

宋华君, 曹连朋, 付大庆, 等. 勘察规范对我国中小型水库除险加固工程的影响[J]. 水利水电技术(中英文), 2025, 56(S1): 560-568.

SONG Huajun, CAO Lianpeng, FU Daqing, et al. The impact of investigation specifications on the danger elimination and reinforcement engineering of medium and small reservoirs in China[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2025, 56(S1): 560-568.

# 勘察规范对我国中小型水库除险加固工程的影响

宋华君<sup>1</sup>, 曹连朋<sup>2</sup>, 付大庆<sup>3</sup>, 孙进忠<sup>4</sup>

(1. 潍坊市建筑设计研究院有限责任公司, 山东 潍坊 261061; 2. 潍坊市市政工程设计研究院有限公司, 山东 潍坊 261061; 3. 山东恒源勘测设计有限公司, 山东 潍坊 261061; 4. 中国地质大学(北京) 工程技术学院, 北京 100083)

**摘要:** 针对近年来经加固的中小型水库接连溃坝及发生滑坡等重大险情现象, 探讨勘察规范对中小型水库除险加固工程的影响问题。基于我国中小型水库除险加固数据, 结合实例分析了勘察规范对中型水库加固工程的影响, 比较了《中小型水利水电工程地质勘察规范》(SL 55—2005)与3个规范性文件关于小型水库加固工程勘察规定的区别。结果显示:(1)全国62.4%的中型水库除险加固勘察无适宜的勘察规范, 对中型水库除险加固工程的大坝安全产生了深远影响。(2)两个规范性文件与SL 55—2005的个别规定, 对全国99.3%小型水库除险加固工程的大坝安全产生了不可估量的深远影响。(3)SL 55—2005并不能保障近期需完成的数百座中型水库除险加固工程的勘察设计质量, 1个规范性文件将充分保障正在实施的小型水库加固的工程质量。为保障中小型水库大坝的安全, SL 55—2005亟需修订。

**关键词:** 中小型水库; 除险加固; 勘察规范; 工程影响

**DOI:** 10.13928/j.cnki.wrahe.2025.S1.086

中图分类号: TV62+1

文献标志码: A

文章编号: 1000-0860(2025)S1-0560-09

## The impact of investigation specifications on the danger elimination and reinforcement engineering of medium and small reservoirs in China

SONG Huajun<sup>1</sup>, CAO Lianpeng<sup>2</sup>, FU Daqing<sup>3</sup>, SUN Jinzhong<sup>4</sup>

(1. Weifang Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Weifang 261061, Shandong, China; 2. Weifang Municipal Engineering Design Research Institute Co., Ltd., Weifang 261061, Shandong, China; 3. Shandong Hengyuan Survey and Design Co., Ltd., Weifang 261061, Shandong, China; 4. College of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Aiming at major dangerous phenomena about medium and small reservoirs that have been reinforced in recent years,

收稿日期: 2024-08-07

作者简介: 宋华君(1975—), 男, 高级工程师, 学士, 主要从事岩土工程、工程地质与建筑工程抗浮设防水位论证工作。E-mail: 4739321@qq.com

通信作者: 付大庆(1974—), 男, 正高级工程师, 硕士, 主要从事水利工程地质及其勘察标准与建筑工程抗浮设防水位研究。E-mail: hz645646@qq.com

and major dangerous situations such as dam-collapsed dams and landslides, the impact of investigation specifications on reinforcement projects on reservoirs have been discussed. Based on the danger elimination and reinforcement data of medium and small reservoirs in our country, the impact of investigation specifications on the reinforcement projects of medium reservoirs through examples, and compares the differences between the *Specification of engineering geological investigation for medium-small water conservancy and hydropower development* (SL 55—2005) and three normative documents on the investigation regulations for danger elimination and reinforcement of small reservoirs were analyzed. The result show that: (1) 62.4% of the country's reinforcement projects of medium reservoirs without appropriate investigation specifications, it has a profound influence on the dam safety of the reinforcement projects of medium reservoirs. (2) The two normative documents and the individual provisions of SL 55—2005 have had an immeasurable and far-reaching impact on the dam safety of 99.3% of the country's reinforcement projects of small reservoirs. (3) The SL 55—2005 does not guarantee the quality of specification and design for the hundreds of reinforcement projects of medium reservoirs and reinforcement that need to be completed in the near future, one normative document will ensure the quality of the reinforcement of small reservoirs reinforcement in the implementation. The result show that it is urgent to revise and perfect SL 55—2005 to ensure the safety of medium and small reservoirs dams.

**Keywords:** medium and small reservoir; danger elimination and reinforcement; investigation specification; engineering influence

## 0 引言

截至 2022 年年底,我国中型水库与小型水库占比分别为 4.4%、94.7%,合计 99.1%。这些水库在发挥防洪减灾、农田灌溉等作用的同时,也带来大坝溃决风险<sup>[1]</sup>。当前,大部分中小型水库已超过 50 a 的合理使用年限,一旦失事将给下游人民群众和国民经济造成重大损失<sup>[2]</sup>。河南“75·8”特大洪灾,板桥、石漫滩两座大型水库与数十座中小型水库失事,导致数十万人遇难,上千万人受灾,为截至目前我国仅有的因洪水溃决的大型水库<sup>[3-4]</sup>。1976—1985 年,国家首先对 65 座大型水库实施了以提高防洪标准为主要目的的除险加固<sup>[5]</sup>;1986 年与 1992 年,又分两批确定了 69 座重点大型危险水库及 12 座重点中型危险水库,并实施除险加固<sup>[6]</sup>;1998 年大洪水后,在扩大实施大型病险水库除险加固的基础上,将中小型病险水库纳入除险加固范畴<sup>[7]</sup>。20 余年来,我国通过实施数批次的病险水库除险加固规划,中小型水库大坝的安全水平得到了不同程度的提高。2000 年以来,尤其是近年,极端气候变化加大了水库安全运行管理的难度,大坝安全风险增加,极端降雨或超标准洪水已成为中小型水库失事或大坝发生滑坡、管涌等重大险情的主要原因或直接原因<sup>[8]</sup>。我国的水库溃坝成因分为 5 大类 16 小类,其中,工程质量问题大类细分为稳定(失稳)问题、渗流问题、工程缺陷 3 个小类<sup>[9]</sup>。一些学者与机构基本采用此分类分析研究我国水库溃坝原因与规律<sup>[10-14]</sup>;李宏恩等<sup>[13]</sup>通过分析 2000—2018 年的溃坝数据,发现工程质量问题导致的中小型水库溃坝占比 34.5%,近年来发生的已除险加固的中小型水库溃坝原因中工程质量问题突

出,与因设计、施工不当导致的大坝稳定、渗流问题直接相关;盛金保等<sup>[14]</sup>分析了 2000—2021 年的中小型水库溃坝数据,认为工程质量问题导致的溃坝占比 33.3%,经除险加固的中小型水库溃坝不少与设计不当等问题直接相关;盛金保等<sup>[15]</sup>通过调查分析八一、英德尔、小海子、岗岗 4 座中小型病险水库实施除险加固工程后的溃坝机理,得出除险加固设计固然存在明显缺陷,但与前期的设计阶段勘察工作布置、工作量、深度不足也有极大关系;张士辰等<sup>[16]</sup>通过分析 2021 年 12 座中小型水库溃坝及出现重大险情的水库发现,碾压式土石坝设计标准的个别规定是导致已除险加固的中小型水库发生溃坝等险情的重要原因之一。

中小型水库大坝溃决及发生重大险情是多因素叠加、耦合作用的结果。迄今的分析研究成果已揭示出,溃坝与土石坝设计不当(包括设计标准)、地质勘察等间接原因密切相关。加固设计的重要依据之一是工程地质勘察成果,勘察成果的质量高低乃至合格与否的重要决定性因素是工程地质勘察规范(以下简称勘察规范),勘察规范中的勘察任务、内容、方法、深度、参数的提出等与勘察成果的质量密切相关,并将直接影响到中小型水库除险加固工程的设计质量。可见,勘察规范对中小型水库除险加固的工程质量与安全起着关键作用。目前的溃坝成因分类与溃坝统计分析研究尚未涉及勘察规范,并不表明其规定没有瑕疵。与中小型水库除险加固相关的个别勘察规范标龄已长达 19 a,很多工程技术和工程环境条件都发生了变化,个别规定的适用性必然存在一定问题。为探究勘察规范对我国中小型病险水库除险加固工程

的影响,更好地保障水库大坝的安全,以某中型水库除险加固工程为例,分析比较小型病险水库除险加固工程初步设计规范性文件与勘察规范的区别,进而阐明中小型水库勘察规范修订完善的必要性。

## 1 数据资料与研究方法

### 1.1 数据资料

我国2001—2020年实施的病险水库除险加固规划(工程)完成的中小型水库除险加固数据如表1所列。研究资料包括2005年7月实施的中小型病险水库除险加固专用勘察规范《中小型水利水电工程地质勘察规范》(SL 55—2005),以及2008年10月实施的《重点小型病险水库除险加固工程初步设计指导意见》(以下简称《指导意见1》)、2011年4月实施的《小(2)型病险水库除险加固工程初步设计指导意见》(以下简称《指导意见2》)、2022年6月实施的《小型水库除险加固工程初步设计技术要求》(以下简称《技术要求》)等3个规范性文件。

### 1.2 研究方法

2001—2010年实施完成的病险水库除险加固规划中,选择华东地区某中型水库除险加固工程为具体研究实例,不计勘察单位实力、项目负责人能力等因素,分析勘察规范对该水库除险加固工程的影响,并进一步推论勘察规范对全国中型水库除险加固工程的影响。

从设计阶段勘察、地震动参数、坝体质量检测、建筑物渗漏等工程地质问题勘察、渗透试验方式、坝体坝基物理力学试验及参数的提出方式、渗漏处理措施建议的提出等7个方面,比较SL 55—2005与3个规范性文件关于小型病险水库除险加固有关勘察规定的区别。分析《指导意见1》《指导意见2》与SL 55—2005的实施,对全国小型水库除险加固工程的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 勘察规范对中型水库除险加固工程的影响

2001年以来实施的3批(期)水库除险加固工程,包括中型水库2107座。第一批中型水库除险加固工程地质勘察执行的是适用于新建中型水库的《中小型水利水电工程地质勘察规范》(SL 55—1993),及适用于新建大型水库的《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50287—1999)等。据部分调查成果,二期(包括列入二期未实施调至第三批的303座)中型水库除险加固工程地质勘察执行的勘察规范与第一批相同。第三批中型水库除险加固工程地质勘察执行的为病险水库专用勘察规范SL 55—2005。据此,有62.4%的中型水库除险加固勘察执行的是无病险水库勘察规定的勘察规范;37.6%执行的是专用勘察规范。

#### 2.1.1 某中型水库除险加固概况及加固后大坝安全评价与运行概况

某中型水库建成于1960年,列入病险水库除险加固专项规划(第一批)。2000年8月,单位A依据GB 50287—1999对该水库大坝进行了安全鉴定补充勘探;2001年12月,单位B将该大坝评定为三类坝,同月,某市水利局将其鉴定为三类坝;2002年2月,水利部大坝安全管理中心核准鉴定意见。2003年2—7月,单位C依据GB 50287—1999对该水库进行了除险加固设计勘察;2002—2005年,单位B进行了除险加固工程设计;2003年8月,水利部某水利委员会批复了除险加固工程初步设计;2005年7月,某省水利厅批复了施工图设计;2006年9月—2010年8月,该水库实施了除险加固;2010年9月,水库在无水状态下,除险加固工程通过了某省水利厅竣工验收,工程质量合格。

2019年6月某调水工程投入运行后水库方有蓄水,至2020年夏季,蓄水量不足200万 $m^3$ ,约占兴

表1 我国中小型病险水库除险加固概况

除险加固实施时段/年份	除险加固规划(工程)	完成的水库数量/座
2001—2005 <sup>[17]</sup>	全国病险水库除险加固专项规划(第一批)	1 150(重点中型569,西部地区一般中型108、重点小(1)型473)
2004—2010 <sup>[17-19]</sup>	全国病险水库除险加固二期工程规划	1 547(中型334、小型1 213)
2008—2010 <sup>[19-20]</sup>	全国病险水库除险加固工程专项增补规划(第三批)	6 154(中型1 096、重点小型5 058)
2009—2010 <sup>[20]</sup>	东部地区重点小型病险水库除险加固规划	小型1 116
2010—2012	全国重点小型病险水库除险加固规划	小(1)型5 400
2011—2013	全国重点小(2)型病险水库除险加固规划	重点病险小(2)型15 887
2011—2015 <sup>[21]</sup>		一般病险小(2)型25 227
2013—2015	新出险小型病险水库除险加固工程	4 153(小(1)型1 199、小(2)型2 954)
2017—2020	灾后水利薄弱环节小型病险水库除险加固工程	13 437(小(1)型626、小(2)型12 811)

注:2013—2015、2017—2020完成数量为规划数量。

利库容的15%。受2020年秋季强降雨影响,9月底,水库蓄水达到了兴利水位。10月中旬,大坝放水洞以东0+080—0+160坝后出现大面积渗水明流,河床以西0+760—1+250坝后出现长条状渗水明流(见图1);1+250—1+300坝后出现大面积散浸。

### 2.1.2 勘察规范对某中型水库除险加固工程的影响分析

2003年,单位C完成的该中型水库除险加固设计勘察关于坝基渗漏结论与单位A于2000年实施的安全鉴定补充勘探的结论基本一致,仅增加了1+100处局部分布砂层(见表2)。大坝防渗设计采用C10素混凝土防渗墙,0+200—0+420、0+930—1+170墙厚30cm,0+420—0+800墙厚60cm,均入基岩2m。

水库安全鉴定阶段勘察的任务之一是初步查明影响大坝正常运行的渗漏、失稳、变形等工程地质问题,为大坝安全评价分类提供地质支撑。2000年8月,单位A对该中型水库大坝进行安全鉴定补充勘探,并无适用的勘察规范。当时,与水库工程地质勘察相关的规范只有1994年3月实施的SL55—1993和1999年8月实施的GB50287—1999(不计勘探、试验方法等标准),二者都仅适用于新建水库。单位A完成的安全鉴定补充勘探虽然无适用的勘察规范,但提交的勘察成果达到了将大坝评定为三类坝的标准。核准为三类坝后,本应依据适用于中型水库的

SL55—1993实施进一步勘察,即使采用了适用于大型水库的GB50287—1999进行了除险加固设计勘察,由表2可见,并未扩大大坝病险或隐患范围,更无揭露新的病险与隐患分布,提交的勘察成果也仅是简单重复了安全鉴定阶段的勘察结论。

2021年3—5月,单位B依据SL55—2005,在高密度电法、探地雷达、地震映像法等综合物探的基础上,通过钻探、坑探、槽探等勘探方法以及钻孔压水、注水等原位试验,对大坝渗漏进行了专项勘察。初步查明了渗漏原因,即上述两勘察阶段未揭露的坝基渗漏部位与隐患,测得渗流量占河流多年平均流量的12.6%,依据《水利水电工程水文地质勘察规范》(SL373—2007),为严重渗漏等级。可见,勘察规范SL55—1993、GB50287—1999影响了除险加固工程设计勘察工作布置与勘察成果,并累及后续的防渗设计。该水库除险加固工程通过竣工验收,并蓄水1a余达到兴利水位运行后,依据《水库大坝安全评价导则》(SL258—2017),并未除“险”,实际上仍是一座三类坝的病险水库,但目前并未列入2025年底前需全面完成现有病险水库除险加固及每年安全鉴定后新增的病险水库除险加固任务。

### 2.1.3 勘察规范对我国中型水库除险加固工程的影响

按照病险水库的勘察阶段与勘察要求,安全鉴定阶段勘察的工作深度是浅、点、局部,目的是初步查



(a) 放水洞以东0+080—0+160

(b) 河床以西0+760—1+250

图1 某中型水库坝后渗漏明流

表2 某中型水库勘察关于坝基的渗漏结论

勘察阶段	完成单位	完成时间	坝基渗漏结论
安全鉴定	A	2000年8月	大坝有两处集中渗漏;右阶地与河床段结合处附近;左阶地与河床段结合处附近
除险加固设计	C	2003年7月	河床与左右阶地坝基砂层相连,渗漏范围0+300—0+750;左阶地1+100附近砂层呈透镜体状
渗漏专项	B	2021年5月	右阶地放水洞以东坝基全风化泥质粉砂岩中等透水;左阶地0+760—1+250坝基含细砂壤土、粉细砂中等透水;坝顶钻孔与坝后探坑(槽)分别揭露的坝体坝基内的地下水与库水、坝后排水沟内的明水水力联系密切;坝基渗透等级与综合物探成果和坝后渗漏现象相互印证

明大坝、放水洞等水工建筑物的病险类型,为水库大坝安全鉴定分级提供地质资料。其工作量布置较少,勘探手段较单一,勘探点间距较大,不足以控制影响大坝安全运行的全部地质隐患,也不能揭露大坝的全部工程地质问题。除险加固设计阶段勘察的工作深度是深、面、整体,是在初步查明水工建筑物病险类型的基础上所实施的进一步勘察。其工作量布置较多,勘探点间距较小,采用多种勘探手段与多种原位试验,查明影响大坝等建筑物安全运行的全部工程地质问题与隐患,并结合室内土工试验,为除险加固设计提供工程地质勘察成果与建议。

除险加固设计阶段勘察是实施病险水库除险加固工程的第一道基本建设程序,所依据的勘察规范对除险加固工程的实施起着重要作用。SL 55—2005 颁布前,我国虽然历经 30 a 实施了 1 162 座中小型病险水库(含 12 座重点中型险库)的除险加固工程,但工程地质勘察工作并无适宜的可执行或遵循的勘察规范及规范性文件,可供参照执行的是适用于新建水利工程的《水利水电工程地质勘察规范(试行)》(SDJ 14—1978)、SL 55—1993、GB 50287—1999。病险水库勘察不同于新建水库。除险加固设计勘察是对已建水库的再勘察,虽然区域地质及构造稳定性与近场区工程地质条件不是工作重点,但需查明达到或超过 50 a 设计工作年限的已建水工建筑物与相应地基基础的地质病害和潜在的隐患部位、范围、类型,并分析评价各类工程地质问题,受隐蔽工程、已建工程、前期工作、工程投资等诸多掣肘,实施起来并不容易。

无适宜的勘察规范导致的除险加固设计勘察目的性不强、针对性较弱,提交的勘察成果无法全面反映水库建成运行以来由库水、地下水、降水等特殊荷载作用所导致的大坝渗漏、渗透变形、沉陷、抗滑稳定性不足等失稳、渗流、变形工程地质问题,也无法充分揭露影响工程运行的其他病害与隐患。由于水库病险隐患揭露不充分,即使进行了除险加固,部分水库仍存在“险”未除尽、带“病”运行的现象,尤其在汛期是重点巡查对象与保坝目标。可见,SL 55—2005 实施前进行的中型水库除险加固工程,对大坝安全产生了深远影响。

## 2.2 SL 55—2005 与《指导意见 1》《指导意见 2》对小型水库除险加固工程的影响

SL 55—2005 与《指导意见 1》《指导意见 2》《技术要求》关于小型病险水库除险加固工程设计阶段勘察的有关规定如表 3 所列,主要区别对照阐述如下。

### 2.2.1 关于设计阶段勘察

SL 55—2005 规定,小型水库除险加固勘察分为安全鉴定与设计勘察两个阶段,设计勘察在安全鉴定勘察的基础上进行,对大坝坝体与其他影响水库运行的地质问题,以及潜在的安全隐患进行详细勘察,为加固设计提供地质成果与建议。

《指导意见 1》规定,若安全鉴定勘察工作较充分,不影响设计阶段工程地质结论或不存在影响工程正常运行的特殊工程地质问题时,设计阶段的勘察可适当简化。实际上,安全鉴定阶段勘察工作通常不可能充分;即使工作较充分,设计阶段仍需对病害进行深入勘察;即使有符合规定的情况,也仅是个例,不能以偏概全地用来指导全国性的小型水库除险加固工作。《指导意见 2》未规定安全鉴定阶段的勘察要求,可能与其适用于规模最小的水库有关,而又进行了简化处理。《技术要求》规定应根据鉴定结论,对地质病害和隐患开展勘察,强调了工程地质勘察是由表及里、逐步深入的工作过程。

### 2.2.2 关于地震动参数

SL 55—2005 规定,应按《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2001)复核水库区地震动参数。《指导意见 1》《指导意见 2》未明确规定取值方式,实则执行 SL 55—2005 的相应规定。《技术要求》规定,水库区地震动参数应根据现行《中国地震动参数区划图》取值。GB 18306—2001 实施以来,发生了四川汶川 8.0 级、日本东海岸 9.0 级等特大地震与新疆伽师 6.8 级、青海玉树 7.1 级等强烈地震。根据对这些地震的调查分析研究成果,GB 18306—2001 被 2016 年 6 月实施的修订的 GB 18306—2015 替代,当前实施的《中国地震动参数区划图》对全国抗震设防参数整体上有了适当提高,主要有两点变化:一是取消了全国地震动峰值加速度  $a_{\max} < 0.05g$  的分区;二是地震动参数的相应面积均有所提升(见表 4)。可见,SL 55—2005 及《指导意见 1》《指导意见 2》中关于按 GB 18306—2001 复核地震动参数取值的规定已经过时。

### 2.2.3 关于坝体质量检测

SL 55—2005 规定,应查明坝体填土的颗粒组成、分层结合情况,以及防渗体、反滤排水体的有效性及新老防渗体的结合状况等。《指导意见 1》《指导意见 2》规定,坝体质量检测宜分类进行,检测内容执行 SL 55—2005。《技术要求》无坝体质量检测的规定,要求对渗漏、地基沉陷与坝体变形、抗滑稳定性等进行勘察。小型病险水库大部分建于上世纪五六十年代,受时代与工程技术等条件的限制,坝体质量普

表3 SL 55—2005与小型病险水库规范性文件中有关工程地质勘察的规定

勘察规范及规范性文件	工程地质勘察主要要求与内容
SL 55—2005 <sup>[22]</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 水库除险加固设计勘察应以安全鉴定勘察为基础,对大坝坝体以及渗漏、抗滑、变形等地质问题进行深入勘察</li> <li>2. 水库附近地震动参数应根据 GB 18306—2001 进行复核</li> <li>3. 分析查明土石坝坝体病害、隐患部位的分布、成因,评价危害程度,为大坝加固设计提供地质成果与建议,并应符合下列规定: <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 坝体填土的颗粒组成、分层结合情况,防渗体、反滤排水体的有效性及新老防渗体的结合状况等</li> <li>(2) 坝体、防渗体、坝基、坝肩的渗透性与渗透稳定性,应沿防渗线、可能的渗漏通道布置勘探剖面,并应有勘探孔控制,防渗线上的勘探孔应进行压(注)水试验,坝体应利用钻孔取原状土样进行室内物理力学试验和渗透试验</li> <li>(3) 坝体变形进一步调查大坝填料的组成和密实程度,填筑料强度和变形等性能,坝面、坝体塌陷位置和特征,重点查明特殊土的分布及特征,应取样进行室内物理力学性质试验</li> <li>(4) 坝基坝肩抗滑稳定应查明地层岩性、构造,重点是软弱夹层等不良地质体,以及节理及其他不利结构面的产状、分布、性质等,应沿坝轴线、垂直坝轴线布置勘探剖面,钻孔应深入可能滑动面以下一定深度,滑面的物理力学参数可用工程地质类比法确定,必要时取样进行试验</li> </ol> </li> </ol>
《指导意见1》	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 小型病险水库除险加固设计阶段勘察原则上应执行 SL 55—2005 中病险水库除险加固勘察的有关规定。当安全鉴定阶段勘察资料较充分,不影响设计阶段地质结论或无特殊工程地质问题时,除险加固设计阶段的地质工作可适当简化</li> <li>2. 坝址区及各建筑物区,工程地质勘察原则宜以查明主要工程地质问题、工程险情和隐患的性质为目标,加强工程地质分析,必要时应补充勘察;没有险情或不存在隐患的部位可不进行勘察</li> <li>3. 应查明渗漏部位和范围,估算渗流量,分析界定渗漏性质,判定是否存在渗透破坏的可能性。工程措施的建议,宜按“允许渗漏但不允许渗透破坏”的原则提出</li> <li>4. 坝体质量检测宜分类进行,应分别取原状土样进行室内试验,分析坝坡稳定和渗漏问题;还应结合实际进行工程类比分析,提出坝体土物理力学建议值和相应渗漏区坝体土的渗透系数建议值</li> </ol>
《指导意见2》	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 小(2)型病险水库除险加固设计阶段勘察执行 SL 55—2005 中病险水库除险加固勘察的有关规定</li> <li>2. 坝址区及各建筑物,工程地质勘察宜以查明主要工程地质问题、工程险情和隐患的性质为目标,加强工程地质分析,必要时补充勘察</li> <li>3. 对渗漏的部位和范围应予以查明,估算渗流量,分析界定渗漏性质,判定是否存在渗透破坏的可能性。宜按“允许渗漏但不允许渗透破坏”的原则,提出防渗措施建议</li> <li>4. 坝体质量检测宜分类进行;并结合实际进行工程类比分析,提出坝体土物理力学建议值和坝体土渗透系数的合理建议值</li> </ol>
《技术要求》	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 小型水库除险加固设计阶段勘察工作应执行 SL 55—2005 中有关规定</li> <li>2. 应在安全鉴定勘察的基础上,根据安全鉴定结论,针对地质病害和隐患,布置相应的勘探试验工作</li> <li>3. 工程区地震动参数取值应依据现行 GB 18306</li> <li>4. 对于存在渗漏或近坝库岸稳定问题的小型水库,应在分析前期勘察成果及施工、运行资料的前提下,布置必要的勘探工作,查明渗漏原因和渗漏通道,以及近坝库岸不稳定的地质条件,评价对水库、大坝的影响,提出处理建议</li> <li>5. 建筑物工程地质勘察应以查明主要工程地质问题、工程险情和隐患的性质为目标,充分收集前期勘察、施工、监测及历次除险加固资料,加强工程地质分析,进行必要的地质勘察工作,并应符合下列规定 <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 存在渗漏问题时,应查明渗漏通道位置、坝体及坝基(肩)岩土体渗透性及物理力学性质,分析渗漏原因,评价坝体及坝基(肩)渗透稳定性。沿大坝防渗线、渗漏通道、可能的渗漏部位应布置地质勘探剖面线,应有勘探孔控制,进行压(注)水试验,并取样进行室内物理力学试验</li> <li>(2) 存在地基沉降和坝体变形问题时,应查明坝体变形破坏位置、坝基及坝体隐患类型及位置,分析地基沉降和坝体变形破坏原因,提出处理建议。地基沉降和坝体变形部位应布置勘探工作,并取样进行室内物理力学试验</li> <li>(3) 坝基及坝肩、近坝库岸存在抗滑稳定问题时,应查明软弱夹层、缓倾角裂隙及其他不利结构面的几何形态、充填情况等,确定滑动体的边界条件。应沿坝轴线、垂直坝轴线、近坝库岸布置地质勘探剖面,勘探孔应深入可能的滑动面以下一定深度</li> <li>(4) 提出岩土体的物理力学参数建议值</li> </ol> </li> </ol>

表4 《中国地震动参数区划图》面积变化<sup>[23]</sup>

《中国地震动参数区划图》	基本地震动峰值加速度 $a_{max}$		基本地震动加速度反应谱特征周期 $T_g$	
	<0.20g	≥0.20g	0.40 s	0.45 s
GB 18306—2001	37%	12%	24%	31%
GB 18306—2015	40%	18%	27%	32%

遍较差。据数百座小型水库除险加固勘察,绝大部分均质土坝坝体土颗粒组成基本满足小型水利水电工程碾压式土石坝设计标准关于筑坝土料的质量要求,极少采用全风化料、少黏性土、砂壤土、砂土等筑坝;除个别防渗体与砂壳填筑标准达到设计标准外,绝大部分心墙坝、全部均质土坝的压实度与砂壳压实度达不到要求。因此,坝体病害是小型水库的通病,表现

形式主要有护坡损毁、塌陷,坝体坍塌、塌陷、开裂、渗漏,最终导致大坝出现沉陷,并存在抗渗与抗滑稳定不足等安全隐患。由于小型水库坝体质量存在的种种问题具有普遍性,单纯的质量检测并不能从根本上解决大坝的病险问题与隐患因素。所以,《技术要求》不再对坝体质量检测作详细规定,而是直接要求针对坝体渗漏、抗滑、变形等工程地质问题与病患进行勘察,做到从根本上除“险”。

## 2.2.4 关于建筑物渗漏等工程地质问题勘察

SL 55—2005 规定,应布置纵横勘探剖面,查明大坝等建筑物及近坝库区的渗漏、渗透稳定、抗滑稳定、地基沉降、坝体变形等工程地质问题及病险隐

患,为除险加固设计提供地质勘察成果与建议。

《指导意见1》《指导意见2》规定,建筑物宜以查明主要工程地质问题、工程险情和隐患的性质为目标,并加强工程地质分析。根据标准用词,“宜”的等效表述为“推荐”“建议”,可见,二者是推荐查明主要工程地质问题为目标,并无强制之意。同时,《指导意见1》规定,必要时补充勘察工作;《指导意见2》表述为,必要时补充勘察。“应”的等效表述为“要求”“要”,前者在必要时要按照规定补充地质工作;后者的规定不及前者严格。关于无险情或隐患的建筑物与部位,《指导意见1》规定可不勘察;《指导意见2》隐含了可不勘察。

《技术要求》规定,进行必要的勘察工作。小型水库经过数十年的运行,受建库前期工作、自身特点、后期管护的诸多影响,普遍存在病险与隐患;又由于小型水库通常为低坝长坝或高坝(相对前者)短坝,病险、隐患类型虽然较简单,但具有复杂性、隐蔽性,故需对水工建筑物渗漏、抗滑稳定、坝体变形等工程地质问题进行必要的勘察工作,以保障大坝的安全。

#### 2.2.5 关于渗透试验方式

SL 55—2005 规定,坝体应取未扰动的原状土样进行室内渗透试验;土石坝的防渗线应进行钻孔压(注)水试验。通常只有细粒土坝体方可取得合乎室内渗透试验要求的原状样,试验周期不但长,而且试验结果通常比原位试验小1~2个数量级,严重影响大坝的渗流分析与抗滑稳定分析成果;大坝防渗线涉及防渗体、坝基、渗漏通道,未规定哪部分或哪几部分需进行原位试验。

《指导意见1》《指导意见2》关于坝体渗透试验的规定与SL 55—2005 规定相同。《技术要求》在SL 55—2005 规定的基础上,取消了关于坝体的试验规定,明确了坝体、防渗体、坝基、渗漏通道应进行钻孔压(注)水试验,强调了需通过原位试验获取渗透系数。压水试验随钻进深度分段隔离进行,岩石完整或孔壁稳定的孔段,试验长度通常取5 m,断层破碎带、裂隙密集带等渗漏通道需合理确定试段长度。地下水位以下的黏性土、壤土渗透性测试应采用钻孔降水头注水试验;渗透性相对黏性土、壤土较大的砂壤土、砂土、砂砾石,以及全风化、强风化等透水性较强的岩体的渗透性测试应采用钻孔常水头注水试验。钻孔压(注)水试验方法快捷、高效,消除了室内渗透试验试件的尺寸效应导致的数据失真现象。

#### 2.2.6 关于坝体坝基物理力学试验及参数的提出方式

SL 55—2005 规定,应对土石坝坝体的渗漏通过钻孔取原状土样,并进行室内物理力学试验。该规定不足主要有二:(1)仅重视坝体渗漏勘察,忽略坝基渗漏及渗透稳定勘察;(2)仅提供坝体物理力学参数,忽略坝基物理力学参数。SL 55—2005 同时规定,坝基滑面的物理力学参数可用工程地质类比法确定,必要时取样试验。“可”的等效表述为“允许”“准许”,确有必要时再取样。病险水库普遍存在清基不彻底现象,大坝渗漏通常发生在坝基与坝肩的河漫滩附近,而抗滑剖面通常布置在渗漏及渗透不稳定处,不取原状样做室内试验,而采用工程地质类比法确定滑面参数用于加固设计,有违国家相关法律法规与基本建设程序。另外,采用工程地质类比法的对比工程需满足:(1)坝基地层、层序、岩性一致;(2)附近地形地貌、水文地质、工程地质、环境地质等地质环境相近;(3)建筑物规模、坝型断面等诸多特征一致或相近。山丘区水库的坝基地层通常是复杂沉积环境的产物,透镜体、尖灭层、软弱夹层等发育,满足上述工程地质类比法的条件并提出除险加固设计参数的大坝是很难找到的。

《指导意见1》《指导意见2》规定,在室内试验的基础上,应结合实际采用工程类比法提出坝体土物理力学参数建议值。采用工程类比法需满足:(1)建筑物规模、坝型一致,坝体断面、护坡、排水体、上下游水头差相似;(2)坝体土压实度、黏粒含量、含水率、渗透性、塑性指数相近;(3)水库投入运行以来大坝的管护措施得当,无不利于大坝安全运行的灌木乔木、乱采滥掘等现象。工程类比法提出的参数相对粗糙,虽然可大大提高工作效率,但仅适合于水库前期工作阶段或特定历史时期的大坝勘察设计,用于除险加固设计,同样有违国家相关法律法规的规定。

《技术要求》规定,在室内试验的基础上,提出坝体物理力学参数建议值,该规定与SL 55—2005 的规定相同;坝基坝肩等抗滑分析所需的相关参数未规定取值方式,裁量权赋予了地质工程师。第四系地层通常视为各向同性体(黄土除外),根据覆盖层次、厚度、分布,选取代表性土样进行室内试验。依据试验结果剔除异常值、极值后进行数值统计分析,坝基土物理力学参数标准值取值为:物理参数取算术平均值;允许承载力依据载荷试验或其他原位测试取值;渗透参数取偏于安全的大值均值;抗剪强度直剪试验取小值均值,三轴压缩试验取平均值。再考虑岩性、

现场条件与试验条件的差别,对标准值进行调整,最终提出地质建议值。

### 2.2.7 关于渗漏处理措施建议的提出

SL 55—2005 规定,查明大坝渗漏部位、范围,分析产生的原因,为加固设计提供地质成果和建议。《指导意见 1》《指导意见 2》规定,查明大坝渗漏部位、范围,估算渗漏量以及界定渗漏性质,判断发生渗透破坏的可能,宜按“允许渗漏但不允许渗透破坏”的原则提出防渗处理建议。《技术要求》未沿用上述原则,规定查明渗漏通道,分析渗漏原因,评价坝体坝基渗透稳定性及对大坝的影响,提出处理建议。

在大坝地层、岩性、渗径一定的前提下,若水头小,渗水清澈,则为渗漏;若水头逐渐增大,大到一定程度,渗水开始浑浊,细颗粒从粗颗粒的骨架孔隙中经渗流携走,则达到了土体的临界水力坡降,开始发生管涌型渗透破坏,使土层的孔隙度增大,土体的强度降低;若水头继续增大,一定体积的土体同时移动,则演变成了最为严重的流土型渗透破坏。渗漏与渗透破坏是水库投入运行后大坝最为普遍、最为严重的工程地质问题。2000—2018 年有 69.0% 的溃坝是大坝渗漏所致<sup>[14]</sup>。通过接受水利部某水利委员会、某省水利厅小型水库除险加固检查、巡检、稽查,要求除险加固设计勘察需对水库大坝渗漏问题提出处理建议,加固后的小型水库不允许渗漏,以保障大坝安全。

### 2.2.8 SL 55—2005 与《指导意见 1》《指导意见 2》对我国小型水库除险加固工程的影响

我国 20 世纪 80 年代前建成的 8 万余座小型水库,尤其 50 年代末至 60 年代初与 60 年代中期至 70 年代中期兴建的“三边”“四不清”工程居多,普遍存在地质工作深度不足,甚至忽略其工作,以坝址踏勘报告替代地质报告的现象,以及尚无“四制”等控制工程质量的措施,在此背景下修建的小型水库的大坝工程质量可能得不到保障。SL 55—2005 存在忽略坝基渗漏及渗透稳定性勘察、对坝基物理力学参数不够重视以及对地震动参数选取引用标准已经过时等

不足;《指导意见 1》《指导意见 2》存在设计阶段勘察工作从简、对大坝等建筑物地质勘察工作要求宽松(譬如“允许渗漏但不允许渗透破坏”原则)等有悖 SL 55—2005 的规定,影响了全国数批次小型病险水库除险加固工程的勘察与设计。依据水利高质量发展判别准则<sup>[24]</sup>,需审慎看待目前已加固的 71 964 座小型水库与《水库大坝安全鉴定办法》《坝高小于 15 m 的小(2)型水库大坝安全鉴定办法(试行)》规定的一类坝、二类坝标准之间的差距。

小型水库经数十年运行,有的坝后渗漏一直呈涓涓细流状态,在“允许渗漏但不允许渗透破坏”的原则指导下,除险加固工程虽然通过了竣工验收,看似渗流安全,实则时刻孕育着发生重大险情的可能,在多因素叠加作用下,大坝将由量变至质变的飞跃,致使发生溃坝及滑坡等重大险情。溃坝洪水具有突发、不可控、破坏力强等特征<sup>[25-26]</sup>。SL 55—2005 与两个规范性文件的先后实施,正值全国性的小型水库除险加固的高峰期,结合 SL 55—2005 的个别瑕疵规定,对 79.8% 已加固小型水库的大坝安全产生了深远影响;《指导意见 1》《指导意见 2》于 2016 年 5 月失效后,相关部门并未立即发布实施替代的除险加固工程初步设计规范性文件,而是 6 a 后发布了《技术要求》,不同程度影响了占比 18.7% 已加固小型水库的勘察设计质量。计及规范性文件发布前完成的小型水库除险加固工程,两文件与 SL 55—2005 合计影响占比高达 99.3%,对小型水库的大坝安全产生了不可估量的深远影响(见表 5)。

## 3 讨论

按照国家统一部署,2025 年底前,需消除当前及每年新增的病险水库,数量约 1.93 万座。目前对单座小型水库除险加固工程投资数倍甚至十倍于先前的投资。可见,国家对中小型水库的除险加固重视程度达到了前所未有的新高度。

SL 55—2005 针对小型水库除险加固工程设计阶段勘察的个别规定已不适用,需执行《技术要求》,将保障 2025 年底前需完成的约 1.88 万座小型水库除

表 5 SL 55—2005 及两个规范性文件对小型水库除险加固工程的影响百分比

小型水库除险加固工程设计阶段勘察依据	加固的小型水库数量/座	占全国已加固小型水库的百分比/%
《指导意见 1》《指导意见 2》结合 SL 55—2005	57 447	79.8
《指导意见 1》《指导意见 2》失效后,为 SL 55—2005	13 437	18.7
《指导意见 1》《指导意见 2》实施前,为 SL 55—2005	607	0.8
SL 55—2005 与《指导意见 1》《指导意见 2》	71 491	99.3

注:2004 年—2010 年实施的病险水库除险加固二期工程规划,《指导意见 1》《指导意见 2》结合 SL 55—2005 与《指导意见 1》《指导意见 2》实施前完成的小型水库数量各取 50%。

险加固工程的勘察与设计质量,直至除险加固效果。SL 55—2005的个别规定自然不可能适用于当前的中型水库除险加固。但迄今为止,相关部门并未发布适用于中型水库除险加固工程的勘察规范或规范性文件,并不能保障“十四五”约470座中型水库除险加固的勘察与设计质量,这将不可避免地对这些水库的工程质量产生消极影响。相关部门在重新发布了适用于小型水库除险加固勘察的规范性文件的同时,又“忽略”了数百座中型水库的除险加固,延续了全国2001—2010年62.4%的中型水库除险加固工程无适宜勘察规范的工作局面,不利于我国水利事业的高质量发展。

## 4 结论

(1)《中小型水利水电工程地质勘察规范》(SL 55—2005)实施前,全国62.4%的中型病险水库除险加固勘察无适宜的规范,对大坝安全产生了深远影响。

(2)《重点小型病险水库除险加固工程初步设计指导意见》《小(2)型病险水库除险加固工程初步设计指导意见》的实施,对全国79.8%已加固小型水库的大坝安全产生了深远影响,计及SL 55—2005,对99.3%的小型水库除险加固工程产生了不可估量的深远影响。

(3)《小型水库除险加固工程初步设计技术要求》的实施,为“十四五”需完成的小型水库除险加固工程的勘察设计质量提供了保障;SL 55—2005不能保障2025年底前需完成的中型水库除险加固工程的质量。

## 参考文献:

[1] 刘宪东,谷艳昌,王士军,等.均质土坝管涌溃决实验渗流分析[J].中国农村水利水电,2024(6):166-173.

[2] 杨哲豪,吴钢峰,张科锋,等.基于非结构网格的二维溃坝洪水数值模型[J].水动力学研究与进展(A辑),2019,34(4):520-528.

[3] 李炎隆,王胜乐,王琳,等.流域梯级水库群风险分析研究进展[J].中国科学:技术科学,2021,51(11):1362-1381.

[4] 袁俊平,邱毫磊,胡有方,等.土石坝力学参数反演技术研究进展与展望[J].水利水电科技进展,2021,41(3):1-10.

[5] 钮新强.大坝安全与安全管理若干重大问题及对策[J].人民长江,2011,42(12):1-5.

[6] 盛金保,沈登乐,傅忠友.我国病险水库分类和除险技术[J].水利水运工程学报,2009(4):116-121.

[7] 张建云,杨正华,蒋金平,等.水库大坝病险和溃坝研究与警示[M].北京:科学出版社,2014.

[8] 李昌文,黄艳,严凌志.变化环境下长江流域超标准洪水灾害特点研究[J].人民长江,2022,53(3):29-43.

[9] 水利部工程管理局.全国水库垮坝登记册[R].北京:水利部工程管理局,1981.

[10] 蒋金平,杨正华.中国小型水库溃坝规律与对策[J].岩土工程学报,2008,30(11):1626-1631.

[11] 解家毕,孙东亚.我国水库溃坝统计及溃坝原因分析[J].水利水电技术,2009,40(12):124-128.

[12] 张建云,杨正华,蒋金平.我国水库大坝病险及溃决规律分析[J].中国科学:技术科学,2017,47(12):1313-1320.

[13] 李宏恩,马桂珍,王芳,等.2000—2018年中国水库溃坝规律分析与对策[J].水利水运工程学报,2021(5):101-111.

[14] 盛金保,李宏恩,盛韬桢.我国水库溃坝及其生命损失统计分析[J].水利水运工程学报,2023(1):1-15.

[15] 盛金保,刘嘉焯,张士辰,等.病险水库除险加固项目溃坝机理调查分析[J].岩土工程学报,2008,30(11):1620-1625.

[16] 张士辰,李宏恩.近期我国土石坝溃决或出险事故及其启示[J].水利水运工程学报,2023(1):27-33.

[17] 顾群.全国病险水库除险加固一期项目绩效评估分析[J].海河水利,2006(5):40-43.

[18] 严祖文,魏迎奇,张国栋.病险水库除险加固现状分析及对策[J].水利水电技术,2010,41(10):76-79.

[19] 张大伟,李雷.水库大坝除险加固体制机制问题与对策思考[J].中国水利,2013(10):31-36.

[20] 陈雷.全面贯彻中央农村工作会议精神奋力推进水利改革发展新跨越:在全国水利工作会议上的讲话[J].中国水利,2011(1):1-8.

[21] 孙金华.我国水库大坝安全管理成就及面临的挑战[J].中国水利,2018(20):1-6.

[22] 中华人民共和国水利部.中小型水利水电工程地质勘察规范:SL 55—2005[S].北京:中国水利水电出版社,2005.

[23] 刘晓东.新版国家标准《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015)的主要变化[J].中国标准导报,2015(9):23-26.

[24] 左其亭,钟涛,张志卓,等.水利高质量发展的判别准则及评价体系[J].水资源与水工程学报,2022,33(5):109-117,123.

[25] 王威,李英冰.卡特里娜飓风引起的新奥尔良市溃坝洪水演进过程模拟[J].水利水电技术(中英文),2022,53(6):56-65.

[26] 尹灵芝,朱军,王金宏,等.CPU-CA模型下的溃坝洪水演进实时模拟与分析[J].武汉大学学报(信息科学版),2015,40(8):1123-1129.

(责任编辑 王 璐)