

WENYUHE LIUYU
SHUIZIYUAN LIYONG BAOZHANG TIXI YANJIU

温榆河流域 水资源利用保障体系研究

廖日红 李其军 孟庆义 金桂琴 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

温榆河流域 水资源利用保障体系研究

廖日红 李其军 孟庆义 金桂琴 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是一本论述流域水资源利用保障技术的专著。作者对近年来北京市温榆河流域水资源利用保障体系研究成果进行了总结,系统、全面地阐述了中长期水质水量预测模型、流域生态需水量计算、流域水质水量调控和以水资源利用为目标的微污染水改善技术研究成果,并介绍了相关示范工程运行监测效果。

本书可供从事环境科学与工程工程的工作者阅读,也可供城市规划、市政工程、水利工程、景观设计、流域生态建设的科研、管理和工程技术人员参考,还可以作为环境类相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

温榆河流域水资源利用保障体系研究 / 廖日红等著
— 北京 : 中国水利水电出版社, 2011.2
ISBN 978-7-5084-8403-7

I. ①温… II. ①廖… III. ①河流—水资源管理—研究—北京市 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第019770号

书 名	温榆河流域水资源利用保障体系研究
作 者	廖日红 李其军 孟庆义 金桂琴 等 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 14.25印张 338千字 2插页
版 次	2011年2月第1版 2011年2月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	42.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

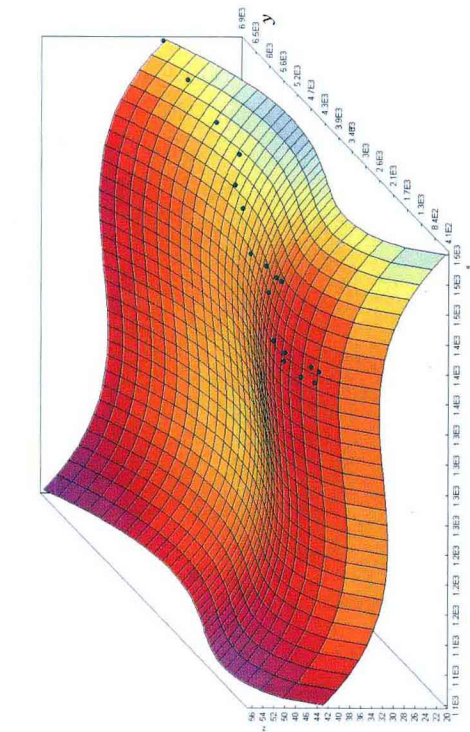


图 3-43 人均 GDP—需水量—排污量关系图

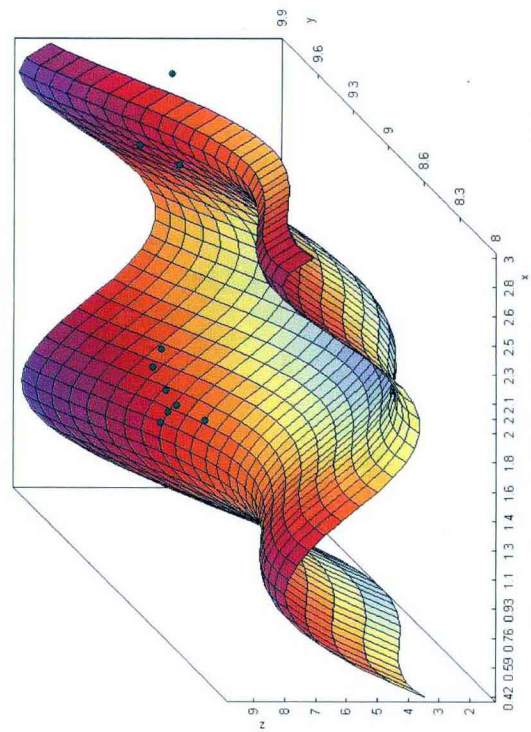


图 3-45 人均 GDP、需水量及排污量三维关系图

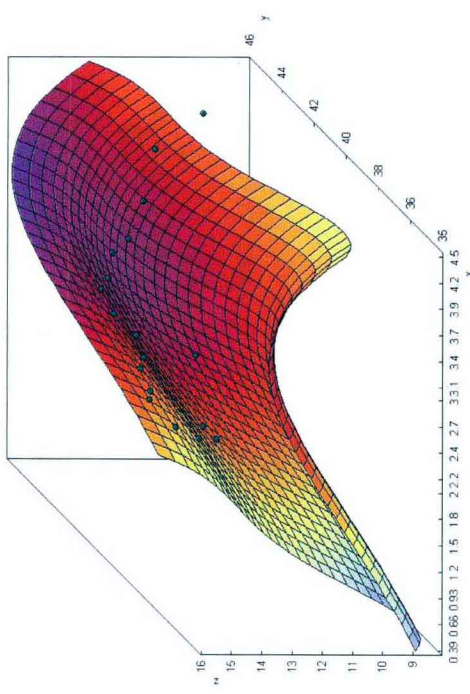


图 3-44 北京市人口—GDP—需水量关系图

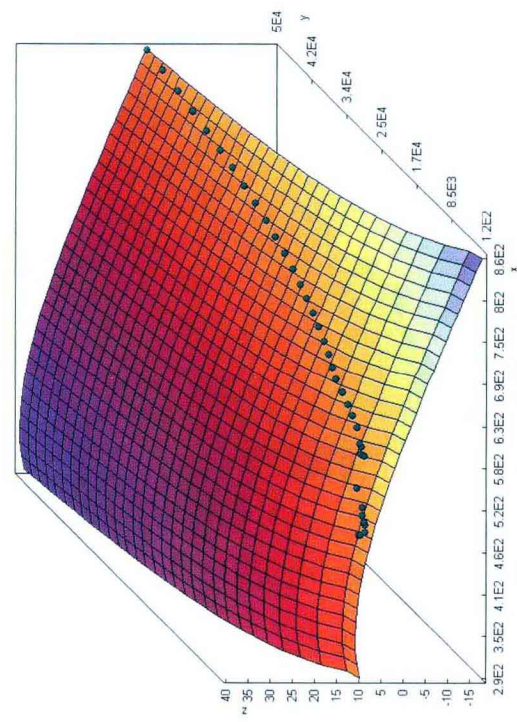


图 3-46 人口、GDP 与需水量三维关系图

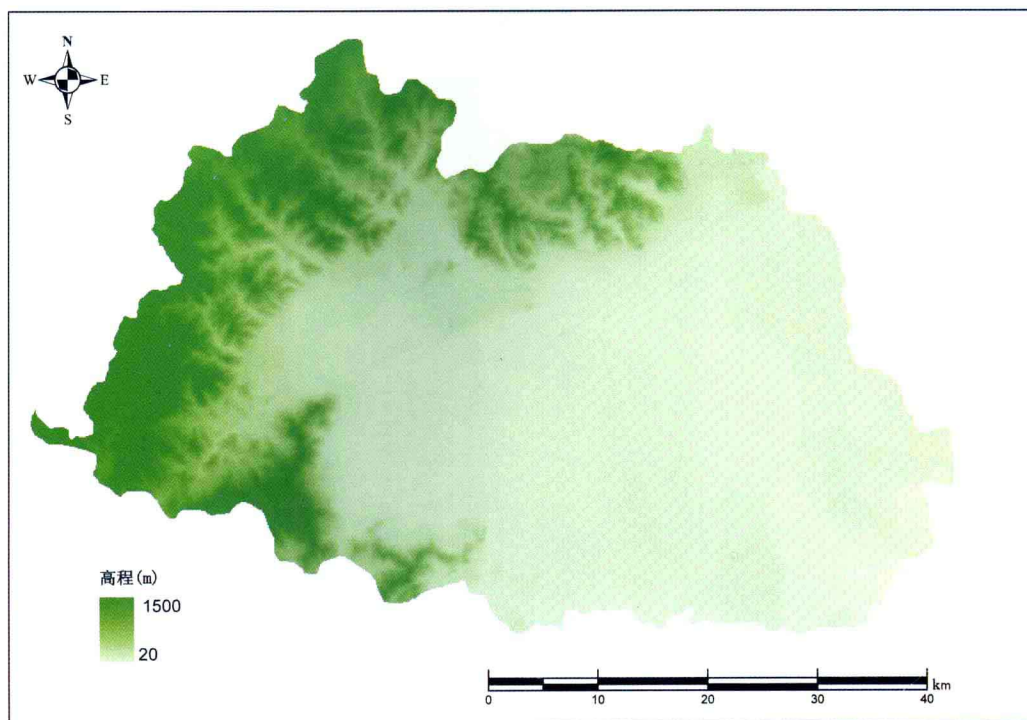


图 5-6 温榆河流域数字高程模型(DEM)

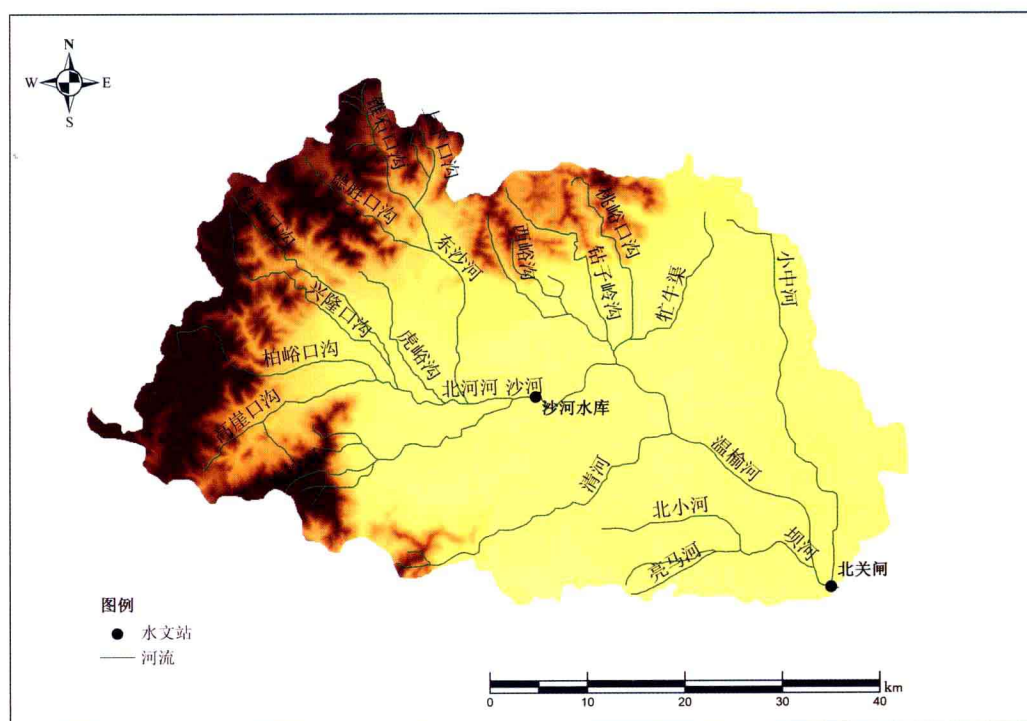


图 5-7 温榆河流域水系图

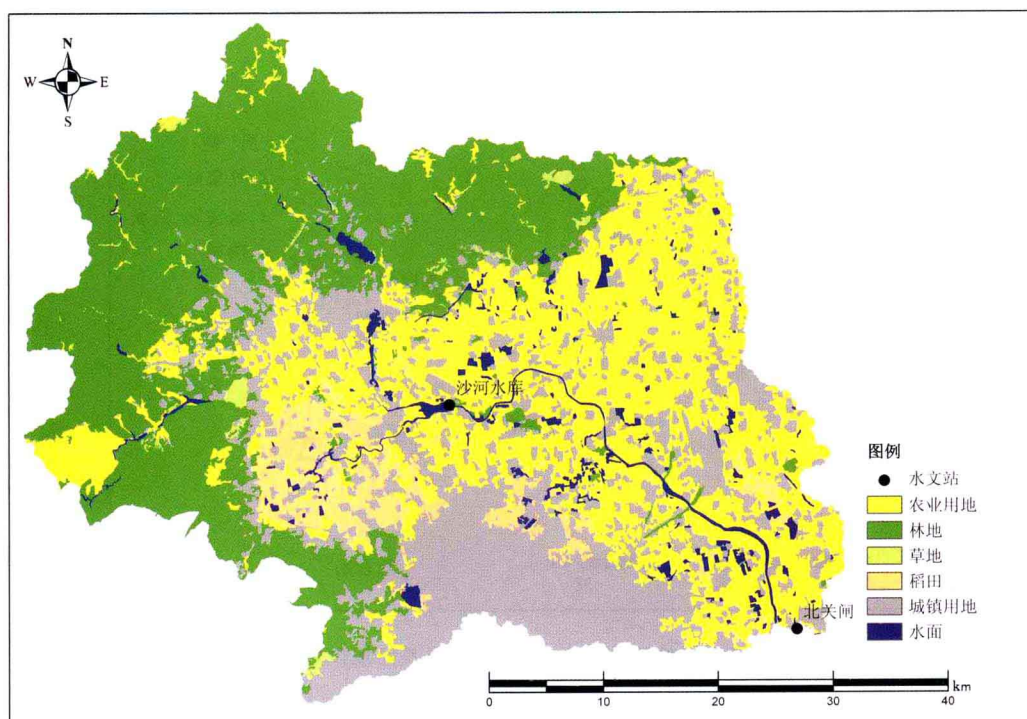


图 5-8 温榆河流域土地利用图(2000 年)

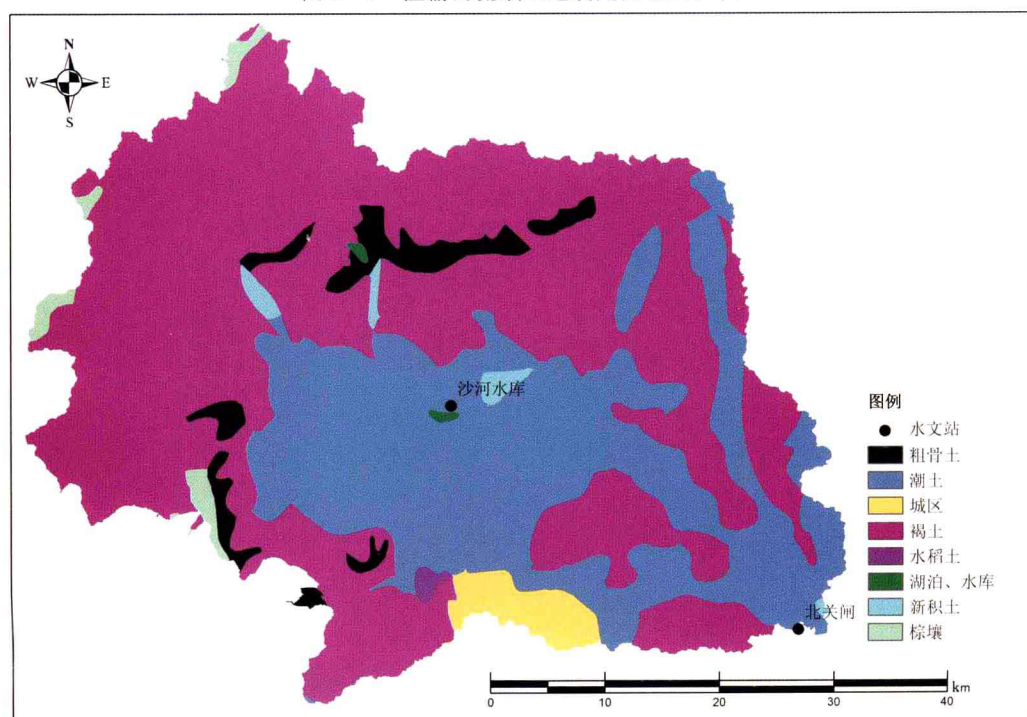


图 5-9 温榆河流域土壤分类图

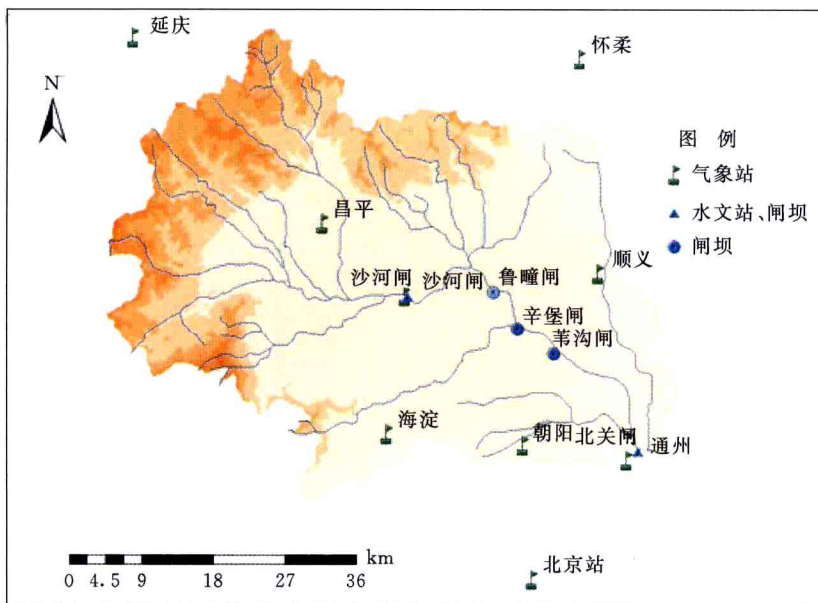


图 5 - 10 温榆河流域水文、气象站点及闸坝位置示意图

前

言

在北京市五大水系中，温榆河是唯一一条发源于北京市且常年有水的河流。温榆河流域横跨《北京城市总体规划（2004～2020年）》提出的西部生态带和东部发展带，位于北京市的心脏地带。流域内的海淀区和昌平区既是国家级高新技术产业基地，又是国际知名的高等教育和科研机构云集地；顺义区和通州区是北京市重点建设的新城；朝阳区为中央商务中心；2008年奥运会主承载区基本处在温榆河流域。毋庸置疑，温榆河流域对北京市的整体发展战略具有举足轻重的地位，流域生态水环境状况和水资源利用效率直接影响北京城市经济社会协调发展和功能定位。

相比北京市区其他河道，温榆河水资源量较为丰沛，但是实测资料显示温榆河流域特别是上游的水资源大部分集中在汛期。由于降雨相对集中，且流域调蓄能力严重不足，温榆河流域地表水资源的利用率不足15%，平均每年至少有4亿 m^3 温榆河水排入下游而没有得到合理利用。另外，温榆河作为北京市的主要排水河道，随着经济发展，排水量不断增加，河道水体污染、水生态退化等问题日益突出，现状河道水体水质已远远不能满足其功能要求。温榆河流域水环境逐渐恶化和水资源利用率低的现状已经严重限制了地区社会经济的可持续发展。

2006年以来，在北京市科技委员会等部门的资助下，北京市水利科学研究所主持完成了北京市区两级政府重大科技需求专项“温榆河流域水体功能修复关键技术研究”（D0706006000091）之“温榆河流域水资源利用保障体系研究”（D0706006040191）课题，系统、深入地开展了非常规水源补水河流水资源利用的水质水量保障体系研究与示范。

本书是以上述技术研究成果为基础编写的。全书共分为六章：第一章为温榆河流域概况，主要介绍了流域自然地理、社会经济、水资源和水环境状况；第二章为温榆河流域水资源利用保障体系研究概况，主要介绍了研究目标、研究内容、技术路线与研究方案；第三章为流域中长期水质水量预测模

型研究,主要介绍了水质水量预测软件平台研制和应用于流域的预测研究成果;第四章为流域生态需水量研究,主要介绍了生态需水量计算方法和流域生态需水量计算成果;第五章为流域水质水量调控技术研究,主要介绍了闸坝优化调度模型的研制与多情景方案分析、流域闸坝管理水质水量调度系统研究成果;第六章为流域微污染水改善技术研究,主要介绍了电化学+人工湿地、固定化微生物滤池+混凝沉淀、微絮凝沉淀+膜生物反应器处理微污染水技术与示范成果。

本书是全体项目研究人员成果的集成,全书由廖日红负责内容设计,金桂琴负责技术支持,李其军、孟庆义审定成稿,项目主要研究成员及参与本书编著的人员如下:

廖日红(北京市水利科学研究所)

李其军(北京市水利科学研究所)

孟庆义(北京市水利科学研究所)

金桂琴(北京市水利科学研究所)

何绪文(中国矿业大学)

夏 军(中国科学院地理研究所)

程先云(中国水利水电科学研究院)

刘 操(北京市水利科学研究所)

王培京(北京市水利科学研究所)

王春荣(中国矿业大学)

张永勇(中国科学院地理研究所)

陈军锋(中国科学院地理研究所)

黄赞芳(北京市水利科学研究所)

黄俊雄(北京市水利科学研究所)

战 楠(北京市水利科学研究所)

第一章 廖日红 李其军 孟庆义 王培京 金桂琴

第二章 廖日红 李其军 孟庆义 王培京 金桂琴

第三章 程先云 李其军 孟庆义 廖日红 王培京

第四章 李其军 金桂琴 孟庆义 黄俊雄 战 楠

第五章 夏 军 廖日红 张永勇 陈军锋 金桂琴

第六章 廖日红 何绪文 刘 操 黄赞芳 王春荣

除上述编写人员外,先后参加本项目研究与管理的人员还有高振宇、周磊、李永华、白文荣、王文旭、张伟、康建龙、王佳君、刘学存、郑凡东、

吴晓辉、胡秀琳、许志兰、赵立新、李垒、申颖洁、马宁、贺晓庆、顾华、马东春、邱彦昭、蒋以元、付朝臣、李为民、王理许、刘洪禄、曹波、郝仲勇、刘玉英、张敬良、徐华、张春晖、柴福鑫等，本书也包含了上述同志的工作成果。另外，本书还参考了其他单位及个人的研究成果，均已在参考文献中注明，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，水平有限，书中欠妥或谬误之处，敬请读者批评指正。

作 者

2011 年 2 月

目

录

前言

第一章 温榆河流域概况	1
第一节 自然地理概况.....	1
第二节 社会经济概况.....	3
第三节 流域水系、水资源与水环境概况.....	4
第二章 温榆河流域水资源利用保障体系研究概况	13
第一节 研究目标与内容	13
第二节 技术路线与研究方案	14
第三章 流域中长期水质水量预测模型研究	17
第一节 水质水量预测国内外研究现状	17
第二节 水质水量预测方法选择与软件平台研制	19
第三节 流域中长期水质水量预测研究	24
第四章 流域生态需水量研究	57
第一节 生态需水量国内外研究现状	57
第二节 生态需水量计算方法	57
第三节 流域生态需水量研究	61
第五章 流域水质水量调控技术研究	67
第一节 水质水量调控国内外研究现状	67
第二节 闸坝影响下河流水质水量联合模拟	69
第三节 流域闸坝优化调度模型的研制与多情景方案分析	97
第四节 闸坝管理水质水量调度系统研究.....	137
第六章 流域微污染水改善技术研究	149
第一节 微污染水水质改善国内外研究现状.....	149
第二节 电化学+人工湿地处理微污染水技术研究.....	158
第三节 固定化微生物滤池+混凝沉淀处理微污染水技术研究.....	193
第四节 微絮凝沉淀+膜生物反应器处理微污染水技术研究.....	203
参考文献	218

第一章 温榆河流域概况

第一节 自然地理概况

一、地形地貌

温榆河流域西北高东南低，按地形、地貌特征可分为山区、丘陵区和平原。以昌平区南口关沟为界，西部山区属太行山余脉，自西北向东南依次为笔架山（1448m）、妙峰山（1290m）和香山（571m）；北部山区属燕山支脉，称军都山山脉，海拔一般在400~800m，山峰一般在800~1000m，最高峰高楼山海拔1439.8m。山区与平原过渡地带的山前地区属低山丘陵，高程一般在100~300m。平原区地势北高南低，由北向南倾斜，海拔在20~50m，坡度1‰左右；至通州区和顺义区交界处为北运河与潮白河冲积平原的交汇处，地形由西北向东南缓慢倾斜，致使地形形态各不相同，地面高程在15~30m，平均坡度0.6‰，河流两侧零星分布有沙丘和残留台地。

二、土壤及土地利用类型

流域内平原与低山丘陵交壤地带，以褐土和褐土性土壤为主；平原地区土质以壤土、砂土、黏土和潮土为主。温榆河流域的山地平原交接地带多丘陵，林木茂密；平原地带土质较好，有利于农作物生长。

温榆河流域地属城乡结合区，土地利用类型繁多，包括有林地、灌木林、疏林地、其他林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、河渠、水库坑塘、滩地、城镇用地、其他建设用地、裸岩石砾地、平原水田、农村居民点、旱地等近20种土地利用类型。

三、气象

温榆河流域属大陆性季风气候，四季分明，春季干旱多风，夏季炎热多雨，秋季天高气爽，冬季寒冷干燥，雨雪稀少。

根据海淀区、昌平区、顺义区和通州区气象站42年（1959~2000年）资料统计，流域内全年平均气温为11.6℃，夏季平均气温24.8℃，历史最高气温达42.6℃，冬季平均气温为-3℃，最低气温达-22.8℃。温榆河流域结冰期132天，冻土期100天，冻土深度一般为0.5~0.8m。

统计数据表明，温榆河流域各行政区内的海淀区和顺义区降雨量较为丰沛，而昌平区降雨量相对较少。海淀全区多年平均年降水量为619.0mm，平水年降水量为614.3mm，

枯水年降水量为 336.4mm；昌平区多年平均降水量 574.0mm，境内因受地形影响，区域间雨量分布不均匀，东北部山区处于东南气流迎风坡向，夏季海洋湿润气团遇山上升容易形成降雨，因此兴寿镇北部山区为辖区内多雨中心，年平均降雨量为 650mm，其他地区年平均降雨量为 550~600mm；顺义区多年平均降水量为 614.9mm；朝阳区多年平均降雨量为 592.3mm；通州区多年平均降水量为 591.3mm。年内降水分配不均，全年降水量集中在汛期 6~9 月，约占全年降水量的 80% 以上。流域内多年平均水面蒸发量为 1175mm，年内蒸发量以 4 月、5 月、6 月 3 个月最大，占全年的 42%，冬季 12 月、1 月、2 月最小，仅占全年的 10%。大多数年份，7 月、8 月降水多于蒸发，其他月份蒸发大于降水，平均而言，水面蒸发量是降雨量的 2 倍。

四、水文地质

(一) 山区

(1) 碳酸盐岩类岩溶及岩溶裂隙水含水岩组。主要储存于长城系高于山组和蓟县系雾迷山组石灰岩中。分布于高崖口、老峪沟、南口北部山区及德陵、定陵一带、崔村、上苑北部山区等，层间裂隙大，风化强，且有岩溶裂隙水出现，一般单井出水量 1000~2000m³/d，最大可达 3000m³/d。

(2) 碎屑岩裂隙水含水岩组。主要储存于 Ar~Jzt、Zcc、Zcd、Zjd、J2j 碎屑岩中，主要分布于王家园东北~泰陵村以西沿途地区、十三陵水库两侧。一般单井出水量 100m³/d 左右。

(3) 火成岩及片麻岩风化裂隙水含水岩组。主要储存于燕山期花岗岩、火成岩及片麻岩中。主要分布于桃洼西北部、南照台、居庸关北部、东北部长陵麻峪房、碓臼石、冯家峪、老和尚沟、黑山寨附近地区等。一般单井出水量小于 100m³/d。

(二) 平原区

(1) 山前地区。为山区向平原过渡地带，主要分布在西南部和北部山区，地形坡度大，含水层由冲洪积扇形成的黏土夹碎石及砂卵石组成，富水不均一，水位埋深大，地下水主要接受降水、山区侧向径流和地表水入渗补给，地下水类型为潜水。一般单井出水量为 500~3000m³/d。

(2) 冲洪积扇顶部地区。主要分布在北沙河和东沙河冲洪积扇上部。含水层由单一的砂卵石、砾石或 2~3 层砂卵砾石组成，为潜水分布区，富水性好，水量丰富，砂卵砾石埋藏浅，是平原区地下水最好的补给带。一般单井出水量为 3000~5000m³/d。

(3) 冲洪积扇中部地区。分布在平原中部地区，为潜水向承压水过渡地区，含水层由多层砂砾石和少数砂层组成，富水性较好，以降水入渗和侧向径流补给为主。一般单井出水量为 1500~3000m³/d。

(4) 冲洪积扇下部地区。分布在南部和东部地区，为承压水分布区，含水层由多层砂及少数砂砾石组成，富水性一般，以侧向径流补给为主。一般单井出水量 500~1500m³/d。

(三) 热 矿 水

小汤山地区是北京平原中一个小型热水盆地,受多次地质构造影响,尤其受中生代燕山运动影响,使蓟县系地层受东北向断裂所控制,形成北东东向的断裂构造带,构造裂隙岩溶发育,有的断裂达到了地球热源部位。该断裂构造带在小汤山西南的百善附近,被北西向的南口—孙河断裂所横切。小汤山北部和东北部山区,出露大面积的蓟县系白云岩,接受降水的入渗补给,沿裂隙、溶洞流向南部地势较低的地区,其中部分地下水通过较深的断裂,并受地球热源的影响,形成热矿水。由于西南青白口系页岩和砂岩相对隔水层的阻挡,地下热矿水水位升高,出露地表形成温泉。在升高过程中与第四系孔隙水混合,使其温度和水化学成分发生了一定的变化。小汤山热矿水分布在东至大柳树、西至大汤山约20km²的范围内,有3个储热层,即寒武、铁领及雾迷山热储层,水温一般为45.0~52.4℃,单井出水量1100~1500m³/d,氟化物含量高。

第二节 社会 经济 概况

温榆河位于潮白河与永定河之间,属于北运河水系上游干流河道,具有防洪排涝和灌溉的重要功能。随着“宜居城市”、“绿色北京”的建设,北运河水系将进一步发挥着城市生态景观、休闲娱乐的功能。

温榆河流域主要涉及东城、西城、海淀、昌平、朝阳、顺义、通州等区,是北京市人口最集中、产业最聚集、城市化水平最高的流域。

国务院批复的《北京城市总体规划(2004~2020年)》确定了“两轴—两带—多中心”的空间格局,其中,东部发展带的通州、顺义以及西部发展带的昌平等均在温榆河流域;中关村高科技园区核心区、奥林匹克中心区、中央商务区、海淀山后科技创新中心、顺义现代制造业基地、通州综合服务中心等位于该流域。全市8个高端产业功能区中的中关村科技园区、奥林匹克中心区、临空经济区、金融街、北京商务中心区(CBD)位于该流域内;北京数字娱乐示范基地、中关村创意产业先导基地、德胜园工业设计创意产业基地、朝阳大山子艺术中心、东城区文化产业园和国家新媒体产业基地等全市6大创意产业基地全部位于该流域内。

东城区2009年末全区户籍人口为62.1万人。全年实现地区生产总值896.6亿元,从行业构成看,金融业、租赁和商务服务业、信息传输、计算机服务和软件业、科学研究、技术服务和地质勘察业是拉动现代服务业乃至全区经济增长的主要带动力,共实现增加值490.5亿元,占全区增加值的54.7%。财政收入突破70亿元大关,达到72.9亿元。居民人均可支配收入达到28458.3元,人均消费性支出达到20683.3元。

西城区2009年末全区总人口(包括户籍人口与暂住人口)91.2万人,其中暂住人口11.9万人。全区各类单位27012个,区级财政收入152.2亿元,居民人均可支配收入30442元,居民人均消费性支出21970元。

海淀区2009年末全区常住人口308.2万人,户籍人口215.8万人。全年完成全社会固定资产投资489.5亿元,区级财政收入164.80亿元。居民人均可支配收入30677.0元,

农村居民人均纯收入 16011.1 元。城镇居民人均消费性支出 18218.4 元，农村居民人均消费性支出 13305.0 元。

昌平区 2009 年末全区常住人口 102.1 万人，全年实现地区生产总值 340.4 亿元，按常住人口计算，全区人均地区生产总值达到 34676.5 元（按年平均汇率折合 5076 美元），全区完成地方财政收入（一般预算）31.6 亿元。城镇居民人均可支配收入达到 22557 元，人均消费支出 15690 元，农村居民人均纯收入 11318 元，人均生活消费支出 9683 元。

朝阳区 2009 年末全区常住人口 317.9 万人，其中外来人口 105.6 万人，占常住人口的 33.2%，年末全区户籍人口 185.3 万人。全年实现地区生产总值（GDP）2293.5 亿元，按常住人口计算，人均 GDP 达到 73252 元。全年完成区级财政收入 190.7 亿元，农业实现增加值 1.4 亿元，工业全年实现增加值 197.9 亿元。

顺义区 2009 年末全区常住人口 73.2 万人，全年实现地区生产总值 690.2 亿元，人均 GDP 达到 94286.8 元。全年城镇居民人均可支配收入 23179.5 元，人均生活消费支出 13465.8 元。全年完成区级财政总收入 218.8 亿元。

通州区 2009 年末全区户籍人口 65.6 万人，全年实现地区生产总值 278.9 亿元，按常住人口计算，全区人均地区生产总值达到 26165.9 元，全区完成税收收入 83.6 亿元。城镇居民人均可支配收入达到 22454.9 元，人均消费性支出 14040.8 元。

第三节 流域水系、水资源与水环境概况

一、水系

温榆河流经昌平区、海淀区、顺义区、朝阳区和通州区 5 个区，在通州区北关拦河闸入北运河，经通州区杨洼闸流入河北省。东沙河、北沙河和南沙河三条支流在昌平区沙河镇汇集于沙河闸形成沙河水库，沙河闸以上称之为温榆河上游，流域面积 1099km²。从沙河闸以下始称温榆河，之后经朝阳、顺义两区至通州区北关拦河闸，全长约 47.5km，流域面积 2478km²。干流以鲁疃闸为界，以上为温榆河上段，长约 23km，其主要支流为蒹沟河；以下为温榆河下段，长约 24.5km，其主要支流为清河、坝河、小中河等（图 1-1 和表 1-1）。

表 1-1

温榆河水系干支流基本情况

名 称	长 度 (km)	流域面积 (km ²)	名 称	长 度 (km)	流域面积 (km ²)
东沙河	31	265	坝河	21.7	163.1
南沙河	20	237	小中河	55	201
北沙河	36	597	方氏渠	15	55
蒹沟	3.9	377	龙道河	6.4	30
清河	23.7	210	温榆河干流	47.5	2478



图 1-1 温榆河流域水系组成示意图

干流主要建筑物为沙河闸、尚信橡胶坝、马坊橡胶坝、曹碾橡胶坝、土沟橡胶坝、鲁疃闸、辛堡闸、苇沟闸和北关闸等，其详细情况见表 1-2。

表 1-2 温榆河干流主要建筑物状况

闸坝名	闸坝高程 (m)		蓄水能力 (万 m ³)	20 年一遇 设计流量 (m ³ /s)	闸门型式
	底	顶			
沙河	34.1	38.1	1590 (常水位)	890	平板钢门
尚信	29	30.8	75	925	橡胶坝
郑各庄	27.8	30.8	120	925	橡胶坝
土沟	25	29	121	1562	橡胶坝
鲁疃	24	26.5	90	975	翻板
辛堡	22.27	24.77	130	1095	翻板
苇沟	18.19	21.19	148	1220	翻板
北关	17	22	872	850	弧钢门
共计			3146		

二、水环境

(一) 地表水水质

1. 水质评价

为全面评价温榆河干支流水环境状况，2004 年和 2005 年不同时期分别在温榆河流域内共选择了 11 个水质监测断面，自上游而下依次为东沙河入北沙河口、北沙河橡胶坝、玉河橡胶坝、蒯沟橡胶坝、沙河闸、鲁疃闸、沈家坟闸、楼梓庄闸、亮安屯闸、刘庄橡胶坝和北关闸（图 1-2），分别代表东沙河、北沙河、南沙河、沙河水库、蒯沟河、温榆河上段、清河、坝河、小场沟、小中河和温榆河下段水质。

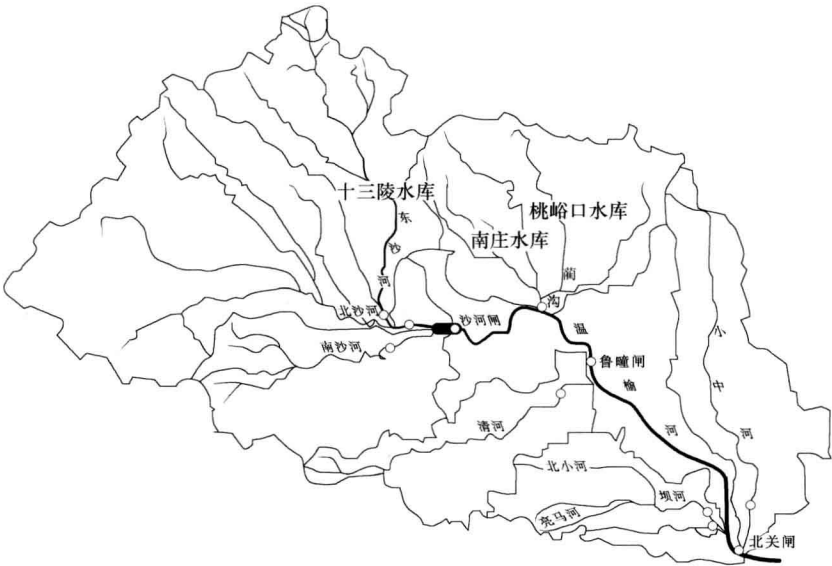


图 1-2 温榆河干支流主要水质监测断面分布图

监测项目为河流水体监测常规指标，包括化学需氧量（ COD_{Cr} ）、总氮（TN）、总磷（TP）和氨氮（ $\text{NH}_3\text{-N}$ ），监测结果见表 1-3。

表 1-3 温榆河干支流各代表断面水质监测结果						单位：mg/L
干支流	断 面	COD_{Cr}	TN	TP	$\text{NH}_3\text{-N}$	水质类别
南沙河	玉河橡胶坝	90.5	16.13	2.24	11.04	劣 V 类
东沙河	入北沙河前	27.5	4.8	5.04	3.37	劣 V 类
北沙河	北沙河橡胶坝	56.5	15.75	2.01	6.32	劣 V 类
沙河水库	沙河闸	41.6	13.27	2.49	10.37	劣 V 类
蒹沟	蒹沟橡胶坝	67	4.8	1.6	2.1	劣 V 类
干流上段	鲁疃闸	60	13.2	2.8	7.4	劣 V 类
清河	沈家坟闸	106.2	20	2.5	19.1	劣 V 类
坝河	楼梓庄闸	92.5	15.6	3.8	11.7	劣 V 类
小中河	刘庄橡胶坝	88	14.8	2.2	12.2	劣 V 类
小场沟	亮安屯闸	97	14	2.6	15.5	劣 V 类
干流下段	北关闸	92	17.4	2.5	14.3	劣 V 类

从监测结果来看，温榆河干流水质现状仍为劣 V 类，其中 COD_{Cr} 污染相对较轻，而 TN、TP 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 超标相对较为严重。温榆河干支流中东沙河、蒹沟水质相对较好，而南沙河、清河、坝河、小中河、小场沟和温榆河下段水质相对较差。

2. 干流水质变化规律

表 1-4 为温榆河干流主要断面水质监测结果。从沙河闸到小场沟，不同断面的 pH 值变化不大， DO 、 BOD_5 （五日生化需氧量）、 COD_{Mn} （高锰酸盐指数）、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等指标则在鲁疃闸断面发生突变， BOD_5 、 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 指标急剧增加，达到其峰值后逐渐