

浅层孔隙地下水系统环境演化 及污染敏感性研究

——以山西大同盆地为例

王焰新 郭华明 阎世龙
王润福 李义连

著



科学出版社
www.sciencep.com

P641.13
W097:1

浅层孔隙地下水系统环境演化 及污染敏感性研究

——以山西大同盆地为例

王焰新 郭华明 阎世龙 王润福 李义连 著

国家自然科学基金重点项目(49832005) 研究成果
教育部优秀青年教师教学科研奖励计划项目
中国地质大学学术著作出版基金资助出版

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书通过对大同盆地地下水环境演化与污染敏感性研究,分析了该盆地环境演化的基本格局,并对水化学进行了分区,探讨了地下水水化学过程,识别了地下水砷氟异常的环境因素和富集机理,讨论了人类活动对大同地下水的影响,提出了 MLPI 污染敏感性模型,并对地下水污染敏感性进行了评价。全书提出了一套新的观点、理论与方法,为水文地质学科开辟了新的领域,为地下水环境保护提供了科学依据。

本书可供高校、科研院所、生产单位、管理部门的相关人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

浅层孔隙地下水系统环境演化及污染敏感性研究:以山西大同盆地为例/
王焰新等著. —北京:科学出版社,2004

ISBN 7-03-011768-9

I. 浅… II. 王… III. ①孔隙水-地下水-水环境-研究-大同市 ②孔隙水-地下水污染-研究-大同市 IV. P641.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 060220 号

责任编辑:谢洪源 徐 斌/责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

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>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年1月第一版

开本:787×1092 1/16

2004年1月第一次印刷

印张:11 1/2

印数:1—1 000

字数:255 000

定价:30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

**Geochemical Evolution of Shallow Groundwater Systems and Their Vulnerability
to Contaminants: A Case Study at Datong Basin, Shanxi Province, China**

By

Wang Yanxin, Guo Huaming, Yan Shilong, Wang Runfu and Li Yilian

This publication is financially supported by
National Natural Science Foundation of China (NSFC-49832005)
Teaching and Research Award Program for Outstanding Young
Teachers in Higher Education Institutions of Ministry of Education,
P. R. China
Fund for Academic Publications of China
University of Geosciences

**Science Press
Beijing**

前 言

地下水环境演化是国际水文地质、环境科学研究的前沿和热点领域,主要通过研究地下水化学特性的时空分布规律,刻画地下水化学分区和各种水文地球化学过程,重建和预测地下水系统地球化学演化过程。因此,在大时间尺度上确定地下水化学演化的总体格局,研究处于不同地质条件下的地下水系统地球化学演化规律,进而科学认识天然过程和人为扰动对地下水环境的影响,合理解释各种水文地球化学现象(包括地下水化学异常、人为活动对水环境的影响等)是地下水环境演化研究的发展趋势。

地下水环境演化研究是全球变化和全球水循环演化研究的重要组成部分。Edmunds (1995)提出把地下水作为可量测环境变化的介质,划分出天然的水文地球化学作用及人为污染带来的特征,并给出了它们相应的指标体系。这些指标大多对应某种或某些水-岩相互作用:饱和带的指标包括水位、 HCO_3^- 、 O_2 、 Cl 、 $\delta^3\text{H}$ 、 NO_3 、 DOC 、 Si 、 $\text{SI}_{\text{方解石}}$ 、主要离子、 Eh 、 Fe^{2+} 、 Mg/Ca 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 、 Br 、 $\delta^{14}\text{C}$ 、 $\delta^{36}\text{Cl}$ 、 K 、杀虫剂、 B 等指标;非饱和带的指标包括 Cl 、 pH 、 NO_3 、 $\delta^3\text{H}$ 、 $\delta^{14}\text{C}$ 、 $\delta^{36}\text{Cl}$ 、 Al 和碱金属离子。

从研究内容和研究方法看,地下水环境演化可以分为以下几个方面:天然条件下地下水环境演化、天然-人为条件下地下水环境演化、人为强烈活动影响下地下水化学演化。天然条件下地下水环境演化研究重点集中在天然条件下各种水文地球化学过程上,通过地下水中常量组分、微量组分、稳定同位素以及水化学指标的分析,研究地下水来源、形成过程以及分布规律。研究的手段主要为水-岩相互作用模拟、水文地球化学图解及多元统计分析。个别研究涉及放射性同位素和微量元素地球化学,利用这些信息有助于查明地下水的来源、确定地下水化学过程以及演化速度。

天然-人为条件下地下水环境演化研究是探讨由于人类过度利用地下水,导致地下水动力场发生改变,使不同成因或水化学组成不同的地下水发生相互作用的情况下,地下水化学场的重新分布和水文地球化学过程的变化规律。这方面最典型的例子是开采地下水引起的海水入侵。通过对不同化学成分的地下水指标分析,这些指标包括常量元素、微量元素,以及同位素,利用某些水的化学特性、多元统计分析、同位素组成或水化学手段划分不同地下水化学带,然后通过水-岩相互作用模拟或矿物相平衡计算揭示地下水的演化过程。

人为强烈活动影响下地下水化学演化研究针对在人类活动作为新的强大地质营力已经并且正在加速改变全球环境的情况下,研究改变地下水系统地球化学演化路径的污染物水文地球化学作用,以及技术成因水文地球化学场的时空分布与演化。张宗祜等(2000)在华北平原的工作表明,人类活动已成为现今控制某些地区地下水环境演化的主导力量,地下水演化已进入由量变到质变的新阶段。目前,地下水环境演化的研究主要集中在研究人为活动介入的污染物类型和人为活动对各种水文地球化学过程的影响。

时间尺度是地下水环境演化研究的基本特征。Laaksoharju(1999)在研究瑞典 Aspo HRL 实验场的地下水化学状况和演化时,通过对 13 ka 以前的各种重要环境地质事件的重建,提出了末次冰期以来地下水形成与演化的概念模型,并在这种基本格局下应用多元统计分析和水-岩相互作用模拟,获得以下认识:认为各环境地质事件中形成的水的混合作用、方解石的溶解与沉淀、氧化还原反应以及生物作用是现今地下水形成与演化的主要控制因素。张宗祜等(2000)也在不同时间尺度上研究了华北平原地下水环境演化。这些在不同时间尺度上研究地下水形成和演化的范例为水文地质作用研究提供了一种全新的思路和方法。

在人类活动强烈的地区开展地下水环境演化研究必然涉及地下水污染问题。地下水系统抵御污染的潜力大小是地下水系统的本征特性之一,故需加以评价。地下水污染敏感性(vulnerability,也有学者译为脆弱性、敏感性、防污能力等)的概念是由法国水文地质学家 Marjet(1960)提出的。尽管这一概念已提出 40 多年,但还没有一个普遍公认的定义。目前大多数学者认为,地下水污染敏感性可定义为:污染物进入地下水系统后,到达某个特定位置的倾向或可能性。地下水污染敏感性研究是地下水污染保护的一种重要手段。

污染敏感性评价方法包括经验技术和模型模拟。现行的用于地下水污染敏感性评价的方法可分为以下三种类型:①指标叠加法;②模型模拟法;③统计法。从评价的对象划分,污染敏感性评价又可划分为含水层内在污染敏感性评价和含水层对特定污染物的污染敏感性评价。内在污染敏感性评价是指在不考虑污染物水文地球化学特性的情况下,某地区的含水介质的天然防污性能。特定污染物敏感性评价是指在考虑某种特定污染物或一组污染物以及污染物和控制内在敏感性的各要素之间关系的情况下,含水层对某种特定污染物或一组污染物的污染敏感性。地下水系统是一个能容纳成千上万种化学物质的复杂系统。实际上,到目前为止,几乎各种已知污染物在地下水中都被发现过。因此,对地下水进行污染敏感性评价时,必须充分考虑各种污染物的物理化学特性。

近 20 年来,随着野外监测手段、实验研究方法以及有关地下水中污染物运移理论的发展,人们对控制地下水中污染物运移的环境化学过程也刻画得越来越精确。在监测与理论相结合的基础上,已经产生了一系列的用于预测污染物运移的数值模型。

本书是作者在地下水环境演化和地下水污染敏感性研究领域的一项专题研究成果的总结。之所以选择大同盆地为研究区,主要是考虑到该地区面临的水资源和环境问题在我国北方具有典型性和代表性。浅层第四系地下水水位不断下降,地下水水质不断恶化,次生盐碱化,原生高氟、高砷水等问题已经严重制约了区域社会-经济的可持续发展。几年来,我们结合承担的国家自然科学基金重点项目“浅层地下水系统污染敏感性及其内在净化作用研究”(1999~2002,编号 49832005)和“教育部优秀青年教师教学科研奖励计划项目”(2001~2005),历时 3 年,除野外水文地质工作外,共采集水样 173 件,凿孔 3 个,采集岩土样逾百件。同时,搜集、整理前人观测数据 10 万余个。

本书作者来自高等院校、政府部门和企业。具体写作分工如下:第一章由山西省地质勘查局阎世龙、山西省国土资源厅王润福执笔;第二章由阎世龙执笔;第三章、第五章、第七章、附录 1~附录 3 由清华大学郭华明执笔;第四章由郭华明、阎世龙执笔;第六章由郭华明、王润福执笔;前言、结论由中国地质大学王焰新执笔;英文摘要由郭华明执笔。为了

让读者更好地了解水文地球化学模拟软件 PHREEQC 特增加附录 4,由中国地质大学李义连执笔。全书由王焰新统稿。

在研究工作中,得到了中国科学院张宗祜、袁道先、薛禹群、林学钰、汪集旸、赵鹏大、殷鸿福院士,中国地质大学沈照理教授,加拿大滑铁卢大学 Eric Reardon 教授的关心和指导,得到了中国地质大学,国家自然科学基金委员会地球科学部,教育部人事司、科技司,山西省水资源管理委员会、国土资源厅、水利厅、地质勘查局,大同市水利局,朔州市水利局,山阴县水利局等单位领导和有关技术人员的大力帮助,水的有机物质组成测试得到了俄罗斯伊尔库茨克大学 Г. М. Шпейзер 教授的帮助,谨在此一并致谢!

作者

2003. 7

目 录

前言

第一章 研究区自然地理条件与主要环境地质问题 1

第一节 自然地理条件 1

一、地理位置及地形 1

二、气象及水文 3

第二节 主要环境地质问题 5

一、丘陵区主要环境地质问题 5

二、盆地区主要环境地质问题 6

第二章 区域地质概况 13

第一节 地层岩性 13

一、太古宇 13

二、元古宇 13

三、古生界 13

四、中生界 15

五、新生界 15

第二节 地质构造 18

一、大同盆地的边山构造 19

二、大同盆地的基底构造 19

三、大同盆地晚近时期新构造运动 20

第三节 地貌特征 21

一、中高山区 21

二、低山丘陵区 21

三、山前洪积倾斜平原区 21

四、冲积平原区 22

第四节 区域水文地质条件 22

一、含水岩组的划分及其水文地质特征 23

二、地下水的补给径流与排泄条件 24

三、地下水的水化学特征 24

第三章 更新世以来地下水环境演化 26

第一节 大同盆地的形成 26

一、山西地堑系形成机制 26

二、早期大同盆地的形成 27

第二节 盆地环境的演变 27

第三节 更新世以来大同盆地地下水环境演化	29
第四章 区域水文地球化学	30
第一节 大同盆地地下水水化学特征	30
一、大同盆地地下水常量组分分布特征	30
二、大同盆地地下水微量组分分布特征	34
第二节 大同盆地地下水水环境分区	36
一、地下水水化学类型	36
二、地下水水环境分区	36
第三节 地下水水化学过程	41
一、地下水饱和状态	41
二、盆地地下水水化学过程	43
第四节 小结	48
第五章 地质成因水化学异常研究	49
第一节 砷的毒性	49
一、概况	49
二、砷中毒的临床表现	49
第二节 地下水砷异常的研究概况	50
一、简介	50
二、地下水中砷的来源	51
三、地下水中砷异常的水文地球化学	53
四、山阴地区地下水砷异常的研究综述	55
第三节 山阴地方性砷中毒概况	56
一、山阴水砷中毒的发现	56
二、山阴水砷中毒的临床表现	57
第四节 山阴高砷水水化学特征	57
一、地下水砷的分析	57
二、高砷水水化学特征	57
三、有利于砷富集的水环境分析	62
第五节 研究区沉积物研究	67
一、沉积物中有机质分析	67
二、沉积物中砷赋存状态分析	72
三、沉积物中的氟	76
第六节 山阴高砷、高氟水的形成机制研究	77
一、高砷、高氟水形成机制	77
二、高砷、高氟水成因模型	78
第六章 人类活动影响下的大同市地下水环境演化	81
第一节 概述	81
第二节 水文地质条件	82
第三节 地下水动态特征	83

一、大同市地下水动态特征	83
二、地下水降落漏斗的形成与扩展	84
第四节 地下水水质时空演化	86
一、地下水水质随空间的变化	86
二、地下水水质随时间的变化	87
第五节 人类活动对地下水化学演化影响	89
第六节 小结	90
第七章 地下水污染敏感性研究与水环境保护对策	92
第一节 概述	92
第二节 地下水污染敏感性概念与基本假设	92
一、地下水污染敏感性概念	92
二、地下水污染敏感性研究的基本假设	93
第三节 地下水污染敏感性评价体系	93
一、指标叠加法	93
二、模型模拟法	101
三、改进的迁移能力指数模型(MLPI)的建立	103
第四节 改进的迁移能力指数模型(MLPI)的应用	106
一、水文地质条件	106
二、方法	106
三、结果及讨论	109
第五节 地下水保护对策	113
一、建立卫生防护带	113
二、采取隔离措施	114
三、修建盖层系统	114
结论	116
附录	120
附录 1 地下水常量组分含量一览表	120
附录 2 地下水微量组分含量一览表	128
附录 3 大同盆地水样采集点分布图	135
附录 4 水-岩相互作用模拟与 PHREEQC 软件简介	135
参考文献	157
英文摘要	164

第一章 研究区自然地理条件 与主要环境地质问题

第一节 自然地理条件

一、地理位置及地形

大同盆地(包括阳天盆地)是山西省六大盆地之一,地处山西省北部,为山西能源重化工基地的重要组成部分。地理坐标北纬 $39^{\circ}05'00'' \sim 40^{\circ}33'00''$, 东经 $112^{\circ}15'00'' \sim 114^{\circ}17'00''$, 研究区包括天镇、阳高、大同、怀仁、山阴、应县、浑源 7 个县以及大同市、朔州市,总面积约 7278km^2 (图 1-1)。区内北同蒲铁路和京包铁路在大同市相交,大运公路与京大高速公路也在大同市相交,而且各县之间均有公路相连,因此交通四通八达极为方便(图 1-2)。

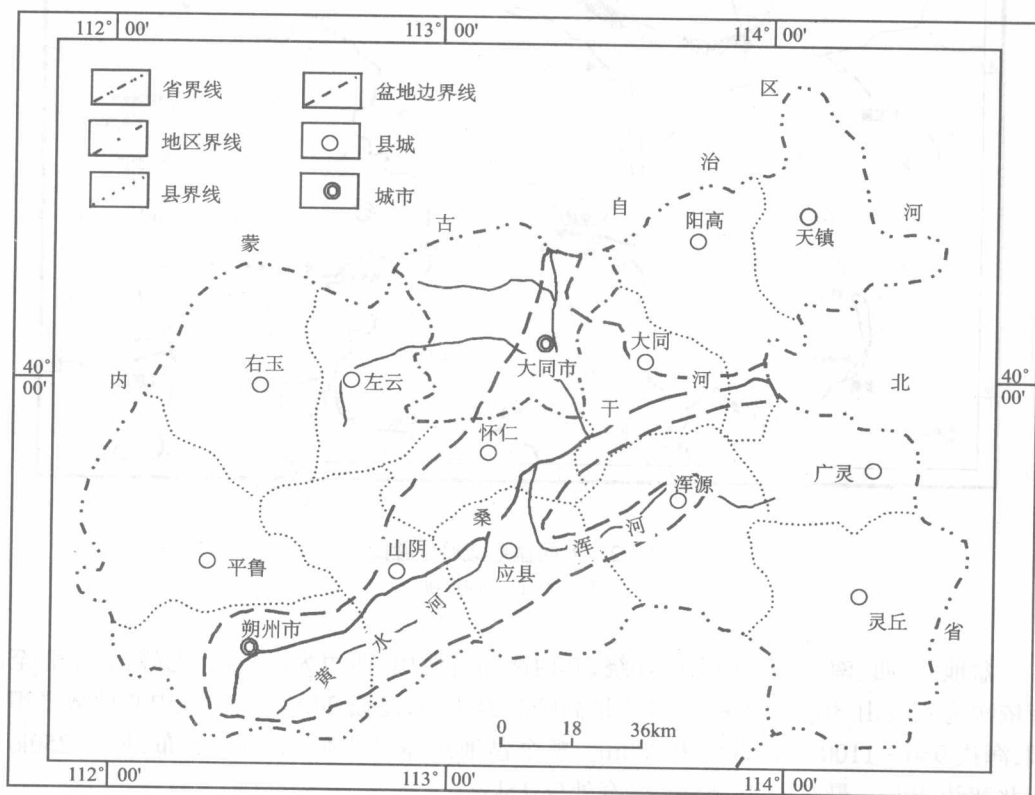


图 1-1 大同盆地地理位置图

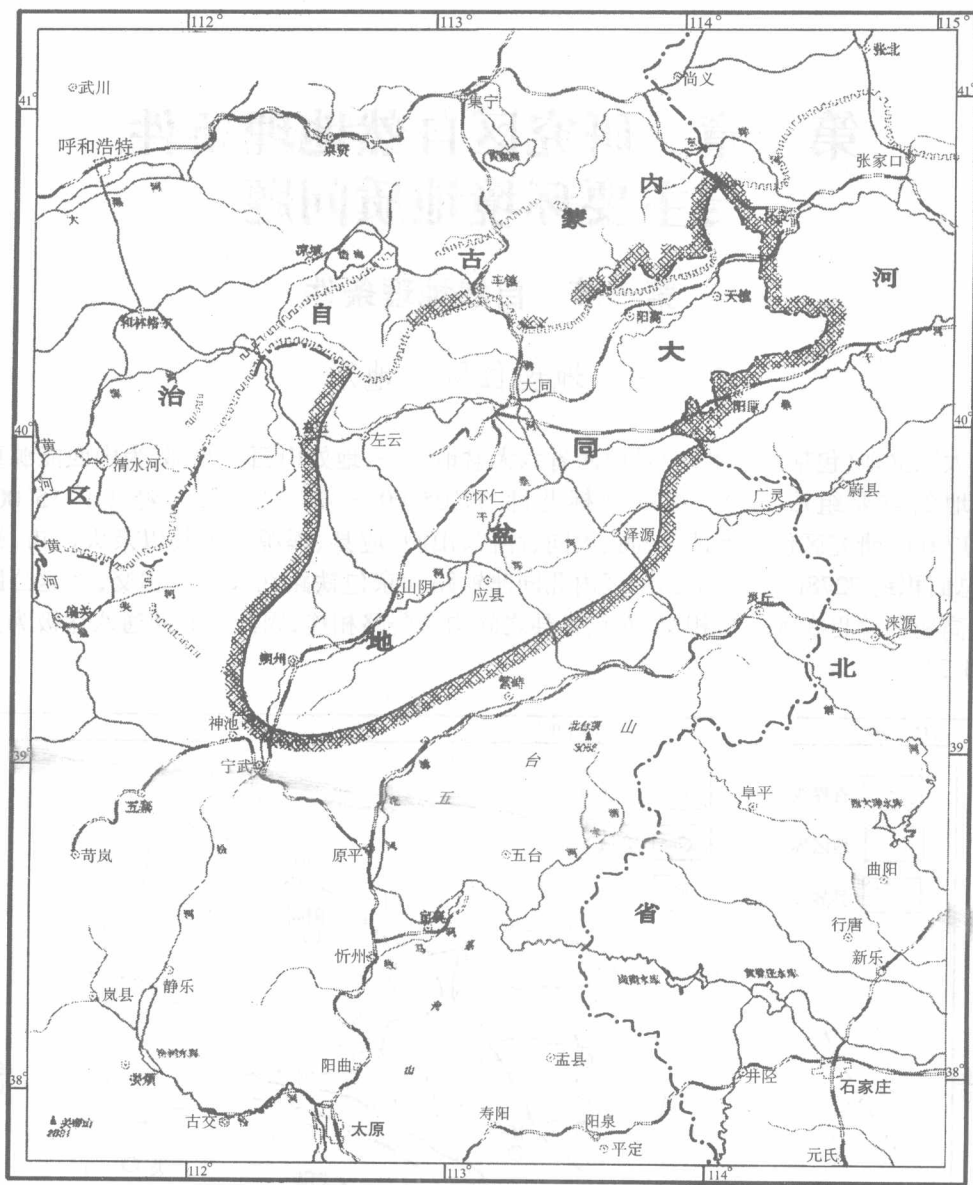


图 1-2 大同盆地交通位置图

比例尺为 1:2 500 000

盆地北、西、南三面为中低山环绕,其西南为管涔山,西边为洪涛山、七峰山,东北至西南依次为六棱山、恒山、馒头山,其中最高峰为馒头山,海拔 2426m。盆地中心地势平坦开阔,海拔 950~1100m,最低海拔 880m。整个盆地总体呈北东-南西向展布,长约 250km,南北宽约 40km,最宽处 48.5km,最窄处仅 15km。

大同盆地地势较高,为省内各盆地海拔最高的一个。地形总趋势是西南高、北东低,边山高、中间低,盆地四周山前均有大大小小的洪积扇裙构成山前倾斜平原,而盆地中部

为河流冲积形成的平原区。

二、气象及水文

1. 气象

大同盆地属半干旱大陆性气候,干燥、少雨、多风沙。冬季受蒙古高压控制,气候寒冷干燥;夏季受海洋气团影响,气候温暖湿润,因此降水多集中于夏季。现将盆地内 9 个气象台站 1954~2000 年的降水和蒸发特征综合分析如下:

(1) 降水量

全区多年平均降水量为 377.0~419.4mm,区域分布规律是边山区多于盆地中心,详见表 1-1。降水量年内分配及年际间存在较大差异。年内变化规律是夏季 6~9 月降水量最大,其平均降水量为 281.2~320.0mm,占全年降水量的 73.6%~78.8%,冬季 12~2 月因受干冷气候的控制降水量最少,只有 5.9~12.1mm,仅占全年降水量的 1.5%~3.1%,本区春季 3~5 月降水量为 53.5~66.1mm,占全年降水量的 13.4%~16.3%,秋季 10~11 月降水量为 25.8~31.7mm,占全年降水量的 6.4%~7.9%,详见表 1-1。

表 1-1 大同盆地各县、市四季及多年平均降水量

季节	月份	降水量、比例	大同市	天镇	阳高	大同县	怀仁	应县	浑源	朔州	山阴
春	3~5	降水量/mm	58.2	54.3	59.2	60.8	53.5	59.8	63.0	60.4	66.1
		占全年比例/%	14.8	13.4	14.1	15.7	14.5	15.7	15.0	14.5	16.3
夏	6~9	降水量/mm	298.2	319.6	320.0	284.3	285.7	281.2	314.0	318.1	300.1
		占全年比例/%	75.7	78.8	76.4	73.6	75.8	73.9	74.9	76.4	74.2
秋	10~11	降水量/mm	28.9	25.8	28.1	29.3	29.8	30.0	31.7	30.6	29.2
		占全年比例/%	7.3	6.4	6.7	7.6	7.9	7.9	7.6	7.4	7.4
冬	12~2	降水量/mm	8.5	5.9	11.4	12.1	8.0	9.7	10.7	7.2	8.4
		占全年比例/%	2.2	1.5	2.7	3.1	2.1	2.5	2.6	1.7	2.1
多年平均降水量/mm			393.8	405.6	418.7	386.5	377.0	380.7	419.4	416.3	404.5

从各季降水量的分配来看,夏季最多,春季次之,冬季最少,但春季蒸发量最大。

降水量的年际变化具有周期性和随机性,但年际变幅大是本区降水量的又一特点,年降水量最大为 723.4mm,最小为 203mm,相差达 3.56 倍。年际变化还可用降水率来说明,变率大表明年降水大小悬殊,其稳定性差,而变率小表明稳定性好。本区年降水量平均绝对变化度都在 350mm 以上,大同县最大达 520.2mm,大同市最小为 360.7mm。年降水量相对变化率都在 59.4%~71.9%之间,说明多年降水量的稳定性较差,详见表 1-2。

表 1-2 大同盆地各县、市平均降水量绝对变化度和相对变化率

项目	大同市	天镇	阳高	大同县	怀仁	应县	浑源	朔州	山阴
绝对变化度/mm	360.7	438.4	415.7	520.2	391	450	480.4	456.7	486.8
相对变化率/%	59.4	66.4	64.6	71.9	65.2	68.9	67.0	69.0	67.8

(2) 蒸发量

本区多年平均蒸发量为 1882.8mm,由于研究区范围较大,各地有差异。怀仁县最大达 2045.6mm,浑源县最小为 1678.2mm,见表 1-3。多年平均蒸发量为降水量的 4.7 倍,怀仁县最大达 5.4 倍,浑源县最小为 4.0 倍,特别是冬春两季,蒸发量为降水量的 9.7~21.4 倍,故冬春两季较干旱,尤其是春旱为本区气候的一大特点。

表 1-3 大同盆地各县、市平均蒸发量与降水量之比

项目 县市	多年平均蒸发量/mm	平均蒸发量/降水量				
		春(3~5月)	夏(6~9月)	秋(10~11月)	冬(12~2月)	全年
大同市	1978.5	12.6	3.1	7.0	15.4	5.0
天 镇	1797.3	12.3	2.6	7.2	21.4	4.4
阳 高	1887.6	12.1	2.6	7.2	2.2	4.5
大同县	1746.7	10.4	2.9	6.1	8.8	4.5
怀 仁	2045.6	14.1	3.3	6.9	17.0	5.4
应 县	1818.6	10.8	3.0	6.0	12.5	4.8
浑 源	1678.2	9.7	2.6	5.0	9.8	4.0
山 阴	2017.7	11.0	3.2	6.9	17.2	5.0
朔 州	1975.1	12.3	2.7	6.8	20.9	4.7
全盆地	1882.8	11.6	2.9	6.6	14.2	4.7

(3) 其他

大同盆地多年平均气温 6.5~7.5℃,各地稍有差异,历年最高气温 38.3℃,最低气温 -37.3℃,无霜期 120~140d,最大冻结深度 1.0~1.8m,平均风速 3.0m/s,最大风速可达 14~16m/s。

2. 水文

盆地内河流均属海河水系,主要河流有桑干河、南洋河,以桑干河为最大,其支流有恢河、黄水河、十里河、御河、浑河。除桑干河上游有神头泉、浑河有神溪泉补给外,其余支流基本上无清水。桑干河发源于宁武管涔山之天池,由阳方口入盆地流经朔城区、山阴、应县、怀仁、大同至阳高出省境,入河北,注入永定河,干流长 252.4km,多年平均径流量 7.92 亿 m³。南洋河长 125km,多年平均径流量为 0.94 亿 m³。

桑干河是盆地内地下水的排泄通道之一,但由于其携带的泥沙量大,河道变浅,坡度变缓,致使两岸的地下水排泄不畅。其径流量年内分配极不均匀,表现为典型的夏雨型特征,洪水暴涨暴落,最大洪峰流量多出现在 7~8 月,最小流量一般在 5~6 月,径流量的年际变化也十分显著。

另外,盆地内平原区的东榆林、镇子梁和册田三大水库,由于其库容较大,库区汇水面积广,库水位长期高于地下水位,致使水库周围的大片农田产生次生盐碱化,并对平原区本来已经埋深较小的地下水产生较大的补给。

第二节 主要环境地质问题

大同盆地不仅是山西能源重化工基地的重要组成部分,而且是全国著名的煤炭和电力生产基地,如大同矿务局,平朔露天矿,神头一、二电厂,大同一、二电厂等。但同时又是水资源严重短缺的地区之一。特别是改革开放以来,随着该地区煤炭和其他矿产资源的大规模、高强度开采,以及近年来一些大型建设工程项目的建成投产,一方面导致了一系列环境地质灾害的发生和发展,如地面塌陷、地面裂缝、地下水疏干、水质污染等;另一方面更加剧了水资源的供需矛盾。分析总结大同盆地区存在的主要环境地质问题,并选择重点加以研究,对防治生态环境恶化,促进该地区国民经济健康、稳定地发展具有深远意义。

大同盆地区的主要环境地质问题按地域分布可分为丘陵区环境地质问题和盆地区环境地质问题两大类。

一、丘陵区主要环境地质问题

丘陵区主要分布于盆地西侧山区,由于大量的煤矿开采,形成了诸如地面塌陷、地面裂缝、地下水疏干、水质污染、煤层自燃、瓦斯爆炸等一系列的环境地质问题,因此这些问题绝大多数是由人类活动造成的,现将各类问题的特征简要分析如下:

1. 地面塌陷

地面塌陷主要发生在大同矿务局国统大煤矿的采空区,由于国统矿采掘煤层层数多,面积广,因此采煤引起的地面塌陷时有发生。另外,当大面积的采空区发生地面塌陷时,还会引发塌陷地震,因此地面塌陷不仅会造成土地破坏,而且还会造成人员的伤亡和建筑物的毁坏。例如,1991年4月27日,大同矿务局晋华宫矿发生地面塌陷,塌陷面积达 0.7km^2 ,诱发了3.9级塌陷地震,并使青磁窑矿井下垮帮冒落,造成8名矿工身亡。再如,1994年8月24日,大同县黄土坡煤矿发生地面塌陷,一次就死亡20人,这次塌陷使该矿的调度楼、机修厂、锅炉房、仓库和部分职工宿舍全部倒塌。

2. 地面裂缝

地面裂缝在大同一平朔矿区分布十分广泛,皆因采矿引起,因此只要有采煤的地方,均分布有地面裂缝。裂缝的长度一般在 $100\sim 300\text{m}$,最长可达 $800\sim 1000\text{m}$,宽度一般在 $0.3\sim 0.5\text{m}$,最宽可达 2m 多,深度一般在 $10\sim 15\text{m}$,有的可达到 $40\sim 50\text{m}$ 。在国统煤矿和地方较大煤矿回采区地面裂缝分布密集,形成裂缝带,裂缝带在平面上以直线形展布为主,弧形、纵横交错型为辅,垂向上阶梯状落差大者约 2m ,一般为 $0.3\sim 0.5\text{m}$ 。地面裂缝的危害主要是毁坏土地,破坏房屋。

3. 地下水疏干

矿山企业在开采过程中,必然要大量抽排矿坑水,以便维持正常的安全生产,而大量

抽排地下水的结果不仅疏干了煤系地层中的地下水,而且也疏干了上覆岩层中的地下水,在采煤范围内形成规模较大的水位下降漏斗,并且导致地下水资源枯竭,泉、水井断流干枯,从而加剧了水资源的供需矛盾。例如,平朔露天煤矿采区,由于开挖深度达 150~180m,造成露天采坑周边约 8km^2 范围内地下水被疏干、水井干枯。再如,大同矿区矿井排水总量全年约为 2277.1万 m^3 ,占大同市地下水允许开采量 1.17亿 m^3 的 19%,这对于水资源严重紧缺的大同地区无疑是一个严峻的问题。

4. 水质污染

矿山开采中大量排放矿坑水不仅疏干了地下水,而且由于抽出的矿坑水就地排放,一方面造成了矿区浅层地下水的污染;另一方面排出的水沿地表水系在出山口处均补给了盆地孔隙水,又造成了盆地地下水的污染。另外,煤矿开采中产生的大量煤矸石也都是就地堆放,据统计,大同矿区煤矸石堆放面积超过 1万 m^2 的就有 15 处,煤矸石总占地面积达 188万 m^2 ,如此大量的煤矸石在长期的淋滤中,必将严重地污染地下水。

5. 煤层自燃

煤层自燃主要分布于大同矿区,由于该矿区煤炭含硫量高,开采历史悠久,而且开采量大,尤其是 20 世纪 80 年代以来,地方小煤矿的大批兴建,随处可见废弃的巷道,这些废弃的巷道大多数没有采取相应的密闭措施,有的虽然采取了,但由于地表塌陷、裂缝严重,根本无法密闭,使巷道和弃采区内的浮煤长期与空气中的氧接触,为煤层自燃创造了条件。大同矿区从 1960~1998 年共发生煤层自燃 161 处,其中 159 处是由于已采巷道的浮煤自燃引起的,仅两处是人为引起的,到目前为止,大同火区有进一步加重的趋势。煤层自燃不仅造成了煤炭资源的浪费,而且严重影响矿区的生态环境和正常的生活秩序,同时还诱发了多起有毒有害气体中毒的事件,据统计从 1982 年至今,共造成 80 多人中毒,其中 52 人死亡。

二、盆地区主要环境地质问题

盆地区是大同市和朔州市两市的主要工农业生产基地,而且人口密度大,人类工程活动强烈,由于盆地形成的特殊地理环境和人为影响等因素,因此导致出现了一系列的环境地质问题,如地下水位持续下降、地下水污染、地方病、土壤盐碱化、地面沉降、地裂缝等,下面将简述这些主要的环境地质问题。

1. 地下水位持续下降

地下水是大同盆地区工农业生产的主要供水水源,是居民生活饮用水的惟一来源,解放后,特别是改革开放以来,随着国民经济的快速发展,对水资源的需求也在快速增长,造成了对地下水资源的开采在逐年增加,而且在局部地区采用过量超采的方法来维持经济的不断高速增长。据统计,大同盆地地下水的天然资源为 $4.967\text{亿 m}^3/\text{a}$,地下水的开采资源为 $4.358\text{亿 m}^3/\text{a}$,而 1995 年统计的地下水实际开采量已达 $4.624\text{亿 m}^3/\text{a}$,开采指数为 1.06。可见,整个盆地的地下水处于超采状态。地下水长期超采的结果,必然导致地

下水位的持续下降,并形成大面积的水位降落漏斗,目前盆地内的大同市区、怀仁鹅毛口洪积扇、山阴县岱岳镇、朔城区周围等地已形成了几个大的区域性水位下降漏斗。

据大同市地下水长期监测资料可知,由于集中过量开采地下水,市区内几个较大的水源地已经形成了降落漏斗,如浅中层地下水在 1981 年前已经在城西水源地首先形成了柴油机厂和机车厂漏斗;1984 年在城北水源地形成了御河铁路大桥漏斗;1988 年又形成了古店—白马城漏斗和城南(智家堡)漏斗,而柴油机厂和机车厂漏斗 1990 年已合并成为一个以柴油机厂为中心的大漏斗。进入 20 世纪 90 年代以后,各降落漏斗的发展速度更趋严重。表 1-4 是大同市区地下水各降落漏斗(1991~1999 年)的变化特征统计表。

表 1-4 大同市区地下水各降落漏斗(1991~1999 年)的变化特征统计

年份	城西漏斗				城南漏斗				城北御河铁路桥漏斗				城北古店—白马城漏斗			
	面积 /km ²	闭合 等值 线高 程/m	中心 水位 埋深 /m	边界 中心 水位 差/m	面积 /km ²	闭合 等值 线高 程/m	中心 水位 埋深 /m	边界 中心 水位 差/m	面积 /km ²	闭合 等值 线高 程/m	中心 水位 埋深 /m	边界 中心 水位 差/m	面积 /km ²	闭合 等值 线高 程/m	中心 水位 埋深 /m	边界 中心 水位 差/m
1991	30.2	1018	48.1	12.1	10.0	1008	13.6	4.0	16.8	1024	45.4	25.0	3.2	1046	33.1	8.1
1992	31.9	1018	51.2	14.5	15.5	1008	14.4	4.8	19.3	1024	49.7	29.3	3.5	1046	33.7	8.7
1993	37.3	1018	55.1	18.4	19.5	1008	15.8	6.2	19.9	1024	51.5	31.1	4.1	1046	36.7	11.7
1994	39.0	1018	59.3	22.6	19.9	1008	17.7	8.1	21.3	1024	52.8	32.4	4.9	1044	40.4	13.4
1995	42.0	1018	62.1	26.0	24.8	1008	18.7	9.1	22.1	1024	50.0	29.5	4.7	1044	42.1	15.1
1996	37.0	1018	66.1	29.4	26.0	1010	20.3	12.7	20.3	1024	54.3	27.3	5.9	1046	43.0	18.0
1997	37.0	1018	69.6	32.9	26.3	1010	21.4	13.8	20.9	1024	54.3	27.3	6.1	1044	41.7	14.7
1998	34.6	1018	1.2	34.5	25.7	1010	21.4	13.8	21.9	1024	59.3	32.3	4.9	1042	47.5	18.5
1999	35.2	1018	73.3	36.6	25.5	1010	21.7	14.1	22.7	1024	68.0	41.0	5.8	1040	52.8	21.7

由表 1-4 可见,4 个降落漏斗的面积在逐年扩大而漏斗中心水位埋深在逐年加大。

2. 地下水污染

盆地地区既是大同、朔州地区的主要农业区,又是工业城市和村镇集中的人口稠密区,水资源的供需矛盾本来就十分突出,但自 20 世纪 80 年代以来,煤炭开采规模不断扩大,乡镇企业的大量掘起,城市人口的大幅度上升,农业上大量农药及化肥的使用,致使盆地内的孔隙水已不同程度地受到污染,特别是近十年来地下水遭到污染的程度和污染的面积在逐年增大,致使该地区的水资源供需矛盾形势更加严重。

表 1-5、表 1-6 和表 1-7 是大同市(城市)平原区 1990 年、1995 年和 1998 年的地下水水质污染情况统计表。

表 1-5 大同市(城市)平原区 1990 年地下水水质污染情况统计

项 目	pH	氯化物	硫酸盐	总硬度	矿化度	氨氮	硝酸盐氮	亚硝酸盐氮	氰化物	砷化物
总检井数/个	78	78	78	78	78	70	75	71	74	74
检出井数/个	78	78	78	78	78	7	75	17	11	50
检出率/%	100	100	100	100	100	10	100	23.3	14.9	67.6