

光电线缆检测技术

方建成 张晓声 顾怀德 主编
钱祖清 主审



北京融商电子货币工程集团
Financial Business Electronic Currency Engineering Group

电子工业出版社

内 容 简 介

光电线缆主要包括电子线缆和光纤光缆两大类。本书共两篇。第一篇介绍电子线缆检测,主要涉及电子线缆的检测内容与分类、检验的一般程序、检验结果分类及检验过程的质量管理,着重讲解根据有关标准和具体电子线缆选用合适仪器设备进行检验。第二篇介绍光纤光缆检测,内容包括光纤光缆的主要性能和检测技术的基本原理、测量方法及要点,并按光纤光缆的分类性能逐章介绍。

本书可供光电线缆生产的中高级技术工人作培训教材使用,也可供有关专业人员参考。

光电线缆检测技术

方建成 张晓声 顾怀德 主编

钱祖清 主审

责任编辑 祖振升

*

电子工业出版社出版

北京市海淀区万寿路 173 信箱(100036)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

电子工业出版社计算机排版室排版

北京大中印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:13.5 字数:330 千字

1996 年 2 月第一版 1996 年 2 月北京第一次印刷

印数:3000 册 定价:20.00 元

ISBN7-5053-3117-5/TN·876

电子整机专业教材编审委员会

主 任	沈权清			
副主任	赵学信	张秉文	李宝才	
	韩卫东	戴恩虎		
秘书长	吴长庚			
秘 书	杨 婧			
委 员	施永台	范传立	施祖恩	钟 材
	刘克信	孟庆林	许建寅	陈文江
	余百强	李昌国	杨立臣	徐士佐
	任帜烈	陈申甫	刘学山	王佐明
	田玉玲	汪根源	林克聪	孙蔚晴
	张卫国	尹自由	苏万清	顾永福
	贾秉权	冯学敬	刘 开	韩智垣
	贾海勇	蔡陵钦	胡东水	刘洪富

编者说明

光电线缆检测技术分为电子线缆检测技术和光纤光缆检测技术两部分。

第一篇电子线缆检测技术,主要介绍电子线缆检测的内容和分类,检验的一般程序和结果分类,电子线缆检验过程中的质量管理,着重讲解根据有关标准和具体电子线缆选用合适仪器设备进行检验。本篇中有关检验程序和质量管理的內容,原则上也适用于光纤光缆的检测,在第二篇中不再重复。

第二篇光纤光缆检测技术按光纤光缆特性类别依次介绍光纤光缆主要性能、检测技术基本原理和测量方法。由于光纤通信是一门新技术,有些性能参数的基本定义还在不断研究和发展中,某些特性参数至今还没有统一的标准测量方法。本篇所介绍的以我国技术监督局和国际标准化组织(国际电工委员会 IEC 和国际电报电话咨询委员会 CCITT)所推荐的光纤光缆检测方法为蓝本。

由于光纤光缆新技术新材料的不断发展,不少电子线缆厂为适应市场经济的新形势,进一步开发光纤光缆新产品,迫切需要了解光纤光缆检测技术,以控制和提高光纤光缆产品的质量。光纤光缆检测技术和测量方法在内容与系统性方面具有与电子线缆不同的特点,为便于组织培训和自学,另编光纤光缆检测技术教学大纲附于书后。全书共 120 学时,电子线缆检测和光纤光缆检测各 60 学时。

本教材第一篇第一、四~七章由方建成编写,第二、三章由顾怀德编写,第二篇由张晓声编写。由于编著者经验不足,水平有限,错误在所难免,欢迎读者批评指正。

编者
1994 年 10 月

目 录

第一篇 电子线缆检测技术

第一章 绪论.....	(3)
第一节 电子线缆检测的内容和分类.....	(3)
第二节 电子线缆检测程序和结果分类.....	(3)
第三节 与检测有关的行业、国家、国际标准.....	(5)
复习思考题.....	(6)
第二章 电子线缆的外观及结构尺寸的检查.....	(7)
第一节 电子线缆的外观检查.....	(7)
第二节 电子线缆导电线芯的结构尺寸检查.....	(8)
第三节 电子线缆绝缘厚度的检查.....	(9)
第四节 电子线缆护套厚度的检查.....	(12)
第五节 电子线缆屏蔽层的检查.....	(13)
第六节 电子线缆外径的检查.....	(14)
实 验.....	(15)
复习思考题.....	(15)
第三章 电子线缆机械物理性能检查.....	(16)
第一节 电子线缆的绝缘和护套的抗张强度及断裂伸长率的检查.....	(16)
第二节 电子线缆的绝缘和护套的失重检查.....	(21)
第三节 电子线缆绝缘和护套的高温压力试验.....	(23)
第四节 电子线缆绝缘热变形试验.....	(25)
第五节 电子线缆绝缘热收缩试验.....	(26)
第六节 电子线缆低温卷绕试验.....	(27)
第七节 电子线缆低温冲击试验.....	(28)
第八节 电子线缆燃烧试验.....	(29)
第九节 射频电缆流动性试验.....	(31)
第十节 射频电缆尺寸稳定性试验.....	(32)
实 验.....	(33)
复习思考题.....	(34)
第四章 射频电缆的电性能试验.....	(35)
第一节 射频电缆电性能简介.....	(35)
第二节 电容、电容不平衡及电容稳定性试验.....	(37)
第三节 平均特性阻抗.....	(39)
第四节 衰减常数及衰减稳定性.....	(44)
第五节 回波损耗.....	(48)

第六节 导体连续性、内导体直流电阻	(51)
第七节 绝缘电阻	(52)
第八节 介质与护套介电强度	(54)
第九节 局部放电试验(电晕试验)	(56)
第十节 屏蔽衰减	(57)
实 验	(58)
复习思考题	(63)
第五章 安装线缆的电性能试验	(64)
第一节 耐压、绝缘电阻试验	(64)
第二节 火花试验和针孔试验	(64)
第三节 高压切通试验	(64)
第四节 电压降试验	(64)
实 验	(65)
复习思考题	(67)
第六章 屏蔽线、同轴电缆的故障判定	(68)
第一节 内、外导体短路	(68)
第二节 内导体或外导体断路	(69)
实 验	(70)
复习思考题	(70)
第七章 影响电性能不合格的因素	(71)
第一节 护套介电强度	(71)
第二节 平均特性阻抗和单位长度电容	(71)
第三节 衰减常数	(72)
第四节 回波损耗	(73)
第五节 屏蔽衰减	(74)
复习思考题	(76)
附录 与检测有关的行业、国家、国际标准	(76)

第二篇 光纤光缆检测技术

第一章 光纤连接	(79)
第一节 光耦合	(79)
第二节 光纤连接	(83)
实 验	(95)
复习思考题	(95)
第二章 光纤光缆的几何参数测量	(97)
第一节 光纤光缆的几何参数和测量方法	(97)
第二节 多模光纤几何尺寸测量——折射近场法	(103)
第三节 光纤几何尺寸的近场测量方法	(108)
第四节 四圆容差域法	(111)
实 验	(111)
复习思考题	(113)
第三章 光纤的光学特性测量	(114)

第一节 多模光纤的数值孔径测量	(114)
第二节 单模光纤模场直径测量	(119)
实 验	(126)
复习思考题	(127)
第四章 光纤的传输特性测量	(128)
第一节 光纤衰减测量	(128)
第二节 多模光纤带宽测量	(148)
第三节 光纤色散测量	(154)
第四节 单模光纤截止波长测量	(163)
实 验	(168)
复习思考题	(169)
第五章 光纤光缆的机械物理性能试验	(170)
第一节 光纤衰减变化监测方法	(171)
第二节 光纤的机械性能试验	(172)
第三节 光缆的机械性能试验	(175)
实 验	(182)
复习思考题	(183)
第六章 光纤光缆的环境性能试验	(184)
第一节 光纤光缆的温度试验	(184)
第二节 核辐照试验	(186)
第三节 耐化学性能试验	(188)
第四节 长霉试验	(189)
实 验	(193)
复习思考题	(193)
第七章 保偏光纤的特性测量	(194)
实 验	(200)
复习思考题	(201)
附录 光纤光缆检测工中级教学大纲	(203)
光纤光缆检测工高级教学大纲	(205)

第 一 篇

电子线缆检测技术

第一章 绪 论

原材料的性能和加工工艺都会对电子线缆的质量有极大的影响。因此必须通过产品的检验和试验来控制电子线缆的质量。本篇主要介绍电子线缆检测的内容和分类,检验的一般程序和结果分类,电子线缆检验过程中的质量管理。本篇的重点在于根据有关标准并结合具体产品选用合适的仪器、设备进行检测和试验,提供可靠、准确的结果,以判断产品合格与否,查明不合格品产生的原因,为提高产品质量提供改进的依据。

第一节 电子线缆检测的内容和分类

电子线缆的检测可分三类:

1. 电子线缆外观、尺寸和结构检查;
2. 电子线缆机械物理性能试验;
3. 电子线缆电性能试验。

结构尺寸是保证电子线缆具有某特定功能而设计的技术参数。一般只有在结构尺寸符合标准的前提下,才能进行其它试验。因为结构尺寸不在标准规定范围内,常常会造成某些电性能的超差。在电子线缆整个生产工艺流程中结构尺寸通常都需 100% 进行控制。

电子线缆的机械物理性能试验,是考核电子线缆在模拟极端的试验条件下,其电气和机械性能受到何种程度的影响。由于各项要求随电子线缆类型不同,详细规范应规定高、低温试验(或恒定试验)前后衰减、绝缘电阻或电容测量是否进行及考核指标。如果没有规定测量上述电性能,那么这些试验的目的仅在于检验绝缘介质和护套材料的机械损伤或测量其抗张强度和断裂伸长率的变化,以反映材料性能的损坏程度。

电子线缆的电性能试验的目的在于考核电子线缆的电性能是否满足使用时的电气指标,也是用户关心的最主要的性能。有的是配合某系统必需考虑的参数,例如特性阻抗、衰常数,有的是从安全和使用寿命角度出发的,例如绝缘电阻、绝缘和护套的介电强度、局部放电试验的灭晕电压等。

第二节 电子线缆检测程序和结果分类

为了加强电子线缆检验过程中的质量管理,根据 ISO 9000 系列关于质量管理和质量保证的国际标准的要求,质量管理应贯彻于生产的全过程。尽管本篇内容侧重于产品的最终检验和试验,但必须树立质量管理贯穿生产全过程始终的指导思想。

一、有关国际标准的要求

根据 ISO 9000 系列关于质量管理和质量保证的国际标准,对产品检验和试验的要求应包括:

(一) 接收检验和试验

供方应保证进厂物品只有经过检验或其它验证证明符合规定要求才能投入使用或加工。验证应按质量计划或书面程序进行。

(二) 工序检验和试验

1. 根据质量计划或书面程序的要求,检验、试验和鉴别产品;
2. 采用对工序监控的办法,使产品符合规定的要求;
3. 在完成所要求的检验和试验,或收到必要的报告并予以证实后,才能将产品转入下道工序;
4. 鉴别不合格品。

(三) 最终检验和试验

1. 质量计划关于最终检验和试验的书面程序要求完成所有的规定的检验和试验,包括进货或工序检验和试验,且数据满足规定要求;
2. 供方应按照质量计划或书面程序进行所有的最终检验和试验,以完备成品符合规定要求的证据;
3. 在质量计划或书面程序规定的所有工作均已圆满完成并且有关资料 and 文件已备齐并得到批准以前,任何产品不得发出。

另外,该系列国际标准还对记录及检测仪器设备、检验和试验状态提出了要求:

(1) 对检验和试验记录的要求

供方应建立并保证给出产品已按规定的接收判据通过检验和/或试验的证据的记录。

(2) 对检验、测量或试验设备的要求

供方对检验、测量和试验设备进行控制、检定和维护,以便证实产品符合规定要求。使用的设备应保证其测量不确定度是已知的,并且具备所需的测量能力。供方应保存检验、测量和试验设备的检定记录。

(3) 检验和试验状态

产品的检验和试验状态应采用标记、批准的印章、标签、标牌、流程卡、检验记录、放置地点或其他合适的手段予以标识,以表明经检验和试验的产品合格与否。记录应标明负责放行合格品的检验部门。

二、国内电子线缆的检验程序及分类

本篇内容着重于最终的检验和试验,按照 GB 12269—90《射频电缆总规范》等有关标准关于质量评定规则,规定检验分为鉴定检验和质量一致性检验。

(一) 鉴定检验

鉴定检验应在有关部门认可的试验室进行。一般为生产厂在批量供应某种电子线缆前进行的检验。另外当主要设计、工艺、材料变更后或停产后恢复生产时均应进行鉴定检验。本检验一般分两组进行,第一组检验对全部样品进行,第二组检验是从每个样品上截取规定数量进行。

(二) 质量一致性检验

本检验由逐批检验和周期检验组成。

1. 逐批检验(即产品的交收检验)

规定应按 GB 2828《逐批检查计数抽样程序及抽样表(适用于连续批的检验)》中的一次抽样方案进行抽样。检验分若干组进行,例如 A、B 两组,A 组检验中的某些项目如导体连续性、绝缘介电强度、绝缘电阻、护套介电强度等均应 100% 进行,余下项目及 B 组项目均按规定抽样进行。

2. 周期检验(替代以往的例行试验)

本检验由 C 组检验组成,按规定每三个月进行一次,但通常每半年进行一次。在改变结构、改进工艺和更换材料或停产三个月以上又恢复生产时亦需进行。

按规定 C 组检验应从三个月内生产的已经通过了 A 组和 B 组检验的检验批中抽取的样本单位进行。实际上目前绝大部分厂均不具备 C 组检验的能力,一般均送已经有关部门认可的检测单位进行。因此检测单位所出具的周期检验报告仍包括了 A、B、C 三组检验的全部检验项目。

在鉴定检验或周期检验抽样或送样时,应按产品详细规范规定的数量抽取样品,而且每一试样长度应符合有关试验方法或详细规范的规定。

此外,除上述检验外,还有生产许可证确认试验、创优(国优、部优、省市优)试验、质量评定试验等。这些试验本质上与鉴定检验、周期检验的要求无多大区别,只是由主管部门按要求抽样,由授权检测单位检测,有时要增加少量加严试验项目,根据事先规定的要求评判。

(三) 检验顺序

受检试样依次进行两个或两个以上的试验项目,通常前面的试验为非破坏性的,但必须按规定顺序依次进行考核。若是破坏性的试验项目必须分组进行。因此试验顺序和试验分组必须考虑到成品能胜任实际的工作能力。对试验人员来说,必须按技术标准规定的内容和程序逐项按顺序来考查。

(四) 试验记录与检验报告

内容应包括试样型号、名称、送检单位、生产单位、生产日期(批号)、试验项目名称及要求、试验仪器或设备的型号名称(编号)、原始数据、中间数据、计算结果、试验日期、温湿度和测试(试验)者。

对常用的试验项目应有专用记录本或记录表格,以备存档备查。

对试验报告应有专用的试验报告纸,内容大致同上,只需列出最终结果,通过与标准数据比较,判断合格与否,并经审核和批准。

第三节 与检测有关的行业、国家、国际标准

为了完成电子线缆的检验和试验,检测试验人员必须熟悉对口产品以及相关试验方法的行业标准和国家标准。目前有关产品的标准(一般称详细规范)一般只制订行业标准,而同类产品的总规范及相应的试验方法则制订国家标准,后者基本上是等同采用或等效采用相应的国际标准。

有关电子线缆检测的行业标准(包括部颁标准)和国家标准,参见附录。

复习思考题

- 1-1 电子线缆的检测总的可分哪三类,分别考核哪方面主要内容?
- 1-2 简述电子线缆的检测程序,国际及国内标准如何规定。

第二章 电子线缆的外观及结构尺寸的检查

电子线缆的外观和结构尺寸是使电子线缆达到一系列特定技术要求的基本结构要素。通常运用最简单的测量工具,诸如测量显微镜、游标卡尺和 μ 级千分尺等,即可完成外观和结构尺寸的检查工作,并可对电子线缆作出初步估价。因此,在工厂生产线上、质检部门的日常检验工作和使用部门的初步估价工作中都将结构尺寸的检查列为必要的检验项目。

对于质量检验人员,必须充分认识到此项工作的重要意义,熟悉和掌握基本的测试方法,统一质量评定的共同语言。

本章将重点介绍外观和结构尺寸的测试方法、仪器使用和质量评定的要点。

电子线缆的结构尺寸检查方法,可参阅GB2951-82、GB4098-83和GB12269-90有关规定。

第一节 电子线缆的外观检查

电子线缆的外观检查是用目视法(不能用放大镜,可以戴眼镜矫正到正常视力)进行。外观检查分下列几个方面。

一、外表质量

电子线缆的外表质量,不仅反映了电子线缆所使用的材料质量和工艺水平,还直接影响到电缆的安全性能和用户的选用。外表检查应检查以下几点。

- 电缆外表面应平整光滑、色泽均匀;
- 电缆的外护层应无目力可见的针孔、裂痕、气泡和其它缺陷;
- 电缆两端裸露的金属件无明显的锈蚀;
- 若外护层内有屏蔽编织层,则外护层允许有轻微的编织网花纹。
- 特殊情况下可按相应的产品技术条件的规定进行检验。

二、颜色

电子线缆如果有接地线要求时,接地线的颜色应为绿/黄双色线。在具有绿/黄双色接地线时,则其它绝缘线不允许再采用黄色或绿色的绝缘线。

电子线缆所选用的颜色线应优先选用白、红、黑、黄、兰、绿、橙、灰、棕、紫、青绿、粉红等。颜色应鲜明、色泽均匀。颜色应和 GB6995. 2-86 的标准色谱相一致。

三、标志

电子线缆的识别标志可用文字、字母、符号、颜色等标记标出电子线缆的制造厂、产品商标、型号、规格、性能等。标志颜色应易于识别,清晰度好。

通常应用沾水棉花在识别标志上轻擦 10 次,标志仍应保持原有清晰度。

也可采用凸体或凹体压印标志,直接压印在电子线缆的外护层上,字迹必须清晰可辨。

第二节 电子线缆导电线芯的结构尺寸检查

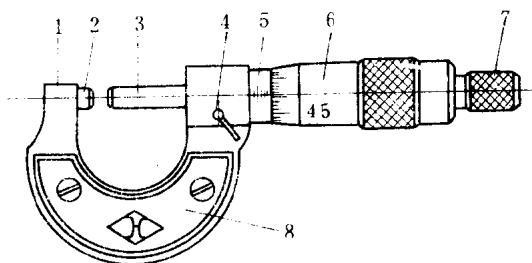
电子线缆导电线芯的结构尺寸检查,通常采用外径千分尺来测量,也可采用其他合适的量具来测量,但所使用的量具必须符合表 2-1 的规定。

表 2-1

标称尺寸(mm)	示值精度(mm)
0.020~0.250	± 0.002
0.250 以上	± 0.004
10.00 及以上	± 0.005

一、外径千分尺的使用

以测砧为固定式的外径千分尺为例图 2-1。它是一种通过微分筒 6 的回转运动转变为测微螺杆 3 相对于测砧 2 的直线运动的一种量具。



1—尺架;2—测砧;3—测微螺杆;4—锁紧装置;5—固定套管;6—微分筒;7—测力装置;8—隔热装置

图 2-1 测砧为固定式的千分尺

在测量导电线芯直径时,必须将导电线芯校直,放在测微螺杆与测砧之间,旋动微分筒,在刚接触时,再旋动测力装置 7,轻轻地旋动一二下,可听到轻微的嗒嗒声,此时可保证测微螺杆加在被测导电线芯上约 0.7N 左右的测力,此测力可确保每次测量结果的重复性,然后即可在固定套管 5 及微分筒上读出测量数值。

在学习导电线芯结构尺寸测量之前,必须熟悉外径千分尺的结构原理、使用方法和读数方法,才能得出正确的测量结果。

二、导电线芯的结构尺寸检查

导电线芯的结构尺寸在电子线缆的技术文件中通常用 n/d 来表达。其中 n 为芯线绞合根数; d 为单根芯线的直径。

导电芯线若是单根芯线,则 $n=1$;若有 7 根单线绞合成导电芯线,则 $n=7$ 。 n 值可由数数法得出。

测量导电芯线直径可按下面步骤进行:

在被测电子线缆距端部 1m 处,截取 1m 长试样一根。因为电缆端部通常会在包装或运输过程中遭到人为损伤,所以端部 1m 的线缆不能作为试样;

在 1m 试样上,在距试样端部 200mm 处和每隔至少 200mm 处选取三个测量处。每一个测量处按图 2-2 所示方法测量导电芯线的直径。即在垂直于试样轴线的同一截面上,在相互垂直的方向测量二次,其二次测量读数的算术平均值,即为该测量处的导电芯线直径值;

导电芯线的直径按下式计算:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2-1)$$

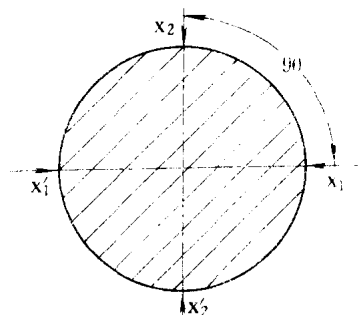


图 2-2 导电芯线直径测量示意图

式中 x_i ——第 i 次测量的直径(mm),精确到小数点后第三位;

n ——测量次数,一般为 6 次。

计算直径时,当直径为 0.020~1.000mm,应保留三位小数;当直径大于 1.000mm,保留二位小数。

三、判定方法

凡技术条件中规定了导电芯线的标称直径和公差范围时,则按式(2-1)计算测量结果的算术平均值 $\bar{x}$,必须满足技术条件中规定的导电芯线标称直径的公差范围。

凡技术条件中规定了导电芯线的截面积,以确保导电芯线的载流能力时,则按下式计算导电芯线的截面积。

$$S = \frac{n\pi d^2}{4} \quad (2-2)$$

式中 d ——按式(2-1)计算得到单根芯线直径的算术平均值(mm);

n ——绞合导电芯线的根数。

式(2-2)计算得到的导电芯线截面积 S ,应符合技术条件规定的要求。

第三节 电子线缆绝缘厚度的检查

电子线缆的绝缘厚度通常用放大倍数不小于 10 倍、读数精度为 0.01mm 的读数显微镜来测量。也可用放大倍数不小于 10 倍、读数精度为 0.01mm 的其它测量仪器来测量。

一、读数显微镜的简单介绍

以上海光学仪器厂生产的 15J 测量显微镜为例(见图 2-3)。在使用之前,必须将测量显微镜调整到正常测试状态,调试方法如下。

(一) 对光和聚焦

切一圆形塑料薄片(约 0.5mm 厚)放在测量工作台 5 的玻璃平板上,转动反光镜 7,可在目镜 1 中观察到最大亮度。旋转 y 轴方向测微器 6 和旋转测微鼓轮 9,使测试的圆形塑料薄片位置对准物镜 4,然后调整调焦手轮 15,直到在目镜中能观察到圆形塑料薄片的清晰轮廓线为止,此时镜筒 3 处于最佳的测量位置,旋紧旋手 12,固定镜筒位置。

(二) 调整目镜十字线位置

缓慢转动目镜,同时摇动旋转测微鼓轮,使得目镜中的十字线的水平线始终与圆形塑料薄片的边缘相切,见图 2-4,此时即可固定目镜止动螺钉 16。该调整步骤可确保 x、y 轴方向测量结果的正确性。

(三) 测量

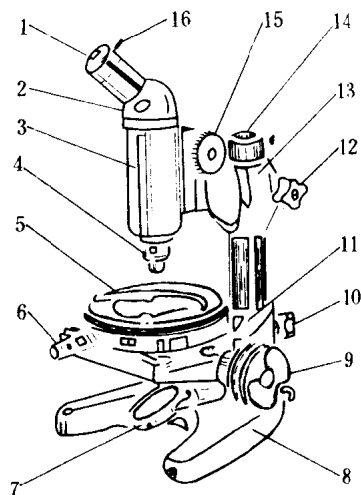
在测量过程中,转动 x、y 轴方向测微器时,应向同一方向转动,这样可以减少处理相关的几个测量值时的人为测试误差。

掌握了以上三要点,即可获得正确的测量结果。

二、绝缘厚度的测量

测量绝缘厚度的样品,需在成卷电缆距端部 1m 处截取适当长度(约 50mm)一段。不能直接从端部取样,因为电缆端部可能有人为压扁或其它类型机械损伤,以致带来不真实的测量结果。

无损地去除绝缘内、外所有的导电芯线、屏蔽层、护套等,再用锐利的刀片,沿着与样品段轴线相垂直的平面,切取一薄试片(约 0.5mm),若有压印标志时,试片应包含有绝缘厚度局部减薄的标志印痕。绝缘厚度测量步骤如下:



1—目镜;2—目镜套筒;3—镜筒;4—物镜;
5—测量工作台;6—y 轴方向测微器;
7—反光镜;8—底座;9—旋转测微鼓轮;
10—旋手;11—平台;12—旋手;13—支架;
14—主柱;15—调焦手轮;16—目镜止动螺钉

图 2-3 读数显微镜示意图

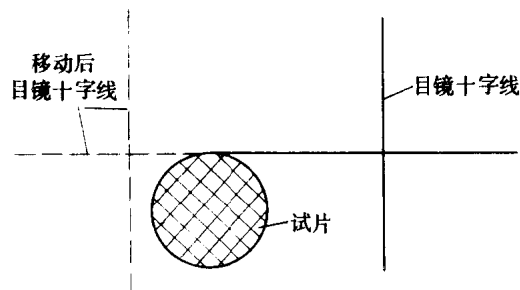


图 2-4 目镜十字线调整示意图

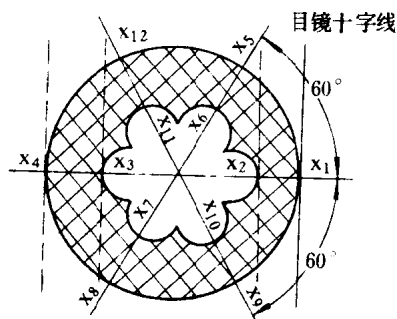


图 2-5 绝缘试片测量示意图

1. 将绝缘试片放在测量显微镜的测量工作台的玻璃板上,按前述方法进行对光、调焦,直至在目镜中能观察到最清晰的试片的轮廓线。

2. 以绝缘厚度最薄的一点作为第一个测量点,在遇有绞合线芯线痕时,则应测量在绝缘试片上留下的线痕凹槽底部最薄处。

转动显微镜的工作台面,再转动 x、y 轴的测微器,使样品最薄点的边缘的点 x_1 与目镜十字线的纵轴线相切(见图 2-5),可读下此时 x 测微鼓