

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2020.04.015

# 价值工程在高铁隧道优化中的应用研究

展宏跃, 孟庆余

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300142)

**摘要:**以隆新高速铁路设计为背景,基于价值工程功能分析理论,应用专家知识和群决策(DSS)技术,通过对案例设计方案进行系统的研究,建立了一个多因素影响的隧道优化设计方案理论模型,并基于此模型对隧道的功能和成本进行评价,得出相应的评价指标,应用于隧道设计之中。在不增大隧道断面尺寸的情况下将隧道两侧的水沟电缆槽道加高460 mm,作为疏散通道,实现了灾害工况下人员安全快速疏散至隧道两侧疏散通道的目的。提出了一种基于复杂价值工程的高速铁路隧道设计方案比选和优化模型。

**关键词:** 高速铁路;隧道优化;价值工程;防灾救援

中图分类号: U452

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2020)04—0094—05

## Value Engineering Application on High-Speed-Rail Tunnel Optimization

ZHAN Hongyue, MENG Qingyu

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300142, China)

**Abstract:** Based on value engineering analysis in Kuala Lumpur-Singapore High-Speed-Rail, a tunnel optimized design theoretical model responding to multi-factors was proposed through a case study, within expert knowledge and group decision support system. After obtaining corresponded parameters of function and cost assessment, the research can be applied in tunnel design. The conclusions are as follows. Within original cross-section, the walkway on cable trough can be lifted 460 mm higher to ensure passengers and staffs safely passing-by in case of accidents. The new tunnel optimized design and model are generated based on value engineering, which offers a standard reference for tunnel engineering.

**Keywords:** high-speed-rail; tunnel optimization; value engineering; emergency evacuation

近年来,伴随着大规模高速铁路的快速建设,越来越多的高速铁路隧道建成运营,由于高速铁路速度快,标准高,曲线半径大,穿山越岭隧道在高铁隧道中的作用尤为突出。中国高速铁路从技术、安全、节能环保至性价比等优越特性日益凸出<sup>[1-2]</sup>。目前,在国内高铁大发展的背景下,中国国内设计、施工企业逐步走向了国际舞台,为世界高速铁路的发展起到了引领作用,比如正在施工的印尼雅万高速铁路,正在参与设计的隆新高速铁路等。

由于国内设计的标准化使得价值工程的应用相

对较少,而国外工程的设计、咨询等参与的国际公司较多,国际铁路隧道的设计、施工对价值工程的应用相对国内更广泛,从设计方案的确定、工程措施的制定、施工方法的选择等均需要通过价值工程来进行细致的评价,因此,合理的利用价值工程进行分析研究对项目的实施起到了不可忽视的作用。

价值工程从对象所必备的功能与成本的匹配关系为出发点,以功能分析为核心<sup>[3-4]</sup>,在分析对象功能的基础上来研究对象的结构和材质等问题,是一种非常有效的技术分析<sup>[5]</sup>,特别适用于大型工

收稿日期:2020-04-02

修稿日期:2020-04-28

基金项目:中国铁路设计集团有限公司科研课题“海外项目隧道工程技术标准对照研究”(2019YY320317)

作者简介:展宏跃(1979—),男,甘肃张掖人,硕士,高级工程师,主要从事隧道工程设计和咨询工作。E-mail:zihua2001@163.com

程方案的对比优化分析。

本文从高铁隧道单双洞的选择、以及隧道工程设计方案 11 项指标进行了详细的分析和评价,提出了相应的隧道优化理念,为后续类似工程分析提供借鉴和参考。

## 1 项目背景

本文依托隆新高速铁路<sup>[6]</sup> RDC05 标段隧道工程进行研究分析。隆新高速铁路全长约 350 km,其中马来西亚境内约 335 km,新加坡境内约 15 km。其中隧道共计 8 座,全长约 14.29 km,全部为双线隧道。

依托工程隧道位于 Johor 州,地处低山丘陵地带,隧道最大埋深约 129 m,隧道进口里程为 CK132 + 320,出口里程为 CK134 + 150,全长 1 830 m。隧道穿越段地形复杂,地表植被茂密,所处国家土地私有,征地及交通较为不便(见图 1)。

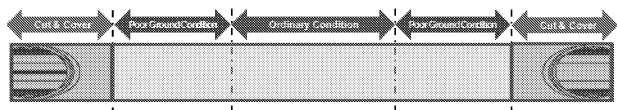


图 1 隧道方案示意图

## 2 对象的选择

由于当地铁路隧道工程较少,各界对隧道工程的重视度较高,加之隧道工程造价较高,且施工工期较长,施工难度较大,施工占用劳动力较多,以上是影响该地区隧道工程进度、质量和价值的关键因素。因此,根据价值工程的对象选择原则,将该隧道工程列为 VE 研究对象是很有必要的。

## 3 系统功能分析

### 3.1 功能结构

隧道工程设计方案确定过程中邀请了 5 位相关方面的专家,采用 VE 提问法进行分析和评价,对隧道工程的功能结构进行了划分,如图 2 所示。

### 3.2 功能分析

根据 VE 技术,分析并找出隧道工程设计方案中功能不足之处予以补充,同时对隧道设计方案中的过剩功能和不必要功能予以剔除,组成必要和完整的设计方案分解系统 WBS (Working Breakdown System, WBS)。比如,依托项目中高速铁路隧道长 1 830 m,根据隧道所处的现场条件,采用的设计体系及具体的技术要求,设计了高铁隧道所必须的防灾疏散救援通道、出入口、隧道通风、照明、消防等辅

助结构。同时,由于考虑隧道为排水型隧道,剔除了结构抗水压等不必要的功能要求<sup>[7-8]</sup>。经过系统的功能定义和归纳,整理出 4 项一级功能,包括:线形及内轮廓、结构及耐久性、隧道防排水、防灾疏散救援等方面<sup>[9-10]</sup>。14 项二级功能见图 3。

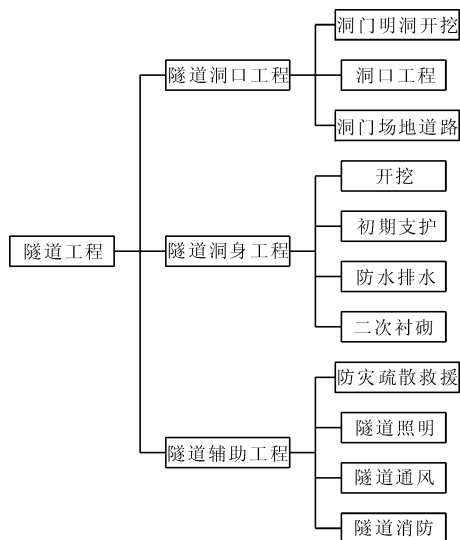


图 2 隧道工程设计方案功能结构

## 4 功能评价

### 4.1 功能重要性系数

根据上述功能系统,采用功能系数综合评价方法对功能价值进行分析和评价<sup>[11]</sup>,确定各项功能的重要性系数 $f_i$ 。经过 5 位经验丰富的地质及隧道方面的工程师采用多比例打分法对上述 6 项一级功能 Fun 01—Fun 06 的重要性进行打分(对比评分中按照 0:10,1:9,2:8,3:7,4:6 及 5:5 确定功能的重要程度),各项功能的重要性系数 $f_i = F_i / \sum F_i$ ,通过汇总分析得到隧道功能重要度评价表,如表 1 所示。

### 4.2 功能费用系数

根据 WBS 方案图,将隧道工程设计方案 11 项工程费用分摊到 Fun 01—Fun 04 六级子功能中,从而计算得出各个功能成本<sup>[12]</sup> $C_i$ ,根据单项功能费用与总费用关系计算功能费用系数 $c_i = C_i / \sum C_i$ 。结果见表 2。

### 4.3 计算价值系数

价值工程是将产品的价值、功能和成本作为一个整体同时来考虑。根据价值(V)、功能(F)、费用(C)三个基本要素的相互关系,可以得到:

$$V = F/C \quad (1)$$

式中: $F$ 为评价对象的功能价值,或称为功能指数; $C$ 为评价对象的成本指数。

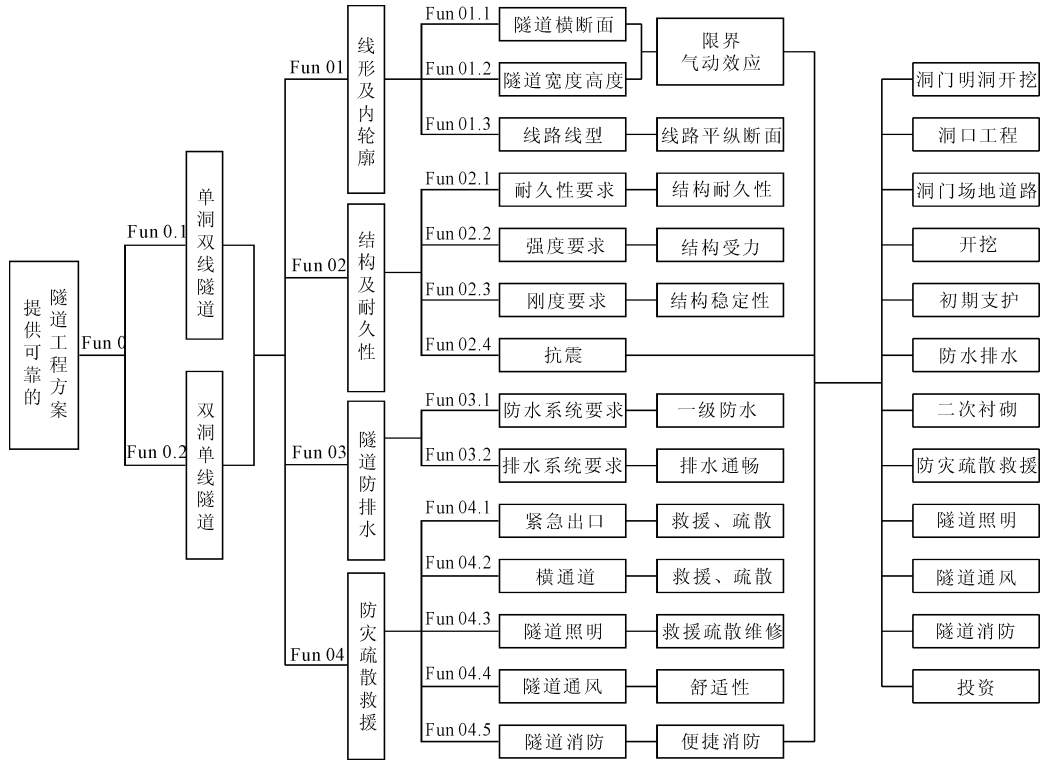


图 3 隧道工程设计方案功能系统结构图

表 1 隧道功能重要度评价表

一级子功能	评价人员对不同隧道打分										总计得分		功能系数	
	1		2		3		4		5					
	12	21	12	21	12	21	12	21	12	21	12	21	12	21
Fun 01	23	22	20	19	21	24	25	27	25	22	114	114	0.23	0.23
Fun 02	33	38	33	37	36	33	36	35	35	38	173	181	0.35	0.36
Fun 03	18	16	19	17	18	14	16	15	15	13	86	75	0.17	0.15
Fun 04	26	24	28	27	25	29	23	23	25	27	127	130	0.25	0.26
合计	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	500	500	1.00	1.00

注:表头第三行中编号 12 为单洞双线隧道,编号 21 为双洞单线隧道。

表 2 目标成本及成本系数表

名称	不同隧道成本/万元		不同隧道二级子功能成本/万元							
			Fun 01		Fun 02		Fun 03		Fun 04	
	12	21	12	21	12	21	12	21	12	21
明洞	135.30	223.25	36.50	58.40	56.50	90.40	29.80	47.68	12.50	20.00
洞口	133.13	219.66	29.63	47.41	36.50	58.40	30.80	49.28	36.20	57.92
洞口平整	870.50	1436.33	180.50	288.80	230.00	368.00	60.00	96.00	400.00	640.00
开挖	1660.50	2739.83	320.50	512.80	680.00	1088.00	360.00	576.00	300.00	480.00
初支	5210.60	8597.49	1510.60	2416.96	2180.00	3488.00	720.00	1152.00	800.00	1280.00
防排水	250.30	413.00	40.30	64.48	60.00	96.00	80.00	128.00	70.00	112.00
二衬	6300.90	10396.49	1200.90	2171.44	2000.00	3700.00	1300.00	1980.00	1800.00	2130.00
疏散救援	1000.50	1650.83	200.50	320.80	300.00	480.00	200.00	320.00	300.00	480.00
照明	530.50	875.33	120.50	192.80	130.00	208.00	80.00	128.00	200.00	320.00
通风	200.60	330.99	30.60	48.96	40.00	64.00	30.00	48.00	100.00	160.00
消防	230.40	380.16	30.40	48.64	50.00	80.00	30.00	48.00	120.00	192.00
合计	16523.23	27263.33	3700.93	6171.49	5763.00	9720.80	2920.60	4572.96	4138.70	5871.92
系数	1.00	1.00	0.22	0.23	0.35	0.36	0.18	0.17	0.25	0.22

注:表头第三行中编号 12 为单洞双线隧道,编号 21 为双洞单线隧道。

通过对上述功能价值系数的统计分析,可以得到各个功能价值系数,如表3所示。

表3 功能价值系数计算表

二级子功能	$F_i$		$C_i$		$V_i$	
	12	21	12	21	12	21
Fun 01	0.23	0.23	0.22	0.23	1.02	1.01
Fun 02	0.35	0.36	0.35	0.36	0.99	1.02
Fun 03	0.17	0.15	0.18	0.17	0.97	0.89
Fun 04	0.25	0.26	0.25	0.22	1.01	1.21
合计	1.00	1.00	1.00	0.97	—	—

注:表头第二行中编号12为单洞双线隧道,编号21为双洞单线隧道。

以上对对象价值系数的评价分析,可以得到以下几种结果:

(1)  $V_i = 1$ , 标识功能价值等于功能实现成本。这表明评价对象功能实现成本与施工功能所必需的最低成本大致相当,说明评价对象的价值为最佳,一般无需改进。

(2)  $V_i < 1$ , 此时功能实现成本大于功能评价价值。这表明评价对象的实现成本偏高,而功能要求不高,此种情况可能是存在着过剩的功能,也可能是功能虽无过剩,但实现功能的条件或方法不佳,以至使实现功能的成本大于功能实际需要的成本。

(3)  $V_i > 1$ , 说明该评价对象的功能比较重要,但分配的成本较少,即功能实现成本低于功能评价价值。应具体分析,可能功能与成本分配已较理想,也有可能存在不必要的功能,对于后者应该提高成本。

(4)  $V_i = 0$ , 因为只有分子为0,或者分母趋于 $\infty$ 时,才能是 $V_i = 0$ 。如果是完全不必要的功能,则取消该评价对象;但如果是较为不重要的必要功能,要根据实际情况处理。

然而,在具体的工程方案设计中,价值系数等于1或0的情况比较少,对于价值系数趋于1时,对象的功能与成本大致平衡,可以认为功能与成本较为匹配,方案合理可行,不必作为改进对象。

#### 4.4 确定提高隧道功能价值的改进目标成本

对于建设工程,应用价值工程的重点是在规划和设计阶段<sup>[13]</sup>,因为这两个阶段是提高技术方案经济效果的关键环节。根据价值工程基本原理公式 $V = F/C$ ,提高价值工程有以下五种途径,见表4。

由价值工程提高途径类型表,对价值工程提高途径进行分析:(1)双向型为增加功能的同时,减少工程投资,该方案为最佳方案,但实现的概率较低。(2)改进型为保持成本不变的同时提高工程的功

能;(3)节约型为保持功能不变的情况下,有效的节约工程投资;(4)投资型为在增加投资不多的情况下,功能可以较大幅度提升,有效改善产品的附加功能;(5)牺牲型为适当减少工程功能的情况下大幅度减少投资,有效节约工程的投资。

表4 价值工程提高途径类型表

指标类型	双向型(最理想) (1)	改进型 (2)	节约型 (3)	投资型 (4)	牺牲型 (5)
$F$	↑	↑	—	↑↑	↓
$C$	↓	—	↓	↑	↓↓

## 5 设计方案的评价和优化理念

通过上述综合分析:线型及隧道内轮廓 Fun 01,单洞双线的价值系数1.02,而双洞单线的价值系数1.01,说明两种方案价值系数相当;结构及耐久性 Fun 02,价值系数分别为0.99和1.02,采用双洞单线隧道投资较大,结构及耐久性功能相当;防排水方案 Fun 02,价值系数分别为0.97和0.89,采用双洞单线隧道在清污分流上不如单洞隧道便利,其功能上可进一步优化;从防灾疏散救援 Fun 04 方面来看,单洞双线的价值系数1.01,而双洞单线的价值系数1.21,说明两种方案均能满足功能要求,但双洞单线功能过高,可以适当降低功能,节约部分投资。

依托工程隧道长度为1 830 m,对于灾害工况下列车运行能力和应急处理能力方面,单、双洞隧道均能满足其各项功能要求。其中,在疏散条件功能完备的同时,对于双洞单线隧道设计方案,由于线路平纵断面、隧道前后工程的衔接以及结构工程数量的增加导致投资额增加较多,而不能显著增加其功能系数。故本隧道工程采用了单洞双线隧道设置一处紧急出口的方案,达到实现功能的同时,有效降低了工程建设投资及运营维护的费用<sup>[14]</sup>。

由于隧道工程设计方案考虑因素较多,且施工工艺复杂,受多方面因素的制约,在设计之初对其进行细致的价值工程分析,寻求达到不降低工程功能要求的条件下尽可能节约工程投资的目的。本案例通过价值工程的比选,实现了高铁隧道功能的同时,大大降低了隧道工程的建设成本,为了我国高速铁路隧道设计“走出去”,提高对英标、欧标的适应性,提出了相应的优化理念:

(1) 为满足火灾工况下快速疏散的目的,在不增大断面尺寸的情况下将隧道两侧的水沟电缆槽道

加高 460 mm, 作为疏散通道, 确保灾害工况下人员能从列车车厢安全进入隧道内的疏散通道。

(2) 为了适应我国高速铁路“走出去”战略, 针对对英标、欧标等国际标准的适应性, 对防灾疏散救援进行了充分的研究, 对比 TSI、UIC、NFPA130 等国际标准要求, 确定了隧道内间隔不大于 1 000 m 设置一处紧急出口或避难所是合理可行的<sup>[15]</sup>。本案隧道设置了 1 处紧急出口, 有效降低了工程建设投资及运营维护费用。

(3) 取消隧道内两侧水沟, 衬砌结构外侧的地下水通过纵向盲管自洞口排至洞外低洼处或与路堑侧沟相连, 隧道中心沟集中排放隧道内其他积水, 在洞口附近设置沉淀池集中处理积水, 达到清污分流的目的。

## 6 结 论

价值工程在项目方案制定及设计阶段尤为重要, 其涉及不断创新的过程, 价值工程分析过程中应充分利用专家群体知识和决策技术, 寻求多渠道的改进途径和方法。应用 VE 综合评价技术, 不仅可以在早期工程方案的确定阶段灵活应用价值工程, 同时, 针对工程的具体设计中, 结合有效的施工组织和运营维护方案, 在确保隧道工程必备功能完善的条件下, 可以较多的节约工程投资, 或投资不变的条件下, 进一步提升隧道工程的功能水平, 以此达到节约隧道工程投资、维修及管理费用的目的。

(1) 本文依托具体的高速铁路隧道工程, 提出了一种基于复杂价值工程的高速铁路隧道设计方案比选和优化模型; 利用价值工程详细的对隧道结构价值、功能和费用三个指标进行评价分析, 进行隧道设计方案的优化比选。

(2) 提出在不增大隧道断面尺寸的情况下将隧道两侧的水沟电缆槽道加高 460 mm, 作为疏散通道的设计方案; 同时建议防灾疏散救援用的隧道紧急出口每 1 000 m 设置一处较为经济合理。

(3) 价值工程在本文依托隧道工程中的应用, 使得此隧道工程达到实现功能的同时, 有效降低了工程建设投资及运营维护的费用。本文研究可为价

值工程在我国高速铁路隧道工程领域中的推广应用提供借鉴和参考。

### 参考文献:

- [1] 赵 勇, 肖明清, 肖广智. 中国高速铁路隧道[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2016: 3.
- [2] 洪开荣. 我国隧道及地下工程发展现状与展望[J]. 隧道建设, 2015, 35 (2): 95-107.
- [3] Miles L D. Techniques of Value Analysis and Engineering [M]. New York: McGraw - Hill, 1972: 1-2.
- [4] Shen Q P, Liu G W. Application of value management in the construction industry in China[J]. Engineering, Construction and Architectural Management, 2004, 11 (1): 9-19.
- [5] Bureau of Reclamation. Value program summary of activities report: FY1991 - FY2003 [R]. [s. l.]: Bureau of Reclamation, 2003.
- [6] China Railway Design Corporation. Kuala Lumpur - Singapore high speed rail project[Z]. Tianjin: China Railway Design Corporation.
- [7] 关永平. 隧道开挖对周边建筑物变形的影响分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2017, 15 (6): 227-232.
- [8] 孙忠成. 开挖方式对山岭隧道稳定性影响研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2019, 17 (2): 83-86, 129.
- [9] 铁路隧道设计规范: TB 10003—2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [10] 刘松涛, 卫文彬, 欧 宸. 双洞单线隧道列车中部火灾疏散模式优化研究[J]. 铁道工程学报, 2016, 33 (1): 91-96.
- [11] 张 丹, 谢 超, 李佳凌. 浅谈价值工程在高铁施工设计方案中的应用[J]. 建材与装饰, 2018 (20): 144.
- [12] 王成平, 戈 伟. 工程经济[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2015: 124-138.
- [13] 姜新春. 工程造价控制与案例分析[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2011: 112.
- [14] 曾晓东. 运营隧道衬砌裂缝及渗漏水病害整治技术研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2018, 16 (3): 201-205, 252.
- [15] 铁路隧道安全标准: UIC779 - 9[S]. 巴黎: 国际铁道联盟, 2002.