

第四届国际压力容器 技术会议论文选

中国机械工程学会压力容器学会组织编译

化 学 工 业 出 版 社

第四届国际压力容器技术会议

论 文 选

中国机械工程学会压力容器学会组织 编译

化学工业出版社

本书为一九八〇年在英国召开的第四届国际压力容器技术会议论文集译文选编。内容包括压力容器应力分析与设计、材料、制造、监视及监控等四部分。论文报道和总结了压力容器设计领域在上述各方面的工作和经验，并探讨了今后的发展方向和设想。

本书可供从事压力容器研究、设计、制造工作的工程技术人员参考，也可供有关院校师生参考。

FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRESSURE VESSEL TECHNOLOGY

Volume I Materials, fracture and fatigue

Volume II Design, analysis, components, fabrication and inspection

Conference Organized By the Institution of Mechanical Engineers the American
Society of Mechanical Engineers and the Japan Society of Mechanical Engineers

London (19-23 May, 1980)

Mechanical Engineering Publications Limited

第四届国际压力容器技术会议

论文选

中国机械工程学会压力容器学会组织 编译

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

北京市通县曙光印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 $30 \frac{1}{2}$ 字数773千字印数1—4,110

1983年9月北京第1版1983年9月北京第1次印刷

统一书号15063·3522定价3.10元

译 序

国际压力容器技术会议自一九六九年于荷兰召开第一届会议后，每隔三或四年召开一次。一九八〇年五月十九日到二十三日在英国伦敦举行了第四届国际压力容器技术会议。中国机械工程学会组织了由一机部、化工部和教育部系统的人员组成的代表团出席了会议。参加这次会议的有二十八个国家，近六百名代表。

第四届会议共有论文报告一二〇篇，其中专题性综述八篇，有关容器设计十四篇，应力分析二十一篇，制造十二篇，材料八篇，检验九篇，断裂理论在压力容器中的应用三十篇，疲劳理论在压力容器中的应用十八篇。此外会议还组织了操作经验、标准、用于地震环境的设计、膨胀节、计算机设计、生产方面、质量保证、使用者要求等八个专题的小组讨论。在会议前出版了论文集的预印本（卷一、卷二），会议后出版了增补的论文与全部论文讨论记录（卷三）及专题讨论（卷四）。会议的重点是交流和讨论近年来压力容器技术有关方面的经验，并探讨今后的发展方向与设想。

代表团回国后，组织力量将第四届国际压力容器技术会议的论文摘要翻译成中文，并应国内广大压力容器工作者要求，选择了53篇论文（包括会议上对应力分析与设计、材料、制造、监测与监控四方面论文的综合评述）全文翻译出版。

译文由中国机械工程学会压力容器学会委托一机部通用机械研究所、华东化工学院及化工部设备设计技术中心站联合组织编译。由于时间较紧，水平所限，错误在所难免，恳请读者多予指正。

柳曾典

中国第四届国际压力容器技术会议代表团团长
中国机械工程学会压力容器学会副理事长
一机部通用机械研究所副所长副总工程师

据定一

中国第四届国际压力容器技术会议代表团副团长
中国机械工程学会压力容器学会理事
华东化工学院化机系主任 教授

一九八一年七月

目 录

译 序

有关制造方面的论文评述	1
监视及监控	5
应力分析和设计	10
材料进展	14
C 8/80 高压聚乙烯反应器的安全分析	17
C 10/80 缺陷评定对结构设计的影响	24
C 11/80 缺陷允许极限的估计——对输入数据采用灵敏度分析与硬性安全系数的对比	32
C 14/80 对压力容器完整性的缺陷评价步骤概率的评定	43
C 17/80 压力容器焊接用钢板失效的预测	57
C 18/80 在稳态裂纹增长过程中裂纹允许尺寸的估算	76
C 19/80 受压部件中延性裂纹的不稳定性	85
C 20/80 具有表面裂纹的核反应堆部件的穿透破坏及延性断裂 (J 积分处理表面裂纹的方法)	97
C 22/80 热预应力断裂力学在压力容器方面的一些应用	107
C 24/80 用感应加热预先存在缺陷的管子的方法来改善管子焊接的残余应力	118
C 30/80 用于高温石油化学反应器的3Cr-1Mo钢的冶金性能	128
C 33/80 用氧气顶吹转炉—钢包精炼炉精炼的低回火脆化倾向的超低磷2.25Cr-1Mo钢板	142
C 35/80 ASME锅炉及压力容器规范第Ⅲ篇中的简化弹塑性疲劳分析方法的安全裕度	148
C 38/80 A533B1钢和304钢母材与焊缝的弹塑性断裂韧性和疲劳裂纹扩展阻力	159
C 39/80 邻近的共线或平行表面缺陷引发的疲劳裂纹的扩展和连接	167
C 43/80 在 $A_{c1} \sim A_{c3}$ 温度范围内热成形以及随后热处理对压力容器钢板机械性能的影响	176
C 44/80 焊接接头的熔合区脆化和热应变脆化的重叠	184
C 45/80 SA-516-70钢在室温和高温时的低循环疲劳性能和累积损伤效应	191
C 51/80 在双轴向应力状态下热疲劳持久限的研究	199
C 54/80 对核部件用钢侧向膨胀准则的评价	208
C 55/80 核压力容器厚截面钢的静态和动态的断裂韧性的性态	217
C 56/80 A533B钢板埋弧焊及手弧焊焊接接头的断裂韧性和裂纹扩展阻力	225

37383

C 57/80	某些压力容器钢的断裂韧性	234
C 58/80	用氧气顶吹转炉和盛钢桶精炼法生产的轻水反应堆压力容器厚 钢板的断裂韧性	242
C 60/80	JIS SPV50钢对核电站安全壳的适用性	250
C 61/80	用于铝合金高压气瓶的现行设计公式评述	258
C 62/80	太阳能动力系统部件的结构设计标准	269
C 65/80	高质量压力容器的制造——一套完整的方法	277
C 66/80	用于煤转化的特大型压力容器制造可能性的探讨	287
C 67/80	采用细晶粒高强度钢的大型压力容器的选材、制造和试验	295
C 68/80	贮气瓶及贮气罐的标准化生产	306
C 70/80	钢板冷旋压制压力容器封头	313
C 71/80	蒸汽发生器管中消除由机械引起应力的一种新方法	319
C 75/80	不需焊后热处理的厚板的焊接接头	323
C 76/80	窄间隙气保护熔化极电弧焊 (GMA) 工艺在核反应堆压力容器 上的应用	333
C 81/80	椭球体容器封头受内压时翘曲的实验性试验	342
C 86/80	液体横向流过矩形管列时的流体弹性不稳定性	352
C 96/80	压力容器形状测量	362
C 97/80	用纵向超声波检查奥氏体对接焊缝	373
C 98/80	对压力容器开创应用质量保证的方案	382
C 105/80	热电厂使用中低合金铁素体蒸汽导管损坏的评定	387
C 106/80	用断裂力学方法对空气气瓶的重新评定	397
C 108/80	无水液氨贮罐中应力腐蚀裂纹的检测	404
C 110/80	$2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 钢试验容器的断裂分析及其与声发射的相互关系	409
C 111/80	绕丝结构的分析方法及其对高压容器优化设计的应用	417
C 112/80	对严峻设计条件下多层套合容器安全性及环焊缝无损探伤的 改进	424
C 114/80	层板筒体特性的新探讨	434
C 115/80	全尺寸聚乙烯反应器的反复压力疲劳试验	447
C 117/80	高压厚壁三通疲劳强度的理论和实验研究	455

有关制造方面的论文评述

〔英〕R. F. Bishop

(1) 会议间收到了不少有关制造方面的优秀论文。这些论文向我们阐述了制造领域内正在发生的一些主要变革。

制造方法取决于一系列广泛的因素。

很显然，它们依赖于科学和技术的发展。

制造方法对原材料的冶金性能（脆弱和强度）最为敏感，然而对于产品日益复杂和质量要求日益提高所要求的性能则更为敏感。

制造方法必须体现不断增长的保证质量的要求。

制造方法的发展，大多都要涉及到大量的研究工作或基建投资，而且受外界因素的影响很大，其中最重要的是市场的大小。

以上这些，就是我们据以评述当前形势和变革动向的总的背景。

首先我们考虑由于一系列因素而应用得愈来愈多的自动化工艺。

(2) 在这次会议上，引人注意的是，有三分之一的论文涉及到焊接形式的断裂力学，材料韧性和用各种方法进行的失效评定。

由于处理失效概率的巨大进展，已经（并将继续）对工业用压力容器的技术规范产生重大影响。

对制造工业来说，有必要采用高质量的生产方法使废品率降低，这导致更广泛地采用机械化和自动化的技术，以保证稳定的质量。

(3) 在中型和重型工程制造领域中，为了保持竞争能力，很显然，需要降低成本和提高产量。这也同样要求愈来愈多的采用自动化装备，以降低日益提高的人工费用。与此同时，为了有效地使用较昂贵的设备，则要求生产向更专业化的方向发展。

(4) 几年来，自动化工艺的研究有了大踏步的进展，其所以可能，主要是采用了微处理机，这样就能以精确得多的方式来控制焊接操作。近年来，特别值得注意的是，不仅发展了这种工艺，而且更为广泛而有效地使用了这类设备。

(5) 由于各方面的原因，出现了厚壁高压容器的专业生产厂。但面对这种情况，我们也注意到了另一种情况，法国的一篇论文（C 68）出色地描述了小型标准气瓶的大批量生产的情况。在这篇论文中，给人印象最深的是，13 公斤的气瓶，其全部制造时间仅 11 人分（man minutes）。

(6) 英国的一篇论文（C 65）：“高质量压力容器的制造——一套完整的方法”把注意力集中到了那些对普通容器制造有影响的部门和文件。

这篇论文的中心内容是把分离的生产和质量检验合为一体。在当前这二种职能日益脱节的情况下，这篇论文显得很有用。论文认为，为了达到要求的最终结果，除了要重视每个制造环节的可靠性以外，还要重视管理上的整体性，论文对此提出了充分的理由。

在会议期间，有关质量保证的讨论会上，对这一问题进行了相当充分的讨论。在此，我

特别要提一下Admiral Cruddas关于建立压力容器质量保证委员会的论文。

(7) 有很多论文对特殊的制造问题是很有用的。英国的一篇论文(C70)分析了压力容器封头冷旋压用钢板的要求,并专门评述了具有特色的连续铸造炼钢工艺的影响。

(8) 西德的一篇题为“高强度细晶粒钢大型压力容器—选材、制造和试验”的论文(C67),评论了采用可焊性良好的,提高了强度的钢种所带来的优点和节省。

这篇文章强调了不正确的工艺所带来的危害,尤其是StE51钢,如采用单道焊,就会造成韧性的急剧下降。

西德从1976年起开始采用屈服和抗拉强度较低、而韧性较好的钢材,出现了低碳的Mn-Ni钢,(钢号为15MnNi63)。这种钢很令人满意,它对工艺不当的敏感性很小。

(9) 意大利的一篇论文(C75)谈到了一种特殊容器的问题。这类容器不可能进行最终热处理。因为尿素工厂中有一些壁厚为60~100mm、压力非常高的容器,它们是用不锈钢衬里的,如果在450℃以上加热,就会降低衬里层的抗腐蚀性能。

这篇论文叙述了在进行耐腐蚀衬里之前,先在接头表面进行预边堆焊,并进行热处理。这样,最终焊接接头完成后就无需再作热处理了。文中介绍了常规机械性能试验,COD结果和断裂力学评定的数据,用来说明所采用的工艺可以不作最后热处理。

(10) 其它的论文还有印度的“锅炉管子的气焊”(C73)、西德的“熔化极气体保护焊问题的评述”(C74)、和加拿大的“用电渣浇铸法整体制造压力容器接管”(C72)等。

法国一篇短小精悍的文章(C71)叙述了可控制的胀接(或碾压)法的设备和工艺,采用这种方法可以降低蒸汽发生器管子中的残余应力。残余应力会显著地降低抗腐蚀性能,而且蒸汽发生器的管—管板接头是在有辐射的一次回路与另一侧是不受辐射的二次回路的交界处,所以降低残余应力是非常重要的。

那些胀紧操作以及用此法生产的蒸汽发生器给人的印象极为深刻,因为它影响到目前法国的压水反应堆(PWR)核电站运行的全局。

(11) 在本文的开始曾提到过市场的问题。大家都知道,从规模和数量上看,目前压水反应堆(PWR)和沸水反应堆(BWR)容器在厚壁压力容器领域内均占主要地位。

将来,更使人感兴趣的将是煤转化(液化和气化)工艺中的大型压力容器可能提出的要求。日本的一篇论文(C66)讨论了这种容器的实际可能性。特别谈到了氢腐蚀和在这种介质下所必须的抗氢腐蚀材料。

目前,煤转化是一项研究得非常多的课题,它包括了在强腐蚀介质下工作的各种容器和部件对材料的全部要求。在这一领域中,大约要到八十年代末和九十年代才能谈到工艺流程设备所需的具体数据。单层厚壁容器需要专门的装置,所以当壁厚为400mm时,多层包扎容器可能就更具有吸引力了。

从全世界能源的需求看,我相信在座的每个人都会正确地评价发展煤转化工艺的重要性。

(12) 下面谈一下重型和特殊容器制造中所发生的一些极为重要的变革。

日本论文(C69)为便于在役检查而采用大型锻件的反应堆压力容器的设计,强调了核电站在役检查这一要求的重要性和迫切性正在日益增长。

为了满足这些要求,有二种基本方案:其一是:研制专门的检测和试验装置,它们可以进入容器或难以到达的部位,而且具有可靠地和再现地探出缺陷的能力。这一方案非常困难,而且需要非常专门的设备。

第二种方案是这篇文章所介绍的,即消除或尽量减少焊缝,特别是那些要求作在役检查

的复杂部位。换言之，即要求研制大型、厚壁锻件日本制钢所最近研制成功的沸水堆容器的底封头，仅由二个锻件组成，代替了传统的钢板结构。

文章还论述了具有优良特性的这种大型锻件的机械性能。认识到在压力容器中，特别是在反应堆容器中采用大型锻件是不断发展趋势中的一部分，是很重要的。

在讨论这篇论文时，来自 Westinghouse 的一个发言者谈到了他们与比利时一家公司联合研究了用于压水反应堆容器主接管开孔和接管区筒节的组合式锻件 (composite forging)。这一进展于去年四月在伦敦的核工业焊接和制造会议上已谈到过。

Framatome 和 LeCreusot 公司已为压水反应堆装置的蒸汽发生器研制了开有二个孔的整体锻造端盖和整体锻造封头。

在昨天下午的制造会议上，以同样的方式详细介绍了燃烧工程公司制造大型压力容器封头的进展，这种封头原来是由 7 块瓜片和一圆顶盖组成，焊缝总长 784 英寸，现改为由二块组成，焊缝总长仅为 275 英寸，同时也减少了板材的重量。

无论从沸水反应堆和压水反应堆容器的设计和制造来看，或是从设备昂贵和这类容器数量很少的观点来看，这一趋势都是很重要的。从国际上，专业的压力容器工业的设备来看，其重要性也是日益增长。

(13) 日本拔柏葛一日立 (Babcock-Hitachi) 公司提出一篇杰出的论文：“核反应堆压力容器采用窄间隙气体保护金属电弧 (GMA) 焊的焊接工艺” (C76)。

制造厚壁压力容器时，大多数对接接头是采用埋弧或电渣焊，其他可以采用的方法还有大功率的电子束焊，这些方法很有希望，但也还存在一些实际问题，特别是在获得所需要的真空条件方面。

拔柏葛一日立的方法是采用窄间隙的熔化极气体保护焊工艺。由于焊缝截面大为减小，故减少了焊接时间并降低了成本。该工艺是以间隙宽度为 9mm 的每层单道焊为基础的。在窄间隙焊中，最重要的是如何使坡口的两侧壁都能充分地熔合，对这一问题，他们采用了一种形成波状的焊丝，来产生电弧摆动，使电弧在窄坡口中垂直于焊接方向，从一侧摆向另一侧。同时利用保护气体的蒸气压力可以获得凹形的焊道。这篇论文还介绍了焊接接头的性能，这里就不细述了。

(14) 由于制造厚壁压力容器所需基本设备的规模，尺寸和费用的综合影响；日益增加的成本和结构的复杂化；自动焊工艺研究费用的不断增加，以及全面质量保证的要求；这一切使人们愈来愈感到对于象轻水反应堆之类的压力容器，有必要集中在少数的、装备良好的专业厂中制造。从经济上来看这类制造厂必然是为数极少，甚至从国际范围内考虑也是这样。这类工厂的结构和型式是很重要的。所以我想以幻灯片来说明位于法国夏隆 (Chalon) 的 Framatome 工厂的若干项作业能更使人感兴趣，但遗憾的是不可能生动地对这类工厂的装备形式和总的情况给人以全面的了解。

(15) 作为进一步的看法，我想提一下压力容器和管道工程的现场施工，以及其他一些至少对我国来讲是有绝对影响的重要问题。在施工现场有不同的行业 and 不同承包商的劳动力，所以还要提一下它们相互影响而存在的大型结构组装现场的劳动力和进度的问题。

根据北海油田预制组件的经验，正在考虑预制非常大的容器段或结构组合，以及预先制成的完整组件，甚至成套的工厂，在有些情况下，它们正在付诸实现。

目前对 Heysham 和 Torness 的改进型气冷反应堆 (AGR) 的订货，其反应堆容器内筒，堆芯栅板和内部支承结构，过去按传统的制造方法，主要是在现场制造，占用大量的现场劳

动力，而且现场制造进度拖得很长。现在主要进行预先制造，每台反应器预先制成1000吨左右的二个大型分段，然后装船运往核电站现场。

(16) 总起来看，压力容器制造工业目前有几个主要的趋势和发展。第一个有影响的趋势是来自质量保证的需要。它对投产前的计划有很大影响，对制造工艺和方法的影响则更大。由于这个原因，对机械化和自动化的需求比过去更为迫切。

第二，采用断裂力学方法定量地建立了存在缺陷时，缺陷尺寸和性能之间的联系，它正在成为判断合格与否的合法工具。同时，通过质量保证方法，它正在影响着选材、工艺和检验。

第三个趋势是：从经济和技术上考虑，将愈来愈多地采用机械化和自动化的生产方法，特别是焊接。这种趋势，部分是来自对质量的要求，部分来自对降低成本和提高生产率的要求。

第四个主要趋势是：在厚壁压力容器的制造中，为了制造极高压力和高质量的容器（主要是核容器）而研制了专门的制造设备。在制造领域内采用更大的锻件和尽可能地减少焊接也是一种趋势。

最后，在英国，我想在其它地方也一样，就是在紧邻深水的专门工厂，正在愈来愈多地趋向于把成品容器预制成大型分段，或把成套的装置预制成组合段 (composite modules)，然后从水路运输，以减少现场的劳动力。

陈登丰 译

李贤芬 校

监 视 及 监 控

〔英〕R. Halmshaw

前 言

这次会议中,只有五篇综述论文直接阐述这一论题,此外还有一些文章涉及这方面内容。仅从这些文章出发试图得到一个满意的概念,其数据是不充分的。因此我又参看了其它一些资料。关于检验方面的一个极好的资料来源,是英国机械工程师学会(IME)于1976及1979年举行的二次“受压部件定期检验”会议的论文集。

对于“监视”一词,我认为其有效意义应是“在役检查”(ISI),而“监控”一词,则意指能连续地给出缺陷信息的某些无损监测技术。当然两者均是无损检测方法(NDT)。但估计不能把所有的无损检测方法(如射线照相法)都划作“监控”方法。

也有利用与核压力容器经受同样环境作用的材料试样检测技术,并在容器整个寿命的各个期间,取出这些监视试样作物理检验(C109)。

本文不打算涉及到更广泛的质量保证概念,如像使用期间的压力或温度的监控,或者肉眼检查或计量等方面的内容。

在通常的压力容器作业过程中,大量的无损检测工作是在容器制造过程中进行的,且在使用寿命期间采用无损检测作为定期检验。尽管曾有少量的文章报导了在使用中采取返修前对某些特定的缺陷进行监控。但就我所知,根本就没有将连续监视或监控作为常规使用。然而在核压力容器中,已认识到希望进行连续的监视(监控),并正在着手研究一些可能的方法。这样的方法也曾在少量的非核构件上得到应用,目的是在于获得一些经验。

因此我将分别列举每种可能的无损检测技术,而不管它们是适用于检测还是监视,并试图叙述其技术水平的现状以及自上次会议以来的一些进展。

无损检测方法

超声波法

在1979年之前,许多超声波检查是采用手工持探头进行操作的。亦曾设计了许多自动多探头系统。但是我没有数据说明用这些自动多探头系统来代替手工操作系统究竟进展到什么程度。同样地,对于超声信号记录系统的应用目前已达到稳步的发展,使现有的方法可包括从单个手动探头——操作者找出最大缺陷信号并记录其幅度及位置、直至多探头系统——每个探头得出一个连续记录,并将它输入到计算机进行程序分析,并可再现这一过程的数据。

超声波探伤既可用来发现缺陷,又可用来定量评定缺陷。通常认为:对于一个真正熟练和认真的操作者来说,采用手动探伤比采用带几个固定探头的自动探伤设备能更好地定量评定及鉴别缺陷,因为手工探伤能在观察信号的同时将探头围绕缺陷任意移动。而若干固定探头的自动探伤设备中没有一个探头能对任何特定缺陷作最佳方向的探测。当然,采用的探头数目愈多就愈能弥补自动探测系统特性时不足。而手持探头操作方法的第一个缺点在于探伤

的可靠性在很大程度上取决于操作者的熟练及可靠程度,而这二者都不是固定不变的。尽管可用发证书及对操作者考试的方法进行控制,但是,这样仍然不能确保探测无误。第二个缺点是由PISC(欧州)联合试验计划得出的结果,它由O.Neil简略地概括在“质量保证”的讨论题目中,其中叙述到:操作者的成功与否在很大程度上取决于是否有一个正确、详细的探测规程。

在PISC计划中,采用两块很厚的焊接钢板及一个很大的接管焊缝,其中均含有自然缺陷及人工缺陷。这些试块由各欧洲组织按ASME第Ⅻ篇所规定的超声探伤操作规范进行试验。某些组织另外还采用了他们自己补充的超声波试验方法。试验后,将试块进行解剖验证。

坦白地说,应用ASME方法试验结果说明问题是严重的。某些很大的缺陷被漏检,或者是缺陷尺寸判断的误差极大。而采用不同于ASME超声波方法的那些组织,则一般获得好得多的结果,由此,似乎可得出结论:ASME第Ⅻ分篇所规定的超声波探伤方法细节,对于检查200~300mm厚度范围的焊缝是不适宜的。

这就使更普遍地认为:虽然从理论上说来,超声波探伤是能够检测出某特定的缺陷,但实际上却不然,这是因为或者由于操作者不够熟练,或者由于采用不适宜的方法的缘故。那么今后究竟是采用更加依赖于操作者的熟练技巧及经验,还是企图利用更严格的技术条件和方法,以及自动探测系统来避免这些缺点呢?

这种进退两难的困境至今仍然没有得到解决。

举一个简单的例子来说明这个问题,我们可以采用一个带若干不同角度,其声束可以横跨焊缝截面的多探头系统,以检测整个焊缝的各个部位(图1所示),但是这些探头没有一个能够检测出小的横向裂纹,所以尚需附加几个

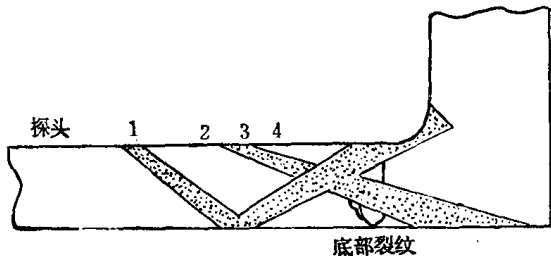


图 1

探头来检测特定的潜在缺陷。

制定一个足够详细且符合实用的规范需要有较目前更加严格的标准化的设备,特别是探头。目前某些组织,特别是英国中央电力局(CEGB)发展了他们自己的一定型式的探头规格。

在多探头系统及信号的数据处理方面,我们仍处在研究阶段。除了采用A、B及C扫描外,也有P扫描及超声全息。从理论上说,缺陷性质的情况可从超声回波的形状;亦可从超声回波的频谱获得,这些已有许多有趣的研究文章报导,但是我认为目前尚没有重大突破,以证明可以用超声波方法获得有意义的更多的资料,或者更为可靠地探测缺陷或进行缺陷定量。这一领域的工作正在发展,并制造了带有计算机处理超声信号的设备,但在这次会议提出的论文里,并没有作详细的介绍。而且我也不太了解其他国家推广应用的程度。超声波方法能用作连续监视,当然也可遥控操作用于在役检查(ISI)。作为前一用途(连续监视)时的限制,是每个探头仅能扫查有限的被试材料的体积,而波束摆动技术还未越出实验室阶段。对于在役检查,为了试验结果的重现,在获得足够精确的探头位置方面,存在着苛刻的机械要求问题,尤其是怎样才能保持探头及试件间的距离问题。其次一个问题就是已经提到的目前尚缺乏仪器及探头的严格标准。

射线透照方法

这是一种最成熟的无损检测方法之一,没有太多的新内容需要介绍。如果在射线照片上示出一个缺陷,常常就可大体上求得缺陷长度、宽度及性质,而且也可得到一些缺陷深度尺

寸的数据,特别是如果采用显微光密度计测量射线照片上的密度,将能得到更好的结果。

但是如果是检查裂纹类的面积性缺陷,则缺陷可检性取决于裂纹张开的宽度、裂纹与射线束间的夹角、裂纹深度以及较为次要的一个因素——射线照相技术。虽然我们看到描述射线照相性能的仅有的曲线,几乎全是对裂纹长度而作的,但是,除了裂纹长度对裂纹张开宽度有影响之外,裂纹的长度是不重要的。一个闭合的裂纹可能根本不能被射线透照检测出来。特别对于厚的试样更是如此,此时需采用高能射线(具有大的几何不清晰度)。一个浅的闭合裂纹几乎肯定不能被检出:裂纹平面与射线束间夹角的影响,取决于对每一试件采用多少不同方向的射线照相。虽然为了节省照片成本而每一试件只从一个方向摄取一张照片的做法并不合理,但实际上对每一试件很少会摄取一张以上的照片。

近年来,一种学派认为要把射线方法限于检测体积性的缺陷——气孔,夹渣等,因为他们认为射线方法对检查面积性缺陷有一定的局限性,故建议采用超声波方法作为无损检验的首要方法。但事实上,如果能有良好的透照技术和熟练的缺陷辨认方法,这一局限性并不像有时所说的那么严重。

对于厚奥氏体材料,虽然目前正在进行大量的研究工作,以发展超声波方法(C 97/80 论文),但是射线方法仍然是唯一的实际检测方法。

用磁性及渗透法检查裂纹

就压力容器技术说来,这方面新的报导不多。这两种方法实际上均限于检查表面裂纹。近年来渗透检查方法有着相当大的发展。但是对于铁磁性试件,磁粉检查方法仍然被认为是比较好的方法,而且其技术已较为成熟(论文 C 108/80)。

光全息——斑点法

这一方法相对来说是较新的方法,它们本质上是用来辨认当试样产生应变时不规则应力分布的表面区域,而这些局部变化,可能是由于表面缺陷或表面下的缺陷所引起。C 107/80 这篇论文叙述了这种方法对于接管焊缝中缺陷的应用情况。

内摩擦——共振法

共振法——像用小锤敲击铁路火车轮一类的一种方法,有时被推荐作为监视之用。通常的概念是,随着产生一个标准的“敲击”,同时采用一个足够灵敏的探测器及电信号处理装置进行检测,以便提供缺陷存在或扩展的有用数据。目前,热衷于此项技术者宣称:只要提供一个有效而适当的基础线的数据,就可应用该方法检测出焊缝中初始裂纹的形成。在压力容器中,除了缺陷之外还有许多其他因素——如材料的显微组织、内应力、构件形状的变化、约束力等,均会影响振动能力。因此我认为难以相信,那些小的初始裂纹能被发现及辨认出来。

声发射方法

我把这个方法一直留到最后来说,是因为这是一个最有争论而且对于监视和监控来说又可能是最重要的方法,大多数人都知道声发射的基本概念:即在应力作用下,材料发出“声音”,采用一个灵敏的检测器就能接收这些“声音”,经过放大即可记录施加应力时的一系列脉冲信号。某些材料有固有的信号,而另一些材料则呈现得平静。

下述两个主要方法是可行的:

(1) 用几个探头来确定声源的位置,然后采用其他方法如超声波方法等对该声源区域进行探测研究。

(2) 用声响的变化规律来表示缺陷的发展——裂纹的扩展、夹渣撕裂等。某些研究者

采用的参量是脉冲发生的速率,有些采用的是高于某一给定振幅的声发射脉冲数,有些测量的是声发射总能量,而某些工作者则企图作声发射频谱分析,希望用某些频率作为特定事件的特征量。

直到1977年,声发射方法确实是到处鼓吹,当时它是物理研究中极受重视的一个课题。而在工程上的应用则还在其次。此后,就在冶金学及工程方面进行了较多的研究,在暴露一些困难的同时,这种方法现正被用在某些场合,其中包括压力容器试验。Yamamoto所作的C110/80论文,指出为要对声发射应用的可能性有进一步的认识而需要研究的内容。

声发射被视作判断材料中未知过程的一个特征,该特征需用其他方法加以辨认。此外,如果没有声发射信号,就可能表明构件中不存在结构缺陷,或可能仅表明不存在活跃的缺陷。

声发射特性强烈的依赖于材料特性。两种相同成份的钢,经过不同的热处理,可以得出完全不同的声发射特性。一个不纯净的钢通常具有很强的声发射输出。软钢中除了非金属夹杂物外,珠光体组织看来是声发射的主要来源。

换句话说,必需对压力容器用材先进行试验室试验,才有可能对容器本身作出灵敏的试验。对于韧性材料,直到接近于屈服之前只有很少的声发射,屈服点处有一声发射峰值,随后当裂纹扩展穿过材料加工硬化区的缓慢撕裂过程中,又有另一个“安静期”。

在最近三年内,曾出现许多用声发射方法成功地检测出缺陷的报导,但是在许多报告中采用的措词却是特别谨慎的,如像“裂纹实际扩展小于结论”、“当裂纹接近于完全穿透时,声发射信号明显增大”、“呈现出合理的关系”等。而且给人留下这样的印象:即某些工作者对于声发射的作用是否大于一个补充的试验方法,仍然是持有怀疑的。

C110/80论文表明,声发射针对相同组织的钢在三种不同的情况——韧性、中等韧性及脆性时的曲线,对于前二种情况,能否用声发射方法来预计破坏是值得怀疑的。

然而若已知有关容器材料的详细特性并有可能事先对材料的试样作出试验后,我想得出如下结论是公正的,即声发射方法应当能用于初始水压试验以及在役水压试验。对于测量参数的问题,似乎趋向于这样一个意见,即振铃计算方法,不能提供一致的信息资料,而能量输出及振幅分布分析将会提供更有意义的数

缺陷检查及定量的可靠性

最近已有许多论文述及无损试验具有检出和测定断裂力学认为是关键缺陷的 尺寸 的能力。但对于无损检测能力的许多报导并不正确,因为所考虑缺陷的参数,就无损检测来说并非严格的。

这样,正如已介绍过的那样,裂纹长度并不是一个好的依据来衡量射线照相法对裂缝的检出能力。

由于在超声波检测中往往能得到大量的数据,因此美国一家公司发展了采用计算机技术来处理的方法。被称之为“自适应记忆网络”,这是种很有希望的方法。计算机被用来处理与工件中缺陷尺寸有关的大量测试数据,可以有效地决定哪些是最有用的试验参数,并采用多参数多项式回归法以给出始终一致的缺陷信息。这一技术对于声发射及涡流检测方法同样也是可以应用。

总 结

总之，我没有在监视及监控方法方面看到任何突破性的新发展。但有着稳定的进展而两个主要的竞争者仍然是超声波和声发射两种方法。

在超声波试验中非常强调多探头系统有关技术的细节，并用计算机来搜集，储存及分析数据。设备的标准化及详细的实用规范目前仍然是不够的。

近年来，对容器的设计十分强调必须便于检查并减少检查工作量。

何泽云 译

马铭刚 校

应力分析和设计*

〔英〕 P. Stanley

本届会议论文中有三十或更多篇属于“应力分析和设计”这一题目，主要来自美国和英国。昨天在关于“计算机设计的现状”专题讨论会上所发表的两个论点，对我决定如何来作这次综述性的发言很有帮助，这两点是：

(i) 弹性应力分析并不能满足所有的设计目的；

(ii) 对在复杂应力条件下的材料性能需要有更为充分的了解，这项要求不应忽视。

考虑了这些观点，我对本文拟了五个基本问题，即：(i) 弹性问题的研究；(ii) 弹塑性问题的研究；(iii) 翘曲失稳问题；(iv) 材料性能（蠕变等）；(v) 设计。

弹性问题的研究

上述三十多篇论文中数量最多的就是有关确定弹性应力的文章，约有十二篇。令人有些意外的是弹性问题中属于分析研究方面的论文篇数，竟同属于数值计算和实验研究这两方面加起来的篇数相当。人们可能认为数值计算工作是特别优越的，显然这是由于财务上的原因，才不去采用其它的解决办法。为了方便，我将本文所述的各基本问题都分为应力分析、数值计算和实验研究这三个方面来加以叙述。

应力分析

这类论文（约五、六篇）主要来自各大学，但必须指出，将它们用来检查设计的可靠性，在一两个例子中还存在着一些困难。日本的关于“有加强部件的圆筒形壳体的分析”的论文〔C80〕，对于这个普遍认为难于分析的情况是巧妙而可用的。在这项工作中应力分析与有限元计算相结合是特别有意义的。

有一篇来自Strathclyde大学关于“椭圆形截面的充压弯管”的论文〔C87〕具有明显的设计特色。管道工程师们，特别是从事核工程的，对所发表的简化处理方法肯定会感兴趣。

（一味追求精确解会把人引入陷阱，甚至会迷惑有经验的设计师。）美国的对充压弯管所作的进一步的应力分析〔C94〕使用了“圆环弹性”方程和方法，该论文的一篇附录表明这只是对圆环几何形状的一种弹性分析。

两个厚壁圆筒斜交连接的应力解〔C92〕证明是有效的，并且希望作者能继续他们的工作，在更宽的参数范围内进行研究，以给设计者提供指导。

数值计算

西屋公司（Westinghouse）的两篇论文〔C83，C84〕中关于低压透平内、外汽缸方面工作的规模之大，人们不能不有深刻的印象。（为了使一张幻灯片能达理想化的性能，难道要做一万次操作可行性的验证吗？）以这样大的规模来作完全三维的分析，会使最大的有限元计算装置负担过重。但应祝贺这些作者及其同事们以耐心、独创性和严格的工程观念完成了

*本文是会议结束时的一篇综述性的发言稿，所提到本届会议上有关论文的编号是译者加注的——译者。

这项工作。最值得称赞的是他们在计算细节方面也是认真的。这类工作必将进一步发展，而这次的成果将为后继者提供一个好的榜样。

一个更令人印象深刻的计算实例是比利时的作者以“整体容器”的处理方法来作压水堆容器的设计计算〔C103〕。这是一项早年工作的继续，主要是改进所得应力解的精确性，而应力的适当分布应比计算本身的精确性更为重要。这篇论文对于有限元计算无疑将是一篇有用的参考资料。

实验研究

对圆筒形壳体中的接管，特别是在外载荷作用下的问题，不断有许多研究成果。论文〔C78〕是对一系列这类接管在各种外加载荷下所作的弹性试验的报告，其主要目的是与WRC Bulletin (美国焊接研究会会报) No.107的计算方法作对比。这篇论文揭示了WRC这一计算方法的重要缺陷，虽然疲劳寿命已表明是可以预计的。是否还应寄很大的希望，能对弹塑性和强制破坏问题，作为这项工作的延续，而进行同样细致的研究呢？

本文所评述的这些论文中只有一篇关于鞍座支承容器的文章〔C79〕，是对其应力作光弹研究的(关于光弹测定应力强度因子的问题已在其它文章中叙述)。我对这方面的工作很感兴趣，但我也要说明，该方法并非始终那么有效，无论在其本身的范围内，或作为分析和数值计算的补充，都是如此。

关于管道法兰联接的实验研究的论文〔C88〕，是一项现在还极少作“原型”(Prototype)试验的研究工作。而螺栓连结的组件，包括垫片密封面，其问题显然是相当复杂的，以致除原型试验外的其它方法均不可靠。这项细致研究工作的可观成果将会受到同行们的重视。

关于弹性问题的论文相当多。绝大多数论文的质量都很高，而且超出了弹性问题的范围。其中许多论文对于设计人员来说将会有很大的益处。然而回顾本文开头所述的观点，在评估部件和结构的性能时，对弹性分析的局限性不容忽视。故需说，要改进设计使其更为经济和有效，在很多情况下必须对非弹性方面的性能给以应有的注意。

弹塑性问题的研究

弹塑性问题的重点是数值计算，也有一些是实验方面的，但没有关于分析方面的论文。使我更感到有点惊讶的是弹塑性问题的论文篇数竟只有弹性问题的约一半。

数值计算

在本节中管道问题居于突出的地位(实际上几乎全部是管道问题)。上面已述了一个简单的分析管道系统弹塑性问题的计算机程序，我深信许多设计工程师将会仔细查阅这一分析方法，特别是当ASMEⅢ的要求是一个重要问题时。一篇来自加拿大的关于卧式管道下弯的论文〔C93〕很引人注目，而且作者们在其采用二维有限元方法中的独创性给人以深刻的印象。他们强调在更广泛使用其程序前，必需作实验验证，这条建议特别令人注意。

论文〔C94〕对管道弯头的塑性破坏问题作了细致的有限元的研究，这项研究涉及到材料以及几何非线性这两方面的问题，而且特别注意到计算结果的收敛性。最后，还有三篇论文〔C89-91〕，也将是管道设计者感兴趣的参考资料。

实验研究

在弹塑性研究的实验方面有两篇模拟研究的论文，他们各自使用了专用的特制材料。其中的一篇〔C77〕是关于在带补强板的球形壳体中接管的塑性问题的研究，他们使用了特殊的铝合金。用这种合金来模拟钢材结构原型弹塑性性能的方法还没有更广泛地实际使用，这