

# 我国长大公路隧道建设的有关技术问题

夏永旭

杨 忠

黄骤屹

(长安大学公路学院,西安,710064) (陕西省公路局,西安,710068) (中交一院,西安,710068)

**摘 要:** 详细论述了我国长大公路隧道建设的有关技术问题,并提出了一些亟待研究的相关课题。

**关键词:** 长大, 公路隧道, 建设, 技术, 问题。

## Some technologic problems in construction of long highway tunnel in China

Yongxu Xia

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

Zhong Yang

(Department of road administer of Shannxi Xi'an,710068)

Zhouyi Huang

(First highway survey and design research institute of China Xi'an,710068)

**Abstract:** The some technologic problems in construction of long highway tunnel in China are related. The problems which must be studied are given.

**Keywords:** long; highway tunnel; construction; technologies ; problems

### 1 引言

近二十多年来,我国高等级公路的建设发展十分迅速,截止2000年底通车里程已达15000多公里,公路隧道的建设,也随着道路等级的提高不断向长大发展。自从1989年七道梁隧道(1560m)首次突破千米大关后,先后又建成了中梁山隧道(3165m)、木鱼槽隧道(3610m)、二郎山隧道(4610m)等十数座长大公路隧道。而最近开工的秦岭终南山公路隧道,设计长度达到18004m。这些长大公路隧道的建设,标志着我国公路隧道的设计、施工水平跃上了一个新的台阶。总结这些长大公路隧道的建设经验,探讨长大公路隧道建设的有关技术问题,无疑对我国今后长大公路隧道的建设有着重要的帮助。

### 2 长大公路隧道建设的有关技术问题

#### 2.1 长大公路隧道建设的决策

公路隧道的建设决策,是在区域路网规划已经完成,并且路线走廊确定后首要考虑的问题。就隧道建设本身而言,它不仅涉及到一系列的技术和经济问题,而且必须考虑到建成以后的运营服务水平。其中技术问题包括:隧道的建设标准、隧道的建设长度、洞口两端的接线、隧道的平纵线型、隧道进出口与沟谷的相对关系、单双洞方案、通风斜(竖)井的位置、隧道的结构形式、施工方案、深竖井施工技

术, 通风形式、监控方案等。

经济问题包括: 工程概算、资金筹措、投放时间、运营费用、资金回收、效益分析等。

服务水平包括: 隧道内的通风质量、照明水平、监控效果、安全等级、救灾预案, 隧道洞口附近的空气质量、区域内的环境和生态保护等。

除了上述的技术和经济问题外, 道路沿线的经济发展、资源开发以及政治、社会、人文、军事等都是必须考虑的因素。但是, 最终隧道方案的决策, 必须建立在科学论证的基础上, 并且要有尽可能的量化指标。技术人员在前期的工作过程中, 要本着实事求是的态度, 科学认真的方法, 扎实细致地做好论证工作, 进行多方案的比选, 需要多长, 就打多长。因为, 随着隧道长度的增加, 不仅投资规模大幅度上升, 而且通风系统更为复杂, 灾害几率必然增多, 防灾救灾困难加大, 运营效益也明显下降。

## 2.2 隧道地质类别的判定

隧道地质是进行隧道设计的基础资料, 它不仅关系到隧道的设计和施工方案, 而且决定着整个隧道工程的造价。所以, 对于长大公路隧道而言, 地质类别的准确判定尤为重要。因而, 在整个隧道地质的勘察工作中, 除了进行常规的初勘、详勘外, 对于一些不良地段, 特别是对于高地温、高地应力、高瓦斯浓度、溶洞群、断裂带等, 要进行详细的补充勘察工作, 尽可能准确地描述地质的实际状态, 为设计和施工提供可靠完整的资料。另外, 结合不同的施工方法, 地质超前预报的 TSP 法、超前钻孔法、超前导洞法等, 都是可以考虑的动态地质预报方法。其中地质超前 TSP 预报法, 特别适宜于对断裂带和岩体强度降低的软弱破碎带, 以及不同岩体断层带分界面、富水地段、软硬岩体介质界面的探测。超前钻孔法是利用 TBM 施工钻机中的超前钻杆进行地质探测。超前导洞法通常是结合整个工程的分期实施步骤进行, 导洞一般可扩充为另一交通隧道或者服务通道。

## 2.3 施工技术

国内公路隧道的施工方法早期以矿山法为主, 而近二十年来, 新奥法、挪威法、TBM 法、盾构法、沉埋法等一些新的施工方法相继得到应用。

新奥法的核心是充分利用了围岩的自承与自稳能力, 开挖后及时锚喷(网)支护, 封闭围岩, 控制围岩变形。同时在施工中连续监测围岩动态, 根据监测到的信息, 随时调整设计、施工参数。在这些步骤中, 其中监控量测最为关键, 而且监控的难度远远大于量测, 国内目前恰在这方面做的较差。虽然国内在长大公路隧道施工过程中, 隧道断面自动测量仪、隧道光学三维位移量测系统已经得到应用。然而, 真正能做到动态设计的很少, 并且已有的也往往是被动的。究其原因, 除了对新奥法的认识和经验不足外, 理论上不论应用有限元位移反分析法, 还是应用概率统计法, 隧道变形控制指标的确定是相当困难的。

挪威法是将 Q-值岩体分类系统和锚固支护加喷射钢纤维混凝土相结合的设计、施工方法, 适应范围较广。挪威法施工中不用钢拱架, 也不用现筑钢筋混凝土拱肋, 而是根据 Q-值岩体分类系统, 确定出加固锚杆的长度、直径、间距以及钢纤维喷射混凝土的厚度。这种依靠多功能系统锚杆与喷射钢纤维混凝土, 并通过调整锚杆的间距与喷射混凝土厚度的方法, 可以适应任何围岩情况。该方法中最为关键的是计算岩体的 Q 值, 而 Q 值的计算主要是依靠地质勘探部门所提供的 6 个地质评价参数。对应于 Q 值, 可把岩体分为 A→G 共 7 类, 而相应的支护共分为 (1) → (9) 9 类。在施工过程中, 随着掌子面的推进, 6 个地质评价参数将不断地修正, 同时 Q 值也相应改变。所以, 挪威法也是一个动态反馈设计方法。

TBM (Tunnel Boring Machine) 法多用于硬质岩石特长隧道中, 其优点是开挖速度快、劳动强度小、施工环境好、衬砌质量高、对地层扰动少, 并且可连续作业, 被称之为隧道施工的工厂化作业。国外现在已经研制出能开挖矩形、拱顶直墙形断面和能进行  $27^{\circ}$  - $33^{\circ}$  斜井施工的掘进机。TBM 法施工的关键是要事先准确地判断围岩的物理力学参数, 因为这些参数是设计掘进机刀具的依据。另外, 由于掘进机一次性投资太大, 所以只能适宜于特长隧道。国外的经验是当  $L/D > 600$  时, 采用 TBM 法施工比钻爆法经济。

盾构法适宜于在松软含水地层中施工, 近年来国内多用于城市地铁的施工中。它的优点是掘进速度快、机械化程度高、不受气候干扰、不影响地面(水面)的交通与设施、施工中没有振动和噪声, 且在软弱地层中施工经济效益相对好。缺点是衬砌拼装防水技术要求高。另外, 设备投入费用昂贵, 浅埋隧道施工不太安全。

沉埋法主要用于越江(河)跨海的水下隧道施工中, 其优点是对水文地质条件适应性强, 与两岸道路容易衔接, 施工工期短, 工程造价低, 断面形状多样。缺点是埋设施工控制技术要求高, 深海以及水流速度较大时施工难度大。

#### 2.4 防排水技术

公路隧道的防排水要求远高于铁路隧道, 因为公路路面的任何湿滑、积水都会给行车带来不利和危险。在南方温热地区, 隧道内的漏水, 不仅会造成行车打滑, 引起交通事故, 而且长期漏水还会对路面产生损害。北方寒冷地区, 漏水会使得洞内路面结冰打滑, 同时洞顶的挂冰也会引起衬砌的开裂破坏。

公路隧道防排水的方法有防、排、堵、截。然而实施时, 应该按照综合治理的原则, 具体问题具体对待。但是, 无论采取何种方法, 必须事先对隧道区域内的气候、气象、地形、地貌、水文、地质, 以及周边的农田、水库位置等进行调查, 仔细分析水源类型, 再确定所采取的方式。除了必须保证隧道自身的排水系统要畅通外, 洞内的排或堵要主次分明, 层次清楚。例如黄土隧道虽然必须以排为主, 但是如果发现和农业或者生活水源有联系, 就必须先堵后排。施工过程中, 防水层的铺设必须方法得当, 否则会留下先天隐患。另外, 对于干旱地区特长的公路隧道, 即使无降水的历史记录, 也要有完整的防排水系统, 以防后患。

#### 2.5 通风技术

在长大公路隧道的建设中, 通风方案的优劣及通风运营效果的好坏, 将直接关系到隧道的工程造价、运营环境、救灾功能及运营效益。目前, 国内外关于长大公路隧道的通风方式, 一般分为全横向、半横向、分段纵向和混合式。上述三种通风方案各有利弊。如全横向和半横向通风, 隧道内的卫生状况和防火排烟效果最好。但是, 初期的土建费用和后期的通风运营费用很大; 纵向通风, 土建工程量小, 运营费用相对较低, 且方式多样, 但洞内的环境状况和防火排烟效果稍差。根据 1999 年的统计, 全世界已建的 300 多座 3.0km 以上的公路隧道, 20 世纪 80 年代以前建成的多为全横向式和半横向式通风, 以欧洲的瑞士、奥地利和意大利为代表。而近 20 年, 特别是纵向通风方式出现后, 关于公路隧道通风方式基本分为两大派。欧洲仍然以半横向、全横向居多, 而亚洲以日本为代表, 全为分段纵向。日本甚至认为, 加静电除尘器的分段纵向通方式, 适合任何交通形式和任何长度的公路隧道。最新动态显示, 双洞单向交通, 分段纵向通风, 在欧洲各国也逐渐增多。

国内的通风方式, 也经历了由最初的全横向、半横向向分段纵向逐渐过渡的过程。如上海的打浦路隧道 (2.761km)、延安东路隧道右洞 (2.261km) 采用的是全横向。深圳的梧桐山隧道左线 (2.238km)、延安东路隧道左洞 (2.30km) 为半横向。1989 年建成的七道梁隧道 (1.56km), 在国内首次采用全射流纵向通风。而 1995 年

建成的中梁山隧道（左洞 3.165km，右洞 3.103km）和缙云山隧道（左洞 2.528km、右洞 2.478km），变原来的横向通风方式为下坡隧道全射流纵向通风，上坡隧道竖井分段纵向通风，在国内首次将纵向通风技术运用于 3.0km 以上的公路隧道。随后，铁坪山隧道（2.801km）、谭峪沟隧道（3.47km）、木鱼槽隧道（3.61km）、梧桐山隧道右洞（2.27km）、大溪岭隧道（4.1km）、二郎山隧道（4.61km），均采用了纵向或分段纵向通风方式。

目前，关于长大公路隧道的通风形式，采用双洞单向交通，分段纵向通风已经得到普遍共识。但是，在具体的方案设计过程中，分段的长度、竖井的位置、送风道和连通洞的长度及形状、风机的优化配置、洞口的相互污染、防火区段的划分、火灾发生时的排烟灭火、逃生避难洞的新风输送、隧道区域的环境保护、轴流风机和射流风机的开启、通风效果的检测和评估、运营通风的最佳控制等，这些问题都必须通过数值模拟、物理模拟以及现场检测逐一深入仔细研究解决。

## 2.6 运营监控

监控是公路隧道运营过程的重要管理手段，它涉及到隧道的交通控制、通风控制、照明控制、养护维修、防灾救灾、逃生救援等。事实上隧道建成后，保证能安全运营和服务水平的唯一手段就是监控。但是，就目前国内外公路隧道的运营监控来看，不论是前馈式还是后馈式，监视的效果明显地好于控制。原因除了控制模块的设置、网络模式、布线技术、检测仪器的灵敏度以及信息反馈和传输的适时性外，交通、通风、照明、供电各个子系统的联动十分关键。另外一个非常重要的因素，就是及时处理突发事件的经验和防灾救灾预案的制定。

## 2.7 防灾救灾

公路隧道的灾害有洞内交通事故、漏水、洞顶坍塌；运行车辆的可燃或有毒气体（液体）的泄漏以及隧道火灾。其中火灾虽然发生的几率很低，但造成的损害和影响是巨大的。隧道火灾是一个随机突发事件，发生的时间、地点、规模、强度、性质，都无法事先预测，因此隧道防火救灾困难极大。另外，通常火灾发生时，伴随有大量的浓烟，甚至烧毁供电系统，这些都给灭火救灾带来很大的困难。所以，在进行长大公路隧道通风方案设计时，防火区段的划分、消防措施的采取、逃生路线的预留、避难洞的位置、风机的配置、防灾救灾预案的制定，都必须仔细研究。

## 3 亟需研究的课题

针对我国长大公路隧道建设的现状，结合国外的经验，目前亟需对以下课题开展研究：

- (1) 为避开不良地质和提高运行安全的曲线隧道选择；
- (2) 结合我国汽车工业发展和国家有关汽车排污法规政策的长大公路隧道的卫生标准；
- (3) 隧道区域环境状况和生态保护的关系；
- (4) 隧道地质的评判方法和超前预报技术；
- (5) 黄土及软岩隧道的设计与施工技术；
- (6) 公路隧道路面结构
- (7) 隧道通风方式的选择和考虑局部影响的多维流体动力学计算方法及相应软件的开发；
- (8) 监控模式、信息传输与灾害报警技术以及高灵敏度检测元器件的研制；
- (9) 隧道火灾发生的概率、火灾发展规律、危害程度、防灾救灾预案制定；
- (10) 隧道灾害的评估以及维修方案；
- (11) 隧道的安全等级和标准；

- (12) 司机在长大隧道中的运行心理;
- (13) 跨海悬浮隧道的结构计算理论、设计方法;
- (14) 深海隧道施工技术;
- (15) 公路隧道基础信息管理系统;
- (16) 隧道运营动态检测技术、质量评价指标和养护维修。

#### 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. 中华人民共和国行业标准: 公路隧道通风照明设计规范, 北京: 人民交通出版社, 2000
3. 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
4. 王永东、夏永旭: 公路隧道纵向通风局部数值模拟研究, 西安公路交通大学学报, Vol. 21(2001), 4
5. 夏永旭: 欧洲四国隧道通风考察报告, 2000, 6
6. 夏永旭等: 秦岭终南山公路隧道通风技术研究项目建议书, 2000, 10

#### 作者简介:

夏永旭, 男, 教授, 长安大学公路学院, 西安, 710064, Tel: 029-8498307 (h)

杨 忠, 男, 工程师, 陕西省公路局, 西安, 710068

黄骤屹, 男, 工程师, 中交第一公路勘察设计研究院隧道分院, 西安, 710068