

下第三系是由各种火山喷出物形成，出露于念青唐古拉山脉东南山麓（地热田的西北部）和藏布曲右岸的唐山山脉西部山麓。很多羊八井地热田的钻井已确认分布在下第三系。在地热田西北部与喜山期花岗岩呈不整合覆盖接触，在地热田东南部与燕山期花岗岩呈不整合覆盖接触。

4) 第四纪沉积物

第四纪沉积物主要是由砾、砂、泥等组成的冰河沉积物。冰河沉积物的粒径差异较大，属于砾构成的无层理岩相。由于砾没被淘汰，有的表面仍留有擦痕。

(2) 断裂构造

羊八井地区的低角度念青唐古拉韧性剪切带(NSZ)和高角度正断层群是形成地热储层的重要断裂构造。

1) 念青唐古拉韧性剪切带(NSZ)

根据 INDEPTH 的地震波解析，在羊八井地下 1,000~1,500m 附近，存在北东走向、向南东约 30 度倾斜的折射波速度构造急变面。该急变面在剪切带具有正断层的性质，被命名为「念青唐古拉韧性剪切带 (NSZ)」。NSZ 的厚度认为有数公里。羊八井地区的 CJZK3001、ZK4001、ZK4002 及 ZK352 井出现的糜棱岩分布区与 NSZ 相当，而 NSZ 的深度和倾斜度与该地区深部热储层的深度、倾斜度基本一致（图 2-7-2、4）。但是，NSZ 是在 8~5 Ma 前的韧性剪切带中形成的糜棱岩，而不是脆性的破坏，所以仅此很难成为形成热储层的裂隙群。另一方面，羊八井地区分布着多数从 5 Ma 到现在活动的高角度正断层。可能 NSZ 上面的易滑动部分与高角度正断层交叉部位发育的裂隙群是形成深部热储层的原因。而且，推断该高角度正断层到达的更深部位是来自于深部热源附近地热流体的上升通道。

2) 根据地表调查查明的断层

根据地表调查查明的断层有 10 条 (F1~F10) (图 2-7-3 (1)、(2))。断层分 3 个系统 (NNE-SSW 系，NE-SW 系，N-S 系~NNW-SSE 系)，且都穿过第四系。沿着这些断层，根据喷气、变质带的有无，热水蚀变的程度等来评价地热流体的流动程度。F2 被评价为热水流动活跃的断层，其西北侧的透水性可能比较高。

3) 用物理探测法推测断层

断层 F2 显示有电阻率结构及重力结构。通过 MT 探测的二维解析可以确定，硫黄村附近显著的 NNE-SSW 系电阻率不连续线反映了断层 F2 的存在（图 2-7-3 (1)、(2)）。推断这种电阻率不连续线从地表附近一直延伸到深度 1700 m 的地方，并且形成了西北侧高电阻率区域和东南侧低电阻率区域的分界线。根据重力探测的结果发现，硫黄村附近 NNE-SSW 方向的重力不连续线也显示了断层 F2 的存在。对于断层 F6，由于沿 F6 有硅化带和明矾石带分布，说明地热流体有可能沿 F6 流动（图 2-7-3 (1)、(2)）。

2-7-2 热源

根据 INDEPTH 的共通中间点反射法地震探测等的调查结果，羊八井地区地下 14~18km 的深度为存在的部分熔融体的顶部（图 2-7-4）。熔融体的岩浆是热源的根源。羊八井地热田热源的观点分为以下 2 种：

①假定地下 14km 处熔融体温度是 700℃，从该深度往上到地下 6 km 左右，热通过热传导

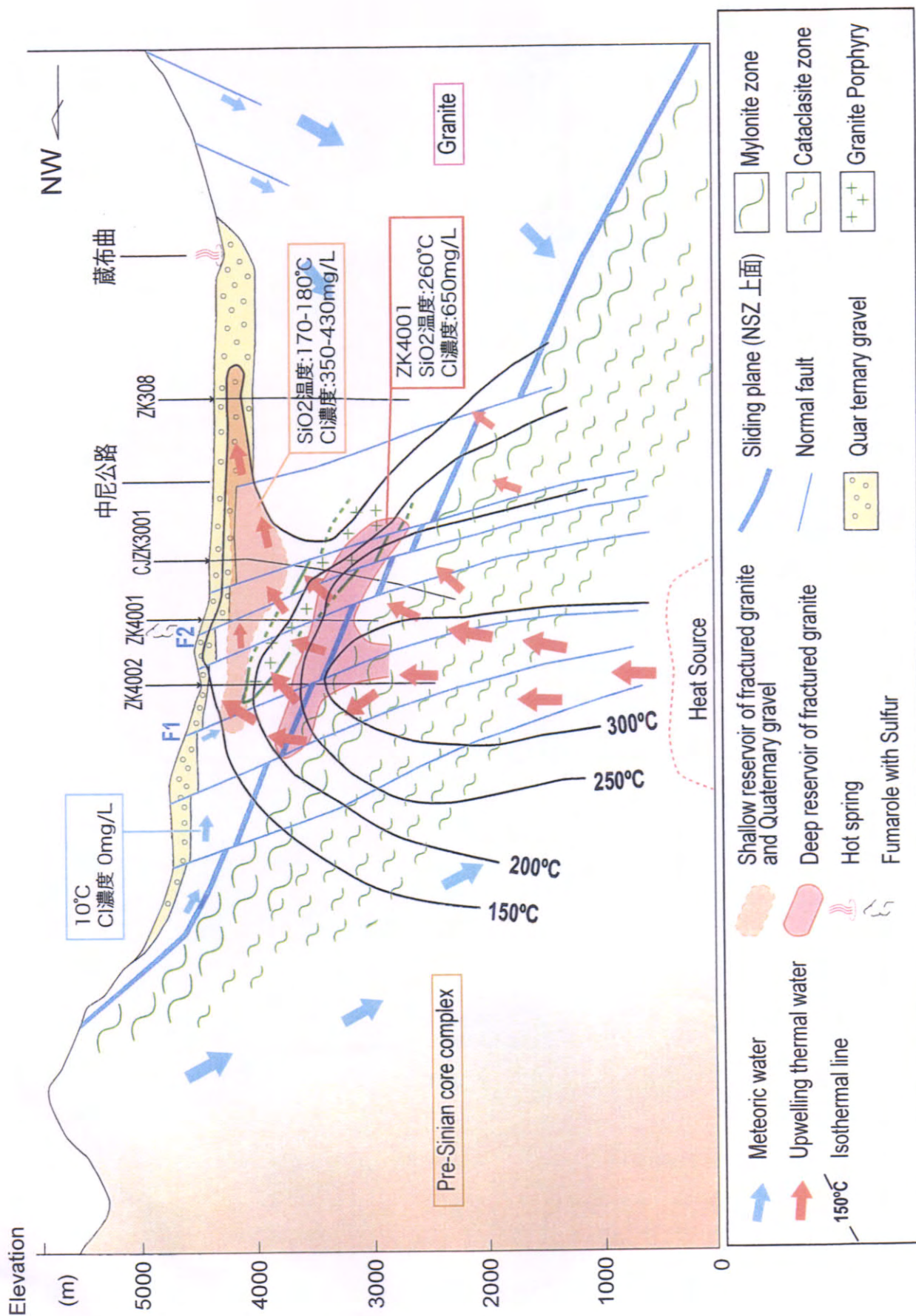


图 2—7—2 羊八井地热田水热系统概念模型图

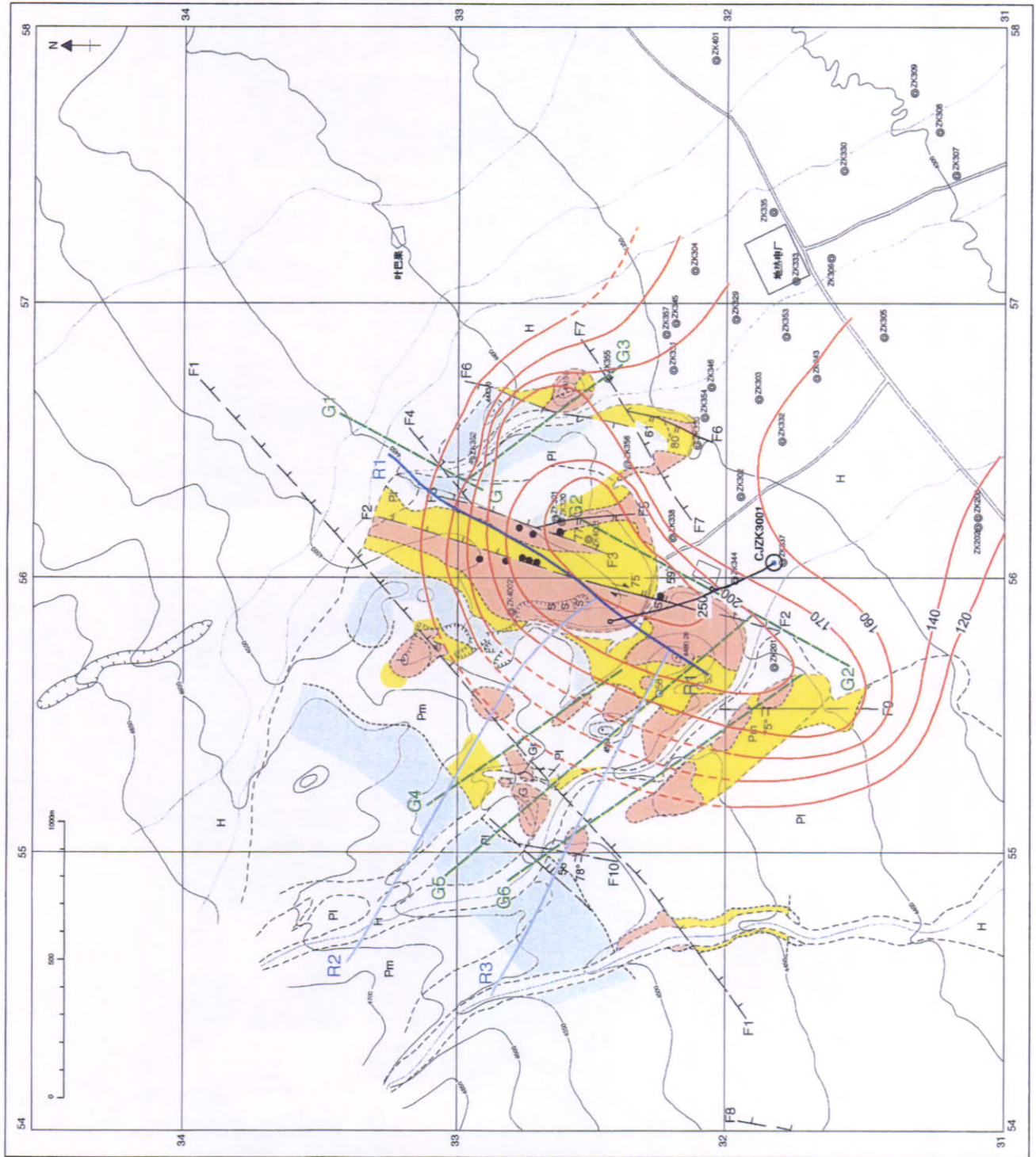


图 2-7-3 (1) 羊八井地热田调查综合图 (1)

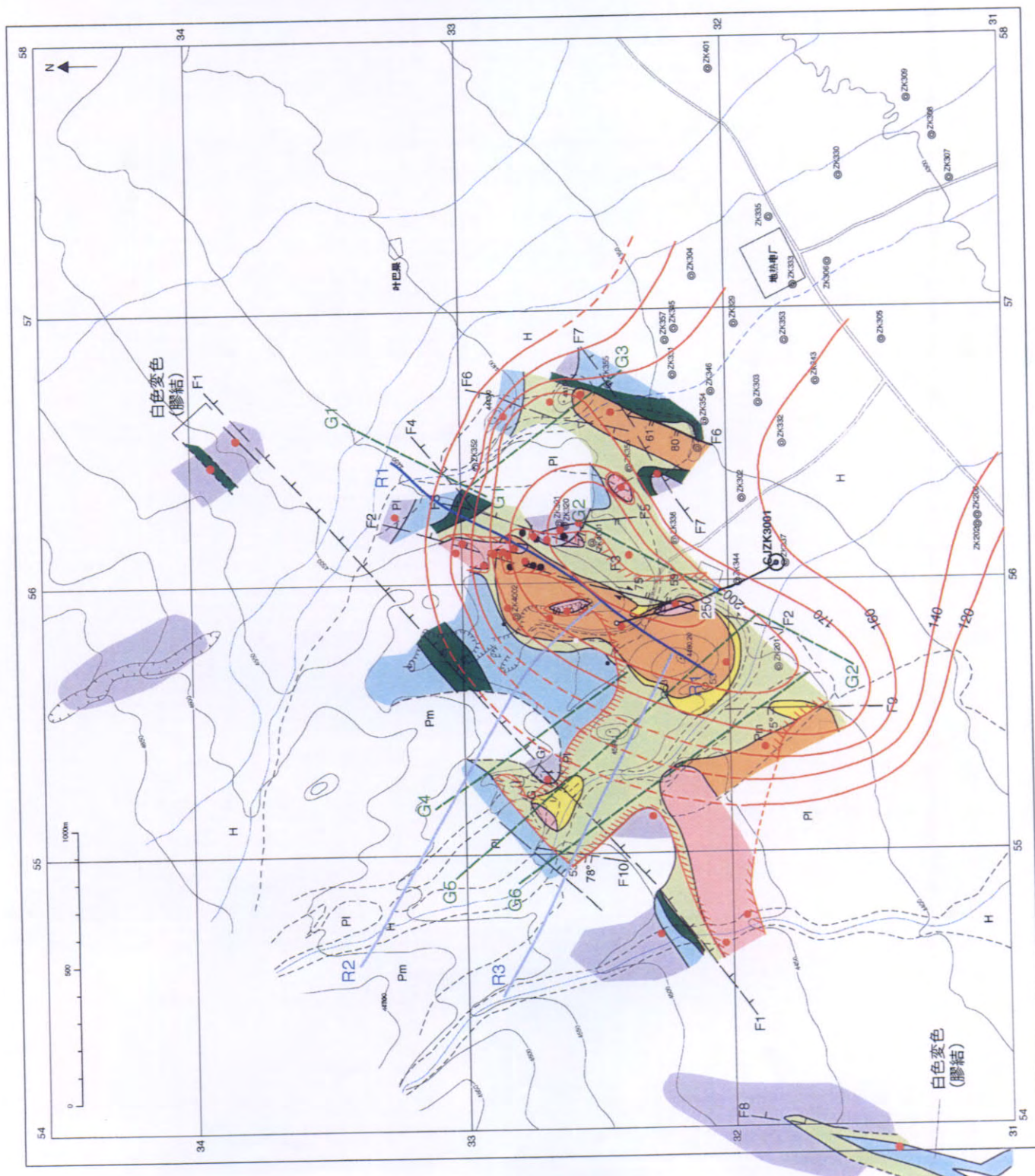


图 2-7-3 (2) 羊八井地热田调查综合图 (2)

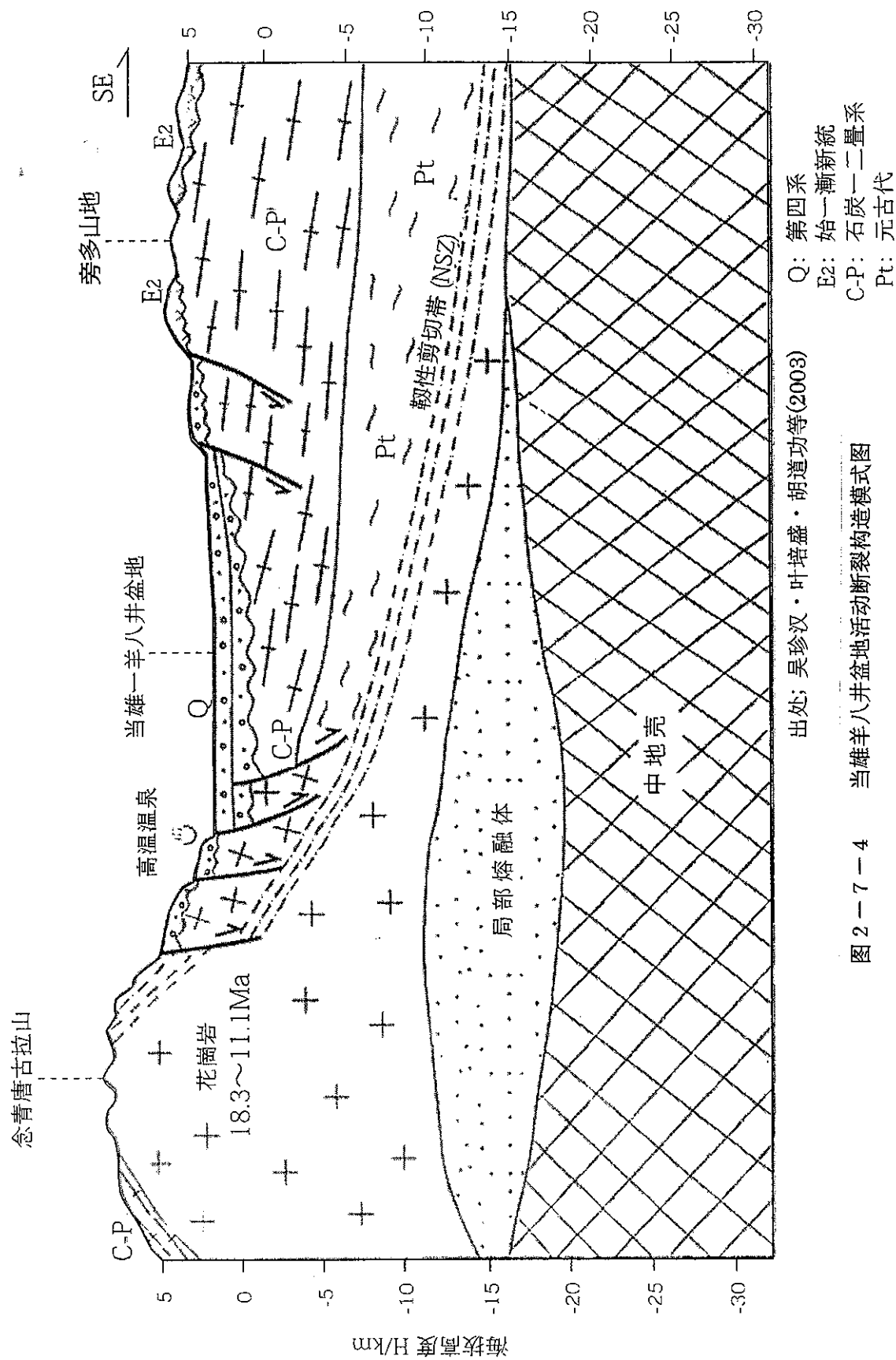


图 2-7-4 当雄羊八井盆地活动断裂构造模式图

传递后,在地下 6 km 深处的温度变为大约 300℃。在地下 6 km 以上,流体发生对流,即使在地下约 2 km 处温度也几乎为 300℃。

- ②从地下 14~18km 的深度岩浆局部上升,在羊八井地下 6 km 左右的地方形成岩浆房,现在存在的是冷却、凝结了的 400℃左右的高温岩体。这便是羊八井的直接热源,在此热源的上部发生热水对流。

2-7-3 地下温度分布

羊八井地区钻了很多浅部井,浅部的温度分布较明确。海拔在 3,800m 的高温区域从硫黄村西北地区经 ZK4001、ZK320 井,向 NE-SW 方向延伸 1.5km 左右。中心地区的温度在 250℃以上,断层 F2 所在的地区温度最高(图 2-7-3 (1)、(2))。根据温度分布情况,高温地热流体上升地域推测为沿断层 F2 向 NNE-SSW 方向或 NE-SW 方向延伸的地区。

本地区的深部井有 ZK308(1,726.41m)、ZK4001(1,459.09m)、ZK4002(2,006.8m)和 CJZK3001(2,254.5m)。除 ZK308 井在南部地区,其它均是在北部地区进行的钻探。本地区实测到的最高温度是位于最北的 ZK4002 井,其温度为 329.8℃(深度 1,850m)。ZK4002 井显示了在深度大约 1,000m 以下为 300℃以上的高温。ZK4001 井和 CJZK3001 井的温度均没达到 300℃,最高温度分别为 251.02℃(深度 1,125m)和 270.87℃(深度 1,404m)。以上两井与 ZK4002 井的距离大约有 400m,仅在 ZK4002 井的深部为 300℃以上的高温区域。另一方面,位于最南面的 ZK308 井在深部 1,700m 处的温度很低,在 150℃以下。这显示了羊八井地区主要流体上升区域在北部(图 2-7-2)。

2-7-4 地球化学模型

在羊八井地热热储层中,深部地热流体的性质与浅部的有所不同。深部热水处于高温状态下,C1 浓度较高,是从深部直接上升的流体。浅部热水则是由深部热水与地表水(或是地表附近滞留的温泉水)混合而形成的。综上所述(图 2-7-2),羊八井地区的地热热水是从羊八井周边地区渗透到地下深部的河川水和雨水被深部热源加热后形成的深部热水。深部热水沿着与羊八井北部地下深处的高倾角正断层相伴的高渗透率带上升,在 NSZ 上部易滑动部位与高倾角正断层相交结的深度 1,000~1,300m 附近低角度扩展形成了深部热储层。深部热水从深部热储层又继续沿着高倾角的正断层上升,在上升途中与从周边流入的地表水或温泉水混合形成了浅部热水。浅部热水沿着地貌和流体的受压方向,在浅部形成了由北部向南部流动的浅部热储层。

2-7-5 地热系统概念模型

图 2-7-2 显示了本地区地热系统概念模型。

羊八井地热田位于沿念青唐古拉山脉南麓和唐山山脉北麓由伸展性断层形成的羊八井-当雄盆地。

地表附近分布着较薄的第四系砂砾层和下第三系火成岩类岩层,以下为花岗岩类地层。花岗岩地层中存在着大约 8~5Ma 时期形成的走向东北、向东南倾斜 30 度的念青唐古拉韧性剪切带(NSZ),北部的深部井贯穿了相当于 NSZ 的糜棱岩带。另一方面,在地表能观测到的高倾角正断层群伴随着附近的蚀变带和喷气,成为来自地下深部流体的通路。

在本地区地下 14~18km 深处存在着岩浆。另一方面,在 ZK4002 井深度 1,000m 以下为

300℃以上的高温区域(深度为 1,850m 时, 温度最高达 329.8℃), 在地壳浅部的某些地方可能有岩浆房形成。

在本地区由地下热源加热的高温流体从 ZK4002 井深部上升, 在 NSZ 附近高透水性发育区域形成了 Cl 浓度为 650mg/l, 硅岩温度为 260℃的深部热储层。而且, 流体从 NSZ 和高倾角正断层群交叉部位上升, 其中一部分与地表水混合形成了大规模的酸性蚀变带和硅华等。在北部地区由于地表水和深部热水混合, 形成了 Cl 浓度为 350-430mg/l, 硅岩温度为 170-180℃的浅部热储层流体。浅部热储层流体向东南部方面流动形成了 150℃左右的浅部热储层。

2-7-6 地热数据库的建立和使用

羊八井地区从 20 世纪 70 年代到现在进行了各种调查, 积累了许多调查数据。而且随着地热发电站的运行各种数据也非常多。但是这些数据只被整理为档案资料, 在分析地热热储层结构和评价热储层时很难被利用, 因此将来需要积累更多的数据。为此, 本开发调查计划利用计算机建立了地热数据库, 利用此数据库进行地热系统模型探讨和热储层评价工作。数据库软件是由日本的地热技术开发株式会社开发, 使用了在日本也被广泛应用的 G★BASE。

2-8 地热资源量评价

2-8-1 资源量评价的方法

在开发前天然状态下的地热热储层中, 热源加热产生的浮力驱使自然对流形成, 从而把地下深部的热量运送上来。而且, 由于生产蒸汽、回灌热水引起了质量的变化, 同时也引起了压力与流动的变化, 结果导致热储层内压力与温度的变化。在对地热资源妥善的开发计划探讨时, 用适当的定量化数值模型对地下的变化进行模拟解析是必不可少的。

在此, 通过下述 3 个阶段的 3 维模拟解析对羊八井地热田进行最优开发计划的探讨。

- ① 天然状态模拟解析
- ② 历史匹配模拟解析
- ③ 性状预测模拟解析

天然状态模拟解析是为了再现开发前热储层内发育的自然对流, 确定预测解析起点的初始状态。因为自然对流的发育状况反映热储层内外的温度分布, 本次通过 3 维热储层模拟再现了开发前的温度分布。据此, 可以对热储层内的 3 维透水性分布等进行定量推测。

历史匹配是利用天然状态下模拟解析得到的 3 维数值模型, 随着生产、回灌, 再现热储层压力、温度的变化, 并确定预测解析的起点。在解析过程中, 热储层内的 3 维透水性分布等更加细密化。本次根据羊八井发电记录推测的蒸汽生产量代入模型, 再现了热储层压力的历时变化, 以此模拟解析结果与本地区已经知道的现象和定性分析相比较来确定是否一致。

性状预测模拟是把根据天然状态模拟解析、历史匹配法细密化了的 3 维模型与井内流动模型共同来预测各种开发计划下压力、温度的变化及蒸汽生产量的变化。据此, 可使各种开发计划的优劣定量化。在此, 对在现有开发继续的情况、ZK4001 等深部井运转的情况, 还有增强发电输出能力的情况等各种开发计划, 热储层温度、压力及各生产井蒸汽生产能力的历时变化和追加井时必要的时期与井孔数等进行了解析。