

基于Google Earth的输电线路仿真系统设计

文/国网浙江省电力公司金华供电公司 杜挺 赵寿生
华南理工大学广州学院 陈丽丹 林世才

输电线路系统具有多走向、多类型、多设备的庞大复杂特征，并且与线路所经地形情况、沿线气候条件等地理要素密切相关，使得输电线路维护工作需要依靠人员对于线路的熟悉程度和记忆，然而输电线路存在线路长、跨越区域广、道路记忆困难，线路地处偏远山区、道路复杂、交通不便等特点，影响了维护工作效率。利用Google Earth电子地图将空间特征信息进行可视化表达，能快速获知输电线路及其杆塔所处环境情况，呈现Google Earth卫图影像的表达与现实世界更为贴近，为线路管理提供地图支持。本文借助Google Earth 二次开发技术，利用SketchUp工具建立输电杆塔模型库，基于Google Earth平台，设计建立能够真实反映输电线路及其杆塔所在地地貌的信息的三维仿真系统，对电网规划、实施、优化、抢修救灾提供支持。

功能需求分析

输电线路仿真系统一般需包括显示、查询、分析功能和线路设计辅助功能。显示功能包括整个

三维场景(由山脉、道路、水域、建筑物、输电线路及其设备、线路跨越等组成)的查看，以便了解输电线路所处的地理环境、气候条件等特征；应能打印输出当前视图、有关输电线路的各种图样(如线路地形图、单线图、杆塔定位图等)和线路上各种设备的图样(如实物图、设计图等)；以及能够漫游查看输电线路沿线的三维地形地貌，浏览线路上电气设备的三维模型。查询功能包括输电线路运行的输电杆塔、线路及其相关设备和输电线路本身的属性信息，包括线路输送容量、电压等级、连接方式、路径走向、导地线型号、杆塔材料表、绝缘子型号、连接绝缘子实物图像、杆塔基础形式、检修线路的上山路径信息等。分析功能包括三维场景中任意两点间的透视性，指定线路的剖面分析、斜坡的坡度分析，指定区域的面积、体积计算等。系统操作人员以地形和地面地物数据信息为基础，结合气象条件等其他数据，为输电线路维护，故障诊断提供决策信息，从而提高输电线路建设、维护的自动化信息化水平。线路设计辅助

功能包括：①提供元件数据库，设备选型时系统应能帮助设计人员迅速地查找符合要求的设备类型，浏览它们的属性来确定最经济的选择。②定位，在确定输电线路的走向之后，需确定线路杆塔的塔位。杆塔定位功能就是要帮助或代替人工的塔位确定工作。③地理环境分析，在输电线路的规划和设计时，常常要根据地理环境来确定线路的走向和杆塔的立杆位置，所以系统需要各种地理环境分析功能，包括：地形的剖面分析，两点间透视性分析，地形的断面分析等。④数据的统计，对于沿布在GE三维场景中的输电线路，可以根据地理区域统计杆塔的数量，如将金华地区的区域地形图加载到GE上，就可以统计出广州各个区输电线路的分布情况。运用GE还可批量生成输电线路各基杆塔的高程，了解相邻两档距导线的高差，为输电线路的事故预防提供有效的参考。⑤效果查看，Google Earth能显示输电线路及其所处地理区域的真实感三维场景，有助于设计人员观察设计就像身在实际环境的效果。

基于GE的输电线路三维辅助设计

基于GE的输电线路三维实现时,关键是输电杆塔的建模技术,GE具备三维模型的建立和表达功能,但不能直接在GE中进行模型的建立,本文研究利用SketchUp建模方法对输电杆塔进行三维建模。

1. 输电杆塔建模

建模流程一般包括杆塔结构分析、制作基本骨架、完成整个杆塔组装和模型导入GE等几个步骤。

(1) 杆塔结构分析

输电杆塔建模的基础是获取塔型图样,本文利用文献的塔型尺寸图,因杆塔具有复杂的桁架结构、种类繁多的外形以及多样化的尺寸,制作时需进行结构分析,以图1所示的干字铁塔为例,可以得到几点规律:①除了上横担部分,输电杆塔结构对称有序,建模只需完成杆塔的1/4或者1/2的结构就可以完成基本的塔身。②建模的主要重点是有倾斜度的构件,如主材从地基到塔顶会分几节的不同的倾斜角度。如果可以准确定位有倾斜度的构件,就能确定模型的骨架。③独立制作横担模型,建模时先把整个塔身建成后再加上横担。④其中复杂的“X”和“△”形桁架具有规律的排列,可以人为简化,用线条按比例画出来。如此,杆塔模型化繁为简,将整个模型切割成块独立制作。

(2) 制作基本骨架

用线条工具按照塔型手册上面的尺寸,模型大小严格按照与实际物大小1:1比例,从塔脚开始绘制,以坐标原点为杆塔的中心,通过做辅助线来确定塔脚的位置,然后逐渐用直线勾勒出1/4个

铁塔的骨架。按照图1b中尺寸,绘制的技巧如下:

1) 在竖直方向上,都是一段一段直线段组成,这可以通过给出具体的分段尺寸判断出来,只要由画辅助线找到相应拐点,就能进行下去。

2) 在水平方向上的线条一定要保持水平,对后面直接利用复制和旋转命令生成对称的一面而不至于出现错位的现象。

3) 建好1/4模型后,去除多余的面,生成骨架。点击SketchUp工具里的“样式”模块“线框”命令把所有的面隐藏掉,只剩下塔身的骨架,然后全选所有的线条右击鼠标,选择隐藏命令把所有的线条隐藏了,最后单击“样式”模块里的阴影功能,调出面并将其删除掉,再通过单击“编辑”里的取消隐藏命令就能把骨架显示出来,如图2所示。

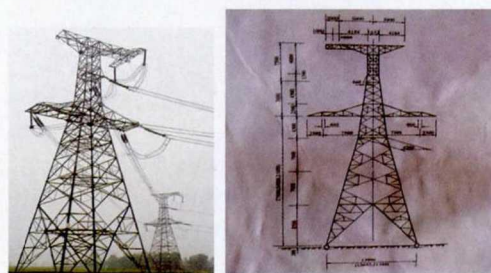
4) 创建组如图3所示,全选所有的线条,右击鼠标单击创建组命令,如此可把1/4的骨架独立作为一个组件。接着,检查模型,由1/4的骨架通过复制、旋转、移动的步骤,完成整个基本塔身的组建。之后,检查关键地方是否对齐,如果有缝隙或交叉,需调整原组件直到线条、节点对齐为止。最终调整出来的塔身效果如图3b所示。

5) 制作横担部分的骨架:在基本塔身上作出辅助的横担定位线,模仿上述的制作方法,完成上横担和下横担的骨架,如图4所示。

(3) 完成整个杆塔组装

为了让骨架有皮肤、有厚度,与现实的杆塔更接近,则需进行放样。比如1/4的杆塔骨架,先分解组,作一些水平辅助线与杆塔骨架相连接,然后以辅助线的起点为中心绘制一个接近实际大小的矩形

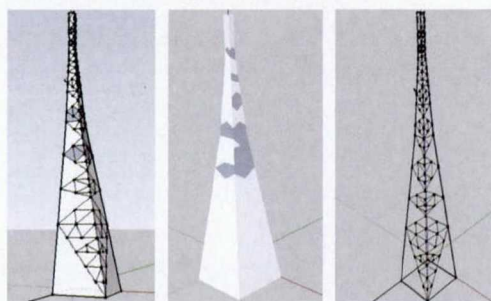
面,运用平移、环绕观察、放大、缩小等命令,调整一个合适的角度界面,点击跟随路径命令,鼠标的指针就会变成图标,移动图标到刚作的矩形面上并左击鼠标,此时鼠标成为一个导航的工具。在骨架的线与线连接之间移动,矩形面就跟



(a) 杆塔实物图

(b) 杆塔尺寸图

图1 某JG转角耐张塔

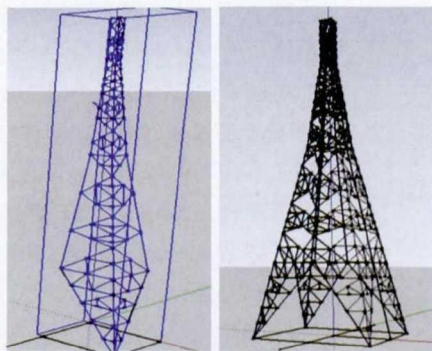


(a) 1/4模型

(b) 1/4面

(c) 1/4骨架

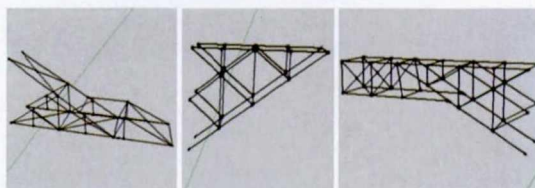
图2 1/4杆塔的建模



(a) 1/4骨架创建组

(b) 四个骨架组装效果

图3 基本塔身骨架制作



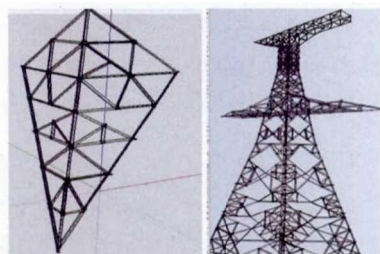
(a) 下横担

(b) 上横担右侧

(c) 上横担左侧

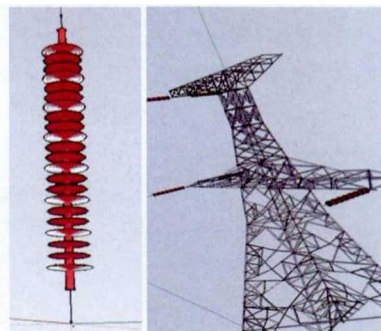
图4 横担骨架制作

随着移动,沿着线条拉长放样,完成部分效果图及完成各部分的放样又利用特殊基点进行完整的拼接,杆塔模型如图5所示。



(a) 部分放样 (b) 整体放样效果
图5 制作整个杆塔放样

另外,为便于后面导线制作工作,还需在杆塔上添加绝缘子串。以硅橡胶绝缘子为例,做一个适当大小的圆面与其中一条轴线垂直,轴线穿过圆心,再作与圆面垂直的等腰三角形,底边在轴线上并穿过圆心,顶角在圆上,等腰三角形的大小自己拟定。再将等腰三角形沿着圆的边线放样形成类似两个等同锥形合在一起的立体形状,通过鼠标全选,右击,点击查看图元信息,编辑立体形状的显示颜色为红色,此时立体图更像一个“绝缘子片”。用复制和拉伸命令,改变“绝缘子片”的比例和复制出多个“绝缘子片”平均分布在一条直线上,再在直线末端画一个圆,单击推/拉命令使圆面形成一个圆柱穿过“绝缘子片”中心。对完成的绝缘子串创建组,又复制、移动组装到线路杆塔上,输电杆塔接近即将投入使用的状态,如图6所示。



(a) 绝缘子串 (b) 绝缘子串组装

图6 制作杆塔上绝缘子串

(4) 模型导入GE

建好模型后,可将模型导入GE中预览。为保证效果逼真、美观,还需给输电杆塔建立基础模型,即在杆塔四个角添加大小一致的圆柱或者适当地在底下画个平面,通过推拉得到一个立体方形台面。增加基础的另一个目的是因为模型被导入GE中的位置可能不是一个水平面,如果不添加地基,很可能导入的杆塔某只塔脚会是悬浮在空中,从而失去实际意义。

完成建立地基之后,就根据资料提供的信息调整杆塔旋转的角度,使其导入GE中不会造成错位。导入预览工作具体如下:

1) 打开Google Earth软件,界面如图7所示。Google Earth的操作窗口主要分为3部分,最上面的工具栏中提供(隐藏/显示侧栏)、(添加地标)、(多边形)和(测量)等工具。左侧的侧边栏提供有“搜索”“位置”和“图层”工具,右侧窗口则是卫星地图的预览和操作区。在搜索框中键入地名或经纬度坐标,按<Enter>键后,地球会自

动旋转并定位到目标地点,位置设置区用来保存和管理地标文件,可以新建分类文件夹对地标文件进行管理,如图7中位置区的“杆塔标注”、“输电线路台账信息”;层设置面板中提供了大量各种类型的兴趣点,可以根据需要选择兴趣地区是否在当前地图范围中显示,兴趣地区包括地形、道路、边界、建筑、海洋等。

2) 鼠标指针移到模型信息的图标上左击,再单击地理位置中的手动设置位置选项,此时显示对话框如图8,则可以对杆塔模型进行设置定制位置。

3) 将鼠标指针移到Google模块的在Google地球中预览模型的图标上左击,界面上就会出现一个导出的进度条,等完成到100%时,计算机的界面会自动转到GE的显示页面上。此时的模型是在临时位置上加载的,若要保存该模型,可以通过鼠标操作将其移到“我的位置”里面保存,为下次打开GE软件时依然能看到模型,预览的模型如图9所示。

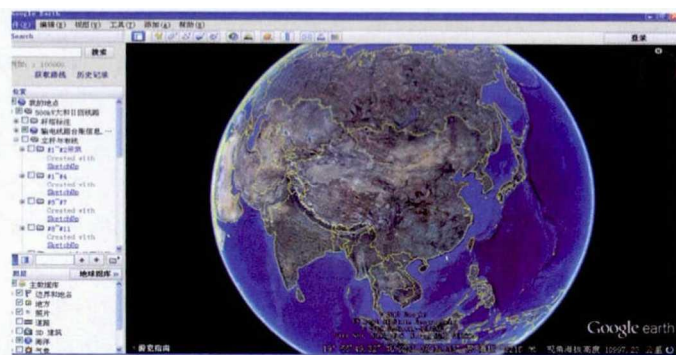


图7 Google Earth软件界面

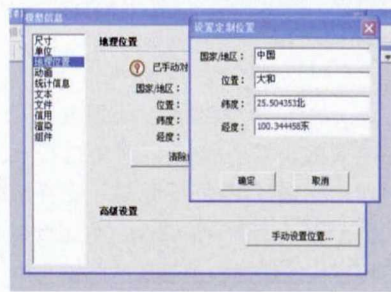


图8 添加位置



图9 在Google地球中预览模型

可见输电杆塔模型与GE高清影像图配合是能够很好地模拟现实,以SketchUp工具为输电杆塔建模平台,实现了GE中输电线路杆塔的三维显示,同时也打破了GE局限性的局面。运用同样的建模方式,可把实际工程用到的塔型全部制作出来,统一保存在一个文件夹中。

2. 输电杆塔数学模型

由供电局或者电力工程企业使用GPS巡检系统获取输电杆塔的经度、纬度、海拔等信息。对相邻两基输电杆塔进行垂直投影得到数学模型如图10所示。

根据三角函数的关系,可列出计算杆塔A到杆塔B的输电线路水平角 θ 的大小,公式为

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\text{杆塔B经度} - \text{杆塔A经度}}{\text{杆塔B纬度} - \text{杆塔A纬度}}$$

以某500 kV线路为例,将获取的输电杆塔经度和纬度信息代入上述公式,计算出各个相邻杆塔的相对水平角 θ ,结果如表1所示。

3. 编码实现

编码实现是将输电杆塔的基本信息(经度、纬度、海拔、杆塔型号)和杆塔模型信息(如绝缘子A到B的距离、呼称高等)存入数据库,通过编码实现在Google Earth中进行加载。让杆塔模型增加更多信息表达,是仿真系统设计的重要内容之一。本文采用编码实现KML格式的线路设备台账表格文件生成工具。制作地标文件,则是通过新建一个Excel文档,用来记录资料里提供的线路杆塔信息和台账资料如杆号、经度、纬度、塔型、呼称高、转角度数、导线型号、地线型号、水平档距、垂直档距、使用档距、接地电阻、备注,等等。为使系统更显可视化,还需在表格内添加了杆塔的照片。找到相应杆塔的地标文件,单击鼠标右键打开文件“属

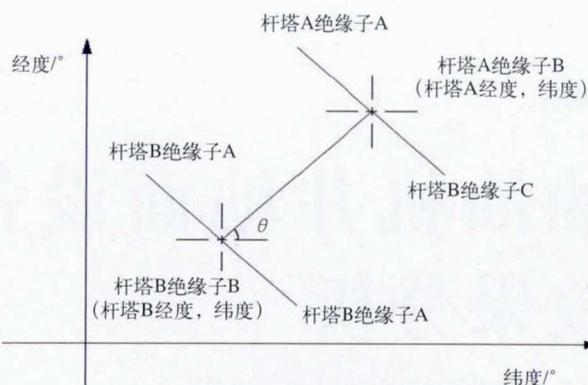


图10 输电杆塔投影数学模型

表 某500 kV线路杆塔信息及水平角 θ 计算

杆号	经度	纬度	相邻杆塔水平角 θ
#1	100.3444583	25.50435278	$\theta_{1,2} = -74.42$
#2	100.3495083	25.50294444	$\theta_{2,3} = -74.99$
#3	100.3531667	25.50196389	$\theta_{3,4} = -74.33$
#4	100.3557611	25.50123611	$\theta_{4,5} = -74.30$
#5	100.3642611	25.49884722	$\theta_{5,6} = -86.14$
#6	100.3657417	25.49893611	$\theta_{6,7} = -86.00$
#7	100.3673472	25.49904444	$\theta_{7,8} = -62.37$
#8	100.3718389	25.49935833	$\theta_{8,9} = -59.88$
#9	100.3752889	25.49755278	$\theta_{9,10} = -61.97$
#10	100.3777361	25.49613333	
#11	100.3795	25.49519444	

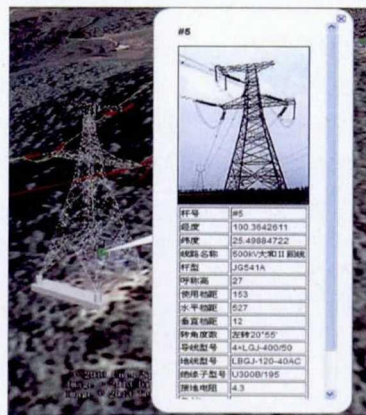


图11 添加杆塔图片

性”，左键单击添加图片输入图片网址，这里可以先把图片存到用户计算机中，然后将图片存放的位置输入确定保存，便能看到说明语言框里自动编写添加图片信息语言，这样重新查看线路设备台账信息表格时就能看到添加的图片，如图11所示。

结束语

本文根据塔型手册提供的各电压等级输电杆塔,采用SketchUp工具建立输电杆塔模型,通过定位导入到GE中预览效果。建立输电杆

塔数学模型,即在纬度和经度构成的坐标系中已知杆塔A和杆塔B的经度、纬度,根据三角函数可以计算出杆塔A到杆塔B的输电线路水平角 θ 。对获取的线路数据资料进行处理,在GE中找到线路位置。通过添加地标获取各个输电杆塔的确切地理位置,建立各个输电杆塔参数Excel文档,运用kml转换工具把Excel文档转换为kml文件,导入到GE中显示,完成线路设备台账信息关联,并在GE台账信息里面添加图片,使系统更加直观,更加完善。EA