

电工实用技术丛书

怎样查找电气故障

何利民 尹全英 编著

机械工业出版社

电工实用技术丛书

怎样查找电气故障

何利民 尹全英 编著



机械工业出版社

怎样快捷、准确地查找电气故障,是许多电气工作者普遍关心的问题。本书介绍了电气故障的种类、特点和一般规律,分析了电气故障发生的根源和条件,详细叙述了电源故障、电路故障、设备和元件故障的查找方法,结合大量实例阐述了状态分析法、单元分割法、回路分割法、逻辑推理法、电位分析法、阻抗分析法、类比法、图形分析法、简化法、直接感知法、仪表检测法、故障树法、计算机辅助分析法等在查找故障中的应用。

本书可供电气设备制造、安装、运行、使用、维修的技术人员和工人阅读,也可供各类电气专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

怎样查找电气故障/何利民,尹全英编著. —北京:机械工业出版社, 1998.10

(电工实用技术丛书)

ISBN 7-111-06367-8

I. 怎… I. ①何… ②尹 III. 电气设备-故障诊断 N. TM07

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第09949号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:杨溥泉 边萌 版式设计:张世琴 责任校对:罗凤书

封面设计:姚毅 责任印制:郭景龙

北京第二外国语学院印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年1月第1版第5次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{32}$ ·10.5印张·230千字

18001—22000册

定价:16.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

前 言

1923年，美国福特公司的一台大型电机出了故障，公司请所有电气工程师会诊了四个月未查出结果，公司面临全面停产的局面。后来，邀请移居美国的德国工程师斯特曼斯帮忙。斯特曼斯在电机旁搭了个帐篷住下来，首先对电机听、看、闻、摸，两天之后，登上梯子上下测量，然后在电机某处划了一条线，对公司经理说：“打开电机，在做记号处将线圈去掉17匝，电机即可正常运转。”人们照此办理，果然排除了故障。斯特曼斯向公司要1万美元的报酬，有人说，斯特曼斯“划一条线要1万美元，这是勒索”。对此，斯特曼斯付之一笑，提笔在付款单上写道：“用笔划一条线1美元，知道在哪里划线9999美元。”

对于这件事的真实程度，我们已无从考证，但是这件事表明，查找电气故障是一件十分重要的工作，又是一件十分困难的工作。这一点是有普遍意义的。许多从事实际工作的电气工作者都有这种体会，最难的是查找电气故障。那么，究竟难在何处？怎样解决这个难题呢？这就是我们编写这本书的初衷。

本书首先阐述了电气故障的种类、特点及故障发生的根源和一般规律，着重分析了电气损耗、发热、电动力、电接触、电弧、电源电压、频率、波形、三相不对称性、操作过程、环境条件等与电气故障的关系。然后按电源故障、电路故障、设备和元件故障的顺序，分别介绍了查找故障的方法，

结合大量实例叙述了状态分析法、单元分割法、回路分割法、逻辑推理法、树形分析法、电位分析法、阻抗分析法、类比分析法、图形变换法、简化法、直接感知法、仪表检测法、计算机辅助分析法等，在查找电气故障中的应用。

书中，对常用的电气故障诊断器具、电工基本定律和定理在查找电气故障中的应用做了介绍，对常用电气设备、装置、线路（如开关电器、照明电器、电动机、变压器、发电机、电力和电信线路、电子元器件等）的故障原因、查找步骤和一般处理方法，也做了较详细而具体的叙述。

书中最后一章，列举了 10 个较典型的电气故障实例，读者可以此作为查找电气故障的综合练习。

本书所列举的故障实例，大多是作者从实际工作中总结出来的，因而比较真实，可供借鉴。

正如“万用表”并非万用一样，本书所述查找电气故障的方法也并非能解决实际中的所有问题。由于电气故障具有多样性、复杂性，因此要求广大读者必须多从实践中学习、总结、探索、提高，本书能够起到一点指导作用则是我们的目的。在此，也希望读者对本书的缺点和错误给予指正，不吝赐教。

机械工业出版社的杨溥泉和边萌同志对本书的内容、结构提出了许多好的建议，谨此致谢！

何利民、尹全英

目 录

前言

第一章	基本知识	1
第一节	电气装置的正常运行条件	1
第二节	电工基本定律和定理在查找电气故障中的应用	7
第三节	电气故障诊断器具	20
第四节	电气故障的分类及特点	35
第二章	电气故障探源	45
第一节	电气设备发热与电气故障	45
第二节	电动力与电气故障	53
第三节	电接触与电气故障	58
第四节	电弧与电气故障	66
第五节	电源电压与电气故障	71
第六节	电源频率与电气故障	76
第七节	三相电路不对称与电气故障	82
第八节	环境与电气故障	90
第三章	电源故障的查找	98
第一节	电源和电源故障	98
第二节	相线和零线接线故障的查找	106
第三节	三相电源故障的查找	114
第四节	电源极性故障的查找	121
第四章	电路故障的查找	127
第一节	电路和电路故障	127
第二节	断路故障的查找	137
第三节	短路故障的查找	146

第四节	电路接地故障的查找	158
第五节	长距离线路接地、短路和断路故障点的查找	164
第五章	设备和元件电气故障的查找	176
第一节	设备和设备故障	176
第二节	无源元件故障的查找	190
第三节	电子元件故障的查找	200
第四节	开关电器故障的查找	212
第五节	电气照明故障的查找	223
第六节	异步电动机故障查找的一般方法	233
第七节	电动机不能起动故障的查找	249
第八节	电动机转速偏低故障的查找	254
第九节	电动机过热故障的查找	264
第十节	电动机剧烈振动和异常响声故障的查找	269
第十一节	单相交流电动机故障的查找	271
第十二节	变压器故障的一般探测方法	276
第十三节	变压器常见故障的查找	289
第十四节	低压发电机一般故障的查找	298
第六章	查找故障示例	308
例 6-1	一个线头与 200 多只灯具间的故障	308
例 6-2	改接一根线, 损坏家电一大串	310
例 6-3	频率表误差带来的损失	312
例 6-4	电动机为什么明显发热?	313
例 6-5	断线故障是怎样找出来的?	314
例 6-6	发电机突然失压, 一节电池解危	316
例 6-7	尚未接电使用的线路为什么带电	318
例 6-8	零线上为何有电?	319
例 6-9	谁是“纵火者”?	321
例 6-10	风机为什么停不下来?	324

第一章 基本知识

第一节 电气装置的正常运行条件

一、从人的健康与诊断谈起

人为什么会生病？外界的不良因素，如：风、寒、暑、湿、燥、火、喜、怒、哀、思、细菌、病毒、外伤、环境污染等，作用于人体的内部和外部，使人体正常的、平衡的机制遭到破坏，人就会生病。所以，人要健康长寿，第一要提高人体的内在素质，第二要改善人的饮食起居和生活环境等外部条件，否则，人体的某一部件（器官）就会出故障、老化，甚至病亡。

要使电气装置、电气设备、电气线路、电气元件不出故障，除了提高其本身质量（如材料质量、制造质量、安装质量、维修质量）以外，还必须使之运行于正常条件之下。

例如，一条架空电力线路为了输送足够大的电能，其导线截面积、线路的绝缘强度和机械强度等必须满足一定的要求，才能克服外部和内部各种因素的不良影响，保证线路安全运行，不出或少出故障。

又如，一台发电机要发出足够大的功率，不但需要输出足够大的电流，还必须有一定的端电压。实际上，电流将受到发电机允许温升的限制，而端电压将受到发电机绝缘强度

的限制。电流过大或电压过高，都可能使发电机损坏或使用寿命降低。其他电气设备也有类似的情况，即有一定的电压限额、电流限额、功率限额、频率限额、温升限额、特定的接线方式和环境条件等等。这些限额和条件，通称为额定值或额定技术条件。

医生诊断人的病情，通常要测量病人的血压、体温，进行血样等的化验，并将这些测量值、化验值与正常值进行比较，从而确诊出病情。

查找电气故障，也必须测量出故障设备的某些参数。例如，对于一台故障电动机，通常要测量其绝缘电阻、绕组的直流电阻、空载损耗、起动电流等等，并将这些值与正常值进行比较，从而找出电动机故障的原因和部位。这些正常值，通常称为额定技术参数。

额定值和额定技术参数有某些相同之处，但也有一定的区别。额定值一般标记在电气设备的铭牌上，而额定技术参数通常要从电气产品样本上查找。

额定值和额定技术参数中“额定”的意义一般用符号 N 表示。

二、常用额定值

1. 额定电压

电压是表征电路做功的基本参量。电源输出端有电压，电源才能向外做功；负载两端有电压，负载才具有正常做功的条件。

在规定条件下，保证电气设备和电路正常工作的电压值，称为额定电压，用 U_N 表示，单位是 V 或 kV 。

一般电气装置的额定电压等级见表 1-1。

表 1-1 一般电气装置的额定电压

序号	类别	额定电压/V
1	直流用电设备	1.5, 2, 3, 6, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 110, 220, 440
	直流供电设备	1.5, 2, 3, 6, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 115, 230, 460
2	单相交流用电设备	6, 12, 21, 36, 42, 100, 220
	单相交流供电设备	6, 12, 21, 36, 42, 100, 230
3	三相交流用电设备	36, 42, 100, 220/380, 380/660, 3000, 6000, 10000, 35000
	三相交流供电设备	36, 42, 100, 230/400, 400/690, 3150, 6300, 10500, 38000
4	交流安全电压	6, 12, 24, 36, 42

注：1. 直流为平均值，交流为有效值。

2. 在三相交流系统中，斜线左侧为相电压，斜线右侧为线电压，无斜线者为线电压。

3. 交流 100V，用于电压互感器。

4. 用电设备额定电压也是线路和系统的额定电压。

2. 额定电流

在规定条件下，保证电气设备和电路正常工作的电流值，称为额定电流，用 I_N 表示，单位是 mA、A、kA。

一般电气设备的额定电流等级如下（单位为 A^①）：

1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3.15, 4, 5, 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80 (75), 100, 125 (120), 160 (150), 200, 250, 315 (300), 400, 500...

3. 额定功率和额定容量

功率和容量表征电气设备具有的做功能力。功率和容量的限额称为额定功率和额定容量，其大小是指输出功率和容量。

① 括号内的电流值，限于老产品使用。

对电动机之类的运动电气设备，其额定功率指输出的机械功率。

由于交流设备存在无功功率，所以常用容量来表示其做功的能力。

额定功率的符号是 P_N ，其单位是 kW 或 W；额定容量的符号是 S_N ，其单位是 kVA 或 VA。

4. 额定频率

交流电气设备必须工作在某一频率的电源之下，这一规定的电源频率称为额定频率，符号是 f_N ，单位是 Hz。

一般交流电气设备使用的电源频率是 50Hz，这一频率称为工频。

5. 额定接线方式

电气设备内部各元件之间及其与电源之间所规定的接线方式称为额定接线方式。例如，直流电的正、负极接线，交流电绕组同名端（同极性）的接线，三相交流电源或负载的星形联结（Y联结）和三角形联结（△联结）等等，必须按规定正确接线，否则就会引起故障。

图 1-1 所示为三相交流电动机的接线。三相绕组分别为 U1-U2、V1-V2、W1-W2，若规定的接线为△联结，接于三相电源 380V，则应将 U1-W2、V1-U2、W1-V2 三对接线端短接，然后接于电源 L1、L2、L3（见图 1-1a），这样，每个绕组所加的电压均为 380V。如果改成图 b 所示的 Y 形联结，则每两个绕组之间所加的电压为 380V，每个绕组的电压只为相电压 220V，电动机将不能正常工作了。

如果将绕组一相反接，例如△联结的 U1-U2 绕组反接，见图 1-2a；V1-V2 绕组反接，见图 1-2b；W1-W2 绕组反接，见图 1-2c，这些都将造成电动机的严重故障。

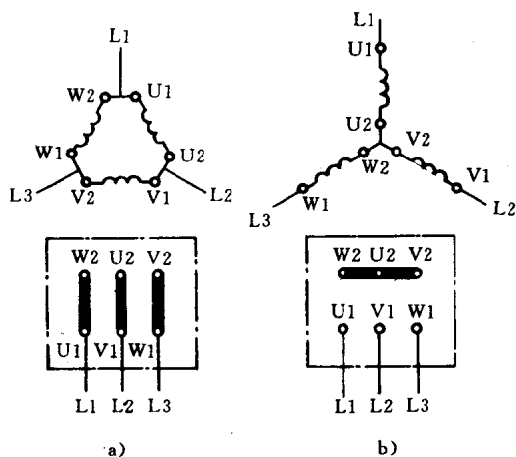
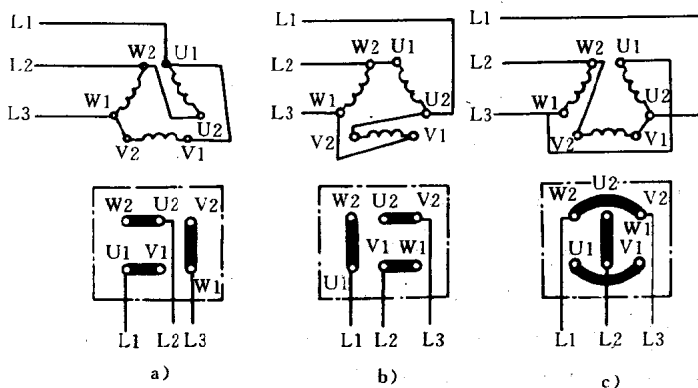
图 1-1 三相电动机绕组的 Δ / Y 联结a) Δ 联结 b) Y 联结

图 1-2 三相电动机一相绕组反接

a) U 绕组反接 b) V 绕组反接 c) W 绕组反接

6. 额定工作制

从电气设备运行时间的连续性及其对电气设备因发热而

升温的影响出发，规定了电气设备的工作制。

电气设备主要有三种工作制：长期工作制、短时工作制和断续周期（反复短时）工作制。

(1) 长期连续工作制 这类工作制的设备长期连续运行，负载比较稳定，如通风机、水泵、空气压缩机、电炉和照明灯等。机床电动机的负载一般变动较大，但多数也是长期连续运行的。

(2) 短时工作制 这类工作制的设备工作时间很短，而停歇时间相当长，如机床上的某些辅助电动机（如进给电动机）、断路器合闸电磁铁等。

(3) 断续周期工作制 这类工作制的设备周期性地时而工作，时而停歇，如此反复运行，而工作周期一般不超过10min，如电焊机和起重机的电动机等。断续周期工作制的设备，可用“负载持续率”（又称暂载率）来表征其工作性质。

负载持续率为一个工作周期内工作时间与工作周期的百分比值，用 ϵ 表示，即

$$\epsilon = \frac{t}{T} \times 100\% = \frac{t}{t+t_0} \times 100\%$$

式中 T ——工作周期；

t ——工作周期内的工作时间；

t_0 ——工作周期内的停歇时间。

不同工作制下电气设备的发热和温升是不相同的。在长期工作制下，设备温升已趋于稳定温升，设备产生的热量基本上等于散失的热量；在短时工作制下，工作时间内不足以使设备达到稳定的温升，而在两次工作间隙内足以使设备的温度恢复到周围环境温度；在反复短时工作制下，由于工作周期短，设备达不到最高温度。正因为如此，不同工作制的

设备的结构，如绕组导线截面积、铁心结构、散热体、绝缘材料等，是大不相同的，如果不按工作制规定（即额定工作制）运行，设备就会出故障。例如，短时工作制的设备长期工作，必然会因发热过度而被烧毁。

第二节 电工基本定律和定理在 查找电气故障中的应用

理论是实践的基础。查找电气故障时，若没有正确的理论作指导，就会变成盲目的行动。因此，掌握常用的电工基本定律、定理和计算公式的含义及其应用是十分必要的。

这里说的“掌握”，主要是指对概念的理解，侧重于定性的分析。因为在查找电气故障时，大多没有 ([要进行精确的定量计算。

一、常用的电工基本定律

1. 欧姆定律

欧姆定律是反映电路中电压、电流、电阻（或阻抗）之间关系的基本定律。

如图 1-3 所示，欧姆定律最简单的表达形式如下所述。

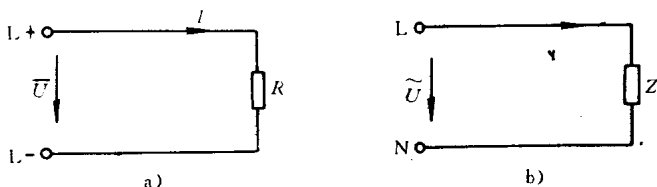


图 1-3 欧姆定律图解

a) 直流 b) 交流

在直流电路中

$$U=IR \text{ 或 } I=U/R \text{ 或 } R=U/I$$

在交流电路中

$$U=IZ \text{ 或 } I=U/Z \text{ 或 } Z=U/I$$

式中 R ——直流电阻 (Ω);

Z ——交流阻抗 (Ω);

U ——加在 R 或 Z 上的电压 (V), 交流电压为有效值;

I ——流过 R 或 Z 上的电流 (A), 交流为有效值。

查找电气故障时, 经常要用到欧姆定律。例如, 某电路电流超过了额定电流, 属于故障现象。根据欧姆定律, 首先应检查电源电压是否升高了; 若电源电压未升高, 则应检查电路的电阻或阻抗, 查找出其减小的原因。

2. 节点电流定律

对于任何节点 (电路汇接点), 在任一时刻流入 (或流出) 该节点的电流的代数和等于 0。或者说, 流入节点的电流等于流出该节点的电流。这一规律称为节点电流定律 (基尔霍夫第一定律)。

例如图 1-4 所示的电路, 信号灯 H 及电动机 M1、M2, 均接于节点 A 上。流入节点 A 的电流为 I , 流出节点 A 的电流为 I_1 、 I_2 、 I_3 。根据节点电流定律, 干线上的电流与各支路电流的关系是:

若为直流, 则 $I=I_1+I_2+I_3$;

若为交流, 则 $I=I_1+I_2+I_3$ (矢量关系)。

若电路中出现信号灯 H 不亮、电动机 M1、M2 都不能转动的故障, 则说明 $I_1+I_2+I_3=0$, 则应将查找故障的范围主要集中在干线上, 查找干线上是否存在断路点。

若测得 $I>I_1+I_2+I_3$, 则电路一定还存在某一支路, 这一支路可能是漏电支路。正是由于漏电支路的存在, 使电路

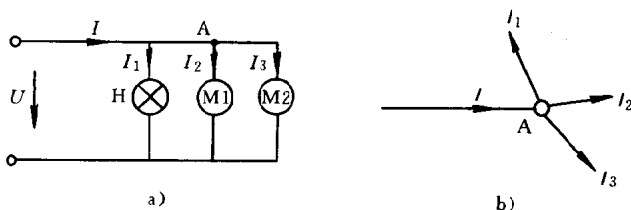


图 1-4 节点电流定律应用示例

H—信号灯 M1、M2—电动机

不能正常工作。

3. 回路电压定律

沿任一回路选定一个方向，在任一时刻，其各段电压的代数和为 0。这就是回路电压定律（基尔霍夫第二定律）。

例如图 1-5 所示的直流电路，开关闭合后所构成的回路，其电压之和为 0，在忽略导线电阻的情况下，

$$U = U_1 + U_2$$

若电源电压 U 正常，但信号灯 H 不亮，这说明电路中无电流。

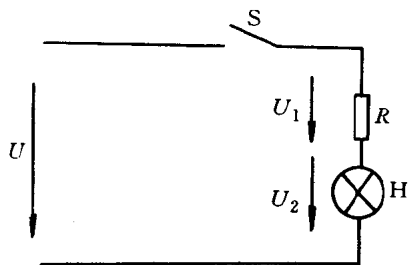


图 1-5 回路电压定律应用示例

H—信号灯 R—限压电阻

根据欧姆定律，电阻器 R 和信号灯 H 两端应无电压降。如果测量出 R 两端的电压 $U_1 = U$ ，即电源电压全部加在电阻 R 上，这说明 R 内部已经断线。

4. 电磁感应定律

当穿过某一线圈的磁通发生变化（增加或减少）时，在线圈中要产生感应电动势，其大小等于磁通对时间的变化率

的负值。这就是电磁感应定律。如图 1-6a 所示，若线圈中的磁通由 Φ 增加到 $\Phi + \Delta\Phi$ 时，线圈中的感应电动势为

$$e = -N\Delta\Phi/\Delta t$$

式中 e ——感应电动势；

N ——线圈有效匝数；

$\Delta\Phi$ ——线圈中的磁通变化量；

Δt ——磁通变化所经历的时间。

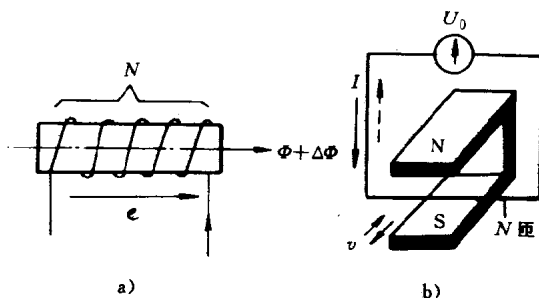


图 1-6 电磁感应定律图解

图 1-6b 示出了电磁感应定律的另一种表现形式，当长度为 L 的导体在磁场 N-S 中，以速度 v 水平切割磁力线时，则导体中的感应电压与导体的有效长度、匝数、切割速度及磁场强度成正比，即

$$U_0 = BLvN$$

式中 U_0 ——感应电压 (V)；

B ——磁通密度 (T)；

v ——移动速度 (m/s)；

N ——匝数；

L ——导体在磁场中的有效长度 (m)。

例如，磁通密度 $B = 0.5\text{T}$ ，导体 $L = 0.1\text{m}$ ， $N = 1000$ 匝，