**同豪开发文档**

#### 空间悬索桥成桥状态主缆找形计算理论文档

V0.2

**文档编号：THPRJ\_\*\*\***

**编制：陈瑞山**

**复核：**

**审核： 张金龙**

**2016-03-28**

# 1摘要：

在悬索桥的主缆施工过程中，涉及到施工前的主缆成桥状态计算，我们根据悬索桥布置形成的纵断面线形和由此确定的控制主缆的几何线形基本点的位置，来分析主缆及其构件成桥时的构形、受力状态，进而求出主缆的无应力索长等。

本文档主要研究基于分段悬链线理论的成桥状态主缆找形理论。总体计算顺序是先主跨，再边/锚跨，即先由主跨计算得出主缆端力，根据支座处力平衡的原则进行边/锚跨的计算。所以我们的文档也分成主跨找形，边/锚跨找形两部分。

以下计算均不考虑索鞍。

# 2问题描述：

成桥状态近似计算作如下假定：

1. 主缆为柔性索，不计其弯曲刚度，主缆各段满足悬链线理论的基本方程；
2. 两锚锭锚固点间距离保持不变；
3. 加劲梁恒载由主缆承担。

我们规定水平方向从左往右是X轴正向，主缆线重度的负方向是Y轴正方向，根据右手法则确定Z轴。节点由0开始从左往右连续编号，索段由1开始从左往右连续编号，索段总数为N，节点总数为N+1。在悬链线方程

****

**（**其中下标表示左节点，表示右节点，上标表示单元序号，表示水平分量X轴投影，表示竖直分量，表示水平力Z轴投影，左节点端力，右节点端力，，，，表示索段无应力索长，表示线重度，表示截面面积，表示弹性模量**）**

中各段跨长已知，对于主跨找形还有6N个未知数：索段无应力索长，左端力的水平分量X轴投影、水平分量Z轴投影、竖直分量，索段两端点高差，索段两端点Z轴偏移。除了上述3N个方程外，还缺3N个方程。全跨只要1索段左端力的水平分量X轴投影已知即可求出其他索段的端力的水平分量X轴投影，所以通过端力的水平分量X轴投影的递推公式：

，

（其中表示节点集中力荷载的水平分量X轴投影，，，表示吊杆下锚点受力的竖向分量，表示吊杆在x方向的投影长度，表示吊杆在y方向的投影长度，表示吊杆在z方向的投影长度）可以减少N-1个未知数。全跨只要1索段左端力的水平分量Z轴投影已知即可求出其他索段的端力的水平分量Z轴投影，所以通过端力的水平分量Z轴投影的递推公式：

，

（其中表示节点集中力荷载的水平分量Z轴投影，。）可以减少N-1个未知数，同理，通过端力的竖直分量的递推公式：

，

（其中表示节点集中力荷载的竖直分量，，表示索段重力，）

也可以减少N-1个未知数。因为1索段左节点和N索段右节点高差和偏移已知，



还可以减少2个未知数，还剩下最后一个未知数。

主跨找形是通过指定某点相对1索段左节点的高差来消除：



右边/锚跨找形的分析同上，只是还另有两个未知数，两个支座合力(,)。是通过已知已解跨对1索段左节点的索端力(三个分量)来消除：



如果需要计算对应左边/锚跨，我们需要先把左跨的已知条件通过镜面映射映射成右跨的已知条件，按照流程完成计算后，再通过镜面映射映射回左跨，在此不赘述。

# 3主跨找形：

1. 已知：
2. 主缆的材料特性和线重度，截面面积；
3. 0节点YZ坐标，N节点YZ坐标；
4. 主跨主缆各节点的横坐标；
5. 各吊杆下锚点横纵坐标，吊杆的线重度，吊杆下锚点受力的竖向分量；
6. 主跨主缆第个节点的纵坐标。
7. 计算步骤说明如下：
8. 将主缆线重度视为沿跨长分布，主缆1索段左端力的水平分量X，Z轴投影（，）和竖直分量（）的迭代初值可由抛物线理论来估算，迭代次数M赋零，



式中：表示主缆沿跨长平均线重度，，表示总跨度，表示跨中垂度的估计值，可以近似在Z=0平面用左右端点和已知标高点的坐标用抛物线方程求得，表示总索长估计值。

1. 为整数，，开始索段计算；
2. 若，转4，否则根据力平衡，得出索段的左节点端力的水平分量的X轴投影，Z轴投影和竖直分量；



1. 根据悬链线跨长的计算公式，应用牛顿法求解下述非线性方程，得到此索段的无应力索长；



式中：迭代初值由抛物线法来确定，其中。

1. 将无应力索长代入悬链线高差，偏移的计算公式，得到索段右节点的YZ坐标；





1. ？如成立转7，否则，转3；
2. 检查指定点标高，计算误差，检查末点标高和偏移，计算误差，
3. 将，和分别代入2-7的计算步骤，计算出相应的和的增量，从而得到影响矩阵：



矩阵中的第一列为加1引起的的改变量，第二列为加1引起的的改变量，第三列为加1引起的的改变量。

1. 求出，和的修正量；



1. 如果误差向量的范数满足误差要求，转11，否则M=M+1，如果M达到最大迭代次数，程序结束，求解失败，若未达到，则修正索端力，，，。回到2；
2. 线形计算完毕，得到成桥状态下各索段端点的竖直坐标、有应力索长、无应力索长、索段两端索力及其水平分量、竖直分量、从X轴正向转到索端力所在方向绕过的角度（正号表示逆时针，负号表示顺时针）。



1. 计算流程如下

Y

N

Y

N

N

Y

开始

=1，开始索段计算

估算,,的值，迭代次数赋零

>1？

计算索段左端内力三个分量

调用牛顿法求解无应力索长

计算高差偏移，得右端点YZ坐标



计算指定点与末点标高,偏移误差向量，计算影响矩阵，得到端力分量的增量

索力增量向量范数小于误差限

计算有应力索长和内力等

结束

迭代次数增1

达到最大迭代次数

更新,,



N

Y

# 4边锚跨找形：

1. 已知：
2. 主缆的材料特性和线重度，截面面积；
3. 0节点YZ坐标，N节点YZ坐标；
4. 边跨主缆各中间节点的横坐标；
5. 各吊杆下锚点横纵坐标，吊杆的线重度，吊杆下锚点受力的竖向分量；
6. 已解跨主缆对支座点的力；
7. 待解跨的两个支座方向。
8. 计算步骤说明如下（以计算右边/锚跨为例）：
9. 将主缆线重度视为沿跨长分布，主缆1索段左端力的水平分量X，Z轴投影（，）和竖直分量（）的初值可由抛物线理论估算，迭代次数M赋零，



式中：表示主缆沿跨长平均线重度，，表示总跨度，表示跨中垂度的估计值，取0.1；

1. 根据两个支座处力平衡计算出两个支座的合力的初值；索段迭代初值由下述公式确定，其中，是支座1，2的方向向量的归一化结果；

1. 为整数，，开始索段计算；
2. 若，转5，否则根据力平衡，得出索段的左节点端力的水平分量的X轴投影，Z轴投影和竖直分量；



1. 根据悬链线跨长的计算公式，应用牛顿法求解下述非线性方程，得到此索段的无应力索长；

式中：迭代初值由抛物线法来确定，其中。

1. 将无应力索长代入悬链线高差，偏移的计算公式，得到索段右节点的YZ坐标；





1. ？如成立转8，否则，转3；
2. 检查末点标高和偏移，计算误差，；
3. 将，代入步骤1，计算出相应的，的增量，从而得到影响矩阵



求出(,)的修正量



1. 判断的范数是否符合精度要求，如符合转11，否则M=M+1，判断迭代次数M是否达到最大迭代次数，若达到则程序结束，求解失败，若未达到则修正支座力，，转2；
2. 线形计算完毕，得到成桥状态下各索段端点的竖直坐标、有应力索长、无应力索长、索段两端索力及其水平分量、竖直分量、从X轴正向转到索端力所在方向绕过的角度（正号表示逆时针，负号表示顺时针）。



1. 计算流程如下

Y

N

Y

Y

N

N

开始

=1，开始索段计算

计算两个支座合力(,),得到迭代初值，迭代次数赋零



计算索段左端内力三个分量

调用牛顿法求解无应力索长

计算高差偏移得右端点YZ坐标



计算末点标高误差，计算影响矩阵，得到支座合力的增量

支座合力量增量小于误差限

计算有应力索长和内力等

结束

迭代次数增1

达到最大迭代次数

更新(,)



Y

N