国外页岩气资源开发情况和我国进展

李玉喜

油气资源战略研究中心

二〇〇九年十一月

汇报内容

一、美国页岩气开发情况

二、美国**barnett shale** 开发情况

三、美国 **Marcellus shale** 开发潜力

四、加拿大及其他国家

五、国内现状及面临的主要问题

六、我国页岩气有利区优选问题

一、美国页岩气开发情况

- Gas shales are fine grained, organic rich, sedimentary rock. Natural gas is generated and stored in shales as free gas (which occupies pore space) or adsorbed gas (stored on organic matter).
- Gas shales are considered “unconventional” because the gas has not accumulated in a conventional porous reservoir.
- Commercial production of shale gas from organic shales requires either natural fractures or hydraulic fracture treatment because of its low permeability.
- Recovery of gas from organic shales is typically around 10% of the gas resource in-place.

一、美国页岩气开发情况

已勘探盆地：20余个

可采资源量：15-30万亿方

有潜力盆地：50余个

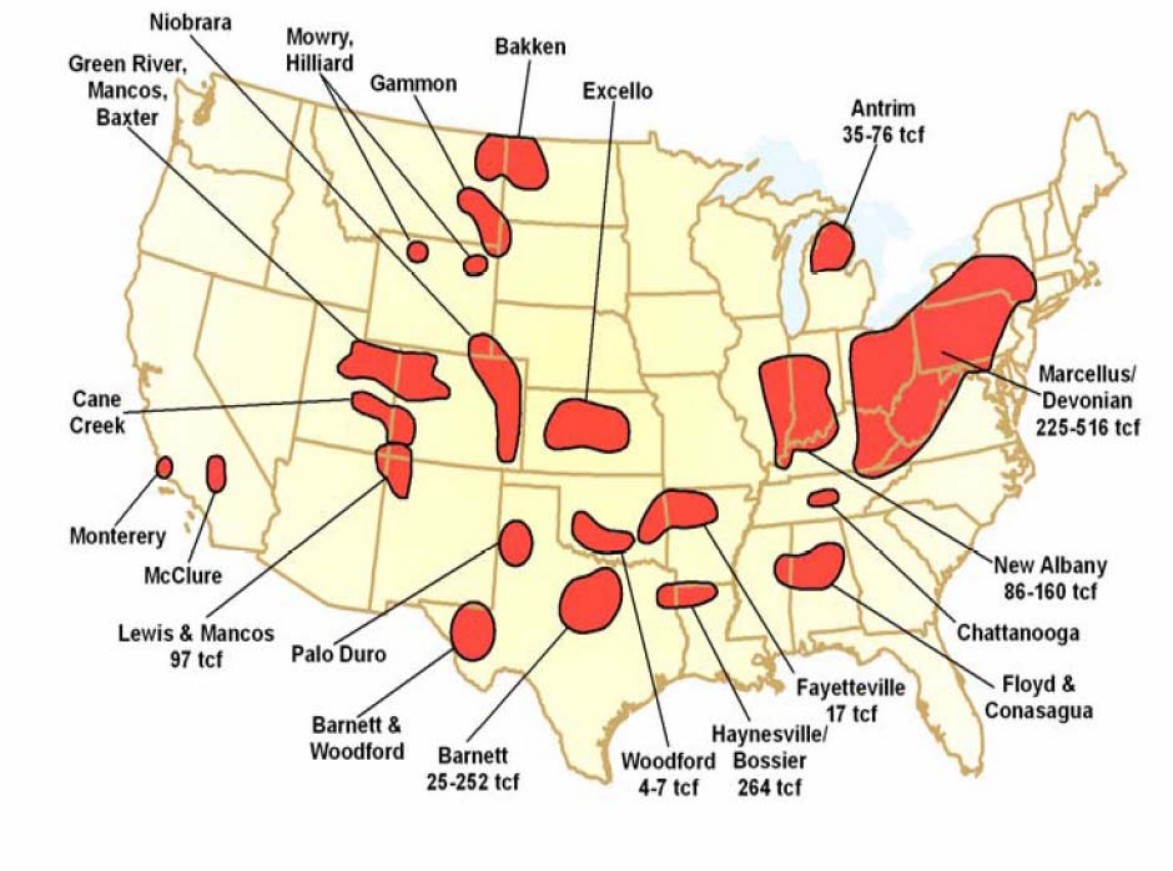
已完钻页岩气井：5万多口

页岩气产量变化 ：

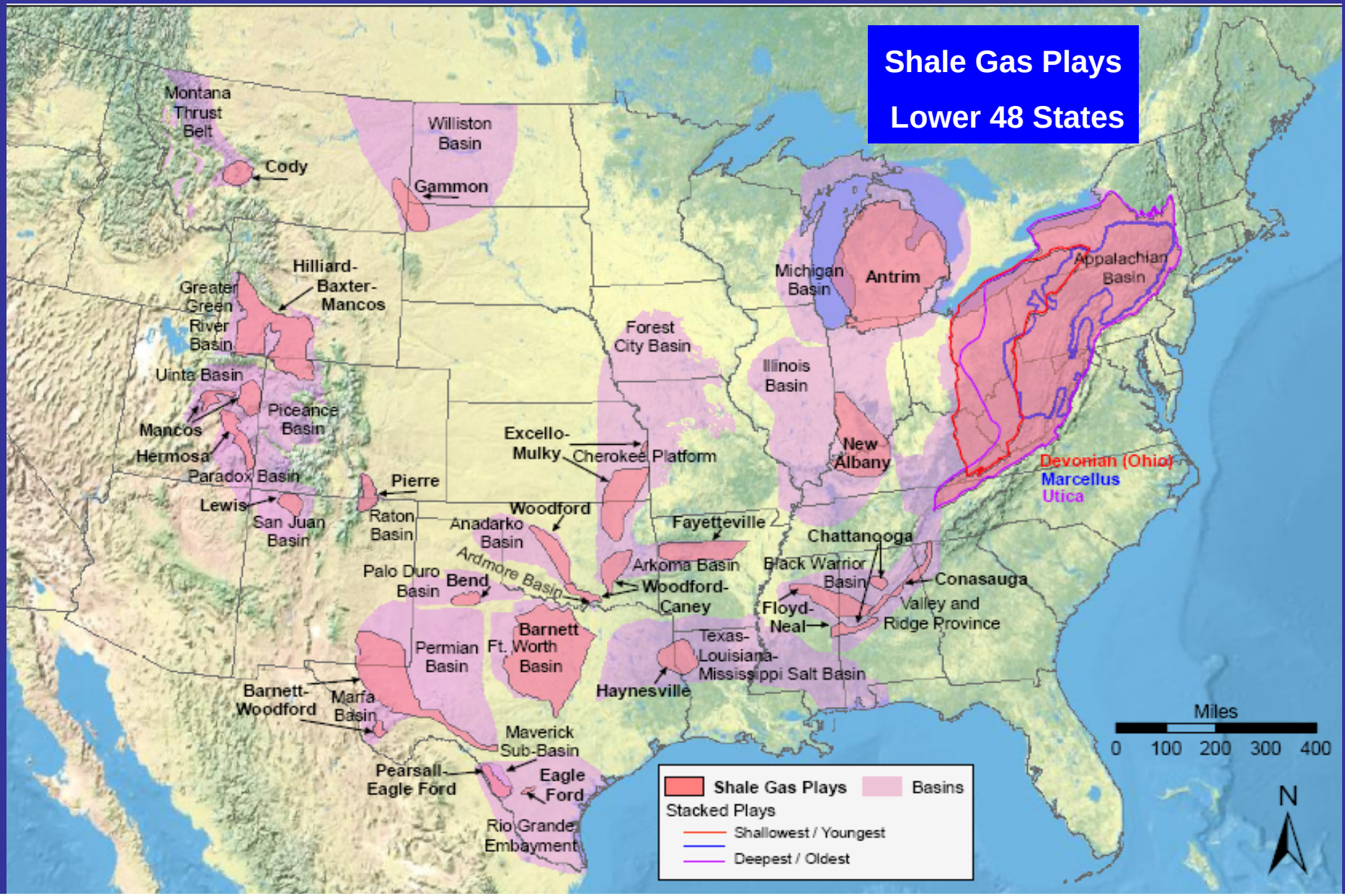
1998年占天然气年产1.6%

2004年227亿方，增至4.5%

2007年335亿方，增至7.7%



一、美国页岩气开发情况


Shale Gas Plays
Lower 48 States
Montana Thrust Belt
Williston Basin
Cody
Gammon
Hilliard-Baxter-Mancos
Greater Green River Basin
Uinta Basin
Piceance Basin
Mancos
Hermosa
Paradox Basin
Lewis
San Juan Basin
Pierre
Raton Basin
Anadarko Basin
Woodford
Ardmore Basin
Palo Duro Basin
Bend
Permian Basin
Ft. Worth Basin
Barnett
Barnett-Woodford
Marfa Basin
Maverick Sub-Basin
Pearsall-Eagle Ford
Eagle Ford
Rio Grande Embayment
Haynesville
Texas-Louisiana-Mississippi Salt Basin
Arkoma Basin
Woodford-Caney
Fayetteville
Excello-Mulky
Cherokee Platform
Forest City Basin
Illinois Basin
Michigan Basin
Antrim
New Albany
Appalachian Basin
Devonian (Ohio)
Marcellus
Utica
Chattanooga
Black Warrior Basin
Floyd-Neal
Conasauga
Valley and Ridge Province
Miles
0 100 200 300 400
N
Shale Gas Plays
Basins
Stacked Plays
Shallowest / Youngest
Deepest / Oldest

一、美国页岩气开发情况

Comparison of Data for the Active Gas Shales in the United States

Gas Shale Basin	Barnett	Marcellus	Fayetteville	Haynesville	Woodford	Lewis
Estimated Basin Area, square miles	5,000	95,000	9,000	9,000	11,000	10,000
Depth, ft	6500-8500[18].	4,000-8,500[12]	1,000-7,000[12]	10,500-13,500[12]	6,000-11,000[5]	3,000-6000.[18]
Net Thickness, ft	100-600.[18]	50-200[6]	20-200.[18]	200[7]	120-220[5]	200-300.[18]
Depth to Base of Treatable Water, ft[#]	~1200	~850	~500.[17]	~400	~400	~2000
Total Organic Carbon, %	4.5.[18]	3-12[11]	4.0-9.8.[18]		1-14[10]	0.45-2.5.[18]
Total Porosity, %	4-5.[18]		2-8.[18]			3.0-5.5.[18]
Gas Content, scf/ton	300-350.[18]		60-220.[18]			15-45.[18]
Water Production, Barrels water/day	0.[18]					0.[18]
Well spacing, Acres	60-160.[18]	40-160[6]		40-560[6]	640[6]	80-320.[18]
Gas-In-Place, Tcf	327.[1]	1,500.[1]	52.[1]	717.[1]	52.[1]	61.4.[1]
Reserves, Tcf	44.[1]	262.[1], 500.[20]	41.6.[1]	251.[1]	11.4.[1]	20.[1]
Est. Gas Production, mcf/day/well	338.[19]	3,100.[20]	530.[19]	625-1800[13]	415.[19]	100-200[12]

mcf = thousands of cubic feet of gas.

NOTE: Data derived from various sources and research analysis. Information from some basins was unable to be identified and confirmed at the time of this paper and has been left blank.

- for the Depth to base of treatable water data, the data was based on depth of casing information if the state's oil and gas agency did not specifically report BTW values in their data base.

一、美国页岩气开发情况

U.S. Shale Proved Reserves (Billion Cubic Feet)

序号	states	2007	2008
1	Alabama	1	2
2	Arkansas	1457	3831
3	Kentucky	20	19
4	Louisiana	5	832
5	Michigan	2761	2801
6	Montana	124	110
7	New Mexico	10	0
8	North Dakota	18	22
9	Ohio	0	0
10	Oklahoma	849	3458
11	Pennsylvania	89	83
12	Texas	16335	21595
13	West Virginia	0	14
	U.S. Shale Proved Reserves	21735	32825

一、美国页岩气开发情况

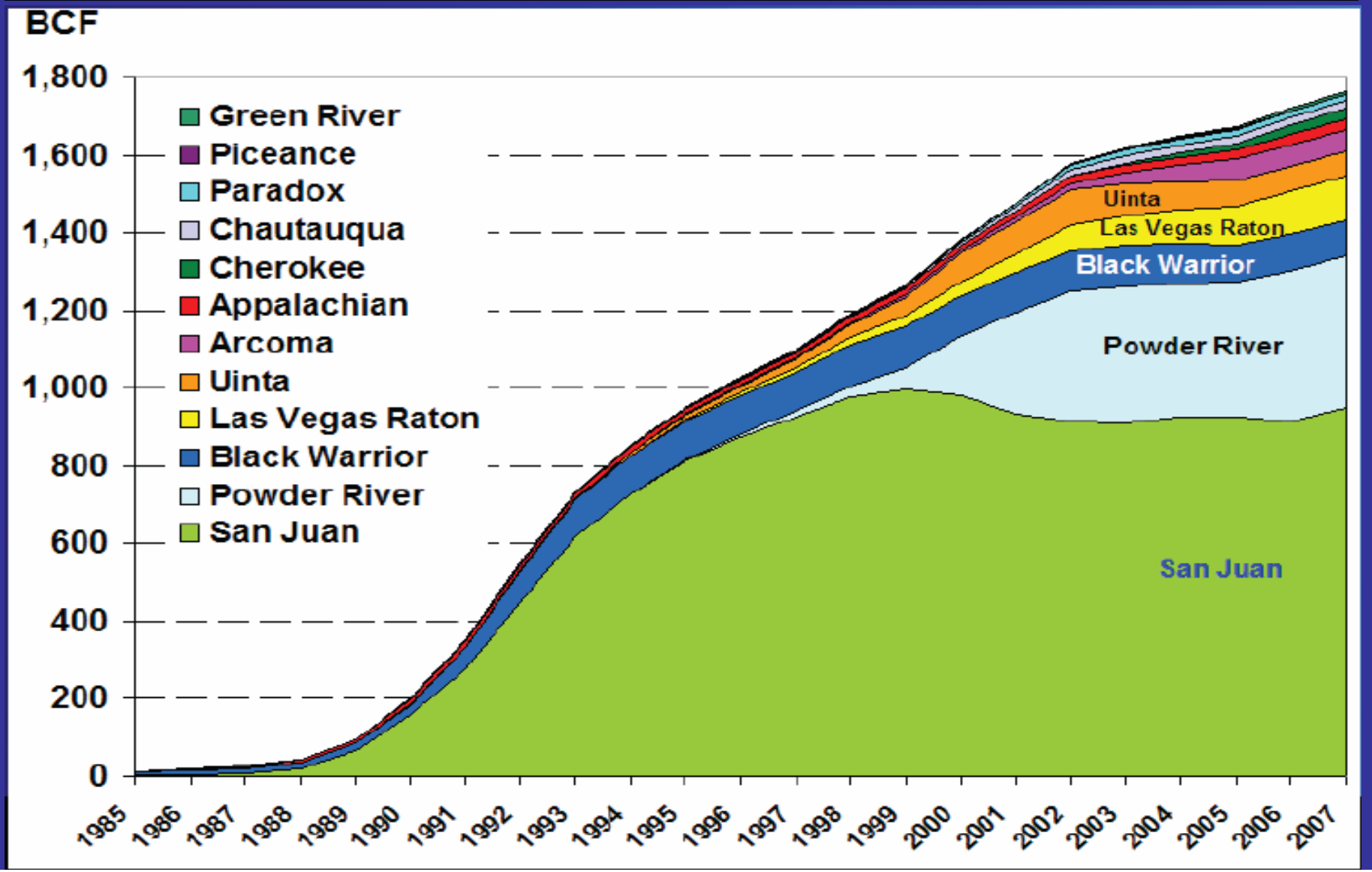
U.S. Shale Gas Production (Billion Cubic Feet)

序号	states	2007	2008
1	Arkansas	93	279
2	Kentucky	2	2
3	Louisiana	1	22
4	Michigan	119	118
5	Montana	11	11
6	New Mexico	2	0
7	North Dakota	2	3
8	Oklahoma	36	151
9	Pennsylvania	1	1
10	Texas	915	1433
11	Eastern States	2	2
	U.S total	1184	2022 （572亿方）

一、美国页岩气开发情况

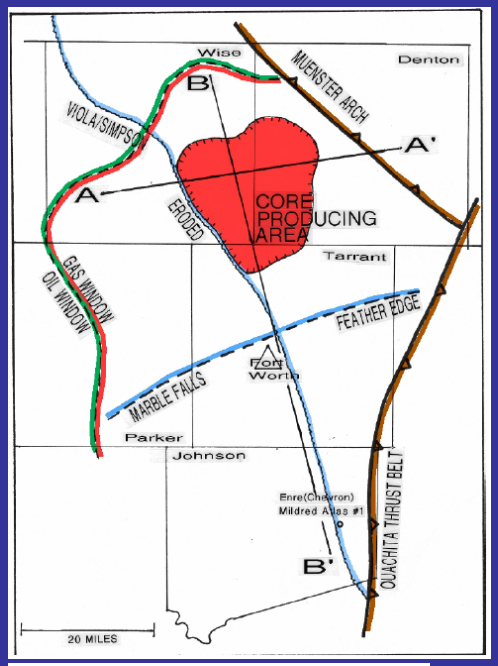
U.S. Coalbed and Shale Gas Proved Reserves and Production(Billion Cubic Feet)								
states	Coalbed Production		Coalbed Reserves		Shalegas Production		Shalegas Reserves	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
Alabama	114	107	2, 126	1, 727	0	0	1	2
Arkansas	3	3	31	31	93	279	1, 457	3, 831
Colorado	519	497	7, 869	8, 238	0	0	0	0
Kansas	38	47	340	301	0	0	0	0
Kentucky	0	0	0	0	2	2	20	19
Louisiana	0	1	7	9	1	22	5	832
Michigan	**0**	**0**	**0**	**0**	**119**	**118**	**2,761**	**2,801**
Montana	13	14	66	75	11	11	124	110
New Mexico	394	443	4, 169	3, 991	2	0	10	0
North Dakota	0	0	0	0	2	3	18	22
Ohio	0	0	1	1	0	0	0	0
Oklahoma	82	69	1, 265	511	36	151	849	3, 458
Pennsylvania	5	11	108	102	1	1	89	83
Texas	0	0	0	0	915	1, 433	16, 335	21, 595
Utah	73	71	922	893	0	0	0	0
Virginia	85	101	1, 948	1, 851	0	0	0	0
West Virginia	25	28	255	246	0	0	0	14
Wyoming	401	573	2, 738	2, 781	0	0	0	0
Eastern States	1	1	29	41	2	2	66	58
U.S. Total	**1,753**	**1,966**	**21,874**	**20,798**	**1,184**	**2,022**	**21,735**	**32,825**
Eastern States include Illinois, Indiana, Maryland, and Tennessee.								

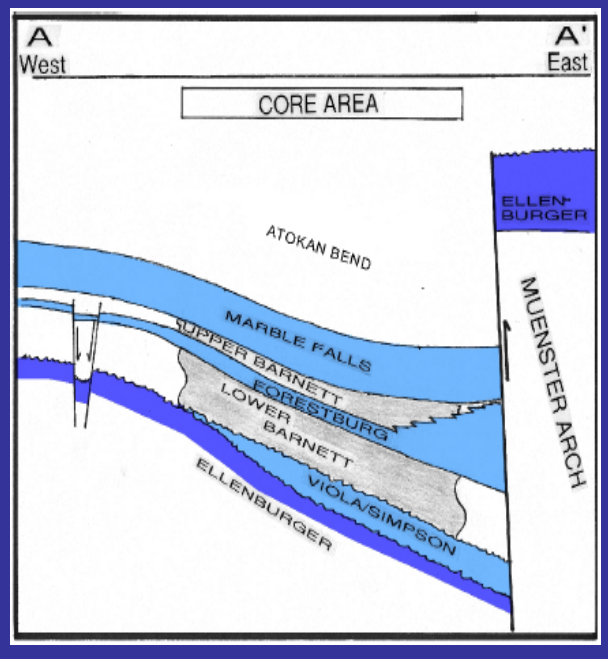
一、美国页岩气开发情况

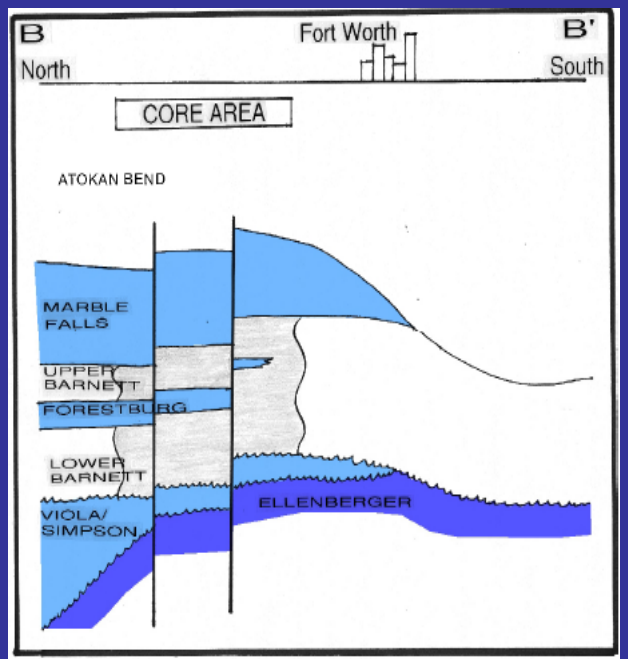

CBM Production History by Basin in the U.S.
BCF
1,800
1,600
1,400
1,200
1,000
800
600
400
200
0
Green River
Piceance
Paradox
Chautauqua
Cherokee
Appalachian
Arcoma
Uinta
Las Vegas Raton
Black Warrior
Powder River
San Juan
Uinta
Las Vegas Raton
Black Warrior
Powder River
San Juan
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007

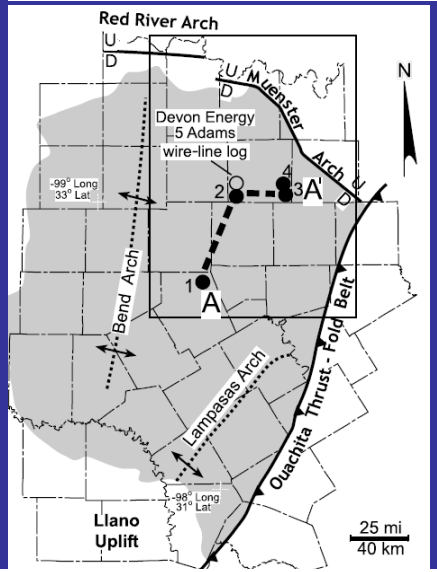
二、美国 barnett shale 开发情况

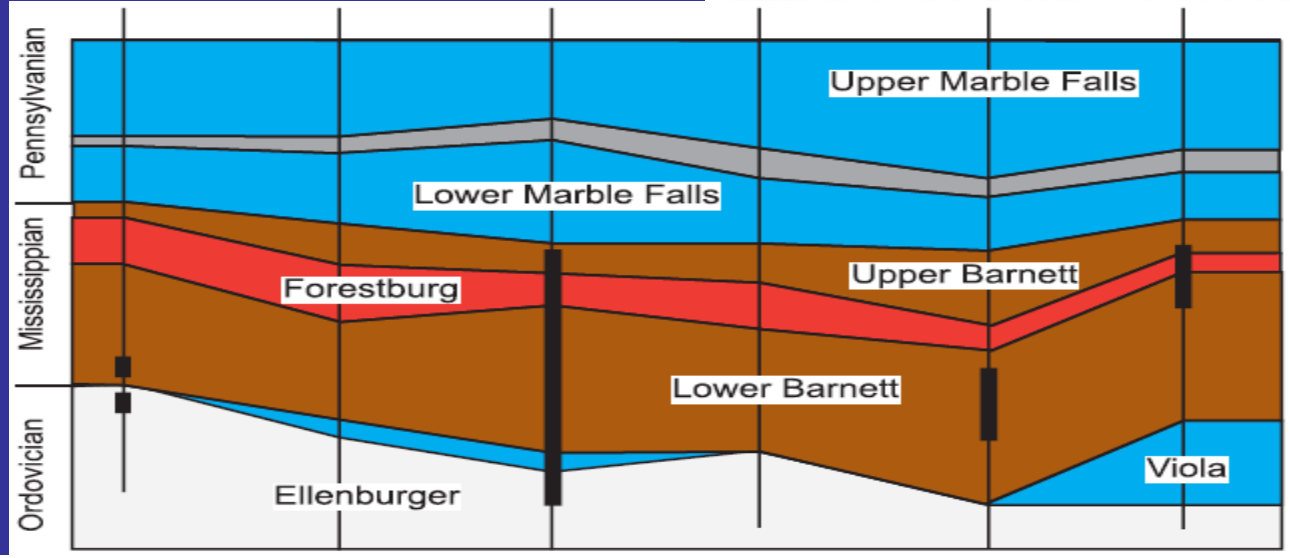




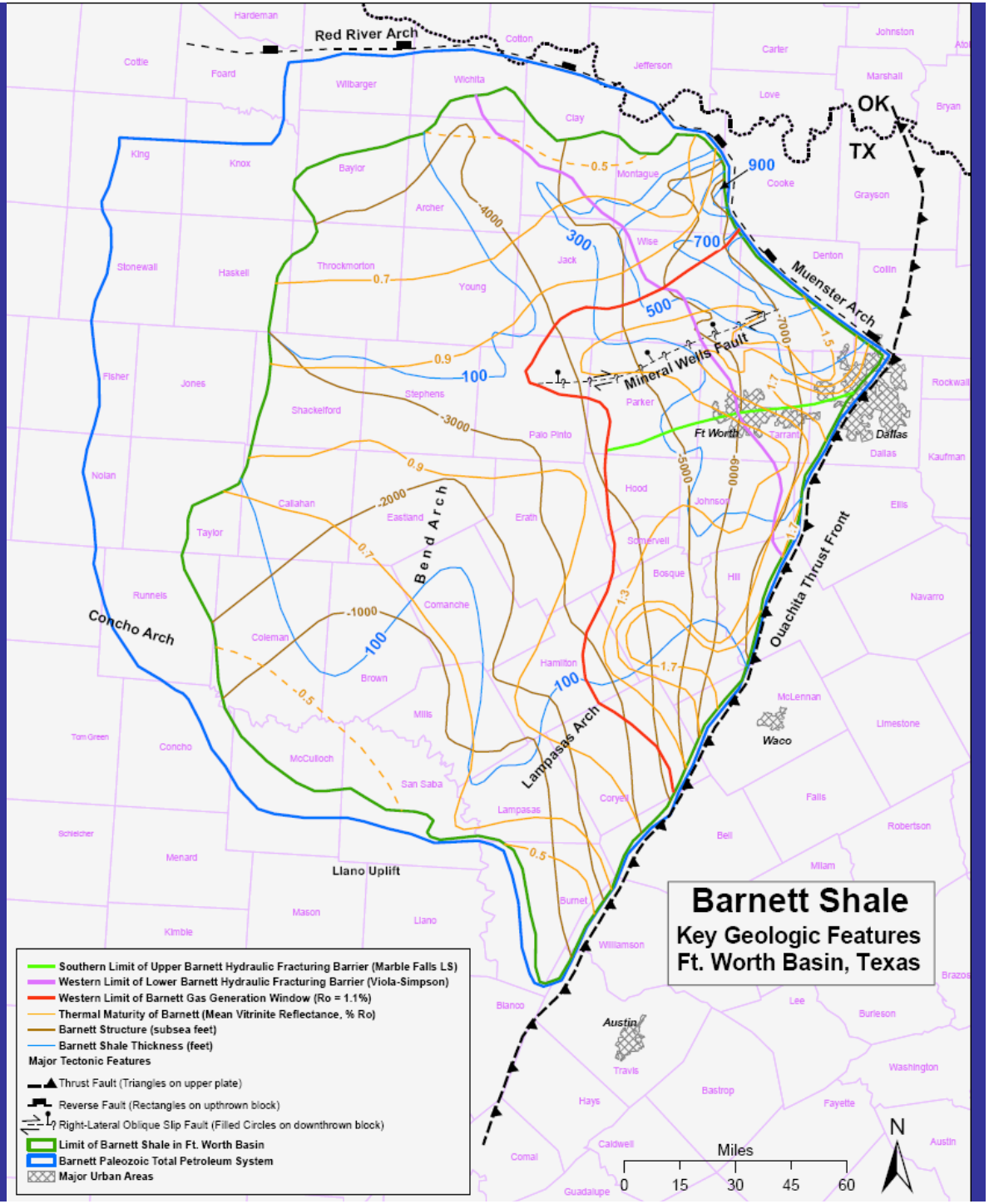


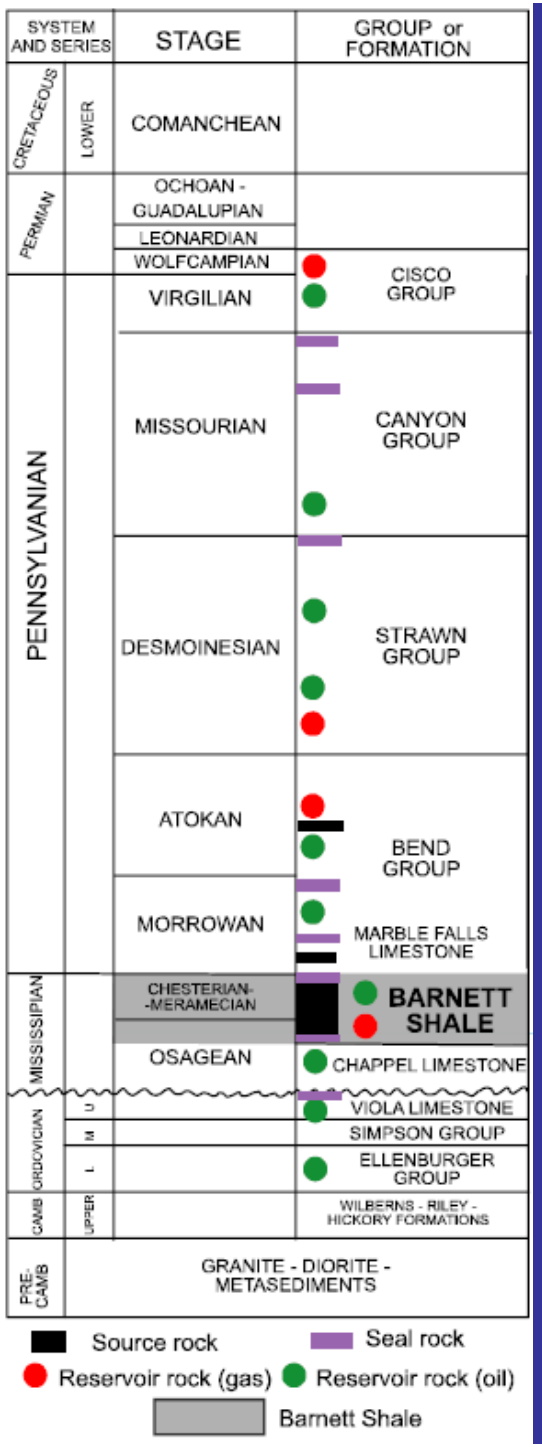




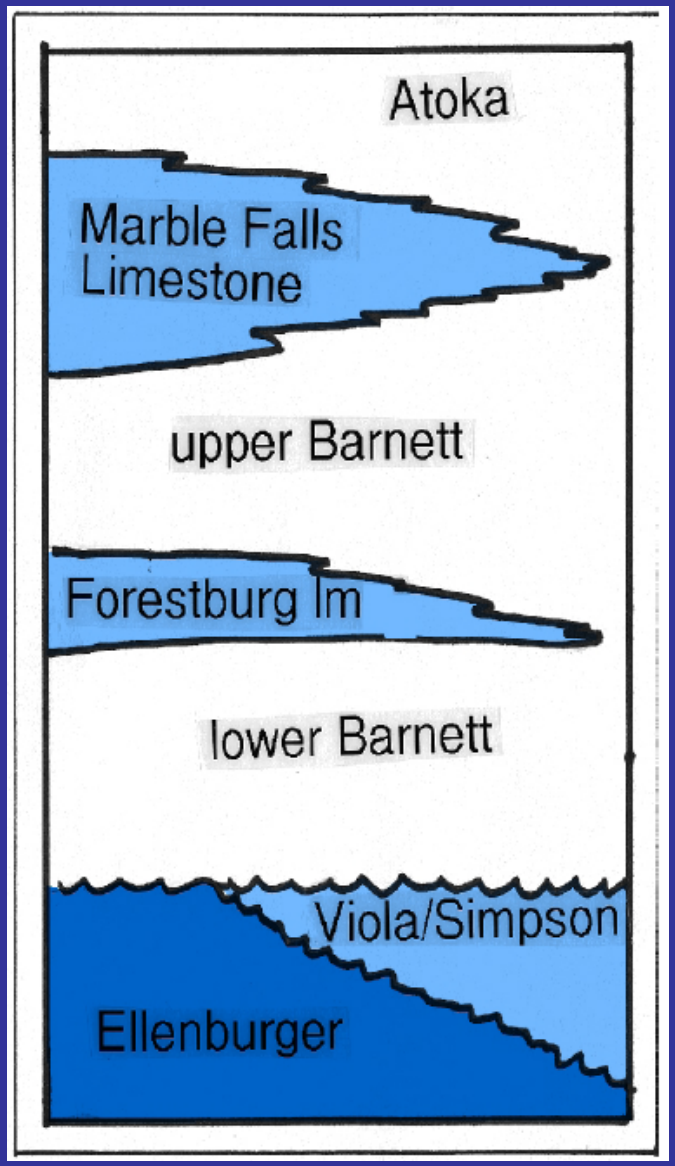


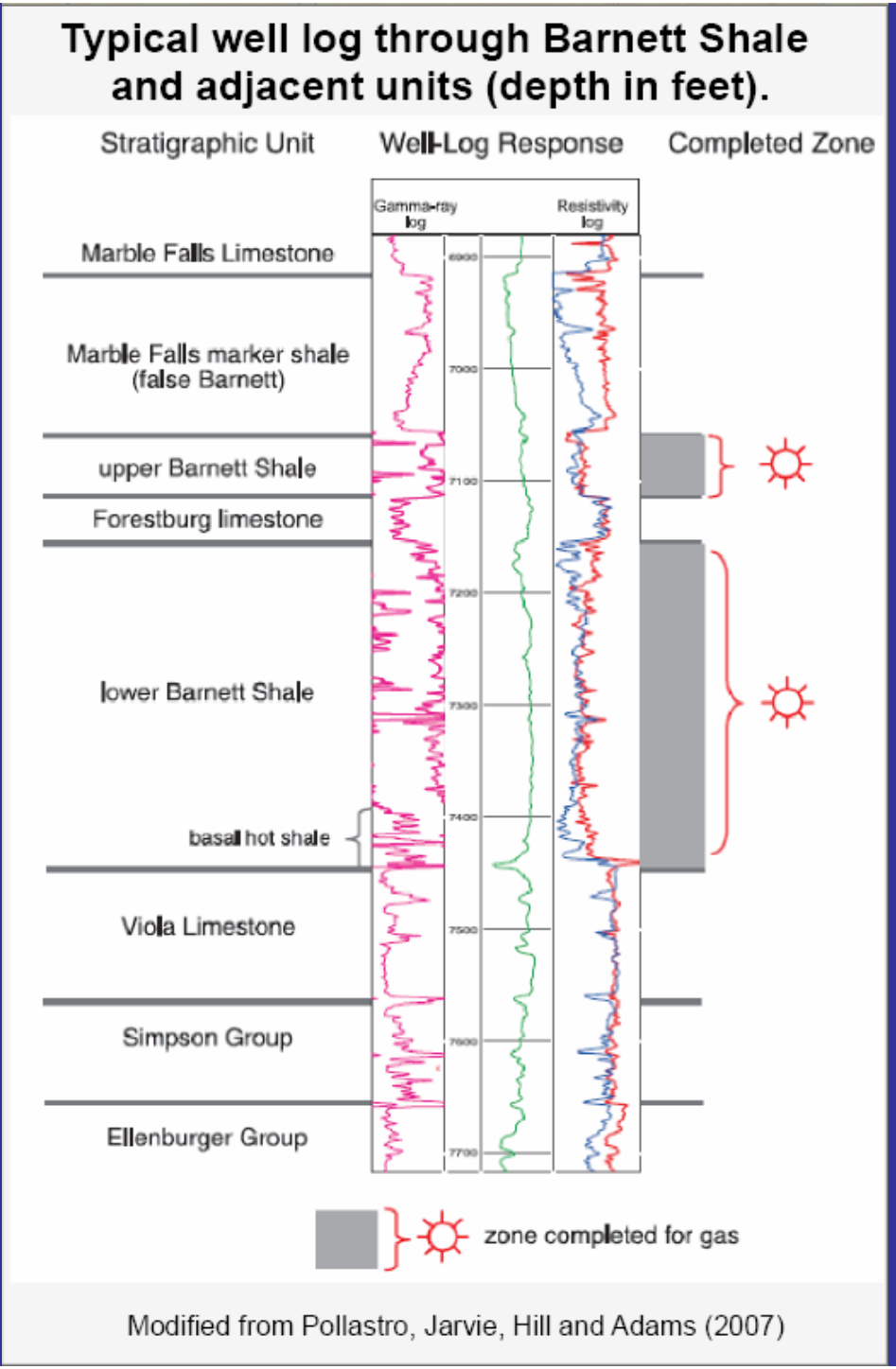
二、美国 barnett shale 开发情况



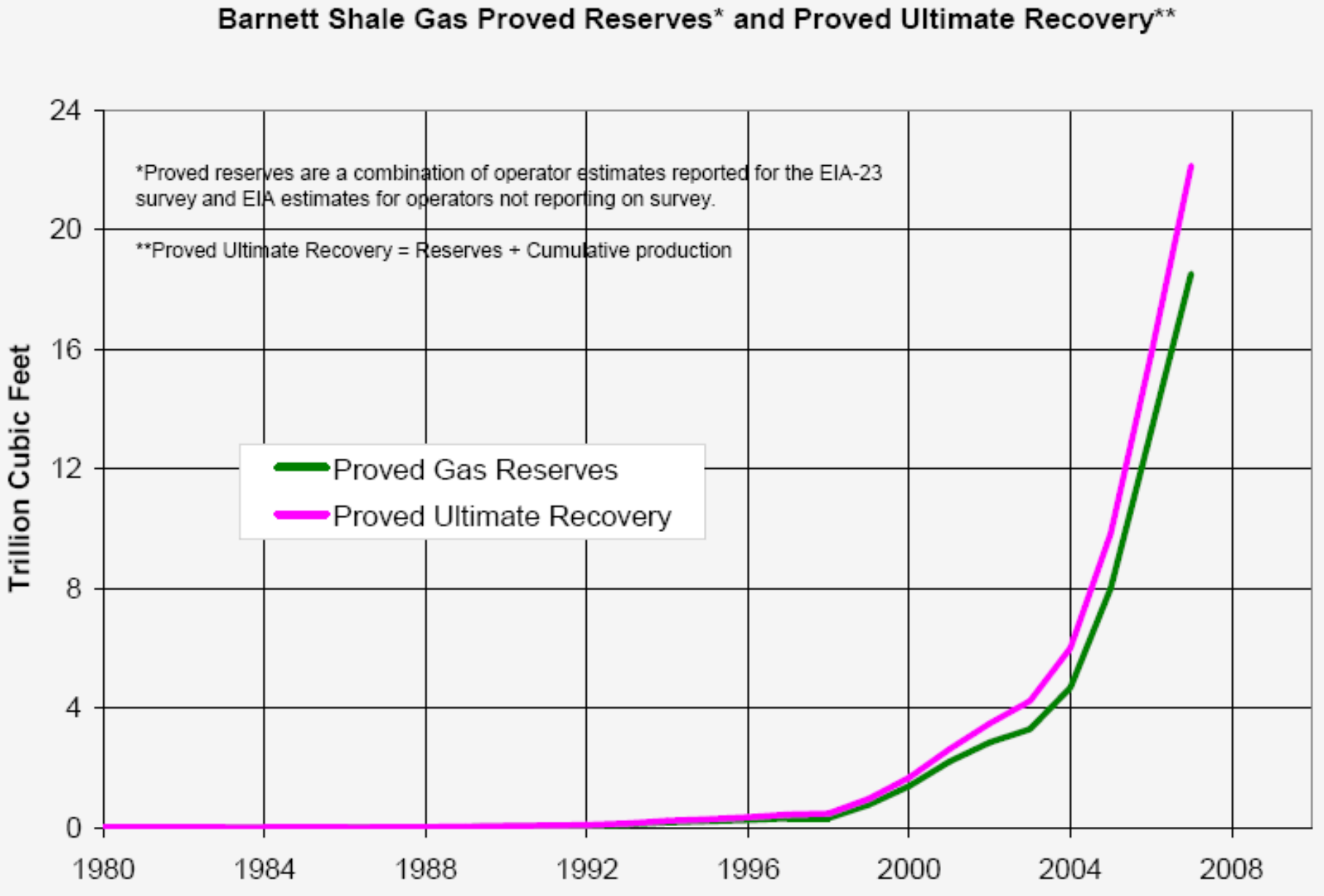


二、美国 barnett shale 开发情况

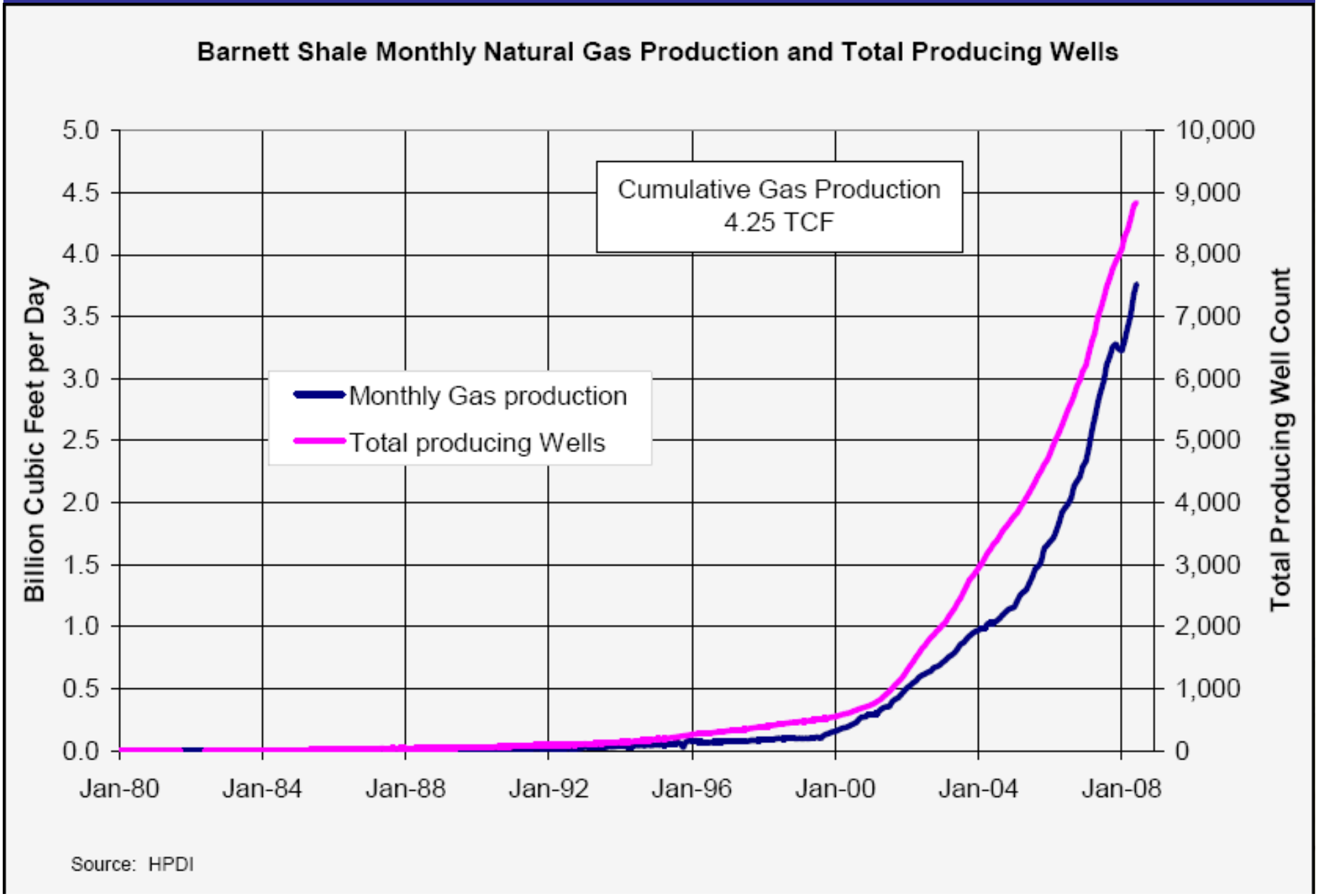




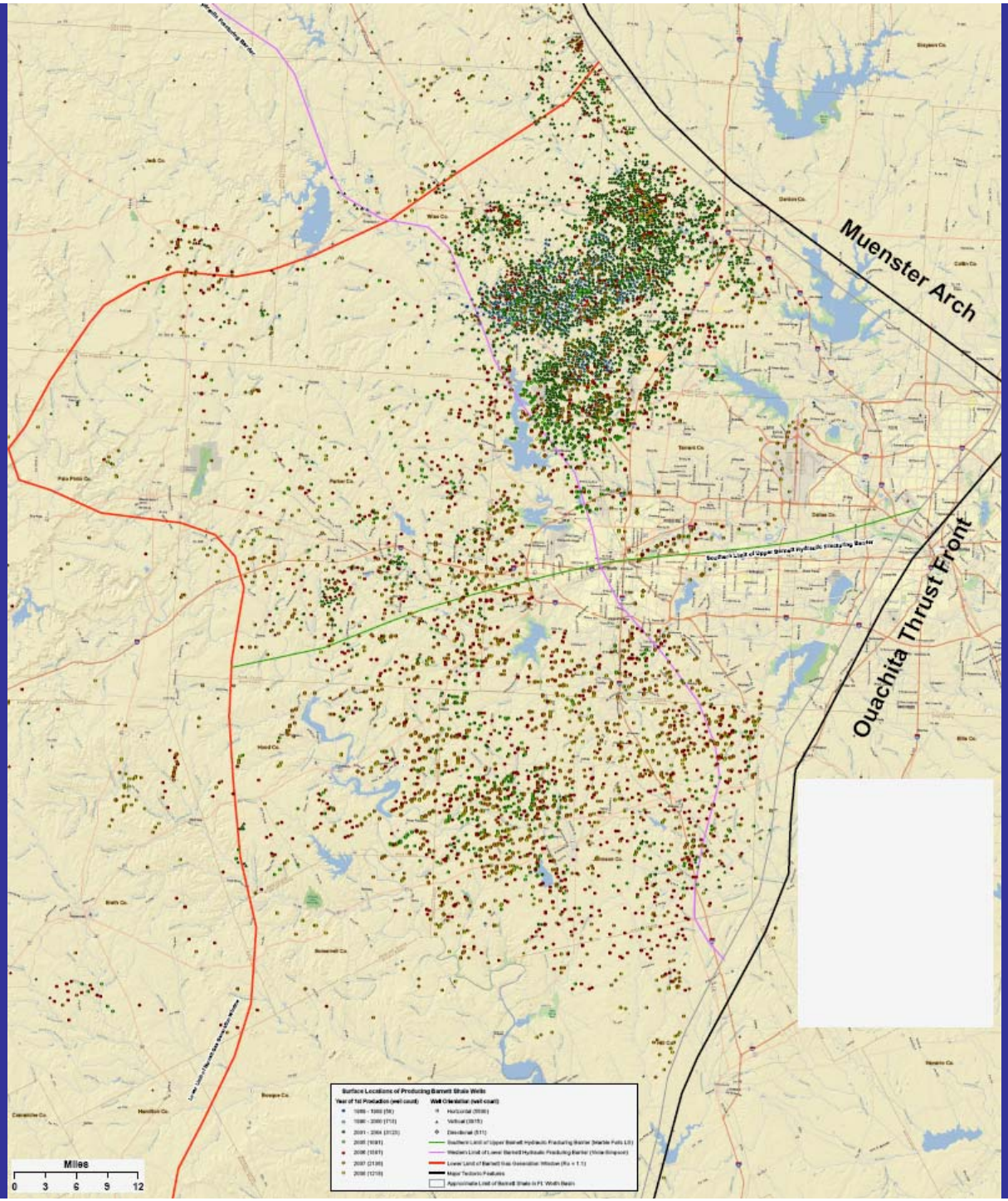
二、美国 barnett shale 开发情况



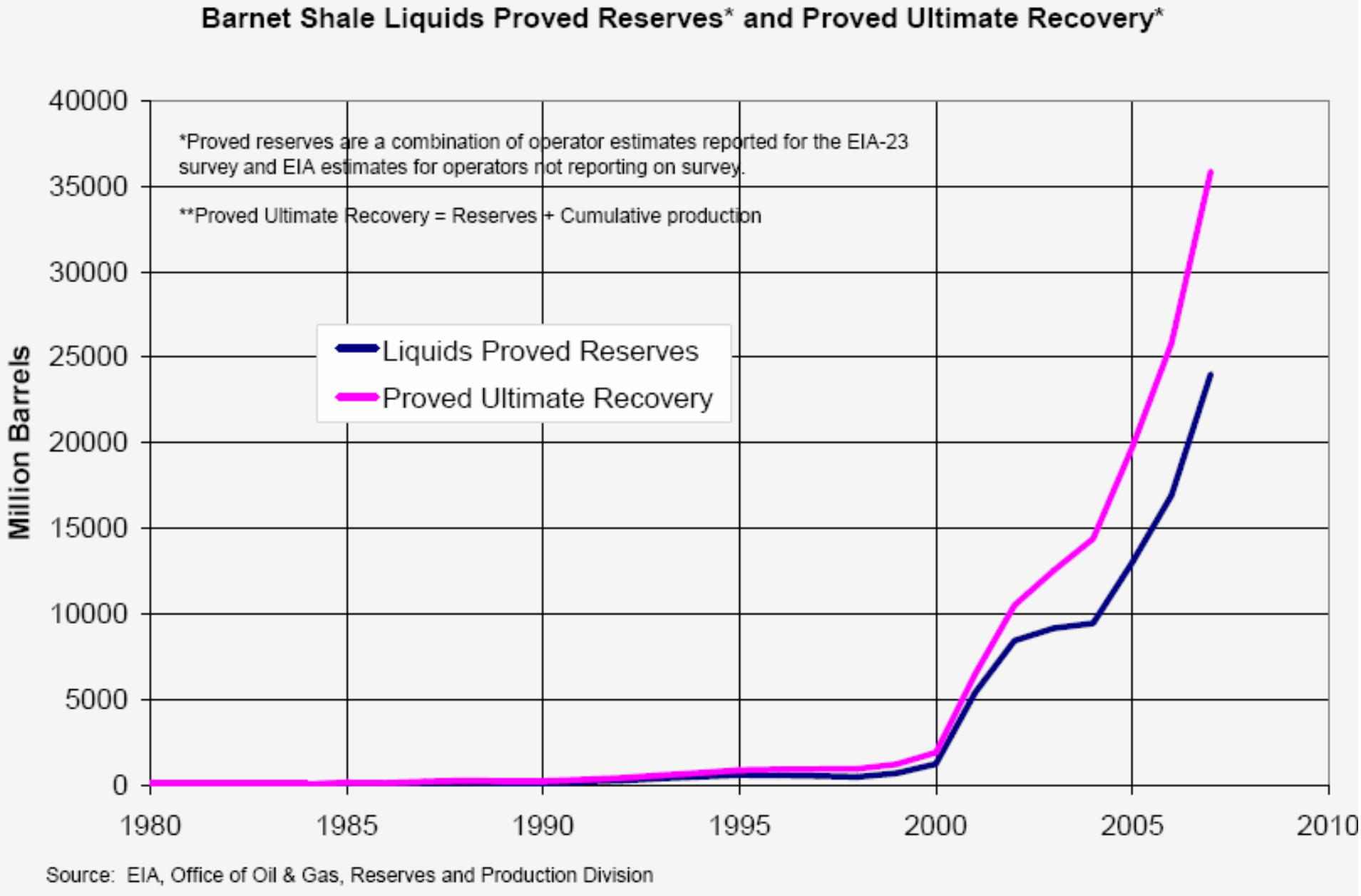
二、美国 barnett shale 开发情况



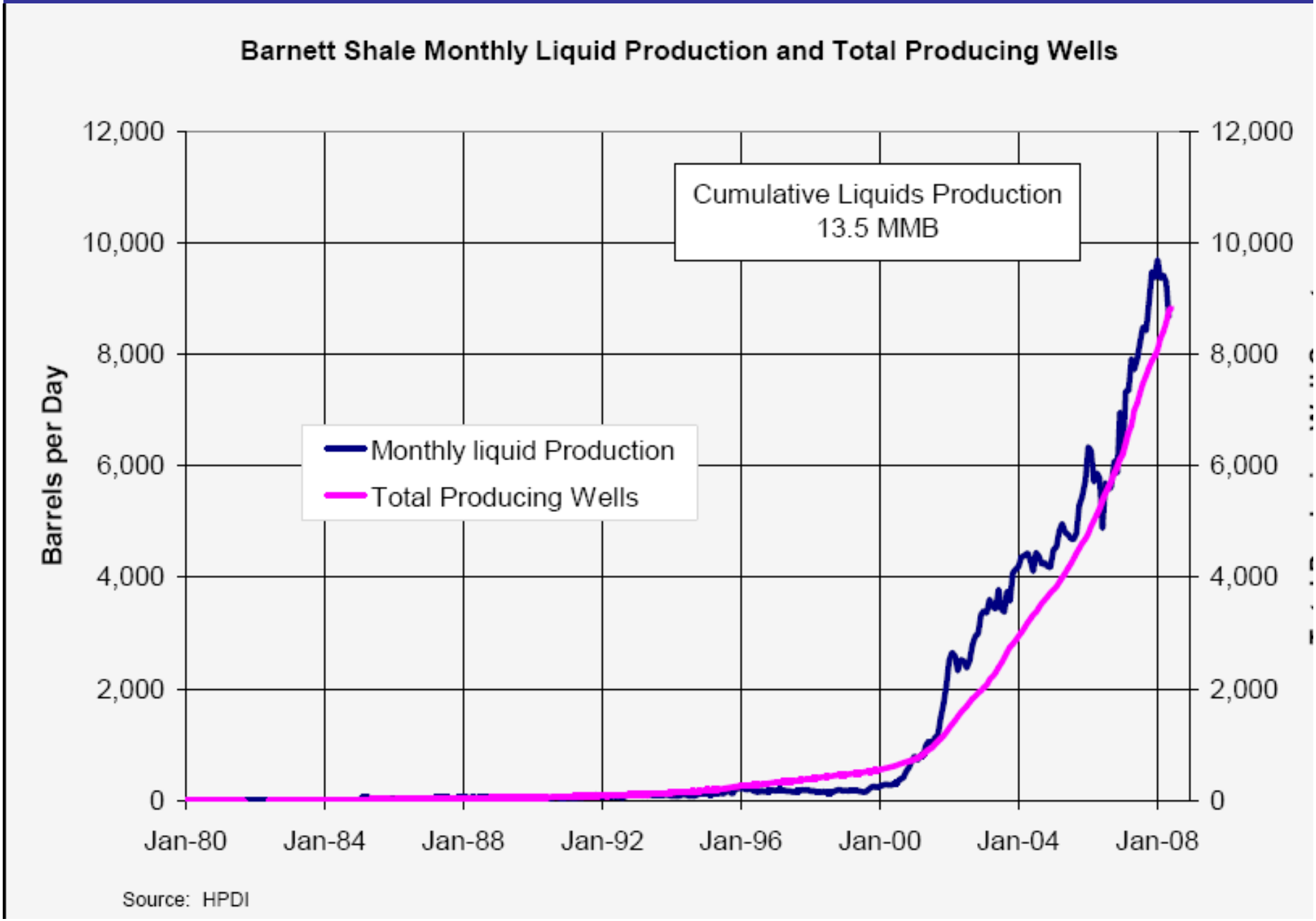
二、美国 barnett shale 开发情况



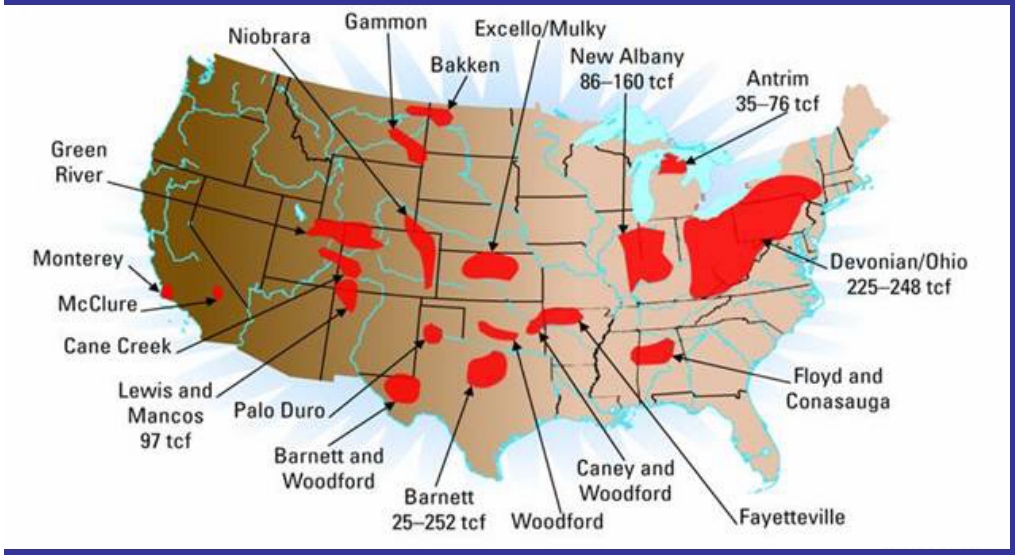
二、美国 barnett shale 开发情况

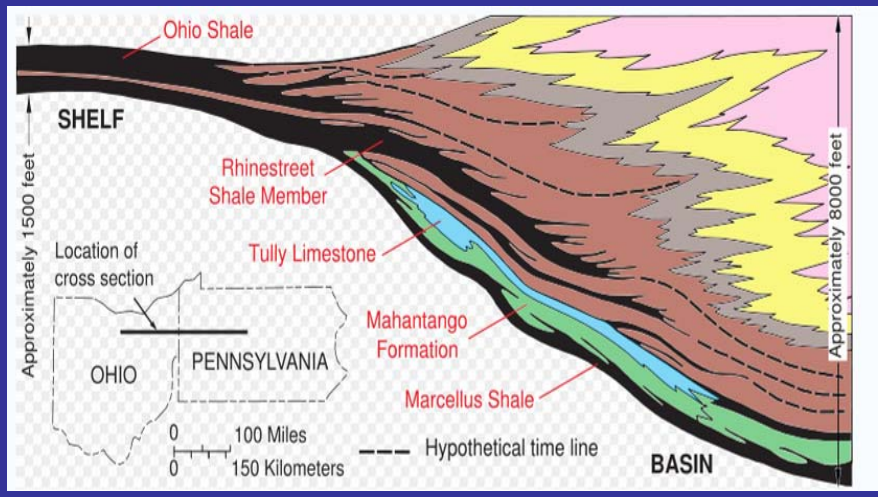


二、美国 barnett shale 开发情况

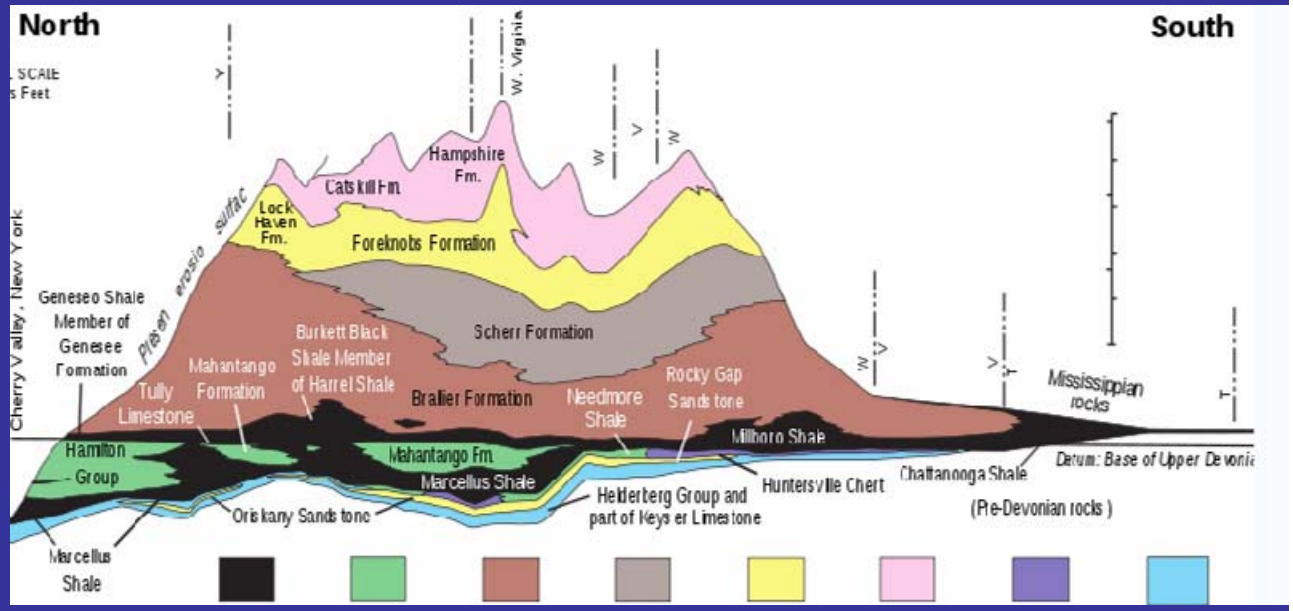


三、美国 **Marcellus shale** 开发潜力



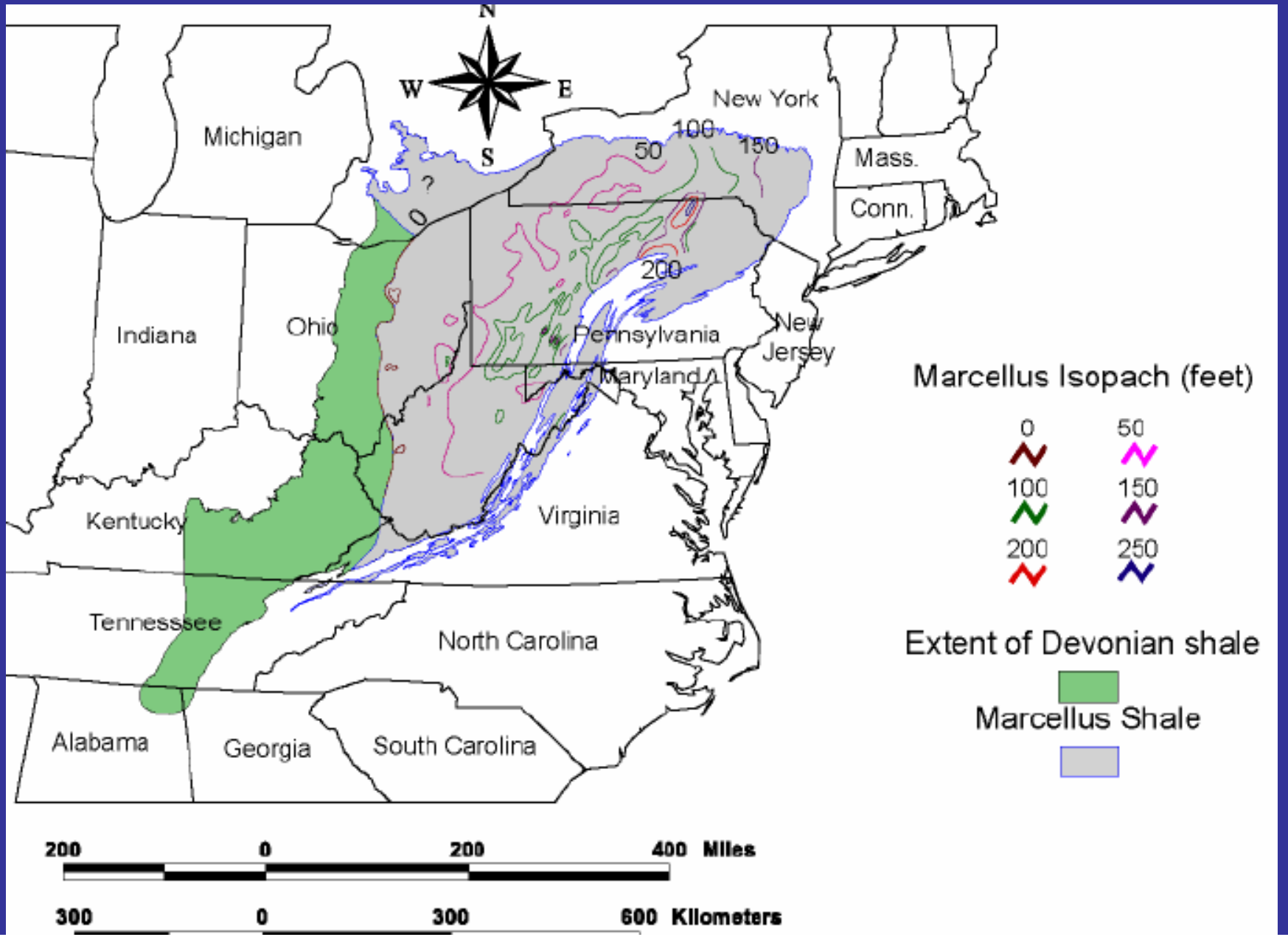






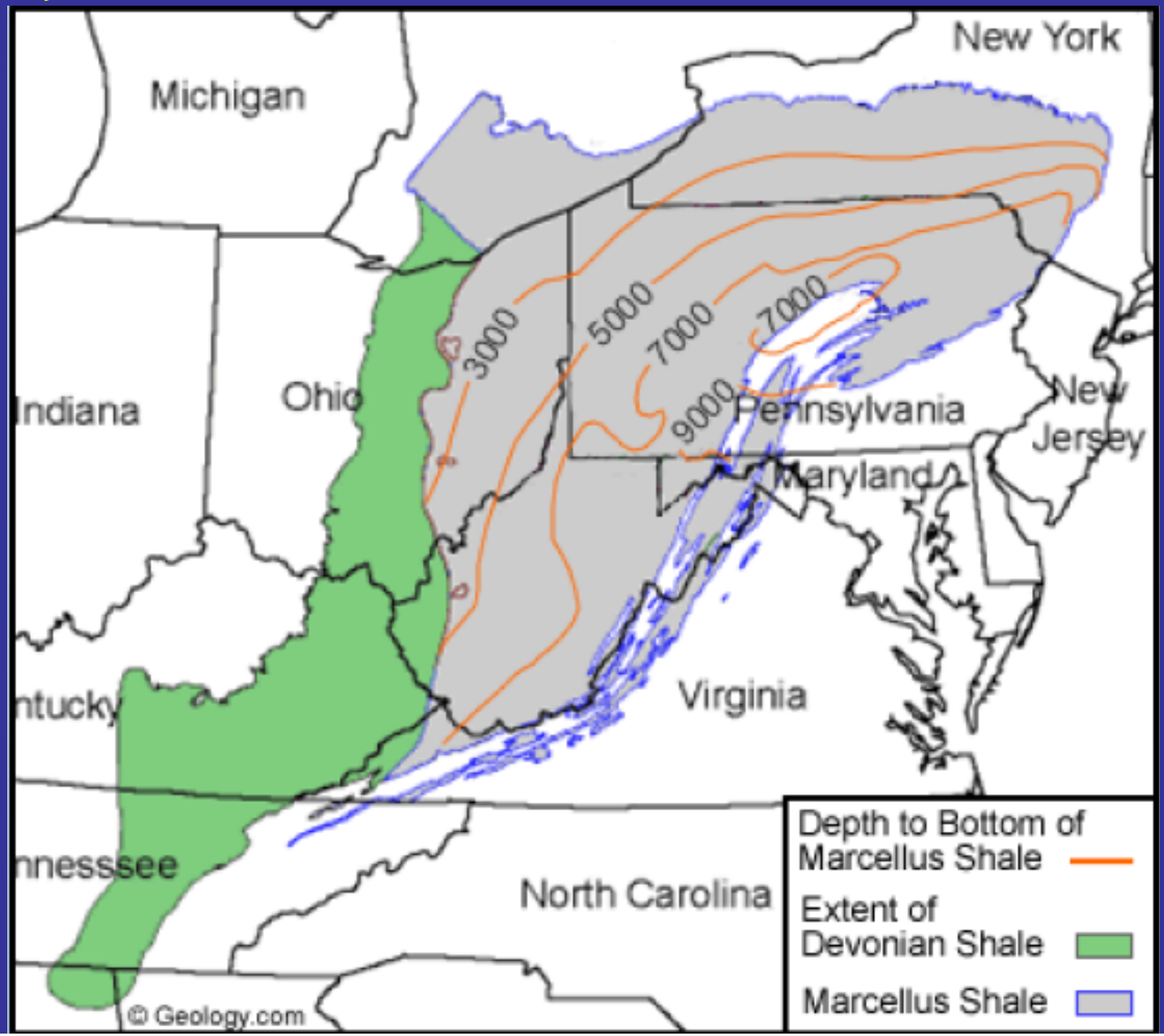
三、美国 **Marcellus shale** 开发潜力

厚度



三、美国 **Marcellus shale** 开发潜力

埋深



三、美国 **Marcellus shale** 开发潜力

It has been conservatively estimated by Terry Engelder, a Pennsylvania State University geosciences professor and Gary Lash, professor of geosciences, SUNY Fredonia, that the entire Marcellus shale contains 168 trillion cubic feet (TCF) of ***gas in place***. Engelder's more optimistic estimate is that it could contain 516 TCF

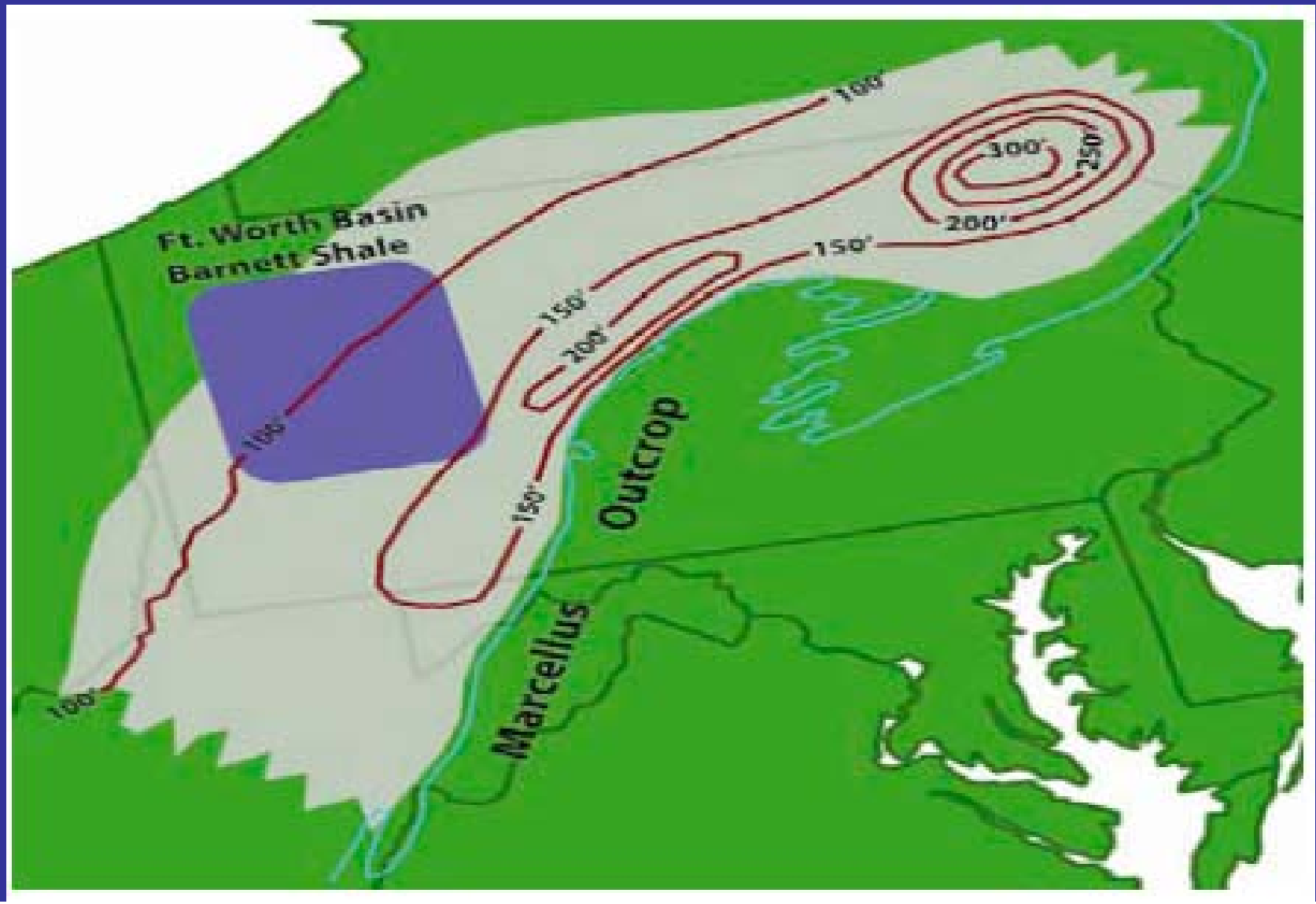
When so-called experts calculate the size of a gas reserve, they usually consider only 10 percent of gas in place as being ***technically recoverable***.

So, on the low size, the Marcellus shale is a potential resource of 16.8 TCF, and on the high side 50 TCF.

In 2006, the U.S. consumed more than 21 TCF of natural gas.24 So, if the estimates by Engelder and Lash are correct, gas from the Marcellus shale could support this level of consumption for 1 to 2.4 years.

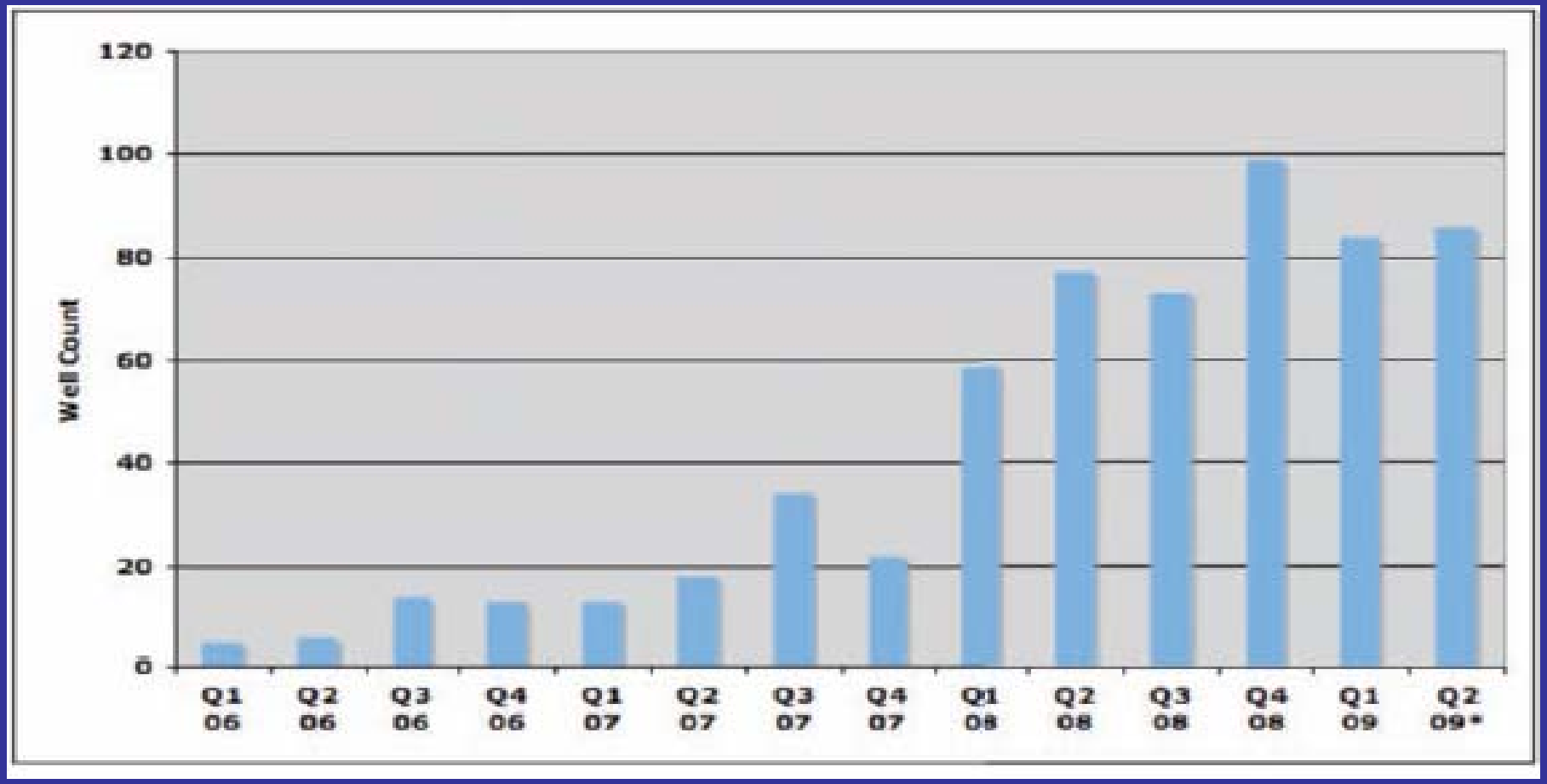
三、美国 **Marcellus shale** 开发潜力

Extent of Marcellus Compared with Barnett Shale Formation



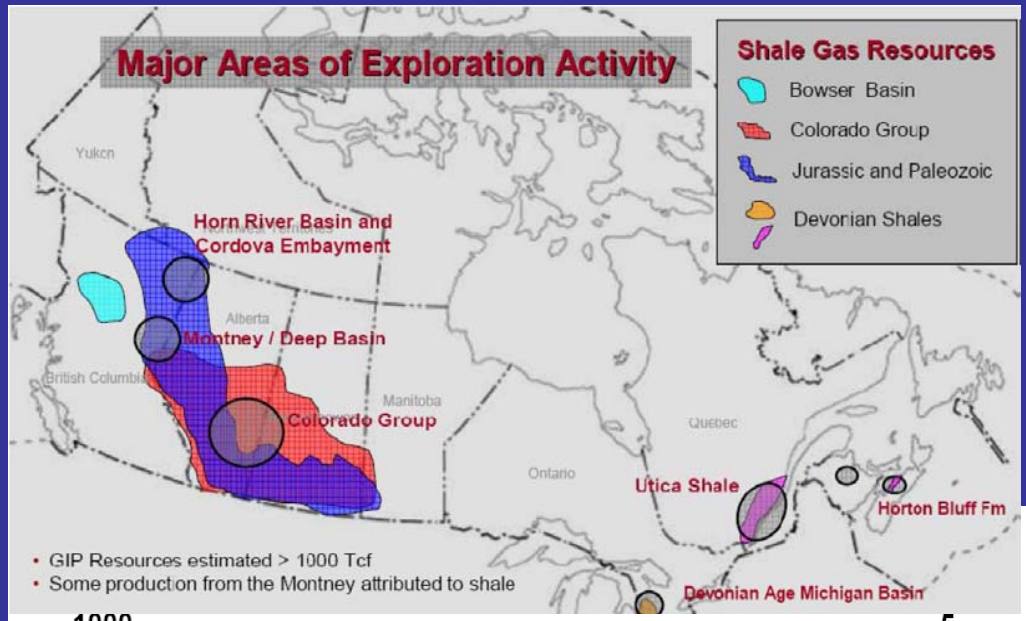
三、美国 **Marcellus shale** 开发潜力

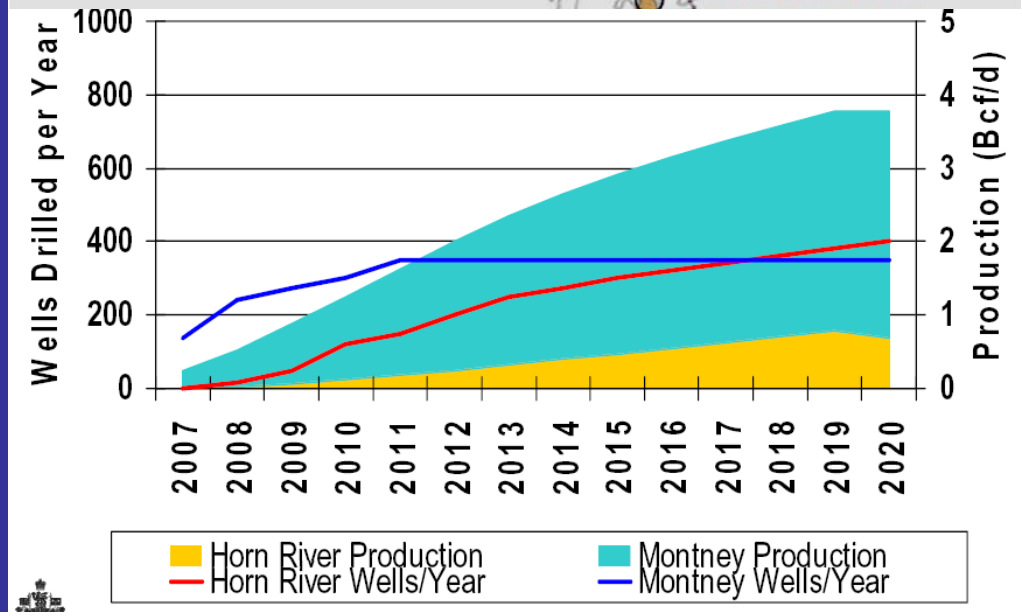
Marcellus Wells Drilled by Quarter, 2006-2009



四、加拿大及其他国家

加拿大处于起步阶段，在阿尔伯塔、BC省、及东部部分地区开展了勘探工作，并有一定的产量





四、加拿大及其他国家

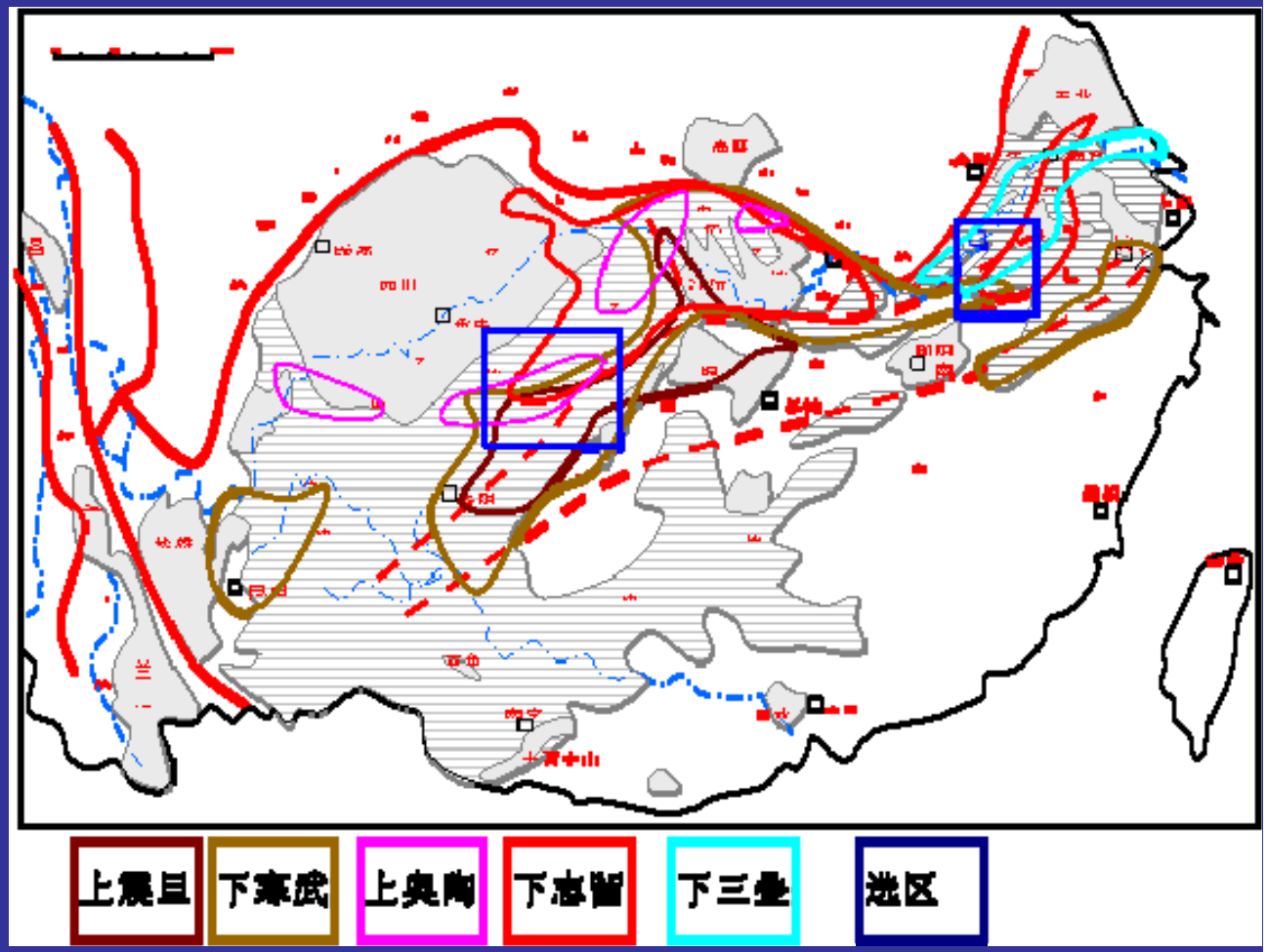
其他国家

- 德国、法国、荷兰、瑞典等都在开展页岩气的研究工作
- 初步计算，西欧的页岩气资源量就达到了**510Tcf**
- 波兰**Lane**能源公司获得了**Baltic**盆地志留系黑色页岩勘探权
- 瑞典媒体报道称**Shell**公司在**Skåne**地区进行页岩气勘探
- 波茨坦地球科学国家研究中心成立了页岩气研究机构，邀请了超过**30**家能源公司、大学、科研院所以及地质调查代表单位参加，并开展了一个为期六年的项目，主要宗旨是在时间和空间领域对欧洲页岩气盆地进行优选

五、国内现状及面临的主要问题

（一）战略选区

对我国南方地区页岩气发育有利区进行了初步优选工作



五、国内现状及面临的主要问题

（二）中石油

（1）对上扬子下寒武笕竹寺组、下志留龙马溪组的页岩气成藏条件及有利地区优选评价工作。

（2）与美国新田公司、Devon能源公司等进行页岩气成藏条件的联合研究，主要在四川盆地和吐哈盆地开展工作

（3）中国石油勘探开发研究院在四川省宜宾市设计实施了1口页岩气取心浅井，设计井深200米，全井段取心，共取心154米，采集TOC（有机碳含量）等地化样品和岩矿样品200多个，页岩吸附气样品14个，GR值（放射性元素）测定780个。

（4）对四川盆地油气勘探资料进行了进一步研究，认为四川盆地具有与美国类似的页岩气成藏条件，已有威5井和阳63井获得工业气流

五、国内现状及面临的主要问题

（三）中石化

（1）中石化研究院近年已设立页岩气专题研究组，并在全国范围内开展页岩气藏潜力评价及有利地区优选工作

（2）既研究中国海相地层的页岩气分布，也研究中国中新生代陆相湖盆的泥页岩气潜力

（3）对陕甘宁盆地上三叠统延长组张家滩和李家畔页岩和该区石炭、二叠系泥页岩均做了较系统的老井复查和综合分析工作，并取得了一定认识

五、国内现状及面临的主要问题

（四）中国地质大学（北京）

（1）研究页岩气的形成机制、成藏特征的系统分析研究

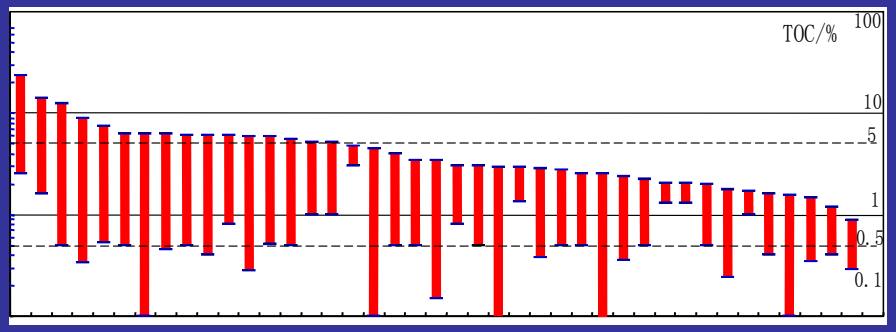
（2）对北美海相页岩气藏地质条件与中国进行对比分析

（3）总结了中国主要盆地和地区

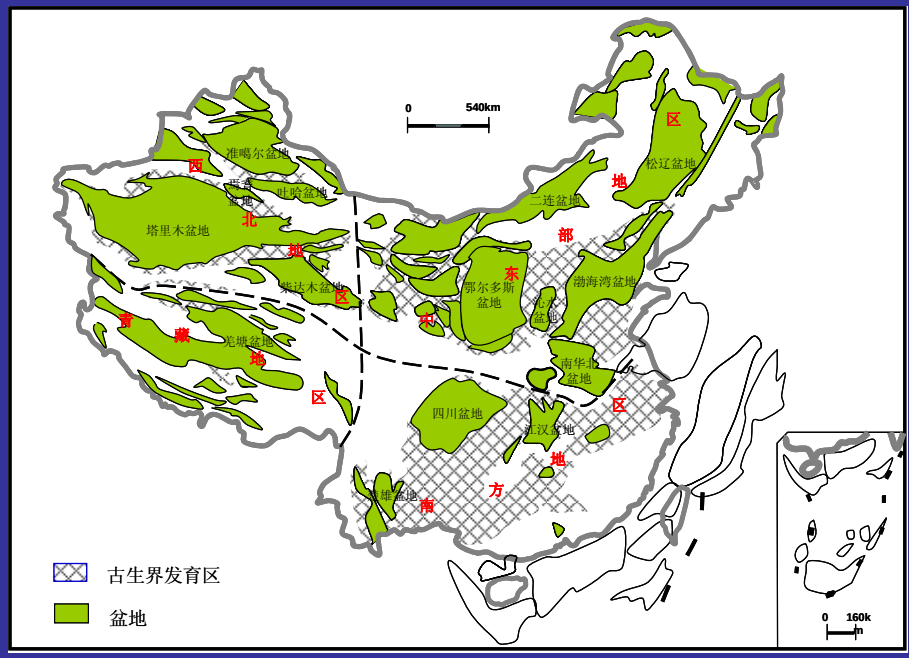
TOC含量

（4）划分了南方、中东部、西北

和青藏页岩气四大区域



中国主要盆地和地区有利层位泥页岩有机碳含量分布



中国页岩气分布有利区划

五、国内现状及面临的主要问题

（三）面临的主要问题

1、二手资料多，第一手资料少

间接资料：美国、加拿大资料，AAPG等国际刊物资料；国内常规油气资源勘探开发资料，基础地质资料

直接资料：中石油页岩气浅井一口，地大（北京）上、中、下扬子样品

2、理论研究多，实践验证少

理论：页岩气的形成、富集机理，成藏条件，有利区预测工作较多

勘查：直接勘查和实验测试工作较少

3、面上的认识多，点上的认识少

面上：对对扬子、四川盆地、鄂尔多斯、吐哈等区域性发育前景的研究

点上：点的解剖还没有

4、可能的结论多，确定性结论少

由于缺少第一手资料，对页岩气资源潜力评价和有利区优选的参数尚难以确定。目前还没有对一个地区给出页岩气资源潜力的可靠数据，有利区优选主要依据富含有机质页岩发育情况，可靠性较差。

六、我国页岩气有利区优选问题

（一）研究及有利区优选现状：

- 我国页岩气研究主要集中在页岩气聚集条件和有利区评价方面，其中大中型含油气盆地的研究较多。
- 由于直接的页岩气井筒资料较少，目前的多数研究主要借用常规油气勘探资料数据、煤层气和固体矿产勘探资料数据，页岩样品主要采自地表和近地表
- 由于缺少第一手资料，通过借鉴美国等国外资料开展类比研究的也较多
- 页岩气成藏条件研究：对页岩本身特点（如厚度、矿物组成、孔隙度、渗透率、裂缝发育程度等）、页岩成烃能力（如有机质类型及含量、成熟度等）、页岩聚烃能力（如吸附能力及影响因素等）开展了实验和类比研究
- 在有利区优选：目前多数研究者主要依据页岩层厚度、埋深、有机质含量（TOC）和热演化程度（RO）优选的有利区

六、我国页岩气有利区优选问题

我国页岩气有利区优选还处于富含有机质泥页岩优选阶段，优选出的主要是页岩气发育远景区，主体还没有进入页岩气富集有利区优选阶段。充分利用以往地质资料，通过少量关键参数，优选具备形成页岩气富集条件的富含有机质泥页岩发育区作为页岩气勘探有利目标区，为进一步开展页岩气勘探提供依据，这是我国开展页岩气勘探开发起步必定要经过的一个阶段。

六、我国页岩气有利区优选问题

（二）我国富含有机质泥页岩发育特点分析

受复杂的地质背景和多阶段演化过程的影响，我国含油气盆地类型多、盆地结构复杂。在早三叠世及古生代，我国发育有华北、扬子和华南、塔里木等大中型海相和海陆交互相克拉通和克拉通边缘盆地。经过中新生代改造后，这些大中型盆地普遍遭到破坏，仅在四川、鄂尔多斯、塔里木等地保留下来一部分克拉通盆地。中生代以来，陆相盆地广泛发育。其中部分陆相盆地叠置在克拉通盆地之上，部分盆地发育在古生代褶皱带之上。盆地的不同演化规律直接控制富含有机质泥页岩的发育和分布。按形成环境，可将富含有机质泥页岩化分为海相厚层富含有机质泥页岩，海陆交互相、陆相煤系地层富含有机质泥页岩，陆相富含有机质泥页岩三种

六、我国页岩气有利区优选问题

1、海相厚层富含有机质泥页岩

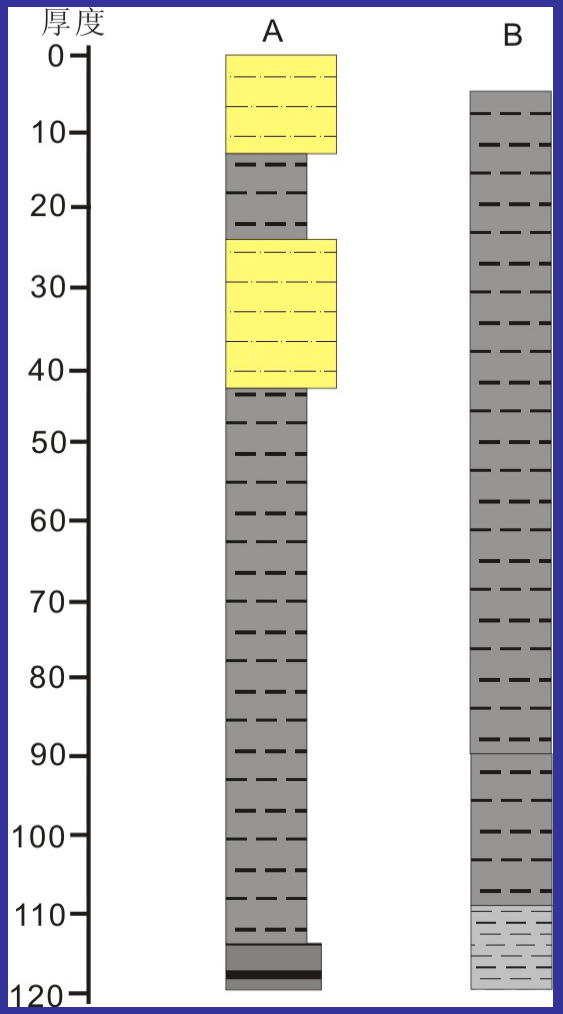
我国海相富含有机质页岩主要发育于下古生界的下寒武统和下志留统-上奥陶统顶部，以扬子克拉通地区最为典型

下寒武统：中上扬子区较好，有机质类型为Ⅰ-Ⅱ型，**TOC** 平均含量高达**7%～8%**。

四川盆地下寒武统平均厚度**139m**，有机碳在**0.5～4.0%**，多为**1%**以上，类型为Ⅰ型，**Ro**值为**2.0～5.0%**，盆地南部埋藏较浅。

麻阳、洞庭**TOC**多大于**1%**，腐泥型，凹陷区**Ro**多大于**3%**，凸起区**Ro**多小于**1%**。

下寒武统热演化程度普遍较高，仅在上扬子南部和北部、鄂西和下扬子中部地区**Ro**小于**3.0**，其它地区下寒武统海相富含有机质页岩的热演化程度普遍大于**3.0**



A：贵州牛蹄塘组厚层富含有机质泥页岩层剖面特征，下部厚层泥页岩中含石膏层，上部变为粉砂质泥岩。B：渝东龙马溪-五峰组厚层富含有机质泥页岩

六、我国页岩气有利区优选问题

1、海相厚层富含有机质泥页岩

•下志留统海相富含有机质泥页岩主要分布在川东南、川东北、渝东鄂西、中扬子、下扬子等区，以硅质岩、页岩、碳质页岩为主，有机质类型为**I** 型，**Ro**为**2.0～4.5%**。厚度**20-100m**，其中渝东鄂西地区热演化程度较低，是页岩气勘探的较有利地区之一

•我国南方地区下寒武统和下志留统富含有机质页岩在单层厚度和有机质含量总体上均达到了形成页岩气的基本条件，而埋深和热演化程度是影响进一步优选页岩气勘探靶区的主要因素

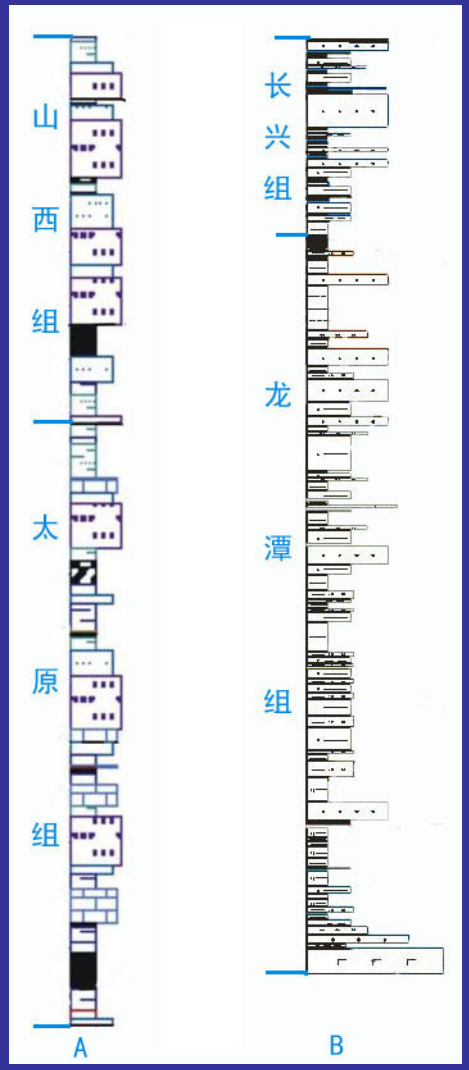
六、我国页岩气有利区优选问题

2、海陆交互相、陆相煤系地层富含有机质泥页岩

晚古生代克拉通海陆交互相煤系富含有机质泥页岩在华北、华南和准噶尔地区分布广泛

中新生代陆相煤系地层富含有机质泥页岩主要在两类盆地发育：一类是大型坳陷，如鄂尔多斯和准噶尔盆地侏罗系，以及四川盆地上三叠统；另一类是断陷，东北地区的含煤盆地多为断陷

华北地区海陆交互相富含有机质泥页岩单层厚度不大，多数与煤层交互出现。有机质含量受沉积相影响，变化较大，一般在**0.5%-10%**，其中沼泽相碳质页岩有机质含量普遍较高。这类泥页岩的有机质类型主要为Ⅱ-Ⅲ型，热演化程度多数在**0.5%-2.5%**，部分达到**3.0%**以上



A：华北地区上古生界海陆交互相沉积特征（沁水盆地）；B. 华南地区上古生界海陆交互相沉积特征（滇东地区）

六、我国页岩气有利区优选问题

2、海陆交互相、陆相煤系地层富含有机质泥页岩

•华南地区海陆交互相富含有机质泥页岩有单独发育以及与煤层交互发育两种类型

•滇黔桂地区上二叠统龙潭组深灰色页岩一般厚**20-60**米，局部较厚

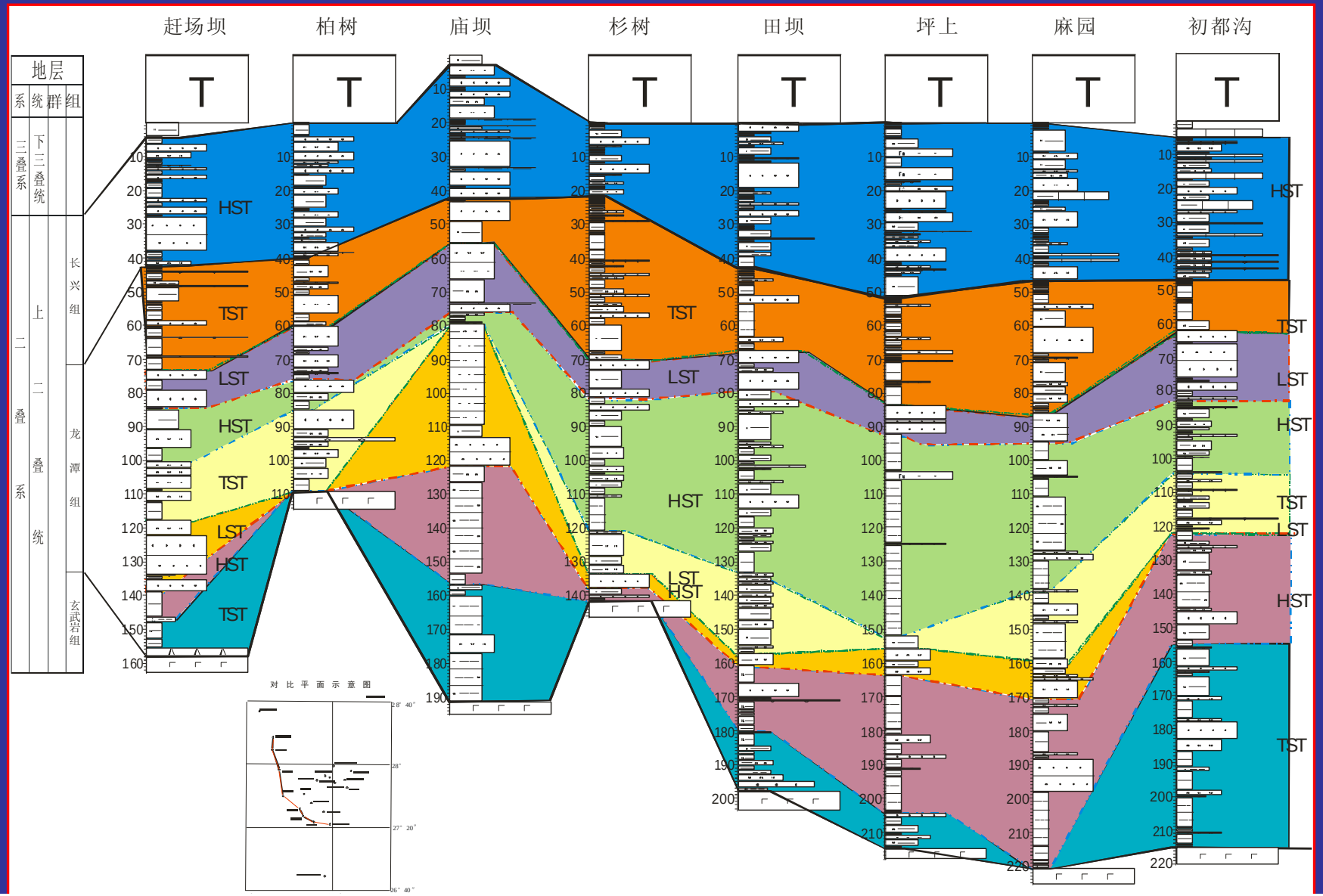
•四川盆地上二叠统泥页岩岩厚**10～125m**，暗色泥页岩有机碳含量变化在**0.5～12.55%**，平均为**2.91%**，多分布在**3～5%**。有机质类型以Ⅲ型为主。但有机质相对富氢

•准噶尔盆地石炭系滴水泉组富含有机质泥页岩包括暗色泥岩和碳质泥岩，累积厚度**0-249m**，暗色泥岩有机碳含量平均**1.45%**；炭质泥岩有机碳含量平均**15.53%**，有机质类型主要为Ⅱ**2**—Ⅲ型**Ro** 值在**0.51%～1.75%**，平均为**1.15%**

•中新生代断陷含煤盆地的暗色泥岩、煤和碳质泥岩互层分布的特点突出。暗色泥岩有机质含量多数在**1.0%**以上，炭质页岩多数在**10.0%**以上，单层厚度普遍不大，但累计厚度较大，热演化程度多在**1.3**以下

六、我国页岩气有利区优选问题

滇东北赶场坝—初都沟剖面晚二叠世层序地层对比（邵龙义）



六、我国页岩气有利区优选问题

3、湖相富含有机质泥页岩

•我国的准噶尔二叠世坳陷，松辽、鄂尔多斯等中新生代坳陷，渤海湾等新生代断陷，都沉积、陆相含油气盆地沉积了厚层富含有机质泥岩，这些富含有机质泥岩构成了这些盆地的主力烃源岩。

•准噶尔盆地二叠系芦草沟组地层上段为灰黑色页岩、页岩油为主夹沥青质页岩，累计厚度200m以上，有机碳含量为4.85 %～10.02 %，有机质类型为偏腐泥混合型，Ro值为0. 54 %～0. 91 %；二叠系红雁池组、平地泉组也发育有较好的富含有机质暗色泥页岩

•鄂尔多斯盆地延长组长4+5—长8主要为湖相沉积物，富含有机质暗色泥岩发育。长8、长6段暗色泥岩有机质丰度以富县—葫芦河地区较高，有机碳含量分别为 3.5%和3.75%，长7段暗色泥岩有机质丰度以华池、吴旗地区最高，华池地区有机碳5.81%。镜质体反射率主要分布于0.73～1.06%之间，普遍达成熟阶段

六、我国页岩气有利区优选问题

3、湖相富含有机质泥页岩

•松辽盆地坳陷层系主要发育有嫩江组和青山口组两套富含有机质泥岩。其中，嫩江组一段为一套黑色泥岩，全盆地稳定分布，在中央坳陷区的厚度大于100m，平均有机碳值高达2.40%，有机质以Ⅰ1型和Ⅰ2型为主。嫩二段暗色泥岩分布范围比嫩一段更广，发育更加稳定，平均厚度大约在150m左右，平均有机碳值为1.56%。青山口组一段在中央坳陷区几乎全部为暗色泥岩，厚度为60～80m，平均有机碳为2.2%，但仍以Ⅰ型和Ⅱ型为主。嫩江组一段和青山口组一段的Ro在齐家古龙凹陷的成熟度比较高，分别达到1.1%和2.0%，在三肇凹陷次之，分别为0.7%和1.3%，在盆地的边部成熟度比较低。

•总体上，湖相富含有机质泥页岩的热演化程度普遍不高，多数还处于生油窗内，部分泥页岩的岩石硬度小，其中的粘土矿物遇水膨胀现象明显，经常导致套损，这对于页岩气勘探开发较为不利。

六、我国页岩气有利区优选问题

4、有利区优选

•主要考虑：页岩地质特征，页岩气资源前景和页岩气开发可行性

•海相厚层页岩的单层厚度大，有机质丰度高，有利于形成页岩气聚集，页岩的强度普遍较大，有利于井眼稳定，裂缝较发育，有利于页岩气开发。但部分页岩热演化程度高，Ro已经超过3.0，生气高峰已过；部分页岩埋深较大，超过3000米。这两方面的不利因素使有利区范围明显缩小

•海陆交互相和陆相煤系富含有机质泥页岩有机质丰度高，热演化程度普遍不高，Ro多在3.0以下，多数处于生气高峰。但单层厚度普遍不大，单独开发的经济性存在疑问。但由于多与煤层和致密砂岩层互层产出，如果煤层中存在煤层气富集或致密砂岩层中存在天然气富集比较普遍，则发展不同类型天然气资源多层合采技术是海陆交互相和陆相煤系地层页岩气开发的一个可行方式

•湖相富含有机质泥页岩中，高有机质丰度中厚层富含有机质泥页岩普遍发育，但多数成岩程度不高，井眼易于变形，不利于水平井开发技术应用

六、我国页岩气有利区优选问题

4、有利区优选

•主要考虑：页岩地质特征，页岩气资源前景和页岩气开发可行性

•海相厚层页岩的单层厚度大，有机质丰度高，有利于形成页岩气聚集，页岩的强度普遍较大，有利于井眼稳定，裂缝较发育，有利于页岩气开发。但部分页岩热演化程度高，Ro已经超过3.0，生气高峰已过；部分页岩埋深较大，超过3000米。这两方面的不利因素使有利区范围明显缩小

•海陆交互相和陆相煤系富含有机质泥页岩有机质丰度高，热演化程度普遍不高，Ro多在3.0以下，多数处于生气高峰。但单层厚度普遍不大，单独开发的经济性存在疑问。但由于多与煤层和致密砂岩层互层产出，如果煤层中存在煤层气富集或致密砂岩层中存在天然气富集比较普遍，则发展不同类型天然气资源多层合采技术是海陆交互相和陆相煤系地层页岩气开发的一个可行方式

•湖相富含有机质泥页岩中，高有机质丰度中厚层富含有机质泥页岩普遍发育，但多数成岩程度不高，井眼易于变形，不利于水平井开发技术应用

谢　谢！