



注册核安全工程
师岗位培训丛书

注册核安全工程师
岗位培训丛书

核安全案例分析

HEANQUAN ZHUANYESHU (修订版)

《注册核安全工程师岗位培训丛书》编委会 编著

经济管理出版社

注册核安全工程师岗位培训丛书

核安全案例分析

(修订版)

《注册核安全工程师岗位培训丛书》编委会 编著

经济管理出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

注册核安全工程师岗位培训丛书/《注册核安全工程师岗位培训丛书》编委员编著. —北京: 经济管理出版社, 2013. 5

ISBN 978 - 7 - 5096 - 2476 - 0

I. ①注… II. ①注… III. ①核安全—安全工程师—岗位培训—教材 IV. ①TL7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 104866 号

核安全案例分析(修订版)

组稿编辑: 勇 生

责任编辑: 勇 生

技术编辑: 杨国强

责任校对: 李玉敏

出版发行: 经济管理出版社

(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-mp.com.cn

电 话: (010) 51915602

印 刷: 三河市延风印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787mm × 1092mm/16

印 张: 9.75

字 数: 255 千字 (全套丛书 2438 千字)

版 次: 2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5096 - 2476 - 0

定 价: 350.00 元 (全套共 4 册)

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

《注册核安全工程师岗位培训丛书（修订版）》编委会

主任委员：李宗明

副主任委员：梁士彪 张志刚 柴建设 陈金融 柴国早

委员：（以姓氏笔画为序）

卞洪兴 王青松 李洪训 许明霞 吴钟旺 张天祝

张健 罗上庚 周志伟 洪润生 施仲齐 赵亚民

顾洪坤 奚树人 潘英杰

修订版出版说明

《注册核安全工程师岗位培训丛书》自出版发行以来，深得专家、学者和广大读者的热情支持，在此表示感谢。随着我国核能与核技术利用领域的形势发展及注册核安全工程师培训任务的需要，结合本丛书近年来的应用实践，我们深感本丛书还存在许多不足之处，因此，组织了部分专家、学者对本丛书进行了修订，以趋日臻完善。

随着时代的发展，我国政府对核安全的重视程度在不断提高，国务院及其核安全监管部门陆续发布了一些核安全法规和部门规章。为了适应核安全管理的发展形势，修订组对《核安全相关法律法规》一书进行了调整，按照法律法规的层次体系编排内容，并补充了部分法律、法规和部门规章。

结合核安全管理工作的实际情况和需要，修订组对《核安全综合知识》、《核安全专业实务》两书进行了重新编排，充实和增加了部分章节，使其内容更具全面性、系统性。同时尽量避免艰深的理论，简化了理论推导，力求做到深入浅出，理论联系实际。

《核安全相关法律法规》由王青松负责修订。《核安全综合知识》和《核安全专业实务》由卞洪兴、顾洪坤、洪润生、李洪训、罗上庚、潘英杰、施仲齐、吴钟旺、奚树人、许明霞、张健、赵亚民、周志伟等负责修订。丛书修订的汇总协调工作由王青松完成，宋少良、王承智、李莉、邢丹、张波、王冠一、陈方强、张振华、李筠斐等参与了丛书有关章节的校核工作。

虽经反复斟酌和努力，但由于时间紧迫和水平所限，《注册核安全工程师岗位培训丛书（修订版）》仍难免存在一些不足之处，敬请广大读者指正。

编者

2013年2月25日

前 言

我国对核能与核技术的开发利用始于 20 世纪 50 年代。经过多年的不懈努力，核能与核技术已在我国国防、医疗、能源、工业、农业、科研、教育等领域得到了广泛利用，这对维护我国国防安全，促进国民经济和社会发展，增强我国的综合国力，起到了十分积极的作用。但是，核能与核技术开发利用过程中的安全问题和放射性污染防治问题，也越来越突出，主要表现在：一是我国已有多座核设施，有些核设施已进入退役阶段，如果监管不严或处置不当，其遗留的放射性物质将对环境和公众健康构成威胁；现正在运行的核设施，也存在着潜在危险，一旦发生泄漏或者因发生安全事故产生放射性污染，将危及周边广大范围内的生态环境安全和公众健康。二是我国现有放射源近十万枚，由于用户多而分散、部分单位管理不善等原因，近年来因放射源使用不当或丢失导致的放射性污染事故不断发生，造成严重后果。三是在铀（钍）矿和伴生放射性矿开发利用过程中，由于对放射性污染防治重视不够，缺乏对放射性污染防治的专项管理制度，乱堆、乱放放射性废矿渣的情况时有发生，由此造成的放射性污染事故威胁着环境安全和公众健康。四是我国已产生了不少放射性废物，虽然国家有放射性废物处置政策，但是由于缺乏强制性的法律制度和措施，致使对放射性废物的处置监管不力，在一定程度上对环境和公众健康构成了威胁。为了解决上述问题，进一步做好放射性污染防治工作，在总结我国放射性污染防治的实践经验、借鉴一些有核国家防治放射性污染的成功经验的基础上，全国人大常委会于 2003 年 6 月 28 日通过了《中华人民共和国放射性污染防治法》，对我国核安全的统一监管起到了巨大作用。

为了提高核安全专业技术人员素质，确保核与辐射环境安全，维护国家、社会和公众利益，根据《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国民用核设施安全监督管理条例》的有关规定，人事部、国家环境保护总局于 2002 年 11 月 19 日颁布了关于印发《注册核安全工程师执业资格制度暂行规定》的通知（人发〔2002〕106 号），决定在核安全及相关领域中建立注册核安全工程师执业资格制度。根据《注册核安全工程师执业资格制度暂行规定》，注册核安全工程师执业资格考试科目为《核安全相关法律法规》、《核安全综合知识》、《核安全专业实务》和《核安全案例分析》。

为了方便考生复习和准备考试，本丛书编写委员会依据《全国注册核安全工程师执业资格考试大纲》的具体要求编写了此书，供广大专业人员培训或自学使用。本丛书共有四个分册，包括《核安全相关法律法规》、《核安全综合知识》、《核安全专业实务》和《核安全案例分析》。在本丛书编写过程中，虽经反复斟酌和努力，但由于时间紧迫和水平所限，难免存在不足之处，诚望广大读者提出宝贵意见，以便再版时修改完善。

目 录

第一部分 案例分析

| | |
|--|----|
| 一、反应堆工程案例 | 3 |
| 【案例 1】某试验反应堆主泵故障事件 | 3 |
| 【案例 2】某核电厂硼稀释事件 | 5 |
| 【案例 3】二环路核电厂应急给水系统设计差错案例 | 7 |
| 【案例 4】压水堆核电厂二回路管线上大气释放阀安全设计案例 | 9 |
| 【案例 5】某游泳池反应堆的超功率保护停堆事件 | 10 |
| 【案例 6】 Browns Ferry 火灾 | 11 |
| 二、铀（钍）矿与伴生放射性矿案例 | 13 |
| 【案例 1】铀矿通风不良导致的辐照超标事件 | 13 |
| 【案例 2】硝酸铀酰复合烧伤所致体内铀污染超剂量事件 | 14 |
| 三、核燃料加工、处理与放射性物质运输案例 | 15 |
| 【案例 1】核燃料元件厂六氟化铀泄漏事件 | 15 |
| 【案例 2】核燃料厂工作人员过量吸入 PuO ₂ 事件 | 17 |
| 【案例 3】核燃料元件厂放射性物质大量释放事件 | 18 |
| 【案例 4】核燃料加工厂临界事件 | 19 |
| 【案例 5】核化工厂检修 S—404 计量泵发生的喷料事件 | 21 |
| 【案例 6】废旧过滤器运输放射性物质泄漏污染事件 | 22 |
| 【案例 7】放射性物质运输铀泄漏事件 | 23 |
| 四、核技术应用案例 | 24 |
| 【案例 1】 ¹³⁷ Cs 源跌落破损污染事件 | 24 |
| 【案例 2】 ²²⁶ Ra 源破裂后造成的大面积 α 污染事件 | 25 |
| 【案例 3】 ⁶⁰ Co 放射源提升系统失灵引致的过量照射事件 | 27 |
| 五、放射性废物管理与核设施退役案例 | 28 |
| 【案例 1】铀金属车屑自燃事件 | 28 |
| 【案例 2】铀屑桶被盗事件 | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 【案例 3】高放浓缩液泄漏事件 | 30 |
| 【案例 4】弱放废水蒸残液贮存罐泄漏事件 | 31 |
| 【案例 5】1AW 二次废液泄漏事件 | 32 |
| 【案例 6】南乌拉尔乏燃料后处理设施高放废液贮罐爆炸事件 | 33 |
| 【案例 7】放射性废树脂固化体的溶胀破坏事件 | 35 |
| 【案例 8】沥青固化工厂着火爆炸事件 | 36 |
| 【案例 9】放射性废物焚烧炉过早报废事件 | 38 |
| 【案例 10】退役决策争议事件 | 39 |
| 【案例 11】退役废物过量事件 | 40 |
| 六、核设施选址案例 | 41 |
| 【案例 1】核设施选址不当导致工程下马案例 | 41 |
| 【案例 2】厂址勘探缺陷及时补救措施的案例 | 43 |
| 【案例 3】地基施工不当案例 | 45 |
| 【案例 4】泥石流对核设施安全影响的案例 | 46 |
| 【案例 5】山区洪水淹没应急柴油发电机房事件 | 48 |
| 【案例 6】外部洪水引起内部水淹的事件 | 49 |
| 七、质量保证案例 | 51 |
| 【案例 1】质量保证大纲文件不完整的案例 | 51 |
| 【案例 2】物项采购控制失误的案例 | 52 |
| 【案例 3】重复发生焊接不符合项的案例 | 53 |
| 【案例 4】调试中不满足质保要求带来不良后果的案例 | 54 |
| 【案例 5】焊接工艺过程控制失误，造成焊缝出现大量超标缺陷；缺陷处理不符合质保要求，导致无缺陷焊缝的质量不能确定的案例 | 55 |

第二部分 案例选编

| | |
|--|----|
| 【案例 1】切尔诺贝利核电厂事故 | 59 |
| 【案例 2】三哩岛核电厂事故 | 61 |
| 【案例 3】某核电厂全部丧失安全厂用水事件 | 63 |
| 【案例 4】某实验反应堆燃料试验元件熔化事故 | 64 |
| 【案例 5】核电厂主给水系统隔离安全设计案例 | 65 |
| 【案例 6】美国 Browns Ferry 3 控制棒插入故障案例 | 66 |
| 【案例 7】核燃料元件厂更换阀门引致的六氟化铀泄漏事件 | 67 |
| 【案例 8】核燃料厂 $\text{Pu}(\text{CO}_3)_2$ 夹带逸出事件 | 68 |
| 【案例 9】核燃料元件厂四氟化铀泄漏事件 | 69 |
| 【案例 10】铀浓缩厂放射性物质泄漏事件 | 70 |
| 【案例 11】核化工厂过量吸入硝酸铯事件 | 71 |
| 【案例 12】核化工厂二氧化铯洒落事件 | 72 |

| | |
|---|-----|
| 【案例 13】核化工厂量槽间钚料液泄漏事件 | 73 |
| 【案例 14】核燃料厂 ¹³¹ I 泄漏事件 | 74 |
| 【案例 15】核燃料厂运输废旧过滤器跌落事件 | 75 |
| 【案例 16】核化工厂 1A 槽泄漏事件 | 76 |
| 【案例 17】核化工厂铀线设备间泄漏事件 | 77 |
| 【案例 18】放射性同位素运输中丢失 ³² P 事件 | 78 |
| 【案例 19】放射性 KCl 样品运输中的表面污染事件 | 79 |
| 【案例 20】放射性废物运输中的表面污染事件 | 80 |
| 【案例 21】美国橡树岭 Y-12 工厂的意外临界事件 | 81 |
| 【案例 22】美国汉福特 Recuplex 工厂的意外临界事件 | 82 |
| 【案例 23】美国伍德河杰可逊工厂的意外临界事件 | 83 |
| 【案例 24】英国温茨凯尔工厂的意外临界事件 | 84 |
| 【案例 25】美国爱达荷化学处理厂的意外临界事件 | 85 |
| 【案例 26】法国皮埃尔拉特的 UF ₆ 释放事件 | 86 |
| 【案例 27】美国汉福特钚处理工厂的火灾事件 | 87 |
| 【案例 28】英国温茨凯尔工厂“首端”厂房中事件 | 88 |
| 【案例 29】美国萨凡纳河工厂的爆炸和火灾事件 | 89 |
| 【案例 30】意外 γ 辐射源照射事件 | 90 |
| 【案例 31】 ¹³⁷ Cs 源破损所致污染事件 | 91 |
| 【案例 32】丢失 ²²⁶ Ra 放射源事件 | 92 |
| 【案例 33】 ⁶⁰ Co 射线机源脱出事件 | 93 |
| 【案例 34】 ⁶⁰ Co 放射源意外照射事件 | 94 |
| 【案例 35】电子束致右手急性皮肤损伤 | 95 |
| 【案例 36】热室检修人员误受 ⁶⁰ Co 源超剂量照射事件 | 96 |
| 【案例 37】镭源破漏事件 | 97 |
| 【案例 38】电子束致左手急性皮肤损伤 | 98 |
| 【案例 39】误受 ⁶⁰ Co 源超剂量照射事件 | 99 |
| 【案例 40】EPS 辐射事件 | 100 |
| 【案例 41】核燃料元件厂蒸发池跑水事件 | 102 |
| 【案例 42】改变 UO ₂ 富集度导致临界事件 | 103 |
| 【案例 43】铀金属车屑自燃事件 | 104 |
| 【案例 44】核化工厂强放废液喷出污染事件 | 105 |
| 【案例 45】核化工厂 1 AW 废液泄漏事件 | 106 |
| 【案例 46】核化工厂生产下水污染事件 | 107 |
| 【案例 47】汉福特核基地 40 年代 ¹³¹ I 的强释放 | 108 |
| 【案例 48】通风不良导致氦及氡子体浓度超标事件 | 109 |
| 【案例 49】英国乏燃料贮存火灾事件 | 110 |
| 【案例 50】认定后更改地震等级事件 | 111 |
| 【案例 51】雷击造成全厂断电事件 | 112 |

| | |
|--|-----|
| 【案例 52】 厂址地基不均匀沉降事件 | 113 |
| 【案例 53】 新的设计要求未能落实造成不符合项的事件 | 114 |
| 【案例 54】 未认真执行质保大纲使产品鉴定无效事件 | 115 |
| 【案例 55】 设备组装作业程序疏漏造成组装返工的事件 | 116 |
| 【案例 56】 质保记录不符合要求而不能成为质量的客观证据的事件 | 117 |
| 【案例 57】 质保内、外监察不符合质保监察要求的事件 | 118 |
| 【案例 58】 管理部门审查流于形式未起到应有作用的事件 | 119 |
| 【案例 59】 设计错误致使交工后还要大量返工的事件 | 120 |
| 【案例 60】 监督和验收不力致使产品存在的严重问题到安装时才发现的事件 | 121 |
| | |
| 注册核安全工程师岗位培训丛书参考文献 | 123 |
| | |
| 附录一 关于公布 2012 年注册核安全工程师执业资格全国统一考试合格 人员名单及 2013 年考试相关工作安排的通知 | 131 |
| | |
| 附录二 注册核安全工程师执业资格考试大纲 (2013 年版) | 132 |

第一部分

案例分析

一、反应堆工程案例

【案例 1】某试验反应堆主泵故障事件

背景材料

某试验堆由两台离心式清水泵（1[#]、2[#]）建立一次水强迫循环。该试验堆于半年内发生了 5 次主泵故障，造成非计划停堆 4 次，故障涉及的问题比较集中，频度高。

主泵故障情况如下：

第一次，在反应堆临界试验过程中主泵跳闸，原因是靠近主泵的供电开关保险松开，拧紧保险后重新启动主泵，运行正常。

第二次，出现一次水流量低警告信号，手动停堆后，检查发现 2[#]主泵入口阀 Z03 处在半开状态。分析认为是 1[#]主泵振动较大，堆芯出口母管低频振动使 2[#]主泵入口阀 Z03 手轮共振下滑所致。检修发现 1[#]主泵联轴节靠背轮减振垫圈全部振碎，主泵轴端部弯曲，轴承保持架破碎，机械密封磨损。经修理后重新启泵，恢复运行。但考虑到 1[#]主泵已经损坏，决定更换，并立即向生产厂家订货。

第三次，2[#]主泵后轴承损坏。分析原因也是振动所致。（随后 2[#]主泵又一次发生后轴承损坏）

第四次，2[#]主泵入口测压脉冲管与入口管的焊缝断裂。

第五次，2[#]主泵入口测压脉冲管与入口管的焊缝再次断裂。

如上所述，每次主泵发生故障，均采取了一定的处置措施，但没有阻止故障的一再发生。根据长期以来存在地面振动较大的情况，推断 1[#]主泵机座可能发生下沉，使泵轴扭曲，造成多次运行设备损坏，决定在更换新泵时拆除机座重新浇注。

拆除 1[#]主泵机座见到的情况符合分析意见：

1. 移开主泵底盘后，发现机座上部水泥层全部振碎为粉末状；
2. 电机机座部位混凝土较为疏松，特别是南西部位地脚螺栓周围混凝土尤其疏松，构成受力不均匀而振动；
3. 混凝土机座比较单薄，载荷能力不足，机座没有开挖机坑，仅与地面构成一体，下面存在很厚的软土层，振动能量形成纵向与横向波动，在长期过程中渐变而产生位移与变形。

为此，针对浮土层开挖近 1 m 深的机坑，考虑设置槽支架、定位板、安装板及微调对中措施。1[#]主泵安装完毕。试车启动运行平稳，振动和噪声很小，用振动仪测试，符合设计要求，经验收后，正式投入运行。

对 2[#]主泵同样更换新泵并重建机座。此后，主泵运行状态良好。

问题

1. 根据国家核安全法规试分析本案例发生非计划停堆的主要原因。

2. 本案例的纠正措施是如何确定的? 其内容包括哪些因素?
3. 应汲取的经验教训。

分析要点

本案例属于研究堆的运行事件。在分析多次发生非计划停堆的原因时, 应根据背景材料提供的情况进行。在此基础上分析得到主要原因是设计缺陷、施工缺陷、管理因素和人的因素。确定纠正措施应基于主要原因而考虑。应汲取的经验教训包括设备和人为两方面因素。

参考答案

1. 主要原因:

(1) 这是一起因为反应堆主要设备故障而引起的运行事件。1#和2#主泵由于振动过大多次发生故障, 造成多次非计划停堆。对前几次故障只是作了局部处理, 马上又投入运行, 并没有解决根本问题, 因此故障连续发生。

(2) 由于主泵振动过大引起损坏, 进一步分析发现导致两台主泵多次发生故障是由于机座设计载荷能力不足及施工上存在严重的缺陷。工作管理中的人为差错表现为: 只查一般情况, 而没有分析主要原因, 因此无法找到正确的纠正措施, 造成事件一再重复发生。人为差错表现为: 人员发现、解决问题的能力不够, 造成事件连续发生。

2. 纠正措施是根据主要原因确定的。纠正措施包括: 机座设计、机座施工、管理改进和提高维修人员的知识与能力。

3. 应汲取的经验教训: 必须把减少和防止设备故障与人为差错作为重要的安全目标。从管理角度来说, 必须建立起一套完整的规章制度并严格执行。发生了故障, 要查明情况, 采取切实可行的纠正措施。这样才能从根本上解决问题。从人员来讲, 检修工作必须由受过良好培训、知识与技能称职的人员承担, 否则难以胜任工作。

【案例 2】某核电厂硼稀释事件

背景材料

某核电厂在对主系统升压补水的过程中，操纵员误将换料水箱中 2 100 ppm 的硼水当作硼酸制备系统 7 000 ppm 的硼水与清水混合，补入了主系统。后从硼浓度表指示发现问题，及时停止了补水过程，事件没有造成严重后果。

事件后调查发现：由于核电厂过于关心进度，在大量系统尚未完成调试的情况下急忙装料，导致许多系统尚未移交主控制室。由于系统调试工作分散，使主控制室人员对核电厂整体状态，特别是系统状态缺乏了解和控制，因而并不知道系统状态已经改变，补水用的硼酸补给泵已从硼酸制备系统切换到换料水箱，而从事补水操作的操纵员并不知道。

问题

1. 根据国际核事件分级表（INES）试对本事件进行分级。
2. 根据国家核安全法规试分析本事件的主要原因。
3. 应汲取哪些经验教训？

分析要点

本案例属于核电厂运行事件。事件分级应按国际核事件分级表（INES）的规定进行。事件的主要原因应根据背景材料所提供的情节进行分析，主要涉及核电厂反应堆运行中的生产安排、信息沟通和操纵员失误等人为差错，在此基础上分析，主要涉及安全管理以及运行人员的资格等。总结应汲取的经验教训。

参考答案

1. 根据纵深防御准则，该事件出现了超出规定运行范围的异常情况，事件分级为 INES 1 级。

2. 事件的主要原因：

(1) 这是一起核电厂反应堆运行的安全事件。一方面没有真正树立“安全第一”的思想，生产进度的安排忽略了安全的要求，在大量系统尚未完成调试的情况下急忙装料，导致许多系统尚未移交主控制室。同时，由于系统调试工作分散，使主控制室人员对核电厂整体状态，特别是系统状态缺乏了解和控制，并不知道系统状态已经改变。另一方面操纵员没有特别关注防止硼稀释事件的问题，没有进行有关的检查与观测，出现了操作失误。

(2) A. 工作管理中的人为差错。一方面营运单位管理层在安排生产计划时出现了差错，另一方面在信息沟通和反馈上出现了失误。

B. 从核电厂反应堆运行的基本要求来看，操纵员的知识和技能尚不能满足要求。

3. 应汲取的经验教训：

必须把减少和防止核电厂的人为差错作为重要的安全目标之一，为此：

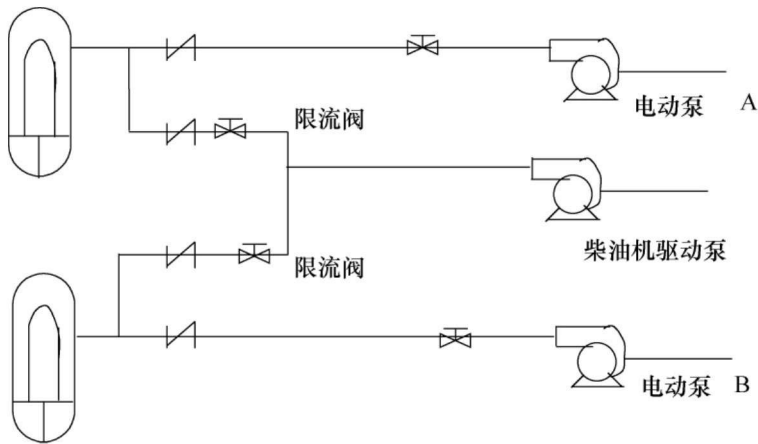
(1) 从管理角度来说, 真正树立“安全第一”的思想, 生产进度的安排必须符合安全的要求, 并在实践中严格执行。计划的制订和执行的情况必须及时传达到每一个有关的工作人员, 使其及时了解工作进展的有关信息。

(2) 从人员资格角度讲, 首先, 要进一步加强运行人员责任心, 在执行重要操作前, 应该核实系统状态, 再进行操作。其次, 对运行人员应加强培训, 以提高安全意识和技能。此外, 运行人员还应通过经验反馈了解有关核电厂的运行经验和教训 (如在核电厂运行过程中多次发生过的硼稀释事件等), 以防止发生类似的事件。

【案例 3】二环路核电厂应急给水系统设计差错案例

背景材料

二环路的某核电厂的辅助给水系统（应急给水）系统，设计包括有两台电动给水泵分别给两台蒸汽发生器提供应急给水，一台柴油机驱动给水泵向两台蒸汽发生器提供应急给水（如图）。对于应急给水最具挑战性的设计基准事故为“主给水管道断裂”。在此事故发生时，如能向完好蒸汽发生器提供 36 t/h 流量的应急给水，则能达到安全要求。如果设计给出上述电动泵的流量为每台 48 t/h，在事故过程不能关闭应急给水阀，柴油机驱动泵的给水阀为限流阀，最大流量为每台 44 t/h。



问题

1. 两台电动泵的动力取自什么电源？
2. 安全 S 分析时，破口及单一故障应如何保守的假设？
3. 柴油机驱动泵至少应有多大流量？

分析要点

这是一个核电厂工程安全设计的案例。第一个问题应考虑分析设计基准事故对厂外交流电源的假设，同时应考虑防止一台应急柴油发电机失效引起共因故障。第二个问题保守的假设应考虑最不利的情况。第三个问题涉及柴油机驱动泵在存在破口处于最不利情况下的供水流量计算。

参考答案

1. 分析设计基准事故，应假设厂外交流电源丧失，为防止一台应急柴油发电机失效引起共因故障，电动应急给水泵 A、B 应分别接在应急柴油发电机系列 A、B 上。