

* * * * *

* 化肥企业安全生产 *

* 技术学习交流会材料 *

* * * * *

小化肥厂压力容器的无损检测

上海市化肥公司检测站

夏贤大 供稿

化学工业部化肥司机动安全处

化学工业部上海化工研究院情报室 编印

一九八五年十月



目 录

前 言	1
第一章 检测方法概念	5
第二章 超声波测厚	9
第三章 射线探伤	11
第四章 超声波探伤	18
第五章 磁性液体探伤	26
第六章 液体渗透探伤	28
第七章 石油化工压力容器和管道	37
在使用中的常见缺陷和设备事故	

小化肥厂压力容器的无损检测

一、前 言

随着化工生产的迅速发展，为了生产工艺需要，各种承受不同压力的容器也不断地在化工工业中出现和应用。

人们为了管理好种类繁多的受压容器，为了采取行之有效的手段来预防和确保化工的安全生产；一门新兴的学科——无损检测，它在化工生产中的应用越来越普及。它的重要性和积极作用也将随着化工生产的发展受到人们的重视。

尤其是化肥行业的受压容器，它不同于一般的传动设备。它们表面上处于相对静止状态，俗称“静止设备”，事实上它们内部介质的压力、温度、流速、腐蚀等或多或少在变化着，可以说，它们在运动中实际上受到交载荷的作用，其内部原有缺陷在冲击应力、疲劳应力、腐蚀应力等的作用下很可能扩展，或产生新的缺陷，这些缺陷往往发展成爆炸时的裂纹源。

受压容器的内部的介质在化肥生产中多变为易燃易爆、有毒或有腐蚀的物质。高、中压容器往往处在生产系统的核心部位，若有缺陷，潜在危险性就更大，所以世界各国都把受压容器列为“特种设备”加以单独管理。

但是由于受压容器里面由隐患所造成的爆炸事故是国内外化学工业主要的灾害事故。据化工部科技情报所报导，日本化学工业的爆炸、火灾事故占整个工业爆炸、火灾事故总数的三分之一左右，

近十年来，每年平均发生约五十次，其中四分之一左右属重大事故。近年来并有日益增加的趋势，仅1972年11月至1974年4月的一年半期间，日本化工厂就发生了二十次重大爆炸火灾事故，造成重大人身伤亡和巨额经济损失，引起生产停顿，供需失调，社会不安。其中由于受压容器的缺陷而引起的爆炸、火灾实例也不少。下面举几个例子来看看。

例1. 《关于吉林石油液化气罐爆炸事故》

事故摘录经过：

吉林市石油液化气厂，也就是煤气公司的一个罐装贮运站，77年投产，总投资620万元（事故损失约450万元）担负全市约23000户人家的灌装、贮存、运输任务，原料是吉林炼油厂提供的，用6公里长的输送管道送来，该厂座落在吉林市东北区边缘，占地28,000 m²，厂内分生产和生活二大区，生产区占地20,000 m²，主要有常温贮罐区和低温贮罐区二部份，另外还有罐装间及小瓶仓库。常温贮罐压力为16.0 kg/cm²级别，低温贮罐压力为5 kg/cm²，另外在小瓶仓库内存有3000多只满装的液化气瓶。生活区占地3000 m²，主管办公大楼在这里，周围比较空旷，四周有围墙，50米外有一苗圃，苗圃内有职工办公室和宿舍。当天苗圃内正在烧水杀猪，有明火。

七九年十二月十八日下午2:05，该天气候反常，气温在4~6℃（一般在-18℃），其中有一只球形罐排污阀堵，有三个工作人员准备用蒸汽冲，这时这只球形罐（450 m³）突然裂开，裂口长13.5 M，宽1.5 M左右，当时大量气体外流，吹向苗圃，碰到杀猪处火种立即象闪电一样，从50米外把火引进球罐。大火又

朝另一只球形罐扑去，当场苗圃里死了17人，液化气厂死12人，外单位采装车死3人，受伤60多人。

吉林市消防队接到通知出动全市36辆消防车赶到现场，看到火光冲天，3000只小铜瓶象炮弹一样乱炸，电厂立即切断电源。消防设备在没电的情况下不能用，消防车只能一辆接一辆从1公里外的松花江抽水，对一个受火严重威胁的450 m³球形罐冷却，只见该罐安全阀处喷出气体正猛烈燃烧，消防队有经验的指挥看到后说：无法扑救，有可能爆炸，撤退，于是全部撤退，当最后一个人离开围墙，该罐发生猛烈爆炸，小碎片不计其数，大碎片飞向四方，一块飞向东北105米，约8吨重，一块飞向西北150米约12吨重，一块飞向西南角，147米远，约10吨重，一块飞向低温球形贮罐（450 m³）击中球罐顶部，又发生爆炸，导致其余三只球形罐翻身，移位，其中一块碎片又击中卧式50 m³贮槽，导致爆炸，另一只移位。

总之，这次爆炸把大部分厂内建筑毁坏，50公里外可看见火光，40~45公里外能听见爆炸声，总共死33人，伤87人，波及范围达3公里。

原因初步分析：

钢板材质为16Mn呈脆性破裂，钢板碎片断面见到明显的分层以及夹渣等缺陷。在焊接上也存在问题……。

例2《上海市某化肥厂变换冷却塔炸裂事故》

1974年，午夜，某化肥厂变换冷却塔，突然炸裂，一大块碎片飞向高空，落在十米远的锅炉房顶上；其余碎片散落在塔旁周围，白天，附近有许多操作工在清洗瓷环，如在白天炸裂，那伤亡

事故就更惨重了，幸好在午夜炸裂，避免了一场严重伤亡事故。

事故经碎片及现场调查，内部腐蚀厉害，由原来12毫米钢板，腐蚀到5毫米左右，最薄的只有3毫米左右，由于腐蚀应力作用，塔内承受不了气体压力，导致物理性爆炸。

例3.《南非一起液氨贮槽爆炸事故》

事故经过：波切失斯特隆化肥厂位于南非德兰士省，该厂主要生产氮磷复合肥料。加工过程中需用的液氨由外地用铁路槽车运至厂内。厂区共有卧式液氨贮罐四台（直径2.9米，长14.3米），每台可装液氨五十吨。

一九七三年七月十三日下午四点十五分，正当一辆槽车向3号液氨贮罐注入氨时，突然该贮罐发生爆炸，随之罐内三十吨液氨和槽车中的八吨液氨全部流出。顷刻间，现场被氨气云所笼罩，气云波及范围为直径一百五十米，高二十米，几分钟后，一阵微风由东向西吹过，使气云进一步向西部镇区扩散，扩散距离远达三百米。

事故发生时，在现场的工作人员共有三百五十名，其中共有三十名在离爆炸中心七十米以内，事故发生后现场人员慌作一团，四处逃散。由于氨的剧烈刺激，造成十八人死亡，六十五人受重伤。

事故原因分析：液氨贮罐于一九六七年建成投产其两侧的盘式端盖均采用冷压成型，整个设备加工后没有脱除应力。一九七一年检修时经超声波和放射性探伤发现3号贮罐西侧端盖钢板的焊缝均有缺陷，当时，曾对焊缝进行修复，修复后检查仍有缺陷，后来作处理，这次贮罐爆炸部位正好发生在贮罐西侧端盖，包括部份焊缝。

从以上三例，我们可以看到产生爆炸的原因，直接涉及到受压容器的材质，腐蚀应力以及焊缝的质量好坏，由此看来，加强受压

容器的无损检测就是一项十分重要的工作。

因此受压容器除了在制造过程中必须进行各种“无损检测”，更为重要的是应当在受压容器使用过程中，每隔一定期限，采用各种适当有效的检查方法，对容器的整体观察和测试，运用科学的手段，及时发现容器在使用过程中可能产生的缺陷，复验容器原有缺陷是否进一步扩展和变化，找出其变化发展的规律，从而考证该容器继续使用的安全性，以期做到早期发现，早期处理，也就是在缺陷尚未危及容器的安全运行之前，即被消除或采取其他相应的有效措施。

第一章 检测方法概念：

“无损检测”，是在不破坏被检容器及另部件的前提下，进行非破坏 检验和分析的一种方法。国际统称“Non-destructive testing”通过无损检测以发现材料组织中的不连续亦即裂纹、夹杂物、气孔等宏观缺陷，它和金相试验，机械性能试验，化学分析试验，同属于“理化检验”的范围。这些方法也就是借助物理和化学方法来完成质量检验的目的。

无损检测的特点和效果是

- (1) 不破坏被检对象
- (2) 可实现100%的检验
- (3) 通过无损探伤，发现缺陷并作出评价，保证材料等质量。
- (4) 可对关键部件在使用中定期检查，甚至长期监控，以保证运行安全，避免事故。
- (5) 缺陷的检出，指出其形成原因和规律，可促使有关部门，

采取措施，改进工艺，从而进一步提高产品质量，防止和降低废品。降低生产成本。

(二) 无损检测种类

近年来随着机械工业和化学工业的迅速发展，“无损检测”已普遍广泛应用。检测种类各目繁多，现就我们自己的化肥厂，进行下列几种检测方法作如下几种介绍。

- | | | |
|-----------|--------------|----------|
| (1) 超声波测厚 | (4) 磁力探伤 | (7) 金相试验 |
| (2) 射线探伤 | (3) 着色探伤 | |
| (3) 超声波探伤 | (6) 水压试验(微损) | |

(三) 各种检测方法简介：

射线、超声波、磁力、着色、水压及金相试验，这些方法各有其特点，也有其不完善的地方。各种方法都有不同的适用范围和被测对象。因此它们之中的任何一种方法对受压容器的整体检测，都不应该说是万能的。在整体检测中，可以选择各种方法合理的配合使用，取其之长，补其不足，使其完善。

一般来说，检测可分为二种类型，一种是用来检测物体表面的质量。常用的有磁力、荧光着色、涡流等探伤方法。另一种就是用来检测物体内部的质量。常用的有放射线、超声波等探伤方法。除此之外还可运用宏观检查、金相分析、机械性能、化学分析等方法。

为了帮助大家了解和掌握各种检测方法的配合使用，现将凡能在现场进行检测和取样的方法，如金相、硬度钢种分类、内部窥探、化学成份取样等均并入此类，作一些简单介绍，以便负责容器安全的同志，能有初步的了解。

(1) 宏观检查：

1. 直观检查：用肉眼观察或借助5~10倍的放大镜观察容器的表面，是否有腐蚀、冲刷磨损、伤痕明显的裂缝、鼓泡、变形，以及焊缝表面成型的好坏，有否咬边，及表面气孔等超标缺陷。

2. 锤击检查：借助于检查手锤在锤击容器壁时，根据被击物体发出的音响和小锤回弹的程度（凭手的感觉）来判断该处金属材料是否存在缺陷，一般来说，锤击时发出的声音清脆而单调，小锤的弹跳情况也正常，表示被击的部位材质良好，没有严重缺陷；反之若发出闷声、浊声，小锤的弹跳性能也差，则可能被检查部位或邻近部位有重皮、分层、折叠或裂缝等缺陷；又如小锤基本上无弹跳，锤击的声音是十分闷浊，无金属声，象敲在瓦片上似的，那么，该处被检测的材质，很可能出现了晶间腐蚀。

3. 灯光检查：一般对小型容器的内部检查多采用此法。借助于探入容器内的小灯泡发出的散射光，将被检查处照亮，逐步移动检查。主要查腐蚀斑点、深坑、冲刷沟槽、鼓泡、变形等外表缺陷。目前大多采用12V小灯泡发出的散射光探入检查，对于直径小而深的容器可借助光学潜望镜探入容器内部进行检查。

4. 量具检查：借助于深度游标卡、直尺、内径千分卡、外径千分卡塞尺、千分表及特制样板直接对物体进行测量。特制样板主要用于检查容器的封头上的(a)球面部位尺；(b)过渡部位（连接球面与直边的，由曲率半径为 r 构成的过渡区）；(c)直边（高为 H 的圆柱体部位）部位经使用后的腐蚀、变形情况；(d)也可用于缺陷消除部位（如打磨或腐蚀深坑部位）的复检。

(2) 微观检查：

通过100~1500倍的金相显微镜，观察金属局部组织，是否

发生变化，及其变化之原因。一般在现场试验常用 601—2 大型工件金相检查仪。

(3) “无损检测”：

“无损检测”一般来说是对被检测之物体和另部件不破坏的情况下进行的，或者对被测物体进行喷砂、除锈、除垢、刮取金属屑、打硬度、表面锉磨等微损的情况下进行检测。所以“无损检测”是容器检验的主要手段。

1. 射线检查：常用的为 X 射线、 γ 射线。主要用来发现容器焊缝的内部缺陷（如气孔、夹渣、裂纹、未焊透等）。以及对铸件的内部缺陷如缩孔、疏松、夹杂物等检查。

2. 超声波检查：

(a) 超声波探伤：主要用来检查容器、管道上焊缝内部气孔、夹渣、裂纹、未焊透等缺陷，也可对板材、管材存在的缺陷进行检查。

(b) 超声波测厚仪检查：用于测量容器壁厚度，也可检查板材的分层缺陷。

3. 磁力探伤：对铁磁性容器筒身以及焊缝等较广的部位，进行表面或近表层的缺陷检查。如裂纹、垂皮、夹杂物等缺陷。现场检验用的钳式磁探器，其提升力不应小于 10 公斤。

4. 荧光、着色探伤：主要用于非导磁材料，例如有色金属，奥氏体不锈钢、非金属等，检查表面开口的缺陷，同时也可用来检查黑色金属、焊接件的焊缝区域的表面开口缺陷。

5. 金相检查：对被测物体部位之表面，进行表面处理后，借助现场使用的（简易式）大型工件金相检查仪，检查金相组织是否

发生变化。

6. 硬度测定：用手提式硬度计对器材、焊缝、热影响区、过热、过热等部位进行硬度测定。

7. 化学分析：可在被验之容器壁上刮取金属屑进行化学分析，主要是测定脱C量。如果为了区别合金钢或碳钢，以及核对钢的牌号，可采用34W手提验钢镜（即光谱仪）进行测量。

（四）破坏性检查：当用上述三种方法仍不能取得满意结果时，在必要的情况下，需从器壁上切片，然后按试样不同要求加工试件，进行所需项目的检查（如拉力、弯曲、冲击、压扁、硬度、金相等）。

以上介绍了四个方面的检查方法，虽然方法比较简单，仅仅凭借视觉、听觉、触觉来对容器的表面质量检查。所以人们把这种方法称为容器检查的基本方法。而“无损检测”不仅可以直接查明缺陷的性质，更主要的是使我们进一步掌握容器的内部质量，为检修提供依据，因此直观检查和“无损检测”二者不可偏废其一。

第二章 超声波测厚

（一）概述：

超声波测厚，是我们目前最常用最经济的检测手段，它能随时监测正在运行中的受压容器及管道的厚度，确保安全生产。

比如，小化肥的煤气发生炉夹套，它的靠近炉底部份，由于在高温腐蚀及煤渣的磨损下，它的钢板往往可以从18毫米腐蚀到3~4毫米，甚至穿孔。夹套如大面积的破裂，会引起煤气发生炉的恶性爆炸，轻则会漏水熄火，影响稳定生产。在采用了超声波测厚

~9~

后，可以定期、定炉对发生炉夹套厚度进行监视使用，确保安全生产。

合成工段的水冷排管，气体流速快，磨损大，如能及时监测、及时调换，可以避免高压气流冲破管道，造成停车及对人体伤害的事故。

各种不同的受压容器，都可使用超声波测厚。容器使用多年之后，监视它的壁厚腐蚀情况，及时计算出它的受压强度，这对受压容器的管理来说，超声波测厚确实是一种重要方法。

(二) 超声波测厚工作的简单原理：

目前，通用的超声波测厚仪有下列三种

- (1) CCH-5型指针式超声波测厚仪。
- (2) CCH-10型轻便式晶体管数字显示读数测厚仪。
- (3) CCH-10A型，内接电、晶体管数字显示读数测厚仪。

超声波测厚仪，就是利用超声的这一特性，采用脉冲反射法进行测厚。当换能器探头接触被测件表面时，探头上发生的超声脉冲波，即以接触面向被测件传播。在达到被测件的另一面时，遇到不同介质的界面，又反射回来，再被探头所接收。这样，我们只要测出从发射一脉冲到接收反射脉冲所需时间，乘上被测件的声速常数，就是超声脉冲所经历的来回距离，也就是代表了厚度值，再通过数字集成电路的计算，即可直接读出此厚度值。

测厚仪可以从单面无损地测定被测件的厚度，凡是超声可以通过而声衰减不太大的材料，如钢、铝、铜、铅等金属、玻璃、有机玻璃、瓷器、胶木和部分硬质塑料，都可用超声波测厚。

第三章 射线探伤

(一) 概述:

射线检验法是工业生产和科学研究中应用较多的一项检验技术。随着科学技术水平的提高,仪器设备的不断完善和改进,对射线认识的深化,其应用范围越来越广,我们小化肥工业,受压容器的管理,当然离不开这种有效的检验手段。

射线检验法可分为:(1)X射线检验,(2) γ 射线检验,(3) β 射线检验,(4)中子检验等。目前在我们化学工业中,X光射线探伤较 γ 射线探伤更为普遍。

射线检验法是利用具有一定能量的射线粒子穿透物质的能力和物质对射线的衰减效应——对材料的密度,化学成份和厚度的依赖关系,辅以射线——化学效应,射线——电效应等来显示射线透过物质后的变化。材料的厚度差和密度变化,从而显示出检查物质内部的缺陷(铸件的缩孔、缩松、气孔、冷隔,焊缝中的夹渣、气孔、未焊透,金属件中存在的夹杂物等;非金属材料内部结构(如蜂窝结构);封闭不可拆部件的内部结构(弹体内装药情况);印刷电路板的电路等)。

中子照相有其独特的用途,对检查含氢物质和有色金属组成的物体很有效,特别适用于检查放射线物体和某些反应堆元件,是X射线检验的一种主要辅助手段。

(二) X光射线机结构、透照原理:

(1) X光射线机分类:目前X光射线规格品种很多,但总的来看工作电压没有超过430KV,功率不超过100W,而且多数在

400KV 以下。

X 线探伤机按轻便程度可分为携带式和移动式二种。携带式仪器主要用于现场检验、室外作业，其功率不大，要求仪器轻便可靠。移动式仪器多用于室内，工作电压可以从 50KV 到 450KV，重量已不是主要矛盾，要求设备可靠，多功能和高效率。

(2) X 光射线机的结构：

X 射线管的基本结构酷似一个真空二极管，有一个发射阴极和截获电子产生 X 射线的阳极。当通过电流加热时，钨丝阴极放出自由电子，在高压作用下，这群电子高速飞向阳极，撞击钨靶产生 X 射线。实际上电子撞击阳极而产生的能量中，仅仅只有 1% 左右的能量变成 X 射线，其余的能量则转换成了物体温度升高的热能，X 光射线管电压越高，电子流动速度越快，量子的能量就越大，波长就越短，X 光射线越“硬”，对金属材料的穿透能力就越强。工业 X 光机的制作就是根据这一原理。通过采用控制 X 射线管管电压的方法，来调整 X 射线量的强弱。X 射线与 γ 射线不同，当切断电源，射线却停止产生。

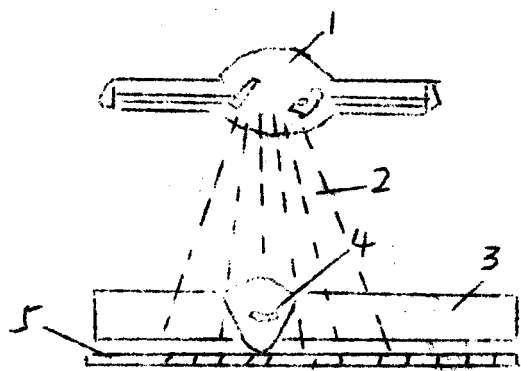
γ 射线是一种不稳定的同位素，又名放射性同位素。工业探伤中主要采用钴 ^{60}Co ，铯 ^{137}Cs 等放射性同位素。常用的放射线源在 0.5~5 克镭当量之间。

(3) 透照原理：

当 X 射线透过被检查的物体后，由于物体的厚度和密度的不同，对 X 射线的能量衰减和吸收也不同，而射到照相底片上的射线强度也不同。因此对胶片上的感光乳剂中的溴化银还原成金属银粒子的程度也不同。所以当射线透过同一密度的物体时，到达底片上的是

~ 12 ~

同一强度的射线量，也就得到同一黑度的底片。如果当射线透过不同密度或厚薄不一的物体，或者说是透过一块长方形厚薄一样的但内部有空洞（缺陷）物体，到达底片上的射线强度也就不一样，物体厚的部位要因衰减和吸收的射线量大，这些部位到达底片上的射线强度也就小，底片感光程度也同样小。底片显影处理后这一部位所得到的黑度也同样浅。反之，底片上得到部位之黑度就较深。根据这一原理，如果在工作中存在各种缺陷，采用X射线照相法，就能如实地把缺陷的几何形状、部位记录在底片上。见图Ⅰ。



图一 射线透照原理示意图

1. 射线源 2. 射线束 3. 物体 4. 焊缝缺陷 5. 底片

根据这些缺陷的部位形状，大小和投影密度，进行质量鉴定。因此，X射线探伤对判别缺陷的形状，大小、数量、性质就比较准确。这是它的主要优点。

X射线在探伤中能得到广泛的应用，主要由射线的特性而决定的。

(4) X射线的主要性质:

1. 不受电磁场的影响, 能透过可见光不能透过的物质, 对金属同样具有穿透性。

2. 金属材料对射线的衰减遵从一定的衰减规律, 与材质的密度、厚度直接有关。

3. 射线能使某些物质起光化学作用, 使照相胶片感光, 又能使钨酸钙 CaWO_4 等物质激发荧光。

4. 射线依直线传播, 不可见, 与可见光一样有反射、绕射、折射、干涉等物理现象, 但这些现象又与可见光有区别。

(5) 射线探伤的辅助条件。

在拍片过程中, 为了防止散射线对底片的二次曝光, 可以使用增感屏来得到清晰的X光底片。增感屏分为二种: 荧光增感屏和金属增感屏。

荧光增感屏:

荧光增感屏常用的物质是钨酸钙。当电压为 100KV 照相时, 对荧光增感屏能吸收 40~50% 的X射线能量, 而激发为荧光, 加速底片感光, 它的最大优点就是相应地提高了工作效率。

金属箔增感屏主要用铅箔制作。当X射线照线到铅箔上时, 铅箔能激发出少量的 β 射线, 有助于底片的感光。

荧光增感屏与铅箔增感屏相比较

表 I

荧光增感	增感率高	曝光时间短	底片反差强	可用于拍摄各种厚、薄焊缝
铅箔增感	增感率高	曝光时间长	底片反差调和	常用于拍摄 <30% 焊缝

(三) 射线探伤工艺:

射线探伤是根据所拍之X光底片来作为质量鉴定的依据。X光底片的清晰与否,直接影响探伤鉴定的准确性。评定X光底片的拍摄质量的标准是根据发现最小缺陷的灵敏度和照片本身的黑度。

(1) X射线底片黑度分为甲、乙、丙三级;

甲级——1.0~2.0

乙级——0.7~1.5

丙级——1.5~2.5

要达到上述级别之黑度,必须给予底片正确的曝光剂量和完善的暗室处理。

(2) 射线探伤规定的灵敏度为甲级和乙级两类:

甲级1.5~2.0%, 乙级2.0~2.6%

灵敏度是指在透照方向上,所能发现的最小缺陷厚度与透照工件厚度之比值,通常以百分比表示。

计算式: $K = S / A \cdot 100\%$

K=灵敏度比值, S=缺陷厚度, A=工件厚度

透度计常用的有两种:一种是标准块透度计(铜板制成),另一种是金属丝透度计(铜丝制成)。

透度计的使用,各个国家都不相同。美国、日本、荷兰等国家多数采用标准块透度计,我国主要采用金属丝透度计。

金属丝透度计由7~10根的 $\phi 0.1\text{ mm}$, $\phi 2\text{ mm}$ ……不同直径的钢丝组成。

(四) 焊缝中常见的几种缺陷:

焊缝中常见的焊接缺陷有气孔、夹渣、未焊透、未熔合和裂纹