

文章编号: 1000-0550(2012)05-0869-10

基于 Google Earth 软件建立曲流河地质知识库

石书缘¹ 胡素云¹ 冯文杰² 刘伟¹

(1. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 2. 中国石油大学(北京)地球科学学院 北京 102249)

摘要 在对密井网解剖、露头解剖、现代沉积解剖、沉积模拟实验等建立地质知识库方法优缺点分析基础上,利用 Google Earth 软件测量了一系列曲流河道的基础数据,结合“将今论古”思想,提出了基于 Google Earth 软件建立曲流河地质知识库的方法。首先,分析了已有方法的优缺点。其次,介绍了 Google Earth 软件测量曲流河道的方法步骤,并测量了不同地区不同曲率的河道宽度、点坝长度及弧长,得到了一系列测量数据,建立了测量数据表,并结合已有经验公式与测量数据拟合得到的公式综合分析。结果表明,不同环境中曲流河的河道宽度和点坝长度具不同的相关关系,曲流河的地质知识库不能按统一标准考虑。在不同曲率情况下,河道宽度和点坝长度之间的相关关系亦不同,且随着曲率的减少,其相关关系减弱,反映出点坝的发育程度受河流弯曲程度控制。最后,建议采用建立地质模式库的思想建立量化曲流河地质知识库,用于对储层建模进行有效约束。

关键字 曲流河 Google Earth 地质知识库 定量关系 储层建模

第一作者简介 石书缘 男 1987 年出生 硕士研究生 储层沉积学及地质建模 E-mail: shi18yuan@163.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

Google Earth 软件是著名的美国网络搜索服务商谷歌公司投资 300 多亿美元于 2005 年夏季推出的以网络为平台的地图服务系统。由于 Google Earth 软件提供的卫星影像解析度高、图片完整、更新快,使用方便、简单免费,推出之后很快受到各类专业人员的“青睐”。通过对软件的实践,发现它可在多方面起重要作用,前人^[1-2]对其应用多体现在建立数据库及路径的识别上。在地质学领域,杨瑞东等^[3]提出了利用 Google Earth 影像分析区域性大型“X”共轭节理系统对宏观岩溶发育的控制作用,为岩溶作用的研究提供了一种新的方法;张斌等^[4]基于 Google Earth 图像,定义了河曲参数并进行了测算,指出了嘉陵江深切河曲是世界上最复杂、最不规则和最弯曲的河道之一;张昌民等^[5]利用 Google Earth 软件提供的卫星图片,对洞庭湖、鄱阳湖进行现代沉积研究,发现了两种类型的三角洲;李宇鹏等^[6]利用 Google Earth 软件对现代河流影像图片测量得出了河流宽度和点坝长度之间具有正相关性的函数关系,并指出它具有指导曲流河点坝地下储层构型定量分析的功能。在地质学中的应用都表明 Google Earth 软件确实具有很大的用途,尤其在宏观指导方面。但我们知道,在油田开发的中后期,为了提高石油采收率,建立精确的地质模型至关重要,而地质知识库的精度,是影响地质模型精度的重要因素。通过分析前人的建库方法,了解

到已有方法在量化及宏观指导方面存在一定的缺陷,而 Google Earth 软件具有定量测量河道及宏观观察河道流向的功能;笔者结合“将今论古”思想,提出了基于 Google Earth 软件建立曲流河地质知识库的方法。利用 Google Earth 软件测量了一系列曲流河道及点坝的基础数据并综合分析,建立了曲流河量化地质知识库。与前人研究成果相对比,表明 Google Earth 软件具有建立量化曲流河地质知识库的功能。Zhang 等^[7]在 2007 年地质统计学大会上提到了关于建立训练图像库的方法,鉴于这个研究思路,笔者提出利用 Google Earth 软件建立曲流河地质知识库,更应该从建立地质模式库的角度出发,不受单一地质模式的控制,以更好地服务于后期储层地质模型的建立。故本文提出基于 Google Earth 软件建立曲流河地质知识库的方法,不仅可以建立起曲流河地质模式库,而且可以为后期储层建模提供多样化选择。采用该方法可以建立量化地质知识库,指导地下储层模型的构建。

1 已有建库方法

前人在建立地质知识库(简称建库)方面主要采用以下几种方法。笔者通过分析前人采用的建库方法,详细解剖每种建库方法的优缺点,为新的建库方法提供借鉴思路。

收稿日期: 2011-10-06; 收修改稿日期: 2012-01-09

1.1 密井网解剖

密井网解剖主要是指在开发中后期,井网密度较大的情况下,根据岩芯和测井曲线建立储层地质模型^[8-9]。内容包括:一维的砂体密度、频次、厚度、上下岩相;二维的砂体宽度(长度)、宽厚比、对称系数、左右岩相。其所建立的地质知识库仅适应于建立确定性模型。

该方法的优点在于建立的模型具有一定的准确度,并且是针对具体的研究工区,适应性较强。缺点在于密井网建库方法需建立在长期而详细的地质分析基础上,工作难度和工作量相对较大,只适合于开发中后期井网密度较大的情况,应用范围局限于某一研究区,不具备广泛的适用性,建立的地质知识库可能与井网密度少的情况不具可比性。

1.2 露头解剖

通过露头区的精细解剖,建立地质模型,这是建立储层地质模型最常用的方法,国内外学者在该方面都做过大量研究^[10-12]。该方法主要通过露头详细描述、测量、取样分析、钻浅井及地面雷达等多种手段的详细解剖,可以得到砂体的几何形态和分布规律、砂体内部孔隙度、渗透率的分布规律,并为相似环境中的地下储层构型提供类比。

该方法的优点表现在建立的模型很精确,并且测量方便。缺点是建立的露头区地质知识库的实际应用范围受限,需要考虑地下构型研究区的相似程度才能决定能否用其作为指导预测的工具,且解剖露头费用昂贵,受经费的限制,通常无法得到整个储层在三维空间的形态特征及展布情况。

1.3 现代沉积解剖

现代沉积解剖考察,国内外文献相对较多^[13-16],主要是指对现代河流进行沉积考察,在此基础上,建立各种河流相的沉积模式,并分析其中单剖面的沉积现象及特征。

这种方法具有的优点是建立的模式形象逼真,具有直观性、完整性、精确性,便于作大比例尺研究;缺点是能够看到的现代沉积范围有限,得到的模式可能以偏盖全。目前出现了以探地雷达等技术来进行浅层沉积层测量的方法,能够建立起浅层沉积体模型,达到良好的效果,但是其精度难以达到开发后期对地质模型的要求,且价格高昂。

1.4 沉积模拟实验

在国外,有各种沉积相类型的水槽模拟实验。而在国内,仅长江大学湖盆沉积模拟实验室进行相关实

验^[17,18]。实验首先需进行现代沉积考察,在此基础上进行实验设计,得到重要的基础数据,进而建立起储层地质模型。其中,实验设计主要有自然模型法和比尺模型法两种。

该方法的主要优点在于建立储层模型的成本低,测量简便(可随意切片、取样),对沉积过程记录详细,成因、机理明确,对沉积学的研究及其在确定储层宏观分布规律上具有直观性。缺点表现在过于理想化,简化了地质过程(如,在做三角洲模拟实验时不考虑波浪作用),难以评价储层物性参数,在具体的油田实例中应用也存在局限性。其建立的模型无法进行成岩过程模拟,无法得到地下储层真实物性数据。

2 基于 GoogleEarth 软件的曲流河定量地质知识库

前人采用的(建库)方法多以定性描述和简单统计为主,如密井网解剖和露头解剖。而现代沉积解剖则局限于单剖面的建立,水槽实验虽可以观察到河流发育的形态学特征,但受人工实验规模小、步骤繁琐、模拟实例少等因素限制。总体上,前人的建库方法并没有从形态学上对自然界河流发育情况做一个全面的宏观统计,缺乏整体性,且量化不足。

为满足储层建模中对地质知识库的需求,笔者提出了基于 Google Earth 软件建立曲流河地质知识库的方法,从定量化和宏观整体性两个角度对(建库)方法做一个补充。本文在介绍 Google Earth 测量基本原理和测量内容基础上,测量了大量曲流河道及相关的点坝数据,建立测量数据表。通过统计分析,将结果与前人研究成果进行对比,得出了不同地区不同曲率下曲流河的点坝长度和河道宽度具有“同中有异”的特点,曲流河的发育没有一个固定模式。因此,有必要建立曲流河定量地质模式库。

2.1 Google Earth 测量原理

在地质学领域,前人对现代沉积研究以航拍照片、遥感数据以及实地考察为主。Google Earth 软件的出现提供了一个更宽广而实用的平台。就现代曲流河研究而言,可以直观地从 Google Earth 影像图上测量出河道的宽度、弧度、振幅、波长、点坝规模和形态,及总体演化趋势等数据进行分析,还可通过不同时间段内卫星影像变化的对比研究河流的动态发育史。在建立河流相定量化地质知识库的过程中,本文采用的测量流程如下:

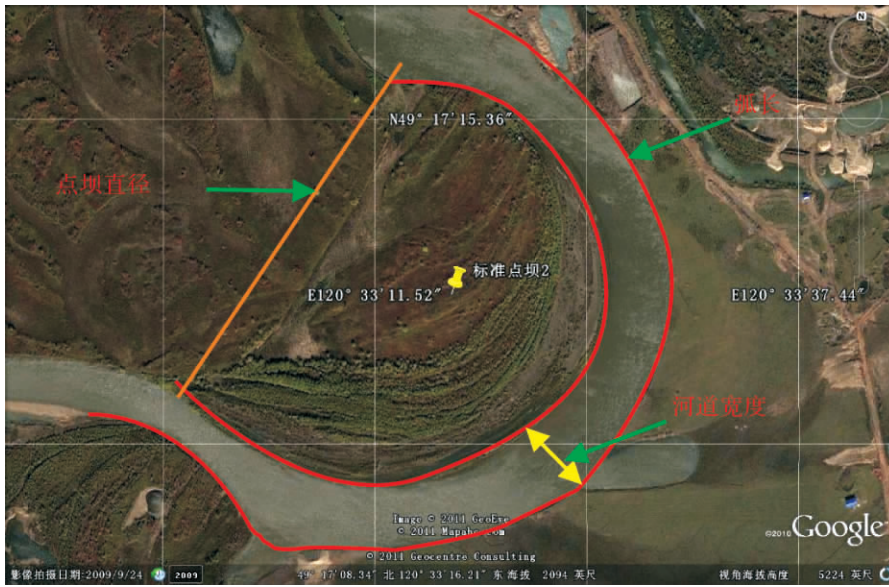


图 1 点坝测量示意图

Fig. 1 Sketch map of point-bar measurement

(1) 找到需要测量的现代河流沉积点, 选取合适的分辨率;

(2) 在正视状态下利用“Add path”工具找出所需测量的河道单元;

(3) 在测量工具模式下选择 Line 工具测量相应的直线长度, 再选择 path 工具用鼠标沿曲线逐点添加锚点, 最终测量出曲线长度。

根据上述方法, 应用 Google Earth 软件在相应的正视状态下选取一系列合适的测量点, 可以得到河道宽度及发育的点坝弧长、点坝长度(即点坝直径)等相关数据, 建成 Google Earth 测量数据表, 成为地质知识库的基础源数据。

2.2 Google Earth 地质知识库概况

笔者提出的基于 Google Earth 软件建库方法所建立的地质知识库主要由基础测量数据表、宏观图像和经验公式三部分构成。每部分起不同作用: 图像为建模者了解河流发育特点提供宏观指导; 基础数据为建模者提供定量化建模数据; 经验公式则为建模者提供直接可用的算法参考公式。

相比前人采用的建库方法, 基于 Google Earth 软件建库的优点在于能测量到不同地区不同曲率段的大量河道及相关定量化数据; 也可对废弃河道进行详细观察, 并进行较为详细的形态学分类; 对分类好的废弃河道进行数值拟合, 得到较好的形态表征公式, 选取适当的点坝形态参数, 完成对未测量的点坝进行指导预测。缺点在于缺乏对沉积物及沉积构造的解

剖, 且受限于软件本身, 未能得到河道三维形态的定量化数据。

2.3 实例分析

在介绍 Google Earth 曲流河地质知识库基本特点、结构、主要内容的基础上, 笔者对现代曲流河的 Google Earth 影像进行测量, 得到一系列曲流河基础数据, 并对数据进行综合分析, 建立地质知识库, 以此对基于 Google Earth 软件建库方法进行可行性检验。

2.3.1 测量数据与分析

笔者测量了南美洲与海拉尔地区的典型曲流河及珠江中下游低曲率曲流河中的点坝长度、弧长, 河道宽度等一系列数据。在此基础上, 通过统计分析, 由点坝弧长直接除点坝直径计算出河道曲率, 建立各地区不同曲流河的数据测量表(表 1 及 3)。

对南美曲流河道数据(表 1) 进行最小二乘法拟合分析, 得出南美洲地区河道的点坝长度和河道宽度之间具有一定相关关系, 由于受到点坝发育程度的影响, 南美地区河道测点间距离较大, 两者相关系数仅为 0.64 相对较低, 其函数关系为式(1)(图 2):

$$L_p = 3.53 W_r + 0.18 \tag{1}$$

对珠江中下游的 12 组数据(表 2) 统计分析, 由于测量数据较集中, 虽数据点较少, 但其相关系数为 0.72 相对较高。其河道宽度和点坝长度之间的函数关系式为式(2)(图 3):

$$L_p = 3.92 W_r + 0.16 \tag{2}$$

表1 南美洲曲流河的 Google Earth 测量数据

Table 1 The meandering river data sheet measured by Google Earth in South America

测点序号	纬度(S)	经度(W)	河道宽度/km	点坝弧长/km	点坝长度/km	曲率
1	12°45'35.96"	69°39'49.13"	0.27	1.04	0.86	1.21
2	12°45'35.96"	69°39'49.13"	0.31	1.38	0.83	1.66
3	12°51'40.63"	70°16'27.12"	0.24	2.14	1.56	1.37
4	12°51'40.63"	70°16'27.12"	0.22	1.7	1.23	1.38
5	13°22'25.93"	69°33'26.04"	0.11	0.92	0.66	1.39
6	13°22'25.93"	69°33'26.04"	0.1	1.07	0.64	1.67
7	13°17'05.90"	69°38'58.06"	0.13	1.01	0.84	1.2
8	13°17'05.90"	69°38'58.06"	0.15	1.53	1.24	1.23
9	13°05'29.91"	69°35'02.84"	0.12	0.6	0.34	1.76
10	13°05'29.91"	69°35'02.84"	0.13	0.8	0.55	1.45
11	13°01'55.25"	69°31'49.27"	0.12	0.98	0.7	1.4
12	13°01'55.25"	69°31'49.27"	0.16	1.22	1.01	1.21
13	13°11'12.81"	69°54'51.63"	0.06	0.4	0.36	1.11
14	13°11'12.81"	69°54'51.63"	0.07	0.57	0.42	1.36
15	12°34'42.39"	70°27'29.60"	0.18	0.91	0.55	1.65
16	12°34'42.39"	70°27'29.60"	0.19	1.03	0.72	1.43
17	12°34'11.97"	70°43'20.43"	0.03	0.46	0.4	1.15
18	12°34'11.97"	70°43'20.43"	0.03	0.39	0.32	1.22
19	12°35'27.33"	70°51'00.97"	0.04	0.42	0.3	1.4
20	12°35'27.33"	70°51'00.97"	0.04	0.54	0.36	1.5
21	12°39'14.40"	70°50'52.54"	0.04	0.41	0.26	1.58
22	12°39'14.40"	70°50'52.54"	0.04	0.53	0.41	1.29
23	12°40'35.20"	70°52'31.72"	0.05	0.34	0.23	1.48
24	12°40'35.20"	70°52'31.72"	0.05	0.32	0.22	1.45
25	12°42'30.56"	70°55'26.22"	0.05	0.39	0.25	1.56
26	12°42'30.56"	70°55'26.22"	0.04	0.62	0.43	1.44
27	12°42'43.63"	71°00'20.15"	0.04	0.44	0.33	1.33
28	12°42'43.63"	71°00'20.15"	0.05	0.53	0.26	2.04
29	12°46'02.76"	71°04'51.11"	0.04	0.4	0.26	1.54
30	12°46'02.76"	71°04'51.11"	0.05	0.38	0.2	1.9
31	12°35'06.47"	70°50'09.60"	0.04	0.37	0.29	1.28
32	12°35'06.47"	70°50'09.60"	0.04	0.4	0.3	1.33
33	12°30'21.55"	70°36'09.35"	0.04	0.35	0.27	1.3
34	12°30'21.55"	70°36'09.35"	0.05	0.41	0.37	1.11

表2 珠江中下游 Google Earth 低曲率河道测量数据

Table 2 The low-curvature data sheet measured by Google Earth in the middle and lower reaches of the Pearl River

测点序号	纬度(N)	经度(E)	河道宽度/km	点坝弧长/km	点坝长度/km	曲率
1	23°15'20.31"	111°33'55.19"	1.26	5.64	4.38	1.29
2	23°13'35.52"	111°32'09.25"	1.12	4.43	3.16	1.40
3	23°11'38.26"	111°35'10.58"	0.73	4.52	3.27	1.38
4	23°11'06.15"	111°37'45.95"	0.93	5.16	4.42	1.17
5	23°09'26.56"	111°41'23.58"	0.65	2.18	1.98	1.10
6	23°08'25.67"	111°51'38.91"	0.71	3.89	3.31	1.18
7	23°07'30.16"	111°57'53.30"	1.02	4.55	3.97	1.15
8	23°07'51.36"	112°16'08.16"	1.01	7.46	6.48	1.15
9	23°10'03.49"	112°17'35.21"	0.78	2.86	2.53	1.13
10	22°48'01.43"	113°03'00.81"	1.66	8.36	6.86	1.22
11	22°38'13.74"	113°19'47.31"	0.33	1.04	1.01	1.03
12	22°37'11.08"	113°21'52.39"	0.26	1.64	1.55	1.06

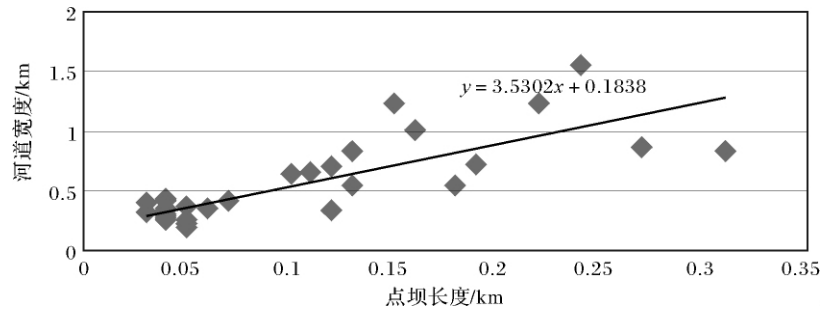


图 2 南美洲现代河流中河道宽度和点坝长度之间相关关系图

Fig. 2 The correlation between channel width and point-bar length in the modern river of South America

表 3 海拉尔河的 Google Earth 测量数据

Table 3 The data sheet measured by Google Earth in Hailaer river

测点序号	纬度(N)	经度(E)	河道宽度/km	河道弧长/km	点坝长度/km	曲率
1	49°29'55.11"	121°17'46.75"	0.034	0.41	0.25	1.64
2	49°29'58.34"	121°17'31.30"	0.027	0.18	0.11	1.64
3	49°29'52.25"	121°17'34.13"	0.032	0.2	0.14	1.43
4	49°29'40.43"	121°17'00.76"	0.031	0.26	0.15	1.73
5	49°29'00.14"	121°16'26.79"	0.045	0.42	0.3	1.40
6	49°29'18.43"	121°16'28.51"	0.033	0.21	0.16	1.31
7	49°29'18.73"	121°15'52.20"	0.043	0.28	0.19	1.47
8	49°29'05.68"	121°15'59.16"	0.037	0.22	0.15	1.47
9	49°28'59.78"	121°15'26.16"	0.039	0.33	0.27	1.22
10	49°29'11.23"	121°15'28.61"	0.049	0.32	0.19	1.68
11	49°28'50.45"	121°15'02.56"	0.033	0.33	0.23	1.43
12	49°28'36.26"	121°14'41.54"	0.041	0.31	0.18	1.72
13	49°28'39.64"	121°14'09.79"	0.057	0.43	0.21	2.05
14	49°28'32.18"	121°14'15.64"	0.041	0.3	0.18	1.67
15	49°28'17.66"	121°13'30.87"	0.031	0.29	0.21	1.38
16	49°28'08.29"	121°13'23.20"	0.035	0.31	0.18	1.72
17	49°28'18.60"	121°13'14.15"	0.029	0.21	0.15	1.40
18	49°27'55.97"	121°12'00.06"	0.036	0.27	0.13	2.08
19	49°27'59.88"	121°11'43.00"	0.033	0.43	0.3	1.43
20	49°27'34.30"	121°11'09.55"	0.033	0.49	0.38	1.29
21	49°27'21.82"	121°09'09.21"	0.033	0.43	0.28	1.54
22	49°27'13.17"	121°08'57.94"	0.031	0.33	0.21	1.57
23	49°27'04.73"	121°08'12.37"	0.028	0.54	0.32	1.69
24	49°27'06.94"	121°08'30.13"	0.028	0.22	0.15	1.47
25	49°26'45.09"	121°08'08.47"	0.031	0.35	0.25	1.40
26	49°26'51.86"	121°08'02.07"	0.046	0.27	0.15	1.80
27	49°26'51.87"	121°08'02.08"	0.035	0.35	0.16	2.19
28	49°26'43.88"	121°07'39.32"	0.033	0.41	0.21	1.95
29	49°26'07.87"	121°06'53.90"	0.033	0.41	0.21	1.95
30	49°25'44.08"	121°06'52.93"	0.025	0.27	0.21	1.29
31	49°25'34.70"	121°06'53.44"	0.034	0.39	0.3	1.30
32	49°25'18.79"	121°06'26.78"	0.03	0.32	0.25	1.28
33	49°25'19.43"	121°05'59.94"	0.039	0.36	0.23	1.57
34	49°25'53.09"	121°05'34.59"	0.038	0.65	0.32	2.03
35	49°25'41.60"	121°05'14.75"	0.035	0.4	0.31	1.29
36	49°25'49.35"	121°03'21.70"	0.026	0.35	0.25	1.40
37	49°25'36.84"	121°03'12.00"	0.033	0.3	0.23	1.30
38	49°25'17.39"	121°00'54.32"	0.04	0.57	0.36	1.58
39	49°24'54.07"	121°00'53.35"	0.031	0.31	0.22	1.41
40	49°24'59.21"	120°58'32.98"	0.03	0.33	0.21	1.57

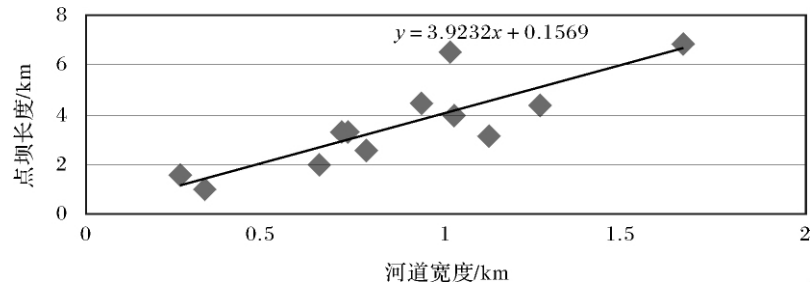


图3 珠江段低曲率河流中河道宽度和点坝长度之间相关关系图

Fig. 3 The correlation between channel width and point-bar length in low curvature river of the Pearl River

为探讨不同曲率下河道宽度和点坝长度之间的相关关系,笔者综合了所有的测量数据,按曲率大小进行归类,通过拟合分析,按曲率大小,把曲流河分成了曲率大于1.7的河流,曲率在1.7~1.4之间的河流,曲率小于1.4的河流三种类型,并对三种情况下的测量数据进行最小二乘拟合。模拟结果显示,当曲率大于1.7时,相关系数为0.88,河道宽度和点坝长度之间的函数关系为式(3)(图4);当曲率位于1.4

和1.7之间时,相关系数为0.75,河道宽度和点坝长度之间的函数关系为式(4)(图5);当曲率小于1.4时,相关系数为0.73,河道宽度和点坝长度之间的函数关系为式(5)(图6):

$$L_p = 3.27W_r + 0.05 \quad (3)$$

$$L_p = 2.61W_r + 0.15 \quad (4)$$

$$L_p = 3.42W_r + 0.21 \quad (5)$$

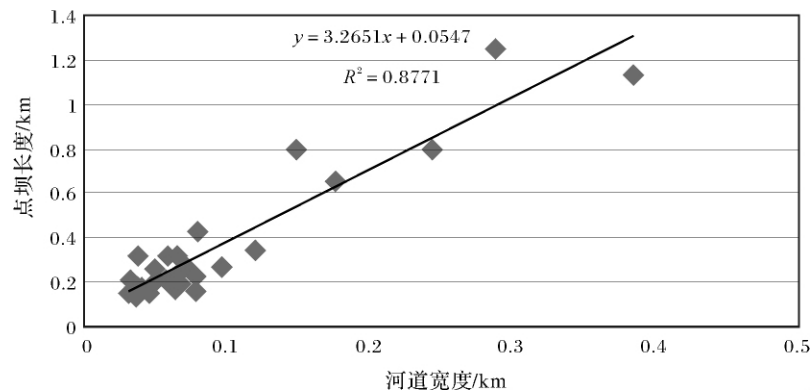


图4 曲率大于1.7的情况下河道宽度与点坝长度之间的相关关系图

Fig. 4 The correlation between channel width and point-bar length when the curvature is greater than 1.7

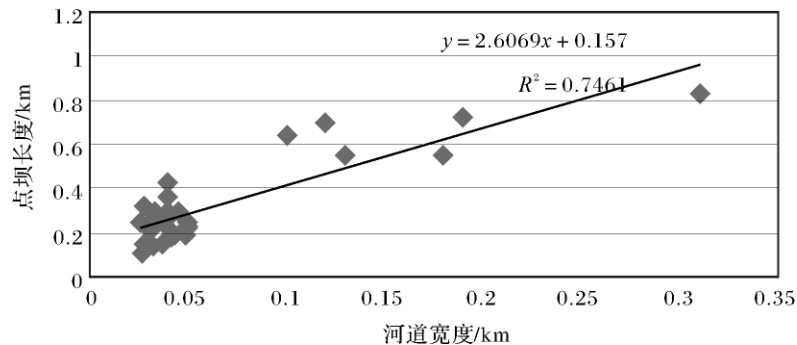


图5 曲率在1.7和1.4之间的情况下河道宽度和点坝长度之间的相关关系图

Fig. 5 The correlation between channel width and point-bar length when the curvature is between 1.4 and 1.7

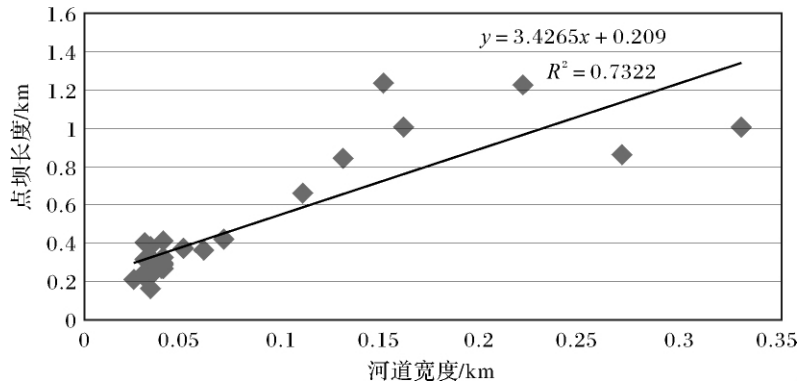


图 6 曲率小于 1.4 的情况下河道宽度与点坝长度之间的相关关系图

Fig. 6 The correlation between channel width and point-bar length when the curvature is less than 1.7

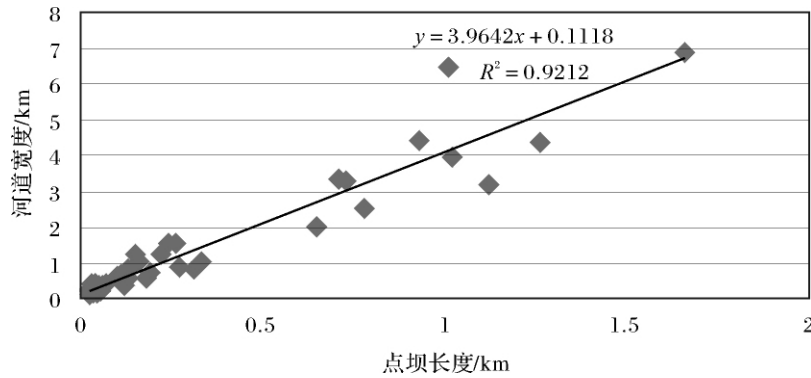


图 7 所有测量数据河道宽度和点坝长度的相关关系图

Fig. 7 The correlation between channel width and point-bar length when all the measured data is used

最后对所有测量数据综合后进行最小二乘法拟合后发现,河道宽度和点坝长度之间的相关系数高达 0.92,其函数关系为式(6)(图 7):

$$L_p = 3.96W_r + 0.11 \quad (6)$$

2.3.2 对比研究及曲流河定量化模式库的建立

Leeder^[20]在 1973 年开创了现代河流测量统计分析的先河,由此得到了一系列的河流相经验公式用于指导储层构型研究,进行井间砂体预测。其实,前人早就注意到了 Google Earth 软件在地质地貌学研究中的应用,但是并没有与现代建模理论相结合,以建立模式目的,用于指导储层预测。如李宇鹏等^[6]应用 GoogleEarth 测量,得出了松嫩平原和亚马孙平原河流的河道宽度和点坝长度之间的函数关系。其中松嫩平原中测量了不同河流的 40 组曲率大于 1.7 的河道宽度 W_r 和点坝长度 L_p 数据,经拟合后相关系数为 0.89,函数关系为式(7);亚马孙平原中则测量了 46 组不同河流的河道宽度 W_r 和点坝长度 L_p 数据,经拟合后相关系数为 0.87,函数关系为式(8);岳大力

等^[19]则利用嫩江段的 19 组曲率大于 1.7 的测量数据分析,得出河道宽度和点坝长度之间具有对数正相关关系,相关系数 0.87,两者之间的函数关系式(9)。

$$L_p = 3.43W_r + 0.18 \quad (7)$$

$$L_p = 3.03W_r + 0.63 \quad (8)$$

$$L_p = 0.85W_r + 2.45 \quad (9)$$

通过式(1)~(2)和(7)~(9)对比表明,不同地区曲流河的河道宽度和点坝长度之间具有相似的正相关关系。式(6)的高相关系数则表明河道宽度和点坝长度之间的相关性具有普遍性。由式(3)和(7)~(9)对比知,在曲率大于 1.7 时,河道宽度和点坝长度之间相关系数高于 0.85,说明在高曲率时能发育大而典型的点坝;由式(3)至式(5)的进一步对比分析可知,不同曲率段曲流河道的河道宽度与点坝长度之间具有相似的关系,且随着曲率的减少,这种相关性减弱,表明点坝的发育程度受河道曲率的控制,曲率越大,越容易产生大而典型的点坝。

在这种情况下,由前面的分析,采用本文提出的基于 Google Earth 软件建库方法,分别进行不同地区和不同曲率情况下的河道宽度和点坝长度之间的最小二乘法拟合分析,建立起不同条件下的曲流河定量化模式库。传统地质知识库的建立由于受研究视野的限制,主要研究砂体的展布,对河流相的研究焦点集中在砂体的几何形态、规模和分布等方面;而笔者提出的建立模式库的方法主要从宏观形态上把握河流的发育特征,能够了解河道游走发育的宏观特点,且具定量化优势,进而能为储层建模提供有利指导。

3 结论与讨论

在深入分析前人建立地质知识库方法优缺点的基础上,从定量化和宏观整体性的角度,提出了基于 Google Earth 软件建立曲流河地质知识库的方法。并通过实例分析对该方法进行了检验,结果证实该方法具有较高可行性。

对测量数据的统计分析表明,不同地区、曲率的曲流河河道宽度和点坝长度具有不同的正相关关系。对南美洲和珠江中下游的统计数据并结合前人的认识,发现不同地区河道宽度和点坝长度具有相似的相关性;所有测量数据综合后的拟合相关系数高达 0.92,表明河道宽度和点坝长度之间的相关性具有普遍性。对所有测量数据分不同曲率段拟合后发现,曲流河道在曲率大于 1.7 的情况下,河道宽度和点坝长度具有较好的相关性,相关系数达 0.85 以上;当河道曲率在 1.4 到 1.7 之间时,相关系数为 0.75;当河道曲率小于 1.4 时,相关系数小于 0.75。反映出点坝的发育程度受到河流弯曲程度的控制,随着河道曲率减少,河道宽度和点坝长度之间的相关性减弱,河道曲率越大,越容易发育大而典型的点坝。而实际地下储层中并不都是发育大而典型的点坝,故应加强曲率小于 1.7 情况下的曲流河研究,以更好地指导井下储层预测,建立更符合实际情况的井下储层地质模型。

不同地区不同曲率河流的河道宽度和点坝长度之间具不同的定量化公式,反映出曲流河地质模式具“同中有异”的特点。借鉴多点地质统计学算法中采用训练图像库的思路,建议在建立曲流河地质知识库时建立曲流河模式库,而不是单一的地质模型,以方便地下储层地质模型的建立、对比和预测。

受到数据量和数据分散程度的限制,南美洲地区河道宽度和点坝长度之间的相关系数相对较低,且曲率在 1.4 到 1.7 之间的情况和小于 1.4 的情况下,两

者的相关系数相差不大,说明统计的规律不仅受到数据量的影响,还受到数据分散程度的影响。本文没有做出宽深比的经验公式,缺少现代沉积考察的结合、探地雷达等深度测量工具的使用。事实上,任何方法都有其应用局限性,本文提出的方法对建库方法在定量化和宏观整体性方面做出了很好的补充,然仍存在建立三维模式的局限,故建议在实际储层建模中综合多种建立地质知识库方法研究。

致谢 感谢审稿专家及编辑部同志提供的修改建议,感谢庞正炼师兄在论文修改过程中提供的建设性意见。

参考文献(References)

- 1 段慧娟,边少锋. 基于 Google Earth 的海洋物理场数据可视化研究[J]. 海洋测绘,2008,28(6): 36-39 [Duan Huijuan, Bian Shaofeng. Study on the visualization of ocean geophysical field data based on Google Earth[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2008, 28(6): 36-39]
- 2 钟春红. Google Earth 在水利水电测绘中的应用[J]. 地理空间信息,2011,9(5): 53-55 [Zhong Chunhong. Google Earth in the surveying and mapping for water conservancy and hydropower[J]. Geospatial Information, 2011, 9(5): 53-55]
- 3 杨瑞东,盛学庸,魏晓,等. 基于 Google Earth 影像分析区域性大型“X”共轭节理系统对宏观岩溶作用的控制[J]. 地质论评,2009,55(2): 173-180 [Yang Ruidong, Sheng Xueyong, Weixiao, et al. The control of regional large “X” conjugate joint system on karstification from Google Earth image[J]. Geological Review, 2009, 55(2): 173-180]
- 4 张斌,艾南山,黄正文,等. 中国嘉陵江河曲的形态与成因[J]. 科学通报,2007,52(22): 2671-1682 [Zhang Bin, Ai Nanshan, Huang Zhengwen, et al. The shape and the causes of the Jialing river in China[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(22): 2671-1682]
- 5 张昌民,尹太举,朱永进,等. 浅水三角洲沉积模式[J]. 沉积学报,2010,28(5): 933-944 [Zhang Changmin, Yin Taiju, Zhu Yongjin, et al. Shallow water deltas and models[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(5): 933-944]
- 6 李宇鹏,吴胜和,岳大力. 现代曲流河道宽度与点坝长度的定量关系[J]. 大庆石油地质与开发,2008,27(6): 19-22 [Li Yupeng, Wu Shenghe, Yue Dali. Quantitative relation of the channel relation of the channel width and point-bar length of modern meandering river[J]. Daqing Petroleum Geology and Oil Development, 2008, 27(6): 19-22]
- 7 Zhang T F, McCormick D, Hurley N, et al. Applying Multiple-Point Geostatistics to Reservoir Modeling: A Practical Perspective [C]. Petroleum Geostatistics, Cascais, Portugal, 10-14 September 2007
- 8 尹太举,张昌民,樊中海,等. 双河油田井下地质知识库的建立[J]. 石油勘探与开发,1997,24(6): 95-99 [Yin Taiju, Zhang Changmin, Fan Zhonghai, et al. Founding subsurface geological data bank for Shuanghe oil field[J]. Petroleum Exploration & Development, 1997, 24(6): 95-98]

- 9 李少华, 张昌民, 林克湘, 等. 储层建模中几种原型模型的建立[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(3): 102-107 [Li Shaohua, Zhang Changmin, Lin Kexiang, *et al.* The construction of prototype models in reservoir modeling [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2004, 24(3): 102-107]
- 10 Marinus E Donselaar, Irina Overeem. Connectivity of fluvial point-bar deposits: An example from the Miocene Huesca fluvial fan, Ebro Basin, Spain [J]. AAPG Bulletin, 2008, 92(9): 1109-1129
- 11 李少华, 汗日明, 张昌民, 等. 结合露头信息建立储层地质模型[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 374-377 [Li Shaohua, Han Riming, Zhang Changmin, *et al.* Integration of outcrop in reservoir modeling [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(3): 374-377]
- 12 贾爱林, 穆龙新, 陈亮, 等. 扇三角洲储层露头精细研究方法[J]. 石油学报, 2000, 21(4): 105-109 [Jia Ailin, Mu Longxin, Chen Liang, *et al.* Approach for detailed study of fan delta reservoir outcrop [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(4): 105-109]
- 13 曹跃华, 张春生, 刘忠保, 等. 长江荆江段现代沉积研究[J]. 地质论评, 1996, 42(增刊): 135-142 [Cao Yaohua, Zhang Chunsheng, Liu Zhongbao, *et al.* Contemporary deposits of the Jingjiang River Reach of the Yangtze River [J]. Geological Review, 1996, 42(Suppl.): 135-142]
- 14 曹跃华, 张春生, 刘忠保, 等. 长江枝江段凤凰滩现代沉积特征[J]. 江汉石油学院学报, 1994, 16(4): 8-14 [Cao Yaohua, Zhang Chunsheng, Liu Zhongbao, *et al.* Modern sedimentary features of Fenghuang mid-channel bar in Zhijiang Reaches, Middle Yangzi River [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 1994, 16(4): 8-14]
- 15 Brian J Willis, Hong Tang. Three-dimensional connectivity of point-bar deposits [J]. Journal of Sedimentary Research, 2010, 80: 440-454]
- 16 Kathryn J Amos, Jeff Peakall P, William Bradbury, *et al.* The influence of bend amplitude and planform morphology on sedimentation in submarine channels [J]. Marine and Petroleum Geology, 2010, 27: 1431-1447
- 17 张春生, 刘忠保, 施冬, 等. 利用数值模拟方法预测辫状河砂体几何形态[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(增刊): 85-88 [Zhang Chunsheng, Liu Zhongbao, Shi Dong, *et al.* Braided river sandbody shape forecast by numerical simulation method [J]. Petroleum Exploration & Development, 2004, 31(Suppl.): 85-88]
- 18 张春生, 刘忠保, 施冬, 等. 砂质扇三角洲沉积过程实验研究[J]. 江汉石油学院学报, 2003, 25(2): 1-3 [Zhang Chunsheng, Liu Zhongbao, Shi Dong, *et al.* Sandy fan delta depositional process experiment research [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2003, 25(2): 1-3]
- 19 岳大力, 吴胜和, 刘建民. 曲流河点坝地下储层构型精细解剖方法[J]. 石油学报, 2007, 28(4): 99-103 [Yue Dali, Wu Shenghe, Liu Jianmin. An accurate method for anatomizing architecture of subsurface reservoir in point bar of meandering river [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4): 99-103]
- 20 Leeder M R. Fluvial fining-upwards cycles and the magnitude of paleochannels [J]. Geology Magazine, 1973, 110(3): 265-276

Building Geological Knowledge Database Based on Google Earth Software

SHI Shu-yuan¹ HU Su-yun¹ FENG Wen-jie² LIU Wei¹

(1. Research Institution of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083;

2. China University of Petroleum, Beijing 102249)

Abstract: The existing methods for establishing geological knowledge database include dense well pattern anatomy, outcrop anatomy, modern sedimentation anatomy, sedimentary simulation experiment, and so on. The advantages and disadvantages of these methods are firstly analyzed in this article. Then the method of building geological knowledge database by using the Google Earth software is proposed combined with the basic geological idea of "the present being a key to the past". Google Earth is a virtual globe, map and geographic information program that were created by Keyhole, Inc, a company acquired by Google in 2004. It maps the Earth by the superimposition of images obtained from satellite imagery, aerial photography and GIS 3D globe. The steps and basic principals for measuring the meandering channel by Google Earth are introduced, and a series of fundamental data which consist of channel width, point-bar length and its arc length of different areas and different curvatures are measured. The data sheets are made based on the measurements. Furthermore, both the existing empirical formula and the formula obtained by fitting measurement data are analyzed integrally.

The database established by the Google Earth method proposed here is mainly composed of three parts - basic measurement data sheets, the macro images and the empirical formulas. Each part has its functions: the basic data provide quantitative modeling data; the macro images provide development features of meandering rivers; while the

empirical formulas provide directly available algorithm reference formulas. Case studies of typical meandering rivers in areas of South America and Hailar, and the point bars of low-curvature meandering river of middle stream and downstream Pearl River are shown here. Results of the case studies demonstrated the feasibility of this method of using Google Earth to establish the geological knowledge database.

Statistical analysis of the measured data shows that there are different positive correlations between channel width and point bar length of meandering rivers of different areas and different curvatures. According to the statistical data of meandering rivers in South America and Pearl River, and combined with previous studies, similar positive correlations between channel width and point bar length are found. Fitting correlation coefficient can reach as high as 0.92, indicating that the correlation between channel width and point bar length is universal. According to the fitting of all measured data, correlations under different curvatures are different. There are obvious correlation between channel width and point bar length of meandering rivers when their curvatures are above 1.7, with correlation coefficients higher than 0.85. While the curvature of the meandering river is between 1.4 ~ 1.7, the correlation coefficient is around 0.75, and declines when curvature is under 1.4. The result of our research shows that development of point bars is controlled by the curvature of the meandering river. As the curvature declines, the correlation between channel width and point bar length of meandering rivers weakens. The bigger curvature, the easier for large and typical point bars to develop. As we found that not all underground reservoirs are developed in large or typical point bars, we suggest geologists strengthen the study about meandering rivers with curvatures smaller than 1.7, so as to get better prediction of reservoirs, and achieve reservoir geological modeling.

Different quantitative formulas are needed for correlations between channel width and point bar length of meandering rivers from different areas and different curvatures. This reflects the "differences in common" characteristic of geological models of meandering rivers. Borrowing ideas from the thought of "training image library" in multiple-point geostatistics algorithms, we suggest that a meandering river model database should be included within a meandering river geological knowledge database, instead of establishing a single simple geological model. Only by this way, better comparison and prediction of underground reservoir modeling can be achieved.

Restricted by data amount and dispersion of all data, correlation coefficients between channel width and point bar length of meandering rivers in South America area are mostly relatively low. The correlation coefficients of meandering rivers don't change very much as curvatures vary among 1.4 ~ 1.7 and below 1.4. So the laws of statistics are not only affected by the amount of data, but also influenced by the dispersion of the data. Because the lack of modern sedimentation study or depth measurement tools such as ground-penetrating radars, no empirical formulas of width/ depth ratio are given here. Actually, each method has got its limitations in application. Although the approach proposed in this article can provide good supplement in quantitative and macro holistic aspects of existing database establishing methods, with plenty of quantitative data of meandering channels from different regions and different curvatures, depicted observations of abandoned channels, detailed morphological classifications and numerical fitting of abandoned channels, and instructional prediction of unmeasured point bars, it has limitations of establishing three dimensional models. That is why we finally suggest that comprehensive study of a variety of methods to establish the geological knowledge base should be adopted in practical reservoir modeling.

Key words: meandering river; Google Earth; geological knowledge database; quantitative relationship; reservoir modeling