黄土高原地区综合治理开发考察系列研究

黄土高原地区
地下水资源合理利用



中国科学院黄土高原综合科学考察队

黄土高原地区
地下水资源合理利用

中国科学院黄土高原综合科学考察队
水资源组地下水研究组

学 苑 出 版 社

内 容 简 介

本书主要论述了陕、甘、宁、蒙、青、晋、豫七省(区)黄土高原地区地下水资源和开发利用问题。内容主要包括地理地质环境概况，地下水资源的形成和分布、地下水资源评价和合理开发利用以及缓解水资源紧缺综合对策等。

本书可供从事国土开发规划、水资源、水文地质和环境保护等方面工作的科技管理，生产科研人员及大专院校师生参考。

RESUME

This book discusses groundwater resources evaluation and development in loessial plateau area of China in middle reach of the Yellow River, including seven provinces It contains the following parts: general physiography and geology, groundwater occurrence and distribution, groundwater resources evaluation and development, as well as, comprehensive measures for mitigating water shortage

This book can be used for managers and professional staff members who are working in the fields of territory development planning, water resources development, hydrogeology and environment protection, etc.

Study on Rational Development and Utilization of Groundwater Resources in Loessial Plateau Area

黄土高原地区地下水资源合理利用

中国科学院黄土高原综合科学考察队

水资源组地下水研究组

*

责任编辑：赵 方

学苑出版社出版发行

(北京西四)

中国地质大学(北京)轻印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 7.625 · 字数 185500

1990 年 10 月第一版 1990 年 10 月第一次印刷

印数：1—1000 册 · 定价：3.00 元

ISBN 7-5077-0195-6/TV · 2

中国科学院黄土高原综合科学考察队

科技成果编辑委员会

主任委员：张有实

委　　员：(按姓氏笔划为序)：

王乃斌　刘再兴　刘毓民　孙九林

孙惠南　杜国垣　陈光伟　陈绥阳

武吉华　张天曾　张有实　郭绍礼

中国科学院黄土高原综合科学考察队

《重大问题及总体方案》系列成果编辑委员会

主 任 委 员：张有实

副主任委员：(按姓氏笔划为序)：

王乃斌　刘再兴　刘毓民　孙九林

孙惠南　杜国垣　陈光伟　武吉华

张天曾　郭绍礼

委　　员：(按姓氏笔划为序)：

王乃斌　王义凤　王华东　刘再兴

刘毓民　孙九林　孙惠南　李　斌

苏人琼　杜国垣　陈永宗　陈光伟

杨勤业　邸醒民　金　颐　武吉华

张天曾　张有实　郭绍礼　侯光良

赵存兴　唐克丽　曹光卓　彭　琳

彭芳春　魏心镇

《黄土高原地区地下水资源及开发利用》编写人员

主　　编：王兆馨　(地质矿产部水文地质工程地质司)

刘祖植　(陕西省地质矿产局)

王桂增　(陕西省地矿局第一水文地质工程地质队)

副 主 编：姜淑云　(陕西省地矿局第一水文地质工程地质队)

刘秀娟　(陕西省地矿局第一水文地质工程地质队)

参加人员：王德霞　陶书华　张殿华　龚巧玉　都秀荣

(陕西省地矿局第一水文地质工程地质队)

林　杰　(地质矿产部水文地质工程地质司)

吴心铭　(甘肃省地矿局第一水文地质工程地质队)

孙树金　(宁夏地矿局第一水文地质工程地质队)

戴大宜　(宁夏地矿局第二水文地质工程地质队)

孙文承　(内蒙古自治区水文地质工程地质队)

刘炳鑫　(青海省地质矿产局)

周　海　(山西省地矿局第一水文地质工程地质队)

何为乾　(河南省地矿局第二水文地质工程地质队)

陈月娓　(陕西省地矿局第二水文地质工程地质队)

序

黄土高原地区，这块举世瞩目的苍茫大地，是中华民族的摇篮，古文明的发祥地．这片古老的黄土地，哺育了炎黄子孙，创造了灿烂的文化．

然而，长期以来，生态环境十分脆弱的黄土高原地区水土流失和风沙危害严重．全区共有水土流失面积约 50 万平方公里．其中土壤侵蚀模数大于 5000 吨／平方公里／年的严重水土流失区约 14.5 万平方公里，是世界上水土流失最严重的地区之一．在长城以北地区，风沙危害农林牧业生产，并不断向东南侵袭．同时，土地利用很不合理，开荒、破坏植被严重，加剧生态环境恶化．不仅严重影响了当地的经济发展和人民生活水平的提高，而且水土流失和风蚀沙化使大量泥沙进入黄河，导致黄河下游干流河床逐年淤高，潜在的洪水灾害严重威胁着黄淮海平原千百万人民生命财产的安全及广大地区的经济建设．

但是，应当看到，黄土高原地区土地广阔，具有发展农林牧业的有利条件，矿产资源非常丰富，煤、铝土、有色金属、盐碱等都具全国重要地位，尤其是有极丰富的能源资源．这里有我国和世界上罕见的特大煤田，煤炭总储量约占全国的 2／3；在黄河上、中游，特别是上游，水能资源也很丰富，将建成我国最重要的、规模最大的能源—重工业—化工工业基地(简称能源重化工基地)．在中华民族未来的发展中，黄土高原地区的战略地位将会越来越重要，在社会主义四化建设中将起到不可替代的巨大作用．

从上可见，黄土高原地区环境治理和资源开发，在振兴中华的伟大事业中具有特殊的重要性和紧迫性．国家一直十分重视这一地区的国土整治工作．自 50 年代起，各有关部门在该地区做了许多科学考察和试验研究．特别值得高兴的是国家把"黄土高原综合治理"的课题列为"七五"重点攻关科技项目，其中有关面上的综合考察研究工作由中国科学院黄土高原综合科学考察队组织各有关部委、省区和高等院校的科技人员来完成．这次考察研究工作是自 50 年代以来全面的、内容丰富的大规模的综合科学考察．其特点是：

(1) 把水土流失等的治理问题不仅仅看成是一个环境治理问题，而且是一个环境—经济—社会问题．考察研究工作，以黄土高原地区综合治理开发总体方案为核心，进行了包括环境、资源、经济、社会等方面的十几个重大问题的全面考察研究．

(2) 除重点考察研究黄土高原地区的环境治理问题外，还对振兴地方经济、治穷致富的"小开发"以及建立具有全国意义的能源重化工基地的"大开发"等问题进行了重点考察研究．这对我国的流域治理和开发的研究是有重要意义的．

(3) 面上考察与重点地区的研究和规划相结合，选择了代表不同类型地区的 8 个重点县(旗)进行了深入的考察研究和规划．

(4) 采取地面调查与航空航天遥感技术相结合，对黄土高原地区的自然资源和自然条件以及土壤侵蚀进行了调查和系列制图，为治理开发提供较为确切的土壤侵蚀和资源的数据清单，并首次在此建立国土资源数据库及信息系统，包括各种资源数据、决策模型系统，为综合治理开发和规划决策提供了先进的科学研究手段和科学储备．

现在，黄土高原地区的综合考察研究已经取得丰硕成果．这些成果包括黄土高原地区

治理开发的总体方案总报告及十几个专题研究报告，还有遥感系列制图、信息系统的建立、基础资料汇编、图集、画册及录相等，内容非常丰富。这些考察研究系列成果，以大量的科学考察资料为依据，总结了黄土高原地区环境治理的主要问题及其基本经验，提出了"治理与开发相结合、以开发促治理、以治理保开发"和"重在开发"的方针，制定了能源、矿产、农林牧等资源的开发利用方案，并对振兴黄土高原地区进而振兴中华大地等重大战略问题作了一系列的论述。系列成果不仅是严谨的科学论著，而且也是振兴黄土高原地区和振奋民族精神的科学总结。这些成果具有十分重要的意义和实用价值，是国家和决策部门的重要参考依据，也是使广大人民全面了解黄土高原地区问题和美好前景的极好丛书。同时，这些成果也将促进和深化地学、生物学、资源科学、环境科学、社会科学、技术科学等有关学科的发展。因此，系列成果的发表必将引起国内外有关方面的重视。

这次黄土高原地区综合科学考察研究工作是在中国科学院黄土高原综合科学考察队的具体规划设计和安排下进行的。考察队做了大量组织工作。

黄土高原地区科学考察成果的取得，是全队共同努力，特别是考察队员们踏遍了高原丘陵的沟沟壑壑，撒下了辛勤汗水的结果。因此，考察研究成果是集体智慧的结晶。此外，黄土高原地区的人民和各级领导者，他们给予了综合科学考察研究工作多方面的支持和帮助，是特别要予以颂扬的。

刘东生

1990 年 8 月 22 日

《黄土高原地区综合治理开发考察系列研究》

前　言

黄土高原地区有着严重的水土流失和风沙危害等环境问题，生态环境十分脆弱，严重影响着当地人民的生活和生产，在有的地方生存都受到威胁。而且，入黄河泥沙使下游干流河床日趋淤高，洪水威胁着下游广大黄淮海平原人民生命财产和经济建设设施的安全。长期以来，这是我国的一大"心病"和迫切要求解决的"老大难"问题。另一方面，黄土高原地区有着丰富的农业和工业自然资源，特别是有极丰富的能源资源，在中华民族未来的发展中，其战略地位将显得越来越重要，在社会主义四化建设中将起到不可替代的巨大作用。因此，这片黄土地不仅病态环境急需治理，而且无论从本身还是从全国的要求来看，其资源急待开发。黄土高原地区的环境治理和资源开发在振兴中华的伟大事业中具有特殊的紧迫性和重要性。

国家一直十分重视这片黄土地的改造和振兴问题。自 50 年代起，水利(电力)部、农业部、林业部、中国科学院，有关省、区、地、县和一些大专院校都在该地区做了许多科学考察和试验研究。1955～1958 年，在已故中国科学院副院长竺可桢教授的指导下，曾组织了中国科学院黄河中游水土保持综合考察队，进行了为期 4 年的以水土保持为中心的综合考察，取得了丰富的资料和成果，为国家制定水土保持方针政策及治黄规划、黄河中游水土保持规划发挥了积极作用。多年来，艰苦奋斗在黄土高原地区第一线的广大干部和科技工作者，为改造黄土高原地区做出了积极贡献。

1983 年国家计划委员会向中国科学院提出了关于开展一次以国土整治为主要内容的黄土高原地区综合考察研究工作的建议。中国科学院—国家计委自然资源综合考察委员会，根据这一建议，于 1983 年 11 月在承德召开了一次讨论黄土高原问题的会议。会上许多专家提出了积极建议，认为经过了三、五十年后的今天，在黄土高原地区开展一次全面的、宏观的、以国土整治①为目的的综合考察研究工作，制定黄土高原地区的综合治理开发战略方案，确有必要。1984 年 5 月，中国科学院成立了黄土高原综合科学考察队(简称黄考队)来执行这项考察研究任务。1984 年 5～7 月，黄考队组织了少数专家进行了预察，制定了 4 年(1985～1988 年)的以国土整治为主要内容的考察研究计划。当时，在制定考察研究计划中，碰到的第一个问题是如何正确选择考察研究的范围，是仅考察"黄土高原"，还是考察"黄土高原地区"。作为自然地理单元的黄土高原，其范围一般认为是太行山以西、日月山以东、秦岭以北、长城以南。但是，考虑到开发治理的综合性，考虑到黄土高原与黄河的密切联系以及保持研究的完整性，特别是长城以北也存在有严重的水土流失、风沙危害，对入黄泥沙也有严重影响，而一些特大煤田也分布在长城以北，因而黄考队将考察研究范围向北推移到了阴山以南。这块四面环山的比较完整的国土，包括黄土高原及其北部毗邻地区，我们简称它为"黄土高原地区"。

---

①国土整治是指国土资源的开发、利用、保护和治理，其含意很广，涉及到当今世界普遍存在的资源—环境—人口—能源—粮食等问题，而绝不仅仅指环境的治理或土地的管理。

1985年，在黄土高原地区正式开始考察．1986年，由于国家的重视，"黄土高原综合治理"课题被列为国家"七五"(1986～1990年)重点攻关科技项目．黄考队便把执行黄土高原地区国土整治的考察研究与"黄土高原综合治理"面上的考察研究任务结合起来，取名为"黄土高原地区综合治理开发"的考察研究，并进一步充实了考察研究内容．当时，在制定"七五"计划中碰到的又一个问题是如何对待"开发"问题．黄考队认为，不能把水土流失的治理问题仅仅看成是一个环境治理问题，而是一个资源—环境—经济—社会问题，黄土高原地区患的是综合症，要攻的关是如何解决好水土流失和贫穷落后的问题，是如何解决好环境治理和资源开发这对矛盾，即不仅要研究如何治理好环境，还要研究如何开发好资源，使资源开发不仅不破坏环境，而且还要使两者互相促进．黄土高原地区的问题，不能就治理谈治理，归根结底，是一个如何改造和振兴黄土高原地区的问题．因此，这是一次自50年代以来全面的、内容丰富的、大规模的综合科学考察，从考察面积之广、问题之综合、学科之多、新技术的应用以及把治理与开发结合起来等方面来看，都可以说是空前的。

黄土高原地区综合治理开发的考察研究任务，在原4年计划的基础上，根据"七五"计划的要求，是采用卫星、航空遥感和地面调查相结合，调查水土流失和资源状况，研究环境治理和资源开发中的重大问题，提出综合治理开发的总体方案，并把遥感的应用和信息系统的建立作为为综合治理开发重大问题和总体方案服务的两项主要技术手段．根据任务要求，考察研究的主要内容有以下三个方面：

(1) 黄土高原地区综合治理开发的重大问题研究及总体方案；

(2) 黄土高原地区资源与环境遥感调查和制图；

(3) 黄土高原地区国土资源数据库及信息系统的建立．

综合治理开发的重大问题及总体方案，是考察研究工作的主体部分．这方面的专题是按照下列5个层次设计的：

(1) 自然条件特点和资源评价．包括考察研究过去和现在的自然条件(自然条件特点和历史环境演变)以及自然资源的数量质量评价；此外，还包括研究主要的社会经济情况．

(2) 应用基础的考察研究．包括考察研究一些与黄土高原地区综合治理开发有关的理论问题．它与综合治理开发黄土高原地区和治理黄河的方针有着密切的联系．例如，黄土高原地区历史气候和土壤侵蚀的演变过程，自然侵蚀和人为侵蚀的关系，等等．

(3) 重大问题的考察研究．包括土壤侵蚀(水土流失、风沙危害、滑坡、泥石流等)防治以及农、林、牧、土、水、气、能源、工、矿、交、环保、人口、旅游等问题．它是在自然条件、资源和应用基础考察研究工作基础上的深入，是从认识世界走向改造世界所必须考察研究的问题．

(4) 重点县的考察研究．包括代表不同类型地区的中阳、子长、洛川、榆中、正宁、和林格尔、伊金霍洛、新安等8个重点县(旗)的深入考察研究和规划．这是考察研究工作中点面结合的具体体现，是面上工作的深入，也是制定总体方案不可少的重要依据．

(5) 总体方案的制定．包括不同类型地区和整个黄土高原地区综合治理开发方案．这是在前面四方面工作的基础上，经过综合分析，对不同类型地区和整个黄土高原地区的综合治理开发提出具体的途径和建议，为如何防治水土流失、风沙危害以及如何建立能源重化工基地、牧业基地、林果基地以及解决粮食问题等提供科学依据．

根据以上5个层次，共设计了14个研究组和相应的研究专题，即：1)黄土高原地区自然条件特点及其形成和演变预测；2)黄土高原地区土壤侵蚀规律及治理途径；3)黄土高原地区农业气候资源及其合理利用；4)黄土高原地区生物资源及其合理利用；5)黄土高原地区土地资源及其合理利用；6)黄土高原地区水资源合理利用及其供需平衡；7)黄土高原地区农林牧业的综合发展及合理布局；8)黄土高原地区乡镇建设及繁荣农村经济的途径；9)黄土高原地区能源资源的合理利用及农村能源解决途径；10)黄土高原地区综合运输网的发展及合理布局；11)黄土高原地区经济开发对环境的影响及其对策；12)黄土高原地区工业发展与城市工矿区的合理布局；13)黄土高原地区重点县的深入调查研究；14)黄土高原地区综合研究和综合治理开发总体方案(人口和旅游问题也包括在综合研究组内)。

第二方面，资源与环境遥感调查和制图，包括应用航空航天多种遥感手段，配合地面考察，对黄土高原地区的自然资源和自然条件以及土壤侵蚀进行遥感调查和系列制图，为治理开发提供较为确切的土壤侵蚀和资源清单。这对今后的综合治理开发规划和实施以及监测其动态变化均有着重要的意义。

第三方面，国土资源数据库及信息系统的建立，包括建立黄土高原地区国土资源数据库、典型区的资源信息系统、决策模型系统以及计算机辅助制图系统等，为黄土高原地区治理开发考察研究和规划提供先进的技术手段和科学储备。这使黄土高原地区综合治理开发及其管理工作逐步走向现代化。

黄土高原地区的综合考察研究工作，是由中国科学院主持，由黄考队组织有关单位，以大协作的形式来完成的。参加考察研究的单位有中国科学院—国家计委自然资源综合考察委员会、地理研究所，中国科学院地质研究所、植物研究所、兰州沙漠研究所、遥感应用研究所、南京土壤研究所、西安黄土研究室及西北植物研究所，中国科学院—水利部西北水土保持研究所、成都山地灾害研究所，国家计委—中国科学院能源研究所，国家计委综合运输研究所，地矿部水文地质工程地质司、水文地质工程地质研究所、地质资料局，水利部黄河水利委员会，铁道部铁道科学院，山西省区划办，陕西省水保研究所，陕西省地质矿产局，甘肃省科学院地质灾害研究中心、农科院，宁夏农业科学院，内蒙古土地勘察设计院，河南地理研究所，中国人民大学，北京师范大学，北京大学，北京林业大学，北京经济学院，北京师范学院，兰州大学，西北大学，西北农业大学，陕西师范大学，西安交通大学，西安公路学院，陕西财经学院，山西大学，山西师范大学，以及晋、陕、蒙、宁、甘、青、豫等省(区)的计委、科委以及其它有关农、林、牧、水、水保、地质、工、矿、交、环保等业务部门，共约50多个单位。参加考察研究工作的专家、教授和科技工作者达500多人。黄考队在国家计委、国家科委和中国科学院的领导下，得到了水利部、林业部、农业部、能源部、地质矿产部以及其它有关部委、办等部门的大力支持；考察期间，与黄土高原地区有关的七省(区)的各级政府和部门，对黄考队也十分关心，给予了许多支持和帮助。因此，黄土高原地区综合科学考察研究成果的取得，是各方面大力协作和支持的结果，是全体考察队员们智慧的结晶。

黄土高原地区综合治理开发系列成果是丰硕的。在系列成果中，全面论述了黄土高原地区的环境问题以及如何治理环境的基本经验；阐述了振兴黄土高原地区的物质基础，如何进行资源的"小开发"，发展农村经济，以及建立能源重化工基地的"大开发"，创造巨大财富，为农业现代化和社会进步以及治理环境提供雄厚的物质基础，从而达到振兴黄土高

原地区的目的．系列成果告诉人们，黄土高原地区虽然有严峻的环境问题，环境的治理任务是艰巨的，但其前景是极其美好的．成果还着重阐述了如何才能达到美好的前景，以及2000年和21世纪中期可能达到的目标．在黄土高原地区资源与环境考察研究中，还采用了航空遥感新技术，编制了系列图件，提供了资源数据，并建立了信息系统实体(系列成果目录附后)．因此，系列成果不仅是严谨的科学论著，而且也是振兴黄土高原地区和振奋民族精神的科学总结．由于黄土高原地区综合治理开发问题是独特的，涉及的问题也多，因而开展综合考察研究工作及其成果的发表，具有重要的生产意义和科学价值．黄土高原地区历史文化遗产极为丰富，是中外人士仰慕向往的地方．它的治理开发和振兴，不仅会激励我国人民献身于这一伟大光荣的事业，而且也会在国际上产生重大的影响。

这次黄土高原地区综合科学考察研究工作是在中国科学院黄土高原综合科学考察队的具体组织领导下进行的．考察队队部有队长张有实，副队长孙惠南、郭绍礼、杜国垣、陈光伟、刘毓民，学术秘书张天曾，办公室主任刘广寅，副主任谢国卿、马志鹏，秘书高柳青，干事李文柏．作为"七五"国家重点攻关科技项目，第一专题重大问题和总体方案方面的科考任务由张有实直接领导，第二专题遥感系列制图方面的科考任务由陈光伟、王乃斌负责，第三专题数据库及信息系统方面的科考任务由孙九林负责．有关各专题组中子专题组长和考察队员们的贡献将在各自的研究报告的前言中予以记载．在这里，黄考队谨向各协作单位以及黄土高原地区的人民和各级领导所给予这次综合考察研究工作多方面的支持和帮助，再次表示衷心的感谢．此外，由于种种原因，我们在工作中还有不少缺点，请各方面多予批评指正．

中国科学院黄土高原综合科学考察队

1990年9月1日

附录:

《黄土高原地区综合治理开发考察系列研究》成果目录

一、重大问题及总体方案

黄土高原地区综合治理与开发——宏观战略与总体方案
黄土高原地区自然环境及其演变
黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径
黄土高原地区北部风沙区土地沙漠化综合治理
黄土高原地区农业气候资源的合理利用
黄土高原地区土地资源
黄土高原地区土壤资源及其合理利用
黄土高原地区植被资源及其合理利用
黄土高原地区水资源问题及其对策
黄土高原地区地下水资源合理利用
黄土高原地区矿产资源综合评价
黄土高原地区农林牧业综合发展与合理布局
黄土高原地区乡镇建设及繁荣家村经济的途径
黄土高原地区能源资源的合理利用及农村能源的解决途径
黄土高原地区工业发展与城市工矿区的合理布局
黄土高原地区综合运输网的发展及合理布局
黄土高原地区工矿和城市发展的环境影响及其对策
黄土高原地区的人口问题
黄土高原地区旅游资源及其开发
黄土高原地区综合治理开发分区研究
黄土高原地区重点县综合治理与经济发展战略规划

二、资源与环境遥感调查和制图

黄土高原地区土地资源图(1／50 万)
黄土高原地区土地利用图(1／50 万)
黄土高原地区草场类型图(1／50 万)
黄土高原地区森林类型图(1／50 万)
黄土高原地区植被类型图(1／50 万)
黄土高原地区遥感调查资源数据集
黄土高原地区遥感调查系列制图说明书

三、国土资源数据库及信息系统

国土资源信息系统研究

黄土高原地区综合治理开发模型研究

国土资源信息分类体系与评价指标

资源科学主题词典

区域资源开发模型系统

资源信息系统中的辅助制图软件设计

目　　录

本书前言 …… (1)
第一章　地理地质概况 …… (3)
1.1　社会经济 …… (3)
1.2　自然地理 …… (4)
1.3　地质 …… (7)
第二章　水文地质 …… (11)
2.1　区域水文地质概述 …… (11)
2.1.1　地下水的储存与分布 …… (11)
2.1.2　地下水的补给和排泄 …… (12)
2.1.3　区域水化学特征 …… (13)
2.2　地下水类型及其特征 …… (16)
2.2.1　松散岩类孔隙水 …… (16)
2.2.2　碳酸盐岩类岩溶水 …… (25)
2.2.3　碎屑岩类孔隙裂隙水 …… (26)
2.2.4　结晶岩类裂隙水 …… (29)
第三章　地下水资源评价 …… (33)
3.1　评价原则与方法 …… (30)
3.1.1　评价原则 …… (30)
3.1.2　评价方法 …… (30)
3.2　地下水水量评价 …… (36)
3.2.1　地下水资源计算成果 …… (36)
3.2.2　水资源总量概算 …… (39)
3.2.3　地下水资源时空分布特征 …… (41)
3.3　地下水水质评价 …… (43)
3.3.1　地下水水质特征 …… (43)
3.3.2　供水水质评价 …… (43)
第四章　地下水资源开发利用 …… (46)
4.1　开发利用现状 …… (46)
4.1.1　城市供水 …… (46)
4.1.2　能源基地供水 …… (51)
4.1.3　农牧业供水 …… (55)
4.1.4　人畜用水 …… (59)
4.1.5　主要水资源问题和环境地质问题 …… (62)
4.2　地下水开发利用分区及开采前景 …… (65)

4.2.1 以城市、能源供水为主的开采区 …… (65)
4.2.2 以农牧业供水为主的开采区 …… (70)
4.2.3 发展井灌井排的盐渍土改良区 …… (71)
4.2.4 需解决人畜饮用水的地区 …… (71)
4.3 综合治理开发区地下水资源及开采前景 …… (73)
第五章 缓解水资源紧缺的综合对策 …… (75)
5.1 水资源合理开发利用原则 …… (75)
5.2 综合对策 …… (76)
5.2.1 缓解城市能源供水紧缺对策 …… (76)
5.2.2 缓解农牧业供水紧缺对策 …… (82)
5.2.3 解决人畜饮用水途径 …… (84)
结 论 …… (86)
主要参考文献 …… (90)
英文提要 …… (92)
后 记 …… (93)
附 录

附图 黄土高原地区地征水资源分布及开发利用分区图(1∶250万)

(注：附图系内部资料，需要者请向陕西省地质矿产局联系购买)

Study on Rational Development and Utilization of Groundwater Resources in Loessial Plateau Area

CONTENTS

Introduction

Chapter 1. General Geography and Geology

1.1 Socio-economy

1.2 Physical Geography

1.3 Geology

Chapter 2. Hydrogeology

2.1 Regional Hydrogeology

2.1.1 Occurrence and distritution of Groundwater

2.1.2 Recharge and discharge of Groundwater

2.1.3 Regional Hydrochemical Characteristics of Groundwater

2.2. Types of Groundwater and their Characteristics

2.2.1 Pore Water in Unconsolidated Deposits

2.2.2 Karst Water in Carbonate Rocks

2.2.3 Fissure Water in Clastic Rocks

2.2.4 Fissure Water in Crystalline Rocks

Chapter 3. Groundwater Resources Evaluation

3.1 Principles and Methods of Evaluation

3.1.1 Principles of Evaluation

3.1.2 Methods of Evaluation

3.2 Groundwater Quantity Evaluation

3.2.1. Results of Groundwater Resources Evaluation

3.2.2. Estimate of Total Amount of Water Resources

3.2.3 Distribution of Groundwater Resources

3.3 Groundwater Quality Evaluation

3.3.1 Groundwater Quality Characteristics

3.3.2 Quality Evaluation for Water Supply

Chapter 4. Groundwater Resources Development and Utilization

4.1 Present Status of Groundwater Resources Development

4.1.1 Urban Water Supply

4.1.2 Energy-producting Base Water Supply

4.1.3 Agricultural and Animal Husbandry Water Supply

4.1.4 Rural Domestic and Livestock Water Supply

4.1.5 Main Problems in Water Resources and Evironmental Geology

4.2 Regionalization and Perspective of Future Groundwater Development
4.2.1 Development Areas for Urban and Energy-producting Base Water Supply
4.2.2 Development Areas for Agricultural and Animal Husbandry Water Use
4.2.3 Soil Reclamation Areas with Water Wells for Simultaneous Irrigation and Drainage
4.2.4 Areas of Needs to Solve Domestic and Livestock Water Sources
4.3 Groundwater Resources and Perspective of Future Groundwater Development in Comprehensive Control and Development Regions
Chapter 5. Comprehensive Measures for Mitigating Water Shortage
5.1 Principles of Rational Development of Water Resources
5.2 Comprehensive Measures
5.2.1 Measures for Mitigating Water Shortage in Urban and Energy-producting Base Areas
5.2.2 Measures for Mitigating Water Shortage in Agricultural and Animal Husbandary Areas
5.2.3 The Ways to Solve Domistic and Livestock Water Sources
Conclusions
References
Abstact in English
Postcript

本 书 前 言

黄土高原地区位于我国中部，阴山以南，秦岭以北，贺兰山、日月山以东，太行山以西的广大黄土覆盖区。本项目所指黄土高原的范围，考虑到国土整治及地区开发的完整性，其实际范围已超出黄土高原的自然边界，跨青、甘、宁、蒙、陕、晋、豫七省(区)，地理坐标东经 100° 30′ 至 114° 30′，北纬 34° 至 42°，总面积 62.34 万 km^2。

区内矿产资源、土地资源和光热资源丰富，开发潜力大，特别是有得天独厚的煤炭资源，具有建立能源重化工基地、发展牧业和林果业的优越条件。加快本区资源的开发利用，对振兴我国经济和发展中、西部经济具有重要的战略意义。然而，黄土高原地处我国北方干旱半干旱气候地带，水资源不足，水土流失和风沙灾害严重。当前水资源和环境生态问题已成为工农业发展的制约因素，因而，在综合开发治理黄土高原时，迫切需要开展黄土高原地区地下水资源评价和合理利用研究工作。

国家对黄土高原地区十分重视，"七五"期间列入国家重点科技攻关项目的《黄土高原综合治理开发重大问题和总体方案的考察研究》(编号 75—04—03—01) 由中国科学院黄土高原综合科学考察队组织实施，地矿部承担的《黄土高原地区地下水资源评价及合理利用》是该项目第六专题《黄土高原地区水资源合理利用及其供需平衡》的子课题，并列入了"七五"期间地矿部部控科技项目 (编号 86037)。

《黄土高原地区综合治理开发考察研究》项目的总目的，是通过对黄土高原地区自然资源的综合考察，为黄土高原地区国土整治及重大战略决策提供科学依据，把黄土高原建设成能源重化工基地，积极发展牧业和林果业，促进经济发展，治贫致富。建立基地发展生产均需有水源作为前提条件，黄土高原地区水资源比较贫乏，合理开采地下水，统一规划地表水与地下水资源至关重要。开展黄土高原地区地下水资源评价和合理开发利用课题研究是结合黄土高原地区综合治理总任务，在查清水文地质条件基础上，查明地下水资源形成分布规律及其数量与质量；调查分析地下水开发利用现状及开采前景；从开发、利用和保护地下水资源出发，考察并研究重点城市、能源工业、农牧业供水及人畜饮用水的解决途径和缓解水资源紧缺对策；考察研究银川河套平原土壤盐渍化改良治理问题等，为国土整治、规划布局提供水文地质依据。

地质矿产部水文地质工程地质司根据对本课题的要求，于 1986 年向有关省、区地矿局下达了具体研究任务，组成了地质矿产部黄土高原地区地下水资源评价及合理利用课题组。本课题研究由地质矿产部水文地质工程地质司主持，主管与技术负责王兆馨；陕西省地质矿产局为牵头单位，技术负责刘祖植，陕西省地质矿产局第一水文地质工程地质队具体承担课题研究和总报告的编写工作，队技术负责王桂增，编写成员姜淑云、刘秀娟、王德霞、陶书华、张殿华、龚巧玉、郗秀荣。参加单位有甘肃省地质矿产局第一水文地质工程地质队、宁夏地质矿产局第一水文地质工程地质队和第二水文地质工程地质队、内蒙古自治区水文地质工程地质队、青海省地质矿产局、山西省地质矿产局第一水文地质工程地质队、河南省地质矿产局第二水文地质工程地质队及陕西省地矿局第二水文地质工程地质

队；参加人员有林杰、吴心铭、孙树金、戴大宜、孙文承、刘炳鑫、周海、何为乾、陈月娓等。

本课题研究工作中，充分利用了本区为不同目的所进行的水文地质勘查研究、水资源评价及农业区划等项成果，并参考引用了国家统计局综合司、水电部计划司编制的中国、城市、水利统计年鉴资料，特别是实地考察时搜集的有关城市供水等最新资料和中国科学院综考队 1986—1988 年历次工作会议上各单位交流的阶段性考察研究成果。陕西省地质矿产局第一水文地质工程地质队承担的黄河流域环境地质图系中地下水资源分布及开发利用分区图与说明书的编制和《黄土高原地区地下水资源评价及合理利用》两项工作结合进行，前者于 1986 年已提交，后者在前者基础上，经过考察研究新近的供水资料，并补充了山西省海河流域资料。资料引用时间一般截止到 1985 年，少数至 1987 年。

本课题成果包括《黄土高原地区地下水资源评价和合理利用》总报告及《黄土高原地区地下水资源分布及开发利用分区图》（成图比例尺 1：250 万）。还有内部出版的简要报告：陇西、宁南地区人畜用水解决途径、内蒙古河套、宁夏银北平原区土壤盐渍化治理研究、黄土高原地区省会城市及能源基地供水预测、鄂尔多斯高原白垩系自流水盆地地下水开发利用方向和陕西省渭北东部岩溶地下水及其开发利用前景等八份专题报告。

本课题中地下水资源评价阶段性成果和专题性成果，已先后在 1987—1989 年度中科院黄土高原综合科学考察队阶段成果交流会议上提交，为本区水资源课题以及有关课题研究所引用。

本课题总报告和附图于 1988 年 12 月提交地矿部，1989 年 4 月经部级评审，认为本项成果是黄土高原地区一份较全面系统的地下水资源评价和合理利用的研究成果，为该区水资源的综合利用、保护与环境治理等方面的宏观决策提供了地质依据，具有较高的实用价值，建议尽快出版，供有关部门使用和参考。

贾福海、张宗祜、辛奎德、赵运昌、张治平、陈光、曾庆伦、方含辉、翟兴中、郭鹏飞等专家及课题各省区代表，对总报告提出许多宝贵修改意见。编写人员根据审查意见进行了系统的修改和补充，由陕西省地矿局刘祖植、王桂增、徐继刚、周宗俊等同志审查。

本书是由总报告加工改编而成。经王兆馨最后审阅、统编，由姜淑云修改，定稿。

在考察研究工作中得到陕西、甘肃、宁夏、山西、内蒙、河南等省地矿局王德潜、周斌、佟永贺、吴铁钧、孙永明、汤邦义和中科院黄土高原综合科学考察队张有实、杜国垣、苏人琼、何希吾、刘广寅等同志的支持和关注，在此一并致谢。

第一章　地理地质概况

1.1　社会经济

黄土高原地区，是一个矿产资源丰富，生态环境脆弱的地区，在工业发展和布局上，既有明显的有利条件，也有限制因素。其地理位置适中，矿产资源丰富，开发潜力大。区内煤炭资源丰富，截止1985年探明储量占全国的70%，年净调出煤炭占全国调出省商品煤总数的90%，是我国重要的煤炭供应基地，也是我国火电基地之一。但受运输能力限制，造成煤炭积压日趋严重，是影响能源基地发展的一大障碍。由于区内水资源不足，影响了矿产资源的开发，尤其是水资源同矿产的地理分布不协调，对矿产资源的开发和工业布局也是一个很大的限制因素。如鄂尔多斯盆地是全国四大聚煤盆地中最大的一个，石油也有良好前景，其它矿产也较多，但是缺乏水源；大同、宁武和部分河东煤田，煤炭储量占山西全省的41%，水资源只是全省的25%。水资源缺乏和分布不均，严重制约着矿产资源的开发，一般情况，煤炭就地就近加工转换，多是大耗水工业，要求水煤结合，缺乏这个条件，就很困难。

区内有相当数量的水电资源、石油资源及矿产资源，其中稀土矿资源占全国的97%，铝土矿资源占50%，钼矿资源占47%。宁夏的石膏矿占全国各省(区)首位。以上矿产资源优势为发展本区工业提供了充足的物质基础。

解放前，黄土高原地区工业基础十分薄弱，除山西、陕西有一部分小型工业外，绝大多数地区仅有一些小作坊，由于工业落后，工业用水量极少。解放后，经过三十多年的社会主义建设，工业有了飞速发展，已建立起一个具有煤炭、电力、冶金、机械、化工、电子、纺织、食品、皮革、造纸等工业门类齐全的工业体系。至1985年，全区工农业总产值809.04亿元（按1980年不变价格计算），占全国同年工农业总产值的6%，其中农业产值220.78亿元，工业产值588.26亿元，后者占全区工农业总产值的72.7%（表1），与1980年工业产值364.76亿元相比，年均增长10%，低于全国12%的增长速度。

黄土高原地区工业分布是很不平衡的，东部地区的山西、陕西和河南，工业产值约占全区的70%，而西部的宁夏、内蒙、青海和甘肃约占30%；工业主要集中在城市，36个城市的工业产值484.7亿元，约占全区工业产值的82%。区内农业生产发展缓慢，所占工农业总产值的比重低于全国水平。

1985年黄土高原地区所辖的七省区总人口8149.24万，占全国人口104532万的7.8%，比1980年年均增长16.7‰，高于全国12.8‰的人口增长速度。人口的快速增长将影响该区国民经济的发展。

黄土高原地区交通不大方便。主要铁路干线只是围绕高原区的边缘分布，有京包、包兰、石太、陇海、京广、同蒲等，1988年大秦重载单元双线电气化铁路及郑州至兰州的电气化铁路已通车，提高了该区的运输能力。但在中部京包、包兰、陇海与南北同蒲铁路

干线之间的广大地域尚无铁路，只有公路相通，交通十分不便，尤其阻碍举世瞩目的东胜—神府煤田煤炭向外运输，影响区内能源基地的发展。

1985年工农业产值统计表　　表1

地区	省(区)	工农业总产值(亿元)	工业产值(亿元)	农业产值(亿元)	工业占工农业总产值(%)
黄土高原地区	河南	64.65	50.0	14.65	77.3
	山西	285.07	190.38	94.64	66.8
	陕西	230.09	169.76	60.33	73.8
	内蒙	69.43	53.25	16.18	76.7
	宁夏	32.95	21.84	11.11	66.3
	甘肃	111.12	87.78	23.34	79.0
	青海	15.73	15.25	0.48	97.0
	合计	809.04	588.26	220.78	72.7
全国		13336	8756	4580	65.7

水源、交通二大因素，制约该区矿产资源的开发，影响工农业的发展；人口素质不高和过快的发展速度，将影响社会经济的发展。

1.2　自然地理

1.2.1　地势

区内地势总趋势西高东低。青海东部，山地高程4000m以上，主要有大坂山和拉脊山，谷地在3000m上下。中部黄土高原，地面高程2000—1000m，以六盘山为界，西部称陇西黄土高原，高程在2000m上下；东部包括陕、甘、宁、蒙、晋黄土高原，地势由西北向东南倾斜，地面高程2000至1000m，其中白于山、子午岭山势低缓，高程1900—1600m。内蒙黄河沿岸以南，长城沿线以北的沙漠高原，以东胜梁为界，北为库布其沙漠，南称毛乌素沙漠，东胜、四十里梁一带梁地高程1500m左右，高于南北沙地。平原区地势低平；银川与河套平原高程在1000m左右，渭河及伊洛沁盆地仅700—300m。东部山西高原位于吕梁山与太行山之间，山地高程3000—2000m，中部大同至运城间分布有高程由1000降至400m的带状盆地。

1.2.2　气象

黄土高原的绝大部分地区属中温气候带的干旱、半干旱气候地区，仅汾渭盆地以南和太行山及中条山东段为半湿润气候区。整个黄土高原冬季受蒙古高压控制，气候干寒，多风少雨雪。春季蒙古高压逐渐衰退，北太平洋副热带高压逐渐扩张，本区出现频繁的低压槽，每当低压槽自西向东经过时，槽前有偏南风，槽后有偏北风，风力大、降水少、沙暴多。夏季在大陆热低压的范围内，盛行气流方向偏南，水气含量丰富，往往产生暴雨，秋季北太平洋副热带高压衰退，蒙古高压扩张，常形成秋高气爽天气。但在黄土高原西南

部，由于低压槽的存在以及冷锋向南推移而遇山地阻隔，则形成降水。气温分布总的特点是西北部寒冷，东南部温暖。年平均气温南部西安为 13.3℃，北部呼和浩特为 5.6℃，东部的洛阳为 14.7℃，至西宁减为 5.5℃。

降水量分布特征，由东南向西北递减，从东南部的 800mm 到西北递减为 150mm。临洮、天水、六盘山、西安、沁源一线以南降水量大于 600mm；兰州、靖边、东胜一线以北降水量小于 400mm；两线之间地带 400—600mm（图 1）。蒸发与降水相反，自东南向西北递增，一般在 1000—1800mm。

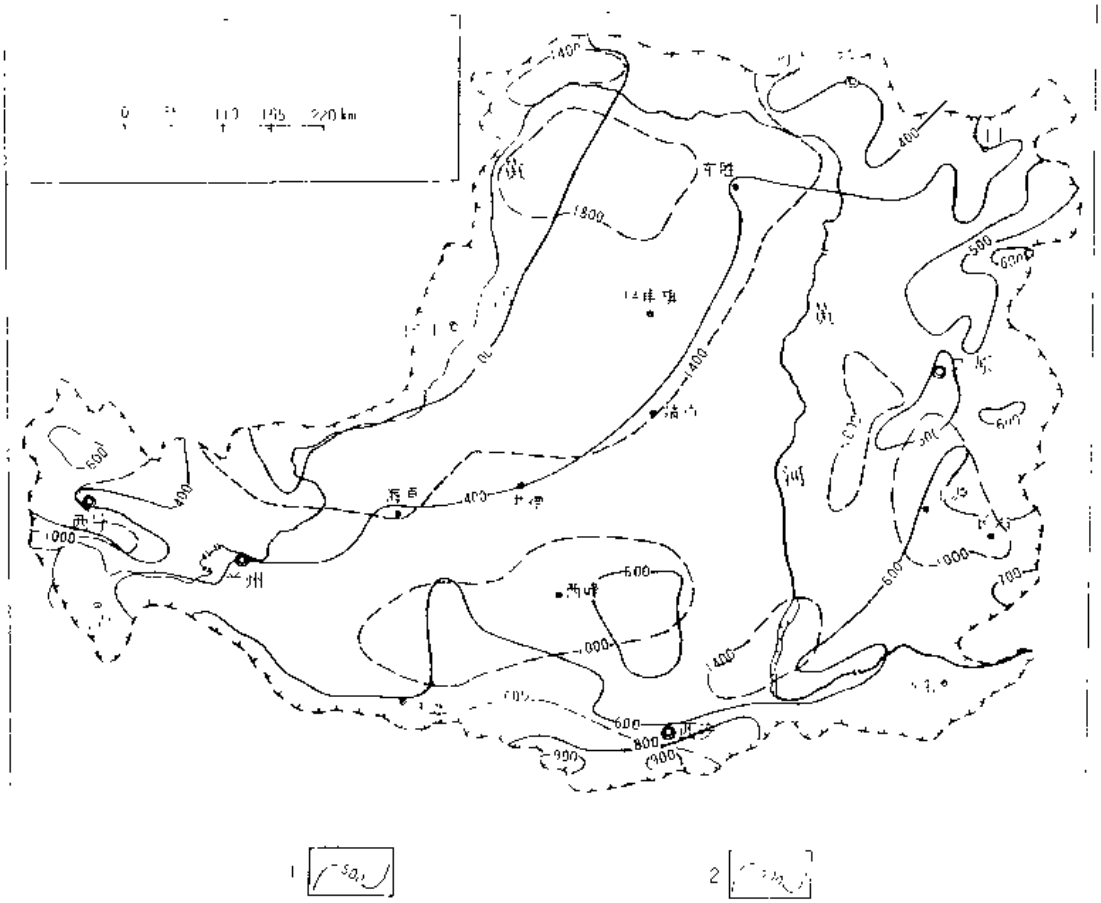

图 1　黄土高原地区降水量与蒸发量等值线图

1. 降水量(mm)　　2. 蒸发量(mm)

1.2.3　水文

黄河是黄土高原地区最大的河流，也是我国第二大河，它发源于青海省巴颜喀拉山北麓，流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙、陕西、山西、河南、山东九省（区），流程 5464km。多年平均径流量 603 亿 m^3（花园口站），居全国七大江河的第四位。按流域平均径流深 77mm 计，相当于全国平均径流深 276mm 的 28%左右，在七大江河中仅高于辽河。而黄土高原区（贵德至花园口区间）平均径流深值更小，仅 60mm。

黄河从源头至龙羊峡，支流短小，到祁连山南端，形成松巴峡、刘家峡、桑园峡、红山峡和黑山峡，诸峡多位于基岩丛山之中。黄河在这一段两岸支流很多，北有湟水、庄浪

河等，南有大夏河、洮河、祖厉河等。此段黄河接纳两岸支流河水与地下水的补充，水量丰富，水流湍急，蕴藏着极为丰富的水能资源，为黄土高原地区发展工农业生产提供了丰富的电力和水力资源。黑山峡以下，黄河流向东北进入中卫和银川平原，到磴口转向东流，形成宽广的河套平原，各段河水对两岸地下水补排关系复杂多变。黄河在靠银北、后套平原一岸补给地下水，在靠鄂尔多斯高原一岸接受地下水的汇入；在银南及前套平原河段，主要是两岸地下水向河流排泄，只在丰水期河水可补给地下水。此外，在银川及河套灌区历来引黄河水漫灌，使大量地表水渗入地下，转化为地下水。据有关资料，兰州至托克托河段，由于河水大量补给河套灌区地下水，使黄河流量减少约 3 亿 m^3。丰富的河水弥补了大气降水的不足，故有"天下黄河富宁夏"、"黄河百害唯富一套"的说法，银川、河套平原成为我国有名的农业区。由托克托南流到龙门，构成晋陕峡谷，两岸陡峭，水流湍急，支流密集，东岸支流短，西岸支流长。此段黄河主要接受两岸地下水的补给。

龙门以下，黄河进入宽广的汾渭地堑，水流平缓，在潼关陡折东流，汾河及渭河均在此段注入黄河。此段黄河两岸地下水接受河水季节性补给，在岸边开采条件下均可大量袭夺河水的激发补给，使地表水人为的转化为地下水供开发利用。在潼关至孟津一带，黄河穿行于中条山与崤山之间，河谷较窄，著名的三门峡即位于此。孟津以下，黄河进入华北大平原，流出了黄土高原。

总之，黄土高原地区，黄河及其支流河水与地下水相互转化频繁。上游河水径流量多由地下水汇集而成，中游常为季节性互补关系，下游以河水补给地下水为主。汛期河水径流量主要由暴雨形成，非汛期河流的基流量来源于地下水。黄河干流汛期流量约占全年的 60%，说明有 40%以上的河水是由地下水转化而成地表径流的。

区内地表径流量的分布：是南多北少，产流量山区多，平川少，大体上可分为南、中、北三区。南部，西起积石山，经大夏河、洮河、沿渭河至汾河分水岭一线南侧，降水丰沛，年平均径流深大于 150—200mm；北部，大致由兰州、经海原、过同心、定边到包头一线的西北部，气候干燥，降水量小，年平均径流深小于 10mm，是流域内产流量最少的地区；中部地区，降水较丰，年平均径流深 25—50mm。河套及汾渭平原区年平均径流深小于 50mm，而山区则增大到 100—300mm，秦岭最大在 400mm 以上。

黄土高原水土流失的面积有 43 万 km^2，是我国水土流失面积最大地区，其中最严重的有 10 万 km^2，主要分布在托克托至龙门区间。黄土地区地形支离破碎，黄土不断遭受侵蚀，年侵蚀模数在 2000t／km^2 以上，有的甚至达 68700t／km^2。据有关资料统计，龙门、河口以上，每年平均输沙量为 16.2 亿 t，平均含砂量约 38.1kg／m^3，泥沙数量之多，居全国河流首位。整个黄河的泥砂中有 1.46 亿 t，占总量的 9%来自河口镇以上，其余 90%以上的泥砂来自河口镇以下的黄河中游区，其中以河口至龙门区间为最多，输砂量达 9.14 亿 t，占总量的 56%，为水土流失最严重地区。

产沙的主要河流有皇甫川、窟野河、无定河、清涧河、延河、湫水河、泾河支流马莲河、渭河支流葫芦河以及北洛河等，洪水中一般含砂量都高达 800kg／m^3 左右，甚至超过了 1000kg／m^3。

1.3 地质

1.3.1 构造与地貌

黄土高原位于阴山褶皱带和秦岭褶皱带两个纬向构造体系之间，西部深入康藏歹字型构造体系之内，东部则横跨新华夏沉降带，其间为巨型的祁吕贺山字型构造体系（图2）。不同的构造特征形成不同的地貌类型。

秦岭褶皱带适呈黄土高原的南界，从黄河上游的积石山至郑州平顶山附近消失于新华夏沉降带之下，为一系列强挤压褶皱带和长期活动的冲断层，形成陡峻的断块山地，伴生一些与构造线分布方向一致的小型断陷盆地。新生代以来，西部山地大面积上升，并伴有断裂活动，受强烈侵蚀、剥蚀、冻融作用形成中高山和丘陵山地，松散堆积物很薄。东部山势渐减，形成较缓的侵蚀剥蚀中低山，并分布有与构造相一致的三门峡、伊洛沁等断陷盆地。阴山褶皱带，构成黄土高原的北界，由一系列的古老的纬向褶皱带形成并伴有不同时期活动的纵向断裂，经过长期剥蚀，形成低缓的丘陵、山地、也间有一些小型的中、新生界山间盆地。河套平原为阴山山前的断陷盆地，新生界厚度达1000m以上，最厚达3439m。

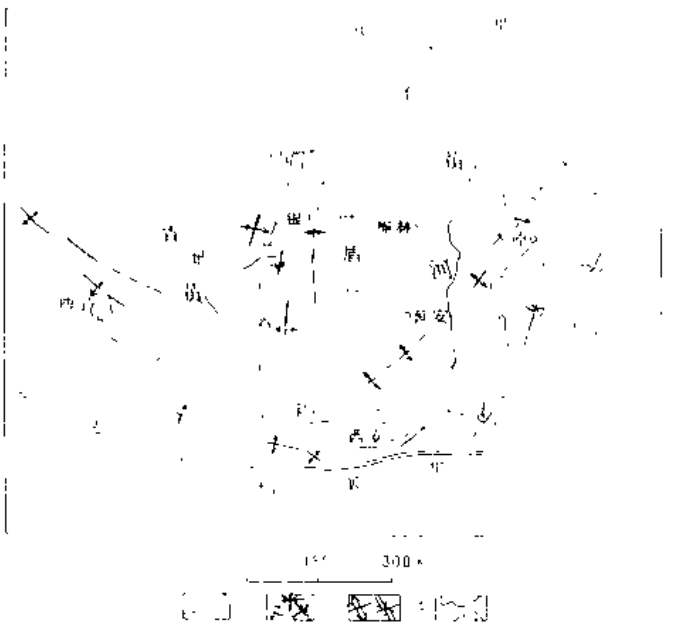

图2 黄土高原地区构造略图

1. 纬向构造体系 2. 山字型构造体系 3. 新华夏构造体系 4. 山字型构造;前弧多字型槽地

祁吕贺山字型体系西部以拉脊山南侧与秦岭褶皱带分界，前弧及东翼以汾渭断陷与秦岭褶皱带和新华夏太行隆起相邻，在地貌上均为褶皱和断块山地，脊柱为贺兰山，构造主体除贺兰山外，还有北起河套边缘，南至甘肃平凉一带南北向分布的基底断裂及隆起（古脊梁）。脊柱西侧为阿宁盾地，东侧为伊陕盾地。祁吕西翼褶皱带断裂突出，冲断层和逆掩断层至今活动甚剧，受河西系叠加，形成北北西向平行斜列的若干槽地（或盆地），构成了歹字型构造形式，如循化、贵德槽地、西宁乐都槽地、门源大通槽地等，这些槽地大多位于黄土高原西部边界地带，该山字型前弧主轴位于陇西—天水—宝鸡—宜川一线，前弧西翼受陇西旋卷体系改造，形成复杂的丘陵山地，前弧东翼外缘形成弧形陷落带，为中生代与新生代两期构造复合而成，前者如静乐盆地，后者如汾渭盆地，这种陷落形式显示出与新华夏系有关，在山西中部形成一系列的多字型体系，在这些多字型槽地中，新生代以来的陷落幅度自北而南逐渐增大，如大同盆地约1000m，太原盆地3000m，运城盆地5000m，关中盆地6000—7000m。这些槽地受新华夏系构造控制为北东或北北东向形成的山西多字型构造体系与祁吕西翼褶皱带的歹字型构造遥相对应。但山字型东翼以断裂为

主，褶皱减弱，山势仍较陡峻．山字型脊柱是在古经向构造带基础上发展而成．贺兰山仅为脊柱的一部分，隆起幅度较大，形成侵蚀剥蚀中山，贺兰山东侧受新华夏系影响，以北北东向伸展的阶梯式断裂下陷，堆积了1600m以上的新生界松散沉积物，造成今日之银川平原．南段受陇西旋卷体系强烈改造，形成侵蚀中低山，并被黄土覆盖．"马蹄形盾地"被发展不同、稳定性不同、构造形式不同的两个体系所占据，阿宁盾地南部的陇西带状构造波及范围除贺兰褶皱带南段外，主要在贺兰—六盘山以西的广大地区．该旋卷体系在中生代以前一直处于上升阶段，形成低缓的丘陵山地，除黄土外，堆积物很少．伊陕盾地为新华夏系第三沉降带所复合，自中生代起稳定下沉，堆积了数千米的陆相碎屑物，构成南北长，东西短的向斜盆地，构造上称之为鄂尔多斯向斜（西部拗陷），由于新生带的缓慢上升，在当今地貌上则形成为高原即鄂尔多斯高原，其表面多为黄土风积砂覆盖，形成黄土丘陵和风沙地貌景观（图3）．从毛乌素沙漠起，北部中生代基底逐渐抬升，形成剥蚀丘陵．东胜一带中生界隆起较剧，称为东胜梁，并通过梁前的大断裂与河套盆地毗邻．鄂尔多斯盆地南端基底渐高，下古生界出露，形成关中盆地之北山，并通过北山山前大断裂与关中盆地接壤．关中盆地内，新生代沉积物巨厚，为一良好的储水盆地．

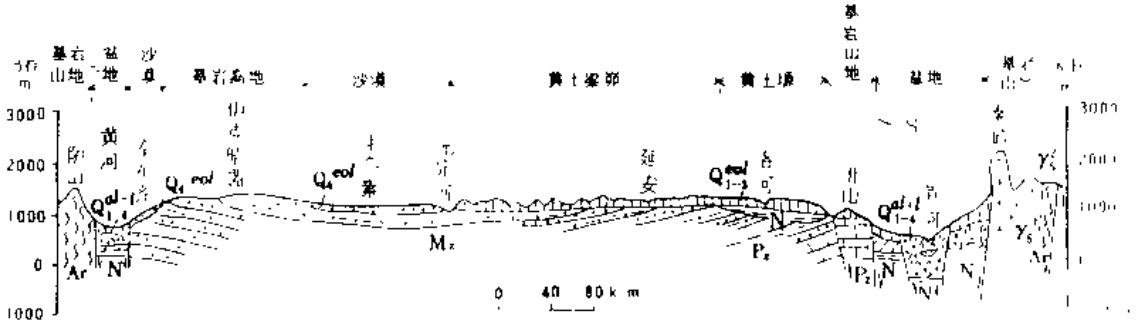

图3 阴山—秦岭地貌剖面图

引自陕西二水编著的《黄河中游区域工程地质》

新华夏构造体系对黄土高原东部地区的地貌及水文地质条件具有明显的控制作用，它以大幅度沉降和隆起有力地改造和归并了其它构造体系，湮没了其它体系的形迹，以石家庄—安阳大断裂为界，西为太行新华夏隆起带，并与吕梁褶带交接，形成较陡峻的中山，其间有一系列的盆地生成，诸如怀来、大同、忻州、太原、临汾、运城、关中、三门峡等，这些盆地完全受新华夏构造体系控制并组成祁吕贺山字型东翼反射弧褶带，成为今日之地貌景观．

1.3.2 地层

前古生界为变质较深的片麻岩、混合岩等，主要分布在吕梁、中条山等地，其中上元古界碳酸盐岩较多，变质程度亦低，为灰岩或结晶灰岩，间有碎屑岩及冰碛砾岩．

下古生界各山地皆有分布，岩性差别较大，太行、吕梁山地区以及鄂尔多斯南缘主要为浅海相碳酸盐岩及碎屑岩，为岩溶泉水的生成创造了有利条件．阴山地区为浅变质的碎屑岩夹中、基性火山岩、石灰岩．秦岭、祁连山地带多为浅变质的碎屑岩夹火山岩．

上古生界在太行山、吕梁山及秦岭南端为海陆交互相的碎屑岩夹碳酸盐岩．祁连山区为海陆交互相沉积，碳酸盐岩较少．区内石炭至二叠系煤层发育，著名的沁水煤田、河北煤田、准格尔煤田都在石炭—二叠纪形成．

中生代沉积差异甚大，三叠系在秦岭山区为浅海相沉积，以碎屑岩为主，下部夹碳酸盐岩。贺兰山以东为红色碎屑岩沉积，胶结不甚坚硬，鄂尔多斯盆地发育最好。侏罗系在秦岭及邻连山区为盆地型沉积，为含煤碎屑岩，分布有限，贺兰山—六盘山以东分布较广，尤其鄂尔多斯盆地最为发育，含煤层、油页岩及石油、石膏等，以煤为主，形成了举世瞩目的神府、东胜大煤田；吕梁、太行山地区也有沉积，特别是吕梁山北段，大同煤田即为侏罗系的煤盆地。白垩系分布甚广，从山西北部经鄂尔多斯高原到内蒙、宁夏一带，多为陆相红色盆地沉积，以泥岩、砾岩、砂岩为主，山区小盆地夹火山岩系，厚达1000m。

新生界第三系为陆相湖盆沉积，主要分布在山前大型断陷盆地、山间盆地、鄂尔多斯向斜盆地和六盘山以西的黄土高原地区。一般厚百余米至千余米，唯陇西及东部太原、伊洛沁盆地，达2000至3000m，而汾渭盆地竟达6000m左右。第三系多在干旱气候条件下形成，所以岩层多呈红色，以泥岩为主，砂岩、砂砾岩为次，并含石膏和油页岩。局部地能有洪积和冲洪积分布，一般固结程度不高。在一些山间小盆地及陕北沟谷中和陇县至甘城一带的渭北北山两侧为红土堆积，富含三趾马化石，俗称三趾马红土层，属于河湖相沉积，岩性为红色砂质粘土、粘土及钙质结核层，可见厚度一般小于50m。

贵德、同仁盆地，第三系属于淡水湖相沉积，岩性为桔黄色及灰色砾岩、砂砾岩、砂岩、泥岩互层，厚240—1130m（地质矿产部地质科学院水文地质工程地质研究所1986年通过《陕西省渭南阎村剖面第四纪下限研究》，提出三门系下部的"绿三门段"应归入第三系上新统，揭露厚度150m）。

第三系含水微弱或因水质苦咸而多不宜饮用，仅在宝鸡、兰田、贵德等局部地段的砂砾岩中水量稍丰富，水质好，可供城镇用水。

第四系分布广泛，成因复杂，主要有冲积、湖积、冰碛、洪积、风成等沉积物，全区范围内，以黄土分布最广。

黄河中游是我国黄土的主要分布地区，形成著名的黄土高原，包括甘肃省的中部及东部，宁夏南部，陕西省的关中及陕北，山西及河南的西部地区。这一带黄土连续分布，覆盖在不同高度的中山、低山、丘陵和断陷盆地的台塬与高阶地区。在长城之南，秦岭以北的辽阔地带，整个黄土分布区，总面积约27万km^2，厚度在100—300m左右，不论在塬区或梁峁地区，黄土沉积在厚度上或岩性上都有一定的规律性。除下更新统黄土厚度变化较大外，中、上更新统黄土在厚度上、岩性上都比较稳定。

六盘山是黄土形成过程中的古气候分界线。六盘山以西黄土分布高程2000—2400m，六盘山以东黄土分布高程在1200—1800m，盆地区最低高程在400m左右。六盘山以西，由于古气候干燥，成土作用较浅，黄土色淡，胶结疏松，黄土的古土壤色调浅或不清，无大的碳酸钙结核，哺乳类化石少。六盘山以东的黄土色略深，胶结较好，古土壤清楚，多钙质结核，甚至成层，哺乳类化石多。

下更新统黄土（Q_1）：在六盘山以东为淡肉红色石质黄土。渭河谷地西缘的宝鸡带，为淡肉红色石质黄土与砂砾石交互成层。渭河谷地中部的台塬区，石质黄土之下为砂砾石与亚粘土互层的洪积、冲湖积相。渭河谷地东部，在石质黄土之下，为厚层黄褐色砂层、砂砾石层及砂质粘土层组成的河湖相沉积。在西峰、洛川、白水、黄陵及富县等黄土塬区，淡肉红色石质黄土之下，一般都有砂砾石层或砂层。塬区的淡肉红色石质黄土中，

上部有 17—18 层间距较近的密集钙质结核层，结核层单层厚度不超过 1m，梁峁地区的淡肉红色石质黄土之下，一般无砂砾石层及密集的钙质结核层。六盘山以东本统黄土最大厚度约 70m。

六盘山以西下更新统黄土底部有 50 多米厚的砾岩层（兰州五泉砾岩），在高出黄河水面 300m 的甘肃夷平面上，黄土之下有厚约 6m 的砂砾石层（兰州九州台），黄土胶结较硬，色灰褐。六盘山以西本统黄土，最厚者达 100m 左右（兰州九州台）。

中更新统黄土（Q_2）：沉积的厚度较稳定，在六盘山以东的黄土厚 50—70m，其最大特点是夹红褐色古土壤 7—8 层。西峰、洛川及渭北一带，黄土下部含有 1—3 层粉细砂层，含水。上部黄土古土壤在塬边常呈倾斜状，与下部黄土中古土壤斜交，在黄土塬内部二者平行。一般在古土壤底部，都有钙质结核层，靠近秦岭的蓝田、长安及宝鸡等地的古土壤底部的钙质结核层厚，联结成钙板。黄土高原中部地区的古土壤底部的结核层，未联成钙板，北部梁峁区古土壤底部的钙质结核呈个体层状分布。

六盘山以西为淡灰黄色黄土，疏松，古土壤色调浅淡（会宁、靖远一带），兰州黄土中无钙质结核，最大厚度为 170m 左右（兰州九州台）。

上更新统黄土（Q_3）：淡灰黄色、疏松。六盘山以东黄土中，常夹 1—2 层厚约 0.3m 的灰棕色古土壤，黄土沉积厚度 10～15m，在西部及北部厚度加大，兰州附近厚 30m 左右，在河谷阶地上，黄土下部有冲积砂砾石层。

全新统黄土（Q_4）：分布在塬面及各级阶地的顶面，底部有黑垆土，厚度仅有 2—3m。河谷中一级阶地同期沉积物为黄土状砂质粘土及冲积砂砾石层。

根据古生物、微古生物化石、孢粉分析、古土壤类型、岩石重矿物特征、地层接触关系、古地磁及考古学资料等依据，以古地磁测试资料为主，确定第四纪黄土形成时代，全新世为 0—5 千年；晚更新世早期为 10 万年；中更新世早期为 70—73 万年；早更新世早期形成于 240 万年。

第四系河湖相、冰川相、洪积相等，主要分布于渭河、汾河、洛河、桑干河、滹沱河、涞水河及黄河银川、河套等大小盆地区。更新统底部常有冰碛物沉积，厚度各地不一，数十米至数百米不等。第四系与第三系界面地层，一般以河湖相的"黄三门段"（Q_1）与湖相的"绿三门段"（N_1）为界。自中更新世晚期以来一直到现在，以流水为主，接受冲积物堆积，局部地区有残留湖泊沉积，而在盆地边缘和山麓地带则以洪积相为主。鄂尔多斯高原中毛乌素沙漠地区还广泛分布有萨拉乌苏组，主要为河湖相的淤泥、粉细砂及少量砂砾石沉积。以上各水流相沉积物岩性以砂、砂砾石、砂卵石、亚粘土、亚砂土、淤泥等交互沉积，各断陷盆地沉积厚度千米左右，为区内主要含水地层，蕴藏着丰富的地下水。

第二章　水文地质

2.1　区域水文地质概述

黄土高原地区地域辽阔，地质构造、地貌条件复杂，自然地理差异悬殊，降水分布不均等诸因素都在不同程度控制与影响着区内地下水储存与分布．地质构造和地貌是主导因素，自然地理条件是在前两个因素的基础上起作用．

2.1.1　地下水的储存与分布

地下水储存于不同的含水岩层之中．它的埋藏、分布、径流等都受地质因素的制约，地质构造对地下水的储存、运动起着决定性的作用，不同的地质构造特征，造成不同的储水条件，不同的含水介质，形成不同类型的地下水．如新生代断陷盆地，堆积了巨厚的第四系松散物质，具备了良好的储运条件，蕴藏着丰富的松散岩类孔隙水；褶皱隆起的断块山地是结晶岩裂隙水与岩溶水分布的区域；碎屑岩丘陵与高原含有孔隙裂隙水．外力作用及其塑造的地貌形态对地下水的控制作用也很明显．岩溶水从形成到排泄，在很大程度上依赖于地貌条件；强烈的侵蚀与剥蚀作用破坏了含水层的储水条件，使浅埋的裂隙水具有就地补给就近排泄特点，使广阔分布在梁峁地区的黄土很少含水．

降水是地下水的主要补给源，受降水因素的影响，区内各类型地下水丰沛程度均与降水分布规律一致．在平原区地表水的补给十分重要，往往在总补给量中占有很大比例，如银川、河套平原尤其如此．河流在不同地段、不同季节排泄或补给地下水．所以地表水对地下水的补给和运移也有一定控制作用．

在上述影响因素的控制下，地下水赋存与分布特征概括以下几点：

1．各类地下水宏观分布特点为，沿区域四周隆起的山脉普遍分布着结晶岩类裂隙水，水量一般较贫，东侧太行山、吕梁山、中条山以及渭北北山分布有丰富的岩溶水，成为山西省主要工农业供水水源；中部广阔的鄂尔多斯向斜盆地，中生代以来堆积了数千米厚的陆相碎屑岩．除东胜一带因抬升较剧，碎屑岩出露地表外，大部被黄土、风沙覆盖．下部分布有碎屑岩类孔隙裂隙水，由于补给循环条件差，水量一般较贫，唯下白垩系自流水盆地区水量相对稍富；镶嵌于经、纬向巨型构造边缘的银川、河套、汾渭、伊洛沁等断陷盆地，赋存有丰富的第四系孔隙水，是区内城市或农业供水的最佳水源地分布区．广大的黄土分布区，普遍分布着黄土水．在西峰、洛川等黄土塬及断陷盆地中的黄土台塬区黄土水水量较富；陇西、陇东、陕北、晋西黄土高原（梁峁）区，因黄土底部岩层裂隙较发育起不到隔水作用，黄土及下伏基岩常构成统一的含水岩体，形成上覆孔隙水与下伏裂隙水双层结构特点的黄土水．由于强烈的剥蚀与侵蚀作用，河谷常切入基岩，破坏了含水岩层的储水条件，水量贫乏，为贫水或缺水区．

2. 具有突出供水意义的地下水，主要为大型储水构造盆地中的孔隙水，其次是东部山地的岩溶水。二者都具有良好的储水构造和补给条件，资源丰富，可供开发利用。大型盆地中孔隙水含水层具有厚度大和多层结构特点，地下水以孔隙潜水—承压水形式赋存于不同成因、不同层位的砂、砂卵石层中。岩溶水赋存于碳酸盐岩裂隙、孔洞中，分布极为不均匀，在一个完整的循环系统中，岩溶水主要富集于径流—排泄区。规模较小的山间盆地，河谷地带的冲洪积层也常赋存较丰富的地下水。

3. 中生代盆地的地下水多以承压水形式赋存于层状砂岩、砂砾岩孔洞裂隙中，一般埋藏较深，循环交替缓慢，水质较为复杂，水头较高，水量不够丰富。部分白垩系自流水具有一定供水价值。

4. 广泛分布的黄土水，水量贫乏，只在特定的地貌部位富集。在塬面较为宽阔的黄土塬区及掌、杖、洞地可赋存少量水质较好的潜水；分布在黄土梁峁地区的黄土微含水。

5. 裂隙水主要以潜水形式赋存于结晶岩裂隙中，分布广泛而不均，水量小，多无供水意义。

2.1.2 地下水的补给和排泄

大气降水是地下水的主要补给来源，区内降水量、降水强度时空分布差别很大，对地下水的补给强弱也不相同。降水通过包气带入渗补给地下水，所以包气带的入渗条件是决定接受补给多寡的重要因素。其次为地表水的侧渗或渗漏补给。在沙漠地区尚有凝结水的微量补给。各含水岩组之间在一定的地质地貌条件下尚有互补作用。地下水在含水层中的运动及排泄，受地质构造及地貌条件的制约，总的运动规律是山区的裂隙水、岩溶水转化为地表水或向平原、盆地运动。地表水进入平原或盆地又补给地下水，这部分地下水在运移途中，被开采和蒸发排泄一部分，另一部分则以泉的形式或地下径流排入河水。

丘陵山区的裂隙水以单一的降水补给。由于地形切割较剧，排泄通畅，大部分裂隙水很快在斜坡谷地呈泉排泄，常汇流成地表水。岩溶水除降水补给外，地表水的补给占一定比重，降水、地表水入渗后，沿岩溶和裂隙溶洞通道循环较深，遇构造有利部位形成大泉或泉群集中排泄，部分以侧向径流或顶托形式补给河水或相邻含水层。一般情况下，补给区地表水补给岩溶水，径流区二者呈互补关系，即地下水和地表水频繁转化，排泄区由地下水以泉形式转化为地表水。

平原区地下水接受多种水源补给，来源丰富，以降水补给为主，并有地表水的渗漏补给、山区裂隙水与岩溶水的径流补给或顶托补给、灌溉水的补给等。不同地区的盆地各项补给量所占比例不同，干旱区的盆地（银川、河套）地表水补给占很大比例。山区的河流及洪水进入盆地首先流经冲洪积扇群地带，此带洪积物颗粒粗孔隙大，储水条件好，地表水出山口后常常大量漏失，以及山区裂隙水或岩溶水的径流补给都首先集中在冲洪积扇群带，因此，山前冲洪积倾斜平原为地下水的补给带。地下水在径流过程中被隔水层分异为潜水和承压水两种类型，潜水流至洪积扇前缘，含水层颗粒变细径流受阻，水位升高，常形成扇前泉群，潜水便以蒸发和泉的形式排泄。承压水则在限定的层位中运动，接受上游潜水和径流区潜水的越流或通过"天窗"补给，以及下部承压水的顶托补给。以径流排泄为主，次为通过上升泉形式及人工开采排泄。黄土高原北部的沙漠滩地地下水以降水补给为

主，并有少量的凝结水补给，除蒸发排泄外，湖积层潜水在低洼的滩地出露地表而排泄，沙漠中的河流常为泉水汇流而成。

黄土中的地下水补给依靠降水，局部有灌溉水回渗。大部分地区地形破碎，有限的入渗量，参与包气带水分循环，形成微量重力水较快地沿黄土梁峁的沟坡泄出。塬和台塬的入渗条件较好，降水和灌溉水入渗后形成较稳定的含水层，并具有较完整的补给、运移、排泄过程。降水入渗补给均匀，黄土潜水由塬心向塬边运动至塬边沟坡以泉的形式排泄。储水条件较好的塬和台塬地下水已被开采利用。

中生代盆地内的孔隙裂隙水以鄂尔多斯盆地白垩系自流水为主，其补给条件，因自流水盆地周边的大型断陷盆地，阻隔了它与山系间的水力联系，限制了承压自流水的外源补给，除六盘山一侧有径流补给外，以区内的大气降水为主要补给来源。由于承压水上部没有统一的隔水顶板，潜水与承压水之间局部地段水力联系密切，大气降水或地表水通过潜水越流或径流补给承压水。自流水的运动，以白于山、东胜梁、子午岭为分水岭，分别向西北部的黄河，东部的无定河及洛河，南部的马莲河排泄。

2.1.3 区域水化学特征

影响区域水化学成分的主要因素是气候、地貌、地质构造及岩性，这些因素彼此联系，互相制约，使地下水化学类型复杂化。

1. 潜水水化学特征

潜水水化学成分受第四纪古气候及近代气候影响，在水平方向上有较明显的分布规律。在广大的基岩山区、山麓洪积扇地带、黄土高原，因地势陡峻，沟谷发育，水力坡度大，径流通畅，水交替积极，水质良好。接受山区淡水补给的山麓洪积扇地区一般水质也好。黄土高原区地形高而破碎，黄土潜水（含下伏基岩裂隙水）具有就地补给就近排泄特点，潜水的地球化学作用以溶滤为主，矿化度小于 1g／l，水化学类型多以重碳酸－硫酸型水为主。

在黄土高原区西北部的宁南地区，苦水河、清水河及祖厉河流域内定西、海原、靖远以北，东侧大致以长城为界的黄土丘陵地区，因处于古湖盆地带，除气候干旱外，第三系红层含盐量高，盐分淋滤溶解而沉淀于松散介质中，故易溶盐含量高为 0.5—0.8%，水化学类型为硫酸盐—氯化物，矿化度大于 3g／l，以咸水为主，为全国著名的苦水区。如同心县 80%以上的河水、地下水都为咸苦水，矿化度一般在 3—10g／l。在华家岭—固原—环县—吴旗之北，易溶盐含量 0.3—0.5%，为重碳酸—硫酸型水，矿化度 1—3g／l，属于微咸水（图 4）。银川、河套（呼、包）、汾渭盆地区，由边缘到盆地中心，从河流上游到下游，地形坡度由大变小，地下水由径流通畅以溶滤作用为主到径流迟缓，浓缩作用加强，水化学类型从重碳酸过渡到氯化物型，矿化度逐渐增高。尤其在古湖盆中心或洼地地区，大陆盐化作用显著，矿化度剧增，水质极差。如银北平原和后套平原咸水带矿化度高达 3—10g／l；陕西蒲城的卤泊滩、大荔的盐池洼矿化度 5—15g／l；山西的永济、运城，矿化度 3—10g／l 或大于 10g／l。

2. 承压水水化学特征

承压水水化学成分主要与地质条件、沉积环境的不同而有差异，大体有以下规律：

(1) 岩层中可溶盐含量愈低，地下水径流条件愈好，水质就好，反之则差。第三系湖盆相沉积，岩层内富含石膏和易溶盐类，地下水水质普遍较差，多为矿化度大于 3g／l 的硫酸—氯化物型水。因此分布在苦水区的地下水，因第三系红层影响潜水与承压水水质均差，如海原盆地中第三系构成复式褶曲，水化学在水平方向上规律性不明显，在垂向变化上有地层愈老深度愈大、水质愈差的正向水化学垂直分带规律，水化学类型多为硫酸盐—氯化物或氯化物—硫酸盐型，矿化度一般为 6—12g／l。

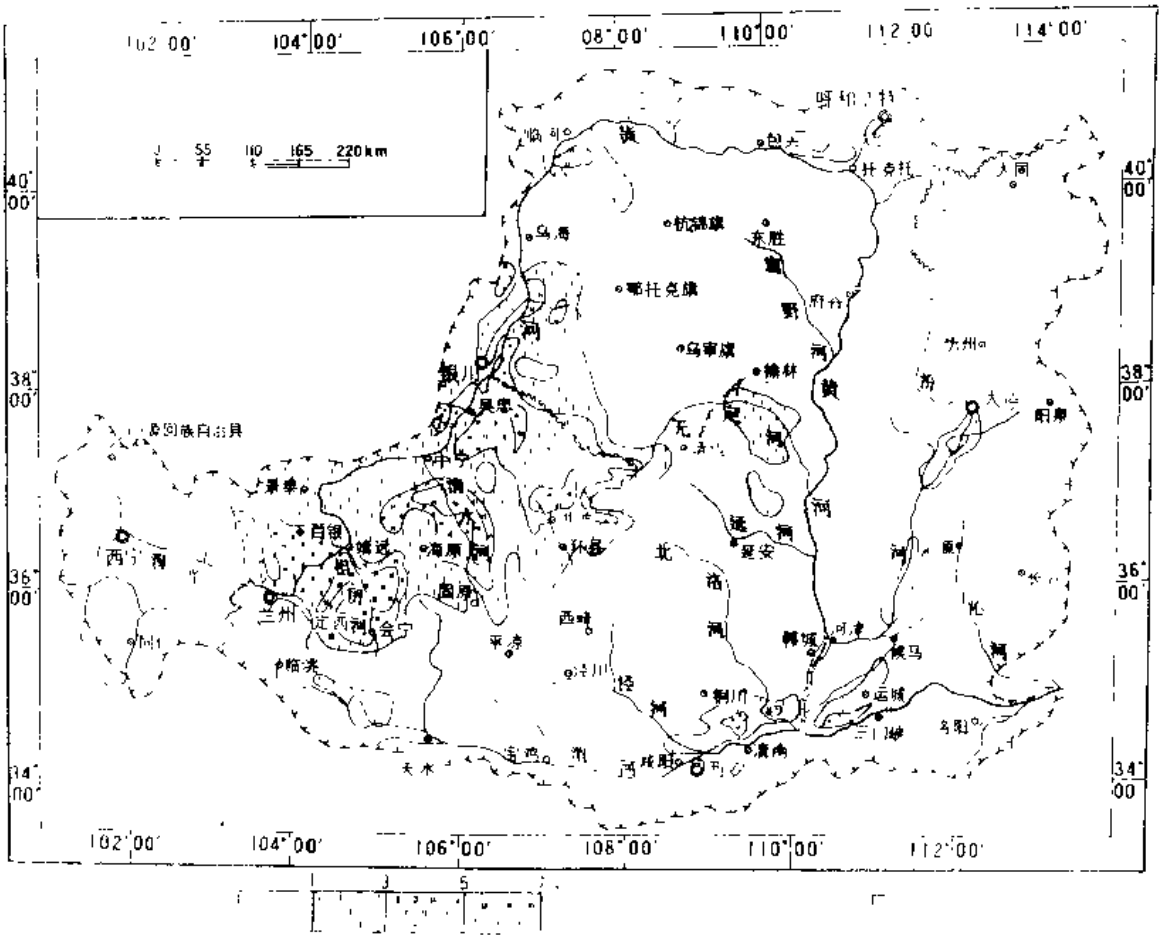

图 4　黄土高原地区潜水矿化度图

1. 矿化度　　2. 矿化度分区界线

(2) 由下三叠纪及其以前的老地层所赋存的地下水，一般为低矿化度（小于 1g／l）重碳酸型水，其中岩溶水水质良好。

(3) 黄河以西延安一带的三叠、侏罗系含煤及石油地层孔隙裂隙不发育，径流不通畅，致使其中赋存的地下水硫化物成分增高，形成硫酸或氯化物型水，矿化度一般 1—3g／l 或高达 3—10g／l。

(4) 鄂尔多斯向斜盆地北部罗汉洞（k_1^5）、泾川（k_1^6）、华池（k_1^3）、环河（k_1^4）组以及东部边缘（黄河以东）的三叠系和中部洛河组砂岩分布区，水交替较积极，水质相对较好，为矿化度小于 1g／l 的淡水，大体分布范围由内蒙的杭锦旗、东胜、鄂托克前旗到陕

西的靖边、长武至甘肃的泾川、平凉一带（图 5）。盐池、定边、吴旗、环县一带，水质不好，基本为苦咸水分布区。

此种承压水水化学分布规律是和盆地发展过程及沉积环境密切相关。下白垩纪初期，整个盆地为统一的整体，东、西、南三面封闭，北部（现在黄河部位）为湖盆的进口，盐池、洪德一带为盆地的沉降中心。华池、环河组沉积期间，白于山一带隆起，将盆地分为南北两个部分。南部形成近封闭的沉积盆地，地层含盐量也随之增高。在湖盆干涸过程中，因无排泄通道，盐分进一步浓缩积聚。盐池、洪德这一沉降中心，至第三系仍接受沉积，成为区内第三纪时期的大型盐湖。白于山以北地区，湖盆存在进口，在盆地抬升湖水干涸过程中则进水口又转为退水口。第三纪早期，受喜山运动的影响湖盆西部沉降，沉积了含盐量高的老第三系地层。因此，由湖盆的发展过程和沉积环境控制着下白垩系乃至第四系的原始含盐量，使盆地地下水水质呈现北好南差的变化规律。最差的地区正好是盐池、洪德沉降中心地带，该地带第四系含盐量高，因而潜水水质也很差。

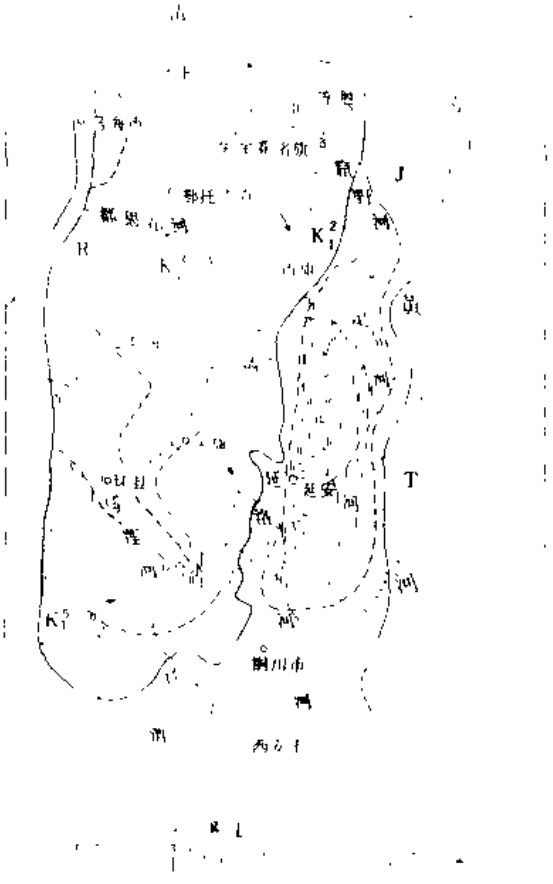

图 5　鄂尔多斯盆地矿化度分布略图

1. 矿化度　2. 矿化度界线

3. 地质界线　4　地下水流向

(5) 汾渭、银川及前套等盆地，第四系承压水受径流条件、气象水文和构造岩性的影响，一般径流通畅，水质好，适宜饮用，在局部湖盆中心水质差。

银川盆地，第四系承压水水质较好，多为小于 0.5g／l 的重碳酸型水。表现为深层水较浅层水水质好的倒置的水化学垂直分布规律。

内蒙后套平原，为长期沉降的封闭式半封闭的大型盆地，地下水垂直分带明显，矿化度随深度的增加逐渐增高，水化学类型也有变化。

总之区内潜水水质比承压水复杂，平原区地下水径流条件比丘陵区（含黄土丘陵）及山地区差，尤其是盆地中心（或古湖中心）径流迟缓，形成高矿化潜水。含水层中易溶盐含量高是导致潜水矿化度增高的内在因素；气候干旱，蒸发强烈，是影响潜水水质变差的外界条件，在内外因素及构造条件的控制下，区内高矿化潜水集中分布于宁南、陇西黄土丘陵区和银北、后套平原。汾渭等断陷盆地大部分潜水为矿化度小于 1g／l 的淡水。广大的丘陵、山地区裂隙或孔隙裂隙潜水，由于径流通畅，水质普遍较好。

第四系孔隙承压水及岩溶水水质多为低矿化淡水；碎屑岩孔隙裂隙承压水水质复杂，鄂尔多斯高原北部水质较好，南部黄土高原区水质较差，多为高矿化水。

潜水和承压水合计，小于 1g／l 的淡水资源占全区地下水天然资源的 86%，纳入评价的高矿化水数量很少。

2.2 地下水类型及其特征

根据不同的岩类及含水层空隙性质，将黄土高原地区地下水分为松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类岩溶水、碎屑岩类孔隙裂隙水和结晶岩类裂隙水四种类型。

2.2.1 松散岩类孔隙水

第四系松散岩类孔隙水包括冲积、洪积、湖积层孔隙水与黄土水。

1. 冲洪积层孔隙水

孔隙水主要分布在各大型断陷盆地，新生代以来盆地大幅度沉降，堆积了厚达数百至千余米的第四系松散岩类，为地下水的形成提供了储存空间，水量丰富。

(1) 银川盆地（银川平原）

银川盆地属于黄土高原地区大型储水盆地之一。新生代堆积物厚度达 5000—7000m，其中第四纪堆积物厚逾千米。第四系上更新统系一套以冲洪积为主的多层含水系统，从贺兰山东麓及青铜峡口向盆地中心，含水层岩性由粗变细，层次逐渐增多，即由单一的砾卵石潜水带过渡为砂与粘性土多层结构的潜水—承压水带。

山前洪积扇群潜水带：位于贺兰山东麓，南起花布山，北至落石滩，傍山绵延达 140km，最宽处不足 10km，面积达 753km^2。由大小不一，坡降不同的一系列洪积扇群组成，地下水主要为单一潜水。含水层岩性中段颗粒粗大，为块石、碎石、砾石外，南北两段均为砂砾石及砂层，厚度一般大于 40m，富水性较强，单井出水量 1000—5000m^3／d，水位埋深 5—40m，水质除大武口洪积扇因煤层和第三系的影响，矿化度为 1—2g／l 的硫酸盐水外，其余均为小于 1g／l 的重碳酸钙镁型或重碳酸镁钠型水。

潜水主要以降水入渗及山区地下径流补给为主。因含水层厚大有良好的调蓄空间，目前尚未大量开发，作为厂矿企业供水，具有一定开发前景。

潜水—承压水带：沿洪积扇前缘呈南北向带状分布，面积达 1236km^2。该地段地形坡度平缓，第四系厚达 600m 以上，具潜水、承压水双层含水系统。

潜水含水层岩性，西侧为砂砾石、中粗砂，向东大部为细砂、粉细砂，层厚 20—60m，水位埋深一般为 1—2m，西侧深达 12m，单井出水量 100—1000m^3／d，河东地区由西北向东南减弱，河西地区由西南向东北减弱。潜水矿化度较高，盆地中心部位多为 3—5g／l，局部近 10g／l，周围 1—3g／l，很少被利用。潜水以引黄渠系，田间渗漏为主要补给，占总补给量的 89%，降水及山区侧向补给为次。通过侧向径流和排水沟排入黄河的水占总排泄量的 58%，蒸发占 36%，余为开采排泄。因该层地下水运动缓慢，受蒸发浓缩作用影响，西大滩至燕窝池一带水位高，蒸发强，土壤和潜水中盐分聚集，产生大面积盐渍地。

承压水在潜水之下，150m 深度内一般有二个承压水层（图 6），由全新统、上更新统组成，岩性以中细砂为主，近山地边缘颗粒变粗，为砂砾石或砾质砂。单层厚度 10—50m，累计厚度 40—100m，盆地中心最厚，且由北向南有增厚的趋势，富水性则由南向

北，由西向东变弱．富水地段单井出水量可达 1000—5000m³／d；弱富水地段单井出水量

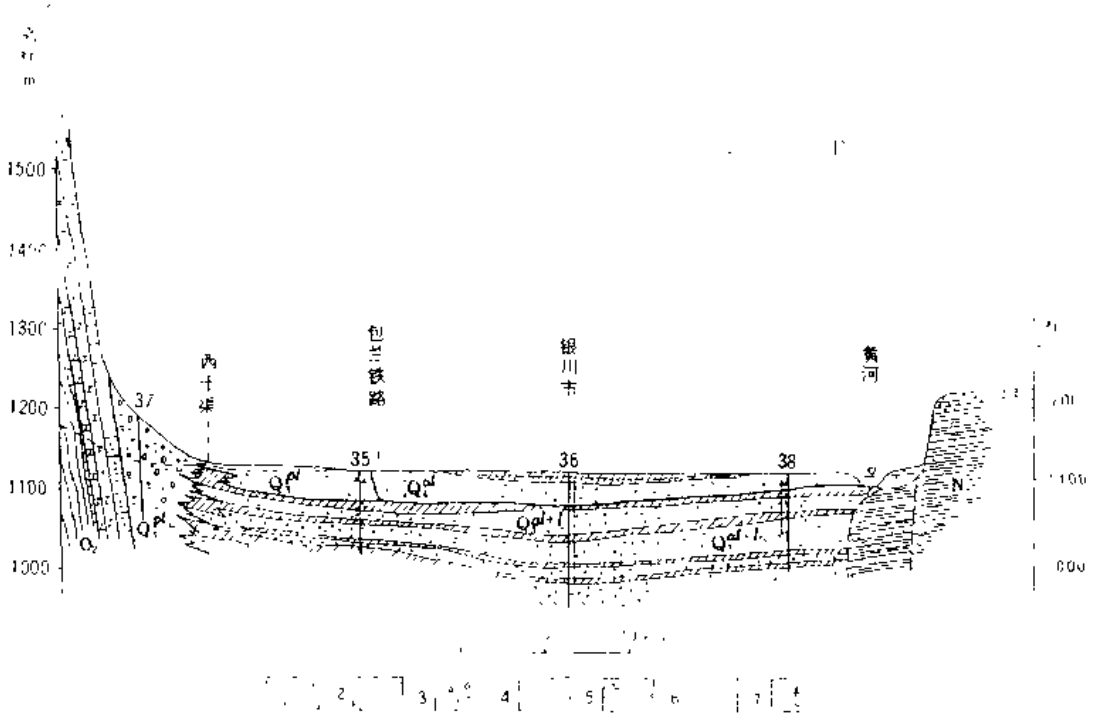

图 6　银川平原水文地质剖面图

1. 细砂　2. 砂质粘土　3. 砂砾石　4. 砂岩　5. 砂质页岩　6. 潜水位　7. 承压水位

渐减为 100—1000m³／d．从盆地边缘向中心承压水顶板埋深增加，由 30m 增至 60m，水位埋深一般小于 5m，水质好，一般为淡水，且随深度增加矿化度减弱（表 2），在新市区及以北地区广泛分布矿化度小于 1g／l 的重碳酸型水，此承压水层为城市及工业供水的主要开采层．

银川平原潜水与承压水水质对比表　　表 2

位置	上下层序	含水层岩性	地下水类型	水化学类型	矿化度(g／l)
平罗县中学	1	第四系粉细砂	潜　水	C.S—N.M	9.3
	2	第四系粉细砂	承压水	C.H—N.M	1.3
	3	第四系细粉砂	承压水	H.C—N.M	0.86
银川市芦花台	1	第四系细砂	潜　水	H.S—N.M	0.51
	2	第四系粉细砂	承压水	H.S—M.C	0.29
	3	第四系细砂	承压水	H.S—M.C	0.26
	4	第四系粉细砂	承压水	H.S—M.C	0.24
	5	第四系细砂	自流水	H.S—N.M	0.22

承压水的补给依赖于裂隙水和山前潜水带的水平渗流，主要排泄方式为开采，次为顶托补给潜水，因大量开采已形成开采漏斗，但在下降的同时又可导致潜水的越流下渗而增加补给，承压水与潜水之间，西部有水力联系，向东迅速减弱．

(2) 河套盆地

河套盆地一般称为河套平原，位于阴山山地以南，鄂尔多斯高原以北，西起乌兰布和

沙漠，东至蛮汉山，系阴山山前断陷带形成的一个封闭型盆地，受后期地壳运动和断裂的影响，盆地分成三个部分，由东向西为呼包（前套）、三湖河及后套盆地，整个河套盆地面积2万余平方公里。第四纪以来沉积了巨厚的湖积、冲湖积、冲积和冲洪积层，厚逾千米。在中更新统上部有一层厚40—70m的淤泥质土层，分布较为稳定，构成相对隔水层，将盆地地下水分成浅层水（潜水与浅层承压水）、深层水两个含水系统（图7）。

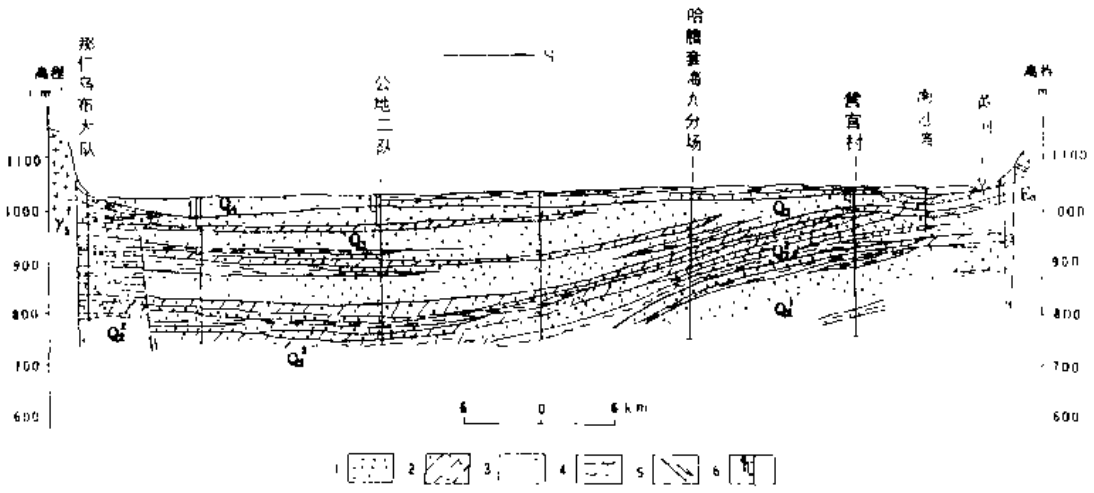

图7　河套平原西部水文地质剖面

1. 粉细砂及中细砂　2. 粘质砂土　3. 粘土　4. 淤泥质粘土　5. 断层　6. 试验段

浅层地下水：赋存于全新统、上更新统之冲积、洪积和冲湖积层中，含水层岩性为砂、砂砾石、砂卵石，全新统上部以粘性土为主，夹薄层粉砂，水量小，无供水意义，下部为砂层与上更新统含水层水力联系密切，构成统一的潜水—承压水多层含水系统，统称浅层水，在山前地带多以潜水为主，向盆地中部逐渐过渡为承压水和自流水，这种变化以呼包平原最为典型。山前洪积平原部位，含水层厚度变化大，为20—100m不等，向盆地中心增厚。山前洪积层粘性土少而薄，含水层富水性较好，单井出水量1000—5000m^3／d，盆地内部广大的冲积平原区渐差，单井出水量为100—1000m^3／d，显示出从山前向黄河富水性渐差的规律。但在达拉特旗地区由于下伏中更新统翘起，含水层由山前向盆地明显增厚，富水程度随之增强。潜水埋深由山前向盆地内渐浅，由大于20m，10—20m，渐变为小于5m，盆地中部多为1—3m。由于浅层水具有含水层分布稳定，厚度大，埋藏浅，水量大，水质好，成为河套平原主要供水目的层。

深层承压水：含水层由中更新统湖积砂组成，中更新统顶部为厚层淤泥，分布稳定，厚度大，为区域稳定隔水层，因而形成承压水和自流水。含水层埋藏深度不一，自东向西加深。如前套盆地含水层顶板埋深30—170m；三湖河盆地50—170m；后套盆地100—210m。含水层受基底构造控制，与古地形有关，山前洪积平原和前套盆地厚度为20—60m，局部大于100m；冲积平原地带厚仅10—20m，一般单井出水量在100—1000m^3／d之间，承压水位除在近山前地带为5—40m深外，其余地区均高于地表，一般具有5—10m的正水头。

河套平原地下水的补给有降水入渗和山区洪水及沟谷潜流，基岩区裂隙水的侧向径流

通过导水断裂进入盆地，黄河仅在洪水期对岸边潜水有补给作用，而引黄灌溉水对潜水的补给作用非常明显，每年的夏灌期随之水位达到高峰，变幅可达 1—2m，潜水依靠蒸发和溢出地面排泄，局部地段补给黄河，承压水通过顶托补给潜水和通过断裂带补给潜水。

河套平原地下水水质较复杂，广泛分布的浅层水水质良好，为矿化度小于 1g／l 的重碳酸钙镁或钙钠型水。但在杭锦后旗一五源一线以北的扇前洼地及达拉特旗以东、哈素海以西的范围，潜水矿化度较高，常达 5—10g／l，个别地点大于 10g／l，水化学类型也从重碳酸—氯化物型转为硫酸—氯化物型，甚至为氯化钠型。一般情况下，山前洪积平原透水性强，坡度大，水质好，具溶滤水特征，矿化度小于 1g／l，并以重碳酸型为主，前缘洼地则变为矿化度 1—3g／l 的氯化物—硫酸型水，甚至出现矿化度 5—10g／l 的氯化钠型水。平原中部地带不仅水平交替条件差，还因潜水埋深小而蒸发作用强烈，又受深部高矿化水影响使矿化度增至 10g／l 以上，在后套盆地地区形成较广泛的土壤盐渍化，矿化度随深度增加而增高（表 3）。

后套平原水化学垂向特征表　　表 3

取样深度（米）	1.28	7.65	8.35	81.86	315
含水层时代	Q_4	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1
矿化度(g／l)	2.46	4.46	8.57	23.39	44.3
水化学类型	C.H—N.M	C.S—N.M	C.S—N.M	C.S—N	C—N

此表引自"内蒙古巴彦淖尔盟河套平原盐渍土改良及农田供水水文地质勘察报告"

(3) 关中盆地

关中盆地系秦岭、北山间一个新生代断陷盆地。渭河横贯其间，地势西高东低，盆地东宽西窄，西起宝鸡，东到黄河，面积约 1.9 万 km^2，盆地内地下水资源丰富。

潜水：盆地内第四系厚度近千米，构成地下水良好的储运条件。由于地势低平，雨量适中，含水层（Q_{3+4}）分布广泛，地下水补给充沛，资源丰富，水质大部分良好。其中以渭河漫滩、低阶地及秦岭山前洪积扇地区含水层厚，颗粒粗（图 8），补给条件优越，富水性强，单井出水量大于 1000m^3／d，傍河开采出水量可达 2000—5000m^3／d，多为城市供水水源地。

地势相对较高的北山山前洪积扇、黄土台塬及渭河高阶地，切割较深的河流往往排泄地下水，接受降水的补给条件较差，富水程度减弱，单井出水量 100—800m^3／d。

阶地区的含水层岩性为冲积砂、砂砾石层，厚 10—80m；秦岭及北山洪积扇为洪积漂石、砂砾石，厚度 30—50m；黄土台塬含水层为黄土及古土壤，一般厚 50—60m，其下冲洪积、冲湖积砂、砂砾石层广泛分布于整个关中盆地，赋存孔隙承压水。

潜水补给来源充沛，其中以降水入渗为主。潜水位埋藏较浅，一般小于 20m，扇前及低阶地 5—10m，黄土台塬区 10—80m。水质较好，多为矿化度小于 1g／l 的淡水。泾河以东、渭河以北地段水质复杂，从山前沿地下水流向，水平分带明显，矿化度由北山山前小于 1g／l，过渡到扇前洼地的 1—3g／l，至塬面洼地矿化度增至 3—5g／l，甚至达到 5—15g／l，水化学类型由重碳酸钠型变为硫酸氯化物型或氯化物硫酸型（表 4），在大荔一带导致大面积土壤盐渍化，至渭河一级阶地前缘和河漫滩区，受河水周期性补给稀释作用，又形成淡水，矿化度降至 0.5—1.5g／l。此外，渭河北岸泾河以西的黄土塬区，由

于长期引用地表水灌溉，导致潜水位上升，盐分聚集，甚至形成渍水灾害。

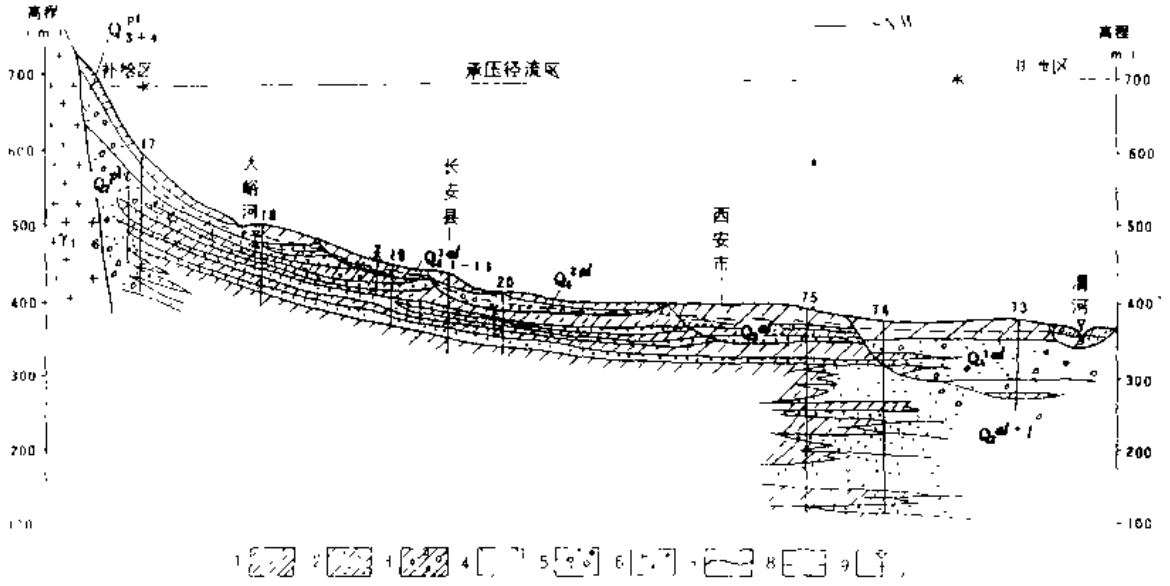

图 8　秦岭至渭河水文地质剖面示意图

1. 砂质粘土　2. 粘质砂土　3. 砂质粘土夹砾石　4. 砂　5. 砂卵石
6. 花岗岩　7. 地质界线　8. 潜水位　9. 承压水位

承压水：广泛分布于盆地内各地貌单元潜水层之下，含水层由第四系中、下更新统洪积、冲洪积、冲湖积砂及砂砾石层组成，宝鸡、蓝田一带含水层为第三系砂、砂砾卵石层。

关中盆地潜水水质水平变化一览表　　表 4

地貌部位		主要水化学作用	水化学类型	矿化度 (g/l)
山前洪积扇		溶滤作用	H—N	<1
黄土台塬	黄土塬		H.S—N.M S.H.C—N	1—3
	塬面洼地	蒸发浓缩作用	S.H—N S.C—N.M	3—5
	卤泊滩		C.S—N.M	5—15
冲积平原	泾、洛河冲积扇及渭河一阶地		S.C—N.M	3—10
	渭河一阶地前缘及漫滩	混合作用	H.S—N.C	0.5—1.5

承压水的主要补给区在山前地带，此带潜水接受大气降水、河水大量渗漏补给后，随着大厚层潜水逐渐分异为多层承压含水组，潜水便部分转化为承压水。含水层顶板埋深 60—110m 不等，渭河冲积平原中部及秦岭山前洪积扇地带含水层厚度大，属强富水，单井涌水量 1000—5000m^3/d。二、三级阶地及泾河以西局部黄土台塬的承压水富水性较差，单井涌水量为 200—600m^3/d，属中等富水。潼关塬及北山山前地带最差。承压水位埋深一般为 5—30m，黄土台塬区水位埋深为 40—100m。水质一般较好，绝大部分地区为矿化度小于 1g/l 的重碳酸型水，仅在渭河北岸漆水河以东区水质复杂。在蒲城、大荔

古湖盆范围内，地层中含盐量较高，局部含石膏芒硝，地下水矿化度大于 3g／l（图 9），水化学类型为氯化物硫酸钠型。

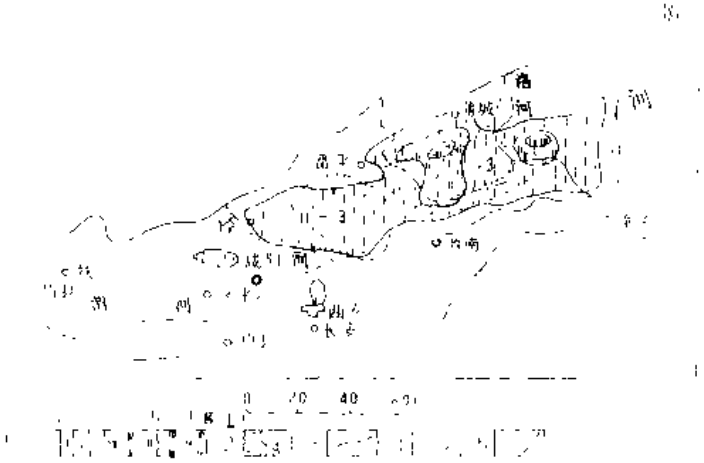

图 9　关中盆地地下水矿化度图

1. 潜水矿化度　2. 承压水矿化度　3. 盆地界线　4. 潜水矿化度界线　5. 承压水高氟地段(F＞2mg／l)

就整个关中盆地而言，潜水与承压水之间无稳定区域性隔水层，浅层承压水的补、径、排条件与潜水基本一致。无论大气降水、河水、渠系、田间入渗一般都会通过潜水而间接补给承压水，通过潜水的越流下渗方能达到承压含水层。补给条件差于潜水。深层承压水，含水层埋藏于 200m 之下，主要由地下径流补给，循环迟缓。

(4) 汾河盆地

汾河断陷盆地被次一级构造进一步分割成太原盆地、临汾盆地和运城盆地三部分，三者沉降与堆积的幅度不一，太原盆地新生界厚度为 3000m 左右，运城盆地 5000m，临汾盆地最浅，不超过 2000m。各盆地含水层厚度、富水性各不相同，总体情况是：临汾盆地面积最小（4200km^2），水量最富。太原盆地次之，运城盆地面积最大（6754km^2），水量最小，水质最差。各盆地具有相对独立的补、排系统，仅太原盆地地下水通过下部碳酸盐岩进入临汾盆地。

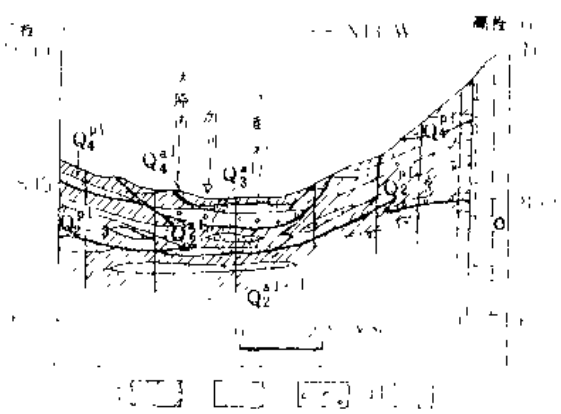

图 10　太原汾河河谷水文地质剖面图

1. 砂质粘土　2. 中砂　3. 砂砾石　4. 灰岩

汾河盆地第四系孔隙水分为浅层水（含潜水及浅部承压水）和深层水两类。

浅层水分布广泛，赋存于全新统、上更新统含水层中（图 10）。各盆地洪积扇、洪积倾斜平原、冲积平原以及台塬区均有分布。含水层以砂及砂卵石组成，厚 10—35m，水位埋深一般为 5—50m。太原盆地单井涌水量一般为 1000—5000m^3／d，属于强富水；临汾盆地洪积扇前缘泉水大量流出，水量丰富，冲积平原单井涌水量 1000—5000m^3／d；运城盆地中黄河阶地单井涌水量大于 1000m^3／d，涑水河一、二级阶地则小

于 1000m³／d，属中等富水区．由于过量开采，已形成区域漏斗．

深层水埋藏于中、下更新统冲、湖积含水层中，组成盆地内第二、三承压含水岩组．由于埋藏深，颗粒较细，水量不丰富．太原盆地下更新统埋深达 180—350m，顶板埋深 32—135m，单井涌水量小于 500m³／d，在古洪积扇、古河道及导水断裂带附近，水量常大于 1000m³／d；临汾盆地深层水埋藏于 40—200m 间，水位高出地面，单井涌水量为 100—500m³／d；运城盆地因沉降幅度大，含水层埋藏较深，峨嵋塬含水层埋深 50—300m，为中细砂，厚 10—60m，水量多大于 1000m³／d，少部分为 100—1000m³／d．

汾河盆地地下水以降水入渗、地表水渗漏和山区侧向径流补给为主，尤以山区岩溶水径流补给占重要地位．太原盆地地下水大部分消耗于人工开采，其余进入临汾盆地．临汾与运城盆地被紫金山隆起所隔，切断了水力联系．临汾盆地孔隙水排入汾河河谷，运城盆地孔隙水通过涑水河谷流入黄河．

盆地浅层水水质具有一定的分带性，从山前洪积扇到冲积平原中心，随着补给条件，径流条件的变化，由山前的重碳酸镁型水转化为重碳酸硫酸钙镁型水，至冲积平原中心变为硫酸氯化物钙镁型或镁钠型水，矿化度由小于 0.5g／l 逐渐增至 0.5—1g／l、1—3g／l，甚至大于 3g／l．中深层水受外界影响较小，矿化度 1—3g／l，总的看来水质优于浅层水．另在运城盐池一带，有卤水分布，系古湖泊退缩形成．

此外，大同、忻州、卫宁、西宁、伊洛沁等盆地也蕴藏着较丰富的第四系孔隙水，可供开发利用．

(5) 库布其和毛乌素沙漠

分布于鄂尔多斯高原，白于山以北，包括黄河以南的库布其沙漠及长城沿线以北的毛乌素沙漠．库布其沙漠以全新统风积砂为主，沙丘潜水主要赋存于沙丘间洼地中，含水层岩性以中细砂、粉细砂为主，厚度变化大，一般为 1—30m，水位埋深 0.5—3.5m，在沙丘边坡或湖盆边缘常有泉水溢出．沙丘潜水以降水补给为主，因区内降水小于 400mm，补给有限，单位涌水量仅 12—37m³／d、m．

毛乌素沙漠以红碱淖等湖泊周围的沙漠滩地冲湖积孔隙潜水为主，含水层为上更新统冲湖积相粉细砂、亚砂土（萨拉乌苏组）．由于基底起伏和古河道的变迁，致使含水层厚度及岩性变化较大．

地表平坦基底凹陷的沙漠滩地，汇水条件良好，含水层厚大，一般在 30—120m，水位埋深小于 3m．在海流兔河与榆溪河之间局部洼地，含水层下部上新统（N_2）红色泥岩，透水性弱，起到隔水作用，构成良好的储水条件．当抽降 2.8—5.7m 时，单井涌水量可达 432—1780m³／d，其余地区单井涌水量多在 100—500m³／d．榆林至神木一带，沙漠与黄土梁峁交界处的沟脑部位，常有大泉分布，流量多大于 50 l／s，出流于萨拉乌苏组．潜水以大气降水补给为主，并有少量凝结水的补给．以蒸发为主要排泄方式，沙漠潜水往往先排泄于丘间洼地，形成积水湖泊，之后通过水面蒸发排泄潜水；或以泉汇流成河排向下游．

2. 黄土水

黄土广泛分布于吕梁山西麓至陇西盆地西缘，长城之南，秦岭以北的辽阔地带，厚度一般 100 至 300m，总面积约 27 万 km²．因区域古构造及近代地质构造活动的差异，形成不同形态的黄土地貌．北部的黄土塬及黄土梁峁统称黄土高原，南部的黄土台塬属于汾

渭断陷盆地（含伊洛沁等盆地）中台塬部分。黄土地层中普遍赋存黄土水，其分布特征，主要受气候、地貌、岩性、古地理和堆积环境等因素所制约。由于地貌上和地质结构上的显著不同，形成了地下水在补排、赋存规律上明显差异的两个独立的地下水系统，即黄土高原型地下水系统和黄土台塬地下水系统。

高原型地下水系统，在梁峁区上部黄土与下伏基岩（主要为碎屑岩，少数为灰岩）二者之间因缺少稳定隔水层，常构成统一的含水体，具有孔隙水及孔隙裂隙水双层叠置结构特点，形成黄土高原特有的黄土水。由于气候干旱，地形破碎，故不利于降水入渗和地下水的储存，潜水位埋藏深达百米左右，富水性极弱，单井出水量一般小于 10m³／d，属贫水或缺水区。位于黄土高原南缘的黄土塬区，因塬面较平坦、宽阔、沟谷切割较弱，有利于降水入渗和地下水的蓄集，因此，黄土塬区地下水较为丰富，含水层为中更新统黄土、古上壤层，地下水赋存于黄土的孔隙、裂隙及孔洞中，隔水底板多为下更新统黄土(钙质结核层)或上新统泥岩。富水程度随塬面大小各异，大塬富水程度强于小塬。如陇东西峰塬(董志塬)面积最大为 828km²，长武、彬县、荔堡塬较小，一般只有几十平方公里。西峰塬单井出水量，塬中心达 1000—1400m³／d，边缘小于 200m³／d；洛川塬面积较大，塬中心单井出水量为 200—800m³／d；长武、荔堡塬塬中心单井出水量仅 100—200m³／d，边缘小于 100m³／d。黄土塬潜水位埋深一般在 30—50m，边缘深达百米左右。

黄土台塬地下水系统，上部为黄土层潜水，下部为冲洪积相承压水，二者间黄土层隔水性差，水力联系较密切。承压水含水层厚度较大，分布广，补给及储水条件较好，水量比上部潜水丰富。

此外，六盘山、白于山两侧黄土梁峁区掌地与杖地（又称涧地），堆积厚约 50—70m 的全新、上更新统黄土状土，含水较丰，为孔隙裂隙潜水，水位埋深一般 20—30m，单井出水量达 100—200m³／d。

降水渗入是全区黄土水的主要补给方式。唯盆地中台塬区黄土水，尚有部分地表水入渗、山区侧向径流和越流顶托补给。地下水的径流方向，主要受地形控制。高原型黄土塬，黄土含水层都被塬周边沟谷切穿，而各自形成独立的"岛"状水循环系统，彼此之间无水力联系（图 11），地下水等水位线呈环状分布，由塬中心向塬边呈放射状渗流（图 12），塬边沟壁常有泉水溢出流向沟谷。台塬区黄土潜水，一般是由山前向盆地中心河谷地带运动，补给阶地区潜水或排入就近河流。

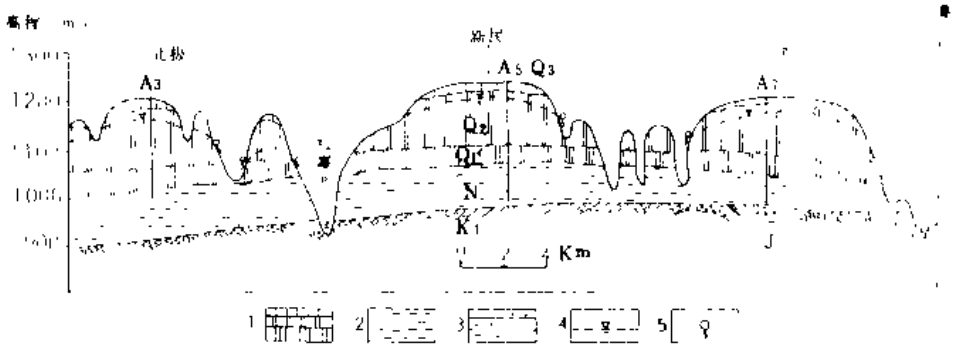

图 11　长武—旬邑黄土塬水文地质剖面图

1. 黄土及黄土状砂质粘土　2. 粘土　3. 砂泥岩　4. 黄土层潜水位　5. 下降泉

关于黄土水形成和包气带水分运移规律的研究，日益重视，近几年来，地科院水文地质工程地质研究所和陕西地质矿产局第一、第二水文地质工程地质队分别在洛川塬（高原型）和礼泉塬（台塬型）区，对包气带水的赋存状态、运移方式、补给机理作了深入探讨。采用挖平洞、挖大口井、定点观测、试坑渗水、同位素氚测定和取样室内分析等试验方法。试验证明，黄土表层的吸渗能力很强，雨季降水绝大部分可在地表无积水状态下直接渗入地下。一般在黄土层内天然含水量较古土壤层小，而黄土的水分运移能力较古土壤大。含水量的最大值出现在黄土层底部，最小值在淀积层内（钙质结核层）。以螺旋式一次又一次地起伏向下增大与地下水位相连接。

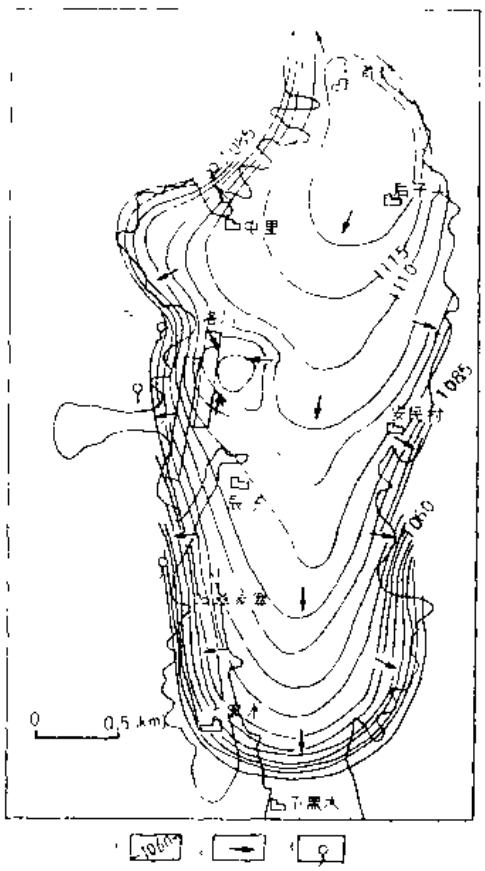

图 12　洛川塬黄土潜水等水位线图

1. 潜水等水位线(m)

2. 潜水流向　3. 黄土泉

高原型洛川塬，在黄土中地下水位以上约50m的包气带，根据水分运移特点，自上而下可分为四带：

一为积极交替带(蒸发带)，土层结构疏松，植物根系发育，吸水能力强。雨后土层湿度迅速增加，几天后又迅速降低，部分蒸发于大气中，部分在重力作用下入渗至蒸发极限深度(约 3.5m)以下，成为地下水的主要补给来源。本带系包气带中水分运移速度最快，上层与大气水分交替活跃积极带。

二为缓慢交替带(重力-毛细水下移带)，由于黄土层上部孔隙、裂隙发育，渗透性能强，雨后湿度明显增加，平均可增加 1—2%左右，为补给黄土水的主要调节带。一般为第五层古土壤(红三条)之上，深度 10—15m。

三为水分传递带(毛细-薄膜水下移带)，本带湿度变化较稳定，一般在 0.5%左右，水分虽未达到包和，但都保持在田间持水量上下(20—23%)，远大于最大分子吸水量(12—16%)，存在大量的毛细-薄膜水及少量重力水，在水的负压作用下，以薄膜水、重力水的形式继续向下传递。

四为毛细水带，位于潜水位以上，其厚度与岩性密切相关。此带黄土层厚约 4m，古土壤层略厚一些(不超过 5m)，湿度变化不大，处于毛细上升与重力作用动平衡中，主要传递上部水分至饱和带补给黄土水，起稳定连续补给作用。

台塬型礼泉塬西庄头村试验场，黄土水埋深 18m 左右，以包气带水分运移测试井为主体，同时还挖了四眼土壤湿度动态观测井，进行各种测试分析。根据包气带中水分分布状况、变化特点、影响因素及其运移特征，划分为三带，即重力、毛细水分积极交替带；薄膜水分缓慢传递带及毛细水分积极渗透带(图 13)。

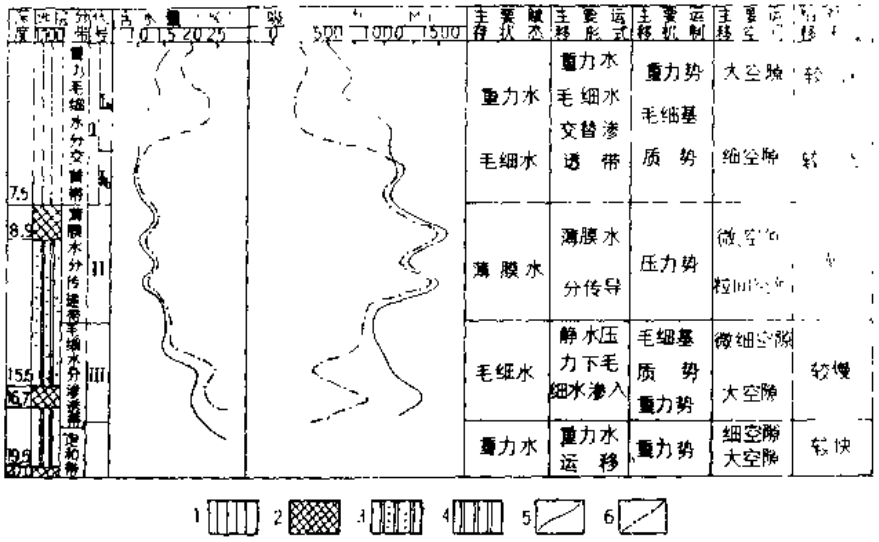

图 13　黄土包气带水份运移分带综合图表

1. 黄土(Q_3)　2. 古土壤　3. 砂黄土　4. 黄土(Q_2^3)　5. 83 年雨期前含水量　6. 84 年含水量

通过对洛川塬黄土潜水补给特征分析认为，由于上更新统黄土(马兰黄土)对入渗水分起到暂时蓄存和调节作用，常出现前次降水入渗水分尚未全部运移到第一层古土壤之下，后次降水前峰已经到达，前一年雨季入渗水分尚未全部运移到潜水面，后一年雨季入渗前峰接踵而来，造成降水对黄土潜水的实际补给基本连续，一般无明显的补给期非补给期之分。由于在黄土包气带各土层势平衡条件下，毛细-薄膜水传递能力基本稳定，形成降水对黄土潜水的实际补给大致均匀，补给量主要受多年降水量影响，与当年降水关系并不密切，反映在黄土潜水位动态变化呈稳定型或缓慢上升型，均无明显的季节变化。降水补给黄土潜水所需时间推算为 1—3 年。黄土塬及台塬区黄土水，对解决农业灌溉和人畜用水都起着重要作用。

2.2.2 碳酸盐岩类岩溶水

岩溶水主要分布于东部的太行山、吕梁山和南部渭北北山地区。以寒武、奥陶系岩溶化程度最高，水量丰富。岩溶水通过石灰岩裂隙获取降水与地表径流的补给，沿沟谷和构造破碎带集中排泄，形成大泉或泉群，一般情况下排泄区和径流区的富水性优于补给区。

山西省的吕梁山、霍山及太行山地区，碳酸盐岩沉积稳定，厚度较大，出露广泛。富水程度取决于地层岩性，奥陶系中统碳酸盐岩含量高，富水性最强，寒武系中统次之，奥陶系下统及寒武系上统因含碎屑岩夹层较多，富水性弱。据山西省地质矿产局第一水文地质工程地质队统计，出自奥陶系中统的大泉 50 个，流量 70.6m^3/s，即 610 万 m^3/d，占泉水总量的 66%；出自寒武系中统的泉点 42 个，泉水总量 29.4m^3/s，占 27%；奥陶系下统及寒武系上统的泉点为 18 个，流量仅 7.8m^3/s，只占总量的 7%。虽然岩性是岩溶发育的基础，但岩溶地下水的富水程度，还受地质构造的制约，在构造有利部位往往形成岩溶水富集带或相对集中排泄带。山西的岩溶大泉，多沿着整个区域构造线分布，如晋

祠、龙子祠、辛安泉……等大泉(图 14、表 5)均属构造泉，流量大，多在 2—9m^3/s．岩溶水

富水性在地域上有东南强西北偏弱之别，与降水补给多少有关．吕梁山西侧灰岩已被黄土覆盖，寒武奥陶系沿山字型褶带分布，延续至陕西韩城、岐山一带，形成渭北北山岩溶水，其水量较小，泉水露头也少，富水性明显弱于山西岩溶水．如陕西蒲城袁家坡泉水流量最大(陕西境内相比)也只有近 2m^3/s，余者多小于 1m^3/s．

岩溶水的水质良好，矿化度多小于 1g/l．山西许多岩溶大泉已辟为供水水源地，在水资源中占据重要地位．陕西岩溶水也正在积极开发之中．

2.2.3 碎屑岩类孔隙裂隙水

该类地下水广泛分布于鄂尔多斯高原、贵德与沁水等盆地，以及太行、吕梁、六盘山等分水岭地带．含水层为古生界、中生界及第三系碎屑岩．

中生代碎屑岩集中分布于鄂尔多斯向斜盆地，盆地北起河套平原南侧大断裂，南至关中盆地之北山，西以贺兰、六盘山为界，东逾黄河抵吕梁山，面积 25 万余平方公里．碎屑岩除在东胜梁一带及部分丘陵地区出露地表，其余广被黄土与风沙所覆盖，仅在沟谷中出露．地下水赋存在砂岩或砂砾岩孔隙裂隙中，富水性差而不均，水质较复杂，局部地段具供水意义．鄂尔多斯盆地轴部偏西，以宁夏的天池至甘肃的环县为轴，西翼陡窄东翼宽缓，产状平缓微向西北倾斜．东翼出露地层较完整，由东向西依次出露三叠、侏罗、白垩系，仅在东南边缘地段出露少量古生界二叠系，西翼边缘地带尚有部分第三系出露．具有供水意义的为白垩系承压水．由东胜至直罗镇以西的向斜部分，面积约 13 万 km^2，为著名的白垩系自流水盆地(图 15)．中生界自流水盆地各岩系的富水程度宏观分布是白垩系较丰，单井出水量一般大于 500m^3/d；侏罗系最差，单井出水量小于 100m^3/d；三叠系中等，单井出水量 100—500m^3/d 之间(图 16)．不同岩系孔隙裂隙水赋存规律主要受岩性控制．由于盆地碎屑岩沉积建造具典型的多旋回性，三叠系中统纸坊组、侏罗系中统延安组、白垩系洛河组的沉积时期均为各沉积旋回的拗陷开始形成阶段，以粗粒相砂岩为主，富水性相对优于细粒相的泥、页岩，且最后一个旋回比前几个旋回岩性更粗，因而洛河组砂岩(含甘肃省分布的

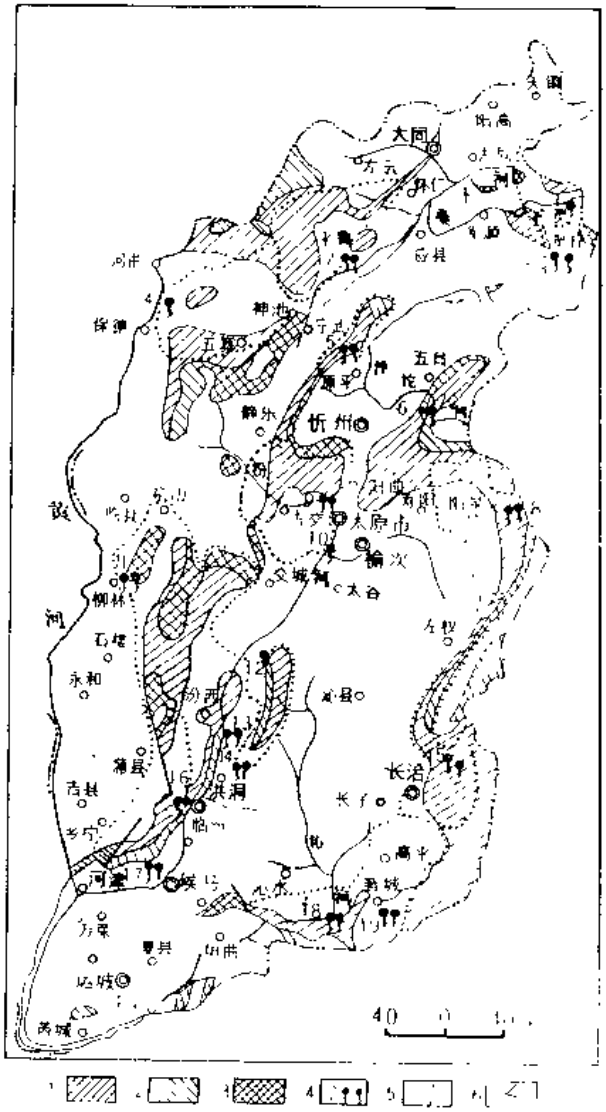

图 14　山西省岩溶大泉分布图

1. 奥陶系灰岩　2. 寒武系灰岩　3. 寒武奥陶系灰岩
4. 岩溶大泉及编号　5. 泉域范围　6. 断层

黄土高原地区岩溶大泉、温泉一览表　　表 5

编号	泉名	位置		泉的类型	含水层时代及岩性	水温(℃)	流量(m^3/s)	水化学类型
1	水神堂泉	山西省	广灵县水神堂	构造侵蚀下降泉	$\in_2O$ 灰岩		1.2	H—C.M
2	神头泉		朔县神头镇	构造上升泉	O_2 灰岩		8.2	H—C.M
3	城头会泉		灵丘县城头会	侵蚀下降泉	$Z\in O$ 灰岩		1.1	
4	天桥泉		保德县天桥	侵蚀上升泉	O_2 灰岩		8.9	H—C.M
5	下马圈泉		原平县下马圈	侵蚀构造下降泉	O_2 灰岩		1.2	H.S—C M
6	水泉湾泉		五台县滹沱河水泉湾河段	侵蚀构造下降泉	O_2 灰岩		3.8	
7	坪上泉		五台县李家庄	侵蚀构造下降泉	$\in_2$ 灰岩		2.2	
8	娘子关泉		平定县娘子关	侵蚀构造下降泉	O_2 灰岩		12.6	
9	兰村泉		太原市上兰村	侵蚀构造下降泉	O_2 灰岩		3.9	H.S—C M
10	晋祠泉		太原市晋祠	构造上升泉	O_2 灰岩		1.9	
11	柳林泉		柳林县东寨村	侵蚀构造上升泉	O_2 灰岩		3.6	C·N M
12	洪山泉		介休县洪山村	构造下降泉	O_2 灰岩		1.4	H C.M
13	郭庄泉		霍县郭庄村	侵蚀构造上升泉	O_2 灰岩		8.2	H.S—C.M
14	广胜寺泉		洪洞县广胜寺	构造下降泉	O_2 灰岩		4.2	H S·C M
15	辛安泉		潞城县辛安村	构造侵蚀下降泉	$O_2\in$ 灰岩		11.9	H—C.M
16	龙子祠泉		临汾县龙子祠	构造上升泉	O_1 灰岩		5.7	S H·C M
17	古堆泉		新绛县古堆村	构造上升泉	$\in_2$ 灰岩		1.2	S.H·C.M
18	延河泉		阳城县延河村	侵蚀下降泉	O_2 灰岩		10.7	S H—C M
19	三姑泉		晋城县三姑村	侵蚀下降泉	O_2 灰岩		4.1	H S—C.M
20	温塘泉	河南省	陕县温塘村		$\in_2$ 灰岩	61	0.1	H.S—C.M
21			渑池仁村	下降泉	$\in_2$ 灰岩		0.2	
22			新安县铁门		P_2 砂岩		0.12	
23	珍珠泉		洛阳龙门	上升泉	$\in_2$ 灰岩	24—43	0.06	H·N.C M
24	袁家坡泉	陕西省	蒲城县袁家坡	构造侵蚀下降泉	O_2 灰岩	27	2.0	S H C—N C.M
25	蹄珠洞泉		泾阳县张家山	构造侵蚀下降泉	O 灰岩	21	0.8	H·C N M
26	龙岩寺泉		乾县临平	构造侵蚀下降泉	O 灰岩	32	0.7	H.C N C
27	华清池		临潼华清池		P_1 变质岩	44	0.03	S C.H·N
28	色草湾泉		榆林县青云		J_1 自然煤层		0.23	H·C.M
29	青草界泉		神木县瑶镇		Q_3 粉砂		0.35	H C M
30	彩兔沟泉		神木县瑶镇		Q_3 粉砂		0.31	
31	濮泉		合阳县东王村	构造上升泉	O_2 灰岩	28	1.2	H.S·N C
32	老牛湾泉	内蒙古	清水河杨家川		$\in_3$ 灰岩		0.14	
33	拉僧庙泉		乌达拉僧庙		O 灰岩		0.12	H C—Na

宜君砾岩)富水性最佳。此外，富水程度与补给条件有关，河谷附近或沙漠覆盖地段受地表水和沙漠水补给，水量稍丰，且水质良好。如榆次潇河河谷地区三叠系中、上统富水性极强，已成为榆次市供水开采层。侏罗系延安组因煤层自燃，造成空洞和塌陷裂隙，形成局部强富水地段。如榆林县色草后湾泉水流量约达 2 万 m^3/d，矿化度 0.2g/l，水质

好．延安七里铺延河谷地侏罗系也具有供水价值．

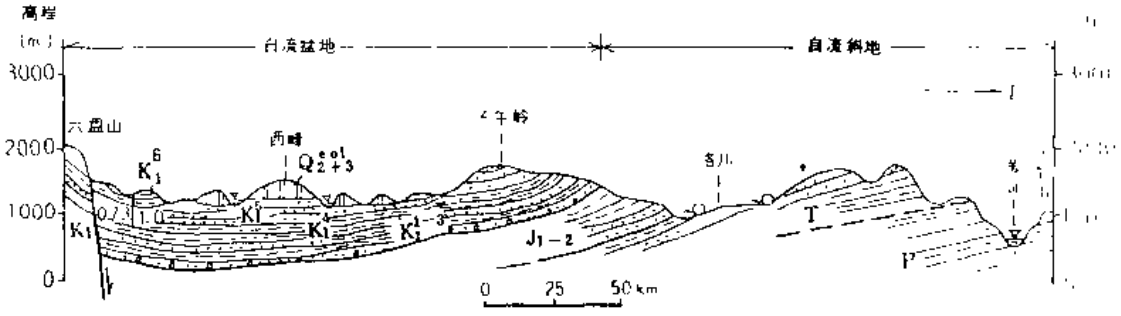

图 15　鄂尔多斯自流盆地水文地质剖面图

白垩系下统志丹群，划分为宜君(K_1^1)、洛河(K_1^2)、华池(K_1^3)、环河(K_1^4)、罗汉洞(K_1^5)、及泾川(K_1^6)六个含水岩组．下部普遍分布有侏罗系安定组泥岩，透水微弱，构成白垩系底部相对稳定的隔水底板，形成良好的储水条件．承压水的赋存条件，北部优于南部，各含水岩组相比，以洛河组、罗汉洞组及北部的华池、环河组储水、导水条件最好，南部的华池组较好，环河组最差，泾川组含水条件一般较差，宜君组在甘肃庆阳一带尚有供水意义．

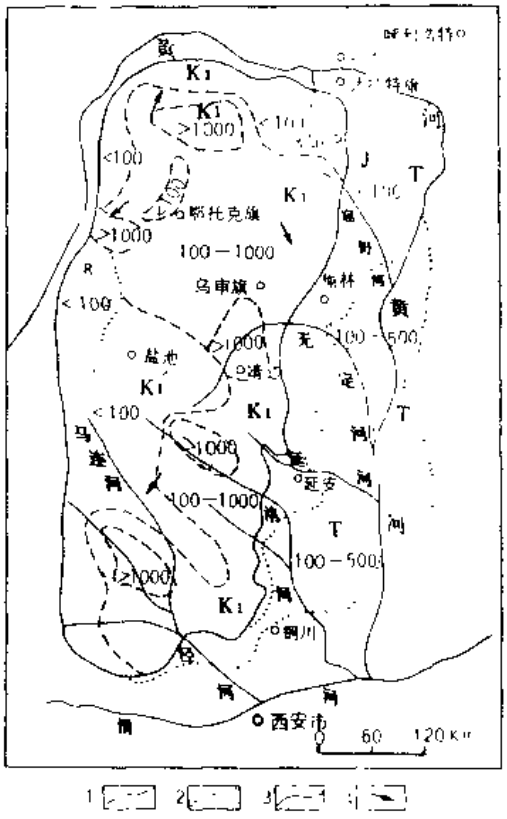

图 16　鄂尔多斯盆地碎屑岩富水性略图

1. 富水性界线(数字表示单井涌水量 m^3/d)
2. 地质界线　3. 自流水盆地界线　4. 地下水流向

白垩系自流水盆地中隆起的白于山、东胜梁、子午岭成为地下水的分水岭．地下水沿分水岭在沙漠区向北部的都思兔河及摩林河排泄，在鄂尔多斯高原东部向乌兰木伦河、无定河及其支流汇集，在黄土原区汇于泾河与洛河水系．因此，都思兔河、摩林河流域，无定河上游河南至靖边，泾河支流大黑河、洪河、马莲河河谷及其间的塬区，局部地段为强富水段，单井涌水量达 $1000m^3/d$．如罗汉洞组，在都思兔河上游新召西南，单井涌水量达 $3068m^3/d$，水头高出地面 26m，镇原附近单井自流量达 $2000m^3/d$．洛河组主要为砂岩，厚度 300m 以上，在靖边一带的滩地区，水位埋深 8—84m，单井涌水量可达 1420—$1620m^3/d$．华池组水量多在 100—$1000m^3/d$ 之间，如庆阳、环县、宁县一带单井自流量一般为 500—$1000m^3/d$，属中等富水区．西部的泾川组及罗汉洞组，富水性弱，单井涌水量多在 10—$100m^3/d$，水质差，矿化度最高达 5g/l．

贵德盆地第三系砂砾岩中普遍赋存承压自流水，水量较丰，钻孔自喷量可达

1100m³／d，水质好，有开发潜力。

2.2.4 结晶岩类裂隙水

裂隙水分布于黄土高原的四周山区，如大坂山、拉脊山、贺兰山、乌拉山、吕梁山、太行山、中条山及秦岭等山地。地下水赋存于岩浆岩或变质岩类裂隙中。岩浆岩强风化带深度一般 30m 左右，构造裂隙常被粘土矿物充填，富水性差，泉水分布另散，流量均小于 100m³／d，在构造断裂带水量稍富。变质岩类含前古生界至三叠系浅变质地层，风化及构造裂隙发育程度与岩浆岩相似，富水程度低，泉水流量及单井出水量均小于 100m³／d。当变质岩内含大理岩时，富水程度明显提高。裂隙水主要依靠降水补给，因山地区降水量高于平原及高原区，补给条件较优，比高原碎屑岩类孔隙裂隙水稍富，裂隙水径流模数也略大，但受地貌条件制约，降水多沿山坡流入深沟，水量仍十分贫乏，供水条件极差。

第三章　地下水资源评价

3.1　评价原则与方法

黄土高原地区地下水资源评价是依据本课题总体方案设计要求，并按照地质矿产部1982年印发的《全国地下水资源调查和评价工作要点》进行的。从供水目的出发以大面积的淡水资源作为评价对象(含微咸水)，主要评价地下水天然资源和开采资源。

地下水天然资源是指在一个完整的水文地质单元内，地下水在天然条件下通过各种途径，直接或间接地接受大气降水或地表水的入渗补给而形成的具有一定水化学特征，并按水文周期呈现规律变化的多年平均补给量。一般可用区域内各项补给量的总和或各项排泄量的总和来表征。地下水开采资源是指在经济合理的开采条件下，开采过程中不发生水质恶化或其它不良地质现象，对生态平衡不致造成不利影响，有开采保证的地下水资源。依此概念确定下列主要评价原则。

3.1.1 评价原则

1. 主要评价浅层水，即潜水和浅层承压水。平原区、山间盆地、黄土塬及岩溶地区评价天然资源和开采资源，裂隙水分布的丘陵山地区只评价天然资源。采用的水文系列为24年(1956—1979年)。

2. 在评价全区地下水总资源时要扣除地下水重复计算量。重复量系指井灌回归水重复利用量、山区与平原间的侧向补给量；在评价全区总水资源(包括地表水和地下水)时要扣除的地表水与地下水相互转化量，系指平原区河水侧渗量，渠、库、塘等地表水渗漏量，山区采用水文分割法计算的基流量、洪水进入平原区的入渗量。

3. 计算区的划分：一按自然单元将黄土高原区划分为平原区、高原区、山地区三大区，按次级地貌划分亚区和地段，共34个亚区67个地段(图17)。二按《黄土高原地区综合开发考察研究》总方案所划分的12个治理开发区作为地下水资源计算分区。

4. 地下水资源评价中包括水质与水量综合评价；地下水与地表水综合评价。

3.1.2 评价方法

按三大区分别计算天然资源和开采资源。

1. 平原区地下水天然资源计算

平原，主要指黄河干流及较大支流形成的冲积平原、河谷盆地和沙漠地区，如银川、河套平原、渭河、太原、伊洛沁等盆地及毛乌素、库布其沙漠(根据沙漠含水层为松散岩类而归入平原区)。该区的含水层主要为冲积、冲湖积、洪积及风积相的砂、砂砾石、亚砂土、亚粘土等，地下水赋存条件好，含水层厚度大，降雨较充沛，地下水资源较丰富。

该地区研究程度较高，地下水动态观测网点密集，观测时间系列较长，大部分地区做过地下水水质水量的专题研究工作，为本次资源评价提供了可靠依据。

区内地下水补给来源有大气降水入渗、河水、渠系水和灌溉水渗漏、井灌回渗和侧向径流补给；排泄量有地下径流量、潜水蒸发量、泉水溢出量和人工开采量。

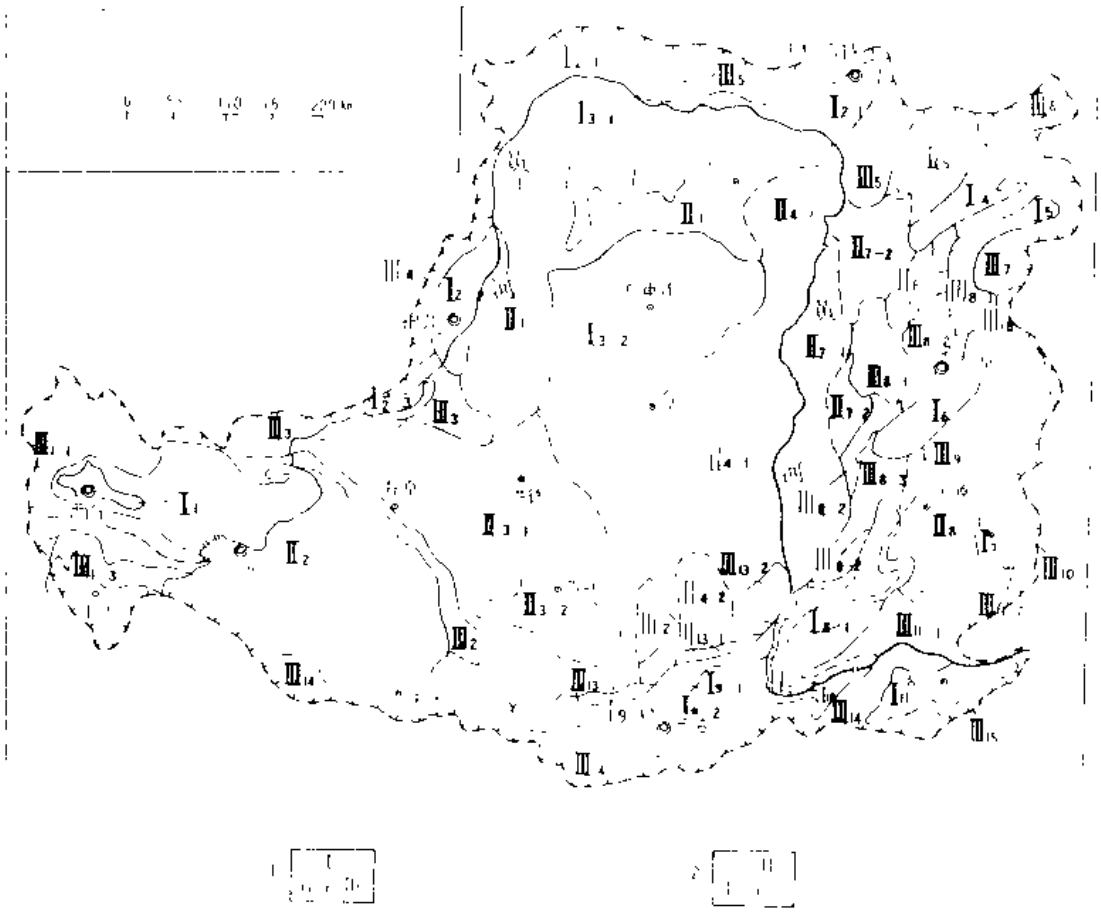

图 17　黄土高原地区地下水资源计算分区图

1. 大区界线，Ⅰ平原区 Ⅱ高原区 Ⅲ山地区　2. 亚区，地段界线与代号

评价方法采用水均衡法、补给量汇总法和排泄量汇总法。选用公式及参数分述如下：

(1)水均衡法

用于太原、大同、长治、临汾、渭河盆地区。

公式：

$$Q_{补} - Q_{排} = F\mu\frac{\triangle h}{\triangle t} \qquad (1)$$

式中：

$Q_{补}$—地下水补给量　(万 m^3／a)

$Q_{排}$—地下水排泄量　(万 m^3／a)

$F\mu\frac{\triangle h}{\triangle t}$—均衡期地下水体积变化量　(万 m^3／a)

(2)补给量汇总法

青海、甘肃、鄂尔多斯高原区及银川、河套平原采用下式计算.

公式:

$$Q_{补}=Q_{降}+Q_{河}+Q_{径入}+Q_{渠库}+Q_{灌}+Q_{井入} \quad (2)$$

各项补给量计算公式如下:

降水入渗补给量

$$Q_{降}=1000\alpha \cdot P \cdot F \quad (万\ m^3/a) \quad (3)$$

式中:

P—年有效降水量 (mm/a)

F—计算面积 (km^2)

α—降水入渗系数

降水入渗系数与降水强度、地下水埋深、水位变动带岩性的给水能力(给水度)等因素有关.该系数可用有限差分法、地下水水位升幅法及水均衡法,在黄土塬区可利用塬边泉水排泄量汇总法等方法直接或间接计算取得.另外也可用数理统计法,确定不同岩性在不同埋深情况的经验方程等方法求取.在研究程度较低的青海省据不同岩性选用了经验数值.山西省各盆地计算的降水入渗补给系数见表6.

山西省各盆地降水入渗系数系列表 表6

降水入渗系数 / 岩性 / 水位埋深(m)	亚粘土	平均值	亚砂土	平均值	粉细砂	平均值	砂砾石	平均值
1—2	0.11—0.21	0.16	0.13—0.27	0.20	0.11—0.22	0.16	0.26	0.26
2—3	0.10—0.21	0.15	0.13—0.25	0.19	0.11—0.26	0.18	0.10—0.23	0.16
3—4	0.12	0.12	0.10—0.20	0.15	0.08—0.37	0.23	0.12—0.18	0.15
4—5			0.13	0.13	0.16—0.19	0.18		

河水渗漏补给量

$$Q_{河}=(R_{上}-R_{下})t \quad (4)$$

式中:

$R_{上}$—河流上游断面流量 (L/S)

$R_{下}$—河流下游断面流量 (L/S)

t—年渗漏时间 (s/a)

河流洪水期渗漏量

$$Q_{河洪}=R_{洪} \cdot \alpha_{洪} \cdot L \quad (5)$$

式中:

$R_{洪}$—洪水期河流流量 (L/S)

$\alpha_{洪}$—洪水期单位长度的入渗系数 (1/km)

L—渗漏河段长度 (km)

在有动态资料的条件下如陕西、河南、甘肃采用河流单位长度渗漏量法计算河流渗漏补给量。对于河谷盆地的阶地区，接受山前洪积扇裙地下径流补给和河流流出山口进入盆地区河水下渗补给的地下水，采用断面法用达西公式计算地下径流补给量。

地下径流流入量

$$Q_{径入}=K\cdot I\cdot H\cdot B \qquad (6)$$

式中:

K—渗透系数 (m/d)　　I—水力坡度

H—含水层厚度 (m)　　B—计算断面宽度 (m)

渠库水、田间灌溉水、井灌回归水入渗量

$$Q_{渠库}=Q_{引}(1-n)\cdot\alpha_{渠库}+Q_{渠}\cdot\alpha_{灌} \qquad (7)$$

式中:

$Q_{引}$—渠道、库塘引水量 (万 m^3/a)

n—有效利用系数

$Q_{渠}$—渠道灌水量 (万 m^3/a)

$\alpha_{渠库}\cdot\alpha_{渠}$—渠库塘和田间入渗系数或采用灌水定额计算灌水入渗量

$$Q_{灌}=q\cdot\alpha_{灌}\cdot F \qquad (8)$$

式中:

$\alpha_{灌}$—灌溉入渗系数

F—计算面积 (亩)

q—灌溉定额 (万 m^3/a·亩)

在地下水灌区采用

$$Q_{井入}=Q_{引}\cdot\alpha_{灌} \qquad (9)$$

灌溉水和渠道渗漏系数 ($\alpha_{灌}$、$\alpha_{渠}$) 采用不同方式计算或采用经验数值表 7.

各区灌溉水入渗系数选用值　　表 7

地　区	选用值	计算方法
青海省山间盆地	0.1—0.2	经验值
甘肃省河谷盆地	0.1—0.32	经验值或水位升幅法
银川平原	0.21	
河套平原	经验值	
渭河盆地	0.22—0.41	水位升幅法
太原盆地	0.11—0.26	水位升幅法

(3) 排泄量汇总法

公式:

$$Q_{排}=Q_{径出}+Q_{蒸}+Q_{开}+Q_{泉} \quad (10)$$

青海省山间盆地采用了上述计算公式，在不同地区均考虑了具体条件确定排泄项。式中地下水蒸发量用下式求得。

$$Q_{蒸}=\sum_0(1-\frac{D}{D_0})^n \cdot F \quad (11)$$

式中：

$\sum_0$—水面蒸发强度 (m／d)

D—潜水埋深 (m)

D_0—潜水蒸发极限深度 (m)

n—蒸发指数

F—计算面积 (m^2)

其它各项计算方法同前所述。地下水蒸发量计算式中的潜水蒸发极限深度（D_0）值在不同地区选取不一，陕西关中盆地区根据西安水源地和洛惠渠均衡场资料反求，参考了河北、河南、安徽等省同等条件地区的试验值确定该值为 3.4～5m（n＝3）；河南省利用地下水动态资料计算潜水蒸发极限深度，砂小于 3m，亚砂土为 2.23—3.84m，亚粘土 2.94—3.32m，亚砂土与亚粘土互层为 2.4—3.4m。

2. 平原区地下水开采资源计算

该区地下水开发利用程度、水文地质条件研究程度都较高，大部分地区建立了多年动态观测网，积累了多年地下水开采量和水位动态变化资料，尤其在大中城市先后作过供水、环保等方面的研究工作，为区内开采资源计算提供了基础资料。

(1) 水均衡方法，在稳定的开采条件下，激发开采量（$Q'_{开}$）等于河水激发补给量（Q_1）、开采段下游径流减少量（Q_2）与泉水排泄减少量（Q_3）之和。

$$Q'_{开}=Q_1+Q_2+Q_3 \quad (12)$$

(2)开采系数比拟法

$$Q_{开}=Q_0 \cdot \beta \quad (13)$$

式中：

Q_0—地下水天然资源 （万 m^3／a）

β—开采系数

开采系数（β）是已知地区的实际开采量与当地天然资源的比值，一般用百分数表示。选取与已知开采区水文地质条件相同的计算区，用已知的开采系数比拟求其开采量。

(3) 开采模数比似法

$$Q_{开}=M' \cdot F \quad (14)$$

$$M=\frac{Q'_{开}}{F'}$$

式中：

$Q'_{开}$—已知地段的开采资源 （万 m^3／a）

F'—已知地段的计算面积 (km^2)

M—开采模数 （万 m^3 / a · km^2）

F—计算面积 （km^2）

3. 高原区地下水天然资源计算

仅指黄土高原地区的鄂尔多斯高原，黄土高原。

鄂尔多斯高原由基岩丘陵、碎屑岩波状高原和台地组成。按地下水赋存条件基岩丘陵含结晶岩裂隙水，碎屑岩波状高原和台地赋存孔隙裂隙水（对于沙漠区的孔隙水已归于平原区）。

黄土高原由黄土塬与黄土丘陵组成，黄土塬区黄土层潜水多为中更新统黄土与钙质结核层构成统一含水层，下更新统黄土构成相对隔水底板。大气降水和地表水渗入为地下水的主要补给来源，因被河流和沟谷切割成岛状，含水层多暴露于沟壁形成泉水而排泄。大部分地区做过不同比例尺的农田供水水文地质勘察，较大的黄土塬，如董志塬、洛川塬进行过潜水动态观测及黄土层的水理性质和地下水资源评价的专题研究。

黄土丘陵，地下水埋深多大于百米，赋存少量孔隙水，常与下伏基岩水构成统一含水体，大气降水为主要补给来源，以泉和地下径流汇入沟谷转化成地表径流。

计算方法和参数选取：黄土塬区采用降水入渗法。计算公式如前（3）式，式中有效降雨量，董志塬选用一次降水大于 15mm 作为计算基础数据。降水入渗系数（$\alpha_{降}$）据动态资料采用有限差分法计算，洛川塬利用动态资料计算，结果如表 8。

洛川塬降水入渗系数选取表　　表 8

岩　性	黄土状亚粘土				
水位埋深(m)	10—30	30—50	50—80	80—100	> 100
入渗系数	0.15	0.10	0.08	0.05	0.03

黄土丘陵、鄂尔多斯高原采用径流模数法。

公式：

$$Q = 3.1516 \cdot M \cdot F \qquad (17)$$

式中：

M—地下水径流模数 （L / S · km^2）

F—计算面积 （km^2）

式中的地下径流模数值由水文分割法计算或水文地质普查实测值。

在缺乏地表水水文观测站的地区，用水文地质条件相同地区的地下水径流模数值比拟代用。

4. 高原区地下水开采资源计算

黄土塬区用以下几种计算方法：水均衡法、开采系数比拟法、开采模数比拟法等，公式同前所述。

5. 山地区地下水天然资源与开采资源计算。

天然资源采用地下水径流模数和水文分割法计算；开采资源计算，在岩溶发育区采用岩溶大泉统计法，在山间盆地采用平均布井法。具体公式同前所述。

3.2 地下水水量评价

3.2.1 地下水资源计算成果

1. 按自然单元分区计算结果

平原区计算面积为 15.18 万 km^2，占总面积的 24%，其天然资源为 177.94 亿 m^3/a，资源丰富，模数居三大计算区的首位，开采资源为 160.78 亿 m^3/a，约占天然资源的 90%，表明大部分天然资源可转化为开采资源，供开发利用；高原区计算面积 30.51 万 km^2，约占总面积的二分之一，天然资源最少，为 63.61 亿 m^3/a，资源贫乏，模数最小，开采资源仅 19.12 亿 m^3/a；山地区计算面积 16.65 万 km^2，天然资源为 94.43 亿 m^3/a，开采资源（主要为岩溶水）为 23.86 亿 m^3/a，其资源模数居三大计算区第二位（表 9）。山地区岩溶水资源较为丰富，可供开发利用。

按自然单元计算的地下水资源表　　表 9

区	天然资源				开采资源			
	面积（万 km^2）	资源量（亿 m^3/a）	模数（万 $m^3/a \cdot km^2$）	占总资源（%）	面积（万 km^2）	资源量（亿 m^3/a）	模数（万 $m^3/a \cdot km^2$）	占全区总量（%）
平原	15.18	177.94	11.7	53.0	12.73	160.78	12.6	78.9
高原	30.51	63.61	2.1	18.9	2.12	19.12	9.0	9.4
山地	16.65	94.43	5.8	28.1	1.99	23.86	12.0	11.7
合计	62.34	335.98		100	16.84	203.76		100

(1). 平原区地下水资源计算结果

包括湟水西宁盆地、黄河河套平原、库布其与毛乌素沙漠、大同、忻州、太原、长治、临运、关中、灵三及伊洛沁等盆地共 11 个亚区 22 个地段。计算的总补给量为 206.95 亿 m^3/a，其中降水入渗补给量为 107.16 亿 m^3/a，占总补给量的 52%，为平原区地下水形成的主要补给来源；河水、渠系及库塘水渗漏补给为次，合计补给量为 43.7 亿 m^3/a；侧向补给量较少为 26.91 亿 m^3/a；灌溉水入渗补给量仅为 19.8 亿 m^3/a，其中黄河河套平原为 15.91 亿 m^3/a，占灌溉水入渗总量的 80%，为河套区的主要补给来源。井灌回渗量最小，为 9.38 亿 m^3/a。由总补给量中去掉重复计算量 29.01 亿 m^3/a，即为平原区的天然资源 177.94 亿 m^3/a。开采资源总计为 160.78 亿 m^3/a，其中盆地区总计为 132.1 亿 m^3/a，库布其与毛乌素沙漠滩地区为 28.68 亿 m^3/a。

(2). 高原区地下水资源计算结果

包括陇西、陇东、蒙陕及晋西广大的黄土丘陵与黄土塬地区，还有黄土覆盖较薄的左云、沁水等碎屑岩丘陵及碎屑岩台地（东胜梁），共计 8 个亚区 13 个地段。黄土高原中除西峰塬、洛川塬等塬区赋存有黄土层潜水及山间盆地地下水归属于松散岩类孔隙水外，其余为黄土及下伏基岩水，此为特殊的双层结构地下水类型，其中还包括白垩系承压水资源。碎屑岩丘陵区分布有单一的碎屑岩类孔隙裂隙水和灰岩丘陵区中的岩溶水。整个高原区地下水补给量为 64.15 亿 m^3/a，扣除黄土塬有极少量的井灌回渗量和个别山间盆地的

黄土高原地区地下水资源成果表

表10

分区						计算面积 km²			地下水天然资源 万m³/a																开采资源 万m³/a			已开采量 万m³/a
大区		亚区		地段					高原及山地区						平原及黄土塬区													
号	名	号	名	号	名	平原	山区	合计	裂隙水	孔隙裂隙水	岩溶水	黄土及下伏基岩水	山间盆地孔隙水	小计	降水入渗量	河水渗漏量	煤窑塘渗漏量	灌溉水入渗量	井灌河渗量	侧向径流量	小计	补给模数 万m³/a·km²	重复量	合计	计算面积 km²	开采资源	开采模数 万m³/a·km²	
I	平原区	I₁	西宁盆地	I₁	冲洪积平原	2535		2535							7754	14833	8090	3034			33711	13.3		33711	1187	38155	32.1	9998
		I₂	银川河套平原	I₂₋₁	冲洪积平原	22409		22409							94819	2743	74443	109278		139480	420763	18.8	139480	281283	19939	267922	13.4	63400
				I₂₋₂	冲洪积平原	6712		6712							18143	1463	118838	39439		2311	180194	26.8	2311	177883	5820	166254	28.6	25214
				I₂₋₃	冲洪积平原	792		792							2131	265	30223	10422		689	43730	55.2	689	43041	792	39413	49.8	
					小计	29913		29913							115093	4471	223504	159139		142480	644687		142480	502207	26551	473589		88614
		I₃	东毛沙 有乌 其京	I₃₋₁	沙模草原	20926		20926							91374						91374	4.4		91374	16981	73900	4.4	739
				I₃₋₂	沙漠滩地	38154		38154							355339						355339	9.3		355339	32197	212900	6.6	11618
					小计	59080		59080							446713						446713			446713	49178	286800		12357
		I₄	大盆 同地	I₄₋₁	黄土台塬	737		737							1360						1360	1.8		1360	737	1344	1.8	42290
				I₄₋₂	冲洪积平原	6708		6708							39950		11880		2860	28630	83320	12.4	14740	68580	6708	78087	11.6	
					小计	7445		7445							41310		11880		2860	28630	84680		14740	69940	7445	79431		42290
		I₅	忻盆 州地	I₅₋₁	黄土台塬	1187		1187							2020						2020	1.7		2020	1187	2020	1.7	24080
				I₅₋₂	冲洪积平原	2628		2628							19640		6590		3660	25160	55050	20.9	10250	44800	2628	49932	19.0	
					小计	3815		3815							21660		6590		3660	25160	57070		10250	46820	3815	51952		24080
		I₆	太盆 原地	I₆₋₁	黄土台塬	1220		1220							4050						4050	3.3		4050	1220	1223	1.0	82200
				I₆₋₂	冲洪积平原	4850		4850							54680		18180		10830	28840	112530	23.2	29010	83520	4850	101850	21.0	
					小计	6070		6070							58730		18180		10830	28840	116580		29010	87570	6070	103073		82200
		I₇	长盆 治地	I₇₋₁	黄土台塬	2625		2625							8850						8850	3.4		8850	2625	8138	3.1	7300
				I₇₋₂	冲洪积平原	675		675							7000		2240		980		10220	15.1	3220	7000	675	8775	13.0	
					小计	3300		3300							15850		2240		980		19070		3220	15850	3300	16913		7300
		I₈	临盆 运地	I₈₋₁	黄土台塬	5225		5225							17600						17600	3.4		17600	5225	14980	2.9	75550
				I₈₋₂	冲洪积平原	5729		5729							56920	14100	14910		11750	38030	135710	23.7	26660	109050	5729	126720	22.1	
					小计	10954		10954							74520	14100	14910		11750	38030	153310		26660	126650	10954	141700		75550
		I₉	关盆 中地	I₉₋₁	黄土台塬	10894		10894							74562	15439	13748	9917	11340	5903	130909	12.0	11340	119569	8890	81192	9.1	91696
				I₉₋₂	冲洪积平原	8146		8146							134277	63979	25061	22816	50737		296870	36.4	50737	246133	7957	294491	37.0	196411
					小计	19040		19040							208839	79418	38809	32733	62077	5903	427779		62077	365702	16847	375683		288107
		I₁₀	灵盆 三地	I₁₀₋₁	黄土台塬	1498		1498							9884						9884	6.6		9884				
				I₁₀₋₂	冲洪积平原	453		453							7112			1199			8311	18.3		8311	453	8145	18.0	7538
					小计	1951		1951							16996			1199			18195			18195	453	8145		7538
		I₁₁	伊洛沁盆地	I₁₁₋₁	黄土台塬	6231		6231							40150						40150	6.4		40150				
				I₁₁₋₂	冲洪积平原	1497		1497							23952			1928	1652		27532		1652	25880	1497	32335	21.6	28573
					小计	7728		7728							64102			1928	1652		67682		1652	66030	1497	32335		28573
					合计	151831		151831							1071567	112822	324203	198033	93809	269043	2069477		290089	1779388	127297	1607776		666607
II	高原区	II₁	鄂尔多斯高原	II₁	碎屑岩高原		40059	40059		39941				39941								1.0		39941				
		II₂	陇西黄土高原	II₂	黄土丘陵	2514	62895	65409				67551	85661	153212								2.3	5235	147977	2514	99006	39.4	25710
		II₃	陇东黄土高原	II₃₋₁	黄土丘陵		52770	52770				38579	27313	65892								1.8		65892	890	11217	12.6	1686
				II₃₋₂	黄土塬	6609		6609							24703		152	18	59		24932	3.8	59	24873	1610	6999	4.4	4494
					小计	6609	52770	59379				38579	27313	65892	24703		152	18	59		24932		59	90765	2500	18216		6180
		II₄	陇东黄土高原	II₄₋₁	黄土丘陵		66873	66873				78981		78981								1.2		78981	690	6708	9.7	4718
				II₄₋₂	黄土塬	5260		5260							23740		561	32	143		24476	4.7	143	24333	543	3908	7.2	2486
					小计	5260	66873	72133				78981		78981	23740		561	32	143		24476		143	103314	1233	10616		7204
		II₅	左丘 云陵	II₅₋₁	碎屑岩丘陵		3529	3529		2620				2620								0.7		2620				
				II₅₋₂	灰岩丘陵		2091	2091			26770			26770								12.8		26770	2090	25923	12.4	5140
					小计		5620	5620		2620	26770			29390										29390	2090	25923		5140
		II₆	宁丘 武陵	II₆₋₁	碎屑岩丘陵		3012	3012		11000				11000								3.7		11000				
				II₆₋₂	灰岩丘陵		1718	1718			8290			8290								4.8		8290	830	4000	4.8	3480
					小计		4730	4730		11000	8290			19290										19290	830	4000		3480
		II₇	晋丘 西陵	II₇₋₁	黄土丘陵		17430	17430				38960		38960								2.2		38960				
				II₇₋₂	灰岩丘陵		12010	12010			49140			49140								4.1		49140	12010	33428	2.8	3600
					小计		29440	29440			49140	38960		88100										88100	12010	33428		3600
		II₈	沁丘 水陵	II₈	碎屑岩丘陵	1265	26993	28258		114230			3110	117340								4.2		117340				6000
					合计	15648	289380	305028		167791	84200	224071	116084	592146	48443		713	50	202		49408		5437	636117	21177	191189		57314
III	山地区	III₁	大坂—拉鸡山	III₁	结晶岩山地	1009	18452	19461	160386	2639			4716	167741								8.6		167741	1009	4716	4.7	215
				III₁₋₂	灰岩山地		440	440			5643			5643								12.6		5643				
				III₁₋₃	碎屑岩山地	689	4584	5273	4077	12237			6978	23292								4.4		23292	689	7468	10.8	182
					小计	1698	23476	25174	164463	14876	5643		11694	196676										196676	1698	12184		387
		III₂	六盘山	III₂	结晶岩山地		12271	12271	53359			589		53948								4.4		53948				
		III₃	宁中山地	III₃₋₁	结晶岩山地		3340	3340		1404				1404								0.4		3092				
				III₃₋₂	碎屑岩山地		5517	5517	596		219		1381	2196								0.3		1404				
					小计		8857	8857	596	1404	219		1381	3600										3600				
		III₄	贺兰—桌子山	III₄₋₁	结晶岩山地		2639	2639	3884					3884								1.5		3884				
				III₄₋₂	灰岩山地		361	361			316			316								0.9		316				
				III₄₋₃	碎屑岩山地		1035	1035		170				170								0.2		170				
					小计		4035	4035	3884	170	316			4370										4370				
		III₅	阴山	III₅	结晶岩山地	510	14776	15286	28209		6741		594	35544								2.4		35544				
		III₆	丰稔山	III₆	结晶岩山地		2332	2332	6160					6160								2.6		6160				
		III₇	五台山	III₇₋₁	结晶岩山地		11125	11125	61710				6960	68670								6.2		68670				
				III₇₋₂	灰岩山地		1530	1530			5620		1560	7180								4.7		7180	910	6884	7.6	4500
					小计		12655	12655	61710		5620		8520	75850										75850	910	6884		4500
		III₈	吕梁山	III₈₋₁	结晶岩山地		7370	7370	45670				500	26170								6.3		46170				
				III₈₋₂	灰岩山地		5165	5165			70910			70910								13.7		70910	5165	59071	11.4	26410
				III₈₋₃	碎屑岩山地		5445	5445		17730				17730								3.3		17730				
					小计		17980	17980	45670	17730	70910		500	134810										134810	5165	59071		26410
		III₉	雀山	III₉₋₁	结晶岩山地		310	310	1770					1770								5.7		1770				
				III₉₋₂	灰岩山地		1000	1000			15800			15800								15.8		15800	1000	15800	15.8	11910
					小计		1310	1310	1770		15800			17570										17570	1000	15800		11910
		III₁₀	太行山	III₁₀₋₁	结晶岩山地		2806	2806	13970					13970								5.0		13970				
				III₁₀₋₂	灰岩山地		10950	10950			144510			144510								13.2		144510	7282	96016	13.2	8150
				III₁₀₋₃	碎屑岩山地		200	200		170				170								0.9		170				
					小计		13956	13956	13970	170	144510			158650										158650	7282	96016		8150
		III₁₁	中条山	III₁₁₋₁	结晶岩山地		4138	4138	28319				1230	29549								7.1		29549				
				III₁₁₋₂	灰岩山地		4590	4590			73189			73189								15.9		73189	3886	39792	10.2	13400
				III₁₁₋₃	碎屑岩山地		1035	1035		2588				2588								2.5		2588				
					小计		9763	9763	28319	2588	73189		1230	105326										105326	3886	39792		13400
		III₁₂	子牛岭	III₁₂	碎屑岩山地		6710	6710		8211				8211								1.2		8211				
		III₁₃	湖北北山	III₁₃₋₁	灰岩山地		3018	3018			22794			22794								7.6		22794		7641		1960
				III₁₃₋₂	碎屑岩山地		3900	3900		3329				3329								0.9		3329				
					小计		6918	6918		3329	22794			26123										26123		7641		1960
		III₁₄	徽岭	III₁₄₋₁	结晶岩山地		26178	26178	95025					95025								3.6		95025				
				III₁₄₋₂	灰岩山地		2099	2099			13649			13649								6.5		13649				
					小计		28277	28277	95025		13649			108674										108674				
		III₁₅	雀山	III₁₅₋₁	结晶岩山地		248	248	1337					1337								5.4		1337				
				III₁₅₋₂	灰岩山地		533	533			6246			6246								11.7		6246		1252		506
				III₁₅₋₃	碎屑岩山地		217	217		1175				1175								5.4		1175				
					小计		998	998	1337	1175	6246			8758										8758		1252		506
					合计	2208	164314	166522	504472	47653	365637	589	23919	944270										944270	19941	238640		67223
					总计	169687	453694	623381	504472	217444	449837	224660	140003	1536416	1120010	112822	324916	198083	94011	269043	2118885		295526	3359775	168415	2037605		791144

侧向补给量为重复计算量（0.54 亿 m^3/a）后，地下水天然资源总计为 63.61 亿 m^3/a，开采资源为 19.12 亿 m^3/a，有开采条件的地段为河谷盆地、黄土塬及灰岩丘陵，开采资源计算面积仅占高原区的 7%，广大的黄土丘陵及碎屑岩台地开采条件差，多未计算开采资源。

(3). 山地区地下水资源计算结果

包括大坂山、贺兰山、吕梁山、太行山、渭北北山、秦岭及嵩山等 15 个亚区 32 个地段。天然资源为 94.43 亿 m^3/a，主要为结晶岩裂隙水、碎屑岩孔隙裂隙水及碳酸盐岩类岩溶水，唯岩溶水具有开采条件。山区开采资源为 23.86 亿 m^3/a，其中岩溶水占 95%。

各区、亚区及地段地下水资源计算结果详见表 10。

2. 按综合治理分区计算结果

依据上述自然单元所计算的结果，再按《黄土高原地区综合治理开发考察研究》总方案要求的 12 个治理开发区，为保持其行政区（县）界的完整性，根据资源模数重新计算或统计分配，力求相对合理。地下水资源总数不变，各区资源详见表 11 及图 18。从资源结果中分析，凡含平原的治理区地下水资源就比较丰富，如汾渭盆地粮食基地区（治理分区代号为 3）、银川及河套平原开发盐改区（9、10 区）、豫西晋东南开发区（1 区）等，地下水平均天然资源模数均大于 6 万 $m^3/a \cdot km^2$；黄土丘陵治理区（5、6、7 区）天然资源贫乏，资源模数 1.8—2.7 万 $m^3/a \cdot km^2$。

黄土高原地区综合治理区地下水资源成果表 表 11

区号	分区名称	天然资源			开采资源		已开采量	剩余量
		面积（万 km^2）	资源量（亿 m^3/a）	模数（万 $m^3/a \cdot km^2$）	面积（万 km^2）	资源量（亿 m^3/a）	（亿 m^3/a）	（亿 m^3/a）
1	豫西晋东南开发区	6.29	45.63	7.3	1.70	20.41	7.88	12.53
2	晋北大同开发区	4.31	28.59	6.6	2.12	18.46	8.05	10.41
3	汾渭盆地粮食基地区	8.69	82.45	9.5	3.71	66.32	46.56	19.76
4	晋陕蒙开发治理区	5.04	17.66	3.5	1.60	8.19	0.39	7.8
5	晋陕黄土丘陵治理区	6.69	16.89	2.5	0.90	6.60	2.08	4.52
6	陇陕黄土高原治理区	5.41	9.76	1.8	0.30	2.21	0.87	1.34
7	陇西大水治理区	5.33	14.35	2.7	0.15	5.91	1.53	4.38
8	鄂尔多斯高原畜牧区	5.87	30.69	5.3	3.06	18.13	0.80	17.33
9	河套平原开发及盐改区	3.90	31.97	8.2	2.25	27.93	6.35	21.58
10	银川开发及盐改区	3.49	23.22	6.7	0.66	20.57	2.52	18.05
11	兰州开发区	3.96	10.04	2.5	0.10	4.00	1.04	2.96
12	青东开发治理区	3.36	24.73	7.4	0.29	5.03	1.04	3.99
合计		62.34	335.98		16.84	203.76	79.11	124.65

3.2.2 水资源总量概算

区域水资源总量为河川径流量与地下水天然资源之和扣除两者之间重复量。地下水与地表水在循环过程中经常互相转化，因此，河川径流量中包括一部分地下水的排泄量，地下水中也含有一部分来源于地表水的补给量，故在评价区域水资源总量时，应扣除两者间相互转化量。

据黄河水利委员会水利勘测设计院及各省区水利勘测设计院编写的《水资源利用》资

料，中国科学院黄土高原综合科学考察队水资源课题组整编了地表水资源成果，自1956年至1979年24年系列，黄河流域花园口站多年平均径流量603.67亿m^3，黄河进入黄土高原地区的入境水量210.92亿m^3（贵德站），故黄土高原地区内黄河流域地表水产流量为392.75亿m^3；闭流区地表水产流量3.37亿m^3；海河流域地表水产流量47.5亿m^3，合计全区地表水自产水量443.62亿m^3，计入过境客水量，区内地表水多年平均径流量654.54亿m^3。

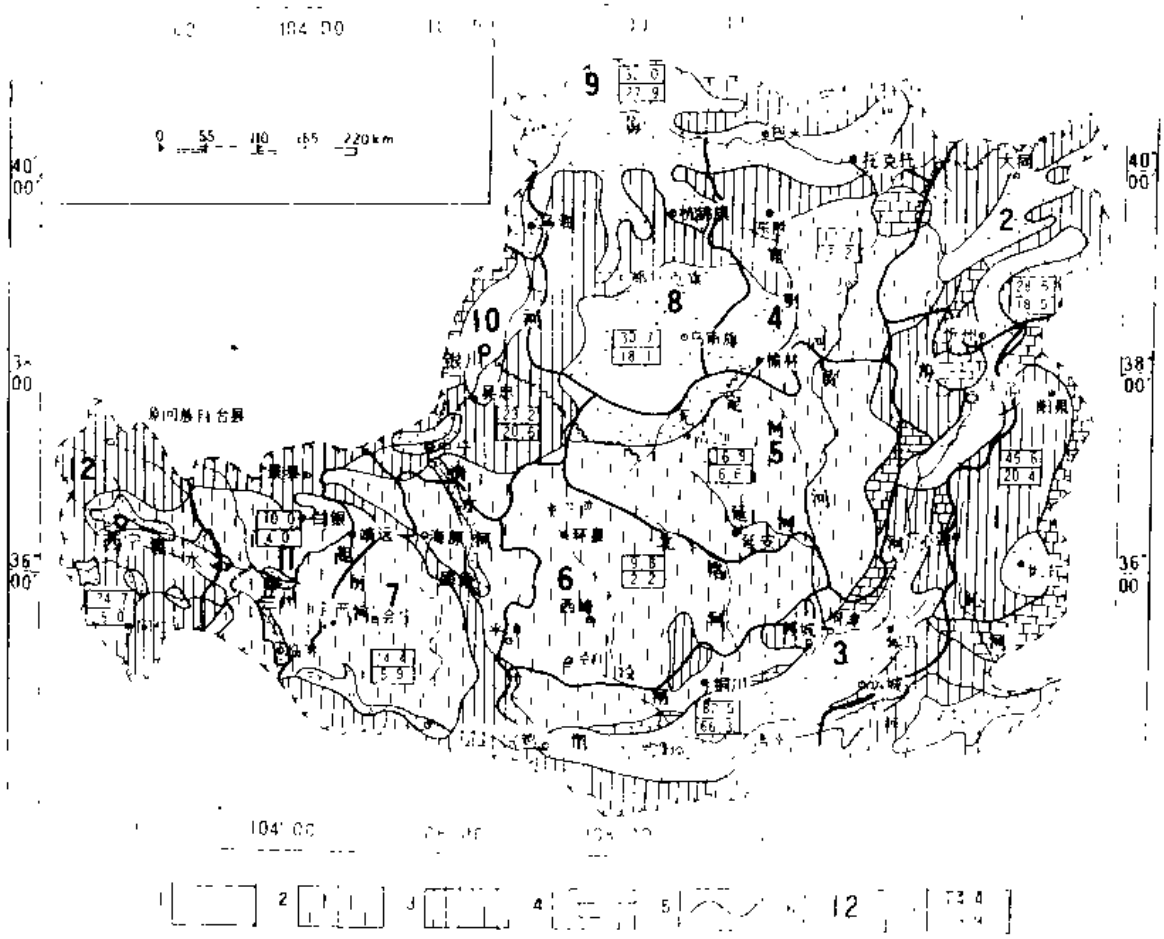

图18　黄土高原地区地下水资源分区图(按综合治理分区)

1. 孔隙水　2. 黄土水　3. 裂隙水及裂隙孔隙水　4. 岩溶水　5. 分区界线　6.分区代号　7. $\frac{\text{天然资源}}{\text{开采资源}}$亿$m^3$/a

据地质矿产部1985年的《中国地下水资源评价报告》和《山西省地下水资源评价报告》资料，黄土高原地区地表水与地下水之间的转化量为202.87亿m^3/a（表12）。地下水天然资源335.98亿m^3/a，全区水资源总量为576.73亿m^3/a。

地表水与地下水转化量统计表　　表12

流域	地区	转化量(亿m^3/a)
黄河	上游(贵德以下)	27.6
	鄂尔多斯高原及银川河套平原	38.7
	黄土高原	106.6
海河	上游	29.97
合计	全区	202.87

3.2.3 地下水资源时空分布特征

1. 地下水资源在时间上的分配特征

不同特征年地下水天然资源表　　表 13

资源 典型年 (亿 m^3/a) (频率) 地区	丰水年 (20%)	平水年 (50%)	枯水年 (75%)	特枯年 (95%)
陕北黄土高原	45.06	35.20	29.04	21.37
陕西关中盆地	57.58	43.55	37.84	35.36
晋中盆地	39.64	34.68	31.22	26.98

本区地处我国内陆，位于东南亚季风气候区，年内形成明显的干湿两季，年际枯丰循环交替，形成地下水资源的时间分配不均，季节或年际间变化较大，即枯水年资源量小，丰水年资源量大（表 13）。水资源的这种年内和年际变化的不均匀性，给供水带来一定的困难，但可利用其自然变化规律，旱季（年）多采地下水，丰季（年）多储存，起到丰季补旱季，丰年补旱年的调节作用。

2. 地下水资源在空间上的分布特征

地下水资源量的大小与补给、赋存条件密切相关。这些条件直接受气候、水文、地质及构造条件的控制。本区气候呈南东—北西向明显分带，降水量从东南部的 800mm 到西北递减为 150mm，降水的分带规律，影响和制约着地下水资源呈贫富带状分布。各种类型的地下水天然资源模数都有南大北小之趋势（图 19）。

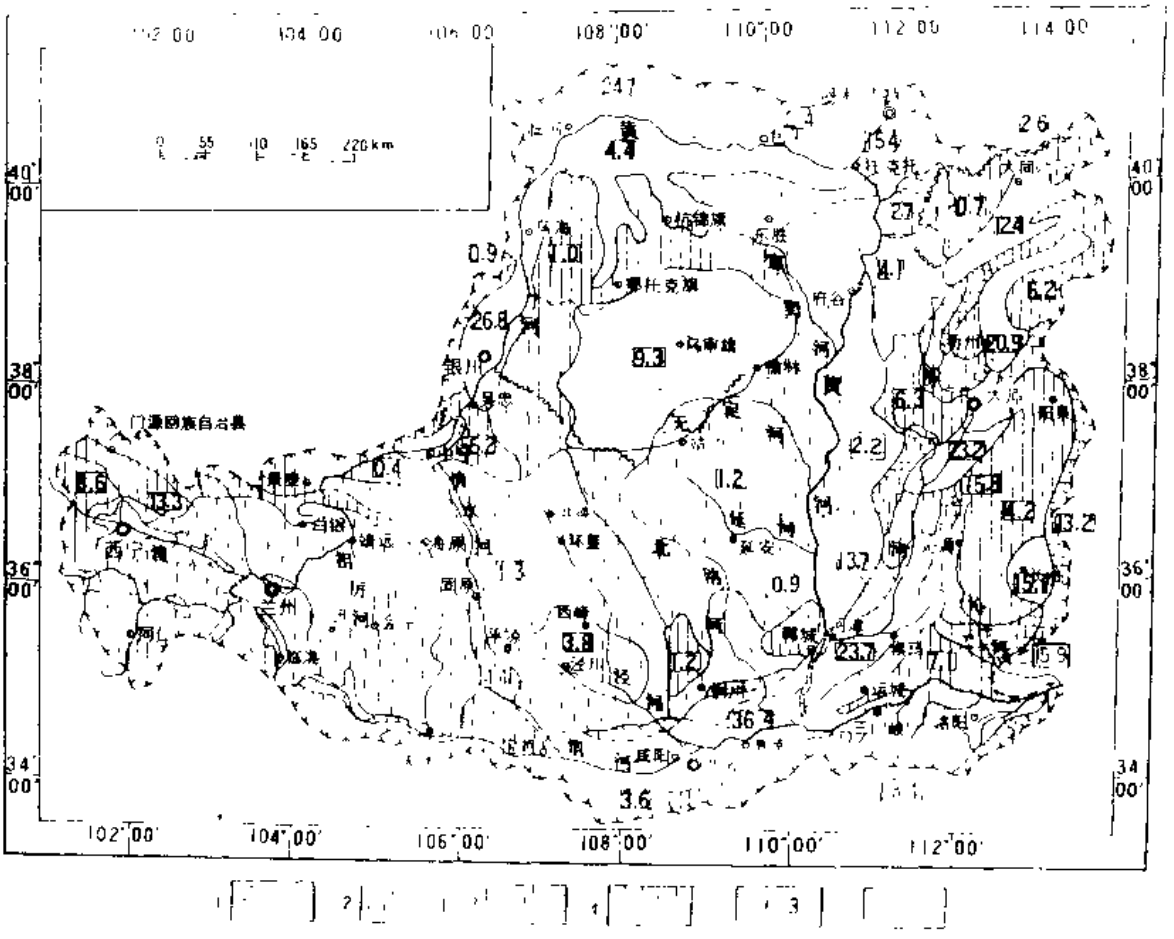

图 19　黄土高原地区地下水天然资源分布略图

1. 孔隙水　2. 黄土水　3. 岩溶水　4. 孔隙裂隙水及裂隙水　5. 补给模数(万 m^3/a·km^2)　6. 分区界线

各省地下水资源分布情况，由黄河上游至下游省份地下水天然资源模数逐渐增大，规律明显。即由甘肃—宁夏和内蒙—陕西—山西—河南，模数递增，由 2.32 增至 7.1 万 $m^3/a \cdot km^2$，青海以山地为主，因山区降水量较充沛，地下水天然资源模数偏大。各省天然资源及开采资源占全区总资源百分比详见表 14。其中蒙晋陕三省地下水天然资源量和开采资源量，分别占全区的 74%和 79%。

不同类型的地下水资源分布特点：

松散岩类孔隙水主要分布在盆地、沙漠及黄土塬地区，自西北向东南依次为湟水的西宁盆地、银川、河套平原、库布其毛乌素沙漠、大同、忻州、太原、长治、临运、关中、灵三、伊洛沁盆地及诸山间盆地和黄土塬区，孔隙水总分布面积 16.97 万 km^2，不足全区计算面积的三分之一，地下水天然资源为 196.34 亿 m^3/a，占全区天然资源总量的 58.4%，为工农业生产及生活用水的主要水源。

黄土高原地区各省地下水资源一览表　　表 14

省(区)	天然资源				开采资源			
	面积 (万 km^2)	模数 (万 $m^3/a \cdot km^2$)	资源量 (亿 m^3/a)	占总量 (%)	面积 (万 km^2)	模数 (万 $m^3/a \cdot km^2$)	资源量 (亿 m^3/a)	占总量 (%)
青海	3.36	7.36	24.74	7.4	0.29	17.73	5.03	2.5
甘肃	10.78	2.32	24.96	7.5	0.35	30.74	10.76	5.3
宁夏	5.16	5.15	26.57	7.9	0.68	30.9	21.01	10.3
内蒙	12.39	4.92	60.93	18.1	5.60	7.86	44.01	21.6
陕西	13.26	5.79	76.73	22.8	3.25	15.81	51.38	25.2
山西	15.63	7.01	109.56	32.6	6.48	10.4	67.4	33.1
河南	1.76	7.10	12.49	3.7	0.19	21.95	4.17	2.0
合计	62.34	5.42	335.98	100	16.84	11.99	203.76	100

岩溶水主要分布于吕梁山、太行山、霍山、中条山、嵩山、秦岭及渭北北山等灰岩山地区，尤以山西省岩溶发育，水量丰富，水质好，岩溶大泉众多，开发利用方便，已成为工农业及生活用水的重要水源。全区岩溶水分布面积 4.55 万 km^2，天然资源为 44.98 亿 m^3/a，占全区天然资源总量的 13.4%，地下水天然资源模数为 9.89 万 $m^3/a \cdot km^2$，仅次于孔隙水。

结晶岩裂隙水和碎屑岩孔隙裂隙水，分布在山地及夷平的高原，裂隙水分布于拉脊山、六盘山、秦岭、贺兰山、阴山、太行山、吕梁山、嵩山等山地区。碎屑岩孔隙裂隙水分布于子午岭、黄龙山、左云、沁水丘陵、鄂尔多斯高原和拉脊山及嵩山山地的部分地区，结晶岩裂隙水模数比碎屑岩孔隙裂隙水稍大。

黄土丘陵区的黄土水(黄土孔隙水与下伏基岩裂隙水)，分布范围之广为全区之冠，总面积达 20 万 km^2，约为全区面积的三分之一，而地下水天然资源最贫乏。主要分布在陇西、陇东、蒙晋陕黄土梁峁地区，区内沟谷纵横，多切入基岩，地形破碎不利于储水，水量贫乏，包括中生界承压水，地下水天然资源为 22.46 亿 m^3/a，约占全区天然资源总量的 6.7%（表 15），该区以解决人畜供水为主，属于区内最贫水和缺水的地区。

由表 15 反映出各类地下水天然资源的丰沛程度，资源数量、占总资源的百分比以及平均天然资源模数三者规律基本一致，各类型地下水天然资源丰富程度，由富至贫依次为

孔隙水、岩溶水、裂隙水、孔隙裂隙水，资源最贫为黄土丘陵区的黄土水（黄土及下伏基岩水）。若把黄土丘陵、黄土塬及盆地中黄土台塬区的黄土水进行统计，区内全部黄土水分布面积为 24.15 万 km^2，占全区面积的 39%，黄土水天然资源 47.7 亿 m^3/a，为全区地下水天然资源总量的 14%，其资源模数为 2 万 $m^3/a \cdot km^2$，仍然比其它各类地下水模数都小，是全区最贫乏的一类地下水。黄土水的开采资源 11.98 亿 m^3/a，占全区开采资源总量的 6%，说明可利用的黄土水更为有限。

不同类型地下水天然资源一览表　　表 15

项目 \ 类型	孔隙水	岩溶水	裂隙水	孔隙裂隙水	黄土及下伏基岩水	总计
面积（万 km^2）	16.97	4.55	10.82	10.00	20.00	62.34
天然资源（亿 m^3/a）	196.33	44.98	50.46	21.75	22.46	335.98
占全区天然资源（%）	58.4	13.4	15.0	6.5	6.7	100
模数（万 $m^3/a \cdot km^2$）	11.57	9.89	4.66	2.18	1.12	5.39

地下水开采资源计算面积 16.84 万 km^2，为全区总面积的 27%，开采资源 203.76 亿 m^3/a，相当于天然资源的 60%。开采资源的 79%集中在天然资源丰富且易开采的平原区，其次是分布在高原区的黄土塬和山地区的山间盆地及岩溶水分布地区。

3.3　地下水水质评价

3.3.1 地下水水质特征

黄土高原地区大部分地下水为小于 1g/l 的重碳酸型低矿化淡水，分布面积 54.66 万 km^2，天然资源 290.38 亿 m^3/a，占全区地下水天然资源总量的 86%。在水源缺乏地区，矿化度在 1—3g/l 的微咸水，尚可饮用，也进行了评价，经计算，天然资源 32.92 亿 m^3/a，占全区天然资源总量的 10%（表 16），主要分布在宁夏银川、西海固地区和甘肃省六盘山以西的陇西地区、内蒙的后套平原及断陷盆地古湖中心地带。矿化度大于 3g/l 的咸水资源 12.68 亿 m^3/a，占全区天然资源总量的 4%，主要分布在上述微咸水地区的局部地段，以银北、后套平原为主，其咸水资源为 9.04 亿 m^3/a。

3.3.2 供水水质评价

1. 饮用水评价

区内矿化度小于 1g/l 的淡水分布面积占全区的 88%，淡水资源占全区天然资源的 86%，说明绝大部分水适宜饮用。其 PH 值 6.5—8.5 之间，总硬度小于 25 德国度，亚硝酸盐氮小于 0.2mg/l，硝酸盐氮小于 20mg/l，氟小于 1mg/l，砷、铅、锌、铜、汞等有毒元素不超过饮用水标准，细菌含量超过标准的，经处理后为可饮用的水。

矿化度在 1—3g/l，总硬度在 25—40 德国度的水为可饮用的水，主要分布在银川河套平原及陇西、晋陕黄土高原，其面积为 5.27 万 km^2，天然资源为 32.92 亿 m^3/a，为全区天然资源的 10%。

黄土高原地区地下水淡水、咸水天然资源统计表　　表 16

分区 \ 矿化度 (g/l)			<1		1—3		>3	
大区	亚区	名称	面积 (km^2)	资源 (亿 m^3/a)	面积 (km^2)	资源 (亿 m^3/a)	面积 (km^2)	资源 (亿 m^3/a)
Ⅰ平原区	$Ⅰ_1$	西宁盆地	1014	1.35	1521	2.02		
	$Ⅰ_2$	银川、河套平原	16452	25.11	8077	16.07	5384	9.04
	$Ⅰ_3$	库布其毛乌素沙漠	48446	42.44	5908	1.79	4726	0.45
	$Ⅰ_4$、$Ⅰ_5$	大同、忻州盆地	10069	10.56	1042	0.98	149	0.14
	$Ⅰ_6$	太原盆地	5250	7.27	425	0.70	395	0.79
	$Ⅰ_7$	长治盆地	3300	1.58				
	$Ⅰ_8$	临运盆地	9202	10.64	1533	1.77	219	0.25
	$Ⅰ_9$	关中盆地	15994	30.72	2665	5.12	381	0.73
	$Ⅰ_{10}$、$Ⅰ_{11}$	灵三、伊洛沁盆地	9679	8.42				
		小　计	119406	138.09	21171	28.45	11254	11.40
Ⅱ高原区	$Ⅱ_1$	鄂尔多斯高原	32848	3.79	4006	0.16	3205	0.04
	$Ⅱ_2$	陇西黄土高原	54944	12.28	9157	2.22	1308	0.30
	$Ⅱ_3$	陇东黄土高原	52847	8.17	2969	0.36	3563	0.55
	$Ⅱ_4$	陕黄土高原	60592	8.57	10099	1.45	1442	0.31
		$Ⅱ_5$—$Ⅱ_8$	68048	25.41				
		小　计	269279	58.22	26231	4.19	9518	1.20
Ⅲ山地区		$Ⅲ_1$—$Ⅲ_2$	37445	25.06				
	$Ⅲ_3$	宁中山地	1151	0.04	4694	0.26	3012	0.06
	$Ⅲ_4$	贺兰—桌子山	3107	0.40	565	0.02	363	0.02
		$Ⅲ_5$—$Ⅲ_{15}$	116185	68.57				
		小　计	157888	94.07	5259	0.28	3375	0.08
合　计			546573	290.38	52661	32.92	24147	12.68
占全区总量(%)			88	86	8	10	4	4
全区地下水天然资源总量:			335.98 亿 m^3/a					
全区总面积			62.34 万 km^2					

矿化度大于 3g/l，总硬度大于 40 德国度，氟和有毒元素超标的水为不适宜饮用的水。主要分布在清水河与祖厉河流域苦咸水分布区、内蒙后套咸水带、银北平原咸水分布区、大荔及运城盐池等地段。此外后套东升庙一带，潜水含砷量 0.05—0.1mg/l，为不适宜饮用的水；卫宁北山四眼井—芦沟湖一带及牛首山南段，地下水中铅、锌含量分别为 7mg/l 和 1.2mg/l，不宜饮用；盐池、灵武、同心、定边、子洲一带含氟量超标，甚至大于 24mg/l。据宁夏地方病防治所对 3200 份水样调查资料，其平均含氟量为 3.8mg/l，为不宜饮用的水。

2. 农业用水评价

农业灌溉水质评价，主要采用矿化度和灌溉系数指标划分四种类型灌溉水。

适用灌溉的水，矿化度 1—3g/l，灌溉系数 5.9—18，分布在定西、会宁、固原、及环县以北的黄土丘陵，关中盆地泾河以东大荔一带，运城及太原盆地的低阶地区。

不适用灌溉的水，矿化度 3—5g/l；不能灌溉的水，矿化度大于 5g/l。此两种水主要分布在陇西、宁南黄土丘陵，陕西的卤泊滩、盐池洼及山西运城的盐池地区，地下水资

源为 12.68 亿 m^3／a，占全区天然资源的 4%。

好的灌溉水，矿化度小于 1g／l，灌溉系数大于 18，分布于上述地区以外的广大地区。

3. 工业用水评价

工业用水主要根据矿化度、PH 值、总硬度、沉淀物性质、腐蚀性及起泡系数指标评价。不好的锅炉用水，其锅垢总量大于 500，硬垢系数大于 0.5，起泡系数大于 200，腐蚀系数大于零，为水垢多、沉淀的、腐蚀的和起泡的水，分布在环江流域庆阳以北的苦水区，其余地区一般矿化度小于 1g／l，PH 值在 7—8 之间，总硬度小于 25 德国度，为水垢少，中等沉淀、半腐蚀或非腐蚀性，不起泡的水，适宜工业用水。

第四章　地下水资源开发利用

4.1　开发利用现状

黄土高原地区是中华民族的发祥地，开发利用地下水有着悠久的历史。随着工农业发展和人民生活水平的不断提高，需水量越来越大，在引用地表水的同时，大量开发地下水资源。据不完全统计，截止 1985 年，已开采地下水 79.11 亿 m^3/a，相当于地下水开采资源的 38.83%，大于我国南方和全国的开采程度，低于我国北方十七省市开采程度（表 17）。体现了黄土高原地区地下水在工农业生产中的重要作用。

地下水开采程度对比表　　表17

地　区	开采资源(亿 m^3/a)	已开采量(亿 m^3/a)	占开采资源(%)
黄土高原地区	203.76	79.11	38.83
我国北方十七省	1589.0	666.35	41.94
我国南方各省	1295.5	100.65	7.8
全　国	2943.5	767.0	26.06

由于各地水文地质条件、地貌以及水文网发育程度的不同，水源利用程度也不同。晋、陕工农业用水中，地下水比地表水利用量稍大（山西地下水开采量中含岩溶大泉水 4.6 亿 m^3/a）。青海湟水流域、宁夏和内蒙河套平原及河南伊洛沁盆地区以地表水为主要水源（表 18）。全区已开采的地下水中用于农业灌溉的占 68%，城镇工业及生活供水量仅占 32%。在已利用的水资源总量 256.91 亿 m^3/a 中，农业占 87%，城镇用水仅占 13%。

各省（区）工农业用水现状统计表　　表18

省（区）	青　海	甘　肃	内　蒙	宁　夏	陕　西	山　西	河　南	合　计
地下水已开采量 (亿 m^3/a)	1.04	2.65	6.91	2.66	30.79	31.40	3.66	79.11
地表水利用量 (亿 m^3/a)	8.4	20.3	51.06	36.3	30.5	19.8	10.9	177.8

4.1.1 城市供水

黄土高原地区至 1985 年共设市 36 座，大部分城市座落在黄河及其支流冲积平原或山前倾斜平原上，仅个别小城市处在丘陵地带。

1985 年底 36 个城市总人口为 1162.2 万（非农业人口），其中人口在 100 万以上的特大城市有西安、太原和兰州市；50—100 万的大城市有大同、呼和浩特、包头、洛阳和西宁市；20—50 万的中等城市有阳泉、长治、乌海、铜川、宝鸡、咸阳、天水、银川和石嘴山市；20 万以下的小城市 19 个，即榆次、临汾、候马、运城、晋城、忻州、东胜、临

河　三门峡、义马　延安、渭南、韩城、平凉、临夏　白银、西峰、吴忠和青铜峡市。

1985 年 36 个城市工业总产值 484.3 亿元，其中年工业总产值 50—100 亿元的城市有西安、太原和兰州市；年工业总产值 30—50 亿元的有洛阳和包头市；年工业总产值 10—30 亿元的城市有大同、阳泉、长治、呼和浩特、宝鸡　咸阳和西宁市；其余城市年工业总产值均小于 10 亿元(各城市人口、工业产值见表 19)。

黄土高原地区水资源比较贫乏。目前大部分城市已出现了供水紧张局面，影响了人民生活和工农业生产，随着城市人口的增长和工业的飞速发展，需水量与日俱增，水资源的保证问题已成为城市经济发展的制约因素。

据统计，1985 年 36 个城市日供水量总计 668.8 万 m^3 (24.41 亿 m^3/a)。其中地下水日开采量 535.7 万 m^3 (19.55 亿 m^3/a)，占总供水量的 80%；地表水日供水量 133.1 万 m^3 (4.86 亿 m^3/a)，占总供水量的 20%。根据各城市的供水规模划分四种供水类型，即日供水量大于 50 万 m^3 的为特大型供水城市，有西安、太原和兰州市；日供水量 20—50 万 m^3 的为大型供水城市，有大同、呼和浩特、包头、洛阳、咸阳、西宁和石嘴山市；日供水量 10—20 万 m^3 的为中等供水城市，有阳泉、长治、乌海、宝鸡、天水、银川和青铜峡市；其余城市为日供水量小于 10 万 m^3 的小型供水城市（见表 19、图 20）。现就地下水在城市供水中所占的比重，将城市供水水源划分为以地下水为供水水源、以地下水供水为主和以地表水供水为主三种类型：

黄土高原地区1985年各城市供水基本情况一览表　　表19

水源	城市	人口(万人)	工业产值(亿元)	供水量(万 m^3/d) 地下水	地表水	合计	水源	城市	人口(万人)	工业产值(亿元)	供水量(万 m^3/d) 地下水	地表水	合计
以地下水为供水水源	西安	173.2	77.4	87.0	0	87.0	以地下水为供水水源	侯马	6.7	2.2	5.0	0	5.0
	呼和浩特	56.8	14.9	22.1	0	22.1		韩城	6.7	2.7	4.5	0	4.5
	银川	26.8	7.5	12.0	0	12.0		东胜	5.8	1.1	1.0	0	1.0
	大同	70.4	24.2	32.2	0	32.2		义马	5.4	2.0	6.4	0	6.4
	洛阳	65.0	34.0	45.1	0	45.1		吴忠	4.9	1.3	2.3	0	2.3
	宝鸡	28.6	24.6	17.0	0	17.0		西峰	3.7	0.6	1.0	0	1.0
	咸阳	28.6	24.8	31.5	0	31.5		青铜峡	3.2	2.2	20.0	0	20.0
	乌海	23.6	3.5	12.7	0	12.7		小计	656.8	273.7	371.7	0	371.7
	石嘴山	22.6	7.5	20.0	0	20.0	以地下水供水为主以地表水供水为主	太原	139.1	59.8	76.2	7.7	83.9
	天水	21.0	8.7	10.3	0	10.3		西宁	50.4	12.5	23.6	7.4	31.0
	榆次	17.1	7.0	6.9	0	6.9		长治	27.3	16.4	6.6	6.0	12.6
	临汾	15.8	3.7	4.3	0	4.3		铜川	26.9	5.5	3.8	2.6	6.4
	渭南	11.1	2.6	5.3	0	5.3		小计	243.7	94.2	110.2	23.7	133.9
	临河	10.0	0.8	0.9	0	0.9		兰州	117.3	63.1	28.8	60.0	88.88
	韩城	10.0	9.1	7.3	0	7.3		包头	90.5	30.5	19.2	27.4	46.6
	运城	8.7	2.8	3.6	0	3.6		阳泉	29.5	12.9	5.0	12.0	17.0
	平凉	8.5	1.4	0.4	0	0.4		白银	15.7	8.5		9.0	9.0
	三门峡	7.9	4.6	7.4	0	7.4		延安	8.7	1.4	0.8	1.0	1.8
	忻州	7.4	1.8	3.4	0	3.4		小计	261.7	116.4	53.8	109.4	163.2
	临夏	7.3	0.7	2.1	0	2.1							
	全区总计								1162.2	484.3	535.7	133.1	668.8

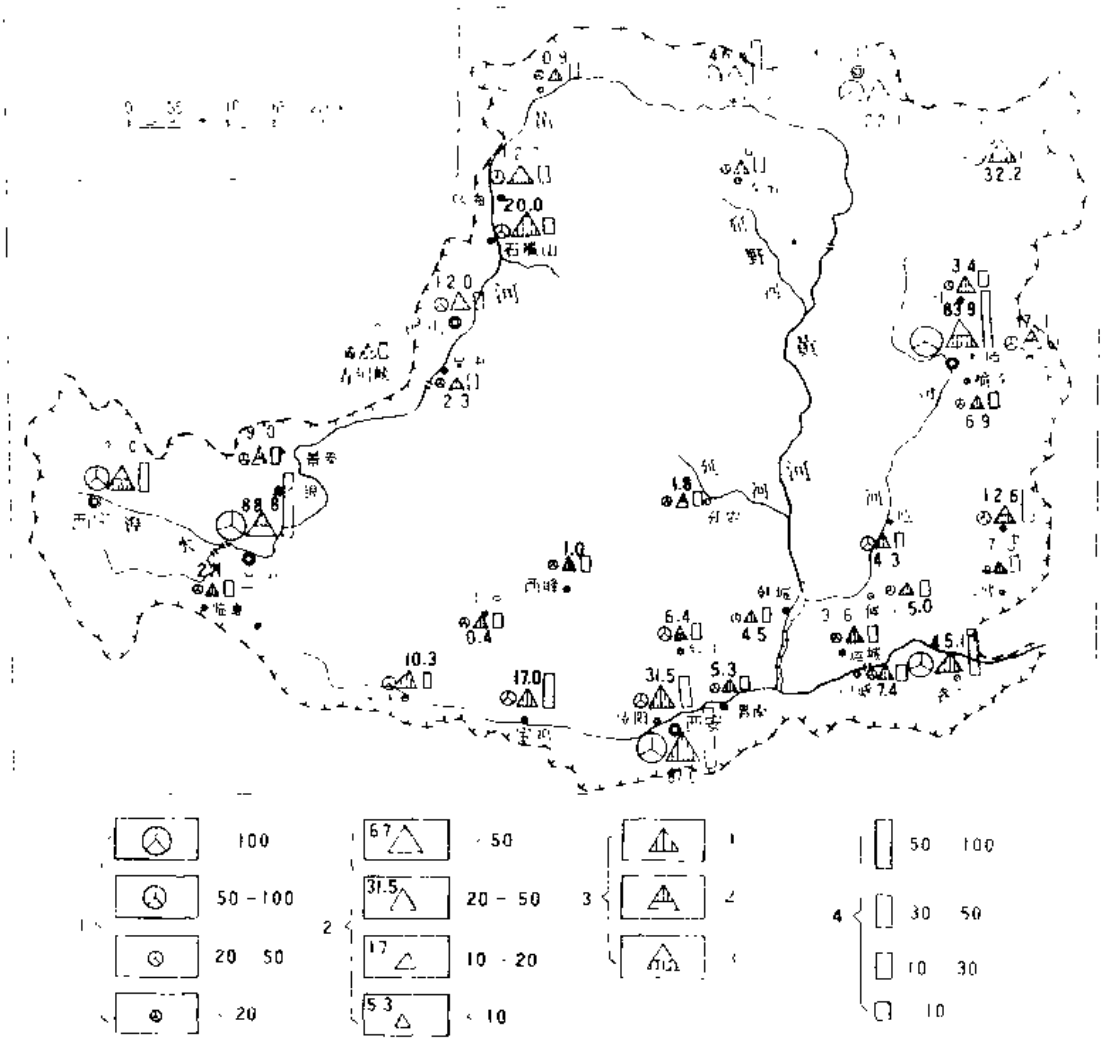

图 20　黄土高原地区各城市供水现状综合图

1. 人口，数字为城市人口数(万人)　2. 水源地，数字为城市日供水水量(万 m^3)　3. 水源地类型，分别为①地下水、②地表水为主、③地下水为主的供水水源地　4. 工业产值，数字为年产值(亿元)

1. 以地下水为供水水源的城市

区内西安、呼和浩特、银川、大同、洛阳、宝鸡、咸阳等 27 个大、中、小城市，至 1985 年均以单一的地下水为供水水源，主要开采第四系孔隙潜水和承压水，地下水开采量 371.7 万 m^3/d，占 36 个城市地下水总开采量的 69%。就现有资料对一些城市的供水分别叙之。

西安市和咸阳市位于关中盆地中部，区内沉积有数百米厚的第四系松散层，蕴藏着丰富的地下水，是城市的主要供水水源。西安市城市集中供水水源地多沿河流岸边分布，截止 1985 年建有七个水源地，开采量 56 万 m^3/d，主要开采潜水与浅层承压水。西安市水源地多为傍河取水，开采条件虽然较好，但因河流上游层层拦截灌溉，导致水源地河段经常出现断流，河水补给量减少，故老水源地不宜再扩大开采。城区工业自备水源井开采量约 31 万 m^3/d，主要开采 200m 之下的深层承压水，目前已超量开采，应缩减开采量。

全市总开采量已达 87 万 m^3/d，每到用水高峰季节，仍然出现供水紧张局面。咸阳市供水主要开采 50—150m 浅层承压水及 150—250m 深部承压水，以各单位自备井开采为主，1985 年自备井开采量 26.7 万 m^3/d，集中供水水源地开采量 4.8 万 m^3/d，全市总开采量 31.5 万 m^3/d。

呼和浩特市位于大青山山前倾斜平原地带，区内分布有第四系潜水和承压水。潜水主要用于农业，城市供水主要开采 150m 深度内承压水。含水层岩性为砂及砂砾石，累计厚度 10—40m，顶板埋深 40—90m。城市集中供水是 1964 年才发展起来的，1984 年已建立四个水厂，开采量 16.7 万 m^3/d，自备水源开采量 5.4 万 m^3/d，共计 22.1 万 m^3/d。

银川、石嘴山、青铜峡三市位于黄河冲洪积平原上，城市供水主要开采 150m 深度内潜水、承压水。含水层以中细砂、粉细砂为主，单井出水量 1000—3000m^3/d，地下水主要接受地表径流侧渗补给和农田灌溉入渗补给，补给源较充沛。银川市 1985 年开采量 12 万 m^3/d，其中潜水 1.8 万 m^3/d，承压水 10.2 万 m^3/d。石嘴山和青铜峡市的开采量各为 20 万 m^3/d。

大同市位于御河流域下游、雁同盆地的北缘，是我国重要煤炭能源基地之一，城市供水主要开采 60 或 150m 深度内第四系孔隙潜水和浅层承压水。自 1985 年开发了城西十里河水源区之后，相继又建成了城西水源区（因水位下降，现已停用），高庄和城北水源区。其中城北水源区是该市水量较大水质较好的水源区，主要开采 150m 深度内浅层承压水，含水层总厚 18—49.7m，岩性以砾石、中砂为主，单位涌水量 460—1060$m^3/d.m$。1970 年后，由于市区出现工农业争水矛盾，地下水处于盲目开采状态，造成区域性地下水位大幅度下降，水质恶化，水井水量减少。目前能开发利用的水源三处，开采量 16.2 万 m^3/d，各单位自备井开采量 16 万 m^3/d，全市总开采量 32.2 万 m^3/d。

洛阳市地处洛阳断陷盆地，盆地北、西、南面为黄土台塬，中部为洛、伊、涧河河间地块。城市供水主要开采河间地块中潜水、承压水。现有水源地七处，加压站一处，1985 年集中供水水源地和自备井开采量共计 45.1 万 m^3/d。多年来，由于开采量过大，在洛南、张庄、临涧三个水源地范围内，形成了区域性下降漏斗。1984 年以来，连续三年进行人工回灌，在回灌影响范围内，生产井水位有不同程度的升高，水位上升幅度 3—5m，张庄水厂日产水量增加 0.5 万 m^3。实践证明，水源地集中开采区，在条件许可的情况下，通过天然砂坑和人工开挖的砂坑进行回灌，以增加地下水补给量，效果良好，应大力推广。

宝鸡市位于关中盆地西部边缘，城市供水水源地分布于渭河两岸漫滩及阶地区，主要开采 50—150m 内第三系浅层承压水，目前已有水源地七处，1985 年开采量 17 万 m^3/d。

榆次市位于太原市南东约 25km，潇河岸边。解放前该市工业落后，全市没有自来水。解放后在城东的源涡村兴建了自来水厂，开采三叠系砂岩裂隙水，日供水量 4.7 万 m^3，一些厂矿在潇河冲洪积扇地带建立自备井，开采三叠系碎屑岩裂隙水，开采量 2.2 万 m^3/d，全市共计开采量 6.9 万 m^3/d。源涡水源地在开发前的五十年代出露有较大的泉水，总流量达 5460m^3/d，1962 年源涡成为榆次市供水水源地后，由于大量开采，再加上水源地上游农业开采，袭夺了补给区地下水向水源地的汇流量，源涡水源地目前开采量已与泉域的天然资源(5.54 万 m^3/d)基本平衡，今后仍保持现有的开采状态（包括农业开

采)，将可能导致水源地水位持续下降，应引起有关部门的重视。

三门峡市位于豫西丘陵地带，城市大部分处在黄河与青龙河之间的台地上，地形向西南倾斜，最高处海拔445m，最低处海拔310m，高差悬殊，给供水设施的兴建和管理带来一定的困难。三门峡市供水主要开采第四系孔隙水，现已建立三个水厂和三级加压站，1985年水厂开采量3.9万m^3/d，自备井开采量3.5万m^3/d，全市总开采量7.4万m^3/d。

东胜市是正在发展和建设中的新兴城市。地处鄂尔多斯高原南北分水岭地段，降水量少，没有丰富的地下水源和常年性河流，是典型的高原干旱缺水地区，城市供水紧缺。1985年全市供水量1万m^3/d。其中城区及郝家圪卜水源地，开采第三系上新统和白垩系下统孔隙裂隙水，开采量0.2万m^3/d，沙沙圪台水源地，利用渗渠方式开采沟谷浅层地下水，开采量0.8万m^3/d。1983年以来，东胜市利用渗渠方式开采沟谷浅层水，基本上解决了长期供水的紧张局面，由过去每日定时供水改为全日供水。在干旱丘陵地区利用渗渠方式开采沟谷浅层水，与管井比较，能扩大取水量，方法适宜。

2. 以地下水供水为主的城市

区内太原、西宁、铜川和长治市，地下水在城市供水中所占比重超过50%，列入以开采地下水为主的城市。四城市总供水量133.9万m^3/d，其中地下水110.2万m^3/d，占总供水量的82%，地表水23.7万m^3/d，占总供水量的18%。

太原市号称"煤铁之乡"，地处晋中盆地北端，盆地中第四系沉积物厚达110—1100m，近山区为黄土台塬及洪积扇，东、西、北山区出露奥陶系灰岩，以第四系孔隙水和岩溶水作为城市主要供水水源。目前已建立水厂8处，1985年开采量35.9万m^3/d，其中岩溶水22.7万m^3/d，第四系孔隙水13.2万m^3/d。自备井开采量40.3万m^3/d，主要开采第四系孔隙水，岩溶水次之，地下水总开采量76.2万m^3/d。此外工业引用汾河水7.7万m^3/d，全市供水量总计83.9万m^3/d，地下水占91%，地表水占总供水量的9%。

西宁市地处西宁盆地，城市供水主要开采第四系砂砾卵石层中潜水。目前已建立水厂四处，1985年供水量14万m^3/d，各单位自备井供水量17万m^3/d，共计31万m^3/d，地下水为23.6万m^3/d，占总供水量76%，地表水7.4万m^3/d，占总供水量的24%。

铜川市位于陕北黄土高原南部边缘部位，是以建材为主的新兴中等工业城市。1958年以来该市修建了三里洞、黄堡、柳湾三个水厂取地表水作为供水水源，此外还开采三叠系碎屑岩孔隙裂隙水，矿区自备井主要开采第四系孔隙水和二叠系孔隙裂隙水。由于地下水补给资源贫乏，长期开采，水位难以稳定，一般为间歇性开采。特别是夏季用水高峰，河水断流，供水紧张，供需矛盾更为突出，直接影响城市的生产发展。为解决铜川市供水急需，1982年已从市区南20km外的耀县取冲积层水逆坡送水1万m^3/d。截止1985年全市总供水量6.4万m^3/d，其中地下水3.8万m^3/d，占总供水量的59%，地表水2.6万m^3/d，占总供水量的41%。

3. 以地表水供水为主的城市

区内兰州、包头、延安、阳泉和白银市，地表水在城市供水中所占比重超过50%，列入以地表水供水为主的城市。五城市供水量总计163.2万m^3/d，其中地表水109.4万

m^3/d，占总供水量的 67%，地下水 53.8 万 m^3/d，占总供水量的 33%。

兰州市地处黄河上游，黄河由西向东横穿市区，平均流量 $1080m^3/s$，含沙量低，由于上游刘家峡等大中型水库的调蓄作用，流量趋于稳定，可作为城市供水水源。兰州市在市区上游建立了西固水厂，取黄河水 60 万 m^3/d，主要供工业用水。地下水供水主要集中在黄河沿岸地带，开采第四系潜水、承压水，开采量 15.6 万 m^3/d，自备井开采量 13.2 万 m^3/d，全市供水量总计 88.8 万 m^3/d，其中地表水占 68%，地下水占 32%。

包头市，城市供水主要开采山前冲洪积扇区潜水和承压水。六十年代后，由于水位下降，水量越来越小，工业用水部分取用水库水，到七十年代开始取用黄河水。黄河由包头市南缘东流，该段历年平均流量 $824m^3/s$。截止 1985 年包头市已建立了一个地下水厂，开采量 19.2 万 m^3/d，两个地表水厂，即包钢水源地和东河区磴口水厂，取黄河水 27.4 万 m^3/d，全市供水量总计 46.6 万 m^3/d，其中地表水占 59%，地下水占 41%。

延安市位于陕北黄土高原延河谷地。城市供水主要开采侏罗系下统砂岩孔隙裂隙水，富水地段分散、局限、地下水资源贫乏，已探明的地下水资源 1.38 万 m^3/d，1985 年地下水开采量 0.8 万 m^3/d，供水不足。1982 年修建了地表水厂，主要取延河水，由于每年 6—9 月份河水泥沙含量高，超过了自来水供水设施处理泥沙的能力（大于 $60kg/m^3$），常常使供水中断，严重影响了城市工业和人民生活。1985 年地表水供水量 1 万 m^3/d，全市总供水量 1.8 万 m^3/d，其中地表水占 56%，地下水占 44%。

白银市城市供水全部取用地表水，该市共建有两个水厂，均以黄河水为水源。第一水厂 1959 年投产，原设计能力 7.2 万 m^3/d，后增加到 10.2 万 m^3/d，提水高度 290m。第二水厂 1973 年投产，设计能力 8—9 万 m^3/d，提水高度 279m。目前实际供水能力为 9 万 m^3/d，只使用一个水厂。

纵观全区城市供水条件，凡开采第四系潜水的水源地，资源丰富，补给循环快，含水层的储存和调节性能强，开采条件下水位下降缓慢，并在雨季丰水年尚可部分得到恢复，西宁、兰州、西安、洛阳等市建立的傍河水源地多属此类，是较理想的调节型供水水源地；开采第三、第四系承压水水源地，因补给循环迟缓，地下水资源较贫，长期超量开采，水位大幅度下降，难以恢复，属于缓慢消耗型水源地，应采取缩减开采量，以达采补平衡。这类水源地只要遵循量入为出的开采原则，杜绝超采，仍是较好的城市供水水源地。如银川、包头、呼和浩特、太原、大同、宝鸡以及西安市自备水源井开采区，以开采承压水为主，均属此类；凡开采前第四系（中生代）碎屑岩孔隙裂隙水的城市，由于含水层接受补给和储存条件均差，资源不足，除榆次外城市供水严重缺水。如位于陕北黄土高原的铜川和延安以及地处鄂尔多斯波状高原的东胜市，河谷第四系沉积层薄，缺乏集中供水条件，城市供水主要开采白垩系至二叠系碎屑岩孔隙裂隙水，资源缺乏，生产井常不能连续开采，以间歇采水为特点，属于消耗型水源地，开采条件很差，单纯用地下水不能满足城市供水要求，需开辟地表水源，以满足需水要求。随着城市建设的发展，城市供水紧张局面将会日趋严重，为了缓解目前和今后的供需矛盾，各城市应根据本地区的供水条件，制定切实可行的措施，使有限的水资源，得到充分有效地利用。

4.1.2 能源基地供水

1. 能源基地概况

煤炭资源是黄土高原地区主要的优势矿产资源，分布广泛，储量巨大。主要煤田有山

西的沁水、河东、大（同）宁（武）、西山、霍西煤田；陕西的渭北、神（木）府（谷）煤田；内蒙西部东胜、准格尔煤田；宁夏宁东、贺兰山、香山、宁南煤田和豫西、义马、新密等矿区。截止 1987 年，全区已探明煤炭储量占全国探明储量的 72.5%（表 20）。

黄土高原地区煤炭资源统计表　　表 20

地　区	探明储量占全国(%)	居全国位次
全　国	100	
黄土高原地区	72.5	
山　西	26.7	第一位
陕　西	19.3	第三位
内　蒙	20.8	第二位
宁　夏	3.7	第六位
豫　西	2.0	

由于本区能源基地外运煤炭通路有限，随着全国对煤炭需求量的增加，不仅在能源基地存在大量劣质煤炭需要转化为电力的问题，同时外运的动力煤中需要转化为电力的数量将随之逐年增加，因此在能源基地建立火电基地，不仅非常必要，而且是发展的必然趋势。

黄土高原地区不论是现在，还是未来的二十一世纪，将成为我国煤炭基地，同时在不远的一个时期也将是我国北部和东部电力供应的主要基地之一。由此本区煤炭资源和电力的合理开发布局将对我国社会经济的发展起着极为重要的作用。

2. 能源基地供水条件与开发布局

总的看来，能源基地的水资源，一是少，二是分布不均，三是开采集中，需水量大，这些特点将对能源基地发展带来很大影响。可以看出，水资源条件将成为制约基地发展和电力布局的主要因素，这意味着电站只能布置在那些水资源条件好的地区。基地内水资源条件好的地区有：

(1) 黄河干流贯穿基地内各省(区)，是基地主要水源和地下水的补给源。如宁夏的卫宁平原和银川平原、内蒙河套平原、晋西北的河保偏地区、山西的禹门口和陕西的韩城地区、豫西的三门峡、洛阳地区等，为基地富水地区。

(2) 太行山、中条山等岩溶发育地区，岩溶地下水较为丰富。如神头泉、娘子关泉、辛安泉、延河泉等岩溶大泉排泄量一般在 8—12m^3/s。

(3) 沙漠前缘地下水排泄带和沙漠滩地水源等，也有一些可为基地利用的水源地。如宫泊沟、尔林兔、店塔等水源地均为地下水相对富水区。

前面几种情况水源条件较好，为煤炭基地提供了一定的建设条件。

火电基地建设除水源条件外，工业场地和环境容量也是厂址选择的必要条件。从客观上来看，黄土高原区黄土丘陵沟壑纵横，干旱缺水，风沙等自然灾害特别严重，且环境容量小，生态十分脆弱，这样的条件给火电基地的选址和建设带来了很大困难。但通过考察，也有不少依水靠煤，地形开阔，环境容量相对较好的工业场地，布置大型火电基地的条件是较理想的。例如：

卫宁、银川盆地的贺兰山、宁东、宁南等煤田，依黄河和冲积平原水源地，可以建设以贺兰山为中心的火电基地；

靠渭北煤田，依渭河和冲积平原地下水水源地、渭北岩溶水水源选厂，可以建设秦岭北大型火电基地；

在沁水煤田中，依太行山、中条山岩溶水水源地选厂，可以建设晋中、晋东南火电基地；

靠黄河东北部煤田，如神府煤田，依黄河干流和河套盆地地下水源选厂，可以建设河曲、府谷和黄河北干流特大型火电基地等。

总之，在能源基地煤炭资源丰富，开发条件好，在一些特定的地区同时具备建设大型火电基地的条件。因此，能源基地的建设要考虑煤、水、电、环境、生态等诸多因素，统筹规划，合理布局和开发，使黄土高原地区的优势资源发挥最佳的经济效益。

3. 煤炭、火电生产及用水现状

目前能源基地煤炭资源的开发还处于初期阶段，1985 年全区煤炭产量占全国煤炭产量的 27.5%，用水量 65.7 万 m^3／d，火电装机，还远不能满足国民经济建设需要，到 1985 年止，全区火电装机容量仅占全国同期总容量的 7.7%，用水量 53.6 万 m^3／d，全区煤炭、火电用水量共计 119.3 万 m^3／d（4.4 亿 m^3／a）。

(1) 山西能源基地

山西煤炭资源丰富，交通方便，被国家列为能源基地重点建设地区。目前已初步形成一个以煤炭为中心，其它工业相应发展的多结构工业体系。1985 年煤炭产量占全区同期产量的 66.7%，用水量 43.8 万 m^3／d，主要开采的煤矿有大同、阳泉、西山、汾西、霍县、潞安、晋城等。目前 500kw 以上火电装机容量占全区同期容量的 38.5%，用水量 20.6 万 m^3／d。其中，神头电厂、娘子关电厂、403 电厂、霍县电厂开采岩溶水 16.42 万 m^3／d。煤炭、火电用水量合计 64.4 万 m^3／d（2.35 亿 m^3／a）。岩溶水是山西能源工业的主要供水水源。

当前，在水资源利用上，特别是工业集中区，农业生产条件好的盆地区出现了工农业之间的争水矛盾，影响了农业生产。如盛产小麦的晋南地区，一般年份降水量满足不了作物生长期的需水量，更不能保证作物的稳产高产。工矿企业集中的太原市，日需水量 112 万 m^3，实际只能供给 83.9 万 m^3。运城盐湖因地下水补给量减少，盐产量由每年的 110 万 t 降到 80 万 t。随着山西省能源重化工基地的建设，水资源的供需矛盾将更加突出。据有关部门预计，本世纪末，山西省工农业年总产值可达 680 亿元，煤炭总产量将比本省 1985 年增加 1.5 倍，火电装机容量增加约 8 倍。煤炭需水量（包括地方矿）63.7 万 m^3／d（2.33 亿 m^3／a），尚缺水约计 40 万 m^3／d（1.46 亿 m^3／a）。电力工业 2000 年需水 172.8 万 m^3／d（6.3 亿 m^3／a），约缺水 59 万 m^3／d（2.15 亿 m^3／a），煤电总需水量 236.5 万 m^3／d(8.6 亿 m^3／a)，缺水 99 万 m^3／d(3.61 亿 m^3／a)。由此可见，水资源问题是关系到山西能源重化工基地建设的关键环节之一，是急待解决的重要问题。

(2) 陕西能源基地

陕西煤炭资源丰富，含煤面积约 4.47 万 km^2。特别是陕西的神府煤田，是已探明的我国最大一个优质造气动力煤田，构造简单，易气化，易于开采，目前已进入初期开发阶段。渭北煤田也是能源基地的重要组成部分，交通方便，靠近工业区及城镇。近年来还探明陕北蕴藏着丰富的天然气。全省 1985 年煤炭产量占全区同期产量的 9.8%，用水量 6.5 万 m^3／d。主要开采的煤矿有铜川、韩城、澄合等矿区及神府煤田的店塔、活鸡兔矿区。1985 年 500kw 以上火电装机占全区同期 32.5%，用水量 17.4 万 m^3／d。主要的火电厂有宝鸡、渭河、韩城、秦岭等电厂。煤炭、火电用水量合计 23.9 万 m^3／d（0.87 亿 m^3／a）。其中，铜川矿区、韩城矿区及电厂、澄合矿区利用地表水 0.6 万 m^3／d，开采地下水 12 万 m^3／d。陕西省目前能源工业供水水源主要开采关中盆地冲积层孔隙水、渭北

北山岩溶水及神府煤田矿区附近沙漠滩地及沟谷中的孔隙水。

陕北神府煤田的大规模开发和火电基地的建设已迫在眉睫，新兴的工业城镇也将出现在陕北黄土高原上，这里近期以开采地下水为主，远期需综合开发利用地下水与地表水水源。黄河水的利用需上下游统一规划配给。神府煤田的开发，特别是露天煤矿的开采，将破坏原有的植被，使这一地区的生态环境进一步恶化，原有的风沙灾害将进一步加重。

渭北岩溶水是能源基地重要的供水水源，但对其资源目前尚未搞清，应加强这方面的研究，尽快提供可靠的资源量，为能源基地的建设所利用。到2000年陕西煤炭产量将比本省1985年增加近两倍，火电装机增加近四倍，需水量共计123万m^3/d（4.49亿m^3/a。

(3) 内蒙古能源基地

位于黄土高原的北部，主要指内蒙西部的东胜—准格尔地区以及乌海、丰镇地区。1985年煤炭产量占全区的2.5%，用水量1.6万m^3/d。目前有四座火电厂，装机容量占全区的5.2%，用水量2.8万m^3/d。煤炭、火电用水量合计4.4万m^3/d（0.16亿m^3/a）。目前主要开采河套平原冲积层孔隙水。河套平原是我国北方最大的引黄灌区，地下水利用程度很低，有很大的开发潜力。黄河干流从中通过，在地下水不足的地方（如准格尔煤田区），可利用河水作为补充。到2000年，基地内煤炭产量和火电装机容量将比本省1985年大幅度增长，合计需水量224.2万m^3/d（8.2亿m^3/a）。

(4) 宁夏能源基地

位于黄土高原的西北部，主要集中分布在卫宁盆地、银川盆地及其附近。1985年煤炭产量占全区的4.5%，用水量3万m^3/d。目前有大武口、石嘴山、中宁三座火电厂，装机容量占全区的10.3%，用水量5.5万m^3/d。煤炭、火电用水量合计8.5万m^3/d（0.31亿m^3/a）。银川、卫宁盆地冲洪积平原中的孔隙水是能源工业的主要供水水源。由于区内主要利用黄河水，地下水开发利用程度低，建立水源地条件好，但勘探程度较低，有待进一步勘探后建立能源基地供水水源地。到2000年宁夏煤炭产量将比本省1985年增加1.8倍，火电装机增加4.6倍，需水量共计46万m^3/d（1.7亿m^3/a）。

(5) 豫西能源基地

位于黄土高原的东南侧，区内主要开采的煤矿有焦作、义马、新密等矿区。1985年煤炭产量占全区的16.5%，用水量10.8万m^3/d。现有焦作、洛阳、丹河三座火电厂，装机占全区的13.5%，用水量7.3万m^3/d。煤炭、火电用水量合计18.1万m^3/d，主要开采焦作矿区一带岩溶水及伊洛河冲积平原孔隙水。豫西能源基地区地下水资源丰富，特别是沁、丹河流域一带，降水较丰富，补给条件好，岩溶水丰富，是太行山区著名的岩溶大泉出露区之一，丰富的水源为基地建设提供了有利条件。但这一地区水资源存在着严重浪费现象，特别是农业用水浪费更大。如丹河灌区亩次毛用水量150m^3，沁河灌区亩次毛用水量高达268m^3，渠系工程质量差，漏水严重，其输水损失达60—70%，需采取节水措施，把节约下来的水，给能源基地使用很必要。到2000年，豫西煤炭产量将比本省1985年增加二分之一，火电装机容量增加幅度大于10倍。需水量共计188.6万m^3/d（6.9亿m^3/a）。

总的来说，能源基地用水常被统计在城市供水当中，单独统计较为困难。因此，这里所指的基地供水现状，是根据一般煤炭用水定额（水1m^3/t煤）和按每百万kw发电量

用水 1m³/s（8.64 万 m³/d）换算求得（表 21）。

1985年能源基地煤、电生产用水量统计表　　表21

省（区）	煤炭产量占全区(%)	用水量（万 m³/d）	火电装机容量占全区(%)	用水量（万 m³/d）	煤电总用水量（万 m³/d）	水源类型
全区	100	65.7	100	53.6	119.3	
山西	66.7	43.8	38.5	20.6	64.4	岩溶水
陕西	9.8	6.5	32.5	17.4	23.9	岩溶水 孔隙水
内蒙	2.5	1.6	5.2	2.8	4.4	孔隙水
宁夏	4.5	3.0	10.3	5.5	8.5	孔隙水
豫西	16.5	10.8	13.5	7.3	18.1	孔隙水

4.1.3 农牧业供水

黄土高原地区是我国农业的发祥地，大约在 6000 年前，就已开始农业生产活动，春秋战国时期已有凿井汲取地下水灌溉农田的记载，秦汉时期在关中地区修建了著名的"郑国渠"；在宁夏黄河两岸兴修的"秦渠"、"汉渠"、"汉延渠"和"唐徕渠"是我国最古老的引黄大干渠，利用地下水和地表水灌溉农田历史悠久。而大规模地兴修水利工程、开采地下水发展农业灌溉则始于建国之后。至 1985 年，全区共修建大中型水库 171 座(含龙羊峡)，配套机井 35.1 万眼，农牧业总用水量 224 亿 m³/a，其中地下水灌溉量 53.8 亿 m³/a，占总用水量的 24%。因此，农牧业供水以地表水为主，地下水为辅。全区总耕地面积 19048 万亩，有效灌溉面积达 5592 万亩，占总耕地面积的 29%。其中地下水灌溉面积 1396.5 万亩，占有效灌溉面积的 25%，地下水在农业生产中亦占有重要的作用。

区内农牧业供水中，开发利用地下水程度较高的是晋、陕两省。如汾渭盆地灌区有耕地面积 4284 万亩，有效灌溉面积 2432 万亩，占耕地面积的 57%，其中地下水灌溉面积占有效灌溉面积的 31%，开采地下水 32.7 亿 m³/a，占全区地下水灌溉量的 61%，是该盆地区灌溉总用水量的 40%。说明利用地下水灌溉占有相当重要的地位。

区内多山地及高原丘陵，平原面积仅占全区总面积的 24%。地下水分布贫富极为不均，开采程度高低悬殊较大。除了河谷盆地水资源较丰富，供水条件较优越，地下水开采程度较高外，广大的山区和黄土梁峁地区水资源贫乏，不利于农牧业供水设施的建设，地下水利用程度相对较低。由于黄土高原地区地域辽阔，地形复杂，农牧业结构、供水条件以及地下水开采程度的差别，按自然单元划分为平原、高原及山地三个大区，依据地貌单元结合水利化程度，划分为 10 个亚区（表 22）。

1. 平原区

平原区包括关中平原和银川河套平原，晋中（大同、忻州及汾河盆地）及灵（宝）三（门峡）、伊洛沁等盆地。该区地势平坦，土地肥沃，河渠成网，水利事业发达，农业生产条件优越，供水程度高，为全区重要商品粮基地。该平原区有耕地面积 8447 万亩，占全区总耕地面积的 49%，有效灌溉面积 4392 万亩，占全区总有效灌溉面积的 79%。灌溉用水量 182 亿 m³/a，占全区总灌水量 81%，平均每亩用水量 215m³，反映了平原区水利

化程度高，灌溉量及有效灌溉面积、平均每亩用水量均为三大区之冠。其中地下水灌溉面积1150.3万亩，为全区地下水总有效灌溉面积的82%，平原区地下水灌水量46.2亿m^3/a，为全区地下水总灌量的86%。

黄土高原地区农牧业供水现状一览表　　表22

分区		可利用水资源(亿m^3/a)			现状供水量(亿m^3/a)				耕地面积	有效灌溉面积(万亩)			
区	亚区	地表水	地下水	合计	地表水	地下水	合计	亩均水量(m^3)	(万亩)	占耕地面积(%)	地表水	地下水	合计
平原区	银川、河套灌区	47.39	47.4	56.08*	68.8	4.2	73.0	487	1498	76	1007.7	136.3	1144
	汾渭盆地灌区	42.48	67.6	110.08	48.4	32.7	81.1	189	4284	57	1678.0	754.0	2432
	大同、忻州盆地	10.3	17.0	27.3	8.4	6.6	15.0	81	1852	26	325.0	152.0	477
	灵三、伊洛沁盆地	21.0	4.2	25.2	10.2	2.7	12.9	159	813	42	231.0	108.0	339
	合计	121 17	136.2	218.66	135.8	46.2	182.0	215	8447	52	3241.7	1150.3	4392
高原区	鄂尔多斯高原	3.36	32.0	35.36	3.1	2 1	5.2	135	384	19	43.0	31.0	74
	陇西宁南黄土高原	22.88	10.8	33.68	13.1	1.0	14.1	40	3566	12	378.1	48.9	427
	蒙晋陕黄土高原	11.92	8.8	20.72	5.2	1.4	6.6	21	3126	8	174.2	61.8	236
	西峰、洛川黄土塬	5.87	1.7	5.57	2.8	1.0	3.8	22	1715	12	151.5	47.5	199
	合计	44.03	53.3	97.33	24.2	5.5	29.7	34	8791	11	746.8	189.2	936
山地区	晋东山地区	14.01	5.0	19.01	6.3	0.1	6.4	137	466	27	117.0	8.0	125
	晋东山地区	6.0	9.3	4.3*	3.9	2.0	5.9	44	1344	10	90.0	49.0	139
	合计	20.01	14.3	23.31	10.3	2.1	12.3	68	1810	14	207.0	57.0	264
总计		185.21	203.8	339.3	170.2	53.8	224.0	118	19048	29	4195.5	1396.5	5592

* 银川河套灌区水资源中去掉重复利用量38.71亿m^3/a；晋东山地区岩溶大泉水重复利用量11亿m^3/a。

总之，平原区的灌溉条件最佳，绝大部分有效灌溉面积都集中分布于该区。因此，加强本区水资源科学管理和发展节水型农业对全区具有重要意义。

(1) 银川河套灌区

本区自宁夏中卫的沙坡头至内蒙的托克托，全长约1000km，黄河横贯其中，两岸地势平坦，沃野千里。共有耕地面积1498万亩，有效灌溉面积1144万亩，占耕地面积的76%。本区气候，冬季严寒少雪，夏季高温干旱，降雨少、蒸发大，日照充足，无霜期短，属于典型大陆性气候。年平均气温3—6℃，无霜期120—180天。年降水量很少，自宁夏中卫至内蒙三盛公一带，年平均降水量130—215mm，是黄土高原地区降水量最少的地区；由三盛公至托克托，年降水量200—400mm，年内分配很不均匀，7—9月占60—70%以上，且多暴雨，年季变化也很大，多雨年与少雨年相差4倍多。区内各地年蒸发量1400—2500mm不等。本区若从当地自产径流平衡，则属异常干旱地区，但由于黄河横贯其境，引水方便，阡陌良田都能进行灌溉，反而是水量比较丰富地区，亩均水量487m^3，为全区最高。

本区有得天独厚的自流引水条件，灌溉历史悠久。早在秦汉时期就开渠引水灌溉，经过历代经营，发展成今天的规模，素有"塞外江南"之称。但是，长期以来，生产条件变化

不大，内蒙河套灌区、粮食亩产长期徘徊在100—200斤；条件较好的宁夏引黄灌区，亩产也只有400多斤，人均收入较低。其原因是由于引水过多，造成灌区土地大面积次生盐碱化不断扩大。盐碱地面积达600多万亩，占灌区耕地面积的40%以上。盐碱地面积的发展速度，每年约20万亩，相当于灌溉面积逐年增长速度的50%。特别是内蒙引黄灌区盐碱地面积发展更快，据1964—1973年期间统计，耕地面积由927万亩增至1077万亩，净增150万亩，同时盐碱地面积由261万亩增至562万亩，净增300万亩，盐碱地面积超过耕地面积发展速度一倍。

盐碱地发展迅速的原因，主要是灌区地层(第三系红层)中含盐分较高，是盐碱土形成的地质环境因素所致；引水过多，排水不畅，不合理的灌溉制度，则是盐碱化发展的直接原因。大量引水灌溉，导致地下水位升高，盐碱土面积增加。例如宁夏引黄灌区，1957年平均引水量40亿m^3，1971年以后增至70亿m^3，按目前灌区312万亩计算每亩引水量高达1122m^3（灌溉定额200m^3／亩）。大量引水的结果，使青铜峡灌区的地下水位普遍升高0.35m，盐碱化面积由56%增加到67%。又如内蒙后套灌区，解放初期约有45万亩盐碱地，占当时耕地面积的14%，至1977年盐碱地面积增至319万亩，约占耕地面积的56%。目前后套灌区一年中地下水位埋深小于2m的天数为90—150天，加剧了土壤次生盐碱化的进程。这说明，在排水没有解决的情况下，扩大耕地面积，增加引水量，不但不能提高产量，反而使盐碱化面积进一步发展。故从历史经验和现有资料看，土壤盐碱化的防治问题急待解决。

银川河套灌区，地下水现状开采资源47.4亿m^3／a，用于农田灌溉仅4.2亿m^3／a，为地下水开采资源的9%，有条件利用剩余量发展井灌井排治理盐碱地。

(2) 汾渭盆地灌区

本区范围，北自太原西至宝鸡峡，沿汾河、渭河成弧形分布。由太原盆地、临汾盆地、运城盆地和关中平原组成。有耕地面积4284万亩，有效灌溉面积2432万亩，占耕地面积的57%，是黄土高原地区工农业最发达，人口最集中的地区。本区早在两千多年前的秦汉时期就开渠引水灌溉，汾河流域的十大泥渠和八大堰，泾河下游的郑国渠，都是当时比较发达的农业区。经过历代兴衰变迁，发展到现在，灌溉面积在10万亩以上的灌区面积共1300余万亩，成为山西、陕西两省盛产粮棉油的重要基地。区内有重要工业城市西安、太原、宝鸡、临汾等，工业基础较好，为支援农业提供了有利条件。区内年平均气温8—15℃，降水量500—600mm，气候条件适宜农作物生长，大部分地区为一年二熟或二年三熟。

区内泾河、洛河、渭河及汾河，平均每平方公里产水11万m^3。汛期河川径流量占年径流量的60%以上，含沙量较大，可利用水资源数量有限。区内大型灌区较多，除太原盆地修筑水库较多，有一定的调蓄能力外，其余灌区都缺乏蓄水工程，没有调节能力，关键时刻不能保证灌溉供水，特别是关中平原的几个大灌区，都是直接从河道引水或抽水灌溉，保证率更低，灌区大量需水季节，河道有断流现象。本区地下水资源较丰富，补给来源充沛，在河流两岸地区单井出水量一般大于1000m^3／d，地下水开采程度较高，地下水灌溉量占农牧业供水量的40%以上。由于对地下水的开发利用缺乏科学管理，工农业争水矛盾比较突出，农业供水中的渍水和地下水位大面积下降问题急待解决。

2. 高原区

本区包括鄂尔多斯向斜盆地和陇西黄土高原，面积约为全区之半。除北部风沙覆盖的鄂尔多斯台地外，中南部为广阔的黄土高原区。黄土高原区以黄土丘陵为主，地形破碎，沟壑纵横，不利于农业生产，水资源贫乏，供水条件极差。仅在河谷川地，沙漠滩地以及西峰、长武、洛川等黄土塬区适宜农牧业生产，供水条件较好。

高原区有耕地 8791 万亩，多分布在黄土梁峁及斜坡上，灌溉条件很差，有效灌溉面积 936 万亩，仅为耕地面积的 11%，近 90%的土地得不到灌溉。亩均水量 34m^3，为全区亩均水量最少地区。总灌水量 29.7 亿 m^3／a，其中地下水灌溉量 5.5 亿 m^3／a，占总灌水量的 19%，地下水灌溉面积 189.2 万亩，占本区总有效灌溉面积的 20%。农牧业供水程度处于全区最低水平。本区主要环境地质问题是水土流失严重。造成水土流失严重的原因，除黄土地层土质疏松，抗冲性能极弱的地质因素外，降雨集中，又多以暴雨形成出现，历时虽短但强度很大，加之以往滥垦滥牧，90%的粮食作物种植在 10—25° 的坡地上，广种薄收，植被遭到破坏，每逢暴雨，洪水泥沙俱下，水土流失极其严重。严重的水土流失，使黄土地形日趋破碎，耕地面积缩小，耕作层变薄，土壤肥力减退，蓄水保墒能力降低，进一步破坏了生态平衡，致使洪涝、干旱加剧，河川径流的含沙量加大，严重地影响到灌溉用水。

(1) 鄂尔多斯高原

鄂尔多斯高原区，以干旱、风沙著称，大部分地区属于内流域。区内人烟稀少，人口密度每平方公里 10.1 人，居民主要分布在海子周围和洼地，人均耕地 2.8 亩。东南部榆林、靖边一带为农业区，向北过渡为半农半牧或纯牧区。由于不合理的垦荒，导致草场退化，沙漠化日益严重，沙漠侵压农田面积达 100 万亩以上。当地可用水资源 35.36 亿 m^3／a，其中地下水开采资源 32 亿 m^3／a，占 90%。耕地面积 384 万亩，有效灌溉面积 74 万亩，占耕地面积的 19%。农牧业供水量的 40%依靠地下水，主要开采当地冲湖积层潜水。如毛乌素沙漠滩地区，水位埋深 2m 左右，含水层厚度 50—80m，单井出水量 100—500m^3／d，计算开采资源 18.75 亿 m^3／a，为当地农牧业供水提供了丰富的地下水源。全区地下水灌溉面积 31 万亩，占有效灌溉面积的 42%，开采地下水 2.12 亿 m^3／a，还有约 30 亿 m^3／a 剩余开采量可以利用，为本区能源基地供水以及发展林牧业生产和防风固沙提供了水源。在开采过程中必须控制合理的水位下降，防止引起生态环境的恶化。

(2) 陇西宁南黄土高原

包括兰州、天水盆地以及宁南、陇西黄土丘陵沟壑区，除盆地区水资源较富外，黄土丘陵区水资源贫乏，地下水质较差，矿化度大于 3g／l 的面积达 16507km^2，相当一部分是"苦水"不能利用。在会宁、定西盆地水质最差。由于地形复杂，本区仅在兰州、临洮、陇西、天水等盆地水资源开发利用程度相对较高，广大黄土丘陵沟壑区农牧业供水极差。兰州以北的景泰、皋兰、靖远一带年降水量不足 200mm，地下水贫富不均，埋藏深浅差别较大，单井出水量 100—500m^3／d，远不能满足当地农牧业供水要求，全区尚有约 180 万人，80 万头牲畜饮水困难。区内有效灌溉面积占耕地面积的 12%，亩均水量仅 40m^3，地下水供水量仅占农牧业总供水量的 7%。本区农牧业供水方向，应在充分利用地表水的基础上，在盆地、沟谷的适宜地段积极开发利用地下水资源。同时，在不具备供水条件的严重干旱地区积极退耕还林还牧，涵养水源，逐步解决人畜饮用水困难。

(3) 蒙晋陕黄土高原区

该区以黄土梁峁为主，沟谷发育，多切入基岩，黄土水贫乏，可利用水资源总量20.72亿 m^3/a，地下水开采资源8.8亿 m^3/a，占水资源总量的42%。由于地形条件限制，地表水沿深谷流向下游，梁峁上缺水严重。仅在定边、靖边一带的涧地和河谷川地可以引水灌溉，已建成万亩以上的灌区28处，农牧业供水中地下水占21%。主要开采孔隙潜水，单井出水量一般为10—100m^3/d左右，共有配套机井1.5万眼，井灌面积约62万亩，占有效灌溉面积的26%。该区农牧业供水方向是结合小流域综合治理，在不宜农灌区退耕还林、还牧，拦蓄洪水淤地灌田。

(4) 西峰、洛川黄土塬区

黄土塬分布在黄土高原的南部地带，以陇东西峰、陕北洛川塬为代表。塬区地势平坦，土地连片集中，土壤肥沃，适宜各种作物生长，发展农业生产潜力较大，是黄土高原主要的产粮区之一。塬边沟谷发育，呈树枝状，塬高谷深，引水困难，水源无法保证。各塬均蕴藏有一定数量的黄土潜水，可灌溉部分农田。

黄土塬区包括平凉、泾川、富县等较宽阔的河谷在内，共有耕地1715万亩，有效灌溉面积199万亩，占耕地面积的12%。其中井灌面积占有效灌溉面积的24%，地下水灌溉量1亿 m^3/a，为农牧业总灌水量的26%。

陇东黄土塬区，截止1984年底，修建中小型水库52座，修建万亩以上灌区11处，千亩以上灌区57处，有效灌溉面积共62.8万亩；机电井3640眼，有效灌溉面积28.3万亩，总计发展有效灌溉面积达91.1万亩，地下水灌溉量占总灌溉水量的31%。说明塬区地下水灌溉在农业生产中占据重要地位。

3. 山地区

系指青东、晋东山地区，包括山西沁水丘陵，阳泉、长治盆地，西宁、门源、贵德河谷盆地。须指出的是，贺兰山、吕梁山、六盘山、秦岭等分属于大盆地边缘的界山，已统计在平原或高原区内。山地区主要农田均分布于山间盆地及丘陵地区。区内耕地1810万亩，有效灌溉面积264万亩，占耕地面积的14%，大部分地区得不到灌溉，总灌水量12.3亿 m^3/a，其中地下水供水量2.1亿 m^3/a，仅占山区总灌水量的17%。青东山区湟水流域地表水及河谷潜水均较丰富，又由于山多地少，亩均水量较高，达137m^3。在河谷川地地表水引灌方便，几乎全部用地表水灌溉农田，地下水仅占灌水量的不足2%，地下水灌溉面积占有效灌溉面积的8%。晋东山地耕地面积较多，为1344万亩，但有效灌溉面积仅占耕地面积的10%，其中地下水灌溉面积所占比重稍大，为总有效灌溉面积的35%，亩均水量仅44m^3，大部分农田得不到灌溉，缺乏水源。

山地区中适宜发展农牧业的主要是山间盆地，水源相对好于干旱的黄土高原，又远不如平原区，水利化程度相对较低。

4.1.4 人畜用水

黄土高原地区农村人口约6448万，占全区总人口的79%，大小牲畜合计4995万头。农村人畜饮用水源以地下水为主，饮用地下水人数约为5192万人，占农村总人口的81%，以浅井和泉水为主，饮用人数各占一半，饮用地表水人数约1252万人，占农村总人口的19%，饮用沟谷溪流、水库湖泊、坑塘、窖坝水等。至1985年农村中有约542万人，饮上部分处理或未处理的的自来水，占农村总人口的8%。自来水是以集中方式供水的，主要集中于晋陕两省农村。其余地区为分散取水。

目前区内人均日用水量 22—29 L，牲畜 15—42 L，按此用水标准推算，全区农村人畜用水总量应为 9.5 亿 m^3／a 左右，部分地区自然地质环境不利于储存地下水，又缺乏地表水或水质苦咸不适于饮用，缺少人畜用水。

黄土高原地区自然地质环境较差，黄土高原（含黄土台塬）分布面积最广，占全区面积的 43%。由于黄土高原区植被稀少，土质疏松，抗侵蚀性弱，易被切割，地形破碎，水土流失严重，不利于储存地下水，地下水资源贫乏。其中黄土塬及盆地中黄土台塬局部地段水位埋深稍浅 10—40m，大部分地区黄土潜水水位埋深多在百米左右，据洛川黄土塬及礼泉黄土台塬区典型地段，黄土地层包气带水分运移机理试验资料，降水入渗水分，入渗至黄土潜水面大致需要 1—3 年时间。故黄土塬及黄土台塬区的黄土水，虽比黄土梁峁区丰富，因水位埋藏很深，补给循环迟缓，富水地段局限在黄土塬中心地带及台塬区的塬间洼地，只在富水地段黄土潜水供人畜饮用外，还可灌溉部分农田，其余黄土塬区依然缺乏人畜饮用水源。

在陕西渭北北山礼泉县及山西太行山区昔阳县等灰岩山地，隐伏岩溶水埋藏很深，开发困难，缺少人畜饮用水；东胜梁基岩高原及库布其、毛乌素沙漠，多属内流区，河流稀少，气候干旱，部分地区水源不足，人畜饮水困难。

总之，黄土高原地区自然地质环境差，农村经济落后，造成了相当一部分地区的人畜饮水困难。一般说，饮水困难或缺水严重，是指符合饮用的淡水资源很少，或取水地点远离村庄。水利部曾根据我国农村人畜饮用水的综合情况，于 1984 年统一规定了近期农村人畜缺水标准：出村单程二至四华里以上的，或至取水点垂直距离 100m 以上者为人畜饮水困难地区。各省水利厅（局）按此标准编制的各省水利统计资料中，1985 年黄土高原地区需解决的缺水人口约 2426 万，占全区农村人口 6448 万的 37%，其中需防氟改水人口 580 万，需解决的缺水牲畜 896 万头。由于党和国家的重视和关怀，多年来为解决广大农村人畜饮水及少量灌溉用水，实施修渠、建库、挖窖、打井等工程，历年累计解决缺水人口 1656 万，其中防氟改水人口 166 万，牲畜 630 万头。尚未解决人口约 770 万，占全区农村人口的 12%，其中防氟人口 414 万，牲畜 266 万头（表 23）。按区内各省农村人均日用水定额 22—29 L 计算，年缺水量 0.73 亿 m^3／a，包括牲畜缺水量总共约 1.1 亿 m^3／a，为全区同年农村人畜饮用水总量 9.5 亿 m^3／a 的 11%。

黄土高原地区1985年各省解决人畜饮用水统计表 表23

省（区）	需解决(万人、万头)			已解决(万人、万头)			未解决(万人、万头)		
	人	其中防氟人数	畜	人	其中防氟人数	畜	人	其中防氟人数	畜
山　西	1008.39	146.28	140.72	772.31	56.78	106.72	236.08	89.5	34.0
宁　夏	58.53	13.79	123.2	35.73	5.23	69.96	22.8	8.56	53.24
陕　西	805.11	309.28	111.98	479.97	68.4	70.88	325.14	240.88	41.1
甘　肃	306.04	30.2	192.46	175.91	18.1	120.77	130.13	12.1	71.69
内　蒙	57.77	27.62	197.53	21.63	2.92	146.17	36.14	24.7	51.36
河　南	96.63	53.2	18.86	77.85	14.6	14.48	18.78	38.6	4.38
青　海	94.0	0	111.4	92.62	0	100.98	1.38	0	10.42
合　计	2426.47	580.37	896.15	1656.02	166.03	629.96	770.45	414.34	266.19

区内著名的缺水地段分布在宁南及陇西黄土丘陵。宁南及陇西地区以简称为"两西"地区的西海固和定西为代表，面积 8。87 万 km^2，其中人畜饮水最困难地段分布在清水河与祖厉河流域地段，面积约 4 万 km^2，为全国著名的苦水分布区。这里不仅气候干旱、降水量小，地形破碎，不利于储存地下水，而且区内广泛分布弱含水岩层和富含易溶盐的黄土及第三系红层，使得流经该地的地表水与地下水中矿化度普遍很高，一般大于 3g／l，不适宜饮用。造成该地水资源十分不足，更缺乏可饮用的淡水资源。生活在这种缺水环境的村民，饮用小于 2g／l 的水就为好水；2—3g／l 为可饮用的水；严重缺水时不得已饮用大于 5g／l 的水。矿化度在 3—5g／l 为牧畜经常饮用的水，干旱缺水季节尚饮用大于 5g／l 的水。

1. 宁南地区

宁南地区包括同心、西吉、海源、固原、隆德、彭阳、泾源等县，面积 2.46 万 km^2，人口 153 万，除泾源外，其余各县都不同程度存在缺少可饮用的淡水。至 1985 年需解决缺水人口 46.93 万，牲畜 76.17 万头。为解决人畜饮用水问题，各县共打窖 8.2 万余眼、修建蓄水池 314 个、机井 128 眼、引水工程 20 几处。已解决 29.1 万人和 37.23 万头牲畜的饮水问题，尚未解决人口 17.83 万，牲畜 38.97 万头，共缺水约 400 万 m^3／a。人畜饮水最困难地区的地表水和地下水水质差水量小，在同心县西南的蒿子川—徐套地段，地表覆盖黄土，下部为第三系泥岩、砂岩，厚 400—500m，年降水量 250mm，十年九旱。较大的河流（西河）年径流量仅 0.3 亿 m^3，矿化度 8—10g／l，严重缺水时牲畜饮用此水；金鸡儿沟年径流量 0.04 亿 m^3，矿化度 5—10g／l，年降水量小于 250mm 时，河流干涸无水。黄土层孔隙水只在掌地或杖地中赋存，水位埋深 5—30m，矿化度 3—7g／l，单井出水量 1—2m^3／d，只能作为牲畜的补助水源；第三系孔隙裂隙水，降深 73m 时，单井出水量仅 28m^3／d，矿化度 8g／l；在洼地中尚有第四系砂砾石层孔隙潜水，钻孔揭露深度 250m，水位埋深 85m，降深 47m 时，单井出水量 7m^3／d，矿化度 3g／l。总之同心县地下水开采资源中高矿化水远大于地下淡水资源（表 24）。

宁南地下水开采资源统计表　　表24

开采资源（万 m^3／a） 矿化度（g／l） 县	<1	1—3	3—5	>5	小计
海　原	521.5	1726.4	930.2	35.5	3213.6
西　吉		2220.5			2220.5
固　原	2763.1	1250.7	287.1	9.8	4310.7
彭　阳	315.4				315.4
同　心	33.5			8400	8433.5
合　计	3633.5	5197 6	1217.3	8445.3	18493 7
占总量(%)	19.6	28.1	6 6	45.7	100

县城供水已基本解决，泾源县引西峡水库水；隆德县城引清凉沟水库水；彭阳县抽取白垩系孔隙裂隙水，单井自流量 4000m^3／d；同心县自 1988 年开始引自香山小红沟洪积扇地下淡水作为县城供水水源，开采资源 4685m^3／d，水源地日供水约 3000m^3，基本满足县城供水。固原、海原、西吉县城附近地段地表水和地下水资源水质尚好，矿化度多小

于 1g／l，或 1—3g／l，经勘探有条件开采部分地下水，或修建抽水站引取地表水，可以解决县城的供水。

2. 陇西地区

陇西地区总面积 6.41 万 km^2，人口约 800 万，严重缺水区约为总面积的二分之一，缺水人口约 150 万。严重缺水区大致以河口、定西、会宁一线以北至景泰之间，定西至会宁以南地带基本可以解决人畜饮用水。在定西、会宁以北地区内的小型断陷或拗陷盆地中尚赋存有水质较好的地下水，可以解决当地人畜饮水。如靖远县南部黄家洼山、松山以南的黄土丘陵及山前倾斜平原。该区降水稀少，黄土广布，居民少而分散，在黄土丘陵之下，因断陷或拗陷形成多个不连续的第四系含水盆地和大面积分布的上第三系承压水比较丰富。

(1) 水泉及荒凉滩，位于靖远东北水泉尖山北侧，系第四纪断陷盆地，面积 23km^2。含水层为洪积砂砾、碎石，厚 100—250m，属潜水，单井出水量多在 100m^3／d 左右，水位埋深一般 30—60m，南部成泉溢出地表，水质好，矿化度 0.6—1g／l。

(2) 黄家洼山以南靖远以东，大面积分布着第三系杨稍层和徐湾层承压水，含水层岩性为碎石层和砾卵石层，隔水层为泥岩，含水层埋深在野米川一带最浅，仅 42m。承压水位一般多在 27—46m 之间，最深 76m，单井出水量 190—734m^3／d。水质略差，矿化度多在 2—3g／l。还有旱平川、西格涝、大水头和毛不拉等地均含有较丰富的地下水。

总之，靖远县南部黄河以东地下水较丰富，开采条件好，水质较佳，但未能很好地开采利用。只要开采利用这部分地下水，不但能解决这一"缺水"地区的人畜饮用水，尚可作为工农业用水。

在靖远北部兴堡子川及祖厉河河谷，地下水及河水均为苦水，不能饮用，已建成的引黄渠道除灌溉农田外，还可供当地村民储存（窖中）饮用。还有喜泉、秦王川、永登等山间盆地，地下水较富，可供人畜饮用。除上述地区外，其它广大地区可利用的地下水或地表水贫乏，村民靠饮窖水生活，缺水问题尚待解决。

4.1.5 主要水资源问题和环境地质问题

1. 水土流失与风沙灾害

黄土高原地区水土流失和风沙灾害严重，影响该区矿产资源的开发，危害农林牧业生产，破坏环境，影响生态，为区内两大突出的环境地质问题。

黄河是世界第一多沙大河，年输沙量达 16 亿 t，90%以上的泥沙来自黄土高原。黄河流域是世界上水土流失最严重的地区之一，水土流失是黄土高原一大环境地质问题。水土流失是黄河泥沙问题的根源，也是黄土高原农业多灾低产、三门峡等水库和黄河下游河床淤积易决易徙等灾害的症结所在。区内共有水土流失面积 45.6 万 km^2，占全区面积的 73%，其中土壤侵蚀模数大于 5000 t 的严重水土流失地区约 15.6 万 km^2，占全区的四分之一。

水土流失原因：首先由于黄土高原植被稀少，黄土广布，岩性疏松，抗侵蚀性弱；其次黄土高原地壳长期上升，沟谷强烈切割，地形破碎，沟壑纵横，地面坡度陡；再次黄土高原气候干旱，降水集中强度大，暴雨多，沟道洪流及地下潜流十分活跃，使黄土及下伏基岩遭到面蚀、沟蚀、潜蚀等的强烈作用，流水所过泥沙俱下，千沟万壑泥流滚滚。建国三十多年来黄土高原水土保持工作虽取得了显著成绩，但不适当的工程经济活动引起水

土流失现象仍十分严重．如陡坡耕种、过度放牧、毁林开荒破坏森林植被，加速土壤侵蚀作用；开矿、筑路、修建水利工程等不注意环境保护，增加了河流泥沙含量．造成黄土高原"越垦越流失"和黄河下游河床越淤越高，大堤"越加越高"的两个恶性循环．由于水土流失破坏了地下水的储水条件，造成黄土高原地下水水量最贫．所以保护环境治理水土流失刻不容缓．

榆县—大同—呼和浩特一线之西的黄土高原为风沙区，面积 16 万 km^2．该区沙漠广布，沙地面积 6.6 万 km^2，占风沙区总面积的 41%．以毛乌素、库布其两大沙地为主，这里以牧业为主，农业次之，土地沙漠化严重地危害着人民生活环境和农林牧业生产．这里还是我国煤炭资源最丰富的地区之一．该区有平朔、准格尔、神府、东胜、横山、西桌子山、灵武等大煤田．这些煤田埋藏浅、质量好、储量丰富．若忽视地质环境保护，露天开采将不同程度地破坏生态环境，导致沙漠化加重；沙漠化土地的扩展，危及煤炭开发的进程，造成恶性循环．目前神府煤田已沙漠化土地占煤田区总面积的 70%，为严重沙漠化地区；灵武及东胜煤田沙漠化程度次之，已沙漠化土地占该矿区总面积的 36%；平朔煤田属于潜在沙漠化地区．足见沙漠化严重威胁煤炭资源的开发，急待治理．

2. 水资源开发中存在的问题

在水资源开发过程中，因缺乏科学管理而造成一系列的环境地质问题．产生土壤盐渍化及渍水灾害；引起区域性水位下降和地面沉降；水质污染日趋严重，水资源浪费较严重等从而加剧了水资源供需矛盾．

(1) 土壤盐渍化与渍水灾害

黄土高原地区盐碱地集中分布在银北与后套平原．除原生地质环境含盐量高外，不合理的灌溉造成大面积次生盐碱化不断扩大，严重影响该地的农业生产，问题突出，急待有效地治理．农业供水现状中已有叙述，此处从简．

渍水灾害主要发生在陕西省关中盆地泾河以西的黄土台塬区，自七十年代初期大量引宝鸡峡、冯家山水库水进行农田灌溉以来，由于黄土的透水性能较差，地下径流缓慢，导致黄土台塬区地下水位逐年上升．如宝鸡峡灌区自 1971 年至 1982 年，潜水位平均上升 12m 左右，最大上升 36m，水位上升面积 1500 余平方公里，几乎遍及整个灌区．1980 年以后，陕西扶风、乾县、礼泉等县部分地区（59 处）出现大面积渍水，水深 0.5—5m，面积 984 亩．至 1983 年，渍水面积已达 28512 亩，造成大量房屋倒塌，良田被淹，使当地农业生产和人民生活受到很大影响．经治理，1986 年渍水面积减少到 5561 亩，水位上升面积也有明显减少．

(2) 水位下降与地面沉降

水位下降和地面沉降是不合理开采地下水引起的连锁反应，在农灌区由于过量开采引起区域地下水位持续下降，在集中开采的一些大、中城市因超采或大量抽取深层地下水而引起水位不断下降和造成地面沉降．

位于黄河中游晋西的运城盆地，是一簸箕状半封闭型盆地，为山西省主要粮棉产地之一．该盆地主要开采中深层地下水，地下水可开采量仅有 3 亿 m^3/a 多，八十年代却以 5 亿 m^3/a 多的开采量进行疏干性开采，造成区域水位大幅度下降，面积已超 $2800km^2$，降落漏斗中心水位埋深已达 77m．近年由于引黄减少了地下水的开采量，水位有所回升．因大量开采地下水用于农田灌溉，引起区域水位下降的还有陕西关中盆地的富平、凤

翔等台塬区。

随着城市工业的不断发展，需水量逐渐增加，原有的水源地不断扩大开采，致使多数城市因过量开采形成下降漏斗。诸如太原、西安、兰州、银川、包头、宝鸡、洛阳等市。承压水开采层下降漏斗远大于潜水漏斗。如包头，同一供水水源地，潜水漏斗面积 43km^2，而承压水则达 134km^2，为潜水的 3 倍。西安市城区承压水降落漏斗面积达 100 余平方公里。太原西张水源地浅层水已部分被疏干，中深层地下水已形成统一的大降落漏斗，面积由 1965 年的 11km^2 扩展到 1986 年的 300 余平方公里，中心水位降深达 90—110m，年平均降速 3—5m。除西安、太原降落漏斗中心水位下降速度大于 3m 外，其余城市一般降落漏斗中心水位每年下降 1—2m 左右。

形成持续扩展降落漏斗的主要原因是过量开采地下水，傍河水源地，还因河水长期断流，减少补给所致。因此，在已形成降落漏斗持续扩展的水源地要控制开采量，使漏斗得以稳定而不再扩大。

黄土高原地区，据现有资料，已产生地面沉降的城市有西安和太原市。西安市地面沉降发现于 1959 年，至 1983 年沉降面积已达 181km^2，以东北郊胡家庙、南郊小寨及大雁塔、东南郊沙坡、西南郊西安体院和西北工业大学等地为沉降中心，1972—1983 年累计沉降量最大达 777mm，降速 30—70mm／a，至今仍继续沉降，1989 年最大沉降量已达 1300mm 以上。由于地面的不均匀沉降，造成地面渍水，阻碍交通，破坏给排水管道系统等地质灾害时有发生。太原地面沉降发现于 1980 年，市内地面沉降量大于 100mm 的面积 108km^2，大于 700mm 的范围 3.6km^2，其中吴家堡沉降量最大为 819mm，沉降范围北起固碾，南达晋源，南北长达 27km，东西宽约 10km。地面沉降量大小和开采井分布的疏密、抽水量大小相一致，和深层地下水下降漏斗相吻合。说明由于过量开采，水位下降，引起松散土层的压密与固结，导致地面沉降不断发展。西安由于地面沉降加速地裂缝破坏活动，给城市建设造成很大破坏。如不采取压缩开采量等措施，则地质环境将进一步恶化。因此，控制水位下降和地面沉降是当务之急。

(3) 水质污染

伴随着现代化工农业和城市的迅速发展，水资源受污染的程度已日趋加重，成为一种社会公害。黄土高原地区水质污染源主要来自工业和城市生活排放的废污水，以及广大农村施用化肥、农药等污染物质。据统计资料推算，黄土高原地区 1985 年度污水排放量达 22.8 亿 m^3（625 万 m^3／d），其中工业废污水排放量 16.8 亿 m^3，约占 74%，城市生活及其它污水 5.9 亿 m^3，占 26%。废污水排放最多为山西和陕西，年排放量均在 5 亿 m^3 以上。大量的废污水未经处理直接排入河流，沿途污染地下水及地表水。据不完全统计，黄土高原地区有污水处理厂 14 座，处理能力为 50.9 万 m^3／d，仅为废污水排放总量 625 万 m^3／d 的 8%。水质污染造成的事故常有发生。山西全省各地因水质受到污染，造成 50 余万人吃水困难，水环境日趋恶化。

由于城市三废排放影响，致使各城市地下水和供水水源都遭受不同程度的污染。水质污染是城市环境地质问题中一个突出的问题。由于水质遭受污染，加剧了城市供水的紧张局面。兰州市供水的三分之二靠黄河水，而兰州市每日直接排入黄河的污水达 50—70 万 m^3，使河水中酚、砷、油类等有害物质超标，曾造成污染饮用水事故。由于河水侧渗补给及污灌污排的影响，地下水亦遭受严重污染，不少生产井由于污染而报废。原计划在雁

滩兴建日产 10 万 m^3 的水源地，因污染问题而无法实施。西安、太原、呼和浩特等市集中供水水源地少数井已出现轻微污染，个别生产井有超标物检出，承压水已有遭受污染的趋势，应予以足够的重视。

(4) 水资源浪费严重。工业是城市用水的大户，由于工业结构和各行业用水不同，各城市工业用水具有很大的差异性。区内 36 个城市，目前除西安太原等少数城市工业用水重复利用率在 50%左右，其余城市仅为 20—40%，个别城市还不到 20%。正是由于工业用水重复利用率低，造成需水量增加。农业用水也是如此，据大同市有关资料，农业用水亩次高达 150—200m^3，渠系利用系数仅为 40%。西安市在面临供水危机的情况下，积极挖潜、开源的同时，加强了用水部门的节水工作，从 1980 年至 1984 年，城市人口增加了 11 万，工业产值增加了 12 亿元，而供水量基本上没有增加，工业万元产值用水量从 1982 的 375m^3，下降到 1984 的 273m^3，节水效益明显。但是万元产值用水量与北京、天津、青岛等城市相比，还有一定的差距。

4.2 地下水开发利用分区及开采前景

黄土高原地区地下水开采资源 203.76 亿 m^3／a，已开采量 79.11 亿 m^3／a，剩余量 124.65 亿 m^3／a，占开采资源的 61%，总体上表明地下水区域开采潜力尚较大。根据地下水的开采条件，结合供水用途和发展方向，以及考虑治理环境等因素，将黄土高原地区划分为七个地下水开采区。区与区之间是以主要供水用途而相对区分的，城市和能源基地供水以集中开采为特点；农牧业供水以分散取水为主；需解决人畜饮用水地区，包括以多种水源和以地下水、地表水为主解决人畜用水两个区，现分叙如下。

4.2.1 以城市、能源供水为主的开采区

1. 以城市供水为主的开采区

包括青海西宁、内蒙前套、山西中部（晋中）、陕西关中、河南灵（宝）三（门峡）及伊洛沁、甘肃陇西河谷等断陷盆地中冲洪积平原部分和贵德盆地（图 21）。这些地区总的特点是地面平坦宽广，有建立城市的地域，地下水埋藏较浅，含水层厚度大，开采模数一般在 10—50 万 m^3／a.km^2，单井出水量多在 1000—5000m^3／d，开采方便，资源丰富，有发展工业的水源。在强富水地段为城市提供兴建大中型集中供水水源地。但广大的平原区地下水主要还是用于农业灌溉。城市可建在依山傍水的山前洪积扇或河流冲积平原地带，水源地沿河岸分布，集中开采水量大，水质好。区内开采资源 80.85 亿 m^3／a，已开采量 48.49 亿 m^3／a，剩余量 32.36 亿 m^3／a。目前该区开采程度虽然很高，但降水补给较充沛，又有河流补给的优越条件，开采前景较好。地下水剩余开采量以关中与临(汾）运（城）盆地最多，合计为 15 亿 m^3／a，为该区剩余开采总量的 47%。关中开采潜力主要分布于渭河沿岸；临运盆地开采潜力集中在河津禹门口及永济黄河冲积扇和低阶地。据各省（区）水文地质远景区划报告和近期（1985—1987 年）供水勘察报告资料，已探明或基本探明的新水源地，日开采量大于 10 万 m^3 的 11 处（表 25、26）。

(1) 西宁盆地与贵德盆地

地处青海省东部青南高原和祁连山之间，为一广阔的盆地地带，又称"中间盆地带"。

其中西宁盆地地下水丰富，又是青海省经济最发达的地区。盆地内堆积着巨厚的中、新生界碎屑岩和松散岩层。河谷区潜水主要分布在近代的砂砾卵石层中，沿河流呈带状分布，地下水埋藏浅，含水层较厚，一般在10—20m，厚者达40m以上，一般单井出水量大于1000m³／d，水质好，属重碳酸钙镁型水，是西宁地区的主要地下水源。在大通县桥头以北的河谷地带，由于老爷山的隆起拦截，形成了一座蓄水丰富的天然地下水库，是西宁市塔尔水源地扩大开采的良好地段，预计扩建日开采量5万m³的水源地。

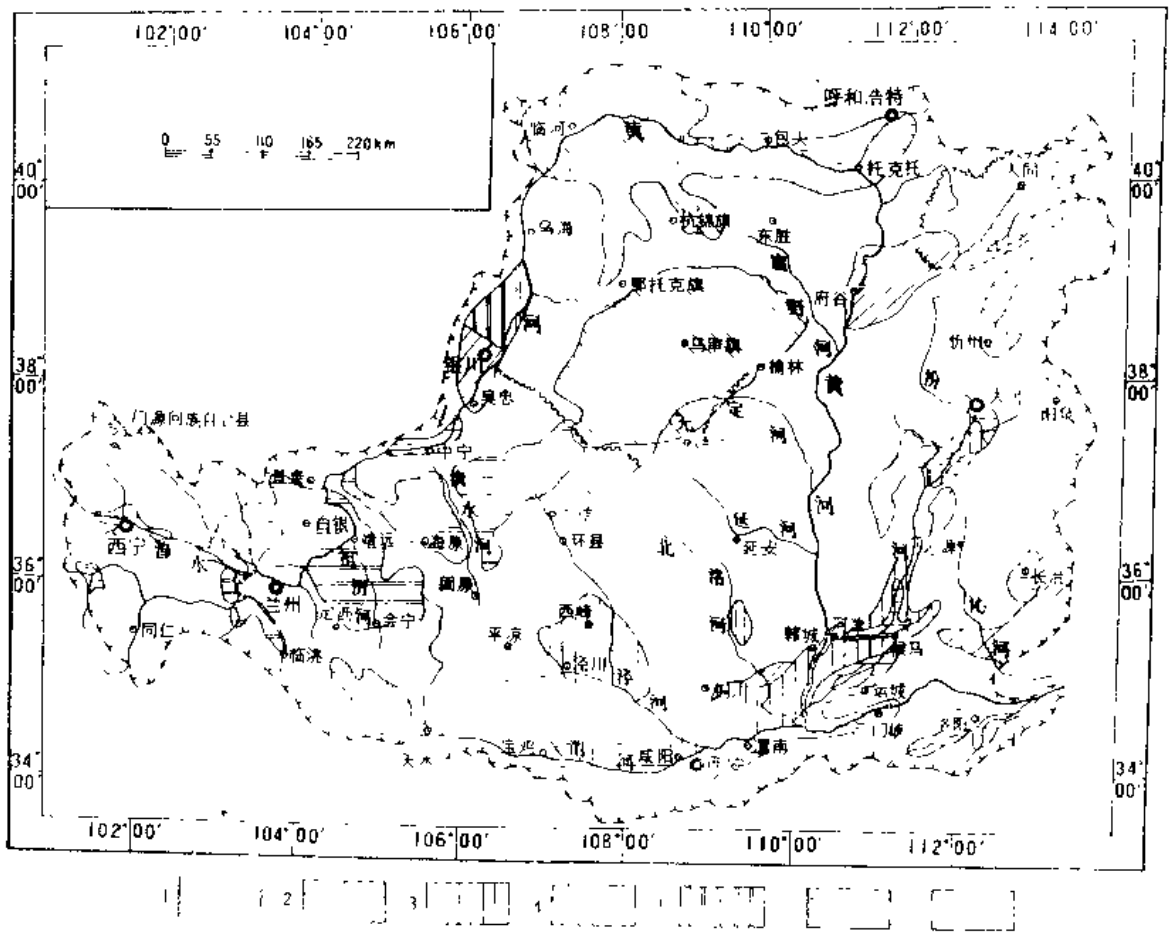

图21　黄土高原地区地下水开发利用分区图

1. 以城市供水为主的开采区　.2 以能源基地供水为主的开采区　3. 以农业供水为主的开采区

4. 以牧业供水为主的开采区　5. 发展井灌井排的盐渍土改良区

6. 多种水源解决人畜饮用水区　7. 以地下水、地表水为主解决人畜饮用水区

西宁盆地地下水开采资源3.82亿m³／a，已开采量1亿m³／a，剩余开采量2.82亿m³／a。这些开采资源不但为工业用水提供了水源，还可把现在用来灌溉川地的地表水引上浅山，改变浅山干旱缺水面貌，使地下水发挥最大的效益。

贵德盆地地下水天然资源1.8亿m³／a，河谷开采区潜水开采资源0.3亿m³／a，仅次于西宁盆地。该盆地第四系孔隙潜水水量较大，易开采，水质好，而且在新第三系砂砾岩层中普遍赋存有承压水或自流水。据钻孔揭露，新第三系厚度超过400m，自流水头高出地面达18m，自喷量可达1100m³／d，矿化度小于1g／l，属重碳酸钙钠型水。据青海

东部农业区水文地质远景区划资料，该盆地内历年供水勘探施工自流孔达50多个，总流量9820m³／d，白白流失，若将其利用，则是优质价廉的水源。黄河上游地区由于工业不发达，人口稀少，需水量小，地下水资源有一定开发前景。贵德盆地还有著名的曲乃亥热矿泉，流量138m³／d，水温高达88.5℃，矿化度1.83g／l，属重碳酸氯化钠型水，热水资源有待进一步开发利用。

黄土高原地区地下水开采前景分区表　　表25

开发利用分区	所属地下水天然资源区		地下水开采资源		已开采量	剩余开采量	预测水源地(个)	
	代号	区名	面积(万km²)	开采资源(亿m³／a)	(亿m³／a)	(亿m³／a)	开采量大于(10万m³／d)	开采量小于(10万m³／d)
以城市供水为主的开采区	I_1	西宁盆地	0.12	3.82	1.00	2.82		2
	I_{2-1}	呼包盆地(前套平原)	0.60	2.88	0.85	2.03	1	
	I_4	大同盆地	0.74	7.94	4.22	3.72		
	I_5	忻州盆地	0.38	5.19	2.40	2.79		
	I_6	太原盆地冲积平原	0.61	10.31	8.22	2.09		2
	I_7	长治盆地	0.33	1.69	0.73	0.96		
	I_{8-2}	临运盆地冲积平原	0.57	12.67	7.39	5.28		
	I_{9-2}	关中盆地冲积平原	0.80	29.45	19.64	9.81	7	4
	I_{10-2}	灵三盆地冲积平原	0.05	0.81	0.75	0.06	2	
	I_{11-2}	伊洛沁盆地冲积平原	0.15	3.23	2.85	0.38	1	
	II_2	陇西河谷盆地	0.06	2.56	0.44	2.12		
	III_{1-1}	贵德盆地	0.03	0.30		0.30		
		小计	4.44	80.85	48.49	32.36	11	8
以能源基地供水为主的开采区	I_{2-2}	银南平原	0.29	8.31	1.26	7.05	1	
	I_{2-3}	卫宁平原	0.08	3.94		3.94		
	II_{5-2}	左云灰岩丘陵	0.21	2.59	0.51	2.08		
	II_{6-2}	宁武灰岩丘陵	0.08	0.40	0.35	0.05		
	II_{7-2}	晋西灰岩丘陵	1.20	3.34	0.36	2.98	3	
	III_{7-2}	五台山灰岩山地	0.09	0.69	0.45	0.24		
	III_{8-2}	吕梁山灰岩山地	0.52	5.91	2.64	3.27		
	III_{9-2}	霍山灰岩山地	0.10	1.58	1.19	0.39	1	
	III_{10-2}	太行山灰岩山地	0.73	9.60	0.82	8.78	1	
	III_{11-2}	中条山灰岩山地	0.39	3.98	1.94	2.04	2	
	III_{13-2}	渭北北山灰岩山地		0.76	0.20	0.56	1	
		小计	3.69	41.10	9.72	31.38	9	
以农业供水为主的开采区	I_{8-1}	临运盆地台塬区	0.52	1.50	0.16	1.34		
	I_{9-1}	关中盆地台塬区	0.89	8.12	9.17	−1.50		1
	II_3	西峰—长武塬	0.25	1.82	0.62	1.20		
	II_{4-2}	洛川塬	0.05	0.39	0.25	0.14		
		小计	1.71	11.83	10.20	1.63		1
以牧业供水为主的开采区	I_{2-1}	库布其沙漠	1.70	7.39	0.07	7.32		
	I_{3-2}	毛乌素沙漠	3.22	21.29	1.16	20.13	1	1
		小计	4.92	28.68	1.23	27.45	1	1
发展井灌井排的盐渍土改良区	I_{2-1}	后套平原	1.39	23.91	5.49	18.42		
	I_{2-2}	银北平原	0.29	8.31	1.26	7.05		3
		小计	1.68	32.22	6.75	25.47		3
以地下水、地表水为主解决人畜饮用水区	II	黄土丘陵区	0.26	8.04	2.63	5.41		
	III	山地区	0.14	1.04	0.09	0.95		
		小计	0.40	9.08	2.72	6.36		
多种水源解决人畜饮用水区	II_2	陇西黄土丘陵						
	II_{3-1}	陇东(含宁南)黄土丘陵						
全区总计			16.84	203.76	79.11	124.65	21	13

各区予测地下水水源地统计表　　表 26

开发利用分区	所属天然资源区		水源地位置	水源地类型	予测水量（万 m^3/d）
	代号	地名			
以城市供水为主的开采区	I_1	西宁市	扩建塔尔水源地	第四系孔隙水	5
			互助至大通一带	第四系孔隙水	6
	I_{2-1}	呼和浩特市	根堡水源地	第四系孔隙水	15
	I_{6-2}	太原市	三给至小店一带	第四系孔隙水	5
			东山岩溶水	岩溶水	5
	I_{9-2}	西安市	东北郊	第四系孔隙水	25
			西北郊	第四系孔隙水	7
		咸阳市	过塘村	第四系孔隙水	5
			钓鱼台	第四系孔隙水	7
			肖家村电厂	第四系孔隙水	11
		宝鸡市	八鱼水源地	第四系孔隙水	5
		韩城市	下峪口	第四系孔隙水	10
		渭南市	张义村	第四系孔隙水	10
		高陵县	吴村杨	第四系孔隙水	10
		兴平县	北张村	第四系孔隙水	10
		户县	保安滩	第四系孔隙水	15
	I_{10-2}	三门峡市	三门峡西官庄	第四系孔隙水	12
			宏好河间地块	第四系孔隙水	15
	I_{11-2}	洛阳市	李楼一带	第四系孔隙水	25
以能源基地供水为主的开采区	I_{2-2}	石嘴山市	石嘴山至大武口	第四系孔隙水	>10
	II_{7-2}	府谷县	府谷水源地	岩溶水及第四系孔隙水	20
		保德县	天桥泉	岩溶水	>10
		柳林县	柳林泉	岩溶水	>10
	III_{9-2}	霍县	郭庄泉	岩溶水	>10
	III_{10-2}	平顺县	辛安泉	岩溶水	>10
	III_{11-2}	晋城县	三姑泉	岩溶水	>10
		阳城县	延河泉	岩溶水	>10
	III_{13-2}	蒲城县	袁家坡泉	岩溶水	15
以农业供水为主的开采区	I_{9-1}	泾阳县	簸珠洞泉	岩溶水	3
以牧业供水为主的开采区	I_{3-2}	乌审旗	毛乌素沙漠滩地	第四系孔隙水	10
			毛乌素沙漠滩地	第四系孔隙水	5
发展井灌井排的盐渍土改良区	I_{2-2}	银川市	北郊水源地	第四系孔隙水	4
			化肥厂扩建水源地	第四系孔隙水	5
			平吉堡化建水源地	第四系孔隙水	7

（2）内蒙前套平原（呼包盆地）

呼包平原在构造上属于断陷盆地，北依大青山、乌拉山，南临黄河，受断裂构造控制，盆地北深南浅，东高西低，呈簸箕状．盆地内第四系堆积物巨厚，呼和浩特市附近厚达 200—600m，由于含水层之间有一层分布稳定，大厚层淤泥隔水层，将地下水分为浅

层水与深层承压水，浅层水含潜水和浅层承压自流水，承压水头（或自流）埋藏浅，开采方便，水量较富，水质优良，成为城市和农业开采的主要水源。因长期开采，承压水位已大幅度下降，二十年来自流水分布范围已由呼和浩特市向南移动 5—6km。有开采前景地区位于该市以南 20km 以远的根堡一带，预测可建立日开采量 15 万 m^3 的水源地。其次，在土默特旗引黄灌区及哈拉沁沟冲洪积扇和乌素图河冲洪积扇的地下水尚有一定的开采潜力。总计前套平原地下水开采资源 2.88 亿 m^3/a，已开采量 0.85 亿 m^3/a，还有近 2 亿 m^3/a 的剩余开采量可进一步开发利用。

(3) 晋中盆地

山西中部分布着一系列不对称的新生代断陷盆地（晋中盆地），自北而南依次为大同、忻州、太原、临汾、运城及长治等盆地。其中冲洪积冲湖积平原部分地势低平，含水层岩性为砂及砾石，颗粒较细，层次多，潜水和承压水资源比较丰富，为山西省主要的工农业供水水源。地下水开采程度高，已开采量 22.96 亿 m^3/a，占开采资源总量 37.8 亿 m^3/a 的 63%，剩余开采量 14.84 亿 m^3/a。其中太原盆地经济发达，工业集中，工农业开采地下水程度最高，扩采潜力较小，可新建水源地二处。大同、忻州、临运盆地（不含台塬区）有一定开发潜力，但深层水应控制开采。

(4) 关中盆地

陕西关中盆地渭河冲积平原地段，第四系孔隙水资源丰富，水质好，埋藏浅，易开发，是农田灌溉和大中城市及工业用水的主要水源。开发利用程度高，已开采量达 19.64 亿 m^3/a，占开采资源 29.45 亿 $m^3/$ 的 67%，剩余开采量 9.81 亿 m^3/a，可供进一步开发利用。

渭河自西而东横贯关中盆地，在陕西境内长约 502km。沿河两岸地下水资源丰富，尤其是在开采条件下可获得大量河水激化补给量。目前虽已大量开采，但主要集中在咸阳至西安河段。该河段的上、下游河岸开采潜力仍较大，经勘探或可行性论证，除已有水源地外，沿河岸地带预测可新建日开采量大于 10 万 m^3 的水源地有七处。

(5) 灵（宝）三（门峡）及伊洛沁盆地

灵宝、三门峡及伊洛沁盆地内河谷平原地下水资源丰富，开采资源 4.04 亿 m^3/a，已开采量达 3.6 亿 m^3/a，剩余开采量较小，为 0.44 亿 m^3/a。但在河流岸边及河间地块区，开采过程中尚可夺取河流激化补给。经勘察除现有水源地外，规划在洛阳市东南李楼一带及三门峡西可建立日开采量大于 10 万 m^3 的水源地三处。

(6) 陇西河谷盆地

渭河发源于渭源县，蜿蜒东流，经陇西、武山、甘谷至天水河段有多条支流汇入，形成串珠状河谷盆地。大者长约 20—30km，宽仅 2—4km。如陇西、甘谷和天水盆地较大，由于盆地内地形平坦，土地肥沃，适宜发展工农业生产，天水市座落其中，成为甘肃省东部的工业中心。

盆地底部为第三系泥岩及砂岩互层，上部为第四系全新统冲洪积层，厚约 20—60m，分布于沟口洪积扇及河谷低阶地区。砂卵石含水层厚度一般在 3—12m 之间，厚者可达 20 余米，蕴藏较丰富的地下水。单井出水量达 1000—2000m^3/d，主要为河谷潜水，以侧向径流及河水渗入补给为主，地下水资源较丰富，各河谷(含临洮)盆地开采资源总量 2.56 亿 m^3/a，已开采量 0.44 亿 m^3/a，主要用于工业，次为农业灌溉，剩余开采

量 2.12 亿 m^3/a，为进一步发展工业生产提供了水源.

2. 以能源基地供水为主的开采区

能源基地供水开采区，是以现有能源基地水源地及预测水源地的大致分布地段为依据划分的．主要以岩溶水为主，而第四系孔隙水水源地多已划入城市工业供水，仅将银南及卫宁地区划为能源基地供水区．总计有剩余开采量 31.38 亿 m^3/a，为开采资源 41.1 亿 m^3/a 的 76%．其中岩溶水的前景开采量 20.39 亿 m^3/a，潜力较大．岩溶水分布区主要为山西省的晋西丘陵、吕梁山、太行山、霍山、中条山及陕西省渭北北山等丘陵山地．以山西岩溶水最丰富，其天然资源与本省盆地中孔隙水"等量齐观"．平均补给模数均超过 10 万 $m^3/a \cdot km^2$．据 1980—1985 年山西省统计资料，岩溶大泉水已用于电厂、能源等供水水量约 0.6 亿 m^3/a，占泉水总量的 26%，还有 70%以上的泉水用于农业灌溉．预测岩溶水可用于能源供水的水源地有山西的柳林泉、天桥泉、辛安泉和陕西的袁家坡、温汤泉等地，均可建立取水量大于 10 万 m^3/d 的水源地.

岩溶地下水剩余开采量，地区分布不均，与煤炭基地开发区并非完全一致，加之农业与之争水等因素，还不能满足以山西为中心的五省（区）能源基地总需水要求．目前内蒙、陕西、山西能源基地供水水源较紧缺.

4.2.2 以农牧业供水为主的开采区

1. 以农业供水为主的开采区

农业供水开采区，系指无集中供水条件的黄土塬及盆地中的黄土台塬区，面积仅 1.71 万 km^2．该区地下水埋藏较深，水量有限，仅供农业分散用水，具有一定的开采价值，以发展旱作农业为主的地区．这些塬区土地比较平整，光源充足，适宜发展农业．各盆地中的冲积平原区面积达 4 万余平方公里，是黄土高原地区主要的商品粮基地区，地下水资源丰富，作为农业灌溉，地下水的开发潜力较大，若按农业与城镇工业利用地下水现状比例（农业占 68%）推算，有 22 亿 m^3/a 剩余开采量，已包括在城市供水开采区内．这里把西峰—长武黄土塬、洛川塬、晋中及关中等盆地的黄土台塬区划为农业供水开采区．该区地下水开采资源 11.83 亿 m^3/a，已开采 10.2 亿 m^3/a，占开采资源的 86%，开采程度已很高．仅余 1.63 亿 m^3/a 的剩余开采量，待进一步开发利用.

干旱是区内主要的自然灾害．据统计关中盆地平均三年有一次较大的旱灾；晋中盆地一般两年一小旱，七年一大旱，对农业生产，尤其是塬区农业生产影响很大．为塬区灌溉，曾修水库，建扬水站多处，但因塬高水深，抽水困难，大部分塬区没有灌溉设施，这些旱塬适宜发展喷灌、滴灌等节水型农业.

在渭河以北泾河以东的黄土台塬区，由于过量开采地下水，超采约 1 亿 m^3/a，引起区域性水位下降．运城台塬区也因过量开采地下水，已形成区域性漏斗．而在泾河以西的宝鸡峡灌区，由于地表水灌溉量大，又引起塬区地下水位不断上升，乃至造成渍水灾害．所以，在水资源短缺的台塬区，急需解决合理开发利用地表水与地下水资源的问题，在利用水资源的同时，要注意防治水害，发挥水资源的最大效益.

2. 以牧业供水为主的开采区

牧业区主要指鄂尔多斯高原上的毛乌素沙漠及库布其沙漠地区．区内干旱少雨，在荒漠的沙海上缺少植被和良田，只适宜发展牧业．在沙漠滩地上分布着许多海子（湖泊），这些滩地中蕴藏着较丰富的地下水，为治沙造田，种草种树发展牧场及少数农田提供水

源。经计算该区地下水开采资源 28.68 亿 m^3／a，已开采 1.23 亿 m^3／a，仅占开采资源的 4%，利用程度很低，有进一步开发的潜力。但沙漠分布面积大，地下水开采模数较小，为 5.8 万 m^3／a·km^2，只能分散取水。又因含水层岩性颗粒细，结构松散，易坍塌，成井困难，在开发这部分地下水时需改进成井工艺，方可取用。沙漠区降水量 300mm 左右，降水偏小，长年性河流很少，年季调节能力很差，不可过量开采，以防水位下降过大，破坏环境，影响生态平衡。区内毛乌素沙漠中预测的 10 万 m^3／d 水量适宜分散抽取，不宜过于集中开采。

4.2.3 发展井灌井排的盐渍土改良区

本区主要指内蒙的后套和宁夏的银北平原。该区是我国主要的引黄灌区，灌溉历史悠久，水土资源丰富。由于过去耕作粗放，加之气候干旱，蒸发强烈，长期引黄河水漫灌，且灌排失调，致使潜水位升高，土壤次生盐碱化不断发展，严重地影响了农业生产，粮食产量降低。因此，降低地下水位，保持灌排平衡，改良土壤，是今后发展的方向。

该区地下水开采资源 32.22 亿 m^3／a，已开采量仅 6.75 亿 m^3／a，剩余开采量 25.47 亿 m^3／a，为开采资源的 79%，有条件发展井灌井排。从现有的试验资料和历史的经验来看，土壤盐碱化防治的根本措施，在于调节灌区潜水均衡现状，使潜水位降到临界深度以下。欲达此目的，一方面要大量地排水，另一方面要科学利用地表水。

井灌井排也要因地制宜，立足于地表水、地下水相结合，井、渠、沟并用，排水、灌水、改水三者兼顾。在微咸水区应井渠混灌，咸水区加大渠水比例的井渠混灌，而咸卤水区则抽咸换淡。

4.2.4 需解决人畜饮用水地区

1. 多种水源解决人畜饮用水区

在黄土高原区内以“西海固”和“定西”为代表的“两西”地区最缺少人畜饮用水，需采用多种水源解决人畜饮用水。这里是全国著名的苦水区，地表水资源奇缺，地下水资源质差量微，人畜饮水困难。建国后经过地质和水电部门多年来工作，目前已有部分地区基本解决了人畜饮用水问题。凡是通过调用地表水或有可能开采地下水的地段，均划为以地下水、地表水为主解决人畜饮用水区；对现在仍然依靠挖窖储水，“靠天”饮水，或干旱年份因不能储存足够窖水而靠国家用汽车拉水解决饮水的地区划为多种水源解决人畜饮用水区，属于严重缺水区，其分布范围，大致以甘肃的河口—定西—会宁—洪德—宁夏的海原—固原—官厅一线以北，景泰、同心、盐池以南地区。

区内年降水量一般小于 300mm，黄土层基本不含水，个别大型沟谷黄土中尚含微量地下水，但水质苦咸，不能饮用。河流也因流经含易溶盐的黄土和第三系红层，受其影响，上游水质好，中、下游水质变差，矿化度高达 2—8g／l。如祖厉河在上游内官营矿化度 0.5g／l，向下游至大芦递增到 12g／l，河水混浊，色褐，不能饮用。居民点多分布在梁坡上，由于沟谷深切，地形破碎，地下水量少质差。掌地中虽有少量淡水透镜体存在，但仅能解决少数居民点的临时性用水。故该区人畜用水需采用大气降水、地表水、地下水、咸水淡化等多种水源及远距离调水等途径解决人畜用水问题。

2. 以地下水、地表水为主解决人畜饮用水区

广大的黄土丘陵及山区地下水资源贫乏，开采条件差，仅在河谷或山间盆地中蕴藏有少量地下水可开采利用。其开采面积只有 0.4 万 km^2，共有剩余开采量 6.36 亿 m^3／a。其

余黄土丘陵及山区居民多以沟谷或梁坡上泉水，黄土沟谷中掌、杖形洼地中潜水及黄土下伏碎屑岩孔隙裂隙水为饮用水源．大部分黄土丘陵区降水量在400mm左右，山区降水量更大，因此，泉水或沟水及碎屑岩孔隙裂隙水基本可满足人畜饮水需求．但局部地区仍缺少人畜饮水，依靠窖水（雨水窖）或渠水（河水窖）为饮水水源．枯水年尚不能保证供水．在陇西及宁南地区过去统称缺水区，现已有部分地区基本解决人畜用水．如：

(1) 以河水解决人畜饮水地区

洮河河谷区，洮河自李家村出西秦岭山地后，进入黄土丘陵区，河谷内普遍赋存地下水．但沿途获取补给的地表水和地下水的水质较差，致使河谷潜水水质变差，到下游新添至辛甸一带，河谷潜水的矿化度已增至1.5—3g／l．当地居民多饮洮河水，临洮县城附近河谷潜水为小于1g／l的淡水．景泰、一条山、白墩子和芦阳等地居民较集中．含水层系第四系洪积碎石和砾卵石层，由于多年抽取黄河水灌溉农田，次生黄土中的易溶盐被淋滤进入地下水中，致使地下水位上升，水质变差，不能饮用．深部地下水埋藏深，不易开采，但抽取黄河水的渠道密布，各村镇和零星分布的居民点利用窖（或蓄水池）储存河水，是解决人畜饮用水合理又经济的途径．

刘川盆地、靖远北部兴堡子川、祖厉河河谷等区缺少地下水，但已建成大型抽灌站引黄河水灌溉农田，各级渠道已配套，因而居民可修建储水池或窖，储河水供饮用，基本可以解决人畜用水．

宁南清水河河谷区的同心县及固原县，也建有渠道，渠水可供居民饮用，同时两县还有开采地下水的条件．

(2) 以地下水解决人畜用水地区

该区位于会宁—定西—兴隆山一线以南地区．地下水赋存于黄土丘陵和河谷中，属于潜水，水质好．南部、东部及华家岭一带矿化度小于1g／l，其它地区多为1—2g／l，可饮用．河谷潜水资源十分丰富，如临洮、通渭河谷潜水单井出水量多大于500m^3／d，除饮用外，尚可灌溉农田．

黄土丘陵区潜水较贫乏，含水层仅0.5—2m，富水性差，单泉流量多在0.01—0.1 L／s，村民多饮泉水，今后还应掏泉增大流量，修建蓄水池，充分利用泉水是解决饮用水的唯一途径．在黄土沟谷中的掌，杖形洼地，是地下水富集带，矿化度小于1g／l或1—3g／l，埋藏浅（5—20m），易于开采，故挖大口井可解决人畜用水问题．

内宫—香泉盆地、榆中—定远盆地以及高湾—永登等盆地区，均蕴藏有一定数量的地下水，可以解决当地人畜用水．如内宫—香泉盆地，位于祖厉河支流—关川河的上游，距定西约20km，是一个东西长18km，南北宽5km的断陷盆地．含水层为砂砾石，单井出水量1000—2000m^3／d，水质好，矿化度0.5—1g／l，除供当地利用外，是定西县城供水水源．它不但解决定西生活及工业用水，在干旱的缺水季节尚供应百里以内的居民生活用水．

此外，山西省山区面积最大，缺水也比较严重．过去阳城是个被称为"滴水贵如油"的多山地区，现在这里已把境内能够利用的258个小泉，开发利用200多处，并打水井300多眼，修旱井（水窖）8600眼，全县70%的村庄已解决了饮水问题．太行山区的昔阳县，是一个以寒武、奥陶系石灰岩分布为主的地区，缺少岩溶大泉．经过水文地质队深入调查，为群众布井1000多眼，已成井700多眼，除解决300多个自然村3.4万人的用水

外，还扩大了水浇地面积。

虽在各级人民政府的关怀下，经过地质、水利等部门的多方努力，全区还有12%的农村人口和266万头牲畜的饮用水问题，尚待继续解决。

4.3 综合治理开发区地下水资源及开采前景

为便于黄土高原地区综合治理开发总体方案的实施，地下水的开发利用又按其总体方案中统一划分的12个综合治理开发区，进行分区计算地下水资源。综合治理开发分区原则是以自然及社会经济条件的相对一致性；综合治理或开发方向的一致性；治理开发途径和措施的类似性以及保持行政区（县）界的完整性为依据划分的。对按水文地质单元计算的地下水开采资源与表征开采前景的剩余开采量，再按行政区重新分配，力求相对合理。在分析12个区中以开发或治理的共性又归并成六个大区，即豫西晋东南开发区（为12个分区的1区、下同）、晋陕蒙开发区（2、4区）、汾渭盆地粮食基地区（3区）、以治理为主的黄土丘陵区（5、6、7区）、黄河河套平原开发及盐改区（8、9、10区）、兰州及青东开发治理并重区（11、12区）。各区地下水开采资源及剩余开采量详见表27，参见图18。

4.3.1 豫西晋东南开发区（1区）

本区包括灵三、伊洛沁及长治盆地、沁水丘陵和太行山及部分霍山、中条山等灰岩山地，面积6.29万km^2。平原区（盆地）是我国由东部地带向中部地带转移首先开发的能源重工业区，开发条件优越，区内地下水资源比较丰富，开采资源20.41亿m^3/a，已开采量7.88亿m^3/a，剩余开采量12.53亿m^3/a。有开发潜力地区主要分布在平原区及岩溶水分布的山区，为工业生产提供了部分地下水资源。

黄土高原地区综合治理开发分区表　　表27

区　名	12个分区号	开采资源（亿m^3/a）	已开采量（亿m^3/a）	剩余开采量（亿m^3/a）
豫西晋东南开发区	1	20.41	7.88	12.53
晋陕蒙开发区	2、4	26.65	8.44	18.21
汾渭盆地粮食基地区	3	66.32	46.56	19.76
以治理为主的黄土丘陵区	5、6、7	14.72	4.48	10.24
河套平原开发及盐改区	8、9、10	66.63	9.67	56.96
兰州及青东开发治理并重区	11、12	9.03	2.08	6.95
合　计		203.76	79.11	124.65

4.3.2 晋陕蒙开发区（2、4区）

本区包括大同及忻州盆地，宁武及蒙陕黄土丘陵，面积9.35万km^2。地下水开采资源26.65亿m^3/a，已开采量8.44亿m^3/a，剩余开采量18.21亿m^3/a。地下水主要集中在大同、忻州盆地区和宁武丘陵岩溶水分布区。区内有大宁、河东煤田及准格尔、东胜、神府特大煤田。东胜及神府煤田分布区缺乏地下水资源，大同、忻州盆地中地下水除供城市及农田开采外留给能源基地的地下水不多。发展煤炭、电力、同时要改造低产田，提高粮食产量，存在着农业与工业争水的问题。在晋陕蒙接壤区，风沙及水土流失严重，

治理难度大，在开发同时必须注意环境治理。

4.3.3 汾渭盆地粮食基地区（3 区）

本区包括太原、运城、关中盆地及部分山地区，面积 8.69 万 km^2。其中三个盆地面积占 41%，为黄土高原地区粮食基地之一。平原区城市工业较发达，具有机械、纺织、电子、能源化工等工业优势，为发展工农业的有利地区。地下水资源丰富，开采资源 66.32 亿 m^3/a，已开采量 46.56 亿 m^3/a，占开采资源的 70%，开发利用程度很高，剩余开采量 19.76 亿 m^3/a。地下水开采潜力集中于河谷冲洪积平原，面台源区地下水埋藏较深，资源较为贫乏，不能满足农业供水需要。区内渭北、霍西、西山煤田基地以开发岩溶水及第四系孔隙水为主。铜川矿区开采碎屑岩孔隙裂隙水，水源不足。

4.3.4 以治理为主的黄土丘陵区（5、6、7 区）

包括晋西、陕北（5 区）、陇东（6 区）以及"两西"天水区（7 区），面积 17.43 万 km^2，占总面积 62.34 万 km^2 的 28%。该区是水土流失严重的典型黄土丘陵区，是以梯田为主的旱作农业区。在西峰、长武、洛川等黄土塬区以及山间盆地适宜发展农业，为黄土丘陵中的粮食产地。区内地下水资源贫乏，开采资源 14.72 亿 m^3/a，已开采量 4.48 亿 m^3/a，剩余开采量 10.24 亿 m^3/a。有开发潜力地区集中分布在黄土塬及河谷盆地区。广大的黄土丘陵区地下水资源贫乏，尤其是宁南和陇西黄土高原，水质苦咸，缺少人畜饮用水源。该区应大力发展种草种树，涵养水源，治理水土流失，在有条件地区采用提引地表水、开采地下水、调蓄大气降水的综合办法来解决人畜饮水问题。

4.3.5 黄河河套平原开发及盐改区（8、9、10 区）

本区包括内蒙古河套灌区（9 区）、银川和卫宁灌区（10 区）、以及鄂尔多斯高原畜牧区（8 区），面积 13.26 万 km^2。

黄河河套平原是我国北方最大的自流引黄灌区，也是我国拟建中的商品粮基地之一。这里地势平坦，灌域宽广，有丰富的水土资源，优越的引水条件，发展农业生产的潜力较大。但在干旱的自然条件下，加之不合理的灌溉，致使土壤盐渍化的发展日趋严重，所以该区应以治理盐碱改良土壤为主攻方向。现状补给条件下，银川河套平原区地下水开采资源 48.5 亿 m^3/a，已开采量仅 8.87 亿 m^3/a，剩余开采量 39.63 亿 m^3/a，占开采资源的 82%。采用井渠双灌，井灌井排，开采地下水，降低地下水位，达到治理盐碱改良土壤和节约引黄水量（仅后套灌区就可节约 15—20 亿 m^3/a 引黄水量）的综合目的。

鄂尔多斯高原畜牧区，包括库布其和毛乌素沙漠的大部分地区。在沙漠滩地中赋存沙丘潜水，其中毛乌素沙漠潜水开采资源 18.13 亿 m^3/a，由于流沙影响难于开采，开采程度很低。为保持生态环境，宜采用分散开采，控制合理水位降深，并采取有效的成井工艺，合理开发利用有限的地下水资源。

4.3.6 兰州及青东开发治理并重区（11、12 区）

本区包括兰州、西宁盆地、陇西黄土丘陵与部分山区，面积 7.32 万 km^2。该区是开发黄河最丰富的水电基地，地表水资源丰富，用来发展化工、机械、电力、毛纺等工业。区内地下水开采资源 9.03 亿 m^3/a，已开采量 2.08 亿 m^3/a，剩余开采量 6.95 亿 m^3/a，主要集中分布于河谷盆地区。除兰州及西宁工业发达外，其余地区以发展乡镇企业为主，用水量较小，在综合利用地表水与地下水条件下，除黄土丘陵区外，一般可以满足需水要求。

第五章　缓解水资源紧缺的综合对策

水资源是有限的资源。当今社会随着人口的增加与工农业的飞速发展，需水量与日俱增，世界许多地方已经感到水源紧张甚至发生水源恐慌，中国也不例外。黄土高原地区水源尤为缺乏，合理利用水资源更为重要。由于地表水和地下水之间有着密切的联系，它们在一定的条件下相互转化，要合理开采地下水资源，统筹规划地表水与地下水，需明确合理开发利用水资源的一般原则，并对全区水资源进行供需分析后，提出有针对性的缓解供需矛盾的对策。

5.1　水资源合理开发利用原则

5.1.1 合理开采地下水的原则

1. 加强对地下水资源的勘察工作，不论是城市或工业基地，建立地下水水源地，都必须进行水文地质勘察，对地下水资源作出科学评价，经过有关部门审批后，方可施工。

2. 遵循地下水资源分布的客观规律，按照"量入为出"的原则开采地下水。即根据地下水资源数量和质量、当地地质环境所能承受的能力进行合理的开采。

3. 众所周知，地下水是人们生活饮用的最佳水源，为此，地下水应优先满足居民饮用水的需要。利用地下水较之利用地表水具备许多优越条件，如地下水水量比较稳定；水质一般较好，埋藏地下不易污染；水温低，有利于工业冷却用水；就地开采，工程投资较低。鉴此，黄土高原地区城市供水现状即以开采地下水为主，今后只要符合饮用水标准的地下水，具备开发利用条件的首先要保证居民生活饮用水。

4. 在开采地下水过程中可以恢复的调节资源部分具有重要意义。潜水或浅层水，埋藏浅，开采消耗与补给恢复循环周期短，具有多年调节能力，应首先开发利用。工农业用水以开采浅层地下水为主。

5. 大型盆地内冲积平原为地下水资源最丰富地段，有条件发展井灌；在台塬区应以发展井渠双灌为原则。

6. 在黄河等河流岸边地区，宜兴建傍河型地下水水源地，这样一方面可获取河水的激发补给，增加水源地的补给量，另一方面又可以避免直接引用地表水时对其泥沙的处理。

7. 地下水与地表水统一规划、综合利用，在有条件地区开展地下水人工调蓄和人工回灌充分利用地下库容，以丰补欠，实行多年调节。

5.1.2 合理利用地表水的原则

据黄河水利委员会提出的开发利用黄河水资源的原则为：

1. 优先保证人民生活用水和国家重点建设的工业用水。为使有限的黄河水资源更好地为本世纪末工农业总产值翻两番的战略目标服务，应首先保证城市人民生活、农村人畜和重点工业的合理用水。工业布局要充分考虑水资源条件，切行节约用水，建设节水型的

工业，山西能源基地、准格尔煤田、河津铝厂用水等，在充分利用当地水资源的前提下，缺水由黄河水补给。

2. 保证黄河下游冲沙入海用水，估计冲沙入海水量需要 240 亿 m^3，花园口以下已无径流汇入，这部分水需由上、中游补给。

3. 灌溉用水。由于黄河水资源数量有限，农业耗水量较多，从长远看，供需矛盾很大。因此在灌溉方面，首先搞好现有灌区的配套建设，厉行节约用水，注意提高经济效益，适当扩大农业高产地区和缺粮地区的灌溉面积；对兴建水源工程困难而又有一定降雨的地方，考虑发展旱作农业；对降雨很少、干旱缺水的宁蒙地区的现有灌溉用水予以满足；对产沙较多的黄土高原地区，水土保持用水不加限制；对下游雨量较多、地下水较丰富的广大平原，应坚持井渠结合、抗旱灌溉用水为主。

4. 黄河水资源的开发利用，要上、下兼顾、统筹考虑。龙羊峡水库建成生效后，控制了黄河年径流的 36%，具有多年调节性能，不仅供给上游地区工农业用水，而且要保证中游地区能源基地用水，并照顾工农业用水。

5.1.3 水资源供需分析

需水量预测是一个复杂的问题，它涉及自然科学也涉及到社会科学，在供与需两方面都受着自然因素的控制，也受着社会经济因素的制约，预测需水量难度较大。现根据黄委会提出的黄河流域中黄土高原地区 2000 年需水量，《山西省地下水资源评价报告》中提出的需水量数据，以及能源基地供水预测资料，经汇总，黄土高原地区 2000 年农业需水量 279 亿 m^3/a，工业及生活需水量 103 亿 m^3/a（其中能源基地需水量 30 亿 m^3/a），总计需水量 382 亿 m^3/a。

区内黄河及海河流域地表水可利用量 185.21 亿 m^3/a，地下水开采资源 203.76 亿 m^3/a，两者之和去掉二者重复计算量 49.71 亿 m^3/a，全区可利用的水资源 339.26 亿 m^3/a。到本世纪末，水资源可利用量全部被开发，能满足总需水量的 89%，供水尚不足。

5.2 综合对策

地下水开采资源与 2000 年需水量相比，差额 47%，为使有限的地下水资源发挥最大作用，依据合理开发水资源的原则，采取开源与节流、规划与管理、防治与保护、监测与研究、法制与宣传、行政干预与经济手段等综合对策，实行科学用水，合理开发地下水以求缓解供需矛盾。对城市、农牧业、能源以及入畜供水，分别叙述。

5.2.1 缓解城市、能源供水紧缺对策

1. 城市供水对策

区内 36 座城市，有 80%以上分布在各盆地平原地区，这些城市多以地下水为主要供水水源。在五、六十年代，地下水供大于需。到七十年代末期，城市建设突飞猛进，对水的需求开始出现了需大于供的现象，供水工程建设落后于需水量的增长速度，水源紧缺已影响到人民生活。

在水资源紧缺的情况下，出现了许多新的矛盾，河流上游建库修坝，层层拦截，下游河道经常断流，污水无法稀释，难以自净，水质恶化，甚至有的河流成了污水河。沿岸地

带城市水源地，由于减少了河水对地下水的重要补给来源，导致水量衰减，水位下降。因缺乏水资源的统一管理，地下水资源被掠夺性的开采，造成了大面积水位下降，形成区域降落漏斗，导致地面沉降。未经处理的污水到处排放，又多被农业引用灌溉，地表水和地下水遭受严重污染，加剧了水资源紧缺的局面。根据以上存在问题及远景供水均需考虑合理开采地下水的对策。

(1) 开源与综合供水

区内36座城市中据现有资料，仅对西安、太原、呼和浩特、包头、大同、洛阳、咸阳、宝鸡、铜川、兰州、银川和西宁12个城市进行了远期水资源预测及供需分析。2000年总需水量941.2万m^3/d（34.35亿m^3/a），占全区工业及生活总需水量103亿m^3/a的33%，比现状供水量增长87%。预测的地下水可开采量565.2万m^3/d（表28），为需水量的60%，说明远期城市供水仍以地下水为主要水源。12个城市在缩减承压水（西安、呼市）开采量情况下，地下水开采量由现状的398.5万m^3/d增加了42%，除兰州、大同外，其余10个城市均有扩采、挖潜及新辟水源的潜力，此为可以采取开源措施以缓解供需矛盾。远期供水仅以地下水为城市水源，显然不能满足日益增长的需水要求，必须采取综合开发地下水与地表水的对策。如西安、宝鸡、大同市在远期供水中已开发地表水源；太原、包头、铜川在已利用少量地表水的基础上，远期供水规划中又增加了地表水取水量。12个城市现状供水取用地表水105.1万m^3/d，2000年共增加1.5倍。

在采取开源和综合供水措施之后，预测12个城市2000年日供水总量可达830.2万m^3。各城市供需分析结果，水源不足的城市有太原、大同、呼和浩特、包头、铜川及洛阳等六市，需采取其它有效对策。

2000年城市水资源供需平衡表 表28

城市	需水量（万m^3/d）	可供水量（万m^3/d）			平衡结果 余(+)、缺(−)
		地下水	地表水	小计	
太原	204.5*	103.3	58.5	161.8	−42.7
大同	115.0*	35.9	30.4	66.3	−48.7
呼和浩特	40.0*	27.8	/	27.8	−12.2
包头	(75.0)	30.3	30.0	60.3	−14.7
洛阳	74.7	59.6	/	59.6	−15.1
西安	166.0	108.7	60.0	168.7	+2.7
咸阳	40.0	41.5	/	41.5	+1.5
宝鸡	35.0	22.0	15.0	37.0	+2.0
铜川	21.0	5.6	3.7	9.3	−11.7
兰州	(90.0)	30.0	60.0	90.0	平衡
银川	26.0	29.0	/	29.0	+3.0
西宁	54.0	71.5	7.4	78.9	+24.9
合计	941.2	565.2	265.0	830.2	
备注	* 包括农业需水量；（ ）估算需水量				

(2) 节水与保护水源

水源浪费和污染在我国还十分严重．水的浪费、污染以及打井或建库等供水工程的建设落后于需水量的增长速度，都是造成目前供水紧张局面的主要因素，所以提高工业用水重复利用率，节约用水是缓解城市供水紧张的有效措施．对2000年缺水的城市更是一项基本对策．例如太原市自1980年以来严格实行计划用水、控制用水等节约用水的实施办法，规定超计划用水加价罚款．据统计1980至1987年的7年间，全市累计节水2.43亿m^3／a，即平均相当每日节水9.5万m^3．在此期间，万元产值的用水量由693m^3下降到318m^3；工业用水的重复利用率也由66%提高到75%，节水效果显著．同样西安市1980至1983三年间全市共完成循环水项目87项，每天回收能力达7.8万m^3，相当新建一个大型水源地．区内36个城市目前除西安、太原等少数城市外，其它城市工业用水重复利用率均较低，约在20—40%，与国家要求力争2000年达到70%的目标差距很大，必须尽快提高重复利用率以缓解供水紧张局面．

由于城市化进程的加快，造成三废和生活污水的大量排放，污染了环境又破坏了水源．因此，必须采取有力措施，改造企业，治理三废，净化环境，处理污水，走污水资源化之路．据统计七个省会城市工业及生活污水排放量都已超过了本市现状供水量的60%，最高达79%（兰州）．而36个城市污水排放总量也达到供水总量的60%，这样大量的污水，如能处理回收用于水质要求不高的工业、农业和城市绿化，既有利于发展生产，又可缓和工农业生产与生活争水之矛盾，还减轻环境污染，是一举多得的解决缺水问题的有效措施，也是水资源合理利用的长远之策．就现有资料，太原、西安等10个城市已建立污水处理厂14座，日处理污水约50万m^3．数量之少仅为36个城市污水总排放量的13%，说明还有80%以上的污水还在严重地污染环境和水源．因此，保护水源防止污染，处理污水净化环境刻不容缓，对缺水的城市更有其重要意义．

(3) 加强水资源管理等对策

城市水源紧张，一方面由于需水量急剧增加，另一方面缺乏全面规划与统一管理，用水单位各自为政，各企业部门之＊间，城乡之间互相争夺水源，造成水资源的破坏．改善城市供水紧张状态，还应考虑以下对策：

① 加强水源勘探工作，查明地下水的蕴藏条件，对地下水资源作出正确评价，提出合理的开采技术方案，防止盲目开采．

② 城市建设和工业布局应充分考虑水资源条件，进行全面规划．对城市环境容量和需水要求已超其承受能力的城市，尤其是省会城市，应考虑发展城市外围的卫星城，以产品引入的方式代替远距离调水的对策．在水源不足的城市（如东胜、延安、铜川），应当限制城市的发展规模和耗水量大的工业．

③ 建立城市水资源管理机构，协调用水和管水的城建、农业、水利和地质部门．研究制定开发水资源的重大方案，对地表水、地下水要统一规划，综合利用．统计和调查水资源，实行科学管理，全面规划，合理调配，平衡供需．

④ 加强水源保护，植树造林提高水源涵养能力．做好地下水动态监测工作，特别对水源地区域下降漏斗进行严格监视，缩减开采量，控制下降漏斗的发展．在有条件地区采取人工回灌措施，保护地下水资源，防止地面沉降．监测水质污染及时提出防治措施．分析动态资料，建立管理模型，随时调整开采方案．

⑤ 计划用水，制定工业用水定额，限量供水，提高水的重复利用率，制定合理的水价政策，计量收费，避免浪费水源。

12 个城市缓解供水紧缺的具体对策：

太原、大同市的规划需水量中包括农业供水，故明显大于同类（人口数及工业产值）城市西安、兰州、包头、洛阳以及宝鸡等市的需水量。造成供需差距悬殊的主要因素是农业的大量用水，所以要在农业不合理用水中挖潜。关键在于计划用水和节约用水，净化污水，增加再生水资源。

太原市远期供水措施：

首先采取开源措施，现已查明的东山隐伏岩溶水开采资源 $1m^3/s$，可兴建日开采量 5 万 m^3 的地下水水源地，在枣沟、后沟一带是良好的集中开采地段，开发东山岩溶水对缓解太原市供水紧张是十分有益的。另在太原市南郊三给至小店冲洪积平原地区，浅层水基本没有开发利用，虽然水质略受污染，但用于水质要求不高的工业和农业是完全可行的。近年来，太原化工厂在原开发中深层地下水的基础上，转向开发利用浅层地下水，使关家堡地区的地下水降落漏斗得以恢复，开发浅层水既补充了太原市的供水，又保护了中深层地下水资源，予测可开采浅层地下水 5 万 m^3/d。还有在太原市上兰村至古交一线的汾河河谷，灰岩裸露，渗水条件良好，汾河在雨期又有大量洪水下泄，在这里修建汾河二库，既可拦蓄地表洪水，又可补充太原西山岩溶水，增加岩溶水的开采资源，为太原市提供新的水源。若汾河二库同一库联用，可以同时解决太原市工业和农业用水之不足。其次从节水中挖掘水源，太原市无论是工业、农业用水浪费现象还十分严重。农业是用水大户，而高定额灌溉，大水漫灌现象还普遍存在，必须从农业的不合理用水中挖潜。太原市水源不足已成为工业及城市发展的主要制约因素之一。自 1980 年以来，由于加强了用水管理，采取了节水措施，在工业产值逐年增长的情况下，工业取水量逐年有所减少，复用率逐年提高。如 1980 至 1984 年间，工业总产值由 37.72 亿元上升至 54.19 亿元，四年间增长了 44%，而万元产值取水量由 $658.7m^3$—$371.9m^3$，下降了 56%，工业用水重复利用率也有明显的提高；工业取水量由每日 67.9 万 m^3，下降到 55.1 万 m^3，日节水 12.8 万 m^3，相当于建立一个大型水源地。可见节约用水有很大潜力，为解决太原市水荒的根本对策之一。全市日排放污水 60 万 m^3，在区内省会城市中仅次于兰州的排放量，净化污水增加再生水资源潜力很大，已规划建立日处理污水 10 万 m^3 的污水处理厂，为达净化环境、缓解供需矛盾还应继续扩大污水处理量。

大同市水源不足，工农业均以地下水为主要水源，开采程度很高，城区开源有限，尚可开发该市周围的文瀛湖、下窝寨、周士庄、大小坊城等中小型水源地，预计日采水量可达 5 万 m^3，补充大同市供水之不足。对于缺水的大同市节流比开源更为重要，但是大同市节水工作起步较晚，始于 1984 年，在节水前，工业用水重复利用率不足 20%，工业万元产值取水量 $423m^3$。1984 年一年来全市工业和生活节水量约 600 万 m^3，相当每日节水 1.6 万 m^3，工业用水重复利用率提高到 45%，万元产值取水量下降到 $379.8m^3$，节水初见成效，为缓解水源紧缺，还需狠抓节约用水，据城建部门估算如果节水措施得以实施，每年可节水近 3000 万 m^3。另外引册田水库水 6307 万 m^3/a，供大同市电厂和工业用水，这项工程的实施，对大同市的供水将大为改善。但煤炭、电力工业用水量大，尚需考虑兴建引黄工程解决。

呼和浩特市无傍河取水条件，深层水补给条件较差，资源量有限。要满足远期需水，首先要调整供水方案，改变工农业都争用优质承压水的局面，依照"呼和浩特地区地下水管理办法"（1986年3月通过试行）规定的：城乡居民饮用水以开采优质承压水为主；工业用水以开采水质稍差的潜水为主，承压水为辅；农业用水全部抽取潜水的原则，逐步实行分质供水。对市区南郊百余眼农灌自流井常年自流，日自流量约20万m^3，不仅极大地浪费了地下水资源，而且造成大面积的土壤盐碱化，应控制使用或采取封闭措施，或作为城市供水水源。节流对缓和缺水的呼和浩特市是非常重要的一项对策，但该市1985年才实行计划用水和节约用水。1986年一年工业与生活共节水1.4万m^3/d，工业用水重复利用率由1984年的10%提高到23%，据预测计算，若工业用水复用率提高到50%可节约用水7.4万m^3/d；提高到70%则可节约用水20.7万m^3/d。如果废水排放量能缩减30%，相当节省一个日处理5万m^3的污水处理厂。因此大力挖掘节水潜力，是节约水资源，防止污染，保护环境和缓解该市水源紧缺的综合效益的重要对策。另外在市区西南20km处的根堡一带探明新的水源地，开采第四系承压水，开采量15万m^3/d；在根堡北潜水尚有一定开发前景，预计可开采5—10万m^3/d。

包头市目前地下水总开采量中农业灌溉占56.4%，城市供水主要取黄河水，且河水含沙量高，处理工程造价高昂。如果把地下水转为城市与工业用水，城市供水将会大为改观。建议有关部门从长计议，改变目前供水状况，使地下水首先满足城市及工业用水，市郊农业灌溉用水取用黄河水。

西安市在老水源地不能扩大开采的条件下，新勘探水源地两处，其中西北郊水源地已部分投产，东北郊水源地做为备用水源。为根本改善城市供水现状，引黑河水作为城市供水水源，预计2000年供水量可达60—80万m^3/d，1990年前期供水20万m^3/d。还将建立不同规模的污水处理厂，修建中水道，实现污水资源化，积极开展节约用水缓解水资源紧张局面。

西安的老水源地多为岸边型，开采条件优越，有河水的长期补给，尤其沣、滻河水源地，河水补给量占60—80%，至今已有20—30年的开采历史，多年年平均水位下降速度较小。沣河水源地1967至1984年中心孔k446平均下降速度0.2m/a；浐河水源地中心孔k104降速0.34m/a（1965—1986年）；滻河水源地中心孔k22降速0.78m/a（1956—1986年）。近年来由于在沪、滻、沣河水源地上游修坝建闸，引水灌溉，造成下游河水断流时间不断增长，最长一年达255天（1977年）破坏了水源地的补给条件，致使在开采量趋于稳定状态下水位仍持续下降，并有增大趋势。按有关法规要求，应合理调蓄径流和分配水量，兼顾上下游和左右岸的用水。所以一定要统筹兼顾工农业用水，确保沣、滻河等现有水源地长期正常开采的前提下规划农田水利工程，不使河水断流。成立能够协调用水和管水的城建、农业、水利和地质部门的城市水资源管理机构，统一规划地表水与地下水资源，是缓解保护西安市岸边型老水源地地下水资源得以循环再生，长期使用的重要措施。

积极开展对现有水源地的人工补给工作。西安市现有五个水源地自开采以来，地下水位不断下降，形成区域降落漏斗，造成采补失调，开采量削减，加剧了供水危机。为改变目前供需矛盾状况，曾在沪河（1973—1978年）、滻河（1980年）两个水源地分别进行过深、浅井回灌试验，取得了较好的效果，水位得以恢复，水量也有明显增加，冬灌夏用储

冷降温，对纺织厂空调降温效果更佳．实践证明人工回灌是缓解供水危机、保护水源、发挥水资源多功能的有效对策，西安市面临供水紧缺局面，需加强人工回灌工作．回灌水源问题，应在统筹规划地表水与地下水前提下加以解决．

西安市需水量在急剧增长，目前已出现供水紧张局面，除东北郊后备水源地尚未开采外，其余已探明的水源地均已投入生产，地下水的扩采潜力有限，老水源地的开采多已超其承受能力，故考虑发展城市外围的卫星城，以产品引入的方式代替远距离调水的对策势在必行．发展泾河经济区以及长安、引镇等卫星城的工业，以减少西安城市工业供水压力．

咸阳市经勘探在过塘村至南寨渭河岸边一带可建立新的水源地，预计可开采 5 万 m^3/d．宝鸡市为解决远期需水，可建八鱼水源地，预计开采地下水 5 万 m^3/d．此外主要挖掘当地地表水的潜力，在清姜河益门镇上游建坝，增加地表水供水 1 万 m^3/d，还可从冯家山水库引水 10 万 m^3/d．

铜川市水资源贫乏，为解决远期需水，除狠抓节约用水外，要挖掘各大小溪流的潜力，另外考虑引用桃曲坡水库水，以解决铜川市用水问题．

洛阳市为满足远期需水，除继续开展人工回灌外，还需另辟水源．市区东部李楼一带，地处洛河、伊河河间地块，第四系沉积厚度大，在 100m 深度内砂卵石含水层厚达 25—50m，开采深度 80m．除大气降水补给外，还有丰富的洛河及伊河的补给，补给源充沛，开采影响范围 $33km^2$，可采资源 20—25 万 m^3/d，量丰质优，已建成第一期工程开采量 16 万 m^3/d．此外还应坚持开源与节流并重的对策．

兰州市供水主要靠黄河水，供水水源可以保证，主要问题是水质遭受污染，应引起高度重视．

西宁市由于城市需水量较小，河谷川道潜水资源丰富，主要是扩大开采、挖潜和新辟水源．在北川塔尔水源地上游和西川丹麻一带地下水均有开采前景，建立新水源地，扩大开采 20—30 万 m^3/d，可以满足远期需水要求．

银川市除老水源地外，已勘探的水源地有化肥厂扩建水源地、新市区北郊水源地和拟建水源地共五处，可以满足远期需水要求．

上述 12 个城市仅占区内 36 个城市的三分之一，还有三分之二的城市缺远期供水规划．总之，正如有人预言的"水，不久将成为一个深刻的社会危机，石油之后，下一个危机就是水"．区内城市已不同程度出现水荒，应该引起全社会的严重关注．

2. 能源基地供水对策

黄土高原地区煤炭资源丰富，不论是现在还是未来的二十一世纪，都将成为我国煤炭供应基地，同时也将是我国北部和东部电力供应的主要基地之一．开发煤炭，建立电站，都需要大量的水源，而区内水资源少且分布不均，成为能源开发的制约因素．解决的对策主要是开源节流，修坝建库提引河水．

经地质、水电、煤炭等部门勘探，可建立水源地 30 余处．诸如，山西省柳林、保德县天桥岩溶泉水，至今尚未开发利用，均可建立大于 10 万 m^3/d 的大型水源地．1985 年山西省地矿局在保德铁匠铺打成五口岩溶自流水井，单井自流量日平均 2.2 万 m^3．1988 年地矿部 908、909 大队又在府谷县林阴会黄河西侧打出岩溶自流水，单井自流量 2.2—4.5 万 m^3/d．保德、府谷位于黄河东西两岸同属一个岩溶泉域，该泉域内水量丰富，是

我国北方岩溶水所罕见。为河（曲）保（德）偏（关）府（谷）能源基地电厂用水提供丰富水源。但必须注意开采过程中两岸自流水干扰和削减问题，应及早建立动态观测，以指导开采。此外山西岩溶大泉目前多被农业引灌，工农业争水矛盾突出，可节约部分农灌用水供给能源基地。如神头泉、辛安泉、郭庄泉及三姑泉等，节约的水量均可建立大于10万 m^3/d 水源地。本着工业布局，必须以水定点原则，还可进一步挖掘黄河岸边地下水潜力，山西地矿局1988年根据现有水文地质普查资料分析提出：河津县连伯滩、临猗县南赵、永济县蒲州、芮城县永乐及平陆县茅津等黄河岸边地带地下水丰富，具有一定的供水前景，但作为能源基地大中型供水水源地，尚需进行供水水文地质勘察工作。

陕西渭北煤田区岩溶水的勘探研究工作，自1980年以来有所加强，尤其对东部隐伏岩溶水的调查研究进展较快，经勘探证实，在洛河河谷中袁家坡、温汤、段家等地全处，奥陶系（O_2）灰岩含水层埋藏较浅（300m内），水量丰富。如1979年西北电力设计院在袁家坡，为蒲城电厂供水，探明岩溶水开采资源13.27万 m^3/d；1985—1987年陕西地矿局第二水文地质工程地质队在温汤，又为蒲城电厂供水，经过百余天开采性抽水试验，总抽水量达10.34万 m^3/d，用有限元等方法计算的开采资源12.89万 m^3/d；在东王村黄河西岸滩地溃泉一带，现有岩溶水钻孔自流量6.26万 m^3/d，澄合矿区王村井田预计利用1.5万 m^3/d 作为矿区水源。总之，渭北东部洛河至黄河地段，有袁家坡、温汤、段家、东王至韩城五个岩溶水富水地段，可采资源共计61万 m^3/d（2.2亿 m^3/a），目前已开采利用约11万 m^3/d，剩余开采量占可采资源的82%。由于渭北岩溶水质优量丰，距离矿区较近等特点，除地表水奇缺或第四系地下水水质恶劣的地区（大荔、蒲城高氟区）可考虑以岩溶水作为生活用水的补充或改水水源外，岩溶水应主要用于发展能源及重点工业用水。

各省经供水勘察提出在三门峡西、府谷县孤山川、禹门口、韩城下峪口等地可建立开发第四系孔隙水水源地。尽管有以上开源潜力，但由于2000年需水量过大，近30亿 m^3/a，缺水还是严重的，就现有资料，仅山西缺水3.6亿 m^3/a。东胜（可开采少量白垩系自流水）、准格尔、大同、神府煤田，除开采部分地下水外，大部分供水要考虑黄河水源。

陕晋蒙煤田区是黄土高原区水土流失严重地段，开发煤田必须与治理水土同步进行，否则将加大水土流失量。据1988年神府地区最新统计资料，在200km^2 内120多家煤矿，露天采煤，近年来每年向大小河床排渣300万t以上。堵塞河道影响安全行洪，增加入黄泥沙，加剧泥沙流失。必须及早制定防止水土流失措施。

5.2.2 缓解农牧业供水紧缺对策

1. 农业供水对策

黄河流域中黄土高原地区，自古就是我国农业的重要基地。关中平原、银川河套平原，以及山西太原、大同、运城等盆地，均为区内主要的商品粮基地或拟建中的商品粮基地（如内蒙的后套）。这里水利事业发达，开发地下水及引地表水灌溉农田历史悠久。由于管理不善，大水漫灌，浪费水源，产生渍水灾害及次生盐渍化日益严重。在以开发利用地下水为主的地区又造成大面积水位下降。针对以上出现的问题，采取不同对策，合理开采地下水。

（1）发展井渠双灌

渠系、田间灌溉水的入渗补给了地下水，地下水在储存、排泄过程中又与地表水多次转化，这种相互转化和循环使得灌溉水得到不断的重复利用．发展井渠双灌，就是进一步促进这种补给、储存、排泄的循环，提高水资源的重复利用率，达到水资源合理利用的目的．陕西关中泾惠渠灌区是这方面的一个典范，多年平均引用地表水约 4.5 亿 m^3/a，目前基本保持采补平衡．但是在其它灌区尚未实行井渠双灌，产生渍水或水位下降．如宝鸡峡灌区由于引灌大量地表水，致使潜水位平均上升 10 余米，水位上升面积达 $1500km^2$，渍水成灾．经过修建排水干渠，至 1986 年水位上升面积缩小到 $1000km^2$．万亩明水被排除，60 多个村庄不再搬迁，5 万多亩耕地受到保护，1987 年水位上升面积又缩至 $732km^2$，治理效果显著．今后还要适当配合井灌措施降低水位，节省地表水灌量。对以井灌为主的富平塬，运城塬以及大同盆地，因超量开采，水位持续下降，应控制井灌开采量，尤其是要限制深层水的开采（运城、大同），发展渠灌．井渠结合．运城盆地中台塬区严重缺水，兴建了引黄工程，提引黄河水进行农灌，但必须采取相应的排水措施，防止次生盐碱化再次发生以及盐池卤水的淡化．此外，在各盆地中缺水的黄土台塬，还可考虑发展旱作农业，采取节水型的低压管道输水喷灌、滴灌等措施．

(2) 充分利用水源发展联网灌溉

水资源是大气降水循环再生的动态资源，地表水与地下水是互相转化的一个统一体。这就需要按流域、自然单元或行政单元作出规划，进行开发、利用和管理．

关中盆地灌溉渠网已基本形成三个独立运用，又有相互联系的供水系统．为逐步建立关中地区灌溉系统统配中心，实行优化配水奠定了基础．目前可先把关中西部的联网灌溉系统建立起来．充分利用水源，扩大灌溉面积，提高粮食产量．

关中西部已建成的宝鸡峡、石头河、冯家山、羊毛湾四个大型水利工程，灌溉面积 500 多万亩，占陕西省灌溉面积四分之一以上，是省内重要的粮食基地．但由于自然地理条件存在显著差异，水资源西多东少，南多北少，分布不均，使有限的资源不能充分合理的开发利用．从控制利用情况看，石头河年入库水量 4.5 亿 m^3，年可调节 2.7 亿 m^3；而渭河南岸、眉县灌区最多用去 1.3 亿 m^3，余水可引入宝鸡峡渠道．冯家山灌区年均引水量 4.9 亿 m^3，灌溉用水 2.5 亿 m^3 至 3 亿 m^3，余水 2 亿 m^3，只需延长十多公里渠道就可引入缺水的宝鸡峡．宝鸡峡从 1971 年至 1982 年的 12 年中，就有三分之一的年份因灌区干旱少雨、河水量不足而使农业严重减产．羊毛湾水库灌区设施面积 32.5 万亩，年均缺水 0.44 亿 m^3．如能“引冯济羊”，则可扩大有效灌溉面积 8.5 万亩．此外，山西汾河一库二库也可联用发挥水资源的利用效率．

以商品化促进合理用水，采取收费制度，限制超定额灌溉用水是节约用水的有效措施．

(3) 合理开发地下水综合治理盐碱地

据 1983 年后套平原土壤调查资料，全区盐渍土面积达 1004 万亩，占灌区总面积的 61%，严重地影响了农业的高速度发展．河套灌区（指后套）土壤盐渍化的形成和发展是由其所处的自然条件的不利因素和人为不合理的灌溉综合作用的结果．自然条件的不利因素往往形成早期的原生盐渍土，人为的不合理灌溉是次生盐渍土形成和发展的基本原因，而且后者往往导致加剧自然条件不利因素对次生土壤盐渍化发展的影响．

就自然条件而论，除了气候干旱，蒸发强烈是土壤返盐的重要气象因素外，河套灌区

地质环境所决定的高盐分地层和高矿化水的存在，构成了盐渍土形成的盐分之主要来源。潜水径流不畅，造成水盐滞托，是盐渍土形成的最基本的内在原因。加上灌溉上的影响，长期以来，灌多排少，灌排失调，引黄河水大量入渗补给地下水，抬高了地下水位，使地下水中盐分在干旱气候的强烈蒸发下，通过毛细作用带入地表而积盐，这是盐渍土形成的外在原因。由于盐渍土形成的成因不同，治理的难易程度和措施也不同。

土壤盐渍化的防治对策：一是降低地下水位。根据许多试验资料证明，降低地下水位控制土壤积盐，粮食可获高产。以调控秋浇后水位埋深为 2m 和区域平均水位埋深 2.5—3m 是适宜的；二是以井排为主、井渠结合、沟管并用、井渠双灌、以灌代排，是套区改土治碱的综合对策。试验资料证实，竖井排水对降低地下水位效果明显，按井渠结合，开采地下水 9.4 亿 m^3／a，布井 9400 眼，引黄量 29.04 亿 m^3／a，按现在引黄量 50 亿 m^3／a 计算可节约黄河水量 20 亿 m^3／a。三是生物措施亦不可忽视。

银川平原是宁夏国民经济最发达的地区，也是我国的商品粮基地之一。然而银北地区盐渍化严重，直接危害着农业生产的发展。粮食作物平均单产为 340 斤／亩，仅为银南地区 650 斤／亩 的二分之一强。其治理对策与内蒙河套灌区基本一致，并强调实行农（农业技术措施）、林（林业绿化）、水（水利措施）、土（土质改良）综合治理措施。

2. 牧业合理用水对策

毛乌素、库布其两大沙地面积 5.9 万 km^2。沙丘间分布有一些平坦的滩地，滩地中心小型湖泊（俗称海子）星罗棋布，地下水位埋藏很浅，绿草丛生，是良好的牧场。沙漠滩地中蕴藏有较丰富的沙丘潜水，可供牧场利用。林、草地可灌面积达 1845 万亩，需水量约 40 亿 m^3／a，而沙漠滩地中潜水开采资源仅 23 亿 m^3／a，尚不能满足需水要求，适宜小型分散开采地下水，注意生态平衡，不能使水位下降过大，影响林草生长。在提高成井工艺的前提下，凿井取水，否则含水砂层质地疏松，井易坍塌。此两大沙地历史上就以牧业为主，为发展牧业，兼顾农业，在开发利用地下水过程中，应采取营造防风固沙林，大力发展种草种树，涵养水源等综合对策，改造沙漠，经营果园，积极发展畜牧业和林果业生产。

5.2.3 解决人畜饮用水途径

黄土丘陵区地形破碎，地下水资源贫乏，除河谷区、黄土塬区（西峰、长武塬等）适宜发展农业外，丘陵区仅有的少量地下水主要解决人畜饮用，至 1987 年区内人畜饮水已大部分得到解决。如祖厉河中、下游河水苦咸，矿化度高达 12—17g／l，河流岸边地下水也是咸水，不能饮用。现已修建了引黄灌渠，这里的居民以渠水为饮用水源，结束了居民饮苦水的历史。

定西、永登、同心、彭阳等县城供水，均找到可饮用的地下淡水，不同程度地缓解了县城人畜饮水及小工业用水。

渭南市渭河以北地区，群众长期饮用高氟水和苦咸水。在政府和群众集资条件下，1987 年 9 月完成了饮水改造工程，从渭河北岸龙背乡低阶地打群井取地下水 1.47 万 m^3／d（陕西地矿局二水勘探水源地），通过管道输送到高阶地区，解决了三十五万群众、三万头大牲畜的饮水问题。为防病改水寻找好水，地质、冶金、煤炭等部门多方调查和勘探，1985—1986 两年又在蒲城尧堡、洛河北大荔县段家，打出优质岩溶水，单井自流量 1—3 万 m^3／d，大荔洛北饮改水办公室选用段家岩溶水作为改水水源，四眼自流井

日出水总量 5.4 万 m^3，设计取水量 3 万 m^3/d，现实际开采 1.64 万 m^3/d，用管道已将水引至 18 个乡镇，约有 23 万人喝上优质矿泉水，不再饮高氟水、苦咸水。此矿泉水开采前景可观，做为优质矿泉水开发利用，将可扩大其社会、经济效益。

在干旱缺水的丘陵地区，较有效的方法是采用降水、地表水及地下水"三水"综合调节对策，其形式可以是多种多样。降水量在 400mm 以上地区，可采用挖窖蓄水或房盖取水方法。如河南省佛光县车李村群众修建有专门取水口的平顶房，把集中降雨的雨水，利用平顶房盖收集到房内蓄水池备用；东胜梁地区，在季节性河流的砂岩河道中采用截浮流（相似于地下水库）方法，使地表水（含洪水）转化为地下水储存利用，这些群众创造出的方法，效果好值得推广。

1986 年以来对苦咸水经过电渗析器处理后，水质达到饮用水标准，现已建成包括景泰县芦阳乡席滩村、定西县蜿口乡、榆中县金崖乡、皋兰县水阜乡等地淡化站 10 处，日产淡水总计 $850m^3$，可解决 4800 人和 3000 多头大牧畜的饮用和部分乡镇企业的生产用水。还有中国科学院广州能源研究所，研制的太阳能海水淡化装置，从苦咸水中制取淡水，效果好。对于光源充足的黄土高原区，有条件利用太阳能制取淡水。这两种方法造价低、效益大、简便可行，在缺少优质水地区应当试验推广使用。

结　　论

一. 黄土高原地区位于我国中部，黄河中上游，北起阴山，南至秦岭，西依贺兰—日月山，东抵太行山，面积 62.34 万 km^2. 区内矿产资源丰富，开发潜力大. 有得天独厚的煤炭资源，是我国重要的能源基地，又是从华北向大西北过渡的具有重要战略地位的腹地.

建国以来，党和政府对黄土高原的治理十分重视. 30 多年来，无论是生产或科研部门，对黄土高原的水土保持和治理都做了很多工作，取得了很大成绩. 然而，长期以来，黄土高原边治理、边破坏，水土流失尚未完全控制，风沙危害依然在威胁着农林牧业的生产，生态环境继续恶化. 1985 年区内工农业总产值为 809 亿元（按 1980 年不变价格计算），占全国同期总产值的 6%. 工业产值与 1980 年相比，年均增长 10%，低于全国同期增长 12%的发展速度. 1985 年全区人口 8149 万，与 1980 年相比，年均增长率 16.7‰，大于全国同期增长 12.8‰的增长速率. 人口的素质低，增长快，影响着该区国民经济的发展.

"黄土高原综合治理"研究，被列为国家"七五"重点攻关科技项目，该项研究对治理黄土高原，开发资源优势，具有重要的现实意义. 开发与治理黄土高原，急需查清水资源的分布与数量，从开发、利用和保护地下水资源和地质环境出发，重点研究城市、能源、农牧业供水、人畜饮用水的解决途径，为国土整治、规划布局宏观决策提供水文地质科学依据.

二. 黄土高原地区地下水按不同含水岩类，分为松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类岩溶水、碎屑岩类孔隙裂隙水、结晶岩类裂隙水四种主要类型.

松散岩类孔隙水，包括第四系冲积、洪积、湖积层孔隙水与黄土水. 冲洪积与冲湖积层孔隙水，主要分布在各大型断陷盆地，为本区城市及工农业供水的最佳水源. 黄土水可分为两种：一种是储存于黄土层中的地下水，分布在黄土塬及黄土台塬区，称为黄土台塬型地下水系统，水量稍富，可供农业灌溉；另一种是在广大的黄土丘陵区，储存于黄土及下伏基岩（风化壳）中，由于丘陵区黄土底部常缺失稳定的隔水层，黄土与下伏基岩构成统一的含水系统，该系统具有孔隙、裂隙双层结构特点，形成黄土高原特有的黄土水，称为黄土高原型地下水系统，水量贫乏，主要供人畜饮用.

碳酸盐岩类岩溶水，主要分布在太行山，吕梁山及渭北山区，对该含水岩类地下水的开发，近年来进展很快，已成为黄土高原地区能源重化工基地的主要水源之一.

碎屑岩类孔隙裂隙水、结晶岩类裂隙水，分布在丘陵高原或山地，资源贫乏. 其中白垩系、侏罗系孔隙裂隙水，在局部地段，具有一定的分散供水意义.

三. 黄土高原地区面积占全国 960 万 km^2 的 7%，人口占全国 7.8%，而水资源（576.73 亿 m^3/a）仅占 2%，为我国较严重的缺水地区. 从总体上看，本地区水资源与人口和自然资源的分布不相适应，水资源不足已成为制约社会经济发展的重大因素.

全区地下水天然资源总量 335 亿 m^3/a，仅占全国地下水天然资源 8716 亿 m^3/a 的

4%，全区地下水开采资源总量 203 亿 m^3/a，占全国地下水开采资源 2943 亿 m^3/a 的 7%。

冲洪积层孔隙水天然资源 171 亿 m^3/a，资源模数 13.34 万 $m^3/a \cdot km^2$；岩溶水天然资源 44.98 亿 m^3/a，资源模数 9.89 万 $m^3/a \cdot km^2$；裂隙水天然资源 50.46 亿 m^3/a，资源模数 4.66 万 $m^3/a \cdot km^2$；孔隙裂隙水天然资源 21.75 亿 m^3/a，资源模数 2.18 万 $m^3/a \cdot km^2$；黄土水分布面积 24 万 km^2，占全区面积的 39%，天然资源 47.73 亿 m^3/a，占全区天然资源总量的 14%，其资源模数最小，为 1.98 万 $m^3/a \cdot km^2$。上述地下水资源模数明显地反映出，冲积层孔隙水、岩溶水为最丰富，其余各类地下水丰贫程度，依次为裂隙水，孔隙裂隙水，黄土水最贫。

黄土高原地区地下水资源的时空分布规律，受气象、水文、地质地貌、水文地质条件控制。

在空间分布上各种类型地下水天然资源模数都有南大北小、东大西小之趋势，平原区地下水资源最丰富。其天然资源评价面积 15.1 万 km^2，天然资源 177.9 亿 m^3/a，模数 11.7 万 $m^3/a \cdot km^2$；山地区评价面积 16.6 万 km^2，天然资源 94.4 亿 m^3/a，模数 5.8 万 $m^3/a \cdot km^2$；高原区评价面积 30.5 万 km^2，天然资源 63.6 亿 m^3/a，模数最小，为 2.1 万 $m^3/a \cdot km^2$ 。

地下水开采资源计算面积为 16.8 万 km^2，占全区总面积的 27%，开采资源总量 203.76 亿 m^3/a，相当于天然资源的 60%。开采资源的 79%集中在天然资源丰富且易开采的平原区，其次是分布在高原区的黄土塬和山地区的山间盆地以及岩溶水分布区。岩溶水开采资源 28.98 亿 m^3/a，占全区开采资源总量的 14%。平均开采模数，平原区 12.6 、山地区 12、高原区仅 9 万 $m^3/a \cdot km^2$。山地区开采模数较大是因为岩溶水较丰富所致。

地下水资源在时间的分配上，受降水年内与年际枯、丰交替变化的直接影响，地下水资源也有变化，陕北地区气候干旱少雨，地下水天然资源枯（频率 95%）、丰（频率 20%）年相差 1 倍；关中与晋中盆地为半湿润气候，降水量较丰，地下水天然资源枯、丰年相差较小，约差三分之一。由于含水岩层（岩体）具有多年调节功能，可使其随时间的变化幅度减小。

区内适合饮用的淡水资源 290 亿 m^3/a，占天然资源总量的 86%，分布面积占全区面积的 88%。矿化度在 1—3g/l 的微咸水占 10%，大于 3g/l 的咸水资源仅占 4%。咸水分布在清水河与祖厉河流域、内蒙后套及银北平原咸水分布地段，还有陕西大荔及山西运城盐池等地。此外，后套东升庙一带，潜水含砷 0.05—0.1mg/l，不适宜饮用；卫宁北四眼井—芦沟湖一带及牛首山南段，地下水中铅、锌含量分别为 7 和 1mg/l，不适宜饮用；盐池、灵武、同心、定边、子州一带含氟量超标，不适宜饮用。对不适宜饮用的高矿化水，需经淡化处理后饮用。

四. 目前区内实际供水现状，总用水量为 256 亿 m^3/a，其中地表水 177 亿 m^3/a，地下水 79 亿 m^3/a。用于农业灌溉占总用水量的 87%，城镇及工业用水占 13%。79 亿 m^3/a 已开采的地下水中，用于农业灌溉占 68%，城镇工业及生活用水占 32%。平原区开采地下水占全区开采总量的 84%，主要供农业及工业城镇生活用水；高原区开采地下水 5.7 亿 m^3/a，主要用于农牧业和人畜饮用，山地区利用岩溶大泉水或开采岩溶地下

水，总量约 6.7 亿 m^3／a，供山区能源基地或农牧业、人畜饮用；截止 1985 年，全区 36 座城市日供水总量达 668 万 m^3（24 亿 m^3／a），其中地下水占全区城市供水总量的 80%。全区能源基地估算煤炭、火电用水总量 119 万 m^3／d（4 亿 m^3／a），晋陕两省用水占 74%。广大的黄土高原沟壑区，农林牧业用水及人畜用水仍然十分困难。

五、黄土高原地区地下水开发利用中，存在的普遍问题是：在水资源贫乏的条件下缺乏科学管理，加剧了供需矛盾。全区农牧业、工业、城镇生活供水，以及农村人畜饮用水，目前的供水量均不能满足需要。地下水水质污染有继续发展的趋势。由于不合理的开发水资源，而引起的土壤盐渍化、渍水灾害、区域性水位下降和地面沉降等一系列环境地质问题急待解决。水土流失，风沙危害都与储存、涵养地下水有着密切关系，急待治理，以保护地下水资源。

开发利用水资源和防治水害，应当全面规划，统筹兼顾，综合利用，兴利除害，讲求效益。应指出的是为更好地合理开发地下水资源，有关部门还应尽快制定适应区域开发和治理的有关地下水资源管理专门条例和法规，以便使该区地下水资源管理步入有效的科学管理轨道。

六、黄土高原地区预测 2000 年总需水量约 382 亿 m^3。区内黄河及海河流域地表水可利用量 185 亿 m^3，地下水开采资源 203 亿 m^3／a，去掉二者重复利用量 49 亿 m^3／a，全区可利用水资源为 339 亿 m^3／a，到本纪世末，若水资源全部开发利用，也不能满足需水要求，尚需采取缓解水源短缺措施。

七、为缓解水资源不足和供需矛盾，应采取综合对策，贯彻开源节流，以节流为主的方针。

1. 开源，重点应充分挖掘本地水资源潜力，其次考虑外调水源。黄土高原地区地下水开采资源 203 亿 m^3／a，已开采量 79 亿 m^3／a，尚有区域性剩余开采量 124 亿 m^3／a，有待开发。其中平原区剩余开采量 94 亿 m^3／a，占全区剩余总量的 75%，开采前景较好；全区岩溶水已开发利用量 7.9 亿 m^3／a，约占岩溶水开采资源的 27%，还有 21 亿 m^3／a 剩余量可供进一步开发利用，这对能源重化工基地供水有着重要的意义；高原区剩余开采量约 13 亿 m^3／a，由于地广人稀，开发利用条件较差，可供分散开采利用。

根据供水勘察等资料，区内已探明或基本查明的水源地 30 余处，可作为城市、能源等项供水的预测水源地，优先予以开发。水源地开采规模，日开采量大于 10 万 m^3 的有 20 余处，3—7 万 m^3 的 10 多处。开发利用岩溶水的水源地占三分之一，日开采量多大于 10 万 m^3；开采第四系孔隙水的水源地占三分之二，主要分布在渭河宝鸡至渭南河段，黄河韩城至三门峡河段的河流岸边地带。此外，应考虑跨流域调水方案。

2. 节流，节约用水是本地区长期的战略措施。首先要加强水资源的严格管理，完善各种供水设施，严防跑、漏、滴，制定各种用水定额，实行计划供水；第二，有步骤有计划的进行工矿业生产的节约用水，先提高水的循环使用水平，再采用节水型的装备和生产工艺，在工矿业发展的产业政策中应将节水型工业作为一条重要政策；第三，农田灌溉要围绕节水进行技术改造，要限制大水漫灌，采用先进节水灌溉技术。在旱涝、盐碱灾害并存的地区，要合理控制地下水位、采取井渠和排灌相结合的措施，在内蒙后套采用此办法，每年可节约黄河水资源达 15～20 亿 m^3；第四，要加速城市工业废污水的处理，目前

全区污水处理量仅占排放总量 625 万 m^3／d 的 8%，除西安、太原、兰州等大城市工业用水重复利用率超过 60%外，多数城市在 20—40%之间，可见，实现污水资源化，提倡分质供水，提高水的重复利用率，节水潜力很大，如西安、太原两市 1985 年日节水超过 7 万 m^3，相当于新建一个大型水源地；第五，对于水源不足的城市，按照水资源的实际可开发利用的数量和质量制定社会经济发展的长远宏观规划，要扬长避短妥善调整产业结构和生产布局，把有限的水资源用于必须的农业发展、能源开发利用和维持生态环境最低的需水要求方面，要限制高耗水工业的发展，对城市环境容量和需水要求，已超过其承受能力的大城市，可发展卫星城，以产品引入的方式代替远距离调水等对策。

防止污染、保护水源，是开源、节流各种措施得以实现的根本保证。

3. 合理开采利用地下水，严格控制地下水长期下降地区的地下水开采量，逐步恢复采补平衡。对于大面积农田供水，在地下水位上升区要发展井灌，地下水位下降区要补充地表水源；在水源枯竭、形成大面积漏斗或产生地面沉降地区，调整开采层次，严格控制地下水开采量，积极开展人工回灌和地下水调蓄工作。

八、有待今后进一步开展的勘查研究工作。黄土高原地区已完成各省（区）、黄土高原片和黄河流域范围内的地下水资源评价工作，今后工作重点应转移到各经济开发治理区的地下水开采资源评价、科学管理和地质环境保护工作上来。该项工作应紧密结合国土开发治理和重大工程项目，统筹兼顾地下水与地表水的综合利用，以及工业、农业及城市生活用水需要，采用先进技术进行地下水资源的科学管理及地质环境综合评价工作，制定出各区地下水科学管理与科学开发的优化方案和地质环境保护对策。

建立和健全黄土高原开发治理区地下水和环境地质监测网。全面开展地下水水量、水位和水质及环境地质问题的系统监测工作。分别轻重缓急逐步健全监测系统，可优先考虑城镇、能源基地集中供水水源地及水资源严重污染区，其次为农业供水地下水位上升或下降的采补失调区、盐渍化改良区，以逐步形成地下水和环境地质控制监测网络，为合理利用地下水资源和环境保护提供依据。

主要参考文献

1 中国地质科学研究院 《中华人民共和国地质图集》 1973.

2 国家地质总局水文地质工程地质研究所主编 《中华人民共和国水文地质图集》 1979 地图出版社.

3 王永焱等 《黄土与第四纪地质》 1976—1980 陕西人民出版社.

4 王德潜 洛川黄土潜水补给特征 水文地质工程地质 1982 5期 地质出版社.

5 张治平 黄土区几个水文地质问题 陕西地质 1985 第3卷 第1期

6 陕西省地矿产局第二水文地质工程地质队 《黄河中游区域工程地质》 1986 地质出版社.

7 张宗祜 渭河地区第四纪下限的研究 1986 中国第四纪下限学术讨论会论文.

8 中国科学院黄土高原综合科学考察队 《黄土高原地区综合科学考察资料汇编》 (二) 1986 科学出版社.

9 国家统计局 《中国城市统计年鉴》 1986 中国统计出版社.

10 中华人民共和国公安部 中华人民共和国全国分县市人口统计资料 1986 地图出版社.

11 窦怀章 解决太原市水资源短缺的意见 中国水利 1987 3期 水利电力出版社.

12 余汉章 黄河流域水系特征 地理知识 1987 9期 科学出版社.

主要参考的内部资料

13 陈梦熊 我国的地下水资源及其合理利用与开发前景 1981.

14 河南省地质矿产局 河南省城市供水现状图说明书 1982.

15 黄河水利委员会水文局 黄河流域水资源调查和评价初步成果报告 1982.

16 陕西省地质矿产局第一水文地质工程地质队 陕西省城市供水水文地质区划图说明书 1983.

17 地质矿产部 山西及太行山东侧地区能源基地规划阶段地下水资源评价报告 1983.

18 内蒙、宁夏自治区地质矿产局 鄂尔多斯高原和银川河套平原地下水资源评价报告 1984.

19 黄委会勘测规划设计院 黄河流域农业水利区划报告 1984.

20 山西省地质矿产局第一水文地质工程地质队 山西省地下水资源评价报告 1985.

21 内蒙地质矿产局水文地质队 内蒙古东胜—准格尔旗能源基地规划阶段地下水资源前景评价简报 1985.

22 地质矿产部 中国地下水资源评价简要报告 1985.

23 内蒙古自治区水文地质勘探队 呼和浩特市城市供水开采阶段水文地质勘察报告 1985.

24 地质矿产部技术方法研究队 以山西为中心的《能源基地水资源分布图》简要说明书 1985.

25 陕西省地质矿产局第一水文地质工程地质队 黄河流域环境地质图系之十——地下水资源分布及开发利用分区图说明书 1986.

26 地质矿产部兰州水文地质中心、河南省地质矿产局第二水文地质队 黄河流域环境地质图系之九——水文地质图说明书 1986.

27 青海省地矿局水文、工程地质处 青海省第二水文、工程地质队 黄河上游地区地下水资源

评价报告　1984.1986.

28 地质矿产部水文司　中国2000年城市地下水资源及环境地质问题预测研究　1986.

29 河南省地质矿产局第二水文地质工程地质队　河南三门峡西能源基地水文地质勘察报告　1986.

30 地质矿产部908水文地质队　神木尔林兔宫泊沟水源地供水勘察报告　1986.

31 陕西省水电设计院　解决陕西省严重缺水地区供需矛盾的对策　1986.

32 中国科学院黄土高原综合科学考察队　黄土高原晋陕蒙三角地区能源基地的开发规模与方向　1987.

33 中国科学院黄土高原综合科学考察队　山西省、内蒙古和陕西地区煤炭和电力工业开发规模与布局　1987.

34 陕西省水资源管理办公室　1986年陕西省水资源公报　1987.

STUDY ON RATIONAL DEVELOPMENT AND UTILIZATION OF GROUNDWATER RESOURCES IN LOESSIAL PLATEAU AREA

By Groundwater Resources Group, Water Resources Section, Loessial Plateau Integrated Scientific Survey Team, C'AS

Abstract

This book systematically discusses occurence and distribution, recharge and discharge of various types of groundwater, waterbundance and chemical characteristics of aquifers, giving more detail discussion on problem of water supply for some important economic areas——unconfined and confined aquifers of Hetao Inchuan plain, Fen river and wei river basins, etc.

Natural and exploitable groundwater resources evaluation was made by using various methods for the Loessial Plateau area.

Perspective for rational utilization of groundwater resources for different hydrogeological units and comprehensive control and development regions also was discussed respectively.

More detail analysis was made for water supply of main cities and energy-producting bases, agricultural, rural domestic and livestock water supply, Comprehensive measures for mitigating water shortage in Loessial Plateau area were recommended.

This book is the first one, giving systematical discussion and analysis of groundwater resources evaluation and rational development in Loessial Plateau area. It can be served for comprehensive utilization of water resources and environmental protection in various parts of Loessial Plateau area. This book is of great practical value.

后　　记

本书编写过程中，参照和引用了地质矿产部水文地质工程地质指挥部、陕西省地质矿产局环境地质监测总站、呼和浩特市、包头市、伊克昭盟、洛阳市及三门峡等市城建局自来水公司等单位的有关城市供水、节水资料，这里一并鸣谢。

参加本课题部分工作及报告图件清绘的有：崔玉清、李英焕、乔国正、陈美义、肖宏、李长见。

本书英文目录、内容简介及内容提要由籍传茂翻译。