

AutoCAD 图形文件与 SWMM 耦合技术的开发与应用

孙 潭, 李树平, 彭绪华

(同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘 要: SWMM 是模拟动态降雨-径流的专业性软件,排水系统 AutoCAD 文件信息的充分利用将有助于加速建模过程。结合市政排水管道 AutoCAD 图形信息的存储特点,提出了使用 C# 语言的 AutoCAD 软件二次开发技术,进而形成了可在 AutoCAD 软件环境中交互式构建 SWMM 模型的 SWMMTools 插件。以某城镇产业新城雨水管网模型的构建为例,使用 SWMMTools 插件,实现了将 AutoCAD 图纸信息转化成 SWMM 软件可识别的管段、节点及汇水区域信息;将管段、节点以及汇水区域转化成 SWMM 模型文件,加以设置其他辅助信息,完成了 SWMM 模型的自动构建。SWMMTools 插件的开发和应用,有助于提高雨水管理模型构建的效率和准确度。

关键词: 雨水管网; AutoCAD 二次开发; SWMM; C#语言; 插件

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)01-0110-05

Re-development of Coupling Technology between AutoCAD Drawings and SWMM and Its Application

SUN Tan, LI Shu-ping, PENG Xu-hua

(College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Storm water management model (SWMM) is a professional software used for dynamic rainfall-runoff simulation, and its modeling process can be accelerated when AutoCAD drawing information of municipal drainage system is fully utilized. Given that the storage characteristics of municipal drainage pipeline AutoCAD file information, re-developed technology of AutoCAD software in C# platform was proposed, and the SWMMTools plug-in was created to construct SWMM hydraulic model interactively under AutoCAD software environment. The SWMMTools plug-in was implemented in the construction of the stormwater drainage model of a new industrial town, where AutoCAD drawing information was converted to identifiable conduits, junctions and sub-catchments for SWMM. Then, automatic self-construction of SWMM was realized, through translating conduits, junctions and sub-catchments into SWMM input file and setting up other auxiliary information. Overall, the further development and application of the SWMMTools plug-in is beneficial for improving the efficiency and accuracy of storm water management model construction.

Key words: stormwater drainage system; AutoCAD re-development; SWMM; C# language; plug-in tool

基金项目: 上海市 2016 年度科学技术委员会科研计划项目(16DZ1200500)

通信作者: 李树平 E-mail: lishuping@tongji.edu.cn

雨水管理模型是排水系统设计、运行和管理的基本依据和重要工具,受到了广泛重视。其中,SWMM 是美国环保局开发的一款功能齐全、界面友好、易于使用、开源的免费软件,亦是许多商业雨洪管理模型软件的核心,可用于模拟地表径流的水文过程、管渠蓄水设施进出流过程、与径流相关的污染物负荷等。目前,多数市政排水管道资料都是以 CAD 数据形式存储^[1],然而 SWMM 软件并不能直接识别排水管道 CAD 图。如果通过技术手段把市政排水管道 CAD 数据导入到 SWMM 软件中,则可改变手工录入的方式,提高建模工作效率。

目前,为识别市政排水管道 CAD 图并构建相应的 SWMM 模型,常用的方法是将 AutoCAD 管道拓扑图形转换成 ArcGIS 文件,在 ArcGIS 软件环境中设置管段、节点以及汇水区域属性数据,利用 ArcGIS 二次开发的方式将模型要素导出为 SWMM 模型文件^[2];或借助 AutoCAD to EPA-SWMM 软件将汇水面积数据导出为 SWMM 模型文件^[3]。这些方法均可将市政排水管道 AutoCAD 图形文件转换成 SWMM 的 inp 输入文件,但仍存在需要改进的地方:①缺乏 AutoCAD 图形文件的管道拓扑结构检查功能,转换后的 SWMM 模型存在孤立管段、节点以及应连管段未连接的现象,这些错误在 SWMM 软件环境中往往不易被发现,为后续排水系统的准确模拟带来了不必要的麻烦;②难以将管径、管长、坡度、地面标高、管底标高等市政排水管道标注信息准确、完备地导出成 SWMM 模型文件;③缺乏在 AutoCAD 中交互式布置汇水区域及转换的功能;④AutoCAD 图形文件向 SWMM 模型文件的转换往往需要多个软件相互配合,使用较为繁琐。

为了克服以上不足,笔者利用 AutoCAD .NET API,基于 C# 语言编程,在 AutoCAD 软件环境中实现了将市政管道图形文件交互式转换成 SWMM 输入文件的功能,所编程序称作 SWMMTools 插件。

1 AutoCAD 图形文件与 SWMM 模型的耦合

AutoCAD 图形文件与 SWMM 模型采用松散耦合模式,即二者没有统一的操作界面,SWMMTools 插件利用 AutoCAD .NET API,操作 AutoCAD 图形文件中的相关类、结构、方法及事件,将 AutoCAD 图形文件转换成 SWMM 输入文件,完成 AutoCAD 与 SWMM 数据的交换。转化后的 SWMM 模型文件,还需设置与模型相关的辅助信息,才可完成 SWMM 模

型的自动构建。

1.1 AutoCAD .NET API 简介

从 AutoCAD 2006 开始, Autodesk 公司发布了 AutoCAD .NET API。AutoCAD .NET API 由不同的 DLL(动态数据链接库)文件组成, DLL 文件包含大量的类、结构、方法及事件,例如,直线、多段线、圆弧和文字等图形对象,图层、线型、标注样式等样式设置对象。开发人员可在 Microsoft .NET Framework 下,使用任何支持 .NET 的语言(例如 VB .NET、C#)访问 AutoCAD 图形对象及程序对象。使用 C# 语言对 AutoCAD 二次开发,其优点是全面面向对象,拥有与 C++ 相匹配的强大功能的同时,具有方便易用的特点,是较理想的 AutoCAD 二次开发语言。

1.2 SWMMTools 插件简介

SWMMTools 插件是基于 AutoCAD 平台的二次开发软件,该插件引用 AutoCAD .NET API 提供的多个 DLL,使用 C# 语言开发而成。插件界面为 AutoCAD 软件环境下名称为“SWMMTools”的菜单条及工具栏(见图 1)。SWMMTools 插件编制的主要命令有:“管段检查”“汇水区域检查”“创建节点”“管段编号”“节点编号”“汇水区域编号”“节点编号连接到管段”“设置汇水节点”“设置管径”“设置出水偏移”“设置井底标高”“设置地面标高”“导出”和“属性面板”等。其主要功能是实现在 AutoCAD 软件环境下,交互式地布置管段、节点、汇水区域;将管径、地面标高、管底标高等标注信息交互式赋值于对应的管段和节点;将管段、节点及汇水区域数据导出为 SWMM 的 inp 输入文件。

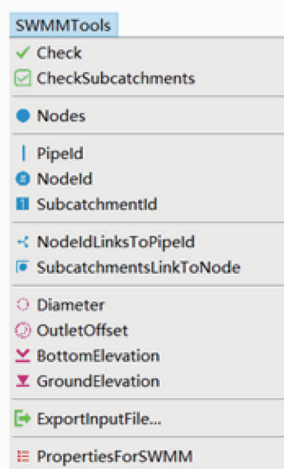


图 1 SWMMTools 插件

Fig. 1 SWMMTools plug-in

2 交互式 SWMM 水力模型的构建

基于 SWMMTools 插件的 SWMM 模型文件构建过程如图 2 所示。

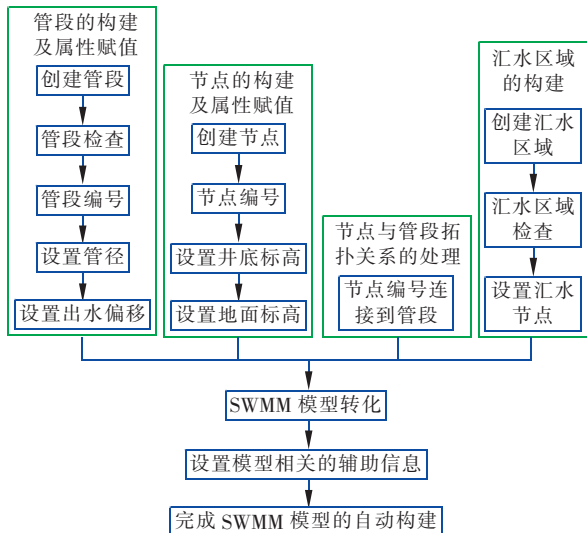


图2 使用 SWMMTools 构建 SWMM 模型文件的步骤

Fig. 2 Building of SWMM software input files by using SWMMTools

2.1 管段的构建及属性赋值

将 AutoCAD 中“PipesForSWMM”图层（若无该图层，则插件自动创建该图层）的 Polyline（多段线）类模拟成 SWMM 水力模型中的管段，Polyline 能较好地模拟 SWMM 水力模型中的管段，例如它可以模拟在两端点之间具有多个顶点的管段，采用 AutoCAD 中的 Line（线段）则不容易实现。通过“管段编号”命令，使用选择集过滤器（SelectionFilter）选择“PipesForSWMM”图层的 Polyline 为管段设置管段 ID。选择集过滤器是 AutoCAD .NET API 提供的类，使用它可以限定选择的对象，例如指定仅选择位于图层 0 上的绿色的多段线对象。

SWMM 水力模型中，排水管道的水流方向始终是从进水节点指向出水节点，所以在 AutoCAD 软件环境中使用 Polyline 绘制排水管道时应遵循一定的规则，例如规定 Polyline 的起点（StartPoint）指向终点（EndPoint）的方向应与排水管道的水流方向一致。在 AutoCAD 软件环境下对管道拓扑结构简单检查及整理，例如使用 C# 的 LINQ 设置拓扑容差，将各 Polyline 的端点距离在拓扑容差范围内的端点合并，即将给定距离内没有连接的管段连接起来。LINQ 即语言集成查询（LanguageIntegratedQuery），

通过它可以使用近似于 SQL 语句查询数据库的方式查询对象集合。

AutoCAD 允许应用程序在实体上添加扩展数据，为实体提供额外的信息，如在管线图中，可以为实体添加表示管线信息的扩展数据。扩展数据随 AutoCAD 图形一起保存，AutoCAD 只负责维护扩展数据而并不使用扩展数据。ExtensionDictionary（对象扩展字典）是存储扩展数据的一种方式，每个实体对象仅能拥有一个 ExtensionDictionary，AutoCAD 能存储不限字节数和种类的外部数据，ExtensionDictionary 内可存储多张 DataTable（数据表）。DataTable 是 AutoCAD .NET API 提供的类，与数据库中表的概念相似，包含行属性和列属性，可以设置列字段名、列数据类型，可存储多行数据。因此，将管段 ID、进水节点编号、出水节点编号、管径及出水偏移等 SWMM 管段属性信息存储在 Polyline 对象 ExtensionDictionary 属性的 DataTable 中。

对于市政排水管道 AutoCAD 图纸中常见的管径、地面标高、管底标高等标注信息，AutoCAD .NET API 提供了相关接口可交互式读取这些标注信息，由于不同设计院出图方式或有差异，可使用正则表达式（Regular Expression）对这些标注信息过滤，得到标注信息里的真实数据而忽略标注的前缀或后缀，再将这些属性数据赋值于相应管段和节点的 ExtensionDictionary 属性的 DataTable 中。正则表达式使用单个字符串来描述、匹配一系列符合某个句法规则的字符串，通常用来检索、替换那些符合某种指定模式（规则）的文本。例如，使用正则表达式可以获取一段标注信息中是否包含标准管径并提取管径数据，也可以获取一段标注信息中数值在指定范围内的高程数据。对于可能存在的不规范的图纸标注方式，通过“属性面板”命令，可以将属性数据手工录入并赋值于管段和节点。

2.2 节点的构建及属性赋值

将 AutoCAD 中“NodesForSWMM”图层的 DBPoint（节点）类模拟成 SWMM 水力模型中的节点，节点一般依附管段而存在，其自身没有单独存在的意义，所以在 AutoCAD 软件环境中通过框选管段批量生成节点并为节点编号。通过“创建节点”命令，利用选择集过滤器选择“PipesForSWMM”图层的 Polyline（管段），判断每条 Polyline 端点之间的拓扑容差并在“NodesForSWMM”图层生成 DBPoint。

市政排水管道 AutoCAD 图纸中未提供节点最大深度属性(内底到地表的距离)信息,但可通过地面标高减去井底标高计算得到,所以可将节点 ID、地面标高、井底标高交互式读取并赋值于 DBPoint 对象的 ExtensionDictionary 属性的 DataTable 中。

2.3 节点与管段拓扑关系的处理

AutoCAD 不能直接识别管段与节点之间的拓扑关系,需要进行特殊处理。因此对管段的进水节点编号、出水节点编号这两个属性的赋值需通过判断管段的端点位置与节点位置识别,即若 Polyline 某端点(StartPoint 或 EndPoint)与某 DBPoint 的距离在拓扑容差范围内,则可认为该 DBPoint 是该 Polyline 的进水节点或出水节点。

通过“节点编号连接到管段”命令,利用选择集过滤器框选并过滤得到“PipesForSWMM”图层的 Polyline 与“NodesForSWMM”图层的 DBPoint,用 C# 的 LINQ 技术判断 Polyline 的端点与 DBPoint 位置的关系,并按上述原理读取 DBPoint 对象的 ExtensionDictionary 属性的 DataTable 中的节点 ID 字段,并将其赋值于 Polyline 对象的相应 DataTable 中的进水节点编号或出水节点编号。

2.4 汇水区域的构建

在 SWMM 软件环境中绘制汇水区域,通常需要先將城市用地规划 CAD 图制成图片格式的底图导入到 SWMM 中。但由于 SWMM 无法进行实时缩放及汇水节点需手工录入等问题,往往使汇水区域的绘制工作变得异常繁琐。AutoCAD 具备实时缩放及交互式布置对象的优势,如果能在 AutoCAD 软件环境中交互式布置汇水区域并设置汇水节点,将会使 SWMM 水力建模效率得到提高。

将 AutoCAD 中“SubcatchmentsForSWMM”图层的 Polyline 类模拟成 SWMM 水力模型中的汇水区域,通过“汇水区域检查”命令检查 Polyline 围成的多边形汇水区域是否闭合,使用“汇水区域编号”命令对汇水区域批量编号。

手工录入汇水节点属性的方式制约了 SWMM 水力建模效率,且常常容易出错。AutoCAD 软件环境提供的左框选、右框选、全选、点选等选择方式极大地提高了图形绘制效率,通过“设置汇水节点”命令,利用选择集过滤器框选并过滤得到“SubcatchmentsForSWMM”图层的 Polyline(汇水区域),再选择“NodesForSWMM”图层的 DBPoint(节点),插件自

动读取 DBPoint 对象的扩展数据中的节点 ID 属性并将其赋值于所选的 Polyline 的汇水节点属性,并显式生成汇水区域到汇水节点的连接标识。

2.5 SWMM 模型转化

SWMM 的 inp 输入文件是一个文本文件,可通过 Windows 系统自带的记事本程序打开和编辑,包含了描述研究区域的所有数据以及用于分析的选项。文件以小节组织,每一节通常对应 SWMM 使用的特定对象类,每一节从中括号内的关键词开始。例如小节“[CONDUITS]”中存储了管段的基本属性,包括管段 ID、进水和出水节点编号、长度、进水和出水偏移等信息;小节“[JUNCTIONS]”中存储了节点的基本属性,包括节点 ID、内底标高、最大深度等信息;小节“[SUBCATCHMENTS]”中存储了汇水区域的基本属性,包括汇水区域 ID、汇水节点、面积等信息。另外,对于管段、节点、汇水区域的位置信息亦存储在 inp 文件内相应的小节中。

AutoCAD 图形文件与 SWMM 模型通过 SWMMTools 插件生成的 inp 文件进行数据交换。C#是面向对象的语言,结合 AutoCAD .NET API 可将构建的管段、节点及汇水区域对象按照 inp 文件的组织方式,读取这些对象的相关属性(如位置属性)以及扩展数据并生成对应 inp 文件的小节,最后将小节按规则组织起来导出为 inp 文件。

此外还需设置降雨雨型、排放口、水池、泵等辅助信息,便形成了完整的 SWMM 模型输入文件。

3 应用实例

某城镇产业新城雨水系统的雨水以重力流方式和最短的距离排入受纳水体。研究区域的总面积为 18.0 km^2 ,雨水管道汇流节点共 267 个,排放口共 75 个,雨水管道总长度为 61.0 km。由该研究区的规划雨水管道 AutoCAD 图可知,其图面信息包括雨水管道拓扑结构、管道走向、管径、管长、坡度、管内底标高、排放口以及道路交叉口地面标高等信息。

按照图 2 的流程,使用 SWMMTools 插件,依次在 AutoCAD 软件环境中生成管段、节点。对于节点对象,以检查井内最低的管内底标高作为井底标高,最大水深通过地面标高减去井底标高计算得到;对于管段对象,根据上下游管内底标高及上下游节点井底标高确定管段的进、出水偏移,上下游管内底标高以及管长计算得到管道坡度, Polyline 的绘制方向与管道走向一致;通过“设置管径”“设置出水偏移”

“设置井底标高”和“设置地面标高”等命令,交互式选取管段、节点以及标注信息,将管段、节点的属性信息赋值于对应对象的扩展数据中。然后根据地形以及周围管渠的布置情况在 AutoCAD 软件环境中划分汇水区域,通过“设置汇水节点”就近将汇水区域连接到汇水节点。在 AutoCAD 中构建好的管段、节点及汇水区域模型见图 3。通过“导出”命令,将管段、节点以及汇水区域导出为 SWMM 的 inp 输入文件,经补充降雨雨型、排放口等信息,最终形成完整的 SWMM 模型文件,见图 4。



图3 研究区域的 AutoCAD 模型

Fig.3 Model of study area in AutoCAD

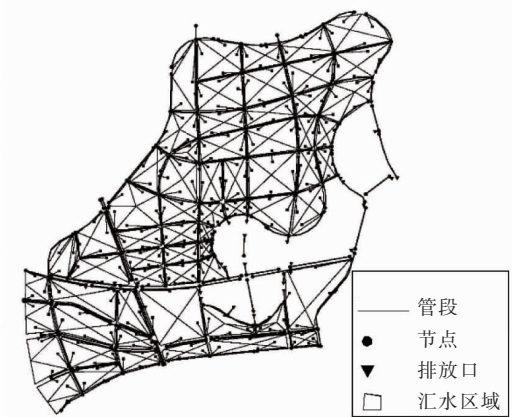


图4 研究区域的 SWMM 模型

Fig.4 Model of study area in SWMM

4 结论

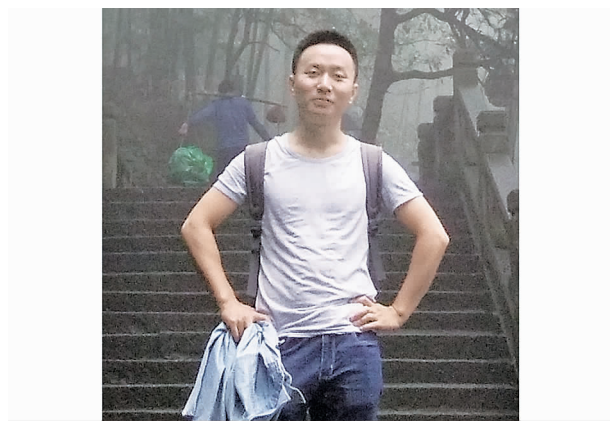
通过 C#语言二次开发 AutoCAD 构建 SWMM 水力模型的方法,具有如下特点:可在 AutoCAD 软件环境中对市政管道图纸进行拓扑检查;可在 AutoCAD 软件环境中交互式构建管段、节点并设置对应

属性;可实现在 AutoCAD 软件环境中划分汇水区域并设置汇水节点;可实现在 AutoCAD 软件环境中构建 SWMM 水力模型,避免了多个软件配合使用的繁琐。使用 SWMMTools 插件,只需少量额外操作,即可将市政排水管道 AutoCAD 图纸信息转换成 SWMM 水力模型,提高了雨水管理模型构建的效率和准确度。

本研究还存在不足和局限性,对于面积较大、管道较多的区域,使用 SWMMTools 插件构建 SWMM 模型仍需一定的工作量,尤其是在管道和节点属性的赋值过程中。若能采用批量识别标注信息及其对应的管段和节点,批量对管段和节点的属性赋值,虽然可能存在个别管段、节点属性赋值错误的情况,但仍可进一步提高 SWMM 模型的构建效率。同时,在 AutoCAD 软件环境中集成 SWMM 水力计算以优化雨水系统设计具有很好的应用前景。

参考文献:

- [1] 金溪,王芳. 排水管网有向图拓扑结构自动生成方法研究[J]. 中国给水排水,2016,32(5):119-122.
- [2] 赵冬泉,陈吉宁,佟庆远,等. 基于 GIS 构建 SWMM 城市排水管网模型[J]. 中国给水排水,2008,24(7):88-91.
- [3] 官奕宏,李述琰,吕谋,等. 基于鸿业市政管线 9.0 构建 SWMM 城市雨水管网模型[J]. 供水技术,2016,10(4):15-18.



作者简介:孙潭(1993-),男,湖南邵阳人,硕士研究生,研究方向为给水排水工程设计与运行最优化。

E-mail: honourablesuntan@sina.com

收稿日期:2017-06-21