

内部资料 免费交流
京内资准字 2018 — L0102 号

学部通讯

中国科学院学部工作局

学
部
通
讯

第
五
期

荣誉使命
科学梦

[2020]
第 5 期 (总第 249 期)

二
〇
二
〇
年
五
月

学部通讯 Xuebu Tongxun

2020 年 5 月出版

主 办：中国科学院学部工作局
电 话：010-59358333 010-68597911
编 辑：《学部通讯》编辑部
传 真：010-59358300
地 址：北京市海淀区中关村北一条 15 号
电子信箱：xbtx@cashq.ac.cn
邮 编：100190
学部网址：www.casad.cas.cn

科学人生

求真务实，探寻新知，勇于建言，清除伪劣。

——施雅风

施雅风（1919—2011年），地理学、冰川学家。1980年当选为中国科学院学部委员（院士），地学部。



1964年，施雅风与刘东生一起率队到希夏邦马峰进行科学考察



1974—1975年，施雅风（左一）带队进行喀喇昆仑公路巴托拉冰川考察，在没有计算机的情况下准确地预报冰川进退



2002年在北京召开的国际气候变化大会的休息期间，施雅风（右二）和外宾交谈

学部通讯

Xuebu Tongxun



主 办：中国科学院学部工作局

主 编：王笃金

副 主 编：石 兵

编 辑：（以姓氏笔画为序）

王 勇	王振宇	文彦杰
冯 霞	李鹏飞	张 勇
陈 光	钱莹洁	薛 淮

地 址：北京市海淀区中关村北一条15号

邮 编：100190

电 话：010-59358333

010-68597911

传 真：010-59358300

电子信箱：xbtx@cashq.ac.cn

学部网址：www.casad.cas.cn

发送对象：中国科学院院士、中国科学院机关各局等

印 刷：北京科信印刷有限公司

印 数：1500 册

印刷日期：2020 年 5 月 25 日

目录

CONTENTS

2020 年第 5 期 (总第 249 期)

要闻动态

- 1 曹晓风院士入选美国国家科学院外籍院士
 - 1 傅伯杰院士荣获 2020 年英国皇家地理学会荣誉会士
-

咨询评议

- 2 高德利：创建大型“井工厂”，推进我国“页岩革命”
- 10 程津培等：关于加快推进我国生物质合成燃油产业发展的咨询报告
- 16 郑建华等：加强关键信息基础设施建设，保障网络安全
- 28 申长雨等：发展轻量化和绿色环保技术，实现塑料加工和模具工业转型升级



学术引领

40 “生态系统生态学”科学与技术前沿论坛综述

院士论坛

48 白春礼：为全面提高国家生物安全治理能力提供有力科技支撑

54 张景中：把数学变容易大有可为

56 梅宏：“重建”中国科研生态

学海春秋

58 傅伯杰：高考前十天，我才得到报考资格

64 大医泰然——纪念吴阶平院士

目录

科苑钩沉

70 程开甲：只有创新才能获得真正的成功

智库扫描

73 英国 NERC 资助研究提出 2020 年生物保护领域 15 个关键议题

76 美国 NOAA 发布应用于海洋领域的新兴科学技术战略草案

缅怀院士

79 万卫星院士逝世

学部记忆

曹晓风院士入选美国国家科学院外籍院士

2020年4月27日，美国国家科学院公布了2020年新选出的院士和外籍院士名单。中国科学院院士、中国科学院遗传与发育生物学研究所研究员曹晓风入选美国国家科学院外籍院士。



曹晓风院士

(摘编自：中国科学院遗传与发育生物学研究所网站，2020年4月28日)

傅伯杰院士荣获 2020年英国皇家地理学会荣誉会士

2020年5月18日，英国皇家地理学会(RGS-IBG)公布了2020年度奖章与荣誉会士授予名单，中国科学院生态环境研究中心研究员、北京师范大学地理科学学部部长傅伯杰院士被授予英国皇家地理学会荣誉会士(Honorary Fellow)。



傅伯杰院士

英国皇家地理学会创立于1830年，是国际上久负盛名的地理学学术团体和专业地理机构，旨在通过发展和支持地理研究、野外考察、教育、科普和公众参与，促进地理科学发展，认识变化的世界。英国皇家地理学会荣誉会士作为一项崇高荣誉，授予长期在地理学及相关领域工作，为地理学发展和社会发展作出卓越贡献的科学家和专业知名人士。自2003年设立以来，全球共有31位科学家和专业知名人士获此殊荣，傅伯杰院士是目前唯一获此殊荣的中国学者。

(摘编自：中国科学院生态环境研究中心网站，2020年5月18日)

高德利：创建大型“井工厂”， 推进我国“页岩革命”*



高德利 油气钻探与开采专家

1958年4月出生于山东禹城。1982年获华东石油学院（中国石油大学的前身）开发系学士，1990年获该校博士，1984年获西南石油大学硕士。2013年当选为中国科学院院士。现任中国石油大学（北京）石油与天然气工程国家重点学科负责人、校学术委员会主任等职。长期从事油气井工程科学研究与实践，曾获国家和省部级科技成果奖励多项，所带领的科研团队入选国家自然科学基金创新研究群体并获两次延续资助（共计9年）。

天然气作为一种低碳清洁能源，不仅地质资源丰富，而且民用、发电、工业燃料、化工原料等市场需求特别旺盛，已经成为全球关注的未来主体能源之一。人类即将迎来能源发展的天然气时代（亦即：天然气在一次能源消费结构中的占比最高），但也将长期面临难开采油气问题的困扰与挑战。据有关资料，全球非常规天然气资源十分丰富，是常规天然气的8倍以上，具有“量大、质差、难开采”的基本特征。页岩气是指赋存于富含有机质泥页岩层系中自生自储、连续分布的天然气聚集，属于典型的非常规天然气资源，采用常规的理论方法和技术手段难以进行大规模经济有效的开发，必须通过创新驱动实现技术突破与“页岩革命”目标。

* 本期特约撰稿

修改稿收到日期：2020年4月16日



1 “页岩革命”的重要意义与技术内涵

进入 21 世纪后，随着全球油气勘探开发的快速发展，特别是北美油气工业经历了以“页岩革命”为标志的巨大变化，促使非常规油气在未来油气供应中的地位变得越来越重要，甚至改变了全球能源供求的大格局。尤其是美国的“页岩革命”震惊世界，为美国能源独立奠定了坚实的基础。所谓“页岩革命”，实质上是石油与天然气工程领域的一场技术革命，使原本没有开采价值的页岩气、页岩油等非常规油气资源得以大规模经济有效的开发。事实上，北美的“页岩革命”主要依赖水平井与丛式水平井工程，其关键核心技术包括：水平井目标段和井网的优化设计、水平钻井、体积压裂完井以及先进的“井工厂”工程作业模式等。

所谓“井工厂”，是指在同一个井场里集中布置和建设多口甚至大批相似井（如定向井、水平井等井型），形成以丛式井为基本特征的一个“井工厂”。虽然在井场地面诸多井口之间相距很近，但每口井欲钻达的地下油气藏目标则相互偏离井场较远，从而有效扩大了油气田的开发控制范围。所谓“井工厂”工程作业模式，就是围绕同一井场里众多相似井的建设目标任务，采用标准化的工程装备与技术服务，以流水线方式（批量）实施钻井、完井、压裂等主要工程环节的一种高效作业模式，由此可以节约大量的工程作业时间和成本。

我国拥有丰富的非常规油气资源，特别是页岩气可开采资源量位居全球第二（仅次于美国），页岩油开发潜力也很大。同时，我国石油和天然气消费的对外依存度逐年攀升，2019

年石油对外依存度超过了 72%，天然气也超过了 45%，已成为全球最大的油气进口国。因此，亟需加大国内油气资源的勘探开发力度，力求大幅度增加油气储量并提高油气产量（简称“增储上产”），必将对非常规油气高效开发问题更加关注。我国受北美“页岩革命”的影响较大，相关研究与实践在国内也进行了 10 多年，虽然取得了良好的进展和成效，但相应的技术经济指标与国际领先水平相比仍存在较大差距。事实上，我国页岩油气产量与美国相差甚远，“页岩革命”发展现状仍不容乐观。因此，在加大国内油气资源勘探开发力度的新形势下，有必要大力推进我国“页岩革命”，以期大幅度提升页岩油气、致密油气、煤层气等非常规油气资源在国内油气增储上产中的接替比例。

2 大型“井工厂”开发模式及其技术支撑体系

迄今为止，我国共批准设立了 4 个国家级

页岩气示范区，除了延长陆相页岩气示范区以外，其他 3 个均在四川盆地，也是我国“页岩革命”有可能率先取得成功的潜在有利地区。然而，在四川盆地页岩气开发中，除了页岩气埋藏深等地质挑战以外，地理环境也十分复杂（图 1），地貌以丘陵和山地为主，耕地少、人口多，生态环境脆弱，水源体系复杂，井场往往会毗邻村舍，导致页岩气工程面临着土地租用、噪音消除、废弃物处理及交通设施协调等诸多压力。因此，为了节约土地、保护环境及降本增效（即：降低成本，提高效益），有必要创建以丛式水平井为基本特征的大型“井工厂”，尽可能增加单个井场布井数量（应该不少于 20 口水平井），从而大幅度减少“井工厂”的设计建设个数。

遵循山区页岩气高效开发“地质 - 工程 - 市场”一体化原则，笔者提出了创建以丛式水平井为基本特征的大型“井工厂”设计控制理念，主要内容包括：① 通过储层精细描述，以

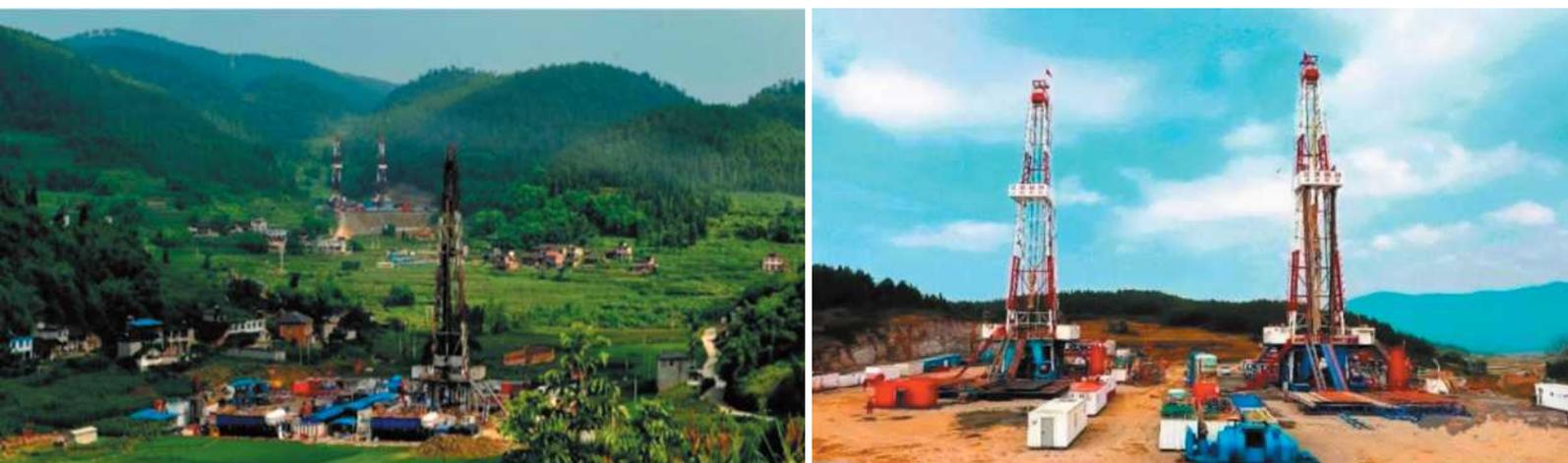


图 1 我国山区页岩气田某井场的照片

页岩气“地质甜点”区作为目标区块的优选依据；② 针对目标区块进行气藏工程优化设计，以提高丛式水平井综合产能及最终采收率为目标函数，确定目标井段和井网的优化设计方案；③ 以有利于水平井大位移延伸与安全高效作业为目标，确定井眼轨道和井身结构的优化设计方案，并通过套管和固井优化，确保页岩气水平井的井筒完整性；④ 通过水平井分级体积压裂完井优化，合理确定水平井压裂的分级和射孔参数，匹配压裂流体和支撑剂，优化控制压裂施工强度，力求获得良好的大规模体积压裂效果；⑤ 通过“一趟钻”个性化设计，优选钻头、导向钻具组合、钻井液体系及钻井参数等，并研发与应用丛式井随钻防碰系统，使丛式水平井打得准、打得快、打得远、打得省，力求实现安全环保与优质高效的作业目标；⑥ 采用大型“井工厂”作业模式，优化装备和工艺配套及作业程序，力求大幅度提高丛式水平井定向钻井与分级压裂完井的工程作业效率；⑦ 通过页岩气生产与集输处理优化，力争在生产过程中降本增效和提高采收率；⑧ 结合经济评价，通过系统工程优化，力求深入挖掘降本增效的综合潜力。

在页岩气开发过程中，为了满足节约用地、安全环保、降本增效等基本要求，有必要加快创建我国山区独具特色的大型“井工厂”开发模式及其技术支撑体系，促进我国“页岩革命”取得新进展，大幅度提高我国天然

气的自供能力。

3 加强交叉学科研究，不断挑战工程作业极限

石油与天然气工程（简称“油气工程”或“石油工程”），就是围绕石油、天然气等油气资源的钻探、开采及储运而实施的知识、技术和资金密集型系统工程，是陆地和海洋油气资源勘探开发不可或缺的核心业务之一，包括钻井、完井、测量（测井、录井、试井等）、油气藏、油气生产与集输处理、油气储运（管道长输、储存储备及城市油气输配）等基本工程环节，涉及地质、力学、化学、材料、机电、信息、控制及海洋、环境、管理等诸多学科领域，学科交叉与渗透的作用对油气工程学科发展、科技创新及人才培养的影响越来越大。

以丛式水平井为基本特征的“井工厂”，是国内外页岩气高效开发的主流工程作业模式。要创建大型“井工厂”，就必然挑战大位移水平井工程作业极限。所谓大位移水平井，是指井底水平位移大于 3000 米且水平位移与垂深之比（简称“水垂比”）不小于 2 的高难度水平井，当水垂比超过 3 时，则称之为高水垂比大位移水平井。大位移水平钻井，是大位移水平井工程的关键技术之一，也是挑战定向钻井作业极限的前沿技术。在特定的主观和客观约束条件下，任何一口实际能够建成的大位移水平井，其井眼长度都有一个可允许的极限值，

我们称之为大位移水平井延伸极限。国内外通过大量的研究与实践，使大位移水平井延伸极限预测模型和控制技术不断有所创新，工程作业水平也不断提高，甚至不断刷新实际延伸极限的世界纪录。笔者带领团队对延伸极限开展了多年的基础研究，并形成了一定的理论优势，但由于技术装备的复杂性、企业经营的经济性等诸多约束，目前的工程作业能力和技术装备水平与国际领先水平相比仍存在较大差距。迄今，全国已建成许多小型“井工厂”（多为4井式或6井式），总计建成了数百口页岩气水平井，但还没有一口井是上述定义的大位移水平井，从而严重制约了大型“井工厂”的创建，亟需通过加强交叉学科研究寻求跨越式突破。

在实施大位移水平井工程中，除了环保约束以外，关键是如何不断提高水平钻井的安全高效作业能力，既要不断提高大位移水平井延伸极限的预测精度和安全控制能力，又要持续推动“一趟钻”技术的不断创新进步。所谓“一趟钻”技术，意指使用一只钻头、一套导向钻具组合及一种钻井液体系，能够实现一次下井不间断钻完同一个井眼的全部进尺，是一种理想的安全高效破岩与导向钻井技术。以页岩气水平井为例（图2），其水平段一般长达上千米甚至更长，用“一趟钻”打完整个水平段井眼并非易事。假设将页岩气水平井的水平段井眼长度在1000—5000米范围内平均划分为9个等级，每个级差都是500米，则其水平钻井

的“一趟钻”作业能力可由低到高分成1—9级来评价。迄今，在页岩气工程中，国内规模化水平钻井的“一趟钻”作业能力已达到2级（1500米）左右，个别水平井超过了3级（2000米）；相应的国际先进水平已达到5级以上，最高纪录超过了9级（5000米）。为了不断提高水平钻井的“一趟钻”作业能力，有必要在高效钻头、导向钻具组合、钻井液体系及钻井参数等方面加强交叉学科研究，既要打造“一趟钻”技术利器，又要针对所钻地层进行个性化工程设计。

（1）**高效钻头**。在资源、环境及工程建设等各种钻井或钻探工程中，钻头是不可或缺的核心工具之一。例如，在油气行业有一句俗语，叫做“钻头不到，油气不冒”，一语道明了钻头的重要作用。钻头主要分为刮刀钻头、牙轮钻头、PDC（Polycrystalline Diamond Compact）钻头及取芯钻头等，其中PDC被译

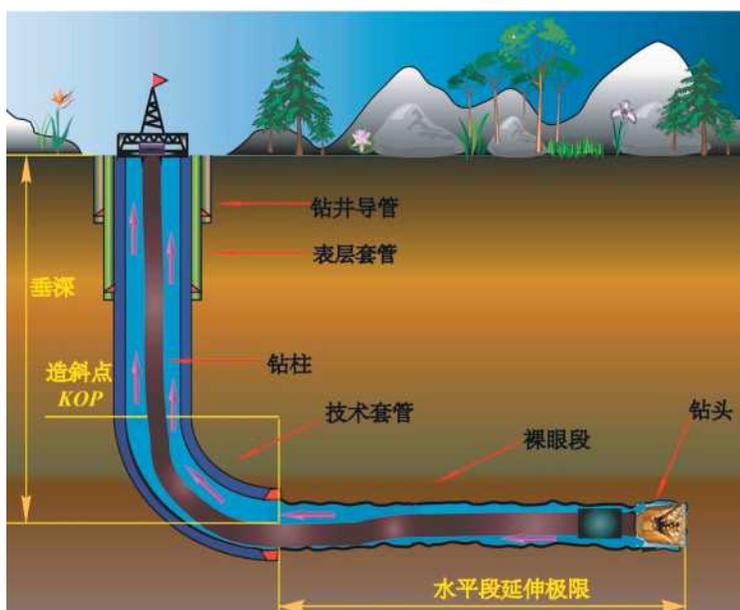


图2 典型的页岩气水平井井身结构示意图

为“聚晶金刚石复合片”，作为一种功能材料被大量用于制作钻头的切削齿。然而，我国在钻头设计制造理论与技术研究方面基本上还处于跟踪为主的阶段，特别是高效 PDC 钻头仍依赖进口，成为油气工程领域的技术瓶颈之一，严重制约了“一趟钻”技术的推广应用。国产 PDC 钻头在高效破岩特性、耐用性（使用寿命）、稳定性及定向钻进导向性等关键技术指标上仍与国际领先水平存在较大差距，亟需在 PDC 钻头的超硬耐磨材料、个性化设计制造及钻井提速等方面寻求技术突破，相关研究涉及力学、材料、高压物理、机械、地质及钻井等诸多学科领域。

(2) 导向钻具组合。如何控制钻头定向破岩钻进，按预定轨道或地质导向钻达地下油气藏目标，是关系到定向钻井质量是否合格的关键问题。相应的技术被称为“井眼轨迹控制技术”，是定向钻井的核心技术之一，未来的发展目标是井下智能钻井系统，涉及力学、地质、机电、测量、控制、通讯、人工智能及钻井等诸多学科领域。导向钻具组合就是井眼轨迹控制的硬核技术，主要由导向工具、随钻测量仪器及控制系统组成，相应的技术装备已达到较高的水平：现场使用的导向工具主要是井下导向马达或旋转导向工具，随钻测量仪器已普遍具备井斜、方位、导向工具面角及相关地质和力学参数的实时测量功能，而控制系统方面的先进性则参差不齐，其中领先者已具备“机、电、

液”一体化控制功能。我国在导向钻具组合方面也取得了很大的技术进步，但一直以跟踪为主，与国际领先水平仍存在较大差距，特别是最先进的旋转导向工具及其全球市场，几乎都被美国的相关技术公司所垄断，亟需加大相关理论创新与自主研发的力度。

(3) 钻井液体系。钻井液被俗称为钻井的“血液”，主要分为水基钻井液和油基钻井液两大类，均在实际工程中被广泛应用。根据所钻地层的理化特性、井壁岩石的稳定性、井下温度和压力分布等工况，科学调制一种先进适用的钻井液体系，是保证“一趟钻”安全环保作业的关键所在。国内外在页岩气水平井工程中，基本上都采用油基钻井液体系进行洗井，以便有效保持井壁稳定、减少作业阻力等，但同时也油污了大量钻屑，为此需要付出较大的环保处理代价。若使用水基钻井液体系，虽然避免了油污问题，但其性能又难以保持井壁稳定和减阻控制，甚至导致工程报废的严重安全事故。因此，油气行业希望在高性能水基钻井液体系方面能够逐步实现技术突破，以便大幅度改善其稳定井壁、减少阻力、高效洗井等性能，要求接近或达到油基钻井液体系的优良性能，同时消除了油污问题。国内在仿生、双疏等高性能水基钻井液体系研究方面取得了重要进展，并在页岩气水平井工程中得到初步试验与应用。然而，要想在页岩气工程中大规模替代油基钻井液体系，仍需要深入开展交叉学科

研究，涉及胶体化学、超分子化学、纳米科学、仿生学、材料科学、岩石矿物及钻井等诸多学科领域。

“一趟钻”技术与大位移水平井工程，是创建大型“井工厂”的硬核技术与关键环节，通过交叉学科研究不断突破技术瓶颈与工程作业极限，对于推进我国“页岩革命”至关重要，应该被列入国家和企业的重点研发计划。

4 深化国企改革，打造国际一流的专业技术服务公司

要想达到并保持油气工程技术与装备的国际先进甚至领先水平，除了加大应用基础研究的力度以外，还必须拥有综合实力强大的专业化技术与装备服务公司。为此，建议在国家油气集团公司体制下，通过股份制重组等技术供给侧改革，组建和培育具有国际竞争力的油气工程技术与装备服务企业，加快打造中国品牌的、国际先进的技术与装备创新服务体系。实际上，西方国家不仅拥有巨型的跨国油气公司（如 ExxonMobil、Chevron、Shell、BP、ConocoPhillips 等），而且拥有诸如 Schlumberger、Halliburton、Baker Hughes 等国际著名专业技术服务公司（技术研发与服务一体化），也拥有像 NOV（National Oil-well Varco）这样的油气装备设计制造与服务公司。在石油与天然气勘探开发过程中，西方的油气公司与专业技术服务公司之间既是甲乙双方关系，

又是密切的合作伙伴，并成功实施了全球化经营的石油与天然气战略，有效保障了西方国家的石油与天然气高效发展与安全供给。上述的西方油气工程技术服务公司几乎垄断了全球石油与天然气工程领域的高端技术服务市场（包括中国），不仅保障了西方油气公司的风险投资，而且获得了高新技术垄断服务的巨额收益。北美的“页岩革命”，虽然靠小公司创新突破，但其后来大规模页岩油气“增储上产”还是主要依赖上述那样的大型油气公司和专业化技术服务公司。

然而，迄今在我国油气行业仍缺少像西方那样实力强大的油气工程专业技术服务与装备制造设计公司，既不适应国内油气勘探开发（特别是“页岩革命”）对技术装备越来越高的新要求，也难以适应我国实施油气“走出去”发展战略需求。因此，建议国家通过政策引导甚至行政推动，以现有国家油气集团公司的相关技术和人力资源为基础，通过股份制重组等模式，并参考国外油气工程技术服务公司在业务经营和组织管理等方面的成功经验，尽快建立与培育我国的大型油气工程技术服务公司，并允许有 2 个以上的独立法人企业同时存在，以保持技术市场的竞争活力。这样的专业技术服务公司，应具有技术研发与服务一体化及市场经营国际化的基本特征，应以国际一流的同类技术服务公司为追赶目标，既能为我国油气公司在国内外的石油天然气勘探开发投资项目提

供强有力的技术支撑，又能获取巨额的技术服务收益，力求逐步形成良性循环。

应大力实施“气化中国”的天然气发展战略，在我国一次能源结构中大幅度增加天然气的消费与供给比率，这既有利于我国生态文明建设，也适应全球天然气快速发展的大趋势。为此，一方面应该加大国内天然气资源的勘探开发力度，大力推进我国“页岩革命”，高效开发页岩气、致密气、煤层气等非常规天然气资源；另一方面，在实施油气“走出去”战略中，应该更加重视开发利用国外的天然气资源，同

时加强天然气管网建设并开辟新的进口运输渠道，最大限度地提高我国天然气的供给保障能力。国家应因势利导，进一步完善政策配套及公共服务体系，鼓励和引导我国天然气工业健康发展，同时尽快建立一套先进的全国天然气开发利用安全监控与保障体系（包括技术标准、运行机制、监管体系及目标责任等），确保天然气在钻探、开采、长距离管道运输、网络输配及终端使用等各环节的安全可靠性，减少或避免天然气重、特大安全事故的发生。