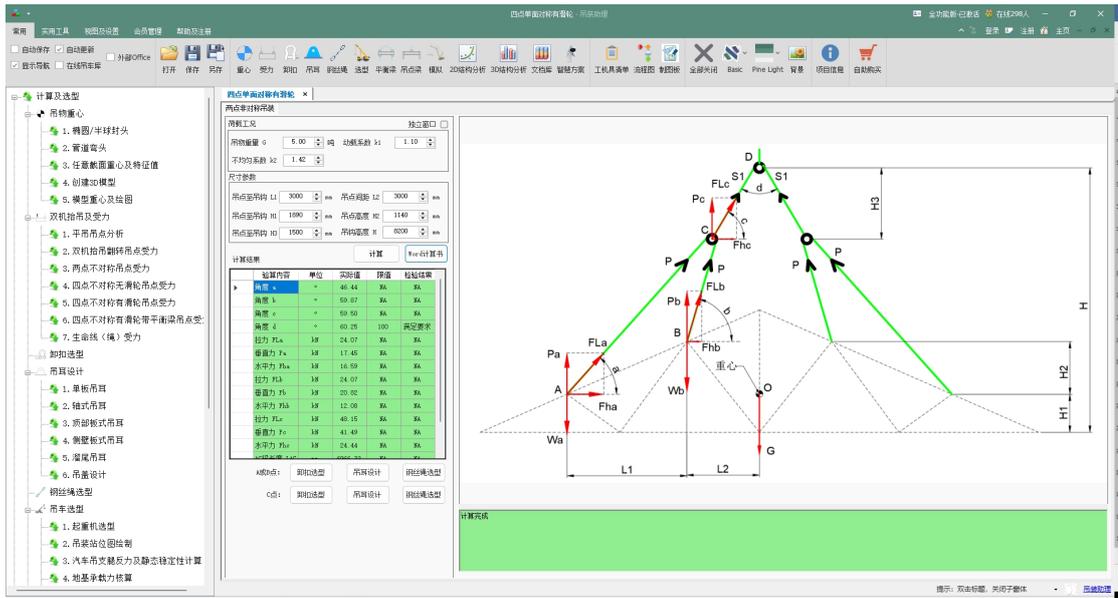


# 四点不对称有滑轮吊点受力分析模块使用教程

## 一、功能介绍与使用场景



本模块是针对大跨度、柔性钢结构件（如厂房屋面桁架）进行四点吊装的专用高级工具。其核心特点是模拟了同侧两吊点共用一套钢丝绳并通过顶端滑轮或平衡环连接的真实工况，确保两吊点自动均载，从而彻底解决多点吊装中部分吊点“虚吊”或受力不均的工程难题。

该模块的主要功能包括：

- 被动均载与超静定求解：**独创算法精确求解“四点单面对称有滑轮”这一超静定体系的受力。同侧（A与B，C与D）的钢丝绳拉力因滑轮作用而自动相等（ $FL_a = FL_b$ ），软件自动分配两侧滑轮组的受力，实现精确计算。
- 生成专业设计文档：**一键生成包含完整计算模型、公式推导、过程详解和结论的Word计算书，满足方案评审与施工交底要求。
- 高效设计工作流：**计算结果（如最大拉力 $FL_{max}$ 、吊点力 $P_a$ 等）可一键传递至后续的卸扣、吊耳、钢丝绳选型模块，实现从分析到设计的无缝衔接。

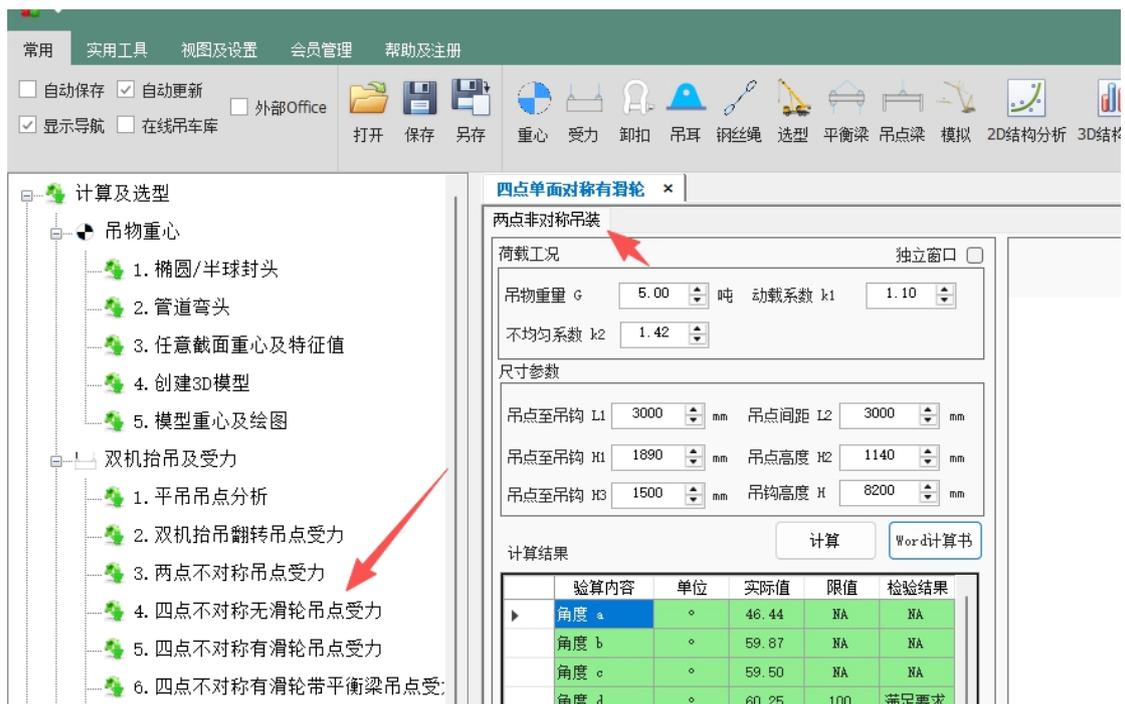
## 主要使用场景：

- 钢结构厂房屋面桁架吊装：这是最典型的应用场景。桁架跨度大、柔性高，采用单滑轮四点吊可有效防止吊装变形，确保各吊点均匀受力。
- 大型网架结构吊装：同样需要多点协同、均衡受力的柔性空间结构。
- 带有既定吊点群的设备吊装：当设备本身提供了成对的吊点，并设计使用平衡滑轮连接时。

## 二、操作流程

### 第 1 步：进入模块并设置工况

1.1 在软件左侧导航栏，依次展开“计算及选型”->“拾吊及受力分配”，点击“5. 四点不对称有滑轮吊点受力”进入模块。



1.2 在“荷载工况”区域，输入吊装基本信息：

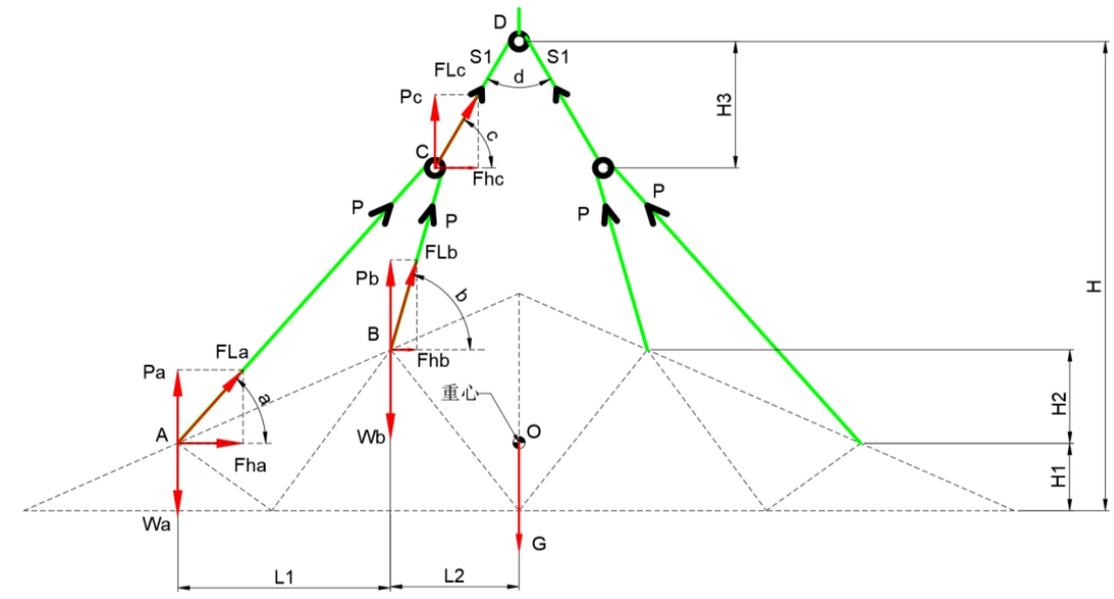
荷载工况 独立窗口

吊物重量 G 5.00 吨 动载系数 k1 1.10

不均匀系数 k2 1.42

- 吊物重量  $G$ ：输入被吊物的总重量。
- 动载系数  $k_1$ 、不均匀系数  $k_2$ ：根据规范与工况选取（默认分别为 1.10 和 1.42）。

## 第 2 步：输入关键几何尺寸



在“尺寸参数”区域（图 2），准确输入决定吊装几何模型的关键尺寸，这是区别于无滑轮模块的核心：

尺寸参数					
吊点至吊钩 L1	<input type="text" value="3000"/>	mm	吊点间距 L2	<input type="text" value="3000"/>	mm
吊点至吊钩 H1	<input type="text" value="1890"/>	mm	吊点高度 H2	<input type="text" value="1140"/>	mm
吊点至吊钩 H3	<input type="text" value="1500"/>	mm	吊钩高度 H	<input type="text" value="8200"/>	mm

- 吊点至吊钩  $L_1$ ：吊钩垂点（O 点）至同侧两吊点（如 A、B）连线中点的水平距离。
- 吊点间距  $L_2$ ：内侧吊点 B 与吊钩竖垂线之间的水平距离。
- 吊点至吊钩  $H_1$ ：外侧吊点至吊物底面的垂直高度。
- 吊点高度  $H_2$ ：内侧吊点至吊物底面的垂直高度。
- 吊点至吊钩  $H_3$ ：吊钩点 O 到滑轮中心的高度。
- 吊钩高度  $H$ ：吊钩点 O 到吊物理论底平面的垂直距离。

### 第 3 步：执行计算与解读结果

3.1 点击“计算”按钮，进行静态工况分析。

3.2 查看“计算结果”表格与右侧示意图，核心要点（对应图 2、3）：

- 角度 a、b：分别为两侧钢丝绳合力与水平面的夹角。
- 角度 c：空间中对角线钢丝绳间的夹角，其限值（通常 $\leq 100^\circ$ ）必须满足，否则需调整 H0、H1 等高度。
- 拉力 FLa/FLb 与 FLc/FLd：软件将显示 FLa = FLb, FLc = FLd，但两侧的拉力值通常不同（即 FLa  $\neq$  FLc）。
- 吊点垂直力 Pa, Pb...：各吊点处的垂直反力，用于吊耳局部设计。
- 钢丝绳长度 L\_AC, L\_BC：计算出的各段钢丝绳精确长度，用于下料和调平，确保同时张紧。

### 第 4 步：结果应用与输出

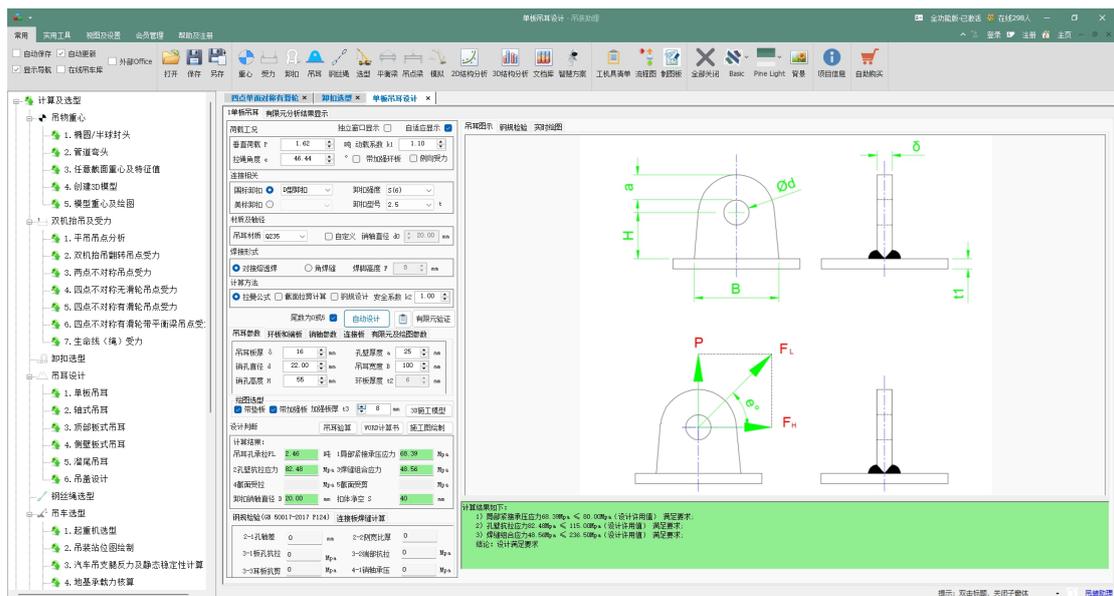
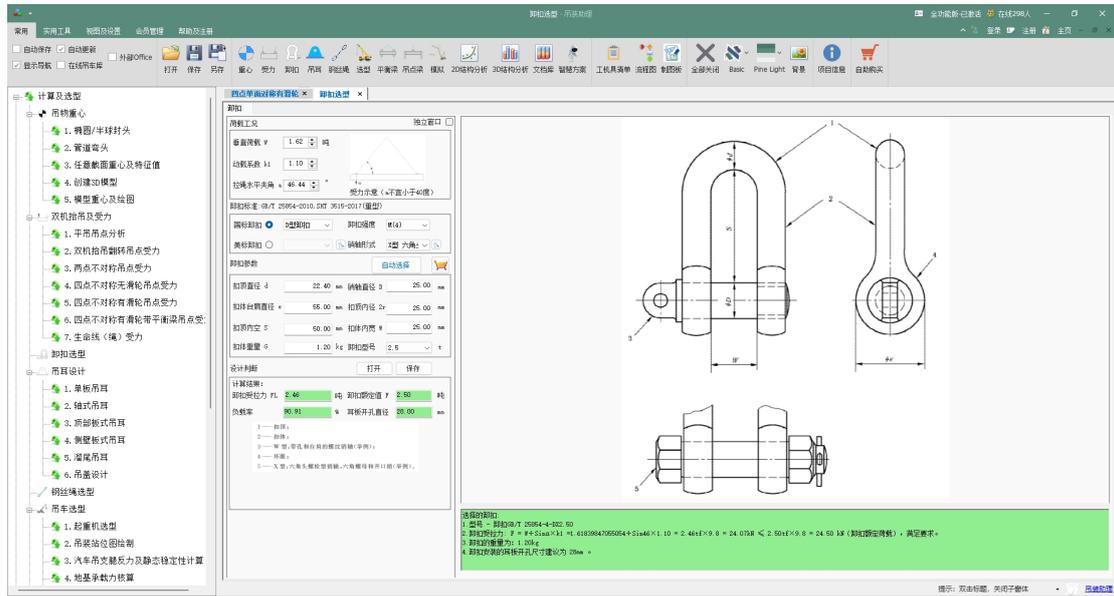
计算结果 计算 Word计算书

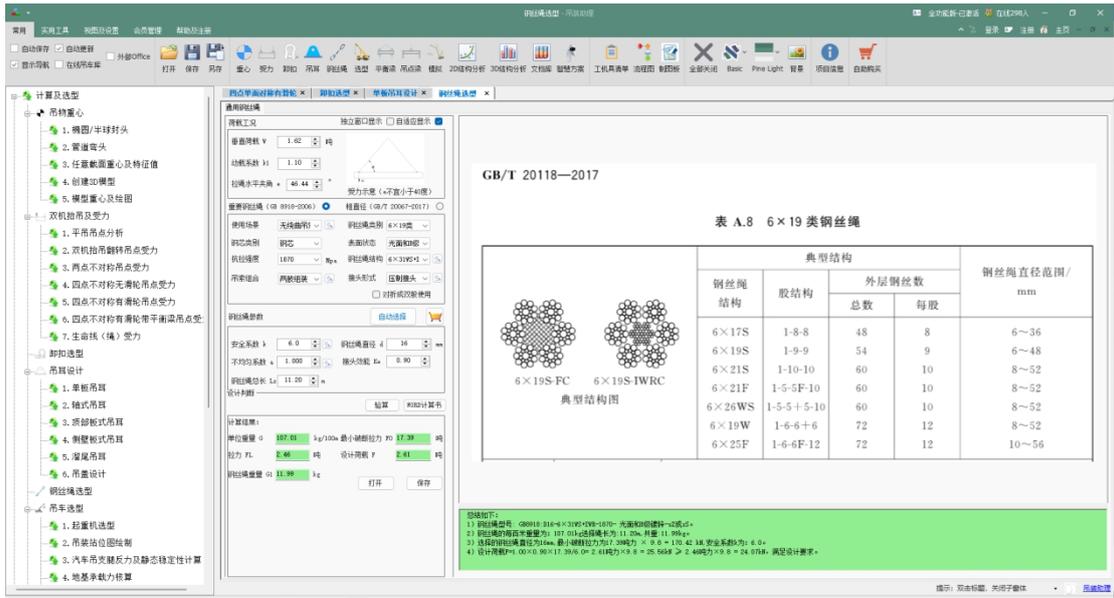
	验算内容	单位	实际值	限值	检验结果
▶	角度 a	°	46.44	NA	NA
	角度 b	°	59.87	NA	NA
	角度 c	°	59.50	NA	NA
	角度 d	°	60.25	100	满足要求
	拉力 FLa	kN	24.07	NA	NA
	垂直力 Pa	kN	17.45	NA	NA
	水平力 Fha	kN	16.59	NA	NA
	拉力 FLb	kN	24.07	NA	NA
	垂直力 Pb	kN	20.82	NA	NA
	水平力 Fhb	kN	12.08	NA	NA
	拉力 FLc	kN	48.15	NA	NA
	垂直力 Pc	kN	41.49	NA	NA
	水平力 Fhc	kN	24.44	NA	NA
	AC段长度 L_AC	m	6.966 33	NA	NA

A或B点：卸扣选型 吊耳设计 钢丝绳选型

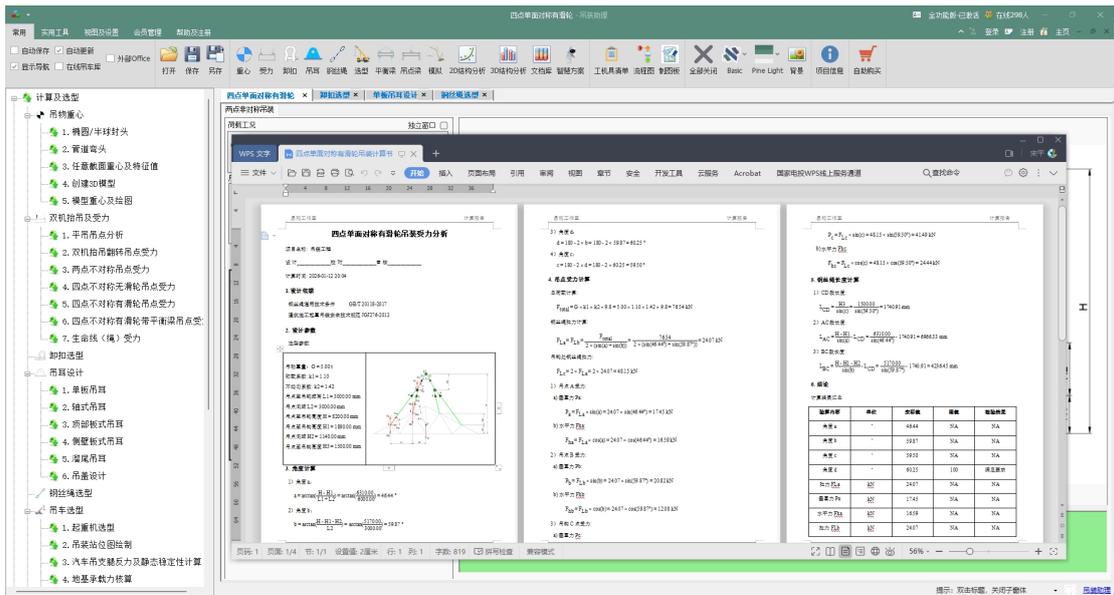
C点：卸扣选型 吊耳设计 钢丝绳选型

4.1 结果传递：利用界面下方的按钮，将计算出的 FLmax（最大钢丝绳拉力）传递至“钢丝绳选型”，将对应的吊点力（Pa 等）传递至“吊耳设计”和“卸扣选型”。





4.2 生成计算书：点击“Word 计算书”按钮，生成与图 3 类似的、包含详细公式与校核的正式分析报告。



### 三、参数详解

#### 1. 核心几何参数（理解“单面对称”）

参数	符号	含义与工程意义
H1	H <sub>1</sub>	外侧吊点群的高度基准。决定了该侧钢丝绳夹角 α 的大

		小。H1 越大，夹角 $\alpha$ 通常越大，该侧钢丝绳拉力相对越大。
H2	H <sub>2</sub>	内侧吊点群的高度偏移。H2 > 0 表示内侧吊点更高（吊物倾斜）；H2 = 0 表示两侧吊点等高（理想水平吊装）。此参数是造成两侧受力(FLa 与 FLc)不同的主要原因。
H	H	吊钩至吊物底平面的高度。是控制整个吊装系统“高矮胖瘦”的关键，直接影响角度 $\gamma$ 的大小。增加 H 是减小角度 $\gamma$ 、满足限值要求最有效的方法。

## 2. 核心计算结果与原理

关键结论	原理与工程应用
同侧钢丝绳拉力相等 (FLa = FLb)	这是“有滑轮”结构的核心力学特征。滑轮平衡环使得同侧两根钢丝绳像“一串”一样工作，拉力自动相等，被动实现均载。因此，只需计算一侧的拉力作为代表。
两侧拉力不等 (FLa ≠ FLc)	由于 H2 的存在以及 L1 可能不同，导致两侧滑轮组承担的载荷不同。软件算法精确求解此分配关系，找出 FLmax。
角度 $\gamma$ 的限值控制	角度 $\gamma$ 过大意味着钢丝绳空间布局过于“平趴”，会产生巨大的水平挤压力，威胁结构安全和钢丝绳寿命。计算结果必须显示“角度 $\gamma$ 满足要求”。

## 四、操作技巧与建议

1. 优先调整 H 以满足角度  $\gamma$  限值：如果计算后角度  $\gamma$  超限 ( $>100^\circ$ )，最直接有效的做法是增加“吊点至吊钩 H”的数值，即增加吊钩起升高度，使钢丝绳更“竖直”，从而减小夹角  $\gamma$ 。
2. 利用 H2 微调实现“水平吊装”：要使吊物在空中保持水平，需调整吊点高度 H2，使两侧吊点群的连线中点处于同一水平面。软件计算可帮助反推所需的 H2 值。

3. 与“无滑轮”模块对比使用：当处理刚性设备且要求各吊点独立受力时，用“无滑轮”模块。当处理柔性桁架且通过滑轮组连接以保证同步时，必须用本“有滑轮”模块。选择错误会导致计算结果完全失真。
4. 关注钢丝绳长度的差异：即使  $FL_a = FL_b$ ，由于 A、B 两点高度可能不同，计算出的钢丝绳长度  $L_{AC}$  与  $L_{BC}$  也可能不同。必须按此不同长度准备钢丝绳，才能在初始状态即保证四点同时张紧受力。

## 五、常见问题解答 (FAQ)

### Q1: “有滑轮”和“无滑轮”模块的根本区别是什么？分别在什么情况下使用？

A1: 根本区别在于力学模型。“无滑轮”模块中，四个吊点的钢丝绳拉力是四个独立的未知量，需解超静定问题，结果四个力通常各不相等。“有滑轮”模块中，因滑轮作用，同侧两力强制相等，未知量减少，模型更贴近使用平衡环/滑轮的现场实际。

选用原则：刚性设备、吊耳强度足够时，可考虑“无滑轮”独立吊点。柔性大跨度构件（桁架、网架），为防止不同步受力导致构件变形或失稳，必须采用“有滑轮”方式，以保证同侧吊点协同工作。

### Q2: 软件是如何保证计算出的四根钢丝绳都能张紧的？

A2: 软件通过两个机制保证：一是力学模型上，基于滑轮平衡原理，默认同侧钢丝绳受力相等，从理论上避免了因受力不均导致的松弛。二是几何输出上，提供精确的、考虑了点高度差的钢丝绳长度（ $L_{AC}$ ,  $L_{BC}$  等）。现场按此长度配置或调整钢丝绳后，在重力作用下，四根钢丝绳能同时达到受力平衡状态，自然张紧。

### Q3: “不均匀系数 $k_2$ ”在有滑轮模块中应该如何取值？

A3: 在有滑轮模块中，由于滑轮已经很大程度上消除了同侧的不均匀性， $k_2$  主要用来覆盖算法模型未考虑的极端因素，如两侧滑轮组不同步、细微的几何误差、风载引起的摆动等。因此，其取值可比在“无滑轮”或简单估算中更小一些，通常取 1.2 ~ 1.5 即可。对于计算精度要求高、工况平稳的情况，可取下限。

## Q4: 从计算结果中，如何快速判断吊装方案是否可行？

A4: 遵循以下三步快速判断：

- ◇ 查角度：首先确认“角度  $c$ ”是否满足要求 ( $\leq$ 限值)。这是安全前提。
- ◇ 看极值：查看“极值计算”输出的  $FL_{max}$  (最大钢丝绳拉力)，判断选用的钢丝绳破断拉力是否足够 (安全系数通常 $\geq 6$ )。
- ◇ 对吊点：将最大的吊点垂直力 (如  $P_a, P_b$  中的大值) 代入吊耳设计模块，校核设备本体或吊耳强度是否满足。

以上三点均通过，方案在力学上基本可行。