

地热水--案例分析

武城县清洁能源三期水资源论证

汇报人：张路

山东省地矿局第二水文地质工程地质大队（山东省鲁北地质工程勘察院）

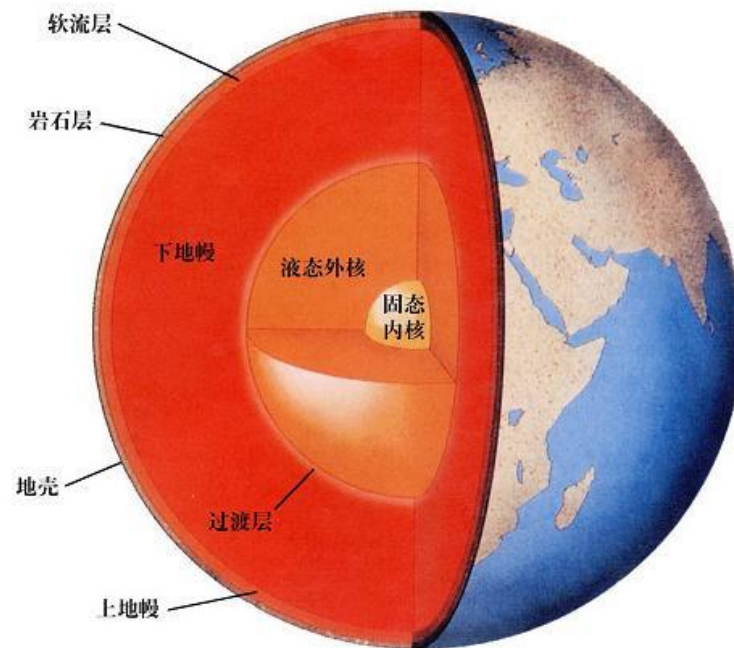
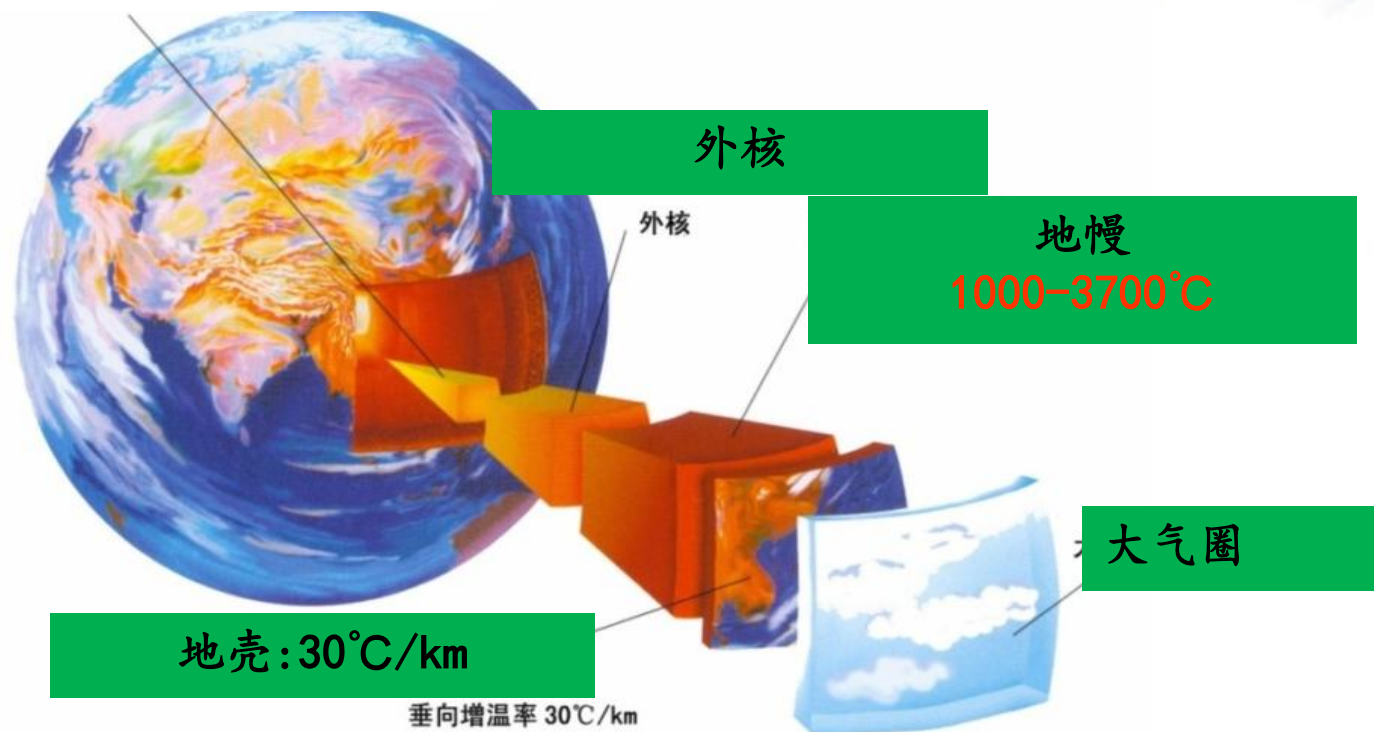
2025年9月23日



什么是地热?

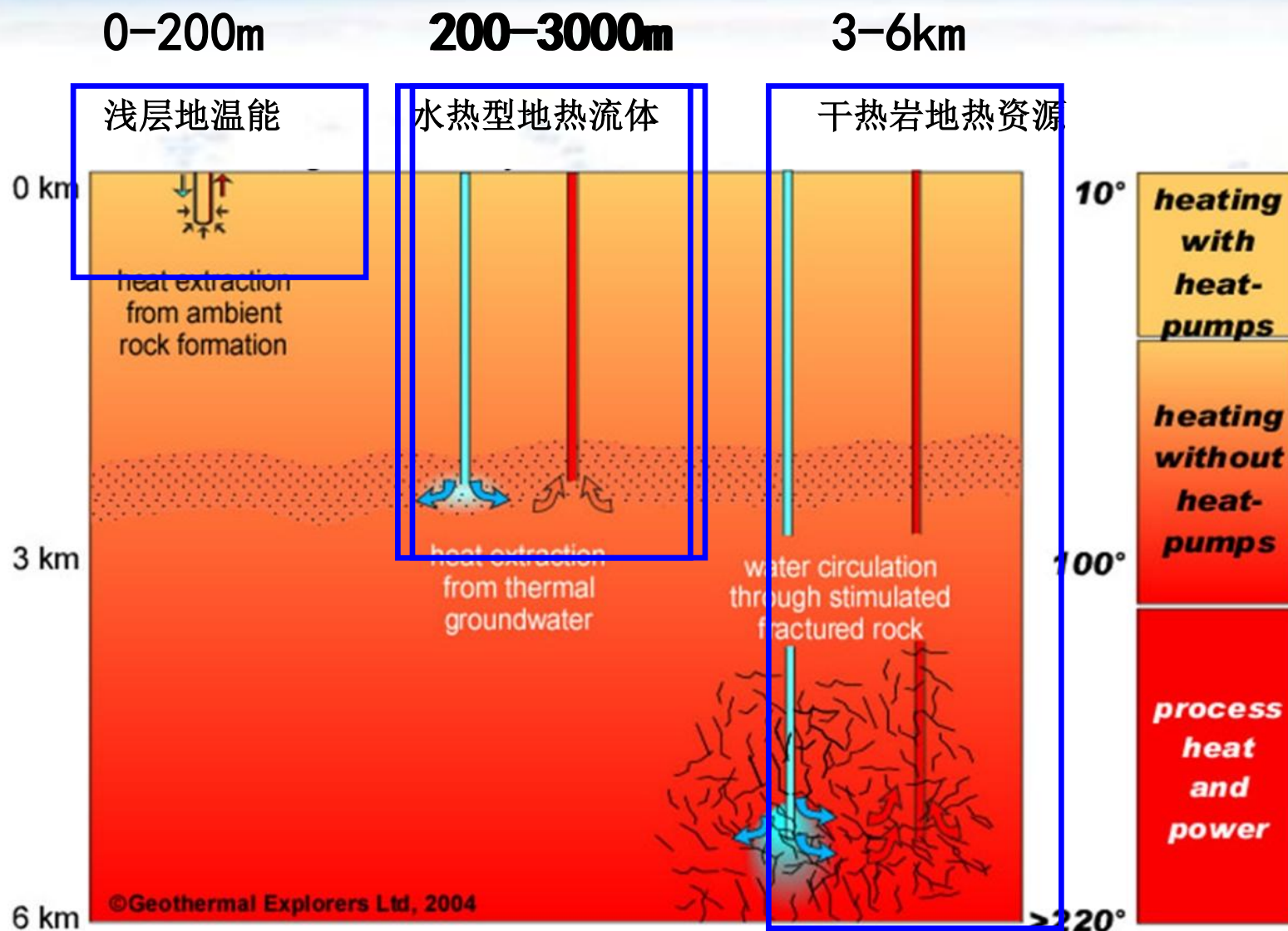
地热是蕴藏在地球内部的热量，用于发电、供暖、洗浴等领域。与水电、太阳能、风能、核能一起成为五大非碳基能源。

地心：4500°C





地热资源类型



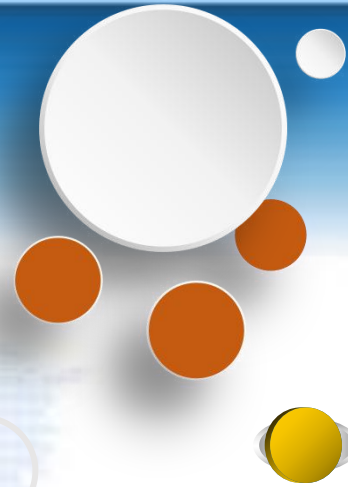
优点:

本土能源，持续稳定
深度适宜，易于开发
资源丰富，节能降碳
成本较低，利用率高

应用领域广泛，适于
发电、供暖、洗浴、
养殖等直接利用



武城县清洁能源三期水资源论证



地热水资源论证的特殊性



报告编制中存在的问题

问题的解决与部分新方法的运用





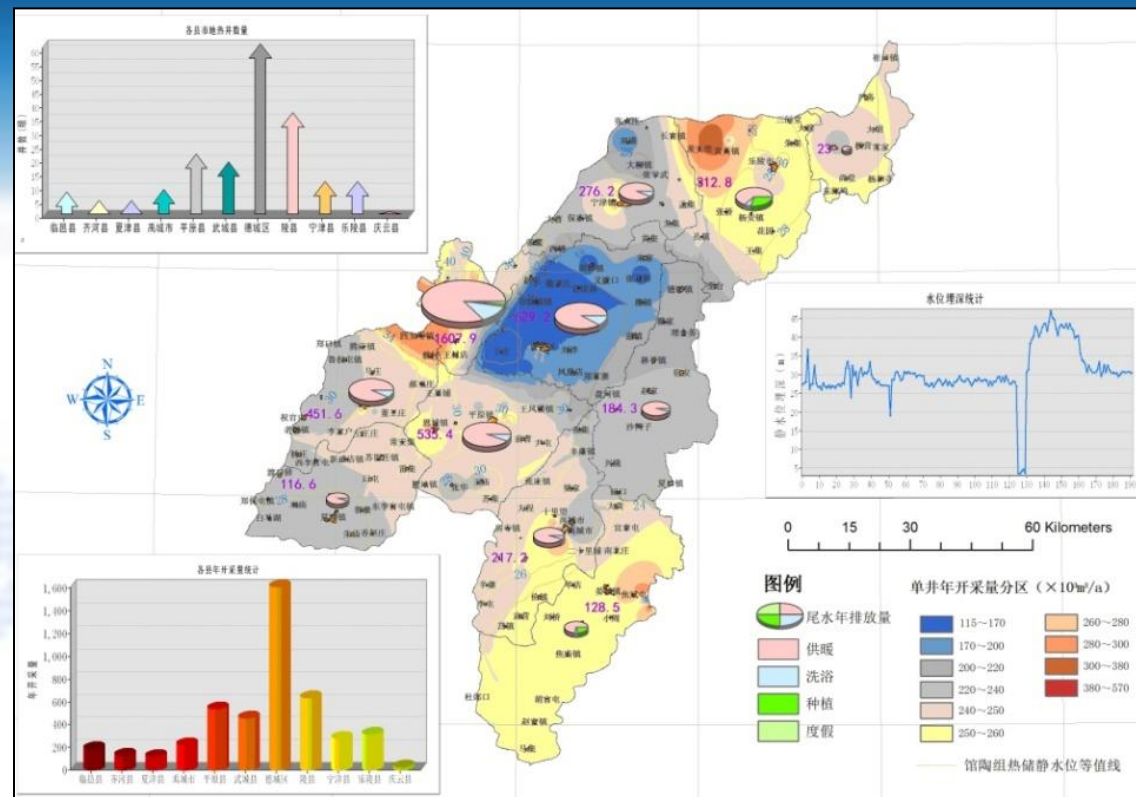
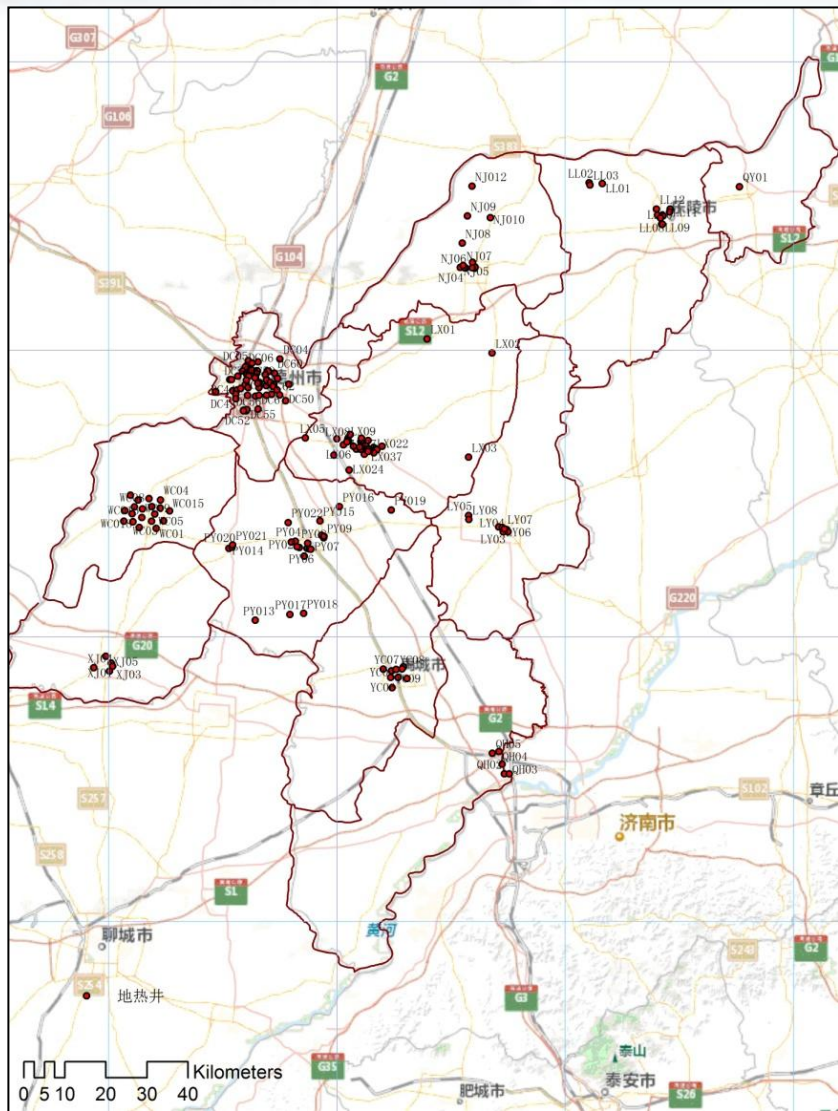
德州市地热资源概况

1997年在德州施工以供暖为主要目的**第一眼地热井**，开启了地热开发的序幕，目前已稳定运行24年。



德热1井：1997年3月

德州市地热资源概况



地热开采井303眼，应用于供暖、洗浴和种植（养殖）等领域，年开采量5005万立方米，占已知储量的7%。现地热供暖面积1215万平方米，年可节约标准煤约21万吨，为节能减排与环境污染治理做出积极贡献。地热资源开发利用率仅为7%。



德州市地热资源概况

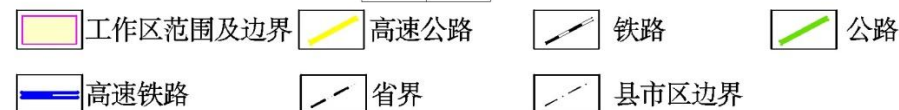
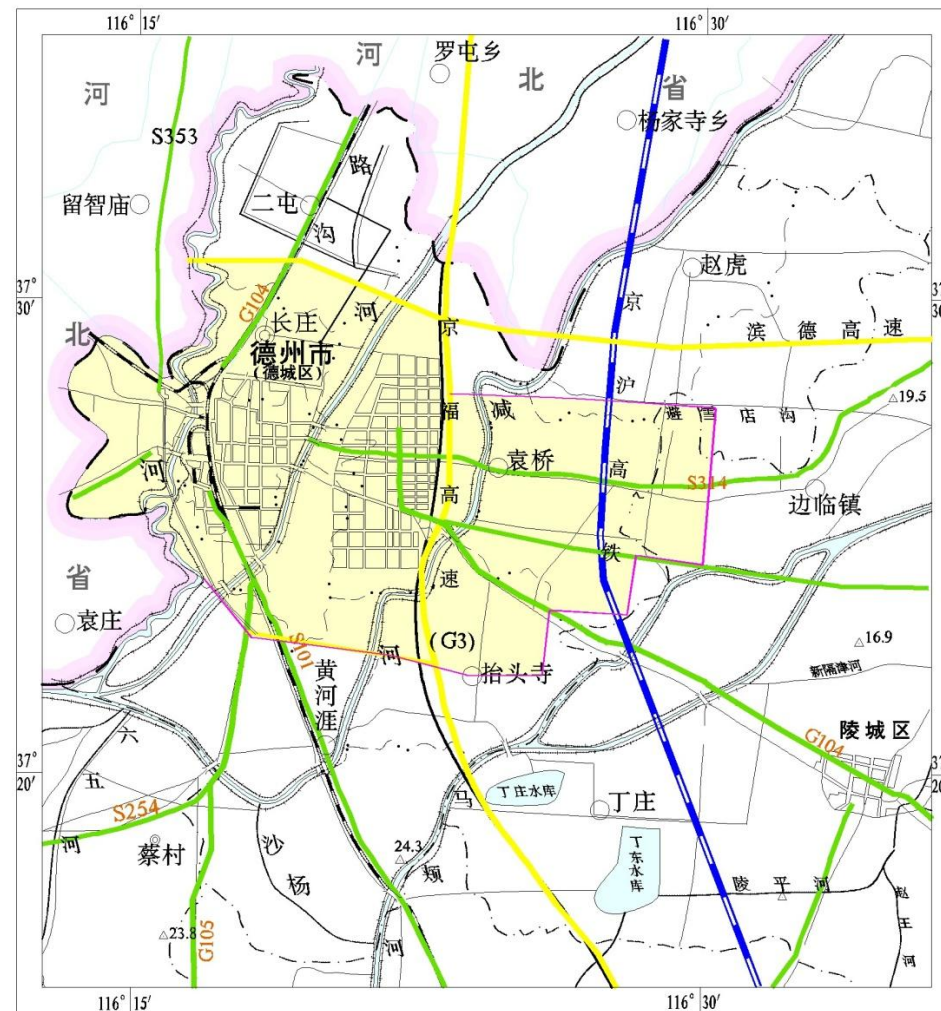


天衢新区共有水热型开采井82眼（含监测井），年开采量约1400万立方米，每年可替代标准煤7.78万吨、减排二氧化碳18.57万吨、节约环境治理费用2164万元，为全市节能减排与环境污染治理提供有力支持。



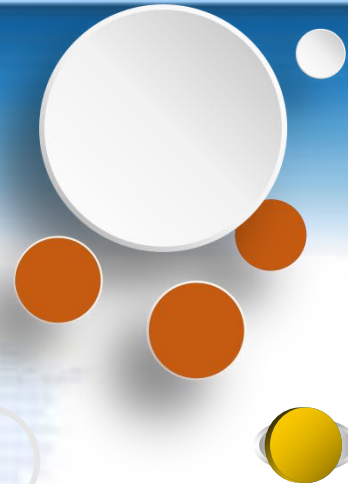
德州市地热资源概况

我市浅层地热能资源也极为丰富，仅中心城区浅层地热资源，就可折合标准煤**291万吨**，夏季可制冷面积**6465万平米**，冬季可供暖面积**8313万平米**。





德州市加快清洁能源开发利用的汇报



德州市地热资源概况

地热开发利用工作



科技创新成果及转化应用

下步工作与建议





编制报告存在的问题

- 1、供暖面积较大，取水量大，不确定性多；
- 2、井数量多，如何进行合理的布设；
- 3、如何确定区域准确的热负荷
- 4、如何进行节水
- 5、如何对后续水位变化，取水影响进行评估



武城三期集中供暖项目概况

- 武城县城城区目前主要供暖方式为煤电机组供暖、地热供暖以及少数住户天然气供暖。其中以煤电机组为主的供暖面积为276万m²。为落实省市加块地热开发利用工作部署，发挥武城县地热优势，武城县人民政府批复建设武城县绿色低碳地热供暖示范项目，项目将采用地热清洁能源供暖对武城县城城区煤电机组供暖进行替代。本矿区预计承担116万的供暖面积。地热的本质是需热量，但因用地热水作为载体需要计算需水量



水资源论证问题1——需水量大

需热量计算公式： $Q_{\text{需}}=q*s$ ， q 为热负荷

需水量计算公式：采用换热器+热泵技术的间接供暖方式，所需地热水水量按下式计算：

$$Q=1.163G(t_g-t_{h1})+1.163G(t_{h1}-t_{h2})COP/(COP-1) \quad (\text{式3-1})$$

式中： Q —用热工程最大热负荷（kW）；

G —所需地热水资源量（ m^3/h ）；

t_g —流体温度（ $^{\circ}C$ ），取值 $59.8^{\circ}C$ ；

t_{h1} —一级换热器地热尾水温度（ $^{\circ}C$ ），取 $42^{\circ}C$ ；

t_{h2} —多级换热器地热尾水温度（ $^{\circ}C$ ），取 $23^{\circ}C$ ；

COP —热泵制热系数，根据主机热泵机组， COP 平均参数取值4.7



热负荷标准

建筑物类型	采暖热指标qh		
	未采取节能措施	采取节二步节能措施	采取节三步节能措
居住住宅	58~64	40~45	30~40
居住区综合	60~67	45~55	40~50
学校、办公	60~80	50~70	45~60
医院、托幼	65~80	55~70	50~60
旅馆	60~70	50~60	45~55
商店	65~80	55~70	50~65
影剧院、展览馆	95~115	80~105	70~100
体育馆	115~165	100~150	90~120



解决1：取水量大，不确定性多

- 解决方案：设置规划水平年，进行初步试运行，慢慢替代。
- 本项目位于武城县，项目分2个供暖单元，分设换热站ZD-2，ZD-3。
- 第一阶段（2025-2026年）：建成换热站ZD-2、ZD-3，总供暖面积45.77万m²。供暖对象为三村社区、武城县公共教育实训基地、梁庄社区等总计45.77万m²，均为住宅区。供暖方式以地板辐射供暖为主。
- 第二阶段（2026-2035年）：逐步接入张庄社区、富泰康居、黄花园、阳光瑞景等住宅区，住宅区面积为66.43万m²，办公区有武城县人民法院、武城县财政局、武城县自然资源局等面积共计4.45万m²。ZD-2合供暖计70.88万m²。
- 2035年总供暖面积达到116.66万m²。



问题2：井数较多，布井方案

在满足取水量和井数量的同时应考虑井间影响关系，不仅考虑水量，地热井还需考虑热突破的问题。根据《单井地热资源评价技术规程》（DB37/T4243-2020）中公式

计算回灌50年不发生热突破条件下的采灌井底距离，考虑地热水水温变化引起的密度损失，回灌量以开采量的95%计算，单井回灌量以规划年总回灌量的平均值计算。

D—地热井开采50年不发生热突破情况下采灌

Q回—回灌量，m³/d；

t—回灌总天数，d；

M—砂岩层总厚度，m，；

-岩石孔隙度；

ρ_e ， ρ_w ， ρ_r —热储层平均密度，热储流体密度，热储岩石密度，kg/m³； ρ_w 取983.2kg/m³； ρ_r 取2600kg/m³；

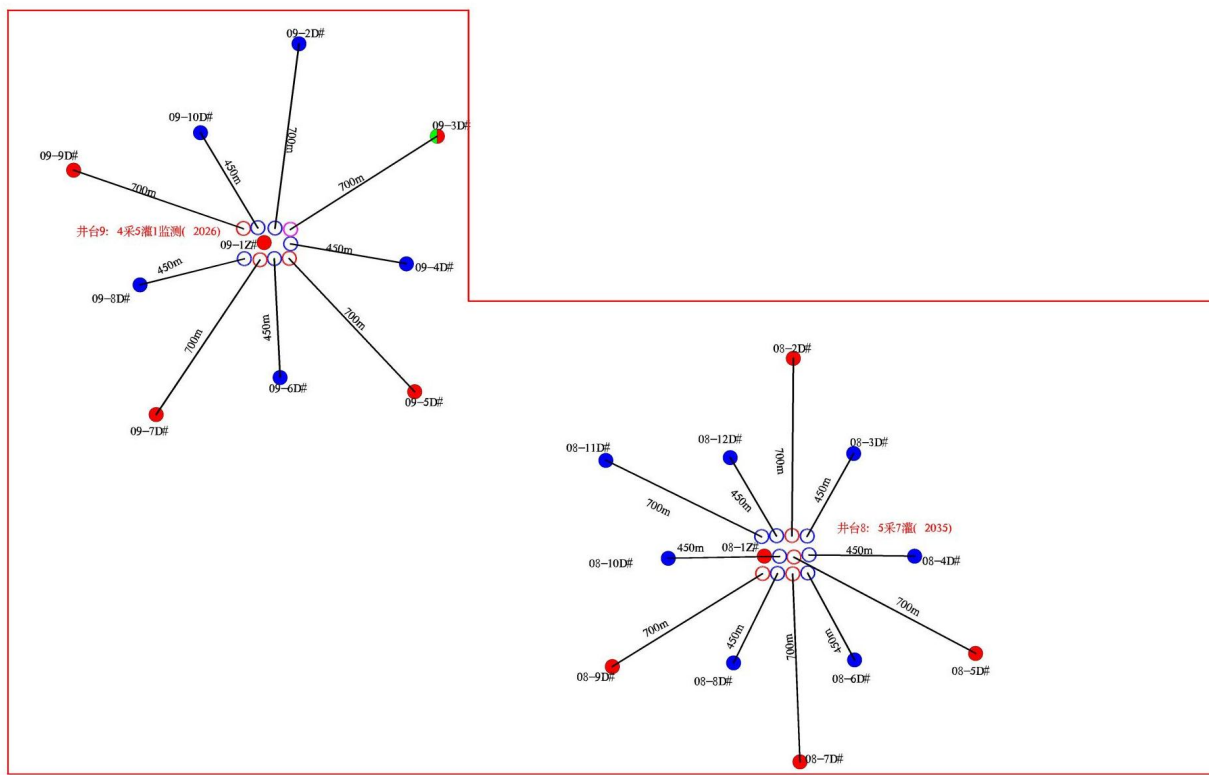
c_e ， c_w ， c_r —热储层平均比热，热储流体比热，热储岩石比热，J/（kg·°C）； c_w 取4180.J/（kg·°C）； c_r 取878.J/（kg·°C）；

$$D = \sqrt{\frac{3tQ (\rho_w c_w)}{\pi M (\rho_r c_r)}}$$

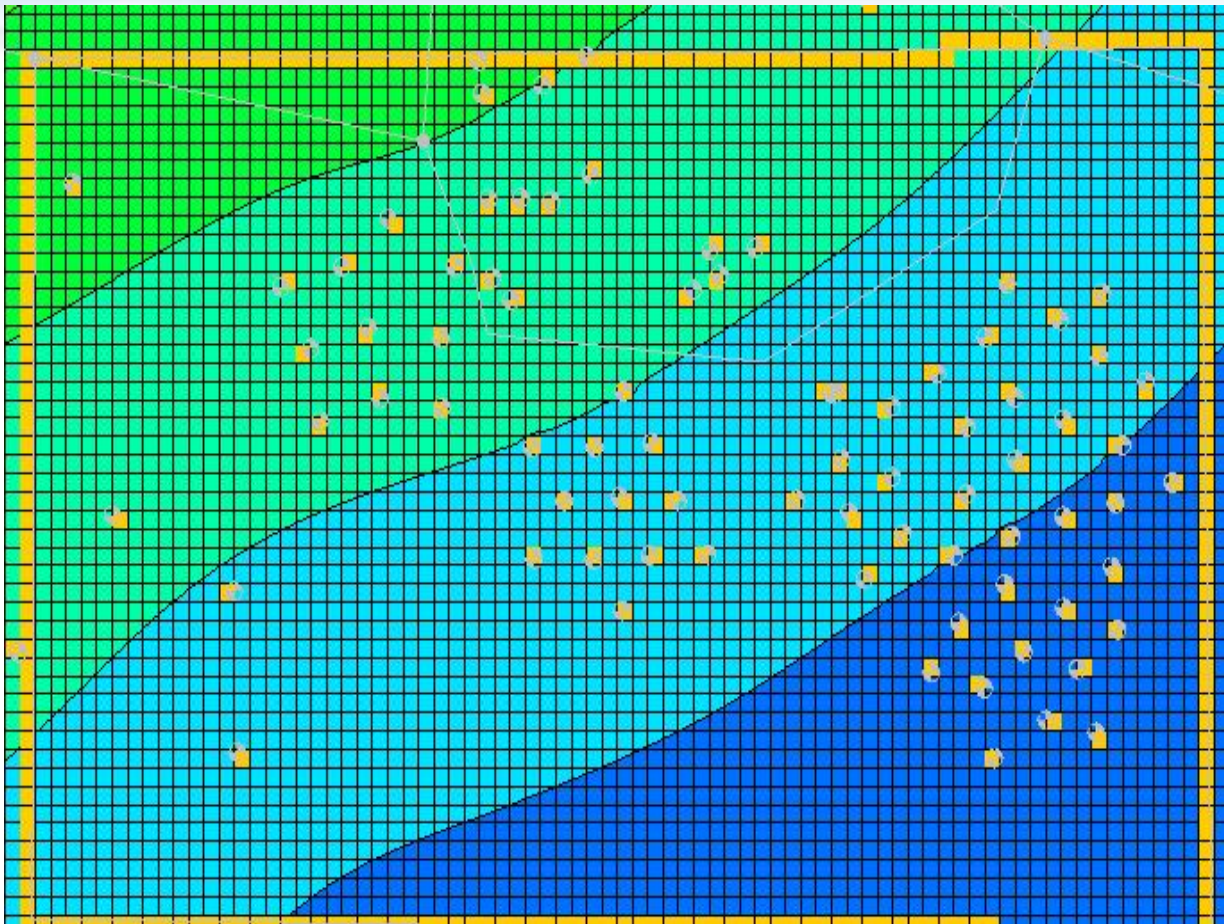


水资源论证——布井方案的解决

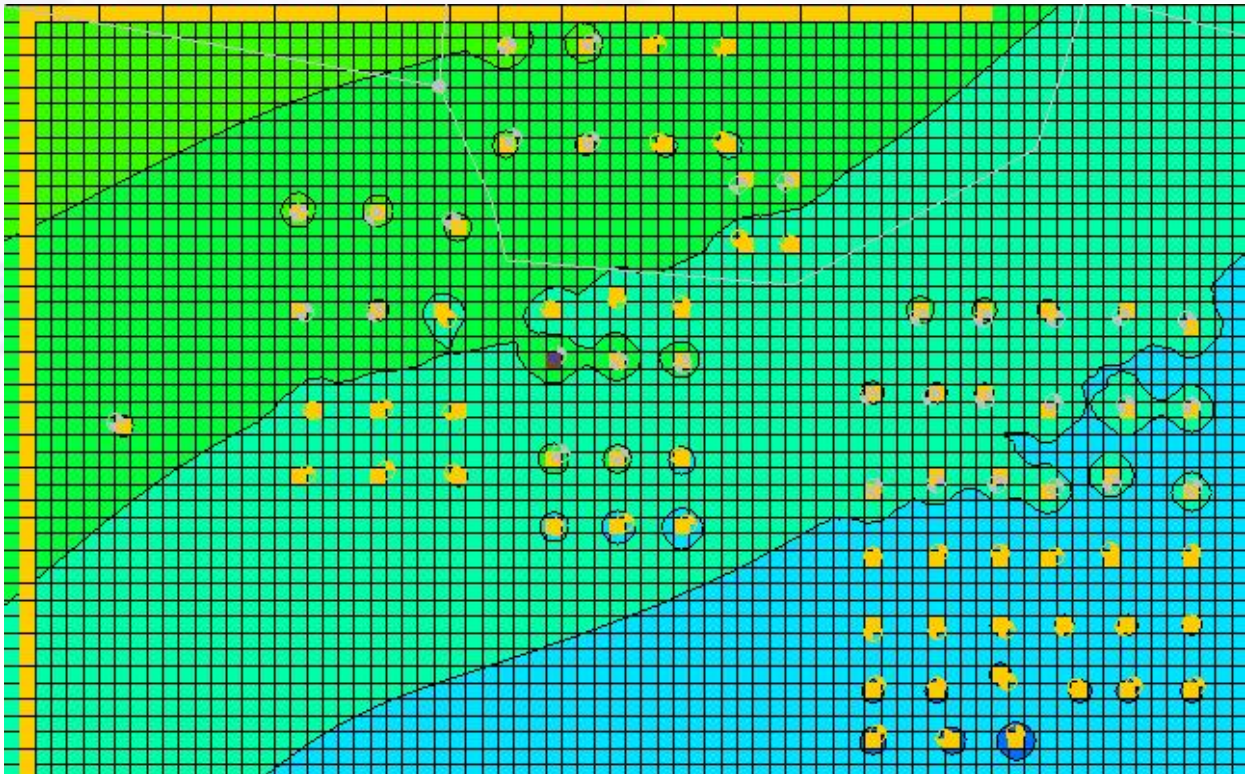
通过影响半径进行初步筛选方案只剩棋盘法和梅花布井法能互不影响且不超矿区，后续用GMS进行数值模拟，选取最合适的布井方法。



○ 开采井井口 ● 开采井井底 ○ 回灌井井口 ● 回灌井井底 ● 监测井井底



梅花布井法



棋盘布井法



解决问题3： 如何确定准确的热负荷

- 2022年-2023年供暖季，实际供暖面积：175万平方米，供暖热量:81.78万吉焦。
- 2023年-2024年供暖季，实际供暖面积：197万平方米，供暖热量：93.73万吉焦。
- 2024年-2025年供暖季，实际供暖面积：203万平方米，供暖热量:87.85万吉焦。
(原始数据)
- 通过对上述数据进行转换：
- 2022-2023年热负荷计算为 45.11W/m^2 ；
- 2023-2024年热负荷计算为 45.9W/m^2 ；
- 2024-2025年热负荷计算为 41.77W/m^2 。



解决问题4：如何进行节水

- 1.直接供暖改为间接供暖，增加板式换热器，进行梯级换热
- 2.设备及时检修，防止跑冒滴漏
- 3.及时回扬，使设备可稳定运行。



示范工程一

砂岩热储地热回灌示范工程



对井采灌
展示模型

砂岩热储 地热尾水回灌 示范工程

可视化
实时监
测系统



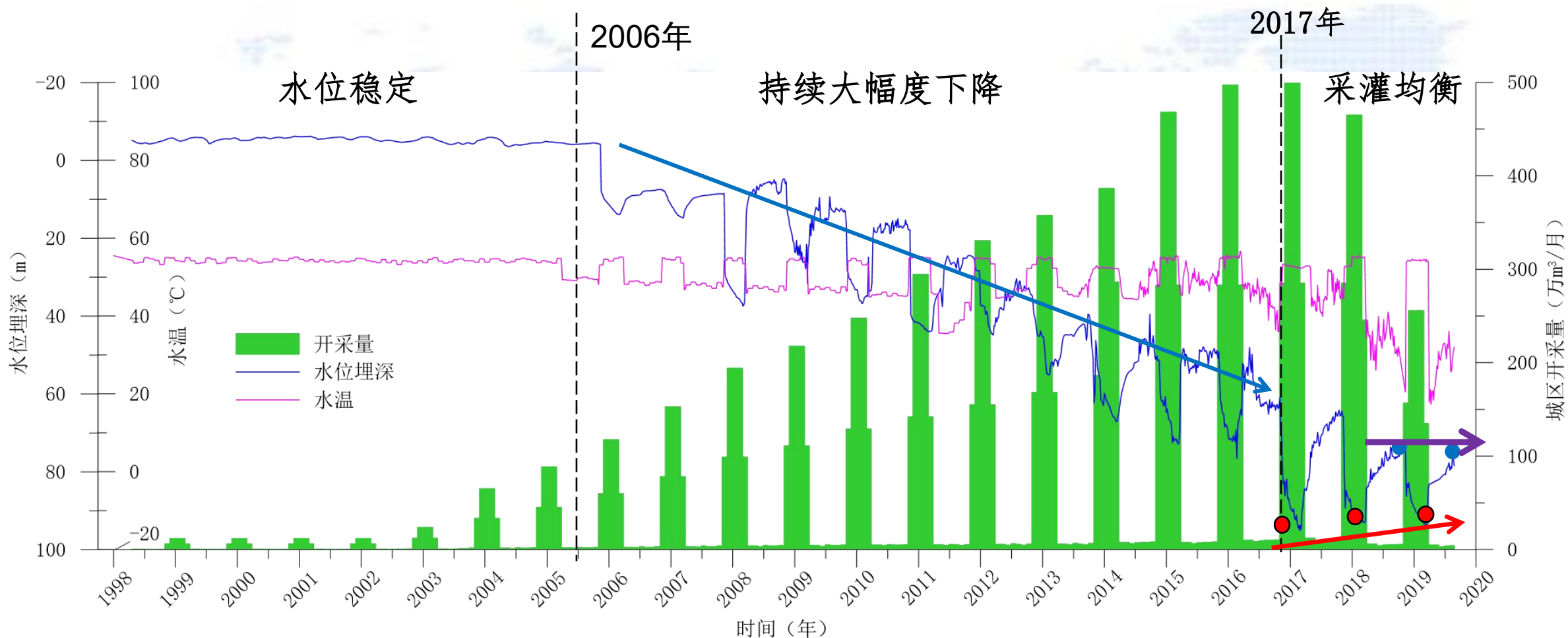
供暖站房

多功能展厅





问题5：对后续水位变化，取水影响进行评估



德热1井1998~2020开采量-水位-水温动态图



水均衡方程

- 根据区内地下水补、排项年际间变化较大的特点，采用多年均衡法，均衡期定为2024-2044年。均衡方程具体表示为：
- $\mu \cdot \Delta H \cdot F = (Q_J + Q_{\text{回灌}} + Q_{\text{弹}} + Q_{\text{压}}) - (Q_{\text{开采}} + Q_{J'})$ 。
- 式中： μ —地下水位变动带平均给水度（无量纲）
- ΔH —计算时段（均衡期 Δt ）内地下水水位变幅（m）
- F —计算均衡区面积（km²）
- $Q_{\text{弹}}$ —弹性释水量（万m³/a）
- $Q_{\text{压}}$ —压缩释水量（万m³/a）
- $Q_{\text{回灌}}$ —回灌补给量（万m³/a）
- Q_J —侧向流入量（万m³/a）
- $Q_{\text{开采}}$ —人工开采量（万m³/a）
- $Q_{J'}$ —侧向流出量（万m³/a）



运用GMS数值模拟进行水位预测

- 工作区范围：
- 本矿区周边开采井较多，武城清洁供暖项目三期四期共有25眼开采井和35眼回灌井，由冀东新能源运营的武城清洁供暖项目一期二期采灌井超过20眼。此外，武城城区还有部分矿区也集中于此。本次取涵括一期、二期、三期、四期矿区以及武城县城所有地热井的一个矩形区域作为工作区范围并以此作为本项目的论证范围



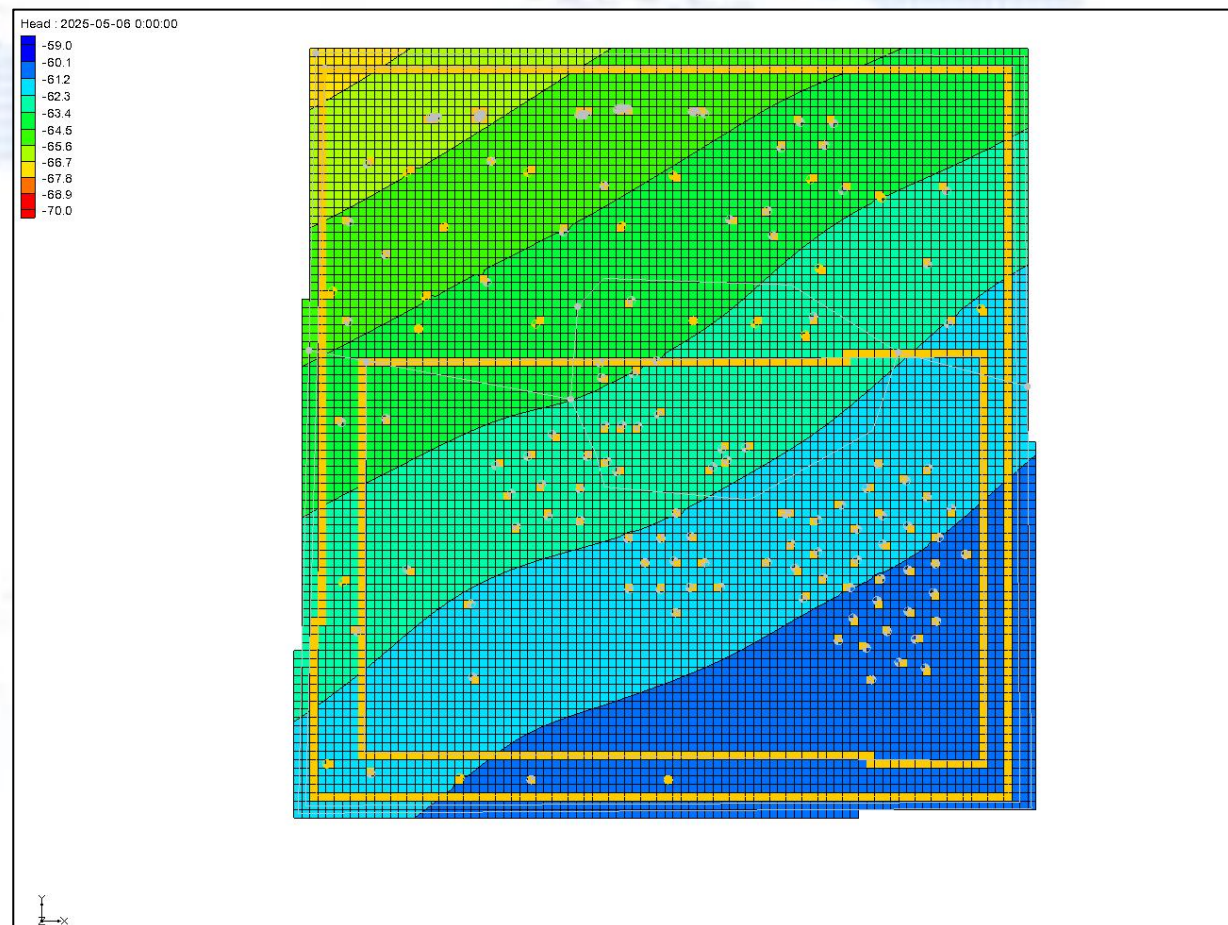
- 在地下水数值模拟研究中，选取GroundwaterModelingSystem(GMS)软件平台，其中运用了其内置的有限差分法（FiniteDifferenceMethod,FDM）模块来进行地下水的三维数值模拟。这种方法的思想核心在于利用网格离散化技术，将研究对象在空间维度上划分为相互连接的网格单元，在时间维度上也进行离散化处理，从而将复杂的地下水流动问题转化为离散的数学模型。
- 在空间离散化过程中，研究区内的每一个网格单元都被视为一个独立的计算单元，每个网格单元都具备独自的水文地质参数和地下水流动状态。在时间序列上，将模拟时段划分为若干个时间步长，针对划分后的每个时段，对离散后的每个网格单元内部的水头、流量等变量进行模拟计算。



- 2.明确边界条件
- 根据已有地热井资料确定补给边界 $K_1=1.012$ ，排泄边界 $K_2=0.87$ ；通过等水位线读取水位差 $\Delta s=7.10\text{m}$ ，长度 $L=13863\text{m}$ ，水力梯度 $J=\Delta s/L=0.05\%$ ；过水断面面积 $A=h*b$ ， $h=250\text{m}$ ， $b_1=4458\text{m}$ ， $b_2=4079.7\text{m}$ ， $A_1=114500\text{m}^2$ ， $A_2=1019750\text{m}^2$ ；本矿区侧向补给 $Q_{\text{补}}=569.5\text{m}^3/\text{d}$ 本矿区侧向排泄， $Q_{\text{排}}=448\text{m}^3/\text{d}$ 。



- 3.输入已有井位和水位作为控制点，进行初始水头的拟合。



- 4.输入水文地质参数，并对渗透系数分区。

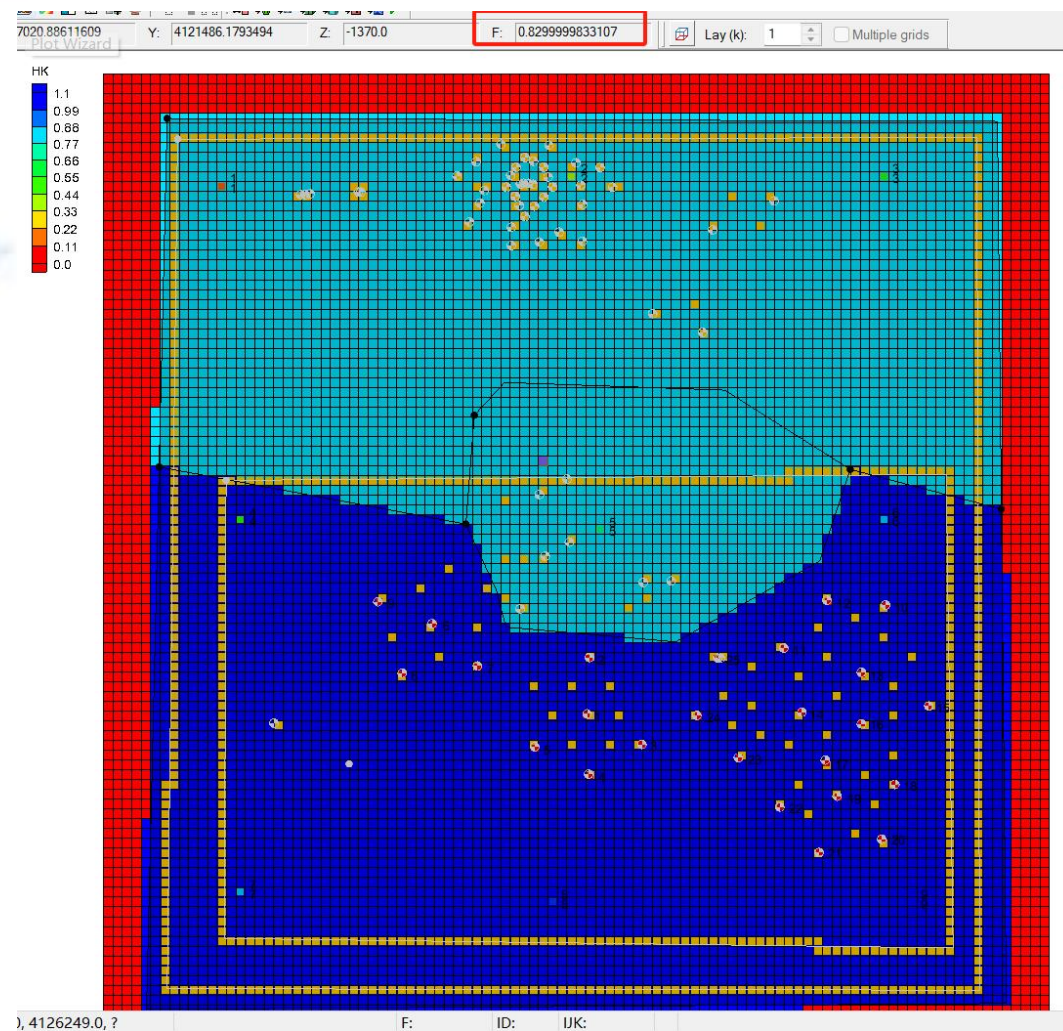
Attribute Table

Feature type: Polygons Show: Selected BC type: ANY/NONE

☒ Show coordinates

ID	Name	Auto assign layer	From layer	To layer	Horizontal K (m/d)	Spec. storage (1/m)
1		Use layer range	1	1	1.012	0.25

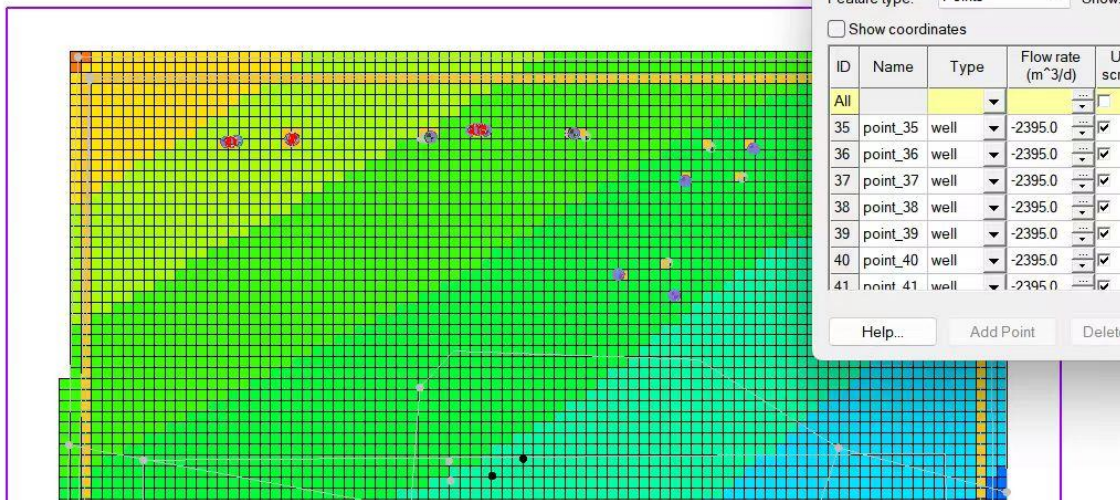
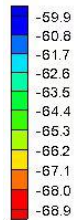
Help... Add Point Delete Point OK Cancel





- 5.概化含水层，输入地热井位置信息以及设计开采量

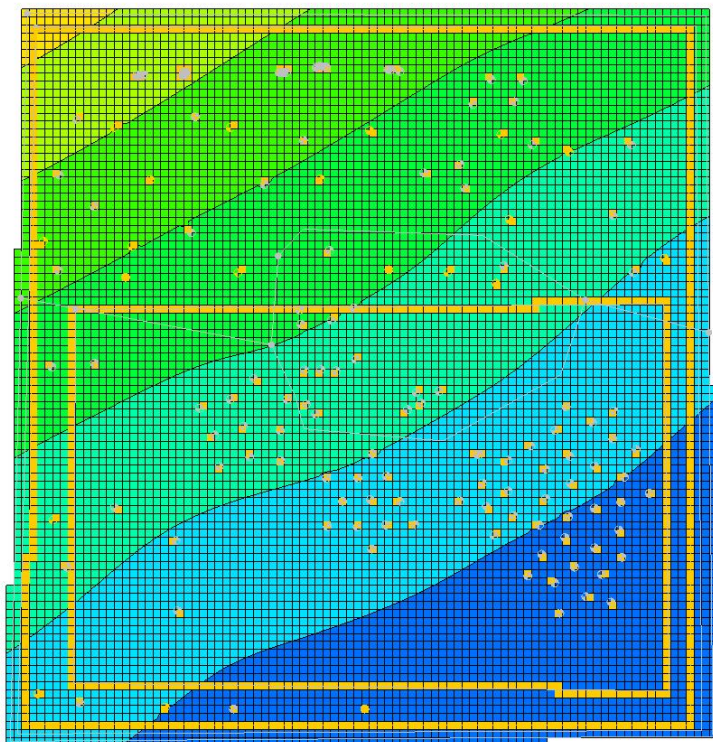
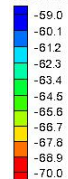
Head : 2025-06-06 0:00:00



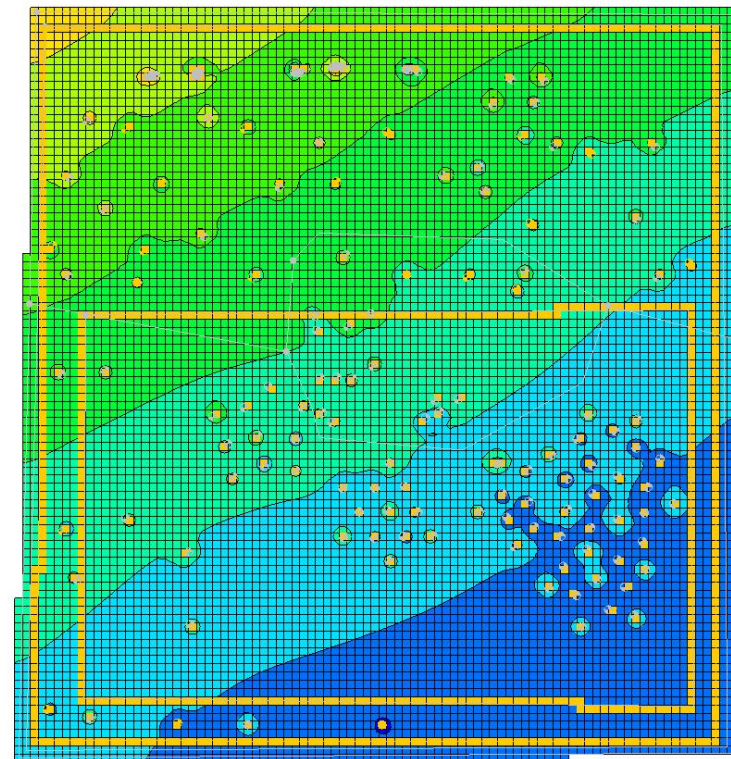
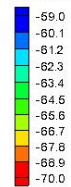


- 6.进行模型的运行，设置时间为10年，整体水位下降和部分区域下降最大的水位变差

Head : 2025-05-12 12:00:00



Head : 2035-04-04 0:00:00





- 通过图看出，10年以回灌率90%进行开采，等水位线总体没有较大改变，周围水位有小幅下降，通过点击单元格属性查询，变化最大的点水位标高从-61.9m到-64.1m，10年水位下降了2.2m，离地热井较近的区域水位平均下降了1.5m左右。

419013.04026987	Y:	4119192.8060109	Z:	-1370.0	F:	-61.97674942017
419013.04026987	Y:	4119192.8060109	Z:	-1370.0	F:	-64.1310043335

感谢聆听

