

Q/DX

青 岛 鼎 信 通 讯 股 份 有 限 公 司 技 术 文 档

Q/DX D121. 106-2023

气密性检测工艺规范

V1.0

2023 - 2 - 16 发布

2023 - 2 - 16 实施

目录

1 范围	2
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	2
3.1 直压式气密检漏仪	2
3.2 差压式气密检漏仪	2
3.3 氮氢式气密检漏仪	2
3.4 基准物	2
3.5 氦质谱式气密检漏仪	2
3.6 标准块	2
3.7 标准漏孔	2
4 气密性检测的分类	2
4.1 直压式气密性检测	3
4.1.1 直压式气密性检测基本原理	3
4.1.2 直压式气密性检漏仪工作过程	3
4.1.3 直压式气密性检测基本参数设置	4
4.2 差压式气密性检测	4
4.2.1 差压式气密性检测基本原理	4
4.2.2 差压式气密性检漏仪工作过程	4
4.2.3 差压式气密性检漏仪基本参数设置	5
4.2.4 影响泄漏检测值的影响因素	6
4.3 直、差压式气密性检测仪的比较	6
4.4 直、差压式气密性检测的泄漏值解读	7
4.5 氮氢气密性检测	7
4.5.1 氮氢气密性检测基本原理	7
4.5.2 氮氢气密性检漏仪工作过程	8
4.6 单点漏率的计算	8
5 气密性检测工艺参数验证过程	9
5.1 直、差压气密性检测验证	9
5.1.1 验证过程	9
5.1.2 点检方式	10
5.2 氮氢气密性检测验证	10
5.2.1 验证过程	10
5.2.2 点检方式	10

前 言

本规范的目的是对气密性检测进行工艺说明，作为高防护产品气密性检测的相关验证规范。

本标准由青岛鼎信通讯股份有限公司工程技术本部提出。

本标准由青岛鼎信通讯股份有限公司工程技术本部工艺研究所起草。



气密性检测工艺规范

1 范围

本规范介绍了气密性检测的常用术语及定义、气密性检测的分类、气密性检测工艺介绍、如何选择气密性设备种类、漏率解读、工艺参数验证等。

本规范适用于我司电表类、消防类等高防护产品的气密性检测。

2 规范性引用文件

GBT 25752-2010 差压式气密检漏仪

3 术语和定义

3.1 直压式气密检漏仪

被检容器用压缩空气(或其它干燥气体)充到一定压力后,隔断气源,观察被检容器内压力随时间的下降情况。

3.2 差压式气密检漏仪

以差压传感器为感压元件检测被测物和基准物之间压力差来确定被测物是否存在泄漏和漏率大小的仪器或装置。

3.3 氮氢式气密检漏仪

氮氢气密检漏仪以氮氢混合气(5%氢+95%氮,ISO体系里标准的安全气体)为示踪气体,通过检测泄漏气体中氢的浓度,确定漏率的大小。

3.4 基准物

和被测物的形状、材质及容积相同且其漏率和被测物相比可以忽略的参照物体。

3.5 氦质谱式气密检漏仪

以氦气为示踪气体,使用氦质谱检漏仪检测泄漏的氦气,确定漏率的大小。

3.6 标准块

和被测物的形状完全相同且完全不泄漏的实心件。

3.7 标准漏孔

能够在一定的条件下向真空系统内部提供已知气体流量的元件,单位通常为ml/min或pa.m³/s。

4 气密性检测的分类

气密性检测主要以检测气体的不同进行分类,见表4-1:

表4-1 气密性检测分类

序号	检测气体	检测分类
1	压缩空气	流量式气密性检测、直压式气密性检测、差压式气密性检测
2	氮氢混合气	氮氢气密性检测
3	氦气	氦质谱气密性检测

本文主要针对我司常用的直压、差压、氮氢气密性检测方法进行详细说明。

4.1 直压式气密性检测

4.1.1 直压式气密性检测基本原理

直压法检漏，也称静态压降法。其方法是：被检容器用干燥空气充到一定压力后，隔断气源，观察被检容器内压力随时间的下降情况，分小漏与大漏，小漏的泄漏评判标准为达不到设定的泄漏上限，大漏的泄漏评判标准为达不到设定的检测压力下限。图 4.1 为直压式气密性检测的简单流程说明。

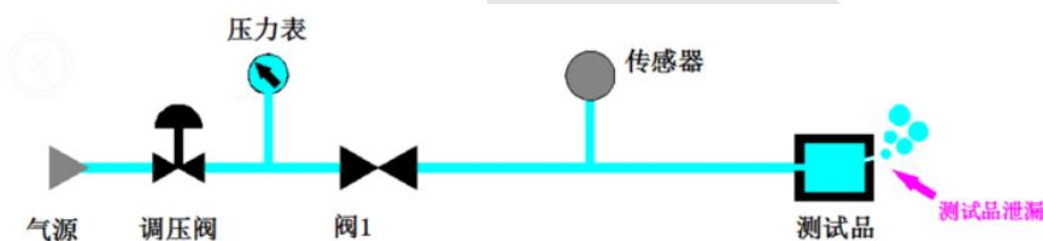


图 4.1 直压式气密性检测流程图

4.1.2 直压式气密性检漏仪工作过程

一般而言，需要做气密性检漏仪的产品可以分为两类，一类是有充气孔的产品，另一类是没有充气孔的产品。

(1) 对于有充气孔的产品，直压式气密性检漏仪的工作过程：

- ① 将气密性检漏仪的测试接口与产品的充气孔相连接，根据产品体积设定相应的充气压力值；
- ② 对产品进行充气加压。压力达到足够时，切断气源，保持产品内部压力稳定；
- ③ 进入稳定保压时间，通过传感器感应产品的内部压力值，当压力值出现持续下降时，即产品有泄漏现象，当压力值稳定时，产品无泄漏。

(2) 对于没有充气孔的产品，直压式气密性检漏仪的工作过程：

- ① 根据产品外形制作一套仿形模具，模具的密封腔可以把制品放下，间隙容积做到最小；
- ② 将产品置于气密性检漏仪工装治具的模具中，根据计算密封腔内产品外部微量空间体积设定充气压力值，在密封腔内进行充气加压，切断充气气源，稳定密封腔内的气压；
- ③ 气密性检漏仪中的压力传感器将在密封腔内感应压力值。如果压力值持续下降，即产品有泄漏现象，当压力值稳定时，产品无泄漏。图 4.2 为直压式气密性检测的工作流程。

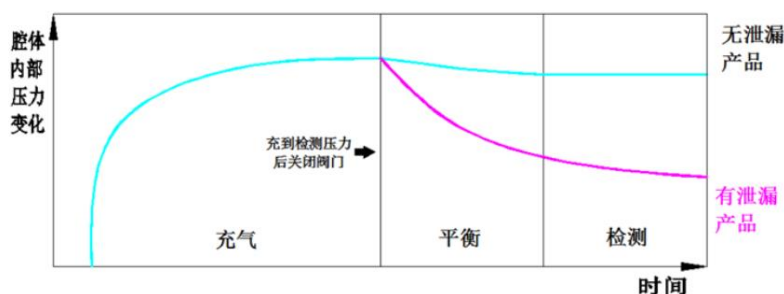


图 4.2 直压式气密性检测工作流程

4.1.3 直压式气密性检测基本参数设置

以我司常用直压式气密性检漏仪为例进行说明。

设备参数：

(1) 压力模式：正压测试选择正压，负压测试选择负压；

(2) 测试方式：容积测试；

(3) 时间参数：

① 容积充气（直压式检测仪内有储压罐，代表压缩空气冲入储压罐的充气时间），一般设置为4~8秒；

② 充气时间（储压罐气体冲入测试腔体内的时间，需足够长，使压缩空气完全冲入腔体内），一般设置5~10秒（根据腔体内间隙容积大小而定）；

③ 保压时间（腔体内冲入气体后的稳压时间），一般设置5~10秒（根据腔体内间隙容积大小而定）；

④ 检测时间（泄漏量的检查时间），一般设置5~7秒；

⑤ 排气时间（检测完成后的排气时间），设置0.5~1秒。

(4) 压力参数：

① 压力上限（检测时压力的上限，例如1米水深约为10KPa，检测压力上限应设置为11~12KPa）；

② 压力下限（检测时压力的下限，此压力值需考虑产品大漏，将大漏产品正常测试，记录对应的当前压力值，通常将此值+1~2KPa，即为压力下限值，根据不同产品的内容积而定）；

③ 泄漏上限（设备报警的上限值，该值需根据合格产品的平均泄漏值而定）；

④ 泄漏下限（设备报警的下限值，该值需根据合格产品的平均泄漏值而定）。

4.2 差压式气密性检测

4.2.1 差压式气密性检测基本原理

差压气密检漏仪的原理和天平基本一致。首先，将相同压力的气体同时充入到被测物和基准物内，使差压传感器隔膜两边的压力完全相等，然后观察其平衡状况。若被测物不漏，差压传感器的隔膜会处于平衡状态，差压输出为零。如果被测物存在泄漏，差压传感器的隔膜会处于失衡状态。这样，传感器就可以检测出因泄漏而产生的差压。如图4.3。

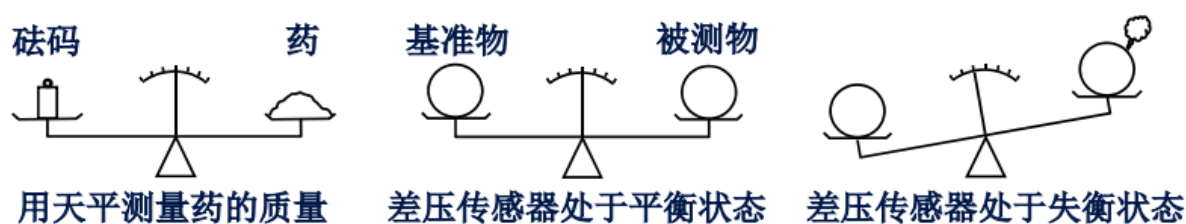


图4.3 差压气密性检测基本原理

4.2.2 差压式气密性检漏仪工作过程

在差压式检漏中把检漏的范围加以分割定义，分为小漏率检测和大漏率的检测。

第一步做小漏率检测：

将被检件与基准物分别放入检漏仪的两个容器内，加盖密封。

启动检漏仪，仪器将按照设置好的程序向两个容器内同时充气，达到测试压力后，等待一定时间，如果被检件有比较小的漏孔，被检件内腔中的气体将会向外部泄漏，导致放被检件的容器内压力逐渐减小。因为基准物是不漏的，所以放基准物的容器内压力不会产生变化，这样，两个容器的压力就不一样了，差压传感器就能将这个压力差测量出来。

第二步大漏率检测：

原理是在小漏率检测完毕以后，使放置被检件和基准件的容器与另外一对容器相通，这一对分压罐的容积是相同的。如果被检件有大漏，当阀门打开与容器连通以后，由于两容器内的气体质量不同，被检件一端的最终平衡压力与基准物一端的最终平衡压力就会存在一定的压差，差压传感器感应到此压力，检测被检件是否存在大漏。

第一、二两步都作完以后，检漏仪会根据所得到的两组数据综合判断，给出合格或不合格的结论。

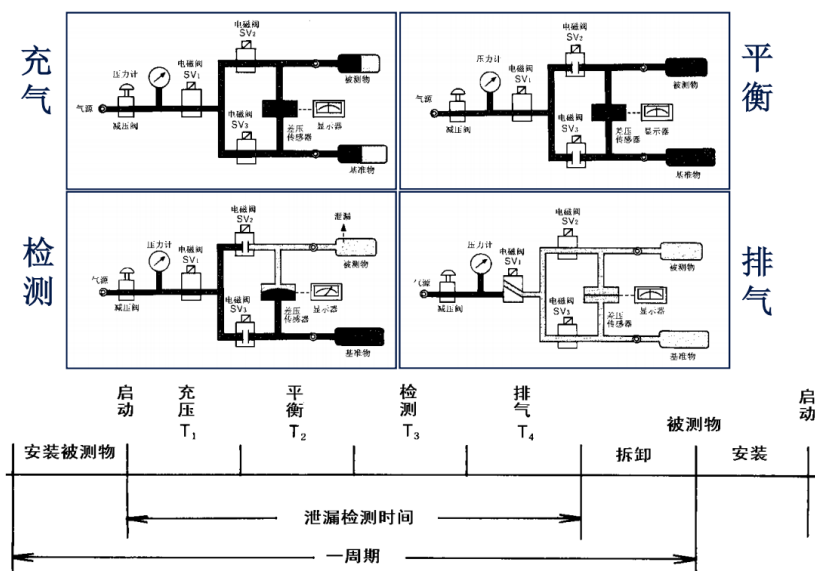


图4.4 差压式气密性检漏仪工作过程

4.2.3 差压式气密性检漏仪基本参数设置

以我司常用差压式气密性检漏仪为例进行说明。

设备参数：

(1) 环节时间：

- ① 延迟时间（检测气缸下压到位的系统延迟时间），一般设置0.5秒；
- ② 充气时间（压缩空气冲入测试腔体内的时间，需足够长，使压缩空气完全冲入腔体内），一般设置5~10秒（根据腔体内间隙容积大小而定）；
- ③ 平衡时间（密封腔体内冲入气体后的稳压时间），一般设置5~10秒（根据腔体内间隙容积大小而定）；
- ④ 小漏检测时间（泄漏量的检测时间），一般设置5~8秒；
- ⑤ 大漏检测时间（产品是否大漏的检测时间），一般设置1~2秒；
- ⑥ 排气时间（检测完成后的排气时间），设置0.5~1秒。

(2) 上下限标准：

- ① 测试压上限（检测时压力的上限，例如1米水深约为10KPa，检测压力上限应设置为10KPa+1~2KPa，即11~12KPa）；
- ② 测试压下限（检测时压力的下限，例如1米水深约为10KPa，检测压力下限应设置为10KPa-1~2KPa，即8~9KPa）；
- ③ +SNG：小漏上限（设备报警的上限值，该值需根据合格产品的平均泄漏值而定）；
- ④ -SNG：小漏下限（设备报警的下限值，该值需根据合格产品的平均泄漏值而定）；
- ⑤ +LNG：大漏上限（设备报警的上限值，该值需根据合格产品的平均泄漏值而定）；
- ⑥ -LNG：大漏下限（设备报警的下限值，该值需根据合格产品的平均泄漏值而定）；

⑦ 其余不考虑。

4.2.4 影响泄漏检测值的影响因素

原理分析： ΔP （泄漏压力值）= P_2 （基准物侧压力）- P_1 （被测物侧压力）

根据公式： $PV/T = C$ （常数），被测物侧的压力变化，取决于被测物是否有泄漏、被测物容积是否有变化、以及测试气体温度是否有变化。

总结对应的关键影响因素，见表4-2。

表4-2 泄漏检测值的影响因素

序号	影响因素	影响说明
1	温度	环境温度、工件温度、介质温度（压缩热）的改变，经反复试验测量，当产品温度升高时，泄漏值会增大
2	工件体积	工件形状的改变（树脂产品、橡胶产品、金属薄片、塑料薄片等产品的膨胀或缩小）
3	密闭系统的波动	密封胶圈的变化；密闭系统的变形；卡紧气缸的压力波动
4	水、油等外部因素影响	主要影响温度与测量环境的体积变化

要排除外部影响因素，需进行足够时间的基准检测，在基准数据中计算出温度变化和条件变化对压力的影响，即需要足够时间的充气时间与保压时间，如图4.5。

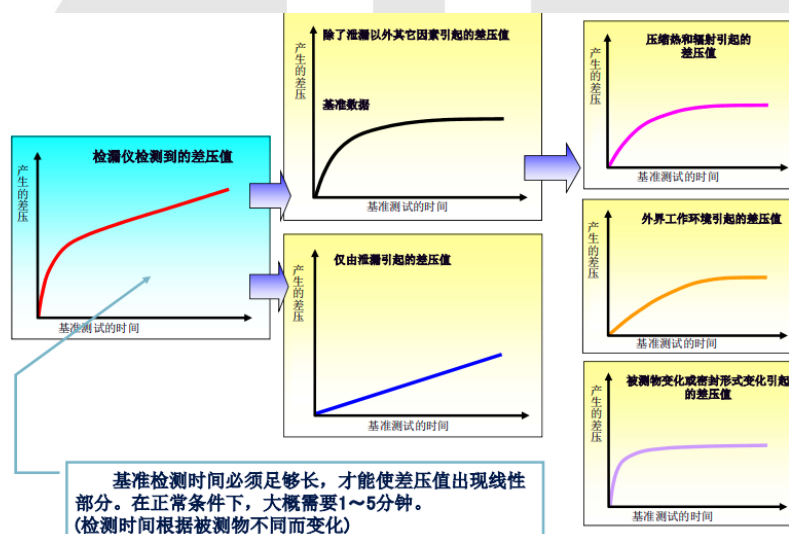


图4.5 基准检测

4.3 直、差压式气密性检测仪的比较

直压检漏仪选择满量程为200kPa的直压传感器进行测量，差压传感器满量程1000Pa。

详见表4-3

表4-3 直、差压比较

	直压检测仪	差压检测仪
检漏传感器量程	200KPa	1000Pa
传感器标称精度	0.05%	0.5%
乘积结果（误差）	100Pa	5Pa

直压式检测中，由于传感器既要检测充气压力，又要检测泄露压力，所以传感器需选择大量程。严格来说，在直压传感器的检测误差中，0~100Pa的波动都是正常的，这对于检测微小泄漏的结果是不利的，但通常在正常生产测试中，传感器的误差基本不会达到最大误差，可根据实际情况进行相关测试。

差压检测中，具备两个传感器，一个检测泄漏压力，一个检测充气压力。针对泄漏压力，选择小量程，满量程误差可在5Pa以内。

直压降压法受分辨率的限制，需长时间累积才能分辨出微小压力变化。由于差压的对称性设计，可最大程度地消除被测物变形、温度变化等因素对泄漏检测造成的影响。

备注：若产品体积较大而内容积极小时，此时的气密性检测通常是检不出来的。

4.4 直、差压式气密性检测的泄漏值解读

(1)根据漏量公式：

{【检测时间(1min)内的压降】*间隙容积(ml)}/101325（大气压）=漏量(ml/min)，（1pa.m³/s=600ml/min），由公式可见间隙容积越小，测得的泄漏值漏率越低，精度越高，因此在进行工装设计时，需将间隙容积做到最小化；

(2)以高防护表整机差压气密性检测为例：

间隙容积约为260ml，所以直、差压泄漏值中每秒泄漏1Pa的计算为：1*60*260/101325≈0.15ml/min=0.00025pa.m³/s，当气体每秒泄漏1Pa时，整机的泄漏值为0.15ml/min=2.5×10⁻⁴pa.m³/spa.m³/s；

备注：此公式计算出的泄漏量为整机的各个点的泄漏值相加总值，他是指整体漏率。可能这个产品有很多上万个小漏点，积聚而成的。这个现象可以解释极少部分产品气密性测试通过，但出现漏水现象，其原因为整机测试中，有一个单独的漏孔较大，其余漏孔极小，或无其他微小漏孔，导致叠加泄漏值结果也在报警值之下。

4.5 氮氢气密性检测

4.5.1 氮氢气密性检测基本原理

氮氢气密检漏仪以氮氢混合气（5%氢 + 95%氮，ISO体系里标准的安全气体）为示踪气体，通过检测泄漏气体中氢的浓度，确定漏率的大小。

氮氢气密检漏仪采用的是氧化锡（SnO₂-X）半导体式的氢传感器。其原理是，在400℃高温空气中，自由电子会穿过氧化锡粒子的粒界，与氧化锡表面附着的氧气（有较强的电子亲和力）结合，聚集在粒界形成电位屏障。此电位屏障阻止电子溢出，其结果是增大了电阻。当传感器暴露于还原性的氢气中时，氢气会与附着在氧化锡表面的氧发生氧化还原反应。其结果是降低了氧化锡表面的氧气量，从而降低了电位屏障，也就是说降低了电阻。这样，通过测量电阻的变化就可以检测出被测气体中氢的浓度，如图4.6。

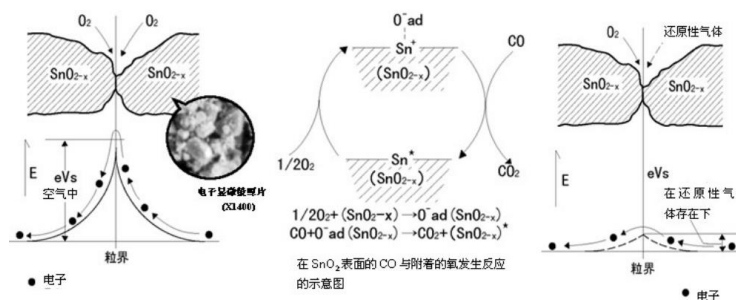


图4.6 氮氢气密性检测原理

4.5.2 氮氢气密性检漏仪工作过程

- (1) 气缸封堵（封堵待测物品，形成密封腔体）；
- (2) 真空检测（使用压缩空气进行真空大漏检测）；
- (3) 腔体置换（充入氮氢气，腔体气压达到设定气压）；
- (4) 氮氢检测（进行漏点氮氢检测）；
- (5) 清扫置换（检测结束，将氮氢气排出室外）；
- (6) 封堵打开（打开封堵气缸，产品排出）。

备注：

- (1) 各环节具体时间根据产品而定，通常氮氢检测时间单点不低于10秒。
- (2) 氮氢气密性检测设备通常比较昂贵，且需要的材料为氮氢混合气体，成本较高，当出现产品渗漏（长时间泡水的情况漏水量为几滴）或检测等级高于-4量级时，可考虑选择氮氢气密性检测。

4.6 单点漏率的计算

计算公式：

- (1) 零泄漏（截止漏率）： $\pi d^2/4 (P_1 - P_2) = \pi d \sigma$ ；
- (2) 零泄漏时的漏孔直径： $d = 4 \sigma / (P_1 - P_2)$ ；
- (3) 临界漏率： $Q = \pi d^4/256 \eta L (P_1^2 - P_2^2)$ 。

各含义：

- (1) 20℃时，空气的粘滞系数 $\eta = 1.82 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{s}$ ；
- (2) 20℃时，水的表面张力 $\sigma = 0.0728 \text{N/m}$ ；
- (3) P_1 ：漏孔入口压力=测试压力（Pa）+101325Pa；
- (4) P_2 ：漏孔出口压力=101325Pa；
- (5) L ：漏孔的有效长度=密封处的横截面直径（mm）。

以高防护表举例说明：

防水要求IP68，3米3天；需探寻产品的临界漏率，临界漏率为产品漏水的临界点。

根据液体的临界漏率的标准，水膜A端为水压（3米水深即为30kPa），B端为（0kPa），如果想让AB保持平衡，那么水膜张力就应该与水压相互抵消，或者说相等。遵循如上公式。

零泄漏（截止漏率）时的平衡条件： $\pi d^2/4 (P_1 - P_2) = \pi d \sigma$

20℃时，空气的粘滞系数 $\eta = 1.82 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

20℃时，水的表面张力 $\sigma = 0.0728 \text{ N/m}$ 。

P1：漏孔入口压力=30000Pa+101325Pa。

P2：漏孔出口压力=101325Pa。

L：漏孔的有效长度=密封圈横截面直径1.5mm。

零泄漏时的漏孔直径： $d = 4\sigma / (P_1 - P_2) \approx 9.7 \times 10^{-6} \text{ m} = 9.7 \mu\text{m}$

临界漏率： $Q = \pi d^4 / (256 \eta L (P_1^2 - P_2^2)) \approx 2.8 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ，按单点的临界漏率标准计算方法，高防护表的单点漏率应为 $2.8 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ，在-5量级。

各泄漏量级适应的检测方式，见表4-4。

表4-4 各检测方式对应泄漏量级

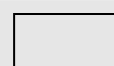
检测类型	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	以上
漏率 ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)								
直压气密检漏仪								
差压气密检漏仪								
氮氢检漏仪								
氦质谱检漏仪								



可测量



条件测量



不建议测量

5 气密性检测工艺参数验证过程

5.1 直、差压气密性检测验证

5.1.1 验证过程

(1)样品准备：

- ① 正常组装的待测样品200PCS；
- ② 标准件（可选择与产品一模一样的3D打印的实心件）1PC；
- ③ 人为模拟的大漏产品（如未装密封圈等）2PCS。

(2)产品测试：

- ① 调节测试压力（如3米水深调节为30~32KPa）；
- ② 测试标准件，整个测试过程需调节充气时间与平衡保压时间，减少测量误差，设定满足泄漏值在0~5Pa的过程时间参数（充气、保压、检测等），检测时间取5~10秒；
- ③ 设定完过程时间参数后，测试大漏产品，直压式记录当前测试压力值，差压式记录大漏值；
- ④ 根据泄漏结果设定大漏门限值（如直压式当前测试压力由30KPa变为27KPa，则大漏门限值设定为 $29 \pm 0.5 \text{ KPa}$ ；差压式标准件大漏值测量为300Pa，大漏件测量为1000Pa，则大漏门限值设定为600Pa左右）；
- ⑤ 测量正常产品，记录泄漏值，一一对应（差压需包含小漏、大漏值）。

(3)产品泡水、数据分析：

将测量完成的正常产品进行泡水验证，将记录的泄漏值与泡水结果对应分析，查看数据的集中性，制定小漏门限值。（如：测量结果分布在1~100Pa，小于30Pa的产品未进水，大于30Pa的产品存在部门进水，可初步设定泄漏门限值为30Pa）

5.1.2 点检方式

- (1) 每天开班前使用标准块进行正常测试3次，泄漏值在0~8Pa以内，即可正常开班测试；
- (2) 密封圈定期更换，一般设定周期为8000~10000PCS进行更换；
- (3) 每月使用标准漏孔进行标准块测试，验证设备的检测能力（标准漏孔连接至气路即可）；
- (4) 每年邀请厂家（或外部机构）对设备、标准漏孔进行定期校准、检验，并出具合格证明。

5.2 氮氢气密性检测验证

5.2.1 验证过程

- (1) 漏率计算：计算出泄漏漏率，并根据该漏率设定泄漏门限值（例如高防护表底壳的单点泄露为 $2.8 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ，可初步设定泄漏值为 $3 \sim 5 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ）

- (2) 样品准备：

- ① 正常组装的待测样品100PCS；
- ② 带标准漏孔样件（与测试等级需求一致的漏率）1PC；

- (3) 设备点检：

使用带标准漏孔的样件进行各工位测试，若测试结果与标准漏孔在同一量级，代表设备OK，可测试。

- (4) 产品测试：

测量100PCS正常产品，记录泄漏值，泡水对比，分析泄漏数据即可。（氮氢气密性检测的泄漏值单位为 $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ）

5.2.2 点检方式

- (1) 每天开班前使用标准漏孔进行正常测试，测试结果与标准漏孔在同一量级，代表设备OK，即可正常测试；
- (2) 密封圈定期更换，一般设定周期为8000~10000PCS进行更换；
- (3) 每年邀请厂家（或外部机构）对设备进行定期校准、检验，并出具合格证明。

版本记录

版本编号/修改状态	拟制人/修改人	审核人	批准人	备注
V1.0	于跃展	孔德旭	周利民	

