

M. B. 克拉夫楚克 著

航空直流电机及 变流机的结构特性

(内部资料, 注意保存)



國防工業出版社

航空直流电机及 变流机的结构特性

M. B. 克拉夫楚克著



国防工业出版社

1959

內容簡介

本書系根据苏联資料譯出，是一部关于航空电机（發電机、直流电动机、直流和直-交流变流机）結構特性的書。書中提出了对电机的基本要求，叙述了联接綫路和某些电机元件。

本書可供从事航空电机設計、教学研究的人員参考。

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版业營業許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/25 印張 9 19/25 196千字

1959年8月第一版

1959年8月第一次印刷

印数：0,001—1,000册 定价：(11) 1.50元

NO. 內 265

序

本書敘述了航空电机标准結構的特性，即敘述了發電机、直流电动机、直流和直-交流变流机，以及电机主要組件的特性。

本書內容排列如下：

導言內闡述了所研討的电机工作条件，提出了对电机的基本要求。

繼而，詳述了外觀、联接綫路和某些电机元件，即軸的結構、鉄心疊片、換向器、刷握、電樞繞組和磁極等。

本書內容，是以电机結構組件的配置順序排列的。

本書可供學習航空电机教程時詳細地了解航空电机的結構之用，也可作為課程設計和畢業設計時的參考書。

為了便於在設計時使用本書，書中對所敘电机的基本数据和最重要的元件結構，均加以系統化并分類地列於表中。為了同樣的目的，書中載述了航空电机某些零件，即合成軸、換向器、刷握彈簧和扎綫等結構的強度計算方法。

書中載述了功率為 1500、3000 和 9000 瓦的航空發電机，容量從 5.75 到 7100 瓦的电动机，功率從 11 到 300 瓦和從 43.5 到 1500 伏·安的單樞式、感應式和串級式直流变流机以及直-交流变流机。

著者在編著本教材時，除參考了所載的文獻（已刪去）外，還應用了上校工程師 И. Г. 梅耶爾松主編的航空直流發電机的計算一書。

書中採用的資料，都是著者從蘇聯电机制造廠搜集的。

著者認為必須向審核本手稿的并給予許多寶貴意見的教研室同人表示謝忱。

著者將感激地採納對本書的批評與意見。

著者

导 言

飞机上装設的电机的工作条件与一般工业用电机的工作条件有显著不同。

航空电机应保証当飞机在各种复杂条件下，即：在不同的高度、不同的空間位置、不同的大气条件、大的加速度和振动下……飞行时飞机各机构的連續工作。

因此，对航空电机提出了一些特殊要求，而这些要求都是一般工业用电机所不具备的。

航空电机应在下列基本条件下正常运轉：

1. 周圍介質温度从 -60°C 改变到 $+50^{\circ}\text{C}$ 下；
2. 大气压力从 760 公厘水銀柱改变到 41 公厘水銀柱及在某些更低的情况下；
3. 周圍介質相对湿度达 95~98% 下；
4. 历时 5 分鐘，方向不定的、达 8 g 的机械过载下。

航空电机应能經受因發动机振动而产生的短时抖动、加速度和顫动。

上述諸条件很可能同时产生。此外，在許多情况下，視使用地方性能的不同，对航空电机还提出了个别的特殊要求，如：短时承受电流过载 150~200% 的性能；于可爆介質中工作可靠；可逆轉动；电压和轉速稳定可能性等。

对航空电机的結構特別提到了机械强度、抗振强度和耐振稳定性方面的剛性要求。此处的抗振强度，是指电机承受飞机的振动后，不出現机械损坏的能力；而耐振稳定性則是指电机及其零件在飞机所产生的一定頻率範圍內，不受共振且保持預定工作期限內参数不变的能力。

同时，航空电机还应重量輕，外廓尺寸小。实现上述这些要

6

求不仅要求正确計算航空电机，而主要是要在制造这种电机的結構时考虑到它的一切工作特点。

为了满足这些要求，航空电机——發电机、电动机和变流机較之工业用的电机結構，無論从构造形式，或从所用材料的机械和电气性能等来看，都是截然不同的。

同时必須指出，各种航空电机及其零件的內、外表面，都应防蝕。为此，航空电机及其零件的表面应塗以特別坚固的清漆，而在某些情况下还采用了化学保护鍍層。如：鍍鋁、鍍鋅和鍍鉻等。

在第一个五年計劃年代里，我国所建立的苏联航空机械制造业就取得了巨大成就，在創立各种結構和用途的航空电机中，积累了丰富經驗。在航空和特种电机制造业領域內所获得的胜利，是和一般电机制造业的成果分不开的。

苏联在电机方面，是重大發明和發現的祖国。众所周知，像俄国科学家B. C. 耶柯比是世界上第一台直流电动机的發明者(1834年)，П. Н. 耶柏罗契柯夫和И. Ф. 烏沙金是世界上第一台变压器的創造者(1876~1882年)，М. О. 多利沃——多勃罗沃利斯基是世界上第一台异步电动机的發明者(1889年)等。

自偉大的十月社会主义革命以后，我国科学家、工程师、和工人發明家們展开了創造性的工作。这就特別地促进了我国工业化和电气化。从而导致了祖国电机制造业不論从生产規模或从出品样式繁多、工业用和特种用途的电机來說，都是世界上首屈一指的。

苏联电机制造业中的光輝成就，是和我国科学家所做的創造性的工作有着密切联系的。

在这些科学家中，可以指出苏联科学院院士К. И. 申費尔、院士B. C. 庫列巴金、通訊院士B. П. 沃洛格金和其他科学家們在电机一般理論方面所做的研究工作，对設計師們开辟了新穎的設計特种电机的可能性。設計師們在特种机械制造业方面的著作，

不只一次地榮獲了斯大林獎金。如 А. А. 因吉巴良, П. Н. 高勒佐夫, А. Г. 伊歐西夫揚, Ф. И. 高勤果夫斯基, А. Н. 波魯雅諾夫, М. М. 克拉斯諾沙波卡, А. Ф. 費多謝耶夫和 Н. М. 克留金等人都是在特种电机制造业領域內有卓越貢獻而榮獲斯大林獎金的。

我國不僅創造了完全新穎獨特的航空和特种电机的結構, 而且还掌握了它們的大批生產。同時我國工廠生產的电机大大地超過了國外資本主義公司所生產的類似結構的电机。

不論我國在电机領域內具有怎樣的成就, 但必須牢記 Н. В. 斯大林的指示: “……技術不能停止前進, 它必須繼續日新月異地改進, 舊的技術必須作廢, 代之以新技術, 新的再代之以最新的”^①。

因此, 無論航空电机的結構怎樣完備, 它必須日新月異地加以改進和改善。

祖國航空技術的發展, 要求創造更新的航空直流电机、發電機、電動機和其他各種型式的交流機。

此外, 如談到由飛機直流電器設備過渡到有更多優點的交流電器設備的問題時, 就要求一系列的有關航空交流电机新型結構的研究工作。

必須指出, 現有的上述各種航空电机, 以及新研究的电机結構, 其組件的主要結構, 如: 合成軸、換向器、電樞、磁極、壳体等, 無論從外形和結構特性來看, 都是基本不變的。

所以, 詳細研討了現有航空电机的結構及組件結構, 就可以順利地了解任一新製造的航空电机的結構, 因此就能對每個蘇軍空軍電氣工程師有所裨益。

① 見斯大林“蘇聯社會主義經濟問題”1953年人民出版社版第83頁。

目 录

序.....	4	§ 1. 換向器和接触环的結構.....	138
导言.....	5	§ 2. 換向器的計算.....	147
第一章 航空电机的标准		第七章 电枢和感应子.....	160
結構形式.....	8	§ 1. 电机电枢和感应子的結構.....	163
§ 1. 發电机.....	8	§ 2. 电枢綁扎的計算.....	174
§ 2. 电动机.....	23	第八章 刷握和电刷.....	176
§ 3. 变流机.....	38	§ 1. 刷握的結構.....	176
第二章 电机的内电路.....	53	§ 2. 电刷.....	188
§ 1. 發电机的綫路連接.....	53	§ 3. 刷握彈簧的計算.....	197
§ 2. 电动机的綫路連接.....	55	§ 4. 刷握自振频率的檢驗.....	200
§ 3. 变流机的綫路連接.....	59	第九章 直流电机磁極和	
第三章 电机軸.....	65	直交流变流机的	
§ 1. 軸的工作条件.....	65	定子叠合件.....	202
§ 2. 航空电机軸的制造示例.....	66	§ 1. 磁極和定子叠合件的	
§ 3. 电机軸的計算.....	78	結構.....	202
第四章 电枢鉄心.....	101	§ 2. 磁極固定螺栓的計算.....	213
§ 1. 采用的材料及槽的形狀.....	101	第十章 激磁繞組.....	215
§ 2. 电枢鉄心部分的强度計算.....	111	第十一章 航空电机的壳	
第五章 电枢繞組.....	113	体.....	234
§ 1. 概述.....	113	§ 1. 电动机、發电机及变	
§ 2. 电机繞組的选择.....	117	流机的壳体結構.....	234
第六章 換向器.....	138	§ 2. 發电机壳体强度的計	
		算.....	242

航空直流电机及 变流机的结构特性

M. B. 克拉夫楚克著



国防工业出版社

1959

內容簡介

本書系根据苏联資料譯出，是一部关于航空电机（發電机、直流电动机、直流和直-交流变流机）結構特性的書。書中提出了对电机的基本要求，敘述了联接綫路和某些电机元件。

本書可供从事航空电机設計、教学研究的人員参考。

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/25 印張 9 19/25 196 千字

1959 年 8 月第一版

1959 年 8 月第一次印刷

印数：0,001—1,000 册 定价：(11) 1.50 元

NO. 內 265

目 录

序.....	4	§ 1. 換向器和接触环的結構.....	138
导言.....	5	§ 2. 換向器的計算.....	147
第一章 航空电机的标准結構形式.....	8	第七章 电樞和感应子.....	160
§ 1. 發电机.....	8	§ 1. 电机电樞和感应子的結構.....	160
§ 2. 电动机.....	23	§ 2. 电樞綁扎的計算.....	174
§ 3. 变流机.....	38	第八章 刷握和电刷.....	176
第二章 电机的内电路.....	53	§ 1. 刷握的結構.....	176
§ 1. 发电机的綫路連接.....	53	§ 2. 电刷.....	182
§ 2. 电动机的綫路連接.....	55	§ 3. 刷握彈簧的計算.....	197
§ 3. 交流机的綫路連接.....	59	§ 4. 刷握自振頻率的檢驗.....	200
第三章 电机軸.....	65	第九章 直流电机磁極和直交流变流机的定子叠合件.....	202
§ 1. 軸的工作条件.....	65	§ 1. 磁極和定子叠合件的結構.....	202
§ 2. 航空电机軸的制造示例.....	66	§ 2. 磁極固定螺栓的計算.....	213
§ 3. 电机軸的計算.....	78	第十章 激磁繞組.....	215
第四章 电樞鉄心.....	101	第十一章 航空电机的壳体.....	234
§ 1. 采用的材料及槽的形状.....	101	§ 1. 电动机、發电机及变流机的壳体結構.....	234
§ 2. 电樞鉄心部分的强度計算.....	111	§ 2. 發电机壳体强度的計算.....	242
第五章 电樞繞組.....	113		
§ 1. 概述.....	113		
§ 2. 电机繞組的选择.....	117		
第六章 換向器.....	138		

序

本書敘述了航空电机标准結構的特性，即敘述了發電机、直流电动机、直流和直-交流变流机，以及电机主要組件的特性。

本書內容排列如下：

導言內闡述了所研討的电机工作条件，提出了对电机的基本要求。

繼而，詳述了外觀、联接綫路和某些电机元件，即軸的結構、鉄心疊片、換向器、刷握、电樞繞組和磁極等。

本書內容，是以电机結構組件的配置順序排列的。

本書可供學習航空电机教程时詳細地了解航空电机的結構之用，也可作为課程設計和畢業設計时的參考書。

为了便于在設計时使用本書，書中对所叙电机的基本数据和最重要的元件結構，均加以系統化并分类地列于表中。为了同样的目的，書中載述了航空电机某些零件，即合成軸、換向器、刷握彈簧和扎綫等結構的強度計算方法。

書中載述了功率为 1500、3000 和 9000 瓦的航空發電机，容量从 5.75 到 7100 瓦的电动机，功率从 11 到 300 瓦和从 43.5 到 1500 伏·安的單樞式、感应式和串級式直流变流机以及直-交流变流机。

著者在編著本教材时，除参考了所載的文獻（已刪去）外，还应用了上校工程师 И. Г. 梅耶尔松主編的航空直流發電机的計算一書。

書中采用的資料，都是著者从苏联电机制造厂搜集的。

著者認為必須向审核本手稿的并給予許多宝贵意見的教研室同人表示謝忱。

著者將感激地采納对本書的批評与意見。

著者

导 言

飞机上装設的电机的工作条件与一般工业用电机的工作条件有显著不同。

航空电机应保証当飞机在各种复杂条件下，即：在不同的高度、不同的空間位置、不同的大气条件、大的加速度和振动下……飞行时飞机各机构的連續工作。

因此，对航空电机提出了一些特殊要求，而这些要求都是一般工业用电机所不具备的。

航空电机应在下列基本条件下正常运轉：

1. 周圍介質溫度从 -60°C 改变到 $+50^{\circ}\text{C}$ 下；
2. 大气压力从 760 公厘水銀柱改变到 41 公厘水銀柱及在某些更低的情况下；
3. 周圍介質相对湿度达 95~98% 下；
4. 历时 5 分鐘，方向不定的、达 8 g 的机械过载下。

航空电机应能經受因發动机振动而产生的短时抖动、加速度和顫动。

上述諸条件很可能同时产生。此外，在許多情况下，視使用地方性能的不同，对航空电机还提出了个别的特殊要求，如：短时承受电流过载 150~200% 的性能；于可爆介質中工作可靠；可逆轉动；电压和轉速稳定可能性等。

对航空电机的結構特別提到了机械强度、抗振强度和耐振稳定性方面的剛性要求。此处的抗振强度，是指电机承受飞机的振动后，不出現机械损坏的能力；而耐振稳定性則是指电机及其零件在飞机所产生的一定頻率範圍內，不受共振且保持預定工作期限內参数不变的能力。

同时，航空电机还应重量輕，外廓尺寸小。实现上述这些要

求不仅要求正确計算航空电机，而主要是要在制造这种电机的結構时考虑到它的一切工作特点。

为了滿足这些要求，航空电机——發电机、电动机和变流机較之工业用的电机結構，无论从构造形式，或从所用材料的机械和电气性能等来看，都是截然不同的。

同时必須指出，各种航空电机及其零件的內、外表面，都应防蝕。为此，航空电机及其零件的表面应塗以特別坚固的清漆，而在某些情况下还采用了化学保护鍍層。如：鍍鎳、鍍鋅和鍍鉻等。

在第一个五年計劃年代里，我国所建立的苏联航空机械制造业就取得了巨大成就，在創立各种結構和用途的航空电机中，积累了丰富經驗。在航空和特种电机制造业領域內所获得的胜利，是和一般电机制造业的成果分不开的。

苏联在电机方面，是重大發明和發現的祖国。众所周知，像俄国科学家 Б. С. 耶柯比是世界上第一台直流电动机的發明者（1834年），П. Н. 耶柏罗契柯夫和 И. Ф. 烏沙金是世界上第一台变压器的創造者（1876~1882年），М. О. 多利沃——多勃罗沃利斯基是世界上第一台异步电动机的發明者（1889年）等。

自偉大的十月社会主义革命以后，我国科学家、工程师、和工人發明家們展开了創造性的工作。这就特別地促进了我国工业化和电气化。从而导致了祖国电机制造业不論从生产規模或从出品样式繁多、工业用和特种用途的电机來說，都是世界上首屈一指的。

苏联电机制造业中的光輝成就，是和我国科学家所做的創造性的工作有着密切联系的。

在这些科学家中，可以指出苏联科学院院士 К. И. 申費尔、院士 В. С. 庫列巴金、通訊院士 В. П. 沃洛格金和其他科学家們在电机一般理論方面所做的研究工作，对設計師們开辟了新穎的設計特种电机的可能性。設計師們在特种机械制造业方面的著作，

不只一次地榮獲了斯大林獎金。如 А. А. 因吉巴良、П. Н. 高勒佐夫、А. Г. 伊歐西夫揚、Ф. И. 高勤果夫斯基、А. Н. 波魯雅諾夫、М. М. 克拉斯諾沙波卡、А. Ф. 費多謝耶夫和 Н. М. 克留金等人都是在特种电机制造业領域內有卓越貢獻而榮獲斯大林獎金的。

我國不僅創造了完全新穎獨特的航空和特种电机的結構，而且还掌握了它們的大批生產。同時我國工廠生產的电机大大地超過了國外資本主義公司所生產的類似結構的电机。

不論我國在电机領域內具有怎樣的成就，但必須牢記 Н. С. 斯大林的指示：“……技術不能停止前進，它必須繼續日新月異地改進，舊的技術必須作廢，代之以新技術，新的再代之以最新的”^①。

因此，無論航空电机的結構怎樣完備，它必須日新月異地加以改進和改善。

祖國航空技術的發展，要求創造更新的航空直流电机、發電機、電動機和其他各種型式的變流機。

此外，如談到由飛機直流電器設備過渡到有更多優點的交流電器設備的問題時，就要求一系列的有關航空交流电机新型結構的研究工作。

必須指出，現有的上述各種航空电机，以及新研究的电机結構，其組件的主要結構，如：合成軸、換向器、電樞、磁極、壳体等，無論從外形和結構特性來看，都是基本不變的。

所以，詳細研討了現有航空电机的結構及組件結構，就可以順利地了解任一新製造的航空电机的結構，因此就能對每個蘇軍空軍電氣工程師有所裨益。

① 見斯大林“蘇聯社會主義經濟問題”1953年人民出版社版第83頁。

第一章 航空电机的标准結構形式

§ 1 發电机

装在飞机上的直流發电机是供給飞机綫路电能的电源。發电机的电压在 24~30 伏內并和电压調节器配成一套使用。当負荷由零变至額定值及轉速由 $n_{\min}$ 变至 $n_{\max}$ 时,發电机在使用中的电压差不应超过額定值的 $\pm 8\%$ 。

各型飞机所用的發电机的功率由装在該飞机上的用电裝置的功率和数量来决定。

近来飞机上用电裝置的数量显著增多,因而發电机的功率也随着增大。目前广泛应用的發电机,其功率为 3000 和 9000 瓦,而某些活塞式航空發动机則采用功率为 1500 瓦的發电机。由于飞机上电气化設備的数量和功率的不断增長,現在的問題已經是必須采用功率达 12、18 和 24 仟瓦的發电机了。

飞机發电机的效率是随發电机功率的增長而增長的。功率 1500~9000 瓦發电机的效率为 0.7~0.8。

标准航空發电机的主要技术数据見表 1。

發电机功率的增加势必引起外廓尺寸和重量的增加,因而不易于固定在航空發动机上,其原因如下:

- 1) 在航空發动机上供發电机安装的地方是非常有限的;
- 2) 發电机重量的增加,除添加了多余的負載而外,还在發电机座盤的金屬內和固定發电机于航空發动机上用的固定螺栓內,产生很大的机械应力。

因此,航空發电机于規定的功率下应有最小的外廓尺寸和重量。

發电机按功率系数值来評價。功率系数即發电机的額定功率

与其重量的比，亦即 $\frac{P}{Q}$ 瓦/公斤。發电机單位重量的功率愈大，則其結構材料的利用也就愈好。要知航空發电机的功率系数值是随額定功率的增加而增加的。

为了减小發电机的重量和外廓尺寸，設計發电机时，应使轉速、綫負載及电流密度增大。同时要使發电机內的空气隙减小（由 0.35 至 0.5 公厘）。

航空發电机的轉速在 3800~9000 轉/分的範圍內。

应当考虑到，發电机电樞的高速旋轉一定会使电樞鉄心反复磁化的頻率达 400~500 周/秒。为了避免电樞鉄心損耗过大，应使空气隙內的磁感应局限于 $B_s = 7000 \sim 8000$ 高斯內。

表 1. 航空發电机的主要技术数据

1. 額定功率(瓦)	1500	3000 (电压30伏时)	9000 (电压30伏时)
2. 額定电压(伏)	27.5	28.5	28.5
3. 轉速(轉/分)	3800~5900	4000~9000	4000~9000
4. 額定电流(安)	54	100	300
5. 最大允許过载电流(安)	81	150	450
历时(分)	2	2	1
轉速範圍(轉/分)	—	5000~8000	5000~8000
6. 最大允許过载电流(安)	—	200	600
历时(秒)	—	10	10
轉速範圍(轉/分)	—	5600~8000	5600~8000
7. 吹風所需的冷却进气量(公升/秒)	30	40	95
8. 不吹風时的最大允許負載电流 (3000 和 9000 瓦發电机历时达30分)(安)	36	30	90
9. 于轉速3400轉/分及电压 28.5 伏下輸出电流不小于(安)	—	30	45
10. 發电机的重量不大于(公斤)	12.6	11	24
11. 电刷牌号	MFC-8	MFC-7	MFC-7
12. 电刷数(个)	4①	4	18
13. 一个銷柱上的电刷数	1	1	3
14. 尺寸(公厘)	7×25×22	7.5×25×25	7.2×17.5 ×24

附注：这些發电机的繞綫数据見表15和26。

① 原文排版与第13項互相顛倒，現更正。——校者注