

DIANWANG SHEBEI JINSHU JIANDU
GONGZUO SHOUCHE

电网设备金属监督 工作手册

国家电网有限公司设备管理部 组编

扫一扫
看视频



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANWANG SHEBEI JINSHU JIANDU
GONGZUO SHOUCHE

电网设备金属监督

工作手册

国家电网有限公司设备管理部 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为总结电网设备金属监督工作成果,推动金属监督工作规范开展,提高检测人员专业能力,提升电网设备安全运行水平,国家电网有限公司设备管理部组织编写了《电网设备金属监督》系列丛书,包括检测技术及实例、工作手册、试题库、失效典型案例分析4个分册。

本书为《电网设备金属监督工作手册》,主要内容包括电网设备金属监督常用检测技术、理化检测工作手册、无损检测工作手册等。

本书是电网设备金属监督工程技术人员和管理人员的业务指导书,可供相关专业技术及管理人员学习使用,也可作为生产厂家、电力用户相关技术人员及大专院校相关专业师生的自学用书与阅读参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电网设备金属监督工作手册/国家电网有限公司设备管理部组编. —北京:中国电力出版社,2019.3(2019.4重印)
ISBN 978-7-5198-2811-0

I. ①电… II. ①国… III. ①电网-电力设备-金属材料-质量监督-工作-手册 IV. ①TM241-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第295365号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:罗翠兰 肖 敏

责任校对:黄 蓓 朱丽芳

装帧设计:张俊霞

责任印制:石 雷

印 刷:三河市万龙印装有限公司

版 次:2019年3月第一版

印 次:2019年4月北京第二次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:8.75

字 数:182千字

印 数:1501—3500册

定 价:52.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社营销中心负责退换

《电网设备金属监督工作手册》

编 委 会

- 主 任 周安春
- 副主任 毛光辉 徐玲铃
- 委 员 金 焱 郭 锋 朱义勇 王 文
- 主 编 徐玲铃
- 副主编 金 焱 张 杰 赵洲峰 乔汉文 郝文魁
- 参 编 童 钧 宣晓华 胡建根 周正强 王炯耿
- 赵 峥 鲁旷达 郑宏晔 黄国良 冯 谦
- 王若民 张 浩 李 喆 徐 凯 蔡建宾
- 严康骅 王志惠 江 涛 吴文健 李凤瑞
- 孙 耘 成敬周 丁 敬 许 飞 毛航银
- 乔亚霞 韩 钰 丁 杰 何 成 王 博
- 李 亮 李坚林 付宣蓉 梅 简 周宇通
- 陈胤楨 周重回 徐长威 周 进 杨点中
- 陈小林 罗宏建 裘吕超 贾斌辉 申 剑
- 洪 杰 徐志强 何 涛 贾孟丹 赵宣华
- 董 栋 廖平军 傅钦东

前言

金属材料广泛应用于电网设备，是变压器、隔离开关、输电杆塔等电网设备的重要组成部分，承担载流、承力、密封等重要作用，关系电网安全稳定运行。当前金属材料学科在电网设备应用发展中尚处于初级阶段，电网从业人员对金属材料学知识的掌握十分有限，在设备采购、安装、运检阶段往往重电气性能，轻材质工艺性能，以致设备部件的金属材料问题难以及时发现与有效治理。

近年来，国家电网有限公司（简称国家电网公司）以提升设备本质安全水平为目标，持续加强电网设备金属专业能力建设，立项支持基础技术研究，构建金属专业标准体系，鼓励新技术应用，开展检测能力评价及技能竞赛，在基层运检队伍中培育出一大批专业检测人员。自2016年6月起，针对国家电网公司系统220kV及以上新建工程电网设备开展金属专项监督工作，累计抽检发现镀层不足、材质不符、工艺不良等各类缺陷设备（部件）19296台（件），平均问题检出率9.6%。通过大量实践探索，国家电网公司各单位在电网设备材料理论基础、检测方法应用、金属部件失效分析等方面积累了大量经验，为进一步推动金属材料专业服务电网建设、保障电网运行奠定了重要基础。

为充分总结近年来国家电网公司电网设备金属监督工作成果，推动金属监督工作规范开展，提高检测人员专业能力，提升电网设备安全运行水平，国家电网公司设备管理部组织编写了《电网设备金属监督》系列图书，包括检测技术及实例、工作手册、试题库、失效典型案例分析4个分册。

本书为《电网设备金属监督工作手册》，主要内容包括电网设备金属监督常用检测技术、理化检测工作手册、无损检测工作手册等，由国网浙江省电力

有限公司、国网安徽省电力有限公司、国网宁夏电力有限公司、国网新疆电力有限公司、国网福建省电力有限公司、国网青海省电力公司、国网陕西省电力公司、中国电力科学研究院有限公司共同编写，并得到了全球能源互联网研究院有限公司的大力支持。

由于编写人员水平有限，书中难免存在不妥或疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编者
2018年11月

目 录

前言

第 1 章 电网设备金属监督常用检测技术	1
1.1 理化检测技术	1
1.2 无损检测技术	6
第 2 章 理化检测工作手册	12
2.1 化学成分检测	12
2.2 机械性能检测	19
2.3 金相检验	36
2.4 SEM 与 EDS 检测	40
第 3 章 无损检测工作手册	45
3.1 超声波检测	45
3.2 射线检测	90
3.3 磁粉检测	97
3.4 渗透检测	99
3.5 涂覆层厚度检测	101
附录 A 试验报告参考模板	113
A.1 成分分析报告参考模板	113
A.2 拉伸试验报告参考模板	113
A.3 冲击试验报告参考模板	114
A.4 弯曲试验报告参考模板	114
A.5 金具破坏载荷试验报告参考模板	115
A.6 金具握力试验报告参考模板	115
A.7 螺栓楔负载试验报告参考模板	116

A. 8	螺母保证载荷试验报告参考模板	116
A. 9	金相检验分析报告参考模板	117
A. 10	SEM 试验报告参考模板	118
A. 11	EDS 能谱试验报告参考模板	119
A. 12	输变电钢管结构焊缝超声波检测报告参考模板	120
A. 13	GIS 设备壳体焊缝超声波检测报告参考模板	121
A. 14	支柱绝缘子及瓷套超声波检测报告参考模板	122
A. 15	户外密闭箱体厚度超声波检测报告参考模板	123
A. 16	相控阵检测报告参考模板	124
A. 17	TOFD 检测报告参考模板	125
A. 18	X 射线检测报告参考模板	126
A. 19	磁粉检测报告参考模板	127
A. 20	渗透检测报告参考模板	128
A. 21	金属部件涂覆层测厚报告参考模板	129

电网设备金属监督常用检测技术

1.1 理化检测技术

1.1.1 化学成分检测技术

金属的化学成分检测是指鉴定金属由哪些元素组成，从而查明未知金属的元素组成或验证已知的金属元素组成。常用的金属化学成分检测技术包括化学分析法与光谱分析法。

1.1.1.1 化学分析法

化学分析法是以物质的化学反应为基础的分析方法。根据其利用化学反应的方式和使用仪器不同，分为重量分析法和滴定分析法。

重量分析法是指根据物质的化学性质，选择合适的化学反应，将被测组分转化为一种组成固定的沉淀或气体形式，通过钝化、干燥、灼烧或吸收剂的吸收等一系列的处理后，精确称量，求出被测组分的含量。

滴定分析法是指根据滴定所消耗标准溶液的浓度和体积以及被测物质与标准溶液所进行的化学反应计量关系，求出被测物质的含量。

化学分析法通常用于测定相对含量在1%以上的常量组分，准确度相当高（一般情况下，相对误差为0.1%~0.2%），所用天平、滴定管等仪器设备又很简单，因此是解决常量分析问题的有效手段。

1.1.1.2 光谱分析法

光谱分析法是根据元素被激发后所产生的特征光谱来确定金属的化学成分及大致含量的方法。通常借助于电弧、电火花、激光、X射线等外界能源激发试样，使被测元素发出特征光谱，再依据光的强度与待测分析物质含量确定的函数关系来准确分析该元素的含量。

电网设备金属监督中常用光谱仪有如下两种：①便携式直读光谱仪。有手持式X射线荧光光谱分析仪、便携式火花直读光谱仪等，能进行定性和半定量分析。②台式直读

光谱仪。有光电直读光谱仪（光电倍增管）和全谱直读光谱仪（CCD），可进行定量分析。

手持式 X 射线荧光光谱仪（又称手持合金分析仪）是现场进行金属合金成分分析的重要仪器，如图 1-1 所示。其优点是尺寸小、质量轻、分析速度快、便于现场携带。缺点是能分析原子序数 12~92 的所有元素，但对于钢铁中比较重要的 C 元素不能分析；对轻元素很难检测；难做定量绝对分析，容易受相邻元素干扰和叠加峰影响。

光电直读光谱仪是在试验室内进行金属材料化学成分定量分析的重要设备，如图 1-2 所示。其优点是精度高、分析速度快、可同时进行多元素定量分析。缺点是对试样要求高，操作复杂，且需要与标准试样进行比对。



图 1-1 手持合金分析仪



图 1-2 光电直读光谱仪

1.1.2 机械性能检测技术

金属材料在各种外加载荷（拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击、交变应力）作用下抵抗破坏的性能称为金属材料的机械性能（力学性能）。金属材料的机械性能是其重要的使用性能之一，主要指标有强度、硬度、塑性、韧性、弹性等，这些性能指标可以通过机械性能试验测定。对材料本身而言，常见的机械性能试验有拉伸性能试验、冲击性能试验、弯曲性能试验、硬度性能试验等。对金具而言，常见的机械性能试验包括机械破坏载荷试验与握力试验。对紧固件而言，常见的机械性能试验包括螺栓或螺钉成品楔负载试验、螺母保证载荷试验。

1.1.2.1 拉伸性能试验

拉伸性能试验是指在承受单向拉伸载荷下测定材料特性的试验方法。利用拉伸性能试验得到的数据可以确定材料的弹性极限、弹性模量、抗拉强度、屈服强度、断后伸长率、断面收缩率等性能指标，是考察材料力学性能的基本试验方法之一。因为它具有简单、可靠、试样容易制备等优点，所以是力学性能试验中最普遍、最常用的方法。

在试验过程中可以真实的看到材料在外力作用下产生弹性变形、塑性变形和断裂等各个阶段的全过程，它所得到的强度和塑性数据，是工程设计、材料验收和材料研究的重要

依据。拉伸试验机如图 1-3 所示。

1.1.2.2 冲击性能试验

冲击性能试验是指材料在冲击载荷作用下吸收塑性变形功和断裂功的能力，用以评价材料的韧、脆性程度。材料的韧性除了取决于材料本身的内在因素外，还跟加载速度、应力状态及温度等有很大关系。为了提高试验的敏感性，通常采用带缺口的试样进行试验。缺口可以使试样处于半脆性状态。

冲击试验对材料的变脆倾向和材料冶金质量、内部缺陷情况极为敏感，是检查材料脆性倾向和冶金质量非常简便的方法。冲击试验的一个主要目的就是测定材料的冲击韧性，避免其发生突然脆性断裂。其主要用途有：控制材料的冶金质量和热加工后的产品质量，揭示材料中夹渣、偏析夹杂等冶金缺陷和检查过烧、过热、回火脆性等热加工缺陷；根据系列冲击得到冲击吸收能量与温度的关系曲线，评定材料的低温变脆倾向，供选材时参考。冲击试验机如图 1-4 所示。

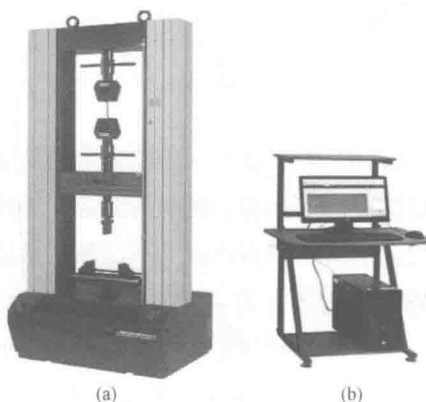


图 1-3 拉伸试验机

(a) 仪器主机；(b) 控制台

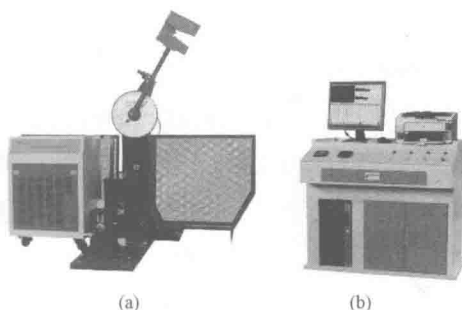


图 1-4 冲击试验机

(a) 仪器主机；(b) 控制台

1.1.2.3 弯曲性能试验

弯曲性能试验是测定材料承受弯曲载荷时的力学特性的试验，以圆形、方形、矩形或多边形横截面试样在弯曲装置上经受弯曲塑性变形，不改变加力方向，直至达到规定的弯曲角度。弯曲试验时，试样一侧为单向拉伸，另一侧为单向压缩，最大正应力出现在试样表面，对表面缺陷敏感，可用于检验材料表面缺陷。弯曲试验应在配备弯曲装置的试验机或压力机上完成。常见的弯曲装置示意图如图 1-5 所示。

1.1.2.4 硬度性能试验

硬度是表征金属抵抗局部变形，特别是塑性变形（如压痕或划痕）的能力，是衡量金属材料软硬程度的一种指标。金属材料的硬度与强度也是密切相关的，一般情况下，硬度较高的材料其强度也较高，所以可以通过测试硬度来估算材料的强度。硬度试验所需设备简单，操作方便，对部件损害小，可敏感地反映出材料的差异性。

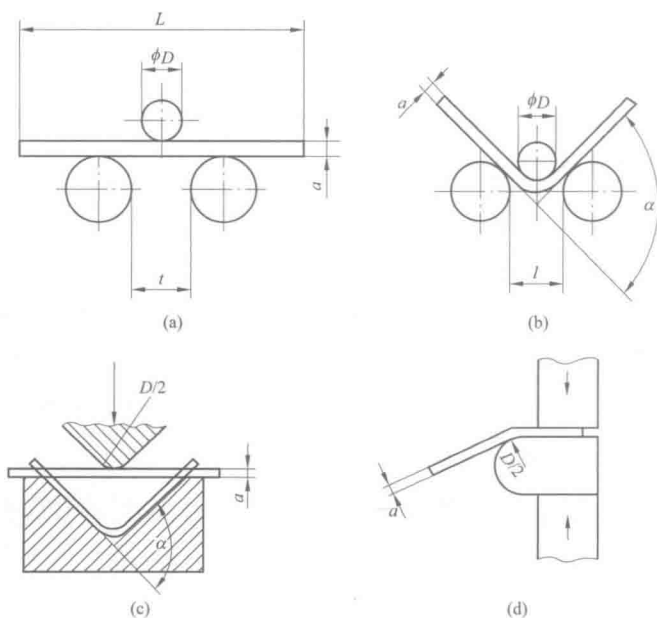


图 1-5 弯曲装置示意图

(a) 支辊式 (弯曲前); (b) 支辊式 (弯曲后); (c) V形模具式; (d) 虎钳式

金属硬度检测主要有两类试验方法。一类是静态试验方法，这类方法试验力的施加是缓慢而无冲击的，表征金属抵抗变形的能力。硬度的测定主要决定于压痕的深度、压痕投影面积或压痕凹印面积的大小。静态试验方法有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。另一类是动态试验方法，这类方法试验力的施加是动态的和冲击性的，表征金属弹性变形力的大小。动态试验方法有肖氏硬度和里氏硬度，主要用于大型的、不可移动工件的硬度检测。硬度计如图 1-6 所示。



图 1-6 硬度计

1.1.2.5 金具机械性能试验

金具的机械性能分为两方面：一是机械破坏载荷，是指规定试验条件下，能施加于金具的最大载荷，是运行条件下不会导致金具本身断裂或破坏的极限载荷；二是握力，是指对导线有紧固要求的金具，在不出现滑移现象时所能承受的最大载荷。

1.1.2.6 紧固件机械性能试验

紧固件机械性能试验：螺栓或螺钉成品楔负载试验主要是测定螺栓或螺钉成品的抗拉强度及头与无螺纹杆部分交接处的牢固性；螺母保证载荷试验是指对螺母加载标准所规定的保证载荷一段时间后，观察螺母是否发生脱扣或断裂。

1.1.3 金相检验技术

金相检验是指运用放大镜和金相显微镜，对金属材料的宏观及微观组织进行观察，从

而对金属材料状态进行检验和评估。通过金相检验，可以了解金属的组织结构状态及缺陷，从而推断金属在冶炼、加工、使用时存在的一些问题；可以了解材料的老化、蠕变损伤、腐蚀氧化、脆化、开裂等状态。金相检验分宏观金相检验及微观金相检验两大类。

宏观金相检验又称低倍检验，它是用肉眼或 10 倍以下放大镜观察，来判断样品的纵、横断面或断口上各种宏观缺陷的方法。微观金相检验是指通过金相显微镜（见图 1-7）观察金属微观组织形态，但检验范围很小，而宏观检验则能在较大范围上检查组织的不均匀性以及宏观缺陷的形式和分布。宏观检验与微观检验相配合，就能对金属的质量进行全面的判断。



图 1-7 金相显微镜

对于电网设备中的金属部件，金相分析除了能观察材料显微组织外，还可以用于腐蚀、断口形态的观察、表面镀层的测厚、镀层与基体结合状况的分析等。

1.1.4 SEM 与 EDS 检测技术

扫描电子显微镜（Scanning Electron Microscope, SEM）是继透射电镜之后发展起来的一种电子显微镜，简称扫描电镜，如图 1-8 所示。它是将电子束聚焦后以扫描的方式作用于样品，产生一系列物理信息，收集其中的二次电子、背散射电子等信息，经处理后获得样品表面形貌的放大图像。



图 1-8 扫描电子显微镜

扫描电镜具有分辨本领强、有效放大倍率高、景深大、制样简单、电子损伤小等优点。扫描电镜中可以同时组装其他观察仪器，如波谱仪、能谱仪等，实现对试样的表面形貌、微区成分等方面的同步分析。

能量色散谱仪（Energy Dispersive Spectroscopy, EDS）简称能谱仪，其原理是利用不同元素的 X 射线光子特征能量不同进行成分分析。能谱仪通常与扫描电镜联用，能谱仪探头在电镜中的位置如图 1-9 所示。

EDS 是利用束径零点几微米的高能电子束，激发出试样微米范围的各种信息，进行成分分析。成分分析的空间分辨率是几个立方微米范围。微区分析是 EDS 的一个重要特点，也是一种显微结构的原位分析。

EDS 所分析的元素范围广，一般从铍（Be）—铀（ ${}_{92}\text{U}$ ）—镅（ ${}_{95}\text{U}$ ），探测限一般为 0.1%~0.5%。

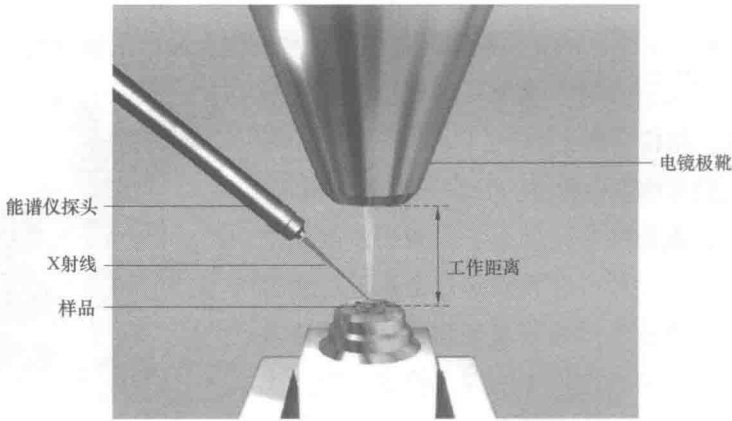


图 1-9 能谱仪探头在电镜中的位置

EDS 可快速、自动进行多种方法分析，能同时测量所有元素，并自动进行数据分析和数据分析，几分钟即可完成定性、定量分析。由于 EDS 分析束流小，分析过程中一般不损坏试样。试样分析后，可以完好保存或继续进行其他性能的分析测试，即使损伤也是微米量级范围。

1.2 无损检测技术

1.2.1 超声波检测技术

超声波检测 (Ultrasonic Testing, UT) 是利用超声波在介质中传播时遇到异质界面而发生反射、透射、散射和衍射的特性来检测缺陷的一种无损检测方法，可用于各种金属材料和非金属材料的表面和内部缺陷检测和测厚。由于超声波检测方法具有灵敏度高、速度快、成本低、对人体无害，能对缺陷进行定位和定量等优点，因此在无损检测技术中应用极为广泛。

超声检测法的优点是：穿透能力较大，例如在钢中的有效探测深度可达 1m 以上；对平面型缺陷如裂纹、夹层等，探伤灵敏度较高，并可测定缺陷的深度和相对大小；设备轻便，操作安全，易于实现自动化检验。缺点是：不易检查形状复杂的工件，要求被检查表面有一定的光洁度，并需有耦合剂充填探头和被检查表面之间的空隙，以保证充分的声耦合。对于有些粗晶粒的铸件和焊缝，因易产生杂乱反射波而较难应用。此外，超声检测还要求有一定经验的检验人员进行操作和判断检测结果。

超声波检测有多种方法，按原理分，可分为脉冲反射法、衍射时差法、相控阵、超声导波等检测技术。

1.2.1.1 脉冲反射法超声波检测技术

脉冲反射法是通过接收从工件返回的超声波（包括工件内部缺陷及工件底面反射波）

并予以显示,根据是否存在缺陷反射波及反射波的特征或工件底面反射波的波幅变化情况,对工件是否存在缺陷及缺陷的位置、大小等进行判断的方法。A型脉冲反射法超声波检测是目前应用最为广泛的超声波检测方法。超声探伤仪实物如图 1-10 所示。

1.2.1.2 相控阵超声检测 (PAUT) 技术

相控阵超声检测 (PAUT) 技术也是基于脉冲反射法的一种超声波检测技术,利用多个压电晶片按一定的规律分布排列组成阵列换能器,通过电子系统控制阵列中的各个晶片按照一定的延时法则发射和接收超声波,实现超声波的波束扫描、偏转和聚焦等功能,从而实现超声波成像的一种检测技术。利用扫描特性,相控阵超声检测技术可以在探头不移动的情况下实现对被检测区域的扫查;利用偏转特性,相控阵超声检测技术不仅可以在探头不移动的情况下实现对被检测区域的扫查,而且可以激发多角度声束对检测区域进行较大面积覆盖,从而提高检测效率及缺陷检出率;利用聚焦特性,相控阵超声检测技术可以提高声场信号强度、回波信号幅度和信噪比,从而提高缺陷检出率,以及缺陷深度、长度的测量精度。

相控阵超声检测系统是高性能的数字化仪器,能够实现检测全过程信号的记录。通过对信号进行处理,系统能生成和显示不同方向投影的高质量图像,可实现对复杂结构和盲区位置缺陷的检测。

1.2.1.3 衍射时差法 (TOFD) 超声波检测技术

衍射时差法 (TOFD) 超声波检测技术是采用一发一收双探头方式,利用缺陷部位的端点衍射信号来检测和测定缺陷尺寸的一种超声波检测方法。多用于焊缝内部缺陷的检测,一次扫查几乎能够覆盖整个焊缝区域 (除上下表面盲区),可以实现非常高的检测速度,对于焊缝中部缺陷检出率很高。采用衍射时差法 (TOFD) 检测技术对缺陷定量,精度远远高于常规手工超声波检测。一般认为,对线性缺陷或面积型缺陷,衍射时差法超声波检测技术定量误差小于 1mm。

衍射时差法 (TOFD) 检测系统配有自动或半自动扫查装置,能够确定缺陷与探头的相对位置,信号通过处理可以转换为 TOFD 图像。与脉冲反射法超声波检测的信号波形显示相比,衍射时差法包含丰富信息的 TOFD 图像,更有利于缺陷的识别和分析,其检测精度高,检测数据 (图像) 可存储、可追溯,所以在适合的场合可替代射线检测。

衍射时差法 (TOFD) 检测技术也有其缺点,如近表面存在检测盲区,最好配合脉冲反射法进行检测,可达到检测区域的 100% 覆盖;缺陷定性比较困难,对 TOFD 图像判读需要丰富经验;横向缺陷检出比较困难;对复杂几何形状的工件难以检测;不适合于 T 型焊缝检测等。



图 1-10 超声探伤仪

1.2.1.4 超声导波检测技术

超声导波 (Ultrasonic Guided Wave) 检测技术 (又称长距离超声遥探法)。超声导波检测技术能检出管道中的内外部腐蚀或冲蚀、环向裂纹、焊缝错边、焊接缺陷、疲劳裂纹等缺陷。最新的利用磁致伸缩换能器的超声导波检测技术已能应用于非铁磁性材料和非金属材料,除了管道检测,还能用于棒材、钢索、电缆以及板盘件的检测。

超声导波的产生机理是由超声波在空间有限的介质内多次往复反射并进一步产生复杂的叠加干涉以及几何弥散形成的。如果超声波的波长与激励条件和介质的特性满足特定的关系,超声波的波动不仅不会受到介质的阻碍,相反会像声波共振一样,将波动增强放大,从而在介质内传播很远的距离,这种特殊的波动就是导波。

超声导波检测的优点是能传播长距离而衰减很小,在一个位置固定脉冲回波阵列就可一次性对管壁进行长距离大范围的 100% 快速检测,检测过程简单,电磁方法激发导波不需要耦合剂,只需要剥离一小块防腐层以放置探头环即可进行检测,特别是对于地下埋管不开挖状态下的长距离检测更具有独特的优势。在电网金属监督中有应用于接地网损伤状态检查和埋地拉线棒腐蚀检查的成功案例。

1.2.1.5 超声波测厚技术

超声波测厚是超声波检测技术的一种常规应用方法,根据超声波脉冲反射原理来进行厚度测量。当探头发射的超声波脉冲通过被测物体到达材料分界面时,脉冲被反射回探头,通过精确测量超声波在材料中传播的时间,来确定被测材料的厚度。凡能使超声波以一恒定速度在其内部传播的各种材料均可采用此原理测量。现在常用的均为数字直读式超声波测厚仪,设备小巧、使用方便,测量前必须进行零点校正,以校正由于探头磨损带来的零点偏差,并根据被测量材料设定或校准声速。

超声波测厚技术在电网设备金属监督检测中多应用于户外密封箱体厚度检测、GIS 壳体及焊缝检测、钢管塔焊缝检测以及壁厚测量等方面。超声波测厚仪实物如图 1-11 所示。



图 1-11 超声波测厚仪

1.2.2 射线检测技术

射线检测技术 (radioactive techniques, RT) 是利用射线穿过物质,并被其衰减来实现检测的,如果工件局部区域存在缺陷,它将改变物体对射线的衰减,引起透射射线强度的变化,这样,采用一定的检测方法,如利用胶片感光,来检测透射线强度,就可以判断工件中是否存在缺陷以及缺陷的位置、大小。

射线检测中应用的射线源主要是 X 射线、 γ 射线和中子射线。其中, X 射线是最常用的射线源。射线检测技术常用的方法是照相法,即利用射线感光材料 (通常用射线胶

片), 放在被透照试件的背面接受透过试件后的 X 射线; 胶片曝光后经暗室处理, 就会显示出物体的结构图像; 根据胶片上影像的形状及其黑度的不均匀程度, 就可以评定被检测试件中有无缺陷及缺陷的性质、形状、大小和位置。照相法的优点是灵敏度高、直观可靠、重复性好, 是 X 射线检测法中应用最广泛的一种常规方法。随着科技的进步, 射线照相数字化技术逐渐普及, 包括 CR 和 DR 两种技术。

计算机 X 射线摄影 (Computed Radiography, CR), 是采用 IP 影像板接受 X 射线曝光产生图像潜影, 然后将 IP 板送入激光扫描器内进行扫描, 在实现普通放射设备的数字化, 免除了暗室操作, 提高了工作效率。CR 检测系统结构相对简单, 易于安装。CR 检测系统如图 1-12 所示。

数字化 X 射线摄影 (Digital Radiography, DR), 系统由数字影像采集板 (平板探测器)、专用 X 射线摄影控制 (处理) 工作站构成。X 射线在数字影像采集板上被直接转换成数字信号, 通过有线或无线传输至工作站。DR 技术相比 CR 技术省去了扫描转换的过程, 工作效率进一步提高, 不过 DR 数字影像采集板尺寸相对固定, 对数字影像采集板摆放空间有一定要求。DR 检测系统如图 1-13 所示。



图 1-12 CR 检测系统

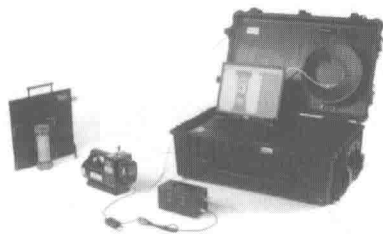


图 1-13 DR 检测系统

计算机断层成像技术 (工业 CT) 也是射线检测的一项重要技术, 它能在对检测物体无损伤条件下, 以二维断层图像或三维立体图像的形式, 清晰、准确、直观地展示被检测物体的内部结构、组成、材质及缺损状况。

目前电网金属技术监督检测中, X 射线照相技术在组合电器内部故障检查、耐张线夹压接质量检查等方面得到了大量应用, 并取得良好的效果。由于射线对人体有辐射危害, 因此在使用中必须采取有效的防护措施, 一般防护措施有屏蔽防护、距离防护、时间防护等。此外相对于其他几种无损检测方法而言, 射线检测的成本较高。

1.2.3 磁粉检测技术

磁粉检测 (Magnetic Particle Testing, MT) 技术是利用导磁金属在磁场中 (或将其通以电流以产生磁场) 被磁化, 并通过显示介质来检测缺陷特征的一种无损检测方法。它可以检出表面和近表面缺陷, 不能用于检查内部缺陷。磁粉检测操作简单, 检测速度快, 检