

基于功能系统分析技术的葵岗隧道围岩施工方案选择研究

张彩江¹, 沈岐平², 黄河³

(1. 华南理工大学 经济与贸易学院, 广东 广州 510006; 2. 香港理工大学, 建筑与房地产系, 香港;
3. 广东工业大学, 广东 广州 510075)

摘要: 基于价值工程中的功能系统分析技术, 结合专家知识和群决策(DSS)技术, 对高速公路隧道施工方案的优化选择方法进行研究, 建立一个针对不同围岩类别的施工方案的优化理论模型。然后结合一个具体案例(葵岗隧道施工优化)来阐述该模型的应用。实践证明, 这种模型很适合大型隧道工程的施工方案优化选择决策。

关键词: 隧道工程; 价值工程; 功能系统分析技术; 群决策功能; 成本; 葵岗隧道; 施工方案优化

中图分类号: U 45

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2007)增 1 - 2669 - 09

STUDY ON SURROUNDING ROCK CONSTRUCTION OPTIMIZATION OF KUIGANG TUNNEL BASED ON FUNCTION ANALYSIS SYSTEM TECHNIQUE

ZHANG Caijiang¹, SHEN Qiping², HUANG He³

(1. *School of Economic and Commerce, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510006, China;*
2. *Department of Building and Real Estate, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China;*
3. *Guangdong University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510075, China*)

Abstract: The technical-economic view is first adopted to identify the best construction method according to project management objective under certain condition based on value engineering(VE) and function analysis system technique(FAST). Then an appraising model is set up, with expert knowledge and group decision techniques. Finally, the Kuigang tunnel is discussed, which shows that this model is effective for construction scheme optimization and has the value for further study.

Key words: tunnelling engineering; value engineering(VE); function analysis system technique(FAST); group decision support system(GDSS); cost; Kuigang tunnel; construction scheme optimization

1 引言

由于缺乏有效的评估手段, 对于施工方案的评

估, 传统的做法往往过于注重技术性, 对技术之外的因素评估仅仅是成本比较, 这种评估模式虽然简单, 却不一定有效, 本文基于价值工程(value engineering, VE)思维和功能系统分析技术(function

收稿日期: 2006 - 05 - 27; **修回日期:** 2006 - 08 - 30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70571069, 70471086); 中国博士后科学基金项目(20040350719); 浙江省博士后择优科研基金项目(2004 - bsh - 034)

作者简介: 张彩江(1966 -), 男, 博士, 现任副研究员, 主要从事公路工程、复杂系统决策理论、系统方法论和价值管理等方面的研究工作。E-mail: zcj@scut.edu.cn

analysis system technique, FAST), 结合专家知识和群决策支持(DSS)方法, 对高速公路隧道施工方案的评估和优化选择方法进行了研究, 建立了一个针对不同围岩类别的施工优化理论模型。并将模型应用到一个具体案例——葵岗隧道的施工优化上, 葵岗隧道已于 2005 年 10 月成功建成通车。实践证明: 这种理论模型解决了工程施工方案中定性指标的计量问题和多因素综合问题, 评估结果十分有效。

研究中主要遵循了 VE 的思维和 FAST 技术, 这是一种能以最小消耗提供最有效功能, 使产品获得最高价值的思想和分析技术, 最早由通用电器公司(GE)工程师 L. D. Miles^[1]创建。随后, C. W. Bytheway^[2, 3]提出了 FAST 技术。VE 在国外应用很成功^[4], 而国外的 VE 应用, 一般都以 FAST 图作为功能评价的基础, 可以说没有开展 FSAT 分析技术和功能图绘制, 就称不上是 VE 活动^[5]。中国工程界很少开展 VE 应用, 更不用说采用 FAST 方法了^[6], 这也是中国工程方案评估模式僵化的一个主要因素^[7, 8]。

2 案例中的工程概况

葵岗隧道是梅州—河源高速公路项目中的一个大型控制性工程, 位于梅县南口镇葵岗村的葵岗山, 山脊近 SN 向, 隧道近 EW 向, 起始桩号为左线: LK3+540~LK4+240, 全长为 700 m; 右线 K3+535~K4+235, 全长为 700 m; 隧道穿越山体最大标高约为 265 m, 最大埋深为 130 m。进出洞口位置为半山腰, 属低山丘陵地带。

根据区域地质调绘及钻孔资料显示, 该山体基岩为石炭系(C₂₋₃)灰岩、碳质泥岩、砂岩及含煤地层, 表层为第四系的亚黏土及亚黏土混碎石为主。隧道局部为溶洞发育地带, 岩蚀、溶蚀现象极其严重, 地下水丰富, 并且需穿越多处废弃老煤窑窟, 不良地质很多, 施工难度及风险都非常大。必须开展施工优化方案选择研究, 见图 1。

3 对象选择

根据 VE 的对象选择(object selection)原则, 主要选择造价高、施工难度大、施工时间长、劳动占用量大的分项工程, 这样能够收到较好的技术经济效果。先用 ABC 法对该工程项目进行分析。依据工



(a)



(b)

图 1 采用台阶法施工中的葵岗隧道

Fig.1 Kuigang tunnel in construction with step method

程量清单, 可以计算出各工程的费用成本, 见表 1。

表1 工程项目费用表
Table 1 Cost table for project items

工程名称	成本/万元	所占比例/%	排序
洞口工程	1 226.84	26.64	2
洞身工程	2 849.22	61.86	1
辅助工程	530.01	11.50	3
合计	4 606.07	100.00	

洞身工程占了 61.86%的费用。经过价值分析法评估, 洞身工程不但费用高、而且施工难度大, 施工时间长, 劳动力占用量也最大, 是影响整个隧道工程的关键, 这里被选为研究对象。

4 功能分析

4.1 功能系统分析(FAST)

功能分析(function analysis)是价值工程研究中

的重要阶段, 通过功能分析能够找出不必要功能、过剩功能、不足功能和欠缺功能。隧道施工可分为洞口工程、洞身工程和辅助工程。根据施工规范要求以及多名工程技术专家的分析意见。整理出该隧道工程施工必须实现的一级功能, 包括质量高、工法安全、施工期短、造价合理及技术难度小, 一共 5 项。另有 11 项二级功能。从而得出其功能系统分析技术图, 见图 2。

4.2 功能评价

对隧道施工方案进行优化, 必须从 FAST 图着手, 对项目的功能作进一步的分析, 应用 VE 技术剔除过剩功能(surplus functions, SFs)和 unnecessary functions, UFs), 并找出不足功能(insufficient functions, IFs)予以补充, 使 FAST 中的各组成部分及其功能都是必要的、完整的, 即项目对时间、人力、资金等资源均无浪费。

5 施工方案的优化及评价

5.1 优化方案的提出

根据葵岗隧道地质条件差、变化大、各种围岩贯穿整个隧道这种实际情况, 经过专家和工程技术人员的研讨, 先用发散思维提出了大量可能方案, 最后根据既要质量好, 进度快, 又具有经济性的原则, 初步筛选出全断面法、台阶法、中隔墙法(CD)、双侧壁导坑法、十字中隔墙法(CRD)、台阶分部开挖留核心法这 6 种施工方案, 具体规范见相关规范^[9, 10]。

5.2 方案评价

这里, 针对葵岗隧道的各类围岩施工方案进行分析, 对各施工方案加以评价, 为工程的施工提供定量的评估数据, 以便从中选出最佳施工方案。

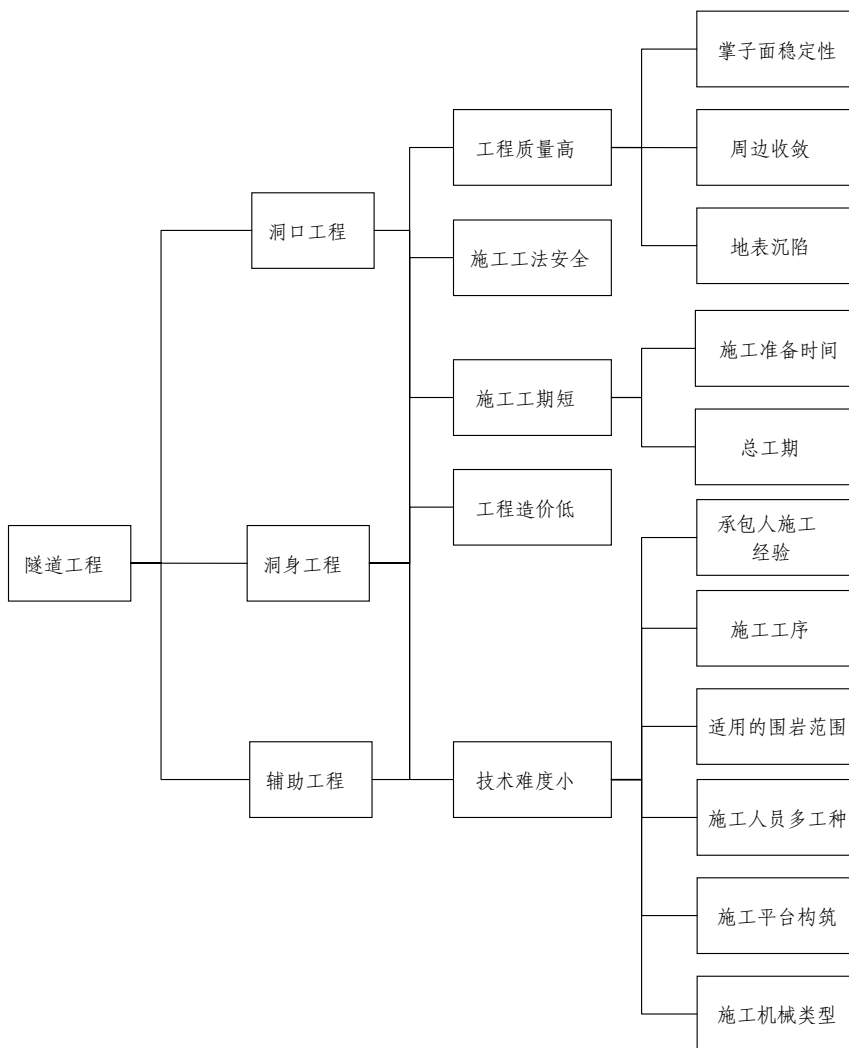


图 2 隧道工程功能系统分析(FAST)图

Fig.2 Plot of function analysis for tunnel engineering

由于不同的围岩类别的影响，项目的工作分解系统(working breakdown system, WBS)所要实现目标的重要度(工程质量高、施工工法安全、施工工期短、工程造价低、技术难度小)也会有很大不同，功能系统图(FAST)所要实现的功能系数也随之转变。各类围岩和不同的施工方法对施工的技术要求见图 3。

下面用强制打分法(forced decision, FD)对其优先度进行对比，具体采用 FD/0 - 4 法。

首先求各方案本身的得分，见表 2。将 6 种施

工方案进行对比，分别在每一个评价方案中进行一对一对比。在对比中、好的方案得 4 分，不好的得 0 分，同等的各得 2 分。然后把每个方案的得分进行累计。再除以各方案的总分，便得出各方案对不同评价项目中的得分。

有了各方案的不同评价项目中的得分后，还不能直接相加求总分，因为这 6 个评价项目并非同等重要。例如，“工程质量”与“总工期”其重要程度并不一样。因此，还需要分别求出各项评价项目的

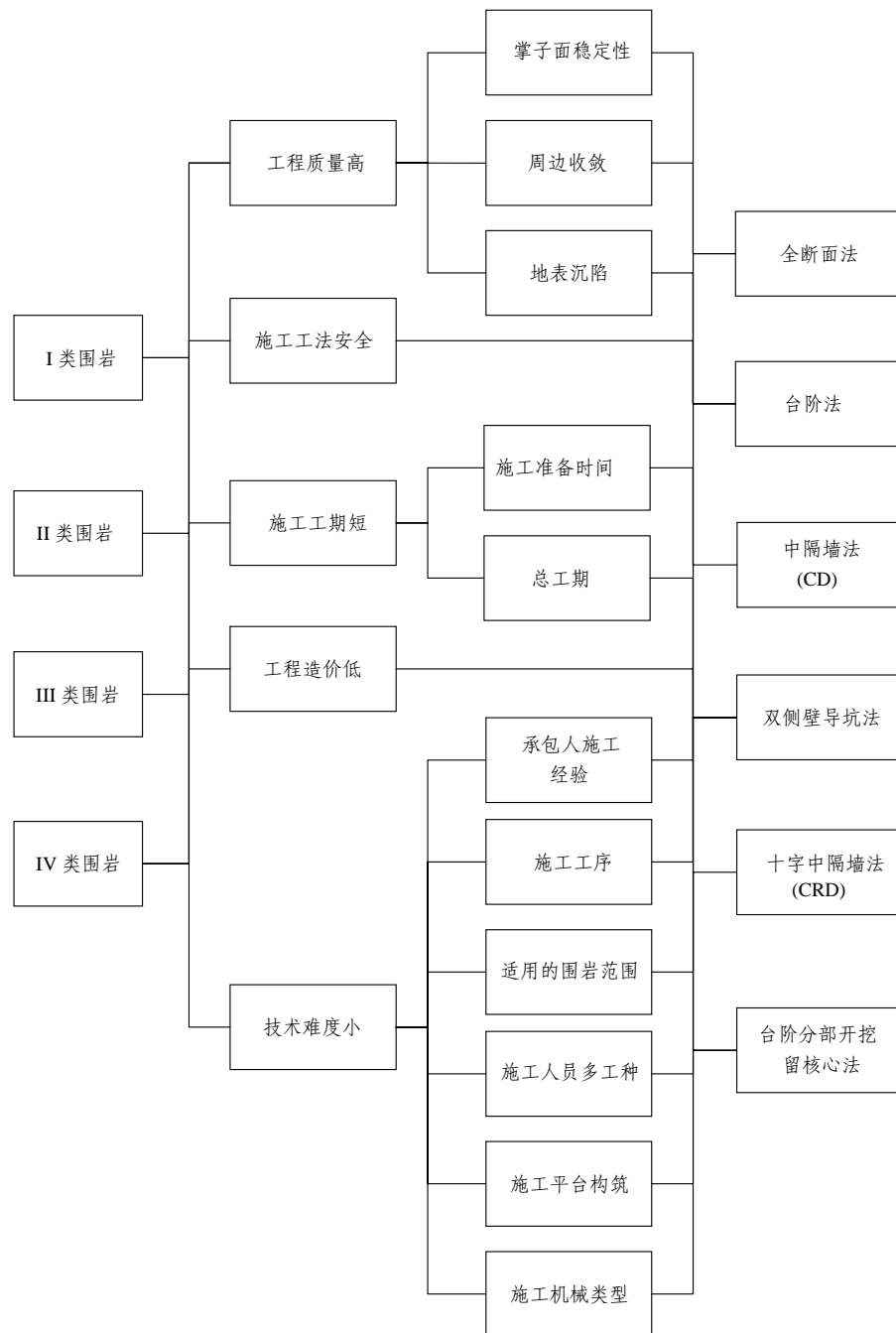


图 3 各类围岩和不同的施工方法对施工的技术要求

Fig.3 Technique requirement for different surrounding rocks and construction methods

表 2 采用 FD/0 - 4 法计算各方案的评价得分值
Table 2 Appraising values for different schemes with FD/0 - 4 calculation method

评价项目	评价方案	重要度得分					重要度得分 合计	重要度系数 W_{ij}
		1	2	3	4	5		
工程质量高 $i = 1$	全断面法	4	4	0	0	8	16	0.086 96
	台阶法	16	8	10	12	8	54	0.293 48
	中隔墙法(CD)	4	0	8	8	4	24	0.130 43
	双侧壁导坑法	4	2	6	10	6	28	0.152 17
	十字中隔墙法(CRD)	0	4	4	4	0	12	0.065 22
	台阶分部留核心法	12	12	6	8	12	50	0.271 74
施工工法安全 $i = 2$	全断面法	0	0	0	0	0	0	0.000 00
	台阶法	6	4	6	8	6	30	0.144 23
	中隔墙法(CD)	6	6	4	4	8	28	0.134 62
	双侧壁导坑法	8	10	16	10	8	52	0.250 00
	十字中隔墙法(CRD)	12	16	6	10	10	54	0.259 62
	台阶分部留核心法	10	6	8	12	8	44	0.211 54
施工工期短 $i = 3$	全断面法	16	12	16	12	10	66	0.314 29
	台阶法	12	8	6	10	10	46	0.219 05
	中隔墙法(CD)	8	4	6	6	6	30	0.142 86
	双侧壁导坑法	4	4	2	8	6	24	0.114 29
	十字中隔墙法(CRD)	0	0	4	2	0	6	0.028 57
	台阶分部留核心法	10	8	6	8	6	38	0.180 95
工程造价低 $i = 4$	全断面法	16	18	12	12	12	70	0.321 10
	台阶法	16	10	12	12	8	58	0.266 06
	中隔墙法(CD)	4	2	6	8	4	24	0.110 09
	双侧壁导坑法	4	4	2	8	4	22	0.100 92
	十字中隔墙法(CRD)	0	0	0	0	0	0	0.000 00
	台阶分部留核心法	6	10	12	6	10	44	0.201 83
技术难度小 $i = 5$	全断面法	18	12	16	12	10	68	0.323 81
	台阶法	12	16	6	8	8	50	0.238 10
	中隔墙法(CD)	4	4	6	8	4	26	0.123 81
	双侧壁导坑法	4	4	4	4	4	20	0.095 24
	十字中隔墙法(CRD)	0	0	0	0	0	0	0.000 00
	台阶分部留核心法	8	10	10	8	10	46	0.219 05

加权系数。另外, 针对不同围岩, 各制约因数的权重也会有所变化, 例如, 对不同围岩出于安全的考虑, 权重将会有很大的不同, 进而影响到对成本等

权重的考虑。加权系数是采用 FD/0 - 1 法通过专家打分得到, 见表 3。

结合表 3 的加权系数, 就可以求出针对不同围

表 3 加权数的获取与计算
Table 3 Obtaining and calculating of average weight

评价项目	功能代号	重要度得分					重要度得分 合计	加权系数 p_{ji}
		1	2	3	4	5		
I类围岩($l=1$)	工程质量高	4	4	3	4	4	19	0.351 85
	施工工法安全	4	4	4	4	4	20	0.370 37
	施工工期短	1	1	2	2	1	7	0.129 63
	工程造价低	2	2	0	0	2	6	0.111 11
	技术难度小	0	0	1	1	0	2	0.037 04
II类围岩($l=2$)	工程质量高	4	4	4	4	4	20	0.363 64
	施工工法安全	4	3	3	3	4	17	0.309 09
	施工工期短	2	2	2	2	2	10	0.181 82
	工程造价低	2	2	1	1	2	8	0.145 45
	技术难度小	0	0	0	0	0	0	0.000 00
III类围岩($l=3$)	工程质量高	3	4	4	4	4	19	0.333 33
	施工工法安全	4	3	3	3	4	17	0.298 25
	施工工期短	2	2	1	1	2	8	0.140 35
	工程造价低	3	3	2	2	2	12	0.210 53
	技术难度小	0	1	0	0	0	1	0.017 54
IV类围岩($l=4$)	工程质量高	3	4	3	3	4	17	0.303 57
	施工工法安全	1	1	1	1	1	5	0.089 29
	施工工期短	3	3	3	4	2	15	0.267 86
	工程造价低	3	3	3	3	3	15	0.267 86
	技术难度小	0	0	2	2	0	4	0.071 43

岩类别情况下各施工方案的综合评价系数:

$$v_{it} = w_{ij} p_{ji} =$$

$$\begin{bmatrix} 0.086 & 96 & 0.000 & 00 & 0.314 & 29 & 0.321 & 10 & 0.323 & 81 \\ 0.293 & 48 & 0.144 & 23 & 0.219 & 05 & 0.266 & 06 & 0.238 & 10 \\ 0.130 & 43 & 0.134 & 62 & 0.142 & 86 & 0.110 & 09 & 0.123 & 81 \\ 0.152 & 17 & 0.250 & 00 & 0.114 & 29 & 0.100 & 92 & 0.095 & 24 \\ 0.065 & 22 & 0.259 & 62 & 0.028 & 57 & 0.000 & 00 & 0.000 & 00 \\ 0.271 & 74 & 0.211 & 54 & 0.180 & 95 & 0.201 & 83 & 0.219 & 05 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.351 & 85 & 0.363 & 64 & 0.333 & 33 & 0.303 & 57 \\ 0.370 & 37 & 0.309 & 09 & 0.298 & 25 & 0.089 & 29 \\ 0.129 & 63 & 0.181 & 82 & 0.140 & 35 & 0.267 & 86 \\ 0.111 & 11 & 0.145 & 45 & 0.210 & 53 & 0.267 & 86 \\ 0.037 & 04 & 0.000 & 00 & 0.017 & 54 & 0.071 & 43 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 0.119 & 01 & 0.135 & 47 & 0.146 & 38 & 0.219 & 72 \\ 0.223 & 45 & 0.229 & 83 & 0.231 & 77 & 0.248 & 91 \\ 0.131 & 09 & 0.131 & 03 & 0.129 & 03 & 0.128 & 21 \\ 0.175 & 69 & 0.168 & 07 & 0.164 & 24 & 0.132 & 96 \\ 0.122 & 80 & 0.109 & 15 & 0.103 & 18 & 0.050 & 63 \\ 0.227 & 96 & 0.226 & 46 & 0.225 & 40 & 0.219 & 56 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)结果中,第 1~6 行分别为全断面法、台阶法、中隔墙法(CD)、双侧壁导坑法、十字中隔墙法(CRD)、台阶分部留核心法;第 1~4 列分别为 I, II, III, IV 类围岩。由此可见,对于葵岗隧道的特殊地址条件, I~IV 类围岩的前 3 种优势施工方法分别为:(台阶分部留核心法、台阶法、双侧壁导坑法);(台阶法、台阶分部留核心法、双侧壁导坑法);(台阶法、台阶分部留核心法、双侧壁导坑法);(台

阶法、全断面法、台阶分部留核心法)。

5.3 各类围岩的施工方案评价

5.3.1 I类围岩施工

原设计方案施工方法为十字中隔墙法(CRD), 共分四部分, 设计 I 类围岩左右线共长 128 m。根据对葵岗隧道 I 类围岩的施工方法的评分分析, 台阶分步开挖预留核心法得分明显要高于 CRD 法。

由此, 对 CRD 法在葵岗隧道的应用提出了质疑, 经过反复论证, 提出了把原方案优化为台阶分步留核心法的提案, 并总结了施工方法优化的可行性:

(1) 有前 60 m 对该种围岩的施工经验及对该类围岩地质条件的了解, 将进洞 60 m 后围岩由 II 类变为 I 类。

(2) 由地质雷达超前预报勘察资料显示: I 类围岩与已开挖 60 m II 类围岩地质条件基本相同, 只是个别地段存在溶洞及溶蚀沟, 但 I 类围岩初期支护已加强, 原设计有 6 m 长的超前注浆小导管辅助施工可以弥补不足, 对于有溶洞及溶蚀沟存在地段在超前注浆小导管注浆时已能先将其固结。

(3) 每循环进尺 I 类围岩比 II 类围岩缩短 20 cm, 且 I 类围岩初期支护已加强, 钢拱架间距型号, 混凝土厚度, 系统锚杆长度都比 II 类围岩加强。系统锚杆注浆量也加大, 更能起到固结围岩的作用。

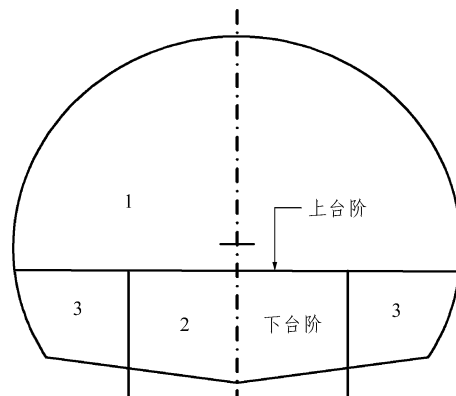
(4) 有严格的隧道监控量测指导施工。葵岗隧道监控量测由外包专门的作业队伍, 在施工中能真正起到指导施工的作用, 能及时准确地反映初期支护的变化情况、改变施工方法及做好各种应变措施。

(5) 有地质雷达超前预报指导施工, 葵岗隧道地质超前预报有专门作业队伍。地质雷达超前预报能预报前方 20 m 围岩的详细地质条件。使得在施工中能根据地质条件及时改变施工方法, 做好各种应

急措施及施工准备。

(6) 葵岗隧道二次衬砌能紧跟开挖面。

对比现场地质条件, 通过勘察分析及研究论证, 决定把原设计 CRD 施工方法优化为台阶分步开挖预留核心法。见图 4。



1—上台阶开挖及初期支护; 2—下台阶中槽开挖;
3—跳槽开挖下台阶边墙及初期支护

图 4 I 类围岩施工顺序

Table 4 Construction sequence for class I surrounding rock

采用台阶分部法开挖, 取消临时仰拱钢拱架, 上台阶采用弧形开挖, 中间预留核心土, 下台阶仰拱紧跟上台阶, 上、下台阶错开间距小于 10 m, 减少了施工工序, 加快了进度, 节约成本。加强控制每循环进尺长度, 每循环进尺小于 70 cm。开挖方式以人工配合机械为主, 需要爆破开挖的, 严格控制用药量。其施工优化后总节约成本 137.86 万元, 见表 4(S0 衬砌 238 m)。

5.3.2 II类围岩施工

对于 II 类围岩施工, 设计方案为台阶分步开挖预留核心法。但根据上面的重要度评分法分析结果显示, 对葵岗隧道的 II 类围岩来说, 台阶分步开挖预留核心法与台阶法得分接近, 台阶法得分略显优势, 是方案优化的考虑方向。

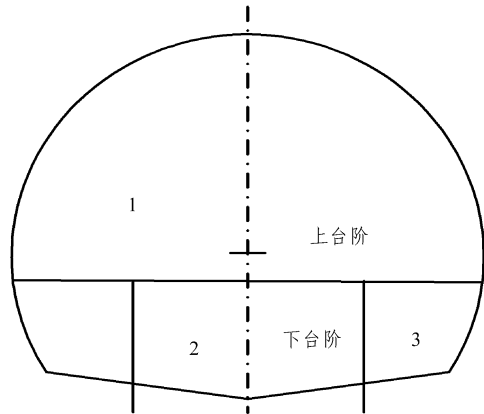
表 4 I 类围岩设计施工优化后经济效果对比表

Table 4 Contrast of economic effect after optimization of design and construction for class I surrounding rock

临时仰拱工字钢拱架				临时仰拱喷射混凝土			
设计质量 (kg · m ⁻¹)	优化后质量 (kg · m ⁻¹)	节约工字钢拱架/kg	节约成本/元	设计体积 (m ³ · m ⁻¹)	优化后体积 (m ³ · m ⁻¹)	节约喷射 混凝土/m ³	节约成本/元
394	0	93 772	409 314	5.5	0	1 309	883 575
人工				时间			
节约人工/(工日 · m ⁻¹)	节约总人工/工日	节约人工费/元		节约时间/(h · m ⁻¹)	节约总时间/d		
12	2 856	85 680		12	119		

经过反复讨论认为：原设计施工采用临时仰拱的施工，增加成本又影响工期；上台阶临时仰拱刚拱架在拆除及混凝土凿除时，爆破破坏混凝土施工将二次扰动围岩，影响上台阶的施工，极大影响进度。如能在保证施工安全的前提下通过地质超前预报指导施工，去除上台阶临时仰拱刚拱架，将可以减少临时仰拱刚拱架的制作、安装、拆除及混凝土的施工和凿除；减少施工工序，节约成本。

II 类围岩衬砌设计施工方法为上、下台阶分部开挖法，上台阶开挖后初期支护作业时同时进行临时仰拱的施工，见图 5。经过反复讨论，对地质条件进行详细的分析、勘测，并考虑到工期紧，决定取消临时仰拱刚拱架，下台阶仰拱紧跟上台阶；上、下台阶错开间距小于 10 m，减少了施工工序，加快了进度，节约了直接成本(见表 5)。



1—上台阶开挖及初期支护；2—下台阶中槽开挖；
3—跳槽开挖下台阶边墙及初期支护

图 5 II 类围岩施工顺序

Fig.5 Construction sequence of class II surrounding rock

5.3.3 III 类围岩施工

从以上过程可以看出，对于典型的葵岗隧道 III 类围岩，台阶法得分是比较高的，应设为优先考虑方案，所以施工过程仍然采取原设计方案。

根据价值工程分析结果，针对葵岗隧道 III 类围岩(S4 衬砌)，采用短台阶法开挖方案：开挖方式采用光面爆破，上台阶超前下台阶 30 m，利用已加工好的可移动开挖平台进行钻爆作业，减少爆破钻眼时间，缩短开挖后支护成环的时间；下台阶采用半幅开挖，上下台阶同时作业(见图 6)。

5.4 总体优化效果及经济效益

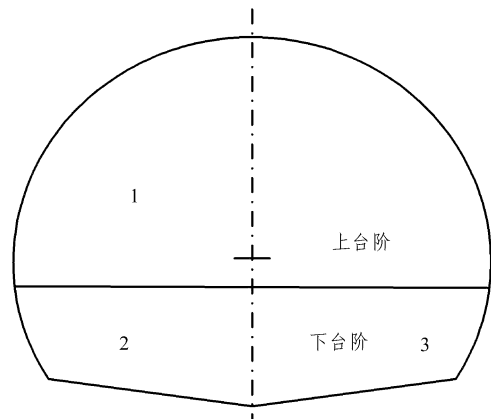
由于过渡方案优势明显不足，因而不作评价了。通过价值工程设计施工的优化，取消临时仰拱

表 5 II 类围岩设计施工优化后经济效果对比表
Table 5 Contrast of economic effect after optimization of design and construction for class II surrounding rock

项目	临时仰拱工字钢拱架 /(kg · m ⁻¹)		节约工字钢 拱架/kg	节约 成本/元
	设计	优化后		
S2衬砌(120 m)	138.6	0	16 560	72 284
S3衬砌(142 m)	107.0	0	15 216	66 417
合计			31 776	138 701

项目	临时仰拱喷射混凝土 /(m ³ · m ⁻¹)		节约喷射混 凝土/m ³	节约成本/元
	设计	优化后		
S2衬砌(120 m)	2.65	0	318	214 650
S3衬砌(142 m)	2.65	0	318	214 650
合计				429 300

项目	节约人工 /(工日 · m ⁻¹)	节约人工 /工日	节约人工 费/元	节约时间 /(h · m ⁻¹)	节约总 时间/d
	S2衬砌(120 m)	3	360	10 800	5
S3衬砌(142 m)	3	426	12 780	5	99
合计		786	23 580		174



1—上台阶开挖及初期支护；2—下台阶边槽左幅开挖及初期支护；
3—下台阶边槽右幅开挖及初期支护

图 6 III 类围岩施工顺序

Fig.6 Construction sequence of class III surrounding rock

钢拱架及中墙临时钢拱架，节约施工成本，缩短工期，加快施工进度，提高了经济效益。节约钢拱架 125 t，节约成本 54.80 万元；节约混凝土 1 945 m³，节约成本 131.29 万元；节约 3 642 工日，节约人工费 10.93 万元；总节约费用 197.01 万元，缩短工期 293 d，见表 6。

表 6 设计施工优化后经济效果对比汇总表

Table 6 Total of economic effect after optimization of design and construction

项目	临时仰拱工字钢拱架 /(kg · m ⁻¹)		节约工字钢拱架/kg	节约成本/元
	设计	优化后		
	S2衬砌(120 m)	138.6		
S3衬砌(142 m)	107.0	0	15 216	66 417
S0衬砌(238 m)	394.0	0	93 772	409 314
合计			125 548	548 015

项目	临时仰拱喷射混凝土 /(m ³ · m ⁻¹)		节约喷射混凝土/m ³	节约成本/元
	设计	优化后		
	S2衬砌(120 m)	2.65		
S3衬砌(142 m)	2.65	0	318	214 650
S0衬砌(238 m)	5.50	0	1 309	883 575
合计			1 945	1 312 875

项目	节约人工 /(工日 · m ⁻¹)	节约总人工 /工日	节约人工 费/元	节约时间 /(h · m ⁻¹)	节约总时 间/d
S3衬砌(142 m)	3	426	12 780	5	99
S0衬砌(238 m)	12	2 856	85 680	12	119
合计		3 642	109 260		293

6 结 论

VE 的理念是清晰的, 就是通过优化功能和成本的配比, 获取对象的最优价值。但是 VE 的应用并不容易。一方面, 在工程领域, VE 的应用对象系统具有复杂性。另一方面, VE 的每一次应用都包含了创新的过程。VE 的应用是技术和经济分析通过 FAST 技术相结合的过程。通过案例分析可以清晰地看到, 原来单纯从技术角度设计的施工方案并不是技术经济最优方案。通过 VE 分析, 发现功能和成本的失配对象, 然后, 基于 FAST 技术, 结合专家知识的群决策方法, 遴选失配对象, 并针对性地改善方案, 是一种先进的工程评审技术。目前这项技术在我国工程界应用很少, 这也是我国工程

项目管理水平难以提升的一个主要原因。

参考文献(References):

- [1] MILES L D. Techniques of value analysis and engineering[M]. New York: McGraw-Hill, 1972: 1 - 2.
- [2] BYTHEWAY C W. Basic function determination technique[C]// SAVE Proceedings the 15th National Conference. [S. l.]: [s. n.], 1965: 21 - 23.
- [3] BYTHEWAY C W. FAST diagrams for creative function analysis[C]// SAVE Communications and Journal of Value Engineering. [S. l.]: [s. n.], 1971: 66 - 72.
- [4] Bureau of Reclamation. Value program summary of activities report[R]. [S. l.]: Bureau of Reclamation, USA, 2003.
- [5] SHEN Q P, LIU G W. Applications of value management in the construction industry in China[J]. Engineering, Construction and Architectural Management, 2004, 11(1): 9 - 19.
- [6] WIXSON J R. Functions Analysis and decomposition using function analysis system technique(FAST)[C]// Save Int'l Conference Proceedings. [S. l.]: [s. n.], 2001: 33 - 38.
- [7] 张彩江, 马庆国. 价值工程应用系统的复杂性机制认识[J]. 科学学研究, 2005, 23(2): 242 - 248.(ZHANG Caijiang, MA Qingguo. Research on the complex mechanics of value engineering application system[J]. Studies in Science of Science, 2005, 23(2): 242 - 248.(in Chinese))
- [8] ZHANG C J, CHEN W X, SUN D C. Study on the VE procedure and its improving approaches[J]. Journal of South China University of Technology(Natural Science), 2003, 31(5): 25 - 33.
- [9] 中华人民共和国行业标准编写组. JTJ042 - 94 公路隧道施工技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.(The Professional Standards Compilation Group of People's Republic of China. JTJ042 - 94 Technical specification for construction of highway tunnel[S]. Beijing: Standards Press of China, 1994.(in Chinese))
- [10] 中华人民共和国国家标准编写组. GB8223 - 87 价值工程基本术语和一般工程程序[S]. 北京: 中国标准出版社, 1987.(The Professional Standards Compilation Group of People's Republic of China. GB8223 - 87 Value engineering-general terms and work program[S]. Beijing: Standards Press of China, 1987.(in Chinese))