

# 公路隧道工程风险管理浅析

程 远, 刘松玉, 童立元

(东南大学交通学院岩土工程研究所, 南京 210096)

**摘 要:** 近年来我国公路隧道建设快速发展的同时也面临众多风险。如何减少事故发生率、减少灾害损失是亟待解决的问题。本文针对公路隧道建设的特点, 对风险定义、当前实施风险管理中存在的主要问题, 以及风险管理研究的发展等进行了讨论。对目前公路隧道建设过程中的风险因素进行了归类, 同时还讨论了风险管理方法在公路隧道工程中的应用, 提出了一种实用的风险管理方法。

**关键词:** 隧道工程; 公路隧道; 风险管理; 事故灾害

**作者简介:** 程远(1985—), 男, 河南平顶山人, 东南大学硕士, 从事公路隧道风险相关研究。

## 0 引 言

随着我国公路建设的快速发展, 隧道工程所占比例明显增加, 隧道修建长度也越来越大。复杂多变的地质条件, 使隧道工程施工难度越来越大, 施工风险也越来越大, 地质灾害和事故时有发生。公路隧道工程的重大事故主要包括隧道内土石方坍塌、瓦斯突出、冒顶、透水、中毒和窒息等。隧道工程事故原因分类如图 1 所示。这些事故一旦发生, 容易造成群死群伤, 后果极为严重。2005 年全国共发生隧道工程事故 16 起, 死亡 72 人, 其中一次死亡 3 人以上事故 4 起; 2006 年全国隧道工程事故 13 起, 死亡 13 人, 属于重大事故易发领域。表 1 列举了一些国内外公路隧道施工事故<sup>[1]</sup>。

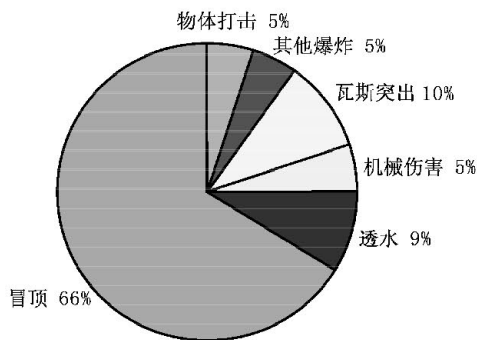


图 1 隧道工程事故原因分类

表 1 国内外公路隧道施工事故统计

名 称	事故类型	后 果
意大利和瑞士之间的勒奇山隧道	坍塌	25 人死亡
美国 San Fernando 隧道	瓦斯爆炸	17 人死亡
美国 Port Huron 隧道	瓦斯爆炸	22 人死亡
加纳 Akosombo 水坝引水隧道	瓦斯爆炸	11 人死亡
瑞士 Hongrin 引水隧道	瓦斯爆炸	5 人死亡
四川都汉高速董家山隧道	瓦斯爆炸	44 死 11 伤, 直接经济损失 2 035 万元
成渝高速绪云山隧道	塌方	4 000~5 000 m <sup>3</sup>
靠椅山隧道	塌方	20 000 m <sup>3</sup>
龙长高速十二排右线隧道	塌方	6 000 m <sup>3</sup>
湖南平伍公路石鼓洞隧道	塌方	11 000 m <sup>3</sup>
104 国道飞鸾岭隧道	塌方	3 760 m <sup>3</sup>
海南环岛高速青岭隧道	塌方	15 000 m <sup>3</sup>
嵩待高速公路 3 号隧道	塌方冒顶	地表形成直径 15 m 陷坑
广东惠州金榜路隧道	塌方	3 人失踪

与一般工程结构相比, 隧道及地下工程最显著的特点是其具有高度多维不确定性, 而且这些不确定性因素将直接影响工程建设的各个环节, 导致工程建设过程中经常发生地层变形过大、沉降、坍塌、涌水和流沙等恶性事故, 引发工程项目的进度、质量、安全和费用控制目标不能实现的风险, 因此有必要开展隧道工程建设期风险管理研究。为此本文针对公路隧道工程建设的特点, 对公路隧道工程建设中风险的定义、当前实施风险

管理中存在的主要问题,以及风险管理研究的发展等进行了讨论。同时还讨论了风险管理方法在公路隧道工程中的应用,提出了一种实用的风险管理方法。

## 1 公路隧道工程风险管理

### 1.1 风险管理的基本概念

风险是现代生活中经常用到的一个术语,是与人类的生产生活相伴产生的。风险不同与危险,危险的定义是可能产生潜在损失的征兆,它是风险的前提,没有危险就无所谓风险。危险是客观存在,是无法改变的,而风险却在很大程度上随着人们的意志而改变。对于风险的概念可以通俗地解释为风险就是不幸事件发生的可能性,或者说风险是一个事件产生令人不希望的后果的可能性(概率)。国际隧道协会(ITA)对风险的定义为:灾害事故对人身安全及健康可能造成损害的概率<sup>[2]</sup>。风险由两部分组成:一是危险事件出现的概率;二是一旦危险出现,其后果严重程度和损失的大小。

工程项目风险是指工程项目在设计、施工和竣工验收等各个阶段可能遭到的风险,可将其定义为,在工程项目目标规定的条件下,该目标不能实现的可能性。为了把工程项目风险作为风险管理的数量化界限,就有必要引进下列两个基本概念<sup>[3]</sup>。

(1) 工程项目风险率。按照工程项目风险的定义,其风险率就是在工程项目目标规定的条件下,该目标不能实现的概率,用  $P_r$  表示

$$P_r = P(X < X_0) \quad (1)$$

式中,  $X$  为随机量;  $X_0$  为工程项目目标的计划值或规定的值。

(2) 工程项目风险量  $R$ 。 $R$  是衡量工程项目风险性大小的一个参数,可将其定义为

$$R = f(P_r, q) \quad (2)$$

式中,  $q$  为风险事件发生对项目的影晌程度,即损失值。

风险管理是对风险的危害性进行系统识别和对风险进行评估,制定风险应对措施,并建立长期有效的风险监控系統。通常分为风险识别、风险估计、风险评价、风险应对、风险监控 5 个步骤。

### 1.2 风险识别

#### (1) 风险识别概念

风险识别是指分析所有的潜在风险因素并进

行归类整理,再进行筛选,重点考虑那些对目标参数影响较大的风险因素。风险识别的主要方法有检查表法、头脑风暴法、流程图法、德尔菲法、SWOT 分析法、幕景分析法、事件树法、事故树法等,需要有经验的专家进行系统分析,在具体应用过程中要结合项目的具体情况,组合起来应用这些方法。

#### (2) 公路隧道的风险因素及辨识

根据风险分析的目的和阶段不同,需要考虑的风险因素也不同。在项目立项时,由于需要对项目有一个全面的把握,从而作出正确的决策,因此应该考虑到方方面面的风险,包括政策、经济、环境、社会、技术、效益、设计、施工等各个方面。而对于施工期间,为了工程的顺利完成,减少事故的发生,侧重点就在施工风险上。在运营过程中,则主要表现在效益风险,以及重大安全事故风险。因此,对于风险的认识,一方面要有全局性,另一方面要有阶段性<sup>[4]</sup>。

在各阶段的风险分析中,施工期的风险由于其事故的高发性而成为风险分析研究的焦点,在公路隧道工程施工过程中的风险因素可以归纳为以下几个方面:

① 地质条件风险,包括不良地质条件、地质勘探不确定性等。

② 施工技术风险,包括超前支护、开挖、初期支护、隧道防排水、二次衬砌等。

③ 环境保护风险,包括职业病风险、地面结构破坏、生态破坏等。

④ 自然灾害风险,包括台风、暴雨、地震瓦斯、沼气等易爆、有毒气体。

#### (3) 隧道风险识别主要方法简介

事故树分析法是一种演绎的逻辑分析方法,它在风险分析中的应用主要是遵循从结果找原因的原则,将项目风险形成的原因由总体到部分按树枝形状逐级细化,分析项目风险及其产生原因之间的因果关系,是一种具有广阔应用范围和发展前途的风险分析方法,尤其对较复杂系统的风险分析和评价非常有效。

完整的事故树分析过程一般包括以下几个分析步骤<sup>[5]</sup>: ① 确定和熟悉所要分析的系统; ② 确定顶上事件; ③ 详细调查分析事故的原因; ④ 确定不予考虑的事件; ⑤ 确定分析的深度; ⑥ 编制事故树; ⑦ 事故树定性分析; ⑧ 事故树定

量分析。

### 1.3 风险估计

#### (1) 风险估计概念

风险估计即对风险因素的发生概率和后果进行估计,给出风险的概率分布。分为定性和定量两个方面。常用的定性分析方法有集合意见法、德尔菲法、层次分析法和事故树分析法、主要风险障碍分析以及领先-落后指标分析等。定量方法有蒙特卡罗模拟、模糊数学法、影响图、层次分析法、贝叶斯概率法等。两类方法有紧密的关系,没有定量分析则定性估计难以准确,而定量分析要以定性估计作指导,否则定量分析的数据毫无意义和价值。

#### (2) 隧道风险估计主要方法简介

层次分析法的基本原理是把复杂系统分解成各个组成因素,又将这些因素按支配关系分组形成递阶层次结构,通过两两比较的方式确定层次中各因素的相对重要性,然后综合决策者的判断,确定决策方案相对重要性的总排序。层次分析法适用于多目标决策系统,能够从纷繁的影响因素中找出对总目标影响比较大的因素,并根据影响程度的不同,对各个影响因素进行排序,是现在比较流行的一种决策分析方法。

层次分析法大体分为如下 5 个步骤<sup>[6]</sup>:①建立层次结构模型;②构造判断矩阵;③层次单排序及其一致性检验;④层次总排序;⑤层次总排序的一致性检验。

### 1.4 风险评价

#### (1) 风险评价概念

风险评价是指对目标参数的风险结果参照一定标准进行评判。风险评价方法有定性和定量两大类,常用的风险评价方法包括层次分析法、模糊风险综合评价、外推法、事故树分析法、 $R=P \times C$  风险定级评价法。

#### (2) 隧道风险评价主要方法简介

$R=P \times C$  定级法是综合考虑风险因素发生概率和风险后果,给风险定级的一种方法。其中  $R$  表示风险,  $P$  表示风险因素发生的概率,  $C$  表示风险因素发生时可能产生的后果。 $P \times C$  不是简单意义的相乘,而是表示风险因素发生概率和风险因素产生后果的级别的组合。 $R=P \times C$  定级法是一种定性定量相结合的方法,是目前国内外比较推崇的一种风险评价的方法。

表 2 风险评估矩阵

风险概率	后果等级				
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
<0.03%	轻微 1A	中等 2A	严重 3A	重大 4A	灾难性 5A
0.03%~0.3%	1B	2B	3B	4B	5B
0.3%~3%	1C	2C	3C	4C	5C
3%~30%	1D	2D	3D	4D	5D
>30%	1E	2E	3E	4E	5E

表 3 风险水平等级

风险级别	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
$P \times C$ 组合	1A, 1B, 1C	1D, 1E, 2A, 2B, 3A, 4A	2C, 2D, 3B, 3C, 4B	2E, 3D, 3E, 4C, 4D, 4E, 5A, 5B	5C, 5D, 5E

$R = P \times C$  风险定级法可以按如下两步进行<sup>[7]</sup>:

① 根据发生后可能产生后果对人、环境和工程项目本身造成影响的程度,采用定量计算的方法给这些风险因素划分后果等级;一般划分为 5 个等级(灾难性、重大、严重、中等、轻微)。

② 综合风险因素的影响程度等级  $C$  和其发生的概率  $P$ ,将两者组合起来,参照  $R=P \times C$  定级方法的风险评估矩阵(表 2),确定各个风险因素的等级;从而根据不同的风险等级(表 3)制定不同的方案,用比较合理的措施实施风险管理和风险控制。

### 1.5 风险应对

#### (1) 风险应对概念

根据风险管理的目标和宗旨,在科学的风险分析结果的基础上,合理选择风险管理工具,从而制定出处置风险的总体方案的活动,对项目风险提出处置意见和方法,尽可能把风险转化为机会或使风险造成的损失降低到最低。风险应对措施包括风险规避、风险转移、风险缓解、风险自留和风险利用,以及这些策略的组合。

风险应对的程序主要有以下 3 个过程<sup>[8]</sup>:

① 确定风险管理目标。以最小的成本获得最大的收益是风险管理的总目标,也是风险管理必须遵循的基本原则。

② 拟定风险处理方案。风险处理方案是指所选择的处理手段的有机结合。

③ 选择最佳风险处理方案。

## (2) 风险控制效果评价概念

风险损失值  $L_i$ : 即风险事件  $F_i$  若发生, 预计会造成全部后果损失(万元)。实施风险控制方案的估计成本值  $c_i$ (万元)。风险控制方案的控制风险概率  $f_i$ 。

由以上 3 个要素, 即可计算实施风险控制方案后能获得的效果, 也就是风险损失减少值, 即风险控制效果评价价值  $T_i = L_i - c_i / f_i$ 。风险控制效果系数  $t_i$  计算式如下:  $t_i = T_i / L_i$ 。以上  $T_i$ 、 $t_i$  均为越大越好<sup>[9]</sup>。

## 1.6 风险监控

### (1) 风险监控概念

通过对项目风险发展变化的观察和掌握, 评估风险危险程度和风险处理策略和措施的效果, 并针对出现的问题及时采取措施的过程。在项目的实施过程中, 风险会不断发生变化, 可能会出现许多未预料到的新情况, 因此必须反复进行风险识别、风险分析与评估, 细化风险应对措施, 及时修改风险应对计划, 实现消除或减轻风险的目标。风险监控方法主要有审核检查法、横道图法、前锋线法、S 形曲线法、控制图法、费用偏差分析和风险图表等。

### (2) 工程项目风险监控的主要内容

① 风险应对措施是否按计划正在实施, 是否像预期的那样有效, 是否需要制定新的风险应对措施。

② 对工程项目施工环境的预期分析以及对工程项目整体目标实现可能性的预期分析是否仍然成立。

③ 风险的发生情况与预期的状态相比是否发生了变化, 并对风险的发展变化作出分析判断。

④ 已识别的风险哪些已发生, 哪些正在发生, 哪些可能在后面发生。

⑤ 是否出现了新的风险因素和新的风险事件, 它们的发展变化趋势如何<sup>[10]</sup>。

风险是一随机事件, 可能发生, 也可能不发生; 风险发生后的损失不是太严重, 比预期的要小, 也可能损失较严重, 比预期的要大。通过风险监控和采取应对措施, 可能会减少一些已识别风险的出现概率和后果。因此, 在风险监控的基础上, 有必要对项目的各种风险重新进行评估, 将项目风险的次序重新进行排列, 对风险的应对计划相应也进行更新, 以使新的和重要风险能得到有

效的控制。

## 2 结 论

(1) 我国在隧道工程风险管理研究方面, 由于工程的研究和实践时间相对较短, 风险管理的应用研究还比较少, 而且也是一些仅从管理方面进行的初步研究。而岩石隧道工程相对其他建筑工程, 事故发生率高, 灾害后果严重, 因此应加快公路隧道工程中相关风险研究。

(2) 公路隧道事故风险识别是一项涉及众多专业领域的工作, 其性质决定了相关专业专家间应该加强协调合作。

(3) 风险估计阶段的计算量相当繁重, 应该加强相关计算软件的开发运用。

(4) 风险管理的理念和研究成果运用到工程管理中应该是我们努力的重点, 使得工程管理与风险管理完美结合。相关单位应展开系列的风险管理知识的培训, 并将风险控制措施作为工程管理措施落实到工程管理中。

## 参 考 文 献

- [1] Sivakumar Babu G L, Mu kesh M D. As Low As Reasonably Practicable (ALARP)[J]. Geotechnical and Geological Engineering, 2003 (21): 113~127.
- [2] Burland J B, Houlby G T, Augard C E, et al. Modeling tunneling-induced settlement of masonry buildings[J]. Institution of Civil Engineers and Geotechnical Engineering, 2000; 17~29.
- [3] 王卓甫. 工程项目管理: 风险及其应对[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [4] 陈龙, 黄宏伟. 岩石隧道工程风险浅析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 1: 110~115.
- [5] 王锋. 建设工程风险管理[D]. 武汉: 华中科技大学土木工程与力学学院, 2005.
- [6] 冯浩. 在役城市公路隧道的事故及风险识别[D]. 重庆: 重庆大学土木工程学院, 2007.
- [7] 陈国华. 风险工程学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [8] 李锋. 翔安隧道强风化层施工的风险管理[D]. 上海: 同济大学土木工程学院, 2007.
- [9] 中铁西南科学研究院. 野三关隧道工程风险评估和控制的研究[R]. 2004.
- [10] 罗云, 樊运晓, 马晓春. 风险分析与安全评价[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.