

我国水库大坝风险标准制定研究

彭雪辉¹, 盛金保¹, 李雷¹, 刘来红², 周克发¹, 郑昊尧¹

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 南京南瑞集团公司, 江苏 南京 210032)

摘要: 介绍了生命风险标准、经济风险标准、社会与环境风险标准的建立方法及表达方式,分析了国外主要风险标准之间的异同点。将我国大坝风险分为可接受风险、可容忍风险、不可接受风险和极高风险四个区域,分别用目标线、容许线和高风险线来区分。根据我国3 513座水库溃坝资料,提出了我国个体生命风险标准、群体生命风险标准。在此基础上,根据《生产安全事故报告和调查处理条例》,提出了经济风险标准。最后,提出了社会与环境风险指数计算方法及社会与环境风险标准,可为我国水库大坝风险决策提供依据。

关键词: 大坝风险; 生命风险; 经济风险; 社会与环境风险; 风险标准; 溃坝概率

中图分类号: TV697

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2014)04-0007-07

现代社会风险无处不在,溃坝风险尤为严重。1963年10月9日,意大利Vajont拱坝因近坝库岸大滑坡造成巨大水体涌出,导致近2 000人死亡^[1];1976年6月5日,美国Teton土坝溃决,造成下游780 km²土地成为泽国,14人死亡,25 000人无家可归,财产损失达4亿美元^[2]。在我国,河南“75.8”大洪水导致包括板桥、石漫滩两座水库在内的58座大坝溃决,造成22 564人死亡;1993年8月,青海沟后水库溃坝,近300人丧生;自2004年至2007年的短短约三年半时间内,相继发生了新疆八一水库(2004年1月22日)、青海英德尔水库(2005年4月28日)、甘肃小海子水库(2007年4月19日)、内蒙古岗岗水库(2007年7月11日)等4座除险加固的水库溃坝事件^[3]。

虽然风险无法根除,但是,风险可以控制。通过各种工程或非工程措施降低水库大坝风险,并将其控制在某一合理和公众普遍能够接受的尺度内,这个合理和公众普遍能够接受的风险尺度便是水库大坝风险标准。

本文从风险标准建立方法及表达方式入手,通过分析国外风险标准制定情况,研究我国大坝风险标准的制定原则,提出相应风险标准,为我国水库大坝风险决策提供依据。

1 风险标准建立方法

大坝风险分为生命风险、经济风险、社会与环境风险等3类,生命风险又分为个体生命风险和群体生命风险。

1.1 个体生命风险标准

个体生命风险 R_1 与参与活动人员的意愿和获得的利益有关,TAW^[4]提出:

$$R_1 < \beta \times 10^{-4} \quad (1)$$

式中: β 为意愿(政策)系数,不同活动的意愿系数见图1。

1.2 群体生命风险标准

群体生命风险用 $F-N$ (或 L)曲线表示,表示生命损失与其超越概率的关系。生命损失大于 x 的年发生

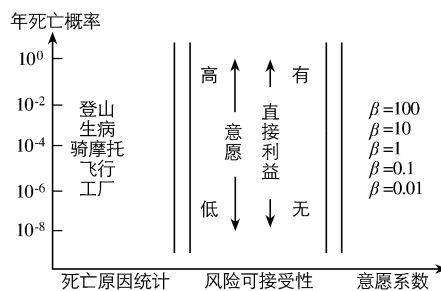


图1 不同活动的意愿系数 β

Fig. 1 Factor of willingness for different activities

收稿日期: 2013-12-17

基金项目: 十一五国家科技支撑计划项目(2006BAC14B07); 水利部公益性行业科研专项经费项目(201201051)

作者简介: 彭雪辉(1971-),男,湖南双峰人,高级工程师,博士,主要从事大坝安全与风险评估研究。

E-mail: xhpeng@nhri.cn

概率不应超过某一值:

$$P_f(x) = 1 - F_N(x) < \frac{C}{x^n} \quad (2)$$

式中: $P_f(x)$ 为生命损失大于 x 的溃坝概率; $F_N(x)$ 为生命损失 N 的概率分布函数, 表示生命损失小于或等于 x 的溃坝概率; n 和 C 为系数, n 决定生命风险容许线的倾斜度; C 决定容许线的位置。

(1) 当 $n=1$ 时, 为中立型风险, 这时生命风险为:

$$R_S = (1 - F_N(x))x < C \quad (3)$$

(2) 当 $n=2$ 时, 为厌恶型风险, 这时生命风险为:

$$R_S = (1 - F_N(x))x < \frac{C}{x} \quad (4)$$

不同国家和地区群体生命风险标准见表 1 和图 2^[5]。

表 1 不同国家和地区 $F-N$ 曲线取值标准

Tab. 1 Values of $F-N$ curves in different countries and regions

国家/地区	n	C	风险特点	国家/地区	n	C	风险特点
英国	1	0.010	中立型	荷兰	2	0.001	厌恶型
中国香港	1	0.001	中立型	丹麦	2	0.010	厌恶型

1.3 经济风险标准

经济风险用 $F-E$ 曲线表示, 表示经济损失与其超越概率的关系。经济损失大于 x 的年发生概率不应超过某一值:

$$P_f(x) = 1 - F_E(x) < \frac{C}{x^n} \quad (5)$$

式中: $P_f(x)$ 为经济损失大于 x 的溃坝概率; $F_E(x)$ 为经济损失的概率分布函数, 表示经济损失小于或等于 x 的溃坝概率; n 决定经济风险容许线的倾斜度, C 决定容许线的位置。

(1) 当 $n=1$ 时, 为中立型风险, 这时经济风险为: $R_E = (1 - F_E(x))x < C$ (6)

(2) 当 $n=2$ 时, 为厌恶型风险, 这时经济风险为: $R_E = (1 - F_E(x))x < \frac{C}{x}$ (7)

1.4 社会与环境风险标准

社会与环境风险用 $F-I_{SE}$ 曲线表示, 表示社会与环境影响指数与其超越概率的关系。社会与环境影响指数大于 x 的年发生概率不应超过某一值:

$$P_f(x) = 1 - F_{I_{SE}}(x) < \frac{C}{x^n} \quad (8)$$

式中: $P_f(x)$ 为社会与环境影响指数大于 x 的年溃坝概率; $F_{I_{SE}}(x)$ 为社会与环境影响指数的概率分布函数; n 决定社会与环境风险容许线的倾斜度; C 决定容许线的位置。

(1) 当 $n=1$ 时, 为中立型风险, 这时社会与环境风险为:

$$R_{I_{SE}} = (1 - F_{I_{SE}}(x))x < C \quad (9)$$

(2) 当 $n=2$ 时, 为厌恶型风险, 这时社会与环境风险为:

$$R_{I_{SE}} = (1 - F_{I_{SE}}(x))x < \frac{C}{x} \quad (10)$$

2 国外大坝风险标准制定情况

主要分析英国健康和委员会 HSE(2001)^[6]、澳大利亚大坝委员会 ANCOLD(2003)^[7] 和美国垦务局

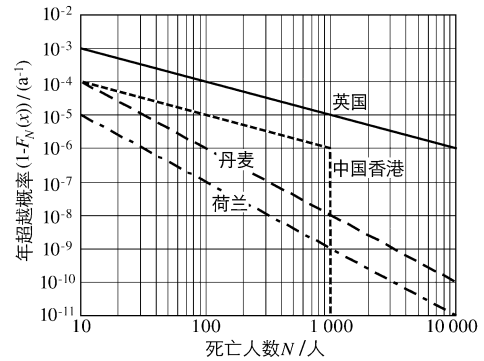


图 2 不同国家和地区 $F-N$ 曲线标准

Fig. 2 Criteria of $F-N$ curves in different countries and regions

USBR(2003)^[8]等3个与水库大坝有关的风险标准指南。

2.1 个体生命风险标准

英国 HSE 2001 指出,处于最大风险之中的个人或团体,风险值超过 $1 \times 10^{-4}/a$ 是不可接受的,必须降低到这一值之下,并进一步降低直到满足 ALARP 原则(as low as reasonably practicable, 最低合理可行原则)。

澳大利亚 ANCOLD 2003 对于已建坝,个体生命风险值大于 $1 \times 10^{-4}/a$ 是不可容忍的;对新建坝和已建坝扩建工程,个体生命风险值大于 $1 \times 10^{-5}/a$ 是不可容忍的。在满足上述前提条件下,必须进一步降低风险以满足 ALARP 原则。

美国 USBR 2003 规定的是 APF(年溃坝概率)而不是可容忍风险值不能超过 $1 \times 10^{-4}/a$,采用 APF 作为个人最大风险,相当于在溃坝条件下个体死亡率为 1。USBR 2003 并没有明确提到 ALARP。不过,如果大坝的 APF 超过 $1 \times 10^{-4}/a$,则采取措施降低溃坝概率的理由增强了;如果大坝的 APF 小于 $1 \times 10^{-4}/a$,则采取措施降低溃坝概率的理由减弱了。

2.2 群体生命风险标准

2.2.1 英国 HSE 标准 HSE 认为 50 人及 50 人以上死亡概率超过 $2 \times 10^{-4}/a$ 是不可接受的,低于这一值则应用 ALARP 并考虑失衡性。HSE 指南中生命风险标准在 $F-N$ 图上相应于一个点,并假定在发生洪水情况下死亡人数以溃坝相对于未溃坝增量死亡人数来计算。

2.2.2 澳大利亚 ANCOLD 标准 ANCOLD 生命风险标准在 $F-N$ 图上用一条容许线表示,已建坝生命风险标准见图 3,新建坝和已建坝扩建工程生命风险标准见图 4。ANCOLD 规定风险必须降低到容许线以下并满足 ALARP 原则。

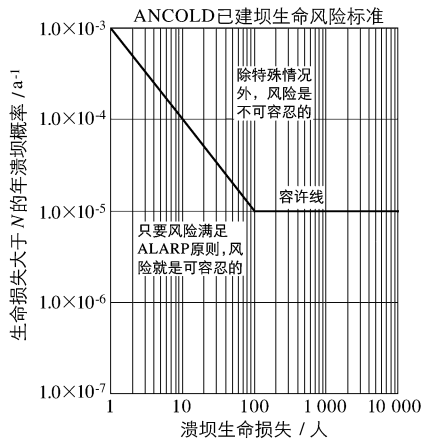


图 3 已建坝生命风险标准

Fig. 3 Life risk criteria for existing dams

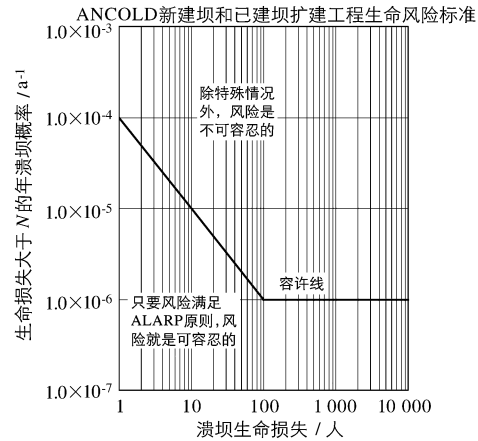


图 4 新建坝和已建坝扩建工程生命风险标准

Fig. 4 Life risk criteria for new dams and major extension projects

2.2.3 美国 USBR 标准 USBR 采用的是 ALL(年生命损失),对每一种荷载如洪水、地震单独进行评价,USBR 规定:①ALL>0.01,不论长期还是短期(≤7 年)运行,强烈建议采取行动降低风险再继续进行,见图 5 中 A 类风险;②ALL>0.001,强烈建议采取行动降低风险再继续长期运行,见图 5 中 B 类风险;③ALL<0.001,建议根据成本效益和公共信托责任采取相应措施减少风险,依 APF 分为 B 类和 C 类风险 (APF> 1×10^{-4} 为 B 类风险,否则为 C 类风险)(见图 5)。

USBR (2003) 并没有特别提到 ALARP,但参考了 ALARP,要求根据成本效益法合理降低风险等级。

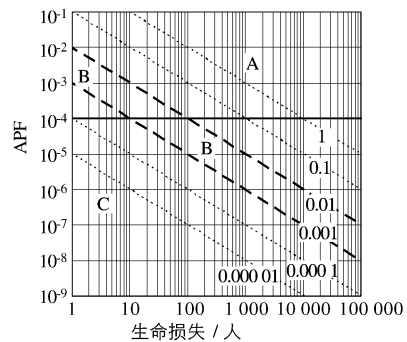


图 5 USBR 风险分类

Fig. 5 USBR risk categorization

2.3 经济风险标准

经济风险标准的制定一般根据溃坝造成的经济损失比例和当时的社会经济发展水平来确定。国际上一般都是大坝业主根据自己承受风险的能力来确定经济风险标准,重点是根据 ALARP 原则来降低经济风险。加拿大 BC Hydro 水电公司曾提出过每年每坝 7 120 美元的可接受经济风险水平,之后又提出每年每座大坝的期望损失不能超过 10 000 美元^[5]。

3 我国大坝风险标准的制定

英国、美国、澳大利亚是不成文法国家,因此这些国家的大坝风险标准只有一条容许线。我国是成文法国家,本文将我国大坝风险分为可接受风险、可容忍风险、不可接受风险和极高风险,因此有 3 条边界线,分别用目标线、容许线和高风险线来表示。由于高风险线是高于容许线一个数量级的风险界线,是相对固定的,因此,我国大坝风险标准的制定,主要是如何来确定容许线和目标线。本文主要根据水利部大坝安全管理中心的“全国水库垮坝数据库”,对我国 1954 年至 2010 年已发生的 3 513 座水库溃坝资料^[9] 进行分析来确定容许线和目标线。

3.1 个体生命风险标准

个体生命风险标准根据式(1)来确定。根据我国溃坝统计资料,1954—2010 年全国年均溃坝率高达 $7.07 \times 10^{-4}/a$,其中东部地区 $5.16 \times 10^{-4}/a$,中部地区 $6.11 \times 10^{-4}/a$,西部地区 $10.52 \times 10^{-4}/a$ 。假设溃坝条件下个体可能最大死亡概率为 1,根据公平原则,溃坝个体生命风险大于 $10.52 \times 10^{-4}/a$ 是不可接受的,故政策系数可以取 10。因此,我国个体生命风险容许值可取 $1.0 \times 10^{-3}/a$,超过这一数值是不可接受的,超过容许值一个数量级即超过 $1.0 \times 10^{-2}/a$ 的个体生命风险是极高的。

当溃坝概率为 $1 \times 10^{-5}/a$ 时,根据可靠指标与失事概率的关系,可靠指标 β 对应于 4.265。根据《水利水电工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50199-94),1 级水工建筑物二类破坏目标可靠指标为 4.2,相应失效概率为 1.34×10^{-5} 。故可认为当水库大坝年溃坝概率低于 $1 \times 10^{-5}/a$ 时,大坝是相当安全的,不论生命损失、经济损失、社会与环境影响有多大,低于这一值的溃坝概率是没有实际意义的,可以用一条水平线来表示。

当水库大坝年溃坝概率低于 $1 \times 10^{-5}/a$ 时,假设溃坝条件下个体可能最大死亡概率为 1,则个体生命风险小于 $1.0 \times 10^{-5}/a$ 是可接受的。

综上,个体生命风险小于 $1.0 \times 10^{-5}/a$ 是可接受的, $1.0 \times 10^{-5}/a \sim 1.0 \times 10^{-3}/a$ 是可容忍的, $1.0 \times 10^{-3}/a \sim 1.0 \times 10^{-2}/a$ 是不可接受的,大于 $1.0 \times 10^{-2}/a$ 是极高的。

3.2 群体生命风险标准

群体生命风险标准根据式(2)来确定,目前我国选择中立型风险比较合适,此时 $n=1$,这时可按式(3)来确定群体生命风险标准,问题转化为如何确定 C 值。

根据对全国溃坝生命风险的统计,1954—2010 年我国年均溃坝生命风险为 0.006 57 人/a,其中东部为 0.004 38 人/a,中部为 0.013 48 人/a,西部为 0.001 61 人/a。根据公平原则, C 值在不同地区可取不同的值:(1)东部地区,群体生命风险不能超过 0.004 38 人/a, C 值可取 0.004;(2)中部地区,群体生命风险不能超过 0.013 48 人/a, C 值可取 0.01;(3)西部地区,群体生命风险不能超过 0.001 61 人/a, C 值可取 0.001。

故东部群体生命风险超过 0.004 人/a 是不可接受的,中部群体生命风险超过 0.01 人/a 是不可接受的,西部群体生命风险超过 0.001 人/a 是不可接受的。若不分区,群体生命风险大于 1.0×10^{-2} 人/a 是不可接受的,大于 1.0×10^{-1} 人/a 的群体生命风险是极高的。

2001—2010 年我国年均溃坝生命风险为 0.000 04 人/a,其中东部为 0(做到溃坝无生命损失),中部为 0.000 07 人/a,西部为 0.000 11 人/a。目前全国可以采用统一的可接受风险标准,只要低于西部溃坝生命风险 0.000 11 人/a,就可认为群体生命风险是可接受的,这样 C 值可统一取 0.000 1。因此,群体生命风险低于 0.000 1 人/a 是可以接受的。

综上所述,我国群体生命风险标准见图6。

3.3 经济风险标准

经济风险标准根据式(5)来确定。目前在我国选择中立型风险比较合适,此时 $n=1$,这时可按式(6)来确定经济风险标准,问题转化为如何确定 C 值。

根据国务院《生产安全事故报告和调查处理条例》,1人死亡事故相当于300万元以上的直接经济损失事故。据图6,在我国死亡1人、年溃坝概率超过0.01/a的风险是不可接受的,相当于300万元的经济损失、溃坝概率超过0.01/a不可接受,即经济风险超过3万元/a不可接受。因此, C 值可以取3万元,相当于每年每座水库大坝的期望损失超过3万元是不可接受的。放大一个数量级,即经济风险超过30万元/a是极高的。同理,根据图6,在我国死亡1人、年溃坝概率小于0.0001/a的风险是可接受的,相当于300万元的经济损失、溃坝概率小于0.0001/a是可接受的,即经济风险小于300元/a是可接受的。因此, C 值可以取300元,相当于每年每座水库大坝的期望损失小于300元是可接受的。在容许线和目标线之间的经济风险是可容忍的。综上所述,我国经济风险标准见图7。

3.4 社会与环境风险标准

社会与环境风险标准根据式(8)来确定。目前在我国选择中立型风险比较合适,此时 $n=1$,这时可按式(9)来确定社会与环境风险标准,问题转化为如何确定 C 值。

社会与环境影响指数为:
$$I_{SE} = \prod_{i=1}^8 C_i \quad (11)$$

式中: I_{SE} 为社会与环境影响指数; C_i 为社会与环境影响因素,赋值在文献[10]基础上作了改进,可查表2。

表2 社会与环境影响因素赋值参考

Tab.2 Assignment of social and environmental impact factors

社会影响因素							
风险人口		城镇		基础设施		文物古迹	
数量/人	C_1	规模	C_2	重要性	C_3	保护级别	C_4
1~10 ²	1.0~2.0	散户或村庄	1.0~2.0	乡镇一般基础设施	1.00~1.25	一般或县级	1.00~1.25
10 ² ~10 ⁴	2.0~3.0	乡镇或人口聚居区	2.0~3.0	市级交通、输电、油气线路及厂矿企业	1.25~1.50	省市级	1.25~1.50
10 ⁴ ~10 ⁶	3.0~4.0	县、地级城市	3.0~4.0	省级交通、输电、油气线路及厂矿企业	1.50~1.75	国家级	1.50~2.00
>10 ⁶	4.0~5.0	省会、计划单列市及直辖市	4.0~5.0	国家级交通、输电、油气线路及厂矿企业、军事设施	1.75~2.00	世界级	2.00~2.50
环境影响因素							
河道形态		动植物栖息地		自然景观		潜在污染企业	
破坏程度	C_5	保护级别	C_6	级别	C_7	规模	C_8
中小河流轻微破坏	1.0~2.0	国家三级及以下	1.00~1.25	1A级	1.00~1.25	小型化工厂或农药厂	1.0~1.7
中小河流严重破坏	2.0~3.0	国家二级	1.25~1.50	2A级	1.25~1.50	中型化工厂或农药厂	1.7~2.4
中小河流改道或大江大河严重破坏	3.0~4.0	国家一级	1.50~1.75	3A级	1.50~1.75	大型化工厂或农药厂	2.4~3.0
大江大河改道	4.0~5.0	世界级	1.75~2.00	4A级及以上	1.75~2.00	特大型化工厂、农药厂或核电站、核储库	3.0~4.0

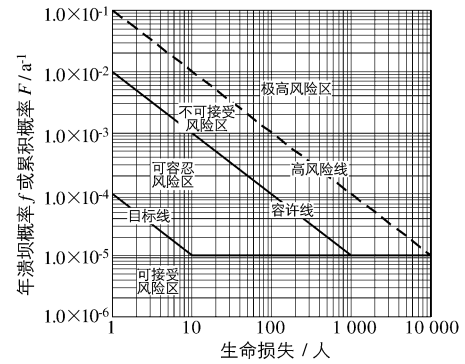


图6 我国群体生命风险标准

Fig.6 Societal life risk criteria in China

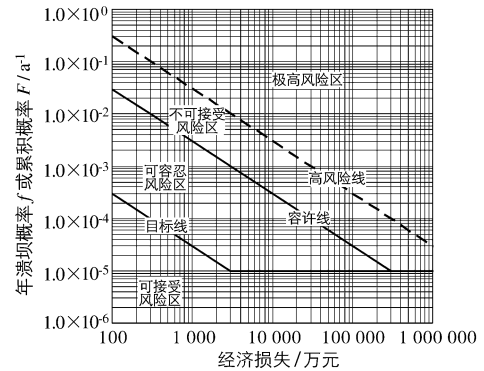


图7 我国经济风险标准

Fig.7 Economic risk criteria in China

可将社会与环境影响指数分为 4 级:(1) I 级,特别重大,社会与环境影响指数 $I_{SE} \in [1\ 000, 10\ 000]$;(2) II 级,重大,社会与环境影响指数 $I_{SE} \in [100, 1\ 000]$;(3) III 级,较大,社会与环境影响指数 $I_{SE} \in [10, 100]$;(4) IV 级,一般,社会与环境影响指数 $I_{SE} \in [1, 10]$ 。

根据《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50199-94),1 级水工建筑物二类破坏目标可靠指标 β 为 4.2,相应失效概率为 1.34×10^{-5} 。

当社会与环境影响指数 I_{SE} 属于特别重大,溃坝概率大于 $1.34 \times 10^{-5}/a$,社会与环境影响风险是不可接受的,即社会与环境影响风险超过 $0.0134/a$ 是不可接受的。据此,C 值可取 0.01。

当社会与环境影响指数 I_{SE} 属于一般,溃坝概率小于 $1.34 \times 10^{-5}/a$,社会与环境影响风险是可接受的,即社会与环境影响风险小于 $0.000134/a$ 是可接受的。据此,C 值可取 0.0001。

故在我国,社会与环境影响风险大于 $0.01/a$ 是不可接受的,大于 $0.1/a$ 是极高的,小于 $0.0001/a$ 是可接受,在容许线 and 目标线之间是可容忍的。由此得到社会与环境影响风险标准见图 8。

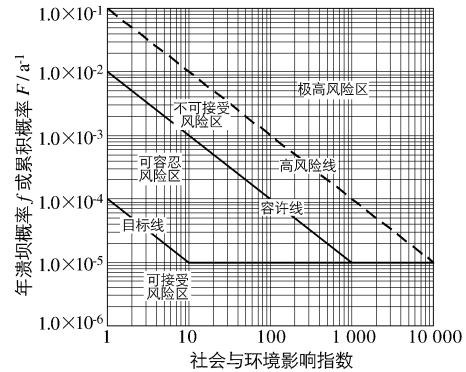


图 8 我国社会与环境影响风险标准

Fig. 8 Social and environmental risk criteria in China

4 结 语

(1)介绍了生命风险标准、经济风险标准、社会与环境影响标准的建立方法及表达方式,提出在我国采取中立型风险比较合适。

(2)总结了英国 HSE、澳大利亚 ANCOLD 和美国 USBR 的风险标准,分析了它们之间的异同点。

(3)提出了我国个体生命风险标准、群体生命风险标准、经济风险标准、社会与环境影响标准。当溃坝概率小于 $1.0 \times 10^{-5}/a$ 时,无论水库溃坝后果有多大,风险都是可接受的;否则,水库大坝风险按表 3 确定。

表 3 水库大坝风险分区标准

Tab. 3 Dam risk zoning criteria

大坝风险分类	大坝风险分区			
	可接受风险	可容忍风险	不可接受风险	极高风险
个体生命风险(a^{-1})	$<1.0 \times 10^{-5}$	$[1.0 \times 10^{-5}, 1.0 \times 10^{-3}]$	$(1.0 \times 10^{-3}, 1.0 \times 10^{-2}]$	$>1.0 \times 10^{-2}$
群体生命风险(人/a)	$<1.0 \times 10^{-4}$	$[1.0 \times 10^{-4}, 1.0 \times 10^{-2}]$	$(1.0 \times 10^{-2}, 1.0 \times 10^{-1}]$	$>1.0 \times 10^{-1}$
经济风险(元/a)	<300	$[300, 30\ 000]$	$(30\ 000, 300\ 000]$	$>300\ 000$
社会与环境影响风险(a^{-1})	$<1.0 \times 10^{-4}$	$[1.0 \times 10^{-4}, 1.0 \times 10^{-2}]$	$(1.0 \times 10^{-2}, 1.0 \times 10^{-1}]$	$>1.0 \times 10^{-1}$

水库大坝风险位于极高风险和不可接受风险区时,必须采取措施降低风险;位于可容忍风险区域时,需根据我国的 ALARP 原则^[11]确定是否需要采取措施降低风险;位于可接受风险区时,不必处理。

参 考 文 献:

[1] 汝乃华, 姜忠胜. 大坝事故与安全·拱坝[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1995. (RU Nai-hua, JIANG Zhong-sheng. Arch dams · Accident and safety of large dams[M]. Beijing: China WaterPower Press, 1995. (in Chinese))

[2] 汝乃华, 牛运光. 大坝事故与安全·土石坝[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001. (RU Nai-hua, NIU Yun-guang. Embankment dam · Incidents and safety of large dams[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2001. (in Chinese))

[3] 杨正华, 盛金保, 李雷, 等. 病险水库除险加固溃坝警示及对策研究[R]. 南京: 南京水利科学研究所, 2009. (YANG Zheng-hua, SHENG Jin-bao, LI Lei, et al. Dam breach warning and countermeasures for the reinforcement of devastated and

- dangerous reservoir dams[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2009. (in Chinese))
- [4] TAW. Probabilistic design of flood defences[R]. The Netherlands: Centre for Civil Engineering Research and Codes (CUR), Technical Advisory Committee on Water Defences, 1990.
- [5] 肖义. 水库大坝防洪安全标准及风险研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004: 44-56. (XIAO Yi. Research on dam risk and criteria of hydrological safety[D]. Wuhan: Wuhan University, 2004: 44-56. (in Chinese))
- [6] HSE (Health and Safety Executive, United Kingdom). Reducing risks, protecting people [M]. London: Her Majesty's Stationery Office, 2001.
- [7] ANCOLD(Australian National Committee on Large Dams). Guidelines on risk assessment[M]. Australia: ANCOLD, 2003.
- [8] USBR (United States Bureau of Reclamation). Guidelines for achieving public protection in dam safety decision making[R]. Colorado: USBR, 2003.
- [9] 彭雪辉. 中国水库大坝风险标准研究[D]. 南京: 南京水利科学研究所, 2012. (PENG Xue-hui. Research on reservoir dam risk criteria of China[D]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2012. (in Chinese))
- [10] 王仁钟, 李雷, 盛金保. 水库大坝的社会与环境风险标准研究[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(1): 8-11. (WANG Ren-zhong, LI Lei, SHENG Jin-bao. On criterion of social and environmental risk of reservoir dams[J]. Journal of Safety and Environment, 2006, 6(1): 8-11. (in Chinese))
- [11] 彭雪辉, 盛金保, 李雷, 等. 我国水库大坝风险评价与决策研究[J]. 水利水运工程学报, 2014(3): 49-54. (PENG Xue-hui, SHENG Jin-bao, LI Lei, et al. Research on dam risk evaluation and decision-making of China[J]. Hydro-Science and Engineering, 2014(3): 49-54. (in Chinese))

Research on dam risk criteria of China

PENG Xue-hui¹, SHENG Jin-bao¹, LI Lei¹, LIU Lai-hong², ZHOU Ke-fa¹, ZHENG Hao-yao¹

(1. *Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *Nanjing Nari Group Corporation, Nanjing 210032, China*)

Abstract: This paper shows how to establish the life risk criteria, economic risk criteria, socio-environmental risk criteria and their detailed description. The main similarities and differences of the risk criteria of HSE (from UK), ANCOLD (from Australia) and USBR (from USA) have been analyzed. In China, the dam risks are classified into four regions: acceptable risk, tolerable risk, unacceptable risk and extremely high risk, which are respectively subdivided by the objective limit, tolerable limit and limit of the high risk. According to the data collected from 3 513 cases of reservoir dam-break in our country, the individual life risk criteria and the societal life risk criteria have been suggested by our researchers. On this basis, the economic risk criteria are put forward in accordance with the "Regulations on Production Safety Accident Reporting, Investigation and Handling". And finally, a calculation method for the socio-environmental impact index and socio-environmental risk criteria is developed through detailed analysis and research, which can provide a sound basis for dam risk decision-making.

Key words: dam risk; life risk; economic risk; socio-environmental risk; risk criteria; probability of dam failure