

一类生态护坡冲突问题求解的可拓知识挖掘方法^①

朱维伟¹, 冯国建¹, 谭洋洋²

1. 昆明学院 建筑工程学院, 昆明 650214; 2. 昆明学院 美术与艺术设计学院, 昆明 650214

摘要: 为研究公路边坡中坡面不具备种植条件时生态护坡策略的形成方法, 将边坡工程学与可拓学结合起来, 通过对工程实例的研究总结, 提出了基于可拓知识挖掘的公路生态护坡策略形成方法, 该方法的一般运用流程是: ①用基元的形式表达生态护坡的具体目标; ②挖掘目标基元的相关型知识, 以相关网的形式表达出来; ③挖掘相关网中的基元的发散型知识, 以发散树的形式表达出来; ④结合专业知识, 从上述发散型知识中, 寻找能解决问题的基元或基元的组合, 形成潜在的生态护坡方案; ⑤通过技术经济比较, 从潜在方案中选取较优方案. 工程实例分析表明, 该方法是可行的, 有利于摆脱边坡设计中对设计者经验、灵感等个体能力的过度依赖, 具有重要的边坡工程应用价值.

关键词: 生态护坡; 冲突问题; 可拓学; 可拓知识; 防护方案

中图分类号: U417.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2021)10-0099-07

A Method for Solving Conflict Problem of Ecological Slope Protection Based on Extension Knowledge Mining

ZHU Weiwei¹, FENG Guojian¹, TAN Yangyang²

1. School of Architecture and Civil Engineering, Kunming University, Kunming 650214, China;

2. School of Fine Art & Design, Kunming University, Kunming 650214, China

Abstract: In order to research the formation method of ecological protection strategies of highway slope when the slope does not have planting conditions, Slope Engineering has been combined with Extenics in this paper, and the formation method of ecological slope protection strategy based on extension knowledge mining been put forward through the research and summary of project cases. The general application process of this method is as follows: ① Express the specific goal of ecological slope protection in the form of basic-element. ② Mine the correlated knowledge about basic-element of the goal, and express this knowledge in the form of correlation network. ③ Mine the divergent knowledge of the basic-elements in the correlation network, and express it in the form of divergent tree. ④ Combined with professional knowledge, we can find the basic-element or combination of basic-elements that can solve the problem from the above divergent knowledge, and form the potential ecological slope protection strategies. ⑤ Select better scheme from the potential schemes through the comparison of technology and economy. The analysis of

① 收稿日期: 2020-05-06

基金项目: 云南省地方本科高校基础研究联合专项资金项目(2018FH001-050); 云南省教育厅科学研究基金项目(2021J0717).

作者简介: 朱维伟, 博士, 副教授, 主要从事公路边坡工程的研究.

project cases shows that the method is feasible, which is helpful to get rid of the excessive dependence on the designer's experience, inspiration and other individual abilities in slope design, and has important practical value in slope engineering.

Key words: ecological slope protection; conflict problem; Extenics; extension knowledge; protection scheme

边坡是山区工程建设中面临的最基本的地质环境之一,即使在传统设计理念下,边坡的防护设计也是复杂的系统工程,其中充斥着各种冲突或矛盾.在当前提倡新理念公路设计的背景下,要求通过“灵活设计”和“创作设计”,实现公路“安全”“环境优美”“节约资源”“质量优良”“系统最优”的目标^[1],因而生态护坡受到了越来越多的重视,成了全球认可的防治水土保持和滑坡的有效措施^[2-4].但长期以来,边坡设计中的冲突问题一直用自然语言描述,缺乏有效的表达,解决这些问题很大程度上只能依赖于个体经验、灵感等,或是照搬其他工程中的做法.

原交通部公路司组织编写过《新理念公路设计指南》^[1]《降低造价公路设计指南》^[5],以指导全国的新理念公路设计,这种范例列举、点评式的指南可以较快起到示范、启发作用,但长远看,只有让技术人员掌握求解生态护坡中冲突问题的有效方法,才能在工程中根据实际情况灵活运用,产生更多的冲突消解策略.

对于生态护坡中不具备种植层的这类冲突问题,本文引入可拓学知识,基于发散、相关、蕴含、可扩、共轭等分析原理,通过挖掘待求解冲突问题的发散、相关、蕴含、可扩、共轭型知识,再结合边坡工程学知识,寻找可能消解冲突的路径,提出了求解这类生态护坡冲突问题的可拓知识挖掘方法,工程实例分析表明,这种方法是有效的、可行的.该方法用可拓学的形式化语言表示和处理冲突问题,具有可描述、可运算、可拓展、可推演等特点,容易为工程技术人员掌握,在求解坡面不具备种植层时的生态护坡问题时,该方法可以帮助技术人员摆脱对个体经验、灵感等的过度依赖,具有重要的边坡工程应用价值,也是对可拓学和边坡工程学的进一步发展.

1 可拓知识体系及可拓分析原理

可拓学是我国学者蔡文 1983 年创立的一门原创性横断学科^[6].它以形式化的模型,探讨事物拓展的可能性以及开拓创新的规律与方法,并用于解决现实中的矛盾问题,以摆脱求解矛盾问题时对经验、灵感等个体能力的过度依赖^[7-9].可拓学的逻辑细胞是基元,包括物元 M 、事元 A 及关系元 R ^[9].基元形式化地表达为 $B = (O, C, V)$,其中, O 为对象, C 为特征, V 为关于特征所取的量值,量值可以是定量的数字,也可以是定性的描述.可拓知识包括发散型知识、相关型知识、蕴含型知识、可扩型知识和共轭型知识等.

1) 发散分析原理

① 由一个基元出发,可以拓展出多个同对象基元,且同对象基元集一定是非空的,即 $B = (O, c, v) - | \{(O, c_1, v_1), (O, c_2, v_2), \dots, (O, c_n, v_n)\} = \{(O, c_i, v_i), i = 1, 2, \dots, n\}$.根据该原理,如果某一基元不能解决矛盾问题,可以考虑利用该基元的对象与其他特征组成的新基元去解决.

② 由一个基元出发,可以拓展出多个同征基元,且同征基元集一定是非空的,即 $B = (O, c, v) - | \{(O_1, c, v_1), (O_2, c, v_2), \dots, (O_n, c, v_n)\}$.根据该原理,如果一个基元不能解决矛盾问题,可以考虑利用与它同特征的其他对象构成的新基元去解决.

2) 相关分析原理

给定物元 $M(t) = (O_m(t), c_m, c_m(O_m(t)))$,则至少存在一个同征物元 $M_c(t) = (O'_m(t), c_m, c_m(O'_m(t)))$ 或同物物元 $M_O(t) = (O_m(t), c'_m, c'_m(O_m(t)))$ 或异物物元 $M'(t) = (O'_m(t), c'_m, c'_m(O'_m(t)))$,使 $M(t) \sim M_c(t)$, 或 $M(t) \sim M_O(t)$, 或 $M(t) \sim M'(t)$.符号“ $\sim$ ”表示相关.根据该原理,用某一物元不能解决矛盾问题时,可以考虑利用与其相关的物元去解决.

3) 蕴含分析原理

若 B_1 实现必有 B_2 实现,记作 $B_1 @$ 必有 $B_2 @$, 或 $B_1 \Rightarrow B_2$, 称 B_1 蕴含 B_2 ; 若 B_1 与 B_2 同时实现必有

B 实现, 则称 B_1, B_2 与蕴含 B , 记作 $B_1 \wedge B_2 \Rightarrow B$; 若 B_1 或 B_2 实现都有 B 实现, 则称 B_1, B_2 或蕴含 B , 记作 $B_1 \vee B_2 \Rightarrow B$; 若 $B_1 \Rightarrow B_2, B_2 \Rightarrow B_3$, 则 $B_1 \Rightarrow B_3$, 也可记作 $B_1 \Rightarrow B_2 \Rightarrow B_3$. 符号“ $\Rightarrow$ ”左边是下位基元, 右边是上位基元. 根据上述原理, 当上位目标不容易实现时, 可以考虑寻找其下位目标, 如果下位目标容易实现, 则认为找到了解决矛盾问题的方法.

4) 可扩分析原理
可组合性: 给定基元 $B_1 = (O_1, c_1, v_1)$, 则至少存在一个基元 $B_2 = (O_2, c_2, v_2)$, 使 B_1 和 B_2 可以组合成 B . 此时, $B = B_1 + B_2$ (聚合, 即 B_1 与 B_2 可加), 或 $B = B_1 \otimes B_2$ (构成系统, 即 B_1 与 B_2 可积); 可分解性: 任何基元可以按一定的条件分解为若干基元; 可扩缩性: 设 $B = (O, c, c(O))$, 则在条件 l 下, 必存在实数 $\alpha (\alpha > 0)$, 使 $\alpha B = (\alpha O, c, \alpha v)$, 当 $0 < \alpha < 1$ 时, 称基元 B 可缩小为 αB , 当 $\alpha > 1$ 时, 称基元 B 可扩大为 αB . 根据以上原理, 当一个基元不能解决问题时, 可以考虑应用其分解、扩大、缩小后形成的基元, 与其他基元组合成的新基元来解决矛盾问题.

5) 共轭分析原理
任何事物都具有共轭部, 即: 实部、虚部、虚实中介部; 或软部、硬部、软硬中介部; 或潜部、显部、潜显中介部; 或关于特征 c 的负部、正部、负正中介部. 每对共轭部和它们的中介部之和等于原物, 且任何物的一对共轭部中, 某一共轭部至少有一个特征与其对应的共轭部中的某个特征是相关的. 根据以上原理, 当物的某一部不能解决矛盾问题时, 可以考虑应用其对应的共轭部来解决.

2 基于可拓知识挖掘的生态护坡方案设计实例

2.1 工程简况

某高速公路土质路堤, 设计一级边坡高 8 m, 坡率为 1 : 0.75; 二级边坡高 6 m, 几乎不具备放坡条件, 现拟对该处路堤进行综合防护, 既保证路堤边坡稳定, 又要确保边坡具有较高的植被覆盖率.
经计算, 若不进行任何防护, 该路堤的稳定性不满足规范要求, 而直接在路堤坡面实施复绿难以快速稳定边坡. 为确保边坡稳定, 一级边坡用浆砌块石护面墙防护, 二级边坡用浆砌块石挡土墙加固, 圬工防护完成后如图 1 所示, 由于路堤稳定性验算以及圬工防护部分不是本文讨论的重点, 这里不展开赘述.

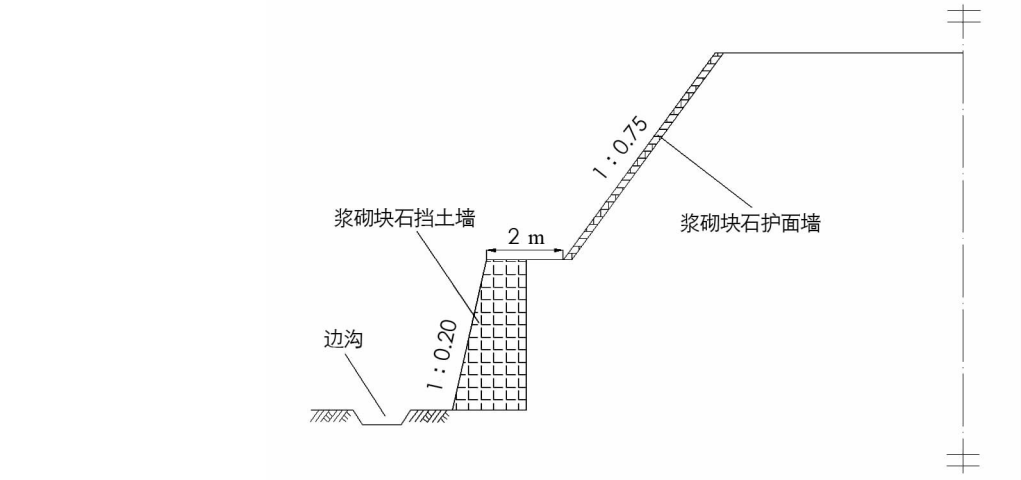


图 1 路堤边坡既有防护方案

2.2 生态护坡方案形成过程分析

该路堤边坡下部采用挡土墙加固, 上部用的传统形式浆砌块石护面墙防护来稳定边坡, 挡土墙可以直接提高边坡稳定安全系数, 而上部的浆砌块石护面墙具有封闭边坡表面、防止雨水冲刷的防护作用, 进而能维持边坡的稳定性. 但是, 使用这些防护措施以后, 坡面已不具备生态防护所需要的种植层, 目标与条件之间存在冲突. 根据前述的可拓学原理, 基元中的对象、特征、关于特征的量值等, 都可以不断地拓展、发散, 形成多个新的基元 (即可以挖掘的可拓知识), 这样, 就有可能用这些新的基元来解决这个冲突问题.

该问题的目标是使边坡具有较高的植被覆盖率. 设目标基元 $G = (\text{边坡, 坡面植被覆盖率, 较高})$, 条件基元为 $L, L = \{l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, \dots\}$ (这里仅列出一些主要条件), 其中 $l_1 = (\text{坡面, 种植层, 无})$, $l_2 = (\text{路堤, 防护措施, 下部挡墙} \wedge \text{上部护面墙})$, $l_3 = (\text{护面墙, 坡率, } 1:0.75)$, $l_4 = (\text{挡墙墙面, 坡率, } 1:0.20)$, $l_5 = (\text{护坡道, 宽度, } 2 \text{ m})$, 则该冲突问题的可拓学模型为 $P = G * L, G \uparrow L$, 在现有条件 L 下, 目标 G 难以实现, 故该冲突问题 P 是可拓学中的不相容问题.

设物元 $M_0 = (\text{坡面植被, 覆盖率, } v_0)$, 参照笔者以前的研究^[10], 以 M_0 为出发点, 用相关分析原理挖掘其相关型知识, 可建立 M_0 的网如图 2 所示.

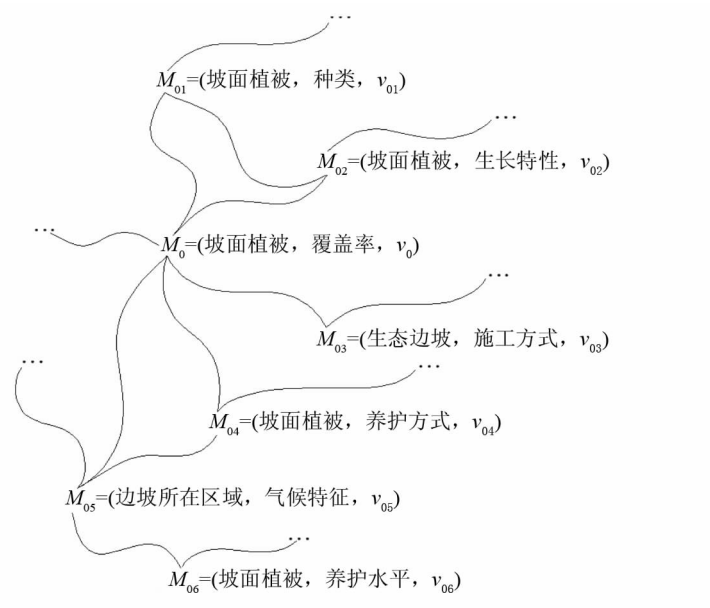


图 2 物元 M_0 的相关网

对 M_0 的相关网中的一些物元, 再进行发散分析. 例如对 M_{01} 中关于坡面植被的特征“种类”的量值进行发散分析, 可得到用发散树形式表示的发散型知识:

$$M_{01} = (\text{坡面植被, 种类, } v_{01}) - \left\{ \begin{array}{l} M_{011} = (\text{坡面植被, 种类, 草本}) \\ M_{012} = (\text{坡面植被, 种类, 藤本}) \\ M_{013} = (\text{坡面植被, 种类, 木本}) \\ M_{014} = M_{011} \oplus M_{012} \\ M_{015} = M_{012} \oplus M_{013} \\ \dots \end{array} \right.$$

至此, 目标 G 仍无法实现, 因为坡面不具备种植层. 继续对 M_{02}, M_{03} 中关于特征的量值进行发散分析, 得发散型知识:

$$M_{02} = (\text{坡面植被, 生长特性, } v_{02}) - \left\{ \begin{array}{l} M_{021} = (\text{草本植物, 生长特性, 原地} \wedge \text{低矮}) \\ M_{022} = (\text{藤本植物, 生长特性, 攀援} \vee \text{垂吊}) \\ M_{023} = M_{021} \oplus M_{022} \\ \dots \end{array} \right.$$
$$M_{03} = (\text{生态边坡, 施工方式, } v_{03}) - \left\{ \begin{array}{l} M_{031} = (\text{生态边坡, 施工方式, 就地种植}) \\ M_{032} = (\text{生态边坡, 施工方式, 铺植生袋}) \\ M_{033} = (\text{生态边坡, 施工方式, 客土喷播}) \\ M_{034} = (\text{生态边坡, 施工方式, 直接铺设}) \\ M_{035} = (\text{生态边坡, 施工方式, 坡外种植}) \\ \dots \end{array} \right.$$

由于坡面不具备种植层, 故由 M_{02} 发散出的物元也不能实现目标 G . 结合由 M_{03} 发散出的物元进行分析, 实际上现在的客土喷播技术可以实现目标 G . 为得到更多的生态护坡设计方案, 对施工方式进一步进行发散分析, 得发散型知识.

$$M_{031} = (\text{生态边坡, 施工方式, 就地种植}) - \left\{ \begin{array}{l} M_{0311} = (\text{就地种植, 地点, 坡顶}) \\ M_{0312} = (\text{就地种植, 地点, 坡面}) \\ M_{0313} = (\text{就地种植, 地点, 坡脚}) \\ M_{0314} = M_{0311} \oplus M_{0312} \\ M_{0315} = M_{0312} \oplus M_{0313} \\ \dots \end{array} \right.$$

综合考虑由 $M_{01}, M_{02}, M_{03}, M_{031}$ 发散出的物元, 结合该边坡实际情况, 本专业领域的技术人员应该可以得到以下启示: 坡脚(挡土墙下部)边沟两侧具备所需的种植层, 将 $M_{031}, M_{0313}, M_{012}, M_{022}$ 结合在一起可使目标 G 实现, 也就是在坡脚边沟两侧的植层上就地种植具有垂吊生长特性的藤本植物, 植物向上生长后可覆盖坡面. 选择哪种藤本植物应结合物元 M_{04}, M_{05}, M_{06} 以及现有条件 l_3, l_4 等确定, 用该方法实现目标 G 的关键是利用了物元(种植层, 位置, v_1) = M_1 , 其中, v_1 = 坡脚边沟两侧, 而目标要求却是实现边坡较高边的植被覆盖率, 即本法的实质是利用目标所指地点之外的条件来实现目标, 消解冲突, 使 $G \downarrow L$.

进一步地, 如果要尽快使边坡实现植被覆盖, 容易想到采取多处同时种植的方式, 为解决边坡其他部位无种植层的问题, 可以对物元 M_1 继续进行发散分析, 得发散型知识:

$$M_1 = (\text{种植层, 位置, } v_1) - \left\{ \begin{array}{l} M_{11} = (\text{种植层, 位置, 土坡弃方路段}) \\ M_{12} = (\text{种植层, 位置, 软基弃方路段}) \\ M_{13} = (\text{种植层, 位置, 公路以外}) \\ M_{14} = M_{11} \oplus M_{12} \\ \dots \end{array} \right.$$

综合考虑由 M_1 发散出的物元, 可以得到以下启示: 将公路土质路基开挖路段可用的弃土, 或(和)公路沿线软基开挖的可用弃土, 或(和)公路范围以外的种植土移运过来, 放在边坡的适当位置, 就可以用作生态护坡的种植层, 实现就地种植, 从而使目标 G 实现. 移运来的种植土, 可放在坡脚, 或(和)坡面, 或(和)坡顶, 则有物元(种植层, 位置, 坡脚 $\wedge$ (V) 坡面 $\wedge$ (V) 坡顶) = M_2 . 由此可得蕴含型知识: $M_2 \Rightarrow M_{031} \Rightarrow M_0 \Rightarrow G$, 也就是将种植层的位置选在坡脚和(或)坡面和(或)坡顶, 可实现就地种植, 从而实现所需的植被覆盖率, 消解冲突, 使 $G \downarrow L$. 这样就可得到生态护坡的多种方案(图 3): 通过在坡脚的种植层上种植攀援植物, 或(和)在人工种植槽中种植攀援或垂吊植物, 实现边坡的生态防护. 这些方案中, 攀援植物防护^[11-12]、在挡墙上放置种植槽^[13]、植生袋护坡等技术^[14-15]已经在工程中得到了应用. 此时, 坡脚处和(或)坡面上以及坡顶处都有了种植层, 坡面植被实际上已经不限于藤本植物了. 将公路土质路基开挖路段的弃土, 或(和)公路沿线软基开挖的弃土用作种植层, 也体现了共轭型知识的运用, 弃土对于路基施工面言是负部物元(无用的), 而对于边坡种植层而言却是正部物元(有用的). 图 3 中(d), (e), (f), (g), (i) 等使用的人工种植槽, 还体现了可扩型知识中的可组合型知识的运用, 即: 人工种植槽 = 种植槽 $\oplus$ 固定杆, 这样种植槽便可固定于坡面.

3 设计分析总结

图 3 中的方案各具特点, 选择哪种方案应根据工程实际情况, 通过技术经济分析确定. 总体上看, (a) 方案施工成本较低, 但植被覆盖大部分坡面所需时间较长; (b), (c), (i) 方案需安装人工种植槽, 但复绿较快; (d), (e), (f), (g) 方案需要安装多个人工种植槽, 但复绿速度更快, 且容易结合边坡绿化营造艺术景观; (h) 方案为植生袋护坡加常规种植的方案, 技术成熟, 复绿也较快.

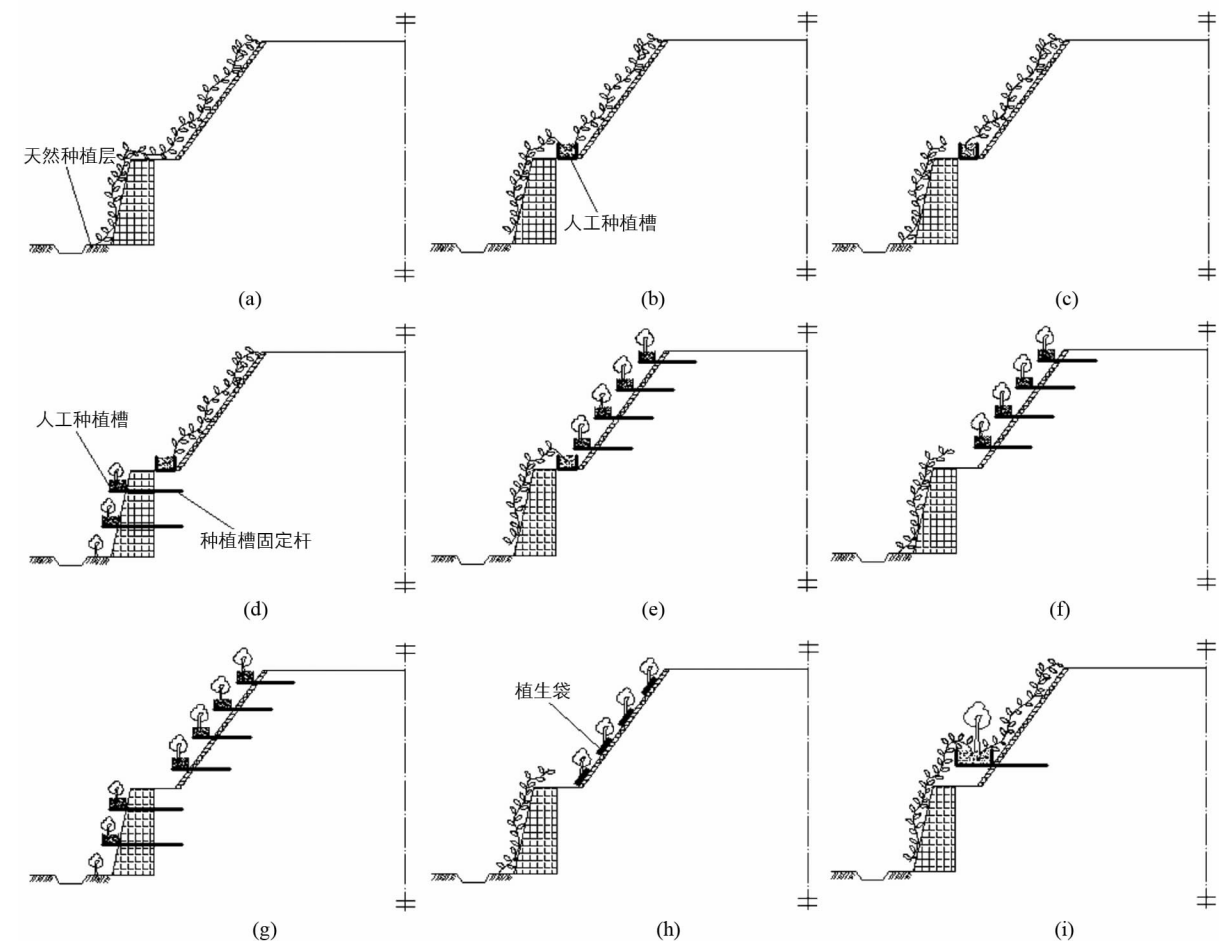


图 3 生态护坡方案

从以上实例分析可以得知，以边坡防护的目标基元为出发点，依据可拓分析原理，挖掘目标基元的可拓知识，就可以沿着不同的途径拓展出多个基元，从而获得更多的有效信息，为分析和解决矛盾提供大量资料。在挖掘可拓知识的过程中，重点在于求量，应该拓宽思路，拓展出尽可能多的新基元，以克服常规设计中的思维定势。在此基础上，根据现有客观条件和解决问题的需要，从可行性、优劣性及相容性等出发，对拓展得到的大量基元进行评价，筛选出符合条件的少量基元，即进行收敛分析，收敛分析的要点是求质。解决矛盾问题的方法不应该是单一的，可以确定，如果对物元 M_0 相关网中的相关关系进行变化^[16]，或者继续扩大对物元 M_0 的相关分析，并不断对其拓展出的相关基元中的对象、特征、关于特征的量值等进行发散分析，还将得到更多的生态护坡创意方案。

在坡面不具备种植层时，运用可拓知识挖掘方法获取边坡生态防护创意方案的一般流程如下：

- 1) 明确生态护坡的目标，并将其以基元的形式表达出来。
- 2) 挖掘目标基元的相关型知识，以相关网的形式表达这种知识。
- 3) 挖掘相关网中的基元的发散型知识，以发散树的形式表达这种知识。
- 4) 从上述发散型知识中，结合专业知识，寻找能解决问题的基元或基元的组合，从而形成能使目标实现的蕴含型知识，最终形成生态护坡的潜在方案。

通过实施上述分析，通常可以得到多个生态护坡潜在方案，第 4 步完成后应对各方案进行技术经济比较，选择较优方案。笔者用该流程分析过许多生态护坡实例，多数情况可用该流程解决问题，得到较好的防护方案，若遇到不能得到较好方案时，可参考以下思路：

在第 2 步中，继续挖掘目标基元的相关型知识，即将目标基元的相关网扩大，确保不漏掉对实现生态护坡目标有影响的主要因素；在第 3 步中，除挖掘基元的发散型知识外，再挖掘基元的蕴含型知识和可扩

型知识,如果目标基元是以物元的形式表示的,还可以挖掘其共轭型知识,在第 3 步中,应特别重视对坡面植被种类、生态护坡施工方式的发散分析。

4 结 论

针对坡面不具备种植层这一条件与生态护坡目标相冲突的矛盾问题,本文提出了一种基于可拓知识挖掘的冲突消解方法。运用可拓知识挖掘的方法解决矛盾问题、化解冲突,其核心思想是“拓展”,通过对基元中的对象、特征、关于特征的量值等不断进行拓展分析,形成有助于解决问题的新知识,从而能够结合专业知识,形成解决问题的方案。事实上,边坡防护中很多新技术的发明过程,也是有意或无意地运用了可拓知识的过程,运用可拓知识进行边坡生态防护设计,最大的优势在于可以摆脱设计过程中对个体能力、经验、灵感等的过度依赖。从本文的案例分析可以看出,在新理念公路设计的背景下,将可拓知识运用于边坡的生态防护设计中是可行的,具有重要的工程应用价值。

参考文献:

- [1] 交通部公路司. 新理念公路设计指南 [M]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [2] ALI F. Use of Vegetation for Slope Protection: Root Mechanical Properties of Some Tropical Plants [J]. International Journal of Physical Sciences, 2010, 5(5): 496-506.
- [3] MITCHELL D J, BARTON A P, FULLEN M A, et al. Field Studies of the Effects of Jute Geotextiles on Runoff and Erosion in Shropshire, UK [J]. Soil Use and Management, 2003, 19(2): 182-184.
- [4] GIUPPONI L, BORGONOVO G, GIORGI A, et al. How to Renew Soil Bioengineering for Slope Stabilization: Some Proposals [J]. Landscape and Ecological Engineering, 2019, 15(1): 37-50.
- [5] 交通部公路司. 降低造价公路设计指南 [M]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [6] 蔡 文. 可拓集合和不相容问题 [J]. 科学探索学报,1983(1): 83-97.
- [7] 蔡 文,杨春燕. 可拓学的基础理论与方法体系 [J]. 科学通报,2013, 58(13): 1190-1199.
- [8] 杨春燕,蔡 文. 可拓学与矛盾问题智能化处理 [J]. 科技导报,2014, 32(36): 15-20.
- [9] YANG C Y, CAI W. Extenics: Theory, Method and Application [M]. Peking: Science Press, 2013.
- [10] 朱维伟,谭洋洋. 公路边坡稳定性相关网、蕴含系及其应用 [J]. 科学技术与工程,2014, 14(8): 280-284.
- [11] 苏成林. 基于聚合物固化剂技术的软岩边坡稳定性研究 [J]. 公路交通科技,2020, 37(2): 40-46.
- [12] 蒋博州,何 玲,任四维,等. 重庆立体绿化中乡土植物的应用评价与筛选 [J]. 西南大学学报(自然科学版),2020, 42(8): 74-80.
- [13] 徐 伟,孙巍锋,王 瑞,等. 公路路堑边坡施工问题及对策探讨 [J]. 公路,2019, 64(11): 33-39.
- [14] 邹宝恩. 玉皇山 2# 隧道进口仰坡滑塌处治技术 [J]. 公路交通科技(应用技术版),2018, 14(11): 246-248.
- [15] BELLA G, BARBERO M, BARPI F, et al. An Innovative Bio-engineering Retaining Structure for Supporting Unstable Soil [J]. J Rock Mech Geotech Eng, 2017, 9(2): 247-259.
- [16] 李文军,杨春燕,汤 龙,等. 可拓学中相关关系的变换方法研究 [J]. 智能系统学报,2019, 14(4): 619-626.

责任编辑 汤振金