

# 聚焦创新促转型 繁荣科技促发展

编者按

5月10日,常州市第五届学术活动月和第23届科普宣传周拉开帷幕。开幕式后,中国科学院陈达院士、中国工程院叶奇蓁院士针对日本核事故和核安全分别作了精彩的报告。本期《科海导航》将两位院士的报告进行摘编,以飨读者。

## 高端论坛

### 核电站设计的安全准则

保证核电站及环境安全的三项基本要求:反应堆安全停闭;确保反应堆余热导出;放射性安全壳内包容。

### 我国的核电发展

在役核电站安全稳定运行。2010年,共有13台机组运行,总装机容量1073万千瓦,总负荷因子85%~90%。未发生过国际核事件分级2级及2级以上运行事件。核电站排出物低于国家标准限值2个量级以上,没有对环境带来任何不良影响。

全部核电站运行水平均在国际中上水平。其中,中核集团7台机组4台进入国际先进行列。广核集团的大亚湾1号机组和岭澳1号机组,在法国同类机组中排名第二、第三,与WANQ世界核营运者组织)9项指标对比,全部达到世界先进水平。

进入批量化加快发展阶段。近两年来,国务院陆续批准了新的核电项目,其中二代改进型的有28个机组,达到批量规模。三代的AP1000和EPR也开始建设。目前,我国二代改进型压水堆核电站已具有全面的自主化能力。

### 福岛第一核电站事故情况

#### 1.事故初期

地震后,海啸之前的电站运行与应对是正常的。安全系统正常运作;安全停堆,安全系统和应急堆芯冷却系统立即启动;在厂外电源丧失时,应急柴油机组正常启动。但是,超设计的海啸高程导致全厂断电;长时间全厂断电导致堆芯冷却手段长期不可用。

#### 2.事故发生

反应堆及乏燃料水池余热冷却失效,造成反应堆温度及压力升高。冷却剂不断丧失,燃料元件露出水面。裸露的燃料元件因高温损坏;高温下铀水反应,生成氢气;氢气在反应堆厂房聚集,引起氢爆。

#### 3.3号、4号机组乏燃料水池问题

# 从福岛第一核电站事故看我国核电发展、核安全与核电装备业

中国工程院院士、核反应堆及核电工程专家 叶奇蓁

刚卸出的乏燃料还有相当的余热,按整个堆芯来算,几天后还有约10MW余热,没有冷却,一天可烧干300吨水。采取注水措施较晚,导致燃料元件高温损毁和放射性释放。如果一直得不到冷却,乏燃料可能发生损伤,放射性物质将直接释放至反应堆厂房以及环境中,后果相当严重。

### 我国核电设计中的相关安全措施

#### 1.密切关注厂址安全问题

##### (1)抗地震设计

所有涉及核电站安全的系统、设备、建筑物均应具备抗安全停堆地震的能力。其年超越概率为0.01%。厂址必须远离断层,特别是地表产生裂缝或错动的活动断层。厂房地基应安置在基岩上。

##### (2)防洪水要求

滨海核电站基准洪水位的确定,要考虑外部洪水事件组合,包括最高天文潮、可能最大风暴潮(台风)、海啸、海平面上升、暴雨洪水、上游溃堤以及波浪影响等,其年超越概率为0.1%。核电站的厂址标高一般要高于基准洪水位,即所谓的干厂址。核电站厂址周围要设置挡浪墙。

#### 2.充分重视余热导出及应急电源的可靠性

核电站供电及应急电源。每个机组从主网(500kV)上通过二台厂用变压器,供给厂用电。输电线按N+1(或N+2)考虑,以留有相当的冗余。同时还考虑设置一条专用的备用外电源(220kV),通过二台备用变压器,专门在主电网故障时提供厂用电。此外每台机组,还设有二台

核安全级的应急柴油发电机,为核电站提供应急电源。为确保应急电源的可靠性,每个厂址还设置了一台附加柴油发电机,在机组失去内外电源时,提供应急电源。

#### 3.采取防范严重事故的对策

防爆措施。每台机组在安全壳内不同部位,设有氦浓度测量装置,监测氦浓度。当氦浓度超标时,启动移动式氦氧混合装置,抽取安全壳内的空气,将氦与氧点火复合。目前新投产的机组又增加了非能动氦氧混合装置,以便随时进行氦氧混合,减少氢气在安全壳内聚集的风险。

设置安全壳过滤排放系统,以防止安全壳超压失效。通常安全壳内保持负压,当安全壳压力超过设定值时,启动安全壳过滤排放系统,过滤掉放射性杂质、气溶胶、元素碘,然后再经金属棉过滤,排入大气。既防止安全壳超压,又避免污染环境。

稳压器快速卸压。正常情况下通过稳压器上的卸压阀和安全阀排汽,以维持反应堆压力在容许范围。在严重事故情况下,通过快速卸压,将蒸汽排入卸压箱内,迅速降低压力容器压力,防止压力容器超压和高压熔堆设置熔化物包容或堆芯捕集器。

#### 4.严格控制和处理核电站三废

废气经过滤、吸附、衰变,由高空扩散排放。废水经过滤、蒸发、离子交换,稀释排放。固体废物通过水泥固化、密封包装,最终地下深埋。

其实,生活中的辐射无所不在,核电站造成的辐射可以忽略不计。如秦山核电站的实际环境辐射值约为0.005毫希/年,而0.001毫希约等于一支香烟,秦山核电站的年辐射值相当于多吸了5支香烟。

### 我国核电的安全保障体系

完整的核安全法律和法规。如,核电厂选址、设计、运行、质量保证方面的安全规定、放射性污染防治法、核电厂核事故应急管理条例以及核电厂放射性废物管理安全规定等。

完善的核安全监管体系。有独立的



张海韵 摄

# 核电与核安全

中国科学院院士、核科学与技术专家 陈达

行的400多台机组大部分属于二代核电站,证明了发展核电在经济上是可行的,但应对严重事故的措施比较薄弱。

第三代核电站 美国核电用户要求文件(URD)和欧洲核电用户要求文件(EUR)提出了第三代核电站的安全和设计技术要求,包括了改革型的能动(安全系统)核电站和先进型的非能动(安全系统)核电站,并完成了全部工程论证和试验工作以及核电站的初步设计,将成为第三代核电站的主力堆型。目前,我国第三代核电项目AP1000正在浙江三门和山东海阳进行建设。

第四代核电站 第四代核能系统概念,最先由美国能源部的核能、科学与技术办公室提出。由美、法、日、英等核电发达国家组建了“第四代核能系统国际论坛(GIF)”,制定相关目标和计划。目标是在2030年左右,向市场推出能够解决核能经济性、安全性、废物处理和防止核扩散问题的第四代核能系统(Gen-IV)。

### 核能安全

#### 一、核安全基本概念

国际原子能机构将核安全、辐射安全、放射性废物安全和放射性物质运输安全统称为核安全。

狭义的核安全则着重在维持核设施的正常运行,预防事故发生和在事故发生后减轻其后果,从而保护从业人员、公众和环境不至于受到辐射带来的伤害。

#### 二、核安全基本目标

核安全的总目标是通过在核电厂建立并保持对辐射危害的有效防御,保护厂内人员、公众和环境。

辐射防护目标。保证厂内人员和公众在核电厂各种运行状态下所受到的辐射照射和由核电厂放射性物质的计划排放所导致的辐射照射低于规定限值并保持合理可行尽量低;保证减轻所有事故的放射性后果。

技术安全目标。采取一切合理可行的措施预防核电厂的事故,并在一旦发生事故时减轻其后果;保证在核电厂设计中考虑的所有可能的事故,包括概

率很低事故的放射性后果很小并在规定限值之内;保证放射性后果严重事故发生的概率极低。

#### 三、核电站安全设计基本原则

纵深防御原则(五道防线):事故预防;监测事故;防止事故扩大;缓解事故;应急计划。

单一故障设计准则:满足单一故障准则的设备组合,在其任何部位发生单一随机故障时,仍能保持所赋予的功能。

多样性原则:通过多重系统或部件中引入不同属性来提高系统可靠性。

独立性原则:防止发生共因故障或共模故障,系统设计中应通过功能隔离或实体分隔,实现系统布置和设计的独立性。

故障安全原则:核系统或部件发生故障时,电厂应在不需要任何动作的情况下进入安全状态。

#### 四、反应堆与原子弹的区别

核燃料中的有效成分是铀-235,铀-235同样也是原子弹中的核炸药,但是核电站绝不会像原子弹那样爆炸。

核燃料中铀-235的含量约为3%,而核炸药中铀-235的含量高达90%以上。核燃料引不起核爆炸,正像啤酒和白酒都含有酒精,白酒因酒精含量高可以点燃,而啤酒因酒精含量低却不能点燃一样。

原子弹是一项高技术产品,形成核爆炸有非常严格的条件。这种苛刻的条件,在核电站里是不可能的。

#### 核事故

福岛核电站是世界最大的核电站,由福岛一站、福岛二站组成,共有10台机组(一站6台,二站4台),本次事故主要出在第一核电站。

2011年3月11日,日本东海岸发生9.0级地震并引发海啸。核电厂设计承受地震等级为8级;福岛第一核电站机组海平面高度为10米,设计预防最大海啸高度为5.7米,备用电源高度为13米。而本次海啸到达电厂时的实际高度为14米。

4月12日,日本经济产业省原子能安全保安院决定将福岛第一核电站核泄漏事故等级提高至7级,与苏联切尔诺贝利核电站核泄漏事故等级相同。该机构同时指出,福岛第一核电站释放的放射性物质要比切尔诺贝利核电站少。

包括中国在内的世界各国都开始重新审视核能发展,提高安全标准。

#### 核能未来

本次核事故对未来核能发展的启

## 常州市核电装备制造业协会

协会是由常州市核电装备产品相关的生产、经营、应用企业与事业单位及国内有关科研院所自愿组成的具有法人资格的非营利性社会团体。现有会员单位45家,专家委员会委员15名。协会成立以来,以服务企业为宗旨,以发展产业为中心,以扩大行业影响力为目标,开展了一系列工作:组织召开中国(常州)核电装备制造高层论坛、核电装备制造发展研讨会;制定常州市核电装备制造发展规划;开展核设备准入及质保体系培训、核

### 常州科技

电装备制造许可证取证咨询服务;推动并协助企业建立院士工作站、重点实验室等;组织专家企业行活动;组织企业到泰山核电、上海电气集团参观、学习、交流;积极推进大专院校与企业、企业与企业间的技术合作,促进企业技术创新;连续两年组织重点企业集体参展。

## 常州市核电装备制造企业成果展示

### 今创集团

为巴基斯坦恰希玛核电站、泰山核电站、中广核工程有限公司等单位提供20多种、逾350台套核设备和核军工设备。其中,核电站水处理型旋转滤网、核废料库远程遥控起吊起重车、反应堆压力容器顶盖吊具、抗震支承环、反应堆压力容器金属保温层等项目率先填补了国内空白。

### 常州东方机电成套有限公司

1993年发起成立常州东方核电设备制造联合体,为各大核电站和原子能科研机构完成一批有较大难度的机电一体化项目(其中数控遥控吊车、金属保温层、温室/热室运输机等填补了国内空白。正研发国内首台大型核废料处置装备。

### 江苏上上电缆集团

核心企业江苏上上电缆集团有限公司是电线电缆专业性生产企业,国家重点高新技术企业。产品涵盖超高压、高压、中压、低压、塑料、橡胶等特种电缆。获国家专利60多项,10多项技术达到国际先进水平。研发的K1类核电电缆填补国内空白,用于泰山核电。

### 常州蓝翼飞机装备制造有限公司

以压力容器设计和制造为主营业务。中国首批获得一、二、三类压力容器设计、制造许可证。可进行1000MWe压水堆核电厂核承压设备制造,1L钎焊气瓶获国家实用新型专利。核反应堆压力容器金属保温层、控制棒驱动机构复验台架等,填补国内空白。

### 常州三菱重工机械有限公司

集冶金设备、备件的研发、设计、制造和销售于一体,主要产品为炼钢设备、轧制设备、工艺设备和冶金备件。多个项目通过省级新产品新技术鉴定,申请国家专利20多项。

### 常州西电变压器有限责任公司

国家定点生产变压器类产品的国有控股公司,全国变压器行业十强企业。“超(特)高压、核电站用巨型变压器技改项目”已建成并投产。主要生产10kV~1000kV交流变压器、特大容量核电站用巨型变压器等11个系列400余种产品的变压器产品。

### 常州格林电力机械制造有限公司

从事液阻阻尼器及管道支吊架的设计、制造与服务。为核电站提供核级阻尼器产品及检修累计3800余台。已取得《民用核承压设备制造许可证》、《民用核安全机械设计许可证》。

### 常州八益电缆有限公司

致力于光伏电缆、光伏接线盒等清洁能源产业的特种电缆的设计、制造。研制的达到国际先进水平的核级电缆、数据总线、低电感型电缆均为国内首创,市场占有率第一。

### 中海油常州涂料化工研究院

形成涉及核设施等国民经济重点领域和武器装备等特殊领域的近600项科研成果。获国家科技发明奖2项、国家科技进步奖8项、国家科技大会奖8项、省部级科技进步奖36项。拥有专利40余件、专有技术数十项。

### 常州电站辅机总厂有限公司

获得“民用核安全设备的设计/制造许可证”。为民用核电站、出口核电站、国内各类实验堆、军用核设施、军用核舰艇等提供产品5000多台。

### 江苏华光电缆电器有限公司

专业从事电线电缆的制造,首批取得“民用核安全设备设计/制造许可证”。拥有专利技术10余项,开发出1E级K1类电缆和核电站用电气贯穿件。



中国科学院院士、核科学与技术专家陈达。 张海韵 摄

## 科普之窗

### 核能发展

#### 一、国际核能发展现状

2009年,核能约占世界总能源6%,核电年发电量占世界总发电量14%。截至2010年10月,全世界共441座反应堆,376.3GWe,18个国家的核电超过本国供电的20%。

#### 二、中国核能发展现状

2005年3月,国务院把我国核电发展政策由“适度发展”修改为“积极发展”。中长期目标预测,到2020年,70GW(占总容量5~6%、总发电量7%);2030年,200GWe(占总容量10%、总发电量15%);2050年,400GW(占总容量16%、总发电量22%)。

#### 三、核能转换“四步曲”

反应堆:将核能转变为热能(高温高压水)。

蒸汽发生器:将一回路高温高压水的热量传递给二回路的水,使其变为饱和蒸汽。

汽轮机:将饱和蒸汽的热能转变为高速旋转的机械能。

发电机:将汽轮机传来的机械能转变为电能。

四、裂变反应堆发展体系(第一至四代堆)

第一代核电站 上个世纪50年至60年代初苏联、美国等建造,属于原型堆核电站,主要目的是为了通过试验示范形式来验证核能在工程实施上的可行性。

第二代核电站 目前世界上商业运

Advertisement for 'Ke Hai Navigation' (科海导航) magazine. It includes the magazine's logo, contact information for the editor (Chen Da), and a subscription notice for the 63rd issue. The text mentions it is a joint publication of Wenzhou Daily and Wenzhou Science and Technology Association.