

凹陷盆地边山岩溶水系统演化 定量评价与修复

王现国 刘志国 兰 勇 廉 勇 徐建红 等编著



黄河水利出版社

凹陷盆地边山岩溶水系统演化 定量评价与修复

王现国 刘志国 兰 勇 廉 勇
徐建红 刘新红 吕小凡 刘渊克 编著
王晨旭 唐书平 陈 峰 周启蒙

黄河水利出版社
· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书以渑池盆地为研究区,在全面、系统收集区内地质及水文地质资料的基础上,特别是利用1990年以来对研究区地下水调查、勘查、监测、水质分析等方面取得的成果,对寒武—奥陶系岩溶地下水系统演化进行了定量评价,采用同位素水文地质学对地下水的形成进行了详细研究,并对人类活动条件下岩溶水系统的演化进行了预测,为岩溶水系统水资源开发作用、保护修复提供了参考依据。

本书可供从事水文地质、水资源管理的专业人员及高等院校地下水科学与工程等相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

凹陷盆地边山岩溶水系统演化定量评价与修复/王现
国等编著. —郑州:黄河水利出版社,2014.5

ISBN 978-7-5509-0767-6

I. ①凹… II. ①王… III. ①拗陷—盆地—岩溶水—
地下水系统—研究 IV. ①P641.134

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第066675号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhslwlp@126.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:河南新华印刷集团有限公司

开本:890mm×1240mm 1/32

印张:5.75

字数:170千字

印数:1—1000

版次:2014年5月第1版

印次:2014年5月第1次印刷

定价:22.00元

前 言

地下水是生态系统的重要组成部分,它广泛分布于地壳中,与岩石圈、大气圈、水圈和生物圈有着千丝万缕的联系。过量开发或者排除地下水,会造成地下水位深降,并引起一系列严重的环境退化问题。我国华北平原从 20 世纪 70 年代以来由于大量开采地下水,开采量超过补给量,造成地下水位迅速下降,地下水位下降漏斗面积达到数千平方千米,并且每年以 1 m 到数米的速度下降。地下水位迅速下降,不得不经常更新提水工具,大量较浅的井报废,使采水的能耗大增。大型矿山因采矿需要而将大范围地下水疏干,也会造成类似的后果。2010 年初,西南大旱牵动着全国人民的心,截至 4 月初,西南五省(区)累计受害面积达 1.11 亿亩,饮水困难人数达 2 212 万人,经济损失无法估量。这一事件进一步加深了人们对水是生命之源的认识,也印证了水是人类赖以生存和发展的物质基础,是不可缺少、不可替代的特殊资源。地下水资源在我国水资源中占有举足轻重的地位,由于其分布广、水质好且不易被污染等优点,正被广泛地开发利用。尤其在在我国北方干旱、半干旱地区,地下水成为重要的甚至唯一的水源。即便是在水资源丰富的西南地区,在本次百年不遇的大旱情况下,开采地下水成为保障灾区人民生活用水的主要途径。

与西南大旱同时引起关注的是频发的矿难。在一些矿区,常常由于矿床突水而引发灾难。为了避免灾害的发生,大型的矿山在地下开采时不得不大范围地疏干地下水,一些埋藏较深的矿山疏干排水量巨大,影响范围更大,造成矿区内的地下水位迅速下降,使得矿区周围的一些水井由于水位过低而报废。

研究区位于河南省淅川县境内,矿区西起南坨坞,东至龙剑村,东西长 14 km,南北宽 300 ~ 1 000 m,面积约 13.8 km²。矿山开采方式为地下开采,矿区地面标高为 350 ~ 650 m,矿山最低开采中段 210 ~ 300

m,设计疏干排水量约3万 m^3/d 。目前,矿区内分布有多家以地下水作为水源地的用户,如某地下水水厂、腾跃水泥厂、湟池二电、仰韶酒厂、新安电厂等。20世纪90年代以来,区内地下水位一直处于持续下降状态,自西向东年平均降幅3~9 m。铝土矿开采时的大规模疏干排水,势必会加速区内地下水位的下降。

本书在收集区内自然地理、地质和水文地质资料的基础上,利用 Visual Modflow 软件建立地下水系统数值模型,并利用实测流场对模型进行了识别和验证,然后依据模型,采用不同的方案,对未来地下水的流场进行了预测。通过对预测结果的对比分析,客观评价矿山开采对周围地下水系统的影响。取得的主要成果如下:

(1)在对水文地质条件进行综合分析的基础上,抽象、概化出研究区地下水系统的概念模型,采用 Visual Modflow 软件进行数值模拟。拟合了研究区的地下水流场变化,模拟结果较好。

(2)利用验证好的模型预报了不同情景下地下水流场的特征,通过对各预测方案结果的分析比较,可以得出:①在现状条件下,研究区内地下水位呈现持续下降趋势,下降幅度西部小,中、东部大。②现状条件下地下水位下降速度较慢,不能满足基建期最低水位标高要求,为防止矿山开采过程中突水事故的发生,必须进行疏排降水。③矿山开采疏干排水加快了地下水位下降和漏斗的形成。通过对开采前后的比较分析,在预测末时段(21年),西部水位下降0~5 m,中部为20 m,东部在0~10 m,并且新增2个降落漏斗,其中矿山西段矿段漏斗中心区地下水位同比下降了约80 m。④矿山开采对研究区内的水源地会产生较大的影响,影响强度中部最大,西部和东部相对较小。在矿山开采疏干排水21年时,某地下水水源地的11号井、14号井和补2B井均报废,7号井需更换大扬程水泵方能继续使用。

本书在编写过程中,得到了三门峡市水利勘测设计院、湟池县水利局及各矿山企业的大力支持,在此表示忠心感谢!

作 者

2014年2月

目 录

前 言

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 研究背景和意义	(1)
1.2 国内外研究现状	(2)
1.3 主要研究内容和研究方法	(20)
1.4 水文地质研究程度	(22)
1.5 研究区岩溶系统地下水开发利用现状	(23)
1.6 评价工作概况及工作概述	(25)
第 2 章 自然地理概况	(28)
2.1 地理位置	(28)
2.2 气象水文	(29)
2.3 地形地貌	(31)
2.4 地层岩性	(32)
2.5 构 造	(36)
第 3 章 区域水文地质条件	(43)
3.1 地下水系统及其边界划分	(43)
3.2 区域地下水类型及其富水性	(44)
3.3 地下水的补给、径流、排泄条件	(46)
3.4 研究区地下水同位素水文地质特征	(48)
3.5 岩溶水水化学特征	(53)
3.6 岩溶水稳定同位素特征	(61)
第 4 章 矿区水文地质条件	(61)
4.1 矿区地下水类型	(69)
4.2 矿区地下水类型及其富水性	(69)
4.3 矿区石河、北涧河对矿区岩溶水的补给分析	(86)

4.4	矿区地下水补给、径流及排泄	(87)
4.5	矿区地下水动态类型及特征	(88)
4.6	矿区水源地供水水文地质条件分析	(92)
第5章	矿山开发利用方案	(95)
5.1	矿段划分及资源储量	(95)
5.2	矿山开采工艺及方案	(95)
5.3	矿床疏干设计方案	(97)
5.4	采矿地面环境保护	(104)
5.5	采矿排水利用规划	(105)
第6章	岩溶水系统水资源量评价	(107)
6.1	评价范围及水文地质参数选取	(107)
6.2	现状条件下均衡法计算与评价	(114)
6.3	排泄量法评价允许开采量	(122)
第7章	地下水流数值模拟	(126)
7.1	研究区水文地质概念模型	(126)
7.2	研究区地下水数学模型	(130)
7.3	数值模拟及模型识别校正	(130)
第8章	矿山排水量及地下水位预测	(143)
8.1	地下水位动态预测	(143)
8.2	矿山排水量计算及水均衡评价	(149)
8.3	现状条件下矿区地下水位下降预测分析	(150)
8.4	矿山开采对某地下水水源地影响分析	(152)
8.5	矿区岩溶水资源保护与矿坑水综合利用	(155)
第9章	地下水水质评价	(156)
9.1	岩溶水水质现状评价	(156)
9.2	开采条件下水质变化分析	(158)
第10章	地下水系统修复对策建议	(159)
10.1	研究区地下水系统变化特征	(159)
10.2	修复建议	(161)

第 11 章 地下水资源保护措施	(164)
11.1 地下水资源的管理措施	(164)
11.2 地下水资源保护的对策	(168)
11.3 保护水资源的法律法规措施	(169)
11.4 水源地保护区的具体管理措施	(170)
第 12 章 研究展望	(172)
参考文献	(174)

第1章 绪论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

地下水是生态系统的重要组成部分,它广泛分布于地壳中,与岩石圈、大气圈、水圈和生物圈有着千丝万缕的联系。过量开发或者排除地下水,会造成地下水位深降,并引起一系列严重的环境退化现象。我国华北平原从20世纪70年代以来由于大量开采地下水,开采量超过补给量,造成地下水位迅速下降,地下水位下降漏斗面积达到数千平方千米,并且每年以1 m到数米的速度下降。地下水位迅速下降,不得不经常更新提水工具,大量较浅的井报废,使采水的能耗大增。大型矿山因采矿需要而将大范围地下水疏干,也会造成类似的后果。研究区位于澠池县境内,矿区东西长14 km,南北宽300~1 000 m,面积约13.8 km²。累计查明铝土矿资源储量638.09万t,矿山开采方式为地下开采,最低疏干标高+210 m,设计地表疏干井疏干排水量总计3.0万m³/d。

研究区地下水开发利用主要为寒武—奥陶系灰岩岩溶裂隙水,该地下水系统具有水量大、水质好的特点,自20世纪80年代以来,已被周边单位和居民作为生产、生活用水,多年平均开采量约25 800.0 m³/d,由于开采量超过了地下水资源的可开采量,造成了区内地下水位的持续下降。据2009年统计,与1984年对比,西部的坨坞电厂供水基地水位下降约45.69 m,中部的某地下水水源地水位下降约134.35 m,东部龙涧水源地1995年6月至今水位下降173.95 m,自西向东水位年平均降幅3~9 m。

1.1.2 研究意义和目的

研究区铝土矿矿体连续性好,矿石质量较高。鉴于目前国内氧化铝缺口量较大,资源供应形势十分严峻,对该矿区进行开发建设对缓解供需矛盾、推动区域经济发展有着重要的战略意义和作用。

在矿山开采前,开展矿山开采对矿区地下水的影响预测评价工作,定量评价矿山疏干排水所引起的地下水位下降幅度、地下水位降落漏斗的范围等,可以评估周边各水源地的受影响程度,也可以为矿山优化疏干排水方案提供参考,从而更加科学合理地利用地下水资源,促进地下水资源的可持续开发利用。

本次评价工作的目的是:在分析查明区内水文地质条件的基础上,对矿区寒武—奥陶系岩溶地下水系统水资源量进行评价。根据矿山开采疏干排水设计方案,评价矿山开采排水对水源地的影响,为矿区岩溶水系统水资源开发利用和保护提供建议。

本次评价工作的主要任务是:

(1)查明地下水系统边界条件,区内含水层空间分布、岩溶水与各含水层之间的水力联系。

(2)查明区内地下水开发利用现状,尤其是地下水集中供水水源地开采现状及供水方向,开采井的结构、水泵运行状态等。

(3)对地下水位进行系统调查,分析地下水流场特征。

(4)对矿区岩溶水的允许开采量、储存量进行评价。

(5)根据铝土矿开采排水方案和矿区岩溶水系统开采量,采用均衡法和数值法进行水资源评价与地下水位下降预测,评价铝土矿开采对矿区水源地的影响。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 地下水资源评价国内外研究现状

地下水资源的评价方法很多,主要分为水均衡法、水文地质比拟法、相关分析法、物理模拟法和地下水动力学法等。

(1) 水均衡法。

某一时间段内某一地段内地下水量(盐量、热量、能量)的收支状况称作地下水均衡。这种方法必须要求在全区域有关降雨和灌溉入渗补给、蒸发、渗透系数、给水度等水文地质参数均采用统一数值的情况下,其计算结果反映全区的平均水平,因此其实用性受到限制,对水文地质条件复杂,不同部位地下水变化较大的区域会出现较大的误差。

(2) 水文地质比拟法。

水文地质比拟法根据水文地质条件的相似性,使用区域内局部地段或相类同条件的其他地区的实际勘探或开采地下水资料,来进行研究区域的地下水资源评价。通常适用于资料缺少且和周围具有相似水文地质条件的地区。

(3) 相关分析法。

无论是地下水水位变化,还是地下水的开采量变化,都是在许多自然因素和人工因素的影响下产生的。相关分析法主要研究两个问题:一是建立回归方程,解决变量之间的联系方式;二是判别变量之间的联系程度,以便用来估计回归方程的使用价值。相关分析在区域地下水资源评价和管理方面的应用,为地下水动态观测资料的利用扩大了范围,也为已建的水源地开采的可靠性与可能性评价提供了较好的方法。适用于具有多年水位或者地下水开采量资料的地区。

(4) 物理模拟法。

物理模拟法是用相似模型再现渗流动态和过程的试验方法。它不仅能够模拟解析法难以求解的复杂问题,而且在检验基本理论和需要观察渗流过程中可能出现的物理现象(如弥散和管涌现象)时,更离不开物理模拟法。但由于物理模拟法所固有的一些局限性,目前在解决实际水文地质问题中,已基本上为数值法所取代了。

(5) 地下水动力学法。

地下水动力学法主要分为解析法和数值法。19世纪中叶,随着地下水开发利用规模的扩大,生产中有了计算水井涌水量的要求(王大纯等,1995)。定量化研究起始于1856年法国水利工程师达西(Henry Darcy),他通过试验提出了孔隙介质中液体的运动所遵循的试验定

律——达西定律。继达西之后,1863年裘布衣(J. Dupuit)在达西定律的基础上,建立了一个单井稳定流公式——裘布依公式。1935年泰斯(Theis)在此基础上提出了地下水流向承压水井的非稳定流理论,并建立了非稳定流理论公式——泰斯公式。此后对地下水的定量研究都采用以泰斯公式为基础的解析法为主,但是现实中的地下水含水层系统是十分复杂的,几乎没有一个含水层系统完全符合泰斯公式的计算条件,因此解析法在区域研究中运用比较困难。20世纪60年代,随着计算机技术的进步和水文地质学的发展,成千上万节点的复杂系统都能用数字计算机进行模拟,从而使得数值模拟方法得到了迅速发展,现已成为地下水资源评价最主要的方法(薛禹群,1997;王刚,2007)。

1.2.2 地下水数值模拟国内外研究现状

1.2.2.1 国外地下水数值模拟研究

目前,国外在该领域的研究主要针对数值模拟方法的薄弱环节,提出新的思维方法,采用新的数学工具,分析不同尺度下的变化情况,合理地描述地下水系统中大量的不确定性和模糊因素。

Anderson等(1992)提出建立一个正确且有意义的地下水系统数值模型应有的工作程序是:确定模型目标,建立水文地质概念模型,建立数学模型,模型设计及模型求解,模型校正,校正灵敏度分析,模型验证和预报,预报灵敏度分析,模型设计与模型结果的给出,模型后续检查以及模型的再设计。

Scheibe等(1998)分析了在不同尺度下的地下水流及其运移行为。Porter等(2000)指出DFM(Data Fusion Modeling)可以量化各种各样的水文学、地质学和地球物理学的数据及模型的不确定性,可以用于地下水系统数值模拟的数据整合和模型校准。

Mazzia等(2002)提出特别的数值方法用于求解重盐地下水运移模拟的二维非线性动力学控制方程,效果很好。

国外开发了许多功能多样的地下水系统数值模拟软件,以其模块化、可视化、交互性、求解方法多样化等特点得到广泛的使用,尤其是Modflow。Juan等(1996)运用Modflow模拟了美国JacksonHole地区的冲

积含水层,并通过补给、排泄和水均衡的评估对模型进行了合理的校准。

随着数值法广泛应用于地下水,形成了有限差分法(FDM)、有限单元法(FEM)、边界单元法(BEM)和有限分析法(FAM)等多种方法并存的局面。根据不同的方法,国外编制了不同的数值计算软件,这些软件主要有:美国地质调查局采用有限差分方法的 Modflow 程序,加拿大 Waterloo 水文地质公司的 Visual Modflow、Visual Groundwater,德国卡塞尔大学 PM 有限差分软件,美国军队排水工程实验工作站的 GMS,德国 WASY 水资源规划和系统研究所 FEFLOW 有限单元法,美国密歇根州立大学的 IGW 等软件(Ataiezashianib,1999;于峰,2005)。

1.2.2.2 我国的地下水数值模拟研究

相对于国外,国内的地下水模拟软件发展得较慢,但也在陆续进行着,例如,李国敏、杨天行等在数值模拟软件的开发与研究方面作出了很大努力,而且取得了较好的成绩。国内开发研制的这些数值模拟软件不但为地下水模拟提供了强有力的工具,而且促进了地下水数值模拟技术的发展。一些比较重要的研究成果有:

王玮(2003)提出了用人工查点法、半自动查点法、数字化地形图提取法等获取数字高程模型(DEM)的方法,并给出了通过数字高程模型计算节点地面标高的方法。

薛禹群等(2004)介绍了多尺度有限元法的基本原理,并将其应用于非均质多孔介质中的流动问题,通过计算结果的比较得出多尺度有限元法比传统有限元法有效的结论。

南京大学用 Galerkin 有限元法,建立了裂隙—岩溶泉平面二维区域地下水渗流模型,描述山西柳林泉域地下水渗流,模拟效果良好,并据此预报了柳林电厂水源地投入使用后对区域地下水流场的影响(叶淑君等,2004)。

吉林大学应用 Modflow 建立了华北平原地下水系统数学模型,根据对该模型的识别分析,得出了华北平原由于地下水超采,地下水位降低,增加包气带的厚度,从而腾出了地下水库容的结论(王宏等,2003)。提出充分利用含水层的地下空间,修建地下水库,调蓄外来水资源的设想。

河海大学利用地下水数值模型 Modflow 和非饱和带水平衡模型对处于半干旱、半湿润沙丘地区地下水位进行了模拟,并分析了含水层补给量与排水量、河流与地下水补排关系,以及区域水平衡过程,揭示了独特沙丘地形和土壤特性对地下水补排量的影响。采用概率论及数理统计的方法,分析了开采量的不确定性,得出开采量服从正态分布。以此为基础,运用蒙特卡罗方法,对开采量不确定条件下数值模拟的结果进行可靠性分析(温忠辉等,2007;刘猛等,2004;邓彬等,2005)。

陈喜等(2004、2006)揭示了独特沙丘地形和土壤特性对地下水补排量的影响,利用地下水系统数值模拟模型 Modflow 和非饱和带水平衡模型对处于半干旱、半湿润沙丘地区的地下水位进行了模拟,效果很好。

随着计算机和数值方法的发展,数值模拟逐渐取代传统的模拟技术,成为研究地下水运动规律和定量评价地下水资源的主要手段,随着非稳定流理论的发展和电子计算机的广泛应用,使得各种复杂条件下的地下水运动都可应用数值法求解,地下水系统数值模拟的研究有了长足的进步(刘玉珍,2008)。

1.2.3 地下水系统的破坏与修复

1.2.3.1 地下水系统概述

水文地质系统是由不同等级、不同类型的水文地质综合体和地下水水体所构成的,周围被较高水力梯度的界面所限定的,能量不断新陈代谢的有机整体。

水文地质结构系统是由不同等级、不同形态、不同成因(建造)、经受不同改造作用,具有不同结构和水力学性质的水文地质综合体的空间组合所构成的,具有控水功能并且不断运动演化的有机整体。

地下水系统是受环境因素(天然、人工)所制约的,具有不同等级、在空间分布上具有四维性质和各自的物理、化学及水动力特征的,不断运动演化(生长、消亡)的地下水单元的统一体。

三者相互关系如图 1-1 所示。

也有人认为地下水系统包括地下水含水系统与地下水流动系统,其内涵和外延如表 1-1 所示。

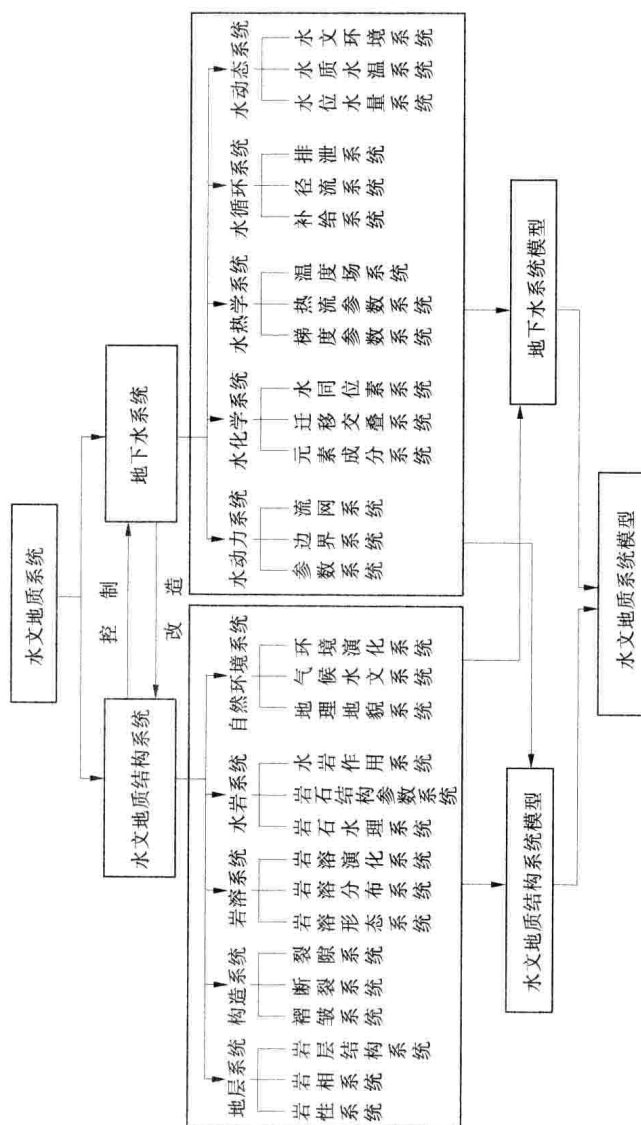


图 1-1 水文地质系统、水文地质结构系统、地下水系统相互关系

表 1-1 地下水系统内涵和外延

地下水系统	外延	输入系统(降水量、人工补给量等) 输出系统(泉流量、地下水位等)	
	内涵	含水层系统	浅层含水层系统 中层含水层系统 深层含水层系统
		地下水流系统	无压水流系统 承压—无压水流系统 承压水流系统
		地下水溶质运移系统	开放型溶质运移系统 封闭型溶质运移系统
		地下水热传导与扩散系统	浅部常温型
			深部热水型 热传导型地热系统 热对流型地热系统

徐恒力教授将地下水系统分为硬结构和软结构。地下水系统是在长期地质历史发展过程中逐步形成并不断得到改造的实体,它从未达到不再随时间变化的平衡态,是一种空间有序、时间有序和功能有序的非平衡结构。系统具有演化性,受到环境、大气、人工开采与回灌等众多随机性的外界因素的干扰,也受制于系统内部结构。强烈的人为因素对地下水系统演变的影响显著。地下水系统不仅具有自然特性,而且具有社会属性。

1.2.3.2 地下水系统演化

以下应用耗散结构理论分析地下水系统演化。

地下水流动系统演化过程中,新的系统结构往往通过突变产生,其过程不可逆;在人类不断增长的开采作用下,地下水系统不断调整结构,以满足其功能需求,使系统得以进化;当这种进化达到极致仍无法满足人类日益增长的供水需求时,地下水系统只能向熵增方向演化,产生退化。地下水系统的演化模式为:自然结构—进化结构—退化结构。

国内学者研究安阳地下水系统演化表明,当地下水位降至某一临

界值时,系统产生突变,形成新的有序化结构,新的结构可激发河流补给,袭夺邻区径流量和蒸发量,更好地满足其功能需求,系统向熵减少方向演化;当开采量继续增加,系统无法满足供水需求时,必然引起系统状态的再次改变,当地下水位降至另一临界值时,这种状态改变产生巨型涨落,导致结构发生突变,与进化结构相适应的补排关系被打破,产生退化结构,退化结构因不能触发新的负熵流,只能向熵增方向演化,地下水系统遭到破坏。

1.2.3.3 地下水系统破坏

地下水系统破坏包括软结构和硬结构的破坏,由人类过度开采引起的地下水系统软结构破坏问题,在我国北方地区十分普遍,如郑州东区原来为大泽,地表蒸发排泄,现在地下水位下降,地下水流场改变,导致地下水资源枯竭、地下水污染。日前广为存在的土地沙化、湿地萎缩无不与其相关。地下水硬结构的破坏主要指含水层结构的破坏。矿业活动和隧道工程大规模地改变岩体形态,形成采空区,促使顶板裂隙发育,含水层非均值化,形成地下水快速运移通道,含水层结构遭到破坏。加之高强度的地下水疏排,地下水系统遭到破坏,其变化如下:

(1)输入条件变化,包括:疏排水后水位降落漏斗扩展造成的补给面积变化,夺取浅部的天然排泄量变为井下涌水量,采动导致地下水与地表水连通而增加的补给量等。

(2)输出变化,包括:由开采前的泉水和泄流排泄为主变为井下人工排泄为主,开采过程中突水事故不断产生新的出水点和排泄通道。

(3)结构的变化,包括:冒落带裂隙带和沉降弯曲带的形成与演化,采动后断层活化充水,采动沉降盆地边缘垂直剪裂隙发育,地面开裂沉降和塌陷,采空区成为充水、储水体,各种人造工程设施等。

(4)内部功能和作用的变化,包括:开采水平以上岩体由采前的储水作用变为疏排水后的传输作用,采矿前后水化学环境改变(开采地段由还原环境变为氧化环境)导致的水岩作用变化,如形成酸性水,回填坑成分的淋滤等。

(5)环境变化,包括:地下分水岭外移或袭夺开采前的另一地下水系统,系统的上下边界改变,为供水而增加的引水渠、引水隧洞,为防止