

国际天然气水合物勘查开发研究新进展 ——第七届爱丁堡国际天然气水合物大会特邀报告综述

唐金荣^{1,2}, 苏 新¹, 许振强³, 祝有海⁴, 吴能友⁵

TANG Jin-rong^{1,2}, SU Xin¹, XU Zhen-qiang³, ZHU You-hai⁴, WU Neng-you⁵

1. 中国地质大学(北京)海洋学院, 北京 100083; 2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;

3. 中国地质调查局, 北京 100037; 4. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

5. 中国科学院广州能源研究所, 广东广州 510640

1. *School of Marine Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Development Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China;*

3. *China Geological Survey, Beijing 100037, China;*

4. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

5. *Guangzhou Center for Gas Hydrate Research, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China*

摘要: 简要介绍了 2011 年 7 月在英国爱丁堡召开的第七届国际天然气水合物大会概况。对会议中 5 个大会特邀主题报告给予介绍或评述。Thomas 介绍了亨弗里·戴维对科学发现的追求和应用, 后者在实验室发现了气水合物。Ripmeeste 总结了实验模拟中对气水合物客体与载体相互作用、水合物形成和分解过程的认识和成果。Suess 指出过去 25 年间人们对海洋天然气水合物的研究经历了从“避免策略到旨在获取”、“能源开发和二氧化碳储存兼顾”、“追求储量到记录环境变化”3 个阶段。Kurihara 总结了日本多年的研发结果, 包括数字模拟研究、对甲烷储层的分类和产气能力的评估、天然气生产方法等, 讨论了商业发展甲烷水合物的可行性和挑战。Sloan 介绍了管道安全复杂体系的 4 种概念性端元类型, 并指出风险管理策略比防治更为经济, 是未来防止水合物堵塞的重要工具。

关键词: 天然气水合物; 研究新进展; 第七届国际天然气水合物大会; 爱丁堡

中国分类号: P618.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2442(2011)12-1927-07

Tang J R, Su X, Xu Z Q, Zhu Y H, Wu N Y. New progress of the international gas hydrate exploration and development. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(12): 1927-1933

Abstract: This paper provided brief information about the 7th International Conference on Gas Hydrate (7th ICGH) held at the Edinburgh, United Kingdom, from 17-21 July 2011. Prof. Thomas F.R. talked about how the famous scientist David devoted himself to scientific discovery and application, and how he found gas hydrates in the chemical laboratory 200 years ago. Canadian Prof. Ripmeeste introduced the results dealing with experimental simulation study on guest gas hydrate and the interaction process of hydrate formation and decomposition. He pointed out that the study on the decomposition processes in different scales became a challenge. Prof. Suess summarized three study stages in the last 25 years: “from a policy of avoiding gas hydrate to emphasizing deliberate drilling for it”, “from exploiting gas hydrates as energy to considering exchange of CO₂ for CH₄ hydrates”, “from pursuing methane-hydrate reserves to documenting release of methane from destabilization in marginal seas”. Kurihara from Waseda University, Japan, introduced

收稿日期: 2011-11-09; 修改日期: 2011-11-21

资助项目: 国家重点基础研究发展规划“973”项目《天然气水合物成藏的地质条件研究》(编号: 2009CB219502)和国土资源部公益性行业科研专项《天然气水合物成藏的地质控制因素研究》(编号: 200811014-02)

作者简介: 唐金荣(1978-), 男, 在读博士, 从事地质科技情报与战略研究。E-mail: jinrongt@163.com

通讯作者: 苏新(1957-), 女, 教授, 博士生导师, 从事微体古生物、海洋地质和天然气水合物调查与研究。E-mail: xsu@cugb.edu.cn

the results of the past and ongoing research and development, including methods of digital simulation, classification of methane gas reservoir, and case studies; and he discussed the feasibility of commercial development and the challenges of methane hydrate. Sloan described four conceptual pictures of hydrate blockages, and suggested that two challenges in the future: interactions between flow assurance areas, and the flow assurance concepts are illustrated beyond the pipeline, to a case of deepwater well blowout containment.

Key words: gas hydrate; new progress; 7th ICGH; Edinburgh

1 会议概况

2010 年 7 月 17 日至 21 日,第七届国际天然气水合物大会(7th ICGH)在英国爱丁堡国际会议中心召开,大会收录交流论文 595 篇,来自中国、美国、日本、韩国、英国、加拿大、挪威、德国、俄罗斯、法国、印度、澳大利亚、新西兰、巴西、丹麦、伊朗、台湾等 30 多个国家和地区的 600 多名代表参加了这次盛会,云集了世界水合物领域的著名专家学者。

大会安排 1 个主题演讲报告和 4 个大会特邀报告。下设 4 个主题分会场和 2 个专题分会场,分别开展分会口头报告和展板交流(表 1)。共有 96 个分会口头报告(中国大陆 4 个),502 篇论文进行展板交流,展示了当今水合物勘探开发研究的最新成果和进展,为各国代表提供了良好的交流平台。

参加本届大会的中国大陆参会代表有 54 人,包括中国地质调查局 11 人、中国科学院 11 人、大连理工大学 11 人、中国海洋石油总公司 2 人、中国石油大学(北京)2 人、中国石油大学(华东)4 人、中国地质大学(北京)2 人、南京大学 2 人、华南理工大学 1 人、吉林大学 4 人、中国石油化工集团公司胜利油田

4 人。这也是国际天然气水合物大会召开以来,中国参会代表最多的一次。此外,还有中国目前在英国学习或进修的学生代表数人。中国代表在这次各分会场的口头报告有:中国科学院广州能源研究所吴能友关于《中国海洋天然气水合物研究综述》(天然气水合物分会),中国科学院地质与地球物理研究所郭光军《水合物成核的笼吸附假说》(天然气水合物相关研究基础分会),中国地质科学院矿产资源研究所卢振权(代祝有海)《祁连山冻土水合物钻探结果》(气水合物和气候变化分会),中国海洋石油总公司研究院白玉湖《应用海洋表层热水进行天然气水合物开采的可行性》(能源和新技术分会)。中国台湾地区也有近 10 人参加该会。

本次大会最后还有一个重要议题是决定下一届国际水合物大会的召开地点。大会共收到来自美国、中国、印度三国 4 个研究机构提交的 4 份关于“第八届国际天然气水合物大会”的申办申请。吴能友研究员代表中国做了精彩的申办报告,给大会国际科学委员会留下了深刻的印象。通过提问、答辩和大会国际科学委员会讨论投票,最终决定第八届国际天然气水合物大会于 2014 年在中国北京举行。

表 1 第七届爱丁堡国际天然气水合物大会分会设置和相关论文数量统计表
Table 1 Statistics of talks and papers on 7th ICGH

分会主题	论文数 (口头报告数)	口头报告涉及的主要方面
天然气水合物分会	185(37)	国家或地区水合物研究和勘查现状综述,对水合物和含水合物沉积的地球物理、地球化学和地质学的野外和室内研究,以及实验模拟研究、资源量估算等
气水合物相关 基础分会	139(19)	水合物成核、形成、分解等过程及其温压条件的实验模拟、动力学研究、相变或相平衡研究等
能源和新技术分会	152(18)	探测和天然气生产有关的手段、方法
外星气水合物分会	6(1)	对外星天体可能存在的笼型水合物应用红外光谱作天体物理远程检测
气水合物和流动 保障专题分会	89(13)	动力学抑制、抗聚剂、水合物堵塞监测、预警、风险防范等
气水合物和气候 变化专题分会	20(12)	海底甲烷水合物及其资源量对气候变化的响应、甲烷释放通量、海底监测等

由于该会议涉及十分广博的科学和技术内容,笔者专业和知识有限,加上会议期间分成多个小分会,只能参加部分分会,对参会的500多篇论文或摘要及其展板来不及仔细阅读学习,所获得的信息有限和不全。但考虑到国内多数目前从事天然气水合物研究的人员没能参加这次会议,以及针对中国未来水合物研发的需要,撰写本文,介绍有关文献,供大家参考。

下面着重介绍主题演讲报告和4个大会特邀报告的主要内容,并结合笔者的理解略加评述。

2 大会主旨:崇尚创新,努力实现科学开发

英国皇家学会院士——剑桥大学材料科学和冶金系在固体化学、材料科学等领域有重大创举而著名的 Sir John Meurig Thomas 教授在本次大会的欢迎开场主题报告会上,做了题为《亨弗里·戴维(Sir Humphry Davy):自然哲学家、发明家、诗人,善于行动的人》的主题报告。他介绍了200年前英国皇家学会院士戴维,从来自英国康沃尔一个社会地位低下的木雕手工艺家庭,通过努力和对科学发现感兴趣并且刻苦追求,成为国际著名学者中的顶尖人物之一。

早年大家熟知的是戴维发现了Na、K、Ca、Ba、Sr、Mg等化学元素、确定氧化亚氮(俗称笑气)的化学性质和缓解镇痛的特性,他及其科研助手与合作者,即后来获诺贝尔奖的迈克尔·法拉第(Sir Michael Faraday)发明了Davy矿灯等重要发现。同时戴维还是气水合物的发现者。他于1810年在著名的贝克尔讲座(Bakerian Lecture)会上报告了他在实验中在低温和加压条件下将冒泡状氯气输送进含氯气水溶液的过程中,水体中出现了冰状物质;经反复试验,他认为这是一类新的“元素”,命名为氯气(Chlorine, Chloric gas)。虽然在戴维之前,有人发现了水合物或氯气^[1],但戴维第一个公开发表了他的成果,并给予正式命名^[2]。后来,其合作者法拉第于1823年实验首次获得该物质的气水合物结构,确定其属于化合物($C_{12} \cdot H_2O$)。Thomas教授把戴维称为欧洲科学苍穹之上最辉煌的行星之一,而戴维常常说自己最伟大的发现是发现了迈克尔·法拉第。

Thomas教授在第七届水合物大会开场主题报告中以亨弗里·戴维对气水合物的发现展开报告,赞美亨弗里·戴维对科学的愉快追求、致力发现,并

加以应用。戴维对科学的这种追求可以从他留下的笔记看到:“Of modern chemistry it may be said that its beginning is pleasure, its progress knowledge, its objects truth and utility”。笔者理解,这也是大会科学委员会为本次大会和天然气水合物未来的研究、应用定下的基调。虽然历经200多年,在今天科技巨大进步下,许多国家的大量科技人员对天然气水合物的研究和开发做了大量工作,但摆在天然气水合物领域科技人员前面的仍然是如何深入发现、进一步科技创造和科学开发,并将有关成果应用于人类文明进步需求等重大挑战。

3 水合物分解过程及其机理研究新进展

加拿大国家研究理事会斯泰西分子科学研究所的John Ripmeester教授及其团队多年从事对水合物分子动力学的试验和模拟研究。在大会上所做的题为《从分子学角度看气水合物客体分子和载体的相互作用、结构和过程》的报告,主要介绍了最近实验模拟研究中对气水合物客体与载体相互作用、水合物形成和分解过程的一些问题、认识和成果^[3]。在这里本文着重介绍其报告中关于水合物分解的认识和成果。

Ripmeester教授指出,水合物分解是一个众所关注的变化过程,为了解气水合物分解过程对大规模气水合物储层的作用,必须去尝试和模拟从水合物中进行天然气生产获得气体的过程。然而,为了确保该尝试是正确的,需要拥有分子动力学的知识,对水合物储层进行宏观模拟的各类模式必须考虑与微观尺度变化的一致性。

为进一步了解水合物分解过程中分子尺度的变化,他们进行了甲烷水合物分解过程中分子动力学的模拟计算。与早先计算条件不同的是,这些模拟计算是按绝热条件进行的,以便追索水合物分解过程中吸热反应时的温度变化。毫不奇怪的是,分解中水合物系统的平均温度大幅度下降可在水合物分解启动的纳秒级时间内发生,伴随而来的是分解速率的减缓。

此外,在同一纳秒时间尺度内,有甲烷气体的持久性微型气泡形成。这些观察结果对早先一些表征动力学模型的关键性假设提出质疑。例如,原来认为在各相态界面之间不存在传质或传热电阻,分解反应被认为是一等温过程等。他们的一个新研究结果

表明,无论降压或加热模拟都导致水合物表面温度与其储层温度背景不同,因此水合物的分解过程不是等温过程。

Ripmeester 教授最后指出,未来水合物科学和技术面临的一个持续存在的问题是,更深入地去了解水合物分解的过程,以最终达到对水合物分解的控制。由于对水合物分解进程可以进行从储层到分子尺度不同范围的研究,人们要了解其分解机制,所面临的一个挑战是需要建立宏观尺度模拟与微观尺度模拟水合物分解过程之间的联系,或者两者在某种程度上的一致性。

笔者评述:海洋和陆地冻土环境中天然气水合物的分解过程和结果涉及许多重大的科学、资源和开采中的问题,如气候变暖和海平面下降造成的海底甲烷水合物的大规模分解、储层的厚度减薄或气水合物的融化、导致的海底陆坡不稳定或滑塌,以及开采中分解过程、所需消耗的能量、时间与开采速率等问题。实际上,自然界中的天然气水合物由于储存在不同环境下的沉积物中,其分解过程肯定比实验室模拟的水与气体环境要复杂得多。

4 海洋天然气水合物研究观念的变化

德国基尔大学 IFM-GEOMAR 研究中心的 Erwin Suess 教授,是中国海洋天然气水合物科技人员都十分熟悉的老朋友了。他做了《近 25 年来海洋天然气水合物研究观念之转变》的报告,概述了过去近 1/4 个世纪期间,国际海洋地球科学界对海洋天然气水合物的研究经历了 3 个阶段:①国际大洋钻探计划的钻探航次对海底地层中存在的水合物经历了从最初在钻探中的避免策略转变为强调旨在获得该样品的钻探;②许多国际合作计划已从在利用天然气水合物作为能源的同时,进入到考虑用二氧化碳水合物置换甲烷水合物,从而进行二氧化碳储存的阶段;③最近,由于全球气候变化因素,许多研究已经从追求甲烷水合物储量研究转变为研究和记录边缘海由于环境不稳定导致甲烷释放的变化^[4]。

他的报告对这些阶段给予了说明和列举。第一阶段产生了丰富的知识,并奠定了我们今天继续开展海洋天然气水合物研究的基础。第二阶段主要是探索更准确地估计可开采的被水合物绑定的天然气资源量和勘查、获取技术,该阶段使我们找到了目前从海底甲烷水合物开采甲烷的同时将二氧化碳封存

在海底这样一个将资源开发与环境保护耦合进行的创新途径。世界各国政府已经认识到存储二氧化碳的潜力,已经开始建立和实施有利环境的安全碳捕获和储存(CCS)的相关法规等。在第三阶段,在进一步探索全球甲烷水合物储量的过程中已经发现的明显证据是,过去几十年的环境变化可能引发边缘海海底下不稳定水合物的甲烷释放和这些区域近海底氧含量的减少。以往对全球变暖时期的研究提出和再造过这样的场景,这类场景目前似乎进入了现实。

他在报告和文章的结尾,指出了当前和未来海洋天然气水合物勘查和研究中存在 7 方面的问题。

(1)推导估计全球性水合物资源量和准确评价可利用的水合物储量,仍属于未来研究的优先领域,需要继续努力推进。

(2)与第一个问题紧密相联的是沉积物中水合物的饱和度的问题,即天然气水合物占据沉积物孔隙空间的丰度。目前正在使用的方法有:利用保压取心器取样和释放的甲烷量估算、孔隙水的“淡化”异常和地球物理方法的建模模式。但在实际勘查中,把来自局部层段的估算方法和结果应用于对整个含水合物地层层序不同单元的估算目前还不可能。

(3)对含水合物的岩心宏观和微观成像技术的应用,相关结果目前刚揭示了对沉积物颗粒界限、颗粒大小、水合物相态的变化,以及这些属性对天然气水合物的物理性质的影响。宏观和微观成像技术的应用,不仅仅对研究沉积物中水合物的产出和形成状态具有了解其基础知识的优势,同时对地震波在沉积物中传播波速的研究和相关的地球物理建模也是一种重要的技术方法。

(4)在目前各类新的和不断改进的海洋天然气水合物勘查和识别手段中,一个新的方法是,应用可控源电磁法(CSEM)调查,利用沉积物中固结水合物层的高电阻率的特点结合水合物储层岩性电阻率的对比研究。

(5)目前大量研究已经表明,绝大部分的海底甲烷渗漏及其生态系统依赖于近海海底存在的天然气水合物,然而尚未对“地质成因(geogenic)”全球甲烷渗漏通量进行研究和估计。

(6)上面所述第三个阶段关于环境不稳定导致甲烷释放的变化的相关研究,在未来将继续是一个重大的科学目标。这里包括了全球环境变化对海洋

范围和永久冻土区域天然气水合物形成与分解的影响,以及对水合物能源工业开发的潜在影响。对环境影响的研究,不一定限制在对气候反馈效应的研究,但必须包括对控制大陆陆坡稳定的因素的影响,以及能源生产所需的基础设施对环境稳定性影响的相关研究。

(7)此外,还有与工业天然气生产及其对环境的影响相关的问题,天然气的产量取决于开发水合物的各类技术的利用。Suess 教授认为第二阶段中谈及的开发甲烷水合物同时进行二氧化碳储存的方法是最佳选择。但从封存的大容量和安全性考虑,他建议将固体状二氧化碳输入海底,而不是采用对其它物质封存那样,输入液态和气态的二氧化碳^[4]。

5 日本天然气水合物开发研究进展

日本早稻田大学资源与环境工程学院 Masanori Kurihara 教授在大会上做了《从甲烷水合物储层生产天然气》的报告。

报告简要地介绍了过去日本 21 世纪甲烷水合物研究联盟(MH21 Research Consortium)的工作,该组织的任务是在日本海域完成勘探和开采甲烷水合物,已实施了各种研究项目,已进入了对甲烷水合物资源评估阶段,并建立了甲烷水合物产气方法,调查了开发甲烷水合物对环境的影响。他指出,日本通过这些研究项目,已获得对甲烷水合物分解、天然气生产等方面所关注问题的了解和知识的积累。特别是,通过日本 21 世纪甲烷水合物研究联盟的工作,对代表最先进水平的甲烷储层数值模拟演示模型(MH21-HYDRES)的开发和不断更新,日本已利用这一模式获得了从甲烷储层的生产天然气的启发性的模拟结果^[5]。

Kurihara 教授的报告和论文,总结了日本过去和正在进行的研究结果,包括数字模拟研究、对甲烷储层按油藏特征观点的分类、甲烷储层的天然气生产能力、从储层中分解甲烷水合物的方法和拟议的天然气生产方法等,展示了对日本外海甲烷储层目标的实地案例分析,并讨论了商业发展甲烷水合物的可行性和挑战。

该甲烷储层数值模拟能够处理三维、五相、六分量的问题。其中三维(3D)笛卡尔和二维径向坐标(2D)可应用于局部网格细化,而五相和六个组成部分则考虑了与水合物有关的物质及其相态,如 5 种

相态的物质(气、水、冰、甲烷水合物(及其沉积)和盐),6 个组成部分(甲烷、二氧化碳、氮、水、甲醇和盐)。对该数值模拟方法有文章介绍^[6-9]。

Kurihara 教授的报告和论文都展现了他们利用该数值模拟方法,分别针对不同甲烷水合物储层、不同的水合物生产方法(加热、降压等)进行的模拟生产,以及针对日本南海海槽储层情况模拟时间约 8 年的生产实验(含不同生产方法、产气量和经济效益)做了评价。

Kurihara 教授最后对有关开采模拟和实验得到的结论性认识如下。

(1)海底甲烷水合物储层划分为 3 类 4 种。3 类储层分别是:水合物充填在沉积物孔隙空间(孔隙充填型,笔者注,后同)、甲烷水合物(MH)充填在构造裂隙空间内(断裂充填型)和呈块状或结核状的沉积(集块型)。其中,孔隙充填型具有能源资源前景,并进一步分为 4 种:第一种储层下伏有游离气体,第二种储层之下有自由水,第三种储层上下被渗透率低的沉积层所封闭,第四种储层所含的 MH 分散在细粒泥层中。

(2)对开采方式的介绍和评述。目前水合物有 3 种主要的开采方式:减压法、加热法和抑制剂法。当甲烷水合物储层厚度足够大,且有关初始温度、绝对渗透率和初始有效的水渗透性相对于该储层来说都足够大的情况下,减压法可以切实应用。在某些情况下,如甲烷水合物储层具有高渗透性和井距足够小,应用加热方法获得的天然气产量可能高于降压法,但是从经济效益来说,不能指望用加热法分解 MH 来生产天然气。

(3)对不同甲烷水合物储层类别开采效益的评述。①由于 MH 本身就能自然分解而产生天然气,并不需要有复杂的 MH 分解过程。对于下伏有游离气体的第一种储层的天然气生产来说,这种储层在天然气生产方面和产气的经济方面都具备优势。②对下伏层含自由水的第二种储层来说,尽管可能有从下伏含水层上来的水向储层提供热量,从而使得 MH 分解和产出天然气,但是从现实的观点来看值得怀疑,下伏含水层不一定能提供大量充分的水。③对第四种储层和除第一种储层之外的任何类别(或属性)的储层应用目前所具有的开发技术的开发计划都是无望的。

(4)Kurihara 教授强烈建议进行长期的野外生

产实验,以确保解决意想不到的问题,如完井的失败和渗透率的降低,这些都是实地野外生产作业可能遇到的问题。

6 气水合物与流量保证研究最新进展

美国科罗拉多矿业学院水合物研究中心的 Dendy Sloan 教授,是国际著名的天然气水合物专家,在实验模拟等方面做了大量工作并做出了杰出的贡献。他所做的题为《气水合物与流量保证研究最新发展》的大会报告,反映了国际上该领域的新动向。

报告首先指出,在油气开发和输送工业领域,防止水合物对管道的堵塞,确保流量保证(flow assurance)受到人们极大的关注。即使水合物作为固体化合物比蜡或沥青质相对容易界定,但是水合物在管

道中快速生成和导致堵塞的问题,尤其是发生在近海和北极周围地区的水合物堵塞问题导致成本增加,因此需要工业界的关注和举措。而笼形水合物的形成和分解,从其分类来说是相变,而不是化学反应。目前对其详细的形成与分解机制在分子水平上还不能很好地理解^[10]。

Sloan 教授认为在一个输油管线内发生水合物堵塞,涉及错综复杂的因素。因此,将每种情况看成是一种个体,管道安全复杂体系大致可分为 4 种概念性端元类型:①管道系统存在充分分散状态的水;②系统中存在游离状态的自由水;③有水合物在管壁沉积的情况;④由天然气占主导地位的系。他在报告和论文中对这种系统的概念给予了举例和说明。他还举例介绍和讨论了一种防止堵塞的范式变化(Paradigm Change)研究,并指出在不断增长的

表 2 目前国际上开展流量保证研究的 5 个实验室及其主要研究方向
Table 2 Flow assurance research in the five large academic laboratories in the world

研究室名称	国 家	主 要 内 容 或 方 向
Heriot-Watt 大学	英 国	有由 20 多个油气公司支持的 4 个主要研究计划,如低剂量抑制剂和新研发的动力学抑制剂与抗聚剂、水合物的监测和预警系统、水合物流、基本热力学数据
圣艾蒂安经济和矿业研究所	法 国	研发“能将水合物凝核反应动力学及其增长和集聚/破裂与流变耦合的模型”
塔尔萨大学	美 国	为实现水合物的流量保证开展大规模的流动循环实验
科罗拉多矿业学院水合物研究中心	美 国	完善和推进复杂的流量保证概念图示
中科院广州天然气水合物研究中心	中 国	水合物浆和发展低剂量水合物抑制剂

表 3 本次大会流量保证方面的文章和展板的分类
Table 3 Grouping of flow assurance papers at the 7th ICGH

涉 及 方 面	论文数量	主 要 内 容 或 方 向
水合物堵塞管道的预防	34	各类防止凝结的方法,如各类化学试剂的应用
管道中水合物形成	20	阻止水合物形成的方法,硫醇和露点关系、离子型液体的应用等
实验模拟	16	反凝结或动力学模拟、水分子饱和系统或高水分子含量流体模式等
监测和识别管道水合物的形成	6	安全边界的识别、在线监测、预警系统等
管道修复和补救	2	加热或降压

注:主要内容为笔者所概括

预防堵塞的情况下,风险管理策略比防治更为经济,是未来防止水合物堵塞的重要工具。目前通常应用的风险管理策略,包括动力学抑制剂、抗聚剂和泥浆流(slurry flow or cold flow)^[11],以及预测何时会发生堵塞的一个研究计划^[12]。

他介绍了目前国际上 5 个流量保证实验室的主要研究方向(表 2),并对参与本次大会流量保证方面的文章和展板做了一个大致的分类(表 3)。

Sloan 教授最后指出,在未来流量保证的应用中面临 2 个挑战:一是不同流量保证端元类型的相互作用;二是油气钻井喷溢的抑制措施^[10]。

7 结 语

中国过去 10 年在海陆水合物勘查方面取得了许多重要突破和进展,如 2007 年在南海神狐钻获天然气水合物实物样品,2008 年在祁连山冻土区的水合物钻探也获得样品。但在许多方面与天然气水合物研发历史悠久的国家,如美国、日本、德国、加拿大、英国等国相比,我们的总体科研和技术水平仍然落后。

这次大会几个在国际水合物领域的领衔科学家,根据他们多年的丰富经验和洞察经历,以及对各自学科方向的把握和深广的视野,提出了未来水合物研发在有关领域中的问题和挑战。希望本文的介绍能有利于国内相同领域的科技人员对相关问题的关注和开展探索。

2014 年第八届国际天然气水合物大会将在北京举行,可预测该大会将极大地促进中国天然气水合物的研发,同时也可以预测,中国将在该次大会展示更多或具国际水平的成果。

参考文献

[1]Makogon Y F. Hydrates of Hydrocarbons[M]. Tulsa, Oklahoma:

Pennwell Publishing Company, 1997: 1-8.

- [2]Davy H. The Bakerian Lecture:On some of the combination of oxymuriatic gas and oxygen, and on the chemical relations of these principles to inflammable bodies[J]. Philos. Trans. R. Soc. London., 1811, 101(Part): 1-35.
- [3]Ripmeester J A. Hydrate geust-host interactions, structions, structure, and processes: a molecular view[C]//Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2011). Edinburgh, Scotland, United Kingdom, 2011.
- [4]Suess E. Marine gas hydrate research: changing views over the past 25 years[C]//Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates(ICGH 2011). Edinburgh, Scotland, United Kingdom, 2011.
- [5]Kurihara M Hideo Narita. Gas production from methane hydrate reaervoirs[C]//Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates(ICGH 2011). Edinburgh, Scotland, United Kingdom, 2011.
- [6]Masuda Y, Naganawa S, Ando S, et al. Numerical calculation of gas-production performance from reservoirs containing natural gas hydrates[C]//Paper SPE 38291, Proceedings. Western Regional Meeting, Society of Petroleum Engineers, Long Beach, California, 1997.
- [7]Masuda Y, Konno Y, Iwama H, et al. Improvement of near wellbore permeability by methanol stimulation in a methane hydrate production well[C]//Paper OTC 19433, Proceedings of the Offshore Technology Conference. Houston, Texas, 2008.
- [8]Kurihara M, Ouchi H, Inoue T, et al. Mallik 5L-38 gas hydrate thermal production test through numerical simulation[M]. Geological Survey of Canada, Bulletin 585, 2005.
- [9]Kurihara M, Sato A, Ouchi H, et al. Prediction of gas productivity from Eastern Nankai Trough methane-hydrate reservoirs [J]. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 2009, 12(3):477-499.
- [10]Sloan D, Carolyn A K, Amadeu K S. Hydrate flow assurance state-of-the-art[C]//Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates(ICGH 2011). Edinburgh, Scotland, United Kingdom, 2011.
- [11]Sloan D, Koh C, Sum A, et al. Natural Gas Hydrates in Flow Assurance[M]. Gulf Professional Publishing, Burlington, USA, 2011.
- [12]Zerpa L. Overview of CSMHyK: A transient hydrate kinetics model developed over a decade of hydrate research[C]//Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2011). Edinburgh, Scotland, United Kingdom, 2011 (Poster paper 28) .