

Current Situation and Development Trend of Highway Tunnel Ventilation Control

Furen ZHANG*, Youcheng ZHENG

School of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

Abstract: The tunnel ventilation control system is an important part of the long highway tunnel, which is a very important guarantee for safe, healthy and comfortable driving environment in the highway tunnel. The purpose of tunnel ventilation control is to control the concentration of harmful gases and dust in the standard allowable limits. In this paper, the current domestic and international highway tunnel ventilation system control mode and the present situation of highway tunnel ventilation control system are introduced.

Keywords: Highway tunnel, Ventilation control, Current situation, Development direction

公路隧道通风控制现状及发展趋势

张甫仁¹, 郑友成²

重庆交通大学, 机电与车辆工程学院, 重庆, 中国, 400074

摘要: 隧道通风控制系统是长大公路隧道的一个重要构成部分, 是公路隧道内安全、健康、舒适的行车环境的一个非常重要的保证。隧道通风控制的目的是将其内有害气体和粉尘浓度等控制在标准许可限度之内。文章陈述了常用的国内外公路隧道通风系统控制方式和公路隧道通风控制系统的现状, 最后指出了公路隧道通风控制系统未来发展的主要方向。

关键词: 公路隧道; 通风控制; 现状; 发展方向

1 引言

隧道内来自汽车行驶时排出的有害气体和卷起的粉尘, 在长大隧道的特殊结构和环境条件下会影响行车安全以及对人体产生伤害, 同时也是造成隧道交通堵塞和产生重大交通事故的诱发因素。因此长大隧道必须进行通风, 以及以通风控制为核心的多系统集成化的计算机中心控制管理, 如此才能为车辆在隧道内的快速安全行驶和良好的环境提供保证。随着隧道长度的增加, 车辆在隧道内滞留时间越多, 有害气体在隧道内的分布形态差异越大, 而且浓度水平普遍较高, 从而使隧道需风量的确定难度大大提高, 也进一步使得长大公路隧道的通风控制变得非常艰难。急需一个先进稳定的通风控制技术来保障长大公路隧道的运营的畅通和安全。先进的通风控制系统的采用不仅仅是增进了通风效果以及行车的安全性和舒适性, 在耗电量的降低方面也有巨大作用, 同时也是高等级公路实现“高速、高效、安全、舒适”的一项主要技术, 在节能、防灾和行车安全和舒适性提高方面均有十分重要的意义。

2 公路隧道通风控制

2.1 通风控制目的

公路隧道的通风控制就是通过控制隧道内风机的运行, 有效并且经济的稀释隧道内的污染物, 其目的在于消耗最小的电力来推动通风机械的运行, 使得隧道内的粉尘和污染物浓度控制在标准许可的数值范围内。同时尽可能的考虑到隧道内发生交通事故、灾害、交通阻塞等异常情况时风机的运转需求, 从而为防止隧道灾害和事故救援提供保障, 避免次生灾害的发生。

2.2 通风控制方式

公路隧道的通风控制方式是依据其通风方式、工程规模及设备能力等因素, 选择合适的方法控制风机的运行, 其目的在于对正常行车时、交通阻塞时、交通事故及发生火灾是隧道内的运营环境进行有效的控制和处理。通常所说的通风控制是指包含交通阻塞在内的正常行车情况下的通风控制, 而交通事故、火灾等情况下的风机控制为紧急时通风控制, 这里主要介

绍正常行车情况下的公路隧道通风控制。

公路隧道通风控制方式可分为手动控制和自动控制两类，目前国内外在长大公路隧道通风控制方面大都采用以自动控制为主，手动控制为辅的方式。其中自动控制亦可大致分为：固定时序控制法、后馈控制法及前馈控制法、智能控制法、前馈式智能控制法五类。

(1) 手动控制

操作员直接根据检测数据及系统相关提示来手动操作风机的启停，操作简单灵活，但是耗时耗力，并且不能实现最优化，因此如今它只是充当自动控制模式的一个补充，是当自动模式失效后的一种应急控制方式。

(2) 固定时序控制法

固定时序控制法是根据通风系统运行一段时间后，记录的数据分析，得出通风系统运行状态和时间之间的变化规律，以此为依据编制一个固定的程序来对风机的运行进行控制。但是此控制方式只是以往经验的重复，存在着滞后性的问题，以及当出现变化时无法随变化而调整的应激性差，以此固定时序控制法不能作为通风系统正常情况下的主要控制方式。

(3) 后馈控制法

后馈控制法亦称作反馈控制法，在隧道内安装烟雾透过率传感器和一氧化碳浓度传感器，通过它们直接检测得到当前隧道内车辆通过时排放出的烟雾浓度(VI)和一氧化碳(CO)数据，将隧道内当前的VI值和CO值与要求控制的目标值进行对比，在不超过目标值的前提下，控制风机的运行台数的和隧道内的通风量。同时这种变化又会反过来影响到VI值和CO值，然后进入下次控制，其控制流程如图1。

(4) 前馈控制法

前馈式通风控制法是在进入隧道前路段的交通流信息以及安装在隧道内的车辆检测器的帮助下，对隧道内的以及即将进入隧道内的交通流量、行车速度、车型构成等信息进行明了，根据这些数据，预测未来一个时段内的交通量，分析其交通流特征，然后计算出未来这个时段内的污染物浓度水平，以此作为前馈信号，并结合由烟雾透过率传感器和一氧化碳浓度传感测出来的污染物浓度这一后馈信号，两者共同完成对隧道

内风机运行台数和需风量等的控制。前馈控制法的流程图如图2所示。

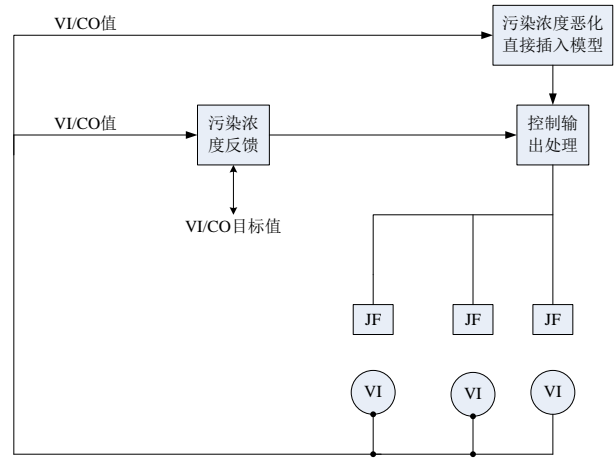


图 1. 后馈控制法示意图

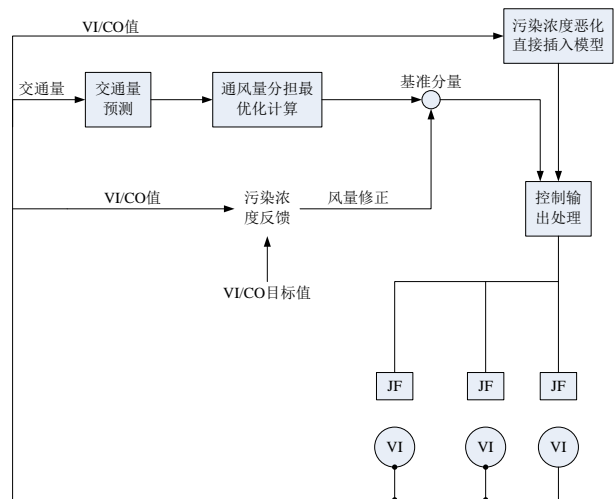


图 2. 前馈控制法示意图

(5) 智能控制法

实际上智能控制法是对如神经网络控制、模糊控制、专家系统控制及由他们衍生的组合控制方法这一类具有一定的人工智能特性的控制方法的统称。其是近年来在通风控制领域最为瞩目的研究方向。主要原因在于传统的控制方法对公路隧道的通风系统采用的是线性控制理论，但是其本身却是具有很强的非线性特征，因此在获得了便于控制设计的数学模型的同时，也必定在模型简化的过程中产生了很大的误差。而这些缺点在神经网络控制等智能控制上可能得到很好的解决，故近年来引起了大量学者的深入研究，硕果累累。从通风控制的核心来看，前馈控制和后馈

控制的区别在于控制输入信号的不同，而智能控制法与传统控制法的区别在于运算方法的不同。此外智能控制还可以分别与后馈控制法和前馈控制法相结合使用。

(6) 前馈式智能控制法

前馈式智能控制法就是将智能控制与前馈控制相结合，它可以弥补后者的一些缺点。它采用智能控制理论将输入控制器的前馈信号以及后馈信号进行推演，模拟分析多种通风方案，最后用智能（AI）控制器演算出最优方案。前馈式智能控制法流程如图 3。

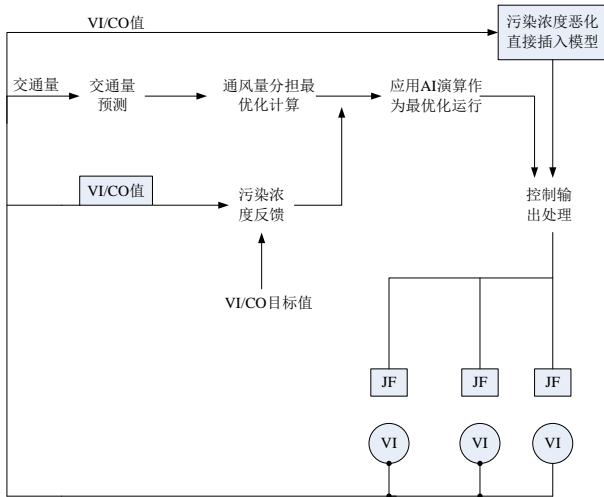


图 3. 前馈式智能控制法示意图

3 公路隧道通风系统的现状

目前国外发达国家的公路隧道通风控制已经实现了自动化和智能化。1985 年，日本在建成通车的关越公路隧道（10.9Km）通风控制系统中，就大量采用了包括静电除尘装置在内的新技术和新设备，这就是前馈式控制方法的雏形，如图 4 所示^[1]。20 世纪 90 年代，通过采用模糊控制，日本道路公团完成了将隧道内烟雾浓度、一氧化碳浓度等多参数输入的公路隧道后馈式通风控制系统^{[2][3]}。随后，基于专家知识库的公路隧道智能通风控制系统也由日本日立公司运用信息和模糊控制理论成功的设计出来。此外在日本北陆高速公路上的亲不知隧道中，通过分析交通流的变化特点给出合理的通风设备运行模式，在运用模糊控制方法通过采集隧道内烟雾浓度值和风速的变化得到相应的风机台数的基于非线性规划和模糊控制的公路隧道通风控制系统，亦得到成功应用。

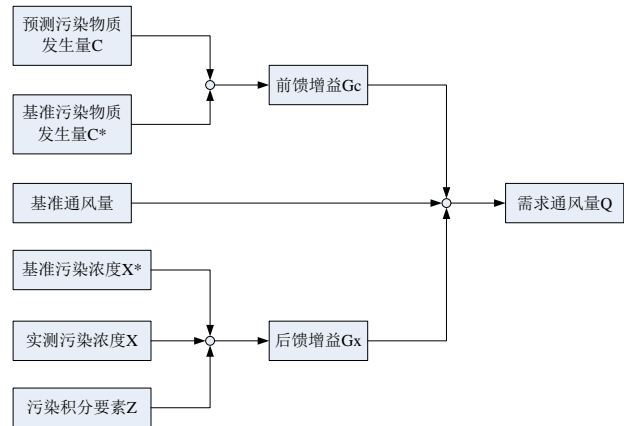


图 4. 关越隧道通风控制示意图

我国公路隧道的建设起步较晚，对隧道通风控制系统的研究也落后于日本及西方发达国家。进入 21 世纪以来，国内研究人员在国外先进控制技术基础上进行了积极的探索，并取得了一定的成果。例如徐亚娟等于 2000 研究了公路隧道纵向通风系统的智能模糊控制方法^[4]，杨宵于 2004 年研究了公路隧道竖井送排式纵向通风系统的神经网络在线控制方法^[5]，李德英于 2002 年、马永杰等于 2003 年将神经网络与模糊推理相结合，研究了公路隧道纵向通风系统的神经-模糊控制模板^{[6][7][8]}。但是这些方法很多都不完善，需要改进，有的又太复杂，难以在实际中运用，使得研究与实践脱节，故我国目前已经营运的公路隧道普遍采用的仍然是以普通后馈式通风为主的自动控制方法。

4 公路隧道通风系统的发展趋势

目前世界各国均投入力量研究开发能适应长大公路隧道和复杂交通情况下的各式各样的前馈式智能控制系统。日本在金刚山隧道、福知山隧道、能生隧道等隧道的通风控制中试验应用了前馈式智能控制系统的，获得了极好的成果。在新开通的东京湾横断公路海底隧道中全面采用了改控制法，并计划全面更新改造关越隧道等主要采用传统的后馈控制或前馈控制的长大隧道的通风控制系统。

为适应迅猛发展的长大公路隧道的通风控制需求，我国在北碚隧道、西山坪隧道等工程上完成了长大公路隧道前馈式智能模糊通风控制系统的研究与应用试验，产生了显著的经济效益和社会效益，并将对已建高速公路隧道进行升级改造。

国内外今后长大公路隧道通风控制技术的发展主要方向将是以前馈控制法为基础的智能控制。

5 结语

近几年我国的隧道通风控制技术在国家的大力支持和众多学者的深入研究下有了长足的进步，但相比于日本和欧美国家，依然存在着巨大的差距。

我国的隧道建设事业在未来一段时期内还将有巨大的发展，公路隧道还将出现许多的的新问题和新要求，这些都亟需先进可靠的通风控制技术进行解决。但在高速公路建设初期相当长的一段时间内，国内的通风控制仍然以固定时序控制和普通后馈式控制为主。因此长大公路隧道前馈式智能通风控制技术的研究和推广，不仅能提高我国现有纵向通风技术，而且在提高通风设备的有效利用率，降低电力消耗，改善行车安全和舒适性等方面，都具有广阔的应用前景和巨大的技术经济效益。

References (参考文献)

- [1] Fujimura Hiroshi. A new method of ventilation for Japanese off highway tunnel. Hou Guocai. Tunnel series, 1988, (11).
- [2] Yoshimochi T, et al. A ventilation control system using fuzzy control for two-way traffic tunnel in highway. Aerodynamics & Ventilation Vehicle Tunnels Symposium, 1994:873-881.
- [3] Myoshi M. Road tunnel ventilation control system using AI and fuzzy control approaches. Proceeding of the International Fuzzy System Association Fourth World Congress, 1991:137-140.
- [4] Xu Yajuan, Yu Nanyang. Longitudinal ventilation control system of highway tunnel [J]. Chinese Journal of highway and transport, 2001, 14 (): 78-80.
- [5] Yang Xiao. Highway tunnel shaft blowing and exhausting of longitudinal ventilation control method of Southwest Jiao Tong University [D]. neural network online, 2004.
- [6] Ma Yongjie. Study on the application of neuro fuzzy control system for longitudinal ventilation of highway tunnel [D]. Southwest Jiao Tong University, 2003.
- [7] Li Deying. Study on longitudinal ventilation control of highway tunnel based on fuzzy neural network [D]. Southwest Jiao Tong University, 2002.
- [8] Li Deying, Yan Jingyi, Wang Zhijiang. Application of fuzzy neural network in highway tunnel ventilation control [J]. highway traffic science and technology, 2003, 20 (z1): 44-47.