



南非的 核原型

一个小型创新性反应堆被看作新的电厂原型。该项目正接近初始阶段。

Tom Ferreira

尽管核能发电是迄今为止所有普遍应用的技术中安全和环境记录最好的一项技术，但面对已形成的与之对抗的负面认识壁垒，多年来核能仍然无法找到任何有意义的突破口。

但是全球的观点在急剧变化。石油价格的骤升在清醒地提醒人们能源市场的不稳定性、化石燃料的可耗竭性以及对现代工业经济所必不可少的稳定、可靠并且非污染性的电力来源的迫切需求。

今天，新型核电机组受到重视，南非正在这方面取得进展。南非国家能源供应商Eskom在国际上被认为是球床模块堆（PBMR）技术——一种“新一代”核电机组——领域的领先者。

有关 PBMR 项目的未来的决定即将出台（见方框“PBMR 接近初始阶段”）。如果未来几个月内项目获准进入下一阶段，那么 2006 年将开始建造 PBMR 示范堆，这样的话，反应堆将在 2010 年启动，在 2011 年移交给客户 Eskom。Eskom 已有条件地承诺购买首批商业

机组。

球床反应堆是一种小型堆，规模仅为大多数现有核动力堆的 1/6。多座 PBMR 可以共用一个控制中心，占地面积不超过 3 个足球场。

更具体地说，PBMR 是氦冷石墨慢化高温堆（HTR），在概念上以英国、美国和尤其是在 20 世纪 60 年代后期到 80 年代期间曾成功运行过原型堆的德国的经验为基础。尽管 PBMR 不是世界上正在开发的惟一一种高温气冷堆，但是国际上将南非的这个项目视为这一领域的先锋。南非的 PBMR 包含了独一无二的专利技术创新，这使其极具竞争力。

PBMR 有限公司首席执行官 Nic Terblanche 先生说，每座商业反应堆的电功率约为 165MWe。为了在最大程度上实现辅助系统的共享，已开发出许多种不同的 PBMR 构形方案，例如 8 包设计。他表示：“这是最具有成本效益的设计，使模块在完工后能投入使用。”

这个概念允许根据需求添加更多模块，并且按照所



PBMR 接近初始阶段

南非Eskom公司和两个合作伙伴，即工业发展公司（IDC）和英国核燃料公司（BNFL）。这两个合作伙伴都已表示希望开始进行详细设计和建造阶段。这一阶段包括在开普敦附近的科贝赫建造一座示范堆，以及在比勒陀利亚附近的佩林达巴建造一座相关的燃料厂。

迄今为止，项目的详细可行性研究、基本设计和商业个案研究均已完成，项目组正准备在获得各项许可之后马上进入建造阶段。

在2003年6月获得有关环境影响评价（EIA）报告的初步肯定性决策记录（RoD）之后，Eskom目前正在等待南非环境与旅游部（DEAT）对环境影响评价报告做出最终裁决。DEAT认为，从环境影响角度看，项目在某些条件下是可以接受的。

继肯定性的决策记录后，感兴趣方和受影响方获得两个月的时间向DEAT部长提交上诉书。诉讼期于2003年8月终止，部长目前正在审查上诉书。

除了等待DEAT对环境影响评价报告做出最终裁决和获得投资者的认可外，能否进入下一阶段（建造示范模块和燃料厂）还将取决于南非国家核监管机构能否发放建造许可证和南非政府的批准。

项目似乎得到南非总统塔博·姆贝基及其政府的大力支持。实际上，由贸工部（DTI）率领的南非代表团今年早些时候曾与法国Areva集团公司和法马通公司的高级管理人员进行会谈，讨论法国对该项目的可能参与。Areva是表示有兴趣参与这个耗资130亿美元项目的几家国际企业之一。



PBMR 模块概念设计图

服务的社区要求的规模进行构形。只要有足够的水用于冷却，PBMR可以在任何地方单独运行。干冷却尽管较昂贵，但对所设地点的限制却较少。

瞩目的进展

一项令人激动的新进展是，PBMR有限公司打算提交一份在美国爱达荷国家环境和能源实验室实施一项耗资11亿美元的氢生产项目的建议书。这项氢倡议要求建造既能发电又能产生高温工艺热的电厂。最初的概念设计表明，只要经过较小的改动，目前的PBMR动力厂就能够达到这一要求。

参与氢项目，将产生能够促进PMBR技术在美国早日实现商业化的明显好处，这将使这种堆型成为高温堆（HTR）技术的首选发展路线。

PBMR概念以新型反应堆应当小型化的思想为基础。该反应堆包含一个内衬石墨砖的立式不锈钢压力容器，燃料球由被封装在石墨中并带有碳化硅涂层的浓缩氧化铀颗粒组成，每个燃料球中含有约15 000个二氧化铀颗粒，使用氦作为冷却剂和能量传输介质。

随着PBMR动力转换系统试验装置的成功启动，该项目实现了一个重要的工程里程碑。该试验装置是世界上首座闭合循环多轴气轮机。原型是由约翰内斯堡附近的波彻斯卓姆大学工程学院设计和建造的，PBMR的项目组提供了技术投入。

同时，根据与PBMR有限公司的合同负责开发燃料制造能力的南非核能公司也取得了良好的进展。该公司

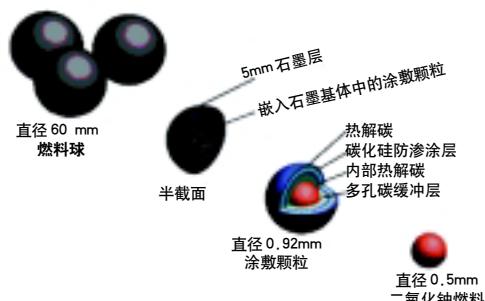


的重点是开发制造完整燃料球所需的严格生产技术。

示范安全性

PBMR 的基本设计原则是旨在建设一座不含可能在厂区边界以外引起辐射危害的物理过程的电厂。此外，堆芯在瞬变期间的峰值温度不仅低于已经过验证的燃料降质点，还远低于实体结构受到影响的温度。这将排除发生堆芯熔化事故的任何可能性。

这种安全设计已在德国 AVR 堆（砾石床高温气冷试验堆）进行的公开并录像的安全试验中得到验证，而 PBMR 反应堆堆芯概念就是以该堆为基础的。德国人在试验中曾停止冷却剂通过反应堆堆芯的流动，并抽出了



铀燃料球的直径为 60mm，略小于网球。右图是直径约为 1mm 的涂敷颗粒。涂敷颗粒由一个被 4 层涂敷层包围着的二氧化铀内核组成。

控制棒，就像反应堆处于正常发电模式那样。

已证明反应堆堆芯在几分钟内就自动关闭，并且随后证明燃料降质没有超出核燃料正常设计故障比例。这表明反应堆堆芯熔化是不可信的，具有固有安全性的反应堆设计这一目标已经实现。

PBMR 有限公司总经理 Phumzile Tshelane 说：“我们正在尽力改变核文化。如果 PBMR 的示范模块在技术和商业上证明是可行的，那么它将在全球范围内明显改善核能的前景，并最终实现获得安全、有竞争力、甚至可能大众化的非污染性电力来源的梦想。”

Tom Ferreira 是南非 PBMR 有限公司通信经理 (<https://www.pbm.com>)。

电子信箱: commsmanager@pbmr.com。



联合起来创新

南

非已经在科贝赫运营着两座传统核反应堆，它们提供了南非全国总发电量的 6%，满足了开普敦的大部分电力需求。预计南非的电力需求在未来几年中将持续增长。目前，约 60% 的南非人已经用上电，而在 10 年前，这一数字仅为 30%。核能和可再生能源在这种增长中发挥了作用，尽管煤仍是南非的主要电力来源，发电量占南非全国总发电量的约 90%。

对核工业来说，球床堆并不是一种全新的反应堆，虽然技术创新正促使其走向市场。南非的 PBMR 如果建造，它将是这项技术的最大商业范例。

德国和中国都开发了 PBMR，相关的研发工作也正在美国、中国及其他国家得到不断加强。最近，美国麻省理工学院 (MIT) 和中国清华大学的研究人员根据美国能源部和中国原子能机构签订的国际协议在合作进行 PBMR 的开发。

在过去 6 年中，麻省理工学院和清华大学的研究组一直在独立地进行这种反应堆的研究。双方目前的合作将为研究组交流技术和思想建立渠道。

麻省理工学院核工程系的 Andrew Kadak 教授是麻省理工学院研究工作的负责人，他在为签订协定而进行的 3 年努力中发挥了重要作用。他说：“该协议为联合世界共同实现这项充满希望的技术提供了一个难以置信的机会。”他目前正在与美国、欧洲、南非及其他地区的球床堆研究者进行联系，开发共同感兴趣的课题。他的目的是在对这项技术共同感兴趣的基础建立国际合作，使合作范围远远超出麻省理工学院与清华大学的合作。

共同感兴趣的一个重点是采用“即插即用”方法来建造球床堆部件。如果具有竞争力，研究人员表示，这种小型模块电厂将不仅对美国市场有吸引力，而且对中国以及其他人口分布十分分散的发展迅速的国家也具有吸引力。

