



塔里木

内陆河流域水资源合理配置

黄 强 徐海量 张胜江 黄福贵 托乎提·艾合买提 著



科学出版社

塔里木内陆河流域 水资源合理配置

黄 强 徐海量 张胜江 著
黄福贵 托乎提·艾合买提

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书考虑天然植被生态用水与社会经济发展用水,探讨了塔里木河流域水资源配置的关键技术。利用遥感影像及调查数据,揭示了植被结构及分布规律,估算了河道内生态基流,采用多种方法计算了不同河段河道外天然植被生态需水量;建立了塔里木河流域多水源、多用户、多目标水资源优化配置和评价模型;制定了规划水平年塔里木河干流各断面、灌区、生态闸的水资源合理配置方案和水量控制红线;论述了以流域为单元的水资源的统一管理模式;提出了水资源的统一管理机制和体制以及保障措施。本书对流域水资源统一管理具有重要的理论意义和应用价值。

本书可供水利工程、生态环境工程、农业工程等相关专业的科研和管理人员参考使用,也可供大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

塔里木内陆河流域水资源合理配置/黄强等著. —北京:科学出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-03-045486-7

I. ①塔… II. ①黄… III. ①塔里木河-流域-水资源-资源配置-研究 IV. ①TV213. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 201517 号

责任编辑:祝 洁 亢列梅 杨向萍 程雷星/责任校对:张怡君
责任印制:肖 兴/封面设计:红叶图文

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

*

2015 年 8 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 8 月第一次印刷 印张:21 1/4

字数:428 000

定价:150.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

按照国家实施西部大开发战略的要求,国务院决定用5~10年时间对塔里木河流域的生态环境进行综合治理,科学、合理配置流域水资源,保护和改善塔里木河流域生态环境。综合治理总体目标是,通过实施九大类工程与非工程措施,使阿克苏河、和田河、叶尔羌河多年平均向干流阿拉尔下泄水量达到46.5亿 m^3 ;开都河—孔雀河供水达到4.5亿 m^3 ;干流向大西海子水库以下下泄生态水达到3.5亿 m^3 ;下游河道长期断流状况得到改善,下游绿色走廊生态环境得到修复和完善。

为了实现塔里木河流域综合治理目标,水利部2011年设立了“塔河流域水量分配关键技术研究”公益基金项目。该项目研究历时3年,由西安理工大学、塔里木河流域管理局、中国科学院新疆生态与地理研究所、新疆水利水电科学研究院和黄河水利科学研究院引黄灌溉工程技术研究中心五家单位共同完成。

塔里木内陆河流域地处我国西北干旱区的内陆盆地,是西北干旱区灌溉农业规模最大的流域,也是支撑我国21世纪经济社会可持续发展的重要能源、资源战略后备基地。近几十年来,塔里木内陆河流域自然环境、社会经济发生了显著的变化,生态环境严重恶化,并引发生物多样性受损、土地退化、盐渍化扩张、现代荒漠化、沙漠化进程加剧等一系列生态环境问题,直接威胁流域经济社会的可持续发展和人类的生存安全。该书针对上述问题,合理估算了维持塔里木河干流生态稳定的天然植被生态需水量,统筹兼顾天然植被生态用水与社会经济发展用水,建立了塔里木河流域水量分配和评价模型,构建了塔里木河流域水量分配模式和技术平台,探索了塔里木河流域水资源统一管理体制与运行机制,提出了塔里木河流域水量分配关键技术的理论、方法与措施。

该书资料丰富、结构清晰、涉及内容广泛、理论与实践结合紧密、学术观点新颖,对研究和指导塔里木内陆河流域水资源优化配置及综合治理具有重要的实用性和学术价值。同时,对于其他内陆河流域地区水量分配及水资源合理配置研究具有参考指导意义。

新疆维吾尔自治区水利厅厅长

齐新刚

2015年5月8日

前 言

近一个世纪,尤其近几十年来,塔里木河流域自然环境、社会经济发生了显著的变化,生态环境严重恶化,并引发生物多样性受损、土地退化、盐渍化扩张、现代荒漠化、沙漠化进程加剧等一系列生态环境问题,直接威胁流域经济社会的可持续发展和人类的生存安全。塔里木河流域问题的关键在于,流域水资源的不合理配置、初始水权制度的薄弱以及水资源统一监管的不足等。因此,研究水资源合理配置等关键技术具有重要的理论和现实意义。

按照国家实施西部大开发战略的要求、国务院关于5~10年使塔里木河流域的生态环境建设取得突破性进展的指示精神,本书认真研究了塔里木河流域水资源和生态环境问题,提出了以强化流域水资源统一管理和调度为核心,合理估算了维持塔里木河干流生态稳定的天然植被生态需水量,建立了塔里木河流域水量分配和评价模型,构建了塔里木河流域水量分配模式和技术平台,探索了塔里木河流域水资源统一管理体制与运行机制,提出了塔里木河流域水量分配关键技术的理论、方法与措施。

本书对塔里木河流域现状水资源开发利用、存在的问题以及未来流域水资源开发利用进行了深入的分析,结合国内外关于水资源问题的现状及趋势进展,以流域径流演变规律为切入点,以合理配置流域生态环境需水和社会经济需水、保障流域生态环境及社会经济的可持续发展为目标,构建了塔里木河流域水资源合理调配模型,并采用模拟优化人机对话算法,对不同方案下塔里木河流域水资源的优化配置进行了成果分析与比较,分别得出不同规划水平年的方案,对方案进行评价并推荐最优方案。在此基础上,研究了流域水资源的统一管理以及运行机制。

西安理工大学的黄强教授、王义民教授、郭志辉博士、达朝吉硕士、赵冠南硕士、孔刚博士、王修内硕士参编了第1、2、3、7、8、9、10、17章;新疆水利水电科学研究院的张江辉研究员和张明高级工程师等参编了第2、3、6、7章;中国科学院新疆生态与地理研究所的徐海量研究员、范自立研究员、凌洪波博士、白元硕士和张鹏硕士参编了第4、5章;黄河水利科学研究院引黄灌溉工程技术研究中心的黄福贵教高、曹惠提高级工程师、陈伟伟工程师、卞艳丽工程师和詹小来教授级高级工程师参编了第11、12章;新疆塔里木河流域管理局的托乎提·艾合买提高级工程师、何宇高级工程师、陈小强高级工程师、饶振峰高级工程师、库尔班·克依木高级工程师、袁著春高级工程师、孟栋伟工程师和魏强工程师参编了第13、14、15、16章。本专著由黄强教授统稿。

本书的出版得到了许多单位、同行以及专家的大力相助，在此表示衷心的感谢！

出版本书，一方面是把水利部公益性行业科研项目“塔河流域水量分配关键技术研究”的研究成果作一个总结，另一方面是想为塔里木河流域水资源的合理开发与利用、水量分配的定量化与科学化提供技术支撑。

限于作者水平，书中不足之处在所难免，敬请各位读者批评指正！

目 录

序 前言

1 绪论	1
1.1 国内外研究进展	2
1.1.1 流域生态需水研究进展	2
1.1.2 流域水资源配置研究进展	4
1.1.3 流域水资源配置评价研究进展	5
1.1.4 流域水资源管理体制研究进展	6
1.2 本书思路	10
2 塔里木河流域概况及水资源开发利用分析	13
2.1 塔里木河流域自然地理概况	13
2.1.1 地形地貌	13
2.1.2 气候特征	15
2.1.3 河流水系	16
2.1.4 生态环境	18
2.2 塔里木河流域社会经济概况	19
2.3 塔里木河流域水资源开发利用分析	20
2.3.1 水资源分布特征	20
2.3.2 水资源开发利用现状	21
2.4 塔里木河流域水资源可利用量评价	22
3 塔里木河流域径流演变规律分析	24
3.1 径流年际变化规律分析	24
3.1.1 阿克苏河径流年际变化	24
3.1.2 和田河径流年际变化	24
3.1.3 叶尔羌河径流年际变化	26
3.1.4 塔里木河干流径流年际变化	26
3.2 径流年内分配规律分析	27
3.2.1 阿克苏河径流年内分配	27

3.2.2 和田河径流年内分配	28
3.2.3 叶尔羌河径流年内分配	28
3.2.4 塔里木河干流径流年内分配	29
3.3 径流代际变化规律分析	29
3.3.1 阿克苏河径流代际变化	29
3.3.2 和田河径流代际变化	30
3.3.3 叶尔羌河径流代际变化	30
3.3.4 塔里木河干流径流代际变化	30
3.4 径流的丰枯变化	30
3.4.1 阿克苏河径流丰枯变化	31
3.4.2 和田河径流丰枯变化	31
3.4.3 叶尔羌河径流丰枯变化	32
3.4.4 塔里木河干流径流丰枯变化	32
3.5 径流周期变化规律分析	33
3.5.1 阿克苏河径流周期变化	34
3.5.2 叶尔羌河径流周期变化	36
3.5.3 塔里木河干流径流周期变化	38
3.6 径流趋势变化规律分析	39
3.6.1 阿克苏河径流序列趋势性分析	40
3.6.2 和田河径流序列趋势性分析	40
3.6.3 叶尔羌河径流序列趋势性分析	40
3.6.4 塔里木河干流径流序列趋势性分析	41
4 塔里木河干流河道内生态需水量研究	42
4.1 研究方法 with 资料收集	42
4.1.1 研究方法	42
4.1.2 数据来源	44
4.2 塔里木河干流河道内生态需水量分析	45
4.2.1 源流和干流年径流量变化趋势	45
4.2.2 人类活动对径流量显著干扰点判别	46
4.2.3 干流典型水文断面河道内最小生态需水量	47
4.2.4 Tennant 法对河道内生态需水量计算结果评价	48
4.2.5 下游河道生态需水量	49
5 塔里木河干流河道外天然植被生态需水量研究	51
5.1 资料收集与研究方法	51

5.1.1 不同植被类型面积确定	51
5.1.2 植被分布及地下水埋深调查	53
5.1.3 潜水蒸发法	53
5.1.4 下游地下水恢复量	54
5.2 胡杨分布特征	55
5.2.1 干流上、中游天然植被保护范围	55
5.2.2 干流天然植被分布特征	56
5.3 干流上、中游天然植被生态需水量估算	58
5.3.1 基于潜水蒸发法的天然植被生态需水量估算	59
5.3.2 基于面积定额法的天然植被生态需水量估算	61
5.4 干流下游天然植被生态需水量估算	62
5.4.1 地下水恢复需水量	62
5.4.2 下游天然植被生态需水量	63
6 塔里木河干流社会经济发展与需水预测研究	64
6.1 需水预测依据与原则	64
6.2 农业种植结构与发展规划	65
6.2.1 国民经济发展指标预测	65
6.2.2 农业发展规划	66
6.3 灌区各行业需水预测	68
6.3.1 工业、人畜及渔业需水预测	68
6.3.2 农业需水预测	68
6.3.3 农业用水水平	74
6.4 塔里木河干流向下游农二师供水预测	100
7 塔里木河干流水资源配置模型及关键技术问题研究	101
7.1 塔里木河干流水资源配置思路	101
7.2 水资源配置原则及蓄供水方式	101
7.2.1 水资源合理配置原则	101
7.2.2 蓄供水方式	102
7.2.3 供水优先次序	102
7.2.4 配置依据	102
7.3 塔里木河干流水资源系统网络节点图制定	103
7.3.1 节点划分	103
7.3.2 水资源配置节点图构建	103

7.4	塔里木河干流水资源配置方案设置	104
7.5	塔里木河干流水资源配置模型建立及求解	106
7.5.1	塔里木河干流水资源配置模型建立	106
7.5.2	塔里木河干流水资源配置模型求解	107
8	典型源流区——叶尔羌河流域水资源配置研究	110
8.1	叶尔羌河水资源配置思路	110
8.2	叶尔羌河水资源合理配置原则及蓄供水优先次序	111
8.2.1	水资源合理调配原则	111
8.2.2	平原水库蓄水优先次序	112
8.2.3	供水优先次序	112
8.3	叶尔羌河流域水资源系统网络节点图的制定	112
8.4	叶尔羌河水资源配置方案设置	113
8.5	叶尔羌河水资源优化调配关键问题的处理	114
8.5.1	计算时段的选取	114
8.5.2	平原水库的等效聚合	115
8.5.3	来水资料处理	115
8.6	叶尔羌河水资源优化调配模型的建立及求解	115
8.6.1	叶尔羌河流域水资源配置模型建立	115
8.6.2	叶尔羌河干流水资源配置模型求解	117
9	塔里木河干流水资源配置成果分析	119
9.1	现状水平年流域水资源配置成果分析	119
9.1.1	水资源调配成果	119
9.1.2	水资源调配模型合理性分析	119
9.1.3	水资源调配成果分析	122
9.2	规划水平年 2020 年流域水资源配置成果分析	126
9.3	规划水平年 2030 年流域水资源配置成果分析	129
9.4	总量控制红线	132
9.4.1	近期规划水平年 2020 年控制总量	132
9.4.2	远期规划水平年 2030 年控制总量	133
9.5	水资源配置规律分析	135
9.5.1	上游来水与生态基流的关系	135
9.5.2	上游来水与农业供水量的关系	137
9.5.3	上游来水与河道外生态供水的关系	138

10 典型源流区——叶尔羌河流域水资源配置成果分析	141
10.1 情景一：五年实施方案下的叶尔羌河流域水资源调配成果分析	141
10.1.1 水资源调配成果	141
10.1.2 水资源调配模型合理性分析	141
10.1.3 水资源调配成果分析	145
10.1.4 流域水资源分配及来、供、耗水分析	147
10.2 情景二：现状水平年下的叶尔羌河流域水资源调配成果分析	148
10.2.1 水资源调配成果	149
10.2.2 水资源调配成果分析	154
10.2.3 叶尔羌河灌区水资源分配及来、供、耗水分析	157
10.3 情景三：规划水平年阿尔塔什水库修建前叶尔羌河流域水资源调 配成果分析	158
10.3.1 水资源调配成果	158
10.3.2 水资源调配成果分析	159
10.3.3 叶尔羌河灌区水资源分配及来、供、耗水分析	167
10.4 情景四：规划水平年阿尔塔什水库建成后叶尔羌河流域水资源调 配成果分析	168
10.4.1 水资源调配成果	168
10.4.2 水资源调配成果分析	169
10.4.3 叶尔羌河灌区水资源分配及来、供、耗水分析	174
10.5 2030 规划水平年方案推荐	176
11 塔里木河流域水资源配置评价方法	177
11.1 国内外水资源配置评价研究现状	177
11.1.1 水资源配置评价途径	177
11.1.2 水资源配置评价指标体系	178
11.1.3 水资源配置指标权重赋值方法	178
11.1.4 水资源配置综合评价方法	179
11.2 塔里木河流域水资源配置评价思路	180
11.3 塔里木河流域水资源配置评价指标体系构建	180
11.3.1 构建原则	180
11.3.2 指标体系结构	182
11.3.3 塔里木河干流评价指标选取	183
11.3.4 叶尔羌河流域评价指标选取	188

11.4 塔里木河流域水资源配置评价指标标准	189
11.4.1 制定评价指标标准参考依据	189
11.4.2 评价指标标准确定	190
11.5 塔里木河流域水资源配置评价方法	198
11.5.1 熵值法	198
11.5.2 主成分分析法	200
11.5.3 模糊物元法	202
11.5.4 投影寻踪法	209
12 塔里木河流域水资源配置评价计算	212
12.1 塔里木河干流水资源配置方案评价	212
12.1.1 塔里木河干流不同配置方案的指标值	212
12.1.2 塔里木河干流不同配置方案综合评价	216
12.1.3 塔里木河干流水资源配置推荐方案	229
12.2 叶尔羌河流域水资源配置方案评价	230
12.2.1 叶尔羌河不同配置方案的指标值	230
12.2.2 叶尔羌河流域不同配置方案综合评价	231
12.2.3 叶尔羌河流域水资源配置推荐方案	237
13 塔里木河流域管理体制与机制现状分析	239
13.1 流域管理基本情况	239
13.1.1 流域管理范围	239
13.1.2 流域水资源管理内涵	239
13.1.3 流域管理机构	240
13.1.4 流域管理实施情况	243
13.2 塔里木河流域水资源管理体制分析	246
13.2.1 1992 年以前的水资源管理体制——行政区域管理	246
13.2.2 1992~2011 年的水资源管理体制——流域管理与行政区域管理相结合， 以区域管理为主	247
13.2.3 2011 年以后水资源管理体制——流域管理与行政区域管理相结合，区域 管理服从流域管理	248
13.2.4 塔里木河流域水资源管理体制分析	249
13.3 塔里木河流域水资源管理机制分析	250
13.3.1 初步建立了流域法规体系	251
13.3.2 流域水量分配体系构建	252

13.3.3	实施限额用水管理和水量调度管理	252
13.3.4	推进流域内民主协商、民主管理、民主决策	253
13.3.5	建立塔里木河流域水资源调度管理信息系统	254
13.3.6	改革流域部分水价, 促进节水型社会建立	255
14	流域管理体制存在的主要问题	256
14.1	流域水资源管理体制不健全	256
14.2	流域水法制体系不健全	257
14.3	流域内仍存在水资源分割管理状况	257
14.4	流域管理协商机制不完善	258
14.5	流域水资源管理手段较单一	259
14.6	水资源管理考核制度没有全面落实	259
15	国外流域及黄河流域水资源管理体制分析	260
15.1	国外水资源管理体制分析	260
15.1.1	国外流域水资源管理概况	260
15.1.2	国外流域管理体制的成功经验	264
15.2	黄河流域水资源管理体制分析	264
15.2.1	黄河流域水资源管理概况	264
15.2.2	黄河流域水资源管理体制经验分析	267
15.3	国外流域及黄河流域水资源管理体制启示	268
16	塔里木河流域水资源管理体制机制的深化与完善	270
16.1	完善流域管理机构	270
16.1.1	健全塔里木河流域水利委员会	270
16.1.2	完善流域管理机构	271
16.1.3	进一步完善塔里木河流域管理局的流域管理	271
16.1.4	塔里木河流域水资源管理体制中长期构想	272
16.2	推进流域水法规体系建设	273
16.2.1	健全完善流域水法规体系	273
16.2.2	建立和完善塔里木河流域水行政执法机构	274
16.2.3	成立塔里木河流域水利公安机构	275
16.3	加强流域规划管理	280
16.4	水量调度管理	281
16.5	水资源保护管理	282
16.6	地下水管理	284

16.7	水能资源管理	284
16.8	河道管理	286
16.9	工程管理	287
16.9.1	工程建设管理	287
16.9.2	流域重要控制性水利枢纽工程管理	288
16.9.3	工程运行管理	289
16.10	防汛抗旱管理	291
16.11	水价形成机制	292
16.11.1	水价组成及其作用	292
16.11.2	流域水价形成机制改革	293
16.11.3	流域合理水价机制的目标	294
16.12	水权管理	294
16.12.1	水权的内涵	294
16.12.2	建立水权转让与水市场的意义	295
16.12.3	国内外水权转让	295
16.12.4	水权转让机制应用	298
16.13	流域生态补偿机制	303
16.13.1	生态补偿机制理论	303
16.13.2	生态补偿机制示例	305
16.13.3	塔里木河流域生态补偿机制探讨	308
16.14	考核和奖惩机制	311
16.14.1	严格责任考核	311
16.14.2	建立奖惩机制	311
16.15	积极稳妥地推动节水型社会建设, 调整服务产业结构	312
16.16	加强基础研究	313
17	塔里木河流域水资源配置系统软件开发	314
17.1	软件开发原则及开发环境	314
17.1.1	基本原则	314
17.1.2	其他原则	314
17.1.3	开发环境与数据库	315
17.2	界面开发	315
17.3	软件开发内容及功能	315
18	结语	319
	参考文献	323

1 绪 论

水是人类赖以生存和社会发展不可缺少的物质保障,没有水就没有生命,也就没有社会进步。随着人类社会经济的快速发展和世界人口的不断增长,人类正以空前的速度和规模开发利用极其有限的水资源。水资源问题已成为全球性问题。20 世纪 90 年代以来黄河频繁断流、北方地区沙尘暴、江河湖海水污染以及 1998 年长江和嫩江特大洪水,尤其是 2010 年西南地区发生特大干旱、多数省区市遭到洪涝灾害、部分地方突发严重山洪泥石流受到全世界的关注。人们越来越清楚地认识到在社会经济水平和科技水平高度发展的今天,众多自然资源中,水资源正日益影响全球的环境和发展,探讨 21 世纪与水资源相关的科学问题,是全世界关注的热点和重要议题之一。

水资源作为一种基础性自然资源,是自然环境的调控手段之一。同时,水资源又是战略性经济资源,是一个国家综合国力必备的有机组成部分。水资源配置涉及社会科学和自然科学等众多交叉科学,必须突破传统的理论框架,采用先进的研究方法和技术手段,建立水资源合理配置和评价模型,提出水资源合理配置关键技术,以便为水资源的可持续开发利用提供理论基础和决策依据。

按照国家实施西部大开发战略的要求、国务院关于 5~10 年使塔里木河流域的生态环境建设取得突破性进展的指示精神,西安理工大学、塔里木河流域管理局(简称塔管局)、中国科学院新疆生态与地理研究所、新疆水利水电科学研究所和黄河水利科学研究院引黄灌溉工程技术研究中心五家单位申请了水利部公益基金项目并获批准。该项目针对塔里木河流域水资源和生态环境问题,合理估算了维持塔里木河干流生态稳定的天然植被生态需水量,建立了塔里木河流域水量分配和评价模型,构建了塔里木河流域水量分配模式和技术平台,探索了塔里木河流域水资源统一管理体制与运行机制,提出了塔里木河流域水量分配关键技术的理论、方法与措施。

本书得到水利部公益基金支持。项目自 2011 年 1 月展开研究,经过多次专家咨询和项目学术讨论会,2013 年 12 月结题并于 2014 年 12 月 11 日验收。本书是在总结该项目研究成果的基础上撰写的。

流域水资源合理分配,是指在特定的区域或流域范围内,遵循公平、高效和可持续利用的原则,以水资源的可持续利用和经济社会可持续发展为目标,通过各种工程与非工程措施,考虑市场经济规律和资源配置准则,通过合理抑制需求、有效增加供水、积极保护生态环境等手段和措施,对多种可利用水资源在区

域间和各用水部门间进行的合理调配,实现有限水资源的经济、社会和生态环境综合效益最大,以及水质和水量的统一调度。

近一个世纪,尤其近几十年来,塔里木河流域自然环境、社会经济发生了显著的变化,生态环境严重恶化,并引发生物多样性受损、土地退化、盐渍化扩张、现代荒漠化、沙漠化进程加剧等一系列生态环境问题,直接威胁流域经济社会的可持续发展和人类的生存安全。塔里木河流域问题的关键在于,流域水资源的不合理配置、水资源开发利用的低效、初始水权制度的薄弱、水利设施不配套、用水不科学,以及水资源统一监管的不足。因此,研究水资源可持续利用与合理配置具有重要的理论和现实意义。

本书针对塔里木河流域开发利用中的关键技术问题,统筹兼顾天然植被生态用水与社会经济发展用水,科学调配行政区域间用水总量权值,合理分配不同行业间用水,探讨有限水资源合理配置模式。研究成果对塔里木河流域水资源开发、利用、规划、管理,以及改善生态环境、促进流域社会经济和生态环境的可持续发展,具有十分重要的理论意义和应用价值。同时,对于其他内陆河流域地区水量分配及水资源合理配置研究具有借鉴价值。

1.1 国内外研究进展

1.1.1 流域生态需水研究进展

国外生态需水研究始于20世纪40年代,美国鱼类和野生动物保护协会开始对河道内流量进行研究被认为是生态需水研究的开端(蔡晓明,2002)。20世纪60年代,国外采用系统论工程的方法对印度河、埃及尼罗河等流域重新进行了规划和评价。20世纪70年代,美国将河道内生态需水量列入地方法案(Petts, 1996)。1978年,在美国第二次全国水资源评价中不仅考虑了河道内水生生物、航运等需水量;同时,提出了河道外生态保护需水量(黄永基等,1990)。20世纪80年代,美国全面调整对流域的开发和管理目标,对河道流量求解提出了较完善的方法。从80年代开始,英国、澳大利亚、新西兰等国对河流生态需水量的研究也逐渐展开(郝博,2010;郭斌等,2010;范文波等,2010;陈亚宁等,2008;程慎玉等,2005)。20世纪90年代,伴随水资源和生态环境相关研究的大量出现,生态需水问题逐渐成为全球关注的焦点(杨志峰等,2003)。Rashin等(1961)提出可持续的水资源利用,不仅要有保证河道生态功能、正常航运的最小需水量;同时,也要有足够保持河流、湖泊和湿地等生态系统健康的水量。Whipple等(1999)指出流域应当协调解决生态环境和国民经济需水之间的矛盾。当今,国际合作不断加强,国际实验流域和网络数据水情(Flow Regimes from International

Experimental and Network Data, FRIEND) 组织的成立使得流域生态需水由单一发展目标向多方面需求发展。随后 FRIEND 组织不断扩展, 包括欧洲、非洲、地中海地区、中亚及南亚等许多地区的国家纷纷加入, 对流域生态需水研究发展做出了卓著的贡献。

我国与生态需水相关的研究最早出现于 20 世纪 70 年代, 集中在探讨河流最小流量的问题, 以长江水资源保护科学研究所的《生态及环境需水量研究进展与前瞻》最为典型(王西琴等, 2002)。80 年代初, 国家地矿部兰州水文地质与工程地质中心开展了“六五”攻关“河西走廊地下水评价与合理开采利用规划”项目, 提出了生态用水消耗项。80 年代后期, 施雅风 and 曲耀光等在研究乌鲁木齐河和塔里木河水资源问题时, 明确提出生态用水的问题(姜文来等, 2005)。90 年代, 人们关注的焦点集中在我国西北干旱、半干旱地区, 这些地区水资源问题和生态环境问题突出, 研究者在理论探讨的同时, 针对植被、河流、湖泊、湿地、绿洲、区域生态需水的研究大量出现(陈天林, 2008; 胡广录等, 2008; 王启朝等, 2008; 程国栋和赵传燕, 2006; 张旭等, 2005; 王让会等, 2003; 王芳等, 2002)。中国科学院地学部在西北干旱区水资源考察报告中, 提出有关黑河和石羊河流域合理用水和拯救生态问题的建议(中国科学院地学部, 1996)。贾宝全和许英勤(1998)以新疆地区为例, 在明确提出生态用水概念的同时, 从绿洲内部和外部环境的依赖性出发把绿洲生态用水划分为七个类别。刘昌明(1999, 2002)在提出流域水热、水盐、水沙和水量供需“四水平衡”的基础上, 强调生产、生活和生态“三生”用水的共享性。进入 21 世纪, 我国有关生态需水量的研究呈“爆发式”出现。其中河道内生态需水量研究主要包括最小生态需水量、输沙需水量、河流水生生物需水量等(赵文智等, 2010; 李健等, 2008; 万东辉等, 2008; 闫正龙, 2008; 胡顺军, 2007; 李捷等, 2007; 徐志侠等, 2004; 栗晓玲和康绍忠, 2003; 李丽娟等, 2003; 王让会等, 2001; 贾宝全等, 2000)。刘昌明等(2007)采用生态水力学半径法对雅砻江支流泥曲的朱巴站河道内生态需水量进行计算。吉利娜等(2010)以滦河为例, 探讨了采用湿周法确定河流最小生态流量时不同河道断面形状最适湿周-流量关系曲线。宋进喜等(2005)通过河段上断面水流挟沙力(S_{*c})与含沙量(S_w)的不同关系, 建立了最小河段输沙需水量的计算方法, 确定渭河咸阳、临潼和华县 3 个水文断面年输沙需水量分别为 30.17 亿 m^3 、55.14 亿 m^3 和 65.32 亿 m^3 。与此同时, 河道外植被生态需水计算的新方法也不断出现, 先进的技术手段和科学的计算方法极大地推进了植被生态需水研究的发展。杨志峰等(2005)基于 MODIS 数据建立了区域植被用水模型, 结合植被系数对海河流域生态需水进行了分析。赵文智等(2010)基于不同植被 NDVI 遥感判读的基础, 与当年生物量(NPP)建立线性回归方程, 估算了维持黑河中游额济纳荒漠绿洲现状的天然植被生态需水量为 1.93 亿~2.23 亿 m^3 。