

# 干旱区地下水系统

贺兰山西侧地下水系统研究

苑莲菊 武胜忠 著

地质出版社



p641.624

1

275931

# 干旱区地下水系统

——贺兰山西侧地下水系统研究

苑莲菊 ~~武胜忠~~ 著

地质出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书是作者对于干旱区地下水资源研究的总结。书中以系统科学理论为指导,以贺兰山西侧为典型区,详细研究了干旱区地下水系统的形成,地下水贮存、循环、水化学和同位素特征,探讨了干旱区地下水资源评价方法,对开发利用中出现的问题进行了论述。本书是研究我国干旱区地下水系统的形成、资源计算与评价,以及合理开发利用的一本综合性研究专著,在理论和实践两方面都有广泛的实用价值,为从事干旱区水资源研究、开发及管理的人员,以及经济规划、环境保护人员提供了一本有价值的参考书,本书也可供大专院校师生和研究人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

干旱区地下水系统;贺兰山西侧地下水系统研究/宛莲菊,武胜忠著. —北京:地质出版社, 1996. 4

ISBN 7-116-02132-9

I. 干… II. ①宛… ②武… III. 干旱区-地下水-研究-中国-宁夏 W. P641.624.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 05775 号

### 地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:屠涌泉 邱培

北京康利印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张:11.25 字数:270千字

1996年4月北京第一版·1996年4月北京第一次印刷

印数:1—250册 定价:8.80元

ISBN 7-116-02132-9

P·1600

## 序

太原工业大学水文地质教研室主任武胜忠教授与该校水文地质学科学带头人苑莲菊副教授的专著:《干旱区地下水系统——贺兰山西侧地下水系统研究》,是我国干旱区域水文地质学科范畴的一部新的科学著作,具有显著的学术理论与实际应用意义。此书的问世,将会对我国干旱区地下水资源开发与地下水环境保护事业的发展起到很好的促进作用。

党中央和国务院决定把我国中西部地区经济搞上去,缩小东西部地区之间经济发展的差距,这是实现全国现代化的必然要求。在我国西部,干旱区占有很大比重。干旱区的水资源贫乏成为制约国民经济发展的的重要因素。要把我国中西部地区的经济搞上去,必然涉及水资源系统的合理开发利用与保护问题。本书正是以贺兰山西侧的地下水系统研究为例,论述与干旱区地下水系统的资源评价、开发、管理、保护等有关的专门水文地质问题,因而更显其重要价值。

我国自1978年实行开放政策以来,国内外学术交流日益频繁。由于系统科学,环境科学,现代应用数学与计算机技术等新观念、新理论、新技术的引入,使水文地质科学从概念到研究内容与研究方法均发生了巨大变革,大大推进了我国水文地质科学由定性到定量研究的迅速发展,并纳入了系统工程轨道,与现代科学成就更紧密地结合起来,而步入现代水文地质学的发展阶段。在这一发展变革历史过程中,我国水文地质学者做了大量工作,取得不少成果,其中包括由著名水文地质学家陈梦熊院士积极倡导的地下水系统研究,对发展我国的现代水文地质科学做出了突出贡献。地下水系统研究也受到国际水文地质学界的高度重视,在由国际水文地质学家协会(IAH)主办及与其他国际学术组织联合举办的多届国际水文地质学术会议上,地下水系统研究的理论与实践都成为主要议题。

本书是一部综合性、系统性很强的论著,探讨了干旱区地下水系统划分、水均衡研究、地下水资源合理开发利用与管理及水环境保护等国民经济规划与建设部门所关注的一系列问题。作者运用系统科学的理论与方法于干旱区地下水研究,丰富和拓宽了我国的地下水系统研究领域,突出体现在:1)应用系统论与系统分析方法研究了干旱区地下水系统的形成和特征(如边界、贮存、循环、水化学与同位素特征等),地下水系统的输入、贮存和输出功能,为建立数学模型提供了可靠依据;2)在详细论述大气降水、地表水、地下水(含包气带水)特征的基础上查明“三水”转化机理及其数量关系,建立了山前地下水系统的水量均衡模型,并进行水资源评价;3)针对地下水资源开发利用过程中出现的具体问题进行分析论述,并提出了解决问题的途径。可以认为,这一专著达到了国内领先水平。

本书作者苑莲菊和武胜忠两位同志长期从事水文地质教学与研究,硕果累累,不但培养了大批水文地质专业人才,工作在水利、地质、城建、环保等部门,而且完成了不少有重要学术与实际应用价值的科研成果。他们既是我的学生,又是我的科研伙伴,本书就是我们合作科研项目的结晶。我对作者的坚实理论基础与学术造诣甚为了解,故特郑重为此书作

序,并期望此书能为我国干旱区水文地质学科的建立及干旱区水资源、水环境研究工作的进展做出一定的贡献。

王秉忱

(研究员、国务院参事、建设部科学技术委员会委员、建设部综合  
勘察研究设计院水文地质总工程师、建设部建设环境工程技术  
中心副主任、中国地质学会城市地质研究会副会长、中国建筑学  
会工程勘察学术委员会常务副主任委员、中国矿业协会地热开发  
管理专业委员会总顾问、太原工业大学兼职教授、青岛海洋大学  
与西安地质学院兼职教授及博士生导师)

一九九六年二月

## 前 言

水是生命的源泉,是人类生活和生产不可缺少的基本物质,是地球上不可替代的重要自然资源。随着社会的进步、人口的增长、生产的发展和水平的提高,人类对水的需求愈来愈多。尽管水是循环的可恢复的资源,但能供人类使用的水资源总是有限的。近年来,不少国家和地区的水资源供求矛盾愈来愈大,水资源问题已被看成当代世界重大问题之一。许多有识之士预测,水荒将是人类未来最大的危机,如果不很好地解决这一问题,水危机很可能会比粮食危机或石油危机更早到来。

我国年平均水资源总量为  $28124 \times 10^8 \text{m}^3$ 。其中,地表水年平均资源量为  $27115 \times 10^8 \text{m}^3$ ,地下水年平均资源量为  $8287 \times 10^8 \text{m}^3$ ,二者重复计算量为  $7278 \times 10^8 \text{m}^3$ 。从绝对数来看,我国水资源总量不算少,但按人口和耕地平均,都低于世界平均水平,是世界上 28 个缺水或严重缺水国家之一。我国人均水资源量只有  $2710 \text{m}^3$ ,约占世界人均水资源量的四分之一,名列第 88 位;亩<sup>①</sup>均水资源量为  $1770 \text{m}^3$ ,约为世界亩均水资源量的四分之三。我国水资源的时空分布都很不均匀,水资源与人口、土地、矿产资源分布很不相应,水资源与经济发展水平不协调,各地水资源供需不平衡。我国水资源的年际和季节变化很大,水旱灾害频繁。我国水资源的污染状况日趋严重,所以水资源合理开发利用和保护应是我国基本国策之一。

我国有 47.5% 的国土处于干旱、半干旱带。其中,干旱带占国土面积的 26.6%,主要分布在我国西北部,包括:内蒙古、宁夏、甘肃北部、青海柴达木盆地、新疆塔里木盆地和准噶尔盆地及藏北高原。这些地区年降水量不足 200mm,不少地区不足 50mm;多年平均径流深少于 10mm,不少地区基本不产流;年蒸发量大于 1200mm,其中阿拉善高原向西到新疆东北的淖毛湖一带,年蒸发量高达 2400mm;干旱指数大于 7,有的高达 30。可见,干旱区人类的生存与发展都依赖于地下水资源。西北干旱区矿产资源丰富,土地广阔,但经济落后,人民生活贫困,是我国 21 世纪重点发展地区。地下水资源将成为制约该地区经济发展和人民生活水平提高的重要因素。

内蒙古阿拉善左旗贺兰山西侧是我国典型的干旱区。该区矿产资源、土地资源、农牧业资源非常丰富。但由于地表水资源严重贫乏,区内植被稀疏,沙丘漫布,草原荒芜,粮食亩产不足 30kg,人均收入不足百元。从 70 年代开始,大规模开发利用地下水资源,农牧业、地方工业和城市建设迅速发展,人均收入达千元,古老的阿拉善焕发出青春,成为我国西北干旱区一颗明珠。近 20 年来,地下水开发出现许多问题,地下水位持续下降,水量减少,水井干枯、水质盐化,严重威胁着刚刚发展起来的农牧业和地方工业。可见,地下水资源的全面系统研究应是该区经济继续发展和人民生活水平不断提高的关键。通过对这一典型干旱区地下

① 亩 =  $666.6 \text{m}^2$ 。

水系统形成环境、地下水系统特征、地下水资源评价、地下水开发中出现问题的综合研究,将  
为我国广大干旱区地下水资源合理开发利用和保护提供科学依据。

此项研究工作是在王秉忱教授关心和指导下完成的。参加研究工作的还有郑秀清、孙雄  
和刘善印同志。研究工作中得到了建设部综合勘察研究院、北京大学地理系、宁夏地质矿产  
局环境地质总站、阿拉善左旗政府密切配合和大力支持。研究工作中广泛应用了地质、城建、  
水利部门和解放军的资料,在此一并表示衷心感谢!

研究专著由苑莲菊和武胜忠完成。第一章第一节及第三、四、五、六章由苑莲菊执笔;前  
言、绪论及第二章第二、三、四、五节由武胜忠执笔,最后由武胜忠统编定稿。

目前,国内关于干旱地区地下水资源研究的专著尚少,我们向读者奉献此书,旨在引起  
同行注意,加强干旱地区地下水资源研究,为二十一世纪该区经济腾飞做出贡献。书中存在  
不当和错误,敬请指正。

著者

1995.12

# 目 录

绪 论	( 1 )
第一章 地下水系统环境特征	( 6 )
第一节 自然地理	( 6 )
第二节 地层、岩性	(15)
第三节 地质构造	(21)
第四节 地貌	(29)
第五节 第四纪地质发展史	(32)
第六节 人类活动	(37)
第二章 区域地下水系统	(40)
第一节 地下水系统划分依据	(40)
第二节 研究区地下水系统	(40)
第三节 周围区地下水系统	(42)
第三章 贺兰山区基岩地下水系统	(46)
第一节 可溶岩岩溶裂隙水亚系统	(46)
第二节 碎屑岩裂隙水亚系统	(53)
第三节 变质岩(含岩浆岩)孔隙裂隙水亚系统	(56)
第四章 贺兰山山前平原地下水系统	(58)
第一节 查哈尔第四纪盆地孔隙水亚系统	(58)
第二节 腰坝第四纪盆地孔隙水亚系统	(73)
第三节 淖尔套台地裂隙孔隙水亚系统	(84)
第四节 山前台地地下水亚系统	(98)
第五章 山前平原地下水系统水均衡研究	(105)
第一节 水文系统中水量均衡计算	(105)
第二节 山前平原地下水系统水均衡模型的建立	(117)
第三节 输入项计算	(119)
第四节 输出项计算	(132)
第五节 贮存量的变化量计算	(138)
第六节 山前地下水系统水资源量评价	(150)
第六章 专门水文地质问题研究	(153)
第一节 查哈尔第四纪盆地孔隙水亚系统地下水资源评价	(153)
第二节 腰坝第四纪盆地孔隙水亚系统地下水资源评价	(159)
第三节 硝酸根离子分布规律及成因	(166)
第四节 地下水中氟离子分布规律及成因	(168)
主要参考文献	(172)



# 绪 论

## 一、水文地质学研究现状

水文地质学是应用地质学的一个重要分支,是地质学与水文学相结合而形成的一门新的边缘科学,并已发展成一门系统的独立学科。本世纪六十年代以后,国际上开始认识到系统科学的先进性和横断性,逐渐被自然科学和社会科学应用,发生了革命性变化。水文地质学紧跟现代科学新思潮,于70年代,应用了系统科学的理论,引进了现代技术和方法,从而使传统水文地质学发生了深刻变化,呈现出崭新的面貌,走向了现代水文地质学。我国著名水文地质学家陈梦熊院士对现代水文地质学的特征作了如下精辟的概括。

1. 与现代科学的新理论新学科的紧密结合(如系统论、信息论、控制论与相应的系统科学、环境科学、信息科学等),对水文地质学的发展产生了重大影响。近年来,正在发展的开放复杂巨系统理论、非线性动力系统理论,以及耗散结构理论等,都会对今后水文地质学的发展发生深远影响。

2. 现代应用数学与水文地质学的结合,特别是数值模拟方法得到普遍应用,模型研究成为水资源研究的主要内容,使水文地质学从定性研究发展到定量研究的新阶段。

3. 地下水的研究,对从地下水系统与自然环境系统相互关系的研究,扩大到与社会经济系统的研究。地下水资源的研究,也从数学模型发展到管理模型与经济模型的研究。

4. 许多新的分支学科的产生与发展,如区域水文地质学、岩溶水文地质学、遥感水文地质学、环境水文地质学、医学环境地球化学、污染水文地质学及数学水文地质学、水资源水文地质学等。

5. 新技术、新方法的应用,除计算机技术外,如遥感技术、同位素技术、自动监测技术、室内模拟技术,以及高精度水质分析技术等,都得到了普遍应用,推动了水文地质学的发展。

当今,科学发展出现了两种倾向,其一是综合;其二是分支。前者主要取决于研究人员的思维水平,后者主要取决于科学技术水平,综合研究是分支研究的基础。水文地质学的发展也是如此,从现在的研究成果看,水文地质学分支学科的研究发展很快,研究程度很深,而综合研究(即水文地质学基础理论研究)发展很缓慢,满足不了各分支学科研究的要求。分支学科研究出现的基础不扎实的现象,使其研究成果(即或其水平很高)难以指导地下水资源的开发、利用与保护。如此继续下去,水文地质学很难继续发展。

## 二、关于地下水系统的概念

本世纪70年代,一些国家的水文地质学家提出了一些新概念。如美国提出“区域含水层系统”的术语;原苏联提出“水文地质系统”的概念;日本提出“地下水盆地”的概念;中国学者

在研究基岩地区地下水中,提出了“构造控水”的理论,如新构造控水理论(肖楠森)、地下水网络理论(胡海涛)、储水构造理论(刘光亚)及蓄水构造理论(廖资生)等。国内外许多水文地质学家提出的新概念、新理论,与传统水文地质学相比,都有所突破,推动了水文地质学发展。

80年代,国际水文地质界又提出了“地下水系统”的概念,以系统科学的观点和方法,将水文地质学研究的地下水圈看作是一个处于等级从属关系的许多单元组成的复杂的动力系统,并看作是在时间和空间分布上具四维性质的能量不断新陈代谢的有机体。

目前,一些涉及“地下水系统”的有关名词或术语比较混乱,各位学者都有自己的理解。至今,“地下水系统”尚未形成一个完整的、统一的概念。原苏联H·B·鲍柯夫斯卡娅(1984)在“水文地质学概念的现状和预测问题”一文中指出:任何复杂系统可归纳为三个方面:(1)系统的组成;(2)系统的结构,它表征系统与周围介质的相互作用和系统内各要素的相互联系;(3)系统的作用、性质和发育历史。法国G·卡斯塔尼(1984)认为:每一个地下水系统都具有一定的时空特征及水动力系统,普遍具有固定的形式和一定的水资源类型,对地下水系统进行定量描述,主要包括六个基本内容:(1)非均质含水介质的空间分布特征;(2)补给量与排泄量随时间的变化;(3)包气带与矿物溶解物质的运移和变化;(4)温度场的变化;(5)合理开发与管理地下水资源的经济指标;(6)建立水文地质概念模型,为进一步建立数学模型奠定基础。美国拉尔夫·C·海斯(1967)认为:“地下水系统”这一术语,指的是从潜水面到岩石裂隙带底面的这一部分地壳,是地下水赋存和运动的场所,由含水层(作为地下水运动的通道)和围闭层(阻碍地下水运动)所组成。美国道奇认为:地下水系统的定义是“任何真实的或抽象的结构、装置、方案或过程,在一定时间内所反映的物质、能量、信息的输入和输出及演变关系。美国R·C·希恩(1982)认为,地下水系统具五个特征:(1)系统的组成要素,包括含水层、弱含水层、隔水层及其组合关系;(2)主要含水层含水空隙的性质,包括原生的与次生的;(3)主要含水层的岩性,包括可溶的与不可溶的;(4)主要含水层的贮水性及导水性;(5)主要含水层的补排条件。荷兰G·B·英格伦认为:“地下水系统”可以看作在时间和空间上具有四维性质、能量不断新陈代谢的有机整体,它的主要特征表现为:(1)边界类型的模式;(2)容积;(3)结构;(4)阻力或势能转换能力;(5)流出系统;(6)相邻系统之间的联系;(7)水质类型和模型;(8)地下水系统的发展“历史”。

我国著名水文地质学家陈梦熊院士早在1981年就向国内介绍了国外关于“地下水系统”研究动向,并参加了国际地下水委员会地下水系统的专题研究工作组。他在“地下水系统的基本概念与研究方法”一文中,全面地介绍了国外各种不同观点。在综合分析各家观点的基础上,结合自己多年研究实践,对地下水系统基本概念、研究的主要内容和研究方法提出了自己的观点与看法。他认为:地下水系统是一个错综复杂的,受各种天然因素、人为因素控制的,具有不同等级、既互有联系又互相影响的,在时空分布上具有四维性质和各自特征的、不断运动演化的若干独立单元的统一体。关于地下水系统的基本概念,他归纳为:(1)地下水系统是由若干具有一定独立性、而又互有联系、互相影响的不同等级的亚系统或次亚系统所组成的;(2)地下水系统与降水、地表水系统存在密切联系,互相转化;地下水系的演变,很大程度上受输入与输出系统的控制;(3)每个地下水系都具有各自的特征与演变规律,包括各自的含水层系统、水文系统(补排系统)、水动力系统、水化学系统等;(4)含水层系统与地下水系统代表两种不同的概念,前者具有固定边界,而后者的边界是自由可变的;(5)地下水系

统的时空分布与演变规律,既受天然条件的控制,又受社会环境,特别是人类活动的影响而发生变化;(6)地下水系统研究包括三个步骤,即系统分析、系统的模型化与系统的最优化。

中国科学院地质研究所张寿全(1985,1989)提出了“水文地质结构系统”的概念。他认为水文地质结构系统控制地下水系统,地下水系统反过来又可改造水文地质结构系统,两者构成水文地质系统。通过水文地质结构系统研究建立水文地质结构系统模型,达到既从本质上反映控水机制,又能表明地下水系统的四维特征,为水文地质量化研究提供可靠的水文地质模型。

综上所述,国内外不同学者从不同角度对地下水系统作出了不尽相同的解释,赋予了不同的涵义与范畴。它们虽各有侧重或还存在分歧,但都推动了水文地质学的综合研究(即水文地质学基础理论研究)的发展,为现代水文地质学的完善、成熟做出了自己的贡献。如何统一认识,必须通过水文地质工作实践,不断总结提高。

### 三、干旱区地下水系统研究

在学习和应用国内外关于“地下水系统”研究成果的基础上,我们以贺兰山西侧干旱区为典型,进行了“干旱区地下水系统”研究。

#### (一) 基本观点

1. 地质体(地质构造单元或地貌单元)是地下水系统形成的基础,它控制和影响着地下水系统的边界、规模、结构与功能。

2. 地下水系统是由贮存地下水结构(水文地质结构)和其中地下水两部分组成,两者都是地质历史演变的产物。

3. 地下水系统,按其规模和特征可划分等级,如地下水系统、亚系统、次亚系统或子系统。地下水系统、亚系统、次亚系统都各自独立,自成体系,但又互相联系,互相影响,一般高级地下水系统控制和影响着低级地下水系统。

4. 地下水系统定量描述,主要包括:(1)边界系统;(2)贮存系统;(3)循环系统;(4)水化学系统;(5)动态系统;(6)地下水形成演变历史;(7)地下水系统与相邻地下水系统的关系。

5. 地下水系统与环境是相互作用、相互依存的。在天、地、生开放巨系统中,地下水系统的形成与发展变化是受巨系统控制的,与环境进行着物质、能量和信息的交换。

#### (二) 主要研究内容

干旱区地下水系统的研究,主要包括以下主要内容。

1. 地下水系统的分级:区域地下水系统,一般按地质构造单元、地貌单元或流域确定范围。每一个独立地下水系统,又可按贮水介质、结构、循环条件、水动力和水化学特征划分为若干亚系统。对研究区地下水系统进行分类与分级,必须首先全面掌握地下水系统的时空分布,地质、水文地质特征与演变规律。为了研究地下水系统的形成过程与演变历史,必须研究该区地质发展史、岩相古地理变迁,以及古水文地质情况。

2. 地下水边界系统研究:地下水系统是由边界围成的,边界决定于地质、水文地质条件,且受水文系统、水动力系统、水化学系统等因素控制。边界类型,可划分为相对稳定的和自由可变的两大类。由于边界具有可变性,因此相邻系统(包括亚系统)之间,可因互相干扰而使边界的范围或形状发生变异。天然或人为因素的变化是导致边界变异的主要因素,而人类的活动往往是导致边界异化的主要原因。

3. 地下水贮存系统的研究:贮存系统包括:控制地下水系统或亚系统的地质体、贮水的地层岩性、贮水的空隙及包气带。贮存系统直接控制和影响地下水水动力特征、水化学特征、水循环特征及岩层富水性等。

4. 地下水循环系统研究:地下水循环系统是自然水循环系统的一部分。对地下水循环系统,主要研究:补给来源和补给强度,排泄方式和排泄强度,地下水从补给到排泄形成的径流特征,地下水循环系统在天然和人为因素影响下的变化规律和特征。

5. 地下水水化学系统研究:每个地下水系统都各自的水化学特征与演变规律,形成相应的水化学系统。水化学系统是地下水系统划分、分类与分级的重要依据之一。对其研究内容:水化学特征、空间变化规律、水化学成分形成作用及影响水化学系统的因素等。

6. 地下水形成演变历史研究:干旱区降水量很小,蒸发量很大,地表基本不产流。各类地下水系统中地下水形成演变历史的研究,既是理论问题,也是地下水开发与保护实践的依据。其研究内容:地下水形成时期、年龄,地下水形成时主要补给来源,地下水形成时的古气候、古水文、古地理,地下水形成后的演变历史及其变化。

7. 水文系统研究:水文系统由三部分组成,即输入系统、区域地下水系统、输出系统。输入系统主要包括降水、外区流入或本区自产的地表水、外区流入的地下径流(包括淡水或咸水)等要素;区域地下水系统主要包括包气带、浅层水系统、中深层水系统;输出系统主要包括蒸发、天然或人工排出的地表水、天然或人工排出的地下水。三个系统的各个要素在纵向与横向之间相互转化,研究其转化关系,是建立区域性数学模型的重要基础。

8. 地下水系统水均衡研究:地下水系统是一个完整的动态平衡系统,在天然和人为因素影响下,在一定的均衡期内,通过对地下水系统内水输入和输出数量关系的研究,揭示地下水水量、水质的变化特征和规律,为地下水系统水资源评价和管理提供依据。地下水系统水均衡研究内容:(1)水量、水质均衡模型的建立;(2)输入量、输出量、地下水系统内贮存量的变化量计算;(3)地下水系统水资源计算与评价;(4)人工开采条件下出现的水文地质问题研究。

9. 地下水系统图研究:如何用图或图系全面、清晰地反映地下水系统基本结构、贮存系统、水循环系统、水化学系统等的主要特征与变化规律,这是地下水系统研究中的重要课题之一。鉴于地下水系统的基本概念,编图的基本原则应以控制地下水系统的地质体和地下水特征为基础,运用平面图和剖面图反映地下水系统三度空间中的时空变化,与相邻地下水系统关系,与环境系统的关系,使其成为建立水文地质模型的基础。地下水系统图应反映如下基本内容:(1)控制地下水系统的地质体特征;(2)地下水系统的边界及特征;(3)地下水系统的渗流场;(4)地下水系统的水化学场;(5)地下水系统的环境要素及特征;(6)地下水系统与相邻系统的关系。

### (三) 研究工作采用的方法

根据研究内容,为了获得有效的结果,研究工作应综合使用以下各种方法。

1. 资料收集与研究:全面系统地收集如下资料:(1)控制地下水系统形成的地质体,如地质构造、地貌、构造运动及地质演变历史;(2)贮水系统资料,如地层岩性、断层与节理、含水层与隔水层及其组合关系特征;(3)水动力学数据,如水动力学边界条件(水位或流量边界条件、压力水面)、水动力学参数(贮水系数、渗透系数、导水系数、压力传导系数、压力水头、水头、地下水流量、渗透速度);(4)水化学特征,如贮水岩层地球化学特征(可溶盐种类与含量、

离子交换粘土)、地下水水化学特征(各种组分含量、同位素组成);(5)水动力学参数和水化学参数在时间上变化的历史资料;(6)环境系统资料,如自然环境(水文、气候、植被、地形、地貌、地质)和人类活动(地下水开采工程、水利工程、林业工程、农业工程及采矿工程等)。

2. 常规地质-水文地质方法:地质-水文地质综合调查、野外试验(各类抽水试验、注水试验、灌溉试验);室内实验(各类模拟实验、溶滤实验等);岩土水样分析(化学成分、松散岩层颗粒级配、不同岩类含水特征等);地下水长期观测(水位、水量、水质、水温)。

3. 水文物探方法:测量第四纪盆地基岩埋深;地层岩性特征及水文地质性质;地质构造特征及水文地质性质;地下水水化学特征及空间变化规律;地下水系统富水性及各部位的差异。

4. 遥感图象解译:应用1:6万假彩色航片和1:50万、1:100万卫星照片进行遥感影像地质构造解译,结合野外调查和室内钻探资料分析和第四纪沉积岩相厚度研究,全面分析山前区线性影像构造特征和分布状况,沉积盆地和断陷盆地的范围、边界条件、第四系厚度;研究区内新构造运动的活动特征,地貌类型与特征,各类地质构造水文地质特征,地表水系特征及演变。

5. 同位素方法:在研究区内,从贺兰山西侧到西部沙漠边缘,垂直地貌单元布置四条剖面线,对不同类型地下水采样。通过对地下水中氢氧稳定同位素、氟和碳-14放射性同位素分析,研究各类地下水的起源、形成与分布,地下水年龄,地下水形成期的环境特征。

# 第一章 地下水系统环境特征

阿拉善左旗位于内蒙古西部,四周与巴彦淖尔盟、额济纳旗、阿拉善右旗及甘肃、宁夏以及蒙古人民共和国接壤。研究区为阿拉善左旗的一部分。东以贺兰山分水岭为界,西至腾格里沙漠东缘,南到三关口一线,北至查哈尔盆地北缘。地理坐标:东经 $105^{\circ}32'$ — $106^{\circ}00'$ ,北纬 $38^{\circ}20'$ — $39^{\circ}05'$ ,总面积为 $5587.93\text{km}^2$ 。

## 第一节 自然地理

### 一、地 形

贺兰山西侧山前倾斜平原为阿拉善高原一部分。总观全区地势,东高、西低。东部贺兰山为一南北走向的山脉,为长 $110\text{km}$ ,宽 $15\text{—}40\text{km}$ 的狭长山体。山区面积(分水岭以西)为 $961.6\text{km}^2$ 。山势陡峻、沟壑发育。海拔高度一般在 $1500\text{—}3000\text{m}$ 之间,主峰 $3554.3\text{m}$ 。山区中部地段地势较高,平均海拔高度在 $2100\text{—}3400\text{m}$ ,相对高差 $1600\text{—}1800\text{m}$ 。南北两端山势低缓,平均海拔高度在 $1500\text{—}2000\text{m}$ ,相对高差为 $200\text{—}600\text{m}$ 。

贺兰山西麓为山前平原。地形显著变低,海拔高度为 $1100\text{—}1550\text{m}$ ,相对高差变小。山前平原缓缓地向西倾斜。构造运动使平原略有起伏,地形坡降为 $2\text{‰}\text{—}7\text{‰}$ 。山前平原北段是第四系堆积形成的倾斜平原,向西为第三系组成的构造台地。山前平原南段,紧靠山前为白垩系和第三系组成的构造台地,沟谷切割,冲沟发育。台地以西为洪积倾斜平原,现代洪积扇发育。

山前平原西部为腾格里大沙漠,这里沙丘连绵,沙海浩瀚,其东缘为研究区西部边界。

### 二、气 候

研究区地处欧亚大陆腹地。因受蒙古高压影响,终年为西北风控制。加之西伯利亚冷空气的侵入,形成典型大陆性干寒气候。干旱少雨,冬寒夏热,昼暖夜凉,日照强烈等。以研究区内及附近的高山气象站、巴彦浩特气象站、吉兰太气象站、头道湖站及锡林高勒站的气象资料说明研究区内气候的变化特征。

#### (一) 日照

太阳是地面和大气中光、热能量的主要来源。研究区内空气干燥,云量少,日照时间长,大部地区日照时数在 $3000\text{h}$ 以上。

气象站的资料表明,日照时数随季节和地形变化。随着地势减低,日照时数增加。海拔为 $2901.1\text{m}$ 的高山站,年日照为 $2996.4\text{h}$ ,而海拔为 $1031.88\text{m}$ 的吉兰太站,年日照时数在 $3300\text{h}$ 。

各地日照时间也随季节变化,夏季(6—8月)日照时数最长,平均在800—900h;冬季(12月—翌年2月)昼短,日照时数为600—700h。该地区日照长,对农作物生长是十分有利的。

## (二) 气温

巴彦浩特气象站(1961—1989)年统计气温资料表明,研究区多年平均气温在7.65℃;最低气温在1月份,平均为-6—-8℃,最低可达零下28.5℃。

以各气象站的资料分析得知,气温除和地理纬度的太阳辐射有关外,和地形有密切关系。气温随着地形高度的增加而减少。据1981—1989年资料:贺兰山区平均气温在0℃左右;气温年差在25℃以下。山前倾斜平原区年平均气温均大于8℃,年温差在35℃左右。

## (三) 降水

降水是水资源的主要补给来源,也是影响气候的主要因素。本区的降雨主要是由于西南孟加拉湾或东南太平洋的暖湿气流北上,与蒙古冷空气相遇而成。但因远离海洋,并且有贺兰山阻隔,水汽来源稀少。因此,区域内降雨量少,时空分布集中。据区内五个气象站的降雨资料得出,平均年降雨量在200mm左右,属于干旱气候带。

### 1. 年降水的空间分布



图 1—1 区域降水分布图

1. 降水量等值线; 2. 气象站及高程; 3. 边界

根据区域气象站资料绘制出区域降水分布图(图 1—1)及不同降雨量的降雨日统计表 1—1。从图表的内容分析可见,区域内降水的总趋势是:由东、东南向西、西北方向递减。贺兰山区降雨量最大,多年平均在 400mm 以上;山前平原区降水量由 220mm 逐渐减小至 100mm 左右。此外,降水天数差别很大。贺兰山区平均降水天数每年 95d,降水量 >5mm 的有 23d,降水量 >10mm 的天数为 10d 左右;降水量 >25mm 的日数为 3d,每年平均有 0.5d 降水量 >50mm。而在山前平原区平均年降水天数为 44.5d,降水量大于 5mm 的降雨天数为 9.2d 左右;降水量大于 10mm 的降雨天数不足 4d;降水量大于 25mm 的降雨日平均为 0.6 天;大于 50mm 降水几乎没有。

表 1—1 降雨日数统计表

气象站名	多年平均 降水量(mm)	年均降水日数(d)					资料序列
		>0.1(mm) <sup>①</sup>	>5(mm)	>10(mm)	>25(mm)	>50(mm)	
高山站	426.60	95.0	23.0	11.0	3.0	0.5	1961—1989
巴彦浩特	213.26	58.0	13.3	6.4	0.76	0.16	1952—1989
头道湖	151.90	44.0	8.8	3.6	0.50	0.04	1962—1987
锡林高勒	133.90	40.0	8.0	3.6	0.67	0.04	1963—1971 1980—1988
吉兰太站	112.30	36.0	6.5	2.2	0.57	0	1955—1988
全区平均		55.0	11.9	5.3	1.10	0.15	

① 0.1mm 降水量为可测量最小降水量。

降水空间分布的特点,主要是受地形控制,根据研究区内的五个气象站资料(见表 1—2)绘制地形高程与降水量关系曲线(见图 1—2)。从图表中看出,随着地形的增高,降水量增

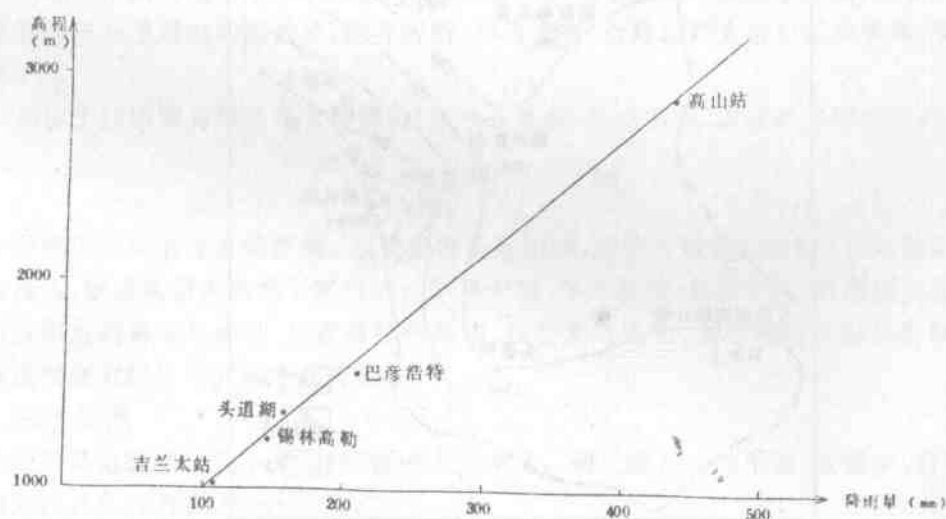


图 1—2 降水量与地形高程关系图



大。从图中可知,二者呈线性关系,研究区内降水量随地形高程的增率,每 100m 为 17mm。

表 1—2 地形与降水量关系表

站名	地面高程(m)	多年平均降水量(mm)
高山站	2901.1	426.6
巴彦站	1564.4	213.3
头道湖	1342.0	151.9
锡林站	1235.0	133.9
吉兰太	1031.8	112.3

## 2. 降水量的年际变化

降水量年际变化大是干旱地区又一个特点。据各气象站多年降水量资料,绘制降水量多年动态曲线(图 1—3)。从中可以看出,研究区内降水年际变化很大,且有连续丰水年和连续干旱年现象。一般在 60 年代末和 70 年代,除 1972 年外降雨量均较大;80 年代初期,各地降雨量普遍偏小。

在同一个地区的不同年份,降雨量相差悬殊。以高山站和巴彦站为例,应用经验频率法求得的不同保证率的典型年降雨量,见表 1—3、表 1—4。高山站频率为 20% 的丰水年降水

表 1—3 高山气象站降水量经验频率表

序号	年份	降水量 $X_i$ (mm)	频率 $p$ (%)	序号	年份	降水量 $X_i$ (mm)	频率 $p$ (%)
1	1975	627.3	3.3	16	1987	409.5	53.3
2	1967	602.0	6.7	17	1989	404.8	56.7
3	1971	582.9	10.0	18	1966	374.7	60.0
4	1977	580.9	13.3	19	1985	371.0	63.3
5	1964	546.9	16.7	20	1969	363.7	66.7
6	1970	514.6	20.0	21	1986	361.9	70.0
7	1979	487.1	23.3	22	1976	361.7	73.3
8	1968	484.5	26.7	23	1965	339.5	76.7
9	1983	475.1	30.0	24	1974	327.7	80.0
10	1988	472.4	33.3	25	1962	315.4	83.3
11	1978	468.2	36.7	26	1982	312.0	86.7
12	1973	467.8	40.0	27	1981	304.6	90.0
13	1984	464.1	43.3	28	1980	285.6	93.3
14	1961	456.3	46.7	29	1972	187.6	96.7
15	1987	420.2	50.0	$\frac{1}{n} \Sigma$		426.6mm	