

盆-山地下水系统演化 及其水资源-环境效应

——以太原盆地为例

● 郭清海 马 瑞 王焰新 马 腾 著



科学出版社

www.sciencep.com

国家自然科学基金(No. 40425001, No. 40702041)

中国地质调查局

联合资助

盆-山地下水系统演化 及其水资源-环境效应

——以太原盆地为例

郭清海 马 瑞 王焰新 马 腾 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书论述了山西太原盆地及其边山地区范围内地下水系统的水文地质特征和演化规律,重点开展了盆地中深层孔隙水的地球化学演化模拟,探索了边山岩溶大泉的流量变化规律及其驱动机制,并从盆-山地下水系统水循环特征分析入手,着重从岩溶热水形成与资源评价、边山地区采煤排水与盆地地下水位下降关系两个方面探讨了盆-山地下水系统水循环的资源-环境效应。在此基础上,对研究区内各类地下水环境问题,如区域地下水位下降、岩溶泉流量衰减、地面沉降、地下水污染等进行了系统分析,并指出了这些环境问题的成因。

本书可供水文地质学、水资源学、环境科学等领域的相关科研人员、管理人员及高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

盆-山地下水系统演化及其水资源-环境效应:以太原盆地为例/郭清海等著. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-026973-7

I. ①盆… II. ①郭… III. ①盆地-地下水-水环境-环境效应-研究-太原市②山地-地下水-水环境-环境效应-研究-太原市 IV. ①P641.8②X523

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 041250 号

责任编辑:胡晓春 / 责任校对:鲁 素

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 4 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 4 月第一次印刷 印张:15 1/2

印数:1—1 500 字数:368 000

定价:59.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

太原盆地位处半干旱地区,是我国北方重要的农业、工业和能源基地。近年来,以太原市为中心的区域经济的快速发展,使得水资源供需矛盾日渐突出。为满足国民经济发展及居民生活改善的用水需求,盆地内地表水及地下水的利用率不断提高。据统计,至 2003 年,盆地周围河流及汾河干、支流上已建立大、中、小型水库数十座,总库容达 8.69 亿 m^3 ,完善、改建大、中型灌区十余处,渠道引水量占河道总水量的 70% 左右。而在地下水利用方面,盆地孔隙水开采总量为 65030.8 万 m^3/a ,超采量已达 7300 万 m^3/a 左右,重点超采区位于太原市小店以北,交城县、文水县、汾阳县的边山一带,平遥县及介休市宋沽附近;盆地边山的岩溶水超采情况则更为惊人,上世纪 80 年代末至 90 年代中期,太原市附近的两个岩溶大泉——兰村泉与晋祠泉已相继因岩溶水开采而断流,盆地东南侧的另一个岩溶大泉——洪山泉,如今也面临类似厄运。在水资源量的供需矛盾不断扩大的同时,太原盆地各类工农业生产活动产生的废物严重污染了地表水及地下水水质,使水资源短缺情况雪上加霜。以工业集中、污染物类型多样、污染情况严重的太原市为例,市内地下水中的酚、氰、砷、铅、锌、铜、铬、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、总硬度等水质指标均有不同程度的超标现象。

太原盆地及其边山地区的地下水开发利用引发的水资源-环境问题在我国北方地区具有典型代表性。盆地内孔隙水超采区的地下水位大面积、大幅度持续下降,降落漏斗范围逐年扩大,造成大批浅井报废,深井产水量减少;同时,地下水位持续下降使城市地区产生地面沉降,如太原市地面沉降已经成为严重困扰当地居民日常生活的地质环境问题;不断加剧的其他人类活动,如采矿、土地利用、水利工程的兴建、城市化进程等,改变了地下水的天然赋存环境和区域水循环条件,使区内地下水环境演化路径发生深刻变化。

近年来,太原市区的地质勘探取得了重要突破,在隐伏岩溶区发现了中低温热储,使得这一缺水地区的清洁能源开发利用一度升温。但是,随着我们对岩溶热水的形成与分布规律的认识不断深入,无序开发地热资源可能带来的热水资源枯竭、地面沉降和水污染等问题令人担忧。

要解决上述现实或潜在的地下水环境问题,科学地认识研究区地下水的流动、赋存及地下水系统演化规律是关键和基础所在。地下水系统理论将应力场、渗流场、化学场与温度场统一于有序的时空结构之中,引导研究者从整体上把握地下水系统,并关注系统的结构、组成、演化和相互作用过程与控制因素。由于地下水流动系统有级次的空间分布特征,地下水在流动过程中,与其介质发生物理的(孔隙水压力和有效应力改变,水分、盐分与热量的输送等)、化学的(溶解-沉淀,氧化-还原,吸附-解吸附等)和生物的(有机质生物降解,微生物参与下的重金属溶解-沉淀作用等)相互作用,导致地质环境中规律地出现一系列与地下水有关的过程和现象(泉的出露、湿地的发育、水土流失、滑坡和地面沉降等地质灾害的发生等)。为了阐明盆-山地下水系统演化规律,首先要从地下水系统分析入

手,查明盆地孔隙地下水系统和边山基岩裂隙-岩溶地下水系统各自的水文地质条件和水循环特征。在本书中,我们把盆地与其基底及边山视为完整的地下水系统。而在过去,盆地基底和边山基岩分布区常简单处理为隔水边界;但实际上,基底的裂隙水、岩溶水可通过断裂、“天窗”补给盆地孔隙地下水。就太原盆地而言,边山岩溶水主要通过两种途径与盆地范围内的地下水发生水力联系:在构造条件合适时,部分岩溶水侧排补给盆地浅部孔隙地下水;其余岩溶水则最终排泄到基底更低的盆地隐伏岩溶区。我们的初步研究还表明,在太原地区的盆地深部,三个岩溶水子系统岩溶水(尤其是东山岩溶热水和西山岩溶热水)有混合的趋势。其次,在建立概念模型的基础上,针对地下介质水文地质特性的各向异性与非均质性及其对于地下水的流动、赋存及溶质迁移的控制作用,可借助于先进的计算机技术,开展地下水系统结构的可视化分析,精细刻画地下介质的分布特征,为研究区各种地下水环境问题的成因分析提供基本构架。第三,要从不同时间尺度(或动力学角度)研究地下水系统演化过程,对影响地下水系统结构、水岩相互作用和控制水动力场-水化学场-应力场-温度场变化的自然和人为因素进行分析与模拟。

本书共四篇十一章。前三篇分别论述太原盆地及其边山地下水系统的水文地质特征和演化规律,其中重点开展了中深层孔隙水的地球化学演化模拟,探索了边山地区岩溶大泉的流量变化规律及其驱动机制,并从盆地地下水系统水循环特征分析入手,着重从边山地区采煤排水与盆地地下水位下降关系、岩溶热水形成与资源评价两个方面探讨了盆地地下水系统水循环的资源环境效应。在此基础上,第四篇对研究区内各类地下水环境问题,如区域地下水位下降、岩溶泉流量衰减、地面沉降、地下水污染等进行了系统分析,指出了这些环境问题的成因;其中,为有效保护地下水资源,防止受污染地下水水质进一步恶化,书中还讨论了研究区浅层地下水的内在脆弱性和特殊脆弱性问题。在探讨岩溶大泉的流量衰减模式和成因时,研究区不仅包括太原盆地边山地区的晋祠泉、兰村泉和洪山泉,还加入了山西省流量最大的4个岩溶泉(娘子关泉、辛安泉、郭庄泉、神头泉),结果表明这7个岩溶泉总还原流量的变化与同期全球气温变化存在良好的对应关系,对近几十年来的全球变暖与干旱化过程具有指示意义。这种跨系统的对比研究为全球变化和水资源可持续利用研究提供了新的思路和手段。

本书第一章至第七章、第八章第三节、第十章、第十一章和结论由郭清海执笔;第八章第一节、第二节和第九章由马瑞执笔;英文摘要由郭清海、马瑞执笔;马腾参加了部分野外工作和室内资料分析;王焰新负责前言撰写和全书统稿工作。此外,研究生卢志艳、张寅完成了书中部分图件的清绘工作。

本书相关研究得到了国家自然科学基金(杰出青年科学基金 40425001 和青年科学基金 40702041)和中国地质调查局的资助。国家自然科学基金委员会地球科学部柴育成、姚玉鹏博士,中国地质调查局文冬光研究员,山西省地质调查院闫世龙副院长,太原市水务局都洁局长、杜成元副局长对于研究工作给予了大力帮助,特此鸣谢。并谨此感谢张宗祜、袁道先、林学钰、薛禹群、汪集旻、卢耀如院士和沈照理先生对于本研究小组开展山西地下水研究的持续鼓励和支持!

目 录

前言

第一篇 盆地孔隙水系统

第一章 自然地理及地质概况·····	3
§ 1.1 自然地理概况·····	3
§ 1.2 地质及水文地质概况·····	5
1.2.1 地层·····	5
1.2.2 构造·····	6
1.2.3 水文地质条件·····	8
第二章 地质演化过程·····	13
§ 2.1 基本构造格局的形成·····	13
§ 2.2 晚新生代沉积过程·····	14
§ 2.3 晚新生代古水文演化过程·····	18
第三章 孔隙介质结构的三维可视化模型·····	20
§ 3.1 三维可视化技术在地学中的应用·····	20
§ 3.2 构建孔隙介质结构可视化模型的方法·····	21
§ 3.3 研究区孔隙介质结构可视化模型的建立·····	23
§ 3.4 研究区孔隙介质可视化模型的水文地质意义·····	28
第四章 孔隙水地球化学演化·····	30
§ 4.1 地下水地球化学演化研究进展·····	30
§ 4.2 孔隙水水化学特征·····	32
4.2.1 水样采集与分析·····	33
4.2.2 浅层孔隙水水化学特征·····	33
4.2.3 中深层孔隙水水化学特征·····	35
§ 4.3 中深层孔隙水水化学分带及其指示意义·····	43
§ 4.4 中深层孔隙水地球化学过程·····	47
§ 4.5 中深层孔隙水地球化学演化模拟·····	51
4.5.1 利用 PHREEQC 进行反向地球化学模拟的基本过程·····	51
4.5.2 地下水流路径的选取·····	52
4.5.3 路径 1 的水文地球化学模拟·····	54
4.5.4 路径 2 的水文地球化学模拟·····	56

第二篇 边山岩溶水系统

第五章 晋祠泉岩溶水系统	61
§ 5.1 岩溶水系统概况	61
§ 5.2 泉流量动态特征	62
5.2.1 概述	62
5.2.2 年际变化特征	62
5.2.3 年内变化特征	63
§ 5.3 岩溶水系统分析	64
5.3.1 大气降水输入的滞后效应与延迟效应	64
5.3.2 岩溶水系统输入-输出数学模型的建立	65
§ 5.4 泉流量变化的驱动机制分析	67
5.4.1 大气降水对泉流量的影响	67
5.4.2 汾河渗漏对泉流量的影响	68
5.4.3 岩溶水开采(含采煤排水)对泉流量的影响	69
5.4.4 岩溶水潜排对泉流量的影响	69
§ 5.5 岩溶水资源评价	70
5.5.1 天然资源量计算	70
5.5.2 开采资源量计算	71
第六章 兰村泉岩溶水系统	72
§ 6.1 岩溶水系统概况	72
§ 6.2 泉流量动态特征	73
6.2.1 泉流量变化特征	73
6.2.2 岩溶地下水位变化特征	73
§ 6.3 岩溶水系统分析	74
§ 6.4 泉流量变化的驱动机制分析	76
6.4.1 大气降水对泉流量的影响	76
6.4.2 岩溶水开采对泉流量的影响	77
§ 6.5 岩溶水资源评价	77
6.5.1 天然资源量计算	77
6.5.2 开采资源量计算	78
第七章 洪山泉岩溶水系统	80
§ 7.1 岩溶水系统概况	80
§ 7.2 泉流量动态特征	80
7.2.1 年际变化特征	80
7.2.2 年内变化特征	81

§ 7.3 岩溶水系统分析·····	82
7.3.1 大气降水输入的滞后效应与延迟效应 ·····	82
7.3.2 岩溶水系统输入-输出数学模型的建立 ·····	84
§ 7.4 泉流量变化的驱动机制分析·····	85
7.4.1 大气降水对泉流量变化的影响 ·····	86
7.4.2 岩溶水开采对泉流量变化的影响 ·····	86
§ 7.5 岩溶水资源评价·····	86
7.5.1 天然资源量计算 ·····	86
7.5.2 开采资源量计算 ·····	87

第三篇 盆-山地下水循环及其水资源-环境效应

第八章 盆-山地下水系统水循环特征 ·····	91
§ 8.1 岩溶地下水系统循环特征·····	91
8.1.1 西山岩溶水系统水动力特征 ·····	94
8.1.2 北山岩溶水系统水动力特征 ·····	96
8.1.3 东山岩溶水系统水动力特征 ·····	97
§ 8.2 各地下水系统的边界条件及其相互之间的关系·····	98
8.2.1 太原西山岩溶水系统与盆地孔隙水系统之间的关系 ·····	98
8.2.2 太原东山岩溶水系统与盆地孔隙水系统之间的关系 ·····	101
8.2.3 东、西山岩溶地下水系统之间的关系 ·····	101
§ 8.3 边山地区采煤排水与盆地地下水位下降 ·····	102
8.3.1 边山地区采煤排水现状 ·····	102
8.3.2 采煤排水对盆地地下水位的影响 ·····	103
第九章 岩溶热水形成与资源评价 ·····	104
§ 9.1 岩溶热水温度分布及地热田划分 ·····	104
9.1.1 岩溶水系统水温分布特征 ·····	104
9.1.2 太原地热田划分 ·····	111
§ 9.2 岩溶热水水化学特征 ·····	115
9.2.1 水岩作用程度及热储温度 ·····	115
9.2.2 热水循环深度 ·····	117
9.2.3 地下水各组分含量分布特征 ·····	118
§ 9.3 岩溶热水来源及流动特征的同位素证据 ·····	121
9.3.1 岩溶地下水的补给来源 ·····	121
9.3.2 不同岩溶系统地下水间与其他类型地下水的水力联系 ·····	125
9.3.3 不同岩溶系统地下水流动途径及水岩作用时间 ·····	129
§ 9.4 岩溶热水形成的概念模型 ·····	133

9.4.1 地热形成条件	133
9.4.2 热水流动模式	134
9.4.3 岩溶水系统之间及岩溶水与裂隙水间的联系	136
9.4.4 概念模型	136
§ 9.5 岩溶热水资源量评价	138
9.5.1 计算原则	138
9.5.2 计算方法及参数的选取	138
9.5.3 计算结果	142
 第四篇 地下水环境问题 	
第十章 区域地下水位下降与泉流量衰减	147
§ 10.1 盆地地下水位下降及地面沉降	147
10.1.1 地下水位下降	147
10.1.2 太原市地面沉降	151
§ 10.2 岩溶泉流量衰减及其对全球气候变化的指示意义	158
10.2.1 泉流量基本特征	159
10.2.2 泉流量数据序列的处理	160
10.2.3 气候因素对泉流量变化的影响	161
10.2.4 人类活动因素对泉流量变化的影响	163
10.2.5 泉流量衰减模式分类	164
10.2.6 泉流量变化过程对全球变化的指示意义	165
第十一章 地下水污染与脆弱性评价	168
§ 11.1 太原市地下水污染	168
11.1.1 地下水水质演化趋势及水污染现状	168
11.1.2 地下水污染成因分析	171
§ 11.2 地下水脆弱性的研究历史、现状和常见评价方法	173
11.2.1 研究历史与现状	173
11.2.2 评价方法	176
§ 11.3 浅层孔隙水系统的内在脆弱性评价	177
11.3.1 评价模型——DRASTIC 模型	177
11.3.2 DRASTIC 模型的评分过程	178
11.3.3 脆弱性评价结果	189
§ 11.4 浅层孔隙水系统对砷污染的特殊脆弱性评价	191
11.4.1 脆弱性评价模型的指标体系	191
11.4.2 脆弱性评价模型的指标评分标准	193
11.4.3 脆弱性评价模型的指标权重	196
11.4.4 脆弱性评价结果	199

结论.....	201
参考文献.....	205
附表 1~7	211
英文摘要.....	226

第一篇

盆地孔隙水系统

第一章 自然地理及地质概况*

§ 1.1 自然地理概况

太原盆地位于山西省中部,北起阳曲,南达介休,东依太行山,西抵吕梁山,地理坐标为东经 $111^{\circ}36' \sim 112^{\circ}53'$ 、北纬 $37^{\circ}00' \sim 38^{\circ}02'$,包括太原市、阳曲县、清徐县、榆次市、交城县、文水县、祁县、太谷县、介休市、孝义市、平遥县、汾阳县 12 个行政区。盆地南北长约 150 km,东西宽为 12~60 km,总面积达 6159 km^2 。研究区交通位置图见图 1.1。

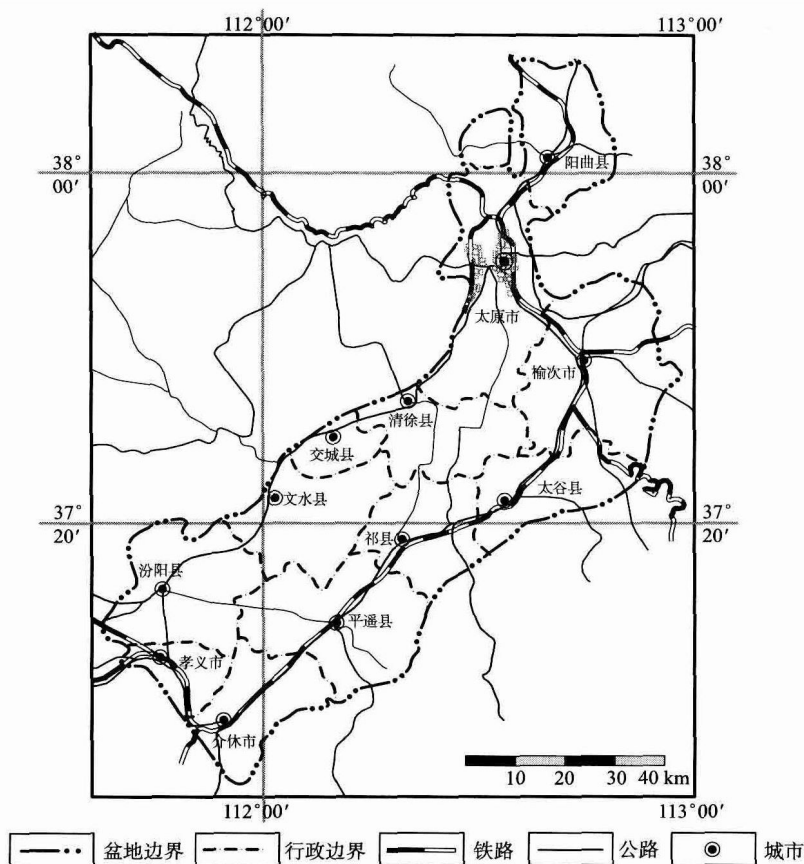


图 1.1 研究区交通位置图▲

* 本章中带有▲标记的图、表均在科研报告“山西六大盆地地下水资源及其环境问题调查评价——太原盆地中期成果报告”[山西省地质调查院,中国地质大学(武汉),2004年2月]中相应图件与表格的基础上修改而成,特此注明。

盆地北起石岭关,南到韩侯岭,东西以边山断裂为界线,四周均由丘陵和山区环绕,为北东向的断陷盆地。东部山区属太行山系,一般标高为 1300~1700 m,最高峰在盆地东南端介休市的茶山一带,标高 2120 m;西部山区属吕梁山系,一般标高为 1500~1800 m,最高峰为关帝山,标高 2830.7 m;盆地内地形开阔平坦,地面标高 735~830 m。太原盆地总体上呈北东向展布,到小店以北变为南北向;地形总趋势为北高南低,四周高,中间低,自山区向盆地中心呈阶梯状下降。受新构造运动影响,盆地两侧的地形地貌有明显的差异——西侧山区以断层与盆地直接接触,高差悬殊,边山洪积扇短小且坡度大、呈裙状起伏;东侧山区地形相对平缓,边山与盆地间为宽窄不等的黄土丘陵及台塬。总体来看,研究区边山地貌为不连续且不对称的黄土台地;边山洪积扇伸入盆地中心,构成宽阔的洪积倾斜平原;盆地中部则为宽阔、平坦的汾河冲积平原。

研究区位于暖温带的半干旱区,属大陆性季风气候,多年平均气温为 9.8℃,年内四季分明——春季多风干燥;夏季多雨,无酷暑;秋季温和晴朗;冬季有雪,少严寒。区内年均降水量(1951~2000 年)变化很大,为 259.8~655.0 mm,且在地域上分布很不均匀,总规律为北部多于南部,山区多于盆地。地形对降水量影响明显,一般而言,高山区迎风坡属高降水量区,平川区及山区河谷地带属低降水量区。降水量的年际变化不仅具有随机性和周期性,而且呈逐年减少趋势。降水量的年内变化规律则为:6~9 月份降水量高,占

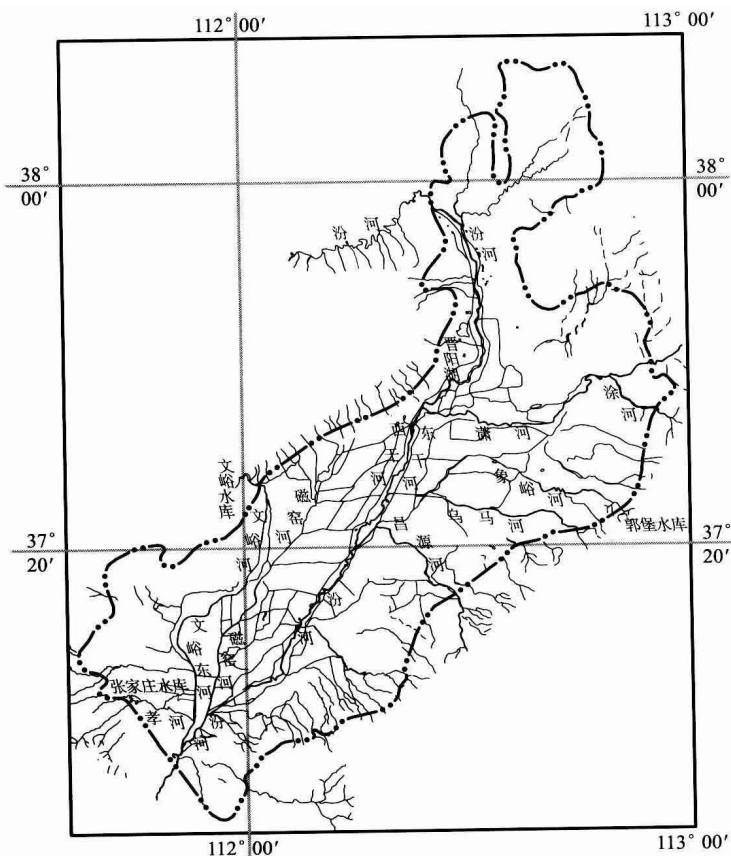


图 1.2 太原盆地水系图▲

全年降水量的 70% 以上,12 月至次年 3 月降水量低,占全年降水量的 5% 左右。研究区多年平均蒸发量(1956~2000 年)为 1774.9 mm,春季蒸发量大,冬季小,潜水蒸发区主要分布于平川区水位埋深小于 4 m 的地带。

太原盆地的地表水系比较发育。受地形控制,区内河流自北、东、西三面流入,其中汾河贯穿整个盆地,并将盆地分为东、西两部分。在盆地西部,汾河的主要支流为磁窑河、文峪河等;在东部则为涂河、潇河、象峪河、乌马河、昌源河等(图 1.2)。由图 1.2 可见,汾河东侧的支流均正常汇入主河;而西侧的支流,如磁窑河与文峪河进入盆地后,却首先沿着与汾河近乎平行的方向向南流动,直到盆地的最南端才注入干河。王乃樑等(1996)研究后认为,太原盆地水系的这种格局表明盆地在地形上由东南向西北倾斜,从而使自西北流入盆地的河流的流向发生改变。而造成这种倾斜的原因则可能与盆地内北东向断裂带的活动有关。

§ 1.2 地质及水文地质概况

1.2.1 地 层

太原盆地周边出露的前新生代地层包括寒武-奥陶系碳酸盐岩、石炭-二叠系煤系地层及三叠系碎屑岩(图 1.3)。盆地内新生代沉积物厚度一般为几十至 2000 m,最厚达

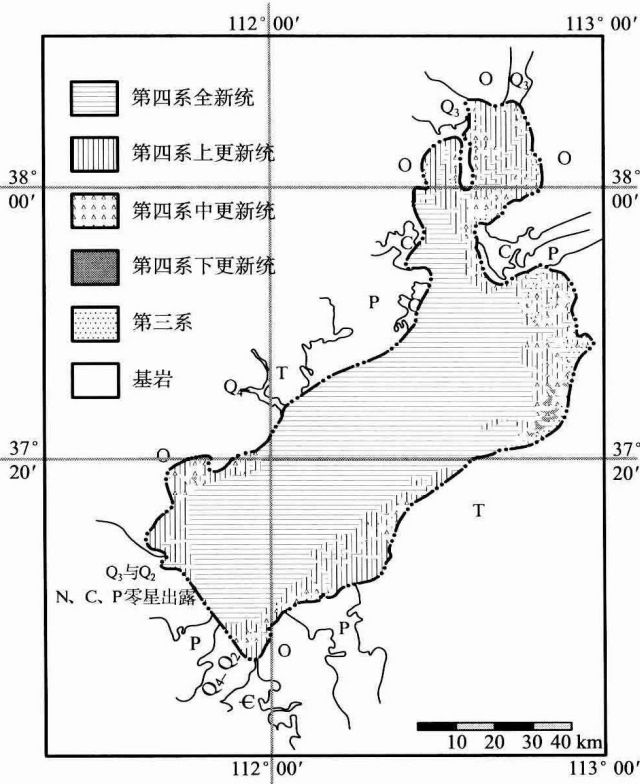


图 1.3 研究区地质图

3800 m。新生代地层包括上新统王吴组(N_2w)、城子组(N_2c)、胡村组(N_2h)、西谷组(N_2x)、史家庄组(N_2s)、义安组(N_2y)，下更新统泥河湾组(Q_1n)，中更新统离石组(Q_2l)，上更新统丁村组(Q_3d)、马兰组(Q_3m)、峙峪组(Q_3s)，全新统。在盆地新生界之下(据石油部门钻探和物探资料)，除西南侧汾阳、孝义南部、太原三给地垒区为石炭-二叠系，清徐以北为三叠系下统刘家沟组外，大部分地区主要为三叠系上统延长组。此外，仅在太谷县胡村钻孔下见侏罗系黑峰组，在祁县祁3钻孔的晚新生代地层之下见一套含火山碎屑的变质沉积岩，其下有二长岩侵入，岩体绝对年龄 136~140 Ma，推测应属中生代。盆地深埋地层主要为奥陶系、石炭-二叠系煤系地层以及三叠系陆相地层。

1.2.2 构造

太原盆地是在大型复式向斜基础上断陷成盆的新构造单元，呈北东向镶嵌于沁水复式向斜的北隅，其北部为北东向的五台复背斜，西部与东部分别为南北向的吕梁复背斜和太行复背斜。

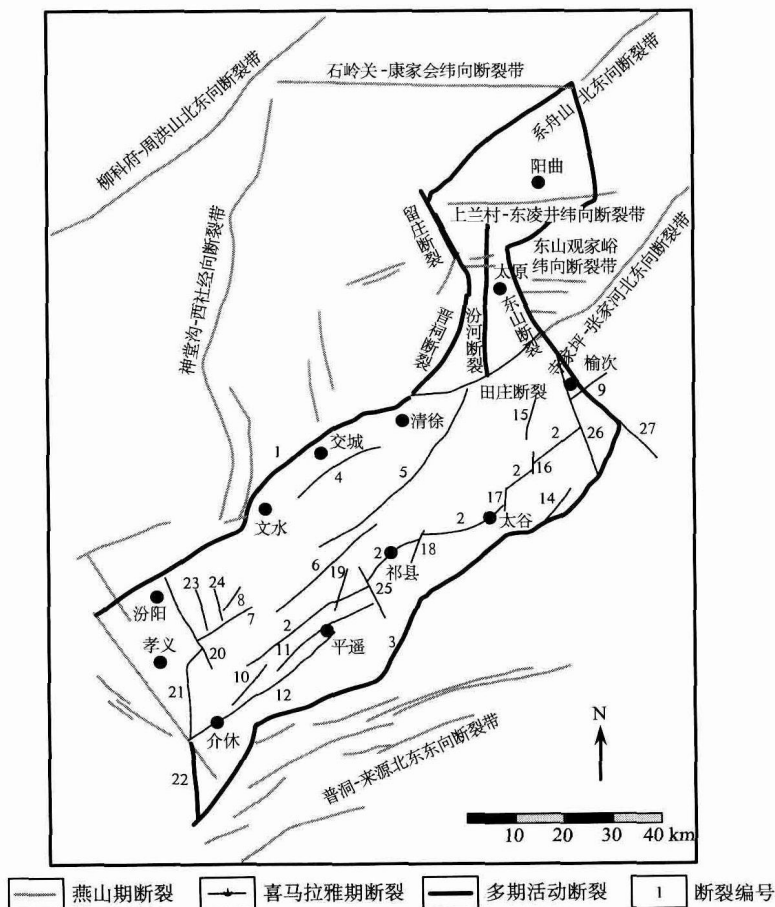


图 1.4 盆地构造格局及不同时代断裂示意图▲

盆地不但沉积盖层厚,前震旦纪变质岩基底埋深大(6500 m),且成盆基础地层时代新。在晚近时期,盆地的控制性断裂均为正断层,不同方向的断裂互相追踪而不切割,表明其为新构造运动的产物,而先前的构造体系在晚近时期只作为断陷形成的边界条件或构造背景存在。可以说太原盆地是叠加于中生代构造背景上的新生代断陷盆地。如上所述,盆地内新构造运动具有明显的继承性,表现为从第三纪到第四纪构造形态大体一致,且断裂活动、尤其是边缘断裂自新生代开始一直活动至今,而盆地内的断裂则多在中更新世停止活动。

断陷内呈北北东向、北东东向及北北西向的几组燕山期断裂十分发育,形成了太原断陷的构造背景(图 1.4),以及现在总体呈北东方向的隆起断块和陷落断块的构造格局。在地貌上,隆起断块崛起成山,陷落断块形成盆地。而以太原-榆次交界的田庄断裂为界,又可将太原断陷盆地划分为南北两部分。

在盆地南部,上新世以来构造运动形成的断裂十分发育,分为北东向、北北东向和北北西向三组,基本上控制了太原断陷的边界及次级构造单元的轮廓(图 1.4,表 1.1)。根据基底起伏、断裂形态及新生界地层组合的差异,可将断陷划分为五个二级构造单元(表 1.2)。

表 1.1 盆地南部新生代断裂基本要素及活动特征[△]

方位	编号	断裂名称	走向	倾向	倾角	断距/m	长度/km
北 东 向	1	杏花村-交城-小峪口断裂	N56°E	SE	下部 45°,中部 50°,上部 55°	最大 3500	110
	2	净化-祁县-东阳断裂	N54°E	SE	50°~65°	300~900	98
	3	洪山-范村断裂	N52°E	NW	75°~80°	100~400	114
	4	宜儿-平家寨断裂	N52°E	SE	30°~43°	120~260	25
	5	胡兰-杨房断裂	N49°E	SE	40°~46°	50~100	26
	6	襄垣断裂	N45°E	NW	42°~44°	40~150	24
	7	孝义-香乐断裂	N57°E	SE	40°	1000	13
	8	梁家堡断裂	N56°E	SE	45°	70~310	10
	9	南齐断裂	N47°E	SE	45°		25
	10	北辛武断裂	N43°E	SE	35°	60~150	10
	11	平遥断裂	N55°E	SE	33°	40~200	24
	12	三佳-北贾断裂	N44°E	NW			35
	14	龙家营断裂	N26°E	SE	下部 47°,上部 75°	100~290	19
北 北 东 向	15	张庆断裂	N10°E	SE			9
	16	南席断裂	N11°E	SE	43°	50~160	7
	17	韩村断裂	N10°E	SE			7
	18	南杜断裂	N15°E	SE			8
	19	西游驾断裂	N18°E	SE	31°	50	9
北 北 西 向	20	三泉-东许断裂	N14°E	NE			20
	21	宏寺-大堡断裂	N24°W	NE	65°	400	22
	22	郑家营断裂	N11°W	NE		400	22
	23	肖家庄断裂	N13°W	NE	48°	60~270	7
	24	南开断裂	N16°W	SW	51°	50~130	6.4
	25	桑翼断裂	N22°W	NE			10
	26	鸣谦-北田断裂	N17°W	SW			30
	27	三给断裂	N27°W	NE			7.4