

## 2-8 地热资源量评价

## 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知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。

数值模拟解析的概略与流程见图 2-8-1。作为解析基础的 3 维数值模型建立的流程见图 2-8-2。

### 2-8-2 地热热储层的数值模型

#### (1) 解析范围 网格分割 (图 2-8-3、图 2-8-4)

为了使流体流动方向上的误差最小，将地域的最大流动方向和解析范围的坐标轴相一致，坐标轴设定为 N30° W。

对于挟在山脉（分水岭）之间的地域，认为没有穿越山脉流动的大规模流体。因此，西

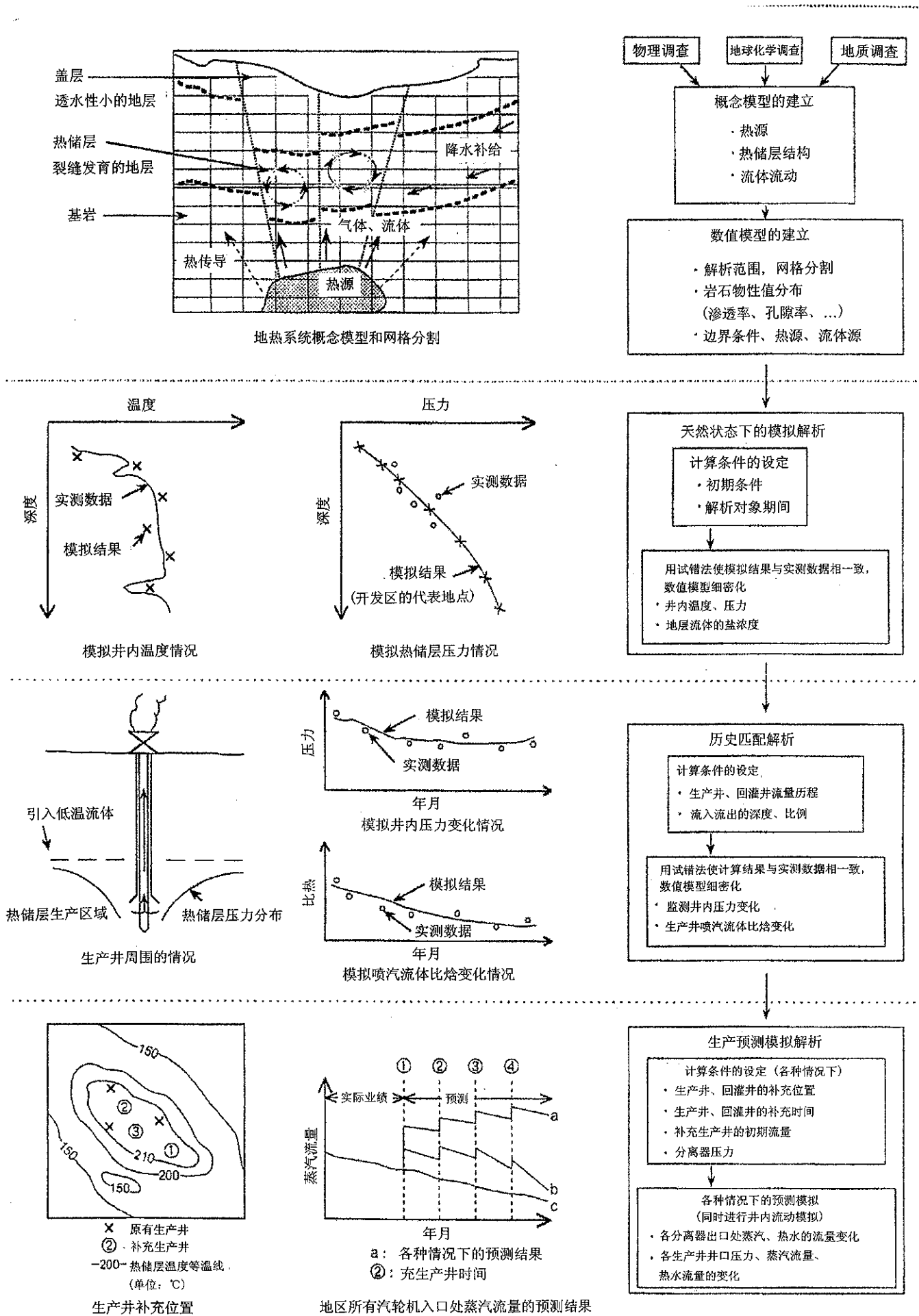


图 2-8-1 数值模拟解析的概略流程

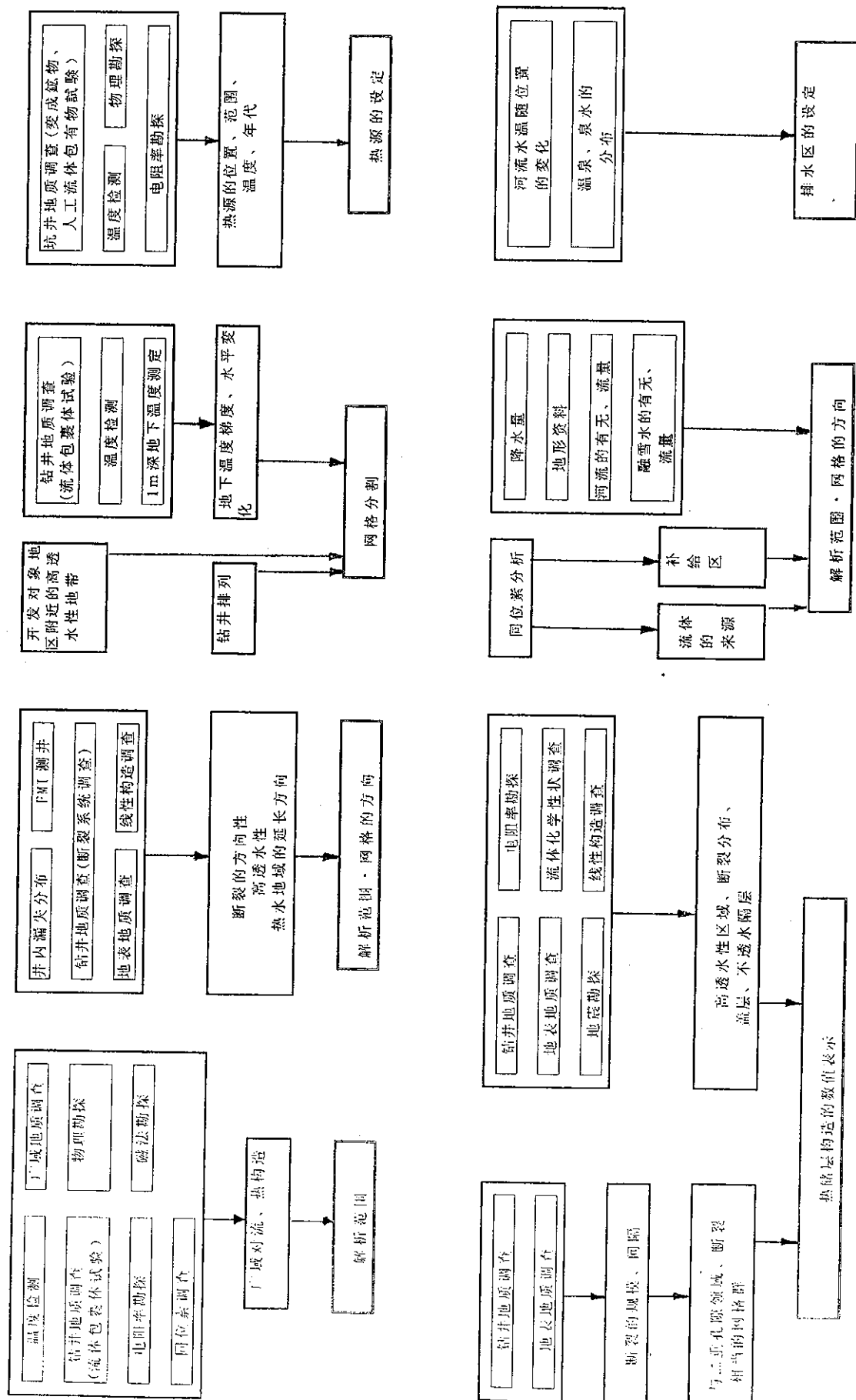


图 2—8—2 地热热储层数值模型建立流程

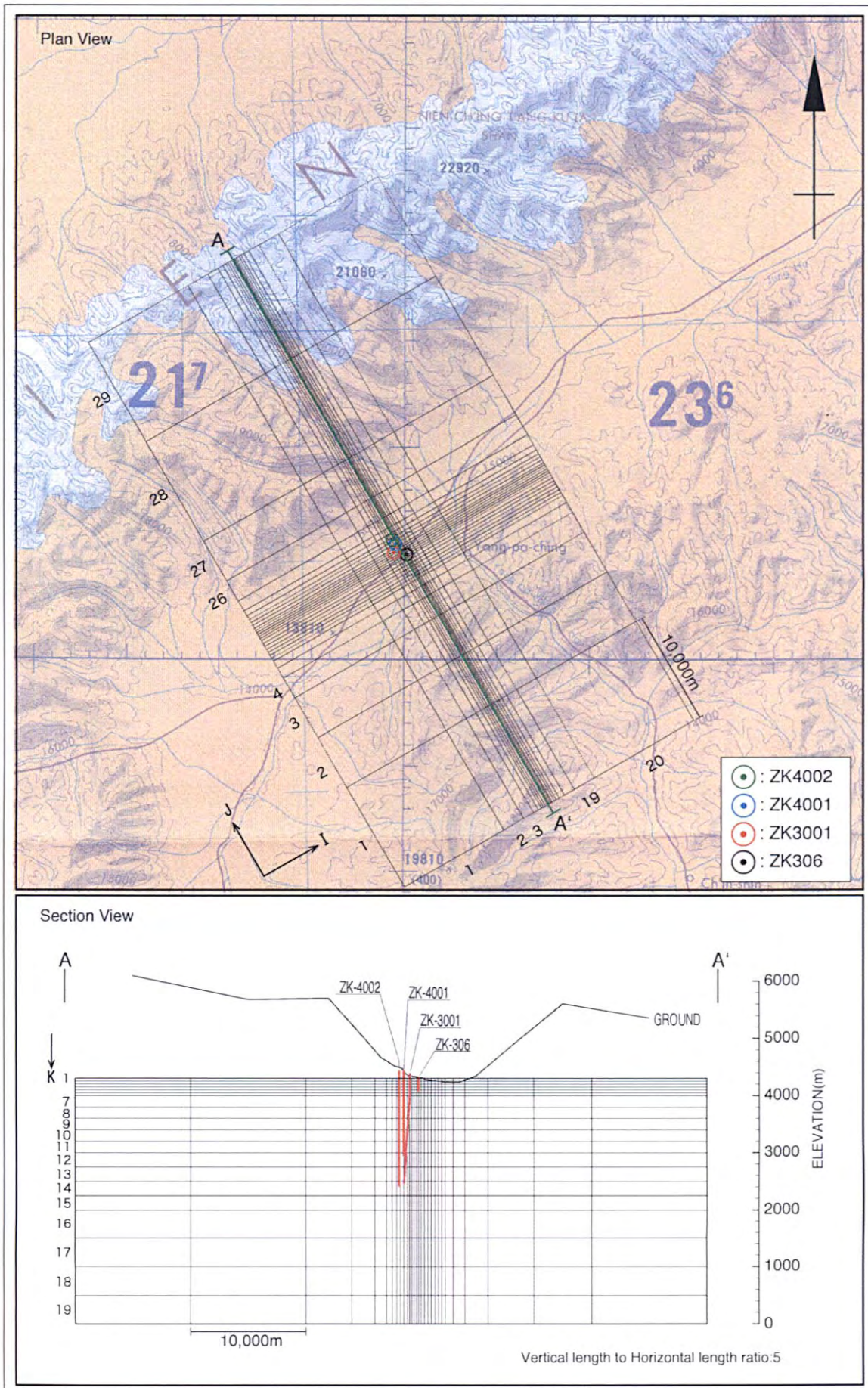
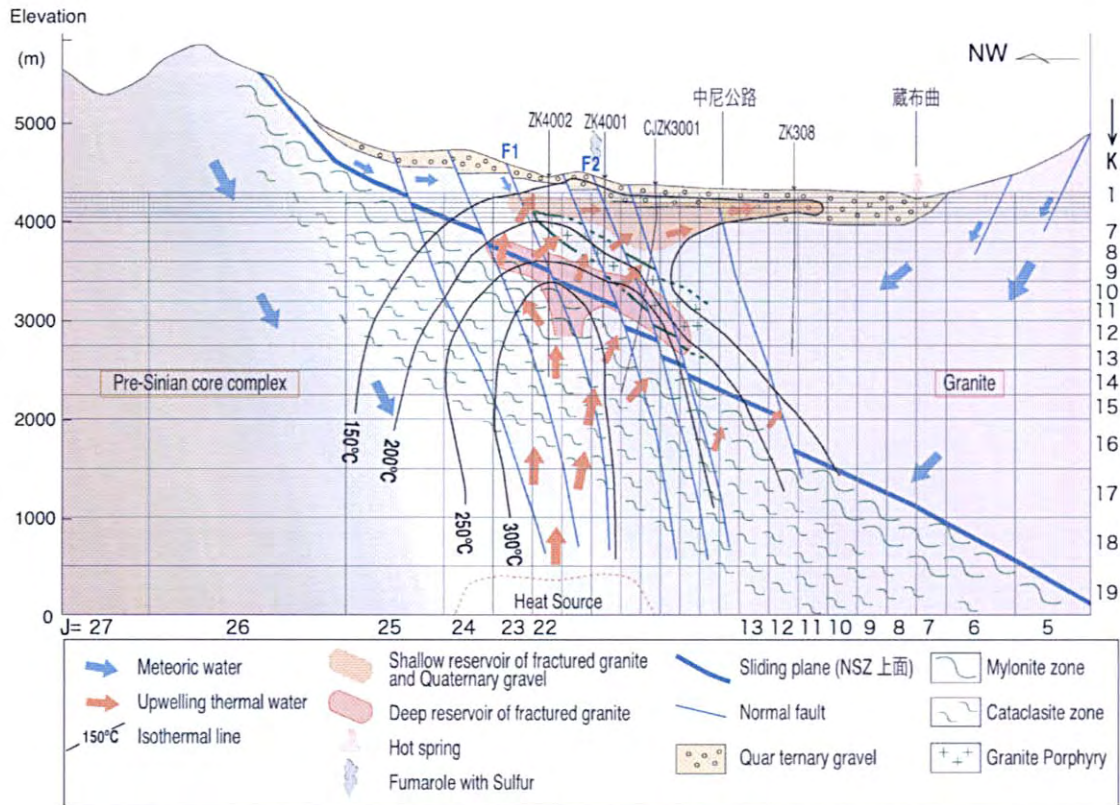


图 2-8-3 解析范围和网格分割 (全体)





羊八井地熱田水熱系統概念模型圖

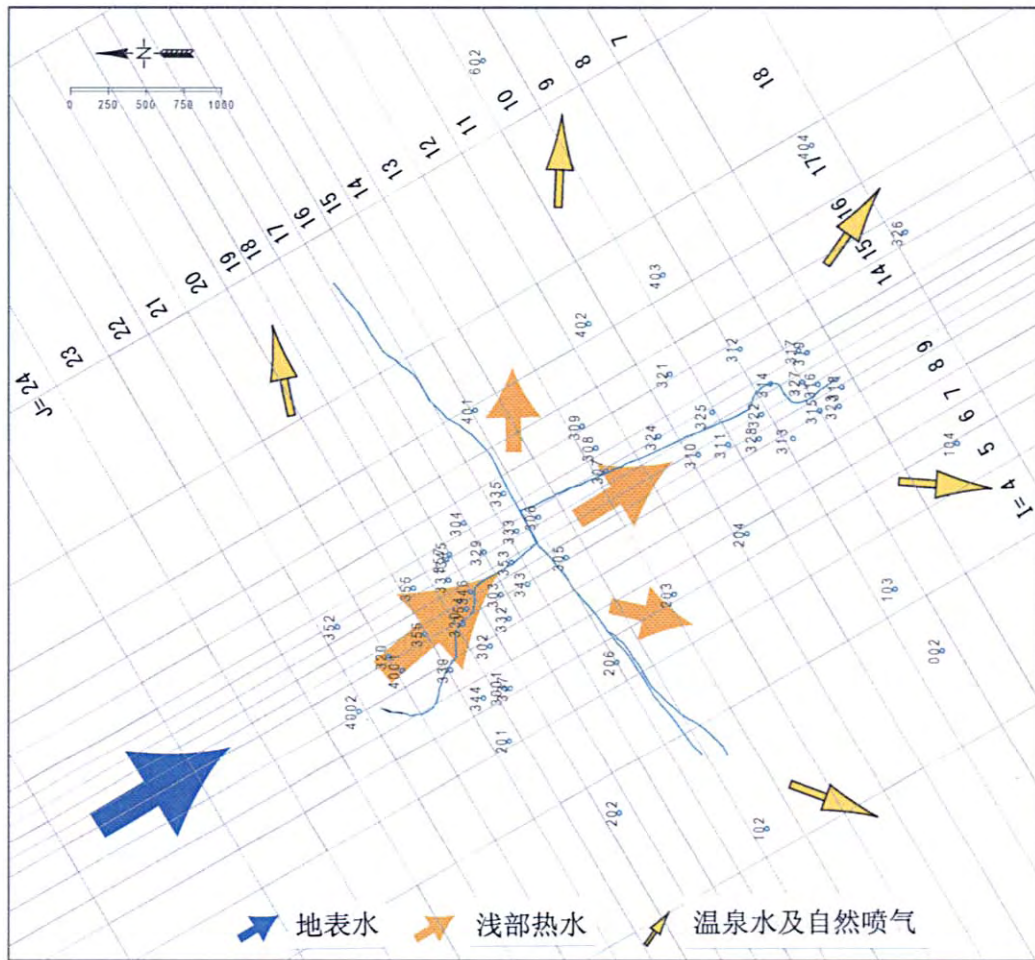


图 2-8-4 解析范围和网格分割 (中央)

北—东南方向的解析范围设定在念青唐古拉山脉和东南地区的唐山山地的分水岭。另外，与西北—东南方向相比，沿中尼公路和藏布曲的东北—西南方向上，附近没有大的山脉，而且地表的地热迹象分布边界也不很清楚。因此，东北—西南方向上的解析范围和西北—东南方向解析范围一样设为充分大。深度方向设定以羊八井地热田平均海拔 4,300m 为上边界，下边界到不影响深部井的足够深度，即海拔 0m。解析范围是 (NE-SW) × (NW-SE) × (DEPTH) = 2.91km × 5.48km × 4.3km。

对于数值计算用的网格，在温度梯度大的开发地区，中央部分割很密集（最小单位格子 100m × 300m × 50m），在热储层周围地区分割很粗。而且，网格分割是按照同一个格子里不能放入多孔生产井的流入点设定的。

## （2）初始温度、压力分布

从显示本地区热传导型式的井内温度分布的钻井来看，估计平均温度梯度为 3.7℃/100m。将本地区平均海拔 4,300 m 的地表温度设定为 10℃，用温度梯度对解析范围下部海拔 0 m 处外推算出温度是 170℃。然后，初始温度分布是根据地表温度 10℃，解析范围下限海拔 0 m 处为 170℃，用线性内插法求出。

初始热储层压力是假设地下水水头在地表，通过上述热储层温度分布的静水柱压力确定初始热储层的压力分布。同时，大气压采用本地区平均大气压值 0.06 MPaA。

## （3）边界条件

### 1）上边界

上边界设定为和流体、热的移动相关联的开放体系。当地表面高于解析范围上限海拔 4,300m 时，设定从地表到海拔 4,300 m 的静水压力，上边界的温度设定为 10℃。另一方面，当地表面低于解析范围上限海拔 4,300m 时，地表面的标高在海拔 4280m 左右，地表与解析范围上部相差 20m，可以忽视。在本解析中，如果地表面在解析范围上限海拔 4,300m 以下，地表面的标高为 4,300m，边界条件的上部设定为大气压 0.06 MPaA，大气温度 10℃。上边界的压力分布见图 2-8-5。

### 2）侧向边界

侧向边界在下述依据的基础上设定为与流体及热移动相关的封闭边界。

①侧向边界离开发地区足够远。

②在西北—东南方向上，解析范围边界由于设定在分水岭，认为从分水岭外侧流入的流体几乎没有。

### 3）下边界



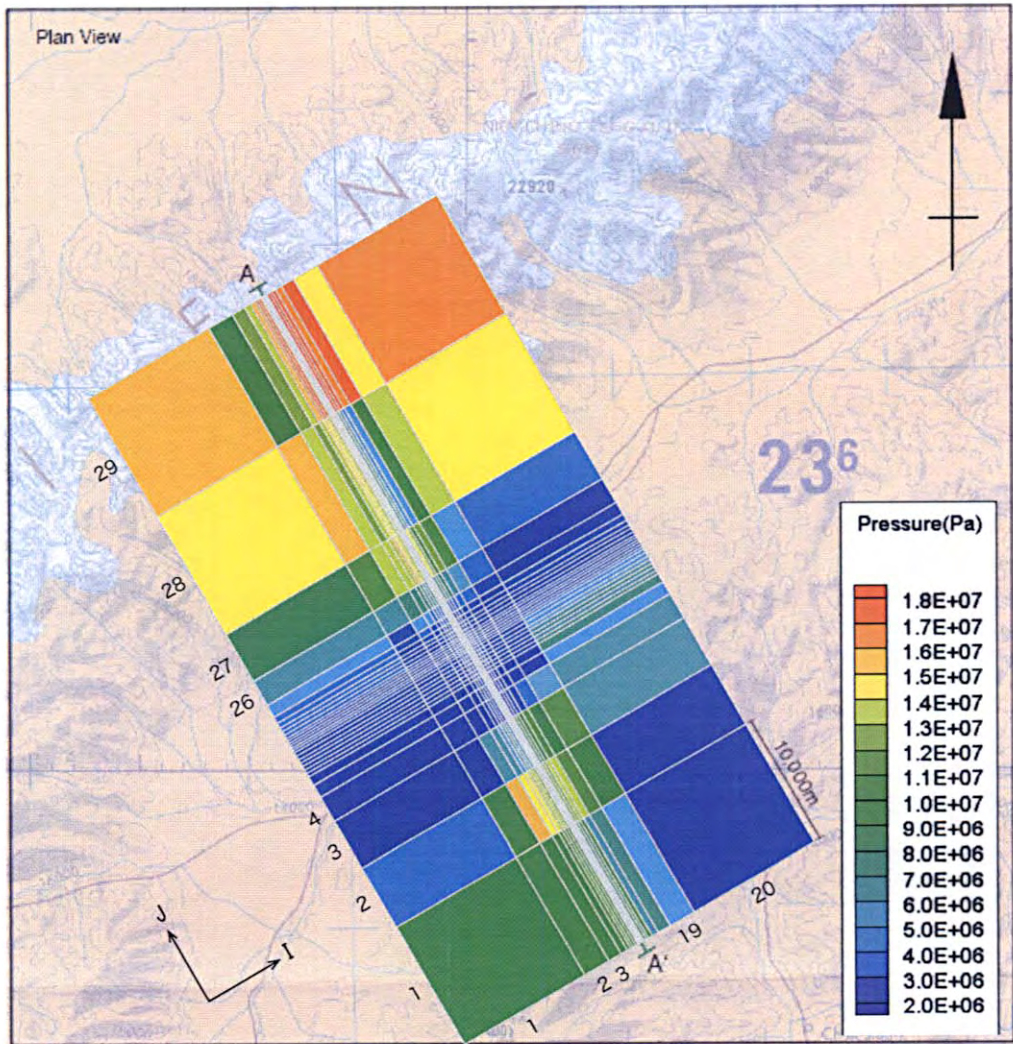


图 2 - 8 - 5 上边界的压力平面分布



对于下边界, 依据热传导类型的井内温度分布, 钻井的平均温度梯度  $3.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  及基岩层的热传导率  $3.0\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ , 在下边界全域的热流量设定为  $0.10\text{W}/\text{m}^2$ 。此外, 流体流入如图 2-8-6 所示, 设定来自深部的流体沿 ZK4001 井和 ZK4002 井的深部断层上升。流入量依据在天然状态下数值模拟计算的校正, 最后设定为  $50\text{kg}/\text{s}$ 。

#### (4) 岩石物性参数

岩石物性参数基本上参照 CJZK3001 井的岩芯物性试验(2005)。但是, 对于没进行岩芯物性试验的深部岩石, 物性参数采用一般值。岩石物性参数见一览表 2-8-1。

#### (5) 渗透率分布

渗透率分布是在流体流动模型、地表蚀变带分布及温泉分布等调查结果的基础上作成后, 通过天然状态下数值模拟及历史匹配模拟的校正, 最终的渗透率分布图如图 2-8-7~26 所示。

### 2-8-3 天然状态数值模拟

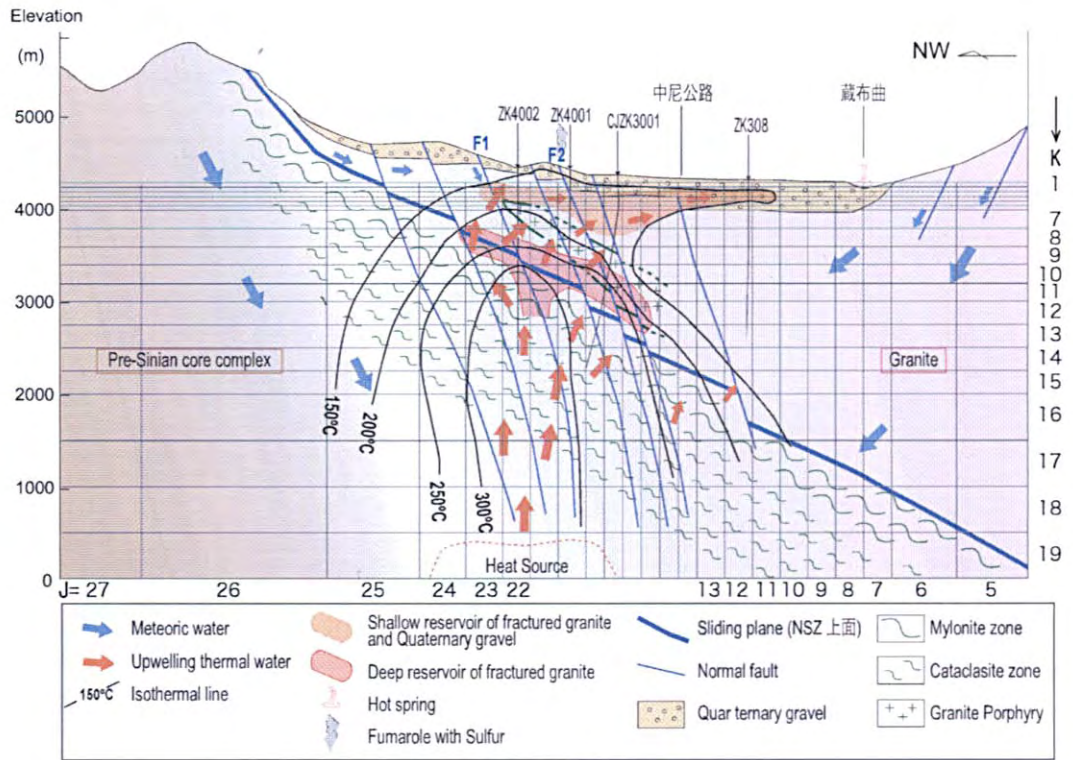
#### (1) 条件的设定

天然状态数值模拟设定热储层压力、温度大体为准恒定, 计算到 10 万年为止。

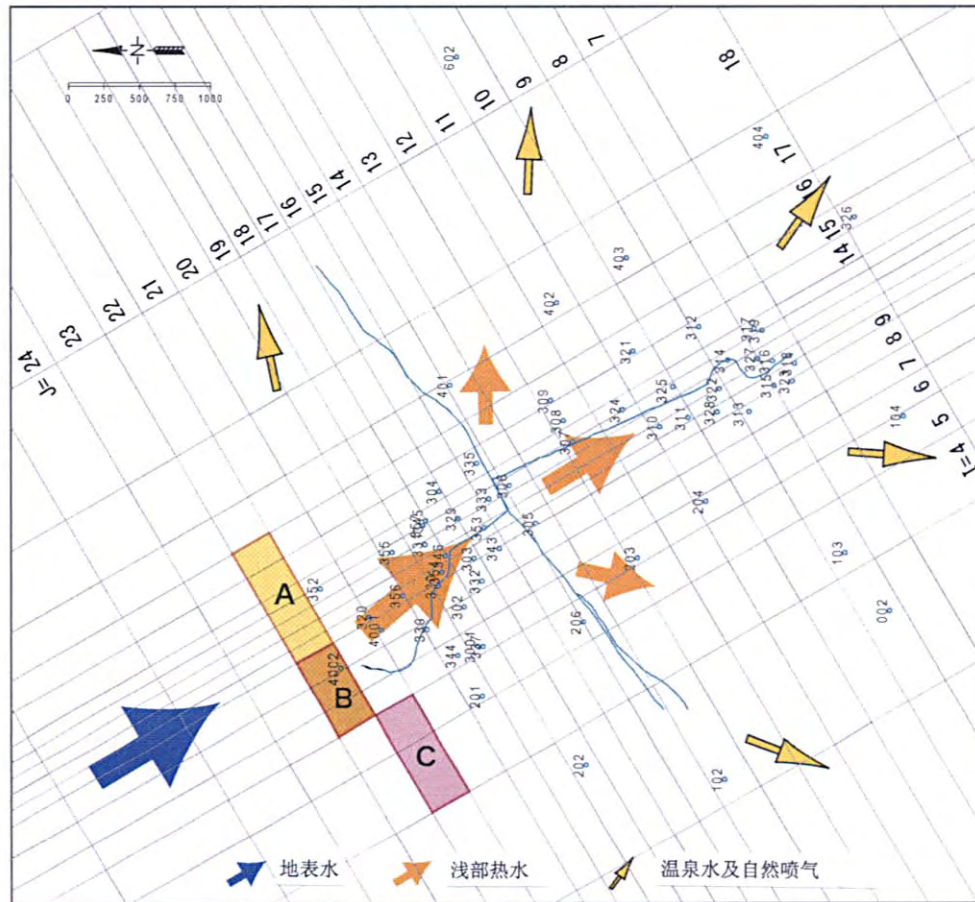
#### (2) 计算结果

10 万年后的温度分布剖面图及热水流速矢量图(图 2-8-27)很好地再现了热水从 ZK4002 井深部上升后, 在海拔  $4,000\text{m}$  以上的浅部变为水平方向流动, 并流向南部地区的流体流动模型。而且, 10 万年后温度分布平面图及热水的流速矢量图(图 2-8-28)的计算结果很好地再现了流体流动模型中浅部热储层的流体从西北方向向东南方向流动。

关于井内温度, 有发电厂开发后的测定结果, 但是没有开发前的测定资料。为此, 开发后测定的井内温度分布作为天然状态的匹配数据。本地区由于回灌量很少, 开发后测定的温度与天然状态相比较没有太大的降低, 认为使用开发后的测定结果也没有问题。但是, 由于测定时的等待时间不详, 测定结果作为热储层温度的下限值。井内温度的测定结果与计算结果的比较见图 2-8-29。对于深部井 CJZK3001、ZK4001、ZK4002, 浅部温度的计算结果虽然有些高, 但与测定结果的温度分布大体一致。对于 ZK308 井, 再现了在海拔  $4,000\sim 4,300\text{m}$  左右的地层中流体向一侧流动情况。而且, 对于南边界的南部生产井 ZK319, 温度分布的测定结果与计算结果大体相一致。限制浅部热储层扩展的周边井 ZK002、ZK102、ZK202、ZK401、ZK404、ZK352、ZK4001 等的温度分布的测定结果与计算结果也大体一致。因此, 本数值模型大体上再现了实际浅部热储层的规模。



羊八井地热田水热系统概念模型图



领域	热水流入量(kg/s)	热量(MW)
A	15	22
B	25	37
C	10	15

图 2-8-6 下边界的质量流束分布

表 2-8-1 岩石物性值一览表

	适用范围	物性值	备注
密度	整体	2,600kg/m <sup>3</sup>	参照岩芯物性试验(2005)
孔隙率	海拔 4,000~4,300m	20%	设定的比深部值要小
	海拔 3,400~4,000m	10%	
	海拔 0~3,400m	5%	
热传导率	海拔 4,000~4,300m	1.5W/(m·K)	与沉积岩相当
	海拔 3,400~4,000m	2.7W/(m·K)	参照岩芯物性试验(2005)
	海拔 0~3,400m	3.3 W/(m·K)	与基岩相当
比热	整体	1,000J/kg·K	参照岩芯物性试验(2005)



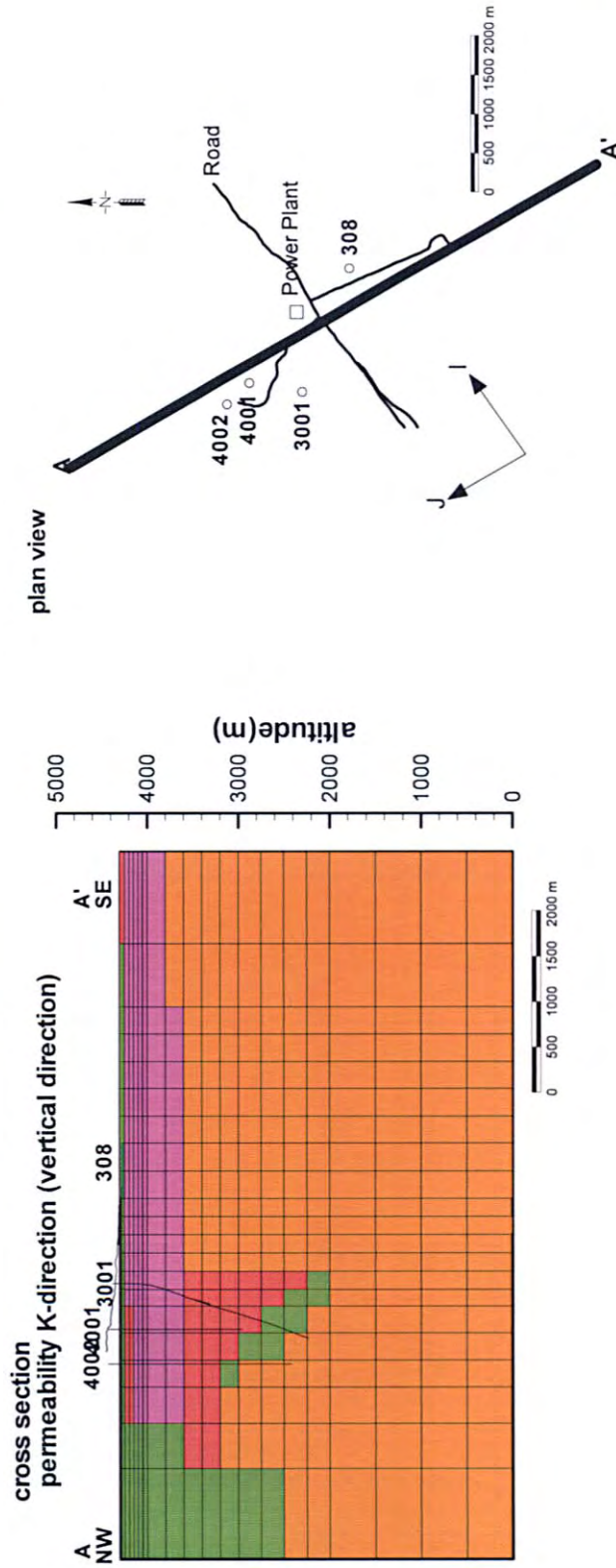
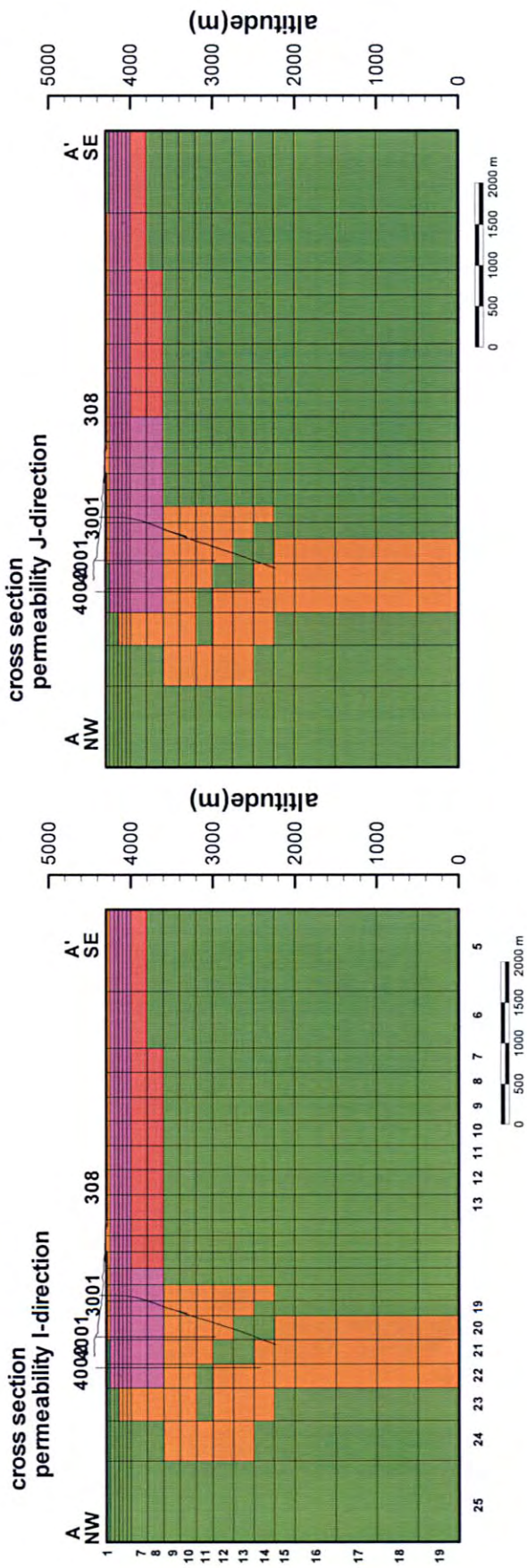


图 2-8-7 渗透率分布剖面图 (剖面 A-A')



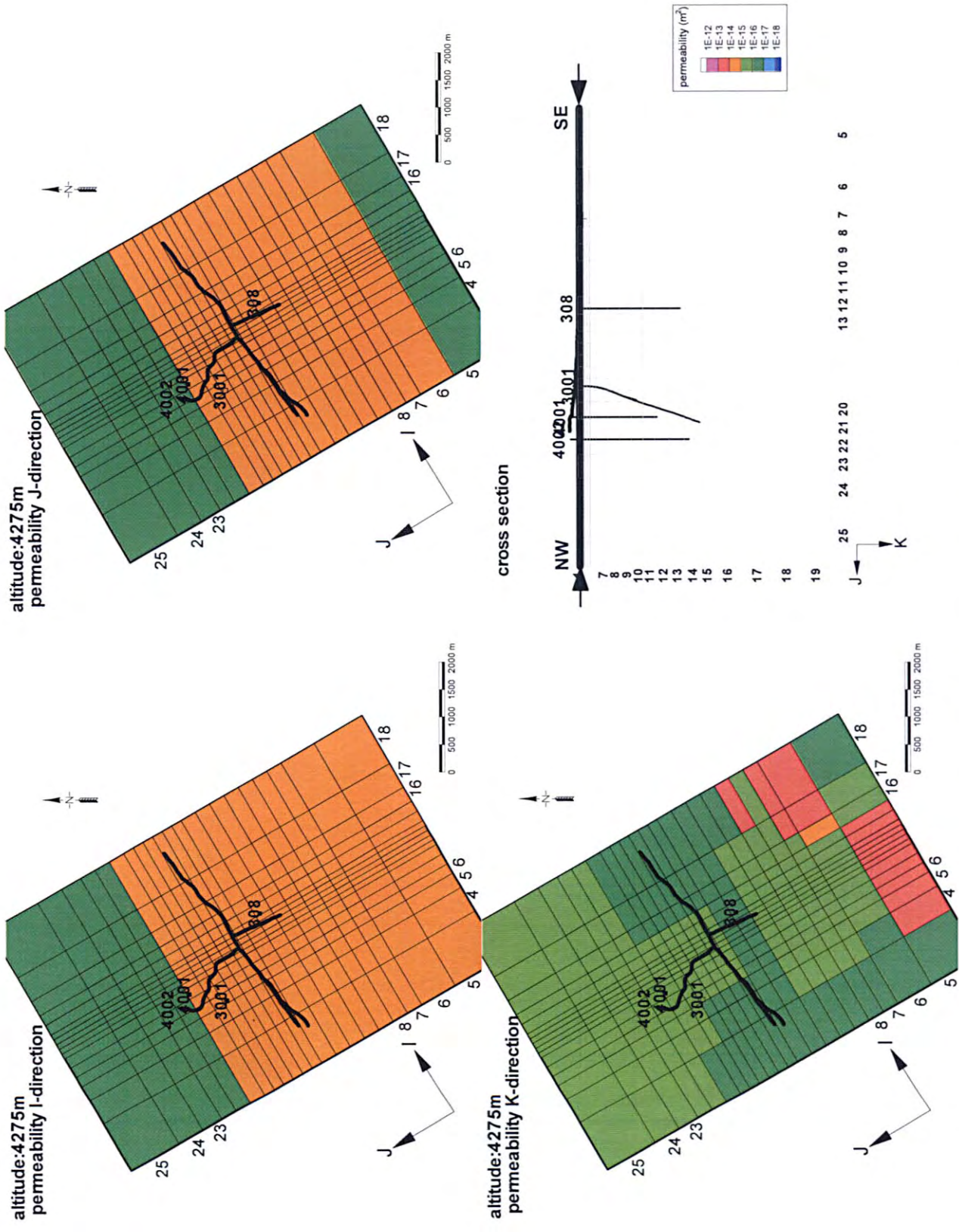


图 2—8—8 渗透率分布平面图 (海拔 4250~4300m)

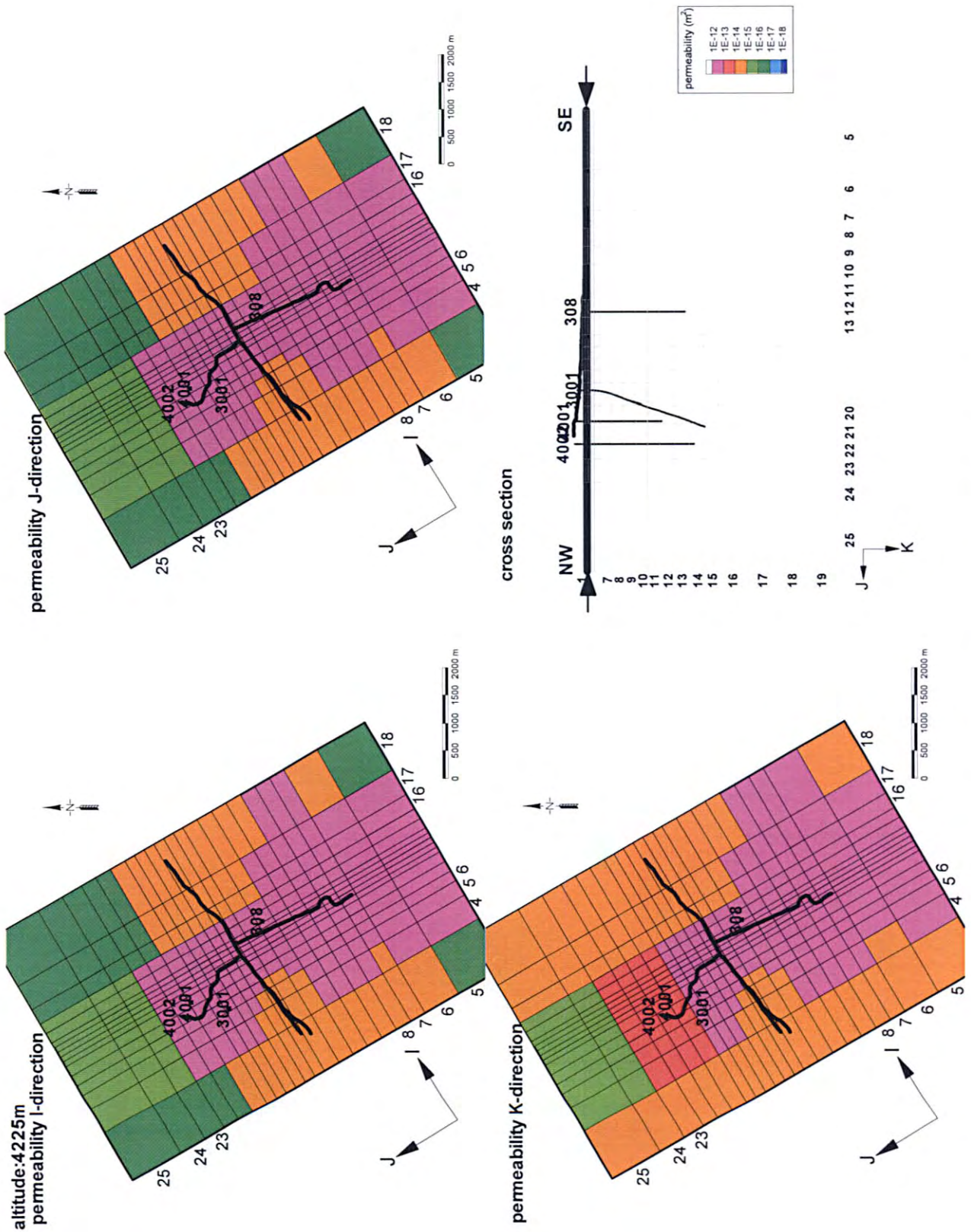


图 2—8—9 渗透率分布平面图 (海拔 4200~4250m)



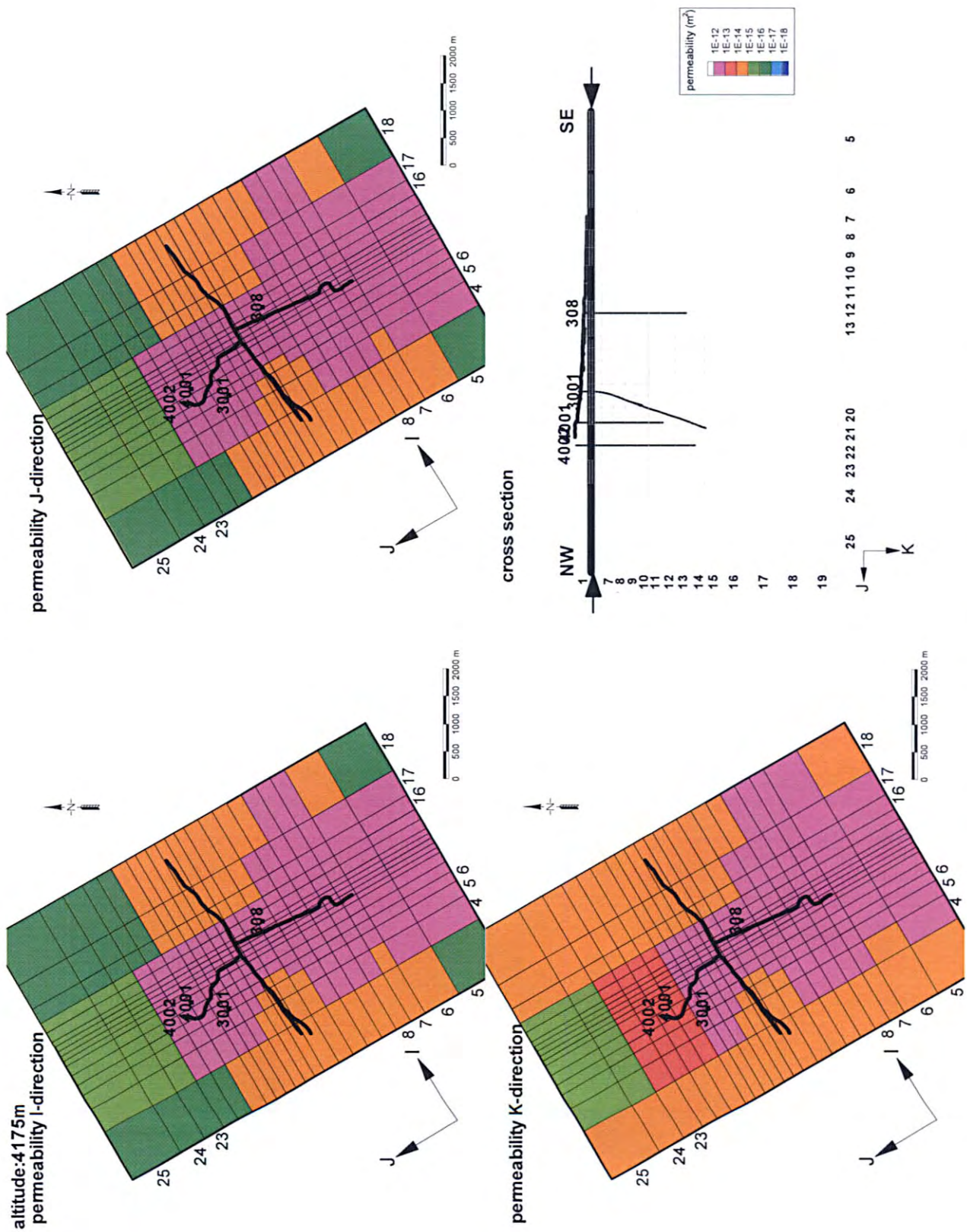


图 2-8-1-0 渗透率分布平面图 (海拔 4150~4200m)

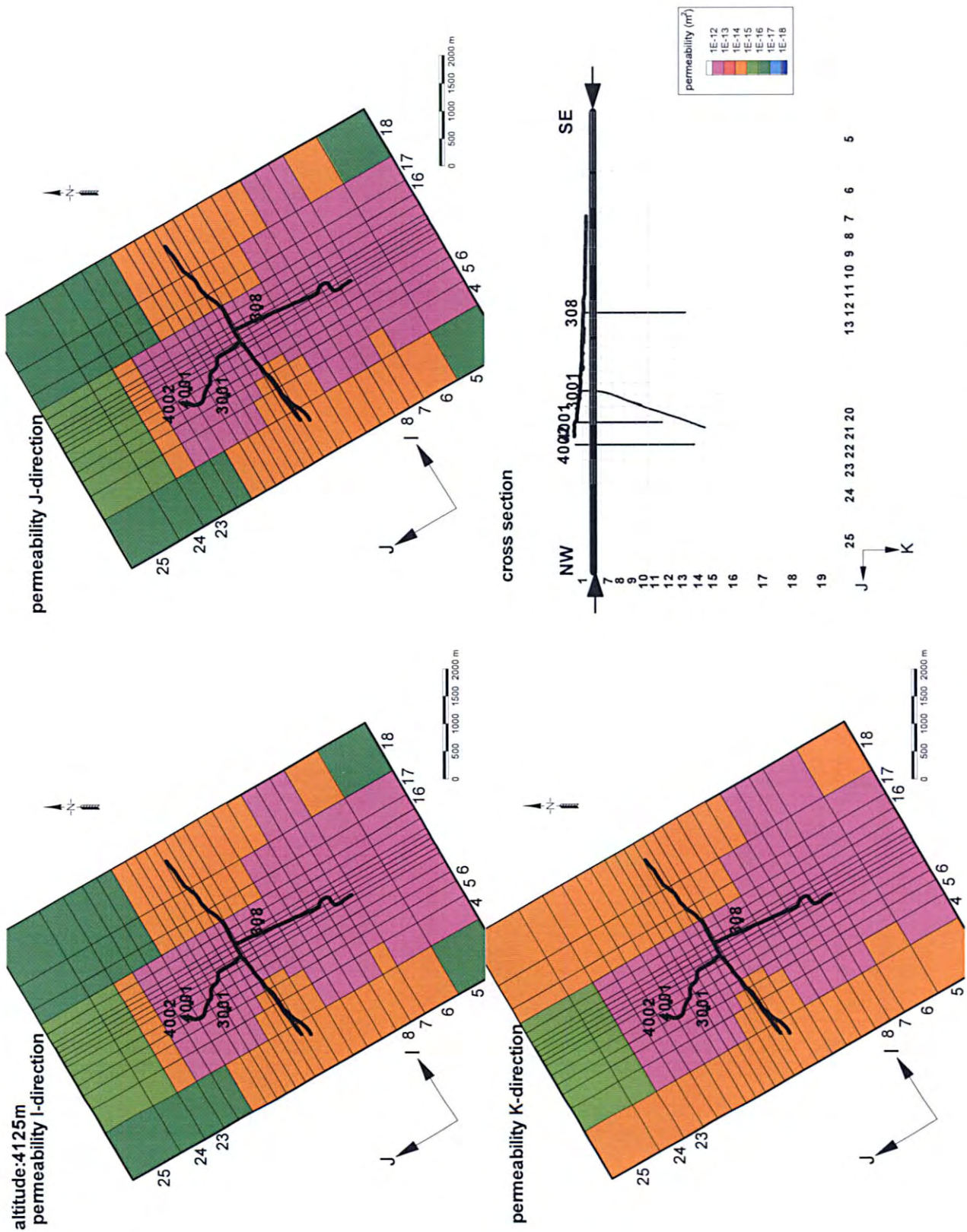


图 2-8-1-1 渗透率分布平面图 (海拔 4100~4150m)



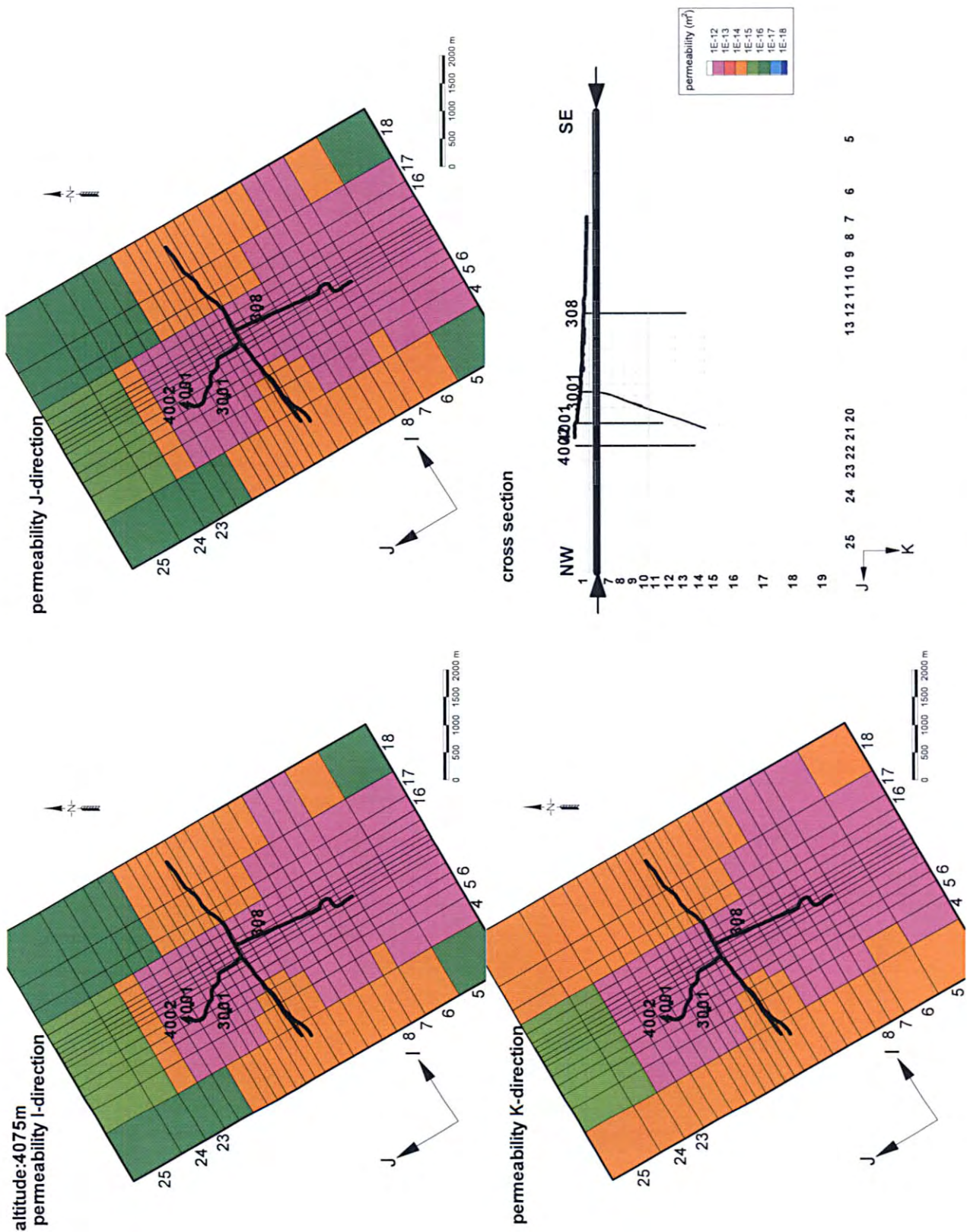


图 2-8-1-2 渗透率分布平面图 (海拔 4150~4100m)