

VENTILATION AND AIR CONDITIONING
FOR UNDERGROUND SPACE
ENGINEERING

地下工程通风与空调

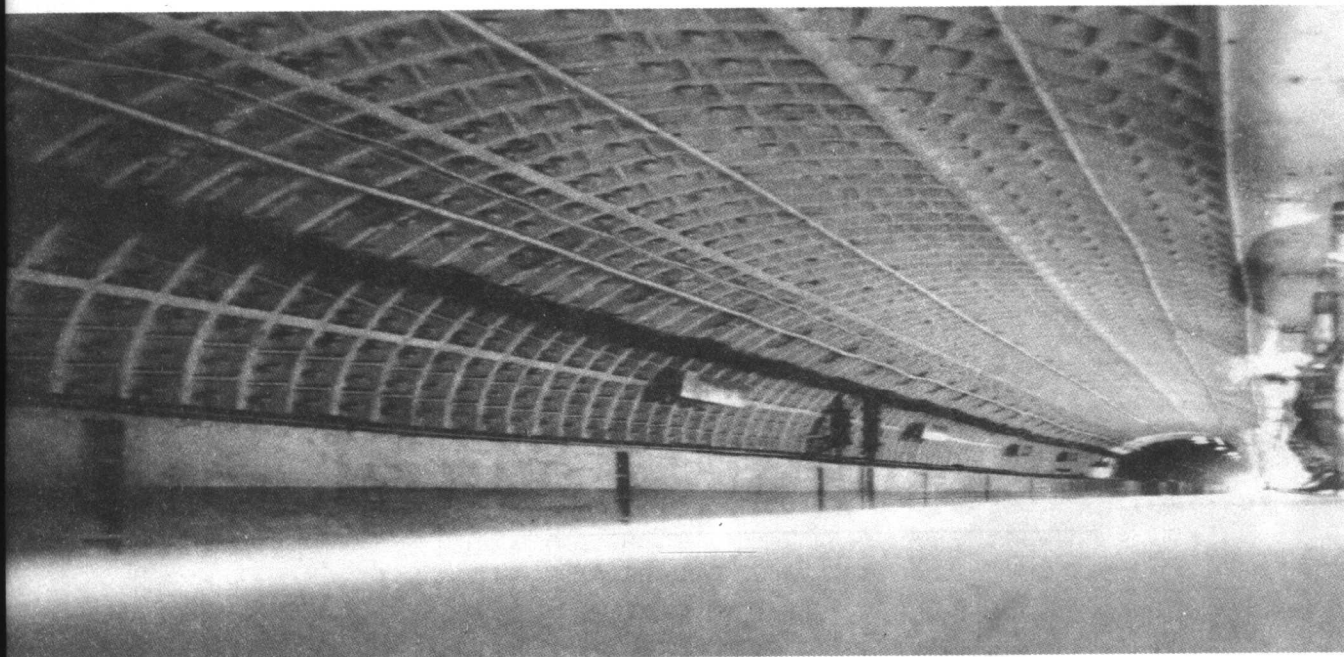
胡汉华
吴 超 编著
李茂楠

地下工程通风与空调

胡汉华

吴超 编著

李茂楠



✦ 中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地下工程通风与空调/胡汉华,吴超,李茂楠编著.

—长沙:中南大学出版社,2005.9

ISBN 7-81105-170-2

I. 地... II. ①胡... ②吴... ③李... III. ①地下
建筑物-通风设备-建筑安装工程-工程施工②地下建
筑物-空气调节设备-建筑安装工程-工程施工

IV. ①TU94②TU83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 094600 号

地下工程通风与空调

胡汉华 吴超 李茂楠 编著

☐责任编辑 秦瑞卿

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 中南大学印刷厂

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 18.25 ☐字数 435 千字

☐版 次 2005 年 11 月第 1 版 ☐2005 年 11 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 7-81105-170-2/TK·001

☐定 价 43.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内容简介

本书从介绍地下工程空气物理学、地下工程内的空气流动规律开始,深入浅出地阐述了地下工程通风与空调的原理,进而系统介绍了地下工程通风与空调的设计计算方法。

全书共分 12 章,包括:概论,地下工程空气物理学,地下工程中的风流运动,地下工程的通风动力,地下工程掘进时的通风,地下工程形成后的通风,交通隧道工程通风,地下工程空气调节系统,地下工程热、湿负荷计算,空气调节过程与控制,地下工程通风与空调设计,新型空调系统。

本书可供城市地下空间工程专业的师生以及从事地下交通工程、隧道工程、市政建设工程等领域的设计施工人员使用和参考。

前 言

发达国家已把城市地下空间的开发利用,作为解决城市人口、环境、资源三大危机的重要措施和医治“城市综合症”、实施城市可持续发展的重要途径。世界发达国家把地下空间看作为新型国土资源,并受到越来越多的重视。向地下要土地、要空间,已成为城市发展的历史必然。较之宇宙城市、海洋城市,地下城市更为现实。实践表明,它是提高土地利用效率与节约土地资源、缓解中心城市建筑高密度、增加城市绿地、保持城市历史文化景观、人车立体分流、疏导交通、扩充基础设施容量、减少环境污染、改善城市生态环境的最有效途径。

地下工程具有许多地面工程无法比拟的优点,但阻碍其发展的重要原因之一是地下工程潮湿,空间狭小。改善地下工程内空气品质的最佳途径是有效地采取通风与空调措施。地下工程通风与空调系统设计的好坏,直接关系着地下工程的使用成败。因而地下工程通风与空气调节技术的发展是城市地下空间工程开发的重要前提。

本书是根据我国高等院校“城市地下空间工程”专业教学计划和《地下工程通风与空气调节》课程的教学大纲要求编写的。全书包括地下工程空气物理学、风流的基本性质及测定方法、地下工程形成后的通风、地下工程掘进时的通风、交通隧道的通风、地下工程通风系统和风量计算、地下工程的热湿负荷计算和地下工程空气调节。本书作者曾于1995年编撰了《地下工程通风与空调》一讲义作为原城市地下建筑工程专业的选修课教材,并应用近十年。本书是在原讲义的基础上加以拓宽、充实、更新和修正而成的。因此,本书具有较好的教学实践基础。

由于我国近十多年来未出版过这类教学用书,可供参考的教材和专著较少,加之编写时间非常仓促以及编者的水平所限,缺点和错误在所难免,望读者批评指正,以便再版时改正。

作 者

2005年7月

目 录

第1章 概 论

- 1.1 城市地下空间工程的发展趋势····· (1)
- 1.2 地下空间工程的特点····· (5)
- 1.3 地下空间工程通风与空调的作用····· (6)

第2章 地下工程空气物理学

- 2.1 空气的物理性质与状态变化····· (8)
- 2.2 地下工程中的热湿交换····· (17)
- 2.3 地下工程中的有害物质及安全标准····· (27)
- 2.4 本章练习····· (32)

第3章 地下工程中的风流运动

- 3.1 空气压力及测定····· (33)
- 3.2 风流的流动(运动)状态····· (38)
- 3.3 风流的流速及测定····· (39)
- 3.4 风流的流动(运动)形式····· (43)
- 3.5 风流运动的能量方程式····· (45)
- 3.6 有热湿交换的风流能量方程式····· (48)
- 3.7 风路的通风阻力····· (52)
- 3.8 本章练习····· (56)

第4章 地下工程的通风动力

- 4.1 自然风压的形成及计算····· (59)
- 4.2 扇风机的构造与分类····· (62)
- 4.3 扇风机的个体特性曲线····· (64)
- 4.4 扇风机参数的比例定律····· (69)
- 4.5 扇风机联合作业····· (71)
- 4.6 通风设备选择····· (75)
- 4.7 扇风机的工况调节····· (76)
- 4.8 本章练习····· (77)

第5章 地下工程掘进时的通风

- 5.1 局部通风的方法····· (82)
- 5.2 局扇通风计算····· (84)
- 5.3 长风道、竖井掘进时的通风····· (89)

5.4	本章练习	(91)
第6章	地下工程形成后的通风	
6.1	地下风道和硐室的通风管道布置形式	(93)
6.2	地下工程的通风网路	(96)
6.3	地下工程需风量计算	(104)
6.4	本章练习	(111)
第7章	交通隧道工程通风	
7.1	常用的通风方式	(114)
7.2	通风量计算	(118)
7.3	通风阻力计算	(124)
7.4	通风机选择	(125)
7.5	运营隧道防治有害气体的其他措施	(126)
7.6	本章练习	(127)
第8章	地下工程空气调节系统	
8.1	空调系统的基本组成	(128)
8.2	空调系统的形式及分类	(129)
8.3	通风除湿系统	(135)
8.4	中央空调系统	(158)
8.5	空调系统的选用	(163)
8.6	本章练习	(163)
第9章	地下工程热、湿负荷计算	
9.1	围护(岩)结构的传热计算	(164)
9.2	地下工程的风温、风量计算	(181)
9.3	设备、照明和人体等散热量计算	(189)
9.4	湿负荷计算	(199)
9.5	本章练习	(204)
第10章	空气调节过程与控制	
10.1	单风道空调系统的调节方案	(206)
10.2	双风道空调系统的调节方案	(214)
10.3	变风量空调系统的调节方案	(216)
10.4	风机盘管空调器的调节方案	(220)
10.5	风机盘管的新风处理方案	(222)
10.6	本章习题	(223)
第11章	地下工程通风与空调设计	
11.1	地下工程通风与空调设计原则	(225)
11.2	地下工程通风与空调设计的任务与内容	(233)

11.3	地下工程通风量计算	(234)
11.4	地下工程通风与空调设计案例	(236)
11.5	本章练习	(253)
第 12 章 新型空调系统		
12.1	蓄冰空调	(255)
12.2	水源热泵空调	(265)
参考文献		(281)

第1章 概 论

1.1 城市地下空间工程的发展趋势

人类从地球上出现以来已有 300 万年以上的历史,在这段漫长的时期内,地下空间作为人类防御自然威胁以及外敌侵袭的防护设施而被利用。随着科学技术的发展,这种利用也从自然洞穴的利用向着人工洞室发展。到现在,地下空间利用的形态已千姿百态,远远超出为个人生活服务的利用领域,而扩大到为了保持作为集团的居民的生活需要空间。尤其是现代人口向城市集中,使城市人口密集、城市功能恶化。为了保持城市功能及交通所需的空間,人类开始求助于地下。预计地下空间作为人类在地球上安全而舒适生活的补助空间,其利用规模将会日益扩展。

地下空间利用的发展过程与人类的文明历史是相呼应的,大致可以分为四个时代:

第一个时代,原始时代。从人类开始出现到公元前 3000 年的新石器时代,是人类利用地下空间防御自然威胁的穴居时代。这个时代主要用兽骨等工具开挖出洞穴而加以利用。

第二个时代,古代时期。从公元前 3000 年到 5 世纪止,是为城市生活而利用的时代。这个时代也就是所说的文明黎明时代。把这个时代的开发技术说成是今天地下空间技术的基础也不过分。例如在修建埃及金字塔时就开始了地下空间建设。公元前 2200 年间的古代巴比伦王朝为了连接宫殿和寺院修建了长达 1 km 的、横穿幼发拉底河的水底隧道。在古罗马时代也修筑了许多隧道工程,有的至今还在利用。

第三个时代,中世纪时代。从 5 世纪到 14 世纪是欧洲文明的低潮期,建设技术发展缓慢,但由于对铜、铁等金属的需求,进行了矿石开采,故地下开采技术也有了较大发展。

第四个时代,近代和现代。16 世纪以后产业革命开始。这个时期由于炸药的发明和应用,加速了地下工程的发展,如有益矿物的开采、运河隧道的修建以及随着城市的发展开始修建地下铁道、上下水道等,使地下空间利用的范围迅速扩大。

进入 20 世纪 80 年代后,国际隧协提出:“大力开发地下空间,开始人类新的穴居时代”的倡议,得到了广泛的响应。日本提出了利用地下空间把国土扩大 10 倍的设想。各国政府都把地下空间的利用,作为一项国策来推进其发展。

目前,一些发达国家城市地下空间开发利用已具有相当的水平与规模,有的发达国家已开始尝试开发利用 50 ~ 100 m 的深层地下空间。而在我国,一股大规模开发地下空间的热潮也正在兴起。

1.1.1 国外地下空间开发利用的现状

从1863年英国伦敦建成世界上第一条地铁开始,国外地下空间的发展已经历了相当长的一段时间,国外地下空间的开发利用,从大型建筑物向地下的自然延伸发展到复杂的地下综合体(地下街),再到地下城(与地下快速轨道交通系统相结合的地下街系统),地下建筑在旧城的改造再开发中发挥了重要作用。同时地下市政设施也从地下供、排水管网发展到地下大型供水系统,地下大型能源供应系统,地下大型排水及污水处理系统,地下生活垃圾的清除、处理和回收系统,以及地下综合管线廊道(共同沟)。与旧城改造及历史文化建筑扩建相随,在北美、西欧及日本出现了相当数量的大型地下公共建筑:有公共图书馆和大学图书馆、会议中心、展览中心以及体育馆、音乐厅、大型实验室等地下文化体育教育设施。地下建筑的内部空间环境质量、防灾措施以及运营管理都达到了较高的水平。地下空间利用规划从专项规划入手,逐步形成系统的规划。其中以地铁规划和市政基础设施规划最为突出。一些地下空间利用较早和较为充分的国家,如北欧的芬兰、瑞典、挪威和日本、加拿大等,正从城市中某个区域的综合规划走向整个城市和某些系统的综合规划。各个国家的地下空间开发利用在其发展过程中形成了各自独有的特色。

1. 日本

日本国土狭小,城市用地紧张。1930年,日本东京上野火车站地下步行通道两侧开设商业柜台形成了“地下街之端”。至今,地下街已从单纯的商业性质演变为包括多种城市功能的,有交通、商业及其他设施共同组成的相互依存的地下综合体。1973年之后,由于火灾,日本一度对地下街建设规定了若干限制措施,使得新开发的城市地下街数量有所减少,但单个地下街规模却越来越大,设计质量越来越高,抗灾能力越来越强,同时在立法、规划、设计、经营管理等方面已形成一套较健全的地下街开发利用体系。日本地下街的形态分为街道型、广场型和复合型,其规模也依面积大小及商店数目不同分为小型($<3000\text{ m}^2$,商店少于50个),中型($3000\sim10000\text{ m}^2$,商店50~100个),大型($>10000\text{ m}^2$,商店100个以上)。据统计,日本已至少在26个城市中建造地下街146处,日进出地下街的人数达到1200万人,占国民总数的九分之一。日本的地下共同沟在世界上是兴建数量居于前列的国家之一。1981年末,日本全国共同沟总长156.6 km,到21世纪初,达到526 km,日本近年来在新建地区如横滨的港湾21世纪地区及旧城区的更新改造,如名古屋大曾根地区、札幌的城市中心区,都规划并实施了地下空间的开发利用。日本比较重视地下空间的环境设计,无论是商业街,还是步行道在空气质量、照明乃至建筑小品的设计上,均达到了地面空间的环境质量。在地下高速道路、停车场、共同沟、排洪与蓄水的地下河川、地下热电站、蓄水的融雪槽和防灾设施等市政设施方面,日本充分发挥了地下空间的作用。

2. 北美

北美的美国和加拿大虽然国土辽阔,但因城市高度集中,城市矛盾仍十分尖锐。美国纽约市地铁在世界上运营线路最长(443 km),车站数量最多(504个),每天接待510万人次,每年接近20亿人次。纽约中心商业区有五分之四的上班族都采用公共交通。这是因为纽约地铁突出了经济方便和高效率等特点。纽约市大部分地铁站比较朴素,站内一般只铺水泥地面,很少有建筑以外的装饰。论地铁的便利,北京远赶不上纽约。市中心的曼哈顿地区,常

住人口 10 万人,但白天进入该地区人口近 300 万人,多数是乘地铁到达的。四通八达不受气候影响的地下步行道系统,很好地解决了人、车分流的问题,缩短了地铁与公共汽车的换乘距离,同时把地铁车站与大型公共活动中心用地下道连接起来。典型的洛克菲勒中心地下步行道系统,在 10 个街区范围内,将主要的大型公共建筑在地下连接起来。南方城市达拉斯,建设了一个有步行道 29 条的不受夏季高温影响的地下步行道系统,将市内主要公共建筑和活动中心在地下连接起来,休斯敦市地下步行道系统也有相当规模,全长 4.5 km,连接了 350 座大型建筑物。除此之外,美国地下建筑单体设计在学校、图书馆、办公、实验中心、工业建筑中也成效显著。一方面较好地利用地下特性满足了功能要求,同时又合理解决了新老建筑结合的问题,并为地面创造了开敞空间。如美国明尼阿波利斯市南部商业中心的地下公共图书馆、哈佛大学、加州大学伯克利分校、密执安大学、伊利诺伊斯大学等处的地下、半地下图书馆,较好地解决了与原馆的联系和保存了校园的原有面貌。旧金山市中心叶巴布固那地区的莫斯康尼地下会议展览中心的地面上,保留了城市仅存的开敞空间,建设了一座公园。美国纽约市的大型供水系统,完全布置在地下岩层中,石方量达 $1.30 \times 10^6 \text{ m}^3$,混凝土 $54 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。除一条长 22 km,直径 7.5 m 的输水隧道外,还有几组控制和分配用的大型地下洞室,每一级都是一项空间布置上复杂的大型岩石工程。

加拿大的多伦多和蒙特利尔市,也建有很发达的地下步行道系统,以其庞大的规模、方便的交通、综合的服务设施和优美的环境,并保证了那里在漫长的严冬气候下各种商业、文化及其他事务交流活动的进行而享有盛名。多伦多地下步行道系统在 20 世纪 70 年代已有 4 个街区宽,9 个街区长,在地下连接了 20 座停车库、很多旅馆、电影院、购物中心和 1000 家左右各类商店,此外,还连接着市政厅、联邦火车站、证券交易所、5 个地铁车站和 30 座高层建筑的地下室。这个系统中布置了几处花园和喷泉,共有 100 多个地面出入口。北美几个城市的地下步行道系统说明,在大城市的中心区建设地下步行道系统,可以改善交通、节省用地、改善环境、保证了恶劣气候下城市的繁荣,同时也为城市防灾提供了条件,它们的经验是要有完善的规划、设计要先进、管理要严格,其中重要的问题是安全和防灾,系统越大,问题越突出,必须予以足够重视。通道应有足够数量的出入口和足够的宽度,避免转折过多,应设明显的导向标志。

3. 北欧和西欧

北欧地质条件良好,有利于地下空间开发利用,特别是在市政设施和公共建筑方面。负担瑞典南部地区供水的大型系统全部在地下,埋深达 30~90 m,隧道长 80 km,靠重力自流。芬兰赫尔辛基的大型供水系统,隧道长 120 km,过滤等处理设施全在地下。挪威的大型地下供水系统,其水源也实现地下化,在岩层中建造大型贮水库,既节省土地又减少水的蒸发损失。瑞典的大型地下排水系统,不论在数量上还是处理率上,在世界上都是处于领先地位的,例如排水系统的污水处理厂全在地下,仅斯德哥尔摩市就有大型排水隧道 200 km,拥有大型污水处理厂 6 座,处理率为 100%;在其他一些中、小城市,也都有地下污水处理厂,不但保护了城市水源,还使波罗的海免遭污染。瑞典还是首先试验用管道清运垃圾的国家,在 20 世纪 60 年代初开始研制空气吹送系统。1983 年在一个有 1700 户居民的小区内建造一套空气吹送的管道清运垃圾系统,并与回收和处理系统配套建设,3~4 年就可回收投资,预计可以使用 60 年,瑞典斯德哥尔摩地区还有 120 km 长的地下大型供热隧道,很多地区实现集

中供热,并正在试验地下贮热库,为利用工业余热和太阳能节约能源创造有利条件。该市地下有共同沟 30 km,建在岩石中,直径 8 m,战时可作为民防工程。芬兰的地下空间利用除了众多的市政设施外,就是发达的文化体育娱乐设施。临近赫尔辛基市购物中心的地下游泳馆,其面积为 10210 m²,完成时间 1993 年。1987 年完成了精神病医院地下的游泳馆和健身中心。1993 年完成的吉瓦斯柯拉运动中心,面积 8000 m²,服务 14000 居民,内设体育馆、草皮和沙质球赛馆、体育舞蹈厅、摔跤柔道厅、艺术体操厅和射击馆。为了保持库尼南小镇的低密度建筑和绿化的风貌,1988 年建成为 8000 居民服务的 7000 m² 的球赛馆,也建于地下,内设标准的手球厅、网球厅,并有观众看台以及淋浴间、换衣间、存衣间、办公室。里特列梯艺术中心每年吸引 20 万参观者,内设 3000 m² 的展览馆、2000 m² 的画廊,以及有 1000 个座位的高质量音响效果的音乐厅。北欧地下空间的利用与民防工程的结合是其一大特点。巴黎的地下建设了 83 座地下车库,可容纳 43000 多辆车,弗约大街建设有欧洲最大的地下车库,地下四层,可停放 3000 辆车。大量建设停车场是城市正常运转的重要条件,停车场建于地下可节约大量土地。巴黎的地下空间利用为保护历史文化景观做出了突出的贡献。巴黎市中心的卢浮宫是世界著名的宫殿,在无扩建用地、原有的古典建筑必须保持、无法实现扩建要求的情况下,设计者利用宫殿建筑包围的拿破仑广场下的地下空间容纳了全部扩建内容,为了解决采光和出入口布置,在广场正中和两侧设置了三个大小不等的锥形玻璃天窗,成功地对古典建筑进行了现代化改造。巴黎的列·阿莱地区是旧城再开发充分利用地下空间的典范,把一个交通拥挤的食品交易和批发中心改造成一个多功能以绿地为主的公共活动广场,同时将商业、文娱、交通、体育等多种功能安排在广场的地下空间中,形成一个大型地下综合体。该综合体共四层,总面积超过 2.0×10^5 m²。

4. 俄罗斯

俄罗斯也是地下空间开发利用的先进国家,其特点是地铁系统相当发达,莫斯科地铁系统是世界上客运量最高的城市,每年达 26 亿人次,以其建筑上和运营上的高质量而闻名于世,特别是其车站建筑风格,每站都有其特色,各转乘站的建筑布置相当巧妙,在多达四条线路相汇处,乘客可以最少的时间达到换乘的目的。此外俄罗斯的地下共同沟也相当发达,莫斯科地下有 130 km 的共同沟,除煤气管外,各种管、线均有,只是断面较小(3 m × 2 m),内部通风条件也较差。

1.1.2 我国地下空间的利用

我国地下空间利用最早始于西北黄土高原,至今还有 4000 多万人居住在延续数千年的窑洞建筑中,在黄土层中还修建过结构简单和圆筒拱形地下粮库。但是有计划大规模的建设则是 20 世纪 30 年代的事。

我国因现代历史的原因,城市地下空间开发利用,是以人防工程建设为主体,很长一段时间内未纳入城市的整体规划内,因而与城市建设产生了严重的脱节,早期的人防工程布局的不合理且工程质量的低劣,形成了阻碍现代城市正常发展的不利局面。

20 世纪 60 年代、70 年代我国建设了一批地下工厂、早期人防工程和北京、天津地下铁道,80 年代各大城市陆续修建或正在规划着适合我国特点的地下综合体工程,集商业、交通、人行过街和停车场等服务设施于一体,如吉林市大世界地下商场,沈阳市车站广场地下

街等。正在建设的上海市人民广场地下综合体,下层为停车场,上层为商场,共 50000 m²。上海、南京、广州、青岛等城市正在建造或规划建设地下铁道。与此同时,城市高层建筑地下室随着城市中心及居住小区的开发而大量发展。

目前我国城市地下空间的开发工作已经起步。上海市中心已开发的面积近 40000 m² 的地下商城,约占到地下空间的一半。广州市计划利用现有以及规划中的隧道、地铁,建立一个遍布地下的商业网络。深圳市已决定在市中心区地下开发建设建筑面积为 140000 m² 的商业空间。北京除王府井外,中关村西区、西单商业区、西直门交通枢纽等令人关注的建设项目,也正在着手地下空间的开发利用。

城市地下空间是不可再生的宝贵资源,开发城市地下空间一定要有计划性、科学性。1997 年国家建设部颁布《城市地下空间开发利用管理规定》,标志着我国城市地下空间的利用与开发走上规范化道路。

1.2 地下空间工程的特点

1.2.1 地下建筑的优点

地下建筑与地面建筑比较,有以下优点。

1. 地下建筑可以节约用地

根据实践经验,机械加工车间或粮食仓库的占地总面积,建在地面一般是建在地下的 2~3 倍。地下交通线则明显减缓地面交通压力和修建的复杂性。地下建筑可建在陡峭的倾斜地上,使得过去认为不好用的城市高密度地区的倾斜地也能得到充分利用。

2. 地下建筑与环境的相互影响小

地下建筑被巨大的岩体包围,与外部环境完全隔离。这一方面使地下建筑物可用于要求不受环境因素(如噪声、振动、电磁波、光等)影响的用途,同时也可避免产生大量环境破坏因素的地下建筑对外部环境产生影响。

3. 地下建筑具有恒温恒湿性

地下建筑围护结构冷热负荷比地面建筑少。地面建筑围护结构的冷热负荷直接受气温的变化而变化,而地下建筑则不然,由于地下建筑不受太阳辐射热影响,当到达一定深度时,地温受气温影响甚小,因此地下建筑的围护结构冷热负荷均比地面建筑少。人的感受是冬暖夏凉。据国外某些文献记载,地下建筑冬季采暖空调耗热量约为地面同类型工厂的 10%。

4. 地下建筑抗震性能良好

这从理论和实践两方面都有证明。许多抗震研究者都认为地下建筑在地震波作用下,因周围地基土的约束作用,受到了很大阻尼,不会进行过分振动。唐山地区地震后的实际调查,地震在 7~9 级地段,地面建筑倒塌和严重破坏的占 35% 以上,遭到不同程度破坏的占 60% 以上,而地下建筑(浅埋砖结构)只出现小裂缝,其他均完好,深埋地下建筑则完好无损。

5. 地下建筑是防御现代化武器的有效措施

它具有防御核武器杀伤的能力,如防光辐射;防冲击波;口部密闭好时,能有效防止散射

性灰尘侵入;深埋的地下建筑一般能防御炸弹直接命中。采取有效的通风设施和滤毒设备,还具有防御毒气的作用。

1.2.2 地下建筑的缺点

地下空间的开发利用具有设计标准高、建设周期长、施工困难、投资额巨大等特点,城市地下空间是不可再生的宝贵资源。

地下建筑与地面建筑比较,也存在以下缺点:

(1)潮湿。由于地下建筑围护结构表面散湿,又不受太阳的照射,因此比地面建筑潮湿。地下工程的湿源有:施工水,岩层裂隙水,工艺散湿等。

(2)地下建筑的噪声比地面同类型建筑有所增加。地下是一个封闭空间,建筑材料是混凝土、块石或砖墙,吸声效果差;加上人耳对中、高频的声音敏感,所以在地下建筑物中明显地感到噪声大。

(3)造价一般比地面建筑高。据部分地下建筑初步统计,地下建筑的造价为地面建筑的1.7~2.5倍。

1.2.3 地下建筑的分类

地下建筑物的分类按用途可分为工业厂房、仓库、地铁、越江隧道和防空建筑物等;按埋设深度可分为浅埋(6~7 m)和深埋(>7 m);按周围介质不同可分为岩石洞和土洞;按洞体形状可分为天然洞和人工洞,按平面布置大体可分为棋盘式、通道式和直洞等。

1.3 地下空间工程通风与空调的作用

人离不开氧气。地下工程与地面通过有限的出口连接大气,但由于人员呼吸、设备耗氧,工作地点的空气氧含量会逐渐降低,或由于从地层中涌出的气体而造成地下工程内缺氧,这些都必须用通风的办法向地下工程不断地输入新鲜空气。地下工程开挖和掘进过程中一般都必须进行爆破作业,爆破后所产生的炮烟是多种有毒气体的混合物;人员呼出的二氧化碳,人体新陈代谢所散发的汗味和臭气;内燃机排出的尾气,蓄电池充放电时产生的氢气以及地下岩层中涌出的有毒有害气体等等,都要用通风的方法加以稀释排除。同时通风也是治理地下工厂生产过程中所放出的有害物质和粉尘的基本措施。

空气的温度、湿度、风流速度三者综合起来称为气象条件,人员对地下工程的气象条件有一定的要求。因为地下工程中人员和设备不断散发热量和湿量,或因地热、矿岩氧化热使地下空气温度升高;或因为山洞阴凉、巷壁渗水,夏季地表的热空气进入洞内而凝结成雾;或因无风而感到憋闷,或因风速过大,使人体散热过快发冷打颤。这些因素促成地下工程中的空气温度、湿度和风流速度都在不断地发生变化。当气象条件发生显著变化时常使人有不舒适的感觉,为了保证人员舒适,防止机械设备和物质腐蚀损坏,必须通过通风进行散热、除湿和进行必不可少的空气调节。

风流运动的规律是空气由气压高的地方流向气压低的场所。地下工程通风就是利用工程

内外空气压力之差,促使空气按所需的方向和数量流动的一种技术措施。通风的基本任务就是,向地下各工作地点供给足够数量的新鲜空气,稀释和排除各种有害物质(包括炮烟、有害气体和粉尘);空气调节的基本任务则是除湿、调温,保证地下工程内部要求的气象条件,创造舒适的劳动环境。人防工程还要求地下工程内部压力稍高于大气压力,形成“超压”,并具有防原子辐射、防化学毒剂、防细菌危害的“三防”能力。

总之,地下工程具有许多地面工程无法比拟的优点,但阻碍其发展的重要原因之一是地下工程潮湿,空间狭小。改善地下工程内空气品质的最佳途径是有效地采取通风与空调措施。地下工程通风与空调系统设计的好坏,直接关系着地下工程使用的成败。因而地下工程通风与空调技术的发展是城市地下空间工程发展的重要前提。

第2章 地下工程空气物理学

2.1 空气的物理性质与状态变化

2.1.1 空气的物理性质

1. 密度

单位体积空气所具有的质量称为空气的密度(ρ), 单位为 kg/m^3 :

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2-1)$$

式中: m ——空气的质量, kg ;

V ——空气的体积, m^3 。

2. 比容

单位质量空气所占有的体积称为空气的比容(ν (m^3/kg)):

$$\nu = \frac{V}{m} \quad (2-2)$$

3. 比热

使单位质量空气的温度升高 $1(^{\circ}\text{C})$ 所需要的热量称为空气的比热(c), 它的计量单位是 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

空气在不同热力变化过程中的比热是不相同的。等容过程时, 单位质量空气温度升高 1°C 所需要的热量称为等容比热(或定容比热) c_v ; 等压过程时, 空气的比热称为等压比热(或定压比热) c_p 。等容比热和等压比热均随温度变化, 其变化规律见表 2-1。

表 2-1 空气比热表

温度/ $^{\circ}\text{C}$	-10	0	+15	+30	+80
比热/ $(\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1})$					
c_v	0.708	0.712	0.712	0.716	0.720
c_p	0.996	1.001	1.001	1.001	1.009

对于一定的气体等压比热和等容比热的比值是个常数, 即 $c_p/c_v = K$, 空气的 $K = 1.41$ 。

4. 粘度

空气抗拒剪切力的性质称为空气的粘度。流体层中相邻两层由于速度不同所产生的内摩

擦阻力是产生粘度的原因。空气的粘度随温度升高而增大。

2.1.2 空气的状态

1. 空气的温度

地下工程一般处于离地表不深的地带,所以地下工程空气的温度受地面气温的影响较大。

地面空气温度决定于地球的纬度和气候情况,并在一年四季有所不同。我国地处北半球亚热带到寒温带,地面气温变化的幅度很大。黄河以北的广大地区一般冬季气温较低,如不对进风事先加以预热,当地面的冷空气进入地下工程,会使进风段的气温下降,以致出现冻结现象。在我国南方,夏季天气炎热,气温较高,当地面的热空气进入地下后,不仅使地下气温增高,而且往往造成进风段巷壁结“露”。这是因为地面的热空气进入地下后,其温度突然下降,达到露点,空气中的水蒸气凝结成水,造成岩壁淋水,增加了地下工程的潮湿度,这不仅危害人的健康,而且还损坏物质和设备。所以,重要的地下工程都应当进行空调、除湿,保持气温的稳定和环境的干燥。

地下工程的深度越浅,受地面空气温度的影响越大。随着工程深度的增加,岩石与空气热交换充分,这一影响则逐渐减少。

地下工程的空气温度除受地表温度影响外还受如下多种因素的影响。

(1)空气受到压缩或膨胀的影响。当空气沿井巷向下流动时,随着深度的增加,每下降100 m,气温升高1℃左右;当空气向上流动时,则因膨胀而吸热,平均每增高100 m,气温下降0.8~0.9℃。

(2)地下岩石温度的影响。地表以下岩石温度的变化分为三带:

a. 温度变化带:深0~15 m以上,这一带的温度随地面温度的变化而变化。夏天岩石由于空气吸热而增温;冬天岩石向空气放热而降低了岩石本身的温度,升高了空气的温度。

b. 恒温带:这一带距地表深20~30 m,它不受地面空气温度的影响,常年稳定不变,其温度约等于或略高于当地的年平均气温。

c. 温度随深度增加的“增温带”:在恒温带以下,由于岩石的性质和种类不同,岩层温度每升高1℃相对应的下降深度(即称为“地温率”)的数值也不尽相同。10~15 m/℃, 30~35 m/℃,甚至40~50 m/℃者均有之。

若地下工程距地表的垂深为 $H(\text{m})$,该地岩层的地温率为 $g_r(\text{m}/^\circ\text{C})$,恒温带的深度为 $h(\text{m})$,恒温带的温度或该地的年平均温度为 $t_0(^{\circ}\text{C})$,则深度 H 处的岩石温度 $t(^{\circ}\text{C})$ 为:

$$t = t_0 + \frac{H - h}{g_r} \quad (2-3)$$

空气进入地下工程后,温度的变化取决于空气与岩层的温差和岩石的热传导系数。岩石与空气的热交换有传导、对流和辐射三种方式,前二者占绝大部分。由于岩壁与空气的换热,岩壁附近的岩石原始温度场受到干扰,干扰的程度取决于岩石原始温度、通风的强度、通风时间、岩石热物理性质。风道岩壁附近的岩石原始温度场受通风影响的扰动范围,称为“调温圈”。它的厚度一般可由几米到十几米,最厚可达40 m以上。地下工程中空气温度变化受许多因素的影响。诸如季节、气温、雨量、地下含水层和地下水位,工程渗水以及地下