

客运架空索道钢丝绳的弹性伸长计算分析

胡晏铭

(云南省特种设备安全检测研究院 云南 昆明 650228)

摘要: 客运架空索道是一种重要的运输旅客的索道, 其具备适应性强、运距短、结构紧凑等特点, 被广泛地运用于山区、滑雪场、风景区、游乐场等领域。客运架空索道的钢丝绳是支撑索道的主要特种设备, 其钢丝绳的弹性伸长直接影响着客运架空索道的安全性和稳定性。为保证客运架空索道的进一步安全运用, 促进客运架空索道的设施建设, 特从钢丝绳弹性伸长原始计算模型、简化计算公式方面对客运架空索道钢丝绳的弹性伸长进行计算分析, 并提出客观的应用建议, 以期对客运架空索道建设研究提供参考。

关键词: 客运架空索道; 钢丝绳; 弹性伸长; 计算

0 引言

进入 21 世纪以来, 我国旅游产业、冰雪产业、交通运输业等行业快速发展, 对旅客运输设备的要求也在不断提高。客运架空索道作为一种经济效益高、建设成本低、建设周期短、环境适应性强的运输设施, 得到了非常广泛的应用。在客运架空索道的工程建设中, 做好其钢丝绳的弹性伸长计算是总体工程设计的关键环节。由于客运架空索道的钢丝绳是一种特殊的运输主体, 其在使用中具备一定的弹性伸度, 因此, 需要结合钢丝绳的弹性值, 对其伸长与运输长度进行重新计算与考量。本文主要通过引入钢丝绳平均张力的概念, 在虎克定律的基础上对原有的钢丝绳弹性伸长进行计算公式推导与计算, 从而得出客运架空索道钢丝绳弹性伸长的简便计算方法。通过对客运架空索道钢丝绳弹性伸长计算方法的分析, 给出更为简便的计算方法, 有力保障我国客运架空索道钢丝绳的设计与使用。

1 客运架空索道钢丝绳的基本概述

客运索道是指用于运输旅客的“索道”。客运架空索道是由钢索、钢索的驱动装置、迂回装置、张紧装置、支承装置、抱索器、运载工具、电气设备及安全装置组成。客运架空索道与其他运输工具相比, 其突出的特点是: 可直接跨越山川和地面障碍, 适应性强; 运距短, 节省行程时间; 结构紧凑, 施工量小, 对自然景观破坏小; 低能耗 (一般用电力驱动), 无污染; 与其他运输工具相比, 一般投资较少, 建设周期短, 大多效益不错, 资金回收快, 是许多景区的重要收入来源。并且, 客运架空索道还可以运输建设物资和生活物资, 为景区的建设和游客的旅程以及景区职工的生活提供了极大的方便。

2 客运架空索道钢丝绳弹性伸长的常规计算方法

客运架空索道的钢丝绳一般是一种特种设备, 由高性能的复合材质构成。受客运架空索道的钢丝绳自身特点与材料特性的影响, 其本身具备一定的弹性。根据客运架空索道的设计经验与实践, 其钢丝绳的伸长往往分为结构性伸长和弹性伸长 2 种。其中, 结构性伸长是指钢丝绳在重力的作用下, 材质结构与性能逐渐发生改变, 产生了永久性的损伤, 导致钢丝绳出现永久性伸长状态, 其典型的表现就是钢丝绳卸载后不会回缩。弹性伸长是钢丝绳在重力的作用下发生的自然弹性拉伸, 外力消失后, 钢丝绳往往会缓慢地恢复原始长度。弹性伸长符合虎克定律, 即弹性伸长数值与载荷呈正比关系。为了计算钢丝绳的弹性伸长, 钢丝绳的弹性模型量 E 可定义为:

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \quad \Delta \sigma = \frac{T - 0}{A} \quad \Delta \epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

计算公式中: $\Delta \sigma$ 表示应力增量; $\Delta \epsilon$ 则表示应变增量; T 表示钢丝绳张力; A 表示钢丝绳截面积; L 代表跨内绳长; ΔL 是钢丝绳弹性伸长的数值。

在客运架空索道钢丝绳的弹性伸长计算公式基础上引入钢丝绳平均张力的概念, 可将以上公式转换为:

$$\Delta L = \frac{T \cdot L}{E \cdot A} \quad (1)$$

循环式索道的客车承重和牵引由同一根钢丝绳完成, 该钢丝绳称为运载索。运载索最小张力与横向载荷之比, 对单钳口抱索器应满足式 (1) 的要求; 对双钳口抱索器, 当钳口距离等于或大于 20 倍运载索直径时应满足式 (2) 的要求, 即当钢丝绳内的张力由 T 变为 T' 时, 其钢丝绳的原有结构弹性发生变化, 此时, 钢丝绳的弹性长度由原来的数据转换为弹性后数据。因此, 结合钢丝绳的

弹性伸长特性,产生了一个弹性伸长的变量,其数值公式为:

$$T_x = H_0 \sqrt{1 + \left[\tan \alpha - \frac{w}{2H_0}(l - 2x) \right]^2} \quad (2)$$

首先,在实验室条件理想的状态下,随机选取一个钢丝绳样品,通过拉力器对钢丝绳的弹性数值进行测量与记录。然后将测量后的数值上传至计算机系统平台,通过计算机系统,利用式(1)对钢丝绳的原始弹性值进行计算。结合计算出的数值,再利用上述(2)中的计算公式进行重新的测量与评估。通过评估,在钢丝绳的长度中引入平均张力 T_m 概念,从而得到客运架空索道钢丝绳弹性张力公式转换后的计算模型:

$$T_m \cdot L = \int_0^L H_0 \sqrt{1 + \left[\tan \alpha - \frac{w}{2H_0}(l - 2x) \right]^2} \cdot dx \quad (3)$$

其次,为了方便应用计算公式(3),根据抛物线悬索理论,对原有的钢丝绳弹性伸长计算值进行数据分析与计算公式转换,可推导出计算公式(4)。计算公式(4)中的 T_m 表示钢丝绳的平均张力, H 为钢丝绳的张力变化值, T 为索跨任一端钢丝绳张力, β 为钢丝绳张力 T 与水平线的夹角, L 为跨内钢丝绳长度, l 为索跨水平长度, p 为钢丝绳单位重。

$$T_m = H \cdot \frac{Lz \coth(z)}{l} + \left[l - \frac{\sinh(2z)}{2z} \cdot \frac{l}{2L} \right] \quad (4)$$

最后,通过对上述研究中计算公式(1)与(2)之间的模型关系可知,客运架空索道钢丝绳的平均张力 T_m 与相关变量之间呈现出正比关系。即钢丝绳的重力值越大,其 T_m 的变化就越大。因此,再通过计算公式(3)与公式(4)的相互推导与论证可知,可通过钢丝绳平均张力 T_m 的计算模型对钢丝绳本身弹性伸长数据进行计算与统计。

3 客运架空索道钢丝绳的弹性伸长简便计算探究

3.1 钢丝绳单位重的计算取值与简化目标

本研究中对钢丝绳单位重的计算取值主要是从索道跨内钢丝绳受载后,对钢丝绳长度 L 与弹性伸长 ΔL 的计算。其关系式为 $L = \Delta L + L_0$ 。其次,对钢丝绳的弹性伸长计算公式简化目标是为了提高原有计算模型的速率与精准性、普适性。众所周知,在客运架空索道钢丝绳的实际弹性伸长测量与计算时,涉及的影响因素较多,包括了各类自然因素与人为因素,就导致原有的计算公式普适性变差,计算后的数值结果偏差会变大。为了解决这一问题,延伸出了更多的计算方法,本研究对原有的计算公式(3)与公式(4)进行了简化推导。最后,为了保证钢丝绳的弹性伸长计算模型的简化精确性,在标准的计算与测量环境下,引入了磁弹效应的概念,从磁畴和能量守恒的角度分析了钢丝绳张力对钢丝绳磁化特

性的影响,明确了基于磁弹效应法检测钢丝绳张力的原理,并使用 ANSYS 仿真软件进行了力-磁耦合分析,从而互证钢丝绳弹性伸长与相关计算公式之间的关系。

3.2 钢丝绳弹性伸长的简便计算

首先,通过上述钢丝绳弹性伸长值常规计算方法分析可知,在对钢丝绳的弹性伸长度进行测量时,需要充分考虑自然因素、人为因素对钢丝绳弹性结构的干扰。这就使得钢丝绳弹性伸长值的测量数据存在着一定变动性,其变量的浮动率远远大于定量。另外,虽然常规的钢丝绳弹性伸长计算公式能够对其数据进行精准的分析,但是在计算一些大型或多条钢丝绳弹性伸长值时,就会增加计算数据量,给计算工作带来困难。因此,为了简化对钢丝绳弹性伸长值的计算,本研究引入平均张力的概念,对常规的计算公式进行转变与推换,从而将原有的计算公式模型加以简化处理。

其次,对公式(1)进行简化处理后,得到公式(5)。为了验证转换后的公式(5)的可行性,采用计算对比分析的方法,对公式(1)与公式(5)的计算数值结果进行横向比较,验证简化后的计算公式应用可行性。例如,假设某个客运架空索道工程设计中,需要9股常规型的钢丝绳,要求钢丝绳的平均水平长度为 $l=400\text{m}$,高差为 80m ,钢丝绳直径为 50mm ,截面积为 800mm^2 ,钢丝绳单位质量是 7.56kg/m ,下端钢丝绳张力值为 26200kgf ,安全系数为6。以平均张力值的方法去计算钢丝绳的弹性伸长数值。首先,根据公式(1)计算的平均张力,钢丝绳的弹性绳长为 2.55626m ;根据公式(5)计算的平均张力,钢丝绳的弹性绳长为 3.32535m ;以索跨两端拉力之和的平均值作为平均拉力,钢丝绳的弹性绳长为 2.03626m ,差值分别为 0.56mm 和 0.26mm ,非常小。因此,在单线索道工程应用领域,索跨两端张力之和的平均值可以简单地作为所有钢丝绳绳长范围内索跨的平均张力来计算钢丝绳的弹性伸长量,即简化后的公式(5)可用于钢丝绳弹性伸长值的计算。

$$\Delta L = \frac{T_m \cdot L}{E \cdot A} \quad (5)$$

最后,近年来基于磁弹效应的钢丝绳张力检测方法得到了学者们的广泛研究。与传统钢丝绳张力检测法相比,基于磁弹效应的钢丝绳张力检测法具有检测精度高、响应速度快以及与钢丝绳非接触等优点,其广泛用于索道全线弹性伸长的计算作业中。为了保证对客运架空索道钢丝绳全线弹性伸长性能的计算,本研究特引用了磁弹效应的概念,在标准的实验室环境下进行反复地检测与数据计算。实验与计算过程中,对原有的公式(2)与公式(4)的流程进行了简化,从而获得了公式(6)。为了确保公式(6)的计算可行性,通过案例引入的方式,进行数据比较与测量。例如,假设密封绳空缆跨距

水平长度为 $L=2000\text{m}$, 高度差为 900m , 钢丝绳直径为 70mm , 截面积为 2000mm^2 , 钢丝绳单位质量为 16.5kg/m , 弹性模量为 1.9135 N/mm^2 , 下钢丝绳张力为 75200kgf , 安全系数为 3.6 , 在客运索道常用的张紧范围内。根据公式 (3) 计算其平均张力, 钢丝绳的弹性绳长为 9.5670m ; 根据公式 (6) 计算其平均张力, 钢丝绳的弹性绳长为 7.2657m ; 按照索跨两端拉力总和的平均值作为平均拉力, 钢丝绳的弹性绳长为 9.5526m , 差值分别为 30.3mm 和 25.5mm , 在实际工程中将导致低于 100kgf 的拉力差, 通过查询文献资料可知, 该拉力差属于工程测量的规定范围, 这表明简化后的公式 (6) 仍然对钢丝绳的弹性伸张测量具有较好的应用性, 并且大大提高了原有的计算速率, 提高了计算结果的精准性。

$$\Delta L' - \Delta L = \frac{T_m' \cdot L}{E \cdot A} - \frac{T_m \cdot L}{E \cdot A} = \frac{(T_m' - T_m)L}{E \cdot A} \quad (6)$$

因此, 在超大跨度往复式索道的工程应用领域, 既可以采用公式 (3) 与公式 (4) 对钢丝绳弹性伸长性能与张力性能进行相关值的计算, 也可以采用公式 (5) 或公式 (6) 计算钢丝绳的弹性伸长量。4 个计算公式的具体应用场景, 需要根据实际的测量需求而定, 如在数据复杂的情况下, 可以采取简化后的计算公式进行计算分析。若钢丝绳本身涉及因素较少、计算数值难度低, 则可以采用原始的计算公式, 提高钢丝绳弹性伸长计算的精准性和计算速度。

4 结语

综上所述, 客运架空索道作为一种重要的客运设施, 在旅游业、山区作业、生活交通等诸多领域发挥着重大作用。钢丝绳是一种弹性好、强度高、自重轻的柔性构件, 具有提升、牵引、拉拽、捆扎等多方面的用途, 是许多载荷多变、工况复杂的设备系统, 如起重机、电梯、吊桥、客运索道等的关键组成部件, 它的安全与否直接关系设

备的正常运行和人员的安全。

明确客运架空索道的作用与特点是前提, 做好客运架空索道的钢丝绳搭建则是根本。客运架空索道的钢丝绳弹性伸长计算作为索道设计及其总体计算中的主要环节, 直接影响着客运架空索道的经济效益与安全性能。本研究通过引入钢丝绳平均张力的概念, 在虎克定律的基础上对原有的钢丝绳弹性伸长进行计算公式推导与计算, 从而得出了悬链线悬索与抛物线悬索两个计算理论。本研究提出的常规计算方法、钢丝绳单位重的计算取值、钢丝绳弹性伸长的简便计算、索道全线弹性伸长的计算分析, 经实际的工程验证表明, 采用简便计算方法与采用完整公式计算得出的数据结果相差不大。因此, 本研究提出的简便计算方法可适用于常规的单线循环索道总体计算作业, 对客运架空索道的钢丝绳搭建具有一定的参考意义。

参考文献:

- [1] 黄山, 李刚, 闫登华, 等. 钢丝绳捻距与托压索轮轮距对客运索道振动的影响 [J]. 起重运输机械, 2021(7): 57-60.
- [2] 孙海晶, 晏海山, 杜珂, 等. 客运架空索道钢丝绳弹性伸长的计算 [J]. 起重运输机械, 2021(z1): 77-80.
- [3] 孙铭扬, 蔡进, 杨武元. 对客运索道钢丝绳的深入研析 [J]. 中国设备工程, 2021(15): 212-213.
- [4] 曲诚, 陈景龙, 常元洪, 等. 面向钢丝绳微弱损伤智能识别的多尺度注意力网络 [J]. 西安交通大学学报, 2021, 55(7): 141-150.
- [5] 吕月月, 张恒宇, 孙安国, 等. 客运架空索道的制动方式 [J]. 起重运输机械, 2021(24): 49-52.
- [6] 刘修海, 贺孝宇, 穆峻青, 等. ZAB 6×36 WS+HDPE SX-46mm 高强度载人索道用钢丝绳研制 [J]. 金属制品, 2021, 47(5): 1-3.