

基于 MATLAB 渠道渐变体土方量计算的改进算法研究

王玉强^{1,2}, 王英华², 黄文彬², 何晓锋² (1. 浙江大学建工学院, 浙江杭州 310027; 2. 浙江水利水电专科学校, 浙江杭州 310018)

摘要 基于 MATLAB 强大的数学计算功能与友好的界面, 针对现有渠道渐变体工程土方量计算方法的不足, 提供了用三次样条函数拟合断面面积函数, 再运用复合梯形求积公式计算土方量的新方法; 并用实例说明了该方法的应用及其误差分析。结果表明, 该方法计算过程简单、计算误差小, 可供设计、施工人员参考。

关键词 扭面; 土石方计算; 三次样条函数; MATLAB 软件

中图分类号 S11+9 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)03-00915-02

A Better Calculation of Canal Transition Earthwork Based on MATLAB

WANG Yu qiang et al (College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027)

Abstract Based on MATLAB, which has excellent function of mathematics calculation and friendly interface, this study aimed at the shortage of the current calculation of canal transition earthwork volume and provided a new method by using cubic spline function, sectional area function and compound trapezoid formula to calculate earth volume. In addition it set an example to illustrate the application and error analysis of this method, which shows a simpler computational process and smaller computational error.

Key words Twisted area; Earth volume calculation; Cubic spline function fitting; MATLAB software

渠道是最基本的水工建筑物, 其功能是实现地表水的地域调动, 将水源地和用户联结起来。水源, 可以是河道、湖泊或水库, 用户可以是农田(在灌溉工程中)、水厂(在供水工程中)或水电站电厂(在引水式水力发电工程中)。渠道是水利工程的基本组成部分, 可以说, 凡水利工程, 均修建有渠道。

渐变体常常作为渠道中连接两不同断面之间的过渡曲面, 工程上常见的渐变体有扭面、方变圆、矩形变弧底梯形等, 其体积的计算一直没有很好的计算方法。迄今为止, 渐变体土方计算核心方法仍为平均断面法, 该方法简单明了、便于操作, 但计算误差较大, 最大误差可达 10%^[1-2]。近年来, 我国学者在渐变体土方计算方法的改进方面做了大量的工作, 相继提出了多种解析计算公式^[2-4], 但上述方法不是公式形式复杂就是适应范围受到限制, 不便于工程界推广。鉴于此, 笔者在对渐变体断面面积函数数学分析的基础上, 基于 MATLAB 强大的数学计算功能与友好的界面, 提出了用三次样条函数拟合断面面积函数, 再运用复合梯形求积公式计算土方量的新方法, 以期能为渠道工程设计、施工提供简捷、准确的土方计算方法。

1 扭面渐变体

渠道扭面渐变体是由内扭面和外扭面组成的过水建筑物, 内扭面也称为迎水扭面, 外扭面也称为背水扭面。如图 1.2 所示, 内扭面可以看做是由一条母线 st 自 AD 起始沿两交叉直线 AB 、 CD 且始终平行于导平面 YOZ 而形成的曲面。外扭面可以看做是直母线 uv 自 EH 起始沿两交叉直线 EF 、 GH 且始终平行于导平面 YOZ 而形成的曲面^[5], 两曲面均为不可展直线面。下面来研究扭面渐变体任一断面面积函数的特性。

由扭面体的形成可知, 当剖切平面平行 YOZ 平面时, 剖切平面与迎水扭面和背水扭面的截交线均为直线, 一般将剖切平面与梯形渠道的截断面称为护坡断面, 将剖切平面与矩形渠道的截断面称为挡土墙断面。因此可知, 任一剖切平面截切扭面体的截断面顶宽 b 与底宽 B 分别是护坡断面顶宽

b_1 、底宽 b_2 和挡土墙断面顶宽 B_1 、底宽 B_2 的线性函数, 高度 h 也是梯形断面高度 h_1 与矩形断面高度 h_2 的线性函数。由此性质可推导出任一断面面积函数的数学表达式:

$$s = \frac{1}{2}(b + B) \times h \tag{1}$$

式中, s 为距离起始断面为 x 的断面面积, b 为断面顶宽, $b = b_1 + \frac{b_2 - b_1}{l}x$; B 为断面底宽, $B = B_1 + \frac{B_2 - B_1}{l}x$; h 为断面高度, $h = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{l}x$ 。

令 $\mu = \frac{b_2 - b_1}{l}$, $\nu = \frac{B_2 - B_1}{l}$; $\lambda = \frac{h_2 - h_1}{l}$; 代入公式(1)得断面面积函数为:

$$s = \frac{1}{2}(\mu + \nu)x^2 + \frac{1}{2}(h_1 + \mu h_1 + b_1 + B_1)x + \frac{1}{2}(b_1 + B_1) \times h_1 \tag{2}$$

式中, l 为渐变体长度, x 为任一断面距初始断面的距离。

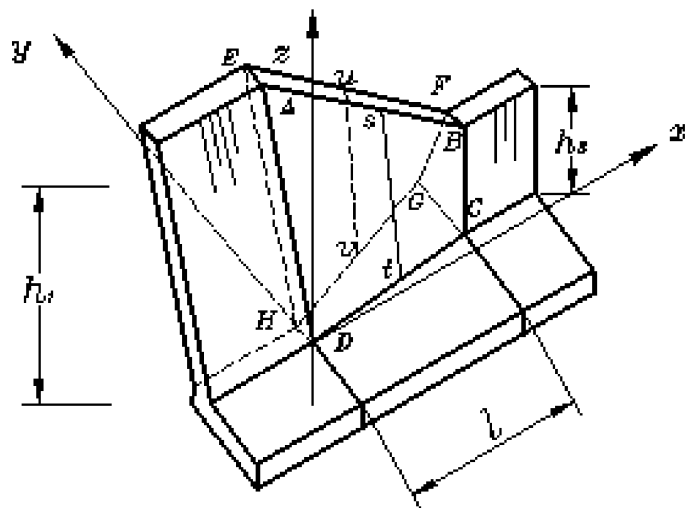


图1 扭面渐变体内外扭面

Fig.1 Internal and external twist surface of the changeover form

2 方变圆渐变体

圆形断面受力均匀, 水力条件好, 因此在水电站压力管道中经常采用。而安装闸门处则需要变成矩形断面, 为了使水流平顺衔接, 保证水流流态良好, 在矩形与圆形断面之间常以方变圆渐变体来过渡(图3)。该渐变体是由4个三角形平面与4段1/4斜椭圆锥面相切组成的光滑曲面体。下面来研究方变圆渐变体任一断面面积函数的特性。

作者简介 王玉强(1978-), 男, 陕西富平人, 在读硕士, 讲师, 从事农业水利工程的教学与研究工作。

收稿日期 2008-11-10

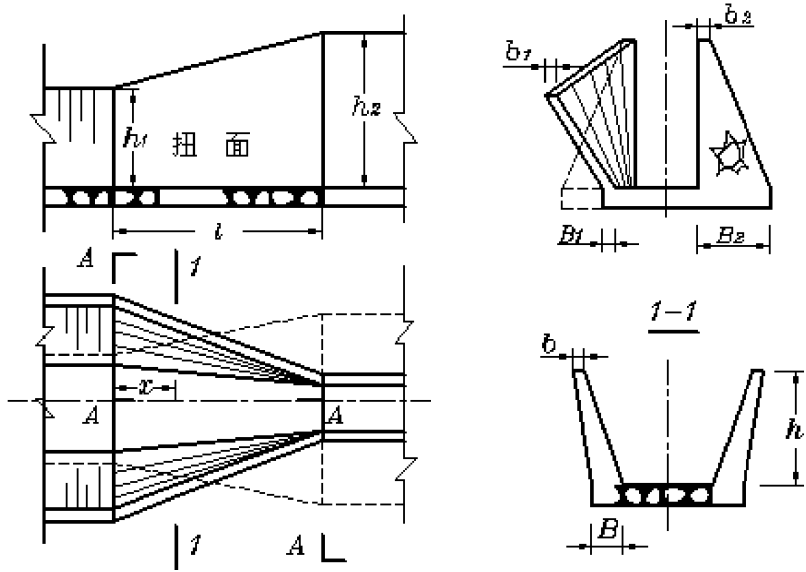


图2 扭面渐变体截面

Fig.2 Section of twist surface

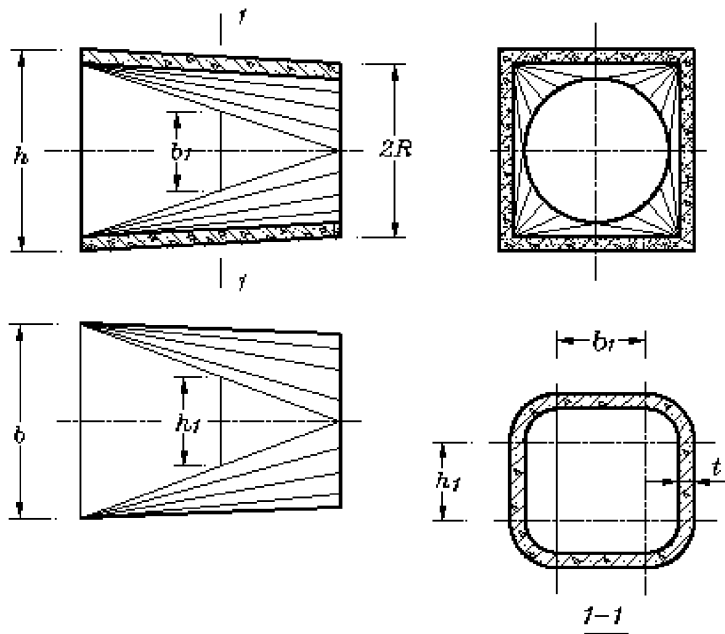


图3 方变圆渐变体截面

Fig.3 Section of the changeover from square to round

由方变圆渐变体的组成特点可知,当切平面为侧平面时,与该曲面体的截交线为4段直线与4段1/4圆弧组成。直线长度与圆弧半径均为矩形断面高度h、宽度b与圆形断面半径R的线性函数。由此可以推导出任一断面面积函数为下列关系式:

$$s = \frac{hb - 2R(h + b) + R^2}{l^2} x^2 - \frac{2}{l} R(h + b - R)x + R^2 \quad (3)$$

当衬砌厚度为t时,断面面积函数为:

$$s = \frac{4t^2 - 8R + 2Rt + t^2}{l^2} x^2 - \frac{2t(h + b) + 8R - 8t^2 - 4Rt + 2t^2}{l} x + 2Rt - t^2 \quad (4)$$

由以上分析可以看出,渠道渐变体任一断面面积函数S

表1 土方计算成果

Table 1 Result of earthwork calculation

设计参数 Design parameter	m	设计高程 Design elevation	m	起始端面 面积 m ² Initial endface area	中间端面 面积 m ² Intermediate endface area	终止端面 面积 m ² Final endface area	渐变体长 度 m Length of changeover form	土方量 m ³ Earthwork amount			
								实际土方量 Actual earthwork amount	平均断面法 Average cross section method	文献[3] 算法 Algorithm in literature[3]	该文算法 Algorithm in this paper
b ₁	0.42	h ₁	3.0	1.260	2.074	2.300	3	5.4	5.34	5.358	5.401
b ₂	0.42	h ₁	3.0								
B ₁	0.42	h ₂	2.5								
B ₂	1.42	h ₂	2.5								
相对误差 Relative error	%								1.11	0.78	0.02

为渠道长度方向x的二次函数,而平均断面法假定断面面积函数为线性函数,这是造成平均断面法计算渐变体土方量误差产生的根本所在。

3 渐变体工程土方计算

在渠道渐变体土方计算中,填挖方断面面积函数曲线为二次函数,在已知起始断面面积、终止断面面积和任一断面面积时,可用三次样条函数拟和断面面积函数,再用复化梯形求积公式计算渠道渐变体土方量。

将沿测施桩号的挖填断面面积用三次样条函数进行拟合,便得到了长度与面积的函数,再将断面面积函数沿长度方向积分可得扭面渐变体工程土方量,该文采用复化梯形求积公式计算土方量。

提高插值多项式的次数,未必能减少插值误差,因此,为了减少求积公式的截断误差,通常把积分区间分成若干小区间,在每个小区间应用梯形求积公式,将所得结果相加,得到的求积公式称复化梯形求积公式。

梯形求积公式^[6-7]:

$$I(f) = \frac{h}{2} [A(l_0) + A(l_1)] \quad (5)$$

式中, $h = l_1 - l_0$, $A(l_0)$ 为 l_0 处的断面面积, $A(l_1)$ 为 l_1 处的断面面积。将区间 $[l_0, l_n]$ 分成 M 个等长的小区间,令 $h_1 = (l_n - l_0) / m$ 在每个小区间上应用梯形求积公式得:

$$I(f) = \int_{l_0}^{l_1} A(l) dl + \int_{l_1}^{l_2} A(l) dl + \dots + \int_{l_{m-1}}^{l_m} A(l) dl$$

$$= \frac{h_1}{2} [A(l_0) + A(l_1)] + \frac{h_1}{2} [A(l_1) + A(l_2)] + \dots + \frac{h_1}{2} [A(l_{m-1}) + A(l_m)]$$

$$= h_1 [\frac{1}{2} A(l_0) + A(l_1) + A(l_1) + A(l_2) + \dots + A(l_{m-1}) + A(l_m)]$$

$$= h_1 [\frac{1}{2} A(l_0) + \sum_{i=1}^{m-1} A(l_i) + \frac{1}{2} A(l_m)] \quad (6)$$

式中, $I(f)$ 为扭面体体积近似值, $A(l_i)$ 为 i 处的断面面积,利用该公式可计算土方量。

4 基于 MATLAB 对扭面土方量计算的实现

综上所述,渐变体土方量计算中,断面函数的拟和与积分都相当复杂,一般需要编写程序来实现,该文采用 MATLAB 软件实现土方计算,只要调用简单源程序(由于篇幅问题,这里不详细叙述)。程序计算步骤^[8]: 产生断面面积矩; 用 polyfit(x,s,2) 拟和断面面积函数; 编写复化梯形求积程序; 用复化梯形求积公式计算渠道渐变体土方量。

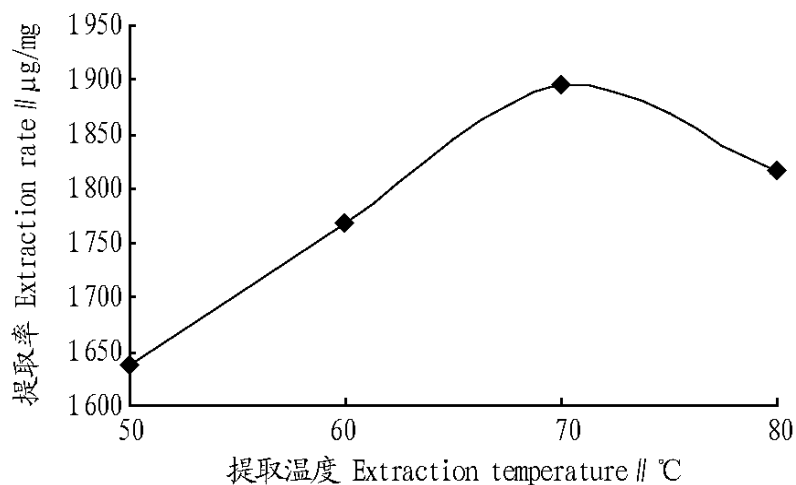


图5 提取温度对黄酮提取率的影响

Fig.5 Effects of extraction temperature on extraction rate of flavone

2.2 二次回归正交组合设计试验结果

2.2.1 试验设计及试验结果。根据回归正交组合设计方法,选取料液比 Z_1 , 时间 Z_2 , 浓度 Z_3 , 温度 Z_4 , 4 个因素编制试验设计表, 并将试验结果列入表2。表2 中 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 为二次项中心化之后的编码。

2.2.2 回归方程的建立及检验。回归方程的失拟性检验见表3。从回归方程平方和表3 中可明显看出: $F < F_{0.05}(7, 2)$, 由此可见建立的回归模型的失拟性不显著, 回归模型与实际情况很符合。

表3 回归方程失拟性检验

Table 3 The lack of fit test on regression equation

参数	数值	参数	数值
Parameter	Numerical value	Parameter	Numerical value
SS _e	10 259.745 0	df _e	9
SS _{e1}	4 354.132 5	df _{1f}	7
df _{e1}	2	F	0.387 521
SS _{1f}	5 905.612 53	F _{0.05(7, 2)}	19.35

表4 表明各项回归系数都达到显著水平, 从而得编码方程如下:

$$y = - 1 465 .244 - 3 368 .39x_1 + 578 .489 x_2 + 34 .029x_3 + 83 .661 9 x_4 - 3 .491 3 x_2x_4 + 29 .468 3 x_3x_4 - 67 .33 x_2^2 - 1 930 .85 x_3^2 - 0 .675 4 x_4^2$$

表4 回归系数及显著性检验

Table 4 Regression coefficient and significance test

模型 Model	非标准化回归系数		
	Non standard regression coefficient	t	P
常数项 Constant item	1 520 .348	196 .278	0.000
Z ₁	- 190 .853	- 19 .847	0.000
Z ₂	57 .788	6 .009	0.000
Z ₃	- 49 .967	- 5 .196	0.001
Z ₄	57 .981	6 .030	0.000
Z ₂ Z ₄	- 42 .355	- 3 .548	0.006
Z ₃ Z ₄	40 .855	3 .422	0.008
Z ₂ ²	- 95 .300	- 8 .638	0.000
Z ₃ ²	35 .692	- 3 .235	0.010
Z ₄ ²	70 .230	- 6 .366	0.000

3 结论

在单因素试验的基础上, 使用回归正交设计建立了数学模型, 对上述模型进行规划求解, 得到优化的工艺条件: 料液比为1 30, 提取时间为2.6 h, 乙醇浓度为0.5, 提取温度为64, 此时黄酮的提取率可达到1 955.322 µg/ ng。利用二次回归正交设计法优化紫茎泽兰中黄酮提取工艺能有效地减少试验的盲目性, 为紫茎泽兰的综合利用提供理论依据。

参考文献

[1] 吕丽爽, 潘道东, 周庆, 等. 微波对提取芦蒿叶中黄酮类化合物的影响[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(2): 97- 98.
 [2] 王银朝, 赵宝玉, 樊泽锋, 等. 紫茎泽兰及其危害研究进展[J]. 动物医学进展, 2005, 26(5): 45- 48.
 [3] 杨青, 郭彩清, 油继辉, 等. 黄酮类物质的生理功能及应用发展动态[J]. 贵州农业科学, 2007, 35(2): 143- 146.
 [4] 李春红, 云霞, 刘英新. 回归正交试验法优化提取仙人掌中黄酮类物质[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(5): 29- 32.

(上接第916 页)

5 实例

某浆砌石扭面体设计图标注的 $l = 3 \text{ m}$, $H_1 = 3 \text{ m}$, $H_2 = 2.5 \text{ m}$, $b_1 = b_2 = B_1 = 0.42 \text{ m}$, $B_2 = 1.42 \text{ m}$ 。经计算, $A_1 = 1.26 \text{ m}^2$, $A_2 = 2.3 \text{ m}^2$, $A_{\text{中}} = 1.84 \text{ m}^2$, 渠道渐变体土方量计算如表1 所示, 为了说明该文公式的实用性及误差大小, 表1 还列出了文献[3] 的计算结果, 以期比较, 实际土方量按数值计算方法计算^[8- 10]。

从表1 计算结果可见, 平均断面法计算误差较大, 文献[3] 的计算误差虽然较平均断面法小, 为0.78%, 但该公式形式复杂, 尤其是扭面工程的端面坐标计算繁琐, 计算量大。而该文方法只需调用简单的程序, 且最大误差仅为0.02%。由此表明, 该文方法具有方法简单、精度高的优点。

6 结论

渠道渐变体土方计算一直没有很好的计算方法, 传统计算方法和改进的各种计算方法, 存在精度不高或形式复杂等问题, 难以在工程界推广。假定渠道渐变体断面函数为线性

变化是造成传统计算误差较大的主要原因。该文基于 MATLAB 强大的数学计算功能与友好的界面, 提出了用三次样条函数拟合断面面积函数, 再运用复化梯形求积公式计土方量的新方法。算例结果表明, 该方法具有精度高、操作简单等优点, 且便于程序化。

参考文献

[1] 张宽地, 吕宏兴, 马希明, 等. 基于 MATLAB 的渠道土方计算[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(6): 125- 128.
 [2] 罗阳军, 张宽地, 王铭, 等. 数值方法在渠道土方计算中的运用[J]. 灌溉排水, 2003, 22(S1): 94- 96.
 [3] 王铭, 宋天峰, 罗阳军. 平均断面法计算渠道土方量的本质缺陷及改进[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(9): 118- 122.
 [4] 刘崇选, 高双强. 渠槽、路基等土方量计算[J]. 陕西水利发电, 2001, 17(3): 61- 64.
 [5] 蒋允静. 画法几何与工程制图[M]. 西安: 陕西科技出版社, 2003.
 [6] 陈文略, 王子羊. 三次样条曲线拟和的算法及实现[J]. 计算机应用研究, 1996, 16(6): 41- 42.
 [7] 邓建中. 计算方法[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1985.
 [8] 王沫然. MATLAB 与科学计算[M]. 2 版. 北京: 电力工业出版社, 2003.
 [9] 杨晓东. 数值法在江堤土方量计算中的应用[J]. 水利天地, 2002(8): 42.
 [10] 刘炳文, 许蔓舒. Visual Basic 程序设计教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.