

泄漏检测

《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材》编审委员会 编

国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材

泄 漏 检 测

《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材》编审委员会 编

主 编 吴孝俭 闫荣鑫

主 审 朱毓坤



机 械 工 业 出 版 社

本书是泄漏检测技术的培训教材。系统地介绍了泄漏检测技术的理论基础和各种泄漏检测技术、方法、设备以及相关标准与法规。其中涉及的泄漏检测方法有：气泡检漏、压力变化检漏、卤素检漏、氮质谱检漏、渗透和化学示踪物检漏及其他检漏方法。对电子元器件的检漏也作了详细阐述。另外，各部分还选取了一些具有一定代表性的案例，介绍了它们的泄漏检测技术要点。

本书适合无损检测Ⅱ、Ⅲ级人员培训班师生使用，亦可供从事泄漏检测的技术人员及大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

泄漏检测/《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材》编审委员会编. —北京：机械工业出版社，2005.1
国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材
ISBN 7-111-15970-5

I.泄... II.国... III. 泄漏—检测—技术培训
IV.115

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 142626 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
责任编辑：吕德齐 武 江
责任印制：杨 曦
成都新华印务有限责任公司印刷·新华书店北京发行所发行
2005 年 3 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1 092mm 1/16·15.75 印张·360 千字
0 001—4 000 册
定价：30.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68326294
封面无防伪标均为盗版

序 言

—— 本书的编写目的、范围、特点及主要内容的说明 ——

证》和《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证考试大纲》的要求，包括了对无损检测 I、II、III 级人员的培训内容，以 II 级要求内容为主体，注重体现 III 级所要求的深度和广度，强调实际应用；同时教材体现了国防科技工业无损检测工作的特色，增加了典型应用实例、典型产品及事故案例的介绍，并力图反映无损检测专业技术发展的最新动态。全套教材共 11 册，包括《无损检测综合知识》、《涡流检测》、《渗透检测》、《磁粉检测》、《射线检测》、《超声检测》、《声发射检测》、《计算机层析成像检测》、《全息和散斑检测》、《泄漏检测》和《目视检测》。

由于无损检测技术涉及的基础科学知识及应用领域十分广泛，而且计算机、电子、信息等新技术在无损检测中的应用发展十分迅速，教材编写难度较大，加之成书比较仓促，难免存在疏漏和不足之处，恳请培训教师和学员以及读者不吝指正。愿本套教材能够为国防科技工业无损检测人员水平的提高和促进无损检测专业的发展起到积极的推动作用。

本套教材参考了国内同类教材和培训资料，编写过程中得到许多国内同行专家的指导和支持，谨此致谢。

《国防科技工业无损检测人员
资格鉴定与认证培训教材》编审委员会
2004 年 3 月

前 言

根据国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材的编写要求和分工,我们承担了《泄漏检测》教材编写,并贯彻以下编制原则:一是紧密围绕考试大纲,强调解决实际问题;二是突出共性并体现国防科技工业无损检测工作特色,适当增加典型应用及案例的介绍;三是教材内容编排应按照基础理论、相关标准、编制检测规程和实验与操作四大部分进行编排。

全书共分18章。第1章简要介绍了检漏在国防科技工业中的作用、任务、工作内容以及对从业人员的要求;第2章介绍检漏的基础知识;第3章介绍检漏技术的物理基础;第4章介绍真空技术的基本知识;第5章至第9章分别介绍五种常用的检漏方法——气泡检漏、压力变化检漏、卤素检漏、氦质谱检漏、渗透和化学示踪物检漏;第10章介绍在国防科技工业中使用得比较少的一些检漏方法,如声波及超声波检漏、离子泵检漏等;第11章介绍电子元器件检漏;第12章介绍检漏安全知识;第13章介绍设备与材料的应用;第14章介绍检漏前的准备技术;第15章介绍氦质谱检漏、气泡检漏的操作过程;第16章介绍检漏结果的记录与评定及检漏报告的编写;第17章介绍与检漏相关的法规与标准;第18章介绍了工艺规程(工艺卡)的编写内容与编写格式。

第1~4章、第8、10章由肖祥正编写,第5章、第12~15章、第17、18章由吴孝俭编写,第6、7章由闫荣鑫编写,第9章由吴孝俭、刘哲军编写,第11章由吴孝俭、闫荣鑫编写,第16章由吴孝俭、肖祥正编写。全书由朱毓坤主审,闫荣鑫整理定稿。

本教材的主要特点,一是在基本理论方面,系统地介绍了泄漏检测技术的基础理论;二是在应用方面,结合国防科技工业泄漏检测的要求,选取了一些具有一定国防科技工业应用特点的事例,介绍了它们的泄漏检测技术要点;三是教材从国防科技工业泄漏检测工作考虑,介绍了一些其他泄漏检测技术。

本教材在编写中,除了参考了国内外公开出版的一些专著、教材、手册、文献外,还特别参考了航天、核工业编写的泄漏检测培训教材,编写组对有关作者表示衷心感谢。此外,教材也写入了编写组成员多年从事泄漏检测工作积累的经验 and 在培训教学中的一些体会。

限于编者水平,错误和疏漏在所难免,热诚欢迎培训学员、培训教师、读者提出宝贵意见。

《泄漏检测》编写组

2004年10月

目 录

序言

前言

第1章 概论 1

1.1 泄漏的危害性 1

1.2 检漏的任务及工作内容 2

1.3 对检漏人员的要求 3

复习题 4

第2章 检漏的基础知识 5

2.1 泄漏的部位 5

2.2 漏率及其单位 5

2.3 影响漏率大小的因素 7

2.4 标准漏率的定义 7

2.5 允许漏率的计算 7

2.6 对检漏方法的要求 9

2.7 检漏方法的分类 10

2.8 检漏灵敏度与仪器灵敏度 10

2.9 检漏的基本术语 10

复习题 12

第3章 检漏技术的物理基础 13

3.1 基本物理量和概念 13

3.2 物质的状态 14

3.3 理想气体基本定律 15

3.3.1 理想气体及气体 分子运动论的基本假设 15

3.3.2 玻义耳—马略特定律 15

3.3.3 盖·吕萨克定律 15

3.3.4 查理定律 15

3.3.5 阿伏伽德罗定律 16

3.3.6 理想气体的状态方程 16

3.3.7 道尔顿定律（分压力定律） 16

3.3.8 理想气体的压力、质量和密度 16

3.3.9 气体分子的热运动

速度及它们之间的关系 17

3.4 气体分子的平均自由程 17

3.5 分子与表面的碰撞

——余弦定律 19

3.6 气体的电离 19

3.7 气体的流动状态及其

判别方法 20

3.7.1 湍流 20

3.7.2 粘滞流 21

3.7.3 分子流 21

3.7.4 粘滞-分子流 21

3.7.5 气体流动状态的判别方法 21

3.8 气体流量和管道流导 22

3.8.1 气体量 22

3.8.2 流量 23

3.8.3 流导 23

3.8.4 管道串联的流导 23

3.8.5 管道并联的流导 23

3.8.6 流导计算 23

3.9 吸附 26

3.10 气体在固体中的溶解、 扩散与渗透 28

3.11 气体的输运现象 30

复习题 31

第4章 真空技术的基本知识 32

4.1 真空的基本概念 32

4.2 真空获得设备（真空泵） 34

4.2.1 真空泵的分类和特性 34

4.2.2 油封式旋转机械真空泵 35

4.2.3 涡轮分子泵	37	第 6 章 压力变化检漏	59
4.3 真空度的测量 真空计	38	6.1 压力变化检漏的原理	59
4.3.1 一般术语	38	6.1.1 静态压升检漏法	59
4.3.2 真空计的分类及测量范围	38	6.1.2 静态压降检漏法	60
4.3.3 电阻真空计 (皮喇尼 真空计)	39	6.2 静态压降检漏法 压力差的确定	60
4.3.4 热偶真空计	40	6.3 有效容积的确定	61
4.3.5 热阴极电离真空计	42	6.4 常用压降检漏法误差分析	61
4.3.6 潘宁真空计 (冷阴极磁 控放电真空计)	43	6.5 一般压降法存在的 问题及解决的措施	62
4.4 真空系统	44	6.5.1 压降检漏法的灵敏度	62
4.4.1 真空系统的组成和配置	44	6.5.2 湿度问题	63
4.4.2 抽气时间计算	45	6.5.3 有效容积测量	63
4.4.3 放气对真空系统的影响	46	6.5.4 数据处理及计算	64
复习题	48	6.6 压力降检漏结论	65
第 5 章 气泡检漏	49	6.7 差压式气密检漏	65
5.1 气泡检漏原理	49	6.7.1 概述	65
5.1.1 产生气泡的条件	49	6.7.2 被测物的泄漏 及压力的关系	65
5.1.2 产生压差的方法	50	6.7.3 差压式气密检漏的原理	66
5.1.3 气泡尺寸与漏率 and 上升速度的关系	51	6.7.4 差压式检漏仪的工作 过程及时间段的选择	69
5.1.4 影响检漏灵敏度的 因素	51	6.7.5 几种类型的差压式气密检漏仪 及实用中常遇到的几个问题	70
5.2 检漏设备与材料	52	复习题	70
5.2.1 检漏设备	52	第 7 章 卤素检漏	71
5.2.2 检漏材料	53	7.1 卤素检漏原理	71
5.3 检测技术	54	7.2 卤素检漏仪工作原理	72
5.3.1 浸泡法	54	7.3 仪器的分类	72
5.3.2 涂刷液体法 (皂泡法)	55	7.3.1 外—内式	72
5.3.3 测量漏率的方法	55	7.3.2 内—外式	73
5.3.4 试验注意事项	57	7.3.3 仪器的结构	73
5.4 气泡检漏法的应用实例	57	7.4 灵敏度及校准	74
5.4.1 阀门内泄漏与外 泄漏的气泡法检漏	57	7.4.1 灵敏度	74
5.4.2 飞机油箱的气泡检漏	58	7.4.2 灵敏度的校准方法	75
5.4.3 浮筒的热槽法检漏	58	7.5 仪器的响应时间	76
复习题	58	7.6 常用的标准漏孔与浓度液	76

7.7 应用与注意事项	77	9.3.1 着色渗透检漏技术	134
7.8 被检件中充制冷剂方法	77	9.3.2 荧光渗透检漏技术	135
7.9 注意事项	78	9.3.3 变色渗透检漏技术	137
7.10 传感器中毒的再生	79	9.3.4 煤油渗透检漏技术	138
7.11 臭氧层受破坏恶果严重	80	9.3.5 渗透检漏的灵敏度	139
7.12 替代物质	80	9.3.6 比对试样与漏率估计	139
复习题	80	9.4 实际应用	139
第 8 章 氦质谱检漏	81	9.4.1 飞机油箱煤油渗透检漏	139
8.1 氦质谱检漏的原理	81	9.4.2 发动机喉部焊缝检漏	139
8.1.1 质谱及质谱仪	81	9.4.3 压力容器焊缝检漏	140
8.1.2 氦质谱检漏的原理	81	9.4.4 电子元器件粗检漏	140
8.1.3 示漏气体的选择	84	9.4.5 核试验装置局 部渗透检漏	142
8.1.4 氦质谱检漏的灵敏度 及其校准方法	84	复习题	142
8.1.5 仪器的反应时间、清除 时间及其校准方法	86	第 10 章 其他检漏方法	143
8.1.6 逆流检漏仪	88	10.1 高频火花检漏法	143
8.2 设备与材料	89	10.2 真空规法	144
8.2.1 氦质谱检漏仪	89	10.3 离子泵检漏法	145
8.2.2 标准漏孔	90	10.4 声波检漏法	146
8.2.3 吸枪	97	10.4.1 声波的基本知识	146
8.2.4 氮气	97	10.4.2 声波检漏的方法	148
8.2.5 真空泥	97	复习题	150
8.3 氦质谱检漏技术	98	第 11 章 电子元器件检漏	151
8.3.1 氦质谱检漏的各种方法	98	11.1 电子元器件检漏的原理	151
8.3.2 实际漏孔漏率的确定	108	11.1.1 电子元器件漏率的定义	151
8.3.3 大容器真空检漏	109	11.1.2 电子元器件检漏的特殊性	152
复习题	116	11.1.3 电子元器件细检漏	152
第 9 章 渗透和化学示踪物检漏	118	11.1.4 电子元器件粗检漏	153
9.1 渗透检漏的原理	118	11.2 检漏设备与材料	153
9.1.1 表面张力与毛细作用	118	11.2.1 检漏设备	153
9.1.2 紫外线与荧光	119	11.2.2 检漏用材料	155
9.1.3 对比度与可见度	120	11.3 检测技术	157
9.2 设备与材料	121	11.3.1 氦质谱背压细检漏	157
9.2.1 设备	121	11.3.2 氟油粗检漏	165
9.2.2 材料	124	11.3.3 抽真空气泡粗检漏	168
9.3 检测技术	134	11.3.4 使用压力变化检 漏仪对元器件作粗检漏	170

11.3.5 国家军用标准规定的 其他检漏方法	172	复习题	185
11.3.6 氟碳汽粗检漏试验	174	第 14 章 检漏前的准备技术	186
复习题	175	14.1 被检件的清洗与烘干	186
第 12 章 检漏安全	176	14.1.1 清洗操作	186
12.1 充压、抽真空过程可能造成的 破坏及安全防范措施	176	14.1.2 烘干操作	187
12.1.1 在充压检漏和抽真空 检漏中出现爆破的危险	176	14.2 被检件与检漏设备的连接	187
12.1.2 充压、抽真空过程的 安全防范措施	176	14.2.1 真空系统的连接	187
12.2 试验过程可能造成的中毒 与窒息的危害及防范检施	177	14.2.2 充压系统的连检	188
12.2.1 对示漏气体的防范检施	177	14.3 检漏系统的调试	189
12.2.2 控制有毒液体的危害	179	14.3.1 检漏系统密封性能调试	189
12.2.3 防止真空泵油的危害	179	14.3.2 检漏系统检测 灵敏度的测试	189
12.3 试验过程可能造成 的火灾伤害及防范措施	179	14.4 环境条件的准备	189
12.4 不规范用电可能 造成的伤害及防范措施	180	14.4.1 通风换气	189
第 13 章 设备与器材的使用	181	14.4.2 照明条件	190
13.1 正确使用检漏仪器	181	14.4.3 安全设施	190
13.1.1 熟悉各种检漏仪器 的结构与配置	181	复习题	190
13.1.2 熟悉各种检漏 仪器的操作程序	182	第 15 章 检漏操作	191
13.1.3 熟悉各种检漏仪器 相关参数的调试方法	182	15.1 氦质谱抽真空检漏操作	191
13.2 正确使用各种充压、 抽真空设备	183	15.1.1 氦质谱检漏仪的起动操作	191
13.2.1 正确使用各种充压设备	183	15.1.2 氦质谱检漏仪最小 可检漏率的校准操作	191
13.2.2 正确使用各种抽真空设备	183	15.1.3 氦质谱检漏仪反应 时间的测试操作	192
13.3 正确使用各种检漏工艺装备	184	15.1.4 氦质谱检漏仪清除 时间的测试操作	193
13.4 正确使用各种标准 漏孔和标准样件	184	15.1.5 喷吹检漏法操作	193
13.5 准确辨认和正确使用 各种检漏器材	185	15.1.6 氦罩检漏法操作	194
		15.1.7 真空室检漏法操作	195
		15.1.8 检漏盒检漏法操作	196
		15.1.9 实际漏孔漏率的测定操作	197
		15.1.10 检漏系统反应 时间的测试操作	197
		15.1.11 检漏系统最小 可检漏率的校准	198
		15.1.12 真空室累积检漏法操作	199
		15.2 氦质谱充压吸枪检漏操作	200

15.2.1 吸枪直阀检漏法操作	200	16.4.1 报告内容	215
15.2.2 吸枪累积正压漏孔 定标检漏法操作	201	16.4.2 检测报告的格式	215
15.2.3 吸枪累积标准 气体量定标检漏法操作	202	16.4.3 检测报告的填写规则	215
15.3 氮质谱背压检漏法操作	203	复习题	216
15.3.1 压氮背压检漏法操作	203	第 17 章 标准与法规	217
15.3.2 预埋氮背压检漏法操作	205	17.1 法规	217
15.4 气泡检漏操作	206	17.1.1 名称与编号	217
15.4.1 充压法气泡检漏的操作	206	17.1.2 内容与适用范围	217
15.4.2 热槽法气泡检漏操作	208	17.1.3 对气压试验的规定	218
15.4.3 抽真空气泡检漏操作	209	17.1.4 对气密试验的规定	218
第 16 章 检测结果的记录与评定	210	17.1.5 有关安全附件的规定	218
16.1 做好检漏过程的原始记录	210	17.2 方法标准	219
16.2 漏率计算	210	17.2.1 气泡检漏的方法标准	219
16.2.1 单点漏率计算	210	17.2.2 氮质谱检漏的方法标准	220
16.2.2 总漏率计算	210	17.2.3 卤素检漏方法	224
16.2.3 关于检漏仪漏 率判读问题的讨论	211	17.2.4 电子元器件检漏标准	225
16.3 数据处理及误差修正	213	17.3 验收标准	231
16.3.1 温度修正	213	17.3.1 氮泄漏检验 GB/T 15823—1995	231
16.3.2 示踪气体浓度变化的修正	213	17.3.2 电子元器件检漏标准	231
16.3.3 标准漏孔安装位置 不同所需的修正	214	复习题	233
16.3.4 氮气漏率与空气 漏率的相互转换	214	第 18 章 检漏工艺规程 (工艺卡)的编写	234
16.3.5 漏孔位置不同 所需的修正	215	18.1 编写内容	234
16.4 检测报告的编写	215	18.1.1 检漏工艺规程的编写	234
		18.1.2 检漏工艺卡的编写	237
		18.2 工艺规程及工艺卡的格式	238
		参考文献	240

第1章 概 论

“泄漏检测”在行业中简称为“检漏”，本书中也采用此简称。

1.1 泄漏的危害性

设备或器件因功能不同，泄漏的大小、部位和泄漏的物质不同，泄漏所带来的危害程度和危害表现也就不同。泄漏的危害性主要表现在以下几方面。

1. 破坏真空设备或真空器件的工作真空度

真空设备和器件要求在一定的真空度下工作，因此必须预先将真空设备和真空器件预抽到相应的或更高的真空度。一般真空设备本身带有抽气系统，设备工作时真空系统仍然对其抽气，微小的泄漏存在一般不会影响其工作真空度，但是比较严重的泄漏仍然会破坏设备的平衡压力，干扰甚至破坏设备的正常工作。如：加速器真空度的破坏，将损失粒子的能量；镀膜机真空度的破坏，将影响膜层质量；对于电真空器件来说，在制造过程中用相应的真空系统将它抽到一定的真空度后便将它密封，如果器件有漏，器件中的压力将随时间上升，漏孔越大，器件中的压力上升得越快，由于电真空器件（如电子管）的体积一般很小，因此微小的漏孔也将很快使器件内的真空度破坏，使器件无法工作。

2. 破坏仪器设备内部的工作压力

各种仪器或设备的工作压力是不同的。如装在卫星上的天地通信应答机为了保证机内半导体器件很好散热，要求在大气条件下工作，因此它是用一密闭外壳将大气封存起来的；驱动阀门的气路则要求较高的工作压力，否则阀门无法驱动和密封；供宇航员生活和工作的生活舱和返回舱，不仅要求保持大气压力，而且要求空气不受污染。然而，由于泄漏现象的存在，就会使这些仪器设备或舱体的工作压力降低，破坏了正常工作的条件，甚至危及宇航员的生命。

3. 使贮存的高压气体或燃料损失

贮存高压气体或燃料的气瓶和贮罐如果有泄漏，大量的气体或燃料将会白白损耗掉，造成一定的经济损失。航天器姿态控制系统的气瓶和贮罐一旦发生泄漏，会造成后期用气和燃料的不足，影响航天器的功能和寿命，使航天器因失控而失效。

4. 对器件内部气氛造成污染

有些微电子器件不仅要求一定的压力下工作，而且只允许在某些气体下工作，因此其内部一般要充入保护性气体。然而，由于漏孔存在，外部环境中的有害气体（如水蒸气）也可能通过漏孔进入到设备或器件内部，使器件内部气体成分发生改变，即造成污染，使器件不能正常工作甚至失效。

5. 污染大气环境

装有易燃、易爆、有毒、放射性及其他有害人们身体健康的物质的贮罐（如运载火箭燃料箱体）一旦有漏，这些有害物质便进入周围大气环境中，对大气环境造成污染，影响人们的身体健康。有些易燃、易爆物质的泄漏，还可能产生燃烧和爆炸，危及人们的安全。

6. 造成产品失效

航天产品因泄漏造成发射失败，危及宇航员生命安全，甚至机毁人亡的事故屡屡发生。1986年1月28日，美国“挑战者”号航天飞机进行第10次飞行，航天飞机升空后减速飞行，顺利穿过高空湍流区后，地面控制中心通知航天飞机指令长将发动机恢复到全速，此时，由于右侧固体助推器下壳体接头的O形密封圈失效，燃料外泄起火，烧断固体助推器与外挂贮箱的下端连接柱，使助推器晃动，撞坏贮箱，造成推进剂大量外泄燃烧，最终导致航天飞机爆炸并坠落大海。这次爆炸是世界载人航天史上最大的空难事故，不但使12亿美元的航天飞机化为灰烬，而且使7名宇航员全部遇难，美国航天飞机计划也因此推迟了两年，总经济损失达20多亿美元。

1.2 检漏的任务及工作内容

随着科学技术的进步和工业生产的发展，对设备气密性的要求也就越来越高。因此，除了设计和加工过程中应采取有效措施，防止泄漏隐患外，在设备的生产、组装、调试及使用过程中，还要运用有效的检漏手段，将不允许存在的漏孔找出来，以便进行修补。

值得指出的是，任何设备即使设计、加工和安装都非常满意，也不可能做到绝对不漏气。严将地讲，漏气是绝对的，不漏气是相对的，绝对不漏气是不存在的。我们通常所说的“不漏”是相对检漏仪器灵敏度面言的，是指设备上存在的漏孔的漏率小于检漏仪器的最小可检漏率。

泄漏检测的任务是：

- 1) 用适当的方法迅速判断漏气是否是主要矛盾；
- 2) 测定总漏率（漏孔定量），确定它是否在允许漏率范围之内；
- 3) 选择合适的检漏方法找出漏孔的确切位置（漏孔定位），以便进行修补。

应该强调指出，只有当设备上存在的所有漏孔的总漏率超出允许漏率值时才进行漏孔定位工作。设备上虽有漏孔，但其总漏率并没有超出设计的允许值，一般不必再进行找漏。然而在有些情况下，除了规定设备总漏率的允许值外，还规定了设备上单个漏孔漏率的允许值。在这种情况下，即使总漏率达到了要求，仍然要求找出每个漏孔的位置，并测定出每个漏孔的漏率，以便确定每个漏孔的漏率是否在允许范围之内。

设备检漏方法运用和经济性首先取决于良好的设计，其次才取决于检漏程序、所采用的方法及正确的操作。检漏工作应该从设计开始并贯穿于设备生产、安装、调试和使用的各个阶段，因此检漏的主要工作内容应该是：

- （1）在设备的设计阶段 检漏人员除了协助设计人员合理提出允许漏率值外，还要

向设计人员了解设备的结构、材料、焊接及密封形式、敷层、连接件、技术要求等设计方面的问题，并从检漏角度提出对设计的要求，如消除或减少双面焊缝之间、多层垫圈之间等一切使反应时间过长的“寄生体积”，不要采用连续双面焊结构，设计能与检漏仪器、充压系统或抽气系统方便连接的检漏接头，尽量减少总装后无法检查的焊缝，不要采用铸件等。针对设计提出的漏率指标，拟定零部件及总体的检漏方案、程序，并设计出检漏中所需的工装和附件（如检漏盒、盲板、接头等）。

（2）在设备的加工阶段 检漏人员要向生产单位了解加工工艺及加工工序，并从检漏角度提出对加工工艺及加工工序的要求。加工过程中要根据加工工序与焊接人员紧密配合，及时地不失时机地对各种零部件，特别是制造完毕后无法接触或修理的部件（如冷阱内胆）的焊缝进行严格检漏，不合格的要求重焊或补焊，重焊或补焊后要重新检漏，符合要求后才允许进行下一工序。对于大型复杂结构的设备来说，它直接影响到总装后总体检漏工作的成败与速度，不可忽视。

（3）在设备的安装、调试阶段 主要检查连接部位的密封性。检漏人员要根据安装的一步一步地有计划的进行检漏。条件允许的话，最好是每安装一个零部件便对其有密封要求的连接部位进行一次检漏，达到要求后再安装下一个零部件，要避免将所有零部件装完后再检漏，否则会给总体检漏工作带来极大的困难。因为在这种情况下，除了怀疑部位太多外，有些连接部位可能难以实现检漏。调试过程中，一般先进行总漏率测试，以便确定总漏率是否在允许范围之内。前面已讲过，如果总漏率在允许范围内就不需再进行检漏了。如果超出允许漏率范围，检漏人员应根据需要和可能选用最简单、经济的方法去找漏。

（4）在设备的运转或使用阶段 由于机械振动造成连接部位松动；经常拆卸的密封部位或转动密封部位，出现密封圈的划伤、损坏、磨损；某些部位由于冷热冲击而疲劳，由于应力而破裂；某些部位受工作液的腐蚀而破损；某些曾被油、水蒸气及其他脏物堵塞的漏孔的疏通等，这些都可以使设备出现漏气现象。因此，经常需要进行检漏。检漏人员应根据设备的使用情况、故障现象来分析故障原因，判断漏气的可能位置，然后采取相应的检漏手段找出漏气位置，使设备尽快恢复正常运转。

1.3 对检漏人员的要求

1) 检漏工作本身是一项非常艰苦细致的工作，从事检漏工作的人员必须有高度的责任心，有不怕麻烦，细致、认真的工作态度。

2) 检漏技术牵涉到的科学、生产知识比较广，因此要求检漏人员除了对各种检漏方法、检漏仪器、检漏的基本知识非常熟悉之外，还要掌握一定的机械设计、加工工艺、电子线路、物理、化学、材料以及质量管理、安全生产等方面的知识。只有这样，才能解释和解决检漏工作中出现的形形色色的问题，确保检漏质量和安全。

3) 为了确保国防科技工业产品质量，国防科技工业检漏人员应根据 GJB 9712—2002《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证》标准，按照《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证考核大纲》参加有关技术培训，经考试合格后，方可持证上岗。

复 习 题

1. 泄漏有哪些危害性？
2. 检漏的主要任务是什么？
3. 检漏的主要内容有哪些？
4. 检漏中漏孔的定位工作是不是必须进行的？为什么？
5. “不漏”的确实含意是什么？

第2章 检漏的基础知识

2.1 泄漏的部位

设备出现泄漏的位置随机性较大,产生泄漏的原因也是多种多样的。容易出现泄漏的部位是法兰及其他接头的密封面、动密封部位、焊缝特别是搭头和交叉部位、不匹配封接、出现应力集中的部位、经多次补焊的部位、受高低温冲击的部位、焊接后又经机械加工的部位、长期遭受腐蚀的部位等。

2.2 漏率及其单位

表示漏孔大小的最直观的方法有两个,一是漏孔的几何尺寸,二是单位时间内流过漏孔的气体的质量或分子数。由于我们研究的漏孔是极其微小的,实际漏孔的截面形状极不规则,漏气路径也各式各样。因此,漏孔的大小既难以用它的几何尺寸来度量,也难以直接测量气体的质量和分子个数。那么用什么方法表示漏孔的大小呢?由理想气体状态方程

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad (2-1)$$

可知

$$m = pV \left(\frac{M}{RT} \right) \quad (2-2)$$

式中 R —— 摩尔气体常数;

M —— 气体的摩尔质量,也是常数。

当 T 一定时, $\frac{M}{RT}$ 项为常数。因此,对应某一质量 m 就有确定的 pV 值。即气体的质量 m 可以用气体的压力与体积的乘积 pV 值来表示, pV 值又称为气体量。而 p 、 V 的测量却是非常方便的。这样,漏孔的大小就可以用单位时间内流过漏孔的气体量来表示。单位时间内流过漏孔的气体量叫做漏率,以 Q 表示。即

$$Q = \frac{d(pV)}{dt} \quad (2-3)$$

常见漏率单位有 $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 、 $\text{Pa} \cdot \text{L}/\text{s}$ 、 $\text{Torr} \cdot \text{L}/\text{s}$ 、 $\text{atm} \cdot \text{cc}/\text{s}$ 、 $\mu\text{Hg} \cdot \text{ft}^3/\text{h}$ 、 $\mu\text{Hg} \cdot \text{L}/\text{s}$ (lusec)、 $\text{mbar} \cdot \text{L}/\text{s}$ 、 mol/s 、 g/a 、 $\text{molecular}/\text{s}$ 等。我国法定的漏率单位为 $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。美国真空协会推荐使用 mol/s 作漏率单位。主要漏率单位之间的换算关系见表 2-1。

表 2-1 漏率单位换算表 ($T=0^{\circ}\text{C}$)

从	换算到	$\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	$\text{Pa}\cdot\text{L}/\text{s}$	$\text{mbar}\cdot\text{L}/\text{s}$	$\text{torr}\cdot\text{L}/\text{s}$	$\mu\text{mHg}\cdot\text{L}/\text{s}$	$\mu\text{mHg}\cdot\text{ft}^3/\text{s}$	$\mu\text{mHg}\cdot\text{ft}^3/\text{h}$	Molecules/s (空气分子数/s)	空气 oz/a	空气 kg/a	空气 mg/s	cm^3/s (标准状态)	kmol/s	mol/s
$\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	1	1.0×10^{20}	1.0×10^{18}	1.0×10^{16}	7.50062	7.50062	2.64882	9.53574	2.65162	1.41869	4.02191	1.27534	9.86923	4.0319	4.0319
$\text{Pa}\cdot\text{L}/\text{s}$	1.0×10^{-18}	1	1.0×10^{-20}	1.0×10^{-18}	7.50062	7.50062	2.64882	9.53574	2.65162	1.41869	4.02191	1.27534	9.86923	4.0319	4.0319
$\text{mbar}\cdot\text{L}/\text{s}$	1.0×10^{-16}	1.0×10^{20}	1	1	7.50062	7.50062	2.64882	9.53574	2.65162	1.41869	4.02191	1.27534	9.86923	4.0319	4.0319
$\text{torr}\cdot\text{L}/\text{s}$	1.33322	1.33322	1.33322	1	1.0×10^{-20}	1.0×10^{-20}	3.53147	1.27133	3.53520	1.89143	5.36211	1.70031	1.31579	5.87044	5.87044
$\mu\text{mHg}\cdot\text{L}/\text{s}$	1.33322	1.33322	1.33322	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1	3.53147	1.27133	3.53520	1.89143	5.36211	1.70031	1.31579	5.87044	5.87044
$\mu\text{mHg}\cdot\text{ft}^3/\text{s}$	3.77527	3.77527	3.77527	2.83168	2.83168	2.83168	1	3.600×10^4	1.00106	5.35593	1.51838	4.81475	3.72590	1.66232	1.66232
$\mu\text{mHg}\cdot\text{ft}^3/\text{h}$	1.04869	1.04869	1.04869	7.86579	7.86579	7.86579	2.77778	1	2.78072	1.48776	4.21772	1.33743	1.03497	4.61756	4.61756
空气 molecules/s (空气分子数/s)	3.77128	3.77128	3.77128	2.82869	2.82869	2.82869	9.98943	3.59619	1	5.35027	1.51678	4.80966	3.72196	1.66057	1.66057
空气 oz/a	7.04877	7.04877	7.04877	5.28701	5.28701	5.28701	1.86709	6.72153	1.86907	1	2.83495	8.98957	6.95659	3.10371	3.10371
空气 kg/a	2.48638	2.48638	2.48638	1.86494	1.86494	1.86494	6.58597	2.37095	6.59294	3.52740	1	3.17098	2.45387	1.09480	1.09480
空气 mg/s	7.84105	7.84105	7.84105	5.88127	5.88127	5.88127	2.07695	7.47702	2.07915	1.11240	3.15360	1	7.73851	3.45256	3.45256
cm^3/s (标准状态)	1.01325	1.01325	1.01325	7.06×10^{-1}	7.06×10^{-1}	7.06×10^{-1}	2.68391	9.66209	2.68675	1.43749	4.07520	1.29224	1	4.46153	4.46153
kmol/s	2.27108	2.27108	2.27108	1.70345	1.70345	1.70345	6.01568	2.16564	6.02205	3.22195	9.13409	2.89640	2.24138	1	1.0×10^3
mol/s	2.27108	2.27108	2.27108	1.70345	1.70345	1.70345	6.01568	2.16564	6.02205	3.22195	9.13409	2.89640	2.24138	1.0×10^{31}	1

注: 1. 空气的相对分子质量为 28.964u; 1mol=22.41383L (在 STP 下的理想气体); 1oz (盎司)=2.8349523125 $\times 10^{-2}$ kg;定义为: $T=0^{\circ}\text{C}$, $p=1\text{atm}$ 。

2. 标准状态 (STP) 定义为 1atm=101.325kPa。

①换算系数是精确的, 所有后面的数字是零。

②是由定义得到的。