



河工物理模型断面制作 数字化系统的设计与实现^{*}

宋成果, 刘 林, 郭 涛

(长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

摘要: 针对河工物理模型断面人工制作存在的效率低、耗时长、精度无法保障等问题, 设计断面制作数字化系统, 实现断面原始提取数据到雕刻文件数据的自动生成。经实际测试, 系统数据自动化处理过程准确、高效, 大幅减少了断面制作的中间操作过程, 满足模型试验要求。

关键词: 物理模型; 断面制作; 自动化; 软件

中图分类号: U 611

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)01-0032-04

Design and implementation of digital system for cross-section production in river model

SONG Cheng-guo, LIU Lin, GUO Tao

(Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430011, China)

Abstract: For the low efficiency, long time consumption and no guarantee of accuracy of the traditional manufacturing method of cross section production in river model, we develop a system to make the original data of cross section converted to performing data automatically, which is characterized by stable operation, high efficiency and low cost, to meet the demand of model test.

Keywords: physical model; cross section production; automation; software

河工物理模型试验可预测河流在自然情况下及修建水工建筑物后河道的水流泥沙运动规律、排沙特性、冲淤形态、河势变化等^[1], 其在航道整治工程及科研方面的应用具有不可替代的作用, 是航道整治必不可少的一项研究手段。随着长江经济带、珠江-西江经济带等国家战略的确立, 我国内河航道建设按规划^[2]逐步加快推进, 以长江中游荆江河段航道整治工程为代表的长河段河工物理模型试验日益增多, 试验的时限、精度要求更高, 迫切需要应用现代化技术提升模型试验各阶段工作效率和手段。

河工模型试验一般包括模型设计、模型制造安装、试验及数据测量分析等 3 个阶段, 当前试验及数据测量阶段已基本实现自动化^[3-6], 模型制造安装阶段受条件限制仍以人工操作为主。模型制作的通用方法是断面模板法, 即通过断面制作、架设等步骤完成物理模型制作。断面制作自动化虽有探讨研究^[7], 但尚未实现全过程的自动化, 断面制作仍然存在步骤多、不同步骤数据格式差异大、数据转换工作繁琐等问题。针对以上问题, 为进一步提升断面制作精度和工作效率, 开展了河工物理模型断面制作数字化系统设计研究工作。

收稿日期: 2015-10-25

^{*}基金项目: 交通运输部 2013 年信息化重大专项 (2013-364-548-200)

作者简介: 宋成果 (1988—), 男, 硕士, 从事水路交通信息化、航道智能化研究。

1 模型断面制作流程

模型断面制作一般包括前期原始断面数据绘制提取、断面排布及格式转换、断面雕刻等 3 个阶段。阶段 1 是指在测量河床地形图中绘制模型试验需制作的控制断面并提取控制断面上点的坐标与高程数据, 属于断面制作的设计阶段; 阶段 2 是指根据雕刻板尺寸将阶段 1 中提取的断面线进行切割、编号、排布、设控制点并进行数据格式转换等操作, 属于断面制作的准备阶段; 阶段 3 是指执行雕刻文件进行断面雕刻制作, 属于断面制作的实施阶段。制模断面处理一般流程见图 1。

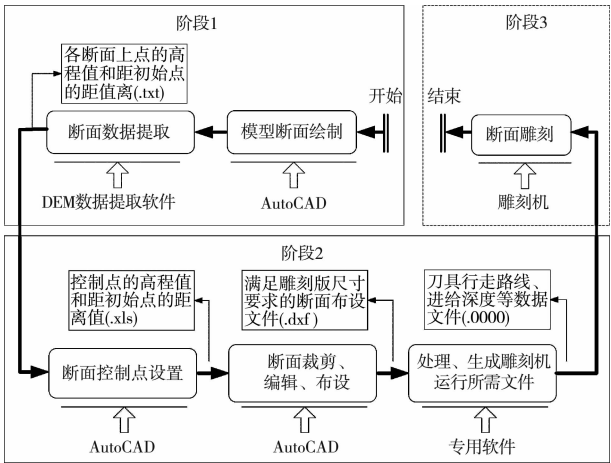


图 1 制模断面处理流程

由图 1 可知, 制模断面从原始绘制数据处理并转换为最后雕刻执行数据过程中, 应用处理软件多, 包括制图软件 AutoCAD、DEM 数据提取软件以及雕刻机数据处理专业软件等; 数据处理过程繁琐, 需要在多种格式之间进行多次转换, 大量断面制作简单重复操作多, 十分适合数字化软件处理。

2 数字化系统设计

2.1 总体框架及功能模块

为实现断面从原始提取数据到雕刻执行文件的自动生成, 根据制模断面数据处理流程, 设计系统总体框架 (图 2)。

系统共包括 5 大功能模块: 数据读取功能模块、断面切割功能模块、切割断面控制点设置功能模块、切割断面布设功能模块以及布设后的断面转换成雕刻机执行代码功能模块。

2.2 断面控制点设置

模型安装地形高程允许误差 $\pm 2\text{ mm}^{[8]}$, 为确保制作的各断面板精确放置在模型中, 按照两点确定一条直线的原理, 断面板至少要设置两个高程控制点。本系统断面控制点设置原则如下:

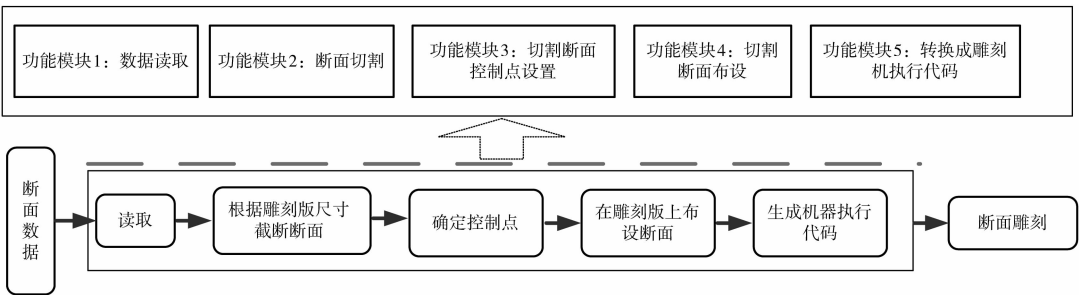


图 2 系统总体框架

- 1) 控制点宜设在段面板两端, 且两点间距离不宜过小: 如果两个控制点距离过近, 在实际安装中易造成段面板中远离控制点的部分易凸起或凹下, 其高程精度达不到要求。因此, 段面板的控制点一般设置在两端, 且两个控制点间距不宜过小, 实际操作中多选取在两端各 1/3 内。
- 2) 控制点宜设在断面中明显凹陷或凸起点上: 根据实际测试, 当控制点处在断面中明显凹

陷或凸起点上时, 不仅安装时能较快定位, 而且在水准仪确定高程时更易安放测量直尺, 测量精度更有保障。

控制点设置方法见图 3。

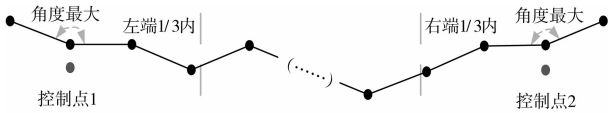


图 3 控制点设置方法

2.3 断面裁剪布设

1) 制板断面裁剪。
物理模型试验中一个断面长度往往大于一块雕刻板的最大长度，雕刻过程中需根据雕刻板尺寸将断面裁剪成两段或两段以上的断面。

①断面最大长度不可超过面板除安全距离外可安放的最大长度。在面板尺寸基础上，还需预留一定安全距离避免雕刻机钻头与边缘夹具碰撞。

②裁剪的断面不宜太短。如果裁剪的断面内只有两个坐标点，一方面坐标点太少，不利于控制点的优化选择；另一方面面板过短，不仅会因断面增多延缓整体雕刻速度，而且会导致无法标记相关文字，不利后期施工。裁剪的断面内坐标点应不少于 5 个。

2) 制板断面布设。
制板断面的布设将决定各断面板的质量和需购置的雕刻面板数量。首先，为确保雕刻后断面板不易折断，需保证断面板中的最窄部分宽度不能过小，一般不小于 7 cm；其次，为合理利用雕刻面板，应将外形相似的断面相邻布设，以确保一块雕刻面板上放置的断面数量最多。制板断面布设效果见图 4。

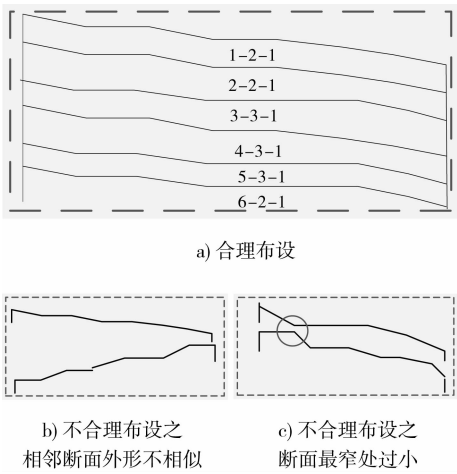


图 4 断面布设效果

2.4 断面雕刻执行文件批量生成

断面布设后的存储文件是各断面点坐标数据，而雕刻机器执行的文件一般是 G 代码文件，要实现制板断面雕刻文件批量生成，需实现布设断面所有点坐标数据向 G 代码格式的转换。布设断

面板雕刻用到的 G 代码功能主要有钻孔和切削。通过调用各功能模块的 G 代码，可实现雕刻板坐标批量生产机器执行代码。断面转换机器代码功能流程见图 5。

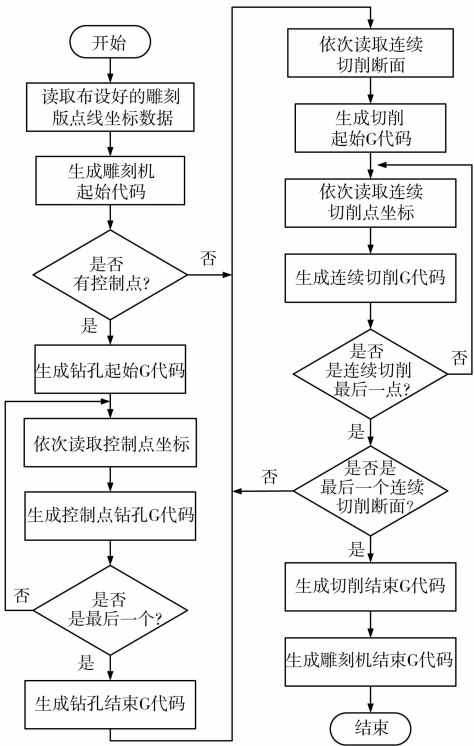


图 5 断面转换机器代码功能流程

3 系统软件实现与测试

3.1 系统软件实现

根据系统总体框架设计，基于 VS2005 编程实现了系统各功能。系统主界面见图 6。



图 6 系统主界面

3.2 已知解测试

1) 系统参数设定。

设定雕刻机、雕刻板、雕刻断面的基本参数（表 1）。

表 1 基本参数设定		
类型	参数说明	参数值/mm
雕刻机	可雕刻最大宽度	2 400
	可雕刻最大高度	1 200
	可雕刻最大深度相对值 ^①	-5
	宽度边缘预留安全值	50
	高度边缘预留安全值	50
	刀具移动时高度相对安全值 ^①	10
雕刻板	雕刻板宽度	2 400
	雕刻板高度	1 200
	雕刻板厚度	3
布设断面	最窄处宽度	60
	至少包含坐标点数(个)	6
断面	相邻点间距	80

注: ①相对值是指相对 Z 轴零点坐标值的差。

2) 测试数据。

设定有 18 个断面, 每个断面包含 57 个坐标点, 各点高程一致, 模型试验各缩放比例为 1, 则根据雕刻板等设定参数, 切割成 36 个分割断面共 72 个控制点, 分割点为断面中间点; 共需 2 个雕刻板, 每个雕刻板放置 18 个分割断面, 每个分割断面包含 29 个坐标点, 且相邻分割断面 Y 轴间距都为 60 mm (X 坐标轴线最近的断面线所有点与 X 坐标轴线最小间距为 60 mm)。

3) 测试结果。

系统参数设置、断面自动读取、断面切割、设置控制点、断面布设、G 代码批量生成等功能实现与预计一致, 系统测试结果界面见图 7。

序号	雕刻版名称	包含断面数量	所有断面名称
总计	布设后共2块雕刻版	总共36个切割断面	总共1044个断面点; 总共72个控制点;
1	文件0	18	TestDM1-2-0 TestDM2-2-0 TestDM3...
2	文件1	18	TestDM1-2-1 TestDM2-2-1 TestDM3...

图 7 已知解系统测试结果

3.3 模型实例测试

实例测试选取项目“土桥二期工程模型试验”中定床模型试验的断面数据开展。应用传统人工处理方式, 经不同软件多个步骤操作, 共布设了 64 块雕刻版。应用本系统测试后共布设 66 块雕刻板 (图 8), 比人工布设多 2 块, 其他运行结果基本相同。系统布设断面后雕刻板较多, 分割断面布设未达到最优, 部分雕刻板存在一定面积的浪

费。主要是因为本系统中分割断面布设时线条相似性的比较采取简单相似比较方法, 该方法根据经验认为相邻河床断面基本相似。

本实例测试中系统运行与人工操作时间见表 2。熟练技术人员需耗费约 2 个工作日, 而本系统耗费时间小于 1 min, 效率明显大幅提升。若将学习各类软件操作的时间计算在内, 且技术人员不熟悉断面处理流程, 断面处理耗时还将延长; 而运用本系统处理, 含软件学习和断面预处理总耗时不到 1 d, 节约近 7 个工作日。

序号	雕刻版名称	包含断面数量	所有断面名称
总计	布设后共66块雕刻版	总共560个切割断面	总共13905个断面点; 总共1120个控制点;
1	文件0	8	Z1-2-0 Z2-2-0 Z3-2-0 Z4-2-0 Z5-2-0 Z...
2	文件1	9	Z9-3-0 Z10-3-0 Z11-3-0 Z12-3-0 Z13-3...
3	文件2	11	Z18-3-0 Z19-4-0 Z20-4-0 Z21-4-0 Z22-...
4	文件3	10	Z29-4-0 Z30-4-0 Z31-4-0 Z32-4-0 Z33-...
5	文件4	9	Z39-4-0 Z40-4-0 Z41-4-0 Z42-4-0 Z43-...
6	文件5	9	Z48-4-0 Z49-4-0 Z50-4-0 Z51-4-0 Z52-...
7	文件6	8	Z57-4-0 Z58-4-0 Z59-4-0 Z60-4-0 Z61-...
8	文件7	8	Z65-4-0 Z66-4-0 Z67-4-0 Z68-4-0 Z69-...
9	文件8	6	Z73-3-0 Z74-6-0 Z75-6-0 Z76-6-0 Z77-...

图 8 模型试验实例测试结果

表 2 测试数据分析			
测试项	人工 ^①		系统 时间
	方式	时间	
数据读取	CAD 插件	<1 s	<1 s
断面切割	CAD 人工切割	>1 h	<2 s
设置控制点	CAD 人工判断	>0.5 h	<1 s
断面布设	CAD 人工判断	>2 h	<1 s
数据检查	人工抽样检查	>2 h	<1 s
G 代码生成	Type3 软件操作	>4 h	<1 s
耗时总计	约 2 个工作日	<10 s	

注: ①人工处理时间按熟练操作人员测算。

4 结语

1) 通过河工模型断面制作各阶段数据分析, 明确了各处理步骤具体流程。

2) 设计了模型断面制作数字化系统, 实现了断面控制点设置、断面裁剪布设以及断面雕刻执行文件批量生成等功能的自动化和数字化。

3) 基于已知解和实例进行了系统测试, 结果显示系统运行稳定, 可确保断面制作精度, 并大幅提升断面处理效率。

(下转第 47 页)