

输电线路货运索道支架结构设计及参数化建模研究

范西荣¹, 张晓明¹, 刘晨², 彭飞²

¹国网陕西省电力公司, 陕西 西安

²中国电力科学研究院有限公司, 北京

Email: 675580827@qq.com

收稿日期: 2021年7月2日; 录用日期: 2021年8月4日; 发布日期: 2021年8月11日

摘要

针对输电线路货运索道支架部件, 结合三维设计软件开展部件结构设计, 采用参数化建模方法开展不同结构参数部件建模, 分析索道支架部件受力状况, 提出部件设计载荷, 通过有限元仿真分析对设计部件进行强度校核。结果表明, 各部件能够满足结构强度要求。提出的方法可实现实体模型参数化建模, 有效提高索道的设计效率。

关键词

输电线路, 货运索道, 结构设计, 参数化建模, 支架

Research on Structural Design and Parametric Modeling of Trestle of Material Ropeway of Transmission Line

Xirong Fan¹, Xiaoming Zhang¹, Chen Liu², Fei Peng²

¹State Grid Shaanxi Electric Power Company, Xi'an Shaanxi

²China Electric Power Research Institute Co. Ltd., Beijing

Email: 675580827@qq.com

Received: Jul. 2nd, 2021; accepted: Aug. 4th, 2021; published: Aug. 11th, 2021

Abstract

Aiming at the trestle of material ropeway of transmission line, the structural design of compo-

nents was carried out with the combination of 3D design software. Parametric modeling method was adopted to carry out the modeling of components with different structural parameters. The stress status of components of trestle was analyzed, the design load of components was proposed, and the strength of the designed components was checked through finite element simulation analysis. The results show that the components can meet the requirements of structural strength. The proposed method can realize parametric modeling of solid model and effectively improve the design efficiency of material ropeway.

Keywords

Transmission Line, Material Ropeway, Structural Design, Parametric Modeling, Trestle

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着计算机技术的迅猛发展, CAD/CAE 技术不断发展成熟, 大量的优秀的三维商业软件用于电力装备设计和制造, 如 CATIA、Solid Works 等。结构设计主要采用有限元仿真分析, 通过有限元仿真验证优化改进设计方案需根据几何数据建立有限元仿真模型, 工作量巨大, 严重影响开发进度以及开发成本[1][2]。通过参数化建模方法, 依据结构之间的几何关系, 使得模型能够跟随几何参数的修改而改变, 大大提高了结构设计效率[3][4][5]。

输电线路货运索道是以钢丝绳、支架、转向滑车等结构为主体, 通过牵引机提供动力, 实现起重、输送和卸重等工序的机械化搬运通道, 是输电线路施工用重要装备。货运索道部件种类繁多, 目前标准化索道部件规格型号较少, 部件标准化程度低且重量较大, 不便于山区地形搬运及安装, 造成索道施工的经济性和使用灵活性较差[6][7][8]。

本文基于软件三维设计软件, 建立索道支架部件结构参数方程式, 实现部件实体模型参数化建模, 结合有限元软件, 进行强度校核计算, 提高索道部件的设计效率, 实现系列化、标准化索道设计, 具有较大的工程应用价值。

2. 索道部件说明

索道参数化部件包括支架(横梁、支腿)、鞍座、运行小车、转向滑车, 本文以支架为研究对象, 开展部件结构设计及参数化建模。

2.1. 横梁

横梁结构形式有双工字钢、单工字钢、方钢管、H 型钢等。

横梁主要由横梁钢材(双工字钢、单工字钢、方钢管、H 型钢)和横梁连接板等组成。横梁部件示意图如图 1 所示。

2.2. 支腿

钢管式支腿包括连接段、直线段、底板。连接段主要由支腿主体、支腿法兰、支腿连接板等组成。钢管式支腿部件示意图如图 2 所示。

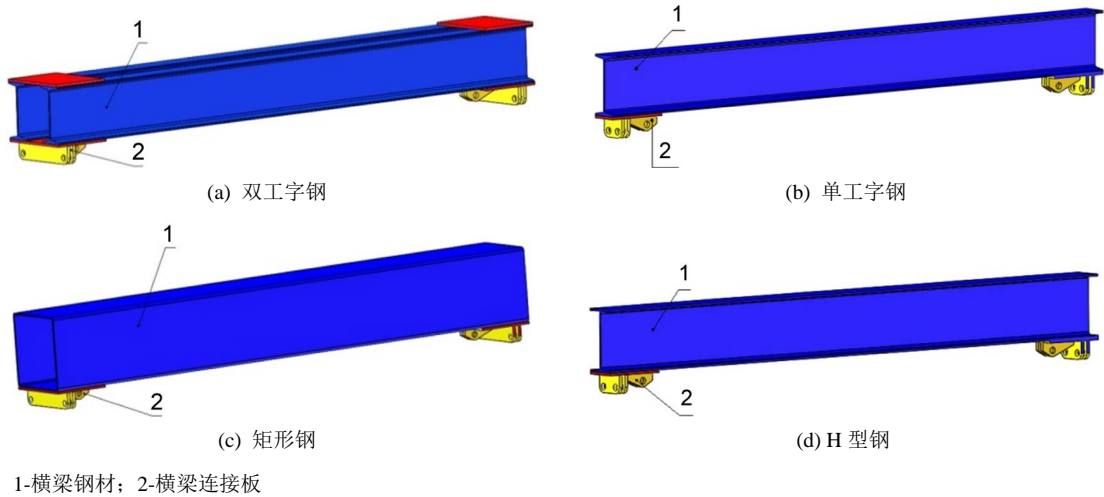


Figure 1. Schematic diagram of crossbeam
图 1. 横梁部件示意图

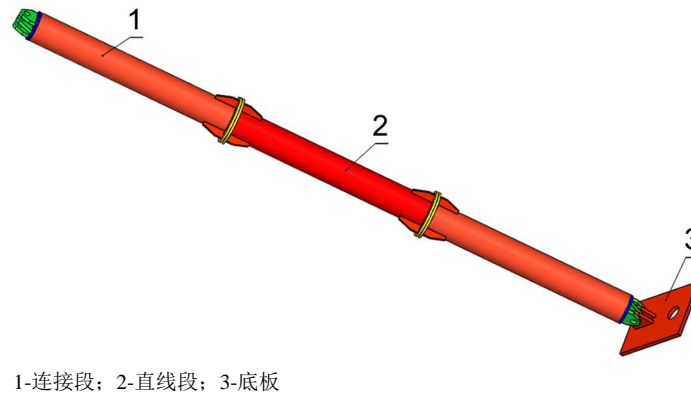


Figure 2. Schematic diagram of leg
图 2. 钢管式支腿部件示意图

3. 索道结构设计参数

3.1. 横梁

1) 横梁钢材

横梁钢材类型包括双工字钢、单工字钢、方钢管、H型钢等。横梁钢材结构设计参数包括横梁长度 L 和钢材规格参数。横梁钢材结构设计参数如表 1 所示，横梁钢材结构设计参数示意图如图 3 所示。

Table 1. Structural design parameters of crossbeam steel
表 1. 横梁钢材结构设计参数

序号	钢材类型	结构设计参数	参数取值范围(mm)
1	工字钢	高度 h	根据工字钢规格表确定参数
2		宽度 b	
3		腹板厚度 t_w	
4		翼缘平均厚度 t	
5		横梁长度 $CS-L$	

Continued

1		边长 b	根据方钢管规格表确定参数
2	方钢管	壁厚 t	
3		横梁长度 CS-L	2000~4000
1		高度 h	
2		宽度 b	根据 H 型钢规格表确定参数
3	H 型钢	腹板厚度 t_1	
4		翼缘厚度 t_2	
5		横梁长度 CS-L	2000~4000

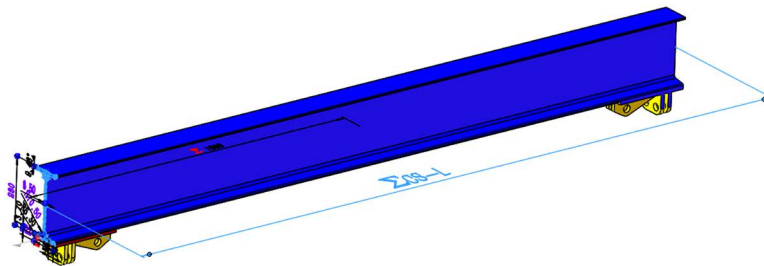


Figure 3. Schematic diagram of structural design parameters of crossbeam steel
图 3. 横梁钢材结构设计参数示意图

2) 横梁连接板

横梁连接板结构设计参数包括横梁连接板长度 L 、横梁连接板宽度 W 、横梁连接板厚度 T 。横梁连接板结构设计参数如表 2 所示，横梁连接板结构设计参数示意图如图 4 所示。

Table 2. Structural design parameters of beam connecting plate

表 2. 横梁连接板结构设计参数

序号	结构设计参数	参数取值范围(mm)
1	横梁连接板长度 CC-L	CC-L = 钢材宽度 b
2	横梁连接板宽度 CC-W	90
3	横梁连接板厚度 CC-T	16
4	横梁连接板直径 CS-D	可根据销的强度计算公式计算

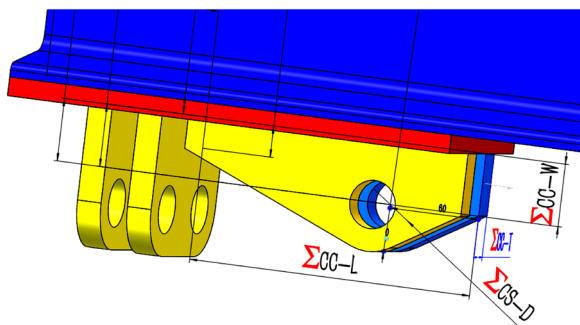


Figure 4. Schematic diagram of structural design parameters of beam connecting plate
图 4. 横梁连接板结构设计参数示意图

3.2. 支腿

1) 支腿主体

支腿主体结构设计参数包括支腿主体长度 L 、支腿主体外径 D 、支腿主体壁厚 T 。支腿主体结构设计参数如表 3 所示，支腿主体结构设计参数示意图如图 5 所示。

Table 3. Structural design parameters of leg body
表 3. 支腿主体结构设计参数

序号	结构设计参数	参数取值范围(mm)
1	支腿主体长度 LM-L	1000~10,000
2	支腿主体外径 LM-D	100~200
3	支腿主体壁厚 LM-T	5~15

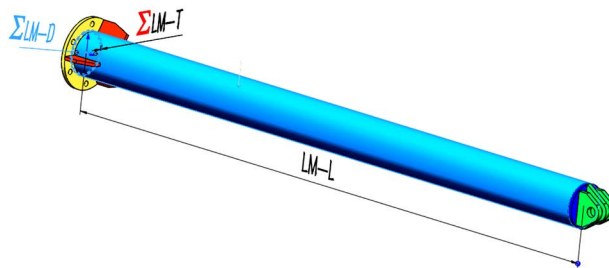


Figure 5. Schematic diagram of structural design parameters of leg body
图 5. 支腿主体结构设计参数示意图

2) 支腿法兰

支腿法兰结构设计参数包括支腿法兰外径 $D1$ 、支腿法兰内径 $D2$ 、支腿法兰厚度 T 。腿法兰结构设计参数如表 4 所示，支腿法兰结构设计参数示意图如图 6 所示。

Table 4. Structural design parameters of leg flange
表 4. 腿法兰结构设计参数

序号	结构设计参数	参数取值范围(mm)
1	支腿法兰外径 LF-D1	$LF-D1 = LM-D + 85$
2	支腿法兰内径 LF-D2	$LF-D1 = LM-D + 45$
3	支腿法兰厚度 LF-T	$LF-T = LM-T$

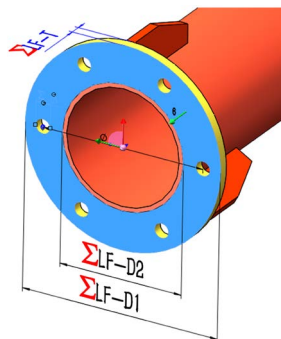


Figure 6. Schematic diagram of structural design parameters of leg flange
图 6. 支腿法兰结构设计参数示意图

3) 支腿连接板

支腿连接板结构设计参数包括支腿连接板长度 L 、支腿连接板宽度 W 、支腿连接板厚度 T 、支腿连接板直径 D 。支腿连接板结构设计参数如表 5 所示，支腿连接板结构设计参数示意图如图 7 所示。

Table 5. Structural design parameters of leg connecting plate

表 5. 支腿连接板结构设计参数

序号	结构设计参数	参数取值范围(mm)
1	支腿连接板长度 LC-L	$LM-D/2-LC-D/2$
2	支腿连接板宽度 LC-W	LM-D
3	支腿连接板厚度 LC-T	16
4	支腿连接板直径 LC-D	可根据销的强度计算公式计算

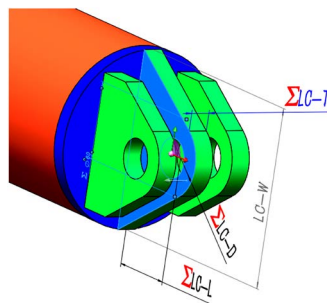


Figure 7. Schematic diagram of structural design parameters of leg connecting plate

图 7. 支腿连接板结构设计参数示意图

4. 索道部件参数化建模实例

4.1. 横梁

横梁(以工字钢为例)主要结构设计参数为横梁长度和钢材规格参数。工字钢材料均为 Q355 钢材。横梁参数化建模实例如表 6 所示，横梁参数化建模网格模型(单工字钢)如图 8 所示。

Table 6. Example of parametric modeling of crossbeam

表 6. 横梁参数化建模实例

序号	结构设计参数	结构参数 1(mm)	结构参数 2 (mm)
1	横梁长度 CS-L	3000	3000
2	钢材型号	工 20a	工 28a
3	横梁连接板直径 CS-D	33	43

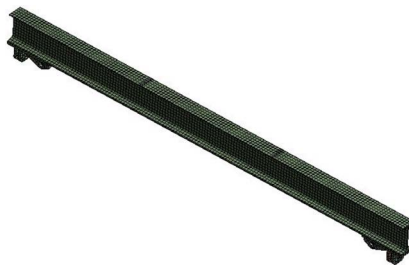


Figure 8. Mesh of parametric modeling of crossbeam

图 8. 横梁参数化建模网格模型(单工字钢)

横梁承受承载索载荷、返空索载荷，载荷位置分别位于 1/3、2/3 横梁长度处，横梁受力示意图如图 9 所示。

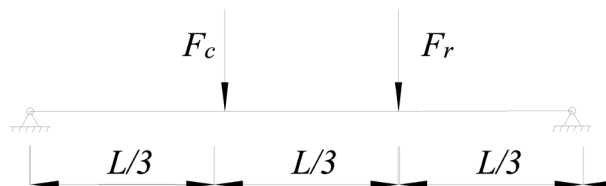


Figure 9. Schematic diagram of force analysis of crossbeam
图 9. 横梁受力示意图

1) 结构参数 1

设置横梁的最大施加载荷为 125 kN，通过有限元仿真计算得到横梁整体应力最大值为 503 MPa，发生在横梁与鞍座铰接 U 型环连接处，如图 10 所示，横梁整体应力能够满足极限强度设计要求(按材料极限强度 507 MPa 考虑)。

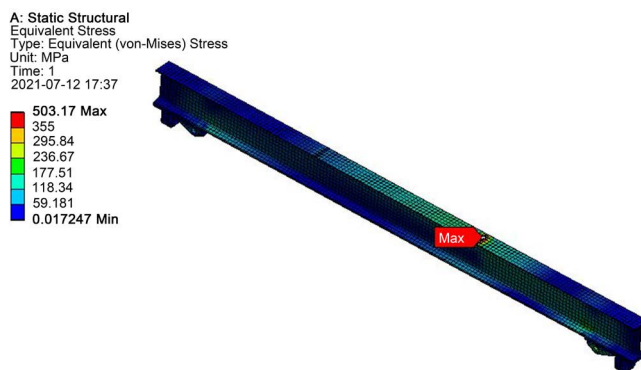


Figure 10. Stress cloud of crossbeam
图 10. 横梁应力分布云图

按照安全系数 2.5 设计，采用结构参数 1 的横梁的额定载荷为 50 kN。

2) 结构参数 2

参照结构参数 1 的方法，采用结构参数 2 的横梁的额定载荷为 80 kN，满足强度设计要求。

4.2. 支腿

支腿主要结构设计参数为支腿主体长度、支腿主体外径、支腿主体壁厚，支腿连接板直径。支腿材料均为 Q355 钢材。支腿参数化建模实例如表 7 所示，支腿参数化建模网格模型如图 11 所示。

Table 7. Example of parametric modeling of leg
表 7. 支腿参数化建模实例

序号	结构设计参数	结构参数 1 (mm)	结构参数 2 (mm)
1	支腿主体长度 LM-L	1500	1500
2	支腿主体外径 LM-D	100	140
3	支腿主体壁厚 LM-T	5	8
4	支腿连接板直径 LC-D	33	43



Figure 11. Mesh of parametric modeling of leg
图 11. 支腿参数化建模网格模型

支腿主要承受横梁的下压力。为确保支腿结构的稳定性，对其进行屈曲分析，获取支腿结构屈曲的临界载荷。对上述支腿进行屈曲分析，取前 2 阶屈曲模态和特征值。

1) 结构参数 1

设置支腿的最大施加载荷为 360 kN，通过有限元仿真计算得到支腿整体应力最大值为 331 MPa，发生在支腿顶板与横梁连接处，支腿整体应力能够满足极限强度设计要求(按材料极限强度 507 MPa 考虑)。根据销的强度计算公式计算得到支腿连接板直径应 ≥ 33 mm。

按照安全系数 3 设计，采用结构参数 1 的横梁的额定载荷为 120 kN。支腿第 1 阶屈曲特征值为 0.35，屈曲临界载荷为 126.99 kN，支腿结构稳定性满足设计要求。

2) 结构参数 2

参照结构参数 1 的方法，采用结构参数 2 的支腿的额定载荷为 210 kN，满足强度设计要求。支腿第 1 阶屈曲特征值为 1.35，屈曲临界载荷为 849.18 kN，支腿结构稳定性满足设计要求。

5. 结论

本文提出了输电线路货运索道支架结构设计及参数化建模方法，主要结论如下：

- 1) 根据货运索道支架(横梁、支腿)部件型式，确定参数化部件结构组成，提出各部件结构设计参数。
- 2) 开展不同结构参数部件建模，分析索道支架部件受力状况，提出部件设计载荷，并进行了有限元分析校核，结果表明，参数化建模结构设计满足使用要求。

提出的货运索道部件结构设计及参数化建模方法可实现实体模型参数化建模，能有效地提高索道的效率，实现系列化、标准化索道设计，提升索道设计的经济性。

基金项目

国网陕西省电力公司科技项目“基于倾斜摄影技术的索道路径规划及选型系统研究”(SGSNJS00GGJS2000108)。

参考文献

- [1] 胡宗波, 唐晓峰, 吴训成, 姜欣. 隐式参数化建模技术在前期 CAE 分析中的应用[J]. 上海工程技术大学学报, 2013, 27(4): 328-332.
- [2] 李雅楠, 钱才富. 基于 VB 和 ANSYS 参数化建模的高压加热器应力分析和强度评定[J]. 压力容器, 2019(1): 48-53.
- [3] 郑开铭. 基于参数化模型的小型电动车全铝框架车身结构轻量化设计[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [4] Duan, L., Xiao, N.C., Hu, Z., *et al.* (2017) An Efficient Lightweight Design Strategy for Body-in-White Based on

Implicit Parameterization Technique. *Structural & Multidisciplinary Optimization*, **55**, 1927-1943.
<https://doi.org/10.1007/s00158-016-1621-0>

- [5] 秦帅帅. 船体三维参数化建模及稳性计算软件开发[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2020.
- [6] 国家电网有限公司. Q/GDW 11189-2018 架空输电线路施工专用货运索道[S]. 北京: 中国电力出版社, 2018.
- [7] 孙竹森, 缪谦, 江明. 输电线路工程货运架空索道标准化施工方案[J]. 电力建设, 2011, 32(3): 117-120.
- [8] 缪谦, 白雪松. 货运索道运输技术与设备研究[J]. 电力建设, 2009, 30(12): 93-96.