



framatome

数字化中子测量仪表系统

全球最广泛使用的数字化堆外中子测量仪表系统 (NIS)



原理

法马通自主设计制造的用于堆外中子通量监测的数字化解决方案

法马通堆外中子测量仪表系统 (NIS) 可持续检测反应堆运行所有工况期间的反应堆功率水平 (即中子通量率)、计算功率变化和反应堆轴向功率分布等。

NIS 设计与反应堆保护系统 (RPS) 结合使用, 并在安全仪表与控制 (I&C) 中发挥关键作用, 其测量值用于:

- 触发反应堆停堆和安全响应功能;
- 在核电厂运行期间监测反应堆功率 (即: 换料、启动、停机、功率运行);
- 在反应堆厂房或主控室内生成警报;
- 事故发生时或发生后 (事故后) 对中子注量率水平进行监控;
- 在运行期间执行特定的启动测试 (例如, 反应性测量) 或堆芯监控 (例如, 中子噪声分析);

NIS 由以下部分组成:

- 堆外中子通量探测器
- 采用带特殊接头的有机或矿物性电缆
- 信号调理电子设备
- 控制和保护处理电子设备
- 合格的板卡、机架和机柜
- 符合人体工程学的本地或远程监督和维护人机界面
- 符合人体工程学的测试装置及相关报告
- 单独的元件 (例如, 装卸工具、反应堆厂房中的扬声器等)

法马通的NIS 可以根据客户要求
量身定制



架构

得益于其适应性，法马通NIS可用于所有类型反应堆的新建和现代化改造项目。

系统架构

法马通的 NIS 技术可以拥有不同的系统结构和冗余方式，典型的 NIS 由三种测量通道组成：

- 源量程通道 (SRC)，用于反应堆启动和停堆期间的功率水平监测
- 中间量程通道 (IRC)，用于反应堆启动及运行期间功率水平监测和事故后监控
- 功率量程通道 (PRC)，用于功率运行期间功率水平监测，由沿反应堆高度的六个部分组成，用于更精确地测量轴向功率偏差

得益于法马通 Spline 技术的灵活性，上述通道均可进行修改，以用于任何类型的安全架构：

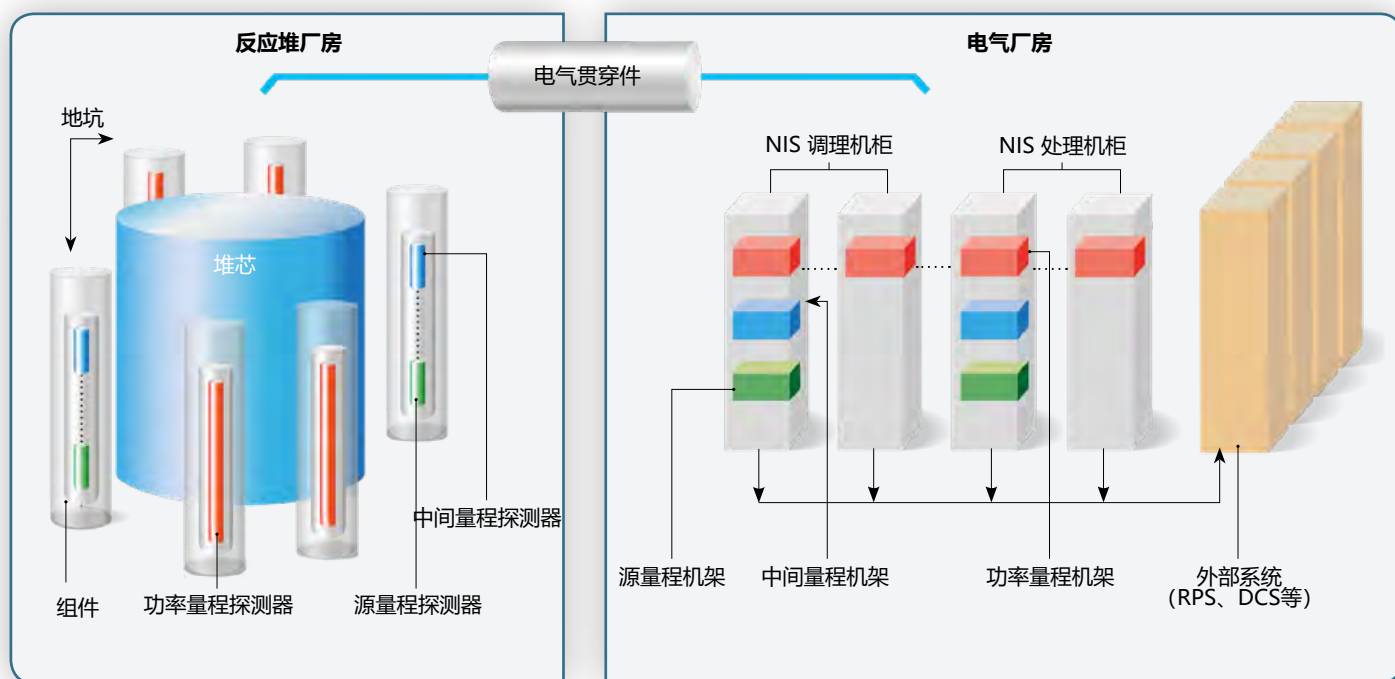
- 四重冗余安全隔离，每重分别具有每种类型的一个测量通道
- 三重冗余安全隔离，每重均具有三重冗余测量通道

根据客户要求 ($nv=1$ 中子/cm²/s)，总量程可以在 $5 \times 10^{-2}nv$ 至 $1 \times 10^{11}nv$ 范围内调整。

还可以添加换料通道，从而在换料活动期间对反应堆中子通量进行更准确的监控。

NIS 三个量程之间具有足够的量程重叠，确保测量通道之间的平滑过渡。

法马通还提供了一个宽量程通道，当与兼容探测器匹配使用时，该通道可以覆盖从 $1nv$ 到 $2 \times 10^{10}nv$ 的全量程。此外，当与基于裂变室的探测器匹配使用时，该宽量程通道满足美国 NRC RG 1.97 中规定的事后要求。



典型的NIS组件和与外部系统的接口

技术特征

基于50年的客户反馈的广泛特征

测量和控制通道

整体上，NIS测量通道可覆盖12个量程区间内的中子测量。量程间的重叠确保从源量程级别到功率量程级别的连续监测，以及SRC、IRC和PRC之间的平滑过渡。同样，我们的宽范围信道可覆盖11个量程区间的中子通量测量，并在与合格的探测器匹配使用时满足事故后要求。保护功能（自动停堆、闭锁、安全功能）可以直接在测量通道或独立的专用保护通道中实现。

通道处理部分处理调理部分所提供的数据，并向主控室和核电厂其他系统提供测量值、设备运行状态和报警等运行信息。此外，还包含用于诊断和维护NIS系统的本地通讯信息。

设计特点

- 独立：安全隔离及其测量通道在功能和电气方面彼此独立
- 自检：在处理单元中进行大量自检，通过早期硬件故障检测确保系统的安全运行
- 网络：法马通专有的1E级NERVIA网络可实现通道之间的稳定通信，同时保持功能和电气方面的独立性
- 网络安全：通过专有应用程序、特殊协议和访问权限保护获得高水平的网络安全
- 可靠性：高品质的设计和组件确保电子设备的高可靠性

软件

法马通的NIS软件由以下部分组成：

- 用于测量和保护通道的1级安全软件（即IEEE 1E级和IEC A类）
- 用于控制单元的软件，可以开发为任何安全类别
- 用于监管和监控单元的标准机密软件

处理单元的软件参数可在运行期间进行调整，从而对每个通道的响应时间进行微调，以符合现场具体要求。

将专有的1E级安全数据库用于经过验证的特定中子测量功能（例如计数率计算、倍增时间算法和卡尔曼滤波），并可以根据任何特定应用进行调整。

性能

高性能的电子设备和数字化处理确保通道测量的高精度和拥有快速的响应时间，使之能够无缝集成到核电厂的总体仪控（I&C）系统之中，性能可以根据客户要求进行调整。

质量鉴定、测试和维护

法马通的NIS符合最严格和最新的IEC和IEEE标准（请参阅“标准/技术规范”部分）。

与每个使用Spinline技术的处理系统一样，NIS由一组帮助操作员执行系统监控和维护的专用工具支持，例如：

- LDU：本地显示装置，允许操作员查看可更改参数的值并进行修改
- MMU：监控和维护装置，用于处理自我诊断测试的结果，从而帮助维护人员识别发生故障时需要采取纠正措施的位置
- ATU：自动测试单元，用于通过向输入端注入信号来执行电子设备和探测器的定期测试，并检测所有保护信号路径上的任何硬件故障。

人机界面

NIS人机界面提供：

- 功能和运行信息，例如原始或经过处理的测量值（例如中子通量、校准的中子通量、倍增时间等），并以文本值、条形图或报告的格式显示
- 维护时所需的NIS条件状态和设备状态（例如故障指示）相关信息
- 显示图表，提供操作和设置参数的后续信息，如紧急跳堆阈值，并使操作员能够打印所选信息
- 事件和趋势数据记录

堆外中子探测器

在法马通工厂设计、制造或组装超过50年

供应范围

法马通设计、制造和供应用于各种类型反应堆的测量系统：

- PWR - 压水反应堆
- GCR - 气冷反应堆
- RBMK - 石墨慢化反应堆
- FBR - 快中子增殖反应堆
- PHWR - 加压重水反应堆
- 船用反应堆
- 研究堆
- 小型模块化反应堆以及先进堆型

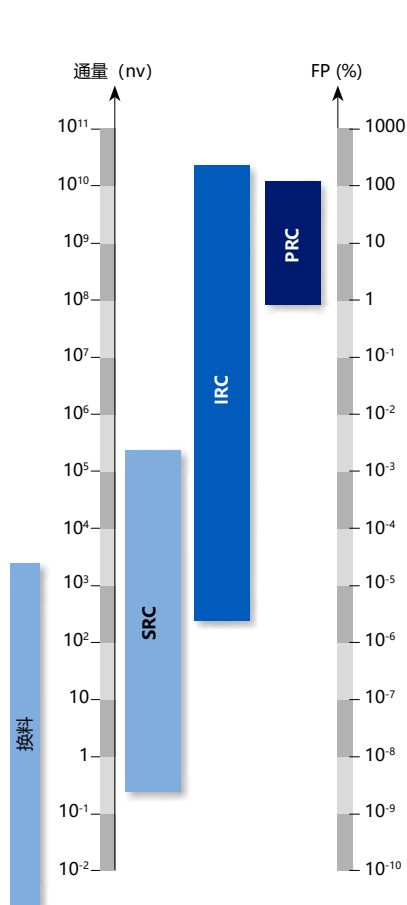
法马通提供全套NIS：探测器、组件、连接器、电缆（源量程、中间量程、功率量程以及宽量程）。

法马通提供以下类型探测器：

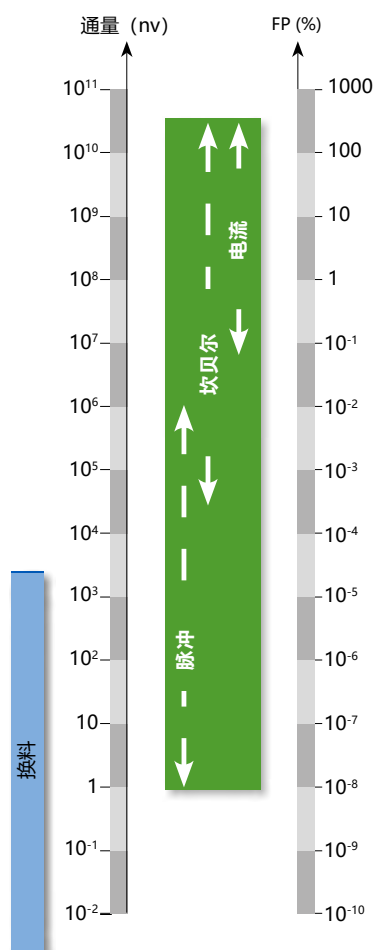
- 涂硼正比计数器：三种典型外径：25、48 和 76mm
- 补偿电离室
- 非补偿电离室：通常为 1 段或2/4/6 段，采用两个典型直径，即 50mm 和 80mm
- 裂变室
- 氦-3 正比计数器
- 事故后伽马离子室
- N16-伽马离子室（高能 γ ）

填充气体：混合气体（Ar、N₂、He）或氢气。

连接器：HN型，保障事故后仍可用。



使用我们的源、中间和功率通道系统测量的典型通量范围



使用带有裂变室的宽量程系统的通量测量和相关模式示例（事故后兼容配置）

应用标准

探测器按照国际核行业标准进行测试、验证和质量鉴定。

使用以下标准对各种核电厂条件下的系统性能（包括事故后条件和特定伽马能谱）和中子灵敏度、伽马敏感度以及探测范围的检测特性进行评估：

- 环境条件测试（适用标准：IEC 780、IEEE 323、IEEE 344）：
 - 温度，通常为 135°C (275°F) 条件下 950 小时
 - 湿度，通常为 55°C (131°F) 和 95% 相对湿度条件下 48 小时
 - 压力，通常为 6 巴 (87 psi)
 - 振动试验
- 伽马辐照：通常不超过 850kGy (85Mrads)
- 地震条件测试
 - 所有连续运行行为测试均按照以下标准执行：NF M64-001、IEC 60068、IEC 60980、IEEE 323、IEEE 344、EDF 辐射测试规范 CRT 91 C 113
 - 事故压力试验按照以下标准进行：NF M64-001、EDF 地震测试规范

CRT 91 C 112、EDF 辐射测试范 CRT 91 C 113

- 地震应力试验按照下列流程进行：

S1（地震所有项目反应谱 - 水平反应谱）上循环 5 次：水平 OX/OZ 和垂直 OX/OY 轴的双轴测试；S2（地震所有项目反应谱 - 垂直反应谱）上循环 1 次：水平 OX/OZ 和垂直 OX/OY 轴的双轴测试；

伽马探测器：事故后电离室，用于测量事故发生后安全壳内的伽马剂量率。探测器具有一个内部 alpha 源，以产生一个永久的测试信号来验证通道的运行情况。

更多信息，请参阅中子探测器技术说明书。





调理

即使在低通量水平下也可靠且准确

说明

探测器信号调理功能在针对模拟量信号的硬件板件中实现，并直接与堆外探测器相连接。它可以对探测器信号进行整形处理，并放大到标准信号范围，以方便处理部件的采集和数字化处理，或是为独立的第三方系统提供直接输出。

典型的信号调理：

- 来自正比计数探测器的脉冲，高达 1×10^6 cps
- 非补偿或补偿电离室生成的低电平和宽量程电流：从 10^{-12} A 至 10^{-3} A
- 波动（即 坎贝尔）

这些信号由专门的堆外 NIS 板件进行处理：

- 快速脉冲放大器
- 脉冲甄别和整形
- 高压电源
- 用于电流测量的自动或固定量程放大

调理部件还可以提供特定的输出信号：

- 用于反应性仪表接口和测量的原始信号输出
- 用于堆芯振动监控的中子噪声信号

调理板件还包括输入和输出以执行下列操作：

- 用于高压设定值和甄别电压设定值的参数管理（即修改和监控）
- 调理板件的定期测试
- 通过曲线绘图对中子探测器进行定期测试，以检测老化情况

功能

调理功能专为性能提升而设计，且不使用对数放大器，可实现：

- 灵活准确的计数率测量/响应时间平衡，以适合每位客户的需求
- 在整个量程内进行精确的电流测量，无需定期重新校准

所有测量值和内部参数都会连续传输到处理单元，并可通过网络进行监控。

信号通过处理功能实现数字化，可用于：

- 反应堆的停堆和自动执行功能
- 反应堆的控制和运行
- 特殊测试（如反应性仪测试、中子噪声分析等）

专注于与事故后测量兼容的宽量程系统

当连接与此量程兼容的单个探测器时（法马通也提供此类探测器），我们的宽量程系统可以覆盖从1 nv到2e10 nv的中子通量。由于其三种不同的测量模式（脉冲模式、坎贝尔模式和电流模式）以及基于通量水平的这些模式之间的自动转换（当与法马通Spinline技术等处理单元相连接时），且带有能够测量最终用户定义的选定量程的单个检测器，该系统能够便于适配以覆盖全量程或仅覆盖较小的部分，例如仅相当于源或中间量程，或者两个量程（SRC+INT或INT+PWR）。

当与基于裂变室的探测器耦合时，该系统符合美国NRC RG 1.97的事故后要求。



SRC/INT/PWR通道的调理板件



宽量程模块

处理

基于法马通数字安全平台：Spinline，已在全球90多座核反应堆使用。

说明

信号处理在 NIS 数字处理单元中实现。除了来自外部的信号外，它还可以获取信号调理部分所提供的探测器信号并进行数字化处理，执行安全和核电厂正常运行所需的所有计算和比较。

然后，处理结果将以多种形式（例如，二进制、模拟或数字输出信号）传送到其他系统（例如，反应堆停堆系统、控制棒驱动系统、功率调节系统等）。

保护通道这一部分基于 Spinline 技术。

数字化处理提供以下益处：

- 提高准确度
- 缩短响应时间
- 提升可靠性
- 减少机械部件的数量
- 改善自检
- 监控调整操作
- 系统状态的整体确认
- 非常适用于现代化监督手段和工具
- 有可能实现复杂而准确的功能（例如温度校正）
- 易于维护（通过信号故障识别和定位）

软件

该软件严格按照 IEC 60880 标准开发，用于执行 IEEE 1E 级和 IEC A类功能的安全系统。

根据客户要求开发，NIS 应用中的典型功能包括：

- 初始计数率计算，含过滤
- 基于电流测量、校准和修正的中子通量计算
- 变化率（例如倍增时间）
- 信号过滤
- 与设定值相比较，以生成警报、反应堆停堆信号和闭锁信号
- 音频通道
- 反应性计算

典型 NIS 应用的周期时间低至 10 毫秒。

这些功能已被用于各种项目，并从重要的安全操作经验中受益。

可通过调整可变参数，使功能性能（即响应时间和精度）满足个别客户的要求。并可对功能进行调整，以符合个别客户的特定功能要求。



成熟的数字技术的益处

关于 Spinline

Spinline是一个专用于开发或升级所有类型的核反应堆安全系统的模块化数字解决方案，专用于执行IEEE 1E级或IEC A类安全仪控（I&C）功能。Spinline拥有50年的成功运行经验，已被成功安装在全球超过90座核反应堆。法马通是世界上最富经验的安全仪控（I&C）供应商。

Spinline 既可用于新建核电厂的保护系统，如RPS、NIS、控制棒安全驱动系统和柴油机负荷排序系统，也可用于在运核电厂的现有安全仪控（I&C）系统的现代化改造。

更多信息，请参阅 Spinline 技术说明书。



客户受益

成熟的现代化技术的可靠性和安全性，可适应客户需求并符合当地法规

法马通的 NIS 基于 Spline 技术，是法马通用于国际电工委员会 (IEC) A 类、电气和电子工程师协会 (IEEE) 1E 级应用的一个数字化安全平台。

该系统提供高水平的性能表现（例如中子通量量程、精度和时间响应），同时确保高安全性水平，提升了 EMC 抗干扰能力，符合最苛刻的质量鉴定标准。由于其技术特点，它能够符合现有界面要求，能够与任何类型的安全或控制系统相连接，进而满足所有类型反应堆的要求。

法马通可以提供全套 NIS，包括探测器、调理和处理电子设备以及人机界面，涵盖核电厂和研究堆的完整中子通量功率水平的测量。

法马通的数字化 NIS 技术久经考验，具有：

- 高水平的安全性和可靠性，以支持核电厂的高可用性
- 精确的中子通量显示，以改善核电厂的运行
- 宽量程测量
- 无需在探测器和 NIS 机柜之间使用额外的电子设备（即，反应堆厂房或电气贯穿件附近外部无电子设备）
- 可实现简便、高效的维护
 - 对具有广泛监控功能的电子设备和探测器执行自动定期测试
 - 易于进行参数调整，稳定性高
 - 操作方便
- 提供用于探测器、电子设备和调试的高水平技术指导和专业知识支持
- 库存要求低
- 使用最新组件，更好地提供长期支持
- 符合人体工程学的人机界面



稳健、标准化和可靠的技术

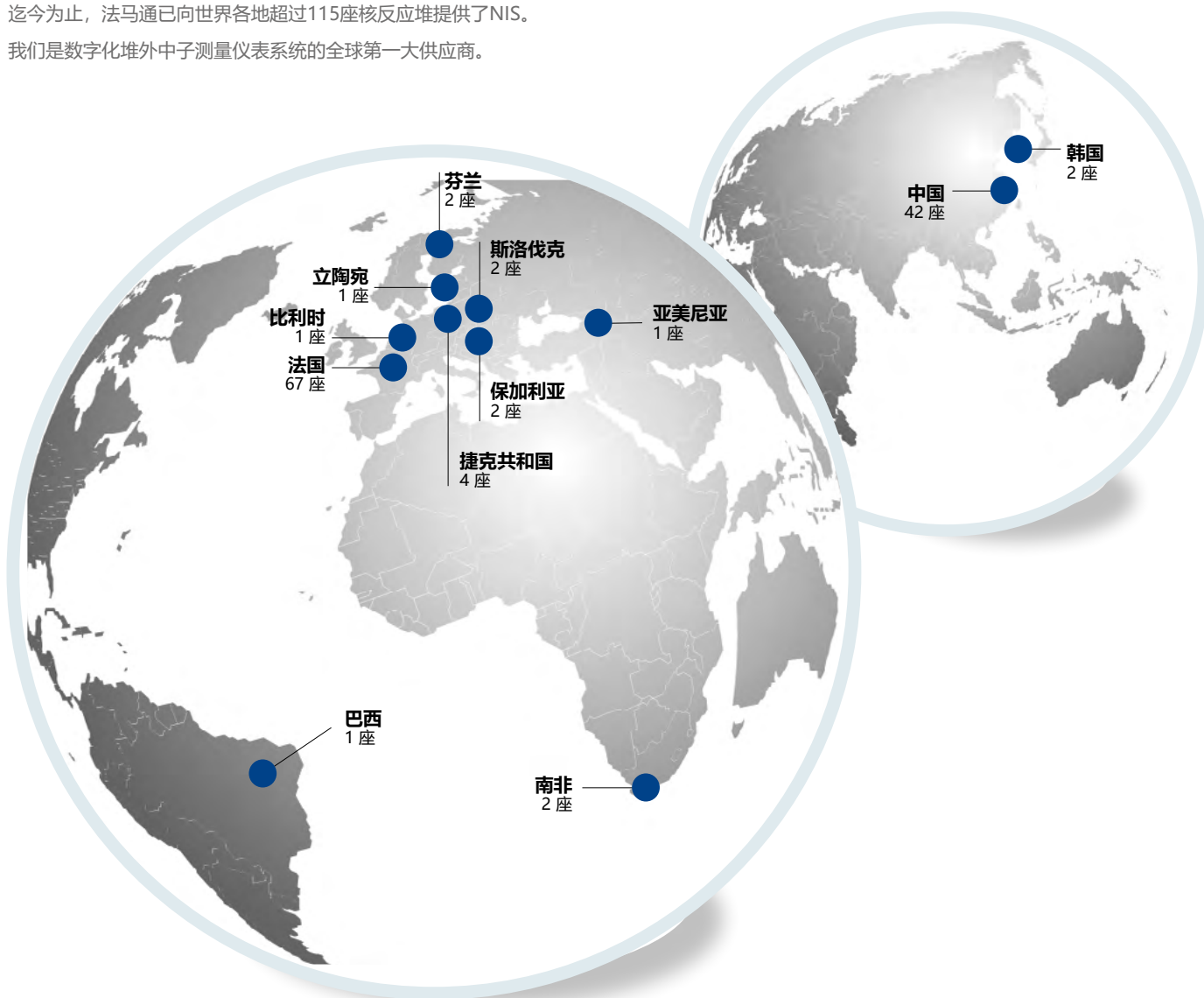
经验和参考

法马通是数字化NIS的世界领先者

法马通在设计和交付用于新建和现代化改造的堆外中子测量仪表系统方面拥有50多年的经验。

迄今为止，法马通已向世界各地超过115座核反应堆提供了NIS。

我们是数字化堆外中子测量仪表系统的全球第一大供应商。



法马通中子测量仪表系统 (NIS) 业绩参考



标准

根据最严格的国际和本地核标准和法规，专门为核安全功能开发

一般安全要求

国际	IAEA GSR part 2	安全领导与管理（2016）
	IAEA SSG-30	核电厂结构、系统和部件的安全分类（2014）
	IAEA SSR-2/1	核电厂的安全 - 设计
	IAEA SSG-2	核电厂确定性安全分析
	IAEA SSG-39	核电厂仪表与控制系统设计
	IEC 60671	核电厂 - 安全关键仪表与控制系统 - 监控测试
	IEC 60812	系统可靠性分析技术。故障模式和效果分析流程
	IEC 61226	核电厂 - 安全关键仪表与控制系统 - 仪表与控制功能的分类
	IEC 61227	核电厂 - 控制室 - 操作员控制
	IEC 61500	核电厂 - 安全关键仪表与控制 - 用于执行A类功能系统的数据通信
	IEC 61513	核电厂 - 安全关键仪表与控制系统 - 系统的一般要求
	IEC 62003 ed2:2020	核电厂 - 仪表、控制和电力系统 - 电磁兼容性试验要求
美国	10 CFR 50	核电厂一般设计标准（附录 A）
	NUREG 800, 第7章	用于审查核电厂安全分析报告的标准审查计划
	IEEE 338	核电站安全系统周期监督检查检测准则
	IEEE 603	核电站安全系统准则
欧洲	RCC-E	核岛电气部件的设计和施工规范
	RFS	核反应堆的基本安全规则
	CRT	技术规则文件（EDF）

具体硬件设计要求

国际	IEC 60960	核电厂安全参数显示系统的功能设计准则
	IEC/IEEE 60780-323	核电厂 - 安全系统的电气设备 - 质量鉴定
	IEC 60709	核电厂 - 安全关键仪表与控制系统 - 分离
	IEC 60068-2	环境测试
	IEC/IEEE 60980-344	核设施 - 安全关键设备 - 抗震鉴定
	IEC 60987	基于计算机的系统的硬件设计要求
	IEC 62566	用于执行 A 类功能系统的 HDL 编程集成电路的开发
	IEC 62566-2	核电厂 - 安全关键仪表与控制 - HDL编程集成电路的开发 - 第2部分：执行B类或C类功能系统用HDL编程的集成电路
	IEC 62808	核电厂 - 安全关键仪表与控制系统 - 隔离装置的设计与鉴定
	IEC 61000- 系列 4	电磁兼容性
美国	IEEE 308	核电站 1E 级电力系统的标准规范
	IEEE 379	将单一故障准则应用于核电站安全系统的标准规范
欧洲	EN 50081-2	电磁兼容性 - 通用发射标准
	EN 50082-2	电磁兼容性 - 通用抗扰度标准
	EN 55011	工业、科学和医疗 (ISM) 射频设备 - 射频干扰特性 - 限值和测量方法

具体软件设计要求

国际	IEC 60880	核电厂 - 安全关键仪表与控制系统 - 执行A类功能的基于计算机的系统的软件方面
	IEC 62138	核电厂 - 安全关键仪表与控制系统 - 执行B类或C类功能的基于计算机的系统的软件方面
美国	IEEE 7-4.3.2	核电站安全系统数字计算机的标准规范
	NRC 1.152	核电厂安全系统计算机使用标准
	NRC 1.168	核电厂安全系统数字化计算机软件的验证、审核和监查
	NRC 1.169	核电厂安全系统中使用的数字计算机软件的配置管理计划
	NRC 1.170	核电厂安全系统数字计算机软件测试文件
	NRC 1.171	核电厂安全系统数字计算机软件单元测试
	NRC 1.172	核电厂安全系统数字计算机软件要求说明
	NRC 1.173	开发用于核电厂安全系统中数字计算机软件的生命周期流程
	NRC RG 1.89	核电站某些安全关键电气设备的环境鉴定
	NRC RG 1.97	轻水堆核仪表
欧洲	RFS	用于安全系统的软件

法马通是全球核能市场的领导者，因其为全球核反应堆持续提供创新、数字化和增值解决方案而获得广泛认可。凭借在全球范围内的专业知识以及久经考验的可靠性和性能记录，法马通为核电站提供设计、维护、组件安装、燃料以及仪控系统等服务。

每天，法马通在全球各地的16,000多名员工，都在不断致力于帮助客户提供更加清洁、更加安全和更加经济的低碳能源。

访问网址: www.framatome.com, 请关注我们

推特: [@Framatome](https://twitter.com/Framatome) 领英: [Framatome](https://www.linkedin.com/company/framatome).

法马通由法国电力集团 (EDF-75.5%) , 三菱重工 (MHI-19.5%) 和Assystem (5%) 持有。



扫描二维码，获取更多解决方案

framatome****

Framatome
Tour AREVA, 1 Place Jean Millier
92400 Courbevoie, France

ic@framatome.com
www.framatome.com