

# 用系统理论指导 GB/T 17925 《X 射线数字成像检测》标准的修订

曾祥照

(广东盈泉钢制品有限公司, 清远 511538)

**摘要:** X 射线数字成像检测是无损检测新技术, GB 17925—1999《气瓶对接焊缝 X 射线实时成像检测》在气瓶行业已有十多年的成功应用。在总结经验的基础上, 对 GB 17925—1999 标准进行修订时, 该标准被更名为 GB/T 17925—2011《气瓶对接焊缝 X 射线数字成像检测》, 并增加不少新内容。本次修订以系统控制理论指导数字成像检测图像的评定、存储和传输。新标准理论基础深厚, 具有较强条理性、完整性和可操作性。

**关键词:** X 射线检测; 数字成像; 标准修订

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2011)10-0043-05

## Revise Guided with Systems Theory on Standard GB/T 17925 X-Ray Digital Imaging

ZENG Xiang-Zhao

(Guangdong YingQuan Steel Products Co Ltd, Qingyuan 511538, China)

**Abstract:** X-ray digital radiography examination is a new technology of non-destructive testing(NDT), and GB 17925—1999 Standard Practice for X-ray Real-time Examination of Cylinders Weld is the national standard for the cylinder industry with more than ten years successful application. On the basis of the passed experiences, the revision of GB/T 17925—2011 Standard Practice for X-ray Digital Radiography Examination of Cylinders Weld was issued, which a lot of new content was added. The revise of image, storage and transmission in the standard was guided with our System Control Theory so that the standard was more with strong clarity, completeness and operability.

**Keywords:** X-ray testing; Digital imaging; Standard revise

GB 17925—1999《气瓶对接焊缝 X 射线实时成像检测》标准发布已有 12 年, 2009 年起进行修订。修订稿经多次修改和审查, 于 2011 年 1 月经全国气瓶标准化技术委员会终审, 形成报批稿, 2011 年 2 月正式上报国家标准化管理委员会审批, 预计 2011 年内可被获批。笔者参与了标准修订的全过程, 在修订的过程中, 有意识地以我国著名科学家、两院院士钱学森提出的系统理论(系统论、控制论和信息论, 简称“三论”)为指导, 建立 X 射线数字成像检测体系, 较好地完成了 GB/T 17925《X 射线数字成像检测标准》的修订工作(图 1)。

收稿日期: 2011-05-30

作者简介: 曾祥照(1944—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为射线数字成像检测。

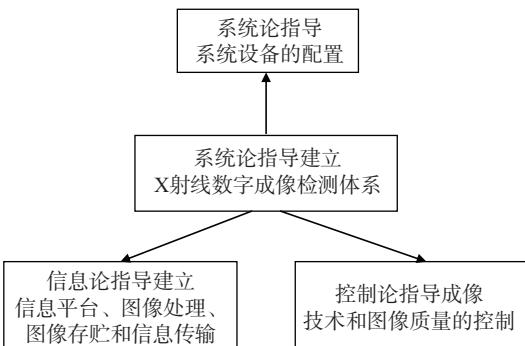


图 1 用系统理论指导建立 X 射线数字成像检测体系

## 1 GB/T 17925 标准概述

GB 17925—1999《气瓶对接焊缝 X 射线实时成像检测》标准发布以后, 促进了 X 射线实时成像检

测技术的快速发展。随着射线探测器的多样化发展和实际应用的不断深入,成像技术已经从单一的图像增强器技术发展为线阵列探测器技术和平板探测器技术。新技术辐射接收范围广、动态范围宽、检测速度快、检测图像清晰,在工业无损检测中具有良好的发展前景。

由于 X 射线数字成像探测器的不同,X 射线数字成像检测技术形成了三种技术路线:平板探测器、线阵列探测器和图像增强器成像技术路线。不同的成像技术路线会有不同的成像设备配置。修订后的标准规定了三种不同成像技术路线的基本要求。

由于“实时成像”仅表述了该检测方法快速产生图像的特点,不能全面准确地描述该方法产生的是数字图像的特点,因此,本次标准修订时更名为《气瓶对接焊缝 X 射线数字成像检测》。由于本标准是检测方法标准,根据有关规定,将本标准更改为推荐性标准。

## 2 用系统论指导 X 射线数字成像检测系统设备的配置

### 2.1 系统与系统论

系统论是将事物当作一个整体或系统来研究,并用数学模型去描述和确定系统的结构和行为。系统论认为复杂事物功能远大于某组成因果链中各环节的简单总和,强调整体与局部、局部与局部、系统本身与外部环境之间互为依存、相互影响和制约的关系,具有目的性、动态性、有序性三大基本特征。

X 射线数字成像系统主要由 X 射线机、X 射线探测器、计算机系统、检测工装等组成,系统配置应尽量避免“木桶效应”。

### 2.2 X 射线机

根据被检气瓶的材质、母材厚度、透照方式和透照厚度,选择 X 射线机的能量范围;射线管有效焦点应不大于 3.0 mm。

随着系统配置性能和检测技术的提高,标准已不再追求 X 射线管的小焦点。试验表明,3.0 mm 以下的焦点能满足数字成像技术的要求,并可以降低设备的成本和提高 X 射线管的使用寿命。

### 2.3 X 射线探测器

根据不同的检测要求和检测条件,可选择以下 X 射线探测器:平板探测器、线阵列探测器、图像增强器或其它与上述具有类似功能的探测器。

### 2.4 计算机系统

计算机基本配置应与所采用的射线探测器和成像系统的功能相适应。宜配置较大容量的内存和硬盘、较高清晰度黑白显示器或彩色显示器以及网卡、纸质打印机、光盘刻录机等。

### 2.5 计算机操作系统

计算机中文 Windows 操作系统应具有支持工件运动控制、图像采集、图像处理、图像辅助评定等功能。

### 2.6 计算机图像采集、图像处理系统

本标准对计算机图像采集、图像处理系统不作具体的规定,但应具有系统校正、图像采集、图像处理、缺陷几何尺寸测量、缺陷标注、图像存储、辅助评定和检测报告打印等功能。

### 2.7 图像存储格式

尽量采用通用、标准的图像存储格式;也可根据需要采用专门的存储格式。专门存储格式应留有与其他格式交换信息的接口。

存储格式应具有保存图像数据功能,将保存工件名称、型号、执行标准、工件编号、母材厚度、工件主要尺寸、焊缝编号、透照方式、透照厚度、透照工艺参数、几何尺寸标定、缺陷定性、定位、定量、评定级别等相关信息写入图像存储格式中;存储格式应具有文件输出打印的功能。

存储图像的信息应具备不可更改性、连续性和可读性。

### 2.8 检测工装

检测工装应至少具备一个运动自由度;气瓶在工装上能进行匀速运动和步进运动。

### 2.9 焊缝定位

根据工件焊缝位置特征或规定的部位作为焊缝检测的起始位置和位移的方向。在检测图像上应有起始位置的标记影像。

### 2.10 焊缝位移控制

根据一次透照有效检测长度控制焊缝位移;100%检测和扩大检测范围时,相邻检测图像上应有不小于 5 mm 的焊缝搭接长度。

### 2.11 射线数字成像系统的质量考核指标

用系统分辨率作为 X 射线数字成像系统质量指标。系统分辨率指标宜控制在 2.0~2.5 Lp/mm 范围内。系统分辨率低于 2.0 Lp/mm 的检测系统不得用于气瓶焊缝检测。

原 GB 17925—1999 规定系统分辨率应

$\geq 1.4 \text{ Lp/mm}$ , 这是受当时的技术条件所限指标定得较低。随着检测技术的提高, 为本次标准修订提高系统分辨率指标提供了技术支持。

## 2.12 系统分辨率的测试

系统确定后或系统改变后应测试系统分辨率。采用 JB/T 10815《射线检测系统分辨力测试计测试系统分辨率》。系统分辨率测试方法见附录 B。

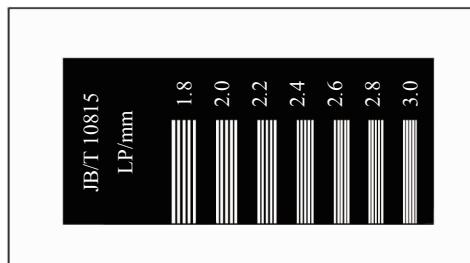


图 2 1.8~3.0 Lp/mm 等差数列分辨率测试计

## 3 控制论指导成像技术和图像质量的控制

### 3.1 控制与控制论

控制(control)是为达到规定的目标, 对元件或系统的工作特性所进行的调节或操作(全国科学技术名词审定委员会审定公布的定义)。控制论是研究系统的状态、功能、行为方式及变动趋势, 控制系统的稳定, 使系统按预定目标运行的技术科学。

### 3.2 控制的目的

通过控制 X 射线数字成像的各个工艺因素, 使检测图像质量达到 JB/T 4730.2 的规定。

### 3.3 X 射线能量的控制

选用较低的管电压, 图 3 规定了不同材料、不同透照厚度允许采用的最高 X 射线管电压。

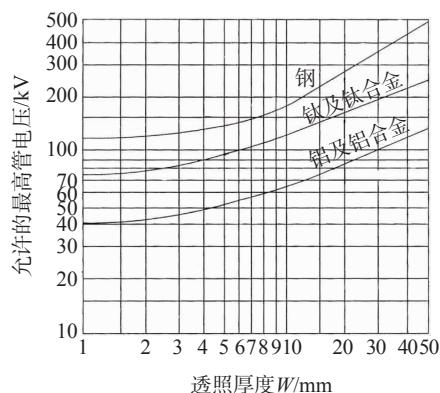


图 3 不同材料、不同透照厚度允许采用的最高 X 射线管电压

根据的气瓶的形状特点, 气瓶均采取双壁单影成像检测方法。气瓶的母材厚度以 20 mm 为限均

能满足图 3 的要求。

### 3.4 气瓶检测时机控制

气瓶对接焊缝 X 射线检测应在焊接后和热处理前进行。如焊后有产生延迟裂纹倾向材料的产品, 应在制造、焊接及热处理完成 24 h 以后进行检测。

### 3.5 透照布置控制

根据气瓶的结构特点以及 X 射线机、气瓶和 X 射线探测器三者之间相互位置, 气瓶的透照布置只能是双壁单影方式。为了减小几何放大倍数, 宜以靠近探测器一侧的焊缝为被检焊缝。如图 4 所示。

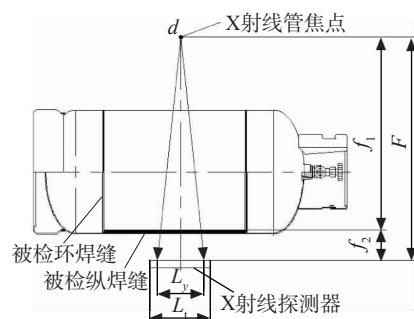


图 4 X 射线源、气瓶和 X 射线探测器相互位置图

图 4 中,  $F$  为焦点至探测器输入屏表面的距离;  $f_1$  为焦点至靠近探测器侧气瓶被检焊缝表面的距离;  $f_2$  为靠近探测器侧气瓶被检焊缝表面至探测器输入屏表面的距离;  $L_t$  为探测器有效长度;  $L_y$  为焊缝一次透照长度的投影长度。

### 3.6 图像几何放大倍数的控制

X 射线探测器都是金属做的, 为了防止探测器被气瓶表面撞坏, 要求探测器与钢瓶表面保持一定的空间距离。根据几何投影的原理, 检测图像必然是放大的。

几何放大倍数不宜过大, 过大会使有效检验长度减少, 且图像质量会有所下降。为保护探测器、X 射线管不受工件碰撞损伤和为控制一次透照长度范围内两侧环焊缝影像的不清晰度和投影变形量, 图像几何放大倍数  $M$  宜控制在 1.2 左右。

### 3.7 图像几何不清晰度控制

检测图像几何不清晰度值  $U_g$  应不大于 0.3 mm, 即:

$$U_g = \frac{f_2 d}{f_1} = (M-1)d$$

式中  $d$  为 X 射线管有效焦点尺寸。

在系统配置和检测方法确定之后, 图像不清晰度可以通过控制图像的几何不清晰度来确定。检测

图像几何不清晰度值  $U_g$  应不大于 0.3 mm (JB 928—1967) 标准。式中将几何不清晰度与图像放大倍数和焦点有机地结合起来,更加便利于检测工艺的调整。

### 3.8 图像灰度分布范围控制

检测图像有效评定区域内的灰度分布范围应控制在图像动态范围的 40%~90% 之间。图像灰度分布宜呈正态分布,通过图像灰度直方图测量图像灰度分布范围;直方图可在图像采集程序中实时显示。通过调节射线透照参数、几何参数、透照厚度差补偿等方法以获得较佳的图像灰度分布范围。

图像灰度的概念与底片的黑度有相似之处。提高灰度级别有利于提高细小缺陷的检出能力,本标准规定灰度分布范围应控制在图像动态范围的 40%~90% 之间。图像灰度分布宜呈正态分布。

### 3.9 图像处理

对采集的图像数据可选用连续帧叠加、灰度增强、平均强度等图像处理方法优化图像的显示效果。任何处理方法不得改变采集的原始图像数据,这是一条硬性规定。

### 3.10 透照方式的控制

根据气瓶的结构,气瓶对接焊缝宜采取双壁单影透照方式;宜以靠近探测器一侧的焊缝为被检测焊缝。透照时射线束中心应垂直指向透照区域中心,需要时可选用有利于发现缺陷的方向透照。焊缝 T 型接头透照可同时包含环焊缝和纵焊缝,只要影像在一次透照有效长度范围内,均可视为有效评定区。

### 3.11 成像方式的控制

#### 3.11.1 数字成像

气瓶静止状态下,探测器接收较大剂量后产生的图像数据经过多帧叠加(或平均)处理获得的检测图像作为原始图像数据存储和焊缝质量评定的依据。

#### 3.11.2 实时成像

气瓶在匀速运动时动态观察检测图像,用于受检焊缝的一般性的普查。动态实时图像由于探测器吸收剂量较小、噪声大、清晰度低,不能作为焊缝质量的评级依据。

### 3.12 成像方式

(1) 数字成像与实时成像的概念不同,见 GB/T 17925 标准的 3.1 条和 3.2 条。

(2) 数字成像与实时成像共同点是图像的载体

都是数字(bit)。

(3) 实时成像与数字成像表征的特征各有不同。实时成像着重表征的是图像采集的速度,要求是  $\geq 25$  帧/s,而所保存的仅是其中随时采集的 1 帧静止的数字图像,且图像采集时工件是静止的,不是运动的。

(4) 实时成像和数字成像与胶片照相的检测有本质的不同,其检测图像是众多 bit 的集合(数字量的组合);而底片图像是众多银团颗粒的集合(模拟量的集合),这是数字图像与胶片图像的本质区别。

(5) 本标准不再强调图像采集速度,质量与速度往往是一对矛盾,为了提高图像质量,采集速度可以降低。采集速度降低,从成像意义上说,成像不再是实时的。

(6) 数字成像对工件检测图像的采集应在气瓶静止状态下进行;实时成像作为气瓶制造检测过程中的普查,可以在动态进行,但不存贮图像,也不作为焊缝质量评定的依据。

### 3.13 一次透照长度的控制

根据透照厚度比( $K$  值)和透照几何尺寸确定一次透照长度。 $K$  值的规定为:

(1) 纵向对接焊接接头,  $K \leq 1.03$ 。

(2) 外径  $100 \text{ mm} < D_0 \leq 400 \text{ mm}$  的环向对接焊接接头,  $K \leq 1.2$ 。

(3) 外径  $D_0 > 400 \text{ mm}$  的环向对接焊接接头,  $K \leq 1.1$ 。

### 3.14 整条环向对接焊接接头检测图像的最少幅数的确定

整条环向对接焊接接头检测图像的最少幅数应符合附录 C 的规定,检测图像的最少幅数可按曲线图查找确定;若探测器长度不能覆盖一次透照长度的投影范围,需按比例增加图像幅数。

一次透照长度和  $K$  值的规定等同采用了 JB/T 4730.2 的规定,标准附录 C 的图表是根据数字成像的规定重新计算绘制的。

## 4 用信息论指导建立信息平台、图像处理、图像存贮和信息传输

### 4.1 信息与信息论

信息(information)是“以适合于通信、存储或处理的形式来表示的知识或消息(全国科学技术名词审定委员会审定公布的定义)。信息论主要以计算机处理为中心的信息处理的基本理论,包括信息的

产生、获取、变换、传输、存贮、处理识别及其应用的学科。

#### 4.2 数字成像信息平台

以高性能的计算机和中文 Windows 操作系统作为数字成像的信息平台,它具有图像采集、图像处理、图像变换、图像存储、图像辅助评定和图像传输等功能。

#### 4.3 计算机图像辅助评定

可使用计算机辅助评定程序对焊缝质量进行辅助评定。计算机辅助评定程序应能具有缺陷评定框、长度测量、长度累计、点数换算和累计等辅助评定功能。

#### 4.4 检测报告

检测报告可以用计算机自动生成,克服了 X 射线胶片照相方法手写检测报告的繁琐劳动。这也是数字成像的明显优点。

#### 4.5 检测图像的存储

检测图像和原始图像数据应保存在数字存储媒体(例如光盘、硬盘)或其他专门的存储媒体中。

#### 4.6 检测图像的备份保存

检测图像和原始图像数据应至少备份两份,由气瓶制造单位或相关方分开保存,保存期不少于 8 年,相应的原始记录和检测报告也应与备份同期保存。

检测图像至少备份两份(加密)分开保存,假如

相关方(例如重要的用户)也需要保存对应的检测图像,则要备份三份分别保存。这对于计算机而言是很容易的事,然而。对于胶片照相技术而言,双胶片或三胶片检测技术不是容易的事。

光盘和硬盘的保质期为 30 年。焊接气瓶使用年限通常是 15 年,每 4 年检测一次,保存期 8 年是 2 个检测周期,8 年以后气瓶的质量由气瓶检测机构负责,所以光盘和硬盘的保存图像完全能满足气瓶的管理要求。

在有效保存期内,检测图像和原始图像数据不得发生丢失、更改或数据无法读取等状况,相关方应定期检查并采取有效措施确保图像存储良好。

数字存储媒体应防磁、防潮、防尘、防挤压、防划伤。

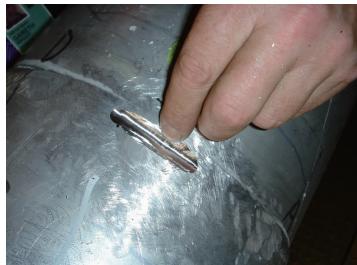
#### 4.7 检测图像的远距离传输

数字成像的载体是数字图像,可以通过互联网实现远距离传输、传送,对于一些重要的检测图像或疑难问题可以远距离的专家汇诊,数字成像也能体现出明显优势。

在系统论、控制论、信息论基础上建立起来的 X 射线数字成像检测体系经过十多年的实际运行,具有良好的稳定性和实用性。实践证明,理论与实际相结合是从事无损检测研究与应用时应遵循的重要准则。

~~~~~

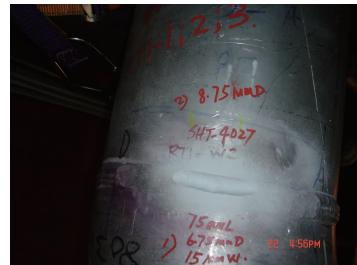
(上接第 42 页)



(a) 4.5 mm 深时



(b) 6.75 mm 深时



(c) 8.75 mm 深时

图 7 复习过程示意

确的。对于进口设备检验,通过不同的途径方法解释和证实,以理服人,而不是使用简单的行政指令的做法得到业主的赞赏和设备制造厂的信服,为设备消除了安全隐患,把住了特种设备检验国门关。

#### 参考文献:

[1] 美国无损检测学会,编. 美国无损检测手册·超声卷

[M].《美国无损检测手册》译审委员会,译. 上海:世界图书出版公司,1996.

[2] 克劳特克洛默 J. 李靖,译. 超声检测技术[M]. 广东:广东科技出版社,1984.

[3] Q/SH016.08.301—1998 法型三层热套尿素合成塔环焊缝超声波探伤方法[S].