

《建筑环境学》 实验教学讲义

大理理工大学土木水利实验教学中心
建筑环境与设备工程实验室
2011年10月

一 基本环境参数测试实验

一. 总则

1) 实验目的

- (1) 了解建筑热湿环境、建筑空气环境、建筑光环境及建筑声环境的基本环境参数及其测试方法；
- (2) 掌握基本环境参数测试仪器的测试基本原理、依据的国际或国内相关标准。

2) 基本环境参数

建筑热湿环境：温度、相对湿度、黑球温度、房间气流速度

建筑空气环境：化学污染物（甲醛、TVOC、氨气、苯、CO₂、CO）、物理污染物（放射性氡、可吸入颗粒物）、生物污染物（微生物）

建筑光环境：照度

建筑声环境：声压级

二. 测试实验内容

1) 建筑热湿环境

关于评价室内热湿环境的测试方法的标准和规范主要有：

ISO7726: Ergonomics of the thermal environment-instruments for measuring physical quantities.

ASHRAE ANSI/ASHRAE STANDARD 55-92 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy

(1) 空气温度测量

室内空气温度测量

室温通常是将温度计置于离地面 1m 至 1.5m 之间高度位置进行测量。这主要考虑到人的活动区为离地面 2m 之内的范围内，所以测点位置主要设在大约为平均室温的高度位置。ISO7726 推荐的测点高度分别为距地面 0.1m、0.6m、1.1m 和 1.7m。如果测试房间建筑面积较大，则水平面上也要选择代表性测点以平均室温；当测点靠近外窗或有辐射热源处时，应对温度探头做一个防辐射影响材料（如锡箔纸）做成的罩以减低辐射造成的测量误差。

室外空气温度测量

测量室外空气温度应将温度计探头设置于距地面 1.5m 高、背阴处。

(2) 房间相对湿度

由于通常无散湿源的房间内相对湿度变化不大，所以房间相对湿度测量在房间中央设置一个数字式温湿度计即可。

(3) 黑球温度

为了测量房间的平均辐射温度，可以通过测量黑球温度，然后根据公式（1）计算求得。

$$\bar{t}_r = t_g + 2.37\sqrt{v}(t_g - t_a) \quad (1)$$

式中： \bar{t}_r ——平均辐射温度，℃；

t_g ——黑球温度，℃；

t_a ——空气温度，℃；

v ——风速，m/s。

黑球温度是利用黑球温度计测得。黑球温度计是由直径 150mm 的涂黑薄壁铜球内装有温度计组成，温度计的感温包位于铜球的中心。使用时将黑球温度计悬挂在测点处，使其与周围环境达到热平衡，此时测得的温度为黑球温度。

(4) 房间气流速度

通常将变动的室内气流用作环境要素之一进行评价时，采用某一定时间内的测定值进行时间平均的平均风速。求室内平均风速时，一般需要 1 分钟至 3 分钟左右的测定时间。

2) 建筑空气环境

(1) 化学污染物的测试

① 空气中甲醛含量的测定

a) 检测范围：新建、扩建和改建的民用建筑工程室内空气中甲醛浓度的测定。

b) 检测依据：

- 中华人民共和国国家标准《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB50325-2001
- 中华人民共和国国家标准《室内空气质量标准》GB/T 18883-2002
- 中华人民共和国国家标准《公共场所空气中甲醛测定方法》GB/T 18204.26-2000

c) 检测参数：空气中甲醛浓度

d) 仪器和设备

- 大型气泡吸收管：出气口内径为 1mm，出气口至管底距离等于或小于 5mm。
- 恒流采样器：流量范围 0~1L/min。流量稳定可调，恒流误差小于 2%，采样前和采样后，应用皂沫流量计校准采样系列流量，误差小于 5%。
- 具塞比色管：10mL。
- 7230G 可见光分光光度计：在 630nm 测定吸光度。

e) 检测方法：可采用《公共场所空气中甲醛测定方法》GB/T 18204.26-2000 中酚试剂分光光度法进行，也可采用甲醛分析仪现场检测。

I. 酚试剂分光光度法

采样：

依据中华人民共和国国家标准《室内空气质量标准》GB/T 18883-2002 附录 A 进行选点，在采样点用一个内装 5mL 吸收液的大型气泡吸收管，以 0.5L/min 流量，采气 10L。并记录采样点的温度和大气压力。采样后样品在室温下应在 24h 内分析。

绘制标准曲线：

取 10mL 具塞比色管，用甲醛标准溶液按下表制备标准系列：

表 1 甲醛标准溶液制备标准系列

管号	0	1	2	3	4	5	6	7	8
标准溶液 (ml)	0	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.50	2.00
吸收液 (ml)	5.0	4.9	4.8	4.6	4.4	4.2	4.0	3.5	3.0
甲醛含量 (μg)	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0

各管中，加入 0.4mL1%硫酸铁铵溶液，摇匀。放置 15min。用 1cm 比色皿，以在波长 630nm 下，以水参比，测定各管溶液的吸光度。以甲醛含量为横坐标，吸光量为纵坐标，绘制曲线，并计算回归线斜率，以斜率作为样品测定的计算因子 $B_g(\mu\text{g}/\text{吸光度})$ 。

样品测定：

采样后，将样品溶液全部转入比色管中，用少量吸收液洗吸收管，合并使总体积为 5mL。按绘制标准曲线的操用步骤测定吸光度 (A)；在每批样品测定的同时，用 5mL 的吸收液作试剂空白，测定试剂空白的吸光度 (A_0)。

结果计算：

将采样体积按下式换算成标准状态下采样体积：

$$V_0 = V_t \times \frac{T_0}{273+t} \times \frac{P}{P_0} \quad (2)$$

式中： V_0 ——标准状态下的采样体积，L；

V_t ——采样体积，L=采样流量 (L/min) 采样时间 (min)；

t ——采样点的气温，℃；

T_0 ——标准状态下的绝对温度，=273；

P ——采样点的大气压力，kPa；

P_0 ——标准状态下的大气压力，=101kPa。

空气中甲醛浓度按下式计算

$$C = (A - A_0) \times B_g / V_0 \quad (3)$$

式中：C——空气中甲醛， mg/m^3 ；

A——样品溶液的吸光度；

A_0 ——空白溶液的吸光度；

B_g ——计算因子， $\mu\text{g}/\text{吸光度}$ ；

V_0 ——换算成标准状态下的采样体积，L。

II. 现场法

见仪器设备操作规程。

② 空气中总有效挥发物 TVOC 的测定

- a) 检测范围：新建、扩建和改建的民用建筑工程室内空气中总挥发性有机物 (TVOC) 的测定。

b) 检测依据:

- 中华人民共和国国家标准《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB50325-2001
- 中华人民共和国国家标准《室内空气质量标准》GB/T 18883-2002
- ISO 16017—1 《室内、环境和作业场所空气 取样和通过吸附管/热吸/毛细气相色谱法分析挥发性有机成分》

c) 检测参数与内容:

空气中甲醛、苯、甲苯、对（间、邻）二甲苯、苯乙烯、乙苯、乙酸丁酯、十一烷的含量，并计算出空气中总挥发性有机物（TVOC）（对未识别组分均以甲苯计）的含量。

d) 检测仪器及设备:

- 气相色谱仪（毛细管柱、氢火焰离子化检测器）
- 热解吸装置
- 空气采样器
- 注射器

e) 检测方法:

- 采样和样品保存: 依据中华人民共和国国家标准《室内空气质量标准》GB/T 18883-2002 附录 A 进行选点, 将吸附管与采样泵用塑料或硅橡胶管连接。打开采样泵, 调节流量, 以保证在适当的时间内获得所需的采样体积 (1L~10L)。如果总样品量超过 1mg, 采样体积应相应地减少。记录采样开始及结束的时间、采样流量、温度和大气压力。样品可保留 14 天。
- 制备约 0、0.01mg/mL、0.1mg/mL、1.0mg/mL、10.0mg/mL 标准溶液系列。
- 通过热解析和气相色谱分析每个标准溶液, 记录峰面积, 并以峰面积的对数为横坐标, 以对应组分浓度的对数为纵坐标, 绘制标准曲线图。
- 所采室内空气样品和所采室外空气样品同法测定, 以保留时间定性, 记录峰面积并从标准曲线上查得样品中个组分的含量。

③空气中氨的检测

a) 检测范围: 新建、扩建和改建的民用建筑工程室内空气中甲醛浓度的测定。

b) 检测依据:

- 中华人民共和国国家标准《公共场所空气中氨的测定方法》GB/T18204.25-2000

b) 检测仪器:

- 大型气泡吸收管
- 空气采样器
- 具塞比色管
- 分光光度计

c) 检测方法:

- **制备试剂和材料。**试剂和材料包括: 吸收液、水杨酸溶液、亚硝基铁氰化钠溶液、次

氯酸钠溶液、氨标准溶液。制备方法遵照《公共场所空气中氨的测定方法》GB/T18204.25-2000 有关规定进行。

- **采样。**依据中华人民共和国国家标准《室内空气质量标准》GB/T 18883-2002 附录 A 进行选点，在采样点用一个内装 10 mL 吸收液的大型气泡吸收管，以 0.5 L/min 流量，采气 5 L，及时记录采样点的温度及大气压力。采样后，样品在室温下保存，于 24 h 内分析。
- **样品分析**
 - 绘制标准曲线。按 GB/T18204.25-2000.6.1 进行；
 - 样品测定。按 GB/T18204.25-2000.6.2 进行。
 - 结果计算。按 GB/T18204.25-2000.7 进行。
- **测定范围、精密度和准确度**
 - ✓ 测定范围：按本法规定的条件采样 10min，样品可测浓度范围为 0.01~2 mg/m³；
 - ✓ 灵敏度：10 mL 吸收液中含有 1 μg 的氨的吸光度为 0.081±.003；
 - ✓ 检测下限：为 0.5 μg/10 mL，若采样体积为 5 L 时，最低检出浓度为 0.01 mg/m³；
 - ✓ 干扰和排除：对已知的各种干扰物，本法采取有效措施进行排除，常见的 Ca²⁺、Mg²⁺、Fe³⁺、Mn²⁺、Al³⁺ 等多种阳离子已被柠檬酸络合；2 μg 以上的苯氨有干扰，H₂S 允许量为 30 μg；
 - ✓ 精密度：当样品中氨含量为 1.0、5.0、10.0 μg/10 mL 时，其变异系数分别为 3.1%、2.9%、1.0%，平均相对偏差为 2.5%；
 - ✓ 准确度：样品溶液加入 1.0、3.0、5.0、7.0 μg 的氨时，其回收率为 95%~109%，平均回收率为 100%。

④ 空气中苯的测定

- a) 检测范围：新建、扩建和改建的民用建筑工程室内空气中苯、甲苯和二甲苯浓度的测定。
- b) 检测依据：
 - 中华人民共和国国家标准《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB50325-2001
 - 中华人民共和国国家标准《室内空气质量标准》GB/T 18883-2002
 - 中华人民共和国国家标准《居住区大气中苯、甲苯和二甲苯卫生检验标准方法》GB 11737-89
- c) 检测参数：

室内空气中苯、甲苯、二甲苯浓度。
- d) 检测仪器及设备
 - 活性炭采样管
 - 空气采样器
 - 注射器
 - 微量注射器

- 热解吸装置
- 具塞刻度试管
- 气相色谱仪（附氢火焰离子化检测器）
- 色谱柱

e) 检测方法

- 采样和样品保存：依据中华人民共和国国家标准《室内空气质量标准》GB/T 18883-2002 附录 A 进行选点，在采样点打开活性炭管，以 0.5 L/min 的速度抽取 10L 空气，采样后，将管的两端套上塑料帽，并记录采样时的温度和大气压力。样品可保留 5 天。
- 制备约 0、0.01mg/mL、0.1mg/mL、1.0mg/mL、10.0mg/mL 标准溶液系列。
- 通过热解析和气相色谱分析每个标准溶液，记录峰面积，并以峰面积的对数为横坐标，以对应组分浓度的对数为纵坐标，绘制标准曲线图。
- 所采室内空气样品和所采室外空气样品同法测定，以保留时间定性，记录峰面积并从标准曲线上查得样品中个组分的含量。

(2) 物理污染物检测

①空气中氡浓度检测

- a) 检测范围：新建、扩建和改建的民用建筑工程室内空气中氡的检测。
- b) 检测依据：
 - 中华人民共和国国家标准《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB50325-2001
 - 中华人民共和国国家标准《室内空气质量标准》GB/T 18883-2002
 - 中华人民共和国国家标准《环境空气中氡的标准测量方法》GB/T 14582-93
- c) 检测参数：室内空气中氡的浓度。
- d) 检测仪器和设备：1027 测氡仪
- e) 检测方法：现场法，见仪器操作规程。

② 民用建筑土壤氡浓度检测

- a) 检测范围：新建、扩建和改建的民用建筑工程地质勘查。
- b) 检测依据：
 - 中华人民共和国国家标准《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB50325-2001
 - 中国核工业总公司行业标准《氡及其子体测量规范》EJ/T 605-91
- c) 检测参数：土壤中氡浓度。
- d) 检测仪器和设备：FD3017 RaA 测氡仪
- e) 检测方法：
 - 布点：在工程地质勘查范围内布点时，应以间距 10m 作网格，各网格点即为测试点，（当遇到较大石块时，可偏离 2m），但布点数不应少于 16 个，布点位置应覆盖基础工程范围。
 - 在每个测试点，应采用专用钢钎打孔。孔的直径宜为 20~40mm，孔的深度宜为

500~800mm。

- 成孔后，使用取样器，插入打好的孔中，取样器在靠近地标出应进行密闭，避免大气渗入孔中，然后进行抽气。
- 对所采集的土壤间隙中的空气样品测定现场土壤氡浓度。
- 取样测试时间宜在 8:00~18:00 之间，现场取样测试工作不应在雨天进行，如遇雨天，应在雨后 24h 后进行。
- 现场测试应有记录，记录内容包括：测点布置图，成孔点土壤类别，现场地表状况描述，测试前 24h 以内工程地点的气象状况等。

③ 可吸入颗粒物 (PM10)

使用 lighthouse3016 型手握式颗粒计数器，对范围在 0.3、0.5、0.7、1.0、2.0、5.0 μm 的室内颗粒物进行实测。每次连续测试 3 分钟，每分钟记录一次计数浓度 (个/ m^3)，取 3 次测试平均值换算成计重浓度 (mg/m^3) 作为实测浓度。

(3) 生物污染物的检测

空气微生物采用 Anderson 6 级空气微生物采样器测量，微生物的培养基真菌采用沙氏培养基 (Sabourand's agar, SDA)，25℃ 恒温培养 72h；细菌采用大豆胰蛋白胨琼脂 (tryptic soy agar, TSA) 培养基，37℃ 恒温培养 48 h。真菌采用显微镜根据形态鉴别法鉴别到属，细菌采用革兰氏染色。室内送风量采用美国 TSI 的风口风量帽测试，同时记录送风温湿度、室内人数和室内面积。微生物实验过程严格遵循无菌操作，玻璃器皿先经 121℃、25min 高温灭菌，然后使用。微生物采样器及相关用品每次使用前用体积分数为 70% 的酒精消毒。每次测试时设置空白样，同测试样一起培养，没有菌落生长则测试有效。

3) 室内照明测量

(1) 实验目的

对已建成房间的照明效果进行检测，保证室内照明满足相关标准要求和设计要求，建立照明设施的维护保养制度，有必要对建筑物的照明情况进行现场调查和实测。通过实验要求同学掌握实测方法和结果整理方法。

(2) 实验内容

根据各种建筑物的使用功能和要求的不同，室内照明实测的内容也有差别。室内照明测量的内容一般包括：室内工作面上各点照明的测量、室内各表面的反射系数测量以及室内各表面和设备的亮度测量。就照度测量来说，对于有确定工作位置的房间（如阅览室和工厂的生产车间），要求测量实际工作面的照度；没有固定工作地点的房间，要求测定假想工作面（距地面 0.8m 处）的平均照度；还有一些视觉工作对象是垂直工作面，如图书馆的书库、商店的货架、中心控制室的仪表盘等等，要求测定垂直面上的照度。因此，要根据被测对象的不同情况，选择适合的测量内容和要求。

(3) 测量仪器

室内照明测量用的照度计宜为光电式照度计，读书显示为指针或数字式均可，要求仪器的精

准确度达到 II 级以上。考虑到测量中将遇到各种类型的具有不同光谱特性的光源，以及测点的光线可能来自不同的方向和角度的多处光源，因此，照度计的接收器应当带有滤光片和余弦修正装置，测量仪器在测量前也必须经过校正。

(4) 测点布置

国家标准《室内照明测量方法》规定：对于一般工作照明，测定工作面上的平均照度要采用方格网的布点方法，即将测量区域划分成大小相等的方格（或接近方格）测量每个方格中心的照度 E_i ，然后把所有的方格测点的照度值累加起来，求出它的算术平均值，即为测量区域的平均照度值 \bar{E} ：

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad (4)$$

式中： \bar{E} ——测量区域的平均照度 (lx)；

E_i —— 每个测量网格中心的照度 (lx)；

n —— 测量网格数，即测点数。

测量网格大小的划分应视待测房间面积的大小而定，面积较大的房间或工作区可取 2~4m 的正方形网格；对于小面积的房间可取 1m 见方的正方形网格；遇到走廊、通道、楼梯等长条形的工作区域，则在它们的长度方向上的中心线上按 1~2m 间隔布置测点。

局部照明时的测点布置，可在需要照明的地方设置测点进行测量。当测量场所狭窄时，选择其中有代表性的一点；当测量场所比较宽敞时可按上述一般工作照明的布点方法进行测量布点。

测量结果的平均照度值的精确程度显然跟测点数目的多少有关，测点数目越多，要求网格的尺寸要小，得到的平均照度值会精确些，但花费的时间和精力也要更多。如果由测量获得的平均照度的误差控制在 ±10% 范围以内，则允许减少测点数目以减轻测量工作量。但允许的减少测点数要根据室形指数确定。

室形指数 K_r 是反映房间比例关系与光源光通量利用程度的一个量，对于矩形房间， K_r 值的计算如下式：

$$K_r = \frac{LW}{H_{rc}(L+W)} \quad (5)$$

式中： L —— 房间长度 (m)；

W —— 房间宽度 (m)；

H_{rc} —— 工作面上至灯具出光口的高度 (m)。

由室形指数控制的室内照明最小测点数可参见表 2，室内空间的划分参见图 1。

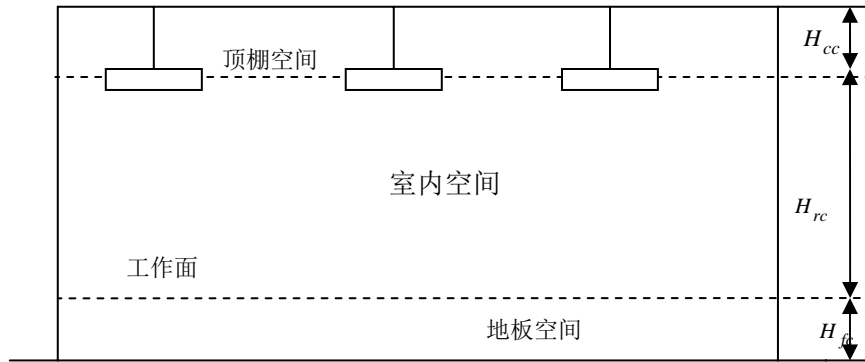


图 1 室内空间的划分

表 2 最少测点数与室形指数的关系

室形指数 H_{rc}	测点数	室形指数 H_{rc}	测点数
<1	4	2~3	16
1~2	9	≥ 4	25

(5) 照明测量方法

① 光源的准备

测量开始前要把测量范围内的照明用灯全部打开，白炽灯需点亮稳定 5min，荧光灯需点亮稳定 15min，高强气体放电灯（高压汞灯、高压钠灯、金属卤化物灯等）需点亮稳定 30min 以上，待各种光源的光输出达到稳定状态后再进行测量，对于新安装灯泡都应经过一段时间的使用，气体放电光源要使用 100h 以上，白炽灯要使用 20h 以上，才能作为测量用的光源。测量时还要排除其他无关的光源的干扰。

② 照度计的使用

用照度计测量时应注意电表头上量程档的选择，一般要求先从大量程档开始。根据电表上照度的指示值逐步从大到小找到需用的档次，原则上不允许在该档最大量程的 1/10 范围内测定，以保证表头指示的读数在准确计量的量程范围之内。

对于自动换挡的数字式照度计不存在这个问题，只需直接读数，但显示屏上的读数一定要和该档的档位数相对应。

③ 数据的采集

为了提高测量的准确性，每一个测点要读取三次读数。为此，要用手遮挡接受器数次来获得多次读数，每次读数时要等待电表的指示值稳定后再行读数。

④ 测量条件

测量进行中应保持电源电压稳定，并使之在灯泡的额定电压下进行测量。如达不到这一要求，应在测量照度的同时测量电源电压，当与额定电压不符时，则应比照电压的偏差对光通量予以修正。

(6) 照明测量的数据整理

测量结果的计算和整理工作包括平均照度 \bar{E} 的计算、照度最高值 E_{max} ，照度最低值 E_{min} 的大

小和位置的分析。照度均匀度的均匀度可按下式计算：

$$U_E = \frac{E_{\min}}{E} \quad (6)$$

室内照明测量记录还应包括以下内容：测量地点、环境条件、灯具型号规格、灯具布置、灯具清洁程度以及测量结果详细计入测量记录。

4) 环境噪声监测实验

(1) 实验目的

学会用定量的方法了解分析声环境，运用噪声测量技术可以在任何需要进行噪声测量的地方进行噪声测量和监测。通过测量也可以掌握声级计的使用。

(2) 实验内容

测量固定地点噪声，包括室内和室外；进行环境噪声的长期监测；工业企业噪声测量等内容可任选一种进行测量。

(3) 实验仪器

HS5633 数字声级计或 TES-1353 积分式噪音计、三角支架、卷尺。

(4) 测量方法

① 固定地点噪声测量

固定点测试一般是进行对环境噪声标准的监测。测点选在受干扰的人员住宅或工作建筑物外 1m 处。

② 城市环境噪声长期监测

目的是为了观察城市环境噪声变化规律和原因而进行的长期监测，有条件的情况下用“自动检测系统”监测，条件欠缺的情况下进行人工监测，可按下述方法进行。

a) 测点布置：

一般希望不少于 7 个测点，其中：繁华市区、典型居民区、工厂各设一点；交通干线和混合区各设两点；测点高度一般不低于 1.2m，也可至于高层建筑上，以扩大监测范围；但测点位置和高度选定后，在整个监测过程中应保持不变。

b) 测量方法：

每季度测量一次（有条件时每月测量一次），每次对每个测点进行白天与夜间各测一次，对于不同的测点可根据各测点噪声发生时间特点选择测量时间；同样，当测量时间一旦选定后，对于同一个测点，每次测量时间在整个测试过程必须保持一定；而对于不同的测点之间测量时间不要求统一在同一时间同时进行测量。

每次用 A 声级慢档测量。每 5 秒读一个数，连续读 200 个数据。

③ 工业企业噪声

a) 测点选择：

被测对象（车间）内各点的 A 声级差小于 3dB 时，选择 1~3 个测点进行测试。若大于 3dB 时，可将车间分为若干区域，而任意两相邻区域声级差大于或等于 3dB 时，每个区域

内声级波动必须小于 3dB，每个区域取 1~3 个测点，这些区域必须包括所有工人经常工作、活动的范围。

b) 测量方法：扰民工业噪声源调查测试方法

对稳定噪声用 A 声级慢档测量。对不稳定噪声按每五秒读一个数，连续读取 100 个数。

■ 包络层测点的选取：

在每一座工厂边界外 1m 的包络线上(相邻的两座或两座以上工厂组成的工业小区包络线上)，选取测点若干点，要求每个测点间的 A 声级噪声相差为 5 dB。

■ 第二层测点：

以包络层测点为基点，沿噪声传播方向，选取 A 声级相差为 5dB 的为第二层测点。按照第二层测点的原则选第三层测点，一直到接近本底噪声声级为止（指该工作停止时的环境噪声声级）。

(5) 测量结果的整理

由于环境噪声是随时间而变化的无规律噪声，测量结果要用累计分布声级 L_n 和连续等效声级 L_{eq} 来表示。

① 累计分布声级 L_n 的整理

在规定测量时间 T 内，N%时间的声压级超过某一 L_A 值，这个 L_A 值叫做累计百分声级，用 L_N 表示，单位 dB。累计百分声级用来表示随时间起伏无规噪声的声级分布特性。按规定，要整理出 L_{10} 、 L_{50} 和 L_{90} 三个累计分布声级，其中 L_{10} 代表 10%的时间超过的噪声级，它相当于噪声的平均峰值， L_{50} 代表 50%的时间超过的噪声级，它相当于噪声的平均值； L_{90} 代表 90%的时间超过的噪声级，它相当于噪声的本底值。

具体的统计方法是排队法，把每一个测点测得的全部 100 个数作为样本，以数据的大小作为排队先后的依据，从小到大依次排列，那末位排在第 10 位的声级值即为 L_{90} ，这是由于从第 11 位开始到第 100 位数据中有 90 个数的声级都大于它。以此类推，排在第 50 位的即为 L_{50} ，排在第 90 位的即为 L_{10} 。

如果排队的次序倒过来，按从大到小的次序排列，那排在第 10 位的即为 L_{10} ，排在第 50 位的是 L_{50} ，排在第 90 位的是 L_{90} 。

为了进一步弄清测点上噪声的平均值与样本的离散情况，还要计算出样本的标准差 σ ，可按下式计算：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_{Ai} - \bar{L}_A)^2} \quad (7)$$

式中： L_{Ai} ——第 i 次测量的 A 声级读数[dB(A)]；

\bar{L}_A ——100 个样本读数的算术平均值；

n ——测量得到的 A 声级读数个数，对于每个测量点 $n=100$ 。

② 连续等效声级的 L_{eq} 的整理

计算等效连续声级的公式如下：

$$L_{eq} = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_{Ai}} \right) \quad (8)$$

式中： L_{Ai} ——在某个测点上第 i 次测得的 A 声级 [dB(A)]；

n ——在该测点上的测量次数；

L_{eq} ——测点的等效连续声级 [dB(A)]。

如果所测量的随机噪声的声级起伏能很好的符合正态分布（高斯分布）规律，那么它累积分布描绘在正态概率坐标纸上的图形为一直线，则可以近似地利用前面整理出的累计分布声级 L_n 来推算等效连续声级 L_{eq} ，推算的公式是：

$$L_{eq} \approx L_{50} + \frac{d^2}{60} \quad (9)$$

式中： $d = L_{16} - L_{84}$ 。

此时等效连续声级所依据的声级样本的标准差也可以从累计分布声级中推算：

$$\sigma = \frac{1}{2}(L_{16} - L_{84}) \quad (10)$$

式中： L_{16} ——16%的时间超过的噪声级；

L_{84} ——84%的时间超过的噪声级。

③ 昼夜等效连续 A 声级 L_{dn} 的整理。

在昼间和夜间的规定时间内测得的等效 A 声级分别称为昼间等效声级 L_d 和夜间等效声级 L_n 。昼夜等效声级为昼间等效声级的能量平均值，用 L_{dn} 表示，单位 dB。

考虑到噪声在夜间要比在昼间更吵人，故计算昼夜等效声级时，需要将夜间等效声级加上 10dB 后再计算。如昼间规定为 16h，夜间为 6h。昼间和夜间的时间分段，可依地区和季节的不同按照当地习惯规定划定。

当区域环境噪声测量在昼夜 24 小时中连续进行，可按下列公式计算昼夜等效连续声级 L_{dn}

$$L_{dn} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(16 \times 10^{0.1L_d} + 8 \times 10^{0.1L_n} \right) \quad (11)$$

式中： L_d ——白天测得的等效连续 A 声级 [dB(A)]；

L_n ——夜间测得的等效连续 A 声级 [dB(A)]。

若以一次测量结果表示某时段的噪声，则白天测量应在正常的工作期间内进行。早（或晚）及夜间的测量，各地应根据实际情况，选择恰当的时间，要求在该时间内所得测量结果 L_{eq} 值与整个时段的平均 \bar{L}_{eq} 值的偏差为最小。

三. 实施方法

空气污染物测试在实验室由老师进行演示性实验。其余有关环境参数的测试方法在授课过程中进行讲解，具体实施可以根据自主选题实验研究的需要选择合适的实验内容。

3.1 自主选题实验研究

3.1.1 教学目的

通过自主选题研究，提高学生融会贯通地应用所学知识独立进行科学研究综合素质和能力。

3.1.2 实施方法

在课堂授课结束后，进入自主选题研究阶段，时间为 3 周左右。课题小组人数为 1~3 人，3 人小组需完成两个自主选题研究。在自主选题研究阶段应完成以下主要内容：

- 1) 制定研究题目和计划
- 2) 独立实施研究计划
- 3) 将研究成果制作成 PPT 课件，并发表论文
- 4) 撰写符合核心期刊论文格式要求的研究论文

3.1.3 具体说明

1) 制定研究题目和计划

(1) 研究题目

与《建筑环境学》内容相关，有一定的创新性。在确定题目之前，需进行相关内容的文献检索，以了解研究背景、研究方法以及研究的问题。

(2) 研究计划

研究计划应包括研究目的、研究方法（包括实验对象、实验地点和时间、测试仪器等）、拟探讨的问题等。

2) 研究论文的撰写方法

(1) 基本结构

- 论文题名+副标题(Title + subtitle)
- 作者姓名+通讯地址(Authors + correspondence address)
- 摘要+关键词(Abstract + Keyword)
- 引言(Introduction)
- 材料与方法(Materials and methods)
- 结果与讨论 (Results & Discussion)
- 结论(Conclusion)
- 致谢(Acknowledgement)
- 参考文献(Reference)

(2) 具体要求

- 题目 Title

- 简洁 (Short)
 - 明确 (Specific)
 - 醒目 (Eye-catching)
 - 描述性语言 (Descriptive words)
- 如何写摘要 Writing an Abstract
- 在摘要中一般应包括以下几方面:
- 背景 (Background)
 - 方法 (Methods)
 - 结果 (Results)
 - 结论 (Conclusions)
- 如何写前言 Writing a introduction
- 科研现状 (Research Situation)
 - 目前的关键问题 (What are the key problems now)
 - 如何解决问题 (How we tackled the problems)
 - 评估研究成果 (Assess the effectiveness of the research)
- 研究方法的描述 Method
- 必须给出足够信息确保实验结果可以重复 (Enough information must be given so that the experiments could be reproduced)
 - 避免加入实验结果、评论或讨论 (Avoid adding comments and discussion)
 - 必要时使用小标题 (Usually with subheadings)
- 结果整理 Results
- 简明扼要, 合理展示数据, 并能证明研究结果与目的一致 (Clarity and brevity: display of data with logical development showing how your findings satisfy your objectives)
 - 数据要有意义, 如必要可与文献中数据做对比 (Number should be meaningful (where possible give illustrative examples and compare those with known results from literature))
 - 合理运用统计, 误差分析; 检查数据的准确性和一致性 (Use appropriate statistics, error analysis, check for accuracy and internal consistency)
 - 合理运用图表 (Pay considerable attention to best way to present data (use tables and figures))
- 怎样写好分析部分 How to write a Discussion
- 结论需严格客观 (Be rigorous about conclusions)
 - 总结实验结果支持结论 (Summarize evidence supporting each conclusion)
 - 讨论该研究存在的问题及不确定性 (Discuss problems, uncertainties regarding your

work)

- 对比其他人的研究结果 (Compare your findings with other studies)
- 理论或实际的应用及其重要性 (Theoretical or practical implications, importance)
- 讨论的内容 Discussion contents
 - 必要背景阐述 (Background for understanding the discussion)
 - 实验过程、结果及意义 (What you did, found, thought and what it means for the discipline)
 - 给出评论 (Comment)
 - 与前人工作对比 (Comparison to previous research)
 - 与前人工作相比有何独特之处 (How your results were unique or different from previous research)
 - 局限性 (Limitations)
- 怎样写结论 How to write a Conclusion
 - 实验结果总结 (Summary of the research findings)
 - 讨论可能的应用 (Recommendation of Applications)
 - 贡献 (Contribution)
 - 局限性 (Limitations)
- 致谢 Acknowledgments
 - 技术支持 (Technical assistance)
 - 资金支持 (Financial Assistance)
 - 有益的讨论 (Helpful discussions)
 - 建设性的意见 (Critical reading of manuscript)
- 参考文献 Reference
 - 引用主要文献, 一般20-50篇, 适当引用综述文献 (Include the main scientific publications on which your work is based typically 20-50 papers, include review articles as appropriate)
 - 保证所引文献的前沿性 (Make sure the list is up to date)
 - 根据期刊要求调整格式 (Check the format)

3) 论文格式

(1) 整体要求

- 页面设置: 上边距: 3.0cm, 下边距2.2cm, 左边距: 2.0cm, 右边距: 1.8cm。
- 字体字号: 汉字使用宋体, 英文及数字使用Times New Roman。
- 图表数量: 图表总数不能超过8个。如遇特殊情况, 经编辑部确认后, 视情况而定。
- 页码: 按本模板设置要求排版, 总页数不超过6页。
- 正文部分需分为两栏。

(2) 正文

- 中文摘要：主要论述文章以什么为研究基础或对象，用怎样的实验手段进行了什么研究，最后得出什么结论，字数控制在200左右。
 - 关键词：按照所述概念范围大小顺序排列，不超过8个。
 - 正文部分从“引言”开始从“0”开始依次排号。
 - 引言：从文章相关研究的研究背景及国内外的研究现状起笔，切入文章所述研究的创新点，简述研究结论及意义即可，字数控制在500字左右。
 - 研究内容：着重突出文章本身的研究特点，文章中出现的公式、图表条理清晰，具体要求：
- (3) 公式：书写明确，标注清晰，公式后对文中首次出现的不常用符号或作者自己规定的符号做解释（常用符号不用做相关解释，若文中的变量符号较多可在文后统一解释）；
- (4) 图、表：按照在文中出现的先后顺序依次排号；有中英文对照的标题；图表中的变量用中文或变量符号表示，单位使用国际制单位；图面中坐标刻度设置为在坐标轴内侧，多条曲线者用不同图例的黑色线表示；曲线图尽量使用 excell 或 origin 软件做图，照片或截图要保证图片的分辨率在 300 以上；最好插入能在 word 文档中打开编辑的图；表格使用三线式表格。
- (5) 图、表、公式各自按照出现的先后顺序，从“1”开始排号。
- (6) 结论：要求言简意赅，总结文中观点即可。
- (7) 参考文献：按照所引文献在文章中出现的先后顺序依次排号，正文中出现的标号用上标表示，一般性文章参考文献不超过 15 条，综述性文章不超过 35 条，需有半数以上对译为英文。

4) 写作模板（见下页）

3.1.4 如何制作 PPT 演讲稿

PPT 演讲稿需满足下列基本要求：

- 1) 清楚
- 2) 易懂；
- 3) 容易理解

文章标题 (二号黑体, 居中)

作者前空一行, 作者单位后各空一行。

摘要内容包括: 以什么为研究基础或对象, 用怎样的实验手段进行了什么研究, 最后得出什么结论, 字数控制在 200 左右。用小五号字, 前后各缩进两个字符。

作者¹, 作者² (小四号宋体, 居中)

(1.作者 1 的单位名称, 所在地区邮编; 2. 作者 2 的单位名称, 所在地区邮编; 后依此类推) (六号宋体, 居中)

摘 要:以所研制的相变温度为 76℃的相变蓄热装置为研究对象, 通过数值模拟和实验研究的方法, 对该相变蓄热装置的蓄、放热性能进行了模拟分析与实验验证。研究表明:所研究的相变温度为 76℃的中温相变蓄热装置具有良好的蓄、放热性能, 为在太阳能利用、工业废热利用以及暖通空调蓄热等领域的工程应用提供了可能。

关键词:中温相变蓄热装置; 蓄、放热性能; 数值模拟; 实验; 工程应用可行性

中图分类号:TK513.5

文献标识码:A

0 引言 (一级标题用四号黑体)

(正文汉字使用五号宋体, 字母及数字使用 Times New Roman) 由于相变材料在相变过程中具有可在近似恒温条件下吸收或释放大相变潜热量, 与显热蓄热比较蓄热箱容积小, 蓄、放热效率高特点, 相变蓄热技术的应用日益受到人们的关注和重视。

国内外学者做了大量有关相变蓄热技术理论与实验方面的研究。……

本文在上述研究的基础上……

1 相变蓄热装置基本构造

2 蓄、放热性能的模拟分析

2.1 数学模型 (二级标题使用五号黑体)

在上述假定条件下, 建立相变蓄热装置中蓄热体(相变材料)与热媒体(热水)的控制方程。

蓄热体区域:

$$\rho_p c_p \frac{\partial T_p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_p \frac{\partial T_p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_p \frac{\partial T_p}{\partial y} \right) \quad (1)$$

热媒体区域:

$$\rho_f c_f (1 - \varepsilon) \left(\frac{\partial T_f}{\partial t} + u \frac{\partial T_f}{\partial y} \right) = hA(T_p|_{x=0.01} - T_f) \quad (2)$$

式中, ρ_f ——……; 依此类推

2.2 数值求解

图 1 中各条干燥曲线之间的间隔并不相等, 当干燥温度从 80℃增加到 90℃时, 干燥速率的增加率明显大于其它温度间隔的增加率, 特别是在 110、

120 和 130℃ 3 个温度下, 干燥速率虽然也有增加, 但变化不明显, 这说明低温区干燥速率增加较大, 高温区增加较小。

曲线图用不同图例的黑色线表示, 坐标刻度在坐标轴内侧, 变量说明用中文或变量符号表示。

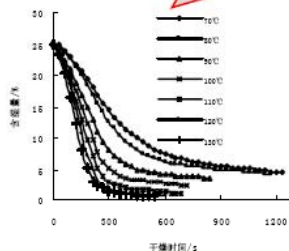


图 1 初含湿量 25% 的干燥曲线 (小五宋体, 居中)

Fig.1 Drying curve with initial moisture content of 25% (小五 times new roman, 居中)

2.3.3 热媒体流速的影响 (三级标题五号宋体)

照片图需清晰可见, 分辨率在 300 以上

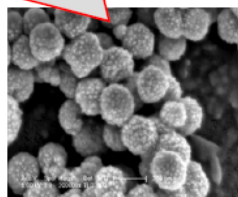


图 2……
Fig.2 ……

DX-76 板的厚度取 8mm, 其他计算条件同 2.3.1 节, 变化蓄热装置内相变材料的填充率, 考察填充率对蓄热装置蓄、放热速率的影响。由图 6 可见: 当填充率>0.7 以后, 填充率变化对蓄、放热时间的

收稿日期: 2007-01-01

基金项目: 资助项目 (项目编号); 依此类推

通讯作者: 姓名 (出生年-), 性别, 学历、职称, 主要研究方向。联系 E-mail

六号字, 基金项目后需有相应的项目编号。

影响明显加大。综合考虑蓄热量与蓄、放热时间的影响关系，本研究认为填充率取值为 0.5~0.7 较合理。

表格使用三线式，变量使用中文或变量符号，变量与单位之间用“/”隔开。

表 1 RSM 设计 (小五宋体, 居中)

Table 1 RSM design (小五 Times New Roman, 居中)

序号	X_1	X_2	X_3	脱色率/%
1	-1	-1	0	88.24
2	-1	1	0	92.66
3	1	-1	0	76.26
4	1	1	-1	74.18
5	0	-1	1	73.14

.....

4 结 语

数值模拟与实验结果表明.....为在太阳能利用、工业废热利用以及暖通空调蓄热等领域的实际工程应用提供了可能。(多者可分条列出)

1) 单独的活性炭网在使用过程中存在着吸附饱和，而将活性炭技术与光催化技术相结合可以延缓活性炭网的吸附饱和，同时提高污染物光催化净化

NUMERICAL ANALYSISSTORAGE TANK (四号 Times New Roman 大写, 居中)

Xing Ming¹, Xing Ming er², (五号 Times New Roman, 居中)

(1. The College of XXXXXXXX, XXX Universit, Beijing 100022, China;

2. The College of XXXXXXXX, XXX Universit, Rizhao 276826, China; 依此类推)

Abstract: Phase change-heat exchange numerical model was established to research the characteristics of heat charge and discharge in this LHTS tank. Results of simulation and experiments showed that the 76°C LHTS tank could work well when being applied in projects with solar energy, industrial waste thermal energy, HVAC thermal storage and other energy saving techniques.

Keywords: characteristics of heat charge and discharge; numerical simulation; experiments; application research

使用小五号 Times New Roman, 关键词全小写, 词与词之间用分号隔开。

效率;

.....

3) 以活性炭为载体进行催化剂成膜, 所得的催化剂膜既具有牢固性, 又具有活性, 适于实用化发展。

变量符号多者可在此单独列出, 少的直接在公式后解释即可。符号与解释之间空两格, 单位与解释之间用逗号隔开, 字母和数字使用小五号 Times New Roman, 汉字使用小五号宋体

符号表 (小五黑体, 居中)

λ 导热系数, W/(m·°C)

ρ 密度, kg/m³

c 比热, kJ/(kg·°C)

T 温度, °C

[参考文献] (五号黑体, 居中)

(具体格式请参见我刊主页《投稿须知》,

需有半数以上对译为英文)

[1] Katsunori Nagano, et al. Study on floor supply air conditioning system storing cold energy for building structure and grandules including phase change matrial[J]. J Environ Eng AIJ. 2004, 579(5):21—28.

[2]