中国含硫化氢天然气的研究及勘探前景 *

朱光有[1]　戴金星[1]　张水昌[1]　李 剑[1]　金 强[2]　陈践发[3]
(1. 中国石油勘探开发研究院　2. 石油大学地球资源与信息学院 东营　3. 石油大学资源与信息学院 北京)

朱光有等. 中国含硫化氢天然气的研究及勘探前景. 天然气工业,2004;24(9):14

摘　要　我国目前已在四川盆地、渤海湾盆地、鄂尔多斯盆地、塔里木盆地和准噶尔盆地等发现了含硫化氢气藏,含硫化氢天然气和高含硫化氢天然气已成为我国天然气资源的重要组成部分。由于硫化氢极强的毒性和腐蚀性,威胁着钻采生产过程中的每一个环节,极易发生事故。而目前国内外对硫化氢的成因机理、分布规律和控制因素等方面的认识尚不能做到有效预测,安全钻采等工艺技术尚不配套成熟,在硫化氢出现时的防御措施也不到位,因此尽快开展硫化氢研究已是当务之急。研究了硫化氢天然气勘探开发中存在的问题:地质认识不足,形成机理掌握不够,地化特性考虑不充分等。指出了中国含硫化氢天然气资源潜力在陆上已开发气区和海陆碳酸盐岩储层中都十分巨大。

主题词　硫化氢　天然气　资源潜力　勘探前景

自 1958 年我国首次在四川盆地发现含硫化氢天然气以来,已先后在渤海湾盆地、鄂尔多斯盆地、塔里木盆地和准噶尔盆地等含油气盆地中发现了含硫化氢天然气[1~21],硫化氢含量从微含硫化氢(刚能检测到)到气体中硫化氢含量占 92 %左右。由于硫化氢是一种剧毒的危害性气体,特别是高含硫化氢气体,对钻具、集输管线等都具有极强的腐蚀作用并形成"氢脆",从而导致重大的安全事故。我国发现的高含硫化氢气田都是在常规油气勘探中偶然发现的,都曾付出了人身死亡和财产损失的高昂代价。虽然含硫化氢天然气分布广泛,但是目前对含硫化氢天然气的成因机理、分布预测等方面的认识还比较有限,缺乏进一步开展深入系统的研究工作。因此开展硫化氢地质地球化学研究具有十分重要的理论意义和现实意义。

一、开展含硫化氢天然气研究是天然气工作者的当务之急

含硫化氢天然气是天然气资源的重要组成部分,也是硫磺的重要来源之一。我国天然气中硫化氢含量大于 1 %的天然气储量占全国天然气储量的四分之一[5],主要分布在四川盆地、鄂尔多斯盆地和渤海湾盆地。特别是近几年在川东北三叠系飞仙关组高含硫化氢天然气田(硫化氢含量平均高达 10 %)的大规模发现,为川渝地区东输供气工程的加快部署带来了资源保证。尽管硫化氢极强的毒性和腐蚀性给含硫化氢天然气田的勘探开发带来了极大的困难和挑战,但人类对油气资源的强烈依赖与有限资源之间的矛盾,又使人们不得不去勘探开发这部分天然气资源。因此,对含硫化氢天然气的研究具有重要的现实意义和经济价值。

在硫化氢研究方面,国外学者开展工作较早,不少学者就微生物硫酸盐还原作用(BSR)、硫酸盐热化学还原作用(TSR)等方面有针对性地进行了研究和试验分析[23~29]。虽然我国硫化氢资源比较丰富,但是国内对硫化氢的研究则比较薄弱,而且起步较晚,积累的有用分析资料也比较少。上个世纪 80～90 年代初,我国学者利用国内外资料及试验研究,总结了中国硫化氢天然气地球化学特征、形成条件、分布规律等[3~9],随后对硫化氢的研究几乎处于停止状态。最近几年由于川东北高含硫化氢天然气的大规模发现,已引起了一些学者的注意,并开展了细致的工作,提出了川东北高含硫化氢天然气是由于硫酸盐热化学反应(TSR)的结果[1][19,22]。

尽管对硫化氢的研究已取得了一定进展,但是关于硫化氢的系统研究工作国内外都开展得比较

*国家重点基础研究发展规划项目资助(编号:2001CB209100)。

作者简介:见本刊 2003 年增刊第 10 页。**地址**:(100083)北京学院路 20 号中国石油勘探开发研究院 CNPC 地球化学重点实验室。**电话**:(010)62098104,13522095968。E-mail:zhugy922@sohu.com

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

少,特别是有效的预测方法目前国内外都还没有,另外硫化氢气藏的分布规律、与油气的关系,以及硫化氢生成、运移、聚集的控制因素等,目前仍然不是很清楚,由此对于硫化氢气藏就难以做出准确的评价和有效的预测。另外关于含硫化氢天然气的成藏模式和资源分布预测以及高效开发等方面都没有开展过系统的研究,一些机理方面的认识都比较肤浅甚至模糊。只有对硫化氢成因有正确的理论认识,预测硫化氢的聚集才有可能性。因此开展含硫化氢天然气的地质地球化学研究具有重要的理论意义。

我国发现含硫化氢气田都是在油气勘探中偶然发现的,都曾付出了人身死亡和财产损失的高昂代价;同时由于害怕硫化氢气体,一些地区高含硫化氢都未开发利用。因此开展含硫化氢天然气的地质地球化学研究具有十分重要的战略意义和安全生产的紧迫性。

二、含硫化氢天然气在勘探开发中存在的问题

虽然我国开发利用含硫气藏已有多年历史,在勘探开发开采方面具备了一定的经验。但该类气藏特别高含硫化氢气藏毒性大,一旦失控危害性十分巨大,它威胁着气井在钻井、完井、射孔、试气、试采、正常采气生产以及作业等每一个过程中,容易造成事故发生。高含硫化氢井喷事故的发生,反映出我们对勘探开发这类特殊气藏的高技术与高风险性所涉及的科学与技术问题研究不够(特别是对硫化氢气体的巨毒性缺乏深刻的认识),缺乏相适应的成套安全技术与安全操作规程。因此有效解决我国高风险天然气藏勘探开发过程中存在的重大安全技术难题已显得十分紧迫,这就特别需要地质家对这种高风险天然气藏进行钻前预测和勘探开发风险评估。

含硫化氢气田和常规气田各有其特点,在勘探开发上的方法也有所不同。由于过去人们对硫化氢的研究不够,认识也不清楚,因此,在油气的具体勘探开发过程中就会出现以下问题。

(1)在 H_2S 的地质预测上认识不够。即不知道区域上有硫化氢存在,因此,在钻探过程中,一旦钻遇含硫化氢天然气层,常会造成人身死亡以及设备报废事故,造成无法挽回的惨重损失。因此必须对中国含硫化氢天然气的形成机制和资源分布给出科学的解释和预测,并制定出高含硫化氢气田的勘探开发战略计划方案。

(2)没有掌握硫化氢的形成机理。由于不了解硫酸盐还原菌通过对硫酸盐的异化还原代谢过程可以形成硫化氢,因此在常规油气开发过程中,由于酸化处理或注水不当等出现大量硫化氢。如我国的玉门油田在某些注水井中出现了一定含量的硫化氢,在英国北海油田,由于在注水开采的过程中就近将未处理的海水注入油层,结果造成油层普遍含硫化氢,给油气的开发带来了新的难题,从而改变整个油气的勘探开发计划和程序,给下游工程带来了不曾预料的新麻烦和新难题。因此,通过研究形成一套含硫化氢气田安全生产的配套技术(特别是钻井、完井、开发、集输等安全施工)和 HSE 体系及相关规范标准,确保安全高效施工。

(3)未考虑含硫化氢天然气的地球化学特殊性。硫化氢具有极强的腐蚀性,对钻井泥浆的设计配置也必须适应含硫化氢天然气钻探的特殊要求。在钻井工艺和安全方面也存在着不适应硫化氢钻探的特殊性,常造成井喷和钻具等腐蚀破裂事故。由于高含硫天然气钻采生产可借鉴的操作技术和管理经验不多,因此必须研究建立一套行之有效的高含硫气田安全体系,完善高含硫钻井、固井、完井、测试、储层改造、采气、集输、净化等安全性技术,需对井控装备、采气安全控制、管线和净化厂防泄漏防爆炸工艺设备和安全预警系统开展配套研制及改进完善,并且制定相应的施工、生产、公众安全预案,对高含硫化氢地区普及群众相关的知识和应急处理办法等。

可见硫化氢是在油气勘探开发过程中所面临的一个重要课题,只有对其进行深入地研究,才能解决生产中所面临的种种问题。尤其是在罗家 16H 井井喷事故后,许多理论认识和技术规范问题凸现或者滞后,相应的研究深度和广度不够,为了能高效、安全地开发高含硫气藏,急需更加深入系统地研究高含硫气藏的勘探开发以及安全生产的配套技术系列。通过对硫化氢的系统研究,更深入地了解它的成因、分布等规律,在油气的勘探过程中变被动为主动,用硫化氢天然气的分布规律具体地指导油气的勘探和开发,预测未知的含硫化氢天然气分布。在可能含硫化氢地区进行油气钻探时,预先设计好有关对策,加强有关硫化氢出现时的防御措施,改变过去一见硫化氢就回避、就跑的勘探思想,而要有准备的去勘探开发硫化氢资源。

三、中国含硫化氢天然气的资源潜力

我国含硫化氢天然气勘探潜力巨大,四川盆地、鄂尔多斯盆地、塔里木盆地和渤海湾盆地等我国主

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

要油气产区都不同程度的富集硫化氢气体。虽然目前国际硫磺价格低迷,从含硫化氢天然气中回收硫磺是一项亏本的工业活动,但是我国对天然气资源的极大需求又使人们不得不去开发这部分资源。特别是西气东输工程和川气出川工程的启动,极大地鼓舞了人们对天然气勘探的热情。而目前在川东北发现的一批大、中型气田均为高含硫化氢天然气,已探明天然气储量 2777.5 $\times10^8m^3$,是 2005 年川渝气东输工程的主供气田,这就迫使我们去进行含硫天然气勘探和开发。

国内外研究成果表明,碳酸盐—蒸发岩剖面中的硫酸盐(石膏)是 H_2S 形成的基础。因此,硫酸盐(或石膏)是硫化氢的最主要来源。我国已发现的所有高含 H_2S 气田无论在时代上还是在区域上均与碳酸盐—蒸发岩剖面中石膏的分布一致。由于我国石膏的成因绝大多数为沉积成因,有利于硫化氢的形成,而且石膏分布面积广,主要分布在五大成膏期地层中,即早寒武世、中奥陶世,早中石炭世,早中三叠世和白垩—早第三纪。在以上五大成膏期中,早中三叠世以前的均为海相石膏,而从侏罗纪开始直到第四纪,则以陆相为主。一般来讲,海相地层易于保存硫化氢,而陆相则反之。这是由于陆相地层富含 Fe、Cu、Ni、Co、Pb、Zn 等重金属元素,它们与 H_2S 相遇时,就立刻发生反应,生成金属硫化物,从而消耗 H_2S。因此陆相地层难以保存大规模的硫化氢气体,但是局部可以形成富集带,如华北赵兰庄气田、济阳罗家气田。

我国广泛分布的海相碳酸盐岩地区是今后我国油气勘探的重要领域。因此,对我国主要含油气盆地开展硫化氢的成因、富集、分布特征的研究具有广阔的空间。如东部的渤海湾盆地、苏北盆地、江汉盆地、中西部的鄂尔多斯盆地、四川盆地、塔里木盆地等含油气盆地中均分布有厚层的膏盐矿床,特别是我国南方广泛分布的 300 $\times10^4km^2$ 海相碳酸盐岩地区是今后我国油气勘探的重要领域,因此,开展对我国含油气盆地硫化氢的成因机制、富集特征、分布特征的研究和资源预测具有广阔的空间。另外对硫化氢天然气进行系统性综合研究,不仅有利于更好地勘探开发和利用硫化氢资源、了解和掌握硫化氢气藏的形成机制和远景评价,而且还可以根据其与常规油气田的许多共生组合特点,指导常规油气田的勘探开发。

四、建　议

全球目前已发现有 400 多个具有工业价值的高含硫化氢气田,其中有 88 个气田分布在碳酸盐岩层系内,而在陆相储层中发现的含硫化氢气田,绝大多数都与区域上含碳酸盐岩—蒸发岩地层有明显的联系。而需要特别说明的是,不是在所有的碳酸盐岩—蒸发岩地层和陆相含碳酸盐岩—蒸发岩地层的含油气盆地中都发现含硫化氢的气藏,当然也存在这种可能。硫化氢气体与蒸发岩地层存在哪些联系,都与哪些因素有关目前尚不明确。因此含硫化氢气藏的分布规律和有效预测需要开展深入研究。通过系统调查和深入研究,明确硫化氢的形成机制,阐明高含硫化氢气藏形成的主控因素,预测含硫化氢天然气的资源分布,建立含硫化氢天然气的预测模型,并编制出高含硫化氢天然气勘探开发规划方案,从而实现高含硫化氢气田的高效安全开发。

成文中参考的资料:❶王兰生,张鉴,谢邦华. 四川盆地东部碳酸盐岩含硫天然气的成因和分布特征研究. 中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院,2002

参 考 文 献

1 阎俊峰,阳建华,阎进培. 我国下第三系高硫化氢气体的发现及其地质意义. 地质论评,1982;28(4):433

2 张子枢. 四川碳酸盐岩气田的硫化氢. 石油实验地质,1983,5(4):304307

3 沈平,王先彬,徐永昌. 天然气同位素组成及气源对比. 石油勘探与开发,1982;(6):3438

4 戴金星. 我国高含硫化氢气的成因. 石油学报,1984;5(1):28

5 戴金星. 中国含硫化氢的天然气分布特征、分类及其成因探讨. 沉积学报,1985;3(4):109120

6 王新洲,李丽,刘守义. 天然气中硫化氢的成因和预测. 石油与天然气地质,1987;8(1):6776

7 黄籍中. 再论四川盆地天然气地球化学特征. 地球化学,1990;(1):3243

8 樊广锋,戴金星,戚厚发. 中国硫化氢天然气研究. 天然气地球科学,1992;3(3):110

9 樊广锋,戴金星,戚厚发. 硫化氢天然气生物成因的控制因素. 石油勘探与开发,1992;19(增刊):7176

10 陈安定. 陕甘宁盆地中部气田奥陶系天然气的成因及运移. 石油学报,1994;15(2):110

11 蔡春芳. 沉积盆地流体—岩石相互作用研究的现状. 地球科学进展,1996;11(6):575579

12 李生郁. 硫化氢在油气勘查中的应用效果——介绍一个成功的实例. 物探与化探,1997;21(2):159160

13 沈平,徐永昌,王晋江,王兰生. 天然气中硫化氢硫同位素组成及沉积地球化学相. 沉积学报,1997;15(2):216219

14 蔡春芳,梅博文,马亭等. 塔里木盆地流体—岩石相互作

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

用研究. 北京:地质出版社,1997:9097
15 祁士华,董勇,柳建华,邱毅. 冀中晋县凹陷区地表地球化学勘查研究. 地球科学,1998;23(1):103106
16 任骏. 长庆气田腐蚀及防护. 天然气工业,1998;18(5):63-67
17 杨天泉,黄先平,周肖. 川东渡口河气田飞仙关组气藏地质特征与勘探前景. 天然气工业,1999;19(6):1113
18 赵孟军,曾凡刚,秦胜飞等. 塔里木发现和证实两种裂解气. 天然气工业,2001;21(1):3539
19 王一刚,窦立荣,应初,张静,刘划一. 四川盆地东北部三叠系飞仙关组高含硫气藏 H_2S 成因研究. 地球化学,2002;31(6):517524
20 杨家静,王一刚,王兰生,文应初,刘划一,周国源. 四川盆地东部长兴组—飞仙关组气藏地球化学特征及气源探讨. 沉积学报,2002;20(2):349352
21 江兴福,徐人芬,黄建章. 川东地区飞仙关组气藏硫化氢分布特征. 天然气工业,2002;22(2):2427
22 Cai C F, Worden R H, Bottrell S H *et al*. Thermochemical sulphate reduction and the generation of hydrogen sulphide and thiols (mercaptans) in triassic carbonate reservoirs from the Sichuan Basin, China. Chemical Geology, 2003; 202(1): 39—57
23 Anisimov L A. Conditions of a biogenic reduction of sulfate in oil - and gas-bearing basins. Geochem Int 15, pp. 63—71 translated from Geokhimiya, 1978; 11: 1692—1702
24 Ohmoto H, Felder R P. Bacterial activity in the warmer, sulphate - bearing, Archaean oceans. Nature, 1987; 328(16): 244—246
25 Odonr J M. Industrial and environmental concerns with sulphate reducing bacteria. ASM News, 1990; 56: 473—476
26 Machel H G, Krouse H R, Sassen R. Products and distinguishing criteria of bacterial and thermochemical sulfate reduction. Applied geochemistry, 1995; 10(4): 373—389
27 Worden R H, Smalley P C, Oxtoby N H. Gas souring by thermochemical sulfate reduction at 140℃. AAPG, 1995; 79(6): 854—863
28 Vester F, Ingvorsen K. Improved MPN method to detect sulphate reducing bacteria with natural media and radiotracer. Appl Environ Microbiol, 1998; 64(5): 1700—1707
29 Saunders D F, Burson K R, Thompson C K. Model for hydrocarbon microseepage and related near - surface alterations. AAPG Bulletin, 1999; 83(1): 170—185

(收稿日期　2004-05-22　编辑　黄君权)

“西气东输”工程全线开始试通气



2004 年 9 月 1 日早晨 10 时许,塔里木盆地的天然气开始涌进“西气东输”管道,整个“西气东输”工程实现了全线试通气。

塔里木油田分公司总经理孙龙德主持了“西气东输”塔里木进气仪式,中国石油天然气集团公司副总经理苏树林,新疆维吾尔自治区主席助理、自治区经贸委主任王永民等领导参加了仪式。

而按照中石油的整体安排,“西气东输”工程将于今年 10 月 1 日全线投产,12 月 1 日轮南压缩机投入使用、克拉 2 气田投产,明年 1 月 1 日全线商业供气。

据了解,2003 年 10 月 1 日,靖边至上海段建成投产。至今东段运行平稳,已经向苏浙沪豫皖四省一市 21 家用户供气超过 6 亿立方米,日均外供气量达 320 万立方米,对这些地区经济发展、环境改善及人民生活水平提高起到了重要推动作用。

在天然气资源方面,经过几年努力,“西气东输”工程已具备年输气 200 亿立方米、稳定供气 30 年的资源条件。其中,塔里木盆地拥有天然气资源量 8.39 万亿立方米,主力气区库车塔北地区到目前已累计探明天然气地质储量 6580 亿立方米,可采地质储量 4372 亿立方米。而主供气源——塔里木盆地克拉 2 气田的产能建设也正在进行当中。长庆油田和塔里木油田将在近两年内形成 200 亿立方米的天然气年生产能力。

(居维清　报道　韩晓渝　摄影)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

ABSTRACTS AND AUTHORS

RESEARCH ON SOUR GAS IN CHINA AND ITS EXPLORATION PROASPECTS

Zhu Guangyou[1] , Dai Jinxing[1] , Zhang Shuichang[1] , Li Jian[1] , Jin Qiang[2] and Chen Jianfa[3] (1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development , CNPC; 2. Earth Resource and Information Institute , University of Petroleum , East China ; 3. Resource and Information Institute , University of Petroleum , Beijing) . NATUR. GAS IND. v. 24 , no. 9 , pp. 1 - 4 , 9/ 25/ 2004. (ISSN 1000 - 0976 ; **In Chinese**)

ABSTRACT; Sour gas reservoirs have been found in Si chuan Basin , Bohai Gulf Basin , E'erduosi Basin , Talimu Basin and Zhunge'er Basin at present. The sour gas and high sour gas have become an important component part of the natural gas resources in China. Each link in the processes of drilling and production was threatened by the very high toxicity and corrosivity of hydrogen sulfide , which was extremely easy to cause an accident. Currently , an effective predic tion can't be realized yet at home and abroad according to the knowledge on the genetic mechanism , distribution law and control factors of hydrogen sulfide ; the techniques of saft drilling and production have not formed a complete set and aren't skilled at ; and the precautions against hydrogen sul fide are non - ideal ; so that it is urgent for us to carry out the research on hydrogen sulfide as quickly as possible. In the paper it is pointed that the sour gas resource potential in the developed land gas provinces and marinel continental carbon ate reservoirs in China is tremendous , however there still ex ist some problems in sour gas exploration and development , such as the geological conditions , genetic mechanisms and geochemical properties of forming sour gas aren't fully rec ognized and considered , etc.

SUBJECT HEADINGS; Hydrogen sulfide , Natural gas , Resource potential , Exploration prospect

Zhu Guangyou's in troduction : See v. 23 , supplementary issue , 2003. Add : No 20 , Xueyuan Road , Beijing (100083) , China Tel : (010) 62098104 or 13522095968 E mail : zhugy 922 @sohu. com

MAIN CONTROL FACTORS OF FORMING THETIGHT SANDSTONE GAS RESERVOIRS IN XUJI AHE FORMATION IN WEST SICHUAN DEPRES SION

Tang Lizhang , Zhang Guisheng and An Fengs han (Research Institute of Petrolum Exploration and Development , Southwest Branch , Sinopec) . NATUR. GAS IND. v. 24 , no. 9 , pp. 5 - 7 , 9/ 25/ 2004. (ISSN 1000 - 0976 ; In Chinese)

ABSTRACT; Through drilling it was proved that the Xujiahe Formation in West Sichuan Depression is of good ex ploration potential , the gas shows in drilling being commonly found in Xujiahe Formation. However , these questions , i , e. where was the natural gas enriched ? what is the main control factor of reservoir formation ? must be faced by exploration geologists. On the basis of analyzing comprehensively the geological conditions , structural evolution , reservoir pore evo lution , hydrocarbon - generation and - expelling histories and their interrelations , the characteristics and main control fac tors of forming the unconventional tight sandstone gas reser voirs are summarized as : ①the early gas accumulation and distribution were controlled by the paleo - uplift formed in In do - Chinese epoch , especially in Yanshan epoch ; ②the paleo structural - diagenetic traps are mainly the traps of enriching oil and gas ; ③the existence of effective natual fracture sys tems is the key to high productivity ; and ④the ancient - pres ent superposition traps are the beneficial targets of explor ing for natural gas. A fairly good result has been obtained by use of these achievements and knowledge in guiding gas explora tion.

SUBJECT HEADINGS : West Sichuan , Unconventional reservoir , Paleo - uplift , Combination trap , Main control fac tor

Tang Lizhang (senior engineer) , born in 1960 , is mainly engaged in the synthetic research on petroleum geology. Add : Qinglongchang , Chengdu , Sichuan (610081) , China Tel : (028) 83504573 E - mail : tlzshang @vip. sina. com

OIL/ GAS RESERVOIRING CHARACTERISTICS AND BENEFICIAL RESERVOIR BODY PREDIC TION IN THE SOUTH-

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net