

# 郊区流域上游绿色设施模拟 SWMM 建模方法：用户指南



作者：Joong Gwang Lee, Ph. D.  
城市绿色设施工程中心 (CUGIE, Inc.)

Christopher T. Nietch, Ph. D.  
美国环境保护局  
国家风险管理研究实验室

Srinivas Panguluri, P. E.  
APTIM

美国环境保护局  
国家风险管理研究实验室  
水系统分部  
流域管理支部  
俄亥俄州辛辛那提市  
26 West Martin Luther King Drive 45268

翻译：李树平  
同济大学环境科学与工程学院  
上海市四平路 1239 号 (200092)

2018 年 6 月

## 原著声明

本文档信息已经总体或部分由美国环境保护局（EPA）资助。它接受了环保局同事和领导的审查，允许作为 EPA 文档出版。注意该许可并不是说明其中内容必须站在环保局的角度。提及的商标名称和商业产品不作为使用的背书和建议。

注意：本报告是作为美国政府一个部门的工作总结。报告中包含的任何信息、装置、产品或过程的准确性、完整性或用途，美国政府及其任何下属机构，任何工作人员，任何签订合同人员、子合同人员及其工作人员，均没有任何法律责任和义务做出明确或隐含的任何保证，均没有任何法律责任和义务做出明确或隐含的任何假设。其中通过商标名称、商标、厂家等表达的任何专门商业产品、过程或服务的参考，没有形成或意味着美国政府及其下属任何机构，或者任何合同商或子合同商的背书、建议或支持。这里表达的观点或建议没有说明或反映美国政府及其任何机构，或者任何承包商的观点或建议。

## 译者声明

本翻译工作得到同济大学教学改革与研究项目资助。对于报告中包含的任何信息、装置、产品或过程的准确性、完整性或用途，同济大学及其下属单位，均没有任何法律责任和义务做出明确或隐含的任何保证，均没有任何法律责任和义务做出明确或隐含的任何假设。其中通过商标名称、商标、厂家等表达的任何专门商业产品、过程或服务的参考，没有形成或意味着同济大学及其下属单位的背书、建议或支持。这里表达的观点或建议没有说明或反映同济大学及其下属机构的观点或建议。

## 摘要

雨水径流水量和水质对汇水面积属性具有很强的依赖性。模型用于模拟径流特性，但是雨水管理模型的输出取决于汇水面积怎样细分以及怎样表达为空间元素。对于绿色设施（GI）建模，建议了一种离散化方法，将直接连接不渗透面积与总不渗透面积区分开。建议确定渗透缓冲区，它接受坡面上游不渗透面积径流，作为整个渗透面积的独立子集。这种独立（分离）改善了径流过程的模型表达。详细介绍和讨论 Lee 等人在 2017 年对该方法性能合理性和示范的研究。

将这些准则用于分类控制径流水文特性的重要地表覆盖组件，针对 the Shayler Crossing (SHC) 流域上游区，说明了将美国环境保护局雨水管理模型（SWMM）用于项目空间离散化的一种方法，该流域上游区位于俄亥俄州辛辛那提市郊区，住宅面积占地 100 hm<sup>2</sup>，流域性能被良好监视。模型依赖于城市地表覆盖的高精度空间数据库，雨水管渠特征和地形。该方法包含了来自不同空间组件贡献的径流分布，以及影响 GI 性能的水流路径。结合整个系统内较一致景观特征的流域上游区，例如 SHC，所有子汇水面积利用相同的地表覆盖类型离散化，采用  $j \times k$  组校核参数，其中  $j$  为子汇水面积， $k$  为子汇水面积参数；一个子汇水面积的参数集（即  $k$  个参数）可用于所有情况，减少了校核中考虑的模拟参数总数。取决于需要模拟的流域尺寸和景观特征，使子汇水面积分组（例如陡坡与缓坡）成为必要。这带来校核中考虑额外的参数集，但是与每一子汇水面积独立设置参数相比，仍旧限制了参数值的取值域。

本报告中概括了模拟小流域尺度内 GI 情景、需要的空间数据库和 SWMM 模型设置步骤。将 SHC 流域上游区作为案例研究，描述了模型设置和执行模拟的过程。给出模拟结果的同时，它们仅仅提供了背景和指南，并未作详细讨论。本报告的主要目的是为对流域尺寸内 GI 感兴趣的 SWMM 模型用户提供一个框架，将常用计算机分析软件工具用于配置针对 GI 情景分析的 SWMM 模型。本报告分为逐步实现步骤，用户指南，设置 SWMM 模型的格式，以模拟 GI 对小型流域降雨径流水文特征的影响。

本报告由美国环境保护局发起，由 APTIM 在合同 EP-C-14-012 下完成。本报告形成于 2017 年 6 月 1 日至 2018 年 3 月 31 日。

# 目 录

1 引言 .....	1
1.1 研究面积概览.....	2
1.2 报告目标.....	2
2. 数据准备.....	2
2.1 数据收集.....	3
2.1.1 空间数据.....	3
2.1.2 监视数据.....	6
2.2 SWMM 建模前研究面积的空间分析.....	7
2.2.1 建立用地/地表覆盖层 .....	7
2.2.2 创建设计用地/地表覆盖特征的 GIS 层 .....	13
2.2.3 创建缓冲渗透面积 (BPA) .....	15
2.3 为设置 SWMM 模型, 推导 GIS 层.....	19
2.3.1 子汇水面积的 GIS 层 .....	20
2.3.2 雨水管道系统的 GIS 层——汇接点、管渠和排放口.....	28
2.3.3 雨水控制系统的 GIS 层——蓄水、孔口和堰.....	29
2.3.4 创建背景图像.....	30
2.4 为单个子汇水面积推导建模参数.....	30
2.4.1 叠加地表覆盖数据和子汇水面积数据层 .....	30
2.4.2 利用 MS-Excel 布置空间属性数据 .....	34
2.4.3 利用 MS-Excel 中“PivotTable”建立基于组件的空间数据库.....	37
2.4.4 为单个地表组件指定建模参数.....	39
2.4.5 布置 MS-Excel 工作表, 估计单个子汇水面积的建模参数 .....	39
2.4.6 SWMM 建模的属性数据和额外 GIS 层 .....	41
3 模型设置.....	43
3.1 利用 EPA SWMM 初始化 SWMM 模型设置 .....	43
3.1.1 设置空间参考的背景图像.....	44
3.1.2 设置研究面积的降雨数据.....	45
3.1.3 设置模型选项.....	47
3.2 利用 PCSWMM 将处理过的 GIS 数据导入到 SWMM 模型 .....	49
3.2.1 导入子汇水面积 GIS 层 .....	51
3.2.2 导入汇接点的 GIS 层 .....	52
3.2.3 导入排放口 GIS 层 .....	53
3.2.4 导入蓄水设施 GIS 层 .....	54
3.2.5 导入管渠 GIS 层 .....	54
3.2.6 导入孔口 GIS 层 .....	55
3.2.7 导入堰 GIS 层 .....	55
3.2.8 完成 GIS 层导入 .....	56
3.3 利用 EPA SWMM 和 Excel 编辑器, 将建模参数导入到 SWMM 模型.....	59
3.3.1 将 Excel 编辑器配置为 SWMM 中的工具 .....	59
3.3.2 利用 Excel 编辑器的数据入口/编辑 .....	62
3.4 为了模拟基准线缓冲渗透面积, 设置 LIC 控制 .....	70
3.4.1 利用 EPA SWMM 添加 LID 控制 .....	70

3.4.2	利用 Excel 编辑器设置所有现有基准线缓冲渗透面积.....	71
3.5	设置含水层和地下水建模性能.....	74
3.5.1	利用 EPA SWMM 添加“含水层”.....	75
3.5.2	利用 Excel 编辑器设置所有含水层.....	77
3.5.3	利用 Excel 编辑器设置所有子汇水面积的地下水参数.....	79
3.6	利用 EPA SWMM 指定“Transects”和“Curves”.....	81
3.6.1	利用 EPA SWMM 中的“Transect Editor”，添加自然河流的断面数据.....	81
3.6.2	指定蓄水曲线.....	85
3.7	利用 EPA SWMM 运行建立的 SWMM 模型.....	88
4.	模型校核.....	90
5.	基于情景的 GI 建模分析.....	93
5.1	GI 情景 1——从主建筑断开落水管.....	93
5.2	GI-情景 2——执行单个子汇水面积的生物停留区域.....	95
5.3	结合了 GI 情景的模拟结果比较.....	99
6	结论.....	100
7	参考文献.....	101

## 缩略语

ARS	农业研究局
BioRet1	生物停留 1
BPA	缓冲渗透面积
CHI	计算水力研究所
DA	配水面积
DCIA	直接连接不渗透面积
DEM	数字高程模型
DisCoeff	流量系数
DS	坑洼存水
EFW	East Fork Watershed
EPA	环境保护局
ESRI	环境系统研究所
Esurf	蒸发表面
EvapFactor	蒸发因子
FBA	滤床面积
FIPS	联邦信息处理标准
Ft2	平方英尺
GEOM1,...4	几何特征 1, …… , 4
GI	绿色设施
GIS	地理信息系统
ICIA	间接连接不渗透面积
IMD	初始湿度欠缺
In	英寸
In/hr	英寸每小时
Init_Depth	初始深度
InOffset	进口偏移
Inp	输入
Invert_Elv	内底标高
IWS	内部蓄水量
JPEG	联合图像专家组
Ksat	饱和导水率系数
LID	低影响开发
LiDAR	将检测和测距
MOP	实践手册
MR	模拟结果
NAD	北美参考系
NCDC	国家气象数据中心
NEXRAD	新一代雷达
N-Imperv	不渗透地表的曼宁 n 值
N-Perv	渗透地表的曼宁 n 值
NRC	国家研究委员会
NRCS	国家资源保护局

NRMRL	国家风险管理研究实验室
NSE	Nash-Sutcliffe 效率
ODNR	俄亥俄州自然资源部
Ohio EPA	俄亥俄州环境保护局
ORD	研究开发办公室
PA	渗透面积
PctRouted	演算百分比
PctZero	零百分比
PervBuffer	渗透缓冲带
Rim-Elv	边缘标高
Routeto	到……的路径
SCS	土壤保护局
SHC	Shaylor Crossing
S-Imperv	不渗透区坡度
SPA	单独渗透面积
S-per	渗透区坡度
SSURGO	土壤调查地理数据库
STATSGO	州土壤地理数据
SWAT	土壤-水评价工具
SWMM	雨水管理模型
TPA	总渗透性面积
USDA	美国农业部
USEPA	美国环境保护局
USGS	美国地质调查局
VegSwale	植草沟
WEF-ASCE	水环境联合会 – 美国土木工程协会
WQv	水质容积
Xsection	横断面
YSI	Yellow Springs Instruments

# 1 引言

有效雨水管理需要在暴雨实践过程中产生的降雨径流特征的彻底理解。美国环境保护局（EPA）雨水管理模型（SWMM）为通过水资源专家和研究人员使用的，受欢迎的城市/郊区降雨-径流模型。SWMM 可用于径流流量和水质的单一事件或长期（连续）模拟。径流组件在接受降水和产生径流和污染物负荷的子汇水面积集合中操作，。演算部分通过管道、渠道、蓄水/处理设施、水泵和调节器系统输送径流。因为 SWMM 5.0.019 版明确包含了评估几种绿色设施（GI）实践性能的能力。SWMM 将术语低影响开发（LID）控制用于设计的 GI，为了捕获地表径流，提供滞留、下渗和蒸发蒸腾的一些组合。SWMM 中模拟的 GI/LID 控件包括生物停留网格、雨水花园、绿色屋顶、渗渠、渗透路面、雨水桶、屋顶隔断和植草沟。

常规雨水建模已经关注了城市排水系统的设计和洪水控制实践，根据较大的暴雨，例如根据 2 到 10 年重现期暴雨设计了排水系统，以及根据 25 到 100 年暴雨设计了洪水控制实践（NRC, 2009; WEF-ASCE, 2012）。相反，城市地区产生的将近 95% 污染物径流，来自小于 2 年重现期的暴雨事件（Guo and Urbonas, 1996; Pitt, 1999; NRC, 2009）。为了纠正该水污染问题，建立了 GI 实践（WEF-ASCE, 2012; USEPA, 2014）。GI 的专门设计目标包括最小化直接连接到雨水管道的不渗透面积、增加地表水流路径长度或集水时间，并在地块水平最大化现场坑洼存水（WEF-ASCE, 2012）。运行上它转换为较小但空间上密集分布的单个雨水管理实践（USEPA, 2009）。为了评估该管理方法，需要准确详细的子汇水面积划分。

为了协助了解地区雨水管理规划和设计决策，模拟流域内 GI 效应具有很大的兴趣。可是，根据雨水建模观点，与更加集中化和地区性控制特征的常规大尺寸、低空间密度相比，GI 模型表达需要不同的方法。不渗透面积应进一步刻画为直接连接不渗透面积（DCIA）或间接连接不渗透面积（ICIA）。DCIA 直接将径流排向现有雨水管道系统，不需要任何控制；而 ICIA 排向邻近渗透面积。从 ICIA 接受径流的渗透面积工作方式正如缓冲带或缓冲洼地，因此作用正如现有 GI 实践，尽管不是有意这样设计的；本研究中称作缓冲渗透面积（BPA）。其他渗透面积称作独立渗透面积（SPA），没有接受或者控制任何不渗透面积径流。本报告描述了 SWMM GI 建模的方法——怎样划分和刻画为了 GI 分析的子汇水面积；通常与将来改善相关，通过改变 DCIA, ICIA, BPA 和 SPA 的状况。该模型的设置不仅仅允许模拟各种 GI 情景的效应，而且便于这些情景的尺寸确定，从小的子汇水面积（或者地块水平）到流域水平。

SWMM 通常用于空间尺度，变化从单个地块（在数英亩以内）到汇水面积（或小的）流域尺度（在数百英亩）。SWMM 将基于子汇水面积的建模方法用于模拟由降雨产生的径流，在其中捕获径流或转向不同的输送、存储和/或处理设施（Rossman, 2015）。本报告总结了 SWMM 建模方法，为了模拟流域上游区的 GI（该特殊情况中，一个 250 英亩的流域）。流域术语中，流域上游区模拟为景观性系统物理位置，它的排水形成了自然河渠，自然排水网络的“头部”或起始端；通常包括排向一级河道汇流点之前的所有土地，之后形成二级河道。

报告包含了逐步的、手把手的指南，针对模拟流域上游区 GI 的建模方法，利用商业可用计算机工具的组合。方法的正式分析，根据模型性能和模拟结果的相关性，研究城市 GI 的有效性。本分析的结果已经包含在为外部出版物准备的文稿中。书写本报告下，该文稿正在通过水文和地球系统科学杂志公布并经匿名同行评议，它可以从以下 url 下载：

<http://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/hess-2017-166/>。



## 1.1 研究面积概览

本文档介绍的方法针对位于靠近俄亥俄州辛辛那提市的 the East Fork of the Little Miami River Watershed (EFW) 的 the Shayler Crossing (SHC) 流域上游区开展的。SHC 汇水面积主要为住宅，也有一些农业用地。自从 2006 年起，EPA 结合 Clermont County Office of Environment Quality and Soil and Water Conservation District，执行了长期广泛的监视和建模工作，在 EFW 区域，为了建立系统性流域管理框架。该框架允许评估在农业和郊区用地的衔接处，水质管理实践和程序的可行性和潜在有效性（Ohio EPA, 2014）。更详细的场地描述和用于建立该方法的数据源，见本报告的后面章节。

## 1.2 报告目标

本报告总结了 SHC 处流域上游区 GI 的模拟方法。本报告介绍了协助其他用户的数据处理和建模方法细节，他们可能考虑利用 SWMM 完成该类工作。应注意到本报告中介绍的一些数据处理任务次序和方式是重叠的，并不意味着是规定的。用于执行该项工作的数据处理和分析工具包括：ArcGIS<sup>1</sup>，Microsoft Excel（MS-Excel）<sup>2</sup>，PCSWMM<sup>3</sup>和 SWMM。其他商业可用工具可以获得类似结果。本报告中商标名称或特定商业产品的说明，不构成对其使用的背书或推荐。

## 2. 数据准备

模拟研究面积内雨水降雨径流的初步任务是准备需要的数据。针对研究面积的和目标模拟时段的可用数据，需要从合适的源头收集。这些数据刻画了研究面积的相关空间和/或时间属性。可是，多数情况中，收集到的数据不能够直接用于 SWMM 建模，需要调整。也有一些数据是不可用的，因此需要通过估计或其他途径产生。于是除了数据收集，还需要包含显著的数据处理工作；它们均需要相当多的时间。当使用 SWMM 模拟研究面积内的雨水径流时，模拟人员通常执行以下任务：

1. 数据收集：从可用源头收集模型使用的特定现场数据。
2. 数据处理：审查收集到的数据差距，并准备将它用于模型。
3. 空间数据分析：产生研究面积物理组件空间网络标识的数字版本，包括地表用地/地表覆盖和地下雨水管道组件。它通常结合网络的图纸概念版指南产生。
4. 选取模型选项：指定用于研究面积的建模选项缺省集。
5. 对象编辑：编辑构成系统的模型对象（包括 LID 选项）的单个属性。本研究中，采用第三方工具 MS-Excel。
6. 执行模拟：执行 SWMM 模型模拟，并查看/评估结果、精炼/修改建模方法，包括敏感性分析、校核和验证。

---

<sup>1</sup> ArcGIS Desktop Version 10.2®为 ESRI, Redlands, CA, USA 的注册商标

<sup>2</sup> Microsoft Excel®为 Microsoft Corporation, Seattle, WA, USA 的注册商标

<sup>3</sup> PCSWMM 2016 由 Computational Hydraulics Int. (CHI), Guelph, Ontario, Canada 发布

## 2.1 数据收集

以下为建立考虑 GI 的 SWMM 模型所需的特定现场数据清单。如果没有相关数据可用，应根据可用技术参考文献做出假设。例如，SWMM 用户手册和参考手册（Rossman, 2015; Rossman and Huber, 2016）提供了特定模拟参数和特定条件的有价值参考数据。

- 空间数据
  - 地形：数字高程模型（DEM）或地形等高线。为了确定每一流域的单个子汇水面积，使用的数据应具有充分的精度。本研究中，利用由 Clermont County, OH 提供的 2 ft 等高线和 2.5 ft DEM。
  - 用地/覆盖：特定现场的地表覆盖数据。该数据集可以来自航空照片，结合充分小的分辨率，为了确定一致性地表覆盖类型（例如街道、主要建筑物、附属建筑物、车行道、人行道、停车场等）。
  - 土壤：土壤类型和特定土壤类型参数：毛细吸水头、饱和导水率、孔隙率、枯萎点、产水能力。SSURGO 提供了比 STATSGO 更详细的数据。
  - 雨水管道系统设计、建设和自然：雨水口、检查井的位置，排水管道特性和渠道特性。
  - 停留/滞留系统：位置、蓄水曲线（深度-面积）、出水口结构（例如堰，孔口）。
  - 其他现有雨水控制系统（即 LID/GI）：例如植草沟、生物停留、渗透路面等。
  - 含水层：地下水位。
- 监视数据
  - 降水数据：最小时，偏好不到一小时的分辨率；
  - 蒸发数据；
  - 系统水平的流量数据：河流流量、渠道和/或涵洞流量；
  - 可用的水质数据：排水管网中出水口和其他位置处沉积物、营养物质、金属和其他感兴趣污染物的浓度。

### 2.1.1 空间数据

本报告介绍的案例研究（SHC 流域上游区）为 the Clermont County Office of Environmental Quality, OH 提供的地理空间数据，为 ArcGIS 兼容格式。对于 County 或市政部门，这是理想的但不总是常见的（即，国家内不是每一个企业具有相同质量的可用数据）。通过 the County 提供的数据集包括地表地形（2.5 ft DEM 和 2 ft 等高线）、高分辨率的航空正投影照片、土壤数据、现有雨水管理设施（例如雨水口和检查井、雨水管道、湿式/干式滞留塘，以及自然河网）和其他城市设施（例如街道、饮用水系统，污水系统）。这些数据表现为地图产品，见图 1 到图 5。这些图中表示的 SHC 流域上游边界划分也是来自 the County。因为沿着研究面积正在进行的城市化（例如新的建设和相关的雨水管道系统调整），确切的流域边界在变化。本案例研究中的 SHC 流域边界划分是根据 2010 年的城市开发状况。

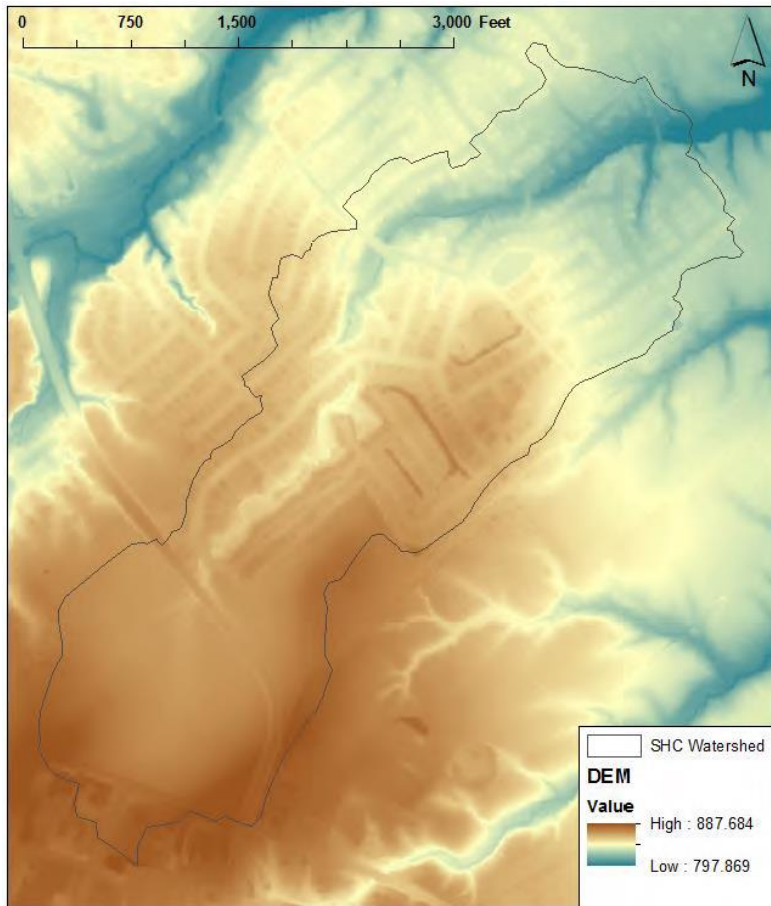


图 1 来自 Clermont County 的 SHC 地形 (DEM)。  
图例为标高, 英尺。SHC 中的最大标高差大约为 62 英尺



图 2 来自 Clermont County 的 SHC 航空正投影照片。  
该航空正投影照片用于确定和数字化详细的地表覆盖类型

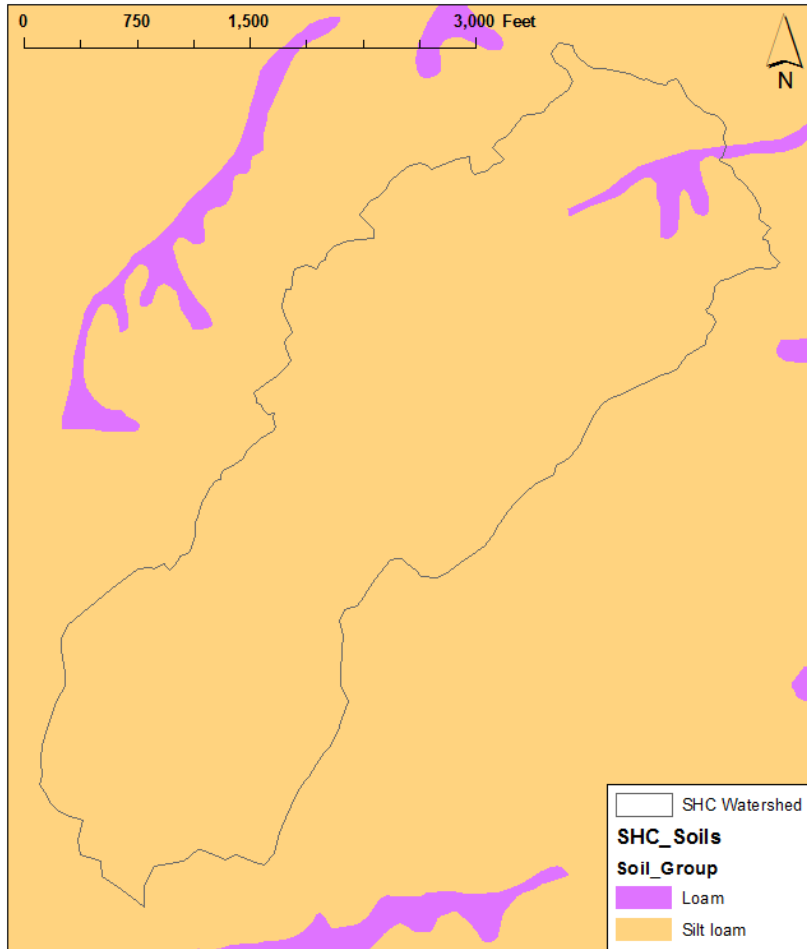


图3 来自 Clermont County 的 SHC 土壤（根据 SSURGO）

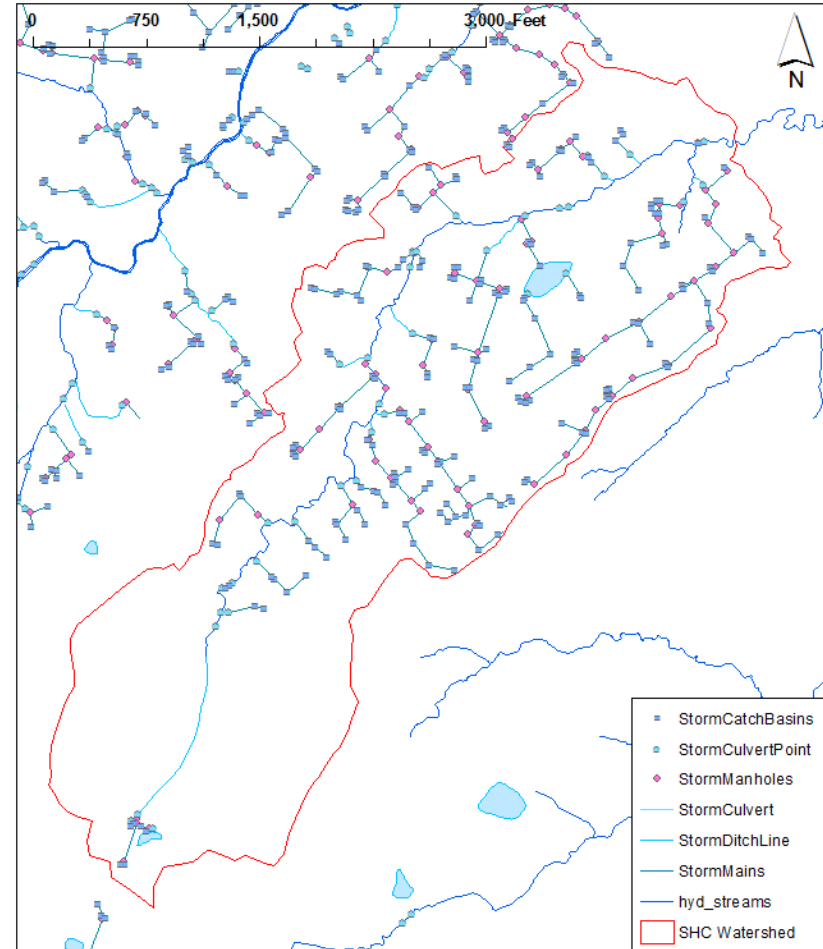


图4 来自 Clermont County 的 SHC 河流、池塘和现有雨水管理设施

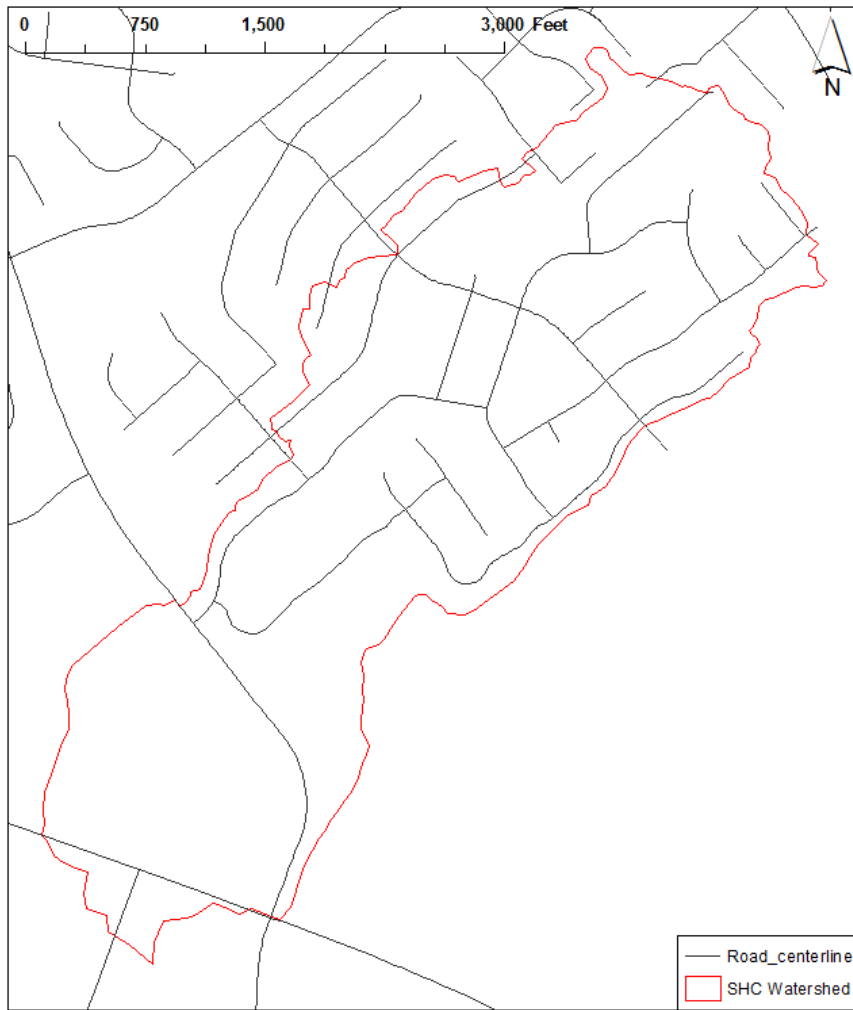


图 5 来自 Clermont County 的 SHC 道路中心线

## 2.1.2 监视数据

用于本研究特定场地的气候和流量监视数据可来自针对 the East Fork Watershed (EFW) of the Little Miami River, 正在进行的水质监视, 以及土壤和水评估工具 (SWAT)<sup>4</sup>建模工作。特别地, 来自 U.S. EPA 管理的 EFW 数据档案的以下数据, 用于本 SWMM 建模研究:

- 降水: 10 min, 0.1 mm 翻斗雨量计数据
- 来自由 NEXRAD 数据源准备的 the Lower EFW SWAT 模型的每小时降水数据 (见 Karcher et al., 2013)
- 根据测试流量和水位性能曲线估计的 SHC 流域上游区出水口处流量数据。出水口位于 SHC 的东北角, 这里主要河流流线满足了流域边界 (见图 4)。连续水位传感器 (YSI LS-600 序列) 用于记录几乎整年内的水位测试, 10 min 时间间隔, 时段从 2006 年 4 月到 2011 年 12 月。一些年份中传感器被拆除, 为了避免冬季月份冰冻

<sup>4</sup> SWAT 为通过 USDA 农业研究局 (USDA-ARS) 和 Texas A&M AgriLife Research, part of The Texas A&M University System 联合建立的公共领域模型。

条件的破坏：一月到三月中旬。

如果没有可用于特定感兴趣区域的监视数据，模拟人员可以检查公共领域内的其他数据源，例如来自国家气象数据中心（NCDC）的降水记录，以及来自美国地质局（USGS）的河流流量数据。降水和河流流量数据集均覆盖了整个国家，针对多个位置和数十年。可是，尤其针对河流流量数据，较不常见的是，寻找排除流域上游区河流的现有数据。如果没有河流流量数据，不可能校核 SWMM 模型或者考虑模型相对于现实的性能。昂贵和耗时的同时，值得的是获得流量测试的准确时间序列，即使它仅仅针对体现一些暴雨事件的时段。建议利用连续流量数据的最小时间序列，至少捕获了小型和中等到大尺寸的暴雨。对于北美温带温度，可以在秋季或春季获得。

研究面积的蒸发数据从公共可用源头获得：

- 临近 48 个州的蒸发地图集  
([http://www.nws.noaa.gov/oh/hdsc/Technical\\_reports/TR33.pdf](http://www.nws.noaa.gov/oh/hdsc/Technical_reports/TR33.pdf))
- 美国的平均月、季和年皿蒸发  
(<http://www.dynsystem.com/netstorm/docs/NWS34EvapTables.pdf>)
- 来自国家雨水计算器的月均蒸发数据  
(<http://www.epa.gov/water-research/national-stormwater-calculator>)

## 2.2 SWMM 建模前研究面积的空间分析

利用航空正投影照片推导研究面积的详细用地/地表覆盖数据。利用该用地/地表覆盖数据估计特定场地的不渗透性。为了进一步将单个不渗透表面特征分类为直接连接不渗透面积（DCIA）或间接连接不渗透面积（ICIA），也要估计不渗透面积与现有雨水排放系统的水文连通性。

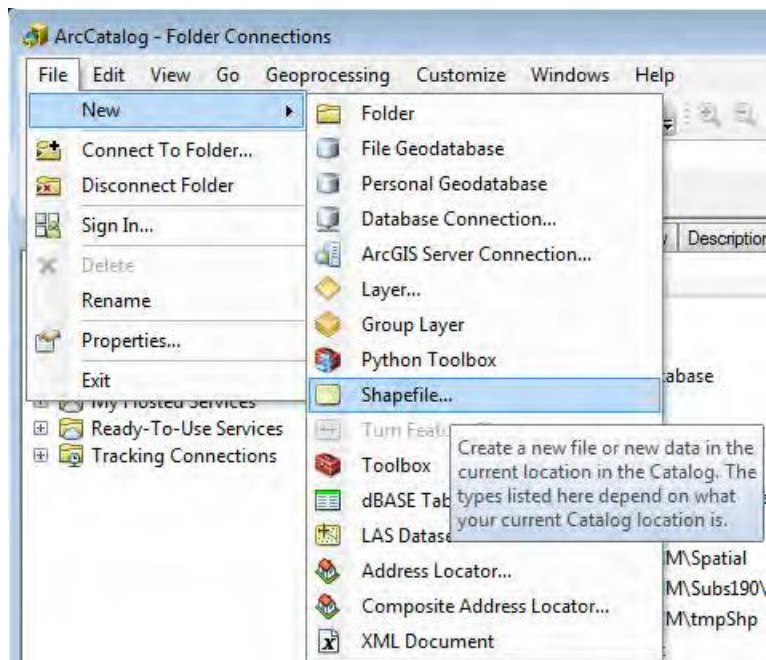
来自 the County 的土壤层提供了土壤类型。根据土壤类型，初步利用 SWMM 用户手册（Rossman, 2015）中的参考数据选择 SWMM 建模的相关参数。参数有毛细吸水头、饱和导水率、土壤孔隙率、土壤含水率的枯萎点，以及土壤含水率的产水能力。如图 3 所示，研究流域的土壤类型实质上是均质壤土。不幸的是，没有可用于估计研究面积内任何地下水特征的数据，例如地下水标高或含水层边界。

### 2.2.1 建立用地/地表覆盖层

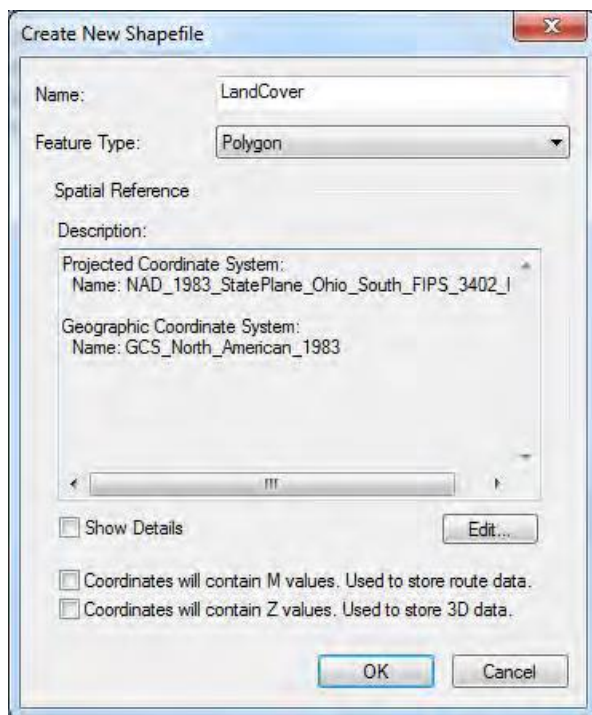
为了表示模型设置中流域的物理状况，确定和数字化航空正投影照片中的每一类型地表覆盖。利用 ArcGIS 中交互式屏幕数字化过程准备空间数据。该过程中，用户利用计算机显示器和鼠标创建 GIS 数据层，划分特定地表覆盖类型的边界。流域上游区精细空间分辨率的地表覆盖类型数字化是耗时的，但它对于 GI 建模考虑是实质性的。

第一步是利用 ArcCatalog 创建地表覆盖层的 shapefile:

⇒ 执行 “ArcCatalog”



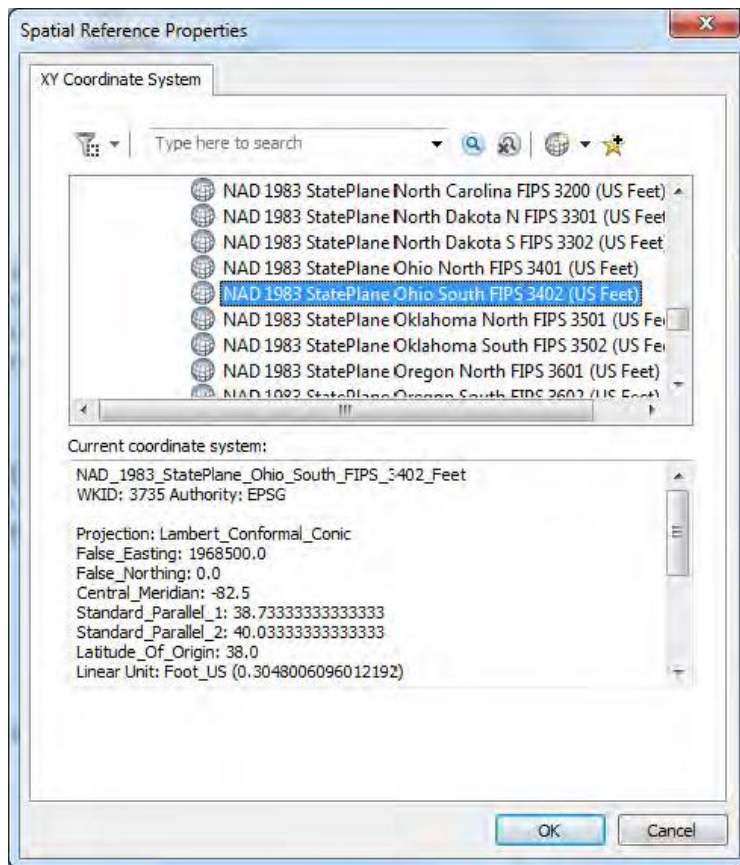
⇒ 在主菜单下选择“File/New/ShapeFile...”



⇒ 指定“Name”

⇒ 针对“Feature Type”，选择“Polygon”

⇒ 点击“Edit...”，指明和匹配坐标系统的“Spatial Reference”



- ⇒ 指定参考：投影的坐标系统/State Plane/NAD 1983 (US feet)/  
NAD\_1983\_StatePlane\_Ohio\_South\_FIPS\_3402\_Feet
- ⇒ 点击“OK”

注意：the Clermont County GIS 数据库是根据“NAD\_1983\_StatePlane\_Ohio\_South\_FIPS\_3402\_Feet”坐标系统。对于每一项目将是不同的，取决于航空正投影照片数据的位置和源头。

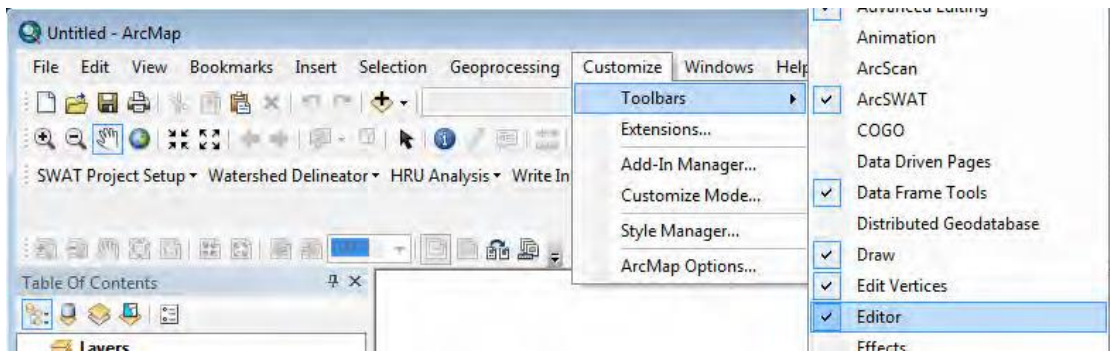
- ⇒ 点击“OK”，完成“Create New Shapefile”，
- ⇒ 关闭 ArcCatalog

下一步是在 ArcMap 中数字化单个地表覆盖类型：

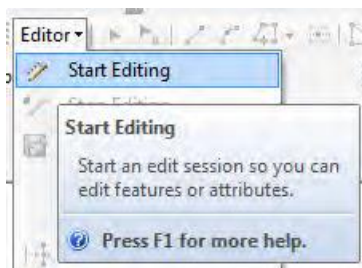
- ⇒ 运行“ArcMap”
- ⇒ 将航空正投影照片添加到 ArcMap
- ⇒ 添加前面步骤创建的多边形层

如果 ArcMap 中“Editor”工具不可见（即它没有被激活），继续以下步骤。如果工具可见（即已激活），跳过该步，进入下一步。





⇒ 在主菜单下选择 “Customize/Toolbars/Editor”



⇒ 点击 “Editor/Start Editing”

⇒ 数字化可区分的用地/地表覆盖特征所有边界，创建特征的独立多边形

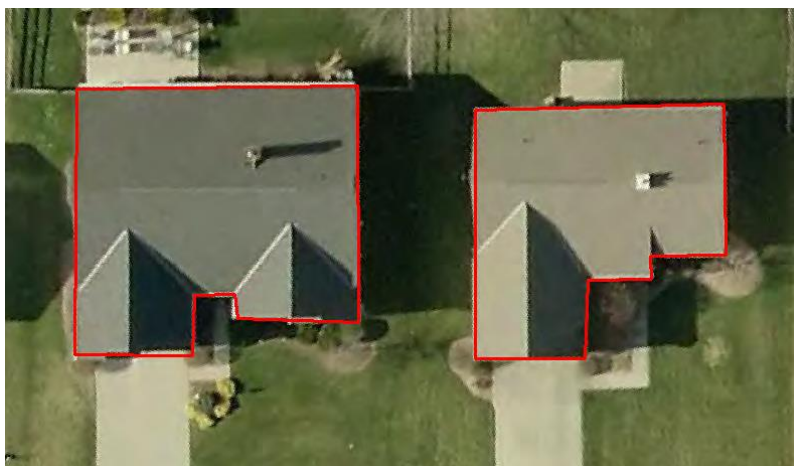


图 6 两个“主要建筑”多边形数字化的例子。包含在红色边界内的区域分类为地表覆盖层中的主要建筑

⇒ 类似地，继续数字化所有视觉可区分的地表覆盖特征（例如街道、停车场、人行道等），为单一用地/地表覆盖组件创建单独的多边形

⇒ 完成数字化过程



(a) 航空正投影照片 (b) 数字化地表覆盖

图 7 利用航空正投影照片创建用地/地表覆盖层

图 7 说明了利用 the County 提供的航空正投影照片作为背景，针对 SHC 的屏幕数字化用地/地表覆盖层的例子。本研究中，屏幕中数字化过程用于确定研究面积内的 16 种均质地表覆盖类型：街道、停车场、人行道、车行道、主要建筑、附属建筑、人行道、其他不渗透面积、景观或草坪区域，农业、森林、干式塘、雨水滞留区域、游泳池和湿式塘。

单个地表覆盖类型包括九类不渗透面积、五类渗透面积和两类湿润地表(池塘和游泳池)，见图 8。16 种覆盖类型分为五种不渗透表面组件、三类渗透表面组件和两类湿润表面组件，为了处理 SWMM 模型的参数化(表 1)。所有地表覆盖类型在 ArcGIS 中的空间数据库下管理。每一数字化的多边形(例如图 7)成为数据库中的一条“记录”，可以具有各自的属性数据(即数据库中的域或列)，表示了它的特性[例如面积(平方米)，地表覆盖类型名称等]。为了将新的数据域添加到层的属性数据，并估计特定地表覆盖类型的单个多边形面积的额外描述，见第 2.4.1 部分。为了根据基准线和将来执行情景处理 GIS 的相关分析，需要利用将每一属性定性为 ICIA 或渗透面积(PA)，对建立的用地/地表覆盖层细分。创建子集层的解释见第 2.2.2 部分。

重要的是相对于现有雨水排放系统的水文连通性，分类不渗透面积地表覆盖类型。直接连接不渗透面积(DCIA)为雨水径流直接通过雨水管渠排向受纳水体的不渗透面积，它没有通过任何渗透面积。SHC 中每一主要建筑分类为 DCIA，因为所有屋顶落水管直接排向雨水收集系统，即所有落水管被埋设，并通过管道或街道边沟连接到雨水口。注意如果可能，该特征应结合现场调查确认。

DCIA 中没有考虑所有附属建筑(例如储物间)。结合边沟排水的街道认为是 DCIA。任何将坡面上游不渗透面积直接连接到这些街道的情况，最初认为是 DCIA。这些区域包括直接连接的车行道、停车场和人行道。可是，如果人行道两侧由渗透面积包围，人行道将不作为 DCIA。没有边沟排水的街道不作为 DCIA。其他不渗透面积不认为是 DCIA。所有剩余的不渗

透面积分类为间接连接不渗透面积（ICIA），基本上输送雨水径流到邻近渗透面积。该空间分析的最终目标是将每一不渗透面积区块分类为空间数据库中的 DCIA 或 ICIA。

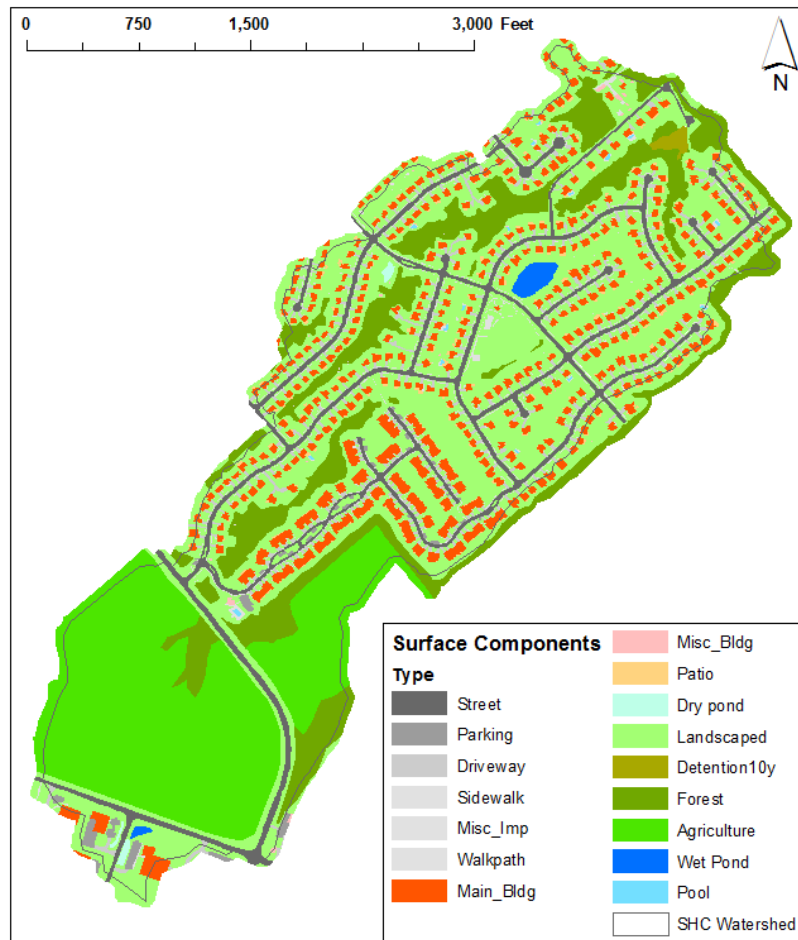


图 8 根据 SHC 数字化空间数据库的地表覆盖图

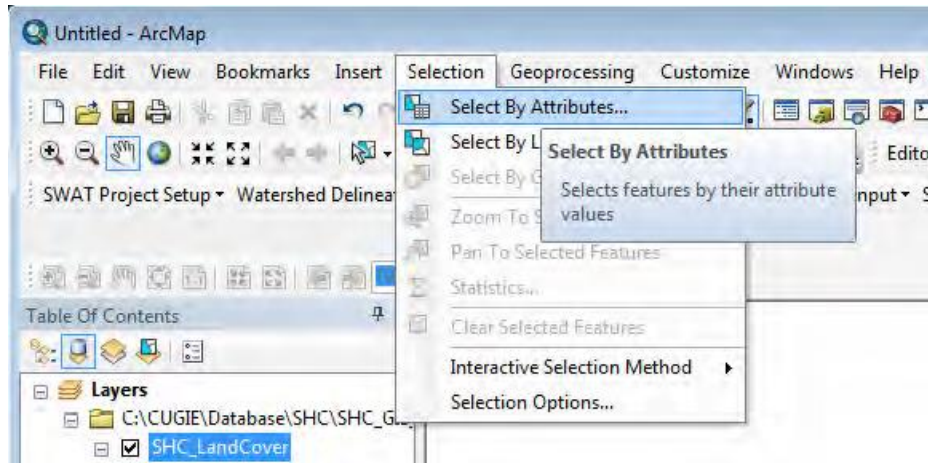
表 1 SHC 地表覆盖总结性信息

地表组件		面积 (ft <sup>2</sup> )	百分比
不渗透面积	建筑	1,028,09	9.6%
	街道	780,466	7.3%
	车行道	383,608	3.6%
	停车场	59,382	0.6%
	人行道	125,734	1.2%
	其他	191,377	1.8%
渗透面积	草坪	4,312,276	40.3%
	农业	2,361,929	22.1%
	森林	1,383,788	12.9%
其他面积	湿式塘	53,972	0.5%
	游泳池	10,752	0.1%
合计		10,691,383	100%

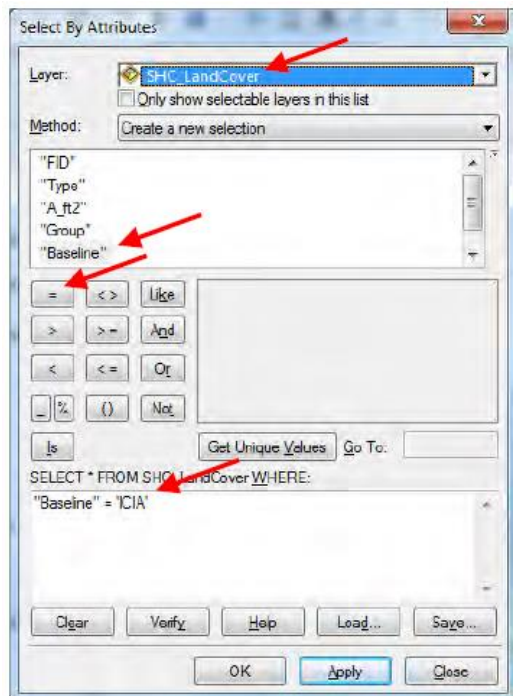
## 2.2.2 创建设计用地/地表覆盖特征的 GIS 层

GI 相关的建模分析，需要为 ICIA 和 PA 创建独立的数据层。通过执行以下步骤，可以从初始层的属性创建子集数据层：

- ⇒ 运行 ArcMap
- ⇒ 为创建子集层，添加 GIS 层



- ⇒ 在主菜单下选择 “Selection/Select By Attributes...”



- ⇒ 指定 “Layer”
- ⇒ 指定选择数据的 “Method”
- ⇒ 点击 “OK”

注意：文本格式数据必须用前后单引号围住（'文本'）。作为项目一部分而建立的空间数据库中，最初根据航空正射影像分类地表覆盖。“基准线”表示了 2010 年现有的用地/地表覆盖状况。

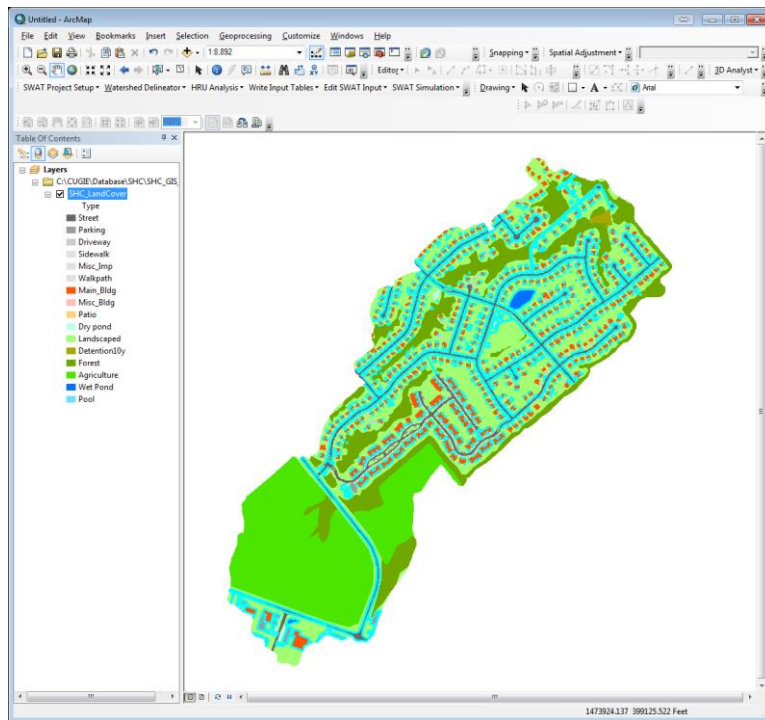
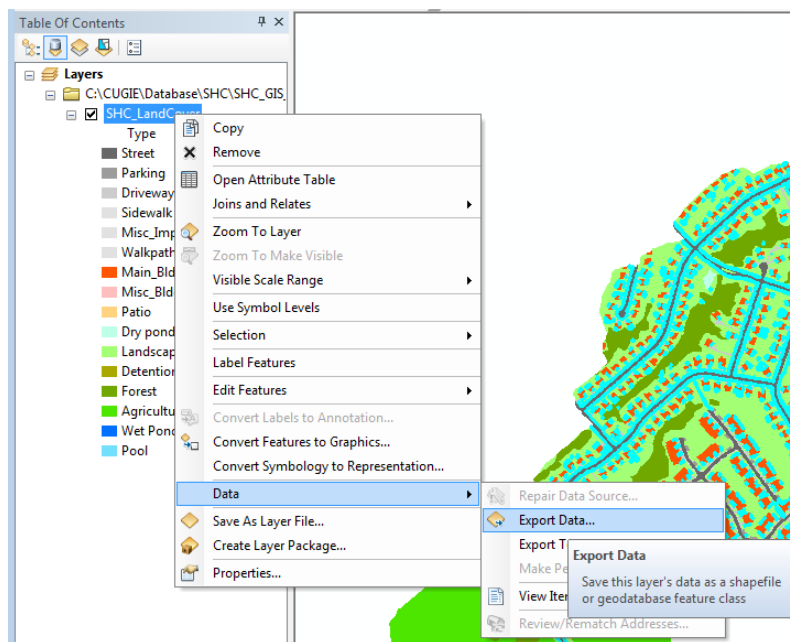


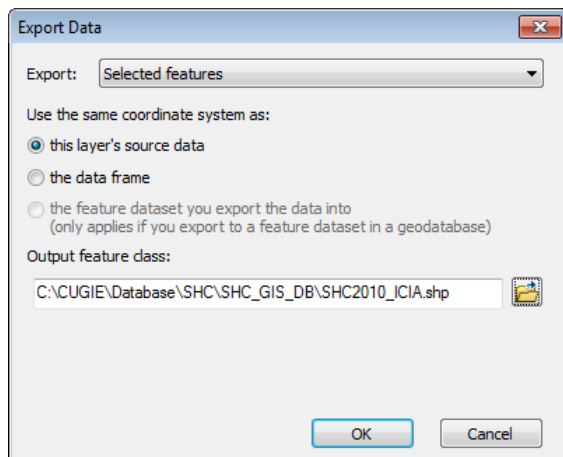
图 9 为了创建 ICIA 的子集层，从 GIS 层选择的数据例子

所选特征数据将结合突出颜色显示，见图 9(亮蓝色)。下一步将所选数据导出为新的 shapefile。



⇒ 在层中点击右键

⇒ 点击“Data/Export Data...”



- ⇒ 将“Export”指定为“Selected features”
- ⇒ 指定“Output feature class”
- ⇒ 点击“OK”

将这些步骤用于创建其他需要的子集层，有：ICIA, PA, 在基准线条件下为 DICA 的主要建筑。这些层用于确定针对基准线的缓冲渗透面积（BPA），以及结合 GI 执行情景的额外 BPA。以下部分（2.2.3）描述了怎样处理缓冲分析。

### 2.2.3 创建缓冲渗透面积（BPA）

径流从 ICIA 排向渗透面积。从 ICIA 接受径流的渗透面积部分的工作，正如现有缓冲带或渗水洼地（或现有 GI，尽管最初可能不是有意为该目的的）。它称作缓冲渗透面积（BPA）。通常在典型城市雨水建模分析中 BPA 认为是不重要的。可是，对于 GI 设计考虑，可能尝试放大渗透缓冲区的尺寸，或者沿着缓冲区利用额外的工程化 GI。因此，为了模拟现有基准线条件，以及流域中将来 GI 的执行，重要的是确定 BPA。现有 BPA 的精确程度仅仅可以根据详细地表地形研究定义，需要暴雨强度怎样影响它的宽度的理解。该类分析不是实际的或者可能的，甚至是不可能的。例如，与小型的相比，较高强度的暴雨将导致较大的缓冲区；以至针对模型参数化的 BPA 尺寸将为所有暴雨类型中的平均值。可是，几组潜在的 BPA 推导，利用 ArcGIS 中的空间临近分析，以及针对 SWMM 模型的集合在模型校核中选择。ArcGIS 中，通过改变沿着 ICIA 的距离，推导潜在 BPA 集合。随后针对 SWMM 中单个子汇水面积，总结潜在 BPA 的尺寸，并模拟为植草沟 LID，将在下面进一步描述。

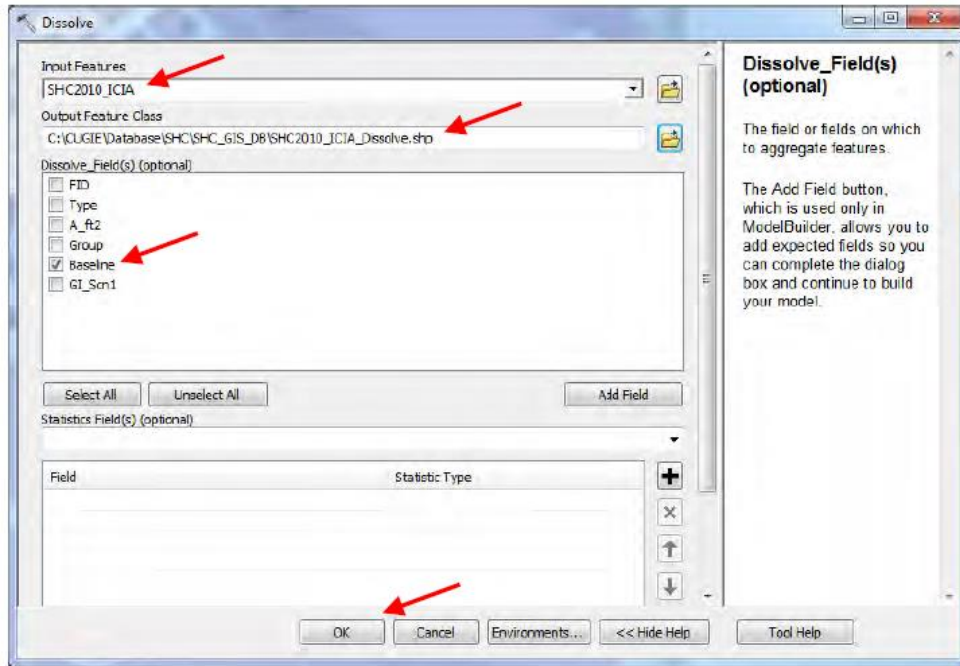
在 ArcGIS 中处理临近分析的步骤如下。沿着现有 ICIA 的 BPA 多个集合在概念上的例子，见图 10。

- ⇒ 运行“ArcMap”
- ⇒ 在本例中添加 GIS 层：SHC2010\_ICIA 和 SHC2010\_PA

为了更有效处理这种分析，第一步将每一层中的多个记录融入单一记录，。



⇒ 在主菜单下选择 “Geoprocessing/Dissolve”



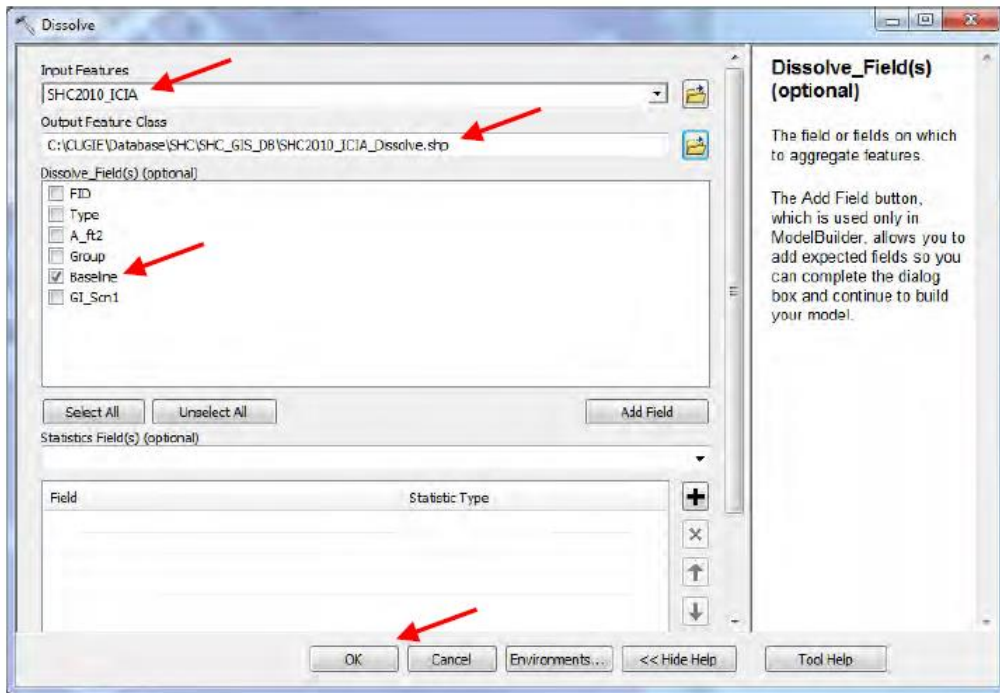
- ⇒ 选择需要融入的 “Input Feature”
- ⇒ 指定 “Output feature class”
- ⇒ 指定 “Dissolve\_Field(s)”
- ⇒ 点击 “OK”

上例说明怎样融入 ICIA 层。可以通过相同的步骤融入 PA 层。

⇒ 添加融入层: SHC2010\_ICIA\_Dissolve 和 SHC2010\_PA\_Dissolve



⇒ 在主菜单下选择 “Geoprocessing/Dissolve”



- ⇒ 选择需要融入的“Input Feature”
- ⇒ 指定“Output feature class”
- ⇒ 指定“Dissolve\_Field(s)”
- ⇒ 点击“OK”

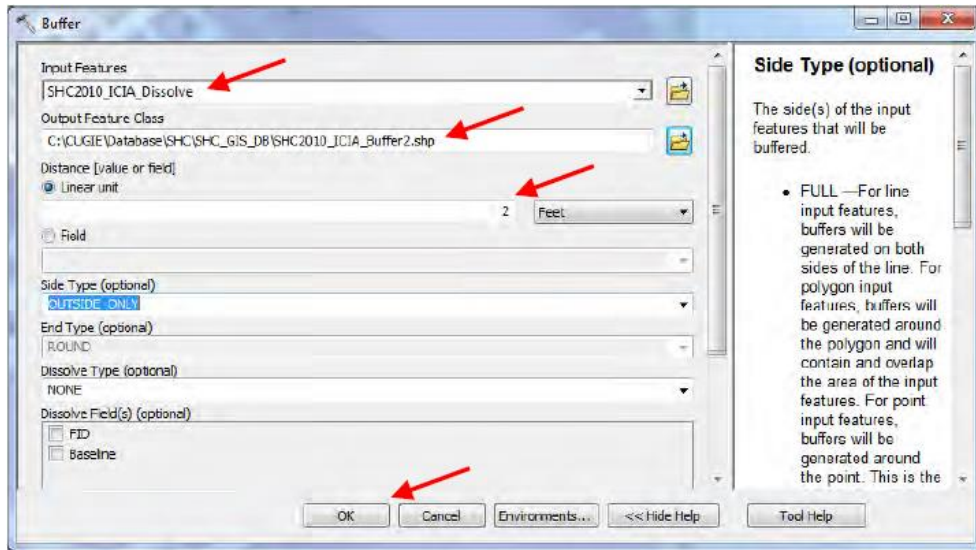
上例说明怎样融入 ICIA 层。可以通过相同的步骤融入 PA 层。

- ⇒ 添加融入层：SHC2010\_ICIA\_Dissolve 和 SHC2010\_PA\_Dissolve



- ⇒ 在主菜单下选择“Geoprocessing/Buffer”



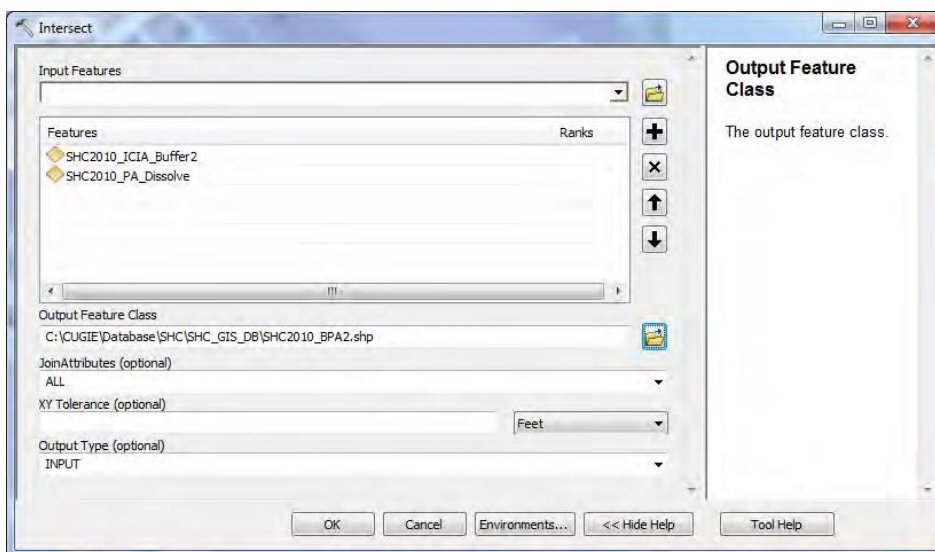


- ⇒ 选择作为融入 ICIA 层的 “Input Feature”
- ⇒ 指定 “Output feature class”
- ⇒ 指定 “Distance”（它为该集合建立了 PBA 的宽度。）
- ⇒ 将 “Side Type” 指作 “OUTSIDE\_ONLY”
- ⇒ 点击 “OK”

下一步是结合原有 GIS 层，叠加针对相同距离缓冲区推导的 GIS 层：



- ⇒ 从主菜单中选择 “Geoprocessing/Intersect”



- ⇒ 指定两个 “Input Features”：推导 BPA 层和原有层

- ⇒ 指定 “Output Feature Class”
- ⇒ 点击 “OK”

结果层结合沿着 ICIA 的指定宽度，表示了 BPA 集合；结合 ArcGIS 中的 “intersect” 函数，从总 PA 中有效减去现有条件（即基准线）的 BPA。结合不同缓冲距离，为了获得 BPA 的另一唯一层，完成相同的过程。图 10 说明了 BPA 的三个不同集合，每一个结合了不同的缓冲宽度。



图 10 根据来自现有 ICIA 的不同缓冲宽度，多个 BPA 集合的例子

SWMM 中，BPA 的集合通过校核中比较测试和模拟流量过程线评估（见第 4 部分）。该研究中，检查为建模指定的两个月时段流量过程线，关注了小型暴雨。几次试算之后，结合 2 ft 宽度的 BPA 说明了最好的拟合。没有指定为 BPA 的剩余 PA 确定为单独渗透面积 (SPA)。执行基于情景的 GI 分析情况中，可以生成结合不同临近性的另一 BPA 数据集，但是在所有情况中，总的渗透面积 (TPA) 应为 BPA 和 SPA 之和。

## 2.3 为设置 SWMM 模型，推导 GIS 层

GI 分析的 SWMM 模型模拟了地表径流、通过雨水排放系统的流量和雨水控制系统中的蓄水/处理效应。必须在参数化中提供来自准确空间数据推导的特征值，为了模拟这些过程。这些过程中的空间变化性，通过将研究面积分为更小子汇水面积的集合考虑。每一子汇水面积包含了各自的渗透和不渗透子面积分数。模型将该信息用于演算子汇水面积内、子汇水面积之间或者雨水排放系统进入点之间的地表漫流。

需要为设置随后的 SWMM 模型而准备，表示现有空间变化性的几个 GIS 层。图 11 说明了 GI 建模 SWMM 设置中的典型模拟对象。对应于问题流域的 GIS 部分，每一类对象需要各自的数据层。随后讨论这些层中每一层的推导。

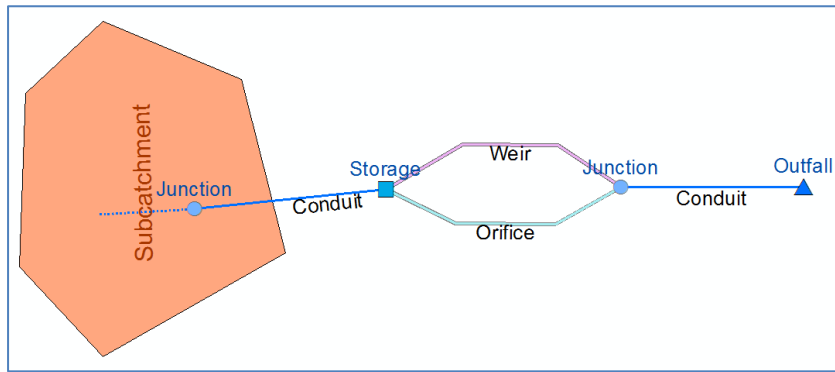


图 11 SWMM 中模拟对象示例

### 2.3.1 子汇水面积的 GIS 层

首先，重要的是定义排水面积的正确边界（本情况中，这是 SHC 流域上游区的边界）。SHC 边界数据从 the County 收集。排水面积于是进一步分为更小的子汇水面积。流域和子汇水面积可用的选项有：

- 从市/县收集基于 GIS 的雨水汇水面积/子汇水面积数据
- 利用等高线或 DEM 手工划分
- 利用 GIS 技术（例如 ArcHydro）
- GIS 技术与手工划分的组合

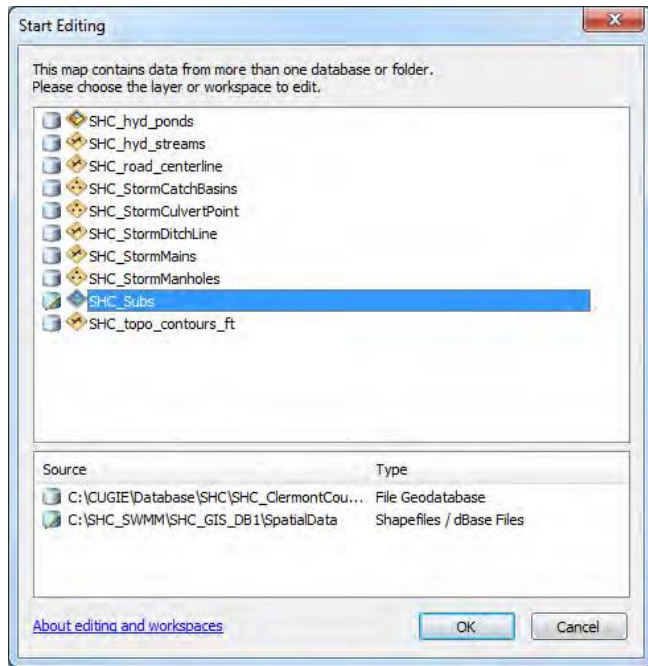
对于本项目，根据单一多边形流域层，利用 ArcGIS 软件，结合地表地形的协助和对地下排水管网的理解，执行手工划分（根据 Rossman and Huber, 2016）。子汇水面积确定为收集降水并排放到雨水口的地表面积。为了推导子汇水面积层，研究流域利用雨水管道设施和地表地形数据分隔多次。应用的数据集为雨水口（点）、雨水涵洞（点）、雨水检查井（点）、河流（多义线）、沟槽（多义线）、雨水管道（多义线）、道路中心线（多义线）、2.5 ft DEM（栅格）和 2 ft 等高线（多义线）。

- ⇒ 运行“ArcMap”
- ⇒ 添加以上介绍的 GIS 层

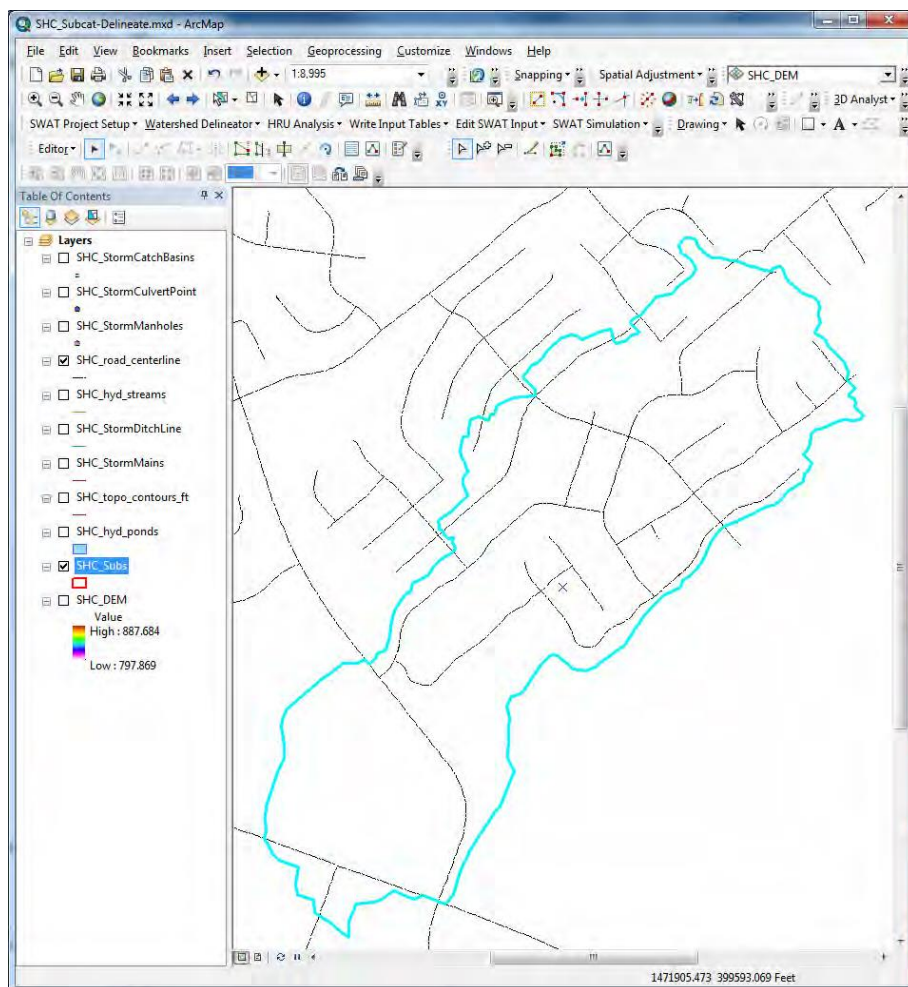
ArcGIS 中，可以利用编辑器工具条中的“Cut Polygons”工具处理该项任务。



- ⇒ 点击“Editor”，然后点击“Start Editing”。





⇒ 选择需要分割的目标层，然后点击“OK”。



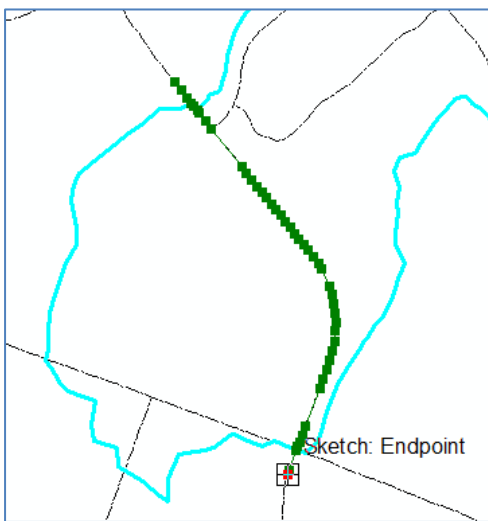
⇒ 选择需要分割的多边形。

⇒ 显示街道中心线。



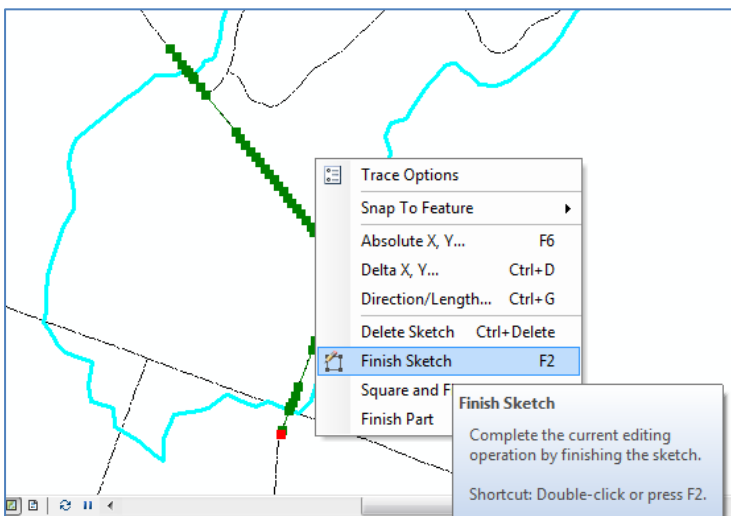
- ⇒ 点击编辑器工具条中的 the Cut Polygons 工具 。
- ⇒ 点击编辑器工具条中的痕迹 。

下例说明了怎样利用道路中心线（所示黑色线条）分割所选多边形，通常用于划分子汇水面积边界。街道是铺砌的，对应于中心线的顶部。这可用于分割排水面积，因为它高于周围区域，正如自然地形分界线。

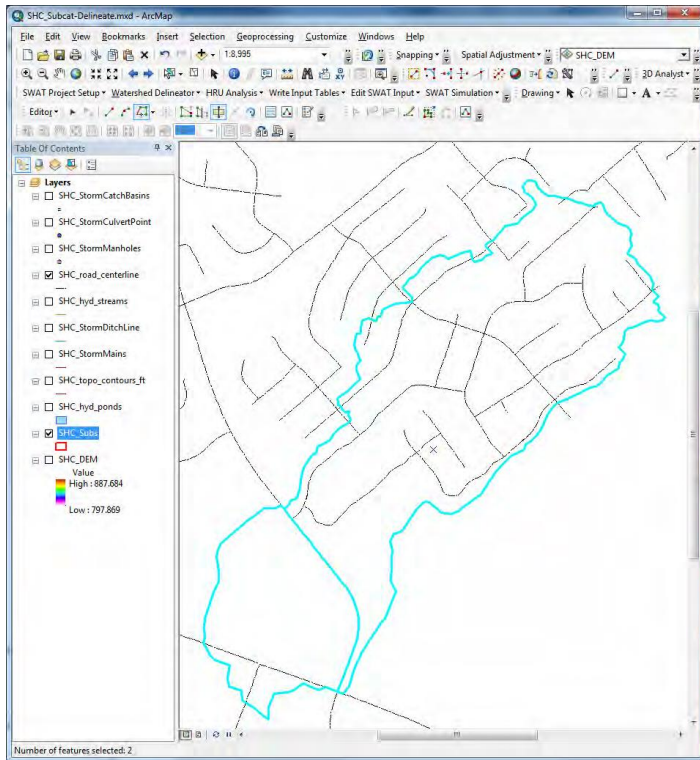


- ⇒ 沿着现有直线或多边型点击和跟踪。

随着跟踪，通过点向它们，并点击或拖动，可以改变正在跟踪的特征。针对需要分割的多边形，草图必须穿过（或者接触边界）至少两次。

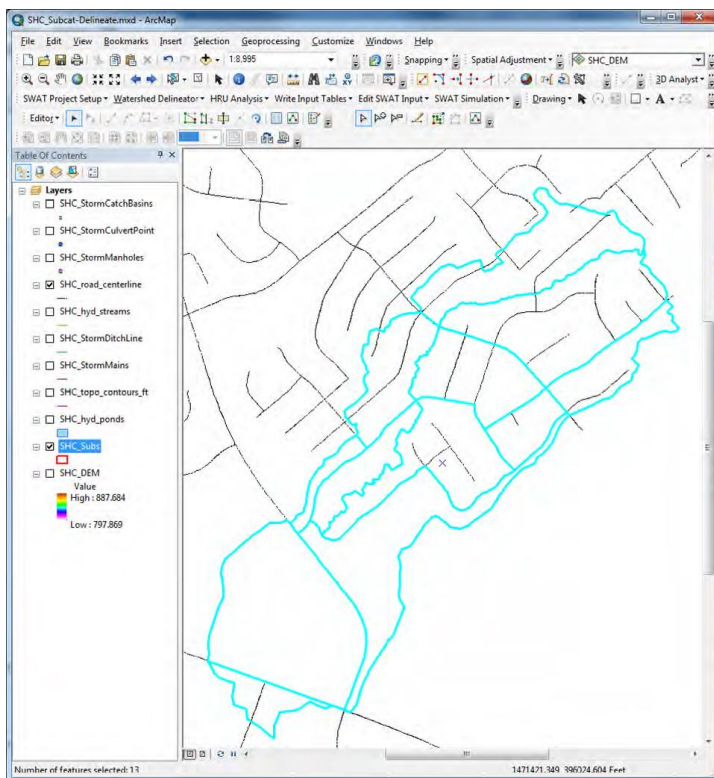


- ⇒ 在地图中的任何位置点击右键，并点击“Finish Sketch”。



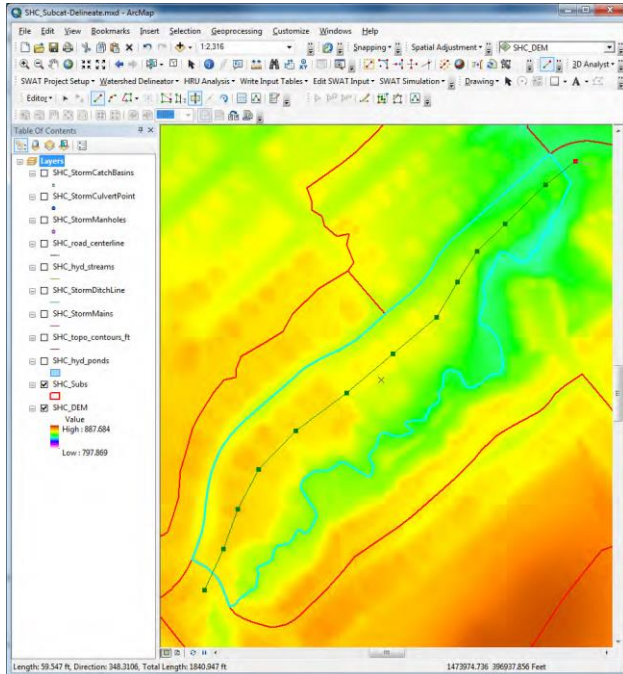
现在多边形分为两部分。切割线共享了两个临近子面积的边缘。

如上所示，街道中心线可用于划分排水面积。河道线也可将排水面积划分为两部分：一侧一个。每一切割线是根据手工绘制的草图。下例说明子汇水面积划分过程的中间结果。

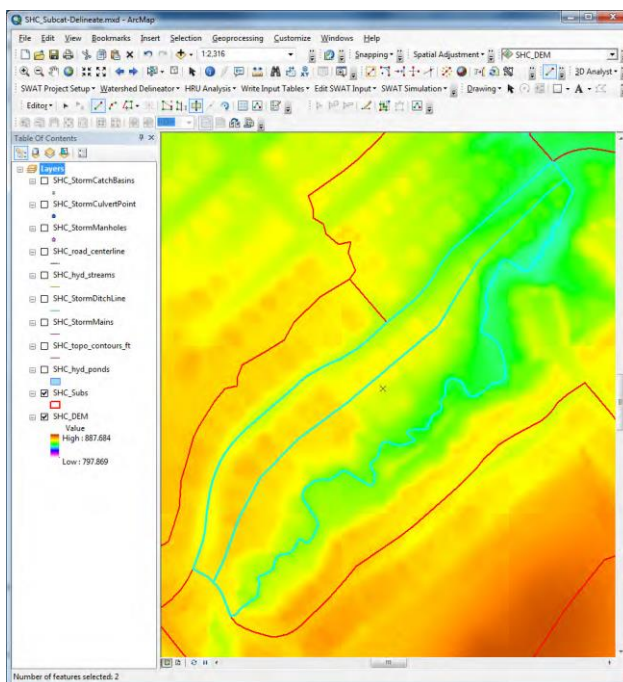


除了街道中心线和河道线，排水面积可以通过地形边缘或脊部划分，见下例。

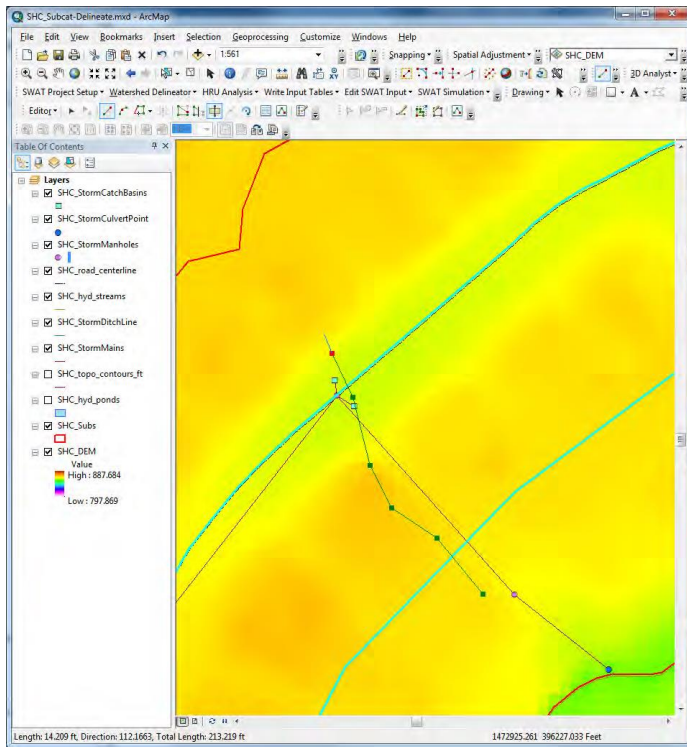
- ⇒ 显示地形数据：SHC\_DEM
- ⇒ 选择需要分割的多边形。
- ⇒ 在编辑器工具条中点击 Cut Polygons 工具 。




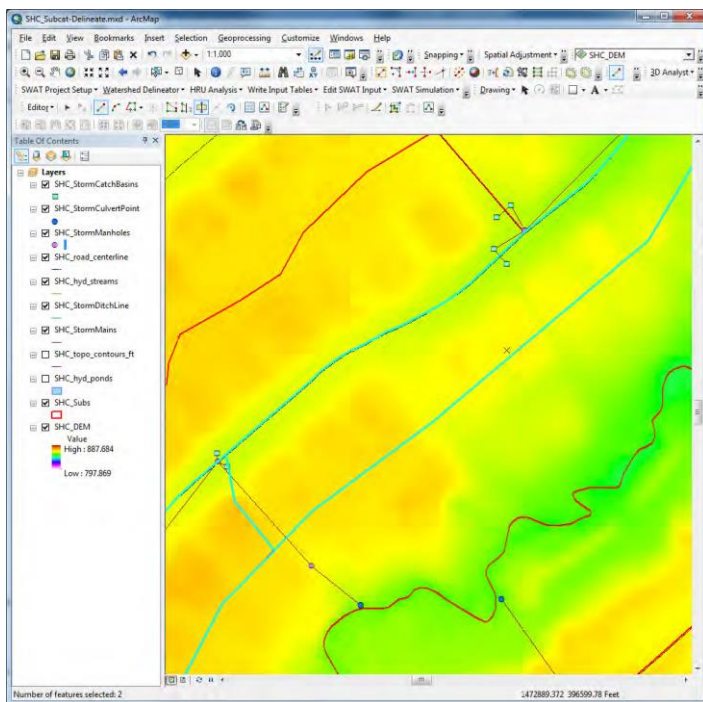
- ⇒ 沿着边界创建示意线。（对于需要分割的多边形，示意线必须穿过（或者接触边界）至少两次。）
- ⇒ 在地图中任何位置点击右键，并点击“Finish Sketch”。



现在多边形沿着地形脊线划分为两个部分。该方法可用于确定雨水口的子汇水面积，如下：

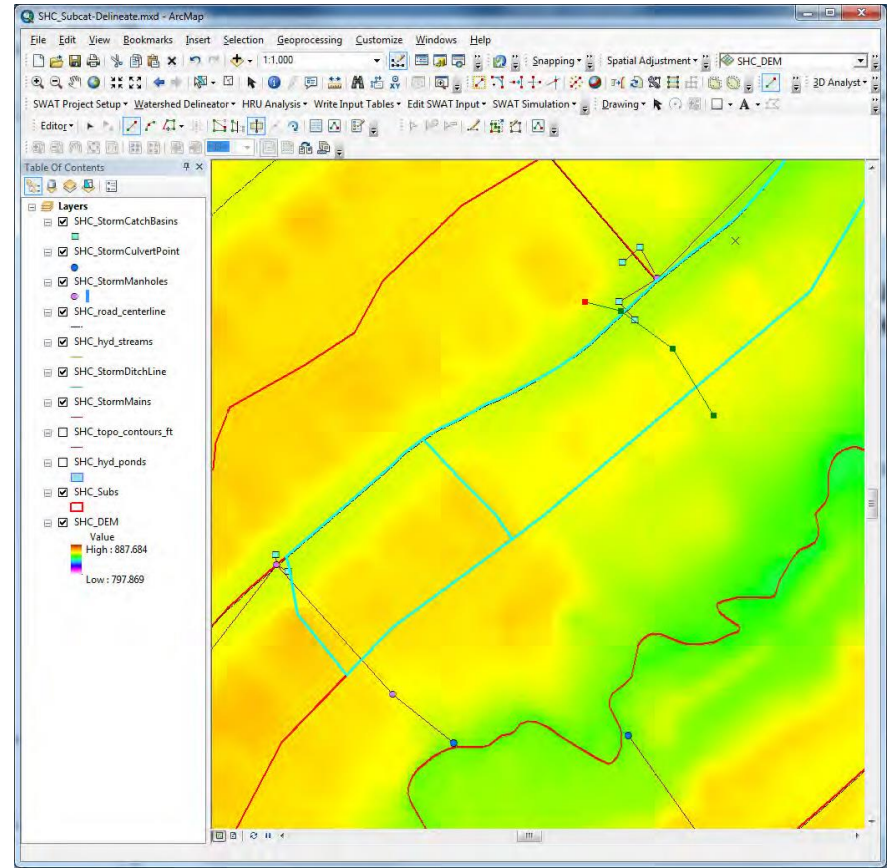
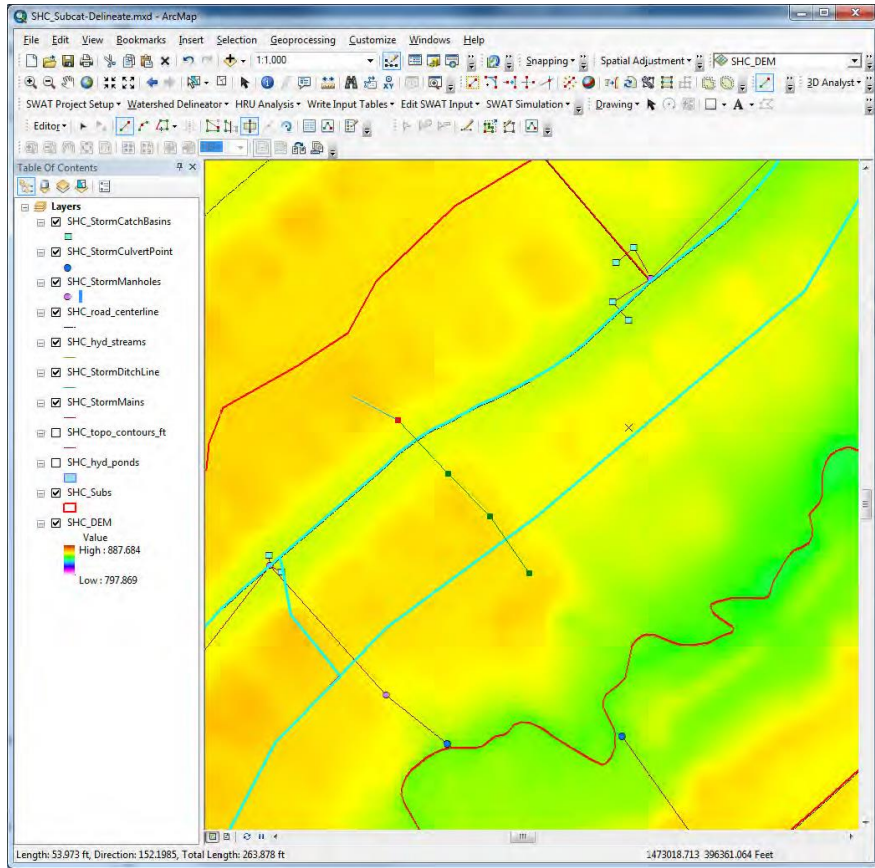


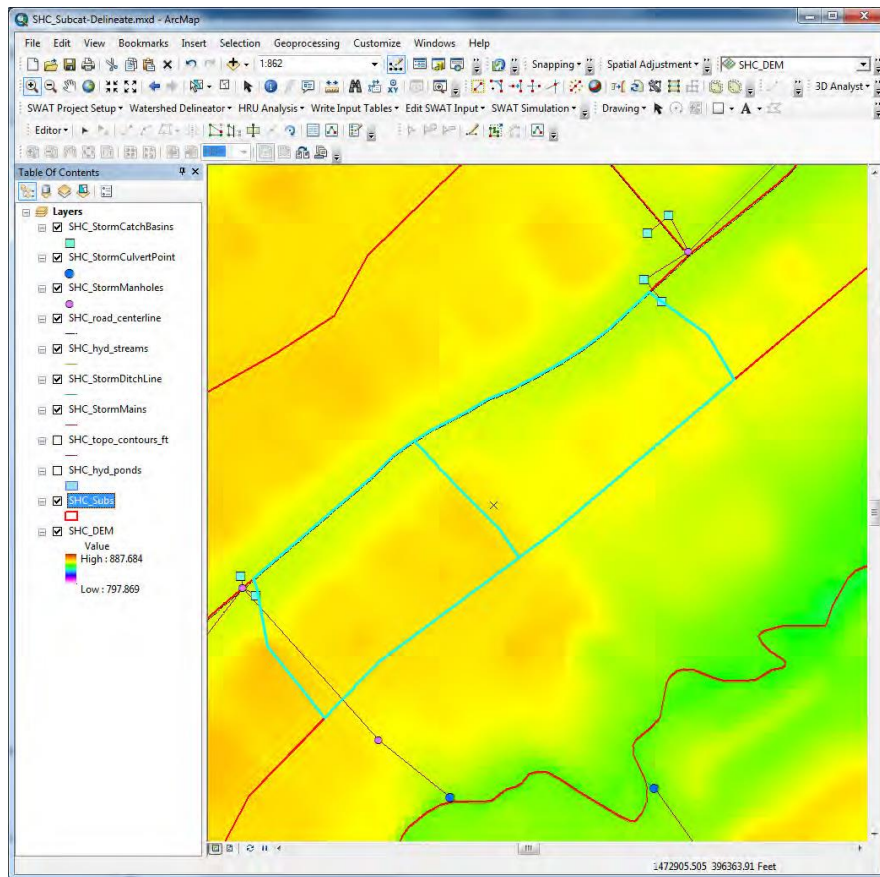
- ⇒ 显示雨水管道数据：雨水口、涵洞、检查井、河流、沟渠、排水干管（管线）
- ⇒ 选择需要分割的多边形。
- ⇒ 在编辑器工具条中点击 the Cut Polygons 工具.
- ⇒ 创建雨水口地形脊线的示意线条。（对于需要分割的多边形，示意图必须通过（或者接触边缘）至少两次。）
- ⇒ 在地图中任何位置点击右键，并点击“Finish Sketch”。



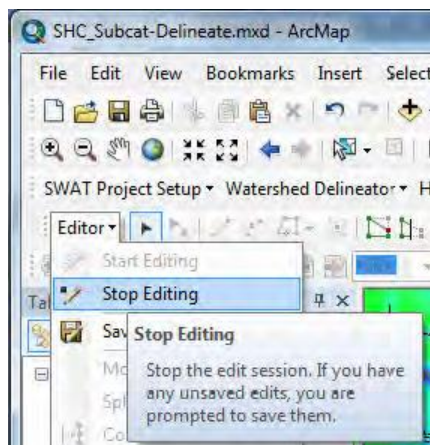
划分创建雨水口单独子汇水面积的排水的更多例子如下：



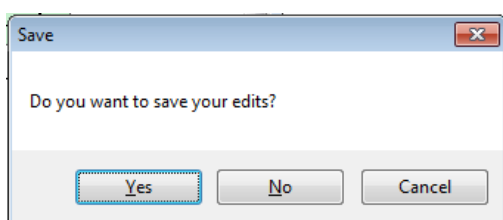




针对所有雨水口继续执行该方法，最终完成子汇水面积划分。如果划分的子面积大于其他面积（例如农业面积），可以利用相同的方法，沿着任何内部地形脊线划分面积。



⇒ 完成时，点击“Editor”，选择“Stop Editing”。



⇒ 选择“Yes”，保存结果。

因为 GI 的设计，是为了捕获和控制排向雨水管道系统之前的雨水径流；SWMM 项目中的子汇水面积，为了执行 GI 情景分析，应分割为将径流排向实际雨水口的面积。此外，以下两个规则用于子汇水面积划分：1) 如果两个相邻雨水口并排在一条街道位置，且两个排水面积之一小于 0.5 英亩；两个排水面积可合并为一个子汇水面积；2) 为了协助维持水文连续性，子汇水面积边界的选择，一般以类似方式保持所有子汇水面积。第二个准则突破了大型均质地表覆盖，可能导致混合的用地流域。本研究中子汇水面积划分的最终结果见图 12。包含在流域上游区边界内的任何和所有地表必须赋以专门的子汇水面积。

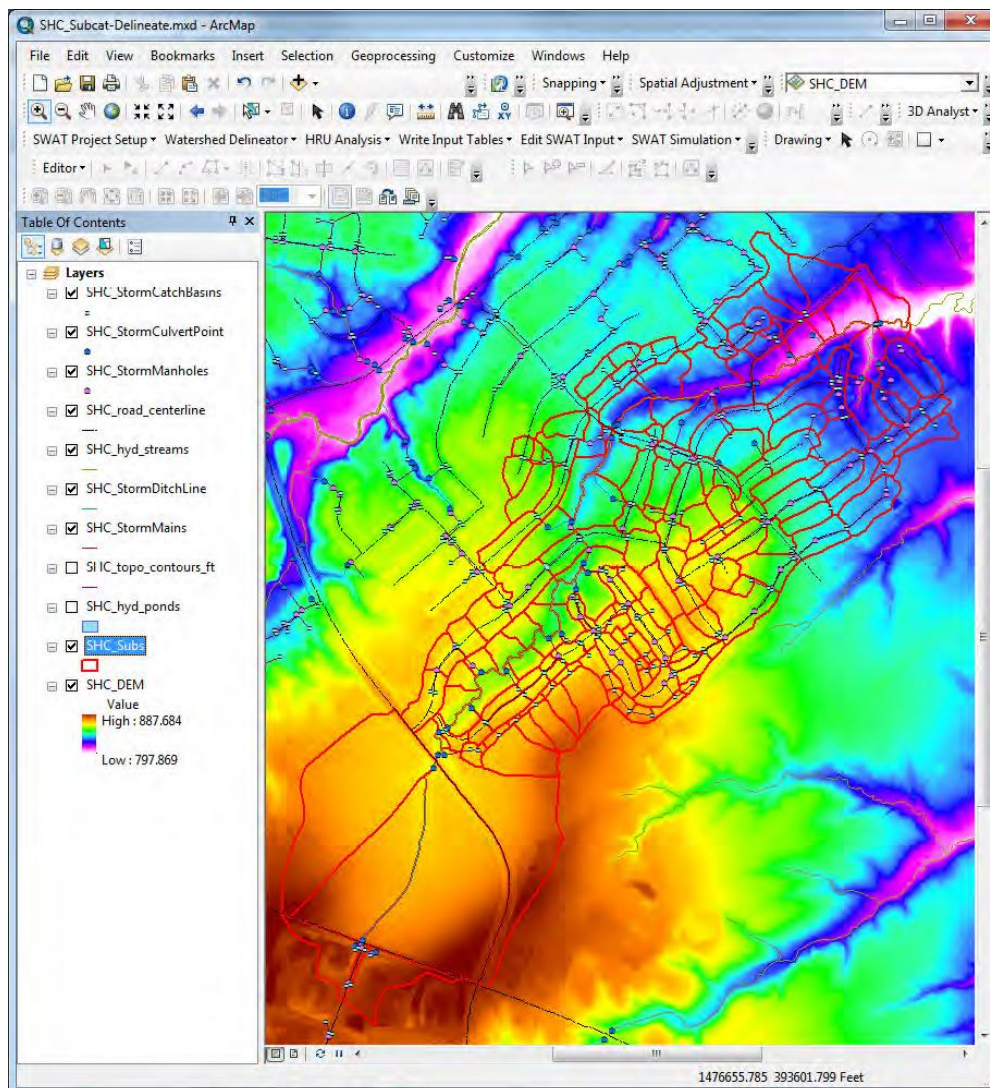


图 12 完整的子汇水面积划分。每一子汇水面积边界内的区域排向一个雨水口

### 2.3.2 雨水管道系统的 GIS 层——汇接点、管渠和排放口

雨水管道系统包含了雨水口、检查井、涵洞、排水管道、构造渠道和自然河流。SWMM 模型设置中，这些特征模拟为“汇接点”、“管渠”（即管道、构造渠道或自然河流），和“排放口”（即涵洞出口或流域出口）。汇接点为单一节点，结合雨水收集系统内唯一的空间参考，例如雨水口或检查井，以及通常表示为地表径流的进入点或排水管网中的交点。每一汇接点

必须具有内底标高。如果使用 EPA SWMM，不需要单独创建这些数据集。本研究中，PCSWMM 利用 GIS 数据创建 SWMM 输入文件。管渠中所有水流路径部分应连接为一条多义线。可是，一些情况中，管渠分为多条。为了保证每一管渠具有确定的长度、形状和尺寸，将 shapefile 导入 PCSWMM 之前应检查 GIS 数据。排放口为模拟区域的最终排放点。排放口必须有内底标高。本研究中，利用 the County GIS 数据推导“汇接点”、“管渠”和“排放口”的单独层，见图 4。针对雨水管道系统推导的 GIS 层见图 13（见“inp\_Junctions”，“inp\_Conduits”和“inp\_Outfalls”）。

### 2.3.3 雨水控制系统的 GIS 层——蓄水、孔口和堰

现有城市流域具有通过当地城市排水法令和/或州/联邦 MS4 许可需求规定的雨水控制特征，例如湿式/干式滞留面积（即池塘）或围堰。每一控制特征具有蓄水容积和出流控制构筑物（即调节孔口和/或堰）。每一特征的蓄水容积随着水位变化。出流构筑物的流量也是水位的函数。SHC 中，具有 5 个雨水控制特征：2 座干式塘，2 座湿式塘和一座 10 年重现期的滞留池。所有控制特征在 SWMM 中模拟为“Storage”。蓄水池表达为结合水位的点——蓄水曲线。堰、孔口或者它们的组合，模拟为结合所需设计性能规格的多义线（这些对象的概念性表示见图 11。）每一出流构筑物（堰或孔口）结合进水节点（蓄水池）、出水节点（汇接点）、类型或形状、高度、长度、流量系数等确定。雨水控制系统推导的 GIS 层见图 13（见“inp\_Storage”，“inp\_Orifices”和“inp>Weirs”）。

GIS 层的属性数据保存为表格。SHC 的所有 GIS 层见图 13。该地图可以作为背景图像导入 SWMM 模型。在以下章节描述创建地理参考背景图像的方法。

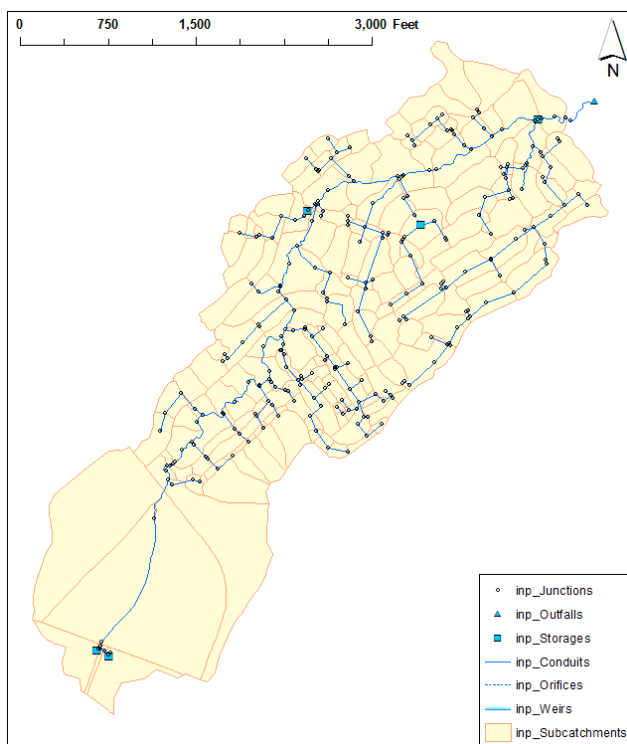
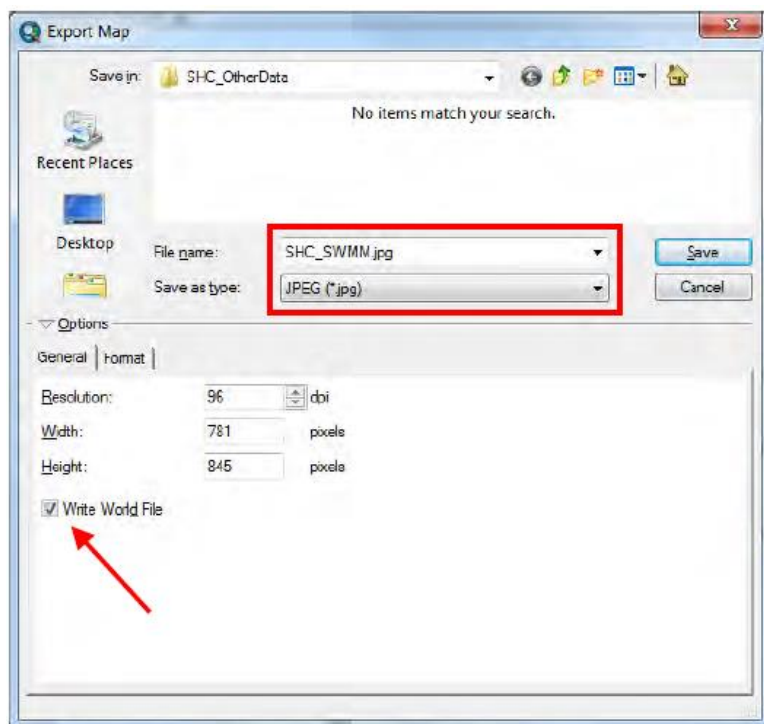


图 13 划分的 SHC SWMM 对象：汇接点、排放口、蓄水池、管渠、孔口、堰和子汇水面积。每一对象在空间数据库中代表了单独的数据层，因此，文件夹中的独立文件（多边形、多义线或点）包含了针对建模的 GIS 数据。

## 2.3.4 创建背景图像

利用 ArcGIS 创建地理参考背景图像，如下：

- ⇒ 运行“ArcMap”
- ⇒ 显示相关的空间数据层
- ⇒ 在主菜单下点击“File/Export Map...”



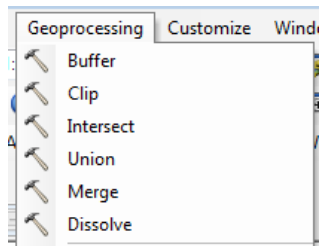
- ⇒ 指定文件的“File Name”和“type”
- ⇒ 选择“Write World File”，创建世界文件
- ⇒ 点击“Save”

注意：世界文件是一个通过 GIS 系统使用的六行纯文本文件，针对地图参考基于栅格的地图图像。

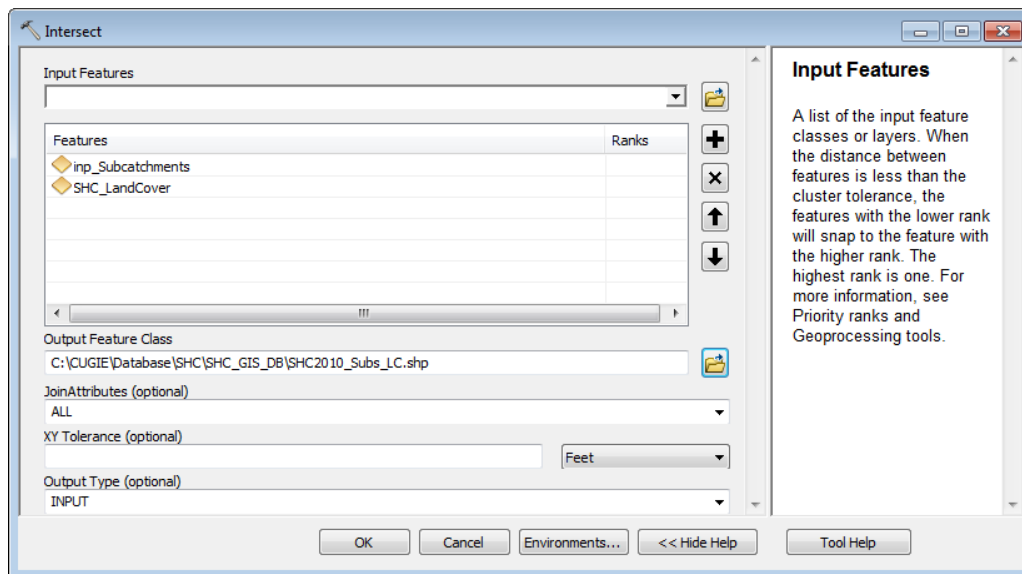
## 2.4 为单个子汇水面积推导建模参数

### 2.4.1 叠加地表覆盖数据和子汇水面积数据层

为了指定 SWMM 中单个子汇水面积的地表特性，数字化地表覆盖数据降雨划分的子汇水面积叠加。该空间叠加表达如下：

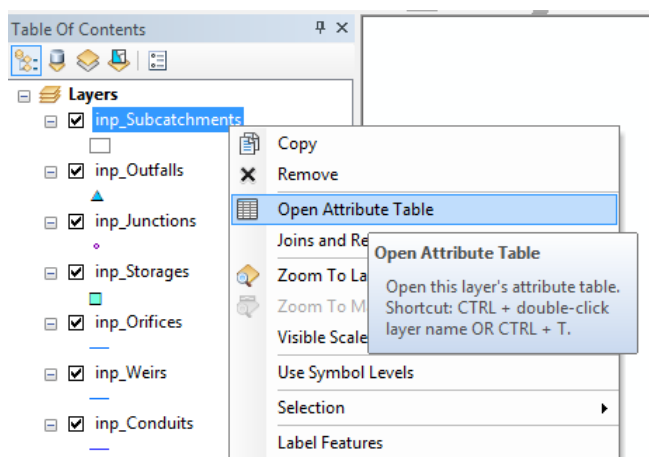


⇒ 在主菜单下选择 “Geoprocessing/Intersect”

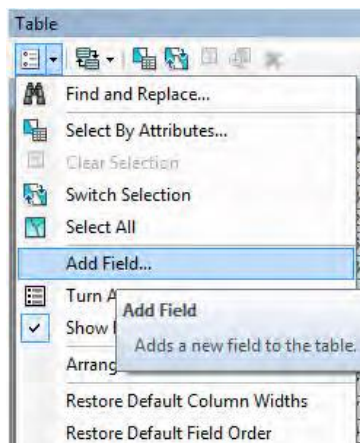


- ⇒ 选择 “Input Features”
- ⇒ 指定 “Output Feature Class”
- ⇒ 点击 “OK”

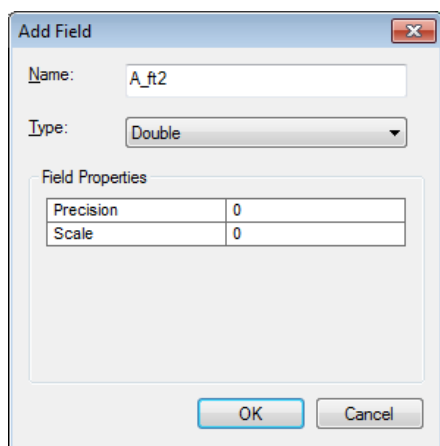
用地/地表覆盖和子汇水面积的叠加层见图 14。叠加之后，估计每一空间特征的尺寸如下：



- ⇒ 在需要调整的 GIS 层中点击右键
- ⇒ 点击 “Open Attribute Table”



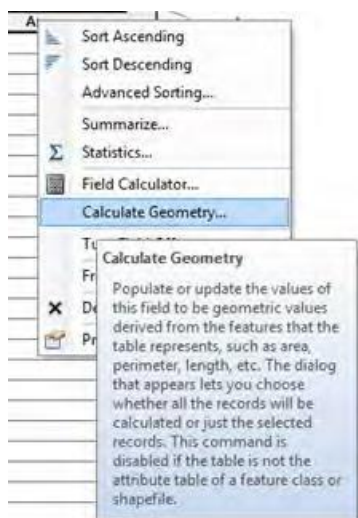
⇒ 点击  图标，然后选择 “Add Field...”



⇒ 指定 “Name”，本例中写入 “A\_ft2”（这是针对每一多边形的面积——平方英尺）。

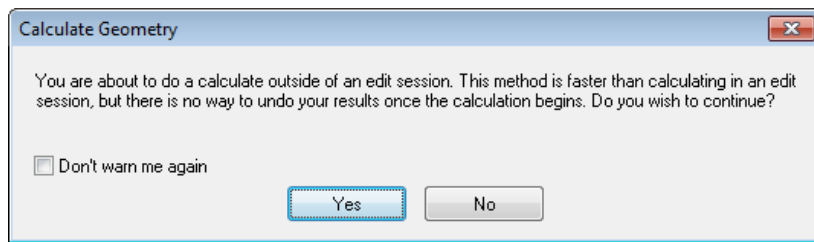
⇒ 指定 “Type”，选择 “Double”（它表示双精度浮点数值）。

⇒ 点击 “OK”

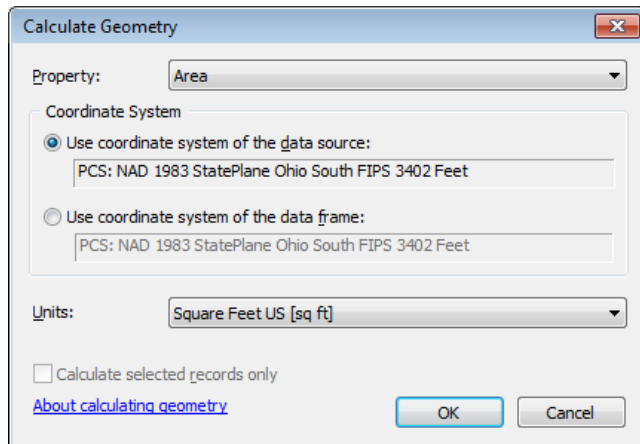


⇒ 在需要更新的域（A\_ft2）中点击右键

⇒ 选择 “Calculate Geometry...”

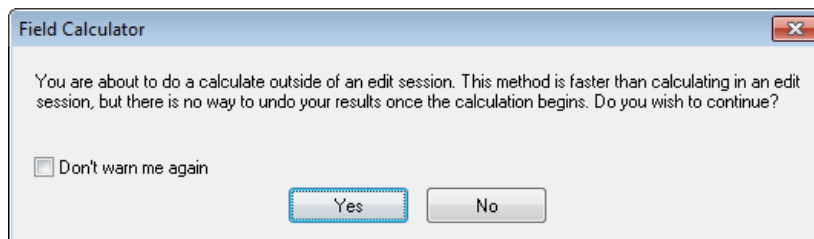


⇒ 点击 “Yes”



⇒ 将 “Property” 指定为 “Area”

⇒ 指定 “Units”



⇒ 点击 “Yes”

现在结合所有多边形的尺寸，更新了“A\_ft2”域。叠加层和属性表中包含的一些数据例子见图 14。该数据表用于估计每一子汇水面积的 SWMM 建模参数，完成的细节见以下章节。



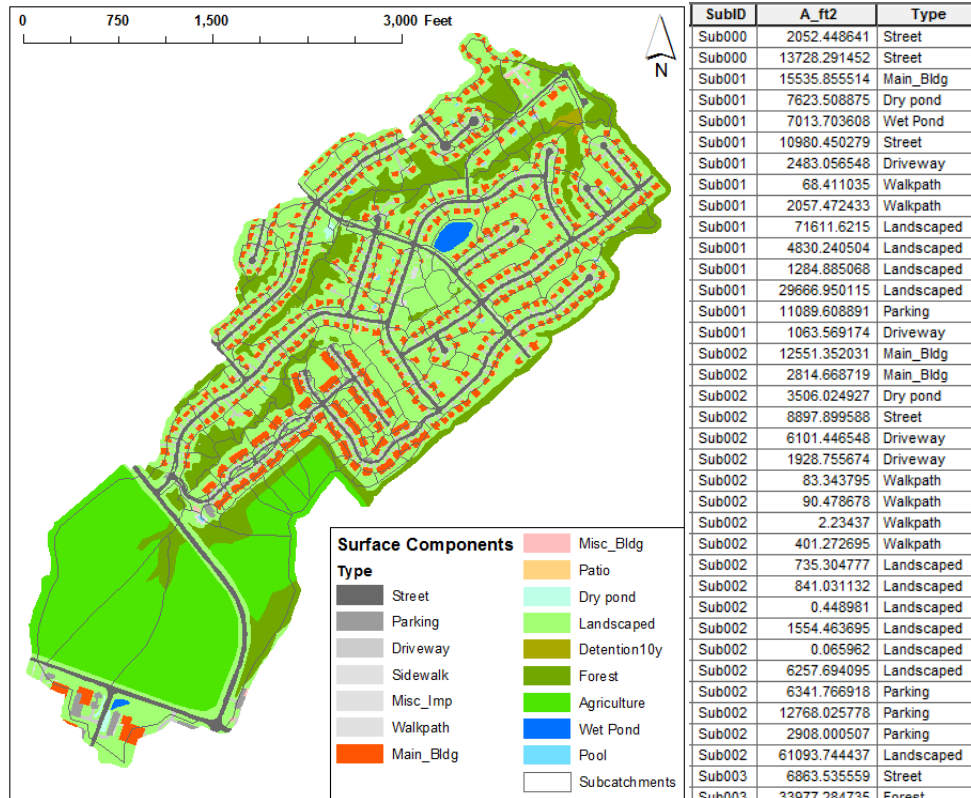


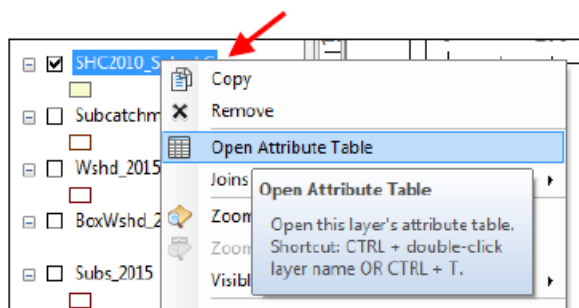
图 14 来自叠加地表覆盖和子汇水面积数据层的地图及其相关数据表

## 2.4.2 利用 MS-Excel 布置空间属性数据

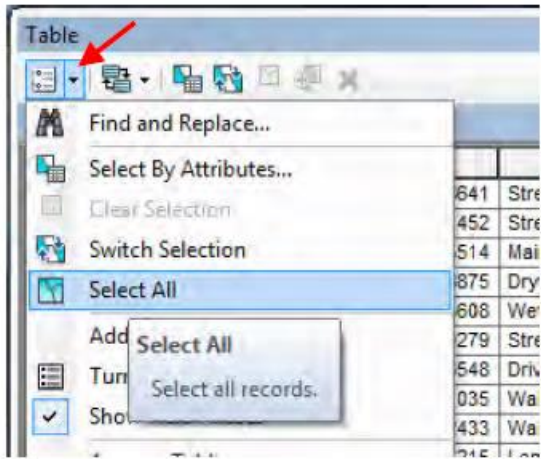
利用 MS-Excel，可以由前面部分描述的 GIS 层布置空间数据库。每一层包含了属性数据（例如子汇水面积 ID、地表覆盖类型、面积）。下例说明怎样布置子汇水面积的地表覆盖数据。

⇒ 运行 ArcMap

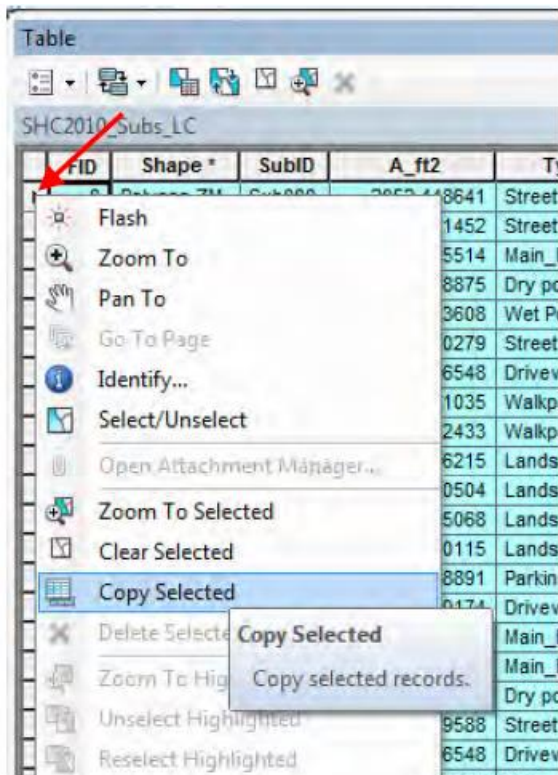
⇒ 添加/显示包含了所需属性数据的 GIS 层（“SHC2010\_Sub\_LC” 包含了研究流域内单个子汇水面积的地表覆盖数据。）



⇒ 右键点击该层，选择“Open Attribute Table”，打开属性表。



⇒ 点击数据表选项箭头 , 并点击“Select All”。



⇒ 在属性表的最左列点击右键，选择所选的 Copy。

⇒ 运行 MS-Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	FID	Shape *	SubID	A_ft2	Type	Group	Baseline	GI_Scn1
2	0	Polygon Z	Sub000	2052.449	Street	Street	ICIA	ICIA
3	1	Polygon Z	Sub000	13728.29	Street	Street	DCIA	DCIA
4	2	Polygon Z	Sub001	15535.86	Main_Bldg	Main_Bldg	ICIA	ICIA
5	3	Polygon Z	Sub001	7623.509	Dry pond	Lawn	PA	PA
6	4	Polygon Z	Sub001	7013.704	Wet Pond	Water	PA	PA
7	5	Polygon Z	Sub001	10980.45	Street	Street	ICIA	ICIA
8	6	Polygon Z	Sub001	2483.057	Driveway	Driveway	ICIA	ICIA
9	7	Polygon Z	Sub001	68.41104	Walkpath	Other_Im	ICIA	ICIA
10	8	Polygon Z	Sub001	2057.472	Walkpath	Other_Im	ICIA	ICIA
11	9	Polygon Z	Sub001	71611.62	Landscape	Lawn	PA	PA
12	10	Polygon Z	Sub001	4830.241	Landscape	Lawn	PA	PA
13	11	Polygon Z	Sub001	1284.885	Landscape	Lawn	PA	PA
14	12	Polygon Z	Sub001	29666.95	Landscape	Lawn	PA	PA
15	13	Polygon Z	Sub001	11089.61	Parking	Parking	ICIA	ICIA
16	14	Polygon Z	Sub001	1063.569	Driveway	Driveway	ICIA	ICIA
17	15	Polygon Z	Sub002	12551.35	Main_Bldg	Main_Bldg	ICIA	ICIA
18	16	Polygon Z	Sub002	2814.669	Main_Bldg	Main_Bldg	ICIA	ICIA
19	17	Polygon Z	Sub002	3506.025	Dry pond	Lawn	PA	PA
20	18	Polygon Z	Sub002	8897.8	Street	Street	ICIA	ICIA

⇒ 右键点击 Excel 文件的数据域 A1，并选择 Paste。

根据这些步骤，将属性表中的所有记录复制和粘贴到 Excel 文件中。在 Excel 中，可以调整属性数据，处理 SWMM 化参数，将在以下部分描述。例如，可以布置新的关键数据域，为了利用 Excel 中“&”文本算子创建“Pivot Table”：

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	FID	Shape *	SubID	A_ft2	Type	Group	Baseline	GI_Scn1	
2	0	Polygon Z	Sub000	2052.449	Street	Street	ICIA	ICIA	=G2&"_&F2
3	1	Polygon Z	Sub000	13728.29	Street	Street	DCIA	DCIA	
4	2	Polygon Z	Sub001	15535.86	Main_Bldg	Main_Bldg	ICIA	ICIA	

- ⇒ 在数据域“I2”中键入‘G2&"\_&F2’，并点击“Enter”
- ⇒ 数据域“I2”变为“ICIA\_Street”
- ⇒ 利用复制和粘贴，该过程用于整个列“I”。
- ⇒ 创建另一 Excel 文件，保存为了处理模型参数所需的数据。

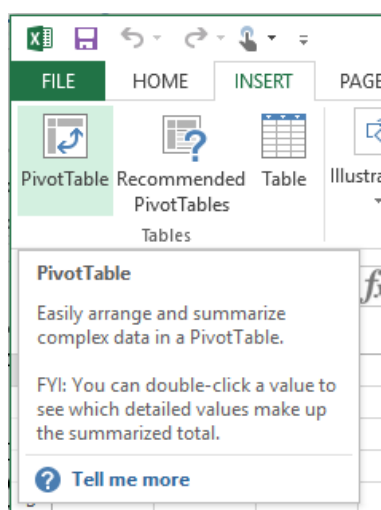
“LandCover”标签中的主要数据表（列“A”到“D”），见图 15，最初根据该方法创建，保存为“SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx”。Excel 文件中，利用来自 BPA 层的属性数据创建“PerBuffer”标签（第 2.2.3 部分和图 10）。地下水建模的参数保存在同一 Excel 文件的“GW”标签下。地面标高（列“S”中的“Esurf”）利用 inp\_Subcatchments 层（第 2.3.1 部分和图 13）以及 DEM 而准备。布置地下水参数的更多细节见第 3.5.1 部分。

## 2.4.3 利用 MS-Excel 中 “PivotTable” 建立基于组件的空间数据库

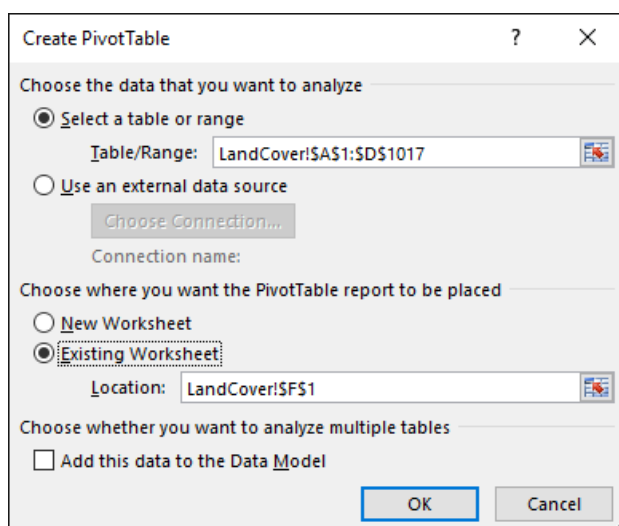
为了保留流域内不同子汇水面积主体编辑属性（例如宽度和初始饱和性）的能力，高度推荐使用例如 MS-Excel 的电子表格工具。本部分结合后面章节说明了如何将电子表格用于处理主体数据。

根据用地/地表覆盖状况的 “Component” 和面积 “A\_ft2”（平方英尺），叠加地表覆盖和子汇水面积层的属性数据包含了 “SubID” 数据域，作为每一子汇水面积的名称。利用 MS-Excel 中的 “Insert/PivotTable” 选项，单个子汇水面积的属性数据总结如下：

- ⇒ 运行 MS-Excel
- ⇒ 打开 “SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx”
- ⇒ 打开或创建 “LandCover” 工作表

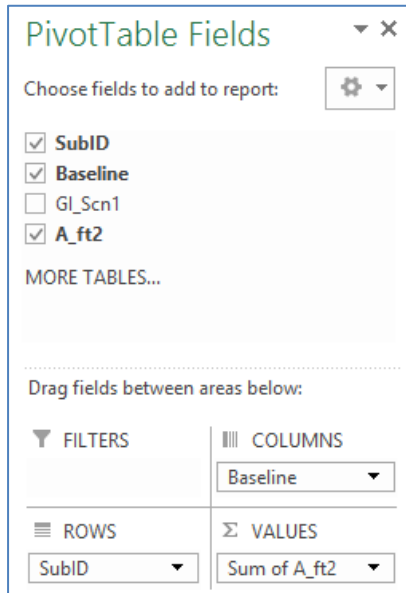


- ⇒ 在 “INSERT” 下选择 “PivotTable”



- ⇒ 指定 “Table/Range”
- ⇒ 指定需要放置 PivotTable 报告的 “Location”
- ⇒ 点击 “OK”

指定 “PivotTable Fields” 如下：



- ⇒ ROWS: “SubID”
- ⇒ COLUMNS: “Baseline” (基准线代表了现有状况。)
- ⇒  $\Sigma$  VALUES: “Sum of A\_ft2”

SubID	DCIA_Bldg	DCIA_Drvwy	DCIA_Pkng	DCIA_Sdwk	DCIA_Street	ICIA_Bldg	ICIA_Drvwy	ICIA_misc
Sub000	2052.4				15780.7401			
Sub001	7424.7					15535.85552	3546.625723	2125.88346
Sub002	6303.5					15366.02075	8030.202223	577.329538
Sub003	15535.9							
Sub004	2483.1							
Sub005	1063.6							
Sub006	2125.9					385.6386422	1148.897998	3465.29912
Sub007	11089.6			83.39215868	6072.902489			1767.06403
Sub008	10980.5			1048.702979				110.202341
Sub009	7013.7							17.7541955
Sub010	15366.0				4595.878322			
Sub011	8030.2							566.282473
Sub012	577.3							224.335886
Sub013	22017.8			5065.352282	3691.862462	350.2913826	925.0937182	3963.369633
Sub014	8897.9			1587.108888				498.801928
Sub015	73988.8							159.515168
Sub016	6863.5				440.3375062	1748.956134	10091.3714	2039.472885
Sub017	422260.5							570.574008
Sub018	33977.3							
Sub019	16129.7							
Sub020	49372.6							
Sub021	723957.5							
Sub022	30555.5							
Sub023	80835.3							
Sub024	385.6							
Sub025	1148.9							
Sub026	3465.3							
Sub027								
Sub028								
Sub029								
Sub030								
Sub031								
Sub032								
Sub033								
Sub034								
Sub035								
Sub036								
Sub037								
Sub038								
Sub039								
Sub040								
Sub041								
Sub042								
Sub043								
Sub044								
Sub045								
Sub046								
Sub047								
Sub048								
Sub049								
Sub050								
Sub051								
Sub052								
Sub053								
Sub054								
Sub055								
Sub056								
Sub057								
Sub058								
Sub059								
Sub060								
Sub061								
Sub062								
Sub063								
Sub064								
Sub065								
Sub066								
Sub067								
Sub068								
Sub069								
Sub070								
Sub071								
Sub072								
Sub073								
Sub074								
Sub075								
Sub076								
Sub077								
Sub078								
Sub079								
Sub080								
Sub081								
Sub082								
Sub083								
Sub084								
Sub085								
Sub086								
Sub087								
Sub088								
Sub089								
Sub090								
Sub091								
Sub092								
Sub093								
Sub094								
Sub095								
Sub096								
Sub097								
Sub098								
Sub099								
Sub100								

图 15 MS-Excel 中创建的 PivotTable 示例，它总结了每一子汇水面积的面积，根据它的组成地表覆盖类型。PivotTable 数据域以亮蓝色阴影说明。

## 2.4.4 为单个地表组件指定建模参数

图 15 所示推导的 PivotTable 提供了所有单个子汇水面积の詳細地表覆盖状态。如果指定的建模参数分配给单个用地/地表覆盖特征，可以利用面积加权方法估计子汇水面积的整体 SWMM 建模参数。这在以下部分介绍。指定参数的例子见表 2 到表 4。在研究流域的多个位置处，最初利用 ArcGIS 估计“Length”和“Slope”的数值。从 SWMM 用户手册（Rossman, 2015）选择曼宁粗糙系数  $n$ 、地表坑洼存水  $DS$  和饱和导水率  $K_{sat}$  的数值。

表 2 DCIA 参数

参数	建筑物	车行道	停车场	人行道	街道
长度 (ft)	25	12	10	3	10
坡度	15	1.5	1.5	1.5	2.5
$n$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$DS$ (in)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

表 3 ICIA 参数

参数	建筑物	车行道	停车场	人行道	街道	其他
长度 (ft)	15	12	10	3	10	8
坡度	15	1.5	1.5	1.5	2.5	1.5
$n$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$DS$ (in)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

表 4 渗透面积参数

参数	农业	森林	草坪
长度 (ft)	100	80	80
坡度	2	2	2
$n$	0.3	0.6	0.3
$DS$ (in)	0.2	0.3	0.2
$K_{sat}$	0.04	0.06	0.035

## 2.4.5 布置 MS-Excel 工作表，估计单个子汇水面积的建模参数

SWMM 模型设置中，必须结合空间性能规格和建模参数模拟每一子汇水面积。利用来自地表覆盖和子汇水面积层推导的 PivotTable，在 MS-Excel 中估计的性能规格和参数，见图 16。

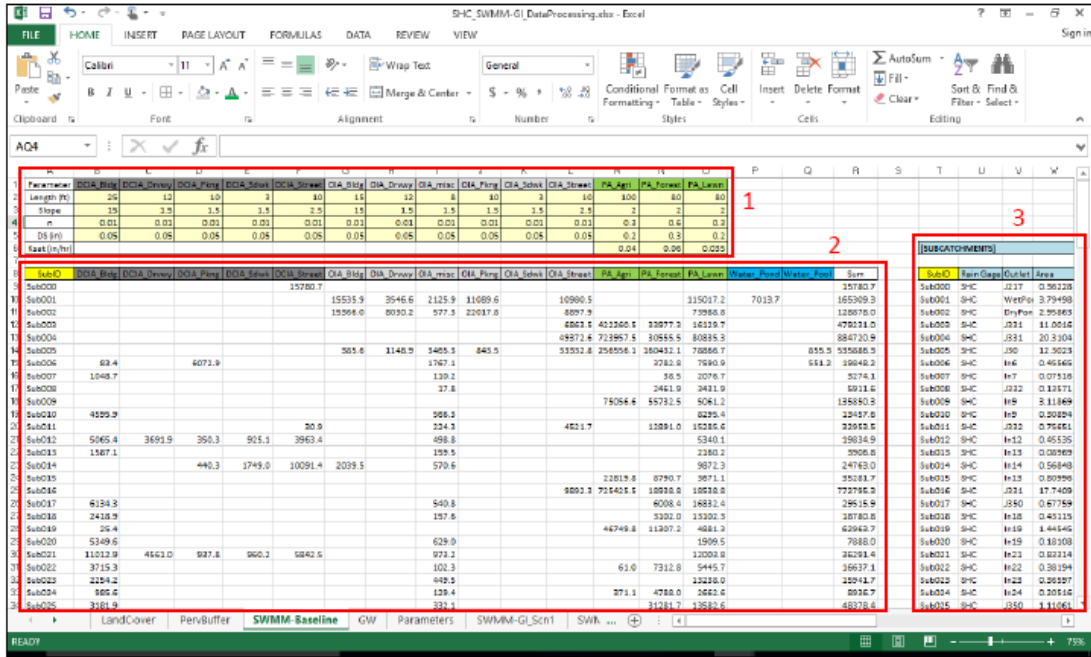


图 16 利用 MS-Excel 的子汇水面积参数设置。表框 1：单个地表覆盖组件的参数（如果任何数值发生变化，所有相关计算自动更新）。表框 2：来自 Pivot Table 的空间数据。表框 3：根据“Parameters”和“Spatial Date”估计的 SWMM 输入。

结合以下性能规格和参数模拟每一子汇水面积。所有计算在 MS-Excel 中处理。对于以下所列单个参数的精确定义和额外信息，应参考 SWMM 用户手册（Rossman, 2015）。

- 雨量计——合适时或者数据可用时，赋给单个子汇水面积的雨量计
- 出水口——径流出水口（可以为汇接点、子汇水面积或蓄水特征。在所建子汇水面积 GIS 层“inp\_Subcatchments”中定义了单个子汇水面积的所有出水口。）
- 面积——子汇水面积的面积，英亩（如果需要，应采用适当的单位转换。该研究中，来自 GIS 的平方英尺面积可转换为英亩： $[英亩] = [ft^2]/43,560$ 。）
- 不渗透百分比—— $(\text{子汇水面积内的不渗透面积总和}) / (\text{子汇水面积的总面积})$
- 宽度—— $(\text{子汇水面积的总面积}) / (\text{子汇水面积的地表漫流代表长度})$
- $(\text{子汇水面积的地表漫流代表长度}) = \Sigma\{(\text{单个组件的地表漫流长度})(\text{该组件的面积})\} / (\text{子汇水面积的总面积})$
- 坡度 (%) —— $\Sigma\{(\text{单个组件的坡度})(\text{该组件的面积})\} / (\text{子汇水面积的总面积})$
- 不渗透性 N 值—— $\Sigma\{(\text{子汇水面积内每个不渗透组件的 n 值})(\text{该不渗透组件的面积})\} / (\text{子汇水面积的总不渗透面积})$ ：“不渗透性 N 值”是指赋给子汇水面积内不渗透地表的曼宁 n 值。
- 渗透性 N 值—— $\Sigma\{(\text{子汇水面积内每个渗透组件的 n 值})(\text{该渗透组件的面积})\} / (\text{子汇水面积的总渗透面积})$ ：“渗透性 N 值”是指赋给子汇水面积内渗透地表的曼宁 n 值。
- 不渗透面积的坑洼存水量—— $\Sigma\{(\text{子汇水面积内每个不渗透组件的 DS 值})(\text{该不渗透组件的面积})\} / (\text{子汇水面积的总不渗透面积})$ ：“不渗透面积的坑洼存水量”是指赋给子汇水面积内不渗透地表的坑洼存水量。
- 渗透面积的坑洼存水量—— $\Sigma\{(\text{子汇水面积内每个渗透组件的 DS 值})(\text{该渗透组件的面积})\} / (\text{子汇水面积的总渗透面积})$ ：“渗透面积的坑洼存水量”是指赋给子汇水面积内

渗透地表的坑洼存水量。

- 无坑洼存水百分比—— $100 * (\text{子汇水面积内零 DS 的不渗透面积之和}) / (\text{子汇水面积的总不渗透面积})$
- 演算到——如果任何街道出口作为子汇水面积的 DCIA，则为“IMPERVIOUS”。否则（即没有街道作为子汇水面积的 DCIA），为“OUTLET”
- 演算百分比——“100”（本研究中，排向 BPA 的 ICIA 径流不是总的渗透面积。为了模拟 BPA，需要利用 LID 选项和参数。）
- 吸水头——针对所有子汇水面积具有相同数值。
- 土壤饱和导水率 Ksat—— $\sum\{(\text{子水面积内每渗透组件的 Ksat})(\text{该渗透组件的面积})\} / (\text{子汇水面积的总渗透面积})$
- 初始土壤湿度欠缺 IMD——对于所有子汇水面积，采用相同的缺省数值（0.22）（IMD 利用相同缺省数值模拟的同时，建模结果不可能受到模型设置中初始值的影响，因为模型需要数月运行的热身期。）

湿润面积的两个地表组件（即池塘和游泳池）在该建模方法中处理为具有零 DS 的不渗透面积。可是，为了子汇水面积参数估计，在面积加权计算中不包含水面。建立的 Excel 文件将用于设置 SHC SWMM 模型（见第 3.3.1 部分）。

## 2.4.6 SWMM 建模的属性数据和额外 GIS 层

为了设置 SWMM 模型，建立的每一 GIS 数据层应具有特定属性数据。以下列出单个层需要的属性数据。此外，对于定义和额外信息，应参考 SWMM 用户手册（Rossman, 2015）。

子汇水面积（inp\_Subcatchments.\*）

- SubID: 子汇水面积名称
- A\_ft2: 面积, ft<sup>2</sup>
- A\_acres: 面积, 英亩
- Outlet: 子汇水面积出水口
- GWshed: 地下水流域名称（可选）

汇接点（inp\_Junctions.\*）

- Name: 汇接点名称
- Invert\_Elv: 汇接点内底标高, 英尺
- Rim\_Elv: 汇接点的边缘标高（可选）
- Depth: 汇接点深度
- Type: 汇接点类型（可选）

排放口（inp\_Outfalls.\*）

- Name: 排放口名称
- InvertElv: 排放口的内底标高
- Type: 排放口类型

蓄水设施（inp\_Storages.\*）

- Name: 蓄水设施名称
- Invert\_Elv: 蓄水设施内底标高



- Rim\_Elv: 蓄水设施边缘标高
- Depth: 蓄水设施深度
- Init\_Depth: 蓄水设施初始深度
- EvapFactor: 蓄水设施蒸发因子
- Storage: 蓄水设施的配置数据类型 (阶梯水位-面积)
- CurveNumber: 蓄水设施形状配置数据的曲线名

#### 管渠 (inp\_Conduits.\*)

- Name: 管渠名称
- Inlet: 管渠进水节点 (汇接点)
- Outlet: 管渠出水节点 (汇接点)
- Length: 管渠长度, 英尺
- Roughness: 管渠曼宁粗糙系数 n
- XSection: 管渠断面类型 (例如圆形、矩形、梯形等)
- GEOM1: 管渠几何变量 1
- GEOM2: 管渠几何变量 2
- GEOM3: 管渠几何变量 3
- GEOM4: 管渠几何变量 4
- Pipe\_Size: 排水管道的管道尺寸, 与 Geom1 相同 (可选)
- Category: 管渠类型 (可选)

#### 孔口 (inp\_Orifices.\*)

- Name: 孔口名称
- Inlet: 孔口进口
- Outlet: 孔口出口
- Type: 孔口类型
- XSection: 孔口断面积
- Height: 孔口高度
- Width: 孔口宽度
- InOffset: 孔口的进口偏移
- DisCoeff: 孔口的流量系数

#### 堰 (inp\_Weirs.\*)

- Name: 堰名称
- Inlet: 堰进口
- Outlet: 堰出口
- Type: 堰类型
- Height: 堰高度
- Length: 堰顶长度
- InOffset: 堰的进口偏移
- DisCoeff: 堰的流量系数

### 3 模型设置

为了成功完成 SWMM 模型的设置和运行，需要执行几个步骤。为了设置 SWMM 模型，已经结合 Excel 编辑器应用。但是，因为 EPA SWMM 不能直接导入 GIS 数据，将采用 PCSWMM——EPA SWMM 的商业版，指定或定义进入 SWMM 输入文件的地理空间信息。因为 PCSWMM 最初利用 GIS 数据设置 SWMM 模型（即 shapefile）；为了利用背景地图或图像，确定 SWMM 建模对象（例如子汇水面积、汇接点、管渠等），模拟人员不必执行屏幕数字化。这具有完全高度解决前面部分建立的空间数据库优势，显著减少了设置小流域 SWMM 模型需要的时间。该步骤的完成也使得 SWMM 软件对流域的表示更加实际。为了准确模拟，内部 SWMM 算法不需要建模对象的地理空间参考；但是维护模型设置中地理现实的表达，使得建模的迭代过程（即模型模拟、模型输出的研究、参数调整和重新运行）更有效。此外，在书写本文档时，在 EPA 的网址 (<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm#downloads>) 可以免费下载的 SWMM EPA 版，还没有 GIS 文件接口能力。

空间数据导入 PCSWMM（随后描述）之后，创建输入文件。该输入文件可以直接通过 EPA SWMM 软件读取，以及最重要的，可以利用“Excel 编辑器”功能调整。该函数允许输入文件的批量编辑，用于子汇水面积的参数化。通过继续在以下描述必要的步骤，该方法的总体应用有希望变得明显。

#### 3.1 利用 EPA SWMM 初始化 SWMM 模型设置

为创建空的或新的项目，下载、安装并运行 EPA SWMM 程序。点击主菜单条下的 [File/Save]，然后保存 SWMM 模型（例如“SHC\_SWMM.inp”），为了启动模型设置过程。

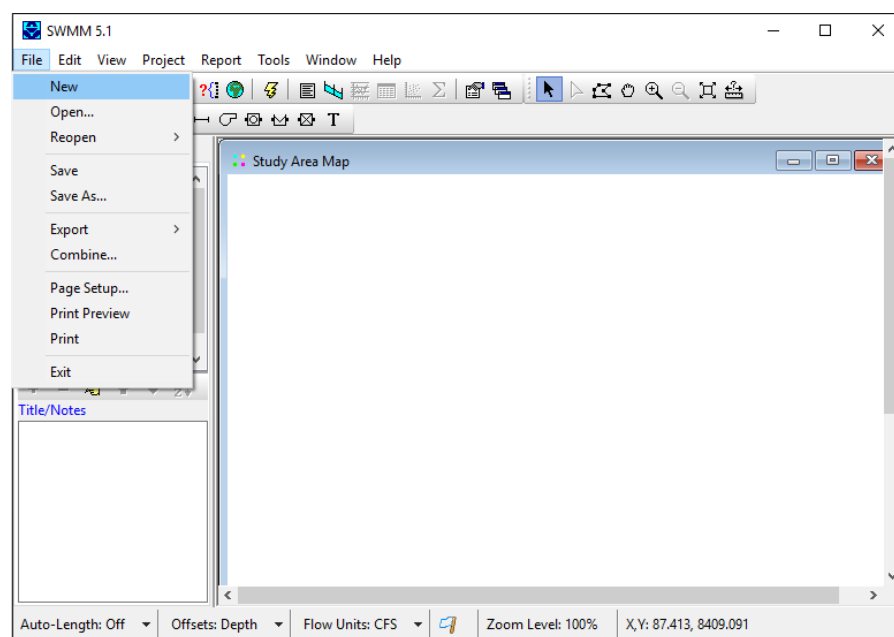


图 17 EPA SWMM 5.1 软件程序的开始页面

### 3.1.1 设置空间参考的背景图像

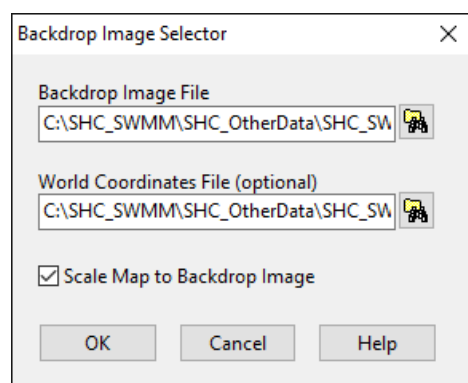
该过程在 SWMM 网络地图之后，允许添加、定位和显示背景图像，允许空间参考。为了在 SWMM 中利用自动距离和面积计算特征，必要的是在创建新项目之后，设置地图尺寸。背景图像必须为在 SWMM 以外创建的 Windows 图元文件、位图或 JPEG 图像。一旦导入，可以编辑它的特征，尽管它的比例和显示区域将随着地图窗口的缩放和平移变化。为此，Windows 图元文件比位图或 JPEGs 文件工作更好，因为当重新缩放时，它们不会损失分辨率。多数 GIS 程序能够将地图层保存为图元文件（Rossman, 2015）。

文件名为\*.w（例如“SHC\_SWMM.jgw”）的世界坐标文件包含了背景图像的地理参考信息，可以从生成图形文件的软件或者通过文本编辑器创建。手工创建该文件，参见 SWMM 用户手册。如果没有指定世界坐标文件，那么背景将被缩放，为了匹配地图显示窗口的中心。

⇒ 运行 EPA SWMM



⇒ 点击[View/Backdrop/Load]，导入背景图像（例如，“SHC\_SWMM.jpg”）。

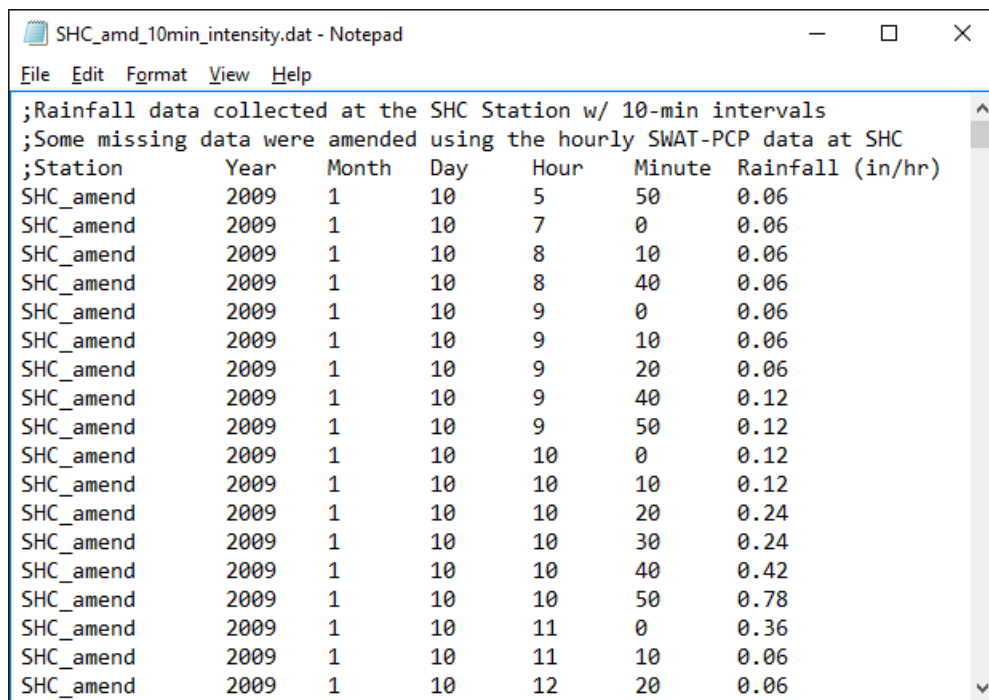


⇒ 定位“Backdrop Image File”（例如，SHC\_SWMM.jpg）

- ⇒ 定位 “World Coordinates File” (例如, SHC\_SWMM.jgw)
- ⇒ 框选 “Scale Map to Backdrop Image”
- ⇒ 点击[OK]

### 3.1.2 设置研究面积的降雨数据

为了执行降雨径流计算，每一研究面积必须包括雨量计。为了 SHC SWMM 建模，利用监视数据和第 2.1.2 部分介绍的 NEXRAD 数据，布置用户定义的降水数据。主要使用特定场地 10 min, 0.1 mm 翻斗式雨量计数据。在 Lower EFW SWAT 建模工作中使用的 NEXRAD 数据，用于补充在一些丢失时段内的监视数据。用户定义降雨数据文件名称为 “SHC\_and\_10min\_intensity.dat”。该文件包含了以下 7 列数据：“Station ID (SHC\_named)”，“Year”，“Month”，“Day”，“Hour”，“Minute” 和 “Precipitation (强度, in/hr)”，并结合 “tab” 分隔符。





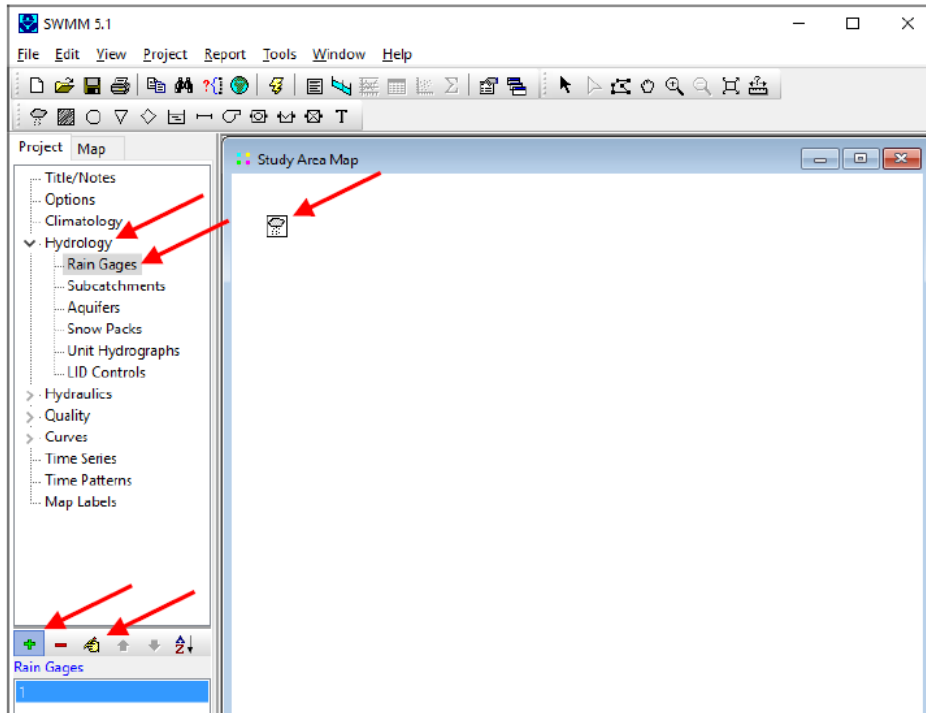
```

;Rainfall data collected at the SHC Station w/ 10-min intervals
;Some missing data were amended using the hourly SWAT-PCP data at SHC
;Station      Year      Month   Day      Hour      Minute  Rainfall (in/hr)
SHC_amend    2009     1       10       5         50      0.06
SHC_amend    2009     1       10       7         0       0.06
SHC_amend    2009     1       10       8         10      0.06
SHC_amend    2009     1       10       8         40      0.06
SHC_amend    2009     1       10       9         0       0.06
SHC_amend    2009     1       10       9         10      0.06
SHC_amend    2009     1       10       9         20      0.06
SHC_amend    2009     1       10       9         40      0.12
SHC_amend    2009     1       10       9         50      0.12
SHC_amend    2009     1       10       10        0       0.12
SHC_amend    2009     1       10       10        10      0.12
SHC_amend    2009     1       10       10        20      0.24
SHC_amend    2009     1       10       10        30      0.24
SHC_amend    2009     1       10       10        40      0.42
SHC_amend    2009     1       10       10        50      0.78
SHC_amend    2009     1       10       11        0       0.36
SHC_amend    2009     1       10       11        10      0.06
SHC_amend    2009     1       10       12        20      0.06

```

为了将该用户定义数据赋给模型设置，遵从 SWMM 用户手册第 33 页概括的详细步骤。为了添加雨量计：

- ⇒ 选择 “Project” 下的 “Hydrology”
- ⇒ 选择 “Hydrology” 下的 “Rain Gages”
- ⇒ 点击  [添加对象]按钮
- ⇒ 为了放置雨量计，点击 “Study Area Map” 的任何位置
- ⇒ 点击项目浏览器中的  [编辑对象]按钮 (下图所示屏幕的左下位置)，指定降雨数据，根据以下定义和文字下的图像编辑对象属性：



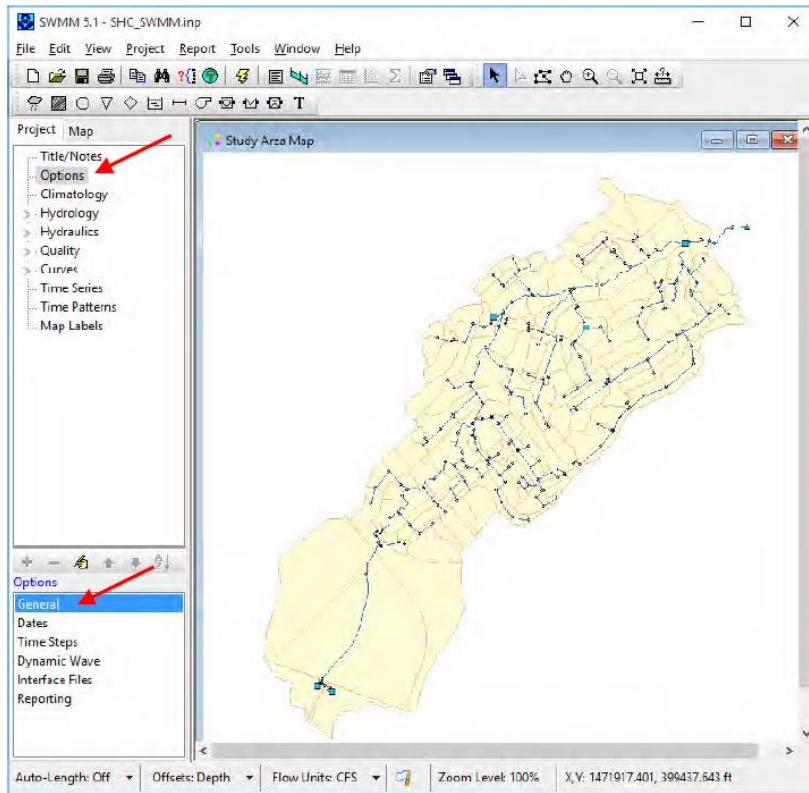
- Name: “SHC” (缺省值为 “Gage 1”)
- Rain Format: “INTENSITY” (这是缺省值)
- Time Interval: “0:10” (缺省值为 1:00, 即 1 小时)
- Data Source: “FILE” (缺省值为 “TIMESERIES”)
- File Name: “SHC\_and\_10min\_intensity.dat”
- Station ID: “SHC\_named” (应与以上所选.dat 文件中包含的名称一致)
- Rain Units: “IN”

Property	Value
Name	SHC
X-Coordinate	1471306.349
Y-Coordinate	399119.105
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	0:10
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	FILE
<b>TIME SERIES:</b>	
- Series Name	*
<b>DATA FILE:</b>	
- File Name	C:\SHC_SWMM\SHC_...
- Station ID	SHC_amend
- Rain Units	IN
Name of rainfall data file	

⇒ 定义以上所述对象属性后，关闭该属性数据框。

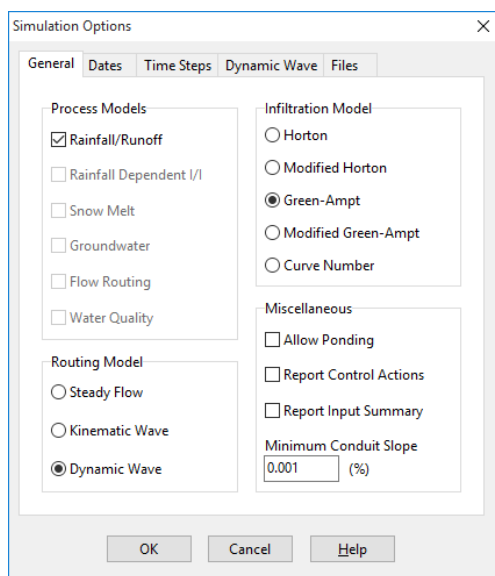
### 3.1.3 设置模型选项

SWMM 具有大量选项，用于控制雨水排放系统的模拟。这些选项从项目浏览器（如下图所示）的选项类中选择：



⇒ 在“Project”下选择“Options”

⇒ 双击“Options”下的“General”

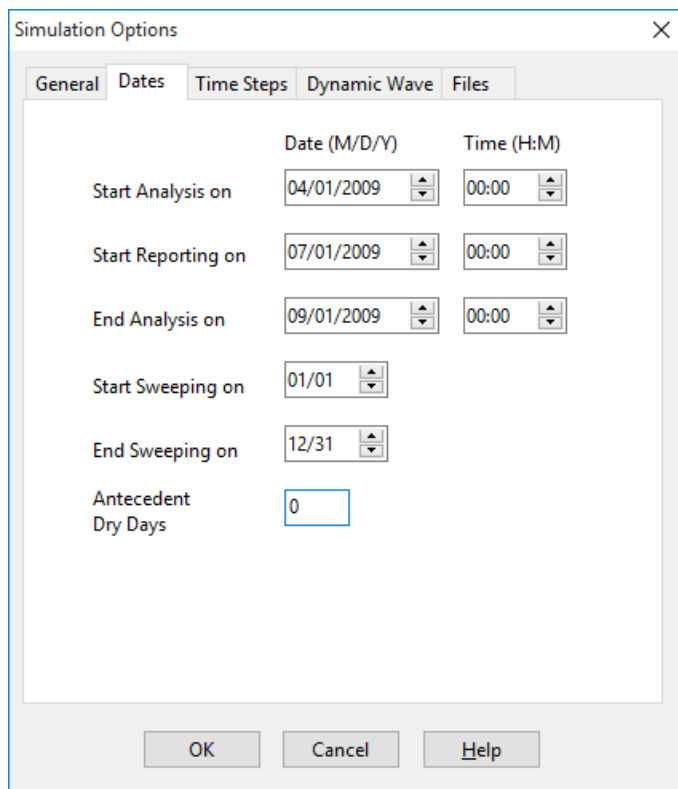


⇒ 指定如上所示的“General”。

建议最小管渠坡度为 0.001%。如果选择了缺省数值（空或零），那么没有施加最小值，但是当计算管渠坡度时，SWMM 利用标高差 0.001 ft（0.00035 m）作为下限。

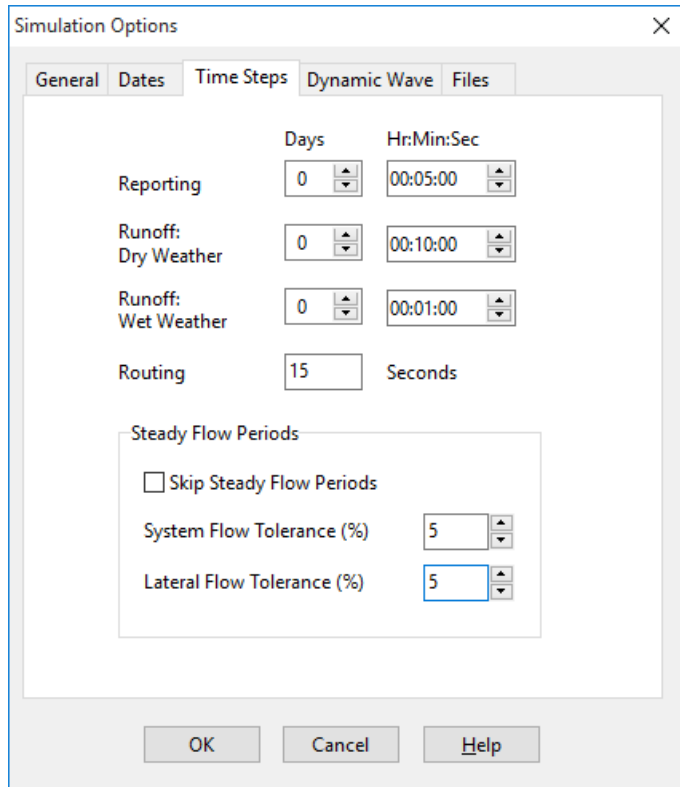
演算模型的 SWMM 缺省选项为运动波方法，这是一种有效的简化方法，不能够处理壅水效应、压力流、逆向流动和非枝状布局等情况。在需要表示这些情况时，选择动态波演算过程。注意，动态波过程需要更长的计算时间，由于较小的时间步长，为了维持数字稳定性。

SWMM 为模拟下渗提供了三种选项：Horton 公式、Green-Ampt 方法和曲线数方法。下渗考虑了降雨穿过渗透面积的地表，进入子汇水面积不饱和和土壤层的过程。SWMM 使用的缺省方法为 Horton 公式，这是根据经验观察，说明在长的降雨事件中，下渗速率从初始最大速率呈指数下降到最小速率。本项目中，选择 Green-Ampt 方法。该方法假设在土壤中存在尖锐的湿润锋，分离具有一定初始含水率的土壤与其下的饱和土壤。需要的输入参数为土壤的初始湿度欠缺、土壤导水率和湿润锋处的吸水头。旱季时段湿度欠缺的恢复速率经验上与导水率相关。曲线数方法来自 NRCS（正式的 SCS）曲线数方法，为了估计为单场暴雨事件设计的径流，求平均年径流数值，它可以缩放。



⇒ 双击“Options”标签下的“Dates”，设置与模拟时段和可用降雨数据匹配的日期。

日期选项下，通常定义了数据报告之前模型的“热身”时段。该情况中，使用 2009 年 4 月 1 日到 2009 年 7 月 1 日的 3 个月时段。本模型设置中没有使用清扫（与街道清扫操作对应）和前期干燥日期。



⇒ 双击“Time Steps”标签，设置以上所示选项。

报告时间间隔（缺省值为 15 分钟）用于报告结果。径流-雨季时间步长（缺省值为 5 分钟）用于计算降雨时段来自子汇水面积的径流，或者当地表仍旧保留积水时，或者当 LID 控制仍旧下渗或者蒸发径流。径流-旱季时间步长（缺省值为 1 小时）用于在没有降雨、没有积水和 LID 控制干燥时段的径流计算（实质上包括污染物累积）。该时间步长必须大于等于雨季时间步长。演算时间步长（缺省值为 30 秒）用于演算输送系统的流量和水质成分。注意与流量演算的其他方法相比，动态波演算需要更小的时间步长。

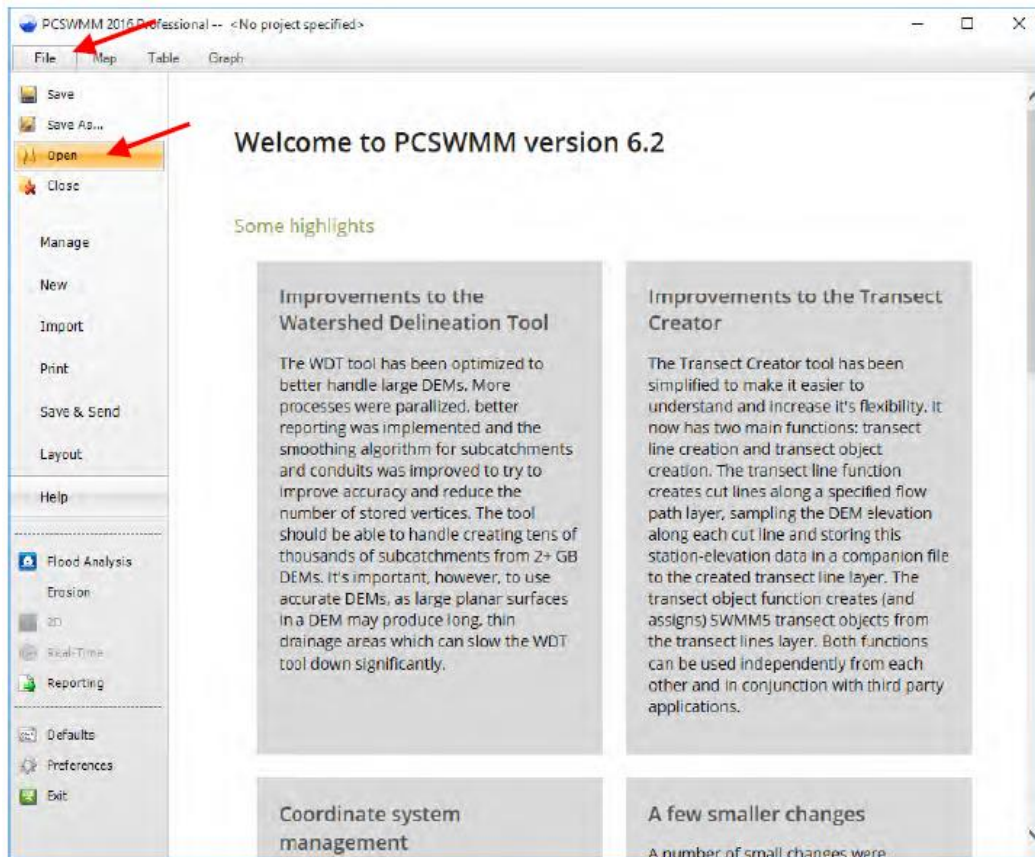
- ⇒ 采用“Dynamic Wave”和“Files”标签下的缺省值。
- ⇒ 点击[OK]按钮，完成“Simulation Options”
- ⇒ 保存当前项目并关闭 EPA SWMM。

执行剩余模型设置的同时，利用 SWMM 用户手册（Rossman, 2015）描述的 SWMM 模型内置菜单/图标/工具。本项目中，下一部分描述利用 PCSWMM 模型将 GIS 数据导入到 SWMM 模型。

## 3.2 利用 PCSWMM 将处理过的 GIS 数据导入到 SWMM 模型

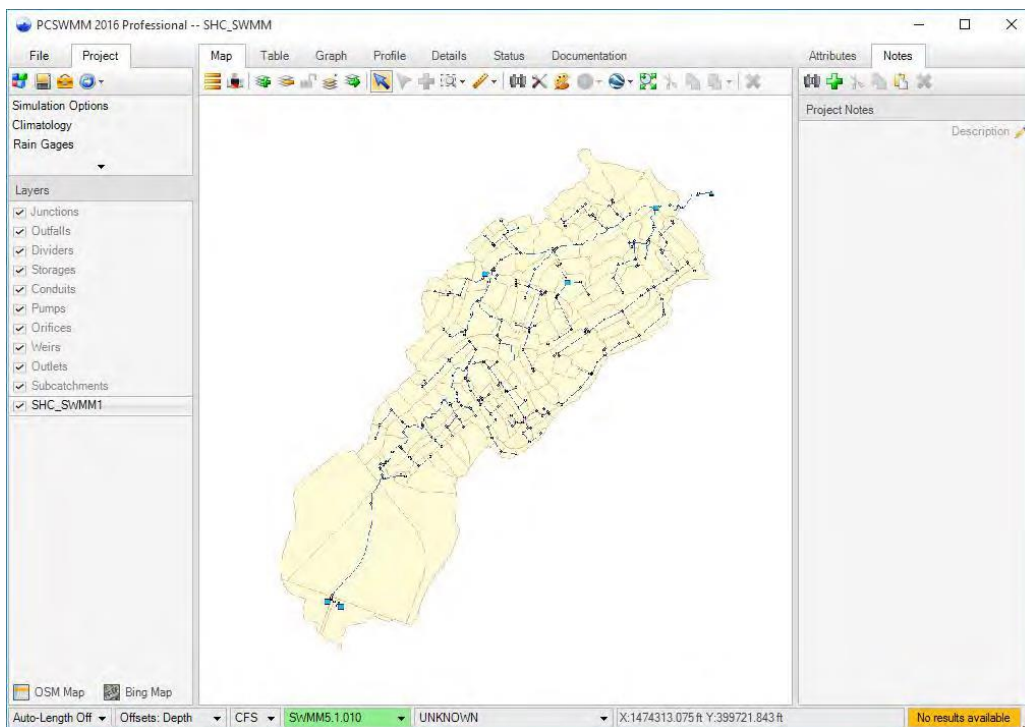
需要下载、安装、权限激活，然后运行 PCSWMM。当程序运行时，打开以下窗口。





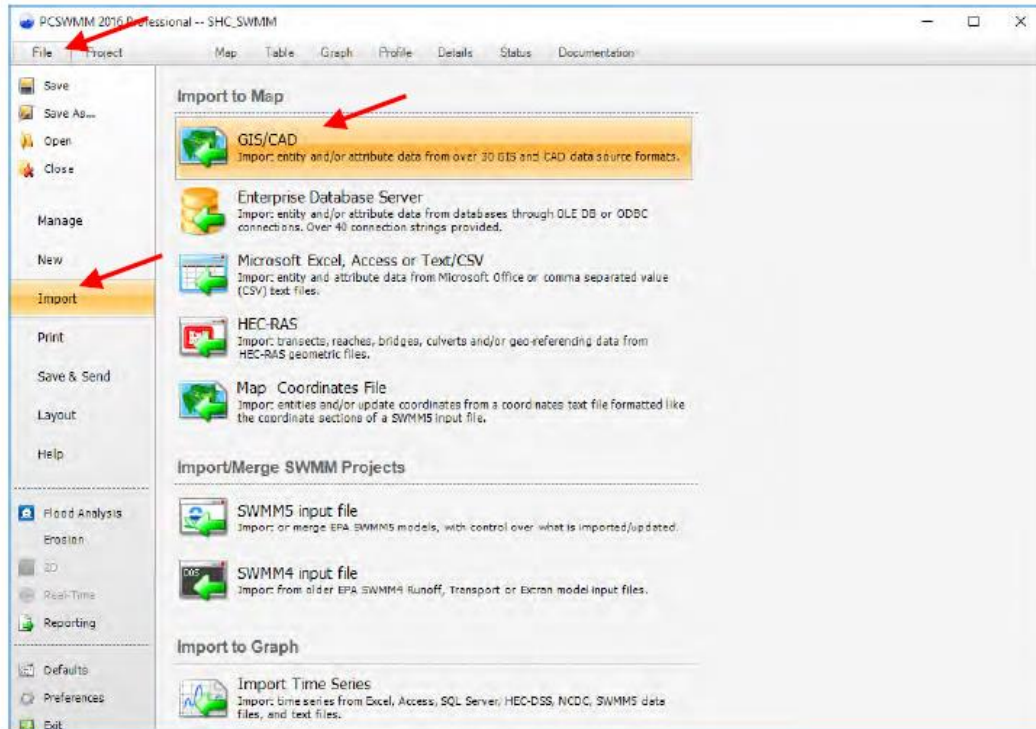
⇒ 点击[File/Open], 打开前面在第 3.1 部分未保存的 SWMM 文件(“SHC\_SWMM.inp”)。

这将导入文件并加载背景图像。为 PCSWMM 项目设置源层，需要指定根据第 2.4.5 部分概括过程一部分生成的文件位置和数据属性。

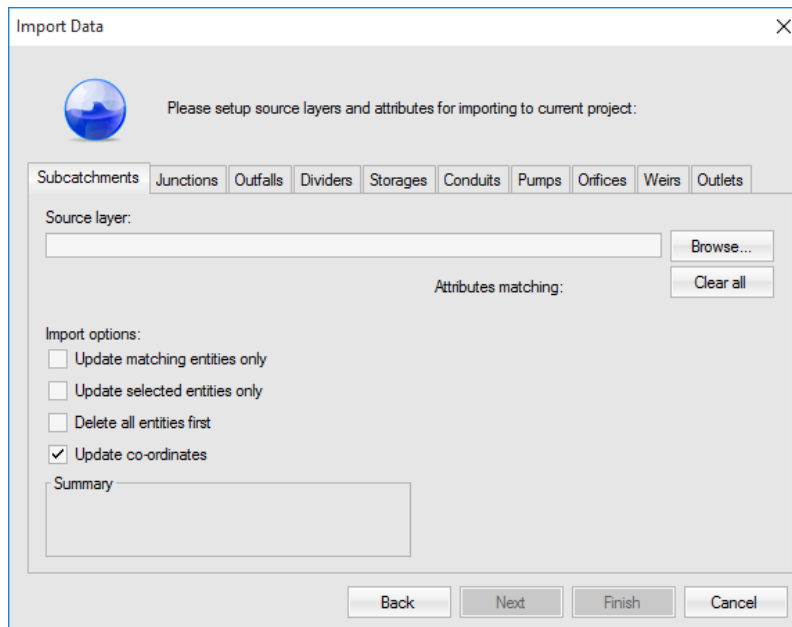


### 3.2.1 导入子汇水面积 GIS 层

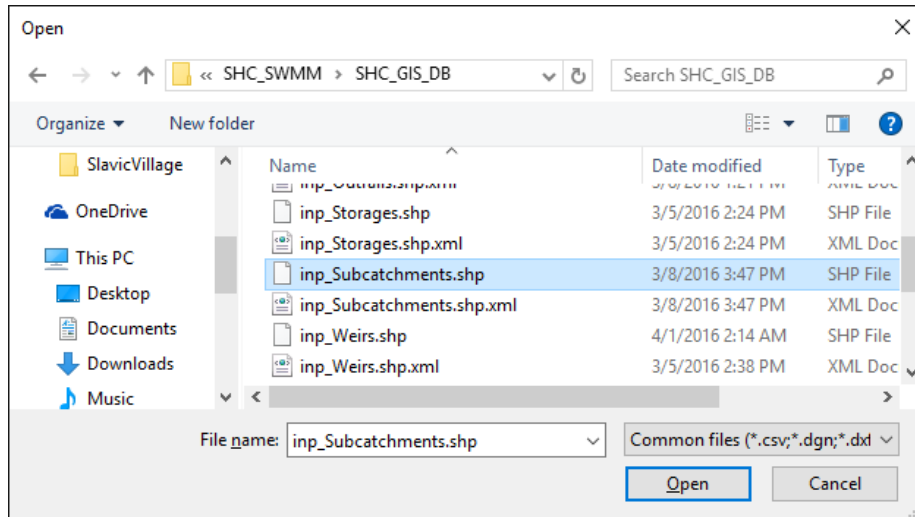
以下步骤利用 PCSWMM，将子汇水面积 GIS shapefile 导为 SWMM 输入文件格式。



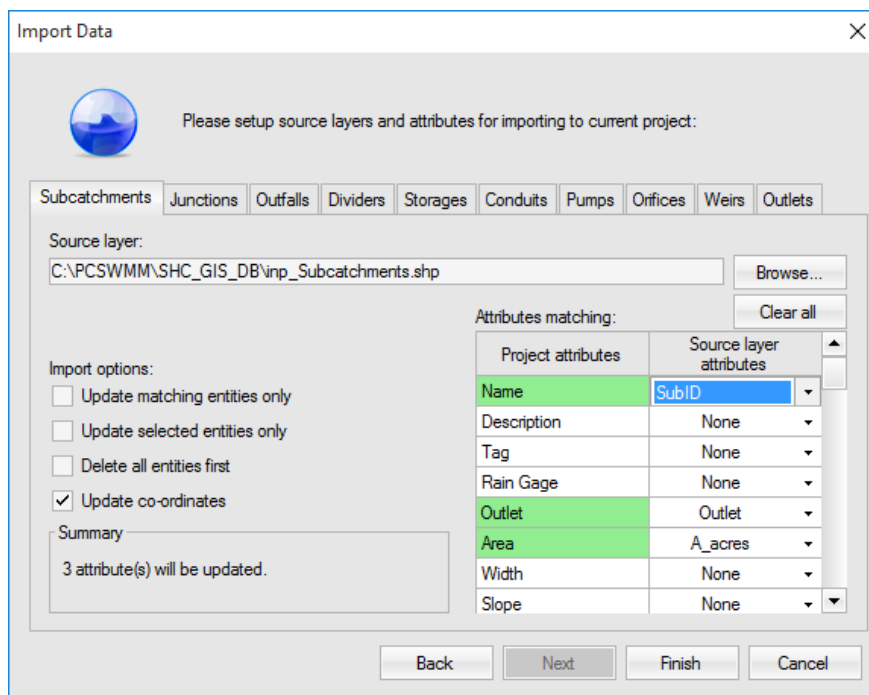
⇒ 点击[File/Import]，然后在主窗口中选择“GIS/CAD”选项



⇒ 选择[Subcatchments]标签，然后点击[Browse...]按钮，导入“Subcatchments”的 GIS 数据



⇒ 定位相关 shapefile (inp\_Subcatchments.shp)，然后点击[Open]按钮。

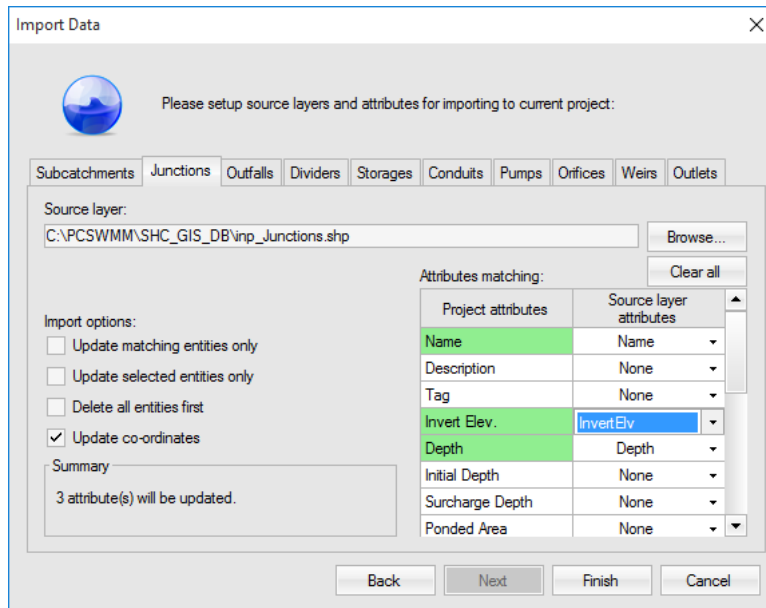


⇒ 为“Name”，“Outlet”和“Area”指定相关的属性

PCSWMM 尝试自动将需要的项目属性与源层属性匹配（绿色所示）。应确认所有匹配的个体。针对该层，匹配了以下三个关键属性：Name – “SubID”，Outlet – “Outlet”和 Area – “A\_acres”。取决于怎样创建 shapefile，可能具有不需要导入的其他 GIS 属性。其他所需子汇水面积对象属性将随后从 MS-Excel 表导入，数据准备步骤见第 2.4 部分。

### 3.2.2 导入汇接点的 GIS 层

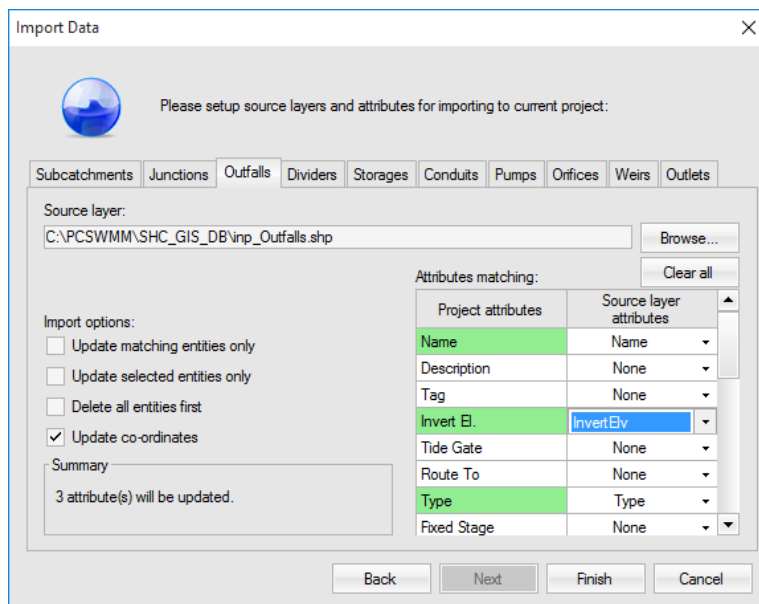
利用 PCSWMM 将汇接点 GIS shapefile 导为 SWMM 输入文件格式，需要执行以下步骤。



- ⇒ 针对“Junctions”导入 GIS 数据
- ⇒ 打开与[Junctions]相关的 shapefile (inp\_Junctions.shp)
- ⇒ 指定“Attributes”匹配: Name – “Name”, Invert Elev. – “InvertElev”和 Depth – “Depth”

### 3.2.3 导入排放口 GIS 层

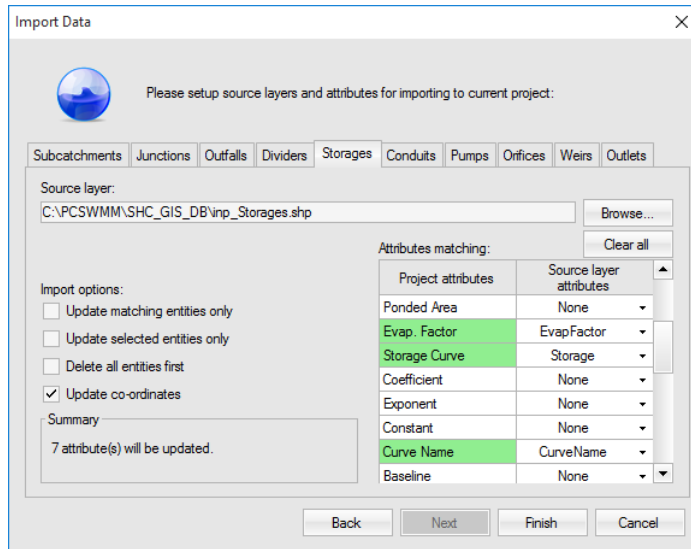
利用 PCSWMM 将排放口 GIS shapefile 导为 SWMM 输入文件格式，需要执行以下步骤。



- ⇒ 针对“Outfall”，导入 GIS 数据
- ⇒ 打开对应[Outfall]的相关 shapefile (inp\_Outfalls.shp)
- ⇒ 指定“Attributes”匹配: Name- “Name”, Invert El. – “InvertElev”, Type – “Type”
- ⇒ (跳过下一标签。SHC 中没有使用分流器)

### 3.2.4 导入蓄水设施 GIS 层

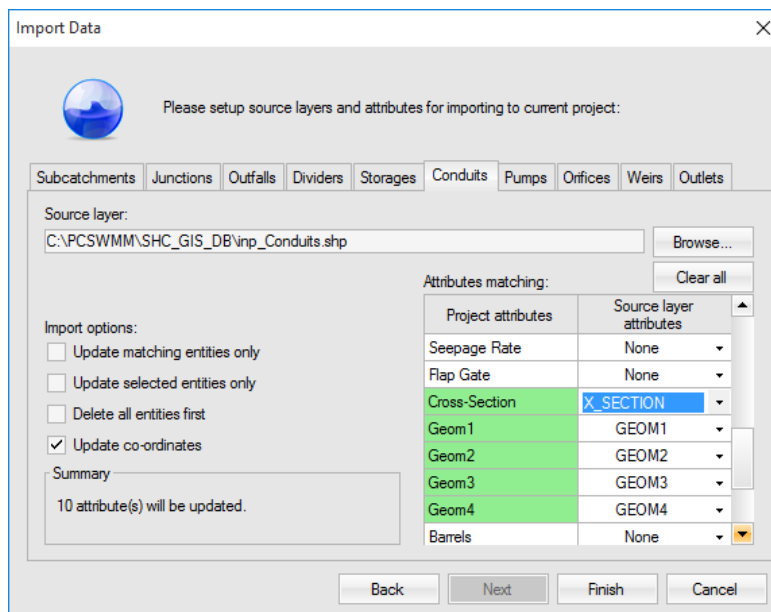
利用 PCSWMM 将蓄水设施 GIS shapefile 导为 SWMM 输入文件格式，需要执行以下步骤。



- ⇒ 针对“Storages”导入 GIS 数据
- ⇒ 针对[Storages]，打开相关 shapefile (inp\_Storages.shp)
- ⇒ 指定“Attributes”匹配: Name- “Name”，Invert El. – “InvertElv”，Depth – “Depth”，Initial Depth – “Init\_Depth”，Evap. Factor – “EvapFactor”，Storage Curve – “Storage”，和 Curve Name – “CurveName”

### 3.2.5 导入管渠 GIS 层

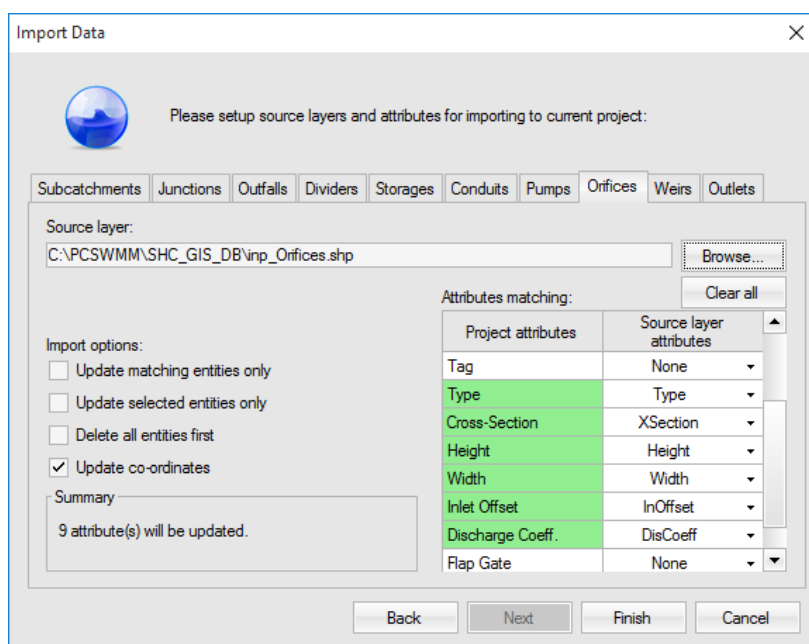
利用 PCSWMM 将管渠 GIS shapefile 导为 SWMM 输入文件格式，需要执行以下步骤。



- ⇒ 为“Conduits”导入 GIS 数据
- ⇒ 为[Conduits]打开相关 shapefile (inp\_Conduits.shp)
- ⇒ 指定“Attributes”匹配: Name – “Name”, Inlet Node – “InletNode”, Outlet Node – “OutletNode”, Length – “Length”, Roughness – “Roughness”, Cross-section – “X\_Section”, Geom1 – “GEOM1”, Geom2 – “GEOM2”, Geom3 – “GEOM3” 和 Geom4 – “GEOM4”
- ⇒ (跳过水泵标签)

### 3.2.6 导入孔口 GIS 层

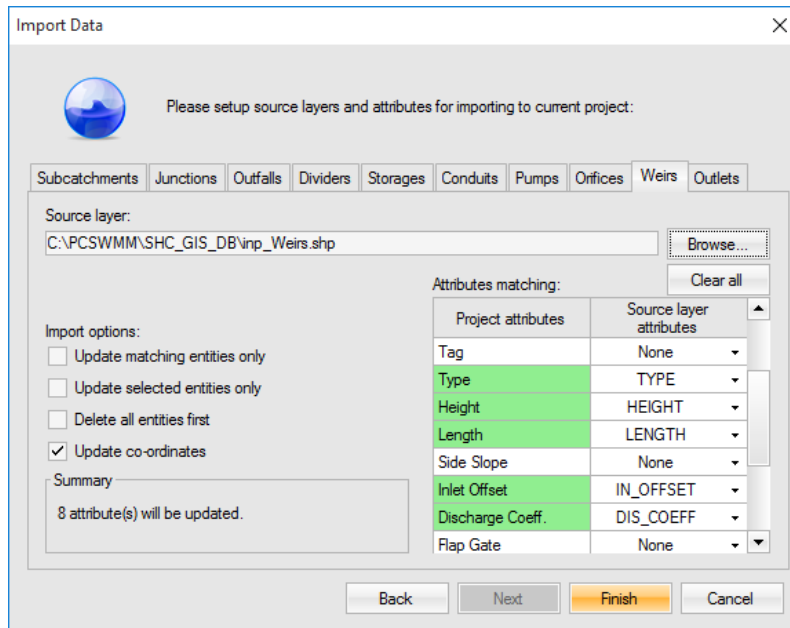
利用 PCSWMM 将孔口 GIS shapefile 导为 SWMM 输入文件格式，需要执行以下步骤。



- ⇒ 为“Orifices”导入 GIS 数据
- ⇒ 为[Orifices]打开相关的 shapefile (inp\_Orifice.shp)
- ⇒ 指定“Attributes”匹配: Name – “Name”, Inlet Node – “Inlet”, Outlet Node – “Outlet”, Type – “Type”, Cross Section – “XSection”, Height – “Height”, Width – “Width”, Inlet Offset – “InOffset”, 和 Discharge Coefficient – “DisCoeff”

### 3.2.7 导入堰 GIS 层

为了利用 PCSWMM 将 shapefile 中堰 GIS 层导为 SWMM 输入文件格式，需要执行以下步骤。

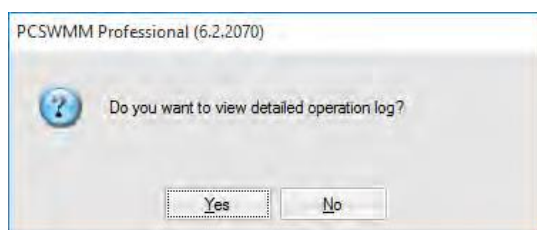


- ⇒ 为“ Weirs ”导入 GIS 数据
- ⇒ 为[Weirs]打开相关的 shapefile（inp\_Weirs.shp）
- ⇒ 指定“ Attributes ”匹配: Name – “Name”， Inlet Node – “Inlet”， Outlet Node – “Outlet”， Type – “Type”， Height – “Height”， Length – “Length”， Inlet Offset – “In\_Offset”， 和 Discharge Coefficient – “Dis\_Coeff”

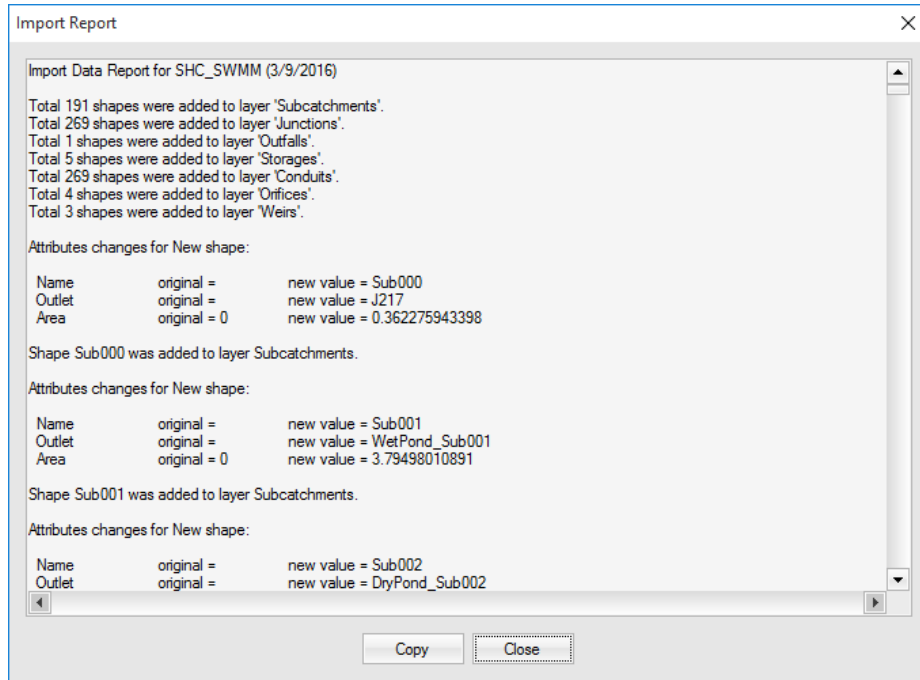
### 3.2.8 完成 GIS 层导入

以下步骤完成了利用 PCSWMM 将各种 GIS 层导为 SWMM 输入文件格式。

- ⇒ 点击“Finish”，完成 GIS 数据的导入

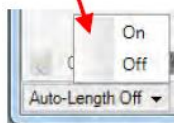
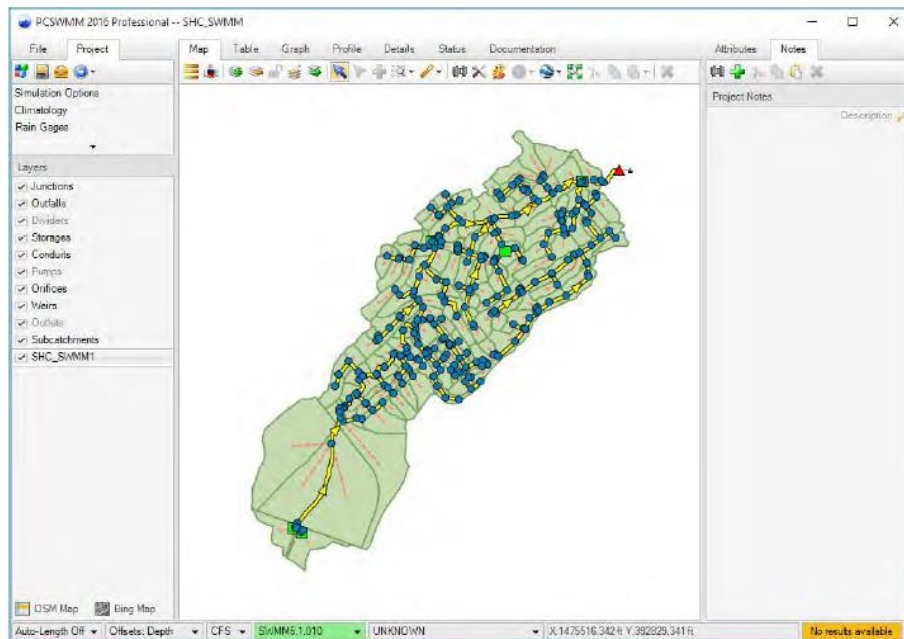


- ⇒ 如果希望检查数据导入状态，点击“ Yes ”按钮



⇒ 点击“Close”

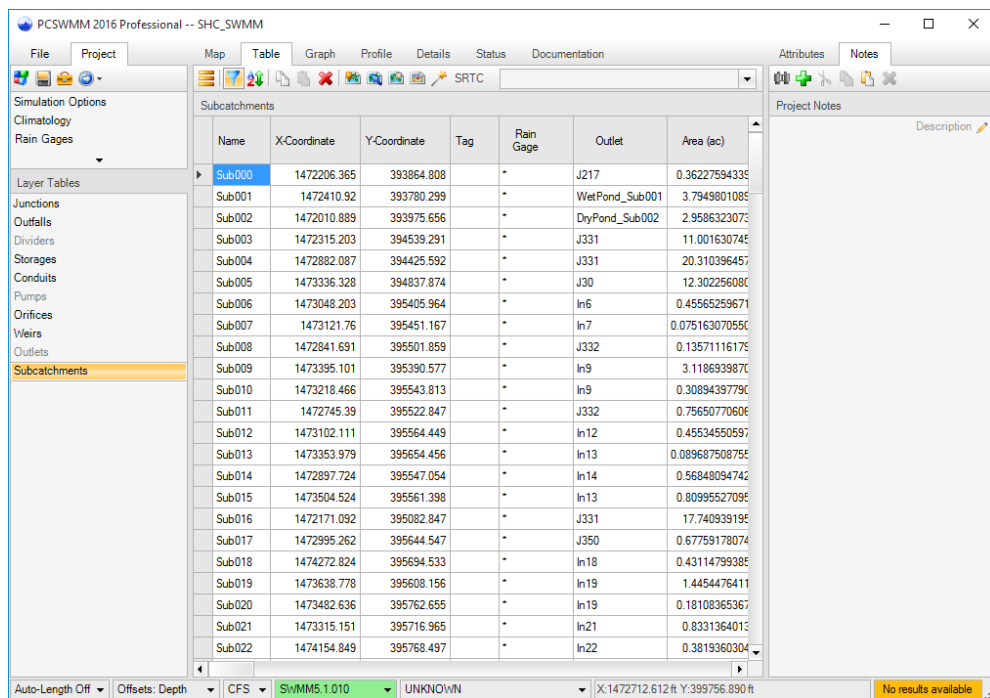
PCSWMM 导出 GIS 数据如下。



⇒ 将“Auto-Length”指定为“Off”

本项目中，自动长度更新设置为“Off”，因为所有估计将从另一数据文件（见第 3.3 部分）提供。属性数据可利用 PCSWMM 更新，简要描述如下。



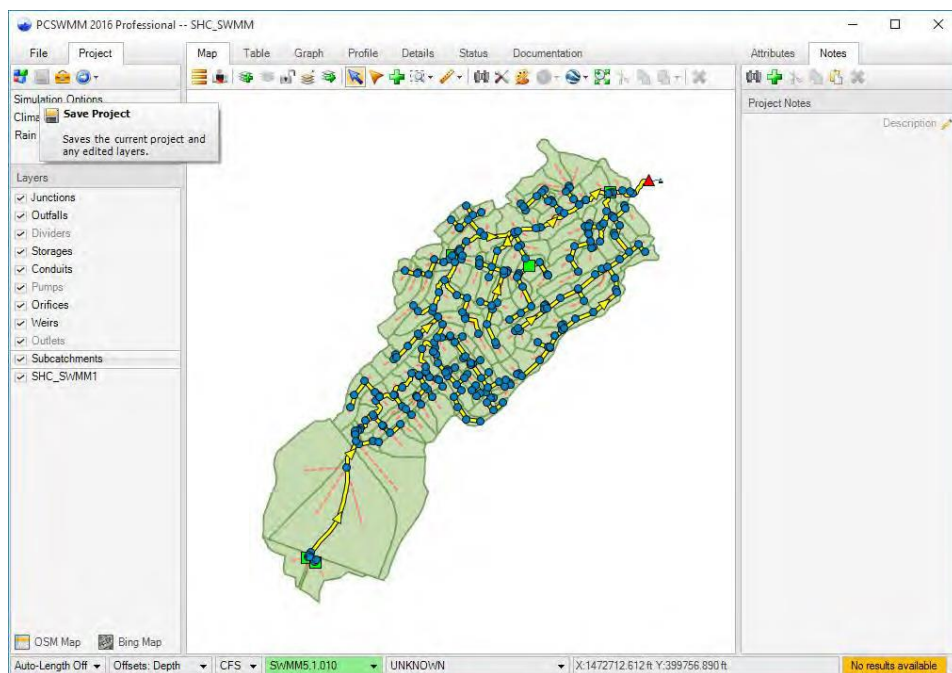


⇒ 更新[Table]标签下的属性

⇒ 选择 [Table] 标签下的 “ Subcatchments ”： 可以将 Excel 文件 (“SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx”) 的逐列复制/粘贴到该表

注意： PCSWMM 中一次仅可以完成一列的复制/粘贴。

可以检查/编辑对应的“Junctions”，“Outfalls”，“Storages”，“Conduits”，“Orifices”和“Weirs”表。



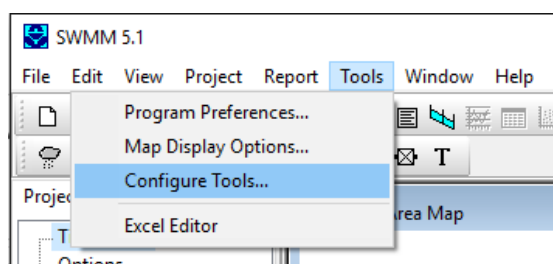
⇒ 保存 SWMM 项目，然后关闭 PCSWMM

## 3.3 利用 EPA SWMM 和 Excel 编辑器，将建模参数导入到 SWMM 模型

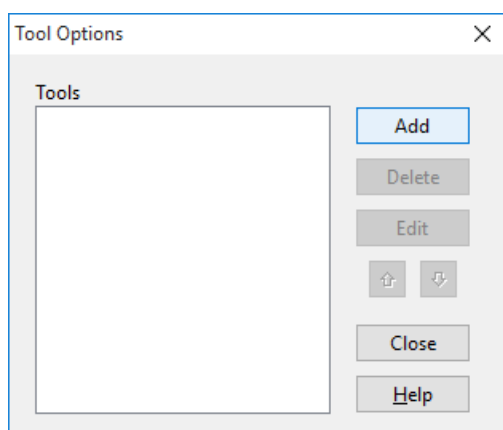
为将 Excel 导入建模参数，Excel 需要作为工具配置，可以在 SWMM 界面内启动。此外。Excel 可利用各种格式组织行和列中的数据（例如，逗号分隔变量，制表符分隔等）。制表符分隔格式与 SWMM 输入文件 (\*.inp) 存储格式兼容。因此，将使用该配置，以便 MS-Excel 中处理的数据可以直接导入到 SWMM 输入文件中。为方便直接导入，首先需要在 SWMM 中配置 Excel 工具，然后需要在 SWMM 中最初创建专门的“空”输入对象数据结构（针对该建模工作中表示的每一类结构），允许这些数据直接导入。

### 3.3.1 将 Excel 编辑器配置为 SWMM 中的工具

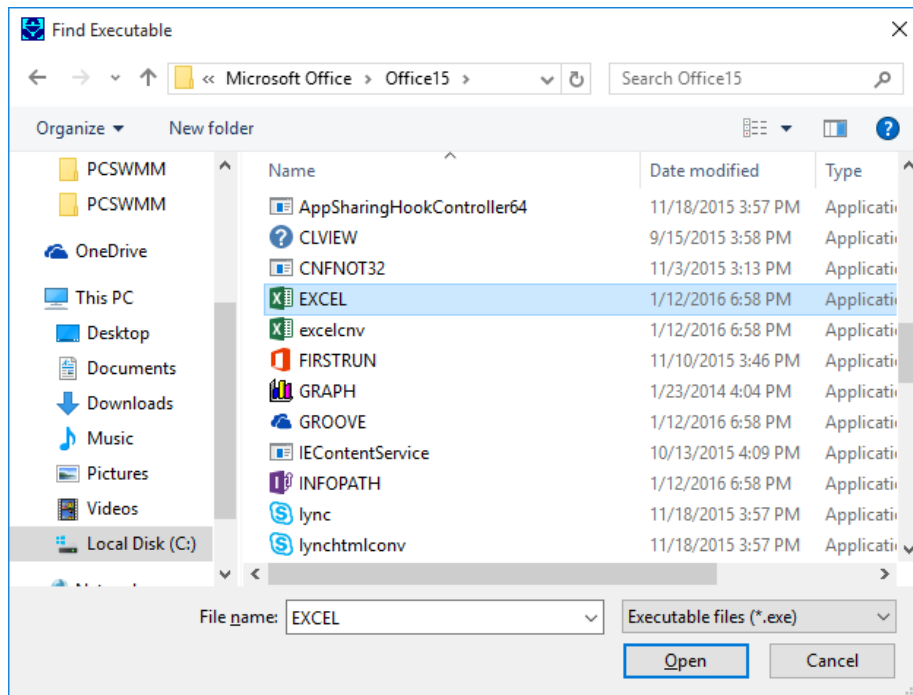
为了将 MS-Excel 配置为 SWMM 中的编辑工具，需要执行以下步骤。



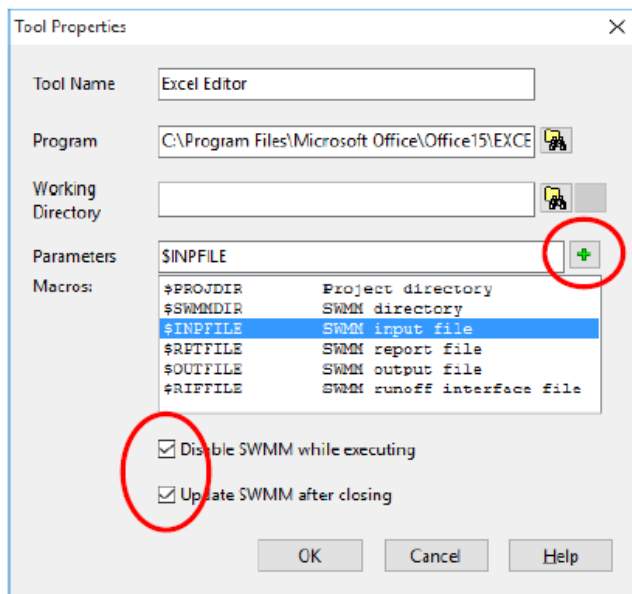
⇒ 在 EPA SWMM 主菜单下选择“Tools/Configure Tools”



⇒ 点击“Add”按钮



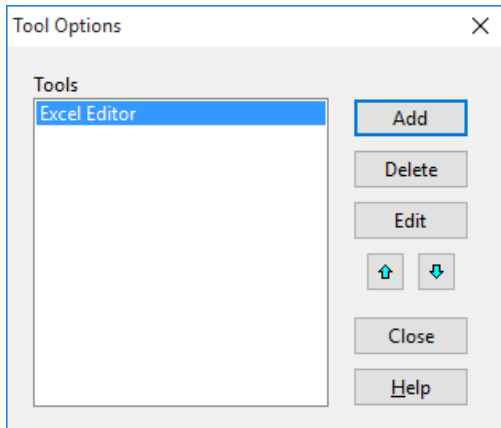
⇒ 定位“EXCEL.EXE”文件，然后点击[Open]按钮



⇒ 利用  按钮为“Parameters”添加“\$INPFILE”

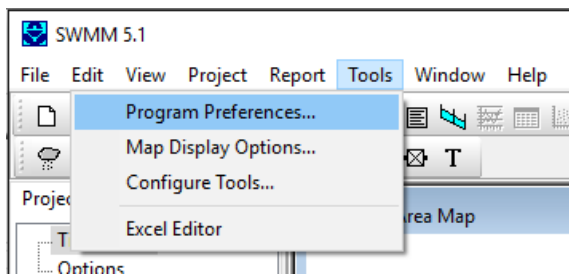
⇒ 框选“Disable SWMM while executing”和“Update SWMM after closing”

⇒ 点击“OK”按钮

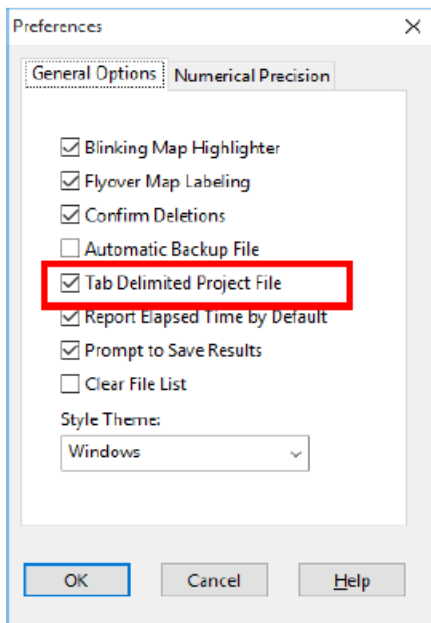


⇒ 点击“Close”按钮

为了使用 Excel Editor，添加另一程序偏好如下：



⇒ 在主菜单下选择“Tools/Program Preferences”



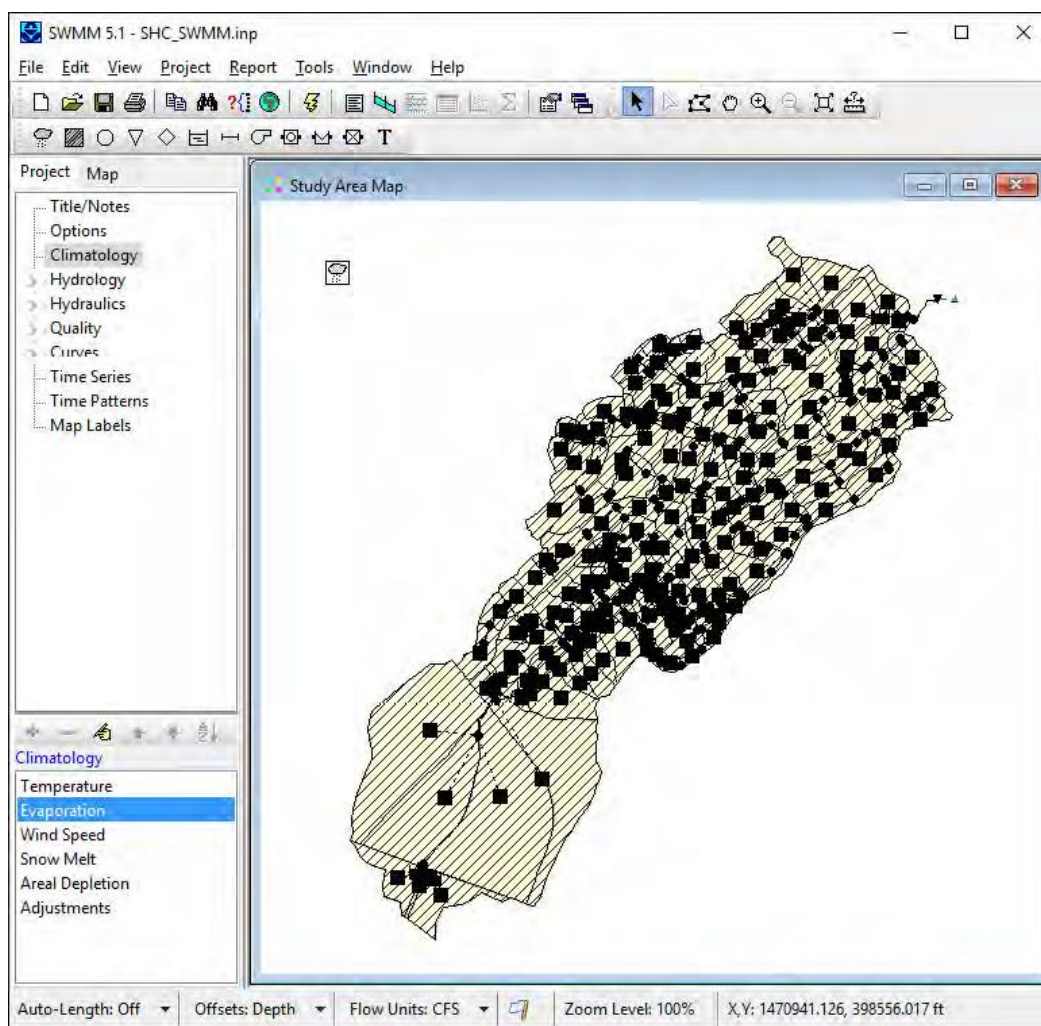
⇒ 框选“Tab Delimited Project File”，然后点击“OK”按钮

标签分割性能规格构建了 SWMM 输入文件 (\*.inp)，以便于 MS-Excel 中处理的任何兼容数据的方式，可以直接利用 SWMM 程序界面内的 Excel Tool 选项导入。

### 3.3.2 利用 Excel 编辑器的数据入口/编辑

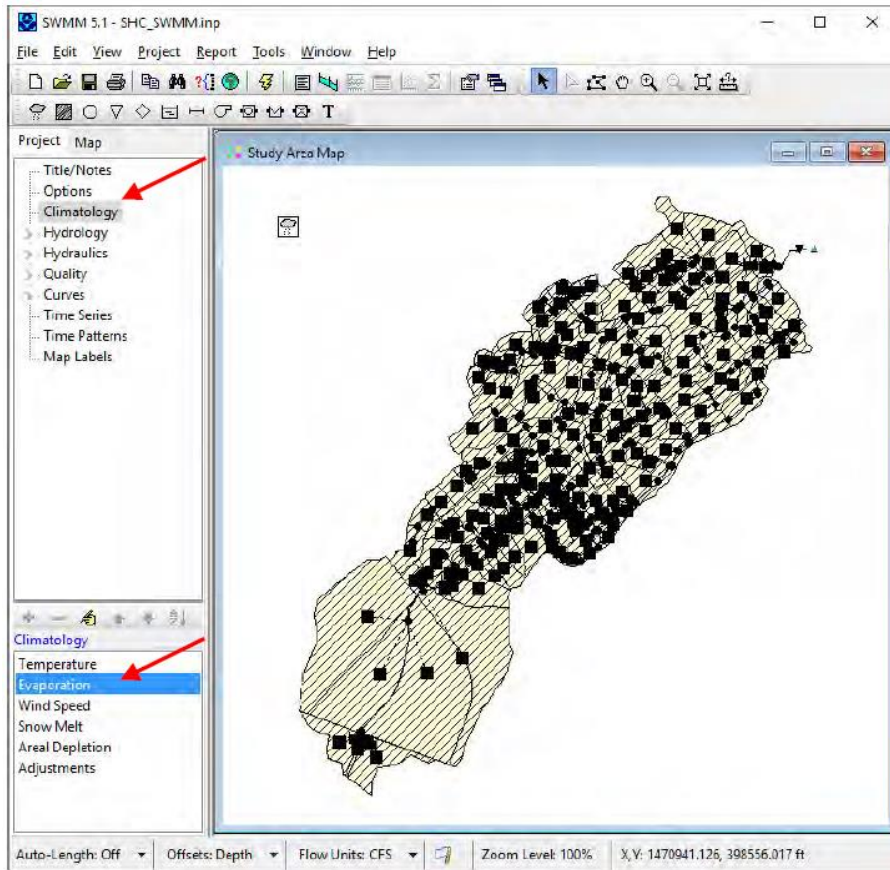
为了完成构建 SWMM 模型，下一步打开来自第 3.2 部分推导的现有 SWMM 输入文件。

⇒ 运行 EPA SWMM



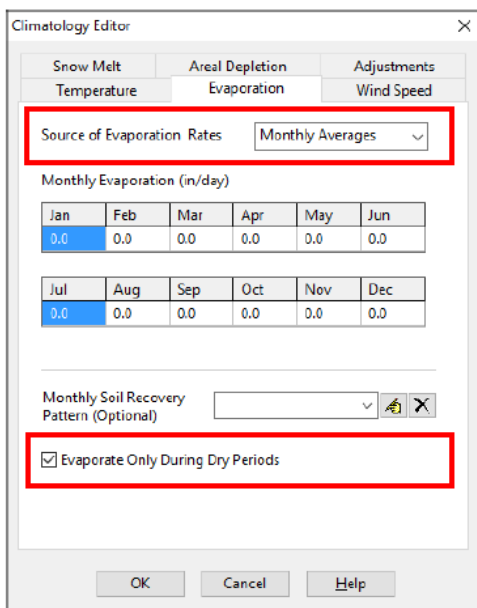
⇒ 打开前面通过 PCSWMM 更新的输入文件 (“SHC\_SWMM.inp”)。

下一步是创建“空的”或者蒸发的模板输入数据结构，允许从 MS-Excel 导入数据。



- ⇒ 点击“Project”标签下的“Climatology”
- ⇒ 双击“Climatology”下的“Evaporation”

指定“Climatology Editor”的“Evaporation”标签如下：

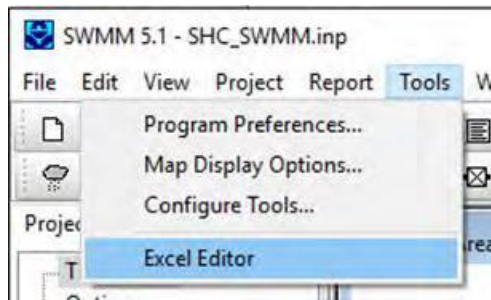


- ⇒ 蒸发速率源：“Monthly Averages”
- ⇒ 框选“Evaporate Only During Dry Periods”

⇒ 点击[OK]按钮

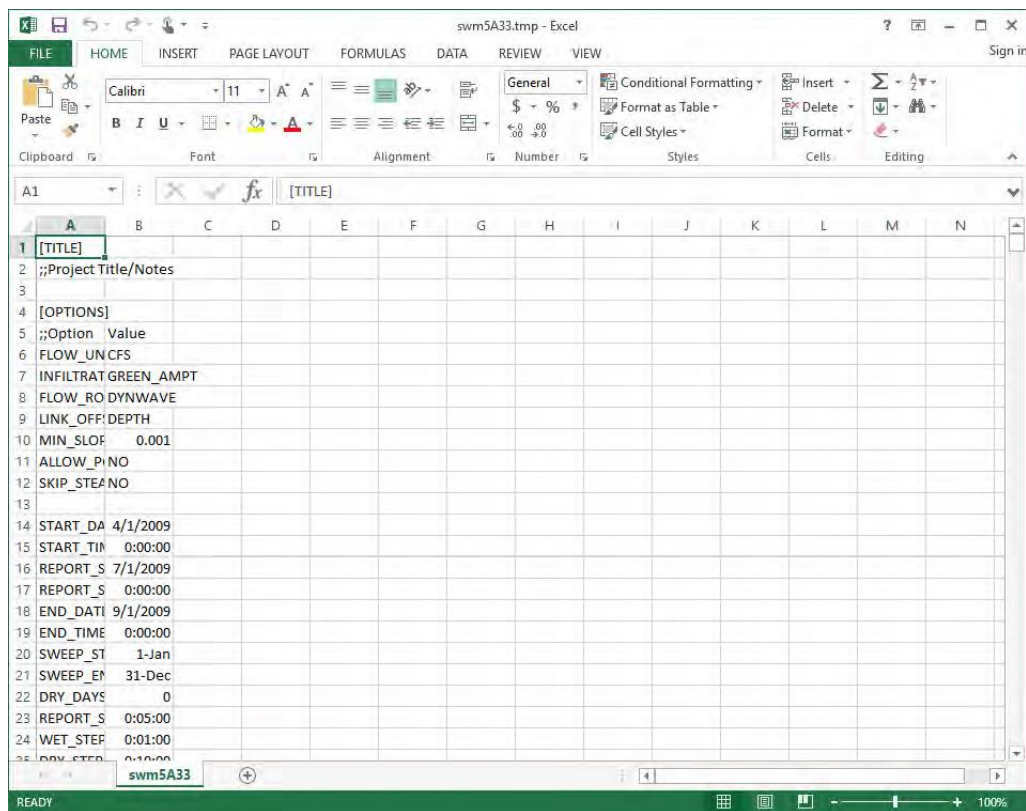
注意：这里没有输入数据。本步仅仅设置一个模板，允许数据从 MS-Excel 导入。

为了从 MS-Excel 输入数据，利用来自 EPA SWMM 主菜单的工具选项，调用前面配置的“Excel Editor”。



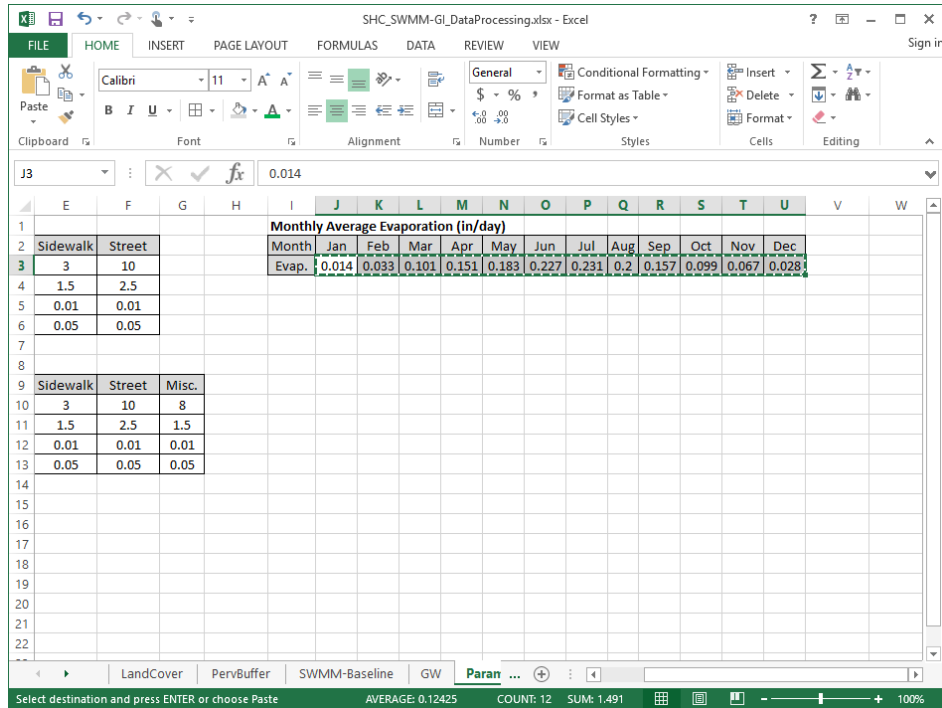
⇒ 点击主菜单中的[Tools/Excel Editor]

注意：通常而言，在调用“Excel Editor”操作之前，必须关闭任何打开的 MS-Excel 文件。否则，不能正确保存编辑过的文件，这可能取决于计算机和/或计算机运行的 MS-Excel 版本。

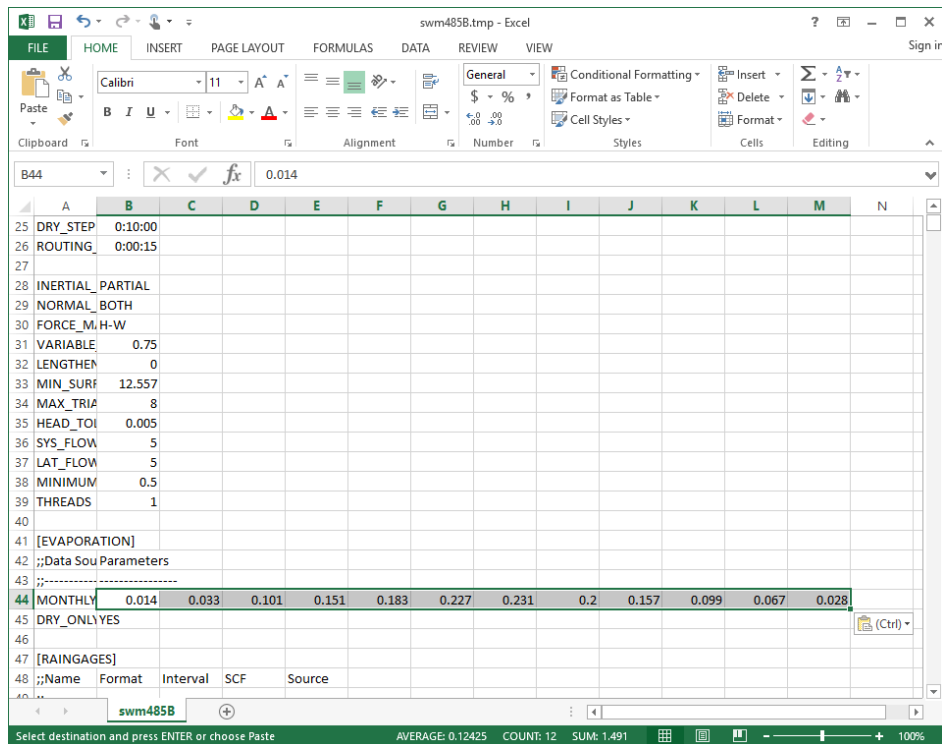


下一步是利用 Excel 编辑器编辑 SWMM 输入文件。为了导入相应建模参数，打开前面创建的文件“SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx”，结合需要的数值（见第 2.4 部分）。

首先，复制工作表中参数标签的数值，为了更新“Monthly Average Evaporation”。（见第 2.1.2 部分）



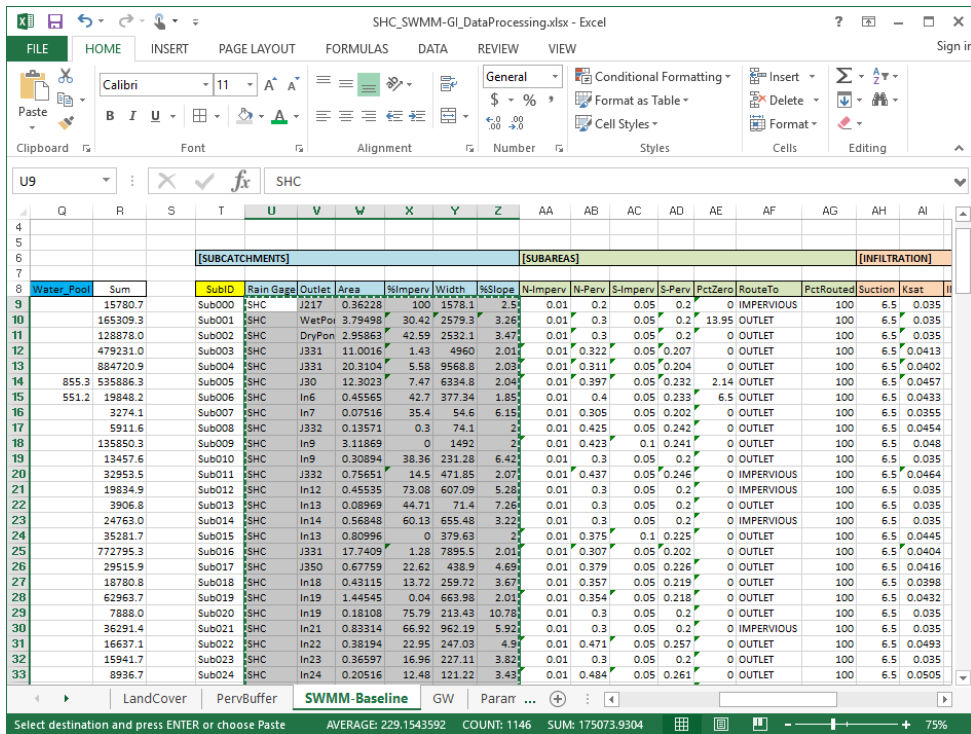
⇒ 复制来自“SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx”标签[Parameters]的“Monthly Average Evaporation (in/day)”



⇒ 粘贴数据到 SWMM 输入文件：在数据域“B44”上点击右键，选择“Value”粘贴  
注意：跳过电子表格中的标题和“SubID”列，因为 SWMM 中创建空/模板输入时已经包括了那些。

其次，更新来自 Excel 文件中“SWMM-Baseline”标签[Subcatchments]的“Rain Gage”，“Outlet”，“Area”，“%Imperv”，“Width”和“%Slope”参数。

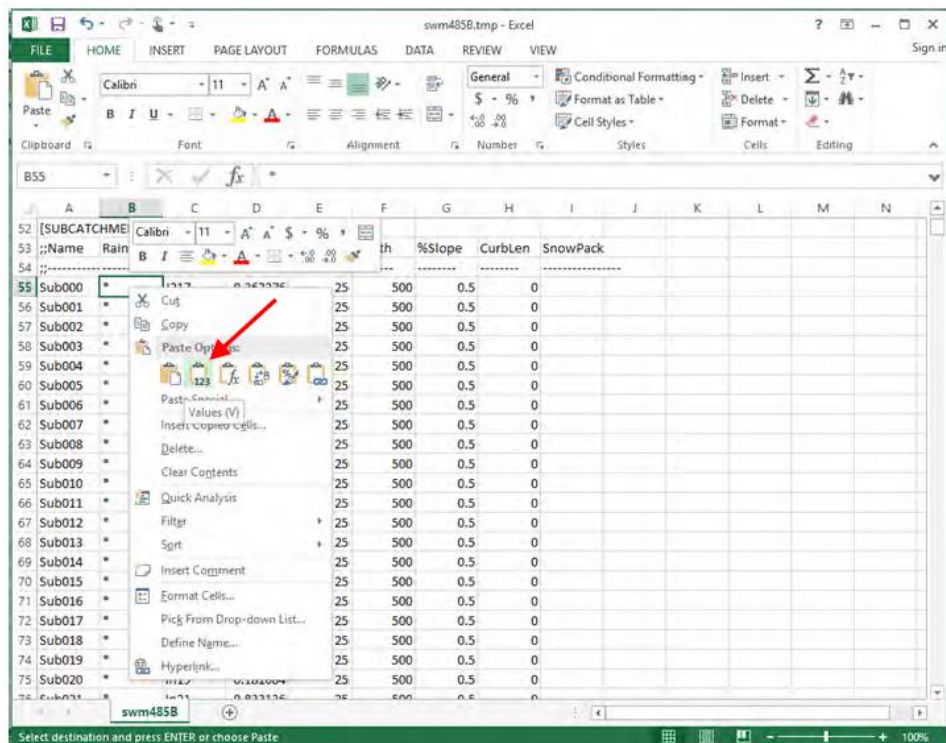




⇒ 打开“SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx”

⇒ 选择[SWMM\_Baseline]的数据域[U9:Z199]，然后复制

注意：根据定义的子汇水面积数和单个电子表格如何放置，复制的信息总行数将在建模项目中变化。



⇒ 利用 Excel 编辑器打开 SWMM 输入文件

⇒ 在数据域“B55”点击右键，然后点击“Value”图标，对应于“粘贴选项”的

注意：为了防止复制/粘贴公式，必须结合“Value”选项使用“Paste Special”。

52	[SUBCATCHMENTS]							
53	Name	Rain Gage Outlet	Area	%Imperv	Width	%Slope	CurbLen	SnowPack
55	Sub000	SHC J217	0.36228	100	1578.07	2.5	0	
56	Sub001	SHC WetPond	3.79498	30.42	2579.34	3.26	0	
57	Sub002	SHC DryPond	2.95863	42.59	2532.05	3.47	0	
58	Sub003	SHC J331	11.00163	1.43	4959.96	2.01	0	
59	Sub004	SHC J331	20.3104	5.58	9568.75	2.03	0	
60	Sub005	SHC J30	12.30226	7.47	6334.75	2.04	0	
61	Sub006	SHC In6	0.45565	42.7	377.34	1.85	0	
62	Sub007	SHC In7	0.07516	35.4	54.6	6.15	0	
63	Sub008	SHC J332	0.13571	0.3	74.1	2	0	
64	Sub009	SHC In9	3.11869	0	1492.04	2	0	
65	Sub010	SHC In9	0.30894	38.36	231.28	6.42	0	
66	Sub011	SHC J332	0.75651	14.5	471.85	2.07	0	
67	Sub012	SHC In12	0.45535	73.08	607.09	5.28	0	
68	Sub013	SHC In13	0.08969	44.71	71.4	7.26	0	
69	Sub014	SHC In14	0.56848	60.13	655.48	3.22	0	
70	Sub015	SHC In13	0.80996	0	379.63	2	0	
71	Sub016	SHC J331	17.74094	1.28	7895.49	2.01	0	
72	Sub017	SHC J350	0.67759	22.62	438.9	4.69	0	
73	Sub018	SHC In18	0.43115	13.72	259.72	3.67	0	
74	Sub019	SHC In19	1.44545	0.04	663.98	2.01	0	
75	Sub020	SHC In19	0.18108	75.79	213.43	10.78	0	

其次，复制/粘贴针对[SUBAREAS]的参数：“N-Imperv”，“N-Perv”，“S-Imperv”，“S-Perv”，“PctZero”，“RouteTo”和“PctRouted”。

[SUBCATCHMENTS]		[SUBAREAS]										[INFILTRATION]				
Water_Pool	Sum	SubID	Rain Gage Outlet	Area	%Imperv	Width	%Slope	N-Imperv	N-Perv	S-Imperv	S-Perv	PctZero	RouteTo	PctRouted	Suction	Ksat
15780.7		Sub000	SHC J217	0.36228	100	1578.1	2.5	0.01	0.2	0.05	0.2	0	IMPERVIOUS	100	6.5	0.035
165309.3		Sub001	SHC WetPond	3.79498	30.42	2579.3	3.26	0.01	0.3	0.05	0.2	13.95	OUTLET	100	6.5	0.035
128878.0		Sub002	SHC DryPond	2.95863	42.59	2532.1	3.47	0.01	0.3	0.05	0.2	0	OUTLET	100	6.5	0.035
479231.0		Sub003	SHC J331	11.0016	1.43	4960	2.01	0.01	0.322	0.05	0.207	0	OUTLET	100	6.5	0.0413
884720.9		Sub004	SHC J331	20.3104	5.58	9568.8	2.03	0.01	0.311	0.05	0.204	0	OUTLET	100	6.5	0.0402
855.3	535886.3	Sub005	SHC J30	12.3023	7.47	6334.8	2.04	0.01	0.397	0.05	0.232	2.14	OUTLET	100	6.5	0.0457
551.2	19848.2	Sub006	SHC In6	0.45565	42.7	377.34	1.85	0.01	0.4	0.05	0.233	6.5	OUTLET	100	6.5	0.0433
3274.1		Sub007	SHC In7	0.07516	35.4	54.6	6.15	0.01	0.305	0.05	0.202	0	OUTLET	100	6.5	0.0355
5911.6		Sub008	SHC J332	0.13571	0.3	74.1	2	0.01	0.425	0.05	0.242	0	OUTLET	100	6.5	0.0454
135850.3		Sub009	SHC In9	3.11869	0	1492	2	0.01	0.423	0.1	0.241	0	OUTLET	100	6.5	0.048
13457.6		Sub010	SHC In9	0.30894	38.36	231.28	6.42	0.01	0.3	0.05	0.2	0	OUTLET	100	6.5	0.035
32953.5		Sub011	SHC J332	0.75651	14.5	471.85	2.07	0.01	0.437	0.05	0.246	0	IMPERVIOUS	100	6.5	0.0464
19834.9		Sub012	SHC In12	0.45535	73.08	607.09	5.28	0.01	0.3	0.05	0.2	0	IMPERVIOUS	100	6.5	0.035
3906.8		Sub013	SHC In13	0.08969	44.71	71.4	7.26	0.01	0.3	0.05	0.2	0	OUTLET	100	6.5	0.035
24763.0		Sub014	SHC In14	0.56848	60.13	655.48	3.22	0.01	0.3	0.05	0.2	0	IMPERVIOUS	100	6.5	0.035
35281.7		Sub015	SHC In13	0.80996	0	379.63	2	0.01	0.375	0.1	0.225	0	OUTLET	100	6.5	0.0445
772795.3		Sub016	SHC J331	17.7409	1.28	7895.5	2.01	0.01	0.307	0.05	0.202	0	OUTLET	100	6.5	0.0404
29515.9		Sub017	SHC J350	0.67759	22.62	438.9	4.69	0.01	0.379	0.05	0.226	0	OUTLET	100	6.5	0.0416
18780.8		Sub018	SHC In18	0.43115	13.72	259.72	3.67	0.01	0.357	0.05	0.219	0	OUTLET	100	6.5	0.0398
62963.7		Sub019	SHC In19	1.44545	0.04	663.98	2.01	0.01	0.354	0.05	0.218	0	OUTLET	100	6.5	0.0432
7888.0		Sub020	SHC In19	0.18108	75.79	213.43	10.78	0.01	0.3	0.05	0.2	0	OUTLET	100	6.5	0.035
36291.4		Sub021	SHC In21	0.83314	66.92	962.19	5.92	0.01	0.3	0.05	0.2	0	IMPERVIOUS	100	6.5	0.035
16637.1		Sub022	SHC In22	0.38194	22.95	247.03	4.9	0.01	0.471	0.05	0.257	0	OUTLET	100	6.5	0.0493
15941.7		Sub023	SHC In23	0.36597	16.96	227.11	3.82	0.01	0.3	0.05	0.2	0	OUTLET	100	6.5	0.035
8936.7		Sub024	SHC In24	0.20516	12.48	121.22	3.43	0.01	0.484	0.05	0.261	0	OUTLET	100	6.5	0.0505

⇒ 打开“SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx”

⇒ 从[SWMM\_Baseline]选择数据域[AA9:AG199]，然后复制。

注意：根据定义的子汇水面积总数和单个电子表格怎样布置，复制的信息总行数将在建模项目中变化。

	Subcatch	N-Perov	S-Perov	PctZero	RouteTo	PctRouted
247	[SUBAREAS]					
248	;;Subcatch	N-Perov	S-Perov	PctZero	RouteTo	PctRouted
249	;;-----					
250	Sub000	0.01	0.2	0.05	0 IMPERVIO	100
251	Sub001	0.01	0.3	0.05	13.95 OUTLET	100
252	Sub002	0.01	0.3	0.05	0 OUTLET	100
253	Sub003	0.01	0.322	0.05	0.207 0 OUTLET	100
254	Sub004	0.01	0.311	0.05	0.204 0 OUTLET	100
255	Sub005	0.01	0.397	0.05	0.232 2.14 OUTLET	100
256	Sub006	0.01	0.4	0.05	0.233 6.5 OUTLET	100
257	Sub007	0.01	0.305	0.05	0.202 0 OUTLET	100
258	Sub008	0.01	0.425	0.05	0.242 0 OUTLET	100
259	Sub009	0.01	0.423	0.1	0.241 0 OUTLET	100
260	Sub010	0.01	0.3	0.05	0.2 0 OUTLET	100
261	Sub011	0.01	0.437	0.05	0.246 0 IMPERVIO	100
262	Sub012	0.01	0.3	0.05	0.2 0 IMPERVIO	100
263	Sub013	0.01	0.3	0.05	0.2 0 OUTLET	100
264	Sub014	0.01	0.3	0.05	0.2 0 IMPERVIO	100
265	Sub015	0.01	0.375	0.1	0.225 0 OUTLET	100
266	Sub016	0.01	0.307	0.05	0.202 0 OUTLET	100
267	Sub017	0.01	0.379	0.05	0.226 0 OUTLET	100
268	Sub018	0.01	0.357	0.05	0.219 0 OUTLET	100
269	Sub019	0.01	0.354	0.05	0.218 0 OUTLET	100
270	Sub020	0.01	0.3	0.05	0.2 0 OUTLET	100

⇒ 利用 Excel Editor 打开 SWMM 输入文件

⇒ 在数据域“B250”处点击右键，然后针对“Paste Options”，点击“Value”图标

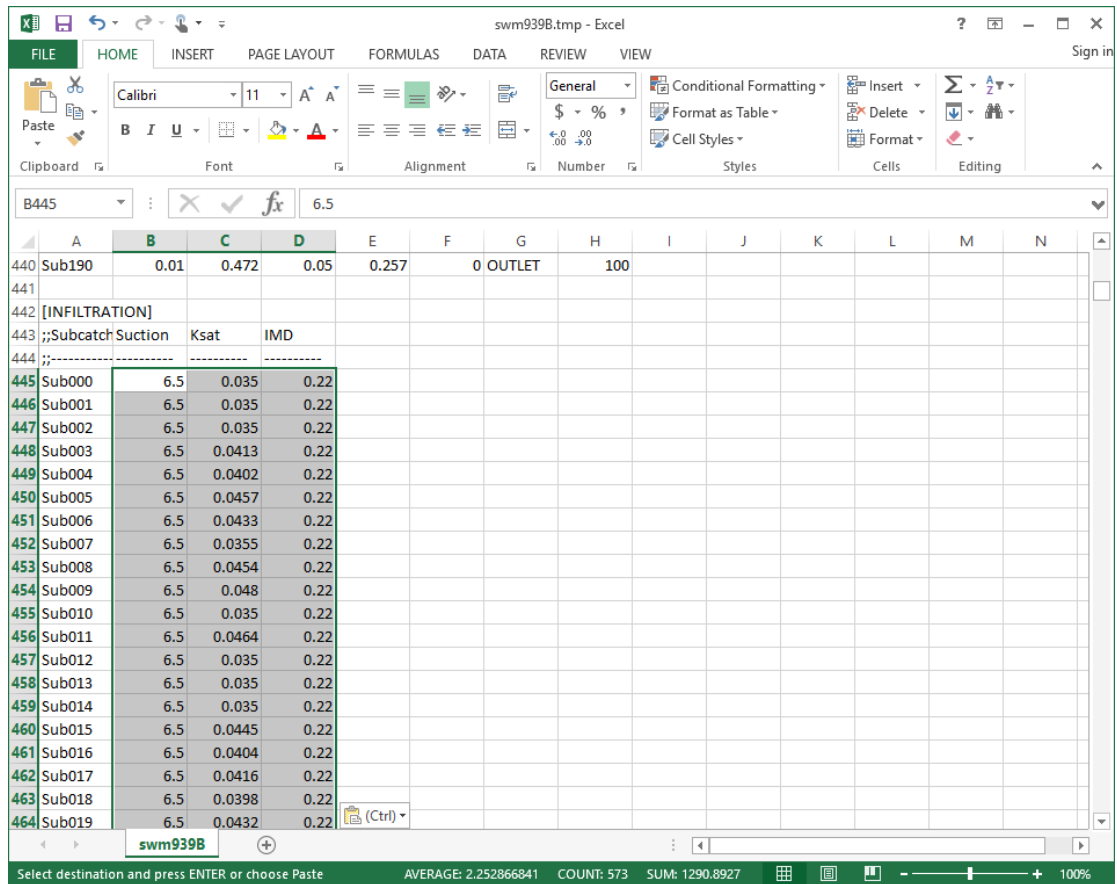
其次，复制/粘贴对应于[INFILTRATION]的参数：“Suction”，“Ksat”和“IMD”

	SubID	Rain Gage	Outlet	Area	N-Perov	Width	%Slope	N-Perov	N-Perov	S-Perov	S-Perov	PctZero	RouteTo	PctRouted	Suction	Ksat	IMD
9	15780.7	Sub000	SHC	J217	0.36228	100	1578.1	2.5	0.01	0.2	0.05	0.2	0 IMPERVIOUS	100	6.5	0.035	0.22
10	165309.3	Sub001	SHC	WetPon	3.79498	30.42	2579.3	3.26	0.01	0.3	0.05	0.2	13.95 OUTLET	100	6.5	0.035	0.22
11	128878.0	Sub002	SHC	DryPen	2.95863	42.59	2532.1	3.47	0.01	0.3	0.05	0.2	0 OUTLET	100	6.5	0.035	0.22
12	479231.0	Sub003	SHC	J331	11.0016	1.43	4960	2.01	0.01	0.322	0.05	0.207	0 OUTLET	100	6.5	0.0413	0.22
13	884720.9	Sub004	SHC	J331	20.3104	5.58	9568.8	2.03	0.01	0.311	0.05	0.204	0 OUTLET	100	6.5	0.0402	0.22
14	935886.3	Sub005	SHC	J30	12.3023	7.47	6334.8	2.04	0.01	0.397	0.05	0.232	2.14 OUTLET	100	6.5	0.0457	0.22
15	19848.2	Sub006	SHC	In6	0.45565	42.7	377.34	1.85	0.01	0.4	0.05	0.233	6.5 OUTLET	100	6.5	0.0439	0.22
16	3274.1	Sub007	SHC	In7	0.07516	35.4	54.6	6.15	0.01	0.305	0.05	0.202	0 OUTLET	100	6.5	0.0355	0.22
17	5911.6	Sub008	SHC	J332	0.13571	0.3	74.1	2	0.01	0.425	0.05	0.242	0 OUTLET	100	6.5	0.0454	0.22
18	135850.3	Sub009	SHC	In9	3.11869	0	1492	2	0.01	0.423	0.1	0.241	0 OUTLET	100	6.5	0.048	0.22
19	13457.6	Sub010	SHC	In9	0.30894	38.36	231.28	6.42	0.01	0.3	0.05	0.2	0 OUTLET	100	6.5	0.035	0.22
20	32853.5	Sub011	SHC	J332	0.75651	14.5	471.85	2.07	0.01	0.437	0.05	0.246	0 IMPERVIOUS	100	6.5	0.0464	0.22
21	19834.9	Sub012	SHC	In12	0.45535	73.08	607.09	5.28	0.01	0.3	0.05	0.2	0 IMPERVIOUS	100	6.5	0.035	0.22
22	3906.8	Sub013	SHC	In13	0.08969	44.71	71.4	7.26	0.01	0.3	0.05	0.2	0 OUTLET	100	6.5	0.035	0.22
23	24763.0	Sub014	SHC	In14	0.56848	60.13	655.48	3.22	0.01	0.3	0.05	0.2	0 IMPERVIOUS	100	6.5	0.035	0.22
24	35281.7	Sub015	SHC	In13	0.80996	0	379.63	2	0.01	0.375	0.1	0.225	0 OUTLET	100	6.5	0.0445	0.22
25	772795.3	Sub016	SHC	J331	17.7409	1.28	7895.5	2.01	0.01	0.307	0.05	0.202	0 OUTLET	100	6.5	0.0404	0.22
26	29515.9	Sub017	SHC	J350	0.67759	22.62	438.9	4.69	0.01	0.379	0.05	0.226	0 OUTLET	100	6.5	0.0416	0.22
27	18780.8	Sub018	SHC	In18	0.43115	13.72	259.72	3.67	0.01	0.357	0.05	0.219	0 OUTLET	100	6.5	0.0398	0.22
28	62963.7	Sub019	SHC	In19	1.44545	0.04	663.98	2.01	0.01	0.354	0.05	0.218	0 OUTLET	100	6.5	0.0432	0.22
29	7888.0	Sub020	SHC	In19	0.18108	75.79	213.43	10.78	0.01	0.3	0.05	0.2	0 OUTLET	100	6.5	0.035	0.22
30	36291.4	Sub021	SHC	In21	0.83314	66.92	962.19	5.92	0.01	0.3	0.05	0.2	0 IMPERVIOUS	100	6.5	0.035	0.22
31	16637.1	Sub022	SHC	In22	0.38194	22.95	247.03	4.5	0.01	0.471	0.05	0.257	0 OUTLET	100	6.5	0.0493	0.22
32	15941.7	Sub023	SHC	In23	0.36597	16.96	227.11	3.82	0.01	0.3	0.05	0.2	0 OUTLET	100	6.5	0.035	0.22
33	8936.7	Sub024	SHC	In24	0.20516	12.48	121.22	3.43	0.01	0.484	0.05	0.261	0 OUTLET	100	6.5	0.0505	0.22

⇒ 打开“SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx”

⇒ 从[SWMM\_Baseline]标签选择数据域[AH9:AJ199]，然后复制。（第 2.4.4 部分）

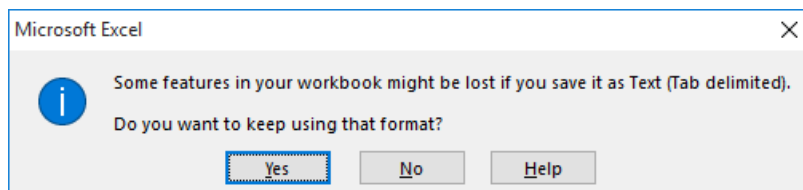
注意：根据定义的子汇水面积数量和单个电子表格如何布局，复制的信息总行数将在建模项目中不同。



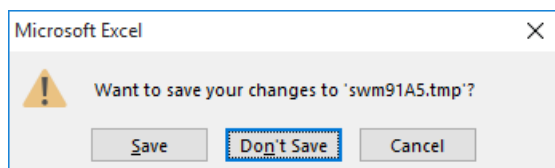
- ⇒ 利用 Excel 编辑器打开 SWMM 输入文件
- ⇒ 在数据域“B445”处点击右键，然后点击对应于“Paste Options”的“Value”图标。

其次，保存从 Excel 编辑器来的 SWMM 输入文件如下：

- ⇒ 点击主菜单下的“File/Save”（或者点击  按钮保存），然后获得下图所示：



- ⇒ 点击“Yes”按钮。
- ⇒ 通过点击相关按钮或菜单，关闭 Excel 编辑器，然后获得下图所示：



- ⇒ 点击“Don't Save”按钮

注意：这时不应保存数据处理中创建的临时 Excel 文件。

⇒ 关闭 “SHC\_SWMM\_Datacessing.xlsx”

确认执行的更新已保存在 SWMM 输入文件中。例如，在 SWMM 中选择子汇水面积选项，查看 “Area” 和 “%Imp” 数值是否更新为电子表格计算值。

## 3.4 为了模拟基准线缓冲渗透面积，设置 LIC 控制

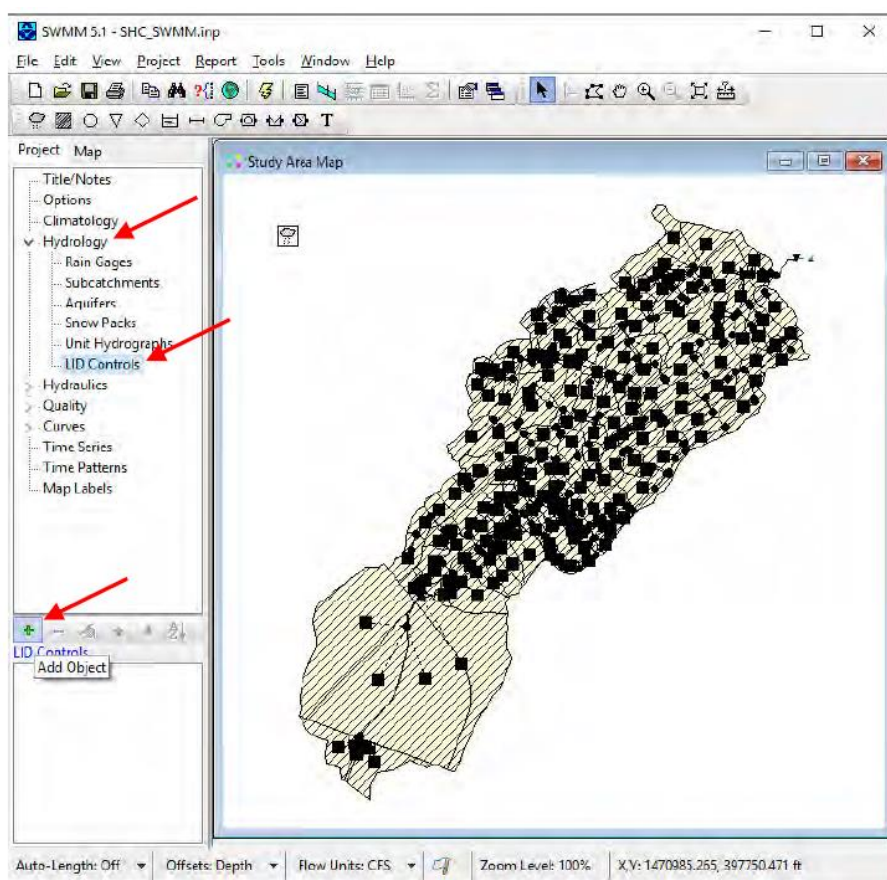
以下步骤设置 LIC 控制，为了利用 EPA SWMM 和 Excel 编辑器模拟基准线缓冲渗透面积。

⇒ 运行 EPA SWMM

⇒ 打开 “SHC\_SWMM.inp”

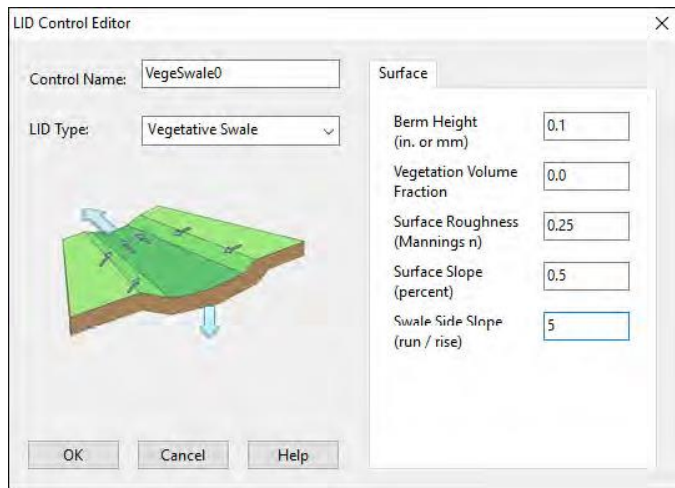
### 3.4.1 利用 EPA SWMM 添加 LID 控制

为了在 SWMM 中添加 LID 控制模板，需要执行以下步骤。



⇒ 点击 “Project” 标签下的 “Hydrology”，然后点击 “LID Controls”

⇒ 点击  [添加对象]按钮



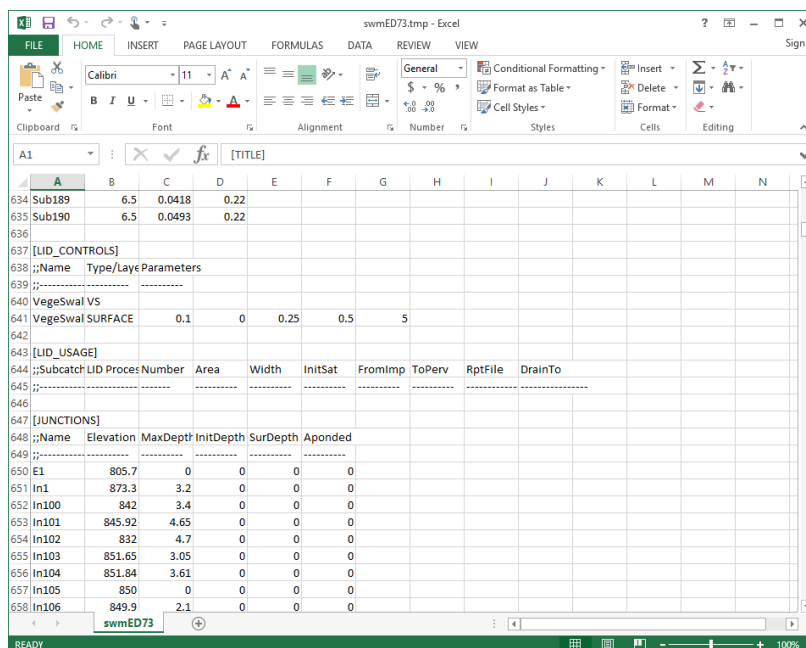
- ⇒ 控制名称：“VegeSwale0”
- ⇒ LID 类型：“Vegetative Swale”
- ⇒ 针对上图所示，指定参数（护堤高度 0.1，表面粗糙度从 0.1 到 0.25，表面坡度 1.0 到 0.5）
- ⇒ 点击[OK]按钮

### 3.4.2 利用 Excel 编辑器设置所有现有基准线缓冲渗透面积

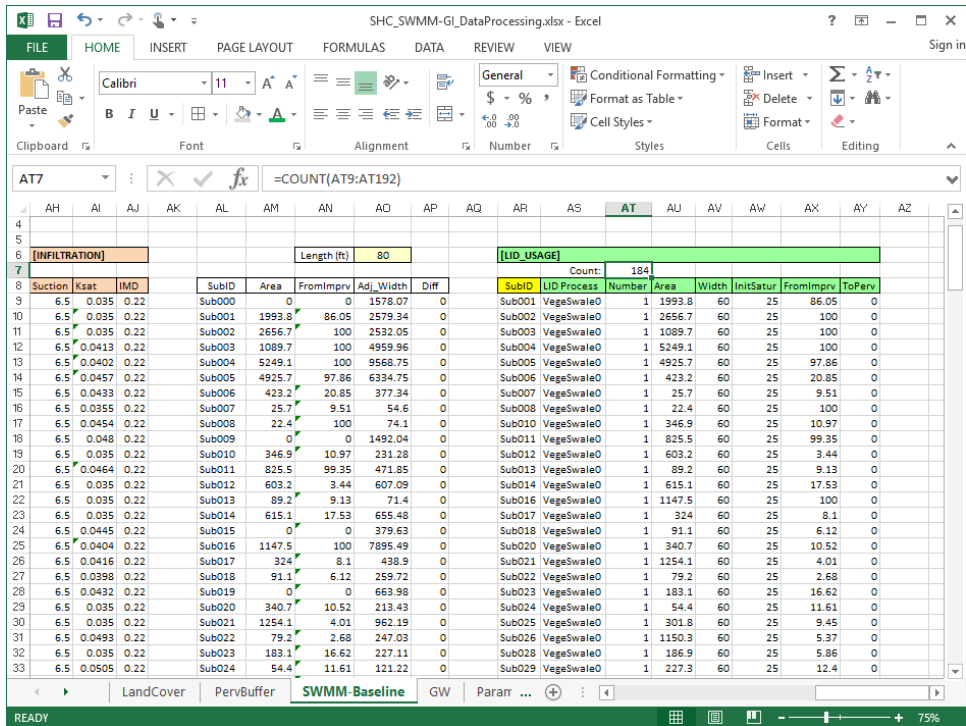
为了在 SWMM 中利用 Excel 编辑器为 LID 控制模板添加数据，需要执行以下步骤。

- ⇒ 点击主菜单下的“Tools/Excel Editor”

注意：调用“Excel 编辑器”之前，必须关闭所有 MS-Excel 文件。否则，可能保存不了已经编辑的文件。这可能对于不同计算机而异，和/或取决于 MS-Excel 运行的版本。

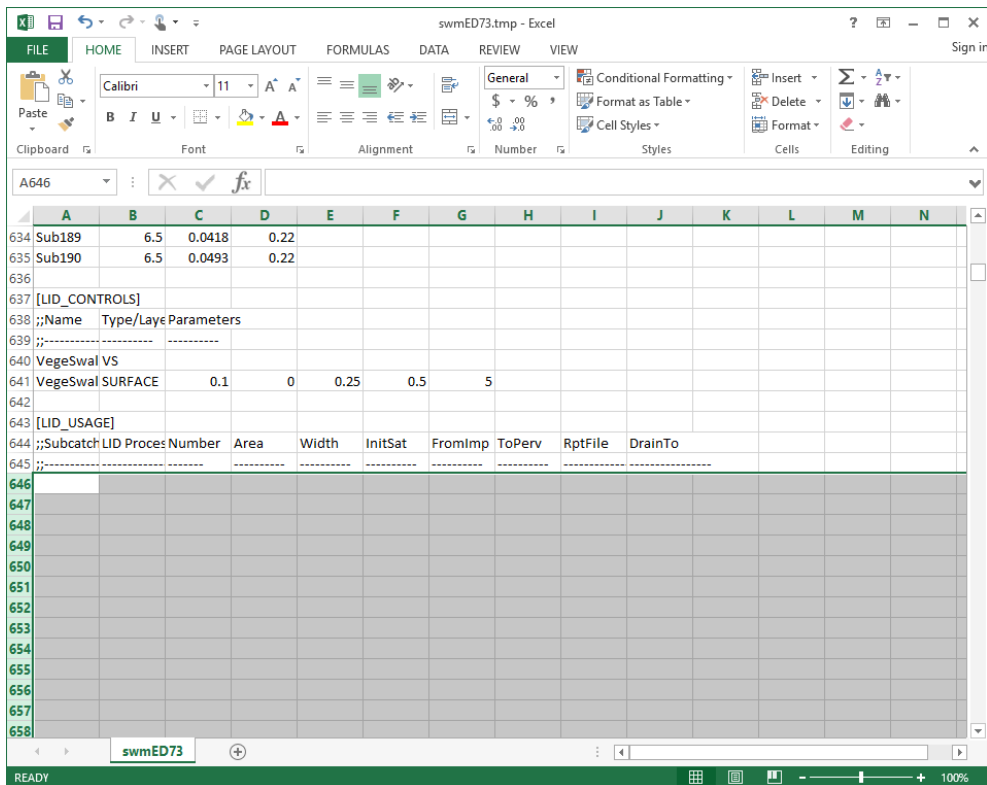


- ⇒ 向下滚动，以定位以上所示的[LID\_USAGE]
- ⇒ 打开“SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx”



⇒ 计算现有 BPA 的子汇水面积数量（利用“PervBuffer”标签布置“LID\_USAGE”。）  
 注意：SHC 流域内 184 个子汇水面积具有 BPA。

⇒ 利用 Excel 编辑器返回到 SWMM 输入文件



⇒ 在[LID\_USAGE]的下方，插入与来自前面屏幕抓图“Count”相同数量的行（184），如上所示。

SubID	Area	FromImprv	Adj_Width	Diff	SubID	LID Process	Number	Area	Width	InitSatur	FromImprv	ToPerv
Sub000	0	0	1578.07	0	Sub001	VegeSwale0	1	1993.8	60	25	86.05	0
Sub001	1993.8	86.05	2579.34	0	Sub002	VegeSwale0	1	2656.7	60	25	100	0
Sub002	2656.7	100	2532.05	0	Sub003	VegeSwale0	1	1089.7	60	25	100	0
Sub003	1089.7	100	4959.96	0	Sub004	VegeSwale0	1	5249.1	60	25	100	0
Sub004	5249.1	100	9568.75	0	Sub005	VegeSwale0	1	4925.7	60	25	97.86	0
Sub005	4925.7	97.86	6334.75	0	Sub006	VegeSwale0	1	423.2	60	25	20.85	0
Sub006	423.2	20.85	377.34	0	Sub007	VegeSwale0	1	25.7	60	25	9.51	0
Sub007	25.7	9.51	54.6	0	Sub008	VegeSwale0	1	22.4	60	25	100	0
Sub008	22.4	100	74.1	0	Sub010	VegeSwale0	1	346.9	60	25	10.97	0
Sub009	0	0	1492.04	0	Sub011	VegeSwale0	1	825.5	60	25	99.35	0
Sub010	346.9	10.97	231.28	0	Sub012	VegeSwale0	1	603.2	60	25	3.44	0
Sub011	825.5	99.35	471.85	0	Sub013	VegeSwale0	1	89.2	60	25	9.13	0
Sub012	603.2	3.44	607.09	0	Sub014	VegeSwale0	1	615.1	60	25	17.53	0
Sub013	89.2	9.13	71.4	0	Sub016	VegeSwale0	1	1147.5	60	25	100	0
Sub014	615.1	17.53	655.48	0	Sub017	VegeSwale0	1	324	60	25	8.1	0
Sub015	0	0	379.63	0	Sub018	VegeSwale0	1	91.1	60	25	6.12	0
Sub016	1147.5	100	7895.49	0	Sub020	VegeSwale0	1	340.7	60	25	10.52	0
Sub017	324	8.1	438.9	0	Sub021	VegeSwale0	1	1254.1	60	25	4.01	0
Sub018	91.1	6.12	259.72	0	Sub022	VegeSwale0	1	79.2	60	25	2.68	0
Sub019	0	0	663.98	0	Sub023	VegeSwale0	1	183.1	60	25	16.62	0
Sub020	340.7	10.52	213.43	0	Sub024	VegeSwale0	1	54.4	60	25	11.61	0
Sub021	1254.1	4.01	962.19	0	Sub025	VegeSwale0	1	301.8	60	25	9.45	0
Sub022	79.2	2.68	247.03	0	Sub026	VegeSwale0	1	1150.3	60	25	5.37	0
Sub023	183.1	16.62	227.11	0	Sub028	VegeSwale0	1	186.9	60	25	5.86	0
Sub024	54.4	11.61	121.22	0	Sub029	VegeSwale0	1	227.3	60	25	12.4	0
Sub025	301.8	9.45										
Sub026	1150.3	5.37										
Sub028	186.9	5.86										
Sub029	227.3	12.4										

⇒ 返回“SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx”

⇒ 从[SWMM-Baseline]标签选择数据域[AR9:AY192]。复制然后粘贴到 Excel 编辑器文件。

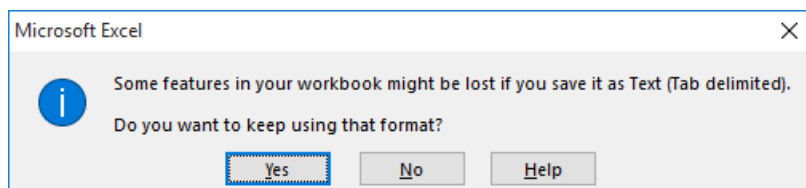
注意：必须结合“Value”选项使用“Paste Special”，为了防止没有包含本文件中正确信息的任何公式参考网格的复制/粘贴。

Subcatch	LID Proces	Number	Area	Width	InitSat	FromImp	ToPerv	RptFile	DrainTo
Sub001	VegeSwal	1	1993.8	60	25	86.05	0		
Sub002	VegeSwal	1	2656.7	60	25	100	0		
Sub003	VegeSwal	1	1089.7	60	25	100	0		
Sub004	VegeSwal	1	5249.1	60	25	100	0		
Sub005	VegeSwal	1	4925.7	60	25	97.86	0		
Sub006	VegeSwal	1	423.2	60	25	20.85	0		
Sub007	VegeSwal	1	25.7	60	25	9.51	0		
Sub008	VegeSwal	1	22.4	60	25	100	0		
Sub010	VegeSwal	1	346.9	60	25	10.97	0		
Sub011	VegeSwal	1	825.5	60	25	99.35	0		
Sub012	VegeSwal	1	603.2	60	25	3.44	0		
Sub013	VegeSwal	1	89.2	60	25	9.13	0		
Sub014	VegeSwal	1	615.1	60	25	17.53	0		
Sub016	VegeSwal	1	1147.5	60	25	100	0		
Sub017	VegeSwal	1	324	60	25	8.1	0		
Sub018	VegeSwal	1	91.1	60	25	6.12	0		

其次，保存来自 Excel 编辑器的 SWMM 输入文件如下：

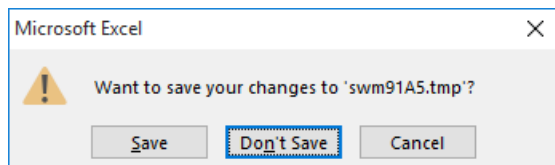


⇒ 点击主菜单下的“File/Save”（或者点击，保存），然后将获得以下：



⇒ 点击“**Yes**”按钮，保存该更新。

⇒ 通过点击相关按钮或菜单，关闭 Excel 编辑器，然后获得以下（取决于 MS-Excel 版本）：



⇒ 点击“**Don't Save**”按钮

（注意：如果点击“**Save**”，文件格式将改为 MS-Excel 文件。）

⇒ 关闭“SHC-SWMM\_DataProcessing.xlsx”

⇒ 保存 SWMM 输入文件，并转换到 EPA SWMM 程序

### 3.5 设置含水层和地下水建模性能

仅仅在需要明确考虑地下水与排水系统的交换，或者建立自然渠道的基流和回退曲线时，模型中需要含水层（Rossman, 2015）。含水层模拟了从位于其上子汇水面积来的下渗水量竖向运动。取决于水力坡度，它们也允许地下水渗入排水系统，或者从排水系统渗出地表水。可以通过几个子汇水面积共享相同的含水层对象。本研究中，建立了 5 个地下水盆地，大体上是随意的，根据如图 18 所示的现有雨水排放网络。没有地下水数据用于地下水盆地的更好定性划分方式。

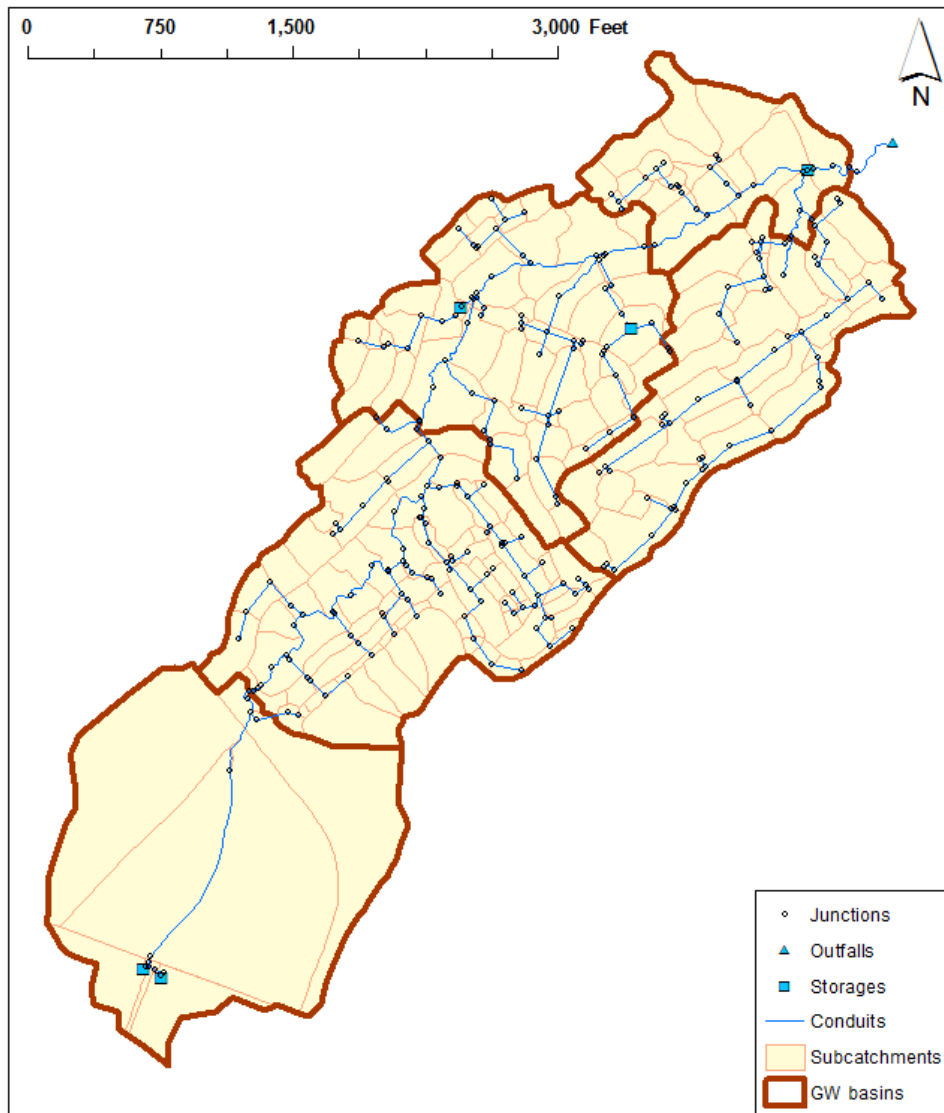


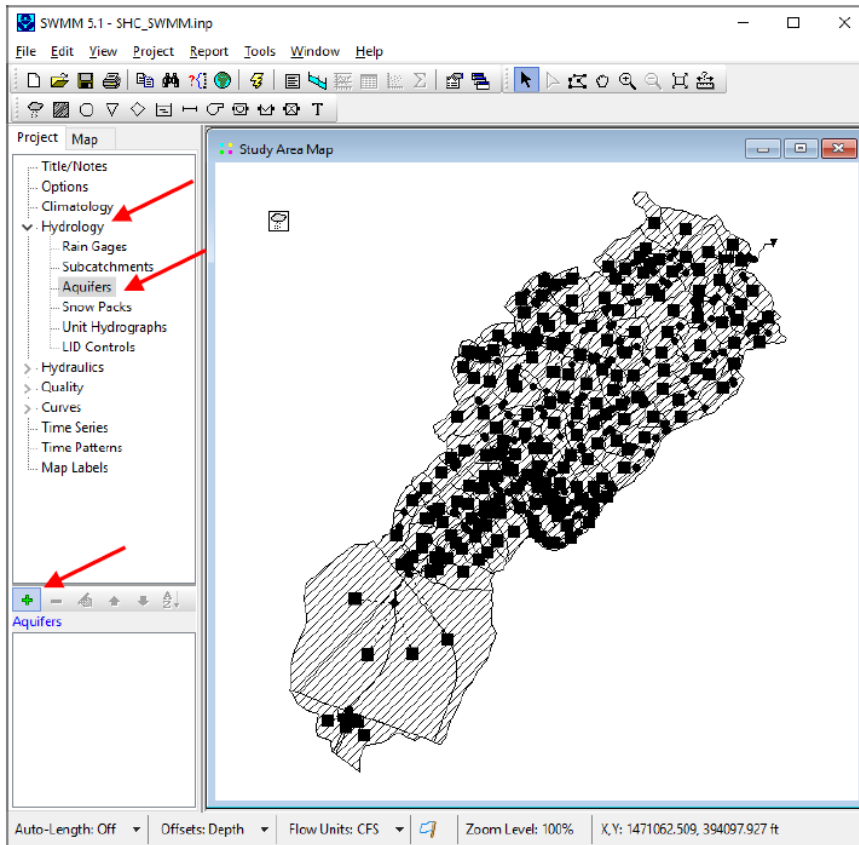
图 18 SHC 地下水盆地，根据现有雨水排放网络（假设为了模拟基流）

以下步骤说明利用 EPA SWMM 和 Excel 编辑器的含水层和地下水建模性能规格的设置。地下水流组件将含水层饱和区连接到子汇水面积和排水系统节点，正如在子汇水面积地下水流属性中定义的。这些预定义的属性也包含了控制含水层饱和区和排水系统节点之间地下水流速率的参数。地下水模拟的参数利用特定场地土壤数据布置(第 2.1.1 部分)。如图 3 所示，研究流域具有很均质的土壤：黏质壤土或壤土。根据土壤结构，含水层的参数（例如 Ksat、枯萎点、产水能力）最初根据 SWMM 用户手册（Rossman, 2015）选择。

⇒ 运行 EPA SWMM；如果“SHC\_SWMM.inp”已经关闭，打开它

### 3.5.1 利用 EPA SWMM 添加“含水层”

为了在 SWMM 中添加含水层模版，需要执行以下步骤。



⇒ 点击“Project”标签下的“Hydrology”，然后点击“Aquifers”

⇒ 点击  “添加对象”按钮

Property	Value
Aquifer Name	Aq1
Porosity	0.5
Wilting Point	0.15
Field Capacity	0.30
Conductivity	5.0
Conductivity Slope	10.0
Tension Slope	15.0
Upper Evap. Fraction	0.35
Lower Evap. Depth	14.0
Lower GW Loss Rate	0.002
Bottom Elevation	0.0
Water Table Elevation	10.0
Unsat. Zone Moisture	0.30
Upper Evap. Pattern	

User-assigned aquifer name

OK Cancel Help

⇒ 将“Aquifer Name”指定为“Aq1”

⇒ 所有参数作为缺省值

⇒ 点击“OK”按钮，关闭“Aquifer Editor”

注意：这是一个含水层，创建了添加额外含水层并在 Excel 中编辑数据的模板。

## 3.5.2 利用 Excel 编辑器设置所有含水层

为了利用 Excel 编辑器在 SWMM 中添加含水层模版，需要执行以下步骤。

⇒ 点击主菜单中的“Tools/Excel Editor”

注意：在调用“Excel Editor”之前，必须关闭所有 MS-Excel 文件。否则，可能保存不了已经编辑的文件，这取决于计算机和/或 MS-Excel 运行的版本。

Row	Name	Por	WP	FC	Ksat	Kslope	Tslope	ETu	ETs	Seep	Ebot	Egw	Umc	ETupat
829	Sub190	0.5	0.15	0.3	5	10	15	0.35	14	0.002	0	10	0.3	

⇒ 向下滚动，定位如上所示的[Aquifers]

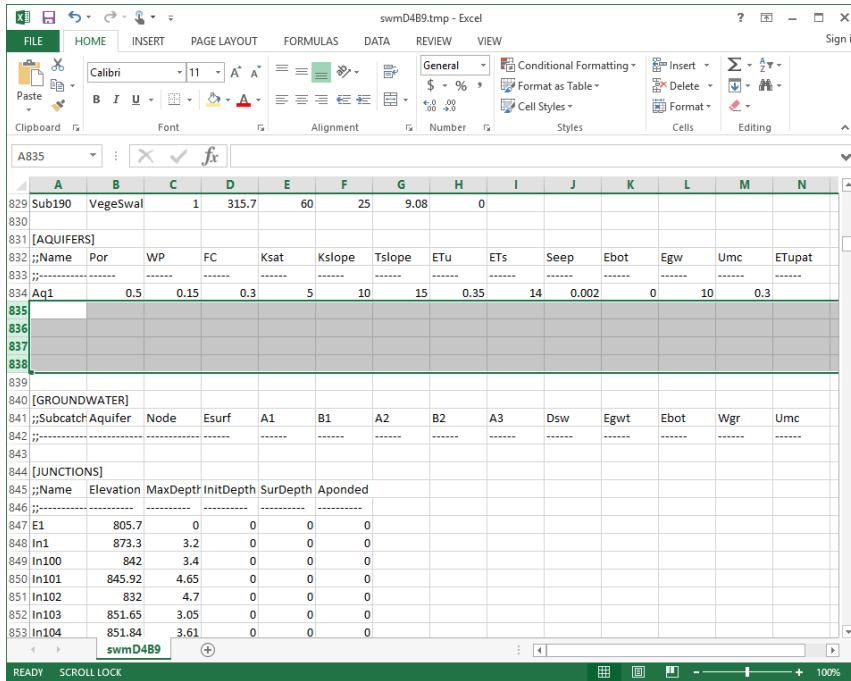
⇒ 打开“SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx”

Row	SubID	Aquifer	Node	Esurf	A1	B1	A2
3	Sub000	Aq1	J349	859.57	0.01	2	0
4	Sub001	Aq1	J349	859.57	0.01	2	0
5	Sub002	Aq1	J349	859.55	0.01	2	0
6	Sub003	Aq1	J349	859.26	0.01	2	0
7	Sub004	Aq1	J349	859.30	0.01	2	0
8	Sub005	Aq1	J349	859.33	0.01	2	0
9	Sub006	Aq2	J363	839.16	0.01	2	0
10	Sub007	Aq2	J363	839.47	0.01	2	0
11	Sub008	Aq1	J349	857.35	0.01	2	0
12	Sub009	Aq2	J363	840.34	0.01	2	0
13	Sub010	Aq2	J363	839.62	0.01	2	0
14	Sub011	Aq1	J349	857.50	0.01	2	0
15	Sub012	Aq2	J363	838.97	0.01	2	0
16	Sub013	Aq2	J363	839.66	0.01	2	0
17	Sub014	Aq2	J363	838.03	0.01	2	0
18	Sub015	Aq2	J363	840.34	0.01	2	0
19	Sub016	Aq1	J349	859.20	0.01	2	0
20	Sub017	Aq2	J363	838.14	0.01	2	0
21	Sub018	Aq2	J363	840.33	0.01	2	0

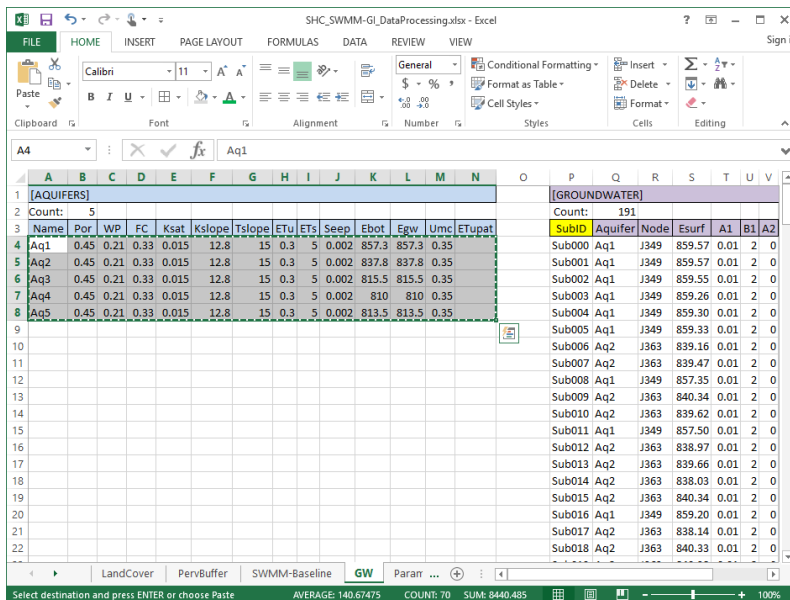
- ⇒ 打开[GW]标签
- ⇒ 输出包含在模型中的含水层个数

注意：正如前面介绍的，本案例研究中模拟了具有 5 个含水层的研究面积。

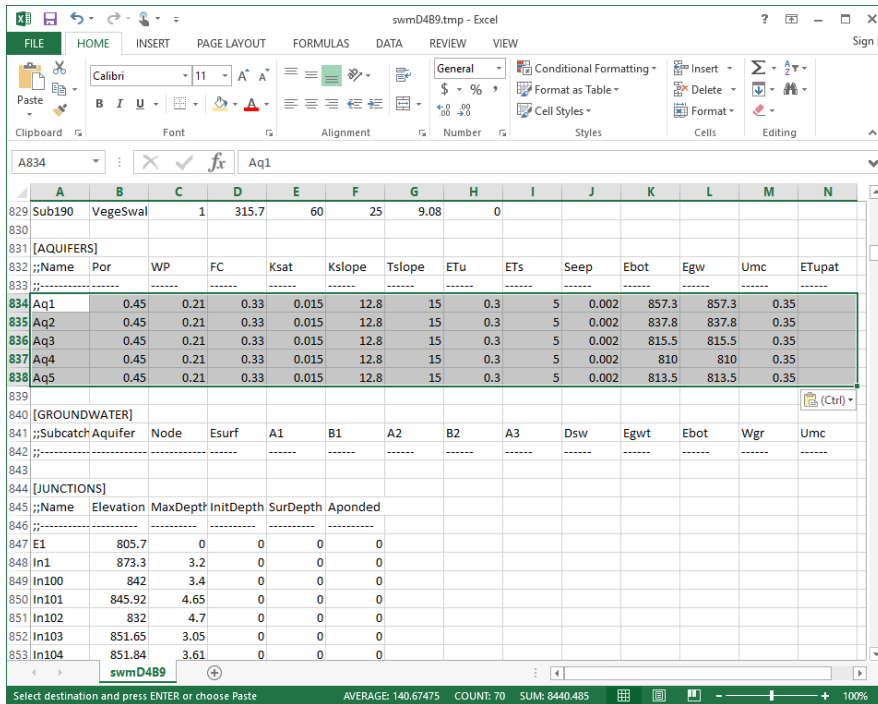
- ⇒ 利用 Excel 编辑器打开 SWMM 输入文件



- ⇒ 在[AQUIFERS]的下面，插入“Count”（来自前面步骤的）减去 1 行，如上所示



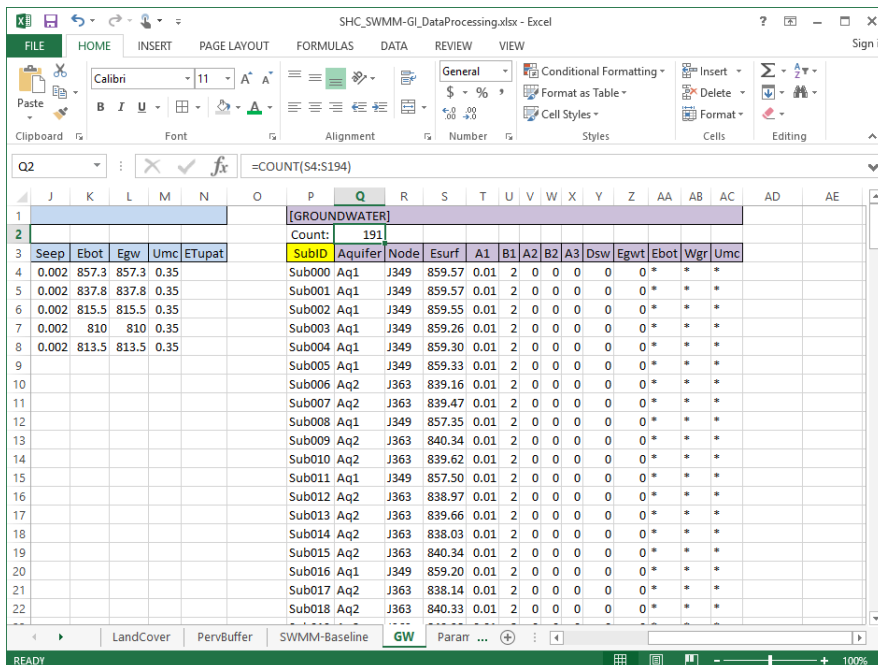
- ⇒ 返回到“SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx”
- ⇒ 从[GW]标签中选择数据域[A4:N8]。复制然后“Paste Value”到前面由 Excel Editor 创建的空数据域中，如下所示。



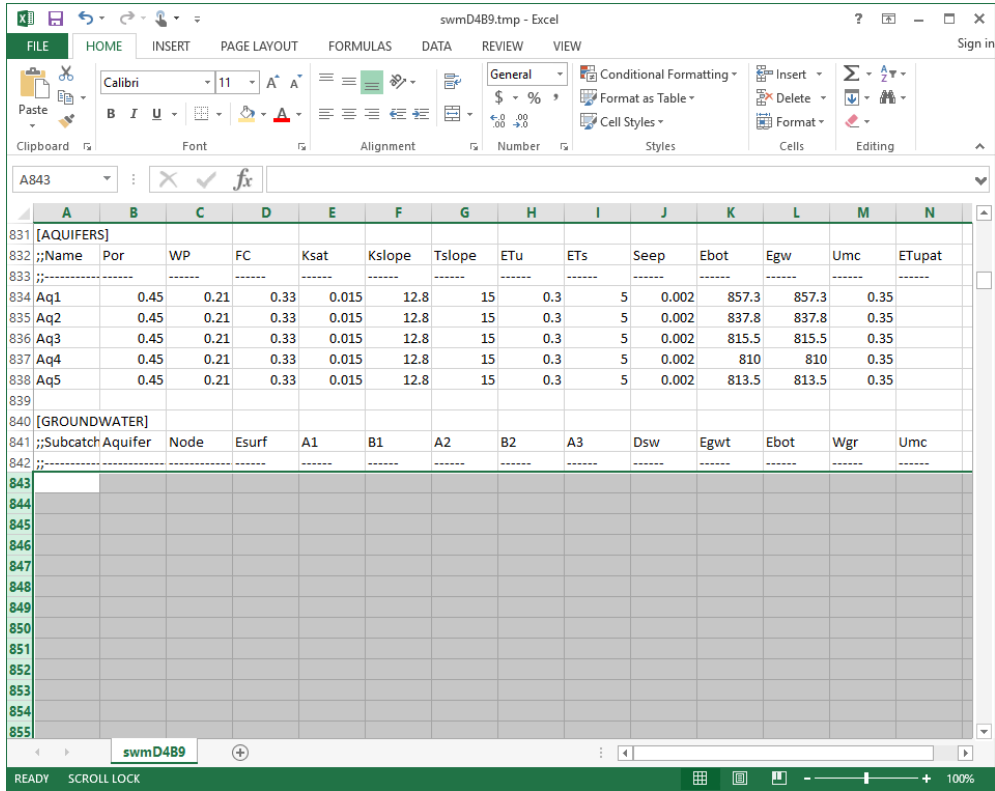
注意：“Aq1”的参数也由该步替换。

### 3.5.3 利用 Excel 编辑器设置所有子汇水面积的地下水参数

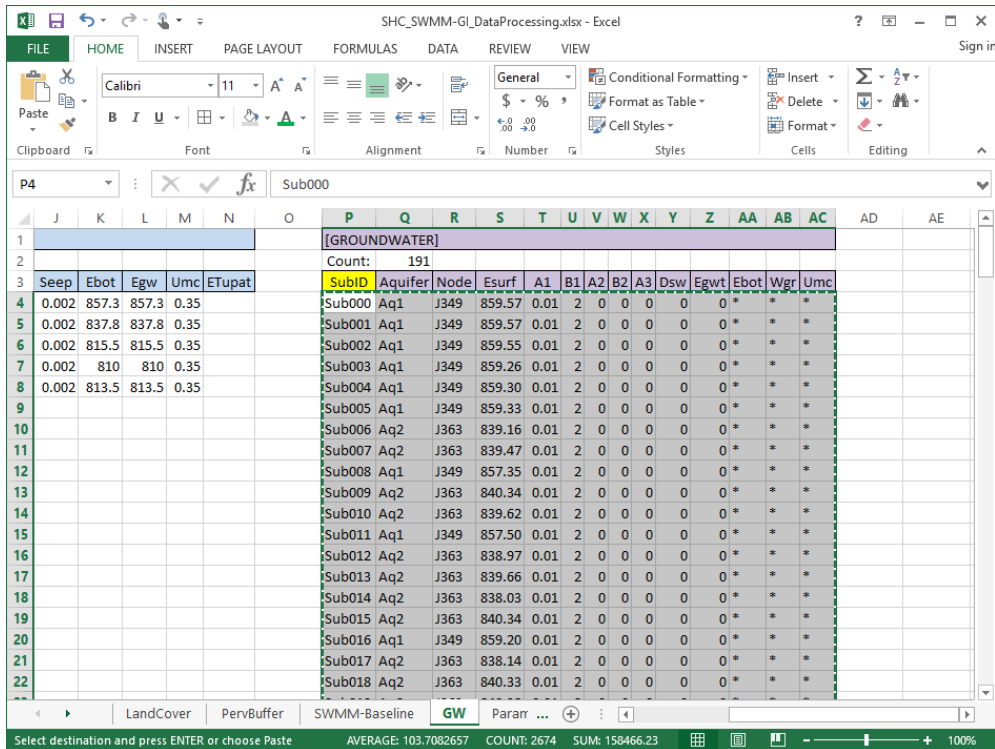
为了利用 Excel Editor 在 SWMM 中将地下水参数添加到模板，需要执行以下步骤。



- ⇒ 打开“SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx”中的[GW]标签
- ⇒ 检查 SWMM 模型中子汇水面积的个数
- ⇒ 利用 Excel 编辑器打开 SWMM 输入文件



⇒ 在[GROUNDWATER]之下，插入与前面步骤“Count”相同的行数，如上所示



⇒ 打开“SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx”

⇒ 从[GW]标签中选择数据域[P4: AC194]。复制然后利用 Excel 编辑器粘贴数值到 SWMM 输入文件

⇒ 根据前面描述的同步骤保存输入文件

## 3.6 利用 EPA SWMM 指定 “Transects” 和 “Curves”

采用矩形、梯形或用户定义的不规则断面形状表示明渠。为了在模型中定义不规则形状，“Transect” 对象用于定义深度随断面距离的变化。

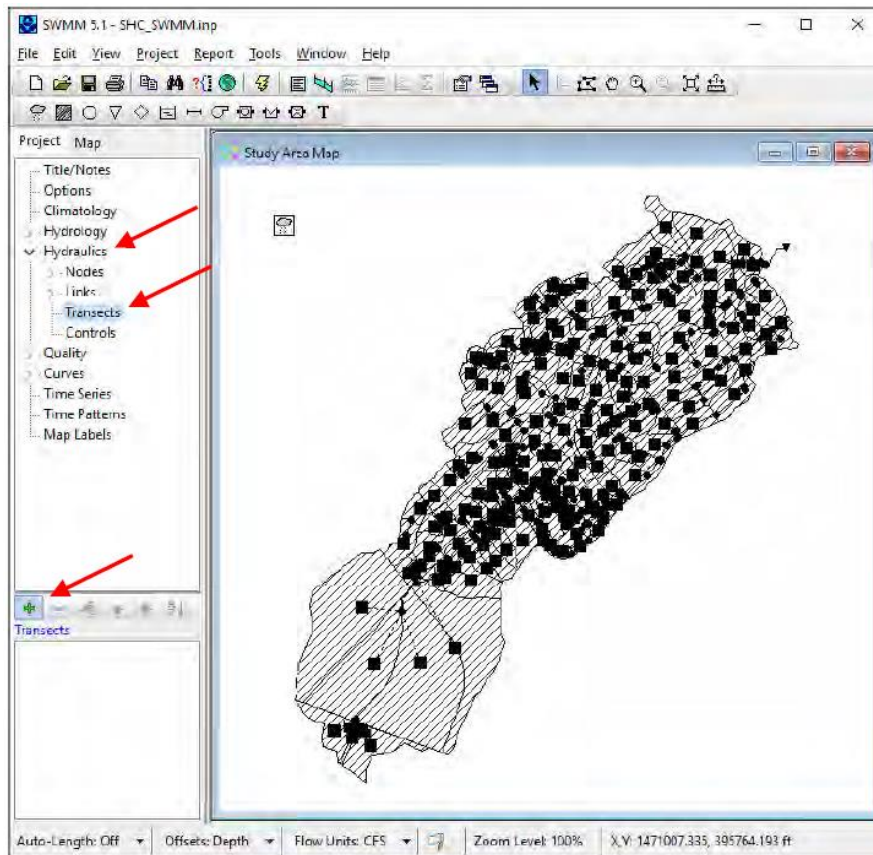
蓄水“曲线”是表示蓄水设施几何形状的一种方法。函数形式可用于良好定义的形状；表格形式可用于表示不规则形状的蓄水面积。本研究中，蓄水“曲线”的表格形式（即面积与深度表）用于模型计算。

下面步骤利用 EPA SWMM 指定 “Transects” 和 “Curves”。

⇒ 运行 EPA SWMM，如果 “SHC\_SWMM.inp” 关闭，打开它。

### 3.6.1 利用 EPA SWMM 中的 “Transect Editor”，添加自然河流的断面数据

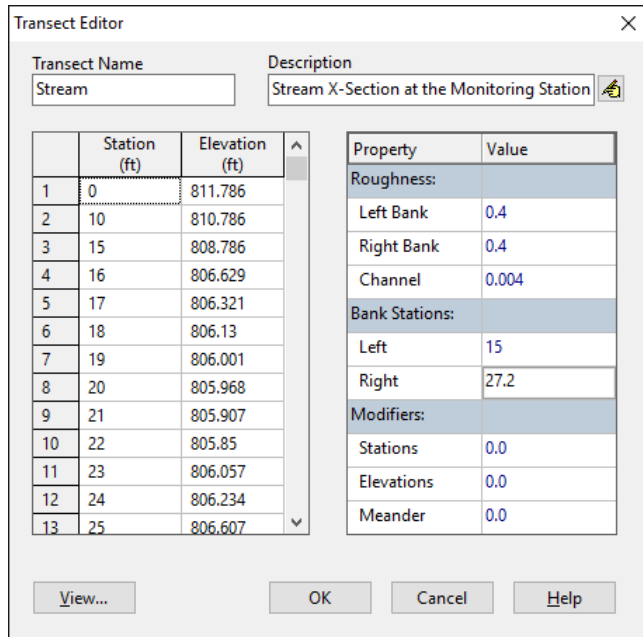
为了在 SWMM 中添加自然河流，以下步骤用于创建模板。



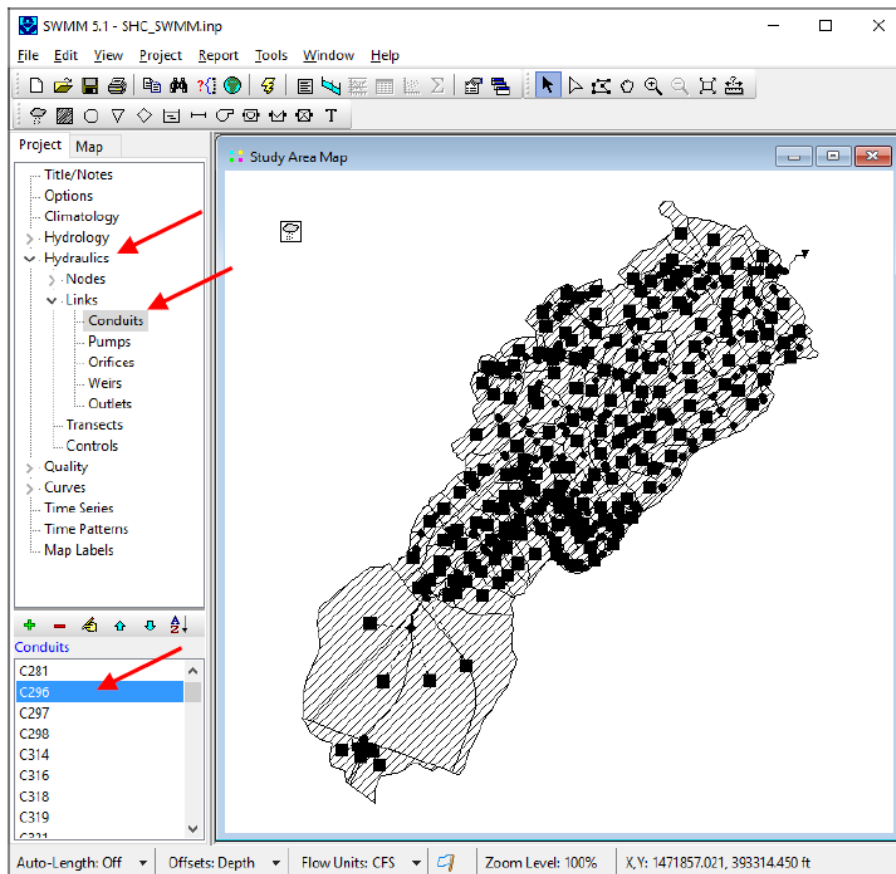
⇒ 点击 “Project” 标签下的 “Hydraulics”，然后点击 “Transects”

⇒ 点击  “添加对象” 按钮





- ⇒ 将“Transect Name”指定为“Stream”，并添加“描述”（可选的）
  - ⇒ 利用“Stream\_X-Section.txt”指定以上所示参数，然后点击[OK]按钮（观测到的断面数据从 EFW 监视和模拟项目收集。竖向剖面在自然河流测试，其中执行了流量监视。）
  - ⇒ 为自然“Irregular”河流指定“Transect Name”
- 注意：靠近流量监视站点的河渠模拟为“Irregular”，为了将建模结果与观测数据更直接比较。SHC 流域内的所有其他自然河渠结合“Trapezoidal”断面模拟。

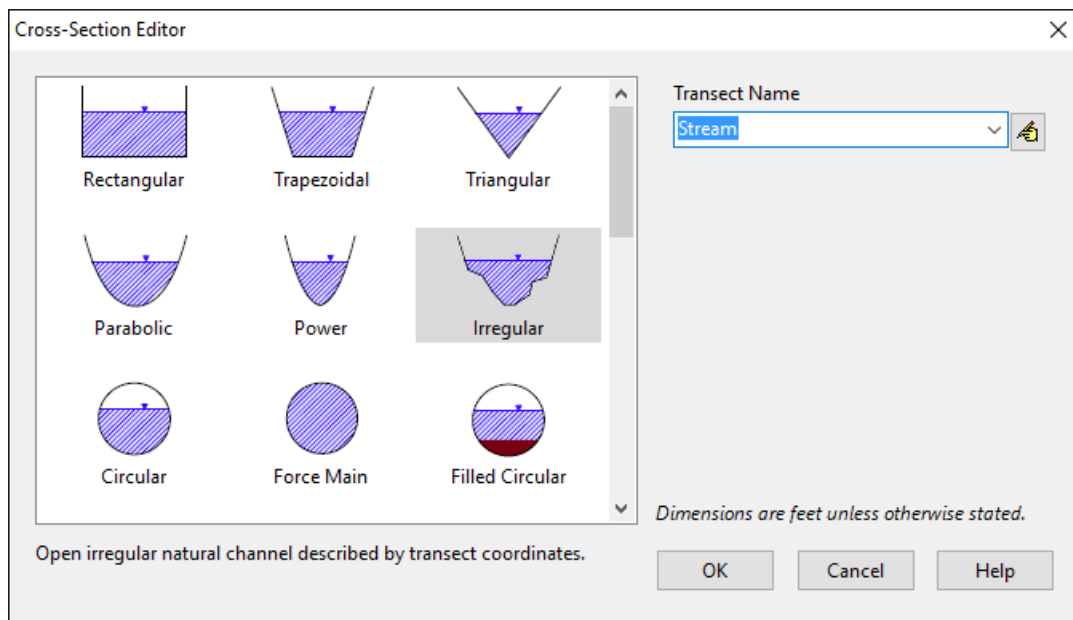


- ⇒ 点击“Project”标签下“Hydraulics”，然后点击“Conduits”
- ⇒ 向下滚动“Conduit”列表，然后在“Conduits”下双击“C296”

Property	Value
Tag	
Shape	IRREGULAR
Max. Depth	
Length	300.89765
Roughness	0.06
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	

Click to edit the conduit's cross section geometry


- ⇒ 点击  按钮，指定“Shape”

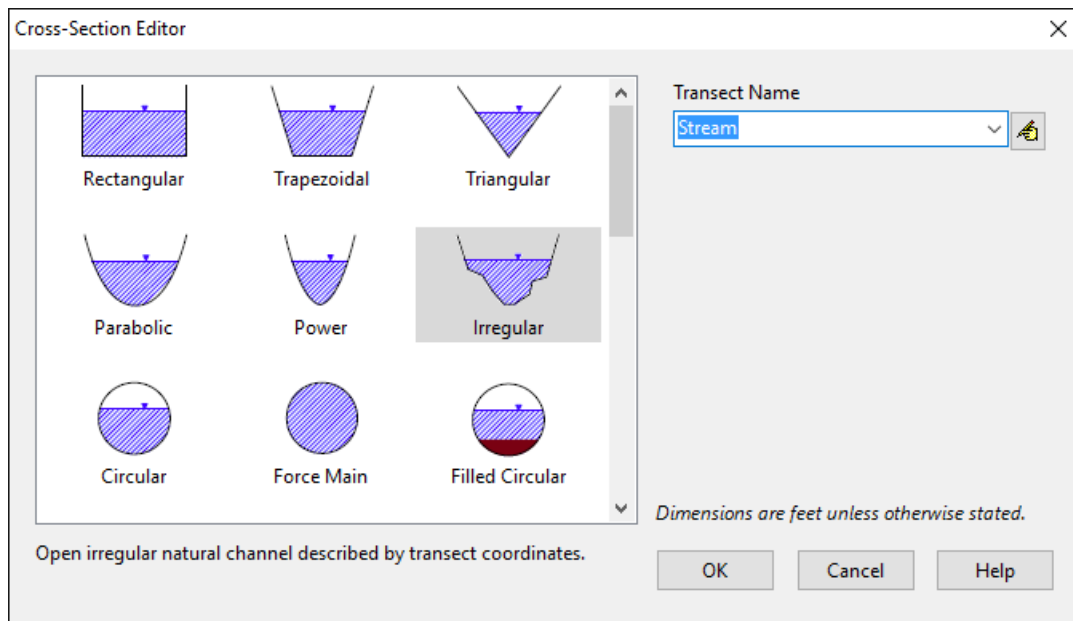


- ⇒ 从下拉框中指定“Transect Name”为“Stream”，然后点击“OK”按钮
- ⇒ 向下滚动“Conduits”列表，但在“Conduits”下双击“C417”

Conduit C417	
Property	Value
Tag	
Shape	IRREGULAR
Max. Depth	
Length	46.26161
Roughness	0.06
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	

Click to edit the conduit's cross section geometry

⇒ 点击  按钮，指定“Shape”



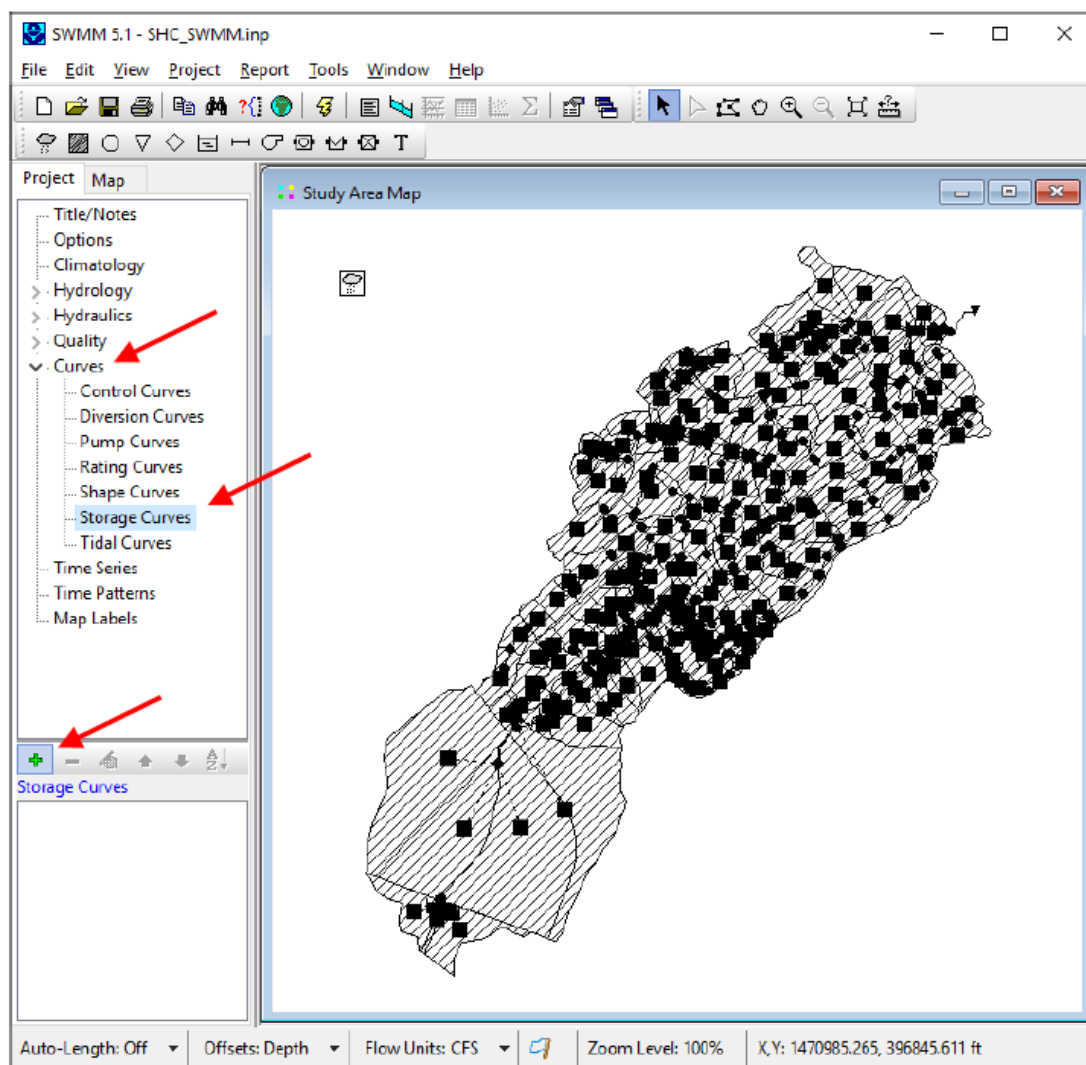
⇒ 从下拉框中指定“Transect Name”（最初显示为 0）为“Stream”，然后点击[OK]按钮

⇒ 点击  按钮，关闭“Conduit C417”

⇒ 保存 SWMM 输入文件

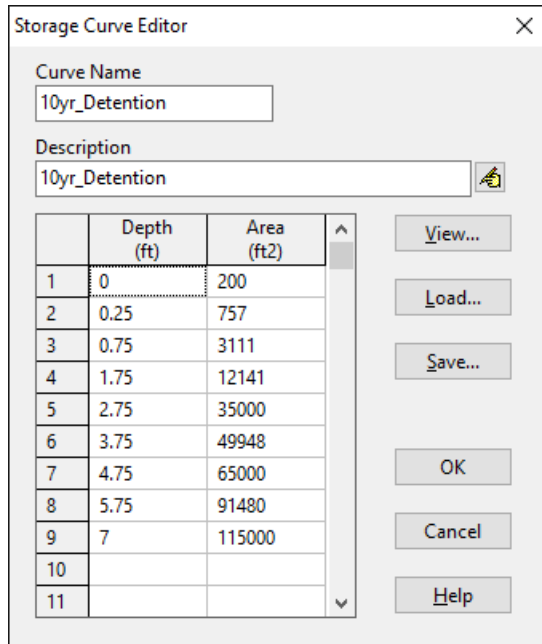
## 3.6.2 指定蓄水曲线

利用最近 the County 更新的 GIS 数据建立单个蓄水设施的蓄水曲线。下面步骤是在 SWMM 模型中指定蓄水设施“Storage Curves”，利用“Storage\_Curves.txt”。蓄水曲线数据从 2006 年执行的以前 SWMM 建模分析收集（Bennett 2006）。较老的数据通过 the County GIS 数据并结合实际场地访问修正。蓄水曲线的文本文件包含了表示蓄水设施物理条件的固定数据，Excel SHC\_SWMM\_DataProcessing.xlsx 文件用于可调整的参数和变量。




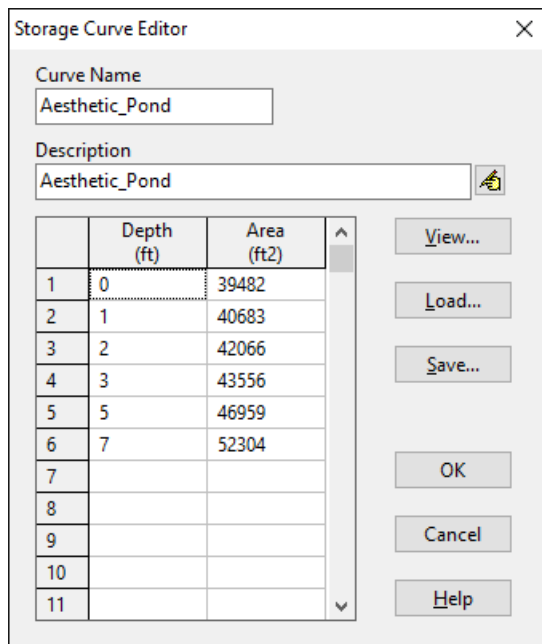
⇒ 点击“Project”标签下的“Curves”，然后点击“Storage Curves”

⇒ 点击  [添加对象]按钮



⇒ 利用 “Storage\_Curves.txt”，指定以上所示 “10yr\_Detention”，然后点击 “OK” 按钮

⇒ 为了完成指定 “Storage Curves”，重复相同的步骤：点击  “添加对象” 按钮，利用 “Storage\_Curves.txt” 指定以下单个蓄水曲线



⇒ 指定 “Aesthrhetic\_Pond”

Storage Curve Editor

Curve Name  
DryPond\_Sub002

Description  
DryPond\_Sub002

	Depth (ft)	Area (ft2)
1	0	30
2	0.4	282
3	2	3940
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

View...  
Load...  
Save...  
OK  
Cancel  
Help

⇒ 指定 “DryPond\_Sub002”

Storage Curve Editor

Curve Name  
DryPond\_Sub140

Description  
DryPond\_Sub140

	Depth (ft)	Area (ft2)
1	0	200
2	0.5	627
3	1.5	5870
4	2.5	14114
5	3	17000
6		
7		
8		
9		
10		
11		

View...  
Load...  
Save...  
OK  
Cancel  
Help

⇒ 指定 “DryPond\_Sub140”

Storage Curve Editor

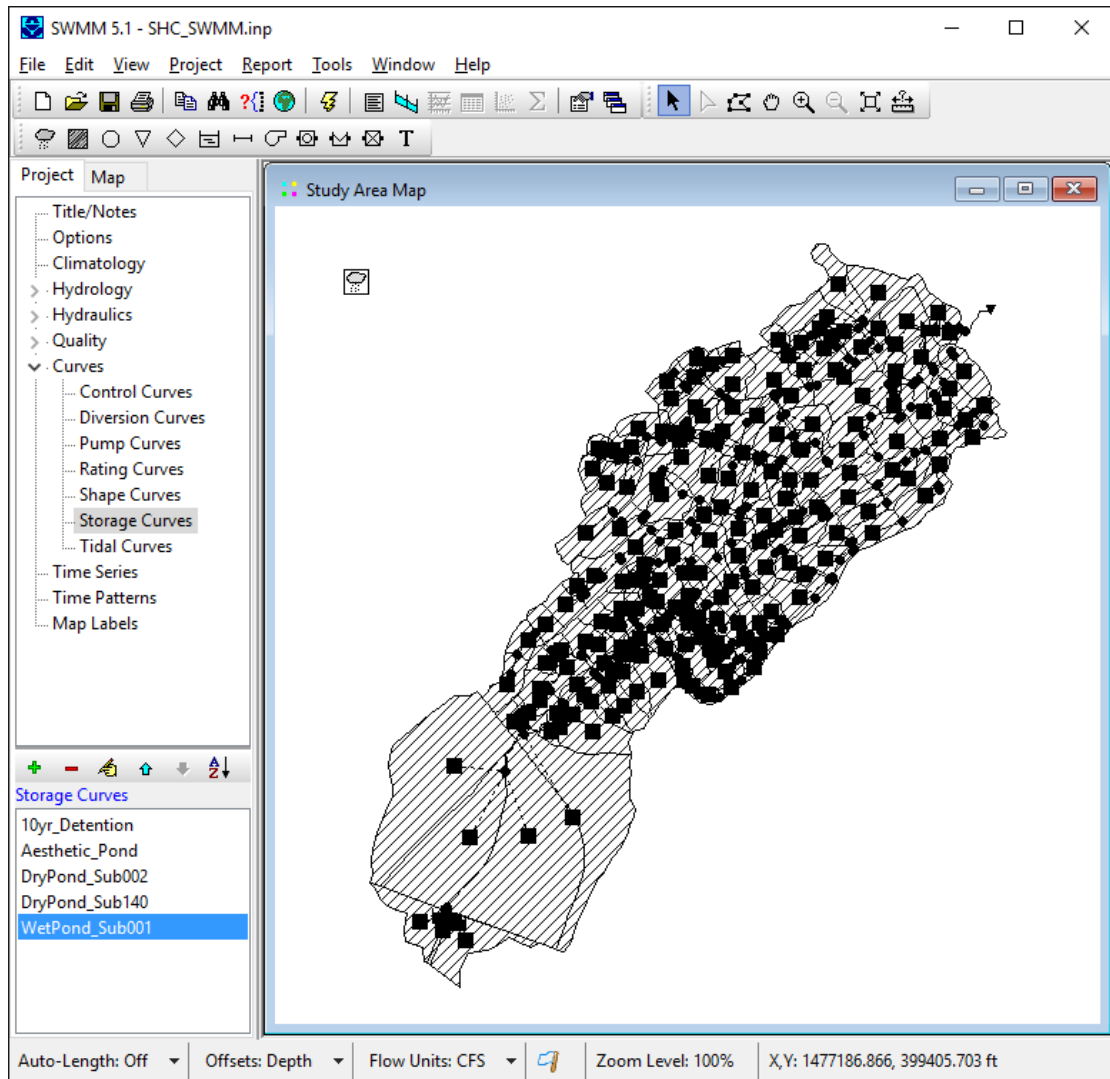
Curve Name  
WetPond\_Sub001

Description  
WetPond\_Sub001

	Depth (ft)	Area (ft2)
1	0	5293
2	1	5799
3	2	6360
4	3	7014
5	5	9168
6		
7		
8		
9		
10		
11		

View...  
Load...  
Save...  
OK  
Cancel  
Help

⇒ 指定 “WetPond\_Sub001”

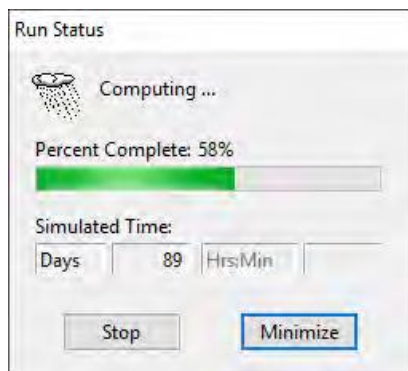


⇒ 保存 SWMM 输入文件

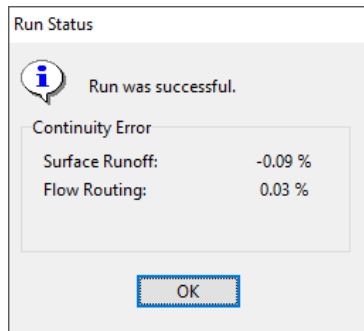
### 3.7 利用 EPA SWMM 运行建立的 SWMM 模型

下一步运行建立的 SWMM 模型。

⇒ 点击  按钮，运行 SWMM 模型

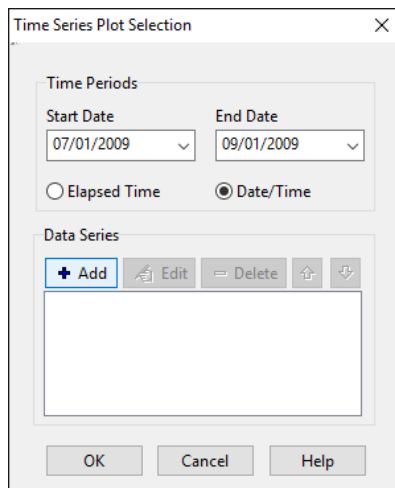


当完成模型运行时，弹出“Run Status”。




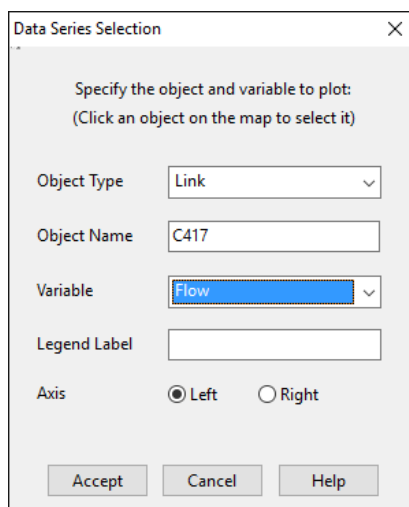
现在，模拟人员检查图形或表格下的模拟结果。下面步骤创建了 SWMM 模型中管渠的模拟流量图，表示了 SHC 流域上游区冲刷点处的自然河流。

⇒ 点击  “创建事件序列图”按钮



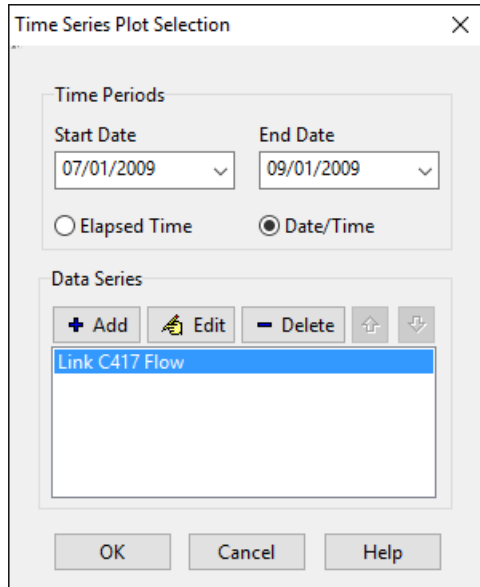
⇒ 选择 “Date/Time”

⇒ 点击  按钮





- ⇒ 将“Object Type”指定为“Link”
- ⇒ 将“Object Name”指定为“C417”
- ⇒ 将“Variable”指定为“Flow”
- ⇒ 点击“Accept”



- ⇒ 点击“OK”，利用“Time Series Plot”检查建模结果

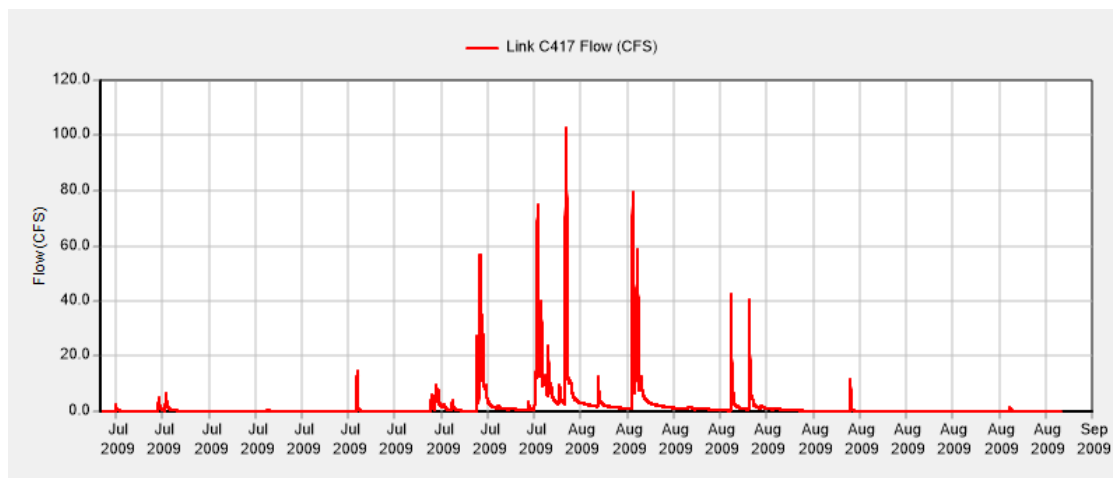


图 19 SWMM 建模结果示例：流量过程线

注意：对于怎样表达和研究模型运行结果的更详细情况，参见 SWMM 用户手册。

- ⇒ 保存文件/运行结果

## 4. 模型校核

本文档中的模型校核，是在特定可用数值范围内调整模型参数的过程，为了获得最好表

达感兴趣水文过程的结果，为此，应具有测试或者观察数据。该案例中，以及作为典型的，模型利用通过测试的流量观察，以及连续河流水深监视的时段校核。如果利用 EPA SWMM 校核，它必须手工完成。PCSWMM 软件提供了自动校核的选项，可能认为是显著的优势。建模人员可能感兴趣于探索该应用，但是这里没有深入讨论。焦点已经为初始模型设置，结合案例研究流域的经验，模型校验需求和工作显著降低，通过结合空间数据库开发支付的空间实际的细小分辨率开始。

对于 SHC 校核，利用 10 min 间隔记录的水深，从性能曲线的出口测试河流流量。翻斗式雨量计测试了 10 min 间隔的降雨深度，结合最小可检测降雨深度为 0.01 英寸。SHC 的 SWMM 模型的运行，针对六个月时段（2009 年 4 月 1 日到 2009 年 8 月 31 日），其中该时段的前四个月用于稳定化连续模拟，尤其针对地下水模拟。这定义为模型的“热身”阶段；为了达到稳定条件，这是需要的时段；其中地下水位中止增加或下降，通过特殊的初始参数临界值。热身时段之后，最后两个月从 2009 年 7 月到 8 月，用于模型校核。

通过调整 10 种地表覆盖类型的初始数值，并利用不同的 BPA 集合，手工完成模型校核。变化集成使每一子汇水面积在 Excel 电子表格中利用面积加权方法。单个地表覆盖类型校核后的模拟参数见表 5，结合它们的初始值。Excel 电子表格的创建，结合嵌入的查看和平均函数，以便对表 5 中初始值做出变化，或者利用不同缓冲距离配置的 BPA 集合之间转换，可能容易传播到 SWMM 模型中相关参数值的变化。结合该方法，校核工作均匀用于城市地表覆盖类型，继而传递到所有子汇水面积的参数化，而不是针对每一子汇水面积单独校核参数。

该方法假设城市地表覆盖组件是可通用化的，以及尺度独立，即使子汇水面积本身没有通用化或者容易变尺度。该方法也显著的是，参数校核域保持相同，即使子汇水面积的总数增加和/或流域面积尺寸增加。注意，该方法对于案例研究流域合理的同时，其他系统的景观形成和处理，不可能具有合适的均质性水平。例如，在地形起伏高度变化的地区，需要更高级的子汇水面积分类（即，将具有陡峭山坡的子汇水面积与具有更缓地形起伏的子汇水面积分开）。这可以结合属性数据的空间数据库考虑，然后通过 Excel 文件设置传递，以及 SWMM 模型参数化，但是在模型校核中必须考虑增加的参数域。

表 5 Shayler Crossing 流域的初始和经校验的建模参数

地表覆盖	长度 (ft)		坡度 (%)		n		DS (in)		Ksat (in/hr)	
	初始	校验后	初始	校验后	初始	校验后	初始	校验后	初始	校验后
主建筑	30	25	10	15	0.014	0.01	0.08	0.05	n/a	n/a
附建筑	15	15	10	15	0.014	0.01	0.08	0.05	n/a	n/a
街道	10	10	2	2.5	0.011	0.01	0.10	0.05	n/a	n/a
车行道	15	12	2	1.5	0.012	0.01	0.10	0.05	n/a	n/a
停车场	10	10	1	1.5	0.012	0.01	0.12	0.05	n/a	n/a
人行道	3	3	1	1.5	0.012	0.01	0.12	0.05	n/a	n/a
其他不渗透地表	10	8	1	1.5	0.012	0.01	0.12	0.05	n/a	n/a
草坪	80	80	2	2	0.2	0.3	0.20	0.20	0.063	0.035
森林	80	80	3	2	0.6	0.6	0.40	0.30	0.063	0.060
农业	100	100	2	2	0.3	0.3	0.30	0.20	0.063	0.040

分别针对 IA 和 PA 的建模参数宽度、坡度、n 和 DS，BPA 的尺寸执行敏感性分析。在单独的模型运行中，每一参数分别依次减小和增加 5，10 和 20%，每一参数的敏感性估计为：

$$\text{敏感性} = (\Delta \text{MR}/\text{MR})/(\Delta p/p)$$

式中，MR——来自 SWMM 执行的模拟结果； $\Delta \text{MR}$ ——根据参数值变化下 SWMM 模拟结果的变化；p——参数值； $\Delta p$ ——参数值变化。

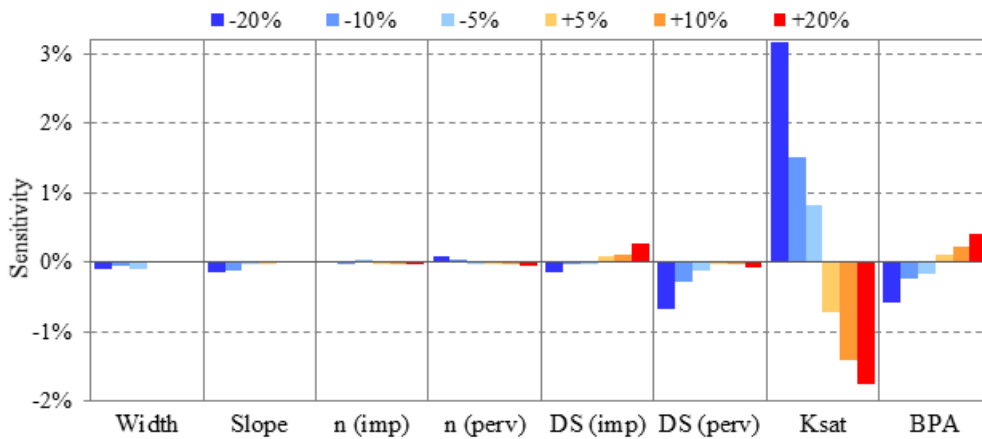


图 20 SHC 处 SWMM 参数的敏感性分析

模型校核的执行，通过调整基于地表覆盖的建模参数和 BPA，针对整个研究流域（见第 2.4.5 部分）。如表 5 所示，不渗透地表覆盖类型的参数变化很小，对于 n 和 DS 为相等的。正如期望的，与不渗透的相比，渗透地表覆盖类型的参数需要更多调整。 $K_{\text{sat}}$  初始值的定义，利用特定场地土壤类型（主要为粉质粘土），但是单个渗透地表覆盖类型的数值是变化的，通过模型校核工作。森林地区的  $K_{\text{sat}}$  仅仅略微调整（即，由最初的 0.063 in/hr 到最终校核的 0.060 in/hr），而草坪（或景观地区）和农业的数值需要更程度的调整（农业从最初 0.063 in/hr 到 0.040 in/hr，草坪从最初 0.063 in/hr 到 0.035 in/hr）。与期望的本地土壤条件相比， $K_{\text{sat}}$  的较大改变为城市和农村土壤的土壤密实性较高程度指示。

测试的降雨强度和河流流量，结合校验的模拟结果，见图 21。模拟的流量过程线与在流域尺度的测试数据，具有很好的一致性，结合 Nash-Sutcliffe 效率系数 = 0.852， $R^2 = 0.871$ 。

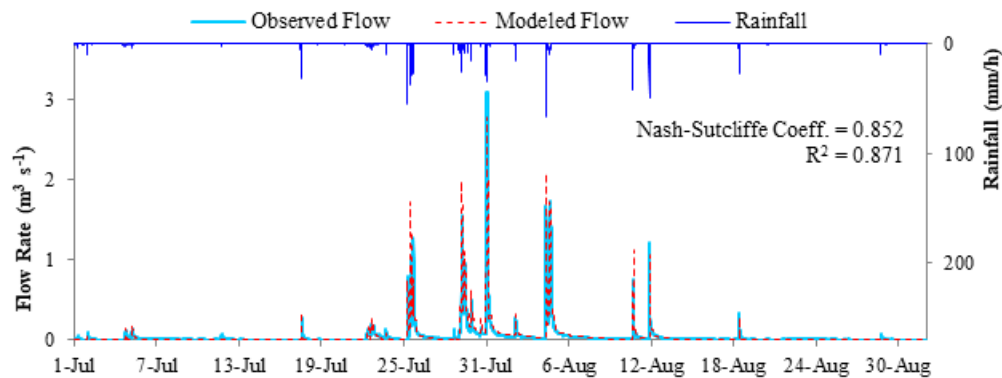


图 21 从 2009 年 7 月 1 日到 8 月 31 日的 SWMM 模拟结果

## 5. 基于情景的 GI 建模分析

利用代表了现状条件的 GIS 数据和基线 SWMM 模型，可以推导可能的 GI 执行情景。本案例研究中布置了两种情景，为了介绍基于情景的 GI 建模分析所需步骤。考虑 GI 情景的总体目标是尝试最小化 DCIA 和最大化现场雨水控制。

### 5.1 GI 情景 1——从主建筑断开落水管

第一种情景是从研究流域内所有主建筑处断开屋顶落水管。这意味着来自主建筑的径流排向邻近渗透面积而不是直接排向雨水管道系统。接收主建筑径流的渗透面积工作方式，正如该情景中的 BPA。BPA 将被校核，结合基准模型中 2 ft 缓冲距离的区域。根据该结果，通过利用 2 ft 缓冲距离，估计断开主建筑的 BPA。处理该 GI 情景分析所需的步骤如下：

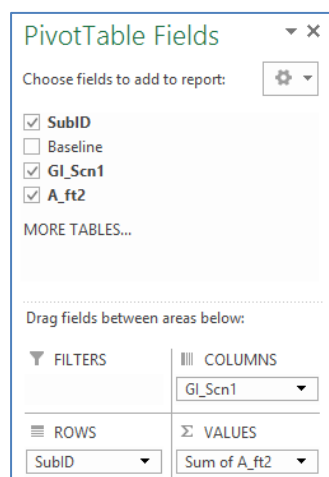
- ⇒ 利用 ArcGIS 为主建筑创建 GIS 层，根据第 2.2.2 部分介绍的相关步骤（仅仅为断开主建筑创建子集层，为了执行另一缓冲分析。）
- ⇒ 遵从第 2.2.3 部分的步骤，为了推导断开主建筑的额外 BPA 层，执行相邻性分析
- ⇒ 遵从第 2.4.1 部分的步骤，估计单个子汇水面积的额外 BPA 尺寸

接下来的步骤，根据来自执行 GI 情景的子汇水面积，估计改变的子面积的尺寸（DCIA, ICIA, BPA 和 SPA）。如果在子汇水面积内存在断开主建筑的任何部分，应重新估计子汇水面积内的子面积，如下：

- $DCIA = (\text{基准条件的 DCIA}) - (\text{断开主建筑的面积})$
- $ICIA = (\text{基准条件的 ICIA}) + (\text{断开主建筑的面积})$
- $BPA = (\text{基准条件的 BPA}) + (\text{断开主建筑的 BPA})$
- $SPA = (\text{基准条件的 SPA}) - (\text{断开主建筑的 BPA})$

这些计算可以在“SHC\_SWMM-GI\_DataProcessing.xlsx”的[SWMM-GI]标签中自动处理，如下：

- ⇒ 更新[LandCover]标签中的“PivotTable Fields”如下（参考第 2.4.2 部分）



- ⇒ ROWS: “SubID”
- ⇒ COLUMNS: “GI\_Scn1”
- ⇒ Σ VALUES: “Sum of A\_ft2”

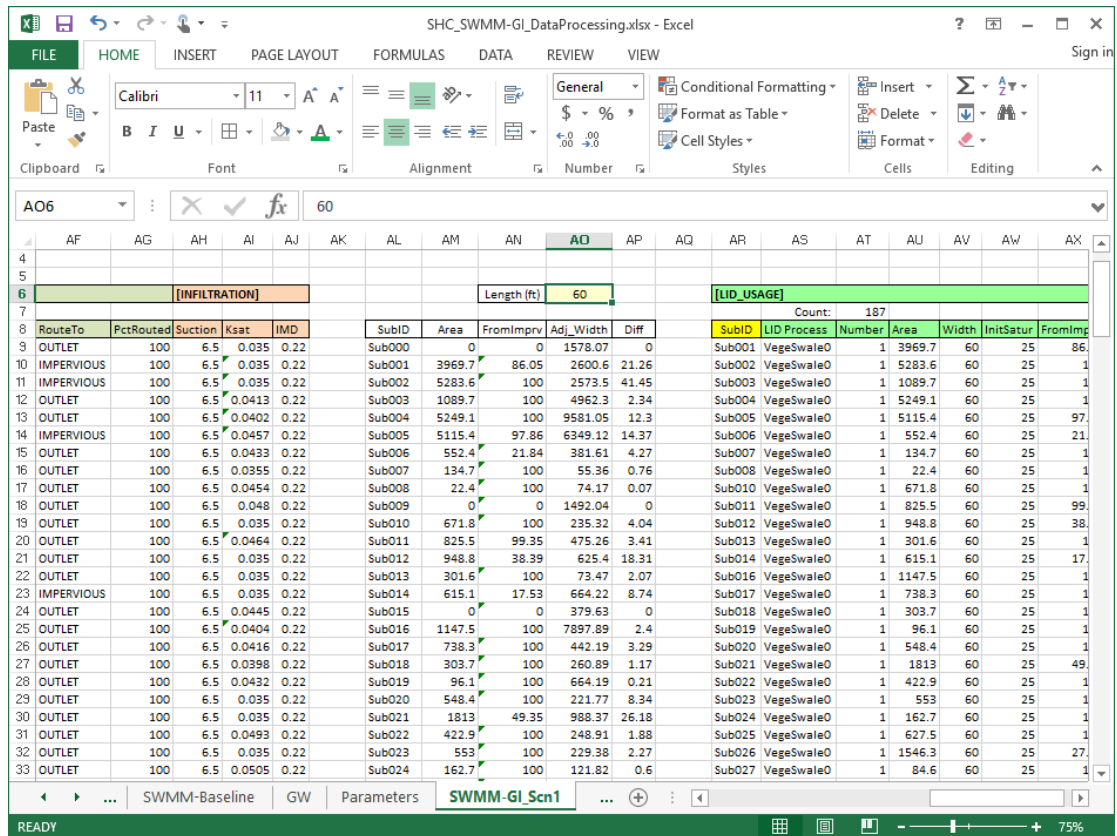
⇒ 将[LandCover]来的“PivotTable”复制/粘贴到[SWMM-GI\_Scn1]标签

⇒ 采取如第 3.3.2 部分描述类似步骤，更新包含了 GI 情景的 SWMM 输入文件 [SUBCATCHMENTS], [SUBAREAS]和[INFILTRATION]

⇒ 采取如第 3.4.2 部分描述类似步骤，更新包含了 GI 情景的 SWMM 输入文件 [LID\_USAGE]

注意：以上步骤应利用表示了 GI 情景的[SWMM-GI\_Scn1]标签处理，而不是表示了“SHC\_SWMM-GI\_DataProcessing.xlsx”文件的[SWMM-Baseline]标签。

通过执行该 GI 情景，BPA 的片状流长度可能是变化的。这可以通过调整[SWMM-GI\_Scn1]标签中数据域[AO6]中的“Length”模拟，如下图所示。如果改变了“Length”的数值，可以在 MS-Excel 文件中自动更新所有相关参数。



⇒为了改变流量输送时间，调整片状流的“Length”。“Length”意味着水流作为片状流的流动长度。它并不意味着实际区域的物理长度。）

⇒ 利用另一名称保存更新后的 SWMM 输入文件（例如“SHC\_GI-scen1.inp”）。

完成 SWMM 输入文件更新时，可以运行模型，评估 GI 情景。模拟结果可以与来自基准模型的结果比较。

## 5.2 GI-情景 2——执行单个子汇水面积的生物停留区域

考虑的第二种情景是执行单个子汇水面积的生物停留区域。该情景的布置，表示了 GI 应用的更多工程方法。为了确定单个生物停留区域的尺寸，使用了来自 Ohio 雨水管理手册 (Mathews, 2014) 的指南。手册提出了生物停留系统的简单量化设计准则，如下：

- 排水面积 (DA)：小于 2 英亩
- 排放时间：12 到 48 小时 (积水 24 hrs)
- 积水容积 = 水质容积 (WQv)
- 积水深度：小于等于 12 in.
- 从进流降至暗渠出口：超过 3.5 ft
- 地下水分离：建议最小 2 ft，以及底部需要 1 ft
- 到建筑物基础的距离：25 ft (结合 10 ft 暗渠)
- 地表滤床面积：5-10%的贡献不渗透面积
  - 宽度  $\geq$  10 ft., 长度  $\geq$  2  $\times$  宽度
  - 如果不渗透性  $>$  25%, FBA  $\geq$  5%的不渗透面积
  - 如果不渗透性  $<$  25%, FBA  $\geq$  WQv/ (积水深度, ft)
  - $WQv = C \cdot P/12 \cdot A$   
式中, FBA——滤床面积,  $ft^2$ ; WQv——水质容积,  $ft^3$ ;  $i$ ——不渗透性;  $C = 0.858 i^3 - 0.78 i^2 + 0.774 i + 0.04$  (Ohio EPA NPDES 许可); P——0.75 in.降水; A——排水面积,  $ft^2$
- 砂砾层和暗渠
  - 砂砾层：#57 冲洗过的石头 (孔隙率 = 0.35), 10 到 12 in.厚度 (最小 3 in.)
  - 暗渠：最小 4 in.直径穿孔管, 结合上下最少 3 in.的砂砾
  - 观察/清洗管道：4 in.非穿孔管

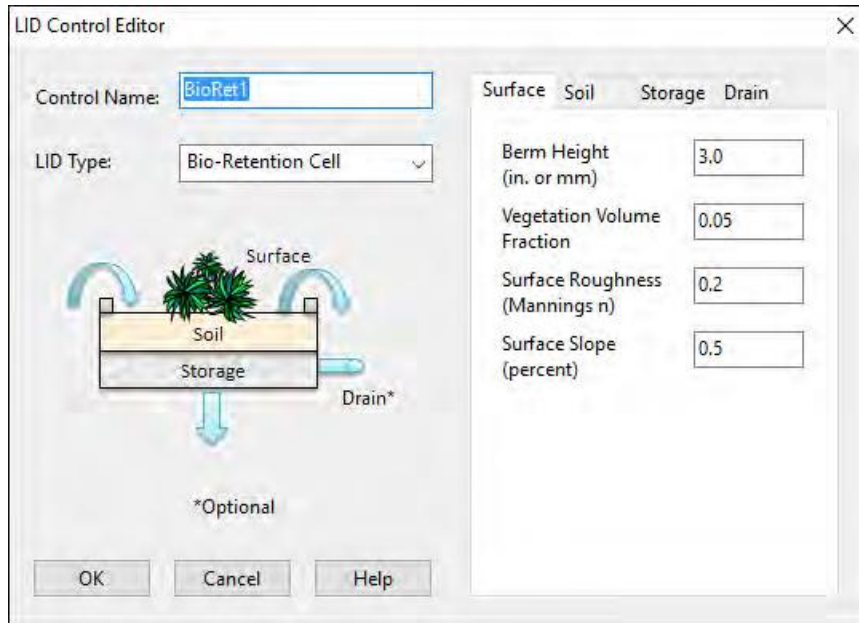
Ohio 雨水管理手册也介绍了针对有限下渗能力的场地和/或强化氮处理的设计方法，如下：

- 导水率 (K)： $0.05 \leq K \leq 0.5$  in/hr
- 暗渠反转向出口以下的内部蓄水 (IWS) 层。
- 该滞水区域保存水，扩大渗出的机会 (在时间和数量上)。
- 该层也作为促进反硝化的缺氧层，有助于防止受纳水体的富营养化。
- 该设计期望提供 40%的更好，以及可能高达 80%的氮质量去除率，从地表径流中。

额外调整用于推导更加合理的 GI 执行情景。模拟人员可以应用他/她自己的情景。为了将生物停留包含在 SWMM 输入文件中，应首先处理以下步骤：

- ⇒ 运行 EPA SWMM
- ⇒ 打开 “SHC\_SWMM.inp”

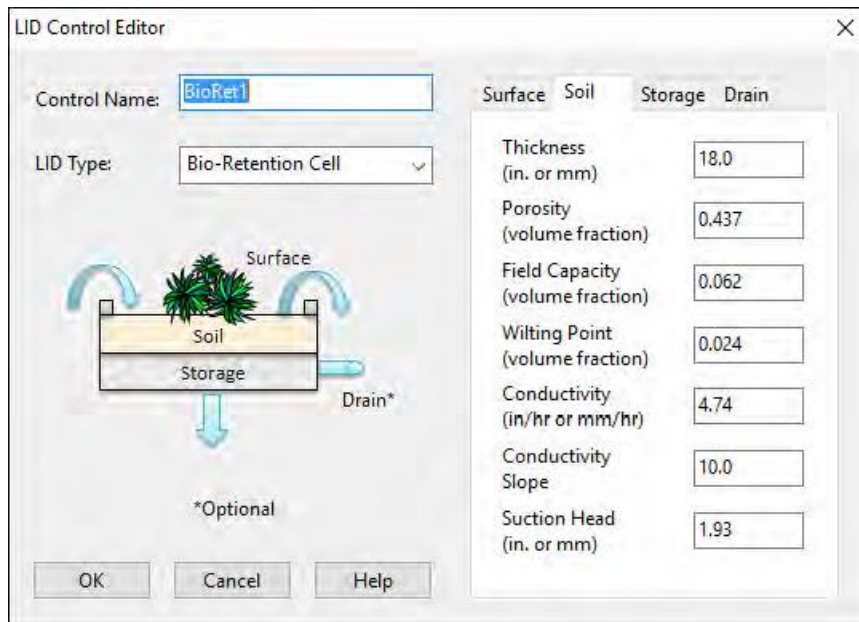
通过执行类似于第 3.4.1 部分介绍的步骤，为生物停留添加另一 LID 控制，如下：



⇒ 指定“Control Name”

指定“Surface”属性为:

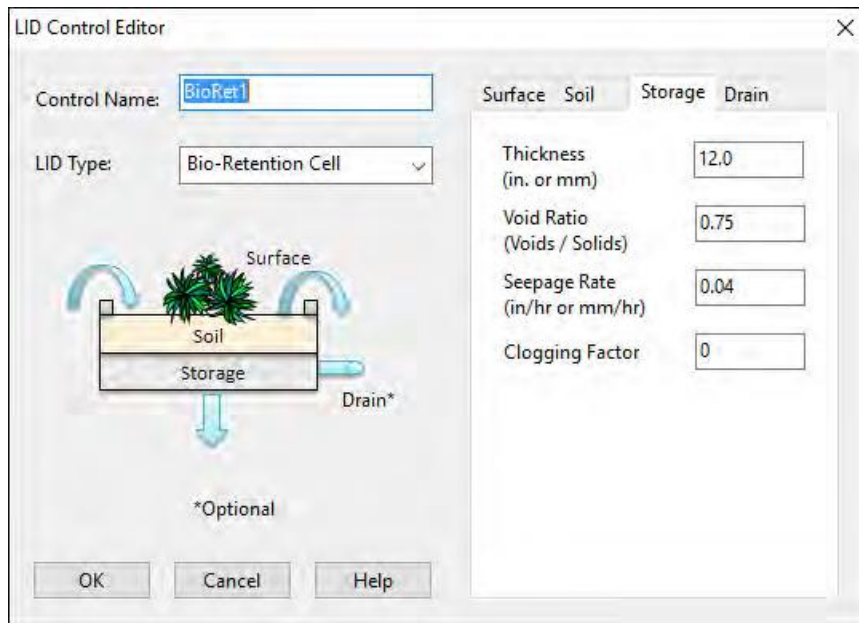
- ⇒ 护堤高度（积水深度） = 3.0 英寸
- ⇒ 植被容积分数 = 0.05
- ⇒ 表面粗糙度（曼宁 n 值） = 0.2
- ⇒ 表面坡度（百分比） = 0.5



根据砂质土壤指定“土壤（介质）”属性:

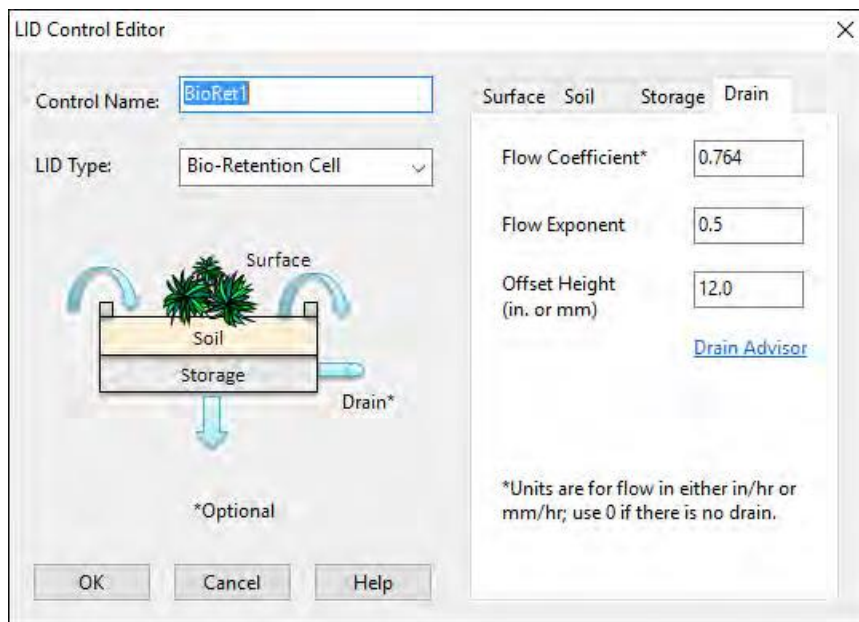
- ⇒ 厚度 = 18.0 英寸
- ⇒ 孔隙率（容积比） = 0.437
- ⇒ 产水能力（容积比） = 0.062
- ⇒ 枯萎点（容积比） = 0.024
- ⇒ 导水率 = 4.74 in/hr

- ⇒ 导水率坡度 = 10.0
- ⇒ 吸水头 = 1.93 英寸



“蓄水（砂砾层）”属性指定为：

- ⇒ 厚度 = 12.0 英寸
- ⇒ 孔隙比（孔隙/固体） = 0.75
- ⇒ 渗透速率 = 0.04 in/hr
- ⇒ 堵塞因子 = 0



“暗渠”属性指定为：

- ⇒ 流量系数 = 0.764 in/hr
- ⇒ 流量指数 = 0.5
- ⇒ 偏移高度 = 12.0 英寸
- ⇒ 点击“OK”，完成添加生物停留 LID 控制



“流量系数”可以利用 Drain Advisor 估计：“如果目标是为了在指定时间内排放完全饱和的装置，那么设置排放系数为 0.5（为了表示孔口出流和排放系数为  $2D^{1/2}/T$ ，式中 D 为从暗渠到表面的距离加上任何护堤高度（英寸或 mm）；T 为排放时间，小时）。例如，为了在 12 小时内排放深度 36 英寸，需要排放系数为 1。如果该暗渠包含了前面部分描述的槽式管道，其系数为 2；那么流量调节器，例如孔头，将必须放置在暗渠出口处，为了达到降低的流量。”

$$D = 3.0 + 18.0 = 21.0 \text{ 英寸}$$

$$T = 12 \text{ 小时}$$

$$\text{流量系数} = 2 * 21^{0.5} / 12 = 0.764 \text{ in/hr}$$

当完成以上步骤时，现在为了针对单个子汇水面积包含生物停留区域，需要更新 SWMM 输入文件。如上所述，使用来自 Ohio 雨水管理手册的生物停留设计准则，结合额外调整。本研究中，假设生物停留系统可以接受来自子汇水面积内所有不渗透区域的径流。如果径流超出了生物停留能力，该部分将越流或旁通。如果不存在生物停留系统，子汇水面积的模拟与基准状况相同。所有这些过程的布置，在“SHC\_SWMM-DataProcessing.xlsx”的 [SWMM-GI\_Scn2] 标签内，如下图所示。黄色突出数据域是可调整的。如果更新了这些数据域，可以自动更新整个 [SWMM-GI\_Scn2] 标签。

	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	A	i			D					Summary		BioRet1					[LID_USAGE] - GI Scen	
2	2.9-ac	10%			3-in													
3	if A<2.9	if i>0.1	C	WQv, ft <sup>3</sup>	D, in	FBA, ft <sup>2</sup>	BR, ft <sup>2</sup>	BR		Area	Count	Ponding (Berm)	3	inches		SubID	LID Process	
4	1	1	0.892	879.8		789.0	0.0	0.0%		1.9%	165	Soil	18	inches		Sub001	VegeSwal	
5	(1)	1	0.227	2349.7		2514.4	0.0	0.0%		of SHC of 191		Storage	12	inches		Sub002	VegeSwal	
6	(1)	1	0.294	2371.7		2744.5	0.0	0.0%				UD Offset	12	inches		Sub003	VegeSwal	
7	(1)	(1)	0.051	1524.9	3	6099.6	0.0	0.0%				Drawdown	12	hours		Sub004	VegeSwal	
8	(1)	(1)	0.081	4473.9	3	17895.6	0.0	0.0%				Flow Coeff.	0.764	in/hr		Sub005	VegeSwal	
9	(1)	(1)	0.094	3142.4	3	12569.6	0.0	0.0%								Sub006	BioRet1	
10	1	1	0.295	366.0		423.8	423.8	2.1%		Note: Yellow-highlighted cells are adjustable.						Sub007	BioRet1	
11	1	1	0.254	52.0		57.9	57.9	1.8%								Sub008	VegeSwal	
12	1	(1)	0.042	15.6	3	62.5	0.0	0.0%								Sub010	BioRet1	
13	(1)	(1)	0.040	339.6	3	1358.5	0.0	0.0%								Sub011	BioRet1	
14	1	1	0.271	227.6		258.1	258.1	1.9%								Sub012	BioRet1	
15	1	1	0.138	285.1	3	1140.6	1140.6	3.5%								Sub013	BioRet1	
16	1	1	0.524	649.5		724.8	724.8	3.7%								Sub014	BioRet1	
17	1	1	0.307	74.9		87.3	87.3	2.2%								Sub016	VegeSwal	
18	1	1	0.410	634.4		744.5	744.5	3.0%								Sub017	BioRet1	
19	1	(1)	0.040	88.2	3	352.8	0.0	0.0%								Sub018	BioRet1	
20	(1)	(1)	0.050	2404.4	3	9617.7	0.0	0.0%								Sub020	BioRet1	
21	1	1	0.185	341.5	3	1365.8	1365.8	4.6%								Sub021	BioRet1	
22	1	1	0.134	157.0	3	627.9	627.9	3.3%								Sub022	BioRet1	

⇒ 调整任何黄色突出的数据域，准备更加专门的 GI 执行准则。

⇒ 利用 Excel 编辑器，将 [LID\_USAGE] 从“SHC\_SWMM-GI\_DataProcessing.xlsx”复制/粘贴到 SWMM 输入文件（见第 3.4.1 部分）

注意：为了模拟该 GI 情景，不需要在 Excel 编辑器中添加或删除任何列，因为它假设每一子汇水面积仅仅达到一个 LID 控制，生物停留（BioRet1）或植草沟（VegeSwale0）。

⇒ 利用不同文件名保存更新后的 SWMM 输入文件（例如，“SHC\_GI-scen2.inp”）

完成 SWMM 输入文件更新时，可以运行模型，评估 GI 情景。模拟结果可以与基准模型的结果比较。

## 5.3 结合了 GI 情景的模拟结果比较

将结合两种 GI 执行情景的 SWMM 模拟结果与基准模拟结果比较。来自三个 SWMM 输入文件的三种流量过程线见图 22。

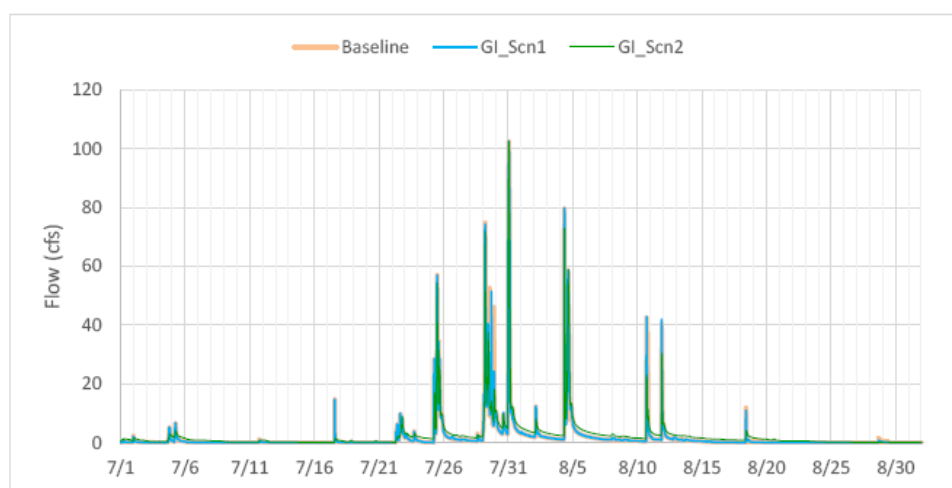


图 22 SWMM 模拟结果比较

如图 22 所示，有否 GI 情景的差异不显著，尤其在大型暴雨状况中。可是，在小型暴雨事件中差异很显著，见图 23。

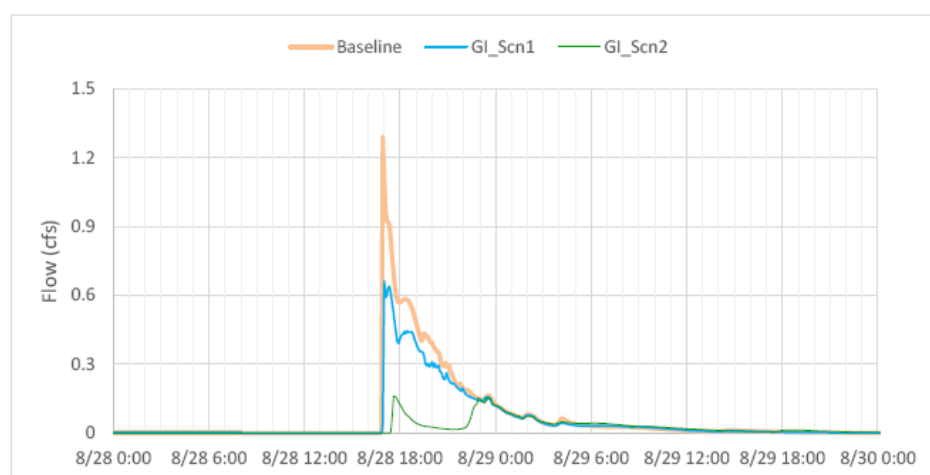


图 23 来自小型暴雨事件的 SWMM 模拟结果

如果大量连续暴雨持续很长时段，径流量过程线说明了很有趣的特征，见图 24。因为在 6 月底具有大量暴雨，土壤和执行的 GI 完全饱和。尤其在第二种 GI 情景中，生物停留的所有可用存储能力将完全装载雨水，以较缓慢的速率连续释放基流。

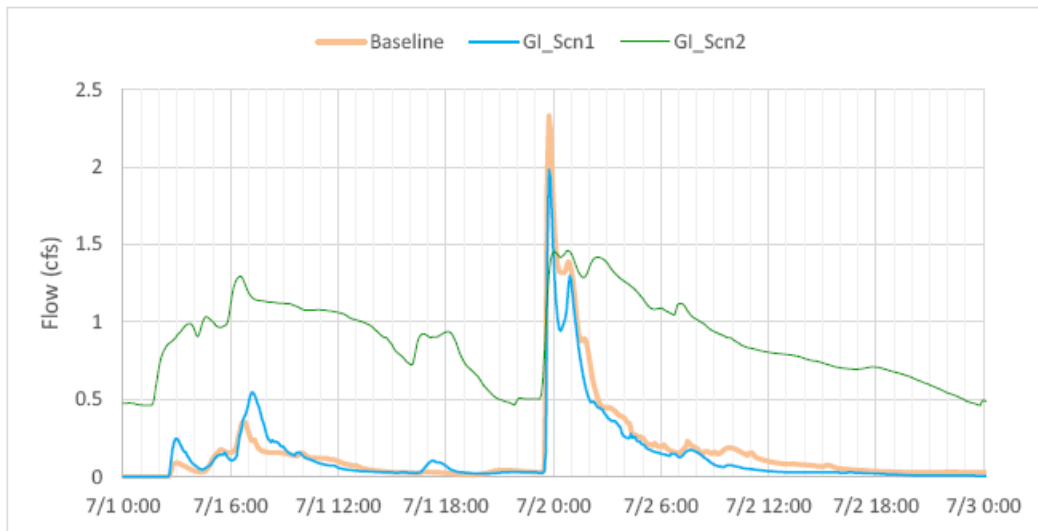


图 24 来自大量连续暴雨事件的 SWMM 模拟结果

## 6 结论

本报告说明对于涉及 GI 的雨水管理，怎样推导高分辨率的空间数据，可用于空间离散化流域。已经说明了伴随的贡献 (Lee et al. 2017)，该方法增加了模型准确性，并在案例研究系统中减少了校验工作。建立 SWMM 的空间表示过程，重要的是区分 DCIA 和 ICIA，以及 BPA 和 SPA，并明确模拟了这些子面积。以上概括了完成它所需要的地理数据处理步骤。也说明了怎样使用这种高分辨率的城市流域排水特性空间数据库，为了最有效设置 SWMM 建模工作，以及对模型参数化。当模拟小型暴雨的影响时该方法尤为有用；因此专门针对 GI 设计，它强调了城市开发的小型暴雨水文影响的缓解。案例研究中，关于土地形态和过程的较均质流域，而不是利用  $j \times k$  个校核参数，它是根据  $j$  个子汇水面积和每个子汇水面积内的  $k$  个参数，仅仅需要校核  $k$  个参数，且用于所有子汇水面积。在如此的系统中，基于地表覆盖的空间离散化方法可认为与尺度无关。为了考虑景观异质性，感兴趣的流域需要高阶的子汇水面积描述；该方法提供了对小型暴雨的城市雨水管理策略评估的机会，结合改善的准确性并扩大了 GI 规划、设计和执行的适用性。

在 Lee et al. 2017 中已经说明了各种尺寸的八种合成暴雨空间离散化方法的适用性。SHC 流域中，模拟的流量过程线与两个月连续模拟的观测数据匹配 (Nash-Sutcliffe 系数 = 0.852;  $R^2 = 0.871$ )。最后，说明模拟从所有主建筑断开落水管的 GI 情景，容易在 SWMM 模型中执行 DCIA；以及考虑生物停留的一个；常见的两种 GI。采用针对 SWMM 模型设置和参数化，描述的方法和数据处理步骤；关于流域地表覆盖的数字化特征相当大的工作，以及捕获它的水文连通性以及与高分辨率雨水排放网络标识的相互作用。它的优点应为改善的模拟准确性，尤其与 GI 情景分析相关的；同时最小化了模型校核需要的考虑和工作。

## 7 参考文献

Bennett, G. University of Cincinnati, School of Planning, Master's Thesis: Stormwater Management within Urbanizing Headwatersheds: The case of Shaylor Crossing. Advisor, C.T. Nietch; Chair, X. Wang; Reader, L. Rossman. August 2006.

Guo, J.C. and Urbonas, B. (1996). Maximized detention volume determined by runoff capture ratio. *J. Water Res. Pl.-ASCE*, 122(1): 33-39.

Karcher, S. C., VanBriesen, J. M., and Nietch, C. T. (2013). Alternative land-use method for spatially informed watershed management decision making using SWAT. *Journal of Environmental Engineering*, 139(12), 1413-1423.

Lee, J. G., Nietch, C. T., and Panguluri, S.: Subcatchment characterization for evaluating green infrastructure using the Storm Water Management Model, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/hess-2017-166>, in review, 2017. url: <https://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/hess-2017-166/>

Mathews, J. (2014). *Rainwater and Land Development: Ohio's Standards for Stormwater Management, Land Development and Urban Stream Protection*, Third Edition 2006 (Updated to include all new materials, changes and corrections as of 11/6/2014). Ohio Department of Natural Resources (ODNR), Division of Soil and Water Conservation, Columbus, OH.

NRC. (2009). *Urban Stormwater Management in the United States*. Committee on Reducing Stormwater Discharge Contributions to Water Pollution. National Research Council (NRC). National Academies Press. Washington, DC. ISBN 978-0-309-12539-0.

Ohio EPA. (2014). *Biological and Water Quality Study of the East Fork Little Miami River Watershed*. Ohio EPA Technical Report EAS/2014-05-05. Division of Surface Water, State of Ohio Environmental Protection Agency (Ohio EPA). Columbus, OH.

Pitt, R. (1999) Small storm hydrology and why it is important for the design of stormwater control practices. *Adv. Mod. Manag. Stormw.*, 7: 61-91.

Rossman, L.A (2015). *Storm Water Management Model User's Manual, Version 5.1*. EPA/600/R-14/413b, Revised September 2015. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Water Supply and Water Resources Division, Cincinnati, OH.

(美)Rossman[著], 李树平[译]. 雨水管理模型用户手册(5.1版). 上海: 同济大学环境科学与工程学院, 2016.

Rossman, L.A. and Huber, W.C. (2016). *Storm Water Management Model Reference Manual, Volume I – Hydrology (Revised)*. EPA/600/R-15/162A, Revised January 2016. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Water Supply and Water Resources Division, Cincinnati, OH.

(美)Rossman和Huber[著], 李树平[译]. 雨水管理模型参考手册第I卷-水文. 上海: 同济大学环境科学与工程学院, 2017.

USEPA. (2009). Technical Guidance on Implementing the Stormwater Runoff Requirements for Federal Projects under Section 438 of the Energy Independence and Security Act. United States

Environmental Protection Agency, Office of Water (4503T), Washington, DC 20460, EPA 841-B-09-001. December 2009. [http://www.epa.gov/oaintrnt/documents/epa\\_swm\\_guidance.pdf](http://www.epa.gov/oaintrnt/documents/epa_swm_guidance.pdf) (accessed on 8 June 2015).

USEPA. (2014). What is Green Infrastructure? (Last updated on 13 June 2014) Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC 20460. [http://water.epa.gov/infrastructure/greeninfrastructure/gi\\_what.cfm](http://water.epa.gov/infrastructure/greeninfrastructure/gi_what.cfm) (accessed on 8 May 2015)

WEF-ASCE. (2012). Design of Urban Stormwater Controls. WEF Manual of Practice (MOP) No. 23. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 87. Water Environment Federation (WEF). Environmental & Water Resources Institute, American Society of Civil Engineers (ASCE). ISBN-13: 978-0071704441, ISBN-10: 0071704442.