

# 非能动安全先进 压水堆核电技术

林诚格 主 编    郁祖盛 副主编    欧阳予 主 审

(下 册)



原子能出版社

# 非能动安全先进 压水堆核电技术

林诚格 主 编    郁祖盛 副主编    欧阳予 主 审

(下 册)



原子能出版社

# 目 录

## 上 册

### 第一篇 绪 论

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| <b>第一章 世界核电发展概况</b> .....   | 1  |
| 1.1 世界能源新时代的到来 .....        | 1  |
| 1.2 世界核能及核电发展简史 .....       | 2  |
| 1.3 世界核电技术进步历程 .....        | 4  |
| 1.4 世纪之初的世界核电发展趋势 .....     | 7  |
| 1.5 世界新建核电厂都选择第三代核电技术 ..... | 11 |
| <b>第二章 我国核电发展概况</b> .....   | 12 |
| 2.1 我国核电发展的三个阶段 .....       | 12 |
| 2.1.1 起步阶段 .....            | 12 |
| 2.1.2 适度发展阶段 .....          | 13 |
| 2.1.3 积极发展阶段 .....          | 14 |
| 2.2 核电在我国能源构成中的地位 .....     | 16 |
| 2.2.1 我国能源及核电发展的主要特点 .....  | 16 |
| 2.2.2 保障能源供应安全的客观要求 .....   | 17 |
| 2.2.3 应对气候变化的必由之路 .....     | 18 |
| 2.2.4 寻求替代能源的优先选择 .....     | 20 |
| 2.2.5 具备赢得市场的经济前景 .....     | 21 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>第三章 核电厂设计的基本安全要求</b>   | 22 |
| 3.1 核电厂安全的特殊性             | 23 |
| 3.2 核电厂的安全目标              | 24 |
| 3.2.1 总的核安全目标             | 24 |
| 3.2.2 辐射防护目标              | 24 |
| 3.2.3 技术安全目标              | 24 |
| 3.3 核电厂总的安全要求和风险水平        | 24 |
| 3.3.1 核电厂总的安全要求           | 24 |
| 3.3.2 核电厂的风险水平            | 25 |
| 3.4 保证核安全的基本要素和安全文化       | 25 |
| 3.4.1 保证核安全的基本要素          | 25 |
| 3.4.2 安全文化                | 25 |
| 3.5 核电厂设计的主要安全要求          | 26 |
| 3.5.1 纵深防御要求              | 26 |
| 3.5.2 安全功能                | 28 |
| 3.5.3 辐射防护和验收准则           | 28 |
| 3.6 核电厂的主要设计要求            | 29 |
| 3.6.1 安全分级                | 29 |
| 3.6.2 总的设计基准              | 32 |
| 3.6.3 构筑物、系统和部件的可靠性设计     | 37 |
| 3.6.4 在役试验、维护、修理、检查和监测的措施 | 38 |
| 3.6.5 设备鉴定                | 38 |
| 3.6.6 老化                  | 38 |
| 3.6.7 优化运行人员操作的设计         | 38 |
| 3.6.8 其他设计考虑              | 39 |
| 3.6.9 安全分析                | 40 |
| 附录 术语、定义                  | 40 |
| 参考文献                      | 42 |

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| <b>第四章 核电厂的安全监管</b> .....                  | 42 |
| 4.1 我国核安全法规体系 .....                        | 42 |
| 4.2 核安全的监督管理 .....                         | 49 |
| 4.2.1 我国的核安全监管机构——国家核安全局 .....             | 49 |
| 4.2.2 我国对核电厂的安全监督管理 .....                  | 49 |
| 4.2.3 美国核电厂许可证管理程序简介 .....                 | 53 |
| 4.2.4 中国与美国核电厂许可证管理程序的分析与比较 .....          | 55 |
| 参考文献 .....                                 | 59 |
| <br>                                       |    |
| <b>第五章 AP1000 核电技术的发展</b> .....            | 60 |
| 5.1 AP1000 的研发设计历程 .....                   | 60 |
| 5.2 AP1000 核电厂概述 .....                     | 60 |
| 5.2.1 核电厂整体描述 .....                        | 60 |
| 5.2.2 与其他核电厂的比较 .....                      | 63 |
| 5.3 AP1000 核电厂的技术成熟性 .....                 | 65 |
| 5.3.1 反应堆的技术成熟性 .....                      | 65 |
| 5.3.2 反应堆冷却剂系统的技术成熟性 .....                 | 65 |
| 5.3.3 非能动安全系统的技术成熟性 .....                  | 67 |
| 5.3.4 安全壳 .....                            | 69 |
| 5.4 AP1000 核电厂的安全性 .....                   | 69 |
| 5.4.1 AP1000 核电厂采用非能动安全系统 .....            | 70 |
| 5.4.2 AP1000 核电厂具有全面、完善的预防和缓解严重事故的措施 ..... | 71 |
| 5.4.3 AP1000 核电厂所达到的安全水平 .....             | 71 |
| 5.5 AP1000 核电厂的经济性 .....                   | 72 |
| 5.6 美国核监管委员会对 AP1000 标准设计的核安全审评 .....      | 75 |
| 5.6.1 安全法规 .....                           | 75 |
| 5.6.2 NRC 的独立计算分析和试验验证 .....               | 75 |
| 5.6.3 AP1000 标准设计证书的批准 .....               | 76 |
| 参考文献 .....                                 | 76 |

## 第二篇 AP1000 反应堆

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| <b>第六章 AP1000 反应堆堆芯和堆芯支承结构</b>     | 77  |
| 6.1 概述                             | 77  |
| 6.2 反应堆堆内构件                        | 77  |
| 6.2.1 反应堆堆内构件的功能                   | 77  |
| 6.2.2 堆内构件的结构                      | 79  |
| 6.2.3 堆内构件的设计                      | 85  |
| 6.2.4 堆内构件预运行流致振动试验                | 97  |
| 6.2.5 堆内构件振动试验和分析结果的评定             | 100 |
| 6.2.6 美国核监管委员会对 AP1000 原型堆内构件的审评结论 | 100 |
| 6.3 反应堆燃料组件                        | 101 |
| 6.3.1 燃料材料                         | 102 |
| 6.3.2 燃料芯块                         | 104 |
| 6.3.3 燃料棒                          | 104 |
| 6.3.4 燃料组件                         | 106 |
| 6.4 堆内控制部件                         | 111 |
| 6.4.1 控制棒组件                        | 111 |
| 6.4.2 灰棒组件                         | 113 |
| 6.4.3 可燃毒物组件                       | 113 |
| 6.4.4 中子源组件                        | 114 |
| 参考文献                               | 116 |
| <b>第七章 AP1000 反应堆堆芯的核设计</b>        | 116 |
| 7.1 核设计考虑的工况和安全准则                  | 117 |
| 7.2 功率分布                           | 119 |
| 7.2.1 概述                           | 119 |
| 7.2.2 径向功率分布                       | 121 |
| 7.2.3 轴向功率分布                       | 123 |



|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 7.2.4 燃料密实化引起的局部功率峰值 .....    | 125 |
| 7.2.5 极限功率分布 .....            | 125 |
| 7.2.6 功率分布分析的实验验证 .....       | 126 |
| 7.2.7 包壳积垢引起的功率偏移 .....       | 128 |
| 7.3 反应性系数 .....               | 129 |
| 7.3.1 概述 .....                | 129 |
| 7.3.2 燃料温度 (Doppler) 系数 ..... | 130 |
| 7.3.3 慢化剂反应性系数 .....          | 131 |
| 7.3.4 功率系数 .....              | 133 |
| 7.3.5 再分布效应 .....             | 135 |
| 7.4 反应性控制 .....               | 135 |
| 7.4.1 化学补偿控制 .....            | 136 |
| 7.4.2 控制棒控制 .....             | 137 |
| 7.4.3 机械补偿模式 .....            | 139 |
| 7.4.4 可燃毒物控制 .....            | 140 |
| 7.5 氙稳定性 .....                | 140 |
| 7.5.1 概述 .....                | 140 |
| 7.5.2 轴向氙稳定性 .....            | 141 |
| 7.5.3 径向氙稳定性 .....            | 143 |
| 7.5.4 稳定性控制和保护 .....          | 143 |
| 7.6 堆芯燃料管理 .....              | 144 |
| 7.6.1 概述 .....                | 144 |
| 7.6.2 换料周期 .....              | 145 |
| 7.6.3 首次装料 .....              | 146 |
| 7.6.4 平衡循环 .....              | 147 |
| 7.6.5 MOX 燃料布置 .....          | 148 |
| 参考文献 .....                    | 149 |

## 第八章 反应堆系统热工水力设计 .....

150

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 8.1 热工水力设计考虑的工况和安全准则 ..... | 150 |
|----------------------------|-----|

|       |                      |     |
|-------|----------------------|-----|
| 8.1.1 | 概述 .....             | 150 |
| 8.1.2 | 设计准则 .....           | 152 |
| 8.2   | 偏离泡核沸腾设计准则 .....     | 153 |
| 8.2.1 | 概述 .....             | 153 |
| 8.2.2 | DNB 技术 .....         | 155 |
| 8.2.3 | DNBR 因子 .....        | 156 |
| 8.2.4 | 混合（搅混）技术 .....       | 157 |
| 8.2.5 | 热管因子 .....           | 158 |
| 8.2.6 | 棒弯曲对 DNBR 的影响 .....  | 161 |
| 8.3   | 修正的热设计程序 .....       | 161 |
| 8.4   | 燃料温度设计基准 .....       | 162 |
| 8.4.1 | 燃料温度设计基准 .....       | 162 |
| 8.4.2 | 燃料与包壳温度 .....        | 162 |
| 8.5   | 堆芯流量设计基准 .....       | 164 |
| 8.5.1 | 堆芯流量设计 .....         | 164 |
| 8.5.2 | 堆芯水力设计 .....         | 165 |
| 8.5.3 | 堆芯压降和水力载荷 .....      | 166 |
| 8.5.4 | 反应堆冷却剂泵惰转时堆芯流量 ..... | 168 |
| 8.6   | 水力稳定性设计基准 .....      | 169 |
| 8.7   | 功率分布对堆芯传热的影响 .....   | 173 |
| 8.8   | 热工水力设计的分析方法 .....    | 174 |
| 8.8.1 | 堆芯分析 .....           | 174 |
| 8.8.2 | 稳态分析 .....           | 175 |
| 8.8.3 | 瞬态分析 .....           | 175 |
| 8.8.4 | 不确定性分析 .....         | 175 |
|       | 参考文献 .....           | 176 |

## 第九章 AP1000 核测系统和特殊监测系统 .....

|       |              |     |
|-------|--------------|-----|
| 9.1   | 堆内仪表系统 ..... | 177 |
| 9.1.1 | 功能描述 .....   | 177 |



|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 9.1.2 堆内仪表系统的组成 ..... | 177 |
| 9.2 堆外仪表系统 .....      | 179 |
| 9.3 堆芯监测和运行支持系统 ..... | 181 |
| 9.4 数字式金属撞击监测系统 ..... | 181 |
| 9.4.1 系统概述 .....      | 181 |
| 9.4.2 系统组成 .....      | 183 |
| 9.5 吊篮振动监测系统 .....    | 186 |
| 9.5.1 系统概述 .....      | 186 |
| 9.5.2 系统组成 .....      | 187 |
| 9.6 反应堆冷却剂泵监测系统 ..... | 189 |
| 9.6.1 系统概述 .....      | 189 |
| 9.6.2 系统组成 .....      | 189 |
| 参考文献 .....            | 190 |

### 第三篇 AP1000 核电厂系统和设备

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| 第十章 核安全部件与设备的安全要求 .....                                  | 191 |
| 10.1 核安全部件与设备与常规机械产品在设计、制造活动及其质量<br>控制与监督管理方面的基本差别 ..... | 191 |
| 10.2 核安全部件与设备的基本核安全要求 .....                              | 192 |
| 10.2.1 基本概念 .....                                        | 192 |
| 10.2.2 基本核安全要求 .....                                     | 193 |
| 10.3 核安全部件与设备的结构完整性 .....                                | 193 |
| 10.3.1 基本概念 .....                                        | 193 |
| 10.3.2 核电厂状态和系统运行工况 .....                                | 194 |
| 10.3.3 核安全部件与设备的设计载荷、使用载荷和试验载荷 .....                     | 195 |
| 10.3.4 核安全部件与设备的设计限值、使用限值和试验限值 .....                     | 196 |
| 10.3.5 应力分析 .....                                        | 202 |
| 10.3.6 核安全部件与设备的设计步骤 .....                               | 211 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 10.4 核安全部件与设备的功能能力和可运行性的验证和评定····· | 213 |
| 10.4.1 核安全设备的抗震鉴定与动力学鉴定·····       | 213 |
| 10.4.2 机械设备的环境鉴定·····              | 232 |
| 10.5 核安全部件和设备性能的可验证性·····          | 235 |
| 10.5.1 所需遵循的法规与标准·····             | 235 |
| 10.5.2 设计阶段可验证性的考虑·····            | 237 |
| 10.5.3 制造阶段的检验与试验要求·····           | 238 |
| 10.5.4 运行阶段·····                   | 239 |
| 参考文献·····                          | 239 |

## 第十一章 AP1000 反应堆冷却剂系统 ····· 240

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 11.1 反应堆冷却剂系统概述·····                    | 240 |
| 11.1.1 简介·····                          | 240 |
| 11.1.2 AP1000 核电厂反应堆冷却剂系统的功能和设计基准 ····· | 246 |
| 11.1.3 AP1000 反应堆冷却剂系统的主要设备 ·····       | 251 |
| 11.1.4 AP1000 反应堆冷却剂系统的主要参数 ·····       | 253 |
| 11.1.5 AP1000 反应堆冷却剂系统的高位排气 ·····       | 253 |
| 11.2 反应堆冷却剂系统压力边界的结构完整性·····            | 255 |
| 11.2.1 法规与标准的相符性·····                   | 255 |
| 11.2.2 工况与载荷·····                       | 259 |
| 11.2.3 分析所使用的计算机程序·····                 | 261 |
| 11.2.4 载荷组合、设计瞬态和应力限值·····              | 262 |
| 11.2.5 超压保护·····                        | 267 |
| 11.2.6 AP1000 反应堆压力边界泄漏探测 ·····         | 271 |
| 11.2.7 AP1000 反应堆冷却剂系统压力边界材料 ·····      | 274 |
| 11.2.8 在役检查和试验·····                     | 285 |
| 11.2.9 对假想管道破裂动力效应的防护和“先漏后破”评价程序 ·····  | 287 |
| 11.3 反应堆压力容器和一体化顶盖组件·····               | 310 |
| 11.3.1 反应堆压力容器·····                     | 310 |
| 11.3.2 一体化顶盖组件·····                     | 337 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 11.4 蒸汽发生器                       | 342 |
| 11.4.1 AP1000 Delta-125 型蒸汽发生器概述 | 342 |
| 11.4.2 设计基础                      | 342 |
| 11.4.3 结构描述及设计特征                 | 345 |
| 11.4.4 设计评估                      | 347 |
| 11.4.5 蒸汽发生器材料                   | 350 |
| 11.4.6 蒸汽发生器制造检验要求和在役检查          | 354 |
| 11.4.7 屏蔽电机泵与蒸汽发生器直接连接的几个技术问题    | 359 |
| 11.5 稳压器                         | 362 |
| 11.5.1 稳压器的功能                    | 362 |
| 11.5.2 设计基准                      | 363 |
| 11.5.3 AP1000 稳压器的结构与特点          | 364 |
| 11.5.4 功能实施                      | 366 |
| 11.5.5 试验和检验                     | 368 |
| 11.5.6 运行                        | 368 |
| 11.6 反应堆冷却剂泵                     | 370 |
| 11.6.1 设计基准                      | 370 |
| 11.6.2 AP1000 屏蔽电机泵的设计与结构        | 371 |
| 11.6.3 AP1000 屏蔽电机泵的主要部件         | 374 |
| 11.6.4 屏蔽电机泵的运行                  | 378 |
| 11.6.5 设计评价                      | 379 |
| 11.6.6 试验和检验                     | 383 |
| 11.7 反应堆冷却剂系统管道                  | 387 |
| 11.7.1 设计基准                      | 387 |
| 11.7.2 设计描述                      | 388 |
| 11.8 控制棒驱动系统                     | 399 |
| 11.8.1 控制棒驱动机构                   | 399 |
| 11.8.2 控制棒驱动机构的动作                | 403 |
| 11.8.3 控制棒驱动系统的设计规范              | 406 |
| 11.8.4 控制棒和驱动系统结构材料              | 410 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 11.8.5 控制棒驱动机构性能保证大纲 | 412 |
| 11.9 正常余热排出系统        | 412 |
| 11.9.1 设计基准和功能       | 413 |
| 11.9.2 系统描述          | 416 |
| 11.9.3 设备描述          | 425 |
| 11.9.4 系统运行          | 427 |
| 11.9.5 检查和试验要求       | 430 |
| 11.9.6 仪表要求          | 431 |
| 参考文献                 | 431 |

## 中 册

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第十二章 AP1000 的非能动堆芯冷却系统    | 433 |
| 12.1 概述                   | 433 |
| 12.2 设计基准                 | 435 |
| 12.2.1 安全设计基准             | 435 |
| 12.2.2 功率运行设计基准           | 437 |
| 12.3 系统描述                 | 438 |
| 12.3.1 非能动余热排出系统          | 438 |
| 12.3.2 非能动安全注入系统          | 441 |
| 12.3.3 自动降压系统             | 447 |
| 12.3.4 安全壳 pH 控制          | 452 |
| 12.3.5 非能动堆芯冷却系统的启动       | 452 |
| 12.4 设备描述                 | 453 |
| 12.4.1 堆芯补水箱              | 453 |
| 12.4.2 安注箱                | 455 |
| 12.4.3 安全壳内置换料水箱          | 455 |
| 12.4.4 pH 调节篮             | 457 |
| 12.4.5 非能动余热排出热交换器        | 457 |
| 12.4.6 安全壳内置换料水箱和安全壳再循环滤网 | 459 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 12.4.7 低压差开启止回阀·····      | 466 |
| 12.4.8 安注箱止回阀·····        | 468 |
| 12.4.9 爆破阀·····           | 468 |
| 12.5 试验验证与检查·····         | 469 |
| 12.6 非能动堆芯冷却系统的启动与运行····· | 471 |
| 12.6.1 正常运行·····          | 473 |
| 12.6.2 事故后运行·····         | 474 |
| 参考文献·····                 | 481 |

### 第十三章 AP1000 的安全壳和安全壳系统 ····· 482

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 13.1 安全壳·····               | 482 |
| 13.1.1 概述·····              | 482 |
| 13.1.2 钢制安全壳容器·····         | 483 |
| 13.1.3 安全壳屏蔽构筑物·····        | 488 |
| 13.1.4 安全壳内部结构·····         | 489 |
| 13.2 非能动安全壳冷却系统·····        | 497 |
| 13.2.1 材料与涂层·····           | 497 |
| 13.2.2 系统功能·····            | 506 |
| 13.2.3 设备描述·····            | 509 |
| 13.2.4 系统运行·····            | 513 |
| 13.3 PCS 的分析和试验验证 ·····     | 515 |
| 13.4 安全壳完整性的安全分析·····       | 519 |
| 13.4.1 概述·····              | 519 |
| 13.4.2 设计基准事故下安全壳完整性分析····· | 520 |
| 13.4.3 严重事故下安全壳完整性分析·····   | 536 |
| 13.4.4 试验与检查·····           | 544 |
| 13.4.5 安全壳仪表·····           | 545 |
| 13.5 安全壳隔离系统·····           | 545 |
| 13.5.1 系统功能·····            | 545 |
| 13.5.2 设备描述·····            | 546 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 13.5.3 系统运行                | 548 |
| 13.6 安全壳氢气控制系统             | 548 |
| 13.6.1 概述                  | 548 |
| 13.6.2 氢浓度监测子系统            | 550 |
| 13.6.3 氢复合子系统              | 551 |
| 13.6.4 氢点火器子系统             | 551 |
| 13.6.5 安全壳大气混合和 IRWST 氢排气  | 556 |
| 13.7 安全壳泄漏率试验系统            | 556 |
| 13.7.1 概述                  | 556 |
| 13.7.2 系统描述                | 558 |
| 13.7.3 安全壳整体泄漏率试验 (A 类试验)  | 560 |
| 13.7.4 安全壳贯穿件泄漏率试验 (B 类试验) | 561 |
| 13.7.5 安全壳隔离阀泄漏率试验 (C 类试验) | 561 |
| 13.8 安全壳内裂变产物控制系统          | 562 |
| 13.8.1 事故后安全壳内裂变产物的去除      | 562 |
| 13.8.2 安全壳喷淋系统             | 564 |
| 13.9 安全壳空气过滤系统             | 566 |
| 13.9.1 系统功能                | 566 |
| 13.9.2 设备描述                | 567 |
| 13.9.3 系统运行                | 569 |
| 13.9.4 安全壳空气再循环冷却系统        | 570 |
| 参考文献                       | 571 |

## 第十四章 AP1000 核电厂辅助系统 572

|             |     |
|-------------|-----|
| 14.1 概述     | 573 |
| 14.2 燃料操作系统 | 573 |
| 14.2.1 系统功能 | 573 |
| 14.2.2 系统描述 | 573 |
| 14.2.3 设备描述 | 578 |
| 14.2.4 系统操作 | 582 |

---

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 14.3 乏燃料池冷却系统·····   | 585 |
| 14.3.1 系统功能·····     | 585 |
| 14.3.2 系统描述·····     | 586 |
| 14.3.3 系统运行·····     | 588 |
| 14.4 厂用水系统·····      | 588 |
| 14.4.1 系统功能·····     | 588 |
| 14.4.2 系统描述·····     | 589 |
| 14.4.3 系统运行·····     | 589 |
| 14.5 设备冷却水系统·····    | 591 |
| 14.5.1 系统功能·····     | 592 |
| 14.5.2 系统描述·····     | 592 |
| 14.5.3 设备描述·····     | 595 |
| 14.5.4 系统运行·····     | 596 |
| 14.6 除盐水处理系统·····    | 599 |
| 14.6.1 系统功能·····     | 600 |
| 14.6.2 系统描述·····     | 600 |
| 14.6.3 设备描述·····     | 600 |
| 14.6.4 系统运行·····     | 601 |
| 14.7 除盐水输送和储存系统····· | 603 |
| 14.7.1 系统功能·····     | 603 |
| 14.7.2 系统描述·····     | 603 |
| 14.7.3 设备描述·····     | 604 |
| 14.7.4 系统运行·····     | 605 |
| 14.8 主厂房生活水系统·····   | 606 |
| 14.8.1 系统功能·····     | 606 |
| 14.8.2 系统描述·····     | 606 |
| 14.8.3 设备描述·····     | 606 |
| 14.8.4 系统运行·····     | 606 |
| 14.9 生活污水排放系统·····   | 607 |
| 14.9.1 系统功能·····     | 607 |



---

|         |                   |     |
|---------|-------------------|-----|
| 14.9.2  | 系统描述 .....        | 607 |
| 14.9.3  | 设备描述 .....        | 607 |
| 14.10   | 中央冷冻水系统 .....     | 607 |
| 14.10.1 | 系统功能 .....        | 607 |
| 14.10.2 | 系统描述 .....        | 608 |
| 14.10.3 | 设备描述 .....        | 608 |
| 14.10.4 | 系统运行 .....        | 611 |
| 14.11   | 废水系统 .....        | 612 |
| 14.11.1 | 系统功能 .....        | 612 |
| 14.11.2 | 系统描述 .....        | 612 |
| 14.11.3 | 设备描述 .....        | 613 |
| 14.12   | 热水加热系统 .....      | 614 |
| 14.12.1 | 系统功能 .....        | 614 |
| 14.12.2 | 系统描述 .....        | 615 |
| 14.12.3 | 设备描述 .....        | 615 |
| 14.12.4 | 系统运行 .....        | 616 |
| 14.13   | 压缩空气与仪用空气系统 ..... | 617 |
| 14.13.1 | 系统功能 .....        | 617 |
| 14.13.2 | 系统描述 .....        | 617 |
| 14.13.3 | 设备描述 .....        | 619 |
| 14.13.4 | 系统运行 .....        | 621 |
| 14.14   | 电厂气体系统 .....      | 622 |
| 14.14.1 | 系统功能 .....        | 622 |
| 14.14.2 | 系统描述 .....        | 623 |
| 14.14.3 | 设备描述 .....        | 623 |
| 14.14.4 | 系统运行 .....        | 624 |
| 14.15   | 一回路取样系统 .....     | 624 |
| 14.15.1 | 系统功能 .....        | 624 |
| 14.15.2 | 系统描述 .....        | 625 |
| 14.15.3 | 系统运行 .....        | 627 |

---

|         |                     |     |
|---------|---------------------|-----|
| 14.16   | 二回路取样系统 .....       | 628 |
| 14.16.1 | 系统功能 .....          | 628 |
| 14.16.2 | 系统描述 .....          | 628 |
| 14.17   | 设备和地面疏水系统 .....     | 629 |
| 14.17.1 | 系统功能 .....          | 629 |
| 14.17.2 | 系统描述 .....          | 630 |
| 14.17.3 | 设备描述 .....          | 631 |
| 14.17.4 | 系统运行 .....          | 632 |
| 14.18   | 化学和容积控制系统 .....     | 632 |
| 14.18.1 | 系统功能 .....          | 633 |
| 14.18.2 | 系统描述 .....          | 635 |
| 14.18.3 | 设备描述 .....          | 639 |
| 14.18.4 | 系统运行 .....          | 646 |
| 14.19   | 主控室采暖、通风和空调系统 ..... | 648 |
| 14.19.1 | 系统功能 .....          | 648 |
| 14.19.2 | 系统描述 .....          | 649 |
| 14.19.3 | 设备描述 .....          | 650 |
| 14.19.4 | 系统运行 .....          | 654 |
| 14.20   | 消防系统 .....          | 655 |
| 14.20.1 | 系统功能 .....          | 656 |
| 14.20.2 | 系统描述 .....          | 657 |
| 14.20.3 | 设备描述 .....          | 663 |
| 14.20.4 | 系统运行 .....          | 664 |
| 14.21   | 通信系统 .....          | 665 |
| 14.21.1 | 系统功能 .....          | 665 |
| 14.21.2 | 系统描述 .....          | 665 |
| 14.22   | 放射性废物处理系统 .....     | 668 |
| 14.22.1 | 放射性源项 .....         | 669 |
| 14.22.2 | 放射性废液系统 .....       | 672 |
| 14.22.3 | 放射性废气系统 .....       | 678 |