

山区城市环境系统的污染及其变异的典型研究*

杨立铮

(成都理工学院水工系, 成都 610059)

摘要 本文以重庆市为代表, 讨论山区城市环境系统中大气、地表水、土壤、地下水、包气带、生物体等六个子系统的污染状况。并研究了由此而引发的环境系统的变异, 它涉及到气候变迁, 土壤酸化, 物种退化, 水质恶化, 建筑物表面和文物的损害, 人群和生物生存的潜在变化等诸多方面, 为制定防治污染策略提供科学依据。

关键词 山区城市 环境系统 污染 变异

0 前言

重庆市是我国西南最大的工业城市, 近年来随着工业、农业的迅速发展, 各类污染物给环境带来巨大的压力, 环境问题日趋恶化, 宝贵的水资源被不同程度的污染, 人类生活环境已受到严重威胁。为了防止环境质量的继续恶化, 必须采取强有力的措施控制环境污染。为了提出有效对策, 不但要研究环境系统的污染现状, 还要研究它的变异, 从而提高人类保护和改善环境的能力, 为科学地进行环境质量管理寻找最佳方法。重庆市是我国著名的山城, 因自然因素及人为因素而引起的诸多环境问题都比较典型, 其研究成果对我国其他类似的山区城市也有指导意义。

1 环境系统的污染现状

山区城市环境系统是由大气、地表水、土壤、包气带、地下水、生物体等六个子系统组成。目前这个系统已普遍受到污染。

1.1 大气污染

重庆市是我国大气污染最严重的城市之一, 其特点表现为近地面空气中高浓度的二氧化硫污染和酸雨污染。二氧化硫, 总悬浮微粒和降尘都远高于国家空气质量三级标准(表1)。根

* 本文系国家自然科学基金资助的“山区城市地质环境的演化机制及控制系统研究”课题论文之一。

据有关资料对比,重庆空气中二氧化硫多年平均浓度达到 $0.39\text{mg}/\text{m}^3$,居于我国 23 个污染城市之首位,也是超标倍数最大的城市。从世界范围来看,它高于 60 年代日本东京和美国纽约的污染水平。

表 1 重庆市大气污染统计表(1993 年)

Table 1 Contamination of atmosphere in Chongqing (in 1993)

污染物	年日均浓度 (mg/m^3)	日均浓度范围 (mg/m^3)	年日均浓度 超标倍数	最大日均浓度 超标倍数	评价标准 (mg/m^3)
二氧化硫	0.27	0.02—0.77	1.7	2.1	0.1(年日均值) 0.25(日均值)
总悬浮微粒	0.26	0.03—0.94	1	0.9	0.3(年日均值) 0.5(日均值)
降 尘	14.4	超标 1.7 倍			$5.3\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{mo.}$

据《重庆环境质量简报》,1993。

重庆市另一大气污染特点是酸雨。大气污染中酸雨的出现表明污染已到了一个较高的水平。全市酸雨污染面积大,酸雨出现的频率高,酸度强。据文献记载,1986—1990 年之间,酸雨雨量占总雨量的 70.5%,酸雨 pH 平均值 4.2,个别地区 pH 值只有 2.85。雨水中污染组分以硫酸根离子(SO_4^{2-})为主,其当量浓度占所测阴离子当量浓度总和的 79%,属于硫酸型酸雨。近年来酸雨区域有扩大的趋势,表现在近郊县降水酸度有较大幅度升高,如 1993 年城区酸雨 pH 平均值为 4.5,酸雨频率 76.2%,而远郊区酸雨 pH 平均值为 4.15,酸雨频率为 85.7%,说明重庆市的酸雨正经历一个由城市向农村、近郊向远郊、污染区向清洁区扩展的过程,而且小城镇工业化的发展,形成了新的酸雨中心。重庆在我国大城市中居酸雨污染前茅,属酸雨重灾区。

重庆市大气污染物主要来自燃料燃烧和工业废气的排放,而在燃料总消耗的比例中,煤炭要占 80%左右,因此,燃煤是大气污染的主要来源。

1.2 地表水污染

重庆市境内地面水域有长江、嘉陵江,另有汇水面积 100km^2 以上的 49 条次级河流以及众多的溪流、湖库。次级河流多发源于山区,沿槽谷或丘陵蜿蜒曲流汇入两江,形成不对称的格子状水系。

随着工业生产的迅速发展,工业废水、生活污水的大量排放,农药和化肥的大量使用,使地表水遭到普遍污染。重庆废水排放量 1991 年为 $5.6 \times 10^8\text{t}$,最高年分可达到 $11 \times 10^8\text{t}$ (1987 年),其中以工业废水为主,可占 67.2%。含有大量重金属和有毒物质的废水,直接或间接地排入江河,使长江和嘉陵江成为纳污场所。

据重庆市环保部门 1993 年的监测资料,长江和嘉陵江 25 项监测指标中,有 8 项指标超过国家地面水 III 类水质的标准(表 2),超标项目是:大肠菌群、石油类、总铅、总汞、非离子氨、化学需氧量、溶解氧和 pH 值。超标情况表明,两江已受到生活污水和工业废水的污染。水质综合评价结果是:长江入境江段水质属轻污染,城区江段水质属严重污染,出境江段水质属中污染;嘉陵江入境江段水质属较好级别,而城区江段水质属重污染和严重污染。多年来两江水质无明显恶化或好转趋势。

表 2 长江和嘉陵江重庆段主要污染物超标率(%)

Table 2 Main contaminant ratios above standard along Chongqing segments of the Changjiang River and Jialingjiang River

断面 超标项目	长 江				嘉 陵 江		
	油溪	望龙门	寸滩	黄草峡	利泽	磁器口	大溪沟
大肠菌群	55.6	100	100	100	33.3	100	100
石油类	11.1	66.7	44.4		5.6	47.2	69.4
非离子氮	16.7	5.6	11.1		38.9	30.6	22.2
化学需氧量	5.6			27.8		5.6	
溶解氧						2.8	
pH	33.3				33.3	2.8	
总 铅						2.8	2.8
总 汞	22.2				11.1		

据《重庆市环境质量简报》,1993。

1.3 地下水污染

重庆市地处基岩丘陵山区,地下水主要有碳酸盐岩类岩溶水、碎屑岩类裂隙水和松散岩类孔隙水三大地下水类型,其中岩溶水是资源量最丰富的地下水。

据四川省地矿局南江水文工程地质大队(简称南江队)资料(表 3),重庆市地下水均有一定程度的污染,其污染物主要来源于各类污水及固体废弃物的排放、大量农药与化肥的施用等。各类地下水中主要的污染物质为:

表 3 重庆地下水污染组分超标率(1990)

Table 3 Contamination component ratios above standard of groundwater in Chongqing (in 1990)

项 目		水 型		岩 溶 水		碎屑岩裂隙水		红层孔隙裂隙水	
		水质标准	指标	检出范围 (mg/l)	超标率 (%)	检出范围 (mg/l)	超标率 (%)	检出范围 (mg/l)	超标率 (%)
总硬度		450		285—842	31	29—170	0	98.5—399.5	0
总矿化度		1000		468—1257	18	68—1480	8	318.5—842.7	0
总 铁		0.3		0.06—0.98	18	<0.03—52	32	<0.14—2.4	58
锰		0.1		<0.04—0.32	18	<0.04—1.88	91	<0.04—0.54	61
汞		0.001		0—0.02(88年) 0.0001—0.0003	50 0	0.0001—0.0003	0	0—0.0025(88年) <0.0001—0.0002	20 0
硒		0.01		<0.005—0.01	0	<0.005—0.015	4	<0.005—0.005	0
化学耗氧量		2.5		0.38—3.5	12	0.46—2.12	4	0.66—2.54	10
酚		0.002		0.001—0.003	12	0.001—0.008	13	0.001—0.01	11
氨 氮		0.5		<0.031—1.011	12	<0.031—0.622	4	<0.031—0.249	0
氟		1.0		<0.1—2.3	25	0.1—0.4	0	<0.1—1.04	5
硫酸盐		250		22—650	31	1.44—408	4	34.3—109.2	0
氯化物		250		4.6—49	0	1.4—408	8	14.5—134.5	0
细菌总数		100个/ml		2—305	37	0—360	13	1—4.0	16
大肠菌群		3个/l		<3—230	87	<3—230	30	<3—<230	66

据南江队资料编制。

- (1) F 检出率 50—100%，含量 0.3—2.3mg/l，岩溶水超标率 15—25%，但红层地下水仅超标 5%。
- (2) C₆H₅OH 检出率 11—100%，含量 0.001—0.008mg/l，碎屑岩裂隙水超标 11—17%。
- (3) NH₄—N 检出率 65—100%，检出范围在 0.078—1.687mg/l 之间，超标率 4—43%。
- (4) NO₂—N 检出率 11—100%，含量 0.003—0.076mg/l，超标率 5.6—10%。
- (5) COD 检出率 100%，含量 1.17—3.5mg/l，超标率 4—17%。
- (6) Hg 检出率 11—100%，含量小于 0.0001—0.0025mg/l，超标率 20%。
- (7) Fe 检出率 95—100%，碎屑岩裂隙水含量最高为 0.03—52.00mg/l，超标率 32—100%。
- (8) Mn 检出率 57—100%，含量 0.02—3.11mg/l，碎屑岩裂隙水含量最高为 0.03—2.68mg/L，超标率 50—73%。
- (9) As 检出率 48—100%，含量 0.001—0.075mg/l，超标率 5%。
- (10) 细菌、细菌总数和大肠菌群 检出率达 100%，细菌总数检出范围 25—5600 个/ml，超标率岩溶水中最高达 37—100%，大肠菌群检出率范围 18—2300 个/l，超标率 39—100%。

上述资料说明，地下水已遭到轻度和中度污染。污染物主要为 Fe²⁺、Mn²⁺，细菌总数，大肠菌群，这四项超标较为普遍；其次为三氮，C₆H₅OH、Hg²⁺、Cd²⁺、Pb²⁺，这五项少数或部分超标；金属元素普遍检出，且部分检出值呈上升趋势，部分出现超标。

1.4 包气带污染

在地铁开挖的大型地下硐室中，取不同水源的水(有硐室水、支硐水以及裂隙水等)得到三种不同类型的水质资料(表 4)，在所检测的 16 项分析指标中有六项已超标，它们是总硬度、锰、化学耗氧量、挥发性酚、NH₃—N、NO₂—N。超标最严重的是氮化物、化学耗氧量。这些资料说明城区包气带已被污染，主要是生活污染。

表 4 重庆市地铁开挖硐室中水分析
Table 4 Analysis of water taken from subway tunnels in Chongqing

项 目	水 型				
	总排水	支硐水	裂隙滴水	标 准	超标倍数
pH	6.8	7.05	7.40	6.5—8.5	
总硬度 (以 Ca CO ₃ 计)	295.95	262.32	423.74	<250	1.05—1.7
总矿化度	716.55	710.46	924.14	<1000	
Fe	0.15	0.21	<0.004	<0.3	
Mn ²⁺	0.28	0.28	0.0012	<0.1	2.8
Cr ⁶⁺	0.00	0.00	0.00	<0.05	
As	<0.005	<0.005	<0.005	<0.04	
化学耗氧量	2.82	10.58	1.39	<2.5	1.13—4.2
挥发性酚	0.006	0.00	0.003	<0.002	1.5—3
NH ₃ —N	0.002	0.35	0.001	0.03—0.08	4.4—11.6
NO ₃ —N	7.68	5.08	3.84	20—50	
NO ₂ —N	0.00	1.10	0.001	0.03	36
F ⁻	0.42	0.40	0.32	<1.0	
SO ₄ ²⁻	82.70	75.32	168.34	200—500	
Cl ⁻	67.08	69.70	71.68		

1.5 土壤污染

重庆地区土壤不同程度地受到重金属的污染(表 5),污染较普遍的是汞,最大超标倍数为 8.9 倍,超标率最大可达 74.2%。重金属污染的顺序为 $\text{Hg}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{As}^{2+}$,汞系轻度、中度、重度污染,铅系轻度、中度污染。

表 5 重庆近郊土壤重金属污染表

Table 5 Contamination of soil by heavy metal in the suburbs of Chongqing

项目(样本数)	pH	Hg	As	Pb	Cd	Mn
重污染区(22)	5.66 ±1.21	0.365 ±0.188	9.34 ±3.22	44.47 ±14.5	0.107 ±0.036	419 ±131
污染区(15)	6.15 ±0.90	0.187 ±0.144	9.12 ±3.02	45.52 ±12.04	0.089 ±0.038	449 ±44
背景值(8)	6.50 ±0.50	0.070 ±0.188	5.47 ±2.05	17.52 ±1.26	0.139 ±0.050	677 ±265
超背景值		+420%	+70%	+160%	-23%	-33.7%

摘自《重庆环境科学》,1992,增刊。

造成土壤重金属污染的原因可归纳为以下三方面。

(1)降尘影响 降尘量年平均约 $252\text{t}/\text{km}^2$ (1990),降尘中含有的重金属比土壤背景值高 2.19—128.9 倍,成为土壤重金属的主要来源。

(2)化肥影响 化肥年用量达到 $97.1 \times 10^4\text{t}$ (1990),化肥中含有一定量的重金属,大量施用化肥,使重金属积累,带来污染。

(3)渣肥影响 施用未经无害化处理的渣肥,重金属含量增加 56.2—279.9%。

综上所述,环境系统已受到不同程度的污染,影响最为普遍的是细菌,非金属元素硫,重金属中的汞以及铁、锰等元素。

2 环境系统的变异

环境系统的变异涉及到气候的变迁,土壤贫瘠,物种退化或消亡,名胜古迹和文物受损害,人群和生物生存的潜在变化等诸多方面。

2.1 生态退化

大气污染对生态的影响最明显,城市园林生态和森林生态是首要受害对象。

以重庆为例,城市的绿化树木虽已多次转种,但仍然无法抵御污染导致的提前衰老,绿化树苗成活率低,长势差。中国科学院曾对重庆 60 种乔灌木观察发现,有 30 种受害症状与模拟酸雨和二氧化硫的伤害症状相似,其受害程度和比例为所调查的我国七个酸雨地区城市(重庆、贵阳、都匀、遵义、柳州、长沙、株洲)之首。

酸沉降对森林生长以及病虫害的诱发产生影响,近十年来,重庆城郊的森林普遍长势不良,80 年代以来出现明显的衰亡现象。其中最突出的是马尾松死亡事件,即在南山约 1800 公顷林区内,因酸沉降使马尾松针叶和叶尖枯黄脱落,并因此诱发病虫害入侵而大面积死亡,死亡面积达 800 多公顷。据有关文献报导,在 pH 大于 5.0 的地区,马尾松林绿叶率为 98.8%,而 pH 小于 4.5 的地区,绿叶率仅为 74.3%。另外,在平均降雨 pH 值为 4.37,雾水 pH 值为 4.62 的峨嵋冷杉衰亡区,受害冷杉针叶排列稀疏,严重的则整片针叶枯死。四川省奉节县茅草坝林场,受酸沉降危害的华山松比正常生长的华山松提早 5—15 年呈下降趋势。pH 为 4.31 的降水

使 18—20 年生马尾松的树高比对照降低 50%，胸径生长也受到同样比例的抑制。

受酸雨危害的植物叶片出现可见伤害症状的内在原因是叶绿体受损和细胞崩解。对马尾松的研究得出：pH 小于 4.5 的酸雨区，马尾松针叶叶绿素含量比对照降低 44.7%；pH 为 4.0 的酸雾，可使室外生长的马尾松针叶叶绿素含量比对照减少 34.0%。

农业生态方面，重庆城区近郊及部份郊区县城周围的农作物，已不同程度地受到酸沉降的伤害，其中蔬菜受害尤其明显，许多瓜果类蔬菜长势差，常出现死苗黄叶、烂叶及落花、落果等现象，受害面积约 4400 公顷。

2.2 土壤酸化

据西南农业大学调查资料表明，重庆近郊土壤自 1958 年至今，土壤 pH 平均下降 0.5—1.0pH 单位，耕作土壤酸化面积已达 44.5—62.2%，平均为 38.5%，明显高于远郊区。近年，酸性土壤面积有扩大趋势，如重庆发电厂建厂 30 年来，附近土壤 pH 值已由原来的 pH 为 6.5—7.5 的中性紫色土，变成了 pH 为 5.6 左右的酸性紫色土。在受害地区土壤中，还发现其含汞量已超过背景值 4.5 倍，铅超过背景值 1—3 倍。

重庆市土壤酸化的主要特征可归纳为：

(1) 土壤 pH 值降低，由于下渗溶液中 H⁺ 大量被表层土壤所截留，并与土壤中阳离子相互交换，使土壤总酸度增加。在重庆酸沉降危害严重地区，表土 pH 值下降了 0.75 个单位，酸化最明显的是质地为中壤至重壤的中性紫色土，表土酸化率达 100%，表层 pH 较亚表层平均下降 1.5 个 pH 单位。

(2) 酸性降水使土壤中交换性 K⁺、Ca²⁺ 等营养元素大量淋失(表 6))。有学者根据模拟试验得出，当雨水酸度达到 pH=3.3 时，可使土壤阳离子淋失量达 10—36%。

表 6 重庆土壤酸化对交换性 K⁺、Ca²⁺ 的影响

Table 6 The influence of soil acidification on exchangeable ions k⁺, Ca²⁺

项 目	样本 (个)	pH 值	交换性酸 (molH ⁺ /100g)	交换性 K ⁺ (mg/kg)	交换性 Ca ²⁺ (mg/kg)
城郊污染区	14	4.86±0.62	8.99±3.39	87.3±27.7	2802±1032
近郊蕃茄产区	6	6.8±0.95	0.00	182.3±61.6	4285±1067
差 值		2.06	8.99	95	1483

据杨学春，重庆环境科学，1992。

(3) 土壤中 SO₄²⁻ 吸附量增大，据 9 个点的抽样统计，SO₄²⁻ 的吸附量由对照点的 0.407—2.65μg/g 增至 7.71—67μg/g，增加 20—160 倍。SO₄²⁻ 吸附量的增加，使土壤的酸缓冲能力减小，而土壤溶液 SO₄²⁻ 浓度增大，使盐基离子的淋失加快。

(4) 酸雨在促进土壤淋溶过程的同时，也改变了许多金属元素的形态，使之从稳定态中释放出来。根据周修萍所作的模拟试验得出，当土壤溶液的 pH 值为 5 时，锰离子浓度即能达到有毒水平；当 pH 为 3.3 时，酸雨能使土壤中交换性铝含量升高。

2.3 水质恶化

由于长江、嘉陵江及其支流已被污染，以江水为水源的饮用水，受到污染最严重的是挥发性酚。此外，以长江为水源的饮用水，应注意铅和硒的污染；以嘉陵江为水源的饮用水，应注意汞的污染。

由于地下水已受到相当程度的污染，目前已无优良水质的饮用地下水。据南江队的资料，

良好水质仅占总测点的 18.2%，一般水质占 45.2%，而较差水质与极差水质占 36.4%。

2.4 热岛效应

重庆市大气污染与整个城市气候是相互影响、相互制约的,由大气污染而造成的城市热岛效应是十分典型的现象。70 年代以来,生产、生活用煤量可达到 $1500\times 10^4\text{t}$,一方面释放出大量热量,使市区气温高于郊区,同时又向城市上空排放出大量烟气,城市上空形成高密度气溶胶粒子覆盖层,市中心气溶胶粒子密度高达 10^3 个/ cm^3 ,不仅在白天减弱太阳直接辐射,而且在夜间也削弱地面长波辐射,增加大气向地面的逆辐射,从而减少城市降温率,因此,市中心区夜晚辐射降温比较弱,近地面气温比郊区和近郊区要高,形成热岛现象。由图 1 可看出:入夜以后,长江、嘉陵江及其环抱的市中心区上空出现了明显的暖中心结构,气温高于两侧约 0.5°C ,而且随着夜加深,热岛强度愈来愈强,影响高度愈来愈高。同时,随着城市的不断扩大,工业的发展,人口的增加,城市热岛效应有逐渐增强的趋势。

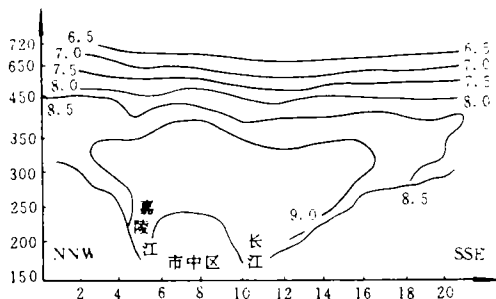


图 1 1 月 1 日 20 时等温线垂直剖面(据李子华)
Fig. 1 Vertical section of isotherm on January 20th

2.5 “黑壳”效应

大气污染对建筑物的危害十分直观,大气酸沉降不仅侵蚀和破坏建筑物表层结构的力学性质和光洁度,而且使其变得又黑又脏,形成“黑壳”,严重影响城市景观和环境。调查发现,重庆市许多古代石刻艺术品近 30 年来侵蚀速度明显加快。有的眼下已面目全非。前人试验资料证实,在酸雨的作用下,石料的重量损失量与 SO_2 沉降量成正比(图 2),说明酸雨可以加速石材、建筑材料的风化。

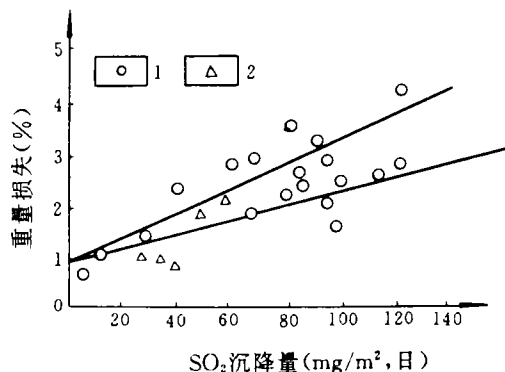
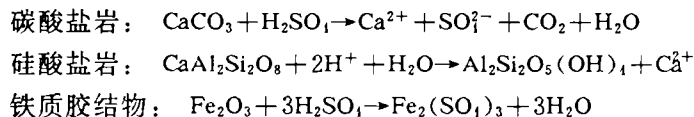


图 2 空气中 SO_2 含量与岩石风化的关系(据杨忠耀)
1. 砂岩; 2. 石灰岩
Fig. 2 Relation between content of SO_2 in the air and rock weathering

根据国外对以砂岩和石灰岩为材料的纪念性建筑物、门廊、雕塑和装饰材料受酸化影响的研究资料可知,当硫污染物降落到这些建筑物表面时,酸性物质与材料中的碳酸钙起化学作用,生成硫酸钙,随后被雨水冲走,未被淋失的部分解体,酸性溶蚀作用可用如下方程表示:



2.6 对人群健康的影响

已有的文献资料表明:污染对人群健康带来严重的威胁,据重庆医科大学的研究,大气污染对小学生大小气道功能有明显的影

响,特别是对处于生长发育高峰期的 9—10 岁儿童更为

敏感,呼吸道疾病患病率城市比远郊区要高。另外肺癌死亡率城区比远郊区也要高数倍。有的学者认为降尘中有多量的致癌物质,而且有害金属元素 Hg、As 可增加 1.5—7.1 倍,这些都是肺癌死亡率增大的原因。

3 结 语

重庆环境系统由大气、地表水、土壤、地下水、包气带、生物体六个子系统组成,任何一个子系统受污染发生的变化,都会引起各子系统之间物质和能量的转换,除了改变本子系统的状态外,最终将波及整个环境系统。污染物在各子系统之间有多种迁移途径,最后的终点都将危害人类的生存环境。

污染物在各子系统之间的传输过程中,除了空间位置变化外,它们存在的形式也因各种化学作用而发生转化,从而形成环境污染链,并使其他子系统发生相应的变化。其中以硫、汞、有机污染链对环境各子系统的变异影响最大,它们波及到气候的变迁,土壤退化,水质恶化,建筑材料和文物古迹的损害,以及对人类生存的影响。

用系统分析方法对环境进行系统研究,才有可能为科学地进行环境管理寻找最佳方法,提高人类保护和改善环境的能力。

参 考 文 献

- [1] 金鉴明,中国的环境问题及其对策,自然环境保护文集,中国环境科学出版社,1992。
- [2] 王玉庆,中国环境污染的状况和对策,中国环境科学,1993,Vol. 13, No. 4。
- [3] 刘永懋,中国水污染防治的发展战略研究,中国环境科学,1993, No. 5。
- [4] 周修萍,酸沉降与土壤、植被的相互作用及其对水体酸化的模型研究,中国环境科学,1993, No. 2。
- [5] 傅柳松,模拟酸雨对土壤活性铝释出影响的研究,环境科学,1993, No. 1。
- [6] 舒 民,酸性降水对我国森林的影响,环境科学研究,1992, No. 5。
- [7] 杨春学,酸沉降地区酸化土壤的特点,重庆环境科学,1992,增刊。
- [8] 李子华,论山风对重庆雾形成和发展的作用,重庆环境科学,1992, No. 3。

TYPICAL STUDY ON CONTAMINATION AND VARIATION OF ENVIRONMENTAL SYSTEMS IN MOUNTAIN CITY

Yang Lizheng

Abstract The contamination of atmosphere, surface water, soil, groundwater, aeration zone and biosphere in the environmental systems have been discussed by taking chongqing as a typical representative. The variation of environmental system caused by Contamination, including the change of climate, acidification of soil, degeneracy of species, worsening of water quality, surface damage of buildings and cultural relics, and the potential change of living beings etc., has been studied. The study provides impotant basis for the working-out of contamination control strategy.

Key woras Mountain city Environmental system Contamination Variation