

浅层地下水功能评价指标体系——以河南省平原岗区为例

杜金龙¹, 靳孟贵¹, 罗育池^{1,2}, 魏秀琴³

(1. 中国地质大学环境学院, 湖北 武汉 430074 ; 2. 湖南省耒阳市规划管理局, 湖南 耒阳 421800 ; 3. 河南省地质环境监测院, 河南 郑州 450006)

摘要 河南省平原岗区因地下水开采出现了水位下降, 严重超采地区形成局部降落漏斗, 一些地区出现不同程度的地面沉降, 咸水入侵淡水含水层以及地下水被污染。对此地区进行浅层地下水系统功能区划, 自上而下构建了由系统层、功能层、属性层、指标层组成的评价指标体系, 有 19 个评价指标。区划结果反映了研究区地下水功能状况。

关键词 浅层地下水 水质评价 指标体系 功能区划 河南省

中图分类号 X824 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2007)06-0089-04

Assessment index system for shallow groundwater function : A case study on the plain and hummock of Henan Province

DU Jin-long¹, JIN Meng-gui¹, LUO Yu-chi^{1,2}, WEI Xiu-qin³

(1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China ; 2. Leiyang City Bureau of Planning Administration of Hunan Province, Leiyang, 421800, China ; 3. Henan Provincial Institute of Geo-Environment Monitoring, Zhengzhou 450006, China)

Abstract Drawdown of water level appears in the plain and hummock of Henan Province due to groundwater exploitation. Depression cones come into being in some overdraft regions and land subsidence appears more or less. Saltwater intrudes the freshwater aquifer and groundwater is polluted. Function regionalization was carried out for the shallow groundwater system in the area. Nineteen indexes were chosen to constitute an assessment index system with the systematic level, function level, attribute level and index level. The function regionalization reflects the actual condition of groundwater function in the area.

Key words shallow groundwater ; water quality assessment ; index system ; function regionalization ; Henan province

目前,我国在地下水利用时,主要面临三大问题——水资源枯竭、生态功能退化、环境地质灾害加剧,它们都是地下水功能丧失和受到严重破坏的外在表现^[1]。地下水的资源供给功能、生态环境维持功能和地质环境稳定功能相互制约、相互促进,只有协调好三者的关系,才能有效地保护生态及地质环境,实现地下水的可持续利用。

20 世纪 90 年代以来,河南省地下水开采量以 4% 的速度递增,至 2004 年已达 119.3 亿 m³,其中平原区浅层地下水开采率达到 63.8%,境内海河流域与黄河流域更是高达 94.7% 与 87.2%。由于片面突出地下水资源功能,忽视其生态功能与地质功能,导致局部地区地下水长期超采,引发了水位持续下

降、地面沉降、咸水入侵等一系列环境地质问题。同时,由于河南省(尤其是黄淮冲积平原)地下水环境脆弱,浅层地下水污染严重,极大影响了地下水资源功能的发挥。因此,有必要进行地下水功能区划,分区段有针对性地进行地下水开发与保护,实现河南省平原岗区浅层地下水可持续性利用。建立归一、规范和实用的评价指标体系是正确进行地下水功能区划的基础。

1 研究区背景

1.1 水文地质概况

河南省平原岗区包括黄淮海冲积平原、太行山前倾斜平原、南阳盆地、伊洛盆地、灵三盆地、淮河及

其支流河谷地带,面积 9.30 万 km²,占全省面积的 55%。第四系河湖相沉积物广泛分布,局部为风积与洞穴沉积物。含水层主要由冲洪积成因的砂、砂砾、卵砾组成,结构松散,分选性好,具有埋藏浅、厚度大、渗透性强、分布广而稳定的特点。浅层孔隙地下水(简称浅层地下水)赋存于地下 0~60 m 范围,一般为潜水,局部为微承压水,水位主要受地形控制,同时受人工开采和地质条件影响,山前岗地地下水位一般在 30 m 左右,平原区地下水位埋深由山前向平原逐渐变浅。

浅层地下水系统接受大气降水、地表水、灌溉回渗水补给,以人工开采、潜水蒸发、侧向径流等方式排泄,水平径流较微弱。地下水动态类型以降水入渗—开采型为主,分布在平原区的中部、东部、东南部及南阳盆地,占平原区面积 50% 以上。受不同程度的开采影响,地下水位演变趋势可分为持续下降、阶段性下降、相对稳定三种基本类型。

1.2 地下水开发中存在的问题

1.2.1 地下水降落漏斗

河南省 77.9% 的平原区因地下水开采出现水位下降,平均降速为 0~0.4 m/a,最高可达 1.23 m/a。目前已形成两个区域性降落漏斗:①安阳—濮阳漏斗,面积 8 236 km²,平均降速 0.55 m/a,以南乐—清丰(水位埋深 20~22 m)及滑县东部(水位埋深 18~20 m)为中心;②温县—孟州漏斗,面积为 562 km²,平均降速 0.54 m/a,中心水位埋深 20~22 m。除此之外,河南省的重要城市如许昌、郑州、商丘等地,因地下水严重超采形成局部降落漏斗。

1.2.2 地面沉降

河南省平原区,第四系河湖相沉积物厚度巨大,以黏性及砂性土为主,胶结程度差,其中黏性土孔隙比大,压缩性强,大量抽取地下水后易产生地面沉降。许昌、洛阳、开封、濮阳等地出现不同程度的地面沉降(表 1)。根据地下水开采状况及水位下降情况,商丘、郑州等城市存在潜在性地面沉降问题。

表 1 河南省地面沉降

沉降区域	沉降面积/ km ²	中心累计 沉降量/mm	沉降速率/ (mm·a ⁻¹)
许昌	5	170	4
洛阳		140	5
开封		130	7
濮阳	140	60	8

1.2.3 咸水入侵

咸水广泛分布于豫东、豫北的山前冲积平原交接洼地、黄河冲积扇前缘、黄河背河洼地、黄河故道及其两侧槽形洼地中,呈不连续的斑状、条带状。咸水层厚度总体分布特征为:沿黄河冲积扇脊轴方向,

从顶部到前缘(自西向东)逐渐变厚变深,到虞城达最大值,之后急剧变小至消失;垂直脊轴方向,北侧伸入山东和河北,南侧到项城趋于消失。咸水区周边地区地下水开采导致水位不断下降,咸水入侵淡水含水层。

1.2.4 地下水污染

河南省地下水环境脆弱,尤其在黄淮冲洪积平原,地下水水位埋深较小,包气带岩性以砂性土为主,地下水极易受到污染。河南省区域地下水受生活污染和农业面源污染,主要超标因子为总硬度、溶解性总固体、三态氮和微生物。城市地下水受生活污染与工业三废污染,主要超标因子除上述物质外还含有挥发酚、氰化物、砷化物、六价铬、汞、镉等毒害物质。值得注意的是矿产资源滥采滥挖(以煤矿最为严重)所产生的废水、废渣已成为地下水重要的污染源。参照 GB/T14848—1993《地下水质量标准》得出河南省地下水质量综合评价结果,见表 2。

表 2 河南省地下水质量综合评价

水质等级	用 途	分布范围
I、II	可直接饮用	豫北太行山区、豫南伏牛山区、桐柏大别山区
III	适当处理可供饮用	原生高矿化度、高氟、低碘地下水分布区
IV	可供工农业利用	部分污染严重的河流两侧、城市周围
V	不可直接利用	化工、石油、采矿等污染严重的“五小”企业周围,呈点状或片状

2 地下水功能评价及其指标体系

地下水功能是指地下水的质和量及其在空间和时间上的变化对人类社会和环境所产生的作用或效应,主要包括地下水的资源供给功能(简称“资源功能”)、生态环境维持功能(简称“生态功能”)和地质环境稳定功能(简称“地质环境功能”)[2]。此处的资源功能是狭义的对人类社会经济用水的供给功能,不同于目前国际上对地下水一些更广义的看法[3-4],认为地下水资源供给对象还应包括生态环境系统。

地下水功能评价是以流域尺度地下水系统为研究主体,地下水各项功能为评价对象,参照地表水功能评价区划[5],采用系统分析、定性判断、定量决策、综合评价的方法[6]确定研究区不同区段地下水功能状况,为地下水功能区划与地下水利用规划提供依据。评价流程如图 1。

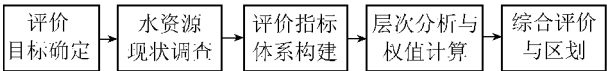


图 1 地下水功能评价流程

地下水功能评价指标体系,是根据系统评价目标,通过分析系统中各因素之间的隶属与群组关系,所建立的递阶层次结构。目前中国地质科学院水文地质环境地质所推广使用的‘地下水功能评价与区划方法’(以下简称‘方法’),如图2所示。

3 评价指标的选取

在‘方法’中,指标层包括30个评价指标,本文结合河南省平原岗区实际情况,对评价指标进行适当取舍,最后确定19个指标,构成研究区地下水功能评价基础,如图2所示。

3.1 资源功能 B_1

3.1.1 资源占有性 C_1

资源占有性是一个相对概念,反映评价分区的各种地下水资源量在相应系统总量中的占有情况。‘方法’中选择区外区内补给资源占有率、储存资源占有率、可利用资源占有率4个指标。由于研究区资料所限,补给资源没有按照区外区内分开计算,因此将总的补给资源占有率作为评价指标 D_1 。地下水资源功能主要反映在资源的开采供给,因此本文将可利用资源占有率作为地下水资源占有性的关键指标。河南省平原岗区地下水可开采量的计算是认定地下水位埋深为4m(此深度为潜水的蒸发极限),地下水得到的补给量减去不可夺取的排泄量^[7],岗地地下水可开采量采用可采系数法评价,据水文地质条件差异可采系数取0.9~0.3。

3.1.2 资源再生性 C_2

资源再生性反映了地下水资源补给与更新能力。‘方法’中选取补储更新率、补给可用率、补采平衡率和降水补给比4个评价指标。笔者认为后3个

指标均有值得商榷的地方。‘方法’中对补给可用率的解释为‘评价分区的补给资源模数与可利用资源模数的比率’,并认为该值越大即可利用资源占补给资源的份额越少,说明资源再生性越强,这显然是不合常理的,应将该指标替换为与其成倒数关系的‘可用补给率’。同样的悖论也出现‘降水补给比’这个指标的定义上,同理应替换为‘补给降水比’,但考虑到该指标与可用补给率相比处于非常次要地位,因此在本文中舍去。另外补采平衡率与资源开采潜力指数 D_9 意义相似,为免冗杂也舍去。因此,资源再生性选取2个评价指标 补储更新率 D_4 和可用补给率 D_5 。

3.1.3 资源调节性 C_3

资源调节性反映地下水水位对降水、补给和开采的响应。‘方法’中选取了水位变差补给比、水位变差开采比与水位变差降水比3个评价指标。考虑到补给量与降水量都表示了外界对地下水的补给,故舍去水位变差降水比。因此,资源调节性选用2个评价指标 水位变差补给比 D_6 、水位变差开采比 D_7 。 D_6 、 D_7 在反映地下水调节性方面同等重要,在假定年均补给量、年均开采量不变时,地下水水位变化越小,则地下水调节性越好。

3.1.4 资源可用性 C_4

资源可用性主要反映地下水资源可被合理利用的能力。‘方法’中选取了可采资源模数、可用储量模数、资源质量指数、资源开采程度4个指标。考虑到可采资源模数与可利用资源占有率 D_3 在经过归一化处理后其数值相同,为避免重复将其舍去。由于储存资源作为一种战略储备在日常不宜开采,故

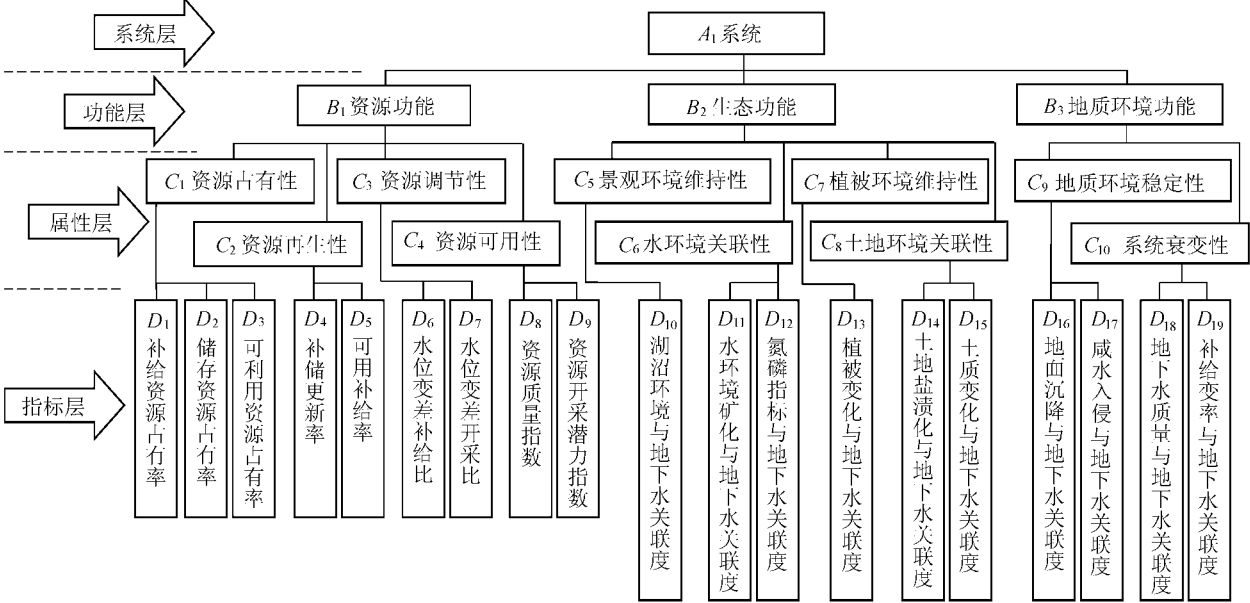


图2 地下水功能评价指标体系层次结构模型

可用储量模数这一指标也不考虑。“方法”中将“评价分区的近5~12a多年平均可利用量与对应实际开采量的比率”定义为“资源开采程度”的做法有欠妥当,根据现有习惯建议更名为“资源开采潜力指数”。因此,资源可用性选取2个评价指标:资源质量指数 D_8 与资源开采潜力指数 D_9 。 D_8 反映了地下水质量好坏,以地下水质量评价所确定的质量等级为基础,赋值关系如表3。 D_9 反映了地下水资源的开发前景。 D_8 与 D_9 同等重要,其值越大说明地下水资源可用性越好。

表3 地下水资源质量指数赋值

地下水质量等级	I	II	III	IV	V
资源质量指数	0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	0.2~0

3.2 生态功能 B_2

3.2.1 景观环境维持性 C_5

景观环境维持性,反映了地下水对湿地或湖泊环境或独特水文地质景观(如泉)的维持作用。“方法”中选定湖沼环境与地下水关联度(主要与地下水位的关联度,下同)、景变指数(景观变化指标)与地下水关联度2个指标,由于后一指标所针对的独特水文地质景观(主要指泉)在河南省平原岗区不存在,因此景观环境维持性仅选用评价指标:湖沼环境与地下水关联度 D_{10} 。河南省湖沼环境主要为人工湖泊(水库), D_{10} 主要反映水库的空间变化(水深或面积)与同期地下水位变差的比值, D_{10} 的值越大,水库对地下水位的依赖性越强,越要注意对地下水的保护。

3.2.2 水环境关联性 C_6

水环境关联性是指地表水体环境质量与地下水关联性的简称,反映地下水对地表湿地或湖泊环境质量的作用,主要表现在地表水体咸化、富营养化与地下水的关联度,“方法”选用水环境矿化与地下水关联度、氮磷指标与地下水关联度2个指标,笔者对比未作更改,将两者作为评价指标 D_{11} 、 D_{12} 。受资料所限,将指标 D_{12} 中的氮磷变化替换为生物耗氧量变化。研究区的 D_{11} 、 D_{12} 主要反映水库环境。

3.2.3 植被环境维持性 C_7

植被环境维持性反映地下水对地表植被生态系统(人工草场、天然植被、绿洲)生存发展的维持作用。河南省牧草地(人工草场)分布范围较小,仅占河南省面积的0.09%,因此仅考虑地下水对植被的维持性,选择植被变化与地下水关联度 D_{13} 作为评价指标。植被覆盖率获得的最佳途径是遥感解译,笔者利用遥感解译资料获得2003年与2005年之间的植被覆盖率的变化率。

3.2.4 土地环境关联性 C_8

土地环境关联性反映地下水对土地质量状况变化的作用,“方法”中选取土地沙化与地下水的关联度、土地盐渍化与地下水的关联度、土地质量变化与地下水的关联度3个指标。河南省重沙地以及沙荒地占全省面积的3.6%,范围较小,不作考虑。因此本文仅选用后2个评价指标 D_{14} 、 D_{15} 反映地下水位与土地环境关联性。

3.3 地质环境功能 B_3

3.3.1 地质环境稳定性 C_9

地质环境稳定性指地下水变化对地质环境稳定性的作用,也即各种地质环境问题与地下水的关联度。在河南省主要存在地面沉降与咸水入侵两大地质环境问题,因此评价指标与“方法”基本一致,选取地面沉降与地下水位关联度 D_{16} 、咸水入侵与地下水位关联度 D_{17} 。

3.3.2 系统衰变性 C_{10}

地下水系统衰变性反映地下水变化对其系统补给、更新或质量等的作用。研究区为平原岗区,不存在泉,因此本文不考虑“方法”中提到的泉变化与地下水关联度指标,而仅考虑地下水质量与水位关联度 D_{18} 、地下水补给变率与水位变差比 D_{19} 。

4 评价结果

根据以上建立的地下水功能评价指标体系,采用主导功能区划模式,对浅层地下水综合功能状况进行评价,将研究区分为可持续性强区、可持续性较强区、可持续性一般区、可持续性较弱区、可持续性弱区,如图3所示。

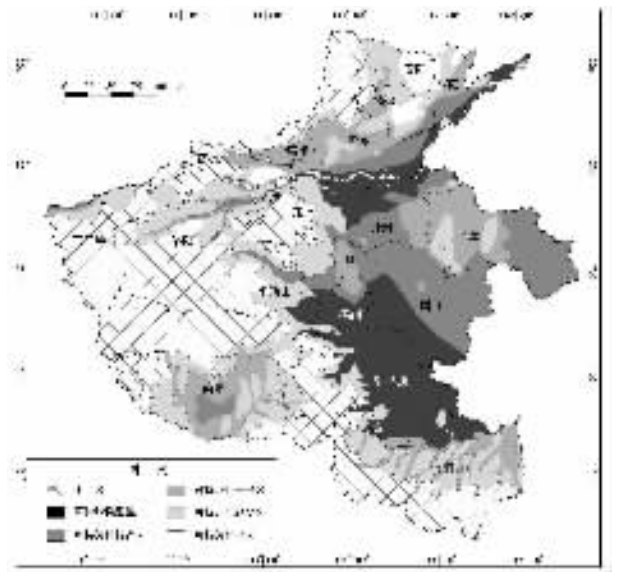


图3 河南省平原岗区浅层地下水功能综合区划

从图3中可以看出,可持续性强区主要分布于黄河下游沿岸、淮河平原大部, (下转第96页)

可以看出,20世纪 60 年代以前湿地生态环境质量水平达到Ⅰ级标准,湿地生态系统保持良好的自然状态,结构十分完整合理,系统活力很强,功能水平正常,外界压力较小,恢复能力很强,无生态异常出现,系统稳定,处于可持续状态。进入 20 世纪 60 年代以后,湿地受人为活动干扰大,生态环境质量逐年下降,1995 年达到最低点,此时湿地生态环境质量仅能达到 4 级。2000 年开始,湿地生态环境质量逐步改善,到 2004 年有较大的改善,生态环境质量提升到 3 级。

结合拉鲁湿地发展沿革和综合评价结果发现,湿地的破坏和恢复工作有一定的滞后性,如 1991 年修建中干渠,造成生态环境的极大破坏突出体现在 1994~1995 年,1999 年开始恢复与重建工作的实效也从 2000 年开始逐渐体现。同时也说明,拉鲁湿地自然保护管理委员会的管理是科学的,课题组提出的 5 大恢复与重建措施是有效的,拉鲁湿地的恢复与重建呈现良好的发展势头。

4 结 语

湿地由于具有丰富的资源、独特的生态结构和功能,同时具有脆弱性,加强湿地生态环境保护,有效防止湿地生态功能减退,科学合理利用好湿地生态资源,服务于社会、经济和环境的可持续发展,已成为当今世界各国政府和专家学者普遍关注的热点

(上接第 92 页)

地下水资源丰富,水质良好,尚有较大开采潜力的地区,可发挥地下水的资源功能强而弱化其他功能。可持续性较强区分布于黄河下游影响带、淮河平原北部、伊洛河中下游河谷、灵三盆地黄河沿岸一级阶地及漫滩区、南阳盆地中部,水资源相对丰富,水质良好,地下水处于补采平衡,在利用地下水资源功能时需兼顾其他功能。可持续性一般区分布于太行山前倾斜平原、黄河下游北部、黄河以南开封东—商丘西及许昌—漯河北一带、淮河北岸正阳—息县南一带及南岸桐柏大别山间河谷、灵三盆地黄河沿岸二三级阶地、伊洛河上游河谷、南阳盆地唐白河流域,地下水已出现超采现象,水位有持续下降趋势,并有潜在的生态问题及环境地质问题,地下水应调节开采并注意对生态与地质环境功能的保护。可持续性较弱区分布于山前岗地、灵三盆地东部与南部、黄河以北安阳—新乡东一线,黄河以南商丘西—周口北一带,水文地质条件较差,地下水超采较为严重,水质较差,地下水应限制开采并加强对生态与地质环境功能的保护。可持续性弱区分布于黄河以北的安阳—汤阴东—内黄一线、滑县东部、南乐中部、孟州—温县一带,地下水超采严重,已成为区域或局部降

问题。近几十年来,拉鲁湿地受人类活动的强烈干扰,湿地面积逐年减少,干化、退化趋势十分明显,对拉鲁湿地的恢复与重建是非常迫切和重要的。在近几年的探索和研究中,拉鲁湿地的恢复和重建工作取得了一定的成绩和效果,但湿地的进一步恢复和保护工作的任务仍十分艰巨。在总结经验的基础上,继续探索高原湿地的保护与恢复的思路与方法,具有重要的战略意义。

参考文献:

[1] MITSCH W J, GOSSELINK J G. Wetlands [M]. 2nd. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993 507-527.
[2] 杨永兴. 国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望 [J]. 地理科学进展, 2002, 21 (2) : 111-120.
[3] 何池全, 崔保山, 赵志春. 吉林省典型湿地生态评价 [J]. 应用生态学报, 2001, 12 (5) : 754-756.
[4] 杨波. 我国湿地评价研究综述 [J]. 生态学杂志, 2004, 23 (4) : 146-149.
[5] 拉萨市环境保护局, 四川大学. 拉萨拉鲁湿地自治区级自然保护区总体规划 [R]. 2000.
[6] 华国春, 李艳玲, 黄川友, 等. 拉萨拉鲁湿地生态恢复评价指标体系研究 [J]. 四川大学学报 工程科学版, 2005, 37 (6) : 20-25.
[7] 李永建. 拉鲁湿地生态环境质量评价的景观生态学方法应用研究 [D]. 成都 四川大学, 2002.

(收稿日期 2006-08-29 编辑 舒 建)

落漏斗中心,水质极差,地下水不宜开采,应全面保护地下水生态与地质环境功能,大力开展生态与地质环境修复工作。

参考文献:

[1] 唐克旺, 杜强. 地下水功能区划分浅谈 [J]. 水资源保护, 2004 (5) : 16-19.
[2] 张光辉, 申建梅, 聂振龙, 等. 区域地下水功能及可持续利用性评价理论与方法 [J]. 水文地质工程地质, 2006 (5) : 62-71.
[3] PARSONS R. Resources directed measures for protection of water resources groundwater component [R]. South Africa: Department of Water Affairs and Forestry, 1999 4-10.
[4] HATTON T, EVANS R, MERZ S K. Dependence of ecosystems on groundwater and its significance to Australia [R]. Australia: Land and Water Resources Research and Development Corporation, CSIRO, 1998 23-28.
[5] 王超, 朱党生, 程晓冰. 地表水功能区划分系统的研究 [J]. 河海大学学报 自然科学版, 2002, 30 (5) : 7-11.
[6] 许志荣. 地下水功能区划分初探 [J]. 水文地质工程地质, 1998 (5) : 41-42.
[7] 刘贵玲, 刘花台, 刘志明, 等. 华北平原地下水潜力调查及评价方法研究 [M]. 北京 地质出版社, 2003 56-57.

(收稿日期 2006-09-01 编辑 舒 建)