

贵阳地区岩溶水文地质特征

李兴中 徐际鑫 李双岱

(贵州省地矿局第一水文地质工程地质大队)

位于黔中山原中南部的贵阳地区,地层褶皱强烈,断裂复杂,碳酸盐岩与碎屑岩相间展布,古岩溶地貌面起伏平缓,岩溶水文地质条件甚为复杂。为解决城市供水问题,自六十年代以来,该区相继开展了一系列水文地质普查及勘探工作,获得了大量资料。本文试图在已有成果资料的基础上,结合遥感图象判译,对该区岩溶地下水的赋存及富集规律提出初步看法,以期在城市供水规划、环境保护以及地热勘察等方面有所裨益。

一、区域地质地貌条件

该区二叠系、三叠系地层分布广泛,岩性比较复杂,其中纯碳酸盐岩约占地层总厚的68%。碳酸盐岩与碎屑岩在垂向分布上具多层性,平面展布呈条带形。此外,尚有侏罗系及少量下古生代地层出露(图1)。

区内发育新华夏与南北向两构造体系^①。新华夏系以北东向的宽缓褶曲及北北东向压扭性断裂、北东向扭性断裂为主,展布于该区之北、东部。南北向构造主要为宽背斜(该区仅出露翼部)、窄向斜及同向压性断层。贵阳船形向斜夹持于两南北向压性断层之间,其北部翘起端为新华夏构造与南北向构造复合部位,贵阳市即坐落在此。这里断裂交错,裂隙群集,岩层产状多变,岩石压裂压碎现象显著。新华夏构造形成较晚,于复合带附近常常对南北向构造成份进行改造,导致三桥、阿哈寨等地与南北向构造配套的横张扭裂显著强化。

区域资料表明,新华夏构造的北东向及北北东向断裂,是贵州挽近活动最为明显的断裂^②。北东向圣泉水断层的东延部份,附近有低温热水出露。贵阳历史上还多次发生有感地震。根据航卫片判译,该区北东向及北北东向线性构造发育,其影象十分清晰,特别是黔灵山——阿哈寨断层,由断崖及直线状河谷所显示的线性影象极为醒目。附近还伴有古河道变迁及河流穿越该伴生断层时产生的同步弯曲现象(图2),即数条河流受断层扭动的影响,沿同一方向发生相似形偏转的现象,这些显然都是断裂挽近活动的重要表现^{〔1〕〔2〕}。

本区在地貌上位于黔中山原腹地,河流溯源侵蚀微弱。新构造运动的间歇性抬升,广泛发育了1300~1350米、1200~1260米两级剥夷面,且平坦地面保存完好。第一级剥夷面是夷平程度甚高的古准平原地面,广泛切平了其下的褶皱构造面,以起伏甚小的丘陵洼地为其特

①贵州省地矿局 贵州省1:50万构造体系图及说明书1980年

②贵州省地矿局 贵州省1:50万构造体系与地震分布规律图及说明书1980年

色，组成广阔的分水岭地带。第二级剥夷面分布较狭窄，常表现为宽缓的岩溶谷地及大型洼地。

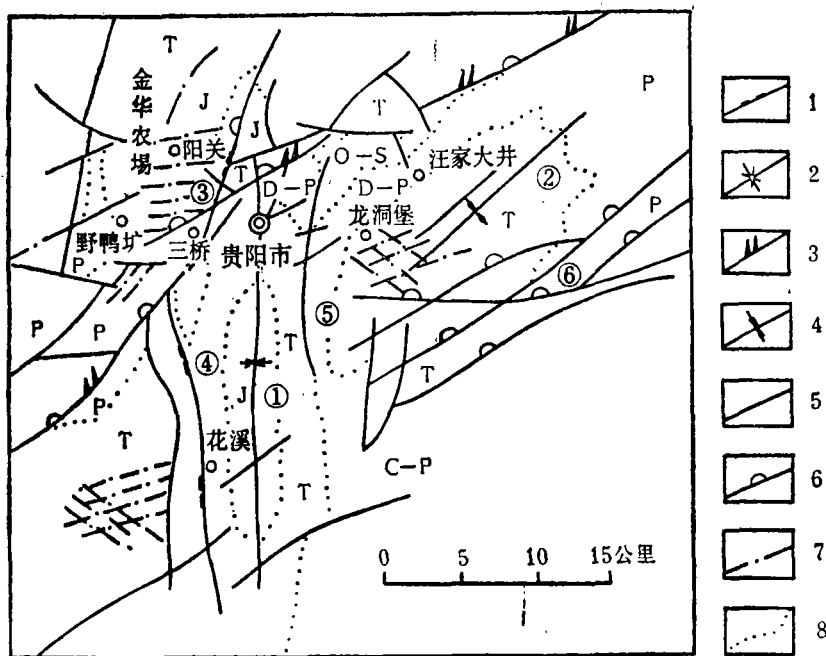


图 1 贵阳地区构造体系图

Fig. 1 Map of geological structure system in Guiyang area

〔南北向构造〕 1. 压性断层 2. 向斜 〔北东向构造〕 3. 压性断层 4. 向斜 5. 性质及体系不明断层
6. 挽近活动断层 7. 线性构造 8. 地质界线

① 贵阳向斜 ② 羊场司复向斜 ③ 黔灵山—阿哈寨断层 ④ 花溪断层 ⑤ 图云关断层 ⑥ 鸡场坝断层组

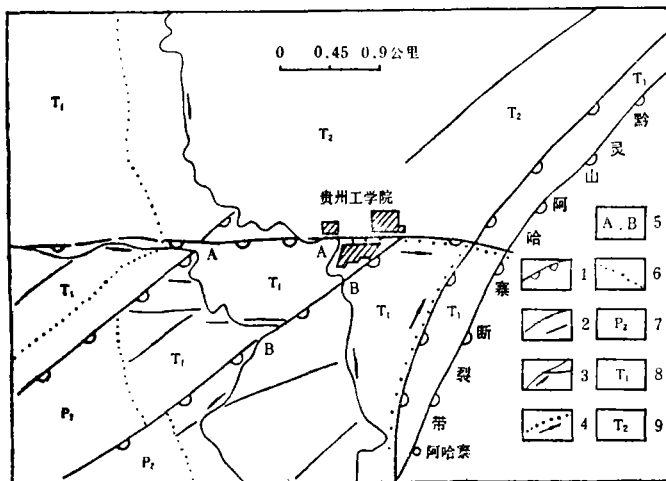


图 2 贵州工学院附近新构造现象航片解译图

Fig. 2 Interpretation map of the aerial photograph showing neotectonic phenomenon nearby Guizhou College of Engineering

1. 弱活动断层 2. 大型节理 3. 河流及流向 4. 古河道及流向 5. 河流同步弯曲点 6. 地质界线 7. 上二叠统燧石灰岩及砂页岩 8. 下三叠统白云岩及薄层灰岩 9. 中三叠统白云岩

二、岩溶地下水赋存特征

该区岩溶地下水的赋存状况,严格受地质构造及地貌条件的控制,表现出以下几个明显的特点:

(一)受剥夷面地形制约,在广大分水岭地带形成明显的层状富水地貌面^[3]。根据所处地貌部位及高程、微地貌形态以及地下水补给、迳流及排泄条件的差异,区内可分上、下两层富水地貌面。

上层富水地貌面(1250~1300米),见于三桥北西之广大分水岭区,地下水主要受大气降水补给,或以众多岩溶大泉就近排出地表,如珍珠泉、小龙井等,流量一般20~40升/秒;或以地下河、伏流等形式补给下层地貌面,如龙塘边、杨柳冲等地即是。岩溶潭、有水竖井、充水漏斗等较为常见。钻孔单位涌水量0.3~1.3升/秒·米,局部地带承压自流水比较丰富。地下分水岭与地表分水岭多不相符。地下水埋深0~10米。

下层富水地貌面(约1150~1200米),其分布范围较为狭窄,主要见于三桥以西。地下水以侧向补给为主,其后缘常接受上层富水地貌面上的岩溶大泉及地下河的直接补给。岩溶泉及岩溶潭等地下水露头较多,流量最大可达70升/秒以上。局部地段承压自流水比较丰富。地下水埋深多小于10米。在三桥地区的下层富水地貌面上,地下水的补给、迳流及排泄条件因受大型节理及弱活动断裂的影响而变得十分复杂,地下河及伏流等每每形成裂点。

纵观该区层状富水地貌面的形成条件,除剥夷面地形保存完好之外,弱岩溶或非岩溶层的存在亦是一个十分重要的因素。正是这些阻水边界的存在,岩溶地下水的外泄受到节制,其贮存条件比较优越而发生相对富集。

(二)受卷入各构造体系的褶皱和破裂结构面的组合规律控制,形成“+”字型、“×”型及扇形复合型三种岩溶地下水网络模式^[4]。

1.“+”字型网络 地下水流呈“+”字型交叉,是紧密褶皱区地下水赋存的一种重要形式。沿褶皱走向发育的纵张裂隙、层面裂隙及含水岩带形成地下水主流带,与之配套的横张扭裂等则构成排泄带及越流带。在该区主要形成于南北向构造与新华夏构造的陡倾斜褶皱带。以三桥西北一带最为典型,南北走向的三叠系岩溶层与非(弱)岩溶层相间出露,与之近于直交的近东西向横张扭裂及大型节理发育,在航空照片上呈现出大致等间距的线性构造图象(在航片等密度分割图片上这种线性影象就更为明显)。岩溶层中,层面裂隙及碎裂岩带发育,构成网层状主流带。岩溶地下水纵向迳流带发育,沿岩层走向形成许多地下河、伏流及岩溶大泉,流向自北而南。近东西向横张扭裂及大型节理形成的岩溶谷地构成排泄带,其中出露一系列岩溶大泉及地下河出口,地下水十分丰富。阻水网络主要为非(弱)岩溶层及压性断面。富水部位为压性断层、非(弱)岩溶层迎水面与横张扭裂及大型节理的交汇带,如位于黔灵山压性断层及非岩溶层西侧影响带迎水面与北西西向张扭裂及大型节理交汇带的三桥谷地中,若干钻孔涌水量常大于15升/秒,承压自流水极为丰富^①(图3)。

2.“×”型网络是平缓褶皱区地下水赋存的一种重要形式。宽缓褶皱中广泛发育的“×”型共轭扭裂或棋盘格构造,控制着地下水的贮存及运移,地下水流常呈“×”型交叉。“×”型网络主要分布于贵阳向斜东西两侧的宽缓褶皱区,其北东东及北西西等几组大型节理甚为发

^①贵州地矿局第一水文地质工程地质大队;贵阳市城市供水水文地质初勘报告1980年。

育,并局部追踪而成近东西向及近南北向张裂。导水网络主要为北东东及北西西向大型节理,构成地下水主流带;而追踪张裂谷地则形成排泄带。阻水网络为边缘的非岩溶层及压性断裂。在龙洞堡一带,岩溶大泉都沿上述大型节理出露,最后排泄于近南北向张裂谷地中。花溪西南一带,地下水仍沿这两组大型节理运移,花溪水库所产生的强烈渗漏(250~500升/秒),与这两组导水网络密切相关(图4)富水。部位为大型节理交汇带,压性断裂及非岩溶层迎水面与大型节理的交汇带。这些交汇带上岩溶洼地十分发育,无疑是地下水长期汇集而导致岩溶强烈作用的结果。

3. 扇形复合型网络为构造体系斜接或反接部位地下水赋存的一种形式。构造

复合部位遭受强烈挤压所产生的弧形褶曲,及其配套、迭加的断裂裂隙系统,是地下水贮存及运移的良好通道。该扇形复合型网络以南北向贵阳向斜北部翘起端与北东向构造之复合部位较为典型。向斜翘起端岩层强烈弯曲,密集的层面裂隙及引张裂隙呈扇形分布,北西向及近东西向两组张裂及大型节理迭加发育,致使该区岩石强烈破碎,构成复杂的网层状流带。据贵阳盆地北部钻孔岩芯观察资料,岩石挤压破碎严重,断层擦痕及角砾岩、糜棱岩及节理裂隙等屡有所见,岩溶孔洞及裂隙极为发育,钻孔抽水引起地面塌陷及井中壅沙十分严重。显然,盆地中岩溶强烈发育,地下水流纵横交错,导水网络甚为复杂。但该区岩溶水流具有扇形分布的总趋势,近东西向张裂构成主要排泄带(图5)。非(弱)岩溶层及压性断面等阻水网络,亦因断裂裂隙强烈发育破坏了连续性,其阻水能力已显著降低。富水部位主要为放射状张裂、北西向及近东西向张裂与弱(非)岩溶层及压性断层的交汇带。

在上述三种岩溶地下水网络模式的背景上,再加上区域构造地貌对地下水补给、迳流及排泄条件的影响,则形成若干地下水富集区。其中贵阳盆地及三桥——阿哈寨谷地就是该区规模最大的两个富水区,它们分别位于两大水文地质单元的迳流排泄带,其间为黔灵山、花溪压性断层及非岩溶层阻水带所隔,在一般情况下,浅部岩溶地下水很少发生水力联系。

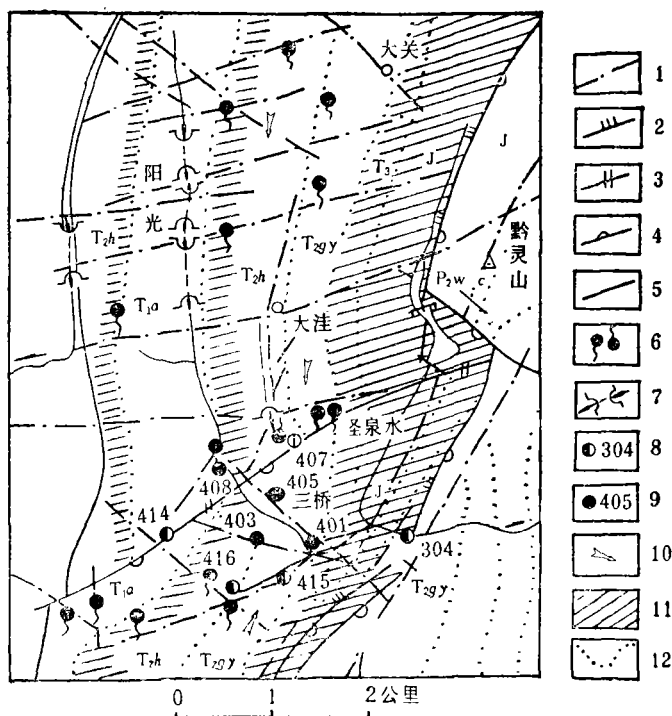


图 3 三桥地区水文地质略图

Fig. 3 Schematic map of hydrogeology of Sangqiao area

1. 大型节理 (据航片判译) 2. 压性断层 3. 扭性断层 4. 挽近活动断层
5. 性质不明断层 6. 岩落泉 7. 伏流出入口 8. 钻孔及编号 (流量 10—15 升/秒) 9. 钻孔及编号 (流量大于 16 升/秒) 10. 地下水流向 11. 弱 (非) 岩溶层 12. 地层界线

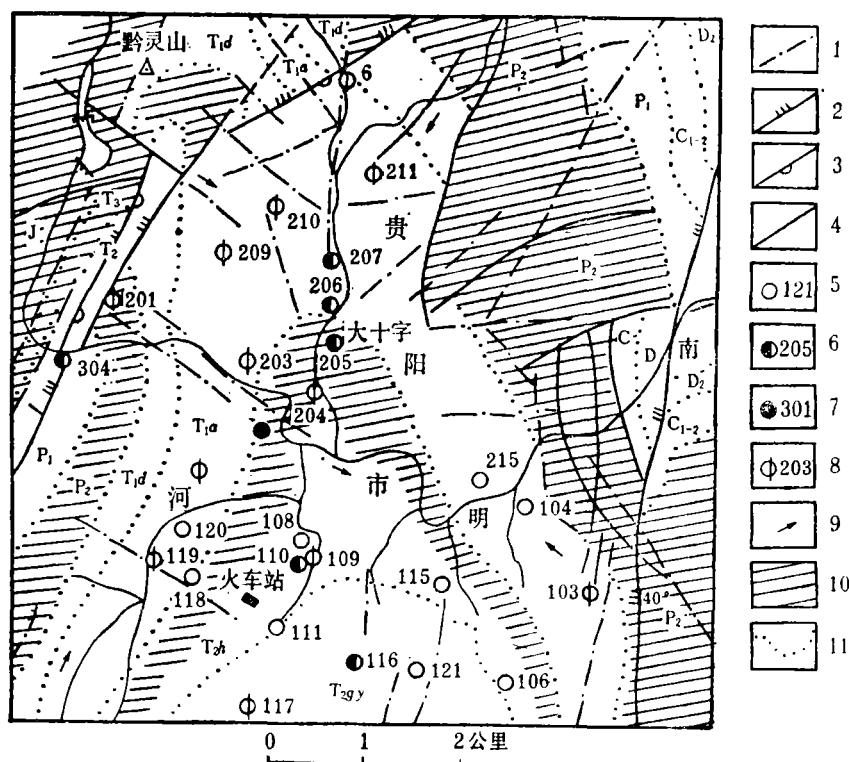
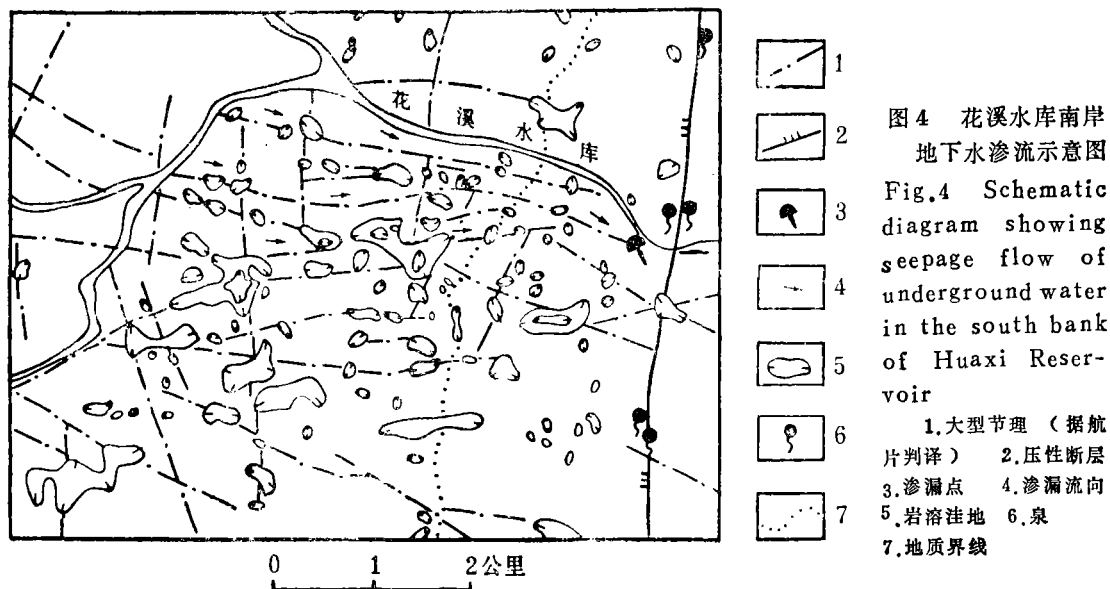


图5 贵阳盆地水文地质略图

Fig.5 Sketch map of hydrogeology in Guiyang Basin

- 1.大型节理 (据航片判译) 2.压性断层 3.挽近活动断层 4.性质不明断层 5.钻孔及编号 (流量5—10升/秒)
6.钻孔及编号 (流量10—15升/秒) 7.钻孔及编号 (流量大于16升/秒) 8.钻孔及编号 (涌沙及塌陷)
9.地下水流向 10.弱(非)岩溶层 11.地质界线

贵阳盆地富水区，断裂发育，岩石破碎，其东、北、西三面又为阻水带所包围，构成一个完整的储水构造。浅层地下水的补给方向，在盆地北部为自北而南，南部则自南而北。三桥—阿哈寨富水区，断裂及大型节理发育，黔灵山、花溪压性断层及非岩溶层构成东部地下水汇集带的阻水边界，亦形成一个完好的储水构造。西部广大地区的地下水均汇集于此，其补给条件较贵阳盆地优越。

(三) 在离地面约 200 米以下的一定深度范围内，形成岩溶裂隙承压水富集带。

贵阳盆地目前收集的 39 个水文地质钻孔统计，涌水量大于 10 升/秒的有 7 个，其中 5 个孔深大于 300 米；涌水量 6~10 升/秒的有 16 个，其中孔深大于 200 米的 12 个，而且在孔深 300 米以下的几个富水钻孔中涌水量还随着深度增加而继续增大。在三桥谷地，高水头、大流量的自流钻孔十分引人注目，10 余个钻孔几乎全为承压自流水孔，一般孔深 200~350 米；水头超过孔口数米，最大达 21 米；流量 10~20 升/秒，并随深度增加而继续增大。这些钻探资料证明，该区深部地下水资源是比较丰富的。

深部地下水埋藏深度的上限，随地质构造条件而异。在贵阳东部羊场司复向斜中，经连通试验证实，地下水自南东翼补给而向北西翼张裂谷地中汪家大井一带排泄，枯流量达 1181 升/秒，循环深度约 600 米^①。贵阳盆地中，位于向斜轴部的 205、206、207 等钻孔（图 4）在 250 米以下的深度涌水量才显著增大；而在 110 号孔中，于 409 米的深度上岩溶孔洞仍然比较发育。在三桥谷地中，岩溶裂隙承压水则多出现在 200 米以下的深度。

三、深部岩溶裂隙承压水形成条件剖析

近年来大量水文地质普查勘探资料证实，在贵州高原上普遍存在着深部岩溶裂隙承压水及承压自流水带。由于其补给范围广，埋藏深，因而形成条件远较一般的岩溶承压水复杂，其中贵阳地区就是一个典型的代表。贵阳地区深部岩溶裂隙承压水的形成，具备了补给、运移及贮存三个必不可少的条件，分述如下：

(一) 平缓起伏的岩溶地面，特别是岩溶富水地貌面的存在，为深部岩溶裂隙承压水提供了良好的补给条件。

贵阳西北部广大地区，岩溶化程度较高的剥夷面广泛分布，地形起伏和缓，其上岩溶洼地、漏斗、落水洞及竖井等十分发育，整个地面遭受大型节理裂隙切割（图 3），既有利于大气降雨的垂向补给，也有利于地表迳流的渗入补给。特别是在富水地貌面上，岩溶水的水力坡降小，一般为 2~4%，迳流缓慢，在地面上的滞留时间较长，促使大量富集的地下水通过各种裂隙通道对下部产生强大的静水压力，导致向深部不断的补给。同时，由于地貌演进历史的差异，这些平缓地面标高大多在 1250 米以上，比邻近的贵阳盆地、三桥谷地等地高出 150~200 米，补给区与承压区在近距离内存在如此巨大的高差，无疑有利于水压传递而形成深部迳流带。这是贵阳地区乃至整个贵州高原深部岩溶裂隙承压水得以形成的重要的地貌前提。

(二) 与挽近构造应力作用有关的大型节理裂隙及弱活动断裂，为地下水从补给区向深

^①贵州省地矿局第一水文地质大队 1:20 万贵阳幅水文地质普查报告 1982 年

部承压区运移提供了重要通道。

近年来的研究表明,由挽近构造应力所形成的岩石破裂变形及地形特征,对地下水的运动条件有着十分重要的影响^[6]。这类断裂裂隙系统充填较差,开启程度较好,是地下水运移及贮存的良好场所。特别是大型节理及弱活动断裂,在遥感图象上常具有明显的线性特征,较之老的断裂裂隙更易于判读^[6]。实践证明,利用遥感图象来识别其发育分布规律,分析地下水的运移及富集通道,是行之有效的。

贵阳地区大型节理及弱活动断裂比较发育,且大多分布在补给区及补给区与承压区之间的过渡地带,为地下水向深部承压带运移提供了有利的条件。三桥北部及西部广阔的富水地貌面上,北东东向,北西向等几组大型节理发育;三桥附近岩层走向呈强烈的弧形弯曲,加之北东向圣泉水断层及北北东向默灵山——阿哈寨断层挽近活动的影响,大型节理及其它新的裂隙系统更加发育。正是以这些断裂裂隙作为通道,西北部广大地貌面上的地下水得以向三桥一带运移。厚度不大的弱(非)岩溶层,受这些节理裂隙的切割使地下水具有越流能力。三桥谷地的钻孔资料表明,承压水不是由于揭穿了某一隔水顶板突然出现,而是在陡倾斜的同一含水层(白云岩、泥质白云岩等)中,随钻进深度增加其水头逐渐增高,涌水量不断变大;钻孔岩芯采取率低,然而却极少见到溶蚀现象。这些显然都是新构造裂隙承压水的重要特征^[7]。由于三桥一带距补给区近,其间又无巨厚的阻水带存在,因而其水头一般较高,已知最大值超过孔口21米。

贵阳盆地中,深部地下水的补给途径比较复杂。但从区域地质构造及地貌条件分析,无外乎有两种可能:其一,沿向斜两翼补给;其二,由北部及西部越流补给。由于贵阳向斜两翼甚陡,岩溶层出露狭窄,因而沿翼部补给是极其有限的。因此,最大的可能是北西部的越流补给。在通常情况下,岩溶地下水要穿越大套非岩溶层及规模较大的压性断裂是很困难的。但是,位于贵阳盆地北面及西面的北东向及北北东向压扭性断层,其挽近活动比较明显,与断层和非岩溶层走向近于直交的大型张裂及其它有成生联系的一套裂隙系统十分发育,这就为岩溶地下水越流提供了必要的通道。在浅部水压较小的情况下,岩溶地下水的越流量甚小,因而仍不失其阻水作用。但在较深的处所,在巨大水压的驱动下,这种越流作用则有可能进行得比较缓慢而充分。事实正是这样,沿北北东向默灵山——阿哈寨压扭性断层(挽近活动断层)带及其东西两盘施工的几个水文地质钻孔,都为承压自流水孔,钻孔涌水量随深度的增加而增大。如位于断层带上的304号孔,孔深396.37米,水头超过孔口5.8米,单位涌水量0.8升/秒·米,且随深度增加不断变化。贵阳盆地中深部地下水一般都具有承压现象,但尚未发现自流水孔,如若钻孔深部止水无误,这显然与长距离越流而使水头大量损失有关。

贵阳以东羊场司复向斜,地下水沿南东翼一系列与轴向平行的弱活动断裂补给,而于北西翼汪家大井一带呈枯流量达1181升/秒的岩溶大泉排泄。这里由挽近构造应力作用而强化了的地块破裂变形,为广大泉域内地下水向深部运移创造了比一般地区更为有利的条件。

(三)向斜轴部二次纵张裂隙、构造复合带密集发育的节理裂隙系统与区域性阻水网络相搭配,为深部岩溶裂隙水创造了良好的贮存条件。

深部地下水富集带的形成,必须以足够数量的贮水空间为前提。这实际上涉及到深岩溶问题。但无论如何,深部裂隙的存在与否必然是最核心的问题。

根据贵阳盆地中孔深300米以上的7个钻孔所处构造部位与富水情况分析,存在着这样一条特点:位于向斜轴部的110、301、205、206、207等5个钻孔富水性较好,涌水量10~15升/秒(图5),其中110号孔在409米的深度上岩溶仍较发育;而靠近向斜西翼的120、118钻孔,涌水量仅5~7升/秒,富水性较差。显而易见,这种富水程度的差异主要受向斜轴部二次纵张裂隙的发育所支配。众所周知,向斜轴部向下发生弯曲变形时,位于中和面以上的部分受挤压,产生压性裂隙;中和面以下(一定深度范围内)受拉伸,产生纵张裂隙(图6),因此,导致深部岩溶发育,形成深部岩溶水富集带。由于贵阳向斜东翼之非岩溶层及压性断层的阻隔,主要受西部及北部广大地区补给的深部地下水不能自由外泄,形成一个比较封闭的承压储水构造,因而深部地下水丰富。

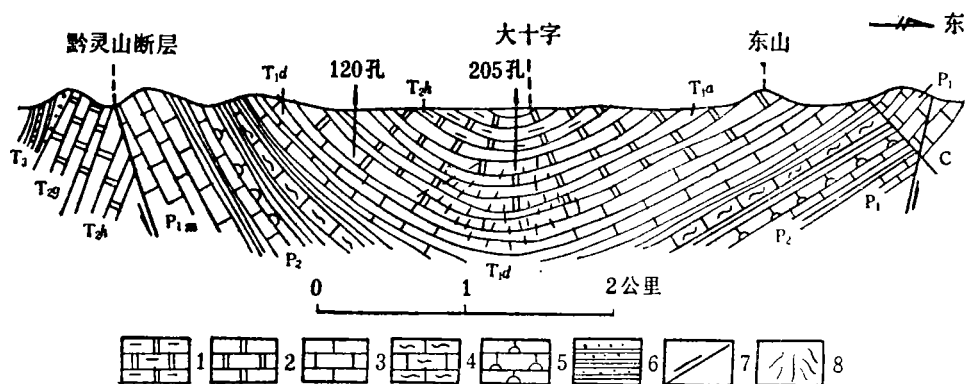


图6 贵阳向斜轴部深部地下水富集带形成条件示意图

Fig.6 Sketch showing formation condition of deep enrichment zone of underground water at the axis of Guiyang syncline

1. 泥质白云岩 2. 白云岩 3. 灰岩 4. 硅质岩 5. 燧石灰岩
6. 砂页岩 7. 断层 8. 向斜轴部中和面以下的纵张裂隙

三桥谷地中,与断裂挽近活动有关的节理裂隙系统是深部承压水的主要贮水介质。这里位于南北向构造与新华夏构造断裂的复合部位,加上岩石力学性质不同的白云岩与砂页岩接触,极易导致应力集中而使白云岩遭受强烈的压裂压碎,三桥附近几个大型采石场即是沿这种经受轻微风化的碎裂岩带建立的。地表上岩溶锥峰、洼地、漏斗及溶洞等岩溶形态十分发育,但在孔深200~300米以下的承压水钻孔中,溶蚀现象却极少见及。显然,由于这些裂隙系统形成时代较新,加之深部地下水交替缓慢,岩溶作用尚未充分进行,因而丰富的承压水是赋存于密集而细小的裂隙之中的。三桥以东非岩溶层及压性断裂的阻水作用,虽然因新的裂隙发育而受到影响,但对西部具有广大补给源的丰沛岩溶地下水而言,这种在天然状态下的越流量则是比较有限的。因此,三桥至阿哈寨一带仍然形成一个良好的承压储水构造,深部地下水资源十分丰富。

参 考 文 献

- [1] 北京大学地理系 地球资源卫星像片的地质解译 地质出版社 1978年
- [2] 陈祯培、王士天等 光学信息增强处理遥感图象在解译区域工程地质及水文地质问题中的应用 遥感地质 1981年第3期
- [3] 杨明德 论贵州岩溶水赋存的地貌规律性中国岩溶 1982年第2期
- [4] 胡海海、许贵森 论构造体系与地下水网络水文地质工程地质 1980年第3期
- [5] 刘国昌 地质力学在水文地质及工程地质方面的应用 地质出版社 1978年
- [6] 李兴中、李双岱等 论弱活动断裂在岩溶区航片水文地质判译中的作用 遥感地质 1981年第2期
- [7] 肖楠森 新构造裂隙水 水文地质工程地质 1981年第4期

HYDROGEOLOGIC CHARACTERISTICS OF KARST AREA IN GUIYANG

Li Xingzhong Xu Jixin Li Shuangdai

(NO.1 Hydrogeology Party, Bureau of Geology and
Mineral Resources of Guizhou Province)

Abstract

In Guiyang area, in the central part of the Guizhou Plateau, widely distributed are Permian and Triassic carbonate rocks deformed intensely by folding and faulting, and the karst planation surfaces of Tertiary age are well preserved, so that the hydrogeological conditions are very complicated. Through the interpretation of remote sensing images and analyses of existing hydrogeological data, the major characteristics of karst water occurrence in this area have been recognized as follows.

1. There are two orders of water-bearing geomorphological zones, controlled by the karst planation surfaces in the area at the altitudes of about 1150m and 1250m above sea level respectively, which are widely distributed along the dividing range where karst phenomena are concentrated.

2. Three patterns of karst groundwater networks are formed under the control of geologic structures namely the "+" shaped network, "×" shaped network and composite network.

3. Confined karst fissure water-bearing zones are formed at depth, as a result of the Neoid tectonic activity and the secondary longitudinally-tensile fracturing of the axial part of the syncline.

In addition, the occurrence of the karst fissure water-bearing zones at depth is also demonstrated from the aspects of groundwater recharge, movement and storage, on the basis of the analyses of the geomorphological, structural and neotectonic factors.