

项目编号 S2016782

武汉大学大学生创新创业训练计 划项目科研总结

基于 GIS 集成技术和 SWMM 模型的 城市内涝研究

院（系）名 称：测绘学院

专 业 名 称 ： 测绘工程

学 生 姓 名 ： 赵 程 张启元 冯国龙

指 导 教 师 ： 赵前胜 讲师

二〇一七年三月

摘要

近年来，城市化速度大大加快，城市地面不透水面积不断增加，入渗和调蓄能力下降。此外，各类废弃物的排放，排水系统的老化，导致排蓄条件加剧恶化，在暴雨等极端恶劣的天气下，城市更容易产生洪涝灾害，造成人民生命财产的损失。

在我们生活的校园中，暴雨引起的校园内涝问题也长期困扰着学校师生。为了解决这一问题，项目组成员基于 GIS 技术和 SWMM 模型，以福建省龙岩市实际数据作为样本，对城市内涝深入研究，搭建一体化分析平台，并将研究成果推广应用到其他地区。为了使得研究成果落到实处，项目组成员正积极开展更深层次的研究，希望为校园内涝问题的解决贡献出自己的一份力量。

项目组共有成员 3 人，都来自武汉大学测绘学院测绘工程专业，其中一名成员是 14 级大地测量与卫星导航方向本科生，两名成员是摄影测量与遥感方向本科生。指导老师为测绘学院空间信息所副所长赵前胜，主要研究方向为地理信息系统空间分析、灾害评估。

一、选题背景

近年来，城市化的加快导致城市地面不透水面积不断增加，入渗和调蓄能力下降。而各类废弃物的排放，排水系统的老化，导致排蓄条件加剧恶化，在暴雨等恶劣的天气下，城市更容易产生洪涝灾害，造成人民生命财产的损失。与此同时，暴雨引起的校园内涝问题也长期困扰着学校师生，我们深有体会，希望能通过小组的研究对内涝的成因及解决有更深一步的了解。

本项目涉及到的知识领域正是申请者所擅长并努力学习钻研的领域，其中模型学习、编程实现、GIS 开发这些关键技术也正是我们所学习到的。在项目进行过程中我们借助 ArcMap 进行数据处理，运用 ArcGIS Engine 进行二次开发，由于掌握了地理信息系统相关课程的基础，软件及语言的学习难度也不大。此外，指导老师系武汉大学测绘学院空间信息研究所副所长，从事地理信息系统空间分析与灾害评估研究具有丰富经验，曾针对典型内涝城市福建龙岩市开展过类似项目，数据获取渠道方便，为项目的开展提供数据源基础。

二、项目分工

本项目组汇聚了具有良好专业知识、数学编程能力突出、实践探索能力强的三名同学。其中，负责人赵程同学具有较好的编程基础，多用 C#、C++、Python、MATLAB 等编程语言，实践创新能力强，具有领导团队的经验，主要负责程序的主体部分的编写以及修改；张启元同学编程能力强，能够使用 C++、C#，了解 java、VB 的基本用法，钻研能力强，主要负责水文学水动力学相关知识的学习、SWMM 模型的理论研究以及 ArcMap 中数据的处理；冯国龙同学具有一定编程能力，实践能力强，具有较强的文案能力，主要负责 GIS 数据处理、资料的查找、答辩 ppt 的制作等。申请报告书、中期报告书、结题报告书由全体成员共同撰写，数据的获取及处理由全体成员分工获取。

指导老师赵前胜老师给予了项目组技术上和数据上的支持，赵老师给我们提供了 SWMM 模型的用户手册、开源代码及开发接口，提供了龙岩地区的房屋、水系、道路、绿地等 GIS 数据文件，引导小组进行正确研发。此外，为了使得项目的进展更加的顺利，项目组成员至少每月都会与指导教师联系，通过交流解决上一阶段的问题，明晰下一阶段的目标。

三、项目创新点与特色

项目的创新点在于将 SWMM 对城市内涝详尽的水文水动力学模型分析与 GIS 强大的展示分析能力结合在一起。

在 EPA SWMM 模型中，数据的输入与属性设置是一个及其复杂的过程，当我们得到一个研究区域的地形图和相关管网数据、气象数据的时候，要将它们输入到 SWMM 模型中，首先跨平台地形图的导入相对繁琐，再者需要不厌其烦地更改各区域的属性，整个过程需要消耗大量的时间和精力；而从 EPA SWMM 模型中进行分析得到的结果来看，只能呈现出单一表格的数据分析，对比结果不直观。

针对该模型的以上缺陷，我们运用 ArcGIS Engine 在 .NET 环境下结合 SWMM 模型的开源接口对其进行二次开发，搭建一个能够更加直观输入、更清晰输出的平台，以福建省龙岩市为实例研究对象进行分析。在研究过程中我们运用到了 ArcGIS Engine 提供的多个可视化控件，如 ToolbarControl、TOCControl、MapControl 等控件，用于研究区域子汇水区、节点和管网的展示与分析；运用到了 SWMM 软件提供的开源动态链接库 swmm5.dll，不用深入了解各种水文水力学知识，直接调用相关的函数进行处理分析，降低了我们跨专业研究的难度；从程序的实现上来看，我们编写的窗体程序可用于直观显示研究区域的各种特性。

近年来，内涝问题一直深深地困扰着城镇区域的发展，同时也造成了相当大的经济损失。如果我们能够根据已有的城市地图数据、管网数据和未来气象数据，提前分析出城市雨涝的情况，便能提前做好预防和防护，甚至能在城市管网布设时提出一定的优化建议，那么内涝问题便能相应缓解。我们的科研项目，便是致力于此，希望能够借助 SWMM 模型与 GIS 技术，更直观地展示分析内涝成因，为城市建设与管理尽微薄之力。

四、项目实施的进展情况及初步取得的创新成果

小组成员对本项目的研究主要包括以下几个部分：

（一）SWMM 模型与 ArcGIS Engine 的学习研究

由于该模型涉及到较多的水文水利知识，小组成员利用 16 年暑期对 SWMM 模型的理论知识进行了学习研究，对其输入输出有了较全面的了解。

我们了解到，SWMM 模型所需要的原始数据有：研究区域子汇水面、节点、管网、降雨数据等，这些参数均可以在 SWMM 模型中设置，针对不同情况具体处理。

所有的输入参数均体现在一个 inp 文本文件中，运行模型后可以得到一个 rpt 文本报告文件和一个 out 二进制输出文件，其中：

1. inp 文件包括了描述研究面积的所有数据，以及用于分析的选项。文件以节组织，每一节通常对应于 SWMM 使用的特定对象类。

2. rpt 文件在每一次 SWMM 执行后创建，包含了关于执行结果的状态报告。不执行时输出错误信息列表，成功执行后，输出包含径流量和水质，流量和水质演变的质量连续误差等。

3. out 文件则是模型运行的主要输出和结果分析的主要来源，包含了来自成功执行 SWMM 的数值结果。为进一步结果展示和分析提供数据。

SWMM 模型为开源软件，由 C++ 开发而成，我们在它的开源程序包中找到了专门用于接口编程的 swmm5.dll 动态链接库，其中封装了很多 SWMM 模型的运行及分析函数，如 swmm_run、swmm_report 等，在调用过程中提供输入文件、报告文件和输出文件 3 个参数作为数据接口，可以进行二次开发。

关于 ArcGIS Engine 的学习,由于之前的地理信息系统课程中我们已经接触过 ArcGIS,对空间地理事物及其属性有一定的了解,在学习 AE 的时候也相对来说难度不是特别大。在 .NET 环境下,面向接口编程,AE 给我们提供了很多对地物操作的实用接口,可用于对 GIS 数据进行各项操作。

(二) SWMM 与 ArcGIS Engine 的结合(程序实现)

SWMM 模型与 GIS 集成方式成有松散集成、紧密集成和完全集成 3 种方式,这里我们采用 SWMM 的开源数据接口和 ArcGIS Engine Developer kit 组件式开发包相结合的方式,在 .NET 开发环境下用 C#进行开发,使用编程环境提供的控件以及 ArcGIS Engine 提供的 ToolbarControl、TOCControl、MapControl 等控件定制应用程序的界面,基于 COM 组件技术创建一个实现 GIS 基本功能的视图窗口应用。

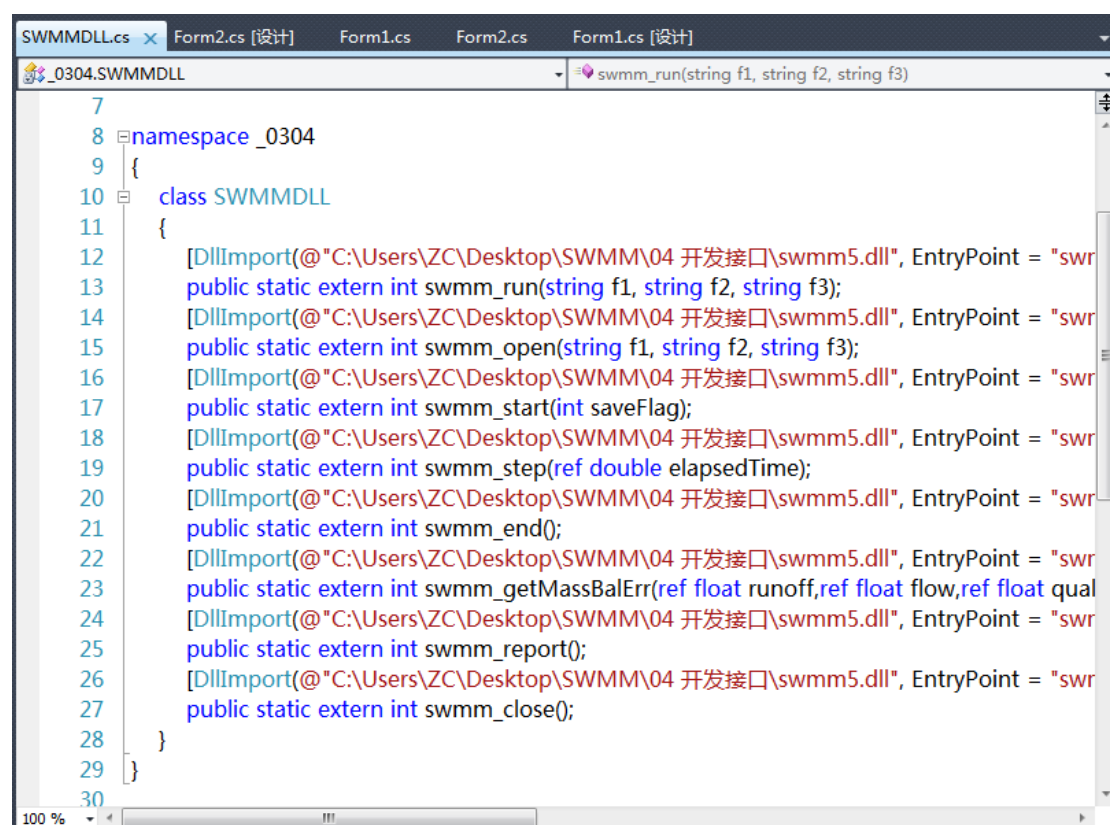


图 1 SWMMDLL 类

程序部分:关于跨语言调用动态链接库,用 C#调用 swmm5.dll,在这里我定义了一个 SWMMDLL 的类,可以调用 C++编写的该动态链接库中的各函数;窗体部分,我添加了 ToolbarControl、TOCControl、MapControl,分别表示 GIS 工具条、图层显示列表和主地图显示区域(图中显示为龙岩市城市房屋、道路和水系等要素),还有 SWMM 分析模块,可以输入 inp 文件,利用 swmm5.dll 进行运行分析,进而得到输出 out 文件,以图表的形式展示经过分析后的结果。下图为我们获取的龙岩市实际数据:(t1 铁路、sx 水系、ql 桥梁、ld 绿地、dlzxx 道路中心线、dlm 道路面、Buildings 房屋)

(三) 龙岩市数据处理与分析

小组成员依据城市建筑和区域自行划分了龙岩市的子汇水区,如下图:

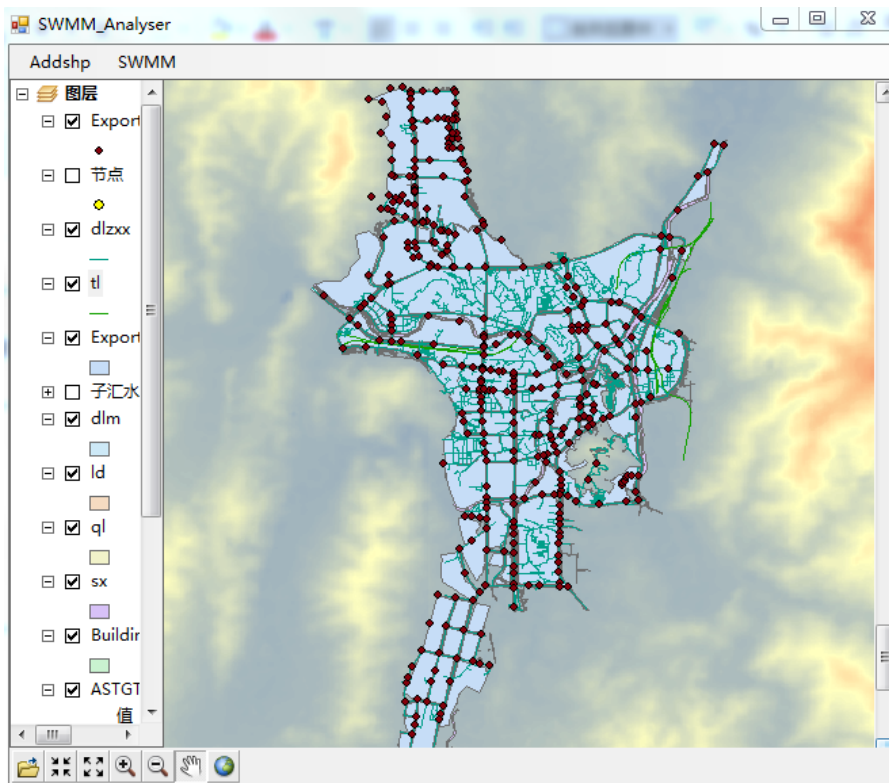
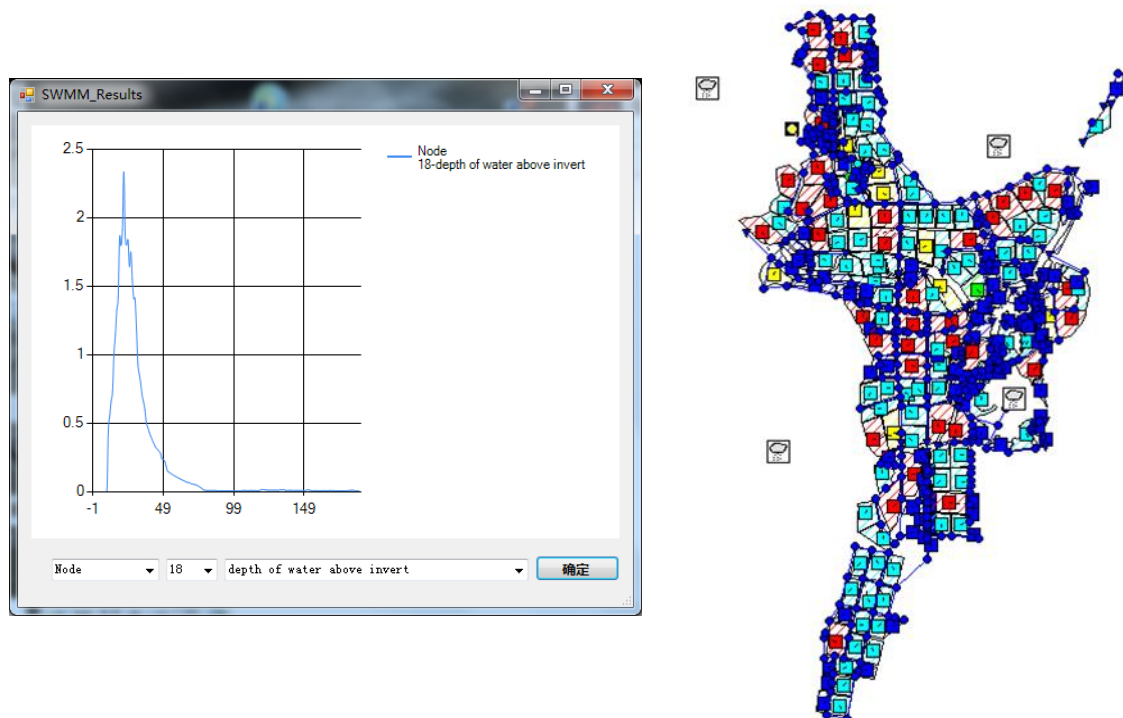


图 2 龙岩市的子汇水区窗体显示



我们选择了 48 小时分析，报告时长 15 分钟，渗入模型选择霍顿模型，验算模型选择动态波法，不允许存在积水。暴雨下在第 4、5、6 三个小时里，我们能观察到这三个小时内子汇水面的径流量，节点的总进流量，管段的流量或能力，分析是否超负荷，是否已经有内涝危险。

当停止降水时，我们以时间为参照，哪些地方排水迅速，哪些地方的内涝会加剧，管道内水流方向是否合理，排水是否最为高效，这些都能够直观反映在我们的运行结果里。

五、收获与体会

1. 赵程：

距离申请大学生科研项目不知不觉已经过去一年了，在这一年的科研经历中，有过迷茫，有过挫败，也有过豁然开朗，但最重要的事我实实在在学到了一些东西，令我欣慰。

由于是跨学科的科研项目，一开始总是令人迷茫，有关水利的知识，水文水动力学的理论方法，对于没有知识背景的我，真是挺有难度的。在大二的暑假我们花了好久才大概弄明白有关城市内涝，我们需要实际掌握的知识点，比如说子汇水区、节点、管网以及雨量计等等，这些都是 SWMM 模型构建的基础要素。为了弄明白这些，我仔细研究了 SWMM 中文网上的各种知识点，对于站主大瓜老师的视频也是反复琢磨，还专门加入了全国 SWMM 模型研究者的群，在里面可以问到很多相关的专家，直到把各对象要素的属性及用途弄清楚。还有 ArcGIS Engine 的学习，由于是面向接口编程，在其中涉及到大量的接口，用来引用各种各样的类库，也是在图书馆借了专门的书籍，仔细研读。

可是这些还仅仅是项目进行的开端，在我们能够正确地使用 SWMM 模型用示例数据独立地进行分析城市内涝后，如何把它跟 GIS 结合起来才是本项目的关键。于是编程便必不可少，由于 SWMM 是开源软件，由 C++ 编译而成，我们在老师给的资料库里找到了用于二次开发的 swmm5.dll 动态链接库，其中的核心运行函数完全体现了 SWMM 模型的设计核心。但是我们是使用 C# 进行编程，要跨语言进行动态链接库的引用着实费了我一般功夫，由于之前 C++ 的知识体系不全，底层一点的比如说托管代码和非托管代码我都不很懂，两种语言之间要进行调用，我查询了好多资料，才终于弄明白。在这个过程中，我首先是用 C++ 编写了应用 dll 的程序便于检验调用的正确性，后来再用 C# 编写相关的窗体，可以说极大地锻炼了我的编程能力，为此我很高兴。当编写出来的 C# 程序能够正确运行的那一刻，我真正体会到了豁然开朗的感觉。

程序编好了，但是项目却依然没有结束，而且正是到了最关键的时候。有关地理信息系统的科研，很大一部分要靠数据。福建省龙岩市，作为一个典型内涝城市，对其内涝的分析可以说相当有代表性。我们从导师赵老师那里得到了龙岩市的房屋、街道、水系等数据，用于城市内涝分析。这时候，ArcGIS 又一次派上了用场，加上我自己找到的 DEM 数据，我们在 ArcGIS 上对城市的子汇水区进行了划分，对城市的管网和节点进行了处理分析，运用 inpINS，一个神奇的可以把 shp 文件转化为 SWMM 输入文件的软件，生成龙岩市的城市雨涝输入文件，再用所编的软件对其进行分析。虽然数据处理的过程中我们依旧遇到了很多问题，但对我们运用 ArcGIS 又多了一次锻炼，可谓美哉。

虽然这次科研要结题了，但我相信，它带给我的我将用之不尽，我将在探索的知识的路途上永不停息。

2. 张启元：

在申请项目之前，我们对城市内涝深有体会，毕竟身在武汉。但内涝究竟是何产生，单凭报纸上的分析和专家们简简单单的结论，我们无法得到有说服力的结果，纸上得来终觉浅，我们希望能够自己探索出内涝的原因，也是这种刨根问底的精神使我们坚持到了最后。

选择龙岩市是导师的建议，因为分析一个城市的内涝比建立一个简单的数学模型困难得多，导师之前做过龙岩的内涝分析，他希望我们在这一年之内，不要浪费很多精力在收集数据上，而是专注于成熟的 SWMM 模型，希望我们把这个著名的内涝模型吃透，能够学有所用。

项目的难点在于 SWMM 接口的编程和 SWMM 水文参数的配置，当然我们经过一年的辛苦，最终攻克了所有的难点，最终完成了我们的初衷，我们能够量化的分析内涝的原因，分析内涝的发生地点和内涝强度，并能够对百年一遇，千年一遇的暴雨作出分析，预报城市涝灾。

在攻克这些问题过程中，我们学会了配置 swmm 接口，学会了 arcengin 的二次开发，学会了 arcgis 的使用方法，而且最重要的是，我们学会了用已经所学的知识去解决实际生活的问题，这对我们今后的科研生活有着启蒙式的影响，我们庆幸我们抓住了这么好的机会，也庆幸我们一路走来坚持到了最后，同时也为我们相互扶持，志同道合的团队合作感到骄傲，最后，我们将把最好的数据以及最完善的模型交给学校，对支持我们的学校和老师致以崇高敬意

3. 冯国龙:

时光如水，转眼间已经过了一年。

在最开始的时候，还是满怀豪情壮志，想着要做出很棒的成果，要很快的把它做出来。但是当我开始上手做它的时候，却发现要做的准备很多。比如说，我们的项目主要是关于城市内涝的，要想把这个项目做好，必须要具备一定的水文水利方面的知识，而我们此前完全没有接触过类似的知识；此外，我们需要自学 SWMM 软件，了解它的输入输出参数；还要学习 ArcGIS 软件，熟悉操作，学习基于 Arcengine 的二次开发等等。

由于这些知识实在枯燥，且之前没有任何基础，我很快就丧失了耐心，所幸队员们的鼓励，让我重拾信心，开始了磕磕撞撞的学习，现在想起来，那段时间我能坚持着、克服自己的惰性，去看一个完全陌生而且枯燥的东西，真是想为自己点个赞。与此同时，也为之前自己浪费那么长的一段时间而感到惋惜。这也让我明白了，有时候击败一个人的不是他是否聪明，而是他是否有毅力，是否耐得住寂寞。

经历了大约半年的学习，包括上网查找资料、看相关视频、咨询老师等等，我们终于开始实质性地推进项目。由于我编程能力薄弱，因而我负责的主要是数据的获取，例如子汇水区的划分，节点的选取；此外，还做一些文案类的工作，比如做 ppt。实在是很庆幸，队里有两位大神，在做这个项目的过程中，也得到了他们的许多指导。而在后半段的时间里，我也深刻的懂得了凡事要提早做准备、艺多不压身的道理，比如编程能力我就应该好好提升，比如放在项目的时间我就应该好好安排。

如今，这个项目已经到了尾声，只余一些收尾的工作。回首之前与这个项目相关的时间，发现并不是很多，我感到惭愧，也深感自己的不足，需要提高的地方还有很多。而这也是我后面的时间里需要补充的东西。