第 39 卷 第 5 期	中国岩溶	Vol. 39 No. 5
2020年10月	CARSOLOGICA SINICA	Oct. 2020

李 波,王金晓,吴 璇,等.山东莱芜盆地东部水文地质条件及富水块段特征[J].中国岩溶,2020,39(5):637-649. DOI:10.11932/karst2020y34

# 山东莱芜盆地东部水文地质条件及富水块段特征

李 波<sup>1,2</sup>,王金晓<sup>1,2</sup>,吴 璇<sup>1,2</sup>,刘春伟<sup>1,2</sup>,徐聪聪<sup>1,2</sup>,罗 斐<sup>1,2</sup>,滕 跃<sup>1,2</sup> (1. 山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队,济南 250014; 2. 山东省地下 水环境保护与修复工程技术研究中心,济南 250014)

摘 要:基于在莱芜盆地开展的1:5万水文地质调查工作,详细论述了盆地东部地区水文地质条件, 将区内地下水类型划分为松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类裂隙岩溶水、碎屑岩类孔隙裂隙水与岩浆岩 变质岩类裂隙水四类,并总结了其含水岩组富水性;分析了区内地下水补给、径流、排泄特征与地下 水动态变化特征;通过收集分析区内钻孔资料,总结了岩溶区岩溶发育特征,发现区内岩溶发育主要 集中在200m以浅,以溶蚀裂隙、蜂窝状溶孔为主;对清泥沟断裂、兴隆山一高峪铺断裂、铜冶店一孙 祖断裂等主要控水断裂进行分析,提出东泉、清泥沟、丈八丘三个岩溶水富水块段,分析了各块段的 富水机理,并提出各富水块段允许开采地下水量,为地下水合理开发利用提供一定参考资料。 关键词:莱芜盆地;水文地质调查;控水构造;富水块段

**中图分类号**:P641 **文献标识码**:A

文章编号:1001-4810(2020)05-0637-13 开放科学(资源服务)标识码(OSID);



# 0 引 言

在新形势下,通过开展大比例水文地质调查工作,摸清区域水文地质条件与水资源分布特征,寻找可利用的后备富水块段,已成为水文地质学由理论转向解决现实问题的一个重要手段<sup>[1-3]</sup>。

莱芜盆地地处鲁中南山区中部,为典型向斜岩 溶汇水盆地。不同学者针对盆地地层特征、构造演 化等方面做过不同考察研究,取得了一定成果<sup>[4-5]</sup>, 但对盆地内水文地质方面总结较少。本文基于目 前在盆地东部地区开展的1:5万水文地质调查工 作,从含水岩组类型及富水性、地下水补径排特征、 地下水动态变化等方面,详细地论述了莱芜盆地东 部地区水文地质条件,研究了主要断裂水文地质性 质,解析了典型富水块段富水机理,为区内地下水 资源合理开发利用,保障生态环境发展提供技术 支撑。

# 1 研究区概况

#### 1.1 气象水文

莱芜盆地地处山东省中部低山丘陵区,属暖温 带季风区域大陆性半湿润气候,四季分明,年平均气 温11.9℃,无霜期189d,平均日照时数2660.6h,年 平均降雨量699.74 mm。据莱芜气象站1980-2016 年监测数据显示,降雨年际变化较大,历年降水量丰 枯差异明显(图1)。

区内地表水系较为发育,主要发育牟汶河、赢汶 河及雪野水库(大(二)型)、乔店水库(中型)及大冶 水库(中型)等。

牟汶河为区内最大河流,是大汶河最重要的支流。 莱芜市内河流长65.5 km,总流域面积1372.96 km<sup>2</sup>, 区内长28.2 km,流域面积约290.98 km<sup>2</sup>,主要有棋山 河、黄庄河、王庄河、田庄河等支流,丰水期最大流量 5.14 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>(1988年,葫芦山水库上游的大回家庄 断面)。

基金项目:山东省自然资源调查项目"山东省1:5万区域水文地质调查(新泰幅、新汶幅)"(鲁勘字(2018)44号)

第一作者简介:李波(1988-),男,硕士研究生,工程师,主要从事区域水文地质调查工作。E-mail:710445277@qq.com。 收稿日期:2020-01-11





# 1.2 地形地貌

莱芜盆地北、东、南三面环山,中间低平,西部开 阔。地势由东向西倾斜,北、东、南三面向盆地中部 倾斜。盆地北部为泰山余脉,走向近东西,自西向东 有香山(标高918.80 m)、大山(823.60 m),南部有莲 花山(958.0 m)、新甫山(925.4 m)等与泰山山脉大致 平行,皆为山势陡峻、沟谷发育、切割强烈的中低山, 东面有万福山(标高536 m)等低山丘陵,标高在300~ 500 m,中部为低缓平原区,标高150~200 m,外形为 南缓北陡,向北突出的半圆形盆地。大汶河横贯盆 地中部,由东向西流出区外。

# 1.3 地层岩性

莱芜盆地属柴达木一华北地层大区(I)、华北 地层区(II)、鲁西地层分区(III)、淄博一新泰地层 小区(IV)<sup>[6-8]</sup>,研究区处于盆地东部(图2),区内地



#### 图2 莱芜盆地地质构造简图

Fig. 2 Simplified geological structural map of Laiwu basin

层出露齐全,自南向北依次为新太古界泰山岩群变 质岩;古生界寒武系白云岩,馒头组薄层灰岩、页岩、 砂岩,张夏组灰岩、页岩,崮山组页岩、薄层灰岩,炒 米店组竹叶状灰岩、泥质条带灰岩;奥陶系马家沟群 厚层灰岩、白云岩;石炭一二叠系系砂岩、薄层灰岩、 泥岩;侏罗一白垩系砂岩、砾岩;古近系砾岩、砂岩和 第四系冲洪积砂土、砾石。各地层分布特征见图 2、表1。

Table 1 Strata of eastern Laiwu basin									
代	纪	组(段)名及代号		厚度/m		主要岩性			
新生代		沂河组(Qhy)		3		砾石、砂、粉砂			
	第四纪	山前组 $(Q\hat{S})$	临沂组(Qhl)	9~9.6	2	粉质黏土夹砂砾石	粉质黏土、砂、砾		
			大站组(Qpd)		$6 \sim 7$		含砾粉质黏土		
	古近纪	朱沟家组 $(E_2\hat{Z})$		>78.74		砾岩			
		常路组(K <sub>2</sub> E <sub>1</sub> ĉ)		253.16 ~ 558.1		泥岩夹砾岩			
	白垩纪	八亩地组(K <sub>1</sub> b)		263.47		安山岩、凝灰岩等			
		水南组 $(K_1\hat{S})$		171.59		粉砂岩、细砂岩			
中生代		止凤庄组(K <sub>1</sub> Ź)		0 ~ 5.53		砾岩、细砾岩			
	侏罗纪	_	429.82		砂岩夹砾岩				
	二叠纪	万山组(P <sub>2</sub> w)		98.71		泥岩夹粉砂岩及煤线			
		黑山组(P <sub>2</sub> h)		135.83		砂岩、粉砂岩夹页岩			
		山西组(P <sub>1-2</sub> Ŝ)		163.98		砂岩、页岩、黏土岩夹煤层			
		太原组(C <sub>2</sub> P <sub>1</sub> t)		126.50~168.20		砂岩、页岩夹灰岩及煤层			
	石炭纪		本溪组(C <sub>2</sub> b)		5.65	泥岩、砂岩、铝土岩			
		八陡组(O <sub>2-3</sub> b)		90.66		灰岩			
	奥陶纪	阁庄组(O <sub>2</sub> g)		95.39		白云岩			
		五阳山组(O <sub>2</sub> w)		233.62		灰岩			
		土峪组(O <sub>2</sub> t)		62.30		白云岩			
		北庵庄组(O <sub>2</sub> b)		240.26		灰岩			
		东黄山组(O <sub>2</sub> d)		9.45		白云岩			
		三山 a段(O <sub>1</sub> s <sup>a</sup> )		38.38		白云岩			
		子组	b段(O <sub>1</sub> s <sup>b</sup> )	11.88		白云岩			
	- 寒武纪 -	$(\leftarrow_4 O_1 s)$	c段(€₄s <sup>c</sup> )	0~16.33		白云岩			
		炒米店组(€₄ĉ) 崮山组(€ <sub>3-4</sub> g)		216.07 ~ 282.37		灰岩夹页岩			
				88.42 ~ 107.12		页岩夹灰岩			
		张夏组 (←₃Ź)	上灰岩段(€₃ʹ)	0. 68 ~ 18. 12 86. 87 ~ 111. 28		灰岩			
			盘车沟段(€₃Źʰ)			灰岩、页岩			
			下灰岩段(€₃Ź)	33.81~51.72		灰岩			
		馒头组 € <sub>2−3</sub> m	洪河段(€₃m <sup>h</sup> )	2.82~27.73		砂岩			
			下页岩( $\epsilon_{2-3}m^1$ )	101.44 ~ 103.17		页岩夹灰岩			
			石店段(€₂m <sup>š</sup> )	117.56 ~ 137.41		泥岩夹灰岩			
		朱砂洞组丁家庄段(€₂ʹ)		23.71~25.59		白云岩			
新太古代	広古代   雁翎关组(Ar <sub>3</sub> y)				斜长角闪岩、黑云	变粒岩、石英岩			

# 表1 盆地东部地层简表

#### 1.4 构造体系

莱芜断陷盆地经历了多期地质构造运动,构造 较为复杂,以断裂为主,褶皱次之。断裂构造以近东 西向、北北西向分布较多,大王庄一铜冶店断裂为盆 地的主要构造形迹,对盆地的产生与发展起控制作 用,八里沟向斜、矿山背斜为主要褶皱构造<sup>[9-10]</sup>。 莱芜断陷盆地可分为四个构造体系:

(1)北西向构造。盆地最老的基底构造,分布在 盆地北、东南边缘,太古界变质岩遭受强烈的挤压形 成一系列北西向的紧密褶皱和倒转;

(2)东西向构造。为盆地古生界的基本构造,构 造形迹于盆地南侧较为明显,北部断续分布。东西 向构造带大致在古生代前、前震旦系以后就存在,它 控制了古生界地层的展布和构造格架;

(3)旋转构造。分布在盆地北部和东部两条近 于平行的弧形断裂。弧形断裂活动是多期的,最早 发生在古生代,白垩纪时期强烈,第三纪仍继续强烈 活动,盆地大幅度下降,沉积了巨厚的第三系,构成 了莱芜盆地边界; (4)新华夏系构造。盆地内断续出露,大多隐伏 于第三系之下,主要发生在燕山运动时期,第三纪仍 有活动<sup>[11-12]</sup>。

# 2 水文地质条件

#### 2.1 含水岩组与富水性

依据区内地下水赋存条件、水理性质、含水介质 及其空隙特点,其含水岩组可以分为松散岩类孔隙 含水岩组、碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组、碎屑岩类 孔隙裂隙含水岩组与岩浆岩变质岩类裂隙含水岩组 四类;相对应的地下水类型分为松散岩类孔隙水、碳 酸盐岩类裂隙岩溶水、碎屑岩类孔隙裂隙水与岩浆 岩变质岩类裂隙水(图3)。



图 3 莱芜盆地水文地质简图

Fig. 3 Simplified hydrogeological sketch of Laiwu basin

(1)松散岩类孔隙含水岩组分布于牟汶河、赢汶 河等河流两侧,含水层以冲积一冲洪积中粗砂含卵 砾石为主,厚度3~9m,富水性好,单井涌水量一 般1000~5000m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>;在盆地北侧、东侧山前丘陵 区,无良好含水层,富水性差,单井涌水量小 于1000m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>;

(2)碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组。分布在盆 地南侧低山丘陵地带,寒武系地层受岩性、构造、地 貌的控制,补给条件差,富水性弱,单井涌水量一般 小于1000 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>。奥陶系地层在盆地内多为埋藏 型,补给条件好,富水性强,单井涌水量1000~ 5000 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>。盆地南部山区灰岩多裸露地表,出露地 势较高,受地形地貌及构造的控制,富水性不均,单 井涌水量多小于500 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>;

(3)碎屑岩类孔隙裂隙含水岩组。分布在莱芜 市区及东部和南部八里沟一带,含水层为古近系、侏 罗系、二叠系砂岩、页岩,富水性差,单井涌水量小于 100 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>;

(4)岩浆岩变质岩类裂隙含水岩组。主要分布 于盆地南缘及北部、东部丘陵山区,以风化裂隙水为 主,含水层厚度20~30m,富水性差且不均匀,单井 涌水量多小于100m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>。

#### 2.2 地下水补径排特征

地下水的循环运动特征受地形地貌、含水介质、 地质构造、气象、水文和人类活动等因素的影响,不 同类型地下水的运动方式存在着明显差异。

(1)松散岩类孔隙水。孔隙水除接受降水入渗补给外,同时接受河流及河谷两侧基岩侧向径流补给,灌溉回渗补给也是其补给来源之一。区内地下水位埋深较浅,地表岩性松散,垂向径流为地下水的主要运动形式,水平方向上径流方向总体与地表水一致。丰水期孔隙水接受地表水补给,水位抬升,枯水期河流则成为地下水的排泄带。地下水的排泄形式以人工开采和垂向蒸发为主;

(2)碳酸盐岩类裂隙岩溶水。大气降水在该区

垂向入渗后顺岩层倾向和地形坡向由南向北径流, 侵入岩区与碳酸盐岩夹碎屑岩区为岩溶水的直接补 给区与间接补给区,单斜底部的奥陶纪碳酸盐岩区 为排泄区。整体上岩溶水地下水从南向北径流,受 地层、侵入体阻挡后转向西南方向;在局部沟底及构 造破碎带发育处,受构造、地形侵蚀影响可呈泉方式 排泄。例如盆地东侧的卞家泉,在谷底受内弧断裂 阻挡作用上升成泉,据2016年10月实测流量为 480.38 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>(图4);盆地中东部桃行泉,地下水接受 上游大气降水入渗补给后,沿地形坡向由东南向北 西径流,至侵入岩接触带时,地形切割至地下水水 面,形成侵蚀下降泉,据2016年11月实测流量为 28.51 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>(图5);



图4 卞家泉成因地质剖面图







(3)碎屑岩类孔隙裂隙水。大气降水是其主要 补给来源,地下水运动与地形变化一致,但受岩层透 水性差的影响,径流速度慢,径流量较小。排泄方式 以开采、地下径流为主,其次在低洼处水位埋藏较浅 蒸发也是排泄形式之一;

(4)岩浆岩变质岩类裂隙水。大气降水是主要补给来源,在地势低处可接受孔隙水、地表水补给。由于地形坡度较大,大部分降水以表流产出,少量沿裂隙发育方向渗入地下形成径流。整体表现为就地补给、浅部运动、短途排泄。

整体上,大气降水是区内地下水主要补给来源, 不同类型地下水补给、径流、排泄特征各异。岩浆岩 区整体地势较高,地下水沿地形起伏坡度向低洼处 径流,可补给岩溶水、孔隙裂隙水,成为其地下水的 间接补给区;在第四系覆盖区,孔隙水可下渗补给下 伏岩溶水、裂隙水,在承压区亦可接受下部地下水顶 托补给;碳酸盐岩裸露区为岩溶水的直接补给区,岩 溶水沿地形坡度向排泄区径流,受地层或断裂阻挡 可出露成泉。

# 2.3 地下水动态特征

地下水动态是自然与人为作用综合影响的结果,其主要影响因素有大气降水、潜水蒸发、灌溉和 人工开采等<sup>[13-15]</sup>。通过收集工作区内岩溶水、孔隙裂 隙水多年水位埋深与降水量数据,绘制地下水水位 与降水量多年动态曲线(图6,图7,图8)可以发现,盆 地东部岩溶水受降水量变化影响明显,在2013年之 前,地下水水位趋于动态稳定,变幅1~2m,与降水量 变化相一致;2013年之后,地下水水位与降水量均呈 下降趋势,分析主要与降水量减少及地下水开采量 增加有关。孔隙裂隙水在2001-2003年,水位出现明 显下降,降幅2m左右,调查后分析与煤矿开采排水 有关。



#### 图6 清泥沟村岩溶水多年水位动态与降水量关系曲线图

Fig. 6 Curve of karst water level versus precipitation for many years at Qingnigou village



Fig. 7 Curve of karst water level versus precipitation for many years at Dongquan village





#### 2.4 岩溶发育特征

#### 2.4.1 地表岩溶特征

盆地东部碳酸盐岩地区裂隙岩溶较为发育。地 表多见溶蚀裂隙,走向呈北20°~40°东及北50°~70° 西两组分布,与盆地内构造裂隙发育方向一致。地 表溶蚀裂隙一般宽度大于20 cm,裂隙沿层面溶蚀成 蜂窝状,网格状起伏不平,一般被铁质、泥质充填 (照片1)。



照片1 灰岩裸露区溶沟溶槽发育 Photo 1 Solution gullies and solution trenches in area of exposed limestone

#### 2.4.2 地下岩溶特征

地下裂隙岩溶情况主要依靠钻孔揭露,主要发 育溶蚀裂隙、溶孔及溶洞等<sup>[16-17]</sup>;在丈八丘、清泥沟、 东泉等地区有发育。溶蚀裂隙一般宽1~50 mm不 等,裂隙面因长期溶蚀而呈起伏不平状,常与溶孔、 溶洞同时存在。溶蚀裂隙面常见黄褐色铁质浸染或 黑色锰质浸染,为地下水活动痕迹(照片2);溶孔一 般孔径小于10 cm,以1~3 cm 居多,常密集成蜂窝 状,为良好的储水空间(照片3)。

通过分析以往钻孔及本次钻孔资料发现,区内 岩溶发育特征如下:在区域上,丈八丘地区以溶蚀裂 隙发育为主,同时发育溶孔,清泥沟、东泉地区以溶



照片2 钻孔溶蚀裂隙面 Photo2 Solution crack surface in borehole



照片3 钻孔蜂窝状溶孔发育 Photo3 Honeycomb-like solution pores in borehole

洞、蜂窝状溶孔为主;在水平方向上,从补给区到排 泄区,裂隙岩溶发育逐渐增强,补给区多为溶蚀裂 隙,排泄区多为溶蚀裂隙加溶孔、溶洞,在河谷及其 两侧,因地下水循环交替作用较强,裂隙岩溶发育, 距离河谷较远处则变差;在垂直方向上,地层不同岩 性不同,岩溶裂隙发育也不尽相同。据39个钻孔资 料统计(图9),丈八丘地区发育深度主要集中在 200 m以浅,200~300 m深度零星发育溶蚀裂隙、溶 孔和蜂巢状溶孔,溶蚀裂隙、溶孔发育密度较清泥沟 和东泉地区小;清泥沟、东泉两地区裂隙岩溶发育特 点相似,发育深度多集中在150 m以浅;傅家桥和黄 庄地区100 m以浅溶蚀裂隙、蜂巢状溶孔集中发育。



Fig. 9 Distribution of classification statistics for borehole fissure karst

## 3 控水构造与富水块段

#### 3.1 主要断裂控水作用

莱芜盆地地处鲁西台背斜,其基底由侵入岩构成,受构造作用,基底强烈折曲并产生断裂。盆地经历多期地质构造运动,东部地区断裂构造以近东西向、北北西向为主。他们控制了断层及含水岩组的分布与地下水系统的形成,是地下水分布规律的主控因素<sup>[18-19]</sup>。

3.1.1 铜冶店--孙祖断裂

铜冶店一孙祖断裂是构成莱芜断陷盆地东、北 边界的区域性断裂。走向340°,倾角70°~80°,为高 角度断裂;沿断裂带有燕山期侵入岩及糜棱岩、碎裂 岩、断层角砾岩等分布(图10)。

东盘为太古代、古元代岩浆岩,坚硬密实不透水。西盘在官庄以北为石炭系、二叠系砂页岩及白 垩系青山群角砾岩;官庄以南为奥陶系马家沟群灰 岩、白云岩,断层带内有闪长岩侵入。岩浆岩、砂页 岩、闪长岩均为不透水地层岩性阻水明显,该断裂为 阻水断裂,构成了莱芜盆地岩溶水系统的东部边界。

3.1.2 兴隆山—高峪铺断裂

断裂北端与泰安一口镇断裂相接,构成了莱芜 盆地内弧断裂。走向340°,西倾,倾角60°~87°,为具 平推性质的高角度断裂。沿断裂带有侵入岩或动力 变质岩分布(图11)。



图 10 铜冶店---孙祖断裂地质剖面图(郑王庄村)

Fig. 10 Geological profile of Tongyedian-Sunzu fault (Zhengwangzhuang village)





Fig. 11 Geological profile of Xinglongshan-Gaoyupu fault (Xujiazhuang railway station)

兴隆山-高峪铺断裂在清泥沟以北,断裂东盘 新太古界、古生界地层相对向北推移,断裂西盘相对 向南,造成地层错动。因石炭系、二叠系砂页岩及寒 武系崮山组页岩夹薄层灰岩地层,含水性及导水性 差,在清泥沟以北为阻水断裂;在清泥沟—徐家庄村 一段,断裂两侧地下水流场存在明显差异,说明该段 断裂具有一定阻水性;徐家庄以南,断裂两盘为寒武 系地层与侵入岩,形成地层阻水。 整体上,兴隆山一高峪铺断裂为一阻水性断裂, 与盆地东侧清泥沟断裂构成了清泥沟、丈八丘、东泉 三个水文地质单元边界。

3.1.3 清泥沟断裂

该断裂为一近东西断裂,走向80°,倾向南,倾角 70°~80°,为一高角度断裂,北盘抬升,南盘下落 (图12)。





在古墩一清泥沟一陈家庄一带,断裂南盘为奥 陶系灰岩,北盘为新太古界岩浆岩及寒武系馒头组 砂页岩,因此该段为地层阻水;在陈家庄一安家岭 段,断裂北盘为奥陶系白云质灰岩、灰岩,南盘的西部为奥陶系北庵庄组一八陡组灰岩,该段断裂结构面挤压现象明显,断层角砾岩呈透镜体状沿断层排

列,被钙质和泥质胶结,断层泥、糜棱岩均有出现,并 有铁矿脉充填。这些构造岩都具有一定的阻水作 用,所以该段为弱透水断层。东部为二叠系山西组 砂页岩,地层本身不透水。因此,清泥沟断裂在陈家 庄一安家岭段,西部为弱透水性,东部为地层阻水。

# 3.2 典型富水块段

# 3.2.1 东泉富水块段

东泉富水块段位于盆地东侧,北部以奥陶系灰 岩和石炭系地层的不整合接触面为界,南部以清泥 沟断裂为阻水边界,东部以铜冶店-孙祖断裂为界, 西部以兴隆山-高峪铺为阻水边界。地势东南高, 西北低。地貌类型以剥蚀溶蚀丘陵、剥蚀溶蚀准平 原为主,河流经过地区为冲洪积平原区。块段内主 要含水层为中奥陶系灰岩及第四系砂砾石层。以奥 陶系灰岩为主的裂隙岩溶含水层,在断块内沿北西、 南东方向呈条带状分布,出露面积13.2 km<sup>2</sup>,其中隐 伏区顶板埋深在10~12 m,底界裂隙岩溶发育集中 在150 m以浅。地下水补给来源主要有大气降水、河 水侧渗及孔隙水下渗。岩溶水运动方向总趋势是由 东南向西北(图13),受到内弧断层及西石炭系不透 水岩层阻挡后形成富水区(图14)。



图13 东泉富水块段等水位线图

Fig. 13 Water level contours of Dongquan water-rich section

块段内地下水最大动水位 25.10 m(东泉水源地 13 号井),采用水均衡法概算该块段允许开采量 为 44 624.37 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>。水化学类型简单,以 HCO<sub>3</sub>-Ca 型为主,矿化度小于 0.5 g·L<sup>-1</sup>,后由于上游河水遭受 污染,水化学类型演变为 HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>-Ca型,矿化度 0.5~1.0 g·L<sup>-1</sup>。

3.2.2 清泥沟富水块段

该富水块段位于兴隆山-高峪铺以西,清泥沟 断裂以南,两个断裂构造其东部、北部边界,西部和 南部至地表分水岭,面积约68 km<sup>2</sup>。地势南高北低, 地貌类型以剥蚀溶蚀平原、侵蚀剥蚀低山丘陵为主。 从南往北地层依次出露泰山群、寒武系、奥陶系地 层,其中太古界侵入岩系和寒武系地层的间接补给 区面积约为39 km<sup>2</sup>;上寒武纪炒面店组地层到奥陶纪 八陡组地层直接补给区面积约为29 km<sup>2</sup>。沿汶河及 其支流肖马庄河分布第四系砂砾石层。裂隙岩溶发 育深度在10~150 m之间,为主要含水层段。

本块段地下水补给来源主要有大气降水、河水 侧渗补给与孔隙水下渗补给。岩溶水接受大气降水





补给后,沿地表裂隙下渗作垂直运动,沿地层及地形倾向由南向北运动,由于北部清泥沟断裂的阻水作

第39卷 第5期

用,岩溶水在地形相对较低的汶河地带汇集,形成富水区(图15,图16)。



图15 清泥沟、丈八丘富水块段等水位线图

Fig. 15 Water level contours of Qingnigou and Zhangbaqiu water-rich sections

该富水块段多年平均开采量为34726.24 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, 采用水均衡发概算允许开采量为41708.02 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, 地下水化学类型以HCO<sub>3</sub>-Ca型、HCO<sub>3</sub>-Ca·Mg型为 主,矿化度0.35~0.63 g·L<sup>-1</sup>。

# 3.2.3 丈八丘富水块段

该富水块段东部以铜冶店-孙祖断裂为阻水边 界,西部以兴隆山—高峪铺断裂为阻水边界,北部以 清泥沟断裂为界,断裂北侧为煤系阻水地层,南部至 大上峪-东峪一线以寒武纪炒米店组地层形成地表 分水岭为界,面积约23.8 km<sup>2</sup>,其中隐伏区顶板埋深 在20~23 m,底界裂隙岩溶发育在200 m以浅。地势 南高北低,地貌类型以剥蚀溶蚀丘陵、侵蚀剥蚀低山 丘陵为主。

本块段地下水补给来源主要有大气降水、河水 侧渗补给与孔隙水下渗补给。南部灰岩分布区接受 大气降水以后,岩溶水总的运动方向沿地层和地形 倾向由南向北运动,受到北部断层和煤系地层的阻 挡后形成富水区(图17)。地下水主要排泄途径为丈 八丘水源地开采和莱钢工业开采<sup>[20]</sup>。

经调查该富水块段多年平均开采量 21 408.79 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>,采用水均衡法概算允许开采量为 35 754.88 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>。地下水化学类型多为HCO<sub>3</sub>-Ca 型,矿化度小于0.5g·L<sup>-1</sup>。





通过分析区内典型富水块段水文地质条件可以 看出,在莱芜盆地内由于构造作用强烈造成岩石裂 隙发育,加上地下水对碳酸盐岩的溶蚀作用,导致块 段内含水层岩溶裂隙发育强烈,形成了富水性强的 岩溶含水岩组<sup>[21-23]</sup>。南部补给区接受大气降水补给 后,沿裂隙径流至碳酸盐岩地层排泄,形成富水 块段。

# 4 结 论

在1:5万水文地质调查工作的基础之上,通过 分析莱芜盆地构造演化特征,总结盆地东部水文地 质条件,研究区内主要断裂水文地质性质,形成结论 如下:

(1)莱芜盆地形成共经历四期构造体系,分别为 北西向构造、东西向构造、旋转构造与新华夏构造; 在多期构造演化的基础之上,盆地内部形成了松散 岩类孔隙含水岩组、碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组、 碎屑岩类孔隙裂隙含水岩组与岩浆岩变质岩类裂隙 含水岩组;

(2) 区内地下水主要补给来源为大气降水、地表 水侧渗补给,地下水水流向整体由南向北径流,受构 造、地层等阻水条件影响后可形成富水区域,区内地 下水排泄方式主要为人工开采、泉排泄;通过分析区 内钻孔资料,发现岩溶发育主要集中在200m以浅, 以溶蚀裂隙、蜂窝状溶孔为主要发育特征,不同地区 岩溶发育特征略有差异;

(3)分析发现铜冶店一孙祖断裂、兴隆山一高峪 铺断裂、清泥沟断裂均为阻水断裂,三个阻水断裂控 制了盆地东部区域地下水系统格局,划分出了东泉、 清泥沟与丈八丘三个富水块段;

(4)通过分析区内典型富水块段水文地质条件 发现,其形成机理主要与盆地内部构造裂隙发育与 埋藏型可溶岩层分布有关。

#### 649

#### 参考文献

- [1] 杨志清.21世纪水资源展望[J].水资源保护,2004(4): 66-68.
- [2] 石建省.从第34届国际水文地质大会看水文地质学发展趋势(代序)[J].地球学报,2007,28(6):509-520.
- [3] 郝爱兵,张二勇,王璜.三位一体推进水文地质调查科技创新 [J].水文地质工程地质,2017,44(5):3.
- [4] 宁振国,孟凡巍,刘吉强,等.山东莱芜盆地火山碎屑岩锆石 U-Pb年代学研究[J].地层学杂志,2015,39(1):108-115.
- [5] 杨恩秀,王世进,张春池,等.山东莱芜盆地新近纪山旺组的 发现及意义[J].地质调查与研究,2004(1):48-51.
- [6] 宋明春,李洪奎.山东省区域地质构造演化探讨[J].山东地 质,2001,17(6):12-21.
- [7] 奚德荫.鲁中南地区岩溶水文地质条件及其特征[J].中国岩溶,1988,7(3):43-48.
- [8] 陈伟清,王延岭.山东省泰安市城区-旧县岩溶水系统地下水资源潜力评价[J].中国岩溶,2014,33(1):9-14.
- [9] 宋奠南.山东中新生代盆地基本特征及演化过程[J].山东地 质,2001(5):5-10.
- [10] 翟明国,孟庆任,刘建明,等.华北东部中生代构造体制转折 峰期的主要地质效应和形成动力学探讨[J].地学前缘,2004, 11(3):285-297.
- [11] 翟明国.华北克拉通构造演化[J].地质力学学报,2019,25 (5):722-745.
- [12] 牛树银,胡华斌,毛景文,等.鲁西地区地质构造特征及其形

成机制[J].中国地质,2004,31(1):34-39.

- [13] 郭达鹏,康凤新,陈奂良,等.山东淄博沣水泉域岩溶水系统 模拟及水源地优化开采预测[J].中国岩溶,2017,36(3): 327-338.
- [14] 梁永平,王维泰,赵春红,等.中国北方岩溶水变化特征及其 环境问题[J].中国岩溶,2013,32(1):34-42.
- [15] 马振民,刘立才,陈鸿汉,等.山东泰安岩溶水系统地下水化 学环境演化[J].现代地质,2002,16(4):423-428.
- [16] 王延岭,陈伟清,蒋小珍,等.山东省泰莱盆地岩溶塌陷发育 特征及形成机理[J].中国岩溶,2015,34(5):495-506.
- [17] 孙逊,王克红,孙启堂,等.鲁中南山区岩溶裂隙水富水带类型 及分布特征[J].工程勘察,2010,38(2);52-56.
- [18] 山东省革委地质局水文地质队.莱芜盆地水文地质总结报告 [R].1974.
- [19] 张锡明,张岳桥,季玮.山东鲁西地块断裂构造分布型式与中 生代沉积-岩浆-构造演化序列[J].地质力学学报,2007,13
   (2):163-172.
- [20] 山东省地矿工程勘察院.山东省莱芜钢铁总厂附近供水水文 地质勘探报告[R].1989.
- [21] 王宇.红层地下水富集规律[J].地质灾害与环境保护.2010,21 (2):53-57.
- [22] 吴亚楠.泰安市城区—旧县水源地岩溶塌陷演化过程分析[J]. 中国岩溶,2017,36(1):94-100.
- [23] 刘元晴,周乐,李伟,等.山东莱芜盆地碳酸盐岩热液溶蚀特征 及水文地质意义[J].现代地质,2020,34(1):199-206.

# Hydrogeological conditions and characteristics of water-rich sections in the eastern Laiwu basin, Shandong Province

LI Bo<sup>1,2</sup>, WANG Jinxiao<sup>1,2</sup>, WU Xuan<sup>1,2</sup>, LIU Chunwei<sup>1,2</sup>, XU Congcong<sup>1,2</sup>, LUO Fei<sup>1,2</sup>, TENG Yue<sup>1,2</sup> (1. 801 Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Shandong Provincial Bureau of Geology & Mineral Resources, Jinan, Shandong 250014, China; 2. Shandong Engineering Research Center for Environmental Protection and Remediation on Groundwater, Jinan, Shandong 250014, China)

**Abstract** Based on an 1 : 50,000 hydrogeological survey, this work details the hydrogeological conditions of the eastern Laiwu basin, Shandong Province. The groundwater in this area is divided into four types, pore water in loose rocks, karsticfissure water in carbonate rocks, fissure-pore water in clastic rocks and fissure water in magmatic and metamorphic rocks. Then this paper summarizes their water abundance, and analyzes the characteristics of groundwater recharge, runoff, discharge and dynamic change, the characteristics of karst development in the area. It is found that the karst is concentrated above the depth of 200 m in the subsurface, dominated by dissolution cracks and honeycomb karst holes. The water-controlling structures include the Qingnigou fault, Xinglongshan–Gaoyupu fault and Tongyedian-Sunzu fault. Three karst water-rich sections are suggested, i.e. Dongquan, Qingnigou and Zhangbaqiu, each has distinct water-rich mechanism and permissive mining yield. These results provide a reference for reasonable exploitation of groundwater in this area.

Key words Laiwu basin, hydrogeological survey, water-controlling faults, water-rich sections

(编辑 张玲)