

页岩气理论研究的基础意义

张金川, 边瑞康, 荆铁亚, 唐玄, 尹腾宇, 张琴, 朱华

ZHANG Jin-chuan, BIAN Rui-kang, JING Tie-ya,

TANG Xuan, YIN Teng-yu, ZHANG Qin, ZHU Hua

中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083

School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

摘要:页岩气作为油气勘探的一个新领域,越来越受到世界各国的重视。页岩气的勘探开发对于提高中国天然气产量具有重要意义,但页岩气的研究意义又不仅限于能源领域。系统的分析与研究表明,页岩气研究在能源、地质、环境等方面均具有重要意义。页岩气研究是一个涉及多学科、跨领域的系统工程,应采取系统论的观点对页岩气和其它沉积矿产、低温层控矿产等共生矿产进行系统研究,结合地质工程、环境保护等展开全面的基础性分析。

关键词:页岩气;研究意义;系统工程

中图分类号: P618.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2011)02/03-0318-06

Zhang J C, Bian R K, Jing T Y, Tang X, Yin T Y, Zhang Q, Zhu H. Fundamental significance of gas shale theoretical research. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(2/3):318-323

Abstract: Gas shale, as a new filed of oil and gas exploration, has been attracting worldwide attention and plays an important role in enhancing the amount of the natural gas production of China. According to the result of systematic analysis and research, the research of gas shale not only possesses significance in the field of energy, but also is fundamental to such aspects as energy, geology, and environment. Since research on gas shale is a multidisciplinary and interfiled engineering, systematic method combined with geology engineering and environmental protection including systematic research on sedimentary mineral deposits and low temperature controlling mineral deposits should be adopted.

Key words: gas shale; research significance; systematic engineering

页岩气作为资源潜力巨大的能源新领域,越来越受到世界各国的高度重视^[1-4]。在勘探开发技术相对成熟的北美,页岩气年产量仍以加速度增长。2009年,美国的页岩气产量达到 $878 \times 10^8 \text{m}^3$,加拿大的页岩气产量也达到了 $72 \times 10^8 \text{m}^3$ 。在页岩气快速发展的欧洲,2007年在德国的波茨坦成立了第一个页岩气研究的专门机构,目前已在波兰、德国北部、北海南部等盆地中开展了页岩气的规模性勘探和开发,涉及波兰、德国、瑞典、奥地利、英国、法国等众多国家。

在澳大利亚、新西兰、印度、南非等国家和地区,页岩气勘探研究也已经迅速起步。

中国拥有大面积广泛分布的页岩层系,具有页岩气可能发育的广泛空间和开发生产的巨大潜力^[5-8],页岩气研究也得到了国家的高度重视。2009年11月15日,美国总统奥巴马首次访华,中美签署了《中美关于在页岩气领域开展合作的谅解备忘录》,把中国页岩气基础研究的迫切性上升到了国家层面。相比之下,中国系统、深入的页岩气基础理论研

收稿日期:2010-11-30;修订日期:2010-12-20

资助项目:国土资源部油气专项《中国重点海相地区页岩气资源潜力及有利区优选》(编号:2009GYXQ15)和国家自然科学基金项目《页岩气聚集机理和成藏条件》(批准号:40672087)

作者简介:张金川(1964-),教授,博士生导师,从事非常规天然气地质研究工作。E-mail:zhangjc@cugb.edu.cn

究还非常薄弱。目前的理论研究进展严重滞后于勘探生产实践,一系列地质问题认识不足构成了制约中国页岩气发展的瓶颈,尤其是在中国页岩气勘探快速起步的今天,研究工作的系统开展对页岩气工业的发展具有极其重要的意义。

1 页岩气研究的能源意义

中国自1993年成为石油净进口国以来,石油净进口量连年递增,2003年突破了 $1 \times 10^8 \text{t}$ (图1)。2009年,中国的原油生产出现了28年以来的首次负增长,石油对外依存度冲破了50%防线。与此同时,中国在2008年成为天然气净进口国,2009年的天然气供应缺口超过 $40 \times 10^8 \text{m}^3$ (据中国石油和化学工业学会数据。2010年年初2次出现“气荒”,对中国能源安全造成了进一步的冲击。天然气是保障国家能源安全的重要能源,但中国的天然气能源短缺现象严重,已成为近年来经济运行中经常出现且为社会带来很大影响的顽疾,成为经济可持续发展的瓶颈。

在美国,天然气生产缓解了石油不足的巨大冲击,连续增长的页岩气产量在其中起到了不可低估的重要作用。据纽约时报2009年10月10日的消息,美国2009年页岩气产量占天然气年产量的13%,页岩气年总产量超过了 $900 \times 10^8 \text{m}^3$ 的规模(这一数值超过了中国同期所有类型天然气年产量的总和 $830 \times 10^8 \text{m}^3$)。页岩气开采技术的进步使美国的天然

气储量增加了40%。美国页岩气年产量的迅速增加进一步减缓了国内能源需求的压力,2008年石油的对外依存度出现了1977年以来的首次下降。2009年,页岩气产量以快速增长的方式首度超过了煤层气。为了减缓对俄罗斯天然气的依赖,西欧国家也积极开展页岩气地质研究,希望藉此改变世界能源、经济和政治格局。

对天然气,尤其是包括页岩气在内的非常规天然气的开发利用程度,很大程度上反映了一个国家在能源领域中的科技进步水平。中国长期以来重油轻气^[9],在很大程度上影响了天然气的勘探开发程度和总体认识水平,虽然近年来不断有大型天然气田的发现,但非常规天然气的研究一直处于薄弱状态,天然气产量不足构成了制约经济高速发展的瓶颈。到目前为止,天然气在中国一次能源消费结构中的比例只有3%~4%,但美国和世界其它主要国家的平均比例却为23%~24%,巨大的反差促使我们必须加快天然气勘探开发的进程。在天然气能源开发领域中,页岩气具有明显的优势,目前是北美国家、世界其它国家和地区影响作用最大、发展速度最快的新能源类型,是北美国家能源消费的主要构成之一。开展页岩气聚集机理和富集规律的探索研究,将对中国的能源产出和消费比例结构的改变产生重大影响。

中国存在页岩气发育的良好地质条件,根据地

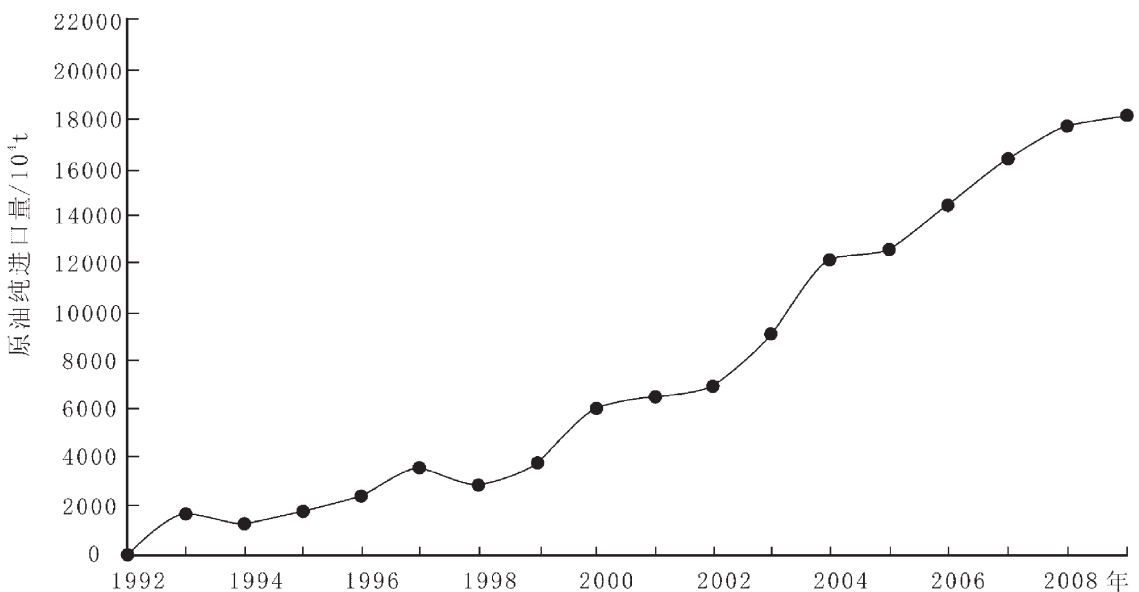


图1 中国原油净进口量

Fig. 1 China's crude oil imports

质类比法研究和资源量初步估算,中国拥有与美国大致相同的页岩气资源量^[8]。根据美国的经验,页岩气开采可能是补充解决中国天然气短缺的基本途径和重要方面,即当有效工作量投入相当时,将会有大致相同的页岩气产量。中国目前已在多处发现页岩地层中的气苗和气显示,表明潜力巨大的页岩气资源有望成为能源接替的重要领域。

作为具有现实勘探和开发意义的非常规天然气,页岩气在横向和纵向上均拓展了油气勘探领域。

横向上,页岩气研究已经将油气勘探领域扩大到了保存条件良好的传统盆地以外的残留盆地地区,仅在南方地区就增加了勘探面积 $200 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。包括四川盆地^[10]在内的扬子地台是特提斯域富含油气带的向东延伸,是中国油气勘探中长期以来的重点攻关对象和目标,目前的页岩气基础地质理论研究不足, $200 \times 10^4 \text{ km}^2$ 分布面积的黑色页岩还未予以系统的勘探。扬子地台所在的南方地区是中国人口众多、经济发达但能源资源严重匮乏的地区,也是页岩气发育条件最好、规模最大的区域。页岩气的研究将会对潜力巨大的南方天然气资源的开发产生重大影响,从而改变中国能源分布的地理格局,为近年来已经影响社会发展的油气能源短缺提供解决方案。在中国北方的广大地区,也有规模性发育的页岩气资源潜力区^[8],但由于相关的页岩气地质基础理论研究还没有系统开展,页岩气地质条件研究仅仅停留在理论分析及少量的实验研究阶段。标志中国陆相油气地质特色的华北、东北和西北地区是中国油气工业的重要支柱^[11],目前已分别在渤海湾、鄂尔多

斯、吐哈等盆地和传统概念的“含油气盆地”外围发现了良好的页岩气显示。

纵向上,盆地内的页岩气勘探延伸到了新的领域,一系列通常只被作为烃源岩或盖层的“非油气勘探层系”将成为页岩气勘探的基本目标和开发(作为储层)的重要对象,向泥页岩地层中延伸的油气勘探新层系将有可能使油气勘探目标囊括包括烃源岩、储集层在内的所有层系。在老油气区,泥页岩层系通常只被作为生气源岩或者封闭盖层,实际上这些泥页岩层系很可能就是页岩气勘探开发的有效目标层系。当其它地质条件具备时,一批可供勘探开发的含油气新层系将会悄然而至,勘探开发领域和目标将会陡然增加,从而极大地增加油气勘探开发的空间领域和油气资源量。

2 页岩气研究的地质意义

除了直接的能源意义以外,页岩气研究还对广义的地质研究具有积极的影响和促进作用。

(1)页岩气多重成藏机理:页岩气的赋存状态多种多样,除极少部分呈溶解状态赋存于干酪根、沥青和结构水中外,绝大部分天然气以吸附状态赋存于有机质颗粒的表面,或以游离状态赋存于孔隙和裂缝之中。从总体统计来看,页岩中的吸附气含量介于 85%~20%之间,吸附气和游离气含量大约各占 50%,含气量大小与有机质的含量密切相关。因此从赋存状态观察,页岩气介于煤层吸附气(吸附气含量在 85%以上)、根缘气(致密砂岩气,吸附气含量小于 20%)和常规储层气(含裂缝游离气,但吸附气含量

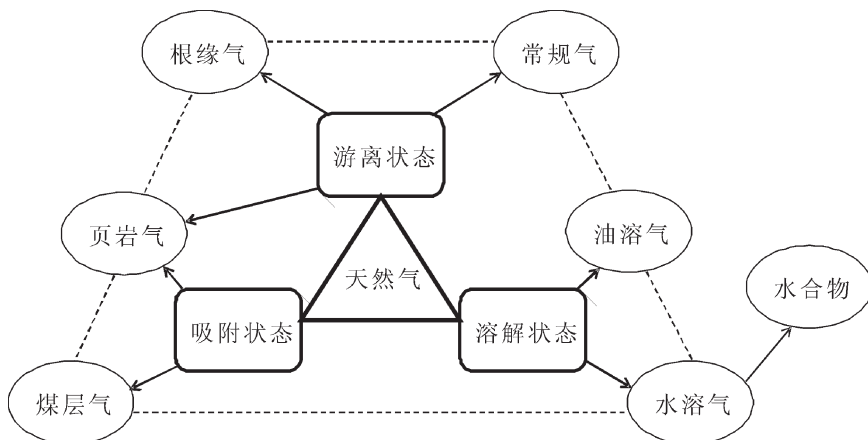


图2 天然气聚集机理类型^[5-9]

Fig. 2 Classification of natural gas in accumulation mechanism

通常忽略为零)之间(图2)。页岩气的存在体现了天然气聚集机理递变的复杂特点,即天然气从生烃初期时的吸附聚集到大量生烃时期(微孔、微裂缝)的活塞式运聚,再到生烃高峰时期(较大规模裂缝)的置换式运聚,运移方式还可能表现为活塞式与置换式两者之间的过渡形式。上述一系列作用过程的发生使页岩中的天然气赋存相态构成了从典型吸附到典型游离之间的序列过渡,将煤层气(典型的吸附作用)、根缘气(活塞式气水排驱)和常规储层气(典型的置换式运聚)的运移、聚集和成藏过程联结在一起,具有多重聚集机理。

复杂的天然气生成机制、赋存相态、聚集机理、富集条件等,使页岩气具有明显的地质特殊性。与常规储层气相比,页岩气的聚集属于无二次运移或极短距离二次运移,天然气的赋存和富集不依赖于常规意义上的圈闭及其保存条件。直接将传统意义上的气源岩作为天然气勘探目标,扩大了天然气勘探领域和范围。与传统意义上的“裂隙气”相比,页岩气突出了天然气赋存的吸附特点,平均50%(20%~85%)的吸附气量极大地增加了天然气的产量、储量和资源量,使得页岩地层中原本没有裂缝的地区和层位也可以通过人工造隙和压裂的方法获得工业规模产量。与以吸附作用为主的煤层气相比,页岩气兼具吸附和游离2种天然气赋存相态,虽然泥页岩有机质的含量较之煤岩普遍较低,产气和吸附气的的能力相对较差,但微裂缝、微孔隙的发育和游离气的存在,使页岩气的产能和产量颇具经济价值。页岩的发育和分布范围远较煤层广,故页岩气的资源潜力也较煤层气更大;虽然两者同为致密储层,但页岩气较致密砂岩气具有更优先的聚集条件,具有近水楼台先得月之优势。

(2)多种矿产:由于沉积环境的特殊性和细粒泥质沉积岩的吸附性,泥页岩地层中常有多种与沉积相关的矿产同时发育,形成类型丰富的共、伴生矿产,包括赋存于黑色岩系中的页岩气、页岩油、固体沥青、石煤、磷、硫等沉积矿产,也包括赋存于黑色岩系中的汞、金、锑、钒、钼、锰、银、镍等低温层控矿产,页岩气常与其它矿产形成共、伴生关系。在渤海湾、吐哈等陆相沉积盆地中,暗色泥页岩层系常与煤系地层共、伴生,也包含了赋存其中的铀矿资源。这些矿产是重要的国家战略资源,对保障国家的能源、经济、军事等方面的安全具有重大意义。黑色岩系既是

页岩气和相关矿产形成的基础和赋存的介质,同时又是矿产资源富集的载体。以扬子地区为核心的中国南方地区是古生界黑色岩系分布和页岩气发育的有利区域,也是低温层控和其它沉积矿产分布的主要地区。借助于其它矿产资源研究成果分析黑色岩系中的页岩气,或者利用页岩气研究成果进一步对黑色页岩系中其它矿产资源的分布进行预测,有助于在完整的地质过程中进一步认识多种矿产资源的共、伴生关系,建立多种矿产资源共、伴生的条件关系谱图,研究页岩气及其它矿产的共、伴生关系,预测其资源潜力,为综合矿产资源勘查提供理论支撑。

(3)全球地质事件:页岩气由于特殊的地质特点,对其研究具有特殊的方法和内容。在地质研究过程中,通常聚焦于关键地质变动期,侧重于关键地质作用的过程和结果。泥页岩系地层往往是地质构造平静期的产物,除了构造、沉积等地质背景信息外,它还完整地记录了地质时期中的古生物、古生态、古地理、古气候等多种信息,对于研究全球地质事件及其变化、全球生态及其演进、全球环境及其变迁均有重要的参考意义。因此,侧重于构造平静期沉积产物特征分析的泥页岩研究,补充了对完整地质过程的系统认识,特别是天体活动、气候变迁、海平面升降、地壳震荡、生物灭绝、物种新生、缺氧事件等,均能够在地质历史变动的平静期内找寻答案^[12-13]。在古生界的黑色页岩层系中,全球范围内发育并发现了地球早期的古生物和微体古生物的化石和变种,发现并找到了规模不等、形态各异、常呈层状产出的页岩结核(图3),它们之间的产状变化、成因机理和分布具有全球对比意义。

3 页岩气研究的安全和环境意义

页岩气属于低碳能源的一种,提高页岩气在油气消耗中的比例有助于开辟新的能源领域,减少二氧化碳排放,发展低碳经济,保护地球环境,减缓全球变暖趋势,保持社会经济的良好发展。页岩气属于绿色能源的一种,美国的页岩气产量目前已经超过了煤层气,位居非常规天然气中的第二位。由于开发过程中不需要排水采气,故页岩气具有较煤层气更清洁的开发方式。

黑色泥页岩是沉积矿产和低温层控矿产赋存的基础,多种矿产资源的合理开发和综合利用对环境



图3 页岩中发育的大型结核

Fig. 3 Large nodule discovered in shale layer

保护和生产安全具有重要意义。页岩地层中富集的大量页岩气对于天然气的开发利用来说必不可少,但在页岩层系中进行采矿和隧道开凿是一种事故隐患。在以巷道掘进方式进行页岩地层中的矿产开发中,页岩中吸附的天然气发生自然解析而使巷道中甲烷气体的含量升高。由于巷道中空气流通条件较差,当甲烷含量越聚越高并达到爆炸的浓度时,明火、电流及其它原因产生的火花、火星等都能引发爆炸。有报道表明,目前仅在重庆就已有起类似的灾害发生。2006年8月3日18时30分,城口县至修齐镇六公里处(葛城镇柿坪村吴家湾)一锰矿洞发生爆炸,造成5人死亡,一名矿工被爆炸的气浪从洞中抛出;2007年3月1日14时,位于城口县葛城镇阳坪村半山腰的一个锰矿(修齐锰矿下茅坡子工区)发生爆炸,造成4人死亡;2009年8月27日11时,已

经停产11天的修齐镇石坊三矿段锰矿瓦斯浓度达到16%而发生爆炸,造成4人死亡……。重庆地区是页岩气发育的有利地区,这些矿洞爆炸的原因很可能就是页岩气的聚集达到了爆炸时的临界浓度。而页岩气的研究则可以为矿洞和隧道施工提供地质灾害预警,尽量避免在富含页岩气岩层内进行工程作业,或实行更为严格的保护措施,以防止该类事件的发生。

页岩中常含有磷、硫等常温易燃物质。当页岩被粉碎成颗粒时,其表面积成倍增加,其中的磷、硫等矿物松散堆积并暴露地表后很容易发生自燃,并引发页岩表面吸附和脱吸附甲烷的燃烧,进一步点燃页岩中干酪根等有机质和少量金属元素,从而导致大面积的页岩碎屑隐燃。这些堆积的页岩碎屑改变了地表土壤的地球化学特点,引燃的页岩碎屑增加了地表的温度,其中常含有不充分燃烧的气体 and 烟尘,产生刺鼻的气味,对当地环境造成严重的污染(图4)。因此,在对页岩地层进行施工时,宜提早采取措施增加页岩碎屑的可燃系数,采取减小页岩表面积增加倍数、降低可燃物质浓度、消减可燃物质含量、减少页岩碎屑堆积体积、增加页岩碎屑的空气隔绝程度等技术防范,尽量避免环境污染。

由于页岩的矿物成分主要为粘土矿物,质地相对柔软、易碎,且易于形成页理,故页岩发育地段也常是山体滑坡等其它地质灾害容易发生的地区。在对页岩气的勘探过程中,页岩是地质研究的主体对象,进行页岩气的相关研究有助于系统认识页岩的宏观地质特点,可以为矿山采掘、隧道施



图4 页岩自燃现象

Fig. 4 Self-ignition of shale

工、山体滑坡等地质工程和地质灾害研究提供借鉴参考。

此外,泥页岩由于具有较强的吸附性,故也可考虑作为核废料深埋处理的有利介质,为核废料的永久处理提供处置空间。

4 讨论与建议

国际上,页岩气地质研究热潮已经兴起,页岩气已经成为能源的新宠。在中国,政府职能机构和国家领导人对页岩气研究高度重视。页岩气理论研究作为国内新的研究领域,基础薄弱,加强对页岩气的系统研究十分必要。

中国的页岩和页岩气的地质条件与美国的地质条件具有一定的相似性,同时又具有明显的地质特殊性。针对中国不同地区和不同地质背景进行页岩和页岩气的研究,不仅可以补充完善中国的非常规天然气地质和勘探理论,形成符合中国地质特点的页岩气富集理论,而且有望解决目前严重制约中国页岩气工业发展的重大基础理论难题,获得一批具有战略意义的基础理论性科学成果,获得规模性的页岩气勘探突破。

页岩气常与其它沉积矿产和低温层控矿产共生或伴生,常与地质过程、地质事件有关,也常与页岩地层中的施工工程、地质灾害等事件有关,加强页岩和页岩气的系统化理论研究有望系统、合理、全面地解决中国页岩和页岩气的相关问题。页岩气研究不仅有利于缓解中国的油气能源供需矛盾,而且有利于地质灾害防治、道路工程施工、矿山安全生产、绿色生态系统保障,有利于在地质理论系统研究的基础上深化对地球古生态、古环境、古气候进行全面的理解和认识。

与美国等发达国家不同,中国人口众多,资源不

足,页岩气地质条件千变万化。因此,加强页岩气地质基础理论研究并深化对与页岩气相关地质问题的系统认识,抓住核心地质基础问题开展多方位的协同攻关,是中国目前急需解决的重要问题。

参考文献

- [1]Bowker K A. Barnett Shale gas production, Fort Worth Basin: issues and discussion[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 523-533.
- [2]Curtis B C, Montgomery S L. Recoverable natural gas resource of the United States: Summary of recent estimates[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(10): 1671-1678.
- [3]Curtis J B. Fractured shale-gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938.
- [4]Fildani A, Hanson A D, Chen Z Z, et al. Geochemical characteristics of oil and source rocks and implications for petroleum systems, Talara basin, northwest Peru[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(11): 1519-1545.
- [5]张金川,薛会,张德明,等. 页岩气及其成藏机理[J]. 现代地质, 2003,17(4):466.
- [6]张金川,金之钧,袁明生. 页岩气成藏机理和分布[J]. 天然气工业, 2004,24(7):15-18.
- [7]李新景,胡素云,程克明. 北美裂缝性页岩气勘探开发的启示[J]. 石油勘探与开发, 2007,34(4):392-400.
- [8]张金川,姜生玲,唐玄,等. 我国页岩气富集类型及资源特点[J]. 天然气工业, 2009,29(12):1-6.
- [9]金之钧,蔡立国. 中国海相层系油气地质理论的继承与创新[J]. 地质学报, 2007, 81(8):1017-1024.
- [10]董大忠,程克明,王世谦,等. 页岩气资源评价方法及其在四川盆地的应用[J]. 天然气工业, 2009,(5): 33-39.
- [11]戴金星,胡国艺,倪云燕,等. 中国东部天然气分布特征[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(4):471-487.
- [12]Matt M. Barnett Shale Gas-in-Place Volume Including Sorbed and Free Gas Volume[C]. AAPG Southwest Section Meeting, March 1-4, 2003, Fort Worth, Texas, US.
- [13]Pederson T F, Calvert S E. Anoxia versus productivity -What controls the formation of organic-carbon-rich sediments and sedimentary rocks?[J] AAPG, 1990, 74: 454-466.

页岩气资源潜力与勘探开发前景

董大忠, 邹才能, 李建忠, 王社教, 李新景, 王玉满, 李登华, 黄金亮

DONG Da-zhong, ZOU Cai-neng, LI Jian-zhong, WANG She-jiao,
LI Xin-jing, WANG Yu-man, LI Deng-hua, HUANG Jin-liang

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

Petrochina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China

摘要:页岩气为近年来在北美地区广泛勘探开发的天然气新目标,在全球非常规油气勘探开发中异军突起,成为突破最晚、近期发展最快的非常规天然气资源。依据北美地区页岩气勘探开发的历程和全球页岩气勘探开发的进展,阐述了全球页岩气勘探开发的基本态势和页岩气5个方面的典型特征,分析了全球页岩气的资源潜力与分布特征,预测中国页岩气资源潜力约 $100 \times 10^{12} \text{m}^3$,指出页岩气的成功勘探开发是近10年来油气地质理论与工程技术取得的最激动人心的重大成就,页岩气资源潜力丰富,实现全面开发将带来一场全球的能源革命。最后,提出了4点加快中国页岩气发展的建议。

关键词:页岩气;资源潜力;发展前景;纳米孔;体积压裂

中图分类号:P618.1 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2011)02/03-0324-13

Dong D Z, Zou C N, Li J Z, Wang S J, Li X J, Wang Y M, Li D H, Huang J L. Resource potential, exploration and development prospect of shale gas in the whole world. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(2/3):324-336

Abstract: Shale gas which has been widely explored and developed in North America in recent years is a new nature gas source target. It has made a tremendous progress in unconventional nature gas exploration and development all over the world, and has become a typical unconventional nature gas resource which is the latest explored and the fastest development in the last year. Based on the course in North America and progresses in the world of shale gas exploration and development, this paper made an exposition of the main situation of shale gas exploration and development in the world and 5 typical geological characteristics of shale gas, and analyzed resource potential and distribution features of global shale gas, and forecasted $100 \times 10^{12} \text{m}^3$ of shale gas resource potential in China. Furthermore in the paper we also pointed out that the success of shale gas exploration and development in recent 10 years is the most stirring great achievement in oil-gas geological theories and engineering technologies. Shale gas resource is very abundant in the world. Its overall development would bring about a world-wide energy revolution. Finally the paper put forward four suggestions on speeding up shale gas development in China.

Key words: shale gas; resource potential; development prospect; nanometer-scale pores; hydraulic fracturing

页岩气为产自极低孔渗、富有机质暗色页岩地层系统中的天然气,是近期可实现经济规模勘探开发、资源丰富的非常规天然气资源。页岩气的形成与分布独具特征,往往分布在盆地内厚度较大、分布较广的有效烃源岩层中,具资源潜力大、开采

寿命长的优势^[1-2]。

按成因机制,页岩气为典型的自生自储、大面积连续聚集型的天然气藏。富有机质暗色页岩既是气源岩,又是储层和封盖层。富有机质暗色页岩生成的油气除部分排出、运移至砂岩或碳酸盐岩等渗透性

收稿日期:2010-11-16;修订日期:2010-12-27

资助项目:国家发改委、科技部、财政部国家重大专项《大型油气田及煤层气开发》(编号:2008ZX05018-001)

作者简介:董大忠(1962-),男,博士,教授级高级工程师,从事油气资源评价、油气资源战略调查与选区、页岩气等非常规油气形成与分布基础理论和核心技术研究。E-mail:ddz@petrochina.com.cn