

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20230840

大变幅水源水位下的泵站取水方式模糊综合比选

刘富峰¹, 高宇洋², 李玲玲³, 闫黎黎³, 顾世祥³, 刘志勇²

(1. 中工武大设计集团有限公司, 湖北 武汉 430070; 2. 武汉大学动力与机械学院, 湖北 武汉 430072;
3. 云南省水利水电勘测设计研究院, 云南 昆明 650021)

摘要: 大变幅水源水位条件下的泵站取水方式对取水可靠性、工程造价和取水建筑物安全均影响较大, 合理评价不同取水方式是工程设计应重点考虑的问题之一。对此, 构建了一套由3个定量指标和14个定性指标组成的两层评价指标体系, 采用层次分析法和熵权法并基于最小二乘法原理对评价指标进行主观和客观组合赋权, 基于隶属度和模糊综合评判法进行不同取水方案的综合评价和优劣排序, 并结合具体工程进行分析。结果表明, 所提出的指标体系全面, 赋权方法合理, 评价方法更好体现了方案比选的不确定性。工程实例应用检验了该评价方法的可行性。

关键词: 大变幅水源水位; 取水方式; 组合赋权; 模糊综合评价

中图分类号: TU991.1; TV675 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)11-0204-04

1 引言

随着水资源供需矛盾的日益凸显, 供水工程的建设越来越多。在水源水位变幅较大的条件下(枯水期与洪水期的最大水位差超过6 m), 当水泵安装高程高而水源水位低时, 水泵可能因吸程较大而气蚀甚至无法抽水; 若水泵安装高程较低, 泵房高度不够时, 水源水位升高会危及泵房构筑物安全。因此, 泵站取水方式的评价和选择对取水可靠性、工程造价和取水建筑物安全均影响较大。目前, 大变幅水源水位条件下常见的取水方式有固定式泵房(包括竖井干室型和排架湿室型)、浮船式泵房、缆车式泵房、淹没式泵房和潜水泵取水。总体而言, 当前对大变幅水源水位下泵站取水方式比选的研究较为零散, 工程实践中往往是决策者或设计师根据主观意志选取某些因素进行简单比选。一方面, 评价指标选取和权重分配不尽合理, 另一方面, 评价方法也有待改进。为此, 本文在现有研究基础上, 构建更全面的大变幅水源水位下泵站取水方式评价指标体系, 以期找到更优的指标赋权方法和取水方式综合评价方法, 并通过实例应用验证了该方法的合理性。

2 研究方法

2.1 模糊综合评价法

对于多指标综合评价的不确定问题, 可采用模糊综合评价法^[1-2], 其主要步骤如下。

步骤1 确定评价指标集 F 。将评价指标分为2层。上层为 $F = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}$, 底层为 $F_i = \{F_{i1}, F_{i2}, \dots, F_{ij}\} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p)$, n 为上层指标个数, p 为上层第 i 个指标所对应的底层指标个数。

步骤2 确定评判集 V 。评判集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 由 m 个评价等级 v_j 组成, 每个等级对应一个评价模糊子集。将评价结果分为5个评价等级, 按照百分制, 分别对应 $[0, 20]$ 、 $(20, 40]$ 、 $(40, 60]$ 、 $(60, 80]$ 、 $(80, 100]$ 。

步骤3 确定各评价指标的权重。上层各指标权重为 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, 底层各指标权重为 $\bar{W}_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ip})$ 。

步骤4 构建模糊判断矩阵 \bar{R}_i 。根据构建的评判集 V 和各指标的评分规则, 确定在单一因素下各评价指标对各评价等级的隶属度, 各指标的隶属度构成判断矩阵:

收稿日期: 2023-05-23, 修回日期: 2023-06-25

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFC3000205-06); 云南省高层次人才及创新团队项目(2018HC024)

作者简介: 刘富峰(1971-), 男, 高级工程师, 研究方向为水利水电工程设计, E-mail: Liufufeng@cewud.com

通讯作者: 刘志勇(1972-), 男, 博士、副教授, 研究方向为流体机械及工程, E-mail: Liuzhy6107@whu.edu.cn

$$\bar{R}_i = F_i | V = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n1} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

步骤 5 模糊综合评价。分层进行模糊综合评价,即根据底层判断矩阵 \bar{R}_i 和权重向量 \bar{W}_i 得到该层的综合评价结果 \bar{B}_i ,作为上层指标的隶属度,从而得到上层判断矩阵 R ;将上层判断矩阵 R 和该层的权重向量 W 进行合成运算,得到上层的综合评价结果 B 。即:

$$\bar{B}_i = \bar{W}_i \cdot \bar{R}_i = (\omega_{i1}, \omega_{i2}, \dots, \omega_{ip}) \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & r_{pm} \end{bmatrix} = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}) \quad (2)$$

$$B = W \cdot R = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n) \cdot \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nm} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_m) \quad (3)$$

步骤 6 评价结果判定。采用加权平均准则判定评价结果,综合得分越高,方案越优。即:

$$S = \sum_{j=1}^m b_j S_j \quad (4)$$

式中, S 为评价对象的综合评分值; b_j 为评价对象对第 j 个评价等级的隶属度; S_j 为第 j 个评价等级区间的中间分值。

2.2 主客观组合赋权法

分别采用层次分析法^[3]和熵权法^[4]进行主、客观赋权,并将两者进行优化组合,提高指标权重的合理性。

2.2.1 主观赋权

基于层次分析法进行主观赋权的步骤如下。

步骤 1 确定层次结构。根据各影响因素的自身属性与相互关系,构建分层模型。

步骤 2 构建指标两两重要性比较的判断矩阵。对同一层次的指标 i 和 j 进行两两重要性分析,依据 1-9 标度法^[3]进行赋值,记为 A_{ij} ,构造出判断矩阵 A 为:

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

步骤 3 一致性检验。为避免出现指标重要性前后不一致的问题,需对判断矩阵 A 进行一致性检验。

步骤 4 计算权重值。采用方根法计算权重值。首先按行求取矩阵 A 各行元素的乘积并开 n 次方,得到方根 P_i :

$$P_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n A_{ij}} \quad (6)$$

然后对向量 $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)^T$ 进行归一化处理:

$$p_i = P_i / \sum_{j=1}^n P_j \quad (7)$$

即可求得指标体系权重向量 $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)^T$ 。

2.2.2 客观赋权

客观赋权常采用熵权法,其由信息熵的变化表现出指标权重的变化,计算步骤如下。

步骤 1 构建判断矩阵 X 。当有 k 个待评价方案, n 个评价指标,则各方案的各指标评分值构成判断矩阵 $X = (x_{ij})_{k \times n}$, i 为第 i 个评价方案, j 为第 j 个评价指标。

步骤 2 指标评分值的标准化。定量指标标准化过程为:①计算各指标评分值的均值 μ 与标准差 σ 。②将标准分值 $[0, 100]$ 分为 $[0, 25]$ 、 $(25, 50]$ 、 $(50, 75]$ 、 $(75, 100]$ 四个区间,按照正态分布确定 4 个区间对应的评分值,见表 1(表 1 中 μ 、 σ 分别为正态分布中的均值、方差)。③插值计

表 1 正态分布下区间划分表

Tab. 1 Interval paratition talbe under normal distribution

指标分值 与评价等 级的关系	$[0, 25]$	$(25, 50]$	$(50, 75]$	$(75, 100]$
正相关	$[\mu - 2\sigma, \mu - \sigma]$	$(\mu - \sigma, \mu]$	$(\mu, \mu + \sigma]$	$(\mu + \sigma, \mu + 2\sigma]$
负相关	$(\mu + \sigma, \mu + 2\sigma]$	$(\mu, \mu + \sigma]$	$(\mu - \sigma, \mu]$	$[\mu - 2\sigma, \mu - \sigma]$

算,将各指标的原始评分值转化为标准化分值,转化式为:

$$D = D_{\min} + \frac{D_{\max} - D_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}}(d - d_{\min}) \quad (8)$$

式中, D_{\max} 、 D_{\min} 分别为评价区间标准化分值的最大、最小值; d_{\max} 、 d_{\min} 分别为所在评价区间的评分值的最大、最小值。

定性指标的量化采用专家评分法,将定性指标的标准分值设定在 $[0, 100]$ 区间,邀请多位专家对各定性指标评分。

将原始判断矩阵 $X = (x_{ij})_{k \times n}$ 标准化后,记为 $X' = (x'_{ij})_{k \times n}$ 。

步骤 3 计算指标比重值。第 j 个评价指标在第 i 个评价方案中的比重值 p_{ij} 为:

$$p_{ij} = x'_{ij} / \sum_{i=1}^m x'_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

步骤 4 计算指标 j 的信息熵值 e_j 。计算式为:

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^k p_{ij} \ln p_{ij} \quad j=1,2,\dots,n \quad (10)$$

步骤 5 计算指标差异系数 d_j 。计算式为:

$$d_j = 1 - e_j \quad j=1,2,\dots,n \quad (11)$$

步骤 6 计算指标的权重值。计算式为:

$$\mu_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j \quad j=1,2,\dots,n \quad (12)$$

通过步骤 1~6,即可得到所有指标权重 $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)^T$ 。

2.2.3 组合赋权

根据最小二乘法原理,将主观权重值 $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)^T$ 和客观权重值 $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)^T$ 进行优化组合,得到组合权重值 $W = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$,即:

$$\begin{cases} \min f(\omega) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \{ [(p_j - \omega_j)x'_{ij}]^2 + [(\mu_j - \omega_j)x'_{ij}]^2 \} \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^n \omega_j = 1 \quad \omega_j \geq 0, j=1,2,\dots,n \end{cases} \quad (13)$$

3 实例应用

3.1 工程概况

鲁地拉水资源综合利用置换洱海供水一期工程从鲁地拉电站库内取水,取水泵站设计流量 $5 \text{ m}^3/\text{s}$,水源水位变幅 7 m ,取水点库岸陡峭,岸坡稳定,平均风速 1.8 m/s 。由于取水点场地狭窄,潜水泵站难以满足本站取水流量需求,故对竖井干室型泵房、排架湿室型泵房、缆车式泵房和浮船式泵房等 4 种取水方式进行模糊综合评价和比选。

3.2 评价指标体系构建

现有研究基础上,依据相关设计规范和标准^[5-6],结合设计经验和专家咨询意见,构建如表 2 所示两层评价指标体系,包括 3 个定量指标,即表 2 大变幅水源水位下泵站取水方式模糊综合比选指标体系

Tab. 2 Fuzzy comprehensive comparison and selection index system for pumping station water intake methods under large amplitude source water level

第 1 层指标	第 2 层指标
建设管理因素 F_1	施工难易度 F_{11} , 工期 F_{12} , 建设费用 F_{13} , 运行管理费用 F_{14}
对环境等方面的影响因素 F_2	对防洪的影响 F_{21} , 对航运的影响 F_{22} , 对环境的影响 F_{23}
泵房安全性因素 F_3	水位涨落速度 F_{31} , 水速 F_{32} , 风速 F_{33} , 漂浮物 F_{34} , 泥沙 F_{35}
对取水条件的适应性因素 F_4	近岸水深 F_{41} , 岸坡 F_{42} , 地质条件 F_{43} , 水位变幅 F_{44} , 取水水质 F_{45}

建设费用、运行管理费和工期,其他 14 个指标为定性指标。表 2 中,水位涨落速度 F_{31} 考虑该因素对取水构筑物安全性的影响,移动式取水构筑物一般要求水位变化速度不超过 2 m/h ,水位变化过快不利于浮船稳定性,也使得缆车式构筑物来不及更换联络管;岸坡 F_{42} 综合考虑取水方式对取水口的岸上边坡坡度、水下坡度、岸坡凸起、边坡稳定性、塌岸现象或拉裂现象等因素的适应性。

3.3 评价指标权重确定

3.3.1 评分值的标准化

各取水方案下 3 个定量指标的原始数据和标准化后的分值见表 3(排架湿室型方案因需采用长轴泵,机组台数较多,建设费用偏高)。由于定性指标难以直接量化,不同专家的经验不同或看问题的角度不同时,对同一评价对象的同一指标可能给出不同的评判结果,为综合考虑群体专家的意见并兼顾设计单位不同专业的关注点,对 14 个定性指标,邀请不同专业的 10 位专家进行百分制评分,取平均值作为该指标的标准分。

表 3 各取水方案下的定量指标数据

Tab. 3 Quantitative indicator data under various water intake schemes

取水方案	工期		建设费用		运行管理费用	
	原始值 /月	标准值	原始值 /万元	标准值	原始值 /($\text{万元} \cdot \text{a}^{-1}$)	标准值
竖井干室型	36	11.97	11400	56.35	1 494.73	88.81
排架湿室型	28	45.77	13 600	7.75	1 553.76	31.20
缆车式	24	62.68	11 050	64.08	1 529.54	54.84
浮船式	20	79.58	10 700	71.82	1 559.95	25.16

3.3.2 组合赋权

基于层次分析法进行主观赋权,基于熵权法进行客观赋权,然后根据最小二乘法进行组合赋权,结果见表 4。

3.4 模糊综合评价

分别对各取水方案进行模糊综合评价,以竖井干室型方案为例,具体步骤如下。

步骤 1 确定底层指标隶属度。根据各底层指标的标准化评分值,确定该方案下各指标对某一评价等级的隶属度。对定量指标,根据其评分值确定所处评价等级,隶属度为 1;对定性指标,根据多位专家的评分值在各评价等级中出现的频率,可确定该指标对不同评价等级的隶属度。

步骤 2 建立底层指标的模糊判断矩阵。以建设管理因素 F_1 为例,其对应的底层评价指标为施工难易度 F_{11} 、工期 F_{12} 、建设费用 F_{13} 和运行管理费用 F_{14} 。按照隶属度确定方法,可确定该方案下建设管理因素 F_1 所对应的 4 个底层指

表 4 评价指标赋权结果

Tab. 4 Evaluation index weighting results

第一层 指标	权重值			第二层 指标	权重值		
	主观 赋权	客观 赋权	组合 赋权		主观 赋权	客观 赋权	组合 赋权
F_1	0.520 1	0.230 9	0.369 1	F_{11}	0.308 1	0.180 5	0.252 4
				F_{12}	0.162 3	0.275 5	0.191 0
				F_{13}	0.456 6	0.191 0	0.327 7
				F_{14}	0.073 0	0.353 0	0.228 9
				F_{21}	0.258 3	0.288 9	0.273 6
F_2	0.069 0	0.160 0	0.116 0	F_{22}	0.114 2	0.393 1	0.253 6
				F_{23}	0.627 5	0.318 0	0.472 8
				F_{31}	0.470 7	0.197 8	0.334 2
F_3	0.237 5	0.301 4	0.272 4	F_{32}	0.179 7	0.230 7	0.205 2
				F_{33}	0.133 7	0.154 0	0.143 9
				F_{34}	0.131 0	0.273 2	0.202 1
				F_{35}	0.084 9	0.144 3	0.114 6
				F_{41}	0.201 7	0.161 6	0.181 6
F_4	0.173 4	0.307 7	0.242 5	F_{42}	0.162 8	0.206 7	0.184 8
				F_{43}	0.106 0	0.178 1	0.142 1
				F_{44}	0.485 8	0.240 8	0.363 2
				F_{45}	0.0437	0.212 8	0.128 3

标的模糊关系矩阵 \bar{R}_1 。

步骤 3 底层综合评价。将底层的模糊判断矩阵 \bar{R}_1 和权重向量 \bar{W}_1 进行合成运算,得到该方案下建设管理因素 F_1 的综合评价结果 \bar{B}_1 :

$$\bar{B}_1 = \bar{W}_1 \cdot \bar{R}_1 =$$

$$[0.252\ 4\ 0.191\ 0\ 0.327\ 7\ 0.228\ 9] \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$[0.191\ 0\ 0.075\ 7\ 0.504\ 4\ 0\ 0.228\ 9]$$

同理,可得该方案下其他 3 个因素的底层综合评价结果,从而组成上层模糊判断矩阵 R ,即:

$$R = (\bar{B}_1, \bar{B}_2, \bar{B}_3, \bar{B}_4)^T =$$

$$\begin{bmatrix} 0.191\ 0 & 0.075\ 7 & 0.504\ 4 & 0 & 0.228\ 9 \\ 0 & 0.082\ 1 & 0.191\ 5 & 0.472\ 8 & 0.253\ 6 \\ 0 & 0 & 0.011\ 5 & 0.103\ 4 & 0.885\ 2 \\ 0 & 0.110\ 9 & 0.522\ 0 & 0.330\ 8 & 0.036\ 3 \end{bmatrix}$$

步骤 4 上层综合评价。将上层模糊判断矩阵 R 和该层的权重向量 W 进行合成运算,即得到该方案的上层综合评价结果 B 。竖井干室型方案的模糊综合评价结果为:

$$B = W \cdot R = [0.369\ 1\ 0.116\ 0\ 0.272\ 4\ 0.242\ 5] \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.191\ 0 & 0.075\ 7 & 0.504\ 4 & 0 & 0.228\ 9 \\ 0 & 0.082\ 1 & 0.191\ 5 & 0.472\ 8 & 0.253\ 6 \\ 0 & 0 & 0.011\ 5 & 0.103\ 4 & 0.885\ 2 \\ 0 & 0.110\ 9 & 0.522\ 0 & 0.330\ 8 & 0.036\ 3 \end{bmatrix} =$$

$$(0.070\ 5\ 0.064\ 4\ 0.338\ 1\ 0.163\ 2\ 0.363\ 8)$$

3.5 不同方案的评价结果评定

排架湿室型方案、缆车式方案和浮船式方案的模糊综合评价结果见表 5。

表 5 不同方案的模糊综合评价结果汇总

Tab. 5 Fuzzy comprehensive evaluation results

of different schemes

取水方式	对评价等级的隶属度					综合 得分
	I	II	III	IV	V	
竖井干室型	0.070 5	0.064 4	0.338 1	0.163 2	0.363 8	63.709
排架湿室型	0.120 6	0.128 8	0.244 0	0.323 3	0.183 2	56.389
缆车式	0	0.011 8	0.318 2	0.581 9	0.088 1	64.926
浮船式	0	0.125 9	0.236 0	0.354 9	0.283 2	65.908

按照综合得分越高越优的原则,本工程取水方式优劣排序为浮船式泵房、缆车式泵房、竖井干室型泵房和排架湿室型泵房。目前,浮船式泵房取水方案已应用于该工程。

4 结论

本文构建的包含 3 个定量指标和 14 个定性指标的两层评价指标体系更加全面涵盖了取水方案比选的影响因素;基于主、客观赋权的优化组合赋权方法,兼顾了专家经验和客观信息,使权重分配更加合理;模糊综合评判兼顾了多因素对评价结果的影响程度和方案比选的模糊性,更加客观反映了各取水方案的优劣;工程实例应用检验了模型可行性。

参考文献:

- [1] 李雪晨,马新仿,肖凤朝,等.基于模糊综合评判的致密油储层压裂选井组合方法[J].大庆石油地质与开发,2022,41(2):147-156.
- [2] 焦娇,胡广录,李嘉楠,等.基于模糊综合评判模型的黑河中游水资源承载力评价[J].水电能源科学,2023,41(2):27-30.
- [3] 陈娟,王晓昕.基于层次分析法的农业用水水平评估[J].水电能源科学,2021,39(9):50-53.
- [4] 傅国圣,周佳楠,李云中,等.基于熵权法的里下河腹部典型区综合水质评价[J].水电能源科学,2021,39(5):79-82.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家市场监督管理总局.泵站设计标准:GB 50265-2022[S].北京:中国计划出版社,2022.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.室外给水设计标准:GB 50013-2018[S].北京:中国计划出版社,2018.

状一般不为球体。因此,未来可对漂流流模型中 Drag coefficient 和 Richardson-Zaki 系数进行对比分析,以探究其敏感性。

参考文献:

[1] PETERKA A J. The effect of entrained air on cavitation pitting [C]//Minnesota International Hydraulic Convention, ASCE, 1953:507-518.
 [2] 中华人民共和国水利部. 溢洪道设计规范: SL253-2018[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2018.
 [3] 白世禄. 三门峡水利枢纽底孔和双层孔破坏原因分析及改善措施[J]. 水利水电技术, 1988(11): 38-44.
 [4] 李文忻, 陈大为. 鲁布革水电站左岸泄洪洞水力学原型观测[C]//中国水力发电工程学会泄水工程与高速水流信息网第四届会议, 1994: 45-48.
 [5] 陈先朴, 邵东超. 掺气减蚀的小气泡保护作用及研究展望[C]//第三十届全国水动力学研讨会暨第十五届全国水动力学学术会议, 2019.
 [6] 许唯临. 高坝水力学的理论与实践[J]. 人民长江, 2020, 51(1): 166-173, 186.

[7] 陈大宏, 陈妮. 溢流堰水流的三维模拟[J]. 武汉大学学报(工学版), 2005, 38(5): 54-56.
 [8] GUO J. Recent achievements in hydraulic research in China [J]. Comprehensive renewable energy, 2012, 6: 485-505.
 [9] 董宗师, 王均星, 张文传, 等. 低 Fr 数非完全宽尾墩消能特性研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2016, 48(5): 9-15.
 [10] 周鑫宇, 邱勇, 吴锦钢, 等. 侧槽底坡变化对侧堰淹没度影响研究[J]. 中国农村水利水电, 2022(9): 44-48.
 [11] 练继建, 任盼红, 刘东明, 等. 明渠完全掺气水流水力特性数值模拟研究[J]. 水力发电学报, 2022, 41(4): 1-8.
 [12] 葛亚飞, 邱勇, 吴锦钢, 等. 格栅式底流消能工掺气浓度分布规律[J]. 农业工程, 2021, 11(12): 65-69.
 [13] 李勇泉, 蔡芳. 矩形明渠掺气水深和底掺气浓度计算公式探讨[J]. 水电能源科学, 2022, 40(7): 151-155.
 [14] FALVEY H T. Cavitation in chutes and spillways [Z]. Engineering Monograph 42, Bureau of Reclamation, Denver, 1990.

Study on Aeration Characteristics of Grid Type Underflow Energy Dissipation

GE Ya-fei^{1,2}, QIU Yong¹, HE Pei-shan³, PU Jin-bing¹, HE Yun-qiu¹

(1. College of Water Conservancy, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Baoying Station Management Office of Jiangsu Water Source Co., Ltd. on the East Line of the South to North Water Diversion Project, Yangzhou 225000, China; 3. Kunming Hongzhao Water Conservancy and Hydropower Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Kunming 650020, China)

Abstract: For underflow energy dissipation, the arrangement of the grille shortens the length of the stilling pool and makes it easier to adapt to changes in terrain conditions. The two-phase flow of water and gas in the round-bore Γ -shaped grille type stilling pool was numerically simulated by the aeration model in FLOW-3D. The results show that the concentration of longitudinal bottoming gas decreased (31.3% \rightarrow 8.0%) along the way, and decreased significantly at the grid position, the minimum number of holes in front of the grid ($\#$ 6 section) was 5.6, the number of holes near the grid was about 9.0, and the number of holes behind the grid was much greater than 9.0. The bubble size near the bottom of the grid front axis increases along the course (0.9 mm \rightarrow 8.1 mm), and the bubble size of the near bottom plate after the grid decreases along the way (1.6 mm decreases to close to 0 mm). It can be considered that the bubbles with smaller diameters in large flow velocity areas play a major role in aeration corrosion reduction, which has obvious protective effect on the solid boundary of concrete, and the structure of the stilling pool including the grid is not easy to occur cavitation erosion damage.

Key words: bubble scale; Turbulence intensity; doped corrosion reduction; energy dissipation by bottom flow; numerical simulation

 (上接第 207 页)

Fuzzy Comprehensive Comparison and Selection of Water Intake Mode of Pumping Station Under Large Variable Water Level of Water Source

LIU Fu-feng¹, GAO Yu-yang², LI Ling-ling³, YAN Li-li³, GU Shi-xiang³, LIU Zhi-yong²

(1. CEWUD Group Co., LTD., Wuhan 430070, China; 2. School of Power and Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 3. Yunnan Institute of Water & Hydropower Engineering Investigation, Design and Research, Kunming 650021, China)

Abstract: The water intake mode of pumping station under the condition of large variable water level of water source has great impact on the reliability of water intake, project cost and safety of water intake building, so the reasonable evaluation of different water intake mode is one of the key problems in engineering design. In this paper, a two-level evaluation index system consisting of 3 quantitative indicators and 14 qualitative indicators was constructed. The analytic hierarchy process (AHP), entropy weight method and least square method were used to assign the combination of subjective and objective weights. The method of membership degree and fuzzy comprehensive evaluation was used to evaluate and rank different water intake schemes, and an engineering example was analyzed. The results show that the proposed index system is comprehensive, the weighting method is reasonable, and the evaluation method can better reflect the uncertainty of the scheme selection. The practical engineering example verified the feasibility of the evaluation method.

Key words: large variable water level of water source; water intake method; combination weighting; fuzzy comprehensive evaluation