## 为何要把能源“存”在地下？

“深地储能是未来能源储备发展的重要方向，是解决传统石油战略储备、天然气调峰保安、可再生能源持续供给和未来氢能大规模高效利用的必由之路。”近日，香山科学会议第748次学术讨论会在京召开，会议执行主席、中国工程院院士、中国科学院武汉岩土力学研究所研究员杨春和在会上表示，“大力发展深地储能是实现中国碳中和和能源结构转型升级的关键。”

在此次香山科学会议上，多位院士、专家、学者聚焦地下储能领域的核心难点，梳理深部地下空间能源储备拟重点解决的核心科学问题和重大技术瓶颈，形成了相应的技术路线图，为未来地下储能的工业化发展奠定基础。

地下储能究竟是什么？为何要推动地下储能工业化发展？地下储能的技术难点又有哪些？

**揭开地下储能的“面纱”**

会议执行主席、中国工程院院士、山东大学校长李术才介绍，地下储能又被称为深部地下储能或深地储能，是指利用深部盐穴、采空区、废弃矿坑等深部地下空间，将石油、天然气、氢气及二氧化碳等能源或能源物质储存在深部地层中。

利用深部地下空间进行大规模能源储备是国际能源储备的主要方式，对确保国家能源安全、战略物资安全及“双碳”目标实现等具有重要意义。

以石油为例，目前的石油储存方式主要包括地面储罐、盐穴和硬岩洞储存，其中利用盐穴进行原油储存是世界上许多国家采取的主要方式。

杨春和介绍，在美国的多个始建于20世纪七八十年代的石油战略储备库中，共有盐穴60余口、石油储存能力超过7亿桶。这些石油储存量不仅保证了美国的能源安全，也奠定了美国在国际油价定价中的主导地位。

德国的储备油品主要包括原油、汽油、柴油、重油等，其中原油主要储存在地下盐穴中。德国的石油储备库除了作为战略储备库使用以外，还会根据国际市场油价的变化，利用剩余库容为客户提供储存服务。而法国早在1925年就以法律形式建立了石油储备制度，法国的石油储备库由1个地下盐穴库和遍布全国的地上储油库组成。

为何各国地下储能都选择了盐穴？盐岩具有物性稳定、渗透率低、损伤自修复、易溶于水和分布广等特征，是大规模能源储备的理想地质体。利用盐岩地层储能是今后我国实施大规模能源储备的优先发展方向。

我国盐矿地质赋存条件复杂，因此首先选择在地质条件相对简单和优越的江苏金坛盐矿开展盐穴储库建设，立足自主研发，克服难溶夹层和地质非均质性等困难，突破了一系列技术瓶颈，获得了巨大的成功，初步构建了我国盐穴储库首个技术标准体系，形成了我国盐穴建库的“金坛模式”。该模式对盐穴储库场址建设、造腔目的层优选、造腔方式及注气排卤工艺改进等提供了重要借鉴和工程示范。

**地下是储能的理想场所**

为什么要将能源“藏”在地下？是地面设备无法满足能源的储备需求了吗？事实上，地下储能的优势，恰好在于“地下”二字。

当然，要理解地下储能的必要性与重要性，必须先了解我国当前能源结构与能源储存现状。

自2017年起，我国推动能源系统低碳改革的政策力度逐渐加大，已初步形成了煤炭、电力、石油、天然气、新能源全面发展的供给体系。近年来，煤炭作为我国能源消费的主体地位保持不变，但其在能源消费的占比呈现出逐年降低的趋势。以天然气和非化石能源构成的清洁能源占比增加显著，由2015年的17.9%增加到2022年的25.9%。其中，风能、光能、地热等非化石能源占比从2015年的11%增加到2022年的17.5%。

杨春和表示，加快非化石清洁能源的利用，是全球能源发展的大趋势，也是我国能源发展的优先方向。然而，由于风能和太阳能等具有典型的地域性且不能连续稳定供给，给电网稳定运行带来了一定的挑战，制约着可再生清洁能源的快速发展。多年来，我国一直存在弃风弃光现象。

如何提高可再生能源的利用效率，把弃掉的电能储存起来？为此，科学家想了许多办法，包括抽水蓄能、压气蓄能、液流电池储能等。然而，无论是压气蓄能还是液流电池储能，都需要较大的储存空间，具有体积大、可承受高压等优点的深部地下空间就成了储能的理想场所。

目前，国外已有利用深部盐矿采空区开展液流电池储能实验的相关报道，为利用液流电池进行大规模储能提供了思路。

当然，对于氢能、石油、天然气等能源的储存需求，广阔的深部地下也是“来者不拒”。

杨春和介绍，氢能是解决能源可持续发展的有效途径，具有来源广、热值高、无污染、应用场景丰富等优点。氢气的分子量相比于天然气更小，这意味着氢气的存储需要更多的空间且存储空间需具有更好的密封性。因此，深部地下盐穴为大规模氢能储备提供了良好的环境。

另外，利用深部地下空间存储石油能够规避经济性差、安全性低、占地面积大等利用地面储罐储油的缺点，进一步保障石油的安全供给；加快地下储气库建设也能够保证长输管道天然气平稳供给，避免大规模“气荒”的发生。

**以技术创新破解储能难题**

地下储能优势明显，因此推进地下储能技术创新就变得十分重要。

多年来，我国在深部地下空间储能方面已经进行了深入的研究，并积累了较为丰富的实践经验，但在储能库选址、建库、储存等环节上仍有一些问题待解。例如，深地储能介质与围岩体多尺度相互作用机理不清楚、深地储能库渗漏灾变时空演化机理不明确、深地储能库长期稳定性及库群相互作用机理有待开展有针对性的研究、低渗围岩体多尺度渗透性测试技术亟待发展等。

杨春和补充说，要利用中国层状盐岩进行大规模能源储备，亟须解决低渗介质多场耦合条件下多尺度渐进破坏、储能库渗漏灾变和长期功能劣化等关键理论研究难点；同时，需要开展层状盐岩多尺度渗透率测试、储能库智能建造、长期功能保障等系列关键技术研究，为我国实施大规模能源储备提供理论和技术保障。

本次香山科学会议中，中国工程院院士李阳、中国工程院院士孙焕泉、中国工程院院士赵文智和中国工程院院士李根生以及其他与会专家针对储能库建设、安全运维、二氧化碳地质封存关键技术等问题发表了意见和建议，梳理了现存问题与挑战，并提出了具有针对性的应对措施，共同绘制了地下储能技术路线图。