

# Excel 软件计算 $\gamma$ 射线探伤曝光时间的方法

孙望军,赵世宝,祝世文

(山东电力建设第一工程公司检测中心,邹城 273522)

## The Design and Making of Electronic Sheet for Gamma Ray Radiographic Testing Expoursure Time

SUN Wang-Jun, ZHAO Shi-Bao, ZHU Shi-Wen

(Shandong Electric Power Construction No. 1 Company, Zhoucheng 273522, China)

中图分类号: TG115.28

文献标识码: B

文章编号: 1000-6656(2008)04-0250-03

在电建施工射线探伤中,如超临界机组以及超超临界机组的螺旋水冷壁以及管排比较密集的过热器和再热器安装焊口,由于焊口位置以及管排密集等因素,X射线探伤设备不易放置,需大量使用 $\gamma$ 射线探伤。

与X射线探伤相比, $\gamma$ 射线探伤有体积小、重量轻、不用电、设备故障率低及穿透厚度大的优点,但也存在着清晰度低、射线强度随时间衰减以及对安全防护要求高的缺点。根据被检工件的规格和透照技术参数准确地选取曝光时间是 $\gamma$ 射线探伤的关键。笔者介绍了利用Excel软件设计的曝光时间计算表格。

### 1 常用 $\gamma$ 射线源的特性参数

工业探伤中经常使用的放射源有 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{192}\text{Ir}$ 和 $^{75}\text{Se}$ ,使用最多的是后两种。常用 $\gamma$ 射线源的特性参数见表1。

### 2 计算曝光时间的常用方法

曝光时间应根据源强、焦距、材料种类、胶片特

性及暗室处理条件等因素综合考虑。通常计算曝光时间的方法有两种,一是生产厂家提供的专用计算尺法,另一种是公式法。

#### 2.1 专用计算尺法

专用计算尺法(简称拉尺法)主要适用于 $^{192}\text{Ir}$ 和 $^{60}\text{Co}$ 。拉尺法有两种,一种有两个动尺和两个定尺,它是根据点源计算公式及源的指数衰减定律而得。具体制作方法是:将胶片受照剂量(常用胶片受照剂量见表2)以及放射源的源强、透照厚度和焦距等分别作为单一变量,制成两个定尺和两个动尺(图1)。使用时,按照胶片受照剂量/定尺 $\rightarrow$ (源强-钢厚)/动尺1 $\rightarrow$ (源强-焦距)/动尺2 $\rightarrow$ 曝光时间/定尺2。由于制作精度等原因,当焦距较大时,用计算尺求得的结果均偏小。

第二种拉尺只使用一个定尺(图1)。按照工件的透照厚度/定尺1 $\rightarrow$ 放射源现在的实际强度-焦距/动尺 $\rightarrow$ 曝光时间。计算出的曝光时间要根据使用的胶片类型乘以曝光系数。例如天津Ⅲ型系数为1.5,天津Ⅴ型为3.2等。精确一些的系数也需要做相应的试验。

表1  $\gamma$ 射线源的特性参数

| 射线源               | 主要能量/MeV                 | 平均能量/MeV | 半衰期   | 放射常数 $K_r/R \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Ci}^{-1}$ | 钢中半值层/mm | 钢中透照厚度/mm |
|-------------------|--------------------------|----------|-------|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|
| $^{192}\text{Ir}$ | 0.30, 0.31, 0.47, 0.61   | 0.355    | 74天   | 0.472                                                                  | 14       | 10~100    |
| $^{75}\text{Se}$  | 0.13, 0.27, 0.281, 0.405 | 0.226    | 120天  | 0.204                                                                  | 10       | 5~40      |
| $^{60}\text{Co}$  | 1.17, 1.33               | 1.25     | 5.27年 | 1.32                                                                   | 24       | 40~200    |

收稿日期: 2006-12-09

作者简介: 孙望军(1970—),男,高级工程师,副主任,从事电建金属监督方面的工作。

表 2 不同黑度下的胶片受照剂量<sup>1)</sup>  $\times 10^{-4} \text{C/kg}$ 

| 胶片<br>类型 | 1.0  | 1.5  | 2.0  | 2.5  | 3.0  | 4.0   |
|----------|------|------|------|------|------|-------|
| AgFaD7   | 2.06 | 3.10 | 4.13 | 5.16 | 6.19 | 7.74  |
| AgFaD5   | 3.30 | 4.95 | 6.60 | 8.26 | 9.91 | 12.28 |
| 天津 V     | 1.89 | 3.16 | 4.53 | 5.96 | 7.59 | 11.05 |

注:以上数据由试验求得。



图 1 专用计算尺和 FC-III A 型计算仪

专用计算尺法有很大的局限性,例如目前缺少<sup>75</sup>Se 的拉尺。

## 2.2 公式计算法

放射源的曝光时间计算公式是  $\gamma$  射线探伤的基础:

$$t = X \cdot F^2 \cdot 2^{T_A/T_h} / A \cdot K_r \cdot (1 + n) \quad (1)$$

式中  $t$ ——曝光时间, h;

$X$ ——照射量, C/kg;

$F$ ——射源到胶片的距离, cm;

$T_A$ ——透照厚度, mm;

$T_h$ ——半值层, cm;

$A$ ——射源活度, Bq;

$K_r$ ——射源常数;

$n$ ——散射比。

式(1)中的  $T_h$  和  $n$  都需要通过试验求得。实际使用以下简化公式:

$$t = K \cdot F^2 \cdot \frac{2^{T_A/T_h}}{A} \quad (2)$$

式中  $K$  为修正系数,  $K = X/K_r \cdot (1 + n)$ , 可以通过试验求得。

## 2.3 FC-III A 型曝光时间计算仪算法

现场探伤中较常使用一种 FC-III A 型曝光时间计算仪(图 1)。它在通用的电子计算器上添加了放射源的计算公式程序, 可以根据不同的射源种类和曝光参数, 很方便地计算出所需要的曝光时间, 方便实用。但由于市场容量因素, 价格比较昂贵。并且

使用时间长了, 易出现丢失程序或摔坏等故障, 影响正常的使用。

## 3 利用电子表格设计放射源的曝光参数

### 3.1 设计思路

参考市场上的 FC-III A 型曝光时间计算仪使用方法, 设计思路为: 在输入射源参数(包括射源的出堆日期、初始强度和透照日期)后, 自动计算现在的活度; 根据胶片的黑度选取修正系数  $K$  值; 输入焦距和透照厚度后, 根据式(2)自动计算出曝光时间。

#### 3.1.1 源强的计算

(1) 射源种类选择 此项设计使用了从数据序列中选取。具体使用了[数据]菜单的[有效性]选项来设置。预先需要输入有效数据, 如所使用的射源种类等(<sup>192</sup>Ir, <sup>75</sup>Se)。

(2) 确定射源的出堆日期 根据所选定射源种类自动生成。该生成使用了条件选择程序:

DATEVALUE(IF(E5="Ir192", "2006-4-26", "2006-4-11"))

式中 DATEVALUE() 为文本日期转换函数; IF() 为条件选择函数; E5 为单元格地址引用。

(3) 输入透照日期 注意格式应与出堆日期一致。透照日期需要进行数据有效性验证, 使用[数据]菜单的[有效性]选项来实现, 透照日期不能小于出堆日期。

(4) 出堆天数的计算 天数按照一年 360 天计算, 与实际稍有误差, 可以忽略, 计算程序为:

DAY\$360(B6, C6)

(5) 源强的计算 计算程序为:

IF(E5="Ir192", ROUND((E7/EXP(0.009362 \* D7)), 4), ROUND((E7/EXP(0.005757 \* D7)), 4))

式中 0.009362 和 0.005757 为射源的衰减系数  $\lambda$ , ROUND() 函数为取规定位数的小数并四舍五入。

(6) 设备编号 使用条件选择函数自动实现。

#### 3.1.2 修正系数 $K$ 的选取

对于<sup>75</sup>Se 射源, 可根据表 3 选取  $K$  值, 对于<sup>192</sup>Ir 则需要使用差值法确定, 并非定值。

表 3 <sup>75</sup>Se 探伤修正系数  $K$  值的选取<sup>1)</sup>

| 胶<br>片 | K 值       |           | 胶<br>片 | K 值       |           |
|--------|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|
|        | D=2.0     | D=2.5     |        | D=2.0     | D=2.5     |
| D7     | 0.017 031 | 0.028 057 | D4     | 0.042 276 | 0.067 243 |

注: 1) 此表根据试验求得。

经过试验和使用曝光时间计算仪算出的数据比较,得 $^{192}\text{Ir}$ 的 $K$ 值的范围为0.016 55~0.029 55,此处取 $^{192}\text{Ir}$ 在钢中的半值层为定值14 mm(实际应随着透照厚度的增加偏大)。电子表格中使用条件选择函数IF()来实现根据不同透照厚度求 $K$ 值,使用AND()函数来取厚度范围。程序设计为:

=IF(E5="Ir192",IF(C15<23,0.017471,IF(AND(C15>=23,C15<37),0.018765,IF(AND(C15>=37,C15<50),0.021021,IF(AND(C15>=50,C15<70),0.023302,0.028))))),0.028201)

在电子表格中, $K$ 值不需要输入,会根据使用的射源种类和透照厚度范围自动确定。

### 3.1.3 曝光时间的计算

输入透照焦距和透照厚度,使用计算所得的源强和修正系数 $K$ 值,通过式(2)计算曝光时间。程序设计为:

=IF(E5="Ir192",ROUND(E15\*POWER(B15/10,2)\*POWER(2,C15/14)/D15,4),ROUND(E15\*POWER(B15/10,2)\*POWER(2,C15/10)/D15,4))

式中POWER()为指数函数,计算焦距的平方和 $2^{T_A/T_h}$ 值。

因 $^{192}\text{Ir}$ 射源的 $K$ 值是根据天津Ⅲ型的胶片特性选取的,当使用颗粒较细的V型胶片时候,将得出的曝光时间乘以相应的系数(如1.6)即可。

## 3.2 表格的编辑和附加功能

电子表格设计好后,需要对其进行一些编辑,使之更加美观和稳定。

### 3.2.1 增加背景和保护

使用Excel菜单的[格式(S)]→[工作表]→[背景选项]来实现。还可用绘图工具设定立体边框。

使用Excel菜单的[工具]→[保护]→[保护工

作表]选项,对表格进行保护。

### 3.2.2 透照厚度的计算和像质计的自动选取

像质计选择公式采用标准DL/T 821—2002《钢制承压管道对接焊接接头射线检验技术规程》中的规定,使用如下公式实现(如用其它标准,公式应作相应修改):

=ROUND(SQRT((C11-D11)\*D11)\*0.8+D11,2)

=IF(AND(E11>8,E11<=12),"13#",IF(AND(E11>12,E11<=16),"12#",IF(AND(E11>16,E11<=20),"11#",IF(AND(E11>20,E11<=25),"10#",IF(AND(E11>25,E11<=32),"9#",IF(AND(E11>32,E11<=50),"8#",,"薄壁:14# 厚壁:7#")))))

最后完成的电子表格的计算公式表格见图2。

图2  $\gamma$ 射线探伤曝光时间计算电子表格

## 4 电子表格的验证

由上述推理过程可知,影响曝光时间的主要是焦距、源强以及透照壁厚。分别根据这三个变量,用电子表格计算出曝光时间,并与FC-ⅢA型曝光时

表4 Excel与FC-ⅢA计算曝光时间的结果比较

| 透照参数 |      |           | $^{192}\text{Ir}$ 源曝光时间/min |          |          | $^{75}\text{Se}$ 源曝光时间/min |          |          |
|------|------|-----------|-----------------------------|----------|----------|----------------------------|----------|----------|
| F/mm | A/Ci | $T_A$ /mm | Excel                       | FC-ⅢA    | 误差       | Excel                      | FC-ⅢA    | 误差       |
| 100  | 10   | 10        | 0.286 3                     | 0.302 6  | -0.016 3 | 0.562 5                    | 0.571 3  | -0.008 8 |
| 200  | 20   | 20        | 0.939 7                     | 0.918 2  | 0.021 5  | 2.252 1                    | 2.265 3  | -0.013 2 |
| 400  | 40   | 40        | 6.089                       | 5.816 7  | 0.272 3  | 17.978 4                   | 17.86    | 0.118 4  |
| 600  | 60   | 60        | 27.077 7                    | 27.235 8 | -0.158 1 | —                          | —        | —        |
| 800  | 80   | 80        | 117.6                       | 114.8    | 2.8      | —                          | —        | —        |
| 100  | 80   | 10        | 0.035 8                     | 0.037 8  | -0.002   | 0.070 4                    | 0.069 2  | 0.001 2  |
| 800  | 10   | 80        | 939.6                       | 918.4    | 21.2     | —                          | —        | —        |
| 450  | 32   | 28        | 4.754 4                     | 4.642 7  | 0.111 7  | 12.397 3                   | 12.360 2 | 0.037 1  |

(下转第260页)

上海科桥无损检测有限公司

www.KeQiaoNDT.com

英国 SONATEST(Asia)CO.Ltd  
华东地区总代理,专门经销英国  
声纳集团公司各成员单位的产品,  
如 DAKOTA,SONATEST 的超声  
探伤仪和测厚仪。BALTEAU 的  
射线机,NDT SOLUTION 的快速  
扫描仪以及 HAFANG 公司的  
便携式超声相控阵等。

地址:201600 上海市莘松路1288弄绿洲长  
岛花园21号601室  
电话:(021)6769 2080/6769 2015  
传真:(021)6769 2080  
E-MAIL:sonatestshg@vip.sina.com  
keqiaondt@sina.com.cn

## NDT 北京有色金属研究总院 CENTER 无损检测中心

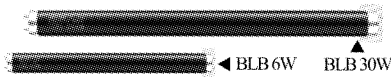
拥有强大的开发和研制涡  
流、超声和漏磁等无损检测设  
备的技术力量。

与俄罗斯动力诊断公司合  
作推广金属磁记忆检测技术,  
并设立联合研发培训中心。

地址:(100088)北京市西城区新街口外大街2号  
联系人:袁琪 手机:13501390616  
电话:010-62010116 传真:010-62352572  
E-mail:enerdiag@163bj.com

## Sankyo Denki 日本进口 磁粉探伤高强度黑光管

- ◆寿命延长 30% ◆强度提高 15%
- ◆符合 ROHS 标准 ◆适合大面积检测



本公司同时销售世界名牌黑光灯泡灯管  
OSRAM, GE, PHILIPS, WINGSPAN

HPA 400S HPW 125  
DUV 35W HPW-R 125

上海奇点电子科技有限公司

Tel: 021-65503721 65504069  
www.wingspan.com.cn  
E-mail:sales@wingspan.com.cn



## 诚 聘

青岛持恒工程技术有限公司主要从事锅炉、压力容器、压力管道等特  
种设备、海上设施检测和钢结构的检测服务,具有对外从事公正的第三方  
检测资格。

诚邀锅、容、管、特(II、III级人员);船舶及海上设施(DNV 或 EN473  
资质人员);钢结构等检测领域中精英人才,共创伟业。

热忱欢迎全国有志之士加盟,待遇从优。以上招聘长期有效。

联系电话:13906398498 0532-83766886  
邮箱:chihengdy@hotmail.com

联系人:董先生 于小姐  
http://www.china-ndt.net

青岛持恒工程技术有限公司  
QingdaoChiHeng Engineering & Technology Co.,Ltd

152-13 Ruichang Rd Qingdao, P R Chin; 青岛市瑞昌路152-13号  
TEL:0086-532-83766886 FAX:0086-532-83761213

## 无损检测资讯网 www.ndtinfo.net

欢  
迎  
浏  
览

- ◆详尽的无损检测业界资讯
- ◆大量的无损检测技术资料
- ◆资讯更新、充实速度最快
- ◆简、繁体中文版同步发布
- ◆2000.4 开通至今 8 周年
- ◆浏览总量已超 18 万人次
- ◆日均浏览量超过 150 人次
- ◆诚恳为无损检测同仁服务
- ◆受广东 NDT 学会支持

(上接第 252 页)

间计算仪所得数据进行对比,结果见表 4。表 4 可  
见,使用电子表格计算的数据与计算器算出的结果  
十分吻合。

## 5 使用注意事项

(1) 上述计算数据都是针对中等颗粒的胶片制  
定的。当使用其它感光度的胶片时候(如天津 V 型  
胶片),需要乘以相应的系数。

(2) 表格使用前需要根据实际,对射源参数进  
行修改,包括出堆日期和源强。源强一般不能直接  
输入说明书的数值,一般有 10% 的误差,实际都偏  
小。否则底片黑度会偏小。

(3) 修改完毕后一定要对表格进行保护,以免  
误操作破坏一些函数的使用。

(4) 由于电子表格软件的条件选择函数 IF() 的  
嵌套不能超过 7 层,此表格一般只适用于两货源。  
当射源较多时候,可以在工作簿上拷贝表格的副本,  
重命名输入更多的射源参数。

## 6 结语

通过计算机的电子表格功能,设计  $\gamma$  射线探伤  
曝光时间计算电子表格,可以给工作带来极大的便  
利,可以应急使用并且直观简单。

根据使用情况可以对表格功能进行一些扩展,  
例如增加小径管倾斜透照的位移  $S$  计算和大径管  
的最小焦距和最大透照长度  $L_{off}$  的计算。另外可以  
以此表作基础,对其功能作一些扩展,例如与 Word 文  
档建立邮件合并直接生成工艺卡等。

由于  $\gamma$  射线探伤公式牵涉的参数和概念较多,  
有一些参数特别是散射比  $n$  以及半值层  $T_h$  都是随  
着透照参数变化而变化的,需要针对不同的胶片和  
暗室处理条件以及透照参数,通过试验求得。为了  
计算的简单,经验公式就把它合并成了一个修正  
系数  $K$  值,并通过试验求得经验值。精确数值的求  
得需要大量的试验室工作来完成。

本表格在某发电厂机组检测中得到了应用,可  
以用于工程实际。