

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.03.005

# 立交孪生设计方法应用研究

徐子超,胡方健

[上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200125]

**摘要:** 互通立交设计需要设计人员具有大量的设计经验和知识储备,同时互通立交设计工作量极大。通过介绍一种基于匝道平面图形模板的立交孪生自动化设计方法,快速完成两条主路交叉口下的立交布线工作。结合基于此方法开发的辅助设计软件,实现立交平面自动定线功能,验证了该方法的合理性与可操作性。

**关键词:** 互通立交;立交设计;立交孪生

中图分类号: U412.35+2

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)03-0017-03

## 0 引言

在公路与城市道路设计中,互通立交设计一直是道路设计中的重点难点所在。一方面立交设计需要设计人员具有大量的设计经验和知识储备,经过多个项目的磨练才能胜任;另一方面各立交匝道间彼此相互影响,修改时工作量巨大,牵一发而动全身。

传统的立交设计方式为设计师根据立交节点交通功能、建设条件等控制因素,确定立交整体形态后基于道路辅助设计软件(EICAD、纬地等)在 AutoCAD 中依次绘制各条匝道,最终完成整个立交的绘制。基于此种设计思路,部分设计院及咨询公司<sup>[1-3]</sup>提出了立交线形设计方法。但立交形态众多,以上设计方法无法实现多种立交形态下立交的自动布线功能。

为解决以上问题,结合立交设计方法和计算机程序开发思路,提出一种基于匝道平面图形模板的立交孪生自动化设计方法。应用基于此设计方法开发的上海城建院互通立交设计系统,完成两条主路交叉口下的立交布线工作。

## 1 立交孪生设计方法

### 1.1 总体思路

立交孪生软件总体思路如下:建立若干包含立交线形的基本信息表;编制道路路线绘制程序;读取多个立交设计方案并存储为模板;识别设计条件;调

用立交模板;根据设计条件放样立交模板形成实例。

### 1.2 立交信息表生成

立交孪生设计方法所需信息表由以下信息表组成:立交匝道信息表 TTABLE;道路线形的基本图元信息表 IFTABLE;单匝道路线形模板及状态信息表 STTABLE。

#### 1.2.1 立交匝道信息表 TTABLE

立交匝道信息表以矩阵形式对 8 条立交匝道信息进行存储。信息表包含匝道名称、匝道类型以及是否设置此条匝道,见图 1。

匝道名称	匝道右转形态	匝道左转形态
ES	$i_{ik}$	$U_{ik}$
EN	$i_{ik}$	$U_{ik}$
SW	$i_{ik}$	$U_{ik}$
SE	$i_{ik}$	$U_{ik}$
WS	$i_{ik}$	$U_{ik}$
WN	$i_{ik}$	$U_{ik}$
NW	$i_{ik}$	$U_{ik}$
NE	$i_{ik}$	$U_{ik}$

图 1 立交匝道信息表

#### 1.2.2 道路线形的基本图元信息表 IFTABLE

道路线形的基本图元信息表以矩阵形式对各条匝道的基本图元信息(直线、圆曲线、缓和曲线)进行存储。信息表中包含各基本图元的起终点坐标信息、长度、排列组合顺序,见表 1。

#### 1.2.3 定义匝道线形组合

常规单匝道共包含 4 种常用类型,即右转匝道、左转苜蓿叶形匝道,左转涡轮式匝道,左转直连式匝

收稿日期: 2023-06-20

作者简介: 徐子超(1996—),男,硕士,助理工程师,从事道路设计工作。

表1 基本图元信息表

序号	名称	关键参数1	关键参数2	关键参数3	关键参数4	关键参数5	关键参数6	关键参数7	关键参数8	关键参数9	关键参数10
1	$i_{jk}$	$u_{jk}$	$v_{jk}$	$m_{jk}$	$n_{jk}$	$o_{jk}$	$p_{jk}$	$q_{jk}$	$r_{jk}$	$s_{jk}$	$t_{jk}$
2	$i_{jk}$	$u_{jk}$	$v_{jk}$	$m_{jk}$	$n_{jk}$	$o_{jk}$	$p_{jk}$	$q_{jk}$	$r_{jk}$	$s_{jk}$	$t_{jk}$
3	$i_{jk}$	$u_{jk}$	$v_{jk}$	$m_{jk}$	$n_{jk}$	$o_{jk}$	$p_{jk}$	$q_{jk}$	$r_{jk}$	$s_{jk}$	$t_{jk}$
4	$i_{jk}$	$u_{jk}$	$v_{jk}$	$m_{jk}$	$n_{jk}$	$o_{jk}$	$p_{jk}$	$q_{jk}$	$r_{jk}$	$s_{jk}$	$t_{jk}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

注: $i_{jk}$ 为直线、缓和曲线、圆曲线; $u_{jk}$ 为直线、缓和曲线、圆曲线起点X坐标; $v_{jk}$ 为直线、缓和曲线、圆曲线起点Y坐标; $m_{jk}$ 为直线、缓和曲线、圆曲线终点X坐标; $n_{jk}$ 为直线、缓和曲线、圆曲线终点Y坐标; $o_{jk}$ 为缓和曲线、圆曲线圆心点X坐标; $p_{jk}$ 为缓和曲线、圆曲线圆心点Y坐标; $q_{jk}$ 为缓和曲线、圆曲线半径; $r_{jk}$ 为缓和曲线、圆曲线弧长; $s_{jk}$ 为缓和曲线方向值; $t_{jk}$ 为缓和曲线、圆曲线特征半径标记。

道。该设计方法需要对常见单匝道线形组合预先定义。各匝道常用组合形式见表2。

表2 匝道线形组合

编号	组合形式
右转匝道	边界起点辅助线-缓和曲线-圆曲线-缓和曲线-边界终点辅助线
左转苜蓿叶形匝道	边界起点辅助线-缓和曲线-圆曲线k-缓和曲线-边界终点辅助线
左转涡轮式匝道	边界起点辅助线-缓和曲线-圆曲线-缓和曲线-缓和曲线k1-圆曲线k-缓和曲线k2-缓和曲线-圆曲线-缓和曲线-边界终点辅助线
左转直连式匝道	边界起点辅助线-缓和曲线-圆曲线-缓和曲线-边界终点辅助线

注:不排除其他能连接的各类匝道线形组合。

1.2.4 状态信息表 STTABLE

状态信息表 STTABLE 以矩阵形式对每根匝道的边界条件信息进行存储。信息表包含边界起终点位置、方向、定位距离、偏置距离与辅助线、特征圆位置与半径。

以右转匝道为例,图2为右转匝道状态信息表中所储存的全部信息示意图。

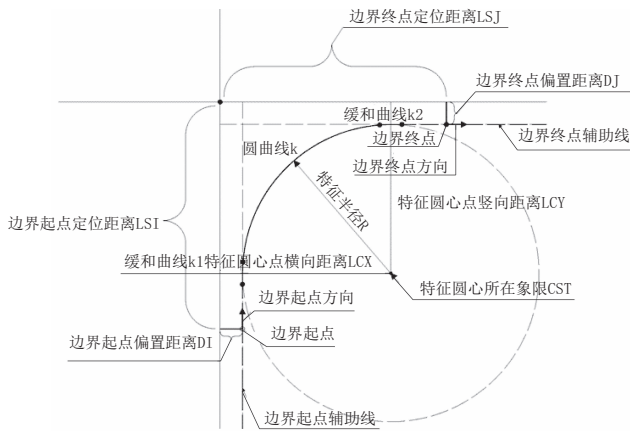


图2 状态信息表各参数示意图

1.3 存储样本形成案例库

设计人员根据已有立交平面,在图形中依次点击各条匝道图形,并由程序对关键参数依次拾取,共包括两条主线与8条匝道。

各匝道信息被拾取后按顺序存入前文定义的信息表中,并保存为模板。模板内信息能被设计规范限值约束。具体流程见图3。

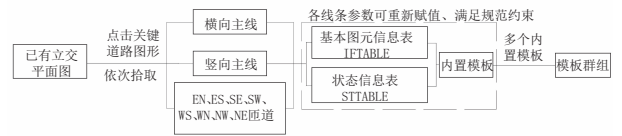


图3 立交样本案例存储过程

识别完成并被存储的模板群组待后续设计需要调用立交模板时,直接按新的边界条件计算关键参数,并重新生成模板,即可得到新的立交。

1.4 求解状态信息表初始值

程序通过一定优先级依次生成各条匝道平面中心线。后续按照立交模板中每条匝道的状态信息表中的初始值,在横向主线实例、竖向主线实例中放样解析每条匝道的边界条件。获取到边界起终点具体位置及边界起终点辅助线类型。

1.5 选用模板并将匝道实例化

对于每条匝道,程序根据其边界条件,以边界起终点为控制点,调整单匝道线形模板中各基本图元的关键参数,使其匝道图形适应边界起终点及起终点辅助线。立交各匝道中心线均采用组合线形(直线、缓和曲线、圆曲线)接顺。具体的线形绘制方法可采用积木法、模式法或商业软件内置方法。

下面以左转苜蓿叶形匝道为例进行介绍。生成过程及流程见图4、图5。左转苜蓿叶形匝道生成方式如下。

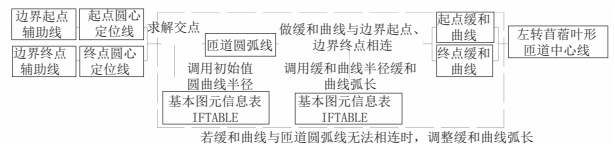


图4 左转苜蓿叶形匝道中心线生成过程(流程图)

- (1)基于边界起点辅助线,向主线外侧偏移获得边界起点圆心定位线;
- (2)基于边界终点辅助线,向主线外侧偏移获得

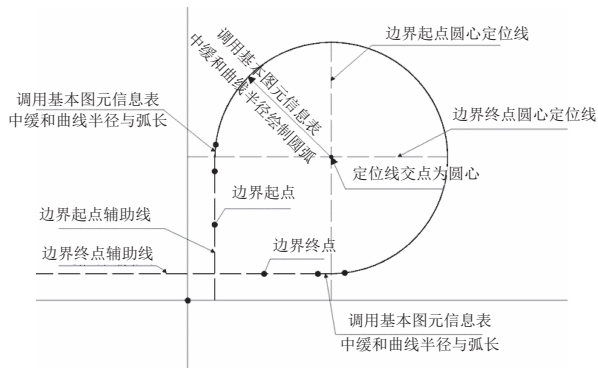


图5 左转苜蓿叶形匝道生成过程

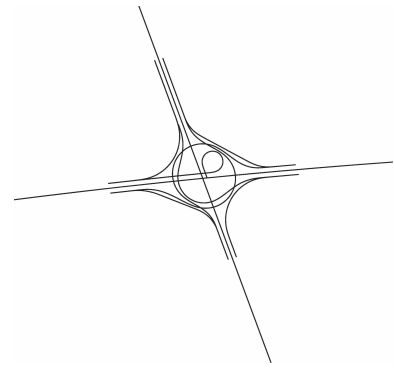


图6 立交孪生设计方法自动绘制的立交平面图

边界终点圆心定位线;

(3)求解边界起点圆心定位线和边界终点圆心定位线的交点;

(4)以所述交点为圆心,以当前匝道对应基本图元信息表中初始值的特征半径为圆的半径,绘制匝道圆弧线;

(5)基于边界起点向匝道圆弧线作缓和曲线、基于边界终点项匝道圆弧线作缓和曲线,缓和曲线半径取为基本图元信息表中对应的特征半径,缓和曲线弧长取为基本图元信息表中对应的缓和曲线弧长。如按以上方法做出的缓和曲线不能与圆弧线连接,则应调整缓和曲线弧长直到缓和曲线与圆弧线连接为止。

根据专业知识进行图形裁剪,即可获得左转苜蓿叶形匝道中心线。

对于其他类型匝道,同理完成实例化。

## 2 实际应用

以上海市环路-济阳路互通立交为例。将此立交储存为立交模板后,应用此立交孪生设计方法,结合上海城建院互通立交设计系统,完成两条重新绘制主线的互通立交布线工作。图6为自动布线结果。验证了此方法的合理性与可操作性。

## 3 结语

本文提出一种基于匝道平面图形模板的立交孪生自动化设计方法。并结合基于此方法研制的辅助设计软件实现立交自动定线功能。

此设计方法及软件具有以下优点:

(1)结合案例库的立交平面图进行立交形态选择过程,减少设计人员学习参考资料的时间,降低学习难度,利于快速上手操作。

(2)对于存在多条匝道的互通立交设计,免去单独设计每条匝道的过程以及修改各条匝道相对关系的过程,通过一键生成立交平面中心线的功能,可大幅减少工作量。

(3)立交匝道间数据联系紧密,可将其全部集成在一个文集集合中,利于设计过程中查阅及修改,数据模型能达到后期维护及重复使用的需求。

### 参考文献:

- [1] 陈国,张小明,张伯根,等.一种基于空间匹配技术的互通立交三维仿真设计方法:CN103593491B[P].2016-09-28.
- [2] 刘培刚.基于极轴算法的公路匝道接线设计方法:CN106245477B[P].2018-06-15.
- [3] 白钢,杜博英,闫向阳,等.用于喇叭型互通式立体交叉线形设计的方法和系统:CN111088737B[P].2021-07-16.

# 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com