

“八五”国家重点科技攻关项目
“黄河治理与水资源开发利用”系列专著

黄河流域 地下水资源合理开发利用

秦毅苏 朱延华 曹树林 余国光 李俊亭 编著



黄河水利出版社

黄河流域地下水资源合理开发利用

“八五”国家重点科技攻关项目

“黄河治理与水资源开发利用”系列专著

黄河流域地下水资源合理开发利用

秦毅苏 朱延华 曹树林 余国光 李俊亭 编著

黄河水利出版社

内 容 提 要

以系统理论为指导,研究黄河流域地下水的形成和分布;以划分的地下水系统作为核算地下水资源的基础;以水均衡原理为依据,根据不同地下水系统和含水系统的特征、水文地质参数,计算地下水资源的数量;通过对地下水系统的输入、输出和传输的特性,按系统所包括的行政区,对省、地区、县逐级核算了地下水资源量。

以水循环理论为基本依据,用“三水”转化的观点研究黄河流域地表水、地下水的区域转化趋势。

以调查为基础,较详细地分析了区域地下水开发利用程度,根据地下水的开采潜力与超采同时并存的特点,逐县分析了开采潜力和分级,并指出超采地段。同时根据地下水的赋存状况、开发利用条件、开采潜力以及环境状况,提出了地下水开发利用方向,并为了扩大地下水可利用量,进行了地下调蓄研究。

图书在版编目(CIP)数据

黄河流域地下水资源合理开发利用/秦毅苏等编著. —
郑州:黄河水利出版社,1999.6

(黄河治理与水资源开发利用)

ISBN 7-80621-166-7

I. 黄… II. 秦… III. 水利资源开发-黄河流域 IV. TV
213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 29821 号

责任编辑:陈同善 雷元静
责任校对:何新华

封面设计:谢 萍
责任印制:常红昕

出版发行:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 12 层 邮编:450003

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

印 刷:黄河水利委员会印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:8

版 别:1998 年 7 月 第 1 版

印 数:1001—1600

印 次:1999 年 6 月 郑州第 2 次印刷

字 数:184 千字

定 价:24.80 元

“八五”国家重点科技攻关项目
“黄河治理与水资源开发利用”系列专著
编 审 委 员 会

主 任 严克强

副主任 董哲仁 陈效国 庄景林

顾 问 徐乾清 龚时旻 吴致尧

委 员 (以姓氏笔画为序)

龙毓骞 朱兰琴 许红波 祁建华

华绍祖 庄景林 严克强 李文学

李春敏 沈国衣 陆亚洲 陈志恺

陈效国 陈霁巍 张启舜 张良弼

府仁寿 姚传江 徐明权 席家治

董保华 董哲仁 潘贤娣 戴定忠

序

黄河流域是中华民族的发祥地,黄河哺育了中国灿烂的古代文明。黄河流域自然资源十分丰富,是我国最大的能源和重化工基地,宁、蒙、汾渭河和黄淮海平原是我国主要的粮棉基地,流域经济发展前景广阔。但是,黄河流域水资源匮乏,人均水资源占有量仅为全国人均的四分之一,单位耕地面积水资源量不足全国的五分之一。近几年来,黄河下游在枯水季节常常出现断流,且断流时间逐年加长,断流河段逐年延伸,给下游沿黄地区的工农业生产和生态环境造成了不良影响。据有关部门的调查统计,1991年~1996年年均造成工农业产值损失30多亿元,其中1995年达70多亿元。

黄河流域降雨时空分布极不均匀,全年降雨量的60%~70%集中在6月~9月份,极易产生洪水。黄河又是世界上泥沙含量最高的大河,河道泥沙淤积形成了下游“地上悬河”,洪水灾害十分频繁。据统计,从先秦时期到民国年间的2500多年中,黄河下游决口1600多次,改道26次,基本上是三年两决口,百年一改道,每次决口和改道都给中华民族带来了极其深重的灾难。

新中国成立以来,人民治黄事业取得了举世瞩目的成就,确保了黄河的岁岁安澜,但是由于黄河流域自然地理环境脆弱,黄河的洪水仍是国家的心腹之患,治理开发任务仍十分艰巨。全国人大七届四次会议通过的《国民经济和社会发展“八五”计划和十年规划纲要》,把黄河治理开发和防洪列为重点,体现了中共中央和国务院对治黄的重视。

当前我国改革开放和社会主义现代化建设已进入一个新的发展阶段。黄河的治理开发,事关我国经济发展的大局。为使我国经济发展实现三步走的目标,治黄作为水利工作的重要组成部分,就必须贯彻落实好“科教兴国”、“科教兴水”和可持续发展战略。黄河的出路在于科技进步。

“黄河治理与水资源开发利用”被列为“八五”国家重点科技攻关项目,既表明了国家对治黄工作的高度重视,也显示出黄河问题的高难度和复杂性。这次科技攻关中广大科研人员深入黄河两岸调查研究,收集了大量的实测资料,在认真汲取以往成果和经验的基础上开展科研试验工作,取得了新的进展和突破,科研成果为黄河的治理与开发提供了大量的科学依据和决策支持。应该说这些成果是集此次科技攻关之大成,是治黄几十年经验总结的集中体现,是广大治黄科技工作者智慧的结晶。

这次出版的项目和专题的系列专著,其目的就是把这些成果推荐给读者,并期望得以推广应用,以提高治黄工作的整体水平,加速流域治理和经济发展的步伐,取得更大的经济、社会和环境效益。

毋庸置疑,黄河问题是很复杂的。黄河自身因水沙的变化而处于不断的变化之中,在其发展过程中还会不断出现新情况和新问题,现已取得的成果只是人们现阶段的认识,要彻底解决黄河问题,还有一段很长的路要走,可以说是任重而道远。我们应当继续加强现场观测、试验和研究工作,探索黄河的规律,不断提高科技水平,充分推广应用新的科技成果,使黄河的治理开发工作不断取得新成就。

严 克 强

1997年7月17日

总 前 言

新中国成立以来,对黄河治理开发进行了大量的科学研究工作。50年代,曾组织各方面力量对全流域进行了大规模综合考察和科学试验研究,在此基础上编制了“黄河综合利用规划技术经济报告”,为黄河的全面治理开发做出了贡献。60年代,围绕三门峡水利枢纽工程改建和改变运用方式,开展了水库淤积、河道演变规律、河道整治工程和防洪等方面的试验研究。70年代,开展了三门峡水库运用泥沙问题基本经验总结、高含沙水流特性研究和水坠坝技术试验推广。80年代,开展了黄土高原地区综合治理、黄河流域环境变迁和水沙变化、水资源利用、引黄灌区泥沙处理和黄河防洪工程技术等方面的试验研究工作。几十年来的治黄研究工作,取得了一大批具有国际先进水平的成果,形成了一支多学科、高水平的科研队伍,并广泛开展了国际交流合作。

“七五”后期,水利部和中国科学院提出的关于加强黄河综合治理与开发研究工作的建议,得到国务院主要领导的高度重视,在各方面专家充分论证的基础上,国家科委把“黄河治理与水资源开发利用”列为“八五”国家重点科技攻关项目,由水利部、中国科学院和地质矿产部作为项目主持部门,组织有关科技人员进行跨部门、多学科联合攻关。经过充分论证,项目分解为7个课题、22个专题和92个子专题分别开展工作。经过近4年的卓越工作,取得了辉煌的成绩,经专家鉴定委员会对成果的全面鉴定,22个专题中有2个专题成果总体达到国际领先水平,8个专题成果总体达到国际先进水平、部分达到国际领先水平,9个专题成果总体达到国际先进水平,3个专题成果总体达到国内领先水平、部分达到国际先进水平,项目通过了国家科委组织的验收。攻关成果应用所创造的经济、社会和环境效益是长期的和巨大的,其影响也将是深远的。

为了使已取得的成果在黄河治理和开发中发挥更大的作用,并在实践中不断深化,给后人留下一份宝贵的科学财富,水利部有关部门决定编辑出版这套系列专著,其中包括20册专题专著和1册项目综合专著。专题专著由原专题负责人组织编写,对原专题报告进行提炼和深化,其主要编写人员与专题研究人员不尽相同。综合专著由“黄河治理与水资源开发利用”系列专著编审委员会组织专人编写。本丛书因篇幅较大,编审委员会难以逐篇审定,故责成专著主要编写人分别请部分顾问和委员审稿。

由于编辑出版整个过程时间仓促,加之水平有限,难免有不足和错误之处,敬请批评指正。

“黄河治理与水资源开发利用”

系列专著编审委员会

1997年9月

前 言

黄河流域地下水资源，各部门在不同时期进行过多次评价。但由于自然条件复杂，除城市附近和重点区段研究程度较高外，在地下水调查勘察研究方面，还有很多值得进一步研究的问题，有待加深认识。近十几年来，由于大规模开发利用水资源，地下水开采利用范围和规模逐渐扩大，使区域水循环正在发生越来越显著的变化。因此，用系统的观点和方法对流域水循环的再认识，核算地下水资源的数量，对其合理开发利用研究，使其得以持续利用是十分重要的课题。

本专题研究的任务在于查清地下水资源的数量、分布、开采潜力，指出宏观开发利用方向，并为增加地下水可利用量进行人工地下调蓄技术的研究。为此组织了科研、教学等单位联合攻关，设置了四个子专题，从四个方面进行研究。

1. 黄河流域地下水资源及合理开发利用研究

新中国建立以来各部门先后在黄河流域做过多次地下水资源的研究，但由于各部门的计算结果有较大的差异，需要加以核算。首先研究了黄河流域地表水、地下水区域转化趋势，然后按地下水系统、地表水二级流域和各级行政分区，分别对省、地区、县逐级提出了地下水资源的数量，为有关部门开发利用、优化配置打下坚实基础。通过调查研究，详细分析了流域地下水开发利用程度。根据地下水的开采潜力与超采并存的特点，按各级行政区分析了开采潜力和超采地段。在上述研究的基础上，根据各地区地下水赋存状况、开采条件、开采潜力以及环境状况，指出地下水宏观开发利用方向。

2. 第四系含水层截洪引渗地下调蓄技术研究

为了扩大地下水的可利用量，达到丰储旱用的目的，开展了这项研究。主要内容是：洪水引渗回灌的可行性；洪水引渗回灌过程中，淤塞的主要形式、淤塞的原因和淤塞深度；淤塞的预防和处理措施；可引渗的洪水量；引渗的有利地段、分布范围、面积和调蓄量；最佳引渗方式。

目前国内外基本上都是用清水回灌，而像黄河这样含沙量大的洪水作为回灌水源，这是一个新的课题。我们研究时，采取了野外大型引洪入渗实验和室内用不同含沙量的浊水进行模拟试验的方法。试验结果表明：洪水引渗是可行的，淤塞是可以预防的，同时指出黄河流域具有良好的引洪入渗条件，有引渗条件的地区主要分布在银川盆地、呼包平原、汾渭平原、伊洛盆地和下游冲积平原，可调蓄面积达 $17\,900\text{km}^2$ ，总计可调蓄水量 126亿 m^3 。

3. 岩溶含水层调蓄技术研究

岩溶含水层人工调蓄技术是岩溶水研究的新领域，从岩溶含水层自身水资源优化调配，拓延到以岩溶含水层的天然调蓄功能，通过人工调蓄控制自然界的水循环及其“三水”（降水、地表水、地下水。下同）分配，提高有限水资源的利用率，对缓解黄河中游能源基地建设水资源短缺的难题，具有重大意义。

以研究区岩溶含水层人工调蓄模式划分的研究为基础,选择具有代表性的岩溶水系统作为典型模式的研究点,运用现代数值模拟技术,对补、采、截人工调蓄技术的各项规划工程的调蓄作用,进行“仿真”、量化,并进行经济技术效益分析论证,以代替造价昂贵的实验工程,为决策提供科学依据。

通过研究认为:黄河中游岩溶含水层人工调蓄条件优越,干谷、强径流带和巨大的蓄水构造构成黄河中游岩溶含水层优越的人工调蓄条件,对8个岩溶泉域计算结果,其平均静态库容为36亿 m^3 ,丰枯期间的平均动态调蓄库容为3.14亿 m^3 ,对泉排型泉域的人工调蓄技术应以补、采为主。

4. 傍河取水渗透机理研究

研究黄河对地下水的补给机理,对于保证建立在黄河两岸的傍河水源地的安全运行及指导在黄河两岸建设傍河水源地,更加有效地激发黄河对地下水补给有着重要意义。研究工作采用了野外观察、采样与室内模拟相结合、室内模拟与数学模拟相结合、模拟与理论分析相结合的技术路线。通过研究,对黄河补给地下水的机理和能力有了新的认识,充实了为发展工农业在黄河岸边建立大型集中供水水源地的依据。

本书根据85-926-05-01专题报告缩写而成。原报告共分十章,各章节撰写分工如下:第一章,朱延华、刘淑芬;第二章和第三章,朱延华;第四章,秦毅苏、陈德华、马潭;第五章和第六章,秦毅苏;第七章,曹树林、朱杰;第八章,李俊亭、李云峰、刘国东、刘国峰;第九章,余国光、迟宝明。根据编委会意见,将书名由《黄河流域地下水资源及合理开发利用和截洪引渗地下调蓄技术研究》改为《黄河流域地下水资源合理开发利用》,缩编工作由秦毅苏负责,由于篇幅所限,将原研究报告中的许多图表和实验技术的论证加以删节。

本专题研究是在以往工作的基础上进行的,研究报告引用了大量前人研究成果资料,谨此对被引用资料、文献的作者表示谢意。在野外实验、采样、调查和搜集资料过程中,得到各部门有关单位的热情帮助,在此一并感谢。

特别要感谢的是课题技术顾问辛奎德、段永侯、乐美煜、温彦、戴英生等专家,在整个研究过程中,他们自始至终都给予热情关怀和指导,使得研究工作得以顺利完成,在此表示由衷地谢意。

最后对本专题所属的四个子专题承担单位的领导所给予的大力支持和协助表示感谢。

作 者

1997年10月16日

本专题承担单位及人员名单

专 题 名 称 黄河流域地下水资源及合理开发利用和截洪引渗
地下调蓄技术研究
承 担 单 位 地质矿产部水文地质工程地质研究所
专 题 负 责 人 秦毅苏

主要完成人员 秦毅苏 朱延华 曹树林 余国光 李俊亭
刘淑芬 陈德华 刘志明 马 潭 朱 杰
迟宝明 李云峰 刘国东 刘国锋
参 加 人 员 张兆吉 赵锁志 禹湘玲 张顺宝 任曾平
王俊业 曲伟晶 郭天元 刘昆月 刘宏斌
张庆起 张 莱 沈志慧 田春生 李建文

报 告 撰 写 人 秦毅苏 朱延华 曹树林 余国光 李俊亭
刘淑芬 陈德华 刘志明 马 潭 朱 杰
迟宝明 李云峰 刘国东 刘国峰
顾 问 辛奎德 段永侯 乐美煜 温 彦 戴英生

目 录

第一章 黄河流域地下水系统划分及基本水文地质特征·····	(1)
第一节 地下水系统的划分·····	(1)
第二节 地下水系统的基本水文地质特征·····	(4)
第二章 地下水、大气降水、地表水转化关系分析·····	(13)
第一节 降水的时空变化及对地下水补给影响的分析·····	(13)
第二节 天然条件下,地表水、地下水转化总趋势·····	(14)
第三节 区域水循环正在发生显著的变化·····	(16)
第三章 黄河流域地下水资源量及其分布·····	(23)
第一节 黄河流域地下水资源量·····	(23)
第二节 黄河流域地下水分布·····	(33)
第四章 黄河流域地下水资源开发利用·····	(51)
第一节 黄河流域水资源开发利用概况·····	(51)
第二节 地下水开采引起的主要环境地质问题·····	(63)
第五章 黄河流域地下水开采程度和潜力分析·····	(65)
第一节 黄河流域地下水开采程度·····	(65)
第二节 黄河流域地下水资源开采潜力分析·····	(69)
第六章 黄河流域地下水开发利用方向·····	(75)
第一节 山间小型盆地、河谷平原地下水开发利用方向·····	(75)
第二节 沙漠及其周边地区地下水开发利用方向·····	(77)
第三节 岩溶水的开发利用方向·····	(79)
第四节 平原(盆地)地下水开发利用方向·····	(81)
第五节 黄土地区地下水资源开发利用方向·····	(84)
第七章 黄河流域地下调蓄技术研究·····	(87)
第一节 第四系含水层截洪引渗地下调蓄技术研究·····	(87)
第二节 黄河中上游岩溶含水层人工调蓄技术的应用条件·····	(92)
第八章 傍河取水渗透机理研究·····	(101)
第一节 问题的提出·····	(101)
第二节 黄河床面入渗窗口的研究·····	(101)
第三节 傍河取水的机理研究·····	(103)
第四节 河流—含水层核函数研究·····	(106)
结论与思考·····	(108)

第一章 黄河流域地下水系统划分 及基本水文地质特征

第一节 地下水系统的划分

地下水是按地下水系统发育的。从系统分类方法的观点来看，地下水不是孤立存在，而是自然界水循环长链中的一个环节。它与气象、水文系统有着十分密切的联系，而且，受地表水的输入系统与输出系统的影响。地下水系统的演变与发展过程，也就是地下水系统与地表水系统互相转化演变的过程，其演变规律受降水、径流及地貌因素的影响。区域地质构造是一级系统划分的主要依据。水循环特点、水动力特征和系统间的相互水力联系为确定二、三级地下水系统的依据。因此，按区域地质构造和地下水盆地确定一级系统边界和范围。二、三级地下水系统主要反映系统内部的结构，以及它们间的相互联系、相互作用的方式或秩序，按系统内地下水补给、径流、排泄特征和沉积物的时空分布规律以及含水介质的水力特征确定其边界。基岩地区，将那些小且分散，相互联系不很密切，而又不太确切的中、小型系统作为散流处理。

依据上述原则，我们在进一步分析研究黄河流域地下水区域分布规律和水循环交替条件的基础上，全区划分为 10 个地下水系统、15 个二级地下水系统和 8 个三级地下水系统(详见表 1-1 和附图)。

表 1-1 黄河流域地下水系统划分表

代号	地下水系统	代号	地下水二级系统	代号	地下水三级系统
I	祁连山地—青南高原基岩裂隙孔隙冻结层地下水系统	I ₁	祁连山地基岩裂隙孔隙地下水二级系统		
		I ₂	祁连山—青南高原基岩裂隙孔隙冻结层地下水二级系统	I ₂₋₁	祁连山—青南中间盆地带地下水三级系统
				I ₂₋₂	青南高原基岩裂隙冻结层地下水三级系统
		I ₃	洮河基岩裂隙孔隙地下水二级系统		
II	银川盆地、河套盆地及周边山地孔隙裂隙地下水系统	II ₁	六盘山、贺兰山地基岩裂隙地下水二级系统		
		II ₂	阴山山地基岩裂隙地下水二级系统		
		II ₃	银川盆地、河套盆地孔隙裂隙地下水二级系统		

续表 1-1

代号	地下水系统	代号	地下水二级系统	代号	地下水三级系统
Ⅲ	陇西黄土高原孔隙裂隙地下水系统				
Ⅳ	鄂尔多斯盆地孔隙裂隙地下水系统	Ⅳ ₁	鄂尔多斯高原孔隙裂隙地下水二级系统	Ⅳ ₁₋₁	鄂尔多斯高原西区地下水三级系统
				Ⅳ ₁₋₂	鄂尔多斯高原东区地下水三级系统
		Ⅳ ₂	黄土高原区孔隙裂隙地下水二级系统	Ⅳ ₂₋₁	陇东黄土高原孔隙裂隙地下水三级系统
				Ⅳ ₂₋₂	陇西黄土高原孔隙裂隙地下水三级系统
Ⅴ	山西山地盆地基岩裂隙孔隙地下水系统	V ₁	晋西岩溶裂隙地下水二级系统		
		V ₂	晋中岩溶裂隙地下水二级系统		
		V ₃	汾河盆地孔隙裂隙地下水二级系统	V ₃₋₁	太原盆地孔隙裂隙地下水三级系统
				V ₃₋₂	临汾盆地孔隙裂隙地下水三级系统
		V ₄	运城盆地孔隙裂隙地下水二级系统		
Ⅵ	关中盆地及周边山地孔隙裂隙地下水系统	Ⅵ ₁	中条山、北秦岭山地基岩裂隙地下水二级系统		
		Ⅵ ₂	关中盆地孔隙裂隙地下水二级系统		
		Ⅵ ₃	渭北高原岩溶裂隙地下水二级系统		
Ⅶ	沁水盆地孔隙裂隙地下水系统				
Ⅷ	伊洛盆地裂隙孔隙地下水系统				
Ⅸ	黄河下游冲洪积平原孔隙地下水系统				
X	鲁中南中低山丘陵岩溶基岩裂隙地下水系统				

第二节 地下水系统的基本水文地质特征

地下水系统是在一定的地貌、构造等主要因素制约下,具有共同水文地质特征与演变规律的相对独立的有机整体。由于系统的含水体的结构、水理性质,以及水循环途径、方式和水均衡要素结构等自身内在的不同,各种自然环境条件影响下形成的地下水系统,使其水文地质特征差异较大。

一、祁连山地至青南高原基岩裂隙孔隙、冻结层地下水系统

该系统地处黄河上游,位于我国青藏高原东北部。

该系统地貌形态和构造类型,从北至南为祁连山地(达肯达坂山、托莱山、大通山、大坂山等一系列的褶皱山脉)、中间盆地(西宁盆地、共和盆地、贵德盆地、同仁盆地、同德—兴海盆地等)、东部深切河谷及部分青南波状高原(包括积石山、阿尼玛卿山、巴颜喀拉山等山脉)。

系统内属黄河一级支流的河流主要有:北部的大通河、湟水河;东南部洮河、大夏河。影响系统形成的外部环境因素降水,地区性差异很大。其降水量自东南向西北逐渐减少,洮河、大夏河流域,年降水量为 600mm~800mm;青南高原及中间盆地地带为 300mm~500mm;北部湟水河、大通河,年降水量在 300mm~400mm。

蒸发量的规律与降水量相反,由东南向西北逐渐增大。洮河、大夏河,年平均蒸发量为 1 260mm~1 720mm;大通河河谷以及中间盆地,年平均蒸发量可达 1 620mm~2 100mm。

系统内各种地下水类型的补给、径流和排泄条件为:

(1) 松散岩类孔隙水。可分为盆地型和河谷型。

盆地型孔隙水:主要分布在祁连山—青南中间盆地地带的共和盆地、同德—兴海盆地等。地下水主要接受大气降水和基岩山区潜流补给(占 80%)、地表水田间灌溉补给和地下水开采引起的河水侧向补给(约占 20%)。由于黄河河谷切割较深,地下水主要以黄河为基准面逐段向河谷排泄。

河谷型孔隙水:主要分布于大通河、湟水河、洮河及大夏河等河谷阶地。含水层岩性主要为第四系砂卵砾石层。地下水主要补给来源为山区的地表水和地下潜流、少量的大气降水和田间灌溉水的入渗补给。河谷型地下水排泄方式有两种,一是地下水自上游向下游运动至泄出带溢出;二是受构造控制基底抬高,在基座式阶地前缘泄出。如西宁北川、红崖子沟沟口及湟水河中下游与黄河循化一段河谷潜水沿河大量泄出。

(2) 碎屑岩类裂隙水。主要分布在系统东部的中生代小型断陷盆地中。盆地位于侵蚀基准面以上,无地表径流补给,其地下水主要靠大气降水补给,但降水量少,补给量微弱。地下水径流短促,大多以泉的形式在盆地周边排泄。侵蚀基准面以下多为承压自流水盆地,水循环交替条件差,地下水从周边向盆地中心汇集,同时其盐分逐渐积累。除共和、贵德等盆地外,其他盆地多为咸水,但在各盆地边缘的构造裂隙富集带,往往有少量淡水分布,可供人畜饮用。

山地基岩裂隙水：广泛分布在祁连山地、洮河和青南高原基岩裂隙孔隙地下水二级系统内的祁连山、青南高原、大坂山、拉脊山和积石山等地区。含水层岩性主要为变质岩、碎屑岩和岩浆岩。以风化裂隙为主，地下水接受大气降水及高山冰雪融水的补给后，以泉和潜流形式补给山间河谷及平原。

碳酸盐类岩溶裂隙水：主要在大坂山零星分布，地下水的循环交替特征与基岩裂隙水基本相同。

(3) 多年冻结层水。主要在祁连山地基岩裂隙孔隙地下水二级系统和青南高原基岩裂隙冻结层地下水三级系统。可分为冻结层上水和冻结层下水两种。

冻结层上水：其唯一补给来源是大气降水，一般径流途径短，常呈冻土草沼或在坡脚地带以泉形式排泄。水质较好，为夏季草场的主要天然水源。

冻结层下水：一般处于封闭状态中，不能直接接受大气降水的补给。补给只有通过上覆各种类型冻结层的融区获得。因而地下水的循环交替特征是补给区远离排泄区，径流缓慢，地下水一般通过地势较低的融区或断裂带形成上升泉排泄。

这个系统中的地下水，主要泄流于大通河、湟水河、洮河及大夏河等支流后汇入黄河。其特点是：①基岩裂隙水最为发育，从山地向河谷和盆地汇集，并以潜流的形式注入主河流及山前平原的含水层中。②该系统处于黄河上游，地形切割强烈，地表水与地下水分水岭基本一致。故地表水的二级水系可看成是大系统的亚系统。③本系统内有供水意义的淡水，主要赋存于湟水河、大通河及洮河等河谷第四系砂卵砾石层。

二、银川盆地、河套盆地及周边山地孔隙、裂隙地下水系统

该系统地处黄河上游，即兰州至河口镇黄河干流区沿岸。跨越甘肃、宁夏和内蒙古三省(自治区)。

系统内以银川、河套构造盆地的边界为界，从北至南形成了三个相对独立的地下水二级系统：阴山山地基岩裂隙地下水二级系统，银川盆地、河套盆地孔隙裂隙地下水二级系统和六盘山、贺兰山地基岩裂隙地下水二级系统。使系统具有山地、平原、台地、黄土丘陵相伴而生、交错分布的地貌特征。

系统内较大的支流有祖厉河、清水河、苦水河、乌加河和黑河等。降水量自北而南递增。山区多年平均降水量为 600mm~700mm；盆地区为 200mm~400mm。蒸发量自北向南逐渐递减。多年平均蒸发量为 1 000mm~1 400mm。

系统内地下水的贮存与分布受构造与自然地理条件制约，致使形成不同的地下水类型。

(1) 第四纪孔隙水。主要分布于银川盆地、河套盆地。银川盆地与河套盆地沉降与堆积的幅度不一。银川盆地，新生界厚度为 5 000m~7 000m，其中第四系厚度 2 000m。河套盆地，新生界最厚为 3 439m，其中第四系厚约 1 000m。两盆地系统水文地质条件基本相同。由盆地边缘向中心，地下水由单一潜水逐渐过渡为承压水，形成浅层水(潜水及浅部承压水)和深层水两大含水层系统，具多成因多层次的特点。地下水由矿化度小的 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型过渡为 1g/L~3g/L 的 HCO_3 、 $\text{Cl} - \text{Na} \cdot \text{Cl}$ 、 $\text{SO}_4 - \text{Na}$ 型水。

(2) 碎屑岩类裂隙孔隙水。主要分布在六盘山、贺兰山地基岩裂隙地下水二级系统

南部的清水河、祖厉河和苦水河流域及中生代拗陷或断陷盆地中。含水层主要为一套第三系内陆河湖相碎屑岩。根据地下水汇水条件可进一步分为西吉、海原、清水河、祖厉河、卫宁和大水坑等盆地，它们各自有独立的补、径、排特征，所以可认为是局部循环子系统。其中，海原、清水河和祖厉河盆地为深陷盆地，其余则为浅盆地。

(3) 基岩裂隙水。主要分布于六盘山地、贺兰山地、阴山山地基岩裂隙地下水二级系统的基岩山区，含水层岩性多由前古生界、中生界层状岩石和太古界各种变质岩、火山岩组成。以风化裂隙水为主，矿化度小于 1g/L ，为 $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ 型水。接受降水入渗补给，以小泉出露或以侧向径流补给盆地孔隙地下水。

这个系统的特点：①第四系孔隙水最为发育，为本系统内主要供水层。盆地孔隙水明显地分为浅层水(潜水与浅层承压水)和深层水两个含水系统。而浅层含水系统又具上细下粗的“二元结构”。浅层水位埋深 $3\text{m} \sim 10\text{m}$ ，深层水位埋藏在 150m 以下。②较大的银川盆地、河套盆地及中宁盆地，部分地区土壤盐渍化严重。如银川北部的西大滩—燕窝池及后套盆地的三湖河平原，已形成大面积土壤盐渍化。③六盘山、贺兰山地基岩裂隙地下水二级系统南部，整个清水河、祖厉河和苦水河流域，广布苦咸水，矿化度普遍为 $3\text{g/L} \sim 6\text{g/L}$ 和 $6\text{g/L} \sim 10\text{g/L}$ 。为本系统严重缺水区。④潜水和上部承压水被蒸发、开采，或部分排泄入黄河。

三、陇西黄土高原孔隙裂隙地下水系统

该系统属于渭河流域的上游，主要包括六盘山以西和定西、会宁以南的黄土丘陵地区。

多年平均降水量为 $400\text{mm} \sim 600\text{mm}$ ，多年平均蒸发量为 $1\,100\text{mm}$ 。

含水层岩性，上部为更新统黄土，下部为中更新统砾卵石和第三系红色砾岩、砂岩及砂质泥岩沉积。分布有黄土潜水、基岩裂隙水和中生界承压水。由于第三系红色粘土不整合于基岩之上，且随基岩原始地形断续分布，有第三系红色粘土存在的地段，上覆的黄土往往赋存少量的孔隙潜水。反之，则黄土层中的潜水继续下渗，补给下部基岩裂隙水，最后排泄于河谷之中。

系统内以第三系承压水分布最广，但由于受地形破碎，沟壑纵横，第三系含水层中含石膏和地下水运移过程中石膏被大量溶解等地质地貌因素影响，排泄入河谷的地下水为苦咸水。除局部地段外，矿化度普遍高于 5g/L 。

地下水补给来源为大气降水，由黄土梁峁丘陵向边缘的沟谷汇集，并就近排泄于主河流和沟谷之中，从而具有地表水分水岭和地下水分水岭基本一致和水交替循环强烈的特点。

此外，承压水可获得河谷潜流的补给。渭河、葫芦河等河谷及山间盆地，赋存有第四系孔隙潜水，一般水质较好，具有供水意义。

四、鄂尔多斯盆地孔隙裂隙地下水系统

该系统地处黄河中上游，黄河向北“几”字形弯曲范围内，跨鄂尔多斯荒漠、草原及黄土高原两大自然单元。