

航空绝缘材料发展的几个特点

中国航空工业总公司绝缘材料研究所 周述芳 潘顺清

本文论述了航空用绝缘材料发展的几个特点。工作温度高、相容性、耐湿热和阻燃性是当前绝缘材料研制、选材和配套研究中的关键性能。也是当前绝缘材料发展中的薄弱环节。

关键词：航空，绝缘材料，特点，耐高温，相容性，耐湿热，阻燃性

航空材料是航空工业现代化的物质基础，是航空工业迅速发展的决定因素之一。航空绝缘材料与航空电气产品设计、制造密切相关。绝缘结构是航空电机的心脏，对电机的可靠性和寿命起决定性作用。它的发展是航空电机、电器产品不断更新，优质稳定生产的可靠保证。新型高性能飞机的设计和制造，对绝缘材料的要求越来越高，和地面产品的差别日益增大。材料选用和应用研究也向不同方向发展。为了提高飞机的战斗力，新型飞机正向高空、高速、高性能方向发展。为此，提高功率与结构重量之比，对航空产品具有特殊的意义，既可增加飞机的运载能力，提高机动性能，加大航程，又可减少燃油的消耗。而这必须要有特殊性能的绝缘材料配套才能达到。本文拟对航空绝缘材料的一些特点予以叙述，为国内绝缘材料研究部门和工作者抛砖引玉。

一、耐热性

航空电气产品，特别是航空电机，要求功率大，体积小，重量轻。为此，只能增大电流密度，提高产品工作温度。目前，有的航空电机要求长期在 250°C 工作，短期 290°C ，瞬时高达 420°C 左右。这样，就给绝缘结构提出了十分苛刻的要求。研究、评选这样的高温绝缘结构，目前在绝缘材料选用和绝缘工艺上遇到的困难很大。虽然聚酰亚胺、硅有机、氟有机材料具有较高的工作温度，但它们不能满足上述要求。有待绝缘行业同仁共同努力来解决。

衡量绝缘材料的耐热性或者绝缘结构的工作温度，单纯考虑热稳定性是不够的。因为作为绝缘材料，大多是高分子材料，它的运动很大一个特点是从一个分子运动状态过渡到另一个运动状态所需的松弛时间往往很长。有些高聚物，在一定应力作用下，低于软化温度或熔融温度也会因蠕变产生永久变形，从而降低甚至丧失其功能；其次，在实际使用中，必然受到环境的作用，在各种因素综合作用下，经常发生一些意外的现象。通常用于高温工作的绝缘材料应满足以下要求：

- (1) 软化温度、熔融温度高；
- (2) 高温状态下，具有良好的电气性能、力学性能；
- (3) 热裂解温度高；
- (4) 在长期高温条件下使用时，各种性能保持相对稳

定。

空间和地面的温度有很大差别。就地面而言，南方和北方也存在很大差异。航空电机、电器产品，在工作过程中温度升高，特别是直流电机，比相同功率的交流电机温升又要高得多，在应急和过载时温度更高。在高空工作时，由于空气稀薄，给电气产品的冷却等也带来问题。不少在地面产品上适用的耐高温材料，例如传统的硅有机系列材料，在航空直流电机上就无法使用，否则严重影响产品性能和寿命，这就给航空电气产品选用高温绝缘材料增加不少困难。

因此，针对航空产品的特点，进行耐高温绝缘材料的研制，开展应用性能研究和绝缘结构的配套研究，是绝缘专业科技工作者刻不容缓的任务。

二、相容性

航空电气产品用绝缘材料的相容性要求和地面产品有一些相同之处，也有许多不同的要求。首先，航空产品，特别是航空电机，工作介质和地面产品有很大差异。例如，大容量的耐高温航空电源电机，通常要用合成脂类油进行冷却，不论循油电机还是喷油冷却电机，都有一个绝缘材料和油类高温接触的问题。在喷油冷却电机上，这相互接触，相互作用更为强烈。一般绝缘油，例如变压器油与绝缘材料相容性已作过一些研究，也积累了一定经验，但航空产品上使用冷却油，由于工作温度和冷却效果的关系，不用矿物油，而是合成酯类油。一些和矿物油相容性好的绝缘材料和合成酯类油往往不相容。特别是 150°C 的油和 200°C 以上绝缘材料的直接接触，高温时很容易发生意外的化学反应。所以，研究航空用绝缘材料相容性时，不但要研究绝缘处理等工艺过程中化学相容性，并且要研究产品使用过程中化学相容性，而后者更重要，也更困难。

由于航空产品工作时环境温度变化很大，通常环境温度在 50°C 以上，也可低于 -50°C 以下。再加上工作时产品本身温度升高，往往使绝缘材料要承受 200°C 以上高温。因此，工作过程中容易产生冷热交变作用的应力开裂。由于树脂的膨胀系数比金属大得多，这种因冷热交变产生的应力十分可观。例如，用于某客机的主电源电机，经过几千小时的飞行之后，有的产品绝缘电阻降

为零，经过清洗、烘烤之后，绝缘电阻有所提高，但是在室内经过一定时间放置后，又降为零。这就是由于产品在使用过程中，不断受冷热冲击作用，绝缘结构中的各种绝缘材料物理相容性不好，造成绝缘结构局部开裂，从而降低了产品的耐潮性能。对这种电机再进行整体绝缘处理，修补了裂纹，产品的耐潮性能得到恢复。

为此，在产品生产中要尽力精心研究，尽量选用低收缩率、高韧性、高粘结力的树脂来制造各种绝缘材料。

因此，在进行航空产品的绝缘结构设计时，不仅要考虑材料的耐热性，更要考虑选用材料组合之后的相容性。在确定绝缘结构的承受高温工作能力时，各组份之间的相容性是一个很重要的因素。

三、耐湿热性

航空产品的使用范围广，工作环境的温湿度变化大。因此，确保电气产品在湿热带条件下的绝缘性能，是航空电气产品制造的关键之一。我国不少地区属于湿热带气候，温度高达 40℃，湿度达到 98%，是微生物细菌的良好繁殖区。当前生产的电气产品，在我国的南部使用，经常出现绝缘电阻低问题，在多雨季节，可以降到零，使飞机不能应急起飞，必须将电机拆下，烘烤除潮以后才能使用。严重影响到战备和部队使用。主要原因是绝缘材料耐湿热性能差。大多数产品的绝缘部分暴露在空气中，而一般绝缘材料对大气中水分的作用很敏感。绝缘材料处于湿热环境中，会因吸收空气中水分而丧失原有的绝缘性能，迅速地变质老化，加之霉菌的侵蚀作用，常常导致绝缘材料的过早损坏。

绝缘材料往往是电器产品的薄弱环节，它与其它材料，如导电材料、磁性材料相比，可靠性相差甚远。加之绝缘材料在使用环境中，由于一些难以避免的因素，使工作的稳定性和可靠性大大降低。要解决这个问题，必须对绝缘材料的耐湿热性能进行精选，大力研制耐湿热性好的绝缘材料，同时对绝缘结构的配套及一些特殊防护方法进行研究。

四、阻燃性

随着高分子科学技术的发展，高分子合成材料在航空航天领域中使用越来越广泛。但是，一般高分子材料是可燃的。由于燃烧造成的事故在航空中时有发生。而且航空产品不同于地面产品，事故一旦发生，产生的后果要严重得多。因此，目前航空材料的阻燃性研究越来越

越引起各国的重视。

现在已基本上清楚，高分子材料的燃烧性，主要取决于其受热后热裂解气体产生的速度；热裂解气体与氧的混合速度；热裂解气体与氧的反应速度和燃烧着的高分子材料吸收自己燃烧时所放出的热的速度。而这些因素，又与高分子材料的玻璃化温度、比热、导热系数等物理性质及凝聚能、氢键、燃烧热、离解能等分子内部的能量密切相关。因此，研究高分子材料的这些特性，就能有效地选择阻燃材料。

根据阻燃处理的方法，一般阻燃剂分为添加型和反应型两大类。添加型阻燃剂主要包括磷酸酯、卤代烃和氧化锑等。使用时，简单地掺合于高分子材料中。其优点是使用方便，适用面广。但对高分子材料的使用性能有较大的影响，特别是对热变形温度、力学和电气性能有较明显的降低。而反应型阻燃剂，在聚合物材料制备过程中作为原材料单体之一，通过化学反应使阻燃剂成为高分子链的一部分，所以对制成材料性能影响较少，阻燃性持久。反应型阻燃剂主要有卤代酸酐和含磷多元醇等。不论哪种类型的阻燃剂，其作用不外乎通过物理途径和化学途径来达到切断燃烧循环的目的，从而达到阻燃。

作为航空用高分子材料阻燃剂要求具备以下几个条件：

- (1) 阻燃剂不损害绝缘材料的物理、力学性能。经阻燃加工后，材料原来的物理、力学性能不变坏；
- (2) 阻燃剂的分解温度与材料的加工温度和使用温度相协调；
- (3) 具有一定的热稳定性和较高耐环境性；
- (4) 具有持久性。材料在整个使用过程中阻燃效果不会消失。

随着航空工业中高分子合成材料使用量的不断扩大，燃烧危险性不断增大。造成生命和财产的损失也越来越大。因此，对材料的阻燃性要求也越来越严格。各国都投入大量人力物力对阻燃剂和阻燃方法进行研究。

通常，高分子合成材料的燃烧性用燃烧速度和氧指数来表示。如果氧指数在 28 以上，即认为该材料在空气中是具有自熄性的。用于航空绝缘材料的高分子材料，要求氧指数不低于 28，最好能达到 35 以上。含卤树脂，聚砜，聚碳酸酯，酚醛树脂，硅有机树脂等都具有一定的阻燃性。而聚酰亚胺，氟制品，聚苯并咪唑等是较好的阻燃材料。

* * * * *

《材料工程》1994 年征订工作仍在继续进行，凡没有收到或欲补订单位，请速来函联系，索取订单。