

大型电机絕緣繞組 制造工艺学

苏哈罗科夫著



机械工业出版社

大型电机絕緣繞組 制造工藝学

苏哈罗科夫著

蔡明譯



机械工業出版社

1956

出版者的話

本書主要內容是闡明大型电机絕緣繞組的制造工藝。全書共分五篇，詳盡地說明了电机繞組絕緣的結構、云母材料的制造、繞組的制造、繞組絕緣的檢查和試驗以及絕緣繞組制造的設計原理等問題。

本書可供电机制造工厂、科学研究机关和設計機構的工程技術人員參考，同時也是高等学校和中等專業學校電工專業學生的良好參考書。

苏联 Ф. Т. Сухоруков 著 'Технология обмоточно-изоляционного производства (крупные электрические машины)' (госэнергоиздат 1951 年第一版)

* * *

NO. 1182

1956 年 11 月第一版 1956 年 11 月第一版第一次印刷

850×1168 $\frac{1}{32}$ 字數 214 千字 印張 8 $\frac{9}{16}$ 0.001— 4.600 冊

機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 號

定價(10) 1.60 元

目 次

序言	8
緒論	9

第一篇 大型电机繞組的絕緣結構

概論	11
第一章 定子繞組的絕緣	14
1-1. 同期电机和感应电机定子繞組的多質絕緣	14
1-2. 同期电机和感应电机定子繞組的單質絕緣	19
1-3. 汽輪和水輪發电机綫圈型定子繞組的云母帶絕緣	23
1-4. 汽輪和水輪發电机条型定子繞組的云母帶絕緣	27
第二章 轉子繞組和直流电机繞組的絕緣	32
2-1. 感应电动机轉子繞組的絕緣	32
2-2. 汽輪發电机轉子繞組的絕緣	34
2-3. 同期电机轉子繞組的絕緣	36
2-4. 电樞繞組的單質云母帶絕緣	37
2-5. 电樞繞組的混合絕緣	39
2-6. 直流电机励磁繞組的絕緣	42

第二篇 云母材料的制造

概論	45
第三章 云母帶的制造	47
3-1. 概論	47
3-2. 手工貼云母的云母帶貼制机(又称操作机)	48
3-3. 机械化貼云母的云母帶制造	52
第四章 云母紙的制造	57
4-1. 概論	57
4-2. 手工貼云母的云母紙貼制机	58
第五章 云母板的制造	64

5-1. 概論	62
5-2. 手工貼制云母板	63
5-3. 機械貼制云母板	63
5-4. 熱處理和機械加工	68

第六章 云母型件的制造72

6-1. 概論	72
6-2. V形環的模板的計算	72
6-3. 云母板落料	76
6-4. 初步成型	77
6-5. V形環用的壓模	77
6-6. V形環烘培用爐	78
6-7. 壓制V形環時壓力的計算	79
6-8. 工藝過程	80

第七章 云母廢料利用81

7-1. 概論	81
7-2. 合理焚燒云母材料的廢料	82
7-3. 云母材料的廢料焚燒器的結構	82
7-4. 回收云母的分選	83

第三篇 大型电机繞組的制造

概論84

第八章 汽輪發電機條型定子繞組的制造84

8-1. 繞組的分類	84
8-2. 雙層的條型定子繞組	85
8-3. 具有套絕緣的汽輪發電機定子繞組條型編繞綫圈的制造工藝過程	86
8-4. 具有連續絕緣的汽輪發電機定子繞組的條型編繞綫圈的工藝	87
8-5. 制備工序(落料)	88
8-6. 一般的絕緣工作	94
8-7. 條型綫圈用云母紙絕緣	96
8-8. 云母帶絕緣時的絕緣工作	101
8-9. 輔助工作	103
8-10. 繞組的浸膠處理	104

第九章 汽輪發電機單層定子繞組的制造	111
9-1. 概論	111
9-2. 工藝过程	112
9-3. 制备工序	113
9-4. 匝間絕緣	115
9-5. 总絕緣	117
第十章 汽輪發電機的轉子繞組	121
10-1. 概論	121
10-2. 綫圈制造的工藝过程	121
10-3. 綫圈各匝繞綫	122
10-4. 去除綫圈轉角处的增厚部分	124
10-5. 繞綫后綫圈退火处理	126
10-6. 絕緣前准备	127
10-7. 綫圈包絕緣	129
10-8. 轉子絕緣套制造	131
第十一章 水輪發電機定子繞組的制造	134
11-1. 概論	134
11-2. 制备工序	135
11-3. 匝間絕緣	139
11-4. 总絕緣	141
第十二章 水輪發電機的轉子繞組	143
12-1. 概論	143
12-2. 制备工序	144
12-3. 綫圈匝間絕緣	152
12-4. 綫圈的烘結和压形处理	153
12-5. 最后工序	155
第十三章 感应電机的繞組	156
13-1. 概論	156
13-2. 定子繞組	157
13-3. 正常的匝間絕緣的綫圈制备	158
13-4. 增强的匝間絕緣的綫圈制备	165
13-5. 云母套絕緣綫圈的絕緣工作	168

13-6. 轉子繞組	177
第十四章 直流电机的繞組	183
14-1. 概論	183
14-2. 电樞繞組	183
14-3. 綫圈制备	184
14-4. 綫圈絕緣	188
14-5. 励磁繞組	191
14-6. 主極綫圈	192
14-7. 間極綫圈	194
14-8. 复繞組的綫圈	194
14-9. 补偿繞組	195
14-10. 均压綫	195

第四篇 繞組絕緣工作的檢查

概論	196
第十五章 工藝檢查	196
15-1. 材料檢查	196
15-2. 繞制工作的工序檢查	197
15-3. 絕緣工作的工序檢查	198
第十六章 繞組絕緣的电气試驗和机械試驗	199
16-1. 概論	199
16-2. 匝間絕緣試驗	200
16-3. 繞組总絕緣(接地絕緣)試驗	206
16-4. 絕緣的介質損失試驗	216
16-5. 絕緣的老化試驗	222
16-6. 絕緣的电暈試驗	224
16-7. 絕緣的机械强度試驗	225
16-8. 同期电机轉子綫圈的試驗	226
16-9. 換向器 V 形环的試驗	229

第五篇 絕緣繞組制造的设计原理

概論	230
第十七章 基本設備选择	231

17-1. 定子繞組綫圈繞綫机	231
17-2. 水輪發電机轉子綫圈繞綫机	233
17-3. 汽輪發電机轉子綫圈繞綫机	233
17-4. 烘爐	234
17-5. 繞組的压形設備	234
17-6. 綫圈的成形設備	236
17-7. 片形絕緣材料的压制設備	237
第十八章 浸膠裝置和其設備	240
18-1. 概論	240
18-2. 立式浸膠罐的浸膠裝置	241
18-3. 臥式浸膠罐的浸膠裝置	243
18-4. 热液体加热的浸膠裝置	246
18-5. 浸膠裝置的設備	248
18-6. 膠罐的加热方法	251
18-7. 浸膠裝置的操作机械	254
18-8. 浸膠裝置設備佈置	258
第十九章 生產工段設計和一些运轉中的問題	259
19-1. 工段設計	259
19-2. 運輸設備	262
19-3. 通風	262
19-4. 防火措施	265
19-5. 生活室	270
19-6. 倉儲室	271
中俄名詞对照表	272

序 言

許多企業和机关，常因缺乏大型电机繞組制造的技術書籍而在工作上感到很大困难。已經出版的某些作者所著有关电机制造的書籍，其中对繞組制造問題只牽涉到一部分而不够全面，特別是關於高压繞組制造方面的資料，尤感缺乏。

因此，很需要有一本專門闡述繞組和繞組絕緣制造方面的基本問題的參考書。这类資料，不但电工企業需要，而且許多学校甚至各种設計机构也很需要。

本書就是企圖填補技術書籍中的这一空白处。

作者了解到这一任务的困难性和其重要性，所以認為对問題的全面和順利解决还是相去很远。書內述及的各种問題，深度和詳細程度並不相同。作者極願接受讀者的意見和希望，並在再版时考慮進去。

本著作是以苏联大型工業企業（‘Электросила’，‘ХЭМЗ’，‘Изолит’，‘Уралэлектроаппарат’等工厂）的丰富制造經驗为基础的。

作者向参加收集資料並提貢宝贵意見及指示的同志們，首先是‘Уралэлектроаппарат’工厂的同志們致以深切和衷心的感謝。作者对康琪諾娃（Г.Н.Кандинова）和波塔山娃（Р.П.Поташева）特別表示謝意，感謝她們在整理原稿和繪圖方面的重大帮助。

緒 論

电机制造工厂与一般机器制造企业的差别就在于繞組絕緣制造。同这种制造关联着的有專門的產品設計部門、實驗室、技術檢查器具、試驗台等等。而其他一切，如：金工、剪冲、鍛工和鑄工等車間，則在任何一个机器厂內都能找到。

不同的电机制造厂，其繞組絕緣制造的比重也各不相同。如果小型和低压电机繞組的制造主要归於絕緣的浸漆和干燥等問題，則大型电机高压繞組的制造还联系着許多非常复雜的工藝和技術問題。电場高梯度时繞組絕緣層內离子化（电离）問題、电量現象、介質損失、絕緣材料的‘老化’——所有这些問題在制造大容量的高压电机的繞組时，都佔有極重要的意义。純粹的技術問題再加上制造过程本身的复雜工藝，使得繞組絕緣這項工作在大型电机厂內起着主導作用且具有重要意义。

制造一台大型电机特別是容量50000 仟瓦的汽輪發電机的繞組，从制造观点來看，到底意味着什么呢？这就是說，首先要加工12噸的电磁綫，制造約2噸重的各种云母材料，包紮和繞綫需要100公里以上的棉布帶和石棉帶等等。

最先進的工厂制造一台汽輪發電机的繞組也需要6000以上的工时。所以制造高压繞組要佔制造整个电机总劳动量的25%至50%。这种情况說明了繞組絕緣制造對於任何一个电机制造企业意义都非常重大。

本書述及和闡明了（虽然程度各有不同）与大型电机繞組制造有关的技術、工藝和組織等的基本問題。

第一篇說明現代大型电机繞組的絕緣結構。

第二篇述及有关云母材料制造的各种問題，因为沒有云母材料就不可能制造高压繞組。

第三篇詳細說明大型和大容量电机的繞組制造工藝以及生產所需的設備、工具、夾具等。

第四篇可說是第三篇的續篇，因為其中列舉了繞組成品的絕緣試驗的一切必要說明和數據。

第五篇即最後一篇，集中了對於大型电机制造企業在進行其絕緣繞組制造設計時必須解決的基本問題。

第一篇 大型电机繞組的絕緣結構

概 論

电机絕緣的質量不但決定於所用的材料，而且也決定於材料在繞組各部分的正确使用程度。电机繞組的絕緣工藝过程也与这种或那种材料在綫圈或条型綫圈上的排列有着密切的关系。除此以外，每种繞組都要求不同的絕緣結構。同一种絕緣材料，對於閉合型（綫圈型）繞組或對於条型繞組，它們的使用方法就不相同。

繞組的工作电压决定总絕緣的厚度，但對於型式相同的繞組和利用相同材料的絕緣結構，並不因工作电压不同而有所改变。繞組絕緣的結構，根据所用材料的观点来看，可以分成二种：
(1) 多質絕緣或称混合絕緣；(2) 單質絕緣[●]。

混合（多質）絕緣必須考慮所採用的各种材料的不同特性，並考慮材料在繞組不同部分的合理使用。

單質絕緣在結構方面要簡單得多，因为繞組各部分都是利用同一种材料來絕緣的。但是甚至在这样的情况下，如果各部分絕緣都採取同样方法，那仍是不正确的。因为繞組每一部分的工作条件都不一样，整个綫圈或条型綫圈的絕緣結構應考慮到这种情况。

現代的大型和高压电机的繞組，整个綫圈或条型綫圈常用單質的材料（云母帶）來絕緣。但是，繞組用云母帶絕緣时，槽子的位置需要比混合的云母紙絕緣大。这一特点是根据云母帶和云

● 綫圈槽部和端部用不同材料絕緣者，称为多質絕緣或混合絕緣，如槽部用云母紙，端部用云母帶的絕緣；反之，槽部和端部用同样材料絕緣者称为單質絕緣或連續絕緣，如云母帶絕緣。——譯者

母紙包上繞組后的絕緣性能而產生的。

單質（云母帶）絕緣在厚度和長度內，都是由許多層數的云母帶組成。繞組採用混合絕緣時，綫圈槽部用整張的云母紙絕緣，因此只有在厚度內絕緣分層。除此以外，每層云母帶是由一層云母、兩層紙構成，而云母紙只有一層云母和一層紙。最后，云母帶絕緣含有膠着劑30~35%，而云母紙絕緣只含有20~25%。

因此，工作电压同为 6.0 仟伏的一个同样繞組，云母帶絕緣在槽內佔 6.2 公厘，而云母紙絕緣只佔 4.7 公厘。圖 1 和圖 2 的曲綫明顯地表示出定子繞組以云母紙套和云母帶絕緣時總絕緣的結構尺寸。圖 1 是繞組的槽部，而圖 2 是繞組的端部接綫。

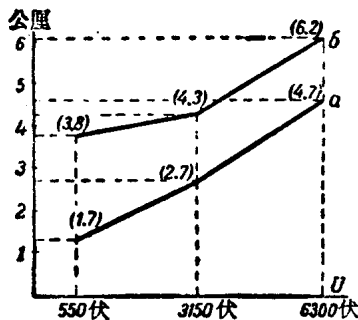


圖 1 不同工作电压的定子繞組槽部絕緣的总厚度：
a—云母紙套；b—云母帶。

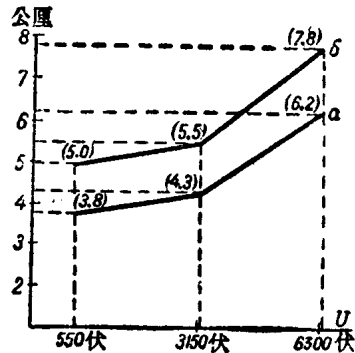


圖 2 不同工作电压的定子繞組端部接綫絕緣的总厚度：
a—云母紙套；b—云母帶。

然而，云母帶單質絕緣能提高繞組運轉時的可靠性，所以近年來得到廣泛使用。电机繞組單質的云母帶絕緣的可靠性的提高，主要是由於下列几点原因：

（一）繞組伸出部分具有与槽部同样强度的絕緣，而採用云母紙套的絕緣時，角部的絕緣恰巧是最弱的地方。

（二）云母帶絕緣（浸膠的）又柔韌而富有彈性，這一點對於長的繞組有着更大的意义：綫圈的銅綫伸長時不会引起总絕緣的斷裂，而用云母套絕緣時，則發生這種現象。

（三）包云母帶的絕緣方法，消滅了电机運轉時空氣滲入絕

緣層的可能性。

在經濟上，定子繞組的云母帶絕緣比云母紙絕緣貴25%。這個價值上的差別是因為混合絕緣消耗貴重的云母材料較少，云母紙只包繞組的直綫部，而端部接綫是用漆布絕緣。云母紙絕緣的價值降低的另一原因，是繞組槽部的絕緣處理採用機械化的方法，以及最低限度地採用手工勞動，而云母帶現在還是用手包的，這也提高了繞組的成本。

云母紙絕緣的操作費用，比云母帶絕緣低很多。連續（云母帶）絕緣的繞組要在貴重的設備內浸膠，並要消耗大量的膠和棉布帶。無疑的，這些因素就促使連續絕緣的繞組的成本高過於云母紙絕緣的繞組。

選擇繞組的絕緣結構時，經濟方面的因素，也應該引起注意。電機繞組的絕緣結構最合理的選擇，不但要考慮到電機的運轉條件和其可靠性，而且也要考慮各種經濟因素。

至於繞組的型式，其絕緣結構可以分成下列數類：

- （一）同期和感應電機定子繞組的多質絕緣。
- （二）同期和感應電機定子繞組的單質絕緣。
- （三）汽輪和水輪發電機綫圈型定子繞組的單質絕緣。
- （四）汽輪和水輪發電機條型定子繞組的單質絕緣。
- （五）汽輪發電機轉子繞組的絕緣。
- （六）水輪發電機轉子繞組的絕緣。
- （七）感應電機轉子繞組的絕緣。
- （八）直流電機電樞繞組的多質絕緣。
- （九）直流電機電樞繞組的單質絕緣。
- （十）直流電機勵磁繞組的絕緣。
- （十一）直流電機均壓綫和補償繞組的絕緣。

每種型式的繞組絕緣的結構特點卻值得特別注意和加以研

● [電力] 工廠已經在綫圈包云母帶過程的機械化方面獲得了良好的成績。

——作者

究。本篇詳細敘述大型电机繞組的主要絕緣結構型式和列舉它們的尺寸。

對於任何一個綫圈或條型綫圈的絕緣結構，不但要考慮到絕緣材料的厚度，而且也要考慮到許多附加尺寸，因為沒有這些附加尺寸，就連最簡單的繞組也是無法制成的。浸漆後電磁綫絕緣尺寸的增加，端部接綫中導綫發生疏松現象，表面保護帶塗漆等等，所有這些都應該在繞組絕緣的結構尺寸中，以某種程度表現出來。例如：沒有電磁綫絕緣松脹量的公差，就會迫使生產上再一次的壓制綫圈或條型綫圈的槽部，方能達到計算的額定值。由於這種補加壓制的結果，銅綫絕緣和導綫間的基漆都被擠壓出來，從而影響繞組的質量。熟知各種繞組製造的工藝特點，是計算和設計任何一種繞組絕緣結構時所必備的條件。

第一章 定子繞組的絕緣

1-1. 同期电机和感应电机定子繞組的多質絕緣

這種混合絕緣即多質絕緣的結構，適用於同期和感應电机中具有正常的匝間絕緣的綫圈型定子雙層繞組。其工作電壓規定為 550, 3150, 6300 伏。

電磁綫採用下列型號：ПБД, ПБОО或ПБЕО[●]。

(一) 匝間絕緣 採用型號 ПБОО 或 ПБЕО 的電磁綫時，電壓就是 6300 伏，匝間也不需墊放補加絕緣。電壓 6300 伏的繞組如果利用型號 ПБД 綫，補墊紙板條或云母板條的絕緣理解為正常的匝間絕緣。這種條形材料，可以單墊綫圈的直綫部，也可以墊綫匝的整個長度。如果條形材料只墊綫圈的直綫部，則綫圈端部隔一匝用一層細布帶或云母帶絕緣（圖 1-1）。電壓 550 伏的繞

● ПБД——雙紗包綫； ПБОО——一層棉紗包，一層棉紗編織的絕緣綫；
ПБЕО——電纜紙和一層棉紗包絕緣綫。——譯者

組，就是用型号 ПБД 綫，匝間一般也不用補加絕緣。

電磁綫的絕緣，由於浸漆或浸膠而引起的松脹量，每根導綫規定 0.1 公厘的余量，在導綫的厚度和高度內都相同。

綫圈端部在張形后，因不能加壓，所以必須規定絕緣總厚度的補加余量。綫圈寬度內為一根導綫時，這個公差等於 1.0 公厘；而當二根導綫時為 1.5 公厘。綫圈高度內每根導綫必須有 0.2 公厘的公差。

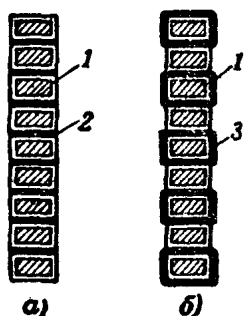


圖1-1 3150伏定子綫圈正常的匝間絕緣(A級)：
1—銅綫絕緣；2—云母墊片；
3—布帶。

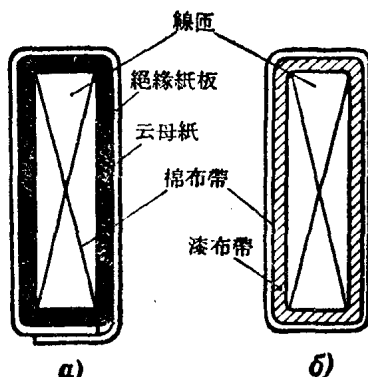


圖1-2 定子綫圈的混合絕緣：
a—槽部；b—端部。

(二) 槽部的總絕緣 綫圈直綫部的絕緣是由云母紙套組成。電壓 550 伏和 3150 伏的綫圈，規定使用厚 0.15 公厘的單層云母紙。而 6.0 仟伏電機的繞組，可以用厚 0.25 公厘的雙層云母紙絕緣。定子綫圈槽部的絕緣結構的總示圖，如圖 1-2 所示。

云母紙套的厚度嚴格地受繞組的工作電壓決定。電壓 550 伏的電機，總絕緣的兩面厚度不應小於 1.5 公厘。6 仟伏電機繞組的云母紙套，每面厚 2.25 公厘。

表 1-1 包括三種工作電壓的定子綫圈的槽部絕緣的尺寸。

可見，電壓 550 伏以下的定子繞組綫圈，槽部絕緣在槽內寬佔 1.6~1.7 公厘，而高佔 2.1~2.5 公厘。而導綫數量相同的繞組，但電壓為 6300 伏時，兩面的絕緣厚度，在寬度內就為 4.6~

4.7 公厘，而高度內为 6.1~7.3 公厘。这些数值不包括电磁綫和电磁綫絕緣的尺寸。

表 1-1

材 料 和 制 造 公 差		材 料 厚 度 (公厘)	綫圈絕緣的兩面厚度(公厘)						
			槽子寬 度內		在下列導綫數時高度內				
					一根 導綫	兩根 導綫	6	7	8
導綫絕緣因浸漬而發生的松脹量		—	0.1	0.2	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
云 母 紙 套	550伏	0.15	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	3150伏	0.15	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	6300伏	0.25	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
6300伏的匝間絕緣——云母板		0.2	—	—	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
合 計	550伏	—	1.6	1.7	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
	3150伏	—	2.6	2.7	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
	6300伏	—	4.6	4.7	6.1	6.4	6.7	7.0	7.3

选取綫圈总絕緣的一面厚度时，要考慮云母紙的絕緣强度和綫圈絕緣採用的安全系数。6.0 仟伏綫組的总絕緣，其絕緣强度的安全系数，應該不小於电机工作电压的 6~7 倍。根据这一点出發，6.0 仟伏的綫圈，总絕緣應該能耐短时击穿电压不低於 45 仟伏。正常的云母紙的絕緣强度一般不低於 20 仟伏/公厘。用 20 除 45，可得到云母紙套必需的最小厚度，每面等於 2.25 公厘。3 仟伏綫組的总絕緣的厚度，也可以用类似的方法算出。選擇 550 仟伏綫組的云母紙套的厚度时，得多从套子的机械强度來考慮，而不是多从絕緣强度來考慮。

預量和公差是根据經驗数据取得的。綫圈絕緣后槽部的最后尺寸容許有下列的偏差：寬度內負 0.25~0.50 公厘，而高度內負 0.50~1.00 公厘。

(三) 端部的总絕緣 綫圈端部的絕緣，是由厚 0.2 公厘的黃漆布帶構成。漆布帶的層数決定於綫組的工作电压。电压 550 伏时，端部包一層漆布帶，而当电压为 6300 仟伏时——就包五層