

# 小径管堵塞物的超声检测

唐化山,陈 瑜,刘庆洲,雷 闯,李 华

(四川电力建设二公司,成都 610051)

**摘 要:** 异物堵塞已经成为超临界锅炉爆管的主要原因。通过模拟实际工作环境,在注满水介质的管径管内依次放置不同类型堵塞物,使用超声纵波对其进行检测试验。结果表明:有堵塞物时,探头对侧管壁的回波在消失或者波幅明显下降;不存在堵塞物时,对侧管壁的回波必定出现且波幅变化不大;故可根据管壁有无回波和波幅的变化来判定管内是否存在堵塞物。

**关键词:** 超声波检测;堵塞物;小径管;管壁回波

中图分类号: TG115. 28

文献标志码: B

文章编号: 1000-6656(2015)06-0067-04

## The Ultrasonic Testing of Blockage in Small Diameter Tube

TANG Hua-shan, CHEN Yu, LIU Qing-zhou, LEI Chuang, LI Hua

(Si Chuan Second Electric Power Construction Company, Chengdu 610051, China)

**Abstract:** Foreign body blockage already became the main reason of super-critical boiler tube explosion, and researchers pay attention to its testing. By simulating the actual working environment, various objects were placed in the water filled small diameter tube to simulate the different types of blockages and ultrasonic longitudinal wave was used to test the blockage. The results show that there is a blockage if the probe wall echo by the side wall of the tube decreases significantly or is to disappear. If there is no blockage, the side wall echo is certainly to appear in the acoustic path and its amplitude shows minor change. Therefore, the existence of the blockage in the pipe can be determined according to the tube wall echo amplitude variations.

**Keywords:** Ultrasonic testing; Blockage; Small diameter tube; Tube wall echo

超临界电站锅炉爆管事故中,管内异物堵塞已经成为非计划停炉的主要原因之一。一旦形成堵塞,就必须进行清理,因此管内异物的检测受到普遍关注。

在以前的预防性检测或停炉检修中,需要将待检测部件管内的水排尽,在易堵塞部位采用射线拍片来确定有无异物。其缺点是费时费力,检验人员要承受大剂量的射线辐射,无法拍片的部位不能检测,存在爆管隐患。

超声波纵波检测小径管内异物的方法,是基于管内存在介质的环境下监测超声波检测部位对侧管壁有无回波来进行判别。因此,具有检测速度快、可靠性高、检验人员不承受大剂量射线辐射等特点,是目前取代射线检测小径管内异物的理想方法。

### 1 检测原理

检测时,将超声波在管子中的入射、反射和透射假设为平界面上进行,不考虑散射影响。

超声波纵波垂直入射到光滑平界面时,将在第一介质中产生一个与入射波方向相反的反射波,在第二介质中产生一个与入射波方向相同的透射波。

由于声压或声强的分配比例仅与界面两侧的声阻抗有关,存在于管内的介质(液体)与空气的声阻抗不同,并且差异很大,则管内有无介质时的声压反射和透射的情况不一样。

超声波异物检测就是基于小径管检测部位内部有介质的前提下,必然存在管子对侧管壁多次反射回波信号;通过监测管子对侧管壁多次反射回波有无信号确定是否有异物;根据无异物部位管子对侧管壁回波信号的波幅与被检测部位对侧管壁回波幅

收稿日期: 2014-10-02

**作者简介:** 唐化山(1964—),男,高工,主要从事电力工程常规射线、超声、磁粉和渗透检测工作。

度降低量估算异物大小。

### 1.1 超声波垂直入射到界面时的反射和透射<sup>[1]</sup>

纵波在不同介质中的传播如图 1 所示。超声波从声阻抗为  $Z_1$  的第一介质入射到  $Z_1$  和  $Z_2$  界面时,声压反射率  $r$  为:

$$r = \frac{P_r}{P_0} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (1)$$

式中: $P_r$  为反射声压; $P_0$  为初始声压; $Z_1$  为第一介质的声阻抗; $Z_2$  为第二介质的声阻抗。

声压透射率  $t$  为:

$$t = \frac{P_t}{P_0} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (2)$$

式中: $P_t$  为透射声压。

管内没有水,即只有空气时, $Z_1 = 4.5 \times 10^6 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$ ,为第一介质,即钢的声阻抗; $Z_2 = 0.00004 \times 10^6 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$ ,为第二介质,即空气的声阻抗。因  $Z_2 \ll Z_1$ ,则声压反射率为  $r \approx -1$ ,声压透射率  $t = 0$ 。

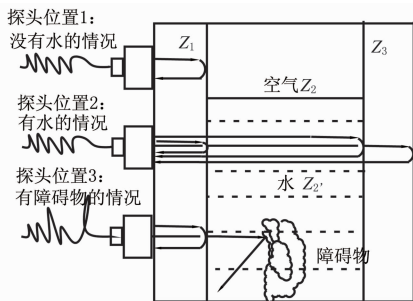


图 1 纵波在不同介质中的传播情况

### 1.2 声压的往复透射

管内有水时声波的传播较管内没有水时复杂,既有探头侧管壁反射波,又有穿过管壁传播到对侧管壁的透射回波。因此,在波形上不仅出现探头侧管壁回波,还在其后一段声程范围出现对侧管壁的回波(波幅较低,声程为 4 倍管子内径)。

管内有水,即  $Z_2 = 0.15 \times 10^6 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$ ,则声压反射率为  $-0.935$ ;声压透射率为  $0.065$ 。声压反射率很高,透射率很低。

透射波作为入射到管子水中的入射波,水中声阻抗  $Z_1 = 0.15 \times 10^6 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$ ,钢中声阻抗  $Z_2 = 4.5 \times 10^6 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$ ,如底面全反射,则超声波在水/钢界面的声压往复透射率  $T$  为:

$$T = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad (3)$$

将  $Z_1$ 、 $Z_2$  具体数值代入,得  $T = 12.5\%$ 。

没有障碍物透射波的传播声程(包括在探头侧的传播):

$$S = T + d_s + T \quad (4)$$

式中: $T$  为管壁厚度; $d_s$  为水层厚度,等于管子内径  $d$ 。

由于纵波在水中的传播速度  $c_s$  约为钢中速度  $c_g$  的  $1/4$ ,那么厚度为  $d_s$  的水层其传播时间为:

$$t_s = \frac{d_s}{c_s} = \frac{d_s}{c_g/4} = 4 \frac{d_s}{c_g} \quad (5)$$

式中: $T$  为管壁厚度; $d_s$  为水层厚度,等于管子内径  $d$ ; $c_s$  为水中纵波声速; $c_g$  为钢中纵波声速。

也就相当于 4 倍于钢中的传播时间,用声程调节速度的话,就相当于 4 倍水层厚度的声程。

式(4)可以表述为:

$$S = T + d_s + T = 2T + 4d_s = 2T + 4d \quad (6)$$

## 2 检验方法及步骤

### 2.1 使用设备及材料

检验仪器:汉威 610Se 数字式超声波探伤,配 5Z10N 的直探头。

选用  $\phi 63 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ ,  $L150 \text{ mm}$  左右的管子作为检验设备的试块;将其一端封堵,管子注入自来水,留一半的空间;使用机油或者变压器油作为耦合剂。

取用现场钢管内铁锈、 $\phi 25$  钢球一个;其他杂物: $\phi 32$  钢管一节、 $\phi 1$  细铁丝备用。

### 2.2 检验方法-纵波接触法

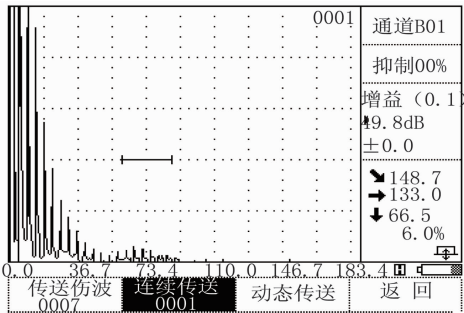
#### 2.2.1 灵敏度调整

将超声波探伤仪声程范围设定到  $250 \text{ mm}$  左右,管子的测试部位涂上耦合剂,将直探头放到管子没有水的部位,如图 1 中探头位置 1。这时显示探头侧管子壁厚范围内的多次回波,如图 2(a)所示。

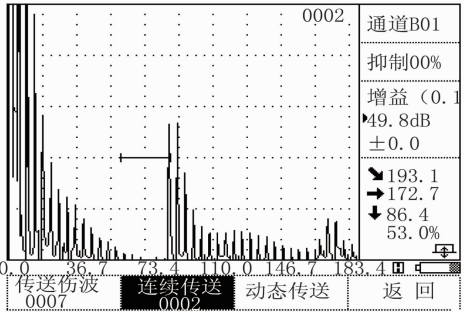
使第一次回波达到满刻,再将探头移到有水部位,如图 1 中探头位置 2。除出现探头侧管壁回波外,在其后出现波幅较低的管子对侧管壁的回波信号,如图 2(b)所示。

#### 2.2.2 试验过程

首先在注满水、管子内部无杂物的部位(图 1 中探头位置 2)进行灵敏度调整、声程范围调节,使探头对侧管壁回波信号达到一定波幅(图 2(b)),固定仪器增益。依次将被检测管内分别放进钢球、钢管、氧化铁、卵石、细铅丝时,探头放到待检测管相应部位,确保主声束指向管内所放物件,依次记录下钢球、钢管、氧化铁、卵石、铁丝在管内时回波信号。检验过程显示结果如图 3~7 所示。



(a) 管内无水



(b) 管内有水

图 2 管内无水和水时的波形图

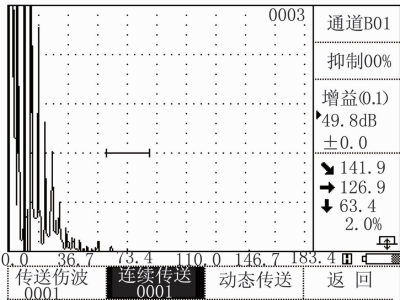


图 3 管内有钢球的波形图

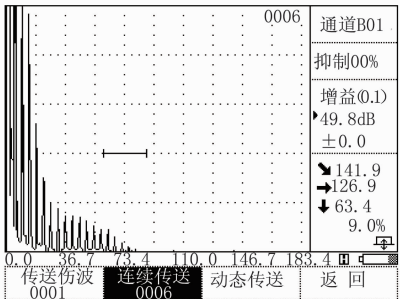


图 4 管内有钢管的波形图

### 3 结果与可靠性分析

#### 3.1 结果分析

##### 3.1.1 无对侧内、外壁反射回波

比较图 2(b)与图 3、图 2(b)与图 4 可以发现,由于人工放置的堵塞物是钢球、钢管,由于本身形状为球形和柱形,声波传播到这些物件的表面时可以

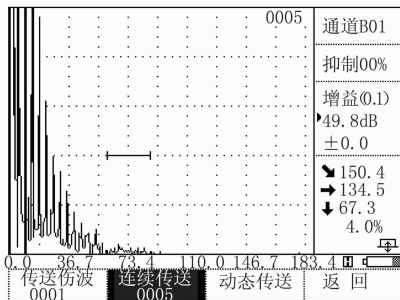


图 5 管子内有氧化铁的波形图

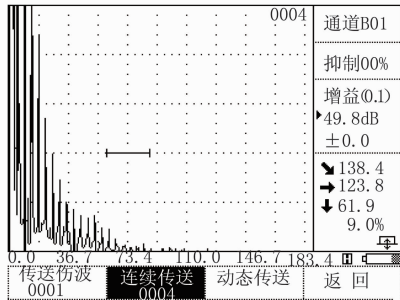


图 6 管子内有卵石的波形图

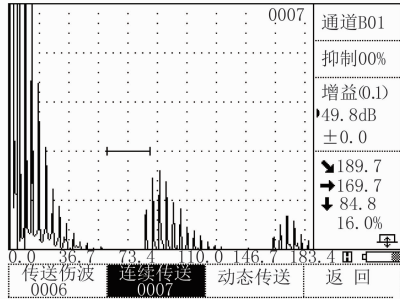


图 7 管子内有细铁丝的波形图

视为凸柱面,柱面反射发散,而透射的声波到达对侧内壁也很微弱,在检测灵敏度下,不能发现其反射回波信号,即对侧管壁回波信号在该声程消失。同样,比较图 2(b)与图 5 可以看出,声波障碍物为氧化铁块,鉴于其本身形状的不规则,反射波发散,而声波无法传播到管子对侧,该声程不会出现反射回波信号;观测图 2(b)与图 6,声波障碍物为卵石这种非金属材料,其截面积大于声束直径,阻挡了声能的传播,显然该声程不存在对侧管壁回波信号。

##### 3.1.2 存在对侧内、外壁反射回波

比较图 2(b)与图 7 可以发现,当入射声声束直径大于人工堵塞物截面,如直径为 1 mm 的铁丝时,根据惠更斯-菲涅尔原理声<sup>[2]</sup>,声波会发生绕射,有一部分波能到达管子对侧,因此在该声程会出现对侧管壁回波信号,由于会损失一部分声能,其波幅要低于没有堵塞物(见图 2(b))时的回波幅度,见图 7。

### 3.2 可靠性分析

在试验过程中,将 1 mm 的铁丝弯曲成 U 型放入管子内,上下移动,管子对侧管壁回波波幅呈跳跃



(a) 高过联箱管口铁渣



(b) 屏过联箱管口氧化铁渣



(c) 高过联箱管口内机加工铁屑

图 8 某电厂在管子内清理出部分堵塞物的照片

式变化,波幅变化明显。

事实上,无论是火电工程建设过程中吹管后的割管检查,还是试运行过程中因堵塞爆管后管子里清除出的堵塞物,其类型不外乎为氧化铁、机加工铁屑及制造、安装过程(通球试验用钢球)中残留固体异物,其尺寸多为  $\phi 10 \sim 25$  mm、长度  $16 \sim 90$  mm 之间,如图 8 所示。

因此,从检验角度来看,能有效发现管子内 1 mm 的铁丝已经表明其检测灵敏足够发现上述尺寸的堵塞物,并且检测速度快、检测方法简单、判断准确。

### 4 结论

在检测部位内部充满介质(水)的前提下,检测结果表明:

(1) 探头对侧管壁回波在该声程出现且波幅不变或变化不明显,表明没有堵塞物。

(2) 探头对侧管壁回波在该声程消失,则表明有堵塞物,且堵塞物体积较大。

(3) 探头对侧管壁回波在该声程出现,但波幅下降明显,表明有堵塞物,堵塞物体积较小。

### 参考文献:

- [1] 水电部超声波探伤编写组. 超声波探伤[M]. 北京:电力工业出版社,1985.
- [2] 郑晖,林树青. 超声检测[M]. 北京:中国劳动社会保障出版社,2008.

## 摘要 撰写

摘要是以提供文献内容梗概为目的,反映论文的实质性内容,展示论文内容全部重要的信息。简洁具体的摘要还须明确论文的创新性,读者通过阅读摘要便能了解文章的主要内容和观点,提高论文被国内外检索系统收录的概率。

科技论文摘要的形式为报道式,中文摘要字数一般为 200 字左右,英文摘要内容应与中文摘要一致。摘要的四个要素即研究目的、研究方法、研究结果和结论,其中后两个最重要。研究目的用一句话概述即可,但研究方法、研究结果必须详细具体,作者在摘要中要给出具体的研究方法,具体结果及对其进行剖析得出的具有创新性的结论。

摘要应该开门见山,直接给出研究目的。摘要不应简单地重复题名中已出现过的信息,不要

把引言和结论中叙述性的内容写入摘要,在学科领域内专家和学者共知的内容不要写入摘要。对于科学实验类论文,具体研究(实验)方法要包括实验用的主要设备和材料,具体研究结果要包括关键的实验数据;对于研究方法类论文,可将研究方法的主要过程作为具体结果,然后再加一个结论;对于研究观点类论文,要把文章最主要的观点作为具体结果,并给出结论;对于综述类论文,作者要表明自己的观点,还应当给出对该学科领域发展具有指导性或前瞻性的意见。摘要的内容应在正文中出现,不能有作者未来的研究计划,不能出现图、表、参考文献序号和缩写词,尽量不要出现数学公式。为保证摘要的客观真实性,摘要应采取第三人称写法。