

電力機車車輛的 电机絕緣及其試驗

В. И. 卡尔塔赛夫 著
Н. Д. 苏豪普鲁德斯基

人民鐵道出版社

本书介绍牵引电机的絕緣試驗方法和列出絕緣試驗的标准。此外，本书还簡述有关牵引电机的絕緣結構，以及用于制造和修理的絕緣材料的基本知識。

本书可供有关运用和修理牵引电动机的工程技术人員閱讀。

电力機車車輛的电机絕緣及其試驗

ИЗОЛЯЦИЯ МАШИН
ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА
ПОСТОЯННОГО ТОКА И ЕЁ ИСПЫТАНИЯ

苏联 В. И. КАРТАШЕВ 著
Н. Д. СУХОПРУДСКИЙ

苏联国家鐵路運輸出版社（1956年莫斯科俄文版）

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ Москва 1956

卢为愚 譯 李正身 校

人民鐵道出版社出版

（北京市霞公府甲24号）

北京市书刊出版业營業許可証出字第 010 号

新华书店北京发行所发行

人民鐵道出版社印刷厂印

书号1535 开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张 $3 \frac{7}{16}$ 插頁 1 字数 78 千

1959年11月第1版

1964年3月第1版第2次印刷

印数 700 冊〔累〕2,050 冊 定价（8）0.33 元

目 录

第一章 牵引电机絕緣的工作条件	2
1. 概 述	2
2. 牵引电机絕緣的工作	3
第二章 牵引电机的絕緣結構	6
1. 牵引电机絕緣用的主要材料	6
2. 牵引电机的絕緣結構	12
第三章 牵引电机絕緣的电气性能	20
1. 絕緣电阻	20
2. 絕緣电容	24
3. 介质損耗	26
4. 电气强度	30
第四章 牵引电机的絕緣試驗	39
1. 用提高电压进行絕緣試驗	39
2. 局部放电指示器的应用	44
3. 測定絕緣的受潮程度	52
4. 匝間絕緣試驗	67
附录 1~10 应用在牵引电机絕緣中的云母带	
的主要性能	88 ~ 107
附录 11 推荐的牵引电动机絕緣的定期試驗和	
标准	插表
附录 12 推荐的牵引电动机絕緣的工厂試驗和	
标准	插表
参考文献	

第一章 牽引电机絕緣的工作条件

1. 概 述

直流电力機車車輛的牽引电动机与固定电机相比較的特殊工作条件，对电动机的絕緣提出了更高的要求。

电压为1500~3000伏的直流牽引电动机的絕緣只能采用B級絕緣材料，因为在同样的温度条件下与A級絕緣材料比較，这种材料具有相当高的抗热性、抗湿性和运行中較长的使用寿命。

近年来，为了进一步提高牽引电动机的可靠性与耐久性，曾做了許多工作，以使新的硅有机絕緣材料能更广泛地应用到牽引电动机中去，此种絕緣材料具有显著增高的抗热性、抗湿性与更长的使用寿命。此种絕緣材料配方是在苏联科学院通訊院士К·А·安德烈阿諾夫的领导下研究拟定出来的，并成功地試用于铁路機車車輛的各种不同型式的牽引电动机上。

中央鐵道运输科学研究院与以В·И·列宁命名的全苏电工研究院一起，从1949~1950年开始对硅有机絕緣材料在牽引电动机中的应用进行了研究，拟定了具有硅有机絕緣的牽引电动机的制造和修理工艺，并在1951年生产了具有此种絕緣的ДПЭ-400型牽引电动机初步样品（在試驗运行中）。諾沃契尔卡斯克电力機車制造厂于1955年掌握了具有硅有机絕緣的牽引电动机的制造工艺，同时生产了第一批具有此种絕緣的电动机的电力機車。近来，当制造与修理牽引电机时，首先在牽引电动机中已經广泛采用了硅有絕緣材料。

提高牵引电机（主要是牵引电动机）的可靠性及耐久性的另一途径是改进其制造和修理的工艺过程。在这方面，交通部中央铁道运输科学研究院曾研究了具有有机胶粘材料绝缘的牵引电机的制造和修理工艺的改进工作。

装设在电机制造厂、电机修理厂以及大型电力机车机务段的牵引电机的电枢广泛应用真空压力法浸漆[参考文献 I]和动态平衡，提高了这类电机的可靠性及耐久性。

2. 牵引电机绝缘的工作

电力机车车辆牵引电动机的绝缘在运行条件下遭受到各种加速绝缘耗损，并使电机更快地损坏的影响。对于在最困难的条件下运行的牵引电动机，这一点表现得更特出。统计数据表明，在全部电力机车车辆的事故中，牵引电动机占40~50%；辅助电机占15~20%。同样，牵引电机的故障中约有30~40%是由于个别绝缘部件的电气强度和完整性的破坏引起的。

牵引电动机绝缘的特殊工作条件是：在运行中由于电机的串激特性、铁路的坡道以及列车运行状况所引起的牵引电动机负载和转速的急剧变化；由于电动机负载变化所引起的导电部分和绝缘温度的变化；牵引电动机的轮廓尺寸受限制以及牵引电动机的有效材料利用较之固定电机有所提高。

在牵引电机的工作状态下，其绝缘还要受到许多因素的影响，其中主要的是：由于工作电压、大气及内部过电压所产生的电场；由于电机运行状况所引起的温度；由于外部冲击与震动，转动部分的离心力以及过渡过程中的电动力等等在绝缘中和与之相接触的电机零件中所引起的机械力。

在牵引电动机的起动过程和过渡状态的工作过程中，电场强度、电机导电部分的温度以及作用在绝缘上的机械力均

急剧地变化。在与发生内部过电压有关的、牵引电机的过渡与事故工作状态下，在相当大的程度上增加了作用在绝缘上的电场强度。

直流电力机车车辆的牵引电机的工作是直接由架空接触网供电，因而在每年的雷雨时期，其绝缘也将受到大气过电压的作用。

除了上述由牵引电机的工作状态所决定的作用外，还有其他因素作用于牵引电机的绝缘，这些因素与牵引电机是否工作无关。属于这些因素的主要是：与牵引电机的绝缘和绕组接触的介质湿度的变化；周围及冷却介质（空气）温度的剧烈波动；在这些介质中含有活泼的化学物质；散落到绝缘中及其表面上的导电或不导电的灰尘；由于铁路的不平而引起很大的机械作用力等等。

在电机变冷时（例如列车停在停车场或以惰力滑行时），这时潮湿的空气吸入绝缘的气孔与裂缝中，对于机车车辆的牵引电机与辅助电机的绝缘来说，湿度的作用特别重要。当绝缘的温度接近或低于周围介质的温度时，潮气特别强烈地渗入绝缘中去。在冷的电力机车进入较温暖的电力机车库时，可能发生此种绝缘受潮或凝上水珠的情况。

在苏联各个气候地区，周围和冷却介质（空气）的温度波动可能在 -50°C 到 $+45^{\circ}\text{C}$ 的范围内。牵引电机的绕组温度取决于其运行条件。

苏联国家标准 ГОСТ2582~50 提出的运行中的牵引电机绕组容许的极限温度值，因而，绝缘与其等级的关系列于表 1 中。在运行中牵引电机绕组的实际温度是将绕组超过周围介质的温升与周围介质（外面的空气）的温度相加得到的。

辅助电机的绕组温度高于周围介质的温度值视其负荷大小而定。牵引电机的绕组温升值决定于铁路坡道的情况，车

表 1

电机絕緣等級	在測量时建議采用的极限温度 (°C)	
	电 阻 法	温 度 計 法
A	120	105
B	145	120

輛的重量，機車的运行状况，而与周圍介质温度的关系較小。在一定的坡道条件下，牵引电机的繞組最大温昇值决定于列車的最大重量，实际站間走行時間和所采用的列車运行条件。根据牵引电动机繞組温昇所决定的列車載重标准，每年两次（对夏季的和冬季的工作图）根据牵引計算和随后的檢查試車加以确定。牵引計算和試車也用来檢查所选取的列車牵引状态。

牵引电动机和輔助电机繞組的实际温度，对于一定的温昇來說，与周圍介质的温度变动有关。

超軸司机們，对規定标准提高电力機車的牵引重量，改善列車行駛状态，改变区間行車時間，且考虑到周圍空气温度的波动，以便可能最大限度地利用电力機車，同时又使牵引电动机的繞組和絕緣温度在运用中仍在ГОСТ2582—50所提出的允許範圍內。

在冷却牵引电机繞組的空气中含有对絕緣起破坏作用的化学活性物质，在一般情况下是很少的，因而对絕緣的影响可以忽略不計。在蒸汽牵引和电力牵引混合运行的情况下，由于蒸汽機車鍋炉中燃燒煤的影响将使化学活性物质的百分比增加。在个别情况下，冷却空气也可能被鐵路附近的化学工厂或其他厂矿产生的废物所污染。

散落到絕緣中或其表面上的导电或不导电的灰尘也可能与冷却牵引电动机的空气混合起来。这样的灰尘首先是機車車輛制动闸瓦的磨損而产生的，也可能来自道渣中的砂土以

及来自为了增加粘着力的砂子、水泥灰粉、盐、鹼以及其他粒状物质。这些灰尘的颗粒有时对絕緣起研磨和腐蚀作用。

此外，当機車車輛运行在鋼軌接头处及其他地势不平的綫路上时，在絕緣中还会产生内部机械力的作用，尤其是当機車車輛的机械部分已产生不允許的磨損与工作条件恶化时，該影响尤为显著。

第二章 牽引电机的絕緣結構

1. 牽引电机絕緣用的主要材料

牽引电机采用下述絕緣材料：云母和各种云母制品（云母片和云母带）；石棉和石棉制品（石棉板、石棉紙、石棉綫、石棉带和石棉布）；棉质漆布和綢漆布；接合、粘合、浸漬和涂刷用的漆和瓷漆；浸漬用胶；纖維质材料（紙、紙板、棉布带和布、細繩和綫）；玻璃纖維材料（玻璃紙——胶合片、玻璃布、玻璃带、玻璃綫）；层压板（层压紙板、层压布板）；橡皮和橡胶制品（端部和連接綫的引綫絕緣）；陶瓷材料——刷握支架的瓷絕緣子。

云母制品（云母板和云母带）常作为牽引电机的主要絕緣，特别是作为牽引电动机的絕緣。云母优越于其它絕緣的是具有优良的电气、机械和热的性能。云母材料具有比較高的机械和电气强度，同时又相当柔軟、耐热和吸水性很小。云母带在冷状态下是柔軟的，它由瓣状剝片（厚0.01~0.02毫米的金云母或白云母）粘合在細长的連接材料上而成，当云母带厚度大于0.1毫米时，再在上述細长材料上裱糊云母剝片。云母带寬度通常为12~35毫米，厚为0.075~0.1毫米。連接材料是用厚度为0.02~0.025*毫米的MK型专用的云母

* 根据ГОСТ3500—53，云母带用紙应制成不厚于0.023毫米。

紙，或薄的綢布制品。近来也采用玻璃紙——厚度为 0.015~0.02毫米的胶合片和厚度为 0.025~0.06 毫米的玻璃布。云母带的胶粘剂采用瀝青油漆（441 和其他）。牵引电机的絕緣多半采用单面的和双面的由金云母和 441 瀝青油漆制成的黑云母带。云母板是以云母剝片（最好是金云母）用树脂或油漆（多元酸树脂、虫胶、瀝青油漆等）用粘合的方法制成。

牵引电机中根据絕緣元件的不同用途而应用下述各种不同的云母板：塑型云母板、襯垫云母板、柔軟云母板和換向器云母板。这些云母板彼此間的区别在于所用的胶合剂；云母片种类及尺寸；云母板的云母和树脂含量以及制造过程中是否进行压縮、銑平、校准等工序的不同。

塑型云母板是用来制造各种成型絕緣件的，如換向器的 V 形环，扇形片和絕緣套筒，电樞繞組端部下面的絕緣圓筒和半圓筒以及用作牵引电机电樞繞組端部的层間襯垫。塑型云母板一般应用 5~7 号云母片和多元酸树脂漆制成，其厚度为 0.1~0.5 毫米或再厚些。塑型云母板含云母量为 70~90%，其主要特点是在热状态下（140~150°C）具有成型的性能，并当漆烘干以后（150~170°C）能保持一定的形状而沒有分层。

襯垫云母板在牵引电机中用来制成电樞槽底的絕緣垫条；电樞繞組后端部的絕緣楔以及磁极綫圈层間的垫片。这些云母板是由各种云母片和多元酸树脂漆制成，再在厚度方面进行压制和校准或仅进行压制，其厚度为 0.5~2 毫米的片状材料。襯垫云母板中树脂含量不低于 20%，云母含量不低于 65%。

柔軟云母板在冷的状态下具有柔軟性。这种性能主要是采用了特种油漆——瀝青油漆或多元酸树脂油漆。这种柔軟

云母板被广泛地用来作牵引电机的絕緣。用它来作电樞繞組后端部連接綫的絕緣，电樞后端部綫圈支架，出綫盒和磁极繞組端部，綫圈間連接綫的絕緣；用来制造槽垫，电樞繞組端部层間和綁綫下的絕緣，电樞槽部綁綫下絕緣和綫圈間絕緣襯垫，槽出口 U 型襯垫。最后应用柔软云母板来使电樞繞組綫圈和磁极綫圈达到图紙上所要求的尺寸。

在牵引电机中最常应用厚度为 0.25、0.3、0.5 毫米的柔软云母板，它是由 6 ~ 7 号的 I 类和 II 类云母以及用 441 号和 462 号瀝青油漆制成。

换向云母板用作换向片間的絕緣垫片，对换向云母板并不要求其具有很高的电气性能，因此它可以由任何种类和规格的云母制成。

换向器云母板的优点是：压縮得結实和厚度均匀，在换向器中的收縮性很小，且不会发生云母片滑动和粘合漆流出等等。由于要求换向云母板和换向片具有同样的抗磨性，因而换向器云母板是由金云母制成。

在牵引电机中常用厚度为 0.8、1.0、1.08 毫米的 $K\Phi$ 型换向云母板，它是由任意种类和规格的可剝云母，并用各种粘合剂（其中包括多元酸树脂）制成。换向器云母板中粘合剂含量不得超过 3 ~ 4 %。换向器云母板是經過压縮和銑平的具有一定厚度的板状材料。在牵引电机中换向器云母板常用于制造刷握支架的絕緣垫圈。

在牵引电机絕緣中应用純淨的云母（金云母）来加强电樞繞組綫圈弯曲处的匝間絕緣，也用来作为刷握托架銷釘的絕緣；在后一情况下，因为其絕緣尺寸的限制和在很大的机械力作用下运行，因而要求采用优质白云母——样板云母。应用于牵引电机中的主要云母制品的电气和机械性能列于附录 1 和 2 中。

尽管云母制品的价格相对地来说是高一些，而它具有优良的电气和耐热性能，这就是工作在特别困难条件下的牵引电机绝缘优先采用它的主要原因。

辅助电机的主要绝缘相对于牵引电机来说是工作在较轻易的条件下（负荷较均匀，具有一定的弹性，安装在电力机车的车体里面，尺寸限制较差等等）。因而辅助电机的主要绝缘还可应用浸渍过的纤维材料（漆布）来代替云母绝缘材料。

漆布是以棉布或丝绸用油漆浸渍，主要是用多元酸树脂，经过一系列的加工制成。漆布绝缘是属于A级绝缘，耐热性较低。应用于电力机车车辆辅助电机中的漆布的性能，列于附录3中。

由有机粘合剂制成的漆布绝缘，除了耐热性较差以外，吸水性也大，且多孔，当绝缘内部发生放电时所生臭氧引起的电离作用很容易使绝缘破坏。绝缘漆布的优点是在起始情况下极其柔软，且具有很高的机械强度。这一点对于绝缘较薄而电枢绕组线圈匝数较多的辅助电机来说，极为重要。其主要缺点是在漆布绝缘中有很多局部地方的电气强度特别的低。

牵引电机绕组绝缘的电气、机械和耐热性能很大程度上决定于电工绝缘漆、瓷漆和胶贴云母带、云母板、绕组浸漆和浸胶，以及为了形成表面保护膜所采用的绝缘油漆（绝缘混合物、瀝青）。

电工漆是溶解在所谓基漆（树脂、瀝青、烘干油漆及其混合物）的挥发性溶剂中的胶体液。漆或瓷漆在干燥时，溶剂便挥发了，而主要的东西在经过热加工和在个别情况下经过氧化和聚合等过程后成为固体形态——薄膜。瓷漆和漆之不同点是：在瓷漆中有色素-填料，而绝缘漆-混合胶中没有溶

剂。我們所采用的絕緣混合胶是由特殊的树脂組成，或是由瀝青和聚合物所組成。

目前在牽引电机絕緣中常用以瀝青油漆和多元酸树脂油漆为主的漆和瓷漆。按其用途分为粘合用的，浸漬用的和涂刷用的漆，以及涂刷用的耐弧瓷漆。

胶粘漆用于制造云母帶和云母板。在制造云母板时，常用粘合树脂代替胶粘漆。在牽引电机电樞繞組浸漬时和磁极繞組浸胶时，常采用胶浸化合物（漆和絕緣化合物）。这些物质通过孔隙和裂縫透入，并充滿了絕緣内部的气隙，以提高其完整性、导热性和电气强度的均匀性。如果把牽引电机繞組在真空中浸漬或浸胶时，会得到更好的效果。

絕緣在真空压力下浸漬时，能使絕緣具有完整性和均匀性，能使其寿命延长。并由于氧化过程減慢而預防了化学物质对絕緣纖維部分的损坏作用，且所形成的坚固的薄膜具有抵抗机械力的作用。

涂刷漆和瓷漆能在絕緣表面上形成具有一定机械强度的薄膜，这薄膜能防止潮气进入絕緣内部，以及防止油和化学物质对絕緣的損害。在換向器云母U形环前端和磁場綫圈表面涂刷耐电弧瓷漆，形成的漆膜能防止絕緣受电弧的灼燒和預防換向器周圍的火花所引起的导电途徑。

应用于牽引电机絕緣中的漆和瓷漆的主要性能，列于附录4中，溶剂的性能列于附录5中，絕緣混合物和瀝青漆的性能列于附录6中。

采用优质的粘合漆、浸漬漆、涂刷漆、瓷漆以及混合胶能使牽引电机絕緣性能改善。用硅有机材料为主的漆、瓷漆及混合胶是这方面的繼續进步，其特点是除具有高的电气强度外，尚可相对地提高其耐热性和防潮性。

目前，牽引电机絕緣广泛采用有机成分的固定用纖維材

料，属于这种材料的是紙和紙板、棉紗帶和棉布、天然絲綢、粗布、亚麻綫、层压板——层压紙板和布板。

其中一种材料，如云母帶紙、薄綢布可以用来作云母帶和特別柔軟的云母板的襯墊；其他如斜紋帶用来作連接个别絕緣元件或复盖絕緣；第三如浸漬过的电工紙用来作垫圈或个别的絕緣元件；第四如层压板——层压紙板和层压布板，可以制造槽楔，用来固定和保持电樞繞組元件，也可以用作襯墊。苏联国家标准183—41允許：在电机絕緣中，A級絕緣材料可当B級絕緣用，如云母、石棉和玻璃纖維。按苏联国家标准規定，如果运行中絕緣是在B級和BC級絕緣所允許的溫度作用下，其机械和电气性能能一直保持应有水平，則該絕緣亦可列于B級或BC級。

在一般B級絕緣电机中，采用A級絕緣材料，其原因是目前連接用的无机材料尚未达到厚度、机械强度、价廉和制造簡單的要求。尤其是这些材料如：云母帶用紙、斜紋帶、綢帶、外套用布——麻布和电工用紙。

有时石棉帶并不能代替斜紋帶和綢帶，这是由于它的厚度較大（0.45毫米相应地代替0.22和0.28毫米的斜紋帶和綢帶时），另外石棉帶的机械强度也較差。

在牵引电机絕緣中（特別是在牵引电动机的絕緣中）应用A級絕緣材料时，在B級絕緣的工作溫度下易被损坏，在 $180^{\circ}\sim 190^{\circ}\text{C}$ 时会燒焦，也就是說，分离出自由炭粒，从而大大地加速了牵引电动机絕緣的衰老。

应用于牵引电机絕緣中的固定用帶、固定用布以及电工紙的性能列于附录7~9中。

目前出現了优质的固定用无机絕緣材料，如玻璃层压板——厚度为0.015~0.020毫米的玻璃紙，厚度为0.021~0.06毫米的玻璃布，厚度为0.1~0.15毫米的柔軟玻璃布，厚度

为0.1、0.15、0.2毫米的玻璃带、玻璃漆布、柔软玻璃布板和玻璃云母板，不久就会提出用上述絕緣材料来代替牵引电机的，特别是牵引电动机中的固定用纖維性絕緣材料，这可能是在大批地用硅有机絕緣来制造牵引电机之前。各种固定用以玻璃纖維为主的絕緣材料的性能列于附录1、8和9中。应用于牵引电机中的一些絕緣材料列于附录10中（石棉紙和石棉布）。

2. 牵引电机的絕緣結構

直流牵引电机絕緣分为下列几个主要部分：电樞絕緣、磁場綫圈繞組絕緣、炭刷支架絕緣。

牵引电机电樞絕緣又可分为电樞繞組絕緣和換向器的絕緣。

电樞繞組絕緣主要由属于一个綫圈的相隣导体間的絕緣、匝間絕緣、对机壳的絕緣（对地的或主絕緣）和綫圈层間絕緣組成。牵引电机电樞繞組綫圈的槽部絕緣如图1所示。

相邻导体間的絕緣是不会承受高电压的。因此在功率不大的輔助电机中仅靠导体上的絕緣就够了。在牵引电动机中，采用导体移位的繞組（ДПЭ-340、ДПЭ-400等牵引电动机），在过渡的地方垫上厚度0.075~0.08毫米的狭长单面云母带襯垫。

在輔助电机中，导体上的絕緣就作为匝間絕緣，該絕緣当輔助电机电樞整个浸漬时进行浸漬（A級絕緣）。輔助电机电樞繞組采用ПБД、ПЭЛБД、ПЭЛШД导綫。

輔助电机匝間絕緣的繼續改进应按着这样的方向，就是采用玻璃絲、耐热瓷漆等无机絕緣。这就可以大大地减少运行中发生的匝間短路的次数。

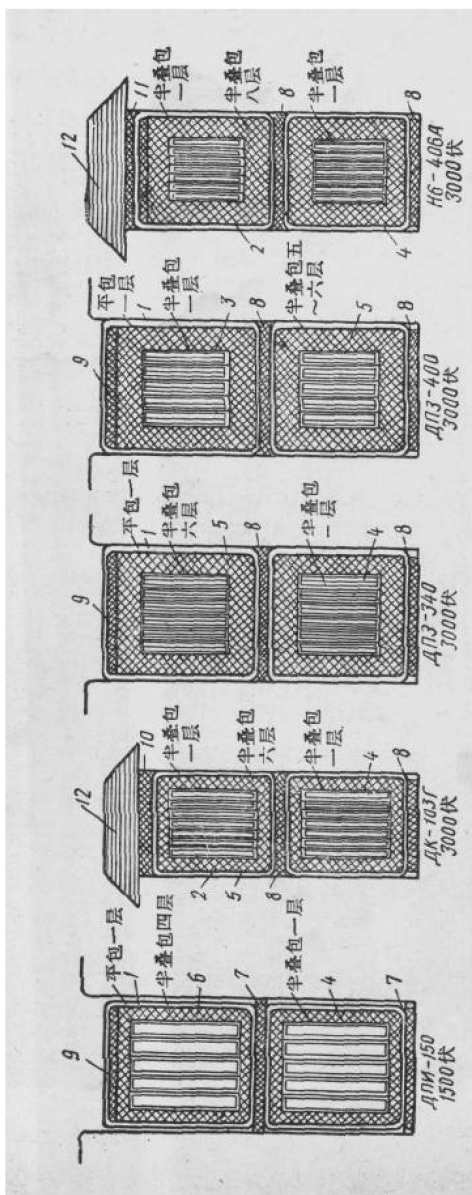


图1. 牵引电动机电枢绕组元件的槽部绝缘;

1——厚0.4毫米、宽20~25毫米的石棉带; 2——ГОСТ 5397—53厚0.1~0.15毫米、宽25毫米的玻璃丝带;
3——ПФЧ I 型厚0.1~0.15毫米、宽20毫米的云母带; 4——ПФЧ I 型厚0.1毫米、宽20毫米的云母带; 5——
ПФЧ I 型厚0.13毫米、宽20毫米的云母带; 6——ПФЧ I 型厚0.13毫米、宽26毫米的云母带; 7——ПФ2 型厚
0.15毫米的衬垫云母板; 8——ПФ2型厚0.5毫米的衬垫云母板; 9——ГФ2型厚0.5毫米的柔软云母板; 10——
厚1毫米的胶木板; 11——ЭВ 型厚0.3毫米的电工纸板; 12——槽楔胶木板

牽引电机匝間絕緣通常由半疊繞敷設的一層云母帶組成。在 ДПИ-150、ДК-103 及 ДПЭ-340 型牽引電動機中，電樞繞組匝間絕緣採用厚為 0.1 毫米的云母帶，而在 ДПЭ-400 及 HE-406 牽引電動機中，用厚為 0.075 毫米的云母帶。在繞組端部的匝間絕緣採用強度較好的和較柔軟的厚為 0.13~0.15 毫米的絲綢云母帶或玻璃云母帶。注意到以後的 ДПЭ-400 及 HE-406 牽引電動機中採用了較薄的云母帶（0.075 毫米代替 0.1 毫米），電樞繞組綫圈匝間之電氣強度降低是毫無根據的。

電樞繞組綫圈的對地絕緣或主絕緣應用二種型式：混合式的和連續式的。

電樞繞組綫圈的混合式絕緣，目前僅用於輔助電動機中，它屬於 A 級絕緣。混合式絕緣曾於 1930 年在 ДП-150 牽引電動機的電樞繞組綫圈中應用過。混合式絕緣的特點是在槽部和在端部的綫圈製造不同。在槽部墊入漆布或云母紙，而在端部墊入一層或幾層漆布或類似的漆布帶，槽絕緣伸出槽口 15~70 毫米，在槽角部分墊入一層或二層漆布。綫圈端部絕緣也用一層或幾層漆布來增強。

槽部對地的絕緣採用牌號 ЛШ1、ЛШ2 及 ЛХ1 牌厚度為 0.1 到 0.2 毫米的絲質或棉質漆布。電力機車輔助電動機電樞繞組的槽部對地絕緣的有關資料，列於表 2 中。

輔助電動機的對地絕緣用漆布根據其額定電壓及其工作情況來選用。為了使對地絕緣不受機械力之損害，採用一層固定用斜紋帶。輔助繞組端部對地絕緣依靠前、後繞組支架上襯墊的 ЛХ1 漆布和 ЭВ 電工紙而得到加強。

混合式絕緣的缺點是槽部和繞組端部交接處的對地絕緣較差。雖然整個電樞繞組進行了浸漬，但仍未消除混合式絕緣的不均勻性，對於連續式絕緣來說，這一點是防潮性差，

表 2

輔助电机型号	电枢繞組槽內部分对地絕緣特性			
	額定电压 (伏)	漆布型号	厚度 (毫米)	层数
反饋发电机的原动机 ДК-401	3000	ЛШ1	0.1	7
風扇电动机 ДК-403	3000	ЛШ1	0.1	7
壓縮机用电动机 ДК-404	3000	ЛШ1	0.1	9
壓縮机用电动机 ДК-405	1500	ЛШ1	0.1	7
分压器 ДК-001	3000/1500	ЛШ1	0.1	9
控制发电的原动机 ДМГ-1 $\frac{500}{50}$	1500	ЛШ1	0.1	5

电气强度低和散热性差的原因之一。对于双换向器的輔助电机不能进行真空浸漆，或者是电枢的整个的沉浸漆，因为这样做会使漆沾污了换向片間的絕緣（换向云母板）。

牵引电动机的对地絕緣是采用云母带的連續式絕緣。这种絕緣属于B級。連續式云母带絕緣的电气性能取决于一系列的因素：云母带层数，云母带卷繞的紧密性，烘干和浸漬情况，云母质量，浸漬漆和粘合漆的质量。連續式絕緣比混合式絕緣的优点是：連續式絕緣具有較高的电气强度，耐热性也高，在温度高于 $50 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 时具有較大的柔軟性和彈性，以及能作为不允許用A級絕緣的端部絕緣。牵引电动机电枢繞組在槽部的对地絕緣按电压而定，且使用連續式絕緣：

(a) 对于額定电压3000伏的电动机应用5~7层厚度为0.13毫米的云母带半疊繞，或7~8层厚为0.1毫米的云母带半疊繞；(б) 对于額定电压为1500伏的电动机用3~4层厚为0.13毫米的云母带半疊繞。各种不同牵引电动机电枢繞組在槽部的对地絕緣（在槽部）的有关資料列于表3中。

繞組在槽出口处是电场分布最不均匀的地方，因此在槽終端扩大部分用柔軟云母板制成的U形附加絕緣来保护电工紙或石棉紙，使其免受机械損伤。这个槽口处的增强絕