

文章编号: 1009-6248(2009) 03-0109-11

河西走廊深层地下水的赋存和开发

宏伟^{1,2}, 张举^{1,2}

(1. 甘肃省地矿局水文地质工程地质勘察院, 甘肃 张掖 734000;

2. 甘肃地质工程勘察院, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 根据已有研究成果和勘探资料, 将河西走廊深层地下水划分为早古生界、石炭系—二叠系、三叠系—侏罗系、白垩系—古近系、新近系—第四系下更新统 5 个层状含水岩组, 分别论述了不同含水层的地质构造、岩性、厚度、分布规律、埋藏特征、富水性、地热及水文地球化学特征。重点研究了新近系—第四系下更新统含水层的地质结构和水文地质条件, 自南而北将该含水层划分为山麓褶皱带、中央向斜带、单斜带三个贮水构造带。认为深层地下水的补给来源为上游祁连山区水文切割网基准面以下的基岩裂隙水, 在地形和重力作用下, 通过区域深大水资源循环系统, 将山区地下水输送至盆地深部, 但由于水循环深度达几千米甚至几十千米, 径流十分缓慢, 深部地下水的补给年龄可能大于 1000a, 并在白垩系、古近系和新近系中形成地热, 取水温度一般可达 60~70℃, 预计单井出水量 500~800 m³/d。

关键词: 深层地下水; 富水性; 水质; 补给来源; 地热; 河西走廊

中图分类号: P641.3

文献标识码: A

1 引言

河西走廊是指祁连山以北, 阿拉善和北山荒漠以南, 沿南东—北西方向展布的一个狭窄的平原地带, 绵延千里, 形似走廊。主要由 9 个大型的为构造—地貌条件所限的第四系盆地组成, 呈南北两列分布。南部 (中游) 为武威、张掖、酒泉、玉门—踏实和阿克塞 5 个盆地, 北部 (下游) 为民勤—潮水、金塔—花海、额济纳、安西—敦煌 4 个盆地; 中下游盆地自东向西沿石羊河、黑河、疏勒河三大内陆水系呈“串珠状”分布。半个多世纪以来, 不同部门特别是国土资源系统为着不同的目的先后对河西走廊第四系松散层 (Q₂₋₄) 中的地下水资源 (指浅层地下水)

进行了卓有成效的勘探研究, 取得了大量实用的科研成果, 基本查明了浅层地下水的补径排条件及含水层富水性和水化学特征 (甘肃省地矿局地质科学研究所, 1984; 陈隆亨等, 1992; 李文鹏等, 1999; 陈梦熊等, 2002; 甘肃省地质调查院, 2002)。近年来, 随着区域经济实力的持续增强引起的水资源开发利用程度的不断提高, 经济发展和人民生活对地下水的依赖程度愈来愈大, 但由于水资源总量有限, 常常引发流域上游与下游、工业与农业、工农业生产与人民生活之间的用水矛盾, 出现了区域性地下水位持续下降、泉水资源不断削减等水文地质问题, 并成为水质恶化、植被衰亡、草场退化乃至土地盐渍化、沙漠化等生态环境问题的主要原因 (范锡朋,

收稿日期: 2009-01-05; 修回日期: 2009-06-12

基金项目: 甘肃省国土资源厅重点基金项目 (2006HJ-1)、甘肃省地矿局基础研究项目 (2007SGH-2) 资助

作者简介: 丁宏伟 (1963-), 男, 甘肃张掖人, 国家注册土木 (岩土) 工程师, 水工环教授级高级工程师, 长期在河西走廊从事地下水勘查及水资源与环境地质研究评价工作, 已发表论文 30 余篇。通信地址: 734000, 甘肃省张掖市张火公路 203 号, 甘肃省地矿局水文地质工程地质勘察院; E-mail: zydhw8029@163.com。

1990; 丁宏伟等, 2002; 赵锁志, 2003)。因此, 查明并开发利用河西走廊深层地下水便被摆在了突出的位置, 也是落实温家宝总理: “决不能让民勤成为第二个罗布泊” 重要批示的有力举措。笔者根据在河西走廊从事地下水勘查与水土资源评价所掌握的资料, 结合前人研究结果和有限的石油勘探数据, 对河西走廊深层地下水的赋存条件和补给来源进行了总结探讨, 提出了地热田形成机理和开发利用意见。

2 深层含水层的划分

河西走廊深层地下水是指埋藏于盆地第四系松散层以下地层中的碎屑岩孔隙-裂隙和基岩裂隙中的层状水。其顶板埋藏深度北山山前一般为 50~150m, 南部祁连山山前为 200~800m, 盆地内一般为 600~1 200m。

按照区域地层沉积建造类型和地下水量、水质的特点, 并比照邻近山区 (祁连山、龙首山、合黎山、北山等) 普遍存在的层状含水层的特征, 大体将河西走廊各盆地存在的深层含水层划分为 5 组: 早古生界含水层 (P_z); 石炭系 (C) - 二叠系 (P) 含水层; 三叠系 (T) - 侏罗系 (J) 含水层; 白垩系 (K) - 古近系 (E) 含水层; 新近系 (N) - 第四系下更新统 (Q₁) 含水层。

3 深层含水层水文地质特征

3.1 早古生界含水层

该含水层为一套硅质火山岩建造、碎屑岩建造、碳酸岩盐建造与磨拉石建造的組合, 后经不同程度的变质, 零星分布于河西走廊北部山区和山麓地带。含水层主要岩性为变质细砂岩、千枚岩、板岩和页岩, 孔隙率很低, 但裂隙发育, 其表层普遍存在厚度不等的风化壳, 是地下水主要的赋存空间。地层顶板埋深最小约 5 500m (张掖盆地民参 2 井), 最大可能大于 10 000m (酒泉东盆地 4 号井)。据龙首山南麓钻孔资料, 这一地层含水层岩性为浅灰色变质砂岩, 孔隙-裂隙率小于 5%, 钻孔最大涌水量 608.16m³/d, 孔口水温 42℃, 单位涌水量 0.279m³/d·m, 渗透系数小于 0.15m/d, 水质为 Cl⁻-Na⁺ 类型, TDS 为 15.79g/L。但水头压力较大, 水汽瞬

喷出地面约 20m, 几分钟便不再自流, 说明含水层补给较弱, 基本为所谓的 “古封存水”。

3.2 石炭系—二叠系含水层

断续分布于河西走廊南盆地及祁连山北缘, 一般呈小型单斜或向斜式构造。在各盆地外围山区或盆地之间的构造山梁带, 这套碳酸盐岩建造及碎屑岩、碳酸盐岩-含煤建造含有淡到微咸的承压水。含水层岩性主要为石灰岩、白云质大理岩、薄层砂岩、砂砾岩、泥岩、硅质灰岩及煤层, 已揭露最大地层厚度 204m (张掖盆地), 地层完整致密, 裂隙不发育, 大多数地区富水性微弱, 单井涌水量一般小于 10m³/d, 最小仅 0.34m³/d, TDS 变化幅度较大, 小于 1.0g/L 到大于 20.0g/L 均有分布, 水质类型复杂。在山丹花草滩测定砂砾岩的孔隙-裂隙率为 1.4%~2.8%, 在山丹平坡煤矿测定砂岩的裂隙率为 0.6%~5.9%, 在酒泉盆地南缘测定白云质灰岩的裂隙率为 8%~9%。因而除了风化壳外, 石炭系—二叠系主要是构造裂隙水, 赋存有较高压力的承压水。

20 世纪 70 年代初对山丹大黄山北坡刘家庄一个由石炭系组成的单斜盆地进行了详细水文地质勘探 (图 1)。水源地含水层为中石炭统的石英细砾岩、粗砂岩及泥灰岩, 上覆为新近系的泥岩和第四系砂砾岩, 下伏为寒武系的变质岩。在单斜的倾伏部位含水层具有高出顶板 180~200m 的承压水头, 单位涌水量 3.456~97.632m³/d·m, 含水层渗透系数 17.83m/d, 导压系数 3 000~5 000m²/d, 显示出较强的富水性。据本次勘探相距 285m 两眼管井 (井径 250mm, 下入 168mm 钢管) 连续 342 天的抽水试验, 在降深 33.25~35.42m 时, 两眼井稳定出水量合计为 1 608.76m³/d, 孔口水温 18℃, 水质类型以 HCO₃⁻-Cl⁻-SO₄²⁻-Na⁺ 型为主, TDS 仅 0.688g/L, 为一理想的小型供水水源地 (甘肃省地矿局地质科学研究所, 1984)。

3.3 三叠系—侏罗系含水层

在河西走廊北部诸盆地中, 这套含水层分布较广 (以侏罗系为主), 为一套碎屑岩建造与成煤建造的組合, 厚度在不同地带差别较大, 由数十米到千米不等, 南北山前较厚, 走廊内部较薄或缺失。一般侏罗系中下部含水层为夹于泥岩、粉砂岩之间的薄层砂岩, 单层厚 1~2m, 裂隙率 10%~20%, 上

水盆地) 为特征; 埋藏 300m, 以深的含水层 TDS 一般大于 10.0 g/L (张掖盆地) 为特征, 水质类型亦较复杂。

白垩系含水层富水性均较差, 据 6 个钻孔统计, 水位降深 38.8~128.5m, 涌水量 4.15~8.88m³/d (甘肃省玉门石油管理局, 1974)。

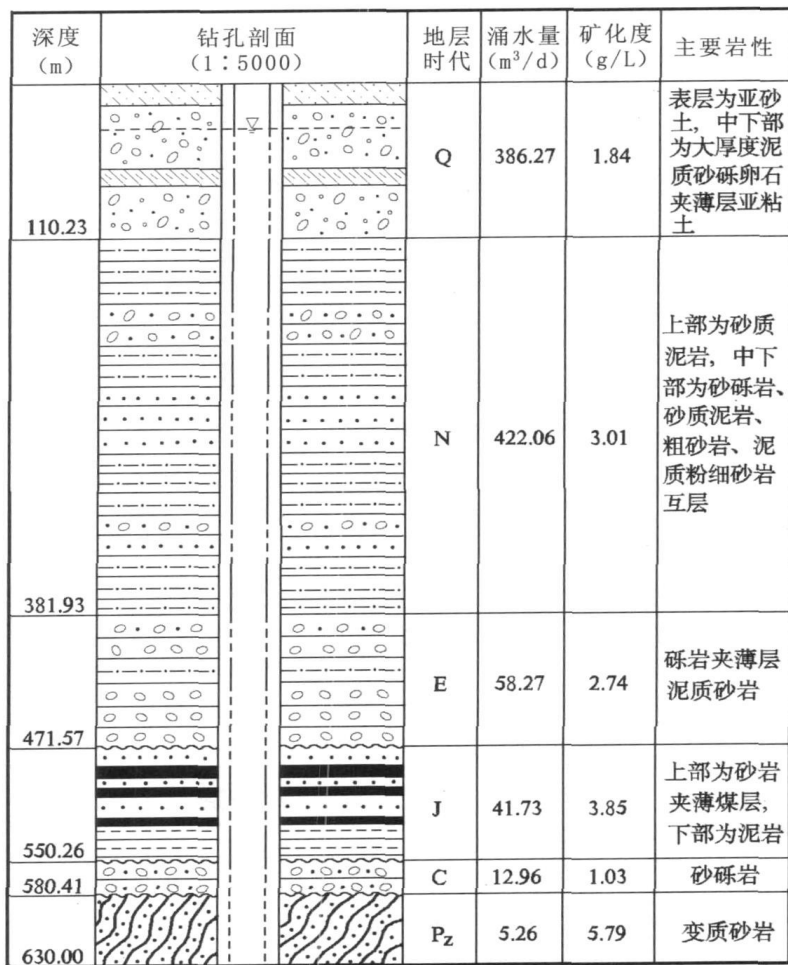


图 2 龙首山南麓某煤矿水文地质勘探剖面

Fig. 2 The coal hydrogeological section of southern Longshou mountain

古近系含水层特征与其下伏的白垩系相似, 二者属连续沉积地层。据玉门赤金盆地油田勘探资料, 古近系含水层埋深 1 782~2 500m, 承压水头埋深 120~234.8m。含水层岩性为桔红色、灰绿色中细砂岩, 孔隙-裂隙率为 7%~25%, 每 10~60m 含水层最大涌水量为 1.04~49.25m³/d, 矿化度 1.3~56.9g/L, 孔口水温 18~24℃。民勤-潮水盆地和安西-敦煌盆地也有个别钻孔揭穿古近系含水层, 多属咸水, 水量亦不大。据 20 世纪 80 年代在张掖盆地内施工的二眼石油参数孔 (民参 1、民参 2) 资料, 民参 1 井深 5 017m 尚未揭穿古近系, 通过重力、电测深和三维地震联合勘探, 地层最大厚度为 3 000~

3 500m, 岩性为大厚度的泥岩夹薄层粉细砂岩, 夹层厚度均小于 2m, 砂岩的裂隙率均小于 10% (自然电位与声速时差测井测定), 推测涌水量小于 10m³/d。

3.5 新近系—第四系下更新统含水层

新近系是河西走廊深层的地下淡水层系, 即所谓的疏勒河组, 构成河西走廊第四系盆地的基底 (甘肃省地矿局地质科学研究所, 1984)。岩性自下而上由桔红色、土黄色泥岩、砂岩递变为紫红色砂质泥岩、砂砾岩。根据在赤金盆地、酒泉盆地和安西-敦煌盆地系统研究, 自南而北可以把新近系划分为 3 个贮水构造带 (图 3)。

(1) 山麓褶皱带: 沿祁连山北麓分布, 宽 5~15km, 含水层系强烈褶皱并大面积出露地表。

在玉门青草湾地区, 上新统呈一短轴北斜(南翼 6°~8°, 北翼 60°~80°), 其中部厚层泥岩间的砂砾岩、砂岩中含有高压的自流水, 含水层埋藏于地

表下 100~500m、600~800m 和 1 100~1 800m, 水头高出地表 24.2~148.4m, 钻孔自流水量为 299~1 019m³/d, TDS 为 0.1~0.6g/L, 水质类型以 SO₄²⁻-HCO₃⁻-Na⁺-Mg²⁺ 型为主, 孔口水温 21~35℃。

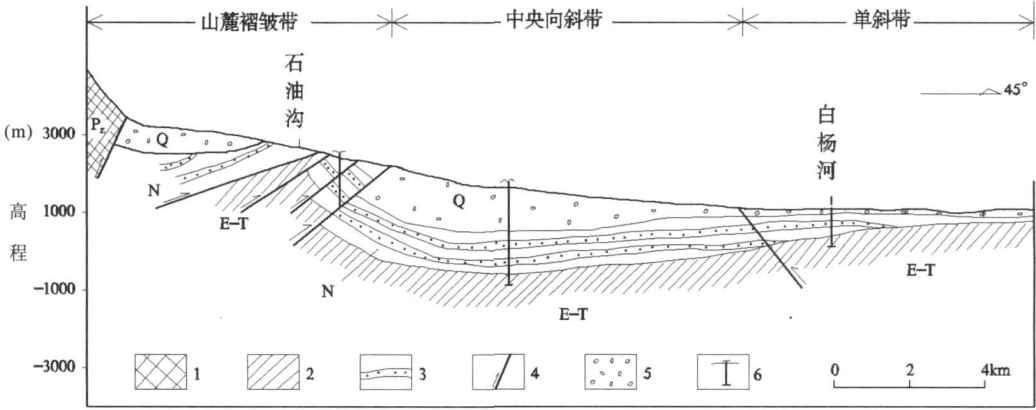


图 3 赤金盆地新近系水文地质剖面 (据范锡朋, 1990)

Fig. 3 Hydrogeological section of New Tertiary in Chijin basin

1. 早古生界; 2. 白垩系; 3. 新近系自流水层; 4. 断层; 5. 第四系; 6. 自涌孔

(2) 中央向斜带: 构造上是一两翼平缓的巨型向斜, 新近系伏于很厚的第四系之下, 其顶板埋深 600~1 200m, 底板埋深 1 400~1 200m, 厚度为 400~800m, 水层压力亦很大, 钻孔揭穿时, 常有自喷现象。

(3) 单斜带: 位于盆地北部, 含水层以 2°~4° 的倾角南倾。由于基底抬高, 至盆地北缘含水层逐渐接近地表或沿局部短轴背斜出露。在惠回堡、白杨河、南山等地, 含水层埋深 100~1 005m, 压力较小, 不能自喷。据白杨河钻孔揭露, 埋深 368~379m 的含水层, 最大涌水量为 155.52m³/d; 埋深 495~500m 的含水层, 水头压力增大, 最大涌水量为 241.92m³/d。但水质较好, 水质为 HCO₃⁻-Cl⁻-Na⁺ 型, TDS 仅 0.83~0.96g/L。

新近系自流水在北部的安西-敦煌盆地、金塔-花海盆地、额济纳盆地、民勤-潮水盆地均有所分布。如 20 世纪 80 年代中期在额济纳盆地施工的 156~160 号孔, 新近系自流水层埋藏深度 50~200m, 其中 156、157 孔自喷, 自流量为 40~700m³/d, 160 孔自流水 TDS 2.1g/L。据 1997 年在安西-敦煌盆地的东部小宛农场 S97-1 号孔勘探资料, 新近系含水层为砂砾岩, 位置 82.0~115.0m, 水位埋深 3.91m,

降深 5.39m 时, 涌水量为 737.0m³/d, TDS 为 1.09g/L, 孔口水温 12℃。据 1999 年在敦煌五敦乡施工的 DR1 号钻孔资料, 新近系厚度为 393m, 底界埋深 645m, 测井曲线形态与上覆第四系相比, 其电阻率下降 10~15Ω·m, 近似呈一直线, 上部岩性为紫红色粉砂岩和砂质泥岩, 下部为灰褐色砾岩和泥质粉砂岩。共有 3 个地段总厚约 80m 的砂岩、砾岩裂隙较发育, 具有良好的透水性和含水性, 降深 27.9m, 单井稳定涌水量为 624.3m³/d, TDS 为 2.84g/L (甘肃省地矿局第二水文地质工程地质队, 2000)。

第四系下更新统与新近系相伴而存在, 地层呈连续沉积。在接近祁连山山麓地带及河流相沉积区 (图 4), 为 360~600m 厚的洪积、冲积、冰水相砾岩, 向北过渡为河湖相或湖相砂岩和泥岩。中游盆地更新统砂砾岩含水层承压水头高出地表 0.12~6.10m, 抽水降深 4.13~10.54m, 涌水量为 241.06~1 639.87m³/d, 渗透系数为 3.55~18.11m/d, TDS 一般小于 1.0g/L, 孔口水温 8~12℃, 已接近正常地下水温度。而在下游盆地, 含水层已递变为薄层的中细砂, 虽然亦具有较高的承压水头 (花海玉 13 号孔, 水头+9.4m; 敦煌 D14 号

孔, 水头+ 7.4m), 但富水性普遍较差, TDS 较高, 水质亦差。如 D14 号孔, 抽水降深 7.88m, 涌水量为 $204.64\text{m}^3/\text{d}$, TDS 为 2.90g/L , 水化学类型以 $\text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^--\text{Na}^+-\text{Mg}^{2+}$ 型为主, 水温亦无异常。表 1

列出了不同部门在河西走廊施工的一些深孔的水文地质资料。由此可以看出第四系下更新统含水层的富水性往往大于新近系, 其水质亦相对较好, 且存在含水层埋藏越浅, 水量水质越大越好的赋存规律。

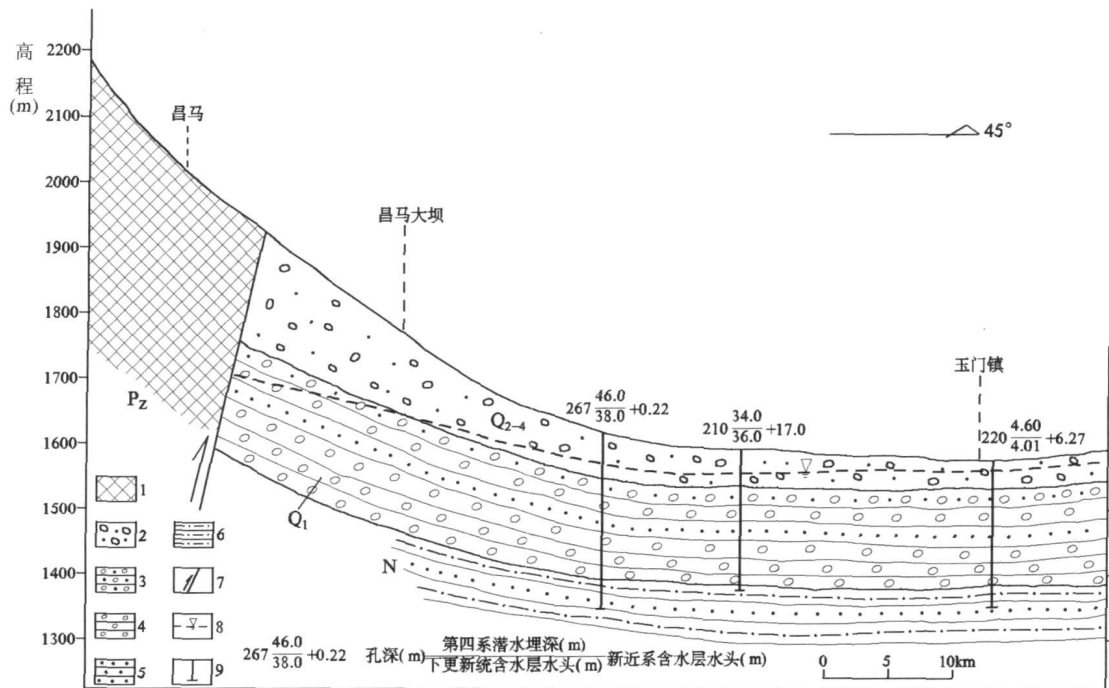


图 4 玉门-踏实盆地昌马-玉门镇水文地质剖面

Fig. 4 The hydrogeological section of Changma-Yumen Town in Yumen-Tashi basin

1. 早古生界; 2. 砂砾卵石; 3. 砂砾岩; 4. 砾岩; 5. 砂岩; 6. 砂质泥岩; 7. 断层; 8. 水位; 9. 钻孔

4 深层地下水的补给来源

河西走廊深层地下水的补给来源有两个方向, 第一是由大气降水形成的山区地下水通过区域水循环系统将水资源由山区输送于盆地, 这个水循环深度不是传统意义上的几十米和几百米, 而是上千米至几十千米。姚足金等通过多年对山区-盆地水资源(以昌马盆地为例)系统研究认为, 南部祁连山区形成的水资源, 大约 1/3 的水量由于山区水文切割网的排泄作用而转化为出山地表水, 其余 2/3 的水资源成为山区水文切割网基准面以下的地下径流量(姚足金等, 2001)。这些水量通过深大区域水循环系统, 将在地形和重力作用驱动下(即水往低处流的道理), 一是通过构造有利部位(相对导水或弱阻水断裂)直接补给走廊内深层地下水(玉门-踏实盆地等); 二是向下绕过位于山区与盆地之间的阻水断

裂带侧向流入盆地深部, 在不同基岩地层中有利于地下水赋存的空间富集, 形成深层地下水。据酒泉西盆地水文地质勘探成果, 盆地地下水总补给量为 $2.787 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$, 其中深层基岩承压水顶托补给和祁连山区基岩裂隙水的侧向流入补给达 $1.227 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$, 占盆地地下水总补给量的 44% (蒲晓斌等, 2007)。

近年来, 河西走廊部分地段地下水位出现大面积上升, 为此笔者及有关学者进行了以流域为单元的水环境同位素(^3H 、 ^2H 、 ^{18}O 、 ^{14}C)的研究, 发现张掖、武威、酒泉等地埋深大于 100~300m 的承压水与上覆潜水和出山河水的同位素特征并非一致, 而与上游山区基岩裂隙水(出露泉水、钻孔)具有相同的同位素特征, 二者属同一补给来源, 也说明河西走廊深层地下水与祁连山区地下水具有不可分割的亲缘关系(Forster C 等, 1988; 张光辉等, 2005; 冯嘉兴等, 2008; 丁宏伟, 2009 年)。

表 1 河西走廊新近系—第四系下更新统层间水部分钻探成果统计

Tab.1 New Tertiary-Down Pleistocene Series of Quaternary drilling results in the Hexi Corridor

位置	孔深 (m)	含 水 层			抽 水 试 验			
		地层 年代	岩 性	位 置 (m)	水位 (头) 埋深 (m)	降深 (m)	涌水量 (m ³ /d)	矿化度 (g/L)
玉门镇	149.74	N-Q ₁	砂砾岩	87.00~149.00	+ 6.21	4.73	240.80	0.43
红柳湾	293.00	Q ₁	泥质砂砾岩	211.20~290.00	211.2	3.92	695.35	
踏实乡	201.35	Q ₁	中粗砂岩	120.00~161.76	4.53	11.74	207.80	1.17
小宛农场	125.38	N-Q ₁	砂砾岩	82.00~115.00	3.91	5.39	737.10	1.09
碱墩子	356.56	Q ₁	中粗砂岩	150.00~181.70	+ 7.14	7.88	204.64	2.90
五墩乡	160.00	N	粉砂岩	252.00~393.00	26.50	27.90	624.30	2.84
西千佛洞	281.25	Q ₁	砂砾岩	8.62~281.25	188.62	17.38	809.57	0.56
蔡旗镇	405.93	N-Q ₁	泥质砂岩	307.50~389.00	+ 2.52	7.39	185.26	
上科庄	700.60	N	砂岩	297.00~423.00			368.57	
红沙梁	365.00	N-Q ₁	泥质砂岩	150.00~303.67	+ 12.36	15.82	279.63	9.26
谭家井	150.52	N	砂砾岩	100.00~150.52	4.36	7.84	109.88	3.87
花草滩	630.00	N	砂岩、砂砾岩	110.23~381.93	31.08	5.07	422.06	3.01
赛汗桃来	350.55	Q ₁	粉砂岩	257.00~247.00	+ 7.62	19.21	89.66	2.74
下河清	301.30	Q ₁	砂岩	125.00~304.33	+ 2.01	3.62	407.11	1.01
嘉峪关	120.00	N	泥质砂岩	104.00~120.00	27.07			
三合乡	367.00	N-Q ₁	砂岩	131.50~367.00	+ 0.82	16.54	505.07	2.11

第二个补给方向是深部层状含水层中的地下水与上覆第四系孔隙水通过构造有利部位(断层、风化破碎带、构造裂隙等)相互之间的越流补给。由于深层地下水的径流速度远逊于上覆第四系孔隙水,其含水层渗透系数一般小于 $10^{-2}\sim 10^{-3}$ m/d,并经过长期的构造-岩相控制而表现出较高的矿化程度(张光辉等, 2005),因而往往被认为是地质历史时期形成的“古封存水”(丁宏伟, 2005 年)。范锡朋应用地下水动力学的方法计算出石羊河流域地表下 136~160m 含水层的地下水全部交替一次需要 140~200a, 200~300 m 含水层的地下水全部交替一次需要 500~1 000a(甘肃省地矿局地质科学研究所, 1984)。笔者在黑河、疏勒河流域进行过相同的计算,得出埋深 300m 以下的地下水的补给年龄一般大于 1 000a(甘肃省地矿局第二水文地质工程地质队, 1990)。

已有的勘探资料证实,河西走廊埋藏较浅的两个含水层(即新近系—下更新统和中上更新统—全新统含水层)普遍存在水力联系,但取决于盆地含水层的构造与岩相特征,主要有两种情况,一种是水力联系很密切,有近乎统一的补给与径流过程(玉门-踏实盆地、酒泉盆地),在盆地南部两个含水

层的粗屑相带形成了统一的大厚度含水层;另一种是含水层之间为弱隔水层,直接的水力联系不密切,但可以依靠两个含水层之间的水头差产生自上而下(民勤-潮水盆地东部)或自下而上(张掖盆地、武威盆地)的穿越运动而发生联系。

5 深层水的开发利用

5.1 缺水区人饮开采

以上 5 个含水层组都不同程度的经历了构造变动,含水层系的空间分布受构造-岩相的长期控制,因而除个别石灰岩含水岩层以外,大部分地带水量、水质普遍较差,且埋藏较深,一般不具备大规模开发利用的条件。但在一些极其缺水地区(祁连山山前地下水深埋区的武威西营、永昌新城子、民乐洪水南古、张掖花寨安阳、酒泉金佛寺、西千佛洞等地)可考虑适当开发利用埋藏相对较浅、水量水质相对较好的新近系—第四系下更新统(特别是第四系下更新统)含水层,以逐步解决当地人饮生活水源,但事先应进行系统的水文地质、地球物理勘探工作,寻找勘探靶区,降低勘探风险(丁宏伟, 2002)。设计井深 500~1 000m,单井出水量 600~

1 200m³/d, TDS 小于 1g/L。

5.2 地热开发利用

5.2.1 地热形成的机理

前已述及,河西走廊盆地群是形成沉积盆地型地热田热储的有利场所,且普遍存在热水。据物探和钻探资料综合分析,白垩系(K)—古近系(E)含水层是区内主要的热储层,新近系(N)下部含水层亦赋存有热储层。盆地群上部普遍分布的第四系(Q)砂砾卵石、砂、亚砂土、亚黏土及新近系(N)疏勒河组砂岩、砂质泥岩、泥岩,稳定厚度 500~2 000m,是良好的盆地热储盖层;新近系(N)白杨河组、古近系(E)、白垩系(K)泥岩、砂岩、砂砾岩,稳定厚度 800~1 500m,组成层状热储层;热储层底部深度为 2

000~3 000m(杨桂芳等, 2000; 安永康等, 2005)。南部祁连山区甚为丰富的基岩裂隙水和碎屑岩孔隙-裂隙水的侧向下渗补给和盆地内不同含水层间的垂向越流补给是地下热水的主要补给来源,祁连山北缘深大断裂和盆地内分布的与区域构造相连、走向相近、性质相同、规模不等的次级构造断裂是地下水深循环良好的导水构造(丁宏伟, 2009)。热源主要靠大地热流的正常增温,而大地热流正常增温的热源来自下部地壳或上地幔(David Deming, 1992; 魏红军等, 2007)。来自祁连山区的地下水通过深大水循环系统逐步演变加热形成热水,热流沿断裂上升并传导和对流,并在热储层赋存,局部地带沿断裂上升至地表形成温泉(图 5)。

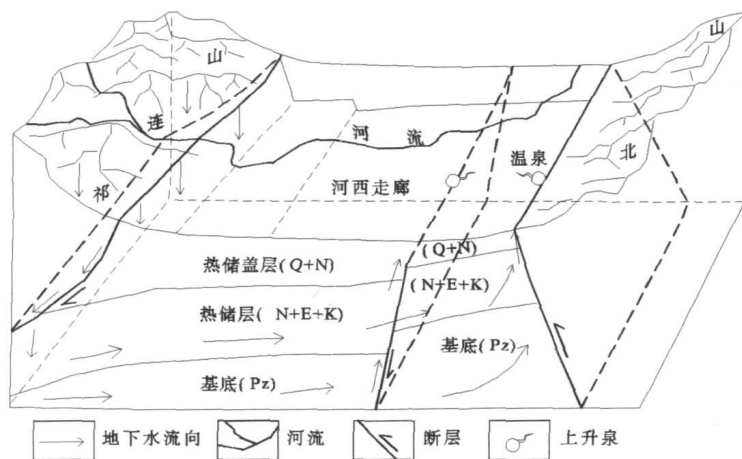


图 5 河西走廊传导型地热田模式图

Fig. 5 Conduction geothermal field model in the Hexi Corridor

5.2.2 地热的开发利用

据资料分析,分布于河西走廊的武威、金昌、张掖、酒泉、嘉峪关及敦煌等中心城市附近均有开发地热的有利条件,推测最佳热储深度在 1 200~2 800m。西部的酒泉、嘉峪关及敦煌市热储层埋深相对较浅,东部的武威市埋藏较深。宜采用钻井取水方式开发,设计孔深 2 300~3 000m,钻进至老基岩风化壳和基底 100~200m 即可终孔。取水温度一般可达 60~70℃,局部可能高达 70℃以上,预计单井出水量 500~800m³/d。据在酒泉盆地、安西-敦煌盆地和武威盆地地热勘探资料,孔深 1 600~2 350m,含水层为白垩系—新近系的砂岩和砂砾岩,井口水温为 58~65℃,单井水量 490~720m³/d,属中低温盆地传导型地热资源。在当今能源日趋紧张

的形势下,已证明热水具有医疗、洗浴、游泳、养殖、采暖等功效,属绿色环保可再生资源,在敦煌已产生了一定的社会、经济和环境效益。因此,地热是未来开发利用河西走廊深层地下水的主要方式,前景广阔。

6 结语

(1) 河西走廊深层地下水分布于第四系下更新统及以前的地层中,以层状的基岩裂隙水和碎屑岩孔隙-裂隙水的形式存在,共划分为 5 个含水层。这些含水岩层均经历了不同程度的构造变动,并长期为构造-岩相所控制,地下水补给能力有限,因而除石灰系—二叠系和局部与上覆浅层水联系密切的新

近系一下更新统含水层水量较大、水质较好外, 其他含水层的水量较小、水质较差。深层地下水的补给来源主要是上游祁连山区水文切割网基准面以下的山区地下水在地形和重力作用驱动下, 通过深大区域水循环系统将水资源由山区输送于盆地深部, 但由于循环深度较大, 地下径流速度十分缓慢, 补给微弱, 补给年龄大约在 1 000a 以上, 往往被认为是“古封存水”。

(2) 河西走廊盆地群是形成沉积盆地型地热田热储的有利场所, 且普遍存在热水, 热源主要靠大地热流的正常增温, 属中低温盆地传导型地热资源。第四系松散层及新近系疏勒河组, 稳定厚度 500~2 000m, 是良好的盆地热储盖层; 新近系白杨河组、古近系、白垩系稳定厚度 800~1 500m, 组成层状热储层; 热储层底部深度在 2 000~3 000m。南部祁连山区甚为丰富的基岩裂隙水和碎屑岩孔隙-裂隙水的侧向下渗补给和盆地内不同含水层间的垂向越流补给是地下热水的主要补给来源, 祁连山北缘深大断裂和盆地内分布的与区域构造相连的次级构造断裂是地下水深循环良好的导水构造。

(3) 河西走廊的中心城市附近均有开发地热的有利条件, 推测最佳热储深度在 1 200~2 800m, 西部的酒泉、嘉峪关及敦煌市热储层埋深相对较浅, 东部的武威市埋藏较深。宜采用钻井取水方式开发, 设计孔深 2 300~3 000m, 钻进至老基岩风化壳和基底 100~200m 即可终孔。取水温度一般可达 60~70℃, 局部可能高达 70℃以上, 预计单井出水量 500~800m³/d。在一些极其缺水地区(祁连山山前地下水深埋区) 可考虑适当开发利用埋藏相对较浅、水量水质相对较好的新近系—第四系下更新统含水层, 以逐步解决当地人饮生活水源。

参考文献 (References):

甘肃省地质矿产局地质科学研究所. 甘肃省河西走廊地下水分布规律与合理开发利用研究 [R]. 1984.

陈隆亨, 曲耀光. 河西地区土地资源及其合理开发利用 [M]. 北京: 地震出版社, 1992.

李文鹏, 郝受兵. 中国西北干旱盆地地下水形成演化模式及其意义 [J]. 水文地质工程地质, 1999, 26 (4): 28-32.

陈梦熊, 马凤山. 中国地下水资源与环境 [M]. 北京: 地震出版社, 2002.

甘肃省地质调查院. 河西走廊地下水勘查报告 [R]. 2002.

范锡朋. 西北干旱地区地下水资源特征及水资源开发引起的环境问题 [J]. 水文地质工程地质, 1990, 111 (1): 3-7, 112 (2): 12-16.

丁宏伟, 张荷生. 近 50 年来河西走廊地下水资源变化及对生态环境的影响 [J]. 自然资源学报, 2002, 17 (6): 691-697.

丁宏伟, 张举. 干旱区内陆平原地下水持续下降及引起的环境问题—以黑河干流地区为例 [J]. 水文地质工程地质, 2002, 29 (3): 71-74.

赵锁志. 西北地区水资源开发引起的生态环境问题 [J]. 西北地质, 2003, 36 (3): 92-96.

甘肃省地矿局水文地质工程地质勘察院. 甘肃省山丹县花草滩煤矿水文地质检查报告 [R]. 2005.

甘肃省玉石石油管理局. 河西走廊中东段石油勘探报告 [R]. 1974.

甘肃省地质局第二水文地质工程地质队. 甘肃省敦煌市五敦乡—伊塘湖地热田勘查报告 [R]. 2000.

姚足金, 陈德华, 姚洪. 干旱区高山—盆地系统深部水资源的赋存与开发—以河西走廊西段为例 [J]. 地球科学进展, 2001, 26 (3): 291-297.

蒲晓斌, 丁宏伟, 陈治国, 等. 酒泉西盆地地下水资源及开发利用潜力 [J]. 甘肃地质, 2007, 16 (4): 68-72.

张光辉, 聂振龙, 谢悦波, 等. 甘肃西部平原区地下水同位素特征及更新性 [J]. 地质通报, 2005, 24 (2): 149-155.

张光辉, 聂振龙, 王金哲, 等. 黑河流域水循环过程中地下水同位素特征及补给效应 [J]. 地球科学进展, 2005, 20 (5): 511-519.

冯嘉兴, 丁宏伟, 陈建生, 等. 张掖市甘州城区及外围地下水位上升原因分析 [J]. 干旱区研究, 2008, 25 (4): 12-17.

丁宏伟, 姚吉禄, 何江海. 张掖市地下水位上升区环境同位素特征及补给来源分析 [J]. 干旱区地理, 2009, 32 (1): 1-8.

丁宏伟, 张举. 河西走廊地下水水化学特征及其演化规律 [J]. 干旱区研究, 2005, 22 (1): 24-28.

甘肃省地矿局第二水文地质工程地质队, 长春地质学院. 石羊河流域平原区水资源管理模型研究 [R]. 1989.

甘肃省地矿局第二水文地质工程地质队. 甘肃省黑河干流中游地区地下水资源及其合理开发利用勘察 [R]. 1990.

丁宏伟, 姚兴荣, 闫成云, 等. 河西走廊祁连山山前缺水寻找水方向 [J]. 水文地质工程地质, 2002, 29 (6): 12-16.

杨桂芳, 彭红霞, 李长安, 等. 西北地区水热条件分析及生

态恢复对策 [J]. 西北地质, 2001, 34 (4): 9-15.

安永康, 孙知新, 李百祥. 甘肃省地热资源分布特征、开发现状与前景 [J]. 甘肃地质学报, 2005, 14 (2): 70-75.

魏红军, 李百祥. 张掖—民乐盆地地质构造特征与张掖市地热资源开发可行性分析 [J]. 甘肃地质, 2007, 16 (4): 73-76.

LI Wenpeng, HAO Aibing. Groundwater formation evolves mode and its meanings in the dry basin of the northwest in China [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1999, 26 (4): 28-32.

CHEN Mengxiong, MA Fengshan. Groundwater resources and the environment in China [M]. Seismological Press, Beijing, 2002.

FAN Xipeng. The characteristics of the groundwater resources and the environmental of water resources, the arid area in the Northwest of China [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1990, 112 (1): 3-7.

DING Hongwei, ZHANG Hesheng. Changes of groundwater resources in recent 50 years and their impact on ecological environment in Hexi Corridor [J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17 (6): 691-697.

DING Hongwei, ZHANG Ju. The problem caused by groundwater level continuous decline in the inland basins of arid area, Northwest China—an example in middle reaches of Heihe river basin [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2002, 29 (3): 71-74.

ZHAO Suozhi. Ecological Environmental Problems Resulting from Exploitation of Water Resources in Northwest China [J]. Northwestern Geology, 2003, 36 (3): 92-96.

YAO Zujin, CHEN Dehua, YAO Hong. Exploitation and Occurrence of hight mountain of deep water resources system in the Arid Zone [J]. Advance in Earth Sciences, 2001, 26 (3): 291-297.

PU Xiaobin, DING Hongwei, CHEN Zhiguo, et al. Groundwater resources and exploitation in West Jiuquan Basin [J]. Gansu Geology, 2007, 16 (4): 68-72.

Forster C, Smith L. Groundwater flow systems in mountainous. 1. Numerical modeling technique; 2. Controlling factors [J]. WRR, 1988, 24 (7): 999-

1023.

ZHANG Guanghui, NIE Zhenlong, XIE Yuebo, et al. Isotopic characteristics of groundwater and its renewal in the plain area of western Gansu [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24 (2): 149-155.

ZHANG Guanghui, NIE Zhenlong, WANG Jinzhe, et al. Isotopic characteristic and recharge effect of groundwater in the water circulation of Heihe River Basin [J]. Advance in Earth Sciences, 2005, 20 (5): 511-519.

FENG Jiaxing, DING Hongwei, CHEN Jiansheng, et al. Study on the Causes resulting in Groundwater Level Rise in Ganzhou City and Its Peripheral Regions [J]. Arid Zone Research, 2008, 25 (4): 12-17.

DING Hongwei, YAO Jilu, HE Jianghai. Environmental isotope characteristics and groundwater recharge in groundwater level rise area in Zhangye City [J]. Arid Land Geography, 2009, 32 (1): 1-8.

DING Hongwei, ZHANG Ju. Geochemical properties and evolution of groundwater beneath the Hexi corridor, Gansu Province [J]. Arid Zone Research, 2005, 22 (1): 24-28.

DING Hongwei, YAO Xingrong, YAN Chengyun, et al. Orientation of Water Seeking in Area of Water Shortage Located in Qilianshan Mountain Pediment of Hexi Corridor [J]. Hydrogeology and Engineering, 2002, 29 (6): 12-16.

DAVID Deming. Catastrophic release of heat and fluid in the Earth Crust—An example west in the Hexi Corridor [J]. Geology, 1992, 20 (1): 83-86.

YANG Guifang, PENG Hongxia, LI Changan, et al. Analysis of Hydrothermal Factors and Presentation of Ecological Recovery Measures in Northwest China [J]. Northwestern Geology, 2001, 34 (4): 9-15.

AN Yongkang, SUN Zhixin, LI Baixiang. Distribution and Exploitation of Geothermal Resources in Gansu Province [J]. Acta Geologica Gansu, 2005, 14 (2): 70-75.

WEI Hongjun, LI Baixiang. Characteristics of Geological Structures in Zhangye-Minle Basin and Feasibility Study of Geothermal Resources in Zhangye City [J]. Gansu Geology, 2007, 16 (4): 73-76.

Occurrence and Development of Deep Underground Water in Hexi Corridor

DING Hong-wei^{1,2}, ZHANG Ju^{1,2}

(1. *Institute of Hydrogeological and Engineering Geology, Gansu Province Bureau of Geology and Mineral Exploitation and Development, Zhangye 734000, China*; 2. *Geology Engineering Institute of Gansu Province, Zhangye 734000, China*)

Abstract: to the available achievements and exploration data, we divide underground water of Hexi corridor into five stratiform water-bearing rock group, which are Early Palaeozoic group, Carboniferous-Permian, Triassic-Jurassic, Cretaceous-old Tertiary, and new Tertiary-down pleistocene series of Quaternary, discussed different aquifers' geological structure, rock character, depth, regularities of distribution, bury character, water abundance, and hydrogeo-chemistry character for each. In addition, we analyzed the geological framework and hydrogeologic condition of the aquifers belong to new Tertiary-down Pleistocene series of Quaternary, divided the aquifer into piedmont fold zone, middle incline zone, and monocline zone three water-stored tectonic zone, from south to north. So we hold that the supply of the deep groundwater is from the water in the shelf crevice which under the hydrological cutting net of Qilianshan mountainous district. Because the effect of the topograph and the gravitation, according to the large and deep groundwater circulatory system, the ground water is transported to the deep part of the basin. However, because the water circulatory system's depth is more than thousands of meters even more dozens of kilometers, the ground water flows slowly, the age of the deep groundwater's supply may keep 800-1 000 years. In the Cretaceous, old Tertiary and new Tertiary-down pleistocene forms the geotherm, making the water temperature reach 60-70°C and the water output of a single well reach 500-800m³/d.

Key words: deep underground water ; water abundance ; water quality ; geological structure ; supply originator ; geo-heat ; Hexi corridor

《西北地质》知识产权声明

科技期刊是传播科技信息的重要载体,随着社会信息的蓬勃发展和计算机网络的普及应用,以及网络的快速、便捷、经济、高效,越来越多的科技人员则从网上寻求和获取信息。为了适应当前信息社会的发展和需求,《西北地质》现为纸质版—光盘版—网络版三位一体的出版模式,每期期刊除纸质版外均在《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》、《万方数据数字化期刊群》、《中文科技期刊数据库》、《台湾华艺(CEPS)中文电子期刊数据库》、《书生数字期刊》及国内外著名数据库等媒介以光盘版或网络版形式进行传播,凡本刊刊用的稿件及封面照片,其作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给。如作者不同意入编各种光盘版及网络版,或者不同意封面照片重复利用,请在来稿时特别声明,没有予以声明的,将视为同意。

凡本刊刊用的稿件,其杂志内容版权属《西北地质》编辑部所有,未经授权的任何单位和个人,不得以任何方式重新出版、制作光盘或者开办网上电子杂志。《西北地质》是国家新闻出版署批准的国内外公开发行的杂志,其杂志名称、刊号和条码在国内外是唯一的,凡是盗用《西北地质》杂志名称、刊号和条码的单位和个人,《西北地质》将追究其法律责任。