



JIANGSU HUANGQIAO
CARBON DIOXIDE GAS FIELD

江苏黄桥二氧化碳气田

杨方之 周荔青 郭念发 王金渝 张建球 著



石油工业出版社

江苏黄桥二氧化碳气田

杨方之 周荔青 郭念发 王金渝 张建球 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从区域地质、气田地质入手,结合无机成因天然气及海相残留油气地质研究的最新进展,系统地论述了黄桥二氧化碳气田的地质演化特征、分布、成因及气田的成矿规律,总结了该区油气勘探开发及综合利用技术,阐明了二氧化碳气田的勘探前景。

本书的内容丰富,资料翔实,对研究我国东部大陆二氧化碳气田地质特征有重要的参考价值,可供从事石油天然气地质研究的科研人员以及高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

江苏黄桥二氧化碳气田/杨方之等著.

北京:石油工业出版社,2001.11

ISBN 7-5021-3571-5

I. 江…

II. 杨…

III. 二氧化碳-气田-江苏省

IV. P618.130.625.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第072940号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

河北省地勘局测绘院印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 13.75 印张 340 千字 印 1—1000

2001 年 11 月北京第 1 版 2001 年 11 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3571-5/TE·2636

定价: 35.00 元

序 一

中国东部大多数盆地具有早期表现为裂谷盆地，晚期转变为拗陷盆地的演化特征。盆地演化出现这种特殊双层结构，标志着中国东部盆地断陷层系及其上部的拗陷层系分别具有不同的大地构造演化机制和不同的油气地质属性。鉴于盆地的这些特殊结构的构造模式，油气成藏方式及其分布规律在纵向上具有很大的不同，不同性质层系油气地质属性不同，决定了盆地具有丰富多彩的油气地质背景。因此，中国东部盆地不仅蕴藏着丰富的石油资源，同时也储集着巨大的天然气资源，盆地中不仅有丰富的有机成因的烃类、非烃类天然气，而且也有巨大的无机成因天然气。黄桥二氧化碳气田的发现就是其中一个典型的范例。

该气田是松辽盆地昌德二氧化碳气田、万金塔二氧化碳气田、黄骅拗陷二氧化碳气田、广东三水盆地二氧化碳气田等中国东部盆地所特有的一系列二氧化碳气田中储量最大，成藏特征较为复杂的一个。黄桥二氧化碳气田是目前我国发现的最大的二氧化碳气田，在我国非烃类天然气田中占有重要位置。虽然黄桥二氧化碳以无机成因二氧化碳气为主，但气田中也伴有有机气和少量原油，这些伴生迄和原油实际上具有明显的有机成因特征，它们属于有机质热演化的产物。研究二氧化碳气田的大地构造背景，认识无机成因天然气的地质属性，总结其成藏规律，无论对扩大其地质勘探远景，还是指导其他地区寻找具有相同成藏类型、相同成因标志的二氧化碳气田均具有重要的理论和实践意义。

本书作者经过潜心研究，阐明了深部地幔活动及深部断裂作用对无机成因二氧化碳的形成及成藏的影响，认为深部地幔物质运动及其引发的深部断裂切割作用是二氧化碳得以运移至地壳浅部富集成藏的必要条件，在此之前构造活动所形成的有利圈闭是气田聚集成藏的基础，而深源天然气聚集与逸散两者之间所达到的动态平衡是天然气藏形成与保存的关键。他们回答了具有混源性质的黄桥二氧化碳气田的无机成因二氧化碳的成因标志及其地质属性，二氧化碳、氦、氡等气体具有明显的无机成因标志，除此之外，气体中的少量原油及其他气体具有有机成因的特点，显然是有机质生成的产物。他们还严格区分了有机成因天然气与无机成因天然气之间的同位素组成的不同，阐述了无机成因二氧化碳气田的勘探技术方法及其找矿标志，在分析影响黄桥二氧化碳气田聚集成藏的一系列有关因素的基础上，总结了气田聚集成藏的一般地质属性及其专属的特殊规律性，为今后进一步加强黄桥地区二氧化碳天然气资源的勘探提供了地质依据及理论指导。这些无疑具有重要的理论和实践价值。虽然无机成因天然气究竟如何生成？其成因成藏机制究竟如何？这些复杂的地质问题在石油地质界目前尚未完全解决，但是作者的研究无疑向前迈出了一大步。

总之，《江苏黄桥二氧化碳气田》一书较为全面系统地概括了黄桥二氧化碳气田地质特征，准确合理地分析阐述了黄桥二氧化碳气田地质属性，书中提供的丰富详实的地质资料，

对油气地质工作者有重要的参考价值，对于从事包括黄桥地区在内的整个下扬子地区油气地质研究以及对全国其他地区非烃类天然气田地质研究及气田开采均具有重要的指导作用。

中国科学院院士

田在艺

2001年10月10日

序 二

黄桥二氧化碳气田位于江苏省泰兴市黄桥镇,是我国最大的二氧化碳气田,伴有丰富的浅层氦、烃类矿产。搞清黄桥二氧化碳、氦、烃类矿产的分布及成藏规律,并根据该区二氧化碳的勘探开发技术经验,进一步扩大这些矿产的勘探开发及综合利用成果,为长江三角洲地区的经济建设做出更大的贡献,是该区油气勘探开发工作者最为关心的问题之一,同时深入研究总结二氧化碳气田成藏规律也是丰富我国无机天然气成藏理论的需要。

本书的作者们长期从事苏北盆地的油气勘探开发工作,他们根据黄桥二氧化碳气田勘探取得的丰富成果,结合无机成因天然气及海相残留盆地油气地质研究的最新进展,系统地研究了气田地质演化特征、气田特征、气藏分布规律、成因特征及气田的成矿规律,总结了该区油气勘探开发及综合利用方法技术成果,形成了一系列重要的油气地质勘探实践与理论相结合的成果。

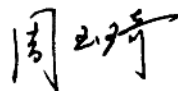
在二氧化碳气藏地质特征方面,充分应用各种动、静态资料及各种勘探开发新方法、新技术,描述了气藏的圈闭特征、组分特征、油气储层特征和垂向、横向变化,以及裂隙—溶洞型、裂隙型储层,详述了气藏开发动态特征、产油气特征、油气的平面及垂向分布规律。

在成矿规律作用方面,根据气藏中组分特征及各类组分的成因指标,结合黄桥地区沉积建造特征,提出二氧化碳、氦、氡等无机组分为与年青岩浆活动有关的幔源无机成因气,混有部分壳源气。烃类气及凝析油则与同岩浆活动有关的幔源无机成因气向上运移萃取海相中、古生界烃源岩生成的烃类有关联。结合深大断裂展布及中、新生代岩浆作用规律,总结出了无机成因二氧化碳气藏受岩石圈深大断裂控制的多级分离运移聚集的成矿模式,提出该区无机成因气藏分布于郯庐、沿江岩石圈断裂带周缘地区,发育在北东东向箕状断陷控凹断裂与近东西向张扭性断裂交接部位,主要分布于早第三纪晚期以来三期玄武质喷发中心的周邻地区。气层赋存在陆相中、新生代碎屑岩系与海相中、古生界碳酸盐岩—碎屑岩两套储盖体系中。受两套储盖体系中圈闭规模差异的控制,海相中、古生界发育大中型无机气藏,陆相中、新生代发育小型无机气藏。

在油气勘探方法技术方面,在构造改造极为强烈的下扬子海相碳酸盐岩地区,通过地震勘探方法技术攻关,获得了重要进展。在一些构造较稳定的区块,应用地震宽线及三维地震勘探技术,获得了中、新生代及上古生界内幕地震反射资料,并应用 AVO、G-log、AP、振幅提取(亮点、平点异常)等特殊处理技术,获得了能反映上古生界及中、新生代内部气藏分布规律的地震特征参数异常信息,说明了在下扬子复杂构造区“动中有静”。在构造相对稳定区,油气成藏条件较好,勘探技术基本适应,有望获得更大的找矿成果。在该区采用了多种物探方法解释技术,解释预测下古生界构造,对开展下古生界勘探也具有重要意义,在该区开展的多种地面化探及遥感技术也发现了黄桥二氧化碳气田具有地面综合物化探异常,证实了它们可以作为辅助勘探技术。测试工作者在黄桥二氧化碳气田测试工作中,根据二氧化碳的物理化学性质,结合测试中发现的各种问题,研究总结出了一次节流测试工艺技术,解决了高产二氧化碳气井测试中因冰堵造成无法获得稳定可靠的测试资料的问题,这在当时是国内首创的技术。

在二氧化碳综合利用工艺技术方面，通过长期应用实践，形成了适合含硫、含烃高纯二氧化碳的加工提纯工艺，加工出了食品级的二氧化碳，二氧化碳广泛应用于各种领域，获得了良好的经济效益。近年来又努力致力于将二氧化碳应用于苏北小油田提高采收率，总结出应用二氧化碳单井吞吐技术提高复杂小断块油气田的方法工艺技术，取得了良好的增油效果，通过系统研究，他们提出黄桥二氧化碳气田及周缘地区的矿产勘探尚有较大潜力。首先，黄桥二氧化碳气田尚有很大的增储潜力，一些已发现低产二氧化碳及烃类气、凝析油的井通过进一步测试及改造工作，有望获得工业性产能。其次，根据苏北盆地无机气藏形成及分布规律，提出在以下地区勘探无机气田：(1) 郟庐、沿江岩石圈断裂带周缘地区；(2) 大型北东东向与近东西向断裂交汇部位；(3) 早第三纪晚期以来发生强烈基性玄武质岩浆活动的地区；(4) 盆地西、南部边缘斜坡、隆起带及盆地内凸起区中、新生界实体覆盖下的中、古生界大型潜山构造；(5) 无机气藏发育带的浅层大型构造是勘探较大型含氦气藏的最有利目标。烃类矿产则应围绕黄桥二氧化碳气田的继承性大型构造带进行勘探，方向是：(1) 黄桥二氧化碳气田的深部；(2) 与二氧化碳成藏有关的浅层烃类气、凝析油；(3) 黄桥二氧化碳气田的周缘构造。

中国石化集团新星石油公司总地质师



2001年9月

前 言

我国东部地区具有赋存二氧化碳天然气资源的地质条件，先后在东北、华北、华东、华南等地区发现二氧化碳天然气，勘探证实我国二氧化碳资源丰富，储量巨大。松辽盆地的万金塔二氧化碳气田、昌德二氧化碳气田、苏北盆地的黄桥二氧化碳气田以及黄骅拗陷二氧化碳气田、济阳拗陷二氧化碳气田都具有工业开采价值，其中黄桥二氧化碳气田储量丰富，规模最大，现已成为华东地区最重要的天然气田之一。

黄桥是苏北平原上的一座小镇，它不象江南古镇那样具有源远流长的历史，也没有六朝古都波澜壮阔的气势，驻足小镇街头，绝无“山围故国周遭在，浪打空城寂寞回”的感觉。然而，作为长江岸边的一座静谧小镇，大江南北几乎没有不知黄桥的。

黄桥的名气固然既源于人文因素也源于巨大的天然气资源优势潜力。黄桥这片热土地，曾是我们中华地质先驱的诞生地，著名的地质学家丁文江先生 1887 年 4 月就诞生在这里，他 16 岁留学日本，后入格拉斯哥大学获地质学博士，此后回国从事地质事业，他的足迹踏遍了祖国的山山水水。

正是在这块神奇的土地上，华东石油局的地质工作者利用先进的地质理论作为指导，采用先进的勘探技术方法，对海相油气地质开展了深入地地质勘查。1983 年 10 月在黄桥镇南偶施工的苏 174 井钻遇二氧化碳气流，日产二氧化碳 $36 \times 10^4 \text{m}^3$ ，二氧化碳纯度达 98% 以上，探明加控制二氧化碳储量达 260 多亿立方米，至此，我国陆上最大的二氧化碳气田被发现。这一重大的发现在国内石油地质界引起了很大的反响，国外地质界也给予了极大的关注，多年来地质研究及勘探实践证明黄桥周边地区乃至整个下扬子地区油气资源丰富，具有形成大型二氧化碳气田有利的地质条件，具备了良好的油气勘探前景。

在黄桥二氧化碳气田勘探的日日夜夜，多少地质工作者呕心沥血，努力拼搏。他们一度忘记自我，一心为了祖国地质事业的蓬勃发展，为了黄桥二氧化碳气田的早日发现，倾尽了自己所有的才华和满腔的热血。编撰该书，以此纪念为黄桥二氧化碳气田发现勘探和开发做出过努力的所有地质工作者。感谢他们的努力，感谢他们的工作，尤其要感谢钟特强、钱志奇、陈沪生、孟运舒、卫自立、周玉琦、顾建国等，他们为黄桥二氧化碳气田的发现作出了杰出的贡献，张永鸿、李道琪、殷达隆、费富安、虞绍永、张川如、高焕章、李景芹、朱祖炯、崔秀琴、江仁庆、吴森光、龚与觐、彭一宪、吴文奇、陆黄生、刘伟等专家学者，他们为黄桥二氧化碳气田发现、开采及其加工利用作了大量的研究，并取得了卓有成效的成果。

本书共分五章，第一章由郭念发编写，第三章、第四章由周荔青编写，第二章由张建球编写；第五章由张建球、郭念发共同编写，杨方之、王金渝设计编写了提纲并对全书进行了审定，郭念发对书稿进行了修改统编，中国科学院院士田在艺教授，中国石化集团新星石油公司总地质师周玉琦教授分别在百忙之中为本书作序，并提出了十分宝贵的意见，在此，表示感谢！书中不妥之处，敬请批评指正。

作 者

2001 年 7 月 8 日

目 录

| | |
|--|---------|
| 第一章 区域地质特征 | (1) |
| 第一节 气田概述..... | (1) |
| 第二节 深部构造特征..... | (14) |
| 第三节 基底构造特征..... | (31) |
| 第四节 区域构造特征..... | (38) |
| 第五节 岩浆活动特征..... | (46) |
| 第六节 含油气系统特征..... | (54) |
| 第二章 气田地质特征 | (70) |
| 第一节 气田特征描述..... | (70) |
| 第二节 气田储层特征..... | (79) |
| 第三节 气田封盖特征..... | (96) |
| 第四节 CO ₂ 气藏测井定性判别..... | (97) |
| 第五节 气田油气水特征..... | (102) |
| 第六节 气藏丰度描述..... | (104) |
| 第三章 气田成因特征分析 | (106) |
| 第一节 组分特征分析与分类..... | (106) |
| 第二节 二氧化碳成因特征分析..... | (108) |
| 第三节 氦、氩成因特征..... | (115) |
| 第四节 天然气中氩同位素的地球化学特征..... | (120) |
| 第五节 岩浆作用与气田形成..... | (127) |
| 第六节 深大断裂与气田形成..... | (133) |
| 第七节 黄桥无机成因气藏的形成模式..... | (138) |
| 第四章 黄桥二氧化碳气田勘探开发技术 | (143) |
| 第一节 圈闭识别技术..... | (143) |
| 第二节 圈闭物化探含气异常特征..... | (151) |
| 第三节 测井特征及其判别技术..... | (159) |
| 第四节 测试技术..... | (167) |
| 第五节 钻采工艺技术..... | (176) |
| 第六节 二氧化碳、氦提纯技术及其综合利用..... | (182) |
| 第五章 CO₂ 气田勘探前景评价 | (190) |
| 第一节 CO ₂ 气田远景勘探的地质评价..... | (190) |
| 第二节 CO ₂ 气田地球化学勘探远景评价..... | (197) |
| 第三节 裂隙储集体对实现 CO ₂ 气田远景勘探的意义 | (201) |
| 参考文献 | (209) |

第一章 区域地质特征

目前在我国已发现的天然气藏(田)中, 烃类天然气占绝对优势, 其比例约为 98%, 相比之下, 非烃类气藏(田)较少, 其比例仅占 2% 左右。在非烃类气藏(田)中, CO_2 气藏(田)或以 CO_2 为主要组分的气藏占有相当的比重, 目前所发现的 CO_2 气藏(田)主要集中于中国东部地区, 共有 CO_2 气田 28 个, 主要位于松辽平原、渤海湾盆地、苏北地区、广东三水地区、东海、莺歌海及珠江口海域等东部广大地区。除 CO_2 气田外, 在上述地区还发现若干大量的 CO_2 气井及 CO_2 显示井, 反映了作为一种非烃类天然气资源的 CO_2 在我国东部地区分布的普遍性和广泛性。在东部地区的 CO_2 气田中, 苏北黄桥 CO_2 气田是目前我国陆上最大的 CO_2 气田, 现已探明 CO_2 储量达 $200 \times 10^8 \text{m}^3$, 其规模和产量皆居我国首位。黄桥气田具有与我国东部其它 CO_2 气田所共同拥有的地质属性及成藏规律, 此外它又兼有自身的特殊性。因此, 从大量勘探实践和地质资料积累完善角度出发, 分析苏北黄桥 CO_2 气田成藏的地质特征, 研究 CO_2 气田聚集及其储存的地质条件, 探讨 CO_2 气藏的聚集规律及其相关控制因素, 无论对指导全国 CO_2 资源勘探还是进一步扩大苏北黄桥地区 CO_2 气田的勘探远景均具有一定的指导意义。

第一节 气田概述

苏北黄桥 CO_2 气田位于江苏省泰兴市黄桥镇一隅(图 1-1), 大地构造位置上介于苏北中、新生代盆地与苏南新生代隆起两个性质不同的构造单元的转折部位, 气田具有深部气田与浅部气田、海相气田与陆相气田匹配组合、互成一体的特点, 深部海相建造的气田以 CO_2 为主要组分, 它属于下扬子海相油气沉积体系的一个组成部分, 具有海相油气的一般特点, 而浅层陆相气田以 N_2 为主要组分, 含一定浓度的 He 和不同比例的 CO_2 , 陆相气田具有显著的陆相成油气的特点。因而, 黄桥 CO_2 气田是一个多层系不同沉积体系的复合气田, 兼有海相和陆相油气共同聚集成藏的一般地质属性。而气田的储集条件与保存环境更多取决于陆相条件下的地质因素, 也就是说海相沉积结束之后陆相沉积演化条件是促进气田聚集成藏的关键因素之一。尽管海相油气可以聚集成藏, 形成一系列原生海相油气藏, 但是, 在黄桥地区由于印支构造运动对海相油气藏的改造极其严重, 印支构造运动前的海相油气藏在此期间遭受严重破坏, 中、古生界海相原生油气藏往往因此失去有效的圈闭和保存条件, 现今所能发现的保存良好的海相油气藏大多是印支运动之后陆相环境之下的成藏结果, 因此这些气田更具有陆相环境之下的成藏特点。从这些特征上看, 黄桥 CO_2 气田属于海相与陆相共同成藏体系, 具有陆相沉积环境之下油气成藏的特点, 因而, 黄桥 CO_2 气田应归属于苏北陆相中、新生代沉积盆地油气成藏系列, 属于苏北盆地油气成藏的一种特殊类型, 苏北盆地是苏北—南黄海中、新生代复合盆地的陆上部分, 南黄海盆地是统一盆地的主体, 苏北盆地仅是其中一小部分, 盆地面积 $3.8 \times 10^4 \text{km}^2$, 盆地中天然气资源丰富, 发育了巨厚的海相和陆相烃源岩系, 具有 4 套重要的生储盖组合(图 1-2), 现已在新生界、中生界和古生界见到丰富的天然气显示及天然气流, 预测天然气资源总量达数万亿立方米。天然气类型有生物

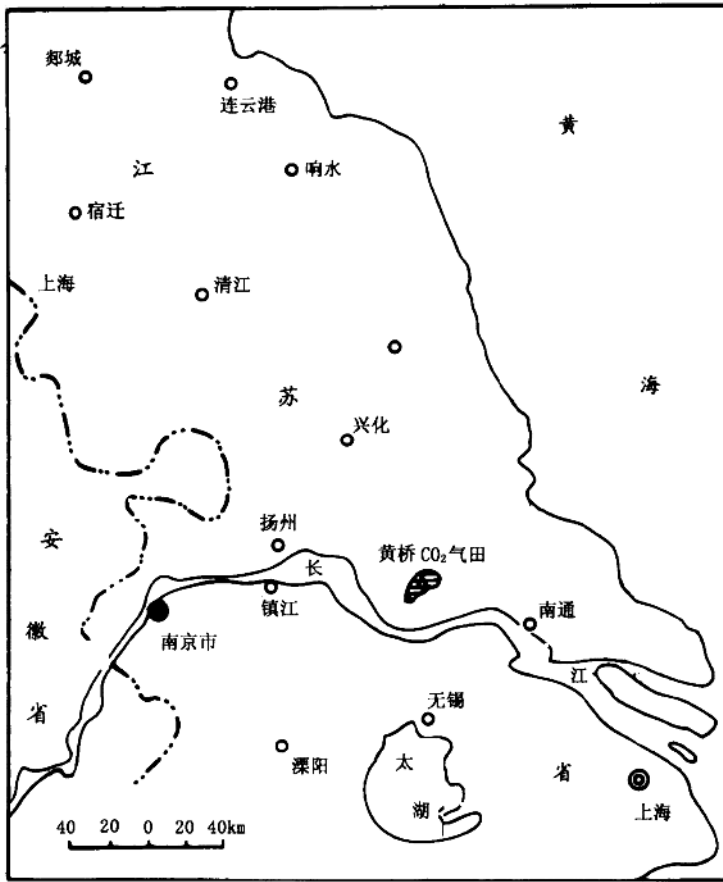


图 1-1 江苏黄桥 CO₂ 气田位置图

气、石油伴生气、裂解气、煤成气和地幔深源气等。已发现天然气显示井 148 口，其中工业性气藏 18 个，气田 11 个（图 1-3），充分显示了苏北盆地广阔的天然气勘探前景。

苏北盆地烃源岩基本上可以分为海相和陆相两个系列，二者沉积环境不同，岩相及岩性差异较大，生气强度及热演化程度亦有很大的不同。

一、海相烃源岩

从晚震旦世至早三叠世，苏北盆地作为下扬子海相沉积盆地的一部分，发育了下古生界（Z₂-O₂）、上古生界（C-P）和中生界（T₁）三套巨厚的海相烃源岩系，其中碳酸盐烃源岩有机碳含量最高，达 12.53%（表 1-1）。下古生界烃源岩有机质类型以腐泥型为主，震旦系藻灰岩、寒武系“石煤”是重要的气源岩。上古生界烃源岩以煤系地层为主，具有良好的生气潜力。中生界三叠系烃源岩是一套黑色泥岩、泥灰岩、灰岩，有机质类型为腐泥、腐殖混合型。

海相烃源岩中，下古生界烃源岩演化程度较高（表 1-2），大多数烃源岩已进入过成熟干气阶段。下古生界烃源岩中明显地出现两组沥青反射率，反映了下古生界烃源岩至少经历了两个热演化阶段，具有两次生烃过程。上古生界烃源岩大部分处于高成熟阶段，少部分处于过成熟阶段（图 1-4）。三叠系海相烃源岩热演化程度较低，除个别地区为高成熟阶段外，大部分地区为低成熟阶段。海相中、古生界气显示活跃；最意义的气显示是 CO₂ 气显示，分布广，层位多，从下古生界一直贯穿于中生界。如苏泰 174 井、黄验 1 井、N6 井、N9 井、N13 井等均在海相中、古生界见到 CO₂ 气显示或工业气流。

二、陆相烃源岩

印支运动之后，苏北盆地进入陆相沉积阶段，形成了巨厚的陆相中、新生界沉积，特别是早第三纪以来，盆地稳定沉降，发育了泰州组、阜宁组二段、

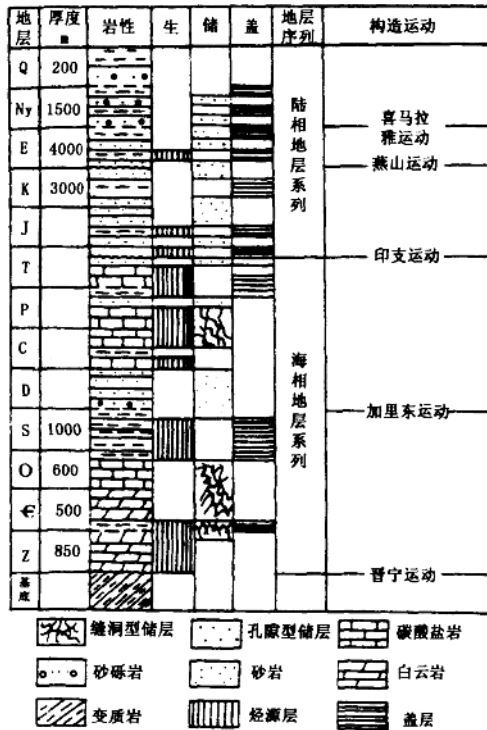


图 1-2 苏北盆地综合地层柱状剖面简图

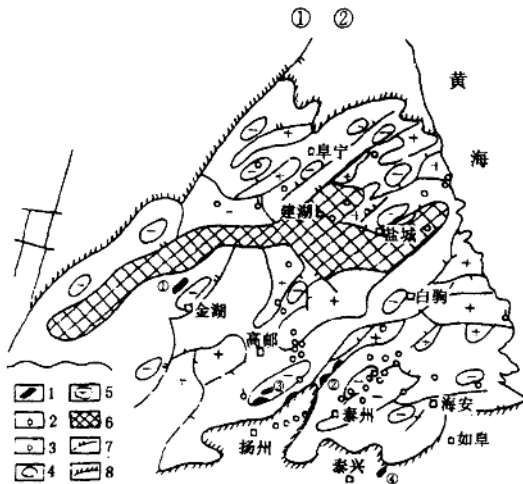


图 1-3 苏北地区天然气分布图

1—气藏（田）；2—气喷显示井；3—气测异常；4—深凹部位；
5—凸起；6—隆起；7—断层；8—盆地边界。典型气藏（田）：

①刘庄；②周庄；③永安；④溪桥和黄桥

四段和戴南组一段厚层暗色泥质烃源岩，有机质丰富，有机碳平均含量达 1.17% 以上（表 1-3），烃源岩热演化适中， R_o 在 1.16% 左右，已接近或进入成熟阶段，因此，下第三系烃源岩在苏北盆地陆相沉积中最具生气潜力。新生界烃源岩之下，局部地区中生界陆相烃源岩发育，主要是中、下侏罗统象山群及下白垩统葛村组暗色泥岩，如苏 111 井象山群暗色泥岩厚 300m，有机碳含量平均达 2.1%，苏 98 井葛村组暗色泥岩，厚度超过 90m，有机碳含量平均为 0.5%。

表 1-1 苏北盆地海相中—古生界烃源岩有机质丰度

| 层位 | 有机碳含量, % | | | | 氯仿沥青 "A" 含量, $\mu\text{g/g}$ | | | |
|--------------------------------|-----------|-------------|------------|-------------|------------------------------|-------------|----------|-------------|
| | 碳酸盐岩 | | 泥质岩 | | 碳酸盐岩 | | 泥质岩 | |
| | 范围值 | 平均值/ 样品数 | 范围值 | 平均值/ 样品数 | 范围值 | 平均值/ 样品数 | 范围值 | 平均值/ 样品数 |
| T ₁ | 0.01~0.7 | 0.16/9 | 0.15~12.53 | 0.64/111 | 251~803 | 235/9 | 186~1446 | 1024/3 |
| P ₂ | 0.10~2.38 | 0.49/44 | 0.5~3.45 | 1.06/90 | 31~1700 | 485/29 | 84~1240 | 527/19 |
| S ₂ -S ₃ | | | 0.01~0.46 | 0.17/211 | | | 10~20 | 18/4 |
| S ₁ | | | 0.01~0.49 | 0.11/239 | | | 3.4~17.7 | 8.5/25 |
| O ₂ -O ₃ | 0.01~0.02 | 0.067/20 | 0.02~3.5 | 0.34/214 | 10 | 10/1 | 30 | 30/4 |
| O ₁ | | 0.12/202 | 0.01~2.52 | 0.26/127 | 10~25 | 16/5 | | |
| Є ₃ | | 0.18/171 | | 0.48/8 | 25~51 | 21/36 | | |
| Є ₂ | 0.42~1.04 | 0.65/66 | 0.15~3.53 | 1.53/28 | 12~61 | 48/46 | 12 | |
| Є ₁ | 0.06~1.02 | 0.49/74 | | 3.1/54 | 10~350 | 66/16 | 4~150 | 12/5 |
| Z ₂ d ₂ | 0.02~0.6 | 0.22/148 | 0.06~1.35 | 1.01/15 | 10~40 | 20/7 | | 47/15 |

表 1-2 下古生界样品实测沥青反射率数据表

| 地层 | 岩性 | 沥青反射率, % | | 测定单位 |
|-----|-----|----------|------|-------------------|
| | | 高值 | 高低值 | |
| 寒武系 | 石灰岩 | 6.9 | 3.1 | 中国科学院贵阳地球化学研究所 |
| | | 5.3 | 3.07 | |
| | | >6.0 | 3.23 | |
| | | >5.8 | 2.82 | |
| | | 5.2 | 3.0 | |
| 志留系 | 砂岩 | 9.06 | 3.02 | 原地质矿产部无锡石油地质中心实验室 |
| | | 9.41 | 2.13 | |
| | | 9.17 | 2.02 | |
| | | 7.18 | 3.20 | |

表 1-3 苏北盆地地下第三系暗色泥岩厚度及有机碳含量统计表

| 层位 | 金湖凹陷 | | 高邮凹陷 | | 溱潼凹陷 | | 盐城凹陷 | | 洪泽凹陷 | |
|---|----------|--------------|----------|---------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|
| | 泥岩厚 m | 有机碳 含量, % | 泥岩厚 m | 有机碳 含量, % | 泥岩厚 m | 有机碳 含量, % | 泥岩厚 m | 有机碳 含量, % | 泥岩厚 m | 有机碳 含量, % |
| 戴南组一段 (E ₂ d ₁) | 51 | 0.5 (5) | 30 | 41.05 (50) | 180 | 1.27 (9) | 152 | 1.09 (6) | 80 | 0.56 (20) |
| 阜宁组四段 (E ₁ f ₄) | 343 | 36 (34) | 461 | 1.16 (24) | 441 | 1.12 (42) | 239 | 0.96 (10) | 227 | 1.6 (37) |
| 阜宁组二段 (E ₁ f ₂) | 161 | 1.51 (32) | 353 | 1.42 (153) | 348 | 1.21 (23) | 278 | 1.74 (48) | 240 | 0.61 (4) |
| 泰州组 (E ₁ t) | 0 | | 208 | 1.05 (11) | 200 | 1.27 (20) | 198 | 0.7 (31) | 37 | 0.35 (3) |

注: 有机碳含量括号内数字代表样品数量。

三、盖层

盆地内区域盖层和局部盖层均较发育，这些盖层的岩性主要是泥岩，其次是膏盐层。盆地内纵向上发育 4 套区域盖层，自上而下是上第三系盐城组厚层泥岩、白垩系浦口组泥岩与膏盐层、二叠系龙潭组泥岩与煤系、志留系高家边组泥岩，它们的特征参数见表 1-4。这些盖层分别封隔了新生界、中生界、上古生界及下古生界储层中的天然气，构成了 4 套有利的储盖组合。高家边组岩性主要是泥岩、页岩、粉砂质泥岩，粘土矿物中蒙脱石含量为 14%~15%，伊利石含量为 62%~67%，高岭土含量为 6%~7%，绿泥石含量为 11%~17%，按微孔隙结构特征参数划分标准，该组泥岩属优质盖层。它在苏北盆地连续分布，是盆地地下古生界气藏的直接盖层。龙潭组泥质岩夹煤系，单层厚度 1~20m，尤其是该组上段海相泥岩分布广泛，地层厚度大，是苏北盆地上古生界气藏直接的盖层。浦口组中、上部泥岩段，最大厚度达 500m，膏盐层发育，淮阴地区出现大套盐岩，它的封盖能力较强，是海相天然气藏的有力区域盖层。盐城组盖层岩性主要是泥质岩，地层厚度大于 60m，分布广泛，岩性稳定，是新生界气藏的直接盖层，它是苏北盆地气藏的最后的一套盖层，对所有气藏及不同时代圈闭均有重要的封盖作用。此外，气藏上方局部盖层也相当发育，它们对气藏的封盖和保存具有重要的作用。

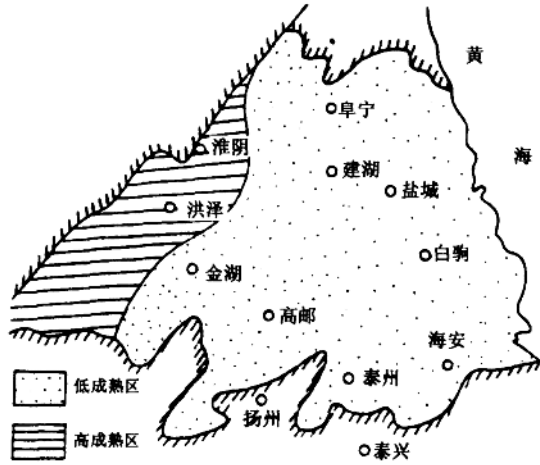


图 1-4 苏北盆地上古生界烃源岩成熟度分布图

煤系，单层厚度 1~20m，尤其是该组上段海相泥岩分布广泛，地层厚度大，是苏北盆地上古生界气藏直接的盖层。浦口组中、上部泥岩段，最大厚度达 500m，膏盐层发育，淮阴地区出现大套盐岩，它的封盖能力较强，是海相天然气藏的有力区域盖层。盐城组盖层岩性主要是泥质岩，地层厚度大于 60m，分布广泛，岩性稳定，是新生界气藏的直接盖层，它是苏北盆地气藏的最后的一套盖层，对所有气藏及不同时代圈闭均有重要的封盖作用。此外，气藏上方局部盖层也相当发育，它们对气藏的封盖和保存具有重要的作用。

表 1-4 苏北盆地天然气有效区域盖层特征表

| 时代 | 层位 | 突破压力 10^5Pa | 优势孔隙半径 nm | 岩性 | 厚度 m |
|----|------|--------------------------|--------------|--------|---------|
| N | 盐城组 | >120 | 1.6~3.2 | 泥岩 | 60~100 |
| K | 浦口组 | 130~190 | 0.8~2.5 | 泥岩、膏盐层 | >500 |
| P | 龙潭组 | >130 | 0.7~2.1 | 泥岩、煤系 | >200 |
| S | 高家边组 | >150 | 1.0~2.0 | 泥岩 | >500 |

四、气田特征

苏北盆地在已发现的 18 个气藏和若干气显示中，其成因类型主要有 3 种（表 1-5），它们分别是生物气—低温热解气、油田伴生气—凝析气、深源无机气。这些不同类型的气源构成不同类型的天然气藏，不同类型气藏特征表现不同。下面主要描述黄桥气藏的特征。

表 1-5 苏北盆地气藏概况表

| 气田名称 | 气藏 | 工业气流井数 口 | 日产量 10 ⁴ m ³ | 气体性质 | 成因分类 |
|------|---------------------------------|-------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 刘庄 | E ₁ f ₂ | 5 | 0.46~2.07 | 烃类 | 生物气—低 温热解气 |
| 黄圩 | E ₂₋₃ s ₁ | 1 | 0.34 | 烃类 | |
| 周庄 | N ₁ y ₂ | 1 | 17.2 (初产) | 烃类 | 油田伴生气 —凝析气 |
| 许庄 | E ₂₋₃ s ₁ | 1 | 0.84 | 烃类 | |
| | E ₂ d ₁ | 1 | 0.536 | 烃类 | |
| 肖刘庄 | E ₂₋₃ s ₁ | 1 | 4.96 | 烃类 | |
| | E ₂ d ₁ | 1 | 1.2 | 烃类 | |
| 富民庄 | E ₂ d ₁ | 1 | 4.75 | 烃类 | |
| 小纪 | E ₂ d ₁ | | | 烃类 | |
| 永安 | E ₂ d ₁ | 1 | 3.0 | 烃类 | |
| 联盟庄 | E ₂ d ₂ | 1 | 2.24 | 烃类 | |
| 富民庄 | E ₂₋₃ s ₁ | 1 | 9.018 | CO ₂ | 多源混合 气(含幔源气) |
| 小纪 | E ₁ t | 1 | 7.68 | CO ₂ | |
| 黄桥 | N ₁ y ₂ | 4 | 0.3~0.9 | 烃类占 30% | |
| | K ₂ p | 1 | 1.6 | CO ₂ | |
| | P ₁ q | 2 | 20~46 | CO ₂ | |
| | C ₂₋₃ | 1 | 2.27 | CO ₂ | |
| | D ₃ w | 1 | 36.33 | CO ₂ | |
| 合计 | 18 | 25 | | | |

黄桥气田大地构造属性上属于苏北盆地与苏南隆起交接的黄桥构造带。气藏由上白垩统浦口组 (K₂p)、下二叠统栖霞组 (P₁q)、中、上石炭统船山组 (C₃c)、黄龙组 (C₂h)、上泥盆统五通组 (D₃w) 和上志留统茅山组 (S₃m) 5 个层位构成。气体以 CO₂ 为主, CO₂ 含量达 90% 以上, 伴有少量原油、烃类气和氮气。此外浅部上第三系盐城组 (N₁y) 尚有一气层, 气体组分以 N₂ 为主, 伴有 CO₂ 和 CH₄, 因此, 气藏分深部气藏和浅部气藏。深部气藏的储层有碳酸盐岩 (P₁q, C₂₊₃) 和砂岩 (K₂p, D₃w, S₃m) 两类。浅部气藏储层是盐城组河流边滩相沉积砂体, 岩石胶结疏松, 物性极佳, 平均孔隙度为 35%, 渗透率大于 100 × 10⁻³ μm²。

气藏属背斜圈闭类型, 并被多组断层切割形成较好的侧向封闭。深部气藏的区域盖层为浦口组中、上部达 400m 的含膏泥岩, 直接盖层为气层之上塑性泥岩层, 它们厚度各异, 封盖性能亦不尽相同, 但直接盖层与区域盖层配置有利, 因而, 盖层有较好的封盖能力。浅部气藏之上发育 10~15m 厚的泥岩, 其突破压力为 10.34~12.20MPa, 中值半径为 2.4 μm, 泥岩封闭性较好。由于气藏埋深浅, 气层压力较低。

黄桥地区具有多旋回构造背景, 古生代和早、中生代均为海相沉积, 印支运动结束了海相沉积体制, 早、中生代之后为陆相沉积。以印支不整合面为界, 其海相中、古生界背斜圈闭, 气藏主要分布于背斜的古生界海相层系中。背斜之上的陆相中、新生界层系中亦发现良好的 CO₂ 气显示及浅层含氮气藏。1983 年在黄桥斜坡带施工的苏 174 井中偶获高产 CO₂ 气。此后在该区进行了二维地震详查和钻井详探, 共打深井 5 口, 浅井 16 口, 在这些钻井中获得大量 CO₂ 气层和重要的油气显示 (表 1-6、表 1-7)。现已探明 CO₂ 气田含气面积

51km²，基本探明储量 64×10⁸m³。气田纵向上具有多个气藏组合分布的特点，海相层系中的气藏为深层气藏，气藏埋深为 1800~2300m，陆相层系中的气藏为浅层气藏，气藏埋深仅 378m 左右。深层气藏以 CO₂ 为主，CO₂ 含量近 90% 以上，伴有少量烃类气和凝析油，单井日产 CO₂ (33.2~46.13) × 10⁴m³。浅层气藏以 N₂ 为主，其含量达 56% 以上，CH₄ 和 CO₂ 分别为 24%~28% 和 15% 左右，He 含量高达 0.013%~1.06%，最高达 1.34%，高于其工业品位 (He 含量大于 0.3%) 而成为 He 气藏。

表 1-6 黄桥地区深井油气情况表

| 层位 | 苏 174 | 黄验 1 | N9 | N6 | N5 |
|--------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| K ₂ p | 2.5/1 油迹 8.4/1 油迹 | 4.5/1 油迹 | 多层油迹 | 1.5/1 油迹 CO ₂ 气层 | 1/1 油迹 |
| T ₁₋₂ q | 35.2/2 油斑 | 18.6/1 油迹 | CO ₂ 气层 160/2 含油气层 | 2/1 油迹 CO ₂ 气层 | 159/5 油迹 17/1 气显示 |
| P ₂ d | | | 6/1 油浸 | 3/2 含 CO ₂ 气层 | |
| P ₂ l | 24/2 油斑 4/1 含气层 | 50/4 油迹 | 5/1 油迹 14/1 油浸 8.5/2 油砂 | 99/6 油迹 31/6 CO ₂ 气层 | |
| P ₁ g | | | 24/1 含气层 | 25/5 含气层 | |
| P ₁ q | 28/2 含气层 CO ₂ 气层 | CO ₂ 气层 | CO ₂ 气层 | | |
| C ₃ c | CO ₂ 气层 | | | CO ₂ 气层 | |

注：(1) 表中数据为视厚，m/层；

(2) 苏 174 井 C₂h, C₁, D₃w, S₃m, S₂f 层均为 CO₂ 气层。

表 1-7 黄桥地区浅井油气情况表

| 层 位 | | N ₂ y ₁ , m | N ₁ y ₂ , m |
|--------|------------|-----------------------------------|--|
| 浅 2 井 | 井段 显示类型 | | 371.2~376.2 气层 |
| 浅 4 井 | 井段 显示类型 | 371.6~377.0 气层 | |
| 浅 1 井 | 井段 显示类型 | 377.6~378.6 含油气层 | |
| 浅 3 井 | 井段 显示类型 | 372.0~380.4 含油气水层 | |
| 浅 14 井 | 井段 显示类型 | | 376.6~377.4 377.4~398.8 气层 含气水层 |
| 浅 10 井 | 井段 显示类型 | 258.2~261.2 含油气层 | 383.0~399.6 含油水层 |
| 浅 8 井 | 井段 显示类型 | 251.4~260.4 含气水层 | 376.2~379.9 含气水层 |

注：(1) 浅 2 井 K₂p 层 568.6~692.8m，为含油致密层；

(2) 浅 7 井 N₁y₁ 层 396.2~400.8m，为气层。

黄桥 CO₂ 气田具有下述特征。

1. 气田由海相与陆相两套建造组成

以印支构造运动剥蚀面为界，它的上下发育两套不同时代、不同环境的沉积建造，其下

为海相建造，其上为陆相建造。在海相建造中，除缺失中、下泥盆统外，其它海相层系发育齐全，保存完好，厚度 4000~5000m。印支运动之后，海相建造因构造抬升作用遭受剥蚀，顶部形成一个明显的构造剥蚀面（亦称印支不整合面）。在剥蚀面附近，岩石破碎、构造裂隙发育，具有良好的储渗性。这一剥蚀面不仅在黄桥地区，而且整个苏北盆地普遍发育。剥蚀面之下的海相层系以分布多组高纯度 CO₂ 气藏为特征。剥蚀面之上为陆相中、新生界盖层，厚度 1200~1500m。其中，上白垩统浦口组厚 800~1000m，上第三系及第四系厚约 400~500m。在陆相层系中，由于燕山晚期和喜马拉雅期构造运动，形成仪征、吴堡、三垛等构造不整合面，其中特征最为明显的不整合面是上白垩统浦口组顶部的仪征运动剥蚀面，由上第三系直接披盖在浦口组之上，其间缺失下第三系。海相层系断裂网络穿越印支剥蚀面一直延伸至上白垩统浦口组顶部，使浦口组顶部剥蚀面与下部印支剥蚀面互相连通，海相层系气藏通过断裂网络不断发生逸散作用，并在浦口组顶部剥蚀面上方聚集，形成上第三系砂体中的浅层氮气藏（图 1-5）。深层气藏与浅层气藏空间上呈上下叠置，成因上互有联系，反映黄桥 CO₂ 气田成藏的特殊性。

2. 气田具有多气藏组合的特点

黄桥 CO₂ 气藏分布于海相层位组成的大型背斜高部位的圈闭中，圈闭闭合高度 90m。该背斜向北倾没，南部被扬州—如皋断裂切割，背斜顶部又为一系列 NE 向小型断层所分割，背斜高部位是气藏聚集的主要场所，在背斜两侧低部位的海相层系深井中均未发现 CO₂ 气层。背斜顶部已钻深井 5 口，钻遇最老地层为下志留统高家边组（S_{1g}）。除中三叠统黄马青组（T_{2h}）、下白垩统葛村组（K_{1g}）和下第三系（E）地层缺失外，其它各组地层发育较全（表 1-8）。

表 1-8 黄桥 CO₂ 气田地层简表

| 地层时代 | | | 地层视厚度 m | 主要岩性及气层 |
|------|------|-----------------|------------|--------------------------------|
| 系(统) | 组 | 代号 | | |
| 第四系 | | Q | 168 | 杂色粘土、砂砾层互层 |
| 第三系 | | N | 226.4 | 灰绿、棕色粘土层、灰白色砂砾层互层，底部含气 |
| 上白垩统 | 浦口组 | K _{2p} | 845.6 | 棕—暗棕—咖啡色泥岩、砂质泥岩夹砂岩，底为砾岩，含石膏，含气 |
| 下三叠统 | 青龙群 | T _{1g} | 369 | 深灰色灰岩，夹泥岩、含云质泥岩，含油及气 |
| 上二叠统 | 大隆组 | P _{2d} | 47.5 | 灰黑色云质泥岩 |
| | 龙潭组 | P _{2l} | 142.5 | 黑色泥岩、砂岩互层夹煤线 |
| 下二叠统 | 孤峰组 | P _{1g} | 35 | 灰黑色云质泥岩夹砂岩 |
| | 栖霞组 | P _{1q} | 190.5 | 灰黑色灰岩夹硅质岩（气层） |
| 上石炭统 | 船山组 | C _{3c} | 71.5 | 灰色灰岩夹薄层泥岩 |
| 中石炭统 | 黄龙组 | C _{2h} | 62.5 | 浅灰色灰岩，含气 |
| 下石炭统 | 高骊山组 | C _{1g} | 89 | 杂色砂泥岩互层，底部深灰色砂泥岩 |
| 上泥盆统 | 五通组 | D _{3w} | 51 | 灰白色石英砂岩（气层） |
| 上志留统 | 茅山组 | S _{3m} | 95 | 紫红色砂泥岩（气层） |
| 中志留统 | 坟头组 | S _{2f} | 539 | 灰色—深灰色砂泥岩互层（气层） |
| 下志留统 | 高家边组 | S _{1g} | 307.13 | 灰黑色泥岩 |