

河流相古土壤及其 在河流沉积地层对比中的应用

叶良苗 裘亦楠

(北京石油勘探开发科学研究院)

提要 本文以济阳坳陷孤东油田馆上段河流相古土壤为例,对古土壤这一新的领域进行探索,主要论述河流相古土壤的识别及成因,并以古土壤为对比标志进行河流沉积地层的对比,为解决河流相储层对比这一人所公认的技术难题提出了一个新的方法。

关键词 河流沉积 古土壤 地层对比 孤东油田。

第一作者简介 叶良苗 男 26岁 助理工程师 储层沉积。

引 言

储层的小层对比是油田开发地质工作中一项极为重要的基础技术,然而在河流相地层中,由于其横向相变剧烈、化石保存少,缺少生物、地层标准层,它们的对比一直是个棘手的问题。在1981年的第二届国际河流沉积会议上,仍把河流地层对比列为一项尚未解决的技术难题。

古土壤是近年来国外沉积学领域一个新兴的研究课题,并已越来越显示出它在地学领域里的广阔前景。但到目前为目,还主要局限于对古土壤本身的描述和在古气候解释方面。关于古土壤在河流相地层对比中的意义,是在八十年代初提出的,并在1985年的第三届国际河流沉积会议上有露头资料的报道,但真正利用古土壤解决井下河流地层对比的例子尚未见到。

本文是笔者对我国济阳坳陷孤东油田馆上段河流地层中古土壤进行研究后的一点结论,主要叙述了河流相古土壤在井下资料中的识别标志,并在分析了河流地层剖面中古土壤发育状况的控制因素的基础上,结合油田实例,提出以古土壤为标志进行河流地层大段控制对比的新方法。这一方法的提出,带有尝试性,旨在为以河流砂体为储层的油气田在开发早期的储层对比提供一定的帮助。

一、 河流相古土壤的识别标志

古土壤是指地史时期(通常为第四纪以前)形成的土壤。在地层剖面中,它与其它古沉积物的区别在于它在被后来沉积物埋藏以前经受了一定程度的土壤化作用,因此也具备了一

般沉积物所没有的特征——土壤化作用的“痕迹”。由于成壤作用是在地表条件下发生的，因此河流沉积环境是古土壤形成发育并得以保存的主要场所。河流相古土壤即指河漫滩环境沉积的泥质沉积物在河流沉积间歇期经受土壤化作用后形成的古土壤，在井下岩心资料中，它主要有以下几点识别标志：

1.古土壤剖面颜色的垂向变化具有序性

古土壤总是赋存于某一古土壤剖面（即由古土壤表面向下直到成壤母质层的垂直切面，它是古土壤形成发育的基本单元，厚度一般0.5—4m）之中，古土壤的特征之一就是古土壤剖面的颜色由下至上呈规律性变化。以孤东油田馆上段河流地层中的古土壤为例，一个发育完整的古土壤剖面，其颜色由下而上依次为：灰、灰绿，灰、灰绿、桔黄、红色混杂，土红、浅红，暗红、紫红，紫色、暗紫。当垂向上连续出现多个古土壤剖面时，则颜色变化按上述顺序呈现周期性的重复。

显然，这种垂向上颜色的有规律变化，是某种大范围内比较统一的作用即土壤化作用的结果，而剖面上下不同的颜色代表了经受土壤化作用改造的程度不同：下部的灰色、灰绿色是一般河流沉积物常见的颜色，表示未经受明显的土壤化作用的改造；向上出现桔黄、红色杂斑，并向红色、紫红色过渡，表示沿剖面越向上越接近地表环境，土壤化作用也越明显；而顶部的紫色、暗紫色也许还与有机质的含量增加有关（Bown *et al.*, 1985）。当然，不同地区不同类型的古土壤，其垂向颜色变化序列也可不同，需引起注意。

2.古土壤剖面上部原生植物根系的存在

土壤化作用实际上是指在有生物（主要是植物）作用参与下的地表风化作用。因此在古土壤剖面的中上部，常留有生物的遗体、遗迹，最常见的是植物根系。在孤东古土壤中，这种根系主要是一些细小的草根，一般粗1—2mm，长4—5cm，有的呈网状根系，有的为单根，见于古土壤剖面上部且直立于岩心之中，从而表明它们是原地生长的。

3.成壤钙结核的存在

在孤东古土壤中，常可见到为数不多的钙质结核，呈球形、椭球形，直径0.5—1.0cm，表皮光滑，且有很薄的一层灰色泥质包壳，内部呈暗褐色，经X—衍射鉴定主要是碳酸钙及极少量的石英、长石小颗粒。这种结核仅分布于古土壤剖面上部，表明它们是成壤过程中形成的。同样应该说明的是，钙质结核的存在与否、特征如何、分布状况，也会随着形成于不同条件下的不同古土壤而有很大的差别。

4.在一个古土壤剖面内，沉积构造向上逐渐消失、模糊，地层的硬结度向上逐步减小

在土壤化作用过程中，一个土壤剖面上下不同部位，经受雨水淋滤、大气风化、生物扰动等作用的程度不同，其结果：一是原生的沉积构造愈靠剖面上部被改造得愈严重，如层理构造向上逐渐变得模糊、紊乱直至疏松均一状；二是剖面下部的地层比较坚硬，成岩程度高，愈向上愈松散，有些几乎完全未成岩，部面上部的样品在水中的潮解速度明显比下部的样品快。

5.每一古土壤剖面都迭加在河流沉积韵律的最上部分

前已提及，河流相古土壤的形成是在河流沉积作用的间歇期进行的，亦即河流沉积作用与土壤化作用是交替进行的（河流沉积的“幕式性”为这种交替提供了可能），那么每一期成壤作用必定是从河流沉积韵律的最顶部向下进行的，亦即古土壤剖面应该迭加在河流沉积韵律剖面的最上部，而不会是在下部。这是河流相古土壤的又一重要标志，孤东古土壤也完全

证明了这一点。

6. 古土壤剖面的顶部常见泥裂现象

这是由于古土壤是在地表条件下形成的, 因此气候的干湿变化可能在古土壤剖面的上部形成泥裂, 有些还被后期的砂质沉积物充填。泥裂本身并不是古土壤的特有标志。但古土壤中常可见泥裂, 因为二者共同是暴露的标志。

7. 分析结果表明, 在一个古土壤剖面内, 多种成分含量的垂向变化具规律性

表1是孤东201井1306m古土壤剖面的化学分析数据。由表可看出, 在一个仅两米多厚的古土壤剖面内, 多种成分的含量具明显的垂向变化趋势, 由下向上: ①碳酸钙增加; ②锰减少; ③有机碳减少, 至顶部又略增; ④碎屑矿物减少; ⑤蒙脱石增多, 而高岭石、伊利石、绿泥石减少; ⑥高低价铁比值与颜色变化相对应。

表1 孤东20-1井1306古土壤剖面化学分析数据表

Table 1 The chemical analysis data of a Gudong palaeosoil profile in well 201, depth 1306m.

样号	深度	层位	岩石定名	CaCO ₃ (%)	Fe ⁺⁺⁺ (%)	Fe ⁺⁺ (%)	Fe ⁺⁺⁺ /Fe ⁺⁺	Mn (%)	有机碳 (%)	碎屑矿物含量 (%)			粘土矿物相对含量 (%)			
										石英	钾长石	钠长石	蒙脱石	高岭石	伊利石	绿泥石
5	1309.08	Ng [±]	紫色泥岩	2.87	0.38	0.52	0.73	0.0133	0.07	10	1	2	96	2	1	1
4	1305.5	Ng [±]	红色泥岩	1.39	0.35	0.32	1.09	0.0120	0.06	9	2	1	92	4	2	2
3	1306.3	Ng [±]	杂色泥岩	1.31	0.07	0.28	0.25	0.0223	0.07	10	2	2	90	5	2	3
2	1307.1	Ng [±]	灰绿色带粘	1.13	0.42	0.24	1.75	0.0290	0.09	14	3	3	91	5	2	2
			黄色斑点 (30%) 泥岩													
1	1307.4	Ng [±]	灰色含粉砂	0.78	0.45	1.04	0.43	0.0206	0.08	20	5	5	89	5	3	3
	1307.4		泥岩													

显然, 上述这些变化规律是土壤化作用过程中由各种物理、化学与生物作用导致的某些成分在一个古土壤剖面内的重新分布或局部富集而成的。因此它们也是土壤化作用的有力证明。

二、 河流相古土壤形成发育的控制因素

一套河流沉积地层剖面中, 古土壤的形成发育状况包括两个方面的含义: 一是古土壤的成熟度即土壤化程度; 二是古土壤的丰度及其分布特征。

古气候、母质、地形、生物与时间是古土壤成熟度的直接控制因素:

根据土壤学理论, 土壤化作用是在一定的气候、母质、地形、生物与时间条件下发生的, 并且任一条件的改变将导致土壤化程度的改变。因此, 这五大条件是古土壤之成熟度的直接影响因素。

地壳运动、河流改道与洪泛事件是河流地层剖面中古土壤发育状况不同级次的地质控制因素。

1.地壳运动控制大套河流地层剖面中古土壤发育的丰度,在垂向上形成两种截然不同的地层层系——土壤化层系与非土壤化层系。地壳运动是河流环境内土壤发育状况的最高决定因素,在河流沉积背景下,当地壳沉降速率大于沉积速率时,沉积连续性好,沉积物在沉积后不久即被埋藏,出露地表的时间很短,因此难以发育土壤,沉积物为一套未经土壤化作用的正常地层,即非土壤化层系;当地壳沉降速率小于沉积速率时,沉积连续性变差,沉积物在被埋藏前可能较长时间出露地表,为土壤发育提供了机会,那么此时的沉积物即成为古土壤,这种状况持续时间长了即形成土壤化层系。由于地壳运动的区域性和沉降速率与沉积速率相互关系在较长时间内的相对稳定性,因此土壤化层系与非土壤化层系都有较大的厚度和较好的横向稳定性,见下文图1。

2.河流改道的周期性发生,使得土壤化层系内部存在相对高土壤化层段和相对低土壤化层段之别。河道稳定,有利于漫滩相泥质沉积物发育成为古土壤;而频繁的河道变动,则使整个河流系统处于“不稳定”状态,不利于古土壤的形成发育。因此,河道的稳定性是河流相古土壤形成发育之第二级控制因素,河道“稳定”与“多变”的交替,可使土壤化层系内之古土壤成熟度呈现旋回性。

3.洪泛事件的时间间隔决定了具体某一期古土壤的成熟度。沉积学研究表明,河流沉积是事件性沉积,一次(或包括连续若干次的一期)突发性的洪水泛滥带来一期沉积物,尔后是沉积间歇期,亦即沉积物接受土壤化作用的时期。那么,在其它成壤条件已定的情况下,两期洪泛事件的时间间隔则成为具体某一期古土壤之成熟度的决定性因素。

三、古土壤在河流沉积地层对比中的应用

地层对比实质是确定地层中的等时面,因而作为对比标志的通常是具有等时意义的地质体,如化石层、特殊岩性层、特征电性层等。但河流沉积地层,其环境特征决定了往往缺少这些标志层,这也是河流地层对比一直成为难题的真正原因。古土壤就某一个薄层而言,其横向可追踪性尚不及上述的标志层,但从前面对古土壤的成因分析可知,古土壤是河流环境演变到一定阶段的产物,它在河流地层剖面中的出现与消亡、古土壤成熟度的高低变化显然代表环境特征(如地壳运动特征、物源供给情况、古气候特征等)的变化,这种变化在一个地区内是具有等时意义的,因此古土壤可作为河流地层的对比标志。

在对孤东馆上段古土壤的研究中,通过两个步骤实现古土壤在河流地层对比中的应用:

1.利用土壤化层系与非土壤化层系的差别首先进行大段的控制对比。由图1可以看出,孤东油田,各取心井在上馆陶组地层的中下部均存在一段几无古土壤发育的地层,约70m厚,即非土壤化层系;而在该层系的上下,各井普遍发育大量的古土壤,即土壤化层系。这种大段的土壤化层系与非土壤化层系的存在,是由较高级的控制因素,即上文提到的地壳运动的变化造成的:前者表示地壳沉降速率小于沉积速率,沉积过程经常间断;而后者表示地壳沉降速率大于沉积速率,沉积连续性好。因此这些层系的顶底界可作为河流地层划分对比的界线,见图1。

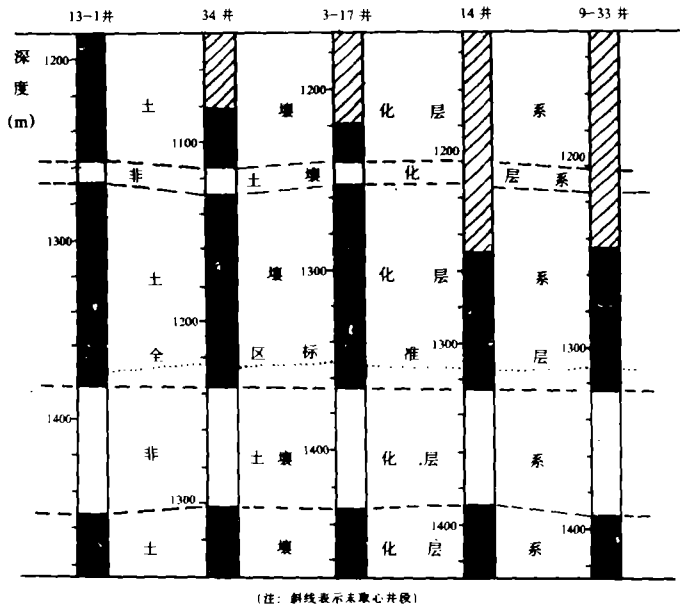


图 1 古土壤在孤东馆上段地层对比中的应用

Fig. 1 The application of palaeosols on the correlation of Upper Guantao Formation in Gudong oilfield.

2.在土壤化层系内部利用古土壤成熟度旋回作进一步对比，古土壤成熟度即指古土壤所达到的土壤演化发育阶段。通过仔细的观察对比，将孤东古土壤剖面的成熟阶段划分如下(图2、表2)：

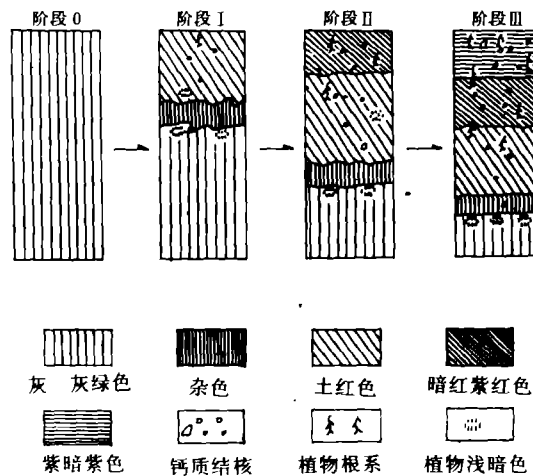


图 2 孤东馆上段古土壤剖面演化过程示意图

Fig. 2 The evolutionary sequence of palaeosoil profile in Upper Guantao Formation, Gudong oilfield.

阶段 0 即未经受任何土壤化作用的沉积物，通常为灰、灰绿色泥岩，亦可称为母质阶段。

阶段 I 剖面上部变为红、土红色，常带桔黄、灰绿色杂斑，少见植物根及钙结核等新生体，剖面下部之灰、灰绿色泥岩基本保持原样，可见层理。

阶段 II 红色、土红色向剖面更下部扩展，而上部土层变为紫红、暗红色，较松散，土壤化深度加大，可见原生植物根系及少量的钙结核，底部的母质层很薄甚至没有。

阶段 III 为孤东古土壤最高演化阶段，其标志是土壤剖面上部的泥岩变为紫色、暗紫色，土壤化深度更大，上部土体很松散，常见原生植物根残体及钙结核新生体。

表 2 不同演化阶段的孤东古土壤剖面有关数据统计

Table 2 The statistics of Gudong palaeosoil profile of different evolutionary stages.

演化阶段	项目	统计的剖面数	平均土壤剖面厚度 (m)	平均土壤化深度 (m)	见成壤钙结核剖面数及其百分比	见原生植物根系剖面数及其百分比
I		81	2.36	1.07	6 7.4	17 21.0
II		87	2.36	1.56	12 13.8	25 28.7
III		61	3.46	2.46	16 26.2	22 36.1%

阶段划分结果表明，孤东馆上段地层在土壤化层系内，其古土壤成熟度的垂向变化具旋回性。笔者认为这种旋回性主要是由河流改道控制的，即由河流改道频繁期相对低土壤化程度与河道稳定期相对高土壤化程度之间构成的旋回性，它在同一河系的泛滥平原范围内当具一致性，因此也具有地层对比的意义，见图 3。

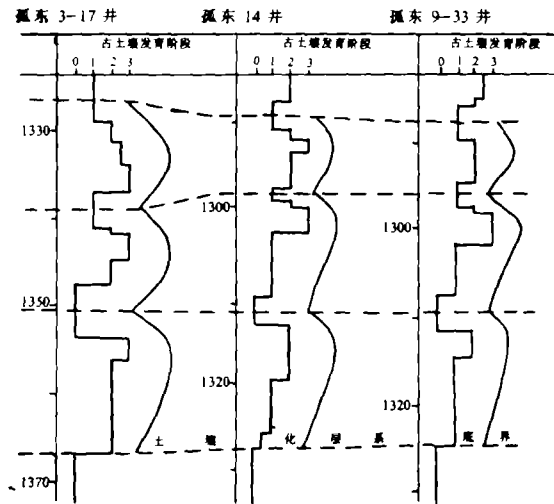


图 3 土壤化层系内部利用古土壤成熟度旋回作进一步对比应用示例

Fig. 3 The application exsample for detailed correlation in palaeosoil sets by using the cyclicity of palaeosoil maturity as a zonation marker.

四、有关问题讨论与说明

1. 关于古土壤在电性上的反映。

在孤东古土壤实例中, 古土壤与普通泥岩似无明显不同的电性反映, 但利用多种测井信息进行综合判断时, 发现土壤化层系与非土壤化层系存在明显不同的自然伽玛曲线与声速时差曲线迭合特征, 一为正偏差, 一为负偏差, 见图 4。目前的解释是非土壤化层段由于云母保存良好使自然伽玛值高于土壤化层段。但这是否为古土壤统一的“电性”特征, 仍有待探讨。

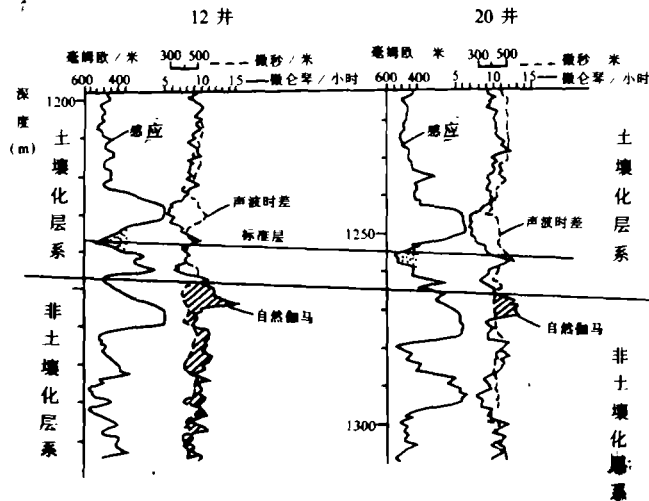


图 4 孤东馆上段土壤化层系与非土壤化层系不同的多测井信息迭合特征

Fig. 4 The difference of logging characteristics between palaeosoil sets and non-palaeosoil sets in Upper Guantao Formation, Gudong oilfield.

2. 关于河流沉积地层古土壤对比法的适用性

由于河流古土壤是在漫滩相泥质沉积物基础上发育起来的, 因此古土壤对比法只适用漫滩相泥岩较发育的河型沉积, 而对于砂岩很发育的河流地层, 古土壤则发育不好, 零星分布, 此时古土壤对比法就难以奏效。

3. 关于河流沉积地层古土壤对比法的实用性

对以河流砂体为储层的油气田来说, 古土壤对比法的主要意义是: 为在该油田范围内一大套河流沉积地层之间的相互关系提供一个骨架性的控制, 这种控制对进一步的储层小层对比将起很大的促进作用, 特别是在油田开发早期常规的对方法因井太少而无能为力的时候, 这种作用就更加突出。当然, 地层对比本身是一项高度综合应用各种地质信息的技术工作, 因此古土壤对比法仅是其手段之一, 但它不可能在所有情况下解决地层对比的所有问题, 在应用这一方法时, 仍须配合利用地层、岩性、构造及古生物等资料, 同时与其它对比法结合起来, 以达到更高效, 更准确地解决地质问题。

收稿日期: 1989年3月27日

参 考 文 献

- (1) 袁亦楠等, 1989, 石油勘探与开发, 14卷, 2期, 46—52页。
- (2) Bown T.M. and Kraus J.R., 1985, Field Guidebook for Third International Fluvial Sedimentology Conference, p.14—19.

Fluvial Palaeosoils and its Application on the Correlation of Fluvial Deposits

Ye Liangmiao Qiu Yanan

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing)

Abstract

This paper, taking the palaeosoils in Upper Guantao Formation, Gudong oilfield as an example, discusses mainly three questions about fluvial palaeosoils.

1. Several identification criterias in cores data were summarized, that is, i. in a palaeosoil profile, the vertical changing of sediments colour is sequential, the vertical changing of percentage of many components is regular, the sedimentary structures disappear gradually upwards, and the diagenetic degree decreases gradually upwards; ii. original roots; iii. calcite glaebule; iv. mud crack; v. palaeosoil profiles are situated in the uppermost part of fluvial rhythmic profiles.

2. The maturity of a concrete palaeosoil profile was influenced directly by five factors, i.e. climate, original sediments, topography, biomass and time, however, the development of palaeosoil in a thick (e.g. thicker than 100 m) profile of fluvial sediments was controlled by three geologic actions, i.e., crust movements, river channel changing, and flooding.

3. Palaeosoil can be used as a zonation marker of fluvial deposits because there is little difference of palaeosoil development in the region of a palaeoriver system. Two steps are finished to get the application of Gudong palaeosoils on the correlation of the fluvial deposits in Upper Guantao Formation, Gudong oilfield. The first is to build a controlling framework for correlation of formations by using the difference between palaeosoil sets and non-palaeosoil sets as a zonation marker, and the second is to make a detailed correlation in palaeosoil sets by using the cyclicity of its maturity as zonation marker.

At last, the paper discusses briefly the remaining questions about identification and application of fluvial palaeosoils.