

下辽河平原地下水系统恢复力研究

孙才志^{1,2} 胡冬玲¹ 杨磊¹

(1. 辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁 大连 116029; 2. 辽宁省自然地理与空间信息科学重点实验室, 辽宁 大连 116029)

摘要:在科学把握地下水系统恢复力概念和内涵的基础上,从地下水含水层特性、补给条件、区域特点、技术水平和社会经济 5 个方面选取 26 个典型指标构建了下辽河平原地下水系统恢复力指标体系,并对指标的评价标准进行划分,采用层次分析法和 GIS 空间叠加技术对其地下水系统恢复力进行评价。结果表明,新民-辽中平原、柳河平原和南部滨海平原地下水系统恢复力较强,辽河冲积扇、浑河冲积扇、太子河冲积扇及西部扇前平原的部分地区恢复力处于中等水平,大小凌河冲积扇、羊肠河冲积扇、黑鱼沟河冲积扇、海城河冲积扇和北部的阜新、铁岭等地恢复力最弱,有待进一步提高。

关键词:地下水系统;恢复力;指标体系;下辽河平原;GIS 空间叠加技术

中图分类号: X523 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7647(2011)05-0005-06

Recovery capacity of groundwater system in lower Liaohe River Plain // SUN Cai-zhi^{1,2}, HU Dong-ling¹, Yang Lei¹

(1. Urban and Environment College of Liaoning Normal University, Dalian 116029, China; 2. Liaoning Key Laboratory of Physical Geography and Geomatics, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: Based on the scientific understanding of the concept and meaning of the recovery capacity of groundwater system, an evaluation system for the lower Liaohe River Plain was established by selecting twenty-six typical indexes from five aspects of characteristics of groundwater aquifer, supply conditions, regional characteristics, technical level and social economy. The evaluation standards for the indexes were classified into different categories. The analytic hierarchy process and the GIS space stacking technique were employed to evaluate the recovery capacity of groundwater system. The results show that the recovery capacity of Xinmin-Liaozhong plain, Liuhe plain and the southern coastal plain is the strongest, that of Liaohe alluvial fan, Hunhe alluvial fan, Taizihe alluvial fan and the western plain is intermediate, and that of Linghe alluvial fans, Yangchang River alluvial fan, Heiyugou River alluvial fan, Haicheng River alluvial fan and Fuxin and Tieling in the northern area is the weakest and needs to be further improved. The research achievements are significant for the sustainable exploitation of water resources in the lower Liaohe River Plain.

Key words: groundwater system; recovery capacity; index system; lower Liaohe River Plain; GIS space stacking technique

地下水是水资源的重要组成部分,是人类生存和发展不可替代的宝贵资源^[1],在地表水资源相对缺乏的我国北方地区,地下水是重要的甚至是唯一的水源。近 30 年来,随着经济的快速发展,人类对地下水的开发利用已远远超过了地下水资源的承载能力,出现了地下水位持续下降、水质不断恶化等一系列严重问题,地下水系统表现出来的脆弱性日益受到人们的关注。

目前国内外与本文相关的研究主要集中在地下水的脆弱性、地下水资源的承载能力和地下水资源的更新能力等领域,恢复力作为实施可持续发展的

重要途径,已被学术界、经济界与社会界予以高度重视^[2],但目前有关水资源恢复力的研究却很少^[3-5],且现有研究主要集中在地表水资源的恢复力方面,地下水资源恢复力研究处于起步和探索阶段^[6-7],尚未有较成熟的理论、内容和方法体系,因此开展地下水资源恢复力研究具有一定的理论意义。

下辽河平原地区是辽宁省重要的工、农业生产基地和经济发展中心,也是辽宁省最缺水、地下水资源供需矛盾最突出的地区。因此,以下辽河平原为研究对象,开展地下水系统恢复力研究具有重要的现实意义。

本文在把握地下水系统恢复力内涵的基础上,初步构建了地下水系统恢复力指标体系,运用 GIS 空间叠加技术对下辽河平原地下水系统恢复力进行分析,旨在揭示研究区内地下水系统恢复力的强弱,为制定合理的地下水管理方案和利用计划,促进地下水与人口、环境和经济社会持续协调发展提供科学依据。

1 研究区概况

1.1 自然地理概况

下辽河平原位于辽河中下游地区,呈北东-南西方向宽带状斜卧在辽宁省的中部,东依千山山脉,西靠医巫闾山,北部隔铁法波状丘陵与松辽平原相望,南临渤海的辽东湾。东西宽 120 ~ 140 km,南北长 240 km,面积约 2.65×10^4 km²。下辽河平原地处温带半湿润半干旱季风气候区,多年平均降水量自南向北西递减,由 700 ~ 750 mm 降至 550 mm,主要地表水系有辽河-双台子河水系、浑河-太子河水系及大小凌河水系。地下水补给主要来自大气降水和地表水的入渗,地下水总的径流方向由山前向中部平原呈放射状,至中部平原后,总的径流方向是由东北向西南,最后进入辽东湾,见图 1。

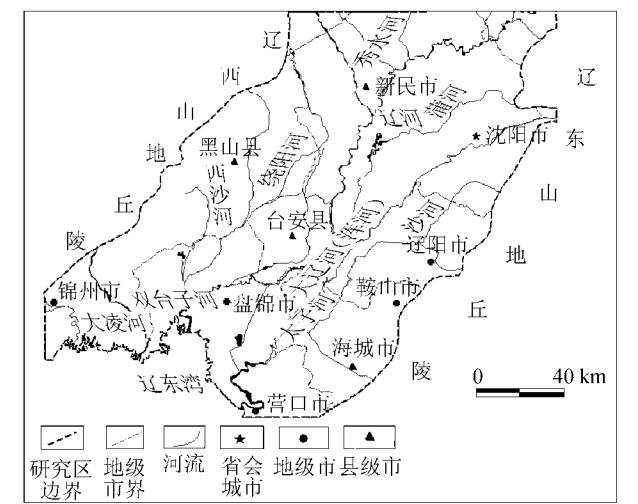


图 1 下辽河平原位置示意图

1.2 水资源状况

下辽河平原水资源总量为 407.94 亿 m³,其中地表水资源量为 302.49 亿 m³,占水资源总量的 3/4,地下水可开采资源量为 105.45 亿 m³,占水资源总量的 1/4,但在当前的供水结构中,地下水资源占据了总供水量的 51.9%。下辽河平原地下水平均开采程度为 62.2%,开采量保持在 53.71 亿 m³/a,这里是全省工农业基地,用水量占全省总用水量的 70%,水资源供需矛盾十分突出。对地下水的过度开发利用导致了地下水位下降,地面漏斗形成,漏斗面积达

249.44 km²。同时,工业废水和生活污水的任意排放导致地表河流污染严重,劣 V 类水质河流长度占河流总长度的 3/5,地表污染物随大气降水下渗补给地下水,使地下水水质不断恶化,地下水系统面临严重威胁,因此开展下辽河平原地下水系统恢复力研究势在必行。

2 地下水系统恢复力的定义和内涵

水资源系统的恢复力取决于水资源系统本身固有的自然属性以及人类活动对水资源系统的外在影响,目前对地下水系统恢复力尚无准确定义,笔者在查阅大量资料^[8-16]、遵循地下水系统生态健康标准和维持地下水系统功能的基础上,给予地下水系统恢复力如下定义:地下水系统恢复力指在地下水资源承载力范围内,地下水系统在受到外界激励(自然条件的变化和人类活动的影响)时,其结构、功能及特性发生变化,但当外界激励减弱或消失后该系统能够恢复正常的物质循环和能量流动,保持结构稳定,继续发挥资源供给、生态环境调节等功能的能力。

地下水系统恢复力内涵主要包含以下 3 方面的属性:①自然属性,即地下水系统恢复力问题的直接因子来源于自然禀赋特性,包括环境的优劣和资源的丰贫程度等;②社会属性,即地下水系统恢复力问题的载体是人类及其活动所在的社会与各种资源的集合,受人类活动强弱、社会经济和技术水平等影响;③可持续性,即地下水系统通过不断的水量再生和水质恢复满足水的持续性和生态系统的整体性,支持人口、资源、环境与经济的持续协调发展。

3 地下水系统恢复力评价指标体系

3.1 评价指标体系的构建

恢复力可以分为本质恢复力和特殊恢复力^[4],地下水系统恢复力也可分为 2 类。本质恢复力主要是指区域自身环境条件的优劣,如降水量、地下水资源量、含水层厚度和水力传导系数等区域先天条件决定的地下水系统恢复力的大小;特殊恢复力是指区域的社会经济发展水平对地下水系统恢复力的影响,如科技水平提高对污水的处理回用、节水农业的发展和水利环保投资比重的增加等社会经济因素对地下水系统恢复力的影响。

根据下辽河平原的具体情况,以地下水系统恢复力的内涵为基础,以维持地下水系统健康发展为目标,根据资料的可获取性,综合考虑含水层特性、补给条件、区域特点、技术水平和社会经济条件 5 个方面,选取 26 个指标构建地下水系统恢复力评价指标体系,见表 1(权重值 w 的确定见 4.1 研究方法)。

表 1 地下水系统恢复力指标体系

目标层	准则层	指标类型	指标层
地下水系统恢复力	本质恢复力	含水层特性 ($w = 0.2727$)	土壤类型($w = 0.0875$)
			包气带厚度($w = 0.1095$)
			含水层水力传导系数($w = 0.2190$)
	补给条件 ($w = 0.5455$)		给水度($w = 0.1460$)
			含水层厚度($w = 0.4380$)
			降水量($w = 0.4380$)
	区域特点 ($w = 0.1818$)		地表水资源量($w = 0.1460$)
			地下水资源量($w = 0.2190$)
			土地利用类型($w = 0.0875$)
特殊恢复力	技术水平 ($w = 0.3333$)		地形坡度($w = 0.1095$)
			地下水开采程度($w = 0.4380$)
			植被覆盖指数($w = 0.1460$)
	社会经济 ($w = 0.6667$)		水网密度指数($w = 0.2190$)
			地表水水质($w = 0.0875$)
			地下水矿化度($w = 0.1095$)
	技术水平 ($w = 0.3333$)		农业节水率($w = 0.2041$)
			中水回用率($w = 0.0680$)
			地表水控制率($w = 0.4082$)
	社会经济 ($w = 0.6667$)		工业废水达标处理率($w = 0.1020$)
			生活污水处理率($w = 0.0816$)
			化肥施用量($w = 0.1361$)
	技术水平 ($w = 0.3333$)		人均 GDP($w = 0.0875$)
			工业耗水率($w = 0.2190$)
			农业灌溉耗水率($w = 0.4380$)
	社会经济 ($w = 0.6667$)		地下水供水比($w = 0.1460$)
			水利环保投资比重($w = 0.1095$)

3.2 评价标准的确立

本文将地下水系统恢复力大小依次划分为强、较强、中等、较弱和弱 5 个等级,具体划分标准见表 2。为了定量表达地下水系统恢复力的状态,本文指标标准的确定参考国家相关规范以及已有文献中其他省市的指标标准,但由于目前地下水系统恢复力的研究较少,不同地区地下水系统恢复问题不尽相同,不同时段地下水系统恢复力也不是一个定值,所

以在应用评价指标标准的时候应该结合研究区的具体情况划分合理的评价等级。

4 地下水系统恢复力评价

4.1 研究方法及数据源

采用层次分析法和 GIS 空间叠加技术^[17]对下辽河平原地下水系统恢复力进行评价。层次分析法是一种定性分析和定量分析相结合的系统分析方法,通过明确问题、建立层次分析结构模型、构造判断矩阵、层次单排序和层次总排序 5 个步骤计算各层次构成要素相对于总目标的组合权重,从而得出可行的综合评价值,具有高度的逻辑性、系统性和实用性,笔者采用 AHP 方法确定指标权重,赋权结果见表 1。现以含水层特性为例说明其计算过程,含水层特性权重矩阵如下:

	土壤类型	包气带厚度	含水层水力传导系数	给水度	含水层厚度
土壤类型	1	4/5	2/5	3/5	1/5
包气带厚度	5/4	1	1/2	3/4	1/4
含水层水力传导系数	5/2	2	1	3/2	1/2
给水度	5/3	4/3	2/3	1	1/3
含水层厚度	5	4	2	3	1

采用 DPS 软件分别计算出各指标的权重:土壤类型权重 0.0875,包气带厚度权重 0.1095,含水层水力传导系数权重 0.2190,给水度权重 0.1460,含水层厚度权重 0.4380。判断矩阵的随机一致性比值 $CR = 0.0000 < 0.1$,符合一致性要求。

表 2 地下水系统恢复力评价指标标准分级

等 级	土壤类型	包气带厚度/m	含水层水力传导系数/ ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$)	给水度/%	含水层厚度/m	降水量/mm	地表水资源量/ ($10^4 \text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	地下水 资源量/ ($10^4 \text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	土地利用类型
1 级(强)	黄土状亚砂土	4~5	>40	>35	>90	>1000	>85	>20	水域、沼泽
2 级(较强)	亚黏土含砾	5~6 或 3~4	30~40	25~35	70~90	800~1000	45~85	13~20	林地
3 级(中等)	黏土、亚黏土	6~8 或 2~3	20~30	15~25	50~70	600~800	15~45	8~13	草地
4 级(较弱)	亚砂土	8~10 或 1~2	10~20	5~15	30~50	400~600	5~15	4~8	耕地
5 级(弱)	砾石、基岩	>10 或 <1	<10	<5	<30	<400	<5	<4	建设用地、未利用土地
等 级	地形坡度/%	地下水开采程度/%	植被覆盖指数	水网密度指数	地表水水质	地下水矿化度/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	农业节水率/%	中水回用率/%	地表水控制率/%
1 级(强)	<0.05	>100	>75	>55	I	<2	>80	>50	>50
2 级(较强)	0.05~0.10	80~100	55~75	45~55	II	2~3.5	60~80	30~50	25~50
3 级(中等)	0.10~0.15	60~80	35~55	35~45	III	3.5~5.5	40~60	20~30	15~25
4 级(较弱)	0.15~0.20	30~60	20~35	20~35	IV	5.5~10	30~40	10~20	5~15
5 级(弱)	>0.20	<30	<20	<20	V	>10	<30	<10	<5
等 级	工业废水达标处理率/%	生活污水处理率/%	化肥施用量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	GDP/ (10^4 元/人)	工业耗水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$)	农业灌溉耗水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$)	地下水供水比/%	水利环保投资比重/%	
1 级(强)	>97.5	>90	<200	>1.6	<200	<500	>60	>3.5	
2 级(较强)	92.5~97.5	75~90	200~250	1.3~1.6	200~400	500~1000	40~60	2.74~3.5	
3 级(中等)	85~92.5	55~75	250~300	0.8~1.3	400~600	1000~1500	20~40	1.47~2.74	
4 级(较弱)	80~85	35~55	300~350	0.5~0.8	600~1000	1500~2000	10~20	0.7~1.47	
5 级(弱)	<80	<35	>350	<0.5	>1000	>2000	<10	<0.7	

GIS 具有支持空间数据获取、管理、分析、建模和显示的功能, GIS 技术与各种数学模型相结合, 在计算机硬件、软件环境支持下, 适时提供多种空间和动态的地理信息。利用 GIS 软件 mapinfo 的外挂模块 vertical mapper, 选择 vertical mapper-create grid-region to grid, 在 source table 里选择要网格化的表, column 里选择 score 字段, cell size 里为 0.001 个地图单位, 将整个研究区划分为 2772×1659 个单元, 再选择 grid manager-analysis-calculator, 应用叠加功能按各个因子的权重值进行图层间的叠加分析, 得到本质恢复力图、特殊恢复力图 and 综合恢复力图。根据各指标数值所处的恢复力标准级别, 分别赋予 1, 3, 5, 7, 9 的贡献值, 贡献值越小, 表明恢复力越强, 通过贡献值与指标权重的乘积得到恢复力指数。

地下水系统恢复力指数 $I = x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_nw_n$, 其中 x 为各指标贡献值; w 为各指标权重。 I 越大的区域, 地下水系统恢复力越弱, 即地下水系统恢复力较差, 资源量少或是容易受到污染。这里需要指出的是通过模型计算的 I 所表达的只是一个相对的概念, 根据下辽河平原的具体情况和指数的最大值与最小值, 将恢复力均分为 5 个级别。

本文选用的遥感数据为 2008 年 Landsat ETM 数据。非遥感数据包括《辽宁省地下水资源评价报告》、《辽宁省国土资源地图集》、《辽宁省水资源公报》、《辽宁省统计年鉴》、《中国环境统计年鉴和中国城市统计年鉴》等。主要用 MapInfo7.0, ArcView3.3, Erdas9.2, DPS 等软件来获取和处理数据。

4.2 评价结果与分析

本质恢复力和特殊恢复力评价结果见图 2、图 3。

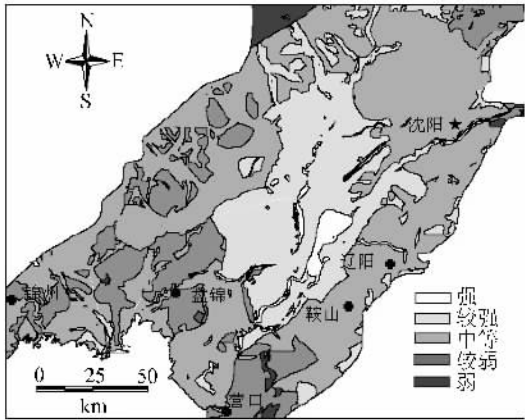


图 2 下辽河平原地下水系统本质恢复力评价示意图

本质恢复力强和较强 ($I = 3.5890 \sim 5.26456$) 的区域主要分布于新民-辽中平原和辽中-台安平原, 占研究区总面积的 28.06%, 恢复力最强的区域占

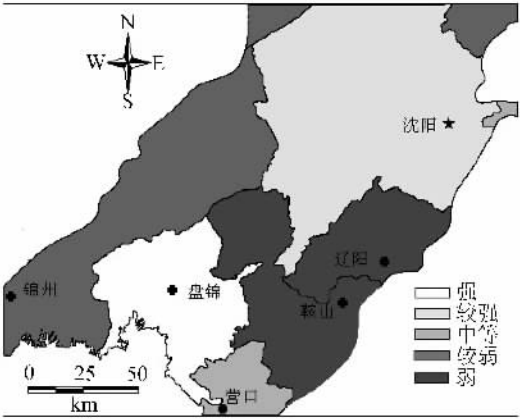


图 3 下辽河平原地下水系统特殊恢复力评价示意图

1.94%, 主要是因为这里含水层厚度较大, 地下水资源丰富, 具有先天的资源优势, 地形平坦, 植被覆盖指数较高, 含水层水力传导系数较大, 包气带厚度适中, 有利于降水的充分吸收下渗, 地下水开采具有较大潜力, 总体来看地下水系统恢复力较高; 中等恢复力 ($I = 5.26456 \sim 6.10234$) 主要分布在辽河冲积扇、浑河冲积扇、北部河谷平原和东西部扇前平原的部分地区, 占研究区总面积的 53.19%, 这些地区地下水资源不十分丰富, 但水网密度指数较大, 加之土壤类型主要是亚黏土含砾, 给水度较大, 易于吸收下渗, 使该区地下水恢复力处于中等水平; 恢复力较弱和弱 ($I = 6.10234 \sim 7.7779$) 的地区主要分布于大小凌河冲积扇、羊肠河冲积扇和黑鱼沟河冲积扇的部分地区及南部的滨海平原, 北部的阜新铁岭等地, 占研究区面积的 18.75%, 恢复力最弱的区域占 1.74%, 这些地区含水层较薄, 平均在 40 m 左右, 阜新、营口和抚顺单位面积地下水资源量分别为 4.49 万 m^3 , 5.15 万 m^3 和 4.74 万 m^3 , 地下水资源匮乏, 地形坡度较大, 含水层水力传导系数较小, 地下水接受的补给量少, 导致这些地区地下水系统本质恢复力较差。

特殊恢复力较高的地区是盘锦, 其中地表水控制率仅次于辽阳, 为 72.49%, 地表水是主要供水水源, 农业节水率高达 84.5%, 为沈阳的 2.47 倍, 工业耗水率却较低, 中水回用率达 2.55%, 为 9 市最高值, 使盘锦在特殊恢复力方面远远高于其他地区; 其次是沈阳, 沈阳市的人均 GDP 为 5.42 万元, 工业耗水率仅 $16.27 \text{ m}^3/\text{万元}$, 水资源利用率较高; 抚顺和营口处于中间水平, 抚顺市的化肥施用量为 $253.97 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 为 9 市最低值, 浑河抚顺段地表水水质为 IV 类及 IV 类以上, 地下水水质较好, 营口的水利环保投资比重为 6.2%, 处于 9 市最高水平, 锦州、铁岭和阜新处于较低水平, 人均 GDP 分别为 2.23 万元, 1.75 万元和 1.21 万元, 社会经济发展水

平较低,水利环保投资比重较小,对地下水系统的保护和关注没有引起足够重视,鞍山和辽阳地下水系统特殊恢复力处于最低水平,鞍山市地表水控制率仅为0.61%,水利环保投资比重仅为0.5%,生活污水处理率较低,辽阳农业耗水率为2801.11 m³/万元,水资源利用效率低,导致地下水特殊恢复力处于最低水平。

综合恢复力考虑本质恢复力和特殊恢复力2个方面。地下水系统是自然系统,水量的增加和水质的改善根本上要有丰沛的降水、充足的补给来源、有利的吸收下渗环境,社会经济方面主要是节约用水,污水回用等措施增加水资源的利用效率,因此将本质恢复力和特殊恢复力图层分别赋权0.7、0.3,强调本质恢复力在地下水恢复中的重要作用,见图4。根据计算出的地下水系统恢复力指数将其均分为5级,即综合恢复力的评价标准为3.9652~4.4066,4.4066~4.8480,4.8480~5.2894,5.2894~5.7308,5.7308~6.1722等5个等级。

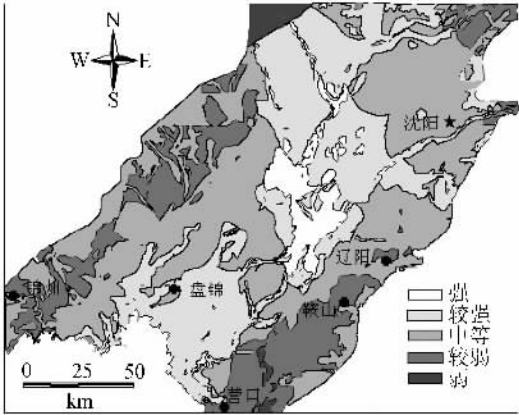


图4 下辽河平原地下水系统综合恢复力评价示意图

恢复力强和较强($I = 3.9652 \sim 4.848$)的地区主要分布在新民-辽中平原、柳河平原和南部滨海平原,占研究区总面积的37.31%,其中恢复力最强的区域占5.42%,含水层厚度较大,多数地区达100 m以上,恢复力较强的柳河平原和南部滨海平原年平均降水量为674 mm,大部分地区含水层水力传导系数较大,地形平缓,包气带厚度适中,有利于地下水的充分下渗,地表水资源对地下水补给作用显著,其中南部滨海平原的盘锦地区,在地下水系统特殊恢复力方面占有绝对优势;中等恢复力($I = 4.848 \sim 5.2894$)主要分布于辽河冲积扇、浑河冲积扇、太子河冲积扇及西部扇前平原的部分地区,占研究区面积的44.06%,这里降水量不十分丰富,但植被覆盖指数高,土壤类型主要为亚黏土含砾,含水层渗透性较好,有利于地下水资源的补给,对地下水资源恢复比较有利,使这一地区地下水恢复力处于中等水平;

恢复力较弱和弱的地区($I = 5.2894 \sim 6.1722$)主要分布在大小凌河冲积扇、羊肠河冲积扇、黑鱼沟河冲积扇、海城河冲积扇和北部的阜新铁岭等地,占研究区总面积的18.63%,恢复力最弱的地区占1.58%,主要是由于这里含水层较薄,地下水资源匮乏,地形坡度大,含水层水力传导系数较小,给水度也较小,地下水得到的降水补给较少,阜新的工业废水处理率和生活污水处理率均较低,水利环保投资比重亦不高,导致这些地区地下水系统恢复力很差。下辽河平原地下水系统恢复力面积比例见表3。

表3 下辽河平原地下水系统恢复力面积比例 %

恢复力分类	强	较强	中等	较弱	弱
本质恢复力	1.94	26.12	53.19	17.01	1.74
特殊恢复力	4.18	16.17	20.66	41.51	17.48
综合恢复力	5.42	31.89	44.06	17.05	1.58

由表3可以看出,下辽河平原地下水系统恢复力较强、中等和较弱区域所占面积最大,地下水系统恢复力有待进一步提高。在此应该说明的是各地区的自然情况和社会经济情况不同,所以本质恢复力和特殊恢复力的权重也不尽相同,在进行图层叠加时要具体情况具体分析,如社会经济条件较好的地区,特殊恢复力的权重可能相应增大,本质恢复力的权重相应减小,使之能准确反映不同区域地下水系统恢复力的大小。

5 对策及建议

结合上述地下水系统恢复力评价结果和分析,根据下辽河平原的实际情况,提出以下提高地下水系统恢复力的对策:

a. 东西部山前冲洪积平原和北部的阜新抚顺地下水资源相对贫乏,今后要提高地表水控制率,加强水利工程建设,在传统水资源利用效率不断提高的同时,加大非常规水资源(雨水、海水和中水)的替代率。铁岭市和抚顺市降水量较多,将雨季的降水收集储存,用于卫生、农作物灌溉、绿地用水、道路洒扫、洗车用水等,既可以减轻城市排水压力,又是对传统水源的一种补偿。对于辽阳首山水源地和辽河冲积扇等已经形成漏斗的区域,要调整地下水资源的开采布局,避免集中开采,制定年度采灌方案,合理进行人工回灌。

b. 中部平原是区域地表水和地下水的汇集场所,从水文地质构造单元上看,它是典型的地下水库,开发潜力很大,修建地下水库,调蓄水资源,实现以丰补歉,可以对含水层有计划地补给与开采,是一种高效利用有限水资源、实现水资源可持续发展的重要途径,将地下水库中的优质水用于饮用,地表水

用于农业灌溉和工业生产等 ,实行分质供水 ,优质优用。

c. 南部滨海平原如锦州市、营口市和盘锦市海水利用潜力巨大 ,今后应加大科技投入 ,使海水利用产业化、规模化 ,同时沈阳市、鞍山市等经济技术条件优越的地区应提高水资源利用效率和节水器具的安装使用 ,提高污水资源化利用。

d. 北部的河谷平原地下水恢复力处于中等水平 ,但地下水资源不是十分丰富 ,应控制地下水资源开采 ,并采取季节性回灌等措施 ,增加科技投入 ,降低农业耗水率。

本次研究在提出地下水系统恢复力定义及内涵的基础上 ,从宏观上构建了下辽河平原地下水系统恢复力指标体系与评价标准 ,由于受资料所限 ,指标的选取以及评价等级的划分可能还不够成熟 ,会在以后的研究中继续补充和完善。采用层次分析法与 GIS 空间叠加分析技术对下辽河平原地下水系统恢复力进行评价 ,研究成果对下辽河平原地下水资源的开采与保护具有一定的参考价值。

参考文献：

[1] 王大纯 ,张人权 ,史毅虹 ,等 . 水文地质学基础[M]. 北京 :地质出版社 ,2004.

[2] 刘婧 ,史培军 ,葛怡 ,等 . 灾害恢复力研究进展综述[J]. 地球科学进展 ,2006 ,21(2) :211-218.

[3] 赵卓 . GIS 支持下的二松流域水资源系统恢复力评价[D]. 长春 :东北师范大学 ,2009.

[4] 于翠松 . 山西省水资源系统恢复力定量评价研究[J]. 水利学报 ,2007 ,38(增刊) :495-499.

[5] 倪深海 . 半湿润地区水生态环境恢复研究[D]. 南京 :河

海大学 ,2003.

[6] 刘东 ,马永胜 . 三江平原挠力河流域地下水恢复研究进展[J]. 东北农业大学学报 ,2008 ,39(8) :140-144.

[7] 苏莹莹 ,刘国强 . 论华北地区地下水生态环境恢复[J]. 黑龙江水利科技 ,2009 ,37(3) :15-16.

[8] 林学钰 ,廖资生 ,赵勇胜 ,等 . 现代水文地质学[M]. 北京 :地质出版社 ,2005.

[9] 孙才志 ,刘玉玉 . 地下水生态系统健康评价指标体系的构建[J]. 生态学报 ,2009 ,29(10) :5665-5674.

[10] 孙晶 ,王俊 ,杨新军 . 社会生态系统恢复力研究综述[J]. 生态学报 ,2007 ,27(12) :5371-5381.

[11] 孙涛 ,杨志峰 . 河口生态系统恢复评价指标体系研究及其应用[J]. 中国环境科学 ,2004 ,24(3) :381-384.

[12] GUNDERSON L H ,HOLLING C S ,PRITCHARD L ,et al . Resilience in the earth system : biological and ecological dimensions of global environmental change[M]. Chichester :John Wiley & Sons Ltd :Published Online ,2001 :530-531.

[13] FOLKE C ,CARPENTER S ,ELMQVIST T ,et al . Resilience and sustainable development :building adaptive capacity in a world of transformation[J]. Ambio ,2002 ,31(4) :437-440.

[14] BRIAN W ,HOLLING C S ,CARPENTER S R ,et al . Resilience adoptability and transform ability in social-ecological systems[J]. Ecology and Society ,2004 ,9(2) :5-12.

[15] 赵晓英 ,孙成权 . 恢复生态学及其发展[J]. 地球科学进展 ,1998 ,13(5) :474-480.

[16] 张永泽 ,王烜 . 自然湿地生态恢复研究综述[J]. 生态学报 ,2001 ,21(2) :309-314.

[17] 曾庆雨 ,田文英 ,王言鑫 . 基于复合权重 :GIS 的下辽河平原地下水脆弱性评价[J]. 水利水电科技进展 ,2009 ,29(2) :23-26.

(收稿日期 :2011-04-08 编辑 :方宇彤)

· 简讯 ·

《水利水电科技进展》被“中国科学引文数据库”收录

据中国科学院国家科学图书馆通知 ,经过新一轮的遴选《水利水电科技进展》从 2011 年起成为“中国科学引文数据库”(Chinese Science Citation Database ,简称 CSCD)的来源期刊。这是继《河海大学学报(自然科学版)》之后又一个进入该数据库的河海大学主办的期刊。

“中国科学引文数据库”建于 1989 年 ,建库以来深受我国教育、科技界的重视 ,有“中国的 SCI”之称。目前 ,“中国科学引文数据库”从我国出版的 5000 多种科技期刊中遴选出 1124 种优秀科技期刊 ,其中英文刊 110 种 ,中文刊 1014 种 ,覆盖自然科学、医学、工程技术、等学科领域 ,面向广大用户提供网络检索、情报分析服务。经过 20 多年的发展 ,“中国科学引文数据库”已成为我国科研绩效评估、科研进展发现的重要工具。2007 年 ,“中国科学引文数据库”与美国 Thomson . Reuters Scientific 合作 ,登录 ISI Web of Knowledge 平台 ,成为 ISI Web of Knowledge 平台上第一个非英文语种的引文数据库 ,为全世界更多的科研人员了解中国的科研发展及动态 ,推动我国科研成果在全球的传播提供了重要的渠道 ,为我国期刊面向全球提供了展示平台。

(本编辑部供稿)