

公路隧道通风设计中若干问题的探讨

王永东, 夏永旭

(长安大学公路学院, 西安, 710064)

摘要: 根据作者近年来的工作实践, 提出了我国公路隧道通风设计中存在的 10 个主要问题, 并初步探讨了解决这些问题的主要思路。

关键词: 公路隧道, 通风设计, 问题, 探讨

Discussion of Several Problems in Ventilation Design of Road Tunnel

WANG Yongdong, XIA Yongxu

1. 前言

近二十年来我国公路交通事业迅猛发展, 公路隧道工程建设日渐增多。随着高速公路向山区的延伸, 正在或即将涌现出许多长大或特长公路隧道。由于我国公路隧道技术起步较晚, 面临着许多全新的课题, 运营通风设计就是其中一个关键项目。在整个隧道的建设中, 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。基于此, 经过近十年的自我探索和借鉴国外成功经验、先进技术, 我国交通部于 2000 年 1 月发布了《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ026.1-1999)^[1], 对我国的公路隧道运营通风设计起到了很好的规范、指导作用; 但在具体通风设计中还是存在许多问题需要进一步探讨。笔者近年来从事隧道通风方面的科研和设计工作, 本文在总结经验的基础上, 提出了通风设计中存在的一些问题, 并探讨了解决这些问题的基本思路。

2. 公路隧道通风设计中的几个问题

2.1 交通量预测

交通量的大小是确定道路是否需要建设以及建成什么等级的控制因素。交通量的确定应该是一个严谨的科学推导过程。但由于主观或客观原因往往造成交通量预测不准确。一方面, 在工程可行性研究阶段, 为了工程立项, 往往夸大交通量, 导致通风土建、设备、运营费用的浪费。另一方面, 在一些经济发达地区, 由于近些年经济发展较快, 也出现了交通量的增长远远超出了原先的预测, 导致通风设备不够或通风方式已不适宜。后面这种情况已在很多隧道显现出来, 例如成渝高速公路中梁山隧道, 原设计远景交通量 22000veh/d, 现在实际交通量已超过 30000veh/d; 浙江甬台温高速公路大溪岭隧道, 原设计远景交通量大约 30000veh/d, 现在实际交通量已接近 50000veh/d; 并且二者的交通量还有很大的上升趋势。如何准确地预测交通量, 是一个有待深入研究的课题。另外, 如何处理交通量逐年增长与汽车排污量的下降之间的关系也是一个必须考虑的较为困难的问题。

2.2 交通量与行车速度的关系

《公路隧道通风照明设计规范》^[1] 规定设计交通量为混合车高峰小时交通量, 计算行车速度为洞内线形行车速度。在很多隧道的通风计算中, 就直接按给出的交通量和行车速度取值, 实际上这种做法是不对的。根据交通工程学有关知识, 车流密度、交通量和实际行车速度有一个对应关系: 当车流密度与交通量较小时, 车速可以达到最大值, 即洞内线形行车速度; 当车流密度、交通量逐渐增大, 车速就随之逐渐减小, 直至达到一个合理速度, 这时交通量最大; 当车流密度继续增大, 交通量反而减小, 车速也减小, 直至形成阻塞。因此在通风计算中必须根据交通量科学地计算实际行车车速。表 1 是按照交通工程学计算得到的某山岭地区高速公路双洞四车道隧道的实际通行能力(混合交通量)及平均行程速度。从表中

可以看到前期预测交通量 796veh/h 要比二级服务水平的实际通行能力 1165veh/h 小得多, 平均行程速度可以达到计算行车速度 80 km/h; 后期预测交通量 1448veh/h 与三级服务水平的实际通行能力 1434veh/h 接近, 平均行程速度就只能达到 62 km/h 左右。因此, 在通风计算中, 前期车速可以取到 80 km/h, 后期车速只能取到 60 km/h。

表 1 某隧道 80 km/h 时实际通行能力与平均行程速度计算表

服务水平等级	基本通行能力 (pcu/h)	通行能力修正系数			实际通行能力 (veh/h)	平均行程速度 (km/h)	预测交通量
		f_w	f_{HV}	f_p			
一级	—	—	—	—	—	—	前期: 796 veh/h 后期: 1448 veh/h
二级	2600	0.92	0.487	1.0	1165	≥ 69	
三级	3200	0.92	0.487	1.0	1434	≥ 62	
四级	上半部	3800	0.92	0.487	1.0	≥ 45	
	下半部					< 45	

2.3 隧道纵坡的确定

隧道纵坡对需风量影响很大, 特别是以稀释烟雾的需风量作为控制需风量的上坡隧道。《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ026.1-1999)^[1]表 3.4.4.2-2 考虑烟雾的纵坡-车速系数 $f_{iv(VI)}$, 不同的纵坡对应不同的值。例如当车速为 60km/h 时, 1%的上坡 $f_{iv(VI)}$ 取 1.45, 2%的上坡 $f_{iv(VI)}$ 取 2.2, 多出 51.7%; 而需风量 $Q_{req}=Kf_{iv(VI)}$, 也相应多出 51.7%; 又通风功率 $W=K^3Q_{req}^3$, 就相应增加了 249%。实际上国内隧道建设过程中, 隧道线形往往是路线工程师确定的。他们在决策时, 一般没有考虑隧道纵坡对运营通风的影响。因此, 建议在以后的隧道建设中, 隧道工程师必须参与路线的最初选线工作中, 在确定隧道纵坡时, 尽量合理取值。

2.4 CO、烟雾基准排放量的折减

《公路隧道通风照明设计规范》^[1]所给出的各类汽车基本排放量是 1995 年的测试结果。规范中虽然也给出了 CO 年折减系数为 1%~2%, 但是, 在具体计算中到底取多少, 各人完全不同, 有的甚至于根据“人为”需要来调整。但折减系数对需风量影响很大, 例如某隧道取折减系数分别为 1%、1.5%、2%时的远期 (2023 年) 需风量对应为 603.8 m³/s、524.0 m³/s、454.4 m³/s, 因此在具体计算中究竟取多少很值得研究。而关于柴油车的烟雾基准排放量, 现行规范中根本没有提及折减, 但随着汽车性能的逐渐改进, 烟雾排放量也当然应该折减。现在普遍的做法也是和 CO 排放量一样取 1%~2%的年折减系数。但到底取多少, 没有科学的定论。因此, 很有必要在这方面进行深入研究。

2.5 车辆汽柴比的确定

隧道通风计算中交通组成直接影响需风量, 尤其车辆汽柴比是一个重要指标。目前, 交通组成依据的是工程可行性研究报告, 但工可中往往缺少发动机汽柴比。具体计算中, 普遍的做法是参照目前市场上各种车型大致的发动机汽柴比来确定。这样做, 没有考虑具体路线的交通流组成特性以及远景发展趋势, 其结果肯定与实际情况有出入。因此, 建议在做工程可行性研究报告时, 一应该调查分析及预测各种车型的发动机汽柴比。

2.6 关于考虑烟雾的纵坡-车速系数 $f_{iv(VI)}$

《公路隧道通风照明设计规范》^[1]表 3.4.4.2-2 中, 车速为 80km/h、纵坡为 1%以上及车速为 50~80km/h、纵坡为 2%以上等工况对应的考虑烟雾的纵坡-车速系数 $f_{iv(VI)}$ 缺值。而实

际上这些工况是大量存在的。通风计算中如果遇到这些工况，普遍的做法是采用外插法来推导 $f_{iv(VI)}$ ，具体推导也因人而异，有的按线性推导，有的按多项式推导，有的按抛物线推导等等，其结果有的相差数倍之多。在一些上坡隧道通风计算中，这些工况求得的需风量往往是控制需风量，那么 $f_{iv(VI)}$ 不同的取值必然影响最终的通风计算结果。因此，在这些工况下怎样科学地确定 $f_{iv(VI)}$ ，值得深入研究。

2.7 稀释空气中异味的需风量计算

稀释空气中的异味是从提高行车舒适性角度考虑的。《公路隧道通风照明设计规范》^[1]规定“隧道空间不间断换气频率，不宜低于每小时 5 次；交通量较小或特长隧道，可采用每小时 3~4 次。”但文献^[1]对多少交通量称为较没有一个具体的界限。另外，每小时采用 3 次还是 4 次？也没有一个明确的说法，因为 3 次和 4 次的需风量是有很大差距的。例如雁门关隧道右线，换气频率每小时取 3 次时需风量为 289.8 m³/s，取 4 次时需风量为 386.3 m³/s，增加了 33.3%。

另外，在较长的下坡隧道需风量计算中，往往稀释空气中异味的需风量最大。例如沪蓉国道主干线宜昌至恩施高速公路龙潭隧道右线，远期车速 60 km/h 时稀释 CO 的需风量为 277.5 m³/s、稀释烟雾的需风量为 319.5 m³/s、火灾工况下的需风量为 173.8 m³/s，而换气频率每小时取 4 次时需风量达到 590.9m³/s，如果将稀释空气中异味的需风量作为控制需风量，就会大大增加通风工程费用。

还应该注意的问题是，稀释空气中异味的需风量计算只与隧道长度、截面面积相关，与交通量的大小无关。如果将稀释空气中异味的需风量作为控制需风量，那么不管交通量怎样变化，控制需风量是一样的，这就意味着隧道内的机械通风设备要满负荷不停运转下去。这明显不合理。

2.8 火灾通风计算应该考虑的内容

公路隧道的通风，除了要满足正常运营外，还必须满足火灾发生时的通风需求，即把两者看作是整个通风系统的两种重要的工况。由于隧道火灾的随机性，通常很难提前预防。加之隧道环境封闭，灭火救灾困难，一旦发生火灾，损失巨大。可以肯定地说，防火救灾是目前公路隧道通风的难点，而且是今后很长时间内需要研究的课题。因而，在研究通风方案时，对于隧道防火区段的划分、横通道的设置、横通道的开启与关闭、烟流排出的路径与速度、逃生通道的空气补给、避难洞的新风需求、隔温安全段的长度和降温措施、送排风口的间距和面积、火灾时的风机控制、部分风机损坏时的风机调配等，都要逐一详细研究。而对这些问题研究，在通风设计的初期，往往考虑不够，正确的做法应该是分阶段分层次进行，将隧道的正常通风以及安全等级、防灾救灾预案的制定综合考虑，逐步深入。

2.9 静电除尘器的应用

考察国内近十年来建设的许多公路隧道，如中梁山隧道、潭峪沟隧道、木鱼槽隧道、大溪岭隧道、新七道梁隧道、秦岭 1 号隧道、雁门关隧道、雪峰山隧道、龙潭隧道等，乃至我国目前最长的秦岭终南山公路隧道，均采用了纵向或分段纵向通风方式。可以说采用纵向或分段纵向通风方式已经成为大家普遍的共识。对于这些特长隧道，在通风方案设计中普遍采用竖井送排式分段纵向通风。但是，隧道越长，竖井就越多，土建、设备费用以及运营费用也就越高。

对于长度较长、坡度较大的上坡隧道，在需风量计算中，稀释烟雾的需风量往往是最大需风量，且比稀释 CO、稀释空气中异味以及火灾工况下的需风量要大很多，例如山西雁门关隧道左线，远期计算行车速度为 80km/h 时，稀释 CO 的需风量为 139.6 m³/s、稀释空气中

异味的需风量为 285.2 m³/s、火灾工况下的需风量为 189.4 m³/s，而稀释烟雾的需风量达到 838.5 m³/s。因此，雁门关隧道左线采用了两竖（斜）井分三段纵向通风方式。为此，在进行通风方案设计中，我们曾考虑采用静电除尘器，滤烟除尘，以取消或减少竖（斜）井，降低土建、设备费用和运营费用。但由于时间和技术的原因未能实现。静电除尘器在日本、挪威等公路隧道中已成功采用。我国应该在今后的特长隧道通风设计中开发或引进这项先进技术。

2.10 通风结构的优化研究

特长隧道多采用竖井送排式分段纵向通风。其中竖井的结构构造近几年已形成了一个相对固定的模式，但通风结构的优化研究远远不够，特别是缺少细部优化。事实上竖井纵向位置、竖井与隧道正洞相对关系、送排风口间距、竖井与隧道正洞的连接形式、导流叶片的形状尺寸、竖井断面、上下联络风道形状尺寸、轴流风机进出口联络通道形状尺寸、轴流风机组合形式、送排风塔组合形式等等，不但很值得研究，而且有很大的效益可挖。文献[5]、[6]在这方面做了有益的尝试，取得了一些成果。

3. 结语

公路隧道通风是长大公路隧道建设中必须认真研究和解决的重要问题。本文提出通风设计中存在的一些问题，并探讨了解决这些问题的基本思路，旨在引起同行们的重视，加强公路隧道通风基础理论和应用技术的研究，使我国公路隧道的通风设计工作更为完善。

参考文献

1. 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，2000.5
2. 夏永旭. 我国长大公路隧道通风中的几个问题，公路，2003.5
3. 夏永旭、王永东、赵峰. 秦岭终南山公路隧道通风方案讨论，长安大学学报（自然科学版），Vol. 22(2002).5
4. 夏永旭、张进县、王永东等：雁门关公路隧道通风方案研究，长安大学学报（自然科学版），Vol. 23(2003).4
5. 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
6. 石平，公路隧道通风局部效应数值模拟分析与研究，长安大学硕士学位论文，2004.5
7. 王永东、夏永旭：长大公路隧道纵向通风数值模拟研究，中国公路学报，Vol. 15(2002).1

作者联系方式：

王永东：陕西 西安 南二环中段 长安大学校本部 330 信箱 邮编：710064
电话：029-82334838 13629240672 E-mail: ys09@gl.chd.edu.cn

tuyingxia@ccrdi.com