

# 公路隧道安全等级研究\*

夏永旭, 王永东, 邓念兵, 赵 峰

(长安大学公路学院, 西安 710064)

**摘 要:**我国目前的公路隧道既没有安全等级划分又没有安全设施设计标准,设计者只能根据自己的经验和认识程度进行设计,运营安全隐患较多。提出了影响公路隧道安全等级的5个因素和4种关系。认为公路隧道安全等级的划分必须同时考虑隧道长度和交通量,隧道长度是一个基础分界指标,交通量是一个可变的动态指标。根据目前我国公路隧道建设的实际状况和技术水平,选取隧道的特征长度分别为0.5 km、1.0 km、3.0 km、5.0 km、10.0 km,隧道的断面交通量按照高速公路的最低要求取为10 000辆/d,将公路隧道安全等级从高到低划分为I、II、III、IV、V五个等级,并提出了进行公路隧道安全设施标准研究的基本思路和方法。

**关键词:**隧道工程;公路隧道;安全等级

**中图分类号:** U458 **文献标识码:** A

## 1 引言

截止2004年底,我国已建成公路隧道2 300多座,总长度超过1 100 km。目前在建的长6 km以上的隧道有9座,18.004 km的陕西省秦岭终南山公路隧道、8.67 km的湖北省龙潭隧道等竣工以后,我国的隧道建设技术水平将有更大提高。

为了规范和指导公路隧道的设计和施工,我国交通部先后颁布了《公路隧道设计规范》<sup>[1]</sup>、《公路隧道施工技术规范》<sup>[2]</sup>、《公路隧道通风照明设计规范》<sup>[3]</sup>,这些规范对公路隧道的建设质量以及正常运营,无疑提供了法律性的基本保障。但是,随着运营隧道和特长隧道的逐年增多,公路隧道的安全问题日显突出。已有规范中关于公路隧道的安全问题涉及不多,使得设计人员在设计中,要么安全设防过高,造成不必要的浪费,要么虽然有设防,但标准又不够,更有甚者是根本不设防,留下了事故隐患。国内外大量的公路隧道建设与运营实践表明,由各种安全原因引起的公路隧道交通事故屡见不鲜。如由于施工质量不好、隧道内支护结构塌落而造成交通阻断;隧道漏水引起路面湿滑或结冰,造成洞内撞车;隧道内发生火灾,造成人员伤亡和财产损失等。对这些安全问题的预防,虽然可通过设计、施工、运营各个环节来实现,但必须事先进行安全等级的研究,有了公路隧道安全等级标准,设计才能有据可依,安全设施的布设才能做到有的放矢。

## 2 我国公路隧道的安全等级

### 2.1 影响公路隧道安全等级的因素

公路隧道的安全等级,是指根据隧道在区域交通网中的重要性和灾害对隧道的危害程度,将公路隧道按一定的安全标准进行划分的等级制度。不同安全等级的公路隧道,其设施和防灾救灾对策也不同。因此,确定公路隧道的安全等级,是进行公路隧道设计和防灾救灾预案研究的基础性工作。影响公路隧道安全等级的因素如下。

- 1) 基础因素。隧道技术标准(隧道长度、车道数、交通形式),隧道所在路网的位置,隧道沿线的社会、经济、人文、资源状况。
- 2) 交通因素。交通量的大小、高峰交通量、近远期预测交通量、交通量增长的速率、运输货物的种类、危险品的比例等。
- 3) 危害因素。隧道灾害的种类、不同灾害的频率、不同灾害的危害程度。
- 4) 社会因素。司乘人员的安全意识与心理素质、社会治安与恐怖活动等。
- 5) 其他因素。隧道的战略价值、军事打击的可能性、地震等。

除了以上影响因素外,还必须考虑到安全等级与安全成本间的关系,即进行安全风险评估。因此,在进行公路隧道安全等级划分时,应妥善处理好以下4种关系。

- 1) 安全等级和隧道规模的关系。一般地,规模越大、长度越长的隧道,隧道灾害、特别是火灾对其危害性越大,因此对安全度的要求越高。

- 2) 安全等级和隧道交通量的关系。隧道内交通量越大,运输货物种类越多,发生交通事故和火灾的几率就越大,其安

\*收稿日期: 2005-10-17

**作者简介:**夏永旭,教授,博士生导师,工程博士,从事公路隧道工程安全、公路隧道通风与防灾救灾研究;王永东,讲师,博士研究生,从事公路隧道运营管理与防灾救灾研究。

全等级也就越高。

3) 安全等级和社会经济的关系。隧道在社会、军事、经济建设中发挥的作用越大, 发生灾害后带来的经济损失也越大, 因此, 其要求的安全等级也越高。

4) 安全等级与设施的关系。隧道安全等级越高, 用于安全设施的费用也越大。

## 2.2 我国公路隧道安全等级的划分

国外关于公路隧道安全问题的研究, 已有几十年的历史, 但先前都比较零散, 近几年来才有系统研究。1999 年, 意大利的勃朗峰隧道和奥地利的陶恩隧道相继发生重大火灾, 分别造成 39 人和 13 人死亡。2002 年 10 月 24 日, 瑞士圣哥达隧道发生火灾, 死亡 13 人, 直接经济损失 130 万瑞士法郎。之后, 世界各国对隧道安全问题的研究愈发重视。如德国的 Alfred Haack 教授<sup>[4]</sup>、瑞士的 Miroslav Matousek 博士<sup>[7]</sup>等, 曾对欧洲 20 多座长、大公路隧道, 从安全标准、安全度与承受力、设计、施工、运营等方面进行了详细研究, 并按 10 个安全指标予以评分比较, 提出了公路隧道安全的一系列标准。瑞士根据 Miroslav Matousek 博士的研究, 准备正式出台国家公路隧道安全标准。欧洲的其他各国以及一些著名的工程公司, 也先后制定了各自的隧道安全标准。

在公路隧道的诸多安全事故中, 隧道火灾是危害最大的事故, 且无法完全杜绝, 只能是推迟和尽可能降低损失。为此, 日本在研究公路隧道防火设施时, 根据隧道的交通量和长度, 将隧道划分为 AA 到 D 共 5 个防火设施技术等级<sup>[5]</sup>, 见图 1。

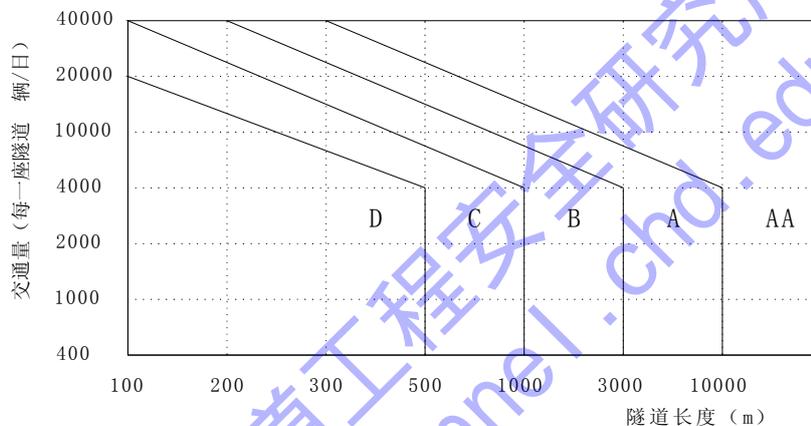


图 1 日本公路隧道设置防火设施的区分等级

Fig.1 Highway tunnel classification for setting fireproofing establishments in Japan

分析日本的隧道火灾安全等级划分可以看出, 隧道长度分为 500 m、1 000 m、3 000 m、10 000 m 四个长度分级点, 而单洞交通量按照 4 000 辆/d 控制。这种划分虽然考虑到隧道的长度和交通量, 但对于本身交通量很低的特长隧道(如挪威的 Laerdal 隧道, 长度 24.514 km, 但日交通量仅有 1 000 辆左右), 或刚建成通车、交通量还不饱满的特长隧道, 其安全要求显然不能和交通量很高时同样对待。因此, 公路隧道安全等级的划分必须同时考虑隧道长度和交通量, 其中隧道长度是一个基础分界指标, 而交通量是一个可变的动态指标。

根据目前我国公路隧道建设的实际状况和技术水平, 把隧道的特征长度取为 0.5 km、1.0 km、3.0 km、5.0 km、10.0 km, 隧道的断面交通量按照高速公路的最低要求取为 10 000 辆/d, 把公路隧道安全等级从高到低划分为 I、II、III、IV、V 五个等级, 见图 2。图 2 中不同安全等级区域划分的函数 F 定义为

$$F=N \cdot L \quad (1)$$

式中:  $N$  为隧道断面交通量, 辆/d;  $L$  为隧道长度, m;  $F$  为等级判别函数, m·辆/d。

对应于图中不同的等级区域, 其值分别为

- I 级  $F \geq 1 \times 10^8$  m·辆/d
- II 级  $1 \times 10^8$  m·辆/d  $> F \geq 5 \times 10^7$  m·辆/d
- III 级  $5 \times 10^7$  m·辆/d  $> F \geq 3 \times 10^7$  m·辆/d
- IV 级  $3 \times 10^7$  m·辆/d  $> F \geq 1 \times 10^7$  m·辆/d
- V 级  $F < 1 \times 10^7$  m·辆/d

图 2 中, 隧道长度只是一个等级划分的基础, 而交通量的大小起着决定性的作用。如某隧道, 虽然长度可能超过 10.0 km, 但如果交通量不足 1 000 辆/d, 那么它的安全等级只能是 V 级。如果某一个隧道长度不到 1.0 km, 但交通量高达 50 000 辆/d,

那么它的安全等级应该划分为 I 级。又如某一个隧道虽然很长, 开通之初如果交通量不大, 安全等级可以定的低一些, 随着后续交通量的上升, 安全等级必须相应提高 (这里是指那些可以分步实施的安全措施)。因此可以看到, 这里给出的公路隧道安全等级划分更为科学合理。

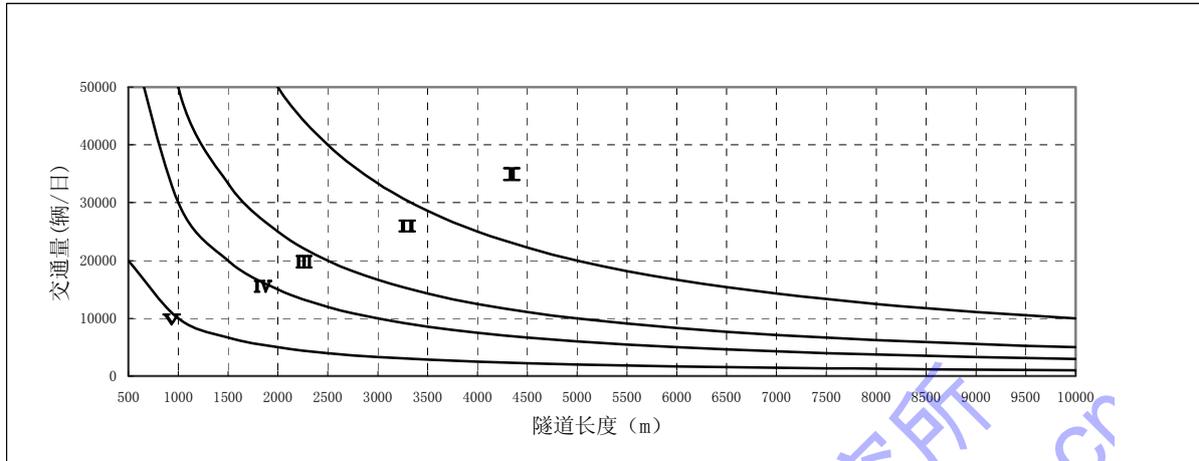


图 2 我国公路隧道的安全等级  
Fig.2 The safety grade of highway tunnel in China

### 3 公路隧道安全标准的研究

#### 3.1 公路隧道安全标准研究的流程

图 2 只是建议我国公路隧道安全的一个等级划分, 对应于这个安全等级进行公路隧道安全设施标准的研究, 将是一个复杂的工程, 要考虑的因素和研究的内容很多, 目前的困难是我国还没有统一的公路隧道安全设施标准。国内刚刚通过的《公路工程安全标准》<sup>[6]</sup>涉及到的隧道部分不仅内容太少, 而且深度远远不够。然而, 制定公路隧道安全设施标准牵涉面又很广, 需要进行大量事故调查、理论研究和实验。图 3 给出了以公路隧道火灾为例的公路隧道安全设施标准研究的流程。

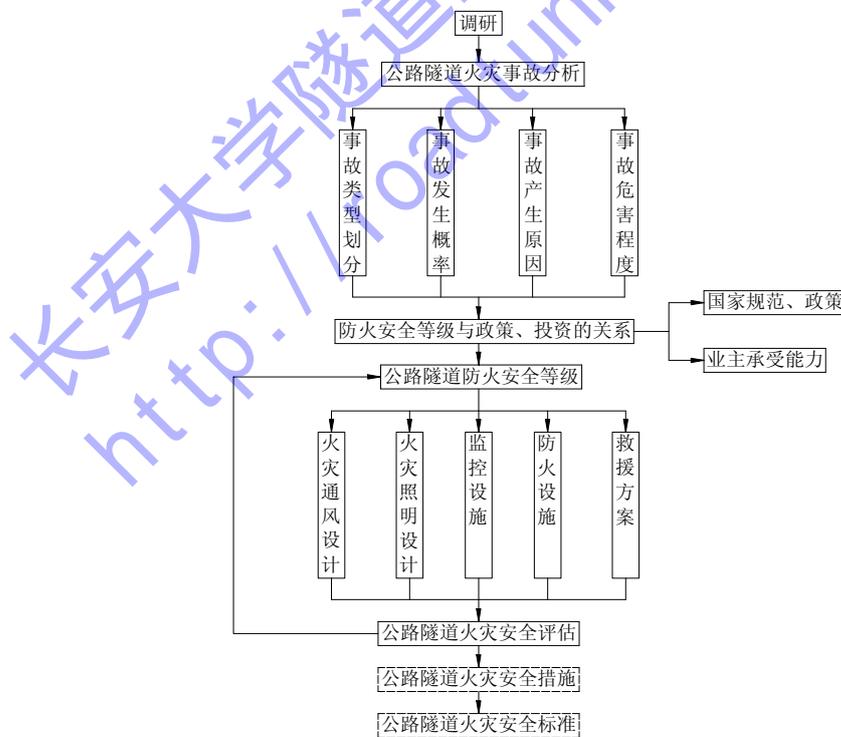


图 3 公路隧道安全设施标准研究流程

Fig.3 Flow chart for studying standard of safety establishments in highway tunnel

#### 3.2 公路隧道安全标准研究的方法

公路隧道安全标准的研究方法主要有调查研究的方法、概率分析的方法、数值模拟的方法、物理试验的方法、风险评估的方法、经济对比的方法等。通过对大量的公路隧道灾害的调研、理论分析、数值模拟、物理试验等,给出公路隧道灾害的种类、不同灾害的发生概率、不同灾害的危害程度、隧道的风险系数等,并结合隧道的规模和交通量确定隧道的安全等级,进而在安全等级的基础上研究隧道的安全设施标准。有了隧道的安全等级和设计标准,就可按照给出的等级和标准进行隧道安全设计,提出为预防灾害发生所需要的硬件设施、软件设施和管理机构和规章制度。

#### 4 结 论

公路隧道灾害时有发生,其中火灾是危害最大的隧道事故。本文在同时考虑隧道长度和交通量的基础上,把我国的公路隧道划分为5个安全等级,为进一步科学合理地进行公路隧道消防与安全设计奠定了理论基础。

#### References(参考文献):

- [1] Ministry of Communications of the People's Republic of China(中华人民共和国交通部). Code for Design of Road Tunnel(公路隧道设计规范)(JTG D70-2004) [S]. Beijing: China Communications Press, 2004.
- [2] Ministry of Communications of the People's Republic of China(中华人民共和国交通部). Technical Specifications for Construction of Highway Tunnel(公路隧道施工技术规范)(JTJ 042-94) [S]. Beijing: China Communications Press, 1995.
- [3] Ministry of Communications of the People's Republic of China(中华人民共和国交通部). Code for Ventilation and Illumination of Road Tunnel(公路隧道通风照明设计规范)(JTJ 026.1-1999) [S]. Beijing: China Communications Press, 1999.
- [4] HAACK Alfred. Fire safety Conception in Vehicle Tunnel (交通隧道中的火灾安全概念)[C]//Proceedings of Highway Tunnel Technical Communion of 2001' China-Switzerland (2001 中瑞公路隧道技术交流论文集), 2001.
- [5] DENG Nianbing(邓念兵).Research on Countermeasure of Fireproofing and Rescue for Long Highway Tunnel(公路隧道防火救灾对策研究)[D]. Xi'an: Chang'an University, 2003.
- [6] Ministry of Communications of the People's Republic of China(中华人民共和国交通部). Safety Standard of Road Engineering (公路工程安全标准)[S]. Beijing: China Communications Press, 2004.
- [7] Miroslav Matousek .SICHERHEIT VON TUNNELN VON DER SICHERHEITSFORSCHUNG ZUR PRAKTISCHEN ANWENDUNG, Sicherheit, Qualitätsmanagement, Umweltverträglichkeit,2000

### Study of safety grade of highway tunnel

XIA Yong-xu, WANG Yong-dong, DENG Nian-bing, ZHAO Feng  
(Highway College, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** At present, because of lacking highway tunnel classification of safety grade and the design standard of safety establishments in our country, the designers can do these work basing on themselves' experiences and understand degree, so many safety hidden troubles must be brought. Five factors and four relations to affect safety grade of highway tunnel are put forward, the length of tunnel (basic demarcative target) and the traffic (dynamic target) must be considered in compartmentalizing safety grades of highway tunnel. Based on the actual status and technique level of building highway tunnel in our country, the safety grade of highway tunnel is divided into five grades: I, II, III, IV, V with regarding 0.5 km, 1.0 km, 3.0 km, 5.0 km, 10.0 km as characteristic length of tunnel and selecting 10 000 vehicle/day as the lowest traffic. At the same time, the basic programs and means to study safety establishment's standard of highway tunnel are put forward.

**Key words:** tunnel engineering; highway tunnel; safety grade

**CLC number:**U458      **Document code:** A

**Article ID:** 1009-6094(2006)03-00-03