

汽轮发电机问答

吕 培 申編著



水利电力出版社

24
S

目 录

第一章 汽輪发电机和励磁机的構造	2
1. 汽輪发电机由哪几个主要部分所組成?	2
2. 机座的構造怎样?	3
3. 靜子有效鉄心的構造是怎样的?	4
4. 靜子綫卷的絕緣有哪几級?	5
5. 靜子綫圈主要是用什么絕緣材料?	5
6. 靜子綫圈絕緣的包扎方式有哪几种? 它們的优缺点如何?	6
7. 靜子綫圈的布置情况怎样?	9
8. 轉子本体的結構是怎样的?	10
9. 平行槽轉子的結構是怎样的? 有些什么特点?	11
10. 轉子綫圈的結構是怎样的? 用什么方式来絕緣?	12
11. 轉子的套箍及中心环的構造及作用如何?	14
12. 滑环及引綫的構造怎样?	15
13. 汽輪发电机軸承的構造与工作原理是怎样的?	17
14. 汽輪发电机的冷却方式有哪几种?	19
15. 发电机的水灭火裝置是怎样的?	19
16. 励磁机的構造怎样?	21
第二章 汽輪发电机的励磁系統	23
1. 励磁系統有哪些基本 要求?	23
2. 自动灭磁裝置的作用 怎样?	25
3. 自动灭磁电阻应该选择多大?	25
4. 自动电压調整器的作用 怎样?	26
5. 強行励磁裝置的作用和原理是怎样的?	27
6. 振動式电压調整器的动作原理如何?	28
7. 电动机帶動的变阻式电压調整器的动作原理 如何?	30
8. B. B. C型电压調整器的动作原理 如何?	30
9. 复式励磁裝置的动作原理如何?	32
第三章 发电机的特性	34

应?	34
2. 纯电感性负载时的电压反应情况怎样?	35
3. 纯电感性电压反应的情况怎样?	36
4. 纯电容性电压反应的情况怎样?	37
5. 什么是发电机的空载特性曲线? 怎样录制发电机的空载特性曲线?	38
6. 什么是三相短路特性曲线? 怎样录制三相短路特性曲线?	40
7. 什么是发电机的外特性曲线?	40
8. 什么是发电机的调整特性曲线?	41
第四章 汽轮发电机的运行	42
1. 发电机的并列有哪几种方法?	42
2. 用准同期法并列时, 如果不符合并列条件, 会引起怎样的情况?	43
3. 准同期法并列的操作步骤是怎样的?	45
4. 用自同期法并列时应注意些什么?	45
5. 幅流式汽轮发电机组自同期并列的操作方法是怎样的?	47
6. 发电机起动时应该注意些什么?	48
7. 运行中发电机的温度为什么会升高?	48
8. 发电机的最高容许温度决定于什么条件? 最高容许温度是多少?	49
9. 发电机的温升与冷却空气的关系如何?	50
10. 为什么发电机开始运行时加负荷不能太快?	52
11. 发电机并列运行时有功负荷与汽机调速器的关系如何?	52
12. 事故容许过负荷是怎样决定的? 事故容许过负荷是多少?	53
13. 不平衡负荷对汽轮发电机的影响如何? 不平衡负荷的容许值是多少?	54
14. 发电机保持额定出力时电压容许变动的范围是多少?	55
15. 发电机在高于额定电压运行时, 须具备些什么条件?	55
16. 发电机在降低电压运行时应该注意些什么问题?	57
17. 发电机可否在增高周率的情况下运行?	57
18. 汽轮发电机可否降低周率运行?	57
19. 发电机的功率因数变动时应该注意些什么?	58
20. 发电机无励磁运行的原理是怎样的?	59
21. 发电机失去同期时有什么现象? 应该怎样处理?	60
22. 发电机着火时应该怎样处理?	61

汽轮发电机问答

吕培申编著



水利电力出版社

第一章 汽輪发电机和励磁机的構造

1. 汽輪发电机由哪几个主要部分所組成？

汽輪发电机的主要部分是：

机座，外壳，有效鉄心，靜子綫卷，轉子本体，轉子綫卷，轉子的套箍及心环，滑环、引綫、电刷、电刷架，冷却通风系統，灭火裝置；此外，还有励磁机和励磁系統。

各部分的詳細結構將在后面敘述。图 1 所示是汽輪发电机的剖面图。

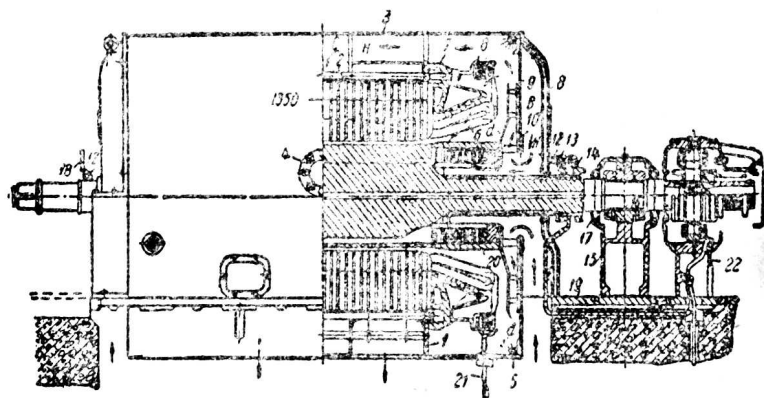
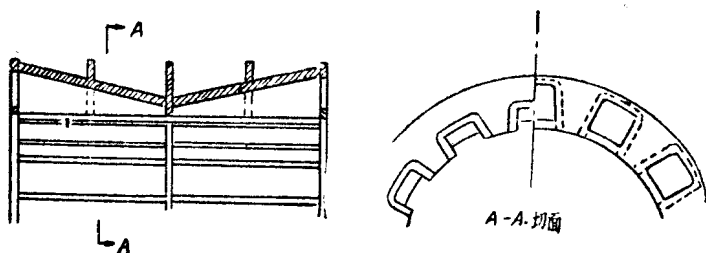


图 1 汽輪发电机的剖面图

1—靜子机座；2—靜子鋼；3—外壳；4—供吊起靜子的设备；5—防火导管；6—靜子綫卷；7—靜子的压緊环；8—外护板；9—内护板；10—通风壁；11—导风屏；12—电刷架；13—电刷握；14—电刷；15—軸承；16—軸承環；17—油封口；18—汽輪机边的油封口架；19—基础板；20—轉子；21—端綫；22—励磁机。

2. 机座的構造怎样?

汽輪发电机的机座不但是作为固定有效鉄心用的外壳，而且还作为有效鉄心用的风道和风室。在大約1930年以前出品的汽輪发电机，机座几乎都是鑄成的，后来逐渐改用鋼板焊接，現代的汽輪发电机的机座差不多都是由鋼板焊接而成。在鋼板的里面，先由鋼板圓环和軸向筋条作成支架，然后将鋼板焊在支架上，图2所示是一台汽輪发电机的机座，从图中可以看出軸向筋条是由U型鋼所組成，U型鋼向里开口，主要是利用U型鋼作为通风道以加强通风散热。



• 图2 汽輪发电机的机座

汽輪发电机的端盖，外形比較复杂，多数仍用鑄鉄制造。机座的底脚一般都是与机座直接相連的。

氢冷却的汽輪发电机的端盖通常都是用鑄鋼制成。

3. 靜子有效鉄心の構造是怎样的？

靜子的有效鉄心是作为导磁用的，它和轉子部分的本体不同，轉子本体是处在不变的磁場中，而靜子的鉄心是处在交变的磁場中。

靜子鉄心是用矽鋼片迭成，矽鋼片每片厚度为 $0.35 \sim 0.5$ 公厘，每片的兩面都涂有一层絕緣漆膜，用来减少靜子有效鉄心中交变磁場所引起的損耗，矽鋼片都是被冲成扇形，图 3 中所示是苏联“电力”工厂出品的汽輪发电机上有效鉄心所采用的矽鋼片形狀。扇形矽鋼片从整流的矽鋼片原材料上冲下来以后，先消除了倒刺，然后將它經過涂漆用的輥輪設備。这样，矽鋼片的兩面各涂上了一层絕緣漆膜，再在炉中加热到 $350^{\circ} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 使絕緣漆中溶剂蒸发，于是矽鋼片上便形成了一层褐色光亮的漆膜，这层漆膜具有很高的机械强度。

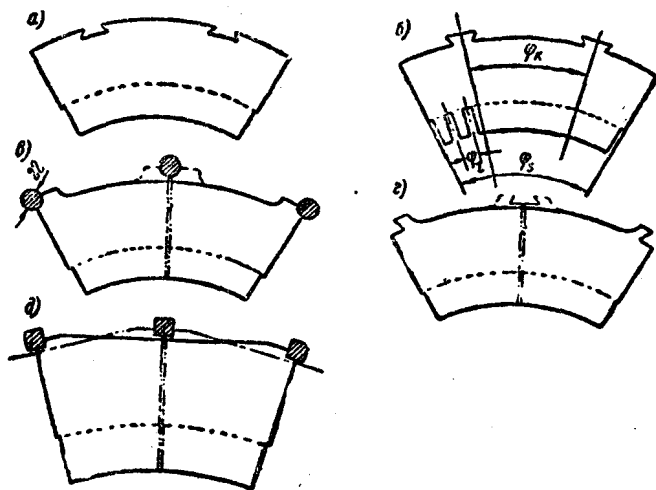


图 3 靜子有效鉄心扇形片各种形狀

矽鋼片一般都是用鷄尾鍵來固定在機座里。每座汽輪發電

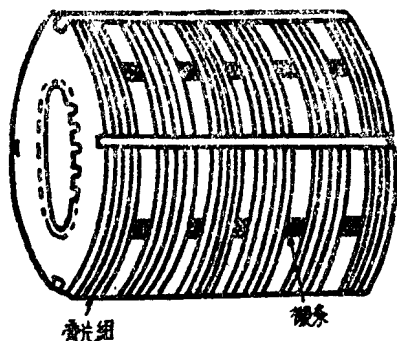


圖4 靜子有效鉄心組合示意图

機有由數萬片扇形矽鋼片迭壓起來而成的一個有內孔的圓柱體，如圖4所示。為了不致引起過大的軸承電流，扇形片在裝迭時，下一層的扇形片總是剛好蓋在上一層扇形片的接縫上的。沿着扇形片的內面有許多槽，槽內是安放靜子繞圈的。

在軸的方向，整個有效鉄心被通風槽分成許多迭片組，通風槽內有機條隔開，形成約10公厘寬的通風溝。有效鉄心的兩端用非磁性的鑄鉄或鋼做成壓板，或者用穿心螺絲從兩端將整個有效鉄心壓緊。用穿心螺絲時，穿心螺絲與有效鉄心間必須絕緣。

4. 靜子繞卷的絕緣有哪幾級？

汽輪發電機的标准電壓（也就是靜子繞卷的絕緣等級）是3,150, 6,300, 13,800, 15,750伏。電壓再高的汽輪發電機很少製造。

5. 靜子繞圈主要是用什麼絕緣材料？

汽輪發電機靜子繞圈的主要絕緣材料是雲母，到目前為止還沒有更合適的其他材料能代替雲母。

雲母有脆性和尺寸不夠大的缺點，一般所用的都是將形狀不規則的雲母片用虫漆（也叫洋干漆）膠合起來製成雲母帶或雲

母紙。云母帶是兩層0.02~0.03公厘的薄紙間夾一層云母，總的厚度約為0.12~0.18公厘，先將這個單層的云母紙卷成卷筒狀，然後再切成狹條，以供靜子綫圈絕緣包紮用。

云母紙是在兩層0.02~0.03公厘的薄紙間粘上云母片而製成，云母紙有單層云母片的，也有兩層或三層云母片的，單層云母片的云母紙厚度為0.15公厘。

云母帶及云母紙的電氣強度約為20千伏/公厘。

全部用云母紙或云母帶絕緣的靜子綫圈屬B級絕緣。有些汽輪發電機的端部是用黃蠟布或黑蠟布來絕緣的，這種靜子綫圈屬A級絕緣。

6. 靜子綫圈絕緣的包紮方式有哪幾種？

它們的優缺點如何？

靜子綫圈絕緣的包紮方式有下面兩種：

(一) 套筒式絕緣：

套筒式的絕緣在老式的汽輪發電機中用得很多，這種絕緣方式的靜子綫圈槽部與端部的絕緣是不相同的。綫圈在槽內的部分是先製成綫棒，綫棒的絕緣是用數層云母紙包紮起來的：電壓為3,150伏時，是用0.25公厘的云母紙包5層左右；電壓為6,300伏時，則用9層云母紙構成。包好云母紙以後，將綫棒加以浸漬、加壓、和烘乾，便變成了堅硬的云母套筒；套筒的外面再包一層絕緣紙革，以防止綫棒在安裝時遭受損壞。象這樣的綫棒放到槽內後，進行綫棒和端部的焊接，然後包紮焊接處和端部的絕緣。

靜子綫圈套筒式絕緣的端部是用漆布（黃蠟布或黑蠟布）及云母帶等繞成。

圖5所示是綫圈槽部用云母套筒絕緣的剖面圖。

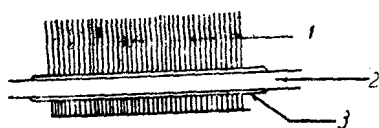


图5 套筒式絕緣的槽部剖面图

1—有效铁心；2—綫棒导体；3—套筒絕緣。

綫卷的匝間絕緣是由云母板或云母帶制成的。

图6所示是电压3,150伏和6,300伏套筒式絕緣的槽部剖面图。

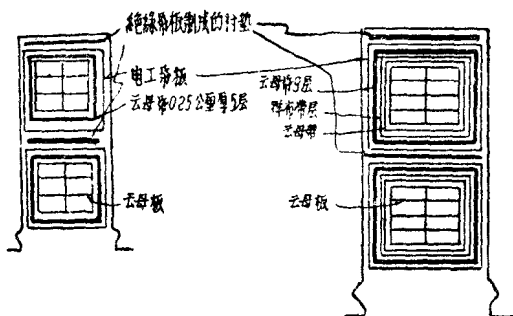


图6 套筒式絕緣的槽部剖面图

左：电压为3,150伏时的套筒式絕緣；

右：电压为6,300伏时的套筒式絕緣。

虽然套筒式的絕緣也可能做得很可靠，但是仍然有很多缺点，最主要的端部絕緣是漆布包紮成的，属于A級絕緣。虽然槽部用了云母紙，但总的說来，还应该算A級絕緣，因此运行中的温度只容許达到 105°C 。同时槽部綫棒与端部連接处，如果制造时不够仔細，运行中很容易造成击穿事故。

除此之外，云母套筒時間久了容易产生膨脹現象，修理感到麻煩。膨脹了的套筒，各层云母紙之間將形成空隙，透入空气，使絕緣容易老化与损坏。

(二)連續式絕緣：

这是一种比較完善的絕緣，槽部和端部的絕緣都是用云母

帶包紮而成，二者之間沒有絕緣的接头，但通常端部所包紮的絕緣帶比槽部所包的少一層。

当电压为3,150伏时，槽部包5层云母帶，包紮时总是半迭接地繞在綫圈上，端部包4层云母帶，出綫端則包3层云母帶。电压为6,300伏时，槽部包9层云母帶，端部包8层云母帶，出綫端則包5层云母帶。在槽部絕緣的表面，对头併接地包一层0.3公厘厚的斜紋布帶，端部和出綫端則半迭接地包一层黃蜡网帶。

連續式絕緣的綫圈要进行真空浸膠的过程，就是將包好絕緣的綫圈，先在真空中干燥，然后在溫度約150~180°C的瀝青

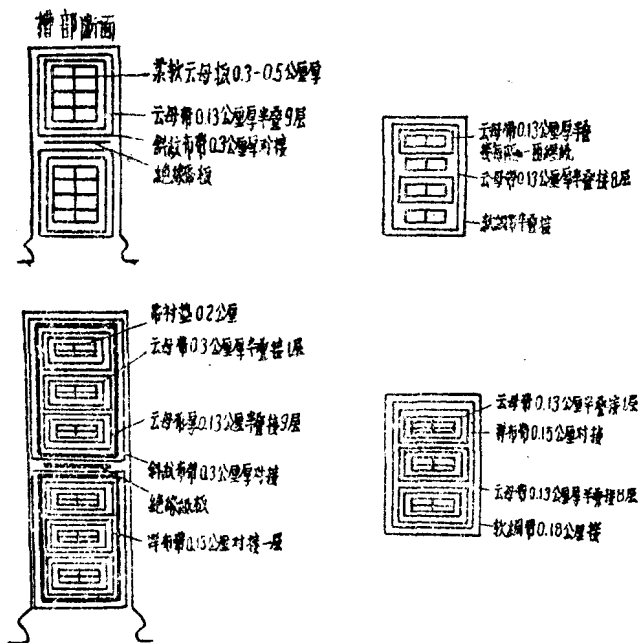


图7 电压为6,000~6,300伏的B級連續式絕緣

漆中浸膠，一方面除去絕緣中的潮氣，同時使瀝青充滿絕緣的細孔中，以防止絕緣的氧化，使絕緣在高压下長期运行时，保證可靠耐久。

綫匝之間的絕緣有兩種方法，第一种方法是槽部的綫匝之間用0.3~0.5公厘的云母襯墊隔開，端部綫匝之間則每隔一匝包一層云母帶。第二种方法是槽部綫匝之間和端部綫匝之間都是每一綫匝包一層云母帶，並在表面包一層洋布帶，槽部的垂直各列導體之間，再墊以0.2公厘厚涂漆紙所構成的襯墊。

圖7所示是电压为6,300伏汽輪发电机的靜子綫圈为連續絕緣时，槽部和端部的綫圈剖面圖。

連續式絕緣的綫圈槽部和端部都是用云母帶包紮而成，所以屬B級絕緣，运行时的温度最高容許达到120°C。

現今制造的汽輪发电机，靜子綫圈差不多都采用連續式絕緣。

7. 靜子綫圈的布置情况怎样？

現在制造的汽輪发电机，靜子綫圈差不多都是双层的布置。每一个綫圈的兩個边布置在不同的层內，其中一边布置在

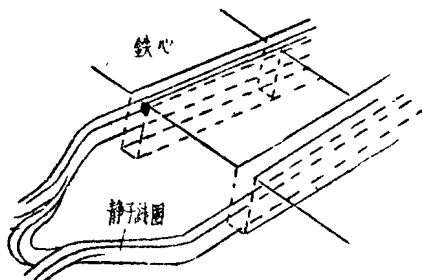


圖8 双层綫圈的每个綫圈在槽內布置情况

槽的上层，則綫圈的另一边布置在另一个槽的下层。圖8所示是双层布置的綫圈情况。双层綫圈的每一个綫圈尺寸形狀都是一样的，所以可以大批生产。同时为了便于安裝，双层綫圈所用的綫槽都是开口

槽。

靜子繞圈單層布置的汽輪发电机，現在已很少制造，但是目前还在运行的老式汽輪发电机，还有很多是單層繞圈的。

繞圈的端部是用綁綫或螺栓固定在支架上，主要是短路時不致使端部變形，因為繞圈端部即使稍有變形，也可能會引起絕緣的損壞。

8. 轉子本體的結構是怎樣的？

汽輪发电机的轉子本體差不多都是用整塊的鍛鋼制成圓柱形狀，這種鋼通常是用質量很好的鉻鎳錳合金鋼，有很高的機械強度。

在轉子本體的中心沿着軸的方向有一個對穿的中心孔，這是为了研究中心部分的材料及消除中心部分由于鍛冶得不够在運轉時產生危險應力。

在容量較大的汽輪发电机中，轉子本體可能是由數塊組合而成。

每一個轉子都有用銑床銑出來的槽，用來安放激磁繞圈。槽的主要型式有兩種，即輻射式和平行式。圖9所示為輻射式槽的兩極汽輪发电机轉子本體剖面圖。輻射式槽目前應用得最廣，一般汽輪发电机的轉子差不多都是用輻射式的槽，有這種槽的轉子，約三分之一的部分是沒有槽而構成大齒。发电机的主要磁通即通過這一部分，但亦有一部分汽輪发电机的轉子是開滿着槽的，因為轉子上一部分不開槽，運轉時轉動質量分布不均勻，容易產生振動，同時不開槽的轉子產生的磁場曲綫，亦

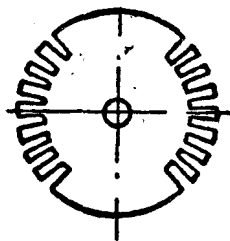


圖9 有輻射式槽的汽輪发电机轉子剖面圖

不及开槽的好。但是在这等情况下，就线的槽多半铣得较浅，并用钢的楔子加以封闭。

容量较大的汽轮发电机转子的齿内有通风沟；有的转子表面亦制成波纹状，以加强通风及冷却。

9. 平行槽转子的结构是怎样的？

有些什么特点？

平行槽的转子应用得较少，现在只有瑞典的 A.S.E.A 公司制造辐流式的汽轮机时配合应用，匈牙利的 G.Z. 公司在轴流式汽轮发电机组上亦有用平行线槽的发电机转子，其他国家中如日本三菱工厂亦有仿制的一些出品，图 10 所示是平行槽的转子。

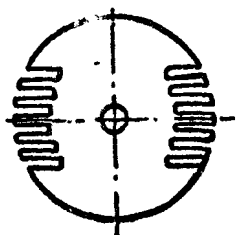


图 10 有平行线槽的汽轮发电机，它有单独的中部圆柱形本体，激磁绕组即绕在这个中部圆柱形本体上，圆柱形本体的端部亦铣出了槽子，线圈的端部亦是安放在槽中的，因此整个转子比较短些，特别适用于与辐流式汽轮机配合的容克斯发电机转子本体上，圆柱形本体与轴颈的中

间，有由非磁性材料做成的环状部分 A。圆柱形本体 B，环状部分 A 及轴颈部分都是用螺钉联结起来的。

激磁线圈绕在转子本体上只在扁边弯曲，线圈嵌入线槽之前加热到 150°C ，因此冷却以后线匝是很紧地箍在转子本体上的，这样防止了运行中线圈温度升高时线匝之间相互的位移现象。

这种型式转子的主要缺点是制造成本较高，制造过程较长，发生故障时修理较难。同时由于铣槽的部分所佔的弧轭

小，气隙中的磁场密度曲线接近于长方形，即包含有高次谐波。

这种结构由于线圈端部亦是嵌在槽中的，所以整个转子较短，最宜与辐流式汽轮机配合应用。

10. 转子线圈的结构是怎样的？

用什么方式来绝缘？

汽轮发电机的转子线圈一般都是用宽20~40公厘和厚不超过8公厘的铜条扁绕而成，线圈嵌入在转子槽中的情况如图11

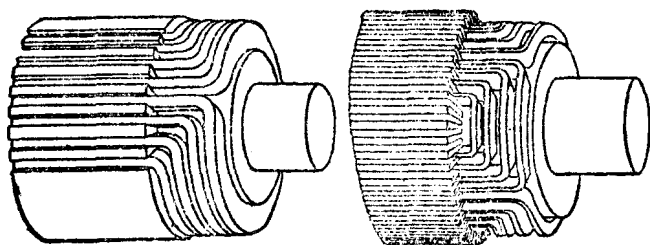


图 11 汽轮发电机的转子线圈

左：两极转子。 右：四极转子。

所示。转子线圈在槽中的剖面图则如图12所示。线圈与线圈之间是在端部用铜板联结或者直接联结起来的，联结方法一般都是采用银焊。线圈的层间绝缘是采用人造云母制成衬垫，导线的两侧是裸露着的。有些汽轮发电机转子的层间绝缘是采用连续绝缘的方式，即每隔一圈用云母带连续包起来的。转子槽的绝缘是用云母板或绝缘纸及石棉。当线圈嵌入到槽里的时候，都用预热法，预热的温度是 $130\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，同时还应将绝缘漆溶在线槽里面，将整个槽里的空隙都填满。这样的线卷绝缘属B级绝缘，运行时温度可以到 130°C 。亦有些老式的槽绝缘，没

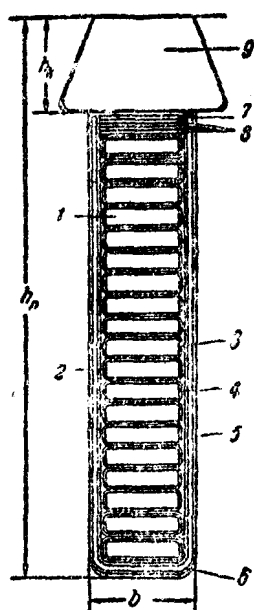


图 12 汽輪发电机轉子槽剖面图

1—銅导体；2—綫匝絕緣 3—槽的絕緣套；4、5—內部和外部的保护层 6、7—纖維墊；8—云母层；9—楔子。

有用預熱法，繞圈是在冷的狀態下嵌到槽里去，同時亦沒有將絕緣漆溶化在槽里，而只將云母板、絕緣紙板及石棉帶等作為槽絕緣，這樣的繞圈屬 4 級絕緣，運行時的最高溫度只許達 105°C 。

繞圈的端部之間，有隔木將端部固定起來，隔木常用層壓板做成，它的主要作用是防止運行時繞圈端因熱脹冷縮而移動。

蘇聯製造的發電機轉子繞圈一般都是採用連續絕緣，並在繞圈端部加蓋一層鋁鞍，加了鋁鞍以後，端部的冷卻條件可以好一些，還可以增加機械的可靠性。

繞圈嵌到槽里以後，上面用楔子來壓緊，楔子的形狀如圖 13 所示。楔子是用碳鋼或鎳鋼製成，但亦有一些楔子是用非磁性的材料如青銅與鋁的合金製成的。

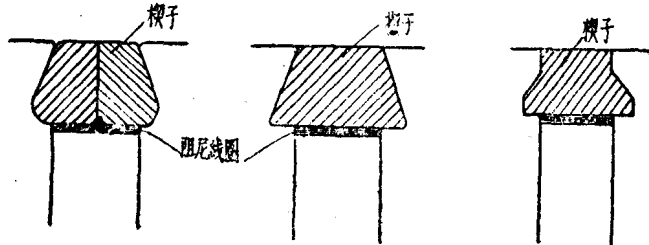


图 13 楔子的形狀

楔子的下面有阻尼线圈，阻尼线圈是用黄扁铜条做成的，两端用铜环将每个槽的阻尼线圈联结起来形成了阻尼系统。阻尼系统的作用是减少当发电机的负荷不平衡时，负序磁场对转子所引起的损耗。

11. 转子的套箍及中心环的构造及作用如何？

汽轮发电机的转速都是很高的，所以在运转时线圈的端部受着很大的离心力，套箍即是用来固定住线圈端部的位置，使在运转时不致移动，所以应该能承受得住很大的机械应力。

套箍是圆筒形的，可以用磁性或非磁性的钢锻成；非磁性钢所制成的套箍可以避免由于杂散磁场而在套箍上引起的损耗，使套箍表面发热，但制造上较麻烦，制造成本亦较高。通常如果套箍一端嵌在中心环上另一端嵌在转子本体上时，常用非磁性材料做成。如果套箍与转子本体间留有间隙时，则用磁性材料做成。

中心环有两个作用，一方面是防止线圈端部沿着轴的方向

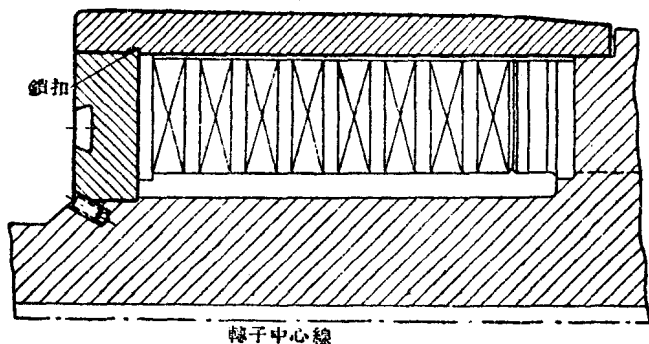


图 14 苏联〔电力〕工厂出品的25000瓩3000轉/分汽輪发电机轉子线圈端部剖面图。套箍嵌在轉子本体与中心环上。