



基于ET的 区域水资源管理研究

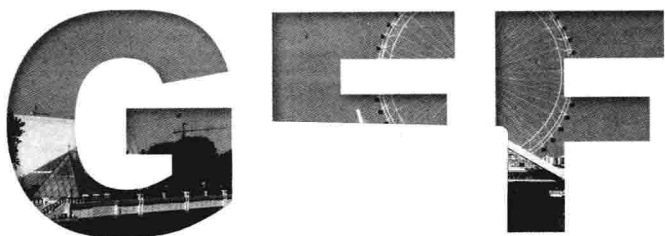
天津市水利局GEF项目办公室 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

基于ET的 区域水资源管理研究

天津市水利局GEF项目办公室 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

2004年9月全球环境基金(GEF)为海河流域提供一笔赠款,实施天津市水资源与水环境综合管理项目。天津市是 GEF 海河重点项目区之一,本书是在天津市 IWEMP 和天津市水利局 GEF 项目办公室开展的三个专题研究的基础上进行综合汇总而成的。主要论述了基于 ET 的区域水资源与水环境综合管理规划框架下,区域水资源开发利用的方法和实用技术。

本书理论与实践紧密结合,可操作性强,具有很高的参考价值,可供从事水资源、水环境规划管理的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于ET的区域水资源管理研究 / 天津市水利局
GEF项目办公室编. — 北京: 中国水利水电出版社,
2013.4

ISBN 978-7-5170-0841-5

I. ①基… II. ①天… III. ①区域资源—水资源管理
—研究—天津市 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第089092号

书 名	基于 ET 的区域水资源管理研究
作 者	天津市水利局 GEF 项目办公室 编
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 (发行部) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	145mm×210mm 32 开本 6.75 印张 181 千字
版 次	2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—1200 册
定 价	28.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

编委会名单

主 编：李文运

副主编：闫学军 何云雅

编 委：严晔端 张 芳 邢 荣 秦大庸
戈建民 江 浩 张 欣 周祖昊
韩 旭 张 晔 刘学功 彭新德
桑学锋 朱金亮 吕 琳 周潮洪
景金星 杨贵羽 安丽丽 柴雅彬
吴 涛 董树果 褚俊英 杨 洁
王小琛 刘洪涛 郑庆月 刘 薇
王建卉

前 言

水资源短缺、水环境恶化和水生态退化是海河流域三大水问题，为使海河流域的水资源与水环境综合管理水平获得真正的提高和重大的进步，并降低对渤海的污染，2004年9月全球环境基金（Global Environmental Foundation, GEF）为海河流域提供一笔赠款，实施水资源与水环境综合管理规划项目。

在 GEF 海河项目中，引进卫星遥感监测 ET（蒸腾蒸发）的技术和方法，使海河流域水资源和水环境综合管理工作更加精准化和科学化，目的是实现“真实”节水，支持经济社会的可持续发展。无论是流域或区域的水资源和水环境综合管理，都应当满足各部分土地良好生态的 ET 为准则，分配水资源和安排好各项技术措施。

天津市是 GEF 海河重点项目区之一，将编制天津市水资源与水环境综合管理规划（天津市 IWEMP）。天津市级 IWEMP 是在海河 GEF 流域级研究成果的指导下，在知识管理（KM）系统、遥感监测蒸腾蒸发（ET）等新技术的支持下，在天津 IWEMP 各专题研究和成果的支撑下，坚持以 ET 为核心的水资源与水环境综合管理理念，通过自上而下、自下而上、纵横协调的工作方法，充分吸收总项目中其他课题（专题）的先进经验和研究成果开展编制的。天津市 IWEMP 提出了今后天津市水资源和水环境可持续发展的新思路，通过实

施这一规划，逐步调整和建立起有效的天津市水资源和水环境综合管理体制与机制，保证和促进天津市经济和社会的可持续发展，同时为改善海河流域和渤海湾的水环境、水生态作出应有的贡献。

天津市需要开展 6 个专题研究来支持市级 IWEMP 的编制工作，即水量研究、地下水研究、再生水研究、水质研究、非点源污染控制研究和水生态修复研究。天津市水利局 GEF 项目办公室开展的水量、地下水、再生水三个专题研究，贯穿 ET 的水资源管理理念，对本区域水资源规划、地下水开采、再生水利用方面存在的一些严重问题进行深入的研究和探讨，将水资源分配量与水资源消耗量 (ET) 结合起来，在 ET 总量控制下，优化分配地表水、合理开采地下水和利用再生水，提高了 ET 的利用效率，为天津市 IWEMP 的编制提供了技术支撑。

本书以天津市 IWEMP 作指导，在天津市水利局 GEF 项目办公室开展的三个专题研究的基础上编辑而成。本书共 5 章：第 1 章绪论，第 2 章区域概况，第 3 章基于 ET 的水资源管理，第 4 章地下水控制方案与管理，第 5 章再生水利用方案与技术。

本书编写过程中，得到了天津市 IWEMP 项目组的指导，在此表示感谢。

由于编者水平有限，不妥之处在所难免，敬请广大读者和同行予以批评指正。

编者

2012 年 12 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 背景情况	1
1.2 基于 ET 的水资源水环境综合管理理论内涵	2
1.3 本书的目的和意义	4
第 2 章 区域概况	6
2.1 自然地理	6
2.2 社会经济	8
2.3 水资源状况	8
2.4 水资源开发利用调查评价	11
第 3 章 基于 ET 的水资源管理	15
3.1 ET 调查评价	15
3.2 模拟优化和决策分析	19
3.3 基于 ET 的水资源配置方案	30
3.4 案例分析	56
第 4 章 地下水控制方案与管理	88
4.1 地下水调查与评价	88
4.2 地下水预测与评估	90
4.3 地下水控制方案	111
4.4 保障措施	134
4.5 合理化建议	136
第 5 章 再生水利用方案与技术	139
5.1 再生水利用方案	139
5.2 再生水利用技术	152
参考文献	206

第 1 章 绪 论

1.1 背景情况

水既是基础性的自然资源和战略性的经济资源，又是生态环境性因素。水资源和水环境统一协调地管理是经济社会可持续发展的必然选择。

海河流域在我国政治、经济、文化领域中占有重要地位，也是我国水资源短缺及水污染严重的地区，是渤海污染物的主要来源之一。2004 年在全球环境基金（Global Environmental Foundation, GEF）的资助下，在海河流域设立了“海河流域水资源与水环境综合管理项目”，目的就是推进海河流域水资源和水环境综合管理（Integrated Water Environmental Management, IWEMP），实现水资源合理配置，提高水资源利用效率和效益，修复生态环境，有效地缓解水资源短缺，减轻流域陆源对渤海污染，真正改善海河流域及渤海水环境质量。

GEF 海河项目由水资源与水环境综合管理、知识管理开发、天津市滨海新区污水管理、项目管理和培训 4 部分组成，其中具体技术内容有 8 项：战略研究、知识管理（KM）开发、遥感监测蒸腾蒸发（ET）系统、16 个重点项目市（区、县）水资源与水环境综合管理规划（IWEMPs）、4 个示范项目、海河流域水资源与水环境综合管理战略行动计划（SAP）和漳卫南子流域水资源与水环境综合管理战略行动计划（SAP）及天津市滨海污水管理项目（TJWM）。天津市为 GEF 海河流域项目市级 IWEMP 的主要试点，需要开展 6 个专题研究来支持市级 IWEMP 的编制工作，这 6 个专题研究包括天津市水利局 GEF 项目办公室开展



的水量研究、地下水研究、再生水研究,天津市 GEF 环保项目办公室开展的水质研究、非点源污染控制研究和水生态修复研究。

国内外水资源规划发展历程虽然不尽相同,但大体可分为 6 种模式:①“就水论水”的水资源规划;②基于宏观经济的水资源规划;③面向生态的水资源规划;④广义水资源规划;⑤基于耗水(以下简称 ET)的水资源规划;⑥水资源与水环境综合规划。国内外对前 4 个模式的规划理论、方法、实践都做了大量深入的工作,但基于 ET 的水资源规划和水资源与水环境综合规划才刚刚起步。传统的水资源管理注重取水控制,对基于 ET 的水资源规划,即基于 ET 总量进行控制的理论、方法及技术措施体系尚在研究之中。水资源与水环境综合规划研究现状只是从水资源配置过程中考虑环境问题的角度出发开展了一些工作,没有真正实现水资源和水环境规划的结合。本次天津市级 IWEMP 按照世界银行(以下简称世行)提出的基于 ET 的水资源与水环境综合管理理念开展,力图探索出一条实现人水和谐的水资源与水环境综合管理新思路。

1.2 基于 ET 的水资源水环境综合管理理论内涵

基于 ET 的水资源与水环境综合管理理论内涵包括两个部分:基于 ET 的水资源管理理论内涵、水资源和水环境综合管理理念。

1. 基于 ET 的水资源管理理论内涵

ET 是英文蒸发和蒸腾的合写词,表示水通过一切形式由液态转化成气态的过程。在我国世行贷款开展节水灌溉项目中,世行提出以“真实节水”为手段,实现项目区农业增产增收和水资源可持续利用的目标。“真实节水”的含义是减少项目区 ET 消耗量,只有减少水分的蒸发蒸腾,才是区域水资源量的真正节约。



基于 ET 的水资源管理与传统的水资源管理是有区别的。传统的水资源管理,注重取水管理,节水的效果主要由取水量的减少来衡量,取水的减少量等同于节约的水量。因此在进行水资源规划时,主要在区域间和部门间分配各种可利用的水源,缺乏对 ET 总量的分配和控制。其结果是,发达地区或者强势部门通过提高水的重复利用率和消耗率,在不突破许可取水量的限制的条件下,将消耗更多的水量 (ET 增加),在区域/流域水资源条件 (区域/流域总的可消耗 ET) 基本不变的情况下,这就意味着欠发达地区或者弱勢部门可使用的水资源将被挤占。越是在水资源紧缺的地区,这种矛盾越是突出。因此,按照传统水资源管理理念,水资源利用的公平性并不能真正得到保证,生态系统的安全也并不能真正得到保障。所以,只有对 ET 进行控制才能真正实现流域/区域水资源的可持续利用。对 ET 进行控制,不仅需要从流域/区域整体对 ET 进行控制,还需要对局部区域的 ET 进行分别控制。否则,即使整个流域/区域 ET 得到控制,由于局部的 ET 控制没有实现,可能会造成局部的水资源问题。

与传统取水控制一样,对 ET 的控制并不意味着社会发展停滞不前。在不突破流域/区域 ET 总量的前提下,通过调整 ET 在时空上和部门间的分配,通过提高各部门 ET 利用的效率,减少低效和无效 ET,增加高效 ET,仍然能够促进经济发展和社会进步。

因此,基于 ET 的水资源管理理念包括两层含义:

(1) 控制 ET 总量。从流域/区域整体控制住总的 ET 量,确保流域/区域总 ET 不超过允许 ET,实现水资源的可持续利用。

(2) 提高 ET 利用效率。从流域/区域整体提高水分生产水平,促进社会经济持续发展。基于 ET 水资源管理首先要根据水资源本底条件确定流域/区域允许 ET 量,然后从广义水资源角度出发,在综合考虑自然水循环的“地表—地下—土壤—植被”四水转化过程中产生的 ET 和社会水循环的“供水—用水—耗水—排水”过程中产生的 ET 的基础上,进行各区域、各部门 ET 的分配,确保区域总 ET (自然 ET 和社会 ET) 不超过允许



ET 的要求。

2. 水资源和水环境综合管理理念

水量水质联合配置的研究在近年得到了重视,从配置模拟计算的角度分析,水量水质联合配置存在三个层次。第一个层次是基于分质供水的水量配置;第二个层次是在水循环基础上添加污染排放和控制等要素,实现在水量过程模拟基础上的水质过程分析,进而进行水量配置;第三个层次是动态联合水量和水质实现时段内紧密耦合的动态模拟。目前的研究主要还集中在第一个层次,对于第二层次有所涉及,但是还不够系统,需要作更深层面的研究,到第三个层次才真正属于水资源与水环境综合管理的范畴。

水资源与水环境综合管理理念包括两层含义:

(1) 水资源与水环境综合管理要考虑两者之间相互影响的关系。从供水来说,由于不同用户对水质的要求不同,所以水资源配置需要综合考虑用户要求和水体水质条件,实现分质供水、优水优供;而要达到水体水质要求,污染排放应该按照水体水质要求进行严格控制,确保水质安全。从污染控制来说,一方面需要根据不同水体对水质的要求,按照环境容量大小进行削减,实现总量控制基础上的达标排放;另一方面,在水资源配置过程中要留足环境容量,以使得污染削减的代价切实可行;这两方面须综合考虑,确定最佳平衡点。

(2) 水资源管理与水环境管理要基于水循环与污染迁移转化基础。水循环和伴随水循环的污染物迁移转化过程密不可分,这是水资源具有量和质两方面属性的基础,也是水资源与水环境综合管理的基础。因此,只有在充分分析水循环过程与污染物迁移转化过程的基础上,才能保证水资源与水环境管理的科学性。

1.3 本书的目的和意义

从资源消耗的角度分析,天津市 1980—2004 年系列每年实



际消耗 ET 超过可消耗 ET 的 43.4mm，这些超量 ET 都是过度引用地表水和超采地下水造成的，因此必须将区域综合 ET 降至可消耗 ET 以下，才能保证水资源的可持续利用。水资源短缺及水污染引起的生态环境恶化成为天津市水资源面临的突出特点，如果没有重大的改变，水资源危机将成为城市发展和农业增收的瓶颈。

天津市 IWEMP 总体上按照“信息采集—模型构建—方案制定—支撑管理”的思路进行，即从 ET 控制的角度揭示水资源与水环境管理中存在的问题，并构建水循环与污染迁移转化动态耦合模拟模型，经过比选，提出推荐方案，并提出相应切实可行的管理措施。天津市 IWEMP 是按照天津市国民经济和社会发展的总体规划，根据区域经济社会快速发展和水资源形势的变化，坚持基于 ET 的水资源与水环境综合管理理念，着力缓解水资源短缺、生态环境恶化等重大水问题。通过水资源的全面节约、高效利用、优化配置、合理开发，通过环境生态的有效保护、综合治理和水资源、水环境、水生态的科学管理，建立起与区域资源、环境、生态目标相协调的水资源、水环境、水生态综合管理体系，不断提高水资源的利用效率，改善水环境和水生态状况，促进资源节约型和环境友好型社会建设，为全面实现天津市“三步走”的战略目标，把天津市建设成为现代化国际港口大都市和我国北方重要的经济中心提供有力支撑和保障。

天津市水利局 GEF 项目办开展的 3 个专题研究就是围绕天津市水资源与水环境综合管理目标，在 ET 总量控制下，对本区域水资源规划、地下水开采、再生水利用方面存在的一些严重问题进行深入的探讨和探讨，将水资源分配量与 ET 结合起来，优化分配地表水、合理开采地下水和利用再生水，提高了 ET 的利用效率，为天津市 IWEMP 的编制提供技术支撑。本书以天津市 IWEMP 作引导，在 3 个专题研究基础上编辑而成，为强化区域水资源管理带来了新的理念和技术方法。

第2章 区域概况

2.1 自然地理

天津市为海河下游冲积平原，地势平坦低洼。地形由西北向东南倾斜，坡降为 $1/5000 \sim 1/10000$ 。区域地貌类型丰富，包括山地、丘陵、平原、海岸带等，其中，平原占天津市总面积的 93.9%，分布于燕山之南至渤海之滨的广大地区，山地面积较小，集中分布在蓟县北部。丘陵主要是侵蚀丘陵区，分布在山地向平原过渡的地带。低平海岸带区分为潮间带区和水下岸坡区两部分。

天津属暖温带半湿润大陆性季风型气候，多年年平均气温在 12°C 左右，极端最高气温为 42.7°C （1942 年 6 月 15 日），极端最低气温为 -27.4°C （1966 年）。区域多年平均降水量由北向南递减，在 $720 \sim 560\text{mm}$ 之间，区域多年平均蒸发能力由北向南递增，在 $850 \sim 1300\text{mm}$ 之间，干旱指数为 $1.20 \sim 2.08$ 。

天津市位于海河流域下游，流经该行洪河道 19 条，排涝河道 79 条，分属海河流域的北三河（蓟运河、潮白河、北运河）水系、永定河水系、大清河水系、海河干流水系、黑龙港运东地区和漳卫河水系。另外，由于引滦入津工程的新建，使滦河成为天津市的重要供水水源。天津水系情况见图 2-1。

天津市有丰富的自然资源，已探明的金属矿、非金属矿和燃料、地热资源有 30 多种，主要矿产有石油、煤、锰硼石、锰金、钨、铂、铜、锌、铁、水泥石灰岩、重晶石、大理石、迭层石、紫砂陶土、麦饭石等。燃料资源主要有石油、天然气和煤制气，主要埋藏在平原地下和渤海大陆架。全市共发现近 10 个有勘探

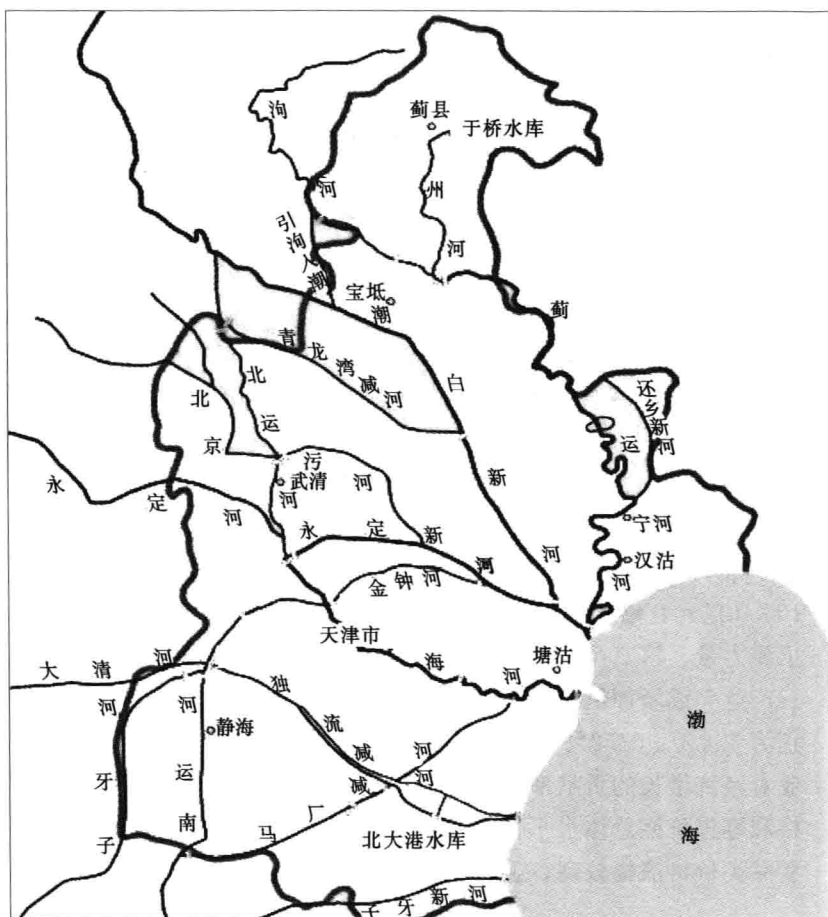


图 2-1 天津市水系图

开采价值的地热异常区，总储量 1103.6 亿 m^3 ，地热已被用于工业、农业、供热、洗浴、医疗等。天津的长芦盐场是我国最大的海盐产区，年生产原盐 200 多万 t。天津市拥有丰富的土地资源，全市农业用地面积 67.17 万 hm^2 ，非农业用地面积 45.9 万 hm^2 ，在海河下游滨海地区尚有待开发的荒地滩涂 1.2 万 hm^2 。



2.2 社会经济

2004年,天津市行政区下辖18个区县。其中市辖区15个:市区有和平区、河西区、南开区、红桥区、河东区、河北区;滨海区有塘沽区、汉沽区、大港区;环城区有东丽区、津南区、西青区、北辰区、武清区和宝坻区;市辖县有蓟县、宁海县、静海县。土地总面积1.19万km²。

2004年末全市常住人口为1023.67万人,户籍人口为932.55万人。在户籍人口中,农业人口376.37万人,非农业人口556.18万人。人口自然增长率为1.34‰。

从经济发展总体情况来看,天津市国民经济快速稳定增长。2004年,全市地区生产总值2931.9亿元,按可比价格计算,比上年增长15.7%。三次产业全面增长。第一产业完成增加值105.0亿元,增长5.5%。第二产业是推动全市经济快速增长的主要力量,第二产业完成增加值1560.2亿元,增长19.8%。第三产业完成增加值1266.7亿元,增长11.7%。三次产业比重分别为3.6%、53.2%和43.2%,第二产业比重有所提高。三次产业对经济增长的贡献率分别为1.2%、66.3%和32.5%。消费价格和零售价格总体水平保持基本稳定。消费价格八大类构成中,食品类价格涨幅较高,上涨9.9%。

2.3 水资源状况

2.3.1 降水

根据1956—2000年降水资料,天津市多年平均降水量为574.9mm,50%、75%、95%频率年降水量分别为563.4mm、459.9mm和344.9mm。天津市全市及水资源分区降水量见表2-1。



表 2-1 天津市水资源分区年降水量频率分析成果表 单位: mm

水资源分区	面积 (km ²)	统 计 参 数			
		多年平均值	50%	75%	95%
北三河山区	727	717.8	696.3	599.9	402.0
北四河下游平原	6059	578.0	566.4	462.4	346.8
大清河淀东平原	5134	551.0	534.5	429.8	308.6
全市	11920	574.9	563.4	459.9	344.9

2004 年天津市平均降水量 608.7mm, 比多年平均值 (574.9mm) 偏多 5.87%, 属于略偏丰年份。

2.3.2 当地地表水资源量

根据 1956—2000 年水文资料系列分析, 天津市当地地表水资源量多年平均值为 10.65 亿 m³, 50%、75%、95% 频率的地表径流量分别为 9.32 亿 m³、5.79 亿 m³、2.54 亿 m³。2004 年, 天津市当地地表水资源量为 9.80 亿 m³, 比多年平均 (10.65 亿 m³) 偏少 8.08%。天津市全市及水资源分区当地地表水资源量见表 2-2。

表 2-2 天津市水资源分区地表水资源量 单位: 亿 m³

三 级 区	多年平均值	50%	75%	95%
北三河山区	1.81	1.59	1.00	0.44
北四河下游平原	4.67	3.95	2.30	0.88
大清河淀东平原	4.17	3.42	1.87	0.63
全市	10.65	9.32	5.79	2.54

2.3.3 地下水资源量

《天津市水资源综合规划》对矿化度小于 2g/L 的浅层地下水资源量和可开采资源量分别给出了评价成果。

天津市浅层地下水资源量中可开采资源量为 4.50 亿 m³。另外根据《天津市地下水资源评价》, 深层地下水控制性可开采量



为 1.88 亿 m^3 ，岩溶水可开采量为 0.96 亿 m^3 ，合计地下水可开采量为 7.34 亿 m^3 ；不同水资源分区的地下水可开采量见表 2-3。

表 2-3 天津市水资源分区地下水可开采资源量 单位：亿 m^3

水资源分区	合 计	浅层水		深层水	
		孔隙水	岩溶水	孔隙水	岩溶水
北三河山区	0.78	0.00	0.34	0.00	0.44
北四河下游平原	4.99	3.79	0.00	0.68	0.52
大清河淀东平原	1.57	0.37	0.00	1.20	0.00
全市合计	7.34	4.16	0.34	1.88	0.96

2.3.4 当地水资源总量

根据 1956—2000 年系列资料，多年平均水资源总量 15.70 亿 m^3 ，折成面平均产水深为 132.0mm。50%、75%、95% 频率的水资源总量分别为 14.27 亿 m^3 、9.60 亿 m^3 、4.92 亿 m^3 。水资源分区水资源总量见表 2-4。

表 2-4 天津市水资源总量 单位：亿 m^3

水资源分区	多年平均值	50%	75%	95%
北三河山区	2.26	2.09	1.46	0.81
北四河下游平原	8.74	7.92	5.28	2.66
大清河淀东平原	4.70	3.92	2.21	0.80
全 市	15.70	14.27	9.60	4.92

2.3.5 出入境水量

天津市多年平均入境水量 17.03 亿 m^3 ，其中大清河淀东平原各河流除丰水年有洪水入境外，其余年份基本无入境水量。天津市全市及水资源分区入境水量见表 2-5。2004 年天津市入境水量 10.24 亿 m^3 （不包含引滦水和引黄水）。