

论四川盆地三叠系地下水水文地质条件^{*}

林耀庭

(西南石油局第二地质大队, 四川 成都 611844)

摘要: 四川盆地三叠系地下水可划分出碎屑岩孔隙裂隙和碳酸盐岩岩溶裂隙两大储集类型。按此处构造开启程度和埋深条件等的不同, 下中三叠统地下水有沉积变质水和渗入淋滤水两种基本成因类型, 水动力特征各异。沉积变质水处于深埋封闭条件, 受地静压力驱动控制; 渗入淋滤水分布于背斜露头区和浅部地区, 受静水压力驱动控制。并由此控制了盆地三叠系盐类的保存条件。

关键词: 三叠系地下水; 储集类型; 成因类型; 水动力特征; 盐类保存条件; 四川盆地

中图分类号: P634.641 文献标识码: A 文章编号: 1008-858X(2006)01-0001-08

1 四川盆地三叠系地下水分布的地质构造背景

四川盆地位于新华夏构造体系第三沉降带, 面积约 $22 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是我国大型的叠层式自流水盆地。它是在广泛沉积作用之后形成的构造盆地, 与地史上历次沉积盆地分布并不完全一致。中三叠统沉积后, 四川盆地结束了海相沉积的历史, 上三叠统气候炎热潮湿, 沉积了须家河组(T_{3xj}) 煤系地层; 侏罗、白垩系气候干旱, 沉积了巨厚的湖盆相红色碎屑岩。此后盆地大部分地区遭受剥蚀, 仅盆地西部有第三、第四系堆积。在上述地史过程中, 盆地经历了印支、四川(燕山)、喜山(喜马拉雅山) 等期较大的地壳构造运动。中三叠世末印支运动盆地大面积上升, 剥蚀作用明显, 其中以泸州古背斜上升幅度最大, 下三叠统嘉陵江组第三段(T_{1j}^3) 已在大范围内被剥蚀出露, 而古背斜两侧上升幅度逐步递减, 中三叠统雷口坡组(T_{2L}) 地层残厚仍较大(图1)。总的来说, 印支期古剥蚀, 雷口坡组在泸州古背斜上缺失, 而盆地其余地区, T_{1j} — T_{2L}

组地层总厚约1 000 m左右, 川西、川中、通江等拗陷厚度在1 600 m以上(图2)。

晚三叠世至中生代时, 四川运动再次处于相对沉降, 广泛接受了5 000~7 000 m 湖沼相红色砂泥岩沉积, 将下、中三叠统地层深埋地腹。喜山运动是盆地内最重要的一次构造运动, 它不仅奠定了盆地构造的基本轮廓, 结束了盆地广泛沉积的历史, 而且对盆地的地形、地貌及地下水运动也起着主导的控制作用。由于喜山运

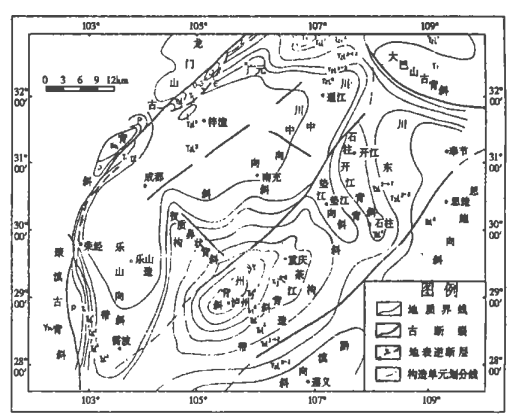


图1 四川盆地晚三叠世前古地质略图
Fig.1 Schematic plot of paleogeology for Sichuan Basin before late Triassic epoch

2.2 上三叠统须家河组(T_{3xj}) 碎屑岩孔隙裂隙
储水岩系

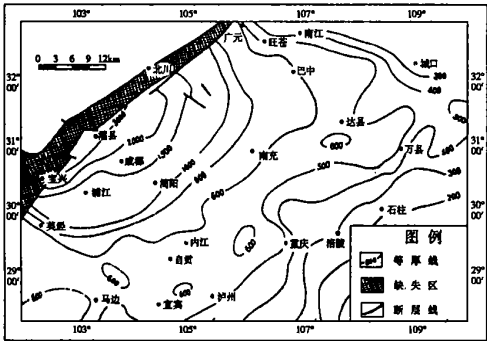


图 4 四川盆地上三叠统须家河组(T_{3xj}) 残留等厚图
Fig. 4 Residual iso-thickness graph for the Xujiache group (T_{3xj}) of upper Triassic series in Sichuan Basin

由一套碎屑岩组成, 于盆地西部灌县一带

厚达 3 000 m, 向东逐渐减落, 至盆地东部石柱
一线厚仅 200 m 左右(图 4)。

华蓥山以西地区 T_{3xj} 地层六分性明显, 其
中二、四、六段(T_{3xj}^2 、 T_{3xj}^4 、 T_{3xj}^6) 主要由一套硬
脆性的长石石英砂岩组成, 是盆地黄卤的储水
层。而 T_{3xj}^2 、 T_{3xj}^4 段不仅质纯, 厚度也大, 孔隙
较多, 据物性试验, 孔隙度可达 10%~15%。
在后期构造应力作用下, 裂隙也较发育, 因此钻
井中井漏、井涌, 掉钻、放空等现象较多, 水显示
较好, 是黄卤的主要产层。而一、三、五段
(T_{3xj}^1 、 T_{3xj}^3 、 T_{3xj}^5) 由一套页岩为主的煤系地层
以及透镜状长石石英砂岩组成, 厚度均在 100 m
左右, 盆地内分布稳定, 渗透性能极善, 为各含
卤层的稳定隔层。

据测试统计资料, 盆地三叠系各储水层的
孔隙度和渗透率如表 1。

表 1 四川盆地三叠系各储水层孔隙度及渗透率统计表
Table 1 Statistics of porosity and penetrability of the water
storage layers in Triassic series of Sichuan Basin

卤水储层		孔隙度/ %			渗透率/ μm^2	
		最大值	平均值	样品数	平均值	样品数
上三叠统 须家河组	T_{3xj}^6		2.40	40	0.05	16
	T_{3xj}^4	10.11	5.86	1 037	1.06	298
	T_{3xj}^2	9.45	5.52	6 336	0.17	3 889
平均			5.56		0.23	
中三叠统 雷口坡组	T_2L^4	13.86	6.49	14		
	T_2L^3	10.20	3.70	207	3.90	204
	T_2L_4	24.57	3.20	324	2.30	228
下三叠统 嘉陵江组	T_{1j}^5	18.91	1.80	202	0.60	181
	T_{1j}^3		1.80	624	0.80	184
	T_{1j}^1	30.83	2.45	856	3.18	490
平均			2.46		2.44	

注: 1. 为加权平均值; 2 据 1985 年中国地质大学(北京)李慈君资料; 3 T_2L_4 段孔隙度据测井资料。

3 下、中三叠统地下水水动力特征

下、中三叠统地层沉积以来, 较长期处于
深埋封闭、高压状态, 各储水层中充满了与相邻
蒸发盐系密切相关的“沉积型”地下水。且沉积
后又经历了多次构造运动, 它们都不同程度的
对地下水的储集、运移等条件产生一定影响, 起
着改造作用。按地下水所处构造开启程度和埋

深条件的不同, 下、中三叠统地下水蕴藏着两类
成因类型迥然不同的水型, 即与成盐作用密切
相关, 后经一定变质改造的高矿化沉积变质卤
水及受强烈渗入交替置换形成的渗入淋滤水。
沉积变质卤水主要分布在盆地西部及东部深埋
宽广的向斜地带, 其分布与相邻蒸发盐系关系
密切, 两者平行叠置, 相间成层。而盆地东部褶
皱强烈的高背斜及露头区, 构造裂隙发育, 剥蚀
作用强烈, 隔层已遭受破坏, 构成了统一的水

体,为渗入淋滤型地下水所置换。这两类地下水水力条件迥然不同。前者沉积变质卤水处于深埋封闭环境,主要受地静压力控制;后者渗入淋滤水则主要受静水压力驱动控制。这两种压力系统有机联系,相互配合,作用于同一含水组合的不同地段,构成了现代四川盆地下、中三叠统地下水的水动力面貌。

3.1 沉积变质卤水的分布及水动力特征

盆地下、中三叠统沉积以来,较长时期处于深埋、封闭状态,印支运动以上升为主,褶皱平缓、储、隔层平行叠置,不利于地下水的运移;喜山运动虽使地层强烈褶皱,所产生的褶皱形态,也以隔档式为特征,背斜狭窄,向斜宽缓,尤其是盆地西部仍为一巨大的拗陷盆地,下、中三叠

统地层深埋地下,上覆巨厚盖层,加之储水层本身渗透性也差,有利沉积变质卤水保存。因此在盆地西部广大地区及盆地东部的宽缓向斜内,至今仍是沉积变质卤水分布所在。

下、中三叠统地层上覆层厚达数千米,承受的地静压力很大,而在漫长的地质历史过程中,由于埋藏、构造条件的改变,压力将不断调整并重新分配,一部分为岩石结构所承受,一部分为沉积变质卤水所承担。因而,不同地区的地静压力是不一致的。总体上受构造开启程度及随埋深的增大,沉积变质卤水承压则不断增大的趋势。即有从盆地西北部埋深最大处为中心,向盆地边缘及盆内露头区渐减的趋势。这显然说明沉积变质卤水并不存在由盆地周边及露头区向盆地深部广大向斜地区补给的可能性(表 2)。

表 2 四川盆地下、中三叠统地下变质卤水水压与埋深关系

Table 2 The relationship of hydraulic pressure and depth with respect to the sediment altered brines in the lower-middle Triassic series of Sichuan Basin

构造名称	井名	层位	水层顶板	地静压力	地层压力	折算水头
			埋深/m	/MPa	/MPa	标高/m
邓井关	务 1 [#]	T _{1j} ⁵	800~1 200	30.3	10.3	374.2
露中山		T _{2L} ⁴	2 027~2 150			1 203.0
卧龙河	卧 16 [#]	T _{2L} ³	2 193	59.1	32.7	1 553.2
龙女寺	女 4 [#]	T _{2L} ³	2 723~2 727			1 402.0
油罐顶	油 1 [#]	T _{2L} ³	3 125	82.7	41.5	1 939.0
罗家坪	川 25 [#]	T _{2L} ¹	3 258	86.2	46.8	1 838.8
老关庙	关基井	T _{2L} ¹	5 800	152.6	83.0	5 094.2

注: 1. 据 1985 年中国地质大学(北京)李慈君资料; 2. 地层压力为完井测试资料。

沉积变质水分布区虽具有较高的水压,但运移极为滞缓,基本处于停滞状态。其碳酸盐储水层虽具有一定的孔隙,但连通性差,渗透率低,而沉积变质卤水的高矿化度卤水又具有较高的粘滞性。因而这些孔隙虽具有一定的储集能力,但渗透性极差,我们从自贡地区黑卤的调查证实,卤水的富集原生孔隙意义不大,而主要为后期构造形成的裂缝发育程度极为关键。如局部地区黑卤已开采百余年,漏斗中心水位已降至1 000 m 以下,但漏斗边坡极为陡峻,距裂隙发育带不远,水压即与原始水压面相近,这说明了非裂隙发育带地区卤层渗透性极差;而盆地广大向斜地区,至今仍普遍蕴藏沉积变质卤水

以及具有甚高的地静压力本身,也充分反映了这种运移缓滞的特征。

总之沉积变质卤水分布于盆东向斜及盆地广大地区,处于深埋封闭、高压停滞状态,则是盐类矿床保存的有利地区。

3.2 渗入淋滤型地下水的分布及水动力特征

喜山运动于四川盆地形成了一系列褶皱与断裂,沿盆地边缘周边平行排列,盆内东部则主要形成了一系列平行及雁行排列的隔档式褶皱,背斜褶皱紧密,两翼陡峻,甚至局部倒转,平面上作线状分布,往往长达百余 km,而宽不过 3~5 km,极不成比例。背斜轴部平行褶皱的张

性裂隙发育,并往往伴生有低序次、高级别的走向压性断裂。而后又经过多次抬平和夷平,背斜轴部老地层广泛被剥蚀暴露。而下、中三叠统碳酸盐岩—蒸发岩地层可溶性相对较好,因此在背斜轴部及两侧蒸发盐岩层构成相对低洼的单槽谷或双槽谷,直接接受大气降雨补给。

各种不同类型的裂隙,是地下水运移的主要通道,岩溶主要沿裂隙发育扩展起来。据调查统计资料,纵张裂隙在构造轴部占主导地位,它与层间裂隙结合,构成了地下水运移的主要通道,也是岩溶的主要发育方向(图 5)。

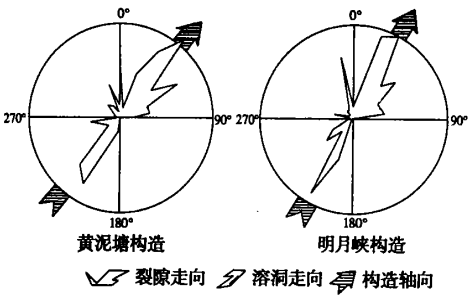


图 5 四川盆地东部黄泥塘和明月峡构造裂隙发育统计图

Fig. 5 Statistical graph of cranny growth of Huangnitang and Mingyuexia in east Sichuan Basin

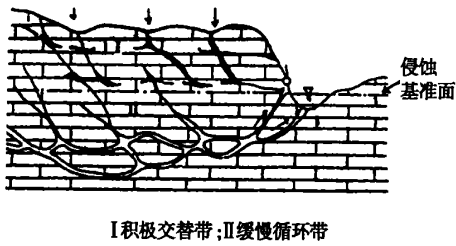


图 6 淋滤型地下水动力分带示意图

Fig. 6 Distribution diagram of hydrodynamics of penetration-eluviated underground brines

根据淋滤水在岩溶地块中运动的性质与特点,从盐类找矿研究的需要,并考虑与当地侵蚀面的关系,在纵向上可进一步将淋滤型地下水划分出两个带: I 积极交替带; II 缓慢循环带(图 6)。

3.2.1 I 积极交替带

分布于当地侵蚀基准面以上,由垂直循环带及水平循环带组成。上部岩块(垂直循环带)在地下水面以上,实际上为透水层,直接接受大气降雨补给,无水期仅局部有上层滞水或泄出成泉;降雨时,雨水为地面漏斗、塌陷所吸收,渗入地下。这种地下水受重力作用控制,总是力图改变自己的运动途径,以最短距离达到岩溶地下水水面,冲刷淋滤作用强烈。因此下中三叠统露头区以蒸发岩为主的隔层多遭淋滤破坏,不具隔水性能,构成了统一的透(含)水岩体。

积极交替带的下限受当地侵蚀基准面控制,该部位蕴藏着地下水,而上部因垂直循环带供水的多少,变动着岩溶地下水水面及含水厚度,是水交替最强烈的部分,对岩溶的发育起着积极主导的作用。其发育过程也就是岩溶地下水水面力图适应当地侵蚀基准面的过程。而岩溶过程进行的强度,则主要反映在岩溶地下水面的下降速度上。四川盆地周边及东部褶皱的岩溶分布地区,新构造运动上升明显,气候潮湿,雨水充沛,为岩溶地下水的不断下蚀提供了前提,又为岩溶提供了丰富的地下水源。因此总的来说,岩溶地下水水面不断下降,岩溶进一步发育的条件是具备的,但由于多种条件组合上的差异,不同构造及不同构造部位,岩溶发育程度及特征又各具特色,也反映了保存条件的差异。

鉴于盆地背斜构造褶皱紧密,下、中三叠统碳酸盐—蒸发盐岩层多于轴部构成窄长的单槽谷或于两侧构成双槽谷地形,横切构造长年性河流溪沟高程对岩溶地下水面的高程,局部也起着控制作用,而总的又向当地侵蚀基准面逐步下降,在这一总的背景下,盆东华蓑山及明月峡构造北段槽谷,地表发育顺向河,石膏露头广泛分布;而南段大河两侧峻岭峡谷,地表几乎无泉,在厚大的垂直循环带下,以水平溶道汇水,如长江猫儿峡、御临河等河谷两侧常可见暗河出口,以高出河水面十余米或数十米差距,高悬于岸坡之上。此外黄泥塘构造地形圈闭,横向沟谷控制了地表水及浅层地下水的活动;南门场构造槽谷单向倾斜,地表径流条件好,岩溶不发育等,均反映岩溶发育程度地区性的差异。这些差异显然与具体的构造条件、新构造运动

的性质特点、地貌发育阶段及水文网的发育演变状况密切相关。

3.2.2 II 缓慢循环带

处于当地侵蚀基准面以下,从盆东广泛分布的淋滤型,上升的温、热泉判定,此带地下水确是存在的。可以设想,此带地下水是在上带水平溶道地下水静水压力的作用下,主要沿构造裂缝受重力不断下蚀、运移,最后以连通管道形式于河流切割低点泄出,构成了一个完整的补给—迳流—排泄的循环系统。

由于裂隙发育的不均匀性,该地下水的循环通道极为复杂,表现出天然露头虽多,但不少钻孔在钻达地下水面之下,并未发现此带地下水。而有的水点相距甚远却存在水力联系,如南温泉构造石油探井(南 2 井)沿构造北距南温泉达 16km,曾钻及此带地下水,日产水量可达 $2.43 \times 10^4 \text{ m}^3$, 钻井的启闭对南温泉的流量有着明显的影响;再如云阳云安场构造盐井密集,在近 1 km^2 范围内就可划分为水温、水质与地表联系程度存在明显差别的数个脉状水带;此外还可见此带地下水上升泄出于透水性极强的积极交替带中,甚至泄出于不远又由附近的落水洞渗入。这些现象说明这种地下水是沿着与主要构造方向一致,较通畅的个别脉状通道运动。至于该带地下水在河流横切构造的低点处,多

以分散状泉群形式出露,甚至如北温泉及青木关温泉有部分泉点出于须家河组中,则应是这种地下水沿着个别脉状通道运移至泄出部位,由多个浅部裂隙通道流出地面而成。

缓慢循环带地下水,普遍具有流量、水质较为稳定,运动途径较长,水温也较高的特点。鉴于石灰岩中 CaO 遇水及黄铁矿氧化等均可能放热,使地下水增温,但因缓慢循环带地下水均沿单一的脉状通道运动,则地热增温可能性为最大。华蓥山褶皱束泉水最高温度可达 47°C , 明月峡以东地区最高为 40°C 。而四川盆地平均气温为 18°C 左右,以川 25 井深 3 265 m,水温 87°C 及张 1 井深 2 195 m 自流涌水水温 57°C 计算,地热增温约 50 m 左右 1°C 。以此估算,在不考虑上升循环及浅层水渗和的降温影响,华蓥山褶皱束及明月峡以东地区缓慢循环带的温热泉水至少已分别循环到地下 1 200~1 500 m 左右。

基于盆地下、中三叠统地下水实际上分属两种完全不同的水动力系统,沉积变质水和渗入淋滤水分别各自按地静压力和静水压力由高压区向低压区运移。两类地下水依据构造开放程度和埋深条件的不同而交织分布,水动力特点各异,可大体归纳于表 3。

表 3 四川盆地海相三叠系气田地层水水压系统及特征
Table 3 Hydraulic system and characteristics of gas field stratum water
in the marine Triassic system of Sichuan Basin

特 征	渗 入 水 压 系 统		沉积水压系统
水动力带	I. 积极交替带	II. 缓慢循环带	极滞
运动特征	垂直及水平运动	连通管式	渗透扩散
流量及状态	大小不一,变化大	大小不一相对较稳定	普遍较小,局部富集
水层特征	隔层遭破坏,构成统一水体	隔层正遭破坏	储隔层平行叠置,相间成层
储集空间	岩溶—裂隙—孔隙	裂隙—岩溶—孔隙	孔隙—裂隙—岩溶
分布	纵向 当地侵蚀基准面以上	当地侵蚀基准面以下	深埋拗陷区
	横向 背斜轴部露头区	露头区及其附近地带	覆盖区
水压分布	由露头区高压向低处构成完整的局部或地区性循环,水压依地形降低		随埋深减小,压力渐减
主压力源	静水压力		地静压力
成因类型	渗入淋滤型水		沉积变质型水

表 4 四川盆地中, 下三迭系地下水水动力特征及盐类矿产保存条件分区一览表

Table 4 Data on the hydrodynamic characteristics of groundwater and reservation conditions of salt minerals in middle-lower Triassic system of Sichuan Basin

区			亚 区		目的层		赋存地	水化学	起主导	水动力	盐类矿	
代号	名称	分布地区	代号	名称	分布地区	构造特征	(T ₂ l—T _{1j} ¹) 分布情况	下水的 成因型	特 征	作用的 水 压	特 征	产保存 条 件
I	深埋高压水交替缓滞区	华蓥山褶皱束以西地区			华蓥山褶皱束以西广大地区。	长期深埋地下的陷地区。	深埋地膜覆盖层厚者可达五千米以上。	沉积变质卤水。	Cl-Na 及 Cl-Na-Ca 型的卤水。	地静压力。	高压缓滞。	良好。氯化物盐广泛得到保存。
					威远构造核部及附近。	燕山期形成的局部隆起	构造核部已剥蚀至 T _{1j} ³	淋滤型地下水。	HCO ₃ [—] 及 SO ₄ [—] 型淡水。~ 盐水。	积极光替静水压力。及缓慢循环。	不利。遭强冲刷剥蚀。	
			II a	埋藏较深压力较高水交替缓滞亚区。	盆地南部泸州, 叙求一带。	印支期遭强烈剥蚀后为深埋拗陷。	印支期泸州古隆起已剥蚀到 T _{1j} ³ 后深埋地下。	经变质作用的古淋滤水。	Cl-Na 及 Cl-Na-Ca 型盐卤水。	地静压力。高压缓滞。	不利。含盐系印支期即已多遭剥蚀淋滤强烈破坏。	
											露头区已遭淋滤向	
II	水动力条件复杂区	华蓥山褶皱束及其以东地区	II b	埋 藏, 压力, 水交替变化复杂亚区。	明月峡构造以东地区。	燕山期隔档式紧密褶皱得本亚区分隔成多个构造盆地。	背斜区页岩裸露; 向斜区深埋地腹, 可超过三千米。	淋滤水在背斜附近作条带状分布余为沉积型地下水。	HCO ₃ [—] SO ₄ [—] 及 Cl-Na 型的淡水。~ 盐水。	背斜附近附近静水压力交替及缓慢循环, 向斜高压缓滞。	露头区及附近积极交替及缓慢循环, 还有氧化物盐矿保存。	
			II c	浅埋藏低水压水交替强烈亚区。	华蓥山褶皱束。	燕山期形成的紧密褶皱束, 向斜区相对较窄。	背斜区广泛出露; 向斜区相对埋藏较深。	淋滤型地下水。	HCO ₃ [—] SO ₄ [—] Ca-Mg 及 Cl-SO ₄ [—] Na—Ca 型的淡水。~ 盐水。	露头区积极交替静水压力。部缓慢循环已达向斜地区。	不利。深部硬石膏也正遭强烈淋滤。	

4 盐类保存条件及分区

从以上所述, 可以认为盆地下、中三叠统含水组合中“沉积水”的储存是基本的, 而淋滤水则是以后期构造条件为依据, 从背斜构造的露头区开始, 逐步深入循环, 对沉积型地下水进行置换, 同时淋滤破坏着盐类矿产。这种作用非常强烈, 其中积极交替带地下水不断扩大和强化着岩溶发育程度; 而缓慢循环带地下水乃在

深部运移, 在取代“沉积水”及淋滤相邻含盐围岩的同时也就逐步扩大, 加深和改变着其循环途径, 蚕食着沉积型地下水分布的范围。因此缓慢循环带地下水的循环深度、迳流强度、淋滤物质等则是评价盐类保存条件的重要方面。

盆地下、中三叠统地下水水动力特征及盐类保存条件受构造及埋藏等条件控制, 具有明显的分区性。以华蓥山褶皱束为界, 划分为两个区。华蓥山褶皱束以西一盆地西部除威远背斜核部外, 卤水深埋封闭, 盐类矿产广泛分布,

保存条件好; 华蓥山褶皱束及以东一盆地东部则可进一步划分三个亚区, 水动力特征及盐类保存条件各具特色(表 4)。

由表列可知, 盐类保存条件与埋深情况有一定联系。一般而言, 埋藏深、保存条件较好;

埋藏浅, 被淋滤破坏的可能性相应增大, 但不同地区又存在着差异。四川盆地三叠系找钾工作, 当前面临的突出问题, 即埋深过大, 为寻找埋深相对较浅地段, 在考虑成钾条件的前提下, 还应注意这些保存条件的差异。

**On the Hydrogeological Conditions of Groundwater
in the Triassic System of Sichuan Basin**

LIN Yao-ting

(*The second geological group of Southwest Bureau of Petroleum, Chengdu 611844, China*)

Abstract: The groundwater in the Triassic system of Sichuan Basin can be classified as two major storage categories: clastic rock aperture cranny and carbonate rock karst cranny. In terms of the extent of opening and depth of the conformations, the groundwater in the lower-middle Triassic series can be classified into sediment altered brine and penetration-eluviated brine, the formation mechanism and hydrodynamic characteristics of which are quite different. The former is deeply enclosed in its storages, and driven by the ground static pressure. The latter is located in anticlinal outcrop zones and shallow zones, and driven by static hydraulic pressure. Such groundwater characteristics determing the storage aspects of salts in the Triassic system of Sichuan Basin.

Key words: Triassic groundwater; Storage category; Formation types; Hydrodynamic characteristics; Storage conditions of salts; Sichuan Basin