

# 输电线路铁塔参数化模型的杆件信息拓展研究

李美峰,冯勇,李力,肖洪伟,梁明  
(西南电力设计院有限公司,四川成都 610021)

**摘要:**输电线路三维设计中,铁塔数字化模型采取MOD文件参数化建模,可表达铁塔的几何线框结构信息,但由于铁塔是由具有一定宽度和厚度的板和杆件组成的空间结构,而MOD文件目前仅能表述节点编号、坐标、杆件的规格、材质、肢朝向、挂点属性和坐标信息,对于杆件之间的相对位置关系缺乏规范性描述,因此MOD格式和信息还需要进行拓展和深化,才能满足铁塔数字化模型的远期需要。首先对铁塔MOD文件的数据结构进行了介绍;然后从增加杆件相对位置关系描述信息的角度出发,分析了MOD文件的不足之处,指出现行MOD格式还不能充分表达铁塔数字化信息;最后提出了一种能表达杆件相对位置关系的方式。

**关键词:**输电铁塔;参数化模型;MOD

中图分类号:TM753 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2019)06-0066-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.06.014

## Study on Extension of Pole Information in Parametric Model for Transmission Tower

Li Meifeng, Feng Yong, Li Li, Xiao Hongwei, Liang Ming  
(Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610021, Sichuan, China)

**Abstract:** In the three-dimensional design of transmission lines, the digital model of the tower is constructed by parametric modeling. The structure and geometric information of the tower is expressed by MOD files. However, the tower is a spatial structure composed of plates and bars with a certain width and thickness, the MOD file of the tower can only express the node number, coordinates, bar specifications, material, limb orientation, hanging point attributes and coordinate information. The relative position relationship between members lacks of normative description. Therefore, the format and information of MOD files need to be expanded and deepened to meet the future needs of the tower digital model. Firstly, the data structure of MOD files of the tower is introduced, and then the shortcomings of MOD files are analyzed from the point of view of adding descriptive information of relative position relation of members. Finally, a new method which can express the relative position relationship of the member is proposed.

**Key words:** transmission tower; parametric model; MOD

## 0 引言

目前,输电线路工程正在大力推行三维数字化设计,对于铁塔模型,国网企业标准<sup>[1]</sup>规定铁塔通用模型和产品模型采用参数化建模,装配模型采用图形化建模。现在行业内通用的参数化建模方式是通过MOD文件表达铁塔的几何结构信息。这种方式数据结构简单明了,能直观描述铁塔的外形尺寸和杆件型式,从而使铁塔模型成为具备三维实体信息并可采用结构化语言描述的数据结构形式。

但现实空间的铁塔如角钢塔和钢管塔等是由具有一定尺寸外形的板、杆件和螺栓等构件组成的空间结构,而且杆件受构造因素影响其端点与节点之间存在一定的偏移,进而导致实际安装位置与理论模型存在差异。由于角钢并非中心对称截面,因此这种差异对于角钢塔尤为明显。

铁塔参数化模型目前仅能表述节点编号、相对坐标、杆件规格、杆件材质、角钢肢(或钢管)朝向、挂点属性和坐标信息,对于杆件之间实体层面的相对位置关系缺乏相应的细节描述,可能导致不同软件平台复原实体模型时有差异。因此参数化模型文

件格式和信息还需要进行拓展和深化,建立统一标准才能满足铁塔数字化模型的远期需要。

下面首先对铁塔参数化模型文件的数据结构进行了介绍;然后从细化杆件相对位置关系的角度出发,分析了杆件空间位置的计算方法,指出目前参数化模型文件在表达铁塔杆件构造信息上存在不足之处;最后提出一种能更详细表达杆件相对位置关系的方法。

## 1 铁塔模型文件格式

国家电网公司三维设计技术标准<sup>[2-3]</sup>规定铁塔模型包括通用模型、产品模型和装配模型,并对模型深度和包含信息作出了如下规定:

1) 通用模型采用参数化模型,文件格式为MOD,文件内容包含节点、杆件(不含规格、材质)、挂点、接身接腿、呼高信息;

2) 产品模型采用参数化模型,文件格式为MOD,文件内容包含节点、杆件(含规格、材质、肢朝向)、挂点、接身接腿、呼高信息;

3) 装配模型采用图形化建模,文件格式为STL。

MOD格式的参数化模型文件的数据结构继承了TTA和满应力铁塔计算程序的数据结构形式,信息表达直观明了,便于信息的交互和应用。

## 2 铁塔参数化模型文件解析软件

在三维数字化设计过程中,铁塔参数化模型文件可以解析并通过三维平台进行显示。图1、图2为解析完成的通用模型和产品模型示例。

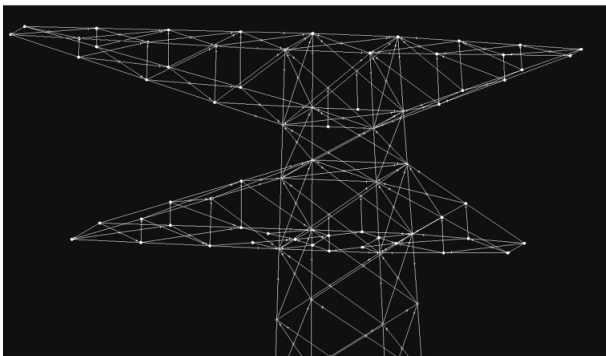


图1 铁塔通用模型

解析铁塔参数化模型文件需要使用三维建模软件。目前行业内的商业三维建模软件均可生产和解

析参数化模型文件,主要包括TMA、TwSolid、博超TLD三维平台、国遥三维平台等。对以上建模软件进行比较分析,结果如表1所示。

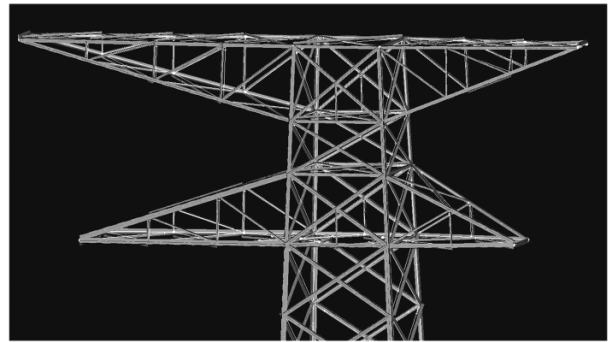


图2 铁塔产品模型

表1 铁塔参数化建模软件比较

软件名称	开发公司	技术特点	优点
TMA	中国北京信狐天诚软件公司	铁塔放样、三维建模和绘图软件	参数化建模,在铁塔加工厂家应用多年
TwSolid	中国北京道亨时代科技公司	铁塔放样、三维建模和绘图软件	参数化建模,在铁塔加工厂家应用多年
博超 TLD 三维平台	北京博超时代软件有限公司	送电三维设计平台	参数化建模,满足数字化移交要求
国遥三维平台	北京国遥新天地信息技术有限公司	送电三维设计平台	参数化建模,满足数字化移交要求
输电铁塔一体化制图仿真系统	中国电力科学研究院	铁塔放样、三维建模软件	参数化建模,满足数字化移交要求

由表1可知,TMA和TwSolid为两款专业的放样软件,在国内的铁塔加工厂家已经有多年的应用经验。而另外3种建模软件主要服务于设计单位的三维设计平台中的铁塔参数化建模和数字化移交。因此TMA和TwSolid的适用性更强,从而选择TMA软件平台进行参数化模型文件的研究测试。

## 3 铁塔信息参数化表达的拓展

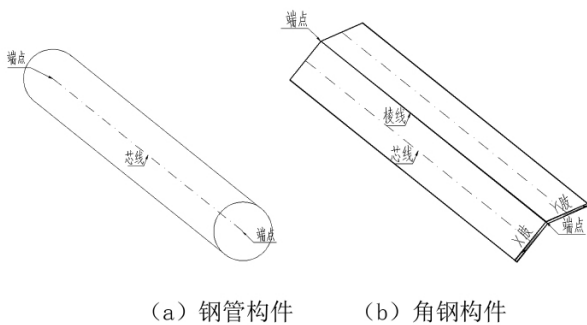
### 3.1 差异分析

从图1和图2可以看出,通用模型只能显示节点和线条,产品模型则能表达构件规格。这是因为产品模型MOD文件信息是由模型参数信息、挂点信息和接身接腿信息3部分构成,其中模型参数信息中的杆件信息决定了模型显示的杆件三维效果。从表2产品模型参数信息可以看出,杆件信息一般

是通过计算模型文件中的节点坐标和杆件规格信息转换生成。

表2 产品模型参数信息表

参数	说明
接身接腿信息	呼高数量、接身和接腿编号
节点信息	P, 点编号 X、Y、Z 坐标值
杆件信息	R, 节点编号 1, 节点编号 2, 规格, 材质, 肢朝向, 梢径, 端径, 边数
挂点信息	G, 挂点类型, 挂点名称, X、Y、Z 坐标



(a) 钢管构件 (b) 角钢构件

图3 构件空间位置计算

构件空间位置简图如图3所示。钢管构件为中心对称的截面型式,则生成三维模型时只需要获取节点坐标和钢管规格即可,但角钢并非截面中心对称构件,因此MOD文件中将角钢棱线作为默认芯线。角钢杆件的空间位置计算方法为:1)根据文件中节点坐标信息确定杆件的起止端点及位置;2)根据文件中杆件规格信息确定截面尺寸;3)确定截面X和Y肢的矢量方向,注意X和Y肢均垂直于端点连线方向,且X和Y肢正交。

图4为MOD文件生成产品模型节点图,从图中可以看出,由于MOD文件对角钢芯线没有定义,程序默认角钢棱线为铁塔模型的芯线,即棱线和芯线默认是重合的。

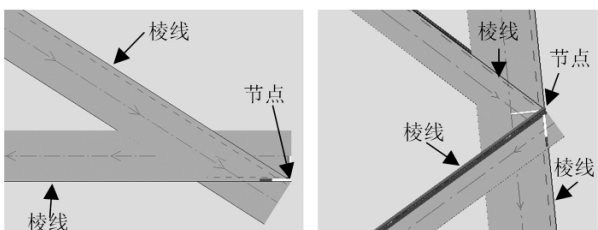


图4 MOD文件生成产品模型节点

但实际铁塔构图时,为了保证受力合理通常是

将角钢的第1排芯线(或中心线)作为构图准线,如图5所示。

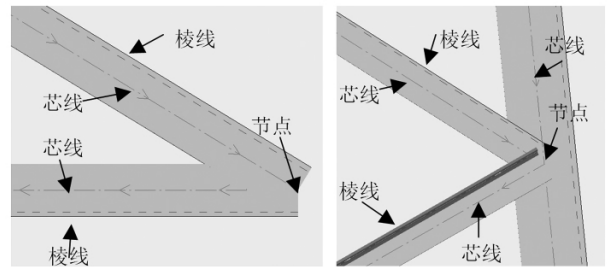


图5 按常规构图生成产品模型节点

从图4可以看出,角钢棱线的两个端点与单线节点重合后,模型外形与图5有一定差异。这是因为常规铁塔的杆件均由等边角钢组成,等边角钢是一种轴对称的截面形式,由相互正交的X肢和Y肢组成,Z方向为构件轴向。在实际构造处理时,角钢连接必须先确定芯线的位置,才能确保构造合理、受力清晰。而MOD文件未明确角钢芯线的距离,如果仅以角钢棱线作为理论芯线,则必然会造成生成的数字化模型角钢外楞线无法对齐。这就造成参数化模型与实际模型存在构造尺寸的差异。

因此MOD格式的参数化模型尚不能正确表达出产品模型的尺寸信息,只有对构件的数据结构进一步补充拓展,才能将上述构造信息表达出来。

### 3.2 确定构图基准面

为了建模方便,统一取角钢中心线为建模芯线。结合结构图绘制的一般原则,先确定塔身变坡所在平面为基准面,使变坡处主材的芯线交点之间的距离与变坡宽度相等。则变坡上下杆件的芯线偏移值按照棱线对齐的原则计算,定义 $\Delta x$ 和 $\Delta y$ 为角钢芯线相对于节点连线的偏移值。变坡位置铁塔芯线如图6所示。

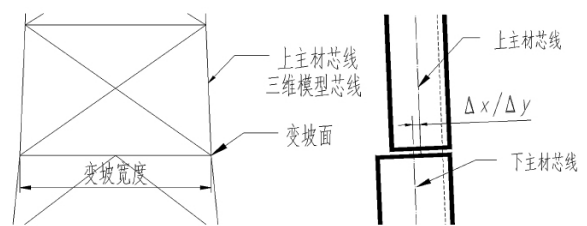


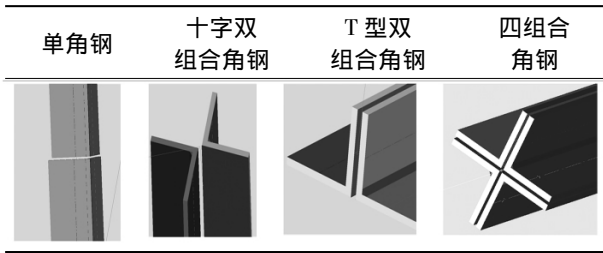
图6 变坡位置铁塔芯线

### 3.3 杆件之间相对位置关系的表达

角钢塔的构件类型一般包括单角钢、十字双组

合角钢、T型双组合角钢和四组合角钢,角钢塔构件类型见表3。

表3 角钢塔构件类型



3.3.1 单角钢

上下单角钢建模偏移值计算如图7所示,当上下角钢的外棱平面对齐后,上面较小的角钢相对于节点连线存在X肢和Y肢两个方向的芯线偏移值。

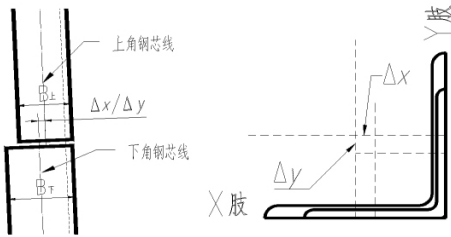


图7 上下单角钢建模偏移值计算

通过计算,则

$$\Delta x_{上} = \Delta y_{上} = (B_{下} - B_{上}) / 2 \quad (1)$$

$$\Delta x_{下} = \Delta y_{下} = (B_{上} - B_{下}) / 2 \quad (2)$$

式中:  $\Delta x_{上}$  和  $\Delta y_{上}$  为上主材角钢的芯线偏移值;  $\Delta x_{下}$  和  $\Delta y_{下}$  为下主材角钢的芯线偏移值;  $B_{上}$  和  $B_{下}$  分别为上、下主材的肢宽。

3.3.2 十字组合角钢

在MOD文件中,对于组合角钢采用每根角钢逐行描述的方式,如:

R 2813 ,3023 ,L200X24 ,Q420 ,0.986 248 ,  
0.027 696 , -0.162 937 , -0.027 696 , -0.986 248 ,  
-0.162 937;

R 2813 ,3023 ,L200X24 ,Q420 , -0.986 248 ,  
-0.027 696 ,0.162 937 ,0.027 696 ,0.986 248 ,  
0.162 937。

上面两行在MOD文件中表达的是2813-3023杆件采用了L200X24的双组合角钢。铁塔十字型双组合和四组合两种构造方式类似,因此下面仅针对十字型双组合角钢进行分析。

对十字型双组合角钢,其构造中心为角钢的形心,因此A和B角钢的偏移值均可以通过单角钢中心与组合角钢形心的距离来计算,如图8所示。

通过计算,则

$$\Delta x_A = -B_+/2 \quad (3)$$

$$\Delta x_B = B_+/2 \quad (4)$$

$$\Delta y_A = -B_+/2 \quad (5)$$

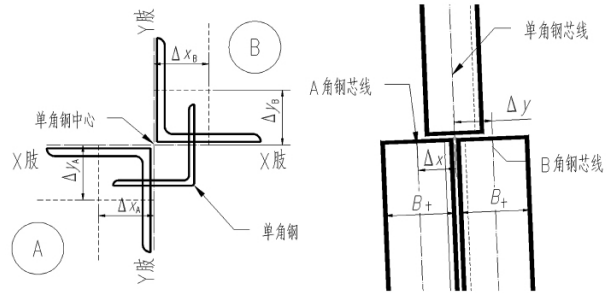


图8 单角钢与十字组合角钢连接偏移值计算

$$\Delta y_B = B_+/2 \quad (6)$$

式中:  $\Delta x_A$  和  $\Delta y_A$  为十字组合A角钢的芯线偏移值;  $\Delta x_B$  和  $\Delta y_B$  为十字组合B角钢的芯线偏移值;  $B_+$  为十字组合角钢中单根角钢的肢宽。

3.3.3 T型组合角钢

同理,对于T型组合角钢,一般可认为其构造中心轴为X肢中心连线,因此A和B角钢的偏移值均可以通过中心线交点与构造中心的距离来计算。T型组合角钢偏移值计算如图9所示。

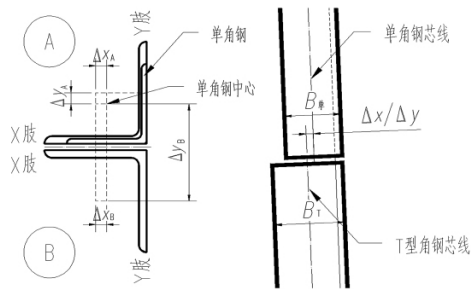


图9 T型组合角钢偏移值计算

从图中可以得出,对T型组合角钢A和B角钢的X肢偏移值相同,Y肢偏移值相反。

通过计算,则

$$\Delta x_A = \Delta x_B = -(B_T - B_{\#}) / 2 \quad (7)$$

$$\Delta y_A = (B_T - B_{\#}) / 2 \quad (8)$$

$$\Delta y_B = -(B_T + B_{\#}) / 2 \quad (9)$$

式中:  $\Delta x_A$  和  $\Delta y_A$  为T型组合A角钢的芯线偏移值;  $\Delta x_B$  和  $\Delta y_B$  为T型组合B角钢的芯线偏移值;  $B_T$  为T型钢中单根角钢的肢宽;  $B_{\#}$  是单角钢肢宽。

3.4 对MOD文件杆件信息的拓展

综上所述,对MOD文件的杆件信息进行扩展,增加了芯线偏移值,其数据结构如下所示:

“杆件信息 R,节点编号 1,节点编号 2 规格 材

质,肢朝向(X肢朝向,Y肢体),芯线偏移值(X肢,Y肢)”。

示例如下:

R 2813 ,3023 ,L200X24 ,Q420 ,0.986 248 ,  
0.027 696 , -0.162 937 , -0.027 696 , -0.986 248 ,  
-0.162 937 , -100 , -100;

R 2813 ,3023 ,L200X24 ,Q420 , -0.986 248 ,  
-0.027 696 ,0.162 937 ,0.027 696 ,0.986 248 ,  
0.162 937 ,100 ,100。

其中最后2个数值表示角钢X肢和Y肢芯线的偏移值。

#### 4 铁塔 MOD 拓展信息的应用

TMA 软件支持用户设置构件以棱线或者芯线方式建模。下面以一种 500 kV 同塔双回路耐张塔为例,通过 TMA 软件测试了铁塔模型增加了芯线偏移值前后的解析结果。该塔型塔身主材采用了单角钢和十字组合角钢。单角钢接头位置和单变双位置的节点示例如图 10 和图 11 所示。

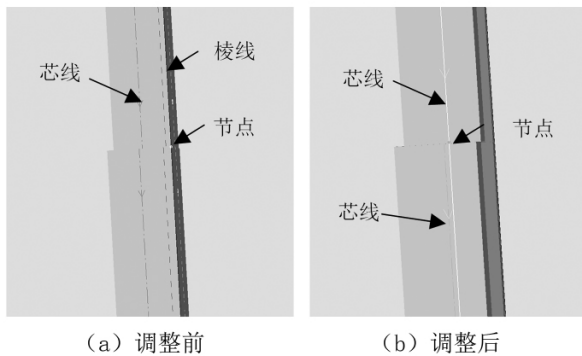


图 10 单角钢调整前后 MOD 文件解析结果

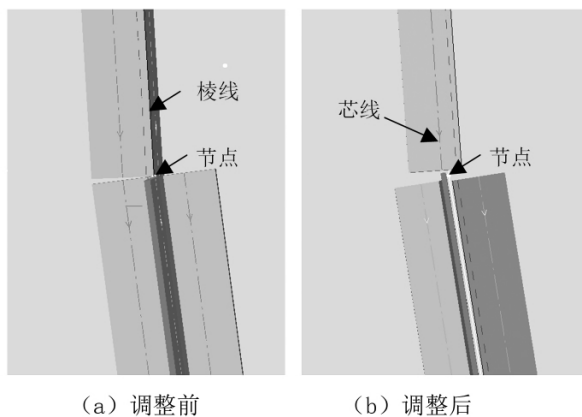


图 11 单变双角钢调整前后 MOD 文件解析结果

从图 10 和图 11 可以看出,增加了角钢芯线偏移值后,铁塔三维模型的信息表达和实际结构更加接近,因此这种拓展方式是可行的。

#### 5 结 语

铁塔参数化模型是对铁塔模型尺寸和构造信息的数字化表达,MOD 文件是当前通用的参数化建模方式。从增加杆件相对位置关系的角度出发,分析了杆件空间位置的计算方法,指出目前参数化模型文件在表达铁塔杆件构造信息上存在不足之处;最后提出一种能更详细表达杆件相对位置关系的方法。由于真实铁塔是由杆件、联板、螺栓等组成的空间结构体,而 MOD 文件目前仅能描述杆件和节点坐标信息,还不能延伸至节点板和螺栓信息的表达。因此探讨更全面的铁塔参数化建模方式将成为三维数字化建模后续研究的方向之一。

#### 参考文献

- [1] 国家电网有限公司科技部. 输变电工程三维设计技术导则 第2部分: 架空输电线路: Q/GDW 11798.2 - 2018[S]. 北京: 国家电网有限公司, 2019.
- [2] 国家电网有限公司科技部. 输变电工程三维设计建模规范 第2部分: 架空输电线路: Q/GDW 11810.2 - 2018[S]. 北京: 国家电网有限公司, 2019.
- [3] 国家电网有限公司科技部. 输变电工程三维设计模型交互规范: Q/GDW 118140.2 - 2018[S]. 北京: 国家电网有限公司, 2019.

#### 作者简介:

李美峰(1981),高级工程师,从事输电线路数字化设计和研究工作;

冯 勇(1985),高级工程师,从事输电线路数字化设计和研究工作;

李 力(1964),教授级高级工程师,从事输电线路电气设计和研究工作;

肖洪伟(1970),教授级高级工程师,从事输电线路结构设计和研究工作;

梁 明(1973),教授级高级工程师,从事输电线路电气设计和研究工作。

(收稿日期:2019-03-20)