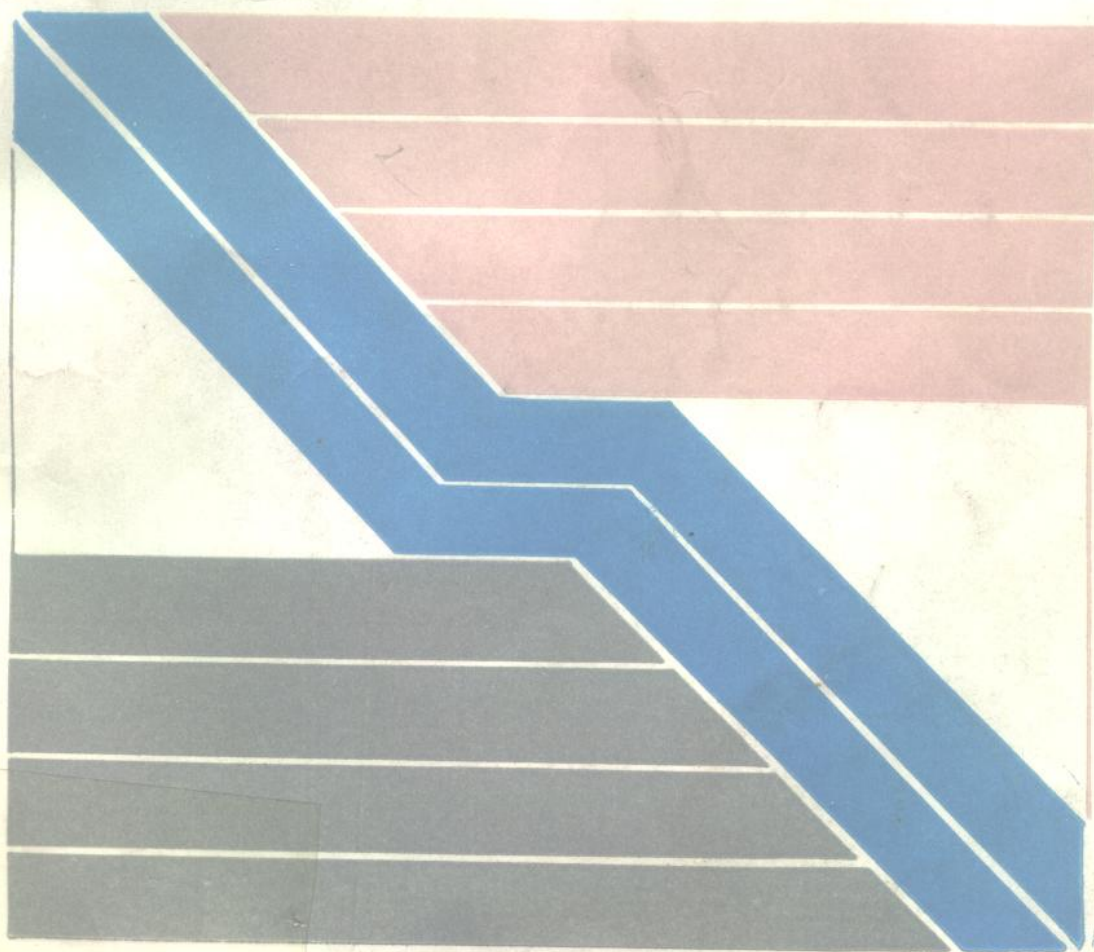


何维庄 等译

# 低渗透油气田 开发译文集

上册

(油藏描述)



石油工业出版社

低渗透油气田开发译文集 上册 (油藏描述)

石油学(北京)

E348

001

TE 348

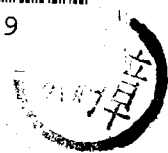
001

0707

# 低渗透油气田开发译文集

上册

(油藏描述)



石油工业出版社

## 内 容 提 要

本译  
验试井等  
体生动。

为油藏描述论文，试图从地质研究、物探、测井、岩心实  
是供系统的方法，并以实例的形式展现于读者面前，具

2046/20

## 低渗透油气田开发译文集

上 册  
(油 藏 描 述)

石油工业出版社出版  
(北京安定门外安华里二区一号楼)  
北京海淀区昊海印刷厂排版印刷  
新华书店北京发行所发行

787×1092 毫米 16 开本 9<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 印张 236 千字 印 1—1,800

1990年4月北京第1版 1990年4月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0408-9/TE·397

定价：2.40元

## 目 录

1. 怀俄明大绿河盆地上白垩统和古新统致密含气河道砂岩的连续性和方向性… ( 1 )
2. 采用邻井对比法分析科罗拉多州东北部 Diceance 盆地 Mesaverde  
透镜体砂岩连续性的近似值…………… ( 13 )
3. 控制致密含气砂岩渗透率的粘土成因…………… ( 27 )
4. 多井试验场的协调地震研究…………… ( 35 )
5. 使用井岩样薄片来评价路易斯安那州近海低电阻率更新统岩层的完  
井产能…………… ( 43 )
6. 致密含气砂岩有效测井分析的一个系统方法…………… ( 51 )
7. 定量计算微达西级砂岩储集层渗透率的测井分析方法…………… ( 68 )
8. 致密含气砂岩的渗透率、孔隙结构和粘土…………… ( 81 )
9. 低渗透地层中渗透率各向异性…………… ( 90 )
10. 流体、封闭压力和温度对低渗透砂岩绝对渗透率的影响…………… ( 97 )
11. 致密气层砂岩毛管力和渗透率的关系…………… ( 112 )
12. 实验室干燥技术对致密砂岩岩心渗透率的影响…………… ( 125 )
13. 实验室测定致密气层孔隙度的准确性…………… ( 138 )

## 怀俄明大绿河盆地上白垩统和古新统致密含 气河道砂岩的连续性和方向性

Lance T. Hodges  
Carroll F. Knutson

林洪枝 译  
何可梗 校

### 摘 要

为了提供有助于提高怀俄明洲大绿河盆地 (Greater Green River Basin) 致密含气砂岩天然气产量的基本特性资料, 我们研究了三个地区地面露头的岩石, Rock Springs 隆起、Hoback 盆地和白垩山。研究的地层是: 古新统 (相当于 Union 组)、Hoback 组、Lance 组、Mesaverde 组 (Hoback 盆地)、Ericson 组和 Rock Springs 组。在这些地区除了对河道砂岩进行摄影测量、基线和罗盘仪测量外, 对 25 个河道作了详细的测量。每个河道中都选了大约 80 个板状的或平行斜层的前积体、丘状和槽状交错层理进行了形态和方位测量。从 Rock Springs 组中获得的资料最为全面详尽。

交错层理高度的变化范围为 0.03m 至几 m, 中等高度的变化范围为 0.06m 至 0.37m。Lance 组和古新统平行斜层河道砂岩的高度变化与 Rock Springs 和 Hoback 组中的高度分布相似。Ericson 组有最大的交错层, 古新统和 Hoback 组的槽状交错层的高度一般比 Rock Springs 组的小。Lance 组中槽状交错层最小 (高度和宽度)。Rock, Springs, Hoback, Ericson 和 Lance 组平行斜层的倾角变化范围非常相似, 而古新统和 Mesaverde 平行斜层的倾角较大。

河道沉积的厚度自 Lance 组的中值为 2.44m 变到 Ericson 组的中值为 5.8m, 河道沉积的连续性难以确定, 但在 Rock Springs 组和 Ericson 组观察到的长度是最大的, 一般大于 1.6 公里。河道古水流的方向根据交错层的资料计算, 邻近的河道显示了某种程度相似的方向。

绿河盆地河道沉积一般有好处的连续性和中等的指向性, 高分辨率的倾角测井可用于记录交错层倾斜的方向, 这可用于粗略地确定砂岩层段的走向。这种资料可用于设计更好的压裂工作, 因而有助于增加天然气产能。

### 前 言

作业者和地质家通过岩心和测井资料可能对美国西部一些盆地的致密含气砂岩已有深刻的了解。由于岩样仅代表储气层中很小的一部分, 已有的可用资料是很有限的。遇到的特殊生产问题是由于某些砂体是不连续的, 而且所有砂体的渗透率均很低。当考虑天然气潜在采收率时, 砂体的形态和延伸是重要的, 一个连续的席状砂体比一个狭窄的透镜状砂体具有更大范围的排驱面积, 而在透镜状砂岩中压裂裂隙的增产效益与砂体的形状和规模、裂隙方位和井筒在砂体中的位置有关。

从地面露头研究砂岩层段是搞清与地下储集层相当的岩石层段的总连续性和几何形态的

方便方法。要研究的地面露头越靠近那些正在开发的地下储集层越好，这样从地面露头至地下储集层的岩相变化越小。前人关于河道砂岩连续性的地面露头的研究(Knutson等, 1971; Knutson, 1977; Knutson和Ward, 1977和Knutson和Boardman, 1978a, b, 1979a, b)是沿着科罗拉多的Piceance盆地和犹他(Utan)的Uinta盆地边缘进行的, 在这些地区令人感兴趣的砂体的宽度和长度均有限。由于砂体的几何形态和岩性在各盆地之间变化很大, 因此最好是对每一个正在开发的盆地的致密含气砂岩都进行地面露头调查。

## 地质概况

大绿河盆地上白垩统和古新统地面露头仅在几个地区分布, 沿着大绿河盆地东北侧和西侧的逆冲断层一般覆盖了这些地层。Mesaverde岩层在Rock Springs隆起的边缘出露最好。有限的Adaville组(相当Mesaverde群)和古新统(相当Union组)岩层的露头出露在白垩山附近和大绿河盆地西侧的Hogsback。第三系Hoback组在Hoback盆地的西南边缘有几处露头。上白垩统(Mesaverde群)露头出露在Hoback盆地西部边缘Granite Greek的西部。图1是大绿河盆地的地质略图(引自West, 1969)示出三个研究地区的位置(A: Rock Springs隆起; B: Hoback盆地; C: 白垩山—Hogsback), 25个地面露头测量的位置见图2(A: Rock Springs隆起; B: Hoback盆地; C: 白垩山)。

### 1. 地层

绿河盆地三个研究地区的地层图见图3, Baxter页岩是出露在Rock Springs隆起最下部的地层层段, 自下而上依次为: Blair组、Rock Springs组、Ericson组和Almond组。本文仅研究Rock Springs组非海相河流相和Ericson组河流相。Blair组Almond组和下Rock Springs组的一部分以出现痕迹化石(Ophiomorpha)为证据, 认为存在海相成因。

### 2. 蛇形迹

部分Rock Springs组由中等连续的河流相砂岩所组成, 厚度多变, 为含煤层段和页岩层段所分隔。Ericson组是一很稳定的浅灰色厚层河流相层段, 具有非常清晰的沉积构造单元(槽状的和平行斜层的交错层理)。在Rock Springs隆起的东北部, 海相Lewis组页岩复盖于Mesaverde组之上, 紧接其上的是海相Fox Hills组砂岩突出的地面露头。Fox Hills组之上是非海相Lance组, Lance组砂岩不如Mesaverde群的砂岩那样稳定, 那样厚。Lance组上覆地层为非海相的Fort Union组, 它是一个重要的产煤层段, 在Fort Union组极少见到超过1.5米厚的河流相砂岩。

在白垩山地区所研究的地层包括上白垩统Adaville组(部分相当于Mesaverde群), 其上被古新统岩层(相当Ft. Union组)所覆盖。该区这些地层的砂岩露头不象Rock Springs隆起Mesaverde群那样厚, 那样稳定。

在Hoback盆地, 上白垩统(相当Mesaverde群)仅在Granite Greek附近出露, 地面露头厚度大, 中等稳定, 且倾角陡峭, 可能由于其靠近怀俄明逆掩断层带的东部所致。上覆古新统Hoback组(大约相当于Union a组)出露在南部和东部的一些地区, 然而露头一般很差。Pass Peak组覆盖在Hoback组之上, 特别是在上Hoback河周围地区。由于已钻探的井很少, Hoback盆地的地下地质资料很少。

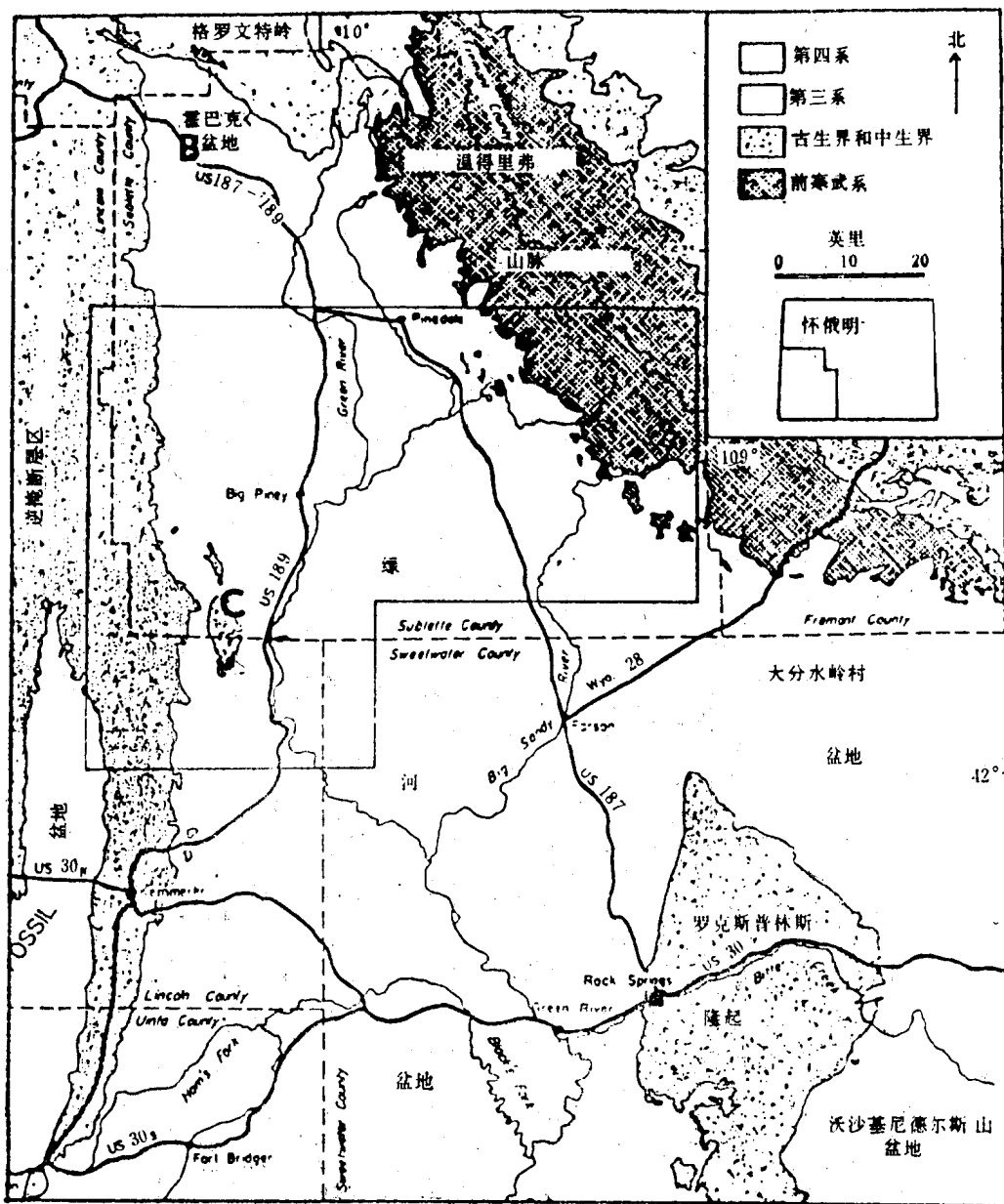
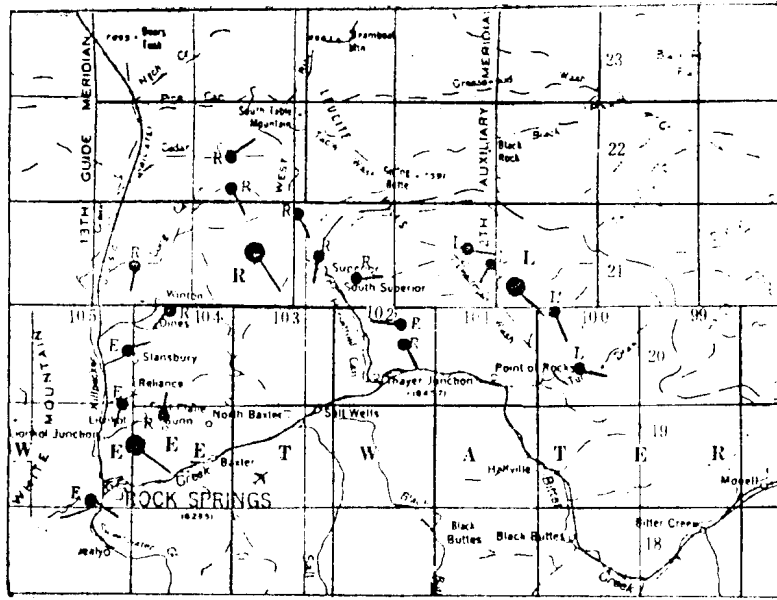


图 1 大绿河盆地和三个研究地区

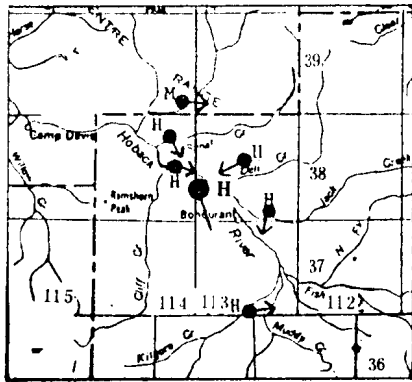
### 3. 所研究砂岩层段的地质

在绿河盆地测量的 25 个砂岩层段有许多共同特征，具有代表性的河道砂岩风化为浅灰至棕褐色，常有氧化铁侵染，有时呈现假层理，一般存在砂粒至巨砾大小的氧化铁结核。砂岩粒度通常从细粒至中粒，然而有时也出现含有砾石的粗粒的薄的透镜体。岩石中除通常的石英之外，还含有相当数量的磁石。砂岩一般胶结差和松散。化石很少，在少数河道砂岩中见到木屑，在海相夹层的地层中含有痕迹化石，如蛇形迹化石，但不在本文研究之列。

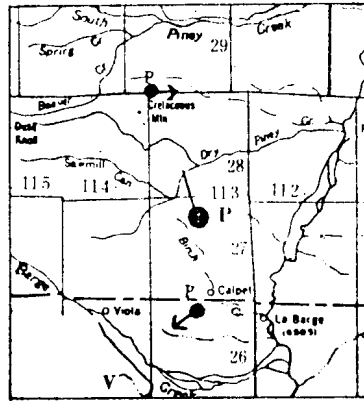
我们把测量其高度和视长度的单个砂岩层组叫做“层段”（Units）。这些层段由小规模的和沉积时水流特征有关的沉积构造单元所组成，这些小规模特征称之为“单元”（ele-



(a)



(b)



(c)

图 2 三个研究地区的河道及地层的方向性

ROCK SPRINGS 隆起		白垩山	HOBACK 盆地
始新统	Wasatch 组.	Wasatch 组.	Pass Peak 组. Wasatch 组.
古新统	Ft. Union 组.	(Almy?)	Hoback 组.
上白垩统	Lance 组.		
	Fox Hills 砂岩.		
	Lewis 页岩.		
	Almond 组.		
	Ericson 组.		
	Rock Springs 组.	Adaville 组. (=下 Mesaverde)	Harebell White 砂岩.
	Blair 组.		
	Baxter (Mancos) 页岩.	Hilliard (Mancos) 页岩.	砂岩和页岩

图 3 大绿河盆地地层图



ments)。作为河道充填、点砂坝、三角洲、海滩、滨外砂坝等沉积的一部分的砂岩层段构成储集层。我们对储集层的特征如高度、长度、宽度、烃含量、渗透率等感兴趣，对小规模的单元也感兴趣，因为它提供了上述层段走向的信息，并能影响渗透率。

在层段中，交错层理特征存在某些可变性，一些层段中同时具有相当数量的槽状的和平行斜层的交错层理，而另一些层段中或以槽状交错层理或以平行斜层交错层理为主。其规模大小也是可变的，交错层理构造单元高度从几毫米变至几米。在一些层段中平行板状层理单元其高度可达几十英尺。也出现一些块状的层段，具有扭曲单元和丘状（波状）层理单元，这些单元可能显示高能量和高速度的沉积。

## 方 法

对超过 1.5m 厚的河流沉积层段拍摄了照片并标在地形图上，照片与地形图对应起来，并从照片上测量了砂岩的高度和长度，很多层段的高度和长度也应用卷尺、步测和罗盘技术测量。在每一地区都对 15 个层段作了评价，从这些层段中选出一个作进一步研究，至少确定了 80 个小型沉积单元的高度、宽度和古水流方向。

层段的方向性  $d$  和方位角  $\theta$  可以从近 80 个沉积单元的测量结果相当准确地确定 (Knutson 和 Boardman, 1979a)，在进行计算之前先把区域走向和倾角去掉。

画出每一层组每一测量了的层段构造单元高度、宽度/高度（槽状交错层理）和倾角（平行斜层交错层理）的累积百分率曲线图。计算了古水流方位角  $\theta$  和层段或层组的方向性  $d$  ( $d$  是在古水流方位角  $\theta$  中单元矢量集中程度的一个量度)。方位角按  $10^\circ$  间隔累加，单元的高度相加并求出高度总和的  $x$  轴和  $y$  轴的分量。 $x$  轴和  $y$  轴的分量和高度 ( $h$ ) 可用来计算参数  $\theta$  和  $d$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\sum y}{\sum x} \quad d = \sqrt{\frac{(\sum x)^2 + (\sum y)^2}{\sum h}}$$

注意  $\theta=0$  是正比。

古水流方向和所观察的地面露头高度能用以推断河道砂岩的近似几何形状。这一概念可以应用测井资料引伸于地下。

## 结 果

### A. 构造单元资料

对每一层组和 25 个中每一个河道砂岩的平行斜层和槽形交错层理的构造单元高度分布累积百分率曲线画在单对数坐标纸上。

#### 1. 平行斜层交错层

图 4 显示了每一组平行斜层交错层理的高度分布曲线 (E—Ericson; H—Hoback; L—Lance; P—Paleocene; R—Rock Springs)。对一些单个层段，第 20 的百分位数高度数值范围从小于 0.06m 至 0.125m。第 8 层段 (Lance 组) 含有很薄的交错层单元，所有测量的单元高度为 0.06 米或更小，中值从小于 0.06m 至 0.37m。第 80 百

分位数从 0.06m 变为 0.61m。古新统（白垩山地区）和 Lance 组具有大致相同的高度分布，Rock Springs 组和 Hoback 组亦然，在 Ericson 组平行斜层交错层理最大。

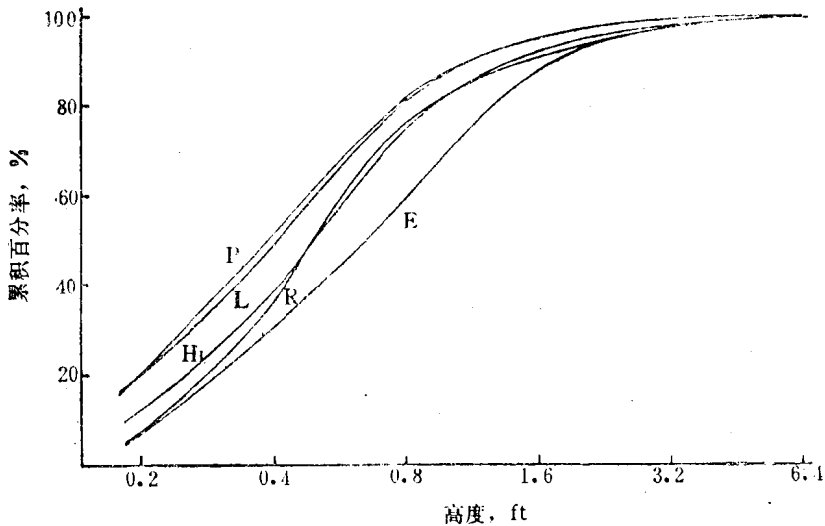


图 4 各层组平行斜层交错层理的高度分布

表 1 不同百分位上平行斜层交错层理的高度分布

地 层	样品数量	不同百分位上的高度 (ft)		
		20%	50%	80%
Ericson	230	0.30	0.65	1.3
Hoback	355	0.25	0.50	0.93
Lance	209	0.20	0.41	0.72
Mesaverde	76	0.20	0.34	0.57
Paleocene	124	0.20	0.40	0.72
Rock Springs	642	0.29	0.50	0.90

### 2. 槽状交错层的高度

绘制了槽状交错层高度分布的累积曲线。图 5 显示了每个组的累积曲线（E——Ericson; H——Hoback; L——Lance; P——Paleocene; R——Rock Springs），第 20 百分位的高度变化范围为 0.03m 至 0.34m，中值范围从 0.12m 至 0.73m。第 80 百分位的高度范围从 0.17m 至 1.37m。表 2 列出了各层组槽状交错层单元各百分位的数值。因为层段 8（Lance 组）有很多小的槽状交错层理，其高度中值很低。Ericson 组槽状交错层理的资料很少，更多的有意义的统计资料是从其它层组获得的。古新统（白垩山地区）的和 Hoback 组的槽状交错层理的高度比 Rock Springs 组的小。

表述槽状交错层特征的有效参数是宽度/高度的比值，表 3 给出了各层组宽度/高度比值的平均累积曲线各百分位上的数值，各层段 20% 的比值范围自 1.0 至 9.6，中值比值范围自 3.6 至 14。六个所研究的层组中，Lance 组的高度最小，宽度/高度比值最低，Hoback 组和古新统（白垩山地区）趋于有最大的宽度/高度比值。

### 3. 平行斜层交错层理的倾角

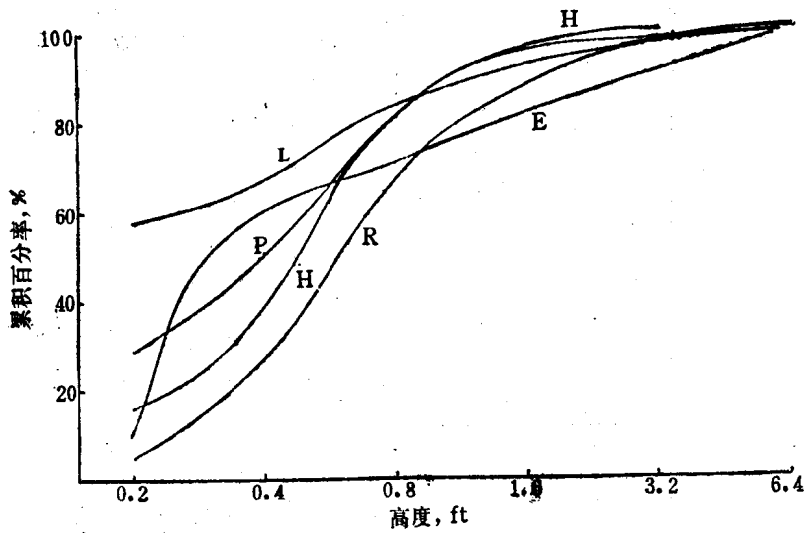


图 5 各层组槽状交错层理的高度分布

表 2 不同百分位上槽状交错层的高度分布

地 层	样品数	不同百分位上的高度 (ft)		
		20%	50%	80%
Ericson 组	10	0.22	0.30	1.6
Hoback 组	58	0.25	0.48	0.78
Lance 组	119	<0.20	<0.20	0.65
Paleocene组	42	<0.20	0.40	0.78
Rock Springs组	175	0.34	0.59	1.1

表 3 不同百分位上槽状交错层理宽度/高度比值分布

地 层	样品数	不同百分位上 (宽度/高度) 比值		
		20%	50%	80%
Ericson 组	10	4.7	5.9	8.1
Hoback 组	47	6.5	7.9	9.8
Lance 组	42	2.5	4.4	6.9
Paleocene 组	15	4.0	11	14
Rock Springs组	134	3.4	6.6	9.8

应用计算机程序将构造单元的倾角作砂体的区域倾角校正。图 6 显示了平行斜层交错层理校正后倾角分布的总累积曲线 (E——Ericson; H——Hoback; L——Lance; M——Mesaverde (Hoback 盆地); P——Paleocene; R——Rock Springs)。表 4 列出了这些曲线的第 20 百分位、中值、第 80 百分位的倾角数值。单个层段第 20 百分位倾角的变化范围从 4.3° 至 24.5°，倾角中值变化为 10.5° 至 26°，而第 80 百分位倾角为 16.5° 至

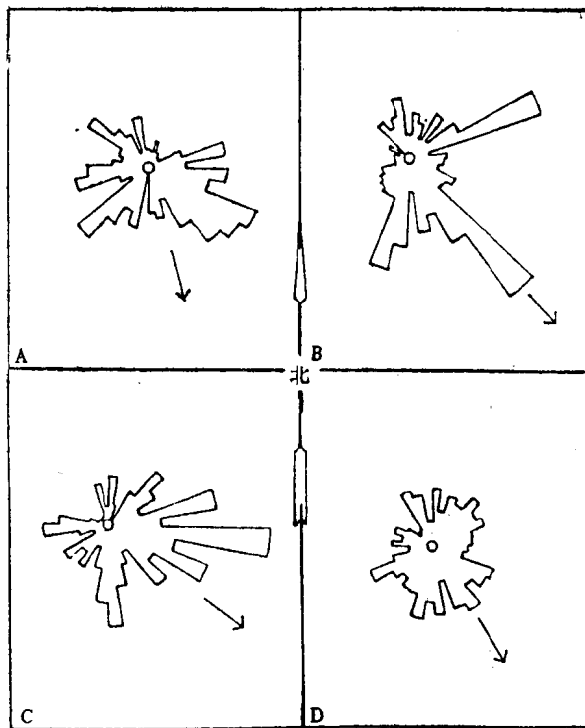


图 6 各层组平行斜层交错层理的倾角分布

44°。各层组第 20 百分位的倾角变化范围从 Rock Springs 组的 7.4° 至 Hoback 盆地 Mesaverde 的 13.5°，中值范围从 Rock Springs 组的 15.5° 至 Mesaverde 组 (Hoback 盆地) 的 23°。第 80 百分位的倾角范围从 Rock Springs 组的 23° 至 Mesaverde 群的 44° (Hoback 盆地)。在这些砂岩中高分辨率的倾角测井仪测井可能测得各个单元的倾角和方向，因此古水流方向和这些单元几何形状的资料就可以从这些倾角测井中获得。

### B. 层段特征资料

#### 1. 层段厚度

层段厚度由地面露头中直接测量或从照片中按比例量取，这些仅适用于厚度至少 1.5m 的层段。在大多数层组中厚度变化很大，白垩山地区的 Lance 组和古新统具有厚度最小且变化最少的层段。从频率分布图中确定的中值、75%、90% 百分位上的厚度值列于表 5。Lance 层段 75%

表 4 不同百分位上平行斜层交错层理倾角分布

地 层	不同百分位上的倾角 (度)		
	20%	50%	80%
Ericson 组	7.9	17.5	26
Hoback 组	7.5	17	25
Lance 组	8.9	17	26
Mesaverde 群 (Hoback 盆地)	13.5	23	44
古新统 (白垩山地区)	12.5	21	31
Rock Springs 组	7.4	15.5	23

位上的厚度为 11.9m，90% 位上的厚度为 22.9m。在许多地区 Ericson 组复合的地面露头实际上是若干构造单元连续排列，这些复合露头难以分隔为单个层段，且侧向延伸较远。

#### 2. 层段长度

在大多数地区仅确定了层段视长度，大多数层段呈现终端被复盖或者没有终端。在 Rock Springs 隆起测量的层段视长度具有相当的连续性，无疑比作者所研究的 Uinta 盆地南部边缘河道砂岩的连续性更好。Ericson 组和 Rock Springs 组的层段比 Hoback 组、Lance 组和古新统层段的视长度更大。Rock Springs 组和 Ericson 组的视长度常见大于 1.6km，这可能是地面露头的特征，也反映了地层的连续性。

#### 3. 层段的古水流方向

表 5 不同百分位上各层组河道砂岩组合的高度分布

地 层	河道砂岩数	不同百分位上的高度 (ft)		
		50%	75%	90%
Ericson 组	63	19	39	75
Hoback 组	62	18	26	35
Lance 组	52	8	10	19
Paleocene组	25	10	17	26
Mesaverde群	23	18	35	65
Rock Springs组	191	16	27	43

古水流方向与河道砂岩、点砂坝等的形状有关，方位角  $\theta$ 、单元的加权平均方向是古水流方向的量度，而方向性因素  $d$  代表了在那个方向上单元方向矢量的集中程度。

图 7 显示了每个层组中各单个层段合并的古水流方位角的玫瑰图 (A—Hoback; B—Lance; C—Ericson; D—Rock Springs)，平均方位角  $\theta$  以箭头表示，玫瑰图中的臂长与向该方向倾斜的或指向该方向的交错层理的高度总和呈正比。

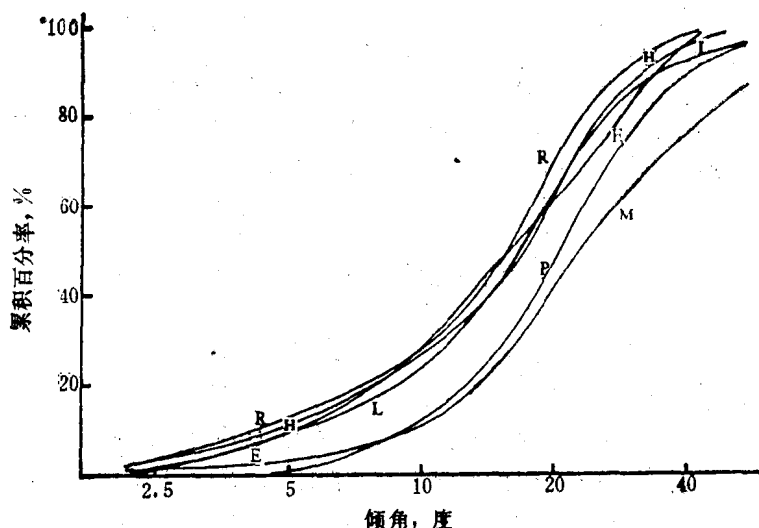


图 7 地层方向性玫瑰图 (Hoback、Lance、Ericson、Rock Springs)

图 2 表示了 25 个层段中各个层段的位置、层组和方位角  $\theta$  (小点上加一短线)，也表示了每个层组的平均古水流方向 (大点——在这里点的正确位置是不确切的，然而在河道砂体总集到一起的附近)。层组的符号：E—Ericson; H—Hoback; L—Lance; M—Mesaverde (Hoback 盆地); P—古新统; R—Rock Springs。

在 Hoback 盆地方向性变化从 Lance 组层段 8  $d=0.90$  至 Mesaverde 群层段 21  $d=0.14$ ，在这个层段中各交错层理单元没有很好划定。表 6 给出了按各层组汇总的古水流方位角和方向性资料，也标明了各层段地面露头区，发现在相同地区河道沉积的方位角大致相同，Rock Springs 组的方向性最低为 0.12，这可能由于是 10 个层段的平均值所致。

表 6 绿河盆地各层组平均古水流方位角和方向性

地 层	地 区	河道总集 的数目	古水流	
			$\theta$	d
古新统(相当 Union 组)	白垩山—Hogsback	2	344.5	0.44
Hoback	Hoback 盆地	5	163	0.21
Lance	Rock Springs 隆起	4	135.4	0.27
Ericson	Rock Springs 隆起	3	126.5	0.32
Rock Springs	Rock Springs 隆起	10	148	0.12
Mesaverde (21 河道)	Hoback 盆地	1	96	0.14

### 储集层特性的推断

由于在评价潜在的天然气采收率中，储集岩的体积和几何形状是很重要的，所以应该研究储集岩的长度、宽度和厚度。在 Ericson 组和 Rock Springs 组中各层段通常厚度大而且中等连续程度。连续性不好可能不象在 Uinta 盆地那么重要。

绿河盆地中观察到的储集层其层段的视长度一般受到复盖的局限，而看不到层段的终端，因此在该区已评价的层段中没能获得统计上有意义的高度/宽度/长度比值的测量值。

绿河盆地中层段或储集层的连续性比在科罗拉多的 Piceance 盆地和 Utah 的 Uinta 盆地所确定的要大得多。我们要指出如同 Gidley 等 (1979) 所指出的那种一致性指数，它对研究绿河盆地储集层的连续性是目前已有的最合适的技术。

### 结论和建议

本文从两个方面集中研究了在绿河盆地中发现的砂岩层段，其一是小规模构造单元的评价，其二是砂岩层段几何形状的确定。我们研究了六个层组的各层段：古新统（相当 Fort Union 组）、Hoback 组、Lance 组、Mesaverde 群（Hoback 盆地）、Ericson 组和 Rock Springs 组。Rock Springs 组的资料是综合性的，包括 10 个层段的详细研究和对 191 个层段视长度和高度的评价。

详细测量了 25 个砂岩层段的构造单元（平行斜层和槽状交错层理）的方向性。这些单元的高度的变化从 0.03m 至几 m，高度的中值范围平行斜层交错层理从大约 0.06m 至 0.37m，槽状交错层理从 0.06m 至 0.34m。Rock Springs 组、Hoback 组、Ericson 组和 Lance 组平行斜层交错层理倾角分布很相似，而古新统和 Mesaverde 群（Hoback 盆地）的倾角比较大，例如倾角中值在 Rock Springs 组为  $15.5^\circ$ ，在 Mesaverde 群（Hoback 盆地）为  $23^\circ$ 。

一种典型的倾角测井（每英尺三个倾角测量值）丢失了许多高度小于 0.15m 的交错层理，但可获得许多较大单元的测量值，为确定最小的构造单元需要每英尺多于 3 个测点。无论如何，现行高分辨率的倾角测井可以提供充足的单元方向测量值，以确定古水流趋向。

在许多层组内及层组之间层段厚度有相当大的变化，所有测量的层段的厚度至少有

1.5m。Lance 组的层段厚度最小，其中值厚度为 2.4 米，其次是古新统其中值厚度为 3.0m。最厚的层段在 Ericson 组，其中值厚度为 5.8m。

由于仅仅在几个少数露头中观察到两个终端，因此估计层段的长度受到限制。一般说来，地面露头的一端或两端为碎屑物所掩盖或者地形上对露头的暴露不全，因此没有测得有统计意义的“长度”和“宽度”数值。根据相当大的视长度，显而易见的是在绿河盆地河流砂岩层段的连续性比 Uinta 和 Piceance 盆地观察到的相对应层段的好。在储集层模型中研究测向连续性问题最好的技术可能是由 Gidley 等 (1979) 提出的一致性指数。

绿河盆地小规模构造单元的复杂特性对储集层中流体流动的影响应该予以评价。这些单元看来是由具有不同大小分布的微薄层所构成，因而，其渗透率是变化的。此外，单元的分界常富含粘土，因此可能成为流体流动的障碍。这些砂岩层所表现出来的低渗透率可能部分地是由于流体流动必须通过无数的、方向各异的，可能常常高度受限制的小规模构造单元的结果。

### 参 考 文 献

1. Gidley, J.L., Mutti, D.H., Nockode, D.G., Kehn, D.M., Muecke, T.W., (1979), "Stimulation of Low-Permeability Gas Formations by Massive Hydraulic Fracturing—A Study of Well Performance": Jour. Pet. Tech. v.31, no.4, (April 1979), p.S25-S31.
2. Knutson, C.F., (1977), "Modeling of Noncontinuous Ft.Union and Mesaverde Sandstone Reservoirs, Piceance Basin, Colorado": SPE Jour., (Aug.1977), p.175-188.
3. Knutson, C.F., and Boardman, C.R. (1978a), "Continuity and Permeability Development in the Tight Gas Sands of the Eastern Uinta Basin, Utah": Proceedings Fourth DOE Symposium on Enhanced oil and Gas Recovery and Improved Drilling Methods, Tulsa, Oklahoma, v.2, p. E-2/1-24.
4. \_\_\_\_\_, (1978b), "Development of Techniques for Optimizing Selection and Completion of Western Tight Gas Sands": Phase I Report, U.S. Department of Energy, Nevada operations office, 49 p.
5. \_\_\_\_\_, (1979a), "Development of Techniques for Optimizing Selection and Completion of Western Tight Gas Sands": Phase II Report, U. S. Department of Energy, Nevada operations office, 14 p., 5 tbls., 30 figs.
6. \_\_\_\_\_, (1979b), "Development of Techniques for Optimizing Selection and Completion of Western Tight Gas Sands": Proceedings, Fifth

DOE Symposium on Enhanced oil and Gas Recovery and Improved Drilling Technology, Tulsa, Oklahoma, v.2.p.M-4/1-29.

7. Knutson, C.F., Maxwell, C.F., Millheim, Keith, ( 1971 ), "Sandstone Continuity in the Mesaverde Formation, Rulison Field Area, Colorado": Jour.Pet.Tech., ( Aug.1971 ), p.911-919.
8. Knutson, C.F.and Ward, D.C., ( 1977 ), "Implications of Surface Fracture Patterns and Sand Continuity in Relation to Stimulation of Tight Gas Sands, Eastern Uinta Basin, Utah": 52nd Annual Conference of the Society of Petroleum Engineers, Denver, Colorado,7 p., 8 tpls., 11 figs.
9. West, R.M., ( 1969 ), "Geology and Vertebrate Paleontology of the Northeastern Green River Basin": Wyoming Geological Association 21st Annual Field Conference, p.77-92,



## 采用邻井对比法分析科罗拉多州东北部 Diceance 盆地 Mesaverde 透镜体砂岩连续性的近似值

R. E. Peterson, Julie Kohut  
CER Corp.

肖 剑 译  
徐国庆 校

### 摘 要

我们利用电测资料对科罗拉多 Piceance 盆地中部和南部相距较近的 13 口井中的 Mesaverde 群砂体进行了定性定量的对比分析。根据这些对比分析结果, Mesaverde 群的沉积环境可分为以下几个相段:

1. 近海相(陆海交互相上段)段, 位于 Mesaverde 群顶部, 具有区域连续的厚砂体。
2. 河流相段, 具有厚度为20~30ft以上的点砂坝, 可对比最大距离为6800ft。
3. 近海沼泽相段还没取得足够的资料来表征砂体的特征, 但至少要有63%的砂体横向对比距离超过139ft。

对 Mesaverde 砂体空间分布特点的近似分析结果可以用于水力压裂设计和较准确地进行气藏评价。

### 前 言

科罗拉多州西北部 Piceance 盆地的上白垩纪 Mesaverde 群中有许多砂岩天然气藏。图1 是该区的井位图。据信, 该区储气量很大, 可达 40 万亿立方英尺, 但常常由于单井产量太低而无商业开采价值。这主要是由于渗透率非常低, 而且含气的透镜体砂岩又很少连通, 单个透镜体气储量太少等原因所造成的。对 Mesaverde 气藏的连续性和分布范围做出的近似分析对于水力压裂设计和更准确地评估气储量是十分有用的。

### 地质环境

要充分分析 Piceance 盆地 Mesaverde 砂岩体的连续性。先要描述砂岩体的沉积模式。根据Lorenz<sup>1</sup> 的说法, Mesaverde 三角洲沉积是晚白垩纪在一内陆水道里沉积起来的(见图2, 据 Mallory 等人所绘)<sup>2</sup>。Mesaverde 群可以分成多个周期沉积体系, 这些体系又构成图3)(Fisher 和 McGowen)<sup>4</sup> 所示的“体系区”(Systems tract)<sup>3</sup>。在 Piceance 盆地从西往东这一体系区是由中扇、上三角洲平原和该前相组成的。中扇沉积以辫状河沉积为主要特征。向海方向在低能环境的上三角洲平原上以曲流带沉积为主, 沉积体为点砂坝和河漫滩泥岩, Lorenz 将其命名为 Mesaverde 的河流段。进一步向海方向延伸是下三角洲平原, 这时沼泽环境占了优势, 沉积主要为煤、泥岩和分流河道充填砂岩, 这些形成了 Mesaverde 的湖沼相段。在波浪占主导的岸线区内, 障壁坝层序发育, 并形成了复合式席