

发电机组通风系统的设计特点与优劣

巢海平

台山核电合营有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i2.7605

[摘要] 通风系统用于保证机组相关厂房内系统和设备的可用性,其可用性间接影响到安全系统的稳定运行,核电站厂房通风系统设计较传统电站有较大区别,伴随着机组体量的增加,通风设计更为繁琐,具体有设备数量多、原理复杂、运行方式多样等特点,尤其是技术规范要求更为复杂严格,需要深入研究透彻。本文就核电机组主要通风系统(核辅助厂房通风系统、安全厂房电气间通风系统、安全厂房控制区通风系统等)的系统设备、组成和运行方式进行介绍。

[关键词] 送排风回路; 过滤器; 变频器; 温度

中图分类号: TN773 **文献标识码:** A

Design characteristics and advantages and disadvantages of the ventilation system of the generator set

Haiping Chao

Taishan Nuclear Power Joint Venture Co., LTD

[Abstract] ventilation system is used to ensure the availability of related plant system and equipment, the availability indirectly affects the stable operation of the safety system, nuclear power plant ventilation system design has a big difference between traditional power station, with the increase of unit volume, ventilation design is more cumbersome, specific equipment quantity, complex principle, operation mode, especially strict technical specification is more complex, need thorough study. This paper introduces the system equipment, composition and operation mode of the main ventilation system of nuclear power units (ventilation system of nuclear auxiliary workshop, ventilation system of electrical room of safe workshop, ventilation system of safe workshop control area, etc.

[Key words] air exhaust circuit; filter; frequency converter; temperature

引言

通风系统作为辅助系统虽不直接参与安全功能,但却间接影响相关系统的安全稳定运行,在日常生产工作中具有非常重要的作用,确保其稳定可靠的运行将有利于设备的长期可靠性和寿命。

1 通风系统特有设备

1.1 碘过滤器

通风系统中的碘过滤器主要利用活性炭的吸附特性来去除厂房中的碘。活性炭中各种微孔的空间分布对吸附能力影响很大。其中,大孔主要起通道作用,其分布和数量对吸附速度影响较大。细孔的数量影响活性炭的吸附容量。

比表面积是活性炭吸附能力的另一个重要指标,因为吸附主要是发生在活性炭的表面。单位质量的活性炭细孔越多,孔径越小,比表面积就越大。

碘过滤器中的活性炭采用椰壳活性炭,因为其对元素碘、分

子碘和有机碘的去除率都非常高。这些椰壳活性炭是浸渍KI(碘化钾)的活性炭,除了有活性炭的吸附作用还有同位素交换去除碘的功能,可以大大提高对碘的去除效果。

1.2 变频器

通风系统部分电机、加热器需要根据需求调整输出。为满足这个需求,系统设置了变频器,变频器绝大多数是交—直—交型变频器,通常尤以电压器变频器为通用,其由整流回路(交—直交换),直流滤波电路(能耗电路)及逆变电路(直—交变换)组成,除此以外还包括限流电路、制动电路、控制电路等组成部分。需要注意的是,变频器在调节输出的同时,也会影响系统风量,需关注风量满足系统运行的要求。

2 核辅助厂房通风系统(DWN)

在正常天气条件下,DWN系统用于在DBC1、DBC2工况下(除了LOOP<2h)维持房间温湿度达到设计要求;事故工况下,DWN系统无要求,相关房间的环境不受控制。

DWN系统包括送风回路、排风回路、碘过滤回路、循环冷却回路和部分加热器组成。为了确保风机出口压力的稳定性, 供风回路、排风回路和碘过滤回路的风机可以通过变频器调节转速调节风机出入口的压力^[1]。

2.1 送风回路

DWN送风回路设置3列并联, 每列从取风通道抽取空气, 然后经预过滤器和高效过滤器过滤后, 经两个SES加热单元和一个冷却单元后送到供风竖井。4台并列的供风风机从供风竖井取风后送到供风的公共通道, 每台风机吸入口设置一个逆止风门, 每台风机出口设置两个隔离风门, 最终风送往HNX、DWK、HQA厂房和EBA系统。

送风回路共包括3个送风管线经两级加热和一级冷却后, 由4台并列布置的送风机送到各个用户, 其控制包括: 第一级加热控制 (SES预热)、DER冷却控制、第二级加热控制、送风风机及出口风门控制、HNX送风控制和HQA送风控制。

送风回路的冷冻水来自DER, DWN系统通过温度传感器测量经冷冻水降温和第二级加热后的送风温度, 然后根据实测温度和设定值的偏差来控制冷冻水流量和第二级加热水 (SES) 的流量, 最终控制其送风的温度。

送风风机为4×50%的设置, 如果某台风机停运并触发备用启动信号, 导致在运行的风机少于2台, 系统立即自动启动备用风机。如果备用风机此前已经在运行, 21s后自动启动第二台备用风机; 如果备用风机此前已经在运行, 42s后系统自动启动第三台备用风机, 以此类推, 确保送风机保持至少2台运行。相对外界大气, 送风风机的正常维持在400Pa的正压。

2.2 排风回路

排风回路一共有8个支路, 每个支路分别将各支路收集到的排风经过滤器和高效过滤器 (每个支路两组) 过滤后, 经4台可变速度的排风机 (变频器控制) 排向烟囱 (流量大于要求定值)。根据需要或自动信号, 该支路可切换到碘回路运行。为了维持排风机吸入口廊道和排出口廊道之间的压差稳定, 系统还设置了一个回流阀。

DWN排风回路控制包括入口风门控制、排风维修模式的设置、排风风机入口压力控制、碘回路控制和净化模式五个部分。

2.2.1 排风入口风门控制

DWN排风回路入口风门根据吸入口压力的大小调节。

2.2.2 排风维修模式

排风回路8个支路中, 除CELL7外其他7个支路各设置1个用于维修模式的切换按钮, 维修工作开始前需要切换相应的按钮, 并将相应的排风切换到CELL7, 确保排风的正常监测, 实现维修期间的安全冗余。

2.2.3 排风机控制

排风风机入口压力 (相对外界气压) 根据压力测量值进行控制。为了维持风机入口压力在整定负压, 系统根据测得的风机入口压力值同时调节4台排风风机转速和相应回流风门。

2.3 碘回路

DWN碘回路共包括4列, 每列都包括一个加热器 (降低湿度, 确保碘过滤器对碘的高效吸附) 和相应的碘过滤器, 以及相应的隔离封门。另外, 碘回路还设置了4台可调速的风机 (通过变频器控制), 用以维持碘回路的排风压力。

为了维持碘过滤单元吸入口的压力 (相对大气-3200Pa), 系统还设置了从碘回路风机排风通道到碘回路取风通道的回流管线, 压力通过风门调节。

2.4 循环冷却单元

DWN在其压缩机房间、外部排风风扇、断路器房间、变压器房间和衰变床房间设置了专门的由冷冻水系统冷却的冷却单元。当只有一列冷冻水回路运行时, DWN循环冷却风机停运。当有两列或以上冷冻水回路在运行, 如果相应房间的温度传感器不可用, 则启动相应的风机^[2]。

排风机的备用启动逻辑和送风机相似, 如果某台风机停运并触发备用启动信号, 系统立即自动启动备用风机。如果备用风机此前已经在运行, 11s后自动启动第二台备用风机; 如果第二台备用风机没启动, 22s后系统自动启动第三台备用风机。

技术规范对于核辅助厂房通风系统只有风量的要求, 故正常运行时需确保系统正常运行满足风量要求, 尤其是涉及设备检修需要隔离送排风回路或者系统降频时, 需密切关注对风量的影响。

3 安全厂房电气间通风系统(DVL)

安全厂房电气间通风系统包括4列正常供风列和2列维修供风列, 正常供风列和维修供风列各包括冷冻水流量调节和加热器控制两种温度调节方式。以正常供风列为例, 每列通风从一个独立的进风口取风, 新鲜空气的量取决于室外温度, 由新风控制挡板自动调节, 其有最小关闭位置以确保所需的最小新鲜空气量。新鲜空气与再循环空气在预过滤器上游进行混合, 依次经过预过滤器、精细过滤器、3级电加热器、空气冷却器和送风机, 然后通过送风环管送往各区域。

3.1 冬季加热模式

在冬季模式下, 冷却水阀保持在关闭位置, 由新风调节风门、再循环调节风门以及排风调节风门一起联动调节来维持送风温度在设定值 (正常为18℃, 冬季机组停运时温度可以切换为21℃)。如果外部环境温度降低, 则新风调节风门和排风调节风门开度减小, 再循环风门开度增大。当新风调节风门平均开度<24.5%时, 触发25%新风调节模式。电加热器根据送风温度来调整功率以维持温度在一定的范围内。

3.2 夏季冷却模式

夏季模式下, 电加热器退出运行。冷却水阀调节送风温度在设定值。根据外部新风焓值与系统排风焓值的对比关系, 又可以分为100%新风模式和25%新风模式。

3.2.1 100%新风模式

如果外部新风焓值 (通过温度和湿度计算得出) 低于排风焓值 (通过温度和湿度计算得出), 系统以开式循环运行, 进入100%新风模式。此时新风调节阀全开, 再循环阀全关, 排风调节阀全

开。100%新风模式触发逻辑:

Case1: 夏季模式外界新风焓低于系统排风焓

Case2: 房间温度较高,说明用户热量较大,冷却能力不足,因此以全新风模式来降温

Case3: 再循环风门故障无法以25%新风模式运行

3.2.2 25%新风模式

如果外部新风焓值高于排风焓值,系统进入25%新风模式。此时新风调节阀仅一个全开,其余三个风门保持全关(无风门故障的情况下)。对于四个风门而言,平均就是25%开度。25%新风模式时,系统主要以再循环方式运行,仅维持最低的新风量以进行换气。

3.3除湿模式

在正常通风列投入的情况下,如果外部环境 $T > 16.5^{\circ}\text{C}$,同时8m电气间露点温度超

过 17.25°C 时,触发除湿模式。因为此时房间湿度较大,如果送风温度低,会造成电气间结露,影响电气盘的安全运行。此时冷却水阀的控制模式会发生切换,目标温度切换为露点温度 $+1^{\circ}\text{C}$,始终保证送风温度超过露点温度,从而不会造成结露。

3.4降级模式

正常情况下,DVL主通风列保持运行。当主通风列故障或需要退出运行时,维修列可以投入运行提供通风冷却。如果此时维修列也出现故障或者维修列正在为相邻列提供通风,则此列DVL通风受到限制和影响,进入降级模式。当DVL进入降级模式时,会触发降级报警。

3.5分流模式

DVL第一列为例,当第一列失去冷冻水冷却,同时维修列又不可用时,如果第二列主通风运行正常,同时一/二列仪控电气间温度均不超过 40°C ,则触发分流模式,由第二列同时给第一/二列供风。此时两列的风量均会下降。

设计上,DVL各房间风量互相影响,在涉及风量变化的工作时(比如风量调节、风门检修等),需额外注意其他房间的通风影响,避免房间温度超过设计要求或影响风机运行。

4 安全厂房控制区通风系统(DWL)

安全厂房控制区通风系统在正常运行时与DVL和DWN一起给安全厂房的可能受污染的房间(即控制区)进行通风和冷却,并维持控制区房间比周围的非控制区房间压力低 100Pa 。特殊工况下,辅助进行厂房隔离,确保其保持负压^[3]。

DWL有四列,分别用于四列安全厂房控制区的通风,每列DWL都由相应列的DVL供风。正常情况下四列DWL排风排到DWN。在系统组成上,DWL由四列实体隔离的送风和排风管线组成。排风管

线包括一个正常排风管线(至DWN)或一个含有碘过滤器的应急排风管线(至烟囱)。

4.1每列DWL设备包括

一条来自DVL空气供应管线,包括两个隔离风门和一个控制风门。

若干房间循环冷却单元。

一条至DWN的正常排风管线,包括两个隔离风门和一个控制风门。一条应急排风管线,包括两个并列布置的隔离风门。一个内部送风和排风分配系统。

4.2公共设备包括 $2 \times 100\%$ 碘过滤单元,每列的主要设备包括

一个电加热器:在空气进入碘过滤器前进行加热,把进入碘过滤器的空气湿度降至 40% 以下,保持碘过滤器效率。

一个预过滤器:用来收集大的粒子,延长高效过滤器的寿命。

一个高效过滤器:用来去除固体和气溶胶污染物。

一个碘过滤器:用来吸收通风系统空气中的碘。

一台风机:用来将经各自碘过滤单元过滤的空气排到烟囱,维持安全厂房和燃料厂房的负压状态。

通风系统在核电机组的正常和事故运行过程中扮演非常重要的角色。正常运行时,通风系统保证机组各系统的服务区域的温湿度等符合设计要求,并时刻监测通风各个环节的环境水平。部分通风系统中,通过设置变频器来实现对风机风量或加热器功率的调节,以满足系统调节、维修工作等需要,增加系统运行灵活性。

5 结语

以上通风系统运行方式多样,从设计上实现多样化灵活运行,可以最大限度的确保设备正常运行所需的温度、湿度;而且各系统相互关联,相互影响,一个系统方式的变化往往会影响到相邻系统,甚至其他厂房的通风变化,在运维上需总体考虑,避免牵一发而动全身。

[参考文献]

[1]张士虎,沙亮.核电厂通风系统运行方式优化[J].电工技术,2023,(17):248-251.

[2]魏传胜,张金富,翟连付,等.核电站通风系统风管清理机器人功能设计要点分析研究[J].电工技术,2023,(21):186-189.

[3]刘婧,胡北,王楷乔,等.某核电站核废物厂房通风系统设计特性与模拟研究[J].暖通空调,2024,54(01):10-15.

作者简介:

巢海平(1982--),男,汉族,江苏常州人,大学本科,台山核电合营有限公司,工程师,研究方向:核电机组运行。