

玻 璃 纤 维 小 丛 书 之 三

玻璃纤维在电气工业中的应用

徐孝寅 陈德方 编著

中 国 工 业 出 版 社

本書介紹电气工业用玻璃纖維的性能和 技术要求以及玻璃纖維制品（玻璃布、帶、紗、繩、玻璃云母制品等）的性能、用途和檢驗方法。

书中載有較多的技术条件，主要供玻璃纖維工厂以及电机和电器制造厂的生产人員参考。

玻璃纖維在电气工业中的应用

徐孝寅 陈德方 編著

中国工业出版社建筑图书編輯室編輯（北京修鐵閣路丙10号）

中国工业出版社出版（北京修鐵閣路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印張 $23/16$ ·字數44,000

1962年10月北京第一版·1962年10月北京第一次印刷

印数 001 — 800 ·定价（10-5）0.28元

統一书号：15165·1439（建工-192）

序 言

在党的鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线的光辉照耀下，我国电机、电器制造工业有了很大的发展。1958年大跃进以来，在产品品种方面逐步地向高级、大型、精密、尖端迈进。但电机、电器工业是不能孤立发展的，必须依靠其他工业，特别是玻璃纤维工业和化学工业的支持。许多电机、电器的新型产品，如大型发电机和高压电器等的绝缘都是采用以玻璃纤维和人工合成树脂为原料的各种高级绝缘材料。没有这种绝缘材料，想制造大型发电机、高压电器是不可能的。由于玻璃纤维绝缘材料具有优良的耐热性，所以电器产品的温升限额可以提高而使其外形尺寸缩小、体重减轻，其所消耗的有效材料，如铜线、硅钢片、结构材料也可因之大大减少。因此，电机、电器工业采用玻璃纤维不仅有很大的技术价值，而且还有很大的经济意义。

随着玻璃纤维工业的迅速发展，我国电机、电器制造工业就能采用国产的各种玻璃纤维制品。相信在不久的将来，玻璃纤维制品无论在品种和产量方面都将获得迅速发展，以满足电机、电器工业发展的需要。

这本小册子所介绍的主要内容包括：电气工业用玻璃纤维的性能；电气工业用玻璃纤维制品的性能、用途及检验方法等。书中尽可能系统地收集了苏联和一些其他国家同类产品的性能和技术条件。

在“电气工业用玻璃纖維”一章中，列举了国外关于有碱、低碱、无碱玻璃纖維各项性能的比較資料，提出了对电气工业用玻璃纖維的基本要求，并对玻璃纖維在电机、电器上的采用和技术經濟效果作了分析。

在“电气工业用玻璃纖維制品”一章中，对电工产品采用的玻璃紗、玻璃絲包电磁綫、玻璃布（紗布）、玻璃云母制品、玻璃塑料等作了介紹，并列举了它們的主要技术条件及苏联同类产品的技术条件；此外，对我国目前生产和应用玻璃纖維的情况分別作了說明。

在“玻璃纖維制品的檢驗方法”一章中，对玻璃纖維及其制品的一般性能的檢驗作了簡要介紹，也收集了玻璃纖維制品特殊性能的檢驗方法，其中对加速热老化寿命試驗的方法作了較多的敘述。

在这本小冊子里沒有把有关含碱玻璃纖維应用和試驗研究的結論收集在里面，因为这方面已有較多的資料。

这本小冊子可供玻璃纖維工业的生产人員概略了解电气工业对玻璃纖維及其制品的要求，也可供电机、电器制造工业和电力系统的人員在采用玻璃纖維制品时作为参考。

由于作者水平所限，編写時間又短，收集的資料不够丰富，而且作者系从事电机制造和电气絕緣材料工作，对其他电器产品接触少，特別对国内玻璃纖維制造工业不够了解，因此，难免挂一漏万，甚至还有錯誤，希望讀者指正。

目 录

序 言

第一章 电气工业用玻璃纖維	1
§ 1. 概述	1
§ 2. 玻璃纖維的性能	2
§ 3. 玻璃纖維在电机电器中的应用	8
第二章 电气工业用玻璃纖維制品	13
§ 1. 玻璃紗	13
§ 2. 玻璃絲包电磁綫	15
§ 3. 玻璃絲包电纜	19
§ 4. 玻璃布及玻璃紗布	20
§ 5. 玻璃带	25
§ 6. 玻璃套管	26
§ 7. 玻璃繩	28
§ 8. 玻璃漆布和玻璃漆布带	29
§ 9. 玻璃云母制品	33
§ 10. 玻璃粉云母制品	38
§ 11. 玻璃层压板和玻璃塑料	41
第三章 玻璃纖維制品的檢驗方法	46
§ 1. 外觀檢查和取样	46
§ 2. 纖維直徑的測定	47
§ 3. 紗号碼的測定	47
§ 4. 潤滑剂含量的測定	48

§ 5. 紗的扭絞數測定	49
§ 6. 扭絞度的均衡性測定	49
§ 7. 紗、布、帶的抗拉強度和延伸值的測定	49
§ 8. 布和帶的寬度的測定	51
§ 9. 布和帶的厚度的測定	52
§ 10. 布和帶的重量的測定	52
§ 11. 布和帶的密度的測定	53
§ 12. 布和帶的不燃性的測定	53
§ 13. 對產品質量水平的總評	53
§ 14. 特殊性能檢驗	54
參考書目	64

第一章 电气工业用玻璃纖維

§ 1. 概 述

近年来玻璃纖維日漸广泛地用作电气工业中的絕緣材料。在大型汽輪发电机、水輪发电机和耐热、防潮、冶金等电机中，以及干式变压器、高压开关灭弧装置和其他电器中逐漸用玻璃纖維代替了其它有机纖維，如棉紗、天然絲、尼龙等。

玻璃纖維具有一系列的优良性能：

1. 电气性能好，吸水性小；
2. 化学稳定性优良，除受氢氟酸、濃碱和热的濃磷酸侵蝕以外，对其他化学葯品的作用都很稳定；
3. 耐热性能优良（在电气絕緣材料中仅次于石棉），具有不燃性；
4. 机械强度好，彈性系数特別大，沒有屈伏点；
5. 可紡織成紗、布、带、套管等制品；
6. 导热系数比其他纖維高。

玻璃纖維也有一些缺点，应用时应加以注意：

1. 性脆、伸長率小，制品的柔韌性和耐磨損性較差；
2. 玻璃纖維对皮肤有刺激感，在加工和使用时应采取必要的劳动保护措施或預先作浸漬处理。

玻璃纖維与其他纖維比較，其主要性能如抗拉、吸湿、耐热等都远較其他纖維为优。电工上常用的几种纖維的主要性能比較如表 1。

几种纖維的主要性能比較

表 1

主要性能 纖維名称	比 重 (克/立方 厘米)	抗拉强度 (公斤/平方 毫米)	吸湿系数 (%) 在80%的 相 对 湿 度 下	浸漬处理后 耐热絕緣等級	伸長率 (%)
玻璃纖維	2.4~2.7	200~400(直 徑3~6微米)	1	B(130°C)~C 級(180°C以上)	1.7~2.3
棉 紗	1.5~1.6	40~60(直徑 16~20微米)	9.3	A級(105°C)	
蚕 絲	1.3~1.45	35~45(直徑 18微米)	11.5	A級(105°C)	16~35
尼 龙	1.14	30~66		A級(105°C)	25~28

因为玻璃纖維具有上述的优良性能，再加上近年来合成有机化学的发展，尤其是在发现耐高溫的硅有机漆及其他鹵族化合物如氟有机化合物等以后，使电机的耐热絕緣等級可以提高到H級以上。同时新型的导磁材料，也促使电机和电器的外形尺寸縮小。电机、电器制造技术就在玻璃纖維絕緣的基础上获得了很大的进步，使电机的單位功率的有效材料消耗量降低，电机的重量減輕。

§ 2. 玻璃纖維的性能

1. 玻璃纖維的含碱量

一般建筑用的玻璃纖維，大多含碱 6 % 以上，而且直徑也是較粗的；至于在电工中所用的玻璃纖維，則为含碱量不超过 2 % 的鋁硅酸盐玻璃纖維。为了降低其熔融溫度、粘度和結晶性能，在玻璃中加入了10%的硼酐，这种玻璃纖維在实用上称为电工用无碱玻璃纖維。較次要的电气技术設備所用的玻璃纖維可用鈣鈉成分的或氧化鉀含量不超过 5 ~ 6 % 的低碱玻璃纖維。

含碱玻璃纖維的主要缺点是因为有 Na_2O 与 K_2O 存在，而 Na^+

与 K^+ 和氧的結合力較弱，一接触水便容易溶解。玻璃纖維是很細的單纖維結合体，表面积很大，与大气中水分接触面积大，很容易产生碱溶解現象，即风化和潮解現象，因而使其性能恶化。含碱和无碱玻璃纖維的主要性能比較見表 2。

含碱和无碱玻璃纖維的主要性能比較

表 2

玻璃纖維名称	比 重 (克/立方厘米)	抗 拉 强 度 (公斤/平方毫米)	在90%相对湿度下的絕緣电阻系数 (欧-厘米)	浸漬后强度变化 (%)
无碱玻璃纖維	2.6~2.7	200~400(直徑5~6微米)	10^{11}	+1.9%
含碱 1 % 的玻璃纖維	2.4~2.6	180(直徑4~6微米)	10^7	-6.7%
含碱 16 % 的玻璃纖維		150(直徑4~5微米)		

把含碱和无碱玻璃纖維作長期和短期风化試驗后，其强度变化結果見表 3。

含碱和无碱玻璃纖維長期和短期风化試驗后的强度变化

表 3

玻璃纖維名称	在140°C的水蒸汽中风化5小时后的保留强度	直徑 7 微米單纖維，經一年风化試驗后的强度(克)			
		在干燥器內	室內	在90%的相对湿度下	周期性地 在90%的相对湿度下和80°C下輪流暴露各一日
无碱玻璃纖維	93%	8.72	8.464	8.328	7.516
含碱玻璃纖維	25%	8.0	7.24	6.788	5.548

从表 2、3 可清楚看出含碱玻璃纖維在90%的相对湿度时絕緣电阻系数比无碱玻璃纖維低四次方；浸漬后的强度，无碱的有增加，含碱的則減少，而电机和电器所用玻璃纖維絕大多数是需要

浸过漆的。同样，在長期和短期风化試驗中，單玻璃纖維的性能也証明无碱的远較含碱的为佳。从电机、电器的运行状况来看，受潮、受热是經常的，特別在高源、湿热带、干热带、亞热带地区（按电工气象划分）用电机、电器和航空、船用电机、电器更是如此。一般电机的寿命約在廿年左右，如选用玻璃纖維作为电机和电器的絕緣，其使用寿命还可延長并保証在运轉中的可靠性。

世界各国对于电气工业用无碱玻璃纖維中含碱量的規定也不一致，一般規定在0~2%以下。各国无碱玻璃纖維的成分見表4。

各国无碱玻璃纖維的成分（%）

表 4

成分 国別	SiO ₂	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	B ₂ O ₃	CaO	MgO	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	其他
苏联	53	15	10	15	5		2 以下		
美国	54.60	14.8	8.0	17.40	4.50		0.60		
西德	54.20	10.0	9.0	20.40	3.40		—		
日本	50.58	14.23	12.09	18.27	4.29	0.59			

在应用方面，对于含碱、低碱及无碱玻璃纖維的試探性鉴别方法，是把玻璃纖維放入水中，加入甲基橙指示剂，然后观察其变成紅色的程度来决定。

2. 玻璃纖維的細度

在电气工业用的玻璃纖維，除了要求它含碱量少以外，还希望單纖維的直徑小，因为由直徑小的單纖維所織成的布和包纏成的絕緣导綫，不但絕緣厚度薄，而且机械强度高。我国所生产的高級

玻璃纖維，其單纖維直徑為 6 ± 1 微米（用于制造耐热導綫）和 3 ± 0.5 微米（用于特殊的电机、电器繞組綫上），在个别情况下也生产 9 微米的。

从試驗数据可以看出玻璃單纖維的直徑愈細，其單位截面的抗拉强度愈高。无碱玻璃纖維的抗拉强度和直徑的大小成反比。例如建筑用玻璃纖維抗拉强度約为 $10 \sim 20$ 公斤/平方毫米，而直徑为 5 微米的玻璃纖維的抗拉强度可达到 300 公斤/平方毫米，玻璃纖維的單纖維直徑与抗拉强度的数值見表 5。

單纖維直徑与抗拉强度

表 5

單纖維直徑(微米)	2.5	5	7.5	10	12.5
抗拉强度(公斤/平方毫米)	600	300	180	130	100

3. 單纖維的长短与强度关系

玻璃纖維的單纖維長度有两种，即連續拉制的長纖維和長度为 $5 \sim 50$ 厘米的短纖維，纖維愈短形成表面微紋的机会愈少，所以强度大。直徑为 5 微米的單纖維在不同長度时的抗拉强度見表 6。

直徑为 5 微米的玻璃纖維在不同長度时的抗拉强度

表 6

纖維平均長度(厘米)	4.5	18.6	87
抗拉强度(公斤/平方毫米)	286	233	171

玻璃纖維的長度决定于制造工艺。一般用白金坩堝法制成的都是長纖維。用吹制法可制成如棉花狀的短纖維，这种短纖維可織成布或其他織品，也可直接用作电爐的隔热材料。由吹制法所得直徑 1 微米以下的超細短纖維，将可用来制造玻璃絕緣紙。

4. 玻璃纖維的彈性

玻璃纖維的伸長率為 1.7~2.3%，是一般紡織纖維的若干分之一，但比鋼鐵則大許多倍，故以玻璃纖維作填充物的塑料具有很大的耐沖擊強度。

玻璃纖維的彈性好，沒有屈伏點，是近乎完全的彈性體，而且進行反復負荷後，也不會產生永久變形。其彈性系數（伸長比/單位斷面所受力）與直徑無關，約為 $7.2 \sim 7.7 \times 10^3$ 。這就使得玻璃纖維能長期承受電機運轉時的機械應力。

5. 玻璃纖維的脆性

玻璃纖維是脆性物。它的脆度比任何其他纖維要高一些，比棉花大 50%。因此，玻璃纖維在使用時不能受錘擊。

如果把不同直徑的玻璃纖維打成一個環，並把環逐步縮小到折斷為止，則可由環的直徑的大小看出它的脆度。

不同直徑的玻璃纖維與環的直徑關係見表 7。

不同直徑的玻璃纖維與折斷時環的直徑關係

表 7

玻璃纖維直徑（微米）	2	4	6	8	10
折斷時環的直徑（微米）	40~100	80~180	120~280	160~350	200~450

在電氣工業中，絕緣材料所受到的彎折是非常普遍的，因此，玻璃纖維應盡量的細（ 3 ± 0.5 和 6 ± 1 微米），同時，對用來織玻璃布、綢的單纖維，要求它的彎折曲率半徑在 0.15 毫米以下。

6. 玻璃纖維的耐熱性及其性質變化

玻璃纖維制品受熱在 250°C 以下時，機械強度不發生變化；

若受热至 300°C 并立刻冷却，其强度比初强度下降50%或更多一些，而在 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 下，其强度反而比室温下的强度增加10~20%，这可能是因为附着在纖維上的潤滑剂受热而粘度增高，使纖維間的結合力加强所致。这些特性应该在使用时予以充分注意。

玻璃纖維受热后不变軟，彈性系数几乎不变而略有上升傾向，但强度則有下降而变得更脆。

玻璃纖維在 250°C 以內受热，体积膨胀；当受热达到 250°C 左右时开始收縮，再降到常温时还会有微小的残余收縮。有时候当温度升高，而又处在拉紧状态下，玻璃纖維会断裂。这种现象在 100°C 时也可能发生，这是电工应用上所应注意的。这种因收縮所引起的断裂现象，可能是玻璃液在瞬时凝結成急冷体的纖維时，原子的集合呈不稳定状态而且組織稀疏所致。

玻璃纖維受热后絕緣电阻下降。当受热温度高到 200°C 时，絕緣电阻下降一次方左右，这可能是因为纖維中的碱离子向表面扩散所引起的。虽然如此，无碱玻璃纖維仍然可以作工作温度为 130°C 、 155°C 、 180°C 及 180°C 以上的优良絕緣材料。

7. 玻璃纖維的潤滑剂和热处理

玻璃纖維上有少量的潤滑剂，是为了便于拉絲、捻紗或进行紡織所需要的。

潤滑剂的主要成分是淀粉或明胶类的胶体与动植物油的混合液。在这些主要成分內加入适量活性剂并使之乳化便可制成潤滑剂；潤滑剂也可用变压器油、石蜡、硬脂酸、凡士林等配制而成（苏联采用 KП-1 、 KП-2 或 H_2O 10乳化剂作潤滑剂）。潤滑剂的含量因制品不同而有不同的規定：对于用3微米纖維制成的玻璃紗为1.3~5%；对于用6微米纖維制成的耐热导綫用的玻璃紗为

4~7%；对于电器繞組用的玻璃纖維为3%以下；对于特殊用途的电磁綫用的玻璃纖維为0%（不含潤滑剂）。

有潤滑剂的玻璃纖維及其制品很难被絕緣漆（有机或半有机树脂溶液）所浸入。把玻璃纖維及其制品加工为絕緣材料时是必需浸以絕緣漆的。因此，絕緣材料制造厂和电机厂在应用玻璃纖維制品时，首先要除去它的潤滑剂。

除去潤滑剂的方法有两种：一是溶剂清洗法，一是加热处理法。因为有些潤滑剂不能被溶剂完全溶解，所以用溶剂不可能將潤滑剂完全洗去。加热处理是使玻璃纖維制品在250°C的溫度下維持一段時間，將揮发物質去掉，然后再滑过275~325°C的大輥子，使殘余物質燃燒。这样处理后，有机物几乎完全被除去，而玻璃纖維制品便呈白色。

玻璃布在除去潤滑剂后，如用来制造机械强度高的层压品和塑压品时，其表面还要以特殊处理剂进行处理，以增强它与有机树脂的結合力。因光滑的玻璃布表面是一层无机氧化物，而有机树脂及塑料是具有C—C鍵的有机化合物，两者之間必須有一种中間状态的物質，即它的一端具有氧化物的結構，而另一端具有有机物的結構。这种处理液为有机銘盐、硅酮高聚物盐或三氯代硅乙烯。

应用加热处理法时，除去潤滑剂和表面处理的工作量都很繁重，而且处理过的玻璃纖維物的强度有很大损失，所以玻璃纖維物最好在玻璃纖維制造厂处理完毕后再出厂。但目前各电机厂在作一般包扎或作云母制品增强时是采用沒有除去潤滑剂但仍具有一定浸漬性能的玻璃纖維制品。

§ 3. 玻璃纖維在电机电器中的应用

在电机和电器中采用玻璃纖維制品以后，由于耐热等級的提

高，可以大大地減少有效材料，如銅导体、硅鋼片及其他材料的消耗量，并能提高电机的容量和延長电机的使用寿命 达 数 倍 以 上。

各种絕緣等級的电机在采用不同材料时有效材料的用量(%) 見表 8。

有效材料用量表

表 8

絕緣等級	主 要 絕 緣 材 料 名 称	最高溫度 (熱度)	有效材料 (%)
A 級	棉紗、絲綢等用一般絕緣漆处理	105°C	100%
E 級	聚酯薄膜、聚乙烯醇縮醛漆包綫用絕緣漆处理	120°C	91.5%
B 級	玻璃纖維用油改性醇酸树脂漆或环氧树脂漆处理	130°C	89.5%
F 級	玻璃纖維用改性硅有机漆或聚酯漆处理	155°C	82.0%
H 級	玻璃纖維用硅有机漆处理	180°C	76%

現將交流和直流电机、高压电机綫圈、干式变压器或开关电器各部分采用的玻璃纖維制品种类分別介紹于后。

B、F、H 級絕緣的直流电机采用玻璃纖維制品的零件部件 見图 1 所示。

B、F、H 級絕緣的异步电机采用玻璃纖維制品的零件部件 見图 2 所示。

在卷綫式轉子的电机中，其轉子的絕緣結構包括导綫、槽絕緣、端部絕緣以及滑环和电刷架等。在絕緣等級提高时都應該采用玻璃纖維絕緣物。

B 級以上絕緣的高压电机所采用的玻璃纖維制品的槽絕緣結構如图 3 所示。

H 級絕緣干式变压器或开关电器所采用的玻璃纖維制品的絕緣結構如图 4 所示。

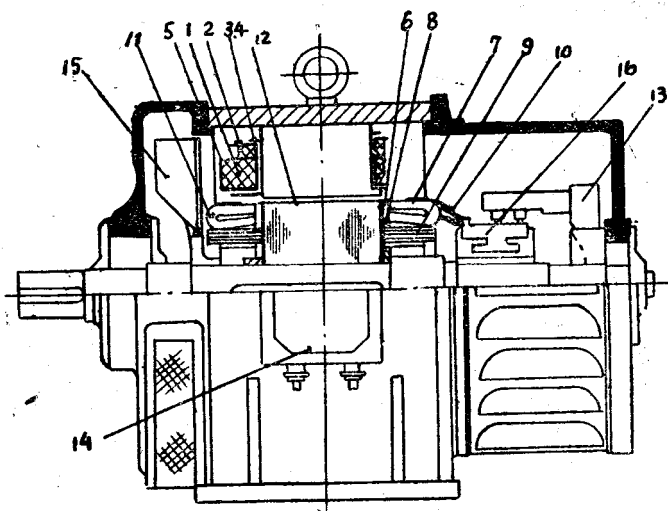


图 1 B、F、H 级直流电机采用玻璃纤维绝缘的零件部件图

1—磁极线圈导线——玻璃丝包电磁线；2—磁极线圈连接线的绝缘——玻璃丝套管、玻璃云母带、玻璃漆布带；3—磁极线圈垫板、压板——玻璃层压板；4—磁极线圈与垫板、压板等的包扎——玻璃绳；5—磁极线圈的外包绝缘——玻璃带、玻璃云母带；6—电枢铁心端面绝缘板——玻璃层压板；7—电枢线圈导线——玻璃丝包电磁线；8—电枢槽绝缘——玻璃云母箔、玻璃漆布；9—电枢端部的对地和层间绝缘——玻璃云母箔、玻璃漆布、玻璃绳；10—电枢端部引接线（与换向器铜片连接部分）绝缘——玻璃套管；11—电枢端部的扎紧——玻璃绳；12—电枢槽楔——玻璃层压板；13—电刷架或电刷杆的绝缘——玻璃塑压品和卷制品；14—各种引接线——玻璃绝缘绞线电缆；15—风扇、出线板、出线盒等零件——玻璃塑料；16—换向器——

玻璃塑料

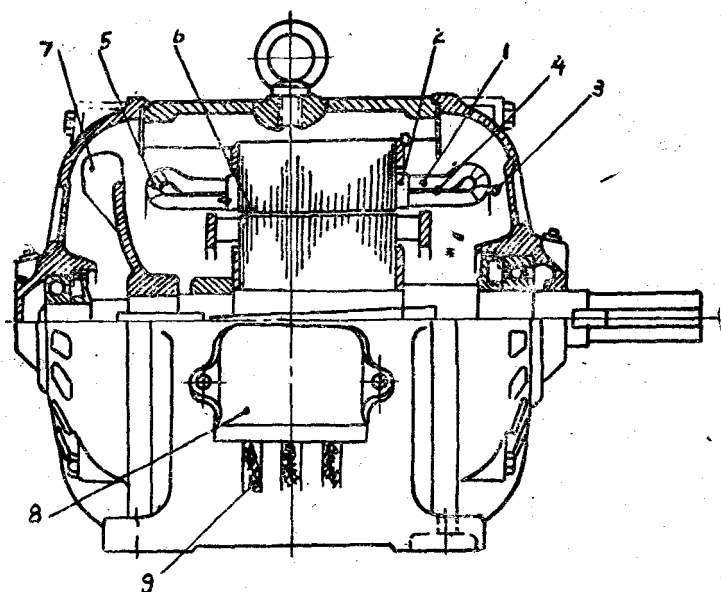


图 2 B、F、H级异步电机采用玻璃纤维制品的零件部件图

- 1—定子导线——玻璃丝包电磁线；2—定子槽绝缘——玻璃云母箔、玻璃漆布；3—定子连接线绝缘——玻璃套管；4—定子线圈端部相间绝缘——玻璃云母箔、玻璃漆布；5—定子线圈鼻端部分包扎用绝缘——玻璃带；6—定子槽楔——玻璃层压板；7—冷却风扇——玻璃塑料；8—出线板、出线盒等零件——玻璃塑料；9—引出线——玻璃绝缘绞线电缆