

基于多层次模糊综合优选找矿远景区

左仁广

(中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室,武汉 430074)

[摘要] 找矿远景区优选是矿产预测评价中的重要研究内容之一。文章利用多层次模糊综合评价的方法优选西藏冈底斯斑岩铜矿找矿远景区。实践结果表明:该方法不仅能够比较全面地考虑各种因素的影响及其相互作用,实现优选找矿远景区的合理、定量分析,并能在一定程度上反映出影响找矿远景区优选的关键因素,减少了人为主观因素,其优选结果具有客观性和科学性。

[关键词] 找矿远景区 多层次模糊综合评价 西藏

[中图分类号] P628

[文献标识码] A

[文章编号] 0495-5331(2009)02-0085-05

Zuo Ren-guang Identification of high prospective terrais by comprehensive evaluation based on multilevel fuzzy synthesis judgment[J]. *Geology and Exploration*, 2009, 45(2): 85-89.

找矿远景区优选是成矿预测工作中的一项必不可少的工作内容,也是体现成矿预测研究成果的直接物化形式。它是在找矿远景区已圈定的前提下,应用经验的、数学的或计算机的方法,根据成矿有利度大小,结合经济、地理、交通、市场供需关系等诸多方面因素,对找矿远景区进行评价和优劣排序,实现找矿远景区的分级,为后续的工作部署提供科学依据^[1-4]。然而,以往找矿远景区分级大多是以专家知识为主,采用定性方式进行,对同一找矿远景区的评价,不同的专家侧重和考虑的因素不尽相同,因此结果也不尽相同,且评价的效率低。针对找矿远景区优选的特点,笔者利用多层次模糊综合评判对西藏冈底斯东段 12 个斑岩铜矿找矿远景区进行靶区优选,确定评价找矿远景区的综合指标,其应用效果较好。

1 基于多层次模糊综合评判^[5-9]

1.1 模糊集理论

定义:给定论域 U 上的一个模糊子集 A , 是对于任意 $u \in U$, 都指定了一个数 $u_A(u) \in [0, 1]$ 与之对应, 即映射

$$u_A: U \rightarrow [0, 1]$$

$$u \mapsto \mu_A(u)$$

映射 u_A 称为 A 的隶属函数。

1.2 基于多层次模糊综合评判原理

多层次模糊综合评判是基于模糊综合评判发展起来的,理论基础为模糊集理论。设评价时考虑 m 个因素的集合为 $U = (U_1, U_2, \dots, U_m)$, n 个评语的集合为 $V = (V_1, V_2, \dots, V_n)$, 若用 r_{ij} 表示第 i 个因素对第 j 种评语的隶属度, 则因素论域与评语论域之间的模糊关系矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

如果因素论域 U 中的因素又是由多个因素组成, 即 U 由层 K 组成 ($K \geq 2$), 第一层 (最高层) 具有 m 个因素, 即 $U = (U_1^{(1)}, U_2^{(1)}, \dots, U_m^{(1)})$, 评语集 $V = (V_1, V_2, \dots, V_n)$, 则多层次模糊综合评判的数学模型为 (以找矿远景区优选为例, 取 $K=2$):

$$B = A \times R = \begin{bmatrix} A_1 \times \begin{bmatrix} A_{11} \times R_{11} \\ A_{12} \times R_{12} \end{bmatrix} \\ A_2 \times \begin{bmatrix} A_{21} \times R_{21} \\ A_{22} \times R_{22} \\ \dots \\ A_{2m} \times R_{2m} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

多层次模糊综合评判是从最底层 (第 K 层) 开

[收稿日期] 2008-02-29; [修订日期] 2008-08-03。[责任编辑] 杨欣。

[基金项目] 国土资源大调查项目 (2003182004-8) 资助。

[作者简介] 左仁广 (1981 年—), 男, 2004 年毕业于中国地质大学 (武汉), 获学士学位, 在读博士生, 主要研究方向为矿产资源定量预测与 GIS 系统研发。

始,向上逐层运算,直至得到最后的评语 B。第 K层评判结果就是第 K - 1层因素的隶属度。

2 基于多层次模糊综合优选找矿远景区

2.1 找矿远景区优选论域及权重

找矿远景区优选应以地质和经济条件为基础,以矿产预测为核心,以矿产资源勘查工作规划部署为目的,以成矿预测与经济技术评价相结合为原则。因此,找矿远景区优选指标按大类可分为地质指标和经济地理指标两个大类。其中地质指标可以分为成矿地质条件及矿产资源潜力两小类。经济、地理及其他指标包括经济地理指标自然地理条件评价,勘查开发条件(地形、交通、水电、气候、人力等)、环境、市场需求、国家宏观经济调控政策、国家与地方法律法规、主要矿床与预测区的经济技术评价,开发利用的可能性等小类。论域可分为 2 层,第一层次包括 2 个因素,第二层包括 14 个因素(表 1)。

找矿远景区优选中各因素的权重可根据经验或专家或其他方法(如数理统计方法、模糊数学方法等)给定,但需要满足同一层的权系数之和为 1,即满足:

$$\sum_{j=1}^n U_{ij} = 1$$

其中, U_{ij} 为第 i 层因素的权系数, n 为第 i 层因素个数。如表 1,第 1 个因素的第二层权系数 $U_{11} + U_{12} = 1$ 。

表 1 找矿远景区优选论域及权重
Table 1 The weights of optimum selection of prospective terrains

第一层次	权重	论域	第二层次	权重	论域
U ₁	0.5	地质指标	U ₁₁	0.40	成矿地质条件
			U ₁₂	0.60	矿产资源潜力
U ₂	0.5	经济地理及其他指标	U ₂₁	0.04	地形
			U ₂₂	0.04	交通
			U ₂₃	0.04	水资源条件
			U ₂₄	0.04	电力供应
			U ₂₅	0.04	气候条件
			U ₂₆	0.04	劳动力供应
			U ₂₇	0.10	环境污染
			U ₂₈	0.10	生态破坏
			U ₂₉	0.10	矿业市场
			U ₂₁₀	0.10	国家资源安全
			U ₂₁₁	0.10	区域矿业经济发展规划
			U ₂₁₂	0.10	相关法律法规
			U ₂₁₃	0.10	经济技术评价
			U ₂₁₄	0.06	矿产勘查工作程度

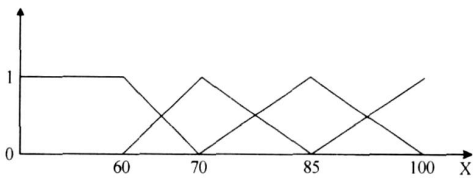


图 1 模糊函数图

Fig 1 Fuzzy member function

2.2 找矿远景区优选评价集

各因素的评价集可以归结为“很好、好、一般、差”等 4 个等级,如成矿地质条件的评价集为“成矿地质条件很好、成矿地质条件好、成矿地质条件一般、成矿地质条件差”;找矿远景区优选的最终结果的评价集为“优先部署区、近期部署区、可以部署区和暂缓部署区”,他们都可使用 $V = (V_1, V_2, V_3, V_4)$ 来表示。

2.3 找矿远景区优选评价集的隶属度

根据经验、专家知识或“隶属度函数确定法”,可得到所有因素的评语集的隶属度。其中隶属度的确定是比较难的一个问题,目前确定隶属度的方法有模糊统计法、三分法、增量法、二元对比法排序法、待定系数法以及专家打分法等。如确定“成矿地质条件”的评语集(很好,好,一般,差)的隶属度可用如下隶属度函数(图 1):

$$\begin{aligned} C_1 &= \begin{cases} (x - 85) / 15 & 82 < x \leq 100 \\ 0 & x \leq 85 \end{cases} \\ C_2 &= \begin{cases} (100 - x) / 15 & 85 < x \leq 100 \\ (x - 70) / 15 & 70 < x \leq 85 \end{cases} \\ C_3 &= \begin{cases} (85 - x) / 15 & 70 < x \leq 85 \\ (x - 60) / 15 & 60 < x \leq 70 \end{cases} \\ C_4 &= \begin{cases} (75 - x) / 15 & 60 < x \leq 70 \\ 1 & x \leq 60 \end{cases} \end{aligned}$$

当专家判定某找矿远景区的成矿地质条件得分为 90,则可代入上述隶属度函数计算,属于成矿地质条件“很好、好、一般、差”的隶属度分别为 1/3、2/3、0、0;若成矿地质条件得分为 80,计算属于成矿地质条件“很好、好、一般、差”的隶属度分别为 0、2/3、1/3、0。其它各因素的隶属度计算可用上述同样的方法计算得到。

2.4 找矿远景区优选步骤

通过以上各步骤,可得到所有因素的评价集,并进行如下计算:

1) 计算第二层。因素 1 和因素 2 都有第二层,以计算因素 1 第一层为例。其权向量 $A_1 = [0.4,$

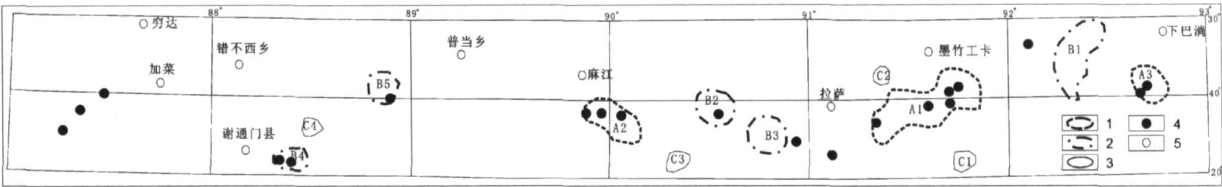


图 2 西藏冈底斯东段斑岩铜矿找矿远景区分布图

Fig 2 The porphyry copper exploration target areas in the Gangdese belt, Tibet

1—A 级远景区; 2—B 级远景区; 3—C 级远景区; 4—铜矿点; 5—地名

1—the priority A targets; 2—the priority B targets; 3—the priority C targets; 4—copper occurrences; 5—city & towns

0.6],根据评语集可得因素 1 的模糊矩阵 R_1 :

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

由 $B_1 = A_1 \times R_1$ 可得:

$$B_1 = [0.84, 0.16, 0, 0]$$

同理可得到 $B_2 = A_2 \times R_2$ 。

第二层的计算结果,作为第一层的隶属度,则第一层的隶属度 R :

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix}$$

2) 计算第一层,可得到评语集 B 。因素 1 和因素 2 的权向量 $A = [0.5, 0.5]$,则 B 为: $B = A \times R$ 。

3) 根据评语集 B ,按最大隶属度原则,便可确定找矿远景区的级别。如 $B = [0.5, 0.3, 0.1, 0.2]$,0.5 最大,对应的评语集为优先部署区,则该找矿远景区的级别为找矿远景区。

3 应用实例

西藏冈底斯斑岩铜矿带属于世界 3 大主要斑岩铜矿成矿域之一的特提斯—喜马拉雅成矿域,大地构造位于冈底斯—念青唐古拉板片次级构造单元冈底斯陆缘火山-岩浆弧之东段,是东特提斯构造域中晚古生代以来具有独特演化历程的一个多岛弧碰撞造山带,它有望成为我国战略性矿产资源勘查和开发的接替基地,其资源前景一直倍受国内外关注^[10-15]。左仁广等(2007)将西藏冈底斯东段划分为 2628 个规则网格单元(单元面积为 8km ×8km),选择 2 个地质—地球物理—遥感综合变量、3 个地质变量和 3 个地球化学变量,利用证据权进行信息综合。根据后验概率频度分布模式,拟合出 2 条直线,以其拐点值(后验概率 = 0.24)作为阈值,最终定量圈定了 12 个找矿远景区(其中 3 个 A 级找矿远景区,5 个 B 级找矿远景区,4 个 C 级找矿远景区,图 2)^[7]。利用多层次模糊综合评判 12 个找矿

表 2 影响找矿远景区优选因素的评语集

Table 2 The factors of the optimum selection of targets

因素		V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
U ₁	U ₁₁	0.9	0.1	0	0
	U ₁₂	0.8	0.2	0	0
U ₂	U ₂₁	0	0.33	0.67	0
	U ₂₂	0	0.67	0.33	0
	U ₂₃	0	0.5	0.5	0
	U ₂₄	0.2	0.8	0	0
	U ₂₅	0	0.4	0.6	0
	U ₂₆	0.4	0.6	0	0
	U ₂₇	0	0.2	0.8	0
	U ₂₈	0	0	0.4	0.6
	U ₂₉	0.8	0.2	0	0
	U ₂₁₀	0.6	0.4	0	0
	U ₂₁₁	1	0	0	0
	U ₂₁₂	1	0	0	0
	U ₂₁₃	1	0	0	0
	U ₂₁₄	0	0	0.2	0.8

远景区,并以驱龙—夏工普找矿远景区评价为例,其影响优选因素的评语集见表 2。

1) 进行第二层计算:从表 1 可知因素 1 的第二层权向量:

$$A_1 = [0.4 \quad 0.6]$$

根据评语集表 2 可得因素 1 的模糊矩阵 R_1 :

$$R_1 = \begin{bmatrix} U_{11} \\ U_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

由:

$$B_1 = A_1 \times R_1 = [0.6 \quad 0.4] \times \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

则:

$$B_1 = [0.84 \quad 0.16 \quad 0.0 \quad 0.0]$$

同理,计算因素 2 的第二层:

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0.04 & 0.04 & 0.04 & 0.04 & 0.04 \\ 0.04 & 0.04 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.06 \end{bmatrix}$$

从表 2 可得因素 2 的模糊矩阵 R_2 :

$$R_2 = \begin{bmatrix} U_{21} \\ U_{22} \\ U_{23} \\ U_{24} \\ U_{25} \\ U_{26} \\ U_{27} \\ U_{28} \\ U_{29} \\ U_{210} \\ U_{211} \\ U_{212} \\ U_{213} \\ U_{214} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.33 & 0.67 & 0.00 \\ 0.00 & 0.67 & 0.33 & 0.00 \\ 0.00 & 0.50 & 0.50 & 0.00 \\ 0.20 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.40 & 0.60 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.20 & 0.80 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.40 & 0.00 \\ 0.80 & 0.20 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.40 & 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 1.20 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.20 & 0.20 & 0.80 & 0.00 \end{bmatrix}$$

则:

$B_2 = A_2 \times R_2 = [0.464 \quad 0.212 \quad 0.216 \quad 0.108]$
第二层计算的结果为第一层的隶属度。

2) 计算因素的第一层:从表 1 可知因素 1 和因素 2 的权向量:

$A = [0.5 \quad 0.5]$

从步骤 1) 可得模糊矩阵:

$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.840 & 0.160 & 0.000 & 0.000 \\ 0.464 & 0.212 & 0.212 & 0.108 \end{bmatrix}$

则:

$B = A \times R = [0.652 \quad 0.186 \quad 0.108 \quad 0.054]$

根据评语集 B ,按最大隶属度原则,可知 0.652 最大,对应的评语集为优先部署区。

4 结论与讨论

多层次模糊综合评判是基于模糊综合评判发展起来的,它考虑了模糊综合评判没有考虑的因素之间的层次关系,是优选找矿远景区的一种有效的方法。驱龙—夏工普远景区位于冈底斯火山-岩浆弧内的拉萨—日多弧间盆地边缘部位,地理位置处于墨竹工卡—达布一带。区内发育有近东西向、北东向、近南北向、北西向展布断裂或隐伏断裂;出露地层主要为中侏罗统叶巴组、上侏罗统多底沟组、上侏罗统-上白垩统林布宗组;岩性主要为灰岩、中酸性火山岩夹灰岩、沉积碎屑岩等,侵入岩主要为花岗岩类;产有驱龙大型-超大型斑岩铜矿床;该成矿靶区具有 Cu-Mo-W-Pb-Zn-Ag-Au 元素组合异

常,异常呈北东向分布,与该区矿床、矿化(点)的分

表 3 找矿远景区优选结果

Table 3 The optimally selected targets

远景区编号	选区论证结果
A ₁	优先部署
A ₂	
A ₃	
B ₁	近期部署
B ₂	
B ₃	
B ₄	可以部署
B ₅	
C ₁	
C ₂	
C ₃	
C ₄	

布相一致。因此区内成矿地质条件优越,资源潜力巨大,交通便利,定性分析可知,该区为优先部署区与多层次模糊综合评价结果一致。表 3 为利用基于多层次模糊综合对所有找矿远景区的优选结果,此结果与《雅鲁藏布江铜多金属成矿带综合分析子系统研究报告》定性分析结果一致,可见基于多层次模糊综合评判是一种有效的优选找矿远景区的方法。

基于多层次模糊综合评判可以从结构上综合找矿远景区优选各个因素,并体现因素间的等级、层次关系,使评价结构能深入全面,可产生符合客观实际的结果。基于多层次模糊综合优选找矿远景区,能从量上把握和处理找矿远景区优先中的复杂性和模糊不确定性问题,它引入了隶属度的概念,排除了非此即彼的互斥性结论带来的不合客观的判定结果,并把考虑的因素量化,减少了人为主观因素,其评价结果具有客观性和科学性。

找矿远景区优选,存在一票否决的现象,例如该区为军事禁区、自然保护区或地质遗迹等,即使成矿地质条件优越,自然经济地理条件可行,也不能被评判为优先部署区或近期部署区。而基于多层次模糊综合评判无法根据最大隶属度原则判断,这时需要人为辅助判断。

[参考文献]

[1] 夏庆霖,成秋明,左仁广,等.基于 GIS 矿产勘查靶区优选技术[J].地球科学-中国地质大学学报,2009,34(2):490-495.
Xia Qing-lin, Cheng Qiu-ming, Zuo Ren-guang, et al. The GIS technique of optimum target area in mineral resource prospectivity[J]. Earth Science - Journal of China University of Geosciences, 2009, 34(2): 490-495.

[2] 夏庆霖. 矿产勘查靶区优选理论与方法 [A]. 主攻深部,挺进西部,放眼世界 - 第九届全国矿床会议论文集 [C], 2008: 737 - 738
Xia Qing - lin The theory and method for optimum target area in mineral resource prospecting[A]. The ninth international mineral deposit congress[C], 2008: 737 - 738.

[3] 赵鹏大. 矿产勘查理论与方法 [M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2001.
Zhao Peng - da The theory and method for mineral resource exploration [M]. Wuhan: China University of Geosciences Publisher, 2001.

[4] 范永香,阳正熙. 成矿规律与成矿预测 [M]. 北京:中国矿业大学出版社, 2003
Fan Yong - xiang, Yang Zheng - xi Metallogenic regularity and metallogenic prediction [M]. Beijing: China University of mining and technology Publisher, 2003

[5] Zadeh L. A. . Fuzzy sets [J]. Information and Control, 1965, 8 (3): 338 - 353.

[6] Zadeh L. A. . Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1978, 1: 3 ~ 28.

[7] 胡圣武,李长春,王新洲,等. 基于多层次模糊综合评判的 GIS 质量综合评价 [J]. 长江科学院院报, 2005, 22 (3): 21 - 24
Hu Sheng - wu, Li Chang - chun, Wang Xin - zhou, et al Synthesis Evaluation on GIS Quality Based on Multilevel Fuzzy Synthesis Judgment [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2005, 22 (3): 21 - 24.

[8] 胡圣武. GIS 质量评价与可靠性分析 [M]. 北京:测绘出版社, 2006.
Hu Sheng - wu GIS quality evaluation and reliability analysis [M]. Beijing: Mapping Publisher, 2006.

[9] 汪培庄. 模糊集合论及其应用 [M]. 上海科学技术出版社, 1983: 91 - 94
Wang Pei - zhuang Fuzzy Sets Theory and its Applications [M]. Shanghai Scientific and Technical Publisher, 1983: 91 - 94

[10] 侯增谦,曲晓明,黄卫. 冈底斯斑岩铜矿成矿带有望成为西藏第二条“玉龙”铜矿带 [J]. 中国地质, 2001, 28 (10): 27 - 29.
Hou Zeng - qian, Qu Xiao - ming, Huang Wei Gangdese Porphyry Copper Belt the Second “ Yulong ” Copper Bel [J]. China Geology, 2001, 28 (10): 27 - 29.

[11] 曲晓明,侯增谦,黄卫. 冈底斯斑岩铜矿成矿(化)带:西藏第二条“玉龙”铜矿带 [J]. 矿床地质, 2001, 20 (4): 355 - 366.
Qu Xiao - ming, Hou Zeng - qian, Huang Wei Is Gangdese Porphyry Copper Belt the Second “ Yulong ” Copper Belt [J]. Mineral Deposits, 2001, 20 (4): 355 - 366.

[12] 左仁广,夏庆霖,谭宁,等. 西藏冈底斯斑岩铜矿综合信息预测 [J]. 中南大学学报(自然科学版), 2007, 38 (2): 368 - 373
Zuo Ren - guang, Xia Qing - lin, Tan Ning, et al Synthetic information prediction of porphyry copper in Tibet [J]. Central South University of Technology, 2007, 38 (2): 368 - 373.

[13] 王小春,晏子贵,周维德,等. 初论西藏冈底斯带中段尼木西北部斑岩铜矿地质特征 [J]. 地质与勘探, 2002, 38 (1): 5 - 8.
Wang Xiao - chun, Yan Zi - gui, Zhou Wei - de, et al Preliminary study on geological features of porphyry - type copper deposits in the northwestern Nimu, middle section of gangdisi belt, Tibet [J]. Geology and Exploration, 2002, 38 (1): 5 - 8.

[14] 杨志明,谢玉玲,李光明,等. 西藏冈底斯斑岩铜矿带驱龙铜矿成矿流体特征及其演化 [J]. 地质与勘探, 2005, 41 (2): 21 - 26.
Yang Zhi - ming, Xie Yu - ling, Li Guang - ming, et al Characteristics and forming process of ore - forming fluids at Qulong copper deposit in Gangdise porphyry copper belt, Tibet [J]. Geology and Exploration, 2005, 41 (2): 21 - 26.

[15] 王小春,周维德,李作华,等. 西藏冈底斯带斑岩铜矿勘查的现状、走向和相关建议 [J]. 地质与勘探, 2006, 42 (1): 30 - 33.
Wang Xiao - chun, Zhou Wei - de, Li Zuo - hua, et al Present situation and trend of exploration for porphyry copper deposits in the Gandese belt, Tibet and related suggestion [J]. Geology and Exploration, 2006, 42 (1): 30 - 33.

Identification of High Prospective Terrains by Comprehensive Evaluation
Based on Multilevel Fuzzy Synthesis Judgment

ZUO Ren - guang

(State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract: To optimally select the highly prospective terrains is one of main tasks in mineral resources prediction and assessment. A case study was carried out in the Gangdese porphyry copper mineralization belt in Tibet to optimally generate the exploration target areas with high mineralization potential by using the multilevel fuzzy synthesis judgment. The study shows that the method used in this paper can not only optimally generate targets with consideration of all the relevant factors and their interactions, but also reflect the most important factors and reduce the subjective influence, which make the result more objective and practical.

Key words: prospective terrains, multilevel fuzzy synthesis judgment, Tibet