



高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

Tunnel Ventilation and Lighting

隧道通风与照明

· 地下工程方向 ·

主编 付钢 王成



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

隧道通风与照明

主 编 付 钢 汪 成



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

隧道通风与照明/付钢,王成主编. —武汉:武汉大学出版社,2015.8
高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材
ISBN 978-7-307-15523-7

I.隧… II.①付… ②王… III.①隧道通风—高等学校—教材 ②隧道—照明—高等学校—教材 IV.U453

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 066645 号

责任编辑:李嘉琪 孙 丽 责任校对:黄孝莉 装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:虎彩印艺股份有限公司

开本:880×1230 1/16 印张:16 字数:508千字

版次:2015年8月第1版 2015年8月第1次印刷

ISBN 978-7-307-15523-7 定价:36.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

学术委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:周创兵

副主任委员:方志 叶列平 何若全 沙爱民 范峰 周铁军 魏庆朝

委员:王辉 叶燎原 朱大勇 朱宏平 刘泉声 孙伟民 易思蓉

周云 赵宪忠 赵艳林 姜忻良 彭立敏 程桦 靖洪文

编审委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:李国强

副主任委员:白国良 刘伯权 李正良 余志武 邹超英 徐礼华 高波

委员:丁克伟 丁建国 马昆林 王成 王湛 王媛 王薇

王广俊 王天稳 王曰国 王月明 王文顺 王代玉 王汝恒

王孟钧 王起才 王晓光 王清标 王震宇 牛荻涛 方俊

龙广成 申爱国 付钢 付厚利 白晓红 冯鹏 曲成平

吕平 朱彦鹏 任伟新 华建民 刘小明 刘庆潭 刘素梅

刘新荣 刘殿忠 闫小青 祁皓 许伟 许程洁 许婷华

阮波 杜咏 李波 李斌 李东平 李远富 李炎锋

李耀庄 杨杨 杨志勇 杨淑娟 吴昊 吴明 吴轶

吴涛 何亚伯 何旭辉 余锋 冷伍明 汪梦甫 宋固全

张红 张纯 张飞涟 张向京 张运良 张学富 张晋元

张望喜 陈辉华 邵永松 岳健广 周天华 郑史雄 郑俊杰

胡世阳 侯建国 姜清辉 娄平 袁广林 桂国庆 贾连光

夏元友 夏军武 钱晓倩 高飞 高玮 郭东军 唐柏鉴

黄华 黄声享 曹平周 康明 阎奇武 董军 蒋刚

韩峰 韩庆华 舒兴平 童小东 童华炜 曾珂 雷宏刚

廖莎 廖海黎 缪宇宁 黎冰 戴公连 戴国亮 魏丽敏

出版技术支持

(按姓氏笔画排名)

项目团队:王睿 白立华 曲生伟 蔡巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。


本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录www.stmpress.cn下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。

丛书序

土木工程涉及国家的基础设施建设,投入大,带动的行业多。改革开放后,我国国民经济持续稳定增长,其中土建行业的贡献率达到 1/3。随着城市化的发展,这一趋势还将继续呈现增长势头。土木工程行业的发展,极大地推动了土木工程专业教育的发展。目前,我国有 500 余所大学开设土木工程专业,在校生达 40 余万人。

2010 年 6 月,中国工程院和教育部牵头,联合有关部门和行业协(学)会,启动实施“卓越工程师教育培养计划”,以促进我国高等工程教育的改革。其中,“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划”由住房和城乡建设部与教育部组织实施。

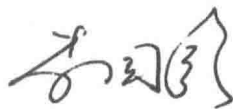
2011 年 9 月,住房和城乡建设部人事司和高等学校土建学科教学指导委员会颁布《高等学校土木工程本科指导性专业规范》,对土木工程专业的学科基础、培养目标、培养规格、教学内容、课程体系及教学基本条件等提出了指导性要求。

在上述背景下,为满足国家建设对土木工程卓越人才的迫切需求,有效推动各高校土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,促进高等学校土木工程专业教育改革,2013 年住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会启动了“高等教育教学改革土木工程专业卓越计划专项”,支持并资助有关高校结合当前土木工程专业高等教育的实际,围绕卓越人才培养目标及模式、实践教学环节、校企合作、课程建设、教学资源建设、师资培养等专业建设中的重点、亟待解决的问题开展研究,以对土木工程专业教育起到引导和示范作用。

为配合土木工程专业实施卓越工程师教育培养计划的教学改革及教学资源建设,由武汉大学发起,联合国内部分土木工程教育专家和企业工程专家,启动了“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材”建设项目。该系列教材贯彻落实《高等学校土木工程本科指导性专业规范》《卓越工程师教育培养计划通用标准》和《土木工程卓越工程师教育培养计划专业标准》,力图以工程实际为背景,以工程技术为主线,着力提升学生的工程素养,培养学生的工程实践能力和工程创新能力。该系列教材的编写人员,大多主持或参加了住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会的“土木工程专业卓越计划专项”教改项目,因此该系列教材也是“土木工程专业卓越计划专项”的教改成果。

土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,需要校企合作,期望土木工程专业教育专家与工程专家一道,共同为土木工程专业卓越工程师的培养作出贡献!

是为序。



2014 年 3 月于同济大学四平路校区

前 言

改革开放以前,我国交通隧道数量少、长度也较短,在隧道规划设计中往往只重视交通规划和结构设计,而把通风、照明设施作为其他附属设施看待,对其重视不够;改革开放以来,我国交通隧道建设发展迅猛,已建成运营的隧道不但数量多,而且规模大、长度长,但随之而来的隧道运营中的环境问题、安全问题也越来越突出。因此,隧道运营通风和照明在保障隧道运营安全、创造舒适卫生环境中的作用愈发重要。而隧道运营通风和照明技术是否先进、设施布置是否合理直接影响隧道运营中的环境和安全。由此可见,隧道工程现已非传统意义上的土木工程,除土建工程、结构专业外,还与通风、照明及通信监控等专业紧密相关,只有多学科、多专业相互协调、统筹规划,才能使所修建的隧道先进、安全、舒适。

作为土木、交通、结构等专业学生及相关设计人员,要完成隧道的规划、设计和施工管理,仅仅掌握本专业的知识是不够的,需要进一步拓展知识领域,了解和掌握隧道通风和照明等学科领域的相关理论和专业知识,才有可能适应当今隧道建设技术发展的需求。本书即是以此为目的,针对高等院校土木、交通、铁道工程类专业编写的。

本书共分为两篇:第1篇为隧道通风,共10章,第1章介绍隧道通风基本理论,第2~9章讲述隧道内空气与通风要求、隧道需风量计算、隧道通风动力和阻力、自然风及其对隧道的影响、各种隧道通风方式的特点及选择原则,第10章给出隧道通风设计实例;第2篇为隧道照明,分为7章,第11章介绍隧道照明基础理论,第12、13章介绍视觉影响因素和隧道照明质量指标,第14章介绍各种隧道照明灯具,第15章讲述隧道照明区段划分及照明计算方法,第16章讲述隧道的照明控制与节能,第17章简要介绍铁路隧道和地铁隧道照明特点和设计要求。

本书由重庆交通大学付钢、王成担任主编;重庆交通大学徐湃担任参编。前言,第1、4、5、8~11、16、17章,附录由付钢编写;第6、7、14、15章由王成编写;第2、3、12、13章由徐湃编写。马劲松、王莹峰、冯锡勇等研究生为本书插图、校对做了大量工作。在本书付梓之际,编者对为本书编辑出版给予支持和帮助的各位老师、朋友和同学表示衷心的感谢。

本书可作为土木工程、交通工程等相关专业本科生和研究生教学用书,也可供从事隧道设计、施工和管理的相关技术人员参考。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏乃至错误之处,恳请读者批评指正。

编 者
2015年4月

目 录

0 概述	(1)
------------	-----

第1篇 隧道通风

1 隧道通风基础	(5)
1.1 空气的物理状态参数	(6)
1.1.1 压力	(6)
1.1.2 温度	(10)
1.1.3 密度、比容和容重	(11)
1.1.4 湿度	(12)
1.1.5 黏性	(14)
1.1.6 比热	(15)
1.2 理想气体的状态方程及大气压 沿海拔高度的变化规律	(15)
1.2.1 理想气体的状态方程	(15)
1.2.2 大气压沿海拔高度的变化 规律	(16)
1.3 隧道内空气流动的基本方程	(17)
1.3.1 气体的连续性方程	(17)
1.3.2 流体的能量守恒方程	(18)
1.3.3 流体的动量方程	(20)
1.3.4 动量定律与能量守恒定律的 关系	(21)
1.3.5 隧道内空气流动的基本方程 在隧道通风中的应用举例	(21)
知识归纳	(24)
独立思考	(24)
2 隧道内的空气与通风要求	(25)
2.1 隧道内的空气组成	(26)
2.2 交通隧道空气卫生标准	(27)
2.2.1 公路隧道空气卫生标准	(27)
2.2.2 铁路隧道空气卫生标准	(29)
2.3 隧道需风量计算	(29)
2.3.1 公路隧道需风量的计算	(30)

2.3.2 铁路隧道需风量的计算	(32)
知识归纳	(33)
独立思考	(33)
3 隧道通风阻力	(34)
3.1 风流的流动状态	(35)
3.1.1 风流流态	(35)
3.1.2 隧道断面上风速分布	(35)
3.2 隧道通风阻力定理及计算	(36)
3.2.1 摩擦风阻与阻力	(36)
3.2.2 局部风阻与阻力	(40)
知识归纳	(42)
独立思考	(42)
4 通风动力	(44)
4.1 隧道中行驶车辆产生的活塞风	(45)
4.1.1 汽车的活塞风	(45)
4.1.2 列车的活塞风	(46)
4.2 风机动力	(51)
知识归纳	(52)
独立思考	(52)
5 自然风及其对隧道通风的影响	(53)
5.1 自然风	(54)
5.1.1 自然风的产生	(54)
5.1.2 我国不同地域自然风风向的分布 规律	(55)
5.1.3 我国各地的风速分布	(55)
5.1.4 局部地形与温度对自然风的 影响	(56)
5.2 隧道自然风	(57)
知识归纳	(59)
独立思考	(60)

6 隧道通风方式	(61)	8.1.3 反风装置	(113)
6.1 隧道通风的方式和特点	(62)	8.2 通风机的基本技术参数	(113)
6.1.1 自然通风	(62)	8.3 通风机的个体特性及合理工作范围	(114)
6.1.2 纵向通风	(62)	8.3.1 通风机的个体特性曲线	(114)
6.1.3 横向通风	(75)	8.3.2 通风机的工况点及合理工作范围	(115)
6.1.4 半横向通风	(76)	8.3.3 通风机的比例定律	(116)
6.1.5 组合式通风	(76)	8.3.4 通风机的类型特性曲线	(116)
6.2 隧道通风方式的选择	(77)	8.4 通风机的联合运行	(117)
6.2.1 影响隧道通风方式选择的因素	(77)	8.4.1 风机串联工作	(117)
6.2.2 公路隧道通风方式的特点	(77)	8.4.2 通风机并联工作	(119)
6.2.3 铁路隧道运营通风	(77)	8.4.3 并联与串联工作的比较	(120)
6.2.4 地下轨道交通通风方式	(80)	知识归纳	(121)
6.2.5 隧道通风方式选择的原则	(81)	独立思考	(121)
6.2.6 隧道通风方式选择实例	(82)	9 隧道通风设施	(122)
6.3 隧道通风计算软件简介	(85)	9.1 风道	(123)
6.3.1 软件的基本功能	(85)	9.1.1 风道的形式与布置方式	(123)
6.3.2 软件的特色	(86)	9.1.2 隔板式风道	(124)
6.3.3 软件主界面及基本操作	(86)	9.1.3 连接风道	(127)
知识归纳	(99)	9.2 风机房	(127)
独立思考	(99)	9.2.1 地下风机房	(128)
7 隧道防灾救援通风	(100)	9.2.2 地上风机房	(133)
7.1 隧道火灾的特点及设计规模	(101)	9.3 风亭	(134)
7.1.1 隧道火灾特点	(101)	9.3.1 排风上升高度	(135)
7.1.2 火灾频率	(102)	9.3.2 排风的扩散	(136)
7.1.3 隧道火灾通风设计	(103)	9.3.3 某公路隧道地下风机房设计实例	(136)
7.2 送风和排烟系统	(105)	知识归纳	(139)
7.3 火灾事故的通风	(105)	独立思考	(139)
7.3.1 事故通风原则	(105)	10 隧道通风设计实例	(140)
7.3.2 事故通风方式及风速要求	(106)	10.1 隧道通风设计流程	(141)
7.4 地铁区间隧道事故通风	(108)	10.1.1 隧道通风设计阶段划分	(141)
知识归纳	(109)	10.1.2 交通隧道通风设计需要的基础资料和数据	(141)
独立思考	(109)	10.1.3 交通隧道通风设计的一般步骤	(141)
8 隧道通风机	(110)		
8.1 通风机的构造与原理	(111)		
8.1.1 轴流式通风机	(111)		
8.1.2 对旋式通风机	(112)		

10.2 某公路隧道设计实例	(142)	12.2.5 影响驾驶员视觉的因素	(164)
10.2.1 工程概况	(142)	知识归纳	(168)
10.2.2 设计标准和主要设计参数的确定	(142)	独立思考	(168)
10.2.3 隧道需风量的确定	(143)	13 隧道照明质量	(169)
10.2.4 通风方案的比选	(143)	13.1 路面平均亮度	(170)
知识归纳	(145)	13.2 路面亮度均匀度	(171)
独立思考	(146)	13.3 眩光	(172)
		13.4 诱导性	(175)
		13.5 (道路)照明功率密度	(176)
		知识归纳	(177)
		独立思考	(177)
		14 隧道照明灯具	(178)
第2篇 隧道照明		14.1 隧道照明光源的选择	(179)
11 隧道照明基础	(149)	14.2 隧道照明光源特性	(180)
11.1 概述	(150)	14.3 隧道照明灯具的技术参数	(182)
11.1.1 隧道中的视觉与照明问题	(150)	14.3.1 隧道照明灯具光度数据	(182)
11.1.2 我国隧道照明技术历程及展望	(151)	14.3.2 灯具的维护系数 K	(185)
11.2 光的本质与度量	(152)	14.3.3 灯具防水防尘性能参数	(187)
11.2.1 光的本质	(152)	14.3.4 隧道照明对灯具技术参数 的要求	(187)
11.2.2 光的度量	(153)	14.4 隧道照明灯具的布置方式	(188)
11.3 材料的光学性质	(155)	知识归纳	(189)
11.3.1 材料光学性质的本质	(155)	独立思考	(189)
11.3.2 反射比、透射比和吸收比及其 关系	(157)	15 隧道照明区段划分与照明计算	(190)
11.3.3 各种材料的光学性质	(157)	15.1 概述	(191)
知识归纳	(157)	15.2 照明区段的划分	(191)
独立思考	(158)	15.3 隧道照明计算	(204)
		15.3.1 照度计算	(204)
		15.3.2 亮度计算	(207)
		15.4 隧道照明计算软件简介	(210)
		15.4.1 软件的基本功能	(210)
		15.4.2 本软件的特色	(211)
		15.4.3 软件主界面及基本操作	(211)
		15.4.4 使用约定	(212)
		15.4.5 使用该软件进行隧道照明 分析流程	(212)
12 视觉及其影响因素	(159)		
12.1 视觉与视觉环境	(160)		
12.1.1 视觉体验	(160)		
12.1.2 视觉环境	(160)		
12.1.3 视觉对光的反应	(161)		
12.2 驾驶员的视觉特点和所需视觉 信息	(163)		
12.2.1 驾驶员的作业	(163)		
12.2.2 驾驶员的视野	(163)		
12.2.3 驾驶员的注视范围	(164)		
12.2.4 驾驶员视看条件的影响 因素	(164)		

15.4.6	灯具数据库维护	(215)	16.2.3	隧道照明节能技术进展	(228)
15.5	隧道照明设计的程序与要求	(217)	16.2.4	设计中的节能措施	(230)
15.5.1	设计的基本原则	(217)	16.2.5	智能化照明控制系统	(231)
15.5.2	设计前的准备工作	(218)	知识归纳		(232)
15.5.3	设计内容	(218)	独立思考		(233)
15.5.4	设计步骤	(218)			
15.5.5	隧道照明设计文件组成	(219)	17 铁路与地铁隧道照明		(234)
知识归纳		(219)	17.1	铁路隧道照明	(235)
独立思考		(219)	17.1.1	普通铁路隧道照明	(235)
			17.1.2	高速铁路隧道照明	(236)
16 隧道的照明控制与节能		(221)	17.2	地铁区间隧道照明	(237)
16.1	隧道的照明控制	(222)	17.2.1	地铁区间隧道照明目的	(237)
16.1.1	隧道照明控制的目的和 意义	(222)	17.2.2	地铁区间隧道照明质量 标准	(237)
16.1.2	隧道照明控制方案的要求	(223)	17.2.3	地铁区间隧道照明设置	(238)
16.1.3	隧道照明控制方式	(224)	17.2.4	地铁区间隧道应急照明	(238)
16.1.4	隧道照明控制系统种类	(224)	知识归纳		(238)
16.1.5	公路隧道照明控制方法	(225)	独立思考		(238)
16.2	隧道的照明节能	(227)	附录 路面简化亮度系数表		(239)
16.2.1	隧道照明节能的意义	(227)	参考文献		(241)
16.2.2	当前隧道照明存在的问题	(227)			

0 概 述

对通风问题的研究最早出现于铁路隧道中,首先是从西欧发展起来的,起初主要集中在对隧道通风方式的研究,早期修建的铁路长隧道大都采用自然通风,这可以说是最早形成的纵向通风系统。例如,英国于1841年建成的BOX隧道(2395 m),用扩大隧道横断面面积的方法在隧道上方余留下很大的空间,以暂时集存机车排出的烟气,避免烟气侵入车厢。事实证明这一方法收效很小但隧道造价却增加很多,所以不能作为有效的通风方式。1838年建成的英国Kiesby隧道(2218 m)和Morky隧道(2166 m)采用竖井自然通风方式,但其通风效果很不稳定,有很强的季节性和区域性。对行车密度大的隧道要求在较短时间内排除隧道内的烟气,在这种情况下竖井自然通风方式不能满足要求,于是就开始研究和利用机械通风,采用通风机将新鲜风流吹入隧道内或把污染的空气吹出隧道外。

随着铁路机车技术的发展,牵引动力由蒸汽机改为内燃机车,直至电力机车成为铁路主流牵引设备。电力机车不但牵引力大、速度快,而且没有燃煤或燃油的排放污染物。因此,大部分电气化铁路隧道无须机械通风,只需列车通过隧道所产生的活塞风加上自然通风即可使隧道内空气满足要求。世界上确实有不少长隧道如圣哥达、仙尼斯峰、勒辰堡隧道(14612 m)等,在电气化后便不再使用机械通风。

但是,对于特长铁路隧道仍有必要设置机械通风,我国《铁路隧道运营通风设计规范》(TB 10068—2010)根据国内40多座运营隧道的调查结果及原中华人民共和国铁道部科技研究开发计划“长大隧道通风关键技术研究”项目的研究成果规定,电力机车牵引、长度大于20 km的客运专线铁路隧道及长度大于15 km的货运专线、客货共线铁路隧道应设置机械通风。

由于内燃机车牵引列车通过隧道产生的有害气体主要有一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO₂)和臭氧(O₃),我国《铁路隧道运营通风设计规范》(TB 10068—2010)规定:“内燃机车牵引、长度大于2 km的铁路隧道宜设置机械通风。”

公路隧道的出现比铁路隧道晚,在公路隧道发展的初期,也是依靠自然风和交通风进行通风的。然而,随着汽车时代的到来,交通量日趋增大,仅仅依靠自然风和交通风是不够的。当隧道超过一定长度或交通量超过一定值后,就满足不了隧道内运营环境的卫生要求。1924年美国匹兹堡市的自由隧道(1800 m)发生交通堵塞,洞内的汽车废气达到极高的浓度,进而由于一氧化碳(CO)浓度过高使得许多乘客神志迷乱。此次事故引起了有关方面的高度重视,其后在修建纽约市的荷兰隧道(2610 m)时就考虑了机械通风。荷兰隧道为盾构法施工,采用圆形断面,所以把车道下部作为送风道,上部作为排风道,气流从下往上横向流动,这是世界上首次采用全横向式通风方式。由于该通风方式具有较好的可靠性,后来被许多公路隧道所采用。

因为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,所以对除圆形断面以外的断面形式隧道大大增加了工程投资,出现了采用一条风道和隧道相组合的折中通风方式,即所谓的半横向式通风。1934年,英国的默尔西隧道(3226 m)对尽量减少管道的方式做了研究,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(1435 m)也采用了半横向式通风方式。

全横向和半横向两种通风方式需要隔离较大的隧道断面空间作为风道,需要大功率的轴流风机通过斜(竖)井排出洞内废气,因而需要花费较多的工程费用和营运费用。因此,人们又把目光重新转向纵向式通风方式。现代的纵向式通风方式自1961年采用以来,得到了大力的推广应用,其形式愈加多样化,适用范围也愈加广泛。

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、交通量日益增多的情况下,对设备规模大、投资较高、耗能较多的全横向式通风方式与半横向式通风方式提出了要进行重新评价的要求,对长大

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)进行了思考。日本的关越一线隧道(10885 m)、惠那山二线隧道(8625 m)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给耗能带来的不利影响,可在隧道适当部位设置电器集尘室以降低烟尘浓度。采用纵向式通风方式可以减小隧道开挖断面、简化施工、节约营运电力,因而较其他通风方式有着较大的优越性。自1961年采用纵向式通风以来,国外从最初限于1000 m左右的隧道逐渐应用于2000 m以上的长隧道。目前,日本至少有45座长度在2000 m以上的公路隧道采用了纵向式通风,其中最长的已超过了10000 m。近年来,日本、德国、西班牙、瑞典等发达国家的新建公路长大隧道大都采用纵向式通风。

改革开放以来,随着我国经济的发展,交通基础设施建设飞速发展;20世纪80年代末以前,我国建成的公路长隧道大都采用全横向式通风或半横向式通风,如上海市打浦路隧道(2761 m)与延安东路隧道右洞(2261 m)均为过江隧道,均采用全横向式通风;深圳市梧桐山隧道左线(2328 m)也为全横向式通风;初期按半横向式通风使用。1989年通车的甘肃省七道梁隧道(1560 m)在国内第一次采用了射流风全机纵向式通风方式,而1995年建成通车的成渝公路上的中梁山隧道(左洞长3165 m,右洞长3103 m)和缙云山隧道(左洞长2528 m,右洞长2478 m)首次将竖井分段纵向式通风技术运用于3000 m以上的公路隧道,开创了我国长大公路隧道纵向式通风的先河。已经建成的秦岭公路隧道(18020 m)也采用分段纵向式通风方式。总之,纵观各国公路隧道通风方式的演变,20世纪70年代前是以全横向和半横向式通风方式为主,20世纪80年代以后则进入纵向式通风的全盛时期。可以预测,随着纵向式通风技术在公路隧道中应用的日趋成熟,其将会成为今后长大公路隧道通风应用最多的通风方式。

第 1 篇

隧道通风

隧道通风基础

课前导读

▽ 内容提要

本章主要介绍空气的主要物理状态参数，讨论隧道内空气在流动过程中具有的能量、压力及其能量的变化。

▽ 能力要求

通过本章的学习，学生应熟悉空气物理状态参数及其单位，了解理想气体状态方程和大气压沿海拔高度变化规律，初步掌握研究隧道内空气流动的三个基本方程的意义，了解应用隧道内空气流动的三个基本方程解决隧道通风的基本方法。

1.1 空气的物理状态参数 >>>

正确理解和掌握空气的主要物理性质是学习隧道通风的基础。与隧道通风密切相关的空气物理状态参数有：压力(压强)、温度、密度、比容、黏性、湿度等。

1.1.1 压力

1.1.1.1 压力的概念

气流压强在隧道通风中习惯称为压力。它是空气分子热运动对器壁碰撞的宏观表现,其大小取决于空气在重力场中的位置(相对高度)、空气温度、空气湿度(相对湿度)和气体成分等参数。根据物理学的分子运动理论,空气的压力可用下式表示:

$$p = \frac{2}{3}n\left(\frac{1}{2}mv^2\right) \quad (1-1)$$

式中 n ——单位体积内的空气分子数;

$\frac{1}{2}mv^2$ ——分子平移运动的平均动能。

式(1-1)阐述了气体压力的本质,是气体分子运动的基本公式之一。由该式可知,空气的压力是单位体积内空气分子不规则热运动产生的总动能的 $\frac{2}{3}$ 转化为能对外做功的机械能。因此,空气压力的大小可以用仪表测定。

压力的国际单位为 Pa(帕斯卡, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$),压力较大时可采用 kPa($1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$)、MPa($1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ kPa} = 10^6 \text{ Pa}$)。以前与国际单位 Pa 暂时并用的压力单位还有 atm(标准大气压)、mmHg(毫米汞柱)、mmH₂O(毫米水柱)和 at(工程大气压)等,目前这些单位已被取消。其他压力单位及相互换算关系参见表 1-1。

表 1-1 空气压力单位及相互换算关系

Pa	atm	mmHg	mmH ₂ O	at
1	0.99×10^{-5}	0.0075	0.102	1.02×10^{-5}
101325	1	760	10332	1.033
133.32	0.00132	1	13.6	0.00136
9.807	0.9678×10^{-4}	0.0736	1	0.0001
98067	0.9678	735.6	10^4	1

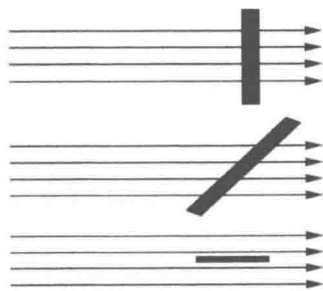


图 1-1 压力是单位面积上受到的垂直作用力

(1) 静压能与静压

① 静压能与静压的概念。

空气的分子无时无刻不在作无秩序的热运动。这种由分子热运动产生的分子动能的一部分转化的能够对外做功的机械能称为静压能。

在隧道通风中,压力的概念与物理学中的压强相同,即单位面积上受到的垂直作用力,如图 1-1 所示。故静压也可称为静压能。

② 静压的特点。

- 无论是静止的空气还是流动的空气都具有静压;
- 风流中任一点的静压各向同值,且垂直于作用面;
- 风流静压的大小(可以用仪表测量)反映了单位体积风流所具有的

能够对外做功的静压能的多少。如风流的压力为 1 atm,则指 1 m^3 风流具有 101325 J 的静压能。