

国家重点基础研究发展规划(973)项目

黄河流域水资源 演化规律与可再生性维持机理 研究和进展

刘昌明 陈效国 主编

黄河水利出版社

**Evolving Law and Maintaining Mechanism of Renewable
Capacity of Water Resources in the Yellow River Basin**

黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理

研 究 和 进 展

刘昌明 陈效国 主编

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理研究和进展/刘昌明,陈效国主编. —郑州:黄河水利出版社,2001.4

国家重点基础研究发展规划(973)项目

ISBN 7-80621-477-1

I. 黄… II. ①刘…②陈… III. 水资源-演变-研究-黄河流域 IV. TV211.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 14194 号

责任编辑:王路平 岳德军
责任校对:赵宏伟

封面设计:朱 鹏
责任印制:常红昕

出版发行:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮编:450003

发行部电话:(0371)6302620 传真:(0371)6302219

E-mail: yrcp@public2.zz.ha.cn

印 刷:河南省第二新华印刷厂印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

版 次:2001 年 4 月 第 1 版

印 次:2001 年 4 月 郑州第 1 次印刷

印 张:16.25

印 数:1—1 000

字 数:380 千字

定价:35.00 元

黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理

研究与进展

编委会名单

主 编:刘昌明 陈效国

编 委:(以课题编号为序)

刘昌明	王 浩	倪晋仁	胡春宏
杨志峰	林学钰	王光谦	陈效国

序

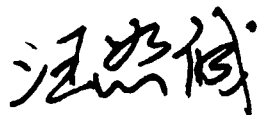
黄河是我国西北和华北地区的主要水源,不仅为沿黄地区经济和社会发展作出了重大贡献,而且在全国经济发展中也占有重要地位。治理好黄河水害,利用好黄河水资源,建设好黄河生态环境,对黄河流域乃至全国经济社会的可持续发展,对实现 21 世纪我国现代化建设的宏伟蓝图,都具有十分重大的战略意义。

治理黄河历来是中华民族安民兴邦的大事。新中国成立以来,党和国家对黄河治理开发十分重视,进行了大规模的水利建设,取得了巨大成就。然而,因为社会经济发展对水资源需求的增加、自然条件的变化、断流和“小水大灾”等新问题的出现,黄河正面临着水资源短缺、水灾害加剧、生态环境恶化三大问题交织的严峻局面。针对这些问题,江泽民总书记强调指出:“对黄河防洪、水资源利用、生态环境建设有重大影响的关键科技问题,要重点攻关,力争取得新的突破,为治理开发黄河提供有力的科技支持。”

国家重点基础研究发展规划(973)项目“黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理”,正是抓住了水资源短缺这一制约黄河流域可持续发展的瓶颈问题,从水资源演化与再生入手,分别就黄河流域水循环动力学机制与模拟、水资源演化规律与二元演化模型、断流对河流系统功能的影响、水沙过程变异及河道萎缩“小水大灾”效应、水资源可再生性理论与评价、地下水可再生性能力变化规律、水资源可再生性维持机理和水资源演变的多维临界调控模式等八个重大问题进行研究。项目的首席科学家是水文学和水资源研究领域的学术权威刘昌明院士,参加人员集中了水利系统、中科院系统和高校系统在该流域的一流人才。

这本文集是对该项目第一年度研究的一个总结,收集了包括北京师范大学、黄河水利委员会、中科院地理科学与资源研究所、清华大学、北京大学和中国水利水电科学研究院等主要单位在 2000 年度所取得的研究成果。这些说明了项目组已完成基础性研究和准备工作,并预示着下一阶段可能会取得突破性进展。我对项目组能在如此短的时间内取得这样的研究成果表示祝贺,并预祝他们在今后的研究中继续发扬艰苦努力、严谨务实、拼搏攻关的科研作风,取得更多、更好的研究成果。

水利部部长



2001 年 3 月 6 日

前言

众所周知,黄河是我国第二大河。作为北方地区最大的供水水源,以其占全国河川径流 2% 的有限水量,承担着本流域和下游引黄灌区占全国 15% 耕地面积和 12% 人口的供水任务,同时还要向流域外部分地区远距离送水(含河北与天津)。黄河流域大部分地区属于半干旱与干旱地区,水资源条件先天不足,生态环境脆弱。在气候变化和人类活动的影响下,加之全流域水资源总量利用率高达 84%,消耗率竟达 53.3%,超过安全界限,水资源状况恶化。特别是 1972 年以来黄河下游频繁断流,20 世纪 90 年代几乎年年断流,断流最严重的 1997 年有 330 天无水入海,向世人发出了水资源危机的强烈信号。黄河水资源短缺、洪水灾害加剧及生态环境恶化是互为关联的问题,是黄河流域生态系统与人类社会经济系统相互作用的结果,已成为制约黄河流域可持续发展的瓶颈问题。黄河下游是举世闻名的地上悬河,洪水威胁极其严重。特别是河道断流,造成了下游河道主槽淤积严重,河槽过洪能力降低,形成了“小洪峰,高水位,大漫滩,大灾害”的不利局面。1996 年 8 月,花园口站洪峰流量 $7\,680\text{ m}^3/\text{s}$,其水位比 1958 年的 $22\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 大洪水的水位还高 0.91 m。黄河流域生态恶化的问题,突出表现在黄土高原地区的水土流失、干支流的水污染和下游断流。

针对当前黄河面临的严峻问题,江泽民总书记曾强调指出:“对黄河防洪、水资源利用、生态环境建设有重大影响的关键科技问题,要重点攻关,力争取得新的突破,为治理开发黄河提供有力的科技支持”。1999 年科技部通过了国家重点基础研究发展规划项目《黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理》的立项申请,其研究的主要内容大致归纳为两个层次,第一层次包括水循环动力学模拟、水资源演化、河流系统功能、水沙过程变异、水资源可再生性理论等方面的基础理论研究,第二层次包括水资源可再生性维持机理与多维临界调控等应用基础的研究。相应分解和设置了八个课题的研究框架与内容。

项目的具体研究课题包括:

- (1) 黄河流域水循环动力学机制与模拟;
- (2) 黄河流域水资源演变规律及二元演化模型;
- (3) 黄河断流对河流系统功能的影响;
- (4) 黄河水沙过程变异及河道萎缩的小水大灾效应;
- (5) 黄河流域水资源可再生性理论与评价;
- (6) 黄河流域地下水可再生能力变化规律;
- (7) 黄河水资源可再生性维持机理;
- (8) 黄河流域的多维临界调控模式。

本书的内容主要是围绕以上八个课题进行了初步的调研,并结合国内外已经开展的

同类研究,对黄河水资源问题进行了较为系统而深入的评述,旨在承前启后,为进一步研究黄河提供有益的借鉴,以便温故而知新。全书汇集了 2000 年各个课题组的部分调查研究结果,选出了 24 篇论文,综述黄河水资源问题研究的主要进展。24 篇论文的作者分别来自项目的主要参加单位包括水利部黄河水利委员会、清华大学、北京大学、北京师范大学、中国水利水电科学研究院、中国科学院地理科学与资源研究所、武汉大学水利电力学院和首都师范大学等。

在本书的综述中,黄河水利委员会各课题成员撰写和参与撰写的论文大约占一半的篇幅。论文的内容全面而系统地概括了新中国建立 50 余年来黄河水资源研究与治黄方面的科研工作进展与主要的成就,如总结了黄河水资源的研究和发展,就黄河水文、水沙特征规律,黄河下游配水调度与水资源管理等问题展开了专题性的阐述。参加本书撰写的高等院校与科研院所的科技人员也分别针对其研究课题的国内外动向撰写了有关综述性的文章。此外,项目各课题组还提供了若干阶段性的研究结果,包括理论方法与模型,如分布式流域水文物理模型,二元水资源演化模式,天然径流量计算方法,水资源集成评价模型,地下水超采区多元影响因素的富里叶级数分析,水土保持措施减水减沙效益分析,黄河天然径流量变化以及断流的生态环境影响等,作为研究的初步成果。全书论文的内容基本上涵盖了项目研究的主要方面。本书的出版反映作者对黄河水资源问题的若干认识,同时,也有助于黄河研究的进一步思索。

本书的编辑得到了黄河水利委员会领导的大力支持,黄河水利出版社也给予优先安排。项目办公室的工作人员,尤其是王会肖副教授和郭乔羽,配合编委做了大量的联络与组稿工作,特此表示感谢。

项目首席科学家、中国科学院院士:刘昌明
水利部黄河水利委员会总工程师:陈效国

2001 年 3 月

目 录

黄河水资源开发利用规划研究综述	陈效国	石春先等(1)
水文循环过程理论与方法的研究进展	刘昌明	张士锋等(22)
多尺度区域水循环过程模拟进展与二元水循环模式的研究	王 浩	秦大庸等(34)
区域水循环要素计算与测定的研究综述	王 浩	秦大庸等(43)
分布式流域水文物理模型的研究现状与进展	郭生练	李 兰等(51)
黄河若干水文问题研究的回顾与展望	赵卫民	郝芳华(58)
黄河天然径流量动态分析	张学成	王 玲(83)
黄河流域天然径流量计算方法及存在问题	李 东	杨志峰等(88)
水资源及其集成评价模型	曾维华	杨志峰(100)
黄河水资源质量问题的研究进展	陈静生	崔树彬等(107)
黄河流域地下水研究进展	王金生	孙才志等(116)
地下水人工回灌研究进展	黄国如	胡和平等(131)
地下水超量开采区多元影响因素的富里叶级数分析	宫辉力	林学钰(138)
流域系统水沙过程变异规律研究进展	陈 浩	(143)
黄河水沙特征研究述评	王 玲	徐建华等(153)
黄河水沙过程变异及河道萎缩研究综述	李文学	李 勇等(162)
水土保持措施及其减水减沙效益分析	袁建平	叶芝菡等(178)
人类活动对侵蚀、搬运、沉积过程影响的研究进展	许炯心	(186)
黄河下游输沙水量研究评述	石 伟	王光谦(199)
黄河泥沙数学模型的研究进展及发展趋势	曹文洪	胡春宏等(205)
黄河断流及其生态环境影响	钱征寒	倪晋仁(215)
黄河流域水资源可再生利用的合理配置模式研究	赵建世	翁文斌(224)
水资源调度与管理方法研究	王 煜	侯传河等(237)
黄河下游配水管理研究	王道席	侯传河等(244)

黄河水资源开发利用规划研究综述

陈效国¹ 石春先¹ 张会言²

(1. 黄河水利委员会 2. 黄河水利委员会勘测规划设计研究院)

一、水资源概况

(一) 黄河水资源量

1. 河川径流量

根据 1919~1975 年 56 年系列资料统计,黄河花园口站多年平均实测年径流量为 470 亿 m^3 。考虑人类活动的影响,将历史上逐年的灌溉耗水量及大型水库调蓄量还原后,花园口站多年平均天然年径流量为 559 亿 m^3 ,计入花园口以下支流金堤河、天然文岩渠、大汶河的天然年径流量 21 亿 m^3 ,黄河流域多年平均天然年径流总量为 580 亿 m^3 ,见表 1。

表 1 黄河流域天然年径流地区分布表

(1919~1975 年 56 年水文年系列)

站名或区间名	控制面积		平均天然年径流量		年径流深 (mm)
	(km^2)	占全河(%)	(亿 m^3)	占全河(%)	
兰州	222 551	29.6	322.6	55.6	145.0
兰州至河口镇区间	163 415	21.7	- 10.0	- 1.7	
河口镇至龙门区间	111 586	14.8	72.5	12.5	65.0
龙门至三门峡区间	190 869	25.4	113.3	19.5	59.4
三门峡至花园口区间	41 616	5.5	60.8	10.5	146.1
花园口	730 036	97.0	559.2	96.4	76.7
下游支流			21	3.6	
花园口+下游支流			580	100.0	

2. 地下水资源量

地下水资源主要指可以循环再生的潜水和浅层地下水。黄河流域及内流区地下水天然资源量(矿化度 $<1\text{ g/L}$)约 404 亿 m^3 ,其中黄河流域 392 亿 m^3 ,内流区 12 亿 m^3 ,地下水与地表水不重复量部分的可开采量为 110 亿 m^3 。

(二) 黄河水资源特点^[1]

黄河水资源具有年际变化大、年内分配集中、空间分布不均匀等我国北方河流的共性,同时还具有水少沙多、水沙异源等特有的个性。

1. 水少沙多

黄河虽为我国的第二条大河,但河川径流量仅为全国河川径流量的 2%,居我国七大

江河的第四位(小于长江、珠江、松花江)。1997年流域耕地亩均占有多年平均河川径流量 307 m^3 , 仅占全国亩均河川径流量的 16%; 流域人均占有河川径流量 543 m^3 , 为全国人均河川径流量的 25%。实际上, 扣除调往外流域的 100 多亿 m^3 水量, 流域内人均和耕地亩均水量则更少。

黄河多沙, 举世闻名。多年平均输沙量为 16 亿 t, 河川径流平均含沙量达 35 kg/m^3 , 在国内外大江大河中居首位。沙多是黄河复杂难治的症结所在。为减缓下游河道淤积, 又必须留有一定的输沙入海水量, 使黄河水少的矛盾更加突出。

2. 年际变化大、年内分配集中、连续枯水段长

黄河是降水补给型河流, 黄河流域又属典型的季风气候区, 降水的年际、年内变化决定了河川径流量时间分配不均。黄河干流各站年最大径流量一般为年最小径流量的 3.1~3.5 倍, 支流一般达 5~12 倍; 径流年内分配集中, 干流及主要支流汛期 7~10 月径流量占全年的 60% 以上, 且汛期径流量主要以洪水形式出现, 中下游汛期径流含沙量较大, 利用困难, 非汛期径流含沙量小, 主要由地下水补给, 大部分可以利用。黄河自有实测资料以来, 出现了三个连续枯水段, 其中 1922~1932 年、1990~1997 年为长达 11 年和 8 年的枯水段。

3. 水沙异源、水土资源分布不一致

黄河河川径流地区分布极不均匀。全河径流量的一半以上来自兰州以上; 宁夏、内蒙古河段产流很少, 河道蒸发渗漏强烈; 下游为地上悬河, 支流汇入较少。上、中、下游径流量分别占全河的 54%、43% 和 3%。黄河沙量的 90% 以上来自中游, 其中河口镇至龙门区间输沙量高达 9 亿 t 左右, 占全河输沙量的 56%。兰州以上来沙量仅占全河的 9%, 是黄河清水的主要来源区。

黄河流域及下游引黄灌区具有丰富的土地资源, 但水土资源分布很不协调。大部分耕地集中在干旱少雨的宁蒙沿黄地区, 中游汾河、渭河河谷盆地以及下游引黄灌区。

二、黄河水资源利用情况及存在问题

(一) 黄河水资源利用现状^[2,3]

新中国成立后特别是 20 世纪 70 年代以来, 沿黄地区对黄河水资源进行了大规模的开发利用。目前, 流域内已建大、中、小型水库 3 100 余座, 总库容 574 亿 m^3 ; 修建引水工程 4 600 余处, 提水工程 2.9 万处; 在黄河下游, 还兴建了向黄淮海平原地区供水的引黄涵闸、虹吸 120 多处。黄河供水范围从新中国建立初期主要集中在宁夏、内蒙古河套灌区、陕西关中地区、山西汾河流域, 扩大到目前的沿黄九省区和河北、天津, 引黄灌溉面积由 1950 年的 80 万 hm^2 , 发展到目前的 753 万 hm^2 。灌溉面积发展最快的地区是下游引黄灌区, 灌溉面积由 50 年代的 30 万 hm^2 增至目前的 240 万 hm^2 。此外, 黄河还担负着沿黄 50 多座大中城市、420 个县(旗)城镇人口、晋陕宁蒙部分地区能源基地和中原、胜利油田的供水任务。黄河水资源的综合开发利用, 改善了上中游部分地区的生态环境, 解决了农村 2 727 万人的饮水困难。

据 1988~1992 年用水统计, 黄河供水地区年均引用黄河河川径流量 395 亿 m^3 , 耗用水量 307 亿 m^3 (其中流域外 106 亿 m^3), 流域内地下水开采量 110 亿 m^3 。黄河河川径流

利用率已达 53%,与国内外大江大河相比,水资源利用程度属较高水平。其中农业灌溉平均每年引用黄河河川径流量 362 亿 m^3 ,耗用水量 284 亿 m^3 ,占总耗用河川径流量的 92%。黄河流域及下游沿黄地区河川径流量耗用情况见表 2。黄河河川径流利用有相对集中的特点,在干流主要是上游的宁蒙河套平原及下游引黄灌区(大部分为流域外用水),在支流主要是渭河、汾河等河谷盆地。地下水大部分用于工业及城乡生活,主要集中在汾河、涑水河、渭河、大汶河等支流河谷盆地。

表 2 黄河河川径流耗用量情况表

(单位:亿 m^3)

项 目	耗用水量			
	河口镇以上	河口镇至花园口	花园口以下	总 计
城镇生活	0.66	1.14	2.01	3.81
农村人畜	1.54	1.74	1.78	5.05
工 业	5.12	3.81	5.53	14.45
农业灌溉	123.76	47.74	112.43	283.93
小 计	131.07	54.42	121.75	307.24

(二)存在的主要问题

1. 水资源供需矛盾日趋尖锐

不断扩大的供水范围和持续增长的需水要求,使黄河承担的供水任务已超过其承载能力,造成供需矛盾尖锐,导致黄河干流和部分支流的下游经常发生断流;地下水的超采,造成部分地区出现严重的环境地质危害;上中下游之间、地区之间供水矛盾加剧;工农业用水与河道内输沙、生态环境、防凌、发电用水之间矛盾日趋突出;上游发电与中下游输沙也存在用水矛盾。

2. 统一管理调度体制和有效监督机制尚未建立

黄河水资源水量、水质统一管理,严格调控的机制和政策法规还不能适应形势发展的需要。目前黄河已建干流骨干工程和引水工程的运用管理,分别隶属不同部门和地区,尚没有很好形成流域统一管理与区域管理相结合的调度管理体制,流域机构又缺乏监督监测手段,不能有效控制引用水量。在用水高峰季节,各地争相引水,人为造成水资源紧张,很难做到全河统筹,上、中、下游兼顾。取水许可制度虽已全面实施,但由于流域机构缺乏强有力的行政处罚手段,有效监督尚不到位,直接影响到黄河水资源的统一管理和调度。

3. 用水管理粗放,节水意识淡薄,投入不足^[4]

由于部分灌区渠系老化失修、工程配套较差、灌水田块偏大、沟长畦宽、土地不平整、灌水技术落后、用水管理粗放等原因,造成了灌区大水漫灌等浪费严重的现象。工业用水也存在浪费现象,大中城市的工业用水定额和重复利用率,与国内外先进城市相比差距较大。

水资源无偿使用和水价严重背离成本也是造成浪费水现象的重要原因。目前,国家尚未在黄河流域征收水资源费,流域内大部分自流灌区水价不足成本的 40%,而下游引黄渠首平均水价仅为 4.6 厘/ m^3 ,为成本的 18%,工业引水水价更低。由于水资源的无偿

使用和水价严重偏低,背离了水作为稀缺资源的价值,丧失了节约用水的内在经济动力,造成了对水资源无节制地滥用,阻碍了节水工程的建设 and 节水技术的推广使用,也不利于水资源的优化配置。

4. 缺水日益严重

随着黄河流域内外用水量的增长,黄河水资源供需矛盾日益突出,缺水日益严重。尤其是近 10 年来,由于黄河流域进入枯水期,缺水形势更加严峻。黄河流域缺水主要表现为:第一,黄河上中游部分地区,由于水低地高,工程措施没有跟上,造成引水困难,出现缺水;第二,由于黄河来水年内分配不均,小浪底水库生效前,中游缺乏骨干水库工程调节,在下游用水高峰的 3~6 月份,引水不足,出现缺水;第三,由于黄河水资源总量不足,国民经济各部门用水大量挤占河道内生态环境用水,使输沙水量减少、河道断流、水质恶化,造成生态环境缺水。通过采用不同的方法分析,在来水为中等枯水年的情况下,考虑下游河道生态环境低限用水要求,现状黄河流域缺水在 25 亿~50 亿 m^3 之间。

干支流河道断流不断加剧。据统计,黄河下游经常性的断流始于 1972 年,在 1972~1998 年的 27 年中,黄河下游利津站有 21 年发生断流,累计断流 86 次,共 1 050 d,断流年份年均断流 50 d。进入 90 年代以来,黄河下游断流加剧。主要表现为:一是断流次数增多、断流时间延长。七八十年代断流年份平均断流天数分别为 14、15 d,而 1991~1998 年每年都出现断流,年均断流 107 d;二是首次断流时间提前。七八十年代首次断流出现在 4 月份,1998 年则出现跨年度断流;三是断流距离延长;四是断流月份增加;五是主汛期也出现断流。

黄河较大支流断流情况最为严重的是汾河和沁河。从断流的起始时间、断流次数、断流时间长度等方面看,沁河断流的严重程度都要高于汾河。据对 1951~1997 年 47 年实测逐日流量资料统计,沁河下游小董站断流始于 1951 年,47 年中有 45 年发生断流,几乎年年发生断流,其中断流天数最多的年份为 1991 年,共断流 319 d,连续断流时间最长的年份是 1979 年 10 月~1980 年 7 月,连续断流 240 d。

5. 水环境质量面临水量减少和水质污染的双重威胁^[5~13]

黄河水资源危机不仅表现为量的匮乏,而且还表现为因严重的水污染而造成的水质恶化、水体功能降低和丧失。近十多年来,黄河流域水污染明显在加重,水质呈恶化趋势。水质严重污染已从支流发展到干流,干流水污染也从原来的上游兰州段、包头段蔓延到中下游。国家环保局 1997 年发布的《中国环境状况公报》表明,黄河污染河长占评价河长的比例已居七大江河的第二位。1999 年年初,黄河潼关至小浪底河段遭受历史上从未发生过的严重污染,并一直影响到下游河段,至山东的冻口断面均为超 V 类水。

6. 对水源保护和生态环境建设重视不够

新中国成立 50 年来,黄河流域水资源开发利用得到了很大提高,用水量已达到或超过水资源的支持能力。但在一定时期内,黄河水资源开发利用着重为经济发展服务,在一定程度上忽略和挤占了流域生态环境需水和水环境需水,一些地区盲目开荒种地,滥采乱伐森林,致使水源涵养地减少、水土流失严重,生态环境遭到破坏,社会经济发展与生态环境保护 and 建设的矛盾已十分突出。

7. 中游干流河段水库调节能力不足^[14]

按照规划,三门峡、小浪底、碛口、古贤等四座水利枢纽为黄河中游控制洪水和泥沙的骨干工程。已建的三门峡水库只能进行有限的调节,受库区淤积和潼关高程的限制,一般年份2~3月结合防凌最大蓄水量仅14亿 m^3 ,远不能满足下游引黄灌溉用水要求。小浪底水库长期有效库容51亿 m^3 ,可起到一定程度的调节作用,但是河口镇至龙门区间的晋陕峡谷缺乏可调节径流的控制性水利枢纽工程。

三、水资源开发利用规划研究综述

自传说的大禹治水起的相当长的一段时间内,对黄河水资源的认识一直停留在对黄河洪水的防御和躲避洪水的被动地位。随着社会的发展,由原始社会经奴隶社会演进到封建社会,人类对黄河水资源的认识有了长足的进步,开始利用黄河水灌溉,从沟洫灌田,发展到4万余公顷的大型灌区;黄河航运,则从利用天然河道的航运发展到人工运河沟通江、淮、河、济四渎的水运网;随着技术的发展和在水资源认识的不断进步,众多的利用水资源进行治河的思想逐渐形成,著名的水力冲沙说,是史书上第一次记载多沙河流利用水力资源冲沙的理论。此后至明清时期,逐渐出现了束水攻沙论、蓄清刷黄论、放淤论、放淤固堤论等利用黄河水沙资源的治黄思想。

民国以来,随着近代科学技术的进步,对黄河水资源的认识逐步得到了提高,这一时期提出了众多的治河思想,均贯彻了治水和利水的思想,治水着眼于河道整治和防洪;利水则提出了水电发展计划、航运计划及水土开发规划,同时由于近代科学技术的支持开展了一定数量的水文、土地资源资料的收集整理,为黄河水资源的开发利用奠定了一定的基础。1946年至2000年的半个多世纪,黄河水资源的开发利用取得了巨大的成就,水资源利用技术的发展水平是空前的,这一时期,各类专业技术人员走遍大河上下,从河源到河口,从干流到支流,对黄河的山川水系,水土资源基本情况、水土资源的分布、泥沙的产生分布和水沙运行规律进行了大量的调查研究,掌握了可靠的第一手资料,为黄河的治理开发提供了科学的依据。国家也为此投入了大量的人力、物力和财力,治黄和水利科技工作者始终坚持不懈地实践、研究和探索,取得了大量的有价值的科学技术成果,对黄河的认识不断深化,这些成果不仅有效地指导了黄河水资源的开发利用管理和调度,使黄河的除害兴利、综合利用取得了巨大的成效,而且也给后人研究黄河、利用黄河留下了一份宝贵的科学财富。

(一) 历次规划对黄河水资源开发利用的认识

从1954年的黄河流域综合规划,到1997年的黄河治理开发规划纲要和2000年的黄河的重大问题及对策,对黄河水资源的认识不断得到深化。1954年的黄河流域综合规划的重点是黄河的治理与开发,水资源服从于黄河治理的需要,为使黄河变清,规划到远景将水量几乎全部引用;1997年的黄河治理开发规划纲要逐渐认识到水资源在流域社会经济发展中的重要作用,并贯彻了水资源可持续发展的观点,这一时期的大量规划研究,使人们对黄河水资源的认识上了一个台阶;2000年的黄河的重大问题及对策,在对黄河治理开发实践进行认真总结的基础上,以现代水利、可持续发展水利的观点,对黄河水资源问题进行了全面系统的研究,该成果将在今后较长时期内全面指导黄河的治理开发,包括

水资源的开发利用、节约保护和调度管理。

1. 1954 年黄河流域综合规划

新中国成立后,国家十分重视黄河的治理与开发,早在 20 世纪 50 年代初期,黄委会就着手编制黄河流域规划,并于 1954 年底提出《黄河综合利用规划技术经济报告》,这是治黄史上第一次统筹研究黄河水资源利用问题。

1954 年的规划统一分析评价了黄河天然年径流及开发利用前景,拟定了近期水资源开发利用方案及骨干工程布局,对于开创黄河水资源利用的全面规划工作和加速黄河水资源开发利用的进程,起到了重要作用。

综合利用规划包括远景和第一期计划两部分。远景计划由青海贵德的龙羊峡起,到河南的桃花峪止,按照河流的特点,把黄河分成四段加以利用。第一段从龙羊峡到青铜峡,着重利用水力发电,同时利用水库进行防洪和灌溉,规划修建水库有龙羊峡、刘家峡、黑山峡、大柳树、青铜峡等 16 座梯级;第二段从青铜峡到河口镇,着重发展灌溉和航运,规划修建水库有三道坎、渡口堂、昭君坟等 3 座梯级;第三段从河口镇到禹门口,在上游调节水库建成后建库进行水力发电,规划修建水库有万家寨、龙口、碛口、龙门等 15 座梯级;第四段从禹门口到桃花峪,河道宽窄相间,从禹门口到陕县两岸是黄土塬地,河道宽阔,陕县到孟津是峡谷地带,是控制黄河洪水和泥沙的关键地点,因此陕孟间主要开发任务是防洪和发电,孟津以下是浅山区,到桃花峪进入平原,农田辽阔,可以建坝灌溉附近的农业区,规划修建水库有三门峡、小浪底、桃花峪、西霞院等 10 座梯级。在黄河干流桃花峪以上共修建 44 座梯级,加上桃花峪以下的位山和泇口水库,黄河干流规划修建 46 座水库,这样黄河洪水的灾害可以完全避免。远景计划发电装机 2 300 万 kW,年平均发电量 1 100 亿 kW·h。灌溉面积可由 1954 年的 119 万 hm^2 ,远景扩大到 760 万~787 万 hm^2 ;黄河中下游可全线通航;黄土高原开展大规模的水土保持工作,黄土区域的面貌将大为改变,农林牧业生产将大为增加。第一期计划在黄河干流修建三门峡、刘家峡两座综合性枢纽工程和青铜峡、渡口堂、桃花峪三座灌溉为主的工程。第一期工程计划扩大灌溉面积 202 万 hm^2 ,改善原有灌区 80 万 hm^2 。干流部分河段通航,共计通航 1 795 km。水土保持工作量很大,黄河泥沙由于水土保持和支流拦泥水库的作用将减少一半。

本次综合规划,由于当时条件和认识水平有限,规划中对水资源量的计算比较粗略,且缺乏可用水量的分析;对在多沙河流上修建高坝大库淹没大量土地、迁移大量人口认识不足,偏离了当时中国的实际国情;对黄河水沙条件的复杂性及治黄工作的艰巨性估计不足,对水土保持作用估计过高,泥沙淤积估计过于乐观,以致远景水平规划黄河变清,水量几乎全部引用,偏离了黄河实际情况。

2. 1997 年黄河治理开发规划纲要

随着黄河治理开发的进展,黄河情况较 20 世纪 50 年代有了很大变化,我国社会主义建设事业的发展,也对治黄工作提出了新的要求。为了使治黄事业更好地为国民经济的战略目标服务,充分合理的开发水资源,迫切需要对黄河治理开发规划进行补充和修订。

从 1984 年开始,黄委会几经审查讨论修改,于 1997 年 6 月提出了《黄河治理开发规划纲要》(以下简称《纲要》),该《纲要》的完成有充分的前期工作基础,特别在水资源的开发利用方面,自 70 年代初,即加强了黄河水资源的规划研究工作,经过长达十余年的深入

调查研究和艰苦工作,于80年代中期取得了巨大进展。通过该阶段的研究,解决了一系列水资源利用规划方面的实际问题,考虑了黄河水沙的特殊情况,扩大了综合利用的目标。在此基础上,国务院以国办发【1987】61号文批转了国家计委和水电部《关于黄河可供水量分配方案的报告》。该方案的黄河可供水量为370亿 m^3 ,为“南水北调工程生效前黄河可供水量分配方案”,要求有关省(区)和部门贯彻执行,这是全国惟一国家规定的大江大河水资源控制利用方案。90年代黄河水资源规划采用了系统工程的方法进行全流域多目标的水资源综合利用经济效益分析,规划的技术手段得到了大大的提高,在黄河流域水资源经济模型研究的基础上,先后开展了黄河流域片水中长期供求计划和黄河水资源规划研究等工作。

《纲要》对黄河进行全面的规划研究,包括防洪、水保、干流工程布局、灌溉、水资源利用、水电开发、航运、水资源保护及环境影响等专项规划意见。

在水资源利用方面,考虑了2010年及远期展望两个水平年。2010年黄河流域总人口达到1.18亿,工业产值2万多亿元(1990年不变价),新增灌溉面积106万 hm^2 ,并考虑黄河下游输沙用水量及向流域外调水等。届时总耗黄河河川径流量367亿 m^3 ,已接近国务院分水指标。远景考虑西北开发的要求,黄河流域工农业将有大的进展,黄河水资源已满足不了国民经济发展要求,必需考虑西线南水北调工程,解决我国西北地区干旱缺水问题。

3.2000年黄河的重大问题及对策

广大治黄工作者,在治理开发黄河过程中,经过实践—认识—再实践—再认识,逐步加深了对黄河特殊性、规律性和治理方略的认识,取得了许多成功的经验,但也有值得反思的方面,主要体现在规划中对国情、河情认识不足,对流域治理开发的整体性、综合性及关联性认识不够;未能自觉地将黄河治理开发纳入区域人口、资源、环境和经济社会系统中,以可持续发展的观点分析和处理问题。特别在水资源开发利用和保护方面,注重开发利用,忽视了对资源的保护和永续利用,在治理开发中,重工程措施,轻非工程措施,尤其对综合管理措施重视不够。

经过长期的研究、实践和总结,对黄河流域防洪、水资源利用及保护和水土保持三个重大问题提出了解决的基本思路和战略措施,于2000年完成了《黄河的重大问题及对策》,并上报国务院。

关于水资源利用及保护提出开源节流、保护并重,以节流为主。由于人类活动影响的不断加剧和对水资源需求的持续增长,黄河水资源供需矛盾日趋突出,干支流河道的下游频频出现断流。节约用水是缓解黄河水资源供需矛盾的有效途径,把全面节水作为一项紧迫的首要任务,抓紧抓好,大力发展节水农业和节水工业,建设节水型社会。加强水资源的统一管理和保护,是缓解断流和水质恶化的重要手段;统筹考虑城乡生活、工业、农业和生态环境等各方面对水量和水质的要求,以供定需,加强管理,逐步实现水资源的合理配置。为从根本上缓解黄河流域资源性缺水问题,要做好南水北调的前期工作,从长计议,统筹规划,分期实施。本次对水资源利用的重要对策特别强调了节约用水、水资源统一管理、保护,以改善环境问题,这是黄河水资源可持续发展的根本措施。提出21世纪水资源开发利用的对策建议为:加强对黄河流域水资源的统一管理和调度,完善监测、监

督调控机制;采取得力措施,切实搞好节约用水;取水工程的建设要实行严格的审批制度;尽快完善黄河水资源有偿使用制度,合理确定水价,加强经济手段在黄河水资源配置中的调控作用;以建立入河排污总量控制监督制度为中心,加大黄河水资源保护工作力度;有计划地实施南水北调工程等开源措施。

(二)专题研究

在完成上述规划的同时,黄委会有关单位和国内外的有关单位和组织、机构,对黄河水资源问题开展了大量的规划研究工作,根据其研究内容,将其归纳为以下专题。

1. 水资源评价

1) 地表水资源

为满足黄河流域规划设计、水资源分配及管理调度等生产运行的需要,随着实测径流资料的不断积累,不同时期曾对黄河的天然径流进行了不同系列的研究。

(1) 1919~1975年56年天然年径流系列。

为编制治黄规划提供较可靠的水资源资料,黄委会治黄规划办公室于1976年对全河径流量进行了还原计算。

①历年引黄灌溉面积变化及地区分布,系根据历年调查的引黄实灌面积成果,按流域分河段整理,求得黄河上、中游各测站以上历年实际引黄灌溉面积。

各灌区的耗水量采用两种方法推求:

第一种方法是用实测的灌区渠道取水口引水量减灌区地面退水量,即作为灌溉耗水量。此法主要应用于有较完整实测资料的一些大型灌区,如宁夏、内蒙古及泾河、北洛河、渭河、汾河的一些大型灌区。

第二种方法是利用灌溉耗水定额推求灌溉耗水量。实际工作中由于大多数中小型灌区缺乏实测资料,历年灌溉耗水量则采用临近地区有实测资料或灌溉试验站的灌溉耗水定额推求,资料特别缺乏的则采用同类地区的灌溉耗水定额计算。再根据历年实灌面积及耗水定额,分别求出各河段历年逐月引黄的灌溉耗水量。

②干支流水库蓄泄水量。当时黄河干流已建水库仅刘家峡、三门峡有调蓄能力,其他均为拦河闸或径流电站,无调蓄能力。刘家峡水库于1968年10月15日正式蓄水。采用干流的循化站、大夏河的冯家台站及洮河沟门村站为入库站,坝下的小川站为出库站,推求刘家峡水库历年逐月的蓄泄水量。三门峡水库于1960年开始蓄水运用,1960~1963年以龙门、华县、河津、湫头四站为入库站,1963年以后用潼关站为入库站,三门峡站为出库站推求历年逐月蓄泄水量。黄河上中游大中小型水库很多,由于缺乏水库观测资料,难以逐年还原,仅汾河水库1962年开始有实测的逐年逐月水库蓄变量,利用其进行还原。

根据上述的实测径流量、灌溉耗水量、水库蓄泄量,分别按年月对应相加,即得各控制站历年逐月天然径流量。按1919年7月至1975年6月56年系列统计,三门峡站天然年径流量为498.4亿 m^3 ,花园口站为559.2亿 m^3 。

黄河流域河川径流量主要来自上中游地区,花园口以下只有大汶河、金堤河等支流汇入,来水量所占比例较小,因此一般以花园口站年径流量代表黄河年径流量。如果加入花园口以下支流天然年径流量21亿 m^3 ,则全河天然年径流总量为580亿 m^3 。

1986年完成的《黄河水资源合理利用》,又对黄河流域天然年径流成果进行了补充研

究,采用1919年7月至1980年6月61年系列,推求的三门峡站天然年径流量为503.8亿 m^3 ,花园口站为563.4亿 m^3 。61年系列与56年系列相比,天然径流量仅增大1%左右。

1919~1975年56年系列包括了丰、平、枯水年,包含了黄河河川径流一个大的循环变化周期,在水量还原计算方法上,对70年代以前影响径流较大的灌溉耗水和大型水库蓄水进行了还原,从多年平均情况看,由于还原水量仅占天然径流量的16%,而精度较高的实测径流所占比重较大,所以花园口站天然年径流量559亿 m^3 的计算成果基本合理,能够比较客观地反映黄河河川径流量。

1987年国务院转发国家计委、水电部《关于黄河可供水量分配方案的报告》,1997年黄委会编制的《黄河治理开发规划纲要》,2000年水利部提出的《黄河的重大问题及对策》中均采用1919~1975年的56年系列计算成果。

(2) 1956~1979年24年天然径流系列。

1979年国家农委和国家科委下达《1978~1985年科学技术发展规划纲要(草案)》,“水资源综合评价和合理利用研究”是该纲要中《全国农业自然资源调查和农业区划》的组成部分。根据水电部的统一部署,黄委会水文局于1986年6月编制完成了《黄河流域片水资源评价报告》。

地表水资源评价工作按全国统一布置,采用1956~1979年的24年同步系列,对各控制站作了人类活动影响的还原。最后得出三门峡天然年径流量为564.6亿 m^3 ,花园口为629.9亿 m^3 ,黄河流域为659亿 m^3 。

本成果与前述1919~1975年黄河天然年径流量有较大区别,其原因为:①两个系列不同,前者56年系列包括丰、平、枯不同系列的组合,特别是包括1922~1932年枯水段,而后者24年系列为平偏丰系列。②推算方法不同,前者为断面控制法,即以干、支流各主要断面实测年、月经流为基础,将该断面以上历年逐月的还原水量与实测年月经流量相加,即为各断面历年逐月天然径流量。后者为分区还原累加法,即产水量法,将黄河流域分成若干分区,首先将各分区的实测径流量还原为天然径流量,再将此天然径流量逐区由上而下对应年累加,即得各断面的天然径流量,在断面汇总时未考虑沿途蒸发、渗漏等影响。基于上述认识,仍推荐采用1919~1975年的56年系列作为水资源量评价的结论。

(3) 1952~1990年天然径流系列。

70年代以来,黄河水资源的开发利用发展迅速,水资源供需矛盾日益突出,对黄河水文基本资料提出了更高的要求,同时已刊布的实测水文资料在使用中也发现了一些诸如水沙量不平衡等问题。基于上述情况,黄委会于1992年年初,布置开展《黄河历年水文基本资料审查评价及天然径流量计算》等专项工作。

黄委会水文局通过单站实测资料审查及上、下游水量平衡,对一些测站的有些年份的水、沙量作了修改。在原有基础上通过调查及典型试验分析了一套灌溉还原水量资料,干流大型水库的还原量采用水位—库容曲线法。

1997年8月提出了1952~1990年黄河流域天然径流量资料等一系列成果,其地表水资源量评价结论为1952~1990年天然年径流量三门峡站为540.6亿 m^3 、花园口站为601.7亿 m^3 、利津站为611.5亿 m^3 。而1919~1975年56年系列天然径流量三门峡站为