

现代公路隧道的发展

夏永旭

戴国平

(长安大学公路学院, 710064)

(北京工业大学建工学院, 100031)

摘要: 叙述了现代公路隧道的主要特点和几个关键技术问题, 提出了一些亟待研究的相关课题。

关键词: 公路隧道、特点、技术、课题。

1 引言

人类公路隧道的修建已有几百年的历史, 建成的公路隧道不计其数。有关现代公路隧道的修建, 始于 1927 年美国纽约哈德逊河底的荷兰盾隧道。该隧道双洞单向交通, 长度分别为 2680m 和 2551m, 高峰小时交通量 2000 辆, 盾构法施工, 并且首次采用机械全横向式强迫通风。其后, 随着隧道施工技术新奥法、挪威法、以及 TBM 等方法的确立, 许多伴随有全横向式, 或半横向式, 或纵向式, 或混合式通风方式, 以及现代照明和监控技术的长大公路隧道相继建成。到 2000 年底, 长度超过 3.0km 以上的公路隧道已有近 400 座, 最长的达 24.5km。总结国内外长大公路隧道的建设经验, 分析现代公路隧道的存在问题和发展趋势, 对今后长大公路隧道的成功修建和运营服务水平的提高, 都有重要的现实和历史意义。

2 现代公路隧道的特点

2.1 隧道越修越长

随着道路等级标准的逐渐提高和隧道设计理论和施工技术的不断改进, 公路隧道的修筑长度从上世纪初的二、三公里已发展到现在的数十公里。比较著名的有日本的关越隧道 (11.05km)、意大利的勃朗峰隧道 (11.6km), 奥地利的阿尔贝铭隧道 (13.972km)、瑞士的圣哥达隧道 (16.82km), 最近通车的挪威奥尔兰隧道更是长达 24.5km。国内公路隧道的修筑虽然才 20 多年, 但发展很快。代表性的有七道梁隧道 (1.56km)、梧桐山隧道 (2.328km)、打浦路隧道 (2.76km)、大溪岭隧道 (4.10km)、二郎山隧道 (4.16km), 今年刚开工的秦岭终南山公路隧道, 设计长度为 18.004km。这些长大公路隧道的成功修建, 除了道路等级标准要求的提高, 人们宁绕勿穿观念的改变外, 新的施工工艺, 现代通风监控技术和许多成功的经验起着决定性的作用。

2.2 曲线隧道逐渐增多

在新的隧道设计理论和施工技术的推动下, 特别是在总结公路隧道运营管理的实践经

验后，现代公路隧道的选线，已完全打破了过去的宁直勿弯的规则，曲线隧道逐渐增多，国外更是到处可见。正在施工的奥地利巴拉斯基复线隧道，结合地形和环境条件，设计了一段长达 1.2km 的曲线隧道。曲线隧道的设计，不仅可以避开不良地质，而且对促使行驶中的司机，提高警惕和不受出口“白洞”影响，避免引起交通事故很有帮助。

2.3 双洞取代单洞

由于单洞双向交通不能充分利用汽车交通风，并且要求通风设备装机容量增加，特别是单洞双向交通的事故率远远高于双洞单向交通。故而近十多年来，双洞单向交通隧道逐渐取代单洞双向交通隧道。国外目前正在将早期 100 多座单洞双向交通隧道，改变为双洞单向隧道。这对降低通风难度，节约能量，减少事故很有帮助，而且还可以提高交通量，满足防灾救灾和备战的要求。奥地利的巴拉斯基隧道和陶恩隧道就是典型的例子。

2.4 纵向通风方式占主导地位

截至 2000 年的统计，全世界建成的近 400 座长度在 3.0km 以上的公路隧道，20 世纪 80 年代以前的多为全横向式通风或者半横向式通风，以欧洲的瑞士、奥地利和意大利为代表。而近 20 多年，特别是纵向通风方式出现后，公路隧道的通风方式基本分为两大派。欧洲仍以全横向、半横向居多，而亚洲以日本为代表，全为纵向。近年来，随着汽车排污限制标准的提高，控制公路隧道通风量的因素已从 CO 逐渐过渡为烟雾浓度，加之双洞方案逐渐取代单洞方案，所以分段纵向通风方式已经占主导地位。日本甚至认为：加静电除尘器的分段纵向通风方式，可以适应任何交通形式和任何长度的公路隧道。近年来，欧洲各国也逐步转变传统的观念，在许多新修或者增修的复线长大公路隧道中，用分段纵向通风方式取代过去的半横向或全横向通风方式。

隧道服务水平很高

随着公路隧道通风、照明、监控等项技术的不断完善，现代公路隧道的服务水平逐渐提高。特别是在一些长大公路隧道中，高质量的照明效果，适应不同交通工况和防火救灾的通风系统，完善的交通标识，不同模式的监控方法，尽可能详细的防灾救灾预案，齐备的基础信息管理系统以及定期的检测维护技术，这些均保证公路隧道具有一个很高的服务水平。

2.6 跨海隧道成为共识

继英法海底隧道成功地穿越了英吉利海峡后，隧道方案已成为跨海交通的主要形式。因为海底隧道不但避免了桥梁方案所带来的海浪、台风一系列结构力学问题，而且丝毫不影响海面航道交通和自然景观，香港的海底隧道就是显著的例子。目前正在蕴酿的海底隧道有第二条英吉利海峡隧道（37.5km）、北欧的大、小海带海峡隧道、国内的琼州海峡隧道、勃

海湾隧道等。对于较长的海底隧道，毫无疑问利用铁路的摆度方案明显地优于公路直通方案。

2.7 单功能向多功能转变

旅游观光是现代长大公路隧道的另一显著特点，突出的例子有英吉利海峡隧道、东京湾隧道、香港湾隧道、上海延安东路隧等。人们不仅将隧道当作是交通通道，而且视其为旅游观光场所。川藏公路二郎山隧道，通车半年来，在洞口观光照像的已达近二万人次。这些隧道在设计过程中，就把隧道的交通功能和隧道区域的地理人文环境融为一体。在秦岭终南山公路隧道的工可阶段，陕西省政府就曾提出了将该隧道的通行功能和隧道区域的自然环境、旅游观光融为一体的设想。

3 关键技术问题

3.1 地质超前预报

地质是进行隧道设计的基础资料，因而除了进行常规的地质勘察外，施工过程中的地质超前预报十分重要。目前所采用的人工地震 TSP (Tunnel Seismic prediction) 超前预报法，TBM 施工中的超前钻孔探测法以及配合整个工程规模所采用的超前导洞法，都是十分有效的方法。但是，后两种方法受岩石类别和工程规模所限制，而前一种方法探测结果的可靠性，完全籍于事先设定的判读指标的准确性和合理性，并且有一定的适应范围。

3.2 隧道支护

公路隧道支护涉及支护结构和支护时间两个方面的问题。仅以新奥法为例，支护结构包括初次支护的形式和厚度，二次支护的结构形式和厚度，仰拱的行状和厚度等。而支护时间主要是指实施两次支护的时机，特别是对地质条件较差的情况，初次支护和掌子面的距离，二次支护的实施时间，仰拱的成环作用时间等，都是关系到隧道支护成败的关键。另外，通过对已经成功修建隧道支护结构的合理评价，得出一些对今后公路隧道支护优化设计有指导意义的量化指标，是目前值得重视的研究课题。

3.3 施工技术

隧道施工技术虽然已有新奥法、挪威法、TBM 法、盾构法和沉埋法等，各个方法也自成体系。但是，一些关键技术和参数仍是制约这些方法发展的障碍。如新奥法中不同类型围岩和埋深时围岩的变形控制指标；挪威法中岩体 Q 值的准确计算；TBM 法中围岩物性参数的确定；盾构法中的防水技术；沉埋法中的深水施工技术。

3.4 通风技术

隧道卫生标准，是计算隧道通风量的前提。目前关于长大公路隧道的卫生标准，没有统一的规范可循。卫生标准高、运营环境好，但投资和运营费用增大。以秦岭终南山公路隧道为例，CO 允许浓度取 200ppm 和取 150ppm 时，风量相差 35.11%，这是一个相当大的数字。所以，对于长大公路隧道卫生标准的制定，必须兼顾国家环境卫生法规和投资者所能承受能力两方面的因素，仔细研究，慎重取值。

隧道通风的另外一个关键是通风方式的确定和方案的设计，其中包括分段长度、通风方式、斜竖井位置、局部效应、通风控制、防火区段划分、火灾时的排烟灭火、风机的优化配置等。

3.5 运营监控

运营监控，除了整体监控方案的适当选择外，高敏感的检测元器件和适时信息反馈传输技术是关键，并且应在监视的基础上，完善突发事件的控制能力。如何提升监控在隧道运营中的地位，变被动监控为主动监控将成为今后监控方案设计的重点。

3.6 防灾救灾

公路隧道防灾救灾最大的困难是火灾的预防和救援。而火灾的预防和救援必须和通风方案综合考虑。防火区段的划分、消防措施的采取、火灾的准确检测与及时报警、逃生路线的设置、避难洞的预留、风机的配置、防火救灾预案的制定等，都是必须研究的关键课题。

4 一些亟需研究的课题

4.1 理论部分

(1) 隧道地质的模糊评判、隧道岩土材料的本构关系、黄土软岩隧道的力学机理、神经网络技术在工程类比法中的应用、隧道虚拟设计；非线性有限元位移反分析、隧道围岩的变形控制指标、支护衬砌强度增长和围岩变形的关系、支护结构的评价、人工冻结隧道围岩的温度场、人工冻结围岩的力学机理；隧道路面结构理论；隧道施工机器人技术的工作原理、隧道施工过程的数值模拟等；

(2) 隧道火灾的成因和发展机理、隧道火灾模型、隧道火灾过程的数值模拟、隧道结构火灾损伤评价；隧道通风多元瞬态空气动力学数值模拟、隧道通风局部效应数学、物理模拟；隧道环境污染模型、隧道废气污染的扩散过程数值模拟等；

(3) 海洋流体动力学、深海悬浮隧道的结构理论、海洋流体动力对悬浮隧道的作用、深海悬浮隧道的结构特性；

(4) “合理车速”、“合理密度”、“极限车速”、“极限密度”的理论探讨，合理车速和合理

密度与交通量、隧道通风、隧道安全的关系；

(5) 隧道环境卫生标准、纵向通风最大污染控制点、隧道安全等级、隧道质量检测评定指标、隧道基础信息管理系统；

(6) 隧道噪音污染、隧道照明光学效应、隧道装饰效应、长大公路隧道中司机的心理等；

4.2 应用技术

(1) 隧道地质勘察技术、隧道地质超前预报技术、地质类别评判技术等

(2) 隧道优化设计、曲线隧道设计、隧道支护技术、隧道路面结构设计、隧道防噪设计；

(3) 隧道施工工艺、隧道围岩变形自动检测预警技术、隧道灾害处理技术、神经网络技术在隧道施工中的应用、机械喷混凝土技术、现场衬砌拼装技术、防排水技术、长竖井施工技术、深水施工技术、富水和软岩隧道的人工冻结施工技术；

(4) “合理车速”和“合理密度”的应用；运营监控技术、高效节能照明技术、最佳自动风机调控技术、静电除尘技术等；

(5) 隧道安全标准、隧道内交通标志设置技术、隧道灾害检测技术、隧道防渗漏技术、隧道降噪防光污染技术、隧道防火救灾预案、隧道救援逃生技术，灾害处理技术等；

(6) 隧道废气处理技术、隧道废水回收处理技术、隧道区域环境及生态保护技术等。

5 结语

伴随着隧路设计理论和施工技术的发展，现代公路隧道的一些前所未有的特点日益凸显。但是，其中一些关键技术问题仍是制约现代公路隧道建设发展的障碍，而这些关键技术问题所基于的基础理论和应用技术仍是今后公路隧道研究的重要课题。

参 考 文 献

[1]孙 钧，山岭隧道工程的技术进步，西部探矿工程，2000.1

[2]交通部公路司，中一瑞公路隧道技术交流文集，2001.4

[3]夏永旭等，我国长大公路隧道建设的有关技术问题，现代隧道技术，2001，6

[4]夏永旭，秦岭终南山公路隧道通风技术研究，2001,5 待发表

[5]王永东、夏永旭：长大公路隧道数值模拟研究，中国公路学报，2002. 1

[6]王永东、夏永旭：公路隧道纵向通风局部数值模拟研究，西安交通大学学报，2001. 4

[7] F. CUAZ. Ventilation of tunnels in the Italian motorway network-research, evolution, and trends ,1999

Develop of modern highway tunnel

Yongxu Xia

(College of highway of Chang'an university,Xi'an,710064)

Guoping Dai

(College of build engineering of Beijing industry university,Beijing,100031)

Abstract: The some major characteristics and key technologies of highway tunnel are related.The problems whichs must be studied are given.

Keywords: highway tunnel; characteristic; technologies ;problems