

Polluted Reservoir Water Purification Technology  
Research and Process Optimization

# 受污染引黄水库水净化 技术与工艺优化

贾瑞宝 孙韶华 宋武昌 等 著  
邵益生 周善东 审

中国建筑工业出版社

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS  
CHICAGO, ILLINOIS 60607

# THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

CHICAGO, ILLINOIS 60607

CHICAGO, ILLINOIS 60607

CHICAGO, ILLINOIS 60607



# 受污染引黄水库水净化 技术与工艺优化

贾瑞宝 孙韶华 宋武昌 等著  
邵益生 周善东 审

中国建筑工业出版社



## 图书在版编目 (CIP) 数据

受污染引黄水库水净化技术与工艺优化/贾瑞宝等著. — 北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 12  
ISBN 978-7-112-17483-6

I. ①受… II. ①贾… III. ①黄河流域-水库-污染防治-研究 IV. ①X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 265702 号

本书内容以“十一五”国家水专项黄河项目“高藻引黄水库水常规工艺强化集成技术研究与示范”课题(2008ZX07422-003)研究成果为基础,优选了课题组成员参与的其他水专项子课题(分任务)研究内容,同时吸纳了国内外相关领域的最新研究成果,涵盖受污染引黄水库水的常规工艺强化、臭氧-生物活性炭深度处理、超滤膜深度处理和突发污染应急处理的技术研究与工程案例,是一部工程技术研究专著。

书中针对受污染引黄水库水水质和水厂工艺现状,以促进黄河下游地区自来水厂出水水质满足《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006 为目标,设计并建设了集生物和化学预处理、强化常规处理、深度处理和应急处理于一体的给水处理中试试验平台,从常规处理工艺的预处理、强化混凝、浮沉与浮滤、活性炭过滤,臭氧-生物活性炭深度处理的工艺参数优化、溴酸盐和微生物控制,超滤膜处理的技术参数优化与组合工艺优选,应急处理的风险评估、能力建设等方面进行了全面阐述,并介绍了相应工程案例的设计运行参数及技术经济参数。

本书可作为从事市政工程、环境工程的工程技术人员和管理人员的指导用书,也可作为高等院校教师、研究生和本科生的学习参考书。

责任编辑:于莉 田启铭

责任设计:李志立

责任校对:陈晶晶 刘梦然

## 受污染引黄水库水净化技术与工艺优化

贾瑞宝 孙韶华 宋武昌 等著

邵益生 周善东 审

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19 插页: 1 字数: 459 千字

2015 年 2 月第一版 2015 年 2 月第一次印刷

定价: 55.00 元

ISBN 978-7-112-17483-6  
(26257)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 编 委 会

主 编：贾瑞宝

副主编：孙韶华 宋武昌 刘建广 张克峰 高宝玉

主 审：邵益生 周善东

### 参编单位和编委会成员：

山东省城市供排水水质监测中心：贾瑞宝 孙韶华 宋武昌 王明泉

潘章斌 王占金 杨晓亮 逯南南

赵清华 刘 莉 窦春菊 李 伟

山东建筑大学：刘建广 张克峰 张春阳 李 梅 王永磊 张彦浩

山东大学：高宝玉 王 燕

济南泉城水务有限公司：刘衍波 崔鹏炜 李世俊 万吉昌

中国石化集团胜利石油管理局供水公司：燕峒胜 曹溪禄 柴德彬

顾学林

东营市自来水公司：纪洪杰 田希彬

济南市清源水务集团有限公司：焦念增 魏长学 惠新文 刘明辉



# 序

水，是生命的源泉，在国民经济和社会发展中发挥着无可替代的重要作用。水的污染，尤其是饮用水污染问题，已使人类面临着严峻的挑战。饮用安全卫生的水，是每一个人保持生命健康的需要和渴望，已成为全人类共同关注的热点。

饮用水净化工艺发展至今，大致经历了三个阶段。20 世纪初，由于水介烈性细菌性传染病（如霍乱、痢疾、伤寒等）流行，第一代饮用水净化工艺“混凝-沉淀-过滤-氯消毒”常规工艺，发挥了重要作用。至 20 世纪 70 年代，由于水环境污染，在城市饮用水中发现了种类众多的对人体有毒害的微量有机污染物（如致癌、致畸、致突变物质等）和氯化消毒副产物，而第一代工艺又不能对其有效地去除和控制。在这个背景下第二代饮用水净化工艺应运而生，即在第一代工艺之后增加臭氧-活性炭深度处理工艺。20 世纪末，由于水环境污染的加剧，以及水质检测技术的发展，又发现了许多新的水质问题，如贾第鞭毛虫和隐孢子虫（两虫）问题，水蚤、红虫问题，藻污染及藻致臭味、藻毒素问题，内分泌干扰物及其他新型污染物问题，等等。以超滤为核心技术的第三代城市饮用水净化工艺即在第一、二代工艺基础上增加超滤膜处理，通过对水中的致病微生物和水生生物、浊度、有机物等设置多级屏障逐级削减，使饮用水的生物安全性从相对安全转为绝对安全。黄河承载着全国 12% 人口的供水任务，引黄水库为其重要的水资源开发利用方式。高浊度黄河水经沉砂调蓄后变为低浊水，而且引黄水库水体相对较浅，停留时间较长，易于富营养化，水质更加复杂多变，而现有水厂大多沿用第一代净化工艺，其工艺运行和出水水质受到较大影响。“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，“高藻引黄水库水常规工艺强化集成技术与示范”课题及其他相关水专项课题同时启动实施，课题组分别围绕着常规工艺强化、臭氧活性炭和超滤膜深度处理以及突发污染应急等技术进行了研究。经过几年的研究开发、中试验证、工程示范和运行评估，编制了《受污染引黄水库水净化技术与工艺优化》。

《受污染引黄水库水净化技术与工艺优化》针对引黄水库水水质污染特征，以保障水厂稳定运行和水质达标为总体目标，设计建设了集预处理、常规工艺、臭氧活性炭、超滤膜和应急处理于一体的组合式给水处理中试平台，提出了适于引黄水库水水质特征的常规工艺强化、臭氧-生物活性炭、超滤膜组合工艺、活性炭吸附应急处理技术及相应工艺参数，介绍了相关中试研究结果，并提供了典型的工程应用案例。

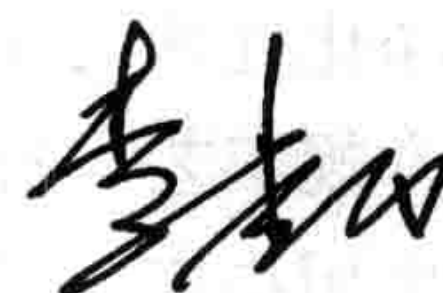
《受污染引黄水库水净化技术与工艺优化》系统分析了引黄水库水水质污染特征，剖析了现有工艺面临的主要问题，优选了适于现有工艺升级改造的第一代、第二代和第三代净水工艺的组合工艺形式，重点介绍了预处理、强化混凝、浮沉与浮滤、活性炭过滤等常规工艺强化技术措施，提出了臭氧活性炭深度处理工艺的臭氧投加量确定、投加方式优



化、溴酸盐控制和生物活性炭挂膜方式、工艺参数和微生物控制技术，优选了适于引黄水库水处理的超滤膜组合工艺和适于生产废水回用的微滤膜组合工艺，介绍了济南玉清水厂、鹊华水厂、商河清源水厂、东营南郊水厂、胜利油田耿井水厂、辛安水厂等典型的工程案例设计运行参数及其技术经济参数。同时，分析了突发水污染事件的曝气吹脱、活性炭吸附、化学氧化、化学沉淀等应急处理技术现状，重点介绍了农药类和化工产品类活性炭应急处理吸附参数，全面介绍了济南市城市供水应急处理体系及应急处理效果。

《受污染引黄水库水净化技术研究与工艺优化》的出版发行，将为黄河流域引黄水厂的工程改造、稳定运行和水质达标提供技术指导，为全国类似水库型水源水厂的工艺升级改造提供借鉴，对保障供水安全起到重要的指导作用。

中国工程院院士、哈尔滨工业大学教授





# 前 言

近年来,我国城市供水事业取得了长足发展,供水能力有了较大提高。由于经济社会的快速发展,水源污染状况日益严重,而另一方面生活饮用水卫生标准在提高,人民对水质改善的要求也更加强烈,饮用水安全保障的形势不容乐观,而水库型水源面临的问题更加复杂,水厂水质达标形势更加严峻。

引黄水库作为黄河下游地区重要调蓄水源,更具有特殊性,一是集中体现了受污染水库水净化处理的共性问题;二是地处黄河后半段,水质更加复杂多变;三是引黄水厂普遍采用常规工艺,对水质的适应性差。因此,研究黄河下游地区引黄水库水净化处理关键技术并应用推广,对于解决水库型水源净化处理共性问题,提高供水水质,保障居民饮水安全,具有重要示范意义。

针对引黄水库水低温低浊、小分子有机污染物含量高、藻类及其致臭物质季节性高发、溴酸盐生成风险大等现状问题,本书提出了适宜的常规工艺强化、臭氧-生物活性炭、超滤膜过滤、活性炭吸附应急处理等技术组合;工艺参数和工程案例。希望对黄河流域水厂和国内水库型水源水厂的提标改造、稳定运行有一定借鉴意义。

济南市供排水监测中心、山东建筑大学、山东大学、济南泉城水务有限公司、中国石化集团胜利石油管理局供水公司、东营市自来水公司、济南清源水务有限责任公司等课题组单位有关专业技术人员,先后在实验室、水专项中试基地、鹊华水厂、玉清水厂、耿井水厂、辛安水厂、南郊水厂和鹊山水库等地开展了试验研究,从预处理、常规工处理、深度处理、膜处理到应急处理,从小试到生产性试验,付出了大量的心血和汗水,凝聚了课题组全体成员的集体智慧和辛勤劳动。

本书共分6章。

第1章 介绍了黄河流域水资源和水质状况,重点分析了引黄水库水的水质污染特征及水厂现有工艺面临的主要问题,提出了组合式多功能给水处理中试设计方案,重点介绍了各单位工艺参数及功能,提出了引黄水库水净化处理研究的主要内容。

第2章 介绍了预处理、常规工艺强化处理技术的国内外现状,阐明了预处理、强化混凝、浮沉与浮滤、活性炭过滤等研究内容,分析对比了7种组合工艺,提供了济南玉清水厂、胜利油田耿井水厂和辛安水厂等常规工艺强化工程案例。

第3章 介绍了臭氧活性炭深度处理技术的国内外现状,阐明了臭氧氧化接触时间及投加量确定、投加方式优化、溴酸盐生成机理及控制技术、生物活性炭滤池挂膜方式、工艺参数优化、微生物安全性评估及控制等技术,提供了济南鹊华水厂、商河清源水厂等臭氧活性炭深度处理工程案例。

第4章 介绍了超滤膜处理技术的国内外现状,阐明了超滤膜处理水库水的材质和运



行方式对比研究内容,优选了适宜的超滤膜组合工艺,分析了生产废水膜回用技术的可行性,提出了微滤膜回用组合工艺,提供了东营南郊水厂等超滤膜深度处理工程案例。

第5章 阐明了突发事件及突发水污染事件的概念、特点及分类分级,曝气吹脱、活性炭吸附、化学氧化、化学沉淀等应急处理技术,重点介绍了农药类和化工产品类活性炭应急处理吸附参数,全面介绍了济南市城市供水应急处理体系,涵盖突发污染风险评估、应急能力建设内容、应急预案及应急处理效果。

第6章 介绍了饮用水水质达标现状、水库型水源净化处理研究应用的重要性和南水北调工程带来的新问题,提出了水库型水源净化处理的研究方向。

本书由贾瑞宝主编,孙韶华、宋武昌、刘建广、张克峰、高宝玉为副主编,邵益生、周善东为主审。各章作者为:第1章:贾瑞宝,孙韶华;第2章:贾瑞宝,刘建广,高宝玉,张克峰,宋武昌,李世俊,燕峒胜,曹溪禄,柴德彬,顾学林,王燕;第3章:刘建广,宋武昌,王占金,刘衍波,崔鹏炜,万吉昌,张春阳,李梅,王永磊,张彦浩;第4章:贾瑞宝,王占金,杨晓亮,逯南南,纪洪杰,田希彬,赵清华,李伟;第5章:孙韶华,潘章斌,焦念增,魏长学,惠新文,刘明辉,刘莉,窦春菊;第6章:贾瑞宝,孙韶华。

本书内容是饮用水处理领域的前沿性技术,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、李圭白、王占生、刘文君、李星、张晓健、桂萍、吕谋等专家的指导和帮助,在此一并表示感谢。书中所确定的研究内容均与示范工程相结合,在技术和理论研究的基础上,提供了相应的工程案例,希望对黄河流域水厂的提标改造和国内水库型水源的净化处理有一定的借鉴作用。

由于时间和水平的限制,书中的差错和不当之处敬请广大读者批评指正。

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>第 1 章 绪论</b>              | 1  |
| 1.1 黄河流域水资源状况                | 1  |
| 1.2 黄河流域水质状况                 | 3  |
| 1.2.1 流域综合水质状况               | 3  |
| 1.2.2 引黄水库水水质状况              | 4  |
| 1.3 引黄水库水处理工艺现状              | 8  |
| 1.3.1 给水处理概述                 | 8  |
| 1.3.2 引黄水库水处理工艺概况            | 11 |
| 1.3.3 现有工艺主要问题分析             | 14 |
| 1.4 受污染水库水处理中试平台             | 15 |
| 1.4.1 概述                     | 15 |
| 1.4.2 饮用水中试基地概况              | 16 |
| 1.4.3 组合式给水处理中试基地概况          | 19 |
| 1.4.4 中试基地发挥的平台功能            | 37 |
| 1.5 引黄水库水工艺研究内容              | 39 |
| 1.5.1 常规工艺强化处理               | 39 |
| 1.5.2 臭氧活性炭深度处理              | 39 |
| 1.5.3 超滤膜深度处理                | 39 |
| 1.5.4 突发污染应急处理               | 40 |
| <b>第 2 章 常规工艺强化技术研究与工程案例</b> | 41 |
| 2.1 概述                       | 41 |
| 2.2 预处理强化技术现状                | 41 |
| 2.2.1 生物预处理技术                | 42 |
| 2.2.2 化学预处理技术                | 44 |
| 2.2.3 高级氧化预处理技术              | 46 |
| 2.2.4 活性炭预处理技术               | 48 |
| 2.3 常规工艺强化技术现状               | 50 |
| 2.3.1 强化混凝技术                 | 50 |
| 2.3.2 强化气浮技术                 | 51 |
| 2.3.3 强化过滤技术                 | 56 |
| 2.3.4 强化消毒技术                 | 58 |



|       |                  |     |
|-------|------------------|-----|
| 2.4   | 预处理技术研究          | 61  |
| 2.4.1 | 生物预处理技术          | 61  |
| 2.4.2 | 化学预氧化技术          | 87  |
| 2.4.3 | 活性炭预吸附技术         | 93  |
| 2.5   | 强化混凝技术研究         | 95  |
| 2.5.1 | 新型混凝剂制备技术        | 95  |
| 2.5.2 | 不同水质期混凝参数优化      | 98  |
| 2.6   | 气浮强化技术研究         | 106 |
| 2.6.1 | 浮沉池技术            | 106 |
| 2.6.2 | 浮滤池技术            | 111 |
| 2.7   | 活性过滤技术研究         | 119 |
| 2.7.1 | 滤料评价与优选          | 120 |
| 2.7.2 | 活性炭评价与优选         | 123 |
| 2.7.3 | 活性滤池中试研究         | 127 |
| 2.8   | 组合工艺技术           | 132 |
| 2.8.1 | 运行效果分析           | 133 |
| 2.8.2 | 组合工艺对比           | 135 |
| 2.9   | 典型工程案例           | 136 |
| 2.9.1 | 济南玉清水厂           | 136 |
| 2.9.2 | 胜利油田耿井水厂         | 141 |
| 2.9.3 | 胜利油田辛安水厂         | 145 |
| 第3章   | 臭氧活性炭深度处理技术与工程案例 | 148 |
| 3.1   | 概述               | 148 |
| 3.2   | 臭氧活性炭深度处理技术研究现状  | 148 |
| 3.2.1 | 臭氧氧化             | 149 |
| 3.2.2 | 溴酸盐控制            | 152 |
| 3.2.3 | 活性炭过滤            | 154 |
| 3.2.4 | 微生物安全性           | 156 |
| 3.3   | 臭氧氧化技术           | 159 |
| 3.3.1 | 接触时间及投加量         | 159 |
| 3.3.2 | 投加方式及比例          | 170 |
| 3.3.3 | 溴酸盐生成机理与控制       | 172 |
| 3.4   | 生物活性炭技术          | 175 |
| 3.4.1 | 挂膜方式             | 175 |
| 3.4.2 | 工艺参数优化           | 177 |
| 3.4.3 | 微生物安全性           | 184 |
| 3.5   | 臭氧生物活性炭组合工艺研究    | 187 |



|            |                                  |     |
|------------|----------------------------------|-----|
| 3.5.1      | 臭氧-下向流生物活性炭组合工艺 .....            | 187 |
| 3.5.2      | 臭氧-上向流生物活性炭-砂滤组合工艺 .....         | 189 |
| 3.5.3      | $O_3/H_2O_2$ -生物活性炭-砂滤组合工艺 ..... | 191 |
| 3.5.4      | 组合工艺的选用原则 .....                  | 201 |
| 3.6        | 典型工程案例 .....                     | 202 |
| 3.6.1      | 济南鹊华水厂 .....                     | 202 |
| 3.6.2      | 商河清源水厂 .....                     | 206 |
| <b>第4章</b> | <b>膜工艺研究与工程案例</b> .....          | 208 |
| 4.1        | 概述 .....                         | 208 |
| 4.2        | 超滤膜技术现状 .....                    | 209 |
| 4.2.1      | 超滤膜材料 .....                      | 209 |
| 4.2.2      | 超滤的基本原理 .....                    | 212 |
| 4.2.3      | 超滤组合工艺 .....                     | 215 |
| 4.2.4      | 膜污染及其控制 .....                    | 217 |
| 4.3        | 超滤膜处理水库水 .....                   | 219 |
| 4.3.1      | 超滤膜材质对比 .....                    | 219 |
| 4.3.2      | 膜运行方式对比 .....                    | 221 |
| 4.3.3      | 超滤膜组合工艺 .....                    | 224 |
| 4.4        | 微滤膜处理生产废水 .....                  | 233 |
| 4.4.1      | 生产废水概述 .....                     | 233 |
| 4.4.2      | 微滤膜组合工艺 .....                    | 237 |
| 4.5        | 东营南郊水厂 .....                     | 245 |
| 4.5.1      | 工程概况 .....                       | 245 |
| 4.5.2      | 工艺流程及设计参数 .....                  | 246 |
| 4.5.3      | 运行效果及经济分析 .....                  | 247 |
| <b>第5章</b> | <b>突发污染应急处理技术与案例</b> .....       | 249 |
| 5.1        | 突发事件概述 .....                     | 249 |
| 5.1.1      | 突发事件概念 .....                     | 249 |
| 5.1.2      | 突发事件特点 .....                     | 250 |
| 5.1.3      | 突发事件的分类分级 .....                  | 251 |
| 5.2        | 突发性水污染事件 .....                   | 251 |
| 5.2.1      | 事件的分类 .....                      | 252 |
| 5.2.2      | 事件的特点 .....                      | 252 |
| 5.2.3      | 事件的分级 .....                      | 253 |
| 5.3        | 典型污染事件及原因分析 .....                | 254 |
| 5.3.1      | 典型污染事件 .....                     | 254 |
| 5.3.2      | 污染原因分析 .....                     | 256 |



|             |                          |            |
|-------------|--------------------------|------------|
| 5.4         | 应急处理技术概述 .....           | 257        |
| 5.4.1       | 曝气吹脱 .....               | 257        |
| 5.4.2       | 活性炭吸附 .....              | 258        |
| 5.4.3       | 化学氧化 .....               | 260        |
| 5.4.4       | 化学沉淀 .....               | 262        |
| 5.5         | 活性炭吸附应急处理技术研究 .....      | 263        |
| 5.5.1       | 农药类污染物 .....             | 263        |
| 5.5.2       | 化工产品类污染物 .....           | 266        |
| 5.6         | 突发污染应对策略 .....           | 269        |
| 5.6.1       | 应急处理工程措施 .....           | 269        |
| 5.6.2       | 应急处理对策与建议 .....          | 270        |
| 5.7         | 济南市城市供水应急处理系统 .....      | 271        |
| 5.7.1       | 地表水源概况 .....             | 271        |
| 5.7.2       | 水源地风险评估 .....            | 273        |
| 5.7.3       | 应急能力建设 .....             | 277        |
| 5.7.4       | 应急效果分析 .....             | 281        |
| <b>第6章</b>  | <b>水库水净化处理技术展望 .....</b> | <b>283</b> |
| 6.1         | 饮用水水质达标现状 .....          | 283        |
| 6.2         | 水库型水源的重要性 .....          | 283        |
| 6.3         | 南水北调带来新问题 .....          | 284        |
| <b>附录</b>   | <b>.....</b>             | <b>286</b> |
| <b>参考文献</b> | <b>.....</b>             | <b>287</b> |

# 第 1 章 绪 论

黄河是中国的第二长河流，中国人的“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，其突出特点是“水少沙多，水沙异源”。

黄河流域大部分属于中温带和南温带，在贵德以上属于高原气候，从全国江水、径流分带来看，流域处于半干旱半湿润地带，降水不多，径流比较贫乏。据不完全统计，黄河水量在全国八大江河中排第五位，是中国西北、华北地带最大的供水水源，径流量占中国河川径流量的 2%，却承担着本流域和下游引黄灌区占中国 15% 的耕地面积和 12% 人口的供水任务。可见，黄河流域的饮用水保障占有十分重要的战略地位。

## 1.1 黄河流域水资源状况

黄河流域总面积 79.5 万  $\text{km}^2$ ，流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东 9 省区，全河划分为 9 个二级流域分区，黄河流域面积分区见图 1-1。

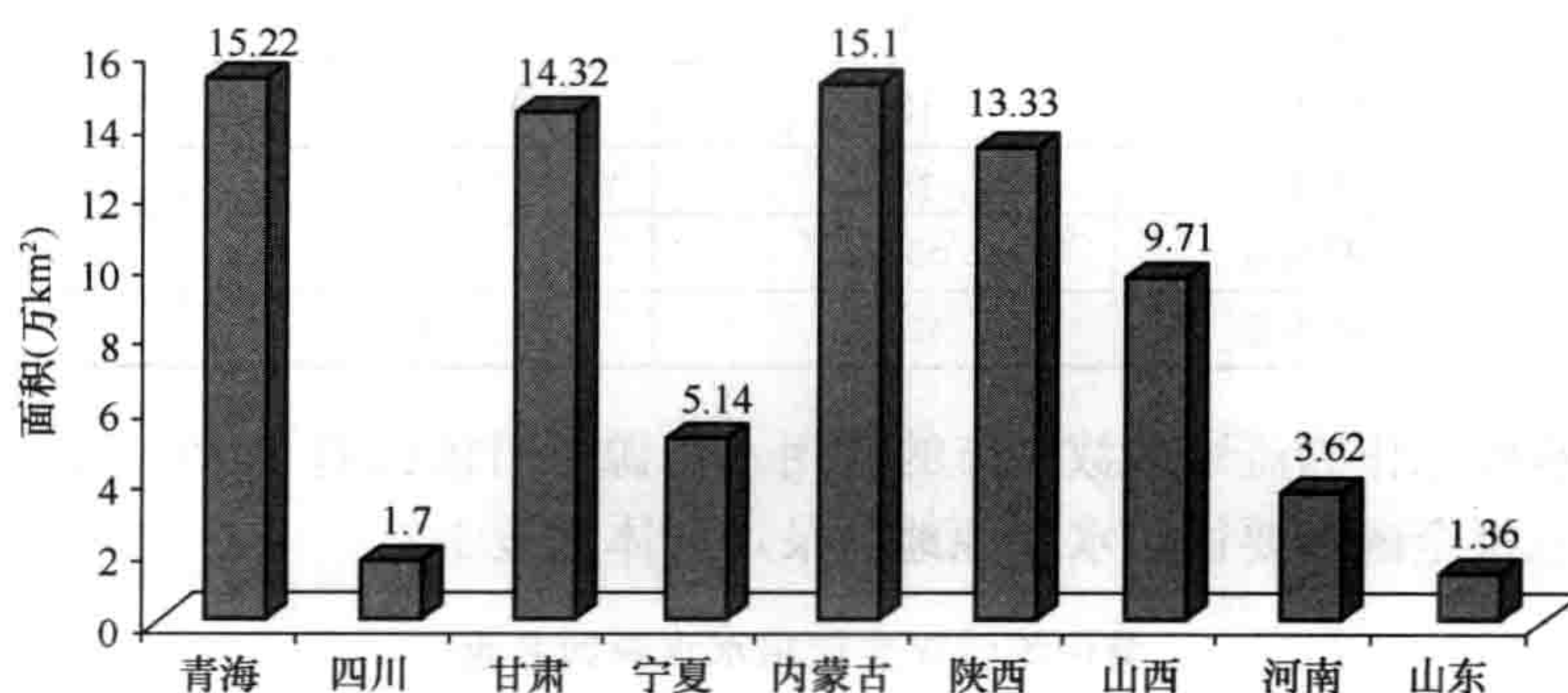


图 1-1 黄河流域面积分区

据水利部黄河委员会发布的《2011 年黄河水资源公报》显示，黄河总取水量为 536.36 亿  $\text{m}^3$ （含跨流域调出的地表水），其中地表水取水量 407.21 亿  $\text{m}^3$ ，占总取水量的 75.9%；地下水取水量 129.15 亿  $\text{m}^3$ ，占总取水量的 24.1%。黄河总耗水量为 421.27 亿  $\text{m}^3$ ，其中地表水耗水量 334.06 亿  $\text{m}^3$ ，占总耗水量的 79.3%；地下水耗水量 87.21 亿  $\text{m}^3$ ，占总耗水量的 20.7%。

沿黄各省（区、市）取水量以内蒙古的 104.30 亿  $\text{m}^3$  为最多，占黄河总取水量的 19.4%；耗水量以山东的 84.96 亿  $\text{m}^3$  为最多，占黄河总耗水量的 20.2%。2011 年沿黄各省（区、市）水资源利用情况见表 1-1。



各省（区、市）黄河水资源利用情况（单位：亿 m<sup>3</sup>）

表 1-1

| 省（区、市） | 项目  | 合计     | 地表水    | 地下水    |
|--------|-----|--------|--------|--------|
| 青海     | 取水量 | 18.29  | 14.55  | 3.74   |
|        | 耗水量 | 12.15  | 10.53  | 1.62   |
| 四川     | 取水量 | 0.32   | 0.31   | 0.01   |
|        | 耗水量 | 0.24   | 0.23   | 0.01   |
| 甘肃     | 取水量 | 47.35  | 41.24  | 6.11   |
|        | 耗水量 | 37.21  | 33.23  | 3.98   |
| 宁夏     | 取水量 | 74.37  | 68.77  | 5.60   |
|        | 耗水量 | 40.27  | 37.01  | 3.26   |
| 内蒙古    | 取水量 | 104.30 | 75.51  | 28.79  |
|        | 耗水量 | 83.14  | 61.50  | 21.64  |
| 陕西     | 取水量 | 62.57  | 33.43  | 29.14  |
|        | 耗水量 | 45.37  | 26.60  | 18.77  |
| 山西     | 取水量 | 49.34  | 23.96  | 25.38  |
|        | 耗水量 | 39.03  | 20.54  | 18.49  |
| 河南     | 取水量 | 77.05  | 55.25  | 21.80  |
|        | 耗水量 | 65.30  | 51.95  | 13.35  |
| 山东     | 取水量 | 89.17  | 80.59  | 8.58   |
|        | 耗水量 | 84.96  | 78.87  | 6.09   |
| 河北、天津  | 取水量 | 13.60  | 13.60  | —      |
|        | 耗水量 | 13.60  | 13.60  | —      |
| 合计     | 取水量 | 536.36 | 407.21 | 129.15 |
|        | 耗水量 | 421.27 | 334.06 | 87.21  |

黄河流域水资源作为流域多数城市的饮用水水源，目前已有 10 个引黄水源地先后列入第一批至第三批全国重要饮用水水源地名录，具体见表 1-2。

黄河流域重要饮用水水源地名录

表 1-2

| 批数  | 序号 | 水源地名称          | 水源地所在<br>河流或流域 | 水源地类型 | 供水城市       |
|-----|----|----------------|----------------|-------|------------|
| 第一批 | 1  | 万家寨-汾河水库水源地    | 黄河、汾河          | 水库    | 山西省太原市     |
|     | 2  | 黄河-鹊山、玉清湖水库水源地 | 黄河             | 河道、水库 | 山东省济南市     |
|     | 3  | 黄河-棘洪滩水库水源地    | 黄河             | 河道、水库 | 山东省青岛市     |
|     | 4  | 邙山、花园口水源地      | 黄河             | 水库、河道 | 河南省郑州市     |
|     | 5  | 黄河鱼口水源地        | 黄河             | 河道    | 甘肃省兰州市     |
|     | 6  | 南郊黄河水源地        | 黄河             | 地下水   | 宁夏回族自治区银川市 |
| 第二批 | 1  | 呼和浩特市黄河水源地     | 黄河             | 河道    | 内蒙古呼和浩特市   |
|     | 2  | 包头市黄河水源地       | 黄河             | 河道    | 内蒙古包头市     |
|     | 3  | 开封市黑岗口水源地      | 黄河             | 河道    | 河南省开封市     |
| 第三批 | 1  | 郑州市石佛水厂地下水水源地  | 黄河             | 地下水   | 河南省郑州市     |



## 1.2 黄河流域水质状况

### 1.2.1 流域综合水质状况

据环境保护部《2011年中国环境质量公报》报道,黄河水系总体为轻度污染(见图1-2)。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类水质断面比例分别为69.8%、11.6%和18.6%,低于Ⅲ类水质的约为1/3。其中,黄河干流水质为优,21个国控断面均为I~Ⅲ类水质;支流总体为中度污染,主要污染指标为氨氮、化学需氧量和石油类,22个国控断面中,I~Ⅲ类、Ⅳ~Ⅴ类和劣Ⅴ类水质断面比例分别为40.9%、22.7%和36.4%。沁河和洛河水质为优;伊河和伊洛河水质良好;湟水和北洛河为轻度污染;大黑河为中度污染;其余河流均为重度污染,包括汾河太原段、临汾段、运城段,涑水河运城段,渭河西安段、渭南段。

黄河省界河段总体为中度污染,主要污染指标为总磷、氨氮和高锰酸盐指数。11个国控断面中,I~Ⅲ类、Ⅴ类和劣Ⅴ类水质断面比例分别为63.6%、9.1%和27.3%,低于Ⅲ类水质的占36.4%,不适宜作为饮用水水源。

2011年水利部黄河委员会对黄河流域19734.2km河道水质进行了评级,其中黄河干流为5463.6km,支流为14270.6km,评价指标包括水温、pH、溶解氧、高锰酸盐指数、五日生化需氧量、氨氮、铜、锌、氯化物、砷、汞、镉、铬(六价)、铅、氰化物、挥发酚、石油等18项,评价标准采用《地表水环境质量标准》GB 3838—2002,流域各类水质河长比例见图1-3。

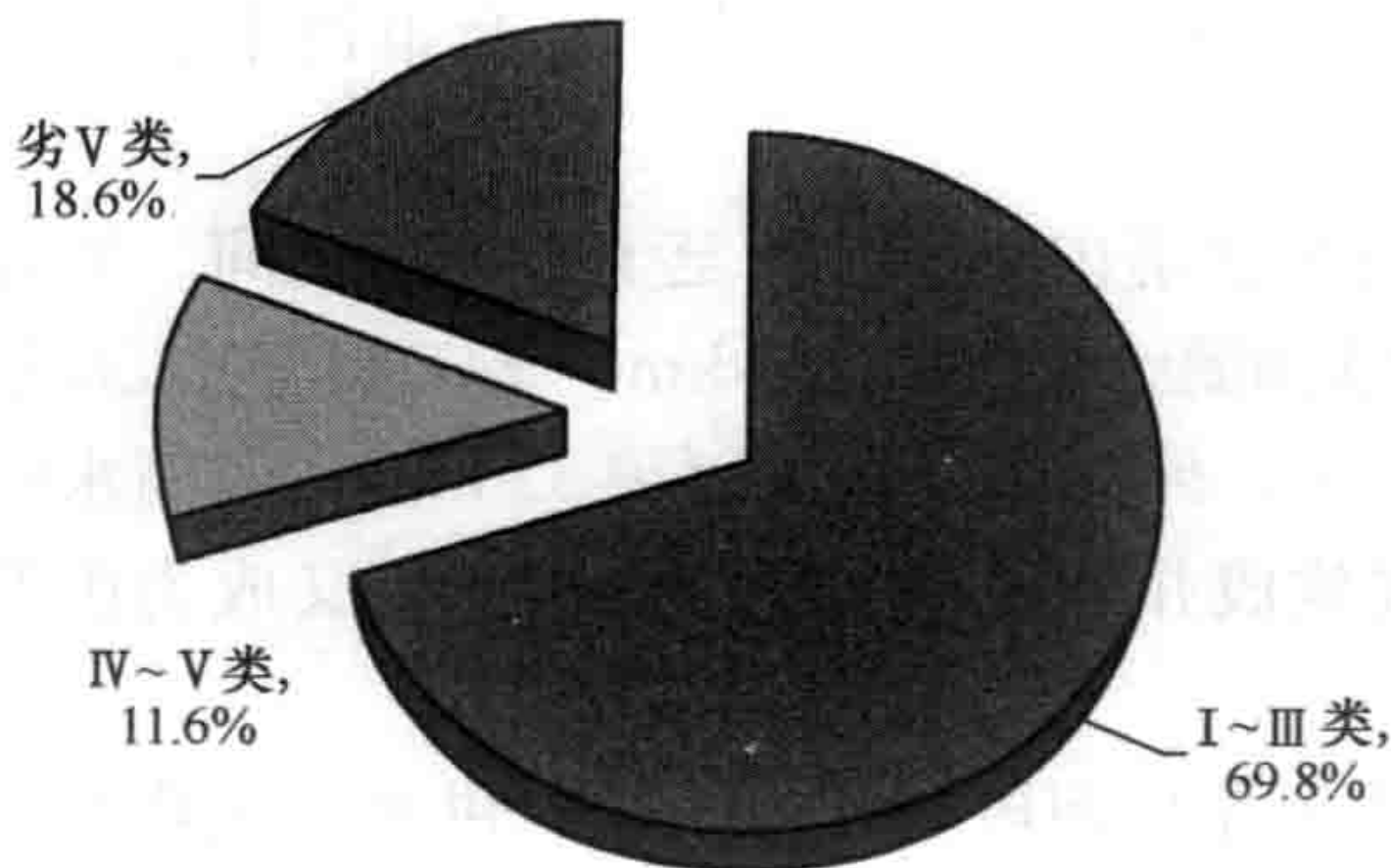


图 1-2 2011 年黄河流域国控断面水质状况

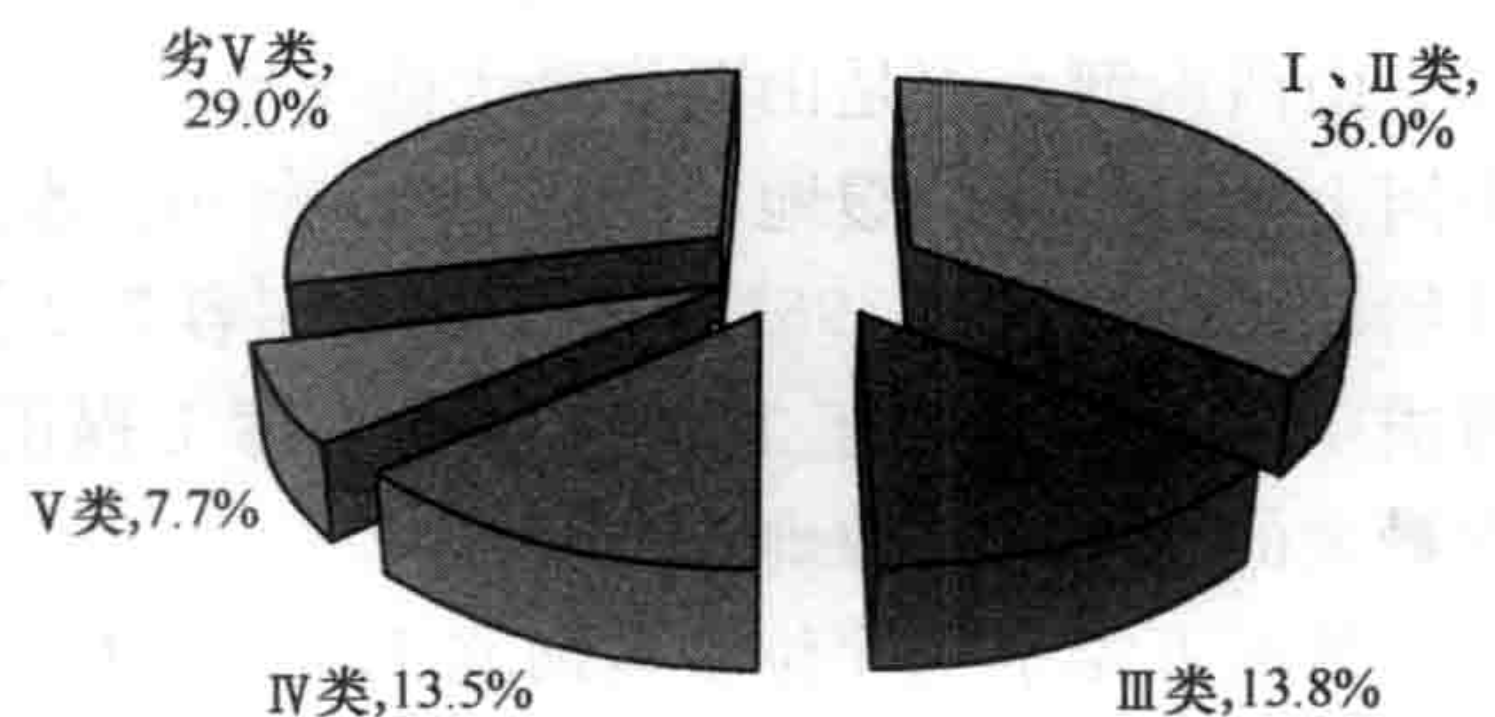


图 1-3 2011 年黄河流域各类水质河长比例

评价结果表明:2011年黄河流域平均符合I~Ⅲ类水质标准的河长为9832.7km,占评价总河长的49.8%;符合IV~Ⅴ类水质标准的河长为4170.9km,占评价总河长的21.2%;劣Ⅴ类水质标准的河长的5730.6km,占评价总河长的29.0%;低于Ⅲ类水质的占总河长的50%以上,水质污染状况不容乐观。

黄河流域干流评价河长5463.6km,年平均符合I、Ⅱ类水质标准的河长占评价总河长的57.8%,符合Ⅲ类水质标准的河长占22.8%,符合Ⅳ类水质标准的河长占19.4%。主要污染项目为氨氮、化学需氧量等。

黄河流域支流评价河长14270.6km,年平均符合I、Ⅱ类水质标准的河长占评价总



河长的 27.7%，符合Ⅲ类水质标准的河长占 10.3%，符合Ⅳ类、Ⅴ类水质标准的河长分别占 11.2%和 10.7%，符合劣Ⅴ类水质标准的河长占 40.2%。主要污染项目为氨氮、化学需氧量、高锰酸盐指数、五日生化需氧量、挥发酚等。

### 1.2.2 引黄水库水水质状况

黄河属于季节性河流，在小浪底工程建成前中下游地区容易出现断流现象，加之黄河水由于泥沙含量高，沿线各地均建有不同规模的引黄调蓄水库。该类水库大多为平原水库，黄河水经沉砂调蓄后高浊度变为低浊度，而且由于水库库容较大，水体停留时间较长，水体相对较浅，富营养化严重，藻类生长，水质问题更加复杂。

对黄河流域黄河干流新城桥、石嘴山、昭君坟、画匠营、镗口、头道拐、花园口、高村、涑口、利津 10 处重要城市饮用水水源地的水资源质量评价结果显示，9 处水源地水质（除新城桥处）不符合集中式生活饮用水地表水源水质要求。黄河干流供水水源地水质达标率极低，评价的 10 处饮用水供水水源地最高达标率仅为 50%，石嘴山、昭君坟、画匠营、头道拐 4 处供水水源地水质全年不达标，主要污染物为氨氮、化学需氧量和高锰酸盐指数。

据统计，黄河流域大、中型水库共计 196 座，其中大型水库 29 座，如宁夏鸭子荡水库，郑州邙山水库，济南玉清、鹊山水库，青岛棘洪滩水库，东营广北、辛安、耿井、南郊水库，烟台门楼水库等。现将典型水库情况简要介绍如下：

宁夏鸭子荡水库，设计年供水量 15970 万  $\text{m}^3$ ，供水流量  $5.8\text{m}^3/\text{s}$ ，为均质土坝，总库容 2400 万  $\text{m}^3$ ，水域面积约  $290\text{km}^2$ ，坝长 2350m，最大坝高 24.5m；输水洞设在水库左坝肩，为两排直径 2.2m 的现浇钢筋混凝土管。

包头市昆都仑水库水源地，供水量 600 万 t，供水人口 6.8 万人，占全市供水总人口的 4.1%，是季节性调节的备用水源地。

山西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 m。水库大坝距太原城区 98 km。该工程于 1958 年开始动工兴建，于 1961 年竣工，总库容 7.2 亿  $\text{m}^3$ ，库区最大水域面积  $32\text{km}^2$ ，最高水位海拔 1130m。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。

黄河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级大型水利枢纽工程，总库容 8.96 亿  $\text{m}^3$ ，总装机容量 108 万 kW。万家寨水库控制流域面积 39.48 万  $\text{km}^2$ ，多年平均径流量 248 亿  $\text{m}^3$ ，多年平均流量  $790\text{m}^3/\text{s}$ ，多年平均输砂量 1.49 亿 t；年供水量 14 亿  $\text{m}^3$ ，其中向内蒙古自治区准格尔旗供水 2.0 亿  $\text{m}^3$ ，向山西平朔、大同供水 5.6 亿  $\text{m}^3$ ，向太原供水 6.4 亿  $\text{m}^3$ 。从万家寨水库到呼延水厂，其间要经过 5 座泵站，总扬程为 636m。

济南鹊山水库位于黄河北岸北展区省道 001 公路东侧，占地面积 10 余  $\text{km}^2$ ，由主库区和沉砂池两部分组成。工程始建于 1998 年，于 2000 年 4 月 24 日正式向鹊华水厂送水。水库围坝长度约为 12km，沉砂池坝轴线长度为 6.7km，水库设计库容 4600 万  $\text{m}^3$ ，属于地上围坝平原水库，设计日供水能力 44 万  $\text{m}^3$ 。

济南玉清湖水库位于槐荫区与长清区交汇处的黄河东岸，地处小清河的源头，玉符河