

ICS 国际标准分类号
CCS 中国标准文献分类号



团标

T/CES XXX-2024

10kV 架空线路三维模型参数化构建技术 规范 (征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

1	范围	1
2	规范性引用文件	1
3	术语和定义	1
4	三维模型分类	2
4.1	杆塔	2
4.2	附属设施	3
4.3	柱上设备	4
4.4	导线	5
5	三维模型参数	5
5.1	线路拓扑	5
5.2	杆塔	5
5.3	附属设施	6
5.4	柱上设备	8
5.5	导线	8
6	参数化建模方法	9
6.1	参数化构建流程	9
6.2	模型元件制作	9
6.3	元件检查	10
6.4	模型预置位设定	10
6.5	参数化建模	10
6.6	参数化构建线路	11
7	模型关键参数要求	11
附录 A	12
A.1	建模参数地面采集	12
A.2	建模参数无人机采集	13
A.3	数据处理与分析	14
附录 B	15
参考文献	18

前　　言

本文件按照 GB/T1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由国网信息通信产业集团有限公司提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会能源智慧化工作组归口。

本文件起草单位：国网信息通信产业集团有限公司、天津市普迅电力信息技术有限公司、国网河北省电力有限公司雄安新区供电公司、国网浙江省电力有限公司杭州供电公司、国网陕西省电力公司、国网山西大同供电公司、山西思极科技有限公司、湖南中图通无人机技术有限责任公司。

本文件主要起草人：李强、胡浩瀚、汪李忠、陈礼朝、于海波、魏伟、陈洪亮、张津铭、王卫卫、程炜东、张水云、党文强、贺永峰、李炳森、张立、熊道洋、王迎亮、宋森燏、王卫东、张激、黄凯、刘万龙、董建强、徐李新、金旻昊、曹华卿、黄细华、姚家隆、孟遥、邢佳莉、金森君、马云云、胡晓楠、纪姗姗、李雪松、李艳。

本文件为首次发布。

10kV 架空线路三维模型参数化构建技术规范

1 范围

本标准规定了10kV架空线路三维模型参数化构建的模型分类、模型参数和参数化建模方法。

本标准适用于10kV架空线路三维模型参数化构建，20kV架空线路可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

无。

3 术语和定义

3.1 参数化建模 parametric modeling

一种通过使用参数来表达和定义某些特性或行为的数学过程，本标准特指按照参数生成10kV架空线路模型的方法，包括杆塔、横担、导线等信息的构建。

3.2 绝对高度 absolute elevation

测量对象在水平方向上相对于某一特定基准面的距离，本标准特指某点到沿通过该点的椭球面法线到参考椭球面的距离。

3.3 球坐标系 spherical coordinate system

三维坐标系的一种，用以确定三维空间中点、线、面以及体的位置，它以坐标原点为参考点，由方位角、仰角和距离构成。

3.4 外接长方体 external rectangular prism

几何学中，一个几何体的外接长方体是指能够完全包含该几何体，并且其各边与该几何体有特定关系（如相切、顶点在长方体的面上等）的最小长方体。

3.5 模型元件 model element

通过三维建模软件创建的具有长、宽、高的虚拟模型或图像。

3.6 预置位 preset position

基于模型元件对象的空间位置进行预先坐标信息设置，并将位置信息作为预置位模板。

4 三维模型分类

4.1 杆塔

表 1 杆塔分类表

序号	杆塔名称	分类依据	对应典设中的杆塔
1	直线-水泥杆塔	直线-水泥杆塔的特点是材质是水泥，功能只起到支撑导线和柱上设备的作用，不承受侧向应力的杆塔。	单回直线水泥单杆、 双回直线水泥单杆、 三回直线水泥单杆、 四回直线水泥单杆、 单回拉线直线转角水泥单杆
2	耐张-水泥杆塔	耐张-水泥杆塔的特点是材质是水泥，功能不仅起到支撑导线和柱上设备的作用，同时也承受侧向应力的杆塔。	无拉线转角水泥单杆、 单回拉线单排耐张转角水泥单杆、 单回拉线双排耐张转角水泥单杆、 单回拉线直线耐张水泥单杆、 单回拉线终端水泥单杆、 双回拉线直线转角水泥单杆、 双回拉线单排耐张转角水泥单杆、 双回拉线双排耐张转角水泥单杆、 双回拉线直线耐张水泥单杆、 双回拉线终端水泥单杆
3	柱上台变	柱上台变的特点是材质是水泥和钢管，功能是安装变压器使用的杆塔。	单杆配电变压器台架、 双杆式配电变压器台架
4	柱上设备杆	柱上设备杆特点是材质是水泥和钢，功能是安装设备使用的杆塔。	设备杆
5	钢管杆塔	钢管杆塔特点是材质是钢，功能是作为直线和耐张使用。	单回直线钢管杆、 双回直线钢管杆、 270mm 梢径耐张钢管杆、 310mm 梢径耐张钢管杆、 350mm 梢径耐张钢管杆、 390mm 梢径耐张钢管杆、 450mm 梢径耐张钢管杆
6	窄基塔	窄基塔特点是材质是钢，结构按平腿设计，功能是作为直线和耐张使用。	无低压： 单回直线窄基塔、 单回 0° ~ 30° 耐张转角窄基塔、 单回 30° ~ 60° 耐张转角窄基塔、 单回 60° ~ 90° 耐张转角窄基塔、 双回直线窄基塔、 双回 0° ~ 30° 耐张转角窄基塔、 双回 30° ~ 60° 耐张转角窄基塔、 双回 60° ~ 90° 耐张转角窄基塔 带低压： 单回直线窄基塔、 单回 0° ~ 30° 耐张转角窄基塔、 单回 30° ~ 60° 耐张转角窄基塔、 单回 60° ~ 90° 耐张转角窄基塔、 双回直线窄基塔、 双回 0° ~ 30° 耐张转角窄基塔、 双回 30° ~ 60° 耐张转角窄基塔、 双回 60° ~ 90° 耐张转角窄基塔

7	门型塔（水泥双杆）	<p>门型塔特点是材质是水泥和钢，外形像门型，功能是作为直线和耐张使用。</p>	<p>单回拉线直线水泥双杆、 单回 $0^\circ \sim 10^\circ$ 拉线耐张转角水泥双杆、 单回 $10^\circ \sim 30^\circ$ 拉线耐张转角水泥双杆、 单回 $30^\circ \sim 60^\circ$ 拉线耐张转角水泥双杆、 单回 $60^\circ \sim 90^\circ$ 拉线耐张转角水泥双杆、 单回拉线终端水泥双杆、 单回直线宽基塔 Z1 型、 单回直线宽基塔 Z2 型、 单回直线宽基塔 Z3 型、 单回 $0^\circ \sim 30^\circ$ 耐张转角宽基塔、 单回 $30^\circ \sim 60^\circ$ 耐张转角宽基塔、 单回 $60^\circ \sim 90^\circ$ 耐张转角宽基塔、 双回直线宽基塔 SZ1 型、 双回直线宽基塔 SZ2 型、 双回直线宽基塔 SZ3 型、 双回 $0^\circ \sim 30^\circ$ 耐张转角宽基塔、 双回 $30^\circ \sim 60^\circ$ 耐张转角宽基塔、 双回 $60^\circ \sim 90^\circ$ 耐张转角宽基塔</p>
---	-----------	--	--

4.2 附属设施

表 2 附属设施分类表

序号	名称	分类依据	对应典设中的设施
1	横担	横担按照材质分为铁质横担、复合绝缘横担。	铁质横担 复合绝缘横担
2	绝缘子	10kV 绝缘子按结构可分为柱式绝缘子、悬式(盘形、棒形)绝缘子和拉紧绝缘子等，按材料可分为瓷绝缘子和合成绝缘子等，按功能可分为防雷绝缘子、防污绝缘子和跳线绝缘子等。	柱式绝缘子 悬式(盘形、棒形)绝缘子 拉紧绝缘子
3	金具	10kV 金具类型分为连接金具、悬垂线夹、耐张线夹、接续金具、拉线金具、保护金具和设备线夹。10kV 架空线路用金具绝缘子串分为耐张金具绝缘子串、悬垂金具绝缘子串和拉线金具串。	金具
4	拉线	拉线分为普通拉线、人字拉线、四方拉线、V 形拉线、弓形拉线、X 形拉线、Y 形拉线，共七类拉线类型。拉线为杆塔提供应力，平衡杆塔受力。	普通拉线 人字拉线 四方拉线 V 形拉线 弓形拉线 X 形拉线 Y 形拉线
5	标识及警示装置	10kV 线路标识装置按材料分可分为粘贴式聚酯材料、油漆涂写等；10kV 线路警示装置按功能分可分为杆塔号标识牌、柱上开关标识牌、电缆标识牌、线路相序标识牌等。 10kV 线路警示装置按材料可分为反光铝板和荧光材料等；10kV 线路警示装置按功能可分为	各类标识及警示装置

		10kV 架空线路保护区警示牌、交叉跨越安全警示牌、禁止攀登警示牌、拉线反光警示标识、防撞警示标识等。	
--	--	---	--

4.3 柱上设备

表 3 柱上设备分类表

序号	设备名称	分类依据	对应典设中的设备
1	柱上断路器	在线路有电压、负载时切断线路及转换线路时使用；为实现停电检修时形成明显断开点。	柱上断路器
2	柱上负荷开关	在线路有电压、负载时切断线路及转换线路时使用；为实现停电检修时形成明显断开点。	柱上负荷开关
3	柱上隔离开关	在线路有电压、无负载时切断线路时使用，一般适用于线路隔离处。	柱上隔离开关
4	柱上跌落式熔断器	一般装设在线路分支和配电变压器一次侧，起到短路保护和过负荷保护的作用。	柱上跌落式熔断器
5	电缆引下装置	一般用于线路进线、出线、分支及用户。根据电缆上杆接线的不同情况，分为经跌落式熔断器、隔离开关、柱上断路器、柱上负荷开关上杆和直搭上杆五种形式。	电缆引下装置
6	柱上高压计量装置	一般用于线路联络处或分界处计量。	柱上高压计量装置
7	防雷装置	经常开路运行的柱上断路器、柱上负荷开关两侧均应设防雷装置，保护柱上断路器、负荷开关等柱上设备的避雷器的接地导体（线）。	防雷装置
8	柱上变台	柱上变台包括柱上变压器、线路调压器、无功补偿装置。	柱上变压器、 线路调压器、 无功补偿装置
9	柱上配电自动化装置及配套装置	柱上配电自动化装置主要包括配电终端和故障指示器。其中故障指示器不涉及配套设备。配电终端及配套设施主要包括终端、TV（电压互感器）、配套控制线缆等组成。采用光纤通信时需配置光缆通信箱（含 ONU 或以太网交换机、光配、熔接包等）、余缆架；采用无线通信时通常由终端内置无线通信模块，不配置光缆通信箱和余缆架。	配电终端及配套、 故障指示器

4.4 导线

4.4.1 型号

导线包括JKLYJ系列铝芯交联聚乙烯绝缘架空电缆（以下简称铝芯绝缘导线）、JKLHA3XZYJ系列阻水中强度铝合金芯交联聚乙烯绝缘架空导线（以下简称铝合金芯绝缘导线）、裸导线，共三类导线。

4.4.2 排列方式

导线排列方式，单回线路采用三角和水平排列两种杆头布置型式；双回线路采用双水平、双三角、双垂直排列三种杆头布置型式；三回线路采用上双三角下双水平、上双垂直下双水平排列两种杆头布置型式；四回线路采用上双三角下双三角、上双垂直下双垂直排列的两种杆头布置型式。

铁质横担杆头布置的导线排列方式采用水平、垂直、三角共三种基本型式；复合绝缘横担（方棒绝缘横担）杆头布置的导线排列方式单回路杆头排列方式采用上字型，双回路采用双垂直排列。

5 三维模型参数

5.1 线路拓扑

线路拓扑模型，主要参数包括：杆塔编号、杆塔的经纬度及高程、杆塔的两端连接关系信息。

表 4 杆塔参数表

序号	参数	参数描述	单位
1	杆塔编号	杆塔的唯一标识	-
2	杆塔的经纬度及高程	杆塔的位置信息和高程信息	经纬度单位：度（°） 高程单位：米（m）
3	杆塔的两端连接关系	杆塔两端的连接关系信息	-

10kV架空线路基本拓扑为：杆塔—导线—杆塔……杆塔—导线—杆塔结构。

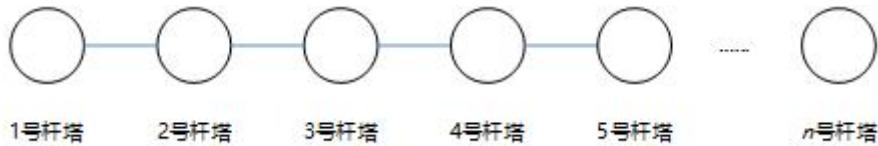


图 1 架空线路示意图

5.2 杆塔

5.2.1 塔身

塔身模型，主要参数包括：外接长方体经纬度及高程、回路数、布线方式、绝缘子数信息。

表 5 杆塔参数表

序号	参数	参数描述	单位
1	外接长方体经 纬度及高程	杆塔的前后左右上下的经纬度及高程值	经纬度单位：度（°） 高程单位：米（m）

2	回路数	杆塔上导线的回路数	回
3	布线方式	杆塔上导线的分布形式	-
4	绝缘子数	安装在杆塔上的绝缘子数量	个

5.2.2 塔头

塔头模型，主要参数包括：外接长方体经纬度及高程、回路数、布线方式、横担数信息。

表 6 塔头参数表

序号	参数	参数描述	单位
1	外接长方体经 纬度及高程	塔头的前后左右上下的经纬度及 高程值	经纬度单位：度（°） 高程单位：米（m）
2	回路数	塔头上导线的回路数	回
3	布线方式	塔头上导线的分布形式	-
4	横担数	塔头上横担的数量	个

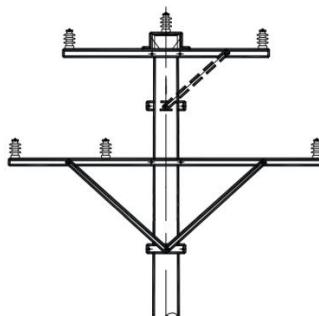


图 2 杆塔杆头结构示意图

5.3 附属设施

5.3.1 横担

横担模型，主要参数包括：数量、长度、朝向、宽度、横担外接长方体经纬度及高程、安装点经纬度及高程、绝缘子数量信息。

表 7 横担参数表

序号	参数	参数描述	单位
1	数量	横担的数量	个
2	长度	横担的长度	米（m）
3	朝向	横担在杆塔上的安装方向	度（°）
4	宽度	横担的宽度	米（m）
5	横担外接长方 体经纬度及高 程	横担前后左右上下的经纬度及高 程值	经纬度单位：度（°） 高程单位：米（m）

6	安装点经纬度及高程	横担安装点的经纬度及高程值	经纬度单位: 度(°) 高程单位: 米(m)
7	绝缘子数量	横担上的绝缘子数量	个

5.3.2 绝缘子

绝缘子模型，主要参数包括：绝缘子类型、绝缘子数量、绝缘子的外接长方体经纬度及高程、安装点经纬度及高程信息。

表 8 绝缘子参数表

序号	参数	参数描述	单位
1	绝缘子类型	杆塔上绝缘子类型	-
2	绝缘子数量	杆塔上绝缘子数量	个
3	绝缘子的外接长方体经纬度及高程	绝缘子的前后左右上下的经纬度及高程	经纬度单位: 度(°) 高程单位: 米(m)
4	安装点经纬度及高程	绝缘子安装点的经纬度及高程值	经纬度单位: 度(°) 高程单位: 米(m)

5.3.3 金具

金具模型，主要参数包括：金具类型、金具数量、金具的外接长方体经纬度及高程、安装点经纬度及高程信息。

表 9 金具参数表

序号	参数	参数描述	单位
1	金具类型	杆塔上金具的类型	-
2	金具数量	杆塔上同类型金具的数量	个
3	金具的外接长方体经纬度及高程	金具的前后左右上下的经纬度及高程值	经纬度单位: 度(°) 高程单位: 米(m)
4	安装点经纬度及高程	金具安装点经纬度及高程值	经纬度单位: 度(°) 高程单位: 米(m)

5.3.4 拉线

拉线模型，主要参数包括：安装点的经纬度及高程、根数、对地夹角信息。

表 10 拉线参数表

序号	参数	参数描述	单位
1	安装点的经纬度及高程	拉线两端安装点的经纬度及高程值	经纬度单位: 度(°) 高程单位: 米(m)
	根数	拉线的根数	根
2	对地夹角	拉线与地面组成的夹角值(小于90°)	度(°)

5.3.5 标识及警示装置

标识及警示装置模型，主要参数包括：外接长方体经纬度及高程、类型（高压危险、杆塔铭牌）信息。

表 11 标识及警示装置参数表

序号	参数	参数描述	单位
1	外接长方体经 纬度及高程	标识及警示装置的前后左右上下 的坐标点的经纬度和高程值	经纬度单位：度（°） 高程单位：米（m）
2	类型（高压危 险、杆塔铭牌）	标识及警示装置的类型	-

5.4 柱上设备

柱上设备模型，主要参数包括：设备朝向、设备类型、设备的外接长方体经纬度及高程、安装点经纬度及高程、架设方式（设备支架）信息。

表 12 柱上设备参数表

序号	参数	参数描述	单位
1	设备朝向	设备在杆塔上安装的方向	度（°）
	设备类型	设备的类型名称	-
2	设备的外接长 方体经纬度及 高程	设备的前后左右上下的坐标点的 经纬度和高程值	经纬度单位：度（°） 高程单位：米（m）
3	安装点经纬度 及高程	设备安装点的经纬度和高程值	经纬度单位：度（°） 高程单位：米（m）
4	架设方式（设 备支架）	设备的安装方式	-

5.5 导线

导线模型，主要参数包括：起始杆塔编号、终止杆塔编号、导线直径、导线类型（材质）、导线弧垂、排列方式、回路数。

表 13 导线参数表

序号	参数	参数描述	单位
1	起始杆塔编号	导线开始端连接的杆塔编号	-
2	终止杆塔编号	导线终止端连接的杆塔编号	-
3	导线直径	导线的直径	毫米（mm）
4	导线类型（材 质）	导线的类型名称	-
5	导线弧垂	导线的应力弧垂	米（m）
6	排列方式	杆塔及横担上导线的排列方式	-
7	回路数	杆塔上架设的架空线路回路数量	回

6 参数化建模方法

6.1 参数化构建流程

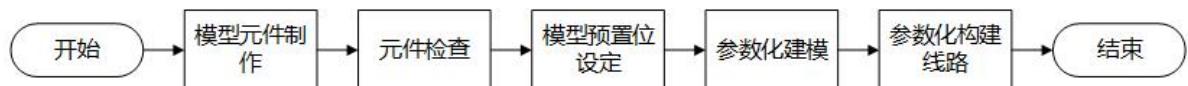


图 3 模型构建流程

6.2 模型元件制作

按照杆塔、横担、绝缘子、金具、拉线、柱上设备、标识及警示装置、导线等设备的相关参数，包括模型元件数据、几何模型、属性要素、纹理要素及辅助文件应。根据三维实体组成类型，制作三维实体组成部件的特征参数，形成模型元件。

6.2.1 模型命名及编码

- (1) 模型命名应根据“Q/GDW 11181.1—2014 电网三维模型第1部分：模型分类与编码”规则对模型进行分类编码，按“设备类别_资产编号”进行两层命名。
- (2) 模型编码采用线性分类法和分层编码方法，由若干位英文字母、阿拉伯数字及罗马数字组成。

6.2.2 模型制作

- (1) 模型制作：根据元件尺寸数据进行三维模型仿真制作。
- (2) 材质纹理：根据完成的元件模型进行材质及纹理附加。
- (3) 元件输出：模型元件完成以后，进行模型命名及编码，输出OBJ、STL、FBX、3DS、DAE、GLTF/GLB等格式模型文件。

根据杆塔、附属设施、柱上设备、导线等涉及的元件进行三维模型制作。模型元件制作基本要素，通过简单几何参数和制作要素进行描述，如下列表所示：

表 14 杆塔模型元件制作基本要素表

元件类型	参数	基本制作要素
杆塔	至少指定半径、高度、材质等，可附加助记字符串和其它属性	1) 基于半径值、高度值建立杆塔元件基础数据； 2) 根据杆塔材质、命名编码进行相关参数设置； 3) 形成杆塔标准元件，输出 OBJ、STL、FBX、3DS、DAE、GLTF/GLB 等格式模型文件。

注：杆塔元件仅作为简单几何体，参数化建模时根据杆塔型号、数值要求进行缩放扩展。

表 15 预置位模型元件制作基本要素表

元件类型	参数	基本制作要素
横担、绝缘子、金具、柱上设备、标识及警示	至少指定长、宽、高、材质等，可附加助记字符串和其它属性	1) 基于长、宽、高值建立元件基础数据； 2) 根据材质、命名编码进行相关参数设置； 3) 形成标准元件，输出 OBJ、STL、FBX、3DS、DAE、GLTF/GLB 等格式模型文件。

装置	
注：以上元件类型属于预置位基础数据；上述仅列举设备构成主要元件部分，更多的复杂元件几何体，可以按照本标准进行扩展。	

表 16 导线模型元件制作基本要素表

元件类型	参数	基本制作要素
导线	至少指定导线直径、导线类型（材质）等，可附加助记字符串和其它属性	1) 基于导线相关参数和排列方式，建立导线元件基础数据； 2) 根据杆塔材质、命名编码进行相关参数设置； 3) 形成导线标准元件，输出 OBJ、STL、FBX、3DS、DAE、GLTF/GLB 等格式模型文件。

注：导线元件仅作为每个杆塔类型独有的元件几何体，参数化建模时根据杆塔型号、数值要求进行配套的导线合成。

6.2.3 涉及要求

- (1) 数据处理：模型应符合规范性、完整性、正确性、唯一性、现势性、一致性原则。
- (2) 命名编码：模型元件应根据设备名称进行命名与编码。
- (3) 建模要求：应具备几何要素、纹理要素、属性要素、元数据和辅助文件五大要素。

6.3 元件检查

模型元件制作完成以后需要进行检查，包括模型精细度、各组成部分几何要素结构、纹理、属性要素等是否符合第 5 章“三维模型参数”要求。

6.4 模型预置位设定

6.4.1 预置位设定

模型元件是以坐标原点为位置点，但是柱上设备是异形设备，并不规则。模型元件的合成，不能以模型元件的原点和原点相连，而是模型元件某个特定位置与另一个元件特定位置相连，因此为了标记该特殊位置，规范采用预制位的方式进行标记。

6.4.2 预置位制作方法

根据做好的预设列表中各类型对应模型库的模型元件，进行预置的位置和角度设定，基于位置坐标信息进行数据定位，制作预置点位。

定义横担、绝缘子、金具、柱上设备、标识及警示装置位于杆塔的坐标信息，定义特定点位，设置数据节点作为预置位的标记位置。

6.4.3 预置位的设置类别

预置位的设置需要根据具体设备类别进行特定点位的定义。其中预置位的设置类别主要包括横担、绝缘子、金具、柱上设备、标识及警示装置等。

6.5 参数化建模

通过组合一个或多个模型元件对象合并成一个参数模型实例对象。最后，为参数对象添加地理坐标，即可对应一个真实的地物。

6.5.1 参数引用

按照杆塔、横担、绝缘子、金具、拉线、柱上设备、标识及警示装置、导线的索引信息读取参数，从预设列表中选择并加载配套的模型元件和预置位元件的渲染体状态。

6.5.2 建模流程

- (1) 根据实体组成元件类型和预置位元件的设定，加载模型元件的特征参数，形成子对象。
- (2) 通过预设列表所获取参数信息，形成一个实例参数对象。
- (3) 为实例参数对象添加对应的经纬度及高程信息调整模型地理位置，形成一个真实的地物。

6.6 参数化构建线路

6.6.1 杆塔线路构建

利用参数配置的方式对架空网络进行描述，从而实现自动化架空线路建模。架空线路三维模型组网配置如图 4：



图 4 组网配置图

6.6.2 拉线构建

- (1) 拉线构建采用程序计算方式实现，依赖读取绝缘子的预置位进行本地坐标到三维地理信息空间坐标的转换获得绝缘子位置进行绘制。
- (2) 拉线的关键点在于弧垂绘制，绘制算法采用贝塞尔曲线算法，利用计算出的拉线起点位置、终点位置、以及计算中点位置，三点作为计算参数即可绘制出弧线。
- (3) 对于中点位置需要根据弧垂表匹配出弧垂值。根据不同材质、不同间距及当前温度可以匹配对应垂度。

7 模型关键参数要求

描述构建配电架空线路三维模型时必须满足的关键参数要求。

- (1) 经纬度及高程精度误差小于±0.1m。
- (2) 角度误差小于±2°。

附录 A
(资料性附录)
参数采集方法

A. 1 建模参数地面采集

地面采集是通过使用测距仪、经纬仪、GPS定位仪、测高仪、相机等专业测量工具和设备对杆塔进行现场数据采集的方法。采集人员应具备相应的资格/资质。

A. 1. 1 采集准备工作

在进行采集前，需要完成以下准备工作：

- (1) 人员培训：采集工作开始前应确保所有参与采集的人员熟悉相关设备操作和安全规程。
- (2) 设备校验：采集工作开始前应准备包括测距仪、经纬仪、GPS定位仪、测高仪、相机等专业测绘设备，并应预先校准，确保测量精度。
- (3) 资料准备：采集工作开始前应收集现有地形图、单线图等基础资料。
- (4) 方案设计：采集工作开始前应制定详细的现场测量计划，包括测量点位、路线安排等。

A. 1. 2 地面参数采集要求

- (1) 坐标参数测量：推荐使用高精度GPS定位仪进行坐标类参数的采集，数据误差不应大于0.1m。
- (2) 高度参数测量：推荐使用测高仪或激光测距仪进行高度类参数的采集，数据误差不应大于0.1m。
- (3) 方向参数测量：推荐使用经纬仪、全站仪、磁罗盘等设备进行方向类参数的采集，数据误差不应大于 2° 。
- (4) 其他参数测量：由作业人员结合单线图等材料确定其他参数，并应使用Excel等数据存储方式记录相关参数。

A. 1. 3 地面参数采集流程

- (1) 定位杆塔坐标：使用GPS定位仪确定每个杆塔的精确坐标。
- (2) 测量杆塔高度：利用测高仪测量杆塔从地面到顶端的高度。
- (3) 测量横担高度：使用全站仪等设备测量横担的高度。

- (4) 测量杆塔朝向：使用经纬仪、磁罗盘、全站仪等设备测量基于杆塔坐标和大号侧方面，横担上A项绝缘子的正北角。
- (5) 记录杆塔性质和型号：根据杆塔的外观和铭牌信息记录其材质和型号。
- (6) 设备参数采集：记录柱上设备的类型、安装高度及朝向。
- (7) 回路数确认：通过目测或技术手段确认杆塔所承载的回路数量。
- (8) 线路拓扑采集：确定与当前杆塔相连的小号侧杆塔。分支线路的第一基杆塔应记录上级线路的分支杆塔。

A. 2 建模参数无人机采集

无人机采集是利用无人机搭载测量和摄影设备对杆塔进行数据采集的方法。无人机操作人员应具备无人机操作资质。

A. 2. 1 采集准备工作

- (1) 无人机选择与装备：采集工作应选用具备高精度GPS或RTK定位、稳定悬停能力的无人机，并且能够装载高清相机或LiDAR传感器。
- (2) 飞行许可与安全评估：采集工作开始前应确保作业区域符合无人机飞行规定，必要时应申请相应的作业的空域允许或向相关部门进行报备。
- (3) 校准与测试：采集工作开始前应对无人机及传感器进行校准，执行短距离试飞以验证设备状态。
- (4) 资料准备：采集工作开始前应收集现有地形图、单线图等基础资料。
- (5) 方案设计：采集工作开始前应制定详细的现场测量计划，包括测量点位、路线安排等。

A. 2. 2 无人机参数采集要求

- (1) 坐标参数测量：推荐通过无人机的RTK或GPS定位坐标记录设备的坐标，采集时应确保无人机的云台角度为-90°，画面的中心与待采设备的中心点重合。
- (2) 高度参数测量：推荐通过无人机的RTK或GPS定位高度记录为设备的高度，采集时应确保无人机的云台角度为0°，画面的中心与待采设备的中心点重合。
- (3) 方向参数测量：推荐通过无人机的偏航角度记录为设备的方向，采集时应确保无人机的云台角度为-90°，画面的中心辅助线与待采设备的中心线重合。

(4) 其他参数测量：由作业人员结合无人机画面和单线图等材料确定其他参数，并应使用Excel等数据存储方式记录相关参数。

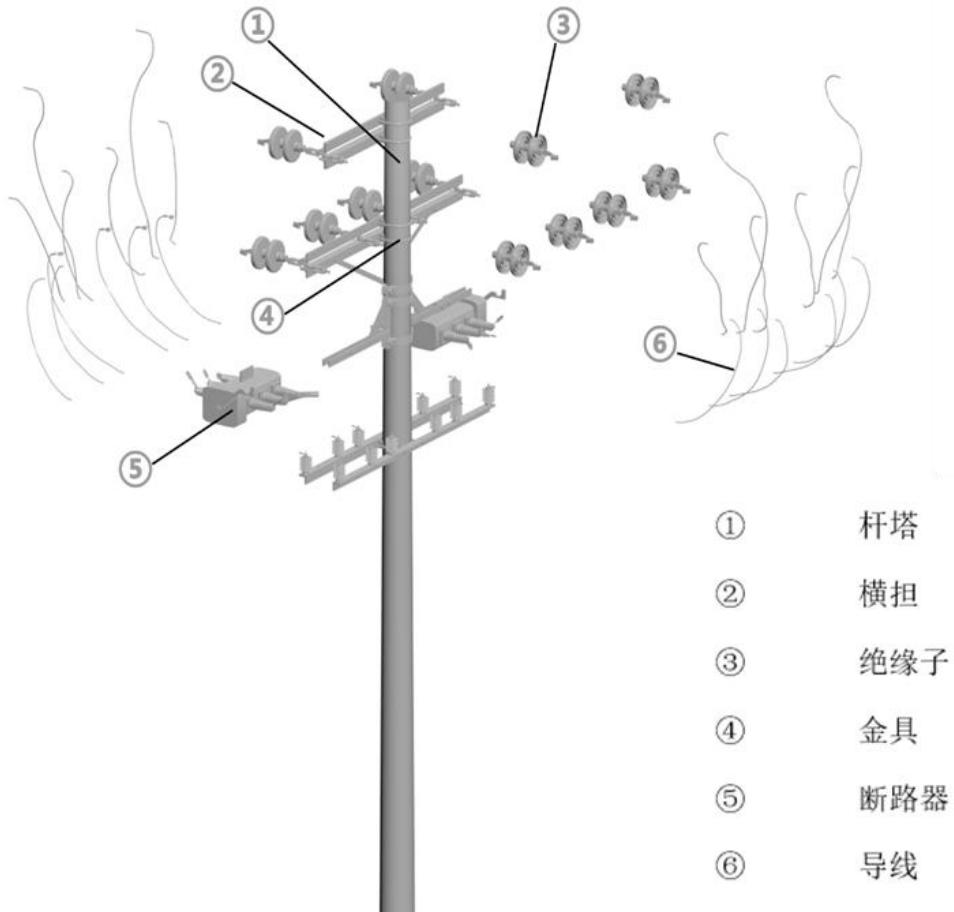
A. 2.3 参数采集流程

- (1) 预飞检查：采集工作开始前检查无人机状态和设备连接情况。
- (2) 飞行定位：使用无人机GPS系统定位杆塔坐标。
- (3) 高度测量：无人机携带的激光测距仪测量杆塔高度。
- (4) 图像采集：无人机拍摄高分辨率图像，用于横担和设备的高度及朝向测量。
- (5) 数据传输：将无人机采集的数据传输至地面站。
- (6) 数据核验：对采集数据进行初步核验，确保数据完整性和准确性。

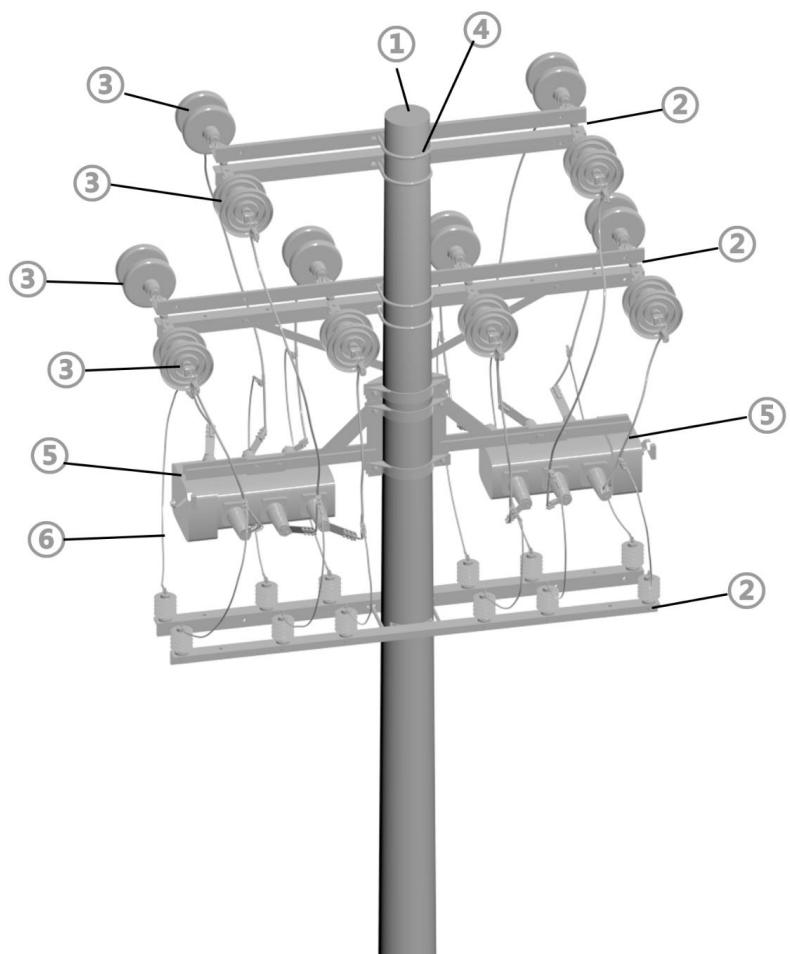
A. 3 数据处理与分析

- (1) 数据整理：采集完成的所有参数数据应分类整理，加密保存，确保数据完整有序。
- (2) 数据校对：采集完成的所有参数数据应随机取样，取样数据不应小于总样本的1%，并使用其他方法进行重复采样，对采集数据进行校对，确保无误差和遗漏。
- (3) 数据分析：采集完成的所有参数数据应利用专业软件对采集数据进行解密、校验和分析，生成杆塔三维模型所需的全部参数。

附录 B
(资料性附录)
参数建模案例



图B.1 双回柱上断路器杆参数化部件示意图



图B. 2 双回柱上断路器杆参数化组合模型示意图

表B.1 双回柱上断路器杆参数化模型参数信息表

名称	参数名称	参数值
杆塔	经纬度及塔顶高程	112.4854878, 37.504152, 12
	回路数	2 回
	布线方式	双水平
	绝缘子数	12 个
横担	数量	2 个
	长度	1.768 米
	朝向	90°
	宽度	0.1 米
	安装点经纬度及高程	{112.485478, 37.5041515, 11.80}, {112.485478, 37.5041515, 10.80}
	绝缘子数量	12 个
绝缘子	绝缘子类型	针式绝缘子
	绝缘子数量	12 个
	安装点经纬度及高程	{112.485468, 37.504152, 11.80}, {112.485488, 37.504152, 11.80}, {112.485468, 37.504152, 10.80}, {112.485475, 37.504152, 10.80}, {112.485481, 37.504152, 10.80}, {112.485488, 37.504152, 10.80}, {112.485468, 37.504153, 11.80}, {112.485488, 37.504153, 11.80}, {112.485468, 37.504153, 10.80}, {112.485475, 37.504153, 10.80}, {112.485481, 37.504153, 10.80}, {112.485488, 37.504153, 10.80}
	设备朝向	90°
	设备类型	柱上断路器
柱上设备	安装点经纬度及高程	{112.485478, 37.5041515, 10.15}
	架设方式（设备支架）	支架
防雷装置	设备朝向	90°
	设备类型	避雷器
	安装点经纬度及高程	{112.485478, 37.5041515, 9.75}
	架设方式（设备支架）	支架

参考文献

[1] (2020 年版) 国家电网有限公司配电网工程-典型设计-10kV 架空线路分册;