

文章编号:1672-6561(2012)01-0047-08

## 鄂尔多斯盆地都思兔河流域白垩系 含水层特征及供水前景分析

姜 军<sup>1</sup>, 徐 永<sup>1</sup>, 马 媛<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局 西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;

2. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

**摘 要:**在鄂尔多斯盆地都思兔河流域供水水文地质详查的基础上,通过水文地质钻探、抽水试验、样品分析等手段,查明了流域含水层的结构、埋深以及含水层和隔水层在水平和垂直方向上的变化规律,探讨了各含水层之间的水力联系,并求取了含水层的水文地质参数;对比圈定了包乐浩晓、巴彦布拉格、好勒包勒吉 3 处富水区;采用地下水流数值模拟方法对上述 3 处富水区地下水开采量进行计算,提出了 27 种地下水开采方案,并经过对比得到地下水开采推荐方案。结果表明:包乐浩晓、巴彦布拉格、好勒包勒吉 3 处富水区主要补给为侧向径流及大气降水入渗补给,排泄方式以潜水面蒸发及向河流排泄为主;在地下水浅埋区,结合含水层单井涌水量的大小,确定采用管井开采方式、中段悬挂式不完整井结构,平均布井,井深 300 m,单一开采白垩系环河组的地下水,最大限度夺取潜水蒸发排泄量;根据推荐方案,上述 3 个富水区总开采量达到 123 500 m<sup>3</sup>/d,可为该地区地下水资源开发与利用提供技术保障。

**关键词:**地下水;供水量;降深;开采强度;水文地质;含水层;都思兔河;鄂尔多斯盆地

中图分类号:P641

文献标志码:A

## Characteristics of Cretaceous aquifer and water supply prospect of Dusitu River Valley in Ordos Basin

JIANG Jun<sup>1</sup>, XU Yong<sup>1</sup>, MA Yuan<sup>2</sup>

(1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. School of Environmental Sciences and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:** Based on detailed hydrogeological survey of water supply of Dusitu River Valley in Ordos Basin, aquifer structure and buried depth were investigated, the changes of aquifer and confining bed in horizontal and vertical directions and the hydraulic connections between the different aquifers were discussed through hydrogeology drilling, pumping test and sample analysis, the hydrogeological parameters of aquifer were calculated; three water-rich areas including Baolehaoxiao, Bayanbulage and Haolebaoleji were selected for groundwater exploitation; the available groundwater was calculated by the means of subsurface flow numerical simulation model, and 27 kinds of schemes for groundwater exploitation were proposed, and the suggested schemes were found contrastively. The results showed that the main supplies for the three water-rich areas were lateral runoff and atmospheric water infiltration, and the main drainages were phreatic water table evaporation and draining into river; according to the water

收稿日期:2011-07-04

基金项目:中国地质调查局项目(1212010734002);中国地质调查局地质大调查项目(水[2010]矿评 01-04-20)

作者简介:姜 军(1967-),男,湖北英山人,高级工程师,从事水文地质、工程地质研究,E-mail:jane8118159@163.com。

inflow of single well in different aquifers, tubular well exploitation mode and partially penetrated well structure in middle part suspension were selected, and pattern well spacing was average, and depth of well was 300 m, and the groundwater only in Huanhe Formation of Cretaceous was exploited in order to mostly utilize the evaporation and drainage of phreatic water; according to the suggested schemes, the total available groundwater was 123 500 m<sup>3</sup>/d in the three water-rich areas, and could provide technical support for the exploitation and usage of groundwater.

**Key words:** groundwater; water supply capacity; drawdown; exploitation intensity; hydrological geology; aquifer; Dusitu River; Ordos Basin

## 0 引言

鄂尔多斯盆地作为中国重要的能源化工基地,在实施西部大开发战略中占有重要地位。由于盆地地处中国干旱半干旱缺水地区,水资源短缺已成为制约区域发展和能源基地建设的主要因素<sup>[1-5]</sup>。白垩系地下水是当地能源勘探开发和基地建设的主要供水水源<sup>[6]</sup>。地下水受地形控制,由地表分水岭向盆地周边的都思兔河、摩林河、无定河和乌兰木伦河等水文系统汇集,构成区域地下水流系统<sup>[6-7]</sup>。

都思兔河发源于内蒙古鄂托克旗乌兰镇西南的察汉淖西南,为黄河的一级支流,由东向西注入黄河,全长 112.0 km,流域面积约 4 160 km<sup>2</sup>。都思兔河流域以河流和湖泊为最终排泄点,地下水流总体由东向西往都思兔河下游汇流。以都思兔河水流系统面积最大,径流最深,最远补给区达四十里梁—安边、新召分水岭地区,东部一带水流潜行于众湖泊控制的局域性浅循环水流系统之下<sup>[8]</sup>。

沿都思兔河流域分布有蒙西、棋盘井、查布、乌兰镇 4 个重要工业园区(图 1)。其中棋盘井是鄂托克旗工业重镇,所属工业园区自 2000 年建立以来,累计投入资金超过 72 亿元,到 2005 年,园区完成工业总产值 34 亿元,成为内蒙古自治区西部重要的煤化工、高载能基地。然而经过几年的快速发展,水资源短缺问题日益显现,成为制约当地经济进一步发展的瓶颈。由于当地地表水资源贫乏,地下水成为该镇生活和生产的唯一水源,而且由于过度开发,已经出现了地下水位持续下降的问题,迫切需要寻找新的水源,以保证当地经济持续健康快速发展。

笔者通过野外调查、水文地质钻探、抽水试验及数值模拟等方法对都思兔河流域地下水含水系统的基本特征和区域地下水循环规律进行了系统总结,对该流域地下水富集区进行了圈定,评价了地下水资源开发利用前景,为合理开发利用流域内地下水资源以及缓解能源基地建设对水资源需求的供需矛

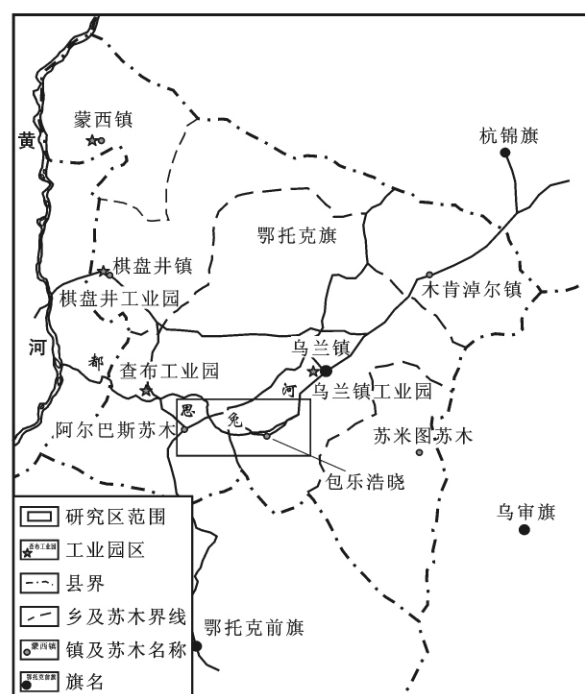


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of study area

盾提供技术保障。

## 1 含水层特征

### 1.1 罗汉洞含水岩组

罗汉洞含水岩组主要分布在都思兔河流域西北部,岩性多为含砾粗砂岩、粗砂岩夹粉砂质泥岩、砂砾岩、薄层砾岩等。该含水层厚度为 27.87~161.62 m,埋深为 4.79~204.65 m,富水性变化大,单井涌水量 60~1 800 m<sup>3</sup>/d;单位涌水量为 3.0~80 m<sup>3</sup>/(d·m);含水层的渗透系数平均为 0.98 m/d,属于较差—中等富水含水层。该含水层分布较少且产水能力弱,水质较差,供水意义不大。

### 1.2 环河含水岩组

环河含水岩组是都思兔河流域分布最广的含水层,大部分地段被第四系风积砂所覆盖,局部出露地表。环河含水岩组岩性多为中细砂岩、砾状砂岩、砾

岩及泥岩等,孔隙度基本在 20%左右<sup>[8]</sup>。因泥岩厚度小,且多呈透镜体状展布,不能构成区域性隔水层。浅层地下水与中、深层地下水水力联系密切,并同上覆风积砂层一起构成了统一的含水层。地下水在地势较高的梁地、北部、南部分水岭部位埋深多大于 20 m,个别地区(如后大梁附近)地下水位埋深在 70 m 以上;在都思兔河及其支流沿岸低洼的剥蚀洼地、湖盆滩地或相对低洼地区水位埋深较浅,多小于 5 m。受局域水流系统控制,在地形低洼地段(湖淖)可自流,该含水层是该流域主要的供水层。

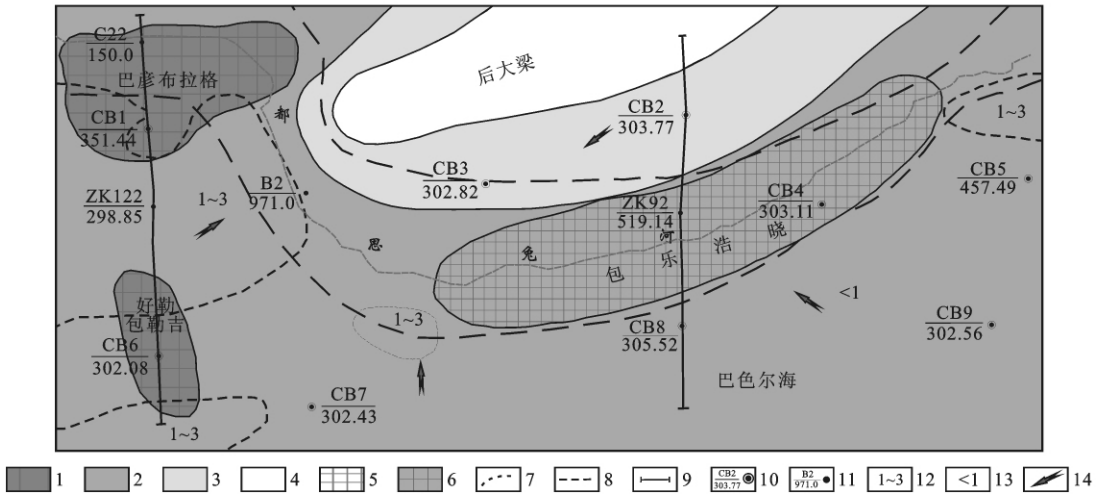
1.3 洛河含水岩组

洛河含水岩组是白垩系盆地内分布最广的含水层。区内未见出露,在 B2、B7 勘探孔中有揭露,B2 勘探孔中的揭露厚度为 160.09 m,B7 勘探孔中的

揭露厚度为 330.06 m。含水层岩性为河流相砂岩,泥质含量相对较高,其间夹有透镜状隔水体。含水层厚度为 100~300 m,因上覆有环河及罗汉洞含水岩组,埋藏深度较大,如查布苏木的 B2 勘探孔中含水层埋深为 784 m,单井涌水量为 559.58 m<sup>3</sup>/d;B7 勘探孔含水层埋深为 526.45 m,单井涌水量为 493.98 m<sup>3</sup>/d。砂岩的平均孔隙度为 19.41%,粉砂岩-泥岩平均孔隙度为 5.05%。

2 富水地段

根据都思兔河流域水文地质条件,确定了 3 个富水区(图 2),分别是包乐浩晓富水区(宜井面积 131.66 km<sup>2</sup>);巴彦布拉格富水区(宜井面积 43.49 km<sup>2</sup>);好勒包勒吉富水区(宜井面积 16.23 km<sup>2</sup>)。



注:1—单井涌水量大于 3 000 m<sup>3</sup>/d 区域;2—单井涌水量 1 000~3 000 m<sup>3</sup>/d 区域;3—单井涌水量 500~1 000 m<sup>3</sup>/d 区域;4—单井涌水量 100~500 m<sup>3</sup>/d 区域;5—富水地段;6—富水性分区线;7—矿化度分区线;8—自流区界线;9—水文地质剖面线;10—抽水钻孔(左上为编号,左下为孔深/m);11—前人钻孔(注记同上);12—矿化度为 1~3 g/L;13—矿化度小于 1 g/L;14—地下水流向。

图 2 富水地段水文地质情况

Fig. 2 Hydrogeological map of water-rich area

2.1 包乐浩晓富水区

包乐浩晓富水区位于研究区中部,以包乐浩晓为中心,基本沿都思兔河流域两岸呈条带状展布,地势北东高南西低,都思兔河从该富水区中部穿过,北东最高处 1 320 m,南西最低处 1 220 m。

本区地下水类型为白垩系环河组碎屑岩类裂隙-孔隙水。该富水区处于都思兔河中上游地下水溢出带两侧,水位埋深由河谷(小于 1 m)向南北两侧增加为 3~5 m,个别地段为 10~12 m(表 1)。当井孔深度达到中部循环深度(150~550 m)时,水头高于地表,如 ZK92 孔水头高于地表 7.68 m,地下水以自流的形式涌出。

本区含水层为白垩系环河组中细砂岩,厚度大。

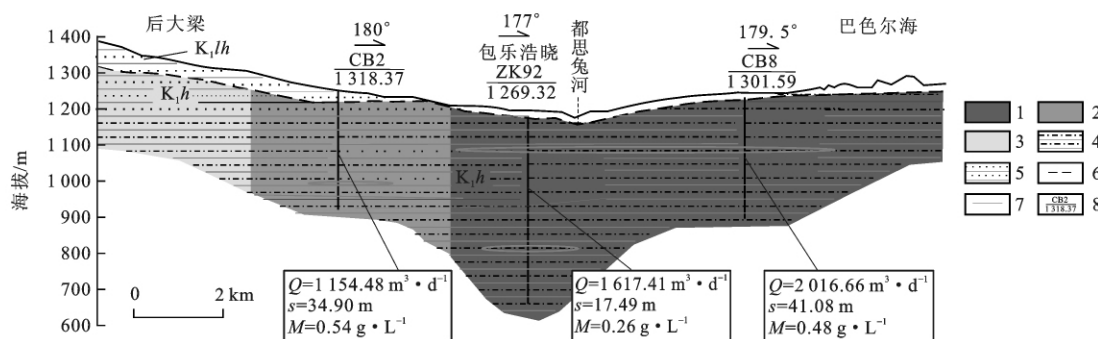
本次施工 CB4 钻孔 300 m 未揭穿,机井揭露最大厚度为 519.14 m。其含水层岩性为较单一的中细砂岩,富水性较好(图 3),单井涌水量为 1 617.41~2 016.66 m<sup>3</sup>/d,渗透系数为 0.14~0.88 m/d。

地下水补给来源为:直接接受大气降水的入渗补给及富水区南北两侧地下水侧向径流补给。该富水区沿都思兔河呈近东西向分布,南北两侧补给带宽,因此地下水补给方式主要为侧向径流补给方式。地下水径流途径较短,从南北两侧断面接受地下水补给后,以都思兔河为中心进行排泄,由于该富水区大部分处于地下水浅埋区,水位埋深小于 5 m,因此地下水的排泄主要方式为潜水面蒸发,其次为河流两岸农田灌溉及生活用水。

表 1 包乐浩晓富水区含水层参数

Tab. 1 Parameters of aquifer in water-rich area of Baolehaoxiao

孔号	位置	孔深/m	含水层厚度/m	试验段深度/m	水位埋深/m	单井涌水量/( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	渗透系数/( $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$ )
CB4	包日呼舒	303.11	290.93	12.18~169.24	12.18	908.54	0.14
ZK93	敖老淖	278.35	278.35	22.36~270.00	7.68	1 051.68	0.27
ZK92	包乐浩晓	519.14	508.44	22.36~270.00	10.70	2 640.33	0.34
C25	马新布拉	200.00	196.67	3.33~200.00	3.33	2 172.28	0.63
C04	包乐浩晓	160.00	155.23	4.77~160.00	4.77	2 367.71	0.88



注:1—单井涌水量为  $1\,000 \sim 3\,000 \text{ m}^3/\text{d}$  的区域;2—单井涌水量为  $500 \sim 1\,000 \text{ m}^3/\text{d}$  的区域;3—单井涌水量为  $100 \sim 500 \text{ m}^3/\text{d}$  的区域;  
4—中细砂岩;5— $Q_4^{\text{col}}$  细砂岩;6—水位线;7—岩性分界线;8—抽水钻孔(上为编号,下为孔深(m)); $Q$ —实抽涌水量; $s$ —降深; $M$ —矿化度;  
 $K_1h$ —白垩系环河组; $K_1lh$ —白垩系洛河组。

图 3 后大梁—巴色尔海水文地质剖面

Fig. 3 Hydrogeological profile of Houdaliang-Baseerhai

本区地下水水化学类型较为单一,为  $\text{HCO}_3\text{-Na} \cdot \text{Ca}$  和  $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl-Na}$  型,矿化度为  $0.20 \sim 0.80 \text{ g/L}$ ,适宜生活饮用、工业用水及农业灌溉。

## 2.2 巴彦布拉格富水区

巴彦布拉格富水区位于研究区西北角,敖伦布拉以南、巴彦布拉格以北、都思兔河北支流以西洼地,都思兔河流处于洼地北部。北、东、南三面地势相对较高,富水区南北海拔  $1\,175 \sim 1\,185 \text{ m}$ ,中间低洼,海拔  $1\,170 \sim 1\,175 \text{ m}$ 。

本区地下水类型为白垩系环河组碎屑岩类裂隙-

孔隙水。该富水区处于都思兔河下游地下水溢出带两侧,地下水水位埋深浅,为  $3 \sim 5 \text{ m}$ ,巴彦布拉格南部地势相对较高的地段水位埋深为  $5 \sim 10 \text{ m}$ 。含水介质为环河组细砂岩、中细砂岩和中粗砂岩。

据 CB1 孔揭露,细砂岩厚度为  $73.26 \text{ m}$ ,中细砂岩厚度为  $81.48 \text{ m}$ ,其下为中粗砂岩,含水层厚度达  $346.70 \text{ m}$ ,未见底。含水层组成颗粒具有较明显的上细下粗规律。含水层颗粒较粗,孔隙发育,地下水富水性好,单井涌水量为  $3\,000 \sim 3\,900 \text{ m}^3/\text{d}$ (图 4),渗透系数为  $0.74 \sim 0.81 \text{ m/d}$ (表 2)。

表 2 巴彦布拉格富水区含水层参数

Tab. 2 Parameters of aquifer in water-rich area of Bayanbulage

孔号	位置	孔深/m	含水层厚度/m	试验段深度/m	水位埋深/m	单井涌水量/( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	渗透系数/( $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$ )
CB1	巴彦布拉格	351.44	345.26	4.74~350.00	4.74	3 857.34	0.74
C06	巴彦布拉格	200.00	192.80	7.20~200.00	7.20	3 085.15	0.81

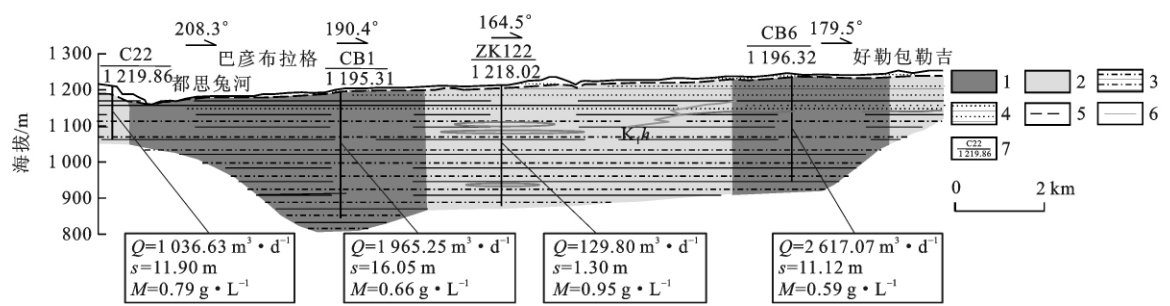
本区地下水接受河谷北、南及东向地下水的侧向径流补给及中深层环河组、洛河组裂隙-孔隙地下水的越流补给,地下水补给充沛,具有承压水的性质,多数深度在  $200 \text{ m}$  内的机井在非农业灌溉期间自流。地下水以潜水蒸发、向河流溢出的形式排泄。

本区水化学类型单一,为  $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl-Na}$  型,矿化度  $0.6 \sim 0.8 \text{ g/L}$ ,适宜生活饮用、工业用水及农业灌溉。

## 2.3 好勒包勒吉富水区

好勒包勒吉富水区位于详查区西南部,查布苏木以南、哈图以北。东西两侧为梁地,海拔为  $1\,300 \sim 1\,350 \text{ m}$ ,中间低洼,海拔  $1\,230 \sim 1\,250 \text{ m}$ 。

本区地下水类型为白垩系环河组碎屑岩类裂隙-孔隙水。该富水区处于好勒包勒吉洼地中,地下水水位埋深  $3 \sim 5 \text{ m}$ ,最大水位埋深  $5.22 \text{ m}$ 。其含水介质为环河组细砂岩、中细砂岩。据 CB6 孔揭露,



注:1—单井涌水量大于 3 000 m<sup>3</sup>/d 的区域;2—单井涌水量为 1 000~3 000 m<sup>3</sup>/d 的区域;3—中细砂岩;4—细砂岩;5—水位线;6—岩性分界线;7—抽水钻孔(上为编号,下为孔深/m)。

图 4 巴彦布拉克—好勒包勒吉水文地质剖面  
Fig. 4 Hydrogeological profile of Bayanbulage-Haolebaoleji

细砂岩厚度为 60 m,细砂岩与中细砂岩之间夹厚度不等的泥质粉砂岩,最大为 1.20 m,且不连续;其下为中细砂岩,揭露厚度 230 m。含水层胶结程度差,孔隙发育,地下水补给充沛,地下水富水性好,单井涌水量为 3 400~4 700 m<sup>3</sup>/d,渗透系数为 0.59~0.98 m/d(表 3)。

表 3 好勒包勒吉富水区含水层参数  
Tab. 3 Parameters of aquifer in water-rich area of Haolebaoleji

孔号	位置	孔深/m	含水层厚度/m	试验段深度/m	水位埋深/m	单井涌水量/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	渗透系数/(m·d <sup>-1</sup> )
CB6	好勒包勒吉	302.08	291.83	10.20~302.08	4.88	4 706.59	0.59
C12	好勒包勒吉	200.00	195.72	4.28~200.00	4.28	3 403.08	0.98

本区地下水接受西侧、南侧及东侧地下水侧向径流补给,垂向上接受中深环河含水岩组地下水的顶托补给;地下水以潜水蒸发、向北部径流的形式排泄。

本区水化学类型为 SO<sub>4</sub>·Cl·HCO<sub>3</sub>-Na、SO<sub>4</sub>·Cl-Na 型,矿化度为 0.40~0.60 g/L,适宜生活饮用、工业用水及农业灌溉。

3 供水前景分析

根据当地开采条件分析,为了降低地下水开采对生态环境的影响,可在地下水浅埋区选择合适的地段,采用中段悬挂式非完整井结构以及平均布井的方式,开采白垩系地下水资源。

根据流域内抽水试验资料以及开采井工作现状,确定包乐浩晓富水区各方案开采井单井抽水量为 1 000、1 500、2 000 m<sup>3</sup>/d,巴彦布拉克富水区各方案开采井单井抽水量为 1 500、2 000、2 500 m<sup>3</sup>/d,好勒包勒吉富水区各方案开采井单井抽水量为 1 500、2 000、2 500 m<sup>3</sup>/d;各富水区开采井间距 1 000、1 500、2 000 m,开采层位均为中段悬挂式非完整井。这样上述 3 个富水区共设计了 27 种计算方案<sup>[9]</sup>。

在多年平均降水量、蒸发量以及农业开采现状条件下,根据各方案模拟计算结果,潜水位最大下降幅度(简称“最大降深”,但本次计算的中段悬挂式非完整井最大降深应出现在模型第 2 层,而不是潜水

位的最大下降幅度):包乐浩晓富水区为 8.23~101.63 m,巴彦布拉克富水区为 3.72~38.11 m,好勒包勒吉富水区为 1.90~10.66 m。各计算方案作用的降落漏斗降深情况见表 4~6。

在各计算方案作用下,开采量主要由截取的无效蒸发排泄量组成,占开采量的 99.32%~99.96%。包乐浩晓富水区开采时,都思兔河流量仅减少 202.82~1 218.633 m<sup>3</sup>/d;巴彦布拉克富水区开采时,都思兔河流量仅减少 20.89~145.12 m<sup>3</sup>/d;好勒包勒吉富水区开采时,都思兔河流量仅减少了 1.07~15.44 m<sup>3</sup>/d。

对比这 27 个开采方案的计算结果,各宜井区随着单井开采量的增加,井间距逐步缩小,或者说随着开采强度增加,开采井计算的最大降深逐步增加。井间距较小时,单井开采量增加引起开采井计算的最大降深增加幅度较大,且当单井开采量增加到一定程度时,引起开采井计算的最大降深增加速度将进一步增大(图 5~7)。

随着开采强度的增加,都思兔河流量及潜水蒸发量的减少量也在逐渐增加。地下水开采量主要由截取蒸发量为主,随着开采强度增加,蒸发量的减少量基本呈线性增加。

根据各方案作用下的地下水埋深分布、开采井最大降深、地下水溢出量的变化等,推荐包乐浩晓富

表 4 包乐浩晓富水区各开采方案作用的漏斗形态统计

Tab. 4 Statistics of groundwater funnel shapes for different exploitation schemes in water-rich area of Baolehaoxiao

方案编号		BAO-01	BAO-02	BAO-03	BAO-04	BAO-05	BAO-06	BAO-07	BAO-08	BAO-09
单井开采量/( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )		1 000	1 000	1 000	1 500	1 500	1 500	2 000	2 000	2 000
井间距/m		1 000	1 500	2 000	1 000	1 500	2 000	1 000	1 500	2 000
开采强度/[ $\text{m}^3 \cdot (\text{d} \cdot \text{km}^2)^{-1}$ ]		1 000.0	444.4	250.0	1 500.0	666.7	375.0	2 000.0	888.9	500.0
最大降深/m		19.04	9.38	6.77	48.43	14.85	10.39	95.04	21.04	14.23
区域面积/ $\text{km}^2$	$s > 0.5 \text{ m}$	1 368.46	910.88	661.62	1 790.35	1 119.02	864.37	2 222.69	1 288.28	1 010.94
	$s > 1.0 \text{ m}$	1 100.44	612.8	328.12	1 523.47	836.89	546.74	1 872.33	1 012.31	714.03
	$s > 2.0 \text{ m}$	816.93	311.99	52.83	1 262.39	532.52	218.37	1 589.54	722.58	381.4
	$s > 3.0 \text{ m}$	642.28	119.09	13.87	1 104.96	357.09	61.01	1 439.92	539.27	192.05
	$s > 4.0 \text{ m}$	510.26	42.17	3.99	988.67	226.76	25.08	1 329.24	412.33	73.51
	$s > 6.0 \text{ m}$	323.75	3.96	0.04	814.65	60.94	4.58	1 169.62	228.88	18.77
	$s > 8.0 \text{ m}$	191.82	0.19	0.00	685.63	15.47	0.48	1 050.06	99.69	5.36
	$s > 10.0 \text{ m}$	97.89	0.00	0.00	583.46	2.92	0.00	952.81	38.91	1.23

表 5 巴彦布拉格富水区各开采方案作用的漏斗形态统计

Tab. 5 Statistics of groundwater funnel shapes for different exploitation schemes in water-rich area of Bayanbulage

方案编号		BA-01	BA-02	BA-03	BA-04	BA-05	BA-06	BA-07	BA-08	BA-09
单井开采量/( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )		1 500	1 500	1 500	2 000	2 000	2 000	2 500	2 500	2 500
井间距/m		1 000	1 500	2 000	1 000	1 500	2 000	1 000	1 500	2 000
开采强度/[ $\text{m}^3 \cdot (\text{d} \cdot \text{km}^2)^{-1}$ ]		1 500.0	666.7	375.0	2 000.0	888.9	500.0	2 500.0	1 111.1	625.0
最大降深/m		20.20	7.00	5.08	35.79	9.97	6.90	60.79	13.73	8.81
区域面积/ $\text{km}^2$	$s > 0.5 \text{ m}$	333.57	121.72	79.63	479.91	185.90	99.09	652.33	239.74	133.10
	$s > 1.0 \text{ m}$	266.78	73.68	51.48	378.84	109.60	66.07	524.89	175.16	80.63
	$s > 2.0 \text{ m}$	210.36	48.32	26.94	302.86	66.13	39.00	416.00	99.81	50.34
	$s > 3.0 \text{ m}$	171.08	33.81	9.76	266.68	49.77	24.42	362.22	70.89	34.70
	$s > 4.0 \text{ m}$	129.27	22.57	0.77	244.6	38.75	11.53	331.09	56.81	23.92
	$s > 6.0 \text{ m}$	85.75	1.14	0.00	211.14	22.04	0.26	293.08	38.55	3.66
	$s > 8.0 \text{ m}$	62.61	0.00	0.00	180.87	4.05	0.00	268.60	25.83	0.12
	$s > 10.0 \text{ m}$	47.04	0.00	0.00	147.69	0.00	0.00	251.37	12.61	0.00

表 6 好勒勒勒吉富水区各开采方案作用的漏斗形态统计

Tab. 6 Statistics of groundwater funnel shapes for different exploitation schemes in water-rich area of Haolebaoleji

方案编号		HAO-01	HAO-02	HAO-03	HAO-04	HAO-05	HAO-06	HAO-07	HAO-08	HAO-09
单井开采量/( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )		1 500	1 500	1 500	2 000	2 000	2 000	2 500	2 500	2 500
井间距/m		1 000	1 500	2 000	1 000	1 500	2 000	1 000	1 500	2 000
开采强度/[ $\text{m}^3 \cdot (\text{d} \cdot \text{km}^2)^{-1}$ ]		1 500.0	666.7	375.0	2 000.0	888.9	500.0	2 500.0	1 111.1	625.0
最大降深/m		4.23	2.35	1.49	6.54	3.23	2.01	9.89	4.20	2.54
区域面积/ $\text{km}^2$	$s > 0.5 \text{ m}$	147.87	68.42	18.76	192.41	95.45	37.99	240.47	125.55	53.37
	$s > 1.0 \text{ m}$	91.63	25.47	0.84	136.83	44.98	3.36	186.03	63.71	11.12
	$s > 2.0 \text{ m}$	34.79	0.31	0.00	82.49	7.06	0.00	128.85	20.32	0.30
	$s > 3.0 \text{ m}$	8.98	0.00	0.00	48.16	0.05	0.00	95.33	2.59	0.00
	$s > 4.0 \text{ m}$	0.09	0.00	0.00	20.10	0.00	0.00	73.39	0.02	0.00
	$s > 6.0 \text{ m}$	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00	31.17	0.00	0.00
	$s > 8.0 \text{ m}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.33	0.00	0.00
	$s > 10.0 \text{ m}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

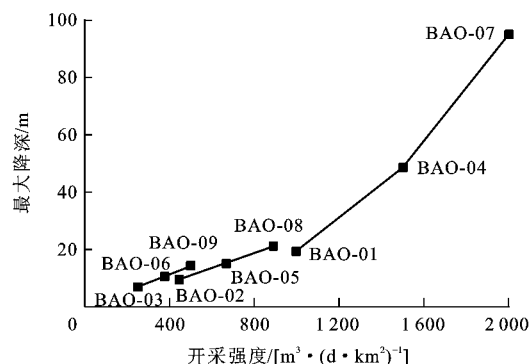


图 5 包乐浩晓富水区开采强度与最大降深关系

Fig. 5 Relationship between exploitation intensity and maximum drawdown in water-rich area of Baolehaoxiao

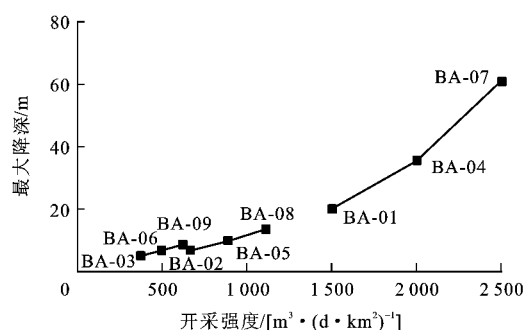


图 6 巴彦布拉格富水区开采强度与最大降深关系

Fig. 6 Relationship between exploitation intensity and maximum drawdown in water-rich area of Bayanbulage

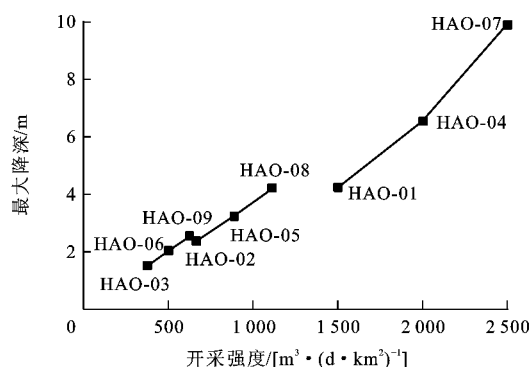


图 7 好勒包勒吉富水区开采强度与最大降深关系

Fig. 7 Relationship between exploitation intensity and maximum drawdown in water-rich area of Haolebaoleji

水区的开采方式(方案 BAO-02)为:单井涌水量为  $1\,000\,m^3/d$ ,井间距  $1\,500\,m$ ,开采井数 55 眼,总开采量  $55\,000\,m^3/d$ ;巴彦布拉格富水区的开采方式(方案 BA-05)为:单井涌水量为  $2\,000\,m^3/d$ ,井间距  $1\,500\,m$ ,开采井数 18 眼,总开采量  $36\,000\,m^3/d$ ;好勒包勒吉富水区的开采方式(方案 HAO-07):设计单井涌水量为  $2\,500\,m^3/d$ ,井间距  $1\,000\,m$ ,开采井数 13 眼,总开采量  $32\,500\,m^3/d$ 。3 个富水区总推荐开采量为  $123\,500\,m^3/d$ 。

## 4 结 语

(1)鄂尔多斯盆地都思兔河流域包乐浩晓、巴彦布拉格、好勒包勒吉 3 处富水区位于地下水浅埋区,主要补给为侧向径流及大气降水入渗补给,排泄方式以潜水面蒸发及向河流排泄为主。因此在地下水浅埋区,结合含水层单井涌水量的大小,采用中段悬挂式非完整井,平均布井,单一开采白垩系环河组地下水,最大限度地夺取潜水蒸发排泄量。

(2)包乐浩晓富水区管井开采方式推荐为:开采井间距  $1\,500\,m$ ,井深  $300\,m$ ,单井开采量为  $1\,000\,m^3/d$ ,开采井数 55 眼,总开采量  $55\,000\,m^3/d$ ;巴彦布拉格富水区管井开采方式推荐为:开采井间距  $1\,500\,m$ ,井深  $300\,m$ ,单井开采量为  $2\,000\,m^3/d$ ,开采井数 18 眼,总开采量  $36\,000\,m^3/d$ ;好勒包勒吉富水区管井开采方式推荐为:开采井间距  $1\,000\,m$ ,井深  $300\,m$ ,单井开采量为  $2\,500\,m^3/d$ ,开采井数 13 眼,总开采量  $32\,500\,m^3/d$ 。上述 3 个富水区总开采量为  $123\,500\,m^3/d$ 。

(3)为了使有限的地下水资源能可持续利用,防止出现不良的地质环境问题,在开发利用地下水资源时,应因地制宜地确定合理的开发利用方案,以达到资源、环境、社会协调发展为目标。

## 参考文献:

### References :

- [1] 侯光才,林学钰,苏小四,等.鄂尔多斯白垩系盆地地下水系统研究[J].吉林大学学报:地球科学版,2006,36(3):391-398.  
HOU Guang-cai, LIN Xue-yu, SU Xiao-si, et al. Groundwater system in Ordos Cretaceous Artisan Basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2006, 36(3): 391-398. (in Chinese)
- [2] 董维红,苏小四,侯光才,等.鄂尔多斯白垩系地下水盆地地下水水化学类型的分布规律[J].吉林大学学报:地球科学版,2007,37(2):288-292.  
DONG Wei-hong, SU Xiao-si, HOU Guang-cai, et al. Distribution law of groundwater hydrochemical type in the Ordos Cretaceous Artisan Basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2007, 37(2): 288-292. (in Chinese)
- [3] 张茂省,胡伏生,尹立河.鄂尔多斯白垩系地下水盆地水文地质概念模型[J].地质通报,2008,27(8):1115-1122.  
ZHANG Mao-sheng, HU Fu-sheng, YIN Li-he. Conceptual model of hydrogeology of the Cretaceous groundwater basin of the Ordos Basin, China[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(8): 1115-1122. (in Chinese)
- [4] 孙芳强,钱会,杨六岗,等.鄂尔多斯盆地查布水源地地下水水化学特征及其影响因素[J].地球科学与环境学报,2008,30(4):402-407.

- SUN Fang-qiang, QIAN Hui, YANG Liu-gang, et al. Distribution characteristics of the chemical component of groundwater and its affecting factors in Chabu well field of the Ordos Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30(4):402-407. (in Chinese)
- [5] HOU Guang-cai, LIANG Yong-ping, SU Xiao-si, et al. Groundwater systems and resources in the Ordos Basin, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(5):1061-1069.
- [6] 侯光才, 苏小四, 林学钰, 等. 鄂尔多斯白垩系地下水盆地天然水体环境同位素组成及其水循环意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(2):255-260.
- HOU Guang-cai, SU Xiao-si, LIN Xue-yu, et al. Environmental isotopic composition of natural water in Ordos Cretaceous groundwater basin and its significance for hydrological cycle [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2007, 37(2):255-260. (in Chinese)
- [7] 赵振宏, 王 冬, 陶正平, 等. 鄂尔多斯高原地下水系统的多层结构循环模式——来自深孔中 PACKER 系统分层水头测定的证据[J]. 地质通报, 2008, 27(8):1131-1137.
- ZHAO Zhen-hong, WANG Dong, TAO Zheng-ping, et al. Multi-layer circulation model of groundwater flow systems on the Ordos Plateau, China—evidence from water head measurements at different depths of a deep borehole by the PACKER System[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(8):1131-1137. (in Chinese)
- [8] 侯光才, 张茂省. 鄂尔多斯盆地地下水勘查研究[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- HOU Guang-cai, ZHANG Mao-sheng. Study on groundwater investigation in Ordos Basin[M]. Beijing: Geology Publishing House, 2008. (in Chinese)
- [9] 王 玮. 内蒙古自治区鄂托克旗查布水源地地下水流数值模拟报告[R]. 西安: 长安大学, 2009.
- WANG Wei. Groundwater numerical simulation report of Chabu water source sites in Etuohe Banner of Inner Mongolia Autonomous Region[R]. Xi'an: Chang'an University, 2009. (in Chinese)

(上接第 39 页)

- Geochemical characteristics of crude oil and the analysis of oil sources of Dongying Formation in Wenliu Area of Dongpu Depression, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science and Technology Edition, 2010, 37(1):44-49. (in Chinese)
- [17] 徐春强, 蒋有录, 程 奇, 等. 东濮凹陷濮卫洼陷油气成藏期分析[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(3):257-262.
- XU Chun-qiang, JIANG You-lu, CHENG Qi, et al. Study on the formation stages of oil-gas reservoirs in Puwei Sub-sag, Dongpu Sag[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2010, 32(3):257-262. (in Chinese)
- [18] 李志明, 郑伦举, 马中良, 等. 烃源岩有限空间油气生排模拟及其意义[J]. 石油实验地质, 2011, 33(5):447-451.
- LI Zhi-ming, ZHENG Lun-ju, MA Zhong-liang, et al. Simulation of source rock for hydrocarbon generation and expulsion in finite space and its significance[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2011, 33(5):447-451. (in Chinese)
- [19] 王 伟. 东濮凹陷文南—刘庄地区沙二下亚段浅湖风暴沉积[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(4):384-389.
- WANG Wei. Storm Deposits of shallow lake in lower sub-member of member 2 of Shahejie Formation of Wennan-Liuzhuang Area, Dongpu Sag[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(4):384-389. (in Chinese)
- [20] 赵俊峰, 纪友亮, 苏 惠, 等. 东濮凹陷沙三段盐岩成因及层序地层划分[J]. 断块油气田, 2009, 16(2):9-11.
- ZHAO Jun-feng, JI You-liang, SU Hui, et al. Origin of salt rock and classification of stratigraphic sequence for the third section of Shahejie Formation in Dongpu Depression[J]. Fault Block Oil and Gas Field, 2009, 16(2):9-11. (in Chinese)
- [21] 李明娟, 许化政, 周新科. 东濮凹陷地质三分性与沙三期沉积古地理[J]. 断块油气田, 2006, 13(5):4-7.
- LI Ming-juan, XU Hua-zheng, ZHOU Xin-ke, et al. Geological threefold division and sedimentary palaeogeography in Es Period in Dongpu Depression[J]. Fault Block Oil and Gas Field, 2006, 13(5):4-7. (in Chinese)
- [22] 陈金凤, 庞 帅, 吴 辉, 等. 唐家河油田馆陶组剩余油研究及挖潜方法[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2011, 33(5):79-83.
- CHEN Jin-feng, PANG Shuai, WU Hui, et al. Study on residual oil of Guantao Formation of Tangjiahe Oilfield and its potential trapping method[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science and Technology Edition, 2011, 33(5):79-83. (in Chinese)
- [23] 张 兵, 郑荣才, 张春生. 鄂尔多斯盆地庆 64 井区延 10 油层的储层三维地质建模[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2010, 37(1):29-35.
- ZHANG Bing, ZHENG Rong-cai, ZHANG Chun-sheng. Reservoir sedimentary characteristics and reservoir modeling of Well Qing64 zone in Ordos Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science and Technology Edition, 2010, 37(1):29-35. (in Chinese)
- [24] 李学慧, 陈清华, 杨 超. 储层建筑结构要素分析及在剩余油挖潜中应用[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2010, 32(6):16-20.
- LI Xue-hui, CHEN Qing-hua, YANG Chao. Analysis of reservoir architecture elements and its application in the development of remaining oil[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science and Technology Edition, 2010, 32(6):16-20. (in Chinese)