

中国农业大学

硕士学位论文

北京市地表水环境质量评价

姓名：潘术香

申请学位级别：硕士

专业：环境工程

指导教师：张宝莉;李国学

20040601

摘 要

随着北京市水环境日益恶化,北京水污染问题已成为关注的焦点和研究的热点。为了研究地表水质污染程度,对五大水系进行了布点采样,采用模糊数学法和单因子评价法进行水质评价并分析污染原因,进而提出污染控制策略。

研究表明:

(1) 潮白河水系水质良好,41.4%的断面好于或符合 II~III 类水体功能要求。下游污染来源于顺义河段以及牛栏山酒厂等排放的工业废水。

(2) 永定河水系水质较好,27.3%的断面好于或符合 II~III 类水体功能要求。延庆县以及上游张家口和宣化地区污水造成局部地区水质恶化。

(3) 大清河水系水质较差,从上游往下游,水体污染明显加重,由单纯重金属污染转为有机与无机污染并存的形式。石家庄市大量施用的农药、化肥以及山区采矿业和乡镇企业的废水造成水体污染。

(4) 蓟运河水系水质较差,为 V 类或劣 V 类水质,下游断面有多项污染物超标。平谷县污水以及顺义地区的养殖废水对水体造成污染。

(5) 北运河水系水质最差,为劣 V 类水质。北运河水系是北京城近郊区的主要排污河道,所以水体被严重污染。

(6) 湖泊基本符合水质功能的要求。除了密云、海子水库,其余水库均受到不同程度的污染,尤其是官厅、沙河水库水质最差。

(7) 氮磷以及有机污染指标之间相关性极为显著 ($P < 0.01$),重金属之间相关性各异。DO 与各指标基本呈负相关。各指标相关性不同体现了污染来源即存在共性又存在差异。

(8) 模糊数学法水质评价结果可以表明水质好于水体功能要求的情况,避免只以一种污染物评价的偏颇,而单因子评价避免饮用水超标带来的威胁,列出超标污染物及其倍数,便于进行污染原因分析。应该结合两种方法对北京市地表水质进行评价。

关键词: 北京 地表水 水质 评价

Abstract

As the water environment is being worse, the pollution of surface water in Beijing has been a great concern. In order to know the current situation of the surface water pollution, water samples were taken from major 5 rivers for chemical analysis. Fuzzy mathematical evaluation method and single index assessment method were adopted to analyze the data. Finally, the strategy of pollution control was presented.

The results obtained were as follows:

(1) The water quality of Chaobai River was good. Among all the monitoring sections, 41.4% water quality could match class II~III. The downstream pollution was caused by industrial wastewater released from riverbank of Shunyi and Niulanshan wine factory.

(2) The water quality of Yongding River was relatively good. 27.3% monitoring sections could match class II~III. The wastewater released from Yanqing, Zhangjiakou and Xuanhua caused the local water degradation.

(3) The water quality of Daqing River was bad. From upstream to downstream, the water pollution was obviously getting worse. Pollution style became from single heavy metal pollutant to the inorganic pollutants mixed with organic pollutants. Water pollution might be caused by fertilizer and pesticide from rural enterprises in Shijiazhuang, and wastewater from mining.

(4) The water quality of Ji canal was class V or below, and many quality parameters overran standard in downstream sections. The water was polluted mainly by the wastewater in Pinggu and Shunyi.

(5) The water quality of Bei canal was below class V, the worst of all. It was the main river for pollutant discharge of Beijing, so it was polluted severely.

(6) The lakes could match the water quality criterion. However, except Miyun and Haizi reservoir, all other reservoirs were polluted in a different level, and among these reservoirs, the water qualities of Guanting and Shahe reservoir were the worst.

(7) The relativity between nitrogen and organic indexes was wondrously well, the same was between phosphorus and organic indexes, but the relativity between the heavy metals was different. The dependence relation between DO and other indexes was negative correlation. The different relativity of each index indicated that there were commonness and difference in polluting sources.

(8) Fuzzy mathematical method could not only present water quality, which was better than water criteria, but also prevent warped only through single pollutant assessment. However by single index assessment method, the threat of drinking water over standard could be avoided, and the percent over standard contamination and its quantity could be known, for easy to analyze the fundamental reason. Both methods should be combined to assess the surface water quality in Beijing.

Key words: Beijing; Surface water; Water quality; Assessment;

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中国农业大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名：潘术香

时间：2004年6月20日

关于论文使用授权的说明

本人完全了解中国农业大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。同意中国农业大学可以用不同方式在不同媒体上发表、传播学位论文的全部或部分内容。

(保密的学位论文在解密后应遵守此协议)

研究生签名：潘术香

时间：2004年6月20日

导师签名：

张立利

时间：2004年6月20日

第一章 文献综述

1.1 问题的提出

水是人类进步和社会发展的支柱,水资源已成为影响社会发展的重要制约因素。20 世纪以来,随着社会经济快速发展,水的需求急速增长,全球性水荒正在 100 多个国家蔓延。

中国是一个水资源不足的农业大国,人均水资源占有量不足世界的 1/4,居世界第 109 位,被联合国列为 13 个缺水国家之一。据 2001 年 3 月 22 日“世界水日”报道,目前中国 669 座城市中,有 400 多座城市缺水,其中 110 多座城市严重缺水,城市缺水量达 60 亿 m³,全年因城市缺水影响产值 2000 亿人民币以上,影响城市人口约 4000 万(黄鹄,2001)。中国水资源分布也极不均衡,东南多、西北少,华北地区缺水更加严重,海河流域水资源人均占有量只有全国的 1/6。

地处华北平原的北京市人均占有水资源量约 400m³(如包含流动人口在内,不足 300m³),只有全国的 1/8,世界的 1/30,远远低于国际公认人均 1000m³的下限,属于重度缺水城市(张玉森,2002)。近年来北京市水资源量呈减少趋势,水资源需求量却连年上升(表 1-1)。与 1949 年相比,北京市常住人口增加了 3 倍,工业用水量增加了 31 倍,自来水售水量增加了 85 倍。水资源量减少和需求量增加,使水资源更加紧张。据专家预测,到 2010 年总需水量平水年 49 亿 m³,枯水年 52 亿 m³,有 20 亿 m³的供需缺口(邹玉芬,1994)。近年来,经济发展带来水体污染日益严重,五大水系(大清河、永定河、北运河、潮白河、蓟运河)已经受到不同程度的污染。其中官厅水库已不能作为饮用水源,仅用于工、农业灌溉和补充城市河湖用水,密云水库也有富营养化趋势(谭奇林,2002)。随着对点源污染的控制和治理,农业非点源污染将成为水体污染和富营养化的又一主导因素。立足于水资源紧张、水体污染严重的状况,研究北京市地表水质变化特征对控制水体污染具有重要意义。

表1-1 北京城市供排水基本情况

年	1949	1957	1965	1978	1987	1990	1996	2000
供水(万 m ³ /d)	8.6	27.5	75.6	134.3	184.9	—	—	356.4
城市人均(dm ³ /d)	27.9	52.7	78.3	138.7	160.4	—	—	240.2
日排污量(万 m ³ /d)	—	18.6	90.4	175.3	296.1	229.3	263.4	143.6
						111.3	101.3	100.7
污水处理(万 m ³ /a)	—	2.9	2934.8	4863.7	6540.2	21812	73585	107409

注:日排污两分为上下两栏者分别为生活污水和工业废水(北京市环境保护科学研究院,2000)

1.2 国内外水资源现状

1.2.1 国外水资源现状

随着人口增长、经济发展以及人们生活水平的提高，人类社会对水的需求量迅速增长，加之人类活动造成水污染，使得世界上许多国家和地区出现水资源危机，水资源紧缺已经成为当今世界许多国家社会经济发展的制约因素，引起人们的普遍关注。早在 1972 年联合国第一次环境与发展大会即已指出：“石油危机之后，下一个危机便是水”。1977 年，联合国大会进一步强调：“水，不久的将来将成为一个深刻的社会危机”。1989 年，联合国前秘书长加利说：“未来的战争将为水而战”。1992 年，一些专家指出：“到 21 世纪，水、粮食和能源这三种资源中，最重要的是水”。1997 年，联合国再次呼吁：“目前地区性的水危机可能预示着全球性危机的到来”。1999 年，联合国教科文组织在日内瓦召开全球水文大会，再次动员世界各国为解决日趋严重的水资源危机而积极行动起来，加强各国之间的合作，以寻找解决或缓解越来越严重的全球水资源危机的有效途径。目前，设在世界水理事会的 21 世纪世界水资源委员会，正在着手制订 21 世纪水、生命和环境长期构想（郝仲勇，2000；Lundqvist，2000）。

据统计，自上个世纪以来，全世界淡水使用量增加了近 8 倍，其中，农业用水增加 7 倍，城市生活用水增加了 1 倍，工业用水增加了 20 倍，且每年仍以 5%左右的速度递增，即每过 15 年就要增长 1 倍。人类的急增和大量的活动，不但需要大量的水资源，而且还向环境及水体本身排放大量的污染物，使水质不断下降，造成水资源环境明显恶化。目前全球有 14%以上的水体受到污染，污染导致本来就紧缺的可用水资源量减少，供需矛盾更加严重。水资源短缺已成为全球性问题，现今全球有 80 多个国家正面临着水资源不足。亚洲有 60%的地区缺水；非洲连年干旱有 85%的地区缺水，缺水已直接威胁到了生存；美洲、欧洲出现用水紧张的现象，俄罗斯、加拿大也受到威胁。

由此可见，人口增长、城市经济发展和生活水平的提高，导致用水量急剧增加，水环境严重破坏。水资源缺乏，已是 21 世纪面临的最严重的资源问题，它将制约全球经济发展。

1.2.2 国内水资源现状

中国年均水资源总量为 28124 亿 m^3 ，居世界第四位，与世界主要国家比较，水资源是相当可观的，但人均值远低于一些国家（表 1-2）。中国水资源受降水影响，时空分布年内、年际变化大，地区分布很不均匀。北方水资源缺乏，南方水资源较丰富，南北相差悬殊。由于地表径流量的巨大时空变化，地下水资源就成为我国大部分地区供水的重要来源之一，地下水资源也是南多北少。长期以来，社会经济发展受缺水困扰，水资源成为国民经济发展的“瓶颈”，缺水遍及各个流域，成为全国性的问题。而我国水资源利用效率很低，国民生产总值的用水效益只相当于美国的 1/8，日本的 1/25，农业用水效益只相当于以色列的 1/10（郭玮，2001；Brown，1998）。

近年来，我国污水排放量大（表 1-3），水环境持续恶化。由 2002 年中国环境状况公报，全国七大水系 741 个重点监测断面中，30.0%的断面属Ⅳ、Ⅴ类水质，40.9%的断面属劣Ⅴ类水质（图 1-1）。据调查，全国 1/4 的人口在饮用水质不良的水，有 2/3 的人口饮用受次生污染的水。由于污染导致的缺水和事故也不断发生，不仅使工厂停产，农业减产甚至绝收，甚至严重威胁

社会的可持续发展和危害人类的生存。

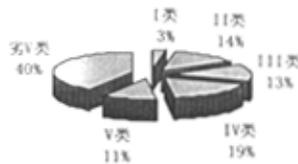


图1-1 2002年中国七大水系水质类别比例

表1-2 水资源量超过 1×10^4 亿 m^3 的国家

国家	水资源总量 (10 ⁴ 亿 m^3)	人均占有量 ($m^3/a \cdot$ 人)
巴西	6.95	43709
俄罗斯	4.50	30298
加拿大	2.90	98667
中国	2.81	2300
印度尼西亚	2.53	12813
美国	2.48	9277
孟加拉国	2.36	19936
印度	2.09	2244
委内瑞拉	1.32	60291
缅甸	1.08	23988
哥伦比亚	1.07	29887
刚果(金)	1.02	22419
阿根廷	1.02	28590

资料来源：王成祥，水资源危机与国际争端，2003

表1-3 1998-2002年全国废水及主要污染物排放统计

项目 年度	废水排放量 (亿 m^3)			COD 排放量 (亿 m^3)		
	合计	工业	生活	合计	工业	生活
1998	395.3	200.5	194.8	1495.6	800.6	695.0
1999	401.1	197.3	203.8	1388.9	691.7	697.2
2000	415.2	194.2	220.9	1445.0	704.5	740.5
2001	432.9	202.6	230.3	1404.8	607.5	797.3
2002	439.5	207.2	232.3	1366.9	584.0	782.9

资料来源：国家环境保护总局，2002年中国环境状况公报

由此可见，我国水资源形势非常严峻，如果水资源开发和利用没有大的突破，水资源将难以支撑国民经济的快速发展和人民生活水平的提高，水资源危机将成为21世纪最为棘手的难题，它将威胁中华民族的生存与发展，前景令人担忧。

1.3 北京市水资源形式

1.3.1 北京水资源概况

(1) 北京的水资源

北京位于华北平原北端，面积 1.68 万 km²，北部、西部分别为燕山山脉和太行山脉。北京境内有 5 条河流，从东到西分布有沟河、潮白河、北运河、永定河、拒马河，分属于海河流域的蓟运河、潮白河、北运河、永定河和大清河五大水系，共有大小河流 100 余条，全长 2700km。它们均由北山、西山流入东南平原区，是北京平原区地下水重要补给来源。北京有大小湖泊、水库 120 余座，其中大中型以上的湖泊、水库 24 座，蓄水量 45 亿 m³，密云水库、官厅水库是两座最大的水库，蓄水量 37.6 亿 m³，承担着供北京市工业及城市生活用水的主要任务（庄志东，1999）。

北京属温带大陆性季风气候，四季分明，年平均气温 12℃左右。多年平均降水量 626mm，年均降水总量 99.96 亿 m³，受季风气候及地形影响，降雨时空分布极不均匀，年际间变化悬殊，丰枯水年降水量相差 3 倍（郑桂森，2001；万育生，2002）。年降水量集中于 6~9 月份，占全年降水量的 80%以上。地表水水量受降雨的影响，遇到干旱天气，水库蓄水量会大量减少。

在过去的 50 年中北京经历过四次水危机（邓树林，2003）。上世纪 60 年代第一次水危机通过引密云水库的水而解决；70 年代第二次危机通过过量开采地下水度过；80 年代初第三次水危机，密云水库停止向天津、河北供水，只保北京供水，同时在全市开展计划用水、节约用水，才度过了水危机；从 1999 年开始北京已连续五年干旱，地表资源量开始急剧减少（表 1-4），北京又面临着第四次供水危机。由于降雨量减少和上游工农业的发展，水库年均入库水量锐减，需求水量的较大差距，使得北京不得不连年超采地下水来保障供水。与 1960 年相比，北京市平原地区地下水量超采了 45 亿 m³，与 1980 年相比超采了 25 亿 m³，形成以朝阳区红庙一带为中心的 2000km² 的地下水超采区，其中严重超采区约 1250 km²，部分地区地下水含水层已近疏干。地下水严重超采带来了生态环境的恶化、地面沉降、水质超标等一系列严重问题。

表1-4 1996-2001年北京地区水资源量统计表

年份	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	多年平均
地表水资源量 (亿 m ³)	25.95	10.61	17.83	5.16	6.80	6.90	21.78
	偏丰水年	偏枯水年	平水年	特枯水年	枯水年	枯水年	—
入境水量 (亿 m ³)	25.12	8.50	14.45	5.79	6.80	5.34	17.72
出境水量 (亿 m ³)	39.41	19.44	21.43	10.73	9.83	7.23	17.35
地下水资源量 (亿 m ³)	30.26	16.40	29.21	12.81	16.13	15.75	25.21

资料来源：北京市环境保护局，北京市环境质量报告书

(2) 水源地概况

密云水库位于北京市密云县北部山区，横跨潮河、白河主河道上，流域面积 15788km²，涉及河北省和北京市的 9 个县，水库控制流域面积的 2/3 在河北承德、张家口辖区内，1/3 在北京市行政区内。密云水库目前作为北京市唯一的地面饮用水源地，年供水量约 6 亿 m³，约占全市年地表供水量的 73.3%，其水质直接影响首都人民的生活和健康。目前密云水库水体的氮、磷水平属于中营养，水体的营养程度属中营养型，水质尚好，但库区水体向富营养化发展的趋势比较明显（杜桂森，1999）。

官厅水库建于 1954 年，位于河北省怀来县南部和北京市延庆县西部，是我国最早修建的大型水库，1989 年扩建后库容为 41.6 亿 m³。官厅水库曾经和密云水库一样是北京市重要的水源地。1972 年以来，官厅水库水质开始受到污染，采取治理措施后，70 年代末 80 年代初有所好转。进入 80 年代中期，由于上游工业的发展，排污量增加，加之来水量衰减，水质再度恶化，虽对上游治理采取了几次大的保护行动，累计投资达 5600 多万元，但污染仍未能得到有效遏制。90 年代，随着上游工农业发展和城市人口的增加，污染日趋严重，1997 年后丧失了水源地功能。官厅水库水污染已经威胁到北京深层地下水（永定河雁翅至三家店之间有一断裂带，每年有 1 亿 m³ 的永定河水渗入深层地下水）。近年来，北京地区连续干旱，仅靠密云水库供水，已不能满足北京的用水要求，因此官厅水库还清已迫在眉睫（杜霞，2004）。

(3) 五大水系概况

北京市五大水系中潮白河水系的流域面积和径流量最大（表 1-5）。北运河发源于本市，蓟运河、潮白河、大清河发源于河北省，永定河发源于山西省和内蒙古自治区。上游社会和经济的发展导致工农业用水量剧增，下游水量明显减少，官厅水库水量衰减最为严重。五大水系多年平均清水量为 21.8 亿 m³，年污水排放量为 12.63 亿 m³（图 1-2）。由于水量减少，排污增多，水质有明显恶化趋势，尤其是北运河污水排放量大于多年平均径流量，水质更差。

表1-5 北京市各河系水资源及组成

项目	大清河	永定河	北运河	潮白河	蓟运河	全市	
山区	面积(km ²)	1615	2491	1000	4605	10400	
	年径流量(亿 m ³)	3.100	2.926	1.522	9.013	18.173	
	占全市水资源百分比(%)	11.9	11.3	5.9	34.7	6.2	69.9
	产流量[万 m ³ /(a·km ²)]	19.2	11.8	15.200	19.600	23.400	17.500
平原	面积(km ²)	604	677	3423	1008	688	6400
	年径流量(亿 m ³)	0.651	0.468	4.782	1.216	0.685	7.820
	占全市水资源百分比(%)	2.5	1.8	18.4	4.7	2.6	30.1
	产流量[万 m ³ /(a·km ²)]	10.800	7.200	14.000	12.100	10.000	12.200
合计	面积(km ²)	2219	3168	4423	5613	1377	16800
	年径流量(亿 m ³)	3.751	3.412	6.304	10.229	2.297	25.993
	占全市水资源百分比(%)	14.4	13.1	24.3	39.4	8.8	100.0
	产流量[万 m ³ /(a·km ²)]	16.900	10.800	14.300	18.200	16.700	15.500

资料来源：郑桂森等.北京地区的水资源，2001

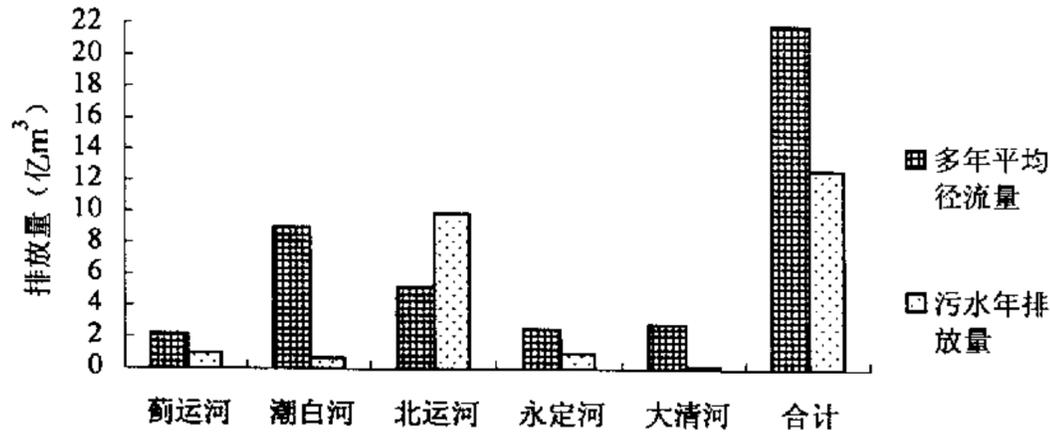


图1-2 北京五大水系年际流量和污水排放量图

资料来源：颜昌远，水惠京华——北京水利五十年，1999（多年平均径流量根据1956~1995年资料统计，污水排放量为1997年数据）

综上所述，北京水资源极为短缺，严重的水污染又加剧了水资源短缺的矛盾。控制北京水体污染，使之更好的为首都的经济发展服务，缓解水资源严峻的形势，是当前的主要任务。

1.3.2 北京的水质及其恶化的原因

(1) 北京水质污染状况

近年来，北京市进行了水系综合治理，总体上来说水质恶化的势头有所控制，但水质恶化的趋势不可避免。根据2002年北京市环境状况公报，2002年监测河流74条段，共1936km，符合相应功能水质要求的有18条河段，其长度占实测河流长度的36.4%，比2001年下降3.4个百分点。II类、III类、IV类、V类水体中，超标河段长度分别占到相应功能河段长度的36.1%、40.1%、87.4%和100%（见图1-3）。河流污染类型为有机污染，超标指标仍是氨氮、高锰酸盐指数和生化需氧量，其次是挥发酚和石油类。2002年监测水库17座，其中10座水库水质达标，达标库容占实测总库容的66.9%，其中主要地表饮用水源密云水库、怀柔水库水质符合二类水体水质标准，官厅水库水质有一定程度改善，但现状水质仍为IV类。监测湖泊19个，水质达标的4个，达标湖泊容量占实测总容量的49.3%。北京地表水污染主要分布在城近郊区、城市下游河道及远郊卫星城镇、燕山石油化工区等工业集中区附近（颜昌远，1999）。水体污染不仅破坏生态平衡，危及人体健康，而且直接影响工农业用水，降低了产品质量，造成了极大的经济损失。人们为治理水体污染也付出高昂的代价。同时，水体污染进一步缩小了可用水资源，使水资源供需矛盾更加尖锐化，加剧了水资源危机。

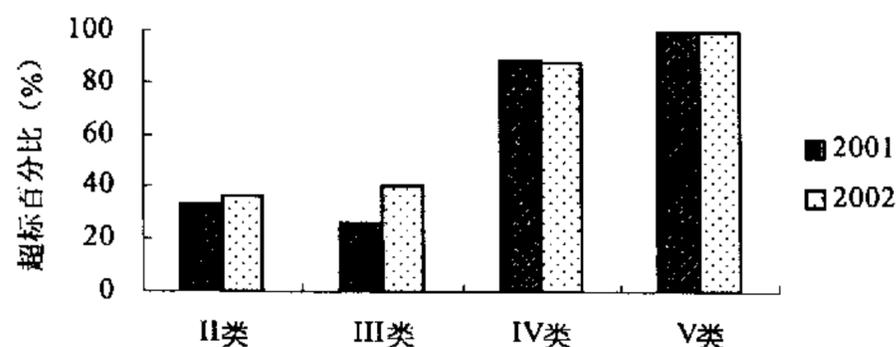


图1-3 2001-2002年北京市河流水体水质状况比较

(2) 地表水质恶化的原因

① 水量减少

近几年来,北京连续干旱,区域内降水量偏少,河湖水资源量减少。而上游地区由于气候条件变化、经济发展大量用水等原因,导致下游各河入境水量逐渐减少,尤其是永定河官厅水库由20世纪50年代的19.8亿 m^3 ,衰减到90年代的3.1亿 m^3 。在50年代后期,北京年平均入境水量为35亿 m^3 ,60年代减至20亿 m^3 左右,70年代17亿 m^3 ,80年代只有8亿 m^3 ,至90年代约为10亿 m^3 (颜昌远,1999)。水量减少,水环境容量也随之大幅度下降,自净能力的降低加剧了水环境的恶化。

② 点源污染严重

点源污染一直是北京市水体恶化的最主要原因。目前工业污水在北京仍占有较大比重,特别是在工业比较集中的石景山地区、东南化工区和房山区,工业污染已成为影响当地环境的重要原因。生活污水对北京市地表水体污染更为严重,它不仅排放量大,且分布面广,入河口众多。据统计,仅市区年排生活污水超过1000万t的河流就有8条,主要包括通汇河、坝河、清河等。这些污水大部分未经处理直接排入河道和渗井、渗坑,使得河湖水体和地下水受到严重污染,城市下游河道多为超V类水体。

③ 污水处理率低

北京的地下水道总长307.5万km(含郊区县),污水系统普及率为69.7%。目前北京市污水管网建设还很滞后,因此大量污水无法达到污水处理厂进行处理。根据2002年北京水资源公报,2002年城市污水处理率仅为45%(城近郊区城市污水处理率为47.5%),而发达国家大城市的污水处理率都在90%以上。2002年北京市污水排放总量为13.79亿 m^3 (市区8亿多 m^3),其中工业废水5.65亿 m^3 ,生活污水8.14亿 m^3 。每年污水直接排放量市区约有4.1亿 m^3 ,城近郊区约有2.1亿 m^3 ,大量的污水使城市水体及下游河道受到严重污染。

④ 面源污染加剧

随着点源污染治理的加强,以及农村经济的突飞猛进,农业生产导致的面源污染成为水体污染加重的一个主导因素。面源污染主要包括水土流失、化肥与农药流失、畜禽水产养殖、农业废弃物以及农村生活污水污染等。其中水土流失是最重要的、最直接的污染形式,因为它本身是一种非点源污染,同时也是其它非点源污染物流失的载体和重要途径。北京境内水土流失由重到轻依次为潮白河流域、永定河流域、北运河流域、大清河流域、蓟运河流域,其中潮白河流域怀柔地区的水土流失最为严重。水土流失不仅破坏了地貌的完整性,造成局部地区景观破坏和植被的退化,而且导致下游河床的抬高,河流水库的泥沙淤积,影响水体的水质和水库的库容。迄今为止,官厅水库已淤积泥沙量达6.5亿 m^3 ,极大地影响了官厅水库的水质和供水能力。化肥与农药是造成北京水体污染和富营养化的重要来源,大量施用的化肥和农药随着降水和灌溉在地表流失,或渗入含水层,污染地下水。另外,北京的畜禽养殖集约化程度还比较低,畜禽粪便虽可做到有效还田,但营养物因降雨淋溶到土壤环境中造成的污染不可小视。北京市畜禽养殖集中的地区顺义、大兴、平谷等地,水体污染尤其是有机污染的状况突出。此外,对于广大农村地区对农作物秸秆的不适当处理以及垃圾的任意堆放,都是造成北京水体恶化的原因。

由此可见,排污造成北京市地表水质恶化,而缺水又加快了恶化速度,并且污水管网建设滞后、污水处理率低等因素都使北京地区水污染更加严重。

1.3.3 北京市水资源量及水质变化趋势分析

利用北京市多年的水资源调查评价与研究数据,分析河流水系水质变化趋势,以期了解近年来水质恶化的原因,并对未来水质进行预测。

(1) 地表水资源量

北京市地表水资源量(自产)多年呈下降趋势(图 1-4)。地表水自产量取决于降水量和调蓄能力,由于近年来北京连续干旱,水资源量开始急剧减少(朱珍华, 2003)。2001 年全市地表水资源量为 6.90 亿 m^3 , 比多年平均 21.78 亿 m^3 少 14.88 亿 m^3 , 相当于保证率为 95% 的枯水年。

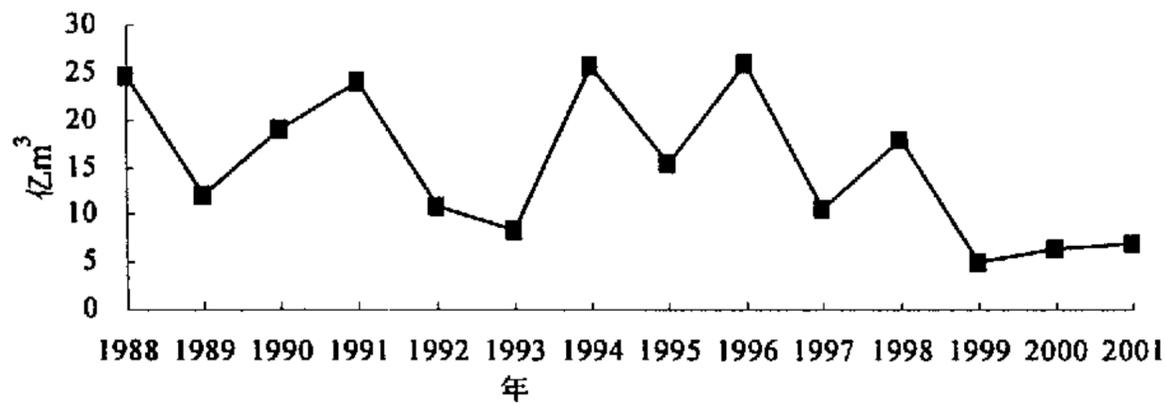


图1-4 北京市地表水资源量

资料来源:北京市水利局

(2) 密云、官厅水库水量

多年来官厅和密云两大水库的可利用来水量呈减少趋势(图 1-5 和 1-6)。20 世纪 50 年代密云水库年均来水量 17 亿 m^3 , 到 90 年代仅为 5.6 亿 m^3 。而 50 年代官厅水库年均来水量 19.8 亿 m^3 , 到 90 年代仅为 3.1 亿 m^3 。2002 年密云水库可利用来水量仅 0.74 亿 m^3 , 比多年平均值少 9.17 亿 m^3 。2002 年官厅水库可利用来水量 1.08 亿 m^3 , 比多年平均值少 8.33 亿 m^3 。自 1999 年连续干旱以来, 密云水库、官厅水库 4 年来共动用水库蓄水量 21.42 亿 m^3 , 其中密云水库动用 18.69 亿 m^3 , 官厅水库动用 2.73 亿 m^3 (刘晨阳, 2003; 朱珍华, 2003)。

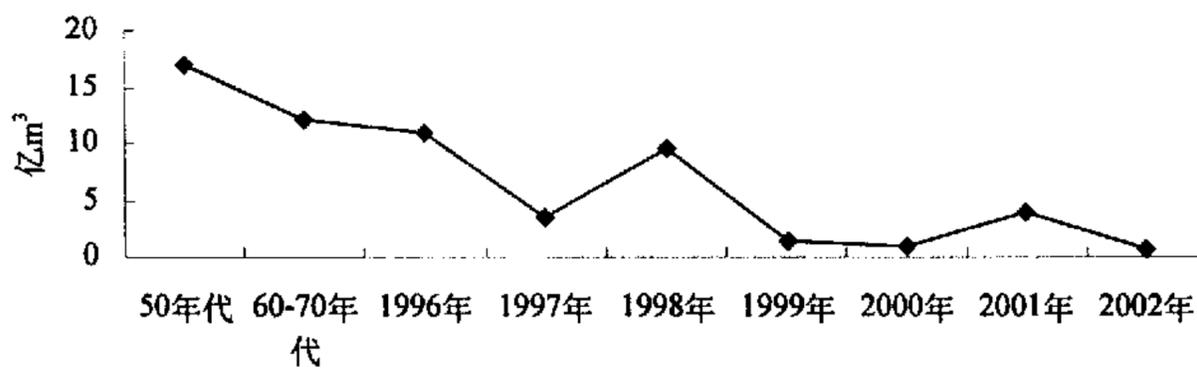


图1-5 密云水库来水量

资料来源:北京市水利局以及北京市环境质量报告书

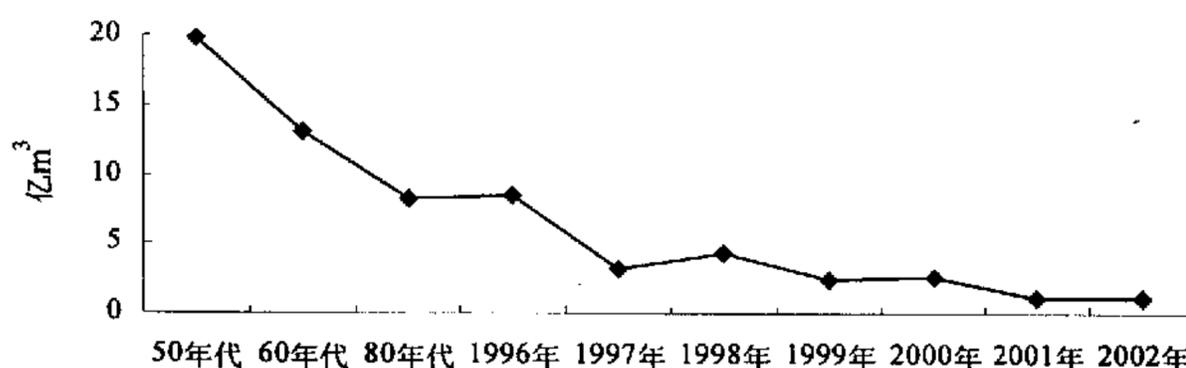


图1-6 官厅水库来水量

资料来源：北京市水利局以及北京市环境质量报告书

(3) 地下水变化

北京市地下水资源量多年平均为 25.21 亿 m³ (有的资料中为 24.5 亿 m³)，地下水资源曾很丰富，有过水网纵横、泉脉众多的历史。但近几十年来过度开采，使北京市地下水形成了近 2000km² 的下降漏斗区，城市西部地区地下水接近疏干，有些地方已靠开采深层地下水维持供水。严重超采使地下水位多年来呈下降趋势 (图 1-7)，2002 年平原区地下水位平均深度 19.01m，比 60 年代下降 15.64m (朱珍华，2003)。地下水超采造成水质下降，矿化物增加，硬度加大，同时造成地面沉降，威胁建筑物的安全。

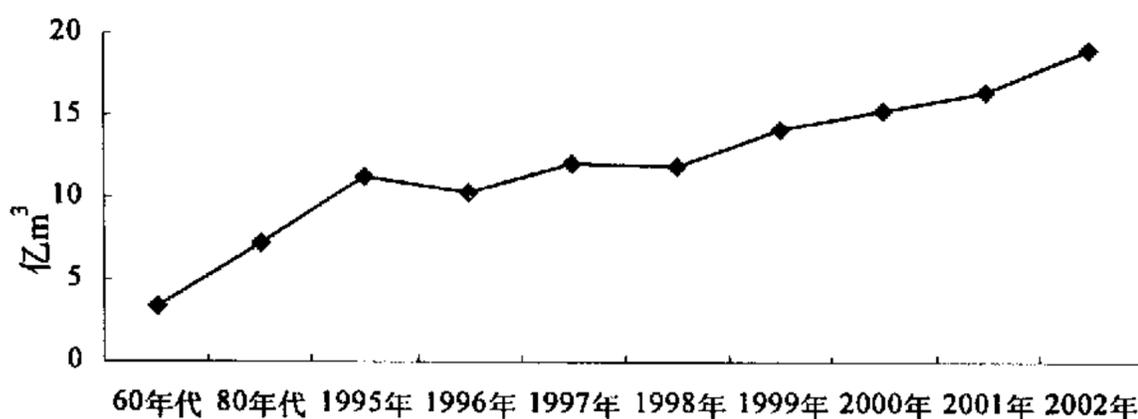


图1-7 北京市平原区地下水平均埋深

资料来源：北京市水利局

(4) 城市污水变化趋势分析

北京城近郊区每天排放污水 250 万 t，其中生活污水占一半多，其余是工业废水。这主要是因为经过多年的工业废水治理和大力提倡水的重复利用率，使工业废水的总量大大下降。随着污水处理厂的建设，污水处理率由 1996 年的 21.2% 增加到 2002 年的 47.5%，污水直接入河量明显降低 (图 1-8)。但是北京城市污水处理率总体来说偏低，大多数污水仍然未经处理就直接排放。污水中多种有害物质污染河湖水质，影响农作物的灌溉和食品安全，渗入地下的污水还威胁到地下水源的安全。

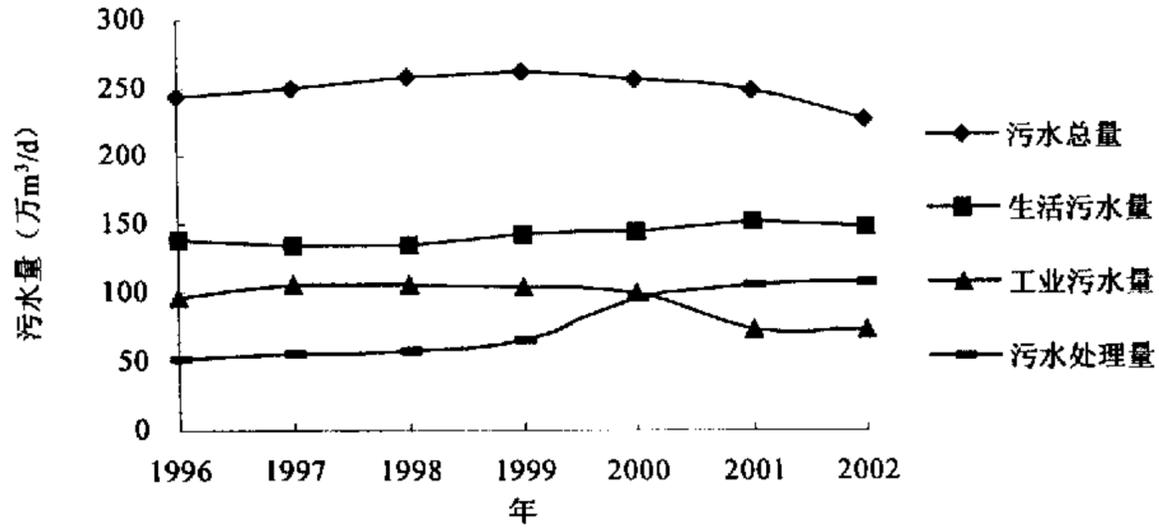


图1-8 1996-2002年北京市污水排放量年际对比图

资料来源：1996-2000年北京市环境质量报告书以及北京市环境状况公报

(5) 地表水达标变化趋势分析

①北京市河流水质达标分析

由图 1-9 可以看出，北京市 II 类、III 类功能水体达标河段长度百分比无明显变化；IV 类水体达标河段长度百分比略有下降趋势；V 类功能水体七年中均不达标。说明虽然近些年北京加大治理力度，但是总体水质还是呈恶化趋势。

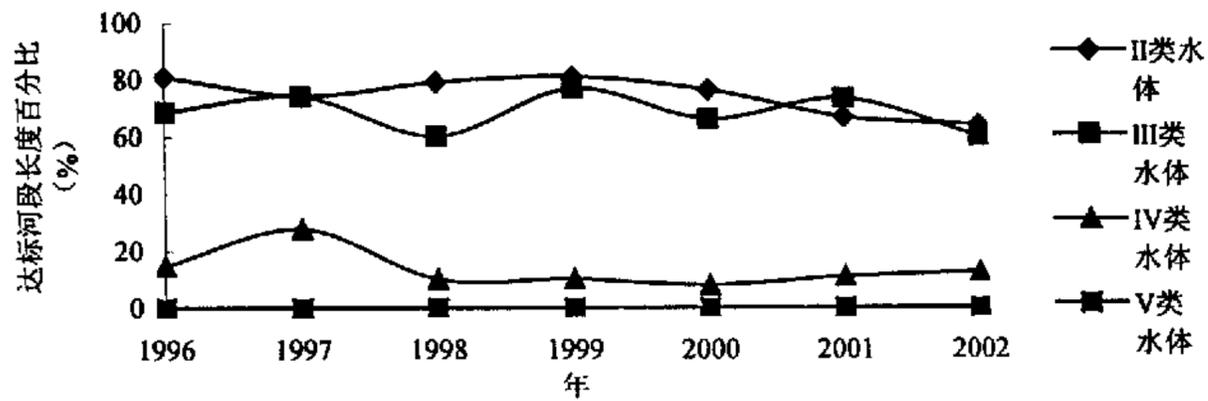


图1-9 1996-2002年北京市河流水质达标年际对比图

资料来源：1996-2000年北京市环境质量报告书以及北京市环境状况公报

②北京市五大水系达标分析

由图 1-10 可以看出，潮白河水系达标河段长度百分比最高，1996~2001 年达标率都在 78% 以上，表明潮白河近年来水质比较稳定；永定河水系达标河段长度略有下降趋势，但不显著；大清河水系达标率变化比较大，表明大清河水系水质不稳定，同时达标河段长度略有下降趋势，但不显著；蓟运河水系达标河段长度总体来说有下降趋势，1996~1999 四年中达标河段长度百分比无明显变化，但 2000 年度与往年相比，由于上游来水较少，水质下降明显，达标河段长度百分比由 1999 年的 48.3% 下降为 0%。北运河水系达标河段长度百分比最低，1996~2000 年达标率都在 20% 以下，达标率多年来略有升高趋势。

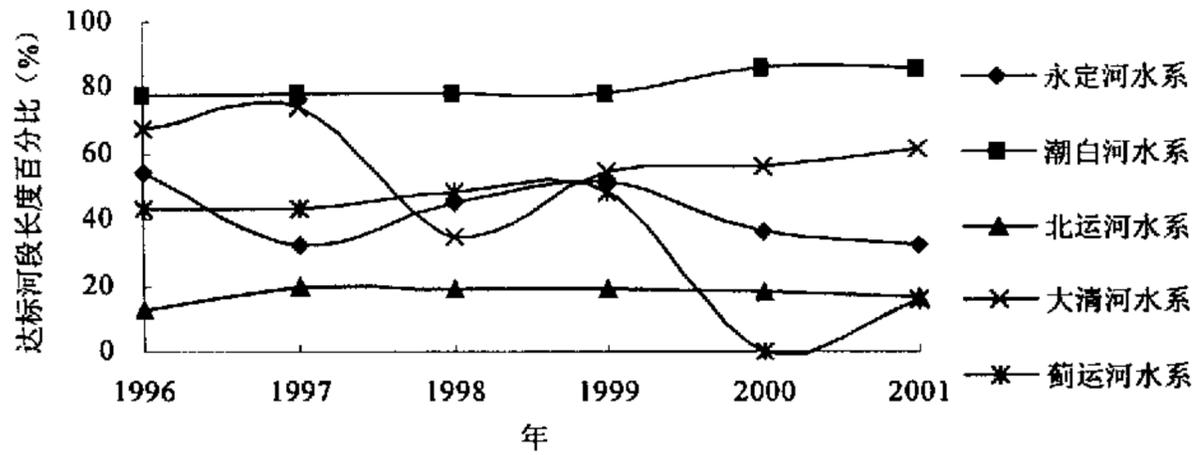


图1-10 1996-2001年北京市五大水系达标年际对比图

资料来源：北京市环境质量报告书

③湖泊水库达标分析

由图 1-11 可以看出，湖泊达标百分比有显著上升趋势，由 1996 年的 12.4% 上升到 2001 年的 49.9%，1999 年水质最好，达标百分比达到 70.4%；水库水质较稳定，达标百分比在 64.0%~67.4% 范围内波动。

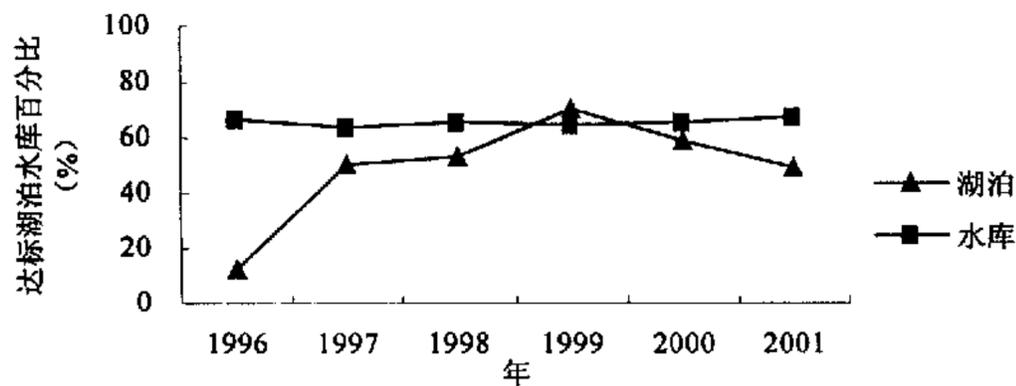


图1-11 1996-2001年湖泊水库达标年际对比图

资料来源：北京市环境质量报告书

综上所述，近年来由于气候、人为活动等因素的影响，北京市地表水资源量减少，尤其是官厅、密云水库来水量明显减少，为了补充地表水量的不足过度开采导致地下水位也明显下降。虽然北京市污水处理率升高，入河污水量有所下降，但直接排入水体的污水量还很大，总体水质还呈恶化趋势。

1.4 河流水质评价方法研究进展

1.4.1 国内外河流水质研究进展

(1) 国外河流水质研究进展

前苏联学者 W.I.Vemadcky 早在 19 世纪 30 年代就开始对地球河湖的水化学成分进行研究。

而真正的河流水质监测工作始于 19 世纪末, 当时欧洲少数河流已严重污染。最初只监测溶解氧、pH、粪便大肠杆菌等几项, 后来随着工业发展和河流水质污染加重, 水质监测项目开始增加。目前, 欧洲共同体和美国环保局所规定的水质监测项目已超过 100 项 (Meybeck, 1989)。自 50 年代起, 国际水文学会在全球范围内开展河流水质研究计划。70 年代, 各国学者对全球代表性河流水质进行了研究。70 年代末, 国家的和国际性的河流水质监测计划逐步展开, 如美国的全国水质研究计划与莱茵河等跨国河流的区域性国际合作研究计划。1979 年全球淡水水质监测计划 (GEMS/WATER), 在 59 个国家的河流上设置了 255 个监测点 (我国布设了 4 个点), 对河湖和地下水的水质进行监测评价 (陈静生, 1999)。目前工业发达国家河流水质监测较完善, 但仍存在不少问题, 最突出的是采样额度低, 多数国家为按月采集。

全球水污染类型也在发生演化。19 世纪末为河流的粪便污染与有机物污染; 20 世纪出现盐污染和金属污染, 40~50 年代出现硝酸盐污染、富营养化污染及放射性污染, 60 年代合成有毒有机化合物的污染逐步严重; 目前, 在北美、中欧、北欧的酸性结晶岩地区和非碳酸盐岩石地区, 水质硬化问题比较严重。

(2) 我国河湖水质研究进展

我国的水质监测工作始于 20 世纪 50 年代末 60 年代初。自 1956 年起, 水利部相继在全国 500 多条大、中河流上建立了 900 多个水化学监测站, 对河水的主要物理性质、主要气体、主要离子和营养元素组分等进行了监测 (70 年代又增加了常见污染物的监测)。1979 年环保部门在全国六大水系上设立了 300 多个监测断面, 对反映水质污染变化趋势的 17 个水质指标进行了监测 (陈静生, 2000)。与国外相比, 我国的河湖水质研究起步较晚。不同学者对河流研究的侧重点也不同, 总的说来, 70 年代以前, 研究较多的是河流的天然水质, 70 年代以后, 人们关心、研究更多的是河流水质污染状况。80 年代初期, 我国学者开始关注人类的活动通过点源、非点源途径对水环境的影响。近几年来, 虽然人们对河流水质进行了大量的研究, 但真正系统的水质变化研究工作还未开展起来。

(3) 北京水资源评价工作的发展

北京市水资源调查评价与研究自 1979 年以来经历了四个发展阶段 (颜昌远, 1999): ① (1979~1984 年) 起步阶段。1979 年初, 首次对北京地表水和地下水资源进行了评价。1979 年到 1984 年重点对分区地表水、地下水资源调查、分析、计算, 对污染源、污灌、污水量调查, 对全市水资源的供需平衡计算, 为以后的工作奠定了基础。② (1984~1986 年) 深入阶段。全市划分 5 个三级区、11 个计算单元、70 个计算小区进行小区供需平衡分析, 重点分析城区、近郊区的供需矛盾, 并研究解决水源的出路问题。③ (1986~1993 年) 全面展开阶段。北京水资源研究工作进入高潮, 研究开始跨部门跨学科, 进行国际间合作, 研究的深度、广度和研究的方法、手段进一步提高。④ (1993~至今) 继续发展阶段。重点制定了水的中、长期供求规划, 进行农村水环境研究, 西郊地下水回灌研究以及北京城乡供水研究等。

50 年来, 北京的广大水文水利工作者, 做了大量调查、分析、研究工作, 基本弄清了北京的水资源情况, 提出了符合不同发展时期的水资源对策, 保证了首都经济的发展。

1.4.2 河流水质变化研究方法的进展

(1) 国外评价研究进展

早期对河流水质变化的研究多为直观描述和采用相关分析与回归分析等方法。进入 90 年代后,各种有关的数学方法和模型在水质变化研究中得到应用。如 Puckett (1992) 等应用主成分分析方法对控制美国弗吉尼亚州某些河流主要离子化学因素进行了研究, Sokolov (1996) 等运用模型模拟了澳大利亚东南部 Yarra 河流水质参数随时间的随机变化情况, Caissie (1996) 等对加拿大一条小河流河水主要离子浓度随流量的变动和水文分割进行了研究 (高学民, 2000)。

(2) 国内评价方法研究进展

1974 年,我国提出了第一个综合表示水质污染情况的综合污染指数,其目的是期望改善用单项指标表示水质污染不够全面的欠缺。70 年代中期,上海地区水系水质调查组提出了“有机污染综合评价值”的概念。1977 年,在南京城区环境质量综合评价研究中,提出了“水域质量综合指标”,用以评价环境中水要素的质量。70 年代末,广州进行了水质分级评价。1981 年第一次全国水质评价,采用了单项评价法、地图重叠法和按河长加权的水质指数算术均值法。近年来,随着计算机技术的快速发展,模糊数学、随机模型、灰色系统和人工智能等理论方法与计算机技术相结合应用于水环境评价研究相当活跃。而遥感 (RS) 和地理信息系统 (GIS) 技术也开始应用于河流水环境质量研究。

从 1974 年提出综合评价水污染至今,关于河流水质评价方法的研究比较活跃,各家提出的综合评价水质的方法或指数就有二、三十种,各有其特点。主要有单因子评价法、指数评价法、分级评分法、模糊评价法、灰色评价法、物元分析法、人工神经网络评价法等 (兰文辉, 2002; 蒋火华, 2000)。

①单因子评价法

现行国家水质标准 (GB3838-2002) 中已确定悲观评价原则,即以水质最差的单项指标所属类别来确定水体综合水质类别。其方法是:用水体各监测项目的监测结果对照该项目的分类标准,确定该项目的水质类别,在所有项目的水质类别中选取水质最差类别作为水体的水质类别。

单因子评价法是目前使用最多的水质评价方法,该方法简单明了,可直接了解水质状况与评价标准之间的关系。缺点是各评价参数之间互不联系,不能全面反映河流水体污染的综合情况。

②指数评价法

用水体各监测项目的监测结果与其评价标准之比作为该项目的污染分指数,然后通过各种数学手段将各项的分指数综合得到该水体的污染指数。目前常用的指数法有罗斯水质指数、内梅罗指数、上海指数等。针对指数法存在的不足,有人提出了各种改进的指数公式,如姚斐提出的分指数分级评分叠加法和邓峰提出的模糊综合指数法等。

指数评价法计算简单,结果表达简洁。缺点是没有完善统一的环境质量分级系统,不能与质量标准统一起来,缺乏可比性。目前它仍处于在使用中不断检验、修订,逐步完善的过程中,因此,评价结果有一定的主观性。

③分级评分法

用实测值 (或经转换的值) 与划分出的水质等级进行比较打分,再综合各项的分值进行水质评价。分级评分法最初分级要求以毒理学为依据,由于毒物浓度的增长与所产生的毒理效应不都呈线型关系,所以难以做到。中国环境监测总站提出的分级评分法,对超过地面水环境质量标准的后三级标准由污染物毒性特点决定,一定程度上弥补了上述缺点。但这一方法由于数学模式上的不连续性,导致了在尚未评价污染等级的条件下,对介于 III、IV 类水质评价造成困难,

甚至偏差,因此只适合于粗略的水质评价。

④模糊评价法

由于水体环境本身存在大量不确定性因素,各个项目的级别划分、标准确定都具有模糊性,因此,模糊数学在水质综合评价中得到了广泛的应用。模糊评价法的基本思路是:由监测数据建立各因子指标对各级标准的隶属度集,形成隶属度矩阵,再把因子的权重集与隶属度矩阵相乘,得到模糊积,获得一个综合评判集,表明评价水体水质对各级标准水质的隶属程度,反映了综合水质级别的模糊性(Lu, 2002)。模糊数学用于水质综合评价的方法主要有模糊聚类法、模糊贴近度法、模糊距离法等(Varis Olli, 1996)。

模糊数学受到水环境研究人员的高度重视,并已被广泛地应用于水质综合评价。模糊数学法计算过程复杂问题可通过计算机编程来解决(蒋火华, 2000)。应用模糊理论进行水质综合评价的研究方向,主要是解决权重合理分配的问题。

⑤灰色评价法

由于对水环境质量所获得的数据都是在有限的时间和空间范围内监测得到的,信息是不完全的或不确切的,因此可将水环境系统视为一个灰色系统,即部分信息已知、部分信息未知或不确知的系统。其基本思路是:计算水体水质中各因子的实测浓度与各级水质标准的关联度,然后根据关联度大小确定水体水质的级别。对处于同类水质的不同水体可通过其与该类标准水体的关联度大小进行优劣比较。灰色系统理论进行水质综合评价的方法主要有灰色聚类法、灰色关联评价法、灰色贴近度分析法、灰色决策评价法等。

灰色理论是当今评价理论研究的新方法。用灰色理论作水质评价,代表了水质评价理论研究的一个新方向。该方法物理概念清楚、推理严谨,从问题的另一角度——灰关联差异度、最优从属度来度量,并进行最优化处理,一定程度上避免了水质参数的异常值影响。评价结果精度高,具有反映水质变化的连续性和对不同样本计算结果的可比性。由于计算复杂,适于理论研究,实际评价运用较少。

⑥物元分析法

物元分析法是物元分析理论在水环境质量评价领域的应用。其思路是:根据各级水质标准建立经典域物元矩阵,根据各因子的实测浓度建立节域物元矩阵,然后建立各污染指标对不同水质标准级别的关联函数,最后根据其值大小确定水体水质的级别。

与灰色评价法的关联度及模糊评价法的隶属度的区别在于,建立在可拓集合基础上的关联函数取值区间拓宽到实数轴,有助于从变化角度识别变化中的事物,更能反映事物的状态,具有较高的分辨率,可进行优劣排序。缺点是有的情况下不能准确判断水质类别,需要对关联函数的计算方法加以改进。

⑦人工神经网络评价法

人工神经网络是 80 年代迅速崛起的一门非线性科学,它力图模拟人脑的一些特征,如自适应性、自组织性和容错能力等,来对事物进行分析判断的一种计算技术,已在医疗诊断、自动控制领域取得了较好的应用效果(Aguilera, 2001)。人工神经网络在水质评价领域的应用,国内也有越来越多有关的研究报道。应用人工神经网络评价水质,首先将水质标准作为“学习样本”,经过自适应、自组织的多次训练后,网络具有了对学习样本的记忆能力,然后将实测资料输入网络系统,由已掌握知识信息的网络对它们进行评价。训练后的人工神经网络具有类似人脑思维的

某些特征,具有运算速度快、评价客观的优点。缺点是对于协同性较差的样本,评价结果易出现均化的现象。

另外,还有一些评价方法,如多目标分析法、模型评估法、特征分析法、密切值法、集对分析法、层次分析法、生物指示法等,适用于某些特定场合,应用受到一定限制(Bhuyan, 2003; McAvoy, 2003)。

(3) 各方法的特点比较及选择依据

由于河流水质综合评价自身存在的特殊性,迄今没有一个被大家公认通用的、具有可比性的水质综合评价数学模型。各地各部门在进行水质评价时,选用模型的任意性很强,评价的结果不便于与其它地区水质状况进行比较,国家难以全面掌握水环境污染的时空分布态势。

许多实际工作者已经注意到,数学模型的有效性并不同数学模型本身的繁杂程度来决定。有些数学模型模式很复杂,模型本身看来很完善,却忽视了水质评价的特性,难以在实际工作中发挥作用。因此水质综合评价工作应从实际出发,要从简练明了入手,达到评价目的即可,应发展标准化的计算方法和评价方法,使评价结果有代表性和可比性。

环境监测和环境评价要为环境管理服务,从这一角度而言,一个好的水质评价方法应满足以下3个基本要求(兰文辉, 2002): ①准确性。评价结果的水质类别要符合国家水质控制标准的要求,如某水体中已经有项目浓度超过三类(饮用水源地)标准限值,而评价结果判别该水体为三类水质(符合水源地水质要求)则是不合适的(将会给人群健康带来威胁)。②可比性。在准确判断水体水质类别的基础上,对属于同一类别的不同水体,要能够进行优劣比较。③实用性。即方法应该简单、方便,便于推广和使用。

以这3个要求来衡量,上面分析的各种水质评价方法均不能完全满足。单因子评价法没有可比性,如果一个水体四个项目超过III类标准,另一水体仅一个项目超过,而评价结果都为IV类水质。指数评价法没有完善统一的环境质量分级系统,难以与国家地表水质量标准统一起来。分级评分法只适合于粗略的水质评价。灰色评价法适于理论研究,实际评价运用较少。物元分析法不能准确判断水质类别,需要对关联函数的计算方法加以改进。模糊评价法的运算过程比较复杂,但可以通过计算机编程加以解决。人工神经网络的缺点是对于协同性较差的样本,评价结果易出现均化的现象。

现在实行的地表水环境质量标准(GB 3838-2002)中要求,地表水环境质量评价应根据应实现的水域功能类别,选取相应类别标准,进行单因子评价,评价结果应说明水质达标情况,超标的应说明超标项目和超标倍数。实际上国标中对地表水综合评价均已确定悲观的原则,即以单项指标最差所属级别确定其综合水质级别,这是符合实际的,因为若某项指标浓度严重超标,已不适于饮用,却仍评为可作为饮用水源地的三类水,将给人民生命健康带来威胁,因此选取单因子评价法对北京市地表水体进行评价。但是单因子评价法各评价参数之间互不联系,没有可比性,因此又选择了目前在水质综合评价中应用比较广泛的模糊数学法。模糊数学法全面反映了河流水体污染的综合情况,可以与国家地表水质量标准统一起来,具有可比性,至于计算过程复杂问题可通过计算机编程来解决。单因子评价法可以列出超标污染物及其超标倍数,而模糊数学法可以全面反映河流水体污染的综合情况,两种方法结合起来可以很好的评价水质。

第二章 研究方案与试验设计

2.1 研究目标与内容

2.1.1 研究目标

为了控制水体污染,缓解北京水资源严峻形势,使之更好的为首都的经济发展服务,应对北京市地表水质污染程度及其污染原因有具体的了解。为此,在北京市五大水系(潮白河水系、永定河水系、大清河水系、蓟运河水系、北运河水系)布点采样,通过现场测定和实验室分析得到地表水环境因子的数据,并利用模糊数学法和单因子评价方法对北京地表水水质状况进行分析与评价,最后提出污染控制策略。

2.1.2 研究内容

本研究涉及的区域主要包括潮白河水系(包括潮河、白河、潮白河、密云水库、怀沙河、怀九河、雁栖河及京密引水渠)、永定河水系(永定河、妫水河)、大清河水系(小清河、大石河、拒马河)、蓟运河水系(错河、句河、金鸡河)和北运河水系(温榆河、通惠河、凉水河、小中河、凤河、坝河、清河、北运河)。

研究内容分为以下几个方面:

(1) 北京市地表水体基本状况调查

①收集整理已有的水文、气象、水文地质观测资料及其他有关辅助性资料如地形地貌、地理环境等资料信息

②对北京市降水、地表水、地下水等进行分析

③对用水情况进行调查(工业生产、农业灌溉、居民生活)

④对污染源进行调查(工业污染源、农业污染源、城市生活污染源)

(2) 北京市地表水体水质污染状况的研究

对北京市地表水的物理(pH、温度、电导率)、化学(COD_{Cr}、BOD₅、DO、总氮、总磷、氨氮、重金属)等进行研究

(3) 北京市地表水体水质评价及水体污染的分布规律研究

①利用模糊数学法和单因子评价法对水质进行评价

②针对每条河流对污染原因进行分析

③对污染指标之间相关性进行分析

(4) 北京市地表水体污染综合防治措施的研究

①水源地污染的保护措施

②城市河、湖的治理措施

③其他综合措施

2.2 研究思路

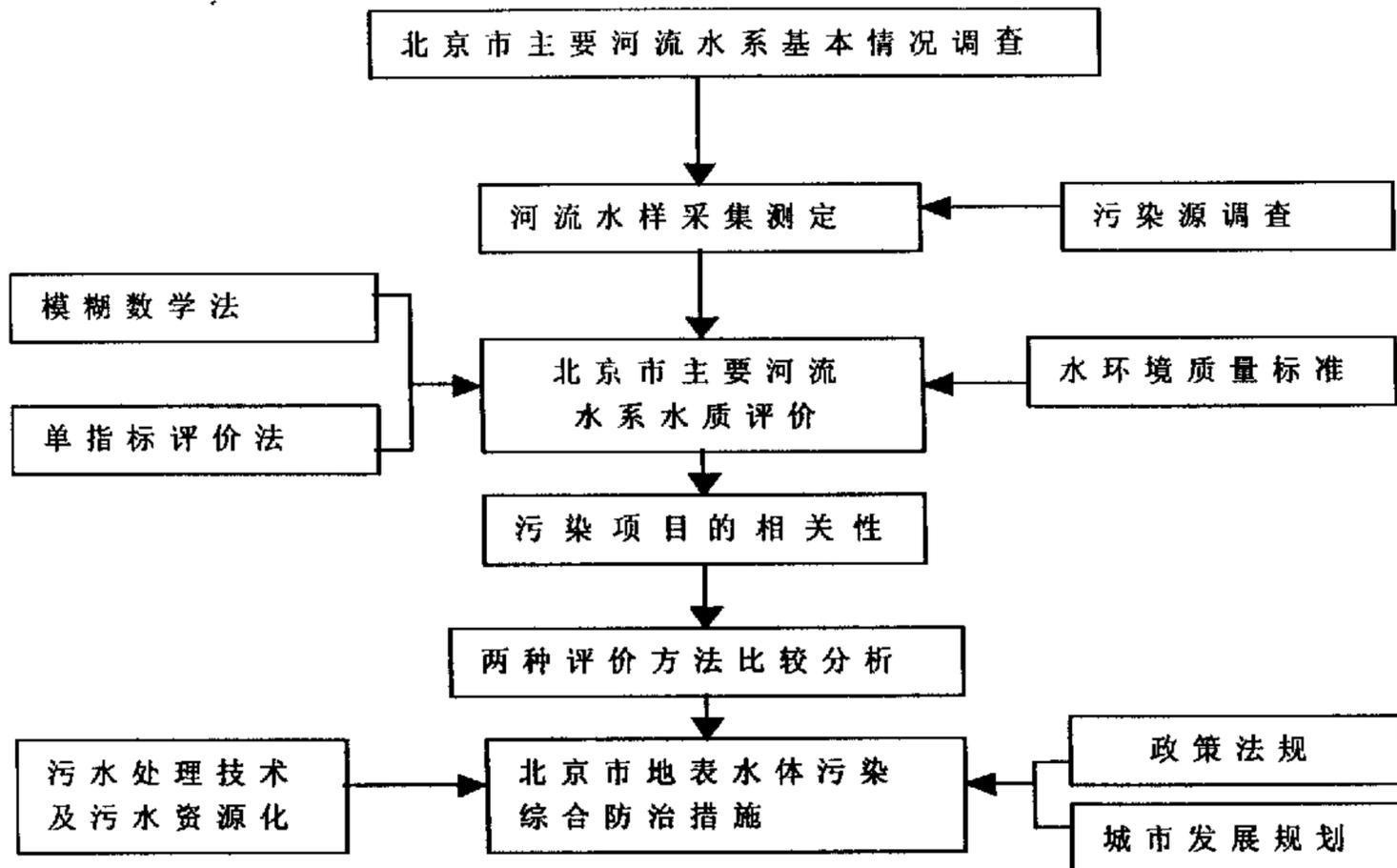


图2-1 研究思路总体框架图

2.3 材料与amp;方法

2.3.1 布点采样

分别在2003年3月24日至4月22日的枯水期以及7月15日至9月28日的丰水期对北京市河流进行采样，并采用GPS技术对采样点进行准确定位。水系布点涉及如下范围：

- (1) 潮白河水系：潮河、白河、雁栖河、雁栖水库、怀沙河、怀九河、密云水库、京密引水渠、潮白河（出北京市）
- (2) 永定河水系：妫水河、官厅水库、永定河、永引干渠、天堂河
- (3) 蓟运河水系：错河、洵河（出北京市）、金鸡河、海子水库
- (4) 大清河水系：小清河、大石河、拒马河
- (5) 北运河水系：小中河、清河、温榆河、坝河、通惠河、凉水河、凤河、北运河

2.3.2 试验材料

在铁架台上面固定一个5升的细口玻璃瓶，并用橡胶塞作瓶塞，制成简易采样器（图2-2）。使用采样器按标准方法采集水样，装入1.25升的塑料瓶中（所有采样瓶使用前均用去污粉洗净，并用5%的稀盐酸浸泡24小时，然后用蒸馏水洗净），每个样品采集两瓶。溶解氧需要现场固定，水样注入溶解氧瓶应该尽量不产生气泡。水样在实验室冰箱中2~5℃冷藏保存，并尽快完成各项

水质指标的测定。

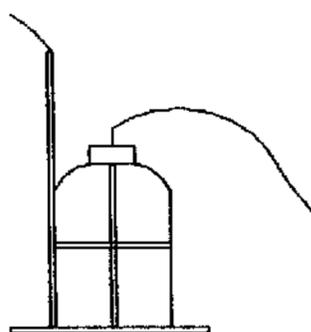


图2-2 简易采样器

2.3.3 监测项目与测定方法

(1) 监测项目：pH、温度、电导率、溶解氧 (DO)、五日生化需氧量 (BOD₅)、化学需氧量 (COD_{Cr})、总氮、总磷、氨氮 (NH₃-N)、锌、铜、铅、镉、铬、铁、锰

(2) 测定方法：除 pH、电导率、温度进行现场测定外，其余指标在实验室内进行分析测定。所有监测项目均按照国家环境保护局《水和废水监测分析方法》(第三版)中规定的标准方法进行测定(表 2-1)。测定过程采用了标样分析和添加回收率实验，测定结果均在误差允许范围 (<5%)。

表2-1 主要监测项目的分析方法

监测项目	分析方法
温度	水银温度计
pH	pH S-3C 型 pH 计
电导率	DDS-11A 型电导率仪
溶解氧	碘量法
COD _{Cr}	重铬酸钾法
BOD ₅	稀释接种法(五日培养)
总氮	紫外分光光度法(过硫酸钾氧化)
氨氮 (NH ₃ -N)	流动分析仪
总磷	钼锑抗分光光度法(过硫酸钾消解法)
重金属	等离子体测定仪 (ICP) (硫酸-硝酸-高氯酸消解法)

2.3.4 评价标准与评价方法

(1) 评价标准

采用国家环境保护总局制定的《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)(表 2-2)。依据《北京市海河流域水污染防治规划》中水体功能类别的划分，不同功能水体执行其相应类别的标准。从监测的 16 项指标中，选择 DO、BOD₅、COD_{Cr}、总磷、NH₃-N、锌、铜、铅、镉、铬 10 项作

为评价项目。

(2) 评价方法

分别采用单因子评价法和模糊数学法，对北京市地表水五大水系进行水质评价，单因子评价法列出超标污染物及其超标倍数。

表2-2 地表水环境质量标准 (GB3838-2002)

单位: mg/L 自2002年6月1日开始实施

序号	项目	I类	II类	III类	IV类	V类
1	水温(°C)	人为造成的环境水温变化应限制在: 周平均最大温升≤1 周平均最大温降≤2				
2	pH 值(无量纲)	6-9				
3	溶解氧≥	饱和率 90%(或 7.5)	6	5	3	2
4	高锰酸盐指数≤	2	4	6	10	15
5	化学需氧量(COD)≤	15	15	20	30	40
6	五日生化需氧量 (BOD ₅)≤	3	3	4	6	10
7	氨氮(NH ₃ -N)≤	0.015	0.5	1.0	1.5	2.0
8	总磷(以 P 计)≤	0.02(湖、库 0.01)	0.1(湖、库 0.025)	0.2(湖、库 0.05)	0.3(湖、库 0.1)	0.4(湖、库 0.2)
9	总氮(湖、库, 以 N 计)≤	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0
10	铜≤	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0
11	锌≤	0.05	1.0	1.0	2.0	2.0
12	氟化物(以 F 计)≤	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5
13	硒≤	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
14	砷≤	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
15	汞≤	0.00005	0.00005	0.0001	0.001	0.001
16	镉≤	0.001	0.005	0.005	0.005	0.01
17	铬(六价)≤	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
18	铅≤	0.01	0.01	0.05	0.05	0.1
19	氰化物≤	0.005	0.05	0.2	0.2	0.2
20	挥发酚≤	0.002	0.002	0.005	0.01	0.1
21	石油类≤	0.05	0.05	0.05	0.5	1.0
22	阴离子表面活性剂≤	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
23	硫化物≤	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0
24	粪大肠菌群(个/L)≤	200	2000	10000	20000	40000

2.4 水质评价方法原理及举例

2.4.1 单因子评价法

(1) 评价原理

单因子评价法首先要确定该水体水质功能要求为几类，然后用河流监测断面的各项水质指标的监测值，与指定的水体功能水质指标浓度值相比，根据比值是否大于 1 来评价该水体是否达到了相应的功能（张自杰，1996；陆雍森，1999；定桑岚，2001）。如果监测断面的各项水质指标均小于或等于该标准值，则该水体符合相应水体功能要求，水质功能要求的类别即为该水体的水质类别，如果监测断面的水质指标大于水体功能要求的标准值，则该水体不符合相应水体功能要求，而应该以最劣一项污染指标判定水质类别，最劣一项污染指标小于几类水体的水质指标，则该水体即为几类。

单因子评价法公式如下：

$$P_{ij} = \frac{C_{ij}}{S_{ij}} \quad \text{公式 (2-1)}$$

式中 C_{ij} ——i 污染物在 j 点的监测浓度值，mg/L；

S_{ij} ——i 污染物的地表水水质标准值，mg/L；

由于 DO 和 pH 与其它水质参数的性质不同，需用不同的表达形式。

对于 DO 为

$$P_{DOj} = \frac{|DO_f - DO_j|}{DO_f - DO_s} \quad (DO_j \geq DO_s) \quad \text{公式 (2-2)}$$

$$P_{DOj} = 10 - 9 \frac{DO_j}{DO_s} \quad (DO_j < DO_s)$$

$$DO_f = \frac{468}{31.6 + T}$$

式中 DO_f ——饱和溶解氧浓度，mg/L；

DO_j ——第 j 点的监测溶解氧浓度，mg/L；

DO_s ——溶解氧的地面水质标准，mg/L；

T——水温（℃）；

对于 pH 为

$$P_{pHj} = \frac{7.0 - pH_j}{7.0 - pH_{sd}} \quad pH_j \leq 7.0 \quad \text{公式 (2-3)}$$

$$P_{pHj} = \frac{pH_j - 7.0}{pH_{su} - 7.0} \quad pH_j > 7.0$$

式中 pH_j ——第 j 点的 pH 监测值；

pH_{sd} —地表水水质标准中规定的 pH 值下限;

pH_{sv} —地表水水质标准中规定的 pH 值上限;

单因子指数大于 1, 表明该指标不符合相应的水质功能要求。只要有一项污染指标的浓度值超过相应功能标准规定的浓度限值, 则表明该水体已经不能满足这一水质类别的使用功能要求。

(2) 应用举例

某水体主要监测项目的监测结果, 见表 2-3。该水体相应水质功能要求(即水质类别)为《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中的 II 类(表 2-2)。试用单因子评价法对该水体进行评价。

表2-3 某水体主要监测项目的监测结果表

项目序号	监测项目	监测浓度(mg/L)
1	DO	10.56
2	COD _{Cr}	15.6
3	BOD ₅	3.26
4	总磷	0.052

评价计算过程:

第一步: 利用公式 (2-1) 公式 (2-2), 根据相应的水质分类计算各指标的 P_{ij} 值, 然后选出超出标准的水质指标。在本文的例子中, 水温为 20℃, 饱和溶解氧 DO_f 为 9.07mg/L, 水体 DO、COD_{Cr}、BOD₅ 和总磷的单因子指数依次是 0.49、1.04、1.09 和 0.52。不符合功能要求标准的水质指标是 COD_{Cr} 和 BOD₅。

第二步: 计算出各超标水质指标的超标倍数, 并以最劣一项污染指标判定水质类别。在本文的例子中, COD_{Cr} 和 BOD₅ 均为 III 类。某水体单因子评价法评价结果, 见表 2-4。

表2-4 某水体单因子评价法评价结果

河流名称	水质分类	评价结果	超标污染物及其超标倍数
某水体	II	III	COD _{Cr} (0.04)、BOD ₅ (0.09)

第三步: 结论。本例中水质类别为 III 类。

2.4.2 模糊数学法

(1) 评价原理

首先对各单项参数进行评定, 然后考虑个参数在总体中的地位, 配以适当的权重, 在此基础上, 再用模糊矩阵复合运算得出综合评价结果(伊利军, 2001; 张敏, 2000)。

①建立因子集

已知某污染因子集 $u = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$

②建立评价集

国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中把河流分为五级评价集 $V = \{I, II, III, IV, V\}$

③建立隶属函数

水质污染程度是一个模糊概念,用隶属度来刻化分级界限较为合理

$$u_1(x) = \begin{cases} 1 & x \leq y_1 \\ \frac{y_0 - x}{y_2 - y_1} & y_1 < x < y_2 \\ 0 & x \geq y_2 \end{cases}$$

$$u_j(x) = \begin{cases} 1 & x = y_1 \\ \frac{x - y_{j-1}}{y_j - y_{j-1}} & y_{j-1} < x < y_j \\ \frac{y_{j+1} - x}{y_{j+1} - y_j} & y_j < x < y_{j+1} \\ 0 & x \leq y_{j-1} \text{ 或 } x \geq y_{j+1} \end{cases} \quad (\text{其中 } j=2, 3, 4)$$

$$u_n(x) = \begin{cases} 1 & x \geq y_n \\ \frac{x - y_{n-1}}{y_n - y_{n-1}} & y_{n-1} < x < y_n \\ 0 & x \leq y_{n-1} \end{cases} \quad (\text{公式 2-4})$$

式中：
 y_i ——分级标准
 x ——实际监测浓度
 u_j ——隶属度,即隶属于 j 级水的程度

④单因子模糊评价

对于每个单项指标将实测值代入相应的隶属函数,求出其对应五个级别的隶属度 u , 由此得到单因子评价矩阵 R

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix} \quad \text{公式 (2-5)}$$

⑤建立权重集

由于各污染物对水质影响程度不同，因此，对它们应赋予不同的权重 a_i 。以污染物的超标情况决定权重，其计算式为

$$a_i = \frac{c_i}{s_i} \tag{公式 (2-6)}$$

$$s_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n s_{ij}$$

式中 c_i ——第 i 种污染物浓度实测值
 s_i ——第 i 种污染物各级浓度标准值的平均值
 a_i ——第 i 种污染物的权重
 s_{ij} ——第 i 种污染物第 j 级的标准值
 n ——级别数

DO 的浓度在等于和小于饱和浓度下，其值越大越好，因此 DO 的权值取倒数(张自杰, 1996)。为了进行模糊计算，需将各单项权重归一化，求归一化权重 Q_i

$$Q_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \tag{公式 (2-7)}$$

由以上计算得到权重集 A

$$A = \{Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5\}$$

⑥模糊综合评价

上述加权结果得到两个模糊矩阵 A 和 R，然后将 A 和 R 进行模糊矩阵复合运算

$$B = A \circ R \tag{公式 (2-8)}$$

上式具体可写为

$$(b_1, b_2, \dots, b_n) = (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5) \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

在复合运算时采用模糊数学方法如下式：

$$b_j = \bigvee_{i=1}^m (Q_i \wedge r_{ij}) \tag{公式 (2-9)}$$

其中， \vee 、 \wedge 分别表示取大值和小值运算，即将较大和较小的数值作为运算结果。

如果 B 中 b_j 最大 ($j=1, 2, 3, 4, 5$)，则该被评价水体评价结果为 j 级水体。如果两个最大值比较接近，那么被评价水体水质介于这两个级别之间。

(2) 应用举例

采用和单因子评价方法一样的例子，即表 2-3 的数据。

①建立因子集

共 4 项水质指标, 即 $u=\{DO, COD_{Cr}, BOD_5, 全 N\}$

② 建立评价集

将水质分为 5 类, 所以 $V=\{I, II, III, IV, V\}$

③ 建立隶属函数

水质污染程度是一个模糊概念, 所以用隶属度表示比较贴切。利用公式 (2-4), 根据水质指标的标准, 得到 4 个因子的五个级别的隶属函数, 水质标准见表 2-2。

$$DO \text{ 隶属于 I 级水的隶属函数为: } u_1(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 7.5 \\ 2 * (x - 6) / 3 & 6 < x < 7.5 \\ 0 & x \leq 6 \end{cases}$$

$$DO \text{ 隶属于 II 级水的隶属函数为: } u_2(x) = \begin{cases} x - 5 & 5 < x < 6 \\ 2 * (7.5 - x) / 3 & 6 \leq x < 7.5 \\ 0 & x \leq 5, x \geq 7.5 \end{cases}$$

$$DO \text{ 隶属于 III 级水的隶属函数为: } u_3(x) = \begin{cases} (x - 3) / 2 & 3 < x < 5 \\ 6 - x & 5 \leq x < 6 \\ 0 & x \geq 6, x \leq 3 \end{cases}$$

$$DO \text{ 隶属于 IV 级水的隶属函数为: } u_4(x) = \begin{cases} x - 2 & 2 < x < 3 \\ (5 - x) / 2 & 3 \leq x < 5 \\ 0 & x \leq 2, x \geq 5 \end{cases}$$

$$DO \text{ 隶属于 V 级水的隶属函数为: } u_5(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 2 \\ 3 - x & 2 < x < 3 \\ 0 & x \geq 3 \end{cases}$$

$$COD_{Cr} \text{ 隶属于 I 级水的隶属函数为: } u_1(x) = \begin{cases} 1 & x < 15 \\ 0 & x \geq 15 \end{cases}$$

$$COD_{Cr} \text{ 隶属于 II 级水的隶属函数为: } u_2(x) = \begin{cases} 1 & x = 15 \\ (20 - x) / 5 & 15 < x < 20 \\ 0 & x < 15, x \geq 20 \end{cases}$$

$$COD_{Cr} \text{ 隶属于 III 级水的隶属函数为: } u_3(x) = \begin{cases} (x - 15) / 5 & 15 < x < 20 \\ (30 - x) / 10 & 20 \leq x < 30 \\ 0 & x \geq 30, x \leq 15 \end{cases}$$

$$COD_{Cr} \text{ 隶属于 IV 级水的隶属函数为: } u_4(x) = \begin{cases} (20 - x) / 10 & 20 < x < 30 \\ (40 - x) / 10 & 30 \leq x < 40 \\ 0 & x \leq 20, x \geq 40 \end{cases}$$

$$\text{COD}_{\text{Cr}} \text{ 隶属于 V 级水的隶属函数为: } u_5(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 40 \\ (x-30)/10 & 30 < x < 40 \\ 0 & x \leq 30 \end{cases}$$

$$\text{BOD}_5 \text{ 隶属于 I 级水的隶属函数为: } u_1(x) = \begin{cases} 1 & x < 3 \\ 0 & x \geq 3 \end{cases}$$

$$\text{BOD}_5 \text{ 隶属于 II 级水的隶属函数为: } u_2(x) = \begin{cases} 1 & x = 3 \\ 4-x & 3 < x < 4 \\ 0 & x < 3, x \geq 4 \end{cases}$$

$$\text{BOD}_5 \text{ 隶属于 III 级水的隶属函数为: } u_3(x) = \begin{cases} x-3 & 3 < x < 4 \\ (6-x)/2 & 4 \leq x < 6 \\ 0 & x \geq 6, x \leq 3 \end{cases}$$

$$\text{BOD}_5 \text{ 隶属于 IV 级水的隶属函数为: } u_4(x) = \begin{cases} (4-x)/2 & 4 < x < 6 \\ (10-x)/4 & 6 \leq x < 10 \\ 0 & x \leq 4, x \geq 10 \end{cases}$$

$$\text{BOD}_5 \text{ 隶属于 V 级水的隶属函数为: } u_5(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 10 \\ (x-6)/4 & 6 < x < 10 \\ 0 & x \leq 6 \end{cases}$$

$$\text{总磷隶属于 I 级水的隶属函数为: } u_1(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 0.02 \\ 25 * (0.1-x)/2 & 0.02 < x < 0.1 \\ 0 & x \geq 0.1 \end{cases}$$

$$\text{总磷隶属于 II 级水的隶属函数为: } u_2(x) = \begin{cases} 25(x-0.02)/2 & 0.02 < x < 0.1 \\ 10 * (0.2-x) & 0.1 \leq x < 0.2 \\ 0 & x \leq 0.02, x \geq 0.2 \end{cases}$$

$$\text{总磷隶属于 III 级水的隶属函数为: } u_3(x) = \begin{cases} 10 * (x-0.1) & 0.1 < x < 0.2 \\ 10 * (0.3-x) & 0.2 \leq x < 0.3 \\ 0 & x \geq 0.3, x \leq 0.1 \end{cases}$$

$$\text{总磷隶属于 IV 级水的隶属函数为: } u_4(x) = \begin{cases} 10 * (x-0.2) & 0.2 < x < 0.3 \\ 10 * (0.4-x) & 0.3 \leq x < 0.4 \\ 0 & x \leq 0.2, x \geq 0.4 \end{cases}$$

$$\text{总磷隶属于 V 级水的隶属函数为: } u_5(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0.4 \\ 10 * (x-0.3) & 0.3 < x < 0.4 \\ 0 & x \leq 0.3 \end{cases}$$

④单因子模糊评价

利用公式 (2-5), 将每个单项指标实测值代入相应的隶属函数, 求出其对应五个级别的隶属

度 u , 由此得到单因子评价矩阵 R

$$R = \begin{pmatrix} 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.88 & 0.12 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.74 & 0.26 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.40 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{pmatrix}$$

⑤建立权重集

由公式 (2-6) 和公式 (2-7), 计算得到权重集 A

$$A = \{0.23, 0.33, 0.32, 0.13\}$$

其中, 由于 DO 的浓度值越大越好, 因此 DO 的权重值取倒数。

⑥模糊综合评价

由公式 (2-8) 和公式 (2-9), 将上述加权结果得到两个模糊矩阵 A 和 R , 然后将 A 和 R 进行模糊矩阵复合运算

$$B = A \circ R$$

上式具体可写为:

$$\begin{aligned} (b_1, b_2, \dots, b_n) &= (0.23, 0.33, 0.32, 0.13) \circ \begin{pmatrix} 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.88 & 0.12 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.74 & 0.26 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.40 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{pmatrix} \\ &= \{0.23, 0.33, 0.26, 0.00, 0.00\} \end{aligned}$$

计算时: $b_1 = (0.23 \wedge 1.00) \vee (0.33 \wedge 0.00) \vee (0.32 \wedge 0.00) \vee (0.13 \wedge 0.60) = 0.23$

同理可算的 B 中其他元素的值 (其中, \vee 、 \wedge 分别表示取大值和小值运算, 即将较大和较小的数值作为运算结果)。

评价结果: 由于 B 中 b_2 最大, 故该水体评价结果为 II 类水体。

第三章 北京市地表水的水质评价

3.1 潮白河水系水质评价

潮白河水系上游河流是北京境内最清洁的水体，北京市地表水饮用水源地密云水库位于潮白河水系的上游，潮白河水系水体功能要求基本为 II~III 类。潮白河水系监测有河流 7 条段，共布置了 29 个监测点（京密饮水渠有 8 个点），其中 5 条河段规划水质类别为 II 类功能水体，2 条为 III 类功能水体。

潮白河水系单因子评价结果表明（表 3-1），监测的 5 条 II 类功能河段是密云水库的主干道及其支流，因位于上游，沿途无大型污染源，水质保持良好，基本没有有机污染现象，个别断面不达标主要是因为重金属污染，如潮河、白河、京密引水渠以及怀九河、怀沙河都是 Pb 超标。

III 类功能水体——潮白河、雁栖河流经怀柔、密云、顺义、通州县城，沿途接纳了城镇工业废水和生活污水，水质较差，特别是潮白河下游牛栏山环岛桥有机污染严重，有多项污染物超标，为劣 V 类水质。潮白河和雁栖河被重金属污染，大多数监测断面不符合水质功能要求。

表3-1 潮白河水系单因子评价法评价结果

所属河流	采样地点	水质		单因子评价法
		分类	评价结果	超标污染物及其超标倍数
白河上游	汤河口镇	II	III	Pb(2.67)
白河中游	黑龙潭	II	III	Pb(1.75)
潮河上游	北甸子桥	II	III	Pb(2.44)
潮河中游	石匣	II	III	Pb(0.93)
京密引水渠上游	溪翁庄镇	II	II	
京密引水渠上游	西田各庄	II	III	Pb (2.16)
京密引水渠中游	兴寿镇	II	III	Pb (2.30)
京密引水渠中游	西辛	II	III	Pb (3.90)
京密引水渠中游	阳坊	II	III	Pb (3.90)
京密引水渠中游	温泉	II	III	Pb (1.76)
京密引水渠下游	309 医院	II	II	
京密引水渠下游	南如意门	II	III	Pb (3.90)
潮白河中游	养山村	III	V	Pb(4.54)
潮白河中游	檀营满族蒙古族乡	III	V	Pb(4.46)
潮白河中游	河南寨西	III	>V	COD _{Cr} (1.21)
潮白河下游	牛栏山环岛桥	IV	>V	NH ₃ -N(11.03)、总磷(4.60)、COD _{Cr} (1.67)、BOD ₅ (3.22)
雁栖河上游	范崎路桥	III	III	

3-1 续表

所属河流	采样地点	水质		单因子评价法
		分类	评价结果	超标污染物及其超标倍数
雁栖河上游	莲花池	III	V	Cr(0.19)
雁栖河上游	长园	III	V	Cr(0.21)
雁栖河中游	神堂峪	III	V	Cr(0.32)
雁栖河下游	柏崖厂	III	>V	NH ₃ -N(1.07)、Cr(1.15)
怀沙河上游	六渡河	II	III	Cr(0.18)、Pb (2.68)
怀沙河中游	东四渡河	II	III	Pb (3.35)
怀沙河中游	口头	II	V	Cr(0.16)
怀沙河下游	红军庄	II	V	Pb (2.69)
怀九河上游	花木	II	>V	NH ₃ -N(21.78)
怀九河中游	西四渡河	II	V	Cr(0.24)、DO(0.84)
怀柔水库入口	秦家东庄	II	V	Cr(0.18)、Pb (2.72)
怀九河下游	北宅	II	V	Cr(0.60)、Pb (2.61)

潮白河水系模糊数学法评价结果表明 (表 3-2), 潮白河水系有 41.1% 的断面好于或符合水体功能要求, II 类、III 类和 IV 类水质达标河段比例分别 55.0%、12.5% 和 0%, 总体来说是上游水质好于下游。京密引水渠 8 个监测断面中有 5 个好于或满足水质要求, 其余 3 个监测断面为 IV 类水体, 均不满足水质要求, 说明京密引水渠受到一定的污染。

表3-2 潮白河水系模糊数学法评价结果

所属河流	采样地点	经度	纬度	模糊数学法	
				水质分类	评价结果
白河上游	汤河口镇	N40°41'41.8"	E116°39'13.4"	II	II
白河中游	黑龙潭	N40°34'20.9"	E116°47'40.0"	II	II
潮河上游	北甸子桥	N40°38'53.2"	E117°38'19.2"	II	II~III
潮河中游	石匣	N40°33'23.2"	E117°04'12.2"	II	I~II
京密引水渠上游	溪翁庄镇	N40°28'35.5"	E116°49'38.8"	II	I~II
京密引水渠上游	西田各庄镇	N40°14'01.6"	E116°29'53.3"	II	II~III
京密引水渠中游	兴寿镇	N40°13'24.1"	E116°24'31.8"	II	II~III
京密引水渠中游	西辛	N40°11'25.6"	E116°14'14.6"	II	III
京密引水渠中游	阳坊	N40°07'55.3"	E116°08'00.8"	II	III
京密引水渠中游	温泉	N40°03'11.2"	E116°09'31.8"	II	II~III
京密引水渠下游	309 医院	N40°01'23.1"	E116°15'36.3"	II	I
京密引水渠下游	南如意门	N39°58'45.2"	E116°16'28.4"	II	III

3-2 续表

所属河流	采样地点	经度	纬度	模糊数学法	
				水质分类	评价结果
潮白河中游	养山村	N40°24'20.4"	E116°58'00.1"	III	IV~V
潮白河中游	檀营满蒙族乡	N40°23'44.2"	E116°50'32.9"	III	IV
潮白河中游	河南寨西	N40°20'46.6"	E117°48'39.2"	III	V
潮白河下游	牛栏山环岛桥	N40°12'38"	E117°36'59.1"	IV	V
雁栖河上游	范崎路桥	N40°28'03.3"	E116°35'40.0"	III	II
雁栖河上游	莲花池	N40°26'07.4"	E116°34'53.0"	III	IV
雁栖河上游	长园	N40°25'02.1"	E116°35'26.7"	III	IV
雁栖河中游	神堂峪	N40°25'12.5"	E116°37'40.1"	III	IV~V
雁栖河下游	柏崖厂	N40°24'08.7"	E116°39'19.5"	III	V
怀沙河上游	六渡河	N40°23'30.1"	E116°31'18.9"	II	II
怀沙河中游	东四渡河	N40°22'27.9"	E116°32'49.9"	II	III
怀沙河中游	口头	N40°21'44.0"	E116°33'55.5"	II	IV
怀沙河下游	红军庄	N40°20'32.9"	E116°35'00.0"	II	II~III
怀九河上游	花木	N40°21'03.3"	E116°25'04.1"	II	V
怀九河中游	西四渡河	N40°20'15.1"	E116°29'37.5"	II	IV
怀柔水库入口	秦家东庄	N40°18'54.0"	E116°34'28.9"	II	IV
怀九河下游	北宅	N40°19'44.7"	E116°33'22.0"	II	IV~V

综上所述，潮白河水系上游水质良好，有 37.9%的断面好于或符合水体功能要求。II 类、III 类和 IV 类水质达标河段比例分别 50%、12.5%和 0%。潮白河水系下游污染主要来源于上游牛栏山酒厂等排放的工业污水和下游顺义河段每年接纳的大量乡镇工业废水。另外，潮白河下游因缺水而长期处于断流状态，水体无任何稀释自净能力，导致水污染加剧。

3.2 永定河水系水质评价

官厅水库在保障北京的饮用水安全上曾经发挥了重要作用，它所在的永定河水系污染问题一直是关注的焦点。永定河水系共监测了 2 条河流，11 个监测断面，其中妫水河以及永定河上段规划水质类别为 II 类水体，永定河下段为 III 类水体。

永定河水系单因子评价结果表明（表 3-3），妫水河以及永定河上段均不满足 II 类水质功能要求。妫水河上段水质基本为 III 类，下段主要接纳了延庆城关镇的工业污水和生活污水，有多项污染物超标，为劣 V 类水质，这必然严重影响其下游官厅水库的水质。永定河上游是官厅水库向北京输水的河道，尽管官厅水库来水较差，但进入北京后沿岸污染源较少，加之河流坡陡湍急，有一定的自净能力，因此水质已有明显好转，现状水质基本为 III 类。

III 类功能水体——永定河中游因无径流补给，基本呈干涸状态，水量少，水质差，现状水质

为劣 V 类，永定河下游没有污染物超标，水质较好，满足水质功能要求。

表3-3 永定河水系单因子评价法评价结果

所属河流	采样地点	水质		单因子评价法
		分类	评价结果	超标污染物及其超标倍数
妫水河上游	永宁镇	II	V	NH ₃ -N(2.48)、Pb(4.95)、DO(0.68)
妫水河上游	老君堂	II	III	COD _{Cr} (0.25)、DO(0.66)
妫水河中游	延庆五中	II	III	Pb(2.05)、DO(0.70)
妫水河中游	大路	II	>V	NH ₃ -N(2.46)、总磷(3.54)、COD _{Cr} (1.82)、BOD ₅ (4.91)
妫水河下游	五棵树	II	>V	COD _{Cr} (1.94)、BOD ₅ (4.12)、Pb(3.98)
永定河上游	雁翅镇	II	III	Pb(3.27)
永定河上游	雁翅	II	IV	COD _{Cr} (0.53)、Pb(0.86)
永定河上游	下苇甸	II	III	Pb(3.80)
永定河中游	永引入水口	III	>V	总磷(6.50)、Pb(5.06)
永定河中游	八大处	III	III	
永定河下游	十王坟	III	III	

永定河水系模糊数学法评价结果表明（表 3-4），该水系只有 27.3%的监测断面好于或符合水体功能要求，大部分监测断面不达标。II 类、III 类水质达标河段比例分别 11.1%和 100%，说明永定河水系上游已经受到一定程度的污染，这与单因子的评价结果基本一致。

表3-4 永定河水系模糊数学法评价结果

所属河流	采样地点	经度	纬度	水质分类	模糊数学法评价结果
妫水河上游	永宁镇	N40°31'07.3"	E116°07'44.4"	II	IV~V
妫水河上游	老君堂	N40°28'46.3"	E116°04'25.5"	II	II~III
妫水河中游	延庆五中	N40°27'16.3"	E115°59'25.3"	II	III~IV
妫水河中游	大路	N40°26'50.3"	E115°52'57.6"	II	V
妫水河下游	五棵树	N40°26'15.9"	E115°50'42.4"	II	V
永定河上游	雁翅镇	N40°02'16.7"	E115°53'53.0"	II	III
永定河上游	雁翅	N40°00'16.3"	E115°56'06.9"	II	III
永定河上游	下苇甸	N39°59'58.1"	E116°01'10.0"	II	III
永定河中游	永引入水口	N39°58'28.0"	E116°05'09.6"	II	V
永定河中游	八大处	N39°56'20.5"	E116°10'30.9"	III	II
永定河下游	十王坟	N39°56'23.0"	E116°14'43.9"	III	II~III

综上所述，永定河水系水质较好，有 27.3%的监测断面好于或符合水体功能要求。II 类、III 类水质达标河段比例分别 11.1%和 100%。由于延庆县的生活污水和工业废水，以及上游张家口和宣化地区大量工业废水和永定河流域农业面源污染物的排入，造成永定河流域水质恶化，使得永定河水系大部分监测断面不达标。

3.3 蓟运河水系水质评价

蓟运河水系是北京地表水五大水系中径流量最小的水系。蓟运河水系共监测河流 3 条段，设 8 个监测断面，其中只有沟河上游规划水质类别为 IV 类，其余 3 条河段均为 V 类。

蓟运河水系单因子评价结果表明（表 3-5），监测的 3 条河段现状水质均未达标，为 V 类或劣 V 水质。蓟运河水系除平谷镇和白各庄外，各监测断面均有多项污染物超标，且超标倍数大，其中氮、磷污染尤其严重。这主要是因为平谷县城以及顺义部分地区污水排放的影响。顺义县是北京地区养殖场数量最多，养殖业最为发达的地区，大量未经处理的污水直接排放导致水体严重污染。

表3-5 蓟运河水系单因子评价法评价结果

所属河流	采样地点	水质 分类	单因子评价法	
			评价 结果	超标污染物及其超标倍数
沟河上游	平谷镇	IV	>V	NH ₃ -N(0.48)、Cd(0.56)
沟河下游	英城桥	V	>V	NH ₃ -N(8.81)、总磷(5.27)、COD _{Cr} (1.15)、BOD ₅ (3.28)、DO(5.53)
金鸡河上游	驻马庄	V	>V	COD(14.3)、BOD ₅ (3.3)、NH ₃ -N(22.7)、总磷(43.6)、Pb(0.115)、Cr(0.13)
金鸡河中游	行宫	V	>V	COD(6.6)、BOD ₅ (16.6)、NH ₃ -N(23.4)、总磷(18.8)、Pb(0.794)、Cr(4.69)
金鸡河中游	金鸡河桥 x002	V	>V	COD(2.3)、BOD ₅ (7.6)、NH ₃ -N(11.2)、总磷(26.8)、
金鸡河下游	金鸡河桥 x001	V	>V	COD(0.8)、BOD ₅ (4.4)、NH ₃ -N(2.6)、总磷(7.4)、Pb(0.138)、Cr(1.09)
错河中游	白各庄	V	>V	BOD ₅ (0.1)、Cr(1.12)
错河下游	错河桥	V	>V	COD(1.6)、BOD ₅ (3.9)、NH ₃ -N(6.8)、总磷(0.6)、Cr(1.61)

蓟运河水系模糊数学法评价结果表明（表 3-6），该水系虽然有 87.5%的监测断面符合水体功能要求，但均为 V 类水质，表明蓟运河水系水质很差，这与单因子评价的结果基本是一致的。

综上所述，蓟运河水系水质较差，为 V 类或劣 V 水质。特别是下游各监测断面均有多项污染物超标，且超标倍数大，其中氮、磷污染尤其严重。污染来源于平谷县城排放的污水以及顺义县地区养殖场大量未经处理直接排放的污水。

表3-6 蓟运河水系模糊数学法评价结果

所属河流	采样地点	经度	纬度	水质分类	模糊数学法评价结果
沟河中游	平谷镇	N40°07'43.3"	E117°07'05.4"	IV	V
沟河下游	英城桥	N40°04'18.2"	E117°00'45.6"	V	V
金鸡河上游	驻马庄	N40°10'54.3"	E116°52'10.6"	V	V
金鸡河中游	行宫	N40°09'09.9"	E116°54'02.7"	V	V
金鸡河中游	金鸡河桥 x002-L001	N40°07'38.3"	E116°54'24.8"	V	V
金鸡河下游	金鸡河桥 x001-L012	N40°07'45.6"	E116°54'28.8"	V	V
错河中游	白各庄	N40°10'08.8"	E117°04'12.1"	V	V
错河下游	错河桥	N40°08'41.7"	E117°04'43.9"	V	V

3.4 北运河水系水质评价

北运河水系是北京市流域面积最大、支流最多的水系，是北京城近郊区主要的排污河道，接纳了大量工业、生活污水。在该水系监测的河流和断面数最多，共监测了 8 条河流 40 个监测断面。其中有 10 个断面规划水质类别为 IV 类，其余均为 V 类。

北运河水系单因子评价结果表明（表 3-7），所有断面均不满足功能用水要求，有多项污染物超标，且超标倍数大，均为劣 V 类水质。其中凉水河、凤河污染最为严重，污染物超标倍数最高，NH₃-N、总磷、COD_{Cr}、BOD₅、DO 分别达到 25.25 倍、12.56 倍、5.58 倍、17.07 倍和 10.0 倍。相对而言，小中河上游、温榆河、北运河污染较轻。北运河水系除了有机污染外，还存在一定的氮、磷和重金属污染。

表3-7 北运河水系单因子评价法评价结果

所属河流	采样地点	水质		单因子评价法
		分类	评价结果	超标污染物及其超标倍数
小中河上游	西范各庄	V	>V	总磷(3.87)、COD _{Cr} (1.75)、BOD ₅ (6.03)
小中河中游	小中河桥	V	>V	COD _{Cr} (1.20)、BOD ₅ (2.06)
小中河中游	小中河中游	V	>V	NH ₃ -N(4.12)、总磷(2.86)、BOD ₅ (1.12)、DO(10.0)、Cr(5.27)
小中河中游	西牛庄	V	>V	NH ₃ -N(4.31)、总磷(4.46)、DO(1.02)
小中河中游	南法信镇	V	>V	总磷(4.47)、COD _{Cr} (3.16)、BOD ₅ (4.11)、DO(10.0)
小中河下游	小中河桥 X022-L001	V	>V	NH ₃ -N(5.89)、总磷(4.84)、COD _{Cr} (3.05)、BOD ₅ (5.59)、DO(10.0)
清河上游	马连洼	IV	>V	NH ₃ -N(3.55)、DO(1.04)
清河中游	北京体育大学	IV	>V	NH ₃ -N(7.73)、总磷(1.11)、COD _{Cr} (1.43)、DO(5.78)、Cr(2.56)
清河中游	清河中游	V	>V	NH ₃ -N(8.42)、总磷(3.07)、COD _{Cr} (2.59)、BOD ₅ (1.99)、DO(3.67)
清河下游	沙子营	V	>V	NH ₃ -N(9.69)、总磷(4.19)、COD _{Cr} (3.05)、BOD ₅ (2.52)、DO(10.0)
温榆河中游	小汤山	IV	>V	NH ₃ -N(1.93)、总磷(2.09)、DO(5.98)、Cd(0.94)

3-7 续表

所属河流	采样地点	水质 分类	单因子评价法	
			评价结果	超标污染物及其超标倍数
温榆河下游	西泗上	V	>V	NH ₃ -N(8.59)、总磷(5.10)、COD _{Cr} (1.02)、BOD ₅ (2.39)
温榆河下游	孙河大桥	V	>V	NH ₃ -N(12.63)、总磷(8.80)、COD _{Cr} (1.57)、BOD ₅ (3.29)、DO(10.0)
温榆河下游	皮村	V	>V	NH ₃ -N(6.94)、总磷(3.75)、DO(1.02)
坝河上游	坝河上游	IV	>V	NH ₃ -N(2.47)、COD _{Cr} (1.17)、DO(1.07)
坝河中游	酒仙桥	IV	>V	NH ₃ -N(2.93) COD _{Cr} (1.76)、BOD ₅ (0.59)、Cr(5.38)、Pb(1.71)、
坝河中游	三岔河	V	>V	NH ₃ -N(6.30)、总磷(3.98)、COD _{Cr} (2.22)、DO(8.02)
坝河下游	沙窝	V	>V	NH ₃ -N(7.66)、总磷(6.15)、COD _{Cr} (4.47)、BOD ₅ (2.13)、DO(8.20)
通惠河上游	高碑店	IV	>V	NH ₃ -N(2.41)、总磷(3.31)、COD _{Cr} (1.03)、Pb(1.22)
通惠河中游	三间房	IV	>V	NH ₃ -N(2.32)、总磷(2.48)、COD _{Cr} (1.72)、BOD ₅ (2.51)、Pb(1.73)
通惠河中游	管庄	V	>V	NH ₃ -N(3.32)、总磷(3.89)、Cr(1.44)
通惠河下游	通州	V	>V	NH ₃ -N(4.48)、总磷(1.75)、COD _{Cr} (2.79)、BOD ₅ (1.08)
凉水河上游	肖村	IV	>V	NH ₃ -N(26.17)、总磷(12.03)、COD _{Cr} (16.25)、DO(8.19)
凉水河上游	富源庄	IV	>V	NH ₃ -N(25.05)、总磷(6.11)、COD _{Cr} (5.08)、BOD ₅ (5.58)、DO(7.59)
凉水河中游	马驹桥	IV	>V	NH ₃ -N(25.25)、总磷(5.51)、COD _{Cr} (3.79)、DO(10.0)、Cr(1.78)
凉水河中游	南堤村	V	>V	NH ₃ -N(14.31)、总磷(4.96)、COD _{Cr} (8.97)、BOD ₅ (17.07)、 DO(10.0)
凉水河下游	样田村	V	>V	NH ₃ -N(13.03)、总磷(4.05)、COD _{Cr} (2.30)、DO(10.0)
凉水河下游	仓头	V	>V	NH ₃ -N(13.54)、总磷(4.27)、COD _{Cr} (3.05)、DO(10.0)
凤河上游	大兴黄村镇	V	>V	NH ₃ -N(20.20)、总磷(12.56)、COD _{Cr} (3.55)、BOD ₅ (5.58)、 DO(6.61)
凤河上游	北磁各庄	V	>V	NH ₃ -N(12.26)、总磷(2.44)、COD _{Cr} (2.87)、BOD ₅ (1.14)、DO(10.0)
凤河上游	南大红门桥	V	>V	NH ₃ -N(18.68)、总磷(12.19)、COD _{Cr} (3.38)、BOD ₅ (4.55)、 DO(10.0)
凤河上游	南大红门	V	>V	NH ₃ -N(13.99)、总磷(2.36)、COD _{Cr} (2.59)、BOD ₅ (2.36)、DO(10.0)
凤河中游	长子营镇	V	>V	NH ₃ -N(20.72)、总磷(11.32)、COD _{Cr} (2.68)、BOD ₅ (4.08)、 DO(10.0)
凤河中游	采育镇	V	>V	NH ₃ -N(18.47)、总磷(11.94)、COD _{Cr} (3.47)、BOD ₅ (2.32)
凤河下游	凤河营桥	V	>V	NH ₃ -N(19.76)、总磷(12.56)、COD _{Cr} (2.51)、BOD ₅ (2.28)
北运河上游	王家场	V	>V	NH ₃ -N(4.94)、总磷(4.65)、DO(1.06)
北运河中游	小圣庙	V	>V	NH ₃ -N(5.97)、总磷(5.15)、
北运河中游	夏店	V	>V	NH ₃ -N(6.52)、总磷(3.43)
北运河下游	榆树庄	V	>V	NH ₃ -N(3.01)、总磷(2.19)、DO(1.01)、Cd(3.30)
北运河下游	马头	V	>V	NH ₃ -N(3.49)、总磷(2.79)、DO(1.34)、Cd(3.10)

北运河水系模糊数学法评价结果表明(表 3-8),所有监测断面均为 V 类,这是因为北运河水系是北京主要排污和泻洪河道,接纳了昌平、顺义、朝阳、丰台、通州的工业废水和生活污水,其中通惠河、凉水河、清河、坝河日接纳污水量分别为 6.14、22.15、22.34、1.94 万 m³,水质污染严重。据调查,凉水河有 228 个生活污水、雨污合流水口,通惠河从东便门至高碑店仍有 8 个污水口直排入河。

表3-8 北运河水系模糊数学法评价结果

所属河流	采样地点	经度	纬度	水质分类	模糊数学法 评价结果
小中河上游	西范各庄	N40°12'38.0"	E116°36'59.1"	V	V
小中河中游	小中河桥	N40°09'32.0"	E116°37'18.4"	V	V
小中河中游	小中河中游	N39°59'07.0"	E116°40'07.1"	V	V
小中河中游	西牛庄	N39°56'33.4"	E116°39'44.9"	V	V
小中河中游	南法信镇	N40°06'58.5"	E116°36'59.9"	V	V
小中河下游	小中河桥 X022-L001	N40°03'22.5"	E116°37'40.5"	V	V
清河上游	马连洼	N40°00'41.7"	E116°16'22.7"	IV	V
清河上中游	北京体育大学	N40°01'05.5"	E116°18'56.4"	IV	V
清河中游	清河中游	N40°04'01.5"	E116°27'08.9"	V	V
清河下游	沙子营	N40°04'52.0"	E116°27'42.9"	V	V
温榆河中游	小汤山	N40°10'21.3"	E116°24'04.3"	IV	V
温榆河下游	西泗上	N40°05'36.5"	E116°29'07.7"	V	V
温榆河下游	孙河大桥	N40°03'21.8"	E116°32'19.1"	V	V
温榆河下游	皮村	N39°55'39.0"	E116°39'07.0"	V	V
坝河上游	坝河上游	N39°58'06.0"	E116°28'13.1"	IV	V
坝河中游	酒仙桥	N39°57'58.0"	E116°29'02.7"	IV	V
坝河中游	三岔河	N39°58'13.3"	E116°35'35.1"	V	V
坝河下游	沙窝	N39°57'32.0"	E116°37'04.0"	V	V
通惠河上游	高碑店	N39°54'25.5"	E116°31'23.7"	IV	V
通惠河中游	三间房	N39°54'23.6"	E116°32'43.4"	IV	V
通惠河中游	管庄	N39°54'17.1"	E116°36'03.2"	V	V
通惠河下游	通州	N39°54'30.8"	E116°38'19.0"	V	V
凉水河上游	肖村	N39°49'48.9"	E116°25'59.5"	IV	V
凉水河中上游	富源庄	N39°48'19.5"	E116°27'23.0"	IV	V
凉水河中上游	马驹桥	N39°45'51.7"	E116°32'33.9"	IV	V
凉水河中游	南堤村	N39°46'14.9"	E116°34'18.2"	V	V
凉水河中下游	样田村	N39°46'39.6"	E116°38'05.8"	V	V

3-8 续表

所属河流	采样地点	经度	纬度	水质分类	模糊数学法 评价结果
凉水河下游	仓头	N39°49'12.2"	E116°40'36.9"	V	V
凤河上游	大兴黄村镇	N39°43'15.2"	E116°22'20.3"	V	V
凤河上游	北磁各庄	N39°43'12.3"	E116°23'18.7"	V	V
凤河上游	南大红门桥	N39°43'33.0"	E116°27'26.1"	V	V
凤河中上游	南大红门	N39°43'31.5"	E116°27'28.2"	V	V
凤河中游	长子营镇	N39°41'02.8"	E116°30'51.9"	V	V
凤河中游	采育镇	N39°39'09"	E116°36'54.2"	V	V
凤河下游	凤河营桥	N39°36'53.8"	E116°41'16.0"	V	V
北运河上游	王家场	N39°54'50.9"	E116°39'56.5"	V	V
北运河中游	小圣庙	N39°53'37.8"	E116°41'41.7"	V	V
北运河中游	夏店	N39°49'08.3"	E116°46'53.8"	V	V
北运河下游	榆树庄	N39°45'48.0"	E116°50'00.2"	V	V
北运河下游	马头	N39°45'52.3"	E116°50'33.2"	V	V

综上所述，北运河水系水质最差，所有断面均不满足功能用水要求，为劣 V 类水质，监测断面有多项污染物超标，且超标倍数大，这主要是因为北运河是北京城近郊区的主要排污河道，接纳了北京城近郊区大量的城市污水，所以水体被严重污染。

3.5 大清河水系水质评价

大清河水系监测 3 条河段，共设 17 个监测断面，其中有 5 个监测断面规划水质类别为 II 类，3 个为 III 类，9 条为 IV 类。

大清河水系单因子评价结果表明（表 3-9），所有断面水体均不满足功能水质要求，为 V 类或劣 V 类水质。拒马河除张坊镇存在有机污染外，其余均为重金属污染，中游张坊镇有多项污染物超标且超标倍数较高，表明该河段已被严重污染；大石河上游霞云岭水库至中游磁家务 2#桥断面，水体主要污染物为重金属，从上游往下游，水体污染明显加重，从单纯的重金属污染变为有机与无机污染并存的形式；小清河从上游至下游断面水体污染都比较严重，有多种污染物超标，所有断面水体均为劣 V 类水质。

表3-9 大清河水系单因子评价法评价结果

所属河流	采样地点	水质		单因子评价法
		分类	评价结果	超标污染物及其超标倍数
拒马河上游	平峪	II	V	Cr(0.70)
拒马河上游	西河桥	II	V	Cr(0.46)、Pb(2.54)
拒马河中游	穆家口	II	V	COD _{Cr} (0.35)、Cr(0.88)
拒马河中游	张坊镇	II	>V	总磷(3.90)、COD _{Cr} (1.40)、Cr(1.24)、Pb(12.60)、Cd(1.02)
拒马河下游	拒马河下游	II	V	Cr(0.64)
大石河上游	霞云岭	III	V	Cr(0.56)、Cd(0.13)
大石河中游	山川	III	V	Cr(0.26)、Cd(0.44)
大石河中游	陈家台	III	V	Cr(0.48)、Cd(0.26)
大石河中游	磁家务 2#桥	IV	V	Cr(5.40)、Cd(0.36)
大石河下游	大营村	IV	>V	NH ₃ -N(13.51)、总磷(8.26)、COD _{Cr} (4.13)、BOD ₅ (2.25)、Cr(1.34)、Cd(1.09)
大石河下游	窦店田家村	IV	>V	NH ₃ -N(13.51)、总磷(9.01)、COD _{Cr} (13.61)、BOD ₅ (19.49)、DO(10.0)
大石河下游	琉璃河桥	IV	>V	总磷(1.01)、COD _{Cr} (1.70)、BOD ₅ (3.86)、DO(10.0)、Cr(2.48)
小清河上游	长辛店	IV	>V	NH ₃ -N(18.33)、总磷(13.01)、COD _{Cr} (5.70)、BOD ₅ (18.08)、DO(10.0)
小清河中游	张家厂	IV	>V	NH ₃ -N(7.23)、总磷(3.90)、DO(3.70)
小清河中游	葫芦堡	IV	>V	NH ₃ -N(3.11)、总磷(3.11)、COD _{Cr} (7.91)、BOD ₅ (1.32)
小清河下游	二间房	IV	>V	NH ₃ -N(18.43)、总磷(8.20)、COD _{Cr} (3.01)、BOD ₅ (4.67)、DO(1.16)
小清河下游	小陶村	IV	>V	NH ₃ -N(10.44)、总磷(5.08)、COD _{Cr} (1.85)、Cr(1.56)、Pb(1.63)

大清河水系模糊数学法的评价结果表明（表 3-10），所有监测断面均不符合水质功能的要求，这与单指标评价的结果是一致的。其中拒马河自涞源县城流经石门、浮图峪、紫荆关，沿河两岸有数十家冶金选矿企业，高浓度的重金属废水及尾矿直接或间接排入河道，另外，拒马河中游还接纳了张坊镇排放的污水，导致水体被污染；大石河支流主要受燕山石化公司以及房山区工业废水和生活污水的污染，此外大石河还受琉璃河镇排放污水的影响，导致大营村以下河段水体被严重污染；小清河主要受长辛店明沟、刺猬河下段支流汇入影响，其中刺猬河流经房山的良乡镇时接纳了大量污水，而长辛店明沟是长辛店地区的污水沟，两条支流的汇入导致小清河水体受到严重污染。

综上所述，大清河水系水质较差，所有的断面均不满足水质功能要求，为 V 类或劣 V 类水质，上游水体主要污染物为重金属，从上游往下游，水体污染明显加重，从单纯的重金属污染变为有机与无机污染并存的形式。点源污染主要来自于工业废水，面源污染主要是石家庄市大量施用农药、化肥施用造成的，另外还有山区采矿业和乡镇企业造成的水体污染。

表3-10 大清河水系模糊数学法评价结果

所属河流	采样地点	经度	纬度	水质分类	模糊数学法评价结果
拒马河上游	平峪	N39°39'21.1"	E115°32'26.8"	II	V
拒马河上游	西河桥	N39°38'01.7"	E115°34'16.1"	II	IV~
拒马河中游	穆家口	N39°31'16.7"	E115°39'44.1"	II	V
拒马河中游	张坊镇	N39°33'16.7"	E115°39'44.1"	II	V
拒马河下游	拒马河下游	N39°30'59.5"	E115°48'20.9"	II	V
大石河上游	霞云岭	N39°44'50.4"	E115°44'52.2"	III	IV~V
大石河中游	山川	N39°49'29.7"	E115°47'45.9"	III	IV~V
大石河中游	陈家台	N39°49'03.6"	E115°53'43.5"	III	IV
大石河中游	磁家务 2#桥	N39°47'31.1"	E115°59'20.9"	IV	V
大石河下游	大营村	N39°42'36.3"	E116°02'02.3"	IV	V
大石河下游	窦店田家村	N39°39'21.9"	E116°02'42.1"	IV	V
大石河下游	琉璃河桥	N39°36'09.2"	E116°01'27.6"	IV	V
小清河上游	长辛店	N39°47'57.6"	E116°11'15.2"	IV	V
小清河中游	张家厂	N39°44'58.1"	E116°11'16.2"	IV	V
小清河中游	葫芦堡	N39°42'38.0"	E116°11'31.3"	IV	V
小清河下游	二间房	N39°38'10.1"	E116°09'58.8"	IV	V
小清河下游	小陶村	N39°36'12.4"	E116°09'30.4"	IV	V

3.6 湖泊和水库水质评价

表3-11 湖泊、水库单因子评价法评价结果

所属河流	采样地点	水质		单因子评价法
		分类	评价结果	超标污染物及其超标倍数
永定河上游	珍珠湖	II	III	Pb(3.90)
京密引水渠下游	昆明湖	II	III	Pb (2.39)
永定河下游	玉渊潭	III	III	
雁栖河中游	雁栖湖	III	III	
潮河下游	密云水库	II	II	
怀九河下游	怀柔水库	II	V	Cr(0.18)、Pb (2.72)
妫水河下游	官厅水库	II	>V	COD _{Cr} (1.94)、BOD ₅ (4.12)、Pb(3.98)
洵河上游	海子水库	III	III	
大石河上游	霞云岭水库	III	V	Cr(0.90)
温榆河上游	沙河水库	IV	>V	NH ₃ -N(12.85)、总磷(6.53)、BOD ₅ (1.51)

在进行湖泊水库的水质评价时，需采用国家地表水质量标准中对湖泊、水库的特殊要求标准，主要体现在对总磷和总氮两个指标比一般的地表水体要求更为严格。共监测湖泊 4 个，水库 6 个。

对北京市主要湖泊水库的单因子评价结果表明（表 3-11），III 类水体功能要求的湖泊符合水质功能要求，II 类湖泊不符合水质功能要求，但只有一种污染物 Pb 超标，说明北京市湖泊水质比较好。北京市水库的评价结果表明，除了密云水库、海子水库符合水质功能要求外，其余的水库均有污染物超标，但超标倍数不大，其中官厅水库、沙河水库水质最差，为劣 V 类水质。

北京市湖泊、水库模糊数学法评价结果表明（表 3-12），监测的 4 个湖泊有 2 个达标，水库出密云水库和海子水库外，其余的水库均不达标，这与单指标评价的结果是一致的。

表3-12 湖泊、水库模糊数学法评价结果

所属河流	采样地点	经度	纬度	水质分类	模糊数学法评价结果
永定河上游	珍珠湖	N40°02'16.7"	E115°50'05.3"	II	III
京密引水渠下游	昆明湖	N39°58'45.2"	E116°16'28.4"	II	III
永定河下游	玉渊潭	N39°54'48.2"	E116°18'16.7"	III	II~III
雁栖河中游	雁栖湖	N40°24'18.8"	E116°39'17.6"	III	II
潮河下游	密云水库	N40°29'36.3"	E116°49'11.7"	II	I~II
怀九河下游	怀柔水库	N40°18'54.0"	E116°34'28.9"	II	IV
妫水河下游	官厅水库	N40°26'15.9"	E115°50'42.4"	II	V
沟河上游	海子水库	N40°11'09.8"	E117°17'57.0"	III	II
大石河上游	霞云岭水库	N39°44'14.5"	E115°44'26.0"	III	V
温榆河上游	沙河水库	N40°07'11.9"	E116°21'42.9"	IV	V

综上所述，湖泊水质比较好，基本符合水质功能的要求。除了密云水库、海子水库达标外，其余的水库均受到不同程度的污染，其中官厅水库、沙河水库水质最差，为劣 V 类水质。

3.7 各污染指标的相关性分析

为了更好的了解北京市水体污染特性，深入探讨各污染指标之间的相互关系，揭示污染的分布规律，本文对北京市地表水各指标的相关性进行了分析（表 3-13）。根据相关系数表的统计检验， $|r| \geq n=107, f=n-2=105$ ，查表得 $r_{0.05}=0.1966$ ，当任意两个监测项目之间的相关系数 $|r| \geq r_{0.05}$ ，即 $P < 0.05$ ，两个变量相关显著。 $r_{0.01}=0.2565$ ，当任意两个监测项目之间的相关系数 $|r| \geq r_{0.01}$ ，即 $P < 0.01$ ，两个变量相关极为显著。

对北京市地表水污染指标（氮磷污染、有机污染和重金属污染）的相关性进行分析，结果表明：反应氮磷污染的指标 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、总氮、总磷之间相关性极为显著，同时他们与反映有机污染状

况的指标 (DO、COD、BOD₅) 之间相关性也极其显著, 显著性为 $P < 0.01$, 这说明有机污染与氮磷污染间的关系十分密切, 其中 NH₃-N 与总氮之间的相关系数达到 0.76, 总磷与 NH₃-N、总氮之间的相关系数达到 0.69、0.52, 而总磷与 COD、BOD₅ 间的相关系数分别为 0.70, 0.62, 同时 DO 与氮磷污染的指标之间呈负相关, 这说明当水中氮磷污染物增多时溶解氧含量下降; 反应有机污染程度的指标 DO, COD, BOD₅ 之间相关性也极为显著, 显著性水平 $P < 0.01$, 其中 COD、BOD₅ 之间呈正相关, 相关系数达到 0.72, 这与以往人们对 COD 与 BOD₅ 之间相关的研究结果是一致的 (廖清州, 2000; 张宏才, 1999; 张永胜, 1995), 而 DO 与 COD、BOD₅ 之间呈负相关, 相关系数分别为 0.52、0.44; 对于重金属而言, 重金属之间的相关性各异, 不同的重金属与水体其它指标的相关性也不同, 重金属之间只有 Pb 与 Cu、Cr、Cd 的相关性极为显著 ($P < 0.01$), 相关系数分别为 0.34、0.39、0.35, 重金属与有机污染物之间 15 个相关系数中只有 3 个极其显著, 而重金属与氮磷污染物之间 15 个相关系数中有 8 个极其显著, 有 2 个相关性显著。

表3-13 各监测项目之间的相关系数 (γ)

	NH ₃ -N	总磷	总氮	COD	BOD ₅	DO	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd
NH ₃ -N	1.00										
总磷	0.69**	1.00									
总氮	0.76**	0.52**	1.00								
COD	0.60**	0.70**	0.46**	1.00							
BOD ₅	0.42**	0.62**	0.32**	0.72**	1.00						
DO	-0.49**	-0.48**	-0.32**	-0.52**	-0.44**	1.00					
Zn	0.60**	-0.05	0.50**	0.03	-0.03	-0.13	1.00				
Cu	0.20*	0.28**	0.10	0.27**	0.20*	-0.21*	0.05	1.00			
Cr	0.00	-0.01	-0.06	0.08	0.00	-0.25*	0.01	0.12	1.00		
Pb	0.28**	0.36**	0.30**	0.29**	0.18	-0.30**	0.06	0.34**	0.39**	1.00	
Cd	0.21*	0.28**	0.30**	0.18	0.15	0.04	0.06	0.18	0.16	0.35**	1.00

**：表示显著性水平为 0.01，即 $P < 0.01$ 水平

*：表示显著性水平为 0.05，即 $P < 0.05$ 水平

通过上面的分析可以知道, 重金属之间的相关性各异, 不同的重金属与水体其它指标的相关性也不同, 这是因为重金属的分布受到离子交换、吸附、解吸、稀释以及水动力等诸多因素的影响, 并且重金属的污染来源也比较复杂; 氮磷污染指标之间相关性极为显著 ($P < 0.01$), 同时与有机污染指标以及某些重金属的相关性也极为显著, 这说明氮磷污染物与水体其它指标的关系非常密切, 并且水中一部分氮、磷是有机物污染物分解转化的, 而水样中氮磷的含量也会影响 BOD₅ 分析结果 (Krenkel, 1980)。反应有机污染程度的指标 DO、COD、BOD₅ 之间相关性也极为显著, 其中 COD 与 BOD₅ 之间相关系数达到 0.72, 根据张宏才等对地表水中 COD 与 BOD₅ 相关性研究, 有机污染严重的污染地表水可以用 COD 预估 BOD₅, 这对水质监测、资料室数据分析、环境管理等都具有一定的实际价值。DO 与各污染指标之间基本呈负相关, 这是因为水中污染物增多, 分

解消耗了大量的溶解氧,导致水中溶解氧含量降低,此外,氧在水中的溶解度还与水的温度、氧在水中的分压及水中含盐量有关,大气压力下降、水温升高、含盐量增加,都会导致溶解氧含量减低。以上对各指标相关性研究表明,不同的污染项目在污染来源方面既存在共性又存在差异。

当然,水体指标之间的相关性研究需要一个完善的过程。由于地表水的成份随温度、pH值、季节等因素的不同而有差异,如果能把以上因素都考虑进去,进行系统的分析研究,结果将会更满意。

3.8 小结

(1) 潮白河水系上游水质良好,有41.4%的断面好于或符合水体功能要求。II类、III类和IV类水质达标河段比例分别55.0%、12.5%和0%。潮白河水系下游污染主要来源于上游牛栏山酒厂等排放的工业污水和下游顺义河段每年接纳的大量乡镇工业废水。另外,潮白河下游因缺水而长期处于断流状态,水体无任何稀释自净能力,导致水污染加剧。

(2) 永定河水系水质较好,有27.3%的监测断面好于或符合水体功能要求。II类、III类水质达标河段比例分别11.1%和100%。由于延庆县的生活污水和工业废水,以及上游张家口和宣化地区大量工业废水和永定河流域农业面源污染物的排入,造成永定河流域水质恶化,使得永定河水系大部分监测断面不达标。

(3) 蓟运河水系水质较差,所有断面均不满足用水功能要求,为V类或劣V水质。特别是下游各监测断面均有多项污染物超标,且超标倍数大,其中氮、磷污染尤其严重。污染来源于平谷县城排放的污水以及顺义县地区养殖场大量未经处理直接排放的污水。

(4) 北运河水系水质最差,所有断面均不满足用水功能要求,为劣V类水质,监测断面有多项污染物超标,且超标倍数大,这主要是因为北运河是北京城近郊区的主要排污河道,接纳了北京城近郊区大量的城市污水,所以水体被严重污染。

(5) 大清河水系水质较差,所有的断面均不满足水质功能要求,为V类或劣V类水质,上游水体主要污染物为重金属,从上游往下游,水体污染明显加重,从单纯的重金属污染变为有机与无机污染并存的形式。点源污染主要来自于工业废水,面源污染主要是石家庄市大量施用农药、化肥施用造成的,另外还有山区采矿业和乡镇企业造成的水体污染。

(6) 湖泊水质比较好,基本符合水质功能的要求。除了密云水库、海子水库达标外,其余的水库均受到不同程度的污染,其中官厅水库、沙河水库水质最差,为劣V类水质。

(7) 氮磷污染指标之间相关性极为显著($P < 0.01$),同时,他们与有机污染指标以及某些重金属的相关性也极为显著,这说明氮磷污染物与水体其它指标的关系非常密切。反应有机污染程度的指标DO、 COD_{Cr} 、 BOD_5 之间相关性也极为显著。重金属之间的相关性各异,不同的重金属与水体其它指标的相关性也不同。DO与各指标之间基本呈负相关。各指标相关性不同,体现了不同污染项目污染来源即存在共性又存在差异。

第四章 两种评价方法比较分析

4.1 两种方法评价结果的比较

对 112 个监测断面采用单因子评价法和模糊数学法的评价结果差异性及与河流水质功能进行比较 (表 4-1)。可以看出, 对于 112 个监测断面, 两种方法评价结果出现一定差异, 即有的监测断面只有模糊数学法评价结果符合水体功能而单因子评价法不符合, 这样的监测断面共有 45 个, 占总监测断面数的 40%。另外单因子评价法和模糊数学法评价结果均符合 (或优于水质功能) 和均不符合水质功能要求的监测断面数为 67 个, 占总监测断面的 60%, 表明两种评价方法的结果具有一定的一致性。

表4-1 两种方法评价结果的比较

项目	断面数	占总断面数的百分比(%)
两种方法评价结果均符合 (或优于) 水质功能要求	9	8%
模糊数学法评价结果符合而单因子评价法不符合功能要求	45	40%
两种方法评价结果均不符合水质功能要求	58	52%

4.2 评价方法的选择

虽然单因子评价法和模糊数学法评价结果具有一定的一致性, 但实际上, 只用其中任何一种方法评价水质, 评价结果都不客观, 因此, 应该结合这两种方法进行水质评价。

单因子评价法是根据河流监测断面的各项水质指标的监测值, 与指定的水体功能水质指标浓度值相比, 根据比值是否大于 1 来评价该水体是否达到了相应的功能。当比值小于或等于 1 时, 表明水体符合相应水体功能要求, 水体功能类别即为该水体的水质类别。当比值大于 1 时, 表明水体不达标, 水体的水质类别应该以最劣一项污染指标判定, 最劣一项污染指标小于几类水体的水质指标, 则该水体的水质类别即为几类。因此, 当用单因子评价法评价水质时, 评价结果只能等于或大于水体功能类别, 而不会出现小于水体功能类别的情况。而模糊数学法是一种综合评价的方法, 用模糊数学法进行水质评价, 评价结果则可能出现小于、等于、大于水体功能要求类别的情况。所以, 结合单因子评价法和模糊数学法评价地表水水质, 其评价结果可以出现以下五种情况。

(1) 模糊数学法评价结果好于单因子评价法, 两种方法均符合水质功能要求

这种情况宜采用模糊数学法的评价结果, 而以单因子评价法的评价结果作为参考。这是因为这些断面的水质都非常好, 好于水体功能要求, 模糊数学法可以说明水质比功能要求好的情况, 而单因子评价法只能说明水质是否达标, 不能体现出水质比功能要求好的情况。这样的监测断面共有 7 个, 例举其中一部分监测断面 (表 4-2)。

表4-2 模糊数学法好于单因子评价法，均符合水质功能要求

采样地点	水质 分类	模糊数学法		单因子评价法	
		综合运算结果	评价结果	超标污染物及其超标倍数	评价结果
密云水库	II	{0.24, 0.24, 0.00, 0.00, 0.00}	I-II		II
溪翁庄镇	II	{0.29, 0.29, 0.08, 0.00, 0.00}	I-II		II
海子水库	III	{0.14, 0.36, 0.27, 0.00, 0.00}	II		III
雁栖湖	III	{0.11, 0.22, 0.19, 0.00, 0.00}	II		III

(2) 模糊数学法和单因子评价法评价结果相同，均符合相应水体功能要求

这些断面两种方法的评价结果相同，可以采用其中任何一种方法的评价结果。这样的监测断面共有 2 个（表 4-3）。

表4-3 模糊数学法和单因子评价法相同，均符合水质功能要求

采样地点	水质 分类	模糊数学法		单因子评价法	
		综合运算结果	评价结果	超标污染物及其超标倍数	评价结果
八大处	III	{0.20, 0.21, 0.20, 0.00, 0.00}	III		III
十王坟	III	{0.15, 0.24, 0.26, 0.17, 0.00}	III		III

(3) 模糊数学法评价结果符合水质功能，而单因子评价法不符合

这种情况宜采用单因子评价法的评价结果，而以模糊数学法的评价结果作为参考。这样的监测断面共有 45 个，例举其中一部分监测断面（表 4-4）。这些断面又可以分为两类，一类要求水体功能为 II 类，这样的监测断面有 8 个，如汤河口镇、黑龙潭等，水质一般比较好，往往比要求的稍差，超标污染物少且超标倍数较小，而实际上，国标中对地表水评价已确定悲观的原则，这是符合实际的，因为若某项指标浓度严重超标，已不适于饮用，却仍评为可作为饮用水源地，将给人民生命健康带来威胁，所以这一类监测断面的水质应该采用单因子评价法的水质评价结果。而另一类要求水体功能为 V 类，这样的监测断面有 37 个，如小中河中游、南法信镇等监测点，水质很差，往往有多种污染物超标，且超标倍数大，而模糊数学法评价水质最差为 V 类，不能表明水质污染严重，大于 V 类的情况，所以这一类监测断面的水质也应该采用单因子评价法的评价结果。

表4-4 模糊数学法评价结果符合水质功能要求，而单因子评价法不符合

采样地点	水质 分类	模糊数学法		单因子评价法	
		综合运算结果	评价结果	超标污染物及其超标倍数	评价结果
汤河口镇	II	{0.16, 0.37, 0.32, 0.00, 0.00}	II	Pb (2.67)	III
黑龙潭	II	{0.17, 0.40, 0.27, 0.00, 0.00}	II	Pb (1.75)	III
小中河中游	V	{0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 1.00}	V	NH ₃ -N(4.12)、总磷(2.86)、DO(10.0)、Cr(5.27)	>V
南法信镇	V	{0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 1.00}	V	总磷(4.47)、COD _{Cr} (3.16)、BOD ₅ (4.11)、DO(10.0)	>V

(4) 模糊数学法比单因子评价法评价结果好，但均不符合相应水体功能要求

这种情况宜采用单因子评价法的评价结果，而以模糊数学法的评价结果作为参考。这样的监测断面共有 40 个，例举其中一些监测断面（表 4-5）。这些监测断面也分为两类，一类要求水体功能为 II 类、III 类，这样的监测断面有 19 个，如雁翅、长园等，水质一般比较差，这些监测点一般只有一两项污染物超标，且超标倍数比较小，但在国标中对饮用水源地采用悲观评价的原则，因此应该采用单指标评价的方法。而另一类断面水体功能要求为 IV 类，水质很差，这样的监测断面有 21 个，如富源庄、小陶村等，这些监测断面水体污染严重，往往有多种污染物超标，且超标倍数大，而模糊数学法评价水质最差为 V 类，不能体现水质污染严重，劣于 V 类的情况，所以这一类监测断面的水质也应该采用单因子评价法的评价结果。

表4-5 模糊数学法好于单因子评价法，均不符合水质功能要求

采样地点	水质分类	模糊数学法		单因子评价法	
		综合运算结果	评价结果	超标污染物及其超标倍数	评价结果
雁翅	II	{0.19, 0.17, 0.32, 0.30, 0.00}	III	Pb (0.86)	IV
长园	III	{0.12, 0.16, 0.00, 0.28, 0.22}	IV	Cr (0.21)	V
富源庄	IV	{0.00, 0.01, 0.01, 0.02, 0.53}	V	NH ₃ -N(25.1)、总磷(6.1)、COD _{Cr} (5.1)、BOD ₅ (5.6)、DO(7.6)	>V
小陶村	IV	{0.00, 0.00, 0.00, 0.04, 0.44}	V	NH ₃ -N(10.44)、总磷(5.08)、COD _{Cr} (1.85)、Cr(1.56)	>V

(5) 模糊数学法和单因子评价法评价结果相同，均不符合相应水体功能要求

这些断面两种方法的评价结果相同，可以采用其中任何一种方法的评价结果。这样的监测断面共有 18 个（表 4-6）。

表4-6 模糊数学法和单因子法评价结果相同，均不符合水质功能要求

采样地点	水质分类	模糊数学法		单因子评价法	
		综合运算结果	评价结果	超标污染物及其超标倍数	评价结果
黑龙潭	II	{0.17, 0.40, 0.27, 0.00, 0.00}	III	Pb (1.75)	III
南如意门	II	{0.19, 0.12, 0.39, 0.00, 0.00}	III	Pb (2.39)	III
西辛	II	{0.18, 0.16, 0.38, 0.00, 0.00}	III	Pb (3.90)	III
磁家务 2#桥	IV	{0.06, 0.08, 0.10, 0.13, 0.57}	V	Cr(5.40)、Cd(0.36)	V

通过以上的分析可知，应该结合两种方法对北京市地表水进行评价，并根据地表水评价时出现的五种情况，分别选用模糊数学法和单因子评价法的评价结果作为水质评价结果（表 4-7）。

表4-7 水质评价宜采用的评价结果及原因

评价结果分类	宜采用的评价结果	原因
模糊数学法评价结果好于单因子评价法, 均符合水质要求	模糊数学法	单因子评价法不能体现水质比功能要求好的情况
评价结果相同, 均符合水质要求	两种方法均可以	——
模糊数学法评价结果符合水质要求, 而单因子评价法不符	单因子评价法	出于饮用水安全考虑应该采用悲观评价, 而且单因子评价法可以体现水质劣于 V 类的情况
模糊数学法比单因子评价法评价结果好, 但均不符合相应水体功能要求		
两种方法评价结果相同, 均不符合水质功能要求	两种方法均可以	——

4.3 小结

(1) 当模糊数学法好于单因子评价法评价结果且均符合水质功能要求时, 宜采用模糊数学法评价结果。

(2) 当模糊数学法评价结果符合水质功能要求而单因子评价法不符合, 以及模糊数学法比单因子评价法评价结果好但均不达标的断面, 均应该采用单因子评价法的评价结果。

(3) 当两种评价方法的评价结果相同时, 可以任意采用其中一种方法的评价结果。

综上所述, 模糊数学法评价结果可以表明水质比水体功能要求好的情况, 还可以避免只以一种污染物进行评价的偏颇, 而单因子评价结果可以避免饮用水超标给人民生命健康带来的威胁, 可以表明水质劣于 V 类的情况, 单因子评价结果中还可以清楚的知道超标污染物及其倍数, 便于进行污染原因的分析, 因此应该结合这两种方法对北京市地表水质进行评价。

第五章 北京市地表水污染控制策略

从以上情况可以看出,北京城市化进程的加快以及工农业的高速发展,带来了严重的水环境问题。目前北京投入了大量的资金用于北京及其周边地区的环境改善,但是水质污染问题没有得到根本的解决。针对这种情况,本文对北京市污染控制问题提出了一些对策和建议。

5.1 加强水源地保护

饮用水源问题关系到整个北京的稳定和发展,加强饮用水源的保护,保证北京饮用水安全、优质是当前的主要任务。经过上面的分析可看出,官厅、密云两大水库上游的来水污染日趋严重,尤其是官厅水库水质目前大于V类,水体呈富营养化状态。密云水库水质目前虽符合饮用水标准,但随着总磷、总氮等营养盐类的增加,水体有向富营养化发展的趋势。因此,遏制官厅、密云水库水质恶化,对水源地必须采取有力的保护防治措施。

5.1.1 保护密云水库水源

根据潮白河水系水质评价结果,密云水库水质为II类,符合水质功能要求,但是它上游的白河、潮河以及下游的怀沙河、怀九河、京密饮水渠均为Pb超标,雁栖河为Cr超标,其它的监测点还有氨氮、总磷等超标,这说明在密云水库周边不仅有重金属污染源,还有氮磷污染源。根据对密云水库污染源的调查、分析,对密云水库提出以下治理和保护措施。

(1) 加强点源污染控制

密云水库上游河北部分,重点治理潮河上的点源污染,对丰宁县的九龙醉酒厂进行水污染治理改造,该厂的废水及污染物排放量占全县的90%以上,同时关闭潮河沿岸滦平、丰宁两县的10家选矿厂。密云水库上游北京市内,坚决取缔漂流景区和小铁矿,尽量减少来自旅游景点的污染,对水库一级保护区内的餐饮点加强管理。

(2) 库区非点源污染的控制措施及建议

因受自然和人为等多因素的影响,非点源污染具有空间差异。王晓燕等(2002)的研究表明,土壤侵蚀的严重发生区在石城乡,新城子的东部是次严重发生区。氮流失则集中于石城乡和不老屯、冯家峪和太师屯等水库周边区,水库东北部的高岭和古北口是磷的重点发生区。其中石城乡既是土壤侵蚀的重点发生区和潜在发生区,又是氮流失的严重发生区域,是上游流域治理的重点地区。对于以上区域,采取以下措施控制非点源污染。

① 实施与推广水土保持技术,防止水土流失

污染物在地表径流和侵蚀泥沙携带下进入水体,造成水体污染是本区非点源污染的基本特征。首先对坡耕地进行治理,主要是兴建水平梯田,有步骤地对25°以上坡耕地进行退耕还林、还草。其次是对沟道治理,修建土、石谷坊,拦沙坝和排洪工程。再次对荒山荒坡要因地制宜地营造各种水土保持林,发展人工种草,并注意草、灌、乔的面和立体的结合。此外,在水系源头及上游部分地区对由于风蚀形成的半流动沙丘应加强植被保护。

②控制与合理施肥

库区化肥施用量偏高,施用化肥时间又多在汛期,氮、磷损失较大。应通过掌握土壤有效氮、磷含量,建立肥效关系式,确定化肥限量标准,同时建立绿色粮食、蔬菜、果品生产基地。

③重视畜禽养殖业的环境管理

本区畜禽养殖业发展较快,单位面积的载畜量较大。应加强管理,以减少污染程度。对新建规模化养殖场应做环境影响评价,并将单位面积载畜量和粪便消纳能力作为一项重要的评价指标,逐步建立单位面积畜牧养殖数量最大允许指标。

(3) 清除网箱养鱼区底泥

2003年初,北京市水利局和密云县政府做出了全面取消网箱养鱼的决定,并采取了相关措施,这将对密云水库水质保护起到极大的直接和间接作用。但经过近20年的网箱养鱼生产,网箱养鱼区沉积了大量富含营养物质的底泥。因此有必要清除网箱养鱼区底泥残留物。

此外,还应完成围网建设,杜绝旅游污染,并且控制富营养化污染物排放,在库区及周边地区全面推广使用无磷洗衣粉,通过以上措施保护密云水库水质。

5.1.2 恢复官厅水库饮用水功能

根据永定河水系水质评价结果,官厅水库全流域水环境以有机污染为主,上游妫水河水质污染,影响了官厅水库的水质,而官厅水库下游Pb超标。官厅水库污染虽然有所减轻,但仍达不到饮用水的标准。根据对官厅水库污染源的调查、分析,对官厅水库提出以下治理和保护措施。

(1) 合理利用上游来水,保证水库蓄水

加快库区上游水土保持和农业节水项目的实施,鼓励发展节水农业,以科学的灌溉方式取代大水漫灌。对于布局不合理、影响生态平衡和官厅水库蓄水的上游水库应拆除。

(2) 控制点源污染是关键

对张家口市、宣化、涿鹿污染严重、资源能源消耗高的造纸企业,实施企业内部结构调整,减少污染物产生量。对怀安、万全等氨氮排放量大的化肥企业,实施氨氮专项治理工程。对资源能源消耗高、治理技术不成熟、水污染严重、经济效益低下、治理无望的企业实施关停并转。同时,应加强企业内部污水回用,提高水资源的利用率。

宣化是官厅水库的主要污染地区,因此建议在张家口市区、宣化区、下花园区及怀来县、万全县和涿鹿县城镇修建污水处理厂,对城镇生活污水和经治理基本达标排放的工业废水进行集中处理,有效减少污染物排放量。另外,应加强旅游度假村的环境管理力度。

(3) 加快治理水土流失,改善区域生态环境

首先要实施退耕还林还草,对25°以上荒山荒坡要营造水土保持林,建造以乔、灌、草为主的植被地,防风固沙,涵养水源,保存生物多样性,维护生态平衡。其次要对沟道进行治理,修建拦沙坝、排洪工程,保护环境资源,战胜荒漠化。另外还应实施封山育林、禁牧等措施。

(4) 坚持水库清淤、挖泥工作

官厅水库泥沙淤积量逐年增加,在永定河入库河口处形成了6.49亿m³的泥沙淤积体,阻碍了东坊水河库区与永定河库区水体的相互交换。官厅水库清淤应急供水工程沟通了两库,使得妫水河库区的水体得到了利用,保证了供水的水量。要全面提高水库水体的交换和自净能力,需要坚持水库清淤、挖泥工作,以清除底层污染物质,使水库内污染物总量降低。

(5) 利用生物措施, 科学投放鱼苗

水产养殖要求有效氮浓度应保持在 0.3mg/L 以上, 而官厅水库有效氮年均含量 2.1mg/L, 对水产养殖十分有利。在官厅水库中科学的投放育苗, 除了消除富营养化水体大量繁殖的藻类对自来水厂的危害, 还可以带来很好的经济效益。

5.2 防治河湖污染

虽然 1998 年以来, 北京市进行了城市水系综合治理, 水质恶化的势头有所控制, 但从总体上来看, 水质并没有得到根本的改善。根据北运河水系和大清河水系水质评价结果, 北京城市水系水质污染严重, 基本为 V 和劣 V 类水体。生活污水、雨污水合流直排入河道, 两岸居民随便倒垃圾, 工业部分废水未达标排放, 人们的环保意识淡漠, 《水法》实施不得力等是造成水体污染严重的主要原因。为了对城市河湖进行综合整治, 加强河道管理, 改善地面水环境质量, 保护水环境风貌, 实现水清、流畅、岸绿、通航的目标, 对北京城市河湖提出以下治理和保护措施。

5.2.1 修建护坡及绿化带

在河道两侧修建护坡, 并在护坡或渠坡上直接种草, 也可以先铺花格砖, 然后在花格砖内种草。种草能起到固坡、护岸、保持水土、净化空气、改善生态环境的作用。河坡种草要因地制宜, 根据河坡位置的重要性, 不同坡度和土质选择不同草种。一般种植冷 (野牛草)、暖 (早熟禾类) 两种类型的草坪, 形成优势互补以满足不同的绿化功能和景观需要。在河道上口线以外两侧各 50~100 米修建风景观赏隔离带, 禁止各种违章建设, 禁止倾倒垃圾, 并进行绿化。绿化时应按照生态学、生物多样性和人文景观相结合的原则, 形成以乔木为主体、生物多样性为基础、地带性植物为特征、乔灌草藤复层结构为形式的区域性绿化系统并融入到城市绿化系统中去。建议河道绿化选用垂柳、国槐、毛白杨、白皮松等, 尤其是国槐和月季可以多安排一些, 因为它们不仅适应性好、抗性强、易成活易管理, 同时作为北京的市树、市花也体现了首都特色。

5.2.2 疏挖清淤

经常性地对河湖、水库、航道进行疏浚、淤泥处理, 解决淤泥安全堆放问题。目前, 国内外一般采用挖泥船设备、淤泥脱水技术及淤泥挤干技术。北京昆明湖清淤采用在冬季使用挖掘机械与运输车辆, 通过道路运输将淤泥运送到贮泥场。六海为了实现环保清淤目的, 采取“干湖疏挖与远距离管道输送相结合”的清淤方式, 减少了施工噪音扰民, 也减小了对交通的影响, 取得了较好的经济、社会效益。

5.2.3 建设城市污水处理厂

污水处理是污水资源化的关键环节, 也是污水回用的前提条件。2003 年底, 北京已建成高碑店、方庄、酒仙桥、北小河 (一期)、清河 (一期)、吴家村和肖家河等 7 座污水处理厂, 日处理能力总计已达 158 万 m^3 。今后还要陆续建设北小河二期、小红门等污水处理厂, 到 2008 年北京污水处理厂将达到 15 座, 日处理污水能力 260 万 m^3 (表 5-1)。今后应该统筹规划沿河流水系修建排污系统, 分散兴建小型污水处理厂, 就近处理就近还清河流 (湖)。利用河流输水不仅减

少污水管道的水力负荷，作为一种净化、稳定的再生水源，更重要的是为城市西部河湖（莲花池、莲花河、凉水河、土城沟等）提供丰富的水源。另外，污水处理厂还应尽快解决污泥消纳的问题。

表5-1 北京污水处理厂及污水截流工程

序号	项目	建成日期	规模 (亿 m ³ /d)	投资 (亿元)
1	北小河污水处理厂	(一期) 1990 年运行 (二期) 正在建设	4	4.7
2	方庄污水处理厂	1995 年运行	4	—
3	高碑店污水处理厂	(一期) 1993 年运行 (二期) 1999 年运行	50 50	5.24 11.2
4	酒仙桥污水处理厂	2000 年运行	20	5.7
5	肖家河污水处理厂	2002 年运行	4	—
6	清河污水处理厂	(一期) 2002 年运行 (二期) 正在建设	20 20	8.0 2.75
7	吴家村污水处理厂	2003 年运行	8	3.5
8	小红门污水处理厂	正在建设	60	14.4
9	卢沟桥污水处理厂	正在建设	20	8.2
10	郑王坟污水处理厂	拟建	43	10.75
11	北苑污水处理厂	拟建	—	—
12	定福庄污水处理厂	拟建	—	—
13	东坝污水处理厂	拟建	—	—
14	垡头污水处理厂	拟建	—	—
15	五里坨污水处理厂	拟建	—	—
16	清河治理工程	正在建设	23km	5.4
17	凉水河污水截流工程	正在建设	20km	14.5

资料来源：北京市环境污染防止目标和对策（1998-2002）

5.2.4 完善污水管网

北京在建设污水处理厂的同时要增加污水管道的长度，截流全部污水，并进行清污分流，否则污水处理厂就形同虚设。近年来北京市已投入大量资金来改造水系，敷设城区排水管道，基本形成了通惠河系、凉水河系、清河系、坝河系四大管网系统（表 5-2）。今后应对城区沿河渠所有污水口全部截流，将污水并入市政管网，杜绝污水入渠，以保证城区水质在 III 类以上。将规划中的新建楼、馆等工程，预留雨、污水接口，尽量同治理现有雨、污水口工程一并考虑入市政管网，规范排污，以免新的污水入河。

表5-2 京城水系治污时间表

水系名称	还清时间	治污工程
通惠河水系	2006年	2004年, 通惠河下游的截污管线工程开工建设
		2005年, 定福庄污水处理厂建成, 日处理4万 m ³
		2006年, 通惠河水系城区段将全面还清
坝河水系	2006年	2003年底, 酒仙桥污水处理厂二期截流工程开工
		2004年, 北小河污水处理厂改建扩建后日处理能力将达到10万 m ³
		2006年, 东坝污水处理厂建成, 日处理2万 m ³
		2006年, 坝河水系将全面还清
清河水系	2008年	2003年, 清河污水处理厂二期工程开工, 2004年底建成投用, 日处理20万 m ³
		2003年, 清河上游支流北旱河、黑山扈及圆明园的污水管线加紧建设中
		2003年, 北苑污水处理厂开工, 2006年建成投用, 日处理4万 m ³
		2008年, 清河水系将彻底还清
凉水河水系	2005年	2003年底, 小红门污水处理厂实现预处理能力
		2003年, 凉水河三大支流污水截流工程全面建成
		2004年, 卢沟桥污水处理厂完工, 日处理10万 m ³
		2005年, 小红门污水处理厂建成, 日处理60万 m ³
		2005年, 凉水河水系将全面还清

资料来源: 本市水系还清排定时间表——北京污水系列报道之二

5.3 综合措施

5.3.1 管理措施

(1) 水资源统一管理

水资源的统一管理包括两方面内容: 区域内的水务一体化管理; 流域水资源的统一管理。北京和上游地区都存在着“分割管理、多龙管水”的水资源管理体制, 用水、管水和治水的分散乃至无政府状态, 加重了水资源的浪费和短缺。水资源本身的特性和严峻的形势要求改变这种局面, 对区域内的防洪、水资源供需平衡和水生态环境实行城乡统一管理。另外, 必须加强流域管理机构的职权。要实现流域水资源的高效开发利用和合理配置, 就必须在流域内由超脱于局部利益之上、统筹全局的机构来管理。采取市场激励、民主协商、政府调控等多种手段和措施, 实现流域水资源的统一管理, 促进流域经济社会可持续发展。

(2) 水资源联合调度

利用水资源的水文补偿作用和水利工程的蓄、引能力, 丰水年优先安排利用地表水, 后安排利用地下水, 并严格控制城近郊区范围内开凿自备井; 优先利用调节能力小的水库水源, 后使用调节能力大的水库水源。按照先生活, 再工业和城市环境, 最后安排农业和地下水回补的用水顺序为用水户调配水资源。

(3) 逐步建立合理的水价体系

不合理的水价体系是造成水资源浪费的重要原因之一。水价是遏制用水增长和控制地下水超采的有效手段。北京市水价已经达到全国平均水平,但与当前北京市缺水的现状很不适应,水价还处于偏低状态。必须进行水价调整,建立适应首都特点的水价体系,并用部分水费作为投入水资源建设、管理和保护的费用,从而实行良性滚动。另外,还可以参照国外一些国家的水费收取经验,对于配额以内的水定一个价格,超过定额一定程度为一个较高的价格,当用水超过定额更多时,再定一个更高的价格,以此来促进节水。

(4) 生态环境建设

北京要大力推行清洁生产,减少废污水排放,积极建设相应的污水处理、水源保护和水土保持工程。进行城市外围河湖水系综合治理,采取疏挖清淤、污水截流、污水处理、绿化河岸等措施。实施乡村水环境综合治理工程,控制水污染由城市向乡村的转移,并实现养殖污水资源化。

加强上游的生态环境的治理,因地制宜退耕还林还草,建设高标准基本农田,营造水源涵养林,最大限度地恢复和保护植被,遏制生态恶化,推广一些既能改善群众生活,又保护植被的方法。如用沼气灶替代柴草灶的方法解决因农户采樵而破坏山林植被的问题。

(5) 调整产业结构

工业上应该把治理石油、化工、纺织、印染、造纸、酿酒、电镀等工业污染源作为重点,通过改革生产工艺,调整工业布局,开展综合利用等措施减少污染物排放,对于原有的耗水污染型企业,加快改造速度,提高工业冷却水循环率,推广节水型生产工艺。农业要科学调整粮食种植结构,加强灌溉用水管理,通过建设中草药基地、绿色食品生产基地等生态农业示范区,发挥对周边地区的辐射和带动作用,促进当地生产向无污染、高效益方向转变。在城市和工业建设中,充分考虑水资源短缺的特点,禁止建设耗水量大、污染严重、破坏生态环境的项目。另外,还可尝试开辟旅游专线,大力发展第三产业。

5.3.2 科技措施

(1) 加大节水技术的科技含量

加大对城市节水器具、工业节水技术、农业节水技术、再生水回用技术、雨洪利用等方面的科研力度,用高科技来支持北京市的开源与节流,使北京市水资源可持续发展目标更具有科技的保障。

(2) 建立健全城市河湖水质自动监测网站

多年来,北京市在城区河湖的水质监测方面作了大量工作,获取了大量宝贵的数据资料,但水质监测工作尚需完善。目前北京市城区河湖水质监测手段还处于人工采样、室内化验的原始阶段,监测工作周期长、效率低。只能完成对测定对象间断地、定时、定点局部的监测分析,不能适应现代化管理的需要。有必要建立一个高效能的自动连续的监测网站,着重水体和水污染源的监视性监测,同时从物理、生物、生态等角度分析水体,并获得自动连续数据资料科学、完整的监测结果,及时、准确、有针对性、科学地为北京城市水环境管理服务。

(3) 建设高素质的水利职工队伍

现代化的企业管理、先进的水利设施需要高素质的职工队伍。因此,必须提高职工素质,抓好职工思想政治教育和职业道德教育,建好两支队伍。既要努力建设一支有政治头脑、经济

意识、科学文化知识的干部队伍,又要努力建设一支业务过硬、爱岗敬业的职工队伍。

5.3.3 充分利用雨洪资源

北京地区雨洪出境量年平均 7 亿 m^3 , 开发利用这部分水量, 不仅可以缓解北京市缺水局面, 还可以提高城市的防洪标准。另外, 对回补地下水、实现水资源的良性循环也很有益处。

北京城区可利用大桥、路面等进行雨水回收, 处理为中水用于绿化微喷、洗车、降尘等。北京平原地区可利用田面蓄水入渗, 沟、渠、坑、塘蓄水入渗和入渗井入渗等措施进行雨洪利用。北京市山区地势复杂、地面入渗条件差、产流快, 因此山区应以加强水土保持、涵养水源为重点, 修建雨水集蓄工程, 如小水窖、小水池、小塘坝、小渠道, 把雨洪收集起来, 以解决山区的人畜饮水和灌溉问题。

5.3.4 污水综合利用

根据目前国内外污水利用的经验, 城市污水经过处理在对健康无影响的情况下可作为城市的第二水源利用, 而且它的成本要比开发其它新的水资源要低, 约是海水淡化成本的 1/2。目前, 北京市年污水排放量约 14 亿 m^3 , 污水处理率已达 45% 以上。根据北京城市规划, 到 2010 年城市每天污水处理能力将达到 364 万 m^3 , 处理率将达到 95% 以上, 届时, 北京市就可每年增加再生水资源 13 亿 m^3 左右, 这一数字相当于北京市 2010 年在遇 50% 保证率下的水资源缺口。这些污水如果能够全部回用, 在很大程度上可以缓解北京用水危机。目前再生水有多种利用方式。

① 污水灌溉

经处理的污水可用于灌溉, 并且对于作物还具有肥料价值。有资料表明, 污水灌溉比清水灌溉一般能增产 15%。另外, 土壤还能去除污水中部分污染物质。据有关部门调查, 北京城近郊污水灌溉面积已达 14 万亩, 污水灌溉量为每年 0.95 亿 m^3 ; 远郊区污水灌溉面积达 103 万亩, 污水灌溉量为每年 1.6 亿 m^3 。但是, 污水灌溉前一定要对污水进行必要的处理, 去掉污水中对人体和作物有害的物质, 并且灌溉污水量不能超过农作物的需水量和田间持水量。

② 工业回用

国外将污水作为工厂和冷却用水已有多年的历史了。回用污水可以用于钢铁工业、化学工业、采矿工业、造纸厂和水泥厂, 特别是蒸汽发电工业、设备产品加工工业和采矿工业对污水回用潜力最大, 典型的应用包括冷却、加工和水力输渣。目前, 北京市工业年总用水量约 10 亿 m^3 , 其中冷却水约占全部工业用水的 50%。冷却水对水质要求不高, 经过处理的二级出水再加上某些化学处理, 就能满足冷却用水的水质要求, 因此, 北京回用污水作为冷却水的发展前景比较乐观。

③ 回灌地下水

人工补给地下水已经广泛地用来控制地面沉降、阻止海水入侵, 以及注入地下水库补充水资源的不足。但是, 如果用高质量的水回灌地下, 而最后在附近地区抽出, 那么会形成一个昂贵的循环, 导致水的成本过高。如果将污水适当处理后回灌地下, 不仅在技术上可行, 而且在经济上也合理。为了防止回灌水对含水层的污染, 回灌前必须对污水进行处理, 满足相应的指标。

④ 补充城市河湖用水

90 年代以来, 北京市用于补充城市河湖的淡水每年维持在 4000 万 m^3 左右。据预测, 2010 年市区河湖用水量将增至 3.50 亿 m^3 。在北京市水资源短缺的情况下, 这将加剧北京市城市河湖

用水与工农业用水及生活用水的争水矛盾。根据河湖补充用水的不同水质要求,利用处理过的污水补充河湖用水,既解决了污水的出路,又缓解了争水矛盾。

⑤ 补充市政用水

北京市园林灌溉、冲洗厕所、清洗车辆、喷洒道路、市政用水每年有上千万立方米,目前几乎都用清洁的自来水,如果分散建立起污水再利用系统,即中小道系统,不仅使城市对淡水的用量大为减少,而且使污水资源得到了充分利用,减少了水环境污染。目前北京市政用水回用每天约为5万吨,还有很大的利用空间。

5.3.5 节约用水

节水是控制用水需求、搞好水环境建设最有效的办法。在南水北调到来之前,我市没有新的水资源可以开发,主要靠节约用水,即便是南水北调的水到了北京,仍然要节约用水。

(1) 城镇生活节水

为了节约用水,今后应采取居民定额用水,大力普及使用节水型设备,如安装节水便器和节水沐浴器等。明令淘汰螺旋升降式铸铁水龙头、铸铁截止阀、进水口低于水面的卫生洁具水箱配件、上导向直落式便器水箱配件、每次冲水量超过9升的便器水箱。同时要求在新建项目中推广使用6升水冲洗便器系统。

城镇生活节水的关键在于唤起居民的节水意识,使他们清楚地了解当前北京市的缺水形势。全市修改中小学生的教材,把节水内容纳入中小学教材中。利用新闻媒体广泛进行节水宣传。在《北京电视台》、《北京日报》刊登节水有关文章、公益广告,印制节水系列宣传品,开展多种多样的群众性节水宣传活动。

(2) 工业节水

根据首都经济发展的要求,对工业采取定额用水,超计划累进加,逐步减低用水标准和对高耗水、高污染、产品过剩的用水大户限期完成技术改造,限制其生产,对达不到要求的坚决关、停、并、转,同时对于传统工业,要加强工业节水技术改造,建设节水型工业体系。

(3) 农业节水

北京市农业用水约占全市总用水量的53%左右,因此农业的节水潜力很大。在科学调整农业种植结构,加强灌溉用水管理的同时,建设节水灌溉工程,大力发展节水型农业。还可以结合其它一些农业节水措施,如覆盖保墒、节水型新品种的开发、节水抗旱剂的应用等。

(4) 降低自来水管网漏失率

城市供水管网每年漏失水量有几千万立方米,是对水的极大浪费。必须采取切实有效的措施,逐步更换老、旧、破、损地下自来水管线,减少管线漏水、跑水,降低产销差率。同时,要加强检修、抢修力量,及时处置突发事件,最大限度减少漏失水量。每年降低管网漏失率0.5%,可以减少漏失水量350万 m^3 。

第六章 结论与展望

6.1 研究结论

1) 潮白河水系上游水质良好, 有 41.1%的断面好于或符合水体功能要求。II 类、III 类和 IV 类水质达标河段比例分别 55.5%、12.5%和 0%。潮白河水系下游污染主要来源于上游牛栏山酒厂等排放的工业污水和下游顺义河段每年接纳的大量乡镇工业废水。另外, 潮白河下游因缺水而长期处于断流状态, 水体无任何稀释自净能力, 导致水污染加剧。

2) 永定河水系水质较好, 有 27.3%的监测断面好于或符合水体功能要求。II 类、III 类水质达标河段比例分别 11.1%和 100%。由于延庆县的生活污水和工业废水, 以及上游张家口和宣化地区大量工业废水和永定河流域农业面源污染物的排入, 造成永定河流域水质恶化, 使得永定河水系大部分监测断面不达标。

3) 蓟运河水系水质较差, 所有断面均不满足用水功能要求, 为 V 类或劣 V 水质。特别是下游各监测断面均有多项污染物超标, 且超标倍数大, 其中氮、磷污染尤其严重。污染来源于平谷县城排放的污水以及顺义县地区养殖场大量未经处理直接排放的污水。

4) 北运河水系水质最差, 所有断面均不满足用水功能要求, 为劣 V 类水质, 监测断面有多项污染物超标, 且超标倍数大, 这主要是因为北运河是北京城近郊区的主要排污河道, 接纳了北京城近郊区大量的城市污水, 所以水体被严重污染。

5) 大清河水系水质较差, 所有的断面均不满足水质功能要求, 为 V 类或劣 V 类水质, 上游水体主要污染物为重金属, 从上游往下游, 水体污染明显加重, 从单纯的重金属污染变为有机与无机污染并存的形式。点源污染主要来自于工业废水, 面源污染主要是石家庄市大量施用农药、化肥施用造成的, 另外还有山区采矿业和乡镇企业造成的水体污染。

6) 湖泊水质比较好, 基本符合水质功能的要求。除了密云水库、海子水库外, 其余的水库均受到不同程度的污染, 其中官厅水库、沙河水库水质最差, 为劣 V 类水质。

7) 氮磷污染指标之间相关性极为显著 ($P < 0.01$), 同时, 他们与有机污染指标以及某些重金属的相关性也极为显著, 这说明氮磷污染物与水体其它指标的关系非常密切。反应有机污染程度的指标 DO、 COD_{Cr} 、 BOD_5 之间相关性也极为显著。重金属之间的相关性各异, 不同的重金属与水体其它指标的相关性也不同。DO 与各指标之间基本呈负相关。各指标相关性不同, 体现了污染来源即存在共性又存在差异。

8) 应该结合模糊数学法和单指标评价法对北京市地表水质进行评价。当两种评价方法的评价结果相同时, 可以任意采用其中一种方法的评价结果。当模糊数学法好于单因子评价法评价结果, 且均符合水质功能要求时, 宜采用模糊数学法的评价结果。当模糊数学法评价结果符合水质功能要求, 而单因子评价法不符合时, 宜采用单因子评价法的评价结果。当模糊数学法好于单因子评价法评价结果, 且均不符合水质功能要求时, 也应该采用单因子评价方法的评价结果。

6.2 存在的问题及展望

受时间、经费、人力资源和技术条件等的限制,本研究还需要在以下几方面继续深化和拓展。

1) 本次采样具有明显的阶段性,而某一时期水样的测定结果不一定能完全代表全年或多年的情况,为保证研究的连续性和科学性,应进行多年的连续监测。在监测指标上,只选择了有代表性的常规指标进行了测定,对有些指标如生物学指标未进行监测。

2) 由于河流水质综合评价自身存在的特殊性,迄今没有一个被大家公认通用的、具有可比性的水质综合评价数学模型。各地各部门在进行水质评价时,选用模型的任意性很强,评价的结果不便于与其它地区水质状况进行比较,国家难以全面掌握水环境污染的时空分布态势,因此需要加强对河流水质综合评价方法的研究。本文只选择了模糊数学法和单指标评价方法进行了比较研究,由于时间和精力限制,对一些比较复杂的方法未曾考虑。

3) 水体指标之间的相关性研究,需要一个完善的过程。实验中地表水的成份随温度、pH值、季节等因素的不同而有差异,如果能把以上因素都考虑进去,进行系统的分析研究,结果将会更满意。

4) 由于时间及人力等条件的限制,在污染源研究方面不够深入,为了保证污染控制策略制定的全面、完善,应该对污染源进行更加详细的调查。

参考文献

1. 鲍全盛, 曹利军, 王华东. 密云水库非点源污染负荷评价研究. 水资源保护, 1997 (1): 8~11
2. 北京市城市节约用水办公室. 北京实现水资源可持续利用的对策. 节能与环保, 2002 (3): 25~27
3. 北京市环境保护科学研究院. 跨世纪的环境保护科学技术. 北京: 中国环境科学出版社, 2000, 6~10, 70~74
4. 北京市市政管理委员会. 搞好节水和水污染防治促进北京可持续发展. 城乡建设, 2002 (3): 4~5
5. 北京市用水调研课题组. 关于北京市水资源利用状况及有关建议. 北京节能, 1999 (3): 2~3
6. 北京水利编辑部编辑. 21世纪初期(2001~2005年)首都水资源可持续利用规划资料汇编. 北京: 地址出版社印刷厂印刷, 2001
7. 曹兵华. 北京市自来水厂地表水水源规划研究. 北京规划建设, 1999 (3): 37~38
8. 陈德春. 北京市郊区水环境污染现状及防治对策. 北京水利, 2000 (3): 38~39
9. 陈洪洲, 杜玲英. 北京市城市水环境现状与治理对策. 北京水利, 2003 (5): 38~39
10. 陈静生. 河流水质全球变化研究若干问题. 环境化学, 1992, 11 (2): 43~51
11. 陈静生. 陆地水水质变化研究国内外进展. 环境科学学报, 2000, 20 (1): 10~15
12. 陈利顶, 等. 蓟河流域地表水质时空变化特征分析. 2000 (6), 61~64
13. 陈淑敏, 楼劲英. 关于加强北京城市水环境科学化管理的建议. 北京水利, 2002 (5): 34~35
14. 陈晓宏, 江涛, 陈俊合. 水环境评价与规划. 广州: 中山大学出版社, 2001, 105~107
15. 邓树林. 干渴的北京. 今日中国(中文版), 2003 (12): 10~17
16. 丁桑岚. 环境评价概论. 北京: 化学工业出版社, 2001, 99~100
17. 杜霞, 武佃伟. 对官厅水库水环境治理问题的思考. 北京水利, 2004 (1): 30~32
18. 杜桂森, 等. 密云水库水质现状及发展趋势. 环境科学, 1999, 20 (2): 110~112
19. 范瑜, 师培. 标准类别指数法在地表水环境质量评价中的应用. 江苏环境科技, 2001, 14 (3): 20~22
20. 高学民. 长江沿程河湖及城市内河水水质评价与模拟研究: [硕士学位论文]. 北京: 北京大学, 2000
21. 桂华. 悬浮物和化学需氧量 COD_{Cr} 的相关性研究. 环境科学与技术, 1997, 1 (2): 6
22. 郭玮. 国外水资源开发利用战略综述. 农业经济问题, 2001 (1): 58~62
23. 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法(第三版). 北京: 中国环境科学出版社, 1998
24. 国家环保总局 国家质量监督检验检疫总局. GB3838-2002. 地表水环境质量标准. 北京: 中国环境科学出版社出版. 2002-04-28
25. 郝仲勇, 刘洪禄. 北京市水资源短缺及其对策浅析. 北京水利, 2000 (5): 17~18
26. 黄鸽, 陈卓如, 王丹青. 城市缺水问题的对策探讨. 环境保护, 2001 (11): 14~15

27. 黄 兴. 太湖流域(苏州片)水质同步监测调查与评价. 环境监测管理与技术, 1999, 11 (4)
28. 贾 利. 淮河流域污废水中DO与NH₃-N、COD_{Mn}相关关系探讨. 中国环境监测, 1995, 11 (5): 9~103
29. 蒋火华, 等. 综合污染指数评价与水质类别判定的关系. 中国环境监测, 1999, 15 (6): 46~48
30. 蒋火华, 梁德华, 吴贞丽. 河流水环境质量综合评价方法比较研究. 干旱环境监测, 2000, 14 (3): 139~142
31. 井艳文, 廖日红, 楼春华. 京郊水环境建设综述. 北京水利, 2002 (1): 19~20
32. 兰文辉, 安海燕. 环境水质评价方法的分析与探讨. 干旱环境监测, 2002, 16 (3): 167~169
33. 梁 涛, 张秀梅, 章 申. 官厅水库及永定河枯水期水体氮、磷和重金属含量分布规律. 地理科学进展, 2001, 20 (4): 341~346
34. 梁德华, 蒋火华. 河流水质综合评价方法的统一和改进. 中国环境监测, 2002, 18 (2): 63~66
35. 廖清州, 宁 燕. BOD₅与COD的理论相关及其应用, 广西化工, 2000, 29 (40): 48~49, 55
36. 廖日红, 李其军. 密云水库流域可持续发展战略研究. 中国水利, 2003 (8): 22~23
37. 廖文根, 李锦秀, 彭 静. 我国水资源保护规划中若干定量化问题的探讨. 水力发电, 2002 (5): 8~10
38. 刘晨阳. 2002年北京市水情分析. 北京水利, 2003 (3): 29~30
39. 刘汉桂. 以建设一流城市为目标制定首都水资源可持续利用规划. 北京水利, 2000 (6): 1~4
40. 刘建生. 潮白河排污情况调查. 北京水利, 1999 (3): 22~23
41. 陆雍森. 环境评价(第一版). 上海: 同济大学出版社, 1999, 138
42. 罗海江, 朱建平, 蒋火华. 我国河流水质评价污染因子选择方案探讨. 中国环境监测, 2002, 18 (4): 51~55
43. 马 梅, 王子健. 官厅水库和永定河沉积物中多氯联苯和有机氯农药的污染. 环境化学, 2001, 20 (3): 238~243
44. 潘 峰, 付 强, 梁 川. 模糊综合评价在水环境质量综合评价中的应用研究. 环境工程, 2002, 20 (2): 58~61
45. 庞尔鸿. 改善北京城市河湖水环境的几个问题. 北京规划建设, 1999 (1): 35~38
46. 彭珂珊. 21世纪中国水资源危机. 水利水电科技进展, 2000, 20 (5): 13~16
47. 钱 易. 对北京水资源保护战略的思考. 北京水利, 2001 (6): 1~3
48. 秦秀英, 等. 密云水库环境的现状和变化趋势. 中国水产科学, 1998, 5 (4): 57~62
49. 石 虹. 浅谈全球水资源态势和中国水资源环境问题. 水土保持研究, 2002, 9 (1): 145~150
50. 孙彩琴. 嘉峪关市地面水水质现状评价. 甘肃环境研究与监测, 2001, 14 (4): 239~240
51. 谭奇林. 北京水源地保护的意義及措施. 河北工程技术高等专科学校学报, 2002 (2): 5~7
52. 万育生, 靳 顶. 北京及上游周边地区水资源问题对策研究. 水资源保护, 2002 (1): 11~14
53. 王 英, 刘岚芳. 水, 北京的缺口有多大. 北京统计, 2001 (6) (总第136期): 18~19
54. 王成梓, 伊政伟. 水资源危机与国际争端. 东北水利水电, 2003, 21 (1) (总222期): 17~19
55. 王晓燕, 等. 北京密云水库流域非点源污染现状研究. 环境科学与技术, 2002, 25 (4): 1~3
56. 温 宏, 杜凤毅, 王 荣. 关于防止污水污染北京水系问题的探讨. 市政技术, 2003, 21

- (9): 310~314
57. 颜昌远. 水惠京华——北京水利五十年. 北京: 中国水利水电出版社, 1999, 3~21
58. 伊利军, 隗玉霞. 淄博市地表水水质现状评价. 山东建材学院学报, 2001, 15 (2): 186~188
59. 于晓川, 赵国杰. 中国水资源管理问题与资产化管理. 海河水利, 2001 (6): 3~5
60. 袁博宇. 官厅水库水质现状及趋势分析. 北京水利, 2000 (5): 29~31
61. 张宏才, 张汉杰, 姚 斌. 关于地面水中COD_{Mn}与BOD₅相关性问题的商榷. 江苏环境科技, 1999 (1): 39~40
62. 张 敏. 模糊数学法在地面水质综合评价中的应用. 山东环境, 2000年增刊: 92~93
63. 张学秀, 张为华. 北京市饮用水源地的现状分析. 北京水利, 2002 (1): 23~25
64. 张玉森. 北京实现水资源可持续利用的对策. 节能与环保, 2002 (3): 25~27
65. 张自杰. 环境工程手册 (水污染防治卷). 北京: 高等教育出版社, 1996, 42~44, 203~205
66. 赵晓维. 北京城市河湖环保清淤新技术. 北京水利, 2000 (1): 19~20, 31
67. 赵忠海. 北京市顺义区主要河流污染情况的初步调查. 北京地质, 2001, 13 (4): 36~41
68. 郑桂森, 吕金波. 北京地区的水资源. 中国地质, 2001, 28 (4): 45~48, 37
69. 中国自然资源丛书编撰委员会. 中国自然资源丛书 (北京卷). 北京: 中国环境科学出版社, 1995, 39~46
70. 朱珍华, 邵志清. 形势严峻的北京水资源. 首都经济, 2003 (7): 27~28
71. 庄志东. 水污染与防治, 环境教育. 1999 (S1): 19~25
72. 邹玉芬. 适应首都建设需要、加强地表水的经营和管理. 北京规划建设, 1994 (3): 37~39
73. Aguilera P A, et al. Application of the kohonen neural network in coastal water management: methodological development for the assessment and prediction of water quality. Water Research, 2001, 35 (17): 4053~4062
74. Bhuyan S J, et al. An integrated approach for water quality assessment of a Kansas watershed. Environmental Modelling and Software, 2003, 18 (5): 473~484
75. Camusso M, et al. Ecotoxicological assessment in the rivers Rhine (The Netherlands) and Po (Italy). Aquatic Ecosystem Health & Management, 2000, 3 (3): 335~345
76. Demuyneck C, et al. Evaluation of pollution reduction scenarios in a river basin: application of long term water quality simulations. Water Science and Technology, 1997, 35 (9): 65~75
77. Ellis K V. Surface water pollution and its control. London: Macmillan Press LTD, 1989: 15
78. Gueguen C, et al. Water toxicity and metal contamination assessment of a polluted river: the Upper Vistula River (Poland). Applied Geochemistry, 2004, 19 (1): 153~162
79. Hatan S, Kumar A. Environmental management of effluents: a case study. Fuel and Energy Abstracts, 1997, 38 (6): 440
80. James I D. Modeling pollution dispersion, the ecosystem and water quality in coastal waters: a review. Environmental Modeling & Software, 2002, 17 (4): 363~385
81. Jeffrey P, et al. Evaluation methods for the design of adaptive water supply systems in urban environments. Water Science and Technology, 1997, 35 (9): 45~51
82. Kamal, et al. Assessment of pollution of the river Buriganga, Bangladesh, using a water quality

- model. *Water Science and Technology*, 1999, 40 (2): 129~136
83. Krenbel P A, Novotny V. *Water quality management*. New York: Academic Press, 1980: 243
84. Lu Ruei-Shan, Lo Shang-Lien. Diagnosing reservoir water quality using self-organizing maps and fuzzy theory. *Water Research*, 2002, 36 (9): 2265~2274
85. Lundqvist J. *A Global Perspective on Water and the Environment. Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmospheres*, 2000, 25 (3): 259~264
86. Mailhot Alain, et al. A watershed-based system for the integrated management of surface water quality: the GIBSI system. *Water Science and Technology*, 1997, 36 (5): 381~387
87. McAvoy D C, et al. Risk assessment approach for untreated wastewater using the QUAL2E water quality model. *Chemosphere*, 2003, 52 (1): 55~66
88. Meybeck M, Helmer R. The quality of rivers: from pristine stage to global pollution. *palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology (Global and Planetary Change)*, 1989, 75: 283~309
89. Novotny V. integrated water quality management. *Water Science and Technology*, 1996, 33(4-5): 1~7
90. Petty J D, et al. An approach for assessment of water quality using semi permeable membrane devices (SPMDs) and bioindicator tests. *Chemosphere*, 2000, 41 (3): 311~321
91. Qian, Song S. Water quality model structure identification using dynamic linear modeling: river cam case study revisited. *Water Science and Technology*, 1997, 36 (5): 27~34
92. Roux D J, Kleynhans C J, Thirion C. Biological monitoring and assessment of rivers as a basis for identifying and prioritizing river management options. *Water Science and Technology*, 1999, 39 (10-11): 207~210
93. Simeonov V, Stratis JA, Samara C, et al. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Research*, 2003, 37 (17): 4119~4124
94. Varis Olli. Water quality models: Typologies for environmental impact assessment. *Water Science and Technology*, 1996, 34 (12): 109~117

致 谢

本论文是在张宝莉副教授和李国学教授的悉心指导下完成的。从论文的选题、试验设计及实施、数据分析，都得到了二位老师的精心指导和帮助。在论文写作期间，二位导师在百忙之中抽出时间一字一行的为我批改论文，让我非常感动。三年来两位老师的言传身教、悉心指导、关心照顾使我终身难忘。特别是张宝莉老师在做人做事方面的教诲，李国学老师踏实严谨的工作作风，将永远激励鼓舞我未来的工作和学习。在此，向两位老师表示衷心的感谢！

在试验的进行过程中，得到了本系刘英老师、陈京生老师的指点和帮助，同时也得到了李莲芳、牛邵辉、赵峰君、章奎、张寿川、刘春祥的帮助，还得到了梅小乐、卢俊平、王迎春的帮助，在此表示感谢！

感谢在学业上给我指点的老师们，他们是沈德中教授、张从教授、夏立江副教授、李花粉副教授、孟凡桥副教授。

三年的学习生活中，得到了李玉春、丁湘蓉、李彦明、任智慧的关怀和帮助。在论文的写作中，得到了何英、刘学燕的帮助，表示深深的感谢！

最后由衷的感谢王百乐、刘畅、许晓英、师宴荣在精神和生活上的支持！

值此论文完成之际，向所有关心和帮助过我的老师、同学、朋友和亲人表示我最诚挚的谢意！

潘术香

2004年6月

附录

单位: 水温℃, pH无量纲, Ec us/cm, 其余项目均为 mg/L

采样地点	水温	NH ₃ -N	NO ₃ -N	总磷	总氮	COD	BOD	DO	pH	Ec	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd
北甸子桥	6	0.345	3.93	0.00	4.8	4	2	10	8	518	1.67	0.03	0.01	0.01	0.00	0.03	0.003
石匣	9	0.387	3.99	0.00	5.1	8	2	11	8	491	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.003
黑龙潭	8	0.274	3.15	0.00	4.0	0	0	11	8	490	0.32	0.01	0.02	0.00	0.00	0.03	0.005
汤河口镇	8	0.333	2.63	0.00	3.1	0	0	11	8	497	0.29	0.01	0.01	0.00	0.00	0.04	0.005
密云水库	9	0.370	1.22	0.00	2.0	4	3	11	8	354	0.05	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.003
溪翁庄镇	9	0.336	3.73	0.00	4.9	2	1	12	9	343	0.07	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.003
养山村	19	0.223	2.30	0.00	2.9	9	3	13	8	633	0.13	0.02	0.01	0.01	0.00	0.06	0.007
檀营满族蒙古族乡	12	0.279	0.57	0.00	1.2	7	1	13	8	341	0.12	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.003
河南寨西	3	0.733	0.58	0.04	1.6	44	1	12	9	273	0.15	0.05	0.01	0.00	0.01	0.01	0.004
金海湖	6	0.346	1.57	0.01	2.1	5	0	13	8	368	0.14	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.005
平谷镇	10	2.220	2.18	0.27	4.7	22	6	3	7	711	0.33	0.33	0.01	0.01	0.00	0.01	0.008
英城桥	10	19.62	4.06	2.51	29	86	43	1	7	1276	0.46	0.29	0.02	0.01	0.00	0.03	0.006
牛栏山环岛桥	18	18.05	1.41	1.68	30	80	25	3	7	1123	0.30	0.08	0.04	0.00	0.00	0.06	0.006
西范各庄	18	0.506	0.28	1.95	5.9	110	70	5	7	557	0.24	0.09	0.02	0.00	0.01	0.03	0.005
小中河桥	4	1.143	0.48	0.61	12	88	31	10	7	644	0.18	0.19	0.01	0.02	0.10	0.03	0.004
珍珠湖	4	0.195	1.93	0.00	2.3	12	1	6	8	491	0.31	0.01	0.10	0.02	0.00	0.05	0.001
雁翅镇	13	0.590	1.45	0.02	2.1	11	1	8	8	661	0.33	0.00	0.04	0.02	0.01	0.04	0.000
雁翅	14	0.524	1.26	0.00	2.2	23	1	8	8	676	0.39	0.01	0.32	0.02	0.00	0.02	0.000
下苇甸	15	0.419	1.26	0.01	1.9	11	2	10	8	667	0.12	0.00	0.03	0.01	0.00	0.05	0.000
永引入水口	14	0.374	1.21	0.75	1.8	6	3	11	8	650	15.47	0.32	0.11	0.03	0.03	0.06	0.002
八大处	14	0.346	1.23	0.05	1.6	4	2	11	8	672	0.44	0.00	0.03	0.01	0.00	0.02	0.000
十王坟	15	0.337	1.16	0.02	1.6	22	3	9	9	678	0.07	0.00	0.02	0.01	0.00	0.04	0.001
玉渊潭	15	0.570	1.16	0.03	2.0	16	4	9	8	687	0.15	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.002
南如意门	16	0.336	0.98	0.02	1.5	13	2	10	8	542	0.28	0.00	0.05	0.01	0.00	0.05	0.000
309 医院	15	0.294	0.42	0.05	0.8	11	3	10	8	325	0.30	0.00	0.12	0.01	0.00	0.00	0.000
温泉	15	0.330	0.51	0.05	1.0	11	1	10	9	327	0.10	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.000
阳坊	15	0.465	0.54	0.04	2.0	8	2	10	9	316	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.000
西辛	15	0.465	0.96	0.01	2.0	7	1	9	8	320	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.001
兴寿镇	14	0.414	0.92	0.02	2.0	2	0	10	8	317	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.000
西范各庄	14	0.456	0.51	0.11	1.0	9	2	10	8	316	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.000

附录续表 1

采样地点	水温	NH ₃ -N	NO ₃ -N	总磷	总氮	COD	BOD	DO	pH	Ec	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd
永宁镇	8	1.740	8.66	0.00	11	7	3	8	8	510	0.16	0.02	0.01	0.01	0.00	0.06	0.002
老君堂	8	0.550	1.91	0.02	2.5	19	4	8	7	465	0.14	0.04	0.07	0.01	0.01	0.01	0.000
延庆五中	10	0.665	7.20	0.01	80	6	5	8	8	460	0.20	0.01	0.02	0.01	0.00	0.03	0.000
大路	2	1.731	1.64	0.45	55	42	18	13	8	538	0.21	0.03	0.03	0.01	0.00	0.02	0.000
五棵树	3	0.504	4.71	0.14	70	44	15	11	8	465	0.12	0.01	0.01	0.01	0.00	0.05	0.000
小汤山	18	4.400	6.25	0.93	13	31	11	1	8	793	0.20	0.05	0.05	0.01	0.01	0.01	0.010
沙河水库	5	20.77	5.88	2.26	34	42	15	12	8	1105	0.04	0.13	0.01	0.01	0.01	0.01	0.000
西泗上	8	19.18	0.55	2.44	29	81	34	11	8	1134	0.13	0.24	0.02	0.01	0.00	0.01	0.000
孙河大桥	18	27.26	3.43	3.92	41	103	43	0	8	1081	0.35	0.28	0.05	0.01	0.00	0.02	0.000
琉璃河桥	15	2.780	0.56	0.60	5.8	81	29	0	7	1219	1.22	0.07	0.16	0.20	0.17	0.07	0.010
窦店田家村	14	21.77	0.00	3.00	38	438	123	0	7	1682	0.71	0.11	0.23	0.02	0.08	0.08	0.009
大营村	15	21.77	0.61	2.78	30	154	20	9	8	1568	0.47	0.06	0.13	0.05	0.12	0.07	0.010
磁家务 2#桥	13	0.545	1.74	0.02	0.4	15	1	8	8	737	1.20	0.04	0.09	0.03	0.32	0.05	0.007
陈家台	14	0.191	1.67	0.00	0.9	13	2	10	8	411	0.27	0.01	0.04	0.00	0.07	0.04	0.006
山川	14	0.237	2.18	0.01	3.3	2	2	11	8	462	0.00	0.00	0.03	0.00	0.06	0.02	0.007
霞云岭	13	0.276	2.44	0.00	2.5	11	1	12	8	415	0.00	0.01	0.04	0.00	0.08	0.05	0.006
霞云岭水库	14	0.265	3.00	0.01	3.5	7	2	10	8	422	0.07	0.04	0.10	0.01	0.10	0.00	0.005
拒马河上游	15	0.210	1.71	0.00	2.8	9	1	9	8	387	0.08	0.01	0.05	0.00	0.09	0.01	0.000
西河桥	16	0.231	1.62	0.00	1.9	2	1	11	8	392	0.19	0.01	0.04	0.00	0.07	0.04	0.004
穆家口	16	0.258	2.07	0.00	3.2	20	1	12	9	386	0.07	0.01	0.04	0.01	0.09	0.02	0.004
张坊镇	16	0.509	1.20	0.49	3.6	36	2	10	9	342	7.02	2.48	0.65	0.15	0.11	0.14	0.010
拒马河下游	17	0.292	4.05	0.00	5.7	7	1	9	8	473	0.34	0.04	0.09	0.03	0.08	0.00	0.005
小陶村	17	17.16	0.74	1.82	20	85	11	12	9	1329	0.34	0.05	0.12	0.03	0.13	0.13	0.008
二间房	18	29.14	0.52	2.76	31	120	34	7	9	1379	0.11	0.05	0.12	0.02	0.00	0.08	0.008
葫芦堡	17	6.170	0.37	1.23	8.2	267	14	11	9	1082	0.00	0.04	0.09	0.02	0.00	0.02	0.005
张家厂	16	12.34	0.51	1.47	15	55	8	2	8	1217	0.75	0.07	0.16	0.02	0.00	0.06	0.007
长辛店	15	29.00	0.17	4.20	33	201	114	0	8	1391	0.36	0.23	0.48	0.05	0.00	0.05	0.008
大兴黄村镇	14	42.40	0.01	5.42	46	182	66	1	8	1990	0.44	0.09	0.20	0.07	0.00	0.08	0.009
南大红门桥	15	39.36	0.11	5.27	32	175	55	0	8	2040	0.21	0.08	0.19	0.05	0.00	0.09	0.008
长子营镇	15	43.44	0.19	4.93	49	147	51	0	8	1752	0.82	0.18	0.38	0.03	0.00	0.08	0.009
采育镇	16	38.94	0.34	5.17	35	179	33	12	9	1900	0.70	0.14	0.31	0.04	0.00	0.06	0.009
凤河营桥	19	41.52	0.55	5.42	44	140	33	7	8	1320	0.49	0.18	0.37	0.03	0.00	0.05	0.011
马头	25	8.979	2.59	1.51	40	58	15	12	9	1253	0.12	0.05	0.33	0.00	0.09	0.05	0.041

附录续表 2

采样地点	水温	NH ₃ -N	NO ₃ -N	总磷	总氮	COD	BOD	DO	pH	Ec	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd
榆树庄	27	8.026	5.31	1.28	47	49	7	10	9	1261	0.17	0.04	0.32	0.01	0.08	0.10	0.043
夏店	25	15.04	2.26	1.77	61	64	10	5	8	1286	0.13	0.05	0.34	0.00	0.07	0.14	0.007
小圣庙	24	13.93	4.04	2.46	17.8	59	15	3	8	1302	0.25	0.13	0.30	0.00	0.07	0.08	0.005
王家场	24	11.88	3.07	2.26	45.5	50	7	2	8	1324	0.27	0.04	0.23	0.00	0.05	0.09	0.006
高碑店	36	5.112	7.78	1.29	38.7	61	5	6	8	1263	0.50	0.02	0.12	0.01	0.07	0.11	0.007
三间房	26	4.981	7.56	1.04	20.3	82	21	6	8	1049	2.80	0.07	0.15	0.01	0.08	0.14	0.008
管庄	24	8.633	10.5	1.95	19.8	67	11	5	8	1198	1.34	0.04	0.23	0.01	0.24	0.06	0.005
通州	22	10.96	7.79	1.10	28.6	152	21	4	8	975	5.50	0.15	0.56	0.06	0.06	0.09	0.004
皮村	23	15.87	0.65	1.90	18.3	70	5	2	8	1081	0.63	0.10	0.18	0.00	0.07	0.09	0.005
西牛庄	22	10.62	0.41	2.18	11.2	64	10	2	8	1148	0.23	0.20	0.42	0.00	0.04	0.05	0.004
小中河中游	23	10.23	0.26	1.54	11.0	61	21	0	8	1200	0.16	0.14	0.09	0.00	0.63	0.13	0.007
沙窝	21	17.32	0.09	2.86	17.8	219	31	0	8	1157	16.75	0.29	0.77	0.08	0.10	0.12	0.006
三岔河	20	14.60	0.60	1.99	16.3	129	19	0	8	1111	3.07	0.12	0.41	0.02	0.16	0.07	0.005
酒仙桥	20	5.898	1.36	0.42	8.47	83	10	4	8	583	4.72	0.12	0.44	0.01	0.32	0.14	0.007
坝河上游	21	5.207	1.65	0.23	15.4	65	6	3	8	231	7.05	0.14	0.48	0.02	0.05	0.07	0.004
花木	14	11.39	3.04	0.00	18.4	5	2	9	8	448	0.79	0.02	0.31	0.00	0.05	0.00	0.001
西四渡河	16	0.564	0.67	0.00	1.35	2	0	7	8	457	0.35	0.00	0.29	0.01	0.06	0.00	0.001
秦家东庄	18	0.327	1.45	0.00	2.01	11	3	8	8	476	0.31	0.06	0.10	0.00	0.05	0.04	0.002
北宅	16	0.407	2.57	0.00	3.46	5	1	9	8	472	0.52	0.01	0.27	0.00	0.08	0.04	0.002
红军庄	16	0.421	1.63	0.00	3.19	7	2	7	8	445	0.16	0.00	0.21	0.00	0.04	0.04	0.002
口头	17	0.452	1.44	0.00	2.86	11	1	8	8	481	0.10	0.00	0.31	0.00	0.06	0.00	0.001
东四渡河	18	0.809	2.20	0.00	3.52	7	3	9	8	483	0.32	0.01	0.24	0.04	0.05	0.04	0.003
六渡河	16	0.497	2.40	0.00	3.14	7	2	8	8	503	0.06	0.00	0.17	0.00	0.04	0.04	0.002
柏崖厂	19	2.066	1.50	0.00	4.08	34	4	9	8	479	2.05	0.07	0.69	0.01	0.11	0.04	0.000
范崎路桥	19	0.555	1.41	0.00	2.35	5	0	10	8	438	0.04	0.00	0.87	0.00	0.05	0.03	0.001
莲花池	19	0.562	1.63	0.00	2.67	1	0	9	9	390	0.06	0.00	0.93	0.00	0.06	0.03	0.002
长园	18	0.346	1.73	0.00	2.43	2	1	12	9	406	0.02	0.00	0.92	0.00	0.06	0.06	0.003
神堂峪	18	0.453	1.85	0.00	2.94	5	1	9	8	396	0.06	0.00	1.14	0.00	0.07	0.03	0.002
雁栖湖	20	0.492	0.78	0.00	1.68	7	1	9	8	424	0.03	0.00	0.91	0.00	0.05	0.04	0.002
南法信镇	21	13.47	0.53	2.19	15.6	166	51	0	8	1370	0.77	0.26	0.88	0.01	0.06	0.04	0.005
小中河桥	20	13.77	0.15	2.33	14.9	162	66	0	8	1128	0.36	0.20	0.96	0.00	0.11	0.04	0.004
沙子营	19	21.37	0.20	2.08	23.4	162	35	0	8	1015	1.53	0.29	1.56	0.01	0.12	0.05	0.004
清河中游	19	18.83	0.25	1.63	21.0	144	30	1	8	1025	2.42	0.23	1.40	0.02	0.11	0.05	0.005

附录续表 3

采样地点	水 温	NH ₃ -N	NO ₃ -N	总 磷	总 氮	COD	BOD	DO	pH	Ec	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd
马连洼	19	6.822	0.51	0.20	7.64	48	1	3	8	809	0.28	0.02	0.98	0.00	0.08	0.04	0.003
北京体育大学	18	13.09	0.38	0.63	14.1	73	3	1	8	1159	0.14	0.09	0.82	0.00	0.18	0.05	0.004
南各庄	18	99.92	15.8	0.00	119	64	1	3	7	3030	18.40	0.70	50.94	0.03	0.05	0.07	0.008
马驹桥	20	39.38	0.13	1.95	41	144	3	0	8	1780	0.81	0.06	0.94	0.02	0.14	0.05	0.005
南堤村	21	30.62	0.33	2.38	31.6	399	181	0	7	1588	1.73	0.09	0.85	0.01	0.08	0.06	0.005
样田村	21	28.06	0.20	2.02	28.9	132	1	0	8	1381	0.95	0.10	1.15	0.01	0.06	0.05	0.004
仓头	22	29.08	0.20	2.11	32.3	162	6	0	8	1488	0.85	0.07	0.92	0.01	0.06	0.05	0.004
南大红门	22	29.97	0.08	1.34	32.0	144	34	0	8	1900	0.42	0.07	2.70	0.02	0.10	0.05	0.005
北磁各庄	24	26.51	0.05	1.38	27.4	155	21	0	8	1732	0.58	0.08	1.06	0.01	0.08	0.06	0.005
肖村	24	40.75	0.12	3.91	57.6	517	12	1	8	1702	1.46	0.05	1.39	0.04	0.06	0.05	0.004
富源庄	24	39.08	0.16	2.13	54.6	182	39	1	8	1674	1.36	0.12	1.26	0.00	0.00	0.05	0.005

作者简介

作者姓名：潘术香 出生年月：1976年9月 性别：女
出生地：黑龙江省牡丹江市 专业：环境工程 民族：汉
主要研究方向：污染物治理及环境管理 学历：硕士
毕业学校：中国农业大学资源与环境学院

科研情况

参与了北京市重大自然科学基金项目“北京地区地表水环境激素污染状况与防治对策研究”(编号：8000001)，在其中承担了北京市主要水系河流水质污染评价任务。

潘术香, 李莲芳, 张宝莉等, 利用标准类别指数法评价北京市主要河流水系. 农业环境科学学报, 2004