

人大国发院系列报告

专题研究报告

2013年12月 总第6期

(能源与资源战略系列报告 ERS201303)

我国页岩气发展潜力以及环境影响评价

秦萍 (中国人民大学国家发展与战略研究院)

胡鹏程 (中国人民大学经济学院)



国家发展与战略研究院
National Academy of Development and Strategy, RUC

人大国发院简介

国家发展与战略研究院(简称国发院)是由中国人民大学主办的独立的校级研究机构。国发院以中国人民大学在人文社会科学领域的优势学科为依托,以项目为纽带,以新型研究平台、成果转化平台和公共交流平台为载体,组建跨学科研究团队对中国面临的各类重大社会经济政治问题进行深度研究,以达到“服务政府决策、引领社会思潮、营造跨学科研究氛围”的目标。

国发院通过学术委员会和院务会分别对重大学术和行政事务进行决策。目前由纪宝成教授担任名誉院长兼学术委员会主任,陈雨露校长担任院长,刘元春教授担任执行院长。

地址:北京市海淀区中关村大街59号 中国人民大学国学馆(紧邻新图书馆)

电话: 010-62515049

网站: <http://NADS.ruc.edu.cn>

Email: nads_ruc@126.com, nads@ruc.edu.cn

目 录

摘要.....	4
前言.....	5
1 中国页岩气概况.....	6
1.1 页岩气.....	6
1.2 我国页岩气资源.....	8
1.3 页岩气开采政策.....	10
1.4 我国采用的页岩气开采技术.....	11
2 页岩气的环境影响.....	13
2.1 水资源问题.....	14
2.2 水污染.....	16
2.3 甲烷泄露.....	20
2.4 生态影响.....	21
2.5 环境影响评价.....	22
3 相关的环境政策.....	23
3.1 美国的环境政策.....	24
3.2 中国的环境政策.....	25
4 建议.....	27
5 结束语.....	28
附件:.....	29
参考文献.....	35

摘要

页岩气资源是当前全世界关注的热点，也是解决我国目前能源问题的关键。我国页岩气储量巨大，有着很好的发展潜力。然而在发展过程中，开采技术难突破、地理条件太复杂、政策制度不完善等客观因素引起了环境隐患。本报告通过对中国页岩气概况的分析，与美国的情况进行对比，得出页岩气开发可能在中国造成的环境影响较美国会更加严重的结论。我们建议，从建立试点区、完善环境制度和风险评估体系及页岩气战略出发，探讨如何使页岩气开发能高质高效地进行。

前言

近年来，随着开采技术的发展和能源价格的攀升，页岩气逐渐走入了人们的视野中，并在全球掀起了一场“页岩气革命”。页岩气是以吸附或游离状态存在于泥页岩中的非常规天然气，成分以甲烷为主，是一种清洁、高效的能源资源；同时，它还具有资源潜力大、开采寿命长和生产周期长的优点。这种被称为“博弈改变者”的气体，极大地改变了世界能源格局。按照美国能源信息署的评估，中国页岩气技术可采资源量为 36 万亿方；根据国土资源部 2012 年调查评价的结论，技术可采资源量为 25.08 万亿方（不含青藏地区），居世界第一（滕吉文、李海龙, 2013）。

我国于 2010 年成为了世界第一大能源消费国，随着经济的发展，能源消耗量也会不断增长；而同时，我国能源对外依存度高达 56.3%，这种状况使得我国能源安全存在着隐患。巨大的页岩气储量无疑为解决这种困境提供了方向，然而在页岩气开发过程中可能面临的环境挑战也必须引起我们的重视。

1 中国页岩气概况

1.1 页岩气

页岩气 (shale gas) 是指赋存于泥页岩中,以吸附及游离状态存在的非常规天然气。它可以生成于有机成因的各种阶段天然气主体上以游离相态 (大约 50%) 存在于裂缝、孔隙及其它储集空间,以吸附状态 (大约 50%) 存在于干酪根、粘土颗粒及孔隙表面,极少量以溶解状态储存于干酪根、沥青质及石油中。这种赋存于具有生烃能力的泥岩及页岩等地层中的天然气与聚集,具有自生自储、吸附成藏、隐蔽聚集等地质特点 (Ross and Bustin, 2009)。据预测世界页岩气资源量为 $456 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 主要分布在北美中亚中东和北非拉丁美洲前苏联及中国等地区。

最早的页岩气开发可以追溯到 1821 年,世界上第一口页岩气井在美国纽约州成功钻探,最初只用于普通居民的生活。真正开始大规模商业化勘探和开发是从 20 世纪 70 年代末在美国开始的。但由于当时油价较低,页岩气开发只限于一些成藏条件较好的地区。从 20 世纪 70 年代开始,美国政府大力支持页岩气开发,开展一系列改造增产的研究,有效推动了页岩气发展。页岩气技术从最初的直井大型水力压裂,演变到了现在以水平井套管完井及分段压裂技术为主体的技术模式,而正是这种技术上的突破使页岩气得以实现其商业价值 (崔守军, 2012; 王永辉等, 2012)。

页岩气的埋藏较常规能源 (如常规天然气、石油等) 更深,以美

国为例，页岩气主要分布在地下 800—2600m 左右。由于页岩气吸附成藏具有自生自储、无明显气水界面、低孔低渗等特性，必须通过压裂工程才能形成工业生产能力（张东晓、杨婷云，2013）。最初使用的直井压裂技术，并不能达到低成本高产量和长时间持续生产的要求，而水平井压裂技术很好的解决了这个问题。这种技术是在直井井筒进入到页岩气层后，沿接近水平方向打井，通过压裂水平方向的页岩层获取页岩气。在水平压裂过程中，要使用压裂液改造岩层的理化性质，再利用高压液体将岩层压碎，高压液体中的支撑剂能保持住裂缝，从而使油气能够从裂缝中溢出。现在开发过程中还会使用多级压裂、同步压裂、重复压裂等技术来提高产量。水平井的日均产气量及最终产气量是垂直井的 3-5 倍，产气速率则提高了 10 倍，并可以实现 30-50 年的稳产时间，而水平井的成本则不足垂直井的 2-4 倍。水平井压裂技术是现在页岩气开发的核心技术，也是推动“页岩气革命”的关键。

页岩气勘探与开采示意图

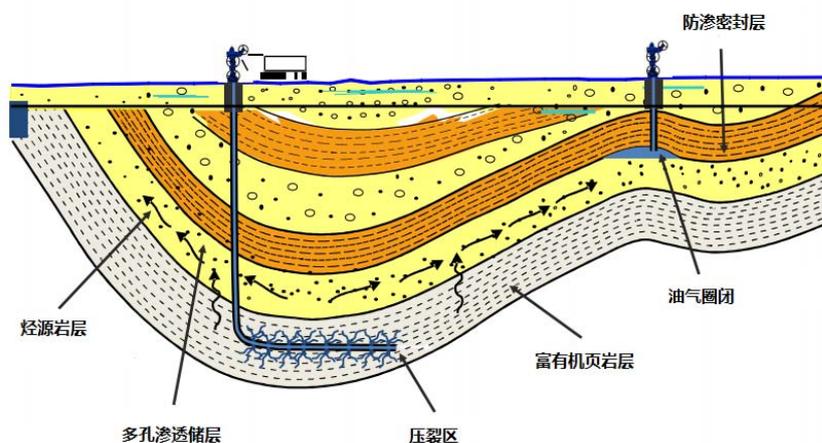


图 1：页岩气勘探与开采示意图

1.2 我国页岩气资源

我国的页岩气资源丰富，分布广泛。根据专家估计，我国的页岩气储量达到了 26 万亿立方米。页岩气除分布在四川、鄂尔多斯、渤海湾、松辽、江汉、吐哈、塔里木和准噶尔等含油气盆地外，在中国广泛存在的海相页岩地层、海陆交互地层及陆相地层中也有分布。我国富含有机质的页岩多分布在年代较老的或年代更新的地层，陆相和海陆交互相地层占很大比例；另外我国地质构造较不稳定，很多的目的层系后期都经历了强烈改造，聚集规律较为复杂，不利于页岩气的保存；分布面积较美国更小，埋藏更深，地层构造更为复杂（王中华，2013）。下图是我国页岩气主要分布地区的地质情况。

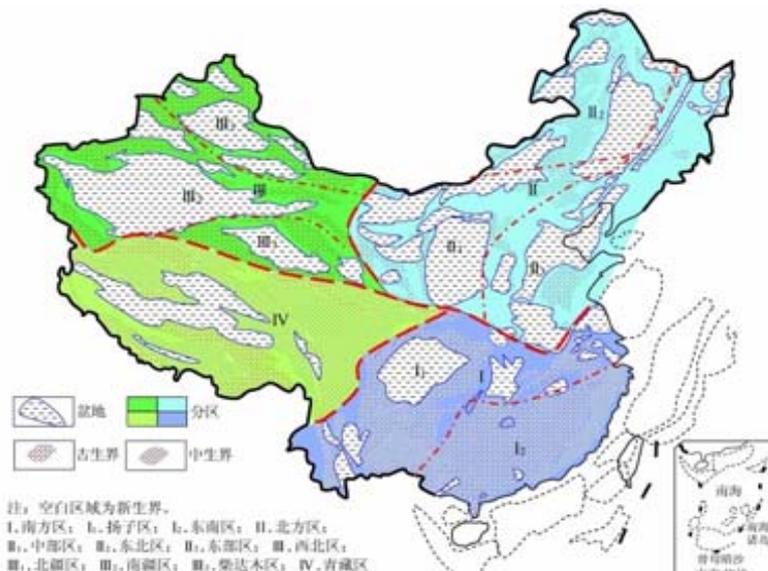


图 2：中国页岩气分布

以四川盆地为例，拥有全国可采资源总量 40% 的页岩气储量，也是我国最早进行页岩气开发的地区（The 2030 Water Resources Group, 2009）。到 2012 年底为止，国内已钻页岩气井 129 口，其中大部分都处于四川盆地之内。该地区人口密集，地形复杂，并且页岩气储层埋藏较深，位于地下 2000~3500m，有不少区块的地质结构还没有勘测清楚，存在着一定的风险；而美国的页岩气开采区人口密度低，多为平原地带，且页岩气在 800~2600m，并且由于石油工业的发达，有很详细的地质资料作为指导（王兰生等，2011；王琳等，2011）。所以相比而言，我国的页岩气开采面临着更大的技术挑战，同时成本也会相对较高。



图 3：中国早期页岩气勘探井分布（Guo, J., and Zhao, Z. 2012）

1.3 页岩气开采政策

在中国，常规油气资源的开采主要由中国石油天然气集团有限公司、中国石化公司、中国海洋石油总公司和陕西延长石油（集团）有限公司四家国有企业控制。早期的页岩气勘探井也是由其中的三家公司建设的，主要集中在四川盆地。而目前针对页岩气资源开采，我国政府实行了对所有国内企业开放的政策，希望有更多新鲜的力量注入到页岩气的开发探索中去。为了达到这个目的，我国政府将页岩气设为一种新的矿产，使得国企不在享有对其的垄断权，并由国土资源部负责对页岩气资源的分配，通过企业招标的形式来确定探矿权归属。自 2011 年以来，国土资源部已进行两次页岩气探矿权公开招标。第一次招标只有 6 家国企受邀竞标，第二次招标降低了标准，扩大了招标范围，不过在中标的 19 家企业中只有两家民营企业。按照规定，凡在中华人民共和国境内注册，注册资本金在人民币 3 亿元以上，具有石油天然气或气体矿产勘查资质，或与已具有资质的企事业单位建立合作关系的内资企业和中方控股的中外合资企业，均可投标，每个投标人最多可投标 2 个区块。另外，国家对于页岩气开发会有 0.4 元/立方米的补贴。不过从招标情况来看，资金和技术仍是让民营企业难以涉足页岩气领域的主要原因。

同时，我国对于页岩气开采还没有形成一套相关的监管制度。就常规油气资源的开采来看，我国的监管也十分薄弱，基本属于企业自我监管，具体的监管情况并不清楚。全国包括国土资源部、能源局、环保部在内，只有不到 100 人在进行监督管理（专访国土资源部矿产

资源储量评审中心主任张大伟)。而页岩气开采中面临着如资金、环境等方面的风险，都需要一个完善的监管制度来控制调整，所以完善监管制度是我们现在亟需解决的问题。

1.4 我国采用的页岩气开采技术

由于页岩气的成藏特性，通常采用压裂的方式进行开采。业界认为开发页岩气所采用的技术与装备与常规天然气开采并无大的区别，其中水平钻井与压裂增产等关键核心技术已在我国常规油气开采中成功应用，而且国内在钻机压裂车组井下设备等装备制造方面也已有较强的技术生产和配套能力。就常规油气资源的压裂开采技术而言，我国技术水平位于国际前列，但在页岩气开采方面还存在着明显落后。主要有以下几点：

(1) 缺乏对页岩气区域岩层的探测技术。我国石油工业起步较晚，很多地质资料并不全面，加上页岩气分布地层较深，对页岩气实际贮藏区信息的掌握程度不高。目前我国已完工的页岩气井都存在着开采产量迅速下降，甚至不产气的情况，这与前期勘探不全面有很大的关系。页岩气井的钻探成本非常高，每口水平井成本在 5000—7000 万人民币，在没有确切的潜在商业价值下打井，可能造成损失。另一方面，页岩气开发使用大规模的水力压裂和水平井分段压裂技术，需要对被开发地层的裂缝情况进行监测，以减少对储层的损伤，提高产气量。我国的地层结构较为复杂，同时 3D 地层监测模拟技术比较落

后，需要从国外引进相关设备进行勘探开发。

(2) 压裂强度较低，分段压裂技术水平存在差距。美国在页岩层水平钻井时平均每口井中要注入水和砂土 1.5 万吨和 300 吨化学试剂，且井管要受到上覆中新生代地层的压力，因为中国水资源十分紧缺，这种条件在中国难以实现，而且采用如此高强度的压力将水注入到高压水平井中，井所需要的高强度抗压套管尚难以普遍实现。另外，要使页岩气实现商业化，须达到一定的产量，分段压裂正是实现高产量的关键。而目前国内分段压裂在 20 段左右，离北美单井压裂 40—50 段还有不小的差距。

(3) 配套设施不全面，从国外引进的技术并不具有很好的适用性。页岩气开发需要较成熟的管网系统，同时还需要用卡车大量运送压裂所需的水、砂和化学制剂。目前我国页岩气最具开发潜力的地区在四川盆地，该地区地形复杂，山岭众多，交通不便利，油气管网建设不成熟。另外，我国页岩气地层埋藏较深，国外技术不能直接使用，水平钻井也面临着较大的挑战。

技术的落后以及客观上更为复杂的地质条件，使得页岩气开发的成本较国外更高。国外一口水平井的钻井费用在 350 万美元左右，而在国内，则需要 800—1100 万美元。同时，根据国家能源局发布的《页岩气发展规划（2011—2015）》，到 2015 年我国要实现页岩气年产量达 65 亿立方米，2020 年产量力争实现 600—1000 亿立方米。但就目前我国页岩气开采技术的发展来看，这一目标的实现还存在着困难。如果强制去实现这一目标，难免在开发过程中会产生违规违章操作，

这无疑提高了在页岩气开发中造成环境污染的风险。如 2013 年 4 月发生在重庆地区焦石镇“焦页 8 井”的“气体溢泄险情”就是由于成本和工期等因素，没有按照合约进行开发而造成的。

2 页岩气的环境影响

从国家能源局发布的《页岩气发展规划（2011—2015）》来看，政府对于开采页岩气是否会造成严重的环境威胁持有乐观态度。然而根据美国未来资源研究所（RFF）的调查报告，页岩气开发从建设井场，到开采销售，再到井场废弃处理的整个过程中，有 264 种可能的方式对环境造成污染（Krupnick, Gordon., and Olmstead. 2013）。该报告通过对页岩气生产的每个环节进行分类，单独分析可能对环境造成的直接影响，再将这些影响归类汇总，进而研究其对人们生活产生的最终影响。这份报告指出，虽然这些污染方式中间有不少是其他化石能源开采时也同样具有的，如井场建设、能源运输等环节可能造成的生态破坏、大气污染等环境影响，但如果考虑可能的污染程度和严重性，页岩气开采造成的环境影响要高于常规化石能源，尤其是在水污染、甲烷泄露、引发地震等方面。

未来资源研究所是针对美国的页岩气开采进行的调查。美国页岩气开采区的自然条件较优，而在我国页岩气主要分布区受到地理因素的限制，如缺水、生态脆弱、人口密集、地质结构不稳定等，部分开采活动可能产生的环境影响相比美国而言会更为严重。

根据现有的调查报告和研究结果，结合我国页岩气的分布情况，开采页岩气可能造成的主要环境影响大概可以分为几类：(1) 水资源问题；(2) 水污染；(3) 甲烷泄露；(4) 生态影响。

2.1 水资源问题

目前页岩气开采的主要采用水力压裂技术，但水力压裂需要消耗大量的水资源。根据埃森哲最近出版的《水资源和页岩气开发》报告显示，一般而言，一口页岩气水平井和压裂所需水量约 2 万立方米，以人均水资源 2000 m^3 来算的话，则相当于一个人十年的用水量。其中用水量最大的是压裂过程，最大时用水量可占 90%；用水量较多的是钻井作业，淡水是钻井液的主要成分；在压裂后的设备冲洗和清洁环节用水较少。该报告还指出，在面临水资源形势日益严峻，或是水流和供应手季节变化影响的地区，水资源的获取会受到更为严重的制约。

我国水资源并不充裕，人均水资源拥有量约 2040 m^3 (2000~2012 年的平均值)，仅为世界人均占有量的 $1/4$ ，全球各国中列 120 位之后。目前国际上较为公认的缺水标准为：人均水资源量 3000 m^3 以下为轻度缺水， 2000 m^3 以下为中度缺水，人均水资源量 1700 m^3 为用水紧张警戒线，人均 1000 m^3 以下为重度缺水，人均 500 m^3 以下为极度缺水。根据上述标准，从 2000 年到 2012 年，我国整体上一一直徘徊在轻度缺水和中度缺水的交界处（参见图 4），个别枯水年份特别是

2011 年逼近用水紧张的警戒线。所以，从全国各年份平均来看，我国虽然属于轻度缺水的国家，但我国的轻度以上缺水地区，已占全国总面积的 2/3 以上，涵盖了大多数中东部经济发达地区。

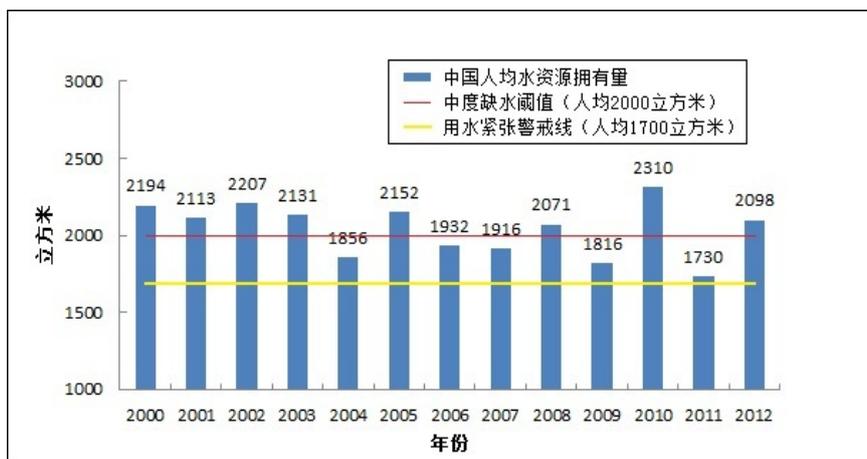


图 4：2000~2012 年我国人均水资源拥有量

此外，中国水利水电科学研究院的水资源分析显示，华北平原、四川盆地、辽宁、山西、天山及河西走廊等地区都是重点缺水地区。而中国页岩气勘探的有利区域也基本处于这些地区或邻近区域(柯研等，2012；夏玉强等，2011)。长期来看，如果大规模开发页岩气，很可能会加剧这些地区的缺水状况，从而影响到当地水生生物生存、捕鱼业、城市和工业用水等。下图是一张 2009 年发布的 2030 年中国水量供需差距预测图。我们可以发现这张预测图中，水量供需差距较大的地区恰恰与页岩气储量较大的地区重合。如果大规模开采页岩气，无疑会加剧这种差距。



图 4: 中国 2030 年水量供给和预计用水需求量的差距

2.2 水污染

在页岩气的开发过程中，水力压裂技术是最为核心的技术，但同样也是造成区域水污染最主要的原因。在水力压裂过程中，会使用大量的压裂液，其中含有酸、抗菌剂、酸碱调节剂、KCl、凝胶剂、减阻剂等一系列可能对水资源造成污染的化学物质。这些化学物质在进行浅层的页岩气开采时尤其容易发生污染，如果泄露，会影响居民用水，还会造成一系列的环境问题。如 2009 年，在宾夕法尼亚州，由于压裂液泄露造成东南部的溪流中盐度过高、藻类疯狂生长，43 英里的地表流经受到污染，大量鱼类和两栖动物死亡（Vengosh 等，2013）。

另外，压裂所产生的废液也需要抽回地面，进行处理后才能排放。在废液返回排放过程中，同样有着污染的风险。这些返排液会先集中

于废液池，到一定量后再进行处理。这一过程也存在着泄漏风险，如在受到一些自然因素的影响时，可能会造成大范围污染。返排液中含有难降解有机物、化学制剂、矿物元素、放射性元素等，如果泄露或不达标处理，会对周围的环境造成严重影响 (Jiang 等. 2013; 陈刚等, 2013)。

就人口密度而言，我国远远高于美国；另外我国淡水资源不充裕，居民用水一直比较紧张。如果在页岩气开发过程中出现水污染的情况，势必会造成较美国更为严重的环境影响。

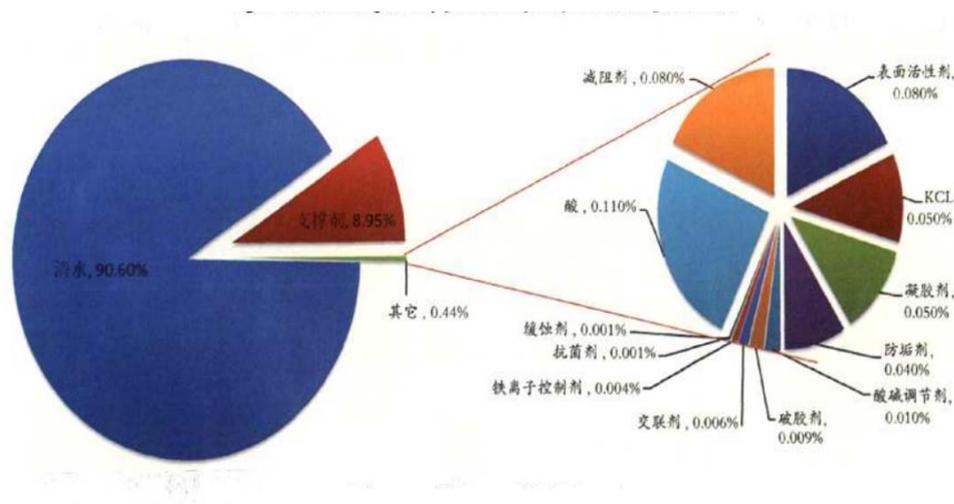


图 5: 清水压裂的压裂液体积组分¹⁵

我国水污染问题本身已非常严重。全国有近 50% 的河段、90% 的城市水域已受到了不同程度的污染。此外，地下水污染问题也日益突出，我国城市的浅层地下水不同程度的遭受有机或无机污染物的污染，并已呈现由点向面的扩展趋势；城乡饮用水安全受到严重威胁 (郑一, 2011) (郑一. 2011)。世界银行报告认为“2004 年，中国所有 745

条监测河段中，28%跌破V类水质标准（即不适合于任何用途）¹，32%符合IV-V类水质标准（即只适合于安工业和灌溉使用）。27个主要监测湖泊和水库，有将近48%跌破V类水质标准，23%符合IV-V类水质标准，只有29%达到II-III类水质标准（即安全处理后供人食用）。

从中国七条主要河流水质状况看，珠江和扬子江情况较好，分别有约80%和70%多的河段达到国家1-3级质量标准；情况最差的是海河，约50%的水劣于国家5级标准，已不适合于任何用途。松花江和淮河仅有约20%的水达到1-3级质量标准，约50%的水属于4-5级标准。

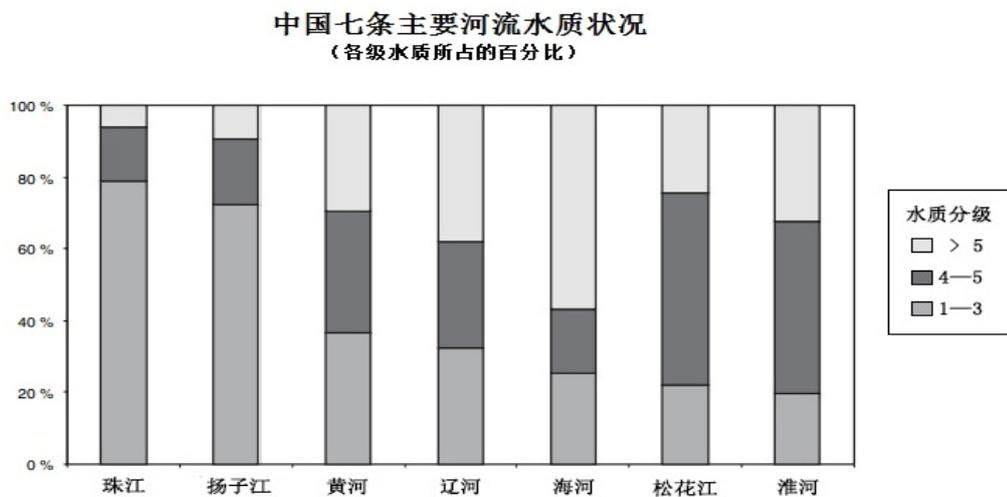


图 6: 中国七条主要河流水质状况 (资料来源: 世界银行, 2007)

除此以外，我国的地下水污染也非常严重。然而，由于地下水复杂的贮存条件和运移规律，加之管理上的重视不足，使得我国地下水污

1 I类水质(1):水质良好。地下水只需消毒处理,地表水经简易净化处理;II类水质(2):水质受轻度污染。经常规净化处理如絮凝、沉淀、过滤、消毒等其水质即可供生活饮用者;III类水质(3):适用于集中式生活饮用水源地二级保护区、一般鱼类保护区及游泳区;IV类水质(4):适用于一般工业保护区及人体非直接接触的娱乐用水区;V类水质(5):适用于农业用水区及一般景观要求水域。超过V类水质标准的水体基本上已无使用功能

染仍存在“家底不清”的问题。亚行 2012 年对中国环境条件和政策的评估报告中提到 (Zhang and Crooks, 2012), 2007 年中国国土资源部对全国范围内地下水状况做了调查, 发现西南地区 52% 的浅层地下水质量已经非常差 (5 级或者低于 5 级水质), 而其他地区的地下水质量甚至更差。2009 年的《中国环境公报》仅总结了北京、辽宁、吉林、上海、江苏、海南、宁夏和广东 8 个省 (自治区、直辖市) 641 眼井的水质监测结果, 发现水质适用于各种使用用途的 I ~ II 类监测井占评价监测井总数的 2.3%, 适合集中式生活饮用水水源及工农业用水的 III 类监测井占 23.9%, 适合除饮用外其他用途的 IV ~ V 类监测井占 73.8%。但这样的评价结果不十分全面, 不能正确体现当前地下水污染的严重性, 实际的污染程度有可能要比当前掌握的情况严重许多 (郑一, 2011)。2011 年, 北京、辽宁、吉林、黑龙江、上海、江苏、海南、宁夏、广东 9 个省 (自治区、直辖市) 采用《地下水质量标准》(GB/T14848-93), 对所辖区域的 857 眼监测井的水质监测资料进行了地下水水质分类评价。评价结果显示: 水质适用于各种用途的 I ~ II 类监测井占评价监测井总数的 2.0%; 适合集中式生活饮用水水源及工农业用水的 III 类监测井占 21.2%; 适合除饮用外其它用途的 IV ~ V 类监测井占 76.8%。这些结果表明同 2009 年相比, 地下水水质又有一定程度的下降。在 9 个省级行政区中, 海南的监测井水质以 II 类为主; 上海、北京以 III 类为主; 黑龙江、江苏以 IV 类为主; 吉林、辽宁、广东、宁夏的监测井水质以 V 类为主 (2011 年中国水资源公报)。

水污染加剧水资源短缺，并危害人体健康。根据世界银行（2007）报告，“中国约有 25 km³ 受污染水的不能用于消费”，以及“多达 47 km³ 的水因不符合一定质量标准，而不能提供给家庭，工业和农业使用”。此外，报告也认为，超过 300 万生活在中国农村的人并没有获得安全饮用水；而不安全饮水被认为是中国农村消化道癌发病率增加的一个重要原因。

2.3 甲烷泄露

甲烷泄露是另外一个可能造成的严重影响。据估计，美国每年大约 13000 口天然气井被首次压裂或被再压裂，这些井会溢漏天然气，排放挥发性有机化合物（VOCs）。根据康奈尔大学 2011 年公布的研究结果显示，页岩气生产过程中有大量的甲烷排放，并没有显著的清洁能源效应。这主要由两方面的原因：一是在初次压裂或再次压裂时会有产气量显著提高，这时有较大风险造成泄露；二是井筒在经过蓄水层时，如果井壁出现密封不严、老化等问题时，甲烷会溶入水中，再进入大气。同时，在页岩气层也同时存在着可挥发性有机物和氮氧化物，如乙烷、苯、二氧化氮等，这些物质挥发到空气中可直接对人体造成损害（夏玉强，2010）。

根据美国的经验，甲烷泄漏量可占整个气井预测总产量的 1.7%~6.0%。与美国相比，我国输气管网建设不成熟，在进行大规模生产时，必然会有大量甲烷因为输送问题而直接燃烧排放，污染大气。另外，

我国的页岩构造中含有大于 1% 的硫化氢，同时伴有少量的苯、正己烷等，收集处置不当，也将影响局部空气质量；而主要的页岩气赋存地西南地区人口稠密，如果发生事故，后果会很严重（梁鹏等，2013）。

2.4 生态影响

由我国页岩气的分布来看，主要的赋存地在开发页岩气过程受到生态破坏的可能性和影响都会比较大。我国页岩气最大的赋存地在西南地区，该地区地貌多以丘陵为主，地形复杂，开发过程中的大量钻井作业、工程运输和管道建设对当地的生态功能和多样性破坏较为突出。而赋存于新疆南部和陕西西南部的页岩气资源位于我国的生态脆弱区，大量的开采可能引发严重的土地荒漠化以及水土流失，难以恢复。另外位于华北平原和沿海地区地表水缺乏或水质污染严重，那么开采页岩气将主要使用地下水。这些地区地下水水位的下降，会引起海水入侵，导致水质恶化，同时会使平原或盆地湿地萎缩或消失、地表植被破坏，从而使生态环境退化（王亚运，2012）。

另外，页岩气开采还可能会引发地震。2012 年美国地质学年会上，美国地质调查局公布报告称，从阿拉巴马州到北方落基山脉的美国中西部地区近十年来地震频发“几乎可以肯定是人为的”。其中石油和天然气钻探活动，尤其是页岩气开采使用的水力压裂法和该方法涉及到的废水处理井都同地震次数增加相关。专家表示，地震不一定是由水力压裂过程引起，而可能是水力压裂使用过的大量压裂液的处

理，当打入地下深井会导致地层应力不稳定而发生微震。目前我国的页岩气开采主要集中在西南地区，而该地区属于地震带区域，地层较不稳定。页岩气的开采可能导致更为严重的地震影响。

2.5 环境影响评价

长期以来，中国环境监管制度都不是很完善，监管力度也并不到位。另外，政府公布页岩气规划中对页岩气可能带来的环境影响持乐观态度，并设定了很高的生产目标。这样看来，中国页岩气的发展所带来的环境影响可能会非常严重。尤其是在进行大规模开采时，水资源污染、水资源消耗和周边空气污染这些一直存在的环境问题会进一步加剧，生态群落混乱、栖息地破坏以及其他地区性影响一样会很严重。如果页岩气井建设在四川盆地等人口密度高或是水资源匮乏、生态系统脆弱的地区，环境风险将会更高。

未来资源研究集各方专家评价了页岩气开发整个过程中各个活动可能产生的环境影响（见附件）。但是目前这方面的实证研究很少，主要由于相关数据的缺失。近期，未来研究所的专家发表了第一份关于页岩气开采对地表水水质影响的实证报告。报告指出，通过对从宾夕法尼亚州水质监控网获取的 **Marcellus** 地区页岩气井周边超过十年的水质数据进行分析，页岩气井对水源下游区域确实存在着很大的影响，如由于土壤侵蚀所产生的大量悬浊液、处理后仍含有大量可溶性氯化物的返排液和生产用水等等，这些液体的排放会造成土地盐渍

化、水体富营养化，破坏生态平衡，严重影响当地居民的生活。

因为数据的缺乏和限制，我们报告不涉及环境具体的影响评价。所以，未来做这方面的评价需要对页岩气开发地周围观测点地表水、地下水等水质的数据进行跟踪记录，为环境风险评价做准备。同时也我们要将更多的相关数据纳入到监测范围中去，包括页岩气井的方位、地区生态状况、地区管线设施状况、地区水质水量、地区空气质量、土地使用及土壤退化状况、森林覆盖率、栖息地特征、地区污水处理设施等数据，通过这些数据进行实证分析，为更好地评价、预测可能的环境风险提供有利的证据。

3 相关的环境政策

我国目前正处于页岩气开发的起步阶段，还没有制定专门的环境保护法进行。关于页岩气，我国出台了一系列的补贴政策，鼓励页岩气的开发。另外由《页岩气发展规划（2011—2015）》可以知道，政府对于页岩气开发可能产生的环境问题持乐观态度。这种促进页岩气行业发展的举措是可以理解的，但参照美国页岩气开发情况，如果前期不进行全面地环境风险评估，制定相关的环保法律法规，在以后的发展过程可能会引出很多不必要的问题。

3.1 美国的环境政策

美国是世界上最早进行页岩气开发的国家，也是法律体制建设较为全面的国家。到目前为止，美国还没有针对页岩气进行专项立法，只是在一些与油气开发相关的法律中，强调了对水力压裂技术监管，提高了标准。

据不完全统计，美国联邦共有 9 部环境法律法规与油气开采相关，其中对油气开发过程中的地表水排放、开采中液体的地下注入、废弃物排放等作出了要求。但在早期扶持页岩气开发的过程中，美国国会通过《能源政策法》(2005 修正案)，对水力压裂法做出免责规定，明确《安全饮用水法》对水力压裂的(不含柴油的)液体或支撑剂的地下注入无效。同时，对油气生产设备或过程中雨水径流排放不收国家标准限制、不用申请排放许可。另外，虽然根据国家环境政策法和国家环境政策法实施条例，联邦机构应通过制定无显著影响结论(FNSI)、环境评价(EA)和环境影响报告书(EIS)三类文件，评估拟建活动产生的环境影响。但由于法律本身的局限性，美国在页岩气开采项目是否需提交环评文件，需提交哪种类型的环评文件等还存在较大争议，在操作层面也引发不少纠纷。

开发初期的这些扶持政策及相关环境监管制度不完善，使得在之后的页岩气开发过程中，出现了很多的环境问题，尤其是在水污染和空气污染方面，造成了较大的损失。针对这种情况，不少州颁布了法规来限制页岩气的开发，在进一步论证页岩气开发可能存在的环境风险后再继续开发。同时，从 2011 年开始，美国联邦环保局开始对页

岩气造成的环境影响进行调查,陆续出台了页岩气开采相关环境标准和导则。美国联邦环保局于 2011 年 10 月展开针对水力压裂的水环境影响进行调查,预计在 2014 年公布相关管理导则。另外,在 2012 年 8 月,美国环保局发布《石油天然气行业:有害大气污染物的新建矿井执行标准与国家排放标准综述:最终条例》,要求压裂天然气井必须采用成本效益好的技术,捕获溢漏的天然气,同时减少甲烷排放量,产生最大的环境效益 (Clark 等., 2012)。

3.2 中国的环境政策

现在我国法律体系中还没有关于天然气的专门立法,更遑论针对页岩气环境问题的专门法律制度。不过我们可以梳理在我国环境法律体系中,哪些立法规定可以用以规制页岩气开发利用中引致的环境问题。

《清洁生产促进法》第 25 条规定的“矿产资源的勘查、开采,应当采用有利于合理利用资源、保护环境和防止污染的勘查、开采方法和工艺技术,提高资源利用水平”。可以作为规制页岩气勘查、开采中导致环境污染的法律依据。页岩气开发引发的最大的环境问题是水资源污染,我国《水污染防治法》将会是防治页岩气水环境污染的重要法律依据。该法的第 30 条规定放射性废水排放应当符合国家有关放射性污染防治的规定和标准,第 38、39 条要求地下勘探采矿等活动必须采取相应的防护性措施,同时该法的实施细则对具体工程提出

了技术要求。针对页岩气开发中水力压裂技术的大量耗水,《节约能源法》第 16 条规定的能耗限额标准制度,《循环经济促进法》第 16 条规定的对一些行业年综合能源消费量、用水量的重点监督管理,可以直接使用,迫使享有探矿权、采矿权的权利主体投入资金、改进技术。另外,页岩气开发中造成的大气污染可以适用《大气污染防治法》,对土壤的污染可以适用《土地管理法》,对野生动物生息繁衍场所破坏的可以适用《野生动物保护法》,等等(刘超,2013)。

虽然这些法律通过类推解释等方式均可应用到页岩气开发中去,但在解决具体问题时,缺乏针对性,难以应对可能存在的特殊致害机理。同时,由于页岩气开发潜在的环境影响是多方面的、互相联系的,如果发生复合的、综合的环境影响,需要通过多部法律的相关条款共同约束,这会造成执行上的不便。另外,政府对页岩气环境影响的态度也需要考虑。《页岩气发展规划(2011—2015)》中指出“页岩气开采工艺与常规气大部分相同,可能产生的环境和生态破坏与常规气基本相同。在页岩气开发各个环节采取有针对性的措施,可有效减少或杜绝可能产生的各种环境问题”。但根据美国开发经验,页岩气可引发的环境问题在某些方面与常规气并不相同。这种引导可能会使地方政府在招商引资时,降低对环境风险的考虑,从而造成环境污染的隐患。

综合美国和我国的环境政策情况,我国应提高对页岩气可能造成的环境影响的重视,尽快进行对其的风险评估,建立针对性的规章制度。同时,加强对页岩气开发的监管控制,明确各部门在环境管理中

的责任义务，提高在面对突发情况时的处理效率。

4 建议

我国的页岩气发展潜力巨大，在目前越来越严峻的能源形势下，开发页岩气已成了我国降低能源污染、实现能源安全的关键之路。但由于开发技术、地理条件、政策制度等客观因素的影响，我们必须加倍重视页岩气的开发过程中存在的环境风险。

(1) 建立页岩气开发试点区，为大规模开采积累经验；同时通过对试点区监测，评估开采中可能遇到的环境风险。虽然页岩气革命在美国取得了一定程度的成功，但同时也带来很多环境问题。另外，我国主要页岩气分布区域存在地理条件复杂、水资源不足、生态脆弱、基础设施薄弱等问题，在进行自主开发和技术引进时，也存在不少的挑战。这样的情况决定了我们需要通过建立试点区等方式，收集数据资料，成立一套针对我国具体情况的开采技术。建议在有较完善技术的情况下再进行大规模开发，不要在开发初期就设置过高的产量指标。

(2) 建立页岩气开发环境监管制度，尽量在大规模开发前完善环保法律法规、标准和技术规范。可以针对页岩气的特点，通过学习借鉴国外的管理制度，研究国外已发现的环境制定相关的法律法规。同时组织科技攻关，研究页岩气开发引起的环境问题及解决手段，建立起一套针对页岩气开发的环境影响分析和环境监管的机制，做好大规模开发前的理论和技术准备；建立相应的环境污染应急系统，能在污

染发生时迅速做出反应。最终设立一个页岩气综合监管治理机构，避免各部门协调问题的出现，更好地实现页岩气相关环境保护工作的进行。

(3) 制订完整、合理的页岩气开发战略，以“环境友好型发展”为指导，在兼顾环境保护的同时，进行页岩气的开发。由于页岩气革命的发生，世界天然气价格有走低的趋势，我们并不应该对页岩气进行过快的开采。通过小范围试点开采，再将技术推广的方式会取得会更好的效果。另外，虽然大规模招标集资能快速促进技术的发展，但是贸然开发有可能造成“先污染，后治理”的局面，也有可能因勘探不全面导致经济损失。在进行招标集资时，除了报价以外，还应考虑招标企业技术程度是否可以进行相关的开发。

5 结束语

开发页岩气对我国未来的发展有着重要的意义，但在开发过程中，我们必须重视其可能带来的环境影响。相关部门应该先完善相关的法律法规，学习借鉴先进的开发技术，结合我国的现状，建立起一套完整的环境监管和风险评估体系，制定页岩气开采战略，从而促进页岩气开发工作的顺利进行。

附件:

选址开发和钻井准备

在确定了页岩气开发的位置后，这个区域必须要被挖掘并为钻井做准备。准备工作通常也包括对该区域的水准测量。

开发活动	中间影响					
	地下水	地表水	土壤质量	空气质量	栖息地影响	居民生活影响
地面清理/公路、井场、 管线和其他基础设施 建设		有害物质随 雨水进入、物 种入侵	有害物质随 雨水进入	一般空气污 染物及 CO ₂	栖息地破 坏、物种入 侵	工业化景观、光污染、 噪声污染
公路交通运输活动		有害物质随 雨水进入		一般空气污 染物及 CO ₂	其他	噪声污染、交通拥堵 及交通事故
非公路交通运输活动		有害物质随 雨水进入		一般空气污 染物及 CO ₂	其他	噪声污染

钻井活动

钻井前需要将一个单独的井筒垂直打入到目标地层，在井筒底部钻出一个或多个横向井，水平进入页岩层。

开发活动	中间影响					
	地下水	地表水	土壤质量	空气质量	栖息地影响	居民生活影响
地面钻井设备操作	钻井液或钻屑污染	钻井液或钻屑污染	钻井液或钻屑污染	一般空气污染物及 CO ₂		工业化景观、光污染、噪声污染
开凿垂直井和水平井井孔	甲烷泄露、钻井液或钻屑污染、盐层水入侵地下淡水	钻井液或钻屑污染		甲烷泄露		
固定和保护井筒	甲烷泄露、钻井液或钻屑污染、盐层水浸入地下淡水	钻井液或钻屑污染	钻井液或钻屑污染	甲烷泄露		
交通运输活动		有害物质随雨水进入		一般空气污染物及 CO ₂	其他	噪声污染、交通拥堵及交通事故
使用地表水和地下水	淡水消耗	淡水消耗、物种入侵			淡水消耗、物种入侵	
排放甲烷				甲烷泄露、硫化氢		
燃烧甲烷				一般空气污染物及 CO ₂ 、甲烷泄露、硫化氢		工业化景观
地面钻井液储存	钻井液或钻屑污染	钻井液或钻屑污染	钻井液或钻屑污染	挥发性有机化合物	钻井液或钻屑污染	工业化景观
钻井废液及钻屑处理	钻井液或钻屑污染	钻井液或钻屑污染	钻井液或钻屑污染	挥发性有机化合物	钻井液或钻屑污染	

水利压裂过程

在水里压裂(采集过程中的一步),，一种砂、水和添加剂的混合物将被倾注到井孔中，在高压下压碎页岩岩石。

开发活动	中间影响					
	地下水	地表水	土壤质量	空气质量	栖息地影响	居民生活影响
地表水和地下水的 使用	淡水消耗	淡水消耗、物种入侵			淡水消耗、物种入侵	
穿透井壁						引发地震
水利压裂启动	压裂液污染	压裂液污染			压裂液污染	引发地震
石油支撑剂的使用	压裂液污染、石油支撑剂污染	压裂液污染、石油支撑剂污染		含硅的粉尘污染	压裂液污染、石油支撑剂污染	引发地震
冲洗井筒	压裂液污染、石油支撑剂污染、甲烷泄露	压裂液污染、石油支撑剂污染	压裂液污染	挥发性有机化合物、甲烷泄露	压裂液污染、石油支撑剂污染	
返排废液储存	返排废液和废水污染、甲烷泄露、硫化氢	返排废液和废水污染、硫化氢	返排废液和废水污染、硫化氢	挥发性有机化合物、甲烷泄露、硫化氢	返排废液和废水污染	
排放甲烷				甲烷泄露、硫化氢		
燃烧甲烷				一般空气污染物及CO ₂ 、甲烷泄露、硫化氢		工业化景观
钻井处的压裂液储存	压裂液污染	压裂液污染	压裂液污染	挥发性有机化合物	压裂液污染	工业景观
交通运输活动		有害物质随雨水进入、物种入侵		一般空气污染物及CO ₂	物种入侵、其他	噪声污染、交通拥堵及交通事故
压裂设备操作				一般空气污染物及CO ₂		工业化景观、光污染、噪声污染

页岩气井运转和生产

在这一阶段，页岩气通过钻孔被带到地面，经过提纯后进入运输管线

开发活动	中间影响					
	地下水	地表水	土壤质量	空气质量	栖息地影响	居民生活影响
页岩气井生产	返排废液和废水污染	返排废液和废水污染	返排废液和废水污染	挥发性有机化合物、甲烷泄露、硫化氢	返排废液和废水污染	
冷凝槽和脱水装置操作	冷凝器和脱水添加剂	冷凝器和脱水添加剂	冷凝器和脱水添加剂	一般空气污染物及CO ₂ 、挥发性有机化合物、甲烷泄露		工业化景观
压缩机操作				一般空气污染物及CO ₂		工业化景观、噪声污染
燃烧甲烷				一般空气污染物及CO ₂ 、甲烷泄露、硫化氢		工业化景观

压裂液、返排液 和废水的储存及处理

水力压裂一口井需要几百万加仑的水。储存和处理大量的淡水、废水和返排废液是这一阶段的主要活动。

开发活动	中间影响					
	地下水	地表水	土壤质量	空气质量	栖息地影响	居民生活影响
矿井或水池储存	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染	挥发性有机化合物	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染
场地水箱储存	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染	挥发性有机化合物	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染
厂区外运输	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染、物种入侵		一般空气污染物及 CO ₂	压裂液污染、返排废液和废水污染、物种入侵	压裂液污染、交通拥堵及交通事故、噪声污染、返排废液和废水污染
现场处理及再利用	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染		挥发性有机化合物		
由工业废水处理厂处理排放	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染				压裂液污染、返排废液和废水污染
由地方废水处理厂处理排放	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染				压裂液污染、返排废液和废水污染
由泥土和其他固体填埋	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染	挥发性有机化合物		压裂液污染、交通拥堵及交通事故、返排废液和废水污染、噪声污染
深底层注射排放	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染		挥发性有机化合物		引发地震
将废水应用于公路除冰与抑尘	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染	挥发性有机化合物	压裂液污染、返排废液和废水污染	压裂液污染、返排废液和废水污染

其他活动

当一口页岩气井开始生产后，井区工人或许会进行必要的维护和修理工作，包括改造生产管线；在一口井快要枯竭，准备永久抛弃时，需要进行堵塞和完整性测试。这里也包括了在发展过程中投入供给等上游活动和页岩气销售等下游活动的考虑。

开发活动	中间影响					
	地下水	地表水	土壤质量	空气质量	栖息地影响	居民生活影响
关闭钻井	钻井液或钻屑污染、压裂液污染、返排废液和废水污染、盐层水浸入地下淡水	钻井液或钻屑污染、压裂液污染、返排废液和废水污染	钻井液或钻屑污染、压裂液污染、返排废液和废水污染	一般空气污染物及 CO ₂ 、甲烷泄露		
堵塞和废弃活动	钻井液或钻屑污染、压裂液污染、返排废液和废水污染、盐层水浸入地下淡水	钻井液或钻屑污染、压裂液污染、返排废液和废水污染	钻井液或钻屑污染、压裂液污染、返排废液和废水污染	一般空气污染物及 CO ₂ 、甲烷泄露	栖息地破坏	工业化景观
油井维修检查	钻井液或钻屑污染、返排废液和废水污染、盐层水浸入地下淡水	钻井液或钻屑污染、返排废液和废水污染	钻井液或钻屑污染、返排废液和废水污染	一般空气污染物及 CO ₂ 、甲烷泄露、硫化氢		
下游活动				甲烷泄露		异味

参考文献

- [1] 滕吉文, 刘有山.中国页岩气成藏和潜在产能与对环境的污染分析.中国地质. 2013年. 40 (1): 1-29.
- [2] 崔守军. 能源大外交. 石油工业出版社. 2012年11月. 第一版.
- [3] 王永辉, 卢拥军, 李永平, 王欣, 鄢雪梅, 张智勇. 非常规储层压裂改造技术进展及应用. 石油学报. 2012 (8).
- [4] 张东晓、杨婷云. 页岩气开发综述. 石油学报. 2013. 34 (4).
- [5] 王中华, 国内页岩气开采技术进展. 中外能源. 2013 (18). 23-32.
- [6] 王兰生, 廖仕孟, 陈更生, 郭贵安, 吕宗刚, 付永强.中国页岩气勘探开发面临的问题与对策.天然气工业. 2011年 31(12): 119-122.
- [7] 王琳, 毛小平, 何娜. 页岩气开采技术.石油与天然气化工. 2011.40 (5): 504-509.
- [8] 刘超. 页岩气开发中环境法律制度的完善: 一个初步分析框架. 中国地质大学学报 (社会科学版). 2013 (7):9-17.
- [9] 专访国土资源部矿产资源储量评审中心主任张大伟,
<http://money.163.com/12/0910/10/8B1L8C62002524SO.html>.
- [10] 柯研, 王亚运, 周晓珉, 唐培林.页岩气开发过程中的环境影响及建议.环境保护. 2012. 30 (3): 87-89.
- [11] 夏玉强, 李海龙.油气能源开发背后的溢油污染和水资源匮乏. 长江科学院院报.2011. 28 (12): 77-81.
- [12] 陈刚, 李瑞娟, 高颖楠. 以美国为鉴探索中国页岩气可持续发展之路. 环境与可持续发展. 2013 (2): 21-24.

- [13] 郑一. <水权与水资源>. 2011. 工作报告, 北京大学.
- [14] 夏玉强. Marcellus 页岩气开采的水资源挑战与环境影响[N]. 科技导报. 2010, 28(18): 103-108.
- [15] 梁鹏, 张希柱, 童莉. 我国页岩气开发过程中的环境影响与监管建议. 环境与可持续发展. 2013 (2): 25-26.
- [16] 王亚运, 柯研, 周晓珉, 李骞. 页岩气勘探开发过程中的环境影响. 油气田环境保护. 2012 (6):50-53.
- [17] Ross, D.K., Bustin, R.M. The importance of shale composition and pore structure upon gas storage potential of shale gas reservoirs[J]. *Marine and Petroleum Geology*. 2009. 26: 916-927.
- [18] Guo, J., and Zhao, Z., 2012. China Vigorously Promoting Shale Gas Exploration, Development. *Oil & Gas Journal* 110 (3): 60-65.
- [19] World Bank. 2007. Cost of Pollution in China: Economic Estimates of Physical Damages. Washington, DC: World Bank. Available at <http://documents.worldbank.org/curated/en/2007/02/7503894/cost-pollution-china-economic-estimates-physical-damages>.
- [20] Zhang, Q., and Crooks, R.. 2012. Toward an Environmentally Sustainable Future: Country Environmental Analysis of the People's Republic of China. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank. Available at <http://www.adb.org/sites/default/files/pub/2012/toward-environmentally-sustainable-future-prc.pdf>
- [21] The 2030 Water Resources Group. 2009. Charting Our Water Future: Economic Frameworks to Inform Decision-making. Washington, DC: World Bank. Available at http://www.2030waterresourcesgroup.com/water_full/Charting_Our_Water_Future_Final.pdf
- [22] Vengosh, A., Warner, N., Jackson, R., and Darrah, T. 2013. The effects of shale gas exploration and hydraulic fracturing on the quality of water resources in the United States. *Procedia Earth and Planetary Science* 7: 863 – 866.

- [23] Jiang, Q., Rentschler, J., Perrone, R., and Liu, K.L. 2013. Application of ceramic membrane and ion-exchange for the treatment of the flowback water from Marcellus shale gas production. *Journal of Membrane Science* 431: 55–61
- [24] Clark, C.E., Burnham, A.J., Harto, C.B., Horner, R.M. 2012. The Technology and Policy of Hydraulic Fracturing and Potential Environmental Impacts of Shale Gas Development. *Environmental Practice* 14 (4): 249261.
- [25] Krupnick, A., Gordon, H., and Olmstead, S. 2013. What the Experts Say about the Environmental Risks of Shale Gas Development, Resource for the Future.

（供稿：中国人民大学国家发展与战略研究院。所有权利保留。任何机构或个人使用此文稿时，应当获得作者同意。）