

关于 CCSD 主孔 4820~4930 m 井段气体异常的初步解释

詹秀春^{1,2} 罗立强^{1,2} 李迎春^{1,2} 唐力君^{1,2} 李 东^{1,2}

(1. 国家地质实验测试中心, 北京 100037;

2. 中国大陆科学钻探工程中心流体地球化学实验室, 江苏 东海 222300)

摘要:CCSD 主孔取心钻进的第 153 至 166 回次(对应井深为 4 820~4 930 m)施工中, 流体地球化学现场实验室监测到非常显著的气体异常。按气体浓度的变化, 又可分为两个不同的异常区段, 分别位于 4 820~4 860 m 和 4 869~4 930 m 井段。两个区段均表现为显著的 CO₂ 和 H₂ 异常, 第一区段的最大值分别为 3.6% 和 12.1%, 第二区段的最大值分别为 24.8% 和 18.7%。第二区段除了 CO₂ 和 H₂ 异常值更高以外, 在其后期(井深 4 906 m)还出现了一处比较短暂的 He 气异常, 最高值达到 17×10^{-6} , 比基础值高出 200%。通过对钻井过程的分析及泥浆的离线实验研究认为: 微生物对泥浆的分解作用是本次异常的重要原因之一, 堵漏剂助长了气体异常的升高和延续; 由泥浆分解产生的 CO₂ 和 H₂ 与来自地下的流体并存是本次异常的显著特点。

关键词:CCSD; CO₂; H₂ 和 He 异常; 泥浆分解; 地下流体

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2005)02-0320-10

中国大陆科学钻探(CCSD)工程自 2001 年 8 月开钻以来, 已历时 3 年多, 钻孔深度达 5 000 多米。作为该工程的重要内容之一的流体地球化学子工程, 担负着流体在线监测、流体异常判别及来源解释的使命。在整个钻进过程中, 已发现多个井段的流体异常, 其中有些来自地下并已做了初步解释^[1~4]。有关钻井流体的研究意义, 已有多篇文献做了介绍^[5~6], 笔者不再赘述。

由于 CCSD 气体异常的监测是通过将钻井泥浆脱气后得到的气体的在线分析实现, 因此钻井过程、钻具磨损、泥浆性能、仪器波动^[1,2]、地下流体的混入都有可能引起气体异常值的出现。如何判别 CH₄、CO₂ 和 H₂ 等气体异常的来源是一个十分棘手的问题。特别是在钻井过程中, 常常因钻井技术要求加入各种含有大量有机物的泥浆添加剂, 使流体异常来

源的判别变得更为复杂。

笔者通过对 CCSD 主孔取心钻井的第 153 至 166 回次(对应井深为 4 820~4 930 m)施工中, 流体地球化学现场实验室监测到的两个非常显著的气体异常区段的研究, 详细分析和揭示了导致本次异常的原因。

1 现场气体在线监测方法简介

CCSD 现场气体监测采用质谱(MS)和气相色谱(GC)两种手段。来自井孔的泥浆经脱气池脱气, 所获得的气体经管线输送到仪器的进样口^[1,2]。

笔者所述数据均由 MS 提供, 仪器型号为 OmniStar 型气体质谱仪, 配备有电荷倍增器(C-SEM)和法拉第杯(Faraday)两种探测器, 采用毛细管连续进样方式, 可分析的最大质量为 100 amu(原

收稿日期: 2005-02-20; 改回日期: 2005-02-28

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2003CB716508)、国家自然科学基金重大项目(40399144)和国家“九五”重大科学工程项目“中国大陆科学钻探工程”资助。

作者简介: 詹秀春, 男, 1961 年生, 硕士, 研究员, 主要从事地球化学分析技术研究; E-mail: zhanxiuchun@yahoo.com.cn。

表 1 在线质谱仪气体分析精度
Table 1 Gas Analysis Precision of On-Line Mass Spectrometer

组分	标准值/%	平均值/%	标准偏差	相对标准偏差/%	备注
Ar	1.02	1.018	0.0034	0.33	N=30, 标准气体
CH ₄	1.02	0.9724	0.0028	0.29	N=30, 标准气体
CO ₂	1.01	1.039	0.0041	0.39	N=30, 标准气体
H ₂	1.00	1.024	0.019	1.82	N=30, 标准气体
He	1.06	1.052	0.0089	0.84	N=30, 标准气体
N ₂	78.1	78.12	0.032	0.04	N=71, 空气
O ₂	20.9	20.93	0.032	0.15	N=71, 空气

子质量单位)。各气体组分的分析精度见表 1。

2 钻井过程异常及相关问题

2.1 异常描述

2004 年 11 月 20 日至 12 月 9 日, 在 CCSD 主孔取心钻进的第 153 至 166 回次(对应井深为 4 820~4 930 m)施工中, 流体地球化学现场实验室监测到非常显著气体异常。按气体浓度的变化, 又可分为两个不同的异常区段, 分别位于 4 820~4 860 m 和 4 869~4 930 m 井段。两个区段均表现为显著的 CO₂ 和 H₂ 异常, 第一区段的最大值分别为 3.6% 和 12.1%, 第二区段的最大值分别为 24.8% 和 18.7%。第二区段除了 CO₂ 和 H₂ 异常值更高以外, 在其后期(井深 4 906 m)还出现了一处比较短暂的 He 气异常, 最高值达到 17×10^{-6} , 比基础值高出 200%。图 1 是 11 月 13 日至 12 月 21 日各钻井回次的 CO₂、H₂、CH₄ 和 He 的最大值变化情况。另外, 在 CO₂ 和 H₂ 异常的区段, 两种气体的浓度变化呈现一定的相关性, O₂ 出现明显的降低。

作为参照, 表 2 列出了 CCSD 主孔 MH 2 045~3 663 m 和 MH-2C 3 400.5~4 783 m 两个井段的 CO₂ 和 H₂ 的最大值及相应的井深。与本次异常相比,

前两个井段的异常值要小得多, 并且 CO₂ 和 H₂ 的异常并不是同时出现。因此本次气体异常是很特殊的。

2.2 气体异常来源分析

纵观整个 CCSD 钻井过程, 气体异常的来源可有如下途径:

(1) He、Ar、N₂ 的高异常值主要来自于地下, 由于这些气体均为化学活性很弱的组分, 钻井过程和泥浆本身都不会产生大的异常值。

(2) 钻井过程中, 钻具与岩层和泥浆的相互作用会产生 H₂、CH₄ 等气体组分的异常。KTB 曾报道 H₂ 与钻头、钻具组合及钻井参数有关; 在使用金刚石取心钻具时, H₂ 含量最高达 10%^[7]。

(3) 泥浆中有机质的分解或降解作用会产生 CO₂、CH₄ 和 H₂ 等^[8]。

(4) 地下流体中常常包含有 CO₂、CH₄ 和 H₂ 等组分^[9], 地幔流体以较高的 H₂ 为特征^[10-12]。该井段出现多处漏浆现象, 岩心裂隙发育。据此, 异常气体中, 可能包含有部分来自地下流体的贡献。

2.3 泥浆添加与气体异常

在 CCSD 取心钻进过程中, 除配制泥浆用的基础材料低粘增效粉之外, 钻进过程中还根据泥浆自身及井下情况分别加入润滑剂、消泡剂、高粘羧甲基

表 2 CCSD 主孔 2045~4783 m CO₂ 和 H₂ 最大值及对应井深
Table 2 Maximum values of CO₂ and H₂ and their corresponding depths in the 2045 to 4783 m interval of the CCSD main hole

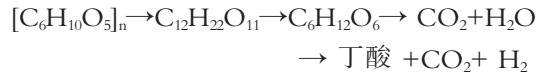
井 段	MH 2045-3663	MH-2C 3400.5-4783
CO ₂	最大值/%	0.587
	井深/m	2890.0
H ₂	最大值/%	5.05
	井深/m	2049.0

纤维素钠、稀释剂、重晶石、PHP、MV-PLUS、PAA-N、般土粉、烧碱、堵漏剂、防腐抗菌剂等多种控制泥浆性能的添加物,保证了钻进过程的顺利进行。但另一方面,由于这些材料中大多含有有机质,可能造成CH₄、CO₂、H₂等泥浆气体组分的浓度变化。有关添加剂对气体组分浓度的影响,罗立强等^[1]曾做了报道。纵观整个CCSD钻井过程中泥浆添加与气体组分浓度变化的规律,除加入老浆或高粘羧甲基纤维素钠会引起较大幅度CO₂、CH₄升高外,加入NaOH会降低CO₂的含量。其他添加剂对气体的影响小得多,难以下定论。

本次气体异常开始于2004年11月20日,即主孔MH-2C取心钻进的153回次,对应的起始迟深为4820m。在此前的十余个回次中(从11月初开始),CO₂与空气值相近,为万分之几;H₂含量稍高,但均低于1%。在这些回次中,分别加入过如下添加剂:润滑剂、NaOH、PHP胶液和堵漏剂等。表3是异常前后泥浆添加情况与气体最大值的变化情况。根据以往泥浆添加与气体含量的情况分析,泥浆添加剂本身还未引起过如此大的异常值。

从环境微生物学的角度考虑,喜氧菌、厌氧菌及兼厌氧菌可能会对泥浆中的有机质造成生物降解作用,产生CH₄、CO₂和H₂等^[8]。堵漏剂主要是由植物

纤维组成,在细菌作用下可能发生如下降解反应,产生CO₂和H₂:



前一反应最终产物是在喜氧菌作用下产生,后一反应的最终产物是在厌氧菌或兼厌氧菌作用下产生。从反应产物及气体异常上分析,堵漏剂的加入可能引起了此次气体异常的发生,至少是助长了此次异常的发展。

事实上,在本次异常的两个区段,由于发生泥浆泄漏,在第一次异常最大值发生前的第7~3天和第二次异常最大值发生前的第5天,分别加入了累计2.75 t和5.5 t的随钻堵漏剂。由于第一个异常高峰中期加入了防腐抗菌剂并在堵漏成功后迅速滤除了堵漏剂,因此,气体异常得到有效抑制。第二个异常高峰中,由于持续多个回次泥浆泄漏,堵漏剂未被迅速滤除,且直至12月6日的第164回次才加入防腐抗菌剂,并滤除了堵漏剂,因此,异常持续的时间更长、异常值更高。如果不是期间加入大量NaOH,抑制了CO₂从泥浆中的溢出,CO₂的异常值可能会更高;在加入防腐抗菌剂之后,异常值迅速下降,至12月11日的167回次,基本返回到常规值。这正好表明,异常的发生与微生物引起的泥浆有机质降解有关。

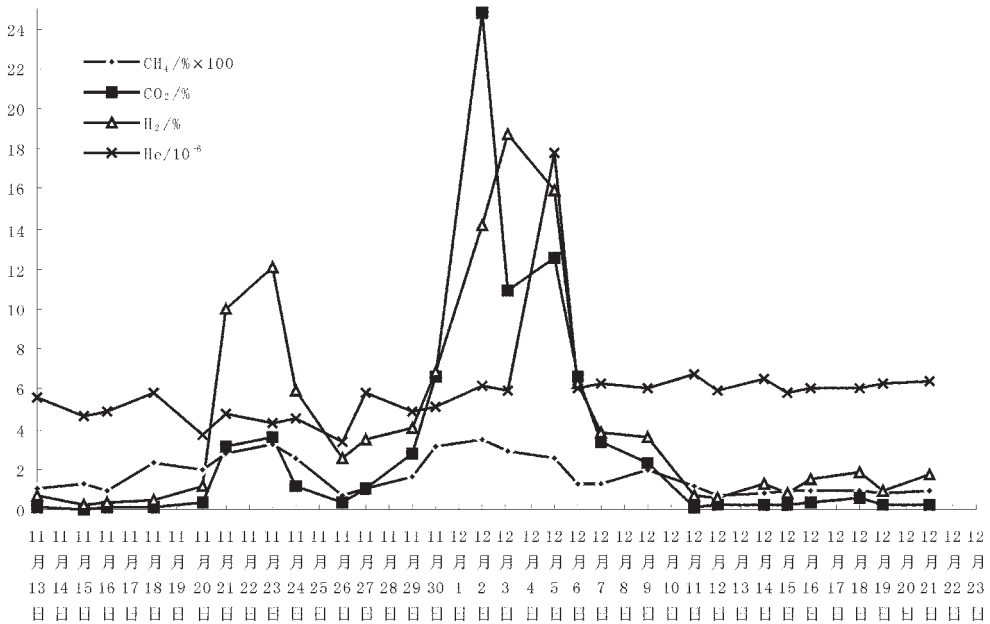


图1 各钻井回次的CO₂、H₂、CH₄和He的最大值变化情况

Fig. 1 Variations of CO₂, H₂, CH₄ and He maxima during different runs of drilling

表 3 CCSD 4820~4930 m 井段气体异常及泥浆添加情况

Table 3 Records of mud addition and gas abnormalities in the 4820 to 4930 m interval of the CCSD main hole

日期	回次	起始迟深/m	开泵时间	泥浆添加情况	CH ₄ /% × 100	CO ₂ /%	H ₂ /%	He/10 ⁻⁶
11月13日	149	4783	12:40	12:30 ~ 13:00 加润滑剂 50kg	1.05	0.06	0.69	5.57
11月15日	150	4793	0:01	0:00 ~ 0:30 加润滑剂 50kg, 1:00 ~ 2:00 加胶液 7m ³	1.22	0.04	0.20	4.60
11月16日	151	4801	19:05	17日 5:00 加入堵漏剂 750kg。7:00 ~ 9:00 加入堵漏剂 1t。低粘增效粉 1.5t 配浆 25m ³ (备用)	0.98	0.10	0.34	4.85
11月18日	152	4812	12:47	13:30 ~ 14:00 加润滑剂 50kg	2.38	0.08	0.46	5.84
11月20日	153	4820	0:48	19日 22:00 ~ 23:00 加泥浆 10 m ³ 。20日 2:00 ~ 3: 00 加润滑剂 150kg ;18:00 ~ 19:00 加低粘增效粉 1t 配浆 23m ³ (备用)	1.99	0.30	1.13	3.74
11月21日	154	4828	11:16	12:00 ~ 16:00 加入堵漏剂 1 t				
11月23日	155	4839	3:39	16:00 ~ 16:30 以前加入润滑剂 100kg, 16:00 ~ 17:30 加防腐抗菌剂 250kg	2.74	3.09	9.99	4.77
11月24日	156	4846	13:41	6:30 ~ 11:00 加润滑剂 200kg, NaOH 140kg	3.30	3.61	12.14	4.35
11月26日	157	4854	5:05	6:30 ~ 7:00 补充泥浆 10 m ³	2.61	1.18	5.88	4.49
11月27日	158	4860	15:41	5:30 ~ 6:00 加润滑剂 50kg, 14:00 ~ 16:00 加低粘增效粉 1.5t。配 28m ³ (备用)	0.75	0.39	2.52	3.37
11月29日	159	4869	3:25	16:00 ~ 16:30 加润滑剂 50kg, 16:30 ~ 0:00 加随钻堵漏剂 2t, 20:30 ~ 21:00 补充泥浆 10m ³ 。	1.01	1.05	3.44	5.85
11月30日	160	4877	11:18	28日 0:07 加低粘增效粉 2t, 随钻堵漏剂 1t, 50m ³ 补充泥浆 24m ³				
12月2日	161	4885	1日 23:46	4:00 ~ 9:00 加随钻堵漏剂 2.5t。4:00 ~ 4:30 加润滑剂 100kg	1.57	2.80	4.11	4.94
12月3日	162	4894	11:07	1日 14 ~ 14:40 补充泥浆 10m ³ 。0:15 ~ 0:40 加润滑剂 100kg。6:00 ~ 8:30 加 NaOH 130 kg, 润滑剂 50kg	3.12	6.59	6.81	5.08
12月5日	163	4905	1:44	11:30 ~ 14:00 加 NaOH 90kg, 润滑剂 20kg	2.88	10.93	18.68	5.90
12月6日	164	4913	11:09	2:00 ~ 4:00 加 NaOH 100kg	2.56	12.55	15.89	17.80
12月7日	165	4915	20:39	12:00 ~ 13:00 加 NaOH 200kg, 12:00 ~ 15:00 加防腐剂 250kg	1.31	6.63	6.22	6.02
12月9日	166	4922	6:47	21:00 ~ 22:00 加润滑剂 600kg	1.32	3.40	3.88	6.33
12月11日	167	4931	10日 20:39	8:00 ~ 10:00 加润滑剂 600kg, 10:00 ~ 12:00 加 NaOH 200kg	1.97	2.30	3.56	6.02
12月12日	168	4939	9:05	0:30 ~ 1:30 加稀释剂 400kg	1.16	0.10	0.74	6.69
12月14日	169	4947.5	1:07	9:30 ~ 12:00 加稀释剂 400kg	0.75	0.21	0.61	5.91
12月15日	170	4954.5	9:29	4:00 ~ 5:00 加润滑剂 400kg	0.79	0.22	1.31	6.54
12月16日	171	4964	19:26		0.96	0.25	0.78	5.81
12月18日	172	4971	4:20	9:10 加 100kg NaOH	0.93	0.40	1.55	6.08
12月19日	173	4981	15:13	16:00 ~ 20:10 加稀释剂 167kg	0.77	0.18	0.92	6.24
12月21日	174	4990.5	3:29	4:30 ~ 6:00 加稀释剂 167kg	0.96	0.26	1.79	6.37

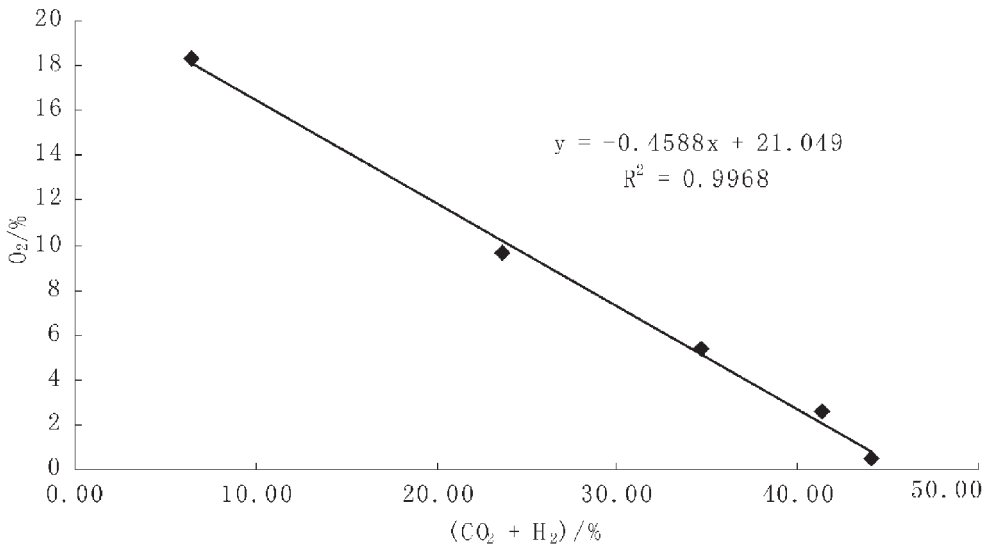


图2 泥浆中 CO₂ 和 H₂ 与 O₂ 的关系

Fig. 2 Relationships between CO₂+H₂ and O₂ in a mud sample taken on different dates

而另一方面,在 CCSD 主孔 2300m 前后,也曾大量加入过堵漏剂,但并未产生明显的 CO₂ 和 H₂ 异常。这使得从添加剂和细菌作用解释此次异常变得证据不足,甚至提供了相反的证据。但是,2300m 时,堵漏剂的加入时间为 12 月下旬至 1 月上旬,环境温度和井下温度都明显低于本次,并且,井下压力和岩层也不相同。这些可能会导致堵漏剂加入对气体异常影响效果的变化。

但即使堵漏剂的确引起了气体异常的发生,由于本次异常值如此之高,相应井段又出现多处漏浆现象,岩心裂隙发育,因此不能排除异常气体中可能包含有部分来自地下流体的贡献。而要证实有来自地下的气体异常,就必须首先对泥浆和钻井过程产生气体的种类和量级加以分析,并且对收集的异常气体进行同位素分析,以查找其来源。

2.4 对应井段的岩性

从 4820~4921m,岩性主要为角闪长英质片麻岩(据录井日报),裂隙十分发育。在 4813~4822m 漏浆井段,岩心上有明显陈旧性裂隙。在 4906m 附近(与 He 异常对应),岩心上有多处 X 型剪节理。在此井段的裂隙面上,发现多处碳酸盐化现象。

3 离线泥浆测量结果

为检查泥浆本身是否会产生 CO₂ 和 H₂ 等,以及产生的量如何,开展了泥浆的离线测试实验。离线测试的样品包括备浆池、脱气池、泥浆池、开泵前泥浆池样品;为查明产生气体的添加剂,还利用备浆池泥浆作为基础物料,人工添加堵漏剂、防腐剂、低粘增效粉、润滑剂等成分配制成混合物料样品。具体做法是用采集泥浆的塑料瓶盛放样品,密封后放置,其中人工配制的混合样品被分为两组,一组加热,另一组自然放置。之后,在不同日期,用针头和针管直接从瓶中取气,再把针管连接到质谱仪进行测量。取气之后,立即用胶带将针孔密封。

3.1 备浆池泥浆及添加剂离线分析

表 4 是由备浆池取泥浆,人工加入添加剂后的测量结果。共有 7 对 14 组数据。每对数据分别包括加热和自然放置两组。每组数据均为放置不同日期后的多次测量结果。从这些数据可以得到以下结论:

(1) 泥浆自然放置时会产生 CO₂ 和 H₂,加热组一般比自然放置组的 CO₂ 和 H₂ 含量高,H₂ 升高的幅度更大。但热泥浆/泥浆、热泥浆+防+堵+碱/泥

表 4 备浆池泥浆及添加剂的离线气体分析结果/%

Table 4 Analytic results of off-line gas in drilling mud in reserve mud tank and additives/%

样 品	分析日期	分析时间	组 分 及 浓 度					Ar	CH ₄	CO ₂	H ₂	N ₂	O ₂	采样日期	采样时间
			Ar	CH ₄	CO ₂	H ₂	N ₂								
热泥浆	2004-12-1	8:27:26	0.947	0.0012	1.497	0.093	80.60	16.86	2004-11-28	17:30					
热泥浆	2004-12-4	10:47:37	0.976	0.0017	5.797	2.890	83.08	7.25	2004-11-28	17:30					
热泥浆	2004-12-5	3:31:21	0.897	0.0051	6.712	5.205	81.95	5.23	2004-11-28	17:30					
热泥浆	2004-12-7	4:23:31	0.948	0.0036	7.605	3.967	83.38	4.10	2004-11-28	17:30					
泥 浆	2004-12-1	8:45:54	0.919	0.0000	0.086	0.002	77.95	21.05	2004-11-28	17:30					
泥 浆	2004-12-4	11:07:23	0.940	0.0021	16.076	0.219	80.83	1.93	2004-11-28	17:30					
泥 浆	2004-12-5	3:33:31	0.874	0.0035	16.804	0.362	79.00	2.95	2004-11-28	17:30					
泥 浆	2004-12-7	4:33:36	0.910	0.0028	16.768	0.303	80.63	1.39	2004-11-28	17:30					
热泥浆+防	2004-12-1	8:31:46	0.934	0.0010	1.622	0.086	78.86	18.50	2004-11-28	17:30					
热泥浆+防	2004-12-4	10:44:18	0.988	0.0004	1.201	0.206	81.85	15.75	2004-11-28	17:30					
热泥浆+防	2004-12-5	3:37:15	0.945	0.0013	1.031	0.233	82.56	15.23	2004-11-28	17:30					
热泥浆+防	2004-12-7	4:29:25	0.947	0.0014	0.877	0.189	81.97	16.01	2004-11-28	17:30					
泥浆+防	2004-12-1	8:52:42	0.965	0.0016	1.003	0.015	80.92	17.10	2004-11-28	17:30					
泥浆+防	2004-12-4	11:04:02	0.977	0.0005	0.940	0.065	81.58	16.44	2004-11-28	17:30					
泥浆+防	2004-12-5	3:40:51	0.943	0.0010	0.850	0.096	82.29	15.82	2004-11-28	17:30					
泥浆+防	2004-12-7	4:38:21	0.953	0.0014	0.794	0.097	82.17	15.99	2004-11-28	17:30					
热泥浆+防+堵	2004-12-1	8:35:22	0.918	0.0000	0.344	0.010	78.11	20.61	2004-11-28	17:30					
热泥浆+防+堵	2004-12-4	10:51:22	0.986	0.0007	1.356	0.141	81.46	16.05	2004-11-28	17:30					
热泥浆+防+堵	2004-12-5	3:46:37	0.940	0.0016	1.131	0.159	82.45	15.32	2004-11-28	17:30					
热泥浆+防+堵	2004-12-7	4:31:26	0.952	0.0017	1.012	0.149	82.39	15.50	2004-11-28	17:30					
泥浆+防+堵	2004-12-1	8:58:20	0.989	0.0017	0.981	0.023	81.52	16.48	2004-11-28	17:30					
泥浆+防+堵	2004-12-4	10:57:42	0.982	0.0006	0.887	0.082	81.90	16.15	2004-11-28	17:30					
泥浆+防+堵	2004-12-5	3:43:27	0.945	0.0012	0.718	0.117	82.56	15.66	2004-11-28	17:30					
泥浆+防+堵	2004-12-7	4:36:03	0.958	0.0014	0.720	0.121	82.37	15.83	2004-11-28	17:30					
热泥浆+防+堵+碱	2004-12-1	8:41:09	0.925	0.0000	0.088	0.020	78.46	20.51	2004-11-28	17:30					
热泥浆+防+堵+碱	2004-12-4	10:54:14	1.011	0.0010	0.038	0.687	83.75	14.51	2004-11-28	17:30					
热泥浆+防+堵+碱	2004-12-5	3:50:15	0.965	0.0020	0.029	0.850	84.90	13.25	2004-11-28	17:30					
热泥浆+防+堵+碱	2004-12-7	4:27:16	0.976	0.0018	0.020	0.775	84.33	13.89	2004-11-28	17:30					
泥浆+防+堵+碱	2004-12-1	9:02:49	0.991	0.0016	0.013	0.950	81.50	16.54	2004-11-28	17:30					
泥浆+防+堵+碱	2004-12-4	11:01:27	0.990	0.0013	0.019	2.449	82.20	14.34	2004-11-28	17:30					
泥浆+防+堵+碱	2004-12-5	3:53:51	0.942	0.0027	0.016	3.302	82.63	13.11	2004-11-28	17:30					
泥浆+防+堵+碱	2004-12-7	4:25:06	0.965	0.0022	0.170	3.064	82.61	13.18	2004-11-28	17:30					
热泥浆+堵	2004-12-7	2:48:08	0.824	0.0063	17.437	4.254	71.38	6.10	2004-12-3	17:00					
热泥浆+堵	2004-12-10	9:08:44	0.839	0.0060	17.529	5.112	71.60	4.91	2004-12-3	17:00					
热泥浆+堵	2004-12-22	9:45:41	0.836	0.0069	21.288	6.025	70.60	1.24	2004-12-3	17:00					
泥浆+堵	2004-12-7	3:19:51	0.927	0.0020	5.454	0.106	80.27	13.24	2004-12-3	17:00					
泥浆+堵	2004-12-10	9:31:12	0.883	0.0017	10.677	0.635	75.95	11.85	2004-12-3	17:00					
泥浆+堵	2004-12-22	10:13:50	0.841	0.0022	19.641	2.027	70.92	6.57	2004-12-3	17:00					
热泥浆+防+低增	2004-12-7	2:55:03	1.030	0.0022	0.691	0.349	85.40	12.52	2004-12-3	17:00					
热泥浆+防+低增	2004-12-10	8:57:28	1.003	0.0012	0.264	0.291	83.83	14.61	2004-12-3	17:00					
热泥浆+防+低增	2004-12-22	9:36:39	1.040	0.0012	0.199	0.348	83.47	14.94	2004-12-3	17:00					
泥浆+防+低增	2004-12-7	3:10:02	0.989	0.0024	0.334	0.030	84.74	13.90	2004-12-3	17:00					
泥浆+防+低增	2004-12-10	9:22:07	0.984	0.0018	0.243	0.061	83.78	14.92	2004-12-3	17:00					
泥浆+防+低增	2004-12-22	10:08:48	1.019	0.0016	0.227	0.171	83.81	14.77	2004-12-3	17:00					
热泥浆+低增	2004-12-7	2:52:45	0.997	0.0031	7.570	0.086	85.00	6.34	2004-12-3	17:00					
热泥浆+低增	2004-12-10	9:06:25	1.055	0.0023	5.691	0.109	88.56	4.58	2004-12-3	17:00					
热泥浆+低增	2004-12-22		1.143	0.0015	4.988	0.007	92.51	1.35	2004-12-3	17:00					
泥浆+低增	2004-12-7	3:15:48	0.993	0.0025	2.886	0.012	85.63	10.48	2004-12-3	17:00					
泥浆+低增	2004-12-10	9:29:02	1.013	0.0021	4.779	0.016	86.12	8.07	2004-12-3	17:00					
泥浆+低增	2004-12-22	9:56:37	1.108	0.0012	5.429	0.019	90.07	3.37	2004-12-3	17:00					

表 5 钻井泥浆的离线气体分析结果/%
Table 5 Analytic results of off-line gas in drilling mud/%

样 品	分析日期	分析时间	组 分 及 浓 度						采样日期	采样时间
			Ar	CH ₄	CO ₂	H ₂	N ₂	O ₂		
泥浆池样品	2004-12-1	10:19:34	0.862	0.0012	5.726	0.716	73.45	19.25	2004-12-1	10:00
泥浆池样品	2004-12-2	16:18:44	0.744	0.0042	21.474	2.154	64.98	10.65	2004-12-1	10:00
泥浆池样品	2004-12-3	10:18:09	0.683	0.0075	30.230	4.378	85.42	6.28	2004-12-1	10:00
泥浆池样品	2004-12-4	10:06:00	0.609	0.0091	35.296	6.041	54.55	3.49	2004-12-1	10:00
泥浆池样品	2004-12-5	3:28:37	0.588	0.0122	34.989	9.089	53.86	1.46	2004-12-1	10:00
泥浆池样品	2004-12-7	5:02:09	0.615	0.0119	35.505	8.558	54.40	0.91	2004-12-1	10:00
开泵泥浆泵口样品	2004-12-2	10:52:26	0.735	0.0030	19.678	1.460	64.02	14.11	2004-12-1	23:50
开泵泥浆泵口样品	2004-12-3	10:05:36	0.692	0.0047	27.333	3.446	59.76	8.77	2004-12-1	23:50
开泵泥浆泵口样品	2004-12-4	10:41:34	0.627	0.0076	34.402	5.580	56.11	3.27	2004-12-1	23:50
开泵泥浆泵口样品	2004-12-5	3:14:38	0.646	0.0096	32.010	7.557	57.93	1.84	2004-12-1	23:50
开泵泥浆泵口样品	2004-12-7	4:56:24	0.658	0.0086	33.030	6.287	59.02	1.00	2004-12-1	23:50
脱气池泥浆样品	2004-12-2	11:01:12	0.834	0.0163	12.198	5.927	72.49	8.53	2004-12-2	3:09
脱气池泥浆样品	2004-12-3	9:49:42	0.864	0.0110	10.983	4.621	73.51	10.01	2004-12-2	3:09
脱气池泥浆样品	2004-12-3	9:55:28	0.851	0.0102	11.791	4.585	72.43	10.34	2004-12-2	3:09
脱气池泥浆样品	2004-12-4	10:25:18	0.788	0.0129	16.606	7.549	68.56	6.48	2004-12-2	3:09
脱气池泥浆样品	2004-12-5	3:02:50	0.736	0.0171	19.186	11.781	65.96	2.32	2004-12-2	3:09
停泵后泥浆样品	2004-12-2	11:07:07	0.946	0.0024	0.057	0.879	80.95	17.17	2004-12-2	9:15
停泵后泥浆样品	2004-12-3	10:25:12	0.978	0.0009	0.085	0.147	81.98	16.81	2004-12-2	9:15
停泵后泥浆样品	2004-12-4	9:48:38	0.923	0.0021	5.911	2.173	79.53	11.46	2004-12-2	9:15
停泵后泥浆样品	2004-12-5	2:50:36	0.807	0.0066	11.626	6.763	73.46	7.33	2004-12-2	9:15
停泵后泥浆样品	2004-12-7	5:06:54	0.792	0.0089	15.915	8.701	72.27	2.31	2004-12-2	9:15
备浆池泥浆样品	2004-12-2	16:09:16	0.921	0.0001	0.158	0.002	80.15	18.77	2004-12-2	16:00
备浆池泥浆样品	2004-12-3	10:29:49	0.975	0.0003	0.818	0.044	80.27	17.90	2004-12-2	16:00
备浆池泥浆样品	2004-12-4	9:44:09	0.966	0.0005	2.401	0.089	82.09	14.45	2004-12-2	16:00
备浆池泥浆样品	2004-12-5	3:19:58	0.945	0.0012	3.579	0.289	83.19	12.00	2004-12-2	16:00
备浆池泥浆样品	2004-12-7	4:51:55	0.956	0.0015	4.445	0.430	83.74	10.43	2004-12-2	16:00
泥浆池样品	2004-12-2	16:49:28	0.929	0.0011	0.095	0.827	78.60	19.55	2004-12-2	16:40
泥浆池样品	2004-12-3	9:39:31	0.958	0.0021	0.452	0.991	80.61	16.99	2004-12-2	16:40
泥浆池样品	2004-12-4	10:22:17	0.825	0.0055	12.820	5.518	71.42	9.41	2004-12-2	16:40
泥浆池样品	2004-12-5	2:44:08	0.776	0.0096	13.289	9.936	70.79	5.20	2004-12-2	16:40
泥浆池样品	2004-12-7	3:51:08	0.793	0.0106	15.667	10.480	71.53	1.52	2004-12-2	16:40
泥浆池样品(开泵前)	2004-12-3	10:59:22	0.770	0.0025	13.981	2.735	65.89	16.62	2004-12-3	9:30
泥浆池样品(开泵前)	2004-12-4	10:20:33	0.730	0.0046	18.557	6.304	62.91	11.49	2004-12-3	9:30
泥浆池样品(开泵前)	2004-12-5	3:00:41	0.700	0.0089	18.358	10.224	64.29	6.41	2004-12-3	9:30
泥浆池样品	2004-12-4	10:15:48	0.835	0.0025	9.166	5.776	71.11	13.11	2004-12-3	15:05
泥浆池样品	2004-12-5	2:37:13	0.793	0.0058	11.134	8.093	72.18	7.79	2004-12-3	15:05
泥浆池样品	2004-12-7	3:48:16	0.827	0.0062	13.557	8.165	74.10	3.35	2004-12-3	15:05
泥浆池样品	2004-12-4	11:11:25	0.878	0.0047	3.463	6.746	75.17	13.74	2004-12-3	23:08
泥浆池样品	2004-12-5	2:34:12	0.812	0.0092	8.383	10.117	74.71	5.97	2004-12-3	23:08
泥浆池样品	2004-12-7	3:46:32	0.815	0.0093	12.427	10.462	73.64	2.64	2004-12-3	23:08
泥浆池样品	2004-12-4	11:18:21	0.744	0.0142	5.917	20.401	64.02	8.90	2004-12-4	6:05
泥浆池样品	2004-12-5	2:28:44	0.744	0.0144	11.272	15.660	70.71	1.60	2004-12-4	6:05
泥浆池样品	2004-12-7	4:50:20	0.740	0.0114	17.610	12.990	67.66	0.98	2004-12-4	6:05

浆+防+堵+碱这两对不同。

(2)加入烧碱后,CO₂量明显降低,H₂量明显升高。

(3)当 CO₂ 和 H₂ 升高时,O₂ 明显减少。

(4)在本实验的所有情况下,加入防腐剂可以有效抑制 CO₂ 和 H₂ 的产生

(5)堵漏剂的加入会大幅度增加 CO₂ 和 H₂ 的产生,最高值分别达到 21%和 6%。

(6)在所有 7 对 14 组样品中,CH₄ 的含量都较低。加入堵漏剂并加热,会使 CH₄ 含量稍微增加。防腐剂对 CH₄ 的产生也具有抑制作用。

(7)实验得到的 H₂ 最高值远远低于钻井过程的 H₂ 最高值。

3.2 钻井泥浆离线分析

钻井泥浆的离线分析结果见表 5。样品分别来自不同日期和时间,共 10 组,其中一组为备浆池样品。前 4 组样品分别为起下钻过程静止泥浆池样品、开泵时泥浆池样品、开泵 3 小时后脱气池样品和停泵时泥浆池样品。第 5 组为备浆池样品。第 6~10 组分别为起下钻过程静止泥浆池样品、开泵前 1.5 小时、开泵 4.5 小时后、停泵时和停泵 7 小时后泥浆池样品。由这些数据可以得到以下结论:

(1)一般规律是,泥浆放置时间越长,CH₄、CO₂ 和 H₂ 的含量越高,O₂ 值相应降低,并且存在一定的相关性。比如,用第一组数据的 CO₂+H₂ 含量与 O₂ 含量(减去质谱进样口残存 O₂ 量 0.95%)绘图并拟合,得到了很好的线性关系,相关系数为 0.9984,截距值为 21%,与空气值吻合(图 2)。这表明 CO₂ 和 H₂ 在放置过程中的增加是因化学反应所致,而不是因井孔携带出的溶解于泥浆中的气体的缓慢释放。

(2)各 CO₂ 和 H₂ 气体首次测定值从接近空气值至近 20%不等。放置后 CH₄、CO₂ 和 H₂ 最高值分别达到 144×10⁻⁶、35.5%和 20.4%,最大增幅分别为 30%和 10%。

(3)备浆池样品的气体初始值及放置后的升高值均明显低于泥浆池样品,表明气体初始值与钻井过程残留在泥浆中的气体有关;因备浆池中不含堵漏剂,也说明堵漏剂与气体随放置时间的升高有很大关系。

(4)第 10 组样品与其他各组的区别是 H₂ 初始值高达 20.4%,高于放置后的值。这可能是 H₂ 升高的极限值。

4 微生物对泥浆分解作用的依据

根据以上实验结果和分析,堵漏剂在本次气体异常中可能起到了很大作用。堵漏剂主要是由纤维素类物质。纤维素是葡萄糖的高分子聚合物,是植物细胞壁的主要成分。不溶于水,在环境中比较稳定,但在产生纤维素酶的微生物作用下,会被分解为简单的糖类。纤维素酶是一种诱导酶,只有在特定的碳源存在、并且含有 Ca 及 Mg、Fe、Zn、Mn、Co 和 Cu 等微量元素时,微生物才能合成纤维素酶。纤维素酶包括许多不同的酶,不同微生物分泌的酶对纤维素的作用方式不都一致。有的分泌一种酶分解纤维获得一种产物——纤维二糖;有的可进一步生成两分子葡萄糖,或将纤维二糖磷酸化为纤维二糖磷酸,然后转变为葡萄糖磷酸^[8]。

葡萄糖在好氧性纤维素降解微生物作用下可彻底氧化成 CO₂ 和 H₂O;在厌氧纤维素降解微生物作用下进行丁酸型发酵,产生丁酸、丁醇、乙酸、CO₂、H₂ 等产物。比如丁酸菌进行丁酸发酵的反应如下:



微生物对有机质的作用过程和机制多种多样,限于篇幅,笔者仅举上述关系较密切的例子进行说明。

5 讨论

(1)He 异常肯定来自于地下,但究竟是壳源还是幔源,尚需同位素数据才能做出断定。

(2)CO₂ 和 H₂ 异常呈现一定的正相关性,钻井过程中加入烧碱会降低 CO₂ 含量,但并不意味着产生 CO₂ 的过程的减弱或结束。

(3)泥浆在放置过程中会因细菌作用而产生 CO₂ 和 H₂,放置时间越长,产生的量越大。

(4)微生物对泥浆的分解作用是本次异常的重要原因之一,钻井过程中加入的堵漏剂可能助长了细菌分解作用,导致异常高的气体浓度值。另外,井孔内的温度及某些微量元素的混入可能对气体异常的产生起到一定的作用,从而有别于此前出现的一些气体异常现象与程度。

(5)钻井过程气体实时监测结果与泥浆离线分析结果存在一定的可比性,但 H₂ 值存在较大差别,其离线分析结果明显低于实时监测结果。

(6)KTB 曾报道 H₂ 与钻头、钻具组合及钻井参

数有关。在使用金刚石取心钻具时, H_2 含量最高达 10%。但根据此前的 CCSD 现场监测结果, 钻井过程产生的 H_2 难以弥补在线和离线数据上的差别。另外, 该井段出现多处漏浆现象, 岩心裂隙发育, 在裂隙面上发现多处碳酸盐化现象, 表明 CO_2 存在的可能。据此, 异常气体中, 也有来自地下流体的重要贡献。由泥浆分解产生的 CO_2 和 H_2 与来自地下的流体并存是本次异常的显著特点。各种来源对气体异常的贡献需待同位素分析完成后进一步解析。

致谢: 感谢孙青博士的有益建议、CCSD 工程中心贾军主任、杨甘生主任、杨凯华教授对实验工作的支持、CCSD 工程中心岩心编录室在异常解释过程中提供的信息咨询及流体地球化学实验室王健、张宝科、李松、叶温慧、张培洲等的辛勤工作。

参考文献 (References):

- [1] 罗立强, 王健, 李松, 等. 中国大陆科学钻探现场分析与地下流体异常识别[J]. 岩矿测试, 2004, 23(2): 81~86.
Luo Liqiang, Wang Jian, Li song, et al. On-line analysis of gases in Chinese Continental Scientific Drilling Project and identification of fluids from the earth crust[J]. Rock and Mineral Analysis. 2004, 23(2): 81 ~ 86(in Chinese with English abstract).
- [2] 孙青, 罗立强, 李圣强. 中国大陆科学深钻主孔 0~2000 米的 N_2 、Ar 和 He 流体地球化学[J]. 岩石学报, 2004, 20(1): 179 ~ 184.
Sun Qing, Luo Liqiang, Li Shengqiang. N_2 , Ar and He compositions in the 0 ~ 2000 m mud of Chinese Continental Scientific Drilling Hole[J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(1): 179 ~ 184(in Chinese with English abstract).
- [3] 罗立强, 孙青, 詹秀春. 中国大陆科学钻探主孔 0~2000 米流体剖面及流体地球化学研究[J]. 岩石学报. 2004, 20(1): 185 ~ 191.
Luo Liqiang, Sun Qing, Zhan Xiuchun. 0 ~ 2000m fluid profiles and sources in Chinese Continental Scientific Drilling Project [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(1): 185 ~ 191(in Chinese with English abstract).
- [4] Luo Liqiang, Sun Qing, Zhan Xiuchun. Fluid geoanalysis in the Chinese Continental Scientific Drilling Project [J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2004, 28(2): 325 ~ 331.
- [5] Boden A, Eriksson K G. Deep Drilling in Crystalline Bedrock, Volume 1: The Deep Gas Drilling in the Siljan Impact Structure, Sweden and Astroblemes[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1988. 364.
- [6] Moller P, Weise S M, Althaus E, et al. Paleofluids and recent fluids in the upper continental crust: results from the German Continental Deep Drilling Program(KTB) [J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(B8): 18233 ~ 18254.
- [7] Stroh A, Hansmann J, Heinschild H J, et al. Geochemistry/mineralogy[A]. In: Emmermann R, Dietrich H G, Lauterjung J, et al (eds.). KTB Report 90-8: KTB Pilot Hole, Results of Geoscientific Investigation in the KTB Field Laboratory, 0-4000.1m[C]. Hannover: Niedersachsiches Landesamt für Bodenforschung. 1990, C22.
- [8] 王家玲. 环境微生物学[M]. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 2004. 142 ~ 146.
Wang Jialing. Environmental Microbiology 2nd Edition[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004. 142 ~ 146 (in Chinese)
- [9] 张铭杰, 王先彬, 李立武. 地幔流体组成[J]. 地学前缘, 2000, 7(2): 401~412.
Zhang Mingjie, Wang Xianbin, Li Liwu. Composition of mantle fluid[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(2): 401 ~ 412. (in Chinese with English Abstract).
- [10] Navon O, Hutcheon I D, Rossman G R. Mantle-derived fluids in diamond micro-inclusions [J]. Nature, 1988, 335: 784~789.
- [11] Rosenbaum J M, Zindler A, Rubenstone J L. Mantle fluids: evidence from fluid inclusions[J]. Geochim. Cosmochim Acta, 1996, 60: 3229~3252.
- [12] Wood B J, Bryndzia L T, Johnson K E. Mantle oxidation state and its relationship to tectonic environment and fluid speciation[J]. Science, 1990, 248: 337~345.

Gas abnormalities in the 4820–4930 m interval of the CCSD main Hole and their preliminary interpretation

ZHAN Xiu-chun^{1,2}, LUO Li-qiang^{1,2}, LI Ying-chun^{1,2}, TANG Li-jun^{1,2}, LI Dong^{1,2}

(1. *National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China;*

2. *Fluid Geochemistry Laboratory of Chinese Continental Scientific Drilling Project, Donghai 222300, Jiangsu, China)*

Abstract: In operations of Nos. 153 to 166 runs of core drilling in the 4820 to 4930 m interval of the CCSD main hole, very obvious gas abnormalities were monitored from drilling mud by the fluid geochemistry laboratory. According to the concentrations of gas components, the abnormalities can be divided into two corresponding intervals: 4820 to 4860 m and 4869 to 4930 m. Both intervals showed strong CO₂ and H₂, with maximum concentrations of 3.6% for CO₂ and 12.1% for H₂ in the first interval and 24.8% and 18.7% in the second interval respectively. At 4906 m depth, in addition to abnormally high CO₂ and H₂ concentrations, a short, obvious He increase was also observed with a maximum concentration of 17×10^{-6} , which is about 3 times the normal value. Analysis of the drilling process and off-line experiments on drill mud and additives showed that the decomposition of drill mud additives by microbes could be one of the major causes of the abnormalities and that the loss of circulation additives promoted the increase and continuation of CO₂ and H₂ abnormalities. The existence of both subsurface gases and gases resulting from mud decomposition by microbes contributes to the gas abnormalities in this study.

Key words: CCSD; CO₂, H₂ and He abnormalities; mud decomposition; subsurface fluid

About the first author: ZHAN Xiu-chun, male, born in 1961, master, senior researcher in geochemical analysis; E-mail: zhanxiuchun@yahoo.com.cn.