

何谓 二氧化碳 地质封存 ？

一种负责任使用
化石燃料的方式

阻断温室气体的主要来源

将碳放回到地底

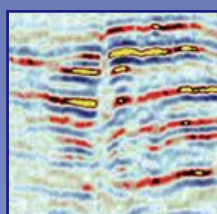
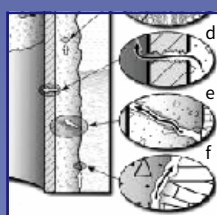
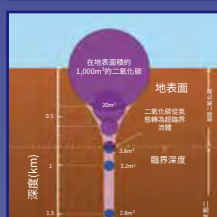
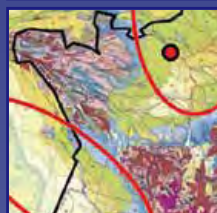
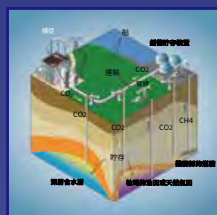
为我们争取发展气候
友善的能源所需要的时间



欧洲杰出的二氧化碳地质封存网络组织- CO₂GeoNet



目录



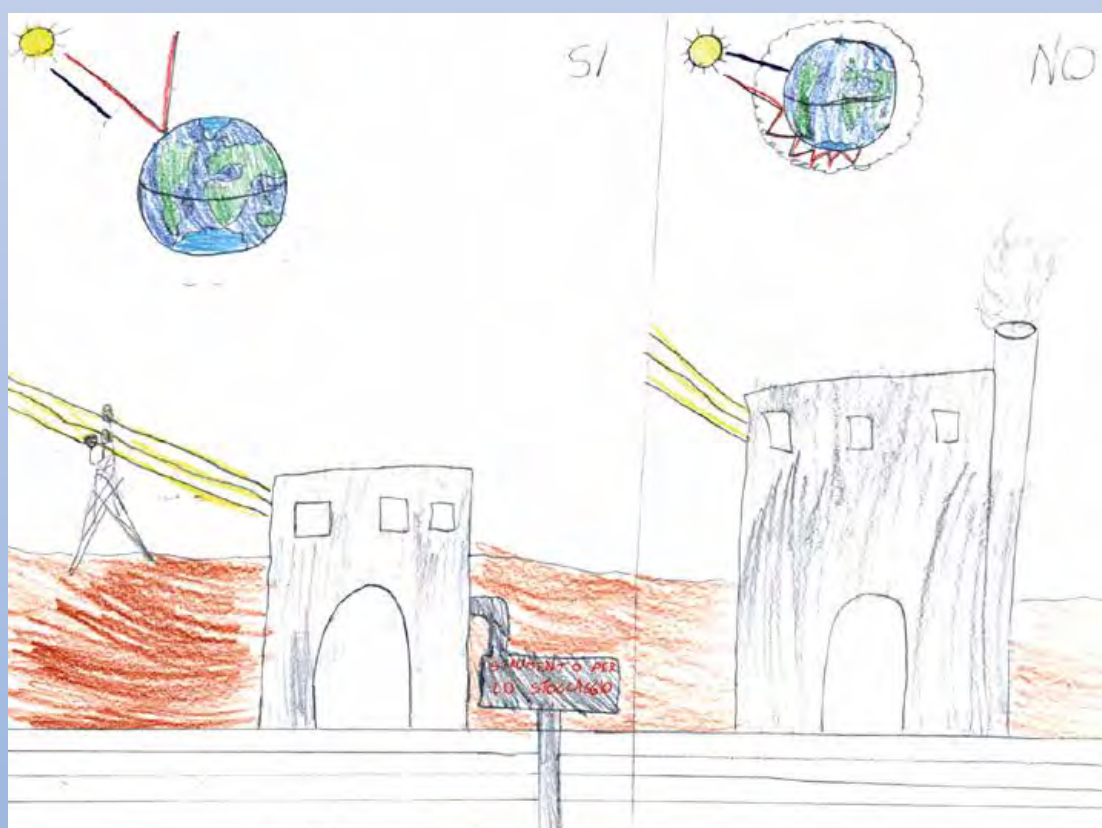
气候变化以及二氧化碳地质封存的必要性	4
1. 如何选择二氧化碳地质封存的场址以及估计其封存量 ?	6
2. 如何运输以及灌注大量二氧化碳至封存场址 ?	8
3. 二氧化碳被注入到储集层中后会发生什么变化 ?	10
4. 二氧化碳会从储集层中泄漏吗? 若发生会产生什么后果呢?	12
5. 如何对二氧化碳封存场址进行监测 ?	14
6. 何谓应当遵守并实施的安全标准 ?	16
专有名词	18
二氧化碳地质封存网络 (CO ₂ GeoNet) 的功能	19

感谢以下人士协助出版手册

Rob Arts, Stanley Beaublen, Tjirk Benedictus, Isabelle Czernichowski-Lauiol, Hubert Fabriol, Marie Gastine, Ozgur Gundogan, Gary Kirby, Salvatore Lombardi, Franz May, Jonathan Pearce, Sergio Persoglia, Gijs Remmelts, Nick Riley, Mehran Sohrabi, Rowena Stead, Samuela Vercelli, Olga Vizika-Kavvadias, Joey Lu.

未来展望

不再有冒黑烟的烟囱
管线把二氧化碳送到地底下
对地球是件好事



© Sapienza URS

Massimo, 10岁, 意大利罗马

为了我们的下一代
二氧化碳地质封存是明智的选择

气候变化以及二氧化碳地质封存的重要性

图 1
人类活动造成的全球二氧化碳排放量达到每年 300 亿吨，相当于 81 亿吨的碳：其中 65 亿吨由燃烧化石燃料产生，16 亿吨由森林砍伐与农业行为产生。

人类持续排放过量二氧化碳 (CO₂) 到大气中

众所周知，人类活动正在扰乱地球的碳循环。在工业革命还没发生的 10,000 年以前，当时大气中的二氧化碳浓度很低（大约 0.028%），碳随着岩石圈、生物圈和大气圈的自然交换，而保持平衡。而在过去的 250 年间，人类为了发

电、暖气、工业及运输等目的，消耗了大量的化石燃料（煤、石油、天然气），导致二氧化碳排放量不断地增加（图 1）。因人类活动所排放的过量二氧化碳，有一半的碳被植物吸收或溶解在海洋中。碳溶于海水中，会使海水酸化，进而危害海洋生物。剩余的二氧化碳在大气中不断积累，从而引起气候改变。因为二氧化碳是温室气体，它能够吸收太阳的部分热量，增加地球大气温度。目前大气中二氧化碳的浓度已经高达 387 ppm（比工业革命前的浓度增加了 38%），为了避免在未来几十年中超出 450 ppm 这一个临界浓度，我们必须立即采取根本性的措施来减碳。全世界的专家已达成共识，二氧化碳浓度一旦超过 450 ppm，自然界将面临无法挽回的严重后果。

把碳归还到地下

自从十八世纪中叶工业时代开始，人类一直高度依赖化石燃料，因此并不奇怪要转变为以清洁能源的社会，需要付出的包括时间还有金钱。所以作为第一步，我们需要的是一种短时期内的方法，通过无污染的方式使用这些化石燃料来减少我们对它的依赖，以给我们研究替代能源技术和设备争取一些时间。另一做法，是在能源生产系统中创造一个封闭的循环，以天然气、石油、煤的形式从地下提取出的碳，最终又以二氧化碳的形式回到地下。有趣的是，地下储存二氧化碳并非人类的发明，已经存在了数百万年的二氧化碳储集层，证明地质碳封存是自然且广泛存在现象。例如二十世纪中叶发现法国东南部有一系列的二氧化碳天然储存库（图 2）。这些储存库以及世界各地的其他自然储存库证明，地层能够在极长的时间内安全有效的储存二氧化碳。

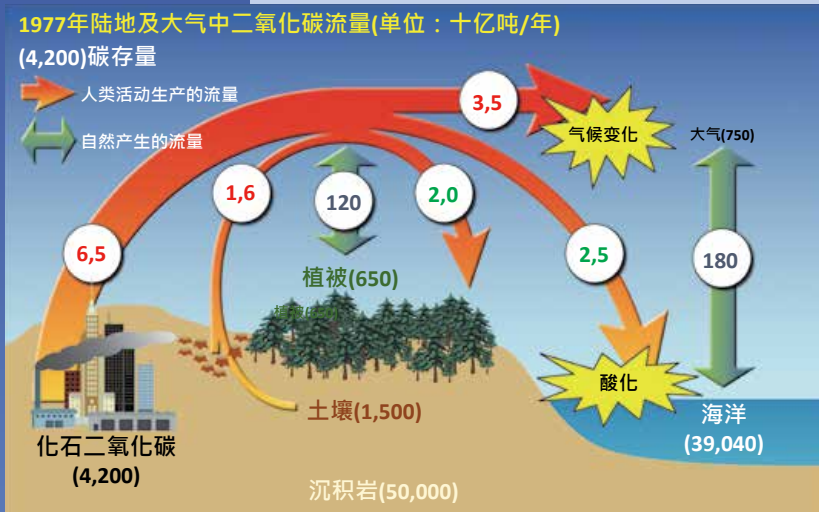


图 2
法国二氧化碳储集层分布



- ★ 天然二氧化碳分布区
- 已利用碳的含碳水区(饮用水, SPA)

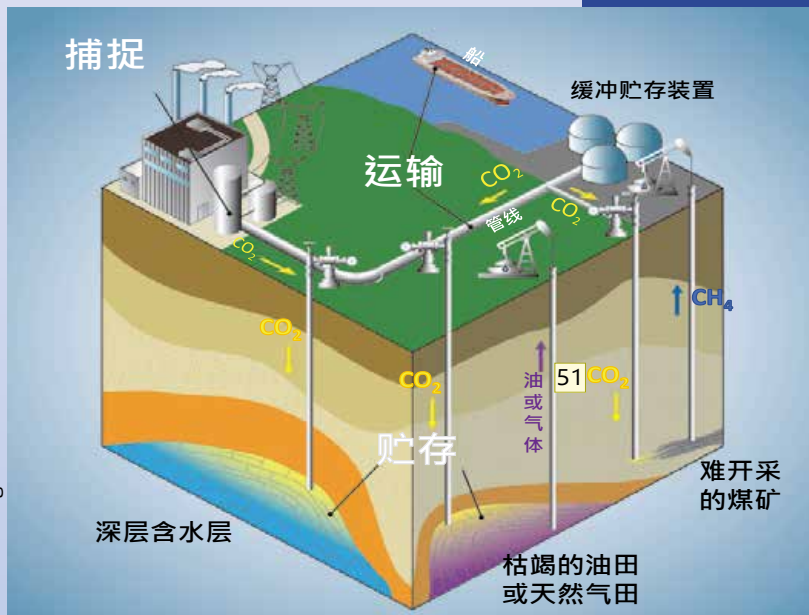
二氧化碳捕集和封存： 一种有前景的缓解方式

为了减缓气候变暖和海水酸化问题，在一系列可供选择实施的方案中，二氧化碳捕集和封存（中文简称碳捕存；英文缩写 CCS*）扮演决定性关键，因为预期到 2050 年，这个方法可贡献 33% 的二氧化碳减排总量。

CCS 是在燃煤或燃气发电站或其他工厂（钢铁厂、水泥厂、炼油厂等）捕集二氧化碳，利用管道或者船，将二氧化碳输送到储存场址，透过钻井（Well）* 将其注入于合适的地层中并长期储存（图 3）。在世界人口不断增长，以及发展中国家日益增加能源的需求，且目前仍缺少可以大规模替换的洁净能源，短期内继续依赖化石燃料是不可避免的。尽管如此，执行 CCS，人类可以用环境友善的方式，继续维持世界经济成长。

碳捕存 (CCS) 在世界各地蓬勃发展

从 1990 年开始，CCS 研究项目已经在欧洲、美国、加拿大、澳洲和日本开展。世界上第一个大规模的示范项目中，二氧化碳被注入地下深处已有多年了。例如挪威的 Sleipner（从 1996 年开始，每年注入 1.8 百万吨二氧化碳）（图 4），加拿大的 Weyburn 项目（从 2000 年开始，每年注入 1.8 百万吨二氧化碳），以及阿尔及利亚的 In Salah 项目（从 2004 年开始，每年注入 1 百万吨二氧化碳）。在这些项目过程中，已经积累了许多关于二氧化碳封存的知识和技术。国际能源总署温室气体研发项目（IEAGHG*）和碳封存领袖会议（CSLF*）在这些场址和其他场所展开二氧化碳封存研究的国际合作，对于传播相关知识和发展解决问题在全球科学界尤为重要。政府间气候变化专业委员会（IPCC*）关于二氧化碳捕集和封存的特别报告（2005）就是一个很好的例子，报告中阐述了当今已掌握的相关知识，还有将技术推广全球所面临的困难。现在，全球已经掌握了丰富的技术经验，充满信心朝向示范封存阶段发展。除了碳封存技术的发展，与封存相关的法规、经济和政治的架构，也正被积极地建立，而社会认知以及支持也在评估中。在欧洲，目标是在 2015 年前达成 12 个大规模示范项目，以满足 2020 年前大规模的经济需求。为了达到这个目标，在 2008 年 1 月，欧洲执委会发布了“气候行动和再生能源项目”，提出了二氧化碳地质封存的相关指引和其它措施来促进 CCS 的发展和安全管理。



二氧化碳地质封存的关键问题

「二氧化碳地质封存卓越网络（CO₂ GeoNet Network of Excellence）」是由欧洲执委会（European Commission）所创办，是由多个研究单位所组成的协会，让欧洲保持碳封存的国际领先地位。二氧化碳地质封存卓越网的目标之一为提供平台，便于交流与二氧化碳地质封存技术相关的科学信息。为了鼓励关键技术的交流，二氧化碳地质封存卓越网研究人员针对一些常见问题，准备了基本答案。在接下来的文章中，你会发现一些问题的答案，例如：如何执行二氧化碳地质封存、在什么环境下是可行的、储存与安全有效性的基本原则有哪些等等。

图 4

挪威 Sleipner 封存场址垂直剖面图。

从 2,500 公尺深被开采出来的天然气含有数百分比的二氧化碳，需把二氧化碳分离出来才能达到贩卖的标准。此处捕捉下来的二氧化碳并非直接排放到空气中，而是注入到约 1,000 公尺深的 Utsira 砂岩含水层*。

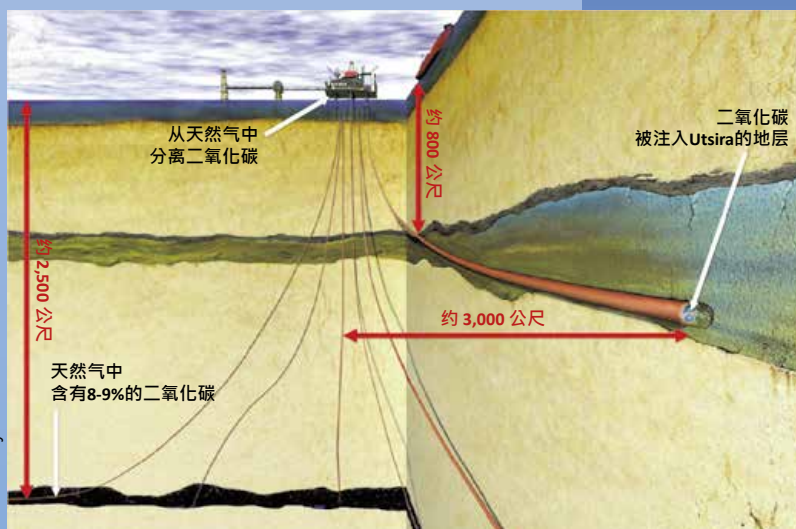


图 3

将电厂产生的二氧化碳与其他气体分离，再经过压缩后经由管线或船运运输到地质封存场址。可能封存的地质为深层盐水层、枯竭油气田以及难开采煤矿。

如何选择二氧化碳地质封存的场址以及估计其封存量？

只有适合的岩层构造才进行二氧化碳注入并封存于地底。世界各地广泛分布的潜在二氧化碳储集层，储存容量巨大，对人类减缓气候变化具有重大的意义。

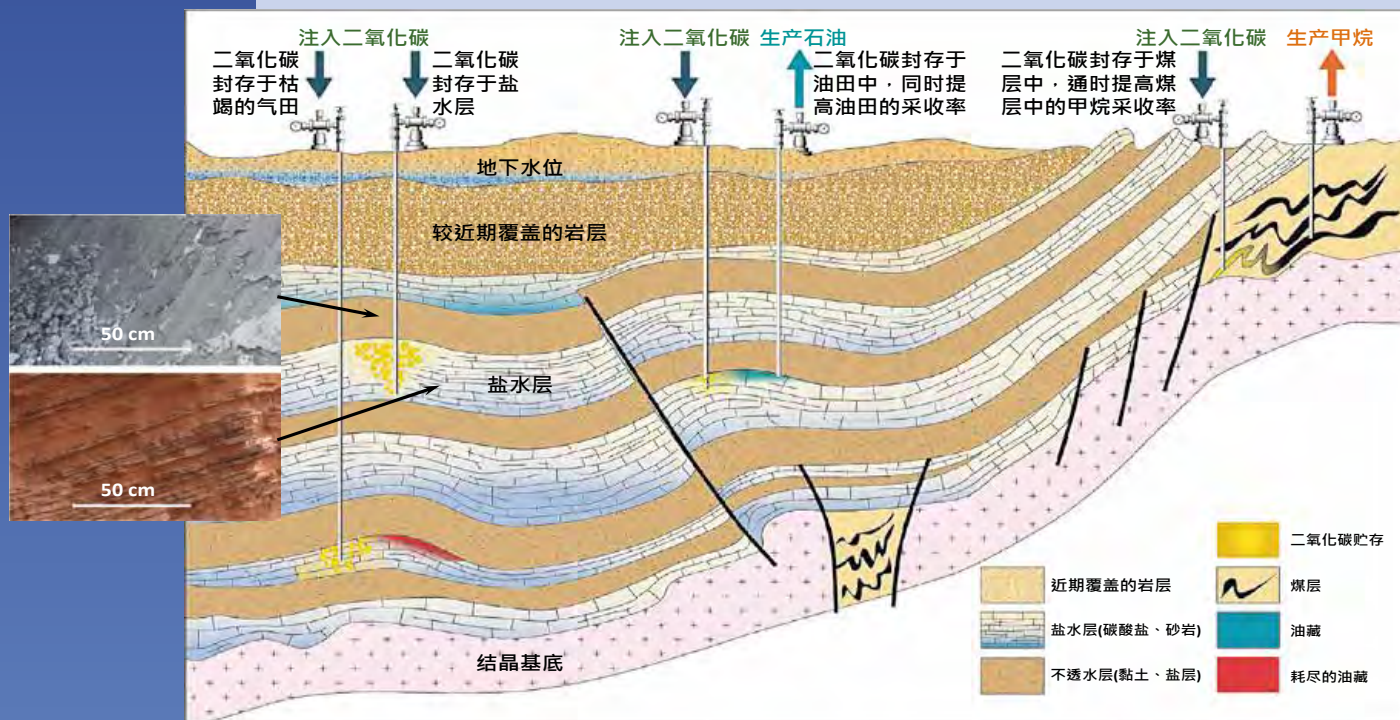


图 1
把二氧化碳注入深层含孔隙的透水岩层(砂岩-如左侧下方小图)，上方覆盖不透水岩层(泥岩-左上方小图)能防止二氧化碳泄漏至地表。主要封存选项包括：
(1). 枯竭的油田/天然气田，可能配合强化开采
(2). 非供饮用的含盐水体
(3). 难开采的煤层，配合强化开采

二氧化碳地质封存的地质储体主要有三种(图 1)：

1. 耗竭的油气田：已开采并枯竭的油气田，目前对此类的地质封存最为了解，故此种储存最直接可行。
2. 深盐水层：具有巨大的封存潜能，但目前研究程度不够。
3. 深部不可开采的煤层：这是未来的一个发展方向，前提是大量二氧化碳注入低渗透性 * 煤层的技术难题得到解决。

储集层

将二氧化碳注入到合适的储集层后，二氧化碳便开始在颗粒孔隙和裂隙中累积，并替代原有流体，如天然气、水或石油。二氧化碳储集层应具有较高的孔隙率 * 与渗透性。这种岩石是因沉积作用所形成的沉积岩，通常分布在沉积盆地中。而透水性岩层与不透水层交替出现，不透水

层则可做为封阻层。沉积盆地常是赋油藏石油、天然气以及二氧化碳天然储存场，这说明这种储集层有长期储存流体的能力，可以保存石油、天然气甚至纯二氧化碳达几百万年之久。

在讨论二氧化碳封存场址选址时，地下岩层常被过于简化为均质的、类似层状蛋糕的结构。实际上，地下岩层是由不均匀分布的、被区域性断层所截切的岩石所组成，储集层和盖岩层形成复杂且非均质的构造。从长远封存的角度来看，进行二氧化碳地下封存适用性评估时，需要对地下地质状况有深入的了解，同时要有丰富的地质科学经验。

潜在二氧化碳储集层必须满足许多条件，最重要的几项介绍如下：

- 足够的孔隙率、渗透性和储存能力；
- 上方具有渗透性低的岩层—即盖岩层(Caprock*) (例如粘土、粘土岩、泥灰岩、盐岩等)，用来防止二氧化碳向上移栖；

- 具备「封闭构造」，如圆顶状的盖岩层，能够控制二氧化碳在储集层内的移栖范围；
- 深度 800 公尺储集层是确保有足够的压力及温度，将二氧化碳压缩成超临界流体，达到最大的封存量；
- 远离饮用水源，二氧化碳不能被注入到适合人类饮用的地下水中。

欧洲封存场址选址

欧洲有广泛的沉积盆地，如北海海域或陆域阿尔卑斯山脉周围 (图 2)。很多欧洲的沉积盆地都满足上述地质封存的原则，目前许多研究人员正在开展测绘及勘查工作。欧洲其他区域的结晶岩，不适宜进行二氧化碳地质封存，例如斯勘的纳维亚。

从英格兰延伸至波兰的「南方二迭纪盆地」就是一个具有地下封存潜能的地区 (图 2 中最大椭圆圈出的区域)。沉积岩层因成岩过程，在孔隙中储存大量海水、石油或天然气。存于孔隙砂岩间的黏土层因受压缩成为低渗透性岩层，阻止了流体的上升或外流。多数砂岩地层埋深都在地下 1-4 公里范围内，该深度的压力足以使二氧化碳以压密状态被储存起来。在此深度区间，地层水含盐量从每公升 100 增至 400 公克，换言之，比海水的含盐量 (每公升 35 公克) 还要大很多。盆地构造运动造成盐岩的可塑性变形，产生了大量有利于封存天然气的拱形结构。科学家正在研究这些封闭构造作为二氧化碳最终封存场址及试验项目对象的可行性。

封存量

二氧化碳封存量是政治人物、政府官员 (监控部门) 和封存厂商，必须知道的关键数据。封存量估算的不确定性取决于储集层的空间分布。封存量可由不同尺度进行评估，例如国家范围的粗略估计，或是基于盆地和储集层尺度上的精确计算，当然，后者需要考虑真实地质构造的异质性和复杂性。

理论封存量：已公布的国家封存量一般基于地层空隙体积的计算。理论上，一定地层的封存量等于地层封闭面积、厚度、以及平均孔隙率和在该深度条件下二氧化碳的平均密度四者之乘



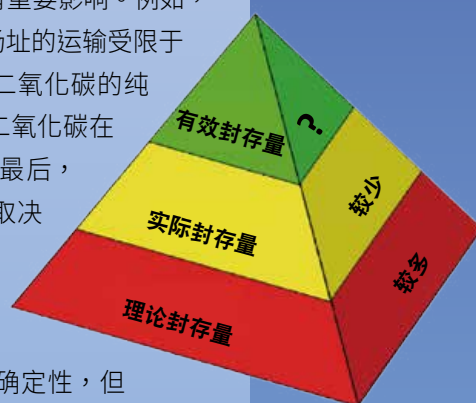
图 2
欧洲地质图
显示主要沉积盆地的分布位置 (红色椭圆部分)，在这些区域内可找到适合的二氧化碳封存场址 (参考 1:5,000,000 比例尺之欧洲地质地图)

积。但是由于空隙已经被水填充，只有少部分的孔隙空间可用于储存，通常假设有效孔隙率仅占总空隙率的 1-3%，于是在进行理论封存量评估时引入了封存量系数。

实际封存量：通过对单个封存场址的详细勘察可以进行较实际的封存量评估。地层厚度的不连续性、储集层的性质等，在短距离内也可能发生改变。详细了解构造尺寸、形状以及地质特性，有利于减少体积计算中的不确定因素。依据这些信息，透过计算器仿真，能够预测二氧化碳的注入以及在储集层中的移栖，从而评估其实际封存量。

有效封存量：封存容量评估不仅是一个岩石物理问题，社会经济因素也有重要影响。例如，从二氧化碳的排放源到封存场址的运输受限于运输成本。封存量还取决于二氧化碳的纯度，若存在其他气体会减少二氧化碳在储集层中的有效储存空间。最后，能否作为有效封存场址，还取决于政治选择和民众接受度。

总而言之，即使因储集层复杂性、异质性与社会经济等相关因素引起的不确定性，但仍可得知欧洲的二氧化碳巨大封存量。欧盟的 GESTCO 项目 * 对北海及其周边的天然气田进行评估，估计其二氧化碳封存量达到 370 亿吨，这意味着足以供几十年的二氧化碳地下注入。现在，欧洲各个成员国及欧盟地质容量项目 (EU Geocapacity*)，正对封存量进行深入的测量研究。





如何运输以及灌注大量二氧化碳至封存场址？

经由工业设备捕集二氧化碳后，二氧化碳经过压缩、运输，然后才透过一口或几口钻井，注入到储集层中。在各场址中，二氧化碳的封存量可达每年几百万吨，因此必须对整个工作链进行优化程序。

压缩

将二氧化碳压缩成密度较大的流体形式，其占据的空间会比天然气小很多。一旦从发电厂或工厂废气中提取出来，高纯度的二氧化碳立即被脱水压缩，提高其运输及储存效率（图 1）。脱水环节是为了避免对设备的腐蚀作用，并防止形成水合物（类似固体冰的结晶物会导致设备和管线堵塞）。压缩和脱水通过分级处理来完成：重复循环压缩、制冷和水分离。压力、温度和含水量要求必须与运输方式相配，压力大小应该和储集层的压力要求一致。其中，压缩设备设计的关键因素包括：天然气的流动速率、吸力和排出压力、天然气的热容以及压缩机的功率。目前压缩技术已是成熟且被广泛应用的技术。

图 1
二氧化碳地质封存
的各阶段工作。为了将
二氧化碳由排放源运
送到安全长期的封存
场址，需要经过一连
串完整的作业程序，
包括：捕捉、压缩、
运输与注入。

运输

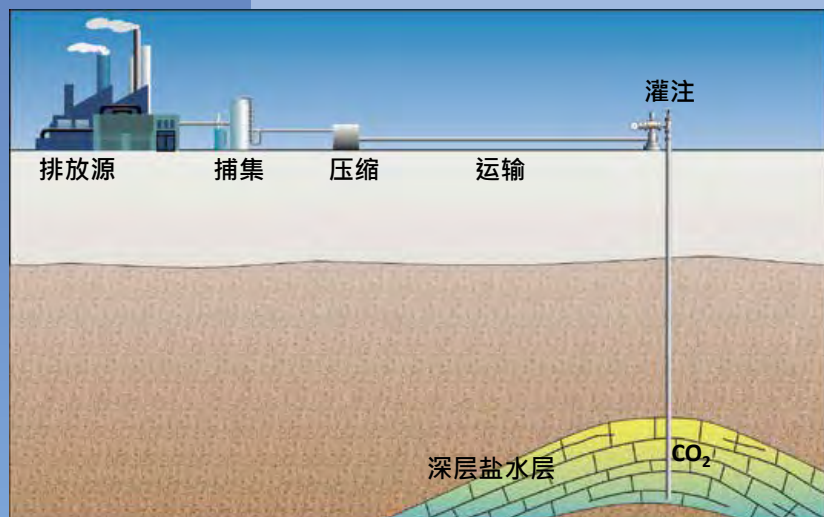
二氧化碳可以使用船舶或管线运输，现今船舶运输二氧化碳仅用于小规模（10,000-15,000 立方公尺）的工业用途，但在未来可能是一个很

有前景的方法。例如海域封存场址距离岸边的二氧化碳排放源很远，液化石油气（LPG）运输船就可以用于二氧化碳的运输。半冷藏系统具有压缩和制冷功能，二氧化碳用液态形式运输。最新的 LPG 运输船容积达到 200,000 立方公尺，可运输 230,000 公吨的二氧化碳。尽管如此，船只运输不能提供连续物流，而且港口也经常缺乏二氧化碳转储站。目前，石油公司采用管线运输二氧化碳，用于提高石油采收率技术（EOR*）（接近 3,000 公里的二氧化碳运输管线，其大多数都在美国）。这种方法比船舶运输更划算，并且能够提供不间断运输二氧化碳从捕集电厂到封存场址。现有的二氧化碳管线运输都是在二氧化碳超临界条件下进行，在此条件下，二氧化碳的流动特性类似天然气，但具有类似流体的较大密度。管线的运输量取决于管线直径、沿管线方向的压力、管线壁厚等三项因素。

注入

二氧化碳输送到封存场址后，透过高压注入到储集层中（图 2）。

注入压力必须大于储集层压力，以确保能将储集层中的流体挤走。注入井的数量取决于二氧化碳的封存量、注入速率（每小时注入的二氧化碳体积）、储集层的渗透性和厚度以及最大安全注入压力和钻井型式。二氧化碳注入的主要目的是长期储存，所以必须确保地层的完整性，注入速率过高可能导致注入点的压力增加，尤其是在低渗透性地层中，注入压力不应超过岩石的破裂压力，否则可能导致储集层或盖岩层破坏。常用地质力学分析和模拟手段，得知最大注入压力，以免地层发生破裂。



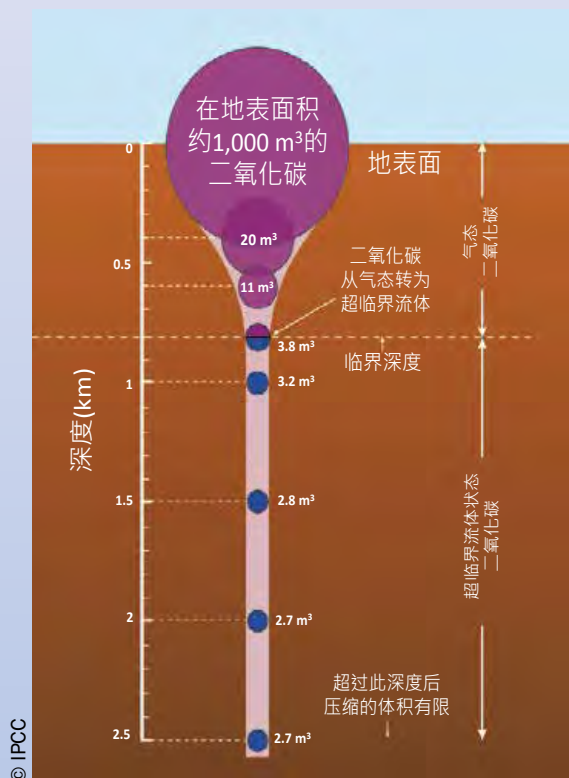


图 2
当注入地底后，二氧化碳在超过 0.8 公里深时会以高密度的超临界状态 (Supercritical*) 存在，其体积在地表面时为 1,000 立方公尺，到 2 公里深时会大幅缩小到 2.7 立方公尺，这个特性有利于封存大量二氧化碳。

化学反应可能会对二氧化碳注入到地层中的速率产生影响，这主要取决于储集层岩石类型、流体的组成和储集层的条件 (例如温度、压力、体积、浓度等)，以及可能发生在钻井附近的矿物溶解和沉淀过程，这些都会导致注入速率的增大或减小。二氧化碳注入到储集层后，一部分溶解到盐水中，由于储集层的碳酸盐类矿物溶解的减缓作用，水的酸碱值 (pH*) 仅是略微减小。因为碳酸盐反应速率很快，二氧化碳首先与之发生溶解，并且在注入开始即发生溶解。溶解作用会增大岩石的孔隙率和可注性 (Injectivity*)。但是，随着溶解作用的进行，碳酸盐类矿物会发生沉淀，并在钻井周围的地层中产生胶结。这时，可以采用加大流速的方法来防止钻井周围渗透性的降低，将固化平衡的沉淀区转移到离井较远的地方。

干化是二氧化碳注入引起的另外一个现象。继酸化阶段后，在注入井周边剩余、无法移动的孔隙水溶解到注入的干燥二氧化碳中，反过来增

大了盐水 (Brine*) 中各种化学元素的浓度。当盐水的浓度足够大时，矿物 (如盐) 可能产生沉淀，导致钻井周围渗透性降低。

储集层可注性主要决定于注入井周围发生的复杂反应过程，但是也受时间和距离的明显影响，数值分析可用于评估这些影响因素。二氧化碳注入速率需谨慎控制，以免影响规划的注入量。

二氧化碳流体组成

二氧化碳捕集成果，可用二氧化碳流体的组成及纯度来呈现，这对一个二氧化碳封存项目的各个面向都有很大的影响。捕集流体中一些比例很小的成分，例如水、硫化氢 (H₂S)、硫氧化物 (SO_x)、氮氧化物 (NO_x)、氮气 (N₂) 和氧气 (O₂) 等，都会影响二氧化碳的物理化学特性以及相关的行为和作用。因此，在压缩、运输以及注入阶段的设计中，包括操作环境和注入设备，都需要充分考虑这些成分的影响。

总之，运输和大量注入二氧化碳目前都已经可以实现。但是，如果二氧化碳地质封存要广泛开展，对于任何一个储存项目，所有相关步骤都应该量身订作，关键因素包括二氧化碳流体的热力学特性、流速以及上升流和储集层条件 (图 3)。

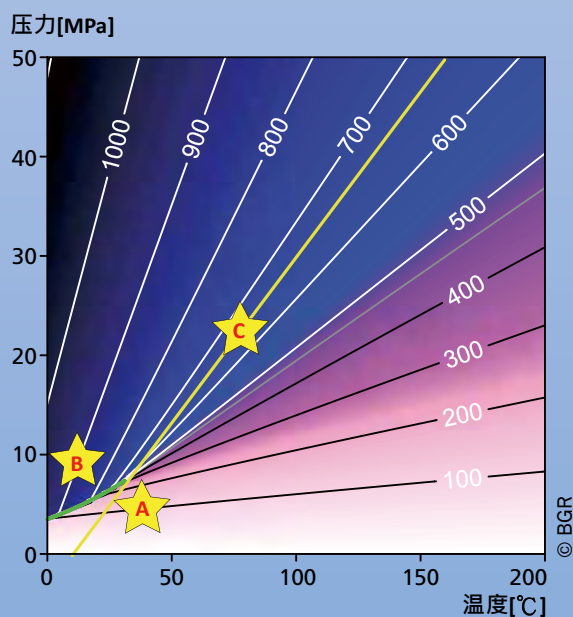


图 3
纯二氧化碳密度 (公斤/立方公尺) 是温度与压力的函数，图中黄线是一般沉积岩盆地的温度梯度，在深度超过 800 公尺 (压力趋近 8 MPa) 时，封存层特性仍确保二氧化碳维持高密度 (蓝底区域)。绿线为液态与气态二氧化碳的界限，而途中 A、B、C 分别代表捕获、运输与封存阶段的压力与温度。

二氧化碳被注入到储集层中后会发生什么变化？

二氧化碳被注入到储集层中，它会因浮力上升并填满盖岩层以下的岩石孔隙。经过一段时间后，部分二氧化碳将溶解并转变为矿物。经过这些不同阶段的作用后，二氧化碳被永久地封存于地下。

封存机制

当二氧化碳注入储集层后会充填岩石孔隙，而这些孔隙中通常已存在盐水。随着二氧化碳注入会发生下列叙述的反应过程。其中第一个，也是最重要的机制，即阻止二氧化碳上升到地表。其它三个机制则因时间推移而增加封存效率 and 安全性。

1. 在盖岩层下的积聚 (构造封存)

注入的二氧化碳比水轻，因此会向上运动。当遇到无法通过的岩层，即所谓的盖岩层时，则停止移动。盖岩层通常由粘土岩或盐岩组成，它就像一个捕集器，不但能阻止二氧化碳上升，并可使二氧化碳在其下面累积。图 1 描述了二氧化碳通过岩石孔隙 (用蓝色区间表示) 向上移栖到达盖岩层底部的运移过程。

2. 固定在微小孔隙中 (残余封存)

注入的二氧化碳与周围地层水的密度有差异，当储集层的孔隙过小时，二氧化碳也无法再向上移动，此时发生残余固定。该过程主要发生在二氧化碳的移栖时期，能固定一小部分注入的二氧化碳，此封存量主要取决于储集层的性质。

3. 溶解 (溶解封存)

已经存在于储集层孔隙中的盐水会溶解一小部分注入的二氧化碳，形成含二氧化碳的溶液。含二氧化碳的溶液比不含二氧化碳的溶液重，导致含二氧化碳的溶液向储集层底部运动。其溶解速率取决于二氧化碳和盐水的接触面。在同一接触面可溶解的二氧化碳受最大浓度的限制。但是由于注入的二氧化碳向上运动和含二氧化碳的溶液向下运动，使得盐水和二氧化碳接触面不断更新，从而增加可被溶解的二氧化碳量。因为这些过程只发生在狭窄的孔隙内，所以相对较慢。在 Sleipner 封存项目中，粗估在 10 年后注入的二氧化碳约会有 15% 被溶解。

4. 矿化 (矿化封存)

溶解在盐水中的二氧化碳能与矿物作用，最终形成岩石。某些矿物会溶解、另一些矿物会产生沉淀。矿物溶解或沉淀，取决于 pH 值和构成储集层的矿物成分 (图 2)。Sleipner 项目评估指出，只有极少量的二氧化碳在经过相当长的时间

微观景象

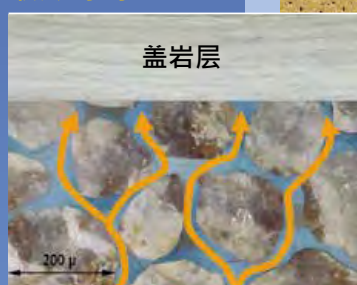


图 1
因注入岩层中的二氧化碳比水轻，会向上移栖到不透水层处盖岩层下方才停止。

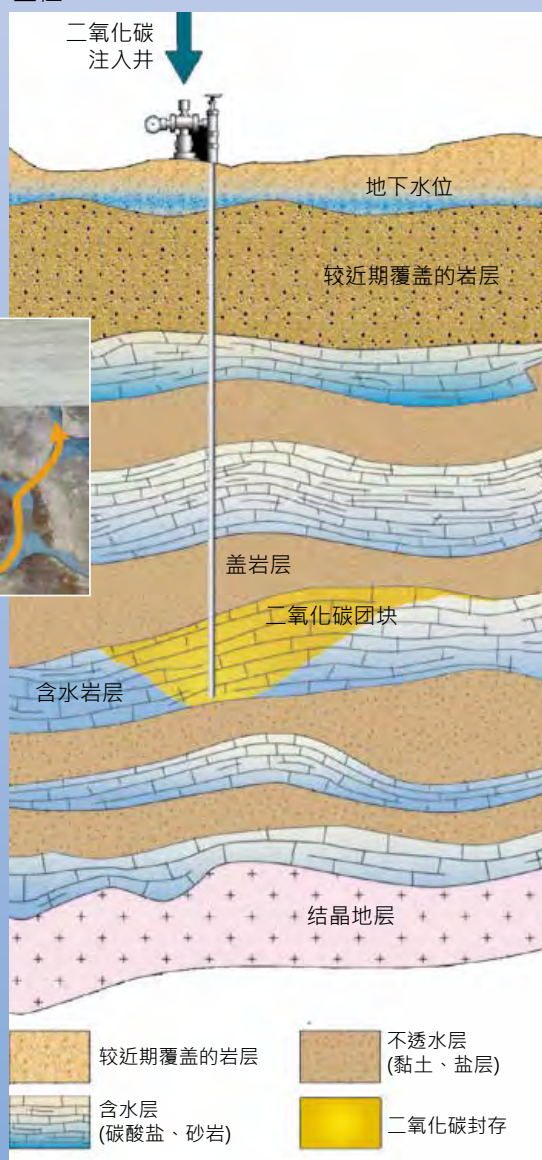




图 2
高密度的二氧化碳往上移栖(图中淡蓝色的泡泡), 溶解并与岩石的颗粒反应, 在岩石颗粒周围形成沉淀的碳酸盐矿物(白色部分)。

后, 被矿化固定下来。注入的二氧化碳经过 1 万年后, 只有 5% 被矿化, 而其余的 95% 将被溶解, 不再有单独存在高压密相的二氧化碳。

场址的特性对于这些封存机制的发生十分重要, 而每一个场址都会有不同的特性。例如在圆顶状的储集层中, 即使经过很长的时间, 二氧化碳依旧会保持高压密相。而在平板状的储集层, 注入的二氧化碳将会被溶解或矿化, 例如 Sleipner 项目。

图 3 显示 Sleipner 项目不同封存机制随时间变化的比例。

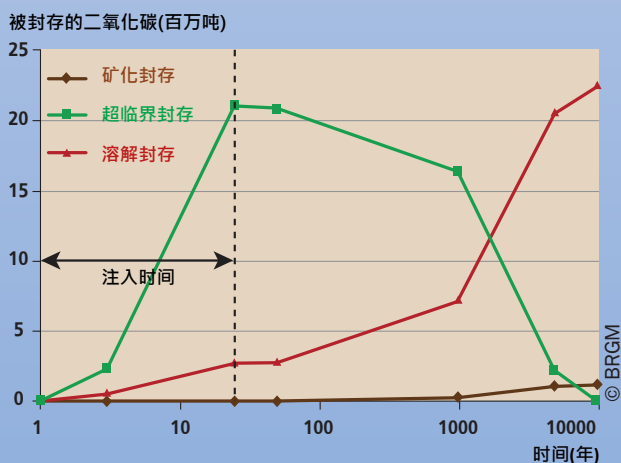


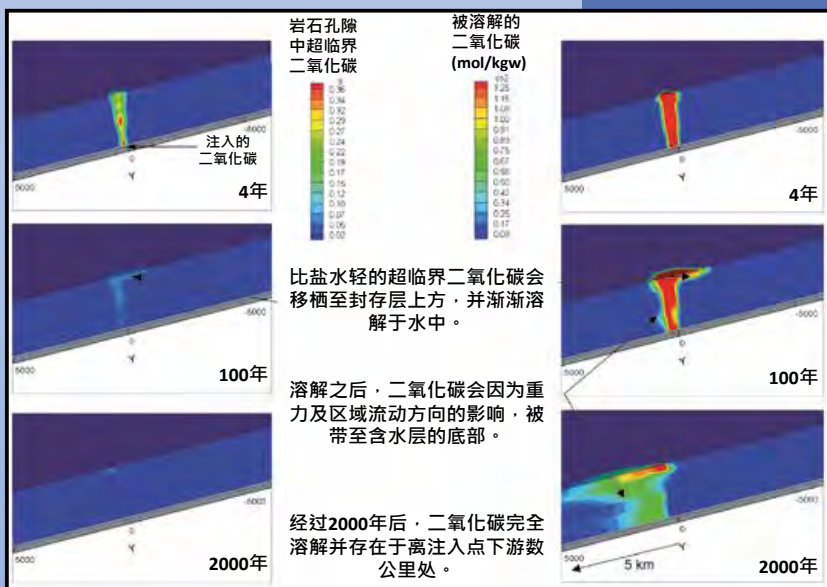
图 3
在不同封存机制的存在状况下, 以模拟的方式评估注入 Sleipner 封存层内的二氧化碳。在封存机制 1 及 2 情况下, 二氧化碳会以超临界流体状态存在; 而封存机制 3 的情况下是被溶解的二氧化碳; 在封存机制 4 的情况下是以矿化的方式封存二氧化碳。

我们是如何知道这些信息的？

我们主要透过四个管道, 获得这些相关知识：

- **实验室测量：**利用岩石样本可以进行矿化、流动和溶解的小尺度实验研究, 使我们了解短期和尺度的作用。
- **数值模拟：**使用数值模拟可预测注入之二氧化碳于长时期的变化 (图 4)。实验室试验则可用来校正数值模拟结果。
- **研究天然的二氧化碳储集层：**二氧化碳 (通常为火山来源) 被长时间 (通常为数百万年) 封存于地下, 这样的自然环境通常被认为是天然模拟 (Natural analogue*) 情境。这些场址提供我们许多讯息, 像是气体运动行为以及二氧化碳长期存在于地下所产生的一系列反应。
- **监测现存的二氧化碳地质封存示范项目：**例如 Sleipner (挪威近海区)、Weyburn (加拿大)、In Salah (阿尔及利亚) 和 K12-B (荷兰海岸区)。可以将短期仿真的结果与真实的现场数据比对, 帮助改进仿真。

图 4
在法国 Dogger 含水层中注入 15 万吨二氧化碳 4 年后, 二氧化碳移栖的 3D 模拟。描述注入二氧化碳 4 年、100 年和 200 年后的超临界 CO₂ (左) 以及盐水溶解的 CO₂ (右) 的情况, 此仿真基于现场数据和多项实验。



只有透过对这四种来源的讯息, 进行持续地交叉校正和检测, 才可获得对于发生在我们脚下 1,000 公尺以下的二氧化碳封存机制的知识。

总之, 二氧化碳封存的安全性随着时间的推移而增加。最重要的是找到一个有合适盖岩层的储集层, 这样可以将二氧化碳保留在储集层中 (构造封存)。溶解、矿化和残余封存机制等相关的作用都有利于阻止二氧化碳移栖到地表。

二氧化碳会从储集层中泄漏吗？ 若发生会产生什么后果呢？

透过对天然系统的研究，我们认为谨慎挑选的储集层，不会产生明显的泄漏。天然的含气储集层，可以帮助我们认识气体的封存条件或释放条件。此外，泄漏场址可以帮助我们了解二氧化碳泄漏可能产生的影响。

泄漏途径

一般来说，可能的泄漏途径可以是人造的（如深井），也可以是天然的（如裂隙系统和断层）。

现役井和废弃井都可能成为移栖通道，首先，它们能形成地表和储集层间的直接通道；其次，它们由人造材料构成，这些材料可能随着时间的推移而腐蚀（图 1）。还有一个复杂情况：不是所有的井都采用相同的技术建造，因此较新的井一般比老井更安全。在任何情况下，通过井泄漏的可能性是比较低的，因为无论新井或旧井都能采用灵敏的地球化学和地球物理方法进行有效的监测，并且这种技术已经应用到石油工业的修复工程中。

沿着盖岩层或覆盖层（Overburden*）的天然断层或裂隙中的流动更为复杂。因为要处理的是具有不同渗透特性的不规则或平坦的地质条件。采用好的科学技术方法，可了解自然界中泄漏和非泄漏系统，将有助于设计二氧化碳封存项目，

并促使设计储集层可以和已经被封存几千年甚至几百万年的二氧化碳和甲烷在天然储集层有相同的特性。

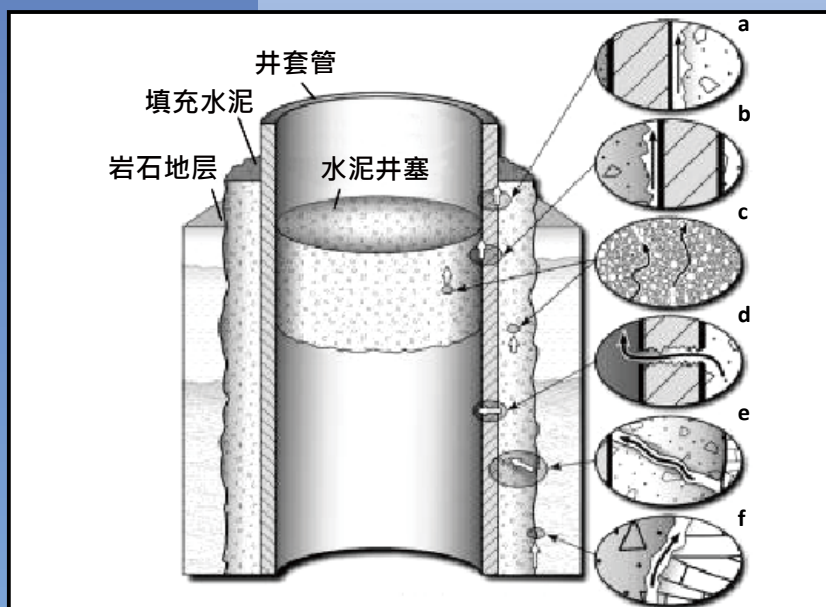
天然模拟：经验和学习

天然模拟（即所谓的模拟）为增进我们对深层流体移栖、地壳与大气间的气体交换的认识，提供了宝贵的信息来源。针对众多的泄漏和非泄漏天然气储集层进行研究后，主要的发现为：

- 在有利的地质条件下，自然产生的气体能被封存在地下，达几千甚至几百万年之久；
- 即使在最不利的地质环境（如火山区域），也可能存在独立的气体储集层；
- 任何气体的明显移栖都需要对流（即压力驱动流动），因为扩散是一种很慢的作用；
- 对流的发生需要储集层中的流体条件与静岩压力（Lithostatic pressure*）相近，使得断层和裂隙保持开启或者在机械力作用下产生新的通道；
- 天然形成的气体泄漏至地表的区域，通常只存在于极度活跃的火山或地震地区，气体泄漏通道主要沿着活跃或近期活动的断层；
- 明显的气体泄漏只存在于断层极度活跃的火山和地热区域，在这些区域二氧化碳经由自然过程持续产生；
- 地表的气体异常通常只发生在局部地区，并只对地表邻近有限空间的环境产生影响。

因此，泄漏的发生需要许多特定条件同时发生。一个精选的而谨慎设计的二氧化碳储集层不太可能发生泄漏。尽管发生泄漏的可能性很小，为了选择、设计和运作安全性最高的潜在二氧化碳地质封存场址，需要充分和全面地了解相关的过程和可能的作用。

图 1
钻井内二氧化碳可能的移栖路径。可能由材料变质产生的破洞 (c, d, e) 或沿着界面 (a, b, f) 而泄漏。



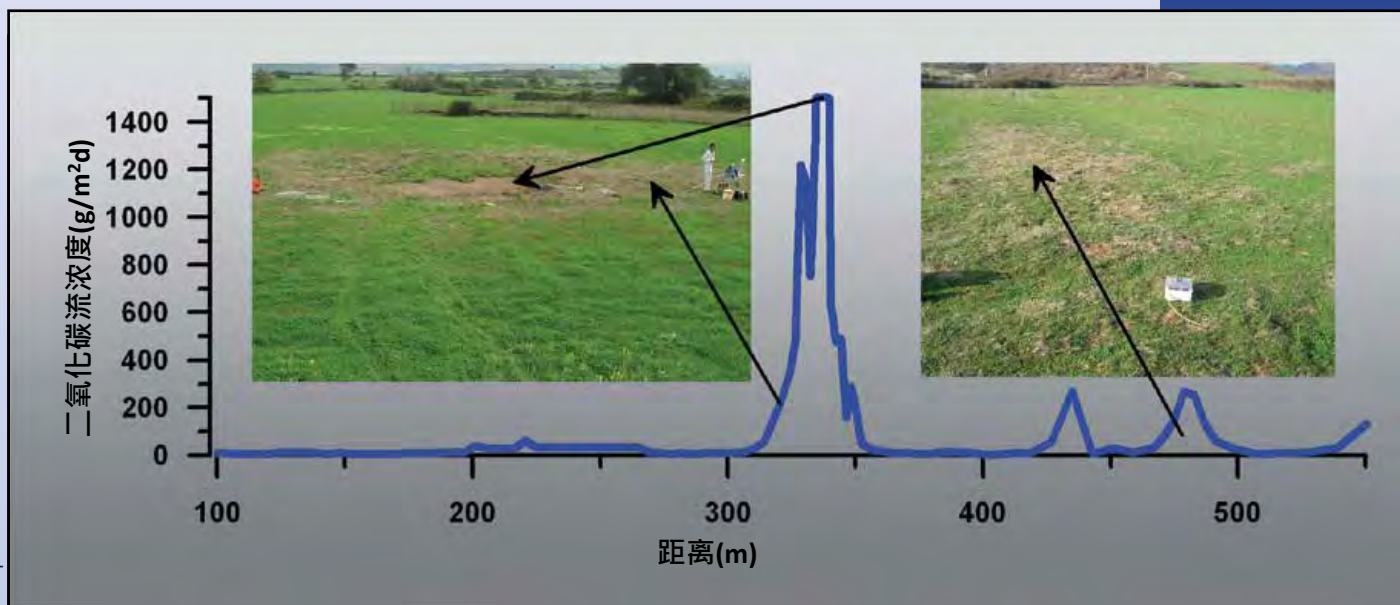


图2
二氧化碳泄漏对植物的影响随者浓度高(左图)、低(右图)而不同,但影响皆只会局限在泄漏的小范围内。

对人类的影响

我们一直在呼吸着二氧化碳,但只有在二氧化碳达到非常高的浓度时(超过 50,000 ppm,也就是 5%)才会对人类的健康产生危害,引起头痛、头昏眼花和反胃。长期处于上述浓度的环境中就会引起死亡,尤其是在空气中氧浓度低于维持人类生存所需的最低水平(16%)时,则会因窒息而引起死亡。但如果二氧化碳是在开放空间或地形平坦的区域泄漏,即使低风速也能使二氧化碳快速的扩散到空气中,并迅速降低浓度,因此泄漏对人类的潜在威胁主要是在封闭环境或地形凹陷地区,因为二氧化碳比空气重而易于聚积,从而使地形凹陷区浓度上升。对于自然排出气体地区,了解其气体扩散特性,在风险防范和管理上是十分有用的。事实上,许多人生活的地区每天都有天然气排放,例如在意大利罗马附近的恰米皮诺地区,房子坐落在气体排出口仅有 30 公尺远的地方,排气口处泥土中的二氧化碳浓度达到 90%,每天大约有 7 吨的二氧化碳气体排放到大气中,当地的居民为了避免危险总结出了一些简单的预防措施,如不睡在地下室、住屋内保持较好的通风等方法。

对环境的影响

对生态系统的潜在影响,是依封存场址是位于海底或是在陆地上有所不同。

在海洋生态系统中,若二氧化碳泄漏到海水中,其主要影响是使局部海水的 pH 值降低,

并对生活在海床上无法移动的生物产生影响。但是,这些影响都只是在很有限的空间内,且当泄漏减弱或停止后,生态系统将很快恢复。

在陆地生态系统中,若二氧化碳泄漏至地表,影响概括如下:

- 植物:当土壤中二氧化碳的浓度达 20%-30% 时,能帮助植物施肥并增加某些植物的生长速率,但浓度高于该临界值对某些植物是致命的。该作用仅仅影响气体排出口附近的植物,而几公尺远处的植物依然能保持健康(图 2)。
- 地下水质:地下水的化学组成随着二氧化碳的增加发生变化,因为水的酸性会变强,含水层的岩石和矿物也会释放出各种元素。即使二氧化碳能泄漏到饮用水含水层,其影响仍然是有限的,科学家正在研究其影响。有趣的是整个欧洲许多含水层都富含天然的二氧化碳气体,这些水最终被出售为苏打矿泉水。
- 岩石完整性:酸化的地下水能导致岩石溶解,破坏结构完整性,形成渗穴。但是这只发生在特定的地质和水文地质条件(如构造活跃区、含水层地下水流速较高、富含碳酸盐矿物等),而这些都不可能发生在人造储集层中。

总之,任何一个假设的二氧化碳泄漏造成的影响都取决于场址的特性。因此透过对地下地质和结构全面的了解,能使我们辨别任何一个潜在的气体移栖通道。在此基础上选择泄漏可能性最小的场址并进行气体移栖的预测,就可以评估并阻止泄漏对人类和生态系统产生显著的影响。

如何对二氧化碳封存场址进行监测？

鉴于操作、安全、环境、社会和经济等原因，所有的二氧化碳封存场址都需要进行监测。这样，就需要制定一个具体的项目—需要监测什么？要怎么监测？

为什么需要监测

为确保达到二氧化碳地质封存基本目的，对人为制造的二氧化碳进行长期与大气层隔离储存，监测封存场址是关键且必须的，其原因包括：

- **操作方面：**对二氧化碳的注入过程进行控制与优化；
- **安全及环境因素：**对封存场址附近的人、动植物和生态环境造成最小的影响，并减缓全球气候的暖化。
- **社会因素：**向公众提供有关二氧化碳地质封存安全性的必要讯息，并增强公众对二氧化碳地质封存的信心。
- **经济因素：**建立市场对二氧化碳捕集和封存技术的信心，并评估修正地下可封存量，使其在欧盟污染排放权交易 (ETS) 未来项目中确认为无污染的关键技术。

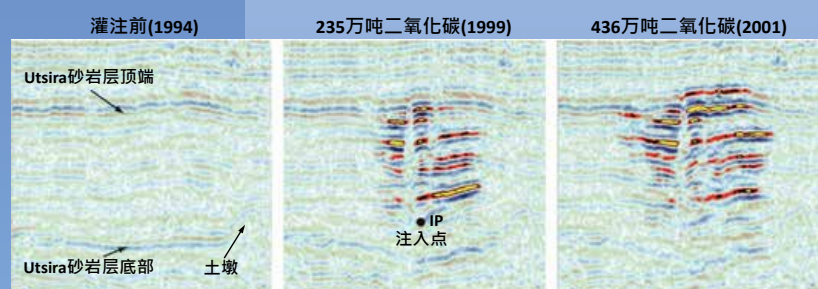
根据欧盟指令 (EC Directive) 在 2008 年 1 月 23 日发布的草案要求，对封存场址环境的初始状态及随后变化情况进行监测，是对二氧化碳捕集及封存技术监控的重要工作。操作人员必须能够证明封存状况符合规定，且确认能长时间维持稳定。监测封存场址是减少产生不确定性的重要方法，并和安全管理紧密连结。

监测目标

可针对封存场址不同位置的各种目标和过程分别进行地质监测，例如：

- **二氧化碳团块的形状变化：**从二氧化碳注入点开始对其扩散进行追踪。为预测二氧化碳扩散模型的校正提供了关键数据。这方面已经有很多成熟的技术可以使用，例如在同一场址、不同时间进行震测调查，已成功使用在许多示范性和实验性的研究项目中 (图 1)。
- **盖岩层的完整性：**如果二氧化碳是封存在储集层中，盖岩层的完整性评估是必须的，同时也对可能发生的二氧化碳向上移栖造成泄漏提供预警。尤其在二氧化碳注入过程中，储集层内会出现短暂而显著的升压现象，此时盖岩层完整性评估是格外重要。
- **注入井的完整性：**因为深井井孔有可能成为二氧化碳向地表泄漏的直接通道，所以注入井的完整性非常重要。为防止二氧化碳的突然泄漏，在注入过程中及注入后，必须对二氧化碳注入井、监测井和先前之废弃井进行严密监测。而监测井也可用来检查所有使用完毕的井是否有完全封闭。在油气开采中普遍使用的地球物理及地球化学监测系统，也可以用来安装到井中或井口，以提供早期预警，确保工程安全。
- **覆盖层中的移栖：**在封存场址中，盖岩层之上的覆盖层岩体也具有与盖岩层相似的性质，此覆盖层可能是降低二氧化碳泄漏风险的关键要素。如果在储集层和盖岩层周围监测到二氧化碳穿过盖岩层发生意外扩散，那么对覆盖层的监测就显得十分必要。很多用于二氧化碳团块或盖岩层完整性监测的技术，同样可利用于监测覆盖层。
- **地表泄漏与大气监测：**确保注入的二氧化碳不会移栖到地表，采用了一系列的地球化学、生物化学和遥测技术，用来定位泄漏位置、评估和监测二氧化碳在土壤中的分布，以及在大气或海洋环境中的扩散情况 (图 2)。
- **为了监测以及盘查定量被封存的二氧化碳：**尽管注入储集层的二氧化碳量可以透过在钻

图 1
Sleipner 先导项目使用震测影像来监测二氧化碳团块 (CO₂ plume*) 在灌注前 (1994) 与灌注后 (1999 以及 2001) 的分布



© StatoilHydro

井测量得知，但是对储集层储存能力的定量计算，从技术方面来说仍是一个巨大挑战。如果二氧化碳于接近地表的位置发生泄漏，那么泄漏量务必确认，并计入国家温室气体盘查和未来欧盟污染排放权交易项目方案。

- **地层运动和微震 (Microseismicity*)**：在一些特殊情况下，二氧化碳注入会引起储集层内压力升高，增加产生小规模地层运动和微震的可能性。微震监测技术和遥感技术 (航空和卫星勘测) 可以测出极微小的地表震动。

如何进行监测

许多监测技术已经用于现有的示范和研究项目，这些技术包括对二氧化碳的直接监测以及二氧化碳对岩石、流体和环境影响的间接测量。直接测量包括对深井中流体的分析或是对土壤或大气中气体浓度的测量；间接手段包括地球物理勘查、注入井压力监测以及地下水体酸碱度变化监测等。

无论是陆地还是近海封存场址，监测都是必需的。监测技术的选择，取决于封存场址的工程技术、地质特性与检测目的等。目前有很多监测技术可供使用 (图 3)，且很多方法已成功应用于油气开采中，同样地，这些技术也适用于二氧化碳地质封存监测。此外，为了提高监测分辨率、可信度、降低监测成本、实现自动化操作过程和增加示范操作的效能，对现有监测技术的优化和

创新技术开发也正在进行中。

监测策略

制订监测策略时，所有决策需要根据各个封存场址的地质和工程条件进行判断，例如：储集层的形状和深度、二氧化碳团块的预期分布范围、潜在的泄漏通道、上覆地层的地质条件、注入时间和注入速率等等，同时考虑地表特征，如：地形、人口密度、基础设施和生态系统等。根据恰当的测量技术和合适的测点以确定监测方案，方案确定后，应首先进行基线调查，作为未来所有后续测量的参考，方可开始注入二氧化碳。最后需要注意的是，每一项监测程序都要有弹性，能随地质封存项目的改变而调整。一项具有上述所有条件并同时考虑经济成本的监控策略，将是风险评估和封存场址安全性评估的关键要素。

我们了解成熟应用与正开发中的各种技术，使得二氧化碳地质封存的监测是可行的。目前全球正在进行相关的监测研究，包括新设备的开发 (特别是用于海床监测)、监测的优化设计以及降低监测成本。



图 2
为了提供能量附设太阳能板的监测浮标，具备浮筒与取样装置，可进行海洋底部采样。



图 3
用来监测二氧化碳封存系统的技术范例，其广泛涵盖了各种区域的监测。



何谓应当遵守并实施的安全标准？

为了确保封存的安全性和效能，计划设计和操作条件须由监控单位来规范，且操作人员必须严格遵守。

为了确保封存的安全性和效能，项目设计和操作条件须由监控单位来规范，且操作人员必须严格遵守。

尽管二氧化碳地质封存现在已被广泛接受为能够减缓气候变化的有效手段，但是与人类健康和当地环境因素有关的安全标准，仍需在大规模应用前建立。这些标准可以定义为在确保不影响当地短期、中期以及长期的健康、安全 and 环境 (包括地下水源) 的条件下，监控单位对操作人员的严格要求。

二氧化碳地质封存的关键是储存的永久性，故封存场址不能发生泄漏。为了保险起见，需评估任何可能的风险。操作人员必须有因应措施以防止封存场址任何二氧化碳泄漏和意外状况的产生。根据政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 指出，注入地下的二氧化碳必须能够保存至少 1,000 年以上，这样才能使得大气二氧化碳浓度保持稳定，或者透过海水的自然交换作用降低，从而把全球暖化引起的地表升温最小化。然而，对于当地环境影响评估，需要从几天到数千年时间尺度上进行评估。

二氧化碳封存项目的主要步骤可以加以明确化 (图 1)，而安全性则由下列步骤确保：

- 将二氧化碳流体的组成成分纳入考虑范围，特别注意在捕集过程中未被消除的杂质，避免其他物质对注入井、储集层或盖岩层造成破坏的作用是相当重要的。

工程设计的安全标准

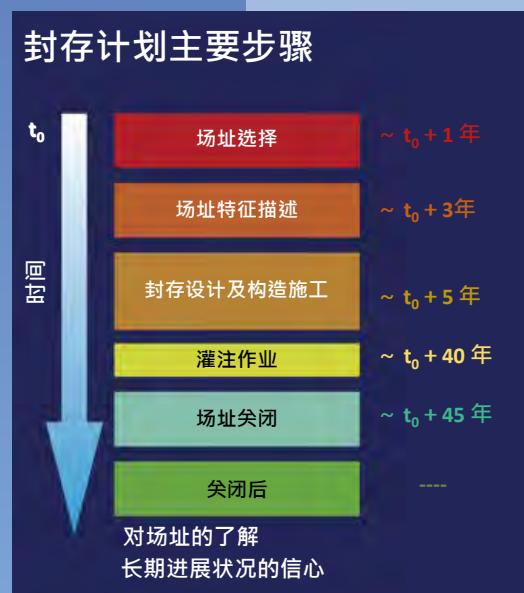
工程的安全性必须在实施注入二氧化碳前进行验证。

关于选址，需要注意的重要项目有：

- 储集层和盖岩层特性；
- 覆盖层特性，其能成为次要封存层的不透水岩层；
- 可能为二氧化碳泄漏至地表通道的可渗透性断层或深井；
- 饮用水层；
- 地表的人口和环境限制。

评估封存场址的地质和几何条件常用油气开采技术，而模拟储集层中注入二氧化碳须利用流体力学或地质化学和地球化学方法，以预测二氧化碳在地层中的长期变化和效应，并确定有效注入量的各种参数。因此，研究员应谨慎的场址特性描述可订出「正常」的封存情境，以协助筛选能安全封存二氧化碳的适当场址。接下来，利用风险评估来推测二氧化碳地质封存未来可能发生的不确定性，如意外事件的发生。特别重要的是，须设想任何潜在的泄漏通道、暴露和效应 (图 2)，所有关于泄漏的情境必须由专家进行分析，利用适当的数值模型对泄漏发生的潜在可能性进行严格的评估。例如，二氧化碳团块的变化需要仔细的描绘，以便发现其与断层带之间的任何可能关联。在风险评估中，对输入参数变化的敏感性和不确定因素应当谨慎分析，并评估二氧化碳对人类和环境造成潜在影响，这也是工业设备取得执照前必备的一般作业程序。在这些分析过程中，正常情况和可能的泄漏情境都需要进行评估，以了解与设备相关的任何潜在风险。

图 1
二氧化碳封存项目的主要阶段



- 谨慎的场址选择和地质特性描述；
 - 安全性评估；
 - 正确的操作；
 - 合适的监测项目；
 - 完善的补救项目。
- 其主要目的在于：
- 确保二氧化碳留在储集层中；
 - 保持注入井的完整性；
 - 维持储集层的物理性质 (包括孔隙率、渗透性和注入率) 和盖岩层的不透水特性；

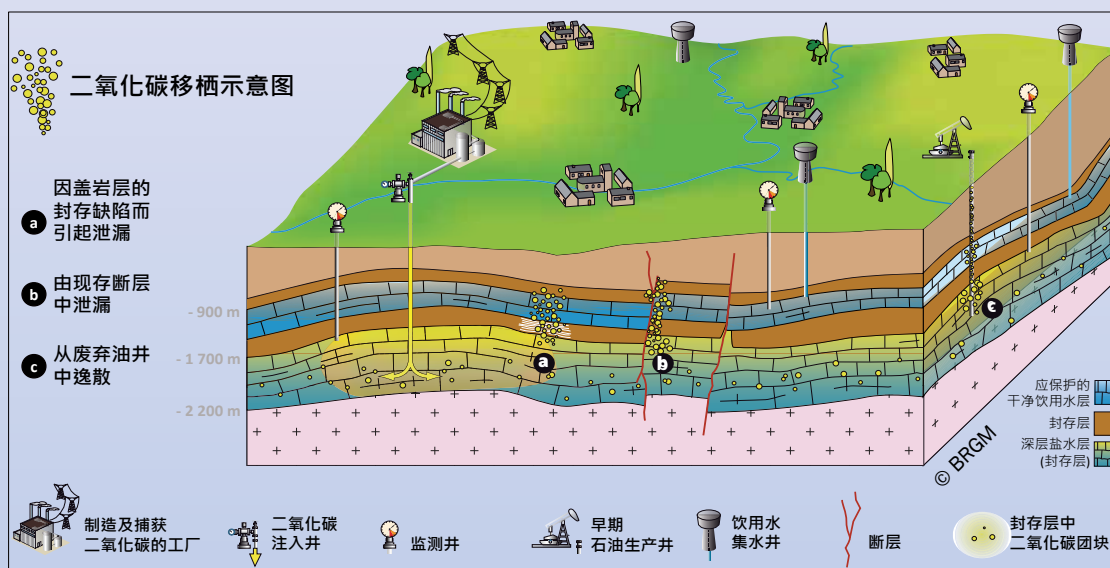


图2
二氧化碳潜在泄漏情境的范例

不论短期还是长期的监测系统，都应该建立在符合风险评估的基础上，且掌握多种情境分析关键参数。监测的主要目的在于描绘二氧化碳团块的移栖、检查注入井和盖岩层的完整性、探测任何二氧化碳泄漏途径、评估地下水水质并且确保没有二氧化碳泄漏到地面。

矫正与减缓项目是安全评估的最后一部分，其目的是当发生泄漏或异常事件时，及时提供正确且详细的补救措施。这些措施包括有关盖岩层完整性和注入井破坏方面的问题、注入过程和之后的阶段，并且考虑在极端情况下的补救措施，比如场址复原等情况。目前关键技术都和油气开采的标准技术相关，如油井维修技术、降低注入压力、部分或者全面气体回收、抽水降压以及浅层抽气等等。

操作过程和封闭后的安全标准

主要的安全问题存在于操作阶段，二氧化碳注入完成后，压力降低会使封存场址相对安全。成功灌注并封存二氧化碳的能力来自于产业界的经验，因二氧化碳是一种广泛应用于各行业的产品，因此二氧化碳处理并不构成问题，而营运设计和管理主要基于石化产业之有年的技术知识经验，尤其是季节性的天然气储存和加强石油采收(EOR)。

需要控制的主要参数有：

- 注入压力和注入速率：前者应当控制在围岩破碎压力以下。这是因为超过破碎压力会导致盖岩层出现破裂。
- 注入量：符合仿真预期目标；

- 注入之二氧化碳的组成成分；
- 注入井以及其他邻近二氧化碳团块范围的井之完整性；
- 二氧化碳团块的延伸和任何可能泄漏区的探测；
- 地层稳定性。

在注入过程中，注入二氧化碳的实际反应必须的和预测情况反复比较，这样才会提高我们对封存场址的认识。如果发现到任何异常现象，监测程序都应当更新改进，且在必要情况下，采取纠正措施。为了避免疑似泄漏事件发生，必须在封存场址中适当位置设置合适的监测工具，包括从储集层到地表都需考虑。这样不仅可以探测到向上逸散的二氧化碳，还可以探测到任何可能对饮用水层、周遭环境或人类健康造成危害的不利影响。

当灌注完成后，就进入封井阶段：此阶段中，应确保注入井封闭后，仿真与监测系统要及时跟进，有必要时，采取适当的措施来降低风险。一旦风险已被认定降低至合理的水平，封存场址的责任将转移到公家机关，其监测项目也可以降低到最小程度或可停止。

欧洲指令(European Directive)已建立一套法规系统，来确保二氧化碳捕集与封存成为一个可缓解气候变化的措施，且这项技术能够安全及可靠的运作执行。

总结，利用工业技术将二氧化碳大规模封存，其成功商转的最重要即是安全标准，且这些准则必须适用于每个封存场址。安全标准更是建立民众接受程度的关键，且为申请政府许可的必经程序，立法单位必须决定安全的详细标准以确保项目安全。



专有名词

含水层 (Aquifer)：即具有渗透性的含水岩体。浅部含水层富含能被人类使用的淡水资源，而深部含水层通常富含不适合人类利用的盐水，又称咸水含水层。

盐水 (Brine)：咸度极高的水，常称为卤水、浓盐水等，含有高浓度的溶解盐。

盖岩层 (Caprock)：即渗透性差的岩层，能阻碍液体和气体等流体的流动和移栖，其覆盖于储集层上方时，能够防止封存层中的液体及气体向上移动。

二氧化碳捕集与封存 (Carbon capture and storage, CCS)：为二氧化碳捕集与封存，可简称为碳捕存。

二氧化碳团块 (CO₂ plume)：岩石单元中超临界二氧化碳的空间分布。

碳封存领袖会议 (Carbon Sequestration Leadership Forum, CSLF)：为一国际间推动碳捕集和封存技术之主要组织，属于国际气候变化领域中的部长级倡议。旨在透过适宜的技术、政治、经济、管制规范等环境之建立，加速二氧化碳捕集与长期安全封存技术之研发活动、示范项目与商业化运转之发展，并强调技术的成本效益以及国际间的应用。

提高石油采收率技术 (Enhanced Oil Recovery, EOR)：经由注入流体（如蒸汽、二氧化碳等）来促使储集层中石油流动，从而提高原油采收率。

欧盟地质容量项目 (EU Geocapacity)：欧洲正在执行的一个研究项目，旨在评估针对人为排放的二氧化碳在欧洲的总地质封存量。

GESTCO 项目：欧洲已经完成的一个研究项目，它对二氧化碳进行地质封存的可行性进行评估，共有 8 个欧洲国家参与，包括挪威、丹麦、英国、比利时、荷兰、德国、法国和希腊。

国际能源总署温室气体研发项目 (International Energy Agency Greenhouse Gas, IEAGHG)：是一个国际合作项目，目的是评估减少温室气体排放的技术，传播相关研究成果，并为研究、开发和示范以及推动相关工作确定目标。

可注性 (Injectivity)：用来描述流体（如二氧化碳）注入地层中的难易程度，是注入速率与注入井井底和地层两点间压力差的比值。

政府间气候变化专业委员会 (International Panel on Climate Change, IPCC)：世界气象组织 (World Meteorological Organization, WMO) 和联合国环境开发署 (United Nations Environment Programme, UNEP) 为评估与气候变化协议相关的科学、技术及社会经济信息，于 1988 年设立了该组织，IPCC 和前美国副总统高尔先生 (Al Gore) 获得 2007 年诺贝尔和平奖。

静岩压力 (Lithostatic pressure)：地下岩石受到的来自上覆岩石的压力，随着深度的增加而增加。

微震 (Microseismicity)：地壳的微小震动，其与地震无关，可由多种自然作用或人为作用引发。

天然模拟 (Natural analogue)：天然形成的二氧化碳储集层，其有泄漏和非泄漏场址存在，对它们的研究有利于我们了解深部地质系统中二氧化碳的长期去向。

覆盖层 (Overburden)：位于储集层及上覆的盖层和地面（或海床）之间的地层。

渗透性 (Permeability)：多孔岩石传导流体的性质或能力，是流体在一定压力梯度下，在岩石中流动难易程度的度量。

酸碱值 (pH)：溶液中酸的量，pH 为 7 时，溶液为中性。

孔隙率 (Porosity)：岩石中未被矿物填充部分之间隙占总岩石体积的百分比，这些间隙称之为孔隙，它可被不同的流体填充，深部岩石孔隙中典型的填充物质是盐水，但也可被石油或天然气和天然成因的二氧化碳等气体填充。

储集层 (Reservoir)：具有足够孔隙和渗透性来保留和储存二氧化碳的岩体或沉积物，砂岩和石灰岩是最常见的储集岩。

超临界状态 (Supercritical)：流体处于其临界温度和压力之上的状态（二氧化碳的临界温压分别为 31.03°C 和 7.38 MPa），处于超临界状态下的流体性质是不断变化的，在低压下以类气体为主，而在高压下则以类液体为主。

钻井（或井孔）(Well or borehole)：透过向地下打钻而成的圆孔，特别是那些直径小、深度较大的钻孔，比如石油钻孔。

更多资讯可在以下相关网站获得

政府间气候变化专业委员会 (IPCC) CCS 专题报导：

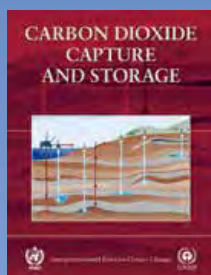
http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf

欧盟委员会 (EC) 网页 CCS 专题：

https://ec.europa.eu/clima/policies/lowcarbon/ccs_en

国际能源总署温室气体研发项目 (IEAGHG) 监测工具网站：

<http://ieaghg.org/ccs-resources/monitoring-selection-tool1>



二氧化碳地质封存网络 (CO₂GeoNet) 的功能



二氧化碳地质封存网络 (CO₂GeoNet) 是一个出色的欧洲网络组织，致力于提供有关二氧化碳地质封存清楚且广泛的信息，二氧化碳地质封存对于减缓气候变化是个创新并且极为重要的技术，CO₂GeoNet 是由欧盟执行委员会的第 6 框架计划 (EC FP6 contract 2004-2009) 下资助而成立，联合来自 7 个欧洲国家的 13 个机构，每个机构在二氧化碳地质封存相关研究方面都有很高的国际声望以及严谨的标准。在 2008 年时，CO₂GeoNet 在法国法律下以非营利协会登记注册，以便于在欧盟支持结束后持续举办相关的活动。

CO₂GeoNet 在研究项目方面具有广泛的经验，如：储集层、盖岩层、二氧化碳移栖到地表的潜在路径、监测工具、二氧化碳泄漏对人类和生态系统的潜在影响、对公众的普及推广和沟通交流活动。CO₂GeoNet 在四个主要领域提供了多种服务：1) 联合研究；2) 训练及能力建构；3) 科学咨询；4) 信息和交流。

CO₂GeoNet 在欧洲已逐渐茁壮并成为为一个可考的文献和权威，可提供二氧化碳大规模地质封存并且安全部署的重要科学支持，CO₂GeoNet 社群通过 CGS 欧洲项目 (在 2010-2013 年间由 EC FP7 所资助的协调行动) 已扩大泛欧覆盖范围。CGS 欧洲项目联合了 CO₂GeoNet 协会的核心与其他 21 个研究机构，从而涵盖了 28 个欧洲国家 (24 个会员国及 4 个关联国 (Associated countries))。因此，有数百名科学家联合，才能够藉由跨领域整合多面向的二氧化碳地质封存。我们的目标是提供利害关系人与大众有关二氧化碳地质封存独立且科学的信息。



二氧化碳地质封存网络 CO₂GeoNet：

德国联邦地球科学与自然资源研究所 BGR(Germany); 英国地质调查局 BGS(UK), 法国地质暨矿物研究局 BRGM(France); 丹麦地质调查局 GEUS(Denmark); 英国赫瑞瓦特大学 HWU(UK); 法国法国新能源暨石油研究所 IFPEN(France); 英国伦敦帝国学院 IMPERIAL(UK); 挪威水质研究机构 NIVA(Norway); 意大利海洋与地球物理实验研究所 OGS(Italy); 挪威斯塔万格国际研究院 IRIS(Norway); 挪威科技工业研究院 SPR Sintef (Norway); 荷兰应用科学研究组织 TNO(Netherlands); 意大利罗马大学 URS(Italy).



二氧化碳地质封存泛欧协调行动

(the Pan-European Coordination Action on the Geological Storage of CO₂, CGS Europe)：

CO₂GeoNet (上述 13 名成员); 捷克地质调查局 CzGS(Czech Republic); 奥地利联邦地质机构 GBA(Austria); 罗马尼亚国家研究发展局海洋地质及地质生态部 GEOECOMAR(Romania); 斯洛文尼亚 GEO-INZ (Slovenia); 希腊地质与矿物研究所 G-IGME(Greece); 爱尔兰地质调查局 GSI(Ireland); 立陶宛自然研究中心 GTC(Lithuania); 芬兰地质调查局 GTK(Finland); 拉脱维亚环境地质与气象中心 LEGMC(Latvia); 匈牙利地球物理研究所 ELGI(Hungary); 葡萄牙地质与能源国家实验室 LNEG(Portugal); 土耳其中东技术大学石油研究中心 METU-PAL(Turkey); 波兰国家地质研究所 PGI-NRI(Poland); 比利时地质调查局皇家比利时自然科学研究所 RBINSGSB(Belgium); 瑞典地质调查局 SGU(Sweden); 斯洛伐克 Dionyz Štúr 国家地质研究所 SGUDS(Slovakia); 西班牙地质与矿物研究所 S-IGME(Spain); 保加利亚索非亚大学 SU(Bulgaria); 爱沙尼亚塔林理工大学地质研究所 TTUGI(Estonia); 塞尔维亚地球物理学家和环保人士学会 AGES(Serbia); 克罗地亚萨格勒布大学矿物地质与石油工程学院 UNIZG-RGNF(Croatia)



CO₂GeoNet 在欧洲和国际上获得广泛地认可。

CO₂GeoNet 受到碳封存领袖论坛 (Carbon Sequestration Leadership Forum, CSLF) 认可。

CO₂GeoNet 与国际能源总署温室气体研发项目 (IEAGHG) 有密切合作。



手册的背景

为了提升二氧化碳地质封存的公众意识，CO₂GeoNet 着手整理了有关 "二氧化碳地质封存的真正意义是什么?" 等包罗万象的问题，来自于 CO₂GeoNet 的一群著名科学家团队根据研究和经验，对于 6 个相关问题依目前的科技水平准备了中肯的解答。目的是为了向广大的群众清楚传达公正的科学讯息，并鼓励针对二氧化碳地质封存技术方面的基础问题展开对谈。这些工作概述于这本手册中，并已于 2007 年 10 月 3 日在巴黎召开的培训和对话研讨会中发表。

"What does CO₂ geological storage really mean(何谓二氧化碳地质封存)?"

多国语言版本可于下列网址下载：

www.co2geonet.com/resources/ - 'our brochure' in the menu

CO₂GeoNet

欧洲杰出的二氧化碳地质封存网络组织



www.co2geonet.com

秘书处: info@co2geonet.com

英国地质调查局BGS Natural Environmental Research Council-British Geological Survey, 德国联邦地球科学与自然资源研究所BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 法国地理暨矿物研究局BRGM Bureau de Recherches Géologiques et Minières; 丹麦地质调查局GEUS Geological Survey of Denmark and Greenland; 英国赫瑞瓦特大学HWU Heriot-Watt University; 法国法国新能源暨石油研究所IFPEN; 英国伦敦帝国学院IMPERIAL Imperial College of Science, Technology and Medicine; 挪威水质研究机构NIVA Norwegian Institute for Water Research; 意大利海洋与地球物理实验研究所OGS Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale; 挪威斯塔万格国际研究院IRIS International Research Institute of Stavanger; 挪威科技工业研究院SPR SINTEF Petroleumsforskning AS; 荷兰应用科学研究组织TNO Netherlands Organisation for Applied Scientific Research; 意大利罗马大学URS Università di Roma La Sapienza-CERL.



二氧化碳地质封存网络组织CO₂GeoNet感谢台湾碳捕存再利用协会TCCSUA协助推广与翻译原文版“What does CO₂ geological storage really mean?”为中文版本“何谓二氧化碳地质封存?”可至协会网站免费下载 (<http://www.tccsua.org/>)