

真空技术挑战： 用于散裂源的抗辐射真空泵

从生物分子到超导体，新一代中子源实现了对各种材料的结构和特性的研究。美国、日本和中国最近建造的中子源是目前世界上最强大的中子源。然而，正在瑞典隆德建造的欧洲散列源（ESS）将在2027年投入使用时设定更高的标准。

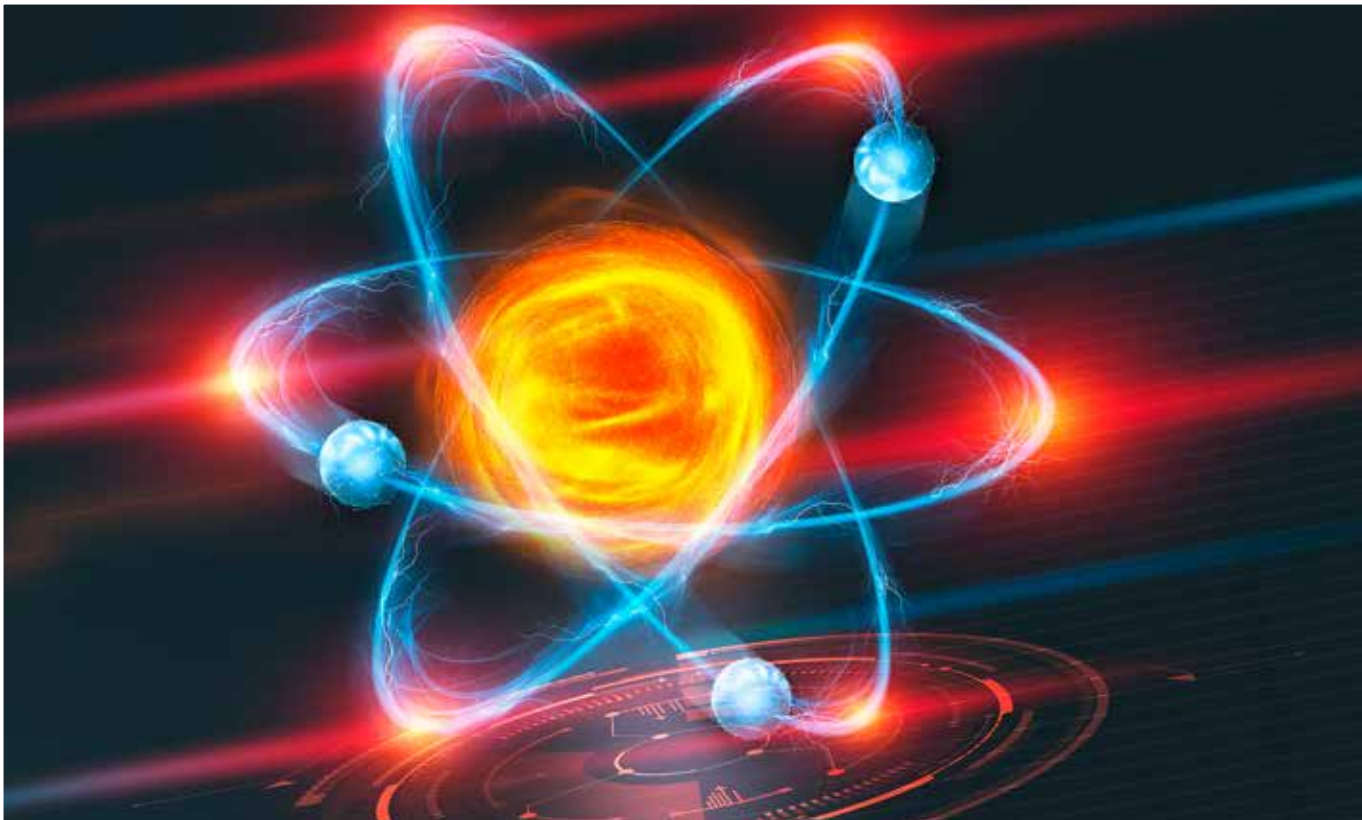




图 1：位于瑞典隆德的欧洲散列源 (ESS) 鸟瞰图。(图片：Perry Nordeng/ESS)

这些功能强大的新仪器也对其所需的工程系统提出了挑战。如果您需要解释，请添加散列过程：中子从钨原子核中释放出来，受到中子脉冲的撞击后产生辐射，这对真空系统等关键基础设施来说具有挑战性。后者用于维持加速器和实验设施中的超高真空。普发真空与用户密切合作，为新型散列源开发定制的真​​空解决方案。然而，用于控制真空泵的电子系统、测量仪器及其制造材料都可能出现问​​题。

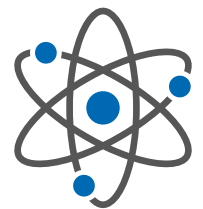
**普发真空与用户密切合作，
为新型散列源开发定制的真
空解决方案。**

利用中子了解材料

中子可以深入样品内部，因此被广泛用于研究材料特性。在此过程中，中子可提供原子级别的信息，生成数据以确定材料内部的确切结构。此外，中子具有适当的波长，可将其动量和能量传递给样品中的粒子。这提供了有关固体晶格振动的宝贵信息。此外，中子还具有核自旋的特点，这使它们对材料中磁矩的位置和方向极为敏感。

虽然中子源已经存在多年，但新一代的散列源可以产生比以前从核反应堆中产生的强得多的中子束。这使实验得以加速，使科学家能够比以往任何时候都更详细地研究材料及其相互作用。

目前最强大的反应堆中子源位于法国格勒诺布尔的 Laue-Langevin 研究所。它的通量达到 $1.5 \cdot 10^{15}$ 中子，热功率为 58 兆瓦。相比之下，用于能源的最强大反应堆装置的热功率约为 4 兆瓦。2027 年完工的欧洲溅射源将拥有 10^{18} 中子/秒和平方厘米，向一个固定的钨靶发射高能质子束。质子轰击会释放出中子，然后将中子减速并形成中子束。脉冲形式的中子束可用于中子散射实验。其他散列源的工作原理类似，但可能使用不同的加速方法和不同的目标类型。在这种情况下，重质靶能够吸收散列过程中产生的放射性核物质。



然而，辐射对高功率中子源构成了更大的问题。在日本质子加速器研究中心 (J-PARC) --目前世界上最强大的中子源--中子束附近的辐射水平可达数百万格令。

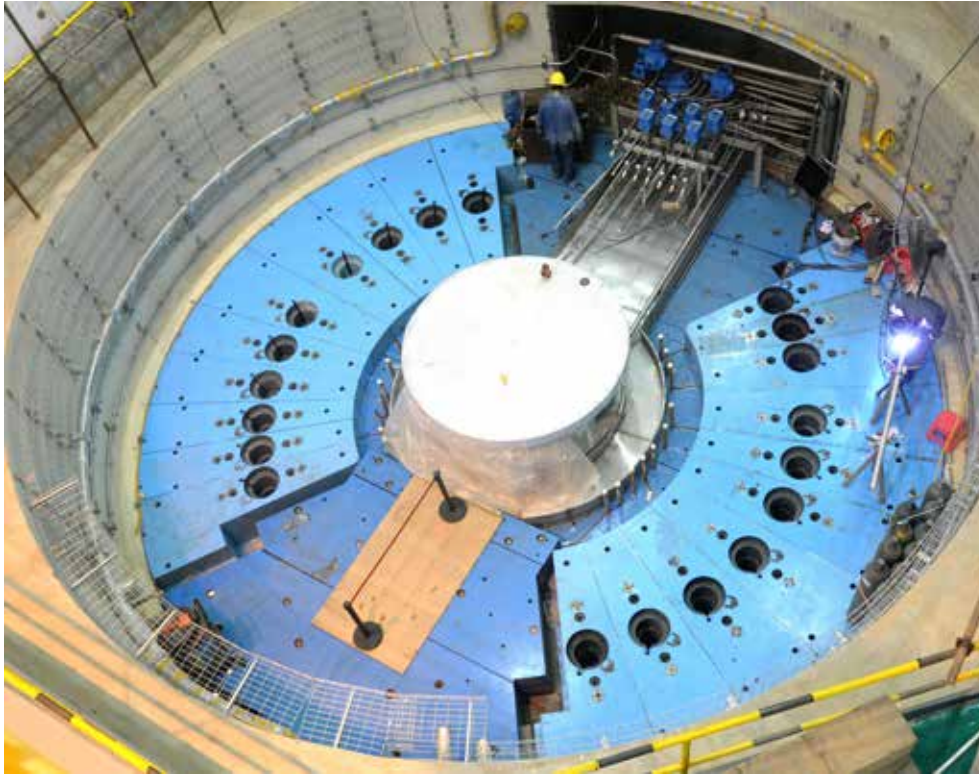
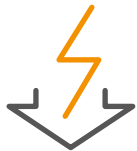


图 2：位于北京高能物理研究所 (IHEP) 的中国散列中子源 (CSNS) 的钨靶被安装成一个整体。(图片：高能物理研究所)

如此高水平的电离辐射给位于中子源附近的真空泵和测量仪器带来了两大问题。首先，电子系统不能直接与真空泵或测量仪器连接，因为它们会因辐射而发生故障或停止工作。此外，还必须考虑是否应在真空泵设计中避免使用某些材料，如聚四氟乙烯，因为它们会受到高辐射的影响。

抗辐射的重要性



对于电子设备来说，解决办法是将它们放置在离泵很远的地方。例如，在中国中子散列源（2020 年 2 月开始以 100 W 的光束运行），一些真空计通过长达 220 米的电缆与其控制器相连。真空产生同样重要，因此涡轮泵和前级泵的设计必须具有抗辐射性能。

中子束附近的辐射水平可达数百万格令。

通过长电缆操作泵是一项重大挑战，因为线路电阻很大。用于涡轮泵的长电缆解决方案（最长可达 1000 米）早已问世，但干式前级泵必须重新开发。与涡轮泵相比，干式前级泵的电功率更高，因此必须对前级泵和电力电子设备之间的电缆长度和线路直径进行相应调整。

同时，电离辐射对某些材料的影响也可能要求采用全新的泵设计方法。

在 J-PARC 项目中，项目团队担心聚四氟乙烯在干式前级泵的使用中，会因辐射影响变得更不稳定。

解决方案是选择一种无油前级泵设计，即多级罗茨泵。多级罗茨泵不需要任何密封材料，因此也不需要聚四氟乙烯。多级罗茨泵由六级罗茨鼓风机组合而成，可将气体从真空压强压缩至大气压强。泵的无摩擦运行也避免了磨损，减少了维护需求，这对于无特氟龙泵来说尤为实用。

J-PARC 是第一个在初始抽真空阶段使用多级罗茨泵的中子研究设施。随后，普发真空又开发了一种新的模式，使其他散列源（如ESS）也能承受高水平的辐射。

欧洲散列源的解决方案

对于ESS的设备来说，强大的加速器和更高的中子通量意味着辐射问题更加严重。项目团队不仅关注前级泵，还关注涡轮泵中的少量聚四氟乙烯。例如，有一个涡轮泵中的电动机是用聚四氟乙烯绝缘的。绝缘层的损坏会导致电气短路，从而中断泵的运行，进而影响实验进程。

在涡轮泵上，几乎不可能完全不使用特氟龙，但在某些地方是可行的。因此，与工厂的项目负责人进行持续、深入的沟通是普发真空的首要任务。

只有通过普发真空与项目经理之间的密切联系和持续讨论，才有可能对泵中的各种材料进行分析，并根据客户的需求进行定制。在某些情况下，缺乏替代品会使过程复杂化。在这种情况下，有必要采用整体方法，即结合干式前级泵和涡轮泵，为客户的应用找到一种替代方法。这样就能在整个系统的协调下达到最佳效果。



根据类似应用的经验，普发真空在项目的早期阶段就开始与 ESS 的项目经理进行讨论。这样就可以在产品部署之前对其进行必要的调整。

<https://europeanspallationsource.se>
<https://j-parc.jp/c/en/facilities/index.html>
<http://english.ihep.cas.cn/csns>



图 3：HiPace 涡轮分子泵系列已用于 ESS。

Your Success. Our Passion.

We give our best for you every day –
worldwide!

您是否正在寻找
出色的真空解决方案？
请联系我们：

普发真空技术（上海）有限公司
Pfeiffer Vacuum
(Shanghai) Co., Ltd.
T +86 (21) 3393 3940
info.cn@pfeiffer-vacuum.com

Pfeiffer Vacuum GmbH
德国总部
T +49 6441 802-0



Errors excepted. All data subject to change without prior notice. PI 0503.PZH (November 2023/0)

Follow us on social media
#pfeiffervacuum



www.pfeiffer-vacuum.cn

PFEIFFER  **VACUUM**