

海河流域水环境变化规律 与风险评价

刘静玲 杨志峰 曾维华 等 著
李迎霞 马牧源



科学出版社

海河流域水环境变化规律 及风险评价

刘静玲 杨志峰 曾维华 等 著
李迎霞 马牧源

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书基于流域水资源短缺、水环境恶化和生态系统退化交互作用机理,揭示了海河流域特征有机、无机以及新型污染物变化规律,提出了耦合水质-水量-水生态的流域水环境风险评价模型与方法体系,创建了在流域、子流域和生态单元不同尺度上流域水环境风险评价理论框架,并在海河流域、滦河流域和河口不同尺度下进行了案例研究;建立了流域湿地生态系统健康评价体系,并对城市水系和白洋淀水生态健康进行了评价;探讨了海河流域地下水水质、水量变化、对生态环境的影响及对策,提出了海河流域水环境管理模式,对流域水资源持续利用具有重要意义。

本书可供环境科学与工程、生态学、水资源管理和水利学等领域的研究人员以及高等院校相关专业的师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

海河流域水环境变化规律及风险评价/刘静玲等著. —北京:科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-034437-3

I. ①海… II. ①刘… III. ①海河-流域-水环境-研究 IV. ①X321.221

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 106675 号

责任编辑:彭胜潮 闵敬淞 / 责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012 年 6 月第一次印刷 印张:15 1/2 插页:2

字数:300 000

定价:59.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书出版得到以下项目资助

- **国家重点基础研究发展计划(973)项目**

海河流域水环境演化机理与水污染防治基础(2006CB403403)

- **国家水体污染控制与治理科技重大专项**

海河流域水污染综合治理与水质改善技术与集成示范

(2008ZX07209-009)

- **长江学者和创新团队发展计划(IRT0809)**

前 言

海河流域在全国经济社会发展格局中占有十分重要的战略地位,也是我国水资源最为紧缺的地区,具有人口密度大、流域面积最小、人均水资源量最低的特点,这些特点决定了海河流域水环境的复杂性和特殊性,面临着高强度人为干扰下水环境风险加剧的挑战,因此,流域尺度的水环境风险评价理论与方法既是亟待解决的科学问题,也是国家流域水环境管理急需的决策依据和理论支持。

流域水环境管理国际大趋势已经由污染物末端与突发事件管理转向基于生态和健康的风险管理。海河流域水环境风险源包括工业风险源(采矿业和污染型工业)、农业风险源(种植业、畜牧业和水产养殖业)、生活风险源(生活污水和城镇化)和水利工程风险源等。在流域尺度下明晰水环境质量与生态系统健康交互作用机理和时空变化规律,是实现流域水环境安全和生态健康的前提和理论支撑。

本书提出了耦合水质-水量-水生态的流域水环境风险评价理论模型与方法体系,基于流域水资源短缺、水环境恶化和生态系统退化交互作用机理,创建了在海河流域、子流域和生态单元不同尺度上的流域水环境风险评价理论框架和概念模型;定量地描述和评估了环境污染和人为活动等引起的水环境变化对流域生态系统及其组分产生不利作用的可能性和时空变化过程,明确了流域水环境风险评价程序,建立了综合指标评价模型和相对风险模型,并在海河流域、子流域和生态单元不同尺度下进行了模型验证以及不确定性和敏感性分析,对海河流域水环境风险源、驱动因素和胁迫因子进行了定量计算,确定了水环境风险源和生态风险阈值。

全书共分为8章。第1章辨识了海河流域水资源现状及流域主要水环境问题,阐明海河流域水环境变化规律与风险评价研究的理论基础。第2章针对海河流域水环境问题,在识别流域污染特征与关键因子基础上,对流域水环境特征污染物、新型污染物进行筛选,研究其环境行为与变化规律,明晰了海河流域水环境特征、机理及其变化规律。第3章研究了海河流域典型生态单元河流、湖泊、水库、河口和城市典型污染物的时空变化,并建立了水库安全评价方法和预警模型。第4章通过流域复合型污染的环境模拟,进一步建立了二元水循环驱动下的流域水环境仿真模型及城市水代谢系统动态仿真模型,以北京市通州区为例计算了水环境承载力。第5章通过对流域内风险源的诊断识别、胁迫因子筛选以及受体和终点分析,建立了不同尺度下流域水环境风险评价模型,并对海河流域、滦河子流域和河口进行了风险评估,探讨了风险驱动因素和空间分异规律。第6章构建了流域湿地生态系统健康评价体系,并对城市水系和白洋淀水生态健康进行了评价,提出了海河流域水环境管理模式。第7章探讨了海河流域地下水水质、水量变化、对生态环境的影响及对策。第8章总结了海河流域水环境变化及风险,展望了研究前沿与发展趋势。

本书的写作分工如下:

前言 刘静玲

第1章 刘静玲、李永丽、陈秋颖

第2章 周怀东、赵高峰、马牧源

第3章 刘静玲、李迎霞、刘晓波、曹治国、李永丽、苏俐雅
张婷、王滨滨、陈秋颖、刘丰

第4章 曾维华、柴莹

第5章 杨志峰、李永丽、陈秋颖、刘静玲

第6章 马牧源、张宝、王雪梅、张凤玲、刘静玲

第7章 刘静玲、王滨滨

第8章 刘静玲、杨志峰、曾维华、李迎霞、马牧源

统稿 刘静玲、杨志峰、曾维华、马牧源

本研究得到了水利部海河流域水资源委员会、保定市环境保护局提供的部分资料和基础数据,并得到 973 项目首席科学家王浩院士、水利部海河流域水资源委员会曹寅白总工程师和水保局林超副局长的真诚帮助! 科学出版社的彭胜潮先生为本书的出版付出了辛勤的努力,在此一并致以我们衷心的感谢!

本书研究成果以国家“973”项目“海河流域及典型单元水环境演化机理”(2006CB403403)、国家水体污染控制与治理科技重大专项“海河流域水污染综合治理与水质改善技术与集成示范”(2008ZX07209-009)和“长江学者和创新团队发展计划”(IRT0809)为依托,在长达 6 年的科研攻关过程中,吸收了课题的申报、中期汇报和项目验收各环节中众多专家的建议,得到了北京师范大学环境学院其他科研创新团队无私的帮助! 经过无数个昼夜、周末和节假日的集体奋战,不同专业背景科学灵感和思想火花的碰撞,积淀的集体智慧经过梳理和提炼形成本书。本书的部分创新成果还得到“973”首席科学家王浩院士的肯定,作为海河“973”项目 3 个突出重大成果参与科技部组织的 2010 年 10 月项目验收,该项目以资源环境领域排名第一的优异成绩通过验收。

流域水环境风险与管理的研究与应用已经成为国家“十二五”期间急需解决的战略重点,笔者认为应该在吸纳国际最新成果基础上,尊重流域自然与复合生态系统多样性与发展规律,树立为自然和公众健康进行流域水环境安全管理的理念,增强水环境风险意识,切实提高流域水环境管理的科学性和前瞻性,探求流域水环境问题解决的根本途径。这不仅需要开展跨学科的科技攻关,独立自主地发挥中国人的智慧与创新潜能去探索最佳解决方案,更需要科学家与政府、企业和公众各方共同的努力。而高校教师教学与科研的根本任务在于加强理、工和社会科学的交叉与融合,为创新人才提供资源平台与发挥空间,构建教学-科研-管理一体化创新平台,为流域水环境危机的解决进行复合型创新人才的战略储备。

衷心希望我们阶段性的研究成果能够启发和推动流域水环境风险理论、方法与技术的系统研究和创新,应对全球环境变化背景下中国流域管理面临的挑战,并引发全社会对流域水环境管理急需解决的系列科学问题的关注与探索。

本专著完成初稿之后,笔者曾经在美国康奈尔大学游学 3 个月,在风景如画的校园欣

赏大自然的金秋馈赠,静下心来回顾自己的科研历程,从博士、博士后、科研骨干、子课题负责人到课题组长,从作具体研究、科研组织到课题顶层设计,一路走来,不断挑战自我能力的极限,可谓酸甜苦辣过后,一丝战胜自我的香甜和自豪感永留记忆中。同时,深感科研资源平台、创新团队以及科研积累对于科研成功的重要性,在此感恩于导师、朋友和亲人们多年来对我的关爱和支持!

刘静玲

2011年初冬于北京

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 理论基础	15
1.3 研究框架	20
第 2 章 海河流域水环境变化机制	22
2.1 流域水环境特征污染物筛选	22
2.2 特征污染物的环境行为	24
2.3 流域水环境污染的时空变化规律及生态效应	30
2.4 海河流域新型污染的变化特征	38
第 3 章 海河流域典型生态单元水环境变化	40
3.1 子流域/水系	40
3.2 湖泊	57
3.3 水库	80
3.4 河口湿地	119
3.5 城市——以北京市为例	123
第 4 章 海河流域水环境承载力及城市水代谢系统动态仿真模型	125
4.1 流域/区域水环境承载力量化模型	125
4.2 海河流域典型城市水代谢系统动态仿真	127
4.3 基于水代谢的海河流域典型城市环境承载力动态仿真	134
第 5 章 海河流域水环境风险评估	143
5.1 流域尺度综合评价	143
5.2 子流域尺度相对风险评价	148
5.3 海河河口水环境风险评价	171
5.4 水环境风险安全阈值	183
5.5 水环境风险管理对策	185
第 6 章 流域水环境问题诊断方法及管理模式	188
6.1 流域水环境质量模型	188
6.2 城市水系健康评价模式	191
6.3 白洋淀湿地生态健康评价	198
6.4 流域水环境管理模式	213
第 7 章 海河流域地下水环境变化规律	215

7.1	海河流域地下水水量变化	215
7.2	海河流域地下水水质变化	219
7.3	对生态环境的影响	221
7.4	对策与建议	223
第8章	结论与展望	225
8.1	结论	225
8.2	创新点	230
8.3	展望	232
主要参考文献		233
彩图		

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景与意义

高密度的人口分布及各种经济社会活动对水循环的扰动强烈,使得流域水资源供需矛盾加大,水环境污染加重,生态退化,流域水环境风险剧增。

海河流域山区植被破坏、平原围垦洼淀、修筑堤防和开挖新河,加速了地表径流的循环过程,使地下径流减少,形成了中国最大的地下水开采漏斗区;围垦湖淀、开挖新河过度开发了流域水资源量,同时改变了土地利用类型;筑堤防、建水库,改变了水资源分布,中断了地表径流循环。工农业快速发展,使得大量污水排入海河,造成了海河流域水环境复合污染严重。根据中国环境状况公报,海河流域常规污染居七大流域之首,但对于流域内持久性难降解有机污染物(POPs)、重金属污染及新型污染物的分布规律及污染程度仍不明确。因此,常规监测项目并不能完全揭示出海河流域实际污染状况,而 POPs、重金属以及新型污染物等毒性大、危害强的污染物更应引起广泛的关注。

1.1.1 海河流域概况

海河流域地处我国华北平原,位于东经 112°~120°,北纬 35°~43°,东临渤海,西倚太行,南界黄河,北接内蒙古高原,地跨八省(自治区、直辖市),包括北京、天津、河北大部,山西的东部、东北部,山东、河南两省北部以及内蒙古和辽宁的一小部。流域总面积 31.82 万 km², 占国土面积的 3.3%(图 1.1)。

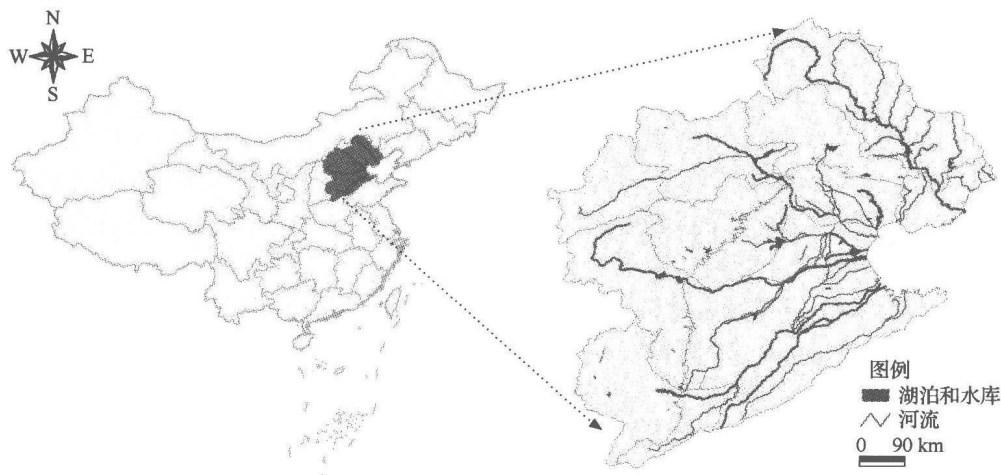


图 1.1 海河流域位置图

全流域总的地势是西北高东南低,大致分高原、山地及平原三种地貌类型。西部为山西高原和太行山区,北部为蒙古高原和燕山山区,面积 18.94 万 km^2 , 占全流域面积的 60%;东部和东南部为平原,面积 12.84 万 km^2 , 占全流域面积的 40%。流域内北有燕山,西北有军都山,西有五台山、太行山,海拔一般在 1000 m 上下,最高的五台山达 3058 m。这些山脉环抱着平原,形成一道高耸的屏障。山地与平原近于直接交接,丘陵过渡区甚短。山地高原内有张宣、阳蔚、涿怀延、大同、忻定、长治等盆地。

流域属于温带东亚季风气候区。冬季受西伯利亚大陆性气团控制,寒冷少雪;春季受蒙古大陆性气团影响,气温回升快,风速大,气候干燥,蒸发量大,往往形成干旱天气;夏季受海洋性气团影响,比较湿润,气温高,降雨量多,且多暴雨,但因历年夏季太平洋副热带高压的进退时间、强度、影响范围等很不一致,致使降雨量的变差很大,旱涝时有发生;秋季为夏冬的过渡季节,一般年份秋高气爽,降雨量较少。流域年平均气温在 $1.5\sim 14\text{ }^{\circ}\text{C}$, 年平均相对湿度为 50%~70%;1956~2005 年海河流域多年平均降水量 480 mm,总水资源量 248 亿 m^3/a ,属半湿润半干旱地带;年平均陆面蒸发量 470 mm,水面蒸发量 1100 mm,年平均无霜期 150~220 天,年平均日照数 2500~3000 小时。一年四季分明,寒冷适中,日照充足,适宜许多植物生长。

海河流域包括海河北系、海河南系、滦河和徒骇马颊河四大水系、七大河系、10 条骨干河流。其中,海河南系和海河北系是主要水系,由北部的蓟运河、潮白河、北运河、永定河和南部的大清河、子牙河、漳卫河组成;滦河水系包括滦河及冀东沿海诸河;徒骇马颊河水系位于流域最南部,为单独入海的平原河道。

1.1.2 海河流域水环境与水资源现状

1. 水污染严重

1) 污染物排放量大,复合污染加剧

进入 20 世纪 80 年代中期,随着经济体制改革的深入发展和工业体系的进一步完善,全流域工业得到了迅速的发展,同时,乡镇企业在新形势下如雨后春笋般发展起来,工业的发展带来了非常大的环境压力,特别是效益低、污染重、分布广的乡镇企业更是对环境造成了极大的危害。海河流域的废污水排放量逐年增加,水污染给生态环境造成了极大的危害,而且对人类产生了直接的伤害,所以受到公众和政府越来越高的重视。随着人们环保意识的提高,政府也加大了污水治理力度,20 世纪 90 年代后水污染状况有所好转,但污染形势仍不容乐观。

从 1980 年起,海河流域的废污水排放量逐年增加,呈直线上升趋势(图 1.2)。1980 年总排放量为 27.7 亿 m^3 ,到 2000 年增加至 56.3 亿 m^3 ,2001 年以后由于工业废水排放量的减少而降低,2005 年为 44.85 亿 m^3 ,2006 年有所增长,为 48.28 亿 m^3 。其中,工业废水排放量从 1980 年的 20.4 亿 m^3 增加到 1995 年的 40.2 亿 m^3 ,之后由于企业环保意识的增强和治理措施的加强,2006 年排放量下降到 28.1 亿 m^3 。生活污水排放量随着流域人口的增加而不断增加,1980~2003 年从 7.3 亿 m^3 增加至 21.6 亿 m^3 ,几乎增长了

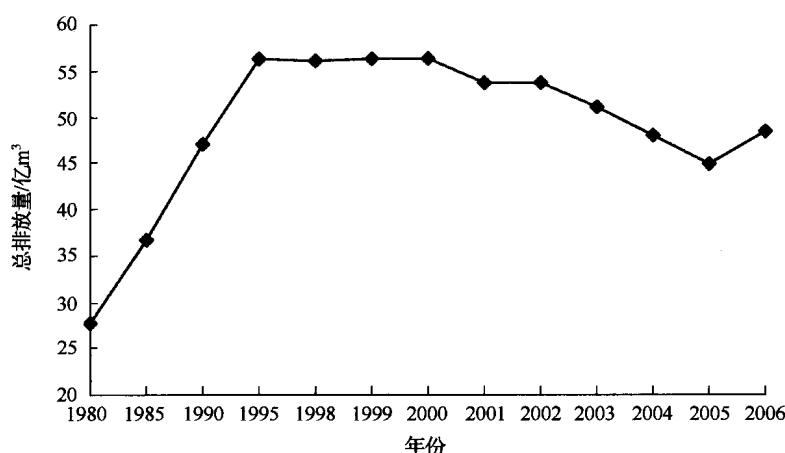


图 1.2 1980~2006 年海河流域废污水排放总量

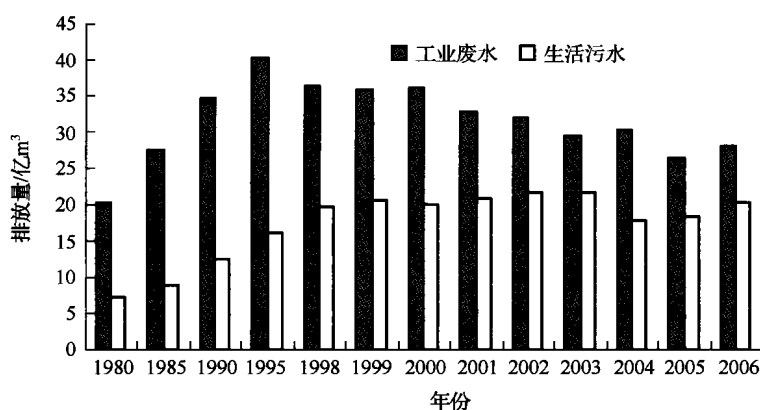


图 1.3 1980~2006 年海河流域工业废水和生活污水排放量

3 倍。进入 20 世纪 90 年代后,流域人口增长趋势减缓,再加上人们节水意识的增强,2004 年以后生活污水排放量开始有下降趋势,但 2006 年又上升至 20.2 亿 m^3 (图 1.3)。

海河流域重污染行业主要为造纸业、医药制造业、化工制造业和电力业(表 1.1)。4 个重污染行业对海河的化学需氧量(COD)贡献率为 71.7%,氨氮贡献率为 61.6%,经济贡献率为 21.6%。据 2003 年环境统计年报与上年相比,食品制造业对海河流域的 COD 贡献率下降最快,由上年的 6.3%降至本年的 1.9%;而电力业的 COD 贡献率则由上年的 3.4%增至本年的 5.7%。工业废水排放达标率为 95.1%,重污染行业废水排放达标率为 95.4%。2003 年废水排放量 36.7 亿 t,其中,工业废水 16.0 亿 t,生活废水 20.7 亿 t。COD 总量 113.4 万 t,其中,工业 COD 50.2 万 t,生活 COD 63.2 万 t;氨氮总量 10.8 万 t,其中,工业氨氮 4.4 万 t,生活氨氮 6.4 万 t。海河流域接纳废水中工业 COD 浓度高于生活 COD 浓度,因此流域污染治理重心应继续放在对工业企业的治理和监控上。工业 COD 比率 12.4%,废水治理投资比率 18.1%。海河投资比重相对高一些,这与国家对重点流域的治理力度较大有一定关系。

表 1.1 海河流域重污染行业经济和污染贡献率

(单位: %)

行业	经济贡献率	COD 污染贡献率	氨氮污染贡献率
造纸业	1.8	34.3	19.6
医药制造业	3.4	19.6	2.5
化工制造业	9.5	12.1	38.6
电力业	6.9	5.7	0.9
合计	21.6	71.7	61.6

2000 年海河流域非点源污染物产生量 COD 737.75 万 t, 氨氮 76.07 万 t, 总氮 216.65 万 t, 总磷 68.66 万 t。COD 和氨氮主要来自畜禽养殖污水, 占 76%, 氨氮占 73.5%。总氮、总磷是湖泊富营养化的重要因子, 主要来自畜禽养殖和化肥使用。

2) 污染范围广, 程度重

20 世纪 80 年代以后, 随着工农业迅速发展, 工矿企业废水和城镇生活污水大量增加。20 多年来, 海河流域水污染已由局部发展到全流域, 由下游蔓延到上游, 由城市扩散到农村, 由地表延伸到地下。在全流域全年评价的河长中, 1980~1998 年, 受污染河长比例从 28.0% 升高至 75.0%, 1998~2006 年, 受污染河长比例有所降低, 但都保持在 60% 以上, 呈现“有河皆污”的恶劣局面, 其中永定河、漳卫南运河、徒骇马颊河水系几乎全河系都受到污染。相对来说, 滦河、北三河、大清河水系水质较好, 还各有约 40% 的河流未受污染, 主要是位于上游山区的河流。各水系平原河道均污染严重, 海河干流也受到严重污染, 需要定期引入滦水维持环境。

1998 年海河流域评价河长中受到污染的河长(水质劣于Ⅲ类)达 75%, 其中严重污染(劣 V 类)的河长高达到 65%。以后有减少趋势, 但不明显, 污染仍然严重, 2006 年严重污染的河长约占 60%。这是因为在流域中下游河道基本没有基流, 城市废污水得不到稀释, 河道污染非常严重, 有的河段 COD 浓度超过 100 mg/L, 水体呈酱油色。水体以有机污染为主, 主要污染物为 COD、氨氮、挥发酚。丰、枯水期水质相比, 枯水期污染河长比例比丰水期略高(图 1.4)。

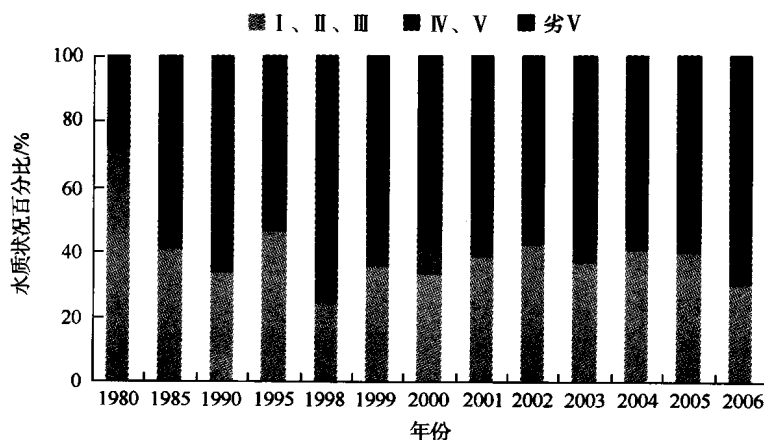


图 1.4 1980~2006 年海河流域水质状况百分比变化

2006 年海河流域水质状况整体较差, 依然有将近 70% 的评价河长受到不同程度的污染。与 2005 年度评价结果相比, 未受污染的河长比例减少了 9.7%, 严重受污染的河长所占比例增加了 1.0%。各主要河流水质受耗氧有机项目污染较普遍而且严重, 主要的超标项目有氨氮、化学需氧量、高锰酸盐指数、挥发酚、五日生化需氧量、氟化物、总磷和硫化物, 部分河段溶解氧、镉、汞、铅、砷、铬(六价)、石油类等有超标现象(图 1.5)。

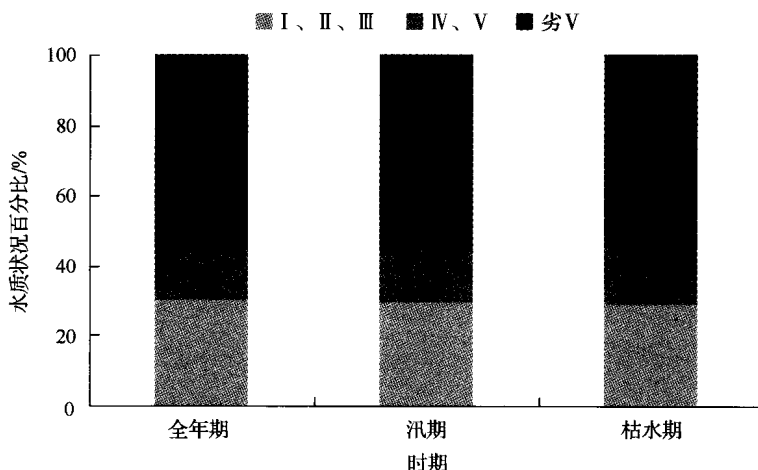


图 1.5 2006 年海河流域全年期、汛期和枯水期水质状况百分比

滦河及冀东沿海诸河、北三河和大清河水水质状况较好, 未受污染的河长比例超过 40%, 其中以大清河水系水质状况最好, 有 49.7% 的河长未受污染。子牙河、漳卫南运河和徒骇马颊河严重污染的河长均超过 60%, 其中徒骇马颊河全年处于严重污染状态(图 1.6)。

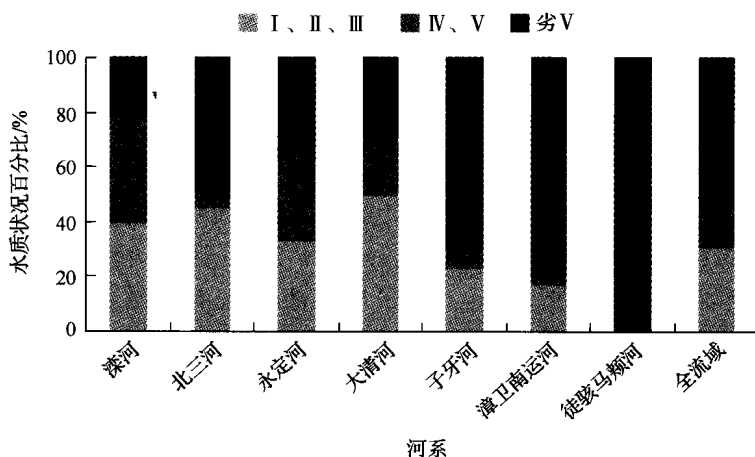


图 1.6 2006 年海河流域各河系水质状况百分比

3) 水体自净能力差, 环境容量小

由于水存量较少, 基本上没有径流及流动性差等原因, 自净能力弱; 又由于污染物进入后, 无法通过自然途径排除, 沉积在河道底部, 造成水体的第二次污染。

2. 水量极度匮乏

1) 水资源量少

海河流域总体上属于资源型缺水地区。1956~2005 年水文系列总水资源量 248 亿 m^3 。人均总水资源占有量 305 m^3 ，仅为全国平均的 1/7，世界平均的 1/27，远低于人均 1000 m^3 的国际水资源紧缺标准；亩均水资源量 225 m^3 ，为全国的 1/8。在全国各大流域中，海河流域的人均、亩均水资源量最低。

海河流域多年平均降水量 539 mm，其中，山区 527 mm，平原 566 mm。从 5 年滑动平均降水量分析，1956~1965 年年均降水量在 585~587 mm，属丰水段；1966~1980 年年均降水量在 529~557 mm，属平水段；1981~1985 年年均降水量 486 mm，属枯水段；1986~1994 年年均降水量在 522~526 mm，属平水段；1998~2005 年年均降水量 478~485 mm，属枯水段。1999 年降水量仅 385 毫米，比多年平均降水量少 30%，属特枯年份，全流域旱情严重(图 1.7)。

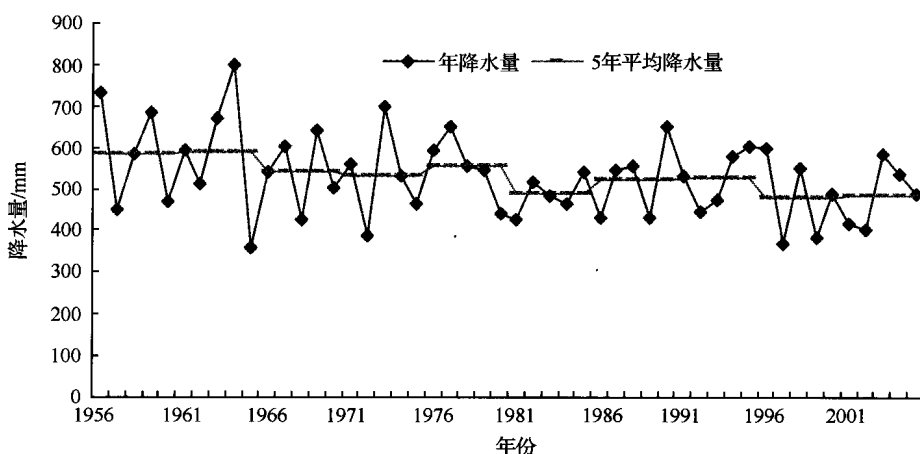


图 1.7 1956~2005 年海河流域降水量变化趋势

《海河流域水资源公报 2005 年》的统计资料表明，2005 年全流域天然年径流量为 121.86 亿 m^3 ，山丘区地下水资源量为 103.94 亿 m^3 ，山丘区河川基流量为 57.53 亿 m^3 ，平原区降雨入渗补给量为 99.31 亿 m^3 ，平原区降雨入渗补给形成的河道排泄量为 0.12 亿 m^3 ，地下水资源与地表水资源不重复量为 133.43 亿 m^3 ，全流域水资源总量为 267.47 亿 m^3 ，水资源量呈现下降趋势。1998~2006 年海河流域各水系地表水资源量、地下水资源量以及全流域水资源量变化情况分别如图 1.8、图 1.9 和图 1.10 所示。

2) 水资源开发利用程度高

据统计，目前海河流域的总供水量为 402 亿 m^3 ，流域水资源开发利用率达 98%，是全国 10 个水资源一级区中最高的，开发利用率远远超出国际公认的 40% 的上限。

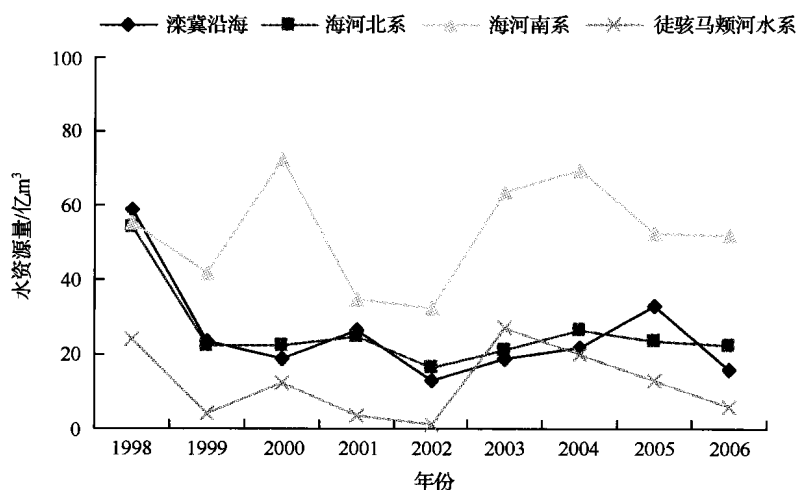


图 1.8 1998~2006 年海河流域各水系地表水资源量变化

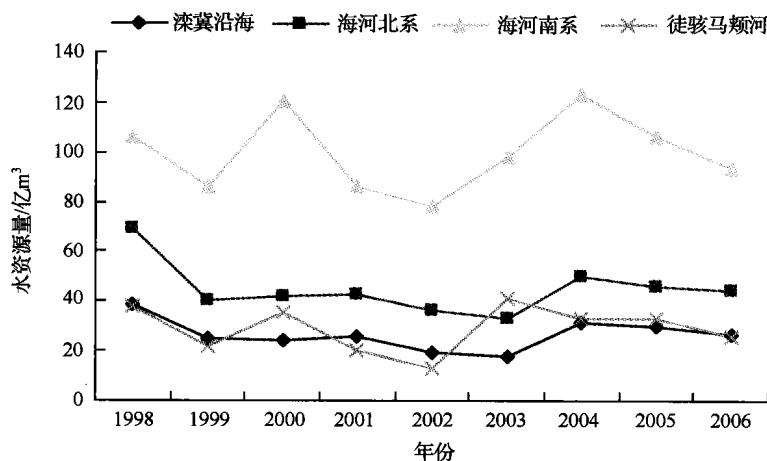


图 1.9 1998~2006 年海河流域各水系地下水资源量变化

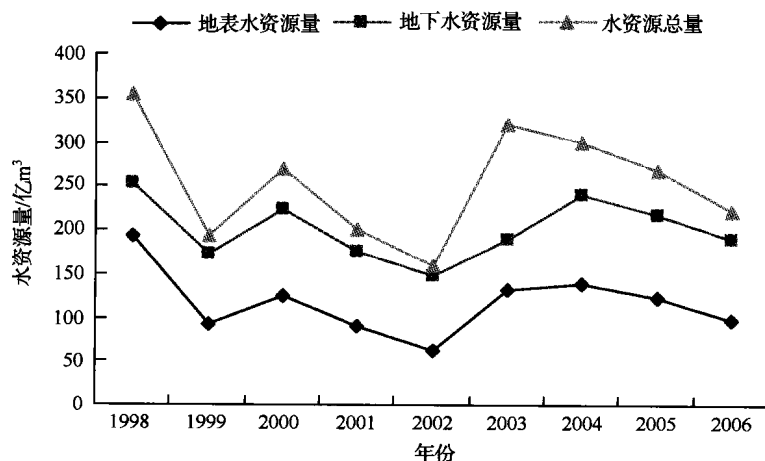


图 1.10 1998~2006 年海河流域水资源量变化

新中国成立 60 多年来,海河流域已建成大中小型水库 1900 多座、引水工程 1 万处、提水工程 8200 处、地下水井 120 万眼。星罗棋布、纵横交错的水利工程构成了海河流域比较完整的防洪、供水体系,为支持流域经济社会发展提供了有力的水资源保障,但同时也对自然水循环产生很大的影响和干扰。

从海河流域 1985~1987 年连续 3 年的资料分析看,3 年的流域年平均径流量为 171.06 m^3 ,流域地表水控制利用量 3 年平均为 127.23 m^3 ,流域地表水控制利用程度为 74%,占流域多年年平均径流量的 48.2%,比 1978 年、1979 年开发利用程度提高 19% 和 10%。但区域差异较大,滦河及冀东沿海的地表水控制利用程度仅 50%,地表水开发还有一定潜力;海河北系的地表水控制利用程度为 76%,海河南系高达 94%(图 1.11)。

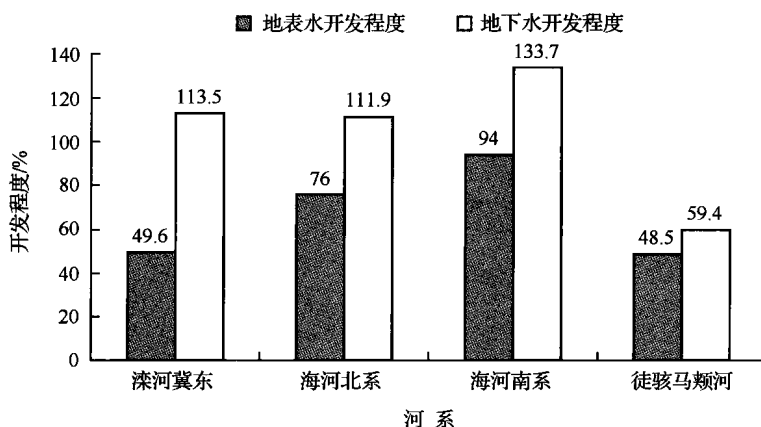


图 1.11 海河流域不同河系水资源开发程度

由于地表水用量不足,海河流域靠开采地下水来补充水量。至 20 世纪 70 年代中期,海河流域地下水开采已达到一定规模。此后,为满足日益增长的用水需要,地下水开采量稳定增长,一些地区处于长期超采状态。目前,该流域平原浅层地下水超采量达 42 亿 m^3 ,超采面积达 6 万 km^2 ;平原深层承压水开采量 38 亿 m^3 ,超采面积 5.6 万 km^2 ;重要泉水出水量较 20 世纪 50 年代减少一半,部分泉水消失。据统计,河北地下水累计超采超过了 1000 亿 m^3 。在河北沧州,水位下降到地下 96 m,天津塘沽超过百米。由于水位下降造成大面积地面沉降,华北平原地区出现了以北京、石家庄、保定、邢台、邯郸、唐山等城市为中心、总面积超过 4 万 km^2 的世界罕见、全国最大的地下水位降落漏斗,还形成了以天津、衡水、沧州、廊坊等城市为中心,面积达 5.6 万 km^2 ,整体联片的深层地下水漏斗区。

3) 生态用水量严重不足

生态需水满足率低是水生态系统恶化的重要原因之一,过度的经济用水大量挤占生态环境用水。以海河流域主要河口为例,如表 1.2 所示,近 20 多年来,海河口和漳卫新河口实际年平均径流量已不能满足生态系统最低的要求,河口生态功能已基本消失,生态环境发生了严重的退化。例如,滦河口的年平均径流量也已经无法满足最小生态环境需水量。