

甘肃省天水市中滩地热资源状况及开发利用前景分析

窦润吾 李锁成 魏林森 张家峰

(甘肃省地矿局第一地质矿产勘查院 甘肃天水 741020)

前 言

天水市是一座历史悠久的文化古城，位于甘肃省东南部，东接关中，西通兰州，南控巴蜀，北倚陇东，为甘、陕、川交通要道。近年来，随着西部大开发战略的实施和西陇海经济发展战略的确立，天水市将工业作为兴市产业的同时，依托丰厚的历史文化底蕴，又将旅游业作为主导产业而优先发展。天水市是地热资源相对丰富的地区，地热露头点多而广，因此大力勘查开发市域内的地热资源对推动旅游业的发展有十分重要的意义。

距离天水市北西北 18km 的北道区中滩乡张家沟——汪李坪地热异常区面积 0.7km²，其间 310 国道纵贯南北，毗邻陇海铁路。异常区依山傍水，地热开阔，气候宜人，交通便利。相传华夏始祖伏羲氏推演八卦圣地——卦台山便座落于附近。可谓人杰地灵，是消闲度假的理想去处，极具开发潜力。尽早完成中滩地热资源的勘探开发不仅可弥补天水市旅游区内地热开发点偏僻、社会效益不明显的缺陷，而且对加快秦安——天水市黄金旅游线路的开辟有其积极促进作用。

为此，2001 至 2003 年甘肃省地矿局第一地质矿产勘查院自筹资金开展了中滩地热的地质勘查工作，并依据《矿产资源勘查区块登记办法》取得了相应地段的探矿权。先后利用多种技术手段初步查明了地热田及其外围的地层岩性、构造、岩浆（火山）活动情况与地热异常的关系；结合钻探基本查明地热田的热储、盖层、导水和控热构造；初步查明了地热田内地温梯度和空间变化，计算了热储温度，分析推断了地热异常的成因；初步评价了地热资源储量，为地热田总体规划和进一步勘查打下了良好基础。

1 地热资源形成的地质背景

中滩地热异常区处在中纬度北温带半湿润区，气候湿润温和，冬无严寒，夏无酷暑，年均气温 10.7℃，相对湿度 68%，年降水量 550mm。地热异常区处于渭河三阳川盆地平原西北缘的渭河与其支流葫芦河的交汇部位，主要地貌类型为河谷阶地和丘陵。渭河在此地段发育在 I—IX 阶地，呈阶梯状排列于谷坡，除 II 级及其以下阶地有明显的阶面外，其它经水流侵蚀切割，形态不清，实际已属黄土丘陵的一部分。地热异常区表部为黄土和黄土状土所覆盖，仅在河谷谷坡两侧和冲沟见有零星的第三系和老基岩出露。另外在其外围西部见有华力西期花岗岩体出露。地质构造上处于祁连—北秦岭造山带的复合部位，对地热形成且具有重要控制意义的断裂构造有（图 1）：F₁ 断裂系，出露于渭河北岸谷坡的张家沟村以西，为一压扭性控热断裂，发育在下元古界牛头河群硅化大理岩中，挤压带宽度 4—6m，影响带宽度近百米，产状 315—325° ∠60—65°，在其

周边发育有多条次级断裂，产状与主断裂相同。F₁断裂切穿第三系泥岩，在阻挡深部地下水向

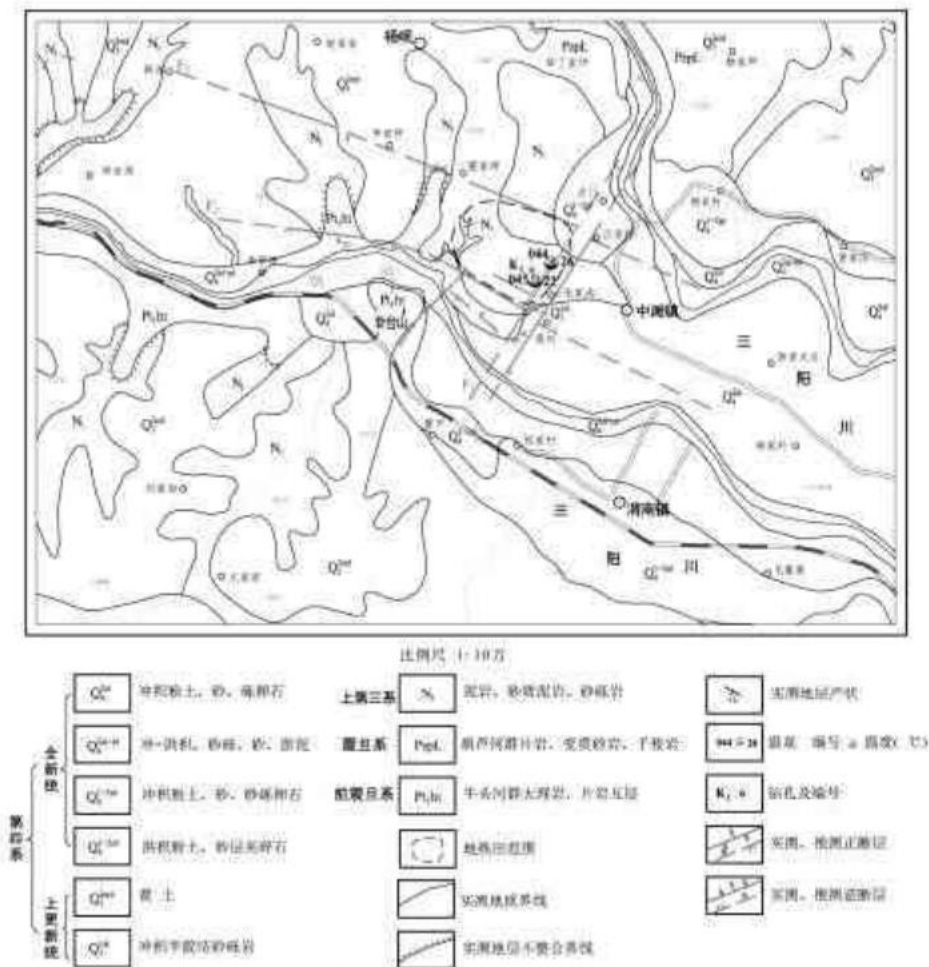


图1 中滩地热田地质图

东运移的同时，也形成深部热水的上升通道。由于它的存在和作用，沿断裂带走向有多处温泉出露。F₂断裂系为区域主干断裂的次级构造，是一多期活动动的复合断裂带；主断裂走向近 EW，倾向南西，经过三次改造，断裂带内岩石已发生脆性变形，所产生影响带宽度大于 200m。该断裂切割深度直达下部超基性侵入体，形成了既为上游热水的地下运移通道，又是南部隔水边界，是一主要的导水、导热断裂。F₃断裂系为南下元古界牛头河群（Pt₁ht）与北侧葫芦河群（PzpL）之间的分界断裂带，走向 NW，倾向 S。该断裂展布于汪李村西北，是脆性剪切变形中表现出的高角度脆性断裂。

综上所述，地热异常区内控热、导热的基本构造形态是 F₂、F₃ 位于鸳鸯——牛头河——花庙河——太白大断裂的主应力带上，受其影响，两断裂系所夹牛头河群大理岩在此形成了 1—2km 宽的碎裂岩带，岩体构造裂隙非常发育，为深部地下热水的贮存、运移提供了通道与空间，两断裂系切割深度已达深部超基性侵入体。F₁断裂为一阻水断裂，是挽近期活动的断层，它的存在阻碍了 F₂、F₃ 断裂之间的地下热水向东运移的同时，形成了热水向地表涌出的通道。

2 地热田地质条件

中滩地热田是受断裂控制的裂隙性 II—3 型地热田, 兼有层状热储和带状热储特征, 由于所处地貌单元地形起伏大且覆盖严重, 物化探方法因地形条件影响难予发挥作用, 故本地热田位置及范围的确定采用地温场地温测量的方法做出初步判断。从地温场测量结果显示, 中滩地热田南北以 F_2 、 F_3 断裂为界, 西至霍家坪, 东到 F_1 断裂, 长 1300m, 平均宽 1200—1250m, 面积约 1.6km²。

2.1 地热田水文地质条件

中滩地热田热流体主要赋存于下元古界牛头河群碎裂状硅化大理岩中, 热储呈单斜状发育, 为低温地热资源。根据钻探试验表明, 该地热田有上、下两层热储组成 (图 2), 第一层热储埋深在张家沟沿 F_1 断裂附近 35—150m, 其它地段随地形增高埋深相应增加; 热储温度 28—35℃, 厚度 200—400m, 盖层为上第三系和第四系。第二层热储以所夹 200—250m 巨厚绢云母片岩和断层糜棱岩为分隔层, 张沟 F_1 断裂一带埋深 600—620m, 汪李坪附的埋深大于 150m, 亦随地形起伏而变化, 热储体厚度 450—600m。利用 K—Mg、 SiO_2 、K—Na 水化学温标和地热增温梯度推算第二层热储体温度 73.65℃、94.16℃、202.81℃和 65.8℃ (表 1)。其中 K—Na 温标算得 200℃左右, 这代表地下热水在深循环过程中曾经达到过的温度。据此, 确定地热田第二层热储可靠温度应介于 65—70℃之间。

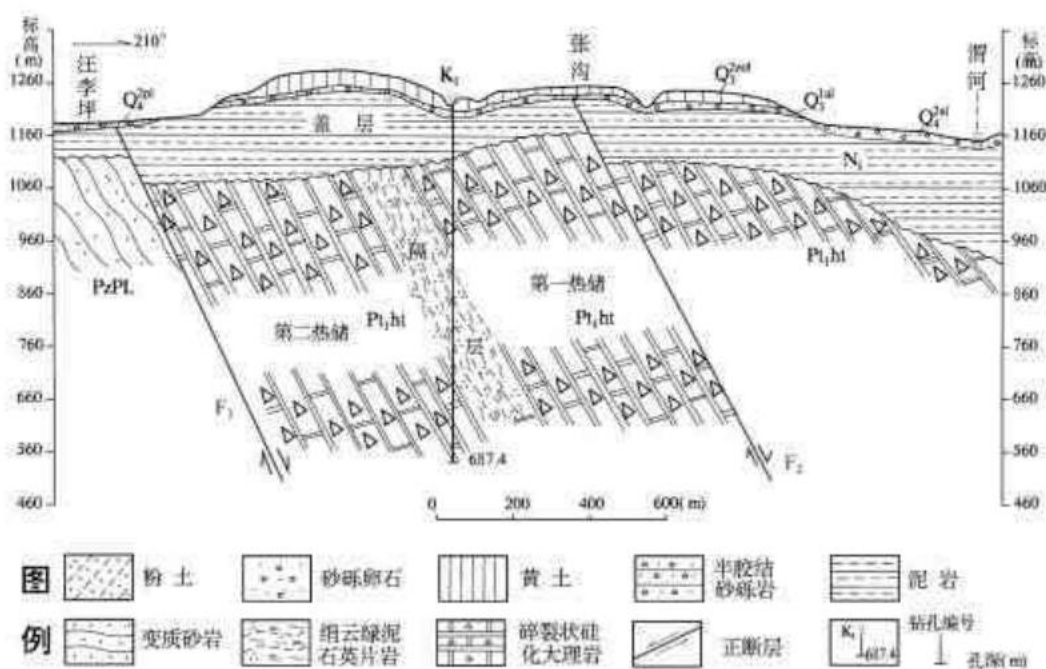


图2 中滩地热田热储埋藏条件剖面图

由碎裂状硅化大理岩形成的热储富水性良好, 且具微承压性。通过对第一层热储体抽水试验证明, 当水位降低 8m、20m 和 50m 时, 相应单井涌水量分别是 450m³/d、1400m³/d 和 2600m³/d。计算渗透系数 7.71m/d, 给水度 0.12。经对第二热储使用井中流速仪测量表明, 单井涌水量 2000—3000m³/d。分析三年来各热露头点的流量、温度及水化学组成资料看, 各温泉点和水井流量随

季节变化不明显，水化学组成稳定。水温随季节略有变动。氢氧同位素测试结果显示，中滩地热

表 1 中滩地热田热储温度计算结果表

项 目 取 样 点		离子含量 (mg/L)				计算热储温度 (℃)			
		K ⁺	Mg ⁺	Na ⁺	SiO ₂	钾镁 温标	钾钠 温标	二氧化硅 温标	热梯 度法
第二热储	K ₁ 钻孔	5.3	59.5	161.0	20.24	71.67	192.85	64.13	65.8
	汪李坪泉	7.4	69.7	186.0	38.38	76.52	204.08	90.58	/
		6.1	70.2	136.0	55.60	72.56	211.50	127.77	/
计算热储温度均值 (℃)						73.65	202.81	94.16	65.8

田热流体来源于大气降水和地表水体入渗的转化。入渗后的地表水由西、西北沿断裂带深部运移加热过程中至 F₁ 断裂受阻后溢出地表，循环年龄大于 40a。从现掌握的资料认为，中滩一带应为该地热系统的排泄区域，除少部分自然流出外，推测大部可能沿 F₁ 断裂向东北、西南方向径流排泄。从温泉和钻孔所采水样 SiO₂ 含量高说明地热田处于二氧化硅沉积带上，而水中 SiO₂ 含量偏高也是热储属酸性火成岩热流体排泄带主要标志之一。

2.2 地热田地球化学特征

地热田地下热水自然出露和人工揭露点集中分布在沿 F₁ 断裂一线。水化学类型单一，为 SO₄²⁻—HCO₃⁻—Cl⁻—Na⁺—Ca²⁺—Mg²⁺ 或 SO₄²⁻—Cl⁻—HCO₃⁻—Ca²⁺—Na⁺—Mg²⁺ 型，PH 值 7.5—7.93，溶解性总固体 1200—1500mg/L。水中除常规化学组分外，还含有偏硅酸、锶、锌、溴、碘、硒、锂、氩等十几种与人体健康有益的微量元素。

3 地下热水资源评价

根据控制地热流体的地质构造条件，将中滩地热田热储边界概化为如下：南北分别以 F₂ 断裂系和 F₃ 断裂构成隔水边界，西部为补给边界，东部属排泄边界，顶部无入渗补给。地热田内以巨厚状片岩将热储体一分为二，之间无越流补给或补给微弱的热热水系统。热源主要来自于火成岩或放射性元素的蜕变。大气降水和地表水在上游入渗后沿断裂带经长距离、长时间深循环加热后在中滩附近形成地热田热流体溢出带。

3.1 热储资源的计算

计算与评价利用《地热资源评价方法》(DZ40-85) 中的热储法和水文地质学算法。以热储法为主，辅以水文地质学算法。

热储法：第一层为温水热储，第二层为温热水热储，两者热能之和即为本地热田总的热资源量。地热资源量按下式计算。

$$Q_R = CAd(tr - tj)$$

式中：Q_R—地热资源量 (Kcal)

A—热储面积 (m²)

d—热储平均厚度 (m)

t_r —热储温度 (°C)

t_j —基准温度 (°C)

C —热储岩石和水的平均热容量 ($\text{kcal/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$), $C = \rho_c \cdot C_c(1 - \varphi) + \rho_w C_w \varphi$, 第一层热储为 $2.2550 \times 10^{-3} \text{kcal/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$, 第二层热储为 $3.5521 \times 10^{-3} \text{kcal/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

将所选参数代入上述公式中分别求得地热田第一层、第二层地热资源量, 分别为 8.88MW 和 269.70MW, 总计为 278.58MW。

水文地质算法: 根据所建第一、第二层热储水文地质概念模型, 利用达西公式: $Q = KIS$ 求得相应热储地下水径流量。

经计算, 第一层温水热储热流体径流量 (Q_1) 为 $4800 \text{m}^3/\text{d}$; 第二层温热水热储热流体径流量 (Q_2) 为 $12100 \text{m}^3/\text{d}$ 。两者之和 $Q = 16900 \text{m}^3/\text{d}$ 。

从以上计算可得到如下结论: 开采第一层温水热储, 每天可获取平均温度 30.65°C 的温水资源量 4800m^3 ; 开采第二层温热水热储, 每天可获得平均温度 65°C 以上的温热水资源量 12100m^3 。

3.2 热储资源量评价

用热储法计算出来的资源量不可能全部被开采出来, 只能开采出一部分。用 $R_E = Q_{wh}/Q_R$ 求得回收率。

公式中: R_E —回收率

Q_{wh} —开采出的热量

Q_R —埋藏在地下热储中的地热资源量

由于中滩地热尚处在普查阶段, 无试验性热水开采量资料, 而且回收率与开发设施、开发项目管理水平等密切相关。因此参照一些地区的经验值来推定。第一层热储回收率为 12%、第二层热储回收率为 10%。

据此, 热储法计算取得的热资源量为: $8.88 \times 12\% + 269.70 \times 10\% = 28.0356 \text{MW}$ 。按照《地热资源地质勘查规范》(GB11615—89) 的规定, 属中、低温中型地热田, 能利用储量的年限为 100a。

水文地质学算法只能从热载体—水量方面做了验证计算, 由于没有考虑热储岩石的热量, 计算结果存在偏小和与实际有一定差距的问题。但从两种方法计算结果对比, 用计算的断面径流量来提供热水比较符合实际。

3.3 地热流体质量评价

本次对地热流体质量评价根据掌握的水质资料和预期的利用, 主要包括地热流体质量评价, 地热流体开发利用温度评价和地热流体腐蚀性、结垢及侵蚀性评价等三方面的内容。由于热水中所含碘、溴、铯等六项指标均很小, 未能达到国标 (GB11615—89) 附录 D 有关热矿水矿物原料提取工业指标, 故对地热流体不做有用矿物组分的评价。

初步评价结果表明, 中滩地下热水达到了现行国标规定的医疗矿泉水和天然饮用矿泉水界限指标, 并且有关指标均在限量范围内。微量组份中尤以偏硅酸、锶、硒含量显著, 相反, 氟含量适中, 氡含量较低, 不含其它有害成分。这在我省已评价的医疗、饮用矿泉水中少见。除溶解性

总固体、硫酸盐等含量略高外，能够满足一般生活饮用水质量要求。热储所提供的温水和温热水，既符合农业灌溉、土壤增温、鱼类养殖等，又可用于洗浴、取暖以及工业流程。热水对管道的结垢和腐蚀程度低，对普通混凝土侵蚀性较弱。

4 地热田开发前景分析

4.1 中滩地热田发育于渭河深大断裂内，成热条件受两条东西走向和一条北东走向高角度断裂控制。地热田面积 1.6km^2 ，热储分为上下两层，第一层埋藏深度为 35—150m，厚度 200—400m，平均热储温度 30.65°C ，温水资源量为 $4800\text{m}^3/\text{d}$ ；第二层埋藏深度大于 150m，厚度大于 500m，热储温度 65— 70°C ，温热水资源量 $12100\text{m}^3/\text{d}$ 。地热田可供利热能为 28.03MW（第一层 1.06MW，第二层 26.97MW），属中型低温地热田，利用年限 100a。热水中富含多种微量元素，其中锶、硒、偏硅酸、溶解性总固体达到天然饮用矿泉水标准，并且具有医疗价值。水温能满足多用途、多功能开发需要。

4.2 地热田所在地天水市是甘肃省第二大城市，地理环境优美，历史悠久，有丰富的自然景观和历史文化遗产，是国家历史文化名城。近年来，在地热田附近建成有大规模的高新农业科技示范园和太空育种基地。由于有闻名遐尔的麦积山石窟风景区、人文始祖伏羲文化古迹和大地湾古人类遗址的映衬，旅游业呈现出快速发展的势头。市区内电子、机械等工业基础雄厚，在全国都占有一定的比重。因此，地热资源的开发将对旅游业及相关产业的发展有形成促进力。另外，地热田北靠陇海铁路，310 国道从中穿过，多条地方公路南北辐射，与周边省市相连。有国家电网 330KV 输电线路通过，新建 120KW 火力发电厂正在兴建中，可充分保证电力供应。

4.3 地热田处于渭河北岸河谷阶地，依山傍水，地形错落有致，环境优美，平均海拔 1100—1400m，平均气温 $10\text{—}11^\circ\text{C}$ ，相对湿度 68%，气候温和宜人，降水适中，适宜于休闲度假。

4.4 经初步地热田开发技术经济评价认为，天水市开发地热具有得天独厚的条件，相关设施建成后给投资者带来显著的利益回报，预计 5 年左右收回全部投资。同时对增加地方财政收入，拉动相关产业发展有重要的贡献，必然得到天水市政府和社会各界的大力支持。

