

百万千瓦级核电厂消防稳压装置研究

解丰波, 曾令刚

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 通过分析国内已建核电厂消防稳压装置存在的问题, 研究和改进了百万千瓦级核电厂消防稳压装置的工艺控制流程、设备选型、气压储水罐计算等, 有效解决了百万千瓦级核电厂初期消防储水量大的技术难题, 降低了工程成本, 增加了系统安全性, 能够适用于安全可靠要求非常严格的百万千瓦级核电厂消防系统。

关键词: 百万千瓦级; 核电厂; 消防; 稳压装置

中图分类号: TM623

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)04-0093-03

Research on Fire Protection Stabilized Pressure System of a Gigawatt-scale Nuclear Power Plant

XIE Fengbo, ZENG Linggang

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: In this paper, through analyzing the problems of fire protection stabilized pressure system of the domestic existing nuclear plants, we research and improve the technological control process, equipment selection, calculation of pneumatic storage tank of fire protection stabilized pressure system of a gigawatt-scale nuclear power plant. It solves the difficult problem with big early fire water level, reduces the engineering cost and increases the safety of system. It can be applied to the fire protection system of a gigawatt-scale nuclear power plant which has very strict safety and reliability requirements.

Key words: gigawatt-scale; nuclear power plant; fire protection; stabilized pressure system

核电厂由于其特殊性, 一旦发生火灾, 会引起消防部门和公众的巨大重视, 直接和间接损失都很大, 还会危及社会安全和稳定, 因此核电厂消防时一方面要有效扑灭明火, 另一方面要绝对防止核辐射泄漏, 同时贯彻“预防为主, 防消结合”的消防方针以及“纵深防御”的安全理念^[1]。

根据新版《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014)民用建筑稳压装置采用高位消防水箱, 其设置位置高于其所服务的水灭火设施, 且最低有效水位应满足水灭火设施最不利点处的静水压力^[2]; 国内百万千瓦级火电厂消防给水系统为临时高压消防系统, 在电厂内设置高位消防水箱困难, 所采用的消防稳压装置通常按国标建筑图集中的民用建筑消防稳压装置选用。而核电厂消防稳压

装置的安全设计要求高于相同机组容量的火电厂, 因此无法参照现行的国家和行业标准设计, 我国前期已建成的核电厂消防气压稳压给水系统为国外公司设计, 设备全套进口, 经过二十多年的消防技术发展, 原系统已无法满足现行的国际核安全导则和我国消防标准, 需要大幅提高系统安全性, 另外也不符合我国核电厂自主化设计、提高设备国产化率的总体要求。

1 核电厂消防系统组成

核电厂消防系统由消防用水水源、消防灭火系统、消防水生产系统、消防水稳压系统、消防水分配系统组成^[3]。消防水生产系统主要包括消防水池和消防泵房, 每两台机组设置 1 座消防水泵房, 共配置 4 台消防主泵, 通过消防主泵为厂区提供 1.2 MPa 运行压力的消防用水, 工作压力核岛为 1.2 MPa, 常规岛为 1.2 MPa, BOP 为 0.8 MPa。消防水稳压系统的作用是维持核岛、常规岛以及 BOP

厂房内零米层处消防管网的压力,并向厂区消防管网提供火灾初期 60 s 的用水量,本文重点对消防水稳压系统进行了研究。

2 国内已建核电厂消防稳压装置存在问题

国内已建核电站在汽机房设置了一套消防稳压装置为消防管网稳压,其在运行维护中主要存在以下问题:

1) 在机组大修过程中,需要长时间运行消防主泵以维持系统压力,降低了设备寿命,同时因消防主泵为核安全级设备,厂用电耗和系统风险增加。

2) 已建核电厂常规岛最大消防用水量仅考虑了汽机房室内、外手动消防用水量,不能满足现行《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)对于高层工业厂房消防用水量的要求,新建 1 000 MWe 级核电厂消防用水量远大于已建核电厂。

3) 法国 RCC-I 97 版《压水堆核电厂防火设计和建造规则》提出设置带加压淡水水箱的高压消防系统,在正常运行情况下,消防配水管网始终保持高压状态,可扑灭火灾,而无需等待消防泵启动。考虑到核电厂厂区内最高建筑物为核岛的安全壳,如满足核岛安全系统和全厂消防灭火要求,需要在安全壳顶部设置高位水箱,AP1000 机组非能动的消防供水系统水源来自安全相关的非能动安全壳冷却水箱,该水箱位于安全壳顶部,地震后向安全停堆设备区域的 2 个消火栓供水,寒冷地区的室外水箱需防冻,且核岛非能动系统使用后恢复程序较为复杂,不宜作为稳压装置的水源。

3 核电厂消防稳压装置研究

3.1 消防稳压装置工艺流程图

核电厂消防稳压装置工艺流程图见图 1。

3.2 稳压泵参数确定

稳压泵的设计额定流量不应小于消防给水系统管网的正常泄漏量或系统自动启动的流量,且不宜小于 1 L/s;稳压泵设计额定压力宜为消防主泵搅动压力加 0.02~0.07 MPa。故确定:流量 $Q=1.5$ L/s;额定扬程, $H=126$ m;泵吸水方式,自灌式。

3.3 空压机参数确定

空压机的出口额定压力应按消防给水系统稳压压力确定,连续运行时间不宜超过 8 h。故确定:流量 $Q=3.88$ L/s;出口额定压力, $H=13$ Bar(abs)。

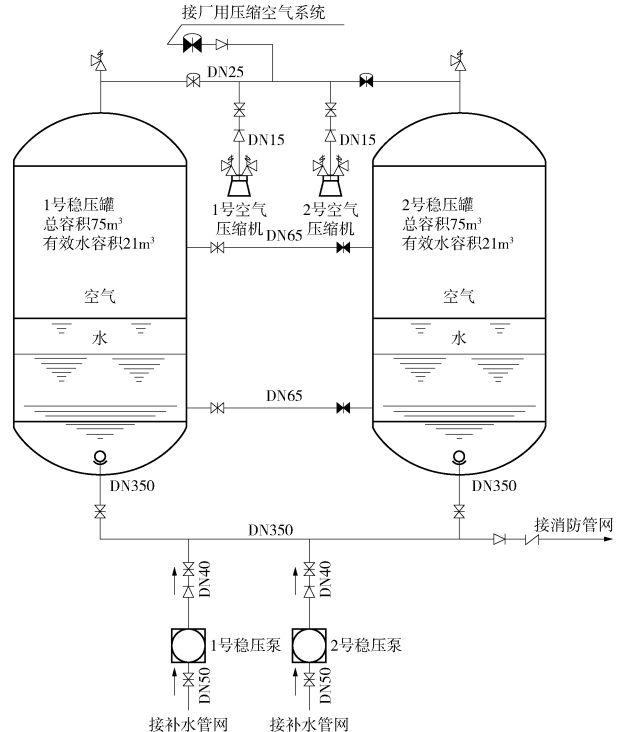


图 1 消防稳压给水系统工艺流程图

Fig. 1 Fire Protection Pneumatic and Pressure Stabilized Water Supply System Technological Process Diagram

3.4 气压储水罐总容积计算

筒节高度: $h_t = h - 2 h_f$, 单位为 m。

筒节容积: $V_t = (h_t \times \pi \times D_i^2) / 4$, 单位为 m^3 。

总容积: $V = 2V_f + V_t$, 单位为 m^3 。

其中: h 为筒体高度, h_f 为封头高度, V_f 为封头容积, D_i 为筒节内径。

3.5 气压储水罐消防供水压力下限确定及有效水容积计算

3.5.1 主要参数

消防主泵启动压力 P_1 , 根据消防主泵启动台数确定, 第 1 台泵启动压力为 1.22 MPa, 第 2 台泵启动压力为 1.145 MPa, 第 3 台、第 4 台泵启动压力为 1.1 MPa。

消防供水压力下限 P_2 , 按满足常规岛保护区最不利点压力考虑, 并通过配水管网水力计算确定, ,

最低消防工作压力 P_3 , 按 1.25 MPa,

最高消防工作压力 P_4 , 按 1.275 MPa, 消防供水压力下限 P_2 , 按满足常规岛保护区最不利点压力计算。

最大消防用水量 Q_x , 按满足常规岛最大消防用水量考虑, 单位为 L/s。

供水时间 t , 满足初期灭火时间 60 s。

则最小消防储水容积 $V_{\text{消}} = Q_x \times t$, 单位为 m^3 。

3.5.2 有效水容积计算

校核有效水容积 $V_x = V_{\text{水}} - V_f \geq V_{\text{消}}$, 单位为 m^3 。

设 $V_{\text{气}1}$ 为 P_3 压力时气室容积, 根据波义耳马略定律: $P_2 \times (V_{\text{气}1} + V_x) = P_3 \times V_{\text{气}1}$, 则 $V_{\text{气}1} = (P_2 \times V_x) / (P_3 - P_2)$, 保护水容积 $V_0 = V - V_x - V_{\text{气}1}$ 。

设 $V_{\text{气}2}$ 为 P_4 压力时气室容积, 根据波义耳马略定律: $P_3 \times V_{\text{气}1} = P_4 \times V_{\text{气}2}$, 则 $V_{\text{气}2} = (P_3 \times V_{\text{气}1}) / P_4$ 。

气压储水罐计算时涉及到同时确定气压储水罐规格、有效水容积、消防工作压力等几个参数变量, 因此有一个待定参数的试算过程, 首先根据消防给水系统初期灭火流量预选气压罐容积、规格尺寸, 然后对其他参数计算, 校验气压储水罐压力, 以满足消防系统给水压力要求。

4 消防稳压装置工艺控制

4.1 稳压泵的控制

稳压泵一用一备、交替运行, 当液位低于低液位 (L_1) 时, 1 号稳压泵工作; 若液位高于 L_1 , 而低于高液位 (L_2), 且压力小于低 1 压力 (S_1) 时, 稳压泵也开始工作; 当液位达到 L_2 时, 稳压泵停止工作; 下次液位再降低至 L_1 , 或液位高于 L_1 、小于 L_2 , 且压力小于 S_1 时, 2 号稳压泵工作; 若运行稳压泵出现故障, 备用泵投入运行, 并发出报警信号。

4.2 空气压缩机的控制

空气压缩机一用一备, 交替运行。稳压泵补水时空压机不工作, 空压机只在罐内液位正常而压力又不能满足要求时才工作。当液位高于 L_2 、压力小于 S_1 时, 1 号空气压缩机工作; 当压力高于高压 (S_2) 时, 空气压缩机停止工作; 若再出现液位高于 L_2 、压力小于 S_1 时, 2 号空气压缩机工作。若运行空气压缩机工作, 压力小于低 2 压力 (S_3) 时, 备用空气压缩机开始工作, 并发出报警信号, 压力达到 S_2 时, 备用空气压缩机停止运行。若运行稳压泵出现故障, 备用泵投入运行, 并发出报警信号。

4.3 气压储水罐的控制

气压储水罐 1 用 1 备, 当工作气压储水罐停运检修时, 手动切换到备用气压罐。

5 结论

1) 消防稳压装置设置在常规岛汽轮机厂房, 用

以维持核岛、常规岛厂房内零米层处消防管网的压力, 并向厂区消防管网提供火灾初期 60 s 的用水量。

2) 整个厂区消防给水系统十分庞大, 管网泄漏、排水、试验等常需要补水, 采用小流量稳压泵补水可避免消防主泵频繁启动。

3) 消防稳压装置由稳压泵向气压储水罐内补充水, 再由气压储水罐向消防管网供水; 由空压机向气压储水罐内补充气。

4) 采用非隔膜式气压储水罐, 连接水箱的水位及压力变化能够很好地根据气压储水罐气压变化而做出相应的控制操作, 通过运用简单的原理有效解决初期消防储水量大的技术难题, 降低了制造工艺难度和成本, 提高了设备可用率和国产化率。

5) 消防稳压装置中两个稳压给水罐均可独立运行, 总供水量满足核电厂初期消防用水量, 其中任一气压水罐检修时可切换至另一气压水罐运行, 保证在消防稳压给水系统检修期间无需开启消防主泵进行稳压, 极大地提高了系统安全性和可靠性, 有效节约厂用电, 设备布置紧凑, 施工便利, 用地节省, 初期投资较少, 定期试验和运行维护管理十分方便, 系统实现无人值守自动监控和启停。

改进后的消防稳压装置既能满足百万千瓦级核电厂严格的消防要求, 又提高了系统安全性和可靠性, 通过自主化设计和制造降低了建造和运行成本, 并已成功应用于多个核电工程, 是我国核电技术引进、消化吸收和创新之路的成功实践。

参考文献:

- [1] 李波, 黄艳君. 核电站中常规岛消防设计特点 [J]. 机电工程技术, 2007, 36(12): 103-104.
LI Bo, HUANG Yanjun. Design of Conventional Island Fire Protection of Nuclear Power Station [J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2007, 36(12): 103-104.
- [2] 黄晓家, 马恒, 曾杰, 等. 消防给水及消火栓系统技术规范 [M]. 北京, 中国计划出版社, 2014.
- [3] 龙国庆. 核电站消防系统设计综述 [J]. 给水排水, 2007, 33(3): 88-91.
LONG Guoqing. Design Summary of Fire Protection of Nuclear Power Station Water & Wastewater Engineering [J]. 2007, 33(3): 88-91.

(责任编辑 黄肇和)