

## 立堵截流方案风险度分析

贺昌海<sup>1</sup>, 胡志根<sup>1</sup>, 周宜红<sup>1</sup>, 肖焕雄<sup>1</sup>, 付 峥<sup>2</sup>, 李定葵<sup>2</sup>

(1. 武汉大学水利水电学院, 武汉 430072; 2. 国家电力公司成都勘测设计研究院, 成都 610072)

**[摘要]** 从全面分析立堵截流风险的角度出发, 总结了大落差、高流速型截流工程的两种合理的截流风险变量和风险率模型, 提出了用实测资料法和随机性模拟法计算截流风险率的具体方法和步骤, 而且用实测资料法进行了工程实例计算, 计算结果表明两种模型具有一致性, 并初步揭示了风险率的一些规律; 在此基础上, 进一步分析了截流风险的评价和处理准则, 提出了截流方案合理风险度的建议, 为截流方案风险决策奠定了基础。

**[关键词]** 立堵截流; 截流方案; 截流标准; 风险率; 风险度

**[中图分类号]** TV855 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)04-0058-06

### 1 引言

风险分析的目的是对社会中存在的各种风险进行识别、估计和评价, 并在此基础上, 为组合各种风险管理技术做出风险决策。

截流是水电工程施工的一个关键环节, 只有顺利完成了河道截流, 才能继续进行围堰填筑、基坑排水、基础开挖、处理, 以及主体建筑物施工等一系列工作。而在截流工程设计及施工中, 确定截流标准是其中的首要任务和主要依据, 只有确定了截流标准, 选择了截流设计流量之后, 才能够进行截流水力计算, 依据水力学指标确定截流材料的类型、尺寸及数量, 从而最终确定截流方案。但是, 由于存在诸如河道流量的随机性、分流建筑物分流量的不确定性等因素的影响, 截流设计流量的确定又必然存在着一定的风险。如果截流设计流量较高, 截流系统所承担的风险就较小, 但截流费用相对较大; 如果截流设计流量较低, 则情况正好相反。由此可见, 如何计算截流系统的风险大小(风险识别、风险估计)、如何确定截流方案的风险准则(风险评价)以及如何确定最优的截流方案(风险决策), 是保证截流设计与施工安全性和经济性

的重要前提。

### 2 截流系统风险率模型

#### 2.1 风险识别

影响截流系统风险因素很多, 主要包括水文因素、水力因素以及其他因素。由这些因素引起的风险分别称为水文风险、水力风险和其他风险<sup>[1]</sup>。

1) 水文风险 天然河道任何时期的实际流量是一个具有某种概率分布的随机变量。按照这个随机变量的某一重现期的值作为截流设计流量的标准, 截流系统就必然存在一定的风险。如按现行规范, 选择5年一遇(频率为20%)的月平均或旬平均流量作为截流设计标准<sup>[2]</sup>, 虽然河道的实际流量小于这一设计流量的可能性很大, 但仍然有20%的可能使截流系统遭遇超过设计标准流量。鉴于截流设计流量是确定截流方案的基本依据, 因此实际流量是引起截流系统风险的一个主要因素, 一旦发生实际流量大于设计流量的情况, 就可能引起实际截流水力学指标大于设计值, 从而引起风险。

2) 水力风险 截流过程中或截断河床以后, 部分水流或几乎全部水流要通过分流建筑物下泄。

[收稿日期] 2001-10-28; 修回日期 2001-12-27

[作者简介] 贺昌海(1966-), 男, 四川广安市人, 工学博士, 武汉大学水利水电学院副教授

如果在设计中所采用的计算方法不尽合理,取用的参数不精确以及实际施工、运行中不可避免地存在着误差等原因,分流建筑物的分流量也是一个不确定性的变量。例如,以影响分流建筑物下泄流量的糙率  $n$  而言,当设计值与实际值相差较大时,这种差别将会引起分流量的较大偏差,如果实际流量与截流设计流量相等,这种偏差就会导致龙口水力条件的恶化,给实际截流带来风险。

3) 其他风险 其它风险包括由其他自然因素(如地震、冰雹等灾情)、建筑物本身的结构因素以及其他施工因素(如施工组织、措施不当)等引起的风险。

本文着重讨论水文风险和水力风险。

## 2.2 风险变量的确定

截流系统产生风险主要有两个方面的原因:一是截流期间发生了超标准来流事件;二是即使是正常来流,分流建筑物实际分流量低于设计值。但是,从施工水力学单个材料稳定的概念来看,立堵截流工作的本质是要看所使用的材料能否抵抗龙口水流的冲刷,如果能,截流基本上可以顺利完成,反之,系统就必然存在风险。考虑到天然流量的随机性和分流量的不确定性,龙口泄流量也具有不确定性,而且龙口流量的变化是引起龙口流速、落差变化的主要原因,同时,龙口流速、落差还受到其他因素的影响(如抛投方式、戗堤形状等边界条件)。如果用龙口流速(或落差)来反映众多不确定因素,这样选择它作为风险率模型的具体风险变量是适当的<sup>[3]</sup>。

## 2.3 风险率模型

目前,确定最大抛投材料粒径(或吨位)主要用最大流速( $V$ )和最大落差( $Z$ ),用这两个指标可以建立大落差、高流速型截流工程的风险率模型<sup>[1,3]</sup>,即:

$$R = P_1(Z > Z_s) = \int_{Z_s}^{+\infty} f(Z) dZ \quad (1)$$

$$\text{或 } R = P_2(V > V_s) = \int_{V_s}^{+\infty} f(V) dV, \quad (2)$$

式中,  $V_s$ 、 $Z_s$  分别为设计最大流速和最大落差;  $f(Z)$ 、 $f(V)$  分别为实际最大落差和实际最大流速的概率密度函数。

## 3 风险率计算方法

目前,截流风险率的计算方法主要有实测资料

法和随机性模拟法两种。当拥有截流时段内较长的实测水文流量资料时(从国内外的实践经验看,一般有50年的系列资料即可满足工程要求。而且由计算可知,当变差系数  $C_v = 0.35$  时,要求计算精度  $\pm 5\%$  的正常年径流量所必须的系列资料长度为49年<sup>[4]</sup>),就可以采用第一种方法。当具有截流设计流量的统计资料时,可以采用第二种方法。本文主要介绍实测资料法。这一方法结合分流建筑物的具体型式,重点考虑了水文随机因素,而水力因素对风险率的影响,则采用敏感性分析的方法进行计算。

### 3.1 实测资料法

设  $Q_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 是截流时段内的月平均或旬平均  $n$  年实测流量资料系列,它是河道该时段内流量总体的一个随机样本,通过水力计算或模型试验可以得到与  $Q_i$  相应的截流最大落差系列值  $Z_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ),再用统计分布的方法来确定最大落差  $Z$  的概率密度函数  $f(Z)$ 。其步骤如下:

1) 根据样本值  $Z_i$  确定样本范围 ( $\min \{Z_i\}$ ,  $\max \{Z_i\}$ ), 并取  $[\min \{Z_i^-\}, \max \{Z_i^+\}]$  为计算范围,其中  $\min \{Z_i^-\}$  是比  $\min \{Z_i\}$  稍小的值,  $\max \{Z_i^+\}$  是比  $\max \{Z_i\}$  稍大的值;

2) 分组并计算各组的频率。分组数 ( $K$ ) 可按式(3)计算<sup>[5]</sup>。

$$K = 1.87(n-1)^{2/5} \quad (3)$$

$$\text{组间隔为 } L = \frac{\max \{Z_i^+\} - \max \{Z_i^-\}}{K},$$

根据以上组间隔确定的组为  $[\min \{Z_i^-\}, \min \{Z_i^-\} + L]$ ,  $[\min \{Z_i^-\} + L, \min \{Z_i^-\} + 2L]$ ,  $\dots$ ,  $[\min \{Z_i^-\} + (K-1)L, \min \{Z_i^-\} + KL]$ ,

用唱票法统计各组的经验频率 ( $P_j$ ) 可按式(4)计算:

$$P_j = m_j/n, \quad (4)$$

式中,  $m_j$  为落在第  $j$  组内的  $Z_i$  个数,  $j = 1, 2, \dots, k$

3) 以  $Z$  为横坐标、 $P$  为纵坐标,画出直方图。

下面说明由  $Q_i$  决定  $Z_i$  的方法。

1) 模型试验方法 大型水电工程一般须作截流模型试验,可以在截流模型试验中增加风险分析的内容。具体作法是:模拟天然河道来流量系列

$Q_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), 可测得截流最大落差  $Z_i$ 。这种方法不仅可操作性强, 而且在试验中还可以测量由于分流建筑物上游围堰拆除不干净、留下残留岩埂时对上游水位的影响, 由此分析对风险率的影响程度。但是, 模型试验的缺点在于分流建筑物的尺寸、轴线位置、糙率等一经确定, 要改变它们十分困难。因此, 不利于对风险率的要进行全面的敏感性分析。

2) 水力计算方法 计算方法比模型试验灵活, 但由于水力计算的试算过程比较繁琐, 重复性的工作较多, 因此一般须要用电算的方法。确定  $Z_i$  按以下步骤:

a. 计算  $Q \sim H_u$ 。针对分流建筑物的具体型式和尺寸, 编程计算分流建筑物的泄流能力与上游水位关系曲线  $Q \sim H_u$ 。

b. 确定戽堤渗透流量  $Q_s$ 。如果已经做了模型试验, 可以根据试验结果确定  $Q_s$ 。否则可按伊兹巴什等人提出的公式计算, 也可以做专门的渗流计算, 这些方法都比较复杂、繁琐。一种简单的办法是根据实测渗流资料来分析, 表1列举了几个工程的实测资料<sup>[6]</sup>。从表中可以看出,  $Q_s/Q_r$  相差不大, 基本上在 3% ~ 7% 的范围内, 因此在确定  $Q_s$  时, 可根据戽堤的实际情况在此范围内做出估计。

表1 国内外几个工程的实测渗流资料

Table 1 Data on seepage surveyed in several projects at home and abroad

国家	水库	流量/ $m^3 \cdot s^{-1}$	注
前苏联	克拉斯诺雅克	3.1	$Q_r$ 为截流设计流量,
前苏联	伊里姆河口	5.7	$Q_s$ 为截断河床以后
前苏联	托克托古里	6.2	戽堤的渗透流量。
波兰	符沃次瓦维克	4.8	
中国	葛洲坝	4.2	

c. 在  $Q \sim H_u$  关系曲线上由  $(Q_i - Q_{si})$  查得相应的  $H_{ui}$ , 在坝址水位流量关系曲线上由  $Q_i$  查得  $H_{di}$ , 两者之差即为  $Z_i$ 。

以最大流速计算截流风险率的方法与以上方法相同。

### 3.2 随机性模拟法

由截流标准和截流时段所确定的截流设计流量 ( $Q$ ) 服从 P-III 分布, 而分流建筑物的分流流量 ( $Q_i$ ) 一般可以假定为三角形分布<sup>[7]</sup>, 这样就可以根据随机数和随机变量的生成理论进行抽样, 产生

一个符合 P-III 分布的  $Q$  样本和符合三角形分布的  $Q_i$  样本, 以后的算法与实测资料法相同。这种方法的优点在于可综合考虑水文、水力随机因素的影响。

## 4 算例

### 4.1 工程概况与水力计算结果

某大型工程水电站装机 12 000 MW, 围堰最大高度约 80 m, 具有 1942—1992 年的 51 年实测日平均流量系列资料, 采用单戽立堵法截流, 截流标准采用 10 年一遇旬平均流量, 截流时间要求不迟于 11 月中旬。6 条导流隧洞的设计糙率为  $n = 0.017$ 。

首先, 按面积包围法分别计算各年 11 月上旬、中旬平均流量系列。在隧洞进口施工围堰拆除彻底的情况下, 编程计算不同截流时段 (11 月上旬、中旬)、各流量系列对应的上游水位、最大平均流速、最大落差等设计条件下的水力学指标 (表 2)。

表 2 设计条件下的指标

Table 2 Indexes of design

截流时段	设计流量 / $m^3 \cdot s^{-1}$	最大平均 流速/ $m \cdot s^{-1}$	最大落差 /m	龙口水深 /m	块体重量 /t
11 月上旬	5 160	4.	1.58	22.43	3.89/6.00
11 月中旬	4 090	4.7	1.55	20.81	3.29/5.07

注: 龙口水深为戽堤轴线处水深, 以 355 m 高程起算, 块体重量栏内前一个为混凝土立方体, 后一个为混凝土四面体, 容重为  $2.4 t/m^3$ 。

### 4.2 风险率统计

在糙率  $n = 0.017$ 、隧洞进口无岩坎的情况下, 以最大落差、最大流速为横轴, 以平均频数为纵轴, 绘制统计直方图, 可以得到不同截流时段两种模型统计的风险率 (表 3)。从表 3 中可以看出: a. 用两种模型计算的风险率基本一致; b. 11 月上旬的风险比 11 月中旬的风险略小。

表 3 风险率统计表

Table 3 Statistics of risk probability

截流时段	按最大落差统计的 $R / \%$	按最大流速统计的 $R / \%$
11 月上旬	16.0	18.5
11 月中旬	17.8	19.1

### 4.3 敏感性分析

在其他条件不变时, 分别研究有残留岩坎 (2

m)、隧洞糙率变化 ( $n = 0.015$  和  $n = 0.019$ ) 对截流的影响程度, 设计条件下 11 月中旬各流量对应的最大落差、最大平均流速等指标见表 4, 风险率统计结果见表 5。从表 2 至表 5 可以看出, 有残留岩坎和隧洞糙率发生变化对截流的各种指标绝对值的影响不大, 但对截流风险率具有显著影响, 其原因主要是式 (1) 和式 (2) 所定义的风险率模型具有严格的数学意义, 即: 凡是大于设计最大落差 (或最大流速) 的实际最大落差 (或实际最大流速) 都统计到风险率中。

表 4 不同工况设计条件下的指标

Table 4 Indexes of design under different conditions

工况	设计流量 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	最大平均 流速 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	最大落 差 / m	龙口水 深 / m	块体重 量 / t
2 m 岩坎	4 090	5.0	1.72	20.88	4.20/6.50
$n = 0.019$	4 090	4.9	1.62	20.82	3.89/5.99
$n = 0.015$	4 090	4.6	1.48	20.73	3.02/4.66

注: 龙口水深为戽堤轴线处水深, 以 355 m 高程起算, 块体重量栏内前一个为混凝土立方体, 后一个为混凝土四面体, 容重为  $2.4 \text{ t/m}^3$ 。设计糙率  $n = 0.017$ 。

表 5 敏感性分析结果

Table 5 Results of sensitivity analysis

工况	风险率 $R$ / %	增加或减少量 / %
无岩坎, $n = 0.017$	17.8	-
2 m 岩坎, $n = 0.017$	24.0	+34
无岩坎, $n = 0.019$	23.0	+29
无岩坎, $n = 0.015$	16.2	-10

## 5 截流方案风险评价与处理

除了非期望事件发生的风险概率大小 (风险率) 以外, 还包括风险事件的后果。风险评价就是根据估计得到的风险率和后果综合起来考虑, 用风险度 (概率 + 后果) 指标与国家所规定的安全指标或公认的安全指标作比较, 去衡量风险的程度, 以便确定风险是否需要处理和处理的办法。

如何评价截流设计标准的风险这一问题, 由于缺乏对截流风险的研究, 目前国内尚无统一的安全指标。现针对风险率和风险后果做初步分析。

### 5.1 风险率 $R$

国内现行施工组织设计规范中给出了用 20% ~ 10% 的月平均或旬平均流量作为截流设计标

准<sup>[2]</sup>, 从仅仅考虑水文流量随机性的风险概念来看, 这个标准的“风险率”就是 20% ~ 10%。事实上设计流量往往比实际偏大。据对我国 24 个工程截流的设计流量和实际流量的统计, 两者比值平均为 2.06; 前苏联 15 个工程的统计, 两者比值平均为 2.07<sup>[8]</sup>; 表 6 列出的国内 36 个工程资料说明<sup>[9-15]</sup>, 多数工程采用 20% ~ 5% 的月平均或旬平均流量作为设计标准。但是, 从 60 年代至今实测流量大于设计流量的工程只占极少数 (5 个), 设计流量和实际流量的比值 (流量比) 平均为 1.92 (其中 80 年代以来 13 个工程的流量比为 1.70)。因此, 截流设计与实践中选用的标准一般明显偏高, 适当地降低其标准 (风险率将增大) 是合理的。

从计算结果看, 式 (1) 和式 (2) 所定义的风险率  $R$  比采用的流量频率  $P$  要大一些, 在导流洞进口围堰拆除干净与糙率等于设计值的情况下,  $R = 16\% \sim 19.1\%$  (表 3), 在导流洞进口处存在 2 m 岩坎、糙率上下浮动约 10% 的情况下,  $R = 16.2\% \sim 24\%$  (表 5), 而此时对应的流量频率  $P$  为 10% (截流标准), 可见  $R$  比  $P$  约大 5% ~ 15%, 扣除计算误差 5% 以后, 可取风险率  $R = 10\% \sim 20\%$ ; 同理, 当截流标准  $P$  为 20% 时, 可取风险率  $R = 20\% \sim 30\%$ 。

因此, 本文建议可以接受的风险率为: 当截流标准  $P = 20\%$  时,  $R = 20\% \sim 30\%$ ; 当截流标准  $P = 10\%$  时,  $R = 10\% \sim 20\%$ 。

### 5.2 风险后果

由于截流风险不是纯粹的自然风险, 因此应该从有利和损失两个方面去分析截流这一风险事件。有利的是, 如果实际截流时不发生风险, 则可以得到节约工程费用或截流时间提前等收益; 不利的是, 如果发生了风险, 就可能造成各种损失。损失对不同工程来说是各不相同的, 我们可以把损失分为两种类型: 一是可以接受的损失, 即如果第一次截流不成功, 最多使截流工作往后推迟一段时间, 但并不影响在当年完成截流, 只是使其后续的围堰工程施工强度加大。例如, 在汛后退水期截流或者其后面的围堰施工工期具有一定弹性就属于这种情况 (如表 6 中的风滩); 另一类是不能接受的损失, 即如果第一次截流不成功, 就会使当年截流成为泡影, 使整个工程的工期拖延一年, 或产生其他重大不利影响, 如在汛前迎水期截流或者其后续的围堰

施工工期本身非常紧张就属于这种情况（如三峡大江截流、三期截流）。另外，在重要的通航河道上截流，如果截流失败，被水流冲向下游的大块体可能使水深变浅，水流流态紊乱，甚至在枯水期的航

道上形成人为的“暗礁”。由于大块体的位置、数量等不确定，航道的清理工作也将非常困难，这种后果更加严重。

表6 国内工程截流设计流量与实际流量对比统计

$/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Table 6 Statistics of discharge of river closure at the design stage and during construction

序号	工程名称	截流时间	设计流量	实测流量	流量比	设计流量确定方法
1	官厅	1952.12	10	5	2.00	统计分析
2	南湾	1955.04	13	5	2.60	统计分析
3	三门峡	1958.11	1 000	2 030	0.49	5 % 月平均
4	柘溪	1958.12	200	80	2.50	统计分析
5	新丰江	1959.03	860	136	6.32	
6	盐锅峡	1959.04	1 600	447	3.58	10 % 旬平均
7	桓仁	1959.12	108	90~50	1.20~2.16	5 % 11 月平均
8	丹江口	1959.12	640	310	2.06	5 % 12 月后半月最大
9	刘家峡	1960.01	220 550	210	1.05, 2.62	预报流量
10	青铜峡	1960.02	300	325~340	0.92~0.88	相当于 10 % 旬平均
11	西津	1960.10~11	1 300	594	2.19	略大于 11 月中旬 5 % 流量
12	三盛公	1961.03	500	1350	0.37	预报流量
13	映秀湾	1966.11	375	115	3.26	10 % 11 月上旬旬平均
14	富春江	1967.07	700~1 000	682	1.03~1.47	
15	龚嘴	1968.02	660	448	1.47	预报流量
16	风滩	1971.08~09	250	157~110	1.59~2.27	两次截流，第一次未成功
17	乌江渡	1971.12	200	220	0.91	10 % 12 月月平均
18	碧口	1972.09	110	105	1.05	预报流量
19	八盘峡	1972.09	500	400~930	1.25~0.54	上游水库调节
20	恶滩	1975.10	1 000	873~788	1.15~1.27	预报流量
21	天桥	1975.12	800	690~103	1.16~7.77	10 % 旬平均
22	白山	1976.10	260	118	2.20	20 % 旬平均
23	龙羊峡	1979.12	800	170	4.71	截流时间推迟一个月
24	大化	1980.10	1 500	1390	1.11	10 % 旬平均
25	葛洲坝	1981.01	5 200~7 300	4 720~4 190	1.10~1.74	统计分析加频率
26	万安一期	1984.11	877~772	297~264	2.95~2.92	11~12 月 5 % 月平均
27	岩滩	1987.11	1 900	1160	1.64	10 % 11 月中旬旬平均
28	漫湾	1987.12	798	643	1.24	5 % 12 月旬平均
29	隔河岩	1987.11	425	210	2.02	10 % 11 月月平均
30	水口	1989.09	1 620	1030~529	1.57~3.06	10 % 9 月下旬旬平均
31	李家峡	1991.10	600/300	605~295	0.99~1.02	龙羊峡水电站两台机/一台机发电下泄流量
32	五强溪	1991.11	1 600/1 400	613	2.61/2.28	前者为标书规定流量，后者为 20% 11 月下旬旬平均流量
33	二滩	1993.11	1 500~1 000	1 440~1 110	1.04~0.90	统计分析
34	天生桥一级	1994.12	473	428	1.11	10 % 12 月中旬旬平均
35	大朝山	1997.11	873	618	1.41	漫湾 2 台机组下泄流量 + 10 % 11 月上旬旬平均区间流量
36	三峡大江截流	1997.11	14 000~19 400	8 480~11 600	1.65~1.67	11 月上旬~11 月中旬时段内 5 % 最大日平均

以往的截流设计标准偏高的原因之一就是没有对风险作深入研究,只片面地强调截流不成功所带来的严重损失和影响,而没有认真衡量风险与收益之间的关系。

综上所述,可以初步得到施工截流方案的风险评价准则:**a.**当截流标准  $P=20\%$  时,  $R=20\% \sim 30\%$ ;当截流标准  $P=10\%$  时,  $R=10\% \sim 20\%$ ;**b.**风险后果可以接受。施工截流的合理风险度是指同时满足以上两个条件的风险度。凡是具有合理风险度的截流方案都是可行的,这种风险是可以处理的,例如一旦风险发生,可以采取加快围堰施工进度等工程措施来弥补;风险度在合理风险度范围之外的截流方案是不可行的,必须采取回避这种风险的处理方法,即予以放弃。

## 6 结语

1) 总结、分析了大落差、高流速型截流工程的两种合理风险率模型,提出了用实测资料法计算截流风险率的具体步骤,并初步研究了用随机性模拟法计算风险率的计算思路。

2) 工程实例计算结果表明两种模型是一致的,并初步揭示了截流风险率的一些规律:**a.**用本文定义的模型及实测资料法计算的风险率  $R$  比相应截流设计流量频率  $P$  要大一些,这可能主要是因为流量频率  $P$  仅仅是对水文流量资料的统计结果,而本文的风险率  $R$  还考虑了分流建筑物的具体型式;**b.**较大的截流设计流量不一定对应较大的风险率。其原因主要在于比截流设计流量小的实际来流量所对应的最大落差(或最大流速)不一定就比前者所对应的最大落差(或最大流速)小,这是由天然河道水位流量关系曲线以及分流建筑物的水位流量关系曲线共同决定的。

3) 从风险度的概念出发,结合截流标准和截流系统的实际情况,提出了截流方案的两个风险评价准则,即合理风险度为:**a.**当截流标准  $P=20\%$

时,  $R=20\% \sim 30\%$ ;当截流标准  $P=10\%$  时,  $R=10\% \sim 20\%$ ;**b.**风险后果可以接受。

## 参考文献

- [1] 贺昌海,胡志根,周宜红,等.立堵截流风险及其模型研究[J].武汉水利电力大学学报,1998,31(5):30~32
- [2] 中华人民共和国能源部、水利部.水利水电工程施工组织设计规范 SDJ 338-89(试行)[S].北京:水利电力出版社,1989
- [3] 贺昌海,胡志根,肖焕雄,等.基于最大落差的立堵截流风险率模型及计算[J].武汉水利电力大学学报,2000,33(1):21~23
- [4] 肖焕雄,韩采燕,唐晓阳.施工导流标准与方案优选[M].武汉:湖北科学技术出版社,1996
- [5] 卢崇飞,高惠旋,叶文虎.环境数理统计应用及程序[M].北京:高等教育出版社,1988
- [6] 周克己.水利水电工程施工组织与管理[M].北京:中国水利水电出版社,1998
- [7] 胡志根,刘全,贺昌海,等.水利水电工程施工初期导流标准多目标风险决策研究[J].中国工程科学,2001,3(8):58~63
- [8] 长江三峡大江截流工程编委会.长江三峡大江截流工程[M].北京:中国水利水电出版社,1999
- [9] 杨光煦.截流围堰堤防与施工通航[M].北京:中国水利水电出版社,1999
- [10] 王兆邦,杨爱忠,唐华.岩滩水电站快速截流和上游土石围堰施工技术[J].广西电力工程,1998(1):24~31
- [11] 张云生.漫湾水电站施工导流及截流工程简介[J].水利水电技术,1990(5):26~29
- [12] 长委施工处.隔河岩水利枢纽主要施工技术方案选择及实施[J].人民长江,1992,23(2):63~70
- [13] 赵锐侠,陈良凤,陈建德.水口水电站截流设计与实施[J].水力发电,1990(6):8~12
- [14] 二滩工程公司.二滩水电站河床截流述评[J].水力发电,1994(7):2~8
- [15] 张耀威.天生桥一级水电站围堰截流施工[J].红水河,1997,16(4):17~21

## Risk Severity Analysis of Scheme of River Closure by End Dumping

He Changhai<sup>1</sup>, Hu Zhigen<sup>1</sup>, Zhou Yihong<sup>1</sup>, Xiao Huanxiong<sup>1</sup>, Fu Zheng<sup>2</sup>, Li Dingkui<sup>2</sup>

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Chengdu Hydroelectric Investigation and Research Institute of SPC, Chengdu 610072, China)

(cont. on p.68)

## 参考文献

- [1] Hankus J. New version of criterion of winding rope contraction [J]. Archives of Mining Sciences, 1996, (4): 531~542
- [2] Zarudzki J. The optimal choice of mining hoisting process parameters [J]. Archives of Mining Sciences, 1995, (1): 134~144
- [3] 梁兆正. 矿井提升系统动力学问题及动态设计方法的研究 [D]. 北京: 中国矿业大学, 1996. 64~76
- [4] 潘英. 竖井提升机在紧急制动过程中钢丝绳的动张力 [J]. 中国矿业学院学报, 1982, (3): 52~70
- [5] 朱昌明. 电梯振动的舒适性评价方法 [J]. 建筑机械化, 1988, 66(6): 29~32
- [6] 彭佑多. 液压提升机的乘坐舒适性分析 [J]. 煤炭学报, 2001, 26(1): 87~90
- [7] 倪振华. 振荡力学 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1989. 328~359
- [8] 刘德顺. 冲击机械系统动力学理论与应用 [R]. 北京: 中国地质大学研究生院, 1998. 56~60
- [9] 刘德顺, 彭佑多, 李夕兵, 等. 冲击活塞动态反演设计与试验研究 [J]. 机械工程学报, 1998, 34(3): 82~89
- [10] 陆金甫, 关治. 偏微分方程数值解法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1985. 50~132

## Inverse Analysis and Design of the Rational Acceleration of Mine Winder Rope System

Peng Youduo<sup>1,2</sup>, Liu Deshun<sup>1</sup>, Zhu Pingyu<sup>1</sup>, Zhang Yongzhong<sup>2</sup>, Guo Yingfu<sup>1</sup>

(1. Xiangtan Polytechnic University, Xiangtan, Hunan 411201, Chian;

2. Mechanical and Electrical Engineering College of CUMT, Xuzhou, Jiangsu 221008, Chian)

**[Abstract]** The prompting acceleration of hoisting rope system determines the winders'sitting comfort and the dynamic load in hoisting rope. The over dynamic load is the main factor which leads slipping or breaking out of hoisting rope. Based on the condition that the hoisting rope. Be regarded as the continuous flexible rod, and the equation of hoisting rope system, by the characteristic lines numerical value analyzing method and taking the ride comfort of hoisting cage and the little dynamic oscillation of hoisting rope as the aim, the rational acceleration curve of rope system is brought out in this paper, and it can provide reference for further study and design of mine winders.

**[Key words]** hoisting rope system; prompting acceleration; ride comfort ableness; dynamic tensile force; inverse design

(cont. from p. 63)

**[Abstract]** According to comprehensive analysis of river closure risk, a summary of two kinds of reasonable risk variables and models characteristic of high drop and high flow velocity in river closure project are presented. This paper also puts forward the specific methods and procedures to calculate river closure risk probability by means of the data surveyed in practice and stochastic simulation method with an illustrating case study made on the data surveyed in practice. The calculation results tentatively indicate the consistency of the two models and some rules of risk probability. Based on the case study and, evaluation and treatment of river closure risk are further analyzed. A suggestion of reasonable risk severity is given that lays a basic foundation for risk decision of river closure scheme.

**[Key words]** river closure by end dumping; scheme of river closure; standard of river closure; risk probability; risk severity