# 威斯康星Central Sands地下水项目建模

小范围的高分辨率的地下水模拟区域，覆盖研究的湖泊和河流；大范围的低分辨率的模拟，覆盖地下水抽取的位置。

因此，建立了3个地下水模型：一个区域模型（扩展至大部分的水文边界）和2个inset模型（嵌套模型），集中在湖泊附近。

2012~2018用于参数估计（history matching)，使用地下水位、湖水位和河流径流

通过一个土壤-水平衡模型，考虑气象数据。用于评估农业灌溉的需水量和区域模型的边界条件施加。

## 区域模型

区域模型是MODFLOW-NWT，为modflow6模型（嵌套模型）提供边界条件的水头。

区域模型采用过渡条件，月周期的stress period (2012~2018)，起始恒定的stress period，表示整个周期(2012~2018)的长期平均条件。各过渡周期分为5个时间步，使用时间步乘子1.5

报告提供模型文件。

模型范围

如图1

模型网格和分层

区域模型分为均匀的572行，533列（结构）网格，单元大小200m。

模型分4层的水文地质单元，包括：

Layer 1---上部冰川层（表层含水层），表征不分选的冰川泥沙（东边）和更均匀的冰川泥沙（西边）；

Layer 2---中间冰川层

Layer 3---底部冰川层

Layer4---基岩层，表征砂岩基岩。

Layer1是由10m DEM重采样，Layer1和Layer2的底部高程是由上部的粗砂层和中间细沙层的底部定义的。Layer3的底部是砂岩基岩单元的顶部，Layer4的底部是Precambrian基岩的顶部。其他的模型分层的地质信息参考技术报告。

边界条件

如图3

空间平均的净渗透（含水层补水）在3.9-23.6 in/y，如图4，净渗流使用MODFLOW RCH软件包定义。

区域模型中考虑抽水井，见图3，抽水井使用WEL软件包定义。井的位置分配到模型分层，井的开阔间距内有最高的传导度。

侧向水流边界使用MODFLOW GHB软件包定义。这些水流边界包括：河流。GHB软件的传导度设置为0.5m2/d，假设1m厚河床，等价于1.25x10-5m/d的垂向水力传导度。

侧向水流边界形成区域模型的活动区域，除了南边边界（没有河流，不影响湖泊附近的地下水）。因此，南边边界设置为no-flow边界。

河流使用MODFLOW-NWT的SFR2软件包表征。SFR2输入使用SFRmaker软件定义。河床垂向水力传导度需要率定，最终取值1m/d，取值范围：0.03~80.5m/d。

含水层特性

初始的水平水力传导度，使用粗细泥沙比例估算

Layer1-3的水平水力传导度在0.09~152m/d

垂向水力传导度在0.002~2.93m/d

经过率定的模型水平水力传导度的含水层特性，见图5

垂向水力传导度，见图6

Specific yield，见图7

specific storage，见图8

## 模型率定

地下水水头和河流的测量值用于模型率定，见表1

数据共收集至177条河流和464个井，以及湖泊水位观测。

参数估计PEST++

实测值与计算值的比较，湖水位和地下水位，见图9

河流流量(m3/d)比较见图10

表1实测的地下水投和河流数据（模型率定用）

恒定态水头和河流的实测值与计算值之差，如图11和图12

过渡水头和河流的实测值（选择部分的井和河流），见图13和图14

## 区域模型结果验证

水位高程等值线和累积的模拟河流流量，见图16

## 嵌套模型(Inset model)

2个重点嵌套模型：Plainfield Tunnel Channel Lakes模型与Pleasant Lake模型

嵌套模型区域和水平向离散

湖泊周围区域使用20m水平网格分辨率可充分表征细节地形和湖泊的海岸线几何形状。但这样嵌套模型的运行时间很长（数个小时）。

因此，使用LGR方法，使用MODFLOW6的多中模型功能。重点研究湖泊的模型由2个子模型组成：

1. inset模型，与区域模型网格平行，相同的网格分辨率200m
2. 一个局部细化的LGR子模型，使用均匀的20m网格分辨率，包围湖泊的矩形区域。Pleasant湖见图19.

Pleasant湖嵌套子模型由100行和100列网格组成，LGR模型包含100行和120列。这样基准运行时间约10分钟。

嵌套模型垂向分层

inset模性的垂向分层与区域模型的数据源相同，除了layer1分为2层，调整为湖泊地形。模型顶层（layer1顶部）基于从LiDAR DEM的重采样的平均高程赋给各单元，除了湖泊地形。湖泊地形是从DEM高程减去，实现模型顶部。inset模型的底部表面层，没有湖泊。Layer1和Layer2均分，更好地表征湖泊水面附近的水力梯度。

MODFLOW6允许不连续分层，意味着模型残垣可以从没有水文地质单元的去删去。Pleasant湖嵌套模型，单元从layer3删去，此处没有New Rome Member或Layer2。单元也从陆地下面1m内的地层删去，接近基岩表面的点或沿着湖泊底部。

时间离散

嵌套模型的时间离散与区域模型一致，除了初始恒定态期间表征从2012~2015的平均条件。

嵌套模型的时间步长是1.2，与区域模型的1.5不同，因为嵌套模型更难收敛，较小的时间乘子改善模型收敛。

边界条件

嵌套模型的边界条件包括区域地下水流过模型周长。来自降雨、融雪和灌溉的补水。来自湖泊和河流的地下水-地表水交互。模型周长边界模拟为指定水头值（从区域模型获得）。

补水

嵌套模型的补水是来自SWB模拟的净渗流，使用最邻近方法施加到模型单元中心。该方法质量守恒。2012~2015施加初始恒定态周期的补水，然后在月stress period施加月平均净渗流。

MODFLOW6使用Recharge (RCH)软件模拟补水，使用基于数组的输入。

河流

MODFLOW6使用SFR软件模拟河流。SFR输入使用与区域模型相同的方法，除了使用flowline更精确第表征河流水源处的泉水（图19）。Pleasant湖模型，嵌套子模型中的泉水流出，这些溪流在2个子模型间连接，使用Water Mover (MVR)软件。

湖泊

MODFLOW6使用LAK软件描述嵌套模型中的LGR部分，耦合湖水平衡与地下水模型的湖水位模拟。Pleasant湖模型使用LAK软件，所有嵌套模型中的其他湖泊都使用高水力传导度区域，与区域父模型一样。

湖泊范围从遥感数据获取，与模型网格相交，表述为湖泊联系的单元。在湖泊范围内，模型顶部设置为湖底，基于地形表面。

LAK软件的水平衡需要湖泊的直接降雨输入和湖面蒸发。降雨从。。。获取，同时还包含平均气温评估。平均月湖面蒸发速率使用无修正的Hamon方法基于气温评估得到。

水利用

在2012~2018期间的井操作在MODFLOW6中表述为WEL软件。

抽水井的位置见图19 (Pleasant湖模型)。WEL软件的输入从报告的抽水数据获得，与区域模型使用相同的方法。井分配带模型层，在井之间使用最高的传导度。没有间距信息的水井，在其位置上分配给最高的传导度。

## 含水层特性

水平向和垂向水力传导度初始值设置根据区域模型的率定给出。

Specific Storage(Ss)初始设置为1x10-6 m-1

Specific Yield (Sy)初始设置为0.15（无量纲）