安全丛书

No.50-SG-D7

国际原子能机构安全导则

安全导则
核动力厂的应急动力系统

国际原子能机构，维也纳，1988

IAEA 安全丛书分类

从安全丛书 No. 46 开始，丛书内的各种出版物将分以下四类：

(1) **IAEA 安全标准**　这类出版物包括机构理事会于 1976 年 2 月 25 日通过并载于 IAEA 文件 INFCIRC／18／Rev. 1 的“国际原子能机构的安全标准和措施”所规定的本机构安全标准。这类标准是经过理事会的批准出版的，因此是本机构的业务和受本机构援助的活动所必须遵守的。这类标准由本机构的基本安全标准、本机构的专用规章和本机构的实施法规所构成。封面的下半页印有宽的红色标带。

(2) **IAEA 安全导则**　据 IAEA 文件 INFCIRC／18／Rev. 1，IAEA 安全导则的目的是补充说明 IAEA 安全标准并为执行这些安全标准推荐一个或数个可以采用的程序。这类出版物是经过本机构总干事的批准出版的。封面的下半页印有宽的绿色标带。

(3) **推荐性文件**　这类出版物包括指导安全实践的一般推荐性文件，是经过本机构总干事的批准出版的。封面的下半页印有宽的棕色标带。

(4) **程序和数据**　这类出版物包括与安全问题有关的程序、技术和准则，是经过本机构总干事的批准出版的。封面的下半页印有宽的蓝色标带。

注：属于 NUSS 计划（核安全标准计划）范围内的所有出版物，其封面的上半页均有宽的黄色标带。

安 全 导 则

核动力厂的应急动力系统

下列国家是国际原子能机构的成员国：

阿富汗
阿尔巴尼亚
阿尔及利亚
阿根廷
澳大利亚
奥地利
孟加拉国
比利时
玻利维亚
巴西
保加利亚
缅甸
白俄罗斯苏维埃社会主义共和国
喀麦隆
加拿大
智利
中国
哥伦比亚
哥斯达黎加
科特迪瓦
古巴
塞浦路斯
捷克斯洛伐克
民主柬埔寨
朝鲜民主主义人民共和国
丹麦
多米尼加共和国
多瓜多尔
埃及
萨尔瓦多
埃塞俄比亚
芬兰
法国
加蓬
德意志民主共和国
德意志联邦共和国
加纳
希腊
危地马拉
海地
教廷
罗马
匈牙利
冰岛
印度
印度尼西亚
伊朗伊斯兰共和国
伊拉克
爱尔兰
以色列
意大利
牙买加
日本
约旦
肯尼亚
大韩民国
科威特
黎巴嫩
利比里亚
利比亚阿拉伯民众国
列支敦士登
卢森堡
马达加斯加
马来西亚
马里
毛里求斯
墨西哥
摩纳哥
蒙古
摩洛哥
荷兰
新西兰
尼加拉瓜
尼日尔
尼日利亚
挪威
巴基斯坦
巴马拉
巴拿马
巴拉圭
秘鲁
菲律宾
波兰
葡萄牙
卡塔尔
罗马尼亚
沙特阿拉伯
塞内加尔
塞拉利昂
新加坡
南非
西班牙
斯里兰卡
苏丹
瑞典
瑞士
阿拉伯叙利亚共和国
泰国
突尼斯
土耳其
乌干达
乌克兰苏维埃社会主义共和国
苏维埃社会主义共和国联盟
阿拉伯联合长国
大不列颠及北爱尔兰联合王国
坦桑尼亚共和国
美利坚合众国
乌拉圭
委内瑞拉
越南
南斯拉夫
扎伊尔
赞比亚
津巴布韦

本机构的《规约》于 1956 年 10 月 23 日经在纽约联合国总部举行的国际原子能机构规约会议通过，并于 1957 年 7 月 29 日生效。本机构的总部设在维也纳。本机构的主要目标是“加速和扩大原子能对世界和平、健康及繁荣的贡献”。

国际原子能机构印于奥地利
1988 年 10 月

序

总干事

不论发达国家还是发展中国家，其能源需求均在持续不断地增长。象石油和天然气这类传统能源，可能在今后几十年内耗尽，而现有的能源生产能力已日益难以满足当前世界范围的能源需求。据专家们估计，到本世纪末，我们就可能要面临能源短缺的局面。在新能源中，核能因其成熟的工艺而成为弥补未来能源缺口的唯一的、最重要的可靠能源。

在过去25年中，已有19个国家建造了核动力厂。现有200多座动力反应堆在运行，还有150座正在计划建造。从长远看，核能将在世界能源规划发展中发挥愈来愈重要的作用。

核工业从出现以来，始终保持着首屈一指的安全记录。鉴于核动力安全的重要性，并希望把这个记录保持下去，国际原子能机构制定了一项广泛的计划，在与热中子动力堆有关的许多安全问题上给成员国提供指导。这项计划就是众所周知的NUSS计划（NUSS是Nuclear Safety Standards的缩写），即核安全标准计划。目前该计划包括以实施法规和安全导则的形式编写和出版的约50本书。这些书正在作为机构的安全丛书出版，每一本都有英文、法文、俄文和西班牙文版本[①]。这些书在必要时将根据经验加以修订，使其内容得到更新。

这项计划面临的任务是繁杂而又艰巨的，需要组织大量的会议来起草、审查、修改、统一和批准这些文件。国际原子能机构感谢许多成员国，它们慷慨地提供了专家和资料；也感谢许多个人，他们的名字列在已发表的参与人员名单中，这些人花费了时间和精力来帮助实施这个计划；还真诚地向参与这项工作的国际组织致以谢意。

这些实施法规和安全导则，是本机构出版的推荐性文件，供成员国按自己的核安全要求加以利用。愿意与国际原子能机构签订协议，以便在核动力厂选址、建造、调试、运行或退役方面从本机构获得援助的成员国，将被要求遵守属于该协议规定活动范围的那部分实施法规和安全导则。但是应当承认，在任何许可证审批程序中的最终决定权和法律责任，总是属于该成员国的。

NUSS出版物事先假定有一个全国性的体系，在这个体系内的各方，如管理机构、许可证申请者／持有者、供应者或制造者等，要各善其事。然

① 从1986年起增补中文版本。

而，如涉及一个以上的成员国，那就可能有必要根据国情和成员国之间及各组织间的有关协议对所述程序作某些修改。

这些法规和导则是以这种形式编写的，即只要成员国决定采用，就能把这些文件的内容直接应用于它所管辖的各项活动。因此，根据法规和导则的惯例并按照高级顾问组的建议，行文中采用了“必须”和“应该”二词，使可能的使用者区别是坚持要求还是希望采用。

保证为子孙后代提供充足而安全的能源，从而对提高他们的福利和生活水平有所贡献这样一个任务，是我们大家都关心的事。希望本书以及根据NUSS计划正在出版的其他文件，能对实现这个任务有所裨益。

说　明

高级顾问组

国际原子能机构关于制定核动力厂实施法规和安全导则的计划，已载于IAEA文件GC（XVIII）／526／Mod.1。这个计划称作NUSS计划，它讨论放射安全问题，而且目前只限于陆上固定式热中子反应堆核动力厂。本书就是根据这个计划出版的。

总干事为实施该计划而在1974年9月设立的高级顾问组选定了实施法规的五个题目，并草拟了一份有助于实施这五种法规的安全导则的暂定书目。高级顾问组被委以在这项计划的各个阶段对其进行监督、审查和咨询的任务，以及批准将递交总干事的文件草案。已针对每个实施法规成立了一个相应的技术审查委员会，各委员会均由成员国的专家们组成。

按照上述IAEA文件所规定的程序，实施法规和安全导则——它们基于不同国家的组织体制和实践方面的文件和经验——由来自成员国的两三位专家同本机构的工作人员组成的专家工作组首先草拟。然后再由相应的技术审查委员会进行审查和修改。这项工作既利用公开的资料，也利用非公开的资料，如成员国对征求意见表的答复等。

经技术审查委员会修改后的文件草案，提交高级顾问组。在高级顾问组认可后，要把英、法、俄和西班牙文本送交各成员国征求意见。技术审查委员会根据这些意见进行修改与补充，再经高级顾问组进一步审查之后，文件草案就递交总干事，由他在适当的时候送交理事会，进行出版前的最后核准。

五种实施法规包括下列题目：

管理核动力厂的政府机构；
核动力厂选址的安全问题；
核动力厂安全设计；
核动力厂运行中的安全问题；
核动力厂安全方面的质量保证。

这五种实施法规确定了为实现核动力厂充分安全运行应达到的目标和最低要求。

出版安全导则，是为了说明并向成员国提供实施有关法规特定部分的可接受的方法。如果采用的方法和方案与这些导则中规定的不同，但它们提供了至少相当的保证，说明核动力厂可以安全运行而不会给广大公众和厂区人员的健康和安全带来过大的危险，那么这样的方法和方案也是可以接受的。虽然这些实施法规和安全导则为安全建立了必要的基础，但它们也可能不充分或不完全适用。必要时应参考国际原子能机构出版的其他安全方面的文件。

为了适应特殊情况，有时可能需要满足附加要求。而且，还会有一些特殊问题，必须由专家们根据具体情况加以分析。

易裂变物质和放射性物质以及整个核动力厂的实体保卫只在适当场合笼统提到，未加详细讨论。工业安全和环境保护的非放射性方面的问题，没有明确地加以考虑。

文件中的附件，要看作是这个文件的一个不可分割的组成部分，而且与正文具有同样的地位。

另一方面，附录、脚注、参与人员名单和参考书目仅仅是为了给使用者提供可能有帮助的资料或实际事例。补充的书目资料有时可从本机构得到。

每本书中都附有有关的定义。

出版这些书的目的是为了成员国的管理机构和有关单位在适合时使用。为了完整地理解这些书的内容，还应参阅其他有关实施法规和安全导则。

注　　释

本安全导则的正文引证了**NUSS**计划的下列出版物：

安全丛书　**No.50-C-D**；
安全丛书　**No.50-SG-D2**；
安全丛书　**No.50-SG-D3**；
安全丛书　**No.50-SG-D4**；
安全丛书　**No.50-SG-D6**；
安全丛书　**No.50-SG-D8**；
安全丛书　**No.50-SG-O4**；
安全丛书　**No.50-C-QA**；
安全丛书　**No.50-SG-QA6**。

本导则的后面附有**NUSS**计划书目及其出版年份。本导则的最后一页刊有如何订购国际原子能机构出版物的说明。

目　录

1. 引　言

核动力厂的许多系统需要动力，以便在运行工况下和事故工况期间或事故工况后执行它们的安全功能。这种动力可以取自电力、压缩空气、蒸气、直接驱动装置（例如直接驱动泵的柴油机）或其他动力源。根据系统设计，这些动力源可以单独使用或组合使用。

应急动力系统是安全系统的组成部分，它作为安全系统辅助设施，向安全系统和其他指定的安全重要物项供应和分配必需的动力。为了执行各种假想始发事件所要求的安全功能，安全系统的工作方式和配置应是多样的，并应按照冗余性和／或多样性的不同组合来考虑。若不能提供足够的动力源，亦就不能执行必要的安全功能，这可能导致不可接受的放射性释放。

因此，正如本机构的安全丛书 **No.50-C-D**《实施法规：核动力厂的安全设计》第 **7** 节所要求的，应急动力系统的可靠性和工作方式必须与被供动力系统的要求完全相一致。

人们可以从厂外和厂内获得各种动力源。如果厂外动力源的可靠性较低，厂内动力源的总可靠性必须是高的。例如，在某些厂区，在核动力厂使用寿期内，可能经常发生厂外电源断电或电网电压和频率的严重扰动，这就要求切断核动力厂与该电网的连接。在这些厂区，电网电源的损失必须通过改善厂内动力供应能力来补偿。

本导则和其他的安全导则以及实施法规是国际原子能机构核安全标准计划（**NUSS** 计划）的组成部分，该计划的目的在于为陆上固定式热中子动力厂制定实施法规和安全导则，本书最后列出了 **NUSS** 计划出版书目。

要特别注意 **NUSS** 计划的其他安全导则，尤其要注意本机构的安全丛书 **No.50-SG-D2**《安全导则：核动力厂防火》、**No.50-SG-D3**《安全导则：核动力厂保护系统及有关设施》和 **No.50-SG-D8**《安全导则：核动力厂与安全有关的仪表和控制系统》。

2. 本导则的范围

本导则适用于其总动力源系由正常动力源（电气的）和应急动力源（可以是电气的，也可以是电气和非电气组合的动力源）构成的核动力厂。

本导则为各种类型的（电气的和非电气的）应急动力系统提供一般性指导，并对应急电力系统的设计原则和特性提供具体指导（见附件 **A**）。将来的版本将增补第二个附件，以便对非电气系统提供具体指导。

本安全导则第 3 节涉及有关的电网、输电线路[①]、厂内电源系统和其他替代动力源等方面应予以考虑的资料，以便向应急动力系统提供总可靠性高的动力源。由于核动力厂的运行人员通常不管理厂外设施，因此讨论改进厂外设施可靠性方法时不包含对不受运行人员管理的设施的要求。

本导则第 4 节至第 11 节提供可用于任何电气的或非电气的应急动力系统的资料、建议和要求。

3. 设 计 考 虑

3.1. 总则

对应急动力系统的基本要求是高度可靠。特定动力厂的可靠性水平取决于该动力厂厂址的具体情况（即对自然的和人为的假想始发事件的敏感性）、动力厂布局（单堆或多堆）和动力厂设计（排除热量的固有能力、动力厂发电机[②]容量等）。由于大部分应急动力系统通常是以电气为基础的，故需要考虑另一个重要参数即电网本身的特性（规模大小、稳定与否）。

为了使应急动力系统的电气部分即应急电力系统达到所需的可靠性，可以在厂外和厂内采取许多措施（在下面论述），这些措施可以包括提高动力厂正常动力源（正常情况下应急电力系统从它得到动力）的可靠性或在不能使用正常动力源时向应急电力系统提供其他动力源。在厂外动力源的可靠性比较低时，必须提高厂内动力源的可靠性，使所有安全系统在要求它们执行安全功能时均能获得为执行其安全功能所需的动力。同样也必须注意使应急动力系统的电气部分和非电气部分之间的可靠性达到必需的平衡。在选择所采取的综合性措施时，应仔细地评价替代措施的相互影响和由综合性措施所提供的总可靠性。

3.2. 厂外措施

3.2.1. 电网容量

在最初选择核动力厂厂址时应进行电网稳定性的评定。当电网稳定性不良时，可以考虑采取改善电网稳定性的措施，或者可能的话，可以选择电网稳定性较大的替代厂址。

---

① 术语“电网”系指将电力分配到最终用户的那部分电力系统。输电线路系指从所述核动力厂至电网的连接线。

② 术语“动力厂发电机”系指核动力厂中生产输出电力的汽轮发电机。

电网的稳定性与许多参数有关，它们包括峰荷期间和非峰荷期间的系统发电容量和备用发电容量；空转运行备用发电容量、发电机组的数量和容量及其特性；与邻近电力系统之间的连接线数量及其特性；输电线路的数目及其特性，包括继电保护和断路器特性。

在增添新发电容量和设计电力系统网络时所持有的基本思想对电网的稳定性会产生直接的影响。例如，应通过负荷流的研究和稳定性的分析确定某一特定系统为保持系统稳定所需的最佳机组容量及空转备用容量。特别重要的是，电网失去最大容量的运行机组就可能导致电网的不稳定，并使整个系统崩溃，从而要考虑切断该动力厂的厂外电源。

核动力厂的容量一般是较大的，通常用作基荷机组，每年还可能因换料而停役几周时间。某些系统采用的通常作法是在分支输电和配电级上切断负荷，即在由于发电不足造成系统频率下降时逐步地切断用户的负荷。如果频率降低过多，则不得不切断发电机组与电网的连接。某一特定的电力系统选用核电机组时，这些因素会对电网的稳定性产生影响，故应仔细地考虑这些因素。

3.2.2.输电线路

核动力厂与电网连接的接线数目取决于整个电网的设计容量和核动力厂自身的设计。

当核动力厂的发电容量占电网容量的大部分或电网在失去该核动力厂后会直接导致电网崩溃，单条连接线也许是可以接受的。在这种情况下，架设第二条输电连接线几乎不会提高应急动力系统的可靠性；所以应采取其他的厂内措施。在核动力厂的发电容量占电网总容量的小部分并且在失去该核动力厂（或该核动力厂的一个机组）后电网仍保持稳定时，最好在动力厂厂址和电网之间至少架设两条输电连接线。当使用一条以上的输电线路来连接一座核动力厂与电网时，这些输电线路应彼此加以适当的分隔，以免两条或两条以上的输电线路发生共因故障。除非能在电网的不同位置上与电网相连接，否则即使用两条以上的连接线与电网连接仍可能不会提高可靠性。然而，对于远离主电网的动力厂来说，架设多条输电线路可能是不现实的。

不管用几条输电线路与动力厂相连接，仍有可能同时失去动力厂的全部输电线路。某些自然事件，例如龙卷风、地震、飓风，可能弄断所有进入厂区的输电线路。此外，电网的所有输电和配电系统是相互关联的，主要部分受到破坏将可能导致整个电网的大部分（即使不是全部）失效。

采用单条输电线路的核动力厂因输电线路跳闸可能有较高的强制停运率。这对于输电线路经常遭受雷击的地区尤其重要。在这种情况下，必须把

核动力厂设计成能承受强制停运的影响，或者必须采取措施，如可能的话通过增设输电线路来减少强制停运的次数。

3.3. 厂内措施

核动力厂应急电力系统通常是由电网（经输电线路）、动力厂发电机或同时由这两者供电。为了尽量减少动力厂电气开关装置的切换次数，为动力厂正常运行所选择的优先电源应该是两个电源中的较可靠者。在运行工况或事故工况下失去优先电源供电时，剩余电源中最可靠者必须自动被选为第一替代电源。

某些核动力厂被设计成允许甩负荷，一旦负荷与输电线路相脱离，反应堆和发电机的输出功率随之降低，使其正好等于失负荷的动力厂所需的电功率（“厂用负荷”）[③]，而不中断蒸汽供应或不使汽轮发电机停运。这种承受甩负荷并使功率降至厂用负荷的能力对于由单条输电线路从输电网获得电能的核动力厂的设计尤为重要。

在用单条输电线路与电网连接的情况下，正常运行时应急电力系统是通过动力厂的辅助电气系统由动力厂发电机和电网之间的连接线供电（见附件 A 附录 2 图 4）。在动力厂发电机停运时，为保证从电网供电，需要在该连接线上的发电机一侧安装一个断路器。同样，为保证在电网不能供电时改由动力厂发电机供电，需要在发电机的接线和输电线路的接线之间装上一个断路器。这种向应急电力系统供电的接线方式是否适宜，取决于动力厂发电机和输电线路之间所设置的断路器的使用情况。重要的是，这些断路器必须是高质量的，有 100 % 额定容量，能承受它们可能受到的最大电流，并能断开所规定的额定电流和故障电流。采用这样的接线方式，在任何情况下既可从动力厂汽轮发电机，也可从输电线路连续地获得电能，除非在断路器之间发生故障，或动力厂发电机和输电线路同时发生故障。

附件 A 附录 2 的图 2、3、5、6 例举了在动力厂发电机和输电线路之间发生单一故障时连续供电的接线方式的实例。图上描绘了双重连接的电网。

3.4. 替代电源

应急电力系统除由正常电源供电外，还可使用厂内和厂外的替代电源来提高应急动力系统的可靠性，但替代电源本身并不是这些应急动力系统的

---

③ 包括动力厂中所有的电气负荷。

组成部分，例如通常用于承担高峰负荷的化石燃料发电机或厂外专用的地区性电网。对多堆厂址来说，这方面的一个重要特点是任一反应堆单元的应急动力系统均能由动力厂其他反应堆单元的发电机供电，而与连接电网的输电线路状态无关。

在应急动力系统设计中应考虑这种替代电源。不论采用自动接入，或是手动接入，对替代电源的信赖程度将取决于许多因素。这些因素包括替代电源的可靠性和它们的设计特性，特别是动力厂运行人员在运行中实施行政管理的程度。

4. 总的设计原则

应急动力系统的设计必须做到下列两点：

(1) 对于预期运行事件：要确保向那些使放射性释放保持在规定限值内所需的系统提供动力。预期运行事件包括对动力厂电力系统本身产生主要影响和直接影响的那些事件，例如失去电网供电、失去动力厂供电。

(2) 对于事故工况：考虑到事故后的整个恢复期间动力厂不能向电网供电所带来的后果，要确保向那些使放射性释放保持在可接受限值内所需的系统提供动力。

为完成这些任务，应急动力系统须向所有的安全系统和在其他安全导则(例如国际原子能机构的安全丛书 **No.50-SG-D8**《安全导则：核动力厂与安全有关的仪表和控制系统》）中所规定的其他安全重要物项提供动力。

此外，亦可能由应急动力系统向其他安全重要物项和非安全重要物项(生产负荷）提供动力。

4.1. 可靠性、工作方式和配置

应急动力系统必须设计成具有高度的功能可靠性、可试验性和实现其全部安全功能的能力；其工作方式和配置还必须与被供动力的安全系统的各项要求相一致。

在研究应急动力系统需具有的冗余性时，必须注意到第 **3** 节所述的设计考虑和应急动力系统必须发挥作用的假想始发事件的发生频度。一些**成员国**是采用概率分析法来确定这种冗余性。然而，应急动力系统至少必须满足单一故障准则（见下文）。

4.2. 单一故障则准和设备停运

国际原子能机构的安全丛书 No.50-C-D《实施法规：核动力厂的安全设计》（2.10 节和第 7 节）规定了应急动力系统用的单一故障准则的基准。该法规 2.11 节规定了设备停运(例如试验、修理和维护）情况下设计和运行间的关系④。

若将单一故障准则应用于应急动力系统，则要求假定任何时候只存在一个单一故障。这意味着，例如在应急动力系统的某一部分是电气的，而另一部分是蒸汽的情况下，必须假定在整个应急动力系统（电气的和蒸汽的)中，任何时候都只存在一个单一故障及其继发故障。

4.3. 共因故障

在设计中必须考虑共因故障的可能性，这种故障有可能使应急动力系统在需要它工作时却不能执行其安全功能。必须按照能单独防止假想始发事件的原则（实体分隔和功能隔离）（见 6.2 节）防止由于安全系统设备本身或人为的干预（例如运行和维护）造成的可信共因故障。应用独立性原则来保证整个系统的不可用性主要取决于设备的随机故障，而不取决于可鉴别的共因故障。

4.4. 事件的组合

国际原子能机构的安全丛书 No.50-C-D《实施法规：核动力厂的安全设计》2.6 节规定了在核动力厂设计中考虑事件组合的基准和要求。在应急动力系统设计中，应参考国际原子能机构的安全丛书 No.50-SG-D6《安全导则：核动力厂的最终热阱及直接有关的热输送系统》3.4 节。

---

④ 在这种应用中，有些成员国假定，当发生某一假想始发事件而需要应急动力系统运行时，应急动力系统设备的一部分处于维护状态，与此同时出现单一故障。