framatome

BORONLINE®

新一代硼表

工作原理

Boronline 是我们最新一代的硼测量仪，可提供一回路硼浓度的永久记录。

测量反应堆冷却剂中的硼浓度水平对于控制堆芯的反应性和确保安全运行至关重要。

为了实现这一功能，法马通设计了最新一代硼测量仪Boronline，它通过连续采样和实时测量为核电站运营商提供水冷却回路中硼浓度的永久记录。

Boronline 设计用于连续测量流经压水堆一回路的流体中的硼浓度 (Cb)。

该系统执行反应堆运行所需的实时测量和数据处理（数值和警报），然后在本地或远程显示该信息，并可传送到计算机。

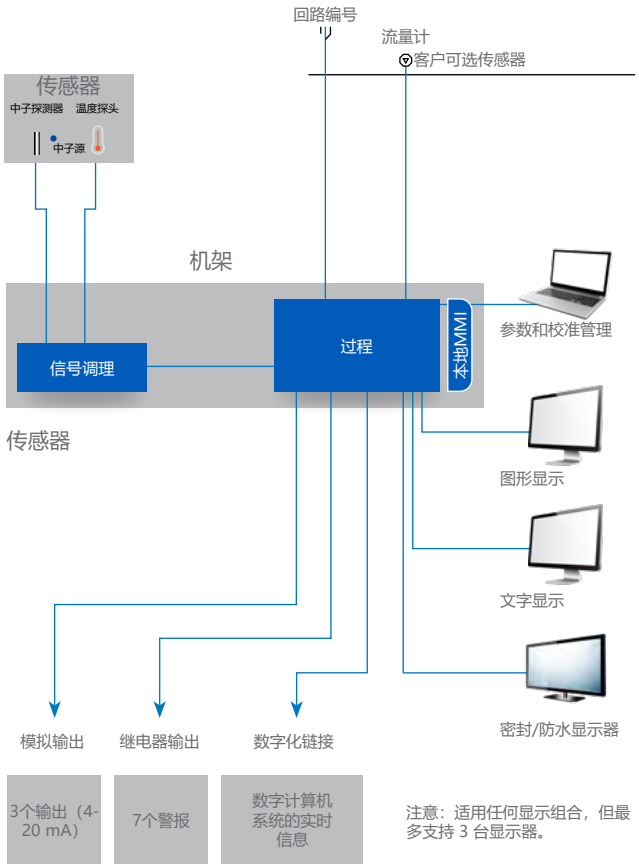
对于Cb浓度测量，有两个选择：

- 由待分析的溶液流经的箱体组成的传感器，传感器支架固定在地板上。
- 表面传感器，直接安装在管道上。

这两种情况下，待分析的溶液都通过包含中子源的传感器，而产生的通量由中子探测器进行测量。探测器获取的信息由调理电子设备处理，以确定溶液中的硼浓度。

而不同之处是第一个传感器（无中子源）能检测到源自待分析溶液的任何中子背景噪声（例如，存在裂变产物/外壳破裂）， 这可能会干扰主传感器的测量，因此，测量电子设备会对此进行补偿。

法马通硼表结构示例



测量准确、安全可靠

架构

Boronline硼表是一个模块化解决方案，由标准组件构成。

有两种不同的版本可供选择，以便根据客户的要求和需要调整系统架构：

- Boronline HT
- Boronline HE

有两种不同的传感器可用：

- Boronline HT：箱式传感器，由待分析流体流经的箱体和固定在地板上的传感器支架组成
- Boronline HE：表面传感器，直接安装在核电站管道上

提供三种不同的显示：

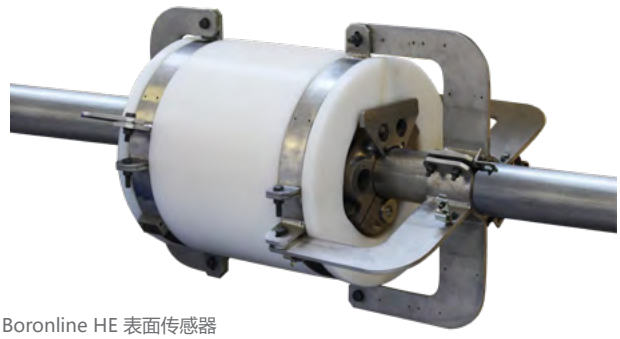
- “文本”显示器（3.8”），允许计算数据的数字化显示
- “图形”显示屏（10.4”），允许计算数据和“锂/硼”运行图形的数字化显示
- “密封”的显示屏（5”），可防尘、防水溅，适用于恶劣环境，允许计算数据的数字化显示

在任何情况下，Boronline 系统都包括以下部分：

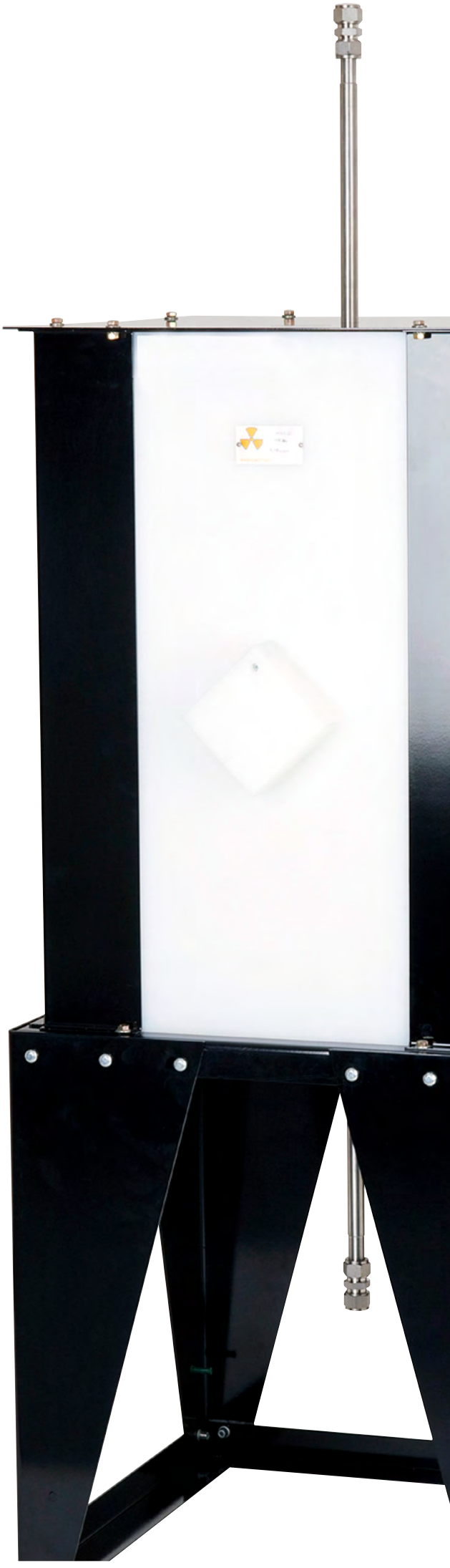
- 一个 19 英寸的机架，包含调理电子设备
- 一个传感器
- 一个中子源
- 一个中子探测器
- 一个温度探头
- 一个或多个显示器（最多 3 个）

法马通还建议在参数修改和校准阶段使用两个额外的工具：

- 校准台
- 校准和设置站 (PCP)



Boronline HE 表面传感器



Boronline HT 传感器，
包括一个箱体、一个中子源和一个中子探测器

功能

能实现多项功能的通用电子设备

探测器脉冲信号的采集
在处理之前对探测器产生的脉冲信号进行调节。

流体温度采集
获取流体温度以便对浓度计算进行温度补偿。

硼浓度的计算
硼浓度是探测器脉冲计数率的函数。

过滤硼浓度
通过所述过程获得的计数率是统计过程的结果，因此本质上是波动的。
应用数字滤波以获得高度的测量稳定性和较短的响应时间。

设定值输入
指令允许操作员调整稀释检测的设定点（DCb 稀释警报）。

显示器
所有产生的值/警报都分布在显示器网络上，该网络最多包含三个显示器，其类型可由客户选择：文本、图形、密封。

传输到计算机
所有产生的值/警报都通过专用链接分发到计算机，然后计算机处理所有由 Boronline 硼表提供的数据。

传输到记录仪
计算出的 Cb 值通过 4-20mA 链路传输到任何类型的客户记录仪。

响应时间
Boronline 硼表的固有响应时间（箱液的即时Cb 测量）取决于系统的物理配置（探测器类型）和应用的系统设置。作为指示，硼中子比例探测器是几秒，裂变室探测器是几十秒。

满量程
可定制满量程（Cb最大测量值），最大满量程设置为10000 ppm（天然硼）。

自检/诊断
该系统包括自检和诊断功能（整体测试和DCb 测试）。

校准、调整和设置
在安装系统之前，其设置依赖于厂家应用的安装架构。当首次运行系统时，在现场应用客户设置，这需要用到所有的操作参数。
现场定期进行调整和校准（大约每五年一次）。

处理的单位（mg/l；ppm；g/l）
Boronline 使用的单位可以由操作员选择。

低流量报警
作为一个选项，系统可以处理来自客户流量计的“低流量” 类型的数据，用于显示并与计算机通信。

回路编号
作为一个选项，系统可以处理来自客户索引阀门的“回路编号”类型的数据，用于选择所需的采样回路以显示并与计算机通信。

大量满足客户需求的功能

性能

Boronline是一种现代数字技术，可确保安全性和可靠性

缩短响应时间

由于连续测量，操作员可以实时了解被测回路中的浓度。

系统精度

最终的系统精度在安装过程中设定，因为它取决于几个现场设置。出于信息目的，最佳准确度值为：

• 用于 HT 传感器

- 硼元素的计算/显示：
  ± 12 ppm，从 0 ppm 到 1000 ppm
  ± 1.2 %的测量值，从 1000 ppm到满量程
- 硼酸的计算/显示（天然浓缩）：
  ± 60 ppm，从 0 ppm 到 6000 ppm
  ± 1 % 的测量值，从 6000 ppm 到满量程

系统精度通过定期校准得到保证，为获得最佳精度，我们建议每月进行一次手动验证，每五年进行一次全面校准。

• 用于HE传感器

- 硼元素的计算/显示：
  <= 范围内测量值的 2 % [1800 ; 2600] ppm

精度定义为标准偏差，包括所有影响参数，如“NF ISO/CEI 指南 98/第3部分”所定义。

计算硼浓度的校正因子

由于其固有的物理原理，硼表仅对硼 10 的浓度敏感。稀释不会改变硼10/天然硼的比例，然而，根据反应堆的运行条件，B10/B11 比率可能会发生变化（所谓的“硼耗尽”）。校正因子允许校正硼浓度的计算。

提高安全性

Boronline允许在反应堆运行的所有阶段测量和监测硼浓度，而无需处理有害物质。

测量精度、可靠性和稳定性

由于使用了正比计数探测器和升级的数字信号处理，测量性能得到了改善。

“稀释”警报

它被开发用于探测意外的均匀稀释（该稀释可能会导致抗反应裕度的损失），并判断情况是否会恶化导致反应堆偏移事件，无论反应堆的运行阶段如何。

温度校正功能

它允许永久监测待分析流体的温度。自动校正算法可以消除温度对硼的中子吸收系数的影响，从而在流体的整个工作温度范围内保持指定的精度。

传感器和采样管线之间的液压连接

管道确保从初级采样点到传感器的短半衰期裂变产物的零辐射。

在精度、响应时间和可靠性方面具有更高的性能

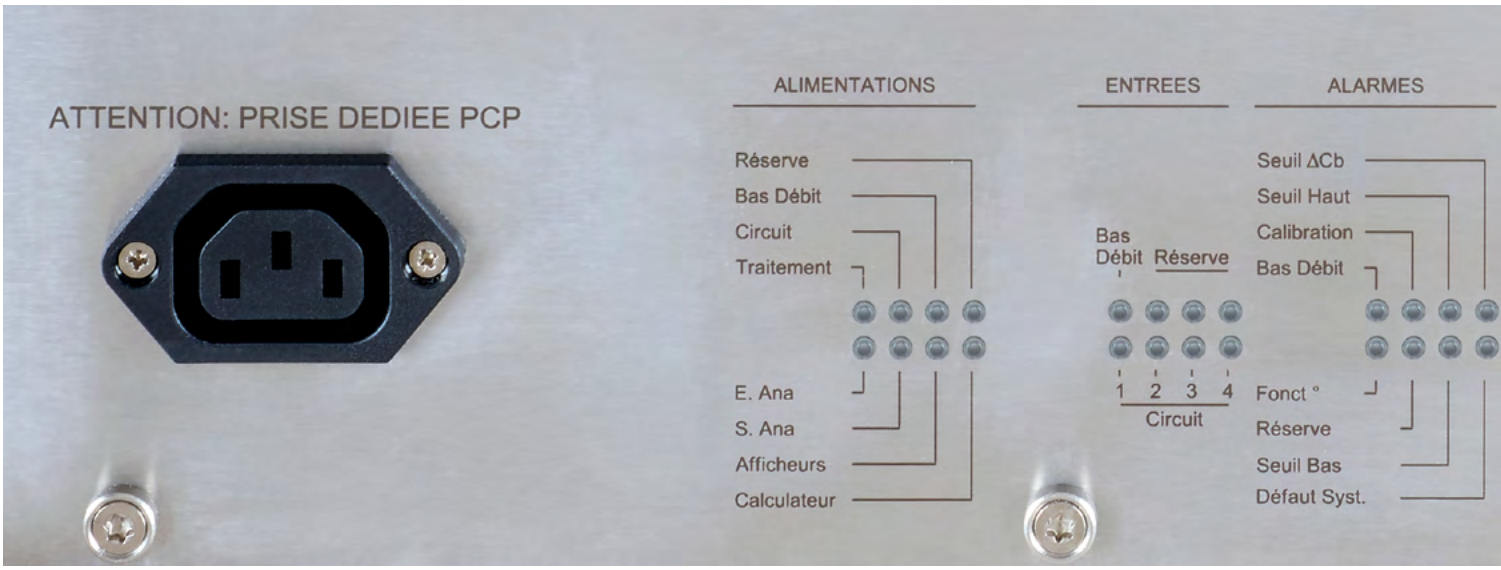
技术规格书

有两种传感器可供选择，使系统架构能够适应客户要求。

Boronline HT

箱式传感器规格

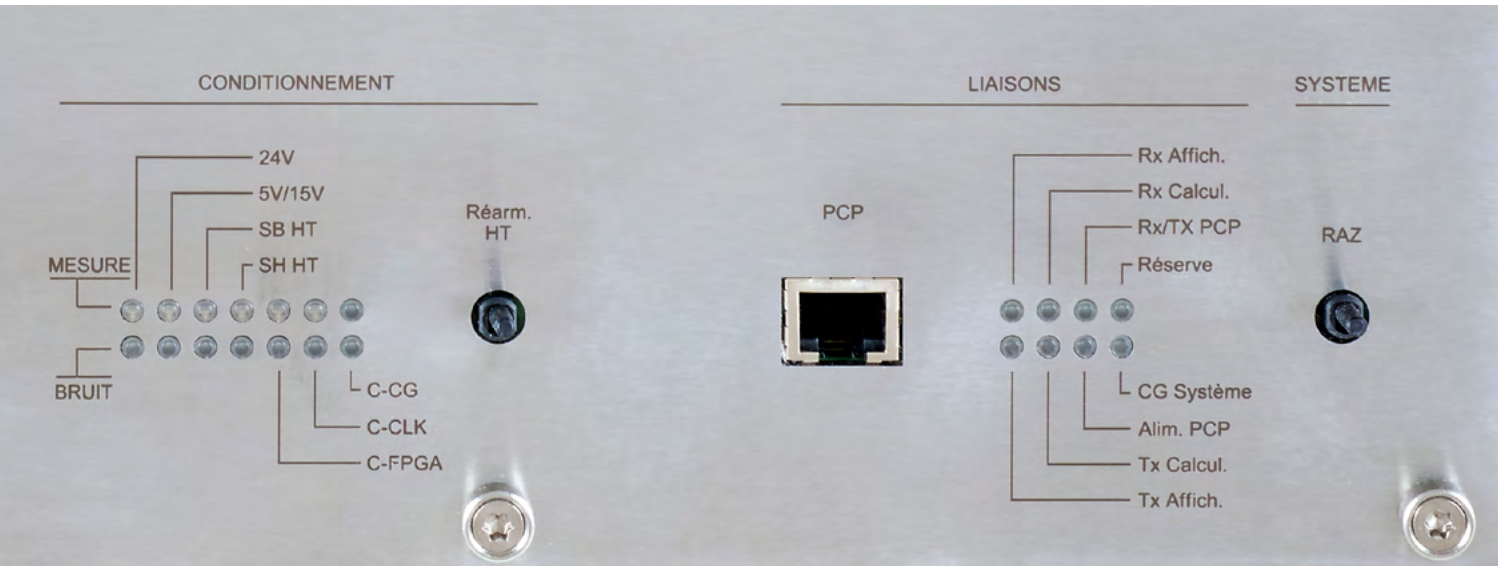
箱式传感器		
尺寸	520 x 520 x 1320 mm （长x宽x高）	
重量	大约150 kg	
液压连接	通过焊接或锻锁快速连接（（Φext = 16mm，L=25.4mm）。在这两种情况下：不锈钢管 DN 3/8” （Φext = 17.14mm，厚度2.31mm）。	
传感器材料	不锈钢： ANSI 304L / AFNOR Z3 CN18-10.	
传感器体积	大约4.2升	
标称箱压力	最大35 bar	
正常流体温度	最高80°C	
中子源		
类型	AmBe, 111 GBq (3Ci)	
尺寸	Φ = 32mm , L = 70mm	
通量密度	6.6 10^{6} $n.s^{-1}$.4Π	
中子探测器		
	比例计数器	**裂变室**
中子敏感性	4 $c.s^{-1}/n.cm^{-2}.s^{-1}$	10^{-1} $c.s^{-1}/n.cm^{-2}.s^{-1}$
伽马剂量率	最大10 Gy/h	最大104 Gy/h
工作电压	标称 800 V	标称 600 V
温度	最高200°C	最高250°C
应用	在存在高放射性流体（伽马剂量率 > 10Gy/h）时不可用。	可在存在高放射性流体（伽马剂量率 > 10Gy/h）的情况下使用。
温度探头		
探头类型	Pt100	
Pt100元件直径	6 mm	
温度量程	+10°C至 +80°C	



Boronline HE

表面传感器规格

表面传感器	
尺寸	600 mm（长度）x 400 mm（气缸外径）
重量	大约 100 kg
机械特性	管上传感器，可用于 3” 和 4” 管道
传感器材料	生物屏蔽：高密度聚乙烯（HDPE） 管道支架上的机械装置：不锈钢316L
正常流体温度	80°C（标称值）；最高 110°C（事故条件下的最大值）
中子源	
类型	AmBe, 111 GBq (3Ci)
尺寸	Φ = 32mm , L = 70mm
通量密度	6.6 10^6 $n.s^{-1}$.4Π
中子探测器：比例计数器	
中子敏感性	4 $c.s^{-1}/n.cm^{-2}.s^{-1}$
伽马剂量率	最大10 Gy/h
工作电压	800 V
温度	最高200°C
应用	在存在高放射性流体（伽马剂量率 > 10Gy/h）时不可用。
温度探头	
探头类型	Pt100
Pt100 元件直径	6 mm
温度量程	+5°C至 +110°C



技术规格

标准组件和校准工具

机架规格

机械特性				
宽度	19’’ 机架			
高度	3U (i.e., 132.5 mm)			
深度	471 mm			
功耗（大约）	50W / 230V AC（仅机架组件）			
环境温度	最高 40°C（机柜环境） 最高 55°C（机架环境）			
输入				
	连接		**电缆类型**	
探测器	HN 接头		同轴电缆	
温度探头	9针 Sub-D接头		Pt100 4-线（2线可选）	
流量报警（可选）	螺丝端子		干接点（无电位），报警闭合	
电路编号（可选）	螺丝端子		干接点（无电位），电路编号闭合	
输出				
	数量	连接	类型	值
模拟	3	15针 Sub-D	4-20mA	- 过滤后的硼 10 浓度 - 过滤的天然硼浓度 - 硼浓度设定值
二进制	7	螺丝端子	每个输出 1 个NO+NC 触点	警报： - 低阈值过冲 - 高阈值过冲 - 稀释 - 低流量 - 运行报警 - 系统故障 - 正在进行校准
显示	3	9针 Sub-D 9	RS485-调制解调器	（可按需提供）
PCP	1	RJ45	RS485	
数字工厂计算机	1	9针 Sub-D	RS485-调制解调器局域网	

显示规格

	文字显示	图形显示	密封显示器
数据显示	显示中央单元计算的所有数据（计算的 Cb、稀释设定点、警报等）	显示中央单元计算的所有数据（计算的 Cb、稀释设定点、警报等），还显示运行中的锂/硼简图。	显示中央单元计算的所有数据（计算的 Cb、稀释设定点、警报等），显示器是防水的(IP65)。
尺寸	面板 169 x 169 mm	面板 300 x 300 mm	外壳 280 x 180 mm
深度	248 mm	133 mm	118 mm
安装类型	平板安装	平板安装	壁挂式（包括锚板）
面板开孔	142 x 142 mm	278 x 277 mm	n/a
锚钉分离	152 x 152 mm	287 x 287 mm	300 x 210 mm
功耗	大约. 20W/230V AC; 20W/120V AC	大约 25W/230V AC; 20W/120V AC	大约 25W/230V AC; 20W/120V AC
环境温度	40°C	40°C	40°C

维护工具

	功能	特征
PCP	**使用电脑对设置进行编程，该电脑配有法马通“PCP”软件，允许对设备进行设置管理和定期校准。**	**- 标准商用便携式电脑** **- 便携式电脑使用Boronline机架面板上的交流电源插座供电** **- 功耗约为 150W / 230VAC**
校准台	Boronline T 校准阶段需要使用可移动装置“校准台”。在此阶段，传感器必须与要分析的回路断开，并以液压方式连接到校准台。	外尺寸（长x宽x高）：1100mm x 580mm x 900mm 功耗：约1200W / 230VAC

标准

根据国际和当地核标准和法规开发

Boronline HT - 箱式传感器

- ESPN 2005 年 12 月 12 日法令（ESPN = 核压力设备）： 0 类，N3 级。
- 欧洲指令 PED 97/23/EC（PED = 压力设备指令）：类别第3.3 条。
- 美国机械工程师学会（ASME）：
  - 设计（包括压力计算注释）：ASME VIII 2001 版。
  - 采购：ASME II 2007 版。
  - 制造：ASME VIII 2007 版。
  - 资格（焊工和工艺）：ASME IX 2007 版
  - 验证（方法）：ASME V 2007 版。
  - 验证（验收标准）：ASME VIII 2007 版。

Boronline HE -表面传感器

- RCC-E 2005：B3000 章和 B4000 章（K3 地震级别）。
- 功能和抗震测试已根据标准 RCC-E 2005 和 IEC 60780 执行。
- RCC-M：H册，S2级。

电子产品

电子元件符合以下标准的要求：

- RCC-E 2005：抗震等级（B4000 章）
- CRT 80.C.012.00, v2005

软件

软件处理系统符合RCC-E 2005 C2类、IEC 62138 B类标准的开发要求。

经验

Boronline是30多年的经验积累

Boronline 是法马通开发的第四代硼测量仪。

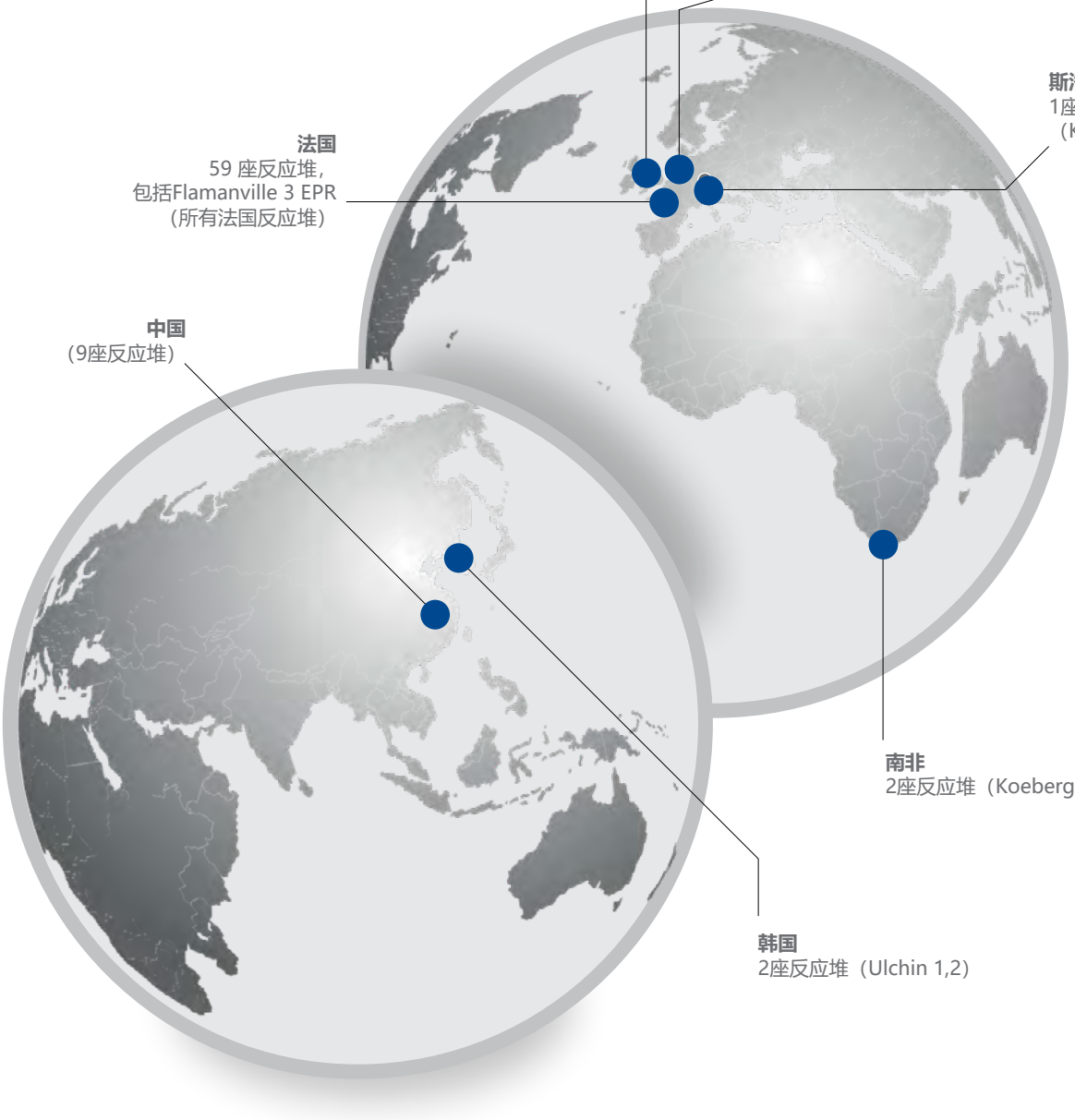
它的开发是 30 多年经验的结晶，在此期间，我们为全球 80 多个核反应堆提供了硼表。

Boronline 硼表旨在适应所有类型的核反应堆，无论是更新改造还是新建的核反应堆。

Boronline 将安装在法国 EPR Flamanville 3。

2015 年，Boronline 被 EDF 选中，为法国全部 900MW 核反应堆提供硼测量系统。

业绩



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_ 领英：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

© 2022 Framatome, Business Unit I&C – December 2022 – Photos copyright: © Framatome
Boronline® is a registered trademark of Framatome or its affiliates, in the United States or other countries.