

青藏高原地面露头样品风化校正研究

张君峰¹, 王东良², 秦建中³, 刘宝泉³

(1. 中国石油天然气股份有限公司, 北京 100011; 2. 中国矿业大学, 北京 100083;

3. 中国石油华北油田公司 研究院, 河北 任丘 062552)

摘要: 在大量地面与井下、地表下样品对比实验的基础上, 作者指出地表风化作用主要对烃源岩有机质丰度产生严重影响, 不同岩性、不同参数样品的风化程度存在着明显差别, 并提出了青藏高原地面样品的有机碳风化校正系数, 同时指出可溶有机质如沥青“*A*”、总烃、热解游离烃 S_1 和裂解烃 S_2 以及热解 IH 影响很大, 无法进行风化校正, 还探讨了地表风化作用对有机质丰度影响的主要控制因素。

关键词: 有机碳; 有机质丰度; 地面样品; 井下样品; 地下样品; 风化校正

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

青藏高原石油天然气勘探程度很低, 还未钻一口石油天然气探井, 均为地面露头样品, 风化严重, 给生油评价带来许多困难, 需要对地面露头样品进行风化对比实验和校正。

1 地面和井下样品的对比实验

地表风化作用对有机质丰度影响严重。山西沁水盆地大量的井下与露头样品对比实验已经证实, 地面风化样品 TOC 一般只有井下样品的 52.63% ~ 45.45%, 灰岩的 IH 和 $S_1 + S_2$ 一般只有井下样品的 38.89% ~ 36.10%。地表风化作用对易风化的泥岩和煤影响极大, IH 只有井下样品的 23.81% ~ 1.54%, $S_1 + S_2$ 仅为井下样品的 7.81% ~ 1.38% (表 1)。灰岩的可溶有机质只有井下样品的 50% 左右, 泥岩和煤只有井下样品的 20% ~ 10% (表 2)。因此, 对泥岩和煤的热解烃和可溶有机质地表风化的影响难以进行校正。

一般来说, 可溶有机质比不溶有机质风化严重, 煤比泥岩风化严重, 泥岩比灰岩风化严重, 有机质丰度高的样品比丰度低的风化严重。地表风化时间长的比时间短的风化严重是不言而喻的。山西沁水盆地古生界地层印支运动以后长期暴露地表, 所以煤

和泥岩风化极为严重。

2 地面和地下样品的对比实验(表 1、2)

1996 年我们对羌塘盆地东部安多 114 道班 J_{3s} 和 J_{2x} 、土门东煤矿 T_{3x} 和雁石坪 J_{2b} 等各种岩性的烃源岩的地表和地表以下相对较新鲜的样品(河床内、煤矿坑内或修公路时开采路两侧的样品)进行对比实验, 对比结果见表 1。最具有代表性的对比实验样品是安多 114 道班 J_{3s} (PA_{86}) 放炮修公路时开采出来的新鲜样品。我们对其中的一块直径约 40cm 的灰岩样品进行解剖, 该样品中心为深灰色, 两边约 3~5cm 呈灰黄色。在风化程度不同的位置选取了 4 个样品(图 1), 其分析结果是: 中心的灰岩样品有机质丰度最高, $TOC = 0.76\%$, $S_1 + S_2 = 2.13\text{mg/g}$, 向两边逐渐降低; 右边(4 号)的灰岩样品有机质丰度最低, $TOC = 0.50\%$, $S_1 + S_2 = 0.64\text{mg/g}$ 。中心灰岩样品与右边(4 号)灰岩样品 TOC 的比值为 1.52, $S_1 + S_2$ 的比值为 4.26, 风化作用明显。

1997 年 9 月, 在重庆北碚地区从地表到地下系统地采集了与青藏措勤盆地烃源岩岩性、丰度和热演化程度相似的下三叠统嘉陵江组一段(T_{1j}^1) 深灰

表 1 地面与地下样品热解、有机碳参数对比表

Table 1 Comparison of pyrolysis and organic carbon parameters for surface and underground samples

地区	层位	岩性	TOC/%			$T_{max}/^{\circ}C$			IH/(mg/g)			$(S_1 + S_2)/(mg/g)$		
			地下	地面	地下 地面	地下	地面	地下 地面	地下	地面	地下 地面	地下	地面	地下 地面
沁水盆地	C _{3s}	煤	73.04(60)	42.37(4)	1.74	496(63)	543(4)	0.91	86(63)	5(4)	17.2	63.46(63)	2.81(4)	22.58
		泥岩	3.23(20)	1.45(16)	2.23	510(45)	521(6)	0.98	22(45)	4(6)	5.5	0.99(47)	0.19(6)	5.21
	C _{3t}	煤	70.86(63)	34.79(4)	2.04	503(61)	531(4)	0.95	68(62)	0.60(4)	113	50.34(62)	0.41(4)	122.8
		泥岩	2.69(21)	0.99(16)	2.72	516(48)	519(4)	0.99	19(50)	4(5)	4.75	1.29(50)	0.04(5)	30
		灰岩	0.97(22)	0.39(33)	2.49	504(14)	501(4)	1.01	11(15)	12(4)	0.92	0.23(15)	0.09(5)	2.71
	C _{2b}	泥岩	1.64(15)	1.00(9)	1.64	527(12)	538(3)	0.98	14(12)	6(4)	2.33	0.55(12)	0.17(4)	3.18
O ₂	灰岩	0.13(17)	0.08(29)	1.5	535(9)	489(5)	1.09	6(9)	12(6)	0.52	0.07(9)	0.02(6)	2.83	
重庆北碚 代家沟	T _{1j} ¹	灰岩	0.05(1)	0.04(1)	1.25							0.02(1)	0.01(1)	2.0
	P _{2l}	泥岩	15.38(1)	10.64(1)	1.45				71(1)	21(1)	3.38	11.51(1)	2.52(1)	4.57
西宁盆地 小峡地区	J ₂	油页岩	20.61(1)	9.16(1)	2.25				550(1)	369(1)	1.49	111.98(1)	25.73(1)	4.35
羌塘盆地 东部	J _{3s}	灰岩	0.79(11)	0.58(11)	1.34	430(11)	431(11)	1	229(11)	135(11)	1.69	3.12(11)	1.24(11)	2.52
	J _{2x}	泥岩	0.375(3)	0.21(2)	1.86	445(4)	442(4)	1.01	45(4)	14(4)	3.21	0.14(4)	0.06(2)	2.33
	T _{3x}	煤	33.4(4)	24.7(4)	1.35	513(5)	515(3)	1	34(5)	26(3)	1.31	18.75(3)	8.56(2)	2.19
		泥岩	3.27(6)	1.34(6)	2.44	522(5)	525(4)	0.99	12(5)	7(4)	1.71	0.12(5)	0.11(4)	1.09
	J _{2b}	泥岩	0.18(2)	0.14(2)	1.29	395(2)	494(2)	0.8	11(3)	12(3)	0.92	0.07(3)	0.05(3)	1.4
		灰岩	0.20(2)	0.09(2)	2.17	490(3)	473(2)	1.04	16(3)	12(2)	1.33	0.05(3)	0.04(2)	1.43
平均值	煤			1.78			0.93			43.84			73	
	泥岩			1.99			0.98			2.91			13	
	灰岩			1.75			1.05			1.12			2.77	

注: 括号内为样品数

表 2 地面与地下样品可溶有机质、R_o 和 H/C 原子比对比数据表

Table 2 Comparison of soluble organic matter, R_o and H/C atomic ratio data for surface and underground samples

地区	层位	岩性	“A”/10 ⁻⁶			HC/10 ⁻⁶			R _o /%			H/C 原子比		
			地下	地面	地下 地面	地下	地面	地下 地面	地下	地面	地下 地面	地下	地面	地下 地面
沁水盆地	C _{3s}	煤	3 257(11)	309(4)	10.54	1 425(9)	89(3)	16.01	2.01(70)	1.31(2)	1.53	0.57(7)	0.48(3)	1.19
		泥岩	442(15)	90(3)	4.91	151(15)	56(2)	2.7	1.84(5)	1.12(3)	1.64	0.49(15)	0.47(4)	1.04
	C _{3t}	煤	2 029(12)	26(2)	78.04	1 034(10)	11(2)	94	2.17(67)	1.27(2)	1.71	0.54(7)	0.43(2)	1.26
		泥岩	310(20)	30(4)	10.33	100(15)	12(3)	8.33	1.94(7)	1.27(1)	1.53	0.48(17)	0.49(1)	0.98
		灰岩	200(13)	64(4)	2.38	73(12)	29(3)	2.52	1.99(2)	1.82(2)	1.09	0.46(8)	0.43(3)	1.07
	C _{2b}	泥岩	337(5)	29(2)	28.86	453(3)	15(2)	30.2	1.48(1)	1.33(1)	1.11	0.54(2)	0.44(2)	1.23
O ₂	灰岩	38(8)	10(4)	2.11	14(7)	10(3)	1.44	2.11(1)	1.28(2)	1.65	0.47(4)	0.54(6)	0.87	
冀北 化 1 井	J _x t	白云岩	672(5)	414(2)	1.62	448(5)	244(2)	1.84						
重庆北碚 代家沟	P _{2l}	泥岩	182(1)	161(1)	19.76	2 347(1)	115(1)	20.41				0.57(1)	0.57(1)	1.007
西宁盆地 小峡地区	J ₂	油页岩	830(1)	5 130(1)	1.53	586(1)	259(1)	2.26				1.24(1)	1.23(1)	1.008
平均值	煤				44.3			55			1.62			1.22
	泥岩				14.7			13.7			1.42			1.08
	灰岩				2.04			1.98			1.37			0.97

注: 括号内为样品数

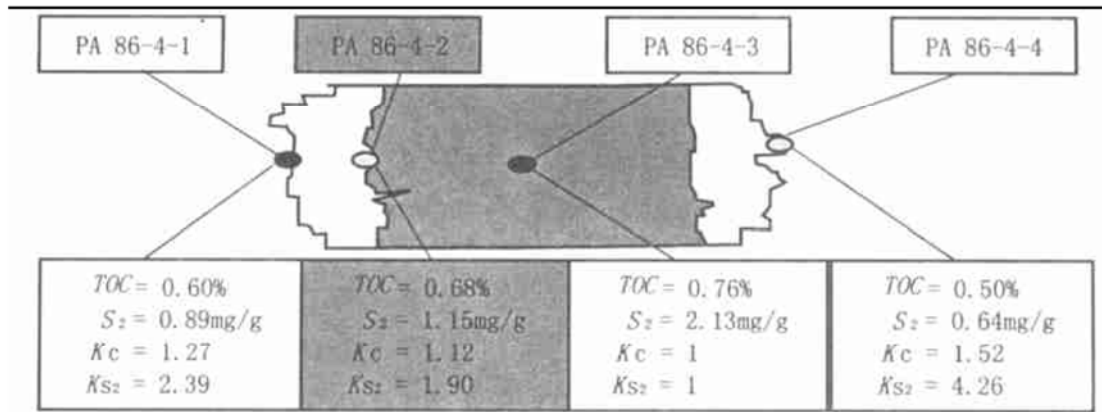


图1 羌塘盆地安多114道班J_{3s}灰岩样品有机质风化作用影响示意图

Fig. 1 Schematic map showing the weathering effects on organic matter in J_{3s} limestone samples from 114 railway maintenance squad in Anduo, the Qiangtang Basin

色泥晶灰岩和上二叠统龙潭组(P_{2l})碳质泥岩样品,开展了有机碳和热解分析以及有机质性质和成熟度参数的分析。第一组样T_{1j}¹深灰色泥晶灰岩,岩性均质致密,有机质丰度低,地下样品TOC只有0.05%,地表风化样品为0.04%,地下/地面=1.25。第二组样P_{2l}碳质泥岩,有机质丰度高,地下样品TOC为15.38%,地表风化样品明显降低,为10.64%,地下/地面=1.45(表1)。

前人在西宁盆地小峡地区中侏罗统油页岩有机质风化校正研究的结果^{①,②}是,地下未风化样品TOC为20.61%,地表风化样品明显降低,为9.16%,地下/地面=2.25(表1)。

3 青藏高原羌塘、措勤等盆地有机碳的风化校正系数

3.1 羌塘盆地风化校正系数

羌塘盆地地表样品灰岩有机碳风化校正系数K_c平均取1.5,依据是:羌塘盆地野外地质考察采集的较新鲜灰岩样品与地表风化样品的TOC比值为1.47;④上述安多114道班J_{3s}(PA₈₆)典型风化样品的解剖得出,岩石内部新鲜灰岩/岩石外表样品的TOC比值为1.52;④表1中地下新鲜灰岩样品/地表风化样品的TOC比值平均系数为1.75。综合各种地质因素,有机碳风化校正系数取1.5较为合适。

羌塘盆地地表风化泥岩样品TOC校正系数K_c平均取2.2,依据是:羌塘盆地泥岩新鲜/地表风

化样品TOC校正系数为2.07,由于井下新鲜样品无法取得,此值可能偏低;④几个盆地泥岩新鲜/地表风化样品TOC校正系数平均为1.99,沁水盆地井下/地表风化样品TOC校正系数平均为2.20。羌塘盆地煤新鲜/地表样品取土门煤矿实测有机碳平均值1.35。

3.2 措勤等盆地有机碳的风化校正系数

措勤,比如、昌都、岗巴-定日等盆地烃源岩多属低丰度高成熟致密碳酸盐岩和致密泥页岩、板岩,暴露地表时间较短,风化作用对烃源岩丰度影响相对较小。碳酸盐岩风化校正系数取1.2,泥质岩风化校正系数取1.5。

4 烃源岩风化的主要影响因素

地表风化作用对有机质丰度的影响受各种因素的控制,变化范围和幅度很大,主要控制因素如下。

(1)地表温度的高低特别是温差的变化幅度。地表温度和昼夜或冬夏温差的变化幅度越高,风化越严重。羌塘盆地白天太阳照射时,地表温度可以很高,夜间温度又极低,因此,羌塘盆地地表样品的风化作用可能较为严重。

(2)地表水和风的冲刷、地表水的渗透和氧化作用。这些地质营力越活跃的地方,一般风化越严重。越靠近地表或位于山顶的平缓部位,一般风化越严重。

(3)暴露地表时间的长短。一般来说,时间越长,风化越严重。

① 秦建中,牟录文,等.羌塘盆地油气生成及盆地模拟综合研究.华北石油管理局勘探开发研究院,1999.

② 许怀先,等.青藏高原油气生成综合研究.中国石油勘探开发科学研究院实验中心,1999.

(4) 地表植物、动物或人类的活动, 地表植物根系的有机酸等作用。它们有时可以使地面样品的有机质丰度增高。人类的有机污染也是地面样品分析数据可靠程度差的主要原因之一。

(5) 岩性不同, 抗风化的程度差异很大。泥岩、页岩、石膏和盐岩等相对较容易风化, 灰岩、白云岩和砂岩等抗风化程度较强。一般随着泥质成分的增加, 抗风化程度减弱。

(6) 有机质性质、丰度高低和有机质演化程度不同, 其抗风化能力也有很大的差别。可溶有机质比不溶有机质容易风化, 这可能是可溶有机质容易散失的缘故。因此, 风化后的烃源岩样品, 可溶有机质如沥青“*A*”和总烃不是评价烃源岩的好指标。有机质丰度高的样品比有机质丰度低的样品抗风化程度强一些。有机质演化程度高的样品比成熟度低的样品抗风化程度相对强一些, 这可能是由于高成熟—过成熟样品可溶有机质含量低的缘故。

上述影响因素使得实际地面烃源岩样品的风化校正极其困难, 或者说不可能完全准确无误地恢复到地下未受风化的数值。羌塘盆地地面样品的风化校正, 只选取抗风化的有机碳进行计算, 即使这样也只能说使分析数据相对更接近地下实际数据, 比不进行风化校正要好一些。可溶有机质如沥青“*A*”、总烃、热解游离烃 S_1 和裂解烃 S_2 以及热解 IH 影响很大, 无法进行风化校正。

不溶有机质干酪根的分析资料 H/C 原子比、显微组成、 R_o 和 T_{max} 等风化影响相对较小(表 1、2), 有的虽略低一些, 如 R_o 和 H/C 原子比等, 但基本上可以代表地下样品的结果。

地下样品与地面样品干酪根碳同位素对比结果表明, 风化作用影响不大, 地下/地面比值为 1.03~1.19。

5 结果与讨论

地面与井下、地表下样品对比实验表明, 地面样品由于风化作用的影响其有机质丰度严重低于未风化的井下或地表下同类型样品。可溶有机质比不溶有机质风化严重, 煤比泥岩风化严重, 泥岩比灰岩风化严重, 有机质丰度高的样品比丰度低的风化严重。显然, 地表风化时间长的比时间短的风化严重。

青藏高原露头样品由于长期裸露于地面, 风化程度极为严重, 有机质丰度影响很大。在总结大量实验数据的基础上, 提出了青藏高原地面样品的有机碳风化校正系数, 同时指出可溶有机质如沥青“*A*”、总烃、热解游离烃 S_1 和裂解烃 S_2 以及热解 IH 影响很大, 无法进行风化校正。

地表温度的高低特别是温差的变化幅度, 地表水和风的冲刷、地表水的渗透和氧化作用, 暴露地表时间的长短, 岩性的不同, 地表植物、动物或人类的活动, 地表植物根系的有机酸等作用, 以及有机质性质、丰度高低和有机质演化程度等是地表风化作用对有机质丰度影响的主要控制因素。

风化作用对地面有机质丰度影响的研究, 使我们对地面风化有了更进一步的认识, 同时也提醒我们在处理露头或浅地表样品时, 一定要注意地表风化作用的影响, 必须进行风化校正。

STUDY ON THE WEATHERING CORRECTION OF SURFACE OUTCROP SAMPLES FROM THE QINGHAI-TIBET PLATEAU

ZHANG Jun-feng¹, WANG Dong-liang², QIN Jian-zhong³, LIU Bao-quan³

(1. PetroChina Company Limited, Beijing 100011, China;

2. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;

3. Research Institute of Huabei Oil Field Corporation, CNPC, Renqiu, Hebei 062552, China)

(to be continued on page 311)