



鄂尔多斯能源基地 地下水及生态环境



侯光才 赵振宏 等著

地质出版社

鄂尔多斯能源基地地下水及生态环境

侯光才 赵振宏 等 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书以地下水系统理论为指导,采用国内外先进的探测技术与研究方法,对鄂尔多斯能源基地地下水与植被生态进行了系统的勘查研究。全书共6篇21章,第一篇介绍了地下水形成的自然条件与地质特征;第二篇对含水层系统和地下水流动系统进行了划分,详细论述了含水层系统特征、地下水补给与排泄条件、地下水流动系统特征、水化学演化与同位素特征和地下水动态;第三篇阐述了鄂尔多斯能源基地供水水文地质,介绍了10处水源地勘查的最新成果;第四篇在水文地质参数与地下水均衡研究的基础上,建立了水文地质概念模型和地下水流动数值模型,对地下水资源进行了计算与评价;第五篇论述了区域植被生态现状与演化,分析了影响植被生态的主要因素,阐述了地下水与植被生态的关系,预测分析了地下水变化对植被生态的影响;第六篇论述了地下水开采条件与开发利用区划,提出了鄂尔多斯能源基地供水建议方案和地下水合理开发利用的原则与保护对策。

本书图文并茂,基础性和实用性强,可供水文地质、生态水文地质及地下水科学与工程等相关领域的有关高等院校师生和科研机构的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯能源基地地下水及生态环境 / 侯光才等著.

—北京:地质出版社,2017.5

ISBN 978-7-116-09851-0

I. ①鄂… II. ①侯… III. ①鄂尔多斯高原-地下水-生态环境-研究 IV. ①X321.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第179356号

责任编辑:孙亚芸

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 66554642(发行部);(010) 66554633(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010) 66554686

印 刷:北京地大彩印有限公司

开 本:787mm×1092mm $\frac{1}{16}$

印 张:23.5

字 数:570千字

版 次:2017年5月北京第1版

印 次:2017年5月北京第1次印刷

定 价:88.00元

书 号:ISBN 978-7-116-09851-0

(如对本书有意见或建议,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

国土资源大调查项目

国土资源部与内蒙古自治区合作项目

项目编号: 1212010734002

项目名称: 鄂尔多斯盆地内蒙古能源基地地下水勘查

主管部门: 中国地质调查局

内蒙古自治区国土资源厅

承担单位: 中国地质调查局西安地质调查中心

参加单位: 内蒙古自治区地质调查院

内蒙古自治区第二水文地质工程地质勘察院

协作单位: 中国地质大学(北京)水资源与环境学院

长安大学环境科学与工程学院

吉林大学水资源与环境研究所

项目负责人: 侯光才

项目副负责: 赵振宏 陈 军 陶正平 吕 英

主要完成人: 侯光才 赵振宏 陈 军 陶正平 尹立河 黄金廷 王 冬
李 瑛 崔旭东 王晓勇 张二勇 王文科 程东会 苏小四
胡伏生 张 俊 董佳秋 郭 莉 冯润田 吕 英 姜 军
龚 蓓 王 兵 刘俊廷 潘洪捷 王海波 徐卫红 高海东
杨广元 余孟文 孙芳强 张乐中 付东萍

参加人员: 李 志 于孟文 马少华 马挨荣 温向阳 侯建军 王挨顺
李虎平 冯宝爱 张建新 刘秉旺 王孝荣 王存良 赵银师
郝玉兰 刘雅彬 史文朋 卢琼玉 张鑫馨 王艳伟 占光辉
徐 腾 赵贵章 杨红斌 王 慎 王锦琰 董维红 万玉玉
王 威 周 俊 翟远征 汪丽芳

前 言

鄂尔多斯能源基地位于鄂尔多斯盆地西北部的鄂尔多斯市和乌海市，面积约 $9 \times 10^4 \text{km}^2$ 。区内矿产资源非常丰富，仅鄂尔多斯市已探明的煤炭储量达 $1500 \times 10^8 \text{t}$ ，约占全国已探明储量的 $1/6$ ；天然气探明储量约 $7900 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占全国的 $1/4$ ，其中，苏里格气田储量规模达到 $5000 \times 10^8 \text{m}^3$ ，是我国特大型气田。鄂尔多斯能源基地是我国 21 世纪新兴的能源化工基地和国家“西电东送”与“西气东输”的重要基地，在我国实施西部大开发战略的总体格局中占有重要地位。

鄂尔多斯地区已成为国家和内蒙古自治区经济发展快速增长的地区和资源保障的战略区。随着能源基地的建设和经济社会的快速发展，矿区和城镇规模不断扩大，对水资源的需求量日益增加，水资源短缺问题更加突出，并已成为制约当地经济发展和能源基地建设的主要瓶颈。区内地下水资源对能源基地的建设有多大支撑作用，能否开发利用与如何开发利用，开发后对生态环境有什么影响，这些问题一直困扰着国家能源基地的建设进程、产业布局和地方政府的决策，受到党和国家领导人及各级政府的关注。因此，探明区内地下水形成分布与开发利用前景，揭示地下水与植被生态的相互依存关系，对地下水资源合理开发利用和生态环境保护以及能源基地建设具有重要的理论与实际意义。为此，中国地质调查局和内蒙古自治区共同出资和联合立项，由中国地质调查局西安地质调查中心组织开展了“鄂尔多斯盆地内蒙古能源基地地下水勘查”项目。

该项目以地下水系统理论为指导，紧密结合鄂尔多斯盆地内蒙古能源基地规划建设对水资源的需求，采用创新机制和国内外先进的理论与勘查技术方法，获取了大量的原始资料，取得了一批重大成果，尤其是在大尺度地下水流动系统定量刻画和地下水与植被生态关系研究等方面达到了国际领先水平。主要成果如下：

1) 提出了一整套区域尺度地下水流动系统勘查研究方法与划分的指标体系。在研究区发现了重力驱动下地下水流动系统向湖泊排泄的直接证据，定量揭示了不同级次地下水流动系统循环机理及其理论与实际意义。

2) 提出了一套盆地尺度复杂含水层系统勘查研究方法和白垩系碎屑岩含水层富水性划分的指标体系。查明了主要含水层系统地下水赋存规律及水文地质特征，揭示了白垩系碎屑岩裂隙孔隙含水层系统和第四系孔隙含水层系统的水文地质空间结构与其供水意义。

3) 采用国内外先进的勘查技术，对 10 处地下水富集区进行了整装供水水文地质详查。新探明水源地 23 处，圈定出 10 处地下水富集区和 36 处有供水前景的水源地，为鄂尔多斯能源基地建设提供了供水保障。

4) 依据生态学和人文地质学原理，建立了地下水与植被生态原位试验站，开展了地

下水与植被生态关系试验研究,定量揭示了不同植被类型与地下水的依赖关系;提出了一套区域尺度和场地尺度生态水文地质调查研究方法和干旱-半干旱区植被与地下水位阈值指标。

5)建立了三维水文地质结构模型、地下水渗透性结构模型和地下水流三维数值模型,对区域地下水资源及开发潜力进行了分区评价,建立了地下水信息系统与管理应用平台,提出了地下水资源开发利用区划和水资源优化配置方案及保护建议。为鄂尔多斯能源基地规划建设提供了依据。

6)在项目勘查过程中,结合鄂尔多斯能源基地和当地经济建设需求,采用“探采结合”的方式为当地成井112眼,合计出水量 $17 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$,部分缓解了当地供水急需,具有显著的经济、社会和生态环境效益。

本书是在中国地质调查局西安地质调查中心、内蒙古自治区地质调查院、内蒙古自治区第二水文地质工程地质勘查院、长安大学环境科学与工程学院、中国地质大学(北京)水资源与环境学院、吉林大学水资源与环境研究所等单位共同完成的“鄂尔多斯盆地内蒙古能源基地地下水勘查”项目成果的基础上,通过归纳总结和提炼完成的,是所有项目参加人员的辛勤劳动和集体创作的成果。全书共6篇21章,其中:前言由侯光才执笔,绪论由侯光才、尹立河、郭莉、赵振宏执笔;第一篇第一章由王晓勇、董佳秋执笔,第二章由赵振宏执笔;第二篇第一章由张俊、赵振宏执笔,第二章由陶正平、张二勇执笔,第三章由尹立河、崔旭东执笔,第四章由尹立河、赵振宏执笔,第五章、第六章由苏小四、王冬执笔,第七章由崔旭东、陶正平执笔;第三篇由赵振宏、陶正平、王冬、李瑛、崔旭东、王晓勇、张俊汇编;第四篇由胡伏生、赵振宏执笔;第五篇由黄金廷、陶正平、赵振宏、张二勇执笔;第六篇由崔旭东执笔。全书由侯光才、赵振宏负责统编定稿。

本书是在中国地质调查局和内蒙古自治区国土资源厅的大力支持下完成的,得到了袁道先、林学钰、薛禹群、李佩成等院士和李烈荣、沈照理、王德潜、万力、文冬光等我国著名水文地质学家以及国土资源部汪民副部长,原中国地质调查局孟宪来局长、李广涌副局长,原西安地调中心李向主任,内蒙古自治区国土资源厅赵永胜副厅长、张宏总工程师和西安地质调查中心李文渊主任、徐学义总工程专家领导的关怀和悉心指导,谨此由衷致谢。由于作者水平有限,书中疏漏和不足在所难免,敬请读者批评指正。

作者

2014年8月

目 录

绪 论	1
第一篇 地下水形成的自然条件	9
第一章 自然地理概况	11
第一节 地形地貌	11
第二节 气候与水文	16
第二章 地质条件	24
第一节 地 层	24
第二节 构 造	28
第三节 岩相古地理	31
本篇小结	37
第二篇 区域地下水系统	39
第一章 区域地下水系统划分	41
第一节 区域水文地质特征	41
第二节 地下水系统划分	44
第二章 含水层系统	55
第一节 第四系含水层系统	55
第二节 白垩系含水层系统	64
第三节 含水层系统属性特征与边界条件	72
第三章 地下水补给、径流与排泄条件	84
第一节 地下水补给	84
第二节 地下水径流	91
第三节 地下水排泄	92
第四章 地下水流系统	98
第一节 地下水流系统的控制因素	98
第二节 地下水流系统特征	102
第五章 地下水化学特征	114
第一节 地下水化学成分空间特征	114
第二节 地下水水化学形成与演化	123

第六章 地下水同位素特征	131
第一节 稳定同位素	131
第二节 地下水放射性同位素年龄及其可更新能力	138
第七章 地下水动态特征	148
第一节 地下水位动态特征	149
第二节 地下水水化学动态	160
第三节 地下水位动态反映的水文地质条件	162
本篇小结	164
第三篇 供水水源地	167
第一章 白垩系裂隙孔隙型含水介质水源地	169
第一节 伊克乌素水源地	169
第二节 乌兰淖水源地	172
第三节 棋盘井库计水源地	176
第四节 查布水源地	180
第五节 达拉图鲁水源地	184
第六节 大路新区水源地	189
第二章 第四系与白垩系含水介质水源地	192
第一节 乌兰陶勒盖水源地	192
第二节 陶利水源地	196
第三章 第四系孔隙型含水介质水源地	201
第一节 三响梁水源地	201
第二节 上海庙水源地	206
本篇小结	210
第四篇 地下水资源计算与评价	211
第一章 水文地质渗透结构	213
第一节 渗透系数计算	213
第二节 渗透结构基本特征	226
第三节 白垩系渗透结构	230
第二章 地下水均衡	235
第一节 地下水均衡方程	235
第二节 地下水均衡计算	235
第三章 区域地下水数值模拟	251
第一节 水文地质概念模型	251
第二节 水文地质数值模型	255

第三节 模型识别与校正	258
第四节 模型计算结果与预报	263
第四章 地下水资源评价	271
第一节 地下水资源评价原则	271
第二节 地下水资源量评价	272
第三节 地下水水质评价	277
本篇小结	285
第五篇 植被生态与地下水关系研究	287
第一章 区域植被生态特征	289
第一节 植物群落类型及分布	289
第二节 植被演化	293
第二章 植被生态影响因素分析	299
第一节 气候对植被生态影响	299
第二节 地形地貌对植被生态影响	307
第三节 人类活动对植被生态影响	308
第三章 地下水与植被生态的关系	310
第一节 潜水埋深与植被的关系	310
第二节 典型地区地下水与优势植被关系	315
第三节 地下水开发对植被生态的影响分析	331
本篇小结	334
第六篇 地下水资源开发利用与保护	335
第一章 地下水资源开采条件与开发利用区划	337
第一节 地下水资源开采条件	337
第二节 地下水资源开发利用区划	340
第二章 地下水资源合理开发保护对策与建议	350
第一节 地下水资源合理开发利用原则	350
第二节 地下水资源保护对策	351
本篇小结	356
结论与建议	357
参考文献及资料	361

绪 论

一、研究意义与总体目标

(一) 研究意义

鄂尔多斯能源基地位于鄂尔多斯盆地西北部的鄂尔多斯市和乌海市,面积约 $9 \times 10^4 \text{km}^2$ 。区内矿产资源非常丰富,仅鄂尔多斯市已探明的煤炭储量达 $1500 \times 10^8 \text{t}$,约占全国已探明储量的 $1/6$;天然气探明储量约 $7900 \times 10^8 \text{m}^3$,占全国的 $1/4$,其中,苏里格气田储量规模达到 $5000 \times 10^8 \text{m}^3$,是我国特大型气田。鄂尔多斯能源基地是我国 21 世纪新兴的能源化工基地和国家“西电东送”与“西气东输”的重要基地,在我国实施西部大开发战略的总体格局中占有重要地位。

依托区内的资源优势,内蒙古自治区规划了 22 个经济开发区或工业园区,鄂尔多斯能源基地已成为国家和内蒙古自治区经济发展快速增长的地区和资源保障战略区。随着能源基地的建设和经济社会的快速发展,矿区和城镇规模不断扩大,对水资源需求量日益增加,水资源短缺问题更加突出,并已成为制约当地经济发展和能源基地建设的主要瓶颈。区内地下水资源对能源基地建设有多大支撑作用?能否开发利用与如何开发利用?开发后对生态环境有什么影响?这些问题一直困扰着国家能源基地的建设进程、产业布局 and 当地政府的决策,受到党和国家领导人及各级政府的关注。因此,探明区内地下水形成分布与开发利用前景,揭示地下水与植被生态的相互依存关系,为地下水资源合理开发利用和生态环境保护提供科学依据,具有重要的理论与实际意义。

(二) 总体目标

总体目标是:围绕鄂尔多斯能源基地建设对水资源的需求,进一步评价鄂尔多斯盆地内蒙古区的地下水潜力,基本查明 10 处富水地段的地下水资源量,并进行相关专题研究和综合研究,为鄂尔多斯能源基地规划和建设以及政府决策提供地下水资源依据。

二、研究区范围与社会经济概况

(一) 研究区范围

勘查研究区位于鄂尔多斯盆地北部,面积约 $9 \times 10^4 \text{km}^2$,行政区划隶属内蒙古自治区鄂尔多斯市和乌海市(图 0-1)。区内有包兰铁路、包神铁路、准东铁路以及 109 国道、210 省道及其他一级、二级公路,交通四通八达,干线交通便利。

(二) 社会经济概况

鄂尔多斯市和乌海市两市总人口约 172 万人。其中,鄂尔多斯市辖七旗一区,面积 $8.7 \times 10^4 \text{km}^2$,人口 139.5 万人。鄂尔多斯市依托资源优势,通过煤炭、石油、天然气等资源的开发,国民生产总值从 1978 年的 3.46 亿元增长到 2007 年的 1150.91 亿元,财政总收入从 1978 年的 0.19 亿元增加到 2007 年的 200.8 亿元,财政收入总量跃居内蒙古自治

区首位，在西部地级区域中排第四位。特别是“十五”以来，每3年财政收入就翻一番，2001～2007年平均增速高达24.8%。根据世界银行划分标准，鄂尔多斯市在内蒙古自治区第一个达到了中等发达国家（地区）水平。

1. 土地资源利用

区内土地类型有耕地、林地、草地、沙地4种类型。其中，耕地面积约 $0.52 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，约占总土地面积的6%，主要集中分布于河套平原地区，其他地段零星分布；林地面积约 $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，约占总土地面积的30%，主要分布于鄂尔多斯市的乌审旗、东胜区、伊金霍洛旗、准格尔旗和达拉特旗南部；沙地包括库布齐和毛乌素两大沙区，面积约 $3.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，约占总面积的40%左右，其中，库布齐沙漠面积约 $1 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，毛乌素沙地面积 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ；草地主要分布在鄂尔多斯市西部，包括鄂托克旗大部分和鄂托克前旗、杭锦旗的部分地区，面积约 $2.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，约占总面积的24%以上。随着退耕退牧还林还草政策的实施，近年来沙地面积不断减小，植被盖度明显提高，生态环境得到改善。

2. 能源化工基地规划与建设

鄂尔多斯能源基地是国家能源基地的重要组成部分（图0-1）。内蒙古自治区根据区内的资源优势，规划了沿黄河经济带和城市经济带以及22个经济技术开发区和工业园区，其中准格尔旗大路新区、达拉特工业园区、乌审旗苏里格经济技术开发区、棋盘井4个工业园区为自治区级工业园区。在能源资源开发方面，重点建设准格尔煤田、神东煤田、东胜煤田3个 $5000 \times 10^4 \text{ t}$ 级以上大型煤炭生产基地和塔拉沟、乌审、上海庙、西桌子山煤田等 $1000 \times 10^4 \text{ t}$ 级煤炭基地；在资源深加工与转化方面，重点发展煤化工、天然气化工、氯碱化工、精细化工，形成长链条、大规模、多循环的工业新格局；在冶金与建材方面，重点发展硅铁、结晶硅、硅铝合金、氧化铝等冶金产品和非金属矿深加工、微晶玻璃、高标号低碱水泥等新型建材，推进产业和产品结构优化升级。

3. 水资源开发利用

区内多年平均地表水资源量为 $11.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，地下水可采资源量每年为 $27.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，扣除重复计算量 $2.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，水资源总量为 $35.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2007年，全区总供水量为 $17.89 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中，地表水为 $8.67 \times 10^8 \text{ m}^3$ （境内地表水为 $1.67 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，黄河可供水量为 $7.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ ），地下水为 $9.02 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其他水源供水为 $0.20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。总供水量中，农业用水量为 $13.74 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占总用水量的76.8%；工业用水量为 $3.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占总用水量的17.4%；三产及建筑业用水量为 $0.14 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占总用水量的0.8%；居民生活用水量为 $0.45 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占总用水量的2.5%；生态用水量为 $0.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占总用水量的2.5%。预计到2020年需水量将达到 $23 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，可供水量 $20.4 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，缺水近 $2.6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

三、研究现状及发展趋势

（一）以往工作程度

新中国成立前，区内没有做过系统的地质、水文地质工作，基本上为水文地质研究空白区。新中国成立以来，随着石油普查、沙漠治理、区域地质、水文地质、煤田地质等工作的开展，地矿、石油、煤炭、核工业、科研等部门先后在区内及周边区域开展过不同比例尺的地质矿产以及水文地质普查和勘探工作。区域性水文地质工作大致可以划分

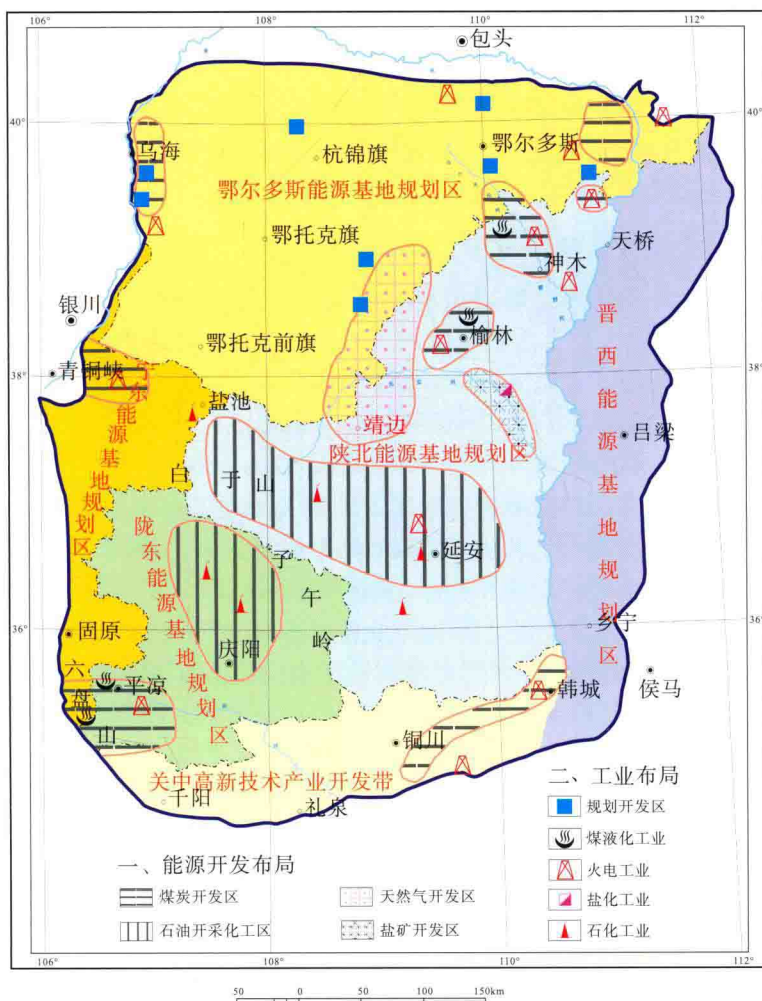


图 0-1 鄂尔多斯盆地能源基地规划布局图

(据侯光才等, 2008)

为 4 个阶段。

第一阶段:1950~1973年,主要开展了全区1:50万水文地质普查与牧区供水勘查工作,钻探和抽水试验等实物工作量投入很少。

第二阶段:1974~1980年,开展了1:20万水文地质普查工作,以图幅和旗县为单元对地下水资源进行了概略评价,积累了大量的勘探与抽水试验资料。

第三阶段:1980~1990年,在区域水文地质普查的基础上,以地下水系统为单元,联合陕西、甘肃、宁夏、内蒙古4省(区)的勘查队伍,对白垩系地下水开展了区域地下水资源评价工作。

第四阶段：进入 20 世纪 90 年代，主要从 1995 年开始，以地矿部和西北 6 省（区）共同实施“西北地区地下水资源勘查特别计划”为契机，结合地方供水急需，通过典型地段的水文地质勘探，在内蒙古桌子山棋盘井找到了质优量大的深埋隐伏岩溶水，发现了一些新的含水层和富水地段，对鄂尔多斯盆地地质-水文地质条件又有了进一步认识。

在此基础上,1999~2005年,西安地质矿产研究所联合陕西、甘肃、宁夏、山西、内蒙古5省(区)地质调查院、相关科研院所、大专院校和国际原子能机构等十多家单位,组织实施了国土资源大调查重大计划项目“鄂尔多斯盆地地下水勘查”,初步查明了全盆地的地下水资源总量和开发利用潜力,圈定了161处可供进一步勘查和开发利用的远景水源地,为能源基地规划提供了水文地质依据。

(二)区域地下水流系统研究现状与发展趋势

地下水系统理论是现代水文地质学发展过程中形成的一个重要的、新的基础理论。早在20世纪80年代中期,地下水流系统的观点就成为研究地下水运动的主要指导理论。近几十年来,国内外在地下水系统研究方面有了较大的进展,主要表现在对地下水系统概念的不断完善和定量描述以及在实际应用中的不断深入。

国外从20世纪60年代开始研究地下水系统。Toth(1963)基于理想的二维均质各向同性小型泄水盆地模型,利用解析解绘制了理论上的地下水流动系统流网结构,提出了地下水流动系统理论。其后,R. A. Freeze & P. A. Witherspoon(1967)利用数值解得出了层状非均质介质中的地下水流动系统。Engelen et al.(1986)则将地下水流动系统理论应用于解决普适性水文地质问题,对地下水流动系统理论与方法做了进一步总结。美国于1978年开展了高平原区域含水层系统研究,G. Castany于1982年报告了北撒哈拉陆相含水层地下水流系统的研究结果。Alexander et al.(1987)利用模拟技术分析了英国Somerset盆地中低渗岩石对区域水流的影响。Keith et al.(1989)研究了纽约Connetquot河浅层地下水流系统。F. H. Kloosterman(1995)利用系统理论分析了荷兰全国尺度的地下水流系统。

20世纪80年代,区域地下水流理论传入我国,并被应用于分析中国典型区域的地下水流系统。陈梦熊院士较为全面系统地总结了地下水系统的基本理论及其应用,并通过实例分析重点阐述了地下水系统的结构分析和编图方法。王大纯、张人权教授系统总结了地下水系统概念的由来及其基本组成部分,分述了地下水含水系统和流动系统的概念和内容。90年代后期,特别是近10年来,地下水系统的观点被越来越多的水文地质工作者用来分析特定地区的水文地质条件。例如,李文鹏(1999)对西北地区典型的地下水流系统进行了分析;张宗祜等(1997)利用水动力场、地下水地球化学和同位素方法分析了华北平原第四系地下水系统的演化;武选民等(2006)从含水系统结构、地下水补给与排泄、地下水流场、水化学特征和环境同位素等5个方面深入分析了西北黑河下游额济纳盆地地下水系统;许广明等(2004)分析了西北地区大型内陆盆地含水层系统和地下水流系统的演化特征;蒋小伟(2011)对Toth(1963)的数学模型做了改进,推导了具有压密非均质性和各向异性的盆地中二维剖面上水头和流函数的解析解,使得精确分析流动系统的水动力学特征、确定驻点位置及其影响因素成为可能。近年来,我国开展的大型平原(盆地)水文地质调查成果,进一步丰富和发展了区域地下水流系统的理论与研究方法,如在我国鄂尔多斯盆地,采用Packer定深取样技术,获取不同深度地下水水位、水温及水化学和同位素资料,综合利用水动力场、温度场、同位素与水化学分析和数值模拟等方法,识别并定量刻画了不同级次水流系统的空间分布(侯光才等,2006),受到国内外学者的关注与好评。

与传统水文地质学重视含水层介质特征的研究不同,区域地下水流理论注重地下水循环过程中的水动力过程,并认为地下水是一系列地质、生物、化学过程中的重要地质营力。因此,区域地下水流理论是推动盆地地下水循环规律研究的有力工具,其核心是确定不同级次地下水流系统的空间分布,可以揭示地下水各个部分的内在联系。区域地下水流理论较好地刻画了盆地尺度地下水的循环模式,是指导区域地下水研究的有力工具,不仅在水文地质领域,而且在石油和矿产勘探、地热开采、核废料处置、生态水文以及环境保护等一系列地学领域得到了应用。因此,区域地下水流理论是现代水文地质学科的基础理论。随着经济社会的快速发展,大尺度区域地下水资源与环境问题日益受到重视,区域地下水流理论必将更加广泛地应用于水文地质环境的地质相关研究领域。

(三)地下水与植被生态关系研究进展与发展趋势

如果说研究水循环与生态系统相互依赖关系催生了生态水文学(Ecohydrology)(Zalewski et al., 1997),近年来对依赖于地下水的生态系统的研究正在形成一门新的交叉学科——生态水文地质学(Eco-Hydrogeocology)(Hancock et al., 2009)。地下水对于维持生物多样性与生态系统过程的重要性日益得到认可与重视。缺水环境蒸腾植被(Phreatophytes)的根系直接从地下水获取生态需水量;地下水排泄量不仅维持了河流、湖泊与湿地的枯季水流,而且由于其对水温与水质的调节形成独特的生态系统;含水层,尤其是溶洞,更是微生物与无脊椎动物的栖息地。一些国家已经把维护依赖于地下水生态系统的生态需水量作为流域水资源综合管理的重要组成部分(Sinclair, 2001; Mackay, 2006)。澳大利亚在研究和保护依赖于地下水的生态系统方面明显领先世界。澳大利亚《植物学报》于2006年第54卷第2期专刊发表了11篇关于依赖于地下水的生态系统方面的研究论文,重点介绍了植被与地下水依赖关系的研究方法与实例(Eamus and Froend, 2006)。国际水文地质学家学会《水文地质》期刊于2009年第17卷第1期专刊登载了18篇生态水文地质学研究论文,代表了生态水文地质学的研究现状与广度(Hancock et al., 2009)。

生态水文地质学已经引起中国学者的重视(Wan et al., 2005)。利用遥感植被指数与区域地下水水位埋深的统计分析方法研究地下水与植被生态系统的关系取得了一些应用成果(Jin et al., 2007)。当前急需应用国际上成熟的研究方法,拓宽生态水文地质学的研究领域,建立试验流域与监测系统,长期测量大气水-地表水-土壤水-地下水-生态系统的相关参数与变量,定量分析地下水与生态系统的依赖关系以及生态系统对地下水流动系统与气候变化的响应,为国家实现水资源与生态系统的可持续开发利用提供科学支持。

在干旱-半干旱地区,植被具有重要的生态功能,包括控制沙漠化、形成土壤、水土保持、调节水流、调节气候、吸收二氧化碳、维持生物多样性、美化地貌景观、提供生态旅游等。干旱地区同时是水资源利用矛盾最激烈的地区。农业灌溉、生活供水、工业发展、能源资源开发都可能抽取地下水。地下水开采必然造成潜水位下降引起植被退化。因此,研究地下水与植被的依赖关系,不仅是为了计算蒸腾量解决地下水均衡方程问题,更重要的是确定维持植被生长的地下水动态,建立植被对地下水变化的响应函数,从而确定在保护植被生态功能的前提下地下水的可持续开发利用。

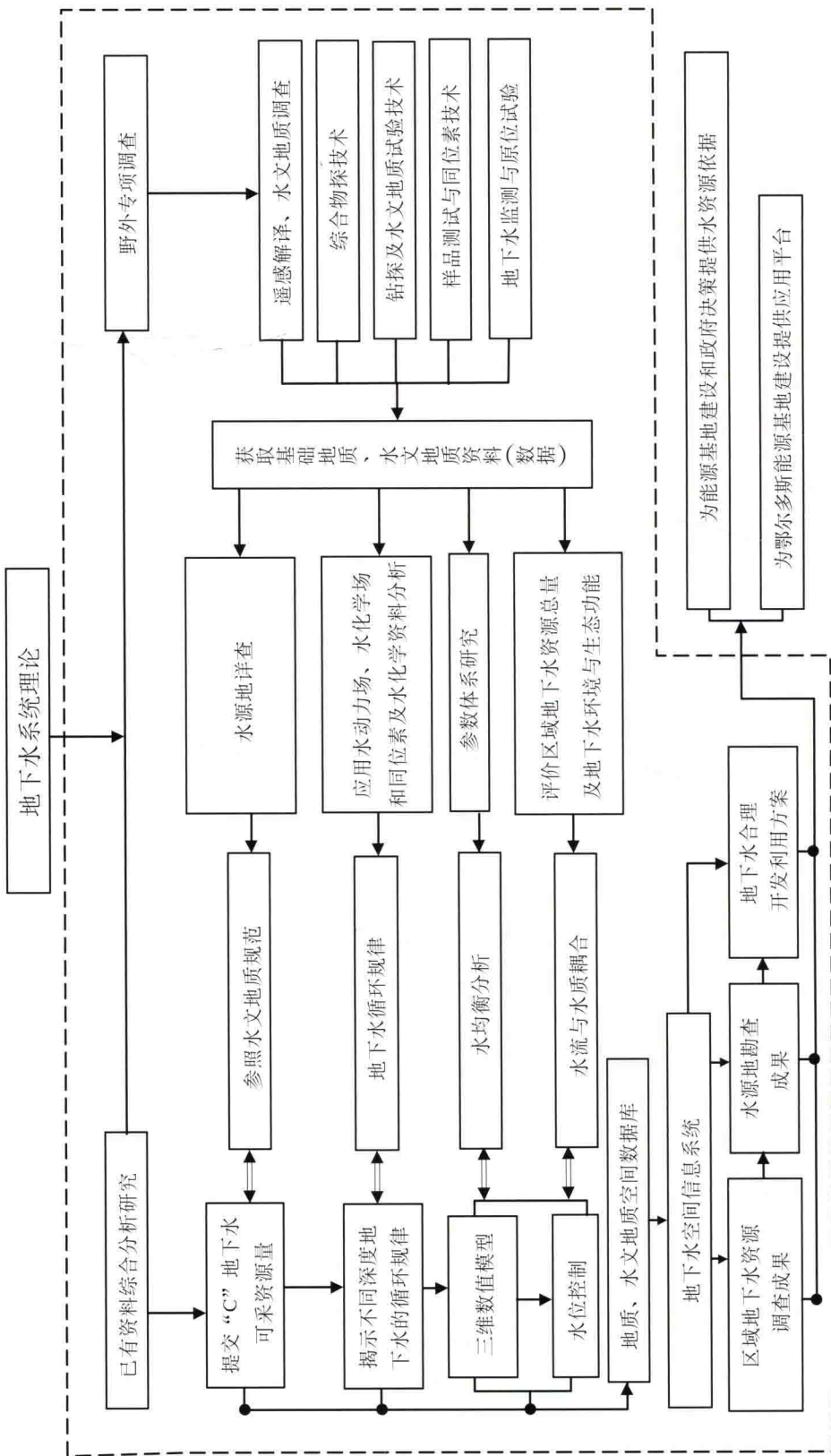


图 0-2 研究技术路线框图

四、技术路线

(一)技术路线

在以往工作的基础上,针对鄂尔多斯能源基地建设对水资源的需求和生态环境保护的需要,重点开展水源地勘查和生态环境调查研究,为能源基地规划建设和地区经济社会发展提供水文地质和生态环境保护的依据。

勘查研究思路:以前人资料、遥感解译和野外地质、水文地质、生态环境调查与原位实验获取原始数据资料为基础,以对环境保护和地下水补给与循环机理的研究为主线,以基本查明水源地可采资源量、评价区域地下水资源总量、为鄂尔多斯能源基地规划与建设提供供水保障为目标来部署勘查工作。具体分解为以下3个方面:第一是对区域地下水系统和生态环境进行调查研究,以生态保护为主要约束条件来评价区域地下水资源总量,为鄂尔多斯能源基地规划和政府决策提供依据;第二是开展10处水源地的供水水文地质详查,初步评价地下水允许开采资源量,为水源地邻近地区的能源基地与工业园区提供地下水资源;第三是专题研究与综合研究,通过地下水补给强度与循环机理研究、地下水开发与生态环境效应调查研究、地下水资源合理开发与优化配置研究等,为区域地下水资源评价和水源地勘查提供技术支撑。

技术路线:充分利用3S(RS、GPS、GIS)技术,通过遥感解译、水文地质与生态环境调查、物探、钻探与试验、分层取样与同位素研究、地下水动态长期观测与原位试验等野外工作来获取资料与数据。应用地质学、水文地质学、地下水动力学、水文地球化学、生态水文地质学等多种学科的基本原理,采用数理统计、计算机模拟和地理信息系统等方法与技术,对各类资料和数据进行分析、整理,建立三维地质模型、地下水流模型,利用原位试验场取得的最新参数,以生态保护为主要约束条件,采用地下水数值法对区域和水源地地下水资源进行评价,提出地下水资源合理开发与水资源优化配置建议(图0-2)。

(二)技术方法

本次勘查研究采用的主要技术方法有:水文地质遥感解译、地质-水文地质测绘、地球物理勘查、水文地质钻探与抽水试验、Packer试验、岩石和水样的分析测试、地下水 and 地表水的动态监测、地下水数值模拟、水文地质数据库和信息体系建设等。

