

连续多跨输电线静力平衡态分析

—— 一种基于龙格库塔求解的连续多跨输电线形态计算方法

报告人：蔡云竹

邮 箱：yunzhucai@njtech.edu.cn

2022.12.29

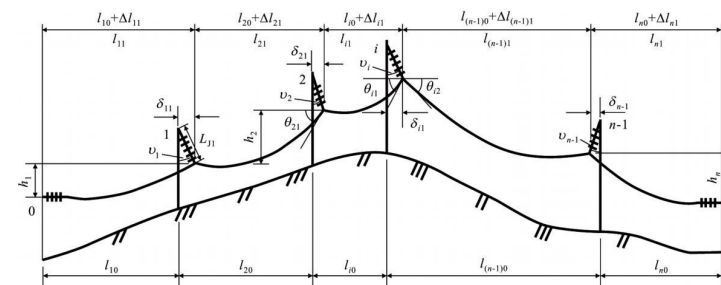
工程背景



➤ 输送电压等级攀升、跨度增大 → 耐张绝缘子串长度增加、重量增大 → 影响放线施工 (重力影响)

➤ 非均匀覆冰 → 耐张段各档平衡态发生变化 (竖向附加准静力作用)

➤ 大风作用 → 输电线风偏 → 风振分析初始态变化 (风平均作用)



工程背景



影响输电线形态的因素趋于综合化、多样化



对输电线静力平衡态分析方法提出了更全面、更通用的要求。

- ✓ 连续多跨特征
- ✓ 竖向分布荷载的非均匀性
- ✓ 竖向集中荷载
- ✓ 三维附加荷载的非均匀性

悬索结构形态分析方法

➤ 解析法

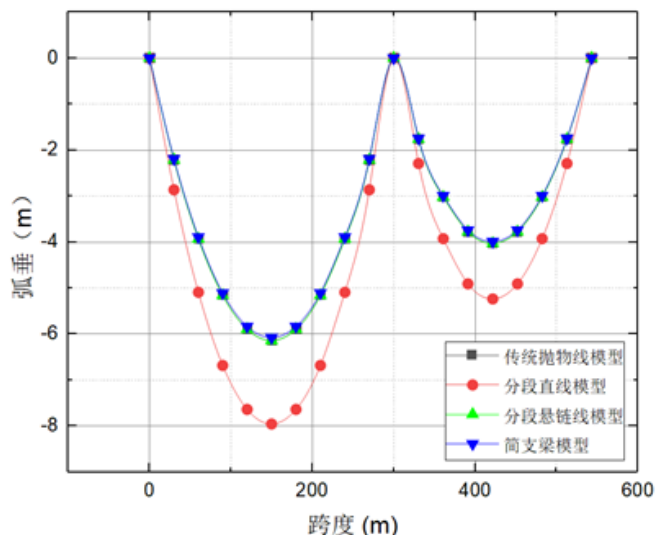
- 抛物线法
- 悬链线法
- 简支梁法

➤ 分段法

- 分段直线法
- 分段抛物线
- 分段悬链线

➤ 有限单元法

- 两节点单元（直线、抛物线、悬链线）
- 三节点索单元（二次插值函数）
- 四节点索单元（三次插值函数）



虚功原理+位移协调+数值求解

? 求解精度如何衡量

? 是否存在过拟合

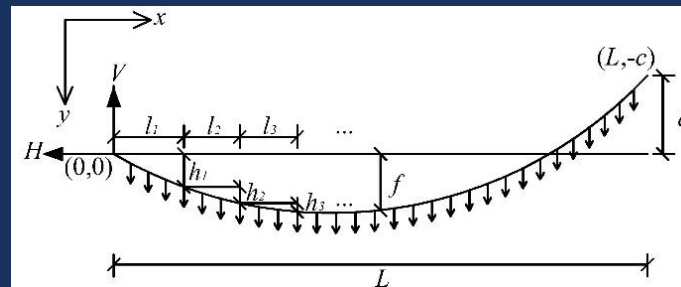
方法要素

➤ 以跨为对象，构造对象函数，实现单元有效划分

➤ 重力荷载下连续多跨输电线形态求解

输电线设计参数
荷载参数
⇩
荷载分布规律

分段悬链线理论



✓ 使得单元端点受集中力作用，沿单元长度受均布荷载作用

✓ 获得满足施工放线需求的输电线无应力长度

方法要素

➤ 三维附加荷载下单元力学模型

$$\begin{aligned} dx &= -(F_x + Q_x) \left(\frac{1}{EA} + \frac{1}{T} \right) ds \\ dy &= -(F_y + Q_y) \left(\frac{1}{EA} + \frac{1}{T} \right) ds \\ dz &= -(F_z + Q_z - qs) \left(\frac{1}{EA} + \frac{1}{T} \right) ds \\ ds^* &= \left(\frac{T}{EA} + 1 \right) ds \end{aligned} \quad \text{且} \quad \begin{aligned} s=0 &\rightarrow x=0, y=0, z=0, s^*=0 \\ s=S_0 &\rightarrow x=x_S, y=y_S, z=z_S, s^*=S \end{aligned}$$

$$Q_x = \int_0^{s^*} q_x(s) ds, \quad Q_y = \int_0^{s^*} q_y(s) ds, \quad Q_z = \int_0^{s^*} q_z(s) ds;$$

➤ 龙格库塔求解重力与附加荷载共同作用下连续多跨输电线静力平衡态

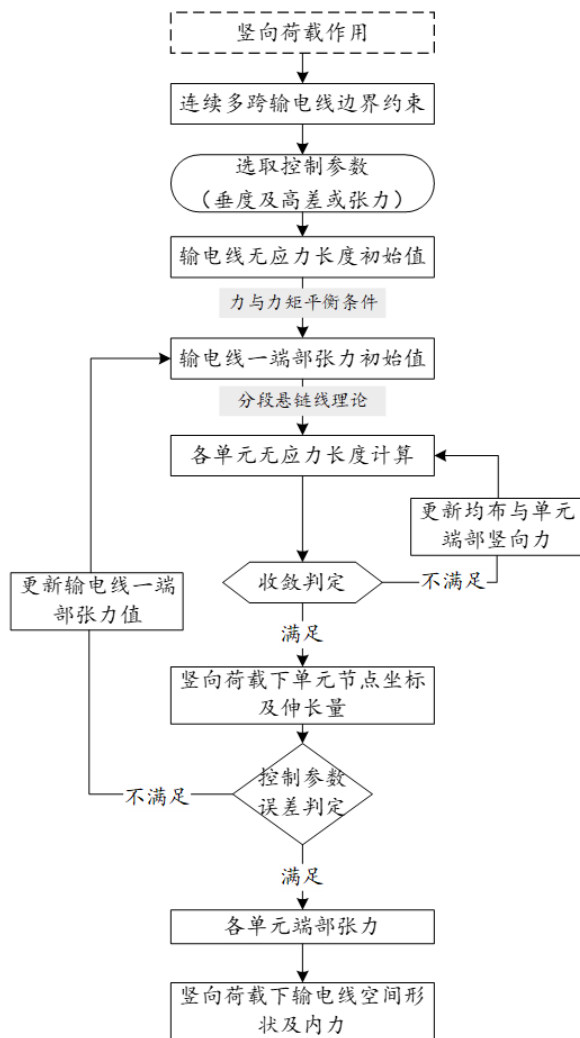
c_1	a_{11}	a_{12}	\cdots	a_{1m}
c_2	a_{21}	a_{22}	\cdots	a_{2m}
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
c_m	a_{m1}	a_{m2}	\cdots	a_{mm}
	b_1	b_2	\cdots	b_m

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{c} = \frac{1}{6} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

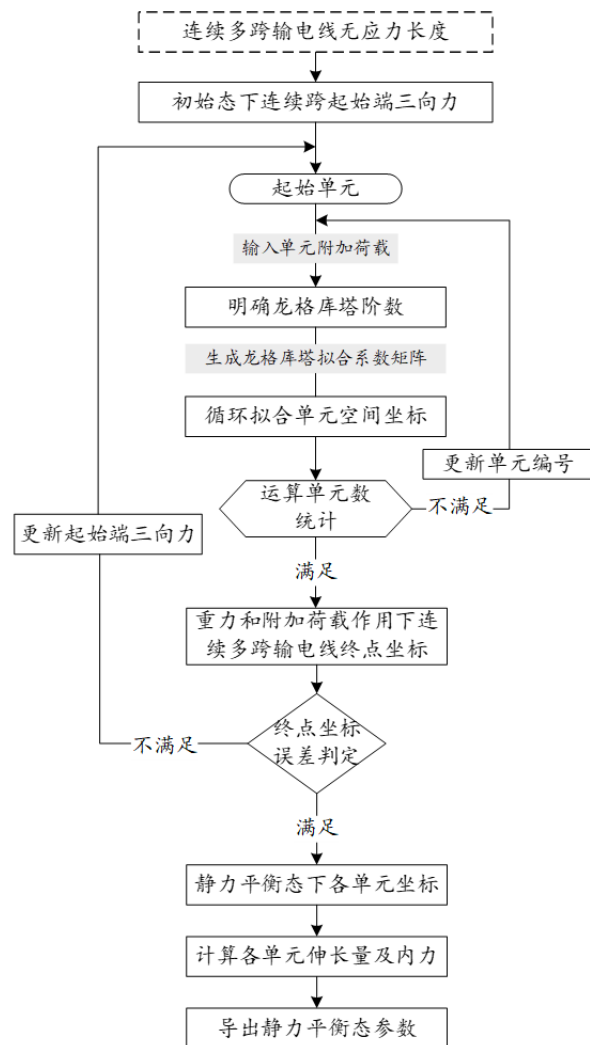
✓ 空间笛卡尔坐标和变形后拉个朗日坐标关于无应力拉格朗日坐标的一阶微分方程组

✓ 确保力学模型求解精度与龙格库塔阶数一致

连续多跨输电线形态求解模块



任意竖向荷载作用下连续多跨输电
线找形分析流程



三维附加荷载作用下连续多跨输电
线平衡态分析流程

连续多跨输电线形态求解方法的技术要点

1. 单元有效划分

建立以跨为对象的构造函数

2. 无应力长度计算的收敛

以目标弧垂或运行张力为控制目标的迭代求解

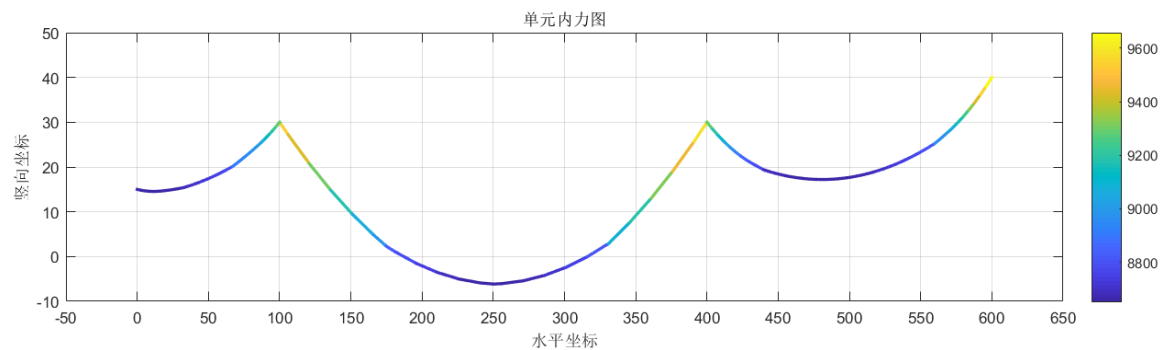
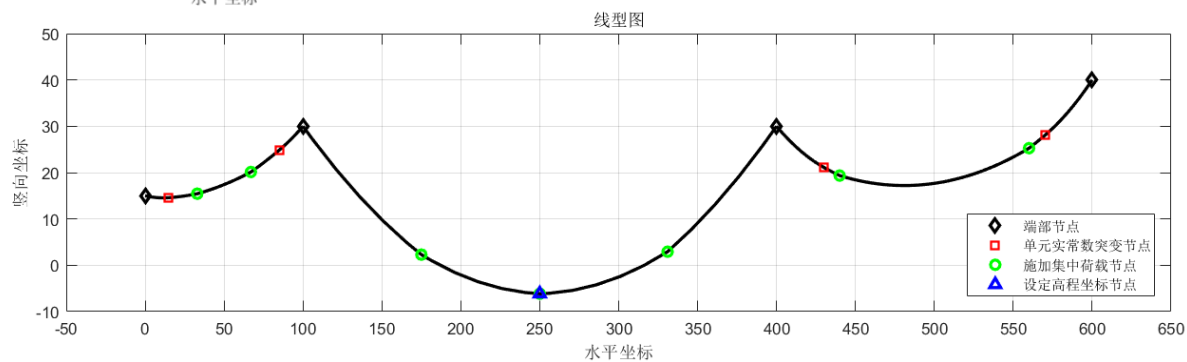
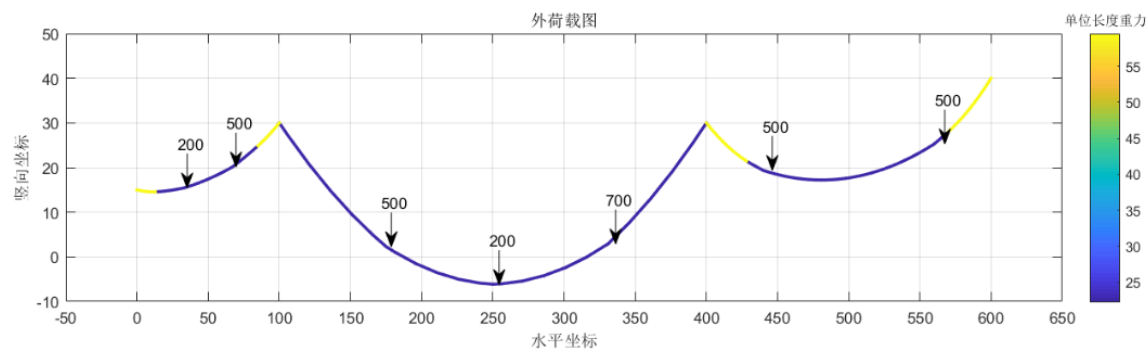
3. 单元张力迭代更新

以耐张端空间坐标为控制目标的迭代求解

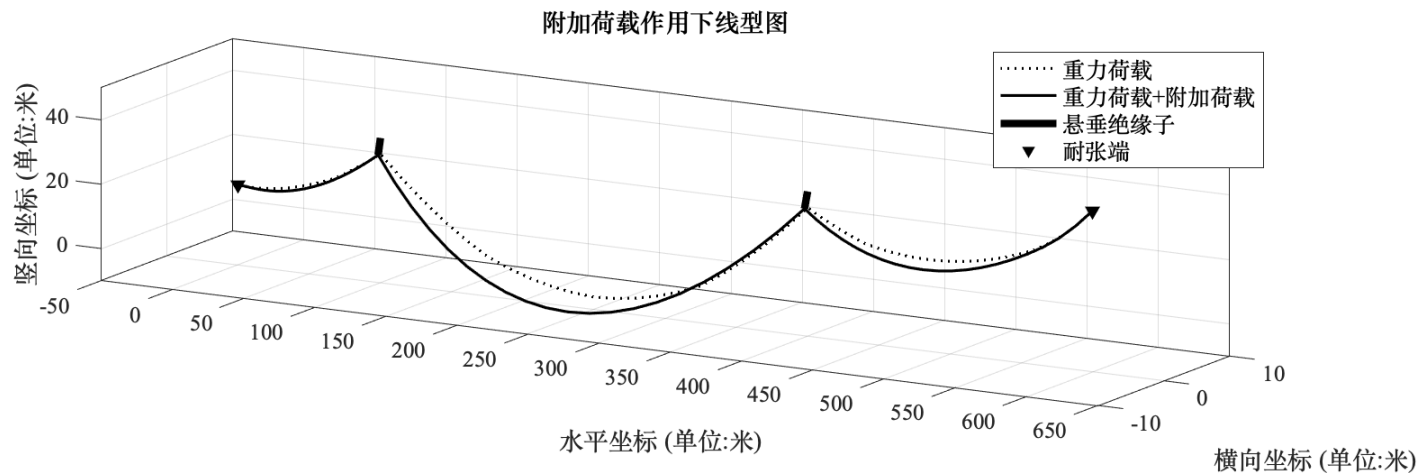
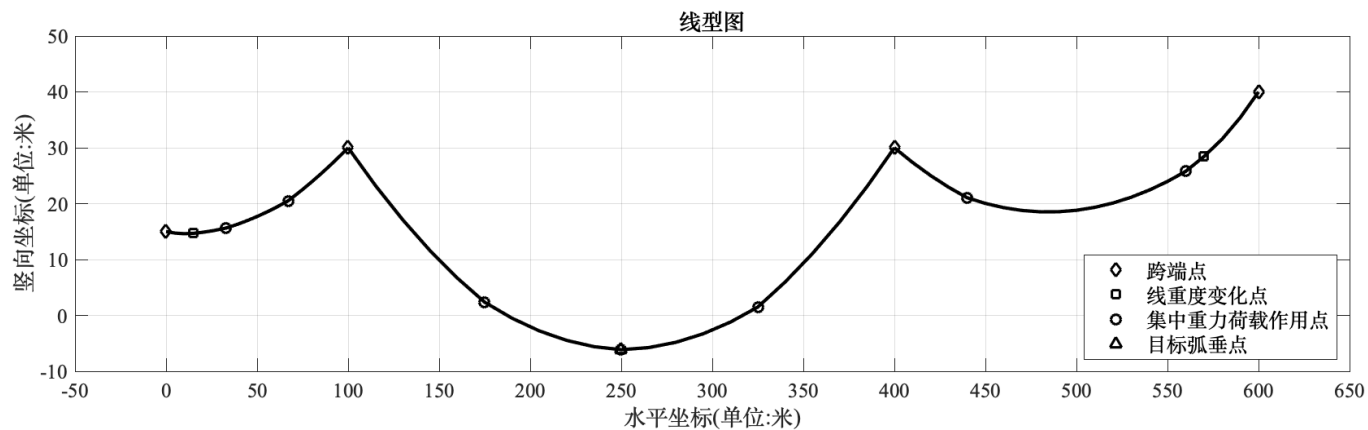
4. 各跨跨端张力初始值估算

假定各跨端端点固定的张力初始值计算

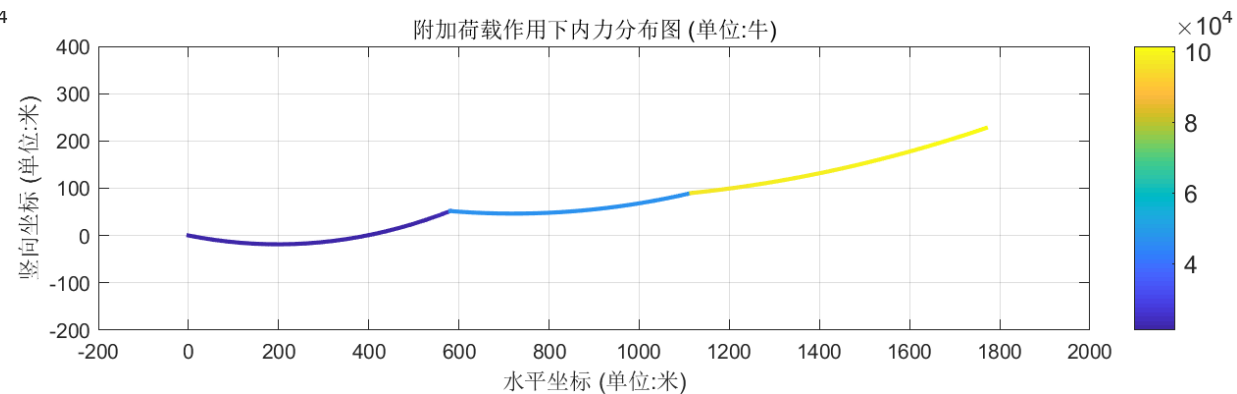
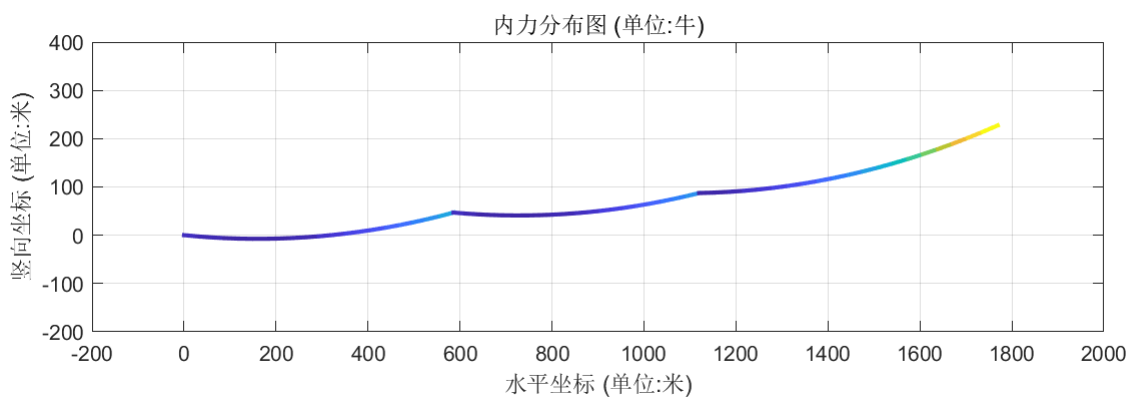
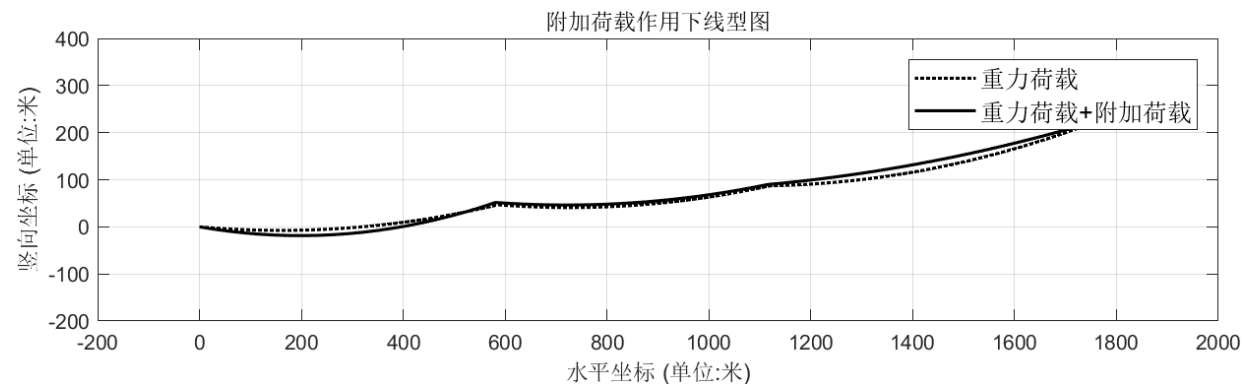
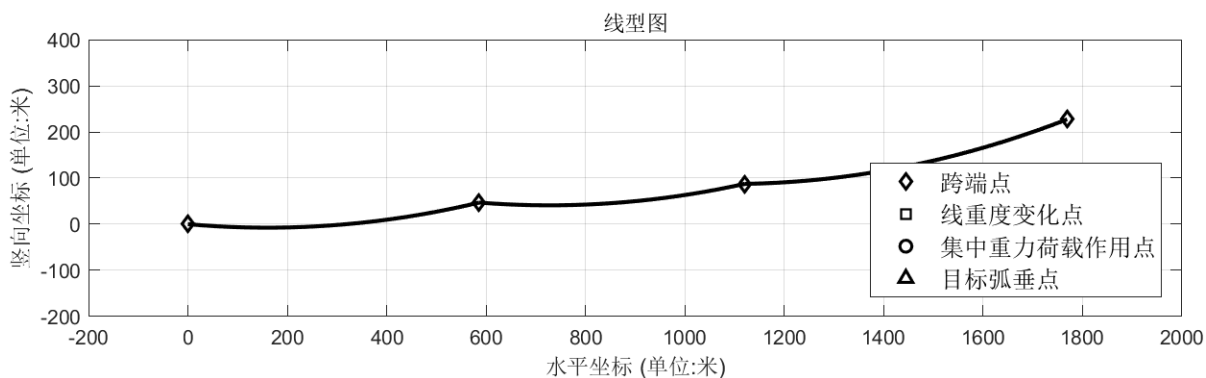
案例计算——考虑耐张串和附件重力作用



案例计算——角度风作用



案例计算——非均匀覆冰作用



请各位老师批评指正！

谢谢！