

# Shape Finding Calculation of Main Cable of Curved Suspension Bridge Based on Hybrid Genetic Algorithm

Haiwen Yang<sup>1</sup> Sihong Wang<sup>1</sup> Qian Cao<sup>2</sup> Yongjun Jiang<sup>1</sup>

1. Nanchang Railway Engineering Co., Ltd., China Railway 24th Group, Nanchang, Jiangxi, 330000, China

2. School of Civil Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou, 550025, China

## Abstract

Curved suspension bridge is a new type of bridge structure with great potential for application in tourist attractions. The complex stress distribution and difficulty in finding the shape of the main cable in curved suspension bridges greatly limit the research and application of single cable surface curved suspension bridges. In response to the difficulty of finding the shape of curved suspension bridges, this paper proposes a hybrid genetic algorithm suitable for finding the shape of the main cable of single cable surface curved suspension bridges. This algorithm applies intelligent search algorithms to the shape finding calculation process of spatial main cables. To verify the accuracy of the algorithm proposed in this article, a curved suspension bridge was taken as an example for verification. The calculation results show that compared with traditional algorithms, the hybrid genetic algorithm proposed in this paper is more suitable for the calculation of the shape of the main cable on the spatially irregular cable surface, and can provide reference for the design and calculation of similar bridges.

## Keywords

curved suspension bridge; cable-coupled system; bridge alignment; genetic algorithm; steffens algorithm

## 基于混合遗传算法的曲线悬索桥主缆找形计算

杨海文<sup>1</sup> 汪思弘<sup>1</sup> 曹乾<sup>2</sup> 姜勇军<sup>1</sup>

1. 中铁二十四局集团南昌铁路工程有限公司, 中国·江西 南昌 330000

2. 贵州大学土木工程学院, 中国·贵州 贵阳 550025

## 摘 要

曲线悬索桥是一种新型桥梁结构形式, 在旅游景区有很大的应用空间。曲线悬索桥受力复杂, 主缆找形困难, 这极大限制了单索面曲线悬索桥的研究与应用。针对曲线悬索桥找形困难的问题, 论文提出了一种适合单索面曲线悬索桥主缆找形的混合遗传算法。该算法将智能搜索算法应用在空间主缆找形计算过程中。为验证论文所提算法的准确性, 以某曲线悬索桥为例进行了验证。计算结果表明相较于传统算法, 论文所提出的混合遗传算法更适合空间异形索面主缆找形的计算, 可为同类桥梁的设计、计算提供参考。

## 关键词

曲线悬索桥; 缆索耦合体系; 成桥线形; 遗传算法; 斯蒂芬森算法

## 1 引言

目前悬索桥的造型越来越多样化, 曲线悬索桥等新的异形悬索桥层出不穷。曲线悬索桥结构流畅、轻盈飘逸, 在景区、城市有很大发展空间<sup>[1]</sup>。曲线悬索桥主缆、吊杆均处于空间受力状态, 主缆找形困难, 严重阻碍了曲线悬索桥的发展。

主缆是悬索桥主要承重构件, 合理的成桥线形能够充分发挥材料的性能, 悬索桥主缆成桥线形的计算一直是设计人员、科研工作者的研究的重点。空间主缆线形的确定主要

依靠有限单元法和数值解析法两种方法。数值法计算简单、精度高, 在施工中广泛应用。罗喜恒<sup>[2]</sup>提出了空间索面悬索桥主缆找形的计算模型, 该模型在计算中被广泛应用。Xiao<sup>[3]</sup>提出了空间主缆找形的基本步骤。王晓明<sup>[4]</sup>对罗喜恒提出的空间悬索计算模型进行了研究, 发现空间主缆计算模型需要高精度的迭代初始值。郑久建<sup>[5]</sup>提出一种对初值精度相对较低的 Marquardt 修正的最小二乘法。李立斌<sup>[6]</sup>等提出一种利用迈达斯建模助手反复修正吊索倾角的建模方法, 但该方法过于复杂且精度不高。吴星月<sup>[7]</sup>等对空间异形悬索桥的主缆进行了研究, 提出了空间异形索面悬索桥主缆成桥线形的解析表达式。

综上, 针对空间异形索面悬索桥主缆找形中存在的问题, 论文提出了一种高精度的主缆找形算法—混合遗传算

【作者简介】杨海文(1993-), 男, 本科, 工程师, 从事桥梁工程、混凝土研究。

法。该算法由遗传算法和斯蒂芬森算法两部分组成。具体计算过程中，首先基于遗传算法强大的搜索能力，在抛物线理论的基础上进行区间搜索，以获得高精度的迭代初始值，其次在遗传算法的基础上依靠斯蒂芬森进行精细化迭代计算。

## 2 混合遗传算法

### 2.1 适应度函数的选取

适应度函数是混合遗传算法计算的核心，合理的适应度函数可以加快混合遗传算法的收敛速度。罗喜恒<sup>[2]</sup>在总结空间悬索桥的受力基础上，提出了空间主缆的计算模型。Wei<sup>[8]</sup>在进行平行索面主缆找形的过程中提出了平行索面的适应度函数。

论文在参考罗喜恒和魏兆林提出的计算模型，提出了考虑跨中横桥向误差的计算模型。

论文的适应度函数  $M: M = \min(M_1, M_2, M_3, M_4)$ 。

$$\begin{cases} M_1 = \left| 1 / \left( \sum_{i=1}^m h_i - \Delta h \right) \right| \\ M_2 = \left| 1 / \left( \sum_{i=1}^m z_i - \Delta z \right) \right| \\ M_3 = \left| 1 / \left( \sum_{i=1}^n h_i - f \right) \right| \\ M_4 = \left| 1 / \left( \sum_{i=1}^n z_i - \Delta z_2 \right) \right| \end{cases} \quad (1)$$

其中， $\Delta z_2$  为主缆左端点到跨中横桥向距离差。

### 2.2 混合遗传算法的计算流程

混合遗传算法的计算分为两步，第一步通过遗传算法通过区间搜索计算出接近真实值的缆端力；第二步通过斯蒂芬森算法进行迭代计算，计算出高精度的缆端力，混合遗传算法的计算流程如图 1 所示。

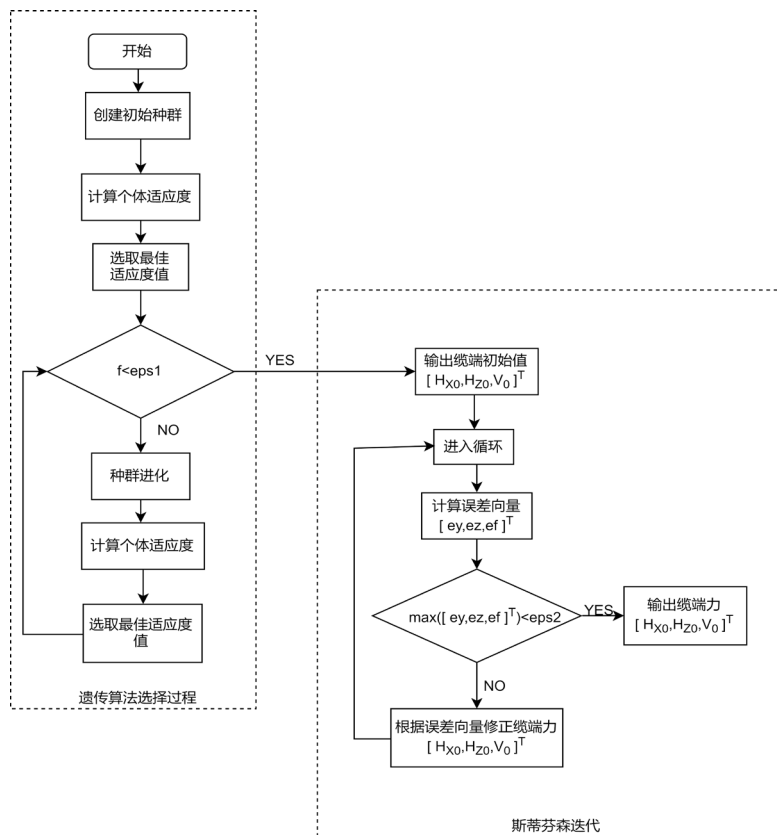


图 1 混合遗传算法计算流程图

## 3 算例分析

某曲线悬索桥是双塔三跨钢桁架空间异形悬索桥，桥跨径布置为 61m+168m+61m。中跨竖向矢跨比为 1/8，横桥向矢跨比为 1/14。全桥共 48 根吊杆，两根吊杆顺桥向间距为 6m，主缆中跨的吊杆下端竖向力为 135~267kN。加劲梁为钢桁梁，高度为 2.4m，宽度为 5m，桥面纵坡为 2.2%。主缆的弹性模量为 195GPa 桥梁的示意图见图 2。

论文取  $\text{eps} = 10^{-4} \text{m}$ ，图 3 给出了三种不同算法的计算结果。

通过对比图 3 的计算结果，可以发现斯蒂芬森算法计算

效果最差，影响矩阵法计算效果不稳定，计算精度较差，混合遗传算法计算效果最好，经过 28 次迭代，达到了计算精度。

## 4 结论

论文通过对某曲线悬索桥主缆、吊杆进行了受力分析，在此基础上提出了一种空间异形索面主缆找形的新算法进行研究，以某曲线悬索桥为例进行了计算。可以证明，论文所提的混合遗传算法有很高的计算精度，收敛速度快，能够解决空间异形索面主缆找形困难的问题，在空间主缆找形计算中有广阔的应用空间。

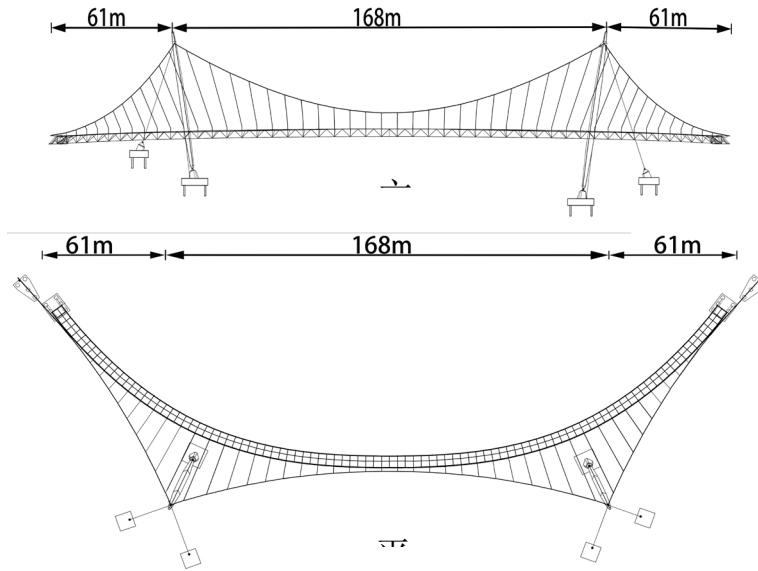


图2 三跨空间索面悬索桥图示

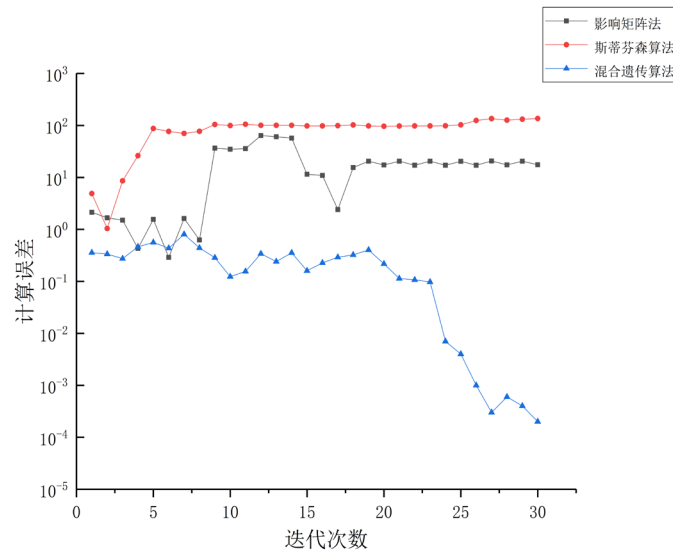


图3 不同算法的迭代过程

参考文献

[1] Brown P, Kuhendran K, Marks J. Peace Bridge, Londonderry: design and construction[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Bridge Engineering, 2015, 168(2):163-172.

[2] 罗喜恒,肖汝诚,项海帆.空间缆索悬索桥的主缆线形分析[J].同济大学学报(自然科学版),2004(10):1349-1354.

[3] Xiao R, Chen M, Sun A B. Determination of the Reasonable State of Suspension Bridges with Spatial Cables[J]. Journal of Bridge Engineering, 2017.

[4] 王晓明.基于Steffens-Newton法的空间索形悬索桥初始平衡状态分析[J].计算力学学报,2011(3).

[5] 郑久建,丁松,周洪彬,等.空间索面悬索桥成桥线形的Marquardt修正最小二乘法计算[J].北京交通大学学报,2016,40(1):26-30.

[6] 李立斌,王立彬,李建慧.单索面曲梁悬索人行桥主缆线形分析[J].铁道科学与工程学报,2017,14(10):2162-2169.

[7] 吴月星,周建庭,孙马,等.空间异形索面悬索桥主缆成桥线形计算方法[J].桥梁建设,2020,50(5):37-43.

[8] Wei Z, Shen M, Song X, et al. Study on the Main Cable Curve of Suspension Bridge Based on the Improved Particle Swarm Optimization (IPSO) Method[J]. Applied Sciences,2022,12(11):5445.