



高等学校试用教材

公路隧道 运营管理

吕康成 主编
李永盛 主审



人民交通出版社



China Communications Press

高等学校试用教材

Gonglu Suidao Yunying Guanli
公路隧道运营管理

吕康成 主编
李永盛 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本教材系统地介绍了公路隧道运营管理的基础理论、运营设施设计方法和隧道养护管理技术。全书共分六章,内容包括隧道通风、隧道照明、隧道交通监控、隧道防火、隧道给排水和隧道供配电、隧道养护与安全管理等。本教材适用于公路、桥梁与隧道、交通工程及地下工程等专业的教学,亦可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路隧道运营管理/吕康成主编. —北京:人民交通出版社, 2006.6

ISBN 7-114-06019-X

I.公... II.吕... III.公路隧道-交通运输管理
IV.U459.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第051771号

高等学校试用教材

书 名:公路隧道运营管理

著 者:吕康成

责任编辑:岑 瑜

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)85285656,85285838,85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京凯通印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:16.5

字 数:387千

版 次:2006年6月第1版

印 次:2006年6月第1次印刷

书 号:ISBN 7-114-06019-X

印 数:0001~4000册

定 价:28.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

21 世纪交通版

高等学校教材(公路与交通工程)编写委员会

- 主任委员:王秉纲 (长安大学)
- 副主任委员:胡长顺 (长安大学)
- 陈艾荣 (同济大学)
- 王 炜 (东南大学)
- 杜 颖 (人民交通出版社)
- 委 员:周 伟 (交通部交通科学研究院)
- 郑健龙 (长沙理工大学)
- 张建仁 (长沙理工大学)
- 刘小明 (北京工业大学)
- 梁乃兴 (重庆交通学院)
- 向中富 (重庆交通学院)
- 徐 岳 (长安大学)
- 郭忠印 (同济大学)
- 杨晓光 (同济大学)
- 黄晓明 (东南大学)
- 叶见曙 (东南大学)
- 黄 侨 (哈尔滨工业大学)
- 裴玉龙 (哈尔滨工业大学)
- 马松林 (哈尔滨工业大学)
- 赵明华 (湖南大学)
- 邵旭东 (湖南大学)
- 陈宝春 (福州大学)
- 王殿海 (吉林大学)
- 符锌砂 (华南理工大学)
- 秘 书 长:韩 敏 (人民交通出版社)

前 言

本教材是在 1999 年出版的《公路隧道运营设施》的基础上,总结多年来隧道运营设施课程的教学经验,并广泛吸收近几年国内外在隧道运营管理方面的研究成果修订而成。鉴于我国公路隧道建设迅速发展,隧道运营管理日益重要,考虑到社会对隧道运营管理技术人员的需要,在本次修订中,听取了有关专家和隧道管理单位的意见,增加了隧道日常管理与隧道养护方面的内容,并更名为《公路隧道运营管理》。

在修订过程中,力求内容系统全面、取材先进。全书内容分运营设施与运营管理两大部分。前者包括通风设施、照明设施、交通监控设施、防火设施、给排水和供配电设施等,涉及到隧道运营设施的各个方面;后者包括隧道通风、照明和交通的日常监控,以及隧道土建工程与交通工程的维修养护。删去了原教材中过时的和目前极少用到的理论与方法,补充了大量的新理念与新技术。例如,增加了前排后送组合通风方式;以新规范的要求为基础,更新了隧道需风量的计算方法,更新了隧道照明区段划分方法,并给出各段的亮度标准等。

在修订的过程中,还特别注意理论与实践并重,围绕公路隧道运营设施的设计,重点突出基本概念、原理和方法。对柴油车的烟雾基本排放量的概念进行了澄清;对隧道烟雾浓度的概念进行了仔细说明,并指出了通常在计算稀释烟雾所需通风量时存在的问题;在隧道照明一章,系统地介绍了照明工程中的光通、光强、照度和亮度等基本概念,并对各种光度量的具体确定方法进行了大量讨论。教材中,结合我国隧道运营管理的发展趋势,注意强调运营设施的设计方法,并通过工程实例介绍设计计算过程。通过学习,使学生既可掌握扎实的理论基础,又能较快地掌握解决工程实际问题的方法。

本教材由长安大学吕康成主编,长安大学伍毅敏、安徽省公路勘测设计院王飞、陕西省公路勘察设计院曹振等参加编写,具体分工是:绪论和第二章由吕康成编写,第一章由吕康成、伍毅敏、曹振编写,第三章由伍毅敏编写,第四、第五章由王飞编写,第六章由吕康成、伍毅敏编写。全书由吕康成统稿。

本教材由同济大学李永盛教授主审。同济大学黄宏伟教授审阅了编写大纲和书稿,并对本教材的修订提出了宝贵意见和建议,在此深表谢意。甄浩宇、宁忠贤、陈金玉参加了资料收集与整理,杜坤参加了有关算例的检算,在此也一并致谢。

由于编者水平有限,书中错误与不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2006 年 4 月

总序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入WTO,中国经济已融入到世界经济的发展进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在1998年7月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程,桥梁工程,隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养21世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套面向21世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000年6月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的12所高校的专家学者组成面向21世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着手组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约130种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近20所高校的百余名教授承担约130种教材的主编工作。2001年6月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

面向21世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才培养的需要。(2)注重学生基本素质、基本能

力的培养,为学生知识、能力、素质的综合协调发展创造条件。基于这样的考虑,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的开展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术发展与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套面向21世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

面向 21 世纪交通版
高等学校教材(公路类)编审委员会
人民交通出版社
2001 年 12 月

目 录

绪论	1
第一章 隧道通风	7
第一节 空气的物理状态参数	7
第二节 理想气体的状态方程	13
第三节 隧道内空气流动的基本方程	17
第四节 通风阻力	23
第五节 隧道内空气、气候与通风要求	26
第六节 隧道内自然风流	31
第七节 隧道内交通风流	38
第八节 隧道需风量	39
第九节 隧道通风方式	45
第十节 纵向通风压力计算	55
第十一节 风道系统	71
第十二节 半横向与横向通风压力计算	75
第十三节 通风机	81
第十四节 通风井与通风机房	91
思考与练习	95
第二章 隧道运营照明	96
第一节 概述	96
第二节 光与光度量	97
第三节 材料的光学性质	102
第四节 驾驶员的视觉及其影响因素	105
第五节 道路照明的质量	111
第六节 隧道照明区段及其亮度要求	114
第七节 减光建筑与植被的减光作用	119
第八节 隧道照明电光源与照明器	121
第九节 点光源直射照度计算	127
第十节 线光源直射照度计算	133
第十一节 隧道照明计算	140
第十二节 隧道照明设计的程序与要求	146
思考与练习	147
第三章 隧道交通工程	149
第一节 概述	149
第二节 检测器	153

第三节	交通电视监视系统	156
第四节	交通信号控制系统	160
第五节	隧道通风照明控制系统	163
第六节	紧急警报装置	170
第七节	中央控制管理系统	172
	思考与练习	180
第四章	隧道防火设施	181
第一节	概述	181
第二节	隧道防火设施的组成和功用	182
第三节	隧道内防火设施的设置	184
第四节	人工报警系统	187
第五节	火灾自动报警系统	189
第六节	火灾的种类与灭火剂的适用性	194
第七节	灭火器	195
第八节	灭火器的配置	199
第九节	其他灭火设施	204
	思考与练习	208
第五章	隧道给排水与供配电	209
第一节	给水	209
第二节	排水	211
第三节	隧道供配电	213
	思考与练习	219
第六章	隧道养护与安全管理	220
第一节	隧道清洁维护	220
第二节	隧道结构检查	221
第三节	结构保养维修	230
第四节	结构病害处理	231
第五节	隧道机电设施养护	235
第六节	隧道安全管理	239
	思考与练习	241
参考文献		242

绪 论

一、公路隧道运营管理的产生与发展

1. 运营管理的产生

汽车工业的发展带动了公路交通的发展,公路隧道作为公路路线的基本组成部分,与公路建设同步发展。隧道在山岭地区可用于克服地形与高程障碍,改善线形,缩短里程,减少对植被的破坏,从而提高车速,节约燃料,节省时间并保护生态环境;在山岭地区,隧道还可避免落石、坍方、雪崩、雪堆和冰冻等对路线造成的危害。在城市,隧道可用于减少道路用地,构成立体交叉,疏导交通。在江河、海峡和港湾地区,可用隧道“涉水”,既能保证路线平顺,又不影响航道畅通。由于隧道在特定条件下具有其他路线方案难以替代的作用,所以隧道在高等级公路建设中广泛应用。随着隧道施工技术的进步,隧道的适用环境越来越复杂,隧道越建越长。隧道工程的这些发展趋势,在给公路交通创造有利条件的同时,也给隧道的运营管理带来了一系列问题。

(1)通风

汽车通过隧道时,要不断地向隧道内排放废气。对于短隧道,由于受自然风和交通风的影响,一般来说有害气体的浓度不会积聚得太多,不会对驾驶员的身体和行车安全构成威胁。但是,对于长大隧道情况就不同了,自然风和交通风对隧道内空气的置换作用相对减小,如不采取措施,隧道内有害气体的浓度就会逐渐升高,其中的 CO 浓度达到一定量值时会使人感到不适以至窒息;柴油车排出的烟雾将不断恶化行车环境,使隧道内能见度降低,因此,必须根据长大隧道的具体条件,采用适当的通风方式,将新鲜空气随风流一起送入隧道,稀释淡化有害气体,使其浓度降至规定的指标以内。

(2)照明

高速行驶的车辆穿过长大隧道时,生理基础决定了驾驶员的视觉要发生微妙的变化。尤其在白天,车辆接近隧道时,由于环境亮度突然由高变低,驾驶员视觉上要出现“黑洞效应”,对安全行车极为不利;相反在出洞时,亮度迅速由弱变强,视觉上出现眩光而倍感不适。因此,为了减轻驾驶员的心理与生理压力,有利安全行车,需视具体情况,对长大公路隧道进行合理有效的照明。

(3)防火

隧道内空间狭长,能见度通常较低,加上入洞时的黑洞、黑框效应,以及洞内的墙效应,加之有时路面湿滑,隧道全长常为事故多发段,并诱发各种各样的火灾。由于空间结构上的特殊性,隧道内火灾烟气难以垂直向上排出,而只能从有限的通风口排出,所以极易沿隧道纵向水平扩散,给扑救带来不便。往往很小的火情,也可能诱发大的火灾,所以,必须根据隧道结构上的特殊性,采用适宜的防灭火系统。

(4)交通监控

高等级公路上的长大隧道,其交通管理十分重要。一旦隧道内发生某种交通事故,不仅要

及时发现、迅速处理和救援,而且对洞内、外的交通还要进行疏导和管制。为了避免混乱,要求隧道的交通监控与指挥系统尽量自动化,以便救援工作紧张而有序地进行,尽快恢复正常交通。

为了解决上述问题,需要在公路隧道主体结构内外建设和安装相应的附属设施,包括通风设施、照明设施、防火设施、交通监控设施、供配电设施和给排水设施等,这些附属设施通称为隧道运营设施。隧道运营管理是利用运营设施对隧道日常管理和土建工程等进行养护维修的总称。

2. 国外隧道运营管理的发展

隧道运营设施随着长大隧道的出现而出现,对于它的研究也随着长大隧道的发展而不断深入。1919年,美国修建横穿纽约哈得孙河的霍兰隧道时,以美国矿山局为主,在一些大学和研究所的协助下,对当时美国汽车的CO发生量进行了比较彻底的研究,同时还就人体对CO浓度的容许值进行了研究,并以此作为隧道通风计算的基础依据。后来,他们又发现,当大马力柴油机货车在交通流中所占比例增大时,排烟量会增大,烟尘使隧道内空气透明度降低,从而影响安全行车,稀释烟尘所需风量,有时会超过稀释CO所需风量。20世纪60年代以后,在新建和改建隧道时,通常按稀释CO和稀释烟尘分别计算风量,并取其较大值作为设计依据。以所需风量计算为基础,霍兰隧道采用了人工通风,新鲜空气由通风机从车道两侧下方吹入,污染空气由通风机从车道中央的顶棚抽出,从而形成了世界上最早的人工全横向通风方式。采用这种通风方式后,隧道内空气中的CO浓度小于容许浓度时,烟雾浓度也比较小。这种通风方式至今在大交通量的长大隧道中仍在采用。而且采用这种通风方式,隧道全长的供风比较均匀,能见度好,有利于防止火灾。由于全横向通风投资大,耗电量高,在探索减少投资的过程中,主要是试图减少造价昂贵的通风道。1934年,英国修建的墨尔本隧道($L = 3226\text{m}$)首先采用了半横向通风,将通风技术向前推进了一步。

20世纪40年代初,德国人梅氏对CO毒性作了更加深入的研究,结果表明人的CO中毒程度与人的活动状态有关。同时他得出CO浓度、人吸入的时间以及活动状态与CO-Hb饱和率之间的关系曲线。

日本多山多水,长大公路隧道较多。其隧道通风技术与西方发达国家相比起步较晚,但是发展很快。1958年修建的关门隧道($L = 3461\text{m}$),1975年修建的惠那山一线隧道($L = 8489\text{m}$)均采用了全横向通风。1963年建成的天王山隧道($L = 1435\text{m}$),采用半横向通风。在石油危机的年代,日本开始研究试验长大隧道能否采用节能的纵向通风。1984年建设的关越一线隧道、惠那山二线隧道($L = 8625\text{m}$)采用了结合电集尘器的竖井送排风纵向通风,使隧道通风技术又有了长足进步。其中,惠那山二线隧道的防灾和交通监控设施的现代化程度也很高,隧道的安全服务设施造价占隧道总造价的60%。

隧道照明是在一般道路照明的基础上发展起来的。围绕如何经济有效地解决驾驶员视觉的暗适应与明适应问题,各国都进行了不同的试验研究,并就隧道的照明问题提出了各自的观点与设计参数。日本认为短隧道照明应比长隧道加强;CIE(国际照明委员会)认为凡长度超过50m的直线隧道,弯道上超过25m的隧道都需要照明。隧道照明分为白天和夜间两种情况来确定不同的亮度值,这是各国共同遵守的原则。隧道照明困难主要在白天,因此国外在洞外露天的一段距离采用减光措施,逐步将视野环境亮度降低,并在洞口加强照明缓和亮度的下降比例。为此,国外采取的做法是将隧道内外分成几个区段,根据行车速度提供不同的亮度值。以下是美国与日本的区段划分情况。

(1)美国。无露天减光格栅时,入口区应划分为二个或二个以上区段,当洞外亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时,入口亮度至少为 $500\text{cd}/\text{m}^2$,第二区段至少为 $50\text{cd}/\text{m}^2$ 。这两个区段的通过时间应大于 2s 。如有露天减光格栅,则入口区的亮度为格栅区亮度的 50% ,入口区段通过时间应为 2s 。

(2)日本。区段划分为引入段、适应段和过渡段。引入段为驶向隧道洞口的汽车驾驶员能辨认出洞口外有无障碍物时的必要照明区段;适应段是驾驶员由更接近隧道到进入隧道所必要的照明区段;过渡段是驾驶员进入隧道适应隧道内部照明的必要照明区段。此外,在试验研究的基础上给出了各段的长度与车速的关系。1979年日本出版了《隧道照明设计指南》,对隧道照明设计理论与方法进行了系统介绍。

发达国家公路隧道的迅速发展,大大地推动了对隧道运营管理的研究,从而使其作为一项重要工程技术不断得以发展与完善。

二、我国公路隧道运营管理的发展概况与前景展望

1. 发展概况

改革开放以前,我国公路等级普遍较低,仅在个别公路上设置了长度较小的隧道,隧道内一般采用自然通风,不设人工照明或仅挂几盏为行人照明的电灯。改革开放之后,随着我国经济的迅速发展,公路建设日新月异,公路等级普遍提高,长大公路隧道大量涌现,隧道运营管理也应运而生。

由于缺少修建长大公路隧道的经验,初期修建的梧桐山隧道($L = 2257\text{m}$)采用了横向通风方式,在山岭上设置了两座送排风竖井。经过多年的运营经验表明,这种通风方式效果好,但能耗较大。洞内照明灯具为低压钠灯,其穿雾的能力较强,但洞内亮度不高。梧桐山隧道的设计与管理为我国后来的隧道设计提供了有益的经验。

20世纪80年代中期,我国的一些新建公路隧道,如太原某隧道($L = 961\text{m}$)和沈阳某隧道($L = 1487\text{m}$)采用半横向通风,隧道的运营费用较全横向通风有所降低。20世纪80年代后期修建的甘肃七道梁隧道($L = 1560\text{m}$),首次在我国的长大公路隧道中采用射流风机纵向通风,为这种较为经济的通风方式在我国的广泛应用奠定了基础。

20世纪90年代初,重庆修建的中梁山隧道($L = 3160\text{m}$),初步设计采用半横向通风,其投资大,运营费用高,为了降低工程造价并确保建成后隧道可靠、经济地运营,工程技术人员查阅了国外的大量资料并对国外的类似工程进行了重点考察,吸取国内有关隧道通风设计的经验与教训,经过反复试验和科学论证,最终在该特长公路隧道中采用射流风机加竖井吸出式纵向通风。多年来的运营实践经验表明,这种通风方式投资小,运营费用低,通风效果能满足有关规范与标准的要求。中梁山隧道的通风技术不仅为国内特长隧道的运营通风创出了一条新途径,其某些技术环节在世界范围内也属首例。此外,以中梁山隧道为代表的我国新建隧道,其防火设施、交通监控系统等均已接近国际先进水平。这些隧道采用各种感温、感烟和感光探测器探测洞内火情;闭路电视系统监视隧道内外交通;声、光及无线电交通指挥系统控制隧道交通;洞外设有完备的隧道监控中心与救援车辆。

1994年建成通车的珠江隧道是我国大陆的第一座大型沉管隧道,该隧道的顺利建成,标志着我国水下隧道的设计与施工技术水平又上了一个新台阶。特别值得指出的是,为了解决珠江隧道的照明问题,广州市地下铁道设计研究院、广州城建学院和浙江大学联合对该隧道的照明进行了一系列研究。

珠江隧道在入口段采用人工加强照明,方法是采用大功率的照明灯具,使入口段路面亮度达到行车要求。在隧道洞口采用遮光棚,一方面可减弱太阳光射到入口段的亮度,另一方面通过调整建筑高度减弱驾驶员在进入隧道入口段前的视野亮度。研究人员按隧道的初步设计尺寸,以 15:10 的比例制作了黄沙洞口遮光棚模型,并进行了为期一年的模型实测工作。试验分析报告指出:当晴天视野亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时,要消除“黑洞效应”,隧道入口段亮度必须在 $250\text{cd}/\text{m}^2$ 以上,而且地处亚热带的广州一年四季晴天时间相当长,这么高的亮度如果完全采用电气照明来实现,势必带来运营成本高的问题。所以,采用建筑遮光棚代替入口段的灯光照明,无论从经济上,还是从节能角度考虑都是极为有利的。根据不同的天气情况和时间区段,珠江隧道将过渡亮度调节分为六级,其中过渡段四级,基本段二级。过渡段调节以洞口视野亮度为 100%,根据洞口视野亮度调节过渡段路面亮度。两端洞口装有视野亮度检测装置,并将检测结果输入计算机,经分析后发出指令,由控制装置自动调节过渡段路面亮度。

重庆交通科研设计院在隧道通风与照明方面做了大量的研究,建立了长度 100m 的 1:1 的试验隧道,并先后主持编写了《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ 026.1—1999)和《公路隧道交通工程设计规范》(JTJ/T D71—2004),把我国的隧道通风照明、监控等交通工程设施的设计纳入了规范轨道。浙江省交通规划设计院等单位合作完成了《大溪岭—湖雾岭隧道营运照明与通风关键技术研究》项目,在我国首次将竖井送、排风与射流风机组合方式应用于隧道通风实践。西南交通大学在公路隧道通风防灾方面也做过大量的工作,曾用自行开发的隧道通风网络计算程序,对二郎山隧道通风、秦岭终南山隧道火灾模式通风等进行了研究。长安大学为了配合西安—安康秦岭终南山特长($L = 18\text{km}$)隧道的建设,开展了特长公路隧道通风技术的研究,采用了三竖井四区段组合通风方案,解决了该隧道的通风难题,把我国的公路隧道通风理论与技术研究又提高到一个新水平。

2. 前景展望

我国是一个多山的国家,75%的国土是山地或重丘,随着山岭重丘区高等级公路建设在我国广泛展开,公路隧道修筑规模正以空前的速度发展。此外,随着隧道技术的不断发展,一些大型海底隧道会在特定条件下显示其优越性。这些都将是给运营管理提出特殊的要求,同时也为其发展提供了契机。为了今后能更好地发挥隧道的优势与作用,要着重研究解决公路隧道运营中的以下问题:

(1) 特长隧道的通风方法和控制方式

随着隧道方案优越性的逐步被认识以及隧道技术储备的日益增加,我国公路隧道的长度记录不断被刷新,目前已修建和规划建设多座长度超过 6km 的特长隧道。这些隧道的运营通风将是工程设计的焦点与难点,研究中需要综合考虑各种工程因素,参考国外同类工程的经验,结合我国国情,选择合理的通风方法与控制方式,开发有关的新技术。

(2) 特长隧道的防火与救援

目前,隧道的防火系统设计要么是参考国外隧道,要么是借鉴一般工业与民用建筑,国内对此尚未进行深入系统的研究。特长隧道与一般隧道相比,火灾出现概率较大,扑救更难。所以,应结合工程具体情况,将隧道全长分成若干防火区段,根据各段出现火灾的可能性大小以及扑救的难易程度,分别布置火灾探测系统和自动灭火系统。此外,应根据需要开发研制隧道专用消防器材。

(3) 严寒地区隧道的通风与供暖

我国幅员辽阔,西高东低,北冷南热,地理特征迥异,将有不少长大隧道修筑在严寒地区。

实践证明,严寒地区的隧道极易出现渗漏与冻胀问题。该问题的解决办法之一是向隧道内供热送暖,保持隧道排水系统在严寒季节仍畅通无阻,从而避免渗漏与路面冰滑。为此,需要将进入隧道的新鲜空气预热,然后借助通风系统送入隧道。

(4)长寿命高性能隧道照明灯具的研制

隧道内空间狭小,交通繁忙,若照明灯具寿命短,维修量大,势必影响隧道正常运营。另外,隧道内的照明日夜运营,灯具工作时间长,有些灯具甚至需要连续不断地工作,所以灯具能效的高低对运营费用影响很大。隧道内空气中烟尘浓度较大,这又要求照明灯具具有一定的抗污染能力。目前隧道内普遍采用发光效率较高的高压钠灯,其性能与寿命比较理想,如果能结合隧道内的特定环境条件,调整灯具的配光特性,则其使用效果更佳。

(5)隧道内空气的降尘与降毒

隧道内空气的特点是含烟尘、粉尘和 CO 等毒性气体,降低尘埃浓度和有害气体浓度不仅对提高隧道内空气质量有利,而且还减少了排放物对洞外空气的污染。降尘可采用静电吸尘或其他空气过滤系统,降毒则必须采用某些触媒来中和有毒气体的毒性,前者实施较易,后者实现较难。

(6)隧道智能化综合监控系统

随着隧道长度的增加和修筑环境的复杂化,隧道的运营管理更显重要。隧道的通风系统、照明系统、防火系统和交通监控系统等都是隧道综合监控系统的子系统,既有相对独立性,各子系统间又有一定的联系。例如,通风系统在正常情况下,要根据隧道内外的空气状况,控制风机的工作状态,使空气质量既能满足卫生标准,又能降低电耗。在出现火灾时,通风系统又与防火系统发生联系,根据火点的位置和火情大小,确定风机工作状态。这样的管理操作过程都应事先编好控制软件,设计好主控机的接口电路,由计算机自动完成。

与发达国家相比,我国的公路隧道建设起步晚,尽管近年来取得了可喜的成绩,但在设计理论和运营设施等方面和发达国家相比还有很大的差距。只要我们勤于学习,善于创新,不断进取,相信一定会在不久的将来,在隧道设计理论与运营管理等方而赶超世界先进水平。

三、课程内容与特点

1. 课程的性质与内容

《公路隧道运营管理》是隧道与地下工程专业的必修课,它主要以高等级公路上长大隧道的运营管理为研究对象。基本内容包括:

- (1)隧道通风量的计算;
- (2)通风方式及其工作原理;
- (3)隧道通风阻力与风压计算;
- (4)隧道通风系统的设计;
- (5)隧道照明标准;
- (6)照明基本计算方法;
- (7)隧道照明光源与灯具的选择、布置;
- (8)隧道交通检测系统的组成;
- (9)隧道交通控制系统;
- (10)隧道通风照明控制系统;
- (11)隧道中央控制管理系统;

- (12)隧道防火系统的构成和布置标准;
- (13)火灾报警系统的组成与工作原理;
- (14)隧道常用灭火设施;
- (15)隧道供配电;
- (16)隧道给排水;
- (17)隧道养护维修。

围绕以上内容,介绍有关基本概念和基础知识,并结合我国现行的《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ 026.1—1999)、《公路隧道交通工程设计规范》(JTG/T D71—2004)和《公路隧道养护技术规范》(JTG H12—2003),介绍有关标准。此外参照国内外隧道设计与运营中的成功经验,阐述运营设施的设计步骤与布置方法。

2. 课程特点与学习方法

本课程是一门综合性很强的专业课,它涉及学科较多,内容面广。它与空气动力学、电工学、电气照明、消防工程、自动控制、交通工程学、通信和给排水等课程密切相关。全书编排为板块结构,各章之间具有相对独立性。在学习中,应掌握基本概念,抓住重点,熟悉计算方法,了解设计步骤,注意归纳总结,注意理论联系实际。

《公路隧道运营管理》是一新设课程,在很多方面还不够成熟。随着我国公路隧道建设的不断发展,相信经过大家的共同努力,在安全、经济、适用原则的指导下,不论是这门课程的理论体系还是实用的设施系统都将逐渐得到完善与提高。

第一章 隧道通风

在隧道运营期间,为了有效降低隧道内有害气体与烟雾的浓度,保证司乘人员及洞内工作人员身体健康,提高行车的安全性和舒适性,通常需要按一定的方式不断地向隧道内送入新鲜空气,此即隧道通风。搞好隧道通风设计是取得理想通风效果的前提。隧道通风设计一般按下列步骤进行:

- (1)根据隧道长度和交通量,初步确定通风方式。
- (2)收集交通、气象、环境、地质、地形、地物等通风设计基础资料。
- (3)根据有关调查资料尤其是车辆情况,计算需风量。
- (4)从安全、技术、经济等方面进行通风方式比较,选择最佳通风方式。
- (5)计算通风压力、风量和风速等。
- (6)确定风机的规格和配置,并对风道和风机房等进行结构设计。

本章围绕隧道通风设计,介绍通风工程的有关知识。

第一节 空气的物理状态参数

通风是指通过一定的方式使空气有规律地流动。空气是一种混合气体,隧道通风工程所涉及到的空气的主要成分是 O_2 、 CO_2 、 N_2 和水蒸气等,其中 O_2 、 CO_2 、 N_2 之间的比例相对比较固定,而水蒸气的含量则变化较大。所以在讨论中常将 O_2 、 CO_2 和 N_2 的混合物看作一个整体,并称它为干空气,而将干空气与水蒸气的混合物称湿空气。在以后的讨论中,若不特别说明,所提到的空气是指湿空气。在通风理论分析与设计计算中,经常用到空气的物理状态参数。本节简要介绍压力、比容、密度、湿度、粘性等状态参数的基本概念。

一、压力

(一)压力的概念

气体的压力是指气体垂直作用于容器壁单位面积上的力。即:

$$P = \frac{F}{A}$$

式中: F ——气体垂直作用于容器壁上的力, N;

A —— F 作用的面积, m^2 ;

P ——气体的压力, Pa。

我国法定计量单位中的压力单位用 Pa 表示,其他表示式为 N/m^2 即:

$$1Pa = 1N/m^2$$

在一些技术资料中曾用到的压力单位有 atm(标准大气压)、mmHg(毫米汞柱)、mmH₂O(毫米水柱)和 at(工程大气压)等,均为非法定计量单位(属常见的废除单位)。它们与单位 Pa 之间的换算关系见表 1-1-1。

压力单位换算表

表 1-1-1

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

(二)压力的量测

1. 绝对压力、表压力

气体的压力可用各种仪表来测量,在隧道通风中,常用的仪表为 U 型压差计。U 型压差计是装有液体(水或者水银)的 U 型玻璃管,如图 1-1-1 所示。测量时将一端与待测压力的容器相连,另一端与大气相通。在容器内气体压力作用下, U 型管两液面就会出现高差 $h(m)$ 。若 U 型管内液体密度为 $\rho(kg/m^3)$,大气压力为 $P_0(Pa)$,则容器内气体的压力 P 为:

$$P = P_0 + \rho gh \quad (1-1-1a)$$

或者
$$P - P_0 = \rho gh \quad (1-1-1b)$$

这里 P 称为绝对压力, ρgh 是绝对压力与大气压力之差,即气体相对于大气的压力,也叫相对压力。相对压力可以从表上直接得到,故又叫表压力,并用 P_m 表示。绝对压力和表压力的关系是:

$$P = P_m + P_0 \quad (1-1-2)$$

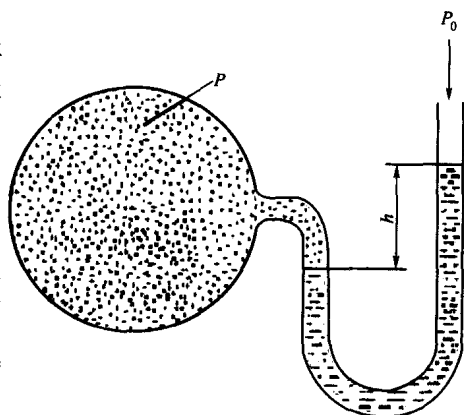


图 1-1-1 U 型压差计

若规定,当绝对压力高于大气压力时,相对压力(表压力)为正,那么,绝对压力低于大气压力时,相对压力(表压力)就为负。

当表压力为负时,绝对压力 P 为:

$$P = P_0 - \rho gh \quad (1-1-3)$$

【例 1-1-1】某气体表压力为 1000mmH₂O,大气压力为 760mmHg,绝对压力为多少 Pa?

解:由表 1-1-1 查得:

$$1000\text{mmH}_2\text{O} = 9807 \text{ Pa}$$

$$760\text{mmHg} = 101325 \text{ Pa}$$

由式(1-1-2)得:

$$P = P_m + P_0 = 101325 + 9807 = 111132 \text{ Pa}$$

2. 静压、动压和全压

装在容器内的气体作用在容器壁上的压力叫静压,用 P_s 表示,静压是单位体积气体所具有的内能。在隧道内以速度 $v(m/s)$ 流动的气体,除有内能外,还因其流动而具有对外做功的