SCIENTIA SINICA Technologica

中国科学: 技术科学

techcn.scichina.com







# 我国水库大坝病险及溃决规律分析

张建云\*,杨正华,蒋金平

南京水利科学研究院、水利部土石坝破坏机理与防控技术重点实验室、南京 210029

\* E-mail: jyzhang@nhri.cn

收稿日期: 2016-08-23; 接受日期: 2017-01-10; 网络出版日期: 2017-07-18

"十一五"国家科技支撑计划项目"水库大坝安全保障关键技术研究"第一课题"水库大坝病险与溃坝规律研究"(编号: 2006BAC14B01)和水 利部公益性行业科研专项"土石坝长效安全运行重大关键技术研究"(编号: 201501033)资助

水库工程是保障经济社会发展的重要基础设施,大坝安全涉及重大公共安全问题,对溃坝数据进行深 入分析对溃坝防范和防灾减灾具有重要意义. 本文深入分析了大坝的病险和溃坝现象以及发生发展规律, 探讨 了水库大坝运行过程中的病害演变特性,构建了大坝病害评估和险情判别体系;在分析大坝性态变化规律的基 础上,建立了大坝性态变化模型;通过历年溃坝数据挖掘,系统分析了20世纪50年代以来我国溃坝的坝型、时 间和空间分布规律, 总结了有价值的经验教训和警示, 对水库大坝溃坝风险防控和加强大坝安全管理有重要 参考价值.

大坝,安全,病害,溃坝,减灾 关键词

## 1 引言

据第一次全国水利普查[1],到2011年底,全国共有 水库98002座(不含港澳台), 总库容9323.12亿m³, 其中 已建水库97246座,在建水库756座;大型水库756座,中 型水库3938座, 小型水库93308座.

我国水库工程大多兴建于20世纪50~70年代,其 中50,60和70年代各建了约28800,19400和31300座水 库, 分别占已建水库总数的29.6%, 19.9%和32.2%, 30 年建成水库占已建水库的81.8%. 受当时经济技术条 件限制和"大跃进"、"文革"等影响,工程基础资料短 缺,经济发展调整较多,基本建设工程停建、缓建时 有发生,导致"三边"工程和"半拉子"工程多,工程建设 标准低、质量差. 加上管理经费长期投入不足, 维修

养护不到位,工程失修,病害严重."先天不足"、"后 天失调"导致我国病险水库问题突出。

受地质、水文、设计、施工等不确定因素影响, 大坝安全问题和水库溃坝风险始终是大坝建设与管 理中的关键问题[2]. 我国自1954年有较系统溃坝记录 以来,到2014年的61年间共发生水库溃坝3529座,年均 57.9座. 1954~1982年29年间发生水库溃坝3115座, 年 均107.4座: 其中1959~1961和1973~1975年两个时期是 水库溃坝的高发期,年均溃坝分别达154.7座和414.3 座. 改革开放以来,水库管理各项工作不断规范,水库 溃坝事件显著减少, 1980~2014年的35年间共发生615 座水库溃坝, 年均17.6座, 年均溃坝率1.80×10<sup>-4</sup>, 已经 达到世界公认的低溃坝率水平(2×10<sup>-4</sup>). 特别是进入21 世纪以来, 2000~2014年15年间仅发生水库溃坝72座,

引用格式: 张建云, 杨正华, 蒋金平. 我国水库大坝病险及溃决规律分析. 中国科学: 技术科学, 2017, 47: 1313-1320

Zhang J Y, Yang Z H, Jiang J P. An analysis on laws of reservoir dam defects and breaches in China (in Chinese). Sci Sin Tech, 2017, 47: 1313–1320,

doi: 10.1360/N092016-00295

© 2017 《中国科学》杂志社

年均4.8座, 年均溃坝率仅为0.5×10<sup>-4</sup>.

本文通过对全国大坝基础数据、病险水库除险加固项目数据和相关调查资料的分析,剖析了大坝病险、溃决特征规律,提出了大坝病害度和性态转化模型,对我国水库大坝病险和溃坝成因以及演变规律进行了系统分析,并提出了关于水库大坝病险与溃决的新认识和警示.

# 2 大坝病害

#### 2.1 大坝病害现象

大多数病险水库存在防洪能力偏低、大坝渗漏、结构稳定不足等问题,且往往是多种病险并存,工程管理条件也相对较差.对3230座病险水库病害问题进行分析,大坝的主要病害现象有以下几方面.

- (1) 防洪能力不够. 在全球气候变化背景下, 我国极端天气事件呈现增多增强的趋势, 另由于水文系列延长、水库淤积影响、泄洪能力不足、技术经济进步等, 经复核部分水库大坝实际防洪能力不满足规范要求.
- (2) 渗漏问题突出. 由于地基处理及坝体填筑质量差, 防渗体破损或排水体淤堵, 土石坝穿坝设施结构质量和防渗措施不足, 渗流控制措施不健全, 渗流

安全问题较为常见.

- (3) 结构稳定性不足. 大坝结构稳定性能达不到规范要求,包括大坝变形或开裂、地震损害,坝坡稳定安全系数不足等;或者输泄水建筑物破损,溢洪道结构水毁、消能不足,输水设施破损、漏水等.
- (4) 抗震稳定欠缺. 有少量大坝未做抗震设计或 抗震加固, 大坝抗震稳定性不符合要求. 一些地区地 震资料发生变化, 按新的地震参数复核工程的抗震稳 定性不够.
- (5) 金属结构失修. 金属闸门锈蚀、混凝土闸门碳化, 止水破损等导致漏水. 启闭设备陈旧, 启闭能力不足, 缺乏备用电源等.

病险水库的大坝病害统计见表1,从中看出,大坝工程或设施的渗漏、变形、失效、破损、锈蚀等病害问题在病险水库中普遍存在.

#### 2.2 病险水库成因

经大量资料归纳和60座案例抽样分析,病险水库 成因可以概化为建设、老化、破坏、管理、社会等 不同成因.

(1)设计施工失当. 20世纪特殊年代兴建的工程先 天不足是较普遍现象,抽样统计,未进行地勘或勘探粗

| 表  | 1 | 疷   | 险水        | 庢 | 疷   | 害 | 统   | 计  |
|----|---|-----|-----------|---|-----|---|-----|----|
| 15 |   | /P3 | P / / / / | / | /P3 |   | ーノレ | νı |

|    | 病害分类       | 出现次数 | 占样本百分比(%) |
|----|------------|------|-----------|
|    | 坝基渗漏       | 32   | 53.3      |
| 渗漏 | 坝体渗漏       | 30   | 50.0      |
| 1  | 接触渗漏       | 10   | 16.7      |
|    | 坝肩渗漏       | 34   | 56.7      |
|    | 坝体变形       | 14   | 23.3      |
| 变形 | 坝体裂缝       | 16   | 26.7      |
|    | 坝面不整       | 30   | 50.0      |
| 失效 | 防渗、反滤、排水失效 | 42   | 70.0      |
| 大双 | 库容淤积       | 2    | 3.3       |
|    | 护坡破碎, 不完整  | 40   | 66.7      |
| 破损 | 泄洪设施损坏或不完整 | 40   | 66.7      |
|    | 输水涵管破损、渗漏  | 42   | 70.0      |
|    | 溢洪闸开启失灵    | 22   | 36.7      |
| 锈蚀 | 剥蚀、冻融、冲刷   | 34   | 56.7      |
|    | 碳化、钢筋锈蚀    | 34   | 56.7      |

浅占20.0%, 未设计或边施工边设计占6.7%, 未清基或清基不彻底占46.7%, 施工质量较差占70.0%.

- (2) 年久失修严重. 随着工程运行时间增长, 材料和结构性能随时间推移产生衰变、退化, 工程老化对大坝病害和大坝安全的影响是基本原因.
- (3) 自然破坏影响. 大坝受洪水、地震、淤积、冰冻等自然力作用而出现受损或破坏, 其中洪水造成的水毁较为常见, 淤积对防洪和运行有影响, 高寒地区冰冻损害问题较为突出.
- (4)运行管理不善. 水库运行管理经费长期投入不足,维修养护和除险加固缺失,导致大量工程积病成险. 统计发现,观测设施缺失占80.0%,管理设施欠缺占63.3%,白蚁等危害占33.3%,维修养护不足占6.7%.
- (5) 技术经济原因. 随着经济社会的发展, 工程安全标准和要求会发生变化, 早期工程的安全标准即使符合当时要求, 按现行标准衡量也可能出现不满足要求的情况, 这就可能使一座"无明显异常"的工程成为"三类坝".

#### 2.3 病害分类与判别

病险水库症状多样,具体工程之间差异较大,按 工程的防洪、渗流、结构等安全性进行归类,对3230 座病险水库工程病害的分类统计结果见表2. 由于不 少工程多种问题并存,比例累计超过100%. 由表2可 见,工程结构问题比例最高,结构问题包括了大坝、 溢洪道、输水洞等不同建筑物的稳定和强度问题,甚 至包括了闸门与启闭设施等问题. 若从单纯性工程问 题来看,应当是渗流问题在"三类坝"工程问题中最为 常见,比例相对最高.

表 2 病险水库主要工程问题分类

| 主要工程问题 | 水库数量(座) | 比例(%) |
|--------|---------|-------|
| 防洪能力不足 | 1890    | 58.5  |
| 渗流稳定不足 | 2344    | 72.6  |
| 结构稳定不足 | 2547    | 78.9  |
| 抗震稳定不足 | 475     | 14.7  |

为了区分大坝的不同病害程度,促进病险水库科学治理,基于病害评价将土石坝病害分为4个等级,即"严重病害、中度病害、轻微病害、未见病害".采用病害评估指标体系评价结果划分的大坝病害判别准则见表3<sup>[3]</sup>.

对于大坝险情的分类与判别,参照已有经验及"5.12"汶川地震震损水库的险情分类,将大坝险情分为4类: 溃坝险情、高危险情、严重险情、一般险情,对应的警示标识为"红色、橙色、黄色、蓝色". 以土石坝险情为例给出的险情判别准则见表4.

# 3 大坝性态演变

#### 3.1 大坝病害度模型

大坝病害程度可用病害度表示,实践中可通过检查检测结合专家经验,采用大坝病害评估指标体系进行分析,进而可按照病害等级判别准则综合评判大坝病害. 这里介绍一种基于大坝性态的大坝病害度模型.

大坝安全性与功能性综合指标可用大坝性态指数 b反映. 大坝性态指数 b可以根据裂缝、渗流位势、渗流坡降、浸润线、渗流量、巡视检查、稳定分析、坝顶超高等8个子性态状况综合评价,可用下式表示:

表3 大坝病害判别准则

| 大坝病害等级 | 评估指标<br>体系分值 | 大坝病害程度描述                             | 大坝安全影响     | 维修加固需求                |
|--------|--------------|--------------------------------------|------------|-----------------------|
| 严重病害   | <1.0<br>≥0.8 | 病害已影响到工程结构完整<br>性与安全性,工程病害严重         | 大坝存在严重安全隐患 | 应采取除险加固措施以<br>保证大坝安全  |
| 中度病害   | <0.8<br>≥0.6 | 病害部分影响到工程结<br>构完整性与安全性, 工程<br>病害程度中等 | 大坝存在不利安全因素 | 应采取维修养护措施以<br>改善大坝安全  |
| 轻微病害   | <0.6<br>≥0.4 | 病害已经显现,但尚未影响<br>工程结构完整性与安全性          | 病害尚未影响大坝安全 | 必要时对工程病害问题<br>进行局部处理  |
| 未见病害   | <0.4<br>≥0.0 | 检查检测未见病害,工程结<br>构完整性与安全性良好           | 工程处于良好工作状态 | 开展正常养护, 无须针<br>对性工程处理 |

表 4 土石坝险情判别准则

| 险情分类 | 险情特征   | 判别准则   | 警示标识 |
|------|--|--|------|
| 溃坝险情 | 管涌、流土、集中冲刷等明显,渗漏量<br>大且增大或夹带泥沙,大面积散浸;裂<br>缝、变形严重,发生滑坡或滑坡迹象明显 | 工程存在重大安全隐患,极易引发溃坝事故,应立即降低库水位或空库运行,不采取工程处理措施不能维持工程安全    | 红色   |
| 高危险情 | 管涌、流土、集中冲刷等现象基本形成,渗漏量较大且有增大趋势,散浸<br>面积较大;裂缝、变形较严重            | 工程存在较大安全隐患, 容易引发溃坝事故, 宜降低库水位或空库运行, 不采取必要的工程措施不足以保证工程安全 | 橙色   |
| 严重险情 | 有明显渗流异常现象,渗流压力或<br>渗流量在局部已不能满足安全要<br>求;局部明显变形、开裂             | 工程存在安全隐患, 有诱发溃坝事故的可能, 应采取适当措施防止险情发展                    | 黄色   |
| 一般险情 | 轻微、初步的异常迹象, 检查、监测<br>结果反映大坝渗流无明显异常                           | 工程存在一般性安全隐患,基本上没<br>有溃坝的担忧,但不进行适当处理可<br>能影响工程正常运行      | 蓝色   |

$$b = \sum_{i=1}^{8} \alpha_i p_i = \sum_{i=1}^{8} \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{n} \alpha_i p_{ij},$$
 (1)

式中, $p_{ij}$ 为通过j位专家对大坝裂缝、渗流位势、渗流坡降、浸润线、渗流量、巡视检查、稳定分析、坝顶超高等8个方面工程状态的评估赋值, $\alpha_i$ 为第i指标的权重.

大坝病害度c可用大坝减损性态指数 $b_r$ 与大坝设计性态指数 $b_s$ 的比值表示,大坝减损性态指数 $b_r$ 为大坝设计性态指数 $b_s$ 与大坝现状性态指数 $b_x$ 的差值,则大坝病害度c可用下式表示:

$$c = b_{r} / b_{s} = (b_{s} - b_{x}) / b_{s}.$$
 (2)

大坝病害度c值范围为 $0\sim1$ ,c值较小反映大坝病害程度轻,c值较大反映大坝病害程度重.

一般而言,大坝病害程度及大坝性态是随着大坝运行时间而变化的,因此,大坝病害度c及大坝性态指数b是大坝运行时间t的函数,即c=c(t), $b_x$ = $b_x(t)$ 且有c(0) $\geq 0$ , $b_x(0)$  $\leq b_s$ ,则大坝病害度也可表示为

$$c = c(t) = \frac{b_s - b_x(t)}{b_s}.$$
 (3)

#### 3.2 大坝性态转化模型

大坝病害演变过程可以表述为"常态-病害-险情-事故"的大坝病害演变链,反映了病害积累从量变到质变的变化关系:随着大坝运行时间增长,受各种环境和荷载影响,包括使用和维护不当,逐步产生病害,若不采取及时、有效的干预措施,病害积累触发险情,险情失控导致事故.采取工程措施,如维修养护、更新改造、除险加固等,可以干预大坝病害演变链的发展;采取非工程措施,如安全检查、控制运用、应

急预案等也可以辅助干预;干预措施可以延缓、迟滞病害发展,或使性态演变发生逆转,有效减低和管控大坝风险.

根据大坝病害特性将大坝划分为初态大坝、常态大坝、病态大坝、险态大坝等4种基本性态.随着工程运行时间增长,大坝性态之间可以发生变化或转化.自然驱动的大坝性态转化规律是:(1)初态大坝随着运行时间延长逐渐演变为轻微病害大坝;(2)在洪水、地震、管理不善、经济社会要求提高、时间等作用下可以进一步转化为病态大坝;(3)任其病害发展,积病成险,可使病害恶化为险情,病态大坝进而发展为险态大坝.若采取科学合理的工程措施进行人工干预,可以有效改善大坝安全性态,反向驱动大坝性态转化,使险态大坝、病态大坝逆转为常态大坝.根据大坝病害规律建立的大坝性态转换关系见图1.

#### 3.3 大坝运行技术经济特性

工程寿命可以划分为技术寿命和经济寿命两种. 技术寿命是指在正常技术维护条件下所期望的建筑 物满足安全与功能要求的使用年限;经济寿命是指满 足其使用经济合理性所期望的综合投入与产出比可 接受的使用年限.一般情况下,经济寿命比技术寿命 要短.工程中提出的设计寿命,是对技术寿命与经济 寿命的综合预期,主要用于指导大坝的工程建设、安 全运行和维修加固.

工程界一般认为,水库大坝设计寿命为50~100年,淤积库容和金属结构设计年限可为30年,科学的运行管理、良好的维修养护可以延长这一期限.但超过设计寿命的工程,其维修养护或更新改造的需求会大大

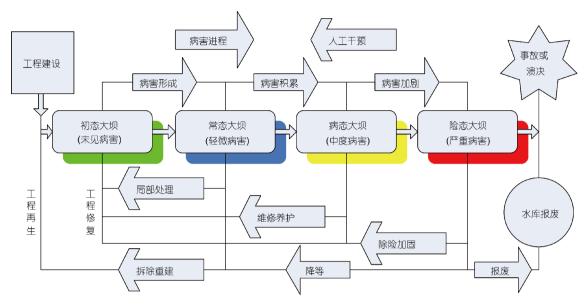


图 1 (网络版彩图)大坝性态转化模型

超过设计寿命期内的需求,运用后期需要的维护加固投入加大,工程运行的技术经济合理性逐渐下降.大坝的运行技术经济特性关系见图2.

从大坝运行技术经济规律看,随着工程运行年限增加,工程病害发生是正常的,"先天不足"和"后天失调"可能促使工程提早进入病害多发期,工程在经济寿命外运行是以成本增加为代价的,其维修养护、除险加固等投入增加也是必然的.

#### 3.4 大坝病害判别实例

构建了大坝病害评估指标体系,包括工程建设、

运行、检查、管理4个评估子系,其中工程建设评估设有建设时期、设计情况、施工方法、质量控制、防渗体系健全性等指标;工程运行评估设有大坝、溢洪道、输水洞的运行负荷,维护管养,维修加固等指标;工程检查评估设有裂缝情况、渗流情况、坝坡稳定、护坡破损、白蚁危害、结构稳定、消能防冲、闸门启闭等指标;工程管理评估设有人员配备、安全监测、防汛设施等指标.

采用大坝病害评估指标体系方法对某水库大坝病害进行了分析评估. 该水库控制流域面积79.6 km², 总库容6147万m³, 枢纽包括大坝、溢洪道、输水隧洞

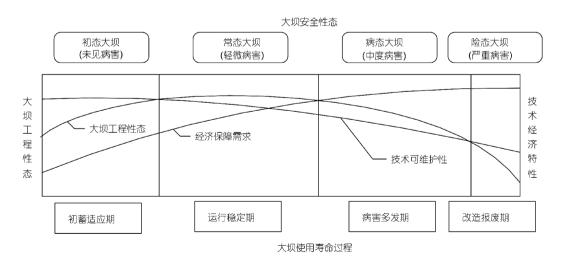


图 2 大坝运行技术经济特性关系

和电站等. 大坝为黏土心墙土石混合坝, 1955年兴建, 1958年建成, 1965年扩建, 最大坝高48.19 m, 坝顶长310.7 m, 坝顶宽度5 m.

按照评估要求成立了专家组,在掌握工程基本情况,分析设计施工、运行管理资料等基础上,专家组对大坝现场进行了细致检查,采用病害评估指标体系对各项指标进行分析计算,得出该水库大坝的病害程度为0.472. 根据病害判别准则,属于轻微病害,相关评估意见:工程病害已经显现,尚未影响工程结构完整性与安全性,必要时应进行局部处理.

对照该水库按照《水库大坝安全评价导则》(SL258-2000)进行的大坝安全评价,其综合评价建议大坝安全评定为"二类坝",两者在评价结论的安全等级分类、指出的主要工程问题较为相符,基本一致,体现了较好的科学性和实用性.本文构建的大坝病害评估方法具有投入少、见效快的显著特点,既可作为大中型水库大坝安全评价和鉴定的辅助方法,也可作为大坝工程维修养护的前期工作,对小型水库大坝安全认定、鉴定更具特别实用意义.

# 4 大坝溃决规律

#### 4.1 溃坝资料分析

我国1954~2014年溃坝数据中不同时期与规模的 溃坝情况见表5. 表中可见, 溃坝多发于新中国成立早期, 高发于"文革"期间, 随着时间的变化, 越接近近期水库溃坝越少, 进入21世纪, 溃坝大幅度下降, 溃坝主要发生在小型水库特别是小(2)型水库中. 根据统计数据, 1977~1999年年均溃坝数量降低为43.5座, 2000~2014年年均溃坝数量快速降低为4.8座, 且多年相对平稳. 当前阶段的溃坝防范是历史最好时期, 主

要得益于社会经济发展、法规制度健全、除险加固改善和大坝安全管理工作的全面加强。

# 4.2 溃坝规律分析

根据1954~2014年溃坝资料[3,4],综合来看,(1)我国 历史上出现过2次溃坝高峰、一个是1959~1961年3年 溃坝464座,另一个是1973~1975年3年溃坝1243座,其 中历史峰值为1973年溃坝556座. (2) 溃坝主要发生于 小型水库, 小型水库占全部溃坝的96.3%; 大型水库溃 坝仅见2例,即1975年8月特大暴雨引发的板桥和石漫 滩两座水库溃决,主要因超标准洪水自然灾害不可抗 力造成; 中型水库溃坝128座, 占全部溃坝的3.6%. (3) 溃坝比例地区差别明显, 1954~2014年期间, 溃坝比例 超过20%的省份有山西、内蒙古、甘肃、宁夏和新 疆5个,而水库数量较多的湖南、江西2省溃坝比例仅 为1.8%和2.1%,其中与地质条件、当地材料、工程建 设与管理条件差异等关系密切. (4) 溃坝原因多样, 漫 顶溃决占47.9%, 其中超标准洪水引发占12.9%, 泄洪 能力不足占34.9%; 工程质量问题占41.2%, 其中坝体 渗漏占19.1%,涵管、溢洪道、岸坡与坝体接触渗漏 及新老坝体结合面渗漏占10.0%,溢洪道、涵管质量 差占5.5%, 坝体滑坡占3.6%, 其他质量问题占3.0%; 管 理不当原因占4.7%, 其他原因占5.3%, 另有少量原因 不详. (5) 溃坝坝高小于15 m占52.3%, 溃坝坝高小于 20 m占72.7%. (6) 我国溃坝率偏高的主要原因为: 一 方面是建设管理问题,处于施工、停建状态溃坝的占 22.4%; 另一方面是运行管理粗放, 年久失修、积病成 险、管理不善在溃坝原因中占很大比例.

随着水库管理法制化、规范化、现代化进程的推进,大坝安全管理成效显著,溃坝数量大幅减少,态

| 表 5 | 水库溃坝时间与工程类型分类统计(1954~2014年数据) |  |
|-----|-------------------------------|--|
|-----|-------------------------------|--|

| 溃坝时段(年)        | 大型(座) | 中型(座) | 小(1)型(座) | 小(2)型(座) | 合计(座)  | 比例(%) | 年均溃坝数(座) |
|----------------|-------|-------|----------|----------|--------|-------|----------|
| 1954~1965(12年) | 0     | 87    | 282      | 410      | 779    | 22.1  | 64.9     |
| 1966~1976(11年) | 2     | 20    | 231      | 1425     | 1678   | 47.6  | 152.5    |
| 1977~1999(23年) | 0     | 16    | 155      | 829      | 1000   | 28.3  | 43.5     |
| 2000~2014(15年) | 0     | 5     | 16       | 51       | 72     | 2.0   | 4.8      |
| 合计(61年)        | 2     | 128   | 684      | 2710     | 3529   | 100.0 | 57.9     |
| 比例(%)          | 0.06  | 3.63  | 19.38    | 76.79    | 100.00 |       |          |

势平稳向好. 蒋金平和杨正华<sup>[5]</sup>对1980~2006年575座小型水库溃坝做了分析, 27年中出现了1981和1994年2个溃坝数据波动, 查证主要为局部特大洪水诱发; 坝高小于5, 5~15 m的分别占9.9%和53.2%, 15 m以上的水库坝高越高, 由于建设标准较高和管理相对规范,溃坝比例越小; 坝下埋涵、溢洪道与坝体连接、坝肩结合部多为溃坝触发点; 运行管理不当造成的溃坝在逐步减少. 溃坝年内分布主要集中于6~8月中汛期(占66.6%), 5月前汛期、9月后汛期次之, 计占16.9%, 非汛期虽不多见, 但每月均有分布. 溃坝比例从20世纪80年代的15.1%降至90年代的8.3%, 21世纪降到1.5%, 反映溃坝综合防治成效显著, 东部、中部和西部地区溃坝比例分别为0.4%, 1.5%和4.0%, 地区差异反映了自然条件和经济社会因素等多方面影响.

与国际比较,我国溃坝率偏高的主要原因为: (1)建设疏漏,处于施工、停建状态溃坝的占22.6%; (2)管理粗放,年久失修、积病成险、管理不善在溃坝原因中占很大比例; (3)标准不同,我国的溃坝案例中坝高小于15 m的超过58%,而国际上多以坝高超过15 m作为大坝衡量标准.

# 4.3 溃坝案例警示

溃坝的发生、发展有个过程,一般经历征兆发现、险情确认、溃决发生、溃口发展、溃口形成等不同阶段,从出现征兆到溃口完成大多经历较长时间,少数历时较短.溃坝案例中有很多值得挖掘的经验教训<sup>[6-10]</sup>,1974年国家大坝委员会(International Commission on Large Dams, ICOLD)的《大坝事故教训》等也总结了很多有益的启示,如开展风险评估、制定应急预案等.通过案例研究,还充分认识到大坝现场检查、安全监测、险情识别和信息报告的重要性<sup>[3]</sup>.

加强大坝安全检查和监测,及时识别险情征兆,尽早采取有效处置措施. 湖北白水寺水库(1997年)、内蒙古圣水水库(1998年)、黑龙江四方山水库(1998年)、新疆兵团八一水库(2004年)溃坝,因险情报告及

时,均未造成人员伤亡. 甘肃小海子水库溃坝(2007年)调查,村民反映溃决前一个月,溃口坝段下游边坡排水沟有新增小股渗水,后越来越大,渗水也由清变浑. 因群众未能识别该险情征兆,而水库管理人员未加强巡查并及时发现,以至险情发展、恶化直至发生溃坝. 青海沟后水库溃坝(1993年),从险情征兆出现(13:20)至溃坝险情确认(22:00)经历约8.5 h,因险情征兆未及早识别,加之因通讯不畅造成险情报告不及时,导致未能有效组织应急处置.

加强日常维修养护,尽早发现和处置安全隐患.四川大路沟水库溃坝(2001年),因坝后杂草丛生,严重影响水库大坝巡视检查,未能及时发现渗水、管涌等险情早期征兆.甘肃天城湖水库溃坝(2005年),因养殖户水貂外逃产生的洞穴导致溃决,溃口处发现垂直坝轴线的水貂洞穴2个,洞径20 cm,洞长7 m,溃口断面还发现防浪护坡林木根系深入坝体达10 m.

加强运行调度和管理,规范工程建设与运行活动.运行不当造成的溃坝在逐步减少,但仍有发生.如新疆联丰水库溃坝(2013年),该水库是正在实施除险加固的小(2)型工程,项目法人因春耕灌溉需要,在防渗体系尚未形成、不具备下闸条件而擅自蓄水,致使放水涵洞与坝体结合部发生渗透破坏,导致坝体溃决.

# 5 结论

- (1) 统计梳理病险水库病害特征、程度和分布,深入研究大坝运行技术经济特性,对完善大坝安全评价体系,健全相关技术标准,科学合理地组织实施工程维修养护和除险加固,十分重要.
- (2) 挖掘水库溃坝数据, 分析溃坝成因规律, 总结和汲取溃坝经验教训, 对做好溃坝综合防范和防灾减灾工作, 完善实用有效的大坝安全应急预案, 很有必要.
- (3)加强大坝安全监测和检查,及时识别险情征 兆,尽早采取有效处置措施;加强日常维修养护,尽早 发现和处置安全隐患;加强运行管理和调度,规范工 程建设与运行活动;完善大坝安全管理体制机制等, 是保障大坝安全的关键环节和重要措施.

## 参考文献\_

- 2 矫勇. 高度重视水库大坝安全管理工作. 中国水利, 2008, 20: 1-5
- 3 张建云, 蒋金平, 杨正华. 水库大坝病险和溃坝研究与警示. 北京: 科学出版社, 2014. 42-59
- 4 汝乃华, 牛运光. 大坝事故与安全·土石坝. 北京: 中国水利水电出版社, 2001. 15-35
- 5 蒋金平, 杨正华. 中国小型水库溃坝规律与对策. 岩土工程学报, 2008, 11: 1626-1631
- 6 International Commission on Large Dams (ICOLD). Lessons from Dam Incidents. American Society of Civil Engineers, 1974
- 7 Bridle R C. Lessons from a dam incident. In: Hewlett H, ed. Long-Term Benefits and Performance of Dams. Proceedings of the 13th Conference of the British Dam Society and the ICOLD European Club meeting held at the University of Kent. Canterbury, 2004
- 8 Alhasan Z, Jandora J, Říha J. Study of dam-break due to overtopping of four small dams in the Czech Republic. Acta Univ Agric Silvicult Mendel Brunen, 2015, 3: 717–718
- 9 Australian National Committee on Large Dams (ANCOLD). Guidelines on Dam Safety Management. Australia: Australian National Committee on Large Dams Incorporated, 2003
- 10 Australian National Committee on Large Dams (ANCOLD). Guidelines on Risk Assessment. Australia: Australia: Australian National Committee on Large Dams Incorporated, 2003

# An analysis on laws of reservoir dam defects and breaches in China

# ZHANG JianYun, YANG ZhengHua & JIANG JinPing

Key Laboratory of Failure Mechanism and Safety Control Techniques of Earth-rock Dam of the Ministry of Water Resources, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China

Reservoir engineering is one of the important infrastructures for safeguard social and economic development. Dam safety concerns significant public safety issues. Therefore, an in-depth analysis of dam breach data is of great significance for failure prevention and disaster mitigation. Based on in-depth analysis of vulnerable process of dam aging, defects and failures, it discusses the characteristics of aging defects in the process of reservoir running, builds a dam aging assessment and danger discriminant system; on the basis of performance analysis, it establishes a dam behavior model; by mining the historical dam failure data, it analysis the time, space and type distribution of dams breached since the 1950s and summarizes the valuable experiences and lessons of dam risk prevention and control. This paper has important reference value for improvement of dam safety management in China.

#### dam, safety, defect, dam breach, disaster reduction

doi: 10.1360/N092016-00295