

鄂尔多斯盆地周边岩溶含水介质结构类型 和量化统计分析

梁永平, 韩行瑞

LIANG Yongping, HAN Xingrui

中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004

Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, Guangxi, China

摘要:岩溶含水介质结构类型在一定程度上决定了岩溶地下水的富集与运移规律。根据鄂尔多斯盆地周边岩溶含水层的岩性、层组结构类型划分出了4种各具特色的岩溶含水介质结构类型,并对各类介质结构的钻孔单位涌水量进行了系统量化统计分析,为进一步认识鄂尔多斯盆地周边岩溶地下水的富集规律提供依据。

关键词:鄂尔多斯盆地;岩溶含水层;结构类型

中图分类号: P641.134

文献标识码: A

文章编号: 1671-2552(2005)10~11-1048-04

Liang Y P, Han X R. Structural types and quantitative statistical analysis of karst water-bearing media at edges of the Ordos basin, China. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(10-11):1048-1051

Abstract: The structural type of karst water-bearing media determines the storage capacity and movement features to a certain extent. According to the lithology and structural types of rock layers and the statistical parameters of specific water yields of boreholes in karst aquifers at peripheries of the Ordos basin, four different structural types of karst aquifer media are distinguished and the systematic quantitative statistical analysis of the specific water yields of boreholes in various media with different structures is carried out. This study provides a basis for the further understanding of the characteristics of concentration of karst groundwater at peripheries of the Ordos basin.

Key words: Ordos basin; karst aquifer; structure type

传统水文地质学根据含水层介质结构把地下水分为孔隙地下水、裂隙地下水和岩溶地下水3种主要类型。岩溶地下水由于其储存空隙分布和相互间连通的高度不均匀性而成为开发利用难度最大的一种类型。中国不少岩溶地区的成井率还不足50%，“隔墙不打井”的观念始终提醒着人们在岩溶区开发地下水务必要谨小慎微，为此，不少岩溶地质工作者对岩溶介质结构的成因机制、分布、形态特征、连通性方面做了大量的研究并取得了一定进展^[1-3]。在中国北方，经过20多年岩溶地下水的大规模勘探开发和分布规律研究，人们逐步认识到一些地区岩溶地下水的分布不完全与过去的看法相一致，这些地区布井不但单井出水量大，而且成井率往往可

以达到80%以上，其成因与岩溶发育因素、环境地质背景等密切相关。

在中国地质调查局开展的《鄂尔多斯盆地地下水勘查》项目第一阶段(1999—2002年)工作中，笔者结合北方其他地区岩溶地下水开发利用成果，通过对区内岩溶含水层岩性结构、层组类型、地表地下岩溶现象、岩溶地下水宏观分布特征等方面的研究，将鄂尔多斯盆地周边岩溶含水层分为4种介质结构类型，但这种划分仅停留于现象描述的定性或半定量状态。项目进入第二阶段(2003—2005年)后，已收集了区内大量岩溶水钻孔资料，通过对不同含水介质结构类型岩溶钻孔单位涌水量的统计分析，从量化的角度进一步证明分类的合理性。

收稿日期:2005-03-11;修订日期:2005-05-08

地调项目:中国地质调查局《鄂尔多斯盆地地下水研究勘查岩溶水》专题(编号:1212010331302ZT5)资助。

作者简介:梁永平(1962-),男,副研究员,从事北方岩溶地下水调查与研究工作。E-mail:liangyp@mail.karst.ac.cn

1 鄂尔多斯盆地岩溶含水层和介质结构类型

鄂尔多斯盆地是一个以中生界和古生界为主体的大型沉积盆地。在盆地边缘的吕梁山、六盘山-桌子山、渭北山区广泛出露早古生代、中生代碳酸盐岩地层,根据各时代碳酸盐岩岩性、岩层结构组成特征,可划分出5个岩溶含水层,即中、新元古界燧石条带白云岩岩溶裂隙含水层,中、上寒武统灰岩、砾屑灰岩、泥质条带灰岩岩溶裂隙含水层,中、下奥陶统碳酸盐岩裂隙岩溶含水层,中、上奥陶统层间岩溶裂隙含水层和下白垩统三桥组灰质砾岩孔隙裂隙岩溶含水层。

野外调查和大量钻孔勘探表明,由于各含水层岩性结构、岩层构造组合类型的不同^[4],岩溶发育强度、形式等方面也存在极大差异,根据这些差异可划分出下列4种岩溶含水层介质结构类型(图1)。

(1)厚层“似层状”裂隙岩溶结构类型(代表符号Ⅰ)。该类型指渭北铜川一带耀西凹陷以东盆地东缘的中奥陶统碳酸盐岩含水层,研究区内分布面积25233.55 km²,出露面积4127.48 km²。华北地台在中奥陶世经历了3次大的沉积旋回,与各旋回相对应的下马家沟组、上马家沟组和峰峰组底部均发育有代表浅海蒸发环境下沉积的含石膏的泥云岩、泥灰岩,之上则为开阔海环境下沉积的厚层灰岩、豹皮状灰岩,是一套硫酸盐岩与碳酸盐岩混合的沉积建造,总厚度一般在400~500 m之间。其主要特征是:碳酸盐岩连续沉积厚度达数百米,含水层厚度大,其中地下水具统一的流场;储水空间由溶蚀空洞和裂隙空间共同构成,由溶蚀作用形成的储水空间占有主导地位;地下水动态稳定,地下水对补给的响应具明显的滞后期;由于受膏溶和各组底部泥灰岩等在垂向上的相对隔水作用,介质结构总体表现为水平方向上相对均一,岩溶发育具有“似层状”特点^[5];各泉域往往在径流,排泄区发育岩溶地下水强径流带,水力坡度平缓,水量丰富。

(2)厚层“脉状”岩溶裂隙结构类型(代表符号Ⅱ)。包括全区中、新元古界,中、上寒武统,下奥陶统和渭北耀西凹陷以西的中奥陶统碳酸盐岩含水层,全区分布范围广,但多数地区中寒武统和中新元古界碳酸盐岩被深埋于地下,出露面积仅2832.221 km²。其特点是:含水层厚度大,结构单一,数百到上千米厚的含水层基本为同一种岩层结构;储水空间主要由构造裂隙和经岩溶作用改造后的溶蚀裂隙组成,构造裂隙是构成岩溶裂隙含水空间的基础,地下水的运移、储存严格受构造发育方向、密度、规模等条件的控制,具有典型构造裂隙控制下的“脉状水”特征;岩溶分异作用更促进了地下水的均一性,富水性相差较大,成井率低;泉域循环规模小,地下水水力坡度大,动态不稳定。

(3)“夹层式”层间岩溶裂隙结构类型(代表符号Ⅲ)。这种类型主要指分部于盆地西南缘的上奥陶统背锅山组底部燧石团块白云岩,碳酸盐岩含水层呈夹层式被限制在下伏平凉组页岩与上覆泥质砾岩之间,厚度40~120 m,在全区出露面积约130.865 km²。其主要特征是,碳酸盐岩含水层发育于

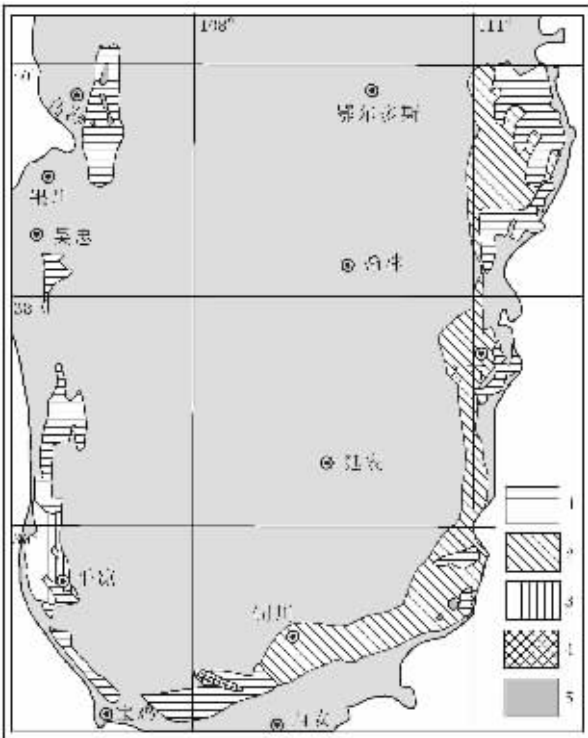


图1 鄂尔多斯盆地岩溶含水介质结构类型分布图

Fig.1 Distribution of structural types of karst aquifer media in the Ordos basin

1—厚层“似层状”裂隙岩溶结构;2—厚层“脉状”岩溶裂隙结构;3—层间夹层岩溶裂隙结构;4—孔隙裂隙结构;5—非岩溶地下水工作区

上下相对软弱的泥页岩等碎屑岩间,厚度相对较薄,一般从数十米到一百余米,构成夹层式岩溶含水层。介质结构特征与厚层“脉状水”岩溶裂隙含水层相似。

(4)孔隙、裂隙岩溶结构类型(代表符号Ⅳ)。该类型含水层是指盆地西南部白垩系三桥组泥钙质胶结的灰质底砾岩,区内出露面积106.5 km²,其中20.55 km²的地区与下伏中奥陶统灰岩直接接触。其特点是,含水层分布不稳定,受中生代古岩溶地貌控制,平面上的分布具有筛网状特点;储水空间由原生孔隙、构造裂隙和后期溶蚀裂隙组成;岩溶发育程度低,但空隙分布相对均匀。

2 鄂尔多斯盆地不同岩溶含水介质结构类型单位涌水量统计分析

为了揭示不同岩溶含水介质结构类型的量化特征,笔者对揭露全区各岩溶含水层的307(10个混合孔)个岩溶钻孔的460次抽水试验的单位涌水量资料进行了统计。

2.1 鄂尔多斯盆地各岩溶含水层的钻孔平均单位涌水量分析

在岩溶地质研究所完成的《鄂尔多斯盆地周边岩溶地下水系统形成、资源调查评价》报告中,根据岩溶地下水补、径、

蓄、排循环条件,将鄂尔多斯盆地周边分为9个岩溶地下水系统,表1是不同系统内各岩溶含水层钻孔平均单位涌水量统计表。从表1中可以看出下列特征。

(1)不同含水层的钻孔平均单位涌水量相差较大,中奥陶统含水层-下奥陶统、中上寒武统含水层-上奥陶统、下白垩统和中新元古界含水层之间单位涌水量具有一个数量级的差异。

(2)中奥陶统含水层虽然在全区的统计结果中最大,但在各岩溶水系统内的数值分布却相差很大,从数量级别可截然分为千单位量级和十到百位量级2部分。这种分布恰好与中奥陶统在沉积相上的分界相一致,即以渭北耀西凹陷为界,代表东部华北主地台区的碳酸盐岩-硫酸盐岩混合建造东部区和华北地台与秦祁地槽接壤的西南边缘区。

(3)下奥陶统、中上寒武统含水层除在河津、韩城区由于钻孔数量少(排泄区2个钻孔)而使单位涌水量偏大外,其余基本在百位量级范围内。

(4)上奥陶统、白垩系三桥砾岩和元古宇含水层钻孔单位涌水量均是十位量级。

2.2 不同岩溶含水介质结构类型单位涌水量统计参数特征分析

不同岩溶含水介质结构类型单位涌水量的均值和变差

系数分别代表岩溶地下水的富水性和地下水分布的均匀程度,同理,根据渗流理论,它们在很大程度上所表征的是含水层岩溶发育的强弱和岩溶发育的均匀程度。据表2的计算结果可得出下列结论。

(1)4种岩溶含水层介质结构类型钻孔的平均单位涌水量以Ⅰ类最大,Ⅲ类最小,数值的大小反映的是含水层岩溶发育的强弱和连通性。

(2)Ⅰ类介质结构变差系数为1.93,小于全区钻孔的变差系数2.56,表明含水层中岩溶地下水分布相对均匀。

(3)Ⅱ类介质结构的钻孔单位涌水量变差系数最大,表明含水层岩溶发育极不均一。

(4)Ⅲ、Ⅳ类介质结构由于钻孔数量较少,统计参数的代表性较差,因此把2种类型的钻孔单位涌水量统计参数合并计算,它们的单位涌水量变差系数最小,主要是由于Ⅳ类介质结构以孔隙为主,中生代古岩溶叠加作用使含水层的岩溶发育更具有均匀性。

(5)从各类介质结构的钻孔单位涌水量的频率曲线的曲率半径大小(图2)可知,Ⅰ类介质结构单位涌水量频率曲线的拐点曲率半径最大,表明含水层中钻孔单位涌水量由大到小的变化呈渐变过程,代表了含水介质空间由大到小的变化

表1 各岩溶地下水系统的不同层位钻孔平均单位涌水量统计

Table 1 Statistics of average specific yields of boreholes in different beds of various karst groundwater systems

岩溶地下水系统/含水层	中奥陶统	下奥陶统、寒武系	上奥陶统	三桥砾岩	元古宇
天桥系统	2047.88 (175)	121.18 (60)	**	**	**
柳林系统	889.05 (51)	404.15 (8)	**	**	**
河津、韩城系统	990.15 (12)	1322.52 (2)	**	**	**
富平、万荣系统	1347.65 (42)	159.3 (6)	**	**	**
岐山、泾阳系统	37.67 (17)	121.65 (8)	15.03 (9)	**	**
华亭、千阳系统	27.04 (1)	--	--	**	15.35 (4)
彭阳、平凉系统	160.03 (33)	--	**	19.69 (6)	--
黑山系统	--	--	**	**	--
桌子山系统	398.43 (15)	--	**	**	**
平均	1222.02	188.88	15.03	19.69	15.35

注:括号中的数字为抽水次数;* * 为无含水层分布;--无钻孔资料;单位为m³/d·m

表2 不同岩溶含水层介质结构类型钻孔单位涌水量统计特征参数

Table 2 Statistical characteristic parameters of specific yields of boreholes in karst aquifer media with different structural types

类型	平均	均方差	变差系数	最大值	最小值	项数
全区所有钻孔	1018.61	2617.39	2.56	20628.86	0.02	307
Ⅰ类介质结构	1741.81	3375.62	1.93	20628.86	0.02	166
Ⅱ类介质结构	184.075	447.05	2.59	3647.5	0.104	118
Ⅲ类介质结构	15.03	117.77	1.47	384.04	0.04	9
Ⅳ类介质结构	121.44					14

注:孔隙裂隙含水介质结构单位涌水量中包含了混合孔;单位为m³/d·m

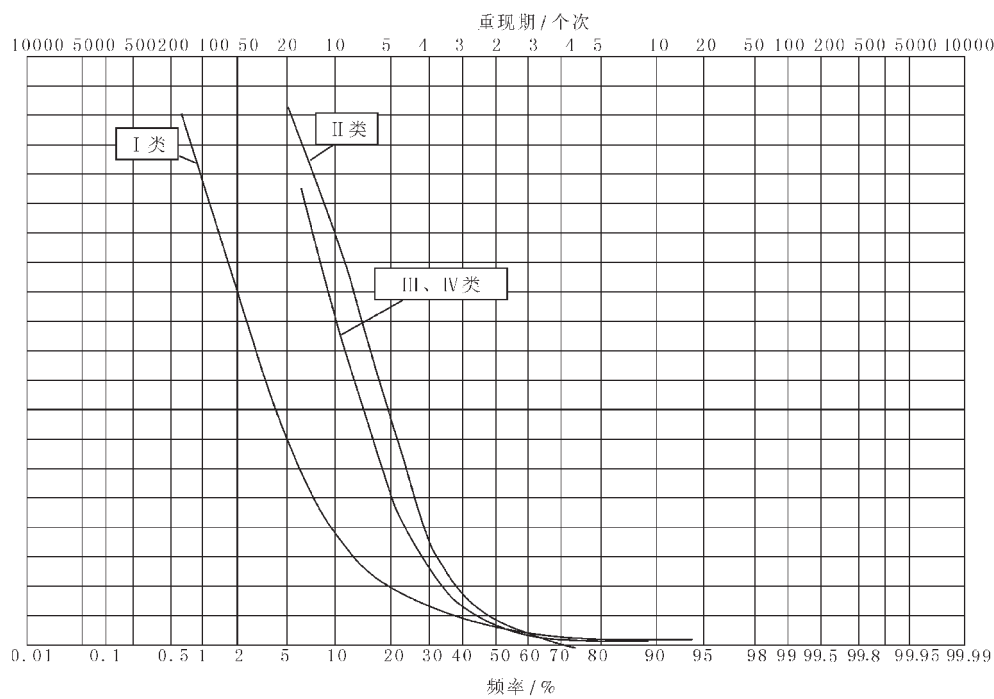


图2 不同岩溶含水层介质结构类型钻孔单位涌水量频率分布曲线对比

Fig.2 Comparison of frequency distribution curves for the specific yields of boreholes in karst aquifer media with different structural types

具有一定连续性;Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ类介质结构单位涌水量频率曲线的拐点曲率半径相对于Ⅰ类明显变小,代表了介质空间由大到小的急变过程,是岩溶发育不均一性的直接体现。

2.3 不同介质结构类型的成井率对比

不同含水层的成井率是地下水开发利用中最受人们关注的问题。以单井降深20 m、日出水量1000 m³作为判别是否成井的统一标准(即单位涌水量为41.67 m³/d·m),通过对不同结构类型岩溶含水层单位涌水量的频率曲线分析(表3),可见中国北方岩溶水文地质工作者在Ⅰ类区的成井率可达90%以上,在Ⅱ类区成井率接近50%,而在Ⅲ、Ⅳ类地区的成井率仅为39%。这些数据充分体现了不同含水层介质结构类型中地下水的分布特征。

3 结 论

- (1)鄂尔多斯盆地周边岩溶含水层可分为4种介质结构类型,可用来表征它们岩溶发育强度的钻孔单位涌水量具有数量级分布特征。
- (2)鄂尔多斯盆地东缘中奥陶统碳酸盐岩含水层具单井出水量大、平面上水量分布相对均一的特点,统计结果表明,其中钻孔的成井率可达到90%以上。含水层中岩溶地下水具有“似层状”分布的原因是上、下马家沟组和峰峰组各组底部膏溶作用和泥灰岩相对隔水作用下岩溶作用的结果,在布井过程中,针对此层位开展水井出水目的层设计,可大大提高水量成井率。

表3 不同岩溶含水层介质结构类型单位涌水量典型频率值

Table 3 Typical frequency values of specific yields of karst aquifer media with different structural types

典型频率	P25%	P50%	P75%	P90%
Ⅰ类介质结构	1794.67	495.08	123.77	61.88
Ⅱ类介质结构	142.25	54.71	32.83	10.94
Ⅲ、Ⅳ类介质结构	126.5	12.65	3.45	1.15

注:单位m³/d·m

(3)中国北方区寒武系、奥陶系是重要的碳酸盐岩含水层,上述分类可以向北方其他地区推广。

参考文献:

[1]陈雨孙,边际.岩溶水的介质和运动[J].中国岩溶,1992,11(3): 229-233.

[2]章程,翁金桃,谢运球.天津蓟县中上元古界岩溶裂隙介质发育特征及其渗透性研究[J].中国岩溶,1992,11(4):286-295.

[3]袁道先.岩溶水不均匀程度差异的产生条件[M].北京:地质出版社,1982.77-85.

[4]谢渊,王剑,殷跃平,等.鄂尔多斯盆地白垩系含水层沉积学初探[J].地质通报,2003,22(10):818-828.

[5]《北方岩溶地下水资源及大水矿区岩溶水的预测、利用与管理的研究》项目综合组.中国北方岩溶水介质研究[J].中国岩溶,1990,9(4):318-327.