

水文地质工程地质
选辑



基岩裂隙水

地质出版社

基 岩 裂 隙 水

水文地质工程地质选辑第十九辑

地 质 出 版 社

基岩裂隙水
水文地质工程地质选辑第十九辑

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑：邓蒿松

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·全国新华书店经售

开本：850×1168¹/₃₂·印张：4¹⁵/₁₆·字数：128,000

1983年6月北京第一版·1983年6月北京第一次印刷

印数：1—4,054册·定价：0.95元

统一书号：15038·新943

前 言

中国地质学会水文地质专业委员会和福建省地质学会共同组织的“基岩裂隙水学术讨论会”于一九八一年十一月在福州召开。会议共收到论文六十七篇，推荐在大会和小组会上交流的论文共廿四篇。这次基岩裂隙水学术论文汇编共选了十二篇，主要包括碳酸盐岩类、花岗岩类、碎屑岩类、玄武岩类等基岩裂隙水的形成和赋存规律、找水方向、地下水运动的基础理论、地下水资源计算等方面。本汇编可供勘察、科研、教学单位的科技人员参考。

编者

一九八二年六月

目 录

陕西省渭北山地基岩裂隙水的若干特征·····	1
大同附近的玄武岩裂隙水·····	20
福建沿海地区花岗岩裂隙水赋存规律·····	30
浅谈基岩地下水的分布规律与若干实例·····	39
偏流与裂隙水脉状径流·····	51
裂隙-溶洞水非线性不稳定运动·····	71
从兰新铁路安烟段水文地质特征谈干旱区基岩裂隙水 的资源评价方法·····	79
南方红层地区地下水赋存规律的探讨·····	92
浙江省白垩纪盆地红层地下水分布规律的探讨·····	109
川东褶皱带红层分布区地下水富集与岩层倾角的关系·····	124
红层含水层钻井出水量与砂岩体分布的关系·····	137
复吕——一种裂隙水贮水构造·····	149

陕西省渭北山地基岩裂隙 水的若干特征

耿 鹤 年

陕西省地质局第二水文地质队

基岩裂隙水分布上的不平衡性, 井孔揭露裂隙水水量多变性的大宗实例, 提出了揭示基岩裂隙水控水条件及其区域分布的课题, 尤其是缺水山区。

研究地区居于陕西省中部黄土高原与渭河谷地之间的低山丘陵地带。区内地表水暴涨暴落, 地下潜流多就地排泄, 不易贮存, 分布也很不平衡。因此水源奇缺, 许多地方连人、畜用水都无法解决。然而, 广布在砂、泥(页)岩地层中的裂隙水仍不失为解决当地城镇和工矿企业用水的重要水源之一。但由于其中地下水赋存条件不清, 成井率很低, 当地群众打井队伍往往把此类地层视为畏途。本文试图根据多年来积累的大量的基岩裂隙水勘探资料, 借助于统计分析的方法, 主要论述泾河以东的砂、泥岩裂隙水的主要特征及其赋存规律。

一、区域地质及裂隙发育规律

(一) 区域地质概况

全区自震旦系一中生介地层, 除志留、泥盆系缺失外, 发育比较齐全, 并呈现自南东向北西或由南而北的单斜分布(图1)。常见地层有奥陶系下中统(O_{1+2}), 石炭系上统(C_3f), 二叠系下统山西组(P_1sh)、下石盒子组(P_1s), 二叠系上统上石盒子组(P_2s)、石千峰组(P_2sq), 三叠系下中统纸坊组(T_{1+2z}), 三

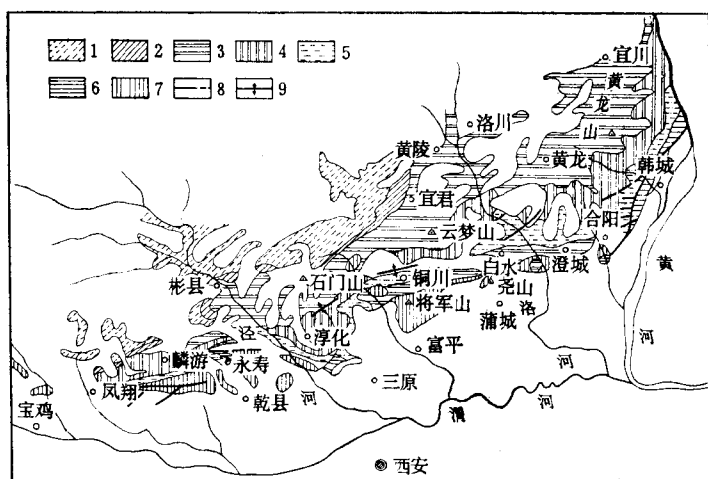


图 1 地质略图

1—白垩系下统 (K_1); 2—侏罗系 (J); 3—三叠系上统 (T_3); 4—三叠系下中统 (T_{1+2}); 5—二叠系上统 (P_2^1); 6—石炭系—二叠系上统 ($C-P_2^2$); 7—寒武系—奥陶系 ($C-O$); 8—断裂; 9—背斜

叠系上统延长群 (T_3y)。除奥陶系下中统为一套浅海相碳酸盐岩沉积外,其余则为以陆相为主的巨厚碎屑岩沉积。砂、泥岩交互成层,各层组的砂、泥岩比例很不一致。它们除在低山丘陵以及河谷地带出露于地表外,绝大部分地区上覆40—80米的黄土;在局部的基岩面低洼地带,砂、泥岩层与黄土之间还夹有上新统一下更新统冲、洪积层。

在地貌类型上,除局部属低山丘陵外,全区主要为呈北东东向展布的黄土台塬。由于河流、沟谷的贯穿,塬面多被切割成大小不等的长条状塬块,河谷阶地则有规则地镶嵌在较大的塬块之间,局部地区显示岗峦起伏的地形。

在地质构造上,研究地区处于李四光同志确认的“祁吕贺山字型构造”、“秦岭纬向构造带”和“新华夏系一级沉降带”的交接复合部位,构造作用较为强烈。前第三系从总体上看,向北西倾斜,倾角一般小于10度。构造形迹主要有:(1)北东向压性及压扭性构造,分布在韩城至石门一线的北部山区,以褶皱为主,

局部伴以逆断层；(2)北东及北东东向的张性、张扭性断裂，一般经受了先压后张的复杂的受力过程，多广泛分布于全区；(3)北东东—近东西向压性构造，包括背、向斜和逆断层，主要分布在中部和西部地区；(4)裂隙：主要发育北东东及北北西向二组共轭扭裂隙。

(二) 裂隙发育规律

区内广泛分布的砂、泥岩，具有两重空隙系统，即原生的孔隙系统和把岩石分割成规则外形的裂隙系统，但岩石原始孔隙的渗透性比裂隙的渗透性小得多，几乎可以忽略。因此，我们在探讨砂、泥岩层含水、导水性时，主要着眼于岩石的裂隙性。

北东东和北北西向两组构造裂隙，裂面平直光滑，其中北东东组张开及延伸性均较好，往往切割北北西向的一组。它们近乎正交，并垂直于层面。

裂隙的发育程度受岩性和断褶构造密切控制。砂岩和泥岩裂隙发育的差异十分明显，砂岩由于刚性强，一般裂隙的张开性、连通性均较好；而泥岩则由于其软塑性，裂隙细而密，含水、导水性差，这就使裂隙的发育在垂向上具有相对的成层性。岩石中裂隙的发育还与其上、下层岩石性质有关。同一岩层位于较其刚硬的岩石之间，比位于较其相对柔软的岩石之间裂隙发育要差些。就砂岩本身而言，其厚度对裂隙的发育也有很大的影响。

为了推求砂岩厚度与裂隙间距之间的定量关系，根据邻近地区几个剖面、40个点、不同厚度砂岩的裂隙测量资料，作成相关曲线图(图2)。图2反映出：在其它条件大体相同的情况下，厚度大的砂岩裂隙平均间距较大，即线密度较小。裂隙密度与其所在的砂岩层厚度近似于一指数型曲线。用最小二乘法可推求其表达式为：

$$D = 295e^{-1.47M},$$

式中：D——裂隙密度(条/米)

M——砂岩厚度(米)

大致在层厚2米以上，裂隙密度受砂岩层厚增大的影响较

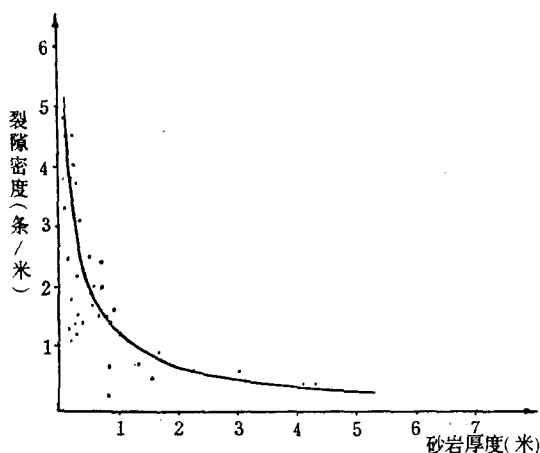


图 2 北东东组裂隙密度—砂岩厚度相关图

小。另一方面，裂隙间距愈大，其张开及延伸性往往较好，从而使裂隙密度与其张开、延伸性之间又呈现一定的制约关系。

至于断褶构造对裂隙发育的控制，根据区内有代表性的背、向斜和断层不同部位的重点观察和测量，可以看出：

1. 裂隙的产状：在断层带两侧，由于局部应力的存在，使裂隙产状随岩层产状变化而发生明显的变化，并可产生新的裂隙；而在背、向斜附近，除裂隙倾向随岩层倾向变化外，走向一般无变化。

2. 裂隙的平均密度：有离开背斜轴或断层带、而减小的趋势。由于应力集中的缘故，背斜翼部地层陡倾处裂隙密度较其上、下部位为大。

3. 裂隙的张开性：背斜轴部优于两翼；偏张性的断层附近张开性较好；偏压性的断层附近张开性往往较差，且经常为各类构造岩所充填。

关于裂隙发育随深度的变化，国内外学者曾经进行过大量的探索，并记述了裂隙发育随深度减弱的规律。作者根据区内 118 个有砂、泥岩裂隙记载的钻孔资料，分两组作出裂隙随深度变化

的频率曲线图（图3）。由图3可知，河谷区在负地形条件下，和黄土台塬区具有近似的裂隙随深度变化的规律。即在200米深度以内，裂隙发育减弱的趋势是存在的，但变化幅度并不太大。实际资料表明，在构造变形强烈的地段，在170—200米深处亦可出现自流水层；即使在250米深度以下，仍然出现具有水锈斑痕的含水裂隙段。但总的来说，裂隙的闭合和充填状况，深部较浅部为甚。须要指出的是：由于减压和风化作用，基岩顶面下常保留3—5米的强风化裂隙段，但由于破碎的砂、泥岩中多具有土状物质，一般并不构成强富水层段。无疑，对于裂隙发育随深度变化的深刻了解，有助于确定钻孔的合理深度。

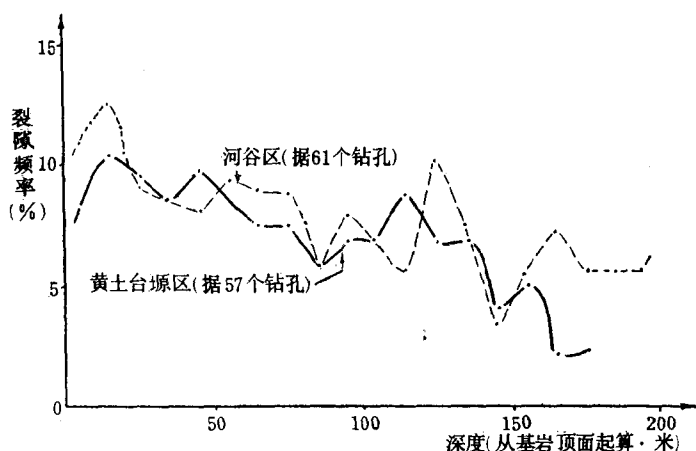


图3 不同深度裂隙平均频率变化图

二、基岩裂隙水的若干特征

研究地区的基岩裂隙水就其埋藏条件来说，可分为裸露型和覆盖型两类。前者分布于丘陵、河谷地带，基岩直接出露于地表或浅埋在薄层（一般 <10 米）的冲积层以下，主要为裂隙承压水。后者分布在黄土台塬的下部，掩埋在深厚的黄土层之下。上部具有裂隙潜水的性质，在近沟谷地带，往往呈下降泉泄出；下

部则与河谷地带相似，属裂隙承压水。

现有大量的井、泉资料使我们有条件分析研究 200 米深度以上的裂隙潜水和承压水。从实际利用的价值考虑，这里将主要论述裂隙承压水的成层性及其运动特征。

（一）基岩裂隙水的相对成层性

这一特征是碎屑岩裂隙水区别于结晶岩或某些岩浆岩类中贮存的“脉状”裂隙水的主要标志。野外常见裂隙泉沿不同岩层的界面（通常是砂、泥岩层的介面，泥岩垫伏在砂岩层之下）泄出，同一剖面上裂隙泉在不同深度分层泄出现象也并不罕见。这使人们有理由推测地下深处的基岩裂隙水也是沿着一定岩层聚集和运移的。钻探中当遇到某一含水或漏水层段时常发生水位的升降变化或冲洗液大量漏失。这些现象亦可作为总体上不均匀的含水介质具有一定的成层性的佐证。

裂隙水的成层性是以裂隙的成层性为基础的，而裂隙的成层性又导源于岩性在垂向上的变化，即由砂、泥岩层相互交替成层的性质所决定，这在前面已经述及。由于砂岩和泥岩裂隙发育的程度不同，同一个砂岩层其中的裂隙常相互贯通，而透过其上、下的泥岩层则比较困难，从而使砂岩成为相对的含水层，泥岩成为相对的隔水层。固然，裂隙水的成层性不同于孔隙水整个孔隙介质的均质含水，地下水主要贮存和运移在一定层位的裂隙系统中，构成脉网状的含水体系。而其上、下泥岩岩层的隔水也不是绝对的，在垂向上为较大断裂沟通的情况下，其成层性会受到一定程度的破坏。

大量煤田勘探资料说明，石炭、二叠系砂、泥岩的分层特征十分明显，较厚的砂岩层在水平分布上有一定的连续性，某些砂岩层常作为层组划分的标志层，每一个层组的底部总是以一定的砂岩层作起始。这是由沉积的韵律性所决定的。上二叠系以上，除了同样具有上述特点以外，又常以集中发育砂岩或薄层砂岩与泥岩交互成层为其特点，这就使我们有根据将裂隙水的含水介质划分成不同的含水层组。这一特征决定了砂、泥岩中，不

同深度、不同岩性的岩层，普遍具有不同的水位、水量与水质（见表1）。

表 1 不同深度不同层位水文地质特征对比表

（据代表性钻孔资料）

孔号	位 置	孔 深 (米)	地 层	水位埋深 (米)	抽水降深 (米)	涌水量 (方/时)	矿化度 (克/升)
白 9	白 水 县 雷 衙 沟	81.85—120.4	P_{2sq3}	81.85	27.20	3.13	0.6
		181.8—276.1	P_{2sq1}	55.20	35.79	1.85	0.75
矿 36	铜 川 漆水河河谷	10—104.88	P_{2sq1}	4.20	7.20	13.67	0.47
		104.88—203.39	P_{2s}	10.00	7.50	5.04	0.57
		203.39—329.42	P_{1s}	10.50	20.95	3.54	0.69
矿 14-4	合 阳 县 大峪河河谷	135.26—142.09	P_{1s}	12.04	60.60	0.08	—
		143.90—195.78	P_{1sh}	48.23	25.48	1.22	0.95
		229.0—246.77	C_3t	198.28	32.17*	0.11*	—
矿 41	韩 城 县 渠水河河谷	13—115	P_{1s}	5.03	21.48	10.62	0.62
		115—188.8	P_{1sh}	14.67	16.20	0.28	0.78
		188.8—221.5	C_3t	28.58	29.62	1.14	0.72

* 系注水资料。

由于砂、泥岩裂隙水具有相对的成层性，从而使多数层间裂隙水具有承压的性质。一个砂、泥岩层组可以包含水文地质特征有差异的若干个承压水层，因而实际上构成层层叠覆的承压水层组。裂隙水的相对成层性还导致砂、泥岩层含水、富水性向深部逐渐降低的趋势，这在裂隙水主要接受上层越流或传导补给、侧向补给不多的情况下特别明显，表 1 也提供了这一方面的例证。

（二）基岩裂隙水的运动特征

砂、泥岩裂隙水既具有相对成层性，那末它是否具有向岩层的倾伏方向顺层流动的特点呢？一般说来，当岩层倾向与地形坡向一致时，回答是肯定的；但当岩层倾向与地形坡向不一致时（像本文涉及的地区那样），往往得不到明晰的解答。为了推求裂隙水运动方向与岩层倾向的关系，作者选择分析了白水縣东北山前地带约80平方公里内，与上纸坊组（ $T_{1+2}z^2$ ）层位大致相当的

表 2 钻孔水头与附近地形高程河沟水位高程对比表

孔号	孔深 (米)	试段高程 (米)	裂隙水 水头高程 (米)	地面 高程 (米)	附近河水		矿化度 (克/升)	备 注
					水位高程 (米)	与钻孔间 距(公里)		
白 2	147.67	856.16—786.83	863.30	934.50	820	1.2		有河水补给 河沟有一定的 排水作用 河水明显补 给裂隙水
白 4	165.61	799.34—695.39	816.28	861.00	830	1.4	0.31	
白 1	249.75	796.02—671.94	796.02	921.69	715	1.7	0.37	
农 2	165.51	768.95—741.00	795.36	832.00	830	0.6	0.31	
白16	253.58	765.53—627.65	765.53	881.23	770	0.8	0.31	
白 3	226.02	733.16—648.43	749.15	856.43	790	4.0	1.37	
白28	190.51	693.66—677.53	737.03	813.53	730	2.0	0.38	

7 个钻孔的裂隙水水头资料 (表 2)。分析结果说明: (1) 水头没有顺地层倾向降低的趋势; (2) 水头的高低大体符合于地形的变化, 局部的变异主要受附近河水位补、排作用的影响; (3) 即使抽水层位已达到河水位以下 140 米, 裂隙承压水的化学性质较之裂隙潜水 (以下降泉为代表, 其矿化度在 0.3 克/升左右) 无重大的变异, 反映其径流条件仍处在强循环带的特点。

又据区内裂隙泉产出状态的统计 (表 3), 裂隙泉主要自北东、北东东组裂隙和北东东向断裂 (合计占总数的 76%) 中泄出。由此可以推断: 基岩裂隙水在岩层中的运动是顺层沿脉网状的裂隙运动, 其主要通道是地区内延伸、沟通性最好的裂隙和断层。

表 3 裂隙泉产出状态统计表

裂隙泉产出状态	个数	占统计裂隙 泉的百分数 (%)	备 注
沿断裂构造 (主要是北东向) 泄出	26	20.8	在全区范围内 据有泉水产出状 态记载的 125 个 裂隙点统计
沿北东、北东东向裂隙泄出	69	55.2	
沿北北西向裂隙泄出	10	8.0	
沿北东东及北北西二组裂隙交叉部位泄出	11	8.8	
沿层面裂隙泄出	9	7.2	

排泄基准面以上的浅层裂隙水多沿此方向向沟谷两侧运动。群井抽水试验时水位下降漏斗的轴向多与此方向一致（图4），由此更加重说明了这一运动特征。

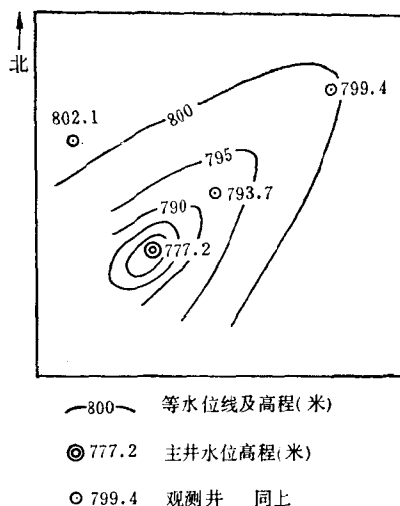


图4 合阳北黄土台塬区三叠系纸坊群 (T_{1+2f})
机井群井抽水试验水位下降漏斗图

主井 $S = 13.92$ 米, $Q = 6.53$ 方/时 (历时三昼夜)

三、基岩裂隙水的赋存特征

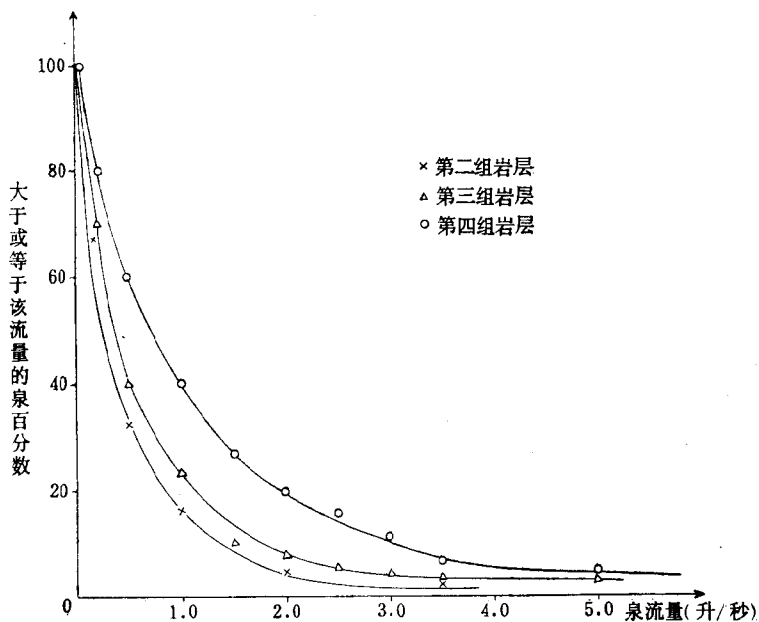
首先,用实际资料来分析控制基岩裂隙水赋存的岩性、构造和补给因素。

(一) 岩性因素

岩性对基岩裂隙水的影响是通过其对裂隙发育的控制而起作用的。自然,岩性的不同组合会直接对其中的裂隙水产生不可忽视的影响。作者根据砂、泥岩比,将区内地层划分为四组(表4)。以四组岩性为基础,根据全区312个泉水点和141个钻孔资料,分别作出各组地层的泉水流量和钻孔涌水量累积百分数曲线(其中钻孔资料又分河谷区和黄土台塬区(见图5、6)。第一组岩层因砂

表 4 岩层分组（按砂、泥岩比）对比表

组 别	代表性地层	岩层组合特点	砂岩厚占 总层厚的 百分数 (%)	调查 泉数	调查 钻孔数	分布面积占统计 面积 (2980 km ²) 的百分 数 (%)
第一组	P ₂ sq ₁ , P ₂ sq ₂ , C ₃ t	以泥岩为主	10—20	15	3	10.1
第二组	P ₂ s, P ₁ s, P ₁ sh	以泥岩为主 夹厚层砂岩	35—50	43	29	20.4
第三组	T ₁₊₂ z, P ₁ sq ₁	砂、泥岩互层 以砂岩为主	65—70	209	97	60.5
第四组	P ₂ sq ₃	以大厚层 砂岩为主	>80	45	17	9.0



岩百分比过小，无论泉和钻孔的数量均很少，不足以绘制曲线。由表4及图5、6可知：出自第二、三、四组岩层的泉的“相对流量”均依次有规律地递增，显示砂岩比愈高“相对流量”愈大的特征。从总体上看，无论河谷区或黄土台塬区，钻孔的“相对流量”第二组均低于第三、四组，但第三组却显然高于第四组（与泉流量累积百分数曲线反映的结果恰好相反）。对比各组曲线只能

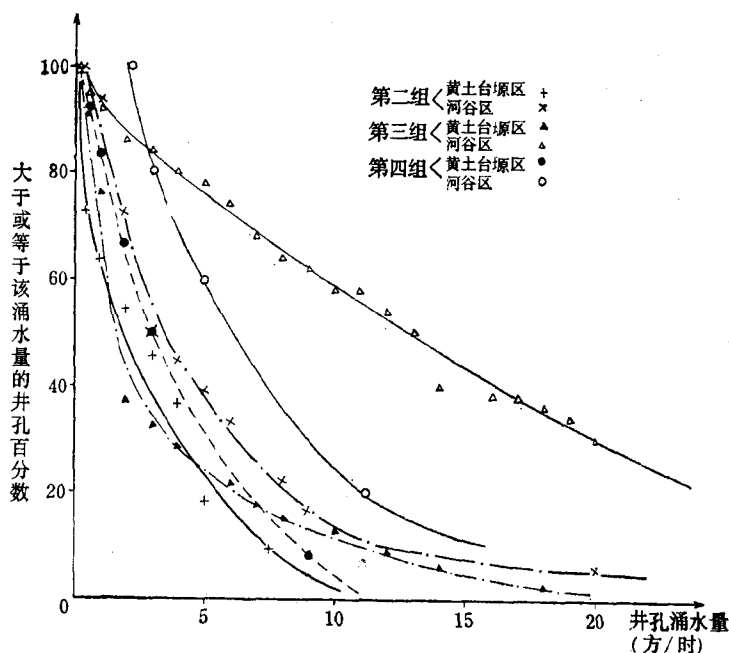


图6 不同岩层不同地貌部位井孔涌水量累计百分数曲线

(据141个井孔144个试段抽水试验资料统计)

反映各组地层井、泉出水量的相对大小，并不说明某一组地层中井、泉实际出水量总是超过另一组。实际资料也表明砂岩百分比低的岩层也可以出现少数涌水量很高的井、泉。但如何解释这后一种结果呢？当然，统计的精度问题不能排除，第四组岩层分布的面积、占有的钻孔和泉数较之第三组要少得多，可能会出现统计上的偶然误差；但联系前段岩性控制裂隙发育规律的分析，可

以这样设想：当砂岩的厚度百分数超过一定值（例如65—70%），并不一定有利于裂隙水的贮存，甚至于以大厚层砂岩为主的岩层其富水性反而不如砂、泥岩互层、以砂岩为主的岩层。至于泉和钻孔所显示的不同结果，是否预示着岩性对裂隙水贮存的控制排泄基准面以上和以下的差异性，还有待于进一步探索。

属于第一、二组的煤系地层，含水性普遍较弱（单位涌水量一般在0.02升/秒·米以下，矿井含水系数一般 <1 ，少数在2—3之间）；除老窑积水或石灰岩涌水外，一般不至构成对矿井开采的威胁。而分布面积总和大于2/3的第三、四组岩层在总体上可以认为是均一的岩层。

（二）构造因素

构造形迹对基岩裂隙水的控制作用已广为人们所熟知，许多文献也阐述了一些有利于裂隙水富集的构造部位。如张性构造带、不同构造带和构造形迹的交接或复合部位、背斜翼部、向斜轴部等等。从本质上说，有利的构造部位，无非是在构造影响所及的范围内，岩层破裂变形加剧，裂隙密度和开启程度局部加大，增加了贮水的空间，以及由构造变形产生有利的汇水条件。在研究地区也可以举出许多构造控水的实例，现仅举出下列诸端：

1. 对于区内广为发育的断裂构造来说，区别它们的阻水、含水或导水性能十分重要。起阻水作用的断层通常是偏压性的断层，其断裂带由于挤压破碎和糜棱岩化的结果，不可能富存地下水。具有含水或导水性能并构成“储水构造”的断层，通常是“级别”和“序次”不高的张性或张扭性断裂，形成局部的富水带，有时具有很高的承压水头。铜川金锁关地区的含水断裂带，由于接受邻近山区的补给，三个钻孔的测压水头分别高出地面125.96、103.05、27.74米。区内规模较大的张性或张扭性断层往往具有强导水性质，但不可能形成富水带。在其与具有漏水性能的石灰岩沟通的情况下，它不仅使通过砂、泥岩层的裂隙水发生“疏干”，而且使其上的松散覆盖层孔隙水强烈排泄、水位急剧下降。十分有趣的是同一个断裂带的不同段有不同的控水作用。