

苏丹中部半干旱地区含水层特征的评价

Adil Elkrail¹, 束龙仓¹, 郝振纯¹, Omer Kheir²

(1. 河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 苏丹地质研究部, 苏丹 喀土穆 12702)

摘要: 苏丹中部的北杰济拉(Gezira)省的含水层为杰济拉含水层和白垩系含水层. 在确定含水层水文地质参数的基础上, 绘制了地下水水位等值线图, 并通过矿化度的空间分布对地下水的化学特性进行评价. 对水文地质参数的计算采用了雅各布方法和泰斯恢复水位法, 通过对地下水中主要化学成分的分析来评价地下水水质, 并绘制有关的水化学特性图. 测得杰济拉含水层的平均导水系数和渗透系数分别为 $368.7 \text{ m}^2/\text{d}$ 和 $34.03 \text{ m}/\text{d}$, 均小于白垩系含水层的 $407.2 \text{ m}^2/\text{d}$ 和 $43.17 \text{ m}/\text{d}$. 杰济拉含水层物理化学成分的浓度明显高于白垩系含水层. 白垩系含水层水质较好, 适宜用作生活用水及饮用水.

关键词: 含水层; 导水系数; 渗透系数; 矿化度; 水化学成分; 硬度; 苏丹

中图分类号: P641.8

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2004)02-0029-03

了解研究区的水动力参数和水化学特性对该区的地下水管理至关重要. 随着地下水在含水层中渗透途径的加长, 含水层中的化学成分浓度会逐渐增大^[1], 因此, 地下水化学成分可以反映含水层地质历史的重要信息, 并据此评价对生活、工业、农业用水的适用性. 本次研究区位于苏丹杰济拉省的北部, 在北纬 $14^{\circ}40' \sim 15^{\circ}25'$, 东经 $32^{\circ}20' \sim 32^{\circ}18'$ 之间(见图1), 属于青尼罗河盆地的一部分, 面积约 5800 km^2 . 杰济拉省北部是评价地下水的水文地质和水文地球化学特性的理想地区, 该地区由于人口增长及工农业发展, 人们需要从可持续发展的角度合理抽取含水层中的地下水; 而不同化学成分监测值可用来评价地下水的适用性, 因此, 通过对主要成分的化学分析来评价含水层系统的整体水化学特性. 本文采用了文献[2]总结的几种抽水试验方法确定了导水系数 T 和渗透系数 K , 并采用雅各布法和泰斯恢复水位法计算了含水层的水动力参数. 抽水试验的结果, 可以反映水井的水力学性质和含水层的边界, 是地下水调查中最重要的数据. 在该研究区内, 包含越流含水层、半承压含水层和承压含水层.

1 地质及水文地质概况

研究区主要为平原, 上覆粘土层, 地表高程在 $380 \sim 400 \text{ m}$ 之间. 风力和河流作用在这里形成了山麓冲积平原、沙漠中的盆地和季节性盆地. 研究区位于亚热带稀树草原和半荒漠气候(如半干旱气候)之

间的过渡地带, 气候特点是夏季(4~10月)干燥炎热, 冬季(11~3月)干燥寒冷. 南部地区年平均降雨为 310 mm , 到北部边缘地区逐渐减少至 175 mm , 主要降雨集中在8~10月间^[3].

研究区有前寒武系基底杂岩、白垩系沉积岩和第四系杰济拉地层. 基底杂岩由风化程度较高的灰色片麻岩和红色花岗岩组成. 白垩系沉积岩不整合地覆盖在基岩之上, 由砂岩(石灰质、铁质和硅土质)、泥岩、页岩等组成. 除个别例外, 白垩系沉积岩均被第四系杰济拉地层或新生的浅层沉积物覆盖^[3], 整个地层系统在中部及东北部地区的厚度均在 400 m 以上. 第四系杰济拉地层覆盖于白垩系沉积岩体之上, 主要由松散的砂砾、细砂、粉砂和粘土层组成, 钙结砾岩、玄武岩及蒸发岩的沉积物和盐类晶体的碎片是其最主要的特征^[4].

研究区的主要含水层系统为第四系杰济拉地层和白垩系沉积物, 既有半承压水又有承压水. 第四系杰济拉地层和白垩系沉积物之间存在部分水力联系, 位于第四系杰济拉地层上部的一个连续砂层构成了杰济拉含水层.

该区地下水位等值线图(图1)表明地下水的主要补给来源是白尼罗河和青尼罗河, 另外还包括季节性地表水体、降雨直接补给和杰济拉省灌溉渠系渗漏等. 地下水埋深在白尼罗河和青尼罗河附近只有几米, 到研究区中心逐渐增加到 30 m 以上. 杰济拉含水层的饱和带厚度为 $5 \sim 80 \text{ m}$, 白垩系含水层为 $15 \sim 150 \text{ m}$.

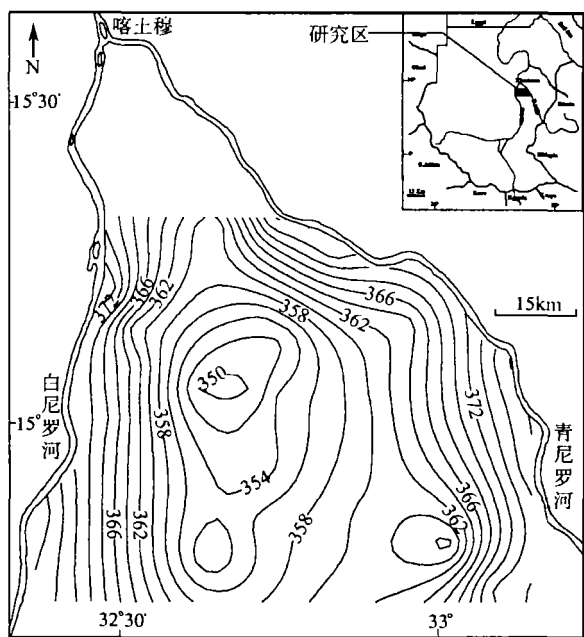


图1 地下水水位等值线示意图

2 研究方法

第四系杰济拉含水层和白垩系含水层的水动力学参数通过抽水试验确定,并绘制野外观测的时间-水位降深曲线,由雅各布法和泰斯水位恢复法计算含水层水动力学参数,得出了比野外测量更可靠的结论.水质监测井包括深井、浅井等不同深度的井,他们均匀地分布于研究区内(见图2),在取样之前已经开采过相当一段时间.每个采样点的电导率、pH值和温度等参数由便携式的 Orion 电导率仪和 pH 计直接测得并记录.通过对主要成分的化学分析来评价第四系杰济拉含水层和白垩系含水层的水化学特性及矿化度(TDS)的地区分布.

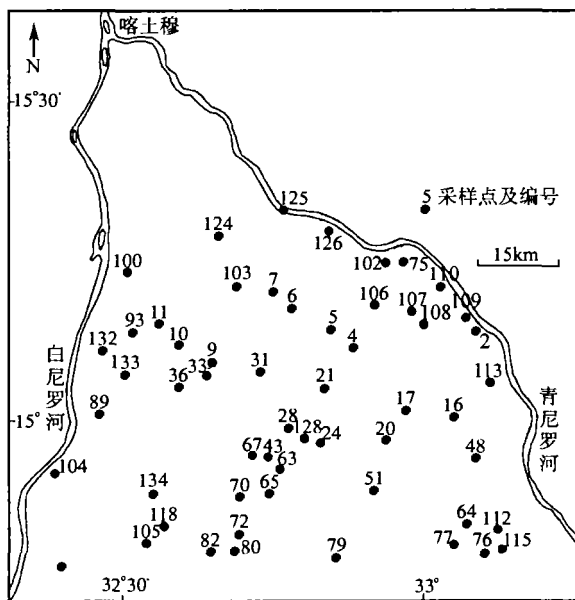


图2 采样点分布

3 结果与分析

3.1 含水层水动力学特征

3.1.1 导水系数

导水系数的概念可以用于各种含水层.根据前述采用的导水系数变化范围是 28.0~824.0 m^2/d (见表1),结果反映了杰济拉含水层的导水系数变化范围,平均值为 407.2 m^2/d (见表1).白垩系地层中泥岩和页岩

表1 杰济拉含水层的

计算方法	导水系数 $T/(\text{m}^2/\text{d})$	
	最小值	最大值
雅各布法	28.0	824.0
泰斯水位恢复法	66.5	643.2
沃尔顿法	2.2	120.3
洛根法	88.5	444.8

表2 白垩系沉积含水层的

计算方法	导水系数 $T/(\text{m}^2/\text{d})$	
	最小值	最大值
雅各布法	20.7	1098.7
泰斯水位恢复法	4.1	1129.8
沃尔顿法	3.9	114.5
洛根法	11.4	739.4

3.1.2 渗透系数

杰济拉含水层和白垩系含水层可由不同水井处的导水系数 T 和厚度 b 求得,计算公式如下:

$$K = \frac{T}{b}$$

据此,求得杰济拉含水层的渗透系数变化范围是 0.411~91.55 m/d ,平均值为 31.17 m/d .白垩系含水层的渗透系数变化范围是 0.0007~0.0017 m/d ,平均值为 43.17 m/d (见表2).

3.1.3 地下水的补、径、排

作为水文循环的一部分,人工的补给区域流向排泄区.最主要途径是地下水位等值线.地下水补给的基础.地下水含水层和白垩系含水层中.水位以高出平均海平面的.平行于青尼罗河和白尼罗河.水位高于 375 m,并向盆地.形成一个降落漏斗(见图1).西侧约为 0.0007,在白尼罗河现象表明,青尼罗河和白尼

主要补给来源,降雨入渗和灌溉渠系渗漏是含水层的另一补给来源.

3.2 地下水水质及其与利用的关系

3.2.1 地下水水质

表 3 是杰济拉含水层和白垩系含水层水化学特征统计值,由表 3 可见,杰济拉含水层和白垩系含水层的 pH 值基本相同,变化很小,这表明地下水环境中的碱化学作用尚处在初始比较微弱的阶段^[5].另一方面,杰济拉含水层与白垩系含水层的电导率分别为 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 和 463 $\mu\text{S}/\text{cm}$,这表明从杰济拉含水层到白垩系含水层碱性是逐渐降低的,使地下水存在淡水、微咸水及咸水,类型比较复杂.根据 Twort 等的分类方法^[6],白垩系含水层水的硬度为较软到硬,而杰济拉含水层水的硬度为较软到很硬.杰济拉含水层上部主要由钙结砾岩和蒸发岩组成,反映为杰济拉含水层的硬度特征和钠离子、氯离子及重碳酸根阳离子浓度比白垩系含水层有增高的趋势.

杰济拉含水层和白垩系含水层的矿化度及含水层电导率(见表 3)均表明,含水层的矿化度是向地下逐渐降低的.在白尼罗河东部及东北部地区青尼罗河附近,矿化度均呈不规则的南北向槽状分布(见图 3(a)).由于杰济拉含水层中的蒸发岩沉积物、较低的水力梯度(0.001)、半干旱地区较高的蒸发和蒸腾

作用,以及距离补给源较远,使得中部地区的矿化度较高.而对白垩系含水层,尽管在白尼罗河东部的南北向槽状分布区(见图 3(b)),矿化度高于 500 mg/L ,含水层的矿化度总体是相对较低的,这是由于该层与上覆杰济拉含水层存在部分的水力联系,存在含水层系统之间的垂向入渗.

3.2.2 地下水的水质评价

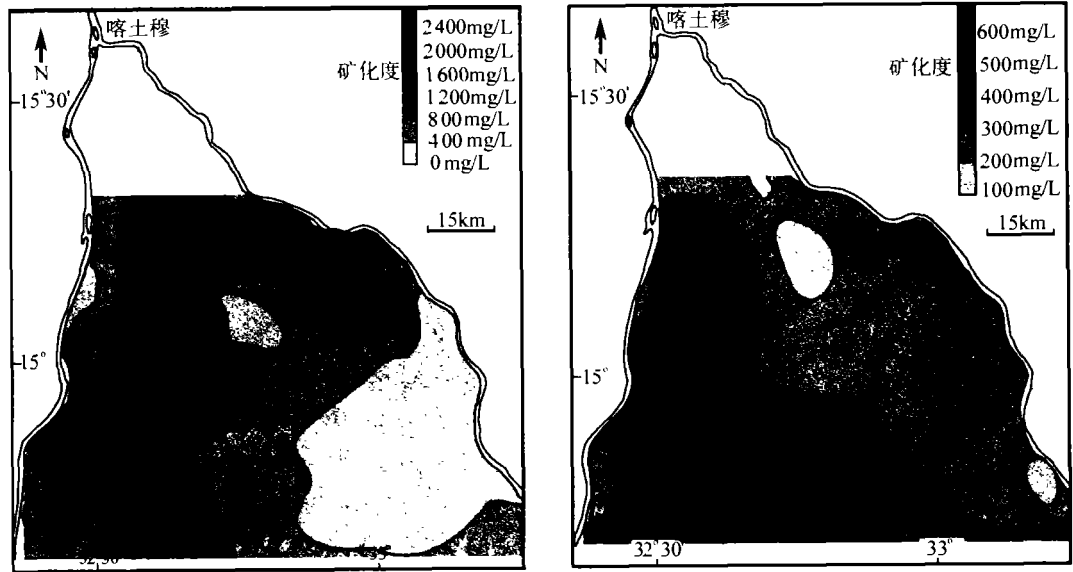
水化学特性研究的主要目的是确定地下水适宜于何种用途.在杰济拉含水层,地下水水质变化较大,由优良可用于任何用途变化到矿化度太高不适宜生活饮用;而白垩系含水层的地下水水质大多优良,适宜用作生活用水和饮用水.

4 结 论

研究区的承压及半承压含水层系统由第四系杰济拉地层和白垩系地层组成,即杰济拉含水层和白垩系含水层,两者之间存在一定的水力联系.上述含水层补给的主要来源是青尼罗河、白尼罗河、降雨入渗和杰济拉地区的灌溉水回归.杰济拉含水层的导水系数和渗透系数平均值分别为 368.7 m^2/d 和 34.03 m/d ,而白垩系含水层为 407.2 m^2/d 和 43.17 m/d .杰济拉含水层的参数值比白垩系含水层要小,这是因为在杰济拉地层中普遍存在粘土、粉砂和细砂层.水力坡

表 3 杰济拉含水层和白垩系含水层水化学特征统计

地层	pH 值			电导率 /($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)			离子质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)									矿化度 /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)			硬度 /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)			碱度 /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)		
							Na ⁺			Cl ⁻			HCO ₃ ⁻											
	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
杰济拉含水层	7.8	8.6	8.2	390	4300	900	30	1100	313	32	1140	225	146	671	500	240	4100	850	90	420	250	160	725	348
白垩系含水层	7.5	8.3	7.9	250	1060	463	10	230	75	5	350	63	122	354	238	200	680	347	30	250	122	100	290	137



(a)杰济拉含水层 (b)垩系含水层
图 3 杰济拉含水层和白垩系含水层中地下水矿化度的分布

抛石体的整体性,提高其抗冲效果。

据了解,长江水利委员会有关方面在石首市北门口堤选了一段 490 m 长的堤防进行抛石下垫布的试验。中国水利水电科学研究院和江西省水利勘测设计院在江西棉船洲崩岸整治试验工程中对下垫土工布软体排的抛石护岸进行了试用,并进行了模型试验研究(中国水利水电科学研究院,等.江西省棉船洲铁塔段崩岸整治试验工程鉴定材料,2002)。成果表明,对于坡度为 1:2.5 的岸坡,当放水 48 h 后,垫有土工布的抛石护坡没有发生崩岸,而对于单纯抛石护岸,则在放水 32 h(相当于原型 32 d)后,局部地段就开始出现塌坍变形;对于坡度为 1:2.0 的岸坡,两者的差别更加明显。如果块石的抛投不均匀,则差别更大。纯抛石护岸在 7 h 和 18 h 后发生崩塌并迅速扩大,而有土工布软体排的抛石则情况正常。

当然铺土工布软体排会给施工增加麻烦。要在流速 3~4 m/s 的情况下将土工布和石块抛至水下 30~40 m 深处在施工上确有困难。在上述棉船洲的试验工程中采用了一些可行的办法,他们在软体排上设置带有格框形的充砂肋条,有助于软体排自身在水下的稳定,同时在施工机具上也有一些改进(中国水利水电科学研究院,等.江西省棉船洲铁塔段崩岸整治试验

工程鉴定材料,2002),相信这方面的问题可以在实际中逐步积累经验予以解决。此外,设置土工布软体排会增加投资,但抛石的厚度可酌情减薄。据实践,增加的投资不会很多。这种方法可以在今后护岸(护坡)中继续使用。

上述现象虽然是局部的,但若不加以注意,可能在堤防运用几年后出现问题,故应予以关注。在此我们建议,一方面对尚在施工的工程加强施工管理和监督,对已经完工的堤防在这些薄弱环节上加强监察,及时发现,及时修补;另一方面,有必要加强对地方水利技术干部的培训,使他们真正了解排水、反滤、垫层等堤防建设方面的知识,弄清有关概念,从根本上解决问题。

参考文献:

- [1] 董哲仁.堤防除险加固实用技术[M].北京:中国水利水电出版社,1998.
- [2] 许季军.土工合成草毯[P].中国专利:346445,1999-08-28.
- [3] 包承纲.堤防工程土工合成材料应用技术[M].北京:中国水利水电出版社,1999.

(收稿日期:2003-10-17 编辑:傅伟群)

(上接第 31 页)

度在青尼罗河以西大约为 0.0007,白尼罗河以东约为 0.001,并由此确定河流的补给是含水层的主要来源。杰济拉含水层与白垩系含水层相比,其化学物质的浓度较高,其主要原因是碳酸盐和蒸发盐地层的存在、农业活动的杀虫剂、植物根部腐烂的有机物、离子交换过程、高蒸发量和低水力坡度等。杰济拉含水层的水化学成分显著表现为碱性重碳酸盐和氯化物-重碳酸盐类型水。而白垩系含水层为氯化物-重碳酸盐、重碳酸盐和硫酸盐-重碳酸盐类型水。因此,杰济拉含水层中的水不适合生活使用(高矿化度)。含盐量大和有危害性水主要分布在这一地区的中部和东北部。相比之下,白垩系含水层的水既适合饮用,又适合于平常的家庭生活使用。作为此项研究的结论之一,建议抽水井应布置在潜力较大、地势较低、有足够补给来源的杰济拉含水层下部和白垩系含水层内,并通过适当的技术,在杰济拉含水层内阳离子浓度较高的区域,使用泥浆回灌,以防止水质较差的水向下越流。

致谢 作者感谢 Altayib Al Krail 先生提供经济支持,感谢苏丹喀土穆大学地质系帮助收集相关资料,也感谢河海大学水资源环境学院的硕士研究生李伟和刘波同学的大力帮助。

参考文献:

- [1] Freeze R A, Cherry J Z. Groundwater[M]. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1979. 80~115.
- [2] Chae Y S. Hydraulics of wells[A]. Liu D H F, Liptak B G eds. Groundwater and Surface Water Pollution[C]. Washington: LEWIS Publisher, 2000. 21~46.
- [3] Magboul A B. Hydrogeology of the Northern Gezira area[D]. Khartoum: University of Khartoum, 1992.
- [4] Salama R B. Evaluation of river Nile: The buried saline rift lakes in Sudan, Bahr El Arab rift, the Sudd buried saline lakes[J]. Journal of African Earth Science, 1987(6): 899~913.
- [5] Fetter C W. Applied Hydrogeology[M]. 4th Edition. New Jersey: Prentice-Hall, 2001. 385~440.
- [6] Twort A C, Law F M, Crowley F W. Water supply[M]. 3rd edition. Hong Kong: Edward Arnold Publisher, 1987. 301~339.

(收稿日期:2003-05-21 编辑:熊水斌)

