

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2012.06.008

混凝土大坝温度状态的多目标模糊综合评价

瞿立新¹,周宜红^{1,2},黄耀英²,官经伟¹,周绍武³,李金河³,陈文夫³

(1. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室,湖北 武汉 430072;

2. 三峡大学水利与环境学院,湖北 宜昌 443002; 3. 中国长江三峡集团公司,湖北 宜昌 443002)

摘要: 为了对坝体混凝土当前温控措施进行评价,结合分布式光纤测温技术,以实测数据为依据、以大坝施工技术要求为准绳,建立以周为单位的大坝混凝土温度状态评价指标体系。结合实际混凝土大坝温度控制情况,拟定等级评价标准,采用专家评分与熵权组成综合权重,运用模糊综合评价方法建立多目标模糊数学模型。将基于分布式光纤测温技术的温度状态评价应用于溪洛渡大坝混凝土现场施工,实践表明温度状态评价能较好地判断本周温控、温度状态的薄弱环节,为进行下周温控措施的调整提供依据。

关键词: 混凝土坝;温度状态评价;分布式光纤;模糊综合评价

中图分类号:TV33;TV315 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2012)06-0641-07

Multi-objective fuzzy synthetic evaluation of temperature status of concrete dam

QU Lixin¹, ZHOU Yihong^{1,2}, HUANG Yaoying²,
GONG Jingwei¹, ZHOU Shaowu³, LI Jinhe³, Chen Wenfu³

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. College of Hydraulic and Environmental Engineering, Three Gorges University, Yichang 443002, China;

3. China Three Gorges Corporation, Yichang 443002, China)

Abstract: Based on measured data and the technical requirements of a dam's construction, a weekly evaluation index system of concrete dam temperature was established using distributed optical fiber temperature measurement technology, in order to evaluate a dam's current temperature control. According to the temperature control status of the concrete dam, the evaluation criteria were classified. Based on the expert scoring method and entropy weight, a multi-objective fuzzy mathematical model was built using the fuzzy comprehensive evaluation method. The temperature evaluation system based on the distributed optical fiber temperature measurement technology was applied to the construction of Xiluodu Dam. The application results show that the evaluation system can estimate the weak link of temperature control in the present week and provide a basis for the adjustment of temperature control in the following week.

Key words: concrete dam; temperature status evaluation; distributed optical fiber; fuzzy comprehensive evaluation

在混凝土大坝施工期间,为防止混凝土出现裂缝,需要采取有效的温控措施。大坝混凝土在不利的温度荷载作用下会产生肉眼可见的宏观裂缝以及大量的内部微裂隙,从而使混凝土材料损伤劣化,影响大坝混凝土的耐久性。但是目前一些工程单位只关注宏观裂缝,不关注混凝土微观损伤,以至于放宽温控要求。大量的工程实践表明,执行合适、有效的温控措施,可以较大幅度地降低混凝土的开裂风险,尤其是大幅度降低大坝混凝土在施工阶段的损伤劣化^[1-3]。针对大体积混凝土浇筑过程采取的水管冷却措施,朱伯芳院士^[4]提

收稿日期:2011-12-13

基金项目:国家自然科学基金(51079079)

作者简介:瞿立新(1984—),男,山东菏泽人,博士研究生,主要从事水利水电工程施工管理研究。E-mail:qlx530400@sina.com

出“小温差、早冷却、缓慢冷却”的原则,将混凝土浇筑块的内部温度降至封拱温度。目前通水冷却降温过程一般为一期冷却、中期冷却、二期冷却等过程。但是施工方在进行多期通水时存在一定的盲目性,因此,如何合理评价温控措施是否到位,以及加强温控措施的执行力度,成为关键问题。

混凝土温度指标可以直观地反映温控措施是否有效,因此,拟定混凝土最高温度、不同阶段降温目标温度和降温速率等温度指标,对大坝混凝土的温度状态进行实时动态评价尤为重要。显然,对大坝混凝土温度状态进行评价是一个多目标、多层次的复杂系统问题,一般需要从混凝土入仓温度、浇筑温度、最高温度、一期降温速率、一期降温目标温度、二期降温速率、垂直向温度分布、轴向温度分布等方面构建评价指标体系,逐一进行评价,判断当前的温控、温度状态是否满足工程单位的要求。由此确定当前温控措施的薄弱环节,可以为调整温控措施提供依据。

在上述评价指标体系中,各个温度指标存在一定的相关性,而且它们之间的相关性会随时间、空间等条件的不同而不同,具有较大的模糊性,为此,笔者运用模糊综合评价法对大坝混凝土温度状态进行分析,并采用熵权修正专家评分法综合专家的主观偏好以及客观信息,为消除最大隶属度存在的不合理性^[5-6],采用评价等级范围的组中值计算获得最终的评价结果。

1 温度状态评价指标体系

大坝混凝土温控、温度状态的评价是一个多目标、多层次的复杂系统工程。评价指标的选取是否正确、全面,直接影响评价结果的合理性。指标的数量应适中,太多容易加入次要因素从而影响结果,太少会造成评价结果不全面。

笔者根据混凝土施工期从浇筑到接缝灌浆等各个阶段的不同特征,主要从浇筑过程、温度历时曲线、温度分布 3 个部分进行分析。

a. 浇筑过程。工程实践表明,浇筑过程主要关注混凝土入仓温度、浇筑温度。例如在高温季节,这 2 项指标可以直观地反映混凝土浇筑过程的温控措施是否有效。

b. 温度历时曲线。温度历时曲线部分的温度指标主要包括最高温度、一期降温目标温度、一期降温速率、二期降温速率及目标温度等。例如高温季节最高温度不能高于容许最高温度,而低温季节最高温度不能低于容许最低温度,温度过高或过低都对大坝混凝土不利。另外,二期降温速率不能过快,过快会引起较大拉应力,致使裂缝出现。

c. 温度分布。温度分布部分的温度指标主要指待灌区的轴向温度分布,以及各坝段的垂直向温度分布等。例如当坝体温度降低至接缝灌浆温度时进行接缝灌浆,但在接缝灌浆时同一灌区不同坝段的温度一般不一致,由于接缝灌浆时的温度场(或称封拱温度)是拱坝运行期承受温度荷载的基准,同一灌区不同坝段的接缝灌浆温度差异较大时,将影响拱坝运行期的温度荷载。另外,垂直向温度梯度过大也容易引起较大的拉应力,因此必须保证合适的垂直向温度分布。

综上所述,大坝混凝土温度状态评价指标体系见表 1。

表 1 大坝混凝土温度状态评价指标体系	
Table 1 Evaluation index system of temperature status of concrete dam	
温度状态评价指标体系	浇筑过程指标 { 入仓温度合格率(浇筑仓 1,2,...) 浇筑温度合格率(浇筑仓 1,2,...)
	温度历时曲线指标 { 最高温度(各仓最高温度) 一期降温速率(各仓一期降温速率) 一期降温目标温度(各仓一期降温目标温度) 二期降温速率(各仓二期降温速率)
	温度分布指标 { 过渡区垂直向 $T_{\max}-T_{\min}$ (5 号、15 号、16 号及 23 号坝段) 待灌区温度(典型坝段待灌区平均温度) 待灌区轴向 $T_{\max}-T_{\min}$ (温度最大值-最小值)

2 模糊综合评价方法

模糊综合评价法是基于模糊数学的一种定量与定性相结合评价方法。模糊综合评价能直观地描述事物的不确定性,因此,已成为目前多指标综合评价中应用最广泛的方法之一^[7-8]。模糊综合评价模型有 3 个基

本要素:评价指标集、评语集和模糊评判矩阵。

2.1 评价指标集的确定

一级评价指标集 $U=\{U_1,U_2,\cdots,U_m\}$,第 i 个指标 U_i 对应的权重系数为 θ_i ,反映各指标在综合评价中的重
要程度,其中 $0 \leq \theta_i \leq 1, \sum_{i=1}^m \theta_i = 1$ (m 为指标集维数)。二级评价指标集 $U_i=\{u_{i1},u_{i2},\cdots,u_{ik}\}$, u_{ik} 为第 i 指标的
第 k 个分项指标,由于本文二级指标为各一级指标下的平行项目,故认为分项权重相同,其权重均为 $1/k$ 。

评语集是对评价对象优劣程度的描述, $V=\{V_1,V_2,\cdots,V_n\}$, n 为评语集维数,一般情况设置 $n=4$,即分为
优、良、中、差。

2.2 评价指标的量化

为了对温度状态进行客观、合理的评价,并且在不影响结果的情况下,采用简单易行的分段函数作为各
等级的隶属函数,将各项评价内容通过隶属函数进行量化^[9-10],评价指标一般分为越小越好型、越大越好型和
适中型 3 种,而不同的指标类型对应不同的隶属度函数,具体公式参见文献[11]。

将各指标值代入相应的隶属函数,计算隶属度,即可得到对应的模糊评判矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{n1} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

(1)

2.3 权重的确定

权重需要综合主、客观因素的度量^[9],它的确定是评价结果是否准确的重要因素。权重获取方式通常
分为 3 类:主观赋权法,客观赋权法,综合赋权法。笔者采用综合赋权法,且通过专家评分法对各项指标集的
权重进行调查,获得主观权重;并针对权重集之间的差异程度,采用信息熵计算熵值作为客观权重,然后将两者
组合。显然,计算结果同时包含主、客观信息,使评判结果具有较高的准确性和实用性。

熵权理论计算熵值如下^[12-13]:

$$H_i = -K \sum_{j=1}^n (f_{ij} \ln f_{ij}) \quad (i = 1, 2, \cdots, m)$$

(2)

其中

$$0 \leq H_i \leq 1 \quad f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}$$

式中 K 为非负常数,本文取 $K=\frac{1}{\ln n}$;假定 $f_{ij}=0$ 时 $f_{ij} \ln f_{ij}=0$ 。

第 i 个指标的熵权可由式(3)得到:

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i}$$

(3)

由专家评分法确定的主观权重平均值 $\lambda=(\lambda_1,\lambda_2,\cdots,\lambda_m)$,按式(4)即可确定综合权重:

$$\theta = (\theta_1,\theta_2,\cdots,\theta_m)$$

(4)

其中

$$\theta_i = \alpha \lambda_i + (1 - \alpha) w_i \quad i = (1, 2, \cdots, m)$$

式中 α 为经验因子, $0 \leq \alpha \leq 1$ 。

θ_i 由 2 部分组成,一部分是由专家根据经验知识判断得出的代表主观的权重 λ ,另一部分是基于熵理论
的反映指标权重集差异程度的权重 w 。将 2 部分权重进行组合,即可得到综合权重。

2.4 模糊评价目标函数

综合隶属度为

$$B = \sum_{i=1}^m \theta_i r_{ij} = (b_1, b_2, \cdots, b_m)$$

(5)

综合评分为

$$F = \sum_{i=1}^n b_i z'_i$$

(6)

式中 z'_i 为评价等级区间范围的中值。

目标函数 F 越大越好,根据 F 值即可确定评价结果。

3 工程实例

溪洛渡水电站大坝位于四川省雷波县和云南省永善县接壤的金沙江峡谷段,拦河大坝为混凝土双曲拱坝,坝顶高程为610 m,最大坝高为285.5 m,大坝共有31个坝段,为达到温控防裂的目的,在混凝土浇筑仓埋设常规温度计,并且在5号、15号、16号、23号坝段埋设分布式光纤进行温度监测工作。分布式光纤测温技术一方面可以从空间区域监测混凝土大坝浇筑过程的温度场特性,另一方面可以对大坝从浇筑到蓄水的温度变化全过程进行跟踪,为大坝混凝土温控措施的及时调整提供依据,也为温度状态评价提供数据支持。溪洛渡大坝结合光纤测温的温度状态模糊综合评价流程如图1所示。

3.1 温控技术要求

中国水电顾问集团成都勘测设计研究院2009年发布的《溪洛渡水电站大坝施工技术要求(Ⅱ版)》中规定:混凝土入仓温度低温季节不超过11℃,高温季节不超过9℃;浇筑温度不超过12℃;最高温度全年全坝段均按27℃控制;一期降温目标温度分为自由区与约束区,分别为22℃和20℃;一期、二期降温阶段最大日降温速率均应小于0.5℃/d;封拱温度在不同坝段、不同高程存在差异(表2)。

3.2 评价标准

一级评价指标体系由表1中的9项内容构成,各项指标的等级范围在周温控讨论会议上由业主、监理及相关科研单位根据温控技术要求讨论给定。统计了2009—2011年光纤测温情况,由于溪洛渡工程温度控制较为严格,因此优、差的概率均取1%~2%,然后根据计算值对专家给定范围进行修正,即可确定其范围;良、中范围由专家讨论确定。等级评定标准见表3。

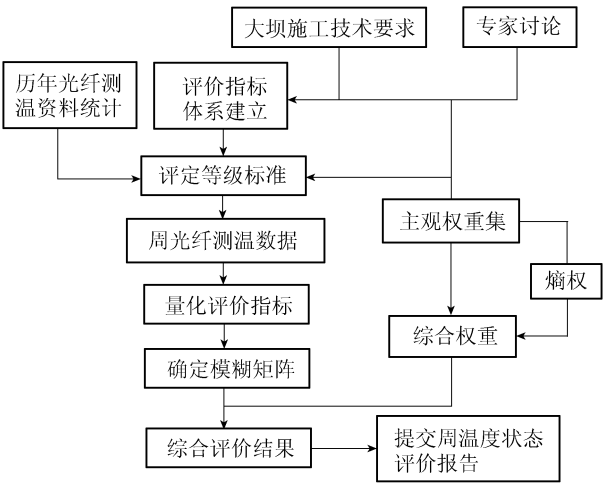


图1 溪洛渡大坝温度状态模糊综合评价流程

Fig. 1 Fuzzy comprehensive evaluation process of temperature status of Xiluodu Dam

中国水电顾问集团成都勘测设计研究院2009年发布的《溪洛渡水电站大坝施工技术要求(Ⅱ版)》中规定:混凝土入仓温度低温季节不超过11℃,高温季节不超过9℃;浇筑温度不超过12℃;最高温度全年全坝段均按27℃控制;一期降温目标温度分为自由区与约束区,分别为22℃和20℃;一期、二期降温阶段最大日降温速率均应小于0.5℃/d;封拱温度在不同坝段、不同高程存在差异(表2)。

表2 不同坝段、不同高程的封拱温度

Table 2 Temperature control of arch-closure

坝段编号	高程范围/m	封拱温度/℃
5号、23号	≤575	13.0
	575~584	14.0
	584~610	16.0
15号、16号	≤467	13.0
	467~610	12.0

表3 等级评定标准

Table 3 Grade evaluation standards

评价指标	浇筑过程合格率/%			温度历时曲线指标				温度分布		
	入仓温度	浇筑温度	最高温度/℃	一期降温		二期降温速率/(℃·d ⁻¹)		待灌区温度/℃	$T_{\max}-T_{\min}/℃$	
				速率/(℃·d ⁻¹)	目标温度/℃				过渡区垂直向	待灌区轴向
优[90,100]	[95,100]	[95,100]	[23,26)	<0.3	$[T_1-0.5, T_1+0.5]$	<0.3		$[T_c-0.2, T_c+0.2]$	<3	<0.9
良[80,90)	[90,95)	[90,95)	[26,27)	[0.3,0.5)	$[T_1-1, T_1-0.5)$ 或 $[T_1+0.5, T_1+0.8)$	[0.3,0.4)		$[T_c-0.5, T_c-0.2)$ 或 $(T_c+0.2, T_c+0.5]$	[3,3.5)	[0.9,1.2)
中[70,80)	[80,90)	[80,90)	[27,29)	[0.5,1)	$[T_1-1.5, T_1-1)$ 或 $[T_1+0.8, T_1+1)$	[0.4,0.5)		$[T_c-1, T_c-0.5)$ 或 $(T_c+0.5, T_c+1]$	[3.5,4]	[1.2,1.5]
差<70	<80	<80	≥29或<23	≥1	≥ T_1+1 或< $T_1-1.5$	≥0.5		> T_c+1 或< T_c-1	>4	>1.5

注: T_1 为一期降温目标温度, T_c 为封拱温度。

3.3 权重的计算

采用专家评分法,分别从业主、设计、监理、施工、科研 5 家单位聘请熟悉混凝土温控的专家来确定权重,5 位专家的主观权重见表 4。根据式(2)、式(3)计算熵权,且 α 取 0.5,根据式(4)计算综合权重 θ (表 5)。

表 4 专家评分获得的评价指标权重集
Table 4 Weight set by expert scoring

评分专家 编号	专家评分权重/%								
	入仓温度 合格率	浇筑温度 合格率	最高 温度	一期降温 速率	一期降温 目标温度	二期降温 速率	待灌区 温度	过渡区垂直 向温度分布	待灌区轴向 温度分布
1	5	10	30	9	6	20	10	5	5
2	6	11	22	13	8	15	11	7	7
3	4	8	25	15	8	10	13	8	9
4	5	15	16	10	9	15	16	8	6
5	6	13	18	15	6	15	13	7	7

表 5 评价指标综合权重

Table 5 Comprehensive weight of evaluation indicators %

一级评价指标	专家评分 平均权重	熵权	综合权重
入仓温度合格率	5.2	6.62	5.910
浇筑温度合格率	11.4	14.11	12.755
最高温度	22.2	15.70	18.950
一期降温速率	12.4	13.00	12.700
一期降温目标温度	7.4	8.32	7.860
二期降温速率	15.0	14.15	14.575
待灌区温度	12.6	8.23	10.415
过渡区垂直向温度分布	7.0	8.11	7.555
待灌区轴向温度分布	6.8	11.76	9.280

3.4 光纤实测数据

任意取某周内光纤测温数据(部分数据见表 6),该周内有 2 个新浇筑仓,且有 2 个仓出现最高温度;待灌区为第 12 号灌区,5 号坝段暂无待灌区;浇筑温度合格率、入仓温度合格率为溪洛渡大坝施工管理系统查询数据。

表 6 周实测数据

Table 6 Weekly measured data

入仓温度合格率/%		浇筑温度合格率/%		最高温度/℃		一期降温目标温度/℃		待灌区温度/℃		
5B16C	16B59C	5B16C	16B59C	5B15C	23B37C	16B58C	23B36C	15B	16B	23B
100	100	100	100	23.02	22.12	19.78	19.20	12.73	12.54	12.22
一期降温速率/(℃·d ⁻¹)							过渡区垂直向温度分布 $T_{\max}-T_{\min}/℃$		待灌区全坝段 轴向温度分布 $T_{\max}-T_{\min}/℃$	
5B14C	5B15C	15B62C	15B63C	16B58C	23B36C	23B37C	15B	16B	23B	
0.19	0.16	0.15	0.24	0.16	0.21	0.22	0.53	0.69	0.58	1.07
二期降温速率/(℃·d ⁻¹)										
15B41	15B42	15B43	15B	15B45	15B46	15B47	15B48	15B49	15B50	16B39
0.114	0.205	0.293	0.160	0.134	0.112	0.093	0.180	0.177	0.147	0.101
二期降温速率/(℃·d ⁻¹)										
16B40	16B41	16B42	16B43	16B44	16B45	16B56	16B47	23B14	23B15	23B16
0.086	0.157	0.139	0.101	0.059	0.126	0.081	0.141	0.024	0.071	0.050

注:5B16C 表示 5 号坝段 16 号仓。

计算其模糊评判矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0.5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.975 & 0.025 & 0 & 0 \\ 0.26 & 0.10 & 0.31 & 0.33 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.43 & 0.57 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(7)

根据式(5)(6)计算得 $F=(0.7479,0.0902,0.0324,0.1295)$,评价标准组中值为(95,85,75,35),因此综合评价得分为85.68。

从上述分析可知:

- a. 本周温度状态综合评价得分为85.68,说明本周温度状态总体为良。
- b. 本周的新浇筑仓为5号坝段16号仓和16号坝段59号仓,浇筑温度均满足要求;浇筑温度合格率为100%,本周新浇筑仓浇筑温度控制很好。
- c. 本周5号坝段15号仓、23号坝段37号仓达到最高温度,两仓的最高温度分别为23.02℃和22.12℃,其中23号坝段37号仓最高温度偏低,而最高温度控制过程中不宜降得太低,因为最高温度过低会抑制混凝土热力学性能的正常发展,使后期混凝土温度回升较大。
- d. 一期降温速率基本在0.2℃/d左右,其中15号坝段63号仓为最大降温速率(0.24℃/d);二期降温速率中15号、16号、23号坝段速率基本控制在0.2℃/d以内;本周一期平均降温速率均能满足要求,目前二期冷却进入二期一次控温阶段,温度变化幅度较小,均控制在0.2℃/d以内。说明一、二期降温较稳定且符合“小温差、早冷却、缓慢冷却”的通水冷却原则。
- e. 过渡区垂直向温度分布温差最大值为0.69℃;待灌区轴向平均温度为12.09℃,温度最大、最小值差为1.07℃,说明沿垂向、轴向温度分布较均匀,但待灌区轴向平均温度较接缝灌浆温度目标温度低1℃,其中最低温度较接缝灌浆目标温度低1.47℃。
- f. 本周16号坝段58号仓、23号坝段36号仓达到一期降温目标温度,温度分别为19.78℃和19.20℃,其中23号坝段36号仓一期降温目标温度偏低;待灌区温度项中15号、16号坝段待灌区温度均接近接缝灌浆温度,23号坝段温度较上周有所回升,但仍低于接缝灌浆温度(0.8℃左右)。
- g. 建议下周在延续本周温控措施时应密切关注新浇筑仓最高温度过低的情况,同时注意对23号坝段待灌区温度较低情况的控制。

4 结 语

- a. 对大坝混凝土温度状态进行综合评价,首先分析工程单位关心的温度控制环节,确定温度评价指标体系;然后对实测资料进行统计分析,确定温度评价指标体系的等级标准;最后通过专家评分法,对各项指标集的权重进行调查,将其作为主观权重,并针对权重集间的差异程度,采用信息熵计算其熵值作为客观权重,两者组合使评判结果具有较高的准确性和实用性。
- b. 将建立的大坝混凝土温度状态综合评价指标体系应用于溪洛渡特高拱坝的温度状态评价,实践表明,该综合评价指标可以较好地判断本周温控、温度状态的薄弱环节,为下周进行温控措施的调整提供理论依据。
- c. 由于温度评价指标体系的等级标准以及权重的确定十分复杂,随着工程实践的进行,需要不断反馈并完善温度评价指标体系。

参考文献:

[1] 郑守仁. 三峡大坝混凝土设计及温控防裂技术突破[J]. 水利水电科技进展, 2009,29(5):46-53. (ZHENG Shouren. Innovations in concrete design, temperature control and anti-cracking techniques for concrete construction of Three Gorges Dam [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009, 29(5):46-53. (in Chinese))

[2] 陈彦玉, 黄达海. 大型渡槽温控防裂技术及发展趋势[J]. 水利水电科技进展, 2010,30(5):65-68. (CHEN Yanyu, HUANG Dahai. Techniques and development trends of temperature control and crack prevention of large-scale concrete aqueducts[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2010,30(5):65-68. (in Chinese))

[3] 牛万吉, 王建平, 罗清萍, 等. 严寒干旱地区 RCC 重力坝的保温防裂措施[J]. 水利水电科技进展, 2009,29(1):44-46. (NIU Wanji, WANG Jianping, LUO Qingping, et al. Research on the heat preservation and crack-prevention measures for RCC gravity dam in severely cold and dry area[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009,29(1):44-46. (in Chinese))

[4] 朱伯芳. 混凝土坝理论与技术新进展[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.

[5] 熊德国, 鲜学福. 模糊综合评价方法的改进[J]. 重庆大学学报, 2003, 26(6):93-95. (XIONG Deguo, XIAN Xuefu.

Improvement of fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Journal of Chongqing University, 2003, 26(6):93-95. (in Chinese))

[6] 孙远斌,高怡,石亚东,等. 太湖流域水资源承载能力模糊综合评价[J]. 水资源保护, 2011,27(1):20-23. (SUN Yuanbin, GAO Yi, SHI Yadong, et al. Fuzzy assessment of water resources carrying capacity in Taihu Basin[J]. Water Resources Protection, 2011,27(1):20-23. (in Chinese))

[7] 秦寿康. 综合评价原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社,2003.

[8] 丛培栋. 基于模糊评价法的供应链风险评价算法改进研究[D]. 苏州:苏州大学, 2009.

[9] 钟登华,练继亮,吴康新. 高混凝土坝施工仿真与实时控制[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2008.

[10] 郑付刚,游强强. 基于安全监测系统的大坝安全多层次模糊综合评判方法[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2011,39(4):407-414. (ZHENG Fugang, YOU Qiangqiang. Multi-level fuzzy comprehensive dam safety evaluation method based on dam safety monitoring systems[J]. Journal of Hohai University:Natural Sciences, 2011,39(4):407-414. (in Chinese))

[11] 李重用. 水利水电工程施工质量评价方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2009.

[12] 黄曼丽,朱凌,尹华,等. 基于熵权的多目标综合评价方法在水利工程中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2008(12):99-102. (HUANG Manli, ZHU Ling, YIN Hua, et al. Application of the multi-objective comprehensive evaluation method based on entropy weight to hydroelectric projects[J]. China Rural Water and Hydropower,2008(12):99-102. (in Chinese))

[13] 罗伟,胡志根,彭文怀,等. 基于熵权的碾压混凝土坝施工方案多目标决策[J]. 武汉大学学报:工学版, 2009, 42(2):201-204. (LUO Wei, HU Zhigen, PENG Wenhui, et al. Construction plan of roller compacted concrete dam based on entropy weight multi-objective decision[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2009, 42(2):201-204. (in Chinese))

+++++

美国爱荷华州立大学岩土工程学科首席教授楚剑到河海大学访问交流

近日,美国爱荷华州立大学岩土工程学科首席教授楚剑应邀到河海大学访问交流。访问期间,楚剑教授参加了在河海大学举行的国家标准《吹填土地基处理技术规范》编制组工作会议,为新的国家标准编制提供了国际化的视野,对新标准的编制内容提出了意见和建议。他还为河海大学师生做了题为“Soil Improvement using bacteria”和“SCI 科技论文写作方法”两个学术报告,详细介绍了国际前沿的细菌土地基处理方法的研究成果,并分享了如何撰写高质量SCI 科技论文的经验。楚剑教授曾担任新加坡南洋理工大学基础设施系统中心主任,多国岩土灾害防御与修复联合工作组织(JWG-DMR)主席,国际土力学与岩土工程学会 TC39 委员会主席,在岩土工程基本特性特别是土壤加固领域享誉国际,2005 年受聘为“河海学者”特聘教授。

(本刊编辑部供稿)