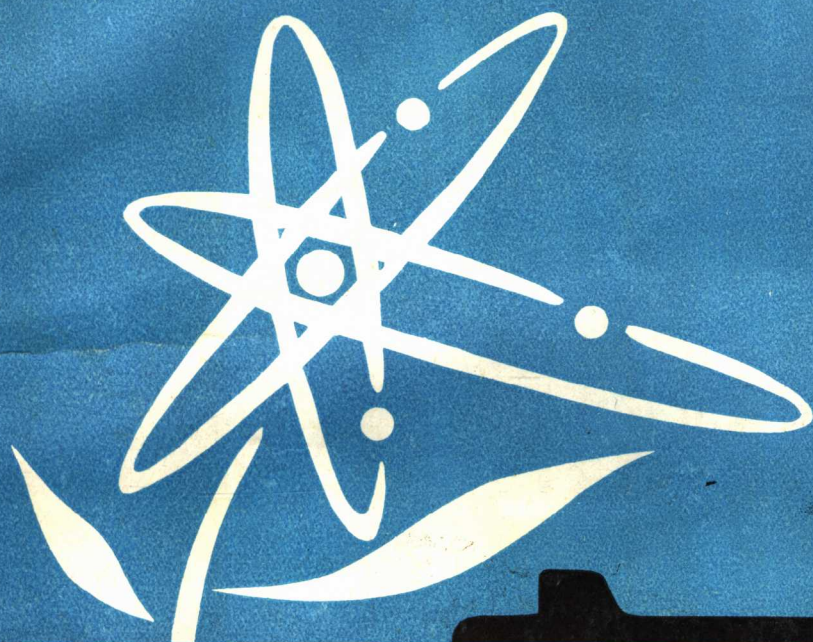


304530

内 部



核动力装置译文集

第一集

潜艇技术通讯编辑室

为核动力商船推荐的设计标准

R. W. 迪金森等(R. W. Dickinson 等)

提 要

美国原子能委员会的现行规则已对提供的核设备提出了建造执照必须包含的基本设计标准。这些基本设计标准确立了必须的设计、制造、建造、实验和对安全来说起重要作用的结构、系统和部件的性能要求。近年来,用于中心核电站核发电装置方面的一般设计标准已有所发展;对于已经公认的核动力商船来说,也需要类似的设计标准。在美国海运管理局发起的正在进行的计划下,为核船舶推荐的设计标准已有进展,并已提交美国有关规范机构。虽然这些标准未经官方批准,但它们为商船推进用水冷核动力装置的基本设计标准确定了设计要求的最低推荐值。无论哪种实用的装置均类似于已由原子能委员会批准建造的陆基装置,为核动力商船推荐的一般设计标准是根据美国原子能委员会的一般设计标准以及核商船安全设计和运行的实践而制定的。本文评议推荐的核船舶标准,着重强调的是核推进装置与相应的陆基装置特别不同的那些方面,此外,笔者还应指出:需要有国际公认的一般设计标准。

前 言

核商船及其进港的安全要求和标准,全世界目前远未统一。因此,各核船拥有国须为所访问的每一个新港解决进港要求和许可的问题;由于这方面缺乏标准化,认定了核动力经济利益的船主,因其船舶的放射性,在收他的酬金时必然是含糊不定的。船主尚须确信:在他的旗下,他的船舶可以被承认,如果没有过严的管理,将能够被接纳入他们力争的和希望航行到的任何港口。这些目的地是不可能分割开的;由于各沿海国家不同的特许要求,本来在本国港口可以接受的船,因某些理由而不符合其他国家港口的技术要求,因此而不能进入或者为了回避否定的可能性——这是船舶的安全性引起的、实际的或料想得到的反映,而不企求进入。

因为物理现象和工程现象是没有国界的,又因为放射性释放的危害使其对公众的保护成了一种普遍的要求,得出这样的标准将是可能的——既能够发挥全世界商船核动力的经济效用,又要严格地保护居民和环境。如果确立这些标准无须研究可能的各类反应堆系统,结果将是非常简单的。在可以预见的未来,人们通常认为:低浓缩铀、加压水反应堆是核商船推进优先选用的堆型(参考文献[1]),幸而,这种类型的反应堆系统被陆基的应用很好地改进发展着,并已提出了它的安全特性和要求,全世界正在很详细地研究和审查。这类经验及其提供的资料为发展核商船反应堆的相应一套标准提供了良好的开端。应该承认,在细节上一个国家和另一个国家中心电站的标准是不同的,但实际上都趋于同一目标——保护公众和环境。系统和目标的共同性将导致产生用于这类反应堆设计、建造和验收的合理标准,并应用于各国所研究的商船推进系统。极为需要的最终目标也许是一条核船的位置凭据——批准当局的一种证书,以此而进入证件表明的任一适宜的港口,并符合有关海岸国家提出的标准的监测程序。

应用这些标准得到的不一定是直接的和表面上的利益。详细的研究表明：对作为一个系统来考虑的整个推进装置可靠性的增加，很多标准是有贡献的，而可靠性是核装置本身的要求；当然这反映在与烧油船舶比较运行能力的改进上，这种船舶的可靠性与其说可以按投资来调整，不如说它本身有一个限度。因核动力非常可能仅用于极大型的、极快的和大量耗资的商船，不适当地用于大多数营利的贸易航线上是不合算的。进一步说来，必然可能运用核动力的，比如 LNG 航空母舰，预定交货的故障可能引起耗资的增加，并且在航行和接受上产生问题，其航行和接受取决于 LNG 按规则的移动和供应。

在设计核蒸汽系统(NSS)时，对可靠性的那种注意，实际上已为“萨瓦纳”和奥托·哈恩”所创立的良好运行记录所证实；在它们各自九年和三年运行的周期内，它们的核蒸汽供应系统运行的利用率基本上是 100%。这种可靠性的“红利”只可能由船主来计算，当然是不能忽略的。

主 要 问 题

对烧油船舶经过分级，在世界各港口国有它们的旗子正规地发放信号，与例行的法律和任何管理不同，不具有专门的进港仪式。另一方面，接受核船舶是按照一种独自的依据，其中心问题似乎围绕着：

- a. 支付核保险费的数额；
- b. 港口环境的放射性释放；
- c. 在港口内核事故的危险，与此相联系的在这种事故情况下离开港口的能力。

这些问题中，核保险费的发给对签约来说是敏感的；避免危险的费用和奖金附加到保险费中，正为功率大数倍的陆基核电站进行验证。如果不是很多，也有相当数量是相互间用核船舶作商业运输的沿海国家已有这种或那种类型的核装置，这些国家能够熟练地估算保险费的需要额和奖金，使其符合一种共同的最低债务值，这种协调一致必须基于统一的基础和互相可以接受的设计、建造和检验标准。

在无核事故时，正常的或事故的放射性释放由设计的子系统来控制。不适当的限制可能是相当不现实的，比如要求所谓“无放射性释放”，如果写在字面上，除非完善得令人十分信服，这就要求防止燃油燃烧，因为其中包含了相当数量的 C^{14} 。安全壳的所有排放物严重地不利于核船舶，因为低浓度排放物的贮存须占据有价值的货舱空间。当不允许自由释放放射性时，应作出一种可以接受的、综合的、减少释放物的有效设计，即现实的释放限制和释放率加上减小释放影响的管理控制(比如，控制释放的位置)。事实上，因较低的功率(比中心核电站低)和核船的机动性，按照常理，可以接受的、最小的一套标准比永久固定的陆基核电站更容易得到。另外，在设计标准上显然需要互相吻合，并且要满足释放限制。

核事故的危害是严重的，它取决于装置设计的基本原理。经过全世界对几率的探讨，依赖于工程安全设备和固有的安全特性以及各种对最大可信事故的评价而承认的各种基本原理，需要有统一的观点。幸而，独特的海上环境可能促进这种统一的可能性；在任何这类讨论中，重要的是将船舶反应堆设计标准与陆基标准分开，以避免其中一个标准必然为另一个标准开先例。理论上说来，要将中心电站标准的有关部分修改得符合海上环境和这种装置的机动性，必然要大量减少它在远离人口区的海上运行的寿命。这要统一起来考虑。

提出的标准

由上述情况可以看出各种国际上的作用，确保整个世界的承认和核动力商船的自由通行是必须的。1962年布鲁塞尔核商船条约需要修订然后批准，国际海上人命安全条约(Solas)也将修订，以反映核商船的技术发展趋势，可能还有另外的关于放射性释放量和释放位置的国际协议，另有些重要考虑还不能断定是否必要。但是，所有这些协议的根据认为是统一和合理的，并且由它们相互合理调整的标准足以指导船舶核推进装置的设计者和创造者，最后使这些标准的构思得到一种国际上公认的证书，以便易于进入任何地方的港口。

附录给出了一个完整的建议标准，作为进一步讨论和行动的依据。这个标准既不为美国或其他任一政府机构所赞成也不为其否定；但是它们是由有关的陆基装置的美国规范导出，而修改成适用于核商船要求的。它们分成反应堆标准和船舶标准，前者几乎只针对核装置，后者几乎只针对装有反应堆装置的船舶。然而为了方便，所有提出的标准均包含在附录中。有明显修改以符合商船条件的那些美国反应堆标准列举如下：

核蒸汽系统有关定义

预料中的运行事故系指那些正常运行条件下，在核动力机组及其附属设备寿期中所预料到的、发生一次或多次的事故，包括但不限于所有循环泵丧失电源、汽轮发电机组断开、主冷凝器隔离和正常或应急电源丧失等事故。

正常电源系统：它由两路电源(核动力机组和辅助动力机组)、船舶日用汽轮发电机、辅助发电机、船舶的高压日用主干线、低压日用主干线以及连接的线路开关和馈线组成。

应急电源系统：它由应急发电机、高压应急主干线、低压应急主干线以及连接的线路开关和馈线组成。

标准

标准 2——防止自然现象和船舶事故的保护措施的设计依据(详见附录)

标准 4——环境和投射物的设计依据(详见附录)

标准 16——安全壳设计(详见附录)

标准 17——电源系统(详见附录)

标准 18——电源系统的检查和试验(详见附录)

标准 33——反应堆冷却剂补水(详见附录)

标准 34——余热导出(详见附录)

标准 35——应急活性区冷却(详见附录)

标准 38——安全壳热量导出(详见附录)

标准 41——安全壳大气净化(详见附录)

标准 44——冷却水(详见附录)

标准 50——安全壳设计依据(详见附录)

核商船的特殊考虑

很多重要的考虑与上述的和附录中推荐的标准自然是不吻合的。这些考虑涉及到与核推进装

置有关的船舶设计,按照保险费它们由分级机构作适当的分类。当与安全无特别的关系时,为了易于对核商船分类以确立在与建造国不同的旗子下的航行,显然很需要符合分类规范。在此不试图提出一个完整的分类指南,现有两种这种指南彼此是不同的,这可能是由于某些船主和船舶建造者的意见不同(参考文献[2,3]),发展一种相互都能接受的国际的分类指南,显然是一种英勇的事业;下面提出的是可以帮助制订基本协议的一些考虑,它们涉及到船舶加速度和周期载荷的设计原则:

1. 横 摇

仅仅是横摇的最大加速度应按简谐运动和具有0到45度横摇角的船舶固有周期的单一振幅来计算。当设备在横摇中心之上时,确定整个横摇引起的载荷,加速度部件要附加到静重部件上并且在任一船舶载荷条件下可能产生最短的横摇固有周期。当设备在横摇中心之下时,确定整个横摇引起的载荷,加速度部件要由静重部件中扣除而且可能产生这种减少负加速度作用的固有周期是最长的。

2. 纵 摇

仅仅是纵摇的最大加速度应按一种7秒横摇周期的简谐运动和一种单振幅6度横摇来计算。

3. 升 沉

仅仅是升沉的最大加速度应按8秒周期下L/80半振幅的升沉来计算,其中L是船的长度。

4. 复合运动

为了某些设计目的,需要一种最大载荷,即按横摇、纵摇和升沉的组合。虽然纵摇与升沉的周期近似相同,而可以假定彼此具有的一种有规律的波动系列是不同相的,因而在一种非正式的航道上同时发生这两种最大的作用是可能的。因此,应当考虑到这些作用与横摇的附加和组合。纵摇和升沉的角度和周期采用2、3中所述值。用于横摇力的则是10秒周期下30度单振幅的横摇情况。

5. 碰 撞

在研究中的最大尺度的船舶(>900英尺, >50000吨)造船技师估计的横向碰撞加速度为0.5g。

6. 搁 浅

在研究中的最大尺度的船舶(>900英尺, >50000吨),造船技师估计的横向搁浅加速度为0.5g。

根据上述计算原则,对研究中的船舶导出下列初步的载荷:

状 态	加 速 度	1/4 周期 YRS	周 期 估 算 值	周 期 美 国 船 级 社 值
横摇 45 度	横向 0.7g	20	14 秒	10 秒
横摇 30 度	横向 0.5g	500	14 秒	10 秒
横摇 15 度	横向 0.26g	12,000	14 秒	10 秒
横摇 10 度	横向 0.17g	500,000	14 秒	10 秒
横摇 5 度	横向 0.1g	1,000,000	14 秒	10 秒
纵摇 6 度	垂直 0.23g	50,000	7 秒	7 秒
升沉 12 英尺	垂直 0.22g	50,000	8 秒	8 秒
组合运动	垂直向上 1.53g	—	—	—
组合运动	垂直向下 -0.47g	—	—	—
碰 撞	横向 0.5g	—	—	—
搁 浅	横向 0.5g	—	—	—

注:振幅皆为单一振幅,周期指完整的周期,除了纵摇和升沉,加速度包括静重的,横摇周期是针对不利载荷。

由造船技师估计的周期*是按照可能的贸易航线和船舶用于该航线的周期中所要求的海洋条件。

结 语

该文中列出的改进标准是为大家评论而提供的, 真诚的希望管理问题应不妨碍为世界各国之间贸易的船舶引入一种重要的, 新来源的动力。须再次强调, 这里讨论的标准不作为官方的规定而在美国或别国具有任何政府的作用。提供的这些标准是充分理解到多种考虑并非一定要在技术上引起讨论, 作为达到成熟期的商船核动力来说, 这种讨论是需要的。在开始讨论之初, 目的是在于协调各种观点, 至少使这些观点公开以便自由公开的交换, 从而加快这一天的到来——核商船的通过将是无罪的和不受责难的。如果该文能促进这种讨论开创的步伐, 这将合乎笔者所考虑的最值得的目的——提高核安全性、世界贸易与和平。

参 考 文 献

- [1] “Report on the Nuclear Ship Study” U. K. Department of Trade and Industry, 1971.
- [2] Germanischer Lloyd “Regulations for the Classification and Construction of Nuclear and Construceion of Seagoing Steel Ships.
- [3] American Burean of Shipping “Guide for the Classification of Nuclear Ships” 1962.

附 录

第一部分 为船用反应堆(压水系统)推荐的一般设计标准

第 1 章 前言

定义及其解释

核动力机组: 一个核动力机组系指一个核动力反应堆及其发电所需的辅助设备并包括那些确保该装置能够在对公共卫生和安全没有过份危害的情况下运行所需的结构、系统和部件。

失水事故: 失水事故系指这种假定的事故——由于反应堆压力边界破裂, 当流量超过反应堆冷却剂补水系统的能力时所导致的反应堆冷却剂的损失, 破裂尺寸一直达到相当于反应堆冷却剂系统最大管道断裂的尺寸。

单一故障: 单一故障系指导致某一部件丧失完成它本身预期的安全功能的能力的一起事件。多种故障引起的单一事件作为单一故障考虑。流体和电力系统防止单一故障的设计应考虑这样的情况: 既不是(1)任一主动部件的单一故障(假定被动部件的功能是正确的), 又不是(2)任一被动部件的单一故障(假定主动部件的功能是正确的)导致系统丧失完成它本身的安全功能的能力。

预料中的运行事故: 系指那些正常运行条件下, 在核动力机组及其附属设备寿期中所预料到的、发生一次或多次的事故, 包括但不限于: 所有循环泵丧失电源、汽轮发电机组断开、主冷凝器隔离和正常或应急电源丧失等事故。

正常电源系统: 它由两路电源(核动力机组和辅助动力机组)、船舶日用汽轮发电机、辅助发电机、船舶日用高压主干线、日用低压主干线以及连接的线路开关和馈线组成。

* 与巴布科克-威尔科克斯签合同的纽约夏普公司造船技师。

应急电源系统：它由应急发电机、高压应急主干线、低压应急主干线以及连接的线路开关和馈线组成。

第2章 推荐的标准

2.1 总的要求

标准1——质量标准及其记录

对安全来说起重要作用的结构、系统和部件按所执行的主要安全功能相应的质量标准进行设计、制造、安装和试验。对应用的一般批准的规范和标准应加以判断和估计，以决定它们的适用性、正确性和充分性并且应有必要的补充和更改，以确保符合所要求的安全功能的质量成果。为了提供充分的把握，应建立并执行一种质量保证程序——确信这些结构、系统和部件完成它们的安全功能是令人满意的。在机组整个寿期内，与安全有关的主要结构、系统和部件的设计、制造、安装以及试验的有关记录应保存或处于核动力机组执照的控制之下。

标准2——防止自然现象和船舶事故的保护措施的设计依据。

A. 自然现象：在不丧失完成安全功能的能力的情况下，对安全起重要作用的结构、系统和部件应设计得能抵抗自然现象，如飓风、台风和海啸的作用。这些结构、系统和部件的设计依据要反映出：(1) 合理的考虑航道或者港口及其周围海域已有历史记载的最严重的自然现象，对积累的历史资料中限制的准确度、数量和时间周期留有充分的余地；(2) 合理的组合正常和事故状态与自然现象的作用；(3) 应能完成对安全重要的功能。

B. 船舶事故：在不丧失完成安全功能的能力的情况下，对安全起重要作用的结构、系统和部件应设计得能抵抗船舶事故，如碰撞、搁浅和沉没——除非可以证明这种能力的丧失不足以导致船员和市民公共卫生上和安全上的过份危险。这些结构、系统和部件的设计依据要反映出：(1) 合理的考虑航道或者港口其周围海域已有历史记载的最严重的事故，对积累的历史资料中限制的准确度、数量和时间周期应留有充分的余地；(2) 合理的组合船舶事故的作用；(3) 应能完成对安全起重要作用的功能；(4) 避免船舶事故的工程能力。

标准3——火灾防护

对安全起重要作用的结构、系统和部件应设计得和布置得与其它的安全要求一致，使其火灾和爆炸的可能性和影响减到最小。实际的整个机组无论何处均采用不可燃的和耐热的材料，特别是在像安全壳和控制室这样一些部位，应提供和设计合理容量和能力的火灾探测和消防系统以减小火灾对安全上重要的结构、系统和部件的不利影响。消防系统应设计得确保它们的破坏或误操作不致明显地削弱这些结构、系统和部件的能力。

标准4——环境和投射物的设计依据

对安全起重要作用的结构、系统和部件应设计得适应于环境与投射物的影响并且与正常运行、维修、试验以及假定的事故(包括失水事故)相联系的周围环境条件可以共存。应合理地保护这些结构、系统和部件以抵抗各种力学作用，包括投射物作用、管道抖动、流体排放和可能由设备故障、预计的疲劳载荷以及核动力机组以外的事故和状况引起的、通常预计到的船舶周围的振动程度。

标准5——结构、系统和部件的共用

对安全起重要作用的结构、系统和部件在核动力装置中应当不共用，除非可以表明这种共用不明显地削弱完成它们的安全功能的能力，包括万一一个机组按命令停堆并保持机组冷却的那种事故情况。

2.2 多重裂变产物阻挡层保护

标准 10——反应堆设计

反应堆活性区及其连接的冷却剂、控制和保护系统应设计得在任何正常运行条件下,包括预料中的运行事故的影响下,确保具有不超过特许的燃料设计限制的合理余量。

标准 11——反应堆固有的保护

反应堆活性区及其连接的接冷却剂系统应设计得在功率运行的范围内,瞬发的固有核反馈特性的净作用有助于补偿反应性的迅速增加。

标准 12——反应堆功率振荡的抑制

反应堆活性区及其连接的冷却剂、控制和保护系统应设计得确保功率振荡可能导致的、超过特许燃料设计限制的状态是不可能的,或者可能可靠地、容易地检测出来并被抑制。

标准 13——仪表及其控制

在正常运行、预料中的运行事故以及事故状态下,为保证足够的安全,应提供在预定的范围内监测各种变量和系统的仪表,这包括裂变过程可能影响到的那些变量和系统,应提供反应堆活性区、反应堆冷却剂压力边界和安全壳及其所连接系统的完整性。保证正确的控制以维持这些变量和系统在规定的运行范围之内。

标准 14——反应堆冷却剂压力边界

反应堆冷却剂压力边界应设计、制造、安装和实验得对反常泄漏,迅速地传播事故以及严重破裂说来只有极小的可能性。

标准 15——反应堆冷却剂系统设计

反应堆冷却剂系统及其连接的辅助、控制和保护系统应设计得在任何正常运行状态下,包括预料中的运行事故下,确保具有不超过反应堆压力边界设计条件的充分余量。

标准 16——安全壳设计

A. 安全壳系统:反应堆安全壳及其连接的系统应保证建立一种实质上防漏的阻挡层,以防止无控制的释放放射性到周围环境,并且确保在假定的事故条件要求的情况下,不超过安全壳对安全重要的设计条件。安全壳及其内部隔舱也要设计得无论在船舶的任何方位上有剩余的空间。

安全壳还要设计得发生下沉时不致因外压而毁坏,也不允许在下沉后无控制的释放裂变产物。

B. 相关的船舶结构:船舶结构及其连接的系统应设计得能防止因失水事故的发生,在安全壳泄漏事故中无控制的释放放射性。

标准 17——电源系统

应提供一个正常电源系统和一个应急电源系统以使对安全重要的结构,系统和部件起作用。对每个系统的安全动作(假定另一个系统不起作用)应提供充分的容量和能力以确保:(1)作为预料中的运行事故的结果,不超过特许的燃料设计限制和反应堆冷却剂压力边界的设计条件;(2)在万一假定的事故下,维持活性区的冷却和安全壳的完整性以及其它重要功能。

船舶电源供应,包括蓄电池组和船舶电力分配系统应当是独立的、重复的和有在假定的单一事故下完成它们安全功能的试验能力。

在正常电源系统和应急电源系统之间应设计和安装两个实际上独立的电路供电,以便适当地减少在运行和假定事故以及周围环境条件下,它们同时发生故障的可能。每个这样的电路应设计得在丧失所有正常交流电源供应的情况下,在足够的时间里是有效的,以确保特许的燃料设计限

制和反应堆冷却剂压力边界条件不被超过。其中一个电路应设计得在失水事故下的几秒内有效，以确保维持活性区的冷却、安全壳的完整性以及其它重要的安全功能。

应当包括使失去或者相当于失去任一剩下的供应电源的可能性减到最小的条文，比如失去核动力机组的产生电能，失去应急电源供应的电能或失去辅助电源供应的电能。

标准 18——电源系统的检查和试验

对安全重要的电源系统应设计得允许对其重要的部分和特性进行合理的定期的检查和试验，比如导线、绝缘、接头、配电盘，以评定系统的连续性及其部件的状态。系统应设计得具有如下定期试验的能力：(1) 系统部件的工作能力和性能特性，比如应急电源、继电器、开关和主干线；(2) 整个系统的工作能力和在近于设计的实际条件下系统投入运行的全部运行程序，包括保护系统相应部分的运行以及正常电源系统和应急电源系统之间电源的转换。

标准 19——控制室

为了在正常条件下可以安全地运行核动力机组，并在事故条件下包括失水事故下，保持安全状态，应提供一个控制室。控制室应提供有适当的辐射防护，以便在事故条件下允许进入和占用，而不致使工作人员在事故期间全身或相当的身体任一部位的辐照超过 5 雷姆。

在控制室外适当位置上应提供这样的装备：(1) 具有快速热停堆的设计能力，包括所需的仪器及其控制设备以维持机组热停堆下的安全状态。(2) 对接着而来的，按照适当程序的冷停堆拥有潜在能力。

2.3 保护和反应性控制系统

标准 20——保护系统功能

保护系统应设计得：(1) 适当的系统包括反应性控制系统能自动投入运行以确保预料中的运行事故下不超过特许的燃料设计限制；(2) 感知事故状态并使对安全重要的系统和部件投入运行。

标准 21——保护系统的可靠性和试验性

保护系统应设计得有高效能的可靠性并能引入与执行安全功能相应的试验。在保护系统中重复和独立的设计应能充分保证：(1) 不致引起保护功能丧失的单一事故；(2) 移出检修任一部件或通道时，不致丧失所要求的最小重复性，除非保护系统运行允许的可靠性另有说明。保护系统应设计得在反应堆运行时，允许定期地试验它的功能，包括单独地试验通道的能力，以测定故障和可能出现的重复的丧失。

标准 22——保护系统的独立性

保护系统应设计得能够确保在自然现象的作用下，有关的正常运行、维修、试验情况下和重复性通道上假定的事故下不致丧失保护功能，或者根据其它一些规定作出证明。在设计技术上，比如功能的多样性或者部件设计和运行原理上的多样性，应达到实际上防止丧失保护功能的程度。

标准 23——保护系统的故障形式

保护系统应设计得处于安全状态或者按其它一些规定证明是允许的状态，后者是在断开系统、失能(例如电源、仪表气体)或者假定的曾经历过的不利环境(例如极热或极冷、火灾、压力、蒸汽、水和辐射等)的状况下。

标准 24——保护和控制系统的隔离

保护系统应与控制系统隔离，使其任一单个控制系统的部件或通道的故障，或者任一单个保护系统的部件的故障或检修拆出，或者控制系统和保护系统公共的通道脱离完整的系统以后仍能满足保护系统整个的可靠性、重复性和独立性要求。应限制互连的保护和控制系统，以便确保不

致明显地削弱安全性。

标准 25——反应性控制失灵对保护系统的要求

保护系统应设计得确保在任一单独的反应性控制系统失灵的情况下，比如控制棒事故提升的情况下(非棒弹出或下落情况)不超过特许的燃料设计限制。

标准 26——反应性控制系统的重要性和可靠性

应提供不同设计原理的两种独立的反应性控制系统。一种系统采用控制棒，最好包括一种正确的下插控制棒的方法，应确保在正常运行条件下包括预料中的运行事故下有可靠地控制反应性变化的能力，并且对于失灵比如卡棒应有适当的余量以不超过特许的燃料设计限制。第二种反应性控制系统应有能力可靠地控制由计划的、正常的功率变化(包括氙毒)引起的反应性变化率以确保不超过允许的燃料设计限制。其中的一个系统还应有保持冷态下反应堆次临界的能力。

标准 27——综合的反应性控制系统的功能

反应性控制系统应设计得与应急活性区冷却系统添加的毒物一道组成一种综合的能力，以确保在假想事故条件下可靠地控制反应性变化并在卡棒时具有维持活性区冷却能力上适当的余量。

标准 28——反应性限制

反应性控制系统应设计得对可能的反应性增长量和速率具有适当的限制，以确保预料中的反应性事故的影响，可以既不(1)导致反应堆冷却剂压力边界出现大于局部屈服限的损害，又不(2)足以损害活性区及其支承结构或者反应堆压力容器的其它内部结构使冷却活性区的能力有效地削弱。这些预料中的反应性事故应包括控制棒弹出(除非用正确的方法预防)、控制棒下落、蒸汽管道破裂、反应堆冷却剂温度压力的变化和冷水加入等考虑。

标准 29——防止预料中的运行事故的保护

保护系统和反应性控制系统应设计得确保在万一的预料的运行事故下，对完成它们的安全功能有很高的可能性。

2.4 流体系统

标准 30——反应堆冷却剂压力边界的质量

反应堆冷却剂压力边界的部件的设计、制造、安装和试验应达到实际上最高的质量标准。应提供检测方法并使判别反应堆冷却剂泄漏来源的位置达到实用的水平。

标准 31——反应堆冷却剂压力边界破裂的防止

反应堆冷却剂压力边界应设计得有充分的余量以确保在运行、维修、试验和预料中的事故条件下受力时(1)边界不破裂的特性，(2)使迅速传播破裂的可能性减到最小。设计应反映出在运行、维修、试验和预料中的事故条件下对检修温度和其它边界材料状态的考虑，并应考虑在测定(1)材料性能，(2)辐照对材料性能的影响、(3)残余的稳态和瞬态应力以及(4)缺陷尺寸中的误差。

标准 32——反应堆冷却剂压力边界的检查

反应堆冷却剂压力边界的部件应设计得允许(1)对重要部位及其特性进行的定期的检查和试验，以评定它们在结构上和密封上的完整性，(2)具有一种适当的反应堆压力容器材料监测程序。

标准 33——反应堆冷却剂补水

为了对反应堆冷却剂压力边界的小破裂进行保护，应提供一个系统以供应反应堆冷却剂补水，该系统的安全功能应确保因反应堆冷却剂压力边界泄漏和小管道或者边界部分的其它小部件破裂导致的反应堆冷却剂损失的情况下，不超过特许的燃料设计限制。该系统应设计得能确保正

常电源系统运行时(假定应急电源不可用)和应急电源系统运行时(假定正常电源不可用)可用在反应堆正常运行时维持冷却剂体积的管道、泵和阀门来完成该系统的安全功能。

标准 34——余热导出

应提供一个余热导出系统。该系统的安全功能是：以一定速率导出裂变产物衰变热和反应堆活性区的其它余热。这种导出的速率应使特许的燃料设计限制和反应堆冷却剂压力边界的设计条件不致超过。

标准 35——应急活性区冷却

应提供一个保证足够的应急活性区冷却的系统。该系统的安全功能是以一定速率在任何失水的情况下导出反应堆活性区的热量，这种速率应(1)防止可能妨碍连续有效冷却活性区的对燃料及其包壳的削弱，(2)使包壳的金属水反应水反应限制到很小的数值。

应提供部件及其特性适当的重复和适当的内连、泄漏的检测和隔离以及安全壳容量以确保正常电源系统运行时(假定应急电源不可用)和应急电源系统运行时(假定正常电源不可用)在假定的单一故障下能够完成系统的安全功能。

标准 36——应急活性区冷却系统的检查

应急活性区冷却系统应设计得允许对其重要部件进行适当的定期的检查，比如在反应堆压力容器中的喷咀，注射管咀和管道以确保系统的完整性和能力。

应提供部件及其特性适当的重复和适当的内连、泄漏的检测和隔离以及安全壳容量以确保正常电源系统运行时(假定应急电源不可用)和应急电源系统运行时(假定正常电源不可用)在假定的单一故障下能够完成系统的安全功能。

标准 37——应急活性区冷却系统的试验

应急活性区冷却系统应设计得允许进行适当的定期的压力和功能的实验，以保证(1)它的部件结构上和密封上的完整性，(2)系统活动部件的操作性和性能，(3)整个系统的操作性和实际上达到设计的密封条件下，使系统投入运行的全部运行程序的性能，包括保护系统相应部分的运行，正常电源和应急电源之间的转换以及相连接的冷却水系统的运行。

标准 38——安全壳热量导出

应提供一个导出反应堆安全壳热量的系统。该系统的安全功能是与其它连带的系统一起迅速减小任何失水事故下安全壳内的温度和压力并维持在允许的低水平。

应提供部件及其特性适当的重复和适当的内连、泄漏的检测和隔离以及安全壳容量以确保正常电源系统运行时(假定应急电源不可用)和应急电源系统运行时(假定正常电源不可用)在假定的单一故障下能够完成系统的安全功能。

标准 39——安全壳热量导出系统的检查

安全壳热量导出系统应设计得允许对重要部件进行适当的定期的检查，比如圆环，贮槽、喷雾咀和管道以确保系统的完整性和能力。

标准 40——安全壳热量导出系统的试验

安全壳热量导出系统应设计得允许进行适当的定期的压力和功能试验，以确保(1)它的部件在结构上和密封上的完整性，(2)系统活动部件的操作性和性能，(3)整个系统的操作性和实际上达到设计的密封条件下，使系统投入运行的全部程序的性能，包括保护系统相应部分的运行，正常电源和应急电源之间的转换以及相连接的冷却水系统的运行。

标准 41——安全壳大气净化

A. 内部净化系统：提供该系统与其它连带的系统一起控制可能由反应堆安全壳内释放出的裂变产物、氢、氧和其它物质，以降低因假定事故而释放到大气中去的裂变产物的浓度和质量并控制因假定事故而进入安全壳大气中氢、氧和其它物质的浓度，以确保能维持安全壳的完整性。

每个系统的部件及其特性应有适当的重复和适当的内连、泄漏的检测和隔离以及安全壳容量以确保正常电源系统运行时(假定应急电源不可用)和应急电源系统运行时(假定正常电源不可用)在假定的单一故障下能够完成系统的安全功能。

B. 外部净化系统：提供该系统以控制在假定事故条件下可能从安全壳释放到大气的裂变产物和其他物质，以保证释放到大气的裂变产物和其它物质的数量减小到符合安全性的要求。

每个系统的部件及其特性应有适当的重复和适当的内连、泄漏的检测和隔离以及安全壳容量以确保正常电源系统运行时(假定应急电源不可用)和应急电源系统运行时(假定正常电源不可用)在假定的单一故障下能够完成系统的全安功能。

标准 42——安全壳大气净化系统的检查

安全壳大气净化系统应设计得允许对重要部件能进行适当的定期的检查，比如过滤器框架、导管和管道以确保系统的完整性和能力。

标准 43——安全壳大气压净化系统的试验

安全壳大气净化系统应设计得允许进行适当的定期的压力和功能试验，以确保(1)它的部件在结构上和密封上的完整性，(2)系统的活动部件比如风机、过滤器、减震器、泵和阀门的操作性和性能，(3)整个系统的操作性和实际上达到设计的密封条件下，使系统投入运行的全部运行程序的性能，正常电源和危急电源之间的转换以及相连接系统的运行。

标准 44——冷却水

为了传出对安全重要的结构、系统和部件的热量到一个最终的冷却装置而提供这个系统。该系统的安全功能是在正常运行和事故条件下，传出这些结构、系统和部件的综合热负荷。应提供部件及其特性适当的重复和适当的内连、泄漏的检测和隔离能力以确保正常电源系统运行时(假定应急电源不可用)和应急电源系统运行时(假定正常电源不可用)在假定的单一故障下能够完成系统的安全功能。

标准 45——冷却水系统的检查

冷却水系统应设计得允许对重要部件，例如热交换器和管道进行适当的定期的检查，以确保系统的完整性和能力。

标准 46——冷却水系统的试验

冷却水系统应设计得允许进行适当的定期的压力和功能试验，以确保(1)它的部件在结构上和密封上的完整性，(2)系统活动部件的操作性和性能，(3)整个系统的操作性和实际上达到设计的密封条件下，在停堆时和失水事故时使系统投入运行的全部运行程序的性能，包括保护系统相应部分的运行和正常电源和应急电源之间的转换。

2.5 反应堆安全壳

标准 50——安全壳设计依据

反应堆安全壳结构包括入口孔道、穿透件和安全壳热量导出系统应设计成这样，即安全壳结构及其内部隔舱可以调节，使在任何失水事故造成的计算压力和温度条件下不致超过设计的泄漏率并具有充分的余量。这个余量应反映下述的考虑：(1)可能的能源影响，例如蒸汽发生器中的能量和金属-水以及其它化学反应的能量——可能是由于降低应急活性区冷却能力所致，但在确定

峰值状态时不包括这些能源。(2)为了确定事故现象和安全壳特性得到的有限经验和可用的实验数据。(3)计算模型和输入参数的保守主义。

反应堆安全壳结构还应提供有防止因船舶下沉由外压使安全壳破坏的措施。

标准 51——安全壳压力边界破裂的防止

反应堆安全壳边界应设计得在运行、维修、试验和假定事故条件下确保：(1)它的铁质材料表现得不易破裂，(2)迅速传播破裂的可能性减到最小。该设计应反映维修温度的考虑，在运行、维修、试验和假定事故条件下安全壳边界材料其它状态的考虑以及在确定(1)材料的特性，(2)残余稳态和瞬态应力、(3)缺陷尺寸上误差的考虑。

标准 52——安全壳泄漏率的试验能力

反应堆安全壳和可能在安全壳实验条件下从属的其它设备应设计得能够在安全壳设计压力下定期进行综合的泄漏率试验。

标准 53——对安全壳试验和检查的保证

反应堆安全壳应设计得允许(1)对所有重要的部分，比如穿透件进行适当的定期的检查，(2)有一种适当的监测程序，(3)在安全壳设计压力下定期试验带弹性密封和膨胀波纹管的穿透件的泄漏密封性。

标准 54——管道系统穿透安全壳

应为穿透主要反应堆安全壳层的管道系统提供泄漏检测、隔离和安全壳容量——并保证必要的重复和可靠以及当认为隔离这些管道系统对安全重要时能够有执行隔离的能力。这种管道系统应设计有一种定期试验隔离阀及其仪表的操作性和决定阀门的泄漏是否允许范围内的能力。

标准 55——反应堆冷却剂压力边界穿透安全壳

作为反应堆冷却剂压力边界的一部分的各管道穿透主要反应堆安全壳层时应提供如下的安全壳隔离阀(除非按照另一些规定可以证明为一些特种管道提供的安全壳隔离措施是允许的，例如仪表管道。)

- (1) 安全壳的一个内侧锁闭隔离阀和一个外侧锁闭隔离阀；
- (2) 安全壳的一个自动内侧隔离阀和一个外侧锁闭隔离阀；
- (3) 安全壳的一个内侧锁闭隔离阀和一个自动外侧隔离阀，外侧自动隔离阀不能采用简单的截止阀；或
- (4) 安全壳的一个内侧自动隔离阀和一个外侧自动隔离阀，安全壳外侧自动隔离阀不能采用简单的截止阀。

实际上用作关闭安全壳的隔离阀应设置在安全壳外侧，因考虑丧失开动电源的情况，自动隔离阀应设计在保证较大安全性的位置。

出于确保足够的安全性的需要，应保证使这些管道或它们连接的管道事故破裂的可能性和后果减到最小的其它一些适当的要求。这些要求认为是不适当的，例如较高的设计、制造和试验质量，为在役检查提供的外加措施，为防止多种严重自然现象所加的保护措施以及外加隔离阀和安全壳，还包括对人口密度，使用特性和地区环境物理特性的考虑。

标准 56——主要安全壳层的隔离

直接连接到安全壳大气并穿透主要安全壳层的各管道应提供如下的安全壳隔离阀(除非按照另一些规定可以证明为一些特种管道提供的安全壳隔离措施是允许的，例如仪表管道。)

- (1) 安全壳的一个内侧锁闭隔离阀和一个外侧锁闭隔离阀；

(2) 安全壳的一个自动内侧隔离阀和一个外侧锁闭隔离阀;

(3) 安全壳的一个内侧锁闭隔离阀和一个自动外侧隔离阀, 外侧自动隔离阀不能采用简单的截止阀;

(4) 安全壳的一个内侧自动隔离阀和一个外侧自动隔离阀, 安全壳外侧自动隔离阀不能采用简单的截止阀。

实际上用作关闭安全壳的隔离阀应设置在安全壳外侧, 因考虑丧失开动电源的情况下, 自动隔离阀应设计在保证较大安全性的位置。

标准 57——封闭系统隔离阀

穿透主要反应堆安全壳层的各管道, 既不是反应堆冷却剂压力边界的一部分又不是直接连接到安全壳大气者, 至少应有一个安全壳隔离阀, 它不是自动的, 就是锁闭的, 或者能够远距离手操。实际上用作关闭安全壳的这个阀是设置在安全壳外侧。作为自动隔离阀不能采用简单的截止阀。

2.6 燃料和放射性控制

标准 60——向周围环境释放放射性物质的控制。

核动力机组的设计应包括在反应堆正常运行时对释放的气态和液态排放物中的放射性物质进行适当控制和处理产生的放射性固体废物的措施, 包括在预料中的运行事故时, 为了保存含有放射性物质的气态和液态排放物应提供的足够的保存容量。实际上, 在不利区域的环境条件下, 释放这种排放物可以要求采用特殊的操作限制。

标准 61——燃料储存及其处理的放射性控制

可能含有放射性的燃料储存及其处理、放射性废物和其它系统应设计得确保在正常假定事故条件下有足够的安全性。这些系统应设计成(1)对安全重要的部件具有能够适当的定期的检查和试验的能力, (2)为了辐射防护具有适当的屏蔽(3)具有适当的安全壳、滞留和过滤系统, (4)具有导出余热的能力——应表现出导出对安全重要的衰变热和其它余热的可靠性和试验性。

标准 62——防止在燃料储存及其处理中的临界性

在燃料储存及其处理系统中的临界性应用物理系统或程序来防止, 最好是用几何形状上的安全排列来防止。

标准 63——燃料和废物储存的监测

在燃料储存和放射性废物系统及其连接的处理区应提供适当的系统(1)用以检测可能导致失余热导出能力和超过辐射水平的状态, (2)投入适当的安全性动作。

标准 64——放射性释放的监测

应提供手段监测反应堆安全壳大气、失水事故再循环流动包含的部件空间、排出管所经的途经和因正常运行, 包括预料中的运行事故下和假定事故下释放放射性的装置周围环境。

第二部分 为核商船推荐的一般设计标准

第1章 前言

定义及其解释

船身结构——所要求的材料能抵抗船体的纵向弯曲。它包括船底板、内底板、侧壳板、主甲板箱形桁材和所有连接的构架。

船舶航行状态——

- (a) 纵摇：纵摇是围绕船的横轴的转动。纵倾周期是以整个周期的时间为单位(秒)来表示。
- (b) 横摇：横摇是围绕船的纵轴转动。横摇周期是以整个周期的时间为单位(秒)来表示。
- (c) 纵倾：纵倾定义为船舶的纵向静态倾斜。它是由艏艉吃水差来表示的。
- (d) 横荡：横荡是在垂直船舶中心线上船舶重心的水平移动。
- (e) 纵荡：纵荡是艏、艉方向上船舶重心的水平移动。
- (f) 横倾(静横倾)：横倾或静横倾系指船舶的静态横向(左舷或右舷)倾角。
- (g) 升沉：升沉系指在没有任何转动的情况下沿垂直轴的船舶运动。
- (h) 偏航：偏航系指围绕垂直轴的船舶水平转动。

推进装置——推进装置由推进机组，反应堆(包括所连接的热交换器、泵和管道)、推进辅机、连接的设备、管道、系统及其驱动螺旋桨所要求的电力系统组成。

推进机组——推进机组由机械装置及其设备(汽轮机、传动装置、冷凝器等等)包括推进轴机械连接的控制设备。

推进辅机——推进辅机系指那些与推进机组连接，对推进机组的运行说来完成其功能是必须的设备系统，它们包括滑油系统、蒸汽、给水和冷凝系统以及汽轮机排泄部件等。

机械装置——机械装置由推进机组、推进辅机和独立的辅助装置组成。

独立的辅助装置——独立的辅助装置系指那些不一定与推进装置连接尚能保证完成特有功能的完整装置。它们包括船舶服务装置和应急电力装置。

生命力系统及其部件——生命力系统及其部件是保护船舶所必需的，它们包括消防系统和应急发电及分配系统。

应急状态——在应急状态下，船舶的动力应由应急发电及分配系统提供，以便达到保护船舶机组的目的使正常电源可能恢复使用。在这种状态下通电的系统应包括消防系统、舱底系统、应急照明和某些通信联络。

主要振动频率——主要振动频率是：

(a) 由螺旋桨转动交变的压力场在船体上碰撞引起的螺旋桨频率。该频率相当于叶片数乘以每分钟转数。

(b) 船体固有频率，即船体作为一简单的梁时的频率，它取决于船体惯性、形状和质量，每种有关的特殊的振动模式有不同的值。

两舱淹没——如果淹没的危险没有发展到其它舱室和最后失去船舶，两舱淹没的船舶设计，应该是经得起两邻舱直到安全界限被淹没的碰坏。

限界线——限界线系指一个特定船舶平稳下沉所能达到的最大允许水平。不透水的舱壁一直延续到限界线。

倾复——当某种程度的倾斜使正力矩变为负值并且船舶不可能恢复到正常直立姿态时，即为倾复。

船壳——船壳即船体的外部金属板。

反应堆舱——反应堆舱系指设置反应堆安全壳及其连接的反应堆辅助设备的船舱。

第 2 章 推荐的船舶标准

2.1 总的要求

标准 S1——船舶的分级

除了按该设计标准作修改并按批准的规则提出的要求外，船舶应设计得合于通行的货船标准。

标准 S2——船舶的特性在海洋的适应性

A. 环境作用：船舶的所有部件(机械和其它部件)应设计得在温度(海洋和空气)、风、冰冻、雨、碎波等条件下能良好地运行。这些条件在船舶的维修中也将遭遇到。设备应设计得在船舶所在位置的周围环境中能良好地运行。

B. 方位：船舶设备应设计得在所有船舶方位的条件下，包括横倾、纵倾、横摇、偏航、纵摇、升沉、纵荡和横荡这些维修中正常预料得到的情况下，能够良好地运行。

C. 噪声和振动：设计安装的设备 and 舱室应处理得符合批准的船上空气噪声水平的标准。同样，船舶振动的自由度应与批准的对应的船上标准一致。所有的部件及其基础不应当与预料到的或遭遇到的主要频率发生共振。

标准 S3——分舱

核船应设计得符合两类舱室的分类标准。

2.2 船舶事故

标准 S4——碰撞防护

碰撞防护应反映出(1)对历史记载的最严重的船舶事故进行适当考虑，(2)对积累的历史资料中限制的精确度、数量和时间周期留有充分的余地，(3)发生最严重的船舶碰撞的可能性，(4)编入设计的避免技术碰撞的安全设备能力。

标准 S5——反应堆装置与船舶的接合部

A. 在反应堆部位的船舶的侧面和底面，其结构应保证能抵抗碰撞和搁浅形式的碰撞。应提供内底板和不透水的纵向舱壁，使反应堆舱室不因有船壳的穿透件而淹没。

B. 在所有预料的条件下，包括运动、冲击和振动，反应堆和安全壳容器的底座应设计足够的适当的支承。在倾复的情况下，支承应适当地维持反应堆安全壳在船中的位置。支承应适应允许的热应力，为了对安全壳容器的检查和维护，还应当允许有准备的接近。有些部位需要基础结构与主要的船体结构结合(比如在反应堆部位)。

C. 反应堆装置屏蔽应有足够的支承，以抵抗与安全壳容器一样的由船舶产生的力。

D. 在一般预料的船舶运行状态、冲击、振动和热膨胀下，管道接合部位应设计和安排适当的支承。

E. 对于正常和危急运行状态，电源应是足够的，并按规范本身的规定对反应堆系统提供保护。

标准 S6——船舶事故防护

重要的船舶系统应设计得能够在万一碰撞或搁浅时继续起作用。

标准 S7——火灾防护

船舶应装备有适当容量和能力的消防设备，把火灾对结构、系统和部件的不利影响减到最小。消防系统应设计得能够确保在它们破坏或误操作的情况下不致明显地削弱船舶的航行能力。系统设备应不用于其它目的，除非按某些其它的设计依据来说明它是可能用于其它目的的。

2.3 机械装置设备

标准 S8——对推进辅助系统应提供足够数量的备用设置，以确保部件故障情况下继续操作。但是，备用设置不应扩大到全部推进机组和本身显然是双螺旋桨船舶的辅机。

标准 S9——应急推进动力设备

船舶应配备有通过主推进轴系来驱动的应急推进设施。该设备应当易于啮合和断开，并要求从一种独立于其它所有动力来源接受动力。动力供应应当充分到在任何正常载荷条件下相当于蒲福氏六级风力时能维持逆浪情况下的舵效航速。

2.4 环境考虑

标准 S10——船舶环境限制

船舶及其它连接的所有系统应设计得能实际地并最大程度地消除周围环境污染的可能性。排出未处理的污水或含油水是不允许的。船上应当只配置清洁的压载物。还应适当提供燃油充注系统的溢流保存箱。

2.5 控制

标准 S11——装置控制系统

装置控制系统的设计应包括反应堆和推进装置的控制，并且要引至中央控制室的设备上自动完成反应堆装置和推进装置的协调配合。

在正常和应急条件下，装置控制系统应确保如下三种方式的安全控制：

- (1) 自动的——整个推进系统的协调配合；
- (2) 反应堆跟随——反应堆跟随由汽轮机确立的功率水平；
- (3) 汽轮机跟随——汽轮机跟随由反应堆确立的功率水平。

应当提供由驾驶台控制的远距离调节控制。这种驾驶台控制部位仅限于那些与船舶航速和方位(船首或船尾)有关的重要性能和为信息控制所需的那些关键的警报。

讨 论 (略)

李果成译自 Principles and standards of reactor safety IAEA-SM-
169/29. 1973. p. 319—341 舒国良校