

超临界二氧化碳在土体中脱水的效果研究

高玉春

(滁州职业技术学院,安徽 滁州 23900)

摘要:基于土体的固结排水和超临界二氧化碳脱水的性能,结合两者的特性,研究超临界二氧化碳在土体中脱水的规律。试验采用不同压力、温度条件下通过二氧化碳的处理,对比试验前后土体中自由水和结合水含量变化,研究超临界二氧化碳在土体中的脱水规律。试验结果显示:二氧化碳在超临界状态处理后的高岭土含水率由30.9%下降到14.17%,其中结合水由20.06%下降到8.46%。得出结论:二氧化碳在超临界状态下比非超临界下的脱水效果更好,特别是结合水的去除效果更好,也就是加速了土体的固结排水。由于超临界二氧化碳对于结合水的良好脱水效果,也可用于膨润土这样的高结合水含量的土体。

关键词:超临界二氧化碳;固结;脱水

中图分类号:TQ352.67; P169.22 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2017)04-0047-03

Study on the Dewatering Effect of Supercritical Carbon Dioxide in Soil

GAO Yu-chun

(Chuzhou Vocational and Technical College, Chuzhou, Anhui 23900, China)

Abstract: Based on the performance of consolidation dewatering and supercritical carbon dioxide dewatering, the characteristics of supercritical carbon dioxide dewatering in soil were studied. In this experiment, the change of free water and bound water content in the soil before and after the experiment was studied by the treatment of carbon dioxide under different pressure and temperature conditions. The dehydration law of supercritical carbon dioxide in soil was studied. The experimental results showed that the moisture content of the kaolin treated by supercritical carbon dioxide decreased from 30.9% to 14.17%, and the bound water decreased from 20.06% to 8.46%. It is concluded that the dewatering effect on carbon dioxide in supercritical water is better than that under supercritical water, especially the removal effect of combined water better, that is to say, accelerating the consolidation and drainage of soil. The supercritical carbon dioxide for good dehydration effect with water, soil can also be used for high water content such as bentonite.

Keywords: supercritical carbon dioxide; consolidation; dehydration

0 引言

目前全球气候变暖,为了减缓温室气体的排放,将二氧化碳(CO₂)收集并封存在地层下。即CCS(Carbon Capture and Storage)技术,将二氧化碳(CO₂)捕获和封存的技术。超临界流体是一种温度和压力高于临界点以后形成的兼具液体与气体的物理性质的物质。超临界流体具有与气体相当的高扩散系数(其自扩散系数为普通液体的10~100倍)和低黏度,具有与液体相近的密度(比相应常压气体要大100~1 000倍),且密度可变、渗透性良好

的特点,因此,它比通常液体和气体都具有独特的应用,作为溶剂和干燥介质显示出独特的优点和实用价值。因此,超临界流体应用技术近年来得到迅速发展,在医药、化工、食品及环保领域成果累累,展现出广阔的应用前景。

1 研究现状

超临界CO₂在煤层、岩石等中的应用方面,学者M. Masoudian等^[1](2013)研究超临界CO₂在均质煤层中流动,由煤吸附导致煤层膨胀,可以改变煤的孔隙结构使煤层的体积膨胀,会使孔隙度变大,增

加煤层的渗透性; T.Candela等(2014)^[2], 王倩倩等(2015)^[3]研究超临界CO₂注入到煤层中储存、开采, 基质的渗透率增加, 割理(裂隙)的渗透率减少, 因CO₂吸附到煤层基质里发生的膨胀, 使基质孔隙增大, 同时裂隙孔隙减小。也有学者Y.Li等(2013)^[4]研究超临界CO₂排水过程分为活塞式排驱阶段、携带式排驱阶段和溶解式排驱阶段3个阶段。梁永焯等(2011)^[5]研究在用超临界CO₂干燥饱水竹木漆器时, 通过试验得出干燥的最优条件为: 温度50℃, 压力25 MPa, CO₂流量为20 kg/h, 时间5 h, 含水率降到15%以下。R. A. Franich等(2014)^[6]研究在用超临界CO₂干燥木材时, 发现每次CO₂气化的时候都会带出一部分细胞内的水, CO₂液相和气相循环次数的增加, 可以提高脱水率。以上研究证实超临界CO₂可以用来干燥脱水, 脱水效率和CO₂的压力、温度、时间、流量等参数有一定的关系, 添加不同的夹带剂, 可以改变脱水效率。但是, 目前还没有关于超临界CO₂在土以及污泥中的脱水和渗透报道。本文通过试验, 研究超临界二氧化碳在土体中的脱水效果和规律。

2 材料和方法

2.1 材料及器材

河北膨润土和河北高岭土(表1), CO₂气体(纯度99.9%); 高速离心机(CR21GIII型, 日立); 恒温烘箱; 电子天平(GL2202-1SCN, 赛多利斯); HY-III型CO₂超临界试验仪器(海安华仪环保科技有限公司)。

表1 试验材料

类型	物理指标/%		
	比重	液限	塑限
河北膨润土	2.58	181	53
河北高岭土	2.61	39	23
类型	矿物成分含量ω/%		
	高岭石	伊利石	蒙脱石
河北膨润土	0	3	37
河北高岭土	71	7	6

2.2 试验方法

高岭土和水按同样比例配制平行样, 膨润土和水按同样比例配置平行样。分别测定反应前后的土样含水率以及自由水、结合水的含量。

对比试验1: 一个满足超临界压力和温度条件下通入CO₂反应; 一个在同样压力, 但是不加热, 温度在超临界温度条件以下通入CO₂反应。分析超临界和非超临界状态下的反应情况, 突出超临界CO₂

的特性。

对比试验2: 对比反应前后的水分分布规律, 即反应前后自由水、结合水的含量变化。

对比试验3: 对比相同反应条件下, 高岭土和膨润土的脱水效果。

3 结果与分析

3.1 对比试验1

试验前: 含水率A: 30.9%; B: 30.9%

反应条件: 压力12 MPa, 30 min, A: 50℃ B: 22℃

试验后: 含水率A: 14.17%; B: 22.20%;

试验表明, A的反应温度是50℃, 是在CO₂的超临界状态。B的反应温度是22℃, 是非超临界状态。在超临界状态下的脱水效果明显比非超临界状态下的更好。



图1 超临界条件下反应后的试样



图2 非超临界条件下反应后的试样

3.2 对比试验2

试验前: 初始含水率30.9%, 结合水20.06%

反应条件: 压力12 MPa, 30 min, 50℃

试验后: 含水率14.17%、结合水8.46%

试验表明, 通过超临界CO₂处理后, 反应前后的含水率降低, 结合水的含量也大大降低。

3.3 对比试验3

试验前: 初始含水率30.9%, A: 高岭土; B: 膨润土

反应条件: 压力12 MPa, 30 min, 50℃

试验后: A: 含水率14.17%; B: 含水率15.31%

膨润土中的结合水更多。但是, 从试验数据上来看, 超临界CO₂对结合水的脱水效果良好, 膨润土的含水率和高岭土的含水率的差别不大。

3.4 原因分析

由于CO₂在超临界状态下, 有着特殊的高渗透性和高溶解性, 将土体中的结合水更多地溶解转变

成自由水,更好地促进了土体的固结排水。因此,CO₂在超临界状态下处理土体,会产生一个效果上的突变,提高了脱水的效率。

4 结论

通过试验表明:

(1) CO₂在超临界状态下的脱水效果明显优于非超临界状态;超临界 CO₂处理后的土体,结合水的含量明显降低;由于超临界 CO₂对于结合水良好的脱水效果,也可用于膨润土这样高结合水含量的土体。

(2)该研究中超临界 CO₂对土体的脱水机理并未完全揭示,到底是 CO₂的萃取作用还是驱替作用占主导,这些有待进一步研究。

(3)本文首次把超临界 CO₂与不同土体结合在一起,不仅在理论上是一个创新,而且把超临界 CO₂引入到了土体的处理方法。

(4)由于 CO₂对土体结合水的脱水效果良好,因此,可以利用此优点,加速土体的固结排水。对于一些较深的土体,内部的压力和温度已经达到了 CO₂的超临界条件,可用于较深的地层,以及垃圾填埋场的加速固结稳定等。

参考文献:

- [1] MASOUDIEN M, AIREY D W, EL-ZEIN A. A Chemo-poro-mechanical Model for Sequestration of Carbon Dioxide in Coalbeds[J]. *Géo technique*, 2013, 63(3):235-243.
- [2] CANDELA T, BRODSKY E E, MARONE C, *et al.* Laboratory Evidence for Particle Mobilization as a Mechanism for Permeability Enhancement via Dynamic Stressing[J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 2014, 392:279-291.
- [3] 王倩倩,张登峰,王浩浩,等.封存过程中二氧化碳对煤体理化性质的作用规律[J]. *化工进展*, 2015, 34(1):258-265.
- [4] LI Y, HU L, SHEN Z, *et al.* The Effects of Brine Concentration on the Formation of Residual Water[J]. *Procedia Earth & Planetary Science*, 2013, 7(3):496-499.
- [5] 梁永煌,满瑞林,王宜飞,等.饱水竹木漆器的超临界CO₂脱水干燥研究[J]. *应用化工*, 2011, 40(5):839-841.
- [6] FRANICH R A, GALLAGHER S, KROESE H. Dewatering Green Sapwood Using Carbon Dioxide Cycled between Supercritical Fluid and Gas Phase[J]. *Journal of Supercritical Fluids*, 2014, 89(89):113-118.

(上接第12页)

- [12] BASALLOTE-UREBA M J, VELA-DELGADO M D, CAPOTE N, *et al.* Control of Fusarium Wilt of Carnation using Organic Amendments Combined with Soil Solarization, and Report of Associated Fusarium Species in Southern Spain[J]. *Crop Protection*, 2016(89):184-192.
- [13] KANAAN H, MEDINA S, RAVIV M. The Effects of Soil Solarization and Compost on Soil Suppressiveness against Fusarium Oxysporum f. sp Melonis[J]. *Compost Science & Utilization*, 2017, 25(3):206-210.
- [14] VIEIRA F C, NAHAS E. Comparison of Microbial Numbers in Soils by using Various Culture Media and Temperatures[J]. *Microbiological Research*, 2005, 160(2):197-202.
- [15] 郑小波. 疫霉菌及其研究技术[M]. 北京:中国农业出版社, 1997.
- [16] 李振高, 骆永明, 腾应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京:科学出版社, 2008.
- [17] 申卫收, 林先贵, 张华勇, 等. 不同施肥处理下蔬菜塑料大棚土壤微生物活性及功能多样性[J]. *生态学报*, 2008, 28(6): 2682-2689.
- [18] FERNANDEZ F G, BROUDER S M, BEYROUTY C A, *et al.* Assessment of Plant-available Potassium for No-till, Rainfed Soybean[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2008, 72(4):1085-1095.
- [19] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. *土壤*, 1997(2):61-69.
- [20] OBERSON A, FRIESEN D K, RAO I M, *et al.* Phosphorus Transformations in an Oxisol under Contrasting Land-use Systems: The Role of the Soil Microbial Biomass[J]. *Plant and Soil*, 2001, 237(2):197-210.
- [21] 高云超, 朱文珊, 陈文新. 土壤微生物量周转的估算[J]. *生态学杂志*, 1993, 12(6):6-10.
- [22] 姚槐应, 何振立, 陈国潮, 等. 红壤微生物量在土壤-黑麦草系统中的肥力意义[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(6):725-728.
- [23] NICOLAS F, STEPHAN H, NATHALIE F. Litter Fingerprint on Microbial Biomass, Activity, and Community Structure in the Underlying Soil[J]. *Plant and Soil*, 2014, 379(1):79-91.
- [24] CRISTINA A, LUIS M, VICTORIA G R, *et al.* Soil Nutrients and Microbial Biomass in Three Contrasting Mediterranean Forests[J]. *Plant and Soil*, 2014, 380(1-2):57-72.