

58.5813
5824

地震地下水动态及其影响因素分析

国家地震局地下水影响因素研究组 编著



地震出版社

地震地下水动态 及其影响因素分析

国家地震局地下水影响因素研究组 编著

地震出版社

1985

内 容 提 要

本书是国家地震局地下水干扰因素研究组的科研成果。本书结合地震预报实际,从大量观测资料出发,对水位、水氡的动态特征、分类、影响因素的种类和影响机理以及排除这些影响因素可能采用的方法、震兆信息的提取等,都做了较全面深入的研究。

本书可供水文地质、工程地质、环境保护、化工、地球物理、地球化学和地震科技人员参考。

地震地下水动态及其影响因素分析

国家地震局地下水影响
因素研究组 编 著

※

地震出版社 出版

北京复兴路63号

北京北方印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

※

787×1092 1/16 13印张 326千字

1985年9月第一版 1985年9月第一次印刷

印数 0001—2500

统一书号: 13180·296 定价: 2.90元

前 言

地下水是地壳中一种压缩性极小的，时刻处于变动之中的流体。在各种自然因素及人为因素的影响下，其水位、水量、水温、水质随时间作有规律的变化，这种变化便是地下水动态。研究地下水物理的和化学的参量在时间进程上的变化，其目的在于寻找敏感的映震因子，用以探索预报地震的方法。

自1966年邢台地震以来，我国开始了利用地下水动态观测探索地震预报的科学实验。18年来，我们先后在全国各主要地震区、带建立了第一代和第二代地震专用深井水位观测网，以及由基本台网、区域台网和地方台网组成的三级水化观测台网。重点观测了地下水位、流量、压力、水温、水氡浓度（简称水氡）、电导率、水质成分、溶解气体组分以及稳定同位素比值等二十余项，其中地下水位及水氡两项观测时间长，积累资料丰富，研究工作深入，逐渐形成了地下水动态观测中两种主要的方法和手段。

广大地震工作者在地震预报实践中，对地下水动态的认识已经从宏观进入到微观领域，对地壳在应力-应变过程中引起的一系列地下水微观动态（固体潮汐效应、气压效应、断层蠕滑效应及地震波动效应等）变化的研究表明，承压含水层的动态变化可以反应 10^{-7} — 10^{-11} 的应变量子级（水位灵敏度高可达 10^{-9} — 10^{-11} ，水氡可达 10^{-7} — 10^{-8} ），可与高精度的应变仪媲美。多年的地震预报实践证明，不研究水位、水氡等的正常动态，就无法判别异常，不进行影响因素的分析研究，就不能有效地提取地震前兆信息。因此，研究地下水正常动态及其影响因素，既是一项基础理论工作，又是提高地下水地震监测预报效能的关键所在。为此，国家地震局原科研处于1981年初，组织了“地下水干扰因素研究组”，对地下水位、水氡的影响因素进行系统研究。研究组结合地震监测预报的实际，从大量观测资料出发，对水位、水氡的动态特征、分类、影响因素的种类、影响机理以及排除这些影响因素可能采用的方法、震兆信息的提取等问题，都做了较为全面、深入的研究。本书就是在此研究工作的基础上，于1982年编写而成的。

本书讨论的问题可供水文地质、工程地质、环境保护、化工、地球物理、地球化学和地震科技人员参考。

地下水干扰因素研究组，是在国家地震局原科研处直接领导下，由李宣瑚、赵成梁同志组织国家地震局分析预报中心、国家地震局地质研究所、兰州地震研究所、天津市地震局、河北省地震局、山东省地震局、河南省地震局、陕西省地震局、辽宁省地震局、新疆维吾尔自治区地震局等十一个单位，三十人参加。为便于工作，研究组下设水位、水氡两个小组。地下水位研究组由贾化周任组长，成员有董守玉、万迪堃、田竹君、王信、尹伯忠、王雅灵、黄振义、黄保大、金玉铮、吴景云、陈正品、张教祥、王永林、佟武、白敬东。水氡研究组由杨玉荣、孟淑德、王长岭任组长，成员有高清武、唐丰年、王吉易、尹汉南、唐仲兴、纪毓安、孙玉菡、刘快胜、蔡仲琼、王道、张玉松。

为便于专业科技人员参考，本书按水位、水氡两部分编写。第一章至第五章为地下水位部分，由贾周化、董守玉、王信、万迪堃同志整理编写；第六章至第十章是水氡部分，由杨

玉荣、王吉易、王长岭、唐丰年同志整理编写。在编写过程中张玉松、李宣瑚同志给予了大力协助。亦曾得到陈鑫连研究员、马宗晋研究员、蔡祖煌副研究员的帮助，在此表示感谢。

本书是一项集体研究成果，由于编者的水平所限，错误不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者 1984年12月

目 录

第一部分 地震地下水位动态及影响因素分析

第一章	地下水位动态及其影响因素	(1)
第二章	水量增减引起的水位动态	(6)
第一节	影响因素分析	(6)
第二节	降水和开采影响下的地下水位动态特征	(10)
第三章	应力-应变引起的水位动态	(18)
第一节	气压对地下水位的影响	(18)
第二节	降雨附加应力对地下水位的影响	(23)
第三节	固体潮汐应力对地下水位的影响	(34)
第四节	地震波对地下水位的影响	(40)
第五节	构造应力和其他形式力对天津咸水层水位的影响	(47)
第四章	地下水位影响因素的数学处理方法	(54)
第一节	趋势推演法	(54)
第二节	区域水均衡法	(54)
第三节	地下水动力学法	(61)
第四节	相关分析法	(66)
第五节	多道维纳滤波方法	(76)
第六节	勒卡拉兹调和分析方法	(82)
第五章	地震信息提取实例	(99)
第一节	唐山震中区水文地质条件	(99)
第二节	唐山地震前地下水位的发展趋势性变化	(100)
第三节	唐山地震前地下水位短临异常及震后变化	(104)

第二部分 地下水氡含量动态及影响因素分析

第六章	水氡在地震预报中的应用	(111)
第一节	简单回顾	(111)
第二节	水氡在地震预报中的作用	(113)
第三节	研究水氡影响因素的意义	(116)
第七章	水氡观测条件的选择	(118)
第一节	井口装置	(118)
第二节	取样	(120)
第三节	测试条件	(126)

第八章 水氡的正常动态 (132)

 第一节 水氡动态及其影响因素概述 (132)

 第二节 水氡的正常动态类型 (138)

第九章 水氡动态的主要影响因素 (145)

 第一节 降水的影响 (145)

 第二节 地表水的影响 (151)

 第三节 抽水的影响 (154)

 第四节 气温的影响 (159)

 第五节 地质作用因素的影响 (160)

 第六节 应力-应变因素的影响 (163)

第十章 干扰因素的识别和排除方法 (166)

 第一节 降水干扰的识别与排除 (166)

 第二节 地表水干扰的识别与排除 (169)

 第三节 抽水干扰的识别与排除 (174)

 第四节 其他干扰因素排除的实例 (183)

 第五节 异常判别的经验方法 (188)

参考文献 (194)

第一章 地下水位动态及其影响因素

地下水赋存于岩石的孔隙、裂隙和溶洞中，是地壳的一个重要组成部分。据目前的资料报导，液态水分布的下限一般在20公里左右，个别可达40公里，并具有非常明显的垂直分带规律。上部冷水带的地下水主要属渗入水类型，循环在地下数百米深度内，其运动靠重力驱动，对承压水来说，静水压力传递是其主要特点。中部热水、过热水带的地下水在封闭型自流盆地或自流斜地中全部属沉积水（或称古封存水）和挤出水；在开启和半开启型水文地质构造中，由于渗入水的逐步置换而具有渗入水的特性。热水和过热水分布在地下数公里至十公里左右的范围，除上部靠重力驱动外，主要是靠构造应力和地质静压力、热力驱动，具有很高的压力水头。由于受热力驱动，在一定条件下，动水压力可以大于静水压力。下部的超临界状态水由脱出水、岩浆水、变质水组成。主要由热力驱动。在水平方向上，地下水的分布受构造格架的控制，形成各自的水文地质单元。由于地下水贮存在特定的地质体中，它能承受强大的压应力，且压缩系数极小，但它不能承受剪切应力，即使是很小的剪切力，也会迫使地下水流动。地下水在其运动的过程中，与围岩不停地进行着物理化学作用，改造着地体环境，同时也改造着自身。由于地下水有上述这些特性，使其成为新构造运动中极其活跃的因素和判别新构造运动强度的灵敏标志。构造地震是新构造运动中瞬时的突发性事件。受水库蓄水和深井注水诱发地震的启示，地震学者们对地下水在岩石的应力-应变、裂隙的发育与串通、断层蠕动和错动等方面所起的作用，认识逐步深入，并普遍认为地下水是孕震过程中的重要因素。

一、以地震预报为目的的地下水位动态观测

我国是一个历史地震资料极其丰富的国家。在国语、史记、春秋、正史、实录、方志等大量的古籍中，在地震的记载中也不同程度地记载着震前、震时和震后地下水的变化情况。1966年邢台7.2级地震后，为了监视邢台震区的余震活动，很快就在邢台地区，随后在河北省的广大平原区和京津地区布设了以浅井为主的地下水宏观观测网，在监视邢台余震活动中，地下水位升降变化的平面分析法和井水面的翻花冒泡等物理现象在余震预报中起到了一定的作用。但很快也暴露出我们认识上的不足。浅层地下水水位受自然因素和人为因素的影响变化很大，反应地壳应力应变状态的变化能力又很低，因此，干扰与地震信息不易分辨，即使有点地震信息往往也被干扰所掩盖；在不同水文地质单元条件下的井孔，水位的反应能力是有差别的，因此根据水位的变化量进行统一对比和平面分析缺乏共同的基础。基于上述两方面的原因，预报效率有一段时期停留在较低的水平。随着认识的提高，在广大的华北地区逐步建立起一批有几十米到数百米深的第四系承压水、基岩承压水及封闭条件较好的咸水层观测井，其中部分井孔开展了水位的连续自记观测，从而取得了大量观测资料，积累了一些震例资料。根据测震和其他前兆资料，并结合地下水位升降变化异常，预报了1975年2月4日的海城7.3级地震和1976年龙陵7.4级地震及松潘-平武7.2级地震。1976年7月28日唐山7.8级地震后，在总结历年来投入观测的咸水层水位和数百米深井的承压水水位变化

中，发现唐山地震前地下水位既有趋势异常，又有短临异常，认识比原来又深化了一步。但对异常的阶段划分、异常的形态、异常的空间展布等方面都存在着较大的分歧。究其原因，主要是对影响因素的研究不够深入，井网的布局还不够合理，井孔的选择还不够科学，观测的项目还不够配套，观测的仪器还不够先进等。在总结以往建设井网的经验教训的基础上，1979年以来国家地震局在苏、鲁、豫、皖地区和京、津、唐地区建起了以深井为主的地下水位观测网。这批观测井的建成和投入观测，提供了大量丰富的水位微动态资料，打开了人们的眼界，扩大了认识的领域，从而把利用地下水位动态变化预报地震，开展科学研究工作推进到一个定量或半定量的、以微动态观测和研究为主要内容的崭新阶段。

地下水位之所以是一种较好的预报手段，是因为它具备下列几个条件：

1. 观测的物理量明确，主要影响因素及其引起水位变化的机理比较清楚。地下水位的变化，一是代表含水层内地下水水量的变化；二是代表含水层应力-应变状态改变引起的孔隙水压的变化。前者是地下水的补给量与排泄量的平衡关系所决定的；后者是由含水层与围岩的应力-应变状态所决定的。

2. 地震的信息量可以通过一定的方法定量、半定量提取，可信度较高。与地震有关的水位变化既与孕震过程有同源关系又有因果关系。因此水位异常动态是区域应力场与震源应力场共同作用的产物。它既表现在区域应力场加强过程中形成的应力多点集中造成大范围不连续的多点地下水位异常，又表现在应力集中点附近一定范围内的地下水位局部异常。

3. 深井水位对具有一定封闭条件的承压含水层的微量体应变具有明显的放大作用，且灵敏度较高。目前我们所使用的自记水位仪，可观测到含水层 10^{-9} 量级的体应变。每毫巴的应力变化可引起数毫米的水位变化。因此，深井水位在某种意义上讲，是地层岩体体应变的放大器和长周期地震仪。

4. 观测方法简单，仪器设备便宜，井孔可向有关部门索取，既省钱又见效快，有利于推广和普及。

二、井网布局与井孔选择

地震学是一门以观测为主的科学。长时间的、稳定条件下的观测资料，对于积累认识，探索规律具有重要的作用。所以在利用地下水位预报地震的工作中，井网布局与井孔选择具有重要的战略意义。它对于能否捕捉到地震信息，展示出前兆场的时空强特征，进行区域应力场、震源应力场与前兆场关系的研究，建立科学的地震三要素的预报方案起着决定性作用。因此，从1978年以来，世界上地震工作开展比较多的一些主要国家，例如苏联、美国和日本等都根据各自的认识建立起地下水观测网。

地震预报的核心问题之一是地震成因问题。不同的地震成因观点，决定着不同的布网原则。我国大陆板内地震多发生在活动的构造带，断层的复合、汇而不交的部位，或拐点、端点部位。从强震地下水位的异常看，大致可勾划出这样一个轮廓：异常的空间分布很广但不连续，往往出现某些灵敏区、灵敏带和灵敏点；异常的时间分布有明显的阶段性和大致的同步性；异常的形态和强度相当复杂。这充分说明：

1. 板内强震活动是区域应力场逐渐加强的结果，地下水位在这个加强的过程中，那些应力容易集中的地段地下水位在含水层应力-应变状态发生变化的过程中得到反应和放大，从而出现异常；

2.区域受力，多点集中，局部破裂，集中释放，大范围调整，这是强震孕育的总体力学过程。在这个过程中，水位异常随着这种应力分布格局而分布，随着这种力学演变过程而发展。水位变化在不同的部位，不同程度地反应这样一个应力-应变的积累过程和释放调整过程。

基于上述分析，井网布局应遵循下列基本原则：

1.把监视区域应力场的活动和震源应力场的活动结合起来。既了解大范围的应力-应变变化，也要了解局部地段的应力-应变变化，局部的变化更为重要；

2.在构造带内部把监视活动断裂带与应力易于集中的部位结合起来。既了解整体断裂带的活动方式和强度，也了解某些部位闭锁的可能性，力争对多个闭锁点进行深入对比分析，寻找必震的信息和指标；

3.把深部观测与较浅部的观测结合起来，以便了解应力的分布与传递，进行应力的反演和深部信息的探索；

4.把水动力条件和水化学组分的观测结合起来，以便寻找地下水前兆场的统一的流体力学解释；

5.把监测、预报和科研三者有效地结合起来，互相补充，互相促进。

具体方法是：

1.构造带内外要均匀布井。活动断裂带，特别是应力易于集中的部位、震后效应强烈的地区和地段、烈度异常区要加密布井；

2.选择适当的地段，开展不同深度多层水位和多组分水化学成分的对比如测；

3.均匀布井井距100公里，加密布井井距30—50公里，实验现场根据需求和可能集中布井。三者相互结合、相互补充，形成一个统一的具有科学性和有效性的观测网。

选井的原则以取得有效的地震信息为出发点。尽管地震的成因存在着各种假说，但地震活动本身总要表现为力的作用则是大家所公认的。对构造地震而言，这种力的作用就必然表现为受力岩体的应力-应变过程。井孔承压水水位对地壳微量的体应变有灵敏的反应和放大作用，因此是我们选取的唯一对象。但承压水水位的变化受各种不同因素的影响，其反应能力和放大作用相差很大，所以必须做具体的分析。选井的技术要求主要是：

1.不选开采层、注水层和止水效果不好的承压水，这样就避开了人为的干扰；

2.一般不选离补给区比较近、上下隔水层比较薄、集中采水地段的第四系承压水；

3.因地制宜的选用封闭条件比较好的咸水层、循环深度大的上升泉、震后效应强烈的已成井孔；

4.尽量选用含水层埋藏较深、导水系数较大、压缩系数较小、成井工艺良好、井孔水力阻力系数小（裸井阻力系数最小）的、能记录到固体潮效应、气压效应等应力-应变引起的水位微动态变化的基岩承压水或构造带承压水。选井要综合考虑，一般以裂隙岩溶承压水较为理想；

5.一般以选用静水位观测为宜。为了一井多用，综合观测，取得深部信息，可采取动水位观测。观测层位尽量选得较深，力争观测高温热水和低温过热水；

6.鉴于目前的测试技术，水位埋深一般以不超过20米为宜；

7.为记录和研究井孔的水位震相，含水层深度以避开人为干扰的数百米的深井为宜；为记录和研究地壳应力-应变状态的反应，含水层深度一般以1000—2000米为宜。

三、地下水动态、影响因素及其分类

1.地下水动态的基本概念和研究目的

地下水在其形成的历史过程中、在各种有关因素的影响下，其水位、流量、水化学成分、水温等随时间作有规律的变化，这就是地下水的动态。研究地下水动态的目的，在于掌握其正常动态规律，探讨地下水的形成条件和形成过程，进行地下水的动态预测和预报，以便采取相应的水文地质有关措施，满足国民经济对地下水各方面的要求。在地震预报中，则是通过地下水正常与异常动态的研究，提取地震信息，为地震预报服务。

我们重点研究的承压水主要是地壳表层的渗入水和部分沉积水。渗入水经历着渗入、径流和排泄等过程；沉积水经历着沉积埋藏、置换变质和浓缩等过程。在这些过程中，水位和水化学成分的动态变化相互结合，反映着含水层中地下水水动力状态和作用强度，反映着含水层与围岩之间的相互关系，成为我们认识地下水形成过程中最基本的方法，也是我们研究含水层水量变化、含水层应变状态变化、地壳应力状态变化的依据和出发点。

地下水位是一个综合的物理量。它是在各种因素影响下的产物。为地震预报目的服务的水位观测，把提取地震孕育过程中引起的水位变化做为基本目标。这就要求在研究地下水位正常动态的基础上，把地震信息分离出来。能否认识正常动态、分离出地震信息，是利用地下水位预报地震的前提。

2.地下水位动态的影响因素

在水文地质学中，通常把地下水动态的影响因素划分为天然因素和人为因素两大类。我们根据地震地下水动态研究的需要，将影响因素划分为引起含水层中水量增减的因素和引起含水层应力-应变状态变化的因素两大类。详见表1-1

表 1-1 地下水位动态主要影响因素

影响因素分类	主要影响因素	
引起含水层中水量增减的因素	水量增加	1.降水入渗 2.地表水入渗 3.灌溉入渗 4.人工注水
	水量减少	1.蒸发 2.补给地表水 3.开采(工业与城市开采、农业开采) 4.矿山排水
引起含水层应力-应变状态变化的因素	1.降雨荷载 2.气压(包括大风) 3.固体潮(天体引力) 4.地震波 5.断层蠕动 6.抽水引起的牵引力与顶托力 7.水库与大型建筑荷载	

3.地下水位动态分类

由于研究的角度不同，目地不同，所以地下水位动态分类的原则和方法也不一样。过去的分类多把地下水作为一种资源，从水量变化的观点出发进行归纳分类。以地震预报为目地的地下水位动态分类，1980年吴锦秀根据观测井所处的水文地质条件及水动力学特征，并考虑各种因素的影响程度和反映地震地效果，将地下水位动态分为三种类型，即潜水动态类型、层间水动态类型和封存水动态类型。1980年蔡祖煌、石慧馨在《地震流体地质学概论》一书中提出：“地下流体动态的成因类型有两种划分方法，一种是根据动态的主要影响因素中是否有人为活动，分为天然动态、人为动态和混合动态三类。另一种是根据动态的主要影响因素中是否有水量增减，分为刚性动态和弹性动态两类”。我们认为，从地震预报的目的出

发, 首先划分出正常动态和异常动态两大类。在这两大类中, 都存在着由于含水层水量增减引起的水位宏观动态和由于含水层应力-应变状态变化引起的水位微观动态。由于影响水位动态的主要因素不同, 成因和形态特征也各不一样, 从而划分出水位动态和亚型。这样, 我们就可以在水量增减的动态水位上去寻找偏离正常动态的异常变化; 在含水层应力-应变状态改变的水位动态曲线上寻找畸变点, 以利于提取地震信息。本书只对水位正常动态的类型做了划分和较深入的讨论; 而对水位异常动态的类型只做了划分, 未进行讨论。

具体划分如表1-2

表 1-2

地下水位动态类型

类	动 态 型	动 态 亚 型	影 响 因 素
正 常 动 态	水量变化引起的水位 动态	渗入补给-径流型	降 水
		侧向径流补给-径流开采型	降水、开采
		侧向径流补给-开采型	开 采
	应力-应变状态变化引起的水位动态	突变型 缓变滞后型	
		起伏缓降型 匀速缓降型	
		起伏下降型 阶梯陡降型 匀速下降型	
异 常 动 态	起的水位动态	引力型	引 潮 力
		载 荷 型	气 压 降 雨 库 水
		水动力型	抽 水
		构 造 型	断 层 蠕 动 不均匀升降运动
		趋 势 型	挤 压 力 引 张 力
	应力-应变状态变化引起的水位动态	短 临 型	挤压力或引张力 预 位 移 前 驱 波 突发性应力状态变化
		震 时 型	地 震 波 地 震 地 震 地 震 地 震 地 震
		短 临 型	含 水 层破裂串道 含水层破裂串道
		突升亚型 突降亚型	
		脉动亚型	

第二章 水量增减引起的水位动态

数十米至数百米深的基岩及第四系承压水，均属大气渗入水，是近代水体循环的一个组成部分。这类观测井的水位明显地受含水层水量增减的影响，为解决利用地下水位的异常变化预报地震的这一课题，必须对水量增减引起的水位动态进行深入的研究。

引起水量增加的因素包括大气降水的渗入、地表水与灌溉水的下渗以及地下水人工补给等。引起水量减少的因素，除地下径流排泄外，主要是开采和疏干。我们重点研究其中的降水和开采对地下水位的影响。

降水和开采对地下水位的影响主要是通过补给量与排泄量之间的平衡来实现的。利用地下水的区域水均衡计算，可以从总体上揭示补给量与排泄量的平衡关系，从而阐明降水和开采影响下的水位变化的实质。

承压含水层对水量增减的反应不同于潜水含水层，潜水的补给区、径流区和排泄区在空间分布上是一致的，潜水面是自由水面，在受压时可以自由调整，所以潜水接受补给时水量增加，水位升高，含水层厚度增大；进行排泄时，水量减少，水位下降，含水层厚度变薄。对于潜水来说，上覆地层的压力全部由含水层骨架来承担。而承压水则不同，承压水的补给区、径流区和排泄区在空间分布上是不一致的。它是一个相对封闭的空间，由于隔水顶板与底板的限制水充满于含水层中呈承压状态，上覆岩层的压力是由含水层骨架和含水层中的水共同承受的，上覆岩层的压力方向向下，含水层骨架的承载力及含水层中水的浮托力方向向上，二者大小相等，方向相反，保持平衡。当承压含水层接受补给时，水量增加，静水压力加大。含水层中的水对上覆岩层的浮托力也随之加大。此时，上覆岩层的压力并未改变，为了达到新的平衡，含水层空隙扩大，将含水层骨架原来所承受的一部分上覆岩层的压力转移给水来承受，从而侧压水位上升，承压水头加大；当承压含水层因排泄而减少水量时，静水压力减小，含水层中的水对上覆岩层的浮托力随之减小。此时，上覆岩层的压力并无改变，为了恢复平衡，含水层空隙必须作相应的收缩，将水少承受的那分压力转移给含水层骨架来承受，因此含水层的侧压水位下降，承压水头降低。

第一节 影响因素分析

一、降水因素

大气降水是地下水最根本的补给来源，降水量的大小对地下水的补给起着控制作用。

1. 降水渗入的物理过程

降水开始后，水分在重力、毛细力和分子力的综合作用下开始入渗。若降雨前土壤相当干燥，最初入渗的水分子受分子力的作用首先被土壤颗粒吸附形成结合水，此时的下渗称薄膜下渗。当薄膜水满足以后，水继续下渗则被吸入细小的毛细空隙，形成悬挂毛细水，此时的下渗称毛细下渗。因此降雨初期的渗入大多被吸收于包气带中而达不到潜水面，不能补给

地下水。

降雨继续进行，当包气带中的结合水和薄膜水都达到极限以后，继续下渗的水则主要是在重力的作用下沿空隙向下运动，一直渗入到潜水面，补给地下水，此时的下渗称重力下渗。

降雨下渗补给地下水，在平面上是不均匀的，由于土壤表层（或包气带）的岩性、结构、湿度、地下水埋深，微地形与植被等因素的影响，在一些地方下渗较快，一些地方则难以下渗。

潜水得到降雨渗入的补给，水位上升。受潜水补给的浅层及中深层承压水，由于压力传递作用，水位也依次上升。

土壤中降水下渗量的大小及强度可用下渗总量（毫米）和下渗率（毫米/小时）来表示。下渗开始时下渗率较大。随后在毛细力作用下下渗界面向下移动，下渗率减小。当下渗界面达到一定深度后，水分子主要在重力作用下运动，下渗率渐趋稳定（图2-1）。

包气带产生连续下渗水流后，在砂性土中水流服从

达西定律：

$$V = KI$$

$$I = \frac{h}{L}$$

式中：V——渗透速度；K——渗透系数；I——水力坡度；h——水头差；L——渗透途径。

由于降水渗入为垂直渗流， $h=L$ ，所以 $I=1$ ， $V=K$ 。而在实际上，由于包气带不可能完全被水饱和，在吸附力和毛细力的作用下，水总是先被吸到较小孔隙中，而把空气排至较大孔隙中，在较大孔隙中常形成气塞，阻碍重力水通畅下渗，因此K值往往有所降低。

在基岩条件下，降水则通过裂隙、溶隙及溶洞直接流入到地下水中，往往可以迅速引起地下水位上升，与松散沉积中的渗入过程有所不同。

2.影响降水渗入（补给）的因素

影响降水对含水层补给的因素主要是降水的性质，包气带的岩性、湿度及厚度、地形以及植被等。

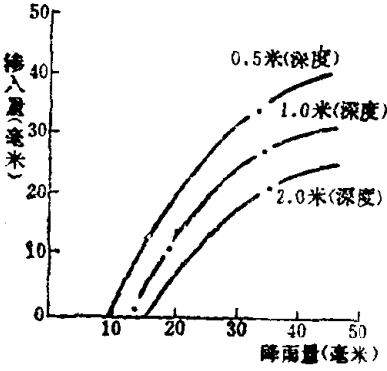


图 2-2 渗入量与降雨量关系图
（据地质矿产部地质科学院水文地质工程地质研究所资料）

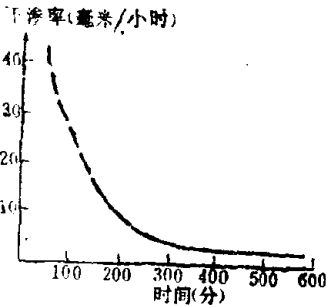


图 2-1 降水下渗率随时间的变化
（据淮河瓦屋径流站同心环实验资料）

（1）降水量、降水强度与降水面积

降水量是指一定时段内降落在某一面积上的总水量（毫米），它直接控制着地下水得到的补给量。降水强度系指单位时间内的降水量（毫米/时）。当降水强度小于入渗强度时，降水量愈大则入渗深度和入渗量愈大，因而地上水得到的补给量也愈大（图2-2），但当降水量小于某一值时，某一深度以下的地下水就得不到补给。当降水强度超过入渗强度时（大雨和暴雨），多余的降水量便形成地表径流流走，使补给地下水的部分在总降水量中所占的比例下降。降水强度不超过入渗强

度且历时较长的绵绵细雨最有利于下渗，此种情况下，补给地下水的部分所占比例最大。降水强度小而历时又短的小雨仅能湿润包气带，对地水的补给没有实际意义。

此外，降水面积对地下水的补给也有重要意义，它直接影响入渗范围和入渗量。

(2) 包气带岩性与湿度

包气带岩石透水性越好，则入渗量越大，反之，包气带透水性差，则降水量中的相当一部分要转为地表径流流走，使降水转为地下水的比例降低，渗入量与岩性成分的关系如图2-3所示。

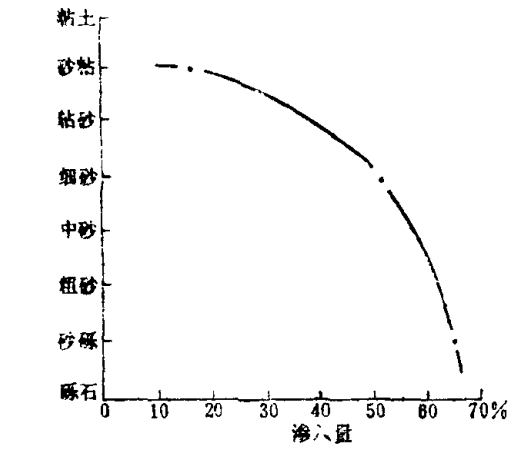


图 2-3 渗入量与岩性关系图
(据北京水文地质队资料)

包气带的湿度对降水入渗的影响也是相当明显的，只有当包气带岩石完全饱和后，多余的降水量才能补给地下水。当土壤湿度小且降水量不大时，降水完全消耗在包气带内，不能补给地下水。

(3) 地形与植被

降水强度超过包气带入渗率时，地形对降水的入渗产生重要影响：在陡峻山区，地面坡度大，降水转为地表径流的部分增加，因而入渗量减少；在平原地区，地面坡度小，降水在地表停留的时间长，有利于下渗，使降水转为地下水的部分增加。

植被有利于降水的入渗。一方面植被的覆盖阻滞地表水流，延长入渗时间，另一方面植物改造了土壤，使土壤有机质多、结构性好，使土壤透水性增强。

(4) 地下水埋藏深度

相同的降水量对不同深度的地下水的补给作用不同，主要是因为地下水埋藏深度（即包气带厚度）使降水渗入途径不同。在一般情况下，降水对地下水的补给量随地下水埋藏深度的增加而减少。

3. 降水与地下水位天然动态

降水是地下水最主要的补给来源，因此降水对地下水位动态变化起着决定性的作用。

一般地说，地下水位的多年周期性变化主要是由降水的多年周期性变化决定的。例如，河北省石家庄地区1954—1956年、1963年为丰水年，也是地下水位的高水位期；1957年、1962年是干旱年，也是地下水位的低水位期。据有关资料统计，降水和地下水位变化具有11年的周期，这可能与太阳黑子活动对气象有周期性的影响有关。

地下水位的季节性变化主要是由降水的年内（季节）分配决定的。华北地区降水主要集中在6—8月，潜水的最高水位也相应出现在这一时段，承压水水位变化受补给与径流条件的限制往往滞后于降雨期。

二、开 采 因 素

由于人类活动使含水层失去水量的因素，我们统称为开采因素。开采是中深层承压水的重要排泄方式之一，它对地下水位动态的影响主要取决于开采强度、开采量、开采方式、开采类型和开采范围（区域开采与直接开采）。

1. 开采强度与开采量

在开采条件下，地下水位自然动态是否遭到破坏，起决定作用的是地下水的开采强度与开采量。因为从水均衡的研究看，地下水位动态变化，实质上是反映地下水的补给量与消耗量之间相互关系的变化。

开采强度是指单位时间的开采量（吨/小时），开采量等于开采强度与开采时间的乘积。所以对某一个地区来讲，若地下水的开采强度与开采量不大，消耗量不超过补给量时，原有的地下径流排泄量一部份或全部不再向下游排走，转由开采排泄，此时含水层的地下水储量大体保持多年平衡，不会出现逐年持续减少。其历年的水位变化趋势为：平水年的高水位基本可以恢复到前一年同期水位高度或略有降低；干旱年降低较多；丰水年有所回升。如长期保持原来开采强度与开采量不变，将不会引起水位逐年持续下降。若地下水的开采强度与开采量较大，消耗量超过地下水的补给量时，含水层的水量逐年减少，地下水的均衡遭到破坏。此时地下水位的变化趋势为：地下水位逐渐偏离降水量多年变化趋势，连年下降，只有丰水年才有可能维持平衡或略有回升，平水年水位继续下降。水位多年及季节变化规律与自然动态迥然不同。承压水位下降幅度、速度和最低水位出现的时间明显受开采强度与开采量的控制，承压水位只是在补给期有明显的恢复。在常年开采区，雨季高水位出现时间推后，绝对值逐渐减小，降水的季节性影响变小。

2. 开采方式与开采类型

地下水的开采方式，通常可分为季节性开采和常年性开采两种。开采类型按开采方式和开采强度可分为：分散的断续开采型（如农业开采）和集中的连续开采型（如城市供水、工业开采、矿山和大型建筑工程排水等）。不同的开采类型对地下水位的影响是不一样的，现分述如下：

（1）分散的断续开采型

这种开采类型主要是指农业开采，其特点是空间上分散、面积大，时间上不连续、季节性强。所以，这种开采类型影响下的地下水位动态特征是：在灌溉抽水季节，地下水位呈区域性大面积缓慢下降，并可在局部地区形成季节性水位下降漏斗。随着雨季的到来，开采停止，地下水得到补给，水位逐渐回升，地下水位显示出明显的季节性升降特征。季节性开采可增大地下水位年变幅度。如华北平原某区，近年来由于农业开采的影响，逐渐形成双层地下水位下降漏斗，第二含水组1975年漏斗面积达4868平方公里，比以往增加了170平方公里，1973—1975年漏斗中心平均水位下降速率为3.4米/年。第三含水组1975年漏斗面积达3252平方公里，1973—1975年平均漏斗面积增长率为273.3平方公里/年，水位下降速率为3.35米/年。由于开采强度不大，没有形成漏斗的广大地区，地下水位动态也程度不同地受到农业开采的影响，显示出具有季节性开采的动态变化特点。

（2）集中的连续开采型：

这种开采类型主要是指城市供水、工业开采、工矿企业和大型建筑工程排水等。由于它是一种常年性的、强度大的集中开采，所以，其影响下的承压水水位动态特征是：水位多年呈连续的快速下降，并于开采区形成永久性的水位下降漏斗。在历年雨季虽然也能得到一定的补给，水位短时间有所回升，但由于补给量小于开采量，地下水位总的下降趋势仍然不变。

城市供水和工业开采 据不完全统计，近二十年来，城市及工业的用水量增加了2—3倍，致使地下水的静储量遭到连年消耗，地下水位逐年下降，并形成大型地下水位下降漏斗。

斗，这些漏斗主要分布在中深层承压含水层中。例如，我国某大城市，其城区及其以东地区属潜水-承压水区，供水水源主要是承压水，解放前仅有少量开采，承压水位高出地面2米以上，形成自流。解放后，城市建设迅速发展，需水量剧增，地下水位下降，逐渐形成承压水位降落漏斗，并逐年扩大。1978年漏斗面积已达300多平方公里，水位埋深20—30米，漏斗中心水位埋深已超过40米。近两年来，水位下降和漏斗的扩展速度加快，目前漏斗中心第一承压含水层和部分潜水含水层基本疏干，有些潜水含水层底部有较厚的隔水层的地区，潜水已变成上层滞水。

矿山和大型建筑工程排水 由于采矿事业的发展以及相应采取的施工措施，如矿坑、井巷排水，在很大程度上改变着矿山附近及相当大范围内含水层的水量和水位，以致使水文地质条件发生改变。例如，我国某矿山，露天开采时，整个含水层全部被疏干。井巷采矿时，由于采取强烈的排水措施，从根本上改变了含水层之间的水力关系，常常引起地下水从几个含水层涌进巷道，或常使浅层地下水补给深部地下水。因此，不仅改变了矿山及其附近地区的地下水位天然动态，而且也改变了水文地质环境，补给源和补给区范围也随之改变。此外油田开发过程中，采油和抽取浅层、中深层水高压注入采油层，也强烈影响浅层、中深层和深层水的水位动态。

3. 区域开采和直接开采

区域开采是指较大区域开采对观测水层水位动态的影响，此时，观测水层不位于开采层区。直接开采是指观测水层位于开采区。从补给来源看，二者相同，但排泄方式有差别。在区域开采条件下，地下水的排泄以地下径流为主，其次是区域性开采；而在直接开采条件下，则以开采排泄为主，其次是地下径流。因排泄条件不同，开采对水位动态的影响程度也不同，区域性开采对水位的影响表现为长期缓慢的小幅度持续下降；直接性开采对水位的影响表现为剧烈的大幅度下降。

第二节 降水和开采影响下的地下水位动态特征

在降水和开采的影响下，地下水位动态变化最显著的特征是区域差异性和周期性。区域差异性主要表现在地下水位动态受区域水文地质条件的控制，呈现出明显的分带性。不同的水文地质单元具有不同的水动态类型和特征，就华北平原而言，从燕山、太行山山前到滨海，根据水文地质条件可划分出四个水文地质区：

- I、山前低山丘陵水文地质区；
- II、山前倾斜平原水文地质区；
- III、中部湖积-冲积平原与冲积平原水文地质区；
- IV、滨海冲积-海积平原水文地质区。

其中I区和II区的顶部是平原多层承压水的补给区，直接接受降水和河流的垂直渗透补给，水位动态主要受降水控制。II区中、下部及III区和IV区的部分地区是平原承压水的径流区和排泄区，受上游侧向径流补给，其补给强度随距补给区距离的增大而减弱，排泄方式主要是侧向径流与开采，部分顶托越流补给上部含水层，其动态主要受侧向补给强度和开采强度控制。地下水位变化的周期性主要是由降水的多年周期变化和年周期变化形成的，部分地区受开采的季节性变化的影响。

以水文地质单元为基础，根据地下水的补给和排泄条件，可将地下水动态划分成四个成