

该教室附近无明显污染源；近三年之内没有进行过室内装修及桌椅的更换；教室座位数为 129 座；五扇普通单层玻璃钢窗，对开式，尺寸为 234cm×170cm，窗缝总长度 64.5m；两个普通木门，对开式，尺寸为 238cm×120cm。

测试仪器及测试系统

研究资料表明室内的污染物有上百种，有的浓度很低，不会影响人类的工作和学习，就此教室而言，主要检测其中的二氧化碳浓度。所用设备为 EC9820 型二氧化碳在线分析仪，如图 2 所示。



图 2 EC9820 型二氧化碳分析仪

EC9820 型二氧化碳分析仪由微机控制，采用非分散红外相关（GFC）光学测量技术，可精确、稳定地测量二氧化碳浓度，使 CO 和 H₂O 的干扰降到最小。为保证测试数据的准确性，在测试前，仪器稳定工作后，分别使用 N₂ 气体和浓度为 2890ppm 的 CO₂ 标准气对仪器进行了标定。

仪器主要技术参数见表 1。

表 1 技术参数表

量程显示	自动量程 0—3000ppm，分辨率 0.1ppm
模拟输出	从 0 - 100ppm，至 0 - 3000ppm 0—满量程；给出 0%，5%，及 10%的补偿。为用户确定的 2 个满量程值之间自动量程
噪声（在零点时）	0.1%浓度读数
最低检测限	2ppm 或 0.2%
零漂	固定温度时取决于时间，24 小时： 10ppm 30 天： 10ppm
温度变化	每度 0.2%
标漂	温度变化每度 0.2%，24 小时：0.5%浓度读数 30 天：0.5%浓度读数
滞后时间	< 20 秒
上升/下降时间	95%最终读数 < 60 秒（1slpm），使用卡尔曼活性过滤器
精 度	3000ppm 量程时 10ppm 或 1%浓度读数
采样流速	1slpm - 零气流向零气口需加大到 2slpm
零 气	供给仪器的零气（无 CO ₂ ）流速 10—15psi，0.5slpm
样气压力	压力变化 5%， <1%读数变化
使用温度	5 - 40
相对湿度	10 - 80%，无冷凝
干扰频率	H ₂ O 及 CO 几乎无干扰

根据《室内空气质量标准》GB/T 18883-2002 中的规定：采点的数量根据检测室内面积大小和现场的情况而定，以期能正确反应室内污染物的水平。原则上小于 50m² 的房间应设 1~3 个点；50~100 m² 的房间设 3~5 个点；100m² 以上的至少设 5 个点。被测教室面积大于 100 m²，因此选择五个采集点，在房间对角线上均匀布置。采点避开通风口，离墙壁距离应大于 0.5m。采点的高度原则上与人的呼吸带高度相一致。教室内部的管路布置如下，如图 3 所示。采样点距地面的相对高度为 1.5m。

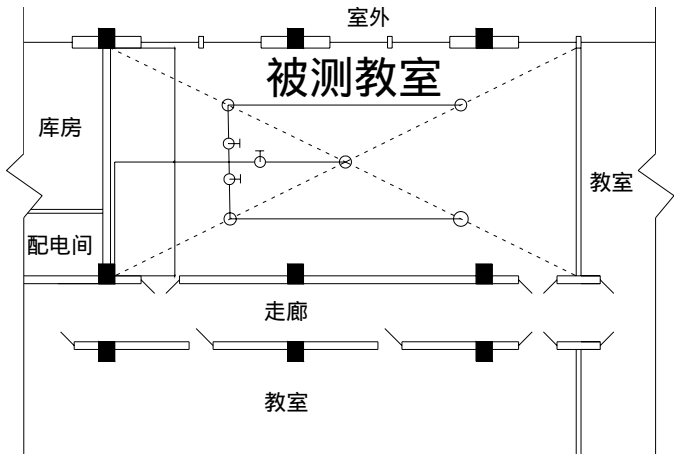


图 3 教室内部的管路布置图

管路共装有 5 个针型阀，用以调节 5 个测点的流量，使各测点流量达到一致。测试系统如图 4 所示。

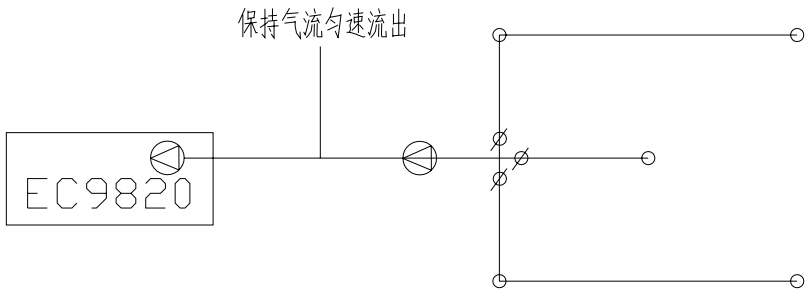


图 4 管路示意图

运用连续测量方式，每天的测量时间是：7:30-12:00，每隔 5 分钟记录一次数据。为进行温、湿度的测试，在教室中安装了温湿度自记仪。

3 测试数据。

因为教室三年之内无装修工程，墙面、桌椅等均较旧，所以甲醛等一系列由装修导致的化学污染物可忽略不计。教室安排的上课时间见表 2。

表 2 作息时间表

	第一节	第二节	第三节	第四节
时间	8：00-8：40	8：45-9：35	9：55-10：40	10：45-11：30

3.1 二氧化碳浓度

测试过程中，室外的二氧化碳浓度平均值为 726ppm。

下面列举四种状态的数据：教室满座率分别为：0.18，0.5，0.91 时的数据(图 4)，以及一组较理想的数据(图 5)。超出 3000ppm 的数据无法保证其正确性。由于测试时间位于采暖季，因此，测试时教室门窗均处于关闭状态。课间休息时，教室门全部开启，但窗户仍处于关闭状态。

数据 1：满座率为 0.18；室外风速：微风。

数据 2：满座率为 0.5；室外风速：微风。

数据 3：满座率为 0.91；室外风速：5-6 级。

在此基础上，又进行了数据 4 的实测：

数据 4：满座率为 0.88，室外风速：3-4 级，课间保持前后门开启，课上只开后门。

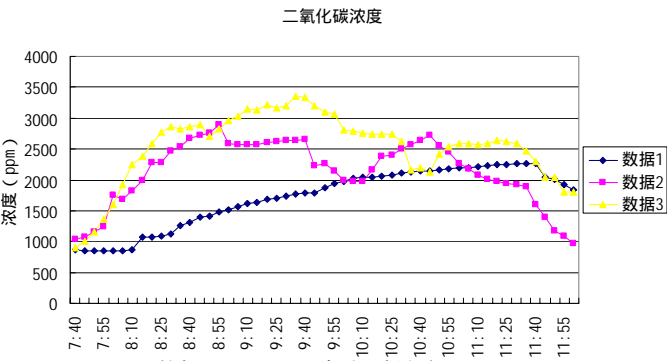


图 5 数据 1，2，3 二氧化碳浓度图

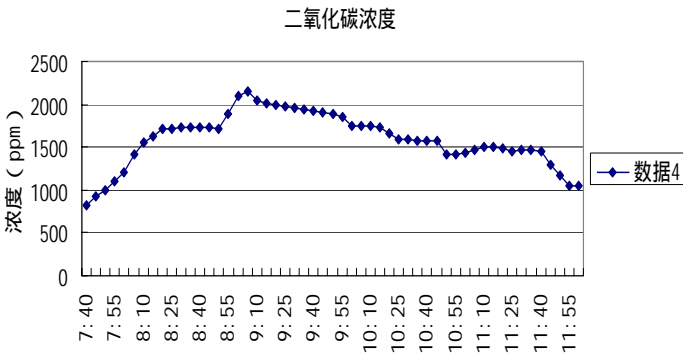
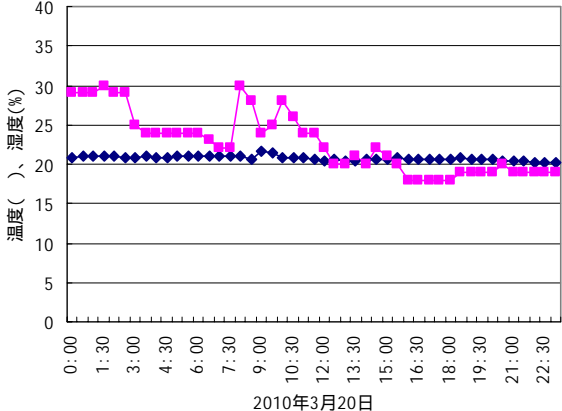
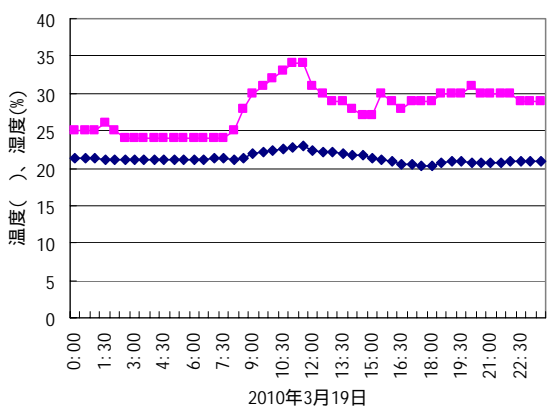


图 6 数据 4 二氧化碳浓度图

3.2 教室中温湿度测试数据见表 3 和图 7：

表 3 温湿度数据表

温度最大值	23.9	湿度最大值	37%
温度最小值	19.8	湿度最小值	17%
温度平均值	21.0	湿度平均值	24%



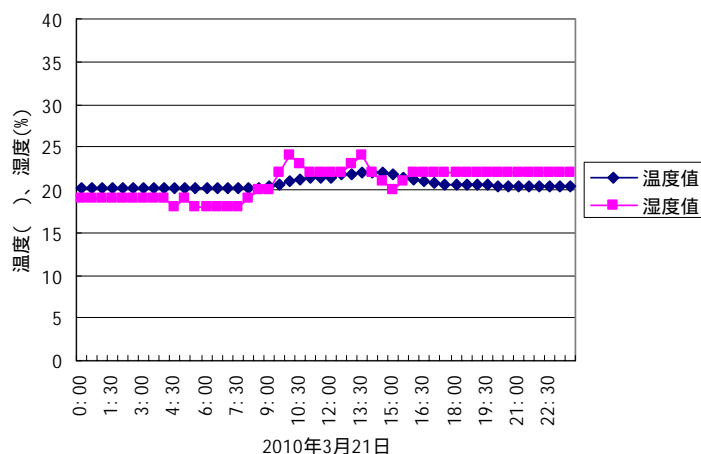


图 7 温湿度样本图

《室内空气质量标准》GB/T 18883-2002 中规定：冬季采暖期室内温度标准值为 16 ~24 ；湿度标准值为 30%~60%，由此可知，上述实验数据均在《室内空气质量标准》的控制范围之内，毋需改善。

4 数据分析

根据《室内空气质量标准》GB/T 18883-2002，室内二氧化碳的允许浓度为 0.10%，即 1000PPM；根据《中小学教室换气卫生标准》GB/T 17226-1998 教室内空气中二氧化碳最高容许浓度为 0.15%，即 1500ppm。根据以上测试数据及相关标准可以看出：

4.1 室外环境的影响。

数据 1、2、3 分别在 9:00、7:50、7:55 之后二氧化碳浓度超标，但满座率最高的数据 3 却不是最早超标的，其原因在于测量数据 3 时，室外恰为风沙天气，室外大风引起窗缝渗透作用加强，从而导致该数据超标时间延迟。由此可见：室内二氧化碳的浓度不仅跟室内人员密度、门窗的开启程度有关，而且与室外的天气状况也有很大关系，室外风速为其中最主要的影响因素。

4.2 课间。

小课间时间为：8:40~8:45；10:40~10:45，大课间时间为：9:35~9:55。

数据 2、3 中，小课间的浓度平均下降速度分别为：27.8ppm/min、340.3ppm/min，大课间的浓度平均下降速度分别为：22.4ppm/min、175.9ppm/min。由此可知，无论小课间还是大课间，数据 3 中二氧化碳浓度的平均下降速度均比数据 2 快得多，究其原因，是由于数据 3 室外有大风。因此，室外风速是影响室内二氧化碳浓度下降速度的主要因素。

4.3 课后（11:30 以后）。

因为室外二氧化碳浓度较高，所以教室内二氧化碳浓度下降很慢，对于数据 1，因下课后关闭门窗，故到 12:00 浓度未下降到标准以下；对于数据 2、3，下课后开启前后门，数据 2 下降到标准以下的时间是 11:40；而对于数据 3，虽然当天室外风速较高，12:00 时仍没有回落到标准以下，这是由于人员过多，导致二氧化碳浓度过高的缘故。

4.4 换气次数的计算。

利用气体衰减法的换气次数公式（《中小学教室换气卫生标准》GB/T 17226-1998）如下：

$$E = [2.303 \times Lg(K_1 - K_0) / (K_2 - K_0)] / t \quad (1)$$

式中： E ——每小时换气次数；

K_1 ——试验开始室内空气二氧化碳浓度；

K_2 ——试验终了室内空气二氧化碳浓度；

K_0 ——室外空气二氧化碳浓度。

此公式的适用条件是：一般在无风(室外风速 0.5m/s 以下)天气进行。在课业结束时师生全部退出后，利用教室中蓄积的二氧化碳气或人工放出二氧化碳，按一定时间(15min、30min、45min)测定开放气窗(或关闭气窗)前后室内空气中二氧化碳的浓度，计算出教室换气次数。

因此，选择数据 1 和数据 2 进行换气次数的计算，选择数据 1(关闭前后门) 数据 2(开启前后门) 中 11:30~12:00 时段，可得二者的换气次数分别为：0.62；3.45。根据《中小学教室换气卫生标准》GB/T 17226-1998 之规定：中学教室换气次数不得低于 4 次。所以开启前后门时，其换气次数与《中小学教室换气卫生标准》的规定很接近，因此可有如下结论：未安装或无条件安装通风系统的教室，若保持前后门开启，则可基本满足换气要求。

4.5 满座率。

从前三组数据整体来看，满座率越高的状态二氧化碳浓度也越高，升高较快，下降较慢。因此人员满座率也是影响二氧化碳浓度的重要因素。

根据《中小学校建筑设计规范》GBJ99-86 的规定，普通教室的人均占有面积为 1.12m^2 ，被测教室面积为 104.5m^2 ，则规定人数为 93，规定满座率为 0.72。

综上，下面列出一组较为理想的数据：室外风速 3-4 级，课间保持前后门开启，为减小对上课的影响，课上只开后门，满座率为 0.88。教室内的二氧化碳浓度见上图 5。

5 结论

二氧化碳浓度过高，危害很大，会刺激人的呼吸中枢，导致呼吸急促，并且会引起头痛、神志不清等症状。有关教室空气中 CO_2 浓度对学生脑力作业能力影响的研究表明，空气清洁度的不同对学生计算、完成作业效果影响明显，随着空气 CO_2 浓度的增加，学生脑力作业能力明显下降。可以认为，空气污浊是引起学生疲劳、降低学习效率的一个不可忽视的因素。因此，降低室内二氧化碳浓度至关重要。

目前，大学中大多数教室未安装通风系统，为降低教室内二氧化碳浓度，可采取如下措施：

- 1.保持前后门开启状态，并在课间开窗通风，保持空气流通，迅速降低二氧化碳浓度；
- 2.建议学校在排课时尽量减少上课人数，分班授课，使教室满座率保持不超过 0.72，从源头上控制二氧化碳的产生。
- 3.可在教室内布置一定量的绿色植物，既美观，又能在吸收二氧化碳的同时释放氧气，加速稀释二氧化碳的浓度。

满足以上条件，则室内空气品质即可得到大大的改善。

参考文献

- [1]. GB/T 18883-2002，室内空气品质标准 [S].
- [2]. GB/T 18204.24-2000，公共场所空气中二氧化碳测定方法 [S].
- [3]. GB/T 17226-1998，中小学教室换气卫生标准 [S].
- [4]. GBJ99-86，中小学校建筑设计规范 [S].
- [5]. 解进祥，褚柏，刘彦青，等. 教室空气中 CO_2 浓度对学生脑力作业能力的影响-教室换气研究之二[J]. 中国学校卫生，1994， 01.

