

关于导流洪水标准 及导流方案决策的探讨

金家麟

(水利电力部成都勘测设计院)

提 要

修筑大坝, 通常需要修建临时的导流建筑物, 以保护大坝施工, 防止或减少大坝建成前洪水造成的损失。导流洪水标准及导流方案的选择, 要兼顾安全和经济两方面的要求。

长期以来, 设计临时性导流建筑物所采用的洪水标准, 常仅在规范规定的幅度内分析确定。既没有明确导流建筑物在使用期内所冒的风险, 又没有确切考虑一旦导流建筑物失事所造成的损失。本文用决策分析的原理, 根据导流建筑物在使用期内所冒的风险及其相应的损失期望值, 阐明确定导流洪水标准的方法。

一、问题的提出

水电工程施工, 特别是大坝的施工, 常要修建围堰和导流明渠或隧洞。围堰高度及导流洞径则根据导流期和截流期的洪峰和洪水过程线计算确定, 因此, 要先确定导流期的洪水标准。我国规范规定, 设计临时性水工建筑物所采用的洪水标准, 在表1给定的幅度内分析确定。

临时性水工建筑物的级别, 根据枢纽工程的等别, 按表2确定。

由上可见, 规范中虽然也规定导流建筑物的洪水标准要考虑工期长短、使用要求、淹没影响, 河流水文特性等诸多因素, 但实际上决定于枢纽工程的等别。而导流建筑物所冒的风险则主要取决于使用期的长短。使用期越长, 所冒的风险就越大。修建电站和大坝的工期越短, 导流风险期越短, 导流建筑物因洪水引起的破坏失事的概率越小。在一定的导流洪水标准下, 导流建筑物安全和经济的程度究竟如何? 导流洪水标准与导流方案的关系怎样? 所有这些, 在规范中没有得到确切的反映, 也就是说, 仅仅根据规范, 并不能得出最佳导流方案及其相应的洪水标准。

表1 临时性水工建筑物洪水标准

建筑物类型	临时建筑物级别			
	2	3	4	5
	洪水重现期(年)			
土石建筑物	>50	50~30	30~20	20~10
混凝土、浆砌石建筑物	>20	20~10	10~5	5~3

表2 临时性水工建筑物级别

枢纽工程等别	临时性水工建筑物级别
I、II	4
III、IV	5

导流洪水标准及导流建筑物的设计,通常总可以选择几个不同的标准、采取几种不同的方案,从中选定某一最佳方案,这就提出了导流洪水标准和导流方案的决策问题。

二、导流建筑物的风险率

导流建筑物通常都是临时建筑物,对土石围堰加导流明渠或隧洞的导流方式,其风险率是指发生超标准洪水使土石围堰失事或破坏,并由此而产生经济损失的概率。本文假定,只要发生超标准洪水,围堰就发生破坏或失事,而洪水在设计标准以内,围堰是可靠的,不会产生失事破坏。

关于导流建筑物冒超标准洪水的风险率,世界各国并无统一的标准,但均认为其属临时建筑物,可以冒较大的风险。所采用的风险率,大多在10%~20%^[4]之间,对大中型工程,认为风险率取10%较为适宜。

把洪水看作独立的随机事件,导流建筑物在使用期内冒超标准洪水的风险率 P 与导流设计洪水重现期 T 的关系,可用下式表示。

$$P_i = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

式中 n 为导流建筑物使用年限。对10%的风险率,导流设计标准洪水重现期约等于导流建筑物使用年限(年)乘以10。导流建筑物的使用期,对大中型工程,通常认为至少应考虑为1年。

在选定导流建筑物方案及设计洪水标准时,有时需要知道导流建筑物使用期内超标准洪水以各种方式出现的可能性,这可按贝努里概型进行计算。但如能画出如图1,则能使计算简单明了,且能从图上看超标准洪水可能发生在哪一年的概率。例如,若 $n=2$,即在2年中

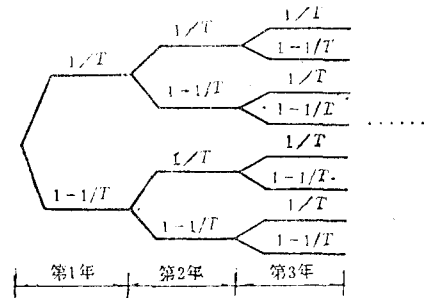


图1

两年均发生超标准洪水的概率为: $\left(\frac{1}{T}\right) \cdot \left(\frac{1}{T}\right)$

有一年发生超标准洪水的概率为: $2 \cdot \left(\frac{1}{T}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{T}\right)$

两年均不发生超标准洪水的概率为: $\left(1 - \frac{1}{T}\right)^2$

同样可得当 $n=3, 4, \dots$ 时发生超标准洪水的概率,即导流建筑物的风险率。

给出导流建筑物的风险率,虽然知道了导流建筑物在使用年限内冒发生超标准洪水的风险,但仍不能直接用来确定导流方案及其相应的导流洪水标准。考虑导流建筑物安全和经济两个方面,下面给出根据导流建筑物的风险及其相应的损失来选定导流洪水标准

的方法。

三、导流建筑物洪水标准的选定

导流建筑物洪水标准的选定，要兼顾安全和经济两方面的要求。在选定洪水标准前，应考虑：

1. 一个明确的目标，即导流建筑物的投资及万一发生超标准洪水所引起的损失最小。
2. 分别采用几个不同的洪水标准，作出不同的导流方案（如高、中、低三种围堰方案）供选择，最后选定其中一个最优方案。
3. 计算出不同导流方案在不同超标准洪水下相应的损失。
4. 预估未来各种洪水出现的可能性（概率）。

因此，导流建筑物洪水标准的选定，可用框图表示如下：

由图 2 可见，导流建筑物洪水标准，始终与导流方案紧密地结合在一起。由于我们仅知道洪水可能出现的概率，因此，它的决策问题，属于风险型决策，可用最大（小）期望值准则来选定最佳导流方案及其相应的洪水标准，即算出各导流方案的损失期望值，选定损失期望值最小的导流方案。应当指出，导流建筑物的投资，也是一种损失，因为导流完成后，导流建筑物也就报废了（作为永久工程一部分的除外）。

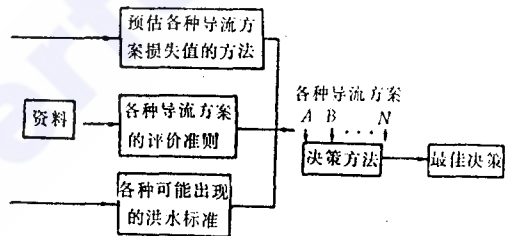


图 2

现以围堰加导流洞的导流方式，说明具体的计算方法。

1. 隧洞直径和围堰高度取决于导流洪水标准和技术经济比较。假定某一洪水标准，可以绘制围堰和隧洞投资的综合曲线如图 3，在总投资曲线 C 最低点附近（考虑施工和技术可能性），选出最经济方案。选定几个洪水标准下相应的最经济方案（国际上施工导流洪水重现期多为 5—30 年）。如果围堰和导流洞要作为永久工程一部分，在总投资中应扣除相应部分的投资。

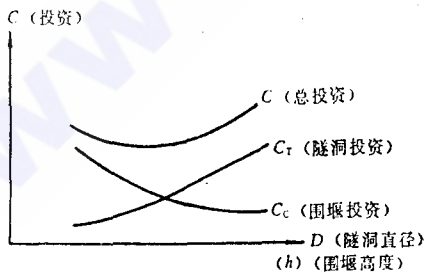


图 3 围堰隧洞造价综合曲线

用)。

2. 计算导流建筑物在使用期内的风险率，即发生超标准洪水的概率。
3. 计算各最经济方案因超标准洪水而产生的损失（如导流建筑物失事造成的发电拖后、基坑和设备的淹没、清淤、窝工、围堰修复等一切费用）。
4. 计算各方案的损失期望值 $E(X) = \sum_{i=1}^m P_i X_i$ （其中 P_i 为 $X = X_i$ 时的概率）。

5.E最小的方案为最佳方案,与最佳方案相应的洪水标准,为施工导流洪水标准。

例如,某工程导流建筑物由上、下游土石围堰和导流洞组成,使用期为2年,对应于10年、20年、30年一遇的洪水,分别设计了低、中、高土石围堰加导流洞三个最经济的方案。三种方案的投资及使用期内发生超标洪水所造成的损失如表3。

表3

方案代号	A	B	C
方案名称	高围堰加导流洞	中围堰加导流洞	低围堰加导流洞
投资(万元)	9500	8600	8000
导流洪水标准 〔重现期(年)〕	30	20	10
围堰使用期内 风险率(%)	6.56	9.75	19
发生超标洪水 造成的损失(万元)	17500	18600	20000

根据表3,计算各方案的损失期望值

$$E_A = 17500 \times 0.0656 + 9500 \times (1 - 0.0656) = 10025$$

$$E_B = 18600 \times 0.0975 + 8600 \times (1 - 0.0975) = 9575$$

$$E_C = 20000 \times 0.19 + 8000 \times (1 - 0.19) = 10280$$

通过比较可知 $E_B < E_A < E_C$, 因此合理的决策应是按20年一遇导流洪水标准设计中土石围堰加导流洞方案。

上例中,如果要考虑导流建筑物各年的风险及其相应的损失,画出决策树(图4)进行分析,则更形象方便。

从决策节点①,引出方案A、方案B、方案C三个方案分枝,表示三个导流方案,方案枝的末端分别标上②、③、④作为方案节点,其上方的数字,表示该方案的损失期望值。从方案节点②、③、④各引出第一年的两条概率分枝,分别表示导流建筑物建成后第一年内均存在危险和可靠两种可能,并注明其概率。在第一年概率分枝末端,再画上方案节点⑤、⑥、⑦、⑧、⑨、⑩,从这些节点分别画上两条第二年危险和可靠的概率分枝,并写上相应的概率。在第二年概率分枝末端画上结果节点△,它旁边的数字是

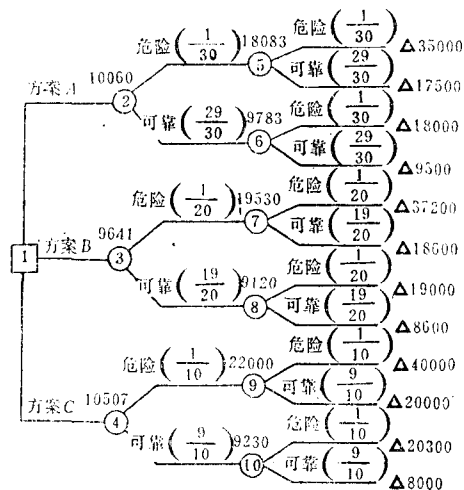


图4 决策树分析

每一方案在相应状态下的损失值(图4中围堰两年都失事破坏的损失值,简单地假定为围堰第一年破坏、第二年安全的损失值的2倍,对实际工程,要根据实际的损失确定之)。

$$\textcircled{5} \text{点的损失期望值: } 35000 \times \frac{1}{30} + 17500 \times \frac{29}{30} = 18083 \text{ (万元)}$$

$$\textcircled{6} \text{点的损失期望值: } 18000 \times \frac{1}{30} + 9500 \times \frac{29}{30} = 9783 \text{ (万元)}$$

$$\textcircled{2} \text{点的损失期望值: } 18038 \times \frac{1}{30} + 9783 \times \frac{29}{30} = 10060 \text{ (万元)}$$

同样,可以得到其他各点的损失期望值。

②点,③点,④点的损失期望值,也等于最后的损失值与相应概率分枝的概率(路径概率)连乘的总和。如③点的损失期望值为

$$37200 \times \frac{1}{20} \times \frac{1}{20} + 18600 \times \frac{19}{20} \times \frac{1}{20} + 19000 \times \frac{1}{20} \times \frac{19}{20} + 8600 \times \frac{19}{20} \times \frac{19}{20} = 9641 \text{ (万元)}$$

通过比较②点、③点、④点的损失期望值,可知方案B,即按20年一遇洪水标准设计的土石围堰加导流洞方案,是合理的最佳方案,导流建筑物在使用期2年内总的风险率为9.75%。

四、结 论

1.导流洪水标准及导流方案的决策,总是面向未来,而未来总带有不确定性,因此要冒一定的风险。但在决策过程中利用了事件概率,通过期望值这个概念来进行,这样的决策比直观感觉和主观想象进行决策要合理得多,科学得多。

2.导流洪水标准与导流方案始终紧密地结合在一起。先定导流洪水标准,再确定导流方案的方法是不可取的。

3.在实际决策中,损失值的估算不易很准确,要在损失值可能发生的误差范围内作几次不同的变动并反复进行计算,看一看期望值是否相差很大,是否影响最优方案的选择。

主要参考文献

- [1]水利电力部规范,《水利水电枢纽工程等级划分及设计标准(山区、丘陵部分)SDJ12—78》,1979
- [2]李德、钱颂迪主编,《运筹学》清华大学出版社,1982, P431—463
- [3]复旦大学数学系主编,《概率论与数理统计》,上海科学技术出版社,1961, P23—24
- [4]Cochrane N.J., An Engineering Calculation of Risk in the Provision for the Passage of Floods During the Construction of Dams, 8th Congress International Commission on large Dams, 1967
- [5]The Institution of Civil Engineers, Floods and Reservoir Safety, London, 1978, P23—24