

成果与方法

济宁地区北部岩溶地下水资源计算与潜力评价

姬永红,周亚醒

(山东省鲁南地质工程勘察院,山东 兖州 272100)

摘要:济宁地区北部赋存有较丰富的岩溶地下水,目前已纳入当地开发利用规划。为防止过量开采引发不良环境地质问题,对该岩溶系统的资源潜力进行了科学评价。在查明济宁地区北部水文地质条件的基础上,利用水量均衡法与数值模拟法对该区岩溶地下水资源量进行了计算,通过分析地下水资源潜力模数,该区岩溶地下水资源潜力较大。

关键词:岩溶地下水;资源潜力;评价;济宁地区北部;山东省

中图分类号:P641.134;P641.2

文献标识码:A

济宁市位于山东省西南部,其地表水资源较丰富,但随着经济的发展,对水资源需求量的日益增长,加之地表水水质不断恶化,生产、生活取水逐渐转向地下水。为了满足济宁市国民经济的发展需要,保证其生产、生活的正常用水,《济宁市矿产资源规划》对位于济宁市区以北的裂隙岩溶地下水进行开发利用。为了防止因不合理开采引发不良环境地质问题,对该岩溶系统的资源潜力作以科学的评价十分必要^①。

1 研究区概况

1.1 地质概况

研究区位于华北板块、鲁西地块、鲁西南隆起区的嘉祥凸起构造单元的东北部,东临济宁凹陷,北靠汶泗凹陷。受华北板块地层沉积大环境及各级断裂构造的影响,研究区出露地层大部分为新生代第四纪松散层(局部地段基岩出露),隐伏地层为古生代寒武-奥陶纪碳酸盐岩。

1.2 水文地质概况

根据地下水的赋存条件、地层岩性和埋藏条件,将该区含水岩组划分为松散岩类孔隙含水岩组与碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组2种类型。研究区第四

纪沉积物分布广泛,总厚度一般80~200 m(局部地段有基岩出露),岩性主要为砂质黏土、粉质黏土和粉土等。松散岩类孔隙含水岩组一般有含水层3~7层,累计厚度30 m左右;含水层岩性主要为中细砂、中砂及少量中粗砂;富水性各地变化较大,一般单位涌水量100~1 000 m³/d·m(图1)。

含水岩组底部分布有不连续的黏性土层,可作弱透土层处理。孔隙地下水除了接受大气降水和地表水补给外,还可接受北部地区的侧向径流补给;排泄方式以人工开采、蒸发、侧向径流及向下伏裂隙岩溶水越流为主^[1]。

研究区裂隙岩溶水系统以嘉祥凸起水文地质单元东北端的蜀山背斜构造单元为主体,属于嘉祥凸起水文地质单元的一部分,根据蓄水构造特征,将其称为蜀山背斜岩溶水系统,其面积为516.6 km²。受构造等因素影响,裂隙岩溶发育各地不均,富水性变化较大,在背斜轴部附近或沿断裂构造带发育有强富水区,单位涌水量可达到1000~5000 m³/d·m,而远离构造影响带的地段富水性一般较弱,单位涌水量小于100 m³/d·m。经对长期动态监测、抽水试验、同位素分析等工作成果分析,研究区岩溶水系统主要接受上覆孔隙水的越流补给,并经人工开采排泄。

* 收稿日期:2008-05-06;修订日期:2008-08-12;编辑:陶卫卫

作者简介:姬永红(1974-),男,甘肃庆阳人,工程师,主要从事水工环地质工作。

①山东省鲁南地质工程勘察院,济宁市汶上县邵庄、任城区双庙水源地供水地质详查报告,2004年。

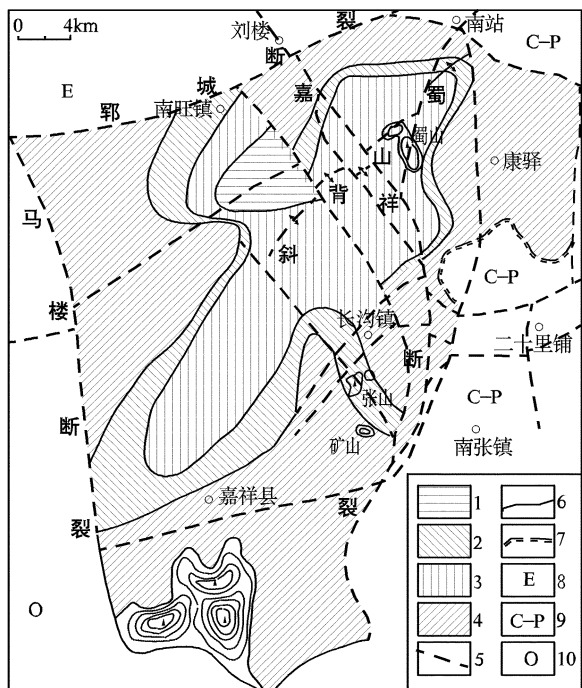


图1 研究区基岩水文地质略图

- 1—富水性大于5000m³/d·m; 2—富水性1000~5000m³/d·m;
- 3—富水性100~1000m³/d·m; 4—富水性小于100m³/d·m;
- 5—断层; 6—富水性分界区线; 7—平行不整合地质界线; 8—古近系; 9—石炭-二叠系; 10—奥陶系

2 研究区岩溶水系统特征

研究区以蜀山背斜构造为主体,岩溶地下水的分布、补径排等条件多与背斜构造有关。

2.1 边界条件

蜀山背斜岩溶水系统上边界为面状补给边界;下边界以埋深600m为界,为面状隔水边界。南边界以嘉祥县南的地表分水岭为隔水边界;北边界及东边界分别通过断裂与古近纪、石炭-二叠纪的弱透水地层接触,视为隔水边界;西边为马楼断裂,南段透水,北段阻水。

2.2 裂隙岩溶发育规律

该区裂隙岩溶发育程度与地层岩性、构造影响程度及埋藏条件等因素有关。

2.2.1 岩溶发育与地层岩性的关系

可溶成分是岩溶发育的物质前提。根据研究区钻孔资料,泥质灰岩、白云质灰岩或灰质白云岩等以CaCO₃为主要成分,在含有较多杂质的岩石中,由于不同成分间的溶蚀差异,岩溶发育较普遍且分布较

均匀,多以蜂窝状形态出现;在白云岩、泥质白云岩等含MgCO₃成分较高的地层及质纯灰岩中,一般岩溶发育程度较低,且分布较集中。

2.2.2 岩溶发育与构造的关系

以嘉祥断裂为主体的NW向断裂与蜀山背斜共同对区内碳酸盐岩的岩溶发育具有一定的控制性作用。当断裂或背斜构造通过质纯灰岩或白云岩等脆性岩石分布区时,断裂构造会使岩石变得破碎,背斜轴部则容易形成张裂隙,为地下水运移提供良好的通道,为岩石的溶蚀创造有利条件。因此,在沿蜀山背斜轴线一带岩溶普遍较发育,且连通性好,而远离构造影响带则岩溶发育程度较低、连通性差。

2.2.3 岩溶发育与埋藏条件的关系

据钻孔资料揭示,碳酸盐岩顶板埋深较浅的地段大多岩溶发育程度较高且连通性较好,大体上在基岩顶板埋深小于140m的地段,相反,岩溶发育则相对较差。另外,在同一地段,随着埋深的增加,岩溶发育程度也会逐渐降低。全区岩溶平均发育率最高的深度在140~370m之间,埋深370m以下,虽然仍有岩溶发育,但只见局部地段,且连通性差。

综上所述,研究区岩溶发育的一般特征是:可溶成分含量高的地层、构造发育强烈的地段及碳酸盐岩埋藏浅的地区岩溶发育程度相对较高,相反,岩溶发育程度则较低。

2.3 裂隙岩溶含水岩组富水性特征

受以嘉祥断裂为主的一组NW向断裂和蜀山背斜的共同作用,背斜轴部的白云岩受张力作用形成了较多的张裂隙,为地下水的运移和富集提供了有利条件。抽水试验结果显示,研究区的强富水区主要集中分布在背斜轴部一带,钻孔单位涌水量一般为1000~5000m³/d·m。随着远离背斜轴部,富水性明显减小,在西北部及东部地段,钻孔单位涌水量仅100m³/d·m左右。

2.4 裂隙岩溶水补径排条件

2.4.1 补给条件

蜀山背斜轴部地段裂隙岩溶发育,基岩埋深较浅(80~110m),且第四纪松散层底部缺失黏土层,发育有较厚的混粒砂层,该地层结构为孔隙水越流补给岩溶水提供了有利条件。轴部地段部分钻孔抽水试验s-lgt曲线呈反“S”型(图2),反映越流补给的特征^[2],也证明区内孔隙水对岩溶水越流补给的

存在。蜀山、张山及矿山等出露区一般发育有较好的裂隙岩溶,有利于大气降水的汇集,为降水入渗补给岩溶地下水创造了有利条件。

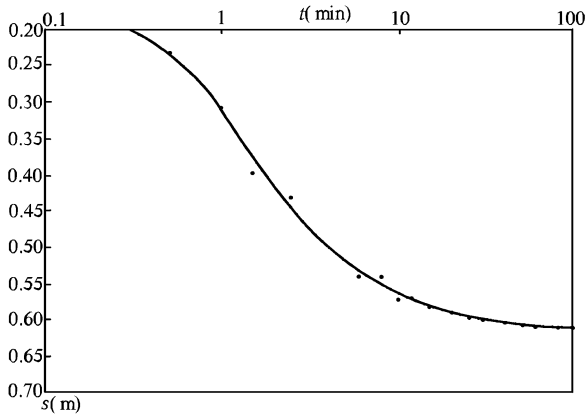


图2 钻孔抽水试验 $s - \lg t$ 曲线图

由以上分析可知,蜀山背斜岩溶水系统的主要补给来源为上覆孔隙水的垂向越流,其次为裸露区大气降水入渗。

2.4.2 径流途径

受南部长沟镇及嘉祥县2个水源地开采影响,岩溶水在蜀山背斜轴部浅埋区接受孔隙水越流补给后,总体由北向南径流,在长沟镇及嘉祥县附近,形成局部降落漏斗。

2.4.3 排泄方式

长沟水源地与嘉祥县城供水现状总开采量约 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,是目前该区岩溶水系统主要的排泄方式。

3 岩溶地下水资源量计算与评价

3.1 均衡法计算评价岩溶水资源量

水量均衡法是地下水资源评价的基本方法^[3]。

3.1.1 均衡方程的建立

根据水均衡原理,结合研究区水文地质条件,并以枯水季节(无降水)为均衡期,确定该区岩溶水水量均衡方程为:

$$SF \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{K'}{M'} F \Delta H - Q_{\text{开}}$$

式中: S —含水层储水系数; F —计算面积; Δh —含水层在相应均衡期内平均水位变幅; Δt —均衡时段天数; K'/M' —越流系数; ΔH —孔隙水与岩溶水的水位差; $Q_{\text{开}}$ —岩溶水实际开采量。

3.1.2 有关参数的计算与确定

式中除含水层储水系数 S 、越流系数 K'/M' 未

知,其他各项参量均可由实测而得。

选取2004年1—4月和2004年5、6月基本无降水时段为均衡期,根据研究区水量均衡方程,结合2个时段含水层各变化量(表1),可得方程组:

$$SF \times \frac{-1.561}{121} = \frac{K'}{M'} F \times 2.057 - 50000$$

$$SF \times \frac{-1.874}{40} = \frac{K'}{M'} F \times 3.274 - 114238$$

解方程组得: $S = 2.78 \times 10^{-3}$

$$K'/M' = 2.96 \times 10^5 (1/\text{d})$$

表1 各计算时段参量统计

时段	$\Delta h(\text{m})$	$\Delta H(\text{m})$	$\Delta t(\text{d})$	$Q_{\text{开}}(10^4 \text{ m}^3/\text{d})$
第一时段	-1.561	2.057	121	5.0
第二时段	-1.874	3.274	42	11.4238

3.1.3 地下水可采资源量估算

在现状条件下,研究区孔隙水位埋深一般4~5m(标高30m左右),岩溶水位埋深5~8m(标高27~29m)。根据现有的开采技术以及该区水文地质条件,在不影响农业用水和已有水源地正常运行的前提下,确定以正常年份孔隙水水位受岩溶水开采影响下降不超过2.0m(水位标高不低于28m),且岩溶水平均水位埋深在20m左右为开采限定条件。将限定条件代入均衡方程,求得研究区岩溶水开采资源量为 $19.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

3.2 岩溶地下水资源量数值模拟计算

近年来,在人机交互、计算机图形学和科学可视化等技术的推动下,用数值法评价地下水资源已是一种快速有效的方法^[4]。

3.2.1 水文地质概念模型的建立

研究区孔隙含水岩组通过弱透水层与岩溶含水岩组存在着补给与被补给的关系,但各地的补给强度不同。据此,可将研究区概化为3层结构(图3):第一层为孔隙含水层,按潜水处理;第二层为弱透水层,只考虑垂向一维流;第三层为裂隙岩溶含水层,具承压性。

第一层可通过上界面与外界发生频繁水量交换,同时也可通过侧边界与系统外发生水平方向上的水力联系。第二层的渗透系数比其他两层小的多,仅是上、下2个含水层发生水力联系的一个通道。第三层在侧向上只有径流补给而没有排泄,垂向上可接受第一层的越流补给,并通过人工开采排泄(图3)。

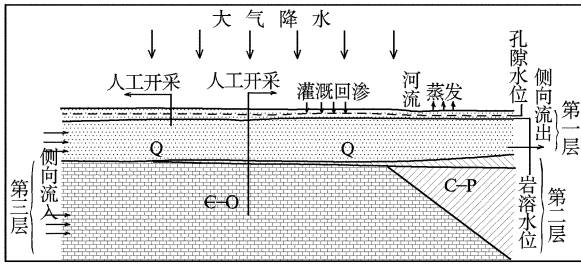


图3 研究区水文地质概念模型

3.2.2 数值模型的建立及求解

根据研究区地下水系统特征,按非均质、各项异性、三维非稳定地下水流系统建立数值模型。在不考虑弱透水层自身弹性释水的情况下,可用以下数学模型描述研究区地下水系统:

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} [K_x \frac{\partial h}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [K_y \frac{\partial h}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [K_z \frac{\partial h}{\partial z}] + \varepsilon$$

$$x, y, z \in \Omega, t \geq 0$$

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = K_x \left[\frac{\partial h}{\partial x} \right]^2 + K_y \left[\frac{\partial h}{\partial y} \right]^2 + K_z \left[\frac{\partial h}{\partial z} \right]^2 -$$

$$\frac{\partial h}{\partial z} (K_z + P) + P \quad x, y, z \in \Gamma_0, t \geq 0$$

$$h(x, y, z, t) |_{t=0} = h_0 \quad x, y, z \in \Omega, t \geq 0$$

$$K_n \frac{\partial h}{\partial n} \Big|_{\Gamma_1} = q(x, y, t) \quad x, y, z \in \Gamma_0, t \geq 0$$

$$K_n \frac{\partial h}{\partial n} - \frac{h - h_s}{\sigma} \Big|_{\Gamma_2} = 0 \quad x, y, z \in \Gamma_0, t \geq 0$$

式中: Ω —渗流区域; h —含水层水位标高; h_0 —含水层初始水位; h_s —地表河流水位标高; K_x, K_y, K_z —分别为 x, y, z 方向的渗透系数; S —承压含水层储水系数; μ —孔隙含水层给水度; ε —含水层的源汇项; Γ_0 —渗流区域的上边界,即地下水的自由表面; Γ_1 —渗流区域二类边界,包括含水层隔水底边界和渗流区域的侧向流量边界; p —孔隙水的蒸发和降水补给等; Γ_2 —混合边界,即地表河流边界; K_n —一界面的法线方向; K_n —一界面法线方向的渗透系数; $q(x, y, z, t)$ —一定义为二类边界的单位面积流量; σ —河底部弱透水层的阻力系数; $\sigma = L/K_s, L$ 为底部弱透水层厚度; K_s 为河流底部弱透水层垂向渗透系数。

该模拟范围为整个蜀山背斜岩溶水系统,模拟面积 516.6 km^2 。计算时采用 Visual MODFLOW 地下水数值模拟模型软件,按 $300\text{m} \times 300\text{m}$ 正方形网格将全区剖分为120行112列,其中每层各有6574个有效单元,共计19722个单元参与计算。

3.2.3 模型的识别与验证

该模拟参数识别期选择在2004年5月12日到8月26日的群孔抽水试验期,共分为5个应力期。识别时以抽水试验成果为基本依据,将各水文地质参数分为若干个区,为每个参数赋值,并以实测资料给定地下水初始流场。在模型计算模拟过程中对各项参数分区范围及其参数值进行调整,最终得出最优拟合结果。为进一步验证模型的可靠性,选取2003年6月至2004年5月共13个应力期为验证期。在验证期内,将经识别的各项水文地质参数代入验证模型,反复进行计、测水位与流场拟合,直至达到理想拟合效果(图4)。

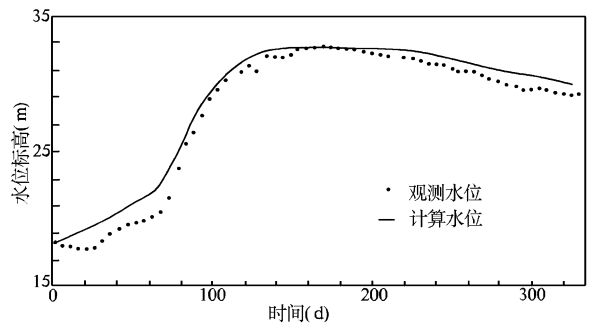


图4 验证期岩溶水位拟合曲线图

3.2.4 模型的预报

此次预报是在考虑已有水源地(嘉祥县城水源现状开采量 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,长沟水源地现状开采量 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,规划开采量 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)基础上,采用1983年—2004年的降水资料,以2004年底水位标高为模型水位初值,并在给定开采约束条件下(与水资源量均衡计算的约束条件一致)进行计算的。经反复调整计算,研究区最大可开采资源量为 $18.46 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。通过以上2种方法评价的岩溶可采资源量比较接近。最终提交可采资源量,取二者平均值 $18.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

4 岩溶地下水资源潜力评价

根据地下水资源潜力模数对地下水资源潜力进行分级。地下水资源潜力模数是指计算单元的可开采量与现状开采量的差值和该计算单元面积的比值^[5]。

研究区岩溶地下水可开采资源量为 $18.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,嘉祥县城与长沟水源地现有开采量 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,长沟水源地已规划增采 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,扣除已有的和已规划的开采量后,研究区岩溶水还

有 $12.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的可开采量。研究区面积为 516.6 km^2 。经计算其地下水资源潜力模数为 $9.06 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a} \cdot \text{km}^2$ 。按地下水资源潜力分级标准^[5](表2),属可利用潜力较大级别。

表2 地下水资源潜力分级标准

地下水资源潜力分级	地下水资源潜力模数 ($10^4 \text{ m}^3/\text{a} \cdot \text{km}^2$)
潜力很大	>10
潜力较大	5~10
潜力中等	1~5
潜力较小	0~1
已超采	<0

因此,研究区岩溶地下水具有很好的开发利用价值。

参考文献:

- [1] 姬永红,张海江,张良鹏. 山东济宁北地下水系统轴同位素研究[J]. 勘察科学技术,2008,(1):26-29.
- [2] 李俊亭,王愈吉. 地下水水动力学[M]. 北京:地质出版社,1986.
- [3] 徐恒力. 水资源开发与保护[M]. 北京:地质出版社,2001.
- [4] 张春志,刘继朝,孟庆伟. 浅议均衡法在地下水资源评价中的应用[J]. 西部探矿工程,2005,17(7):78-79.
- [5] 尹喜霖,柏玉春,王勇,等. 三江平原地下水资源潜力评价[J]. 水文地质工程地质,2004,(6):5-10.

Calculation and Potentiality Evaluation of Groundwater Resource in Northern Jining City

Ji Yong-hong, ZHOU Ya-xing

(Lunan Geo-engineering Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Yanzhou 272100, China)

Abstract: Abundant karstic groundwater occurred in northern Jining. It has been incorporated into local development and utilization planning. It is very necessary to evaluate resource potentiality of karstic groundwater scientifically in order to prevent causing environmental and geological problems. On the basis of identifying hydrogeological conditions in north of Jining city, by using hydrogeologic budget method and numerical simulation method, amount of karstic groundwater in this area is calculated. Through analysis of potentiality module of groundwater resources, it is regarded that the potentiality of karst groundwater in this area is large.

Key words: Karstic groundwater; resource potentiality; evaluation; northern Jining; Shandong province