

集雨灌溉规划方案灰色关联综合评价模型研究

陈克森<sup>1,2</sup>,魏桂良<sup>2</sup>

(1. 河海大学,南京 210098;2. 山东水利职业学院,山东 日照 276826)

摘 要:构建了集雨灌溉工程规划方案评价指标体系,提出了多层次灰色关联综合评价模型,对模型中的有关计算问题作了探讨。运用层次分析法合理地处理了各因子权重分配。最后通过工程实例说明了模型的应用。

关键词:集雨灌溉;规划方案;灰色关联;模型

中图分类号:S273.4;S274.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)01-0252-03

Study on Grey Synthetic Evaluation Model for  
Rainwater Collecting Irrigation Project Planning

CHEN Ke-sen<sup>1,2</sup>,WEI Gui-liang<sup>2</sup>

(1. Hohai University, Nanjing 210098, China;2. Shandong Water Polytechnic, Rizhao 276826, China)

**Abstract:** The evaluation index system of rainwater collecting irrigation project planning was set up. A grey multi-hierarchical comprehensive appraising model was put forward, and discussed the problem on calculating. The analytical hierarchy process was applied to calculate the index weights. In addition, the application of the model was explained with experimental and engineering data.

**Key words:** rainwater collecting irrigation; project planning; grey relation; model

集雨灌溉工程规划方案的评价涉及经济、技术、生态和社会等多方面因素,如何对提出的几个初选方案进行综合比较,从中挑选出相对为优的方案是决策中必然遇到的问题。本文在研究构建评价指标体系的基础上,提出的多层次灰色关联综合评价模型对此作了探索。

1 评价指标体系

在对集雨灌溉工程规划方案进行评价时,首先要构造评价指标体系,确定影响方案优劣的主要因子有哪些。指标体

系构造成功与否决定了评价效果的真实性和评价的可行性。评价集雨灌溉工程规划方案优劣程度涉及的因子很多,选取时本着以下原则:(1)代表性;(2)相对独立性;(3)可测性;(4)可比性;(5)可操作性;(6)实用性等。在全面分析的基础上,将指标体系划分为3个层次:第1层次为各方案综合评价水平(总目标层);第2层次包括经济评价、技术评价、生态评价和社会评价等4个子体系(子目标层);第3层为各子体系具体的评价指标(指标层)。指标体系层次结构如图1所示。

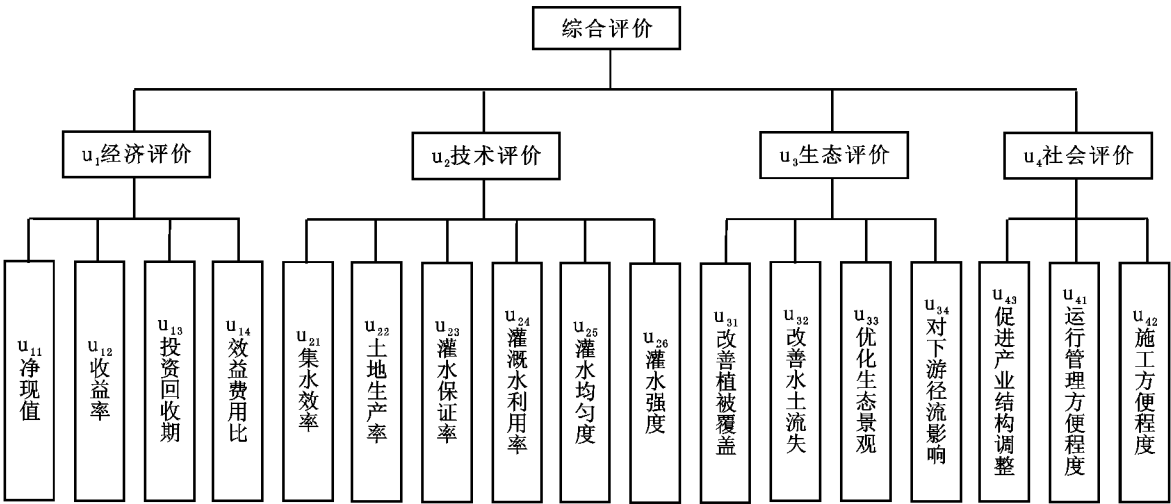


图 1 评价指标体系层次结构图

\* 收稿日期:2006-03-21

作者简介:陈克森(1963-),男,教授,山东昌邑人,主要从事水土保持、农田水利、水环境规划等方面的教学与科研工作;魏桂良(1959-),男,讲师,山东曲阜人,主要从事农田水利、水土保持、等方面的教学与科研工作。

指标体系中有 10 个因子( $U_{11}$ 、 $U_{12}$ 、 $U_{13}$ 、 $U_{14}$ 、 $U_{21}$ 、 $U_{22}$ 、 $U_{23}$ 、 $U_{24}$ 、 $U_{25}$ 、 $U_{26}$ )属定量指标,在各规划方案中已定量给出。有 4 个因子( $U_{33}$ 、 $U_{41}$ 、 $U_{42}$ 、 $U_{43}$ )只能作定性评价,有 3 个因子( $U_{31}$ 、 $U_{32}$ 、 $U_{34}$ )则需要根据各具体规划方案进行预测或通过试验获得。在指标属性方面既有越大越优型指标、也有越小越优型指标,如灌溉保证率为越大越好,而投资回收期则为越小越好。

2 灰色关联综合评价模型

在多个初选方案中的评价优选仅仅是在这些方案之间进行,因此,评价具有相对性,如对各个因子在各方案中选取其最优值则组成最优指标集。灰色系统理论中的灰关联分析法是分析系统中多因素关联程度的一种方法,它能比较出系统相关因素序列与系统特征序列的相似程度,如果将系统特征序列取为最优指标集,系统相关因素序列取为各方案的指标序列,并加入相应权重,采用灰色关联度作为测度去评价各方案与最优方案的关联程度,从而得到各方案的优劣次序,其中与最优指标集最相似的指标序列对应的方案即为最优方案。本文根据集雨灌溉规划方案评价指标体系分 3 层构建的特点,建立多层次评价模型。

2.1 灰色关联单层评价模型

数学模型:
$$B = W \times R \tag{1}$$
式中, $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ —— $n$ 个方案的综合评判结果矩阵,其中  $b_j = \sum_{i=1}^m (r_{ij} \cdot w_i)$  表示第  $j$  个方案的综合评判结果 ( $j = 1, 2, \dots, n$ )。  $b_j$  值的大小顺序,即为各待选方案的优劣排序。 $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ ——本层次中  $m$  个评价指标(因素)的权重分配矩阵,其中  $w_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 表示第  $i$  个评价指标的权重,应满足  $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ 。  $R$ ——本层次中各指标的评判矩阵,即

$$R = \{ (r_{ij})_{m \times n} \} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \tag{2}$$

式中: $r_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ ) 为第  $j$  个方案第  $i$  个评价指标与第  $i$  个最优指标的灰关联度。

2.2 灰色关联多层次评价模型

当指标体系分为不同的层次时,需要多层次综合评判。多层次综合评判是在单层次综合评判的基础上进行,其评判原理等与单层次评判相同。评判时从指标体系的最下层开始,下层评判结果构成上一层的指标特征值矩阵,逐层按单层次模型评价方法进行评判,直至最上层,以获得最终评判结果。

2.3 模型中有关计算问题

2.3.1 确定最优指标集

根据优化的模糊性与相对性概念,确定最优指标集时,对于越大越优型指标,取该指标在各方案中最大者;对越小越优型指标,取该指标在各方案中最小者。

2.3.2 指标集的规范化

设有  $n$  个方案,每个方案在所讨论指标体系层次中有  $m$  个指标特征值,则可以建立相应的指标特征值矩阵:

$$X_m \times n = \{ (x_{ij})_{m \times n} \} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \tag{3}$$

式中: $x_{ij}$  为方案  $j$  指标  $i$  的特征值,  $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

由于指标属性不同,量纲不同,并有定性指标、定量指标之分,且指标间数量差异较大,为此必须对指标特征值进行规格化处理。计算方法如下:

1) 对于越大越优型指标,取:  $y_{ij} = x_{ij} / x_{i \max}$

2) 对于越小越优型指标,取:  $y_{ij} = x_{i \max} / x_{ij}$   
由此建立规格化后的指标相对隶属度矩阵为:

$$Y_m \times n = \{ (y_{ij})_{m \times n} \} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} \tag{4}$$

式中: $y_{ij}$  为方案  $j$  指标  $i$  规格化后的特征值,  $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

容易看出,最优指标集按照此规则进行规格化处理后即为一维单位向量  $(1, 1, \dots, 1)^T$ , 个数  $m$  即为所讨论指标子体系的指标数。

2.3.3 确定指标灰色关联系数

如前所设,对  $n$  个方案,  $m$  个指标特征值,作灰色系统中的灰色关联度分析。将经规范化处理后的最优指标集  $Y_0 = (y_{10}, y_{20}, \dots, y_{m0})^T = (1, 1, \dots, 1)^T$  作为系统特征序列,将经规范化处理后的被评价指标集  $Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{mj})^T$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) 作为被比较数据列,可用下式求得第  $j$  个方案中第  $i$  个指标与第  $i$  个最优指标的关联系数  $r_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ ):

$$r_{ij} = \frac{\min_i \min_j |y_{i0} - y_{ij}| + \max_i \max_j |y_{i0} - y_{ij}|}{|y_{i0} - y_{ij}| + \max_i \max_j |y_{i0} - y_{ij}|} \tag{5}$$

在相对隶属度指标情况下,显然有:  $y_{i0} = 1, \min_i \min_j |y_{i0} - y_{ij}| = 0$ , 则式(5)变为:

$$r_{ij} = \frac{\max_i \max_j |1.0 - y_{ij}|}{|1.0 - y_{ij}| + \max_i \max_j |1.0 - y_{ij}|} \tag{6}$$

式中:为分辨系数,  $[0, 1]$ , 一般取  $\lambda = 0.5$ 。

3 确定评价因子权重

鉴于指标体系中各因子对评价结果并非具有同等影响力,即具有不同权重,必须确定各自的权重。常用的权重处理方法主要有:专家评估法(德尔菲法)、频数统计分析法、指标值法、因子分析法、相对系数法和层次分析法等,本研究采用层次分析法。

层次分析法(简称 AHP 法)是一种建立在专家咨询之上的优化方法,它是把复杂系统中的各种因素划分为相互联系的有序层次,形成多层次的的分析结构,把指标权重的赋值通过指标重要性的两两比较来实现。

3.1 构造判断矩阵

同一层次的各因素两两对比的定量评价价值构成判断矩阵。设同一层次有  $n$  个因素,判断矩阵为  $A = (a_{ij})$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ),其中  $a_{ij}$  表示因素  $i$  与因素  $j$  相比的重要程度之比,且有  $a_{ij} = 1 / a_{ji}, a_{ii} = 1$ , 即  $A$  为反对称矩阵。

因子两两对比的定量评价价值由专家按照 1~9 的比率标度赋值,1,3,5,7,9 分别表示因素  $i$  与因素  $j$  同等重要、比较重要、重要、很重要、极重要,若一个因素没有另一个因素重要,则其赋值可取为上述 1~9 的倒数,如果对分级有更高的精度要求,则可用 1~9 之间的任意实数进行内插。

3.2 计算权重

由于  $A$  为反对称矩阵,一定存在一个向量  $X$ ,使得:
$$AX = X \tag{7}$$

式中:  $\lambda$ —— $A$  的特征值;  $X$ ——特征向量,将最大特征值  $\lambda_{\max}$  所对应的特征向量归一化后即权重向量,记作  $W$ ,其分量  $w_i$  表示各因素的相对重要度,即权重。矩阵的特征向量求解方法有幂乘法、方根法和规范列平均法等。本研究采用方根法,其计算方法如下:

(1) 计算判断矩阵每一行元素的乘积  $M_i$ :

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} \tag{8}$$

(2) 计算  $M_i$  的  $n$  次方根:

$$i = M_i^{\frac{1}{n}} \tag{9}$$

(3) 计算权重  $i$ :

$$i = \frac{i}{\sum_{i=1}^n i} \tag{10}$$

3.3 一致性检验

判断矩阵的一致性可用随机一致性指标来检验。

(1) 最大特征值  $\lambda_{\max}$ :

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A \cdot i) / i \tag{11}$$

式中:  $n$  为矩阵的阶数

(2) 计算判断矩阵一致性指标  $CI$ :

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \tag{12}$$

(3) 计算判断矩阵的随机一致性比率  $CR$ :

$$CR = CI / RI \tag{13}$$

式中,  $RI$  为同阶平均随机一致性指标, 根据矩阵阶数  $n$  由表 1 查得。

表 1 平均随机一致性指标  $RI$  值

阶数 $n$	1	2	3	4	5	6	7	8
$RI$	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

(4) 若  $CR < 0.10$ , 则满足一致性要求, 否则调整判断矩阵, 直到  $CR < 0.10$  为止。

4 应用实例

潍坊市南部山丘区某集雨灌溉工程, 规划范围 152.3 hm<sup>2</sup>, 经初步规划设计, 提出了 A、B、C、D 四种备选方案, 各方案基本情况见表 2。表中定量指标值由各规划方案提供, 定性和预测性指标值由 11 名专家对各方案评分得出。

利用本文提出的灰色关联多层次评价模型作综合评价。首先对各方案指标数据作规范化处理, 计算结果见表 3。各层次中指标权重是在 11 名专家赋值建立判断矩阵的基础上, 利用层次分析法确定[公式(8)~(13)], 结果见表 3 中所列。根据公式(6)、(2)、(1)计算出第三层评判结果见表 4, 重复上面的评判过程可获得第一、二层次的评判结果, 限于篇幅, 具体计算过程从略, 评判结果在表 4 中列出。

表 2 各方案基本情况及指标属性值

类别	评价 指标	A 方案	B 方案	C 方案	D 方案	指标 性质
(U <sub>1</sub> ) 经济 评价	U <sub>11</sub> 净现值(万元)	26.4	23.1	30.6	25.8	
	U <sub>12</sub> 收益率	0.13	0.13	0.15	0.14	
	U <sub>13</sub> 投资回收期(a)	3.6	3.5	3.3	2.8	
	U <sub>14</sub> 效益费用比	1.8	1.7	2.2	2.0	
(U <sub>2</sub> ) 技术 评价	U <sub>21</sub> 集水效率/ %	65	65	30	30	
	U <sub>22</sub> 土地生产率/ %	1200	900	1100	1050	
	U <sub>23</sub> 灌水保证率/ %	75	95	95	75	
	U <sub>24</sub> 灌溉水利用率/ %	95	85	92	85	
	U <sub>25</sub> 灌水均匀度/ %	85	86	82	88	
	U <sub>26</sub> 灌水强度/(mm·h)	9.0	9.0	9.5	9.5	
(U <sub>3</sub> ) 生态 评价	U <sub>31</sub> 改善植被覆盖	0.91	0.90	0.98	0.96	
	U <sub>32</sub> 改善水土流失	0.82	0.81	0.80	0.80	
	U <sub>33</sub> 优化生态景观	0.70	0.73	0.89	0.90	
	U <sub>34</sub> 对下游径流影响	0.81	0.82	0.80	0.81	
(U <sub>4</sub> ) 社会 评价	U <sub>41</sub> 运行管理方便程度	0.70	0.80	0.90	0.80	
	U <sub>42</sub> 施工方便程度	0.70	0.85	0.90	0.85	
	U <sub>43</sub> 促进产业结构调整	1.00	1.00	0.90	0.90	

注: 方案 A: 集雨面稍作人工处理, 主要利用水窖蓄水, 塑料管道输水, 灌水采用自压滴灌。  
方案 B: 集雨面作人工处理, 利用蓄水池蓄水, 塑料管道输水, 灌水采用加压微喷灌。  
方案 C: 利用天然坡面集雨, 水窖、蓄水池蓄水, 塑料管道输水, 采用小管灌水技术。  
方案 D: 集雨面不作人工处理, 蓄水池蓄水, 塑料管道输水, 加压微喷灌水。

表 3 指标权重及各方案指标规范化数据

类别	评价 指标	A 方案	B 方案	C 方案	D 方案	最优 指标集
(U <sub>1</sub> ) 经济评价 (0.285)	U <sub>11</sub> 净现值(0.250)	0.863	0.755	1.000	0.843	1.000
	U <sub>12</sub> 收益率(0.250)	0.867	0.867	1.000	0.933	1.000
	U <sub>13</sub> 投资回收期(0.250)	0.778	0.800	0.848	1.000	1.000
	U <sub>14</sub> 效益费用比(0.250)	0.818	0.773	1.000	0.909	1.000
(U <sub>2</sub> ) 技术评价 (0.414)	U <sub>21</sub> 集水效率(0.154)	1.000	1.000	0.462	0.462	1.000
	U <sub>22</sub> 土地生产率(0.184)	1.000	0.750	0.917	0.875	1.000
	U <sub>23</sub> 灌水保证率(0.183)	0.789	1.000	1.000	0.789	1.000
	U <sub>24</sub> 灌溉水利用率(0.186)	1.000	0.895	0.968	0.895	1.000
	U <sub>25</sub> 灌水均匀度(0.151)	0.966	0.977	0.932	1.000	1.000
	U <sub>26</sub> 灌水强度(0.142)	0.947	0.947	1.000	1.000	1.000
(U <sub>3</sub> ) 生态评价 (0.177)	U <sub>31</sub> 改善植被覆盖(0.265)	0.929	0.918	1.000	0.980	1.000
	U <sub>32</sub> 改善水土流失(0.261)	1.000	0.988	0.976	0.976	1.000
	U <sub>33</sub> 优化生态景观(0.238)	0.778	0.811	0.989	1.000	1.000
	U <sub>34</sub> 对下游径流影响(0.236)	0.988	0.976	1.000	0.988	1.000
(U <sub>4</sub> ) 社会评价 (0.124)	U <sub>41</sub> 运行管理方便程度(0.462)	0.778	0.889	1.000	0.889	1.000
	U <sub>42</sub> 施工方便程度(0.249)	0.778	0.944	1.000	0.944	1.000
	U <sub>43</sub> 促进产业结构调整(0.289)	1.000	1.000	0.900	0.900	1.000

表 4 各层次综合评判结果表

层次	评价 指标	A 方案	B 方案	C 方案	D 方案
第三层	U <sub>11</sub> 净现值(0.250)	0.472	0.333	1.000	0.438
	U <sub>12</sub> 收益率(0.250)	0.479	0.479	1.000	0.646
	U <sub>13</sub> 投资回收期(0.250)	0.356	0.380	0.446	1.000
	U <sub>14</sub> 效益费用比(0.250)	0.402	0.351	1.000	0.574
	U <sub>21</sub> 集水效率(0.154)	1.000	1.000	0.333	0.333
	U <sub>22</sub> 土地生产率(0.184)	1.000	0.518	0.764	0.683
	U <sub>23</sub> 灌水保证率(0.183)	0.560	1.000	1.000	0.560
	U <sub>24</sub> 灌溉水利用率(0.186)	1.000	0.719	0.894	0.719
	U <sub>25</sub> 灌水均匀度(0.151)	0.888	0.921	0.798	1.000
	U <sub>26</sub> 灌水强度(0.142)	0.835	0.835	1.000	1.000
	U <sub>31</sub> 改善植被覆盖(0.265)	0.610	0.575	1.000	0.847
	U <sub>32</sub> 改善水土流失(0.261)	1.000	0.902	0.822	0.822
	U <sub>33</sub> 优化生态景观(0.238)	0.333	0.370	0.910	1.000
	U <sub>34</sub> 对下游径流影响(0.236)	0.902	0.822	1.000	0.902
	U <sub>41</sub> 运行管理方便程度(0.462)	0.333	0.500	1.000	0.500
	U <sub>42</sub> 施工方便程度(0.249)	0.333	0.665	1.000	0.665
第二层	U <sub>43</sub> 促进产业结构调整(0.289)	1.000	1.000	0.526	0.526
	(U <sub>1</sub> )经济评价(0.285)	0.427	0.386	0.862	0.665
	(U <sub>2</sub> )技术评价(0.414)	0.879	0.823	0.804	0.706
	(U <sub>3</sub> )生态评价(0.177)	0.715	0.670	0.932	0.890
第一层	(U <sub>4</sub> )社会评价(0.124)	0.526	0.686	0.863	0.549
	综合评价结果	0.662	0.590	0.903	0.609

从表 4 得出四个待选方案排序为: C>A>D>B, 方案 C 为最优方案。

5 结 语

本文构建了集雨灌溉工程规划方案评价指标体系, 提出了多层次灰色关联综合评价模型, 实例中运用该评价模型对四个待选方案作出的评判结果, 客观、真实地反映了各方案的优劣状况, 方案 C 具有较大优势, 评判结果可靠, 已被生产中采用。模型中运用层次分析法确定指标权重, 增强了权重分配的全局性、科学性, 可供集雨灌溉工程方案的选择以及类似问题的研究参考。  
(下转第 256 页)

将水池中的水引入洪流槽沟中,它是洪流槽沟水力条件的主要来源;二是洪流槽沟流域的清水汇集区。

3.1 洪流槽流域的洪水流量计算

根据《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》上推荐的泥石流洪水流量计算公式:

$$Q_{B1} = 0.278 \frac{S}{n} F \tag{3}$$

式中:——洪峰径流系数; $S$ ——某暴雨的雨力(mm/h); $F$ ——集水面积(km<sup>2</sup>);——流域汇流时间(h); $n$ ——暴雨公式指数。

3.2 洪流槽沟顶部清水汇集区流量计算

采用公式(3),不同设计频率条件下的洪水流量均大于涵洞的过水流量。由于涵洞的制约作用,涵洞洪水流量采用有压管中恒定流简单管道水力的计算公式:

$$Q_{B2} = \mu_c A \sqrt{2gH} \tag{4}$$

式中: $\mu_c = \frac{1}{1 + \frac{l}{d} + \dots}$ ——管道系统的流量系数;——

沿程阻力系数=0.025; $l$ ——管道长度, $l=350$  m; $d$ ——管道直径, $d=2$  m;——局部损失; $A$ ——管道断面面积; $H$ ——水头差  $H=6$  m。

根据公式(4),在不考虑管道局部损失情况下计算出的隧洞过水流量  $Q_{B2}=14.64$  m<sup>3</sup>/s,故洪流槽沟总的洪水流量为:

$$Q_B = Q_{B1} + Q_{B2} \tag{5}$$

计算结果如表 1

表 1 洪流槽沟洪水流量计算结果表

洪水流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	$p=0.2\%$	$p=1\%$	$p=2\%$	$p=5\%$	$p=10\%$
$Q_{B1}$	16.46	12.98	11.34	9.18	7.57
$Q_{B2}$	14.64	14.64	14.64	14.64	14.64
$Q_B$	31.10	27.62	25.98	23.82	22.21

按照单峰洪水考虑,根据洪水计算手册得出洪流槽沟的设计概化洪水过程线,限于篇幅,本文仅给出洪流槽沟设计概率  $p=10\%$  (10 年一遇)时的概化洪水过程线(如图 1),洪流槽沟不同设计概率时的概化洪水过程线的特征值如表 2 所示。

由表 2 洪流槽沟一定频率设计概化洪水过程线的特征数据可知:洪流槽沟洪水具有涨洪快,消退慢的特点,快速的洪水量上涨在狭窄的沟道中,必然表现为洪水位快速上涨,这使得水力增加很快,这对于泥石流启动是非常有利的。

参考文献:

[1] 张远瞩,况明生,等. 泥石流流量计算方法研究[J]. 乐山师范学院学报, 2004, 5, 19(5):107 - 109.  
[2] 沈寿长,谢修齐,等. 暴雨泥石流流量计算方法研究[J]. 中国铁道科学, 1993, 14:80 - 89.  
[3] 李彦军,刘汉超,等. 四川某电站库区泥石流的特征研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(3):194 - 197.  
[4] 康志成,张军. 泥石流洪峰流量的研究与计算[J]. 中国水土保持, 1991, (2):15 - 18.  
[5] 吴持恭. 水力学[M]. 北京:高等教育出版社,2003.

(上接第 254 页)

参考文献:

[1] 陈克森,等. 潍坊市南部山丘区水土流失治理的成效与做法[J]. 中国水土保持, 2003, (10):34 - 35.  
[2] 师彦武,康绍忠. 石羊河流域水资源开发的水土环境效应评价[J]. 中国农村水利水电, 2003, (7):68 - 71.  
[3] 梁会民,赵军. 小流域综合治理的生态经济效益评估研究[J]. 生态经济, 2001, (8):12 - 14.  
[4] 陈克森,等. 山丘区集雨灌溉高效用水模式及灌水技术研究[J]. 节水灌溉, 2005(4):40 - 42.  
[5] 蒋泽军. 模糊数学教程[M]. 北京:国防工业出版社, 2004.  
[6] 吴万铎,吴万钊. 模糊数学与计算机应用[M]. 北京:电子工业出版社, 1988.

3.3 泥石流流量计算

3.3.1 按照雨洪修正法计算泥石流流量

在公式(1)中,各参数取值:泥石流容重  $c=1.47$  t/m<sup>3</sup>, 固体物质颗粒容重  $\gamma_H=2.86$  t/m<sup>3</sup>, 泥石流堵塞系数  $D_c=1.2$ ,按轻微堵塞考虑,计算出的不同设计频率条件下的泥石流流量如表 3。

表 2 洪流槽沟设计概化洪水过程线特征值

设计概率/%	0.2	1	2	5	10
总历时/h	2.769	2.496	2.379	2.184	1.989
涨洪历时/h	0.284	0.256	0.244	0.224	0.204
消退历时/h	2.485	2.240	2.135	1.960	1.785
洪水最大流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	31.26	27.78	26.14	23.98	22.37

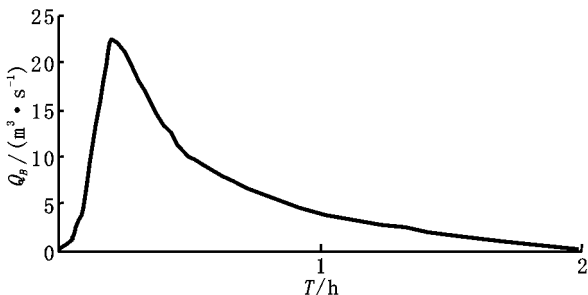


图 1 洪流槽沟设计概率  $p=10\%$  时的概化洪水过程线

表 3 按雨洪修正法计算的洪流槽泥石流流量成果表

泥石流流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	$p=0.2\%$	$p=1\%$	$p=2\%$	$p=5\%$	$p=10\%$
$Q_c/(m^3 \cdot s^{-1})$	50.19	44.60	41.97	38.50	35.92

3.3.2 按照泥痕调查法计算泥石流流量

现场选取典型沟谷断面进行测量,断面面积为 6.81 m<sup>2</sup>,该泥石流沟泥石流计算流速为 5.3 m/s,利用公式(2)计算出泥石流流量为 36.09 m<sup>3</sup>/s。

按照泥痕调查法测得的泥石流流量与雨洪修正法计算出的 10 年一遇( $p=10\%$ )的泥石流流量较为接近,这也与现场访问获得的该次泥石流是近年来规模较大的一次相一致。

4 结 论

本文所研究的泥石流沟其清水动力区分为两部分,中间通过涵洞相联结。上部清水动力区的洪水流量大于涵洞的过水流量时,由于管道的瓶颈制约作用,实际洪水流量远小于按照洪水计算手册计算获得的洪水流量,采用有压管道出流水力计算模型较好的解决了此类问题,对同类工程有一定的借鉴意义。