**地下水-地面沉降模拟试题**

**一 问题描述**

衡水市位于华北平原的中部地区，地面沉降问题存在已久，研究地下水压采以及地下水回灌对地面沉降发育的影响对水资源合理开发利用以及沉降防控具有重要意义。

本试题模拟期分为两个阶段，第一阶段为2018年1月至2022年12月，该阶段地下水处于常规开采条件；第二阶段为2023年1月至2027年12月，该阶段减少了地下水开采总量，并通过部分井进行了回灌。参赛者需在给定的开采条件下，利用提供的基础数据，先完成地下水模型的搭建和率定工作，进而构建地下水-地面沉降耦合模型，探究典型观测点地下水位和地面沉降的动态变化过程（图1）。

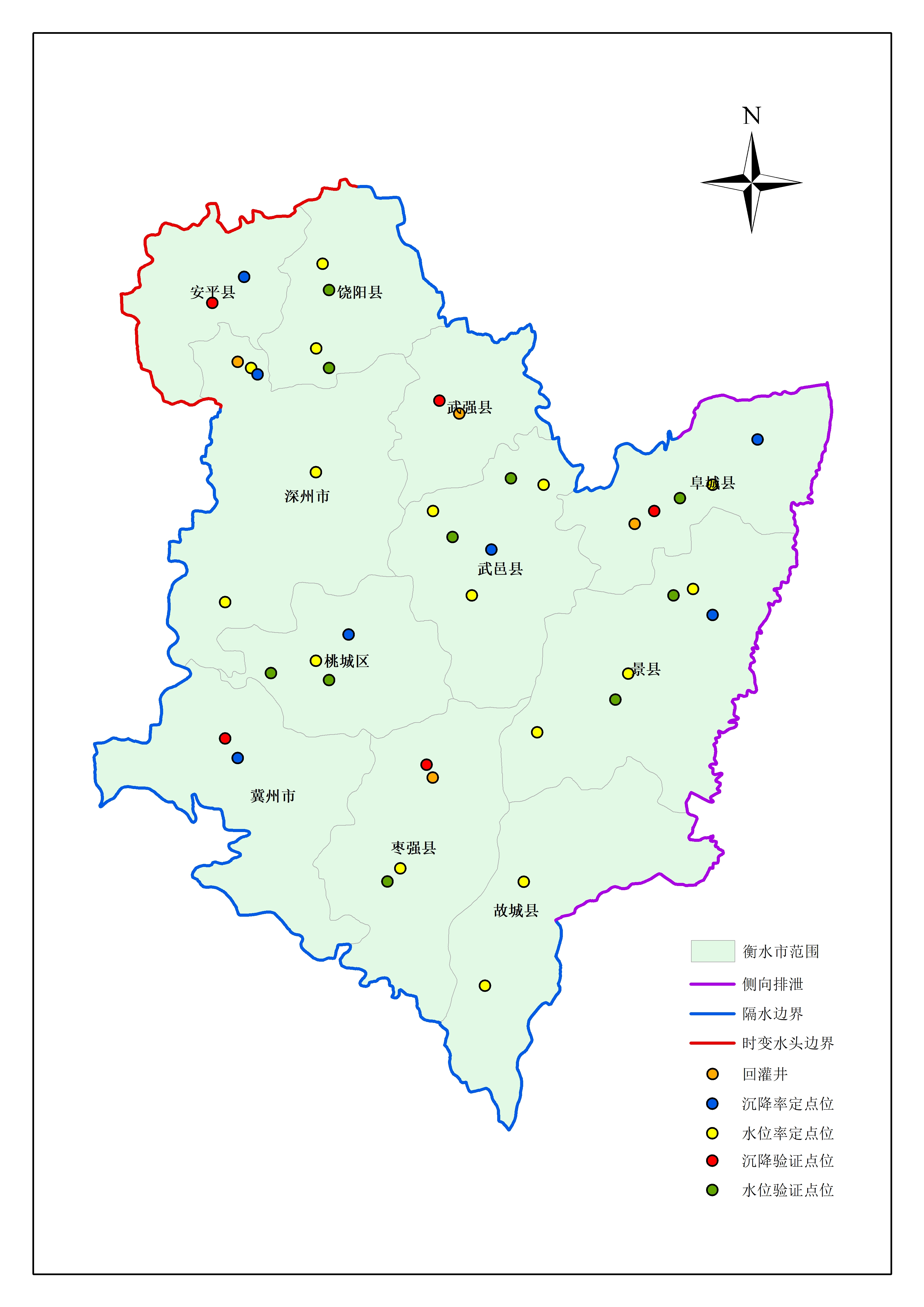
****

图 1 研究区概况

**二 相关数据资料**

模型构建时所需要的水文地质信息、降水量、地下水开采量、回灌信息，时变水头数据，侧向径流排泄量，滞后夹层体信息等资料在附件中给出，数据说明如下：

水文地质条件：研究区含水层类型主要为松散岩类孔隙水含水层组，大都由第四系松散沉积物组成。根据第四系含水层的成因和岩性特征，研究区从上到下分成四个含水层。其中第Ⅰ、Ⅱ含水层岩性主要为粉细砂，分别为潜水和承压水；第Ⅲ、Ⅳ含水层岩性主要为中细砂，部分为中粗砂，都为承压含水层，其中第Ⅲ含水层为主要的地下水开采层；

详细岩性分区参考“岩性及初始水文参数分区”文件夹中的GIS文件，渗透系数初值（m/d）、给水度以及贮水率（m-1）范围、地下水初始水位资料(m)、含水层底板高程(m)资料在附件中一并提供。

降水与蒸发：包含衡水市11个县域在两个阶段内的逐月平均降水量(mm)，降雨入渗补给系数分区文件在附件中一并提供；由于衡水市地下水埋深普遍大于5米，本次模型构建过程中不考虑潜水蒸发。

边界条件：研究区东南边界侧向径流总排泄量为1.2亿m3，第三、四含水层排泄量均为6000万m3，假定在研究时段内流速不变；研究区西北侧为时变水头边界，水头值在附件中提供，其余均为隔水边界（图1）。

地下水开采量：研究时段内主要开采第三含水层地下水，且用于农业灌溉，各县域在两个时段内每年各个月份开采总量在附件中提供；综合灌溉回归系数取0.12-0.2之间。

回灌：单个井的回灌量为300m3/d，回灌井位置GIS文件在附件提供。

地面沉降：第二、三含水层均含有粘性土层,假定研究时段初前期压实量为0，且初始水头为预固结水头，滞后压缩层的厚度在附件中提供，水文特性参数参考下表1, 非滞后压缩层统计参数见下表2，据该表可计算出含水层无延迟压实作用的贮水系数：

表1粘性土层中滞后压缩层参数汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 含水层 | 弹性贮水率  （m-1） | 非弹性贮水率  （m-1） | 垂向渗透系数  （m/d） |
| 第2层 | 2×10-6 | 5×10-4 | 6.5×10-5 |
| 第3层 | 5×10-6 | 8×10-4 | 2×10-6 |

表2粘性土层中非滞后压缩层参数汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 含水层 | 统计项 | 厚度（m） | 弹性贮水率 | 非弹性贮水率 |
| 第2层 | 非滞后压缩层 | 60 | 2×10-6 | 5×10-4 |
| 粗粒沉积物 | 80 | 1×10-6 | 1×10-6 |
| 第3层 | 非滞后压缩层 | 80 | 5×10-6 | 8×10-4 |
| 粗粒沉积物 | 60 | 1×10-6 | 1×10-6 |

率定数据：包含研究时段内水位观测点（图1）地下水位的动态变化（m），时段范围内沉降观测点沉降量的动态变化（m）。

验证观测井：包含水位以及沉降验证点位分布位置（图1）。

**三 结果要求**

1. 建模文件：模型程序（编译文件即可，无需源代码），输入、输出文件及说明，允许使用商业软件或自主开发的程序进行模拟。
2. 成果报告：内容包含但不限于模型介绍（自主开发的软件请简要说明计算原理），数据分析与处理过程，模型构建过程，模拟结果与率定点水位、沉降量的拟合程度(NSE，R2）。
3. 填写并提交“验证观测点.xlsx”文件，该文档需填写所有规定日期验证点位的地下水位和沉降值（m）。
4. 建模和成果报告的视频说明文件（要求完整展现作品思路、计算原理、建模过程、结果分析和作品创新性。播放时间不超过10分钟，需解说配音，格式可以为:MPEG、AVI、MP4等，文件大小不超过300M）。

**四 推荐学习资料及参考工具**

本试题推荐采用MODFLOW-2005模型（美国地质调查局（USGS））或SkyCoMuS模型（中国水科院（IWHR））进行模拟，这两个模型都带有地面沉降（SUB）模拟模块。有关地下水-地面沉降基础模拟原理和模型软件工具使用，可参阅资料如下：

1. Hoffmann J , Leake S A , Galloway D L , et al. MODFLOW-2000 Ground-Water Model—User guide to the subsidence and aquifer-system compaction (SUB) package[J]. 2003. <https://doi.org/10.3133/ofr03233>.
2. 陆垂裕. 地下水数值模拟模型SkyCoMuS-1.0. 北京:中国水利水电科学研究院, 2024. SkyCoMuS模型软件工具和说明书下载地址见：<http://www.hydrotools.top/hydroModel/SkyCoMuS>