

# 核电站用高磅级阀体铸件的全体积射线检测

朱 镇<sup>1</sup>, 陈晓娟<sup>2</sup>, 王兆云<sup>3</sup>

(1. 浙江久立特材科技股份有限公司, 湖州 313028; 2. 四川华宇石油钻采装备有限公司, 泸州 646100;  
3. 江苏万恒铸业有限公司, 盐城 224513)

**摘要:** 针对传统胶片射线检测技术对结构复杂、壁厚大的高磅级核电阀体难以进行全体积检测的问题, 以典型产品直径为 6 inch(1 inch=25.4 mm), 承载质量为 1 500 lb(1 lb=0.45 kg) 的止回阀为例, 分别从检测区域的划分和标识, 双胶片技术、厚度补偿块技术和预曝光技术的应用等方面优化了检测工艺, 优化后的工艺能达到规范要求的全体积检测的目的, 可为同行提供参考。

**关键词:** 阀体铸件; 全体积射线检测; 核电站

中图分类号: TG115.28

文献标志码: B

文章编号: 1000-6656(2022)01-0049-04

## Full volume radiographic inspection of high pound valve body casting for nuclear power plant

ZHU Zhen<sup>1</sup>, CHEN Xiaojuan<sup>2</sup>, WANG Zhaoyun<sup>3</sup>

(1. Zhejiang Jiuli Hi-Tech Metals Co., Ltd., Huzhou 313028, China;  
2. Sichuan Hwayoo Petroleum Drilling & Production Co., Ltd., Luzhou 646100, China;  
3. Jiangsu Wanhang Casting Industry Co., Ltd., Yancheng 224513, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that traditional film radiographic inspection technology is difficult to perform full volume inspection of high pound nuclear power valve body with complex structures and large wall thickness, this paper taking a typical product with diameter is 6 inch(1 inch = 25.4 mm) and the bearing mass is 1500 lb (1 lb = 0.45 kg) check valve as an example, The detection process is optimized from the division and identification of detection area, the application of double films technology, thickness compensation block technology and pre-exposure technology to achieve the purpose of full volume inspection as required by the specification, which can provide a reference for peers.

**Key words:** valve body casting; full volume radiographic inspection; nuclear power plant

核电站用高磅级阀体铸件长期工作在高温、高压、强辐射、腐蚀、潮湿等恶劣环境中, 因此通常要求对其进行全体积射线检测, 而阀体壁厚变化大, 且结构复杂, 难以实现铸造缺陷(夹渣、气孔、缩松和裂纹等)的全体积射线检测。X 射线数字平板成像技术<sup>[1]</sup>和 X 射线计算机断层扫描技术<sup>[2]</sup>可以适当改善检测效果, 但由于核电行业的特殊性, 引入的新技术需要经过反复的工艺试验后才能应用, 因此业内仍然采用传统胶片射线检测技术对高磅级阀体铸件进行全体积检测。

收稿日期: 2021-06-30

作者简介: 朱 镇(1986—), 男, 工程师, 主要从事金属材料和结构的无损检测工作

通信作者: 朱 镇, jklzzswp@163.com

## 1 射线检测工艺的制定

由于核电站用高磅级阀体铸件(以下简称为试件)各个区域的结构和壁厚不同, 因此需要分别制定检测工艺。试件直径为 6 inch(1 inch=25.4 mm), 承载质量为 1 500 lb (1 lb = 0.45 kg), 材料为 CF8M, 其结构如图 1 所示。该试件的厚度为 40~160 mm, 笔者分别从检测区域的划分和标识、透照

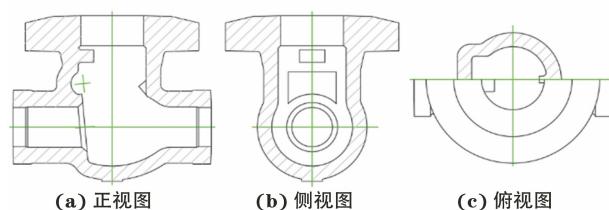


图 1 高磅级阀体铸件结构示意

方式、一次透照长度、双胶片技术的应用、厚度补偿块的应用等方面来对检测工艺进行优化。

## 1.1 检测区域的划分

通常阀体为三通形状, 分别由左右焊端、左右流道、密封圈、法兰等组成, 各部位的厚度差较大。为确保射线检测能全体积覆盖试件, 可用彩色笔在阀体上标识后, 分区域进行射线检测。试件的检测区域划分方法如图 2 所示, 根据结构和壁厚的变化, 左流道和左焊端标识为 A 区, 右流道和右焊端标识为 B 区, 中间法兰下面通道标识为 C 区, 再下面的部位标识为 D 区, 密封圈位置标识为 E 区, 中法兰标识为 F 区, 如果存在左右法兰可分别标识为 G、H 区, 以此类推。

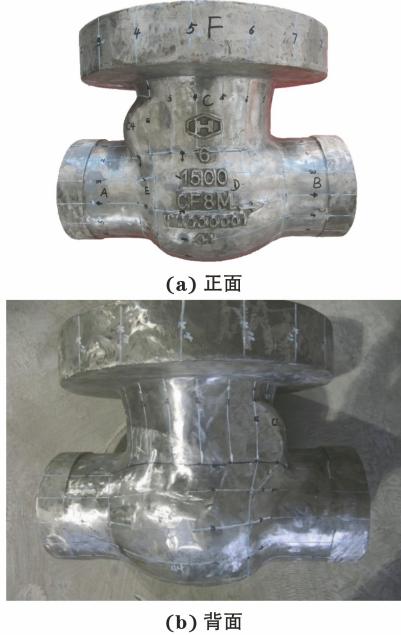


图 2 试件的检测区域划分方法示意

## 1.2 检测区域的标识

一般检测焊缝时, 只需要在焊缝方向的左右两端搭接位置放置 2 个位置标识即可, 而铸件阀体的射线检测时通常需要在四周放置 4 个标识, 形成一个四边形的检测区域。若边缘区域在底片上可以形成明显的边界线, 则边界线一边可以不放置标识。在图 2 中: A 区和 B 区的 3,4 号片放置的 3,4 和两个箭头标识, 与端部边界组成检测区域; C 区 4,5 号片放置的 4,5 和两个箭头标识, 与法兰边界组成检测区域; D 区 1,2 号片放置的 1,2 和 4 个箭头标识组成检测区域; E 区 1,2 号片放置的 1,2 和 4 个位置标识组成检测区域; F 区的 5,6 号片放置的 5,6 与上下法兰边界组成检测区域, 其他位置也是依此类推。

位置标识箭头“→”表示指向固定的方向, 如水流方向、下一张布片流水号方向或顺时针方向等, 该标识应放置在检测区域边界交叉线的中央, 片号数字应和产品上的标记号重叠, 这样有助于发现缺陷后对其进行定位返修。

## 1.3 透照方式和一次透照长度的选择

单壁透照的灵敏度明显高于双壁透照的灵敏度, 在两种方式都能使用的情况下无疑应优先选择前者; 较小的透照厚度差和横向裂纹检出角有利于提高底片质量和裂纹检出率。在焦距和一次透照长度相同的情况下, 源在内透照法比源在外透照法具有更小的透照厚度差和横向裂纹检出角, 因此在条件允许的情况下, 应尽量选择源在内透照法<sup>[3]</sup>, 然而大部分情况下, 由于焦距无法满足几何不清晰度的要求, 只能选用源在外透照法。

一次透照长度对检测质量和工作效率有影响, 选择较大的一次透照长度可以提高检测效率, 但在大多数情况下, 透照厚度比和横向裂纹检出角随一次透照长度的增大而增大, 这对射线检测质量是不利的。

实际工作中一次透照长度的选取受两个因素的限制, 一个是射线源有效照射场的范围(一次透照长度不能大于有效照射场的尺寸); 另一个是射线检测标准对于透照厚度比  $K$  值或者黑度范围公差的规定(该规定间接限制了一次透照长度)。

对于规定  $K$  值的情况, 可以按照相应透照方式的公式进行一次透照长度的计算或根据标准的透照图进行选择。

对于未规定  $K$  值的情况, 如 ASME(美国机械工程师协会)标准通常只规定黑度范围的公差, 其要求检测区域任何地方的黑度与指定线型像质计基本线附件或孔型像质计上的黑度相比, 变化不大于  $-15\%$  和  $+30\%$ 。

试件的透照方式为: A 区和 B 区圆周透照 16 次, 采用源在外单壁透照技术; C 区圆周透照 17 次, 采用源在外单壁透照技术; D 区和 E 区圆周透照 12 次, D1 凸台采用源在内偏心透照技术, 其余区域采用源在外单壁透照技术; F 区圆周透照 20 次, 采用源在外单壁透照技术。另外, 一些壁厚变化较大的凸台部位和遮挡部位则单独补充透照, 因此透照次数略有变化。对于 A 区和 B 区, 其焊端和流道壁厚相差数个毫米, 为确保黑度变化在  $-15\%$  或  $+30\%$  范围内, 可以分别在焊端和流道各放置一个像质计。

#### 1.4 双胶片技术的应用

阀体各部位过渡区域的厚度差较大,可以采用双胶片技术进行透照。暗盒里一般放置感光度不同的两种胶片(异速双胶片法),其中感光度较大的胶片适用于透照厚度较大部位,感光度较小的胶片适用于透照厚度较小部位。也可在暗盒中放置感光速度相同的两种胶片(同速双胶片法),观片方法是:对于黑度较小部位,将双片重叠进行观察评定;对于黑度较大部位,用单片观察评定。选择感光度不同的两种胶片时,应注意在有效黑度范围内,两种胶片的曝光量应有足够重叠。

试件尺寸为:A区壁厚为45 mm,D区壁厚为40 mm,E区壁厚为85 mm;A区到E区的壁厚变化缓慢,边界并不是太明显;E区到D区的壁厚变化是一个突变,边界较明显。在检测E区时,应采用双胶片技术,同时像质计应横跨壁厚过渡区域。

#### 1.5 厚度补偿块的应用

可用补偿块、补偿粉、补偿液等填补工件的较薄部分,使透照厚度差减小。通常在检测阀体法兰的时候,如果壁厚变化极大,可使用厚度补偿块来减小厚度差,减少边缘的散射。当检测部位极小,像质计的标识和拍片标识无法放置时,可在检测部位放置相似厚度的补偿块,然后将识别标识放置在补偿块上。

中部法兰外观如图3所示,由于其壁厚差变化极大,如不增加补偿块,最终底片显示的检测区域宽度会比实际检测的宽度小很多,因此在拍法兰的时候,应在法兰上下两侧增加补偿块或屏蔽物,以减小壁厚差,减少边蚀散射。



图3 中部法兰外观

另外射线源为 $\gamma$ 源和高能X射线时,在工件和胶片暗盒之间应增加滤板屏蔽前散射,暗盒背面使用铅板屏蔽背散射。

#### 1.6 补充检测区域

对于各个划分的检测区域,还应注意其内部壁厚是否有变化。为防止漏检,壁厚突变的区域需要单独进行射线检测,因此可以在区域标识后面加数字进行区分,凸台补充检测位置如图4~7所示。

另外还需注意有些部位的遮挡导致无法一次性



图4 C区凸台内壁



图5 C区凸台外壁



图6 C区凸台内壁



图7 D区凸台外壁

检测完整个区域,从而发生漏检。如中部法兰遮挡A区和B区,需要把源倾斜一定角度对被遮挡的部位进行补充检测。补充检测位置如图8,9所示。

#### 1.7 预曝光技术的应用

射线检测阀体时,需要放置很多标识,如公司名称、产品名称、阀体规格、材料、炉号、序列号、拍片日期等。为了节省拍片时布置标识的时间,同时也节约胶片,可以采用预曝光技术,即在底片上的固定角



图 8 A 区补充检测位置

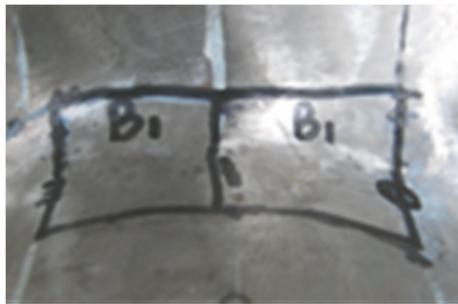


图 9 B 区补充检测位置

落位置使用标识器进行预曝光。在拍片时,胶片上预曝光的区域应尽量放置在检验区域以外的较厚部位,这样洗片后有利于识别预曝光标识(见图 10)。

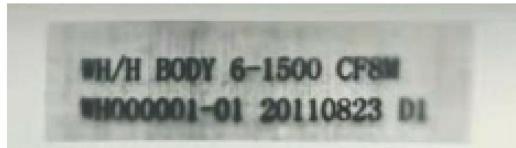


图 10 预曝光标识

## 2 射线检测工艺的实施

根据制定的布片图和射线检测工艺表,对该止回阀共透照 105 次,透照时边界摆放相应位置的标记,确保尽可能全体积覆盖检测。各圆周体应利用公式计算或透照图确保透照次数符合  $K$  值或黑度公差的要求。下面列举了部分透照工艺的实施情况,如对 A 区和 B 区进行了倾斜透照,尽可能增加检测区域(见图 11,12);C 区和 D 区凸台的厚度差较



图 11 A 区遮挡部位的补充检测结果

大,进行了补充拍片,确保黑度满足要求(见图 13,14);E 区采用双胶片技术进行透照,确保了黑度和灵敏度满足要求(见图 15);F 区利用厚度补偿块技术进行透照,减小了厚度差,从而减少了边蚀散射,可确保底片上的影像宽度与实际宽度基本一致(见图 16)。



图 12 B 区遮挡部位的补充检测结果



图 13 C 区凸台部位的补充检测结果



图 14 D 区凸台部位的补充检测结果



图 15 E 区的双胶片技术检测结果

C 区与 A,B 区连接转角部位存在约 150° 圆弧范围无法检测。ASME 核电规范中明确提出该区域可以不进行射线检测,但应在报告中注明该未检测区域。未检测区域如图 17 所示(方框内为未检测区)。

(下转第 59 页)