

文章编号: 0258-0926(2015)S1-0163-03; doi: 10.13832/j.jnpe.2015.S1.0163

# 抽真空装置在核电厂一回路中的应用

宋政池

中核核电运行管理有限公司一厂调试队, 浙江海盐, 314300

**摘要:** 核电厂一回路抽真空装置通过水环真空泵, 在一回路中产生预设的真空度, 并结合重力充水的方式, 将蒸汽发生器 U 型管内的空气赶出, 达到一回路充水排气的目的。本套装置的应用较大幅度地提高了一回路充水排气的效率, 节约了时间, 并能够有效地优化调试进程和大修进程。

**关键词:** 抽真空; 台架; 假顶盖; 压力容器; 充水

**中图分类号:** TL353 **文献标志码:** A

## Application of Vacuum Devices in NPP Primary Loop

Song Zhengchi

CNNO Plant Debugging Team, Haiyan, Zhejiang, 314300, China

**Abstract:** Vacuum Devices by liquid ring vacuum pump, resulting in a more appropriate degree of vacuum in a loop, and combined gravitational water-filled way, the air steam generator U-tube out of the reach of a water-filled exhaust loop purpose. By applying this set of devices dramatically increased the primary circuit water-filled exhaust efficiency, save time, and be able to effectively optimize the debugging process and overhaul processes.

**Key words:** Vacuum, Bench, False roof, Pressure Vessels, Water-filled

### 0 引言

一回路在充水时, 单纯利用重力充水的方法难于排除蒸汽发生器 U 型管内的空气, 需要进行多次动态和静态排气。100 MW 级核电机组有 3 个环路, 每次动态赶气需要依次短暂启动 3 台主泵完成; 这个过程非常长, 而且主泵启动后主系统压力迅速降低, 对于主泵运行很不利。一回路抽真空排气装置, 可以代替动态赶气步骤, 使用该装置后, 进行静态排气即可满足排气要求, 不但可以减少主泵启动次数, 更重要的是可以节省调试或大修关键路径时间。

### 1 系统描述

#### 1.1 抽真空台架

抽真空排气台架由 2 台并联的水环真空泵和

气水分离器, 以及 1 个风机、1 台排气过滤器、阀门、管道、压力表、流量计等组成。抽真空排气台架与反应堆顶盖、稳压器顶部接口通过带法兰的金属波纹管连接; 与核岛除盐水分系统 (SED) 安全壳换气通风系统 (EBA) 的接口采用承压塑胶软管连接; 排水管采用普通钢丝塑胶软管。1 台真空安全阀设置在水环真空泵的入口, 当真空降到真空安全阀整定值时, 安全阀自动起跳; 1 台进水安全阀设置在水环真空泵工作液接收管的入口, 防止工作液超压; 1 台减压阀用于维持工作液压力; 2 台调节阀分别用于调节每台水环真空泵工作液来水的流量; 2 台止回阀设置在水环真空泵的气体入口管路上。在水环真空泵的空气管路入口设置有 1 台压力变送器, 抽真空过程中的压力值可以就地显示。工作液管路入口

收稿日期: 2015-01-16; 修回日期: 2015-06-25

作者简介: 宋政池 (1984—), 男, 助理工程师, 从事核岛系统调试工作

设置压力表和流量计,以监测工作液的供给情况。在排气管路上设置了气体流量计,以监测抽真空的实际抽气速率。在空气过滤器上装有压力表,用于监测过滤器上的压力。正常运行时,启动1台水环真空泵就能满足一回路抽真空要求,当1台水环真空泵故障失效时,可切换到另一台真空泵运行;必要时可以同时运行2台水环真空泵。

### 1.2 反应堆抽真空假顶盖

反应堆抽真空假顶盖由盖体、密封组件、导向组件、支撑组件和吊装组件构成。带密封的反应堆假顶盖设计能够满足在低水位或者一回路排水而反应堆水池不排水等工况下进行抽真空作业。在最严格的工况下,即一回路排水而反应堆水池不排水的工况下,假顶盖通过起吊装置,沿着导向柱缓慢吊入水中,最终假顶盖能够凭借自身重量使其密封组件与压力容器法兰面紧密配合,达到密封效果。

## 2 应用情况

### 2.1 采用压力容器顶盖作为抽真空边界

由于水压试验期间和热态试验期间均使用压力容器顶盖作为抽真空的边界,因此,抽真空所涉及的设备和应用方法基本相同。

**2.1.1 抽真空前系统准备** 水压试验阶段利用重力充水至半管状态后,便具备了抽真空所需条件。整个调试阶段一回路没有放射性污染、也不涉及装换料作业,可使用反应堆顶盖作为抽真空边界。将反应堆容器放气阀 RCP640VP 和反应堆冷却剂排气隔离阀 RPE189VP 分别利用专用的金属软管与抽真空台架相连。将核岛除盐水分系统的除盐水接入抽真空台架,并将排风接入安全壳换气通风系统。抽真空台架的电源可以利用防爆插头接入20 m平台就近的380 V动力检修箱。

**2.1.2 系统运行** 在完成设备管道连接、系统检漏和系统在线以后开始投运真空泵。首先推入电器柜内的空气开关,确认电器柜上泵和风机的指示灯正常、台架上9RPE950MP显示正常。其次调整工作液减压阀压力在0.2 MPa,将流量控制在0~0.2 m<sup>3</sup>/h之间,并分别对2台液环真空泵进行充水3 L左右。充水完成并确认各个状态正常后,便可以任意启动一台液环真空泵。

液环真空泵运行以后,需要根据工况的变化随时改变工作液的流量。推荐工作液流量见表1。

表1 真空泵的名义工作液流量(15 的水作工作液)  
Table 1 Nominal Flow of Vacuum Pump Work Fluid

型号	冷却液 排放类型	不同压力下冷却液流量/m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>		
		0.033~0.2 MPa	0.2~0.5 MPa	>0.5 MPa
2BV6161	冷却液直排	2.40	0.70	0.50
	循环使用	1.20	0.60	0.25
2BV6131	冷却液直排	1.80	0.45	0.40
	液循环使用	0.90	0.40	0.18
2BV6121	冷却液直排	1.20	0.40	0.35
	循环使用	0.60	0.30	0.12
2BV6111	冷却液直排	1.00	0.40	0.35
	循环使用	0.50	0.30	0.12

注:方家山核电抽真空装置液环真空泵型号为2BV6121,真空泵出口配有气水分离器即可实现循环使用

透明橡胶管液位计内的水流要保持通畅,防止水位过高,导致液环真空泵的气液分离器进水,增大真空泵的排气阻力致使效率下降,甚至造成泵的损坏。如果工作液排除不畅时,注意开启水封旁路排水阀9RPE974VP增加排水。

主系统压力(绝对压力)在80 kPa时,停运液环真空泵,同时关闭泵相对应的抽气入口隔离阀9RPE961VP或9RPE962VP。等待10 min,观察一回路泄漏率。如果一回路压力上升大于1 kPa/h,说明一回路的泄漏率不可接受,需要检查抽真空排气装置以及一回路的各个边界是否完整,反之可继续启动液环真空泵。在实际运行过程中发现,主系统的绝对压力目标值需设定在17 kPa,由于金属波纹管阻力的关系,抽真空台架绝对压力需要低于17 kPa才能使主系统内的绝对压力达到设定的目标值。通过实验发现,绝对压力低于20 kPa的情况下,真空台架与主系统的压差在2.0 kPa上下。因此,抽真空台架的目标值应该在15 kPa(绝对压力)上下。另外,停泵以后主系统与抽真空台架的压差需要较长时间平衡,平衡速率小于1 kPa/h。具体见表2。

**2.1.3 优化与改进** 在实际操作中发现,抽真空台架的各主要部件之间采用法兰连接,在设备运输、吊装和管道连接时都有可能造成其连接处出

表2 主系统压力范围与抽真空台架压差对照表  
(试验值)

Table 2 Differential Pressure between the RCP and Vacuum Pump (Test Result)

主系统压力范围/kPa(绝对压力)	80	80~50	50~20	20
抽真空台架压力与主系统压差/kPa	约15	10±3	5±2	3±1

现缺陷而发生泄漏。所以，投运设备前应检查设备的气密情况。由于启动真空泵以后在整个台架的抽气回路中产生负压，而各个法兰链接处一旦发生泄漏在负压状态下检测泄漏比较困难。因此，可以在9RPE966VP前端充入0.1 MPa的干燥压缩空气，然后在各个法兰真空承压边界的法兰处喷检漏液，以便发现系统的泄漏。

原设计方案中，抽真空充水是在主系统绝对压力达到17 kPa的情况下停运真空泵，利用大气压和PTR001BA中的液位高度重力进行充水。在此过程中要反复多次启动真空泵。通过多次实际运行发现，利用抽真空台架上的真空破坏阀9RPE958VP调节抽真空台架的绝对压力，使其稳定在15~16 kPa之间，进而使主系统压力始终维持在17~18 kPa之间，便可以连续进水。当RCP098MN的液位达到13 m时便可以关闭RCP640VP，完成压力容器充水。一般情况下，主系统绝对压力保持在17~18 kPa，利用重力充水稳压器的最高水位应该在21 m左右，达到此液位后便不再变化。至此可以关闭RCP154VP和RPE189VP，完成整个主系统的充水。采用连续抽真空充水的方法不但减少了起泵次数，增加了液环真空泵的寿命，而且可以节约时间约1 h。

## 2.2 采用假顶盖抽真空情况下的应用

试验利用假顶盖抽真空的情况与使用真顶盖的情况基本相同。不同点是由于假顶盖要避免接触一回路水，则需要在一回路充水至10.5 m时开始破坏压力容器内的真空。停止运行液环真空泵，关闭9RPE964VP，调整9RPE958VP开度，并缓慢对一回路进行充水。在压差作用下蒸汽发生器的U型管慢慢充水。为了使压力容器与稳压器水位平衡，同时需要破坏稳压器真空。在整个破坏真空过程中要始终密切监视一回路的水位，压力容器水位通过RCP090MN监视，稳压器水位通过RCP098MN监视，一回路主管道水位通过RCP300MN监视。

在充水过程中，缓慢破坏稳压器真空，直到稳压器通大气，再缓慢打开假顶盖放气阀，注意维持水位稳定，在破坏真空时必须注意保持压力容器水位稳定在10.5 m上下；水位过高将会浸湿假顶盖，水位过低将导致蒸汽发生器U形管重新进气。其次，在破坏稳压器真空的时候，要关注稳压器的水位，由于稳压器波动管体积较小，如果稳压器气空间的压力突然增大很容易把波动管内的水压至一回路，导致空气进入到蒸汽发生器。整个破坏真空过程需要补水的量大约为52 m<sup>3</sup>。在完全破坏真空后，可缓慢移走假顶盖，换料水池充水进行装料操作。

## 3 实施效果

该套设备主要有以下优点：

(1) 将原先耗时近40 h的赶气过程缩短至4~5 h，可节约调试时间。

(2) 在抽真空充水条件下启动主泵，主系统压力基本无变化，大幅度改善主泵运行条件，降低了操纵员的压力。

(3) 在抽真空期间可提前发现主系统的泄漏，在主系统未充满水的情况下进行检查处理，如果压力边界阀门出现问题，可及时处理。目前已经进行过的5次抽真空的事实证明，在抽真空启动期间能够有效地发现问题。

## 4 结束语

核电厂一回路抽真空装置的应用，实现了方家山核电工程抽真空排气，并保证充水后一回路的含气率在限值内。放弃常规启停主泵和开关阀门的排除蒸汽发生器倒U型管内空气的方法，较大幅度地提高了一回路充水排气的效率，减少了主泵启动次数，改善了主泵启动后的运行条件。

(责任编辑：张祚豪)