

贾瑞宝 孙韶华 等著

引黄供水系统 水质识别与风险评估

YINHUANG GONGSHUI XITONG
SHUIZHI SHIBIE YU FENGXIAN PINGGU



化学工业出版社

贾瑞宝 孙韶华 等著

引黄供水系统 水质识别与风险评估

YINHUANG GONGSHUI XITONG
SHUIZHI SHIBIE YU FENGXIAN PINGGU



化学工业出版社

·北京·

本书内容以国家水体污染控制与治理科技重大专项饮用水主题“引黄供水地区水质风险评估技术研究与应用”等课题(2008ZX07422-001)研究成果为基础,针对黄河流域水质污染特征和供水安全现状,以保障引黄取水地区供水安全为目标,研究形成了集藻及其代谢产物检测技术、特征有机物筛查分析技术、生物检测与毒理评价技术、宽光谱监测预警技术和水流水质耦合模拟技术等水质风险识别关键技术和水质风险综合评估系统,系统开展了引黄供水系统“从源头到龙头”全流程水质风险评估,研究提出了引黄供水地区主要水质风险、优先控制污染物名单及风险应对策略等,具有较强的技术性和参考价值。

本书可作为从事水质检测、给排水工程、环境工程等专业的技术人员和管理人员的指导用书,也可作为高等学校教师、研究生和本科生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

引黄供水系统水质识别与风险评估/贾瑞宝,孙韶华等著.
北京:化学工业出版社,2013.9
ISBN 978-7-122-17991-3

I. ①引… II. ①贾…②孙… III. ①黄河-引水-给水处
理-水质管理-风险分析 IV. ①TU991.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第165083号

责任编辑:刘兴春 左晨燕
责任校对:宋 玮

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张18½ 字数460千字 2014年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:98.00元

版权所有 违者必究

序

水是生命之源，发展之本。饮用水安全直接关系到人民群众的健康、生命安全和和谐社会稳定。城市供水系统将天然水转化为饮用水需经过一系列水处理工艺单元和输配过程，“从源头到龙头”各关键环节都需要水质检测，同时还需要对可能存在的水质安全风险进行快速识别和安全评价，并及时提出水质预警建议。

黄河是中华民族의 “母亲河”。目前我国以黄河水为饮用水源的大中城市有 50 多个，通过有效引用黄河水，极大地缓解了水资源压力。但黄河水经沉砂调蓄后高浊度变为低浊度，且由于引黄水库水停留时间较长，水体相对较浅等原因，使水体富营养化严重，藻类大量滋生，水质复杂多变；黄河流域引黄水厂现多为常规处理工艺，出水水质仍难以满足新国标要求，再加之管网输配设施陈旧，管材质量参差不齐，城镇居民对供水水质问题反应强烈。因此，科学、系统的水质风险评估和监测预警已成为当前饮用水安全的前提与保证。

“十一五”期间，济南市供排水监测中心牵头承担了国家水专项黄河项目“引黄供水地区水质风险评估技术研究与应用”课题（2008ZX07422—001），山东大学、山东建筑大学、济南大学及山东省部分供水企业等单位共同参加，课题立足引黄供水系统污染特征和饮用水水质安全现状，在全面梳理《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2006）、《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）和《地下水质量标准》（GB 14848—93）等标准及相关检测方法、规范、导则的基础上，开展了水质风险检测识别关键技术研发及供水全流程水质评估，所有研究成果成为《引黄供水系统水质识别与风险评估》的主要内容。

《引黄供水系统水质识别与风险评估》一书系统分析了黄河流域水污染特征，总结了当前水质风险识别技术的研发进展及存在的主要问题，优化建立了适于藻类及其代谢产物、多环芳烃、农药类、内分泌干扰物、消毒副产物等典型特征污染物的检测技术以及水质综合毒性评价技术，研究构建了水质风险识别宽光谱监测预警和水流水质耦合模拟技术体系，全面剖析了引黄水源、水厂处理工艺和输配过程中存在的主要水质风险，提出了引黄供水系统优先控制污染物名单及风险应对策略。

本书的出版，将对黄河流域水源水质的改善、水厂工艺改造以及管网水质保障提供技术支持，为全国类似水库型水源及水厂工艺升级改造提供借鉴，对饮用水安全保障提供技术指导，同时为政府和相关决策部门提供数据支持。

清华大学环境学院教授
中国土木工程学会水工业分会给水深度处理研究会理事长

王占生
2013 年 6 月

前言

近年来,随着黄河流域经济社会的快速发展,黄河水受污染情况日益严重,下游地区引黄水库富营养化程度加剧,持久性有毒有害物质、内分泌干扰物等不断被发现。水源污染导致了饮用水水质的下降,对现有给水处理工艺以及水质安全保障能力提出了严峻挑战。

目前,国家对生活饮用水卫生标准都进行了修订,大幅增加了检测指标,但仍存在检测项目难以涵盖全部毒理学、微生物、有机物指标,部分指标检测技术方法不适用,风险污染物识别技术体系不健全,城市供水水质风险不明确等问题,使得饮用水处理和输配各环节无法“对症下药”,城市供水安全难以保障。因此,研发建立流域性饮用水全流程水质风险监测识别技术体系,全面准确地评估预判城市供水系统水质安全风险,对于水源水质改善、水厂提标改造以及管网水质提升,从而保障居民饮水安全,具有重要示范应用价值及现实意义。

济南市供排水监测中心、山东大学、山东建筑大学、济南大学等课题组单位有关专业技术人员,历经5年时间先后在山东省内引黄水库、净化输配厂站开展了试验检测研究,付出了大量的心血和汗水,衷心感谢课题组全体成员的辛勤劳动。

本书共分8章:第1章介绍了黄河流域水资源和水质状况,重点分析了黄河流域水资源利用情况、水质污染特征及供水安全形势和挑战等;第2章系统综述了近年来国内外水质风险识别评估技术研究进展,分析了现有检测识别和评估预判技术的局限性;第3章优化建立了适于引黄供水系统的特征污染物风险识别关键技术,包括藻类及其代谢产物检测技术,多环芳烃、农药类、内分泌干扰物、消毒副产物等典型特征污染物的检测技术,基于生物个体-细胞-DNA三级检测的饮用水评价技术,基于PCR技术的有毒、有害微生物风险快速检测技术,水质风险识别宽光谱监测预警和水流水质耦合模拟技术,重点阐述了每项技术的创新点和检测方法步骤;第4章阐述了供水水质风险综合评估系统的建立过程,包括水质管理系统的构架、水质数据库的建立以及综合评估系统的构建等,重点介绍了评估系统的功能应用及技术优势;第5章简述了黄河流域山东段引黄供水系统水质风险现状,分别从水源、水厂、管网三个层次提出了主要水质风险,并对引黄供水全流程典型污染物的迁移转化规律进行了分析、模拟,对水质综合评价、水质风险识别、水质应急模拟等成果进行了展示;第6章以济南市鹊山水库为例介绍了如何对风险源进行识别和控制,并阐述了水流水质实时监测、水质安全评价及水质污染事故应急处置等应用;第7章介绍了引黄供水系统优先控制污染物的筛选方法、筛选原则、筛选程序以及筛选结果,首次提出黄河下游地区污染物“四级”控制体系及优先控制污染物名单;第8章针对引黄供水系统主要水质风险因子,提出了水质风险应对和控制策略,制定了引黄供水水质风险应对方案,重点介绍了引黄供水系统部分风险应对和应用案例。

本书由贾瑞宝、孙韶华等编著。各章编著分工如下:第1章由贾瑞宝,孙韶华编著;第2章由张诺,王明泉,孙莉,辛晓东,马中雨编著;第3章由贾瑞宝,孙韶华,李力,刘建广,吴俊森,徐征和,张诺,王明泉,孙莉,辛晓东,马中雨编著;第4章由贾瑞宝,孙韶

华，王明泉，张诺，姚振兴编著；第5章由孙韶华，贾瑞宝，李力，刘建广，王明泉，张诺，孙莉，辛晓东编著；第6章由徐征和，王明泉，张诺，姚振兴编著；第7章由孙韶华，杜斌，张诺，姚振兴，王明泉编著；第8章由贾瑞宝，孙韶华，王明泉，孙莉，张诺编著。

本书内容是饮用水水质监测领域的前沿性技术，引用了国内外大量的最新研究成果，尤其得到邵益生、周善东、桂萍、刘文君、李星、吕谋等专家学者的指导和帮助，在此表示衷心感谢。书中所确定的内容在技术和理论研究的基础上提供了相应的应用案例，希望对黄河流域水库型水源供水系统监控评估和净化处理有一定的借鉴作用。

本书的出版得到了国家水体污染控制与治理科技重大专项、建设部科技计划、山东省科技攻关计划、山东省“饮用水安全保障”泰山学者岗位建设工程和济南市优秀创新团队等项目的资助。

由于著者时间和水平的限制，书中的不足和疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

著者

2013年6月

目录

1 黄河流域水资源及水质评价

1.1	黄河流域水资源概况	2	1.2.8	东营市	9
1.1.1	水资源总量	2	1.3	黄河流域水污染状况	10
1.1.2	水资源质量	3	1.3.1	水污染概况	10
1.1.3	水资源利用情况	4	1.3.2	水污染形势	11
1.2	引黄取水地区供水现状	5	1.3.3	水污染成因	15
1.2.1	西宁市	5	1.3.4	对城市供水系统的影响	18
1.2.2	兰州市	6	1.4	引黄取水地区供水安全策略	20
1.2.3	银川市	6	1.4.1	形势分析	20
1.2.4	包头市	6	1.4.2	问题与挑战	21
1.2.5	太原市	7	1.4.3	安全对策	22
1.2.6	郑州市	7	参考文献		23
1.2.7	济南市	7			

2 供水水质风险识别评估技术概况

2.1	化学识别技术	25	2.4	综合评估技术	43
2.1.1	无机物检测	26	2.4.1	层次分析法	44
2.1.2	有机物筛查	28	2.4.2	水质综合污染指数法	44
2.2	生物识别技术	31	2.4.3	灰色系统评价法	45
2.2.1	藻类污染	32	2.4.4	物元分析理论	45
2.2.2	生物毒性	36	2.4.5	模糊数学法	46
2.2.3	遗传毒性	38	2.4.6	单因子评价法	46
2.3	风险源快速识别技术	40	2.4.7	人工神经网络评价法	47
2.3.1	光谱识别	40	参考文献		48
2.3.2	水流水质模拟识别	42			

3 供水水质风险识别关键技术

3.1 藻类及代谢产物检测技术	51	3.3.2 PCR 快速检测技术	88
3.1.1 藻类污染类型及来源	51	3.4 宽光谱监测预警技术	100
3.1.2 藻类污染检测方法	52	3.4.1 宽光谱快速识别技术	100
3.2 特征有机污染物检测技术	58	3.4.2 宽光谱水质预警预报系统	111
3.2.1 有机污染物类型及来源	59	3.5 水流水质耦合模拟技术	121
3.2.2 有机污染物检测方法	62	3.5.1 模型建立	122
3.3 水质毒理学评价技术	81	3.5.2 水质风险模糊识别	125
3.3.1 综合毒性评价技术	81	参考文献	132

4 供水水质风险综合评估系统

4.1 水质管理系统	133	4.2.4 数据手机发布平台	149
4.1.1 系统构架	133	4.3 综合评估系统	150
4.1.2 管理功能	134	4.3.1 评价模型	150
4.2 水质数据库	140	4.3.2 评价函数	151
4.2.1 数据存储	141	4.3.3 评估功能	154
4.2.2 数据安全	141	参考文献	160
4.2.3 数据信息统计	143		

5 引黄供水系统水质风险现状

5.1 水源	163	5.2.5 臭味物质	189
5.1.1 氮磷污染	163	5.2.6 毒理学风险	191
5.1.2 藻及代谢产物污染	166	5.3 管网	195
5.1.3 有机物污染	171	5.3.1 微生物	196
5.1.4 微生物风险	179	5.3.2 臭味	196
5.1.5 毒理学风险	181	5.3.3 水质稳定性	197
5.2 水厂	184	5.4 引黄供水全流程	198
5.2.1 常规指标	184	5.4.1 不同类型污染物的迁移 转化	199
5.2.2 有机污染物	185	5.4.2 水质风险综合评估	202
5.2.3 消毒副产物	187	参考文献	214
5.2.4 AOX 指标	189		

6 引黄水库风险源识别与控制

6.1 水流水质耦合模拟	215	6.1.1 水质参数的确定	215
---------------------------	-----	---------------------	-----

6.1.2	不同工况流场和浓度场模拟	219	6.3	水流水质实时监测系统应用	232
6.1.3	氨氮污染模拟及应用	221	6.4	水质安全评价及预警	233
6.1.4	叶绿素污染模拟及应用	224	6.5	水质污染事故应急机制	235
6.2	风险源识别	226		参考文献	240

7 引黄供水系统优先控制污染物

7.1	筛选方法	241	7.3.2	筛选程序	245
7.2	筛选原则	244	7.4	“四级”控制体系	255
7.3	筛选程序	245		参考文献	257
7.3.1	参数选择	245			

8 引黄供水系统水质风险应对策略

8.1	氮磷污染风险	259	8.5.1	吸附法	271
8.1.1	面源污染控制	259	8.5.2	氧化法	272
8.1.2	内源污染治理技术	260	8.5.3	生物法	273
8.1.3	生态调度技术	260	8.5.4	联用法	274
8.2	藻类污染风险	261	8.6	内分泌干扰物风险	274
8.2.1	水源控藻	261	8.6.1	生物处理法	274
8.2.2	水厂除藻	262	8.6.2	吸附法	275
8.3	溴离子风险	264	8.6.3	膜处理法	275
8.3.1	溴酸盐控制	264	8.6.4	高级氧化法	275
8.3.2	溴酸盐去除	267	8.7	微生物风险	276
8.4	消毒副产物风险	268	8.8	引黄供水系统水质风险应对方案	277
8.4.1	替换消毒剂和消毒方法	268	8.9	引黄供水系统风险应对案例	278
8.4.2	去除消毒副产物的前驱物质	269	8.9.1	水源	278
8.4.3	去除已生成的消毒副产物	270	8.9.2	水厂	280
8.5	嗅味风险	271	8.9.3	管网	285
				参考文献	287

黄河流域水资源及水质评价

黄河是中国的第二长河流，中华民族的“母亲河”。她孕育了中华民族几千年的光辉灿烂文化，与两河（幼发拉底河和底格里斯河）、尼罗河、印度河并称世界四大文明之河。黄河是我国极具重要战略地位的一条河流，它源于青藏高原巴颜喀拉山，干流横跨我国的西、中、东部，奔腾的黄河水贯穿青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东等九个省、自治区，并最终在山东省东营市垦利县注入渤海，全长 5464km。

黄河流域水资源为流域人民提供了赖以生存的资源、能源、生态服务和发展空间，是流域经济社会发展的基础。随着黄河流域经济社会的快速发展和西部大开发战略的实施，黄河流域水资源作为流域“生命线”的地位显得更加突出。

但是近年来，人类活动对黄河流域水资源产生了大量负面影响。水资源生态环境状况持续恶化、流域产流条件改变、水资源状况均发生了很大变化，黄土高原已经成为我国乃至世界上水土流失最为严重的地区，严重的水土流失造成河湖水库淤积、生态环境恶化，加剧了洪涝、干旱和风沙等灾害的发生，也加剧了水资源的供需矛盾；水污染造成水生态系统循环的破坏，导致水质恶化、水体功能降低或丧失。黄河水量减少，废水、污水排放量大，超出水体的自净能力，水质污染进一步加剧；黄河流域水资源的过度开发利用导致地下水位下降、湖泊干涸、湿地萎缩、入海水量减少，出现了河道断流、生态失衡等现象。

随着黄河流域社会经济的快速发展，作为饮用水源的引黄水库水逐渐呈现出特有的“低浊高藻高嗅味”、“高溴离子”及小分子有机污染特征；即使经水厂现有工艺处理后，出水水质仍难以满足新国标要求；加之管网陈旧、管材等影响，水质存在不稳定性及二次污染，居民反应强烈。近年来，国家对地表水源水标准、生活饮用水标准进行了修订，大幅度增加了检测、评价项目，但仍存在部分新型环境污染物检测方法不成熟，检测项目难以涵盖全部毒理学、微生物、有机物指标，水质检测方法灵敏度偏低，特征污染物识别技术体系不健全，水质风险不明确等问题，使得城市供水安全风险难以准确评估。

国务院（2007）2798 号文要求，至 2020 年，全面改善市级城市和县级城镇的饮用水安

全状况,全面实现小康社会目标对饮用水安全的要求。因此,通过各种检测手段全面准确地识别评估引黄供水系统“从源头到龙头”水质安全风险,进而为水源水质改善、水厂工艺改造以及管网水质提升提供技术支持,成为国家亟需解决的重大科技问题,对于保障全流域1.72亿人口的饮用水安全具有重要的示范和指导意义。

1.1 黄河流域水资源概况

黄河在中国北方蜿蜒流动,从高空俯瞰,恰似一个巨大的“几”字。黄河流域面积达79.5km²,占国土面积的8.3%,黄河流域行政分区面积如图1-1所示。河源至河口落差4480m,流域内石山区占29%,黄土和丘陵区占46%,风沙区占11%,平原区占14%。全河划分为龙羊峡以上、龙羊峡至兰州、兰州至头道拐、头道拐至龙门、龙门至三门峡、三门峡至花园口、花园口、黄河内流区等8个二级流域分区(见图1-2)。上千条支流与溪川相连,沿途汇集了35条主要支流,较大的支流如湟水、洮河等在其上游,由于下游两岸缺乏湖泊且河床较高,流入黄河的河流很少,所以黄河下游流域面积很小。

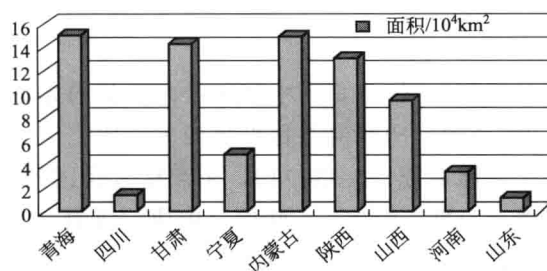


图 1-1 黄河流域行政分区面积
(《黄河水资源公报 2011》)

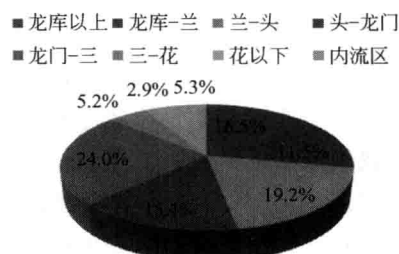


图 1-2 黄河流域分区面积所占比例
(《黄河水资源公报 2011》)

黄河流域平均径流量为 $5.8 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 在国内河流中位列第8位, 仅占全国河流径流总量的2%, 却承担着全国15%的耕地、12%的人口、50多座中等城市的供水任务, 属于资源型缺水流域, 对流域内外广大城市和农村生活、生产、生态提供水资源保障具有战略性、全局性重要意义。

1.1.1 水资源总量

黄河流域水资源总量占全国水资源总量的2.6%, 在全国七大江河中居第4位, 人均水资源量905m³, 亩均水资源量的1/3和1/5, 在全国七大江河中分别占第4位和第5位, 可见黄河水资源并不富裕。

黄河流域内水资源总量时空分布不均匀。由于流域水资源主要由降水形成, 而每年60%~80%的降水集中在7~10月, 且多以暴雨出现, 致使黄河径流年内分布不均匀, 约60%的径流量集中在7~10月的汛期, 每年3~6月的径流量只占全年的10%~20%, 有些支流, 汛期和非汛期的径流量的分配更为悬殊。从空间上看, 兰州以上流域面积占全流域面积的29.6%, 水资源总量却占全流域水资源总量的47.3%。龙门至三门峡区间流域面积占全流域面积的25%, 水资源总量占全流域水资源总量的23%。而兰州至河口镇区间流域面积占全流域面积的21.7%, 水资源总量只占全流域水资源总量的5%。

总体来说,黄河是一条水资源相当贫乏的河流,且面对着水资源总量紧缺的严峻局面。但由于其径流时空分布、河道控制工程和沿河区域特点等因素的复合状况相当复杂,各河段水资源的丰度、可靠程度和利用潜力都是有巨大差别的。黄河流域地处我国半干旱、半湿润地区,气候干旱,全流域平均年降水量为 200~600mm,并向逐年减少的趋势发展,平均径流深度仅为 77mm,流域内人均水量为 593m³,为全国人均水量的 22%,再加上流域外的供水需求,人均占有水资源量更少,耕地亩均水量为 324m³,仅为全国耕地亩均水量的 16%。水资源先天不足,随着国民经济和社会迅速发展,人类活动加剧,流域内水资源供需矛盾突出,生态环境恶化,下游断流日趋严重,河床时干时湿,填注、浸润蒸发损失增加,水土流失也导致缺水加剧。

以 2011 年为例,2011 年黄河花园口站以上区域水资源总量为 $638.87 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中天然地表水量为 544.21 m^3 ,与天然地表水量不重复的地下水资源量 $94.66 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2011 年黄河利津站以上区域水资源总量为 $674.44 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中天然地表水量 563.98 m^3 ,与天然地表水量不重复的地下水资源量为 $110.46 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。图 1-3 所示为 2000~2011 年黄河花园口站以上区域水资源总量变化趋势,通过图 1-3 可以看出,2011 年水资源总量属于较多的年份。

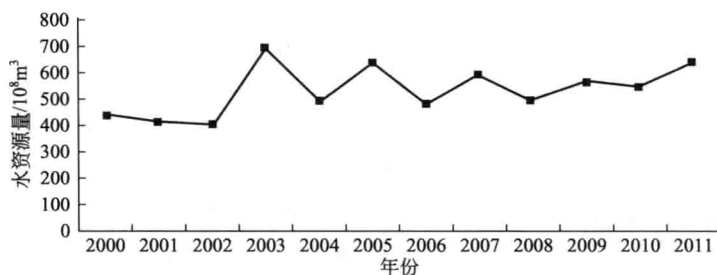


图 1-3 2000~2011 年黄河花园口站以上区域水资源总量变化趋势

随着人类活动的加剧及水资源的过量开发利用,改变了地下水的补给、径流、排泄条件,使地下水补给量相应发生变化,严重超采区形成了深层承压水降水漏斗。由于水资源的大量开发利用,加之近年来降水偏少,气温偏高等因素影响,使得流域内主要河流实测径流量有日趋减少的趋势,支流的中下游,甚至上游河段,均处于或正在呈现出比较严重的缺水、断流状态,黄河断流频繁发生,水资源和水环境已成为黄河上、中游地区生态环境的核心问题。

黄河流域水资源供需矛盾突出。近 20 多年,水资源量由于污染不断减少,但是人口和经济规模在进一步增长,水资源的供需平衡更加困难。随着供水范围的不断扩大和供水要求的持续增长,黄河承担的供水任务已超过其承载能力。在无跨流域调水情况下,黄河可供水资源为 $4.8 \times 10^{10} \text{ m}^3$,而在采取节水措施,调整产业结构,限制高耗水产业发展的前提下,流域内外供水区 2010 年、2030 年和 2050 年总需水量分别为 $5.2 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 、 $5.9 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 和 $6.4 \times 10^{10} \text{ m}^3$,已远远超出了黄河的供水能力。

1.1.2 水资源质量

黄河流域是我国污染最为严重的地域之一,污染河长达 80% 以上。水污染形势日益严峻,工业化和城镇化进程带来了黄河流域的繁荣,同时也带来了严重污染。黄河水质严重恶化,可用水资源量严重不足。特别是近年来断流问题越来越突出,断流使沿岸城市河道内无

径流，变成了接纳污水的黑河，各种鱼类大量死亡，给黄河下游的农业造成了极大危害。

据统计, 2011 年黄河流域废污水排放总量为 $45.25 \times 10^8 \text{t}$, 其中城镇居民生活废污水排放量为 $11.88 \times 10^8 \text{t}$, 第二产业废污水排放量为 $29.55 \times 10^8 \text{t}$, 第三产业废污水排放量为 $3.82 \times 10^8 \text{t}$, 分别占总量的 26.3%、65.3% 和 8.4%。大部分未经有效处理而直接排入河流、湖泊和水库, 严重污染了黄河水资源, 水质恶化速度惊人, 黄河水资源问题日趋尖锐和激化。总体为轻度污染, 主要污染指标为氨氮、化学需氧量和五日生化需氧量。43 个国控断面中, I ~ III 类、IV ~ V 类和劣 V

水质类别	占比
I-III 类	69.8%
IV-V 类	11.6%
劣 V 类	18.6%

图 1-4 黄河水质情况

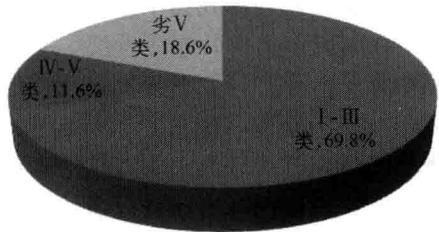


图 1-4 黄河水质情况

V类水质断面比例分别为69.8%、11.6%和18.6%（见图1-4）。

黄河现有水源地水质状况较差，难以满足国家地面水Ⅲ类标准的控制要求，供水缺乏安全。大部分直接以黄河水为供水水源的重要城市供水水源地（饮用水）中，40.4%不符合集中式生活饮用水地表水源地要求，主要超标项目为化学需氧量、氨氮等，一些城市河段及湟水、汾河、渭河、乌梁素海等污染严重。

黄河干流自刘家峡以下均不同程度地受到人为污染,水质状况明显呈恶化趋势,许多功能区达不到其相应的水质功能要求,污染物量已超过黄河水体的水环境承载能力,主要污染指标为溶解氧、高锰酸盐指数、生化需氧量、挥发酚和石油类。黄河干流悬浮物浓度很高,最高达 485mg/L,同时,严重的水土流失带来了农药、化肥、病菌及其他污染物,在降水或灌溉过程中,随着地表径流,农用排水,土壤渗漏进入水体,对地表水和地下水造成潜在污染。流域内粗放型的发展模式,造成资源消耗大,污染排放强度高,水环境压力不断增加。受流域化学工业排污影响,黄河干支流检出 11 类 142 种有毒有机物,黄河城市供水水源地已经受到有毒有机物污染的威胁,供水水质安全不能得到保证。

日益严重的水污染，破坏了黄河流域生态和沿黄地区的生产和生活环境，对经济社会的可持续发展造成了严重影响。

1.1.3 水资源利用情况

2011 年黄河总水量为 $536.36 \times 10^8 \text{ m}^3$ (含跨流域调出的地表水量), 其中地表水取水量为 $407.21 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占总取水量的 75.9%; 地下水取水量为 $129.15 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占 24.1% (见图1-5)。黄河总耗水量为 $421.27 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中地表水耗水量为 $334.06 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占总耗水量的 79.3%; 地下水耗水量 $87.21 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占 20.7%。

黄河承担着流域内用水,同时承担着外流域用水,这部分对黄河流域而言,全部消耗水资源,水资源利用有大量的引出水量,也有相当部分水量退回到河道,因此存在重复利用水量问题,特别是枯水年份尤为突出。黄河流域地表水收入项为天然河川径流量,支出项为流域内耗水量、调出水量、河道损失增加量、入海水量。在以往水资源配置中,很少考虑到生态用水,未预留生态用水,已经在部分区域带来了严重的生态问题,例如河道断流和湿地萎缩。

黄河水资源利用率和利用效率不高,其中旱作农业取水的利用率为 30%~40%,灌溉水浪费严重,加剧了缺水。水库拦蓄大量的水会由于蒸发、渗漏等造成水量的损失,水库的蓄水和水量的变化也对河道径流产生了影响。当黄河流域出现平水年时,能满足下游河道内

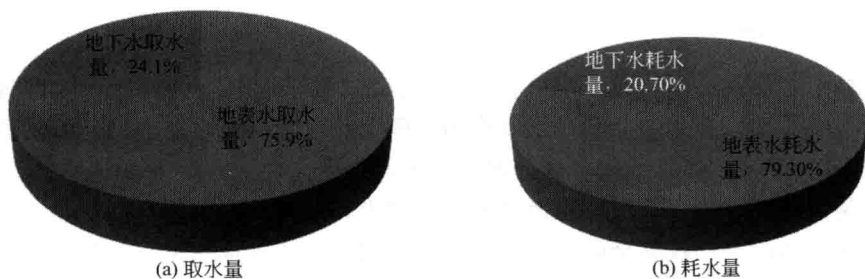


图 1-5 黄河水量总取水量、耗水量情况 (《黄河资源公报》2011)

生态环境需水,一般不会发生断流现象;当出现枯水年时,尚可满足下游河道内生态环境需水,但会发生较严重的断流。因此,必须促进黄河流域水资源的合理配置。水资源保护部门通过分析黄河水资源开发、利用、管理、农业灌溉、城市用水、水质等方面情况,提出了合理开发、优化配置、全面节约、高效利用、有效保护方案。黄河水资源的综合开发利用,改善了部分地区的生态环境,解决了农村近 3000 万人的饮水困难,有力地推动了沿黄省市自治区的经济发展,取得了显著的社会效益和经济效益。

1.2 引黄取水地区供水现状

黄河是中国北方唯一横贯东西的大河,是第一个进行流域初始水权分配的河流,也是北方最大的供水水源。早在 1987 年,国务院就批准了《黄河可供水量分配方案》。该方案采用的黄河天然径流量为 $580 \times 10^8 \text{ m}^3$,将其中 $370 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的黄河可供水量分配给流域内 9 省区(内蒙古、青海、甘肃、宁夏、四川、山西、陕西、河南、山东)及相邻缺水的河北省、天津市,分配河道内输砂等生态用水为 $210 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在各省区市,分配可用水量最多的是山东省,每年 $70 \times 10^8 \text{ m}^3$;内蒙古以 $58.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 居第二,最少的是四川省,仅 $0.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。为了管理好、用好黄河水,1999 年,国务院授权黄河水利委员会统一调度黄河水量,黄河水利委员会依照各省区市用水权,每年按“丰增枯减”原则对用水统一分配。2006 年 8 月 1 日,国务院《黄河水量统一调度条例》正式实施,从而确定了黄河水量分配方案的法律地位。黄河水由上游至下游,水质情况不容乐观,各省市分配得到的黄河水量不同,因此各地区供水现状各有异同。

1.2.1 西宁市

西宁市目前向城市供水的水厂有 7 座,其中以地下水为水源的有 6 座,以地表水为水源的有 1 座。6 座以地下水为水源的有水厂为西宁市一水厂、三水厂、四水厂、五水厂、六水厂和多巴水厂;1 座以地表水黑泉水库为水源的为西宁市七水厂。

黑泉水库,位于青海省大通回族土族自治县宝库乡,位于 227 国道旁,距离西宁市 75km,总库容 $1.82 \times 10^8 \text{ m}^3$,工程总投资 77625 万元,是青海“引大济湟”工程的重要组成部分,是西宁市重要的供水水源地和城镇居民生活及工业用水“水塔”,为饮水水源一级保护区,对保障西宁及周边地区的工农业及生活生态用水具有重要的作用。2007 年,西宁市第七水厂一期工程建成投产,供水规模每日 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$,供水水源为黑泉水库。

目前,黑泉水库水质状况良好,暂未发生重大污染事故。

兰州市城市生活饮用水，以黄河地表水为主、“三滩”地下水为辅。城区目前有两个集中生活饮用水水源地，分别为兰州市供水集团有限公司取水口所在区域的新城桥黄河地表水源地和“三滩”（马滩、崔家大滩、迎门滩）地下水源地。

兰州市是黄河流域唯一黄河穿越而过的省会城市，兰州已形成以石油、化工、机械、冶金四大行业等主体门类比较齐全的工业体系，成为我国主要的重化工、能源和原材料生产基地之一。正是由于兰州市各种化工企业突飞猛进的发展，污水处理力度不够，使得兰州市饮用水源受到污染。

尽管兰州市城区饮用水源水质达标率稳定,保持在 100%,但仍然存在一些潜在的威胁,尤其是跨省界的湟水河污染问题日益突出。据了解,流经青海西宁、民和等地的湟水河在甘宁交界的湟水桥处汇入黄河,由于沿途造纸、化工、硅铁等工业污染和生活污水的污染,湟水河遭到严重污染,成为兰州水源地的最大污染源。

目前,兰州市供水集团有限公司所用的新城桥地表水源地的主要污染指标为总氮、总磷、粪大肠菌、石油类和挥发酚。

银川市地表饮用水源地中,取用黄河水的水源地主要包括两处,即银川市南部水源地和征砂渠水源地。

① 银川市南部水源地：服务区域为西夏区，是银川市自来水总公司第七水厂的供水水源地。

② 银川市征砂水源地：服务区域为兴庆区，是银川市自来水总公司第二、四水厂备用水源地。

2010 年银川市通过各项措施做好黄河银川段水质治理,水环境质量得到明显改善。黄河银川段考核断面为陶乐渡口,除 3 月份氨氮超标外,水质稳定达到地表水环境质量标准三类标准,全市 6 个集中式饮用水水源地水质达标率多年稳定,达到 100%。

包头市水资源贫乏,人均水资源量为 422m^3 ,仅为全国人均水资源量的 17%,城市规划区人均水资源量不足 100m^3 ,属严重缺水型城市。

地表水水源地承担着城市的主要供水任务。地表水源主要来自过境黄河水和水库水，生活、生产集中取水水源地共有 4 处，分为河道型和水库型两种，其中，河道型水源地有 3 处，为昭君坟、画匠营、镗口水源地，建在黄河干流，合计取水量为 $21245 \times 10^4 \text{t}$ ，取水比例占全市取水量的 92.9%，供水人口 148 万，占全市供水总人口的 88.9%，是全市的主要水源。水库型水源地 1 处，为昆都仑水库水源地，供水量为 $600 \times 10^4 \text{t}$ ，供水人口 6.8 万，占全市供水总人口的 4.1%，是季节性调节的备用水源地。

根据黄河水环境监测站提供的黄河水质评价资料,对照《地面水环境质量标准》(GB 3838—2002),2009年黄河原水昭君坟、画匠营、镗口三个城市工业与生活取水口个别时段有4项超过地表水环境质量Ⅲ类标准,分别为化学需氧量、粪大肠菌群、总磷、氨氮。

昆都仑水库水质良好,除硝酸盐含量超标,其余都符合地表水环境质量Ⅲ类标准。

1.2.5 太原市

太原市饮用水源地一共有 4 处，其中兰村水源地、西张水源地、枣沟水源地为地下水源地保护区；汾河水库属地表水源地保护区。

(1) 汾河水库

汾河水库是山西省最大的水库，位于娄烦县境内下静游村至下石家庄之间。地处汾河上游的吕梁山腹地，海拔 1000 余米。水库大坝距太原城区 98km。该工程于 1958 年开头动工兴建，于 1961 年竣工，总库容为 $7.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，库区最大水面积为 32 km^2 ，最高水位在海拔 1130m，水容量相当于北京十三陵水库的 13 倍多，水面积相当于 200 多个颐和园昆明湖。山西省水资源严重短缺，已成为制约全省国民经济发展的瓶颈。汾河是山西的母亲河，也是山西境内流域面积最大的河流，汾河水库作为山西省最大的水库，2003 年 11 月，引黄入库工程正式建成并向省城太原市供水后，又成为山西省最大的饮用水水源地。

受黄河水水质影响，汾河水库的水质有所下降，主要超标污染物为铅、锌、石油类、高锰酸盐指数等。

从汾河水库出来，一路向下，引黄水通过 43km 的地下封闭管道，进入呼延水厂。通过厂内配水、加药、加氯、加氨，再经泥砂沉淀、过滤、消毒等工艺流程处理后，黄河水最终净化为生活饮用水，经配水管网，进入太原市城镇居民家中。

(2) 黄河万家寨水库

万家寨水库位于黄河北干流上段托克托至龙口河段峡谷内，是以供水、调峰发电为主，同时兼有防洪、防凌等综合效益的国家一等大型水利枢纽工程，总库容为 $8.96 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，总装机容量为 $108 \times 10^4 \text{ kW}$ 。

万家寨水库控制流域面积为 $39.48 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，多年平均径流量为 $248 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，多年平均流量 $790 \text{ m}^3/\text{s}$ ，多年平均输砂量为 $1.49 \times 10^8 \text{ t}$ ；年供水量为 $14 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中向内蒙古自治区准格尔旗供水 $2.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，向山西平朔、大同供水 $5.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，向太原供水 $6.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。从万家寨水库到呼延水厂，之间要经过 5 座泵站，总扬程为 636m。

1.2.6 郑州市

郑州市城市集中式饮用水水源地包括河流型、湖库型和地下水饮用水水源地。

郑州市在用的地表集中式饮用水水源地有 2 个，分别是花园口水源地（黄河水源厂）和邙山水源地（提灌站），均以直接提取黄河水为水源，属于河流型水源地。黄河上游的来水水质情况对郑州市地表集中式饮用水水质起着决定性作用。目前，两处水源地主要超标因子为高锰酸盐指数、 BOD_5 、氨氮、挥发酚、粪大肠菌群。

黄河水经邙山提灌站由明渠输送至石佛沉砂池再经暗管到西流湖（引黄水库）储水区，为柿园水厂提供水源。从花园口水源地引水至花园口水源厂调蓄池，向郑州市生产量最大的白庙水厂提供水源。

1.2.7 济南市

济南市是山东省的政治、经济、文化中心，境内有黄河流域、小清河流域、海河流域，属暖温带半湿润季风气候。现有大中型水库 10 座，小型水库 182 座，塘坝 900 余座，水库塘坝拦蓄能力达 $4.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，有邢家渡、田山、陈孟圈、胡家岸等大中型引黄灌区 10 处，

引黄控制面积 210 万亩, 全市有效灌溉面积 357 万亩, 占耕地面积的 71.5%。其中节水灌溉面积 90 万亩。

济南市降水大部分集中在夏季, 多年平均降水量为 654mm。济南市为资源型缺水地区, 市区多年平均水资源总量为 $5.87 \times 10^8 \text{ m}^3$, 人均占有水资源量为 225 m^3 , 仅占全国人均水资源量的 1/10。济南市水资源具有总量不足、年际变化大、年内分配不一和地域分布不均等特点。济南素以“泉城”著称, 以泉水闻名。在城区范围内, 分布有四大泉群七十二泉, 数量之多, 流量之大, 实属罕见。然而, 由于地下水盲目、过度开采, 致使泉水自 1975 年春季开始出现断流, 几乎年年有断流现象, 尤其自 1999 年以来, 济南泉群连续停喷最长达 936d。

济南市的水资源来自大气降水和过境河流两大部分, 包括地表水、地下水及客水资源。大气降水形成地表水、地下水; 过境河系指黄河、徒骇河、德惠新河。多年 (1956~1990 年) 以来, 济南市的地表水资源, 平均地表水资源量为 $6.7819 \times 10^8 \text{ m}^3$, 平均径流深为 82.7mm, 年保证率为 50%、75%、95% 的地表水资源量分别为 $5.8885 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $3.2229 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $1.5179 \times 10^8 \text{ m}^3$, 济南市的地下水资源, 平均地下水资源量为 $14.1143 \times 10^8 \text{ m}^3$, 保证率在 50%、75% 和 95%, 地下水资源量分别为 $13.5119 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $10.9061 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $8.2421 \times 10^8 \text{ m}^3$; 在不久的将来, 随着南水北调工程的建成, 济南市将用上长江水。

济南市山丘区和山前平原的各类型地下水, 为低矿化度的淡水, 水化学类型多为 $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ 型, 矿化度一般为 0.5g/L。黄泛平原区的地下水矿化度较高, 部分地带出现咸水, 水化学类型复杂, 碳酸型水、硫酸型水、氯化物型水均有。特别是小清河沿岸的浅层地下水已达不到饮用水标准。当地常年有水河道为小清河, 但该河常年容纳城市生活及工业的污水, 已不代表天然径流的水质, 其水质在市区及其以下河段, 水黑味臭, 鱼虾绝迹, COD 超标 80 倍, 氨氮超标 20.1 倍。从水质分析结果看, 溶解氧、COD、BOD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 超标率均为 100%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 是小清河主要污染指标, 说明小清河受生活污水污染严重, 而影响小清河黑臭的主要是有机物污染。

济南市大中型水库大多常年蓄水, 大多数水库水质符合 II~III 级地面水环境质量标准, 可作为饮用、灌溉、工业等用水。

(1) 鹊山水库

鹊山水库位于黄河北岸北展区, 库区占地面积 9000 余亩。工程始建于 1998 年, 于 2000 年 4 月 24 日正式向鹊华水厂送水。水库设计库容 $4600 \times 10^4 \text{ m}^3$, 属于地上围坝平原水库, 设计日供水能力 $44 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

水库水经 1800mm 全长为 10km 的输水管线送往鹊华水厂。2011 年度日均供水量约为 $27 \times 10^4 \text{ m}^3$, 年供水量 $9875 \times 10^4 \text{ m}^3$, 主供天桥区, 辐射历下区、市中区、槐荫区, 并担负着向东联、大桥镇供水, 是城市主要的水源地之一。

为有效改善鹊山水库水源水质, “十一五”水专项黄河项目实施期间, 济南市供排水监测中心于鹊山水库建设了原位净化中试工程, 面积为 2100 m^2 ($70 \text{ m} \times 30 \text{ m}$), 进出水采用网格, 两侧采用 PE 膜隔离, 该工程包括水体富氧和人工水草两部分。多层次立体化原位净化实现了水体扰动, 增加了水体溶解氧, 抑制了藻类生长与爆发并控制水体臭味问题。

同时, 针对藻类、石油等水源突发污染问题, 建立了处理规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的车载式水源应急加药系统, 并在鹊山水库输水管道建立药剂投加口, 可实现次氯酸钠、高锰酸钾、二氧化氯、酸、碱、粉末活性炭等药剂的自动投加和针对不同污染情景的分段投加, 有