

# HEC-RAS 模型中两种计算方法水面线成果差异及适用性研究

柳超

重庆市渝西水利电力勘测设计院有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i1.6756

**[摘要]** HEC-RAS模型作为广泛应用的水力计算工具,提供了平均输水率法与调和平均摩阻坡度法两种常用水面线求解方案。本文以某家沟20年一遇洪水为工况,基于该模型对比分析两种方法在不同断面的水力参数差异,探讨其适用条件与优劣。结果显示,两者差异集中于地形复杂断面:平均输水率法适用于断面均匀、水流稳定河段,计算高效;调和平均摩阻坡度法在断面变化大、能量损失复杂区域精度更优,但对地形数据依赖性强。研究可为水利工程中该模型计算方法选择提供科学依据。

**[关键词]** 平均输水率法;调和平均摩阻坡度法;水面线计算

中图分类号: TV 文献标识码: A

## Study on the Differences and Applicability of Water Surface Profile Calculation Results by Two Methods in HEC-RAS Model

Chao Liu

Chongqing YuWest Water Conservancy & Electric Power Survey and Design Institute Co., Ltd.

**[Abstract]** As a widely used hydraulic calculation tool, the HEC-RAS model offers two commonly employed solutions for water surface profile calculation: the mean conveyance method and the harmonic mean friction slope method. Taking the 20-year return period flood in a certain river valley as the working condition, this paper compares and analyzes the differences in hydraulic parameters of the two methods across different cross-sections based on the model, and discusses their applicable conditions, advantages and disadvantages. The results show that the differences between the two methods are concentrated in cross-sections with complex terrain: the mean conveyance method is suitable for river reaches with uniform cross-sections and stable flow, featuring high calculation efficiency; the harmonic mean friction slope method achieves better accuracy in areas with significant cross-section changes and complex energy losses, but has a stronger dependence on topographic data. This study can provide a scientific basis for the selection of calculation methods in the HEC-RAS model for water conservancy projects.

**[Key words]** mean conveyance method; harmonic mean friction slope method; water surface profile calculation

## 引言

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) 作为水利工程领域常用的河道水力计算软件,在洪水模拟、水面线推算、河道整治等工程实践中广泛应用<sup>[1]</sup>。在HEC-RAS的水面线计算模块中,平均输水率法与调和平均摩阻坡度法是两种主流的计算方法,二者基于不同的水力计算原理,在不同河道地形条件下的计算成果往往存在差异。平均输水率法通过计算河段上下断面输水率的平均值来求解能量损失,计算过程简洁高效;调和平均摩阻坡度法通过求解河段摩阻坡度的调和平均值来反映能量损失的空间分布特征,理论上更贴合能量损失的实际物理过程。然而,两种方法的计算原理存在本质差异,在不同河道地形条件和水流工况下的计算精度、适用范围也有所不同<sup>[2]</sup>。

## 1 研究区域概况与计算模型建立

### 1.1 研究区域概况

某家沟位于四川省某市区,属于城区内河道,分析河段已完成河道整治,两岸为浆砌石护坡,水文控制断面洪水位由闸门控制,分析河段长度1.356km,河段平均比降4.15%。20年一遇洪水洪峰流量149m<sup>3</sup>/s,水文控制断面起算水位464.57m。水流状态以缓流为主,局部断面接近临界流。该类城区整治河道的水力特性研究中,断面形态均匀性与摩阻系数空间分布是影响水面线计算结果的关键因素<sup>[3]</sup>。

### 1.2 模型建立与参数设置

#### 1.2.1 地形数据处理

收集研究区域的1:500地形测量数据,提取各桩号断面的河

底高程、断面形态等信息,建立河道断面数据库。断面桩号间隔根据地形变化情况设置,地形平缓区域间隔较大(如K0+000至K0+075间隔75m),地形变化复杂区域间隔较小(如K0+798至K0+822间隔24m),确保模型能够准确反映河道地形特征。

### 1.2.2模型参数设置

采用HEC-RAS 5.0.7版本建立一维水力计算模型,模型主要参数设置如下:(1)计算工况:20年一遇洪水,设计流量 $Q=149\text{ m}^3/\text{s}$ ;(2)边界条件:上游断面采用流量边界,下游断面采用水位边界(闸坝水位流量关系确定);(3)糙率系数:根据河道岸坡植被覆盖情况和河床物质组成,结合工程经验取值为 $0.032^{[4]}$ ;(4)计算方法:分别选择平均输水率法和调和平均摩擦坡度法进行水面线计算,其他参数保持一致。

### 1.2.3模型验证

由于缺乏实测洪水水面线数据,采用间接验证方法对模型进行可靠性验证:对比模型计算的断面过流面积与手工计算结果,误差控制在5%以内;验证关键断面的弗劳德数与水流状态的一致性,确保模型参数设置合理,计算成果可靠。

## 2 两种计算方法的原理分析

### 2.1平均输水率法原理

平均输水率法基于能量方程,通过计算河段上下断面的输水率平均值来求解水面线高程。输水率 $C$ 定义为断面过流能力的综合指标,其表达式为:

$$C = \frac{Q}{\sqrt{S_f}}$$

式中: $Q$ 为断面流量( $\text{m}^3/\text{s}$ ); $S_f$ 为摩擦坡度( $\text{m}/\text{m}$ )。

对于任意河段,上下断面的输水率分别为 $C_1$ 和 $C_2$ ,平均输水率 $C_{avg}$ 采用算术平均法计算:

$$C_{avg} = \frac{C_1 + C_2}{2}$$

根据能量方程,河段的能量损失 $\Delta E$ 可表示为:

$$\Delta E = \frac{Q^2 L}{C_{avg}^2 A^2 R}$$

式中: $L$ 为河段长度( $\text{m}$ ); $A$ 为断面平均过流面积( $\text{m}^2$ ); $R$ 为水力半径( $\text{m}$ )。

通过迭代计算求解各断面的水面线高程,该方法的核心优势在于计算过程简洁,迭代收敛速度快,适用于断面形态相对均匀、输水率变化平缓的河道段。

### 2.2调和平均摩擦坡度法原理

调和平均摩擦坡度法通过求解河段摩擦坡度的调和平均值来反映能量损失的空间分布特征,摩擦坡度 $S_f$ 基于曼宁公式计算:

$$S_f = \left(\frac{nQ}{AR^2}\right)^2$$

式中: $n$ 为糙率系数;其他参数含义同前。

对于长度为 $L$ 的河段,上下断面的摩擦坡度分别 $S_{f1}$ 和 $S_{f2}$ ,调和平均摩擦坡度 $S_{f-harmonic}$ 的计算公式为:

$$S_{f-harmonic} = \frac{2S_{f1}S_{f2}}{S_{f1} + S_{f2}}$$

将调和平均摩擦坡度代入能量方程,求解各断面的水面线高程:

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + S_{f-harmonic} L$$

式中: $Z_1$ 、 $Z_2$ 分别为上下断面的水面线高程( $\text{m}$ ); $V_1$ 、 $V_2$ 分别为上下断面的平均流速( $\text{m}/\text{s}$ ); $g$ 为重力加速度( $\text{m}/\text{s}^2$ )。

该方法考虑了摩擦坡度在河段内的变化特征,更贴合能量损失的实际物理过程,理论上在断面形态变化较大、摩擦坡度空间差异明显的河道段具有更高的计算精度。

### 2.3两种方法的本质差异

平均输水率法与调和平均摩擦坡度法的本质差异在于对能量损失的表征方式不同:平均输水率法通过简化输水率的空间变化,采用算术平均的方式近似反映河段的平均过流能力,计算效率高但对断面变化的适应性较弱;调和平均摩擦坡度法通过调和平均的方式准确反映摩擦坡度的空间分布,能够更好地适应断面形态复杂、能量损失变化剧烈的情况,但计算过程相对复杂,对地形数据的精度要求更高。

## 3 基于计算数据的计算成果差异分析

### 3.1总体差异统计

采用平均输水率法与调和平均摩擦坡度法计算某家沟分析河段20年一遇洪水工况设计洪水位成果见表3-1。

表3-1 分析河段设计洪水位计算成果表

桩号	平均输水率法成果				调和平均摩擦坡度法成果			
	洪水位(m)	能量梯度坡度 m/m)	断面流速 m/s)	过流面积( $\text{m}^2$ )	洪水位(m)	能量梯度坡度 m/m)	断面流速 m/s)	过流面积( $\text{m}^2$ )
K0+000	464.57	0.001169	2.05	72.72	464.57	0.001169	2.05	72.72
K0+075	464.19	0.008471	4.48	33.27	464.12	0.009223	4.62	32.27
K0+210	465.4	0.003781	3.39	43.94	465.4	0.003802	3.4	43.86
K0+414	466.19	0.004374	3.55	42.02	466.19	0.004385	3.55	41.98
K0+591	467.01	0.002979	3.05	48.9	467.01	0.002998	3.05	48.79
K0+705	467.34	0.003603	3.26	45.72	467.33	0.003622	3.26	45.64
K0+798	467.67	0.00389	3.34	44.65	467.66	0.003903	3.34	44.6
K0+822	467.57	0.006941	4.17	35.72	467.56	0.007008	4.19	35.6
桥梁								
K0+852	468.26	0.004101	3.47	42.98	468.25	0.004172	3.49	42.71
K0+978	468.8	0.004084	3.41	43.69	468.79	0.004105	3.42	43.61
K1+065	469.12	0.004998	3.68	40.45	469.12	0.005019	3.69	40.39
K1+203	469.87	0.003634	3.25	45.81	469.87	0.003651	3.26	45.73
K1+356	470.39	0.004796	3.72	40.08	470.39	0.004818	3.72	40.01

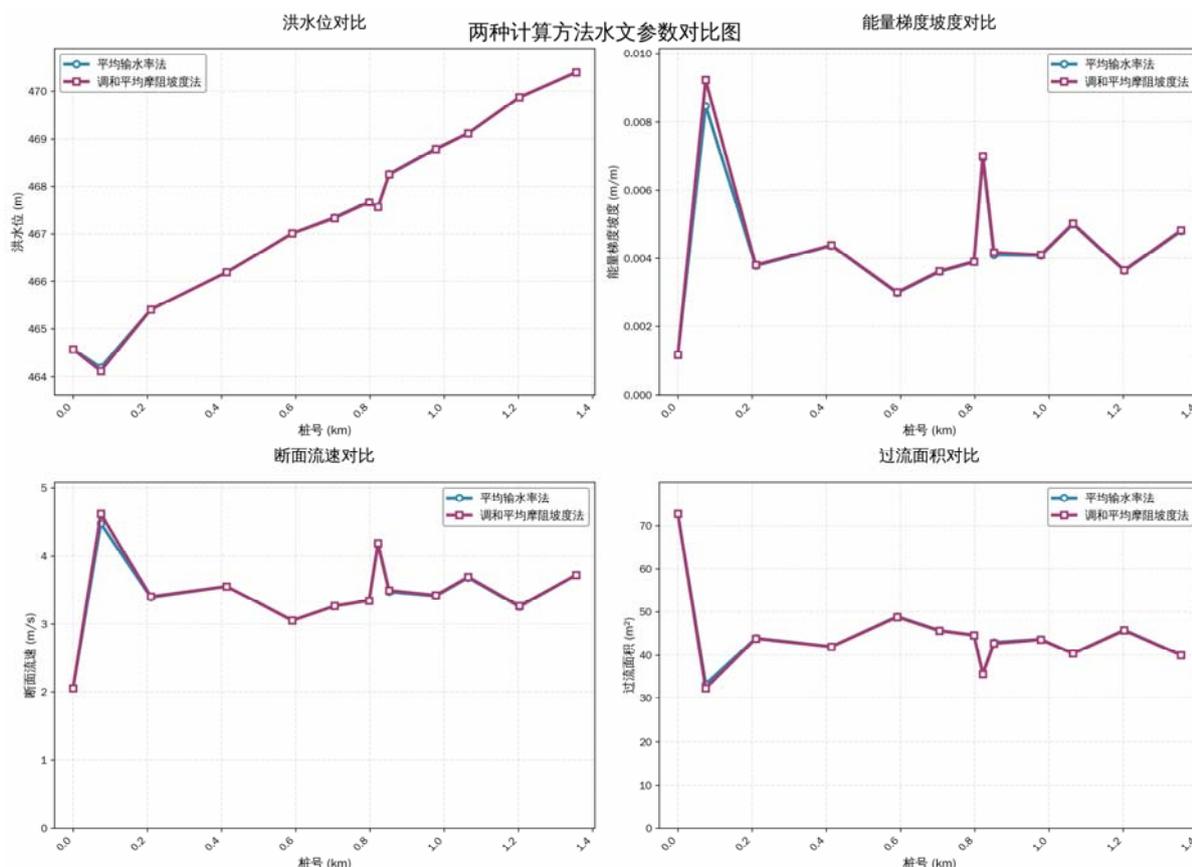


图1 HEC-RAS两种计算方法成果对比

对13个断面的计算成果进行量化分析,两种方法的主要参数差异统计如下表所示:

参数	平均差异	最大差异	最小差异	标准差	单位
水位高程	-0.0092	0	-0.07	0.0189	m
能量梯度坡度	0.000081	0.000752	0	0.000176	-
断面流速	0.02	0.14	0	0.0342	m/s
过流面积	-0.16	0	-1	0.251	m <sup>2</sup>

从统计结果可以看出,两种方法在整体上保持较好的一致性,但局部参数仍存在显著差异。

### 3.2 关键参数对比分析

#### 3.2.1 水位高程对比

水位高程作为水力计算的核心成果,两种方法的计算差异较小,平均差异仅为-0.0092m,相对差异百分比接近于0。但在局部断面(如K0+075处),差异达到-0.07m,这主要由于该区域地形变化显著(最小河底高程从461.12m突变至461.34m),导致摩擦系数变化剧烈,调和平均摩擦坡度法能够更准确地反映这种局部变化。

#### 3.2.2 能量梯度坡度对比

能量梯度坡度是反映能量损失的关键参数,两种方法的差

异相对明显,平均差异为0.000081,最大差异达0.000752。在K0+075处,调和平均摩擦坡度法计算的坡度为0.009223,而平均输水率法为0.008471,差异率达8.8%。这一现象表明,在能量损失剧烈变化的区域,调和平均法能够更精确地捕捉摩擦坡度的变化特征。

#### 3.2.3 断面流速对比

断面流速的平均差异为0.02m/s,最大差异出现在K0+075处,达0.14m/s。调和平均摩擦坡度法计算的流速普遍略高于平均输水率法,这是由于调和平均法更准确地考虑了局部摩擦变化对流速分布的影响,特别是在过流面积变化较大的区域(如K0+075处过流面积从32.27m<sup>2</sup>增至43.86m<sup>2</sup>)。

#### 3.2.4 过流面积对比

过流面积的差异最小,平均差异仅为-0.16m<sup>2</sup>,这表明两种方法对断面几何特性的处理基本一致,差异主要来源于能量损失计算方法的不同,而非断面几何参数的处理<sup>[5]</sup>。

#### 3.3 可视化对比分析

通过综合对比图(图1)可以直观地观察两种方法的计算差异:从对比图可以清晰看出:

两种方法的计算曲线整体趋势一致,表明基本符合水力规律;在地形变化平缓区域(如0~414m、798~1356m),两条曲线几乎重合,差异极小;在地形变化显著区域(如75m、210m处),

曲线出现明显分离,调和平均摩阻坡度法表现出更敏感响应特性。

#### 4 方法适用条件与优缺点分析

##### 4.1 适用条件对比

基于计算成果的差异分析,两种方法的适用条件存在显著区别:

条件	平均输水率法	调和平均摩阻坡度法
地形条件	地形平缓、断面变化小	地形复杂、断面变化显著
水流条件	均匀流、渐变流	非均匀流、急变流
摩阻特性	粗糙系数分布均匀	粗糙系数空间变化大
工程场景	长距离河道洪水演算、初步设计	桥梁壅水分析、局部工程精细化计算
精度要求	中等精度要求	高精度要求

##### 4.2 优缺点分析

###### 4.2.1 平均输水率法

优点: (1) 计算过程简便,减少了中间参数的计算量,提高计算效率; (2) 对输入数据要求较低,在数据不足的情况下仍能获得合理结果; (3) 在均匀流条件下计算稳定性好,收敛速度快。

缺点: (1) 对摩阻系数变化的敏感性低,难以反映局部复杂地形的影响; (2) 在急变流区域计算精度下降,可能产生较大偏差; (3) 无法准确捕捉能量损失的非线性变化特征。

###### 4.2.2 调和平均摩阻坡度法

优点: (1) 采用调和平均方法处理摩阻坡度,能够准确反映局部变化特性; (2) 对非均匀流和复杂地形具有良好的适应性; (3) 计算精度高,特别适合精细化水力分析。

缺点: (1) 计算复杂度高,需要逐断面计算摩阻坡度,增加计算时间; (2) 对输入数据质量要求高,数据误差可能被放大; (3) 在均匀流条件下,计算效率低于平均输水率法。

#### 5 差异缘由分析

两种方法的差异源于四方面核心因素:一是理论假设不同,平均输水率法假设水流均匀、摩阻恒定,简化能量损失计算,在非均匀流条件下存在误差;调和平均摩阻坡度法基于能量方程精确求解,考虑摩阻空间变化,更贴合实际但计算复杂。二是数学模型有别,前者用算术或加权平均,对极端值不敏感,结果平滑;后者用调和平均,对局部极端值敏感性高,能精准反映水力特性。三是地形响应不同,平缓区域结果基本一致,复杂区域前者响应迟钝,后者更敏感。四是能量损失计算差异,前者简化平均、忽略局部细节,后者精确计算、捕捉局部变化特征。

#### 6 结论与建议

##### 6.1 主要结论

(1) 两种方法在整体计算趋势上保持一致,但在局部地形变化显著区域存在明显差异,最大差异出现在地形复杂区域。(2) 调和平均摩阻坡度法在非均匀流和复杂地形条件下具有更高的计算精度,平均输水率法在均匀流和简单地形条件下具有更高的计算效率。(3) 两种方法的差异主要来源于理论假设、数学模型和地形响应特性的不同,在实际应用中应根据具体条件选择合适的计算方法。

##### 6.2 应用建议

基于研究结果,提出以下应用建议:

###### 6.2.1 方法选择建议

(1) 长距离河道洪水演算:建议采用平均输水率法,在保证计算精度的同时提高计算效率。(2) 桥梁壅水分析:建议采用调和平均摩阻坡度法,能够准确计算桥梁附近的局部壅水效应。(3) 河道整治工程:根据地形复杂程度选择方法,复杂区域采用调和平均法,平缓区域采用平均输水率法。

###### 6.2.2 计算参数设置建议

(1) 对于调和平均摩阻坡度法,应提高断面密度,特别是在地形复杂区域,确保能够准确捕捉局部变化特性。(2) 对于平均输水率法,应合理选择计算河段长度,避免过长河段导致的平均化误差。(3) 两种方法均应合理确定曼宁粗糙系数,建议通过现场实测或经验公式校准,提高计算精度。

#### [参考文献]

[1] USACE. Hydrologic Engineering Center's River Analysis System(HEC-RAS) Technical Reference Manual[R]. Davis: Hydrologic Engineering Center, 2016.

[2] 张行南,李琼芳,刘慧. HEC-RAS模型不同能量损失计算方法对比研究[J]. 水科学进展, 2018, 29(3): 365-372.

[3] 王浩,杨贵林,陈炼钢. 城区整治河道水面线计算方法适用性分析[J]. 水利水电技术, 2020, 51(7): 145-152.

[4] 李万顺,赵宇飞,张晓蕾. HEC-RAS模型地形数据处理对水面线计算的影响[J]. 人民黄河, 2019, 41(11): 103-107.

[5] 陈建国,刘敏,王鹏. 基于HEC-RAS的河道糙率系数率定与应用研究[J]. 水利水运工程学报, 2021(2): 89-96.

#### 作者简介:

柳超(1987-),男,汉族,重庆市忠县人,大学本科,高级工程师,文章方向: HEC-RAS在水面线计算中的应用研究。