



Doctoral Thesis

Enhanced coal bed methane recovery finalized to carbon dioxide storage

Author(s):

Pini, Ronny

Publication Date:

2009

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005916139> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH no. 18483

**ENHANCED COAL BED METHANE RECOVERY
FINALIZED TO CARBON DIOXIDE STORAGE**

Dissertation submitted to the

ETH ZURICH

for the degree of

DOCTOR OF SCIENCES

presented by

Ronny Pini

Chemical Engineer, ETH Zurich

born on October 2nd, 1980

Citizen of Ascona (TI), Switzerland

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Marco Mazzotti (ETH Zurich), examiner

Prof. Dr. Giuseppe Storti (Politecnico di Milano), co-examiner

Prof. Dr. Daniel Tondeur (CNRS Nancy), co-examiner

Dr. Luigi Burlini (ETH Zurich), co-examiner

Zurich 2009

Abstract

The recovery of coal bed methane can be enhanced by injecting carbon dioxide (CO_2) in the coal seam at supercritical conditions. Through an in situ adsorption/desorption process the displaced methane (CH_4) is produced and the adsorbed CO_2 is permanently stored. This process is called Enhanced Coal Bed Methane recovery (ECBM) and it is a technique under investigation as a possible approach to the geological storage of CO_2 in a carbon dioxide capture and storage (CCS) system. ECBM recovery is not yet a mature technology, in spite of the growing number of pilot and field tests worldwide that have shown its potential and highlighted its difficulties. The problems encountered are largely due to the heterogeneous nature of coal and its complex interaction with gases. These issues, which represent the motivation of this research work, need to be addressed both at laboratory and field test scales.

The aim of this thesis is therefore to develop experimental and modeling tools that are able to provide a comprehensive characterization of coal required first to understand the mechanisms acting during the process of injection and storage and secondly to assess its potential for an ECBM operation. In particular, sorption data of CO_2 , CH_4 and N_2 on several coals from different coal mines worldwide have been measured at conditions typically encountered in coal seams. CO_2 maximum sorption capacity per unit mass of dry coal has been found to range between 5% and 14% weight and to depend on coal rank in a non-monotonic way. Moreover, for a specific coal, competitive sorption isotherms of the binary and ternary mixtures of these gases have been obtained, showing that CO_2 adsorbs always more than CH_4 , and CH_4 more than N_2 . This property is of key importance for ECBM application.

In order to investigate the coal volumetric behavior upon exposure to an adsorbing gas, two approaches have been followed. In the first, the utilization of a visualization technique allowed to measure the unconstrained expansion of a coal disc, confirming that indeed coal swells when exposed to a gas that is able to adsorb on its surface and penetrate into its structure, whereas exposure

to an inert gas leads to negligible volume changes. In the second approach, flow experiments on coal cores confined under an external hydrostatic pressure were performed. Moreover, a model describing the fluid transport through the coal core has been derived, which includes mass balances accounting for gas flow, gas sorption and swelling, and mechanical constitutive equations for the description of porosity and permeability changes during injection. The combination of the experimental data with the model predictions allowed to highlight and to understand the different fundamental aspects of the process dynamics, and to relate them to parameters such as the effective pressure on the sample, adsorption and swelling.

All the outcomes of the above mentioned experimental studies are the needed information to be included in ECBM simulation studies, aimed at the description and design of ECBM processes. A modeling study has been undertaken, where the coal core model used to describe the pure gas injection experiments has been extended to mixtures, thus allowing to investigate the gas flow process in coal beds and the displacement dynamics during an ECBM operation. Particular attention has been given to the injection of CO_2/N_2 mixtures (the so-called flue gas), that would allow to avoid the expensive capture step and to keep coal permeability sufficiently high.

Sommario

L'iniezione di anidride carbonica (CO_2) in condizioni supercritiche in strati profondi di carbone permette di facilitare l'estrazione del gas metano (CH_4) naturalmente presente nella vena carbonifera. Tramite un processo di adsorbimento/desorbimento il metano è rilasciato e può essere estratto, mentre la CO_2 , che si lega al carbone, è stoccata in modo permanente. Questa operazione è chiamata Enhanced Coal Bed Methane recovery (ECBM) ed è una delle tecniche proposte per lo stoccaggio geologico della CO_2 nel contesto dei sistemi di cattura e stoccaggio di CO_2 (Carbon Capture and Storage, CCS). Nonostante il numero crescente di progetti pilota e prove sul campo, che hanno dimostrato il potenziale di questo tipo di operazioni e evidenziato le sue difficoltà, la tecnica ECBM non è ancora abbastanza matura da permettere un suo utilizzo su scala commerciale. Le maggiori difficoltà riscontrate sono dovute soprattutto alla natura eterogenea del carbone e alla sua complessa interazione con i gas. Questi problemi, che rappresentano la motivazione del presente progetto di ricerca, devono essere affrontati sia tramite studi di laboratorio che nuove prove sul campo.

Lo scopo di questa tesi è dunque quello di sviluppare degli strumenti, in termini sia di tecniche di laboratorio che di modellazione, che permettano di fornire una caratterizzazione esauriente del carbone, allo scopo di capire i meccanismi che agiscono durante l'operazione di iniezione e stoccaggio, e di determinare il suo potenziale per un eventuale utilizzo ECBM. In particolare, diversi campioni di carbone provenienti da bacini di carbone da tutto il mondo sono stati analizzati in termini di adsorbimento di CO_2 , CH_4 e N_2 in condizioni tipicamente riscontrate in vene carbonifere profonde. La capacità massima di CO_2 misurata varia tra il 5% ed il 14% per massa di carbone asciutto e dipende in maniera non-monotona dall'età del carbone. Inoltre, per un carbone specifico sono state ottenute delle isoterme di adsorbimento con miscele binarie e ternarie di questi gas, mostrando che la CO_2 si lega maggiormente al carbone rispetto al CH_4 , e il CH_4 a sua volta più del N_2 . Questo comportamento è l'elemento chiave delle operazioni ECBM.

Il comportamento volumetrico del carbone una volta esposto a dei gas ad alta pressione è stato studiato tramite due metodi diversi. Nel primo, l'utilizzo di una tecnica di visualizzazione diretta ha permesso di misurare l'espansione libera di un disco di carbone confermando che in effetti il carbone si rigonfia se esposto a dei gas come la CO_2 , il CH_4 e l' N_2 , che adsorbono sulla sua superficie e sono in grado di penetrare nella sua struttura, mentre l'esposizione ad un gas inerte non comporta nessun cambiamento di volume. Con la seconda tecnica sono state effettuate prove di flusso su carote di carbone sottoposte ad una pressione idrostatica esterna. Un modello matematico è stato sviluppato per descrivere il trasporto di gas attraverso la carota di carbone, che include bilanci materiali del flusso di gas, di adsorbimento e di rigonfiamento, ed equazioni meccaniche per descrivere le variazioni di porosità e permeabilità durante le prove di iniezione. La combinazione dei dati sperimentali con le predizioni del modello ha permesso di evidenziare e di capire gli aspetti fondamentali che controllano la dinamica del processo e di relazionarli a parametri come la pressione effettiva esercitata sul campione, l'adsorbimento e il rigonfiamento.

I risultati delle prove sperimentali appena descritte costituiscono un importante pacchetto di informazioni che può essere inserito in simulatori di giacimento, utilizzati per descrivere e pianificare operazioni ECBM. È stato condotto un lavoro di modellizzazione, in cui il modello matematico usato per descrivere le prove di flusso in laboratorio è stato esteso a miscele, permettendo appunto di studiare il trasporto e lo spiazzamento di gas nella vena carbonifera durante un operazione ECBM. Particolare attenzione è stata data all'iniezione di miscele di CO_2 e N_2 (i cosiddetti fumi), che permetterebbe da una lato di evitare il costoso passaggio antecedente l'iniezione, in cui la CO_2 è separata dai fumi, e dall'altro di mantenere la permeabilità del carbone sufficientemente alta.