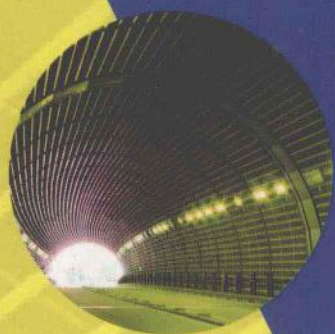




“十二五”国家重点图书出版规划项目
中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

Modern Tunneling Ventilation Technology

现代隧道施工通风技术

杨立新 洪开荣 刘招伟 罗占夫 等 © 编著



人民交通出版社
China Communications Press



“十二五”国家重点图书出版规划项目
中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

Modern Tunneling Ventilation Technology

现代隧道施工通风技术

杨立新 洪开荣 刘招伟 罗占夫 等 © 编著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书对现代隧道施工通风技术进行了系统总结,既有自主研究内容,又有一些专项技术和基础内容,既反映了隧道施工通风的最新成果,又使内容更加全面和完整,以方便广大读者参考。

全书共分十九章,主要内容包括隧道施工作业环境的影响因素及卫生标准,隧道空气流动的基本理论,隧道施工通风方式、通风计算、通风设备及选型,隧道自然通风,隧道施工射流巷道通风和隔板风道通风技术,隧道 TBM 施工通风技术,瓦斯隧道、高原隧道和热害隧道施工通风技术,隧道施工通风数值模拟,隧道施工自动控制通风技术,通风检测及作业环境监测,隧道施工通风管理技术,隧道施工中的粉尘控制技术,隧道施工中内燃机械减排与尾气净化技术,隧道施工通风实例等。

本书可供隧道及地下工程建设领域的工程技术人员使用,同时亦可供相关专业师生作为教学参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代隧道施工通风技术/杨立新等编著. —北京:
人民交通出版社, 2012. 2

ISBN 978-7-114-09621-1

I. ①现… II. ①杨… III. ①隧道施工—隧道通风
IV. ①U453. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 012321 号

书 名: 现代隧道施工通风技术

著 者: 杨立新 洪开荣 刘招伟 罗占夫 等

责任编辑: 刘彩云

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.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 23. 25

字 数: 556 千

版 次: 2012 年 2 月 第 1 版

印 次: 2012 年 2 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-09621-1

定 价: 68. 00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

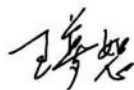
序

近年来,我国隧道施工技术飞速发展,并形成了以钻爆和浅埋暗挖两大方法为代表的有中国特色的施工方法,引领着世界隧道施工技术的进步。当前长大隧道数量急剧增加,且多采用无轨运输施工,如果依靠斜竖井施工将会产生许多问题,而无斜竖井条件下长距离施工通风问题,则成为制约快速施工的难题。本书作者在工程实践中创新的射流巷道式通风技术则能很好地解决双洞隧道或设平导的单洞隧道的施工通风问题。目前,已经创造了无斜竖井情况下无轨运输施工通风长度达 10 公里的纪录。该项技术改变了隧道设计理念,一座座超长双洞隧道或设平导的单洞隧道相继建成。

良好的作业环境是隧道施工的根本保证,也是隧道施工中以人为本理念的重要体现;要创造这样的环境,离不开隧道施工通风技术,但这方面的专业书籍不多,能展示近年发展成果,反映新技术的书更是少见。看过《现代隧道施工通风技术》,感觉它一定会成为这方面的代表性著作。

作者团队成员大多长期从事隧道施工通风技术的研究和专业协作,既有扎实的理论功底,又有丰富的现场经验。他们在多年研究和实践的基础上,对现代隧道施工通风技术进行了系统总结,并编著成书,是对隧道设计和施工技术发展的一大贡献。书中的新理念、新技术和新方法,将把隧道施工通风技术推向一个新高度。

我很愿意将此书推荐给大家,特别是隧道专业的工程技术人员和大专院校的师生,本书对隧道的规划、设计和施工都有很大的指导作用,通过阅读,将大有收获。



2011年11月15日 王少

前 言

在隧道施工中,施工通风虽然不是主打专业,但其重要性是不言而喻的。它是决定特长隧道能否修建的重要因素,通常决定着隧道施工的独头长度和辅助坑道的设置,影响着隧道施工的安全、质量和进度;更为重要的是,它关系着隧道施工作业人员的身心健康。尽管在一些施工现场并未得到应有的重视,但我们相信,随着生活水平的提高、自我保护意识的增强、以人为本理念的深入人心和劳动法的严格执行,人们将会越来越感到隧道施工通风的重要性。

中铁隧道集团作为地下工程施工的专业化集团,引领着隧道施工技术的发展,在每个专业技术领域都有专门的研究团队,隧道施工通风技术的研究主要由隧道通风学科负责。隧道通风学科是一个十多人的研究团队,长期以来,一直坚守着自己的专业领域,致力于隧道通风技术的发展,先后开展了几十个项目的研究,取得了众多成果。在开展研究的同时,还深入隧道施工现场,进行专业协作,推广通风技术;专业协作为我们提供了大量的研究试验平台,使我们的研究能力和水平得到进一步提升,许多有价值的成果相继出现,并能很快应用到施工现场,每项成果,都在一定程度上推动了隧道施工通风技术的发展。在众多成果中,对隧道施工通风影响最大的是拉链软风管和射流巷道通风技术。当时使用的通风管主要是铁风管和钢圈接头的软风管。铁风管成本高,漏风大,安装运输极为不便;钢圈接头的软风管虽然成本不高,但漏风严重,风阻大,不利于长距离通风。我们研制的拉链软风管成本低,风阻小,漏风少,安装运输方便。拉链软风管的出现大大推动了通风技术的进步,独头通风长度的纪录不断被刷新,铁风管和钢圈接头的软风管很快被淘汰,目前拉链软风管被广泛应用;射流巷道通风技术优点突出,节能效果明显,适用于双洞隧道或有平导的单洞隧道,该技术先后在华蓥山、青山、圆梁山、野三关等隧道中应用,取得了非常好的效果,目前国内类似隧道都在应用,该技术对铁路隧道的设计理念也产生了很大影响。

为了更好地推广应用这些技术,中铁隧道集团专门立项,开展研究,对现代隧道施工通风技术进行系统地总结。项目由杨立新负责,主要研究人员有洪开荣、刘招伟、罗占夫、赵军喜、李永生和肖元平。在形成专著的过程中,除项目研究内容之外,又增加了一些专项技术和基础内容,以反映隧道施工通风的最新成果,并方便更多的读者,同时使内容更加全面和完整。

全书共分十九章,第1、2章为本书的基础内容,与隧道施工通风息息相关,是通风技术人员需要了解的内容,第1章首先介绍了隧道施工环境的影响因素,接着在综合分析国内外卫生标准的基础上,对执行中一直存在争议的卫生标准提出了建议;第2章主要介绍与隧道通风相关的空气流动的基本理论;第3、4、5章为施工通风重要的内容,与隧道通风方案制订密切相关,主要包括通风方式、通风计算、通风设备和设备选型的方法;第6章为一特殊的章节,介绍

非机械动力下的隧道自然通风,使读者有一个比较全面的认识,以便更好地加以利用,实现节能的目的;第7、8章为专项技术,详细介绍了射流巷道通风和隔板风道通风两种通风技术,射流巷道通风已广泛应用,隔板风道通风也开始在现场应用;第9章是针对TBM施工隧道,主要结合TBM施工的特点,详细介绍了相应的通风技术;第10、11、12章为一些关于特殊隧道的施工通风技术,主要包括瓦斯隧道、高原隧道和热害隧道,这些隧道特点突出,通风技术各不相同;第13章为隧道施工通风数值模拟,主要用于隧道施工通风定量分析计算和效果模拟,是施工通风研究的重要手段;第14章为隧道施工自动控制通风技术,它是隧道通风的发展方向 and 实现通风节能的有效途径;第15章为隧道施工通风中常用的检测或监测方法,对各种具体方法进行了介绍;第16章为隧道施工通风的管理技术,是专业化施工通风管理的有效方法;第17章为隧道施工中的粉尘控制技术,主要介绍控制隧道粉尘的几种方法和个人防护,是预防矽肺病的重要措施;第18章为隧道施工中内燃机械减排与尾气净化技术,主要是为解决无轨运输施工隧道的通风难题,寻求一种新的途径;第19章主要介绍了一些隧道施工通风工程实例,供读者参考。

本书第1~7章、第9章和第15~18章,共计十二章,由杨立新完成;第10~12章,由罗占夫完成;第8章由李永生完成;第14章由赵军喜和苟红松共同完成;第13章由赵海恒和杨立新共同完成;第19章由杨立新、罗占夫和李永生共同完成;最后统稿工作由杨立新、洪开荣和刘招伟负责。本书的作者大多是隧道施工通风方面的专家,长期从事研究和专业协作工作,具有丰富的经验。

本书是对现代隧道施工通风技术的系统总结,既有基础理论、常用技术和一般方法,又包含了许多新技术、新方法和新理念。我们相信,本书对隧道施工通风及相关工程技术人员将大有帮助,对隧道施工通风研究人员也会有所裨益;同时我们也希望本书能推动隧道施工通风技术的发展和进步。

本书在编著过程中,吴元金、王栋、赵希望、冯亮、尹龙等牺牲了许多休息时间,做了大量工作,在此表示衷心的感谢!

本书虽历时多年,反复讨论,几经修改,但错误之处在所难免,希望读者多提宝贵的意见,以便裨补缺漏,使之不断完善。

杨立新

2011年10月30日

目 录

第 1 章 隧道施工作业环境的影响因素及卫生标准	1
1.1 作业环境的影响因素	1
1.2 隧道施工环境中的卫生标准	12
第 2 章 隧道空气流动的基本理论	21
2.1 空气的主要物理参数	21
2.2 管道内空气的运动状态	24
2.3 风流的能量与压力	27
2.4 空气流动的三个基本方程	31
第 3 章 隧道施工通风方式	35
3.1 基本通风方式	35
3.2 常见隧道及辅助坑道条件下的通风方式	38
第 4 章 隧道施工通风计算	53
4.1 风量计算	53
4.2 管路漏风计算	62
4.3 管路的通风阻力计算	64
4.4 通风网络	66
第 5 章 隧道施工通风设备与选择	76
5.1 通风机	76
5.2 通风管	88
5.3 通风设备的选择	91
第 6 章 隧道自然通风	98
6.1 隧道自然风流	98
6.2 常见情况下的隧道自然通风	100
第 7 章 隧道施工射流巷道通风技术	105
7.1 射流巷道通风的基本原理及方法	106
7.2 计算方法	108

7.3 横通道的风流控制	114
第8章 隧道施工隔板风道通风技术	121
8.1 隔板风道通风的原理及方法	121
8.2 隔板风道通风的能耗分析	126
8.3 隔板风道通风的网络计算与分析	133
第9章 隧道 TBM 施工通风技术	136
9.1 通风方式	136
9.2 需风量	137
9.3 通风系统	138
第10章 瓦斯隧道施工通风技术	145
10.1 隧道瓦斯爆炸及预防	145
10.2 瓦斯隧道施工通风方案	148
10.3 揭煤通风	154
10.4 瓦斯超限通风	155
10.5 瓦斯与非瓦斯工区贯通通风	159
第11章 高原隧道施工通风技术	160
11.1 高原环境的气候参数	160
11.2 高原隧道施工通风特点	162
11.3 高原隧道施工增氧通风	167
第12章 热害隧道施工通风技术	174
12.1 高温隧道通风	174
12.2 高寒隧道通风	194
第13章 隧道施工通风数值模拟	204
13.1 隧道施工通风数值模拟方法	204
13.2 渐变流量通风管道流量计算	218
13.3 隧道施工通风中污染物浓度计算	221
13.4 隧道施工通风数值模拟实例	223
第14章 隧道施工自动控制通风技术	234
14.1 隧道施工通风自动控制系统	234
14.2 通风机变频调速技术	236
14.3 自动通风系统 PLC 及模糊 PID 控制	241
14.4 现场应用试验	249

第 15 章 通风检测及作业环境监测	258
15.1 通风检测	258
15.2 作业环境监测	298
第 16 章 隧道施工通风管理技术	305
16.1 管理机构及工作制度	305
16.2 通风技术管理	306
16.3 通风管路管理	307
16.4 通风机管理	308
16.5 监测管理	308
16.6 通风应急处理	309
第 17 章 隧道施工中的粉尘控制技术	311
17.1 通风除尘	311
17.2 喷雾洒水除尘	314
17.3 除尘器除尘	315
17.4 减少粉尘产生的措施	319
17.5 个体防护	319
第 18 章 隧道内燃机械减排与尾气净化技术	320
18.1 隧道内燃机械减排	320
18.2 利用静电除尘技术净化隧道中的尾气	323
第 19 章 隧道施工通风实例	331
19.1 圆梁山隧道施工通风	331
19.2 野三关隧道进口施工通风	333
19.3 三联隧道 1 号斜井施工通风	334
19.4 猫头岭隧道出口施工通风	336
19.5 寺铺尖隧道进口工区施工通风	337
19.6 杭州西区输水隧洞进口施工通风	338
19.7 秦岭 I 线隧道施工通风	340
19.8 华蓥山隧道东口施工通风	341
19.9 乌鞘岭隧道大台竖井施工通风	344
19.10 关角隧道 7 号斜井施工通风	348
19.11 太行山隧道 8 号斜井施工通风	353
19.12 北京地铁直径线 ZJX-2 标盾构施工通风	356
参考文献	358



第1章 隧道施工作业环境的影响因素及卫生标准

隧道施工必须有一个好的作业环境,因为它关系到隧道施工的质量、安全、效率和工人的身心健康,欲创造良好的作业环境,就必须对影响作业环境的相关因素和卫生标准有一个相当的了解。

1.1 作业环境的影响因素

1.1.1 新鲜空气

空气是多种气体的混合物,它通常含有恒定、可变和不定三种成分。恒定成分是指氮气、氧气和氩、氦、氖、氙等稀有气体,可变成成分指二氧化碳和水蒸气,不定成分是指污染物。以体积含量计,氧约占 20.95%,氮约占 78.08%,稀有气体占 0.93%,二氧化碳占 0.03%,其他气体和杂质占 0.01%。试验证明,空气中恒定成分的含量百分比,在离地面 100km 高度以内几乎是不变的。

当空气中的恒定成分含量与正常值相符、可变成成分含量在正常变化范围内、无不定成分,且空气中含有相当数量的负离子时,这样的空气人们称之为新鲜空气。

在隧道施工通风中所说的新鲜空气,是指成分与隧道外空气相同或相近的空气。

1.1.2 有害物质

在隧道施工中,不可避免地会产生一些有害物质,并排放到隧道空气中,造成对隧道空气的污染,严重地损害隧道内作业人员的身心健康。这些有害物质可分为气体、粉尘和噪声三大类。有害气体主要包括一氧化碳、二氧化氮、一氧化氮、二氧化碳、二氧化硫、硫化氢和瓦斯等。

1) 有害气体

(1) 一氧化碳

一氧化碳 (Carbon Monoxide, CO) 为无色、无味、无刺激性的气体,分子量为 28,密度为 1.25kg/m^3 ,熔点为 -205°C ,沸点为 -191°C ,在水中的溶解度很低,但易溶于氨水。

一氧化碳为可燃气体,当与空气混合的体积浓度为 12.5%~74.2%时,遇明火会发生爆



炸,30%时爆炸力最强。

一氧化碳对人体的影响,主要是一氧化碳进入人体后会和血液中的血红蛋白结合,使血红蛋白不能与氧气结合,而引起机体组织缺氧,导致人体中毒,甚至窒息死亡。

一氧化碳对人体的影响除与其浓度有关外,还与人体暴露在一氧化碳中的时间有关,一氧化碳的浓度与暴露时间的乘积称为一氧化碳的剂量。空气中不同剂量的一氧化碳对人体的影响见表 1-1。

一氧化碳对人体的影响 表 1-1

CO 剂量		主 要 症 状
(mg/m ³ ×h)	(ppm ^① ×h)	
<375	<300	无影响
<750	<600	多少有些异常感
<1125	<900	头疼、呕吐
<1500	<1200	生命危险

一氧化碳主要来源为放炮作业、内燃设备的尾气、洞内火灾、瓦斯爆炸和有机物氧化等。

(2)二氧化氮

二氧化氮(Nitrogen Dioxide, NO₂)为浅红棕色具刺激性气体,分子量为 46,蒸气密度为 2.04kg/m³,液体密度为 1450kg/m³,熔点为-11.2℃,沸点为 21.2℃,能溶于水。

二氧化氮是一种强氧化剂,在 17℃以下经常是两个分子结合在一起,所以又称四氧化二氮或过氧化氮(N₂O₄),为非可燃性气体,不具有爆炸性,但能助燃。

二氧化氮主要损害呼吸道。吸入气体初期仅有轻微的眼及上呼吸道刺激症状,如咽部不适、干咳等;常经数小时至十几小时或更长时间潜伏期后发生迟发性肺水肿、成人呼吸窘迫综合征,出现胸闷、呼吸窘迫、咳嗽、咳泡沫痰、紫绀等,可并发气胸及纵隔气肿,肺水肿消退后两周左右可出现迟发性阻塞性细支气管炎;长期吸入低浓度的二氧化氮可引起神经衰弱综合征及慢性呼吸道炎症,个别病例出现肺纤维化,也可引起牙齿酸蚀症。不同浓度二氧化氮对人体的影响见表 1-2。

二氧化氮对人体的影响 表 1-2

NO ₂ 浓度		主 要 症 状
(mg/m ³)	(ppm)	
10	5	闻到强烈的臭味
20~51	10~25	对耳、鼻、喉有刺激
103	50	1min 时引起呼吸不畅
164	80	3~5min 引起胸疼
>411	>200	瞬时暴露时,有生命危险或死亡

二氧化氮的主要来源为放炮作业、内燃设备的尾气、洞内火灾和焊接等。

(3)一氧化氮

一氧化氮(Nitric Oxide, NO)为无色、无味气体,分子量为 30,密度为 1.34kg/m³,熔点为

① 1ppm=10⁻⁶。

—163.6℃,沸点为-151.8℃,能溶于水、醇和硫酸。

在大气中很容易与氧发生反应生成二氧化氮,为非可燃性气体,不具有爆炸性,但能助燃。

一氧化氮在空气中很快转变为二氧化氮,对人体的危害与二氧化氮相同。皮肤接触,无明显反应;眼睛接触,有刺激性。

一氧化氮的主要来源为放炮作业、内燃设备的尾气、洞内火灾和焊接等。

(4) 硫化氢

硫化氢(Hydrogen Sulfide, H_2S)常温下为无色气体,有刺激性(臭鸡蛋)气味,分子量为34,密度为 $1.54\text{kg}/\text{m}^3$,熔点为-85.5℃,沸点为-60.4℃,溶于水、乙醇。溶于水(溶解比例1:2.6)称为氢硫酸(硫化氢未跟水反应),比空气重,能在较低处扩散到相当远的地方。

硫化氢为易燃气体,当与空气混合的体积浓度为4.3%~46%时,遇明火会发生爆炸,燃点为60℃,能与浓硝酸、发烟硫酸或其他强氧化剂剧烈反应,发生爆炸。

燃烧(分解)产物为二氧化硫,氧不足时为硫,化学方程式为:



硫化氢不稳定,加热条件下发生可逆反应,化学方程式为:



硫化氢能对人体呼吸器脏内黏膜造成直接损害,对视网膜、视觉细胞造成直接杀伤,对听觉、听力传输及神经中枢末梢造成直接麻痹和摧毁,使人体肝、脾、心、肺等脏器功能迅速衰竭,进而导致快速死亡。不同浓度的硫化氢对人体的影响见表1-3。

硫化氢对人体的影响

表 1-3

H ₂ S 浓度		主 要 症 状
(mg/m ³)	(ppm)	
0.038	0.025	嗅觉灵敏的人能闻到臭味
0.455	0.3	不管是谁都可闻到臭味
4.55~7.59	3~5	臭味强烈,颇感不舒适
30~46	20~30	臭味强烈,时间较久感觉不出
106~228	70~150	长时间内,眼、鼻黏膜、喉等有灼热般疼痛
258~455	170~300	1h左右是承受的限度
911	600	30min内有生命危险
1062	700	数分钟内失神、呼吸停止、窒息死亡
1518	1000	昏倒、呼吸麻痹、窒息死亡
7589	5000	即死

硫化氢的主要来源为从地层和泉水中涌出、含硫煤的分解等。

(5) 二氧化硫

二氧化硫(Sulfur Dioxide, SO_2)别名亚硫酸酐,常温下为无色有刺激性气味的气体,分子量为 64,密度为 2.91kg/m^3 ,密度比空气大,熔点为 -75.5°C ,沸点为 -10°C ,易液化,易溶于水,溶解度见表 1-4。

溶解度与温度的关系

表 1-4

温度($^\circ\text{C}$)	0	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
溶解度 (g/100mL)	22	15	11	9.4	8	6.5	5	4	3.5	3.4	3.5	3.7

二氧化硫为非可燃性气体,不具有爆炸性,不助燃。

二氧化硫具有酸性,可与空气中的其他物质反应,生成微小的亚硫酸盐和硫酸盐颗粒。当这些颗粒被人体吸入后,将聚集于肺部,是呼吸系统症状和疾病、呼吸困难、过早死亡的一个原因。

二氧化硫与飘尘一起被吸入,飘尘气溶胶微粒可把二氧化硫带到肺部使毒性增加 3~4 倍。若飘尘表面吸附金属微粒,在其催化作用下,使二氧化硫氧化为硫酸雾,其刺激作用比二氧化硫增强约 1 倍。长期工作在污染的环境中,由于二氧化硫和飘尘的联合作用,可促使肺泡纤维增生,如果增生范围波及广泛,形成纤维性病变,发展下去可使纤维断裂形成肺气肿。不同浓度的二氧化硫对人体的影响见表 1-5。

二氧化硫对人体的影响

表 1-5

SO_2 浓度		主要症状
(mg/m^3)	(ppm)	
0.86~2.86	0.3~1	可感到一种味道
8.6	3	易闻到臭味
17~34	6~12	对鼻、喉有刺激
57	20	刺激眼睛
143~286	50~100	可承受 30~60min
1143~1429	400~500	有生命危险

二氧化硫的主要来源为煤层瓦斯、含硫高的炸药爆破和内燃设备的尾气等。

(6) 二氧化碳

二氧化碳(Carbon Dioxide, CO_2)在通常状况下是一种无色、无味的气体,能溶于水,分子量为 44,密度为 1.94kg/m^3 ,固态二氧化碳俗称干冰。

一般情况下,二氧化碳不能燃烧也不支持燃烧,更不具有爆炸性,但能与水反应生成碳酸,化学方程式为:



二氧化碳本身无毒,但当人吸入高浓度的二氧化碳时,会出现昏迷及脑缺氧情况,称为二氧化碳中毒。空气中不同浓度的二氧化碳对人体的影响见表 1-6。

二氧化碳对人体的影响

表 1-6

CO ₂ 浓度		主 要 症 状
(mg/m ³)	(ppm)	
10804	5500	在 6h 暴露中无异常
19643~39286	10000~20000	引起不舒适
58929~78571	30000~40000	刺激呼吸中枢、呼吸增快、脉搏加速、血压上升、头晕
117857	60000	呼吸困难
137500~196429	70000~100000	数分钟内意识模糊、发绀、死亡

二氧化碳的主要来源为人员呼吸、爆破、火灾、煤层瓦斯和内燃设备的尾气等。

(7) 瓦斯

广义的瓦斯(Gas)是隧道内各种有害气体的总称,其主要成分是烷烃,其中甲烷(CH₄)占绝大多数,另有少量的乙烷、丙烷和丁烷,一般还含有硫化氢、二氧化碳、氮和水蒸气,以及微量的惰性气体,如氦和氩等。

狭义的瓦斯是指甲烷(CH₄),是一种无色、无味的气体,对空气的相对密度是 0.554,在标准状态下瓦斯的密度为 0.716kg/m³,渗透能力是空气的 1.6 倍,难溶于水。

瓦斯不助燃也不能维持呼吸,达到一定浓度时,能使人因缺氧而窒息,并能发生燃烧或爆炸。当空气中氧气浓度达到 10%时,若瓦斯浓度在 5%~16%,遇明火或者温度为 650~750℃时,会引起爆炸,浓度为 9.5%时爆炸威力最大,当浓度大于 16%时,燃烧不爆炸,浓度在 30%左右时,能安静的燃烧。

瓦斯对人体的危害主要取决于瓦斯中有害气体的成分和含量,成分不同危害不同,含量越大危害越大。另外,瓦斯浓度过大时,使氧气含量过低,会使人窒息死亡。

瓦斯主要来源于煤层或岩层,在煤体或岩体中以游离状态和吸附状态存在。

2) 粉尘

粉尘(Dust)是指悬浮在空气中的固体微粒。国际标准化组织规定,粒径小于 75μm 的固体悬浮物为粉尘。也有将粒径小于 100μm 的固体悬浮物称为粉尘的。根据粉尘微粒的大小可分为:

(1)飘尘,系指大气中粒径小于 10μm 的固体微粒,它能较长期地在大气中漂浮,有时也称为浮游粉尘,也被称为可吸入颗粒物,英文缩写为 PM10。

(2)降尘,系指大气中粒径大于 10μm 的固体微粒,在重力作用下,它可在较短的时间内沉降到地面。

(3)总悬浮微粒,系指大气中粒径小于 100μm 的所有固体微粒,也被称为总悬浮颗粒物,英文缩写为 TSP。

在大气中粉尘的存在是保持地球温度的主要原因之一,大气中过多或过少的粉尘将对环境产生灾难性的影响,但在生活和工作中,生产性粉尘对人体健康造成危害,是诱发多种疾病的主要原因。

粉尘对人体的危害主要与其成分和粒径大小有关。含有毒成分(铬、锰、镉、铅、汞、砷等)的粉尘,当人体吸入后,会使人体中毒;小于 5μm 的微粒,极易深入肺部,引起矽肺病,有时还

会引起肺癌。沉积在肺部的污染物一旦被溶解,就会直接侵入血液,引起血液中毒,未被溶解的污染物,也可能被细胞所吸收,导致细胞结构的破坏。

粉尘的主要来源为爆破、喷浆、出渣、岩石破碎和内燃设备尾气等。

3) 噪声

(1) 概念和表示方法

噪声(Noise)是一类引起人烦躁或音量过强而危害人体健康的声音。噪声的大小用声压级表示,其单位为分贝(dB)。

所谓声压级,就是以 1000Hz 纯音的听阈声压为基准声压。对于一个被测声压,将其声压与基准声压的比值取对数,即为该声音的声压级。即

$$L_p = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (1-1)$$

式中: L_p ——声压级(dB);

p ——被测声压(Pa);

p_0 ——基准声压(Pa),取 $p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 。

对噪声最主要的评价量有 A 声级和等效连续 A 声级。

①A 声级。在测量仪器中,对不同频率的客观声压级人为地给予适当的增减,这种修正方法称为频率计权,实现这种频率计权的网络称为计权网络。通常有 A、B、C、D 四种计权网络,经过计权网络测得的声级称为计权声级,是衡量噪声强弱的主观评价量。A 声级是指用声级计的 A 计权网络测得的声级,单位为分贝,记作 dB(A)。它能够较好地反映人对噪声的主观评价。A 声级广泛应用于噪声计量中,已经成为国际标准化组织和绝大多数国家评价噪声的主要指标。

②等效连续 A 声级。A 声级很好地反映了噪声影响与频率的关系,对于稳态的噪声,即随时间变化不大的噪声,我们通常可以采用 A 声级来评价。等效声级是以 A 声级为基础建立起来的非稳态噪声的噪声评价量,它是以 A 声级的稳态噪声代替变动噪声,在相同的暴露时间内能够给人以等数量的声能,这个声级就是该变动噪声的等效声级,又称等效 A 声级,或简称等效声级。等效连续 A 声级指在某段时间内的不稳态噪声的 A 声级,用能量平均的方法,以一个连续不变的 A 声级来表示该时段内噪声的声级,又称等能量 A 声级。等效连续 A 声级 L_{eq} 可表示为:

$$L_{eq} = 10 \lg \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1 L_A} dt \quad (1-2)$$

式中: T ——总测量时间(h);

L_A ——A 声级[dB(A)]。

(2) 对人的危害

①干扰休息和睡眠、影响工作效率。休息和睡眠是人们消除疲劳、恢复体力和维持健康的必要条件,但噪声使人不得安宁,难以休息和入睡。噪声超过 85dB,会使人感到心烦意乱,无法专心地工作,导致工作效率降低。

②损伤听觉、视觉器官。强的噪声可以引起耳部的不适,如耳鸣、耳痛、听力损伤。噪声除

影响听力外,还影响视力。长时间处于噪声环境中的人很容易发生视疲劳、眼痛、眼花和视物流泪等眼损伤现象。同时,噪声还会使色觉、视野发生异常。调查发现噪声使红、蓝、白三色视野缩小 80%。

③对人体的生理影响。噪声是心血管疾病的危险因子,会加速心脏衰老,增加心肌梗塞发病率,损害心血管。女性受噪声的威胁,会出现月经失调、流产及早产等现象,对女性生理机能造成损害。噪声还可以引起如神经系统功能紊乱、精神障碍、内分泌紊乱,在噪声环境中工作时事故率会升高。

(3) 主要来源

隧道施工中噪声的主要来源是爆破、喷浆、出渣、岩石破碎、内燃设备、风机和空气压缩机等。

1.1.3 隧道气候

隧道施工作业环境下的小气候,称之为隧道气候。隧道气候的主要参量有隧道内空气的温度、湿度和风速。这三者的不同组合,构成了隧道不同的气候条件。隧道气候条件的好坏直接影响着隧道作业人员的身心健康和安全。

1) 空气的温度

(1) 概念及其表示方法

空气的温度是表示空气冷热程度的物理量。常用的表示方法有开氏温度(绝对温度)、摄氏温度和华氏温度。开氏温度(T)的单位为 K,摄氏温度(t)的单位为℃,华氏温度(t)的单位为°F。

摄氏温度 1℃ 和开氏温度 1K 的分度是相等的,两者的关系为

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.15 \quad (1-3)$$

摄氏温度 1℃ 和华氏温度 1°F 的分度是不相等的,两者的关系为

$$t(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}[t(^{\circ}\text{F}) - 32] \quad (1-4)$$

(2) 对人体的影响

最适宜的隧道内空气温度是 15~20℃,气温过高或过低,对人体都有不良的影响。

① 低温

对人的工作效率有不利影响的低温,通常是在 10℃ 以下。在低温环境下,人体中心体温低于 35℃ 时,即处于过冷状态。低温对人体的影响表现为:

a. 引起局部冻伤,与人在低温环境中暴露时间长短有关。

b. 产生全身性影响。人体在低温环境中暴露时间不长时,能依靠自身的温度调节系统,使人体深部温度保持稳定。但暴露时间较长时,中心体温逐渐降低,就会出现呼吸和心率加快、颤抖、头痛等一系列的低温症状。当中心体温降到 30~33℃ 时,肌肉由颤抖变为僵直,失去产热的作用,将会发生死亡。长期在低温高湿条件下劳动(如冷冻库工人)易引起肌痛、肌炎、神经痛、神经炎、腰痛和风湿性疾患等。

② 高温

在高温环境下,皮肤温度随周围环境温度的升高而迅速升高,机体只能通过蒸发散热,大量出汗会导致失水,出汗过多也会导致水盐代谢障碍。高温环境还会使心脏输血量增大,使外

周血管扩张,血流从内脏转移到皮肤和肌肉,从而影响内脏血液供应,进一步引起消化系统、泌尿系统、神经系统、内分泌系统乃至生化和免疫系统功能的改变。

长时间的高温环境暴露会引起热病,包括全身性的中暑、热衰竭、皮肤病和精神障碍等,当环境温度高于 33.3℃ 时,环境热病的危险性增高,发病率随最低气温增加而增加。当皮肤温度达到 41~44℃ 时即会感到灼痛,若温度继续升高即会产生烫伤,甚至死亡。

人在 28~32℃ 下工作,肌肉用力的工作效率下降,并且促使人体疲劳加速。当温度高达 32℃ 以上时,需要较大注意力的工作及精密工作的效率会受到影响。高温作业环境条件下不仅引起人体不适,影响身体健康,还会随着温度升高和气流速度降低,作业效率明显降低。

另外,事故发生率与温度有关。据研究,意外事故率最低的温度为 20℃ 左右,温度高于 28℃ 或降到 10℃ 以下时,意外事故增加 30%。

(3) 影响隧道内空气温度的主要因素

隧道内空气的温度除与大气温度有关外,还受地层温度、施工机械散热、爆破、混凝土水化热、地下水、通风和照明等的影响。

① 地层温度。隧道内空气的温度与地层温度直接相关。地表温度是随地面气温的变化而变化的,随着深度的增加,地温随气温变化的幅度则逐渐减小,当达到一定深度时,地温不再变化。地层温度分为三带:

变温带——随地面气温的变化而变化的地带。夏季地层从空气中吸热而使地温升高,冬季则相反。

恒温带——地表下地温常年不变的地带。恒温带的深度一般为 20~30m,恒温带的温度接近于当地的年平均气温。

增温带——恒温带以下地带。随深度的增加成正比增加,不同深度处的地层温度可按下式计算:

$$t = t_0 + G(Z - Z_0) \quad (1-5)$$

式中: t_0 ——恒温带处岩层的温度(℃);

G ——地温梯度,即地层温度随深度变化率(℃/m),常用百米地温梯度,即℃/100m;

Z ——岩层的深度(m);

Z_0 ——恒温带的深度(m)。

② 进入隧道的风量。温度较低的空气流经隧道或工作面时,能够吸收热量,供风量越大,吸收热量越多,起到的降温作用越明显。当空气温度较高时,则起到升温作用。因此,加大通风强度是控制隧道温度的主要措施之一。

③ 地面空气温度的变化。地面气温对隧道气温有直接影响,尤其是埋深较浅的隧道,隧道内空气温度受地面气温的影响更为显著。

④ 地下水的作用。隧道地层中如果有高温热泉,或有热水涌出时,能使作业环境温度升高。当地下水温度较低时,能使作业环境温度降低。

⑤ 爆破作业。隧道的施工爆破,通常会产生大量的热。

⑥ 氧化生热。隧道内硫化矿物和炭质物的氧化,会产生氧化热。

⑦ 混凝土水化热。混凝土凝结时多种物质和水反应,会放出热量。