

航空运输中系留索弹性变形对货物偏移量的影响分析

Analysis on the Influences of Cargo Excursion on Moorage Distortion during Air Transportation

张恒铭 王军 / 中航工业第一飞机设计研究院

摘要: 为获取在航空运输中系留索弹性变形对货物偏移量的影响效果, 构建了货物系留固定的受力计算模型, 并通过实例分析, 计算分析了不同系留索弹性变形的条件下对货物最大偏移量的影响, 实现了不同系留索的弹性变形对货物最大偏移量影响效果的可视化。该计算模型为货物系留索设计提供了重要依据, 保证了航空货物运输的安全。

Abstract: For obtaining cable elastic deformation effect on goods offset during air transportation, constructing cargo mooring computation model of force and analyzing example. In different cable under conditions of elastic deformation it calculates the maximum offset of goods, and uses the calculation data to fit curve of goods the maximum offset and different cable unit length maximum deformation in order to get the visualization of the cable's elastic deformation effect on the maximum offset of the goods. The calculation model for the goods moorage in aviation provides an important basis for designing, and guarantees the safety of air cargo transportation.

关键词: 航空运输; 系留固定; 弹性变形; 偏移量

Keywords: air transportation; fixation by mooring; elastic deformation; offset

0 引言

在航空货物运输中, 货物主要包括了集装式货物和散装货物, 集装式货物主要依靠专用的固定锁进行固定, 而散装货物主要采用系留索进行系留固定。由于系留索自身存在弹性变形, 利用系留索系留固定的货物在受到惯性载荷时会发生偏移, 而货物在货舱内受载偏移量有一定范围的要求。因此在系留索设计中需要对系留索单位长度最大变形量进行范围确定, 从而保证货物在航空运输中受载偏移满足要求。

1 构建货物系留受力计算模型

对于航空运输中货物系留索, 在保证具有最大限动要求载荷条件下, 不能

损伤系留索本体。系留索的弹性极限为最大限动要求载荷。不同的材料和结构导致了在系留索弹性极限相同的情况下, 单位长度最大变形量却各不相同, 如图1所示。为满足货物受载偏移量的范围要求, 在系留索设计中, 必须保证单位长度最大变形量在一定的限制范围之内。

设货物尺寸(长×宽×高)为: $L \times B$

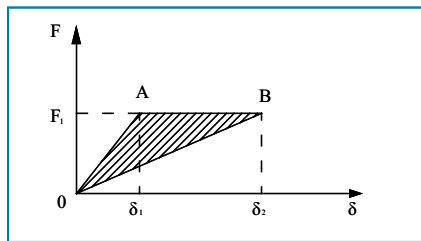


图1 不同材料和结构系留索的弹性变形区域示意图

× H, 重量为 m_1 ; 设飞机地板坐标系 OXYZ 为参考坐标系, 如图2所示。坐标系符合右手法则, 货物重心 Q 点与坐标系原点重合。

当飞机起飞或降落时, 在货物上会产生惯性载荷, 而连接货物系留点与地板系留点的系留索提供了反向拉力, 从而抵消了货物上的惯性载荷 T, 由于系留索相对货物和地板系留点存在较大的弹性变形, 在克服惯性载荷 T 的过程中, 系留索本身会伸长, 从而使货物发生偏移如图3所示。

图3中系留索 CD 的有效长度为 l_{CD1} , 由于系留索在系留固定货物时需要加载一定的预紧力 F_0 , 因此系留索 CD 处于弹性变形, 即

$l_{CD1} = l_1 + \Delta x_0$ 。其中, l_1 为系留索 CD 的

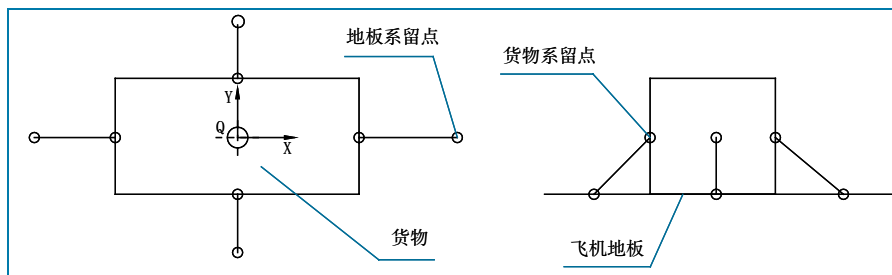


图2 航空货物系留固定示意图

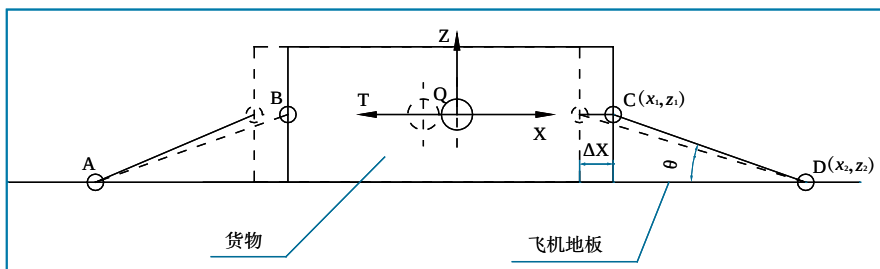


图3 航空货物受载偏移示意图

初始有效长度; Δx_0 为加载预紧力 F_0 后系留索 CD 的变形量。

为了保证系留索在货物系留固定过程中不被损坏,系留索的变形区域应处于弹性阶段,而根据系留索弹性阶段的特点,系留索拉力与单位长度的变形量成线性关系,设系留索弹性极限为 F_1 ,单位长度最大弹性变形量为 Δx_1 ,系留索 CD 在弹性极限时的长度为 l_{CD2} ,即

$$l_{CD2} = l_1(1 + \Delta x_1) \quad (1)$$

$$l_1 \Delta x_1 - \Delta x_0 = l_{CD2} - l_{CD1} \quad (2)$$

根据空间坐标系中的两点距离公式可求得 l_{CD1} 和 l_{CD2} :

$$l_{CD1} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (3)$$

$$l_{CD2} = \sqrt{[x_2 - (x_1 - \Delta x)]^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (4)$$

根据(1)~(4)式计算可得:

$$\Delta x = x_1 - x_2 + \sqrt{[l_1 \Delta x_1 - \Delta x_0 + \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}]^2 - (z_2 - z_1)^2} \quad (5)$$

根据系留索拉力与单位长度变形量成线性关系,即

$$\frac{F_1}{\Delta x_1} = \frac{(F_1 - F_0)l_1}{l_1 \Delta x_1 - \Delta x_0} \quad (6)$$

由于系留夹角存在一定范围要求,同一种系留索布局在系留夹角最小的情况下,货物偏移量为最大,如图4所示。

由于系留索存在系留有效长度范围(系留索自身特点影响),即

l

其中, l 为系留索有效长度; $l_{\min}$ 为系留索最小有效长度; $l_{\max}$ 为系留索最大

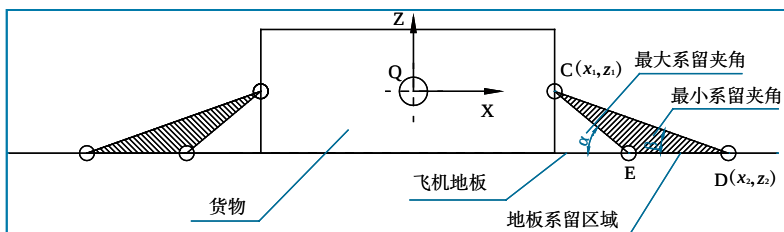


图4 货物系留区域示意图

有效长度。

当货物系留索有效长度最大,系留夹角为最小,并处于图2中货物系留理想模式布局状态时,货物在受到相同的惯性载荷条件下,货物偏移量为最大。而当系留索的材料和结构发生变化后,其单位长度最大弹性变形量也发生变化,从而影响货物最大偏移量。

由图4所示,设 (x_1, z_1) 为货物系留点 C 点的坐标; (x_2, z_2) 为处于最小系留夹角的地板系留点 D 点坐标,即:

$$x_2 = x_1 + l_{\max} \cos \beta \quad (7)$$

$$z_2 = z_1 - l_{\max} \sin \beta \quad (8)$$

根据(5)~(8)式可得货物最大偏移量 Δx 与系留索最大弹性变形 Δx_1 的关系式,具体如下。

$$\Delta x = l_{\max} \left[\sqrt{\left(\frac{F_1 - F_0}{F_1} \Delta x_1 + 1 \right)^2 - \sin^2 \beta} - \cos \beta \right]$$

2 实例分析

假设货物系留点 C 点的坐标为 (3000, 200), 单位为 mm; 系留索最大有效长度 $l_{\max} = 3000$ mm; 最小系留夹角 $\beta = 30^\circ$; 货物系留预紧力 $F_0 = 9810$ N; 货物系留索弹性极限 $F_1 = 117720$ N

将假设条件代入计算模型中,可求得货物最大偏移量 Δx 。

$$\Delta x = 3000 \times \left[\sqrt{\left(\frac{11}{12} \Delta x_1 + 1 \right)^2 - 0.25} - 0.866 \right]$$

假设在保持货物系留索弹性极限相同的条件下,不同结构和材料的系留索单位长度最大弹性变形量 $\Delta x_1 \in (0, 0.1)$, 单位为 m, 设定选取 Δx_1 从 0 开始、以 10 mm 递增, 根据上述货物系留受力模型, 利用 MATLAB 软件求解出每一种货物系留索产生的货物偏移状态如表 1 所示。

根据表 1 中不同系留索引起的货物偏移状态数据, 拟合货物最大偏移量与不同系留索单位长度最大变形量的关系曲

表1 不同系留索引引起的货物偏移状态

序号	变形量(mm)	货物最大偏移量(mm)
1	0	0
2	10	31.8
3	20	63.4
4	30	95.0
5	40	126.4
6	50	157.8
7	60	189.0
8	70	220.2
9	80	251.4
10	90	282.3
11	100	313.4

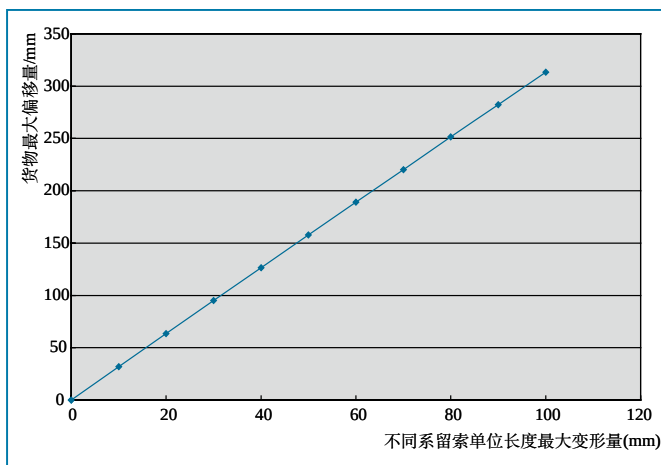


图5 货物最大偏移量与不同系留索单位长度最大变形量的关系曲线

线,如图5所示。可以看出,货物最大偏移量与不同系留索单位长度最大变形量的关系趋于线性递增关系,根据航空运输中货物最大偏移量的限定要求,可以获得系留索的单位长度最大变形量的限制范围,从而为系留索的设计提供了依据。

3 结束语

通过对货物系留索的弹性变形与货物最大偏移量之间关系进行分析,建

立了货物系留受力计算模型。引入实例对不同货物系留索单位长度最大变形量引起的货物偏移状态进行计算分析,拟合出货物最大偏移量与不同结构和材料的系留索单位长度最大变形量的关系曲线,反映了不同系留索弹性变形对货物最大偏移量影响范围和对应关系。该计算模型可为航空货物系留索的设计提供重要依据和帮助。

AST

参考文献

- [1] 姜百盈. 伊尔-76飞机简介及结构系统分析[J]. 航空科学技术, 2006, (2): 6-9.
- [2] 李进军, 刘土光, 夏鸿飞. 舰载直升飞机系留计算分析[J]. 华中理工大学学报, 1996, 24(8): 94-96.

作者简介

张恒铭, 硕士, 工程师, 主要从事货运空投研究工作。

《航空科学技术》征稿通知

《航空科学技术》创刊于1989年, 是由中国航空工业集团公司主管、中国航空研究院主办、中航出版传媒有限责任公司《航空科学技术》编辑部编辑出版的科技类中文期刊(双月刊, 逢双月15日出版), 国内外公开发行。国内统一连续出版物号: CN11-3089/V; 国际标准刊号: ISSN1007-5453。

为了丰富刊物内容, 全面展示航空科学技术的进步与发展, 现面向广大航空科研人员。

征稿内容

来稿应反映航空科学技术的新动向、新进步、新成果, 支持和推动航空科学技术发展创新。文章涉及: 科技管理、飞行器、航空动力、机载设备、先进制造、新材料、新工艺、试验与测试等领域。作者可就所开展的科研工作论述其学术价值和工程实用价值, 展示有创新价值或实用价值的科研成果等。

来稿要求

1. 遵守国家保密规定和《著作权法》有关规定, 来稿时请提供科技论文/科技信息外投不涉密审查证明, 如发生侵权或泄密问题, 责任由作者承担。
2. 稿件要求论点明确、内容充实、数据可靠、条理清楚、文字简洁。

3. 文章一般限制在5000字以内(包括公式、图表所占版面), 并提供中文标题(不超过18字)、英文标题、中/英文关键词、作者信息(姓名/工作单位)、参考文献、作者简介(学历、技术职务、主要研究方向等), 基金文章请标注基金编号, 并请随文附上联系电话、电子邮箱、通信地址等。

4. 投稿邮箱: ast@aviationnow.com.cn; 联系电话: 010-58354704。请勿一稿多投, 来稿无论录用与否一律不退稿, 请谅解。

5. 本刊为全国科技论文统计用刊, 并已被万方数据—数字化期刊群、《中国学术期刊网络出版总库》及CNKI系列数据库收录, 其作者文章著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意文章被合作媒体收录, 请在来稿时向本刊声明, 本刊将做适当处理。

《航空科学技术》编辑部