

# 基于 RCCM 规范的 EPR 主管道焊缝射线检测方法和验收标准

杨伟光

(中广核工程有限公司, 深圳 518124)

**摘 要:** 主管道是核电站关键设备之一, 在基于法国 RCCM 规范的主管道焊缝射线检测过程中, 常会出现射线检测底片质量不合格、验收标准理解错误、缺陷无法准确定性等问题, 给主管道焊缝质量带来较大风险。通过对标准的解读, 分析射线检测各种透照方法的优缺点, 优化了主管道射线检测透照方法; 并充分利用图示和实例信息深入剖析规范, 以达到正确理解 RCCM 规范, 准确评定缺陷的目的。

**关键词:** RCCM; EPR; 主管道; 射线检测

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2016)06-0069-04

## Radiographic Inspection Method and Acceptance Standard of EPR Main Pipeline Weld Based on RCCM

YANG Wei-guang

(China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Shenzhen 518124, China)

**Abstract:** The main pipeline is one of the key equipment in a nuclear power plant. With a relatively large thickness, the main pipeline is checked and accepted according to the RCCM, a French standard. Therefore, problems such as disqualification of the negative film during radiographic examination, misunderstanding of the check and acceptance standard, confirmation of the defect and the like often happen. And, these problems might threaten the welding quality of the main pipeline. This article elaborates the RCCM, analyzes the advantages and disadvantages of various radiographic examination methods and tries to optimize the main pipeline radiographic examination method. It also aims to facilitate the correct understanding of RCCM and helps to make a correct evaluation of the defect through graphic representations and examples.

**Key words:** RCCM; EPR; The main pipeline; Radiographic inspection

欧洲先进压水堆 EPR 是法马通和西门子联合开发的反应堆, 为单堆布置四环路机组, 电功率  $1.75 \times 10^6$  kW, 设计寿命 60 a, 主要安全系统 4 列布置, 具数字化仪控的主控室布置、先进的人-机界面和双层安全壳设计, 有更高的安全性和经济性。

RCCM—2007《压水堆核电厂机械设施设计和建造规则》标准, 是由法国核岛设备设计、建造及在役检查规则协会(AFCEN)出版的核电技术规

范, 涉及压水堆核岛机械设施的设计、材料、检验、焊接和制造等方面的要求, 是目前压水堆核电机组建造中使用较为广泛的规范之一。在台山核电站一期核岛的两台 EPR 核电机组的建造和服役过程中, 采用法国 RCCM 规范, 从确保机组的运行安全角度出发, 都需要采用无损检测技术对核岛核安全设备及管道的焊缝质量状况进行检查。

主管道是核电站的关键设备之一, 由于主管道壁厚较厚, 在主管道焊缝射线检测过程中, 常会出现透照方式或布片等错误, 导致射线检测底片质量不合格; 对基于 RCCM 规范的验收标准的理解不正确, 常导致缺陷无法最终定性。缺陷的误判或漏判

收稿日期: 2015-10-16

**作者简介:** 杨伟光(1981—), 男, 高级工程师, 学士, 主要从事核电站设备与管道等的焊缝焊接与无损检测技术及工艺的研究工作。

**通信作者:** 杨伟光, E-mail: yangweiguang@cgnpc.com.cn.

都会给主管道焊缝质量带来较大风险,进而影响核电站运行期间的安全性及长期服役的需要。笔者通过对标准的解读,对射线检测各种透照方法的优缺点分析,优化了主管道射线检测透照方法;并充分利用图示和实例信息深入剖析规范,以达到正确理解 RCCM 规范,准确评定射线检测缺陷的目的。

## 1 EPR 主管道介绍

EPR 机组主管道共有 12 段管,将蒸汽发生

器、压力容器(堆芯)、主泵连接成 4 个环路,焊口采用脉冲钨极氩弧自动焊(TOCE)进行焊接,主管道空间布置三维图如图 1 所示,其焊口规格信息如表 1 所示,表中焊接位置说明:PF+PG 为管子水平立向上焊和立向下焊组合焊;H-L045+J-L045 为管子倾斜立向上焊和立向下焊组合焊,PC 为管子竖直横焊。

表 1 主管道焊口规格信息

焊口名称	焊缝编号	规格/mm	钢号	焊接位置
RCP-CL 主泵-冷段	C1	$\phi 932 \times 76$	Z3CN20.09M, X2CrNi19.10N2	PF+PG
RPV-CL 压力容器-冷段	C2	$\phi 932 \times 76$	Z2CND18.12N2, X2CrNi19.10N2	PF+PG
RPV-HL 压力容器-热段	H1	$\phi 932 \times 76$	Z2CND18.12N2, X2CrNi19.10N2	PF+PG
SG-HL 蒸发器-热段	H3	$\phi 974 \times 97$	Z2CND18.12N2, X2CrNi19.10N2	H-L045+J-L045
SG-COL 蒸发器-过渡段	U1	$\phi 974 \times 97$	Z2CND18.12N2, X2CrNi19.10N2	H-L045+J-L045
RCP-COL 主泵-过渡段	U4	$\phi 960 \times 90$	Z3CN20.09M, X2CrNi19.10N2	PC

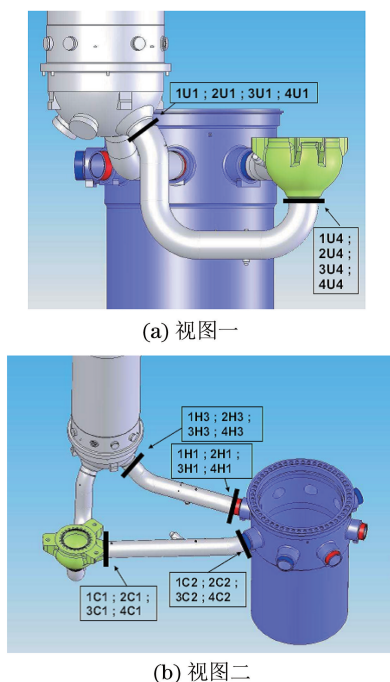


图 1 主管道空间布置三维图

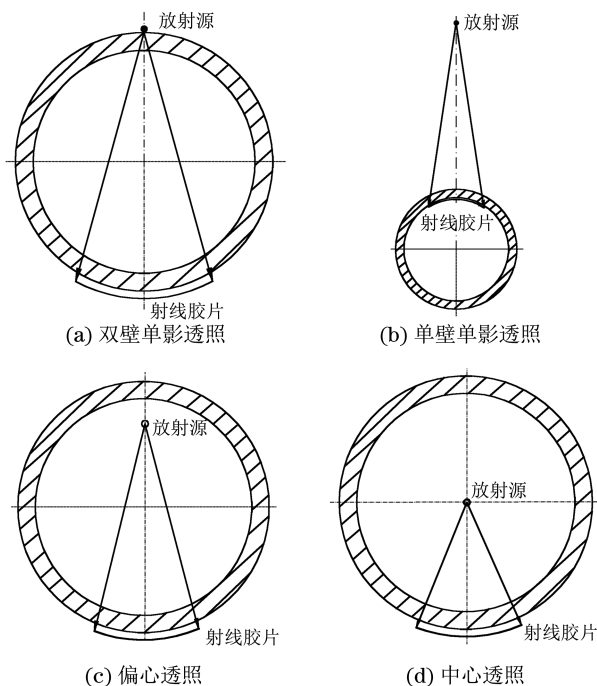


图 2 几种透照方法的透照示意

## 2 透照方法选择

透照方法的选择不仅要考虑检测效率,还要考虑到几何不清晰度、像质计丝径可见性、黑度等因素的影响。由于主管道直径较大、壁厚较厚,主要考虑采用双壁单影、单壁单影、中心透照、偏心透照等透照方式,重叠透照或椭圆透照等透照方式不再考虑。

### 2.1 双壁单影

采用双壁单影的透照方式(见图 2(a)),焦距会

成倍增加,单次透照仅能拍摄一张底片,透照时间过长,在大壁厚管道检测工作中是不可接受的。

### 2.2 单壁单影

采用单壁单影“外源法”(见图 2(b))时,单次透照仅能拍摄一张底片,透照时间较长,单次透照有效长度小,且底片中间和两端部分黑度不均匀,这在工业检测中是不可接受的。

### 2.3 偏心透照

采用偏心透照方式(见图 2(c)),单次透照仅能

拍摄一张底片,底片质量较好(几何不清晰度可小于 0.3),但透照时间较长,透照效率较低。

## 2.4 中心透照

在管内径允许、几何不清晰度满足要求的情况下(几何不清晰度小于 0.6),中心透照方式(见图 2(d))是最经济、最高效的检测方式。如果采用一次透照完成,但实施时由于屏蔽板的遮挡,两张底片搭接处存在无影像的局部间隙,影响焊缝底片整体评定,这在主管道检测过程中是不允许的。如果采用两次透照,即奇、偶数布片,则可有效解决该问题,主管道射线检测推荐该种透照布片方式。

## 3 验收标准解析

关于 RCCM S7710 章节射线检测验收标准进行如下解读:任何形式的裂纹、未熔合、未焊透、咬边、凹陷均是不允许的;如果焊缝射线检测底片有上述缺陷的典型显示,焊缝需返修处理。

以下对几种常见缺陷形式逐一分析。

### 3.1 单个气孔

对于任何气孔,其尺寸  $L$  如果超过表 2 给出的数值,则均是不允许的。

表 2 单个气孔允许限值

试件壁厚 $e/\text{mm}$	缺陷尺寸 $L/\text{mm}$	试件壁厚 $e/\text{mm}$	缺陷尺寸 $L/\text{mm}$
$e \leq 4.5$	$e/3$	$10 < e \leq 25$	2.5
$4.5 < e \leq 6$	1.5	$25 < e \leq 50$	3
$6 < e \leq 10$	2	$50 < e$	4

由于主管道焊口焊缝厚度均大于 50 mm,故对于大于 4 mm 的单个气孔是不可接受的,需进行返修处理。

### 3.2 线性(或密集)气孔

密集气孔的评定图示见图 3。

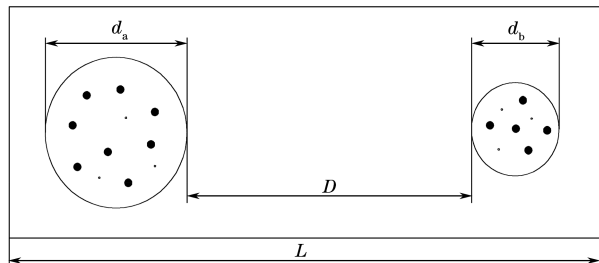


图 3 密集气孔的评定图示

如果两个密集气孔间距  $D$  不小于较大密集气孔直径的 6 倍时,这两个密集气孔应作为两个单独密集气孔进行评定(气孔直径为  $d_x$ )。

例如:图 3 中, $d_a=5\text{ mm}$ , $d_b=3\text{ mm}$ , $D=40\text{ mm}$ ,

此时  $D > 6 \times d_a$ ,两个密集气孔应作为两个单独密集气孔进行评定。

如果两个密集气孔间距  $D$  小于较大密集气孔直径的 6 倍时,这两个密集气孔应作为一个密集气孔进行评定,这一密集气孔直径  $d_x$  应为上述两个密集气孔直径之和再加上间距。

例如:图 3 中, $d_a=5\text{ mm}$ , $d_b=3\text{ mm}$ , $D=25\text{ mm}$ ,此时  $D < 6 \times d_a$ ,两个密集气孔应作为一个密集气孔进行评定,合并的密集气孔尺寸  $d_x = d_a + D + d_b = 33\text{ mm}$ 。

对于图 4 所示的线性排列气孔,其判定原则同密集气孔的判定原则。

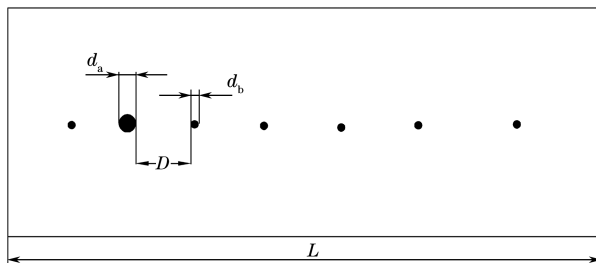


图 4 线性排列气孔的评定图示

在 12e 或 150 mm 两者中较小的长度  $L$  上,累积直径  $\sum d_x$  (不再考虑它们之间的间距)大于  $e$  的线性排列(或密集)气孔,应判定为不合格,需返修处理。

### 3.3 夹渣

#### 3.3.1 单个或多个夹渣

如果夹渣尺寸  $L$  超过表 3 所给出的数值,则均是不允许的。

表 3 单个夹渣允许限值

试件壁厚 $e/\text{mm}$	缺陷尺寸 $L/\text{mm}$	试件壁厚 $e/\text{mm}$	缺陷尺寸 $L/\text{mm}$
$e \leq 6$	1.5	$10 < e \leq 60$	$e/3$
$6 < e \leq 10$	3	$60 < e$	20

由于主管道焊口焊缝厚度均大于 50 mm,对于大于 20 mm 的单个夹渣是不可接受的,需进行返修处理。

如果两个夹渣间的距离  $D$  小于较小者长度的 6 倍时,应作为单个夹渣进行评定;这一夹渣的长度  $d_x$  认定为上述两个夹渣之和再加上间距  $D$ ,其值如果超过表 3 所给出的单个夹渣数值,则是不允许的而需进行返修。

例如:图 5 中,第一个夹渣  $d_1$  为 3 mm,第二个夹渣  $d_2$  为 5 mm,间距  $D$  为 15 mm,此时  $D < 6 \times d_1$ ,两个夹渣应合并成一个夹渣并按单个夹渣规则进行评定,其尺寸  $d_x = d_1 + D + d_2 = 23\text{ mm}$ 。

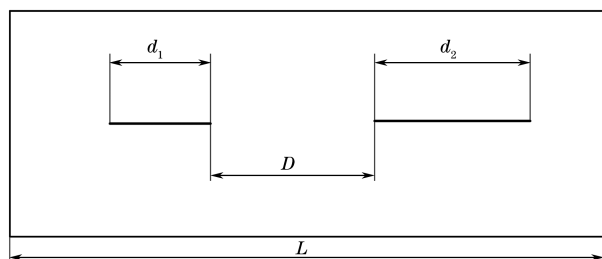


图5 两个夹渣的评定图示

### 3.3.2 成群夹渣

如果两组夹渣缺陷间的间距不小于其中最长缺陷长度的 6 倍时,应分别作为两组成群夹渣进行评定。

如果两组夹渣缺陷间的间距小于其中最长缺陷长度的 6 倍且大于等于最短缺陷长度的 6 倍时,则可将这两组夹渣缺陷视为一组成群缺陷,此成群夹渣的长度为上述两个或多个夹渣长度之和再加上它们之间的间距。

例如:图 6 中,第一个夹渣  $d_1$  为 5 mm,第二个夹渣  $d_2$  为 3 mm,第三个夹渣  $d_3$  为 7 mm,第四个夹渣  $d_4$  为 4 mm,第五个夹渣  $d_5$  为 2 mm,间距  $D_1$  为 3 mm,  $D_2$  为 5 mm,  $D_3$  为 45 mm,  $D_4$  为 7 mm。

由于  $D_3 > 6 \times d_3$ ,图 6 中的夹渣应作为两组成群夹渣进行评定。

对于第一组夹渣,此时  $D_1$  或  $D_2 < 6 \times d_3$ ,应作为一个夹渣群进行评定,其尺寸为  $d_{x1} = d_1 + D_1 +$

$$d_2 + D_2 + d_3 = 23 \text{ mm}。$$

对于第二组夹渣,  $D_4 < 6 \times d_5$ ,应作为一个夹渣群进行评定,其尺寸为  $d_{x2} = d_4 + D_4 + d_5 = 13 \text{ mm}$ 。

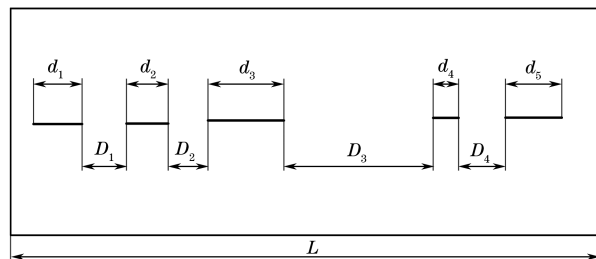


图6 成群夹渣的评定图示

如果在  $12e$  长度上,存在多个成群夹渣,其总长度为这些成群夹渣的长度之和  $\sum d_x$  (不再考虑它们之间的间距);如果成群夹渣总长度大于  $e$ ,则不可接受,需进行返修处理。

## 4 结语

通过对射线检测方法的对比分析,选择中心曝光方式,优化了主管道射线检测方法;对验收标准的解析,对快速有效评定射线检测底片,防止漏判或误判的发生具有十分重要的意义。方法应用于国内 EPR 某机组的建造过程中,提高了检测效率、保证了底片质量,确保了主管道焊缝射线检测质量;对后续使用法国 RCCM 规范的核电工程同样具有指导意义。

(上接第 57 页)

- [7] WANG D. Quality defect and it's prevention in grinding the out surface of shaft parts[J]. Coal Mine Machinery, 2000,1:30-31.
- [8] 李武斌,路长厚,李君,等.圆钢表面缺陷视觉检测技术研究现状与展望[J]. 无损检测, 2012,34(5):54-58.
- [9] YANG J, ZHANG F. New method of spherical surface defect detection based on machine vision[J]. Advanced Materials Research, 2011,295:1274-1278.
- [10] 左延红.轴类零件自动检测系统研究[D].兰州:兰州理工大学, 2006.
- [11] 叶伯洪.基于计算机视觉检测的轴类零件尺寸高精度检测方法研究与应用[D].广州:广东工业大学, 2010.
- [12] 张宇,黄亚博,焦建彬.一种基于机器视觉的圆型零件检测技术[J].计算机工程, 2008,34(19):185-186,202.
- [13] 徐杜,蒋永平.采用数字同步技术的轴类零件尺寸光电检测[J].光电工程, 2004,31(8):45-48.
- [14] 付佳佳.基于图像处理技术的轴类工件多参数自动检测技术研究[D].长春:吉林大学, 2014.

- [15] 伍济钢,宾鸿赞.薄片零件尺寸机器视觉检测系统的研发[J].装备制造技术, 2009(12):88-90.
- [16] 李伟斌,高二,宋松和.一种全局最小化的图像分割方法[J].电子与信息学报, 2013,35(4):791-796.
- [17] OTSU N. Athreshold selection method fromgray-levelhistograms[J]. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, 1979,9(1):62-66.
- [18] KITTLER J, ILLINGWORTH J. Minimum error thresholding[J]. Pattern Recognition, 1986,19(1):41-47.
- [19] HORNG M H, LIOU R J. Multilevel minimum cross entropy threshold selection based on the firefly algorithm [J]. Expert Systems with Applications, 2011,38(12):14805-14811.
- [20] TSAI W H. Moment-preserving thresholding: a new approach[J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1985, 29(3): 377-393.
- [21] 吴凤和.基于计算机视觉测量技术的图像轮廓提取方法研究[J]. 计量学报, 2007, 28(1):18-22.