件附件3

操纵员培训内容

1. 核电基础理论培训（培训学时：不少于360学时）

| 序号 | 培训项目/课程 | 学时 | 主要培训内容 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 反应堆物理 | 80 | 1.原子结构、同位素、核截面和核反应率等  2.中子慢化和扩散  3.核反应堆临界理论  4.反应性随时间变化  5.温度效应和反应性控制  6.核反应堆动力学  7.核燃料循环和堆芯燃料管理概述  8.反应堆物理启动、临界试验、停堆后再启动等 |
| 2 | 热工水力学 | 80 | 1.热力学单位和特性、温度、显热、比热等热力学基础  2.理想气体的性质、理想气体比热力学能与比焓等热力学过程  3.卡诺循环、朗肯循环、热力循环效率等热力循环及核电厂主要热力过程  4.导热、对流、换热等传热学基础  5.流体性质、伯努利方程等流体力学  6.核燃料、包壳材料、冷却剂及其热物性  7.反应堆内的释热：核裂变产生的能量及其在堆芯内的分布、燃料棒和堆芯释热计算等  8.反应堆传热：反应堆内热量传输、燃料元件和堆内部件的传热及温度分布等  9.稳态工况下反应堆流体力学分析：单向流、两相流、自然循环等  10.堆芯稳态热工水力设计：单通道模型的反应堆稳态热工设计、子通道分析模型等 |
| 3 | 核电厂辐射  防护 | 32 | 1.原子结构、放射性及其衰变规律、辐射和辐射量等基本概念  2.辐射探测基础  3.辐射防护基础  4.核电厂辐射与防护  5.辐射监测  6.放射性废物管理等 |
| 4 | 核电厂材料 | 24 | 1.核电厂材料分类、核电厂主要部件材料等  2.材料物理、机械、腐蚀性能等材料性能  3.核燃料材料  4.包壳材料  5.结构材料：压力容器材料、奥氏体不锈钢等  6.反应堆其他材料：控制材料、慢化和反射材料、冷却剂材料等  7.老化管理和失效分析基础等 |
| 5 | 核电厂水化学 | 24 | 1.水化学基础理论  2.腐蚀及其防护  3.化学补偿控制  4.冷却剂辐射化学  5.系统的水化学准则  6.水处理工艺和系统  7.水化学分析和监测等 |
| 6 | 核电厂通用  机械设备 | 40 | 1.阀门  2.泵  3.风机  4.热交换器  5.汽轮机  6.承压设备等 |
| 7 | 核电厂电气  原理与设备 | 40 | 1.核电厂的电气设备、电气设备安全分级等  2.核电厂开关电器与导体  3.成套配电装置  4.核电厂交流电和直流电  5.变压器  6.交直流电动机  7.同步发电机及励磁系统  8.核电厂的电气主接线及厂用电  9.电气设备的测量和控制  10.电力系统接地及变频器  11.继电保护等 |
| 8 | 核电厂仪表  与控制 | 40 | 1.核电厂仪表与控制系统概述：组成和功能、特点、安全分级等  2.自动控制与调节基本知识  3.核电厂反应堆功率监测仪表  4.核电厂过程参数监测仪表  5.核电厂反应堆控制系统  6.反应堆冷却剂系统过程参数的控制  7.蒸汽转换系统过程参数的控制  8.汽轮机的控制和保护  9.反应堆保护系统  10.集中和分散控制系统  11.核电厂主控室和信息系统等 |
| 合计 |  | 360 |  |

1. 系统与运行培训（培训学时：不少于180学时）

| 序号 | 培训项目/课程 | 学时 | 主要培训内容 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 核电厂系统 | 164 | 1.系统设计目的、功能及其核安全相关重要性  2.系统的正常和备用电源  3.系统操作注意事项、整定值、限值及设计原则  4.与其它系统和机组（如有）的关联  5.通过其它系统实现功能的替代方式  6.设备运行的设计原则、能力以及限值  7.系统和设备自动控制逻辑特性  8.系统和设备运行的手动、就地和备用操作方式  9.系统有效监控（就地、远程、计算机显示及报警）  10.相关远程和就地仪表、指示、报警和控制  11.数据记录装置  12.系统控制和重要仪表失效模式及可能诱发因素  13.系统重要运行参数以及参数之间的相互关系  14.系统相关的化学控制及潜在影响  15.系统相关的运行技术规格书要求，特别是要求立即行动的运行限制条件  16.系统相关的工业安全注意事项  17.潜在设备失效模式以及设备失效行业经验反馈  18.机组启动与停运  19.反应堆运行物理  20.日常/大修化学控制要求、运行操作及异常处理等 |
| 2 | 运行技术  规格书 | 8 | 1.运行技术规格书的定义、作用及适用范围  2.运行技术规格书的结构、相关要求  3.运行技术规格书的正常运行限值和条件、安全系统整定值、监督要求、设计特征、行政管理等  4.缓解措施等 |
| 3 | 核安全分析 | 4 | 1.核反应堆安全基本概念与特征  2.核反应堆安全对策  3.核电厂运行工况与事故分类  4.核安全分析方法  5.典型设计基准事故  6.最终安全分析报告等 |
| 4 | 严重事故管理 | 4 | 1.严重事故基本概念  2.严重事故现象与特征  3.与应急运行规程的接口  4.严重事故应急管理流程  5.严重事故主控室导则  6.历史上的严重事故等 |
| 合计 |  | 180 |  |

1. 模拟机培训（培训学时：不少于400学时）

| 序号 | 培训项目 | 主要培训内容 |
| --- | --- | --- |
| 1 | 正常运行工况 | 1.堆芯反应性操作的保守方法  2.启动时核测仪表的响应  3.反应堆临界和核加热点的确认方式  4.规程和运行技术规格书的使用  5.反应堆启动过程中出现异常情况的响应  6.核电厂启动和停运  7.重要设备启停操作  8.一、二回路功率控制  9.定期试验执行等 |
| 2 | 预计运行事件工况 | 1.报警响应  2.一回路泄漏  3.蒸汽发生器传热管泄漏  4.反应堆冷却剂泵故障  5.不可控冷却  6.汽轮机或发电机跳闸  7.汽轮机甩负荷  8.核仪表故障  9.非核仪表故障  10.保护系统故障  11.棒控系统故障  12.需要紧急硼化的工况  13.燃料包壳破损导致反应堆冷却剂高放射性  14.汽轮机旁排系统故障  15.仪用压空部分丧失或单个设备的仪用压空丧失  16.部分失电或电源降级(包括安全级和非安全级仪表电源)  17.部分丧失重要厂用水系统  18.部分丧失设备冷却水或单个设备的冷却水丧失  19.丧失凝汽器真空  20.丧失凝汽器冷却水  21.凝结水系统故障  22.给水系统故障  23.给水加热器故障等 |
| 3 | 事故工况 | 1.意外停堆  2.误安注  3.一回路破口事故  4.二回路破口事故  5.蒸汽发生器传热管断裂  6.一回路丧失强迫循环冷却  7.二回路丧失所有给水  8.一回路丧失余热排出  9.丧失热阱  10.失去厂内外电源  11.未能预期停堆的瞬态等 |
| 合计 | 400学时 | |

注：各核电厂参考本表格，结合堆型技术特点，明确具体培训内容。