

核电站焊缝渗透检测验收标准差异

丁洪峰

(山东核电有限公司, 烟台 265116)

摘要: 对 CPR1000 与 AP1000 等核电站中核岛与常规岛焊缝渗透检测的验收标准进行了分析;比较了 RCC-M《压水堆核岛机械设备设计和建造规则》、ASME(美国机械工程学会)BPVC《锅炉及压力容器规范》及 JB/T 4730.5《承压设备无损检测渗透检测》三个标准记录阈值与圆形缺陷显示评定等方面的差异,便于检测人员正确区分和使用。

关键词: 核电站;渗透检测;验收标准

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2015)09-0023-03

Comparison of Acceptance Standards for Liquid Penetration Examination in Nuclear Power Stations

DING Hong-feng

(Shandong Nuclear Power Company Ltd., Yantai 265116, China)

Abstract: Acceptance standards for liquid penetration examination in the nuclear islands and conventional islands of the CPR1000 and AP1000 nuclear power stations were compared. The differences in recording threshold and circular indications assessment etc. of RCC-M, ASME and JB/T 4730 were analyzed.

Keywords: Nuclear power station; Liquid penetration examination; Acceptance standard

渗透检测(PT)技术被广泛应用于 CPR1000 与 AP1000 堆型核电站的设备制造、土建、安装、调试和运行的各阶段。尤其是在安装阶段需要对核岛和常规岛焊缝实施渗透检测(一般选用水洗及溶剂去除型)。其中,核岛焊缝的渗透检测分别执行法国 RCC-M《压水堆核电站核岛机械设备设计与建造法则》2000 版及 2002 补遗^[1]版和美国 ASME BPVC《锅炉及压力容器规范》1998 版及 2000 补遗^[2]版标准,常规岛焊缝的渗透检测一般执行我国标准 JB/T 4730.5—2005《承压设备无损检测》^[3]。

众所周知,RCC-M 是以 ASME BPVC 规范为基础,结合法国工业技术特点和核电建造经验转化而成的法国压水堆技术规范;JB/T 4730.5—2005 渗透检测部分是参照 ASME V 卷 SE-165 有关要求并结合国内实际情况制定;而 ASME BPVC 本身对于核级设备的验收标准集中在 ASME III 卷中。

尽管三个标准间有着密切联系,但对渗透检测

的结果和评判,三个标准并不一致。笔者对不同标准下的评定规范进行分析与比较,有助于加深对各标准的理解,避免使用时发生混淆。

1 标准的具体规定

RCC-M 2000(2000 补遗)版中核级焊缝分成核 1、2、3 级,渗透检测需满足 MC 卷及 S 卷相关规定。S 卷还对核 1、2 级的密封焊缝和换热器管与管板焊缝的渗透检测规定了更加严格的验收标准,此处不进行讨论。

RCC-M 渗透检测的受检区包括金属焊缝和宽度至少为 15 mm 的接头两侧相邻母材区(对于支承件,相邻母材区限定为 10 mm,储罐为 5 mm);一般在接头外表面进行检测,当可接近时也包括接头内表面。检验区域以外的母材适用于基本部件的评定标准。RCC-M 核级焊缝渗透检测缺陷记录及评判规定如表 1 所示。

ASME 标准中核设备制造要求在 III 卷 NB/NC/ND/NE/NF/NG 分卷中分别予以规定,各级焊缝渗透检测记录与评判标准保持一致。因

收稿日期:2015-03-11

作者简介:丁洪峰(1982—),男,工程师,硕士,主要从事核电站无损检测工作。

表 1 RCC-M 2000(2000 补遗)核级焊缝渗透检测缺陷记录及评判规定

焊缝级别	记录要求	评判标准
核 1、2、3 级	只考虑记录大于 2 mm 的显示。 注：对任何总长度超过 20 mm 的同一直线上紧密排列的多个显示，即使这些显示都小于记录阈值，也要对这些显示做进一步的分析，以确定显示的性质。	(1) 线性显示 (2) 大于 4 mm 的圆形显示 (3) 同一条直线上的且相邻间距小于 3 mm 的 3 个或 3 个以上缺陷显示 (4) 在边长不大于 20 cm 的矩形 100 cm ² 范围内，以最不利的方式挑选缺陷： 1 级为不小于 5 个的群体缺陷；2 级为不小于 8 个的群体缺陷；3 级和非 RCC-M 级不小于 12 个的群体缺陷。
密封焊缝、 传热管与管 板焊缝	—	焊接接头表面：不允许有任何显示； 焊接接头表面临近区域：宽度等于理论焊缝厚度值和最大不超过 5 mm 的区域，不允许有尺寸大于 1.5 mm 的显示；不允许有尺寸小于 1.5 mm 但间距小于 3 mm 的任何显示。

ASME 标准采用英制单位，表内括号中标注了国际单位，国内核电行业对于缺陷的评定一般采取从严原则，按照二者中较严格者进行验收。ASME 渗透检测范围包括焊缝外表面和可接近内表面以及焊缝两边至少 1/2 in.(13 mm) 范围内相邻母材，母材验收标准也有不同于焊缝的额外规定，ASME 核级焊缝渗透缺陷记录及评判规定：焊缝级别为核 NB/NC, ND/NE/NF 焊缝；记录要求为只有显示的主要尺寸大于 1/16 in.(1.5 mm) 才视作相关不连续性；评判标准为：① 任何裂纹或线性显示。② 直径大于 3/16 in.(5 mm) 的圆形显示。③ 一条直线上间隔 1/16 in.(1.5 mm) 或更小的 4 处或更多相关圆形显示(边缘到边缘)。④ 在与受评定的显示有关的最不利部位上，任取一个面积为 6 in².(4 000 mm²)，其主要尺寸不超过 6 in.(150 mm) 的表面，在这个面积上有 10 个或 10 个以上的圆形显示。

标准 JB/T 4730.5—2005 将焊缝的质量等级划分为 I、II、III、IV 级，分级依据存在的缺陷性质、数量、尺寸以及密集程度等。与 RCC-M 和 ASME 规定的判废标准不同，JB/T 4730.5—2005 明确了各质量等级的合格标准。核电站常规岛部分一般规定焊缝达到质量等级 I 级为合格且检查结果不允许存在任何裂纹、成排气孔、分层。I 级焊缝渗透缺陷记录及评判规定见表 3。JB/T 4730.5 适用于承压设备表面开口缺陷的检测，评定分为焊缝和坡口与其他部件两部分，焊缝接头的检测范围方面未明确对焊缝两侧相邻母材的范围要求。JB/T 4730.5—2005 I 级焊缝渗透缺陷记录及评判规定：焊缝评级为 I 级焊缝；记录要求为非相关显示和虚假显示不必记录和评定。小于 0.5 mm 的显示不计，除确认显示是由外界因素或操

作不当造成的之外，其他任何显示均应作为缺陷显示。两条或两条以上缺陷线性显示在同一条直线上且间距不大于 2 mm 时，按一条缺陷显示处理，其长度为两条缺陷显示之和加间距。评判标准为：① 不允许线性缺陷。② 圆形缺陷(评定框尺寸 35 mm×100 mm)直径不大于 1.5 mm，且在评定框内少于或等于 1 个。③ d 为圆形缺陷在任何方向上的最大尺寸。

2 标准比较

对于渗透显示与缺陷显示的关系，RCC-M 未做详细分析，ASME 将渗透显示分为相关显示、非相关显示，而 JB/T 4730.5 进一步明确为相关显示、非相关显示和虚假显示三类。

相关显示为由缺陷中渗出的渗透剂所形成的痕迹显示，即缺陷显示，是缺陷存在的标志；非相关显示是由加工工艺、零件结构、外形缺陷如机械损伤等所引起的渗透剂显示，是与缺陷无关的、外部因素形成的显示，通常可由目视检查证实、不能作为评定依据；虚假显示是由渗透剂污染等所引起的渗透剂显示。非相关显示和虚假显示不必进行记录和评定^[4]。

对于渗透检测需要评定的对象——缺陷显示方面，各标准没有根本区别。

RCC-M、ASME 与 JB/T 4730.5 焊缝渗透缺陷记录及评判规定汇总如表 2 所示。由表可见，RCC-M、ASME 与 JB/T 4730.5 均将渗透检测中的缺陷显示分为线性显示和圆形显示两类并分别加以评判。

对于线性显示、圆形显示的定义，各标准规定基本保持一致，即当显示的最大尺寸(长度)与最小尺寸(宽度)的比值大于 3 时为线性显示，其他所有的缺陷显示按圆形显示处理。

表 2 RCC-M、ASME 与 JB/T 4730.5 焊缝渗透缺陷评判规定汇总

焊缝类别	线性显示	单个圆形显示	多个圆形显示	
			评定范围	缺陷显示数量
RCC-M 核 1、2、3 级	不允许	>4 mm	边长≤200 mm 的矩形 10 000 mm ²	核 1 级≥5 个
				核 2 级≥8 个
				核 3 级≥12 个
			同一条直线上且相邻间距<3 mm 的显示≥3 个	
ASME NB/NC/ND/NE/NF/NG	不允许	>3/16 in.(5 mm)	6 in ² .(4 000 mm ²),主要尺寸不超过 6 in.(150 mm)	≥10 个
			一条直线上相邻间距≤1/16 in.(1.5 mm)圆形显示≥4 个	
JB/T 4730.5—2005 I 级	不允许	>1.5 mm	评定框 35 mm×100 mm	>1 个

按照 JB/T 4730.5 I 级焊缝的验收要求,常规岛焊缝与 RCC-M、ASME 核级焊缝在对渗透检测所发现的线性显示的处理上也是一致的,均把线性显示作为不可接受缺陷处理。

三个标准的记录和验收规定差异主要集中在记录阈值、圆形显示的验收规定等方面。

2.1 记录阈值

RCC-M 规定核 1、2、3 级焊缝的渗透检测仅记录尺寸大于 2 mm 的缺陷显示;此外,对任何总长度超过 20 mm 的同一直线上紧密排列的多个显示,即使这些显示都小于记录阈值,但为了确定显示的性质,也应记录这些显示并对其作进一步的分析。

ASME III 卷规定只有不连续性显示的主要尺寸大于 1/16 in.(1.5 mm)才视作相关不连续性。

JB/T 4730.5 明确非相关显示和虚假显示不必记录和评定,小于 0.5 mm 的显示不计,除确认显示是由外界因素或操作不当造成的之外,其他任何显示均应作为缺陷显示。

值得一提的是,由于渗透检测显示本身具有缺陷放大作用,缺陷显示痕迹的显示尺寸通常远远大于缺陷实际尺寸,实际检测中人眼通常能分辨出的显示尺寸在 0.5 mm 左右,而且缺陷显示尺寸均小于 0.5 mm 的缺陷重复检出率也比较差^[5-6]。

2.2 缺陷显示长度计算

JB/T 4730.5 规定两条或两条以上缺陷线性显示在同一条直线上且间距不大于 2 mm 时按一条缺陷显示处理,其长度为两条缺陷显示之和加间距。

笔者认为此规定主要是针对焊接接头及其他部件质量分级中对线性缺陷长度的计算方法,尽管对于核电要求达到的 I 级焊接接头不允许存在线性缺陷显示,但对于焊缝检测报告中缺陷显示的记录仍

应关注此规定。

RCC-M、ASME 未考虑将缺陷显示间距计入缺陷长度,未进行相关描述。

2.3 单个圆形显示的评定

RCC-M 中,一般的核 1、2、3 级焊缝可接受的单个圆形显示的最大尺寸为 4 mm,ASME 核级焊缝可接受的圆形显示为直径不超过 3/16 in.(5 mm),而 JB/T 4730.5 I 级焊缝可接受的单个圆形显示最大尺寸为 1.5 mm。

因此,渗透检测评判时须明确焊接接头适用的标准。鉴于核电行业对焊缝质量的重视,在一般的检测中,即使圆形显示尚未达到评定标准、甚至尚未达到记录阈值,检测人员也会要求将显示位置打磨后重新渗透检测以确认。

2.4 多个圆形显示的评定

对于圆形显示,只要其尺寸及分布位置满足一定条件,各标准均允许在一定范围内存在若干圆形显示;但各标准选用的评定框大小及框内允许的显示个数均不相同。

RCC-M 标准选用的评定框为 10 000 mm² 的矩形框,根据焊缝级别的不同评定框内最多允许存在 11 个圆形显示;而 JB/T 4730.5 选用 35 mm×100 mm 评定框,对于 I 级焊缝只允许在框内存在一处不大于 1.5 mm 的圆形显示。

考虑到排列成直线的圆形显示有裂纹的可能,RCC-M 及 ASME 标准均对排列成直线的多个圆形显示的个数及间距进行了限定;而核电行业常规岛的渗透检测一般在 JB/T 4730.5 基础上规定检查结果不允许存在任何裂纹、成排气孔。因此,同样的对多个圆形显示,选用不同标准很可能得到不同的评定结果。

(下转第 49 页)

71.9, 60.4 mm, 按前面计算分析, 当 $t = 25$ mm 时, $B_{ss1} = 46.25$ mm, $B_{ls1} = 35.63$ mm, $B_{ss2} = 71.25$ mm, $B_{ls2} = 60.63$ mm 分别与图 6 中检测结果相对应, 并非常接近。

上述分析计算和实际测试的结果及其偏差如表 1 所示。

表 1 纵波后的横波计算值、实测值及偏差

项目	B_{ss1}	B_{ls1}	B_{ss2}	B_{ls2}
计算值	46.25	35.63	71.25	60.63
实测值	45.8	35.4	71.9	60.4
偏差	0.45	0.23	-0.65	0.23
偏差率/%	0.97	0.65	0.91	0.38

当超声波探伤仪水平线性误差不大于 2%^[2], 或者超声波探伤仪水平线性误差不大于 1%^[3], 都属于误差允许值内, 从表 1 可知, B_{ss1} 、 B_{ls1} 、 B_{ss2} 、 B_{ls2} 的计算值与实测值的最大偏差率为 0.97%, 均小于上述两个标准规定的超声波探伤仪水平线性误差允许值。所以, 可以认为上述纵波入射后产生横波的分析计算结果与实际测试结果相吻合。同样在张纪周等^[4]的研究中, 发现了一次底波和二次底波之间的波, 称为迟到波, 就是纵波直探头垂直入射固体界面在第二介质中产生的横波。

从试验还可看出, 横波的强度远小于纵波。从

(上接第 25 页)

综上, 各标准对确认为缺陷的显示均应进行定位、定性及定量评定, 对于一般性焊接接头, 仅限于显像评定标准而言, 以 JB/T 4730.5 的评定方法最为严格, RCC-M 标准次之。值得特别指出的是, 焊缝质量的优劣仅以缺陷显示进行评价并不充分, 缺陷渗透显示并不是缺陷本身; 而且显像时间及评定时机对缺陷评定的结果有着明显影响。显像时间太短时缺陷显示仍在扩散中甚至还未出现, 而随着显像时间的延长, 裂纹等缺陷的线性显示可能逐渐变圆, 相邻显示可能连成一片。

一般情况下, 在显像剂施加干燥后应立即观察显示迹象的形成过程和大小。对此 RCC-M 标准及 ASME BPVC 均有相关论述, 对于具体的渗透检测应根据检测材料及对象等的不同, 在检测工艺卡规定显像时间内正确把握判定时机。

3 结论

(1) 三个标准均将缺陷显示分为线性显示和圆

图 6(a)~(c) 可知, 以 80% 为基准, 回波 B_1 、 B_{ss1} 、 B_{ls1} 的增益分别为: $B_1 = 12.1$ dB、 $B_{ss1} = 63.0$ dB、 $B_{ls1} = 51.9$ dB, 其增益差分别为: $\Delta_{B_1/B_{ss1}} = 50.9$ dB、 $\Delta_{B_1/B_{ls1}} = 39.8$ dB。如果衰减 48 dB, 可将 80% 波高降低为 0.312 5%; 衰减 40 dB, 可将 80% 的波高降低为 2.5%。也就是说, 当 B_1 为 80% 时, B_{ss1} 不到 0.312 5%, B_{ls1} 仅为 2.5%。

3 结语

通过对纵波传播过程中介质质点振动状态的定性分析、纵波后产生横波的定量计算和试验说明: 纵波直探头垂直入射固体界面时, 在第二介质中也会产生横波; 由于其强度远小于纵波, 使得该横波极易被掩盖, 经过折射则可以把它和纵波清晰地区分开, 实际检测中也正是这样应用的。

参考文献:

- [1] 吕庆贵, 宋爱文, 陈以方. 棒材中超声散射场的模拟及信号的识别[J]. 无损检测, 2010, 32(1): 32-35.
- [2] JB/T 10061—1999 A 型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件[S].
- [3] JB/T 4730—2005 承压设备无损检测[S].
- [4] 张纪周, 袁世丽, 何顺开. 用纵波直探头测量新型耐热钢材料横波声速的方法[J]. 无损检测, 2013, 35(12): 19-23.

形显示两类加以评判。

(2) 核电站中核岛核级焊缝与常规岛焊缝均不允许存在线性显示。

(3) 三个标准在渗透显示的记录阈值、渗透显示的长度计算方法、单个圆形显示的评定以及多个显示的评定方面存在明显差异, 记录与评定时应加以注意。

(4) 渗透检测操作时, 应正确把握渗透显示判定时机, 并根据相应的标准准确加以记录和评判。

参考文献:

- [1] RCC-M 2000(2002) 压水堆核岛机械设备设计和建造规则[S].
- [2] ASME BPVC 锅炉和压力容器规范[S].
- [3] JB/T 4730.5—2005 承压设备无损检测(第 5 部分): 液体渗透检测[S].
- [4] 胡学知. 渗透检测[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2007: 128-129.
- [5] 马新朝. 核电工程中液体渗透检测的质量控制及显像结果评判差异性[J]. 无损检测, 2014, 36(9): 85-89.
- [6] 邢兆辉, 高迎峰. JB/T 4730.5—2005《承压设备无损检测》答疑——渗透检测部分(Ⅲ)[J]. 无损检测, 2007, 29(1): 45-47.