

滦河流域水库群 联合调度及三维仿真

邱林 陈晓楠 王文川 柴福鑫 严登华 张云歧 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

滦河流域水库群 联合调度及三维仿真

邱林 陈晓楠 王文川 柴福鑫 严登华 张云歧 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是作者系统总结近年来项目研究成果和水利部公益性行业科研专项资助项目(200801015)相关研究成果的基础上编写而成的。全书共分7章,围绕如何更好地发挥滦河流域水利工程的作用,较深入地研究了现代智能算法在需水预测、径流预报、洪水预报、新安江模型及马斯京根模型参数率定、水库群优化调度等方面的应用;利用三维虚拟仿真技术在三维空间展现调度结果,构建了一个完整的滦河流域水库调度决策支持系统,取得了较好的应用效果。

本书可供水文及水资源、水利工程、管理科学等专业的研究生、科研人员、大中专院校师生及关心水利行业发展的读者参考使用,也可水库管理部门进行水库的调度工作提供参考、借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

滦河流域水库群联合调度及三维仿真 / 邱林等著

. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2010. 11

ISBN 978-7-5084-8045-9

I. ①滦… II. ①邱… III. ①滦河—水库调度—研究
IV. ①TV697.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第218486号

审图号: GS (2010) 1160 号

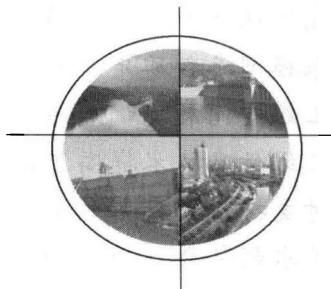
书 名	滦河流域水库群联合调度及三维仿真
作 者	邱林 陈晓楠 王文川 柴福鑫 严登华 张云岐 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 10.75印张 264千字 6插页
版 次	2010年11月第1版 2010年11月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	30.00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

前言

Preface



中国是一个水旱灾害频发的国家，如何解决好水多、水少、水脏的问题，实现水资源的可持续利用以支持国民经济的可持续发展，已成为社会普遍关心的问题。随着社会经济的迅速发展，我国建成了许多大型水利工程，研究在一定区域内的水库群联合控制运用，充分发挥水利工程在防洪和兴利方面的作用，对保证水利工程的防洪安全、地区防洪安全以及水资源的高效利用有着极其重要意义。

滦河是我国北方地区水资源较丰沛的河流之一，多年平均年径流量为 46.94 亿 m^3 ，但河川径流年际、年内分配不均，具有连丰连枯的水文特性。自 1999 年以来，滦河流域连续多年持续干旱少雨，潘家口水库平均年来水量仅为 7.43 亿 m^3 ，为多年平均年来水量的 30%。由于潘家口水库来水锐减，造成天津、唐山和秦皇岛市供水不足，先后四次实施引黄济津应急调水，五次动用潘家口水库死库容应急供水的窘迫局面。如何更好地发挥本地区水利工程的作用，更好地利用当地水资源以缓减水资源的供需矛盾是一个有现实意义和理论意义的课题。在这种背景下，由水利部海河水利委员会引滦工程管理局建议，由华北水利水电学院牵头，中国水利水电科学研究院和南水北调中线建管局等多家单位协助，开展了滦河流域水库群联合调度及三维仿真研究。针对滦河流域的水文特征和地区的供需水特点，充分利用现有水利工程，实施潘家口、大黑汀、桃林口、陡河、于桥和邱庄等水库联合调度。在系统分析不同子区发生洪水的时空特性基础上，发挥本流域水库群的联合防洪功能，较好地实现了发生大洪水时减小洪水灾害损失，发生中、小洪水时，充分利用洪水资源，缓解了该地区的防洪压力和水资源供需矛盾。三维仿真技术提高了该成果的实用性。

项目以滦河流域中下游水库群联合调度问题为核心开展研究，用自然—人工二元水循环原理研究人类活动影响下滦河流域水循环机理；较深入地研

究了现代智能算法在需水预测、径流预报、洪水预报、新安江模型及马斯京根模型参数率定、水库群优化调度等方面的应用；利用三维虚拟仿真技术在三维空间展现调度结果，构建了一个完整的滦河流域水库调度决策支持系统。三维仿真技术提高了该成果的实用性。该项目研究历经4年时间，课题组在此对支持本项目工作的有关部门、领导和专家表示由衷地感谢。本项研究得到了水利部公益性行业科研专项资助项目（200801015）、华北水利水电学院省级重点学科——水文学及水资源学科的支持，在此表示感谢。

本书是在系统总结项目研究成果的基础上形成的，在编写过程中，参阅和引用了大量相关文献，在此谨向有关作者和专家表示感谢。本书能够得以问世，要特别感谢王浩院士的指导，感谢水利部海河水利委员会引滦工程管理局周广刚处长，陡河水库管理处吴庆林副处长，他们为资料的收集和整理付出了许多辛苦的汗水。本书的编写工作分工如下：第1章由张云歧执笔；第2章由王文川、张云歧执笔；第3章由严登华执笔；第4章由王文川、张云歧执笔；第5章由邱林、陈晓楠执笔；第6章由邱林、王文川执笔；第7章由柴福鑫、张云歧执笔。全书由邱林、王文川、陈晓楠、柴福鑫负责统稿。同时参加本书编辑工作和程序开发工作的还有徐冬梅、万芳、和吉、陈海涛、马建琴、段春青、黄鑫、韩晓军等人。在本书正式出版之际，特向有关领导、专家以及为本书付出劳动的各位同仁表示衷心的感谢！

限于作者水平有限，且部分成果有待进一步深入研究，书中谬误及不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

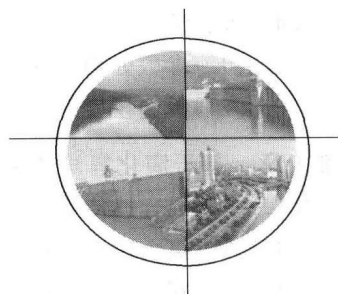
为了更清楚地表示书中的内容，在附录中附印49幅彩色图，这些图的编号与正文相同。正文中图号加“*”的，表示其彩色图在附录中。

作者

2010年6月

目 录

Contents



前言

第 1 章 滦河流域概况及水资源开发利用中存在的问题	1
1.1 流域概况	1
1.1.1 自然地理	1
1.1.2 水文气象	3
1.1.3 工程概况	4
1.1.4 主要受水城市水资源供需情势	11
1.2 水资源开发利用中存在的问题	12
第 2 章 研究现状综述及技术路线	14
2.1 国内外研究现状	14
2.1.1 二元水循环理论	14
2.1.2 流域模型参数优选	15
2.1.3 径流预报	16
2.1.4 水库群优化调度	18
2.1.5 水库模拟调度	19
2.1.6 流域数字化技术	20
2.2 水库调度研究中存在的主要问题	21
2.3 研究的技术路线	22
第 3 章 变化环境下的滦河流域水循环机理	24
3.1 二元驱动下的流域水循环系统演进	24
3.2 流域二元水循环过程模拟的实现	25
3.2.1 基于二元模式的流域水循环研究	25
3.2.2 流域二元水循环过程的模拟	26
3.3 人类活动影响下流域水循环模型	27
3.3.1 模型结构	27
3.3.2 模拟要素	27
3.3.3 能量过程模拟	29
3.3.4 水文过程模拟	31

3.4 人类活动影响下滦河流域水循环机理研究	33
3.4.1 参数处理	33
3.4.2 模型校验	34
第4章 基于演化算法的洪水预报模型	36
4.1 基于混合遗传算法的洪水预报模型	36
4.1.1 概念性水文模型	36
4.1.2 新安江模型结构与参数	37
4.1.3 混合遗传算法	41
4.2 模型应用	47
4.2.1 模型参数的率定	48
4.2.2 率定结果	48
4.2.3 洪水拟合成果	56
4.3 过程预报	56
4.3.1 雨水情势分析	56
4.3.2 洪水过程	57
4.4 马斯京根河道洪水演算模型	60
4.4.1 马斯京根模型	60
4.4.2 马斯京根参数优选方法	61
4.4.3 模型应用	62
第5章 基于多目标决策技术的水库优化调度模型	68
5.1 基于粒子群优化算法的水库优化调度模型	68
5.1.1 基本粒子群算法	68
5.1.2 自适应随机惯性权策略	69
5.1.3 自适应随机惯性粒子群性能测试	71
5.1.4 限速粒子群算法	73
5.1.5 基于粒子群算法的水库优化调度模型	73
5.1.6 应用实例	75
5.2 水库多目标调度的模糊决策方法	77
5.2.1 水库调度的目标	77
5.2.2 水库调度的模糊优选方法	77
5.2.3 评价指标权重的确定	78
5.2.4 陡河水库调度方案的模糊决策	80
5.3 滦河下游水库群联合模拟调度	80
5.3.1 调度原则	81
5.3.2 调洪计算思路	81
5.3.3 调洪资料的选取	81
5.3.4 库群联合防洪调度计算方法	85

5.3.5	调度方案	86
5.3.6	方案实施	91
5.4	滦河下游水库群联合防洪实时调度	91
第6章	区域水资源供需分析及供水调度	97
6.1	基于自适应模糊推理系统的径流预报模型	97
6.1.1	自适应模糊推理系统	97
6.1.2	减法聚类及其在 ANFIS 结构辨识中的应用	99
6.1.3	应用实例	101
6.1.4	预报结果评价指标	102
6.1.5	预报建模及结果	102
6.2	基于神经网络的需水量预测模型	103
6.2.1	神经元和神经网络模型	103
6.2.2	BP 神经网络	104
6.2.3	BP 神经网络用于需水量预测的相关问题分析	106
6.3	滦河流域受水区需水预测	108
6.3.1	城市生活需水预测	108
6.3.2	城市工业需水量预测	109
6.3.3	城市生态需水量预测	110
6.3.4	需水预测的 BP 神经网络模型——以天津市为例	111
6.4	水库群联合供水调度研究	112
6.4.1	来水系统	113
6.4.2	需水系统	113
6.4.3	协调层优化调水模型	114
6.4.4	库群优化调度模型	116
6.4.5	水库群实时优化调度	118
6.4.6	不同来水频率的水库调度结果及分析	119
第7章	水库群联合调度决策支持系统及三维仿真	127
7.1	水库调度决策支持系统简介	127
7.2	六库联合调度系统	127
7.3	陡河水库防洪供水调度系统	130
7.3.1	供水调度的操作	131
7.3.2	洪水预报的操作	133
7.3.3	洪水调度的操作	137
7.3.4	数据库管理的操作	139
7.3.5	图片资料管理的操作	140
7.3.6	视频资料管理的操作	141
7.3.7	文本资料管理的操作	142

7.4 水库调度三维仿真·····	142
7.4.1 数字流域与三维仿真概述·····	142
7.4.2 基于 Skyline 的大场景三维展示平台 ·····	143
7.4.3 三维虚拟仿真平台的整体架构 ·····	144
7.4.4 数据处理 ·····	145
7.5 主要功能及其实现·····	145
7.5.1 三维信息的展示·····	145
7.5.2 三维信息的查询·····	146
7.5.3 空间数据分析 ·····	147
7.5.4 洪水演进与淹没分析·····	147
7.5.5 供水调度结果的三维展示 ·····	147
7.5.6 系统的整体架构·····	147
7.5.7 系统主要功能与界面·····	147
结论 ·····	153
发表的相关论文 ·····	154
参考文献 ·····	156
附录 书中的彩图	

第 1 章 滦河流域概况及水资源开发利用中存在的问题

1.1 流域概况

1.1.1 自然地理

滦河发源于河北省丰宁县巴颜图古尔山麓，流经河北省、内蒙古自治区、辽宁省的 27 个市、县、区，于河北省乐亭县兜网铺注入渤海，全长 888km，流域面积 44600km²，其中山区占 98%，平原占 2%。滦河流域位于华北平原东北部，北部以苏克斜鲁山、七老图山、努鲁尔虎山及松岭为界，与西拉木伦河、老哈河、大凌河、小凌河、洋河相邻，西南以燕山山脉为界，与潮白河、蓟运河相邻，南临渤海。流域自西北至东南长 435km，平均宽度 103km。

流域地势由西北向东南倾斜，山地占绝大部分。多伦以上为内蒙古高原，海拔 1300~1400m，地势平坦，多草甸沼泽，植被较好；向南河流开始蜿蜒迂回于山区峡谷和小盆地中，其间绝大部分为石质山区，土质松散，土层较薄，伊逊河、武烈河、老牛河流域植被较差，水土流失严重；罗家屯以下进入丘陵区，河谷逐渐展开，滦县京山铁路桥以下进入渤海平原，河道顺直平缓。流域水系如图 1.1* 所示。

滦河自坝上高原汇集燕山、七老图山、阴山东端水流，支流众多，水量丰沛。沿途汇入的常年有水支流约 500 条，其中河长 20km 以上的一级支流 33 条，总长 2402km。二级、三级支流 48 条，总长 1522km。在一级支流中，流域面积大于 1000km² 的河流有 10 条，分别是闪电河、小滦河、兴洲河、伊逊河、武烈河、老牛河、柳河、瀑河、洒河和青龙河。其中小滦河、伊逊河、洒河和青龙河水量最大。

小滦河为滦河上游主要支流，发源于塞罕坝上老岭西麓，河长 133km，流域面积 2050km²，河道坡降 3.47%。小滦河上源名撅尾巴河，从老岭西麓自东向西流，谷宽 200~400m，至二间房分成两股水流，至大脑袋山合成一流，河谷展宽，两岸谷坡平缓，河宽 3m，水深约 0.3m，砂质河床，南流约 3km 折向西，与东来的双岔子河汇合后始称小滦河。小滦河向西南流，过御道口牧场后河谷展宽，汇入红泉河、如意河，在御道口以北纳双子河、卧牛磐河后流出坝上高原进入山区，两岸地势高耸，谷宽 300~500m，河宽约 10m，水深 0.5m，至下洼子向东南流，谷宽一般 300m，河宽约 15m，水深 0.7~1.0m。在三道营以下流向西南又折向东南，于隆化县郭家屯汇入滦河。

伊逊河发源于河北省围场县哈里哈老岭山麓，河长 203km，流域面积 6750km²，河道坡降 6.8%。伊逊河上源翠花宫沟，南流先后自右岸纳小支流及大翠花宫沟，河谷宽 200~

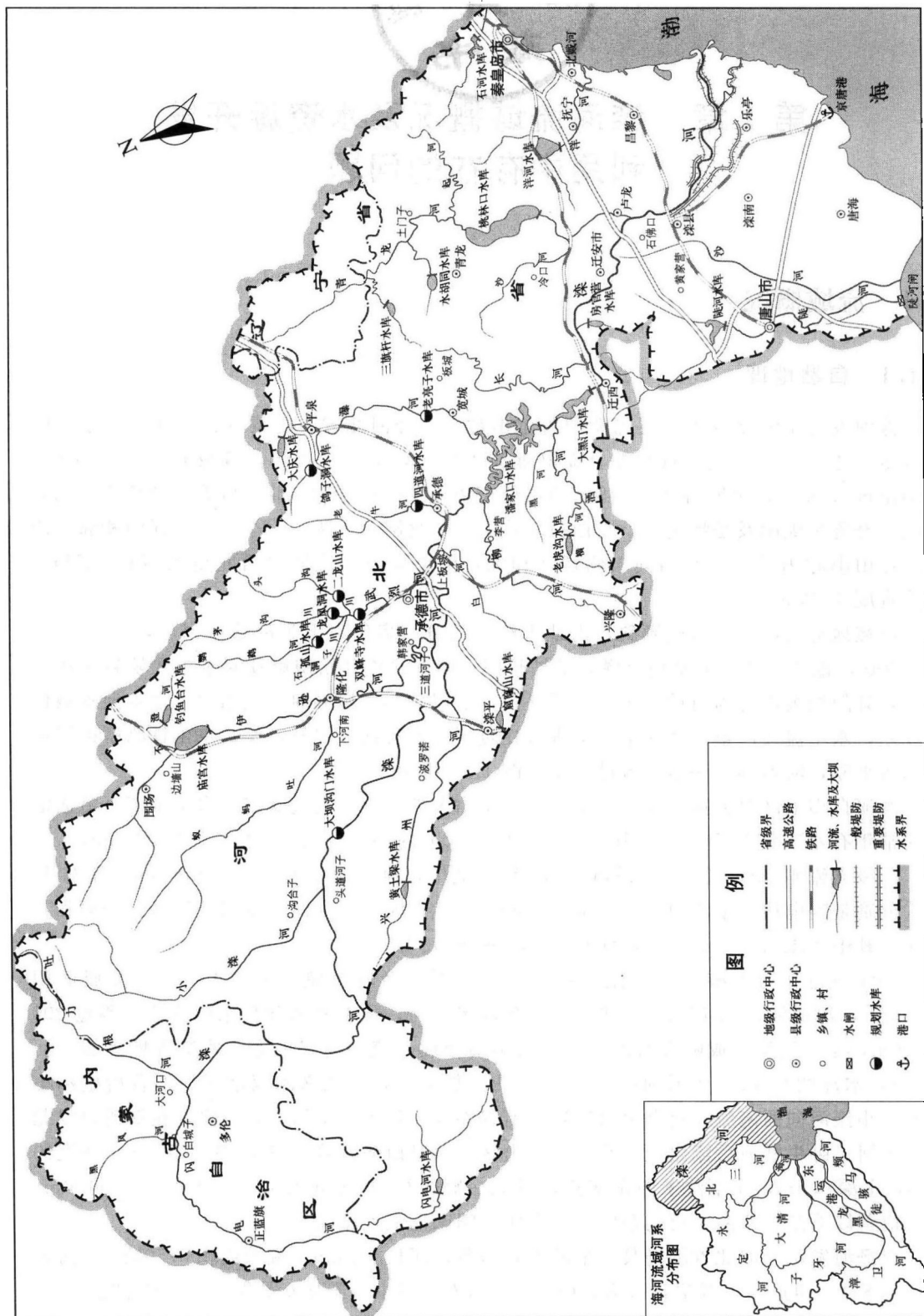


图 1.1 滦河水系图



400m, 向东南流 4.7km 纳三通窝沟, 经小南沟东纳母子沟后, 始称伊逊河。伊逊河东南流, 先后有前莫里莫沟、大扣花营沟、五道川、甘沟等注入, 至头号纳大唤起河, 在小锥子山折向东南, 纳直字河, 至围场县南左纳湖泗汰沟, 右纳吉布汰沟, 流至小簸箕掌纳银镇河, 南行流入庙宫水库, 出库后南流至罗鼓营南左纳榆树林沟, 右汇通事营河, 向南流经大阴峡谷后折向东南, 进入隆化盆地, 在闹海附近伊逊河最大支流蚂蚁吐河自西北注入, 河流量大增, 超梁沟以下河谷变窄, 流向受地质构造影响, 迂回多变, 至杨树沟门以下, 河谷展宽, 有岔流, 至河台子村以南河谷狭窄, 流至四泉庄河河谷渐展, 水较深, 流较急, 西南流至滦河镇逆滦河流向汇入滦河。

洒河发源于兴隆县章帽子山东八品沟, 自西向东流, 经石庙子、半壁山、兰旗营至老龙井关穿过长城进入唐山市境内, 在洒河桥以下流入大黑汀水库, 全长 89km。流域面积 1160km², 河谷平均宽 50m, 卵石河床, 栗树湾至洒河桥一带河道多弯曲和急滩。洒河是滦河的主要支流之一, 由于流域处于燕山迎风区的暴雨中心, 因而水资源比较丰富, 洪峰模数亦大于该区其他流域, 多年平均年径流量 3.5 亿 m³。据洪水调查资料统计, 洒河汉儿庄站自 1883 年以来, 洪峰流量大于 2000m³/s 的洪水发生过 4 次, 其中以 1894 年的洪峰流量 9780m³/s 为最大。

青龙河位于滦河流域的东南侧, 河长 246km, 流域面积 6340km², 是滦河第二大支流, 而水量之丰冠于其他支流。该河源有两处: 南源在河北省平泉县古山子乡, 北源在辽宁省的抬头山乡五道梁子, 两源南流于辽宁省凌源县三十家子汇合后, 流经承德市平泉、宽城至秦皇岛市青龙县、卢龙县, 于唐山市滦县石梯子汇入滦河。青龙河流域属东亚季风型气候区, 冬季寒冷干燥, 夏季炎热多雨; 该河为滦河流域的主要暴雨区, 暴雨中心多出现在青龙县城、七道河、土门子、双山子、龙王庙一带; 流域径流主要靠降雨补给, 年平均降雨量为 701mm, 桃林口坝址以上多年平均天然径流量 9.6 亿 m³, 占滦河流域总径流量的 20.7%; 青龙河支流众多, 其中大于 100km 的支流有 6 条, 这些河流属山溪性河流, 雨季河水暴涨暴落, 水量较大; 青龙河河床由砂卵石组成, 中游段河床宽 50~70m, 下游段河床宽 400~1000m, 平均纵坡为 5.4%。自 1929 年以来, 桃林口水文站洪峰流量超过 6000m³/s 的洪水发生过 5 次。

1.1.2 水文气象

滦河流域夏季东南季风从渤海吹向陆地, 带来大量水汽与大陆上冷空气相遇, 形成锋面降水, 此种类型降水所占比重较大。当东南季风越过沿海平原, 首先遇到燕山山脉的阻挡, 迎风坡气流被抬升, 形成地形雨。气流爬升越高, 降水越大, 到一定高度, 因锋面被山阻挡而停滞, 增长雨时, 加大雨势, 降水量最大。流域平均年降水量 595mm。

降水量年际变化大, 差异悬殊。最丰年降水量是最枯年降水量的 1.7~3.5 倍。降水量的季节分配极不均匀, 年内各月差异明显, 夏季降水量集中, 降水量在 200~560mm, 占全年降水量的 67%~76%。尤以 7 月和 8 月最为集中, 这两个月可占全年降水量的 50%~65%。

滦河水量较丰沛, 滦县站多年平均径流量为 46.94 亿 m³, 潘家口站为 24.5 亿 m³。由于降水集中, 径流量年内变化很大。汛期 7 月、8 月来水量较多, 占年总量的 1/2 以



上；枯季1月、2月来水最少，两月水量之和不足全年的1/10。

由于潘家口、大黑汀水库于1980年建库蓄水，潘家口、桃林口、滦河区间年径流量分为1980年前后两个系列。滦河潘家口站1930~1979年年平均径流量为18.42亿 m^3 ，最大为71.37亿 m^3 （1959年），最小为9.64亿 m^3 （1972年）；1980~1998年年平均径流量为18.04亿 m^3 ，最大为28.58亿 m^3 （1996年），最小为6.91亿 m^3 （1981年）。青龙河桃林口站1957~1997年年平均径流量为7.682亿 m^3 ，1997年水库蓄水后出库径流有所减少。沙河冷口站1959~1997年年平均径流量为1.113亿 m^3 。流域出口站滦县1930~1979年年平均径流量为47.46亿 m^3 ，最大为127.8亿 m^3 （1959年），最小为16.05亿 m^3 （1936年）；1980~1997年由于水库拦蓄，平均年径流量减少至24.60亿 m^3 ，最大为59.10亿 m^3 ，最小为8.67亿 m^3 （1982年）。

滦河流域暴雨日数的地理分布是东南多、西北少。兴隆、宽城、青龙一线以南，年均2.3次，此线以北到承德、平泉一线，年均1次，丰宁及西北地区无大暴雨出现。

滦河流域洪水由暴雨形成，暴雨出现的时间一般是4~10月，大暴雨一般发生在7月、8月，最大洪峰流量多发生在7月下旬至8月上旬。由于流域暴雨历时短、强度大，以及地面坡度陡，汇流快，因此洪峰具有峰高、量大、势猛等特点。一次洪水历时一般为3~6天。

潘家口、桃林口、滦河区间的洒河、青龙河、长河、沙河等支流地处山区，每遇暴雨，常常发生较大洪水。洪水暴涨暴落，往往造成洪涝灾害。潘家口建库前，滦县站曾发生过34000 m^3/s 的洪峰流量（1962年），1959年最大30日洪量达71.88亿 m^3 。1980年后虽有上游潘家口、大黑汀两座水库拦蓄，滦县站于1994年仍发生了洪峰流量达9200 m^3/s 的洪水，最大30日洪量为32.62亿 m^3 洪水年际变化大，枯水年（1992年）最大洪峰流量只有159 m^3/s ，建库前枯水年（1968年）最大洪峰流量为407 m^3/s 。

1.1.3 工程概况

引滦工程是集城市生活用水、工业供水、农业灌溉、发电、防洪、水环境保护与水生态修复为目标的综合性大型水利工程群。主要包括引滦枢纽工程、引滦入津工程、引滦入唐工程、桃林口水库工程和引青济秦工程。其布置图如图1.2*所示。

1.1.3.1 引滦枢纽工程

引滦枢纽工程位于河北省迁西县境内的滦河干流上，由潘家口水利枢纽、大黑汀水利枢纽及引滦枢纽闸三部分组成，其主要任务是向天津、唐山两市城市生活、工业供水；提供滦河下游农业灌溉用水；提供华北电网调峰及事故备用发电；供滦河下游防洪用水及天津、唐山两市环境生态用水。

1. 潘家口水库

潘家口水库位于河北省唐山市与承德地区交界处的滦河中游，是整个引滦工程的源头，控制滦河流域面积33700 km^2 ，占全流域面积的75%，控制全流域水量1/2以上。它是整个引滦工程的龙头，拦蓄滦河上游来水。其主要作用是供水，同时兼顾防洪、发电，为多年不完全调节水库。总库容29.3亿 m^3 ，兴利库容16.7亿 m^3 ，正常蓄水位222.00m，汛限水位216.00m，死水位180.00m。坝址以上多年平均年径流量24.5亿 m^3 ，占全流域多年平均径流量的53%。其水库水位—面积、水位—库容关系见表1.1。

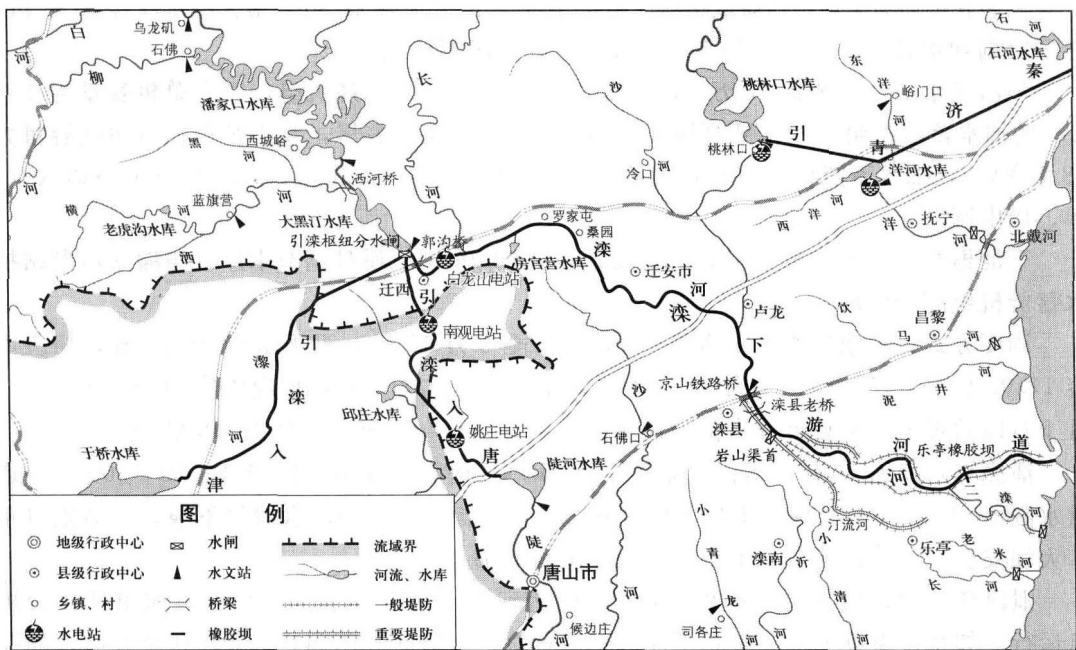


图 1.2* 水利工程布置图

表 1.1 潘家口水库水位—面积、水位—库容关系表

水 位 (m)	面 积 (km ²)	库 容 (万 m ³)	水 位 (m)	面 积 (km ²)	库 容 (万 m ³)
134.50	0	0	180.00	22.38	33100
140.00	0	0	190.00	29.88	58700
145.00	0.62	100	200.00	39.40	93400
147.50	1.10	300	210.00	50.10	137900
150.50	1.84	700	220.00	61.76	193900
155.00	3.06	1900	230.00	74.60	261600
160.00	5.56	4000	240.00	90.50	343300
170.00	15.16	14300	250.00	107.30	442400

潘家口水利枢纽工程包括潘家口水库大坝、下池枢纽、两座副坝和坝后式水电站。主坝坝顶高程 230.50m（大沽高程），保坝洪水位 230.10m，正常蓄水位 222.00m，设计洪水位 224.50m，校核洪水位 227.00m，汛限水位 216.00m，发电死水位 180.00m。防洪库容 9.7 亿 m³，兴利库容 19.5 亿 m³，总库容 29.3 亿 m³。主坝为混凝土宽缝重力坝，按 1000 年一遇洪水设计，5000 年一遇洪水校核，坝顶长 1039m，分为 56 个坝段，最大坝高 107.5m，最大坝底宽 90m，坝顶宽 7m，大坝中间部分设有 18 孔溢洪道，用 15m×15m 弧形钢闸门控制，溢洪道最大泄洪能力为 53100m³/s。30 号和 32 号坝段为底孔坝段，共四个底孔，用 4m×6m 弧形闸门控制，一方面可参与泄洪，另一方面可以在低水位（低于发电死水位 180.00m）时为下游供水，或特殊情况下放空水库之用。底孔最大泄洪能力为 3100m³/s。



两座副坝均为土坝，西城域副坝坝顶长 345m，最大坝高 22.5m，最大挡水库容 10 亿 m^3 ，脖子梁副坝坝长 30m，最大坝高 4.95m，一般情况不挡水。

坝后式水电站总装机 42 万 kW，其中一台 15 万 kW 常规机组，三台单机容量为 9 万 kW 的抽水蓄能机组。220kV 高压开关站位于主坝后滦河右岸，其中常规机组主变容量为 18 万 kVA，抽水蓄能机组主变每台容量为 10 万 kVA，以 220kV 高压经开关站输入京、津、唐电网。

下池枢纽由闸坝和电站组成，有效库容 1000 万 m^3 ，属日调节水库，与潘家口电站抽水蓄能机组配合使用。

调度方式：潘家口水库主汛期（7 月 1 日至 8 月 15 日）汛限水位 216.00m，相应库容 17.03 亿 m^3 ；后汛期（8 月 16~31 日）汛限水位 222.00m，相应库容 20.62 亿 m^3 ；9 月 1 日以后视天气形势可逐步蓄到最高蓄水位 224.70m，相应库容 22.45 亿 m^3 。

潘家口水库遇 50 年一遇洪水限泄 1 万 m^3/s ，保京山铁路大桥安全；50~500 年一遇洪水限泄 28000 m^3/s ，保潘家口水电厂安全；大于 500 年一遇洪水泄量不限，保潘家口水库大坝安全，但各级泄量均不得大于入库洪峰流量。

泄洪建筑物运用方式：潘家口水库水位达到汛限水位 216.00m 时，首先电站 4 台机组运行。如水位继续上涨，电站不能满足泄量时，开启底孔闸门，3 个底孔全开后，隔孔开启 18 孔溢流坝闸门。当入库流量达到 500 年一遇时，电站 4 台机组停止运行，溢流坝闸门全开，以满足泄洪要求。

防洪保护范围：潘家口水库保护范围涉及 102 国道、京沈高速公路、京山铁路、津渝公路及迁西县城等重要交通干线、通信干线和城镇，保护着迁安首都矿业公司的防洪安全。保护人口 270 万人、耕地 467 万亩。

2. 大黑汀水库

大黑汀水库位于潘家口主坝下游 30km 处的滦河干流上。

大黑汀水库控制流域面积 35300 km^2 。总库容为 3.37 亿 m^3 ，有效库容 2.24 亿 m^3 。最高蓄水位、正常蓄水位、汛限水位均为 133.00m，死水位 121.50m。其水库水位—面积、水位—库容关系见表 1.2。

表 1.2 大黑汀水库水位—面积、水位—库容关系表

水 位 (m)	面 积 (km^2)	库 容 (万 m^3)	水 位 (m)	面 积 (km^2)	库 容 (万 m^3)
104.00	0.74	0	120.00	11.23	8635
106.00	1.46	184	122.00	13.04	10670
108.00	2.45	309	124.00	14.75	13410
110.00	3.6	794	126.00	16.65	16760
112.00	4.95	1739	128.00	18.73	20260
114.00	6.45	2973	130.00	21.13	24225
116.00	8.07	4529	132.00	23.55	28725
118.00	9.7	6291	134.00	26.05	33695



大黑汀水库的主要作用是承接潘家口水库的调节水量,抬高水位,为跨流域引水创造条件,同时拦蓄潘家口、大黑汀区间来水并结合供水发电。

大黑汀水库为年调节水库,总库容 3.37 亿 m^3 ,有效库容 2.24 亿 m^3 。主坝为二级水工建筑物,按百年一遇洪水设计,千年一遇洪水校核。主坝坝顶长 1354.5m,最大坝高 52.8m,分为 82 个坝段,大坝中部设有 28 孔溢洪道,用 $15\text{m}\times 12.1\text{m}$ 弧形门控制,最大泄洪能力为 $60750\text{m}^3/\text{s}$ 。在溢洪道右侧设有 8 个底孔,孔口尺寸为 $5\text{m}\times 10\text{m}$,用 $5.76\text{m}\times 10.05\text{m}$ 平板钢闸门控制,最大泄洪能力为 $6750\text{m}^3/\text{s}$ 。

渠首闸位于渠首电站左侧,共 4 孔,孔口尺寸为 $4\text{m}\times 4\text{m}$,用 $4.1\text{m}\times 4.06\text{m}$ 平板钢闸门控制,控制引水流量 $160\text{m}^3/\text{s}$ 。

渠首闸右侧设渠首电站一座,装机容量 1.28 万 kW (4×0.32 万 kW)。底孔坝段右侧设河床电站一座,装机容量为 0.88 万 kW,两座总装机 2.16 万 kW,其多年平均发电量 0.468 亿 kW·h。

大黑汀水库以上流域面积 35300km^2 ,其中潘家口与大黑汀水库之间流域面积为 1600km^2 。

3. 引滦枢纽闸

引滦枢纽闸工程位于大黑汀水库渠首电站下游 500m 处,通过引滦总干渠与大黑汀水库相接,其作用是控制调节引滦入津和入唐的流量。引滦枢纽闸右侧设有入津闸,设计流量 $60\text{m}^3/\text{s}$,引滦枢纽闸左侧设有入唐闸,设计流量 $80\text{m}^3/\text{s}$,引滦枢纽闸以下分别与引滦入津明渠和引滦入唐隧洞相接。

1.1.3.2 引滦入津工程

引滦入津工程由黎河段、于桥水库、州河段、引滦输水明渠和一系列泵站、暗渠组成。

1. 黎河段

黎河段是引滦入津工程主要组成部分,输水段由迁西县、遵化市交界处的低山丘陵区至沙河、黎河汇流口,全长 57.60km,最大输水流量为 $60\text{m}^3/\text{s}$ 。

2. 于桥水库

于桥水库是天津市最大的一座大型水库,坝址位于蓟县城东 4km,蓟运河左支流州河上游出山口处,流域面积 2060km^2 ,占整个州河流域面积的 96%,总库容 15.59 亿 m^3 。1983 年纳入引滦工程后,成为以防洪和城市供水为主,兼顾发电、灌溉等多重任务的大(1)型调蓄水库。于桥水库作为引滦入津重要调节水库,存蓄上游潘家口水库调引水源,经引滦专用输水渠道给城市供水。整个流域位于燕山山脉的迎水坡,属暖温带大陆性季风性半湿润气候,多年平均降雨量在 750mm 左右,多年平均径流量 5.06 亿 m^3 ,降雨多发生在 7 月、8 月,占全年降雨的 85%;暴雨中心常在水口、马兰峪、遵化等地。州河由沙河、淋河、黎河等大支流汇合组成,各支流上游沟涧甚多,支流分散成辐射状汇集于州河盆地,水库库区即位于该盆地,最大回水长东西约 30km,南北宽 8km。正常蓄水水位 21.16m,正常蓄水位时表面积 113.8km^2 。总库容 15.6 亿 m^3 ,兴利库容 3.85 亿 m^3 ,死库容 0.76 亿 m^3 。其水库水位—面积、水位—库容关系见表 1.3。



表 1.3 于桥水库水位—面积、水位—库容关系曲线表

水 位 (m)	面 积 (km ²)	库 容 (万 m ³)	水 位 (m)	面 积 (km ²)	库 容 (万 m ³)
10.50	2.25	1080	21.00	111.00	39400
11.50	2.70	1220	21.16	113.80	40900
12.50	3.15	1410	22.00	128.00	49500
13.00	3.70	1550	22.50	137.50	61800
14.00	10.00	2020	23.00	147.00	69100
15.00	21.50	3600	23.50	156.50	76000
16.00	34.50	6400	24.00	166.00	83500
16.50	41.60	8250	24.50	175.50	91400
17.00	48.80	10550	25.00	185.00	99600
17.50	56.40	13350	25.62	195.00	111600
18.00	63.80	16200	26.00	205.00	119400
18.65	72.00	20530	26.50	216.00	130000
19.00	79.00	22800	27.00	227.00	140000
19.87	92.50	29500	27.50	238.00	151400
20.50	102.80	34800	27.72	260.00	156100

水库枢纽工程有拦河坝、放水洞、溢洪道、水电站。拦河坝为均质土坝，全长 2222m，最大坝高 24m，坝顶高程 28.72m，放水洞（兼发电洞）洞径 5m，最大放水能力 150m³/s，坝后电站设贯流式机组 4 台，总装机 5000kW。溢洪道为开敞式堰闸，八孔闸门，净宽为 80m，最大泄洪能力 4138m³/s。

3. 州河段

州河段连接于桥水库入蓟运河，全长 54km，最大输水流量为 150m³/s。

4. 引滦输水明渠

引滦输水明渠起于九王庄进水闸，止于大张庄泵站前池，全长 64.2km，最大输水流量为 50m³/s。

1.1.3.3 引滦入唐工程

引滦入唐工程由引滦入还输水工程、邱庄水库、引还入陡输水工程和陡河水库 4 部分组成。

1. 引滦入还输水工程

引滦入还输水工程是引滦入唐输水工程的上段部分。由大黑汀枢纽闸到邱庄水库，全长 25.80km，输水工程设计引水流量 80m³/s，校核流量 100m³/s。

2. 邱庄水库

邱庄水库位于唐山市丰润区城区以北 20km，还乡河出山口处，是蓟运河支流还乡河上的一座大型水库，也是引滦入唐沿线上的中间调节水库，控制流域面积 525km²，多年平均年径流量 1.09 亿 m³。水库正常蓄水位 66.50m，死水位 53.00m，总库容 2.04 亿