

丛书主编 / 王尚义

流域环境变迁与
科学发展研究 | 丛书

汾河流域水资源 与水资源安全

| 任世芳 / 著



科学出版社

山西省普通高等学校人文社会科学重点研究基地项目成果

流域环境变迁与
科学发展研究丛书

丛书主编 / 王尚义

汾河流域水资源与水资源安全

■ 任世芳 / 著

科学出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

汾河流域水资源与水资源安全 / 任世芳著. —北京: 科学出版社, 2015. 5
(流域环境变迁与科学发展研究丛书/王尚义主编)

ISBN 978-7-03-044428-8

I. ①汾… II. ①任… III. ①汾河-流域-水资源-研究②汾河-流域-水资源管理-研究 IV. ①TV21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 111868 号

策划编辑: 杨 静

责任编辑: 付艳 宋开金 高丽丽 / 责任校对: 张怡君

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 黄华斌 陈 敬

编辑部电话: 010-64033934

E-mail: fuyan@mail. sciencep. com

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 5 月第 一 版 开本: 720×1000

2015 年 5 月第一次印刷 印张: 14

字数: 229 000

定价: 65.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

“流域环境变迁与科学发展研究丛书”

编委会

主 编 王尚义

副主编 郭文炯 牛俊杰

编 委 (按姓氏笔画排序)

马义娟 王杰瑜 田 毅 冯卫红

司德坤 任世芳 刘 敏 安祥生

李颖俊 杨 伟 杨 蕊 张侃侃

张慧芝 邵秀英 岳云霄 孟万忠

郝从容 侯志华 姜晓丽 耿娜娜

凌日平 郭海荣

出版前言

流域作为以河流为中心的人—地—水相互作用的复合系统，是受人类活动影响最为深刻的地理单元。近年来，我国流域性资源环境问题日益突出，洪涝灾害、水资源短缺、水污染、流域生态安全、流域经济与城镇的协调发展等问题已引起高度关注，流域科学发展问题在国家和区域经济社会可持续发展中占有举足轻重的地位。我们认为，以历史流域为视角，对流域系统进行综合、交叉研究，不仅对区域历史地理学理论创新具有重要的学术意义，也对科学治水、科学解决现代流域问题具有重要的实践价值。具体包括以下几个方面：

第一，以流域的整体观和历史观为视角，从流域人—地—水相互作用的系统性、整体性、流域问题的因果性出发，开展多学科集成的历史流域学的综合研究，是深化历史地理研究的新领域，是历史地理理论研究和实际应用相结合最适宜的“实验地”，对历史地理理论创新、研究方法创新和应用拓展具有重要的学术意义。

第二，我国较早的历史地理著作《水经注》，即是以水道为纲，来描述中国地理特征的。以流域为单元进行区域地理研究，有助于探索以水资源为核心的、独特的自然与人文要素的历史演进规律，系统、综合地揭示国家、区域历史时期人地关系的变化及其作用、规律。

第三，人类文明往往与河流联系在一起。历史流域学研究，有助于系统揭示历史时期人类发展及地域运动的基本规律，揭示人类文明演进的特征与规律。

第四，通过对历史时期流域自然环境、人文环境变迁、流域人地关系演替规律的研究，可以有效揭示流域人地系统形成过程中的每一个环节及其形成机理和演化规律。科学认识当前流域性问题的特征和历史根源，以有效地协调、控制其发展过程，为流域科学治水、科学解决流域问题提供借鉴。

山西省普通高等学校人文社会科学重点研究基地——太原师范学院汾河流域科学发展研究中心，以流域的整体观和历史观为视角，以流域环境变

迁与科学发展为主线，多年来致力于黄河中游及其支流——汾河流域历史时期的河湖变迁、水患灾害、生态环境演进、流域聚落与经济活动发展等研究工作。在长期研究基础上，我们于2009—2010年在《光明日报》连续发表了关于历史流域学的5篇系列文章，首次提出创建历史流域学的构想，认为应从流域人地系统整体性、因果性出发，加强历史时期流域人地系统演进特征、规律及要素之间、区域之间相互作用关系的综合性、交叉性研究，以揭示流域空间特征、空间联系与空间分异规律，流域自然、人文环境的演进过程及规律，揭示流域问题的历史背景及发展过程，流域物质循环、能量流动、空间格局演进与维持机制。这一成果发表后引起学界的高度关注，著名历史地理学家陈桥驿先生认为：“把历史流域学作为一门独立的学科，这是科学发展中的一种创新，有待学术界对此从事深入的探索，使这门学科能够获得充实与发展。”2011年11月，我们主办了“中国历史流域学首次学术研讨会”，来自北京大学、复旦大学、陕西师范大学、中国人民大学等院校的20多名历史地理专家就流域环境变迁与历史地理学创新问题进行了深入研讨。中国地理学会2012年学术年会专门设立了“历史流域与流域环境演变”分会场，就这一问题做了更为广泛地研讨。汾河流域科学发展研究中心在上述研究基础上，受山西省普通高等学校人文社会科学重点研究基地项目资助，就历史流域学和汾河流域环境变迁与科学发展开展了系列研究，“流域环境变迁与科学发展研究丛书”即是这一系列研究成果的展现。

本系列丛书，内容涵盖历史流域学基本理论、汾河流域政区历史变迁与文明演进、水资源与水安全、流域环境变化及环境质量评估、流域经济发展与空间开发、流域文化空间解构与整合再生、流域城镇变迁与城镇化、流域聚落演进与古村落保护、流域灾害问题与防灾减灾、流域水利开发与治河工程等10个方面。其鲜明特点是，以流域的整体观和历史观为视角，从流域人—地—水相互作用的系统性、整体性、流域问题的因果性出发，以流域整体观视角揭示汾河流域空间特征、空间联系与空间分异规律，以历史观视角揭示流域自然、人文环境的演进过程及演进机制，以流域问题的因果观视角，揭示目前流域问题的历史背景及发展过程。这些著作既有对历史流域学理论的探索，又有关于汾河流域科学发展问题的探索，我们期望丛书的出版不仅可以丰富区域历史地理理论，推进流域环境变迁的综合研究，而且能够为汾河流域科学发展决策提供参考。

王尚义

2014年10月18日

| 目 录 |

出版前言	/王尚义
第一章 绪 论	/ 1
第一节 汾河流域概况	/ 1
第二节 汾河流域的历史流域学特征	/ 2
第三节 汾河流域水资源利用情况与水安全的含义	/ 5
第四节 研究方法和研究基础	/ 10
第二章 历史时期汾河流域水资源利用概况	/ 14
第一节 水资源利用史的开端及两汉时期的农田水利建设	/ 14
第二节 魏晋南北朝时期的水利事业	/ 19
第三节 隋唐时期的水利事业	/ 21
第四节 宋、金、元时期的水利事业	/ 24
第五节 明、清、民国时期的水利事业	/ 27
第六节 新中国成立以来的水利大发展	/ 31
第三章 历史时期汾河流域气候变化和水环境变迁	/ 37
第一节 历史时期汾河流域气候的变迁	/ 37
第二节 历史时期汾河流域的水环境变迁	/ 41
第三节 历史时期汾河流域气候、水环境和干湿灾害变化的回顾	/ 112

第四章	新中国成立以来汾河流域洪涝和干旱灾害	/ 115
第一节	新中国成立以来汾河流域洪涝和干旱灾害概况	/ 115
第二节	评估灾害严重程度的方法	/ 123
第三节	50 年来水旱灾害成因的初步分析	/ 125
第四节	新中国成立以来汾河流域洪涝和干旱灾害事件的回顾	/ 126
第五章	历史流域学事件的趋势分析	/ 131
第一节	历史流域趋势分析	/ 131
第二节	滑动平均法	/ 132
第三节	Kendall 秩次相关方法	/ 146
第六章	汾河流域水资源可持续安全利用途径研究	/ 151
第一节	汾河流域水资源可持续安全利用途径	/ 151
第二节	生态环境需水量的计算原理	/ 156
第三节	计算原理与方法	/ 163
第四节	对计算方法的讨论	/ 164
第七章	汾河流域干支流生态环境需水量概算	/ 169
第一节	汾河	/ 169
第二节	文峪河	/ 176
第三节	潇河	/ 179
第四节	浍河	/ 183
第五节	岚河	/ 185
第六节	涝河	/ 187
第七节	白马河	/ 189
第八节	昌源河	/ 190
第九节	乌马河	/ 192
第十节	象峪河	/ 193
第十一节	磁窑河	/ 193

第十二节	洪安涧河	/ 194
第十三节	段纯河	/ 197
第八章	极端气候条件下汾河流域的水安全	/ 200
第一节	极端气候的含义及对流域水安全的影响	/ 200
第二节	年最大洪峰流量的极端大值	/ 201
第三节	极端干旱气候条件下汾河流域河流水资源 安全研究	/ 206

第一节 汾河流域概况

汾河是山西第一大河，也是黄河的第二大支流，汾河流域是山西省经济、社会等事业最发达的地区，在山西省具有举足轻重的地位。

汾河干流全长 694km，流域面积 39 471km²。干流流经忻州、太原、晋中、吕梁、临汾、运城 6 市，截至 2010 年，流域内耕地面积 115.91 万 hm²，占全省耕地面积的 29.5 %。有效水浇地面积为 47.61 万 hm²（714.1 万市亩^①），占全省有效水浇地面积 110.5 万 hm²（1657.5 万市亩）的 43.1%。汾河流域耕地面积虽占全省耕地面积的不到 1/3，但流域内水浇地面积却占全省水浇地面积的 43.1%，水资源开发利用条件比较优越。^{②③④}

截至 2010 年，流域内共有人口 1315 万人，占全省总人口的 45%。国内生产总值（GDP）为 730.6 亿元，占全省 GDP 1 643.8 亿元的 44.4%。汾河干流两岸分布着众多的大中小型工矿企业，包括钢铁、化工、有色冶金、机械制造、采矿，其中有不少是骨干型的规模以上企业。这些企业多

① 1 亩≈666.7 平方米。

② 李英明、潘军峰：《山西河流》，北京：科学出版社，2004 年，第 20-165 页。

③ 山西省水利厅：《汾河志》，太原：山西人民出版社，2006 年，第 15-250 页。

④ 山西省统计局、国家统计局山西调查总队：《山西统计年鉴》，北京：中国统计出版社，2011 年，第 86-88 页。

数集中在太原、临汾、晋中等大城市，也有一些大企业设置在古交、岚县、洪洞、河津、霍州等县市，工矿企业和城市生活用水数量很大。

山西是国家能源基地，而汾河流域是这一基地的心脏。山西本来是个资源性的省份，煤炭、铝土储量均居全国前列，汾河流域就有西山、汾西、霍州等大矿，因此在工业方面长期依赖输出原煤、焦炭支持经济发展。在进入深化改革时期，山西被确定为山西省国家资源型经济转型发展综合配套改革试验区先行试验的地区，水资源开发利用如何与山西省国家资源型经济转型发展综合配套改革试验区的新要求相适应，为其提出了新问题。与此同时，干旱半干旱的自然地理条件和极端气候事件频发的影响，也使得水危机和水安全问题日益凸显。

第二节 汾河流域的历史流域学特征

流域是人类文明的摇篮，也是现代人类活动与环境之间趋于和谐的基石。历史流域学是从整体性、区域性、系统性出发，多角度地重新审视了流域发展过程，旨在完整地获得某流域在整个人类历史时期的演变的学科。^①从历史流域学的因果性和系统性观点分析，每个流域在其漫长的历史进程中都会逐渐形成有别于其他流域的历史流域特征，而这种特征绝不仅仅体现在地理位置、气候特点、水系特征等自然因素方面。汾河流域自历史时期起就有着悠久的开发历史，这与该流域独特的历史流域特征所产生的动力是分不开的。

一、汾河流域的地望优势

汾河流域北为管涔山河源，东隔云中山、太行山与海河水系为界，西以芦芽山、吕梁山与黄河北干流为界，东南有太岳山与沁河为界，南面则以紫金山、稷王山与涑水河为界，四周被高山山脉所围绕，军事上易守难攻，历史上大多数时期相对和平稳定，在此发生的重大战役不多，这对经济社会发展相对有利。

流域中游的自然地形特点则是一片沃野。在汾河干流的中游，即太原市兰村至洪洞县石滩河段，该段河道长 243.4km，流经宽阔平坦的太原盆

^① 王尚义、张慧芝：《关于创建历史流域学的构想》，《光明日报》，2009 年，11 月 19 日第 9 版（理论综合版）。

地,属平原型河流。下游从洪洞县石滩至万荣县庙前入黄河口,流经更为平坦宽阔的临汾盆地,该段河道长 233km,河流水势更为平缓。上述两大盆地的土地面积均为 5000km²,加上岚县等山间小盆地,平原面积在 10 000km²以上。

并州险塞、沃野千里的地望优势给予了农业经济发展很好的条件,其在历史上也一度被美称为“天府之国”,可与两汉三国时期的益州相媲美。

二、农田水利发展有 4000 多年的历史

由于农业经济发展较早,为了农田灌溉而开发利用地上、地下水资源的历史也很悠久。按照本书推测,早在虞舜时可能已凿井汲水,而凿井技术可能由舜传到汾河流域,因为传说“尧都平阳(今山西临汾市),舜都蒲阪(今山西运城市)”^①,而舜有着凿井的技能(见本书第二章及《史记·五帝本纪》)。

汾河流域是中国农田水利发展最早的地区之一。史籍明确记载,凿井的发者伯益与禹同时^②(另见《世本》)。而禹登帝位后,“夏禹都阳城,……又都平阳,或在安邑,或在晋阳”(《世本·居篇》),这里写的平阳和晋阳,分别为今天的山西省临汾市和太原市,两市均位于汾河干流河畔。孔子曾说禹“尽力乎沟洫”,意思是讲夏禹致力于原始的农业灌溉工程,既包括凿井,也包括排灌沟渠(《论语·泰伯》),这些都实施在距今 4200 年。

三、历史上曾多次成为政治中心

经济是政治的基础,由于汾河流域有相对发达的农业经济基础,历史上曾多次成为政治中心。建都于汾河流域的夏禹世袭王朝是中国古代最早的国家。尧、舜在古籍中以圣王的形象出现,实际上他们并不是帝王,而只是父系氏族公社部落联盟中的军事首长,是联盟议事组织推选出来的,故实行所谓的“禅让”制度,尧禅让给舜,舜禅让给禹,这是部落联盟内军事民主制的体现。由于原始部落联盟和私有制的发展,到禹担任军事首长时,就破坏了禅让传统,最终启即位,中国古代第一个世袭王朝由此产生,它同时标志着原始部落联盟向早期国家的转变,因此,夏朝是中国古代最早

① 姚启明、张纪仲、王铭等:《山西省地理》,太原:山西教育出版社,1994年,第6页。

② 范文澜:《中国通史简编(修订本)》第一编,北京:人民出版社,1964年,第94-95页。

的国家。^① 夏朝在迁都过程中，有两次选择了汾河流域。如果没有该流域相对发达的农业经济作为基础，就不可能有上述选择。

除了夏朝，汾河流域的临汾和太原在历史上也曾多次成为分裂时期割据政权的都城。在五胡十六国时期，匈奴族建立的前赵政权曾定都平阳（今临汾西），时间长达 14 年（当时国号为汉）。534—550 年的东魏，以及 550—577 年的北齐，虽定都于邺（今河北磁县南），但实际掌权者高欢及其称帝的子孙均在晋阳（今太原市晋源镇），建立“大丞相府”，当时人称晋阳为“别都”（《隋书·地理志》），时间长达 43 年。隋朝末年，天下大乱，隋太原留守李渊及其子李世民（当时人称“太原公子”）起兵灭隋，建立唐帝国，在 690 年定晋阳为北都（《旧唐书·地理志》及《新唐书·地理志》），742 年改名为北京，756 年恢复北都旧名。

五代十国时期，后唐定都晋阳为西京凡 13 年；后晋石敬瑭 936 年在晋阳称帝（次年迁都开封）；后汉刘知远在 947 年称帝，后虽迁都开封，但为了看守老家，任其弟刘崇为河东节度使，在北京留守。

刘崇于 951 年称帝于晋阳，史称北汉。北汉虽只有今太原、忻州及吕梁等市，但也存在了 28 年（951—979）。以上这些割据政权以晋阳为都城，累计时间长达百年。这一时期水资源的开发利用，得到了较大的发展。

四、以矿冶手工业为主的手工业中心

汾河流域经济社会的发展，也推动了以矿冶为主的手工业的蓬勃发展。

以采煤为例，煤在古代被称为石炭。正如郝树侯先生所说：“太原古为冶铸工业发达的城市，为了适应炼铁的需要，石炭被利用，应当不会太迟；但由于缺乏文献考证，很难考出确实的年代。”^②

现在能找到的历史文献，是《隋书·王劼传》，其记载“王劼，字君懋，太原晋阳人”^③，北周时官居员外散骑侍郎之职。王劼曾在任内上表云：“今温酒用石炭、柴火、竹火、草火、麻根火，气味各不同”，北周（557—581）时人们已用煤火来烫酒，说明煤炭已成为人们的日常消费品，距今已有 1400 多年。

开始详记采煤地，始于明代。据文献记载，山西在 1473 年时有 34 个县拥有煤窑，其中，阳曲、太原、清源、交城、文水、榆次、寿阳、静

① 张帆：《中国古代简史》，北京：北京大学出版社，2001 年，第 8-9 页。

② 郝树侯：《太原史话》，太原：山西人民出版社，1979 年，第 59-60 页。

③ 《二十五史·隋书》卷 67《王劼传》，杭州：浙江古籍出版社，1998 年，第 1130 页。

乐、临汾、翼城、浮山、洪洞、赵城、汾西、灵石、河津 16 个有煤窑的县份位于汾河流域^①，其时距今已有 540 年。

第三节 汾河流域水资源利用情况与水安全的含义

一、汾河流域水资源利用情况

(一) 水资源开发利用简史

据推测，该流域在虞舜时可能已凿井汲水，以供园圃灌溉及生活之用，但仅仅是推理而无实证。最早载于史籍的水利工程，是北魏酈道元对《水经》的注文：“汾水分为二流，北渎即智氏故渠也。昔在战国，……故智氏用亡其渎，乘高东北，注入晋阳城，以周园溉。”^②但其灌溉面积不详。

有灌溉面积记载的首见于隋代，开皇十六年（596），临汾郡临汾县令梁轨主持，开渠 12 条，引古堆泉水灌溉农田 500 余顷（约合 2.72 万市亩）。

唐代灌溉渠道颇多，古堆泉、新绛渠、引汾 3 项灌田 13 600 余顷，栅城渠、甘泉渠、荡沙渠、灵长渠、千亩渠 5 项，除第 1 项为“数百顷”外，其余 4 项均为“数千顷”，现分别按 200 顷及 2000 顷计，估计至少有 8200 顷，故已知上述 8 项灌渠就有 21 800 顷，以唐制小亩估计，约合今制 49.4 万市亩。^③

北宋时期，王安石拜相，大兴洪水淤灌，笔者估计，当时该流域的淤灌面积达 90 万市亩。

金、元时期，朝廷提倡水利，金代洪洞霍泉渠灌田面积 8.17 万市亩，已与 1989 年有效灌溉面积 8.26 万市亩相合。元代汾河中游晋祠泉灌田 1.84 万市亩，下游利泽、善利、大泽等灌渠面积为 9.2 万市亩。遗憾的是，这两个朝代的典籍中没有叙述其他灌溉工程的规模和效益，故而无法统计当时全流域的灌溉面积。

明太祖朱元璋即位之初，即下诏指示各地兴修水利，史籍记载了几个

① （明）李侃修、胡濙纂：《山西通志》，太原：山西省史志研究院，北京：中华书局，1998 年，第 263-266 页。

② 王国维校：《水经注校》，上海：上海人民出版社，1984 年，第 268-295 页。

③ 姚汉源：《中国水利史纲要》，北京：水利水电出版社，1987 年，第 219、224、392 页。

县的农田灌溉面积：榆次县 1300 余顷（1473），徐沟县 420 余顷（嘉靖年间），临汾县平水渠 360 顷以上，赵城县利泽渠 1000 顷以上，平遥、介休两县各引汾河水灌溉 100 多顷，以上 6 县共有水田 3280 多顷，折合 30.23 万市亩。^①

清代统一的时间长达 200 多年，社会比较安定。据史籍记载，清代该流域的小型水利大量兴建，但没有灌溉面积的统计数字。又据调查统计，民国时期（1912—1949）汾河流域的水利事业并没有新的发展，仍然是清末原有的 500 余条渠道，灌溉面积 149 万多市亩^②，依此推测，清末时该流域的灌溉面积已达 149 万市亩。

新中国成立以来，水利事业有了飞快的发展。据山西省水利厅的调查统计，截至 2000 年年底，汾河流域内有效灌溉面积发展到 730.38 万市亩，比民国时期增加了 581.38 万市亩。换言之，新中国成立 50 年来新增的有效灌溉面积，是 4000 多年来兴修水利所发展面积的将近 4 倍。因为古代对工程控制面积和有效灌溉面积不加以区分，以及供水不足或渠系不配套等，所谓××渠灌田 1000 顷，往往不等于能实际灌溉 1000 顷，所以新中国成立 50 年来增加的有效灌溉面积实际上远大于历代的“灌田”面积。

（二）水资源开发利用现状

汾河流域 1956—2000 年（45 年系列），多年平均水资源总量为 33.58 亿 m³，多年平均河川径流量为 20.67 亿 m³，地下水资源量为 24.09 亿 m³，地表水与地下水重复量为 11.18 亿 m³。汾河流域水资源的一个重要特点，就是地表水与地下水重复量在水资源总量中所占的比例较大，当一些岩溶大泉用井采方式利用以后，河流中的清水流量迅速减少，甚至断流^③，如表 1-1 所示。

表 1-1 汾河流域 1956—2000 年系列水资源量表 单位：亿 m³/a

流域 分区	水资源 总量	河川径 流量	地下水资 源量	重复量	不同保证率（P）的水资源总量			
					20%	50%	75%	95%
汾河上中游	21.11	13.27	14.76	6.92	22.15	17.45	15.06	13.25
汾河下游	12.47	7.40	9.33	4.26	13.23	11.20	9.22	7.99
汾河流域合计	33.58	20.67	24.09	11.18	35.38	28.65	24.28	21.24

① 水利部黄河水利委员会《黄河水利史述要》编写组：《黄河水利史述要》，北京：水利出版社，1982 年，第 293 页。

② 水利部黄河水利委员会《黄河水利史述要》编写组：《黄河水利史述要》，北京：水利出版社，1982 年，第 125-330 页。

③ 李英明、潘军峰：《山西河流》，北京：科学出版社，2004 年，第 30 页。

汾河流域水资源在 2001 年的开发利用情况如表 1-2 所示。该年供水 25.31 亿 m^3 ，其中，地表水供水量为 8.14 亿 m^3 （蓄水 2.02 亿 m^3 ，引水 4.47 亿 m^3 ，提水 1.61 亿 m^3 ），地下水供水量为 16.71 亿 m^3 ，污水回用量为 0.46 亿 m^3 ，扣除污水回用量，总用水量为 24.85 亿 m^3 。^①

表 1-2 汾河流域 2001 年分行业用水量 单位：亿 m^3

行业 水源	农业灌溉	林牧业	工业	城镇	农村生活	合计
地表水	6.73	0.09	0.96	0.21	0.15	8.14
地下水	8.68	0.22	4.27	2.48	1.06	16.71
合计	15.41	0.31	5.23	2.69	1.21	24.85

由表 1-2 得知，2001 年地表水供水量为 8.14 亿 m^3 ，占多年平均年径流量 20.67 亿 m^3 的 39.38%。而据研究，该流域的地表水允许开发利用率 为 31.74%，显然目前已过度开发，加之大量污水未经处理，直接排入河道，两种因素的综合叠加，使汾河河道水环境严重恶化。据以 2000 年为基准年的水资源评价，评价河长 1320.9km，其中，符合Ⅰ类水标准的河长仅 10km；符合Ⅱ、Ⅲ类水标准的河长 441.6km；其余 869.3km 均为劣于Ⅲ类水的污染河道。^②

二、水安全的含义

水资源是保障社会经济可持续发展的重要自然资源之一，关系到流域的粮食安全、社会稳定和经济发展，甚至生态系统健康和环境安全。

流域水安全评价的实质，是如何把多层次的多维系统评价指标转换成单层次的一维系统评价指标的过程。这一过程既要反映评价对象的主要特征信息，又要反映评价者的价值判断，还包含基于定性分析和定量计算综合集成的数学模型构造和求解的实用方法、计算机程序设计、系统评价模型的灵敏度分析与反馈控制等一系列丰富而复杂的研究内容。^③ 由于流域水安全评价问题的复杂性，用常规的综合评价方法处理实际流域水安全问题已经日趋困难。因此，有必要将视角重新投向流域水安全事件本身加以研究和探讨。

当前学术界对水安全的研究虽然日益广泛和深入，但如何客观地评价

① 山西省水利厅：《汾河志》，太原：山西人民出版社，2006 年，第 141 页。

② 山西省水利厅：《汾河志》，太原：山西人民出版社，2006 年，第 136-137 页。

③ 金菊良、王文圣、洪天求等：《流域水安全智能评价方法的理论基础探讨》，《水利学报》2006 年第 8 卷，第 918-925 页。

流域水安全状况，尚在广泛的研究和探讨之中，因而关于水安全，国内外研究中有着不同的定义和诠释。无论是历史时期还是当代，对人类社会安全的含义，都可以解释为人类面临与水相关联的灾害威胁时所产生的不安全感。^① 这种威胁基本来自 3 个方面：一是与水有关的自然和人为灾害，如水旱灾害、水污染事件等；二是水资源自身的短缺，影响到社会管理和政府决策的情况，如水资源短缺对经济发展的制约；三是由前两个方面造成的与人类有关的水环境、水生态受到破坏，间接影响到人类的生活质量的情况。很明显，历史时期和当代流域的水安全问题在种类和严重程度方面均有差异。在历史时期，由于人类活动的有限性，水安全问题主要体现在洪水和干旱灾害上，也就是水量的多寡；而进入现代以后，随着工业化和城市化进程的推进，包括水质、水量在内的水资源危机引起了水环境和水生态的变化，人们对于极端气候发生时的洪旱灾害抵御能力也提出了更高的要求，水安全问题不断发生转型。^② 针对汾河流域的特点，本书将汾河流域当代的水安全含义概括为以下 4 个方面的内容：保证防洪安全、保证水量安全、保证水质安全和保证水生态安全，并加以探讨。

（一）保证防洪安全

汾河中游和下游段流经省内重要的经济发展区域，人口稠密，工矿企业众多，一旦发生洪涝灾害，损失巨大。早在 1988 年和 1993 年，山西省政府就分别制定了汾河中游段和中下游段的防洪标准：汾河干流在农村河段达到 20 年一遇的防洪标准；沿河县城河段和有较大工矿企业的河段达到 50 年一遇的防洪标准；省会城市区段和重要工矿企业的河段则要达到百年一遇的防洪标准。从 1998 年开始，按此要求而进行的河道治理工程目前都已基本竣工，因此，可以认为就汾河干流而言，防洪安全已经有了一定程度的保证。

（二）保证水量安全

保证水量安全，是指当流域内各行业，如农业灌溉、林牧、工矿企业、城市生活等的需水量确定之后，应该对其提供时间上和数量上的供应保证。这里存在着两个层面的问题：首先，汾河干支流均为季节性河流，

① 张翔、王晓妮、穆宏强等：《中国主要流域水安全评价指数的应用研究》，见：《中国水利学会第二届青年科技论坛论文集》，郑州：黄河水利出版社，2005 年，第 577-582 页。

② 张翔、夏军、贾绍凤：《水安全定义及其评价指数的应用》，《资源科学》2005 年第 3 期，第 254-263 页。