

滴灌系统 CAD 管网布置模型及应用

邱象玉, 王福军^{*}

(中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘要: 分析了滴灌系统田间管网布置的特点, 提出了用于滴灌系统 CAD 的管网布置模型, 并借助通用软件包二次开发的方法, 建立了基于这一模型的管网布置算法 (PIPE 算法)。该算法包含了管网逻辑单元的移位、求交、属性数据操作等基本特征。应用该模型及相应的算法, 可以在 CAD 支撑软件中完成灌溉管网的 CAD 二次编程, 从而生成可定制的可视化人机交互环境, 实现滴灌管网各种形式的快速布置, 提高滴灌系统规划设计的效率。该研究结果对其他灌溉方式管网布置也具有一定的借鉴作用。

关键词: 滴灌系统; 管网布置算法; 计算机辅助设计; 二次开发

中图分类号: S275.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-8-0010-05

邱象玉, 王福军. 滴灌系统 CAD 管网布置模型及应用[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 10-14.

Qiu Xiangyu, Wang Fujun. Piping model in a CAD system for the design and application of drip irrigation system[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 10-14.(in Chinese with English abstract)

0 引言

现有的滴灌系统田间管网布置, 大多结合通用 CAD 支撑软件 (如 AutoCAD) 进行交互式计算机辅助绘图。与以往手工设计相比, 这虽然在一定程度上提高了设计效率, 但在工程应用中存在一些明显不足: 1) 通用软件包虽然具有很强的制图功能, 但在管网的计算、分析、优化等方面功能较弱, 仅靠绘图无法更好地辅助设计者进行工程设计; 2) 前期灌溉规划设计参数的变动以及水力计算结果的修正, 需要不断对管网布置进行调整甚至重新设计, 而通用软件包辅助绘图方式效率低, 很难达到工程设计要求。因此, 工程上迫切需要开发出功能完善、适用性强的滴灌专业 CAD 软件。

对于滴灌管网布置 CAD 专业软件的开发可按两种思路进行: 第一种是从底层开发独立的管网布置模型, 而不借助于其他平台或者软件包; 第二种思路则是以一些功能较完善的图形绘制软件包作为支撑平台, 进行模型的二次开发。第一种思路专业性强, 绘图环境、绘图工具等可以按照专业技术标准定制, 但开发工作量大, 尤其是要开发大量与灌溉 CAD 无直接关系的通用图形编辑模块。这种方式往往很难生成像 CAD 通用软件那样灵活方便的图形处理模式。目前国外有些灌溉 CAD 软件, 如新西兰 IRRICAD^[1], 以色列的 WCADI^[2]等, 是基于这种思路开发的。而第二种思路充分发挥通用 CAD 支援软件

已有的功能, 特别是图形编辑功能, 简化了模块的开发难度, 缩短了开发周期, 其主要缺点是开发者需要对通用支撑软件的二次开发模式有全面掌握, 同时用户需要购买通用支撑软件的版权。但这种模式目前已成为专业 CAD 软件开发的通用模式, 如 2001 年, John 等^[3]利用二次开发技术建立了污水灌溉 CAD 系统; 2005 年, Sohag 等^[4]开发了基于 AutoCAD 平台的灌溉管网优化调节 CAD 系统。国内也有单位采用这种模式开发了灌溉 CAD 软件, 如 2001 年, 武汉大学的严雷等^[5]开发了基于 AutoCAD VBA 接口的 CAD 模型, 采用人机交互问答的方式实现了喷灌管网“丰”字形布置方式的辅助布置, 但是对于其他管网布置形式没有考虑。2003 年, 张学锋、何浩等^[6]研究了基于 AutoCAD 平台的喷灌管网布置模型, 采用几何推算法^[7]实现了喷灌系统中各种管网布置形式的快速布置。然而滴灌系统与喷灌系统管网布置存在很大差异, 滴灌管网系统相对复杂、繁琐, 而且管网布置形式也不尽相同, 因而该布置模型不能被滴灌所采用。因此为了提高滴灌管网设计效率, 对于计算机辅助设计的滴灌管网布置模型的研究是十分必要的。

本文的目标是对现有的滴灌系统管网布置规划设计方法进行改进, 以滴灌系统为研究对象, 结合滴灌系统管网布置形式的特点, 研究基于 AutoCAD 平台^[8]的滴灌系统计算机辅助设计管网布置模型, 从而提高目前滴灌系统田间管网布置的效率。

1 田间管网布置的物理模型

滴灌系统的田间管网基本上呈“树枝状”, 一般呈丰字形或梳子形布置, 而滴灌系统中毛管和灌水器的组合方式可以归纳有 3 种, 见图 1 所示。

针对上述各种布置形式, 滴灌系统田间管网可以归纳为如图 2 所示的典型布置单元: 田间管网按丰字形布置, 而毛管灌水器组合方式采用单行毛管直线布置。

收稿日期: 2007-11-26 修订日期: 2008-04-21

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划 (NECT-04-0133); 国家 863 计划 (2006AA100212)

作者简介: 邱象玉 (1979-), 男, 新疆玛纳斯人, 博士生, 主要从事流体机械与排灌设备研究。北京 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083。Email: xyqiu2008@gmail.com

*通讯作者: 王福军 (1964-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事流体机械 CAD/CAE 方面的研究。北京 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083。Email: wangfj@cau.edu.cn

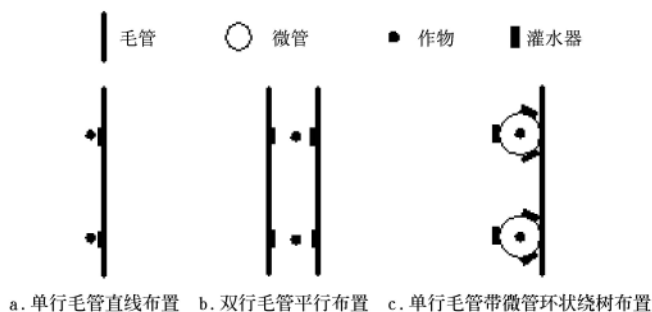


图1 滴灌系统毛管灌水器组合方式示意图

Fig.1 Layout style of laterals and emitters in drip irrigation

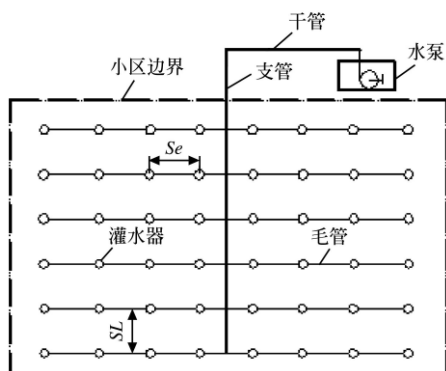


图2 滴灌田间管网典型布置单元示意图

Fig.2 Typical layout Unit of drip irrigation pipe network

图 1、图 2 所示的物理模型归纳有如下特点: 1) 对于图 1 中的三种组合方式, 方式 a, 毛管和灌水器的相对位置受毛管间距 SL 、灌水器间距 Se 以及首个灌水器到毛管的距离约束, 而末端灌水器的位置受毛管末端到小区边界的距离 Sm 约束。方式 b 与 a 的不同在于, 毛管相对位置约束条件中的毛管间距不同, 方式 b 通过毛管宽窄行间距来约束, 其他与方式 a 相同。方式 c, 与方式 a 的不同在于灌水器的布置形式不同, c 中增加了微管, 而且灌水器均匀布置在微管上, 而不是布置在毛管上, 因此通过微管间距以及微管上灌水器的个数约束灌水器的相对位置, 毛管的位置约束条件与方式 a 相同。2) 对于图 2 所示的典型布置形式, 毛管垂直支管双侧布置, 毛管的相对位置受毛管间距 SL 约束, 灌水器的相对位置受毛管间距 SL 、灌水器间距 Se 以及首个灌水器到毛管的距离 ($Se/2$) 约束, 支管具体位置可以根据地势来计算确定。对于梳子形布置方式, 与典型布置方式的不同在于, 梳子形毛管沿支管单侧布置。

2 PIPE 模型系统结构及算法

针对上述物理模型, 本文构造了一种基于 CAD 通用支撑软件的滴灌管网布置 CAD 模型——PIPE 模型, 相应的算法定义为 PIPE 算法。这里给出的 PIPE 模型基于 AutoCAD 平台, 结合 ObjectARX 二次开发工具^[9], 利用 VC++ 编译环境进行二次开发, 其模型系统结构见图 3。

模型中系统平面图形实体的绘制主要依据本文提出的 PIPE 算法原理来实现, 利用 Excel 电子表格创建了管

件、灌水器等材料数据库, 通过对电子表格文件的读取来实现材料库的调用。前期规划结果数据与模块的交互主要采用 VC-MFC^[10]对话框来实现。实体的位置信息、材料信息等属性数据是利用 AutoCAD 二次开发中的扩展数据机制^[11]添加在平面实体上, 因此可以通过属性数据的添加、读取、修改操作来实现与水力计算模块的数据接口。下面将详细介绍 PIPE 算法绘图原理, 以及算法所包含的管网逻辑单元移位、实体求交、属性数据操作等关键技术。

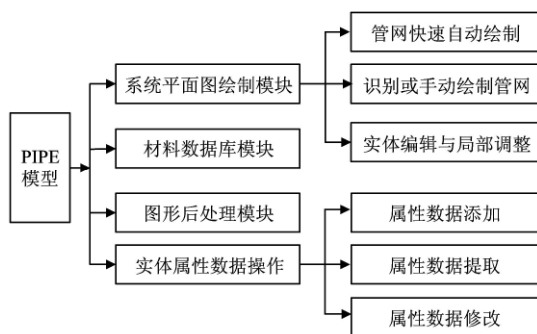


图3 PIPE模型系统结构

Fig.3 System structure of PIPE model

2.1 PIPE 算法原理

PIPE 算法从上述物理模型的特点出发, 利用管网图形实体间的位置逻辑关系, 根据前期规划的设计结果、已知实体位置点的信息等, 通过实体移位、求交、属性数据添加、提取等操作, 计算实现其他未知实体的相对位置信息, 并最终通过各种自定义封装函数来实现管网图形的绘制。以图 2 中滴灌系统田间管网典型布置形式为例, PIPE 算法描述如下:

PIPE 算法描述:

已知: 小区边界实体 ent; 小区内两点 A,B (首条毛管上的两点); 毛管后续绘制方向 CC0; 前期规划毛管灌水器选型参数以及布置参数 SL 、 Se 、 Sm 等。

求: 各实体所在位置数组, 如支管 Submain[m]、毛管 Lateral[n]、灌水器 Outlet[x][y]。

定义: N 为毛管与 ent 的交点个数, P[t] 为支毛管交点构成的点数组, 符号 “ \ominus ” 表示调用相关绘制实体封装函数绘图, “ \Rightarrow ” 表示移位, “ \oplus ” 表示实体求交, “ \in ” 表示判断属于。

输入: ent, SL , Se , Sm ; 点 A,B; 灌水器, 毛管选型结果

输出: 实体位置数组 Submain[m], Lateral[n], outlet[x][y]

Begin

(1) /*确定首条毛管位置*/

ent \oplus AB /* 求交, 得交点 A',B' */

A',B' \Rightarrow A",B"; A",B" \ominus Lateral[0]

(2) /*将 A,B 沿 C0 向移位, 循环确定后续毛管组*/

for i=1 to MAX do

A,B \Rightarrow A1,B1

ent \oplus A1B1 /*得交点 Ak, Bk, 交点个数 N*/

```

(i) if N=2 then Ak,Bk  $\Rightarrow$  Aj,Bj
    Aj,Bj  $\ominus$  Lateral[i]
    A=A1, B=B1 endif /*将点移位*/
(ii) if N!=2, n=i; break /*循环结束条件*/
endfor
(3) /*根据地势,计算确定支管*/
     $\ominus$  Subamin[m] //调用封装函数绘制支管
(4) /*循环遍历求支毛管交点*/
    for k=0 to n do
        for i=0 to m do
            Lateral[k]  $\oplus$  Submain[i] /*求交, 得交点数组 P[t]*/
            t=k
        endfor
    endfor
(5) /*循环移位各交点 P[k], 确定灌水器位置*/
    for k=0 to n do
        for i=0 to t do
            /*移位交点 P[k], 确定灌水器位置*/
            P[i]  $\Rightarrow$  O[k][0], O[k][0]  $\ominus$  Outlet[k][0]
            for j=1 to MAXOUT do
                O[k][j-1]  $\Rightarrow$  O[k][j]
                if O[k][j]  $\in$  lateral[k] then
                    O[k][j]  $\ominus$  Outlet[k][j]
                else u=j+1 break
            endfor
        endfor
    endfor
End

```

End

算法分析: 当算法执行移位“ \Rightarrow ”操作时, 算法中的 A',B' \Rightarrow A,B 以及 Ak,Bk \Rightarrow Aj,Bj 的移位间距为 S_m , 算法第 (2) 步中 A,B \Rightarrow Ai,Bi 循环移位的单位移位距离为 $(SL+i \times SL)$, 算法第 (5) 步中 P[i] \Rightarrow O[k][0] 的移位距离为 $(Se/2)$, O[k][j-1] \Rightarrow O[k][j] 的循环移位单位距离为 Se 。O[k][j-1] \in Lateral[k] 操作为判断灌水器的圆心点是否在毛管上。A,B \ominus Lateral[0] 操作为利用已定义的封装函数执行绘制毛管操作, 并添加相应实体扩展数据, 其他绘制支管、灌水器操作类似。

2.2 各种田间管网布置形式的 PIPE 算法实现

上述介绍的 PIPE 算法是一种通用算法, 而对于不同的布置方式算法有所改变。如对于图 1 中的各种毛管灌水器组合方式, 方式 b 在执行算法时, 第 (2) 步中 A,B \Rightarrow A1,B1 循环移位时的单位移位距离由于毛管间距的宽窄行而不同, 假设窄行间距 SL_1 , 宽行间距 SL_2 , 当 i 为偶数时 (宽行), 单位移位距离为 $((SL_1+SL_2) \times (int)(i/2))$, 当 i 为奇数时 (窄行), 单位移位距离为 $(SL_1 + (SL_1+SL_2) \times (int)(i/2))$, 其他步骤一样。对于方式 c, 与方式 a 的不同之处在于执行 O[k][j] \ominus Outlet[k][j] 操作时定义的绘制灌水器封装函数不同, 其他与方式 a 相同。

2.3 PIPE 模型关键技术分析

与传统的管网布置方法相比, PIPE 模型体现了快速自动化布置的特点, 利用实体间的几何位置关系推算各实体的相对位移, 并动态链接 AutoCAD 的内部绘图命令快速实现各种图形的绘制。而且模型生成的图形实体带有定义的各种材料、地形等属性数据信息, 从而为后续水力计算读取图形实体数据提供了有效接口。其中移位、实体求交、属性数据操作是模型实现的难点, 下面将逐一详细介绍。

2.3.1 移位

移位是指根据已知点的位置信息, 按一定方向移动一定距离后的求得未知点的位置信息的操作。移位是算法模型的关键技术之一, 在实体遍历以及确定管件、灌水器实体相对位置时普遍应用到此技术。移位“ \Rightarrow ”操作是通过封装函数 acutPolar() 实现的, 该函数定义如下:

```
void acutPolar(const ads_point pt,ads_real angle,
ads_real dist,ads_point result)
```

该函数根据极坐标的方式返回一个点, 这个被返回的点 result 距离已知点 pt 为 dist, 它与点 pt 的连线与 X 轴方向的夹角为 angle。如要实现算法第 5 步中的 P[i] \Rightarrow O[k][0] 操作, 可以通过调用语句 acutPolar(P,0, Se/2,C) 实现; 其中 P 点为支毛管交点, C 点为首个灌水器位置点, “0” 表示偏移方向角度为零弧度, Se/2 为偏移的距离。通过此函数即可实现移位操作, 其他移位操作原理一样。

2.3.2 实体求交

实体求交是判断两实体是否有实际交点以及交点的个数, 若有交点则通过实体求交获得任意两个实体的实际交点。算法中的第 4 步 Lateral[k] \oplus Submain[i] 支、毛管实体求交操作, 定义了封装函数 pointintersect() 实现, 该函数的详细定义及其关键代码如下:

```
int pointintersect (ads_name ent1,ads_name
ent2,ads_point pt,int * num)
```

该函数定义了两个实体类型 ent1、ent2; 一个点数组 pt, 以及一个整型数据 *num。通过该函数, 获取两个实体 ent1、ent2 的实际交点赋值给点数组 pt, 以及交点个数赋值给 *num。

2.3.3 属性数据操作

管网布置模块并不是独立存在的, 它与前期规划以及水力计算有着密切的联系。管网布置的设计方案直接影响水力计算, 而水力计算的结果又对管网布置进行不断的较核、补充和完善。因此有效地将管网布置与水力计算部分相联系是十分必要的。通过数据接口的建立可以将两个模块有机的连接在一起, 从而使管网布置结果可以方便的为水力计算所用, 而 PIPE 模型中与水力计算数据接口的建立是通过一系列对属性数据的操作来实现的。

通过模型生成的系统平面实体, 如管件、灌水器实体, 不仅包含图形数据, 还包括模型定义的其他非图形数据。为此模块专门设计了实体数据结构体用来保存

实体数据，以管道结构体为例，定义如下：

```
struct stru_pipe{    //为管道所定义的数据结构体
//实体标记类型数据
char entity_flag[32]; //可取 lateral,submain,mainpipe
//材料信息数据
charcode[64];    //实体在材料库中的描述：如“北京
绿源公司 PVC 管”
double diameter_interior; //管内径
double pressure;    //管允许压力
//实体位置数据
double start;    //管道起点坐标
double start_high; //管道起点高程
//水力计算相关数据
double start_pressure; //起点处的计算压力；
double start_flowrate; //起点处的计算流量；
.....    //其他省略
};
```

这些数据信息对于后续的水力计算是非常重要的，例如如何保存管件的流量、压力数据，如何从图形实体中获取实体材料相关信息等，都涉及到实体属性数据的提取和交换，封装了专门的数据接口，以实现与水力计算的数据接口。该数据接口通过一系列自定义提取、保存、修改实体属性数据封装函数实现。如提取属性数据封装函数：

```
int get_entity_data(ads_name ent,struct_pipe *pipe0);
```

该函数定义了两个参数：第一个是 `ent` 指定的管件实体，第二个是前面已经定义的管件实体的专用数据结构 `stru_pipe`，通过链表循环操作，逐个提取该管件结构体中的数据，从而完成管网图形实体属性数据的提取操作。另外定义了属性信息添加函数 `add_entity_data(ads_name ent,struct_pipe *pipe0)` 和修改函数 `modify_entity_data(ads_name ent,struct_pipe *pipe0)`，这两个函数的原理和提取封装函数一样都是对结构体链表进行循环操作，逐个添加数据或修改数据。

3 算 例

按照上述的 PIPE 算法原理以及管网布置步骤进行编程，建立了滴灌系统小区管网布置模型，该模型以前期规划设计数据结果为基础，通过智能化交互布置形式快速实现小区管网的布置。在管网布置模型运行前，需要已知前期规划的一些相关设计结果。表 1 显示了前期规划模型设计及选型结果数据结构，该结果对管网布置形式以及支毛管的材料、型号等作了初选，并且已经对小区进行可划分，确定了各小区的管网布置形式。模型中通过 VC-MFC 人机交互对话框形式实现前期规划设计结果的传递。

通过调用 AutoCAD 平台下开发的各级管网布置菜单命令，来实现管网的高效、快速布置。这里以图 4 所示香梨滴灌工程为例进行管网布置，假设前期规划已经完成，各布置参数已经确定（选型结果及布置参数见表 1）。该地块位于新疆库尔勒市 30 团，共划分 3 个灌区，灌区

总面积 9.07 hm^2 ，作物为库尔勒香梨。首部位于 3 个地块中部，地势东北高、西南低，详见图 4 中的地形图信息，其他灌区详细资料见文献[12]。

表 1 前期规划模型设计结果

Table 1 Design results of irrigation preliminary planning model

项目名称	参数结果
作物种类	香梨
毛管灌水器组合形式	单行毛管带微管环状绕树布置
支管类型	河北宝硕公司 PVC 管 $\Phi 75(0.4\text{MP})$
毛管类型	DLF 非补偿型滴灌带 DLF-6-100
灌水器种类	柱状迷宫式非补偿灌水器
灌水器流量公式	$q=2.0119h^{0.4817}$
微管上灌水器个数/个	3
毛管间距/m	5
首个微管到毛管首端距离/m	1.5
代表微管圆半径/m	0.5
毛管末端到小区边界距离/m	1
支毛管布置形式	丰字形
作物种植方向	南北向
地形图信息	已知（见图 4）
小区	已划分

点选管网布置菜单命令后出现人机交互对话框见图 5，可以通过对话框对各参数进行调整，这里系统自动将前期规划数据结果作为默认参数。其中代表微管圆的半径，系统默认为 0.5 m，由于微管对水力计算结果影响很小，所以管网布置模型中不对其做具体要求，系统将其管材默认为毛管同一类型。最终参数选型结果见图 5。

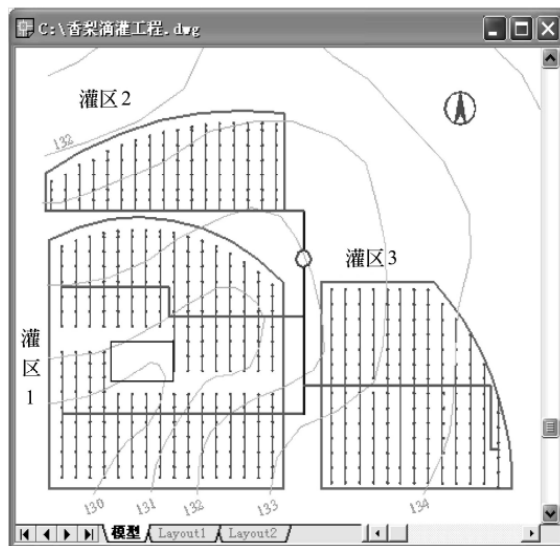


图 4 PIPE模型管网布置结果示意图

Fig.4 Design example of PIPE model

选择了管路材料、灌水器类型，以及设置了各布置参数后，点击“OK”按钮即可按PIPE算法原理开始人机交互管网图形自动布置。根据所给的条件和参数，对灌区1、3采用固定式丰字形布置，灌区2采用固定式梳子形布置，最终布置结果见图4。这里毛管灌水器组合形式采用单行毛管带灌水器环状绕树布置，见图1c布置形式。

图5 PIPE模型参数设置对话框

Fig.5 Parameter settings interface of PIPE model

与传统的采用通用软件辅助绘图方式相比,该管网布置模型具有以下两大优点:

- 1) 效率高、管网绘图速度快。上述设计实例可在 3 min 内完成,从而大大提高了管网布置效率。
- 2) 调整、修改性强。布置形式及管件、灌水器等材料类型可以随时通过人机交互方式修改(见图 5),使管网布置结果的实时调整、修改成为可能。

另外将高程、管材选型结果等属性数据信息与管网图形相结合,从而可以直接从图形上提取相关数据,为后续的管网水力计算奠定了基础。

4 结 论

以通用软件包 AutoCAD 作为技术平台,深入研究了滴灌管网布置的 CAD 模型,并采用 AutoCAD 二次开发的思路构建了相应的 PIPE 算法,应用实践表明,该模型及相应的算法具有以下特点:

1) 可快速实现滴灌系统田间管网丰字形、梳子形以及多种毛管灌水器组合形式的管网布置。

2) 充分利用 CAD 数据接口技术,将滴灌系统前期规划、管网布置以及水力计算等各部分合理连接,大大提高了滴灌系统规划设计效率。

该模型及算法的设计思想对其他灌溉管网布置的研究具有借鉴作用。

[参 考 文 献]

- [1] Graham H, Peter C. IRRICAD-computerized irrigation design[J]. Irrigation and Drainage Division of the ASCE, 1993, 1(3): 835—841.
- [2] Carion P, Tarjuelo J M. SIRIAS:a simulation model for sprinkler irrigation[J]. Irrig-sci. Berlin, W.Ger: Springer Verlag, 2001, 20(2): 73—84.
- [3] Hu X D, Pigram J. Computer-aided design of effluent irrigation[J]. Environmental Modeling and Software, 2001, 16(1): 47—52.
- [4] Sohag M A, Mahessar A A. Irrigation network regulation through CAD system[J]. Proceedings of 1st International Conference on Information and Communication Technology, ICICT 2005, 2005, 5(1): 170—175.
- [5] 严 雷, 罗金耀, 陈大雕. 管道式喷灌系统 CAD 软件的研究[J]. 节水灌溉, 2001, (3): 11—12.
- [6] 张学锋, 何 浩, 王福军等. 图形开发技术在喷灌 CAD 中的应用[J]. 节水灌溉, 2003, (4): 53—57.
- [7] 张学锋. 喷灌工程 CAD 系统管网布置模块研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003:13—25.
- [8] 陈 猛, 刘保嘉. AutoCAD 二次开发技术与实例[J]. 现代计算机, 2000, (10): 72—75.
- [9] 杜 刚, 刘东学, 张 磊. 基于 ObjectARX 的 AutoCAD 二次开发及应用实例[J]. 机械设计与制造, 2004, 4(3): 30—31.
- [10] 张继兰, 宿永利, 张志佳. 基于 MFC 和 ARX 的 AutoCAD 二次开发研究[J]. 机械设计与制造, 2006, 7(6): 125—126.
- [11] 李长勋. ObjectARX 程序开发技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [12] 顾烈烽. 滴灌工程设计图集[M]. 北京: 水利水电出版社, 2005.

Piping model in a CAD system for the design and application of drip irrigation system

Qiu Xiangyu, Wang Fujun^{*}

(College of Water Conservancy and Civil Engineer, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The characteristics of pipe network for drip irrigation system are analyzed. A computer model for the design of pipeline drip irrigation system is presented. Based on the extended application of AutoCAD software, a new numerical method, namely PIPE algorithm, is introduced, which contains translocation, intersection, attribute data operation, and other basic features. Using the model and the PIPE algorithm, various forms of pipe network can be set rapidly. The results demonstrate that the model is effective, and can be used to direct developing of computer-aided software for other irrigation system.

Key words: drip irrigation system; pipe network algorithm; computer-aided design; secondary development