

煤层气勘探开发理论与实践系列丛书

中国若干煤区煤层气藏地质

ZHONGGUO RUOGAN MEIQU MEICENG QICANG DIZHI

王生维 张洲 等著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

煤层气勘探开发理论与实践系列丛书

中国若干煤区煤层气藏地质

ZHONGGUO RUOGAN MEIQU MEICENG QICANG DIZHI

王生维 张 洲 等著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

中国若干煤区煤层气藏地质/王生维,张洲等著. —武汉:中国地质大学出版社,2018.9
(煤层气勘探开发理论技术与实践系列丛书)

ISBN 978-7-5625-4082-3

- I. ①中…
II. ①王…②张…
III. ①煤层-地下气化煤气-油气藏形成-地质特征-研究
IV. ①P618.110.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 226507 号

中国若干煤区煤层气藏地质

王生维 张 洲 等著

责任编辑:段连秀

策划编辑:段连秀

责任校对:周 旭

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://cugp.cug.edu.cn>

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:400千字 印张:15.5

版次:2018年9月第1版

印次:2018年9月第1次印刷

印刷:湖北睿智印务有限公司

印数:1—1000册

ISBN 978-7-5625-4082-3

定价:168.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

煤层气勘探开发理论与实践系列丛书

编委会名单

主 任：王生维

副 主 任：乌效鸣 王峰明 李 瑞

陈立超 张 洲

编委会成员：(以姓氏笔画排序)

吕帅锋 吕 凯 刘少杰 刘 伟

刘旺博 刘和平 刘建华 孙钦平

杨青雄 杨 健 李俊阳 肖宇航

何俊铎 谷媛媛 张 明 张典坤

张晓飞 张 晨 陈文文 陈安冬

孟 欣 赵俊芳 胡 奇 侯光久

贺 飞 袁 铭 晁巍巍 唐江林

董庆祥 韩 兵 粟冬梅 谢湘军

总 序

我国的煤层气产业经过国家“八五”到“十三五”规划期间近 30 年的科技攻关与工程实践,已经建成了沁水盆地南部、鄂尔多斯盆地北部和东缘等煤层气田,同时在新疆、贵州、东北等煤区也形成了一定的煤层气产能。目前煤层气勘探开发技术已经延伸到煤矿生产过程中利用地面工程治理采煤工作面煤层瓦斯领域。

煤层气勘探开发长期实践极大地促进了我国煤层气勘探开发理论水平的提高和工程技术的不断创新。作为我国煤层气勘探开发长期实践的亲历者,本课题组成员在先期参与全国各主要煤层气区勘探工程的基础上,又陆续参与了沁水盆地南部、内蒙古、新疆等煤区的煤层气勘探开发实践。本丛书在系统总结现有煤层气勘探开发理论认识 and 实践经验基础上,集中展现了作者团队在煤层气勘探开发方面积累的系列研究成果,主要包括煤层气勘探开发选区、煤储层评价原理与技术、煤层气藏地质、煤层气井钻井工艺技术、煤储层水力压裂裂缝延展机理以及煤层气排采工程。

煤层气勘探开发的成败在很大程度上取决于对煤层气藏地质条件认识的深刻程度,取决于所采用的工程技术措施是否适合于拟勘探开发的煤层气藏地质条件。在构成煤层气藏地质的所有要素中,首先是煤储层的煤体结构及其对应的大裂隙系统发育特征,不仅对煤层气藏赋存起着至关重要的控制作用,而且深刻影响着工程技术措施的效果;其次是煤层气藏的含气性和构造、水文地质等封闭保存条件,在煤层气勘探开发过程中的钻井、压裂和排采工程环节,对煤层气的顺利产出也起着决定性作用。因此,煤层气勘探开发必须将煤层气藏地质认识与一系列工程措施有机结合,才可能获得比较理想的勘探开发效果。

我国煤层气藏地质条件比较复杂,在长期的煤层气勘探开发实践中,遇到过各

种多样的特殊地质条件和工程技术难题,积累了许多成功经验,包括地质理论认识和工程技术实践经验,建成了一批高产煤层气井;但是也存在不少低产煤层气井。认真回顾和总结煤层气开发的经验教训,形成比较系统的煤层气开发工程认识成果,是编著《煤层气勘探开发理论与实践系列丛书》的初衷,旨在指导和促进煤层气勘探开发理论和技术水平的提高,更好地培养煤层气勘探开发工程的技术人才。

中国地质大学(武汉)煤层气勘探开发研究团队起步于1992年的国家“八五”科技项目,长期坚持煤层气藏地质认识与开发工程的有机结合,先后完成了国家“973”课题、“十一五”和“十二五”国家科技重大专项中大型油气田与煤层气开发的课题,以及企业委托项目等。本团队的煤层气勘探开发研究经历大致为:①研究煤储层特征、勘探选区、钻井液及压裂液污染防治的起步跟踪阶段;②研究煤储层大裂隙系统、压裂煤层气井开挖跟踪观测、煤层气开发井产能和生产历史综合分析的发展阶段;③研究和实践煤层气开发新井型、在气藏条件复杂煤区开发煤层气、研发部分新探测仪器等的创新阶段。长期不懈的科研生产实践形成了一系列的理论认识和技术成果。

《煤储层岩石物理研究与煤层气勘探选区》从煤储层的孔隙、裂隙系统研究入手,提出了依托矿井人工煤储层露头进行煤储层岩石物理和煤层气藏研究的技术方法体系,促进了煤层气藏封闭特征、煤储层可改造性、煤层气可采性、煤层气富集与高产影响因素的分析和预测。

《煤储层物性控制机理及有利储层预测方法》在沁水盆地南部详细的煤储层观测研究基础上,发现并阐述了煤储层内部的天然大裂隙系统。

《煤储层评价原理技术方法及应用》在研究煤储层的孔隙及大裂隙系统发育特征基础上,发现了小微构造与煤储层大裂隙系统发育特征之间的关系,总结了煤储层评价在煤层气开发与瓦斯防治中的应用,介绍了煤层气藏的主要探测技术。

《中国若干煤区煤层气藏地质》以沁水盆地南部、内蒙古和新疆等煤区的煤层气藏地质研究为例,总结了煤储层大裂隙系统的发育特征、煤层气藏围岩与煤储层大裂隙系统之间的关系,研究了煤层气藏封闭保存、煤层水、煤层气成藏、典型煤层气藏的特征及其描述方法。

《煤与煤层气钻井工艺》在系统总结以往多年煤层气钻井工艺技术基础上,重点阐述了获取煤芯技术、控向钻进技术、复杂煤系地层井眼护壁稳定及钻井液技术。

《煤储层水力压裂裂缝延展机制》在总结水力压裂煤层气井开挖解剖成果的基础上,阐述了煤储层水力压裂裂缝延展与内部充填特征、煤储层压裂液“滤失”特征及机理,研究了煤储层水力压裂裂缝延展机制、煤储层压裂裂缝充填机制。

《煤层气排采工程》在系统分析煤储层导流裂缝系统和煤层气井流体产出规律的基础上,结合煤层气井排采成功的工程实践,总结了煤层气井不同产出阶段的特征以及复杂流体通道排采响应特征。另外,在总结排采过程的高产稳产控制措施经验的基础上,提出了独到的理论认识和技术方法。

《煤层气开发技术与实践》以沁水盆地南部煤层气开发为例,从煤层气藏地质、煤层气井钻井、煤储层压裂增产、煤层气井排采、煤层气井集输等方面系统阐述了我国高煤阶煤层气开发工程技术突破的历史过程。

本丛书较系统地总结了我国以沁水盆地南部、内蒙古和新疆等煤区为代表的煤层气勘探开发方面的理论技术和工程实践的成果,既有煤储层和煤层气藏等方面的理论认识,又有钻井、压裂、排采工程技术的实践经验。在编写方面强调科学性、实用性和可操作性,可供从事煤层气开发工程的管理者和科技人员参考,也可作为高等教育的参考教材。

在本丛书的出版之际,对参与本丛书撰写、出版和曾经给予大力支持的所有单位和个人,一并致以衷心的感谢!

鉴于著者水平有限,书中难免存在错误及不完善之处,敬请读者批评指正。

著 者

2017年9月

前 言

自从 20 世纪 80 年代初我国引进煤层气勘探开发技术以来,我国的煤层气勘探开发大致经历了中煤阶煤层气藏勘探—高煤阶煤层气藏开发—中、低煤阶煤层气藏开发—褐煤煤层气藏勘探开发的发展历程。而煤层气是否具有天然气藏类似特征,是否可以用煤层气藏的概念来表述,一直是煤层气勘探开发中绕不开的理论难题,也是国内同行最为关注、讨论时间最长的焦点科学问题,如何描述典型的煤层气藏也一直是摆在国内同行面前的一道技术难关。

基于煤层气藏地质研究对于指导煤层气勘探开发具有重要的现实意义,国内同行对煤层气藏有关研究成果十分期待。著者早在 2000 年就有撰写煤层气藏地质专著的冲动,但由于研究区块的局限,缺乏有关煤层气藏地质资料,特别是缺乏煤层气井动态排采数据的系统积累,煤层气藏精细描述技术也不完善等,因此曾几次动笔而又不得已暂停。实践证明,要想比较准确地认识典型煤层气藏,特别是中、高煤阶煤层气藏,不仅需要一定数量的煤层气井资料,而且更需要大量煤层气井开发全过程的动态成果数据。近年来国内的煤层气开发工程实践以及学界对该研究领域认知的迫切需求,促使著者下决心着手完成本书的撰写与出版,考虑到目前研究成果及资料占有等方面的明显局限性,故将书名定为《中国若干煤区煤层气藏地质》。

本书是在缺少我国褐煤煤层气藏深入研究的背景下出版的,我国的褐煤煤层气藏开发在近期内将取得突破,同时褐煤煤层气藏研究也将会取得重大进展。

本书详尽地阐述了煤层气藏的概念及认识研究历程;煤储层大裂隙系统概念及发育特征;同一个构造层内煤层气藏围岩与煤储层裂隙之间的关系;煤层气藏封闭保存条件、煤层水以及煤层气藏成藏机理。在上述研究基础上,重点选择沁水盆

地南部典型高煤阶煤层气藏、新疆准噶尔南缘阜康、库拜中低煤阶煤层气藏、内蒙古包头石拐矿区低煤阶煤层气藏和霍林河褐煤煤层气藏分别进行了较为系统的阐述。

本书共分五章,第一章、第五章第一节由王生维撰写,第二章、第三章、第四章、第五章的第二、三节由张洲执笔。全书由王生维审定统稿。

著者衷心感谢山西晋城无烟煤煤业集团有限责任公司及其下属的寺河矿、成庄矿等单位在现场观测中给予的帮助和支持!衷心感谢山西蓝焰煤层气集团有限责任公司、中石油华北油田山西煤层气有限责任公司、新疆维吾尔自治区煤田地质局、中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院廊坊分院、内蒙古自治区煤田地质局等单位在现场解剖和基础研究等方面提供的大力支持。感谢贺天才、王保玉、朱庆忠、王德璋、李瑞明、王红岩、杜刚、田永东、姚红星、孙粉锦、李五忠、李梦奚、李国富、杨曙光、韦波、赵庆波、王峰明、赵彬、尹淮新、安庆、谢湘军、吴斌、卫金善、吴光亮等专家的鼎力支持与帮助。

本研究先后得到国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2011ZX05034-002)课题、(2016ZX05067001-007)专题、(2016ZX05041002-002)专题、(16ZX05043-003-003)专题、(2016ZX05043-001-001)专题以及山西省能源革命重大科技专项“深部煤层气勘查开发关键技术研究”(20181101013)的资助。

由于著者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

著者

2017年11月28日

目 录

第一章 煤层气藏概论	(1)
第一节 煤层气藏的概念	(1)
第二节 煤层气藏与常规碎屑岩天然气藏之间的异同	(2)
第三节 煤层气藏与裂缝型碳酸盐岩气藏之间的异同	(9)
第四节 煤层气藏地质研究内容及重点	(13)
第五节 煤层气藏地质研究的意义与展望	(13)
第二章 煤储层及其大裂隙系统发育特征	(15)
第一节 煤与煤层气的形成	(15)
一、煤的形成	(15)
二、煤层结构与顶底板	(17)
三、煤层气的形成	(19)
第二节 煤储层的孔-裂隙特征	(22)
一、煤储层孔隙分类	(23)
二、煤储层裂隙分类	(24)
三、典型煤区煤储层孔-裂隙发育特征	(26)
第三节 煤储层大裂隙系统发育特征	(38)
一、煤储层大裂隙系统的概念	(38)
二、煤储层大裂隙系统的构成要素	(39)
三、典型煤区煤储层大裂隙系统发育特征	(42)
第四节 煤储层特性对煤层气开发工程的影响	(54)

一、煤层气藏内煤粉源对煤层气开发工程的影响	(54)
二、煤体结构对钻孔孔壁稳定性的影响	(55)
三、煤体结构对压裂工程的影响	(56)
四、煤储层大裂隙系统对排采的影响	(57)
第三章 煤层气藏围岩与煤储层大裂隙间对应关系	(58)
第一节 主要煤区煤系地层的构造发育特征及露头观测条件	(58)
一、研究区地质	(59)
二、煤层气藏地质	(63)
第二节 同一构造层围岩节理裂隙发育特征及主控因素	(66)
一、构造节理测量工作方法	(67)
二、围岩节理发育特征	(69)
三、主控因素	(84)
第三节 同一构造层煤储层裂隙与围岩裂隙对应关系	(89)
一、研究区实测剖面	(90)
二、裂隙方向关系	(93)
三、裂隙密度关系	(94)
四、裂隙系统模型	(98)
第四节 同一构造层围岩与煤储层裂隙力学成因机制	(105)
一、煤岩破裂、滑动和裂隙扩展的力学模型	(105)
二、煤储层破碎带形成模式	(116)
三、煤储层破碎带发育实例	(121)
第五节 煤储层裂隙与围岩裂隙对应关系预测评价实例	(124)
一、新疆库拜煤田实例验证	(124)
二、新疆阜康白杨河矿区实例验证	(126)
第四章 煤层气藏封闭保存、煤层水及煤层气成藏	(132)
第一节 煤层气藏的封闭保存条件	(132)
一、煤层气藏封闭机理	(132)
二、煤层气藏封闭类型	(133)
三、煤层气藏封闭的多级性特征	(133)

四、外部封闭条件的影响因素分析	(134)
第二节 煤层水及其对煤层气藏封闭保存的意义	(136)
一、煤层水的来源	(136)
二、煤层水的赋存及其对煤层气藏封闭保存的意义	(136)
第三节 煤层气成藏模式	(137)
一、山西晋城煤层气藏成藏模式	(137)
二、煤层气包的演化	(138)
三、煤层气藏的成藏机制	(139)
第五章 典型煤层气藏实例分析	(140)
第一节 不同煤阶煤层气藏特征差异	(140)
第二节 高煤阶煤层气藏实例	(141)
一、高饱和度煤层气藏	(141)
二、中饱和度煤层气藏	(155)
三、低饱和度煤层气藏	(168)
第三节 中煤阶和低煤阶煤层气藏实例	(177)
一、新疆阜康白杨河矿区中煤阶煤层气藏	(177)
二、新疆库拜煤田中煤阶煤层气藏	(189)
三、内蒙古包头石拐矿区低煤阶煤层气藏	(192)
四、内蒙古霍林河盆地褐煤煤层气藏	(205)
参考文献	(229)

第一章 煤层气藏概论

第一节 煤层气藏的概念

随着我国近 30 年来煤层气产业的发展和煤层气开发技术的提高,对煤储层及内部流体的认识也在不断加深,对“煤层气藏”这一科学概念的内涵也在逐步丰富与完善。李明潮等(1996)认为煤层气藏是煤中甲烷在具备适当外界条件时相对集中在一定围限内,围限内的气体富集程度、压力一般都高于围限之外,围限内的煤岩体称为煤层气藏。王生维(1997)尽管没有直接给出煤层气藏的定义,但使用了煤层气藏的概念,同时着重阐述了煤层气藏的封闭保存条件。钱凯等(1996)认为煤层气藏是在压力(主要为水压)作用下,“圈闭”着一定气体的煤岩体。张新民(2002)认为煤层气藏是指在地层压力(水压和气压)作用下保存有一定数量气体的同一煤层的煤岩体,并且有独立的构造形态。王红岩等(2005)认为煤层气藏是指煤层甲烷靠压力作用(主要为水压),以吸附作用为主,在具有相近地质条件、含气特征的煤层中富集成含气层,若干相近的含气层构成煤层气藏。宋岩等(2005)认为煤层气藏是保存有相当数量气体并受类似地质因素控制的煤岩体基本地质单元。秦勇和程爱国(2007)认为煤层气藏是保存有相当数量气体,处于一个流体压力系统的煤岩体基本地质单元。宋岩等(2009)认为煤层气藏是受相似地质因素控制、含有一定资源规模、以吸附状态为主的煤层气、具有相对独立流体系统的煤岩体。

由于我国煤层气开发的历程较短,煤层气藏概念仅是一种综合或者假设,其具体含义不十分清晰,因此其缺乏广泛共识和对生产的指导作用。

随着我国高煤阶煤层气开发实践的积累以及中低煤阶煤层气开发的成功突破,对煤层气藏内涵的认识明显加深。著者在深入研究沁水盆地南部煤层气开发与煤层瓦斯抽放生产实践的基础上提出了“经济煤层气藏”的概念。“经济煤层气藏”是指具有相对一致流体压力和波及范围内可解吸的煤中储气系统,它具有一定的体积,其大小规模一般在几千万立方米以上,该系统的渗透率与含气饱和度达到地面经济开发的下限。而成熟度太低或者达不到经济开发规模者称之为煤层气包。

煤层气藏是包括煤储层以及流体在内的综合地质体。煤层气藏研究既有静态特征,又有动态特征。煤层气藏研究是煤层气经济开发的重要基础。

煤层气藏可以明显划分为低煤阶煤层气藏和高煤阶煤层气藏。本书重点介绍我国目前进行勘探开发的高煤阶及中低煤阶煤层气藏的研究成果。煤层气藏地质研究可以从多种角度展开,本书重点围绕服务于煤层气开采工程、提高煤层气井产能的需要,阐述煤层气藏地质。

煤层气藏内部流体的组成主要是煤层水和甲烷为主的气体。气体在煤层中可以呈游离态赋存在煤层的微小裂缝内,或者以吸附态赋存在煤层的微小孔隙内,或者溶解于煤层水中赋存在煤层的微小裂缝内。因此,煤层中裂缝系统发育对煤层气的赋存方式、保存以及开采至关重要,裂缝系统发育特征对煤层气藏的富集保存和开采起着重要的控制作用。

由于煤层气藏,特别是高煤阶煤层气藏的各种非均质性特征明显,本书研究的煤层气藏局限在煤层气井网的尺度范围,这也是由于所积累的资料和目标所决定的,著者认为该尺度不仅足以概括煤层气藏的主要特征,而且可以更有利于服务煤层气的开发工程。

第二节 煤层气藏与常规碎屑岩天然气藏之间的异同

煤层气藏是指煤储层中有机质经过煤化作用生成的天然气,在压力封闭作用下,以吸附态为主赋存在煤岩体孔-裂隙中富集而形成的含气体,煤层气藏主要表现为自生、自储、自保的特征。常规碎屑岩天然气藏是指主要受浮力作用控制而聚集于储层顶部的天然气含气层,通常具有生、储、盖组合,二者在成藏机理和成藏特征方面具有显著区别,从而气体产出机理以及采用的工程开发技术也需要区别对待(表 1-1)。

1. 烃源岩

煤层气藏的气源岩主要是煤中有机质本身。煤层气藏的气主要为干气,低煤阶煤层气藏主要来源于生物成因气,高煤阶煤层气藏主要来源于热解气。常规碎屑岩天然气藏的烃源岩是富含有机质的泥岩、页岩、碳酸盐岩以及分散煤碎屑。常规碎屑岩气藏中天然气成分是干气和湿气兼有,主要来源于石油裂解气。

2. 储集介质及渗透性

煤层既是烃源岩层,又是煤层气的储层,且为双重孔隙结构;煤层气主要储集在煤层孔隙内的表面,其聚集量与煤层的吸附性密切相关。常规碎屑岩气藏中天然气储集在孔隙性砂岩孔隙中,在气源充足的条件下,其聚集量主要与孔隙空间的大小有关。常规碎屑岩气藏的孔隙度和渗透率比煤层气藏的通常要大,变化幅度也比煤层气藏更显著。

煤储层的孔隙类型以植物细胞残留孔隙、基质孔隙、次生孔隙为主,微孔隙大小为 $1 \times 10^{-4} \sim 50 \times 10^{-4} \mu\text{m}$,而碎屑岩天然气藏的宏观孔隙为 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 之间。煤层气藏孔隙度一般小于 7%,孔喉宽度小于 $1 \mu\text{m}$,孔径在微米级别,渗透率较碎屑岩天然气藏低。在煤层气勘探开发过程中,煤层气藏相对常规碎屑岩天然气藏更容易受到流体和固相颗粒的伤害,往往严重影响到煤层气藏的渗透性。

表 1-1 煤层气藏和常规碎屑岩天然气藏特征对比表

		煤层气藏	碎屑岩天然气藏
生		煤	泥岩、碳酸盐岩、煤层
储		煤层	碎屑砂岩储集层
盖		有效封盖层	有效盖层
运		初次	二次
聚		吸附	运聚成藏
保		压力封闭条件	圈闭
赋存状态		吸附态为主	游离态为主
分布特点		分布具有广泛性	构造高部位圈闭中
工程特征	储量计算	容积法、物质平衡法	孔隙体积法
	开发方式	排水降压开发方式	自喷井、气驱水驱开发、 排水采气方式
	水力压裂	需进行压裂作业,渗透率 取决于裂缝和地应力条件	低渗透时才需要压裂,通过水力 压裂作业提高产量
	井间干扰	对生产有利	对生产有害
产气特征	产出机理	煤层中的气体流动特征可以用 3 个 相关联的过程描述:①解吸;②符合 菲克(Fick)定律的扩散;③遵循压力 驱动下的达西(Darcy)定律渗流	天然气产出包括浓度差的扩散过程 和压力差的渗流过程,气体向井筒的 流动符合达西定律,在低渗透气藏中 存在非达西渗流
	生产曲线	负下降曲线	下降曲线
	气水比	开采后期气水比随时间递增	气水比随时间递减
	产能差异	每天几百立方米到几万立方米	每天几万立方米到几十万立方米或更多

碎屑岩储集层主要包括各种砂岩、砂砾岩、砾岩、粉砂岩等碎屑沉积岩,是世界油气田的主要储集层类型之一。储集层的孔隙类型按成因分为原生孔隙、次生孔隙和混合孔隙三大类。在碎屑岩中,原生孔隙占绝对多数,成为碎屑岩的主要储集空间。原生孔隙主要是粒间孔隙,在砂岩中最普遍,以粒间孔隙为主的粗碎屑岩孔隙大,喉道粗,连通性较好,可以成为高孔、高渗的优质储集层,其孔隙度可达 30%,渗透率可达几千毫达西($1\text{mD}=10^{-3}\mu\text{m}^2$),往往成为高产层。混合孔隙是一种介于原生孔隙与次生孔隙之间的、由部分原生孔隙和部分次生孔隙组成的孔隙,其孔隙度可高达 30%,一般为 25%,成为高产—中产储层;次生孔隙包括裂隙(颗粒内裂隙、粒间裂隙、岩石裂隙)、溶解作用产生的孔隙(粒间溶孔、组分内溶孔、铸模孔隙、特大溶孔)、填隙物微孔。其中,填隙物微孔由于喉道细小,渗透率极低,对油的储集贡献不大,但作为气层的储集空间仍具有一定意义。

煤储层中除了具有大量孔隙外,还普遍发育裂隙,如微裂隙、内生裂隙和规模不大的

外生裂隙。内生裂隙是煤层中普遍存在的裂缝形式,通常发育两组,即主内生裂隙和次内生裂隙。主内生裂隙多为连续的裂缝,长度及开口宽度均大于与其垂直的次内生裂隙。煤层气将通过这种裂隙系统以及更大的节理→外生裂隙(包括人工压裂裂缝)运移到煤层气井筒中,因此煤层气的渗透率主要取决于这种裂隙系统以及更大的节理→外生裂隙组成的整个系统的组合特征。而常规碎屑岩储层裂缝以构造裂缝为主,在构造强烈部位构造裂缝发育。例如,长期持续上升的区域,局部构造高点、断层及断裂带附近的裂缝发育。薄层裂缝密度较大,但规模较小;厚层裂缝密度小,但规模较大,以近垂直和高角度裂缝为主。

3. 盖层条件

煤层气藏具有自生自储式特征,即自生气开始,其就具有良好的封盖保存条件,使煤层气得以保存。盖层对于煤层气藏的作用主要是维持吸附与解吸的平衡,减少游离气的逸散,减弱地层水交换带走煤层气的影响。泥页岩、致密碳酸盐岩、厚度小的薄煤层等,若其透气性差,可以有效地阻止煤层气的垂向运移,有利于煤层气的保存。

常规碎屑岩天然气藏成藏需要有致密盖层,防止气体逸出,同样良好的盖层条件对煤层气藏的形成是一个重要利好,良好的封盖层可以保持煤储层内的流体能量,阻止地层水的交替,使气体以吸附态存在,并减少游离气和溶解气的散失。

煤层气通过盖层逸散主要有两种方式:一是渗流运移;二是扩散运移。究竟以哪种方式运移主要由上覆岩层的封盖性能控制:①上覆岩层如果是致密层,即良好的盖层,其排驱压力大于煤层中流体剩余压力,具有良好的毛细封闭能力,则气体只以扩散方式运移,其运移速度是相当缓慢的,煤层气逸散量可用岩石的扩散系数等参数估算。②当煤层中剩余压力大于上覆盖层排驱压力时,气体则以渗流的方式运移,气体逸散速度与气体的有效渗透率及剩余压差有关,剩余压差越大或气体的有效渗透率越高,则逸散越快,此时主要是游离气体逸散,当煤中压力小于盖层的排驱压力时,逸散即告结束,如果气源充足,此过程则重复进行;如果超压很高,则有可能产生微裂缝而使气体呈间歇式散失;如果煤层中没有游离气,而是由于静水压力引起的超压,则只有扩散运移,即在没有压降时,吸附气难以解吸进行逸散。③如果上覆岩层是渗透层(如砂岩或裂隙性泥页岩等),排替压力很小,扩散运移快,气体则会向砂岩中运移,再加上水动力的影响,煤中吸附气也会从基质中解吸出来转移到渗透层中。④如果上覆岩层是生气能力强的烃源岩,则会阻止煤层甲烷气向上逸散,甚至会向煤层中输入天然气。总之,盖层若有强封盖能力,煤层气则只以扩散方式运移,逸散很慢;盖层若失去毛细封闭能力,气体则以渗流方式运移,逸散速度快。良好的封盖层是形成煤层气藏的重要先决条件。

常规碎屑岩天然气藏中的盖层主要有两种封盖机理:毛细管压力封闭和异常高压封闭,其中以毛细管压力封闭最为常见。①毛细管压力封闭:盖层大多岩性致密、颗粒极细、孔隙半径很小(与储集层相比小得多),因此,要使油气通过孔径较小的盖层,所需的排驱压力要比储集层大得多。当油气达不到足以通过盖层所需要的排驱压力时,就在盖层之

下的储集层内聚集,直到聚集油气的高度足够大,向上浮力的值达到所需的排驱压力时,油气才能穿过盖层。②异常高压封闭:与毛细管压力相比,异常高压封闭是较新的概念。超压现象在世界年轻沉积盆地内分布十分广泛,主要与快速沉积的厚层泥质岩有关。当储集层上方存在超压欠压实泥岩层时,这种超压的具有高流体势的泥岩是油、气,特别是天然气的良好封闭层。它能更有效地阻止天然气向上运移。但是这种超压封闭层一般位于烃类聚集的上方。如果这种超压仅存在烃类聚集之中或其下,不仅不能起封闭作用,而且会促进油气向上逸散。

在常规碎屑岩天然气藏中,按盖层的岩石特征可分为泥页岩类、蒸发岩类和致密灰岩。据统计,泥页岩类盖层占65%(储量),蒸发岩类盖层占33%,致密灰岩盖层仅占2%。除泥质岩和膏岩外,泥质粉砂岩、砂岩-细砂岩在一定条件下也可能成为油藏的盖层。只要盖层和储层之间并不存在确定的界限,或者两者的孔径存在一定差别,足以封闭一定高度的烃柱,就可以起到盖层作用。

4. 运移机制

煤层气藏中煤层气形成之后,一部分通过分子扩散等途径或通过裂缝运移到相邻的砂岩或灰岩储层中,另一部分气体的绝大部分以吸附状态保存在煤孔隙结构中,一般不发生运移或显著运移。

常规碎屑岩气藏中天然气的运移以扩散渗流为主,分初次运移和二次运移,在储层中富集成藏,主要动力为构造应力、水动力和浮力等。

5. 聚集方式

煤层气藏中,煤层气通过吸附作用将天然气聚集起来,为典型的吸附成藏机理,煤层气藏的储气能力与煤的变质程度、温度和压力等地质条件有关。煤层气分布在具有生气能力的煤岩内部,具有广布性。煤层气藏横向上连续性好。

常规碎屑岩天然气藏中,烃源岩与储层之间有一定的距离,浮力是天然气运移的主要动力,盖层毛细管压力是阻力,天然气通过置换水的方式不断向上运移,气水界面从顶面开始向下整体推进,使天然气聚集在构造的高部位(图1-1)。常规碎屑岩气藏中天然气位于构造高部位的多种圈闭中,受生、储、盖组合控制,横向上是分割不连续的。

6. 圈闭条件

煤层气主要以吸附作用为主,游离气和溶解气占比较小,因此对圈闭的要求不是很苛刻。煤层气藏是一个压力封闭系统,煤层气藏中的天然气主要通过范德华力吸附于煤基质表面。但这种使甲烷分子和煤的其他组分相结合的力是比较弱的,一旦压力降低,被吸附的煤层气就会发生解吸而进入裂缝系统发生运移和扩散。

压力对煤层气富集成藏的作用主要表现在两个方面:一是为煤层气藏提供一部分能量,增大煤层对甲烷的吸附,同一煤层随压力的增大,其对甲烷的吸附能力增大;二是维持煤层气藏能量平衡,阻止煤层气解吸、逸散。除煤层自身的条件外,压力封闭是形成煤层