



城市环境安全

石剑荣 陈亢利 等编著
黄学军 主 审



化学工业出版社



城市环境安全

石剑荣 陈亢利 等编著
黄学军 主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书综合应用“灾害学”、“环境风险评价”、“安全系统工程”与“公共安全管理”相关理论、技术、模式、方法,系统论述存在于城市中的环境安全(风险)及其管理问题。上篇“城市环境安全问题”,针对存在于城市各种生产、生活环境中可能伤害公众人身、财产安全的事故隐患及其危害后果进行识别和评估;下篇“城市环境安全管理”,从“环境安全伦理”出发,针对公众环境安全的有效保障问题,对存在于城市中的各种技术灾难事故,提出符合“科学发展观”的管理对策与应急措施——把法制管理、行政管理、技术管理和经济管理四种管理手段有机结合、综合应用,以不断提高城市环境安全水平,更加有效地保障公众的环境安全。

本书可供环境专业、安全专业和其他相关专业的研究人员以及政府机构、企业法人等阅读,也可作为环境科学、环境工程、安全工程专业大学本科教材与相关专业教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市环境安全/石剑荣,陈亢利等编著. —北京:化学工业出版社,2010.10
ISBN 978-7-122-09302-8

I. 城… II. ①石…②陈… III. 城市环境-环境管理:安全管理 IV. X321

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第152329号

责任编辑:满悦芝
责任校对:王素芹

文字编辑:郑直
装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印装:北京云浩印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张15 字数400千字 2010年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:49.00元

版权所有 违者必究

前言

人类社会逐步从无序向有序发展,经历了千秋万代,其中最重要的标志是城市的崛起。人类为了自身发展,改造自然环境,创造人工环境,逐步形成城市。“环境”作为一个词汇,最早出于元代,原意为“环绕全境”——“……议屯田战守计,环境筑堡垒,选精甲外扞,而耕稼于中……”,有“安全”之意;后筑城墙、成集市,发展为“城市”——既防洪水、猛兽入侵,还可外御强敌、内攘盗贼——更是为了“安全”。可见“城市”、“环境”、“安全”三者之间原来就有密不可分的关系。在古代,城市与乡村相比,是安全的人居之地,现代城市与乡村相比,更是人口、资源集中,经济、科技发达,社会功能齐全,生活、生产方便。但随着人口、经济、资源越来越集中,安全问题则日益凸显出来——人类非正常伤亡,原来主要来自自然灾害(天灾),大多出现在乡村,现在则来自众多的人为灾难事故(人祸),大多出现在城市。因此,“城市环境安全”是人类社会发展过程中必须解决的又一重要问题。

当前,我国正处在社会与经济发展的关键时期,必须解决经济高速发展、城市化进程加快与城市安全管理相对滞后的矛盾。本书重点讨论城市环境安全的构建,以更加有效地保障公众的环境安全。

根据以上宗旨,本书在总结编著者多年来从事“环境风险评价”和“环境安全管理”相关科研和教学工作成果的基础上编写而成,分为上、下两篇:上篇(第一章~第四章)为“城市环境安全问题”,对存在于城市各种生产、生活环境中的城市环境安全(风险)进行识别和评估;下篇(第五章~第八章)为“城市环境安全管理”,从“环境安全伦理”出发,针对公众环境安全的有效保障问题,对存在于城市中的各种技术灾难事故,提出适宜的管理对策与应急措施。

本书第一、二两章由史绮编写;第三章由张晓芳编写;第四章由张晓芳、石剑荣编写;第五章由石剑荣、杨洁编写;第六章由杨洁、石剑荣、石砾编写;第七章由石剑荣、梁媛、石砾、杨洁编写;第八章由梁媛编写。全书由石剑荣、陈亢利统稿,黄学军审稿。研究生韩婵娟做了大量文字工作,在此一并致谢!

鉴于“环境安全”作为一门介于“环境科学”与“安全科学”之间的新兴学科,既含理论探讨,又含技术应用,也有相关立法、执法、管理、决策讨论,其应用领域与涉及范畴十分庞大,本书目前内容仅是编著者多年的科研与教学工作初步总结,许多应该纳入本书讨论范畴的新进展、好成果尚未收录进来。我们愿与同行共同努力,相互补充、不断改进完善。本书的出版,意在抛砖引玉,由于编著时间短促及编著者水平所限,难免有疏漏之处,恳请读者不吝指出,以便及时修正。

愿本书能够成为环境、安全相关专业大专院校师生的有益课本或参考书籍,并能成为关心城市环境安全和公众人身安全的政府官员、企业法人、科技人员、操作工人、社会公众的益友良师,为推动我国城市的环境安全研究与建设做出应有的贡献。

编著者

2010年8月

目 录

上篇 城市环境安全问题	1
第一章 城市环境及其变化	2
第一节 自然环境变化	2
一、城市大气环境	2
二、城市水环境	8
三、城市生态环境	15
第二节 社会环境变化	18
一、城市道路交通	18
二、城市基础设施	19
三、城市工业生产	21
四、城市物流	22
五、城市食品市场	24
六、城市人居环境	24
七、城市医疗保障	26
八、城市休闲娱乐	26
参考文献	27
第二章 城市环境中的危险因素	28
第一节 生活环境中的危险因素	28
一、衣的危险因素	28
二、食的危险因素	29
三、住的危险因素	32
四、行的危险因素	36
五、医的危险因素	37
六、闲的危险因素	39
第二节 生产经营环境中的危险因素	40
一、工业危险因素	40
二、储运业危险因素	44
三、客运业危险因素	46
四、建筑业危险因素	47
五、商业、服务业危险因素	48
六、市政公用设施中的危险因素	50
第三节 危险因素的危险度评价	51
一、危险因素接触危害	51
二、危险因素的危险度评价	55
参考文献	61
第三章 城市环境灾害的分类及危害	63
第一节 环境灾害的基本概念及其分类	63
一、环境灾害的基本概念	63
二、环境灾害分类	64
三、城市环境灾害	66
第二节 自然灾害危害	68
一、地质灾害危害	68
二、气象灾害危害	70
三、生物灾害危害	72
第三节 技术灾难危害	73
一、大气环境灾难	73
二、水环境灾难	75
三、固废泛滥灾难	76
四、放射性污染灾难	77
五、各种事故灾难	79
参考文献	84
第四章 城市环境灾难识别与评估	86
第一节 灾难风险识别及评估	86
一、灾难风险的内涵	86
二、灾难风险识别的定义和主要内容	88
三、城市灾难风险识别的步骤	89
四、灾难风险识别的方法	89
五、灾难风险评估概念、分类及方法	91
六、灾难评估的步骤	91
第二节 自然灾害风险识别与评估	92
一、自然灾害风险评价工作原理	92
二、自然灾害识别与评估案例——洪涝 灾害的识别与评估	93
第三节 技术灾难的识别	96
一、工作原理	96
二、相关定义	96
三、爆炸灾难识别	97
四、火灾灾难识别	98
五、毒性灾难识别	100
六、强腐蚀灾难识别	104
七、其他人为灾难识别	104
第四节 技术灾难预测	112
一、灾难概率估算模式	112
二、灾难强度估算模式	115
参考文献	124

下篇 城市环境安全管理	125
第五章 环境安全伦理	126
第一节 环境安全分类	126
一、各类环境安全问题与环境灾害、灾难	126
二、各类环境灾害、灾难危害分析	128
第二节 环境安全理念	129
一、环境风险表征	129
二、环境安全标准	133
三、环境安全伦理	140
四、公众参与	142
第三节 环境安全责任	143
一、危机不同发展阶段的责任分解	143
二、危机中不同人员应负的责任	143
三、环境安全责任追究	146
第四节 安全城市建设	146
一、安全城市的内涵、范畴	146
二、安全城市建设涉及的部门与工作范畴	147
三、安全城市建设工作要点	150
参考文献	151
第六章 城市环境安全管理	152
第一节 环境安全管理机制	152
一、环境安全事件特征分析	152
二、环境安全管理机制应有特性	152
三、环境安全科学管理	153
第二节 环境安全行政管理	154
一、环境安全法律法规	155
二、环境安全执法	163
三、环境安全规划	164
第三节 环境安全技术管理	170
一、环境安全技术管理的意义和特征	170
二、环境安全管理中的主要科技手段	170
三、企业安全生产评估	171
四、环境风险定量评估	176
第四节 环境安全经济管理	177
一、环境安全经济管理现状	177
二、实施环境安全侵权赔偿	180
参考文献	180
第七章 城市环境安全保障	181
第一节 立法保障和经济保障	181
第二节 科技保障	181
一、环境安全事故预防与预警	181
二、3S 技术应用	186
三、环境安全设施	191
四、科技管理	193
第三节 文化保障	195
一、环境风险意识	195
二、环境安全文化	197
参考文献	199
第八章 城市环境灾害应急救援	200
第一节 国内外应急救援概况	200
一、国外应急救援	200
二、国内应急救援	206
第二节 应急救援队伍	208
一、公安、消防队伍	208
二、环保队伍	209
三、医护队伍	209
四、通信队伍	209
第三节 应急救援预案	210
一、我国应急预案的概念和分类	210
二、环境事故应急预案基本内容	211
三、应急预案	213
四、当前环境突发事件应急预案编制存在的主要问题	219
第四节 应急监测	220
一、应急监测组织	220
二、应急监测技术	221
第五节 应急响应及应急处置	226
一、接警与响应级别的确定	226
二、先期处置	226
三、应急启动及应急救援	226
四、应急恢复	228
五、应急终止	228
第六节 应急终止后期处置	228
一、善后处置	228
二、调查与评估	228
三、社会救助与保险	229
第七节 应急决策支持系统	229
一、数据库	230
二、模型库	231
三、环境安全知识库	231
四、应急对策专家系统	231
参考文献	232

市制和環境其變外

第一章

由來我國關於環境問題之研究，自民國初年開始，當時之研究，多偏重於環境衛生之方面，如“衛生”、“環境衛生”、“環境衛生之研究”等，其研究之內容，多偏重於環境衛生之方面，如“衛生”、“環境衛生”、“環境衛生之研究”等。

民國初年，我國之環境衛生研究，多偏重於環境衛生之方面，如“衛生”、“環境衛生”、“環境衛生之研究”等。其研究之內容，多偏重於環境衛生之方面，如“衛生”、“環境衛生”、“環境衛生之研究”等。

民國初年，我國之環境衛生研究，多偏重於環境衛生之方面，如“衛生”、“環境衛生”、“環境衛生之研究”等。其研究之內容，多偏重於環境衛生之方面，如“衛生”、“環境衛生”、“環境衛生之研究”等。

民國初年，我國之環境衛生研究，多偏重於環境衛生之方面，如“衛生”、“環境衛生”、“環境衛生之研究”等。其研究之內容，多偏重於環境衛生之方面，如“衛生”、“環境衛生”、“環境衛生之研究”等。

上篇

城市環境安全問題

第一章

城市環境安全問題

城市環境安全問題之研究

城市環境安全問題之研究，其目的在於瞭解城市環境安全問題之現狀，並尋求解決之方法。其研究之內容，多偏重於環境衛生之方面，如“衛生”、“環境衛生”、“環境衛生之研究”等。

城市環境安全問題之研究，其目的在於瞭解城市環境安全問題之現狀，並尋求解決之方法。其研究之內容，多偏重於環境衛生之方面，如“衛生”、“環境衛生”、“環境衛生之研究”等。

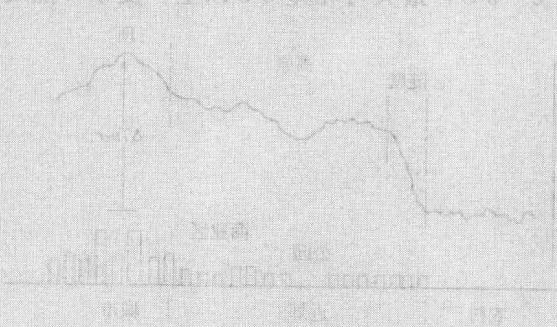


圖 1-1 城市人口與城市環境安全之關係

(資料來源：作者自編)

城市環境安全問題之研究，其目的在於瞭解城市環境安全問題之現狀，並尋求解決之方法。其研究之內容，多偏重於環境衛生之方面，如“衛生”、“環境衛生”、“環境衛生之研究”等。

城市環境安全問題之研究，其目的在於瞭解城市環境安全問題之現狀，並尋求解決之方法。其研究之內容，多偏重於環境衛生之方面，如“衛生”、“環境衛生”、“環境衛生之研究”等。

城市環境安全問題之研究，其目的在於瞭解城市環境安全問題之現狀，並尋求解決之方法。其研究之內容，多偏重於環境衛生之方面，如“衛生”、“環境衛生”、“環境衛生之研究”等。

城市環境安全問題之研究，其目的在於瞭解城市環境安全問題之現狀，並尋求解決之方法。其研究之內容，多偏重於環境衛生之方面，如“衛生”、“環境衛生”、“環境衛生之研究”等。

第一章 城市环境及其变化

城市起源于“城”和“市”的结合。古时以安全防御为目的而筑造的城堡或圈围起来的城垣，便是早期的“城”，人们群聚进行物品交易的场所即为“市”。“市”进入“城”，“城”中有“市”，便形成了城市。世界迄今发现最早的城垣距今有 8000 年的历史，我国城市形成大概在春秋战国时期，苏州作为中国名城已有 2500 多年的历史。

随着历史的推移和社会经济、科学技术的发展，现代城市在空间和功能上都发生了巨大变化，早已超出了古代“城”和“市”的范畴和含义。我们现在可把城市定义为：以非农业人口为居民主体，以空间与环境利用为基础，以聚集经济效益为特点，以人类社会进步为目的的一个集约人口、经济、科学技术和文化的空间地域综合体。城市不同于农村的基本特征主要表现为：人口、物质、设施、活动、科技、文化、各种信息的高度集中。

城市是人类社会与地域空间的高度结合。从生态学角度观察，城市的生物资源、水资源、土地资源都极为有限，城市化导致的人口、物质、能量的高度集中，社会经济的高速发展，带来了人口流、物质流、能量流、信息流在狭窄的时间空间范围内迅速集结、高强度活动，必然对城市环境构成沉重的压力，导致城市环境的变化。

第一节 自然环境变化

一、城市大气环境

(一) 城市大气环境及特征

随着城市的形成，尤其是城市化、工业化的发展，人类对资源、能源开发利用的强度加大，加之人口密集，产生了许多废弃物质，使城市大气的组成成分中增加了多种有害成分，而且城市大气的运动过程也受到人类活动的影响，形成了有别于自然大气环境的城市大气环境。

1. 城市大气环境的热力学特征——热岛效应

城市热岛效应是指城市气温高于郊区的现象（见图 1-1），其强度以城市平均气温与郊区平均气温之差来表示。一般大城市年平均气温比郊区高 $0.5 \sim 1^{\circ}\text{C}$ ，冬季平均最低气温约高 $1 \sim 2^{\circ}\text{C}$ ，城市中心区气温通常比郊区高出 $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$ ，最大可相差 5°C 以上。夏季，热岛效应加强城市高温的酷热程度，易产生高温灾害，尤其是中、低纬度的城市易受热浪袭击，不仅影响城市居民的健康舒适，而且造成中暑和死亡人数增加。

城市热岛效应形成的主要原因如下。

(1) 城市下垫面性质特殊 现代城市城区下垫面与郊区的土壤、植被截然不同。城市下垫面坚硬、密实，



图 1-1 城市热岛温度剖面示意图

(引自于志熙, 1992)



反射率小,再加上街道、墙壁之间的多次反射,使城市比农村开阔地吸收更多的太阳能。城市下垫面建筑材料的比热容、热导率比郊区下垫面大得多,因而城市下垫面贮热量多,夜晚通过长波辐射提供给大气的热量也比郊区多,使城区大气始终保持较高的气温。城市建筑密集、高低错落,道路纵横交错,增加了下垫面的粗糙度,导致城市风速降低,热量不易散失。一般风速小于 6m/s 时,可产生明显的热岛效应。城市不透水面积大,降雨之后雨水很快通过排水管网流失,地面蒸发小,蒸发耗热少。而农村蒸发、蒸腾量大,消耗较多热量。因此,城市下垫面硬覆盖比例大,绿地稀少,是形成热岛效应的重要原因。

(2) 城市释放较多人为热 城市人口密集,工业生产、家庭生活及交通运输等人类活动消耗大量化石燃料,排放大量热量直接增暖城市大气。广州市城区每天每平方米面积人为热排放量可达太阳辐射量的 60% 以上。有科学家估计冬季莫斯科的人为热大于同期太阳辐射热的 3 倍。人为热排放量在热岛形成过程中起到了不容忽视的作用,特别是夏季城市内局部区域的人为热浪。

(3) 污染因素 城市大气污染导致城市上空经常存在烟雾、飘尘等污染物,这些污染物往往会形成雾障。雾障虽然能减弱太阳辐射,但雾障还能阻碍并吸收地面长波辐射,所以,雾障越密对城区气温影响越大。地表辐射热及人为热源释放的大量热量被雾障阻挡在近地面层,导致城区上空气温上升,形成逆温层,加剧了城市热岛效应与城区大气环境的污染。

(4) 天气与气象条件 热岛效应的强弱与气象条件有关。大量观测事实证明,气压梯度小、风速小、低云量少、空气层结稳定的气象状况有利于城市热岛效应的形成。周淑贞等人分析上海市城市热岛效应与天气形势关系的结果表明,上海处于高压、无降水的天气形势中,热岛效应现象出现的频率为 70.1% ,而在强冷锋过境时却无热岛效应现象出现。通常夏季副热带高压控制下的城市,热岛效应较为突出。

2. 城市大气环境的动力学特征——城市热岛环流

城市热岛造成热空气上升,致使城区近地面层形成热低压,由此产生的气压梯度力,使得周围郊区较冷空气(乡村风)从四面八方不断涌向城市,此较冷空气遇热又会上升,到达一定高度向外辐散,到达城外乡村因冷却而下沉,形成城市热岛环流系统(见图 1-2)。此城市热岛环流,促使城市周边空气中的污染物质向市区集聚,导致城区近地层空气污染加重。所以,在强热岛区出现强热岛环流时,空气污染最为严重(见图 1-3)。

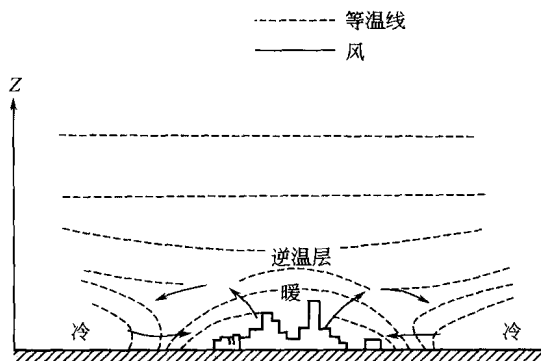


图 1-2 城市热岛环流系统
(引自杨士弘, 2003)

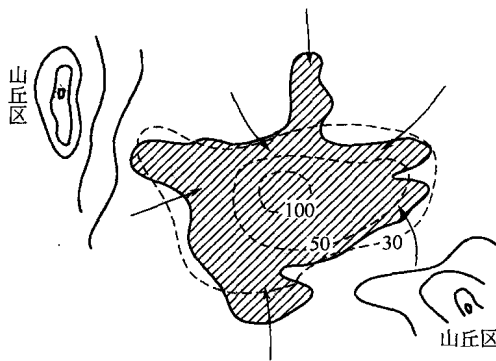


图 1-3 旭日市城市风与污染浓度
→表示风向; 30、50、100 为污染浓度(容积百分率,%)
(引自杨士弘, 2003)

(二) 城市大气污染

国际标准化组织(ISO)认为,“大气污染,通常指由于人类活动和自然过程引起某些物质进入大气中,呈现出足够的浓度,达到了足够的时间,并因此而危害了人体的舒适、健



康和福利或危害了环境。”这里所说的危害舒适和健康，包括因人体正常生活环境和生理机能受到影响而感觉到不适，甚至引起慢性病、急性病以致死亡；而福利则是指与人类协调共存的生物、自然资源、财产以及器物等。

1. 城市大气污染源

城市大气污染的来源极广，分类方法也不同。

(1) 按排放形式可分为点源和面源 点源如城市中各式各样的烟囱与排气筒。面源如居民区内连片的取暖锅炉、炊事炉灶群等。城市郊区农田和林场在生产过程中使用的化肥、农药成分向大气环境转移，也属于大气污染面源，也会对城市大气环境产生影响。

(2) 按排放地点可分为固定源和移动源 固定源是指污染物从固定地点排出，如各类企业烟囱、排气筒。

移动源主要指汽车、火车、轮船、飞机等，它们与企业相比虽然排放量少、分散、流动，但数量庞大，活动频繁，排出的污染物总量不容忽视。

(3) 按污染物产生的类型可分为工业污染源、生活污染源和交通污染源 各类工矿企业燃料燃烧和生产过程中产生烟尘及各种气态无机、有机化合物，排放这类污染物的污染源称为工业污染源。工业污染源因生产产品和工艺流程不同，排放的污染物种类和数量有很大差别。

生活污染源主要指人们日常生活（衣、食、住、行、医、闲等）过程中产生的和可能接触到的污染物的排放源。在我国城市中，这类污染源具有分布广、排放污染物量大、排放高度低，甚至长期直接与人体接触（如室内空气污染）等特点，是造成城市大气污染不可忽视的污染源。

交通污染源主要指各类排放尾气的交通工具。在一些发达国家，汽车尾气是构成城市大气污染的主要部分。近年来我国汽车产量及保有量连年快速增长，汽车尾气对城市大气污染的贡献也越来越大。我国多数大中城市的大气污染中，机动车尾气的贡献已达60%以上。

2. 主要大气污染物

排入大气的污染物种类很多，根据污染物与污染源的关系，可以将污染物分为一次污染物和二次污染物。直接从各类污染源排放的污染物称为一次污染物，如 SO_2 、 NO_x 、 CO 、 CO_2 等。一次污染物在大气中经过化学反应所生成的一系列新的污染物称为二次污染物。最常见的二次污染物有硫酸和硫酸盐气溶胶、硝酸和硝酸盐气溶胶、光化学烟雾等。大气的二次污染物的危害往往更大，如 SO_2 在干空气中，浓度达到 800×10^{-6} 时，人还可以耐受，但 SO_2 在湿空气中转化形成硫酸气溶胶后，浓度只要达到 0.8×10^{-6} ，人就不能耐受。

根据大气污染物的存在状态，可以分为气溶胶污染物和气态污染物两大类。据统计，气溶胶污染物约占大气污染物的10%，气态污染物约占90%。

(1) 气溶胶污染物 气溶胶污染物也称颗粒物，指大气中除气体以外的各种污染物，包括各种固体、液体和气溶胶。粒径范围主要在 $200 \sim 0.1 \mu\text{m}$ ，绝大多数在 $10 \mu\text{m}$ 以下，多数在 $10 \mu\text{m}$ 以下，可用总悬浮颗粒物（TSP）为衡量指标。

颗粒物可按粒径的差异分为降尘和飘尘两种。降尘是指粒径较大（一般大于 $10 \mu\text{m}$ ）、可在重力作用下沉降到地面的颗粒物。飘尘是指粒径较小（一般小于 $10 \mu\text{m}$ ）的各种颗粒物，它们重量轻，在大气中长期飘浮，容易通过呼吸道吸入体内，对人体健康造成危害。此外，飘尘在大气中长期飘浮，也容易被气流远距离输送，扩大污染范围。同时，飘尘在大气中还可成为其他污染物质的载体和反应床，加重危害。

颗粒物主要来自天然污染源，如海水蒸发的盐分、水汽凝成的雾、土壤侵蚀吹扬的尘、火山喷发的灰等。人为排放的颗粒物物质主要产生于燃料的燃烧过程（煤灰、烟气等），以及采矿、研磨、加工制造等工业生产过程，一般含有各种各样的微量金属（如Pb、Ni、Fe、



Zn、Cu、Mg、Cd 等), 这些粒子非常小, 很容易被吸入, 会对健康造成危害。

(2) 气态污染物 气态污染物种类极多, 主要有以下五种类型 (见表 1-1)。

表 1-1 大气气态污染物种类

污 染 物	一 次 污 染 物	二 次 污 染 物
含硫化合物	SO ₂ 、H ₂ S	SO ₃ 、H ₂ SO ₄ 、MSO ₄
碳氧化合物	CO、CO ₂	无
含氮化合物	NO、NH ₃	NO ₂ 、HNO ₃ 、MNO ₃ 、O ₃
碳氢化合物	C _m H _n	醛、酮、过氧乙酰基硝酸酯
卤素化合物	HF、HCl	无

注: M 代表金属离子。

① 含硫化合物。主要有 SO₂、SO₃ 和 H₂S 等, 其中以 SO₂ 的数量最大, 危害也最大。含硫化合物的天然来源以细菌厌氧分解产生的 H₂S 最为重要。人为活动排放的含硫化合物主要是 SO₂, 来自含硫煤和燃料油的燃烧、石油炼制以及含硫矿物的冶炼、硫酸制造等过程。全世界每年排放的 SO₂, 2/3 来自煤的燃烧。我国以煤为主要能源, SO₂ 排放量已经超过美国, 居世界第一。

② 含氮化合物。含氮化合物种类很多, 其中最主要的是 NO、NO₂、NH₃ 等。天然排放的含氮化合物主要来自土壤和海洋中的有机物分解, 属于自然界的氮循环过程。人为活动排放的含氮化合物主要来自化石燃料燃烧, 如汽车、飞机、内燃机及各种炉窑的燃烧过程, 也有的来自生产、使用硝酸的过程, 如氮肥厂、金属冶炼厂的排放等。

③ 碳氧化合物。污染大气的碳氧化合物主要是 CO 和 CO₂。CO 是城市大气中数量最多的污染物, 约占大气污染物总量的 1/3, 主要来自化石燃料的不完全燃烧, 天然排放较少。发达国家城市空气中的 CO, 80% 来自汽车排放。由于 CO 无色、无味, 不易察觉, 在 CO 排放源集中的区域 (如公路隧道、停车场、叉道口、交通繁忙的道路等), 浓度极易偏高, 对人体造成危害。

④ 碳氢化合物。包括烷烃、烯烃、芳香烃等多种碳氢化合物。CH₄ 是大气中天然产生的浓度最高的碳氢化合物, 来自有机物的厌氧分解。人为碳氢化合物主要来自石油燃料的不完全燃烧和石油类的蒸发过程。在石油炼制、运输、石油化工生产中产生多种碳氢化合物, 燃油机动车也是碳氢化合物的主要污染源, 所以, 交通线上的碳氢化合物浓度与交通密度密切相关。

化石燃料不完全燃烧的产物非常复杂, 受到较多关注的是 3,4-苯并芘。3,4-苯并芘是化石燃料及有机物质在高温、缺氧条件下生成的一种多环芳烃类化合物。烟尘颗粒表面、沥青烟气中都含有 3,4-苯并芘。汽车尾气也是重要来源, 城市空气中 5%~42% 的 3,4-苯并芘来源于汽车尾气。

碳氢化合物与氮氧化物在阳光下产生光化学烟雾, 会加重危害。

⑤ 卤素化合物。对大气构成污染的卤素化合物, 主要是含氯化合物及含氟化合物, 如 HCl、HF、SiF₄ 等。

3. 影响城市大气污染的因素

城市是一个复杂的地域综合体, 城市下垫面的改变影响风的形成, 也导致风向、风力的改变, 继而引起大气污染程度的变化。归纳起来, 城市环境对大气污染的影响主要表现在以下几个方面。

① 城市下垫面粗糙度大, 增强了局地湍流, 有利于污染物扩散; 另外, 地面粗糙度大减小了风速, 又不利于污染物扩散, 并可能形成局部滞流空间, 致使污染浓度增高。

② “热岛效应”的存在, 使城市中心出现上升气流, 郊区近地面空气从四面八方城市



中心汇集,城市周边工厂排放的污染物也随同聚向城市中心,从而加重市区的污染。

③ 城市地表人工构筑物复杂多样,若规划不善会形成许多小尺度局地环流,在小范围内形成运动死角或局地涡流,致使局地污染加重;但若规划有序,高大建筑物能引导地面气流沿建筑物绕流或上升,可降低污染程度。

④ 城市中保留较大面积绿地,不仅可以过滤、黏附和吸收大气中的尘粒或有害气体,减轻大气污染,还可因与建筑区不同的热力状况,形成类似海陆风的空气对流,使建筑区受污染的空气抬升至高空,补充以绿地流来的新鲜空气,可大大降低大气污染程度。

⑤ 城市的生产和生活方式导致城市建筑室内空气污染日渐增多而通风换气能力却反而减弱。由于建筑保温绝热和室内装饰美化的需要,以及燃料的消耗增加、进入室内的化工产品和电器设备的种类和数量增多,使得室内有些污染物的浓度较室外高数十倍以上。

(三) 大气污染对人身安全和健康的危害

1. 大气污染物进入人体的途径

大气污染物主要通过呼吸道进入人体。虽然呼吸道每天接触众多烟尘、有害气体和微生物,但正常人体呼吸系统具有一系列的防御功能。如通过鼻腔阻留,气管、支气管黏膜黏附,纤毛细胞清扫,能阻挡大部分有害物质进入机体。呼吸道各部分的结构和防御机制不同,对外源性化学物质的阻留和吸收也不相同。一般有害物质进入人体部位越深,扩散面积越大,停留时间越长,机体吸收量就越多。由于肺循环和体循环的关系,外源性化学物质能很快被肺泡吸收,并经血液输送至全身,不经肝脏代谢转化即对全身起作用。因此,外源性化学物质经呼吸道进入机体后可很快引起全身反应,危害较大。

大气污染物也可经皮肤接触进入机体,或直接刺激皮肤和黏膜,造成局部危害。此外,大气污染物也可能沉降至食物、水体或土壤,通过饮食和饮水经消化道进入机体造成危害。

2. 大气污染的危害

(1) 引起急性中毒 大气污染物浓度在短时间内急剧增高,可使暴露人群因吸入过量污染物而发生急性中毒。大气污染急性中毒按生成原因可划分为如下两类。

① 大气烟雾事件。大气烟雾事件是大气污染造成急性中毒的主要类型,一般发生于大气污染物排放过多,又因大气环流与地形等因素使污染物得不到及时、有效的扩散、稀释的情况下。大气污染物在大气中积聚到一定浓度便会造成敏感人群急性中毒。烟雾主要包括煤烟型烟雾和光化学型烟雾。近年来的研究报道显示,由于人类有效控制了排放量,大气烟雾事件已很少发生。

历史上的煤烟型烟雾事件,是由于煤烟和工业废气大量排入大气后得不到充分扩散而引起的。工业革命初期,人类燃煤量猛增,大量煤烟严重污染大气。从19世纪末开始,发生过多次烟雾事件。较早报道的如1930年12月3日至5日,比利时马斯河谷地区出现逆温,使附近多个工厂的废气被封闭在近地面上空,大气被 SO_2 和氟化物严重污染,造成几千人发病,病人声音嘶哑,呼吸急促,咳嗽,吐泡沫状痰,后转为脓样痰块,呕吐,恶心,三天内就有60人死亡且多数死于心力衰竭。1948年10月26日至31日,美国多诺拉市发生大雾,气温低,有逆温,大量 SO_2 和金属粉尘从工厂排出而笼罩该市上空,因该市位于河谷岸边,浓雾很难消散,空气中充满硫黄味,几天内就有20人死亡。英国伦敦近百年来多次发生烟雾事件,其中最严重的一次发生在1952年12月5日至9日,浓雾持续5天,伦敦住户采暖壁炉排出的大量烟尘与浓雾混合,停滞于城市上空,整个城市被浓烟吞没,死亡人数达3590~4000人,这就是震惊世界的“伦敦烟雾事件”。

煤烟型烟雾事件的特点是: a. 污染物来自煤炭的燃烧产物及工业生产过程的污染物; b. 气象条件为气温低、气压高、风速低、湿度大、有雾、有逆温; c. 多发生在寒冷季节; d. 河谷盆地易发生; e. 受害者以呼吸道刺激症状最早出现,咳嗽、胸痛、呼吸困难,并有



头疼、呕吐、发热。死亡原因多为气管炎、支气管炎、心脏病等。对于老年人、婴幼儿、患有慢性呼吸道疾病和心血管疾病等敏感人群，影响尤为严重，死亡率高。

光化学型烟雾事件主要是由于汽车尾气在紫外线的光化学作用下，经转化生成具有强烈刺激作用的光化学型烟雾而引起的。世界很多大城市都曾出现过此类事件，尤以 20 世纪 50 年代的美国洛杉矶市光化学型烟雾事件最为突出。1955 年美国洛杉矶市发生光化学型烟雾事件期间，气温高达 37.8°C ，持续一周多时间，导致人群哮喘和支气管炎的发病率急速增加，老年人群死亡率明显升高，随后进行的流行病学分析显示，一周内平均每天死亡 70~317 人。

光化学型烟雾事件的特点是：a. 污染物主要是来自汽车尾气经日光紫外线的光化学作用生成的强氧化型烟雾；b. 气象条件为气温高、天气晴朗、紫外线强烈；c. 多发生在夏秋季节的白天；d. 南北纬度 60° 以下地区多发；e. 大城市内机动车拥挤，高楼林立，街道通风不畅，易发生此类事件；f. 受害者症状主要是眼睛红肿、流泪、咽喉痛、喘息、咳嗽、呼吸困难、头痛、胸闷、皮肤潮红、心脏功能障碍、肺功能衰竭，心脏和肺部疾患人群往往反应严重。

② 毒气泄漏事件。毒气泄漏造成的急性中毒事件虽不经常发生，但一旦发生，造成的人群健康危害和社会影响往往极为严重。

1984 年 12 月 3 日凌晨，印度博帕尔市联合碳化物公司农药厂发生气体泄漏，几十吨异氰酸甲酯在短时间内进入大气，向下风向扩散。4 小时内，毒气笼罩了约 40km^2 的地区，波及 11 个居民区，几天内就死亡 2500 人。事故共造成 3000 多人死亡，52 万人受到严重伤害，10 多万人终生残疾。该事件不仅严重污染大气，还污染饮水和食物，造成远期危害。

除以上惨重事故外，规模较小的事故在国内外时有发生。受害者大多是居住于工厂周围和下风向的职工家属和当地居民。近年来随着世界各国对大气污染问题的重视并不断采取控制措施，大规模的大气污染事件已不多见。但因意外事故造成的局地大气环境灾难事件时有发生，构成对城市居民人身、财产安全的严重威胁。

(2) 造成慢性危害

① 对呼吸系统的危害。 SO_2 、 NO_2 、硫酸雾、硝酸雾、盐酸雾、烟尘等污染物，在高浓度时能产生急性刺激作用，长期的低浓度刺激则对人体呼吸系统产生慢性危害，造成呼吸系统慢性炎症，如咽喉炎、慢性气管炎、肺气肿、肺心病等，并使相关疾病的人群发病率和死亡率显著增加。由于呼吸道炎症的反复发作，致使支气管上皮的分泌物大量排出，内膜增厚、致敏、产生痉挛，造成气道狭窄、气道阻力增加，形成综合性疾病，称为慢性阻塞性肺部疾患（COPD），这是慢性支气管炎、支气管哮喘、肺气肿三种疾病的统称。

我国城市居民 COPD 总体患病率一般在 $3\%\sim 4.5\%$ 左右，2000 年城市居民的 COPD 死亡率为 $(50\sim 65)/10$ 万人，约占全部死因的 13% 左右。相关研究认为，城市居民呼吸系统疾病的患病率和死亡率，与城市大气污染程度有十分密切的关系。

② 对心血管系统的危害。大气污染的长期作用可造成肺部疾患，使肺功能下降，肺动脉压升高，继发肺心病。此外，某些污染物如 CO 、 NO_2 等还能使血红蛋白携氧能力下降而造成人体组织缺氧，加速动脉粥样硬化形成，加重心脏负荷，可诱发心肌梗死、心绞痛等疾病。近年研究显示， SO_2 、可吸入颗粒物（ PM_{10} ，粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的颗粒物）等大气污染物与人群心血管疾病的发生有很密切的关系。

③ 导致机体免疫功能下降。在大气污染严重地区，居民体内唾液溶菌酶和分泌型免疫球蛋白 A 的含量均明显下降，血清中的免疫指标也下降，说明机体的免疫力降低。

④ 引起变态反应。除花粉、灰尘等已知的变态反应原外，大气中某些污染物如甲醛、挥发性有机物等都具有一定的抗原性，能使机体产生变态反应。日本四日市哮喘即是以变态



反应为主要症状的大气公害病。据报道,在某油田附近居民中,曾抽查了 10144 人,变态反应的患病率为 40.12%,其中男性为 39.7%,女性为 43.3%,说明该类疾病已成为一种常见疾病,其发生与该地区的大气污染有密切关系。

⑤ 慢性化学中毒。许多大气污染物能引起慢性中毒,如铅、铬、镉、酚、砷、汞等。据美国 28 个大城市调查,城市大气中镉、锌、铅、铬的浓度分布趋势与该市的心脏病、动脉硬化、高血压、中枢神经系统疾病、慢性肾炎、呼吸系统症状的分布趋势很一致。铝厂、磷肥厂、冶炼厂周围的氟污染往往很严重,附近居民常出现慢性氟中毒。2009 年 8 月,陕西省某地 1016 名儿童接受权威血铅检测,有 851 人血铅超标,其中 174 人中、重度铅中毒,需要住院接受排铅治疗。据环保部门调查监测数据资料显示,某冶炼公司排放的大气污染物是造成该地区部分儿童血铅超标的主要原因。

⑥ 致癌作用。大气污染物特别是可吸入颗粒物中,含有很多已经证实或可能的人类致癌物。例如砷、致癌性多环芳烃、苯等。近几十年来,国内外大量资料表明,大气污染程度与肺癌的发病率和死亡率成正比。欧美发达国家的肺癌发病率和死亡率近几十年始终居高不下。发展中国家的肺癌死亡率也增长很快,目前已超过胃癌、肝癌、宫颈癌,上升为第一位。

近年研究发现,二噁英是毒性最大的化合物之一,其毒性是砒霜的 900 倍,有“世纪之毒”之称,国际癌症研究中心已将其列为人类的一级致癌物。垃圾焚烧、钢铁冶炼、纸浆氯漂白,以及某些除草剂和杀虫剂的制造过程都会产生一定的二噁英排放,其中最主要的就是在燃烧不充分情况下的垃圾焚烧。

二、城市水环境

(一) 城市水环境及其特征

城市水环境是指城市所处地球表层空间的所有水体、水中悬浮物及溶解物、水生生物及微生物的总称。城市水环境的空间尺度较小,是大尺度水圈水体(包括河流、湖泊、沼泽、水库、冰川、海洋等地面水以及地下水等)的一部分。

由于城市大量兴建房屋、道路,大大增加了不透水地表面积,改变了地表水的蒸散、渗透和地表径流状况;而城市水渠和下水管道的修建,则大大缩短了汇流时间,增大了径流曲线峰值;加之城市大量人口集聚,生产、生活过程中需水量大大增加,不仅减少了地面水对地下水的补给,一些缺水城市还直接动用大量地下水资源,造成地下水位日渐下降;同时由于污水排放量的增加导致了城市水体污染。此外,许多城市水系因盲目的城市建设而变成死水,而且城市建设过程中往往遗留一些大小、无有效功能的人工水体,成为溺水事件的危险源。综上所述,人类的城市化过程对城市水环境的影响使城市水环境形成了与乡村自然环境不同的特征。

1. 淡水资源的有限性

任何一个城市的淡水资源总量都是有限的,主要受两个方面的制约:首先是气候因素的影响,中国长江以南多雨地区城市的淡水资源量比华北地区的北京、天津等城市相对充足得多;其次,城市淡水资源深受地表江河的影响,也就是说,城市淡水资源深受过境径流水量的制约,尤其是处于江河下游的城市,如天津市地处海河流域最下游,历史上过境径流量充沛,20 世纪 50 年代海河来水量年平均 99.4 亿立方米,但到 60 年代由于上游各支流修建了大量水利工程,层层拦蓄,使天津市海河年来水量仅为 50 年代的 17%,到 80 年代初几乎断流。

2. 城市水环境的系统性

城市水环境的系统性是指组成城市水环境的各个方面相互影响、相互制约,构成一个有机整体,特别是城市地面水和地下水、江河和湖泊等之间在水量上互补余缺,水质上相互影



响。如果地面水或地下水的一部分受到严重污染,就会互相影响,导致城市整个水环境系统质量的恶化。

3. 城市水环境系统自净能力的有限性

每个城市的水环境系统都有一定的自净能力或环境容量,但这种自净能力是有一定限度的,是由水环境系统的特点决定的,如水环境系统的水量、流动性等。

(二) 城市水资源

城市水资源是指在当前技术条件下可供城市工业、郊区农业和城市居民生活需要的那一部分水,通常理解为可供城市用水的地表水体和地下水体中每年得到补给恢复的淡水量。城市供水水源一般有两种:一是地表水源,包括江河、湖库、海水等;二是地下水源,包括地下含水层水、裂隙水、岩溶水、泉水等。另外,近年也将处理后的工业和城市生活污水回用于工业、农业和生活杂用用水,作为城市水资源的组成部分。对于中小城市,或水源条件较好的城市,可以就近取水,输水工程比较简单;而对于大城市或水源条件较差的城市,为了保证城市所需的水量及水质,往往需要远距离取水或跨流域调水,这样的城市,水资源系统就比较复杂。城市水资源是制约城市发展的重要因素,对城市生产和生活具有重要影响。

当前我国城市达到一定水质的水资源不多,而且随着社会、经济的发展,水污染日益严重,可利用水资源日益紧缺,如果发生重大突发性污染事件,城市水资源系统就会陷入瘫痪,如2005年的哈尔滨停水事件,由于中石油吉林石化分公司双苯厂发生爆炸事故,造成大量苯类污染物和其他有毒物质流入松花江,导致哈尔滨400万居民停水4天。

(三) 城市化对水环境的影响

1. 城市化对水系的影响

(1) 地面水系人工化 天然的河、湖、塘、池、淀、洼是自然变迁、新构造运动、气候变化的产物。而人类的开发活动,特别是城市的开发建设,使城市地面水系人工化程度高。天然河流大部分被闸、坝、堤设防控制,河道被裁弯取直,修建水库、开辟人工河道等,改变了地表水的自然分布状态,形成了天然河湖与人工沟渠并存、彼此连通、相互影响、受人工整治和高度控制利用的地表水系统。但在地表水系人工化过程中,也造成了对水生态环境的破坏。

(2) 地下建成排水系统 城市化使天然的地表径流、地下渗漏过程被人工排水系统代替,水渠和下水管道构成的排水系统,具有下泄雨洪和搜集污水的作用。

2. 城市化对水循环的影响

水分蒸发、凝结、降落(降雨)、输送(径流)循环往复的运动过程称为水循环。城市化的一个重要特点就是建筑物增多,道路硬覆盖面积增大,加上河道整治以及排水管网建设等,直接改变了地面雨洪径流的形成条件。天然流域地表具有良好的透水性,据加拿大安大略省环境部资料,城市化前,降水的50%入渗地下,40%蒸发,10%形成地表径流。城市化后,城市的水文循环状况发生了变化,降水量增多,贮存水量减少,地表径流增大,降水的32%下渗,25%蒸发,13%形成屋顶径流,地表径流增大到30%,如图1-4所示。这种变化随着城市化发展,不透水面积率的增大而增大。下垫面不透水面积比例越大,贮存水量越小,地表径流越大。

3. 城市化对河流水文性质的影响

城市化对河流水文性质的影响是多方面的。

(1) 流量增加,流速加大 城市不透水地面多,植被稀少,降水的下渗量、蒸发量减少,地表径流量增加,城市排水管网系统能迅速搜集雨水排入河流,再加上城市化对天然河道裁弯取直、疏浚整治等,都增加了河道汇流的水力学效应,导致河流流量增加,流速加大。此外,河道被挤占、束窄,也使流速加大。

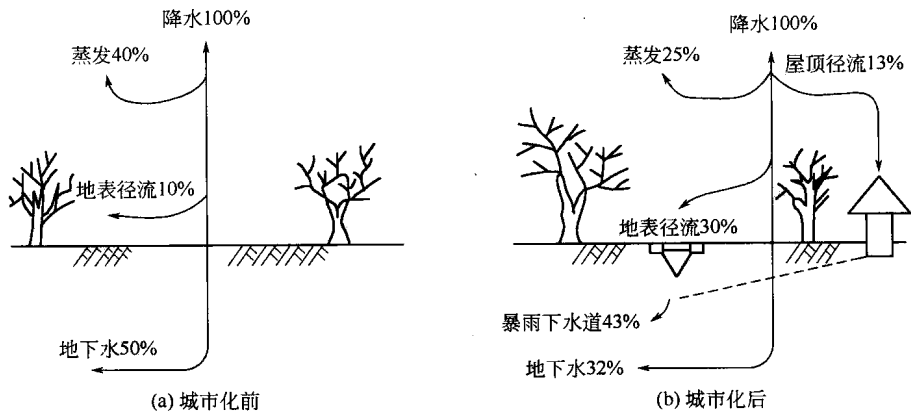


图 1-4 城市化前后水循环的变化
(引自杨士弘, 2003)

(2) 径流系数增大 径流系数是指某段时间内径流深与降水量之比，径流深指径流总量与流域面积的比值，因此，径流系数表示用于形成径流的雨量，即有效雨量。径流系数增大，表示城市降水量用于形成径流的有效雨量多，蒸发渗漏少。城市化增加了降雨后的地面径流和河道汇流，所以，城市化会使径流系数增大，对城区河流或排水沟渠的压力加大。

(3) 洪峰增高，峰现提前，历时缩短 由于城市化的影响，降雨后集流速度加快，汇流历时缩短，雨洪径流增加，流量曲线急升急降，峰值增大，出现时间提前（见图 1-5）。同时由于地面不透水面积增大，下渗减少，雨停之后补给退水过程的水量也减少，使得整个洪水过程线底宽较窄，增加了产生迅猛洪水的可能性。据研究，城市化地区洪峰流量约为城市化前的 3 倍，涨峰历时约缩短 1/3，受城市河道整治情况、不透水面积率及排水设施等因素影响。随着城市化面积的扩大，这种现象日益显著。

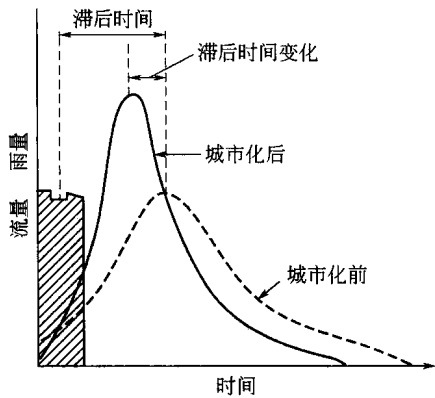


图 1-5 城市化前后流量过程线的变化
(引自杨士弘, 2003)

(4) 径流污染负荷增加 城市河流污染物的来源包括两个方面，点污染源和面污染源。点污染源指工业废水、生活污水排放进入河流。面污染源指地面、屋顶、大气中积聚的污染物质，被雨水冲洗带入河流。另外，城市河流流速加大，加剧了水流对河床的冲刷，使水体中污染物含量增加。还有，城市建设施工期间，大量泥沙被雨水冲洗，使河流泥沙含量增大。因此，城市化增加了河流的污染负荷，也增加了对下游的污染物输送。此外，工业冷却水排放会使局部水温升高，增加城市河流的热污染负荷。

4. 城市化对地下水的影响及其衍生问题

(1) 地下水水位下降，局部水质变差 城市地面不透水区域下渗水量几乎为零，因此，城市化导致地下水的补给来源减少，地下水水位下降。另外，由于地面污染源的影响，局部地下水有害物质含量增加，水质恶化。

(2) 水量平衡失调 城市化、工业化发展导致生产生活用水量迅速增长，地表水又受到不同程度的污染，因此，我国城市供水不足、水资源短缺现象较普遍，于是大量抽取地下水，超过了地下水的自然恢复速度，导致水量平衡失调。

(3) 生态环境恶化 如果地下水补给不足持续时间较长, 容易引起地下水含水层的衰竭, 造成城区地下水水位的持续下降, 从而导致地面下沉, 引起地基基础破坏, 建筑物倾斜、倒塌、沉陷, 桥梁、水闸等建筑设施大幅度位移, 海水倒灌, 城市排水功能下降, 容易发生洪涝、干旱灾害, 导致生态环境恶化。

城市化水文问题参见图 1-6。

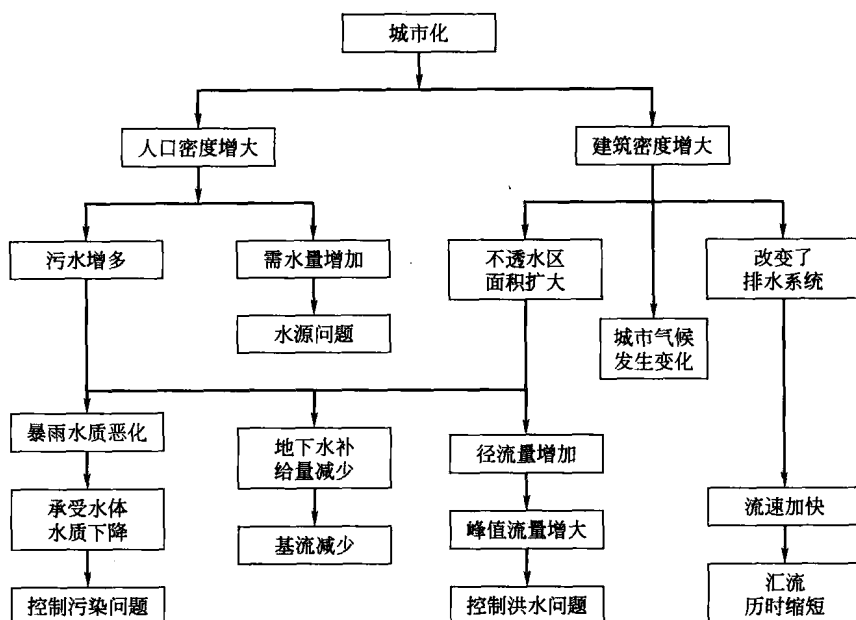


图 1-6 城市化水文问题框图

(引自杨士弘, 2003)

(四) 城市水污染

城市生活污水、各种工业废水如果未经处理就排入周围水体, 以及降雨冲刷地面夹带的各种垃圾废物污泥进入城市水体, 往往超过城市水体的自净能力而造成水体污染。

1. 城市水体污染源

水体污染源是指水体污染物的来源, 主要来自以下几方面。

(1) 工业废水 工矿企业生产过程的每个环节都可能产生废水, 其特点是数量大、种类多、成分复杂、毒性强, 净化和处理都较困难。其中钢铁厂、焦化厂和炼油厂排出含酚类化合物与氰化物; 化工、化纤、化肥、农药、制革和造纸等工厂排出砷、汞、铬、农药等有毒有害物质; 印染、造纸、制碱、矿山开采等企业排出各种有色、异味、油类、泡沫和漂浮物的废水; 动力工业等排出的高温冷却水能恶化水体的物理性质(水温升高、颜色异常、有异味、水体感官特性变化等)。

(2) 地表径流与农田排水 大量杀虫剂、杀菌剂、除莠剂、化肥及农家肥在城市上游和周边农田、森林使用后, 除被生物吸收、挥发、分解之外, 大部分残留在土壤中, 随农田排水和地表径流进入水体, 造成水体污染, 也是水体富营养化的主要原因。长江水质监测结果表明, 在雨季和农田耕作繁忙季节, 长江水中有机氯农药含量往往上升, 约为枯水期和农闲时节的 2 倍。

(3) 城市污水 城市污水包括生活污水、工业废水和降水初期的城市地表径流。其成分复杂, 主要有病原微生物、耗氧有机物、植物营养物(氮、磷)和悬浮物等。

随着城市的发展, 城市污水的演变可分为三个阶段, 即病原污染期、水体恶臭期、新污