

大气污染物垂直梯度自动监测系统的研制

谢绍东, 张远航, 邵可声, 唐孝炎(北京大学环境科学中心环境模拟与污染控制国家联合实验室, 北京 100871, E-mail: sdxie@ces.pku.edu.cn)

摘要: 设计的大气污染物垂直梯度自动监测系统是用 2 个电磁阀实现 3 个高度的气体采样, 依靠分析仪器自身的抽气泵将气体样品通过聚四氟乙烯管抽入各分析仪器进行测量, 并用一台微机和一块 AD/DA 转换板实施对电磁阀的控制和数据采集。现场观测实验表明, 对于 25m 长的采样管清洗时间可设置 1min, 而采样管长度间的差异不会导致测量 O_3 、 SO_2 、NO 和 NO_2 小时平均浓度存在显著性差异。

关键词: 自动监测; 垂直梯度; 大气污染物; 机动车排气污染物

中图分类号: X831 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)04-0073-05

Development of Automatic Monitoring System of Vertical Gradients for Air Pollutant

Xie Shaodong, Zhang Yuanhang, Shao Kesheng, Tang Xiaoyan(State Key Lab of Environmental Simulation and Pollution Control, Center of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China E-mail: sdxie@ces.pku.edu.cn)

Abstract: An automatic monitoring system of vertical gradients for air pollutant was developed in the study. A air pollutant sampling at the three different heights was achieved by using two electromagnetic valves in this system. Based on the air pump in the instrument, the sampling gas were drawn into analytic instrument through PTFE tube and then their concentration were measured, the control of the electromagnetic valves and the gathering necessary data were carried by using a computer and an AD/DA conversation board. The results shown that the purging time can be set as one minute for a sampling tube of 25 m long, and the difference in the measured hourly concentration of O_3 , SO_2 , NO, NO_2 caused by the different sampling tube length were not significant.

Keywords: automatic monitoring system; vertical gradients; air pollutant; vehicular emission

随着对城市空气污染研究的深入, 往往需要连续自动监测道路或城市街道内机动车排气污染物在垂直方向上的浓度梯度分布^[1-4], 国外通常是在街道内安装的铁塔的不同高度放置仪器设备进行连续自动监测^[1,5]。国内常常是用人工采样监测^[2,4], 既工作量大, 又所获数据有限。因此, 本研究设计出了一套自动监测系统, 实现不同高度的连续自动监测。

1 自动监测系统的设计

图 1 为本研究设计的污染物垂直梯度自动采样监测系统。该系统是用 2 个电磁阀实现 3 个不同高度的气体采样, 依靠各监测仪器上的

抽气泵, 通过聚四氟乙烯采样管将采集到的气体样品抽入各分析仪器进行测量。对电磁阀的控制和各仪器数据的采集, 用一台计算机并通过 AD/DA 转换板转换, 以实现连续自动采样和数据的采集及处理。为了防止大气样品经过较长采样管后发生光化学反应, 现场测量时用铝箔将采样管包缠, 以避免阳光照射。

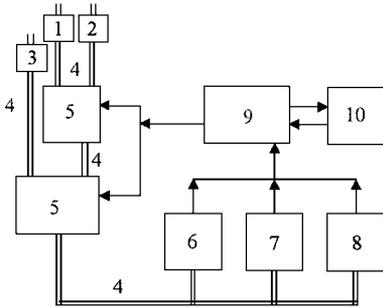
所用仪器设备为: 化学发光法 NO - NO_2 - NO_x 分析仪 Model 42S (CHEMMILUMI-

基金项目: 国家环境保护局科技发展计划项目, 国家教委《跨世纪优秀人才计划》基金资助项目。

作者简介: 谢绍东(1963~), 男, 四川人, 副教授, 主要研究方向为大气污染控制理论、技术与规划。

收稿日期: 1999-09-17

NESENCE NO-NO₂-NO_x ANALYZER), 美国 Thermo Environmental Instrument Inc. 生产, 方法检出限浓度为 0.02mg·m⁻³; 紫外光度法臭氧分析仪 Model49 (U. V. PHOTOMETRIC O₃ ANALYER), 美国 TE 公司; 脉冲荧光法 SO₂ 分析仪 Model 43 (PLUSED FLUORESCENT SO₂ ANALYZER), 美国 TE 公司. 这些仪器在测量之前, 都用标气进行了标定.



1. 高度 1 采样头 2. 高度 2 采样头 3. 高度 3 采样头
4. 采样管(聚四氟乙烯材料) 5. 电磁阀 6. CO 分析仪
或 SO₂ 分析仪 7. NO-NO₂-NO_x 分析仪 8. O₃ 分析仪
9. AD/DA 转换板 10. 计算机

图 1 污染物垂直梯度自动监测系统

2 实验结果与讨论

2.1 同一采样点不同长度采样管的结果分析

为了探讨采样管长度是否对测量结果有影响, 本研究于 1998-05-28~ 05-31 在北京大学

校园内距地面约 10m 处设置一采样点, 分别用长度为 25m、10m 和 2m、内径为 4mm、外径为 6mm 的聚四氟乙烯采样管在此处轮流切换采样, 以连续自动监测大气中的 SO₂、NO、NO₂ 和 NO_x 以及 O₃ 的浓度. 采样时清洗采样管和采集数据的时间均为 1min, 读取测量数据时每间隔 6s 读一次数, 于是每一个采样管每间隔 6min 完成一次采样和测量, 而每 h 将读取 100 个数据, 然后求得小时平均浓度. 经过 3d 的连续观测, 共得到 73h 的污染物小时平均浓度值. 图 2 为连续 3d 用不同采样管长度监测得到的各污染物小时平均浓度的逐日变化, 可见 3 个不同长度采样管监测获得的结果几乎没有差异. 为了更准确的说明问题, 对这些数据进行单因素方差分析^[6], 以检验 3 个不同长度采样管所得 3 组数据间是否存在显著性差异. 所得数据的统计结果见表 1, 单因素方差分析见表 2.

由表 2 可知, 用 3 个不同长度的采样管采集同一地点大气样品, 无论是监测 O₃, 还是 NO、NO₂ 以及 SO₂, 各采样管得到的数据之间均无显著性差异. 而且, 各个采样管出现的污染物最大值时间也十分一致. 表 1 中 O₃ 最大值出现在 05-31 日 14:00, SO₂ 最大值出现在 05-31 日 17:00, NO 和 NO₂ 最大值出现在 05-30 日 9:00. 这些结果和单因素方差分析表明, 采样管长度对于现场监测 O₃、SO₂ 和 NO_x 小时平均浓度无显著性影响.

表 1 1998-05-28~ 05-31 同一采样点用 3 个不同采样管所测 3 组数据的统计结果/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

污染物	采样管长度 /m	样本数	对所有数据求和	日平均值	方差 S	最大值	最小值
O ₃	25	73	6230.95	85.36	3853.55	305.49	8.8
	10	73	6197.77	84.90	4287.85	314.01	6.94
	2	73	6060.06	83.01	4031.46	308.41	8.37
NO	25	73	50.22	0.69	1.39	6.88	0.02
	10	73	52.42	0.72	1.50	6.65	0.02
	2	73	49.75	0.68	1.34	6.87	0.01
NO ₂	25	73	1689.18	23.14	102.50	41.94	4.78
	10	73	1659.19	22.73	102.10	40.64	4.74
	2	73	1671.74	22.90	99.74	40.48	4.48
SO ₂	25	73	7360.95	100.83	846.45	159.59	40.24
	10	73	6976.24	95.56	847.26	160.93	36.35
	2	73	6804.59	93.21	772.81	149.12	36.0

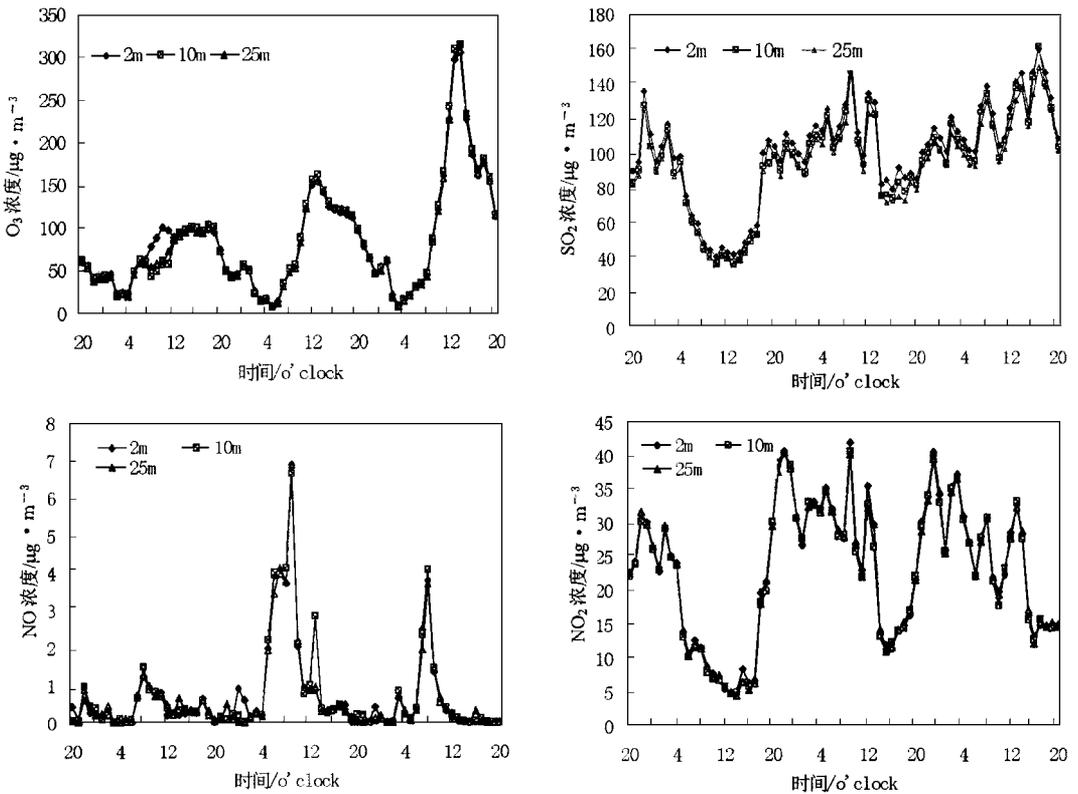


图 2 同一高度不同采样管长度监测获得的 O_3 、 SO_2 、 NO 和 NO_2 小时平均浓度的逐日变化

2.2 采样抽气时间的影响

采样抽气时间包括采样时清洗采样管的时间和采集数据的时间。清洗采样管和采集数据的时间各 1m in, 是现场实验前经过实验确定的。采样管 Φ 为 6mm、长度分别为 25m、10m 和 2m, 并用一台紫外光度法 O_3 分析仪直接测量室外大气, 每次采样管切换后, 观测 O_3 分析仪数据达到稳定时的时间。多次实验表明, 抽气泵流量 2L/m in 时最长采样管大约 30s 后仪器上的数据逐渐趋于稳定。考虑到本研究设计的自动监测系统, 拟同时用 3 种仪器测量污染物, 其抽气流量大约 5.5L/m in, 因此每次切换采样管后清洗采样管的时间设为 1m in 已经足够了, 然后再采集数据 1m in, 并通过现场实验进一步确证。即将切换采样管后的清洗时间设为 3m in, 而采集数据的时间仍保持为 1m in 进行现场观测。在此实验条件于 1998-06-01 ~ 06-

05, 连续监测了北京大学校园内大气中 O_3 、 SO_2 、 NO 和 NO_2 的浓度, 其统计结果见表 3。对这些数据进行单因素方差分析, 以检验采样清洗时间改变后, 各采样管是否存在显著性差异, 其分析结果列于表 4。

由表 4 可知, 采样管切换后清洗时间改为 3m in, 对北京大学校园内某采样点 3 个采样管连续 4d 采样所测 O_3 、 SO_2 、 NO 和 NO_x 的各组数据间无显著性差异, 且各个采样管出现的污染物最大浓度值的时间也十分一致。这说明采样管长度间不存在显著性差异, 也说明采样管清洗时间设为 1m in 是正确的, 否则清洗时间为 1m in 的 3 个采样管的测量数据将存在明显差异。

2.3 大气污染物垂直梯度现场观测结果

应用上述垂直梯度自动监测系统, 于 1998-07~ 08 对广州市东风中路某断面进行了大气污染物垂直梯度自动观测, 主要测量了

O₃、CO、NO、NO₂ 和 NO_x· 图 3 为 1998-07-23 ~ 07-27 东风中路各高度层 CO 浓度的逐日变

表 2 1998-05-28~ 05-31 同一地点所测 3 组数据的单因素方差分析($\alpha=0.10$)

污染物	差异源	差方和 SS	自由度 <i>df</i>	均方 MS	<i>F</i>	<i>P</i> 值	<i>F</i> 临界值	统计推断
O ₃	组间(L)	224.97	2	112.48	0.02772	0.9727	2.3273	$F < F_{\alpha}$
	组内(E)	876445.5	216	4057.62				组间无显著性差异
	总和(T)	876670.5	218					
NO	组间(L)	0.055661	2	0.0278	0.019781	0.9804	2.3273	$F < F_{\alpha}$
	组内(E)	303.9005	216	1.4069				组间无显著性差异
	总和(T)	303.956	218					
NO ₂	组间(L)	6.214868	2	3.1074	0.030631	0.9698	2.3273	$F < F_{\alpha}$
	组内(E)	21912.88	216	101.45				组间无显著性差异
	总和(T)	21919.1	218					
SO ₂	组间(L)	2223.753	2	1111.88	1.352362	0.2608	2.3273	$F < F_{\alpha}$
	组内(E)	177589.6	216	822.174				组间无显著性差异
	总和(T)	179813.3	218					

表 3 1998-06-01~ 06-05 同一地点 3 个采样管所测数据的统计值(采样管清洗时间为 3min)

污染物	采样管长度 /m	样本数	对所有数据求和	日平均值 / $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	方差 <i>S</i>	最大值 / $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	最小值 / $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
O ₃	25	90	6205.60	69.0	2347.44	229.1	4.78
	10	90	6110.32	67.9	2466.14	229.0	1.71
	2	90	5966.12	66.3	2327.44	231.2	2.94
NO	25	90	177.02	1.97	19.51	27.0	0.01
	10	90	173.34	1.93	18.44	25.6	0.18
	2	90	167.41	1.86	17.76	26.7	0.07
NO ₂	25	90	1333.89	14.8	120.74	49.0	0
	10	90	1342.41	14.9	119.18	49.0	0
	2	90	1337.53	14.9	121.63	49.7	0
SO ₂	25	90	5947.4	66.1	366.71	114.5	24.2
	10	90	5892.6	65.5	368.64	114.5	22.2
	2	90	5891.1	65.5	371.45	113.0	23.5

表 4 1998-06-01~ 06-05 同一地点所测 3 组数据的单因素方差分析($\alpha=0.10$)

污染物	差异源	差方和 SS	自由度 <i>df</i>	均方 MS	<i>F</i>	<i>P</i> 值	<i>F</i> 临界值	统计推断
O ₃	组间(L)	323.0278	2	161.514	0.067853	0.9344	2.3226	$F > F_{\alpha}$
	组内(E)	635551.6	267	2380.34				组间无显著性差异
	总和(T)	635874.7	269					
NO	组间(L)	0.522783	2	0.26139	0.014077	0.9860	2.3226	$F > F_{\alpha}$
	组内(E)	4957.927	267	18.569				组间无显著性差异
	总和(L)	4958.45	269					
NO ₂	组间(L)	0.406444	2	0.20322	0.001686	0.9983	2.3226	$F > F_{\alpha}$
	组内(E)	32177.44	267	120.515				组间无显著性差异
	总和(T)	32177.58	269					
SO ₂	组间(L)	22.81349	2	11.4068	0.030918	0.9696	2.3226	$F > F_{\alpha}$
	组内(E)	98504.2	267	368.93				组间无显著性差异
	总和(T)	98527.01	269					

化,可见 CO 随高度的变化存在明显差异. 图 3 中 35m 处为建筑物屋顶大气,其变化规律不同于街道内大气. 限于篇幅,在此不讨论其他污染

物的变化特征. 该系统经过 1 个多月的连续测量,运转正常,因此可用于观测城市街道内大气污染物沿垂直方面的浓度分布.

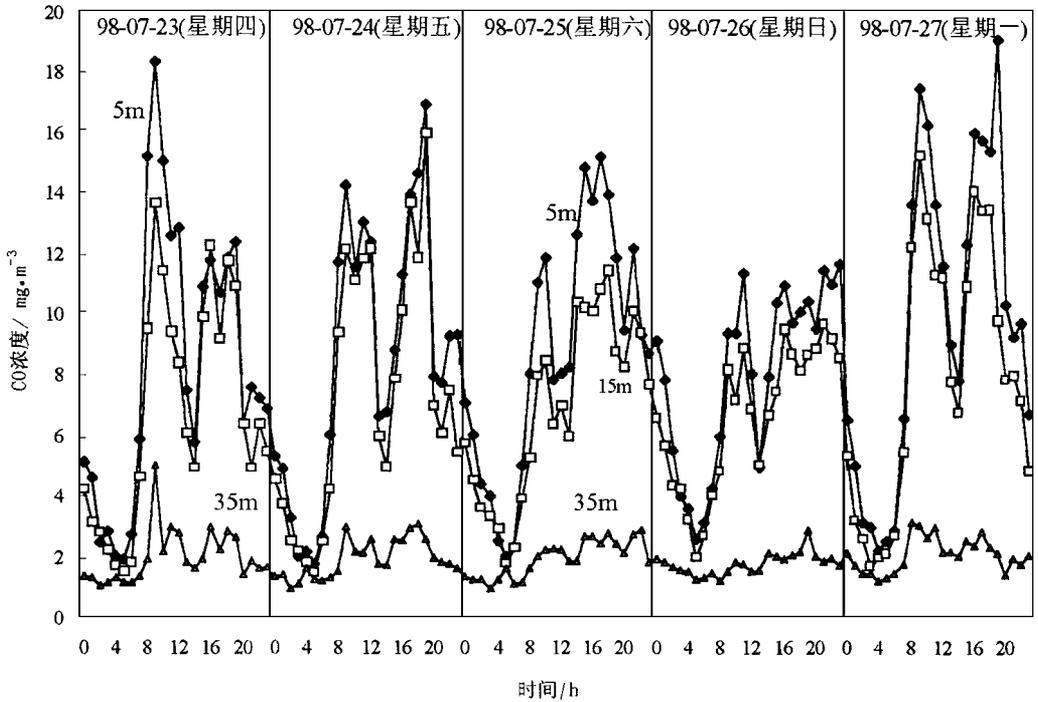


图 3 1998-07-23~ 07-27 东风中路各高度层 CO 浓度的逐日变化

3 结论

可以应用 2 个电磁阀实现 3 个高度的气体采样,也可用分析仪器自身的抽气泵将气体样品通过聚四氟乙烯采样管抽入各分析仪器进行测量,并用一台计算机和一块 AD/DA 转换板实施对电磁阀的控制. 数据采集及处理,以此达到污染物垂直梯度自动监测的目的. 现场观测实验表明,采样管长度对于测量 O₃、SO₂、NO 和 NO₂ 的小时平均浓度无影响. 3 个采样管间的切换时间通过实验确定为 2m in,清洗采样管和采集数据各 1m in.

参考文献:

1 Pfeffer HU, Friesel J, Elbers G et al. Air pollution moni-

toring in street canyons in northrhine-westphalia, Germany. SCI. TOTAL. ENVIRON., 1995, 169(1~ 3): 7~ 15.
 2 Q in Y, Kot S C. Dispersion of vehicular emission in street canyons, Guangzhou City, South China (P. R. C.). Atmospheric Environment, 1993, 27(3): 283~ 291.
 3 Zoumakis N M. A note on average vertical profile of vehicular pollutant concentration in urban street canyons. Atmospheric Environment, 1995, 29(24): 3719~ 3725.
 4 朱毓秀, 徐家骝. 近地层臭氧和氮氧化物的垂直梯度观测及其和气象的关系. 气象学报, 1993, 51: 499~ 504.
 5 Yamartino R J, Weigand G. Development and evaluation of simple models for the flow, turbulence and pollutant concentration fields within an urban street canyon. Atmospheric Environment, 1986, 20(11): 2137~ 2156.
 6 吴翊, 李永乐, 胡庆军. 应用数理统计. 长沙: 国防科技大学出版社, 1995.