

# 公路长隧道 通风方式研究

郑道访 编著

5982

 科学技术文献出版社



# 公路长隧道通风方式研究

郑道访 编著

科学技术文献出版社

Scientific and Technical Documents Publishing House

北京

**图书在版编目(CIP)数据**

公路长隧道通风方式研究/郑道访编著.-北京:科学技术文献出版社,2000.4  
ISBN 7-5023-2157-8

I.公… II.郑… III.公路隧道-隧道通风-研究 IV.U459.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 16148 号

**出 版 者:**科学技术文献出版社

**图 书 发 行 部:**北京市复兴路 15 号(中央电视台西侧)/100038

**图 书 编 务 部:**北京市西苑南一院东 8 号楼(颐和园西苑公汽站)/100091

**邮 购 部 电 话:**(010)68515544-2953,(010)68515544-2172

**图 书 编 务 部 电 话:**(010)62878310,(010)62878317(传真)

**图 书 发 行 部 电 话:**(010)68514009,(010)68514035(传真)

E-mail:stdph@istic.ac.cn;stdph@public.sti.ac.cn.

**策 划 编 辑:**科 文

**责 任 编 辑:**刘新荣

**责 任 校 对:**李正德

**责 任 出 版:**周永京

**封 面 设 计:**宋雪梅

**发 行 者:**科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销

**印 刷 者:**三河市富华印刷包装有限公司

**版 ( 印 ) 次:**2000 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

**开 本:**787×1092 16 开

**字 数:**217 千

**印 张:**9.5

**印 数:**1~1000 册

**定 价:**18.00 元

© 版权所有 违法必究

购买本社图书,凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

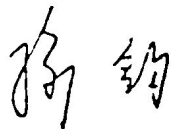
由四川省交通厅郑道访先生编著的《公路长隧道通风方式研究》一书业已脱稿,即将付梓问世。我有幸先期阅习了该书样稿,并粗读了它的部分章节,受益匪浅,且唤起了我对一些有关往事的回忆:

长、大隧道的运营通风是一门既富理论内涵,又具很强实践价值的应用技术。对高等级公路的隧道而言,由于隧道内来往车流高速行驶而排放的大量有害气体,使其通风问题尤显复杂和困难。这方面的发展有赖于技术上的不断进取,而更依托于在重大工程实践中努力探索和有根据地大胆创新。记得多年前,道访先生在重庆市交通局任职期间,结合成渝高速公路重庆路段缙云山和中梁山两座长隧道的建设,通过采用纵向射流式通风或沿用过去传统的半横向通风两种不同方式的优化和比选,在众多不同看法的议论中,能以坚持正确的意见,立意走技术创新的路子。在他的主持下,最后选用了当时国内应属领先采用的纵向通风方式;嗣后,该两隧道在通车运营多年的实践中,纵向通风的优越性得到了充分地证实,取得了重大成功,并进而在国内得以迅速而大规模地推广。我本人有机会参与了这一通风方案咨询工作的全过程,并从各个方面提出论证,表示了极力支持与赞同。对此,深感事在人为,贵在不墨守成规而应锐意进取,这正是今天广大工程技术人员应该具备的专业品质和素养。它与当前我国政府对工程界号召和要求的技术创新是一致的,也是完全符合这个正确的大方向的。今天,“有志者事竟成”,实在可喜可贺!

本书在介绍并评述了隧道几种运营通风的方式以后,结全成渝高速公路长隧道通风方案的优选而展开论述。诸如,对上述两座长、大公路隧道通风方式的变更与决策、两种通风方式技术经济的全面比较等方面均有精辟的阐释;书中特别对公路长隧道采用纵向射流式通风问题作了详尽、系统地介绍,包括:数值模拟、试验研究和现场测试等,这在国内外有关论著中尚属少见,是非常难能可贵的。最后,本书还就公路隧道设计计算中的若干关键问题进行了研讨。书后所列的许多附件材料均是结合上述两处隧道工程所作咨询、研究、各方面专家对此的评价和论证,以及该课题国家“八五”攻关项目的鉴定意见,等等,它们是本书论述的历史见证,更显十分珍贵,可供同行专家们进一步参考、研习。

本书的出版无疑将对我国公路长隧道通风技术的进步起到极好的推动作用,我祝愿本书为我国蓬勃发展的高等级公路建设事业作出宝贵的贡献。谨乐意写述了以上的一点文字,恭请专家、学者们不吝赐正。是为序。

中国工程院院士  
(1999年深秋)于同济大学



高速公路是联结我国城镇的重要交通之一。由于车速的提高,线路标准必须提高,自然带来公路隧道的增多增长。在公路隧道修建中,隧道建成后的运营通风方式的选择,是直接影响隧道设计参数的重要因素,不同的通风方式会产生不同的隧道断面大小和形式;会改变通风竖井设置的位置;会给工程建设投资和今后运营成本带来很大的差别,所以,郑道访总工根据多年来的工程实践编写这本书,是具有很大实用价值的,对我国公路长隧道的修建具有很大的指导性与参考性。

公路隧道运营通风可概括为自然通风和机械通风两大类,一般大于1 000m长的公路隧道都应设置机械通风。机械通风又可分为全横向式、半横向式、纵向射流式三种,纵向式射流通风方式与半横向式通风相比,隧道横断面可减少20%以上,不仅土建工程减少很多,机电设备投资也可减少,运营能源也可节省,是比较好的通风方式。本书作者详细地介绍了纵向式射流通风的原理、计算、数字模拟试验及现场的实地测试成果,对从事隧道设计、施工、管理人员是一本很好的参考书。

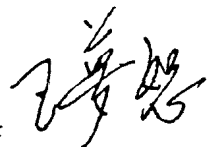
设计前方案的研究和论证对一个工程建设的成败、造价的降低,今后功能的应用关系非常重大。作者在书中论述了成渝高速公路上的中梁山隧道和缙云山隧道通风方式确定的承前启后的过程。由于这条高速公路由世界银行贷款,设计通风方案是半横向式的,世行的技术代表坚持必须这样做。然而,作者在参观了日本第二新神户隧道( $L=7\ 175\text{m}$ )纵向射流运营通风后,本着为国家减少工程投资及节约今后运营费的高度责任感、赤诚爱国心,坚决要求修改设计,将中梁山隧道、缙云山隧道改为纵向射流通风方案,经过几次艰苦的谈判,历经了坎坷的风雨,在四川省交通厅的鼎力支持下,世界银行贷款技术代表最终同意了作者所提的方案,应该说这是用中国人的傲骨战胜了自以为了不起、傲气十足的个别外国专家。我所以在序中写这一段,是因为我国接受世界银行贷款项目、接受其他国家贷款项目在日益增多,作为中国建设方是百依百顺呢?还是根据国情、工程实践拿出自己的方案呢?不公开的贷款该不该接受?变相卖设备的贷款该不该抵制?这一系列问题值得深思,只希望大家都有一点爱国心吧!

作者在这部书中论述了纵向射流通风技术的同时,又进行全系统的推广应用,产生了巨大的经济效益。另外,作者把如何提出问题、如何立项、如何把这个方案措施的全过程也反映出来,对建设者是有启发的,这种方法在一般书中是找不到的。

郑道访总工知识面宽厚、工程实践丰富、学术思维活跃,又有很强的责任心、爱国心;在这本中既有理论、又有方法和创见的胆识,如实地把隧道纵向射流通风编著成书。深信该书会给我国公路隧道建设带来更大的经济效益和社会效益。

中国工程院院士

于北方交通大学 1999.11.22



# 前 言

---

在改革开放政策指引下,我国工农业生产水平日益提高,国民经济得以稳步增长,对交通建设提出了更高的要求,随之一大批高等级公路应运而生。

1985年开始建设的成渝高速公路,在四川省内是第一条,也是国家第三批世界银行贷款项目。该项目中的中梁山隧道与缙云山隧道是在建隧道中最长的两条,缺乏设计经验,也无设计规范可依,仅按当时所能搜集到的文献资料和工程实例,在世界银行咨询专家的帮助下,完成了设计,并据以进行招标施工。

为了降低隧道工程的造价,寻得改变营运通风方式的途径,历经坎坷,最终得以实现,并完成了一系列科研课题,取得了工程建设与科学研究的双重成果。在此项工作中,铁道部第二勘测设计院的滕兆民教授级高工、张开鑫、郑廷全高工等,在公路长隧道纵向通风的设计理论与计算方法研究中,付出了辛勤的劳动并完成了施工图设计;兰州铁道学院隧道通风课题组完成了公路长隧道纵向通风模型模拟试验研究;西南交通大学作了公路长隧道通风数值模拟方法与通风效果的实地测试研究。此外,国内著名专家中国科学院与工程院院士孙钧、中国工程院院士王梦恕、交通部工管司技术处处长鲍钟岳、中国国际工程咨询公司先立志等,多次参加了本研究课题的咨询工作,在此谨向有关单位和专家作出的辛勤劳动与卓越贡献表示衷心地感谢。

# 目 录

第一章 隧道通风方式 .....	( 1 )
第一节 隧道通风方式的发展史 .....	( 1 )
第二节 常用的隧道通风方式 .....	( 2 )
一、自然通风 .....	( 2 )
二、机械通风 .....	( 4 )
第二章 成渝高速公路长隧道通风方式的选择 .....	( 6 )
第一节 工程概况 .....	( 6 )
第二节 原设计通风方式的比选与设计 .....	( 7 )
一、通风方式比选 .....	( 7 )
二、半横向式通风施工设计 .....	( 7 )
三、半横向式通风的优缺点 .....	( 10 )
第三章 通风方式的变更与决策 .....	( 12 )
第一节 变更原因 .....	( 12 )
第二节 变更通风方式的论证 .....	( 13 )
一、变更设计资料的准备 .....	( 13 )
二、国内专家的技术咨询 .....	( 14 )
三、国外专家的技术咨询 .....	( 15 )
第三节 两种通风方式的技术经济比较 .....	( 18 )
一、技术比较 .....	( 18 )
二、经济比较 .....	( 19 )
第四节 工程实践的升华 .....	( 20 )
一、实践出真知 .....	( 20 )
二、科学研究 .....	( 20 )

第四章 公路长隧道纵向式通风 .....	(31)
第一节 纵向式通风的设计理论与计算方法 .....	(31)
一、基本假定 .....	(31)
二、设计条件 .....	(32)
三、设计原理与计算方法 .....	(33)
四、中梁山左线隧道竖井吸出式纵向通风计算 .....	(39)
第二节 模型模拟试验研究 .....	(47)
一、射流通风技术应用的基本分析 .....	(47)
二、模型试验的相似律 .....	(50)
三、模拟系统简介 .....	(53)
四、模型试验的结果和初步分析 .....	(56)
五、结论 .....	(63)
第三节 数值模拟试验研究 .....	(64)
一、一维常规与动态的数值计算 .....	(64)
二、二维风压、风速场和数值模拟 .....	(70)
第四节 纵向通风效果实地测试研究 .....	(76)
一、概述 .....	(76)
二、隧道实际交通流调查 .....	(77)
三、风速系数的测定 .....	(79)
四、各类阻力系数的测定 .....	(80)
五、中梁山隧道通风功能测试 .....	(83)
六、对比隧道通风功能测试 .....	(87)
第五章 隧道通风设计计算中几个问题的研讨 .....	(89)
一、通风计算行车速度 .....	(89)
二、设计交通容量 .....	(91)
三、烟尘允许浓度 .....	(91)
四、竖井位置的选择 .....	(93)



五、射流通风系统的噪声..... (95)

附 录 ..... (99)

附录一 日本公路隧道及公路建设考察报告(摘录) ..... (99)

附录二 成渝公路缙云山、中梁山隧道优化设计咨询意见 ..... (100)

附录三 成渝公路中梁山、缙云山隧道纵向式通风方案技术讨论会咨询意见 ..... (102)

附录四 关于隧道设计变更的备忘录..... (106)

附录五 中梁山、缙云山隧道竖井通风方式的咨询审查意见 ..... (108)

附录六 关于隧道竖井通风方式会谈纪录..... (110)

附录七 成渝公路(东段)隧道变更设计《施密斯公司咨询意见》(摘录)..... (111)

附录八 关于对《施密斯公司咨询意见》的几点说明..... (114)

附录九 关于四川省成渝公路设计复查情况及有关意见(摘录)..... (114)

附录十 H. Rottmann 在咨询中对隧道通风系统设计文件的第二次审查意见 ..... (115)

附录十一 罗特蒙通风机械工程师对隧道通风第三次审查评价报告(机械通风设计组) ..... (116)

附录十二 对一九九一年重庆成渝公路隧道变更设计及机电安装工程国际招标文件咨询审查意见中若干问题的意见(摘录)..... (118)

附录十三 关于罗特蒙先生咨询情况的备忘录..... (121)

附录十四 关于中梁山、缙云山两座上坡隧道竖井通风方式咨询审查的备忘录 ..... (123)

附录十五 对罗特蒙先生通风咨询工作的评价..... (125)

附录十六 隧道通风设计计算的分析报告..... (127)

附录十七 机电通风系统和机电工程设计审查、初审咨询报告 ..... (130)

附录十八 致世界银行雷干比先生函..... (132)

附录十九 国家计划委员会局发文..... (133)

附录二十 国家“八五”科技攻关《公路长隧道纵向通风研究》项目专家鉴定意见  
..... (133)

参考文献..... (136)

# 第一章

## 隧道通风方式

### 第一节 隧道通风方式的发展史

隧道内保持良好的空气状态是行车安全的必要条件,通风的目的是为了把隧道内的有害气体或污染物质的浓度降至一个允许浓度以下,以保证汽车行驶的安全性和舒适性,这是公路隧道服务水准的一个重要标志。同时,在隧道内保持一定的卫生标准,也有利于隧道内维修,养护人员进行洞内作业时的身体健康。

公路隧道发展初期一般都较短,多是依靠自然通风或交通风进行通风的,这是最早形成的纵向式通风系统,这也是由当时的社会经济、技术条件所决定的,因而,隧道长度就受到了一定的限制。当隧道超过一定长度后,仅仅依靠自然通风或交通风进行通风已不能满足卫生标准的需要,从而演变出利用机械设备进行各种方式的机械通风,以稀释汽车排出的废气。

19世纪20年代初,福特汽车廉价批量生产迎来了汽车时代,在此之前,英国的罗瑟利瑟(Rotheriteh)公路隧道虽然已长达1913m,但因通过汽车数量较少,因而无需设置正规通风。在建造通过纽约市赫德逊河底的荷兰隧道(长2610m)时,正值汽车化时代,预计通过隧道的汽车数量将增多,并认为采用矿山等常用的空气沿车道纵向流动的纵向式通风方式已不能提供隧道内所需的通风量。恰在此时,当美国匹兹堡市的自由(Liberty)隧道(长1800m)于1924年发生交通堵塞,CO中毒导致乘客神志昏迷事故后,在荷兰隧道的通风方式上产生了一种排除有害气体的新方法。

荷兰隧道采用盾构法施工,断面为圆形。试图把行车道下部弓形空间作为送风道,上部加设吊顶板,其弓形空间作为排风道,据此设计了将气流从下部空间流经隧道后送入上部的排风道的通风方式,即所谓的全横向通风方式,并获得了成功。由于此种通风方式具有高度的可靠性,使得大交通量的长大公路隧道的建设成为可能,并应用于许多长大公路隧道中,如日本的关门隧道(长3461m),惠那山一线隧道(长8489m),芟子隧道(长4417m)均采用了全横向式通风。

由于全横向式通风需在设计断面以外提供两条额外的送、排风道,这对于圆形断面以外断面型式的隧道将大大增加工程投资,因而出现了采用一条风道和隧道相组合的折衷通风方式,即所谓的半横向式通风。1934年,英国的默尔西隧道(长3226m)首先采用了半横向式通风,

随后在许多不太长的公路隧道中相继采用了此种通风方式;日本的天王山隧道(长 1 435m)也采用了半横向通风方式。

19 世纪 60 年代中期出现了石油危机,在公路隧道长度不断增长、交通量也日益增多的情况下,对于设备规模大、投资较高、耗能较多的全横向通风方式与半横向通风方式也提出了要重新进行评价的要求,长大公路隧道能否采用节能效果较好的纵向式通风(包括分段纵向式通风)?日本的关越一线隧道(长 1 0885m)、惠那山二线隧道(长 8 625m)在这方面进行了有益的探索。这两座隧道均采用竖井吹吸式通风,将隧道分成几个通风区段,每个区段内均为纵向式通风,这样可以充分利用汽车交通风的活塞作用以节约耗能;为了降低烟尘指标过高而给耗能带来的不利影响,在隧道适当部位设置了电器集尘室以降低烟尘浓度。这种有益的探索。迅速得到发展,并成为当今长大公路隧道通风型式的发展趋势。

## 第二节 常用的隧道通风方式

### 一、自然通风

#### (一)概 述

隧道内的自然通风,就是不用风机设备、完全靠汽车交通风的活塞作用及其剩余能量与自然风的共同作用,把有害气体和烟尘从隧道内排出洞外。当隧道内的自然风向与汽车行驶方向相同时,自然风是助力作用,排除有害气体的时间则较快;若自然风向与汽车行驶方向相反时,自然风起阻力作用,排除有害气体的时间则较慢,需时较长。

对于没有其他通路(如竖井、斜井等)的单一隧道,自然风也基本上是已知的稳定值,可能是助力作用,也可能是阻力作用,有时随着季节的变化而变化,这些状况均可反映到设计计算中去。不稳定的自然风对单向交通的隧道影响较小,一般均可根据掌握的气象资料,通过分析评价自然通风的效果;但对双向交通的隧道则较为复杂,自然风对部分行驶的汽车是助力作用,而对另一部分汽车则起阻力作用,两部分汽车的比例也很难确定,加以自然风的不稳定性更加深了自然通风问题的复杂化,故对双向交通的隧道除长度很短、或确知自然风较为固定(风向、风速)且风速较大时,一般不考虑自然通风的作用。

对于有其他通路的隧道,人们似乎有一种概念,认为竖井可以起到烟囱的作用,能加速排除隧道内的有害气体,对于中等长度的隧道往往企图用增设竖井的办法以代替机械通风。实则不然,除非竖井很深,而且竖井中的空气温度比隧道外的气温大得很多时,才能有烟囱那样稳定的向井外排烟的作用。实际上,一般隧道的竖井深度都不太深,竖井内气温与隧道外气温相差也不太大,而且随着季节的变化,竖井内气温有时比隧道外的气温高,有时比隧道外的气温低,加上局部气压梯度的变化,致使竖井内的风向、风速是多变的。竖井内的风流状况,和隧道一样也是由大气的气象状况和行驶汽车交通风的活塞作用所决定,也就是说与汽车行驶所在位置有关,而且汽车的活塞作用一般都比自然风作用大,故汽车在隧道内行驶时,竖井内的风流状况(风向、风速)主要由行驶汽车的活塞作用所控制。当汽车行驶在竖井前方时,汽车的活塞压力(正压)驱使洞内有害气体从竖井向井外排出;而当汽车驶过竖井后,汽车的活塞压力

在汽车尾部形成负压,又使竖井内向外排烟的流向倒流,竖井与隧道内的风流状况将是十分复杂的,甚至可能会出现有害气体停滞区。因此,认为用竖井可以代替机械通风的想法是不现实的。

## (二)自然风压

### 1. 隧道内自然风的形成

隧道内形成自然风流的原因有三:隧道内外的温度差(热位差)、隧道两端洞口的水平气压差(大气气压梯度)和隧道外大气自然风的作用。

当隧道两洞口有高程差时,两洞口间的大气压力不同。但是,若隧道内外空气密度一致,且洞口间没有水平气压梯度与大气风时,则此单纯由高程差所形成的气压差,并不能使空气流动,因为高洞口的大气压力加位能恰好与低洞口相等。

#### (1)热位差

当隧道内外温度不同时,隧道内外的空气容重就不同,从而产生空气的流动,用压差来表示称为热位差。

热位差压头的计算式为

$$\Delta p_t = (\gamma_a - \gamma_n)Z \quad (1-1)$$

式中  $\gamma_n$ ——隧道内的空气容重( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\gamma_a$ ——隧道外的空气容重( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$Z$ ——隧道两洞口间的高差(m)。

#### (2)大气气压梯度

大范围的大气中,由于空气温度、湿度等的差别,同一水平面上的大气压力也有差别,这种气压的差异,气象上以气压梯度表示。所谓气压梯度,就是垂直于等压线的一个向量,取子午线 $1^\circ$ 或 $111.1\text{km}$ 为一个单位距离,在每一个单位距离内气压变异的大小叫作一个气压梯度值。气压梯度的数值,可从气象资料查得。

此外,隧道两端洞口外温度、湿度等的差别,也会产生空气容重的差别而产生洞口间的水平压差(也可以说是隧道位置的局部气压梯度)。

#### (3)隧道外大气自然风

隧道外吹向隧道洞口的大气风,碰到山坡后,其动压头的一部分可转变为静压力。此部分动压头的计算方法,有的资料根据隧道外大气自然风的风向与风速按下式计算:

$$\Delta p_v = \frac{\gamma_a}{2g} (V_a \cos \alpha)^2 \quad (1-2)$$

式中  $V_a$ ——隧道外大气自然风速( $\text{m}/\text{s}$ );

$\alpha$ ——自然风向与隧道中线的夹角(度)。

有的资料介绍按下式计算:

$$\Delta p_v = \delta \frac{\gamma_a}{2g} V_a^2 \quad (1-3)$$

系数  $\delta$  由风向、山坡倾斜度与表面形状、附近地形以及洞口形状、尺寸等而定。

### 2. 自然风压差与隧道内自然风速

上述三项形成隧道内自然风的压差之和即为隧道内自然风压差  $p_n$ , 作用在隧道两洞口之间, 计算时可以一端洞口为基准, 作用在另一端洞口的相对压力(静压与位压之和), 如图 1-1 所示。若以洞口 A 为基准, 则 BA 方向的自然风压差  $p_{nBA}$  (也可简写成  $p_{BA}$ ) 为

$$\begin{aligned} p_{nBA} &= \Delta p_v + P_B + \gamma_n \Delta Z - P_A \\ &= \Delta p_v + P_B + \gamma_n \Delta Z - (P'_A + \gamma_a \Delta Z) \\ &= \Delta p_v + (P_B - P'_A) + (\gamma_n - \gamma_a) \Delta Z \end{aligned} \quad (1-4)$$

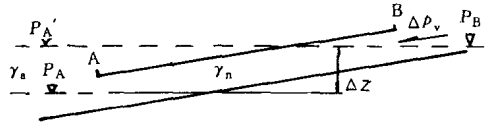


图 1-1

式中右边第一项表示隧道外大气风动压; 第

二项表示气压梯度; 第三项表示热位差。  $P_A$ 、 $P_B$  为洞口 A、B 外面的绝对大气压,  $P'_A$  为洞口 A 外面与洞口 B 同高程处的绝对大气压。

当隧道为等截面直线隧道时, 由  $p_n$  产生的隧道内自然风速  $V_n$ , 可按下式计算:

$$p_n = \left(1.5 + \frac{\lambda L_T}{d}\right) \frac{\gamma_n}{2g} V_n^2 = \xi_n \frac{\gamma_n}{2g} V_n^2 \quad (1-5)$$

式中  $\xi_n = 1.5 + \frac{\lambda L_T}{d}$  ——全隧道总阻力系数。

当隧道断面  $F$ 、摩擦系数  $\lambda$  等有变化时,  $F$ 、 $d$ 、 $\lambda$  等值均可按平均值计,  $V_n$  为平均自然风速。

有竖井或斜井的隧道, 井口 C 对洞口 A 的自然风压差  $p_{nCA}$  与隧道两洞口间的自然风压差  $p_{nBA}$  将不相同, 井口 C 与洞口 B 间也有相对压差, 此时, 隧道与竖井中自然风的风向、风速, 将随竖井、隧道的阻力状况而异, 比较复杂。

从自然气象而言, 一年四季中变化多端, 昼夜早晚也不一样, 自然风对隧道通风有时有利, 有时不利, 通风设计中要考虑不利的情况。

如果有足够的气象资料预期一年中自然风压差  $p_n$  的数值及其频率, 就可以按一定的保证率确定相应的  $p_n$  值进行通风设计。但到目前为止, 切合隧道通风设计所需气象资料的收集、分析、研究工作, 尚未进行, 对于具体的隧道, 其局部地区气象资料更为缺乏, 欲由气象资料求算自然风压差, 颇难下手。

因此, 目前通风设计中, 较一致的习惯是按对通风不利的隧道内自然反风  $V_n$  计算, 也即两隧道洞口间自然风压差为  $p_n = \zeta \frac{\gamma}{2g} V_n^2$ 。

我国铁路隧道运营通风计算中, 推荐采用  $V_n = 1.5 \text{ m/s}$ ; 日本道路公团设计要领中, 对于公路隧道运营通风计算中, 推荐采用  $V_n = 2.5 \text{ m/s}$ 。

## 二、机械通风

### (一) 概述

自然通风不能满足隧道内通风排烟的要求时, 要使用风机予以排除者称为机械通风, 有时也称人工通风。

隧道通风方式的选择, 应根据隧道通风条件和隧道内允许的卫生标准经过技术经验比较而确定。在无可靠资料时, 一般双向行驶的隧道可按下列界限值确定通风方式:

当  $LN \geq 600$  时, 采用机械通风;



$LN < 600$  时,采用自然通风。

式中  $L$ ——隧道长度(km);

$N$ ——通过隧道的车辆高峰小时交通量(辆/h),应按照隧道的实际通行能力或实测的高峰交通量计算。

公路隧道长度达到一定长度以上时,需要采用机械通风来排除隧道内的有害气体与污染物,而采用机械通风所需的费用几乎与隧道长度成平方比例,为此,在长大公路隧道的建设中,既要确保隧道内具有一定的服务水平,又要进行经济的通风,这就是顺利进行高速公路建设事业中人们所关心的重大课题之一。

公路隧道内空气中的有害物,主要是汽车行驶时排出的多种有害气体,研究资料表明:以CO为代表对人体最为有害,这些有毒气体会刺激人们的眼睛和呼吸道器官,严重者还会导致中毒,同时,汽车行驶时排放的烟气或带起路面上的粉尘,也会在隧道内造成空气污染,降低能见度,从而影响行车安全。无论是有害气体或是烟尘,在通风计算中都是以冲淡理论为基础的,这对于横向式(或半横向式)通风或是双向行驶的隧道都是适宜的;而对于单向行驶的纵向式通风,由于汽车交通风的活塞作用起着挤压的作用,隧道内有害物浓度呈三角形分布。在挤压作用的同时,由于风流的紊乱,新鲜空气与有害物之间也存在有冲淡的作用,这就是纵向式通风与横向式通风区别的根本所在,也是纵向式通风所以节能的根本原因。

此外,机械通风设计中所选择的通风对象,也是至关重要的课题。如前所述,公路隧道通风的主要对象为CO与烟尘,但在特定条件下如何选择,日本关门隧道的探索不失为一个较好的典范。首先是在设计思路上不墨守成规,按惯用的设计方法,以CO和烟尘为通风对象分别计算出其所需通风量,选择其中之大者,这样的设计势必大大增加通风工程的投资。关门隧道的通风设计,结合日本汽车以排放烟气为主的特点,引入了行之有效的电器集尘装置,分段将烟气浓度降下来,最终使CO与烟尘二者所需通风量相近,并据以设计,将庞大的通风系统简化至最低限度的需要,从而大大降低了工程投资。

## (二)通风方式分类

机械通风按通风风流的流动方向基本上可分为三大类。

1. 纵向式 新鲜空气从隧道一端引入,有害气体与烟尘从另一端排出。在通风过程中,隧道内的有害气体与烟尘沿纵向流经全隧道。

根据采用的通风设备,又可分为洞口风道式通风与射流风机通风;洞口风道式通风多采用轴流风机,射流风机通风则多将射流风机分散悬挂于隧道拱顶部位,也有集中设置于洞口者。

若隧道很长纵向式通风不能满足规范要求时,可采用竖井、斜井、平行导洞等辅助通道将隧道长度分成几个通风区段,称为分段纵向式通风。按风机供风方向又可分为吹入式、吸出式、吹吸两用式与吹吸联合式。

2. 横向式 用通风孔将隧道分成若干区段,新鲜空气从隧道一侧的通风孔横向流经隧道断面空间,将隧道内的有害气体与烟尘稀释后从另一侧通风孔进入风渠排出洞外,各通风区段的风流基本上不流至相邻的通风区段,故又称全横向式通风。

3. 半横向式 半横向式通风是介于纵向式与横向式之间的一种通风方式,新鲜空气从隧道一端或两端引入,有害气体与烟尘则经由隧道断面以外的风渠排出隧道;反之,由风渠向隧道内送入新鲜空气亦然。

## 第二章

# 成渝高速公路长隧道 通风方式的选择

### 第一节 工程概况

成渝高速公路有两座长隧道,在青杠至上桥间,本线横穿缙云山脉与中梁山脉均以隧道通过。新建成渝高速公路重庆段全长 114km 较原有成渝公路缩短路线里程约 53km,其中青杠

至上桥间由于原有成渝公路要绕道璧山、青木关、陈家桥而翻越中梁山,路线全长约 65km,而新建成渝高速公路仅有 22km,缩短路线里程 43km,由此可见两座长隧道的作用十分显著,中梁山隧道与缙云山隧道的平面位置见图 2-1。

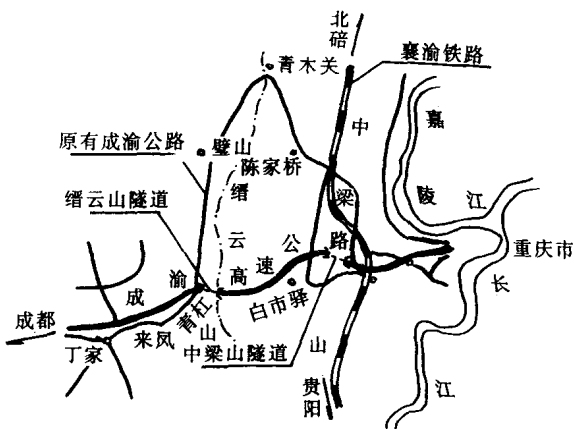


图 2-1 隧道平面位置

成渝高速公路为单向行驶的 4 车道,左右线各由 2 车道组成,左线车辆由重庆驶往成都,右线车辆由成都驶向重庆;一般地段为整体式路基,隧道所在地段为分修式路基,隧道则为双洞。中梁山隧道与缙云山隧道洞口海拔高程均在 400m 以下,隧道简况见表 2-1。

按照《公路隧道设计规范》JTJ026-90 (以下简称《隧规》)关于公路隧道分类的规定,中梁山隧道属特长隧道,缙云山隧道属长隧道,两座隧道也是目前国内最长的公路隧道。中梁山隧道大部位于直线上,左右线平行,两线间距为 50m,仅西端左右线洞口段位于半径为 2 000m 的曲线长,左线曲线长 869m,右线 862m;东端左线洞口段位于半径为 1 500m 的曲线上,曲线长 152m。缙云山隧道则全部位于直线上,左右线平行,两线间距亦为 50m。

按照《公路隧道设计规范》JTJ026-90

表 2-1 隧道简况

隧道名称	线别	隧道长度(m)	路线坡度(%)	行车方向
中梁山隧道	左线	3 160	\ 1.30	成都←重庆
	右线	3 103	\ 1.27	成都→重庆
缙云山隧道	左线	2 528	/1.30	成都←重庆
	右线	2 478	/1.18	成都→重庆

## 第二节 原设计通风方式的比选与设计

### 一、通风方式比选

成渝高速公路(重庆段)的勘测设计工作由铁道部第二勘测设计院承担,全段的设计难点在于两座长隧道,隧道通风设计也是其中难点之一。开展设计工作时,交通部尚未颁布《公路隧道设计规范》,几乎无章可循;在进行通风方式比选时,只能参照《城市道路设计规范》(送审稿)中有关隧道设计的一些规定,并借鉴报刊杂志上发表的国外一些公路隧道的通风设计资料,对中梁山隧道与缙云山隧道的通风方式进行了研究与比选。同时,也对国内已建成或在建的公路隧道与水底隧道进行了调研和考察,如上海打浦路黄浦江水底隧道(全长 2 761m)、深圳梧桐山隧道(全长 2 314m)均采用的是全横向式通风;珠海板樟山隧道(全长 1 210m),采用的是半横向式通风。

选择通风方式时,要对各种方式的通风效果、技术条件、经济效益、维护管理等进行综合研究,经过分析比较后来确定,同时也要考虑隧道所在地的道路、交通、人文、气象等条件,不能单纯由隧道长度来决定;但是隧道长度对通风方式的选择,往往起着关键的作用。如《日本道路公团设计要领》中对各种通风方式所能适应的隧道长度,在一般情况下建议采用的隧道长度如下:

- 纵向式通风(无竖井)            0.5~2km;
- 纵向式通风(竖井送排风)    2km 以上;
- 半横向式                        1.5~3km;
- 全横向式                        2km 以上。

1990 年交通部颁布的《隧规》在“条文说明”中也认为纵向式通风一般适用于单向行驶、长度为 1500m 以下的隧道;半横向式通风一般适用于长度为 1 000~3 000m 的隧道。

因此,中梁山隧道和缙云山隧道的通风方式均采用了半横向式通风,通过初步设计的鉴定和世界银行专家的咨询审查后,完成了隧道通风的施工图设计。

### 二、半横向式通风施工设计

半横向式通风的基本特征是在隧道外设有一条风渠,新鲜风流经由风渠底板上的送风口

等量均匀地向隧道内送风,新鲜风流进入隧道后即沿隧道纵向流动由洞口排出洞外。半横向式通风示意简图见图2-2。

设计中利用隧道断面限界以外的上部空间作为风渠,在风渠底部设置钢筋砼吊顶板与行车道分隔开来,吊顶板上沿纵向成对地以一定间隔布设送风口。风渠中部设有横隔板将风渠分成两部分,洞口两端均设有端挡板,将全隧道分成两个独立的通风系统,两端洞口各设有风机房,正常情况下采用吹入式通风,即主风机将新鲜空气经由风道送入风渠,并通过送风口而进入隧道,将洞内的有害气体与烟尘分别由两端洞口排出洞外;为提高隧道的通风效果,设计中采用了沿风渠等量送风的理论,并计算了各送风口的开度。

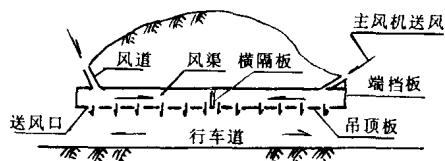


图 2-2 半横向式通风示意图

当隧道内发生火灾的特殊情况下,风机房内的主风机反转改为吸出式通风,洞内火灾点附近的送风口将调节板全部打开,其余送风口则全部关闭,这样便可使隧道内火灾燃烧生成的有害气体均进入打开的送风口沿风渠排出洞外,而不致在洞内蔓延。

### (一)技术标准

#### 1. 隧道内卫生标准

##### (1) CO 允许浓度

正常营运时,  $\delta_{CO} = 150 \text{ ppm}^*$ ;

交通阻塞时,短时间(15min)以内,  $\delta_{CO} = 250 \text{ ppm}$ 。

##### (2) 烟尘允许浓度

正常营运时,  $k = 0.0075 \text{ m}^{-1}$ ;

交通阻塞时,  $k = 0.0090 \text{ m}^{-1}$ 。

#### 2. 隧道内纵向风速 $V_e \leq 8 \text{ m/s}$ 。

3. 设计交通量 双洞昼夜交通量为 20022 辆/d,左右线单洞各为 10011 辆/d;设计小时交通量(第 30 位小时交通量)按日交通量的 10% 计,即为 1 001 辆/h。

#### 4. 设计行车速度

正常营运时,  $V_T = 60 \text{ km/h}$ ;

交通阻塞时,  $V_T = 10 \text{ km/h}$ ;

#### 5. 交通组成

小型车 18%,大型车 82%;

汽油车 83%,柴油车 17%;

满载车 75%,空车 25%。

### (二)隧道内所需通风量

隧道内所需通风量,应根据稀释隧道内空气中的有害物浓度达到允许浓度时所需的新鲜

\* ppm 表示微量物质的浓度,一般用  $10^{-6}$  表示(下同)