



高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

总主编 何若全

隧道通风安全与照明

SUIDAO TONGFENG
ANQUAN YU
ZHAOMING

主 编 刘 健

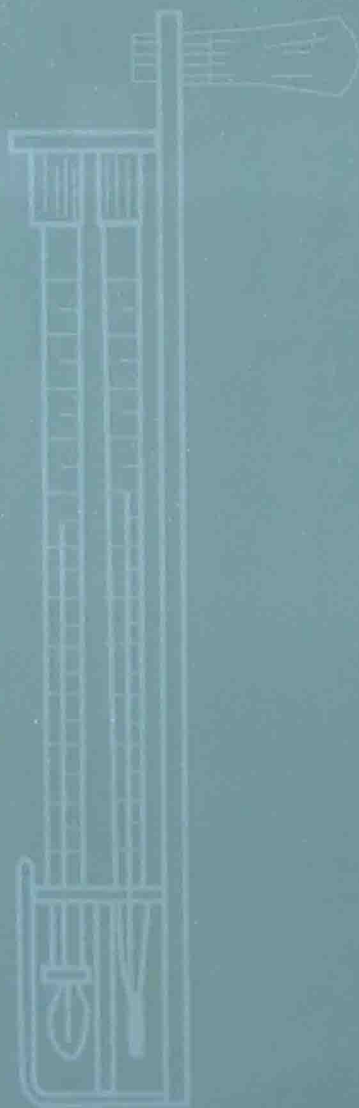
副主编 彭 伟

主 审 徐志胜



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>





高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

总主编 何若全

隧道通风安全与照明

SUIDAO TONGFENG
ANQUAN YU
ZHAOMING

主 编 刘 健

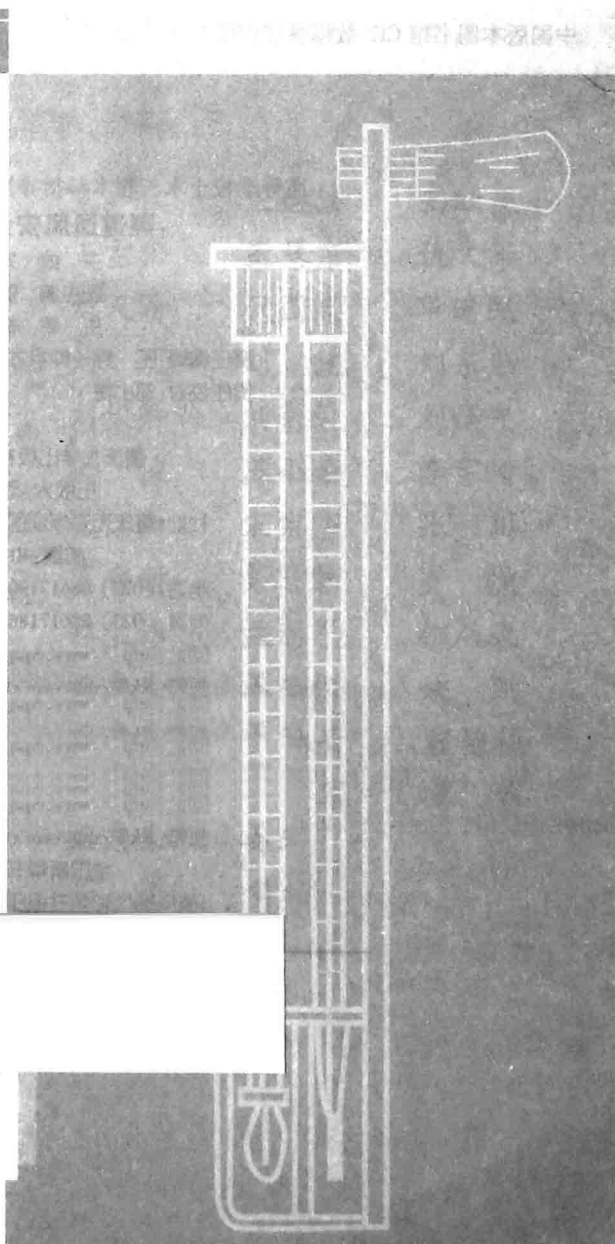
副主编 彭 伟

参 编 张树川 李尧斌

李重情 王广军

主 审 徐志胜

重庆大学出版社



内 容 提 要

本书是高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材之一。全书共6章,分别介绍了隧道空气、隧道空气流动基本理论、隧道通风技术与设备、隧道消防设计、隧道火灾预防与扑救和隧道照明等内容。

本书可供高等工科院校土木工程及相关专业作教学用书,也可供从事土木工程(水利工程)设计、施工、管理、监测等技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

隧道通风安全与照明/刘健主编.—重庆:重庆大学出版社,2015.3

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材
ISBN 978-7-5624-8659-6

I.①隧… II.①刘… III.①隧道通风—安全管理—
—高等学校—教材②隧道—照明—高等学校—教材 IV.①U453

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第258637号

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

隧道通风安全与照明

主 编 刘 健

副主编 彭 伟

主 审 徐志胜

责任编辑:王 婷 钟祖才 版式设计:莫 西

责任校对:邬小梅 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆现代彩色书报印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:11.25 字数:281千

2015年3月第1版 2015年3月第1次印刷

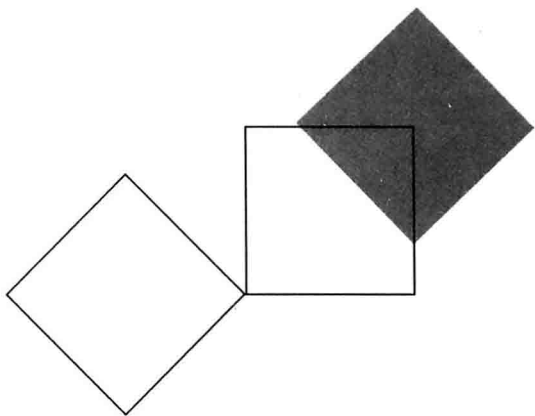
印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-8659-6 定价:23.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究



编委会名单

总主编：何若全

副总主编：杜彦良

邹超英

桂国庆

刘汉龙

编委（按姓氏笔画为序）：

卜建清

王广俊

王连俊

王社良

王建廷

王雪松

王慧东

仇文革

文国治

龙天渝

代国忠

华建民

向中富

刘凡

刘健

刘东燕

刘尧军

刘俊卿

刘新荣

刘曙光

许金良

孙俊

苏小卒

李宇峙

李建林

汪仁和

宋宗宇

张川

张忠苗

范存新

易思蓉

罗强

周志祥

郑廷银

孟丽军

柳炳康

段树金

施惠生

姜玉松

姚刚

袁建新

高亮

黄林青

崔艳梅

梁波

梁兴文

董军

覃辉

樊江

魏庆朝

总序

进入 21 世纪的第二个十年,土木工程专业教育的背景发生了很大的变化。“国家中长期教育改革和发展规划纲要”正式启动,中国工程院和国家教育部倡导的“卓越工程师教育培养计划”开始实施,这些都为高等工程教育的改革指明了方向。截至 2010 年底,我国已有 300 多所大学开设土木工程专业,在校生达 30 多万人,这无疑是世界上该专业在校大学生最多的国家。如何培养面向产业、面向世界、面向未来的合格工程师,是土木工程界一直在思考的问题。

由住房和城乡建设部土建学科教学指导委员会下达的重点课题“高等学校土木工程本科指导性专业规范”的研制,是落实国家工程教育改革战略的一次尝试。“专业规范”为土木工程本科教育提供了一个重要的指导性文件。

由“高等学校土木工程本科指导性专业规范”研制项目负责人何若全教授担任总主编,重庆大学出版社出版的《高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材》力求体现“专业规范”的原则和主要精神,按照土木工程专业本科期间有关知识、能力、素质的要求设计了各教材的内容,同时对大学生增强工程意识、提高实践能力和培养创新精神做了许多有意义的尝试。这套教材的主要特色体现在以下方面:

(1) 系列教材的内容覆盖了“专业规范”要求的所有核心知识点,并且教材之间尽量避免知识的重复;

(2) 系列教材更加贴近工程实际,满足培养应用型人才对知识和动手能力的要求,符合工程教育改革的方向;

(3) 教材主编们大多具有较为丰富的工程实践能力,他们力图通过教材这个重要手段实现“基于问题、基于项目、基于案例”的研究型学习方式。

据悉,本系列教材编委会的部分成员参加了“专业规范”的研究工作,而大部分成员曾为“专业规范”的研制提供了丰富的背景资料。我相信,这套教材的出版将为“专业规范”的推广实施,为土木工程教育事业的健康发展起到积极的作用!

中国工程院院士 哈尔滨工业大学教授

沈世钊

前 言

本书是高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材之一,内容主要包括隧道空气流动基本理论、通风技术与设备、消防设计、火灾预防与扑救以及隧道照明等。

本书结合新的“高等学校土木工程本科指导性专业规范”知识体系的要求,以及新一轮土木相关规范、标准进行编写,反映最新研究成果和工程实际需求,可供高等院校土木工程专业及相关专业或土建类成人教育作教材使用,也可供从事土木工程科研、设计、管理的人员及工程技术人员参考使用。

本书编写的指导思想是:教材内容充分反映近年来国内外土木工程隧道通风安全与照明的最新技术发展和较为成熟的科研成果;既适应本科土木工程及相关专业教学需要,又适应现场管理需要,为提高土木工程技术和管理人员的通风安全与照明技术及知识水平作出应有的贡献。

本书教材内容力求少而精,深入浅出,以传授基础理论和基本知识为主,并适当阐述典型的应用技术,以达到理论与实践相结合。

本书由重庆大学出版社组织出版,由安徽理工大学组织编写,刘健担任主编,彭伟担任副主编。参加本书编写工作的有刘健、张树川、李尧斌、李重情、王广军(第一、二、三、六章)、彭伟(第四、五章),全书由刘健统稿。

中南大学徐志胜教授对本书进行审稿,提出了许多宝贵的意见和建议,并对其内容和文字进行了细致的修改,这对提高书稿质量起到了重要作用,在此谨表衷心谢意。

本次编写过程中吸收了以前诸教材的优点,参阅了国内外近年来发表的科技文献。在此特向文献作者们表示感谢。同时感谢安徽省重大教研项目(2014zdjy048)大力支持。

另外,本书免费提供了配套的电子课件,包含各章的授课 PPT 课件、课后习题参考答案、期中及期末考试试题(含答案),放在重庆大学出版社教育资源网上供教师下载(网址:<http://www.cqup.net/edustre>)。

由于编者水平有限,加之时间紧迫,错误和不妥之处,恳请读者不吝指正。

编 者
2014 年 11 月

目 录

1	隧道空气	1
1.1	隧道中空气的成分	1
1.2	隧道空气中的有害气体	3
1.3	隧道气候条件	6
	习题	10
	参考文献	10
2	隧道空气流动的基本理论	11
2.1	隧道空气流动规律	11
2.2	隧道断面上的风速分布及通风阻力	26
2.3	隧道的交通通风力	34
2.4	隧道的自然通风	36
	习题	39
	参考文献	39
3	隧道通风技术与设备	41
3.1	隧道通风动力及通风机	41
3.2	隧道运营期间通风方式与通风管理	60
3.3	隧道施工期间通风方式与通风管理	68
	习题	72
	参考文献	72
4	隧道消防设计	73
4.1	火灾燃烧基础	73
4.2	隧道火灾的原因与特点	90
4.3	隧道消防设计的基本要求	92
	习题	111
	参考文献	111

5	隧道火灾预防与扑救	113
5.1	隧道火灾场景及火灾发展	113
5.2	隧道火灾情况下的烟气流动与温度场分布	114
5.3	隧道火灾期间的排烟	119
5.4	隧道结构的耐火保护	121
5.5	隧道火灾自动探测报警系统	126
5.6	隧道火灾灭火设施	129
5.7	隧道火灾的扑救	138
	习题	146
	参考文献	147
6	隧道照明	148
6.1	常用照明术语	148
6.2	电光源	150
6.3	隧道照明灯的选择及隧道照明供电	152
6.4	隧道内不同区段的照明设计	154
6.5	灯具的布置	159
	习题	161
	参考文献	161
	附录	162
	附录 1 各类巷道(隧道)摩擦阻力系数表	162
	附录 2 光滑管道局部阻力系数	163
	附录 3 本书所用主要符号	166



隧道空气

在隧道运营期间,为了有效地排放隧道内的有害气体及烟尘,保证司乘人员及隧道内工作人员的身体健康,提高行车的安全性和舒适性,通常需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。因此,隧道通风的首要任务就是要保证隧道空气的质量符合要求。

本章将着重阐述隧道空气的主要成分,隧道内各种常见的有害气体,隧道内气候条件等主要问题,为进一步学习隧道通风的基本理论奠定基础。

1.1 隧道中空气的成分

1.1.1 隧道内空气的组成

隧道内空气即地面空气,它是由干空气和水蒸气组成的混合气体,通常也称为湿空气。湿空气中仅含有少量的水蒸气,但其含量的变化会引起湿空气的物理性质和状态发生变化。干空气是指完全不含有水蒸气的空气,它是由氧、氮、二氧化碳、氩、氖和其他一些微量气体所组成的混合气体。干空气的组成成分比较稳定,其主要成分如表 1.1 所示。在以后的讨论中,若不特别说明,所提到的空气即是指湿空气。

表 1.1 地表大气组成成分

气体成分	按体积计(%)	按质量计(%)	备注
氧气(O ₂)	20.96	23.23	惰性稀有气体氦、氖、氩、氪、氙等,计入氮气中
氮气(N ₂)	79.00	76.71	
二氧化碳(CO ₂)	0.04	0.06	

隧道内地面大气中还含有各类细微颗粒,如尘埃、微生物等。这些物质不计入空气的组分,也不影响主要成分之间的比例关系。

1.1.2 隧道空气主要成分及基本性质

1) 氧(O₂)

氧是无色、无味、无臭的气体,相对密度(与空气密度之比)为 1.1。氧化过程是人类生命活动的基本过程之一,人体必须不断地吸入氧气,呼出二氧化碳,以保证生命活动持续进行。人体需要的氧量,取决于人的体质、精神状态和劳动强度,如表 1.2 所示。

表 1.2 不同劳动强度下人体的耗氧量

工作状态	呼吸空气量(L/min)	氧消耗量(L/min)
休息	6~15	0.2~0.4
轻工作	20~25	0.6~1.0
中度劳动	30~40	1.2~1.6
重体力劳动	40~60	1.8~2.4
极重体力劳动	60~80	2.5~3.0

人体吸入的氧量与空气中的含氧浓度(或氧分压)密切相关。若空气中氧浓度降低(或氧分压降低),人体就会处于缺氧状态,出现各种不适症状,严重缺氧还将致人死亡。人体缺氧症状与空气中氧浓度的关系如表 1.3 所示。

表 1.3 急性缺氧症状与氧浓度的关系

氧浓度体积(%)	主要症状
17	静止状态时无影响,工作时喘息,呼吸困难,心跳快
15	人体缺氧,呼吸及心跳急促,耳鸣目眩,感觉及判断能力下降,肌肉功能破坏失去劳动能力
10~12	失去理智,时间稍长即有生命危险
6~9	失去知觉,呼吸停止,心脏在几分钟内尚能跳动,如不及时抢救,会导致死亡

由于缺氧而虚脱的人,一般还可以复苏,但若缺氧情况严重或虚脱时间过长,则可能在复苏后出现永久性伤害,其中以脑伤害为主。

2) 二氧化碳(CO₂)

二氧化碳无色、无臭,略带酸味,相对密度(与空气密度之比)为 1.52,易溶于水生成碳酸,对眼、鼻、喉黏膜有刺激作用。

二氧化碳不助燃也不能供人呼吸,但空气中含有的微量二氧化碳有刺激呼吸中枢神经的作用,如果完全没有它,人体的正常呼吸功能就不能保持。所以在人工输氧时,往往会加入 5%的二氧化碳,以刺激呼吸功能。

二氧化碳对人体的毒害取决于空气中二氧化碳的浓度。一般来说,在工作环境中(每天 8 小时工作)二氧化碳的最大允许浓度为 0.5%。人体二氧化碳中毒症状与浓度的关系如表 1.4 所示。

表 1.4 二氧化碳中毒症状与浓度的关系

CO ₂ 体积浓度 (%)	主要症状
1	呼吸加深,对工作效率无明显影响
3	呼吸急促,心跳加快,头痛,人体很快疲劳
5	呼吸困难,头痛、恶心、呕吐、耳鸣
6	严重喘息,极度虚弱无力
7~9	动作不协调,大约 10 min 内发生昏迷
9~11	5 min 内发生窒息,有的人甚至会在 3 min 后死亡

3) 氮(N₂)

氮无色、无臭、无味,相对密度(与空气密度之比)为 0.97。氮对人体无害,但空气中氮浓度的增加,必然导致氧浓度的下降,从而对人体产生间接危害。

根据我国矿山安全规程规定:凡有人工作的地方,氧的体积浓度不得低于 20%,二氧化碳体积浓度不得超过 0.5%。

1.2 隧道空气中的有害气体

1.2.1 隧道空气中有害气体的基本性质

机动车辆通过隧道时,所排放出的废气中含有的主要有害气体有一氧化碳(CO)、一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO₂)及其他氮氧化合物(NO_x)、二氧化硫(SO₂)、甲醛(HCHO)、乙醛(CH₃CHO)以及未完全燃烧的燃料微粒所形成的烟尘等。

空气中污染物的浓度一般用每 m³ 被污染的大气中含有多少毫克污染物(mg/m³)表示,有时也用百万分体积浓度(ppm)计量。1 ppm 是指在常温常压下,1 m³ 被污染的空气中含有 10⁻⁶m³ 有害气体,即按体积计的浓度为百万分之一。1 克分子(摩尔)气体在常温常压(25 ℃, 1 atm)下占有 24.45 L 的体积,因此,ppm 和 mg/m³ 之间的单位换算关系为:

$$1 \text{ ppm} = \left(\frac{M}{24.45} \right) \text{ mg/m}^3 \quad (1.1)$$

式中 M ——该气体的分子量。

现将上述各种有害气体的毒性叙述如下:

1) 一氧化碳(CO)

一氧化碳是无色、无臭、无味的气体,相对空气的比重为 0.97,故能均匀地散布于空气中,不用特殊仪器不易察觉。一氧化碳微溶于水,一般化学性不活泼,当浓度为 13%~75% 时能引起爆炸。

一氧化碳毒性极强,当空气中一氧化碳浓度为 0.4%时,在很短的时间内人就会失去知觉,若抢救不及时就会中毒死亡。

日常生活中的“煤气中毒”就是一氧化碳中毒。人体血液中的血红素专门在肺部吸收空气中的氧气以维持人体的需要,而血红素的另一种特性是:它与一氧化碳的亲合力是它与氧的亲合力的 250~300 倍。因此,当人体吸入含一氧化碳的空气后,一氧化碳很快与血红素结合,这就大大降低了血红素吸收氧的能力,使人体各部分组织和细胞产生缺氧现象,引起窒息和血液中毒,严重时会造成人死亡。

一氧化碳的中毒程度和中毒快慢与下列因素有关:

①空气中一氧化碳的浓度。人处于静止状态时,一氧化碳浓度与人中毒程度的关系如表 1.5 所示。

表 1.5 一氧化碳的浓度与人体中毒程度的关系

中毒程度	中毒时间	CO 浓度		中毒特征
		mg(L)	体积比(%)	
无征兆或有轻微征兆	数小时	0.2	0.016	
轻微中毒	1 h 以内	0.6	0.048	耳鸣、心跳、头昏、头痛、头 痛、心跳、四肢无力、哭闹、呕吐
严重中毒	0.5~1 h	1.6	0.128	
致命中毒	短时间内	5.0	0.40	丧失知觉,呼吸停顿

②与含一氧化碳空气接触的时间。接触时间越长,血液内一氧化碳量越高,中毒就越严重。

③呼吸频率和呼吸深度。人在繁重工作或精神紧张时,呼吸急促,频率高,呼吸深度加大,中毒就快。

④人的体质和体格。人们经常处于一氧化碳略微超过允许浓度的条件下工作时,虽短时间内不会发生急性病状,但由于血液及组织长期轻度缺氧,加上一氧化碳对神经中枢的伤害,会引起头痛、胃口不佳、记忆力衰退及失眠等慢性中毒疾病症。

2) 氮氧化物(NO_x)

机动车辆运行时,所排放的尾气中含有大量的一氧化氮和二氧化氮。一氧化氮极不稳定,遇空气中的氧即转化为二氧化氮。

二氧化氮是一种褐红色的有强烈窒息性的气体,相对空气的比重为 1.57,易溶于水而生成腐蚀性很强的硝酸。因此,它对人的眼、鼻、呼吸道及肺部组织有强烈腐蚀破坏作用,对人体破坏作用最大的是破坏肺部组织、引起肺水肿。

二氧化氮中毒后有较长的潜伏期,初期没有什么感觉(经过 4~12 h 甚至 24 h 以后才发生中毒征兆),即使在危险的浓度下,初期也只是感觉呼吸道受刺激,然后才开始咳嗽吐黄痰、呼吸困难,甚至很快死亡。

当空气中二氧化氮浓度为 0.004%时,2~4 h 内还不会引起中毒现象;当浓度为 0.006%时,就会引起咳嗽、胸部发痛;当浓度为 0.01%时,短时间内对呼吸器官就有很强烈的刺激作用,引

起咳嗽、呕吐、神经麻木等现象;当浓度为 0.025%时,将很快使人中毒死亡。

我国矿山安全规程和《铁路隧道施工技术规范》规定:氮氧化物不得超过 0.000 25%,质量浓度不得超过 5 mg/m^3 。

3) 硫化气体(H_2S , SO_2)

硫化氢无色、微甜、有臭鸡蛋味,当空气中浓度达到 0.000 1%时即可嗅到,但是当浓度较高时,会因嗅觉神经中毒麻痹,反而嗅不到。硫化氢相对密度为 1.19,易溶于水,在常温、常压下一个体积的水可溶解 2.5 个体积的硫化氢。硫化氢能燃烧,空气中硫化氢浓度为 4.3%~45.5%时有爆炸危险。

硫化氢有剧毒,有强烈的刺激作用,能阻碍生物氧化过程,使人体缺氧。当空气中硫化氢浓度较低时,主要以腐蚀刺激作用为主,浓度较高时则会引起人体迅速昏迷或死亡。硫化氢浓度为 0.005%~0.01%时,1~2 h 后会使人出现眼及呼吸道刺激症状;硫化氢浓度为 0.015%~0.02%时,人会出现恶心、呕吐、头晕、四肢无力、反应迟钝、眼及呼吸道有强烈刺激等症状。

二氧化硫无色、有强烈的硫磺气味及酸味,当空气中二氧化硫浓度达到 0.000 5%时即可嗅到,其相对密度为 2.22。二氧化硫易溶于水,在常温、常压下 1 个体积的水可溶解 4 个体积的二氧化硫。

二氧化硫遇水后生成硫酸,对眼睛及呼吸系统黏膜有强烈的刺激作用,可引起喉炎和肺水肿。当空气中二氧化硫浓度达到 0.002%时,眼及呼吸器官即感到有强烈的刺激;当浓度达到 0.05%时,短时间内即有生命危险。

根据我国矿山安全规程和《铁路隧道施工技术规范》规定:隧道空气中硫化氢含量不得超过 0.000 66%,二氧化硫含量不得超过 0.000 5%。

4) 醛类

醛类包括甲醛和乙醛,对眼睛和呼吸系统都有刺激作用,并且有不良气味。

5) 粉尘

一切细散状矿物和岩石的尘粒,称为岩尘或粉尘。能悬浮于空气中的岩尘称为浮尘,沉落于隧道壁的粉尘称为落尘。

粉尘是一种有害物质,它危害人体的健康,落于人的潮湿的皮肤上时有刺激作用,会引起皮肤发炎,特别是硫化粉尘,它进入五官亦会引起炎症。有毒粉尘(铅、砷、汞)进入人体还会引起中毒。粉尘中游离二氧化硅含量越高,对人体危害越大。

6) 烟尘

烟尘含有未燃烧完全的碳氢化合物。

1.2.2 劳动卫生标准

为了保证工人的健康,国内外对人们所接触的有害气体的最高允许浓度都有明确的规定,称为劳动卫生标准,如表 1.6 所示。

表 1.6 运营隧道空气卫生及温湿度环境标准

指 标		最高容许值	备 注
一氧化碳 (mg/m^3)		30	$H < 2\,000\text{ m}$
		20	$2\,000\text{ m} \leq H \leq 3\,000\text{ m}$
		15	$H > 3\,000\text{ m}$
氮氧化物(换算成 NO_2 , mg/m^3)		5	$H < 3\,000\text{ m}$
臭氧(mg/m^3)		0.3	$H < 3\,000\text{ m}$
粉尘 (mg/m^3)	石英粉尘	8	$M_{\text{SiO}_2} < 10\%$
		2	$M_{\text{SiO}_2} > 10\%$
	动植物性粉尘	3	—
温度($^{\circ}\text{C}$)		28	—
湿度(%)		80	—

注: H —隧道平均海拔高度, m ; M_{SiO_2} —游离二氧化硅的粉尘浓度。

1.3 隧道气候条件

1.3.1 概述

隧道气候是指隧道空气的温度、湿度和流速这三个参数的综合作用状态。三个参数的不同组合,便构成了不同的隧道气候条件。隧道气候条件对作业人员的身体健康和劳动安全有着重要的影响。

1.3.2 隧道空气温度

隧道内空气温度是影响气候条件的重要因素,气温过高或过低都会导致气候条件恶化。隧道内最适宜人们劳动的温度是 $15 \sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在隧道掘进中,影响隧道内空气温度的主要因素是隧道外的地面空气温度和隧道内的岩层温度,同时各种动力设备的工作对局部温度有明显影响。

1.3.3 隧道空气湿度

一般来说,空气相对湿度低于 30% 时,水分蒸发过快,会引起人体黏膜干裂;相对湿度大于 80% 时,水分蒸发困难,使人闷烦。因此,令人感到比较舒适的湿度为 $50\% \sim 60\%$ 。

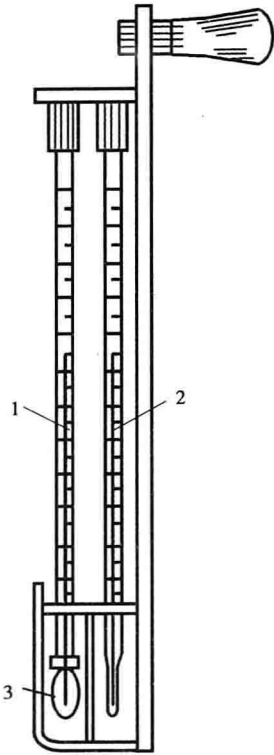


图 1.1 手摇湿度计

1—湿温度计;2—干温度计;3—湿纱布

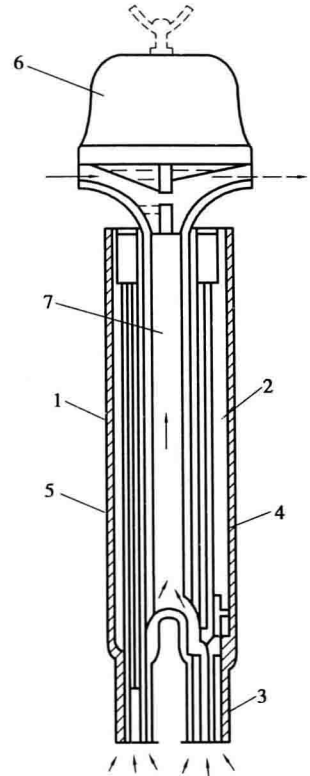


图 1.2 风扇湿度计

1—干球温度;2—湿球温度;3—棉纱布;
4,5—双层金属保护管;6—通风器;7—风管

空气的相对湿度可以用手摇湿度计(图 1.1)或风扇湿度计(图 1.2)来测量。两种湿度计都是由两支相同的温度计组成。使用时,在一支温度计的水银球外包用水湿润的纱布,称为湿温度计。为区别起见,另一支称为干温度计。湿温度计由于外包湿纱布的水分被周围空气蒸发,吸收热量而温度下降,待湿温度计示数稳定后,即可根据干、湿温度计的读数差值和干温度(或湿温度)的读数在表 1.7 中查得相对湿度。

表 1.7 由干、湿温度计读值查相对湿度

干温度计读数 ($^{\circ}\text{C}$)	干、湿温度计差值读数($^{\circ}\text{C}$)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
	相对湿度(%)							
0	100	81	63	46	28	12	—	—
5	100	86	71	58	43	31	17	4
6	100	86	72	59	46	33	21	8
7	100	87	74	60	48	36	24	14
8	100	87	74	62	50	39	27	16

续表

干温度计读数 (℃)	干、湿温度计差值读数(℃)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
	相对湿度(%)							
9	100	88	75	63	52	40	30	19
10	100	88	77	64	53	43	32	22
11	100	88	79	65	55	45	35	25
12	100	89	79	67	57	47	37	27
13	100	89	79	68	58	49	39	30
14	100	89	79	69	59	50	41	32
15	100	90	80	70	61	51	43	34
16	100	90	80	70	61	53	45	37
17	100	90	80	71	62	55	47	40
18	100	90	80	72	63	55	48	41
19	100	91	81	72	64	57	50	41
20	100	91	81	73	65	58	50	42
21	100	91	82	74	66	58	50	44
22	100	91	82	74	66	58	51	45
23	100	91	83	75	67	59	52	46
24	100	91	83	75	67	59	54	48
25	100	92	84	76	68	60	54	48
26	100	92	84	76	69	62	55	50
27	100	92	84	77	69	62	56	51
28	100	92	84	77	60	64	57	52
29	100	92	85	78	71	65	58	53
30	100	92	85	79	72	66	59	53

例如,干温度计读数 $t_{干} = 22\text{℃}$,湿温度计读数 $t_{湿} = 20\text{℃}$,在表 1.7 中可查得该处相对湿度为 $\varphi = 82\%$ 。

1.3.4 隧道风流速度

隧道中风流速度过高或过低,都会影响人员的身体健康。风速过高,易致感冒,尘土飞扬,对人员的健康和安全不利;风速过低,汗水不易蒸发,使人感到闷热不适。另外,风速过低时,不易冲淡有害气体,还可能造成有害气体积聚,对安全生产不利,过低的风速也不利于各种动力设备的散热降温。

隧道的气温、湿度和风速应调配得当,以造成良好的施工气候条件。在隧道施工中控制空气的湿度是很困难的,因此,一般是从调节气温和风速来着手。温度和风速之间相互对应的合适数值,以作业人员在工作状态下的舒适性为依据。我国矿山安全规程对风速和强度的合理匹配提出了以下要求,即:

- 当温度低于 15 °C 时,风速不超过 0.5 m/s;
- 当温度为 15~20 °C 时,风速不超过 1.0 m/s;
- 当温度为 20~22 °C 时,风速不低于 1.0 m/s;
- 当温度为 22~24 °C 时,风速不低于 1.5 m/s;
- 当温度为 24~25 °C 时,风速不低于 2.0 m/s。

综上所述,气候条件是温度、湿度和风速三者的综合作用,单独用某一因数来评价气候条件的好坏是不够的。一般评价劳动条件舒适度的综合指标,多采用卡它度。

卡它度就是指被加热到 36.5 °C 的卡它温度计(图 1.3)的贮液球在单位时间、单位表面上所散发的热量,其单位用 $\text{mcal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 表示。

卡它度可通过测定卡它湿度计的液柱由 38 °C 降到 35 °C 所需时间(τ) 求出

$$H = Y / \tau \quad (1.2)$$

式中 H ——卡它度;

Y ——卡它计常数;

τ ——由 38 °C 降到 35 °C 所需时间, s。

卡它度分湿卡它度和干卡它度两种,湿卡它度包括对流、辐射和蒸发三者综合的散热效果,干卡它度仅包括对流和辐射的散热效果。一般说来,卡它度的值越大,散热条件越好。根据现场观察,不同劳动条件对卡它度的要求如表 1.8 所示。

表 1.8 不同劳动条件的卡它度要求

劳动状况	轻微劳动	一般劳动	繁重劳动
干卡它度	76	78	710
湿卡它度	718	725	730

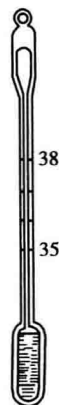


图 1.3 卡它温度计