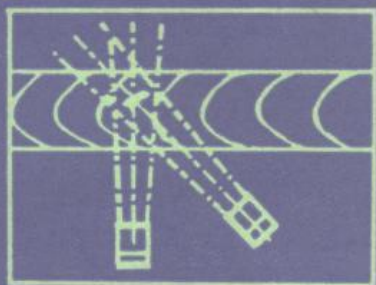
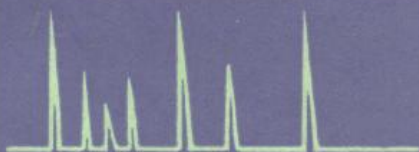




无损检测概论

[日] 无损检测协会编 戴端松译 张企耀校



1

上海科学技术出版社

无损检测概论

〔日〕无损检测协会 编

戴端松 译

张企耀 校

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书是日本无损检测协会编写的无损检测技术教育丛书之一。它对常用的射线探伤、超声波探伤、磁粉探伤、渗透探伤、电磁感应检测、应变测试等六种无损检测技术作了概要的叙述,并对各种方法的应用范围、特点等作了简明而全面的介绍。书中除第一章外,每章均附有习题,书末附有习题答案。

本书内容包含了各种常用的无损检测技术,文字叙述通俗易懂、简明扼要,适合于初、中级无损检测人员作为自学读物,可供无损检测等级技术人员培训班作参考教材,也可供广大技术人员、质量管理人员、教师、无损检测工作人员作参考。

无 损 检 测 概 论

〔日〕无损检测协会 编

戴端松 译 张企耀 校

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海东方印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 4.625 字数 98,000

1981年10月第1版 1983年7月第2次印刷

印数 10,201—19,800

书号: 15119·2160 定价:(科四) 0.46 元

71.221

2

译者的话

无损检测技术是一门新兴的应用技术学科,最近一、二十年中,在国外工业发达的国家内,发展得十分迅速。它是控制产品质量、保证设备安全运行的重要手段。在我国机械、冶金、航空、航天、原子能、国防、交通、电力、化工等工业部门也都已得到了广泛的应用,并愈来愈受到各方面的重视。

目前,我国机械工程学会无损检测学会和各工业部门正致力于无损检测技术人员的培训和技术资格鉴定工作,亟需出版按技术等级要求的各种教材。本书是日本无损检测协会最新编写的无损检测技术丛书中的第一册,是日本无损检测协会所规定的初级技术人员和二级技术人员的必读课本。我们考虑,在国内自己的培训教材尚未编出之前,先将本书翻译出版,以供借鉴和参考,是很有意义的。

本书译、校过程中承陈祝年同志协助审校,在此表示感谢。对译文中的错误、缺点,敬请读者批评、指正。

译、校者

一九八〇年十二月

序 言

本书叙述了各种常规无损检测方法的概要，是从事无损检测的初级技术人员以及初学者所必需的课本。本书可使读者了解自己所从事的专业检测工作在各种无损检测方法中的地位，以及它同其他专业之间的关系。因此本书也有助于管理人员和检查人员了解无损检测技术的概况。

另外，它的内容范围和水平，符合本学会无损检测技术人员资格鉴定委员会所实施的2级技术人员资格鉴定考试的命题范围和水平；它是作为报考人员考试准备用的教材而编写的。希望它在这方面能够充分发挥作用。

同时，本书阐明了一个2级技术人员^①除本专业方法外，必需掌握的其他几种方法的最低限度技术内容。此外，为了帮助读者理解，有些地方增加了一些叙述；这些超出最低限度要求的内容，在书中都加注有“△”记号，这些是2级技术人员资格鉴定考试的命题范围之外的内容。

本书第一版是本协会1969年发行的，此后虽经两次修订，但为了适应无损检测技术的迅速发展，本版又作了全面的修订。

日本 无损检测协会
1975年4月

^① 关于2级技术人员的资格和技术水平，参阅本书第21页。——译者注

5F/3/24

编辑委员和执笔者

委员长	丹羽 登	东京大学宇宙航空研究所
委员	一色贞文	茨城工业高等专门学校
	伊藤秀之	金属材料技术研究所
	木村勝美	金属材料技术研究所
	芹沢正直	铁道技术研究所
	仙田富男	大阪大学工学部
	高橋 賞	关东学院大学工学部
	富士 岳	工业开发研究所
	宫尾公美	计量研究所
	三好 滋	富士电机制造公司
	森川泰汎	检查研究所
	吉川 実	日本航空公司
协助者	村上恭典	东京都立工业技术中心

(委员名单按日文五十音图顺序排列)

目 录

第一章 无损检测	1
1.1 无损检测的定义	1
1.2 无损检测的目的	1
1.2.1 改进制造工艺	1
1.2.2 降低制造成本	2
1.2.3 提高可靠性	3
1.3 无损检测的用例	4
1.3.1 组合件的内部结构或内部组成情况的检查	4
1.3.2 材料和焊缝的缺陷检查	4
1.3.3 材料和机器的计量检测	5
1.3.4 材质检查	6
1.3.5 表面处理层的厚度测定	6
1.3.6 应变测试	6
1.4 无损检测的特点	6
1.4.1 无损检测和破坏性检测	7
1.4.2 无损检测的实施时间	7
1.4.3 无损检测结果的可靠性	8
1.4.4 无损检测方法和检测规范的选择	8
1.4.5 无损检测结果的评定	9
1.5 缺陷的种类及其产生原因	10
1.5.1 压延件中常见的缺陷	10
1.5.2 锻件中常见的缺陷	13
1.5.3 铸件中常见的缺陷	15
1.5.4 焊缝中常见的缺陷	16
1.5.5 维修检查中常见的缺陷	17

1.6	缺陷和材料强度	18
1.7	无损检测技术人员的任务	19
第二章	射线照相法探伤	22
2.1	什么是射线照相法探伤	22
2.2	射线的发生及其性质	23
2.2.1	X射线的发生	23
2.2.2	γ 射线的发生	25
2.2.3	射线的衰减	25
2.2.4	电离作用	27
2.2.5	荧光作用	27
2.2.6	照相作用	27
2.2.7	X射线的线质	29
Δ 2.2.8	量子能量	30
2.3	射线照相法探伤的操作	32
2.3.1	操作步骤	32
2.3.2	摄影规范的确定	32
2.3.3	透度计	37
2.4	射线照相法的适用范围和特征	37
2.5	安全管理	38
2.6	习题	39
第三章	超声波探伤	41
3.1	什么是超声波探伤	41
3.1.1	超声波探伤和声响检测	41
3.1.2	超声波和超声波探伤	41
3.2	超声波的发生及其性质	42
3.2.1	超声波的发生和接收	42
3.2.2	超声波的种类	43
3.2.3	声速	44
3.2.4	波长	44
3.2.5	界面的反射和穿透	45
3.2.6	指向性	46

3.2.7	小物体上的超声波反射	47
3.3	超声波探伤操作	48
3.3.1	脉冲反射法	48
3.3.2	垂直探伤法	48
3.3.3	斜射探伤法	51
3.3.4	探头的耦合方法	51
3.3.5	探伤灵敏度	52
3.3.6	标准试块	52
3.4	超声波探伤的适用范围和特征	52
3.4.1	超声波探伤的适用范围	52
3.4.2	金属组织对超声波探伤的影响	54
3.4.3	超声波探伤的特征	55
3.5	安全管理	55
3.6	习题	55
第四章	磁粉探伤	59
4.1	什么是磁粉探伤	59
4.2	钢铁材料的磁性和磁化	61
4.2.1	钢铁材料的磁性	61
4.2.2	磁化方法	62
4.2.3	磁化电流值的确定和 A 型标准试片	64
4.3	磁粉探伤操作	65
4.4	磁粉探伤的适用范围和特征	67
4.5	安全管理	68
4.6	习题	68
第五章	渗透探伤	70
5.1	什么是渗透探伤	70
5.2	渗透探伤的方法	71
5.2.1	渗透探伤法的种类	71
5.2.2	显象法的种类	73
5.2.3	操作步骤	74
5.3	渗透探伤的适用范围和特征	76

5.3.1	渗透探伤的适用范围	76
5.3.2	渗透探伤的特征	78
5.4	安全管理	79
5.4.1	火灾的预防	79
5.4.2	健康卫生	79
5.4.3	其他	80
5.5	习题	80
第六章	电磁感应检测	84
6.1	什么是电磁感应检测	84
6.2	涡流的产生和检测	84
6.2.1	涡流的产生	84
6.2.2	涡流的检测	85
6.3	探伤操作	87
6.3.1	探伤装置	87
6.3.2	探伤操作的步骤	88
6.4	电磁感应检测的适用范围和特征	89
6.4.1	电磁感应检测的适用范围	89
6.4.2	电磁感应检测的特征	90
6.5	安全管理	90
6.6	习题	91
第七章	应变测试	94
7.1	什么是应变测试	94
7.2	应力与应变的关系	94
7.2.1	应力的种类	94
7.2.2	应变	96
7.2.3	应力-应变曲线	97
7.2.4	许用应力和安全系数	100
7.2.5	应力集中	103
7.2.6	脆性断裂	103
7.3	表面两点间的距离或点应力的测试方法	106
7.3.1	机械方法	106

7.3.2	电方法	107
7.3.3	电阻应变仪	107
7.4	应变测试操作	108
7.4.1	应变片的种类	108
7.4.2	粘贴应变片用的胶粘剂	110
7.4.3	应变片的粘贴	111
7.5	应变片测试法的适用范围和特征	112
△7.6	其他应变测试法的适用范围和特征	112
7.7	安全管理	115
7.8	习题	115
第八章	各种无损检测方法的对比和应用	119
8.1	各种无损检测方法汇总	119
8.2	内部缺陷的检测	120
8.2.1	按被检物种类对比	120
8.2.2	按缺陷种类对比	123
8.2.3	检测特征对比	124
8.3	表层缺陷的检测	126
8.3.1	按被检物种类对比	128
8.3.2	按缺陷种类对比	128
8.3.3	检测特征对比	129
8.4	各种无损检测方法的适用范围	130
8.4.1	设计	130
8.4.2	原材料	130
8.4.3	焊缝	131
8.5	习题	133
习题解答		135

第一章 无损检测

1.1 无损检测的定义

所谓无损检测是指:不管对什么材料、什么产品和什么结构物,为了要知道它们的性质、状态和内部结构所进行的各种检测,而这些检测不会使被检物受伤、分离或者损坏。

无损检测方法有直接肉眼检验、间接肉眼检验、射线照相探伤、超声波探伤、磁力探伤、渗透探伤等几种。其中直接肉眼检验可不使用任何装置,既迅速又经济地进行,其他方法则需通过各种各样的装置来进行。怎样使用和使用什么方法进行无损检测,是根据无损检测的目的来确定的。必须根据各种目的,有针对性地选择最合适的检测方法和检测规范。

1.2 无损检测的目的

无损检测的目的有多种,不管在什么情况下,都必须首先搞清楚究竟想检测什么东西,随后才能确定应该采用怎样的检测方法和检测规范来达到预定的目的。

目前,无损检测的目的中,用得有效的、典型的有以下几个。

1.2.1 改进制造工艺

人们想要按规定的质量要求制造产品时,为了要知道所采用的制造工艺是否适宜,可先根据预定的制造工艺制作试样或试制品,对它们进行无损检测。一边观察检测结果,一边改进制造工艺,并反复进行试验,最后确定满足质量要求的产

品制造工艺。例如,为了确定焊接规范,可根据预定的焊接规范制成试样,进行射线照相,随后根据探伤结果,修正焊接规范,最后再确定能够达到质量要求的焊接规范。又如,当制造铸件时,为了确定铸造工艺设计,也可利用射线照相探伤,根据缺陷发生的情况来改进浇口和冒口的位置,最后确定铸造工艺设计。这些都是无损检测用在改进制造工艺方面的例子。按照各种无损检测手段所具有的特征,并熟练地运用这些手段,就能很容易地改进制造工艺。

1.2.2 降低制造成本

进行无损检测,往往被认为要增加检查费用,从而使制造成本也提高了。可是如果在制造过程中的适当环节正确地进行无损检测的话,就能防止白白进行以后的工序,从而降低制造成本。例如,如果在焊接完成后再检测发现有缺陷,需要返工修补。而返工需要花费许多工时或者很难修补,因此可以在焊接完工前的中间阶段先进行无损检测,确实证明没有缺陷后,再进行焊接,这样焊接后就可能不需要再进行修补了。这也是一个应用无损检测降低成本的例子。又如,对铸件进行机械加工时,有时不允许机加工后的表面上出现夹渣、气孔或裂纹等缺陷,这也可以在机加工前预先对要进行加工的部分进行无损检测。通过无损检测,对于加工后会出现缺陷的地方,就不再进行机械加工了。如果这样做,就可以避免在机械加工后由于出现缺陷而成为不合格品,因而节约了机械加工工时。

如上所述,乍看起来进行无损检测要花费一定的工时,似乎使制造成本提高了。但是,如果考虑到由于不进行无损检测而造成修补和返工所需要的费用时,无损检测的费用就显得微不足道了。相反只会使产品的成本降低。更为有利的

是,如果要修补和返工,往往在工艺过程的前阶段进行起来要容易得多,而且不致打乱整个工艺过程。这样,从整体看来,就节约了工时和费用,降低了产品的成本。

1.2.3 提高可靠性

可靠性的定义根据产品的种类、使用目的的不同而有所不同。就一般工业产品而言,可以理解为:在规定的使用条件下,在预期的使用寿命内,产品的部分或者整体都不发生破损,而且在满足所需的性能条件下,所能够运转的时间与预期的使用寿命的比率(亦即利用度),这一概念就作为衡量可靠性好坏的大致尺度。这里,引起产品的部分或者整体破损而不能满足预期性能的原因,有设计方面的问题,有材料方面的问题,有加工方面的问题,也有完全意外的自然因素或不能预计的灾害等问题;可以针对其发生的原因,采取措施,尽量降低它们的发生概率。

为此所采取的措施之一就是进行无损检测,即从原材料的无损检测开始,到最终成品的无损检测为止。通过一系列的检测,判定设计的好坏、原材料的好坏、制造工艺的好坏,并找出可能引起破损的因素,随后加以改进,尽量减少其发生损坏的概率。

例如,在压力试验时作应变测试,通过查明有否发生反常应力的部位,来判断设计是否有问题。又如通过对焊缝进行各种无损检测,查明有没有内部缺陷或表面缺陷,在判断焊接工艺的好坏后,对必要的部位进行修补,以确保牢固性。再如对原材料进行各种无损检测,判断其制造工艺的好坏,评定其牢固性等等。这些无损检测都是为了提高产品在规定的使用条件下工作时的可靠性。这就是无损检测的极为重要的目的之一。

然而必须注意，盲目地应用无损检测，并不能提高可靠性。因此必须研究何时进行适当的无损检测，选择最适当的检测方法，应用正确的检测技术。这些问题都是在无损检测时非掌握不可的原则。

1.3 无损检测的用例

1.3.1 组合件的内部结构或内部组成情况的检查

要检查结构上不能拆开的组合件，或虽然能够拆开、但很难再装好的组合件的内部结构或内部组成情况，以及要检查内部结构是否异常时，要解决这样的问题，有时可以利用射线照相。例如，检查电气元件的线路或者检查行李、货物中是什么东西等等。

1.3.2 材料和焊缝的缺陷检查

目前无损检测用得最多的是检查材料和焊缝的缺陷。检查缺陷大致可分为两种情况：一种是在制造加工时进行检查，另一种是在使用过程中定期检查。这类检查是为了达到以下几种目的：

(1) 质量评定

原材料制造时和焊接接头焊接时进行缺陷检查，目的就是为了进行材料和焊缝的质量评定。即不论是原材料还是焊缝，在加工制造过程中进行检查，都是为了鉴定制品是否按规定的标准或设计要求进行加工制造，是否符合质量要求。无损检测就是实现这一目的的一种质量控制手段。因此，利用无损检测的结果作为材料和焊缝的评定就是质量评定。此时，所给定的判断标准就是质量控制的控制界限。这个控制界限是以已经掌握的理论为基础，再加上过去的经验而定的。如果质量达到这个程度的话，则可以断定在设计要求的条件下

使用时,是不会发生造成重大灾害的损坏事故的。

然而,在这里作为判断基础的设计条件是设计时考虑的环境条件和应力条件。由于开始使用后所增加的各种条件是不能预计的,因而无法考虑。所以即使在评定时认为质量很好,而使用后往往可能发生某种程度的损伤或故障。因此,在规定作为质量控制界限的判断标准时,必须估计到虽在设计条件下很少发生但却能造成损坏的因素,以尽量消除损坏的可能。但是使用的工业材料总是有一个限度的,因此必须考虑到它的经济性来确定判断标准。而一旦规定后,就应该努力遵守这个作为质量控制的标准。

(2) 寿命评定

机器和结构物的材料和焊缝在开始使用后,每隔一段时间要进行一次缺陷检查,来推断评定在下一次检查前能否安全使用。这就是所谓机器和结构物的寿命评定。也就是要进行定期检查、维修检查、运转中的检查,其目的是要检查出在使用条件下新产生的缺陷。根据缺陷的种类、形状、大小、产生部位、应力水平、应力方向等等,预测在下次检查时会发展到什么程度,并确定是否需修补或者应该报废。因此,其评定标准应根据缺陷发生的原因而有所不同,它只能表示寿命评定的标准而不能表示质量评定时所需的判断标准。

无损检测技术,是要以检查出的缺陷情况为根据,来预测缺陷的发展,所以要求尽量正确地测出缺陷的种类、形状、大小、位置和方向。现在对在使用条件下发生的缺陷,已采用断裂力学的方法来评定。

1.3.3 材料和机器的计量检测

它主要是在上述的定期检查时进行的。通过定量地测定材料或机器零件的变形量或腐蚀量,来确定能不能继续使用。

例如，射线照相可以用来测定原子反应堆用过的燃料棒的变形量、喷气发动机叶片的变形量，超声波厚度计用来测定腐蚀量等等。

1.3.4 材质检查

结构件是否牢固，决定于所使用的各种材料的好坏。使用设计所要求的、规定成分的材料或按规定进行过各种处理的材料，是保证结构物牢固的先决条件。无损检测就可用来验证材料品种是否正确，是否按规定进行了处理。如采用电磁感应检测法来判别铝合金的材料品种和判别热处理后的状态就是一个例子。

1.3.5 表面处理层的厚度测定

对要求耐磨或耐腐蚀的零件进行表面处理，其硬化深度或镀层厚度有一定的尺寸要求时，可采用无损检测来测定各种深度或厚度。例如，用电磁感应检测法来测定渗碳淬火层的深度和镀层的厚度等。

1.3.6 应变测试

设计是否牢固要由应力分析的结果来评定。这可以在最后阶段的负荷试验或压力试验时测定承受负荷构件的应变来得到。另外，在最后确定设计之前可用三维光弹性实验法来测定应力分布，然后再改进成更安全的结构设计，这也是应变测定的应用例子之一。

上面叙述了现有无损检测的典型用例。正如前述，无损检测用得最多的是在材料和焊缝的缺陷检查方面。本书下面将以这两方面为重点来叙述。

1.4 无损检测的特点

应用无损检测时，事先必须对以下几个方面有充分的认