总}$为工程缺陷累积值（具体为表 1~3 中各指标累加值）；$S_{总}$为影响后果累积值（具体为表 4 中各指标累加值）。L_i 为第 i 个指标工程缺陷分值(具体为表 1~3 中各指标分值)，S_j 为第 j 个指标影响后果分值(具体为表 4 中各指标分值)。

由表 1~4 可知，工程缺陷累积值最大值为 100，影响后果累积值最大值为 50，为方便理解风险分布，在工程缺陷累积值与影响后果累积值相乘后除以 5 000，从而使大坝风险值分布区间在 0~1 之间，根据均匀分布原则，风险等级划分标准如表 5 所示。

2 实例计算

2.1 计算过程

在江西省随机选取 40 座小型水库(小(1)型水库

表 5　小型水库风险等级划分标准

R 值区间	风险程度	风险等级
R>0.75	极高风险	I 级
0.50<R≤0.75	高风险	II 级
0.25<R≤0.50	中风险	III 级
R≤0.25	低风险	IV 级

20 座、小(2)型水库 20 座)进行风险值计算，计算结果见表 6，各风险区间水库数量见表 7。

2.2　结果分析

从表 6~7 可以看出，选取的 40 座小型水库中，低风险水库 16 座、中风险水库 21 座、高风险水库 2 座、极高风险水库 1 座。其中高风险和极高风险的 3 座水库风险值分别为 0.64、0.56、和 0.72，这与 3 座水库均为三类坝相吻合。低风险和中风险的 37 座小型水库中，

表 6　风险值计算结果

序号	风险值	风险程度	序号	风险值	风险程度
1	0.249 6	低风险	21	0.185 6	低风险
2	0.309 6	中风险	22	0.327 6	中风险
3	0.273 6	中风险	23	0.418 0	中风险
4	0.320 0	中风险	24	0.156 0	低风险
5	0.272 8	中风险	25	0.168 0	低风险
6	0.640 0	高风险	26	0.296 4	中风险
7	0.288 0	中风险	27	0.140 0	低风险
8	0.358 4	中风险	28	0.234 0	低风险
9	0.299 2	中风险	29	0.281 6	中风险
10	0.187 2	低风险	30	0.720 0	极高风险
11	0.158 4	低风险	31	0.295 2	中风险
12	0.162 4	低风险	32	0.237 6	低风险
13	0.343 2	中风险	33	0.294 0	中风险
14	0.266 0	中风险	34	0.280 8	中风险
15	0.258 4	中风险	35	0.349 6	中风险
16	0.235 6	低风险	36	0.224 0	低风险
17	0.352 8	中风险	37	0.319 2	中风险
18	0.224 0	低风险	38	0.240 8	低风险
19	0.240 8	低风险	39	0.218 4	低风险
20	0.352 0	中风险	40	0.560 0	高风险

表 7　各风险区间水库数量

风险程度	低风险	中风险	高风险	极高风险
数量/座	16	21	2	1

绝大部分为二类坝，个别水库未完成安全鉴定，这与计算结果也比较吻合，说明建立的小型水库安全风险等级划分方法具有较好适用性。

3　结论与建议

文章通过开展小型水库风险等级划分研究，得出以下结论：

(1) 根据风险理念，建立了小型水库安全风险划分评价指标体系，并确定了各指标的定性描述和定量标准。

(2)建立了小型水库风险分级计算方法,并在江西省随机选取了 40 座小型水库进行了风险值计算,计算结果表明,水库风险值符合水库实际情况,表明此方法具有较强适用性,为下一步针对不同风险等级水库制定差异化管护要求奠定了基础。

存在不足:不同地区小型水库基础条件和管理情况存在较大差异性,文中建立的小型水库安全风险等级划分指标体系、计算方法以及指标量化等还存在不同程度局限性和不足,需在实践当中不断完善,进一步提高指标体系和计算方法的适用性。

参考文献:

[1] 李超. 小型水库溃坝风险分析研究[D]. 山东农业大学,2010.
[2] 王朝辉. 安徽省小型水库安全管理问题与对策 [J]. 中国水利,2019(02):47~48.
[3] 郜秀成. 小型水库大坝安全管理的实践与探讨[J]. 中国水能及电气化,2018(11):51~53.
[4] 孙秀峰,黄翠,张鹏. 广东省小型水库运行管理存在问题及对策分析[J]. 广东水利水电,2017(01):18~20.
[5] 陈安玲. 小型水库安全运行风险的不确定性研究[J]. 水利技术监督,2016,24(05):7~8+12.
[6] 周振龙. 浅谈小型水库的风险管理 [J]. 内蒙古水利,2014(04):155~156.
[7] 李超,刘经强,王爱福,等. 小型水库群坝风险指数排序分析方法研究 [J]. 山东农业大学学报 (自然科学版),2012,43(04):564~568.
[8] 傅惠寰,李志威,胡进民. 小型水库风险管理与响应对策[J]. 中国农村水利水电,2011(04):150~151+155.
[9] 盛金保. 小型水库大坝安全与管理问题及对策 [J]. 中国水利,2008(20):48~50+52.
[10] 盛金保,冯靖宇,彭雪辉. 小型水库风险分析方法研究[J]. 水利水运工程学报,2008(01):28~35.
[11] 王圣海. 辽宁省小型水库安全运行风险与对策研究 [J]. 小水电,2019(03):13~14+56.
[12] 彭雪辉,蔡跃波,等. 中国水库大坝风险标准研究[M]. 中国水利水电出版社,2015.

编辑:张绍付

The technology research of small reservoir classification based on risk analysis

PENG Yueping, ZHOU Zhiwei, SHI Mingjuan
(Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China)

Abstract: The safety management of the small reservoirs is the weak link of water conservancy project management. In order to improve the management level, it is important to classify the safety level of small reservoirs and to adopt classified management. In this paper, according to the safety status of small reservoirs, we used AHP and Delphi method to build the risk index system of the small reservoirs, and defined the classification principle of each index, then puted forward the risk classification calculation method of small reservoirs. 40 small reservoirs are selected and the risk classification is carried out according to the risk classification calculation method we builded. The calculation result was consistent with the actual situation of the small reservoirs, which shows that the method has strong applicability, and lays a foundation for carrying out the classification management of small reservoirs in the future.

Key words: Small reservoirs; Index system; Risk classification

翻译:彭月平