

建筑地下空间热湿环境测试及热工设计对策

刘振生¹ 方帮华¹ 罗皓程²

1. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司; 2. 徐辉设计股份有限公司

摘要:地下室的出现是有一定社会发展背景在里面的,随着人口的密集程度不断增加,城市的用地量也在不断上升,为了缓解日益增长的用地需求同有限的土地空间的矛盾,越来越多的地下室被作为居住空间使用。然而,随着人们生活水平的提高,人们对地下室的室内环境质量也提出了较高的要求,要求地下室室内的温湿度在适中的范围内、有良好的自然采光效果、具备一定的自然通风性能。该文对地下办公空间的温湿度及壁面温度进行了测试,对地下室室内热环境特点作了简要分析,并对如何提高地下室室内环境质量提出相应对策。

关键词:地下空间;热湿环境;通风;热工设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.02.106

引言

城市的快速发展,占用了大量的土地,成为制约城市发展的关键因素之一,对城市发展造成限制,如何谋求更广阔的城市未来发展空间,对地下空间的开发利用是一种行之有效的方式。目前社会广泛流行的建造方式是在地上建筑的下部建造地下室或半地下室。地下建筑可以提供额外的空间,例如停车场、储藏室等,同时不占用地面空间,增加地面使用率;在地面和地下同时进行建设可最大限度地减少施工时间,提高效率;地下建筑相对于地面建筑有较低的建造成本,并且可以减少地面建筑所需的土地使用费用;地下可以减少地面上的交通拥堵和污染。相对于复杂的室外环境,地下空间具有温湿度相对稳定、缺失自然光线、空气流通性较差、室内空气质量较差等特点,这些对人们的生理和心理健康会产生一定的影响。创造安全、健康、舒适的地下空间环境,成为城市地下空间开发利用的关键^[1]。

一、地下室常见的问题

(一)地下室围护结构的冷热负荷比地面建筑低

地下空间的热工性能比地面建筑更为稳定,通常可以表现为“冬暖夏凉”的特点。这是由于地下空间围护结构主要受到土壤温度和湿度的影响,而土壤温度和湿度相对稳定,不会像室外气温那样随着天气变化而显著波动。地温的变化既受气温的影响,同时受地下室埋深的影响。地温则随着埋深的增加而衰减,当到达一定深度后,会稳定成为一个常数。浅埋的地下建筑普遍在-3.0m~-5.0m范围内,夏季的初始温度较低,而且地下室围护结构热特性受太阳辐射影响较小。与之相比,地面建筑由于直接接触室外环境,其热负荷随着气温的变化而发生较大的变化。因此,地下室的围护结构冷热负荷比地面的建筑低^[2]。

(二)地下室空气质量问题

由于地下空间通常不开窗户,自然换气受限,污染物不易扩散,因此容易出现室内空气质量较差的问题。

人体及化学物品会产生各种污染物,如CO₂、甲醛、苯等有害气体,以及灰尘、微生物等颗粒物,对人体造成不利影响^[3]。存在于岩石、土壤、地下水 and 建筑材料中的放射性元素氡,受建筑与土壤周围较高压力差的驱动,会进入地下空间,导致地下室中的氡浓度较高。因此,在设计和使用地下室时,需要关注氡污染问题。因此,解决地下室通风的问题,可确保室内空气质量,通过安装机械通风系统;使用过滤器;加强密封;采用空气净化器等措施来实现。

(三)地下室潮湿问题

地下室围护结构表面温度低,太阳也无法直射,因此地下室一般比地面建筑潮湿。在夏季,地下建筑内温度比室外气温低,当室外空气进入地下建筑后,会导致温度下降,相对湿度升高,当地下建筑的壁面温度低于露点温度时,就容易出现结露,从而造成地下室在夏季潮湿的问题更为突出。地下室潮湿的原因主要有四个方面:①水汽渗透:由于地下室周围的土壤和岩石存在一定的渗透性,当土壤或岩石中的水分通过墙体渗透到地下室时,就容易导致地下室潮湿。②地下水位较高,当地下水位高于地下室时,会导致地下室底部积水,从而增加地下室潮湿的风险。③不良通风,由于地下空间相对封闭,通风不畅,空气流通性差,就容易造成潮湿。④热工效应:在夏季,地下室的温度通常比室外气温低,当室外空气进入地下建筑后,会导致温度下降,相对湿度升高。当地下建筑的壁面温度低于露点温度时,就容易出现结露,从而造成地下室夏季潮湿的问题更为突出。由于地下建筑室内空气环境的特殊性,“防潮除湿”成为地下建筑通风空调设计的关键环节^[4]。

二、测试结果及分析

(一)测试方案

对郑州某地下建筑室内外的温湿度进行测量,地下室测试期间有机械通风。室外测试时间为2018年7月13号~7月25号,地下室测试时间为2018年6月17号~7月25号。测试仪器为HOB0 UX120-014M 四通道热电偶温度,测试壁面温度,每隔1 min自动记录墙面温度一次。温度块TR-72U 测试地下室温湿度,每隔5 min自动记录室内温湿度一次。

(二)地下室温度与湿度随时间的变化

根据测试结果可以看出,如图1所示。地下室温度的波动通常比室外空气的温度波动小得多。测试期间(13号~7月25号),室外气温的最高值为42.5℃,最低为23.8℃,平均值为32.35℃,波动的最大幅度为18.7℃;地下室的温度最高为31.9℃,最低为24.9℃,波动的最大幅度为7℃。地下室的温度会随着室外温度的升高而逐渐升高,但是波动的幅度相对较小,由于地下室的部分屋顶与室外空气相连,这可能是造成地下室

的温度并没有特别稳定。一般情况下，由于土壤具有较高的热容和导热性，因此它可以吸收和释放大量的热量，并在一定程度上稳定周围环境的温度，受室外气温变化的扰动较小，因此地下室的湿度波动远小于室外空气湿度。测试期间（7月13号~7月25号），室外空气的相对湿度23.4%~86.4%之间波动，相对湿度的平均值为52.01%；地下室的相对湿度在32%~51%之间波动，相对湿度的平均值为44.71%。由于地下室采用了机械通风，故地下室的温度和相对湿度维持在舒适的范围内。一般地下室的相对湿度都比较高，因此，地下室潮湿的原因一般是雨水通过裂缝进入地下室。

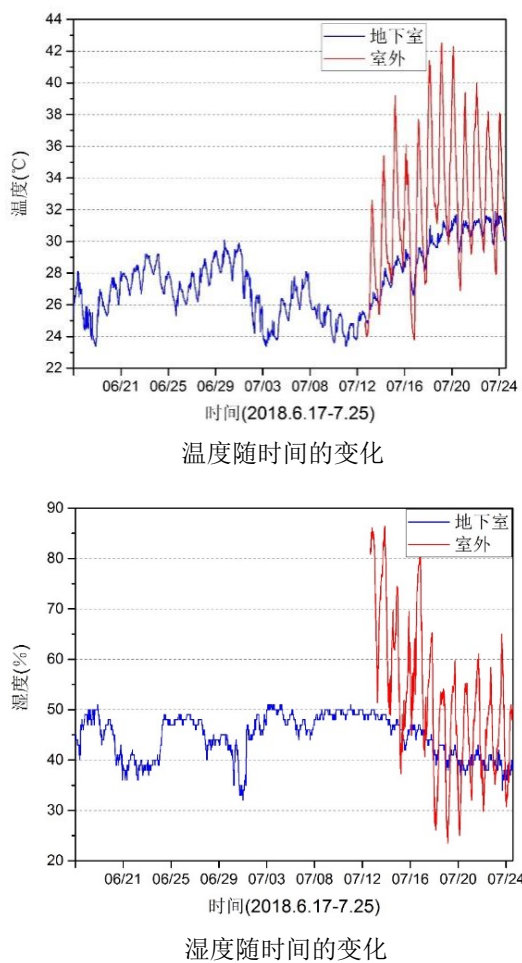


图1

(三) 壁面温度

壁面温度的测点位于地下室的东墙和北墙（均与土壤相接），气候所一楼的西墙（外墙）和北墙（内墙）。测试结果如图2所示，从测试结果来看，地下室的壁面温度与一楼的壁面温度呈现出相同的变化趋势。地下室的东墙与北墙也趋于一致性，无太大的差别。地下室的壁面温度随着室外空气温度的升高也逐渐升高。土壤虽有良好的蓄热功能，如果建筑的其中一个围护结构（屋顶）与大气相接，室内的温度并无出现太长的滞后时间。气候所的内墙与外墙壁面温度的差别也并不明显更，可能受周围环境的影响，建筑的周围有大

树的遮挡，接受到的太阳辐射量并不大。

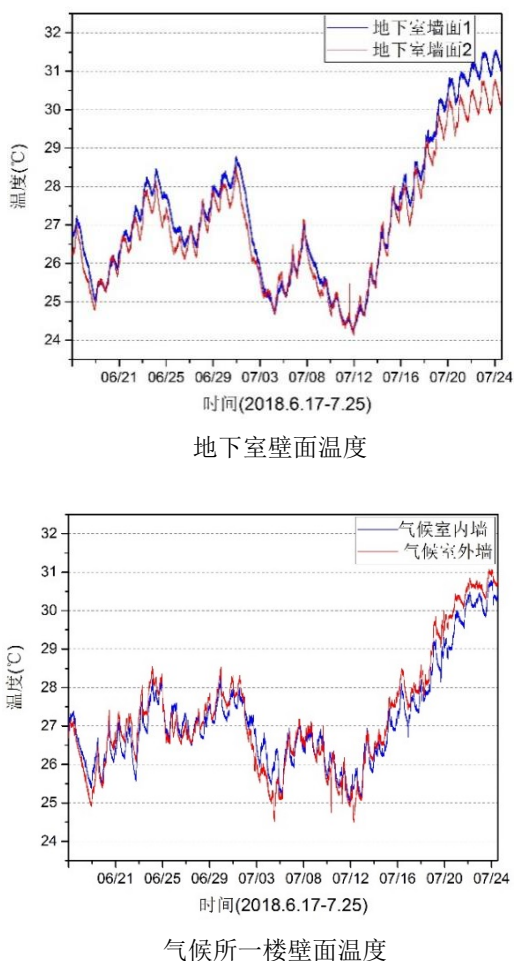


图2

三、设计对策

(一) 降低湿度设计对策

解决地下室夏季低温潮湿问题的途径：首先是建造过程中，围护结构即墙体要做好防水防潮构造。其次是建筑运行过程中采取其他措施防潮。

1. 建造过程中防水防潮

围护结构表面增加保温构造做法，会减少表面出现冷凝现象的出现。围护结构的内表面建议采用蓄热系数大的材料，减少周期性冷凝出现的可能。合理布置材料层的相对位置，使水蒸气渗透的通路符合“进难出易”原则。将导热系数小、蒸汽渗透系数大的材料层即保温层，布置在水蒸气容易流入的一侧。材料层布置不满足“进难出易”时，应设置隔汽层，避免内部冷凝的产生。墙体表面的散湿，可采取内外防排水的方式，例如设置附加的防水层，并在建筑内设置排水沟、截水沟等引水的系统，严格控制地下空间的水分散发。在人员进出口设置防潮密闭门或空气幕，可以减少室内外气体交换和水分流失，从而降低室内潮湿湿度。此外，封闭敞开水面也能够防止水分蒸发，减少室内潮气。在实施分区密闭管理方式时，可以根据不同区域的湿度、温度等因素^[5]。

2. 运行过程中防水防潮

一是降湿,可通过调温除湿机,使室内相对湿度下降,但这种方法初投资高,设备运行费昂贵。二是采暖,提高地下室的温度,降低相对湿度。目前有以下四种采暖系统可供选择:①锅炉供热;②热力网供热;③电加热器供热;④太阳能供热。前三种系统往往由于成本高、污染环境、条件限制而不能采用;最后一种系统是以太阳能为热源,以空气为工质,向地下室输送热风的太阳能暖降湿热风系统(以下简称热风系统)。由于这一系统需要丰富的太阳能作为热量来源,所以这一系统适合用于太阳能较丰富或某个季节太阳能较多的地区,如新疆、西藏。

(二) 增强地下室自然通风设计

在封闭性空气质量差的空间内,人们会出现不适。为了改善地下室的室内环境质量,大多采用机械通风,保持室内外空气流通,稀释室内空气的污染物。但是,这种方式将耗费大量的能量。这大大增加了地下室的使用成本,将限制对地下空间的利用,造成不可持续发展。因此,地下建筑如何通过自然通风的方式,改善地下空间的空气环境,是亟须解决的问题。

自然通风是指利用风压和热压等自然因素,使空气在建筑内外之间自行流动,并通过室内外温差和气压差的作用实现空气换气和湿度调节的过程。因此,根据自然通风形成的原理,我们在建筑设计时,可以考虑设置直通到顶的中庭、天井或烟囱,在其中开设进风、排风口,形成建筑内部的自然通风。但是在设计中,中庭一般作为排风系统^[6]。大进深的地下室,往往无法实现自然通风的效果。因此,在设计时,应增加中庭的数量,缩短中庭之间的间距,实现良好的自然通风效果。例如,英国考文垂大学的图书馆,设计了4个靠热力驱动的通风天井,室内的污浊空气通过通风井排出,实现了良好的自然通风效果。因此,缩短空气进出口之间的距离,可以实现无机械式可持续性自然通风的效果,进而实现节能的目标。

(三) 地下室天然采光设计

采光是指通过建筑设计和设备安装等手段,将自然光引入到室内,为室内提供充足的照明效果,通常有自然采光和人工照明两种方式。地下室内,一般采用人工照明解决室内采光的问题,但是会造成过高的能源消耗。采用建筑设计手法和采光技术手段,引入自然光,既节约人工照明费用,还能创造更舒适的室内环境。常见的地下室自然采光方式有直接采光和间接采光。

1. 直接式采光

直接采光的方式,将自然光线通过窗户、天窗等直接引入室内空间,在地下建筑中主要应用于埋深较浅的部位。地下建筑中,通过设置与地面相连通的天窗,将自然光线引入室内,达到节能环保和提高空间舒适度的目的。像法国卢浮宫的玻璃金字塔就是一种著名的使用

了直接式采光的地下建筑,四个透明玻璃金字塔不仅实现了良好的采光效果,同时也成了城市地标之一,备受游客青睐。

2. 间接式采光

间接采光是指通过利用光传输设备,如镜面反射、光导纤维等方式将自然光从采光系统的接收端传递到地下建筑室内进行照明的一种采光方式,可以解决埋深较深的地下建筑中采光难的问题。常用的方法有镜面反射、光导纤维等方式。例如,美国明尼苏达州立大学的土木工程大楼,为了能将阳光引入建筑中,设计师采用潜望镜原理,将自然光通过多次反射,抵达地下33.5 m的建筑内,实现了间接采光的目的是^[7]。光导纤维采光利用的是光全反射原理,光沿着光导纤维,在纤芯内部传播,光纤几乎没有损耗。例如,清华大学的超低能耗楼就使用了这项技术。光导纤维价格虽高,但具有采光效率高、占用空间小和能灵活弯曲等优点,在一些光环境要求较高的地下建筑中仍被采用。

四、结论

(1) 目前我国拥有丰富的地下空间资源,但地下空间的环境仍存在诸多问题。营造良好的地下室内环境,对地下空间的开发利用,极为重要。本文通过实际调研和测量,总结梳理了地下空间的问题,并提供了解决地下空间室内环境问题的方法,对于我国地下空间的利用具有借鉴的意义。

(2) 节约能源消耗,回归生态建筑,利用建筑设计手法,节约能源消耗,使人类在建筑内,也更加贴近自然。可持续发展成为各行各业的主题时,作为建筑设计从业人员,我们更应积极探索节能、绿色、低碳、可持续性的建筑设计方法。本文在研究地下空间环境问题时,总结归纳了被动式的热工设计对策和绿色节能的设计手法,进一步促进建筑产业的可持续发展。

参考文献

- [1] 郭永伟. 地下建筑自然采光通风设计初探[J]. 建材技术与应用, 2012(12): 107-108
- [2] 安作桂. 地下建筑的自然通风[J]. 暖通空调, 1997(01): 78-80.
- [3] 赵阜东, 陈保健, 焦冠然. 地下建筑可持续性设计方法——地下建筑自然通风设计研究[J]. 地下空间与工程学报, 2006(08): 45
- [4] 张鹏飞, 罗清海, 王衍金, 杨修飞, 邹军. 衡阳市地下空间热湿环境分析[J]. 环境卫生工程, 2011, 19(06): 9-11.
- [5] 赵平歌. 地下建筑的防潮除湿研究[J]. 地下空间与工程学报, 2007(06): 987-989+1004.
- [6] 续昊. 市地下建筑的热湿环境现状研究[D]. 工程大学, 2016.
- [7] 陈宝贵, 王惠新, 张敏. 地下空间防潮技术初探[J]. 中国建筑防水, 2012(24): 4-8.