

非金属封闭管路内导线电流降额研究

Wires Current Derating Design within Non-metal Thimble

花云昌1 王莉2

1上海飞机设计研究院电气设计研究部 2 南京航空航天大学自动化学院

摘 要: 对SAE AS50881线束额定值降低曲线进行研究,通过有限元仿真计算线束降额运行后的温升,以这个 温升为标准计算非金属封闭管路中的导线连续工作时的电流降额数据,为非金属封闭管路在民机布线中的使用 提供参考。

关键词: 降额; AS50881; 非金属封闭管路 Keywords: derating; AS50881; close non-metal thimble

0引言

单根铜芯电线在自由空气中的额 定电流由温升决定,处于线束中的通 电导线的散热条件变得恶劣。民用飞 机某些区域(如中央翼和主起落架舱 上方)的布线空间狭窄、环境恶劣, 可达性及可维护性差。非金属导管具 有一定的可塑性和硬度,能够保护电 缆,也便于维护,但是当线束被置于 封闭非金属管中时,散热空间狭小, 空气流动慢,必须通过降低降额系 数,使非金属管中的导线性能不出现 明显降低。

本文通过建立线束仿真模型,充 分考虑集肤效应和涡流效应对线束中 导线热损耗的影响,选取典型导线对 SAE AS50881图4进行研究,对研究结 果进行分析,建立非金属封闭管路中 导线连续工作时的电流降额数据,用 以指导非金属封闭管状保护材料在民 机布线中的使用。

根据某型飞机的实际使用情况, 非金属管状保护材料选定为直径1英寸 的ZPM2024 II型螺纹管。

1 热分析参数选择

选用Ansoft公司的Maxwell二维涡 流场和温度场分析模块作为仿真分析 软件平台,对线束内导线温升问题进 行"磁-热"耦合场研究和分析。

查阅相关资料,分析得出海平面 环境温度为20℃、环境温度为70℃时, M22759导线的仿真参数如表1所示。仿 真中假设所有导体材料的导热系数相 等,绝缘层的热特性参数相等。

2 仿真分析AS50881 图4降额后的温升 2.1 建立线束仿真模型

1) 前处理

在Maxwell二维软件 中建立线束仿真模型。 由于导体材料的导热系 数达到400W/(m•K), 可以将线芯等效为一个 整体,便于建模和软件 的处理。同时将背景区 域设置为空气,背景区 域的面积根据实际经验 设置为2.5m×2.5m的正 方形。材料性能按表1的仿真参数设置。图1所示为其中一个线束的仿真 模型,由37根导线组成。选取导线 M22759/34-20为例进行说明。

由于线束绑扎紧密,导线之间的 间隙很小,为了便于计算,忽略线束 间隙。于是,线束的仿真模型可等效 为图2所示。

2) 施加载荷

首先利用Maxwell涡流场计算出导

表1 仿真参数

材质	项目	数值	
导体	导热系数 λ	400 W/(m·K)	
镀镍铜	电阻温度修正系数	$\alpha = 0.0038 ^{\circ}\mathrm{C}^{-1}$	
铜镍合金	电阻温度修正系数	$\alpha = 0.002 ^{\circ}\mathrm{C}^{-1}$	
绝缘层	导热系数λ _x	0.45 W/(m·K)	
	发射率ε _x	0.89	
	表面传热系数h _x	19	
空气	导热系数λ _{air}	0.032 W/(m·K)	



图1 仿真模型



图2 仿真等效模型



线在负载800Hz时的损耗,然后将损耗 耦合到温度场中进行计算。分析开始 时输入导线在20℃时的电阻,计算完毕 后,采用整体迭代法,利用温度场计算 得到温度,校正导体电阻。绝缘材料设 置为辐射对流散热边界条件,系数按表 1设置。根据环境温度将空气设为恒温 边界,根据计算经验将背景区域设置为 2m×2m的正方形。仿真中根据线束的 负荷率选择需要施加载荷的导线根数, 若导线根数为37,负荷率为20%,则选 择其中7根导线施加载荷。

3) 划分网格

Ansoft软件的一个优势就是能够 自动划分网格并进行误差计算。当误 差大于设定值时,软件自动增加网格





图3网格划分图

图4 仿真温度分布云图



图5 线束实验连接图

表2 线束实验数据和仿真数据比较

通电导 线根数	每根导线 电流(A)	线束内温度(°C)				
		实验值	仿真值	差值	差值/实验 温升	
1	13.9	93.6	95	1.4	1.50%	
2	9	92.0	93.5	1.5	1.63%	
3	5.2	79.8	81.1	1.3	1.63%	

数,重新计算。也可手动剖分网格。 仿真时先自动划分网格,然后再细 化,对计算要求较高的地方添加网 格,如绝缘层表面是散热计算的重要 环节,需要细化网格。误差百分数设 为0.01。图3为网格划分示意图

4) 后处理

画出温度分布云图,读取线芯内 最高温度,然后根据导体电阻修正公 式重新计算电阻值。再次将直流功率 损耗代入计算,直到温度不再发生变 化时结束计算,此时得到的线芯最高 温度即为导线稳定运行时线束内的最 高温度。图4为温度分布云图,可以看 出此导线的最高温度为113.46℃,线芯 温度最高,温度由里向外逐渐降低。

2.2 实验验证线束仿真 模型

图 5 为实验原理 图,其中,温度计1与 线束绑扎在一起,测量 线束内的温度,温度 计2与螺纹管绑扎在一起,测量螺纹管上的 温度。取9根额定温度 为150℃的M22759/34-20-9导线,每根长 0.4m,单根导线的额定 电流为16.5A。螺纹管 为ZMS2024 II型芳香族 聚合物,直径1英寸。

剥落被测导线大 约2cm长的绝缘层,使 裸露出来的导体与温 度计的探头紧密接触 并用绝缘胶带包裹, 防止漏电。

将9根导线绑扎 成束,放入螺纹管。 螺纹管放置在恒温箱 中,引出端短接在电流表和电压表 上。被测导线暴露在恒温箱外的尺寸 应尽量短,恒温箱外部的连接使用非 测量导线。

将恒温箱的温度调节到70℃,电 流值调节为额定电流。读取温度计的 值,直到温度稳定。

表2中记录的实验值是导线通入 电流2小时后的温度值。此时温度已 经稳定,温度计读数不变。将线束内 温度的实验值与仿真温度比较,可以 看出实验值比仿真值小,最大差值为 1.5℃,分析产生差异的主要原因。

 1) 被测导线通过外导线与电源设 备相连接,外导线与电源处于温度相 对较低的温度环境,通过接触传热, 带走了一部分热量。

 2)在使用温度计测量温度时,是 将温度计与被测导线部分捆绑在一起, 接触不紧密可造成测量温度偏低。

通过对表2数据的分析,得出实验 值与仿真值基本相符,由此可见,按 照前述的建模方法进行导线热分析是 可行的,并且结果准确。

2.3 仿真分析线束降额后的温升

根据AS50881中的图3查找单根导 线的额定载流量,再根据线束中导线 根数和负载率查找到成束修正系数, 计算出导线的成束载流量。利用软 件,按照前述方法进行建模,仿真计 算温升,统计各种线束的温升值。

以其中一种线束为例进行说 明。设有33根150℃的M22759/34-20-9导线组成的线束,线束安装在 环境温度为70℃的区域,线束的负 荷率为20%。从AS50881中查得单 根载流量为16.7A,根据线束参数在 AS50881图4中查得线束额定值降低 系数为0.53,于是导线的成束载流量 为16.7×0.53=7A。仿真计算得出线



表3 AS50881中图4曲线上的一些点

线束中导线的根 数	负载率				
	20%	40%	60%	80%	100%
5	0.875	0.76	0.7	0.65	0.62
9	0.775	0.645	0.57	0.52	0.48
13	0.7	0.57	0.5	0.45	0.413
17	0.65	0.52	0.445	0.4	0.37
21	0.61	0.48	0.41	0.37	0.33
25	0.575	0.45	0.38	0.34	0.3
29	0.55	0.425	0.355	0.32	0.28
33	0.53	0.405	0.335	0.3	0.265
37	0.515	0.385	0.327	0.285	0.255
41	0.51	0.385	0.322	0.278	0.253
45	0.505	0.377	0.32	0.275	0.25



图6 不同载荷率的线束温升温度



图7 载荷率为20%时线束在不同环境温度下的最高温升曲线图

束中的最高温度为91.2℃,此时的温升为 21.2℃。

此部分计算中,针对AS50881中的图 4,首先验证同一根曲线上相同的环境温度 条件下温升是否相同,其次验证不同环境 温度条件下温升是否相同。计算时选取的 曲线上的点如表3所示。

根据表3中选取的线束及负载率,以20 号导线为分析对象,利用有限元软件进行 温升仿真计算。假设环境温度为70℃,则 温升如图6所示。

从图6可以看出,温升列的数值变化 范围在26~34℃之间,变化幅值较小,可 以认为每种线束在不同负荷率下的温升值 近似相等。

然后,以载荷系数为20%的导线为 例,计算环境温度分别为25℃、40℃、 50℃、60℃条件下的温升,如图7所示。从 图中可以看出,不同环境温度下线束内的 最高温升近似相等。这是因为,环境温度 变化的范围不大时,材料的导热系数的变 化也会变小,于是温升基本不变。

2.4 分析总结

仿真分析AS50881图4降额后的温升, 在考虑了线束负载电流的降额系数后, 得出不同负载率的线束中的最高温升基本 相同;当环境温度在25~70℃范围内变化 时,温升仍然基本相同;在26~34℃之 间,变化幅值较小。选取25℃为标准温 升,为螺纹管中线束额定值降低系数的计 算做好准备。

3 仿真分析螺纹管中的线束额定 值降低系数

3.1 建立螺纹管中线束仿真模型

在线束建模的基础上进行螺纹管中 线束仿真分析。图8所示为仿真模型, 最外层为套管,里面是导线,共有导线 17根,套管为ZMS2024 II型螺纹管,直 径1英寸(25.4mm),名义厚度为0.01英



图8 封闭管路内导线仿真模型

寸(0.25mm),材料为线型芳香族聚 合物,仿真中将其导热系数设置为 0.26W/(m•K)。

3.2 实验验证螺纹管中线束仿真模型

按照上述的线束实验方法测得的 实验数据如表4所示。实验时,螺纹管 的温度从70℃变化到70.6℃。仿真中 螺纹管的温度值也出现相同的增高趋 势,且变化量微小,从70.37℃增加到 70.89℃。可见实验和仿真具有相同的 变化趋势,说明仿真中螺纹管的导热系数设置为0.26W/(m·K)是比较准确的。

3.3 仿真计算结果及分析

仿真计算时采用上述求得的标准 温升25℃进行对比。在建立的模型中 加入一个载流量进行仿真计算,将计 算出的温升与标准温升比较。若温升 小于标准温升则增大载流量,若大于 标准温升则减小载流量,多次计算, 直到计算出的温升与标准温升相等。

仿真时以环境温度为70℃的典型 环境温度为计算标准。导线的额定电 流仍然是AS50881中图3中的值。线束 额定值降低系数为线束中导线在计算 温升下通过有限元分析工具得到的计 算电流值与导线的额定电流的比值。

计算结果如图9所示。图中直线表 示螺纹管中线束额定值降低系数曲线, 虚线表示非螺纹管中线束额定值降低系

> 数曲线(即AS50881 的图4)。

从中可以看出 两曲线的变化趋势相 同,但直线在前部分 的下降趋势更明显。 以负载率为20%的曲 线为例,直线在虚线 下方,表明螺纹管中 线束的负载电流系数 更小。这是因为, 计 算时使螺纹管中线束 的温升与非螺纹管中 线束的温升相同;但 在实际中由于封闭的 螺纹管中空气几乎静 止,对流散热减少, 同时螺纹管壁具有反 射热量的作用,线束 的散热条件变得恶 劣,必须减小负载电

流系数,降低线束中的负载电流,使 热损耗减少。比较表中负载电流系数 之差,可以看出负载率越大,线束降 额越明显。负载率为100%,线束中导 线根数为5时的降额系数降额最大,系 数下降了0.27。

4 结论

1)通过对AS50881 图4降额系数 的研究,发现在使用降额系数时不需 要考虑导线类型、环境温度的影响。 在800Hz以内不需要增加降额。

 2)为了使螺纹管中线束的温升 与没有放置在螺纹管中线束的温升一
致,选用一种导线仿真计算出AS50881
图4降额条件下800Hz的温升区间为
26~35℃,考虑余量,选取最低温升
25℃为螺纹管中线束的标准温升,计
算在标准温升条件下螺纹管中线束的
降额系数,并且利用MATLAB软件拟
合出类似AS50881 图4降额系数曲线
图,指导某型飞机螺纹管的使用。

3)导线数量较少、负载率较高的
线束不建议使用螺纹管保护。 (AST)

参考文献

[1] SAE Aerospace.AS50881 Wiring Aerospace Vehicle[Z]. 2006.10.

[2] HB5795-82 航空导线载流量 [Z].1982.

[3] HB6524-91 飞机电线、电缆 兼容性分类及布线[Z].1991.

[4] 谭天恩, 窦梅, 周明华, 等. 化工原理[M].北京:化学工业出版 社, 2006-8.

作者简介

花云昌,工程师,研究方向为飞 机布线设计。



表4 螺纹管线束实验数据和仿真数据比较



图9 螺纹管中线束和AS50881中线束额定值降低系数曲线比较