

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.08.065

关于城市合杆结构中横臂的疲劳强度分析

孙希波

(上海安伯工业设备有限公司, 上海市 201401)

摘要: 城市综合杆中,有一种长悬臂的结构,用以挂载信号灯或摄像头,标志牌。悬臂属于长柔性结构,由于空气的流体特性,很容易引起结构的振动,从而导致结构产生疲劳效应。计算时应根据不同的振动型式,考虑不同的疲劳荷载,并选取疲劳等级较高的接头型式,可保证长臂结构的安全。

关键词: 城市多功能合杆;结构振动;疲劳强度

中图分类号: U417.9

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)08-0242-03

0 引言

最近几年,随着通信技术的不断发展,不少地方政府出台了建设新型智慧城市的设想和规划,城市多功能综合杆(以下简称合杆)应运而生,并在上海,青岛,厦门等地率先建设。合杆作为设备载体,集照明,通信,交通信号/标志等多种功能于一体。既美化了市容,也节约了土地资源和重复建设的费用。目前各地的城市也在参照上海等地的建设经验推进。图 1、图 2 是合杆的照片。



图 1 双横臂合杆



图 2 指示牌合杆

收稿日期: 2022-03-08

作者简介: 孙希波(1970—),男,学士,工程师,从事结构设计工作。

1 合杆受力特点

对于一个较复杂的合杆,挂载的设备通常有灯具,摄像头,标志牌或信号灯,天线设备等。相比较之前单一功能的杆件,合杆上挂载的设备更多,受力更为复杂。

工程师对此类杆件进行计算分析时,通常只做静力计算—计算其静强度,挠度及其验算稳定性。主要考虑设备及杆体承受的重力荷载,风荷载。对于风荷载的考虑,简化成静荷载来处理,见图 3(横向的箭头为风荷载,竖向的箭头为重力荷载)。

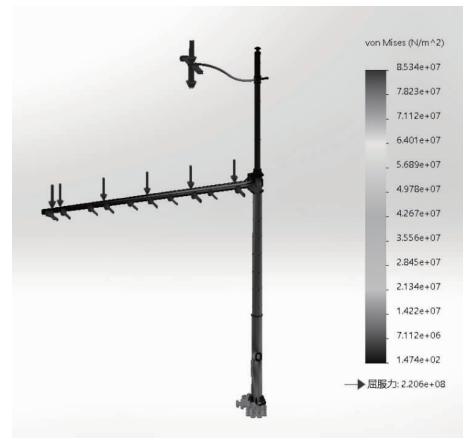


图 3 计算模型

合杆中有一种长悬臂结构,用以挂载信号灯或摄像头,或挂载标志牌。此悬臂横跨道路,最长的横跨 5 车道,达 15 m 左右。由于风的流体特性,容易在此长臂结构上引起振动。目前所知道的需要考虑的振动型式有驰振,涡振,脉动风振。另外,随着道路上卡车越来越多,另一种荷载的作用在显现。这种荷载是由于卡车驶过后,引起横臂下方空气的扰动而产生的。由于车辆的持续经过,荷载频繁地施加到横臂上,并产

生了疲劳效应。这也成为导致横臂破坏的主要荷载之一。

2 设计规范现状

针对合杆产品,目前国内工程界尚没有权威的设计规范。个别地方性的设计规范(比如上海的合杆规范)^[1],也没有涉及和深入到疲劳强度的分析。由于缺乏疲劳荷载的统计和试验数据,工程师做疲劳强度分析时,无处查询相关的荷载数据,以及各节点型式的疲劳承载能力数据等。

美国公路和运输协会(AASHTO)的“公路标识,照明设备及交通信号结构支撑的标准规范(Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaires, and Traffic Signals)^[2]中,对长臂的交通信号杆和标志牌杆的疲劳分析做了比较详细的规定。此规范在统计和实验数据的基础上,给出了需要考虑的荷载工况,疲劳荷载值,各种节点型式的S-N曲线,及疲劳承载极限。

3 确定荷载工况及荷载

依据 AASHTO 规范,需要考虑的荷载工况及用于疲劳计算的风压依次为:

(1) 驰振

驰振主要是由于负气动阻尼引起的几乎与风向垂直的结构振动。

$$P_C = 1\,000 \times I_F \text{ (Pa)}$$

式中: I_F 为疲劳重要性系数。

(2) 涡振

涡振是由于旋涡脱落在结构上引起的横向风振。

$$P_{vs} = 0.613 V_c^2 C_d \times I_F / (2\beta) \text{ (Pa)}$$

式中: V_c 为极端风速; C_d 为基于极端风速下的体型系数; I_F 为疲劳重要性系数; β 为阻尼比,可以预估取值0.005。

规范中明确提出涡振对此种类型结构不敏感,可不予考虑。

(3) 脉动风振

脉动风振是指顺风向风速的变化在结构引起的振动。

$$P_{NW} = 250 C_d \times I_F \text{ (Pa)}$$

式中: C_d 为基于年平均5 m/s 风速下的体型系数; I_F 为疲劳重要性系数。

(4) 卡车引起的风振

是由于卡车经过横臂底部时对横臂产生的往复

的振动,方向垂直于风速方向。

$$P_{TC} = 900 C_d \times I_F \text{ (Pa)}$$

式中: C_d 为基于卡车速度30 m/s下的体型系数; I_F 为疲劳重要性系数。

注:以上提到的风速皆为50 a一遇,时程为3 s的平均最大风速。

以上各种工况下的疲劳重要性系数见表1。

表1 疲劳重要性系数

疲劳等级		重要性系数 I_F			
		驰振	涡振	脉动风振	卡车引起的风阵
I	标志牌	1.0	x	1.0	1.0
	信号灯	1.0	x	1.0	1.0
悬臂结构 II	标志牌	0.70	x	0.85	0.90
	信号灯	0.65	x	0.80	0.85
III	标志牌	0.40	x	0.70	0.80
	信号灯	0.30	x	0.55	0.70

注:x表示结构对此类荷载不敏感。

4 确定节点疲劳强度

合杆横臂与合杆的立杆通过法兰进行螺栓连接。横臂与法兰通常的几种焊接型式主要有,插入式角焊缝焊接,见图4;全熔透焊接,见图5。依照 AASHTO 中的规定,分别对应的应力类型和疲劳强度应力值(CAFL)见表2。

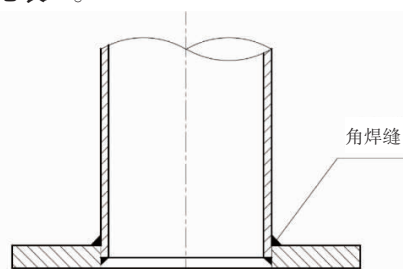


图4 插入式角焊缝焊接

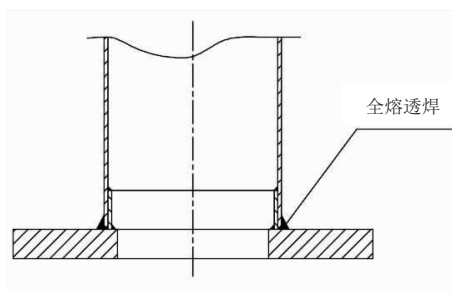


图5 全熔透焊接

表2 应力类型和疲劳强度应力值

节点类型	应力类型	疲劳强度应力值 CAFL/MPa
插入式角焊缝焊接	E'	18
全熔透焊接	E	31

分别对应的S—N曲线见图6。

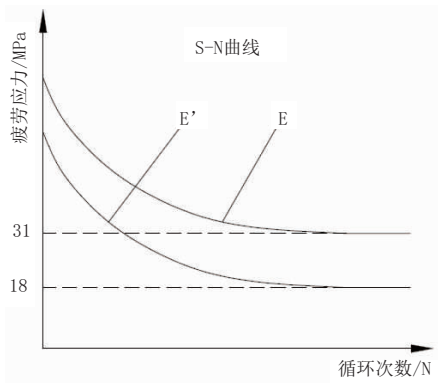


图6 S-N曲线

5 工程案例计算

举例,以某地使用的一种型号的合杆为例,见图7,对横臂进行几种情况下的计算分析。

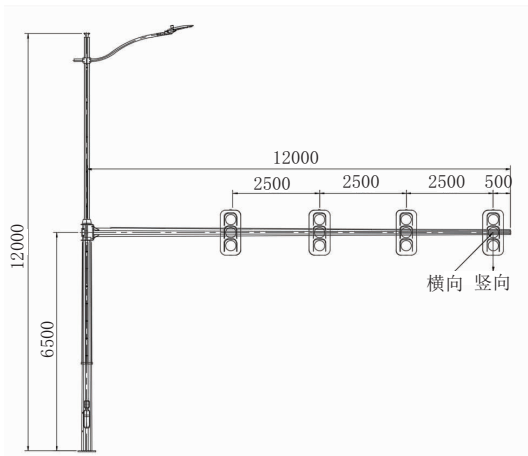


图7 合杆(单位:mm)

(1)设计参数

a. 红绿灯:横向有效迎风面积:1.17 m²/个,竖向有效迎风面积:0.23 m²/个,重量:30 kg/个,数量:4个,在横臂上的位置分布见图7;

b. 臂长12 m,离地高度6.5 m;

c. 风速30 m/s,正常风速:8 m/s(风速为50 a一遇的10 min平均最大风速)。

(2)情况一:只做静强度计算,不考虑疲劳荷载。根据横臂上所受的载荷,计算得到的横臂尺寸见表3。

表3 横臂尺寸

底径/mm	顶径/mm	厚度/mm	长度/mm	管体重量/kg
210	111	5	12 000	340

(3)情况二:做静强度计算的同时,也考虑疲劳荷载,使用E'节点型式,分别考虑以下几种工况。

a. 驰振

$$风压 P_C = 1\ 000 \times I_F (Pa) = 1\ 000 \times 0.65 = 650 (Pa)$$

(疲劳等级取II类,以下同)

风力 $F_C = P_C \times A$,力的方向为竖向垂直于横臂,A为横臂上加载设备的水平方向的迎风面积。

所以,每个灯上的 $F_{G1} = F_{G2} = F_{G3} = F_{G4} = 650 \times 1.17 = 760.5\ N$

$$横臂根部弯矩 M_{横臂} = 0.761 \times 4 + 0.761 \times 6.5 + 0.761 \times 9 + 0.761 \times 11.5 = 23.59\ kN \cdot m。$$

b. 脉动风振

$$风压 P_{NW} = 250 C_d \times I_F (Pa) = 250 \times 1.2 \times 0.8 = 240 (Pa)$$

对于信号灯和8边形横臂,C_d皆为1.2。

$$风力 F_{NW\ 信号灯} = P_{NW} \times A = 240 \times A = 240 \times 0.975 = 234\ N, F_{NW\ 横臂} = P_{NW} \times A = 240 \times A = 240 \times 1.92 = 460.8\ N,$$

力的方向为水平垂着于横臂方向。

A为水平方向所有信号灯以及横臂自身的投影面积。

$$横臂根部弯矩 M_{横臂} = 0.234 \times (4 + 6.5 + 9 + 11.5) + 0.4608 \times 5.38 = 9.73\ kN \cdot m。$$

c. 卡车引起的风振

$$风压 P_{TC} = 900 C_d \times I_F (Pa) = 900 \times 1.2 \times 0.85 = 918 (Pa)$$

$$风力 F_{TC} = P_{TC} \times A = 918 \times A = 918 \times 0.84 = 771\ N,$$

力的方向为竖向垂直于横臂。

A为自横臂端部3 660 mm以内的所有竖直方向的信号灯及横臂自身的投影面积。

$$横臂根部弯矩 M_{横臂} = 0.771 \times 10.17 = 7.84\ kN \cdot m。$$

综合以上三种工况的分析可见,其中的驰振工况下,在横臂根部产生的弯矩最大。由此计算得到的横臂尺寸见表4。

表4 横臂尺寸

底径/mm	顶径/mm	厚度/mm	长度/mm	管体重量/kg
416	111	10	12 000	750

6 计算结果对比

基于以上计算,做对比。从图8中可以看出,是否考虑疲劳计算,以及使用不同的接头型式,对结构尺寸和重量的影响。

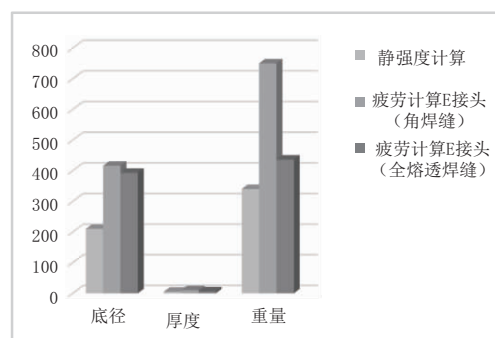


图8 横臂尺寸及重量对比

(下转第252页)

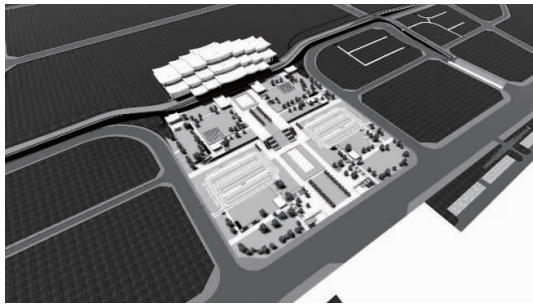


图2 北广场中方案鸟瞰图

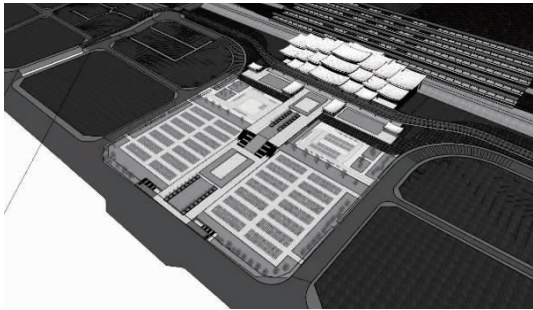


图3 北广场小方案鸟瞰图

对北广场的功能定位进行分析可知,站前广场空间布局应满足各种交通方式的便捷到达与转换;其次,作为展示城市形象的窗口,站前广场也要兼顾一定的景观要求。更为重要的是,靠近市政道路的北侧半幅广场用地性质尚未明确,即该空间范围只能作为临时用地考虑。在此条件下,如果将北广场的整体景观效果定位过高,以后改建过程中将产生较大废弃工程。相比大方案,中方案可通过设置地面停车解决地下停车位数量不足的实际问题,并在30 m标高沿街布置少量商业,服务往来旅客;同时,两层之间的高差也可以和周边山势起伏呼应,形成恢弘大气的景观效果。相比小方案,中方案的公交停车与出租车停车场均在盖板下,可实现室内换乘,换乘体验更佳;且广场景观效果更好。通过以上分析,中方案不仅满足了北广场合理的功能定位,同时可较大方案节约造价超1亿元,有效节省投资。

2.3 其他因素

在可行性研究阶段,还有很多因素会对建设规模及内容造成较大影响,从而影响投资。针对本工程特点,由于国铁站房选址的确定已经限制了综合交通枢纽的选址,而工程范围内又有大量的土石方,因此本阶段应注重竖向设计,结合周边市政道路的设计尽量做到土石方平衡以控制投资。此外,客流与交通流量的预测结果直接影响建设规模的确定,而这些需求预测是基于对城市发展和城市交通的研判,在城镇化加快发展的背景下存在较高的不确定性,会直接导致其预测结果与实际差异较大。为了提高客流预测的精度和准确度,除了改进预测方法,强化国土空间规划的统筹力、引导力和约束力,利用“一张图”降低发展中的不确定性也是重要途径之一^[4-6]。

3 结语

高铁综合交通枢纽一般建设规模较大,建设内容较为复杂。为了在决策阶段做好投资控制,应强化规划的引导和管控作用,合理确定功能定位,必要时统一部署、分期建设,合理把控建设时序。本文以惠城南站综合交通枢纽配套工程为例,从以上角度分析了决策阶段主动、有效地进行投资控制的可行性。

参考文献:

- [1] 莫飞,张亚男,席洋,等.站城融合背景下综合交通枢纽发展策略研究[J].城市规划,2021(9):95-102.
- [2] 陈贵华.对工程项目前期策划决策和设计阶段造价控制的思考[J].铁道工程学报,2011(3):7-10.
- [3] 邱丽丽,张学军,路璐.城市轨道交通预留工程风险分析及对策[J].城市轨道交通研究,2013(2):1-5,11.
- [4] 邱绪建,孙壮志.正确认识轨道交通客流预测的准确性[Z].2006.
- [5] 陶思宇,冯涛.“站城融合”背景下新型铁路综合交通枢纽交通需求预测研究[J].铁道运输与经济,2018(7):80-85.
- [6] 许世光.国土空间规划背景下的近期建设规划演变前景与展望[J].规划师,2021,37(10):82-86.

（上接第244页）

7 结语

- (1)风荷载的空气动力特性,会在结构上引起振动。振动型式有驰振,涡振,脉动风振,和卡车引起的风振。风振会引起横臂产生疲劳荷载;
- (2)对于臂较长的合杆横臂结构,计算时应考虑风荷载下疲劳破坏的影响;
- (3)AASHTO规范中详细规定了,计算疲劳强度

时应考虑的荷载工况,不同接头型式的疲劳强度值;

(4)接头的型式影响结构的疲劳强度。选取疲劳等级更高的接头型式,比如全穿透焊,可大大提高结构的疲劳等级。

参考文献:

- [1] J15649—2021,综合杆设施技术标准[S].
- [2] AASHTO—2009,Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs,Luminaires,and Traffic Signals[S].