

DOI: 10.11973/wsdc202001017

核电厂常规岛氦气泄漏检测的反应时间

赵 敏,毛立政

(国核电站运行服务技术有限公司,上海 200233)

摘要: 主要介绍了核电厂常规岛真空系统及部件的氦质谱检漏检测工艺,通过各个核电厂真空系统的检测情况,分析了检漏检测工艺响应时间的影响因素以及响应时间的差异,为同类核电厂真空系统及部件的氦气泄漏检测提供参考。

关键词: 氦气泄漏检测; 真空系统; 响应时间; 灵敏度

中图分类号: TG115.28

文献标志码: B

文章编号: 1000-6656(2020)01-0075-03

Reaction time of helium leakage inspection in conventional island of nuclear power plant

ZHAO Min, MAO Lizheng

(State Nuclear Power Plant Service Company, Shanghai 200233, China)

Abstract: This paper mainly introduces the leak detection technology of helium mass spectrometry for the vacuum system and components of nuclear power plant. Through the detection of the vacuum system of each nuclear power plant, the influencing factors of response time and the differences of response time are analyzed. It provides reference for helium leak detection of similar vacuum systems and components in nuclear power plants.

Key words: helium leak detection; vacuum equipment; response time; sensitivity

核电厂真空系统一般由凝汽器、凝结水泵、汽轮机、低压加热器等设备及相关管道共同组成,而真空系统的真空度是影响机组经济性、稳定性的一个重要指标。在机组运行期间,真空系统需要保持良好的真空度,真空度太高或太低都会影响机组的正常运行。氦气泄漏检测能在不影响机组运行状态的情况下,查找泄漏部位及测定漏点的漏率,具有检测速度快、定位准确、稳定性好、灵敏度高、可动态监测等特点;其不仅能找出系统泄漏的位置,还能测定漏率,特别是停堆前的检测,可以充分利用机组大修时期对设备检测中发现的漏点进行检修。笔者结合实际检测工作及实例,论述了影响系统反应时间及灵敏度的因素。

1 泄漏检测工艺

1.1 检测原理

真空系统在运行过程中,由于蒸汽凝结和真空泵的作用,真空系统内部处于真空状态。将示漏介质(氦气)施加在真空系统被检部件外部,示漏介质就会通过漏点进入真空系统,并被真空泵抽出,通过排气管线排到大气中。在二回路放射性监测位置(二回路放射性监测设备安装在排气管线上)处放置与检漏仪连接的吸枪,吸枪采集系统排出的气体,分析气体成分和含量,并与本底读数相比较,从而判断真空部件漏点的泄漏位置及泄漏量,泄漏检测原理示意如图 1 所示。

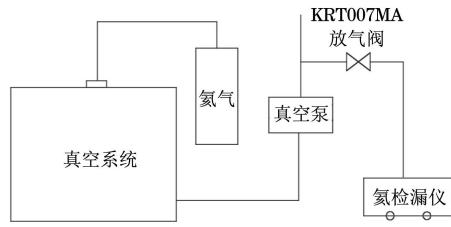


图 1 泄漏检测原理示意

收稿日期: 2019-04-28

基金项目: 大型先进压水堆及高温气冷堆国家科技重大专项资助项目(2015ZX06002005)

作者简介: 赵 敏(1975—),男,本科,主要从事核电站在役无损检测工作

通信作者: 赵 敏, zhaom@snpse.com

1.2 建立真空系统

二回路各真空部件正常连接,在关闭各边界隔离阀后建立封闭系统,并由真空系统真空泵抽气至稳定的真空状态(机组正常运行期间,不需要另外建立真空),如:真空系统中各个阀门不存在阀门内漏,阀门两侧法兰连接密封良好,相关管线不存在贯穿性缺陷,或真空机组性能良好。在实际机组满功率运行的状态下,其真空度能维持在4 kPa左右,满足检测要求。

1.3 构建检测系统

连接检测仪器,一般以凝汽器真空泵的排气管线作为检漏仪吸枪的取样口。检测过程中应采取有效措施,防止排气口的凝结水、杂质等异物堵塞吸入器。检测仪器连接完成后,使用标准漏孔校准仪器的灵敏度,在系统离取样口最远端安装对比漏孔来测定系统的反应时间,以保证仪器及系统检测的有效性。

1.4 灵敏度

采用标准漏孔标定检漏仪和检测系统的灵敏度。检漏仪的最小检漏率应大于 $1.0 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 检测系统的灵敏度应不低于验收标准,一般应大于 $1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

1.5 反应时间测定

在检测系统中标定反应时间,从真空系统最远端(相对于检漏器取样口)用已知漏率的漏孔充入少量氦气开始,至检漏仪输出最大漏气信号值的63%时结束所经历的时间即为反应时间。阀门打开程度适中,以人手能感觉到稍有吸气时为佳。若取样口阀门打开太小,则仪器读数无响应或响应幅度太小,而不能观察到读数的变化;若阀门打开太大,则易影响系统的真空度,且容易使得进入系统的氦气过多,造成之后氦气清除时间过长,影响检测效率。

1.6 检测过程

根据氦气比空气轻的特点,对于整个常规岛厂房,应从高楼层向低楼层区域逐层检测。对仪器设备进行检测时,应从设备上部开始检测,以防止下层或下部氦气飘到上部泄漏处而干扰漏点位置的判断。喷嘴离被检测部位的距离小于6 mm,喷枪扫描速度不应小于吸枪的吸入速率。对于漏点附近设备密集的情况,为了能准确分辨出漏点的所在位置,可用塑料布包裹检测部位或设备,然后再对各部件逐一验证。为了提高检测速率,可进行分区域检测。当出现泄漏情况时,对泄漏区域再分区逐个排查,直

到找到具体的漏点位置。另外,磁场会对检漏仪的电磁场产生影响,进而引起仪器数值的偏移,所以检测过程中检漏仪应尽可能远离磁场以及能产生磁场的仪器和设备。例如,对讲机应离开检漏仪1 m以上,否则会产生干扰信号而影响漏点的判定。

1.7 记录

检测过程中应持续观察检测数值的变化,分析检测曲线的走向,排除不相关的干扰信号。对发现的变化超过半个数量级(与本底比较)的仪器读数和检测位置应予以记录,必要时在系统降至本底读数后对其进行再验证。

1.8 泄漏判断

真空部件的缺陷主要有焊接贯穿性缺陷、异物外力碰撞贯穿性损伤、机械结构间隙、原材料贯穿性缺陷等。贯穿性漏点的漏率一般大于 $1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,而氦检漏仪喷氦法的本底读数在 $1.0 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,一般高于本底一个数量级的显示都应怀疑为泄漏显示。

2 反应时间及灵敏度的影响因素

2.1 容积对反应时间的影响

机组功率不同、相关设备容积不同、管路排布不同等会造成反应时间的差异。如果机组真空系统容积大,相关管线长度较长,气体在系统中循环一个周期的时间就会增加。如果系统存在漏点,氦气进入系统到达仪器取样口的时间会增加,造成反应时间的增加。一般机组功率越大,真空系统的容积就越大,响应时间就越长。通过对同一堆型(310机组)现场实际检测的比较,100 MW 机组检测的反应时间比60 MW 机组检测的反应时间多2 min左右,60 MW 机组检测的反应时间一般为3 min左右,100 MW 机组检测的反应时间为5 min左右(不同机组系统管线布置不同造成管线长度不一样)。不同功率的机组对反应时间及清除时间的影响如图2所示。

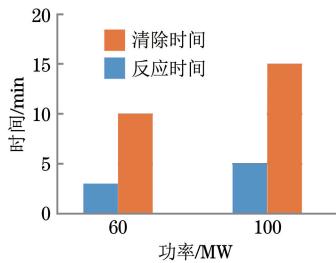


图2 不同功率的机组对反应时间及清除时间的影响

2.2 抽速对反应时间的影响

为了保证系统具有良好的真空度，机组在达到稳定状态后，一般维持一台真空泵的运行，系统抽速基本维持不变。但不同堆型的真空泵额定功率不同、抽速不同会造成响应时间的差异。抽速越大，响应时间越短。

2.3 气体流通路径对反应时间的影响

在机组运行后，根据系统的实际运行情况，可能会对同一堆型某些系统部件进行技术改造。如核电机组的二回路放射性监测系统中，为了避免湿度太大影响系统的正常运行，在管路中加装了汽水分离器，用于汽水分离和冷凝水的收集。在增加了汽水分离器后，该机组的反应时间比原先增加了3倍。这是因为加装汽水分离器后，延长了氦气的行进路径。由于汽水分离器有一定的体积，所以反应时间会延长，氦气浓度会降低，系统检测灵敏度也会下降，同时系统氦气的清除时间也会增加。要使仪器降回本底数据，可将汽水分离器内部的氦气重新置换为空气，但这样做又会严重影响检测速度。针对此问题，在检测中通常关闭2#及3#阀门，打开1#阀门，减少氦气在汽水分离器中经过的时间，缩短系统的反应时间和氦气的清除时间，以达到提高系统检测灵敏度及缩短检测时间的目的。氦气泄漏检测流程图如图3所示。

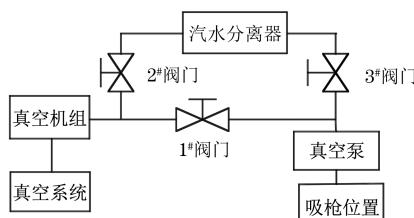


图3 氦气泄漏检测流程图

2.4 吸枪与管道相对摆放位置对灵敏度的影响

在实际检测过程中发现，灵敏度与吸入口的相对位置也有关。吸枪与管道相对摆放位置示意如图4所示，其中，①、②、③分别为吸入器吸入口布置的相对位置。由图4可知：当吸入口位于①所示位置时，由于气体流动方向与吸枪吸气方向相同，所以反应时间最短；当吸入口位于②所示位置时，反应时间较长；当吸入口位于③所示位置时，由于气体流动方向与吸枪吸气方向相反，所以反应时间最长。由此可见，反应时间不仅与检漏仪吸入器的抽速有关，还与吸入方向的气流应力有关。在实际工作中，由于氦气比较轻，在条件满足的情况下通常将吸枪摆放在水平管道的上方，这样在增加氦气的吸入量的同时还可以减少管道中水分对检测的影响，提高了

检测灵敏度。

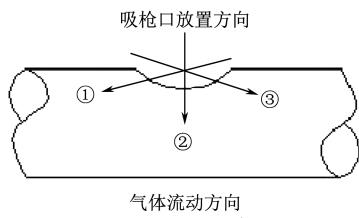


图4 吸枪与管道的相对摆放位置示意

3 应用案例

2016年国内某电厂3号机组凝汽器真空系统在运行期间氧含量超标，电厂要求对真空系统相关设备进行氦质谱泄漏检测。由于需要检测的部件比较多，检测中实施分区域检测。当发现系统有漏点时，对发现漏点之前的近时间段区域进行单个部件验证时，发现检测区域在前10 min不存在漏点，再对前面的检测区域进行重新检测时发现系统漏点位置。经过分析和与运行人员沟通后，认为反应时间的增加是由于系统安装了汽水分离器。经过试验对比发现，系统反应时间及氦气清除时间比系统改造前的时间增加了（见表1）。经与运行人员讨论后，发现为防止运行期间系统产生报警信号，对系统加装了汽水分离器。为了验证系统反应时间及清除时间的增加与否是和加装了汽水分离器有关，将汽水分离器进行隔离，隔离后系统反应时间及清除时间均回归正常。

表1 系统改造前后的反应时间及氦气清除时间

阶段	反应时间 /	清除时间 /	漏率 /
	min	min	(Pa·m ³ ·s ⁻¹)
改造前	3	30	5.0×10 ⁻³
改造后	15	120	8.0×10 ⁻²

4 结语

(1) 因为检测所需的真空度就是系统运行的真空度，不需要再构建其他真空条件，故可以在机组正常运行的同时进行检测工作，提高核电厂的经济效益。

(2) 该检测方法安全可靠、操作简单、检测重复性好、能满足负压检测的灵敏度要求。

(3) 该检测方法不能对漏点进行准确定量，只能对检测部件进行定性检测。随着检测技术的不断提高，可以通过试验，在机组不同真空度处和检测位置处安装已知漏率的漏孔，通过计算比较检测部件的漏率，实现对检测部件漏点的准确定量。