

# 施工方案优选方法的探讨\*

李艳玲, 王民寿, 杨兴国, 华国春

(四川大学水利水电工程学院, 四川 成都 610065)

**摘要:** 施工方案优选涉及的因素较多, 决策者应从系统的观点出发, 综合考虑各种因素进行比选。模糊层次综合评价和灰色关联分析应用于方案优选均能取得较好效果。通过对这两种方法的分析、对比, 揭示了两者的异同, 并在此基础上阐明了两者的适用范围及在实际应用中应注意的相关问题。

**关键词:** 施工方案; 优选; 模糊层次综合评价; 灰色关联分析

**中图分类号:** TV 511; TV 52

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2000)03-0080-03

## 1 前言

随着社会的进步, 科技的发展, 新的施工机械及施工工艺不断涌现, 施工单位能够选择更为合理的施工方案, 以提高施工进度, 确保施工质量, 同时也面临这样一个问题: 如何合理配置机械设备并优化施工顺序, 即如何优选最佳施工方案以达到施工便捷、技术可行、经济合理的要求。最初的方案优选多依赖于决策者的工作经验, 一般是决策者在充分了解、掌握工程资料的基础上, 广泛听取各方面、各层次的意见, 结合施工单位的实际情况(如施工队伍的素质、施工机械设备的占有情况、施工经费等)并参照同类工程的施工情况, 最后根据在已建工程中积累的经验进行方案优选。这种依赖于经验的方案优选往往带有较大的主观任意性, 不同的决策者由于其偏好不同可能导致不同的方案决策, 同时, 随着可行施工方案的增多, 决策者面临的困难将更大, 决策准确度也将大大降低。随着市场经济的引入及动态经济分析方法的广泛使用, 施工单位往往根据费用最省的原则来优选方案, 而在经济、科技不断发展进步的今天, 施工条件、施工安全、施工质量等多方面因素越来越得到社会的重视并不断变成不容忽视的重要因素, 因此, 单一的费用优选法亦不能很好地适应实际工程的需要。模糊层次综合评价和灰色关联分析是近期发展起来的技术方法, 两者均能综合考虑各种因素以进行方案优选。笔者分析了两者在各方面的差异, 在对比的基础上提出两者的适用范围, 并结合工程实例阐述两者在实际运用中应注意的问题。

## 2 模糊层次综合评价和灰色关联分析

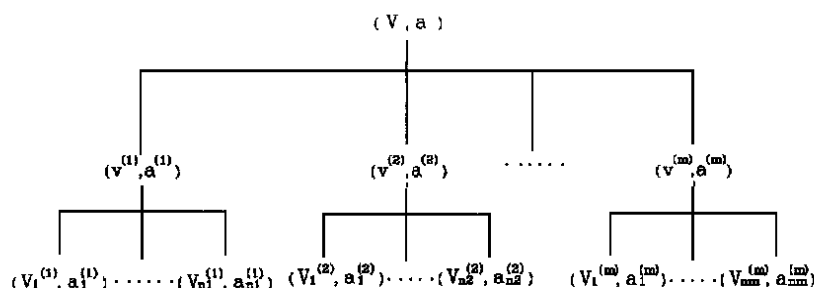
### 2.1 理论基础

模糊层次综合评价以模糊数学、层次分析理论、数理统计理论、计算机技术为理论基础, 它的基本思路是在结合工程实际, 广泛听取专家意见的基础上, 建立完整合理的层次结构图, 见图1。再分析各评价指标在整个评价系统中所占的权重, 最后求解出各方案对应的总评判值并以此确定方案的优劣序。模糊层次综合评价涉及赋权的问题。权重的计算方法很多, 如德尔菲法、区间打分法、“0-2”标度法、定性排序定量转换法等。决策者可根据实际情况(对某方法的熟悉程度、实施某方法的难易程度等)自行选择。建立完整合理的层次评价图是保证决策正确的前提条件。决策者在建立层次评价图时, 应首先充分熟悉并掌握工程资料, 广泛听取意见, 同时, 在听取意见后又可进一步修正、完善评价指标, 以确保决策的客观可靠性。

灰色关联分析是灰色系统理论的重要内容, 是我国学者邓聚龙教授80年代初正式发表的一新型理论。它是根据因素之间发展态势的相似或相异程度来衡量因素间关联程度的一种方法, 它依据关联度的大小来排列方案优劣序。灰色关联分析不涉及赋权的问题, 也不涉及层次结构图, 这样, 虽能减少很多工作量, 但不便于决策者在了解各评价指标层次隶属关系的基础上, 根据不同工程的实际情况赋予评价指标的不同权重, 亦即反映不同评价指标在实际工程施工方案决策中的重要性程度。因此, 模糊层次综合评价较灰色关联分析更能充分体现实际工程的具体特点, 并能有效地防止决策的不全面性。

### 2.2 评价指标的处理方式

施工方案优选涉及的因素较多, 为保证决策的正确性, 不仅应考虑一些可量化的“经济因素”——即各项工程费用, 也应考虑一些无法用货币单位计量的“非经济因素”, 诸如施工经验、施工安全性、施



注：图中 V 表示评价指标，a 表示权重

图1 综合评价层次结构图

工围岩稳定情况等等，后者往往包含一些模糊的、不确定性的因素，只能考虑为定性指标。这样，施工方案优选决策就涉及定量指标与定性指标的综合评价问题，模糊层次综合评价和灰色关联分析均能较好地实现定量与定性的结合，但处理方式有较大差异。模糊层次综合评价采用将定量指标模糊化的处理方式实现综合评价，而灰色关联分析则采用将灰量进行白化处理的方式。

模糊层次综合评价通过对评价指标的不同模糊子集构造方式以实现定性指标与定量指标的结合：

(1) 定性指标采用“语言化评判方法”构造模糊子集，即先根据实际情况选取适合的  $n$  级评语集合（一般为 7 级或 5 级），再聘请若干专家就不同方案对评价指标作出评判，根据评判结果并做适当的统计工作则可得方案各评判指标的模糊子集。例如：10 名专家进行评判，有 5 人认为很多，3 人认为多，2 人认为较多而无其它任何评判，则构造的模糊子集为  $(5/10, 3/10, 2/10, 0, 0, 0, 0)$ 。(2) 定量指标采用模糊化处理法构造模糊子集。选取  $n$  级定量分级标准  $(\mu_{i1}, \mu_{i2}, \mu_{i3}, \dots, \mu_{in})$ ，一般定量、定性指标采用相同的级数，定义模糊子集  $R$  为：

$$R_i = (0, \dots, 0, \underset{\text{第 } L \text{ 个分量}}{x}, \underset{\text{第 } L+1 \text{ 分量}}{1-x}, 0, \dots, 0)$$

设  $W_i$  是某方案的指标值，上式中  $L$  的选择应使  $W_i$  正好介于  $\mu_{iL}$  与  $\mu_{iL+1}$  之间，并且  $x$  满足方程：

$$\mu_{iL}x + \mu_{iL+1}(1-x) = W_i$$

灰色关联分析通过对定性指标的量化处理，使定性、定量指标具有可比性。定性指标的量化处理一般通过求解灰量白化权函数来实现，白化权函数的求解可依据如下 4 条：

(1) 若  $F(x)$  为  $x$  的单调函数且满足  $x$  为灰量， $F(x)$  介于 0, 1 之间，则称  $F(x)$  为灰量的白化权函数。

(2) 令  $n$  为灰量的等级，或区间灰数的个数，记  $F(x) = 1$  为  $F_{\max}$ ，即  $F_{\max} = 1$ ，若灰量的第  $i$  级记为  $x(i)$ ，当取  $x(i) = F_{\max}$  时，称灰量的命题是第  $i$  级

$x(i)$  权最大，记命题为  $A$ ，则“ $i$  级  $x(i)$  权最大”的命题可以记为  $A(x(i)/F_{\max})$ 。

(3) 若灰量有  $n$  个等级  $x(1), \dots, x(n)$  且命题为：

$$A(x(n)/F_{\max})$$

记  $f$  为映射  $f: x(k) \rightarrow \mu_{ik}$

$$\text{若} \begin{cases} f(x(n)) = 1 \\ f(x(k)) = k/n = \mu_{ik}, \quad k = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

则称灰量白化权函数是线性的。

(4) 在没有补充其它信息之前，一般认为灰量白化权函数是线性的。

### 3 数学模型

模糊层次综合评价根据总评判值的大小来排列方案优劣序，总评判值越大则方案越优，它所依据的数学公式主要有：

单指标评判值计算公式

$$W_j^{(i)} = \sum_{k=1}^n (8-k) r_{jk}^{(i)}$$

式中  $n$  为分级标准的级数， $r_{jk}^{(i)}$  为模糊子集。

综合指标评判值计算公式

$$W^{(i)} = \sum_{j=1}^m a_j^{(i)} W_j^{(i)}$$

式中  $m$  为层次评价图中  $i$  模块的评价指标数； $a_j^{(i)}$  为评价指标权重。

总评判值计算公式

$$W(x) = \sum_{i=1}^z a_j^{(i)} W_j^{(i)}$$

式中  $x$  为比选方案数； $z$  为层次评价图中的模块数。

灰色关联分析根据关联度的大小排列方案优劣序，关联度越大则方案越优，它依据的数学公式主要有：

$$\xi_i(k) =$$

$$\frac{\rho \min_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{\min_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \min_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}$$

$$r_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i(k)$$

式中  $|x_0(k) - x_i(k)|$  为第  $k$  点  $x_0$  与  $x_i$  的绝对差;  
 $\max_k |x_0(k) - x_i(k)|$  为两级最大差;  
 $\xi_i(k)$  为关联系数;  $r_i$  为关联度;  
 $N$  为评价指标数;  $\rho$  为分辨系数, 一般取 0.5。

#### 4 计算工作量

模糊层次综合评价包括评价层次图的建立, 其决策前的准备工作量较灰色关联分析大, 而且它所涉及的数学公式较多, 仅是权重的计算就较为复杂, 而灰色关联分析则只涉及关联度的求解问题, 因此, 模糊层次综合评价决策工作量远较灰色关联分析大。在计算机技术广泛应用的今天, 计算工作量的大小在评价决策方法优劣中不占主导地位。笔者曾对两者进行计算机编程, 模糊层次综合评价包括一个主程序和 6 个子程序, 而灰色关联分析仅需一个主程序即可, 但通过计算机将两者用于方案决策中的方便程度和耗用时间则相差不多。

#### 5 适用范围

灰色关联分析不涉及赋权的问题, 而对不同的施工工程, 同一评价指标在方案决策中的重要程度可能有较大差异。例如, 对于大坝施工方案中施工工期这一评价指标, 如果大坝的施工工期在整个水电站建设中起控制作用, 则其方案优选时赋予施工工期这一评价指标的权重就远大于大坝施工工期不起控制作用时方案优选的施工工期权重值。模糊层次综合评价能通过赋权这一过程, 充分体现实际工程的具体特点, 而灰色关联分析在评价时视每一评价指标的重要性相同, 这是不太切合实际的。同时, 两者均涉及定性指标评判的问题, 亦即涉及专家组打分的问题。模糊层次综合评价中, 对定性指标的描述采用  $n$  级标准(一般为五级或七级), 专家组在评判时面临的困难较小, 评判结果也更接近客观值; 而灰色关联分析对定性指标的描述比较单一, 仅采用一级评语, 这在增加专家评判难度的同时, 也降低了评判结果的客观性。模糊层次综合评价较灰色关联分析更为充分地反映了专家组的意见, 体现出专家群体智慧在决策中的作用。总之, 模糊层次综合评价无论从理论基础还是操作步骤都较灰色关联分析更周全、严密, 其决策结果更客观真实, 因此, 施工方案的最终决策一般采用模糊层次综合评价, 而灰色关联分析具有计算量较小, 决策准备前期工作少等优点, 故对方案初选或精度要求不高的决策可采用。同时, 灰色关联分析可用于与模糊层次综合评价对比, 以保证决策方案更合理。

#### 6 实例

笔者曾将模糊层次综合评价和灰色关联分析运用于某地下厂房超大型地下洞室群合理施工方案优选的 4 种方案比选中, 层次评价图中拟定了主要施工费用、施工工期、施工条件、施工围岩稳定 4 个模块, 下设 18 项定量指标和 9 项定性指标, 而灰色关联分析则选用了同层的 6 项定量指标, 9 项定性指标, 评价结果合理且有较好的可比性。

限于篇幅, 不单列具体的评价指标及指标值, 仅将计算结果列于表 1 和表 2。

表 1 灰色关联分析关联度值一览表

方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
关联度	0.905 7	0.884 4	0.933 8	0.940 0

表 2 模糊层次综合评价各方案评判值一览表

名 称	方 案			
	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
施工费用模块综合评判值	4.106 4	4.047 4	3.894 1	3.889 5
施工工期模块综合评判值	3.600 0	3.600 0	3.900 0	4.200 0
施工条件模块综合评判值	4.868 9	4.892 3	4.994 0	5.393 9
围岩稳定模块综合评判值	3.597 4	4.164 7	4.641 7	4.641 7
总评判值	3.860 4	3.936 7	4.120 2	4.297 2

从表 1 可知, 方案排序为方案 4、方案 3、方案 1、方案 2。从表 2 可知, 方案排序为方案 4、方案 3、方案 2、方案 1, 亦即两者决策结果较吻合, 决策方案均为方案 4。同时, 从表 2 还可看出, 若仅从一个角度来优选方案则决策结果将是不稳定的: 仅从费用最省的角度来优选方案则为方案 1; 仅从工期最短的角度来优选方案则为方案 4。因此, 只有综合考虑各种因素, 才可能优选出技术可行、施工便捷、经济合理的最优方案。

#### 7 结 语

模糊层次综合评价和灰色关联分析运用于施工方案优选均能取得理想效果, 结合工程实际, 对两者的实际运用提出几点建议:

(1) 依靠经验法或仅从经济的角度来优选施工方案是不合理的, 可能使问题失真、决策失误, 模糊层次综合评价和灰色关联分析能综合考虑多方面因素, 较好地实现定量与定性的结合, 不失为施工方案决策的理想方法。

(2) 灰色关联分析具有计算简单的优点, 可将其运用于方案初选中。模糊层次综合评价涉及的因素较多, 计算过程较复杂, 因此, 它一般用于 4~5 种方案比较合理; 若可行方案较多, 可采用灰色关联分析进行方案初选, 优选出 4~5 种方案, 再用模糊层次综合评价进行最终方案决策。这样, 不仅能有效地提高工作效率, 同时也不会降低决策的可靠性。

(3) 在方案综合决策时, 利用计算机编程计算, (下转第 85 页)



站每次发送的水文数据量较少,且要求在较短的时间内将所有遥测站的数据收集到中心站,一般不超过 20 min。因此,水情测报系统暂不考虑该通信方式。数据报告方式适用于传送数据量较小,但速度要求较快的系统,其通信费用较信文方式低。故在水情测报系统中采用该通信方式。

### 2.3 短波通信

短波通信主要是以电离层的反射进行通信,对于地形复杂、测站距离较远的测报系统,可直接跨越,不需设中继站。短波通信的优点是传输距离远,受地形限制少,建设较快,抗破坏能力强,价格便宜;其缺点是:由于短波信道是一种“变参”信道,受电离层的影响,电路质量和稳定性都较差,需采用一定的技术措施才能使用。同时,在遥测站数目较多时,系统的响应速度难以满足该通信方式要求。该通信方式适宜于地形复杂、遥测站距离远、遥测站数目较少的水情自动测报系统。

### 3 二滩电站水情自动测报系统通信方式的选择

二滩电站装机容量 330 万 kW,位于雅砻江下游,距河口 33 km,控制集水面积 116 400 km<sup>2</sup>,是我国已建的、仅次于三峡工程的大型水电站。其水情自动测报系统由一个中心站和若干个水位、水文、雨量遥测站组成。

二滩电站水情自动测报系统的设计分为施工期和运行期。在施工期间,针对系统站点较少、流域内山高坡陡、交通不便的地形特点,以及当时卫星通信

方式条件不成熟的情况,选择了短波通信方式,并为改善短波通信的通信质量,进行了一年时间的现场自动数传试验,采用了前向纠错(FEC)、自动反馈纠错(ARQ)来改善通信质量,取得了较好的效果。同时,采取了定时自动开机、自动或遥控关机来降低短波通信的功耗,为设备采用太阳能供电(现场无交流电或交流电不可靠)创造了条件。

在二滩电站运行期通信方式选择时,充分考虑了站网的布设情况和实际地形地点,在近坝区,选择了较为可靠成熟的超短波通信方式,通过两级组网完成近坝区水情站点的数据收集;对于较远的站点,选择了卫星通信方式。

### 4 结 语

综上所述,水情自动测报系统可用的通信方式较多,每一种通信方式各有其优缺点,在工程实际运用时,应充分利用各通信方式的优势,扬长避短。对于流域面积较大、站点较多的水情自动测报系统,可根据实际地形情况采用超短波、卫星混合组网:如近坝区采用超短波通信,远端站采用卫星通信等组网方式。同时,可根据需要设置短波通信作为关键水文站点的备用应急通信手段。对于中小型系统,可根据流域特点、地形条件,对上述各种通信方式进行综合比较后选择确定。

#### 作者简介:

段成红(1968 年-),女,四川成都人,国家电力公司成都勘测设计研究院机电处工程师,学士,从事通信设计工作。

(上接第 82 页)

不仅可缩短决策时间,也可避免人工计算的精度误差。

(4) 不论在模糊层次综合评价中,还是在灰色关联分析中,都涉及专家组对定性指标评判打分的问题,因此,专家组成员的选择将直接影响到评价结果的准确性,在选择专家组成员时,不仅应保证数量(理论上,专家组成员数趋于无穷,则评判结果是客观评判值),还应注意成员的年龄组合和知识结构。

(5) 在方案综合决策中,一些参数是由人主观确定的,带有一定的偏好性,可能含有不准确的成分,应进行灵敏度分析,对一些敏感参数进一步谨慎准确地进行参数估计,以保证决策的稳定、可靠。灵敏度分析的方法可参阅文献[5]。

#### 参考文献:

[1] 史海珊,何似龙.水电工程建设系统综合评判方法[M].北京:

水利电力出版社,1994.

- [2] 邓聚龙.灰色系统理论教程[M].武汉:华中理工大学出版社,1992.
- [3] 邓聚龙.灰色预测与决策[M].武汉:华中理工大学出版社,1988.
- [4] 陈伯成,王友平.对层次分析法的认识[J].管理工程学报,1997,11(3).
- [5] 左军.多目标决策中灵敏度分析的方法探讨[J].系统工程理论与实践,1987(7).

#### 作者简介:

李艳玲(1975 年-),女,四川蒲江人,四川大学水利水电工程学院水工教研室教师,硕士,从事水电工程施工教学与科研工作;  
王民寿(1936 年-),男,四川成都人,四川大学水利水电工程学院教授,从事水电工程水工和施工专业教学和科研工作;  
杨兴国(1969 年-),男,云南昭通人,四川大学水利水电工程学院党委副书记,硕士,从事水电工程施工技术研究与管理工作;  
华国春(1972 年-),男,江苏宜兴人,四川大学水利水电工程学院水工教研室教师,硕士,从事水资源利用研究与管理工作。

**启事:** 本刊 2000 年增刊第 109 页简讯中,导流明渠工程应为水电五局中标。特此更正。

## ABSTRACT

### Excavation of Headrace Tunnels at Tianshengqiao Hydropower Station

DA I Bo WU Xu

(Chinese 7<sup>th</sup> Construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Pixian, Sichuan, 611730, China)

**Abstract:** Construction procedure and method during excavation of headrace tunnels at Tianshengqiao Hydropower Station are presented. Under the conditions of small distance between tunnel axis (net distance between tunnels is 12.4m), thin overlying strata, weak rock and developed discontinuity, new Austrian tunneling method (NA TM) is strictly applied and alternate bay excavation is used for tunnels to ensure safety in tunnel construction.

**Key words:** Tianshengqiao Hydropower Station; headrace tunnel; excavations; safety

### Optimization of Construction Technique Alternative for Dayuandu Hydropower Project

ZHANG Jianwen

(Chinese 7<sup>th</sup> Construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Pixian, Sichuan, 611730, China)

**Abstract:** Dayuandu hydropower project is located on Xiangjiang River and is a key project of the State. During construction, joint venture of Chinese 7<sup>th</sup> and 9<sup>th</sup> Construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering works together with the Designer, the Supervisor and the Owner. Based on actual project conditions, construction technique alternatives are continuously optimized. New techniques are boldly applied to ensure construction quality and accelerate project progress. The first unit is commissioned into operation ahead of time and the whole project is completed ahead of schedule.

**Key words:** Dayuandu project; construction alternative; optimization

### Temperature Control for Ground Concrete Placement at Permanent Lock of Three Gorges Project during Summer Construction

WEN Jia-hai LU Wei-gang BA I Yong-sheng

(Three Gorges Project Headquarters, Chinese 7<sup>th</sup> Construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Yichang, Hubei, 443133, China)

**Abstract:** The paper presents various temperature control measures taken in ground concrete placement at permanent lock of Three Gorges Project during summer construction of 1999. Practice shows that with proper temperature control measures, abundant placement of concrete in foundation constrict area and mass concrete in hot summer time not only meets requirements of concrete temperature control, but also effectively reduced construction period.

**Key words:** Three Gorges Project; lock; concrete; temperature control measures

### Construction of Pre-stressed Anchor Cable for Low Barrage Pier of Release Sluice at Dayuandu Hydropower Project on the Xiangjiang River

MA Bang-kai LUO Jian-lin LI Mei-liang

(China 7<sup>th</sup> construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Pixian, Sichuan, 611730, China)

**Abstract:** In design of low barrage pier of release sluice at Dayuandu hydropower project, 4800 kN pre-stressed anchor cable is used to change stress state in bracket and before bracket. According to construction conditions, construction technique of pre-stressed anchor cable in pier and some problems for attention in construction are presented.

**Key words:** Dayuandu project; pier; pre-stressed anchor cable

### On Importance for Construction of Pubugou Hydropower Station From View of Implementation of Interconnection of Networks and West-to-East Power Transmission Project

HE Yi-hua

(Gongzui General Hydropower Plant, Leshan, Sichuan, 614900, China)

**Abstract:** The development of Pubugou hydropower station should be accelerated in needs of development in west region in China. One of eight economical works in this year is to seize the chance and start implementing development in west region, which is made by the Central Government. Construction of Pubugou hydropower station will provide powerful energy supply for economy in the southwest region and create favorable conditions for implementation of interconnection of networks in China and West-to-East Power Transmission Project.

**Key words:** Pubugou hydropower station; development in west region; strategy selection

### Application of Cohesionless Prestressed Concrete in Desilting Tunnel at Xiaolangdi Project

SHAO Guang-jun

(1. Chinese 7<sup>th</sup> Construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Pixian, Sichuan, 611730, China)

**Abstract:** Cohesionless prestressed construction with steel strand cable which make two circuits circumferentially is carried out firstly in three desilting tunnels at Xiaolangdi Project. The method is different from conventional construction method in technical process easy operation. After test on two blocks, the contractor (CGIC) gains a technical process with workability by stimulating in-situ construction. The technical process is improved during construction to be a well considered construction method. The construction of three desilting tunnels and application of cohesionless prestress concrete are presented.

**Key words:** cohesionless prestress; make two circuits circumferentially; construction technique; tension in lower part

### Discussion on Optimized Method for Construction Alternative

LI Yan-ling WANG Min-shou YANG Xing-guo HUA Guo-chun

(Water Conservancy and Hydropower College, Sichuan University, Chengdu, Sichuan, 610065, China)

**Abstract:** Optimization of construction alternatives involves many factors. Decision maker should make comparison by taking various factors into consideration and from systematical point of view. Better results are obtained by applying comprehensive evaluation of fuzzy stratification and grey correlation analysis. Similarities and differences of the two methods are analyzed and compared. Then, the applied fields and problems for attention in practical use are presented.

**Key words:** construction alternatives; optimization; fuzzy stratification evaluation; grey correlation analysis