

投资逻辑篇：了解中国的核电产业

序：

核电行业相对于绝大多数人来说，是相对陌生的，但在资本市场里，一片白纸般的陌生等同于机会，就如同 2010 年的高铁一样在资本市场里被投资者挖掘的淋漓尽致。因为我的同学是辽宁大连红沿河核电站项目一个工程组负责人，本人曾驱车前往当地学习，了解相关产业，寄希望于本文里面相关专业资料能对接下来核电行业及引申附属产业里面挖掘出更多的投资机会。（二级市场上，个人认为市场对这个行业尚未完全挖掘，后面依然有投资机会）在他的授权下给了我一些可以了解的相关资料，

跨入 2015 以来，我们国家的宏观战略背景发生重大改变，实行走出去的战略不仅仅对于技术相对成熟的高铁产业，包括核电产业等，从实体经济角度来讲，其实这个行业早在 5-6 年前的规模及技术已经相对成熟，没有被市场主要挖掘的主要原因是产品的替代。而在中国核电上市之后，对资本市场而言，整个行业可能蕴含着特殊的意义在于：国企改革大背景下，整个中核集团在资产**证券**化道路上迈出的第一步。以核能发电为主营业务的企业走向资本市场。从宏观层面上看，对于我国重启核电发展及推动核电走出去战略都具有积极意义。

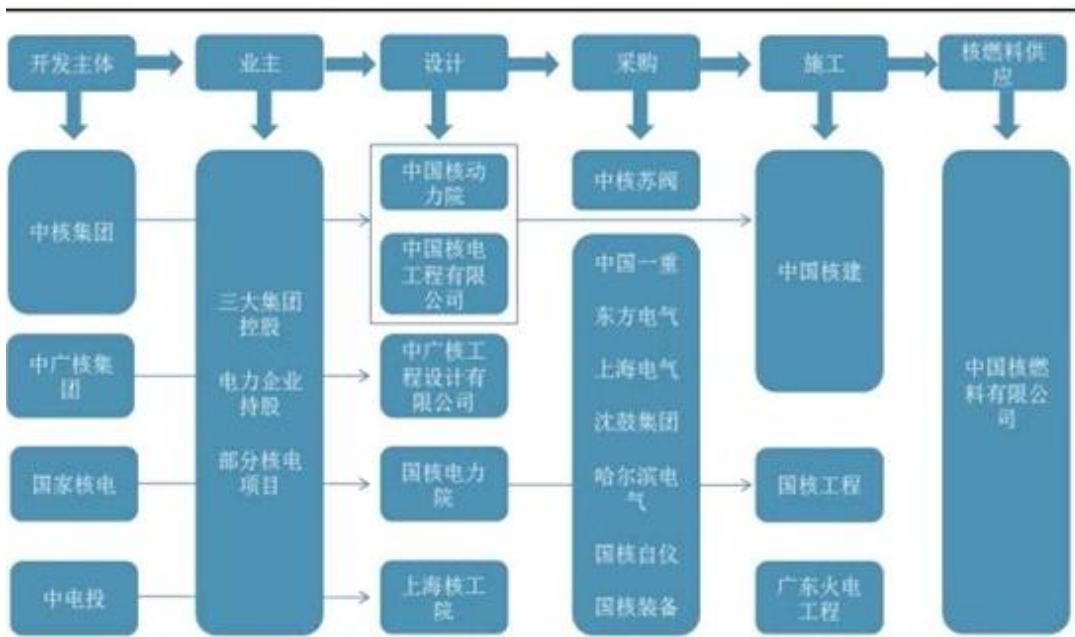
从战略投资眼光来看：国家层面对核电的态度已经变得清晰，未来主基调肯定是要大力发展，其深层次原因无外乎能源结构调整的内在需求，甚至事关国家能源战略安全。我国潜在规划项目总计超过 1 亿千瓦，核电投资环比月度数据同比持续快速攀升，但前年日本突如其来的海啸造成的福岛事故一度给国内核电发展带来灾难性打击，国务院迅速叫停了新项目审批，并对已在建项目进行彻底的安全检查，紧急叫停刚拿到批文的田湾二期 3、4 号机组、阳江一期 4 号机组、福清二期 4 号机组、山东石岛湾高温气冷堆建设项目。我国在筹建的核电站超过 20 座，此前经过国家发改委审查的 40 余个初步可研究的核电项目，内陆项目占据半壁江山，湖北、湖南、江西、四川、重庆、河南、黑龙江、吉林等省均在筹划建设核电站。将拉动约 1900 亿元设备投资。核电项目数千亿元的投资，对内陆地区经济增长、税收贡献将带来很大贡献。

从上市公司直接层面上来看，上海电气核岛设备具较强竞争力，与中国一重相比，优势在于可以依托传统的发电设备制造业务，生产汽轮机和发电机等常规岛设备和配套设备，而这些业务中国一重没有涉足。核电设备主要由核岛（一回路）、常规岛（二回路）主设备和辅助设备构成，市场主要由上海电气、东方电气、哈尔滨电气及中国一重分得。东方电气侧重于二代半技术，而上海电气的三代技术参与度更高。东方电气作为行业龙头，此前独霸核电设备 50% 市场份额的局面正在发生转变，以常规岛主设备 2012 年市场份额为例，汽轮机和发电机方面，东方电气优势明显，在汽水分离器设备方面，上海电气已经同东方电气平分秋色，市场份额均为 40%。在建机组核岛主设备方面，中国一重在大件上的优势非常明显，其反应堆压力容器市场份额高达 62%。

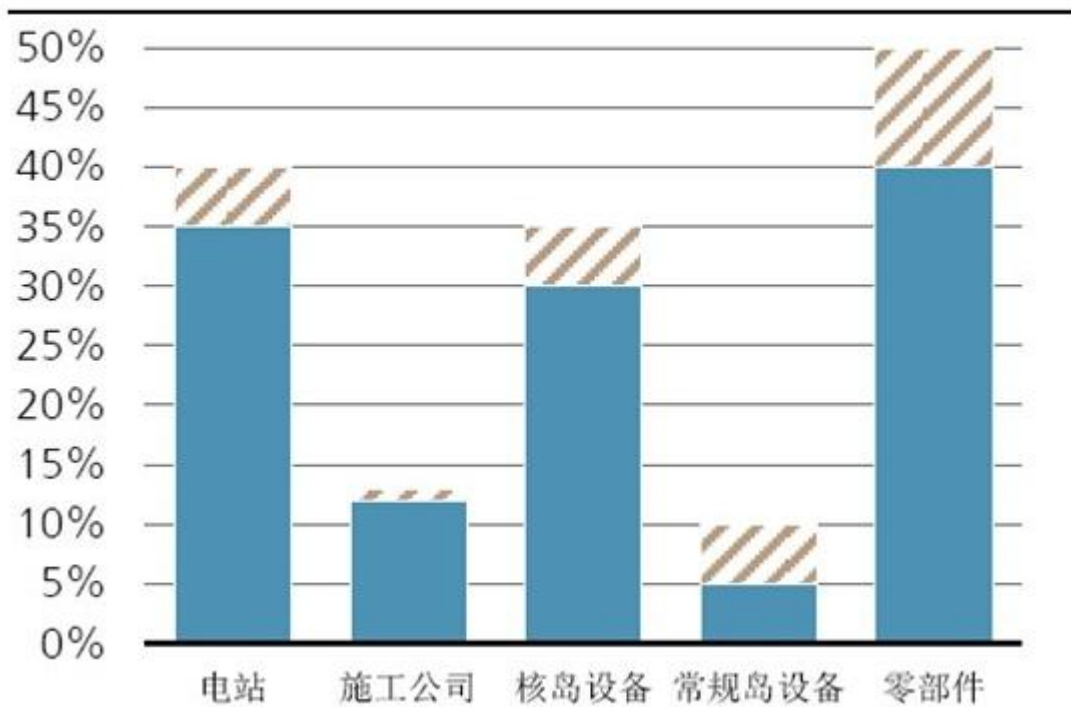
施工建设方：主要是中国核建，国核工程，广东火电，其中中国核建占据了 85% 的市场份额。

核电站运行：包括核燃料，核乏料的处理等，主要是中核集团，中广核集团旗下子公司。

我国核电产业链结构



中国核电产业各产业链毛利率对比分析



主设备：核岛的关键，各设备产业链较短

核电主设备包括：主泵，反应堆压力容器，蒸汽发生器，堆内构件&控制棒驱动机构，主管道，稳压器，钢制安全壳，堆芯补水箱 9 大设备，AP1000 堆型还包括爆破阀。

设备的作用如下：

1 主泵：被称为核电站心脏。反应堆压力容器中的高温高压水，在蒸汽发生器内通过热交换传给二回路中的水和蒸汽，通过主泵重新进入反应堆压力容器。

2 反应堆压力容器：核反应堆在压力容器中反应；

3 蒸汽发生器：一二回路的枢纽，将反应堆产生的热量传递给二回路，产生蒸汽，从而驱动汽轮发电机发电；

4 堆内构件&控制棒驱动机构：堆内构件功能是支撑定位核燃料组件。控制棒驱动机构是反应堆动作部件，通过控制棒组件在堆芯上下抽插，实现反应堆启动，功率调节等；

- 5 主管道：被称为核电站主动脉。连接反应堆压力容器，主泵和蒸汽发生器；
- 6 稳压器：主要功能是控制核岛中水的压力变化，提供超压和低压保护；
- 7 堆芯补水箱：主要作用是储存冷却水源；
- 8 爆破阀：AP1000 核电站安全关键设备，当发生严重事故时，爆破阀迅速打开，冷却剂将系统热量排出从而保护核电站安全；

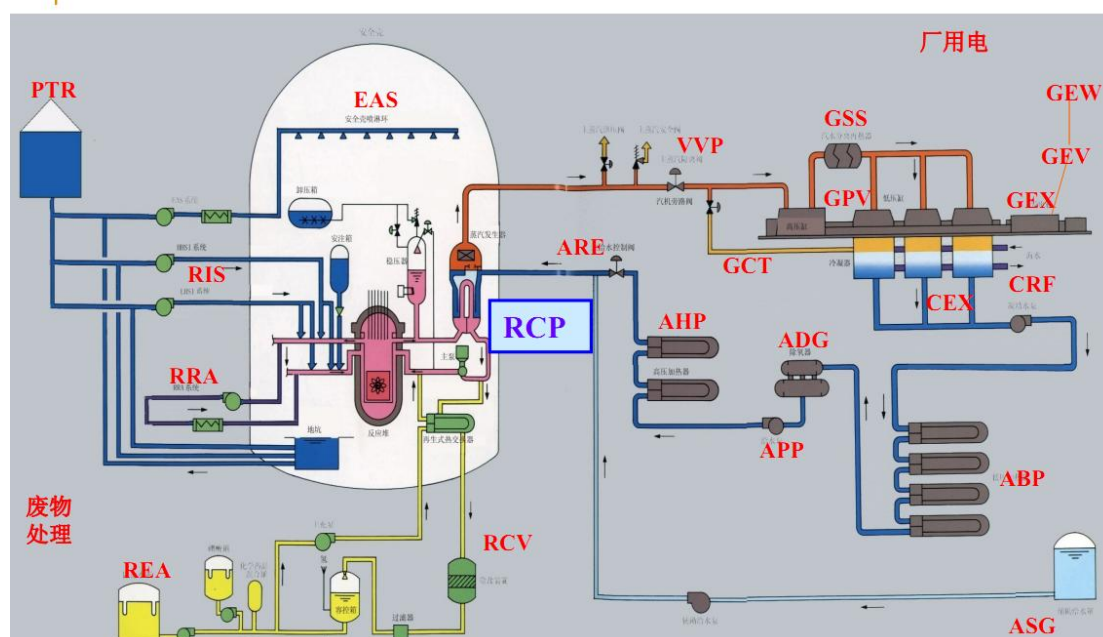
从供应链的情况，核电主设备的供应链都比较短，上游供应链主要是锻件，铸件生产企业，特种管材生产企业。

核电主设备供应链及相关公司

上游供应商（及相关上市公司）	对应主设备及相关上市公司
泵壳铸件（应流股份）	主泵（沈鼓集团）
阀体铸件	爆破阀（中核科技）
锻件企业（中国一重，中国二重）	压力容器（中国一重，上海电气）
外协厂商（海陆重工）	堆内构件生产企业（上海电气）
锻件企业（中国一重） U型管（久立特材） 管板	蒸汽发生器（东方电气，上海电气，哈尔滨电气）
冶炼（丹甫股份） 锻造	主管道（丹甫股份）
锻件企业（中国一重）	稳压器（上海电气，东方电气，哈尔滨电气）

因为我的同学是辽宁大连红沿河核电站项目一个工程组负责人，本人曾驱车前往当地学习，了解相关产业，寄希望于本文里面相关专业资料能对接下来核电行业及引申附属产业里面挖掘出更多的投资机会。（二级市场上，个人认为市场对这个行业尚未完全挖掘，后面依然有投资机会）在他的授权下给了我一些可以了解的相关资料，

核电站工作原理总图



反应堆本体结构；

1：堆芯结构；燃料元件及燃料组件；堆内构件及其作用；控制棒驱动机构的工作原理。

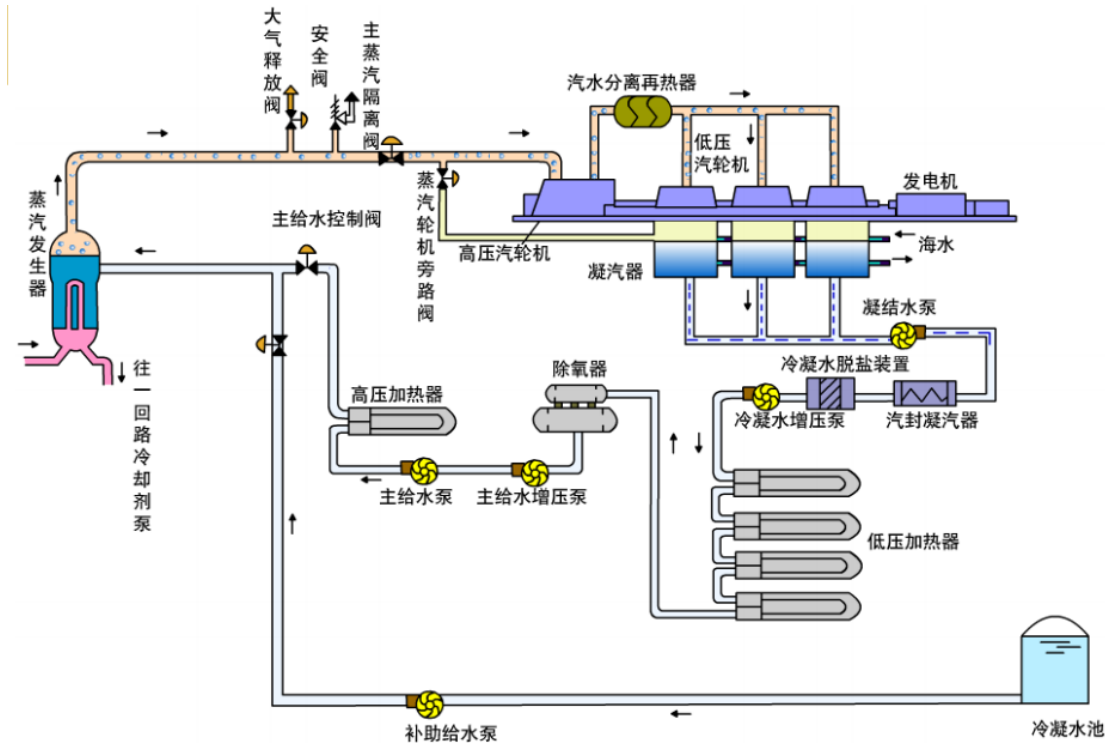
反应堆冷却剂系统功能、组成、参数范围及布置。核电厂对主泵的要求；主泵的种类；各种主泵是如何解决密封问题的。

2：叶轮泵的一般特性。蒸汽发生器的作用、种类、结构。稳压器的作用、结构、工作原理:运行时：载出堆内产生的热量，并通过蒸汽发生器传给二回路工质，

产生蒸汽，驱动汽轮发电机组发电。

3：停堆后第一阶段：带走堆内的衰变热。系统的压力边界构成防止裂变产物释放到环境中的一道屏障。反应堆冷却剂作为可溶化学毒物硼的载体，起慢化剂和反射层作用。系统的稳压器用来控制一回路的压力，防止堆内发生偏离饱

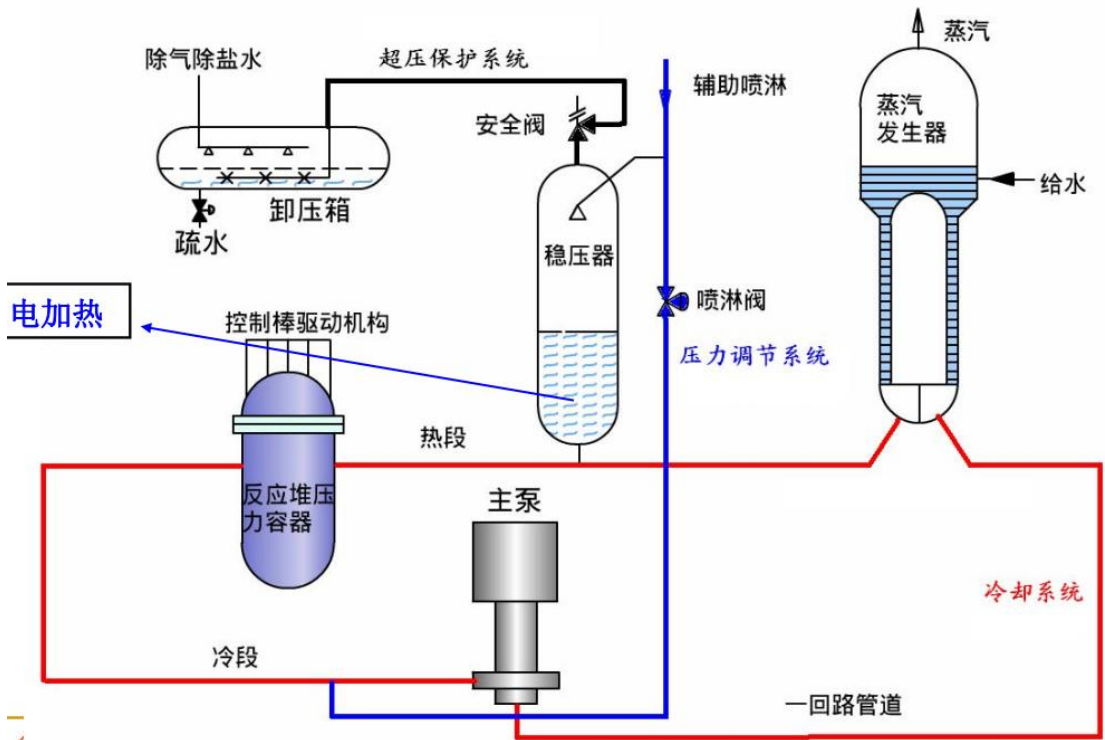
和沸腾，同时对一回路系统实行超压保护。



二回路系统系统

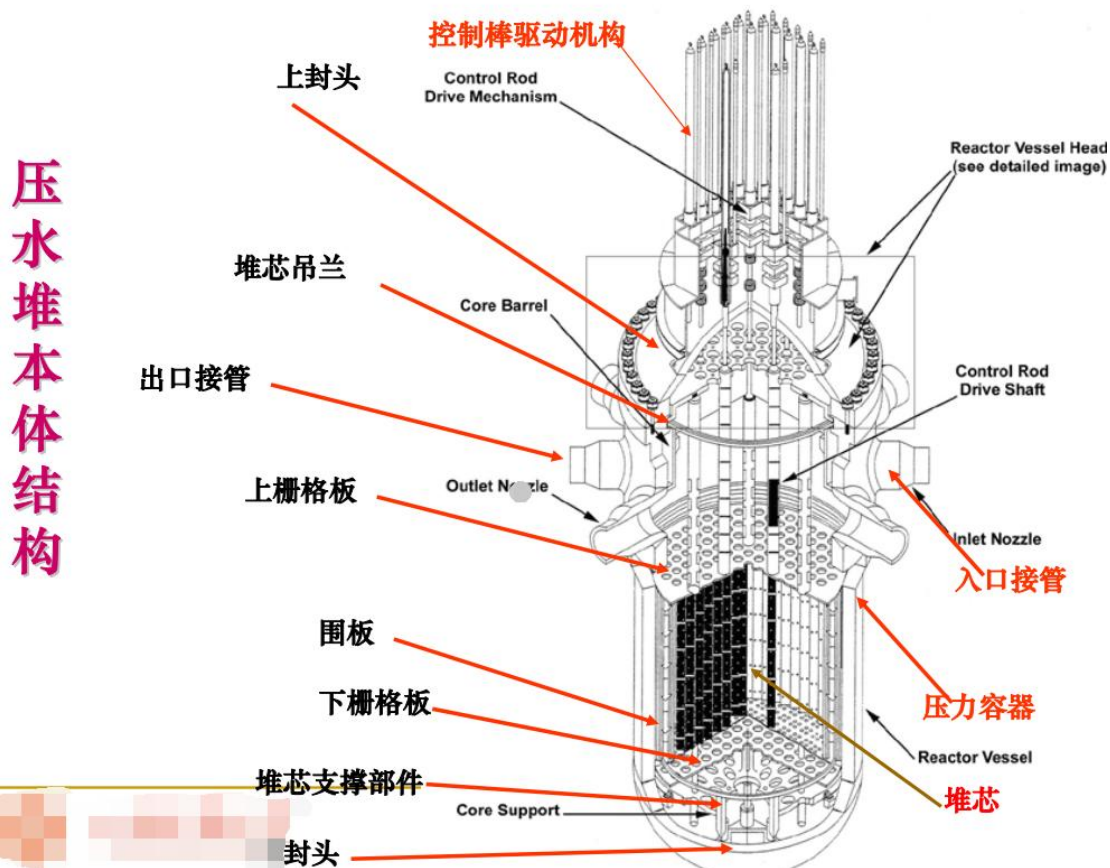
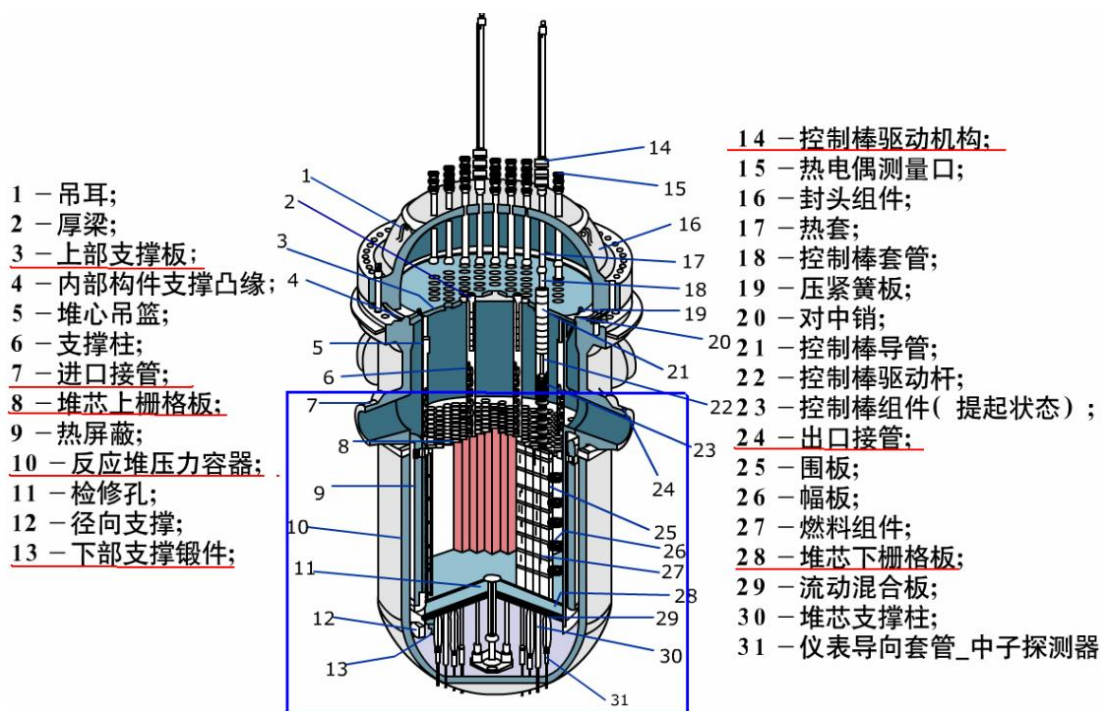
1.2 系统描述

冷却系统； 压力调节系统； 超压保护系统



反应堆冷却系统流程简图

核电厂的一回路系统由若干并联的环路组成。一个环路所输送的热功率与压水堆核电厂规模和设备设计制造能力有关。目前核电厂一回路一般采用 2 - 4 条环路并联形式。



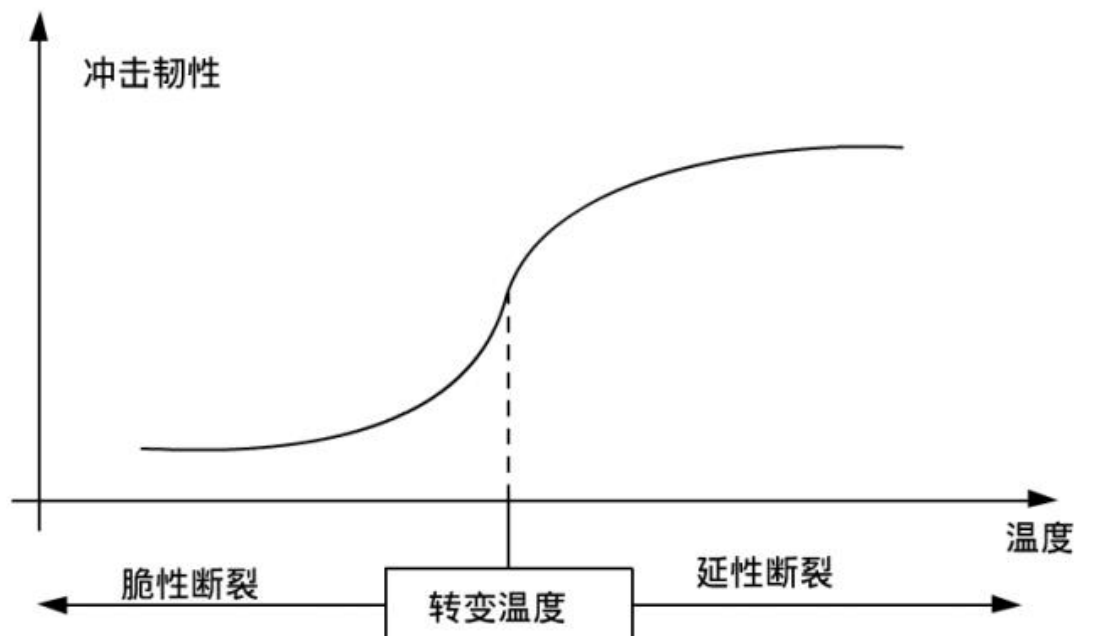
在相同堆功率情况下，单个环路功率提高后，就可以减少环路数目，减少相应的设备和部件，降低设备投资和维修费用。这样，降低了核电厂每千瓦的造价和每度电价格，经济上有利

为了满足反应堆压力容器在高压高温和受放射性辐照环境下的特殊要求，需要选择优质性能的材料，以保证反应堆压力容器的良好的加工制造性能和在整个寿期(30-40 年)内的机械性能

典型压水堆核电厂功率及一回路容量

用户	功率(MW)	环路数	单环功率(MW)	单环流量(t/h)
秦山一期	300	2	150	16100
秦山二期	600	2	300	17550
大亚湾	900	3	300	17550
田湾	1000	4	250	16100
燃烧公司(美)	900	2	450	21000
西屋,法马通	1300	4	330	18000
燃烧公司(美)	1300	2	600	23300
CNP1000(中)	1000	3	340	23790

对每一种钢材而言，存在一个脆性转变温度：在这个温度下，材料可能发生脆性断裂。在脆性转变温度以下，材料会丧失其原来具备的优良机械性能。。



每一台机械设备的背后都是由机械装置、电源、控制系统以及设计和操作中的多重安全措施共同编制起来的一张网，为垂直升降运输提供了安全保证。**在 ASME 国际组织的 600 类标准中**，关于电梯和扶梯的安全规范、检查员手册、现行安装要求、疏散指南以及电气要求等，是其中规模最大的类别之一。

据保守估计，美国每年电梯乘客人数达 2000 多亿，从这个数字中很容易看出此类规范和标准在公共安全中的重要地位。技术动态的变化决定了全球的技术应用，ASME 标准则不断的进行更新，以保证与技术变革齐头并进。

从关系到公共安全的基本设计原则出发，这些规范与标准确定了对设备设计、安装、操作、检验以及维护的准则和要求。尽管工作的成果并不是那么显而易见，但设备的安全运行为日常生活带来的便利无处不在。系统背后的复杂性不断对工程师提出挑战，有些专业人士甚至将整个职业生涯投入到这一领域。

1. 什么是性能测试规范

ASME 性能测试规范 (PTC) 制定了性能试验的规划、准备、执行以及报告的标准和程序。性能试验是一项工程评估，其结果可表明设备功能的执行效果。

性能测试规范来源于“动力试验规范”，强调了针对能量转换设备的试验。第一项 ASME 规范是发布于 1884 年的“锅炉试验标准”。如今，已经发布了有近 50 项性能测试规范 (PTC)，涵盖了单独的零部件（蒸汽发电机、涡轮机、泵、压缩机等）、系统（燃气脱硫设备、燃料电池）和成套设备（联合发电厂）。除设备规范外，还包括对计量系统（温度、压力、流量）仪器设备的增补以及多个规范的通用技术（不确定性分析）。

一个多世纪以来，ASME PTC 试验基于现有的工程知识和实践，并充分考虑了试验成本和所获得的信息的价值，其结果一直保持着最高的精确性。所有 ASME 规范的制定，均采用了该规范各有关方面的意见以及相关设备或程序的输入数据。“规范”经常在合同中被引用，用于确定保证设备正常运转的方法，此时的规范即具有法律文件的效力。

PTC 通常由设备所有人、设备供应商以及测试工程师所采用。ASME PTC 可以避免用户买到低劣产品，并可通过提供可靠的产品，使供应商参与公平竞争。通过采用 PTC 测试结果，极大的加强了采购规范。当购买新设备时，采购

商可以规定：设备的质量保证要以相应的 ASME PTC 测试为依据。设计工程师参考的 PTC 文件，可保证获得正确的设备连接。测试工程师可安装所需要的检测仪表，并采用规范中规定的程序以及计算方法对新设备进行测试。参与测试的各方代表可确保测试方法符合规范的规定。最终，将测试结果与性能标准进行比较。

有时，制造商和供应商想确定设备的准确性能，以了解其设计余量或制造公差对性能的影响，在这种情况下所进行的规范测试则不在性能保证范围之列。

为了确保 ASME PTC 测试能够更好的服务于全球的工业，目前还对其它一些产品和服务进行了评估，在对能量转换和工业生产工艺、系统以及设备的标准化测试、监控和分析领域中，ASME 作为卓越的标准方法提供者，一直在不断的开发和补充新的规范。

本小节包括对核电站的建设单位、制造商、安装单位、设计方、材料生产商、材料供应商以及用户的通用要求，规定的核电站支撑结构包括专门用于从管道系统部件的压力屏障传输载荷到承载结构的金属支撑结构。在某些情况下，在部件支撑载荷路径中可能有不符合该部分标准的插入部件，如柴油发动机、电动机、阀门操作部件、冷却器和检修结构。

无损检验仪器设备随着 IT 技术发展很快。出现了很多新型仪器。ASME 规范采用的技术都是成熟的技术。在规范产品制造过程中，有效地控制着产品质量。近十年来 ASME 推广的新技术很多。射线照相检验强制性附录 II 实时射线透视检验法提出了射线透视实时成像的简明要求。随之又有附录 III、IV 有关数字成像的要求。加上 B 卷中 SE-1255 射线透视检验的标准实施细则和 SE-1416 焊件射线透视检验的标准试验方法，构成 ASME 规范对射线透视实时成像检测 (RTR) 完整的论述。

ASME 规范对 RTR 系统的组成强调了六个单元。即射线源、检验系统、机械驱动系统、数据处理系统、图像显示系统和记录存档系统的最佳组合。规定了 RTR 系统特性和成像质量鉴定的三大校验器材。即校验试件、阶梯试块和线对测试卡的三器并用。提出了对 RTR 系统参数的十大量化公式。形成了对面状缺陷最小可检尺寸的三维评价。

焊缝超声波检验方法强制性附录 IV 相控阵和非强制性附录 E 计算机成像技术中 E-474 超声相控阵技术，是一种处理方法，在这种处理方法中，当对

受检工件进行扫查时，控制水平方向（横向）声束角变化得到超声波检测数据。该方法的优点是通过使用更多入射角，使反射体的信息大大地增加。相控阵探头由一组独立的线状晶片安装在同一楔块上组成。这些晶片用预置的时间延迟模式分别激励。通过各发射脉冲间的线性延迟，产生一个斜射声场。可以用电子方式改变入射角。在接收时，通过各晶片接收声能。并利用与发射时所用的相同的时间延迟模式，将所有信号叠加处理。相控阵形成的图像更易解释。因为缺陷的反射声束与缺陷表面垂直。裂缝和平面型缺陷可用其上下二端端部的衍射信号来验证。因为这种层析对缺陷端部信号重现相控处理技术。它将这些折射现象用图像清晰地重现出来。将铁磁材料磁化，其表面和近表面不连续在材料表面形成漏磁场。通过检测漏磁场来发现不连续。这种技术称漏磁场检验（MFL）技术。其优点是易于实现自动化、可靠性好、可实现不连续的初步量化和高效无污染等。漏磁场检验可探测裂缝，狭缝，凹坑，折叠和非金属夹杂等缺陷。漏磁场检验设备必须伴有一块与被检材料有同样成份，生产方式和相同公称厚度的试块。试块双面机加工并带有切槽，钻孔和其他不连续。检测对象可以是平板，也适用于管子和管道内外壁的缺陷。

远场涡流技术是一种利用内探头检测由导电材料制成的管材。远场涡流能检测整个管壁和弯管或变径管。对于铁磁材料的管子，其轴向和周向的检测灵敏度几乎相同（相差在一倍以内）。

远场涡流是由激励线圈产生的交变磁场，在附近管壁中感生出周向涡流。而周向涡流产生的交变磁场则扩散到管壁外，并导向至远场区。再进入管壁向内扩散，再返回而形成封闭磁路。在远场区的交变磁场进入检测线圈形成检测信号。该信号幅度和相位与管壁厚度，磁导率，导电率，工作频率和缺陷有关。

确保核反应堆压力容器的完整性

为了与 1946 年制订的原子能法(这是美国国会制定的法律，它为原子能的发展与应用打开了大门)在概念和规定上保持一致，在规范中把核反应堆压力容器规定为核电站中的唯一重要设备。由定义可知，核反应堆压力容器一旦失效，将会导致灾难性事件。换句话说，这种事故是不允许发生的。因此，就要求核反应堆压力容器在所有各方面都应是最完好的：即采用分析设计，使用最好的材料，最佳的制造、检验、检查技术以及试验技术。而且，在反应堆压力容器

的整个使用寿命期间还要继续进行最完善的检验、检查和试验。从那时起，对核反应堆压力容器的完整性及如何继续保持其完整性，一直在进行大量的研究工作。但即使如此，从真正的科学态度出发，还应当认识到：在全世界即将投入运行的上千台反应堆压力容器，难免会在其某些部分发生概率极小的失效。但可以预计，这种失效不会是灾难性或破坏性的，而且其概率也会低到可以接受的程度。

3.1 核反应堆压力容器的检验

在组织在役检查委员会制订核电厂在役检查规程的同时，研究部门也制订了一些研究计划，以便确定无损检验规范在材料、制造和最终产品——核反应堆压力容器上应用的有效程度，以及材料本身的均匀性、断裂力学的应用等。这些计划的执行结果对在役检查委员会的工作有着重要的影响。因为这是由压力容器研究委员会(PVRC)共同协作的计划，在他们公布的结果中综合了所测定的材料性能、断裂力学分析和缺陷尺寸及位置间的关系，这样就可按照在役检查规程来确定缺陷的危害性，即可以确定在容器使用寿命期内任何缺陷在任意时间对容器寿命的影响。

显然，当公布这项研究计划的成果时，这项包括确定缺陷尺寸、缺陷沿壁厚方向的尺寸、位置及取向等的容器检验技术也同时受到了人们的极大关注。鉴于用超声技术对有人工缺陷的反应堆压力容器试件进行检验时，结果有差异，为解决这个问题，又增加了一项补充研究计划。根据在役检查委员会的要求，在容器的使用寿命期间内，把所有可能的检验方法都用于压力容器，如整体检验(特别强调超声检验)、表面检验和定期水压试验。然后，由各方面的超声检验人员和顾问们提出检验报告；由于检验结果差别很大，从而使随后根据检验结果所作的分析报告的差别也很大。委员会认识到：为了保证检验结果的精确性与一致性，必须对检验结果进行验证。为此，又制定了一些补充研究计划。参加这些补充研究计划的有由经济合作与发展组织(OECD)和欧洲共同体委员会(CEC)联合组织的、很多国家参加的钢板检查指导委员会(PISI)。

3.2 压力容器研究委员会

焊接研究协会的压力容器研究委员会进行对反应堆压力容器完整性的评定研究，该委员会是这项研究课题的主要组织者之一。该课题包括对计划的直接管理或检查与协调，目的是要用该项研究成果来评定线弹性断裂力学(LEFM)在

反应堆压力容器上应用的可能性，无损检验技术在核压力容器用材及竣工设备上应用的可能性以及在使用寿命期内对反应堆压力容器继续进行无损检验的可行方法。

由于 PVRC 已经公布了这些研究结果，从而使管理机构、核电厂业主及在役检查委员会确信超声检验技术在反应堆压力容器上的应用是可行的。这样，如果再遇到前面所述的情况，即对运到现场的压力容器，若检验结果有显著的差别，就可以根据超声检验所得的结果用断裂力学方法进行方法，以确定反应堆压力容器的安全性和可使用性。

3.3 线弹性断裂力学和超声检验

如果同时采用线弹性断裂力学和超声检验，就可确定压力容器是否安全或能否使用。线弹性断裂力学根据材料性能、应力、温度、应力循环次数以及缺陷沿壁方向的尺寸、缺陷的长度及其在结构中的位置和取向等资料即可计算出容器是否安全，及其在承受多少次应力循环后仍然是安全的。

然而，采用无损检验方法或规范，除了要求可靠地检验出缺陷之外，还对超声检验结果的报告提出了新的要求，即在报告中还需说明缺陷长度、高度及其沿厚度方向的尺寸与取向。

进行首次分析时，必须用超声检验技术来测得容器中缺陷的全部特性资料，这里强调的是容器，而且是壁厚超过 4 in.(102mm)的铁素体钢容器。