

FLUKE®

与福祿克公司
合作完成

绝缘电阻测试



FLUKE®

与福祿克公司
合作完成

绝缘电阻测试



AMERICAN TECHNICAL PUBLISHERS, INC.
HOMWOOD, ILLINOIS 60430-4600

本书中包含了工业和商业中常用的测试程序。具体的测试程序会随测试任务而不同，并且必须由有资质的人员进行测试。为了最大程度的安全性，请务必查阅和咨询产品制造商的建议、保险规章制度、特定的工作场合和工厂制度、适用的联邦、州和当地的规范，以及所有有管辖权的管理机构。文章中涉及到的材料均为学习资源。American Technical Publishers, Inc. 和 Fluke Corporation 对由此产生的所有损失或伤害，包括财产损失和人员伤亡，均不负任何责任。

© 2005 by American Technical Publishers, Inc. and Fluke Corporation.
All Rights Reserved

1 2 3 4 5 6 7 8 9 - 05 - 9 8 7 6 5 4 3 2 1
印刷于美国

ISBN 0-8269-1531-0





contents

1	测量和维护原理	1
	概述 • 电阻和电导率 • 绝缘电阻测量 • 安全 • 维护原理	
2	绝缘电阻测试仪器	11
	概述 • 绝缘电阻测试仪器的类型 • 绝缘电阻测试	
3	利用绝缘电阻测试仪器进行排障	21
	概述 • 电动马达排障 • 电缆和电线装置排障 • 电气开关装置和配电盘排障 • 杂项电气设备排障	
4	绝缘电阻测试的应用	39
	概述 • 新安装设备 • 长期维护 • 排障 • 绝缘电阻测试的好处	
	附录	49
	绝缘电阻排障和预防性维护指导 • 欧姆定律和功率公式 • 电压、电流和阻抗的关系 • 马力公式	
	索引	51



introduction

电气绝缘电阻故障对工业、商业和民用系统的影响涉及到很小的不方便之处到代价昂贵的停工。《绝缘电阻测试》一书介绍了绝缘电阻的质量、监测和排障的基本原理。并详细介绍了在线和便携式绝缘电阻测试设备。书中介绍了常用的绝缘电阻测量，并简要介绍了测量和应用的程序。仿真陈述贯穿于与绝缘电阻原理、安全操作方法、排障技巧、测试仪器应用相关的章节以及所选的章节内容之中。《绝缘电阻测试》一书是和福禄克公司（Fluke Corporation）合作完成的。

本文中包括以下内容：

- 包含有与绝缘电阻测试相关的新技术和设备的图片和图示。
- 个人防护用品的内容，根据的是美国国家消防协会（NFPA）70 E “工作的电气安全要求标准”。在全文中都强调了所需的安全操作方法和常见的工业应用。
- 关于 Fluke 1520 手持兆欧表、1550B 5kV 兆欧表、1587/1577 绝缘多用表和 1507/1503/1508 绝缘测试仪的描述。
- 结合绝缘电阻测试应用的实际案例研究。

《绝缘电阻测试》中的内容定位于一般的绝缘电阻问题。关于电气/电子测试和排障原理的其它信息，在 American Tech 的其它学习材料中做了介绍。

关于相关培训产品的信息，请访问 American Tech 的网站 www.go2atp.com 或致电 1-800-323-3471。

发行人



测量和 维护原理

1

概述

技术人员通过对导体、电气零件、电路和器件进行绝缘电阻测试来达到以下目的：

- 验证生产的电气设备的质量
- 确保电气设备满足规程和标准（安全符合性）
- 确定电气设备性能随时间的变化（预防性维护）
- 确定故障原因（排障）

电阻和电导率

电阻（R）对导体中的电流起阻碍作用。电阻以欧姆来衡量。用希腊字母 Ω 表示欧姆。对于大的电阻值，可以在 Ω 前添加一个前缀形成一个复合单位来表示，例如千欧（k Ω ）或兆欧（M Ω ）。根据欧姆定律，电阻限制着电路中的电子流（电流）。电流用安培（A）来衡量。电阻越大，电子流就越小；同理，电阻越小，电子流就越大。请参见图 1-1。所有的材料对电流都存在一定的电阻。

导体是指具有很小的电阻，使电子能够非常容易通过的材料。大多数金属都是良导体。铜（Cu）是最为常用的导体。银（Ag）是比铜还要好的导体，但是对于大多数的应用来说银太昂贵了。铝（Al）的传导性不如铜，但是成本较低，并且对类似于架空电力线这样的高压应用来说质量比较轻。正是由于这个原因，铝也常被用做为导体。导体可以是电线、电源线或电缆，可以是裸露的、绝缘的或被遮盖起来的。请参见图 1-2。

裸露的导线没有遮盖物或绝缘层。绝缘的导线是电力系统中最为常用的导体。绝缘的导线可以是实心的或多股扭绞的。被遮盖起来的导线的覆盖物没有特定的绝缘额定指标。关于导线的覆盖在美国国家电气规范（NEC®）的第 310 款中做了规定。

大多数电线、电缆和母线都是由铜或铝做成的。在所有用做导体的金属中（银除外），铜对电子流的电阻最小。铜和铝可以弯曲并容易成形，小尺寸时具有很好的柔性，具有多芯的结构。典型的多芯结构为 7 股、19 股或 37 股。

2 绝缘电阻测试

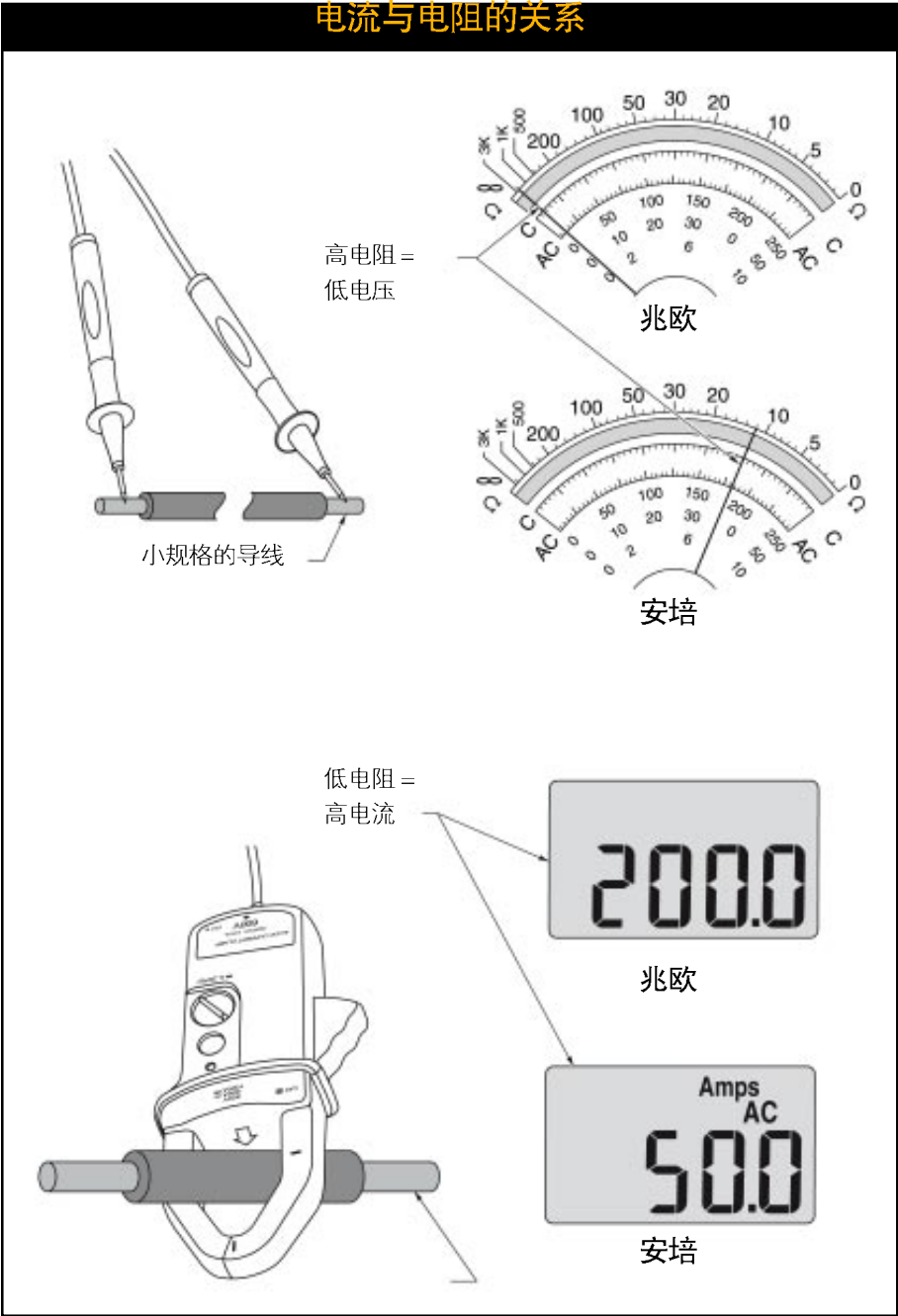


图 1-1.在一个电路中，电阻越大，电流就越小；同理，电阻越小，电路中的电流就越大。

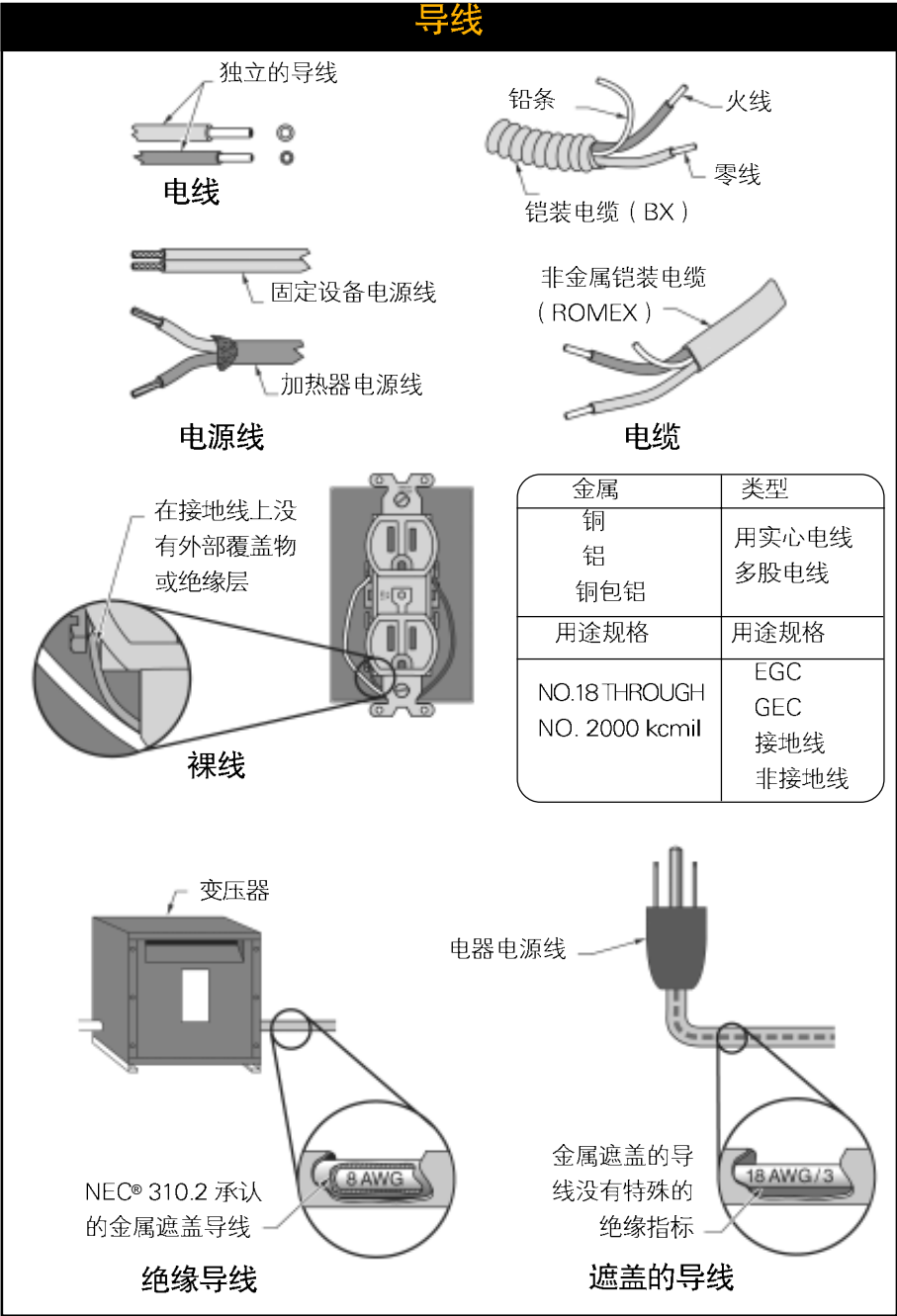


图 1-2. 导线可以是电线、电源线或电缆，可以是裸露的、绝缘的或被遮盖的。

4 绝缘电阻测试

影响导线电阻的因素包括导线的横截面面积、长度、材料和温度。截面面积大的导线比截面面积小的导线电阻要低。导线越长，电阻就越大。较短的导线比相同横截面面积的长导线电阻要低。

铜的传导性优于铝，相同的规格可以承载更大的电流。根据NEC®，除特殊说明之外，所有的导线必须为铜线。温度也会影响导线的电阻：温度越高，电阻越大。

发电和电力输送依赖于电气绝缘的性能。由于能源短缺，所以这点是非常关键的。

绝缘体是指具有非常高电阻的材料。绝缘体阻碍着电子流。常见的绝缘材料包括橡胶、塑料、空气、玻璃和纸。导线的绝缘层按温度额定值分类，有 140°F (60℃)、167°F (75℃)和 194°F (90℃)。请参见图 1-3。所需要的绝缘等级取决于具体的应用。在高压应用中，导线的绝缘特性就必须比较高。

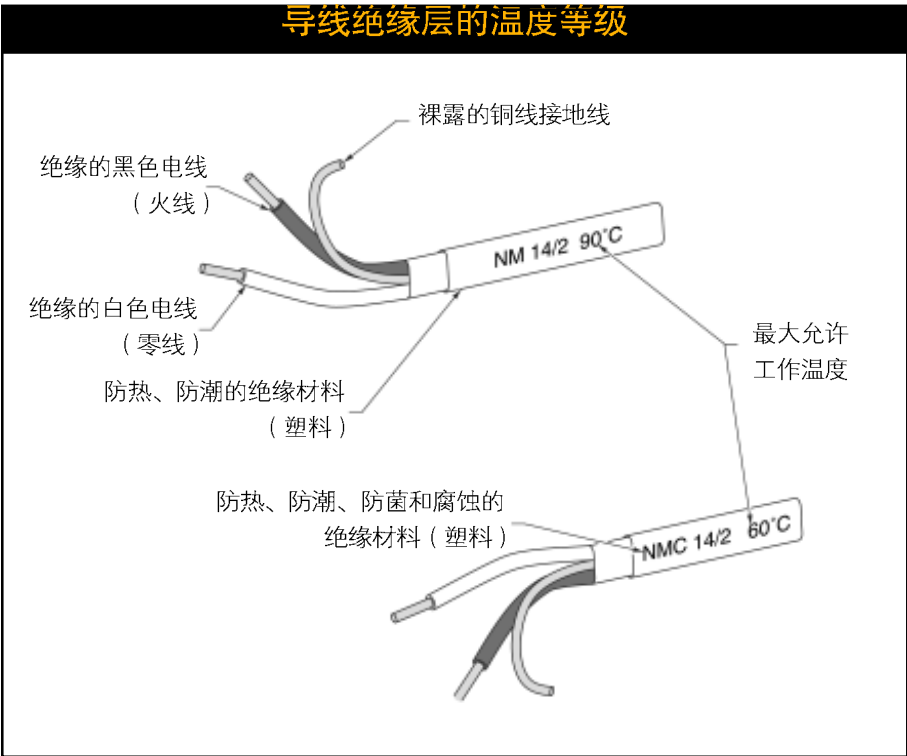


图 1-3. 导线的绝缘层按温度等级进行分类。



在测试绝缘体的完整性时，请务必使用专门设计用于绝缘电阻测量的仪表。

用来绝缘的材料，例如橡胶或塑料，必须具有非常高的电阻。用来传导的材料，例如导线或开关触点，必须具有非常低的电阻。当导体绝缘材料受潮湿的影响而退化 and / 或由于过热而被损伤时，其电阻就会下降。

所有的电导体都必须防止可能接触到其它导体、金属零件和人员。导线的绝缘层能够保护导线免受损伤，并隔离导线内的电能。但是，并不是电路的所有通电部分都有绝缘体的保护。

当电路的通电部分是裸露时，例如当导线连接到保险丝或断路器面板时，距离，或者说是空气间隙，就做为了绝缘体。通电导线或零件之间的距离

越大，电阻就越高；电压越高，建立防止不希望电子流（例如致命的电弧）的电阻所需的空气间隙就越大。

绝缘电阻测量

在开始进行绝缘电阻测试之前，技术人员首先要进行基本的电压、电流和电阻测量。在对设备断电之后，他们使用绝缘电阻测试仪确定马达、变压器和开关装置中绕组或电缆的完整性。被测设备的类型和绝缘电阻测试的目的决定了所需的测量项目。对绝缘材料进行的两种基本绝缘电阻测量是绝缘电阻测量和漏泄电流测量，最终产生一个绝缘电阻值。请参见图 1-4。

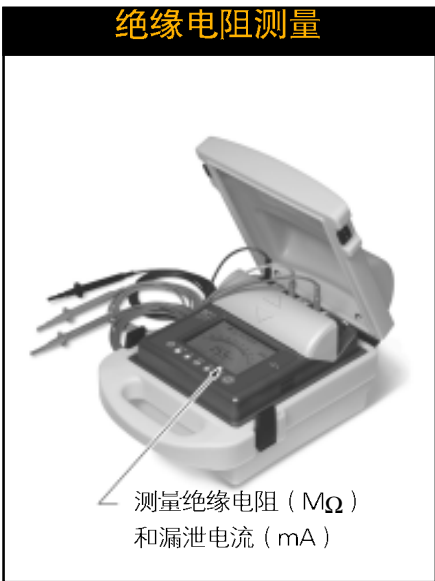


图1-4. 对绝缘材料进行的两种基本测量是绝缘电阻测量和漏泄电流测量。

6 绝缘电阻测试

绝缘体的真实状况是通过利用绝缘电阻测试仪进行绝缘电阻测量确定的。测量是在通电时承载电流的导线和系统中正常工作时无电流流通的其它部分之间进行的。

无论电路、系统或电力负载的规模如何，电导线都是用来提供适当的电压、电流和功率的。导线上的绝缘层用来防止电流流到设计路径之外。没有什么绝缘体可以完全防止电流通过绝缘体流入到地或其它导体。所有的绝缘体都会通过少量的漏泄电流。

一般来说，漏泄电流非常小，不会引起任何故障，可以忽略；除非漏泄电流达到了一定程度，开始引起电击、温度上升或设备损坏。绝缘体的电阻越高，流经绝缘体的漏泄电流就越小。在刚投入使用时，绝缘体的电阻是最高的。

基本上所有的绝缘体都会随时间退化，使得电阻降低。潮湿、极温、灰尘、污垢、油污、振动、污染和其它机械应力或损伤等因素都会引起绝缘体的退化。当空气间隙做为电气部件之间的绝缘体时，由于灰尘和水分的形成，空气间隙的电阻也会随时间而降低。绝缘电阻的突然下降通常是由于物理损伤、环境的突然变化、极温或接触到腐蚀性物质引起的。绝缘电阻的总值取决于

系统中传导性漏泄电流和电容性漏泄电流的大小。

传导性漏泄电流是指流过导线绝缘层的量很小的正常电流。传导性漏泄电流从导线流入到导线，或者从火线流到地。请参见图5。传导性漏泄电流可以根据欧姆定律利用公式确定，或者利用兆欧表进行漏泄电流测量。当绝缘层发生老化或者受破坏性因素的影响时，电阻就会降低。传导性漏泄电流的增加会导致绝缘层的进一步退化。当传导性漏泄电流增加时，导线绝缘层的电阻就会降低。保持绝缘层的清洁和干燥能够保证漏泄电流最小。

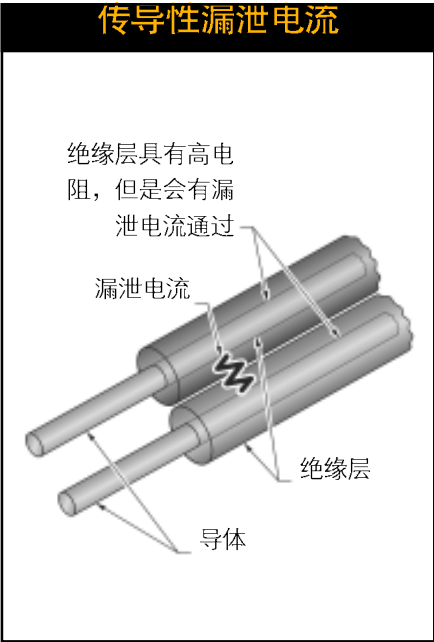


图1-5. 传导性漏泄电流是指流过导线绝缘层的量很小的正常电流。

电容性漏泄电流是指由于电容效应而通过导线绝缘层的电流。请参见图1-6。当两根或多根导线排列在同一根线管中时就会产生这种效应。在直流电路中，当对导线刚施加电压时，会出现电流浪涌，导线的作用就相当于一个电容器，从而发生电容效应。电容是一种用来储存电荷的电子器件。用电介质材料分开的两块金属片就形成了一个电容器。

电介质材料是指具有相对较低的电导率的材料。绝缘体往往被称为电介质材料。距离非常接近的两根导线就形成了一个电容。导线之间的绝缘层就是电介质，导体就是金属片。

在直流电路中，由于电容性漏泄电流仅持续几秒钟即停止，所以承载直流电压的导线一般产生较小的电容性漏泄电流；交流电压会产生持续的电容性漏泄电流，但是可以在整个排列管线中将导线分开使其降至最小。

表面漏泄电流是指从导线上被剥去绝缘层进行电气连接的区域流出的电流。在电路中，导线在不同点利用螺帽绝缘头、接头、平接线片、接线柱以及其它连接固定装置进行连接。被剥去绝缘层的连接点就为表面漏泄电流提供了低阻路径，再加上灰尘和水分，就会产生更大的表面漏泄电流。请参见图1-7。

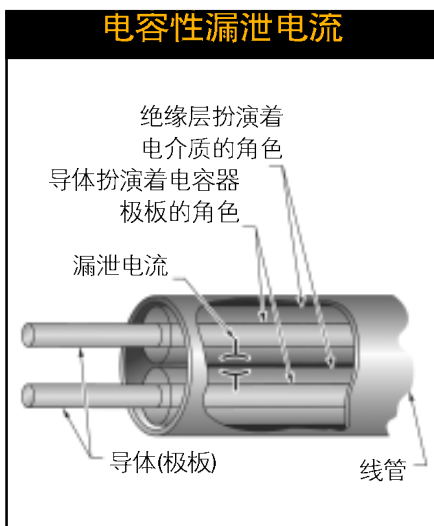


图1-6. 电容性漏泄电流是指当两个或多个导线排列在一个线管中时流过导线绝缘层的电流。

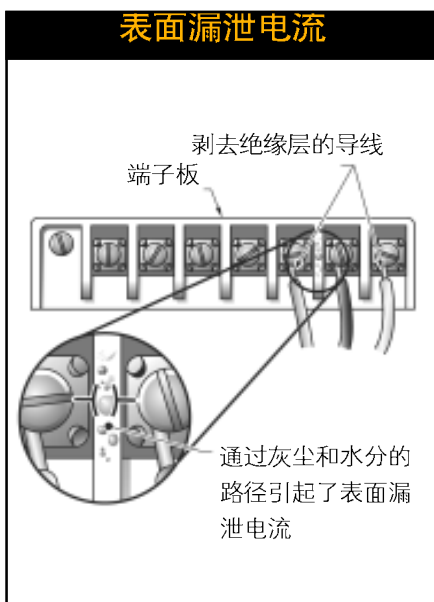


图1-7. 表面漏泄电流是指从导线上被剥去绝缘层进行电气连接的区域流出的电流。

8 绝缘电阻测试

表面漏泄电流会导致连接点热量增加。热量增加又会促使绝缘层的退化，从而使导线变得脆弱。使所有的连接都保持清洁和紧固会使表面漏泄电流最小化。在600 V及以下的系统中，表面漏泄电流是最小的。在中压（1 kV 至 35 kV）应用中，表面漏泄电流即成为了重要的一个因素。

安全性

尽管工作场所的安全性是全体人员的职责，但工作于设备的维护技术员是最清除安全情况的。维护技术员拥有工具、总电闸开关，以及紧急停机和控制装置的相关知识。设备的操作者和车间的其它人员在紧急情况下一般会联络维护技术员。

没有什么测试仪器本身可以保证根本的安全。合适的工作用测试仪器、个人防护用品（PPE）和安全的工作习惯相结合才能提供所需的最大防护。请参见图1-8。关于相应的安全操作，请参考美国国家消防协会（NFPA）70E 第110款“电气安全相关工作的一般要求”和120款“建立电气安全的工作环境”。安全操作包括以下内容：

- 尽可能在不带电的电路上工作
- 采用适当的锁定/标记程序
- 假设所有的被测电路是带电的

在带电的电路上，使用适当的个人防护用品和安全工具，例如双绝缘工具。穿戴防护服、护目镜（带防护罩）、带皮革保护的橡胶绝缘手套、耳塞，以及带弧形面罩的防护帽。



图 1-8. 个人防护用品包括防护服、头部、眼睛、耳朵、手和脚、背部、膝部防护用品，以及橡胶绝缘垫。

另外，如果可能的话，请摘掉所有首饰，并站在橡胶绝缘垫上。

在带电电路上测量电压时，请采用以下的步骤：

1. 连接地线。
2. 连接上火线。
3. 拆下火线。
4. 移开地线。

尽量避免手持仪表，使个人最小程度上暴露于瞬态电压的影响之下。（尽可能使用附带的倾斜支架或悬挂带来固定仪表。）

在检查电路是否开路、短路、锁死时，请采用以下的步骤：

1. 测试一个已知的带电电路。
2. 测试目标电路。
3. 再次测试已知的带电电路，验证在测量目标电路前后仪表都工作正常。

保持将一只手放在口袋中，降低通过胸部和心脏形成闭合回路的机会。

在进行绝缘和电阻测试时，请注意以下事项：

- 请勿将绝缘测试仪连接到带电导体或带电设备，并严格遵守制造商的建议。
- 通过开路保险、开关或断路器关闭被测设备。锁定并标记被测设备。
- 从被测单元断开支路导线、接地导线，以及所有其它设备。

- 在测试前后，分别对导体电容进行放电。
- 检查去激励电路中所有通过保险丝、开关装置和断路器的漏泄电流。漏泄电流会导致读数不一致和错误。
- 由于在绝缘被损坏时仪器会产生电弧，因此请勿在危险或爆炸性气体环境中使用绝缘电阻测试仪。
- 请勿在电子器件上使用绝缘电阻测试仪。
- 在连接测试线时请使用有皮革防护的绝缘橡胶手套。

NFPA 70E，工作场所的电气安全要求标准，要求每位员工都要进行电弧伤害评估。在工作场所中，不带穿戴危害等级低于规定等级的外衣。在NFPA 70E第110.7(F)款“电气安全程序，伤害/风险评估程序”中覆盖了电气伤害的评估。

维护原理

维护技术人员利用类似于绝缘电阻测试这样的测试来使设备失灵或故障的几率最小，并使生产效率最大化。通过在承载电流的导线和接地导线之间进行高压绝缘电阻测试，维护人员可以消除存在危险的短路或对地短路的可能性。这种测试一般在新安装设备或翻新设备后进行测试。这一程序将会避免系统中存在接线错误和缺陷设备，保证高质量的安装，防止发生电

击或设备引起火灾。绝缘电阻测试仪还被用做预防性维护工具。随着时间的推移，电气系统会受各种各样环境因素（灰尘、热量、污染、振动，等等）的影响，这些因素会引起绝缘层的退化。对绝缘电阻值进行例行监测，能够提供关于绝缘退化状态的信息，而绝缘的退化会引起设备故障、电气火

灾和系统停工。监测绝缘的完整性可以确保及时维修或更换设备。为了实现设备短期和长期的高效运转，就需要将绝缘电阻测试程序包含到全面的维护程序之中。绝缘电阻测试已经成为了电气设备维护的重要部分。工厂中所需的维护类型是根据工厂中的设备和功能分类的。请参见图1-9。

维护的类型	
预防性维护	为了使设备保持峰值工作状态，将定期维护和不定期维护相结合进行维护，缩写为PM。
预测性维护	根据预先确定的容差监测磨损状况和设备特性，预测可能发生的故障，缩写为PDM。
不定期维护	为了补救经过定期维护的设备发生意料之外的故障而进行的工作。发工作单来维修发生故障的设备
应急工作	对没有经过定期维护的设备所做的工作，例如清洁和润滑油。用于便宜的设备和对工厂的运行不太关键的设备。如果用在错误的设备上，代价是非常昂贵的。
停工检修	对没有经过定期维护的设备所做的工作，例如清洁和润滑油。用于便宜的设备和对工厂的运行不太关键的设备。如果用在错误的设备上，代价是非常昂贵的。
Periodic 定期维护	以特定的间隔进行的工作，用来防止停工和生产效率低下，根据时间确定计划，例如每天、每周、每月、每季度，或设备每工作几小时。任务包括设备检查、定期检查润滑油、调整设备和更换零件、检查运行设备的电气、水压和机械系统。在全年中对一个或几个设备进行定期维护。
补救工作	在发生停工之间维修已知的故障。通常在进行定期维护或其它维护时发现故障。在完成补救工作后，要在PM系统中记录包括使用的电源、完成的工作、故障的原因、完成工作需要的费用和时间等数据。
项目工作	和一般的维护任务相比，需要提前计划和更多时间的工作或长期项目。项目工作包括改造或修改设备、结构翻新或安装新设备

图 1-9. 测试工作的类型和维护分类。



绝缘电阻 测试仪器

2

概述

绝缘电阻测试是利用特殊的测试仪器来完成的。最常用的测试仪器就是兆欧表，但是其它类型的仪器亦可用来检查不同绝缘类型的完整性。电阻测试可分为设计、生产、验收、验证、预防测试和故障定位。

绝缘电阻测试仪的类型

绝缘电阻测试仪器在现场一般被分类为绝缘电阻测试仪。这类中的一些测试仪器是多功能的，除了绝缘电阻测试之外，还可用来进行其它测量。尽管在过去使用专用的兆欧表，但是利用数字多用表（DMM）、兆欧表、绝缘测试多用表或耐压测试仪可以完成绝大多数的绝缘测试测量。所有的这些仪器都具有不同的名称，但都可以被称为绝缘电阻测试仪。

欧姆表

欧姆表是用来测量电阻的测试仪器。请参见图2-1。电阻（R）阻碍着导体中电子的流动。电阻用欧姆来衡量（ Ω ）。

较大的电阻值则利用前缀的方法来标识，例如千欧（ $k\Omega$ ）和兆欧（ $M\Omega$ ）。在固定式测试仪器和仪表上，电阻测量被显示为 Ω 、 $k\Omega$ 和 $M\Omega$ 。使用前缀可以减少读数中零的数量，从而简化测量结果的显示。

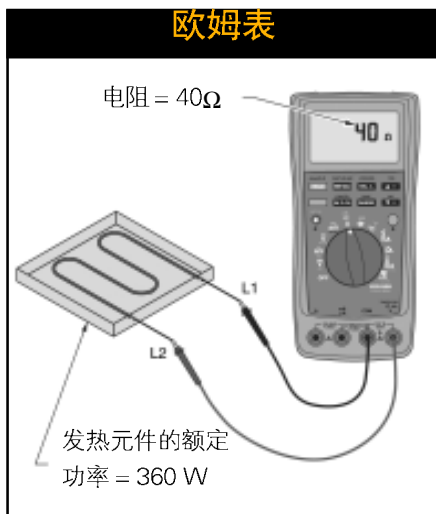


图2-1. 利用欧姆表测量绝缘电阻。

欧姆表测量的是去激励电路或器件的电阻值。由于测试仪器（设置为电阻测量）有内部电池给测试线和被测器件提供电压，因此不需要给电路或元件加电。所有的电阻测量都必须在去激励电路上进行。当电路中含有电容器

时，在读取电路的任何电阻读数之前，都必须对电容进行放电。

数字多用表欧姆表测量的是去激励电路或器件的电阻值。由于测试仪器（设置为电阻测量）有内部电池给测试线 and 被测器件提供电压，因此不需要给电路或元件加电。所有的电阻测量都必须在去激励电路上进行。当电路中含有电容器时，在读取电路的任何电阻读数之前，都必须对电容进行放电。

数字多用表

数字多用表（DMM）是可以测量两种或多种电气参数，并可以将测量结果

显示为数字值的仪表。DMM至少可以测量电压、电流、电容和电阻。请参见图2-2。比较高级的DMM或专用的型号还可以测量温度、频率和电导率，并可以随时采集数据。大多数数字多用表仅能够测量最大 50 MΩ 的电阻。在排障中，如果需要进行不同类型的测量，多用表就非常有用。例如测量由于熔断保险丝引起的功率损耗、过载电路的电流，以及被损坏绝缘层或器件的电阻。

在利用数字多用表进行绝缘测试时，使用的是9 V的直流电源。绝缘测试所使用的电源电压应该高于工作电压。



图2-2. 数字多用表可以测量电压、电流、电容、温度和电阻。

兆欧表

兆欧表是通过在高压测试条件下测量高电阻来测量绝缘退化状况的高电阻兆欧表。兆欧表可以是电池供电、交流供电或是手摇供电的。请参见图2-3。

兆欧表的测试电压从50V到5000V。兆欧表可以检测到由于水分、灰尘、热、冷、腐蚀性物质、振动以及老化等因素引起的绝缘退化故障或潜在的故障。

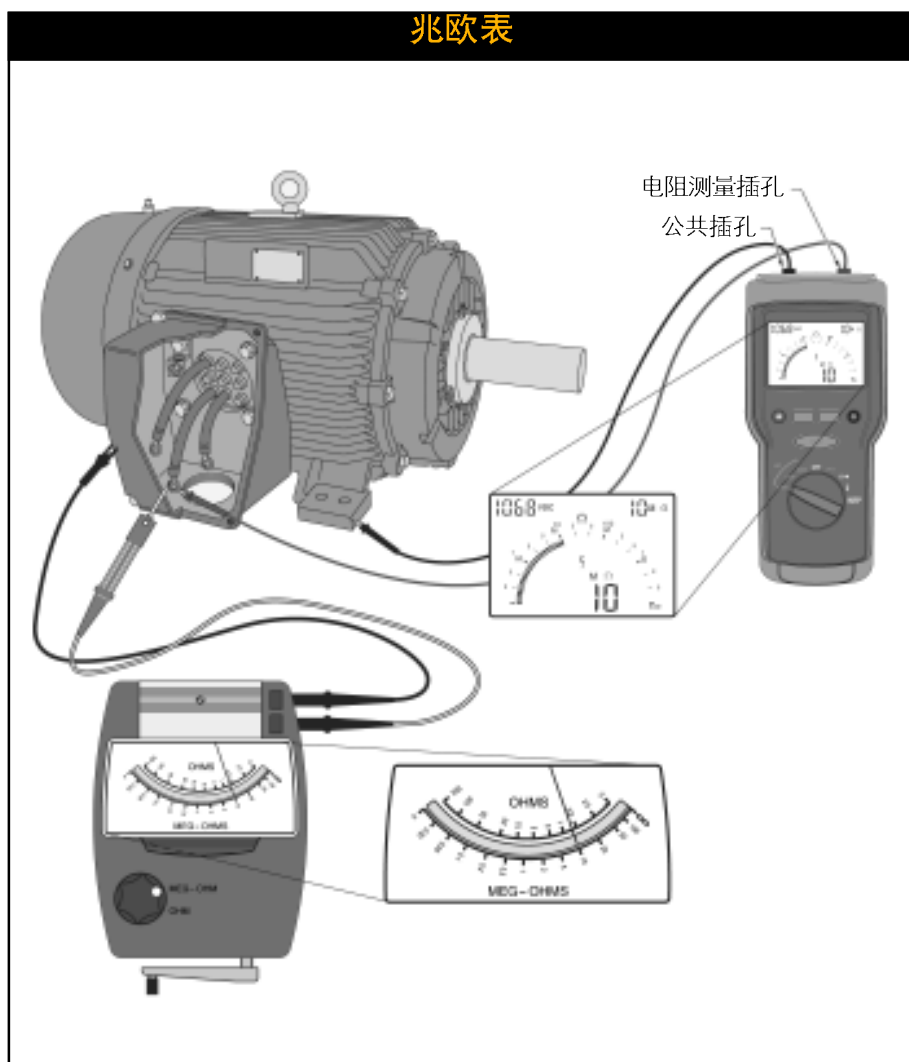


图2-3. 兆欧表有电池供电的也有手摇供电的。

14 绝缘电阻测试

手持式兆欧表设计用于中、低电压，一般用于现场应用，用来测试电力线路和马达绕组的绝缘。请参见图2-4。这种类型的兆欧表也被用来检查通断性，或进行接地连接测试。

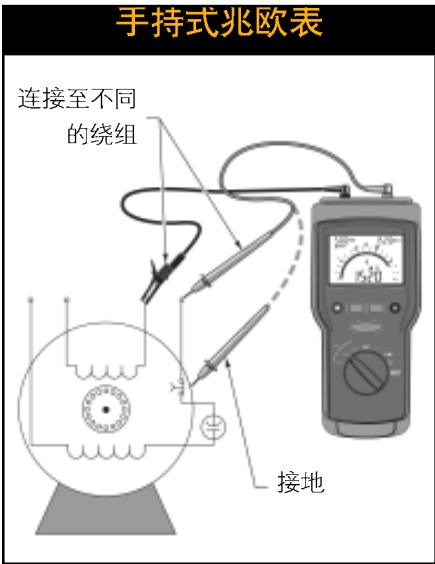


图2-4. 手持式兆欧表设计用于中、低电压，一般用于现场应用，用来测试电力线路和马达绕组的绝缘。

手持式兆欧表具有紧凑的尺寸，提供倾斜支架和挂带，多功能（可测试高达4000 M Ω 的绝缘电阻和高达1000 V的电压），电池可供使用5000个测试循环，并内置有安全功能，例如电压自动放电（防止被测系统中残留电压引起电击）。如果被连接到高于30 V的带电电路，手持式兆欧表还可以自动从电阻功能切换到电压测试功能。

5 kV 的兆欧表设计用于高压应用，一般用于新安装设备的绝缘电阻测试，例如开关装置、马达、发电机和电缆。测试是通过施加高达5000 V的直流电压来完成的。

所进行的绝缘电阻测试为漏泄电流测量和绝缘材料的绝缘强度。安装时的测试能够确保绝缘处于足够好的状态，可以开始工作，并为将来的测试提供基础读数。5 kV 的兆欧表还被用于预防性维护程序，检查马达绕组的完整性和故障率。请参见图2-5。



图2-5. 5 kV 的兆欧表被用于预防性维护程序，检查马达绕组的完整性和故障率。

一些绝缘层（例如至分支电路的导线上用的绝缘层）是非常厚的，不容易损坏。其它绝缘层（例如在马达绕组上用的绝缘层）就非常薄，很容易击穿。兆欧表被用来检查马达绕组中导线的绝缘击穿。

5 kV 的型号提供了配合维护程序使用的接口软件、一个可供使用 2500 次测试的可充电电池、模拟条状图和数字显示读数，以及用来保存测试参数的 99 个存储单元。尽管 5 kV 型号的兆欧表比手持式兆欧表体积较大，但是它常被用于现场和台式应用中。

钳式安培计

钳式安培计是通过将一根导线夹住来测量磁场的强度，从而测量电路中电流的测试设备。请参见图2-6。钳式安培计用颌口夹住被测量的导线。钳式安培计只有可以测量交流或交流和直流的型号。大多数钳式安培计包括测量交流电压、直流电压和电阻的功能。

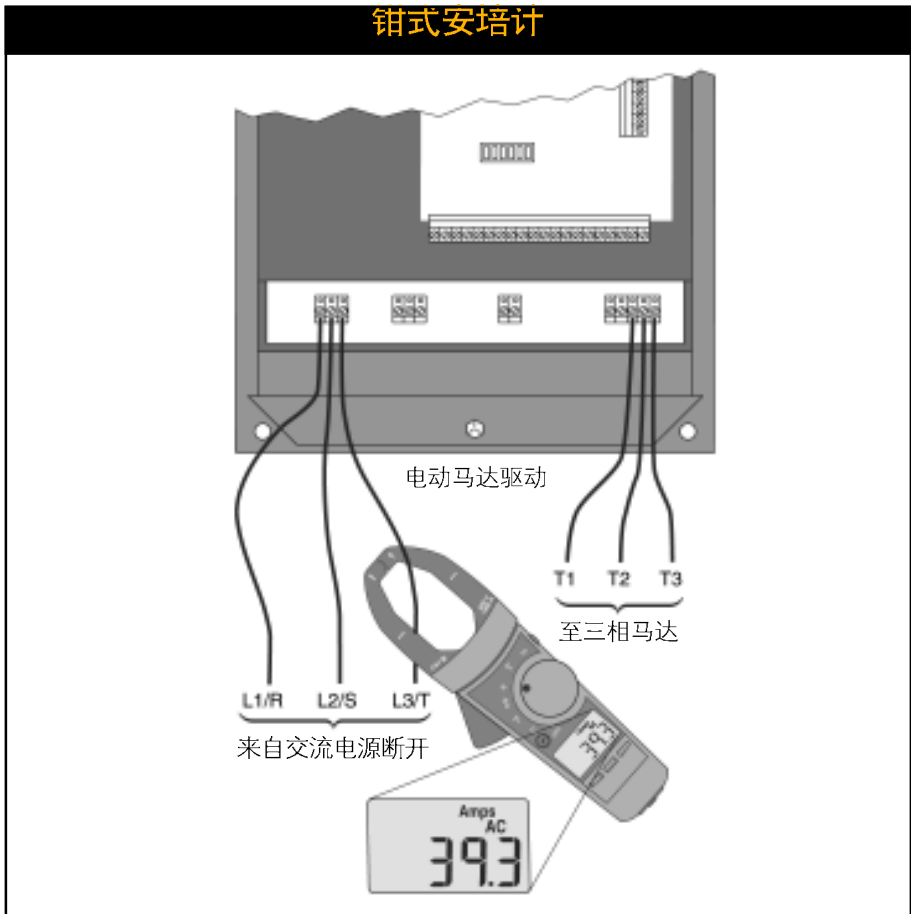


图2-6. 钳式安培计是通过将一根导线夹住来测量磁场的强度，从而测量电路中电流的测试设备。

绝缘多用表

绝缘多用表(Imm)是结合了数字多用表(DMM)的功能和绝缘电阻测试功能的多功能仪表。绝缘多用表一般设计用于0.1MΩ至600 MΩ的范围,并可以进行电压、电流、电阻和通断性测量。高级的型号可用于0.01MΩ至2GΩ的范围,并可以进行其它测量,包括频率、电容、绝缘电阻平滑(信号降噪)和温度。绝缘多用表可用于马达、发电机、电缆和开关装置。请参见图2-7。



绝缘多用表用来检查电气开关和相关设备上绝缘的完整性。

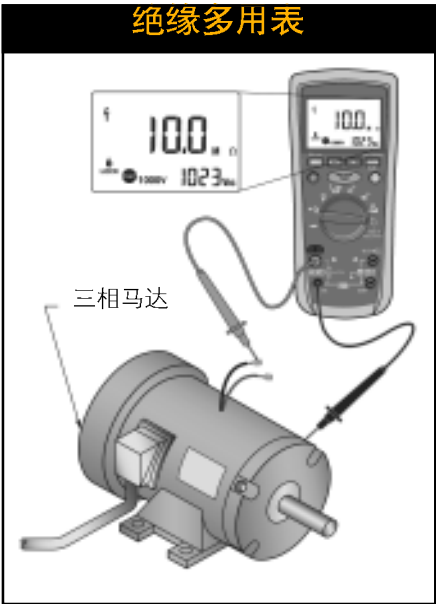


图2-7. 绝缘多用表可用于马达、发电机、电缆和开关装置。

耐压测试仪

耐压测试仪是通过测量漏泄电流来测量绝缘电阻的测试仪器。耐压测试仪通过在两个不同的导体之间或者在导体和地之间施加一定的高压,并测量漏泄电流,从而测试绝缘状况,并不是直接测试绝缘电阻。请参见图2-8。耐压测试几乎总是施加比电缆或被测设备的工作电压高几倍的测试电压。耐压测试仪常被用来测试绝缘材料的绝缘强度。也可以利用5 kV的兆欧表进行耐压测试。

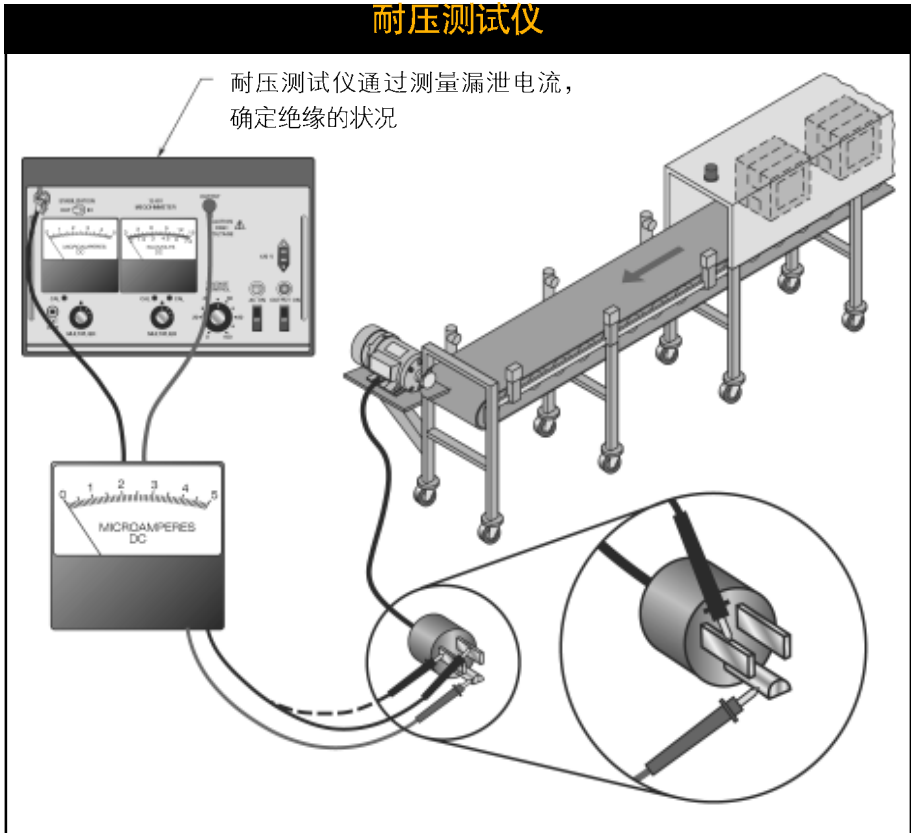


图2-8. 耐压测试仪通过在两个不同的导体之间或者在导体和地之间施加一定的高压,并测量漏泄电流,从而测试绝缘状况,并不是直接测试绝缘电阻。

绝缘电阻测试

之所以要测量导线、电气零件、电路和器件的绝缘电阻,有几个方面的原因。利用绝缘电阻测试可以验证制造的电气装置的质量控制,确保电气装置满足规范和标准(安全符合性),确定器件性能随时间的变化(预防性维护),并确定故障的原因(排障)。所使用的

测试仪器取决于所需的测试类型。请参见图2-9。电阻测试分为以下几种测试类型:设计、生产、验收、验证、预防性维护和故障定位。

绝缘退化是由于热量、电气、环境和机械应力而引起的,并且热量是绝缘退化的最常见原因。和仅仅发生一个应力因素相比较,如果同时发生多个应力因素,绝缘就会快速退化。

测试仪器	测试项目
兆欧表	绝缘电阻
数字多用表	电压、电流、电容、绝缘电阻、温度
兆欧表	绝缘电阻、通断性、接地电阻
钳式安培计	电流、电压
绝缘多用表	电压、电流、绝缘电阻、通断性、频率、电容、绝缘电阻平滑、温度
耐压测试仪	漏泄电流、绝缘介电强度

图 2-9. 根据所需的绝缘测试类型，可使用不同的测试仪器。

设计测试

设计测试一般用于在实验室中确定电气器件的性能。设计测试通常是由制造商对新设计的器件或是从其它公司外购的、用于产品设计之中的器件进行测试。设计测试检查的是器件是否有故障。在制造任何产品之前都要进行绝缘电阻测试。

在测试绝缘时，对每一器件施加高压，直到器件的绝缘发生故障，产生的漏泄电流高于可接受的电流。不仅在第一次设计产品时要进行设计测试，而且只要对产品进行修改，都要进行测试。许多器件故障都可被追溯到所使用的替代零件的故障，而之所以使用替代零件往往是由于削减成本或由于供货商的变化造成的。

生产测试

为了确保在实验室工作正常的产品在

生产之后仍然工作正常，就必须对每个产品进行生产测试。生产测试由制造商进行，以满足规范和标准的要求，并保证质量的控制。在新产品和设备投入使用之前，对其进行绝缘电阻测试。在生产测试中，产品缺陷一般就会显露出来。生产测试可以是非破坏性的或破坏性的。独立的测试实验室在签发认证之前，也会对产品进行首次测试。后续产品认证需要产品安全性和可靠性的证明文件。

验收测试

验收测试由安装者在完成安装之后，但是在系统投入使用之前进行。验收测试包括绝缘电阻测试，以检查是否有设备损坏、电缆损伤，电气器件之间的间距是否合适和牢固性，以及储存、运输和安装是否导致产品损坏。



利用兆欧表对设备绝缘进行预防性维护测试。

验证测试

验证测试用来在设备投入使用之后保证设备和电路的安全性和正常工作。

一般在设备或电路完全投入使用较短的时间之后,并在出质保期或担保期之前,进行验证测试。

在验证测试中利用绝缘电阻测试来检查以下情况:

- 在设计时没有考虑到的其它额外系统负载。一般情况下,将超过预期的负载增加到电气系统中。
- 在系统中增加会产生无法预料故障的负载类型。负载的类型包括产生谐波的负载,以及产生高的突入电流和瞬态信号的负载。
- 没有考虑到的环境变化。环境的变化包括温度的增高、污垢、灰尘、腐

蚀性材料和管理不善。

预防性维护测试

许多工厂都把对设备进行绝缘电阻和导线测试做为其整体预防性维护程序的一部分。导线绝缘层的状况是设备和电气系统总体状况的一个很好的指示。好的预防性维护程序可以在故障造成停工之前检测到并消除故障。

必须对失效的绝缘进行维修,以确保系统不会在不适当的时候发生故障。一般而言,所有的系统在长时间工作后,其导线的绝缘层质量都会以可预测的速率退化。通过定期进行绝缘电阻测量,即可避免导线绝缘层故障(或预期寿命)。

在检查旋转式设备(例如马达)的绝缘时,应该参考ASTM(美国材料和试验协会)国际标准D149-81,“固体电绝缘材料在工业电源频率下的介电击穿电压和介电强度的试验方法”。

故障定位测试

即使制造的设备是高指标的、安装合适、规格正确,并进行预防性维护测试,但是仍然需要故障定位测试,因为设备依然会发生故障。故障通常是由某个故障电路中脆弱或损坏的零件引起的。

当一个器件、设备、电路或系统发生故障时，就会利用绝缘电阻测试来定位故障。利用绝缘电阻测试来排障需要具备设备、电路和测试仪器的知识。



利用绝缘电阻测试仪器 进行排障



概述

排障程序包括对设备进行系统的测试，要针对识别和纠正故障设计测试程序。技术员必须收集信息，并利用测试来识别故障和制定相应的解决方案。以下制定的排障程序确保了故障的识别和快速纠正，使设备和生产损失降至最低。一致的工作实践也会产生一致的测量结果，可以更加准确地比较和跟踪随参数时间的变化。

在使用数字多用表 (DMM)、绝缘多用表或兆欧表进行测量时，为了达到精确地低阻测量结果，应将测试线的电阻从总电阻中减去。测试线的电阻一般介于 0.2Ω 和 0.5Ω 之间。

电动马达的排障

在对电动马达和相关设备进行排障时会进行绝缘电阻测试。IEEE 标准 43-2000“旋转式设备绝缘电阻测试的推荐操作规程”建议了施加的绝缘测试电压（根据绕组的额定功率）和电动马达绕组的最小可接收值。IEEE 还

提供了进行绝缘电阻测试时所施加的直流电压的一般制导原则。

为了获得有意义的绝缘电阻测量结果，技术人员应该仔细检查被测系统。当满足以下条件时，可获得最佳的结果：

- 将系统或设备关闭，并与其它所有电路、开关装置、电容、碳刷、避雷器和断路器保持断开。确保测量不受通过开关和过流保护装置的漏泄电流的影响。
- 导体的温度要高于环境空气的露点。如果不是这样，就会在绝缘层表面形成湿气覆层，在某些情况下就会被材料所吸收。
- 导体的表面没有碳氢化合物和其它在潮湿环境下能够导电的杂质。
- 施加的电压不能高于系统的承受能力。在测试低压系统时，太多的电压会超过绝缘的承受能力，损害绝缘。
- 被测系统要对地完全放电。对地放电时间应该大约为测试充电时间的 5 倍。

22 绝缘电阻测试

- 要考虑温度的影响。由于绝缘电阻与绝缘体温度成反比（当温度上升时绝缘电阻下降），如果绝缘材料的温度发生变化，记录的读数也会发生变化。建议在标准的导体温度 68°F (20°C) 下进行测试。

在将读数与 68°F 下的基准温度相比较时，超过 68°F 时，每 18°F (10°C) 将电阻值翻倍；低于 68°F 时，每 18°F 将电阻值减半。例如，在 104°F (40°C) 时 1 MΩ 的电阻，换算到 18°F (20°F) 下，就为 4 MΩ。

为了测量马达绕组的温度，可以使用连接到数字多用表 (DMM) 的非接触式温度探头或者红外测温仪。请参见图 3-1。



绝缘多用表可用来在重新缠绕导线之前检查导线段之间的绝缘完整性。

尽管在实际应用中使用的绝缘材料可以是固体、液体或气体，但电阻测量一般指固体绝缘电阻测量。影响绝缘电阻测量的因素有材料的不均匀性、测试对象的加电时间周期、电压的幅值和极性、建立电荷所需的时间、材料衰变和样品的轮廓。

在对电动机进行排障时，要进行几种不同类型的绝缘电阻测试。这些测试包括绝缘抽查测试、介质吸收测试和绝缘步进电压测试。

绝缘抽查测试

绝缘抽查测试是指可用于在马达的使用寿命内验证绝缘状态的绝缘电阻测试。请参见图 3-2。

应该定期（例如每6个月）进行抽查测试，跟踪绝缘完整性的变化。在对马达进行维修之后，也应该进行测试。可以在标明时间的测试曲线图上记录测量数据。

请按照以下步骤进行绝缘抽查测试：

1. 连接兆欧表，测量每一绕组导线的对地电阻。60 秒钟后记录读数。
2. 对马达绕组进行放电。
3. 定期重复步骤 1 和 2。

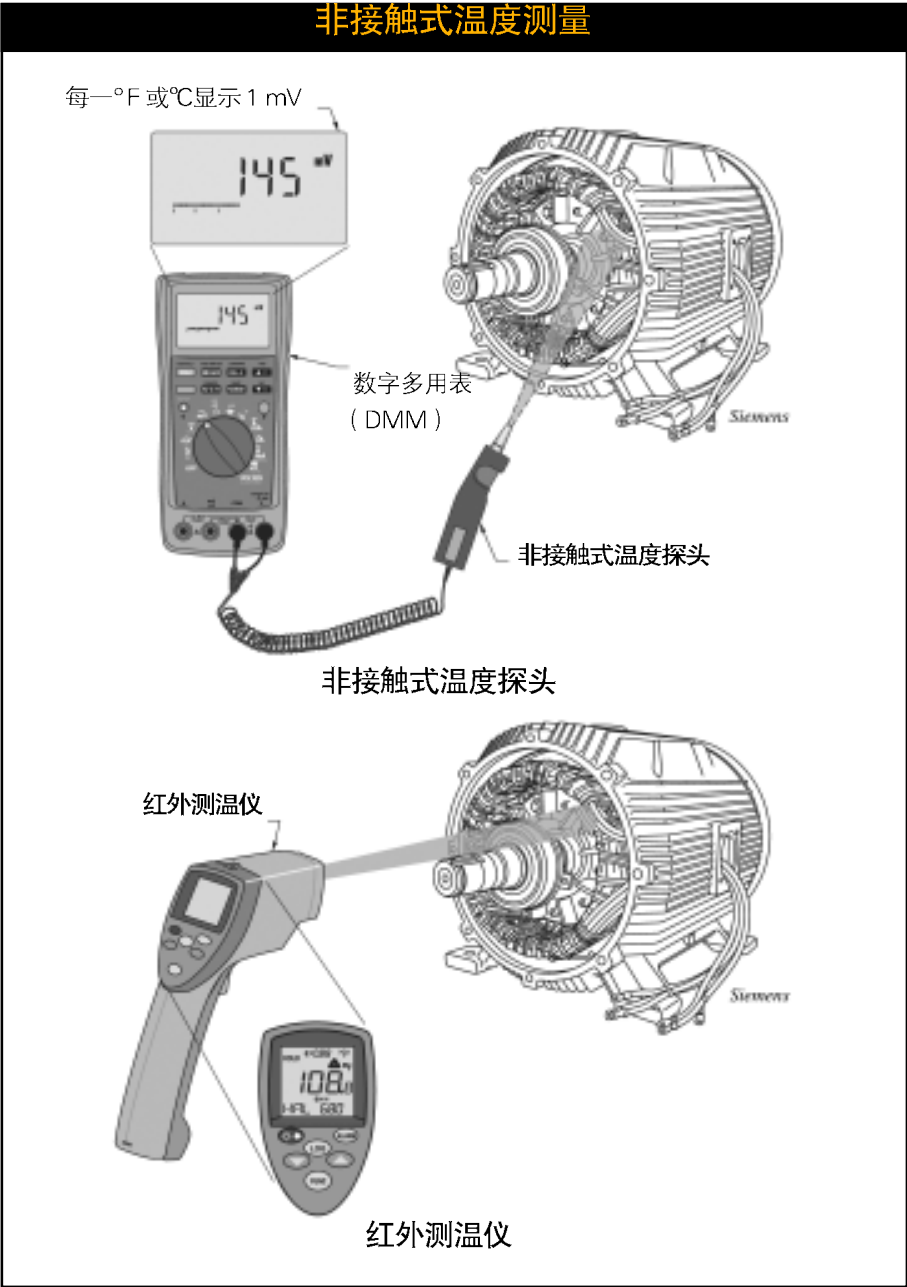


图 3-1. 利用连接到数字多用表 (DMM) 的非接触式温度探头或红外测温仪测量马达绕组的温度。

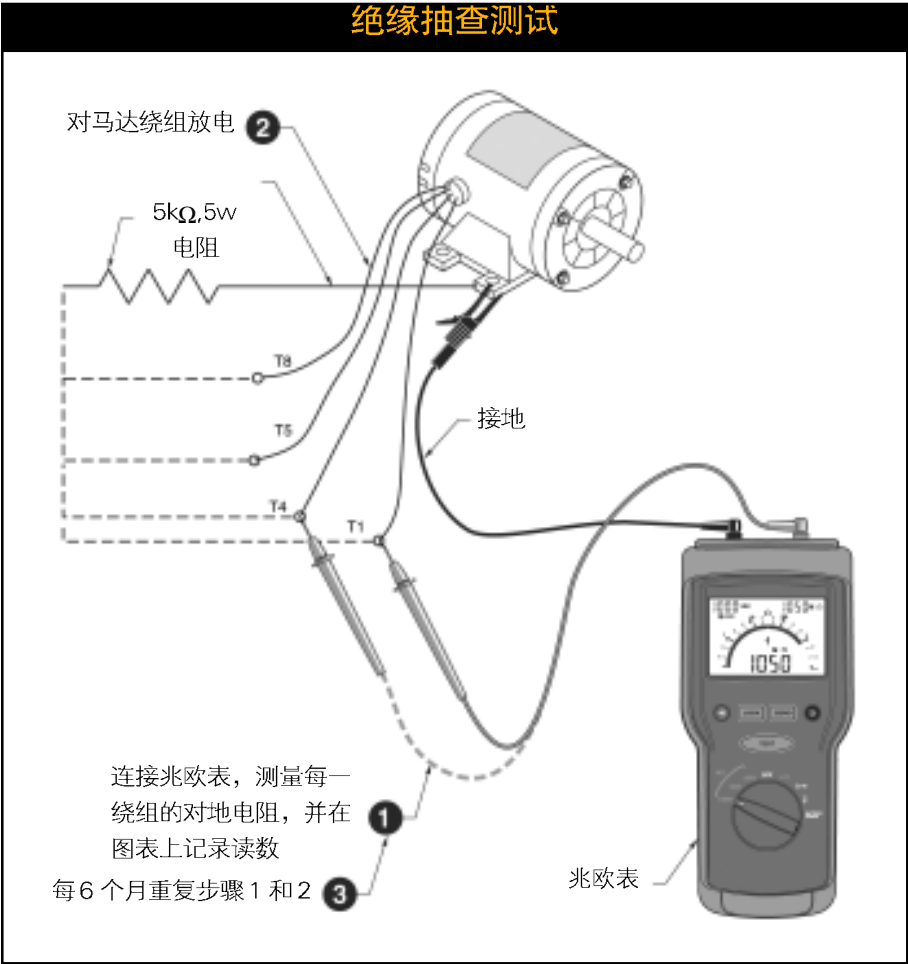


图 3-2. 绝缘抽查测试是指在马达的寿命周期内检查马达绝缘状态的测试。

分析测试图表的结果，确定绝缘的状态。请参见图 3-3。A 点代表马达投入使用时的绝缘状态；B 点表示老化、污染等因素对马达绝缘的影响；C 点表示绝缘发生故障。D 点表示重新缠绕后马达的绝缘状态。如果所有的读数都

高于可接收的最低电阻值，则在绝缘抽查测试曲线图中记录最小的仪表读数。如果读数不能满足可接收的最小电阻值，则需要维修马达。由于马达的性能受限于最薄弱的环节，所以仅使用最小的读数。

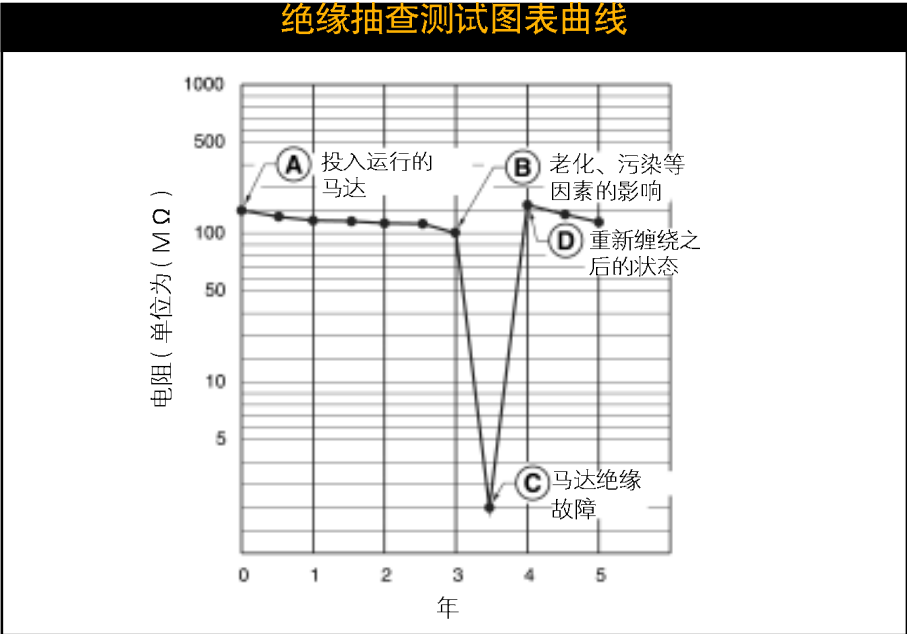


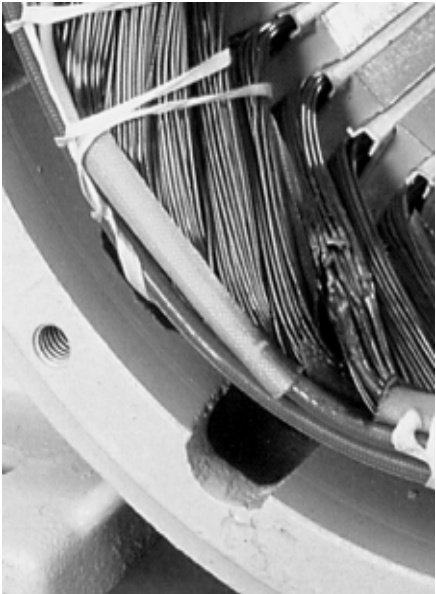
图 3-3. 在标明时间的测试曲线图上记录测量数据。

介质吸收测试

介质吸收测试是指检查潮湿或被污染的绝缘材料的吸收特性的绝缘电阻测试。测试是在10分钟的周期内进行的。请参见图 3-4。

请按以下步骤进行介质吸收测试：

1. 连接兆欧表，测量每一绕组导线的对地电阻。如果所有的读数都高于可接收的最小电阻值，就在介质吸收测试图上记录最小的仪表读数。在第一分钟的时间内，每 10 秒钟记录一次读数，然后每 10 分钟记录一次读数。
2. 对马达绕组进行放电。



兆欧表可用来测试有缺陷的马达绕组绝缘。

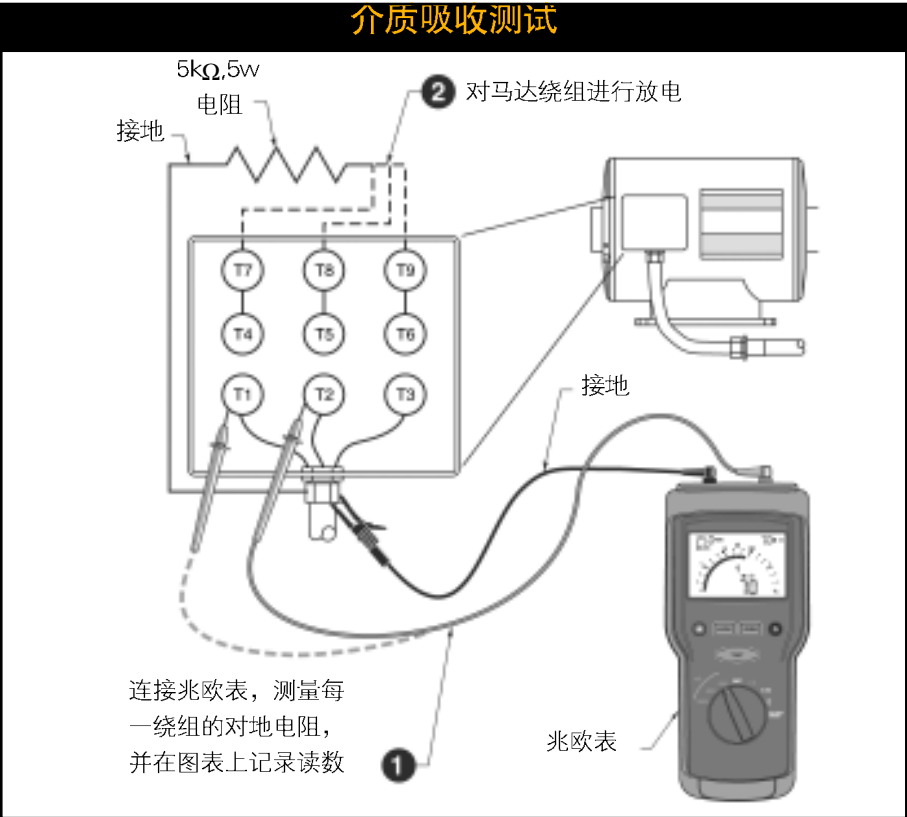


图 3-4. 介质吸收测试是指检查潮湿或被污染的绝缘材料的吸收特性的绝缘电阻测试。

分析测试图表的结果，确定绝缘的状态。请参见图 3-5。曲线的斜率说明了绝缘的状态。良好的绝缘（曲线A）表现为电阻值的连续增长。潮湿的或破裂的绝缘层（曲线B）表现为相对恒定的电阻。如果读数不能满足可接收的最小电阻，则需要维修马达。

极化指标是设备绕组的绝缘电阻之比，由 10 分钟测量值被 1 分钟的测量

值除计算得到。极化指标是绝缘状态的一个指示。低的极化指标（一般为 1.5 或更低）表明过于潮湿或污染严重。不同的绝缘等级具有不同的最小可接收极化指标值。请参见图3-6。绝缘等级是基于设施的连续工作温度的。例如，A 级绝缘等级的最大工作温度为 212°F，B 级为 248°F，F 级为 293°F，H 级为 329°F。

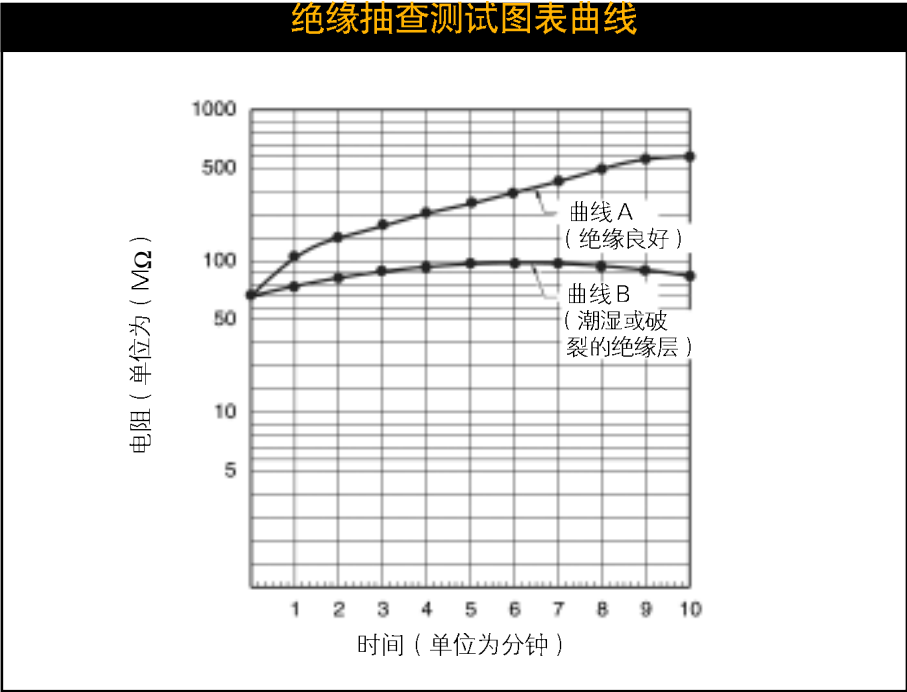


图 3-5. 在标有时间的测试曲线图上记录介质吸收测试测试数据。

最小可接收极化指标值	
绝缘等级	指标值
A 级	1.5
B 级	2.0
F 级	2.0
H 级	2.0

图 3-6. 不同的绝缘等级具有不同的最小可接收极化指标值

IEEE 标准 43-2000 “旋转式设备绝缘电阻测试的推荐操作规程”覆盖了极化指标测试的测量方法。

MΩ，10 分钟的读数为 90 MΩ，极化指标则为 1.125 ($90\text{M}\Omega \div 80\text{M}\Omega = 1.125$)。由于绝缘材料含有过多的水分或污染严重，极化指标低于最低可接收值。

绝缘步进电压测试

绝缘步进电压测试是指逐渐增加内部绝缘材料的电应力来揭露在其它绝缘测试中没有发现的老化或损伤现象的测试。这项测试是在两种或更多电压下进行并将测试结果相比较来完成的。只有在绝缘抽查测试之后才进行绝缘步进电压测试。请参见图 3-7。

例如，如果B级绝缘的1分钟读数为80

请按照以下步骤进行绝缘步进电压测试：

1. 将兆欧表设置为 500 V，并建立连接，测试每一绕组导线的对地电阻。每一电阻读数都在 60 秒后读取。记录最低的读数。

2. 将仪表测试线连接到具有最低读数的绕组。

3. 从 1000 V 开始，以 500 V 的增量增大兆欧表的设置，直到系统中马达的高端电压。在 60 秒钟后记录每一读数。

4. 对马达绕组进行放电。

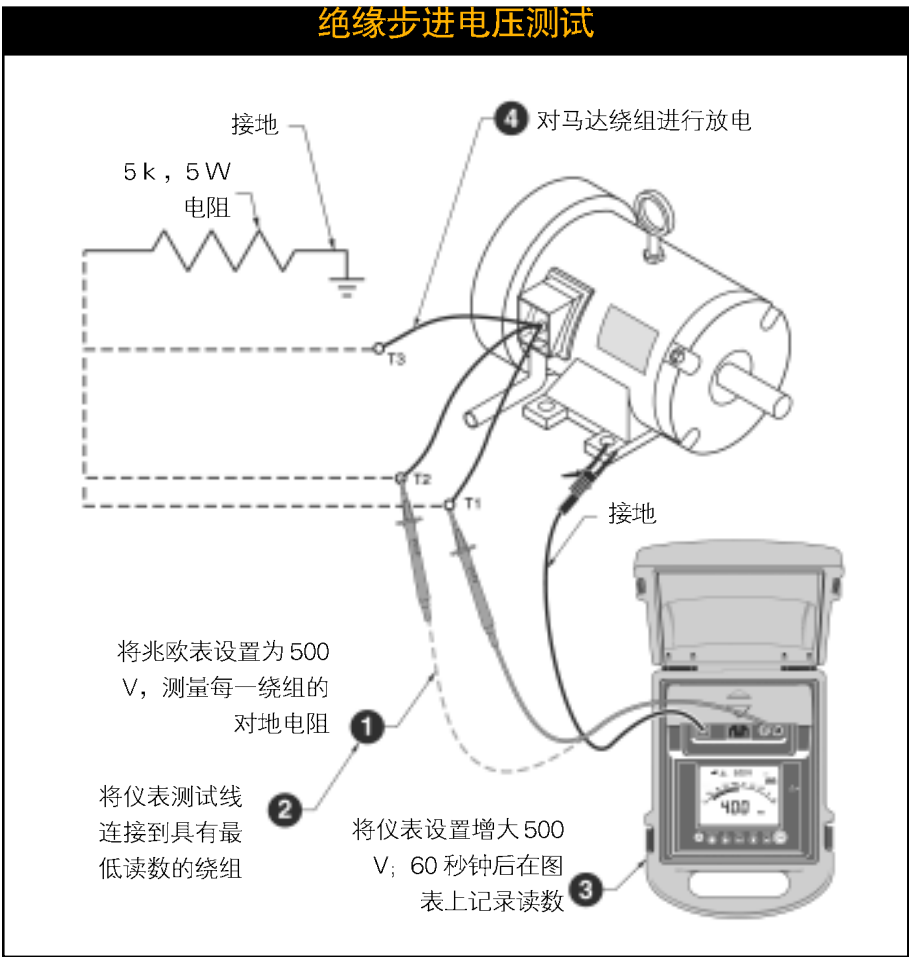


图3-7. 绝缘步进电压测试是指逐渐增加内部绝缘材料的电应力来揭露在其它马达绝缘测试中没有发现的老化或损伤现象的测试。

分析测试图表的结果，确定绝缘的状态。请参见图3-8。非常干燥的良好的绝缘层(曲线A)在不同的电压下近似地保持一致。退化了的绝缘层(曲线B)的电阻值在不同的电压下显著降低。

绝缘表面越大，绝缘电阻就越低，马达的电源电压越高，所需的绝缘层就越厚。一个50 马力，230 V的马达与一个1 马力，230 V 马达所需的绝缘层是相同的。

警告：在绝缘电阻测试中，兆欧表使用非常高的电压(高达5000V)。请严格遵守推荐的程序和安全规范。如果兆欧表没有自动放电功能，在利用兆欧表进行绝缘电阻测试之后，请通过一个5k Ω ，5W的电阻将被测装置连接到地。

电缆和电线装置的排障

在对电缆和电线装置进行排障时，应该将其从配电盘和设备上断开，保持隔离。应该在导线之间和导线和地之间进行测试。请参见图3-9。

应该至少以3 年为一个循环对电缆和电线进行测试和维护。对于显示出有绝缘材料退化现象的系统，则应该更加频繁地进行绝缘电阻测试。请按照以下的步骤对电缆和电线进行测试：

1. 检查电缆和电线的外露部分是否有物理损伤。更换或维修显露出危险的部分。

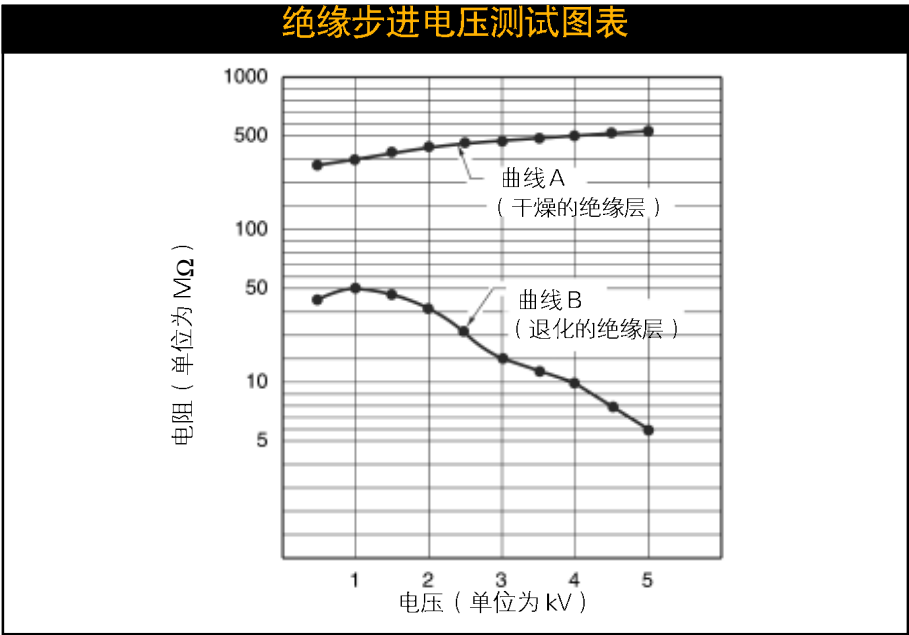


图3-8. 在标有时间的曲线图上记录绝缘步进电压测试的测量数据。

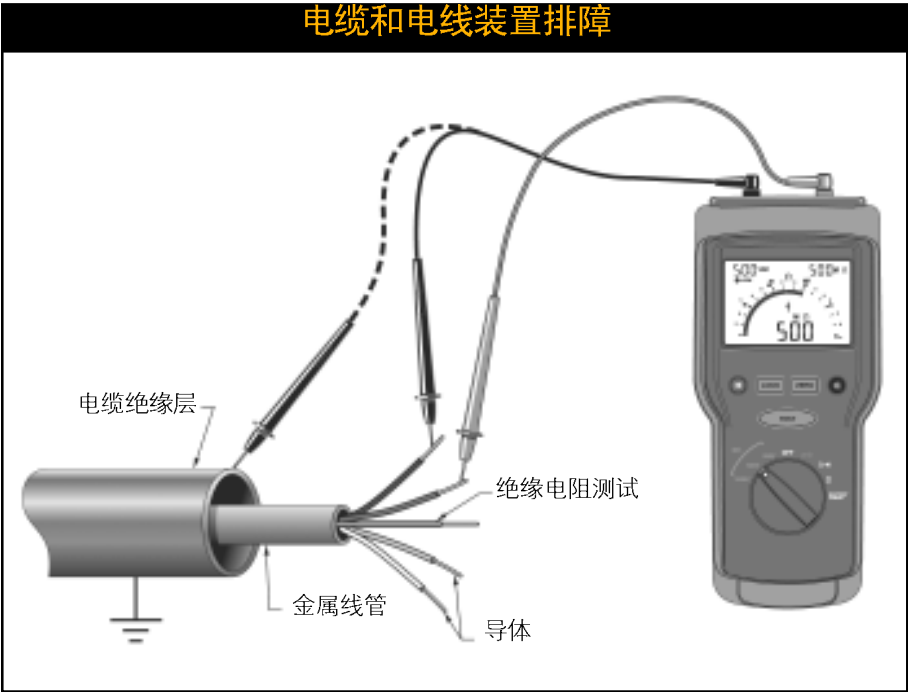


图 3-9. 在进行电缆和电线装置排障时，应该在导线之间和导线和地之间测试导线。

- 2. 检查电缆和电线的接地、电缆固定和端接是否合适。对端接不合适的部分进行端接。
- 3. 如果电缆和电线端接合适，则验证零线和地线端接合适，保证保护器件工作正常。
- 4. 对电缆中的每一导线进行绝缘电阻测试。对于低压电缆 (1 kV 或更低)，施加 1000 V 的直流电压，持续 1 分钟 (1 分钟绝缘电阻测试)，并利用兆欧表或绝缘多用表 (IMM) 测量绝缘电阻 (对于 1 kV 到 69 kV 的电缆，利用耐压测试仪进行直流耐压测试)。

低压电缆

对于新安装的电缆，应该进行电缆长度测试。和所有的导线一样，由于低阻电缆的电阻会降低通过它的功率，因此就需要知道低压电缆的实际长度。电缆长度越大，由于电缆引起的功率减小 (衰减) 就越大。由于信号是以低功率的形式传送的，电缆引起的任何功率下降都必须降至最小。

电缆长度测试测量的是电缆的长度，通过测量包含两根或多根导线的电缆末端，还可指示出到电缆故障的距离。

电气开关装置和配电盘排障

电气开关装置和配电盘是金属封闭的独立成套设备，它包含断路器和/或有保险丝的断开开关。它还包括母线、电缆端接点、备份保护装置和不同形式的控制装置和仪表设备。开关装置或配电盘用来通过连接到变压器、配电箱和马达起动器的配电通道分配市电。

请参见图3-10。成套设备可以是负载中心、变电站或配电盘的一部分。

应该至少每年一次对开关装置和相关的成套设备进行测试和维护。如果设备所处的环境中灰尘和水分较大，则应该更加频繁地进行检查。按照工厂的工序和制造商的建议，当采取以下措施使可获得最佳的结果：

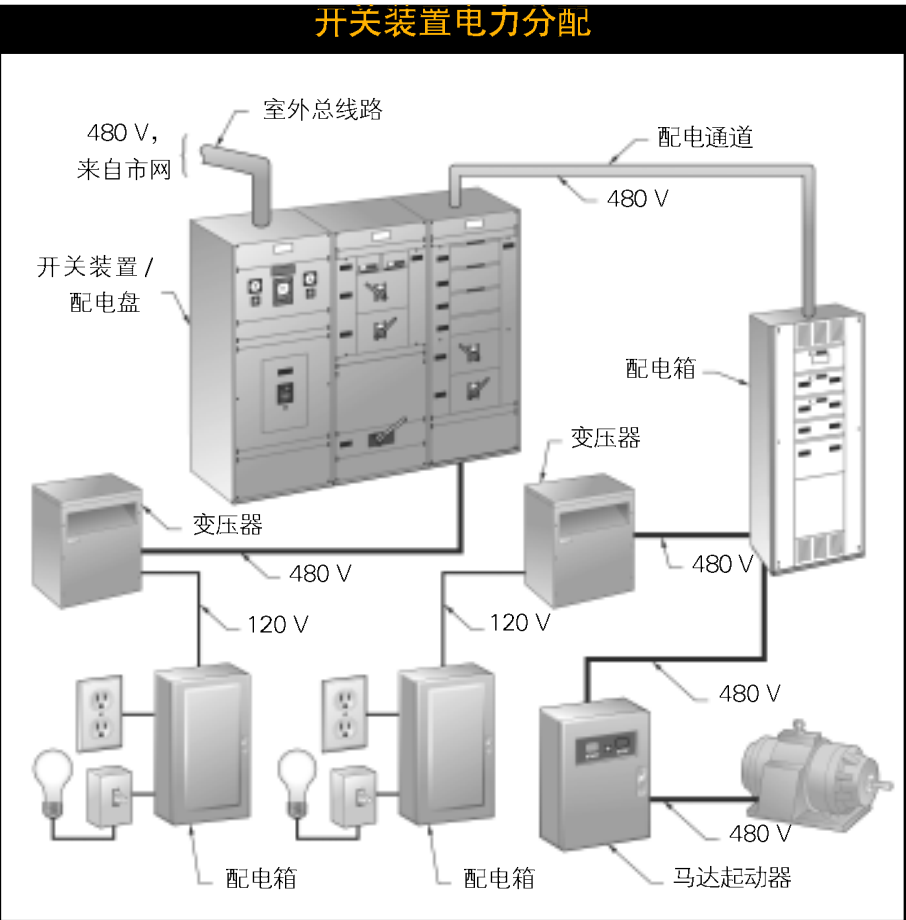


图3-10. 开关装置或配电盘通过连接到变压器、配电箱和马达起动器的配电通道分配市电。

- 检查开关装置的电气部分是否有损坏。维修或更换被损坏部分。
- 利用绝缘多用表检查所有的母线连接是否存在高阻。维修或更换不符合规定的部分。
- 检查绝缘材料是否有物理损伤或表面是否被污染。清洁或维修所有不符合规定的绝缘材料。
- 利用兆欧表或绝缘多用表对每一母线部分进行相—相和相—地绝缘电阻测试。开关装置的绝缘电阻值一般介于50 MΩ和20,000 MΩ之间。对于低于设备制造商建议的最小电阻值的绝缘电阻值进行调查，检查是否有其它故障。
- 务必在不通电的设备上进行测试。

杂项电气装置的排障

杂项设备包括便携式电气设备、双绝缘工具、延长线、变压器，以及通过独立的电源线接收电力的电气设备。对这些设备进行绝缘电阻测试是定期维护程序的一部分，也是 OSHA 和 NEC® 标准的要求。

在对大多数马达和其它电气装置进行

排障时，尽管可以使用标准的绝缘电阻技术指标，但是特定的环境则要求使用更高的电阻技术指标。大多数给出的技术指标都列出了最大的可接收漏泄电流，而不是实际的电阻。例如，对于3线式手持电气用具或工具来说，必须具有足够的绝缘，从外漏部分到地的的漏泄电流不得超过 0.75 mA (0.00075 A)。

按照 1 kV 的工业标准，一般的电阻值要比 1 MΩ 高出三分之一。被标称为“双绝缘”的医疗设备和电气装置都具有比普通设备高许多的绝缘等级。杂项设备包括双插脚 CAT II 电源线设备、三插脚 CAT I 电源线设备和干式变压器。

绝缘电阻值会随温度和绝缘材料中的水分含量而变化。在读取绝缘测试读数时，应该记录温度和湿度。

双插脚头 CAT II 电源线设备

双插脚 CAT II 电源线设备是指仅延伸出两根导线（一根火线和一根零线）的设备。双插脚设备在电源线上没有第三根接地线（绿色导线）插脚。有些双插脚设备为双绝缘的。

双绝缘设备是指当发生单一接地故障时，通过电工很容易接触到的产品外漏部分不会引起危险的电击的电气产品。双绝缘设备不仅包括导线上适用的标准绝缘层，而且在设备的带电部分和容易接触到的部分之间还有绝缘材料。

在对这些设备进行排障而测量绝缘电阻时，在外露金属部分和地之间测量漏泄电流。请参见图 3-11。请按照以下步骤测试双插脚 CAT II 电源线设备的绝缘电阻：

1. 如果设备没有外露的金属，则在外露的塑料部位（例如把手）缠绕金属箔。金属箔模拟了接触到电气装置的湿手。
2. 确保被测电气设备没有插入到电源。
3. 将地测试线连接到被测工具上包裹的金属箔。
4. 将电压测试线连接到工具电源线上的零线（较大的那个）插脚。
5. 利用绝缘电阻测试仪施加测试电压。
6. 以 mA 为单位测量漏泄电流并记录读数。双绝缘、双插脚 CAT II 设备的漏泄电流的最大漏泄电流一般为 0.25 mA (0.00025 A)。

当漏泄电流超出给出的指标极限时，

则必须使用三插脚电源线。增加接地线（绿色），在所有非承载电流部分和地之间提供一个低阻抗（电阻）通路，将漏泄电流引导到大地。在医学领域使用的设备具有相当低的最大可接收漏泄电流极限值。

三插脚 CAT I 电源线设备

三插脚 CAT I 电源线设备指的是延伸出三根导线的设备，一根火线、一根零线和一根地线。在正常工作时，所有的漏泄电流都通过接地线（绿色）返回到大地。接地线防止了电气设备的外漏金属部分带电，以至于引起电击。请参见图 3-12。请按照以下的步骤测试三插脚 CAT I 电源线设备的绝缘电阻：

1. 确保被测电气设备没有插到电源。
2. 将地测试线连接到被测设备的金属部位，比如马达外壳。
3. 将电压测试线连接到工具电源线上的零线（较大的那个）插脚。
4. 以 mA 为单位测量漏泄电流并记录读数。

负载所需的功率越大，电流就越大。例如，当连接到 230V 电源时，一个 10 马力的马达需要大约 28A 的电流，20 马力的马达在 230V 的电源下需要 54A 的电流。

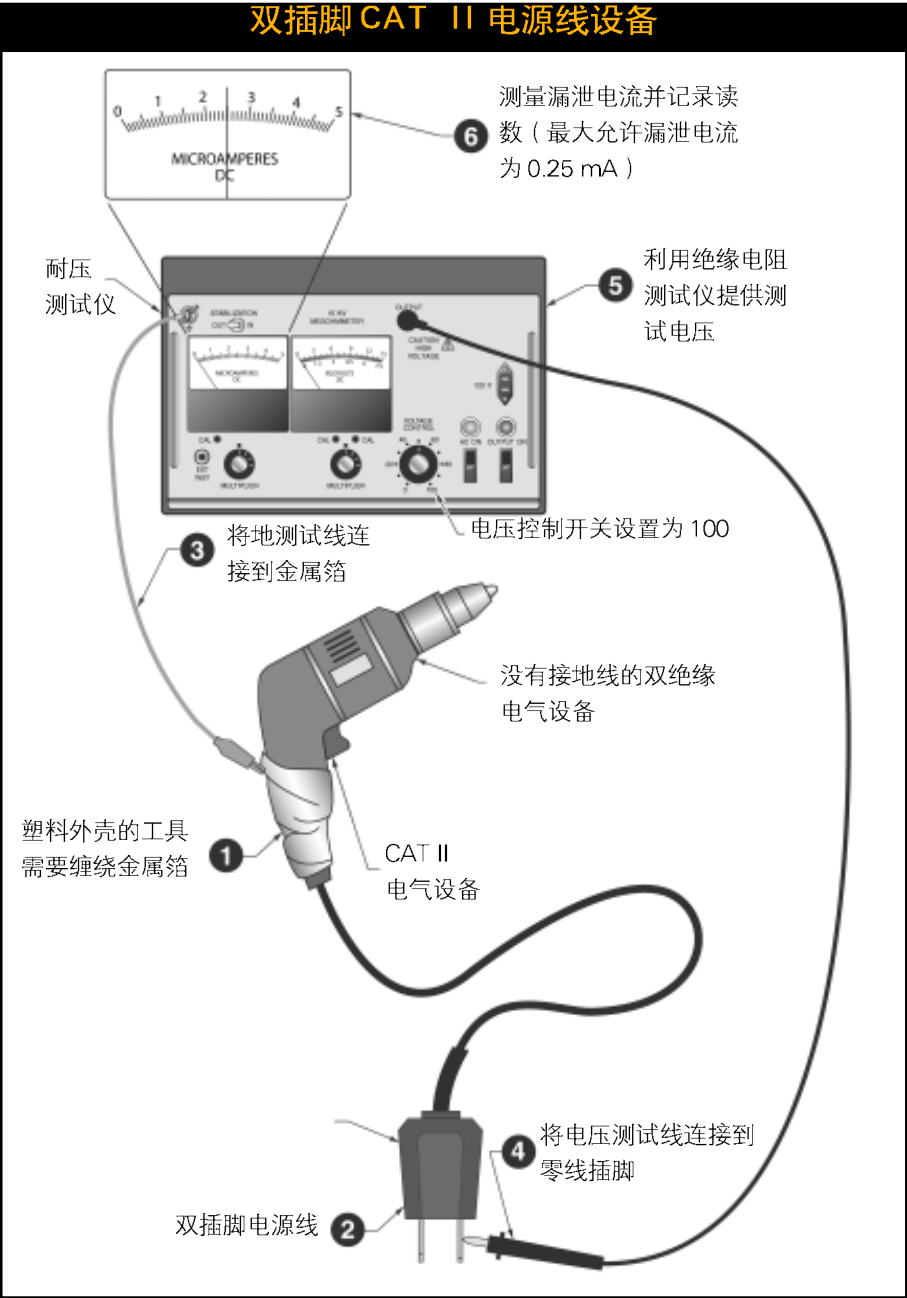


图3-11. 双插脚 CAT II 电源线设备仅从设备中引出两根导线，一根火线和一根零线，在电源插线上没有第三根接地线。

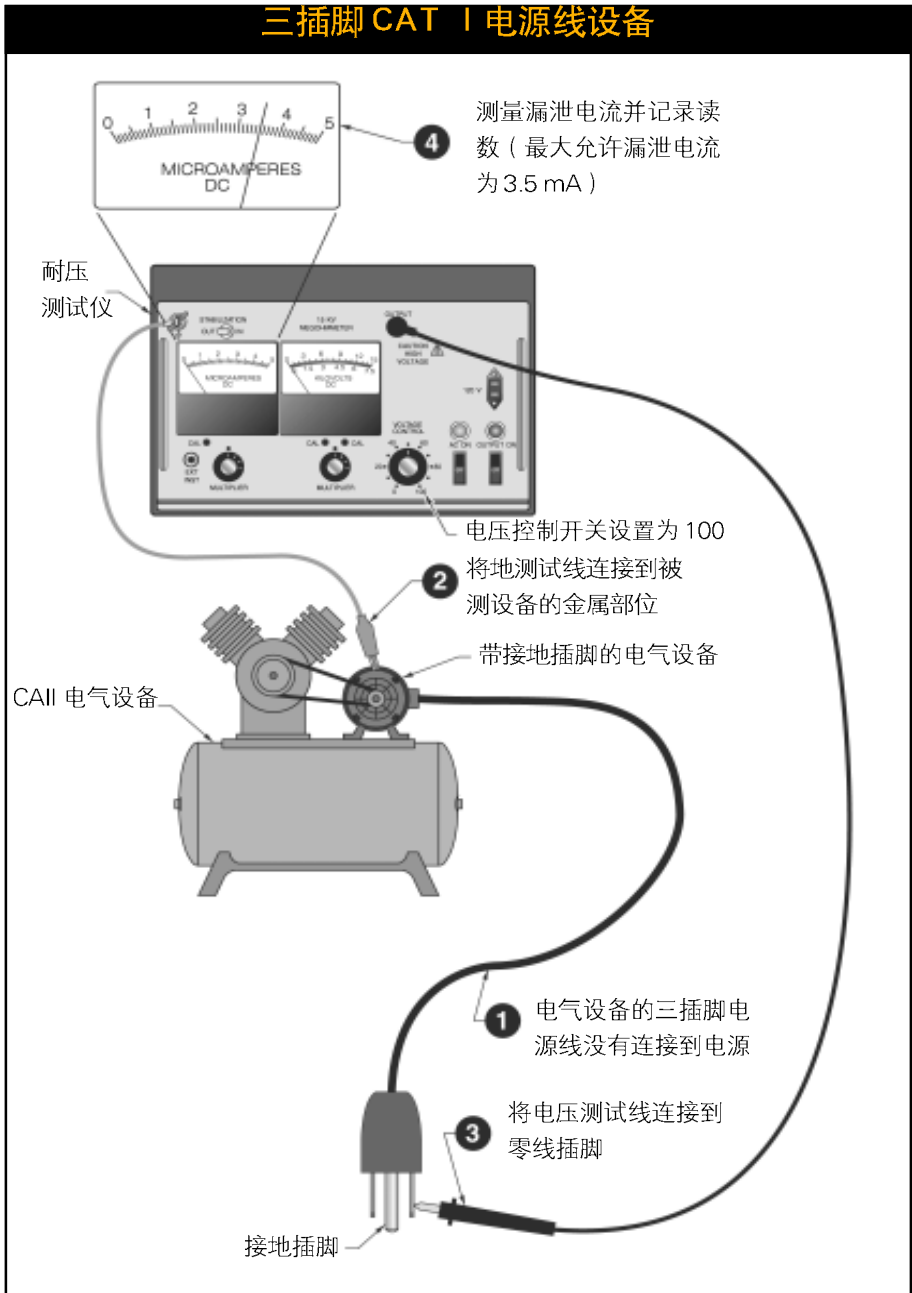


图3-12. 三插脚 CAII 电源线设备从设备中引出三根导线，一根火线、一根零线和一根接地线（绿色）。

对于手持式电气设备,例如盘磨机,三插脚 **CAT I** 设备的最大漏泄电流一般为 **0.75 mA (0.00075 A)**;而对于非手持式电气设备,例如地板打蜡机、电动马达、小型钻床和空压机,最大漏泄电流一般为 **3.5 mA (0.0035 A)**。



用来启动旋转式设备（例如同步和感应马达）的自耦变压器。

干式变压器

干式变压器是指利用非液体材料绝缘的变压器。干式变压器可以被造成环型或叠片型的。环型变压器一把使用铜线缠绕着一个圆柱形的核心，线圈中的磁通量就不会漏泄，具有良好的线圈效率，对其它组件影响很小；叠片式变压器包含有层叠的钢芯。钢叠片用非传导性材料绝缘，例如绝缘漆或

高温聚合物，从而形成一个减小电损的变压器芯。从变压器初次安装开始，就应该对干式变压器进行维护和测试，并进行记录。



利用参考多用表可以进行 **2Ω** 到 **20Ω** 的电阻测量，并且能够比标准手持仪表更加准确地测量电压、电流和温度。

设置为测量电阻的绝缘多用表 (**IMM**) 可用来检查线圈中的开路、初级和次级线圈之间的短路，或者线圈和变压器芯短路，而无需对变压器施加功率。请参见图 3-13。

线圈中的开路。利用数字多用表 (**DMM**) 检查每一个线圈的电阻。如果有任何线圈表现为无限的电阻读数,则表明绕组开路,变压器损坏。请注意,非常低的电阻读数并不能说明短路,而是指导线的电阻。

初级和次级线圈之间短路。应该检查变压器的初级和次级线圈之间是否短路。应该利用兆欧表来检查初级和次级线圈之间的短路。

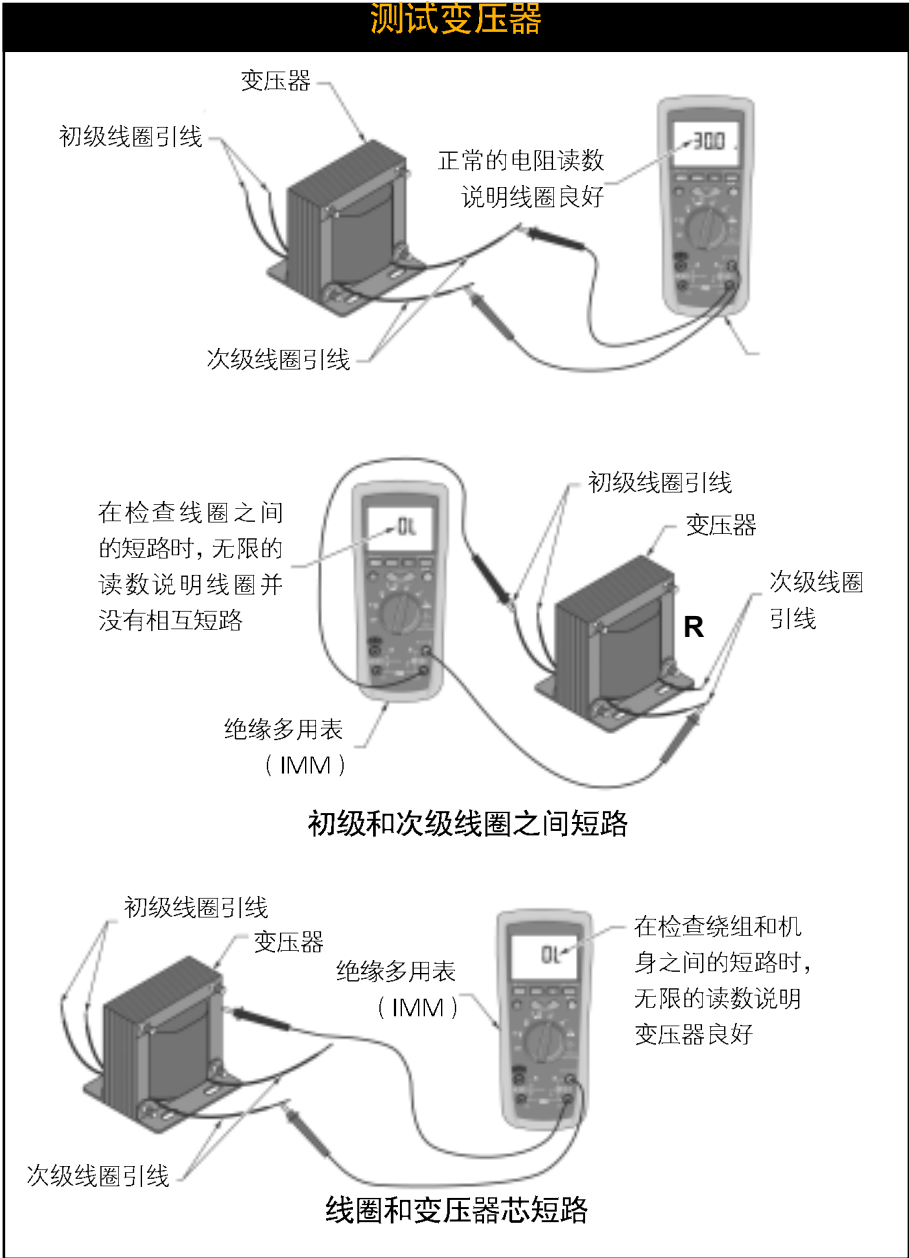


图3-13. 设置为测量电阻的绝缘多用表 (IMM) 可用来检查线圈的开路、初级和次级线圈之间短路, 或者检查线圈和变压器芯的短路, 而无需对变压器施加功率。利用绝缘多用表 (IMM) 的绝缘测试功能完成这些测试。

线圈和变压器芯短路。检查每一组变压器线圈到变压器芯的电阻。所有的线圈都应该表现为无限大的读数。如果任意线圈和变压器芯之间显示有电阻读数，则应该不再使用该变压器。

变压器维护。变压器制造商会提供针对其设备所推荐的维护程序和计划，但是特定变压器的实际性能决定了进行维护和排障的频率。

大多数变压器故障都是由于维护不良造成的。应该至少每年一次对变压器进行测试和维护。请按照以下的步骤对干式变压器进行绝缘电阻测试：

- 1. 目检物理损伤：破裂的绝缘层、有缺陷的导线、连接的紧固性，以及线圈上的灰尘 / 水分。
- 2. 验证变压器芯和设备接地合适。
- 3. 利用兆欧表或绝缘多用表在绕组之间或绕组和地之间进行绝缘电阻测试。对每一绕组都进行绝缘电阻测试。

变压器绝缘电阻值一般介于**500 MΩ**和**25,000 MΩ**之间。请参见图3-4。变压器绕组的绝缘电阻测试读数应该在相邻绕组的1%范围之内。

变压器的绝缘电阻值		
变压器线圈 额定功率*	最小测试 电压†	最小绝缘 电阻‡
0 – 600	1000	500
601 – 5000	2500	5000
5001 – 15,000	5000	25,000

* 单位为 VAC
† 单位为 VDC
‡ 单位为 MΩ

图3-4. 变压器绝缘电阻值一般介于 500MΩ 和 25,000MΩ 之间。

请按照以下步骤检查小型（**600 V**或更低）干式变压器：

- 1. 目检物理损伤：破裂的绝缘层、有缺陷的导线、连接的紧固性，以及线圈上的灰尘 / 水分。
- 2. 验证变压器芯和设备接地合适。
- 3. 在进行任何测试之前，首先清洁设备。
- 4. 利用兆欧表或绝缘多用表在绕组之间或绕组和地之间进行绝缘电阻测试。对每一绕组都进行绝缘电阻测试。

为了防止电气故障引起设备损坏，零线的规格应该和火线的规格相同或更大。



概述

在所有的工业环境中，绝缘电阻测试都配合其它电气测试方法使用。当新安装设备时、当对设备进行长期维护时，以及当设备发生故障或失灵时，都会进行绝缘电阻测试。

对新安装的设备进行绝缘电阻测试来验证绝缘和电气连接的完整性；结合定期和不定期的维修，要对设备进行长期维护，并往往需要检查绝缘退化情况；要利用排障技术来确定绝缘故障或失灵的原因。

新安装的设备

当安装了新的设备或维修过的设备时，安装者要在安装之后，系统投入运行之前进行测试。请参见图4-1。测试包括绝缘电阻测试，检查是否有设备损坏、电缆损伤，电气器件之间的间距是否合适和牢固性，以及储存、运输和安装是否导致产品损坏。应该对设备所安装到的环境进行检查，检查设备的性能。在操作中，应该在无危险空气的环境中安装系统和设备，以避免危险

空气引起电爆炸。要考虑到设备长时间停工所引起的生产力损失的代价。以下介绍一个在设备安装期间应该如何使用绝缘电阻测试的例子。



图4-1. 当安装了新的设备或维修过的设备时，安装者要在安装之后，系统投入运行之前进行测试。

一个每天处理几百万加仑原污水的污水泵由于某种原因是不能停止工作的。数以千计加仑未经处理的污水流入到居民区河流所带来的影响将引起严重的经济和环境危害。

在本例中，污水抽水站是供200多平方英里面积中超过300,000人使用的子系统的一部分。抽水站的三台污水泵总共有225马力，每天可抽排9.2 M加仑的污水。完全停工的情况下，

在污水涌入邻近的一条河流之前，工人有大约 40 分钟的时间来使系统恢复工作。正是由于这个原因，县里密切地监测着泵站的状态，并且计划在 2 年的时间内对 5 个泵站进行升级。下面的示意图帮助读者识别泵站的关键部分。请参见图4-2。从其建立时开始，在过去的 40 年中，这个独特的泵站已经经历了几次升级。增加了可编程控制器，

继电器逻辑担当着备份的角色。电源系统增加了冗余设计。随备用发电机增加了一个具有双馈线中压切换开关，当两条馈线都不能正常工作时，发电机还有其自己的切换开关。

大多数电源和控制系统都是原来的设备，包括开关装置、马达控制中心和电缆。增加了三个成熟的马达驱动来驱动水泵。

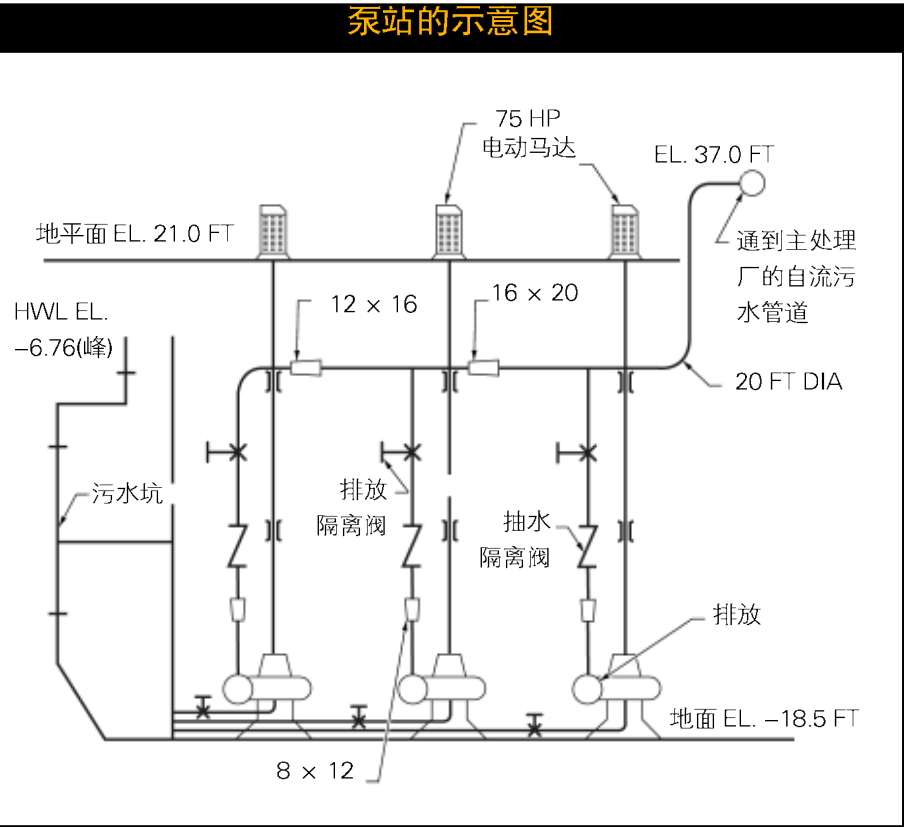


图 4-2. 帮助读者识别泵站关键部分的示意图。

当地的一个电气承包人获得了对泵站的电气系统进行改造的合同。泵站每天24小时，每周7天都在运行。关闭系统是不可行的，因此，这个电气承包人就在邻近水泵房的地方以模块化的结构建立了一个完全相同的电气系统。新建的系统包括开关装置、马达控制中心、变频驱动、一个切换开关、浪涌保护装置，以及谐波和PF修正装置。请参见图4-3。在系统中还有一个复制的控制系统。在将该系统用于水泵房之后，计划用起重机将其移动到下一改造点。

通断性测试用来确定电路是否开路或闭合，并且是在断电的情况下测试的。开路的电路不能导电，而闭合的电路具有“连续性”。通断性测试是通过将多用表设置到测量电阻(Ω)功能或使用通断测试仪来完成的。

为了确保能平滑地切换到临时电气系统，县里坚持对临时系统进行全面测试。从之前的装置中重新使用了4台150马力的驱动。马达被保存在潮湿的环境中，并且已经完全暴露到水分之中。需要对驱动进行加载测试，以确保工作正常。

当使用新的装置时，进行了几项测试，包括通断性测试、绝缘完整性测试，并在对系统首次加电时利用IR温度记录测试来检查过热区。检查驱动的要求为标准的程序增加了新的挑战。如果处理过程不是非常重要的话，他们就可以使用实际的水泵马达来对驱动进行加载测试，但是不允许他们将任何75马力的马达停止工作。那么可选的方法就是要么使用75马力的马达，要么使用负载箱来模拟负载。

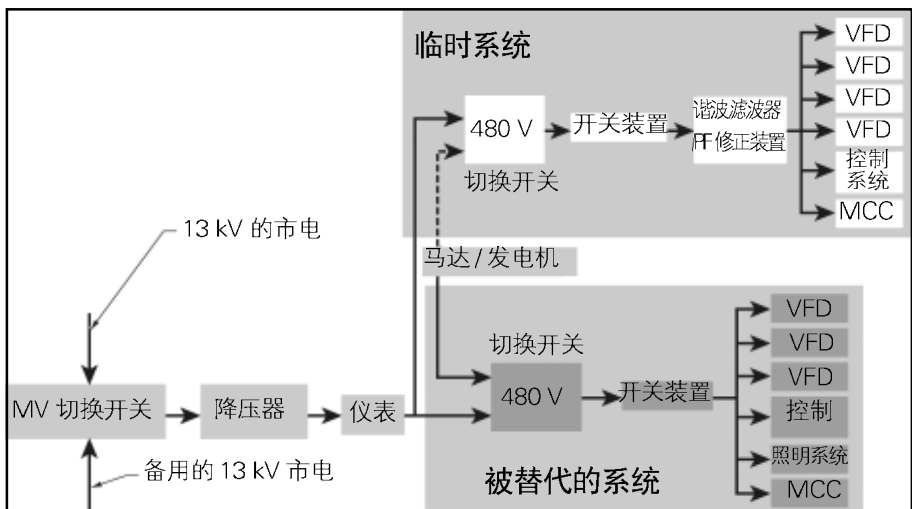


图4-3. 新建的系统包括开关装置、马达控制中心、变频驱动、一个切换开关、浪涌保护装置，以及谐波和PF修正装置。

技术人员有一个500 kW的负载箱，于是他们决定研究一下使用它来测试驱动的可行性。他们联系了驱动和负载箱的制造厂商。两个厂商都保证在驱动上使用电阻性负载是可行的。驱动不能输出高于负载箱额定负载30%的功率，技术员小心翼翼地快速提高驱动输出，使得负载箱的风扇转动。

技术人员制定了详细的测试计划，考虑了传统的电气设备试运行和负载测试的关键因素。他们将首先检查所有的连接，然后对4个驱动中的每个驱动加电，并分别在30%、60%和100%额定输出下运行15分钟。在每一步中，他们都要验证驱动输出与其显示相同。他们利用一把绝缘多用表（IMM）检查通断性、电压、绝缘完整性和驱动的性能。

在将新的系统连接到市电之前，技术人员测试了电缆引入线和开关装置。请参见图4-4。在初次测试中，使用了IMM的1000 V绝缘测试和低电阻通断性测试功能。他们在导线和地以及导线之间进行了测试。在这一测试阶段，他们发现来自备用发电机的一根相线只有400 k Ω 的对地电阻。他们在继续测试之前更换了电缆。

一旦对系统加电，就需要通过测量来确保电流没有太大，并且电压接近277 V。



图4-4. 在将新的系统连接到市电之前，技术人员利用兆欧表测试了电缆引入线和开关装置。

每一驱动都被连接到了负载箱，并顺序加电。在三个输出功率下，每一次都要进行测量来验证驱动上显示的读数。同时还要读取电流读数。在每个驱动运行45分钟后，技术人员对驱动和开关装置进行IR温度记录绘图，确保其没有过热区。新的开关装置工作正常。对设备的彻底测试证明临时设备在改造期间可以支撑泵站的工作。

长期维护

工厂设备的长期维护一直是将生产费用降至最低的一个重要部分。得益于先进的测试设备和维护方法，现代化的工业工厂已经通过编目和跟踪关键的维护指示（例如电缆的绝缘电阻，以及对于工厂运行非常关键的设备上的电缆）将维护费用降至了最低。维护可以分为预防性维护

(PM)和预测性维护(PDM)。

预防性维护(PM)是为了保证机器、装配线、生产作业和工厂运行具有最小的停工时间,并对设备故障和停工进行故障检测而进行的定期维护。预防性维护能够使设备保持良好的工作状态。

预测性维护(PDM)是根据预先确定的容差,随时间检测设备的磨损状况和设备特性,消除可能的设备失灵或故障。对设备的工作数据进行收集并分析,说明性能和组件特性的趋势。如果需要,即采取补救措施。典型的PDM程序包括视觉和听觉检查、振动分析、润滑油分析、温度测量、超声分析和电气测量。

绝缘电阻的典型PDM为温度测量和电气测量。以下是一个例子,说明了在长期维护时,如何利用绝缘电阻测试来保持运营成本最小化,并防止昂贵的照明灯和电缆发生故障。

必须确定兆欧表读数很小的原因。原因可能是水分、灰尘或绝缘层损坏。一般而言,如果兆欧表读数很小,就需要维修或更换导线。经过维修的电缆或替代电缆在投入使用之前必须经过兆欧表的测试。

一个国际机场的电气部分利用手持式兆欧表对跑道照明灯和相关系统



在预防性和预测性维护中,利用手持式兆欧表进行绝缘电阻测试。

进行预防性维护。测试项目包括照明电缆、绝缘电阻和预防性维护。

整个系统范围包括跑道边灯(在每一跑道的两侧,具有大约为200 ft)、跑道每端的跑道头灯(根据飞行防线为红色或绿色)、中线灯(埋地灯,50英尺/15米居中,由白色变为红色,在跑道末端时成红色)、降落灯、指挥地面交通的滑行道信号,以及每条跑道末端两侧的精密进近航道指示器(PAPI)。在机场运营期间,跑道灯是万万不可发生故障的。机场的电气部门定期对每一照明系统进行绝缘电阻测试,确定绝缘退化状况并预防故障。

由于这些照明灯中很多都是串联形式的,即使是局部的故障也会产生非常明显的影响。冻结/解冻循环会加速退化速度,尤其对于有缺陷的接头和动

44 绝缘电阻测试

物损坏导致连接不良的线路更是如此。目前, 90% 的照明线路都穿在线管中, 10% 的线路没有使用线管。

每一盏跑道灯都是安装在其自身的变压器上的一个 6.6 V 的装置。整串的照明灯是通过一个恒定功率的调整器来提供电源的, 它保证每盏灯可使用 6 A 的电流。当所有的电线都维护正常时, 500 V 的电压即可供应系统负载的消耗。当电线退化以及对地漏电电流增加时, 系统本身即进行自动调整, 它会将电源电压增加到高达 3,500 V, 以保证每一盏灯得到 6 A 的电流。良好的电缆绝缘完整性能防止电力浪费和产生相关的电费。在本例中, 机场所进行的测试类型也适用于大多数工业环境。

检查整个配电线路中的对地漏泄是能够识别潜在的照明故障的最有效办法。

把兆欧表被用来进行预防性维护、故障诊断检测和定位故障点。



利用锁定/标记搭扣, 确保有人员在测量电路时其它人员不会对危险的电流加电。

将准确的维护记录做为参考, 即可降低类似设备将来发生故障的几率。

利用兆欧表测试电缆 (对于预防性测试采用点对点的方法, 在诊断故障时在故障电缆的每端), 电压 1000 V, 至少 2 分钟。请按以下步骤进行绝缘电阻测试:

1. 为测试准备线路中的每一电缆。
2. 锁定/标记电源断路器。利用电气测试仪确认线路没有通电。
3. 在断路器控制的每一独立负载处断开电源。
4. 将兆欧表设置为 1 kV。
5. 将负测试线连接到地, 正测试线连接到负载端的被测电缆。
6. 按下并保持 TEST (测试) 按钮, 然后按 LOCK (锁定) 按钮。
7. 同时释放 TEST (测试) 和 LOCK (锁定) 按钮。
8. 如果最初的阻抗读数较高 (美国联邦航空管理局 (FAA) 要求新安装电缆的示值阻抗至少为 2 G Ω 或更高), 则记下时间, 继续测试, 至少 2 分钟的时间。如果电缆状态良好, 在测试期间, 电阻值读数就会保持或增大。
9. 记录读数。
10. 对被测断路器控制的每一负载重复该过程。

11 如果发现故障，下一步则应该诊断故障。

请按照以下步骤开始诊断故障：

1. 为测试准备线路中的每一电缆。
2. 锁定/标记电源断路器。利用电气测试仪确认线路没有通电。
3. 在断路器控制的每一独立负载处断开电源。
4. 将兆欧表设置为 1 kV。
5. 将负测试线连接到地，正测试线连接到负载端的被测电缆。
6. 按下并保持 TEST（测试）按钮，然后按 LOCK（锁定）按钮。
7. 同时释放 TEST（测试）和 LOCK（锁定）按钮。
8. 继续测试，至少经过 2 分钟。
9. 检查故障征兆，例如低阻，或逐渐降低的电阻读数。
- 10 如果阻抗读数保持不变或升高，则可以将该部分记录为状态良好，继续测试配线的其它部分。
- 11 在测试过程中要记录读数。
- 12 继续以上过程，直到定位退化的导线。
- 13 从线管中抽出被损坏的电缆（或挖出直埋电缆），铺设新的电线或电缆。

14 对未加电新电线/电缆再次进行预防性测试。这样能够确保不会对故障电缆加电。

绝缘电阻的预防性维护具有许多好处。根据每季度的预防性维护计划表进行绝缘电阻测试，电气部门就能够确定绝缘恶化的模式规律，这样即可预测即将出现的绝缘故障，在发生故障之前更换电缆。

排障

排障是一种不定期的维护形式。不定期的维护是指维护人员进行的随机维修，包括应急工作和停工检修。应急工作是为了补救已经经过定期维护的设备所产生的不可预知故障而进行的检修。例如，50 马力或更大功率的马达就适用于应急工作，因为其修理费用要低于更换马达的费用。保持应急工作记录，就能够通过判别典型的设备故障提供改善维护程序或设备设计的信息。

停工检修是对没有经过定期维护的故障设备所进行的检修，比如清洁或润滑油。例如，照明灯就适用于停工检修，因为更换灯泡要比利用测试程序预测灯泡的故障成本更低。停工检修是最简单的维护，仅被用于非常便宜且对工厂的运行并不重要的设备。但

是,如果应用于错误的设备,停工检修就是最为昂贵的维护工作。大多数单位都没有可以对关键设备进行故障检测的队伍。当发生问题时,就会通过具有维修资格的外协公司来解决内部不能够解决的故障。下面就是外协维修承包人如何利用绝缘电阻测试对电动机进行排障的一个例子。

这个公司的客户主要是工业用户。公司从事印刷机、消防泵、冷却器、电梯、空气送风机和其它装置内的马达维修。客户包括医院、高层办公楼、宾馆、公寓和停车场,其维护支出比较保守,因此需要应急抢修。

他们不是进行预测性维护或利用历史数据来补救故障,而是等发生故障了再想办法。只有在设备停工之后,客户才会打电话到公司来。



必须小心保存仪表的测试线,并定期检查是否磨损过度。

在采用“故障前维护”的工厂,绝缘电阻测试结果可以被保存到数据库中,形成趋势数据;而在采用“运行到发生故障”的工厂,绝缘电阻测量则具有不同的目的。公司将排障中的绝缘电阻测试当做是 GO / NO GO 测试。如果不进行这些测试,排障将需要更长的时间和更多的费用。

由于马达故障或其原因并不总是很明显的,所以当怀疑马达发生故障时,就为排障工作增加了难度。当马达停止时,由于马达的外部并不会显露出故障的迹象,因此就难以确定潜在的故障。一般而言,操作马达的人员会试图再次启动马达,这就会引起马达和相关设备更大程度的损坏。

电气承包人已经制定了快速、准确地判别马达故障的标准程序:

- 收集马达的历史信息,例如所做的维修、尝试修理,或者工作故障。如果可能的话,还有收集原始的或制造商提供的马达性能技术指标。
- 从马达本身收集信息,例如铭牌上的数据,以及从马达所处的工作环境收集信息。利用数字多用表(DMM)测量电压、检查保险丝、检查接地连接。对马达进行物理检查,检查是否有过热、气味或不正常的噪声。

一旦收集到马达的关键信息，电工就会进行一系列的绝缘电阻测试。请参见图4-5。在进行任何测试之前，要检查控制触点的接触质量。请按照以下步骤检查控制触点：

1. 锁定/标记与起动器断开的连接。
2. 手动转动起动器，使触点闭合。
3. 将兆欧表设置到低欧姆量程。
4. 测量每组触点的电阻。
5. 读数应该接近于零。如果读数高于 0.1Ω ，则需要更换触点组。



图4-5. 在收集到关键信息之后，对设备进行一系列的绝缘电阻测试。

一旦控制触点通过测试，则测量电源线和负载电路的对地绝缘电阻。在进行这些测试之前，应该将所有连接到被测电路的电气控制装置和设备隔离开，防止发生危险。请按照以下的步骤测量电源线和负载电路的对地绝缘电阻。

1. 锁定/标记与起动器断开的连接。
2. 将兆欧表设置为相应的测试电压

(250 500 V 或 1000 V)

3. 测量起动器电源测的对地电阻。
4. 测量起动器负载测的对地电阻。

电源线和负载电路的对地电阻读数为高电阻值时才能够通过测试，确保安全地工作。交流设备的对地电阻至少应为 $2\text{ M}\Omega$ ，直流设备至少应为 $1\text{ M}\Omega$ ，才能确保安全地工作。不同公司所使用的设备具有不同的最小绝缘电阻值，范围从 $1\text{ M}\Omega$ 到 $10\text{ M}\Omega$ 。新设备的电阻值应该超过 $1000\text{ M}\Omega$ 。

如果负载侧的电阻值是可接收的，则继续以下的测试；如果电阻值是不可接收的，则对起动器负载侧的故障进行定位，检查是电缆还是马达发生了故障。

对马达上进行第三组测试：测量相—相之间的绕组电阻，以及相—地电阻。对于三相系统需要进行三次测量。

由于是排障程序而非预测性维护，技术人员不需要对测量数据进行趋势绘图来确定绝缘是否发生了退化。只是进行任意时间点的测量。

只有肉眼看到变色的污点、过热区或松动的连接（包括马达的接线盒），才算完成诊断。接触不良可以通过电压测试，但不能通过电流测试。

好的测量结果表现为所有三个定子相线上都具有相当低的平衡电阻值，并且相—地绝缘测试获得高的电阻值。

表明存在潜在故障的测量结果有总电阻值不足，例如相—相短路，以及相—相电阻值不平衡。如果读数差异超过了几个百分点，则对马达加电可能就是不安全的。

电绝缘材料的特性包括介电强度、冲击强度、电阻率、介电损耗、介电常数、抗拉强度、耐化学性、防潮性和可燃性（或自熄性）。

绝缘电阻测试的好处

绝缘电阻测试可以检测到关键的电流漏泄、差的工作质量、设备缺陷，并可诊断难以捉摸的设备故障。进行绝缘电阻测试要谨记的关键点就是电阻值的变化往往预示着可能存在问题。从 1.2 GΩ 变为 1.1 GΩ 这样小的变化可以认为是无关紧要的，但是如果发生 25% 的变化则就需要进行调查，发生 50% 的变化就要立即采取措施。当将定期测量和其它测试方法相结合时，绝缘电阻测试就是非常好的预防性和预测性维护工具。将绝缘电阻测试列入到维护程序，就能够更加全面的了解设备的状态和可靠性。



前排（从左至右）：Fluke 1503 绝缘测试仪、1507 绝缘测试仪、1577 绝缘多用表和 1587 绝缘多用表；后排（从左至右）：Fluke 1550B 5KV 兆欧表和 1520 兆欧表。



绝缘电阻排障和预防性维护指导

基线测量		20	40	60	80	100	250	500	750	1*	1.5*	2*
相对于基线的百分比差	10	18	36	54	72	90	225	450	675	900	1.35*	1.8*
	20	16	32	48	64	80	200	400	600	800	1.2*	1.6*
	30	14	28	42	56	70	175	350	525	700	1.05*	1.4*
	40	12	24	36	48	60	150	300	450	600	900	1.2*
	50	10	20	30	40	50	125	250	375	500	750	1*
	60	8	16	24	32	40	100	200	300	400	600	800
	70	6	12	18	24	30	75	150	225	300	450	600
	80	4	8	12	16	20	50	100	150	200	300	400
	90	2	4	6	8	10	25	50	75	100	150	200
	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

注：除特别说明外，所有的测量单位为 $M\Omega$ 。 * 单位为 $G\Omega$

基线测量差异说明

0%–25%	对于大多数设备为可接受的范围。
26%–50%	需要进一步测试和检查，验证工作的正常性。检查环境污染情况。
超过 51%	表明有潜在的故障。对系统进行测试，直到隔离并修复故障。

绝缘电阻测试工业标准

标准号	标准标题
NETA MTS-2001	配电设备和系统维护测试规范。
IEEE 43-2000	旋转式设备绝缘电阻测试的推荐操作规程。
IEC 60034-18	绝缘系统功能评定。
IEC 61557-2	交流 1000 V 和直流 1500 V 以下低压配电系统的电气安全性。

注：基线测量结果用于和现场测量读数进行比较。基线测量结果一般是制造商的工厂技术指标或最近一次预防性维护测试的测量读数。

欧姆定律和功率公式

内圆中的值等于
相对应的外圆中的值

E = 电压 (V)
I = 电流 (A)
Z = 阻抗 (Ω)



基本公式

$E = R \times I$	$I = \frac{E}{R}$	$R = \frac{E}{I}$
$E = \frac{P}{I}$	$I = \frac{P}{E}$	$P = E \times I$

重新整理的常用公式

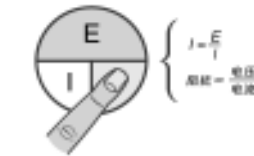
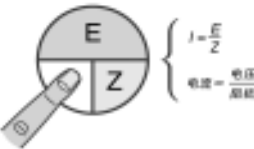
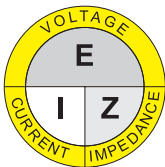
$R = \frac{P}{I^2}$	$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$	$P = R \times I^2$
---------------------	--------------------------	--------------------

重新整理的常用公式

$E = \sqrt{P \times R}$	$R = \frac{E^2}{P}$	$P = \frac{E^2}{R}$
-------------------------	---------------------	---------------------

电压、电流和阻抗的关系

P = 瓦特
I = 安培
R = 欧姆
E = 伏特



马力公式

求	使用的公式	例子		
		已知	求	结果
HP	$HP = \frac{I \times E \times E_g \times PF}{746}$	240 V, 20 A, 85% E_g , 92% PF	HP	$HP = \frac{I \times E \times E_g \times PF}{746}$ $HP = \frac{240 \text{ V} \times 20 \text{ A} \times 85\% \times 92\%}{746}$ $HP = 5.1$
I	$I = \frac{HP \times 746}{E \times E_g \times PF}$	10 HP, 240 V, 90% E_g , 88% PF	I	$I = \frac{HP \times 746}{E \times E_g \times PF}$ $I = \frac{10 \text{ HP} \times 746}{240 \text{ V} \times 90\% \times 88\%}$ $I = 39.3 \text{ A}$



A

空气间隙, 5, 6

铝, 1

安培, 1

B

电池, 15

停工检修, 10, 44-45

C

电缆长度测试仪, 30

电容漏泄电流, 请参见漏泄电流

钳式安培计, 15, 15-16

电导率, 1-5

传导性漏泄电流, 6

导体, 1-3, 3

通断性测试, 41

铜, 1

电流 - 电阻关系, 1, 2

D

电介质材料, 7

数字多用表(DMM), 12

干式变压器, 36

E

电气开关装置和配电盘, 31,

31-33

应急工作, 10, 45

设备安装, 39-42

测试电缆和开关装置, 42

安装后马上测试设备, 39

复制系统的使用, 41

F

保险丝, 12

H

耐压测试仪, 16, 17

I

IEEE, 21

红外测温仪, 22, 23

绝缘等级, 26, 27

绝缘多用表(IMM), 16

绝缘电阻测量, 5, 5-8

绝缘电阻测试, 18, 22

验收测试, 18

设计测试, 18

介质吸收测试, 22, 25-27, 26

介质吸收测试图, 26, 27

故障定位测试, 19-20

绝缘抽查测试, 22-24, 24

绝缘抽查测试图, 22, 25

绝缘步进电压测试, 22, 27-29, 28

绝缘步进电压测试图,

28, 29

预防性维护测试, 19

生产测试, 18

验证测试, 19

绝缘电阻测试仪器, 11-16. 请参见仪器类型

绝缘体, 4-5, 7

温度额定值, 4

L

漏泄电流

电容性, 7

传导性, 6

测量, 5

表面, 7

锁定/标记, 9, 44

长期维护, 42-44

M

维护。请参见停工维护, 预测性维护, 预防性维护, 不定期维护原理,

9-10

类型, 10

兆欧表, 13, 13-15

5 kV, 14, 14⁻¹ 5

手持, 13-14, 14

金属

做为导体, 1

马达绕组

测量温度, 22, 23. 请参见

绕组

N

美国国家电气规范(NEC®), 1

美国国家消防协会(NFPA), 8

非接触式温度探头, 22, 23

O

欧姆定律, 1, 6

欧姆表, 11, 11-12

P

个人防护用品(PPE), 8,8-9

塑料, 5

极化指标, 26, 27

预测性维护, 10, 43

预防性维护, 10, 43

R

线管, 7 电阻, 1-5, 11

橡胶, 5

S

安全性, 8-9

示意图, 40

表面漏泄电流. 请参见漏泄电流

配电盘, 31

开关装置, 31

T

变压器

绝缘电阻值, 38

维护, 38

排障, 36-38, 37

排障, 45-48

电缆和电线装置, 29-30, 30

干式变压器, 36-38

电气开关装置和配电

盘,31-33

马达 21-29, 46, 47

三插脚 CAT I 电源线设备,
33-38, 35

双插脚 CAT II 电源线设备,
32-33, 34

U

不定期维护, 10, 45

V

电压, 12, 13

W

绕组, 14, 22, 23

