

防护工程内部热环境保障的研究进展

解放军理工大学 茅靳丰[☆] 李永 耿世彬 韩旭 张华 李伟华 王利军
总参工程兵第四设计研究院 姜建中 陈军

摘要 综述了防护工程内部热环境保障的文献研究成果,包括围护结构传热、工程冷却塔入地处理和替代运用以及柴油电站热量的处理。指出了现有研究的不足,并指出了进一步的研究方向:将传热和传湿耦合分析及围护结构动态传热研究;冷凝热处理方式及柴油电站热量处理模式的合理选择。

关键词 防护工程 围护结构 冷却塔 热处理 柴油电站

Research progress of thermal environment inside protection works

By Mao Jinfeng[★], Li Yong, Geng Shibin, Han Xu, Zhang Hua, Li Weihua,
Wang Lijun, Jiang Jianzhong and Chen Jun

Abstract Reviews the research progress in related literatures from the perspectives of envelope heat transfer, underground arrangement and alternative usage of cooling towers, and exhaust heat removal of the diesel power station. Presents the shortage in existing research and the further research directions as in the coupling analysis of heat and moisture transfer, dynamic heat transfer through the envelope, rational selection of treatment of the condensing heat and the exhaust heat from the diesel power station.

Keywords protective engineering, envelope, cooling tower, heat treatment, diesel power station

★ PLA University of Science & Technology, Nanjing, China

①

防护工程作为国家军事力量的重要组成部分,在未来的信息化战争中,其作用将大大加强,良好的内部热环境是防护工程发挥作用的重要保障。相比于普通地面建筑,防护工程得热及热处理过程有其特殊性。地面建筑的空调区得热量包括:1) 围护结构传热;2) 太阳辐射热;3) 人体、照明、设备、器具、管道等散热量;4) 渗透空气带入的热量;5) 伴随各种散湿过程产生的潜热量。防护工程往往处于一定深度的地下空间,基本不存在太阳辐射和空气渗透;同时防护工程的传热和运行模式具有特殊性,其中一个重要方面就是同时要考虑工程的防护能力,尽量避免工程遭受打击。

基于防护工程内部热环境保障的需求,国内外不少学者对工程围护结构的传热进行了深入的研究;为了避免冷却塔应用导致防护工程暴露,怎样合理处理防护工程内部的冷凝热、避免工程的暴露特征逐渐成为研究热点;柴油电站是防护工程内部能源中心,也是热处理的重要位置,柴油电站的消

烟降温关系到工程的生存能力。笔者针对防护工程热环境的特殊性,对防护工程围护结构、冷凝热处理和柴油电站热处理的研究现状进行分析,为相关的研究提供思路和帮助。

1 防护工程围护结构传热研究

防护工程围护结构如图1所示,其具有半无限

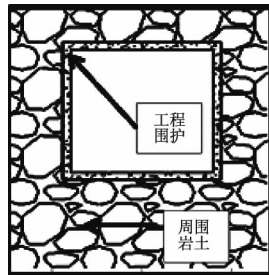


图1 防护工程围护结构

①[☆] 茅靳丰,男,1962年8月生,教授,博士生导师
210007 南京海福巷1号解放军理工大学工程兵工程学院内
部设备教研室
(025) 80821041
E-mail:liyong25dan@163.com
收稿日期:2012-06-14

大的传热特性,蓄热性能良好,夏季自身热量传递给岩壁,使壁温逐渐升高。升温后的岩壁表面又向岩土内部传热,由于岩土具有较大的热惰性,因此其各层的温度变化有一定衰减与延迟。这样就在一定厚度的岩土内部贮存了热量,冬季温度较低的空气与岩壁接触时,岩壁又将这部分热量传递给空气,防护工程周围岩土具有天然空调的功效。防护工程围护结构的传热与地面工程围护结构传热计算具有较大差别。

1.1 相关手册推荐方法

2005年版ASHRAE手册^[1]在Wang等人^[2-3]稳态计算围护结构热负荷方法的基础上进行了修正,给出了处于岩土表面下的围护结构热负荷 q 的计算公式,如式(1)所示。

$$q = U_{\text{avg}}(t_n - t_{s,\text{sur}}) \quad (1)$$

式中 U_{avg} 为围护结构平均传热系数值, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; t_n 为工程内部设计温度, $^{\circ}\text{C}$; $t_{s,\text{sur}}$ 为岩土表面设计温度, $^{\circ}\text{C}$; $t_{s,\text{sur}} = \bar{t}_{s,\text{sur}} - A_d$, 其中 $\bar{t}_{s,\text{sur}}$ 为岩土年表面平均温度值, $^{\circ}\text{C}$, A_d 为岩土表面温度年周期性波幅, $^{\circ}\text{C}$ 。

英国楼宇设备工程师学会^[4]以热损失系数 U

$$\left. \begin{aligned} t(R, \tau) - t_{\infty} &= \frac{t_n - t_o}{1 + \frac{3}{8Bi}} \left\{ 1 - e^{Bi^2 Fo (1 + \frac{3}{8Bi})^2} \operatorname{erfc}[Bi \sqrt{Fo} (1 + \frac{3}{8Bi})] \right\} \\ f(Fo, Bi) &= \frac{1}{1 + \frac{3}{8Bi}} \left\{ 1 - e^{Bi^2 Fo (1 + \frac{3}{8Bi})^2} \operatorname{erfc}[Bi \sqrt{Fo} (1 + \frac{3}{8Bi})] \right\} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

通过进一步简化,可以得到恒温地下建筑壁面热负荷计算公式

$$q = h(t_n - t_{\infty})[1 - f(Fo, Bi)]m \quad (5)$$

式(4), (5)中 Fo 为傅里叶数; Bi 为毕渥数; m 为壁面传热修正系数, 对衬砌结构取 $m=1$ 。

GB 50225—2005《人民防空工程设计规范》^[10]以及 GB 50038—2005《人民防空地下室设计规范》^[11]也采用式(5)计算围护结构传热

$$Q = B_0 + \frac{B_1}{R} + B_2 \frac{HDD}{100} + B_3 \frac{CDD}{100} + B_4 \frac{HDD}{100R} + B_5 \frac{CDD}{100R} + B_6 \frac{HDD}{100} \frac{CDD}{100} + B_7 R \frac{CDD}{100} \quad (6)$$

式中 $B_0 \sim B_7$ 为不同结构的系数, 见文献^[12]; R 为围护结构热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$; HDD 为供暖度日数; CDD 为制冷度日数。

计算地下建筑热负荷的一种常用方法是平均地温衰减法, 由 Akridge 等人提出, 根据土壤温度的变化求得不同埋地建筑的土壤热物性参数和不

衡量地下建筑围护结构的散热, 计算式如式(2)所示。

$$U = \frac{2\lambda_s \arctan H \left(\frac{\frac{1}{2}B}{\frac{1}{2}B + \frac{1}{2}\delta} \right) \exp\left(\frac{\frac{1}{2}B}{L}\right)}{\frac{1}{2}B\pi} \quad (2)$$

式中 λ_s 为岩土导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; B, L, H 分别为地板的宽度、长度和墙体高度, m ; δ 为墙壁厚度, m 。

法国 AICVF 规范^[5]中给出了计算触地墙壁和地板热损失 Q 的表达式, 如式(3)所示。

$$Q = K_s p(t_i - t_o) \quad (3)$$

式中 K_s 为耦合系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 与内壁结构、埋深、围护结构厚度、岩土和地下室热特性以及表面传热系数相关; p 为围护结构与岩土接触部分的周长, m ; t_i 为室内温度, $^{\circ}\text{C}$; t_o 为室外温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

忻尚杰等人将深埋无限长拱形断面坑道简化为圆柱体, 根据拉普拉斯变换及其逆变换求解恒定热流边界和恒温边界条件下的传热问题^[6]。

《国防工程采暖通风和空气调节设计手册》^[7]和《地下建筑暖通空调设计手册》^[8]及文献^[9]中空气温度与岩石温度的关系如式(4)所示。

量。

1.2 近似解和数值分析

1981年, Shipp等人通过数值解模型对地下建筑的传热进行了分析, 将模拟结果简化并拟合为回归函数^[12], 如式(6)所示, 根据此式可以计算地下建筑不同围护结构全年供热季和制冷季的热流 Q , 该模型未考虑地下建筑热工参数的差异。

同时段的衰减因子, 来估算地下建筑热负荷^[13-14]。给出了热负荷的计算公式, 如式(7)所示。

$$Q = \frac{F_d A(t_n - t_g)}{R} \quad (7)$$

式中 F_d 为衰减因子, 是岩土导热系数和墙壁热阻的函数, 量纲为一; R 为墙体热阻值, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;

A 为墙体表面积, m^2 ; t_g 为土壤温度, $^{\circ}C$ 。

庞伟等人对平均温度衰减法也进行了一定的研究,并将其应用到某实际工程^[15]。

Parker 等人对比了 Shipp 的回归模型和平均地温衰减法,发现两者的结果比较接近,和 ASHRAE 方法的吻合度在 30% 以内^[16-17]。

Krarti 等人提出 ITPE(interzone temperature profile estimation)方法来求解地下工程围护结构传热。其求解思路是首先将求解区域细化,采用分离变量法进行求解,利用内边界上热流和温度连续以及外边界条件建立线性方程组,通过联立求解得出各分区表达式中的傅里叶级数,从而求得最终的解析解^[18-19]。Yuan 等人借鉴了 Krarti 的 ITPE 方法,提出了地下工程二维稳态传热与周期性传热问题的半解析解^[20-22]。

2002 年 Mughal 和 Chattha 对不同形式的地下工程围护结构传热进行了二维数值模拟和分析,并提出了简化公式^[23]

$$q' = S_w \lambda_s (t_n - t_o) + S_f \lambda_s (t_n - t_g) \quad (8)$$

式中 q' 为围护结构传热量, W ; S_w 为侧墙形状因子, m ; S_f 为地板的形状因子, m 。

该模型考虑了风速和岩土温度随深度的变化过程,更接近实际情况,其结果与 ASHRAE 手册结果相差 20%。

2007 年王琴沿用 Kyarti 等人提出的影响因子概念^[19],通过非线性回归得到了地下工程围护结构壁面传热的简化公式^[24],如式(9)所示。

$$q_w = q_{mw} + q_{aw} \sin(\omega t + \phi_w) \quad (9)$$

式中 q_{mw} 为年平均传热量, W ; q_{aw} 为传热年波幅, W ; ϕ_w 为相位角。

文献[25-26]认为地下工程围护结构传热是二维的,只考虑土壤内部导热传热,并忽略围护结构和周边岩土的热物性差异,将围护结构的传热分为围护结构与岩土表面之间的传热量和围护结构与周边不同深度初始岩土之间的传热两部分。热传递方程如式(10)所示。

$$q' = \frac{t_i - t_{s0}}{\frac{1}{h_{h,i} A_0} + \frac{1}{\lambda_s S_0}} + \frac{t_i - t_{s,y}}{\frac{1}{h_{h,i} A_s} + \frac{1}{\lambda_s S_s}} \quad (10)$$

式中 A_0 , A_s 为换热形状因子, m , 见文献[23]; S_0 , S_s 为形状因子, 见文献[23]; $t_{s,y}$ 和 t_{s0} 分别为周边岩土和岩土表面温度, $^{\circ}C$; $h_{h,i}$ 为室内围护结构表

面传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$ 。

江亿提出用反应系数法来计算地下工程围护结构的传热^[27]。刘军等人采用控制容积法,建立二维数值模型并采用附加源项法处理边界条件,对地下工程围护结构进行了数值模拟^[28]。肖益民利用反应系数法、Z 传递函数法和频域响应法研究了某深埋地下水电站围护结构的传热问题^[29]。刘红敏和谷波在深埋地下工程一维模型的基础上,对室内空气周期性变化条件下的围护结构传热作了分析^[30],把围护结构的传热量分为两个主要部分,一是洞内空气年平均温度作用下的稳定传热量,二是洞内空气年波幅作用下的波动传热量,利用分离变量法对传热过程进行了求解。

考虑到不同地域防护工程热工特性的差异,李永选择年平均地温、进风参数和维护管理通风特性参数为指标,通过对全国 151 个典型地区的指标计算,将全国防护工程分为寒冷、干燥、潮湿、热湿 4 个设计分区,形成了适合防护工程的热工分区图,并在防护工程热工分区图的基础上,建立了热舒适适应性模型^[31],如式(11)所示。

$$t_c = 17.1 + 0.40t'_o \quad (11)$$

式中 t_c 为热舒适温度, $^{\circ}C$, 范围 $16 \sim 28$ $^{\circ}C$; t'_o 为年平均地温, $^{\circ}C$ 。

通过相关的计算和对比发现,采用该舒适模型可以使得防护工程在设计时更能主动利用不同地域的气候资源,便于节能。

1.3 围护结构湿传递分析

防护工程的围护结构属于多孔介质,热量的传递是在一系列宏观力作用下的多相多组分之间相互耦合的过程,不仅与温度梯度有关,也与湿传递和地下水位及局部水源有关,而且不同因素相互耦合,相互作用,相当复杂。

胡铁山通过量纲分析法对地下水电站围护结构热湿传递进行了分析,得到定量描述热湿耦合对流传递过程的量纲一准则式,并通过对各季节量纲一准则式的分析,讨论了地下建筑在通风时壁面和空气之间热湿耦合对流传递过程中对流换热和对流传质的影响关系^[32]。

闫增峰研究了西北地区厚重型围护结构热湿传递规律,建立室内空气换热和围护结构热湿传递的动态热量平衡,并采用数值模拟的方法进行了求解^[33]。

张华玲等人提出了以孔隙中的相对湿度和温度为驱动势的热湿传递耦合模型,能够较为全面地描述湿分在多孔围护结构中实际迁移过程,并在地下水电站中得到实验验证^[34]。

2 防护工程冷凝热处理模式研究

防护工程是一个相对封闭的空间,由于其内部有指挥通信设备和保障设备及大量人员活动,会产生大量的余热余湿,需采用集中通风空调的方式处理进风,而冷凝热的处理需要冷却塔。为了便于散热,防护工程的冷却塔一般安装于工程外部,这往往引起可见光暴露,是敌方高精度武器打击的靶子,一旦冷却塔被摧毁则内部空气温湿度保障系统将无法正常运行。针对冷却塔的可见光暴露特点,不少学者提出了不少解决方法。主要有两类:一是冷却塔入地,将冷却塔设置于地下排风通道内或放置于水库;另一类主要是采用其他冷却方式替代冷却塔。

2.1 冷却塔入地模式

王晋生等人提出一种地下蓄冷型冷却塔的模式^[35-36],如图2所示,将冷却塔置于地下水库的上方,利用水库的水蒸发和柴油电站的进排风带走热量,并分析了与柴油电站通风联合运行的三种模式。

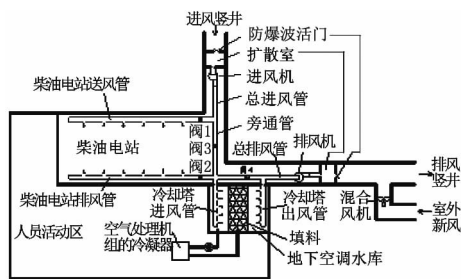


图2 蓄冷型冷却塔的模式及其工作原理图

周涤生等人设计了上海地下行人隧道地下式冷却塔方案^[37],如图3所示。该方案采用横流鼓风式冷却塔,进、出风口分别与隧道的进、排风竖井相连接,解决了地面放置冷却塔造成的破坏景观、

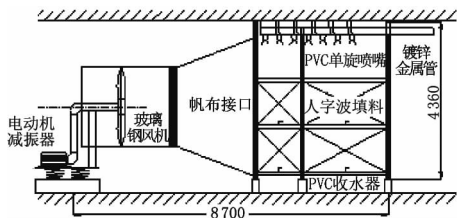


图3 地下隧道内冷却塔

影响环境等问题。

何叶从根据地铁运行特点,研发了旋转喷雾间接蒸发冷却器,安装于地下排风通道内^[38]。

2.2 冷却塔替代模式

耿世彬等人提出了采用水环热泵+储水箱+空气源热泵的冷凝热处理方式代替传统的冷却塔^[39],如图4所示。利用工程地下水温度相对较低和工程内存在冷热负荷的特点,并利用空气源热泵机组辅助,空气源热泵机组置于电站内并利用电站进风。然而该系统联合水环热泵系统使用,对工程的使用地点有较高要求。

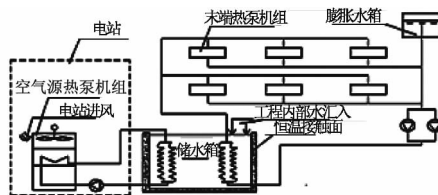


图4 水环热泵+储水箱替代冷却塔模式

针对冷却塔的暴露特征,张华等人提出了一种基于地埋管换热器的新型除湿空调系统^[40],如图5所示,该系统增强了人防工程的防护能力,可运行调温除湿和热泵工况,不同设备容量的机组还可构成不同的空调系统模式,能有效满足不同类型国防工程在平时和战时运行的需要,为国防工程空调系统的发展开辟了新思路。

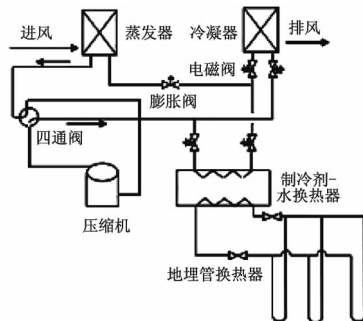


图5 地埋管换热器与调温除湿机的联合运用

郭学森提出了一种蒸发式冷凝器与风冷冷凝器并联型调温除湿机组(简称“蒸冷式”调温除湿机),该机组具有消除调温盲区、节能、节水、占地少等特点^[41]。可依靠现有水库,在不外设冷却塔的前提下,延长空调冷却水库的有效运行时间,并减少空调水库补水量。但该调温除湿系统受蒸发式冷凝器侧风量、湿球温度及喷淋水量影响较大。

3 防护工程柴油电站的热处理

防护工程内部的能源主要靠内部柴油电站提供,其工作时排出的烟气温度高达 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$,排烟口的热辐射及烟雾带形成了明显的红外及光学暴露征候,如图 6 所示,给防护工程的安全造成了极大的威胁,往往成为敌方红外精确制导的攻击目标。冬夏季由于工程内部的空气温度与工程外部的空气温度温差较大(在 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上),排风口也往往容易引起红外暴露。



图 6 工程外部排烟口的可见光和红外暴露

郭鹏提出并研制了消烟降温机组,采用高压静电除尘机理消除排烟的可见光效应,并采用壳管式换热器对烟气冷却降温,在一定程度上满足了柴油电站的排烟要求^[42]。

李金田通过对比分析各种相变蓄热材料,选用三水醋酸钠($\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)作为防护工程柴油电站热量处理的相变换热材料,并通过实验研究解决 $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 的过冷、易分层和导热系数较低等问题,改善其相变性能,使其能够符合柴油发电站余热吸收的要求,同时对三水醋酸钠的蓄冷蓄热特性进行了详细的研究^[43]。

黄玉荣在相变蓄热材料配方的基础上,研制了复合 PCM 封装蓄热单元,为相变蓄热技术在人防工程中的应用打下了基础,并将该蓄热装置与地下工程的水库进行了合理的联合设计运行,如图 7 所示,并进行了实测和经济性分析,结果表明:该蓄热装置可增加水库的蓄热容量,延长工程保障时间,比传统的冷却塔模式和通风模式具有显著的节能效果和隐蔽效果^[44]。

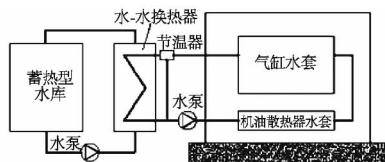


图 7 蓄热装置与柴油电站换热联合运用

4 热环境保障的研究状态分析与思考

围护结构传热是防护工程与地面工程热环境差异性的表现,是影响防护工程内部热环境保障的重要因素。国外地下工程围护结构传热的计算手册和简化公式大多是针对地下室围护结构的传热而进行的,在应用于埋深较大的工程计算时往往会带来误差;国外研究者对地面建筑的地板及浅埋附建式地下工程围护结构的传热简化计算公式进行了研究,而国内研究较少,主要的手册等还是一直沿用 20 世纪 70 和 80 年代提出的公式,较少对其改进。尽管一些公式推导过程严谨,物理意义明确,但其计算过程需要大量烦琐的查表工作,在实际运用时给设计者带来较大不便。数值计算虽然能够准确合理表达围护结构的传热,然而其计算复杂,耗时长,不便于利用。如何能将不同研究者的方法扬长补短,合理结合,研究准确、简单便于使用的围护结构传热计算表达式,应是围护结构传热设计计算研究的一个方向。

围护结构传热计算时并未考虑岩土内渗流和热湿耦合的影响,往往仅考虑导热;另一方面防护工程存在通风,内部空气、围护结构和周围岩土三者应是一种动态换热过程,现有的研究大多以静态方式来研究围护结构传热,必然带来不足。将传热和传湿耦合分析以及利用动态传热的方式研究围护结构的传热必将成为防护工程围护结构传热研究的一个重要方向。

冷却塔入地,必然带来进排风设计的改变,如何合理设计进排风将成为制约其应用的重要因素;

水环热泵和冷却塔替代模式具有一定的可行性,其对工程内部的负荷分布具有苛刻的要求,由于防护工程所处位置和负荷变化的特殊,地埋管换热器如何合理设计和能否满足工程要求将成为其应用的关键。如何选择合理高效的冷凝热处理方式,避免防护工程的暴露特征将成为工程热处理研究的重点内容之一。

柴油电站的排烟处理是防护工程热处理的重要内容之一,相变蓄热方式可以降低排烟温度,并且变废为宝,然而其蓄热时间长,所需蓄热体积大。寻求更合理的柴油电站热量处理模式也将成为防护工程热处理的研究方向之一。

参考文献:

- [1] ASHRAE. ASHRAE handbook fundamentals[M]. SI ed. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc, 2005
- [2] Wang F S. Mathematical modeling and computer simulation of insulation systems in below grade applications [C] // Proceeding of ASHRAE/COE Conference, Orlando, 1981
- [3] Latta J K, Boileau G G. Heat losses from house basements [J]. Candian Builders, 1969, 19 (10): 39-42
- [4] CIBSE. CIBSE guide[M]. London: The Chartered Institution of Building Services Engineers, 1986
- [5] CEN. CEN/TC 89 Thermal performance of buildings heat exchange with the ground calculation method[S]. Luxembourg: European Committee for Standardization, 1992
- [6] 忻尚杰,黄祥夔,张茂秀. 地下工程围护结构热工计算[M]. 南京:解放军理工大学,1981
- [7] 周金鹏. 国防工程采暖通风和空气调节设计手册[M]. 北京:中国人民解放军 89003 部队,1977
- [8] 地下建筑暖通空调设计手册编写组. 地下建筑暖通空调设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1983
- [9] 茅靳丰,韩旭. 地下工程热湿理论与应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009
- [10] 中华人民共和国建设部. GB 50225—2005 人民防空工程设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2005
- [11] 中国建筑设计研究院. GB 50038—2005 人民防空地下室设计规范[S]. 北京:中国建筑标准设计研究院,2005
- [12] Shipp P H, Pfender E, Bligh T P. Thermal characteristics of a large earth-sheltered building (parts I and II)[J]. Underground Space, 1981, 6(1): 53-66
- [13] Akridge J M. Decremental average ground temperature method for estimating the thermal performance of underground houses [C] // International Passive and Hybrid Cooling Conference, Miami Beach, FL, USA: American Society of the International Solar Energy Society, 1981: 114-141
- [14] Akridge J M, Poulos J F. Decremental average ground-temperature method for predicting the thermal performance of underground walls [C] // Geshwiler M. 1983 Annual Meeting of the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Washington, DC, USA: ASHRAE, 1983: 49-60
- [15] 庞伟,吕绍勤. 计算地下建筑热负荷的新方法[J]. 暖通空调,1986,16(5):31-32
- [16] Parker D S. Simplified method for determining below grade heat loss [C] // Bilgen E, Hollands K G. Proceedings of the 9th Biannual Congress of the International Solar Energy Society. Montreal, Canada: Pergamon Press, 1986: 254-261
- [17] Park K S, Nagai H, Iwata T. Study on the heat load characteristics of underground structures part 1. Field experiment on an underground structure under an internal heat generation condition[J]. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2006, 5(2): 421-428
- [18] Krarti M, Choi S. Optimum insulation for rectangular basements [J]. Energy and Buildings, 1995, 22(2): 125-131
- [19] Krarti M, Choi S. Simplified method for foundation heat loss calculation[G] // ASHRAE Trans, 1996, 102(1): 140-152
- [20] Yuan Y, Cheng B, Mao J, et al. Effect of the thermal conductivity of building materials on the steady-state thermal behavior of underground building envelopes[J]. Building and Environment, 2006, 41(3): 330-335
- [21] Yuan Y, Ji H, Du Y, et al. Semi-analytical solution for steady-periodic heat transfer of attached

- underground engineering envelope[J]. Building and Environment, 2008, 43(6): 1147-1152
- [22] Yuan Y, Ji H, Du Y, et al. Semi-analytical solution of roof-on-grade attached underground engineering envelope[J]. Building and Environment, 2008, 43(6): 1138-1146
- [23] Mughal M P, Chattha J A. An examination of procedures for predicting heat losses from underground structures [J]. Building Services Engineering Research and Technology, 2002, 23(2): 69-79
- [24] 王琴. 地下工程三维非稳态导热-对流耦合传热研究[D]. 南京:解放军理工大学, 2007
- [25] 马喜斌. 地下工程围护结构动态传热传湿规律研究[D]. 南京:解放军理工大学, 2009
- [26] 张冷. 建筑墙体表面热过程辨识方法与数值预测方法研究[D]. 长沙:湖南大学, 2001
- [27] 江亿. 地下空间自然环境温差利用的热物理基础研究[D]. 北京:清华大学, 1985
- [28] 刘军, 姚杨, 王清勤. 地下建筑围护结构传热的模拟与分析[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2004: 350-356
- [29] 肖益民. 水电站地下洞室群自然通风网络模拟及应用研究[D]. 重庆:重庆大学, 2005
- [30] 刘红敏, 谷波. 地下建筑围护结构蓄热特性分析[J]. 人民长江, 2002, 33(7): 49-51
- [31] 李永. 防护工程热工区划研究[D]. 南京:解放军理工大学, 2010
- [32] 胡铁山. 地下建筑热湿环境与热湿耦合对流传递模型研究[D]. 重庆:重庆大学, 2006
- [33] 闫增峰. 生土建筑室内热湿环境研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2003
- [34] 张华玲, 刘朝, 刘方, 等. 地下洞室多孔墙体热湿传递的数值模拟[J]. 暖通空调, 2006, 36(12): 9-13
- [35] 王晋生, 刘文杰, 蔡浩. 地下蓄冷防护型冷却塔[J]. 制冷与空调, 2010, 24(5): 1-5
- [36] 刘文杰. 防护工程冷凝热处理模式及相关设备研究[D]. 南京:解放军理工大学, 2009
- [37] 周涤生, 李祥麟. 地下冷却塔在外滩观光隧道中的应用[J]. 上海建设, 2002(3): 20-21
- [38] 何叶从. 地铁专用间接蒸发冷却器研究[D]. 重庆:重庆大学, 2009
- [39] 耿世彬, 李永, 韩旭. 水环热泵空调系统在地下工程中的应用[J]. 解放军理工大学学报:自然科学版, 2011, 12(2): 139-144
- [40] 张华, 茅靳丰, 李永. 人防工程地源除湿空调系统的应用分析[J]. 制冷与空调, 2010, 24(5): 30-34
- [41] 郭学森. 利用蒸发冷却技术的调温除湿系统研究[D]. 南京:解放军理工大学, 2010
- [42] 郭鹏. 防护工程柴油电站排烟降温机组研究[D]. 南京:解放军理工大学, 2008
- [43] 李金田. 无机水合盐三水醋酸钠的储热机理与实验研究[D]. 南京:解放军理工大学, 2011
- [44] 黄玉荣. 人防工程内部柴油电站相变蓄热技术应用研究[D]. 南京:解放军理工大学, 2011

• 简讯 •

《暖通空调》杂志社成功举办首届注册公用设备工程师(暖通空调)基础考试培训班

7月22—29日,由《暖通空调》杂志社主办的首届注册公用设备工程师(暖通空调)基础考试培训班在中国人民大校内举办,来自全国各地的35名考生参加了此次培训。此前,《暖通空调》杂志社已成功举办了5届注册公用设备工程师(暖通空调)专业考试培训班,应广大考生的要求,今年首次尝试举办了基础考试培训班,并取得了圆满成功。

来自天津大学、北京科技大学、北京工业大学、北京建筑工程学院、北京交通大学、北京工商大学、中国建筑科学研究院等国内知名高校及科研院所的11名老师为学员们进行了高等数学、物理、化学、传热学、流体力学等14门课程(含公共基础+专业基础课)的讲解。这些教师均有着多年的教学经验,其中不少人还有多年的注册考试

培训经验。他们紧扣注册公用设备工程师(暖通空调)基础考试大纲,对注册考试相关的理论知识进行了讲解,结合历年试题进行了全面的分析,并与学员们共同探讨了如何应对考试中遇到的具体问题。由于此次授课采用小班教学模式,学员与老师之间形成了良好的互动,学员们普遍感觉受益匪浅,为备战今年的注册考试提供了很大的帮助。

培训结束后,杂志社还以问卷调查的形式对学员们的感受进行了调查,包括课程设置及老师授课评价等,学员们纷纷留下自己的意见和建议,为今后更好地举办培训班提供了参考。

(龚雪)