

# 经验介绍



## 民用飞机配电网络过流保护分析方法研究

吴姗姗 郑建 窦连财

(上海飞机设计研究院电气系统设计研究部, 上海 200436)

Research on Over Current Protection Analysis Method  
for Commercial Aircraft Electrical Power Distribution Network

Wu Shanshan Zheng Jian Dou Liancai

(Electrical and Electronic Systems Department of SADRI, Shanghai 200436)

**摘要:** 飞机配电网络过流保护分析是验证飞机电网设计合理性、可靠性和安全性的重要内容之一。因此, 主要对飞机配电网络过流保护分析方法进行了研究, 并提出了一种特性曲线法。该特性曲线法基于导线载流特性曲线和电网保护装置过流保护动作特性曲线, 分析方法简单、实用, 可用于支持合格审定阶段飞机配电网络设计验证。

**关键词:** 配电网络; 过流保护; 特性曲线法; 合格审定

**[Abstract]** Electrical power distribution network over current protection analysis is one of the important analyses for verifying the rationality, reliability and safety of the aircraft electrical power distribution network design. Over current protection analysis methods for aircraft electrical power distribution network is discussed in this paper. And a characteristic curve method is then presented. The characteristic curve method is based on the load current curve of the wire and the over current protection curve of the protection devices. The characteristic curve method is simple and practical. It can be used to verify the design of aircraft electrical power distribution network for certification.

**[Keywords]** Electrical Power Distribution network; Over Current Protection; Characteristic Curve Method; Certification

## 0 引言

民用飞机电网计算分析报告是民用飞机合格审定过程中的重要报告, 用以证明飞机电网设计的合理性、可靠性和安全性。其中, 飞机配电网络过流保护分析是该报告的重要组成部分。飞机配电网络中引起过流的原因很多, 如线路短路、过载、用电设备故障等。但由于过载和用电设备故障引起的过流较难计算, 而线路短路又是引起过流的主要原因之一, 因此目前已有的过流保护分析方法大都基于估算短路电流的方法。

短路电流虽然是引起线路过流的主要原因之一, 但在飞机配电网络过流保护分析报告中采用估算法存在以下缺点。首先, 估算法只对短路电流进行计算和分析, 并不能对所有引起配电网络过流的因素进行全面的分析, 影响了分析的全面性; 其次, 估算法较为复杂, 其估算结果与实际电网存在一定差别, 影响分析的准确性; 最后, 估算法需要发电机内部参数, 若不能获得该参数, 则无法进行估算, 存在可行性的风险。因此, 基于短路电流估算的飞机配电网络过流保护分析法不能准确地验证和分析飞机配电网络的过流保护能力, 不能满足民用飞机合格审定阶段的飞机电网保护设计验证需求。

目前, 国产支线飞机 ARJ21-700 的合格审定程序正稳步推进, 对飞机配电网络过流保护分析方法

进行研究, 以证明该飞机配电网络设计符合合格审定要求, 是具有实用价值和现实意义的。

本文对飞机配电网络过流保护分析方法进行了研究, 首先介绍了传统估算方法及其存在的问题, 然后提出了一种特性曲线法, 并利用特性曲线法对过流保护进行了举例分析。该特性曲线法简单实用, 能对飞机配电网络过流保护进行全面分析, 可用于支持合格审定阶段飞机配电网络设计的验证。

## 1 传统过流保护分析方法

### 1.1 估算法<sup>[1]</sup>

目前, 已有的飞机配电网络过流保护分析方法大都是基于估算的方法。《航空航天器供电系统》一书中对飞机电网的短路电流计算方法进行了详细介绍。

对于以交流发电机为主电源的飞机电源系统而言, 短路时, 在电功率有限的情况下, 短路电流的周期分量(即交流分量)逐渐从某一最大初值衰减到稳定值。

以三相短路为例, a 相的短路电流为:

$$i_{Ka(t)} = i_{ac}(t) + i_{dc}(t) \quad (1)$$

式中:

$$i_{ac}(t) = \sqrt{2} [(I' - I) e^{-t/T_d'} + (I' - I_K) e^{-t/T_d} + I_K] \cos(\omega t - \alpha_0);$$

$$i_{dc}(t) = \sqrt{2}I' \cos\alpha_0 e^{-t/T_{dc}};$$

$i_{ac(t)}$  为短路电流的周期分量;

$i_{dc}(t)$  为短路电流的非周期分量;

$\alpha_0$  为短路时发电机 a 相电压相位角;

$T_{dc}$  为发电机短路电流非周期分量的时间常数;

$X_d$  为发电机直轴同步电抗;

$X_d'$  和  $X_d''$  为发电机直轴暂态电抗和次暂态电抗;

$T_d'$  和  $T_d''$  为发电机短路电流暂态和次暂态分量时间常数。

$$\text{以及 } I' = \frac{E}{X_d'}, I = \frac{E}{X_d}, I'' = \frac{E}{X_d''}。$$

式中,  $E$  为短路瞬间的发电机电势。

## 1.2 估算法存在的问题

根据上述介绍可知,估算法只能在飞机配电网络初步设计阶段进行参考和借鉴,但不适用于合格审定阶段的分析验证。估算法存在以下问题:

首先,估算方法基于短路电流计算,而短路只是引起飞机配电网络过流的原因之一。过载、用电设备端故障等都可能造成飞机电网过流,因此只考虑短路引起的飞机电网过流故障并不全面。所以,即使可以利用估算法证明针对所有短路故障的过流保护满足设计要求,也仍然无法证明飞机配电网络的过流保护设计满足要求。

其次,估算结果不能完全真实地反映飞机电网的实际状态,且估算方法过于复杂。由于估算方法采用了很多假设和前提条件,对飞机电网进行了一定的简化,并不是针对真实的飞机电网进行的计算,因此并不一定能够满足合格审定的要求。此外,即使对电网进行了简化,估算法仍然非常复杂,实用性较差。

最后,估算法所需的发电机内部参数无法获得。由于民用飞机制造商大都采用主制造商——供应商的模式,飞机电源系统的主发电机由供应商提供,而估算法所需的发电机参数属于供应商技术保密范围,飞机制造商无法获得。因此,即使上述估算方法可以被适航当局接受,在飞机制造商缺少关键参数的情况下,该估算方法也是行不通的。

由此可以看出,目前国内文献中介绍的基于短路电流估算的飞机配电网络过流保护分析法不能满足民用飞机合格审定阶段的飞机电网保护设计验证需求。

## 2 特性曲线法

### 2.1 特性曲线法简介

据调研,波音、空客等飞机制造商大都采用特性

曲线的方法对飞机电网的过流保护设计进行分析和验证,用以支持其合格审定。相关标准,如 ARP1199<sup>[2]</sup>中也采用特性曲线法对过流保护装置的选择进行了说明。

为了对飞机配电网络过流保护进行全面分析,以满足合格审定阶段的设计验证需求,本文参考相关标准的说明提出了一种特性曲线法。该方法是将飞机配电网络中所采用的导线的载流特性曲线和相应保护装置的过流保护动作特性曲线进行对比分析,从而对以下两点进行验证,以证明飞机配电网络满足设计要求:

(1)在飞机配电网络中发生过流故障时,保护装置可及时动作,将故障切除,不会因过流而造成导线的损坏,从而避免电气线路产生火花引起火灾,以证明飞机配电网络具有足够的过流隔离保护能力和过流承受能力。

(2)若存在多级保护装置,各保护装置可按设计要求正确动作,将故障影响限制在最小的范围内,以证明保护装置设计选型的合理性。

此外,在采用本文所介绍的特性曲线法进行过流保护分析时,为了校验保护装置对过流回路中所有导线的保护能力,应选取放电回路中载流量最小的导线进行分析。

### 2.2 特性曲线绘制方法

采用本文提出的特性曲线法进行配电网络过流保护分析时,需要首先绘制出导线的载流特性曲线和相应保护装置的过流保护动作特性曲线。其中,导线的载流特性曲线可根据导线在各种电流下的持续工作时间绘制得到,保护装置的过流保护动作特性曲线可根据保护装置在各种电流下的保护延迟时间绘制得到。此外,在实际绘图时,为了便于在同一图中对导线的载流量特性与保护装置的过流保护特性进行比较,两种曲线均需取对数进行绘制。

## 3 特性曲线法分析举例

图 1 所示为假设飞机配电网络设计满足要求时,飞机配电网络中某点发生过流故障时的相关保护装置过流保护动作特性曲线和放电回路中载流量最小的导线的载流特性曲线。其中保护装置 1 为断路器,是离故障点最近的一级保护装置,发生过流故障时应最先动作保护;保护装置 2 为某控制器,是离故障点较远的次级保护装置,应在保护装置 1 失效时控制相应接触器动作保护。

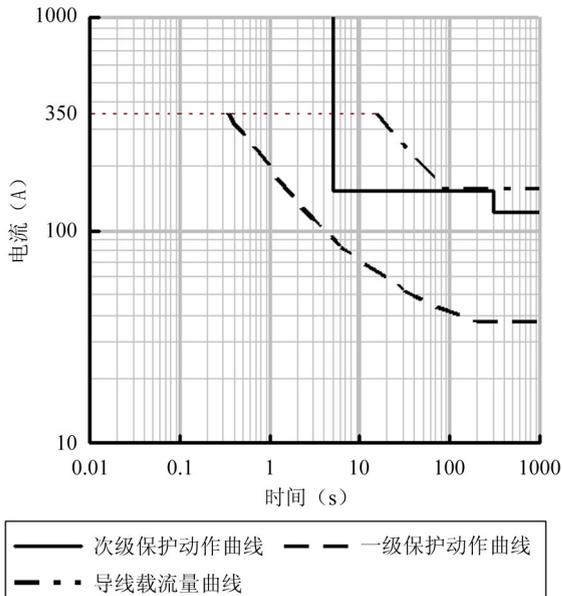


图1 配电网络设计满足要求时的特性曲线图

由图1可以看出,保护装置1和保护装置2的过流保护动作曲线均在导线载流特性曲线下方,说明保护装置1和保护装置2的过流保护动作电流均小于导线可承受的最大电流。当发生过流故障时可及时切除故障,在全电流范围内对导线进行过流保护,导线不会因过流而损坏,从而避免了火花及火灾事故的发生。此外,从图1中还可以看出,保护装置1的动作电流曲线始终在保护装置2的动作电流曲线下方,说明保护装置1的动作电流小于保护装置2,将先于保护装置2动作,满足最靠近故障点的保护装置最先动作的设计要求,防止了故障范围的扩大。

图2所示为假设配电网络设计不满足要求时的特性曲线图。

从图2中可以看出,保护装置1和2的过流保护动作曲线有一部分处于导线的载流特性曲线之上,说明在某些情况下,保护装置不能及时动作将过流故障切除,从而导致导线受损,有可能产生火花并引起火灾,因此保护装置的选择有问题。此外还可以看出,保护装置1和保护装置2的过流保护特性曲线存在交叠区域,说明在某些情况下保护装置2将先于保护装置1动作,扩大了过流故障的影响范围,故保护装置选型不合理。若在飞机配电网络过流保护设计中校验出这种情况,则说明配电网络保护设计有问题,需要对飞机配电网络的保护装置重新进行设计选型。

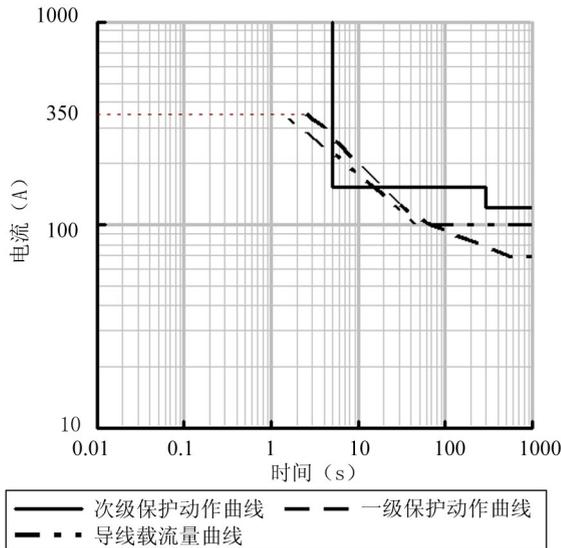


图2 配电网络设计不满足要求时的特性曲线图

根据上述分析可知,只要能够画出导线载流特性曲线和相应保护装置的过流保护动作特性曲线,就可以采用本文的特性曲线法对因各种故障引起的过流保护进行全面分析,以验证飞机配电网络过流保护设计是否满足要求。

在ARJ21-700飞机配电网络过流保护设计的分析和验证中就采用了本文的特性曲线法。ARJ21-700飞机配电网络较为复杂,几乎每路配电线路上的保护装置都至少有2级,若采用传统方法分析验证其设计的合理性、可靠性和安全性则难以实现。而采用本文的特性曲线法则可以将导线载流特性曲线和该线路上的各级保护装置的保护动作特性曲线在一个图中进行比较分析,既直观又简便并且准确地实现了对ARJ21-700飞机配电网络过流保护设计的分析和验证。

#### 4 结论

本文提出的特性曲线方法基于导线载流特性曲线和电网保护装置过流保护动作特性曲线,分析方法简单、实用,可用于支持合格审定阶段飞机配电网络设计的验证。

#### 参考文献:

[1]沈颂华. 航空航天器供电系统[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.  
 [2]SAE-ARP1199 Selection, Application and Inspection of Electric Overcurrent Protective Devices. 1998,11.