

·水文地质·

黄河中游鄂尔多斯高原内流区与闭流区的形成机理 ——基于水循环的分析

侯光才, 赵振宏, 王晓勇, 龚 蓓, 尹立河

HOU Guang-cai, ZHAO Zhen-hong, WANG Xiao-yong, GONG Bei, YIN Li-he

中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054

Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要:在分析鄂尔多斯高原地表水、地下水与黄河流域水资源转化关系的基础上,依据地下水流系统的理论与方法,对内流区与闭流区的形成机理进行了研究,对内流区与闭流区的分布范围进行了重新界定。结果表明,鄂尔多斯高原可划分为 3 个内流区和 4 个闭流区;内流区内虽然地表水与黄河及其支流无直接的水力联系,但地下水与黄河及其支流存在着密切的水力联系,应将其划入黄河流域;闭流区内无论地表水还是地下水,与黄河及其支流均无水力联系,不属于黄河流域;闭流区的总面积为 31225 km²,与 1977 年《黄河流域特征值资料》中划分的闭流区面积(42296 km²)相比减少了 11071 km²,即黄河流域集水面积在原来的基础上应增加 11071 km²。

关键词:黄河中游;鄂尔多斯高原;内流区;闭流区;形成与分布

中图分类号:P641

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2008)08-1107-08

Hou G C, Zhao Z H, Wang X Y, Gong B, Yin L H. Formation mechanism of interior drainage areas and closed drainage areas of the Ordos Plateau in the middle reaches of the Yellow River, China based on an analysis of the water cycle. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(8):1107-1114

Abstract: Based on an analysis of the transformation between surface waters and groundwater on the Ordos Plateau and water resources in the Yellow drainage region and according the theory and method of the groundwater flow system, the formation mechanism of the interior drainage areas and closed drainage areas were studied and the distribution of the interior drainage areas and closed drainage areas was re-delineated. The results show that there are 3 interior drainage areas and 4 closed drainage areas on the Ordos Plateau. Although within the interior drainage areas there is no direct hydraulic connection between the surface water and the Yellow River and its tributaries, groundwater has close connection with the Yellow River and its tributaries; the interior water systems should be ascribed to the Yellow River drainage basin. Within the closed drainage areas neither surface nor groundwater has hydraulic connection with the Yellow River and its tributaries; so the closed drainage areas do not belong to the Yellow River drainage basin. The total area of the closed drainage areas is 31225 km², decreasing by 11071 km² as compared with that (42296 km²) given by the book 《The Data of Characteristic Values in the Reaches of the Yellow River》 compiled in 1977, i.e.: the catchment area of the Yellow River should increase by 11071 km².

Key words: middle reaches of the Yellow River; Ordos Plateau; interior drainage area; closed drainage area; formation and distribution

黄河是中华民族的母亲河,是西北和华北地区重要的供水水源。近些年来,随着经济社会的迅速发展,对黄河水资源的需求日益增加,开发利用的规模

和强度不断加大,缺水已成为沿黄地区经济社会发展的主要制约因素^[1]。地下水是黄河流域重要的供水水源和环境要素,也是黄河流域水文循环系统中

收稿日期:2008-06-02;修订日期:2008-06-18

地调项目:中国地质调查局国土资源调查项目《鄂尔多斯盆地内蒙古能源基地地下水勘查》(编号:1212010734002)资助。

作者简介:侯光才(1958-),男,教授级高级工程师,从事水文地质勘查与研究工作。E-mail:xahgc@163.com

不可分割的一部分^[2]。研究黄河流域地表水与地下水之间的相互转化关系,特别是研究黄河中游鄂尔多斯高原“内流区”和“闭流区”的形成机理,合理地划分“内流区”和“闭流区”的分布范围,对认识黄河流域水资源的形成演化和科学合理地开发利用黄河流域的水资源,具有重要的理论和实际意义。

对“内流区”和“闭流区”目前尚没有一个明确、公认的定义,在实际应用中也比较混乱与含糊。在《苏联百科辞典》(1986 年译本)中对内流区的解释是“地表径流不与海洋相通的地区”。但地下水向与海洋相通的有关河流进行排泄的地区是不是内流区则没有明确。张挺^[3]认为内流区应划分为 2 种:一种是地表水资源与黄河及其支流无关,而地下水与黄河水有关;另一种是地表水、地下水都与黄河及其支流无关。张挺建议第一种命名为地表水内流区,第二种命名为闭流区。

1977 年 6 月印制的《黄河流域特征值资料》中,黄河水利委员会组织相关技术人员主要依据地形图和地面观测资料,采用把凹地水面抬高 10 m 也不能从凹地边沿最低处溢出的办法^[4],划分了黄河中游鄂尔多斯高原闭流区的范围,面积为 42269 km²,但尚未考虑地下水与黄河水的关系。林学钰等^[5]充分考虑了鄂尔多斯高原浅层地下水与黄河水的关系,对内流区的范围进行了重新界定,认为潜水内流区面积为 32370.55 km²。并在黄河流域上游盆地内发现地表分水岭与地下分水岭存在不一致的现象,地下水分水岭位于距地表分水岭百余千米的茶卡盐池和沙珠玉河之间,其间虽然地表水与黄河无直接的水力联系,但地下水向黄河进行排泄,据此将其划入黄河流域,使黄河流域集水面积在原来的基础上增加了 0.84×10⁴km²。

本文依托国土资源调查项目《鄂尔多斯盆地地下水勘查》,在分析鄂尔多斯高原地表水、地下水与黄河流域水资源转化关系的基础上,提出了内流区与闭流区的基本概念,依据地下水流系统的理论与方法^[4-7],对黄河中游鄂尔多斯高原内流区和闭流区的形成机理进行了研究。

1 研究区概况

研究区位于白于山以北的鄂尔多斯高原(图 1),多年平均降水量为 200~400 mm,自东南向西北年降水量递减,多年平均蒸发量一般为 2000~3500 mm,

蒸发量与降水量的变化趋势大致相反,自东南向西北递增,属温带大陆性干旱—半干旱气候区。本区属于沙漠高原地貌景观,大部分地区被沙漠覆盖,海拔约 1100~1500 m,相对高差 30~80 m。本区发育有都思兔河、摩林河、乌兰木伦河、无定河等放射状地表水系,主要接受地下水补给。在高原区内发育有众多湖(淖),其中面积大于 3.0 km² 的湖泊 115 个,以陕蒙交界处的红碱淖最大,水面面积 57.6 km²,这些湖(淖)大多是地表水和地下水的汇集排泄中心。

依据含水介质的类型,地下水主要可划分为上更新统萨拉乌苏孔隙含水系统和白垩系碎屑岩裂隙孔隙含水系统^[8]。萨拉乌苏孔隙含水系统主要分布在白于山北麓的定边、安边和靖边山前平原陕西和内蒙古的交界处,含水介质为上更新统萨拉乌苏组,厚度一般 60~80 m,局部达 140 m,单井出水量 1000~3000 m³/d,矿化度小于 1 g/L。碎屑岩裂隙孔隙含水系统的含水介质以河流相的砂岩和砾岩为主,岩石呈胶结—半胶结状,结构疏松,岩性单一,孔隙发育,总体上构成大厚度(最厚达 1000 m 以上)的含水层。大气降水为地下水的主要补给源,地下水的流向受地表水文系统的控制,由地形较高的地表分水岭(东胜梁、四十里梁等)向盆地周边的都思兔河、摩林河、无定河、乌兰木伦河等水文系统汇集,以蒸发的形式和向地表水系统进行排泄。因区域上无稳定的隔水层,上部第四系含水层与下伏白垩系地下水的水力联系密切,构成了巨厚的统一含水体,总体上地下水相对较丰富、水质优良。

2 内流区与闭流区的划分

地表水和地下水同是黄河流域水资源的组成部分,在对内流区与闭流区进行划分时,不仅要考虑地表水与黄河水的关系,同时也要分析地下水与黄河流域水资源的转化关系。笔者认为:地表水与黄河及其支流无关,而地下水向黄河及其支流排泄的地区应定义为内流区,内流区是黄河流域的组成部分,应划入黄河流域。地表水和地下水与黄河及其支流均无关的地区应定义为闭流区,闭流区是一个相对独立的地表水与地下水水流系统,它与外界无水量、热量和物质的交换,闭流区不属于黄河流域。

本次研究充分考虑了地表水、浅层地下水 and 中、深层地下水与黄河及其支流的水力联系,并依据研究区部分地段地下分水岭与地表分水岭不完全一致

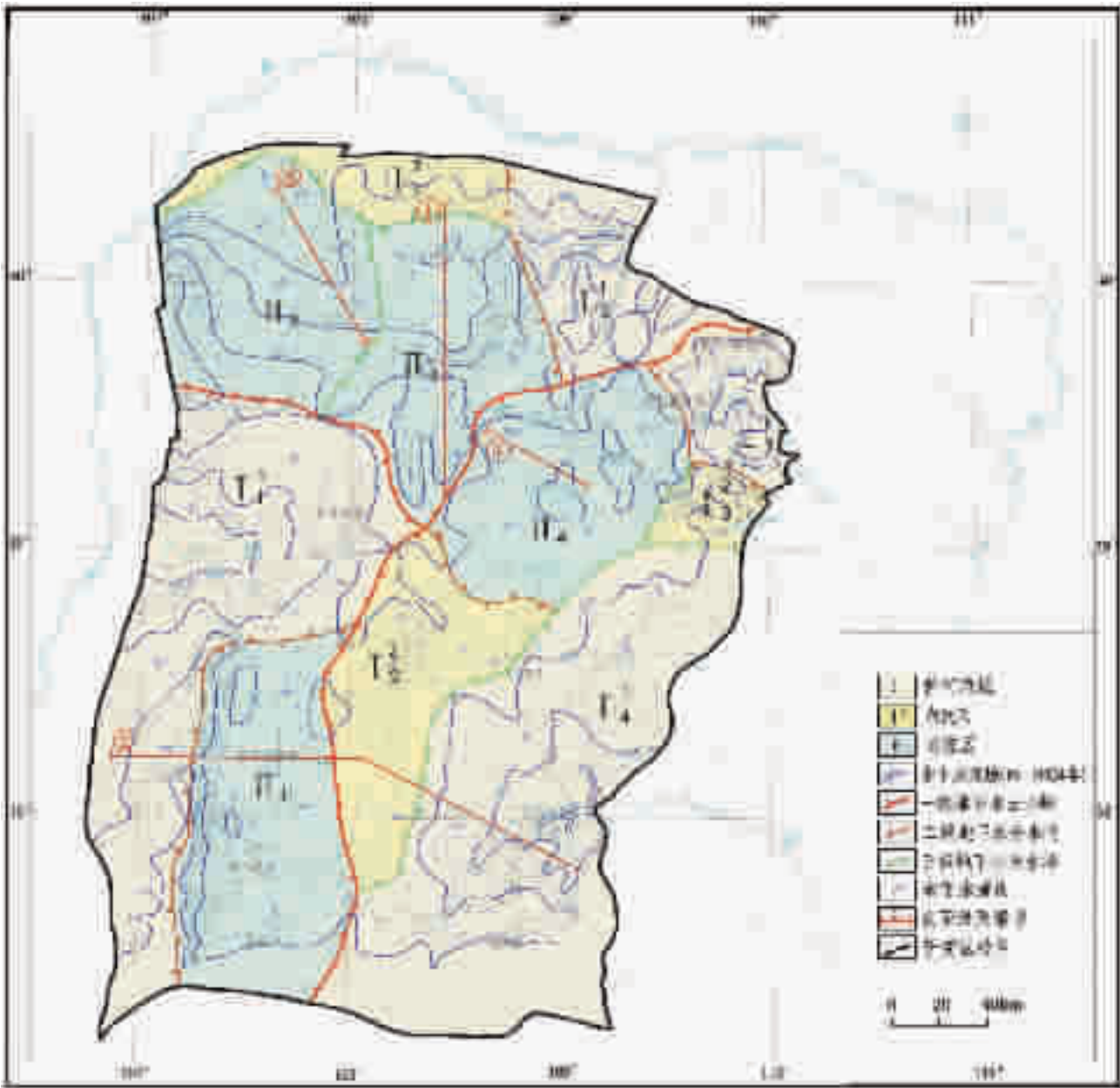


图 1 黄河中游鄂尔多斯高原内流区与闭流区的分布
Fig. 1 Distribution of interior drainage areas and closed drainage areas of the Ordos Plateau
in the middle reaches of the Yellow River

黄河流域: I₁¹—都思兔河流域; I₂¹—亚什图沟—卜尔色太沟流域; I₃¹—乌兰木伦河流域; I₄¹—无定河流域。
黄河流域内流区: I₁²—亚希拉图庙内流区; I₂²—苏米图内流区; I₃²—红碱淖内流区。
闭流区: II₁—盐池—北大池闭流区; II₂—摩林河闭流区; II₃—盐海子中闭流区; II₄—苏贝淖闭流区

的实际情况,以地下水分水岭为边界,对内流区与闭流区的分布范围进行了重新界定和划分。将地表水和地下水均向黄河及其支流排泄的地区直接划归黄河流域;地表水与黄河及其支流无关,而地下水向黄河及其支流排泄的地区划为内流区;两者同属黄河流域的组成部分。将地表水和地下水均与黄河及其支流无关的地区划为闭流区。据此,将黄河中游鄂尔多斯高原划分为 3 个内流区和 4 个闭流区(图 1、表 1)。

表 1 黄河中游鄂尔多斯高原内流区与闭流区的划分

Table 1 Division of interior drainage areas and closed drainage areas of the Ordos Plateau in the middle reaches of the Yellow River

类 型	名 称	代号	分 布	面积/km ²
黄 河 流 域 (I)	与黄 河水 有直 接联 系区 (I ¹)	大庙-都思兔河	I ¹ ₁ 高原西侧，向银川盆地排泄	14732.1
		亚什图沟-卜尔色太沟	I ¹ ₂ 高原西侧，向河套盆地排泄	4468.5
		乌兰木伦河	I ¹ ₃ 高原东北，向黄河支流排泄	2642.5
		无定河	I ¹ ₄ 高原东侧，向无定河排泄	19000.6
	面积小计			40843.7
	内 流 区 (I ²)	亚希拉图庙	I ² ₁ 北部，地下水向河套盆地排泄	2576.3
		苏米图	I ² ₂ 高原中部，浅层地下水就地排 泄，中深地下水向无定河排泄	6285.5
		红碱淖	I ² ₃ 浅层地下水向红碱淖排泄，中 深层地下水通过古河道向秃尾 河排泄	1226.4
				10088.2
	闭 流 区 (II)	盐池-北大池	II ₁ 西南侧，向盐池、北大池排泄	9192.5
摩林河		II ₂ 西北侧，向摩林河尾间湖排泄	7601.6	
盐海子		II ₃ 高原北侧，向盐海子排泄	7037.9	
苏贝淖		II ₄ 位于盆地中东部，向苏贝淖 排泄	7393.0	
面积小计			31225.0	
面积合计				82156.9

其中,闭流区总面积为 31225 km²,与 1977 年《黄河流域特征值资料》中划分的闭流区面积(42296 km²)相比减少了 11071 km²,也就是说,黄河流域集水面积在原来的基础上应增加 11071 km²,即黄河流域总面积为 828740 km²,集水面积为 797515 km²。

3 内流区与闭流区的形成

3.1 内流区(I²)

(1)亚希拉图庙内流区(I²₁)

分布在盆地北缘,南以盐海子地表分水岭为界,向北与河套盆地相接,东与亚什图沟-卜尔色太沟小河流域为邻,面积为 2576.3 km²。该区地表为沙漠,无地表径流。地下水主要接受大气降水补给,由南向北径流,并向河套盆地排泄(图 2)。

(2)苏米图内流区(I²₂)

分布在无定河流域的上游,面积为 6285.5 km²。该区地貌呈波状起伏,多被风积沙所覆盖。受地表地形条件的控制,地表水系不发育,但在梁(台)地与就近相对低洼的地区(河谷洼地、湖沼洼地)之间发育有众多的湖(淖),每个湖(淖)都构成一个相对独立的地下水浅循环系统,地下水从周边向湖(淖)中心汇集,地下水流场呈近似圆状或椭圆状,平面宽度 5~15 km 不等,循环深度 150~250 m^[9]。受这些湖群所控制,浅层地下水系统在面上接受降雨入渗补给,就地以垂向蒸发和人工开采的形式排泄。下部中深地下水向下游的无定河方向运移,并以无定河为最终排泄基准面(图 3),与黄河流域发生水力联系。据剖面水流系统数值模拟的结果,内流区约

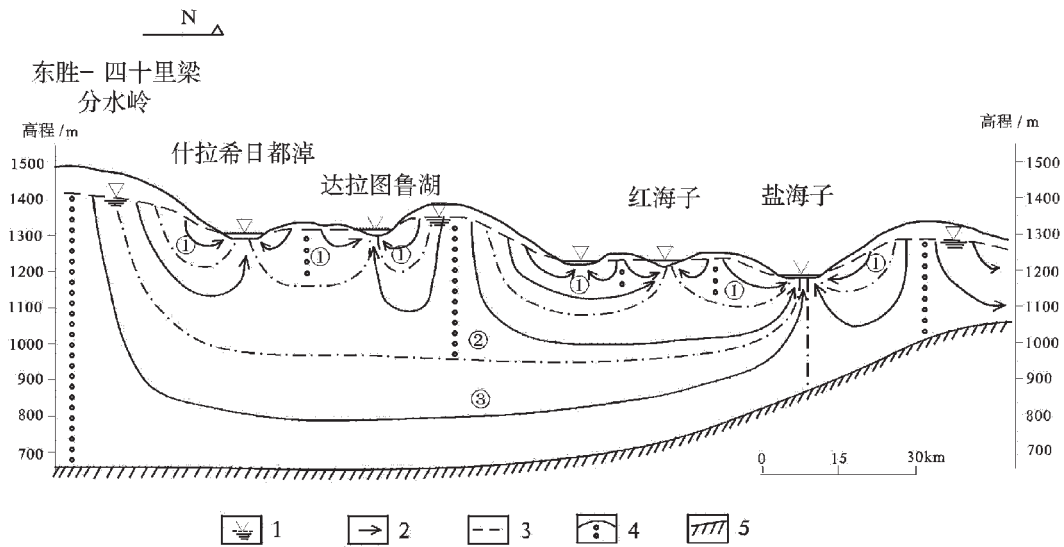


图 2 盐海子闭流区与亚希拉图庙内流区地下水流系统剖面①(位置见图 1)

Fig. 2 Diagrammatic section of the groundwater flow systems of the Yanhaizi closed drainage area and Yaxilatumiao interior drainage area

1—潜水位;2—地下水流线;3—地下水流系统界线;4—地下水分水岭;5—隔水底板

①—局域水流系统;②—中间水流系统;③—区域水流系统

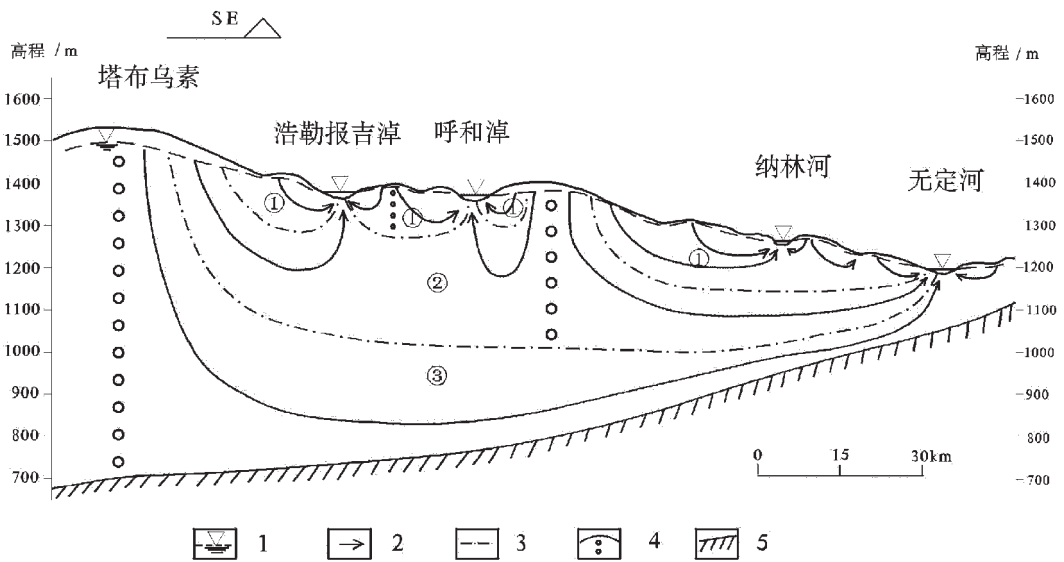


图 3 苏米图-无定河内流区地下水流系统剖面示意图

Fig. 3 Diagrammatic section of the groundwater flow systems of the Sumitu-Wuding River interior drainage area

1—潜水位;2—地下水流线;3—水流系统界线;4—地下水分水岭;5—隔水底板

①—局域水流系统;②—中间水流系统;③—区域水流系统

60%以上的水量就地排泄, 通过中深层地下水向下游排泄的水量约占 40%^[9]。

(3)红碱淖内流区(I_3^2)

红碱淖内流区位于鄂尔多斯高原东部的毛乌素沙地风沙草滩区, 面积为 1226.4 km²。地形特点是, 以红碱淖为中心, 四周地势逐渐增高, 地面高程在 1417~1200 m 之间。南部、西部、北部为基岩或黄土梁岗, 东南方向宫泊沟一带以槽形洼地延伸区外。研

究区内的含水层主要为上更新统中细砂为主的孔隙潜水,与下部的白垩系和侏罗系裂隙孔隙潜水构成统一的含水层。浅层地下水流场形态与地势基本一致,从四周向红碱淖方向汇集,水力梯度为 0.5‰~3‰。构成一个四周高、中心低洼的封闭式浅层地下水系统^[10],深层地下水可能通过古河道秃尾河排泄。

3.2 闭流区(Ⅱ)

闭流区的形成与分布主要受地表分水岭和较大湖泊(如盐池、北大池、盐海子、巴汗淖、苏贝淖等)的控制。在每个闭流区内无论是地表水,还是地下水都向最终排泄基准面(湖淖)排泄,与外界没有水量和物质的交换。所以,每个闭流区都是一个相对独立的地下水流系统,按其在地域上的分布可划分为盐池-北大池、摩林河、盐海子和苏贝淖-红碱淖 4 个闭流区。以下对其形成与分布特征作简要论述。

(1)盐池-北大池闭流区(Ⅱ₁)

分布在鄂尔多斯高原的西南部,南起白于山分水岭,东西两侧以盐池分水岭为界,形状近长方形,南北长 150 km,东西宽约 60 km,面积 9192.5 km²。该闭流区在地貌上为一长条形洼地,南侧和东侧地下分水岭水位标高约 1400 m,西侧 1500 m;最低排泄点盐池、北大池水位标高约 1300 m,水位差约 100~

200 m。根据 B11、B8 和 B17 勘探钻孔的资料,无论是浅层地下水,还是中、深层地下水均从周边向盐池、北大池汇集,其中深层地下水的循环深度可达 1000 m(图 4)。

(2)摩林河闭流区(Ⅱ₂)

分布在鄂尔多斯高原的西北部,南起新召地下分水岭,西侧以桌子山为界,东侧与盐海子闭流区相邻,北部到河套盆地南缘,面积 7601.6 km²。该区地形南高北低,地表水和地下水以摩林河及其尾间湖为最终排泄基准面。上游分水岭一带地下水位标高约 1400 m,摩林河尾间湖一带水位标高约 1120 m,水位差约 280 m。地下水总体上由南向北径流的过程中,浅层地下水沿途向摩林河排泄,受河套盆地南缘阻水断裂的影响,中、深层地下水排泄不畅,以顶托补给的形式向摩林河尾间湖排泄(图 5)。

(3)盐海子闭流区(Ⅱ₃)

分布在鄂尔多斯高原的北侧,东西两侧分别以摩林河闭流区和亚什图沟-卜尔色太沟小河流域外流区相邻,南起四十里梁和新召分水岭,北到盐海子分水岭,面积 7037.9 km²。该区地形总体上南高北低,在南侧以达拉图鲁湖为代表,形成许多中型湖泊群,是浅层地下水的闭流区,北部以红海子、察汗淖

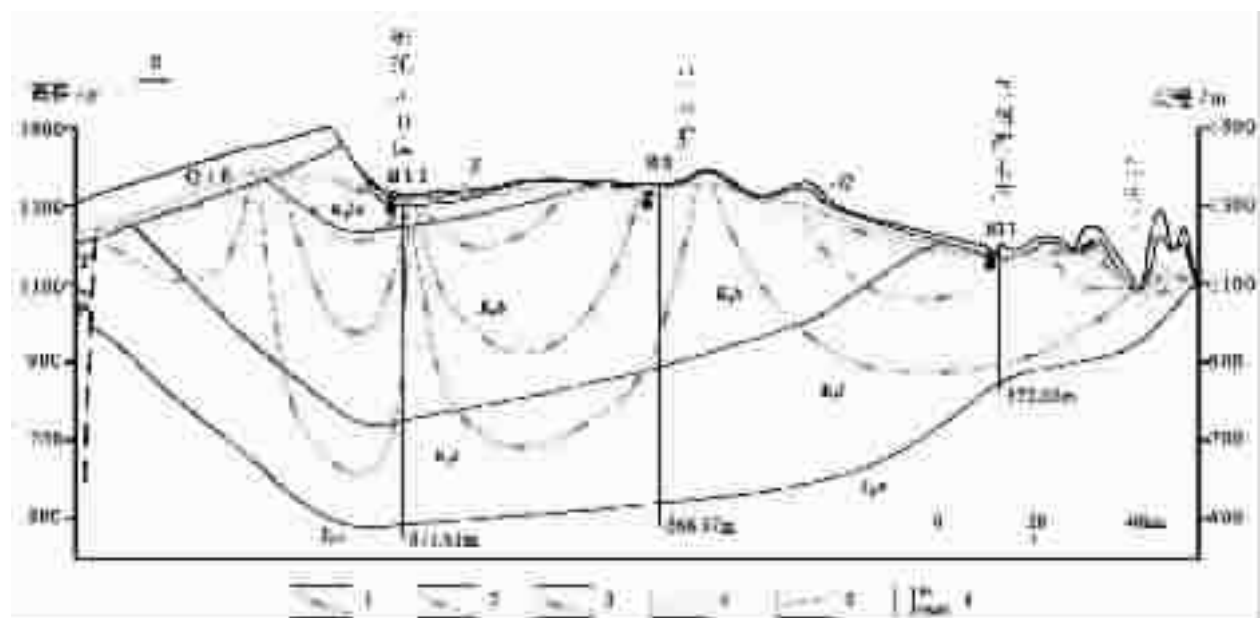


图 4 盐池闭流区地下水流系统剖面^②(位置见图 1)

Fig. 4 Diagrammatic section of the groundwater flow systems of the Yanchi closed drainage area
1—深层地下水流线;2—中层地下水流线;3—浅层地下水流线;4—地下水位;5—地层界线;6—勘探钻孔及孔深;
Q—第四系风积细砂;E—古近系粉砂岩;K₁lh—下白垩统罗汉洞组砂岩、含砾砂岩;K₁h—下白垩统环河组砂岩、砂砾岩;
K₁l—下白垩统洛河组砂岩;J₂a—中侏罗统安定组泥岩;T—三叠系粉砂岩、砂质泥岩;P—二叠系泥岩、细砂岩互层

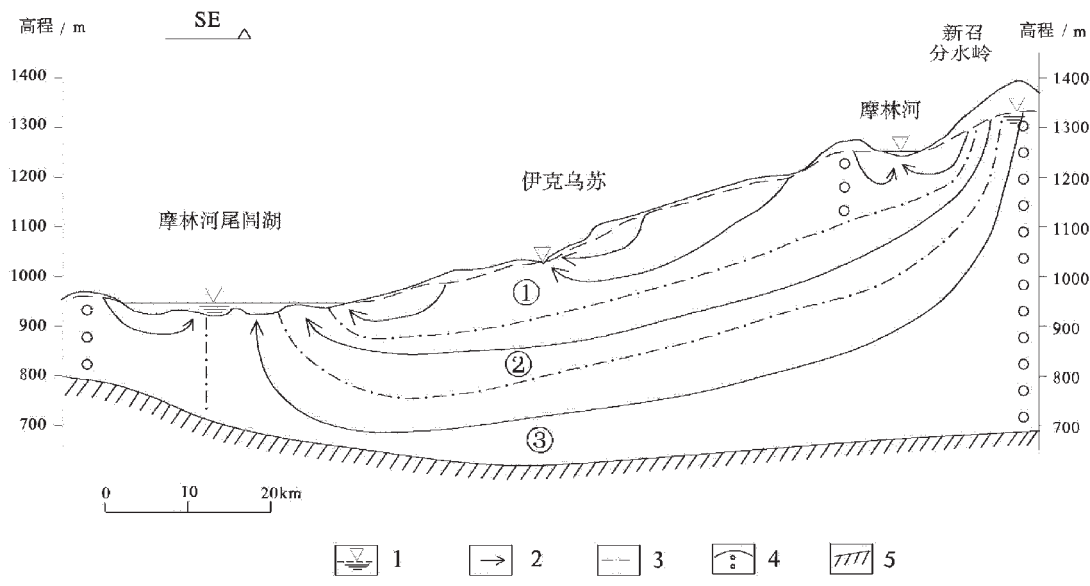


图 5 摩林河闭流区地下水流系统剖面^③(位置见图 1)

Fig. 5 Diagrammatic section of the groundwater flow systems of the Mulin River closed drainage area

1—潜水位;2—地下水流线;3—地下水流系统界线;4—地下水分水岭;5—隔水底板

①局域水流系统;②中间水流系统;③区域水流系统

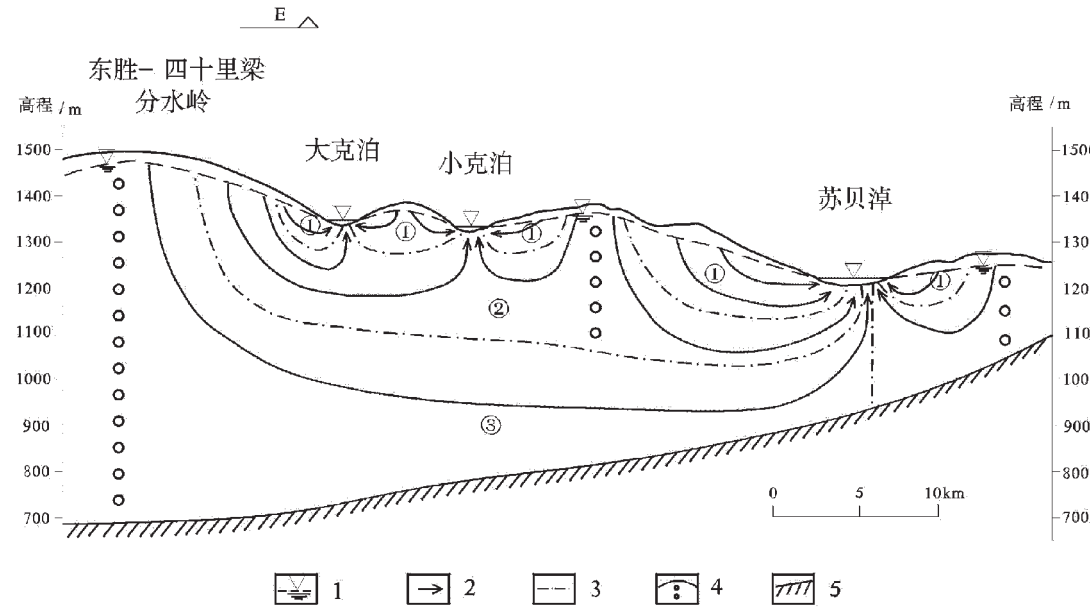


图 6 大克泊-苏贝淖闭流区地下水流系统剖面^④(位置见图 1)

Fig. 6 Diagrammatic section of the groundwater flow systems of the Dakepo-Subeizhuo closed drainage area

1—潜水位;2—地下水流线;3—地下水流系统界线;4—地下水分水岭;5—隔水底板

①局域水流系统;②中间水流系统;③区域水流系统

和盐海子为代表,是中层地下水排泄的基准面。上游达拉图鲁湖一带地下水位标高约 1400 m,盐海子一带水位标高约 1161 m,水位差约 239 m。地下水总体

上由南向北径流,最终向盐海子排泄^[1](图 2)。

(4) 苏贝淖闭流区(Ⅱ₄)

分布在鄂尔多斯高原的东侧,四周均以地下水

分水岭为界,面积 8619.4 km²。该区地形总体上呈波状起伏,多被风积沙覆盖,地表水系不发育。由于降水量相对较大(350 mm 左右),地表为风积沙,地下水补给条件相对较好,因而形成了众多的湖泊。该区总体上由 2 个相对独立的闭流区构成,西侧以合同察汗淖、巴汗淖、苏贝淖为代表,构成一个大型地下水闭流区,周边地下水位标高为 1400 m,最低排泄点水位标高 1300 m,水位差约 100 m;地下水从四周向合同察汗淖、巴汗淖、苏贝淖汇集并最终排泄(图 6)。

4 结 论

(1)依据内流区与闭流区的概念,采用地下水流系统的原理,将黄河中游(鄂尔多斯高原)划分为 3 个内流区和 4 个闭流区。闭流区总面积为 31225 km²,与 1977 年《黄河流域特征值资料》中划分的闭流区面积(42296 km²)相比减少了 11071 km²,黄河流域集水面积在原来的基础上应增加 11071 km²,即黄河流域总面积为 828740 km²,集水面积为 797515 km²。

(2)对黄河中游鄂尔多斯高原内流区与闭流区的划分,不仅要考虑地表水与黄河及其支流的水力联系,同时也要考虑地下水与黄河及其支流的水力联系。内流区是黄河流域的组成部分,而闭流区则不属于黄河流域。该项研究成果对进一步认识黄河流

域水资源的形成与演化规律,客观地评价黄河流域的水资源总量和维持黄河健康发展具有重要的理论与实际意义。

参考文献:

- [1]崔亚莉,张戈,邵景力.黄河流域地下水系统划分及其特征[J].资源科学,2004,26(2):2-7.
- [2]林学钰,王金生.黄河流域地下水资源及其更新能力研究[M].郑州:黄河水利出版社,2006:13-28.
- [3]张挺.有关黄河内流区几个问题的探讨[J].人民黄河,2003,25(2):2-4.
- [4]Toth J. Cross-formational gravity flow groundwater: a mechanics of the transport and accumulation of petroleum, problems of petroleum migration[J]. AAPG Studies in Geology, 1980,10:121-167.
- [5]Toth J. A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basin[J]. J. Geophys. Research, 1963,67(11):4375-4387.
- [6]Engelen G B, Jones G P. Developments in the analysis of groundwater flow systems[M], IAHS Publication, 1986:163.
- [7]陈梦熊,马凤山.中国地下水资源与环境[M].北京:地震出版社,2002:385-417.
- [8]侯光才,张茂省,王永和,等.鄂尔多斯盆地地下水资源与开发利用[J].西北地质,2007,40(1):1-25.
- [9]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(地学版),2006,36(3):391-398.
- [10]武选民,王树棕,方长生,等.红碱淖—沟岔地区地下水流系统研究[J].水文地质工程地质,1993,(6):30-34.
- [11]赵振宏,侯光才,王冬,等.地下水流系统特征——以白垩系地下水盆地为例[J].地下水,2007,(3):14-16.