

## 2-5 既存深部井(ZK4001 井)的喷汽试验及结垢试验

## 2-5 即存深部井(ZK4001 井)的喷汽试验及结垢试验

### 2-5-1 喷汽试验

到目前为止,羊八井地区虽然钻了两孔深部井 ZK4001、ZK4002,但是在 ZK4001 井用端压(Lip pressure)法仅进行过大约两周的简易喷汽试验,没进行把蒸汽和热水分离开的长期喷汽试验测量,因此没能对钻井进行充分的评价。为此,JICA 调查的原定计划是对 CJZK3001 井和 ZK4001 井进行长期喷汽试验,在调查钻井特性的同时获取进行热储层评价所需的各项数据。虽然对 CJZK3001 井实行了引喷,但没有实现连续喷汽,故只对 ZK4001 井实施了长期喷汽试验。喷汽试验的目的有以下几点:

- ① 根据 ZK4001 井正规的喷汽试验,调查钻井的喷汽特性并评价其生产能力。
- ② 采集、分析从深部热储层喷出的地热流体样,查明深部地热热储层的情况。
- ③ 以喷汽试验为深部热储层的动力变化源,进行压力干涉试验(热储层压力监测)并为评价热储层搜集数据。

#### (i) 筹备、新设喷汽试验设备

按照本开发调查的原定计划,喷汽试验设备中的废热水处理设备由 JICA 提供。从环境保护的观点出发,废热水先送到现有的发电站,利用目前的回灌设备等进行处理。为此,ZK4001 井的喷汽试验设备中的井口汽水分离设备等由西藏电力工业局分担资金,JICA 负责购买从汽水分离后到现有热水管道之间的管道分离设备资材,这些资材的安装工程由电力工业局负责。从而设置了 ZK4001 井的喷汽试验。JICA 筹集的资材主要有用于配管的钢管、阀门、流量计、消音器等。喷汽试验设备的设计是从 2003 年秋季开始,2004 年 2 月到 3 月 JICA 中国事务所为购买资材进行了招标,2004 年 7 月份资材到达。2004 年 10 月完成了喷汽试验设备的安装工作,从 10 月起开始了 ZK4001 井的喷汽试验。

#### (ii) 喷汽试验设备

喷汽试验设备的概要如图 2-5-1 所示。

从井里喷出的两相流体用汽水分离器分为蒸汽和热水后,在各自的测量线上分别进行压力、温度、流量的测定。

在汽水分离器出口处设置了用水封住的热水箱。试验时,通过保持箱中水位在一定的范围来控制汽水分离器的水位,不至于上升太高时热水混到蒸汽一侧,同时还控制水位太低时也不至于使蒸汽混入到热水一侧。

钻井的井口压力和喷汽流量的调整是通过在井口实施 2 次开关。

测量线的压力和热水箱的水位是用流量计下方设置的调节阀来控制的。

图号	比例	图例	名称
⑤	1:1		疏水阀
⑥	1:1		疏水阀
⑦	1:1		疏水阀
⑧	1:1		疏水阀
⑨	1:1		疏水阀
⑩	1:1		疏水阀
⑪	1:1		疏水阀
⑫	1:1		疏水阀
⑬	1:1		疏水阀
⑭	1:1		疏水阀
⑮	1:1		疏水阀

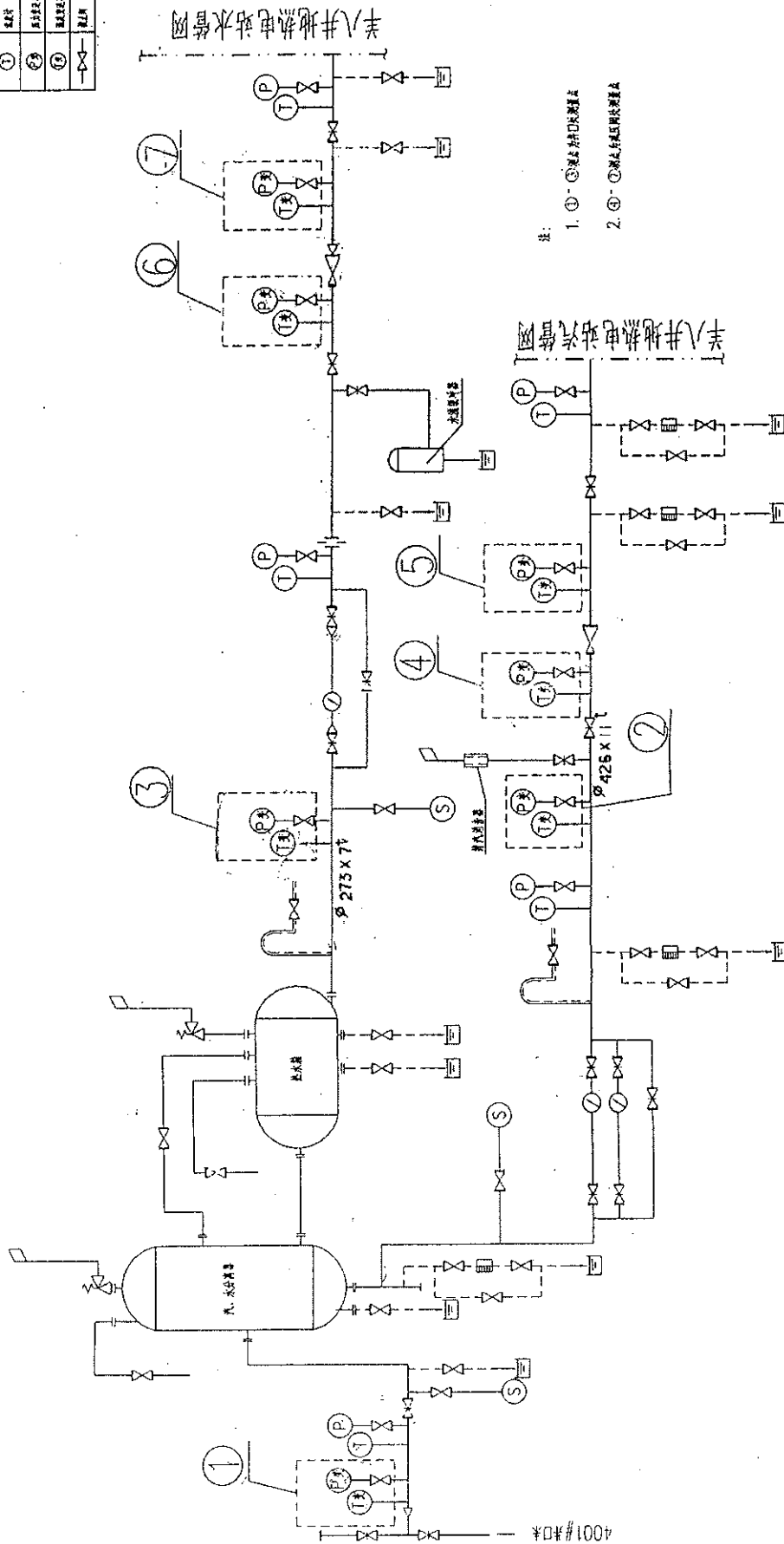


图 2-5-1 ZK4001 喷汽试验设备系统图

成都兴能电站控制技术有限公司		四川省成都市4001#井地热电站工程	
总工程师	王秉祥	设计	王秉祥
设计总工程师	王秉祥	设计	王秉祥
设计	王秉祥	设计	王秉祥
制图	王秉祥	设计	王秉祥
审核	王秉祥	设计	王秉祥
日期	2004.06.11	设计	王秉祥

为了把流量测定后的蒸汽、热水释放到大气中，测量设备的尾部设置了消音器及闪蒸槽。

本次喷汽试验使用的测量仪器型号如下表所示：

测量对象	测量仪器的型号	备注
压力	Burdon 管式压力计	现场指示计
温度	膨胀式温度计	现场指示计
流量	涡能式流量计	现场指示计（电池式）

另外，大气压力和气温使用水银柱式气压计和水银温度计测量的。

### (iii) 喷汽试验的方法

关于喷汽试验，实施了长期喷汽试验和特性试验。

长期喷汽试验是将井口 2 次阀门保持打开到一定程度，调查喷汽量的历时变化情况。通过此次试验，对长期使用的钻井的喷汽能力变化和地下热储层状态的变化进行了调查。

特性试验是使井口压力阶段性变化的同时，测量钻井的喷汽流量。与井口压力变化相对应的喷汽量变化趋势，反映了各个井的固有特性。这种关系被称为井的喷汽特性，用图表表示出来就是喷汽特性曲线。根据特性试验的结果及地下热储层蒸汽生产能力的信息，可获得发电时设定运转压力等所需的基本设计参数。也可以通过比较不同时刻的特性曲线来准确掌握井的喷汽能力历时变化情况。ZK4001 井特性试验结果中表示的流量是井口压力的换算值。

### (iv) 喷汽试验的结果

#### (1) 2004 年喷汽试验

ZK4001 的喷汽试验从 2004 年 10 月 21 日开始，到 2005 年 2 月 26 日结束。在 11 月 10 日以后，由于结垢附着导致减压伐堵塞并有岩屑（岩片、岩粉）从地下喷出而中断试验，之后又开始了试验而且继续了 3 个月。

喷汽试验从 2004 年 10 月 21 日开始顺利进行，但是由于在管道的减压阀的下部附着有结垢及从井内喷出岩屑，从 11 月 10 日开始中止大流量的排出，而改为从井口少量喷出。之后，除去设备内堆积的岩屑及结垢，虽然在 11 月 19 日再次开始喷汽试验，但又有大量岩屑喷出，因此在 11 月 20 日停止了喷汽。岩屑除去后，从 11 月 30 日开始少量喷出，12 月 10 日再次开始正式的喷汽试验。但是，依然有岩屑喷出，因此井内的喷汽情况在试验一开始就有一些异常。此外，根据喷汽试验，为了避免从 ZK4001 放出的蒸汽和热水影响环境，用发电厂的既设管道进行了合流处理。但是，由于 ZK4001 的压力和

喷汽量很大，在 ZK4001 的合流时，发生了其它低压生产井流体不能输送的问题。为此，ZK4001 井的喷汽量限定在即不影响发电厂正常运作，又在试验的测定范围之内。

喷汽试验期间，采集了从井内喷出的岩石碎片，并对其岩石来源和喷出原因进行了调查。此外取了 1 月 26 日喷出的蒸汽、热水的流体样，以便做地球化学分析。

喷汽试验的经过及测定结果见表 2-5-1~2 及图 2-5-2。特性试验结果见表 2-5-3 及图 2-5-3。

上述 2004 年度喷汽试验在内容还不充分的情况下就结束了。在同时实施的钻井特性试验（第 1 次特性试验）中，由于喷汽状态不稳定，致使试验结果的精度变得较低。

## （2）2005 年度喷汽试验

2005 年的长期喷汽试验，从 2005 年 7 月 12 日开始到 10 月 9 日结束，共进行了 90 天。

### 1) 试验对策

2005 年度的喷汽试验是在井口的分离器内装有捞取岩片的网，防止了岩片流向下部。在 JICA 调查喷汽试验之前，电力工业局单独于 5 月 25 日到 6 月 12 日进行了喷汽试验，这期间没有岩片喷出。在 JICA 的喷汽试验中，没有再发生岩片喷出的问题。

### 2) 长期喷汽试验

长期喷汽试验是将井口 2 次阀门保持打开到一定程度，调查喷汽的历时变化情况。试验结果详见表 2-5-4 和图 2-5-2。

长期喷汽试验结果的概要如下表所示。

项 目	单位	喷汽开始后的天数（月/日）				衰减率% （参考）
		8(7/19)	30(8/10)	60(9/9)	88(10/7)	
井口压力	MPa G	1.80	1.72	1.50	1.43	-20.6
流量测定压力	MPa G	0.52	0.52	0.64	0.64	
蒸汽流量	t/h	53.6	51.5	50.3	48.6	-9.3
热水流量	t/h	257.3	253.8	268.9	232.3	-9.7
总流量	t/h	310.9	305.3	319.2	280.9	-9.6

表 2-5-1 羊八井ZK4001喷汽试验历时变化表 (2004/10/21~2005/1/26)

\*压力、流量是11:00时的瞬时值(参考值)

月·日	4001井的状态		2相流压力 MPaG	蒸汽流量 t/h	热水流量 t/h	作 业	特 别 事 项
	喷汽中	停止中					
10月21日	○					闪蒸	
10月22日	○					试运作调整	
10月23日	○					"	
10月24日	○		1.034	48.2	283	喷汽试验	
10月25日	○		0.972	50.2	277	"	
10月26日	○		0.972	49.3	324	"	
10月27日	○		1.015	36.0	279	"	
10月28日	○		1.015	49.9	290	"	
10月29日	○		0.992	51.0	289	"	
10月30日	○		1.024	50.0	278	"	
10月31日	○		0.988	50.9	285	"	
11月1日	○		0.977	50.9	269	"	
11月2日	○		0.967	50.7	280	"	
11月3日	○		0.962	60.7	271	"	
11月4日	○		0.962	43.3	280	"	
11月5日	○		0.995	45.2	255	"	
11月6日	○		1.005	42.3	249	"	
11月7日	○		0.679	46.9	276	"	
11月8日	○		0.884	74.3	305	"	
11月9日	○		1.220			"	结垢。喷出岩屑
11月10日	○		1.203			"	
11月11日	△					" (从井口喷出)	
11月12日	△					"	
11月13日	△					"	
11月14日	△					"	
11月15日	△					"	
11月16日	△					"	
11月17日	△					"	
11月18日	△					"	
11月19日	○					喷汽试验	喷出岩屑
11月20日	○					"	"
11月21日		●				停止。检点设备、清理	
11月22日		●				"	
11月23日		●				"	
11月24日		●				"	
11月25日		●				"	
11月26日		●				"	
11月27日		●				"	
11月28日		●				"	
11月29日		●				"	
11月30日	△					喷汽试验(从井口喷出)	
12月1日	△					"	
12月2日	△					"	
12月3日	△					"	
12月4日	△					"	
12月5日	△					"	
12月6日	△					"	
12月7日	△					"	
12月8日	△					"	
12月9日	△					"	
12月10日	○		1.212	63.9	241	喷汽试验	
12月11日	○		1.325	50.1	250	"	
12月12日	○		1.650	49.3	246	特性试验(准备试验)	
12月13日	○		1.770	43.0	244	"	
12月14日	○		1.425	43.0		喷汽试验	
12月15日	○		1.372	48.2		"	
12月16日	○		1.360	45.5	278	"	
12月17日	△					"	
12月18日	△					" (从井口喷出)	
12月19日	△					"	
12月20日	△					"	
12月21日	△					"	
12月22日	△					"	
12月23日	△					"	
12月24日	△					"	
12月25日	△					"	
12月26日	△					"	
12月27日	△					"	
12月28日	△					"	
12月29日	△					"	
12月30日	△					"	
12月31日	△					"	
1月1日	△					"	
1月2日	△					"	
1月3日	△					"	

1月4日	△					"	
1月5日	△					"	
1月6日	△					"	
1月7日	△					"	
1月8日	△					"	
1月9日	△					"	
1月10日	△					"	
1月11日	△					"	
1月12日	△					"	
1月13日	△					"	
1月14日	△					"	
1月15日	△					"	
1月16日	△					"	
1月17日	△					"	
1月18日	△					"	
1月19日	△					"	
1月20日	△					"	
1月21日	△					"	
1月22日	△					"	
1月23日	△					"	
1月24日	△					"	
1月25日	△					"	
1月26日	○					" (取様)	

表 2-5-2 ZK4001 喷汽试验测定结果记录表

年月日	时 间	大气压 MPaA	2次阀打 开程度 %	井口压力 MPaG	蒸 汽		热 水		2相流体 焓 kJ/kg	备 注
					压 力 MPaG	温 度 ℃	质 量 流 量 t/h	压 力 MPaG		
04/10/21										
10/22										
10/23 10:00				1.224	0.882	176.1		0.922	175.8	
10/24 11:00				1.034	1.001	181.3	48.2	1.046	181.3	282.9
10/25 "				0.972	0.943	178.9	50.2	0.988	178.8	277.3
10/26 "			35	0.972	0.942	178.8	49.3	0.987	178.7	323.7
10/27 "			"	1.015	0.959	179.5		1.002	179.3	278.9
10/28 "			"	1.015	0.957	179.4	49.9	1.001	179.2	290.5
10/29 "			"	0.992	0.943	178.8	51.0	0.985	178.5	289.3
10/30 "			"	1.024	0.960	179.5	50.0	1.005	179.3	277.6
10/31 "			"	0.988	0.931	178.3	50.9	0.975	178.1	285.0
11/01 "			"	0.977	0.925	178.0	50.9	0.970	178.1	269.3
11/02 "			"	0.967	0.939	178.5	50.7	0.982	178.6	279.6
11/03 "			"	0.962	0.935	178.4	60.7	0.981	178.5	271.0
11/04 "			"	0.962	0.935	178.4	43.3	0.981	178.5	279.8
11/05 "			"	0.995	0.967	179.8	45.2	1.010	179.8	255.1
11/06 "			"	1.005	0.979	180.2	42.3	1.023	180.3	248.5
11/07 "			"	0.679	0.637	163.5	46.9	0.637	163.5	275.5
11/08 "			"	0.884	0.860	174.9		0.851	174.5	
11/09 "			"	1.220	1.189	189.4	74.3	1.238	184.5	204.6
11/10 "			"	1.203	1.174	187.8		1.223	187.8	
11/19										
11/20										
12/10 16:00			20	1.212	1.004	181.1	63.9	1.004	181.7	240.9
12/11 11:00		0.0625	"	1.325	1.106	185.3	50.1	1.147	186.7	249.7
12/12 15:15		0.0599	35	1.560	1.150		49.7	1.300		244.0
12/13 15:30		0.0597	"	1.530	1.110		45.0	1.210		265.0
12/14 12:00		"	15	1.425	1.162	187.1	43.0	1.154	187.0	
12/15 12:00		0.0597	20	1.372	1.150	186.7	48.2	1.142	186.6	
12/16 "		0.0596	"	1.360	1.109	185.2	45.5	1.109	185.2	277.8
05/01/26 12:30		0.0588	10	2.260	0.410		16.4	0.510		224.0
										240.4
										779
										参考值



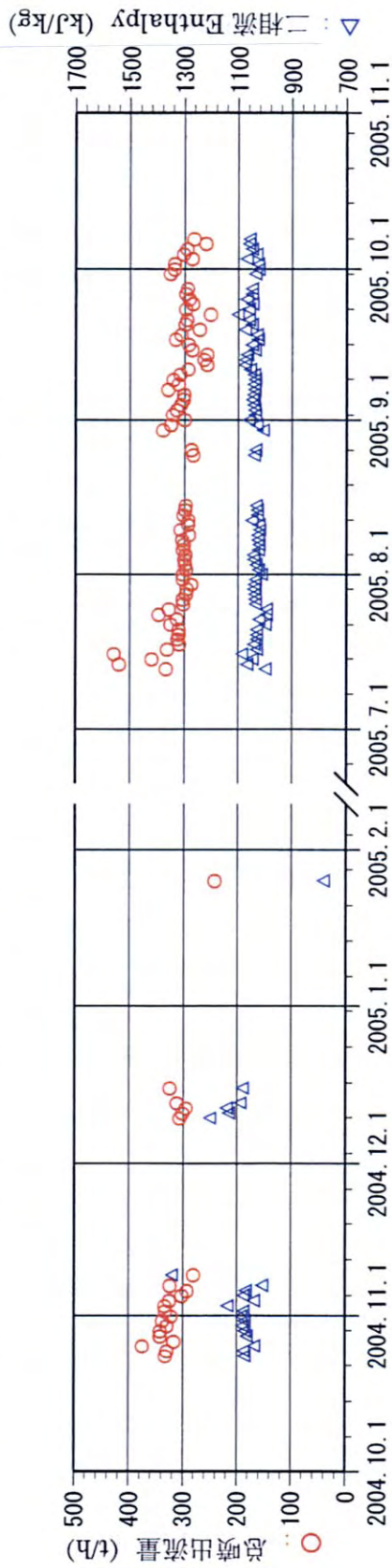
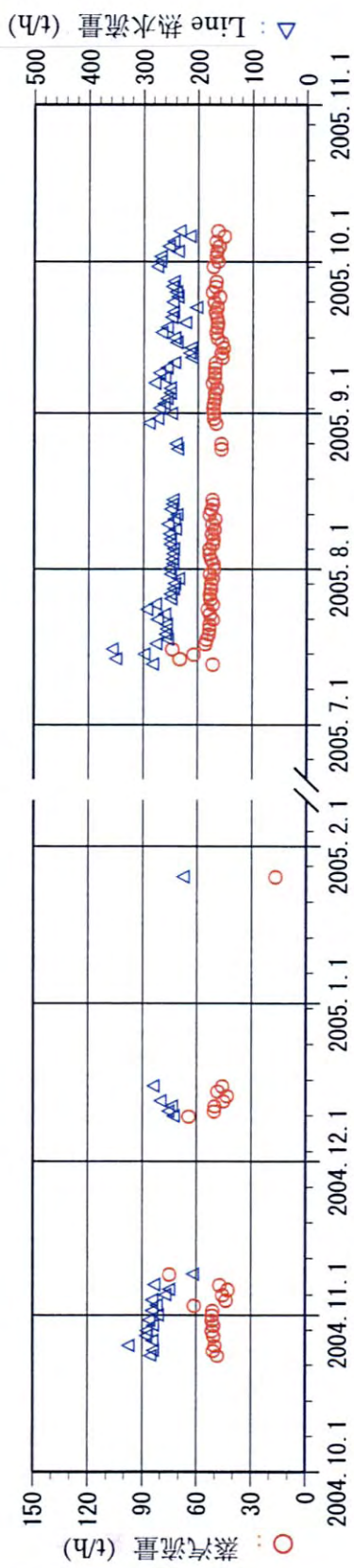
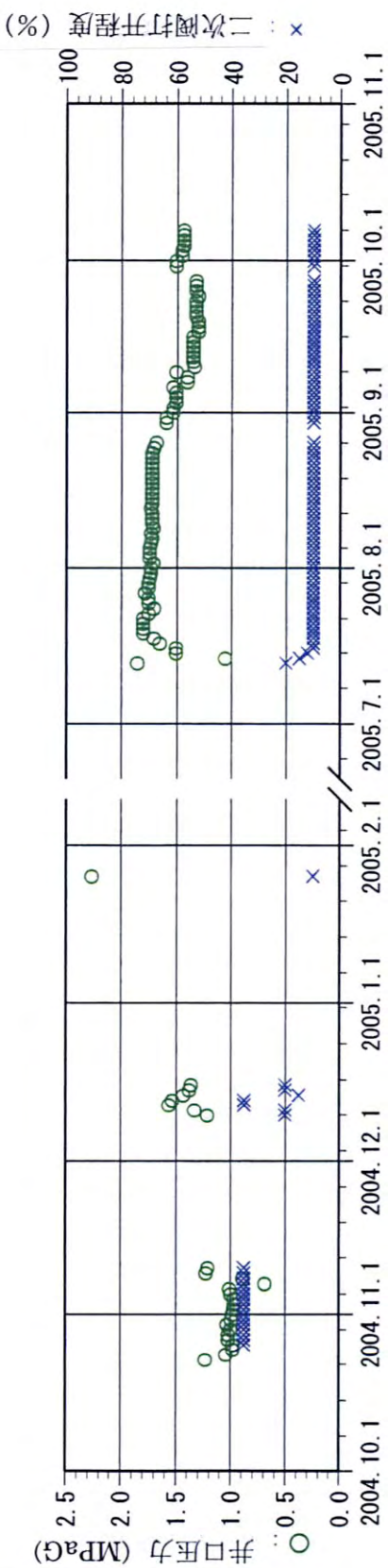


图 2-5-2 ZK4001 喷汽试验历时变化图 (1)

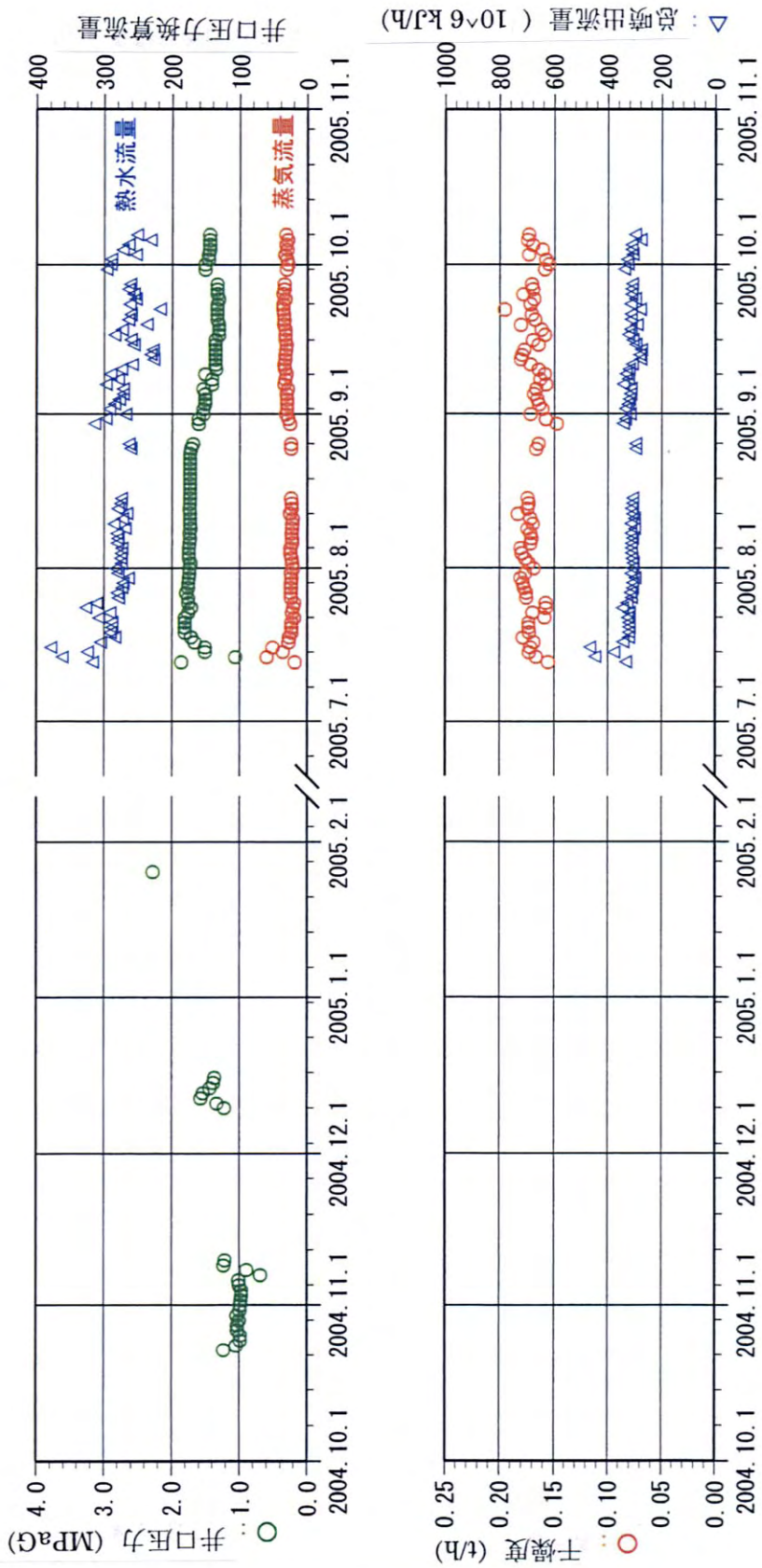


图 2—5—2 ZK4001 喷汽试验历时变化图 (2)

表 2-5-3 ZK4001 第 1 回特性试验结果表 (2004/12/13测定)

No	时间	气象条件			流量测定结果						井口压力换算结果(等焓一换算)				备注 (井口2次阀 打开程度) %				
		天气	大气压 MPaA	气温 °C	蒸汽		热		水		二相流体 比焓*6 kJ/k g	井口压力(MPaG)	井口压力(温度) °C	质量流体					
					压力 MPaG	(温度) °C	质量流体*3 t/h	压力 MPaG	(温度) °C	质量流体*3 t/h				总流量*4 t/h		干湿度*5	蒸汽流量 t/h	热水流量 t/h	干湿度
1	11:30	晴	0.0601	8.1	1.18	(189)	42.7	1.32	(194)	244	287	0.149	1105	1.77	(208)	32.4	255	0.113	15
2	13:38	晴	0.0600	7.1	1.10	(186)	46.5	1.20	(190)	305	352	0.132	1055	1.56	(202)	35.2	317	0.100	25
3	15:15	晴	0.0599	10.3	1.12	(187)	45.4	1.21	(191)	289	334	0.136	1068	1.54	(201)	36.0	298	0.108	35
4	17:00	晴	0.0598	8.5	1.14	(188)	45.9	1.25	(192)	225	271	0.169	1135	1.58	(203)	37.9	233	0.140	25

(注释)

- \*1: 压力标准饱和温度(参考值)
- \*2: 依据蒸汽表(日本机会学会-1999)
- \*3: 根据涡流量计的实测流量(体积流量)换算
- \*4: 蒸汽流量+热液流量
- \*5: 蒸汽流量/总流量
- \*6: (蒸发潜热×干湿度)+热水焓

井口压力(MPaG)	蒸汽流量 (t/h)	热水流量 (t/h)	总流量 (t/h)
1.77	32.4	255	287
1.56	35.2	317	352
1.54	36.0	298	334
1.58	37.9	233	271

(蒸汽及热水流量为井口压力换算值)

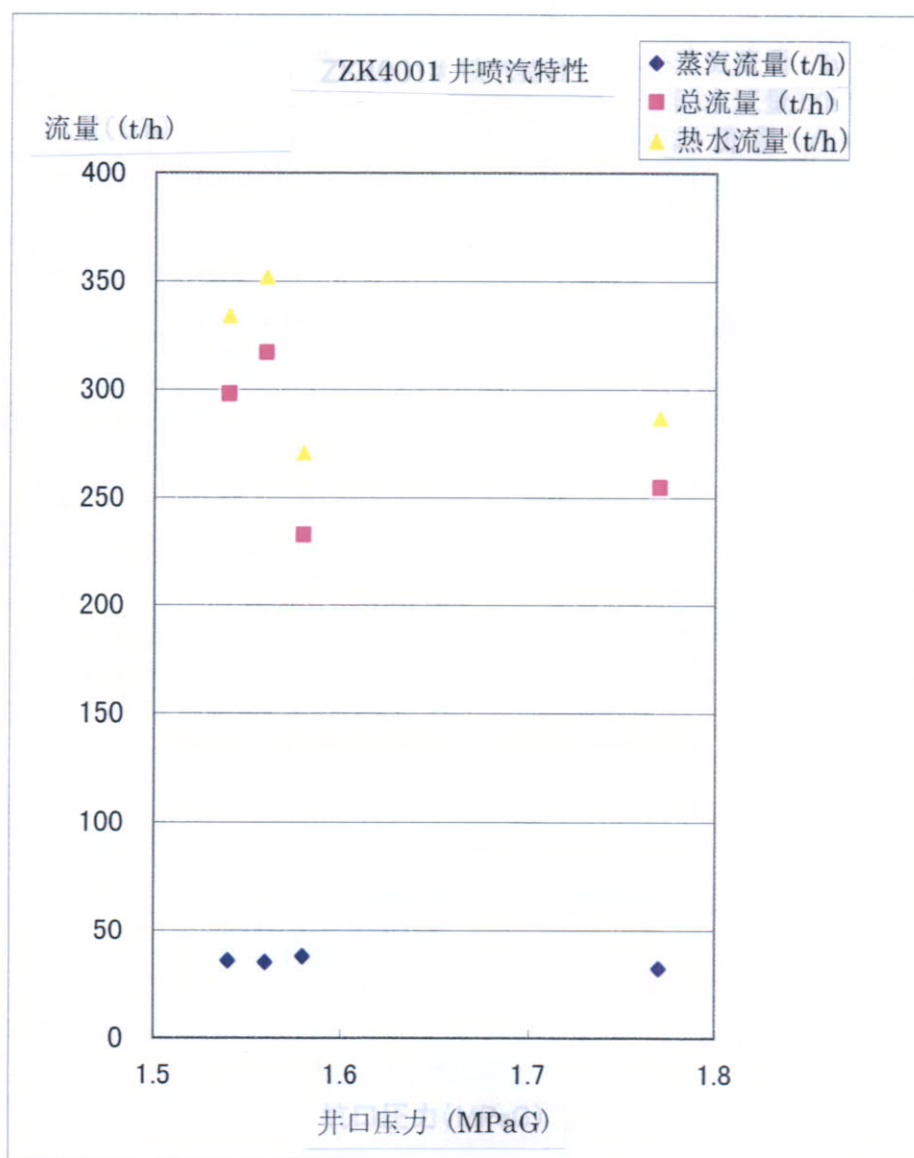


图 2-5-3 ZZK4001 井喷汽特性图 (2004.12.13 第 1 次测定)

表 2-5-4 ZK4001 长期喷汽试验记录表

No.	年月日 (2005年)	2次阀打 开程度 %		井口压力 二相压力 P0			蒸汽管道			热水管道			干湿度 总喷出量			两相流焓焓			喷出热量		井口压力换算		Memo.
		PS MPaG	TS °C	GS t/h	PW MPaG	TW °C	GW t/h	x	G t/h	IS+W kcal/kg	H 10 <sup>6</sup> kcal/h	GSO t/h	CSO t/h	蒸汽流量	热水流量								
1	7月12日																						
2	7月13日	1.85	5.61	51.3	0.55	5.61	0.55	331.7	994.8	237.6	280.4	0.155	331.7	994.8	237.6	330	78.8	17.1	315				
3	7月14日	1.5	7.5	68.5	0.74	7.5	0.74	418.3	1061.8	253.6	348.8	0.166	418.3	1061.8	253.6	444.1	106.1	58.5	360				
4	7月15日	1.5	6.02	61.7	0.6	6.12	0.6	358.2	1042.9	249.1	296.5	0.172	358.2	1042.9	249.1	373.6	89.2	35.1	323				
5	7月16日	1.5	7.65	73.4	0.8	8.16	0.8	428	1081.9	258.4	354.6	0.171	428	1081.9	258.4	463.1	110.6	50.5	377				
6	7月17日	1.65	5.61	55.4	0.57	5.61	0.57	329.9	1027	245.3	274.5	0.168	329.9	1027	245.3	338.8	80.9	26.5	303				
7	7月18日	1.7	5.3	54.6	0.53	5.4	0.53	307.6	1037.5	247.8	253	0.172	307.6	1037.5	247.8	319.1	76.2	25.5	282				
8	7月19日	1.8	5.3	53.6	0.53	5.4	0.53	310.9	1027	245.3	257.3	0.172	310.9	1027	245.3	319.3	76.3	22.2	289				
9	7月20日	1.8	5.3	53.2	0.53	5.4	0.53	308.3	1027	245.3	255.1	0.173	308.3	1027	245.3	316.7	75.6	22	286				
10	7月21日	1.8	5.3	52.2	0.53	5.4	0.53	308.3	1027	245.3	255.1	0.173	308.3	1027	245.3	316.7	75.6	22	286				
11	7月22日	1.8	5.2	51.2	0.52	5.3	0.52	323.6	994.8	237.6	272.4	0.158	323.6	994.8	237.6	321.9	76.9	17.6	306				
12	7月23日	1.75	5.3	52.8	0.52	5.3	0.52	311.7	1018.2	243.2	258.9	0.169	311.7	1018.2	243.2	317.4	75.8	21.7	290				
13	7月24日	1.7	5.3	54.2	0.52	5.3	0.52	345.3	989.8	236.4	291.1	0.157	345.3	989.8	236.4	341.8	81.6	20	325				
14	7月25日	1.75	5.1	51.2	0.52	5.3	0.52	326.7	991.4	236.8	275.5	0.157	326.7	991.4	236.8	323.9	77.4	18.2	309				
15	7月26日	1.75	5.3	52.4	0.52	5.3	0.52	299.6	1030	246	247.2	0.175	299.6	1030	246	308.6	73.7	22.7	277				
16	7月27日	1.78	5.3	52.8	0.53	5.4	0.53	301.3	1032.9	246.7	248.5	0.175	301.3	1032.9	246.7	311.2	74.3	22.8	279				
17	7月28日	1.75	5.3	52.1	0.52	5.3	0.52	294.7	1033.7	246.9	242.6	0.177	294.7	1033.7	246.9	304.6	72.8	22.9	272				
18	7月29日	1.75	5.3	52.3	0.52	5.3	0.52	293.2	1037.1	247.7	240.9	0.178	293.2	1037.1	247.7	304.1	72.6	23.3	270				
19	7月30日	1.74	5.2	51.3	0.5	5.1	0.5	285.1	1035.4	247.3	233.8	0.18	285.1	1035.4	247.3	295.2	70.5	22.6	263				
20	7月31日	1.73	5.3	52.9	0.52	5.3	0.52	301.4	1031.2	246.3	248.5	0.176	301.4	1031.2	246.3	310.8	74.2	23.4	278				
21	8月1日	1.73	5.1	50.5	0.5	5.1	0.5	301.4	1009.4	241.1	250.9	0.168	301.4	1009.4	241.1	304.3	72.7	20	281				
22	8月2日	1.71	5.1	50.9	0.5	5.1	0.5	295	1019.9	243.6	244.1	0.173	295	1019.9	243.6	300.9	71.9	21.5	273				
23	8月3日	1.74	5.3	52.2	0.52	5.3	0.52	296.6	1029.5	245.9	244.4	0.176	296.6	1029.5	245.9	305.3	72.9	22.6	274				
24	8月4日	1.74	5.3	53.1	0.52	5.3	0.52	297.3	1037.5	247.8	244.2	0.179	297.3	1037.5	247.8	308.4	73.7	23.9	273				
25	8月5日	1.74	5.2	53.1	0.52	5.3	0.52	300.6	1020.7	243.8	242.7	0.18	300.6	1020.7	243.8	306.9	73.3	21.7	279				
26	8月6日	1.73	5.2	51.3	0.52	5.3	0.52	293.3	1017.8	243.1	249.3	0.171	293.3	1017.8	243.1	304.6	72.8	21.3	278				
27	8月7日	1.72	5.2	51	0.51	5.2	0.51	302.4	1022.4	244.2	248.3	0.171	302.4	1022.4	244.2	309.2	73.9	22.1	280				
28	8月8日	1.73	5.2	51.8	0.52	5.3	0.52	289.7	1022.8	244.3	250.6	0.171	289.7	1022.8	244.3	296.3	70.8	21.6	268				
29	8月9日	1.71	5.2	50.4	0.5	5.1	0.5	305.3	1017.4	243	239.3	0.174	305.3	1017.4	243	310.5	74.2	21.6	284				
30	8月10日	1.72	5.3	51.5	0.52	5.3	0.52	291.3	1017.4	243	253.8	0.169	291.3	1017.4	243	296.4	70.8	20.7	271				
31	8月11日	1.72	5.1	49.9	0.5	5.1	0.5	289.9	1046.3	249.9	241.4	0.171	289.9	1046.3	249.9	303.3	72.5	25	265				
32	8月12日	1.72	5.3	53	0.52	5.3	0.52	300.4	1025.4	244.9	236.2	0.183	300.4	1025.4	244.9	308	73.6	22.4	278				
33	8月13日	1.73	5.4	52.2	0.52	5.3	0.52	296.5	1024.9	244.8	248.2	0.174	296.5	1024.9	244.8	303.9	72.6	22.3	274				
34	8月14日	1.72	5.3	51.2	0.52	5.3	0.52	295.6	1028.3	245.6	245.3	0.173	295.6	1028.3	245.6	304	72.6	22.7	273			热水流量测定值异常	
35	8月15日	1.72	5.3	51.5	0.52	5.3	0.52				244.1	0.174											
36	8月16日	1.72	6.32	47.1	0.62	6.32	0.62																
37	8月17日	1.72	6.32	45.4	0.62	6.32	0.62																
38	8月18日	1.72	6.32	47.4	0.62	6.32	0.62																
39	8月19日	1.72	6.32	43.8	0.62	6.32	0.62																
40	8月20日	1.72	6.32	47.3	0.62	6.32	0.62																
41	8月21日	1.72	6.32	46.9	0.62	6.32	0.62																
42	8月22日	1.72	6.32	48.4	0.62	6.32	0.62																
43	8月23日	1.72	6.32	45.7	0.62	6.32	0.62																
44	8月24日	1.72	6.32	47.2	0.62	6.32	0.62																
45	8月25日	1.7	6.32	46.8	0.63	6.42	0.63	282	1036.7	247.6	235.2	0.166	282	1036.7	247.6	292.3	69.8	23.2	259				



两相流焓 (Enthalpy)	kJ/kg	1027	1017	1034	1053	+2.5
【井口压力换算】						
蒸汽流量	t/h	22.2	21.6	29.8	30.5	+37.4
热水流量	t/h	289.0	284.0	289.0	250.0	-13.5

- ① 井口压力和蒸汽、热水流量的测量值随着时间的推移有降低的趋势，但没有明显减小。
- ② 井口压力在从试验开始到结束期间，观察到有 0.3~0.4MPa 左右的减小。
- ③ 蒸汽、热水和总流量在试验期间均发生了 9~10%左右的减小。但考虑到在试验后半期，又受到测定压力增加的影响，实际降低率应比表中列出的值小。
- ④ 两相流焓 (Enthalpy) 随着时间的推移有上升的趋势。
- ⑤ 用井口压力换算的蒸汽流量却与测定的流量值相反，显示出增加趋势。这可能是由于井口压力降低和焓上升所导致的。

## 2) 特性试验

对于 2005 年喷汽试验时的特性试验，在喷汽试验开始、中间和结束阶段共进行了 3 次试验（即第 2~第 4 次特性试验）。详细的试验结果见表 2-5-5 和图 2-5-3，图 2-5-4~2-5-7。2005 年 3 个阶段的特性试验结果比较如下：

	开始：7 月 13 日~15 日（第 2 次特性试验）	中间：8 月 26 日~27 日（第 3 次特性试验）	结束：10 月 8 日~9 日（第 4 次特性试验）
测点数目	5	3	5
综合喷汽特性	随者井口压力变化，流量和热量发生增减，得到了平滑的特性曲线。	由于喷汽的稳定状态不好，特别是热水流量的稳定性较差，数据较分散。	热水量和开始时的值相比较低，但蒸汽量和热水量没有明显的变化。
热水流量	在井口压力 1.1MPaG 附近，获得了估计是流量峰值的流量特性。	流量比开始时趋向于减少。测量值的分散性很大。	流量比开始时趋于减少。在井口压力 1.5MPaG 附近，显示了流量峰值的流量特性。





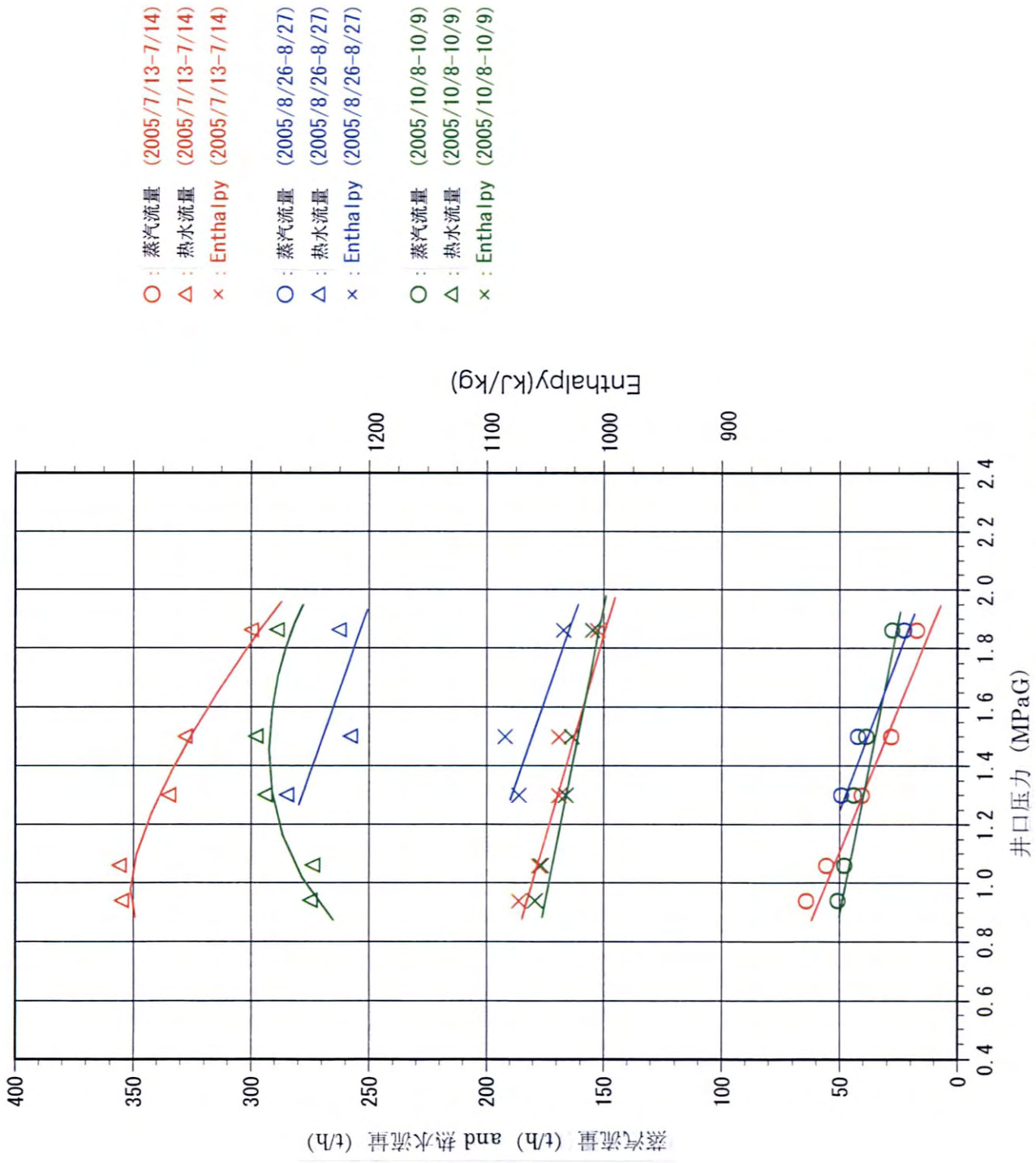


图 2-5-4 ZK4001 流量特性

井口压力(MPaG)	蒸汽流量 (t/h)	热水流量 (t/h)	总流量 (t/h)
1.86	17.4	300	317
1.50	28.1	328	370
1.30	40.6	335	376
1.06	55.6	350	412
0.94	64.1	355	419

(蒸汽及热水流量为井口压力换算值)

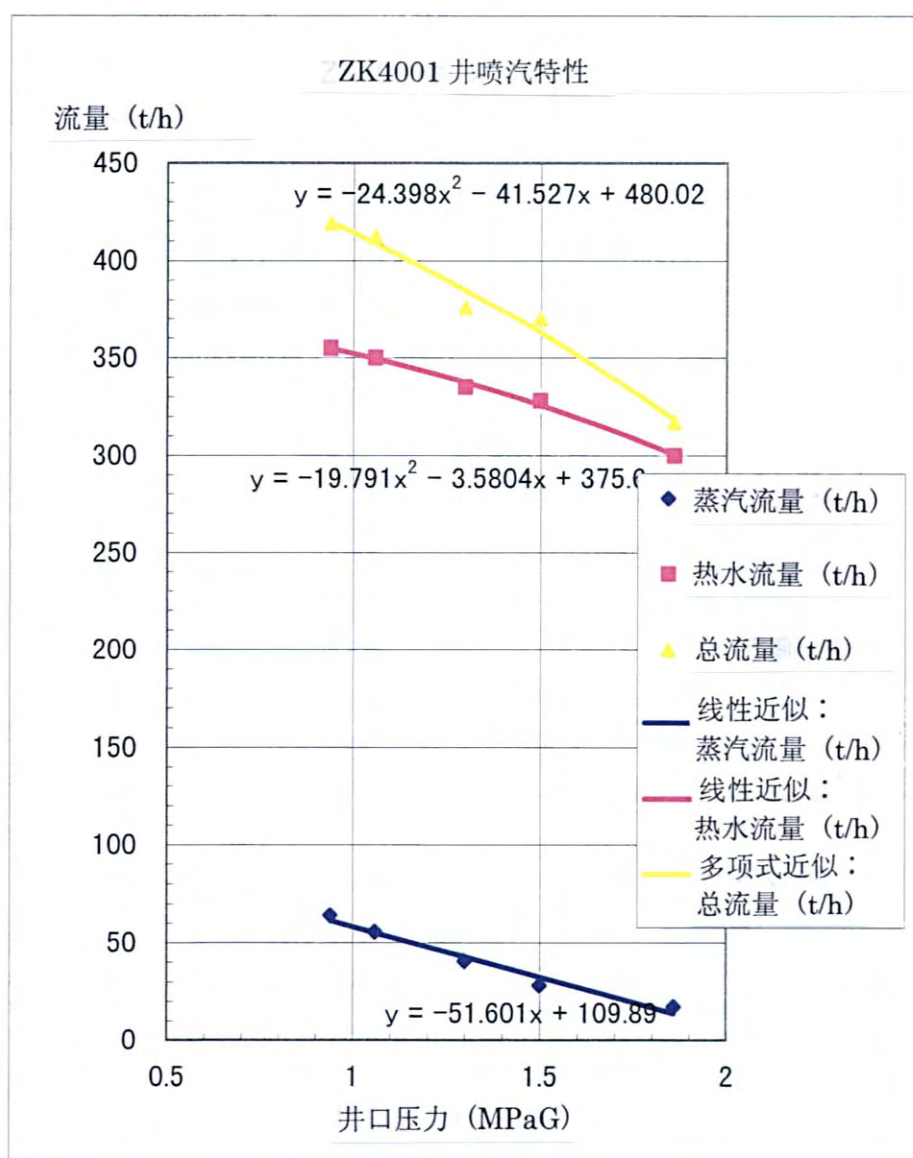


图 2-5-5 ZK4001 喷汽特性图 (2005. 7. 13~15 第 2 次测定)

井口压力(MPaG)	蒸汽流量 (t/h)	热水流量 (t/h)	总流量 (t/h)
1.7	22.6	263	286
1.17	42.3	258	300
1.00	49.4	285	334

(蒸汽及热水流量为井口压力换算值)

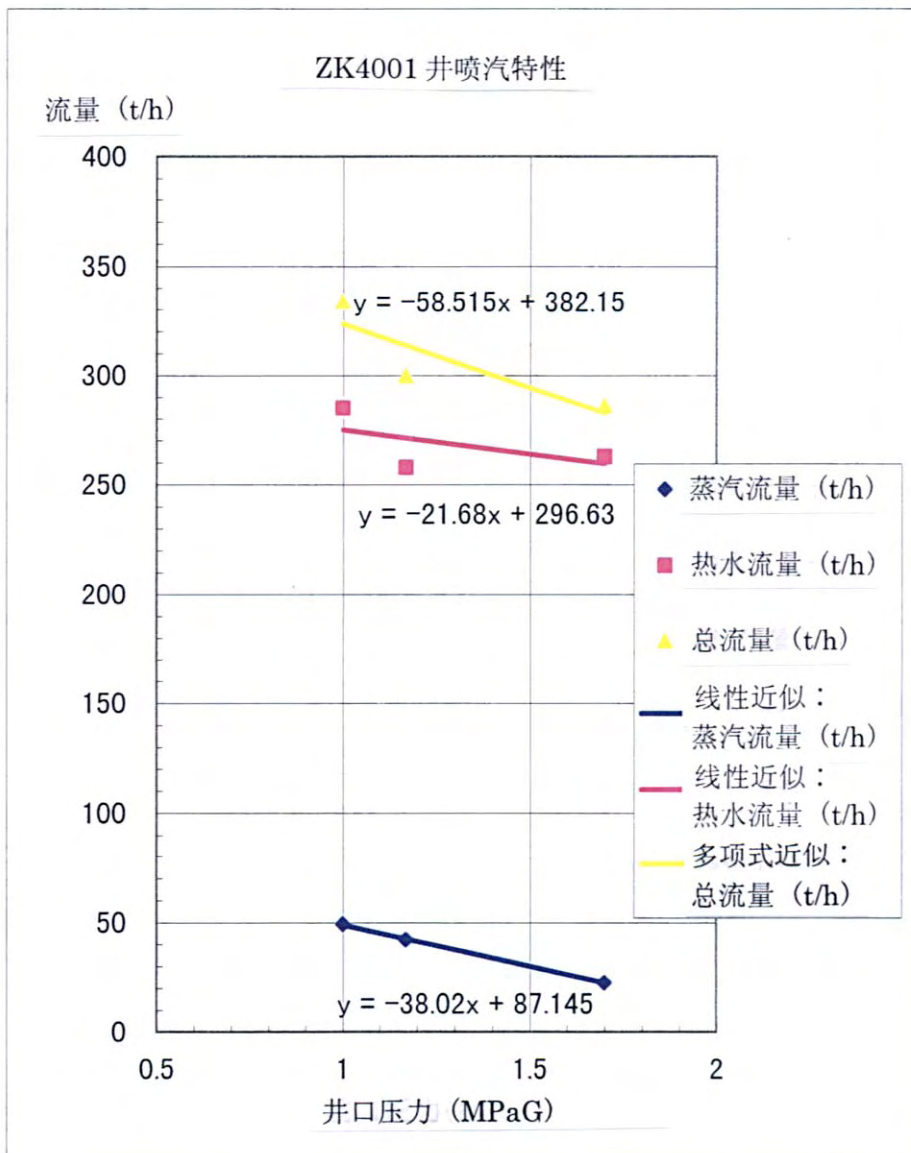


图 2-5-6 ZK4001 喷汽特性图 (2005. 8. 26~27 第 3 次测定)

井口压力(MPaG)	蒸汽流量 (t/h)	热水流量 (t/h)	总流量 (t/h)
1.40	27.8	289	317
1.15	38.7	298	337
0.98	44.1	294	338
0.89	48.1	274	322
0.84	50.9	275	326

(蒸汽及热水流量为井口压力换算值)

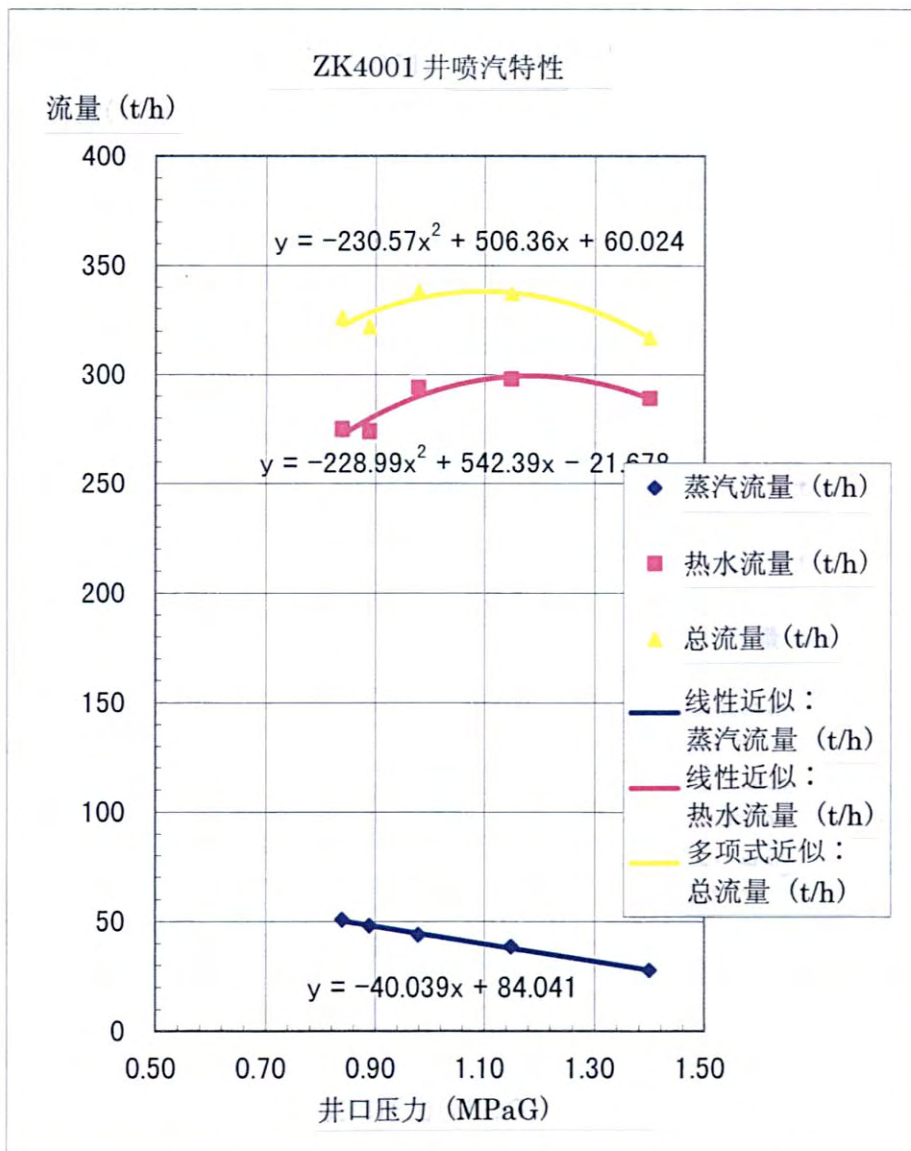


图 2-5-7 ZK4001 喷汽特性图 (2005. 10. 8~9 第 4 次测定)

蒸汽流量	流量的增减和井口压力之间呈现几乎直线的关系。	比开始时显示有一定的增加趋势。	和开始时的流量特性相比，低压部分的流量趋向减少，高压部分的流量趋向增加。
热量（焓）	随着井口压力的降低呈上升趋势。	呈现高于开始时的值。	和开始值几乎相同。

根据上述结果，长期喷汽试验的前后，热水流量的减少比较明显，但蒸汽流量和两相流热量却没有太大的变化（减少）。

#### （v）喷汽试验的化学结果

与 ZK4001 井的长期喷汽试验同时进行了地热流体化学调查，其结果在 2.6.2 地球化学追踪调查中有记述。

#### （vi）喷出物试样的调查

使用喷汽试验时喷出的岩石试样，进行了岩石薄片显微镜观察、X 射线衍射分析和流体包裹体测定。

##### （1）喷出岩的肉眼观察和岩石薄片显微镜观察

喷出岩的肉眼观察和岩石薄片显微镜观察是为了查明岩石名称和蚀变状况。

喷出试样的照片见图 2-5-8，显微镜观察结果见表 2-5-6。

喷出试样全部来自固结了的断层碎裂岩。喷出试样的大小在 10cm 到 1mm 以下。断层碎裂岩是由白色、淡绿色的花岗岩质糜棱岩断层角砾岩，黑~灰色固结了的断层泥组成。在断层角砾岩、断层泥中发育有形状不规则的石英脉。部分石英脉形成了晶洞，而且晶洞中伴生有水晶和板状方解石。直径 5mm 以下的细粒物质主要是原岩为花岗岩的石英斑晶，并观察到有少量的板状方解石及微量水晶。

喷出试样虽然全部来自断层碎裂岩，但仍然是糜棱岩和碎裂岩受到破碎而生成的。这表明以上现象是由于断层运动（延性变形~脆性破坏）在同一地点重复发生而引起的。

##### （2）X 射线分析

X 射线分析是为了明确本地区受热液影响的蚀变状况。

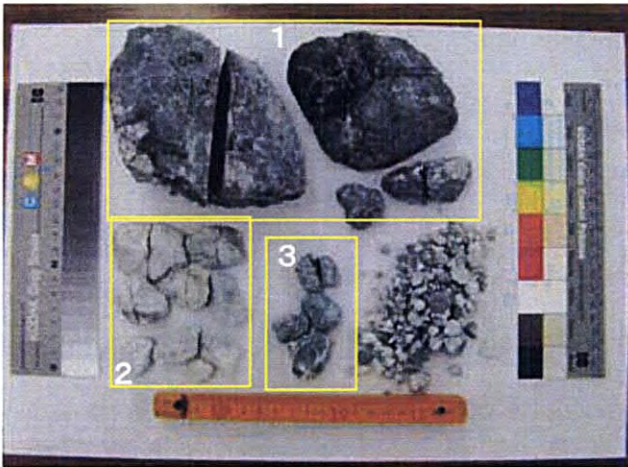
X 射线分析结果一览表见表 2-5-7。通过 X 射线分析，鉴定出了绿泥石、绢云母、石英、方解石、黄铁矿。

##### （3）流体包裹体的测定



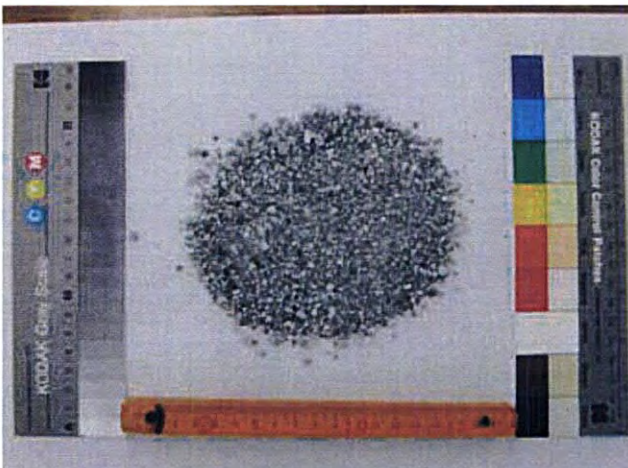
ZK4001喷出试样

ZK4001分离器旁堆积的喷出试样



ZK4001喷出试样 ( $\phi 5 \text{ mm} \leq$ )

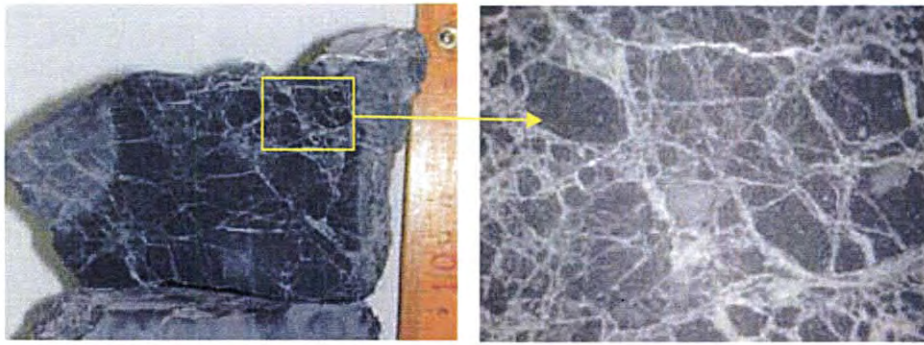
固结了的断层碎屑岩。  
 1. 照片上部为黑色的碎裂岩，是固结了的断层泥。  
 2. 照片左下方为白色的花岗岩质岩石，是固结了的断层角砾岩（一部分伴生有断层泥）。  
 3. 照片下部中央为绿色的花岗岩质岩石，是固结了的断层角砾岩。



ZK4001喷出试样 ( $< \phi 5 \text{ mm}$ )

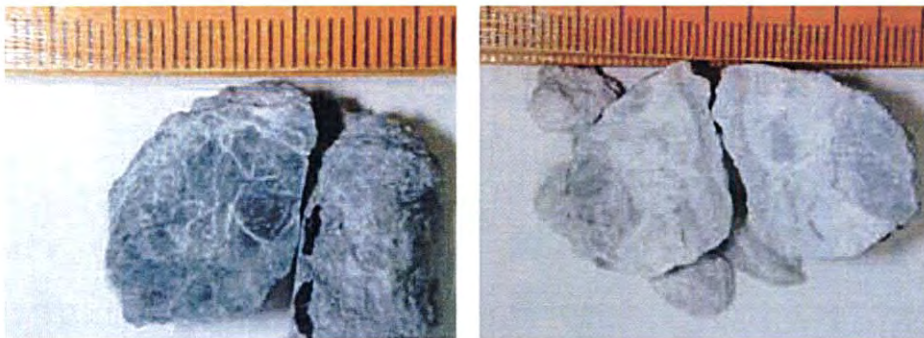
全部为断层碎裂岩，含有大量从碎裂岩中分离出的石英斑晶，伴生有少量的矿物脉（方解石>>水晶）。

图 2-5-8 ZK4001 喷出试样照片 (1)



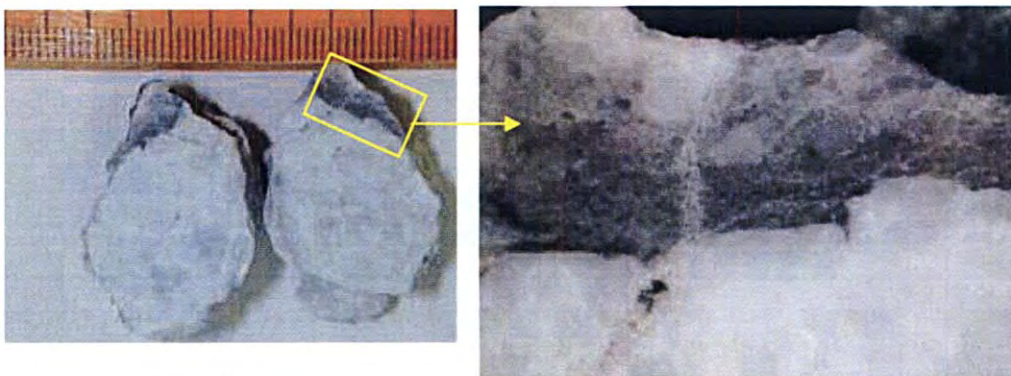
固结了的断层泥切面（右侧为放大照片）

岩石薄片显微镜观察，进行了X射线分析的试样（试样A）  
 全体发育有不规则的矿物脉。矿物脉以石英为主，一部分有开口，形成晶洞。



固结了的断层角砾岩的切面(左：绿色，右：白色)

岩石薄片显微镜观察，进行了X射线分析的试样（左：试样B，右：试样C）  
 全体发育有不规则的矿物脉。矿物脉以石英，方解石，绢云母为主。矿物脉一部分有开口，形成水晶和方解石晶洞。试样C伴生有灰色的断层泥。



固结了的断层角砾岩、断层泥的切面(右侧为放大照片)

岩石薄片显微镜观察，进行了X射线分析的试样（试样D）  
 全体可见不规则的矿物脉，伴生有灰色的断层泥。矿物脉以石英为主，一部分有开口，形成晶洞。

图 2 - 5 - 8 ZK4001 喷出试样照片（2）

表 2-5-6 ZK4001 喷出岩的岩石薄片显微镜观察结果

No.	Rock name	Sedimentary rock & Accidental fragment				Igneous & Metamorphic rock						Alteration degree	Remarks													
		Crystal	Lithic		Texture	Phenocryst/ Main component/ Porphyroclast		Groundmass/ Accessory mineral																		
			Volume	Shape		Size (mm)	Rock type	Qtz	Qtz	Pl	Ms			Ch	Src	Zrn										
								Qtz		RC	Stc			Chl	Cal	Ap	Fl	Brk	Ant	Lx	Opq					
1	A : fault breccia (fault rock)		●	subangular- rounded	1-2.5	granitic rock siliceous rock	cataclastic																		2	Many druses are observed.
2	B : fault breccia (ultramylonite)						cataclastic	○																	4	Many druses are observed.
3	C : fault breccia (granitic rock)						cataclastic	⊙																	4	Many druses are observed.
4	D : fault breccia (granitic rock)						cataclastic	⊙																	4	Many druses are observed.

[Abbreviations]	[Volume]	[Alteration degree]
Qtz: Quartz, RC: Rock crystal, Pl: Plagioclase, Ms: Muscovite, Ap: Apatite, Fl: Fluorite, Zrn: Zircon, Opq: opaque minerals, Src: Sericite (illite), Chl: Chlorite, Cal: Calcite, Brk: Brookite, Ant: Anatase, Lx: Leucoxene	30% < 10-30% 3-10% < 3%	1: unaltered - very weak 2: weak 3: intermediate 4: strong 5: very strong



表 2 - 5 - 7 ZK4001喷出岩的X射线分析结果

Minerals		Clay minerals						Silica minerals		Silicates		Carbonates		Sulfides		Remarks
		Smectite	C/S*	Chlorite	S/S*	Sericite (Muscovite)	Kaolinite	Quartz	Plagioclase	K-feldspar	Calcite	Pyrite				
No	Rock name	5.2	6.5 or 12.5	12.4 12.5	7.2 8.8	8.8 8.9	12.3 12.4	26.6	27.8 28.0	26.8 27.6	29.4 29.6	33.0				
A	fault breccia (solidified gouge)			1.7		0.8		65.4				0.3			Many quartz veinlets are observed in random orientation.	
B	fault breccia (ultramylonite)			3.4		1.7		42.9			0.8				Some quartz and calcite veinlets are observed in random orientation.	
C	fault breccia (granitic rock)					2.8		50.1							Some quartz veinlets are observed in random orientation. This rock fragment has thin greyish fault gouge.	
D	fault breccia (granitic rock)					0.9		68.0							Some quartz veinlets are observed in random orientation. This rock fragment has thin greyish fault gouge.	

\* C/S : Interstratified Chlorite and Smectite, S/S : Interstratified Sericite and Smectite.

The values in this table show Quartz Index (QI).

QI =  $I_m / I_q \times 100$

$I_m$  : The strongest X-ray intensity of a mineral in the examined sample,  $I_q$  : The strongest X-ray intensity of pure Quartz.

流体包裹体的测定是为了查明热储层的流体温度和盐浓度。

流体包裹体测定结果一览表见表 2-5-8, 均一化温度分布图表示在图 2-5-9 中, 均一化温度和盐浓度的关系图表示在图 2-5-10 中。所测定试样是方解石·石英(水晶和斑晶), 这些矿物只形成了液相包裹体。方解石的初生包裹体的均一化温度是 203~261℃, 石英斑晶的次生包裹体的均一化温度是 241~282℃, 水晶的次生包裹体的均一化温度是 219~238℃。比起石英斑晶, 方解石和水晶等脉状矿物的流体包裹体的均一化温度较低。从均一化温度和盐浓度的关系来看, 两者大体上呈较弱的正相关性。

#### (4) 喷出试样的预计分布深度

从喷出试样的存在形式来看, ZK4001 深部热储层沿断层发育, 此断层从糜棱岩形成时期(约 8Ma)到现在一直持续活动着

由于西藏地矿厅地热地质大队(1996)在对 ZK4001 井钻探时, 在 971 m 深处停水, 而且此次喷出的试样中没有混入套管碎片, 推测喷出试样来源于深度 971 m 以下的裸井段。据西藏地矿厅地热地质大队(1996)调查, ZK4001 井的深部热储层在深度 950~1,336 m 之间, 此段分布着原岩为花岗岩的糜棱岩~碎裂岩。由此可以说明, 此次试样是从深度 950~1,336 m 的热储层中喷出来的。

另外, 据西藏地矿厅地热地质大队(1996)的调查, 热储层温度大约为 250℃, 与此次喷出试验中喷出流体的硅岩温度 256~262℃几乎相同, 但喷出试样在流体包裹体试验中呈现了较低的均一化温度(方解石 203~261℃; 水晶 219~238℃)。这也许反映了在开口裂隙处流体性状(温度)发生了变化。

### 2-5-2 结垢试验

ZK4001 井在 2004 年 10 月 21 日开始了喷汽试验, 但是在管线的减压阀下部发现有结垢。因为结垢对地热发电运行有很大的影响, 所以在 2005 年度 ZK4001 井喷汽试验时, 进行了结垢试验。并且由于 ZK4001 井长期喷汽, 对结垢生成的防止也进行了讨论。

#### (i) 结垢试验的设备及方法

ZK4001 井的结垢试验与长期喷汽试验同时进行。

结垢试验利用喷汽试验设备, 在两相流体的管道上装 1 个试验片(短管), 在热水管道上装 2 个试验片, 在长期试验的中间和结束阶段进行了两次内部检测, 调查结垢情况。试验同时对付着在试验片上的垢和从试验片部位采取的热热水进行了化学成分分析。

表 2—5—8 ZK4001 喷出岩的流体包裹体试验结果一览

mineral	occurrence	Th(L-V) (°C)			Tm(ice) (°C)			Salinity (wt% NaCl)			remarks			
		N	Min	Max	Av	N	Min	Max	Av	N		Min	Max	Av
Calcite	vein	21	203	261	232	21	-1.2	-0.3	-0.7	21	0.5	2.1	1.2	
Quartz	phenocryst	20	241	282	264	18	-1.2	-0.3	-0.8	18	0.5	2.1	1.3	Each quartz phenocryst has many inclusions by faulting.
Rock crystal	vein	20	219	238	232	20	-0.6	-0.1	-0.3	20	0.2	1.1	0.5	

N: number, Min: minimum, Max: maximum, Av: average

Th(L-V): disappearance temperature of bubble in liquid-rich inclusion

Tm(ice): final melting temperature of ice

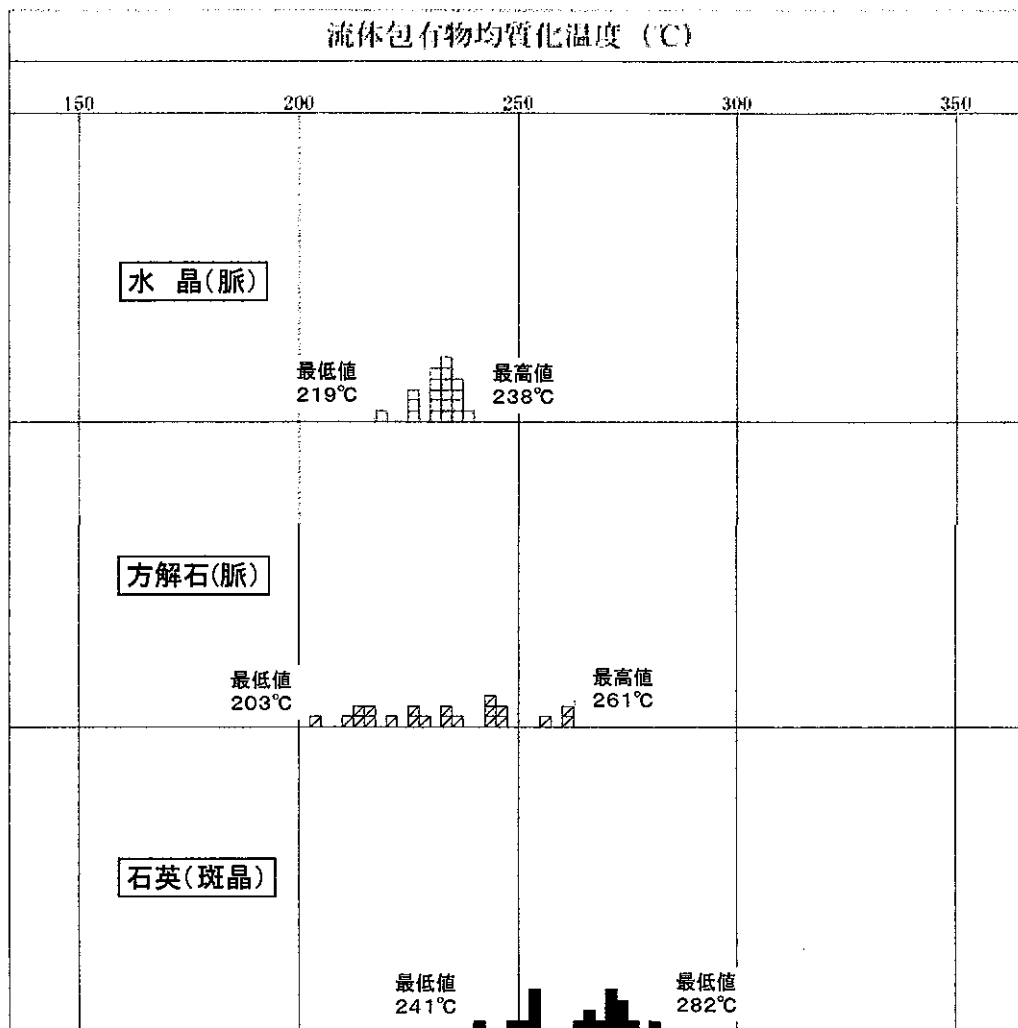


图 2-5-9 ZK4001 喷出岩的流体包裹体均一化温度分布图

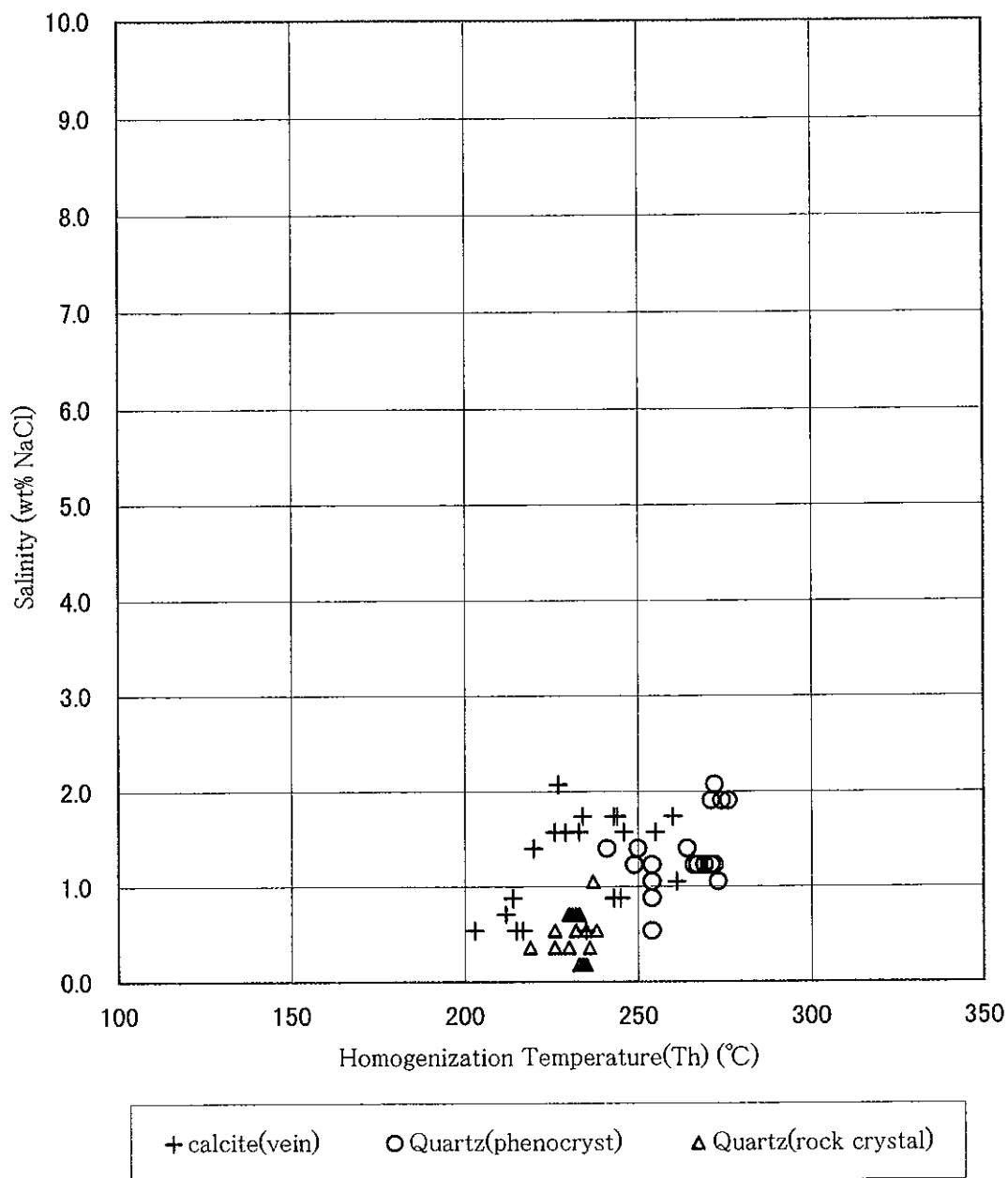


图 2 -- 5 -- 1 0 ZK4001 喷出岩的流体包裹体均一化温度与盐浓度的相关图

图 2-5-11 显示了结垢试验的装置和垢采取位置。在 ZK4001 井的两相管线和热水管线上设置了 3 个试验片（以下标记为①~③），调查长期喷汽试验所生成的垢。另外，井内的垢用闪蒸槽内的沉积物进行了调查。在喷汽试验中断期间，打开试验片，采取了垢。采样日期是 2005 年 8 月 28 日和 2005 年 10 月 10 日。

- ① 试验片 No. 1: 两相流管线
- ② 试验片 No. 2: 热水管线上部
- ③ 试验片 No. 3: 热水管线下部

另外，2005 年 10 月 10 日还调查了分离器蒸汽管外侧壁、热水箱（水位测定仪上部、水位面附近、排水附属物）及热水闪蒸的结垢。

#### （ii）结垢状况

##### （1）2005 年 8 月 28 日采样时的结垢情况

- ① 确认了分离器底部沉积物为粒径 0.1~1 mm 呈透明、白、淡绿、黑、金色的岩片、结晶片、垢片。
- ② 试验片 No. 1 结有厚度 0.1mm 的黑色板状垢。
- ③ 试验片 No. 2 结有厚度 0.3mm 的黑色、部分透明的板状垢。
- ④ 试验片 No. 3 结有厚度 0.1mm 的部分呈黑色、部分呈透明的板状垢。

##### （2）2005 年 10 月 10 日采样时的结垢情况

- ① 确认了分离器底部沉积物为粒径小于 3 mm 的呈淡绿、白~透明色的岩片、晶片、垢片。
- ② 试验片 No. 1 结有厚度 0.1mm 的黑色板状垢。
- ③ 试验片 No. 2 结有厚度 0.3mm 的部分呈黑色、部分呈透明的板状垢。
- ④ 试验片 No. 3 结有厚度 0.3mm 的部分呈黑色、部分呈透明的板状垢。
- ⑤ 分离器蒸汽管外侧壁结有厚度 1 mm 的部分呈黑色、部分呈透明的板状垢。
- ⑥ 水位测定仪上部观察到厚度 0.5mm 的茶红色垢（腐蚀物）。
- ⑦ 水位测定仪的水位面附近结有厚度 0.3mm 的褐色板状垢。
- ⑧ 水位测定仪的排水口结有粒径 0.2mm 以下的岩片、矿物片、垢片。
- ⑨ 热液闪蒸槽里结有厚度 5 mm 以下的多孔隙的白色垢。

##### （3）结垢状况的总结

结垢状况的调查结果如表 2-5-9 所示。

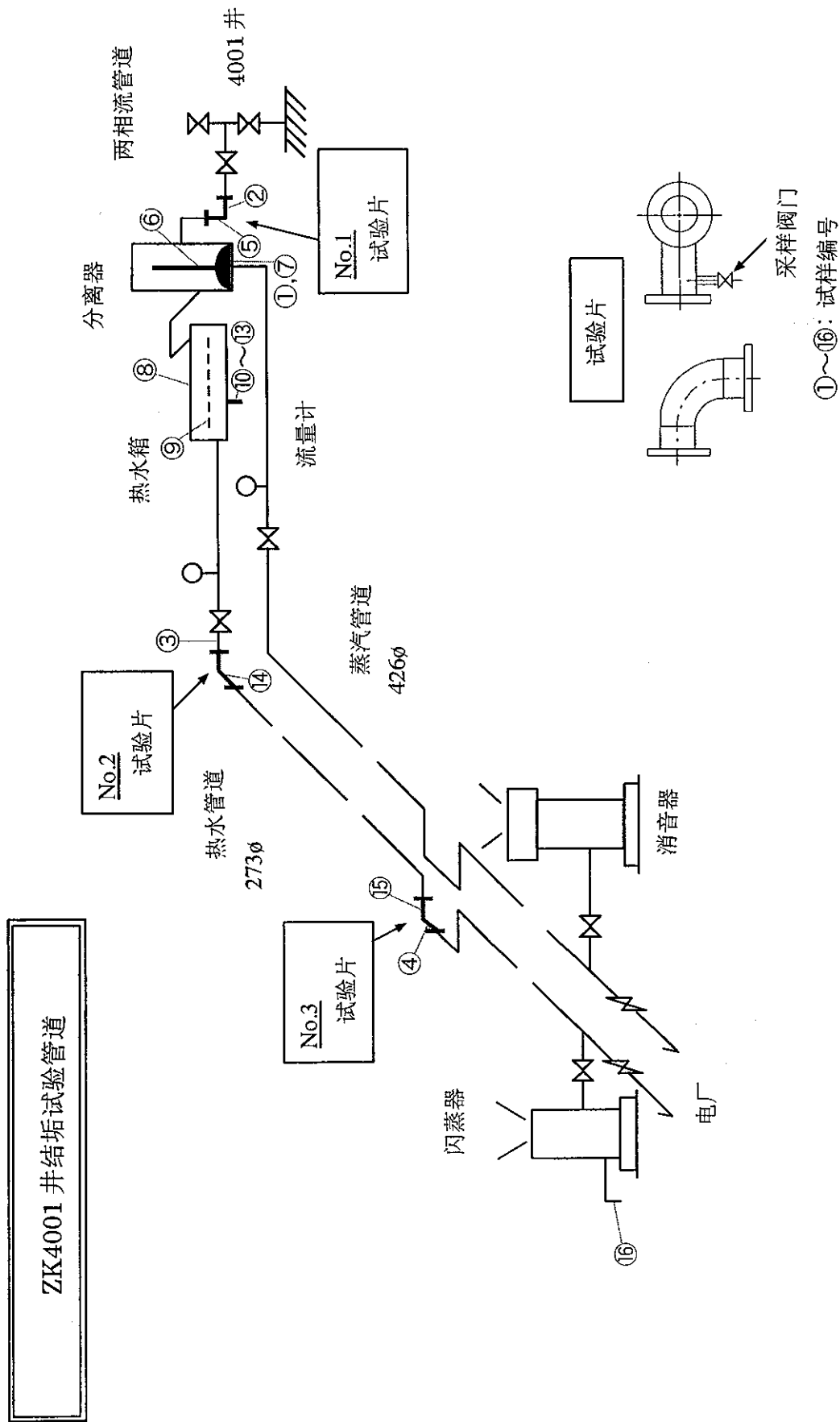


图 2-5-1-1 ZK4001 结垢喷出试样的采取位置图

表 2-5-9 ZK4001 结垢试验片检查记录表

试验片No.		No. 1	No. 2	No. 3	备 注
流体种类		二相流	热 水	热 水	
安装位置		(参照安装位置图)			
流送时间	流送开始年月日	2005/7/12			
	流送停止年月日	2005/10/9			
	上部 数	90-4 = 86			
检查记录					
1. 中间检查	年 月 日	2005/8/28			
	(流送上部数)	48			
	1. 结垢厚度 (mm)				
	[入口部位]				
	上部	--	--	--	
	下部	--	--	--	
	从流向看时的右侧	--	--	--	
	" 左侧	--	--	--	
	[中间部位]				
	上部	--	--	--	
	下部	--	--	--	
	从流向看时的右侧	--	--	--	
	" 左侧	--	--	--	
	[出口部位]				
	上部	--	--	--	
	下部	--	--	--	
	从流向看时的右侧	--	--	--	
	" 左侧	--	--	--	
	2. 结垢量 (采取时: wet)				
	cm <sup>3</sup>	--	--	--	
	g	--	--	--	
	3. 垢的性状				
	附着情况	0.1mm以下	0.1mm~0.2mm	仅附着于表层	
	硬度	坚硬	坚硬	坚硬	
	颜色	黑 (暗绿色)	黑 (暗绿色)	黑 (暗绿色)	
	结晶的有无	--	--	--	
	其它	--	--	--	
	4. 特记事项	在管道底部沉积有细砂			
2. 最终检查	年 月 日	2005/10/10			
	(流送天数)	90-4 = 86			
	1. 结垢厚度 (mm)				
	[入口部位]				
	上部	--	--	--	
	下部	--	--	--	
	从流向看时的右侧	--	--	--	
	" 左侧	--	--	--	
	[中间部位]				
	上部	--	--	--	
	下部	--	--	--	
	从流向看时的右侧	--	--	--	
	" 左侧	--	--	--	
	[出口部位]				
	上部	--	--	--	
	下部	--	--	--	
	从流向看时的右侧	--	--	--	
	" 左侧	--	--	--	
	2. 结垢量 (采取时: wet)				
	cm <sup>3</sup>	--	--	--	
	g	--	--	--	
	3. 垢的性状				
	附着情况	0.1mm以下	0.1mm~0.2mm	仅附着于表层	
	硬度	坚硬	坚硬	坚硬	
	颜色	黑 (暗绿色)	黑 (暗绿色)	黑 (暗绿色)	
	结晶的有无	--	--	--	
	其它	--	--	--	
	4. 特记事项	汽水分离器及热水箱下部装有圆口的管嘴处有白色 (坚硬) 的垢			



最终结果的总结如下所示：

试验片 No.	1	2	3
流体的种类	蒸汽+热水	热水	热水
流 量	330~260 t/h	260~210 t/h	
流送天数	90 - 4 = 86 天		
安装位置	井口 2 次阀下部	热水流量调整阀门 下部	ZK4001 场地到闪蒸 槽之间的热水管线 的中间部位
结垢	微量	无	无

① 在本此试验中，几乎没有在试验片内部观察到结垢。但是在热水箱的排水阀等热水储集部位观察到了估计是硅岩（ $\text{SiO}_2$ ）的白色高硬度垢。由本次试验来看，ZK4001 井的热水在比本次测试条件温度低的领域，很有可能会沉积相当多的硅岩垢。

② 今后有必要对结垢的沉积条件（温度、压力等）进行更详细的调查。

#### （iii）结果试验时的热水分析

结垢试验的热水采取地点如图 2-5-12 所示。本调查对 ZK4001 井的热水从管线上部到下部的不同位置，进行了采样和分析。通过分析结果预测是否有垢生成以及生成矿物的种类。热水分析结果见表 2-5-10。

最上部是热水 No. 1，最下流是热水 No. 4。从 No. 1 到 No. 4，伴随热水流动，浓度较低的成分可能会以垢的形式沉淀。2005 年 7 月 13 日和 2005 年 10 月 9 日测量到  $\text{HCO}_3^-$ 、Ca、 $\text{SiO}_2$  的浓度连续降低。从此结果来判断，硅岩系的垢和碳酸钙系的垢有可能发生沉淀。流体温度越低，硅岩系的垢越容易沉淀。根据对垢的物质分析（参照表 2-5-2），只有处于下部位置的 No. 3 试验片里检测出非晶质硅岩。因为本次喷汽试验是在较高管线压力（ $7\text{kg/cm}^2\text{G}$ ）下进行的，可认为控制了非晶质硅岩的沉淀。从此结果明确了，如果将 ZK4001 井的管线压力调到  $7\text{kg/cm}^2\text{G}$  左右，非晶质硅岩系的垢可以被控制。

#### （iv）垢的物质分析

对采取的垢和喷出物进行 X 射线分析。分析方法和地表调查、钻井调查一样。X 射线分析结果一览表见表 2-5-11~12。另外，X 射线衍射流程图和 ZK4001 井垢、喷

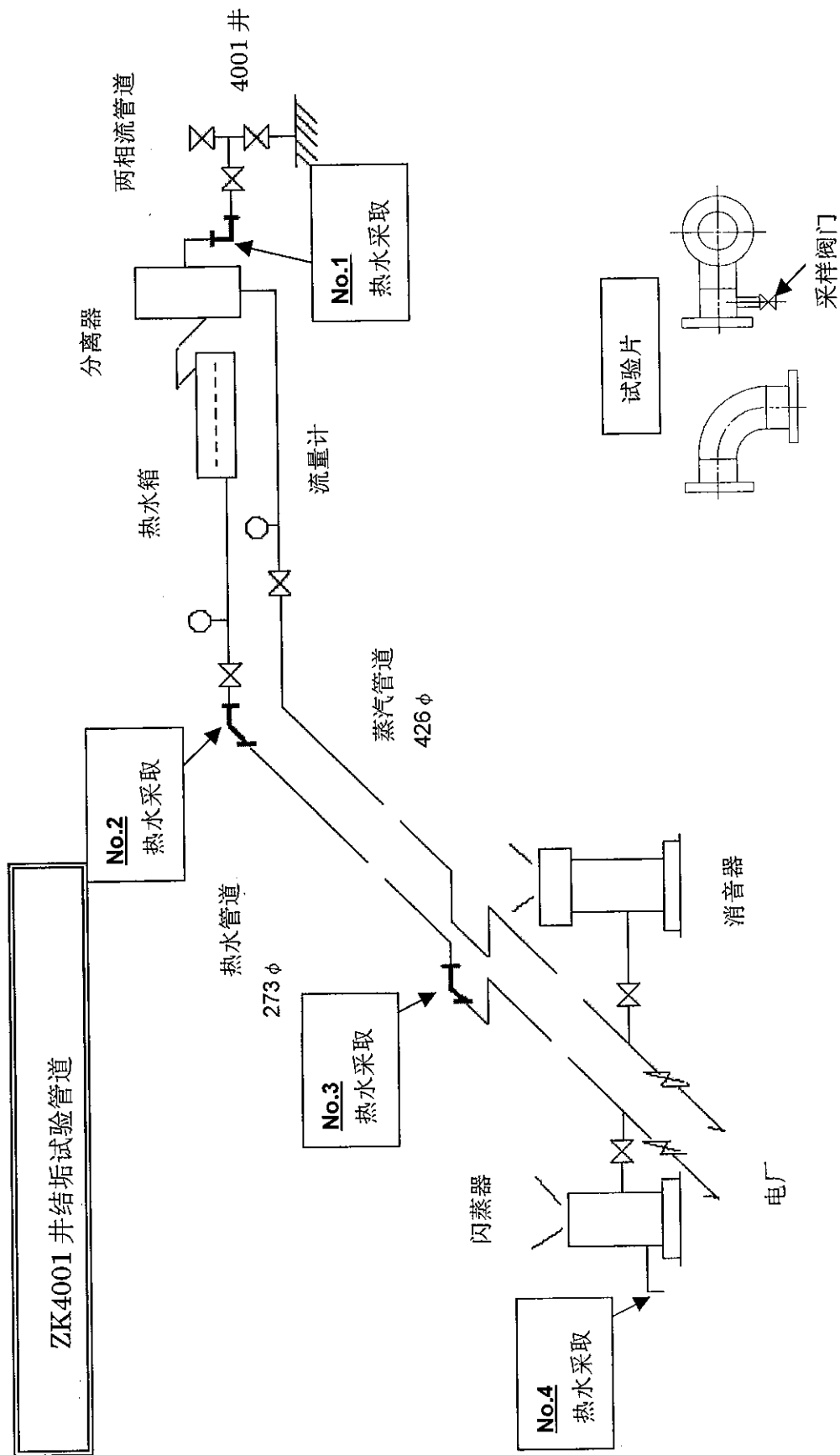


图 2-5-12 ZK4001 结垢试验时热水的采取位置图

表 2 -- 5 -- 1 0 结垢试验热水分析结果

试样名称 name	试样采取年月 日 sampling date	pH	E.C. $\mu\text{S}/\text{cm}$	SiO <sub>2</sub> mg/L	Cl mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	HCO <sub>3</sub> mg/L	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Fe mg/L	Al mg/L	T-CO <sub>2</sub> mg/L
结垢热水No.1	2005/7/13	8.3	3900	762	990	27	310	647	132	1.6	0.02	0.56	2.1	230
结垢热水No.2	2005/7/13	8.6	3820	743	963	26	223	630	128	1.5	0.03	0.32	1.7	167
结垢热水No.3	2005/7/13	8.7	3820	746	967	26	178	632	128	1.4	0.02	0.10	1.7	134
结垢热水No.4	2005/7/13	8.9	3760	729	955	25	129	624	127	1.4	0.01	0.23	1.6	99
结垢热水No.1	2005/8/27	8.4	4040	760	1020	27	350	718	134	1.6	0.07	0.44	2.0	260
结垢热水No.2	2005/8/27	8.8	4030	764	1010	27	240	716	134	1.9	0.09	0.79	1.9	182
结垢热水No.3	2005/8/27	8.9	4050	768	1020	27	181	722	134	1.5	0.05	0.31	1.8	139
结垢热水No.4	2005/8/27	9.0	3970	766	994	26	131	707	131	1.6	0.07	0.35	1.8	102
结垢热水No.1	2005/10/9	8.6	4030	772	1010	27	387	710	132	1.1	<0.01	0.08	1.6	289
结垢热水No.2	2005/10/9	8.6	4040	756	1010	27	364	708	132	1.0	<0.01	0.04	1.6	272
结垢热水No.3	2005/10/9	8.6	4090	748	1020	28	371	715	134	0.9	<0.01	0.04	1.6	277
结垢热水No.4	2005/10/9	8.8	3970	742	997	26	294	695	131	0.9	<0.01	0.02	1.5	220



表 2-5-1-2 ZK4001 垢、喷出试样的X射线分析结果(石英指数) 历时变化

矿物	粘土矿物			硅岩矿物		硫化矿物		硫酸盐矿物	氧化矿物			
	绿泥	绿泥石 / 蒙脱石混层	绢白云母	石英	非晶质硅	黄黝铜矿	黄铜矿	方解石	文石	重晶石	磁赤	磁铁矿
试样	矿物的形状、颜色、厚度											
	采取位置	最大10cm大的断层岩块										
	采取年月日	2005年11月26日										
分离器底部沉积物	形状	粒状(破片状)										
	颜色	透明、白、淡绿、黑、金										
	粒径	0.1~1mm										
	形状	粒状										
	颜色	淡绿,白~透明										
	粒径	~3mm										
二相流管线 No. 1 试验片	形状	板状										
	颜色	黑色										
	厚度	0.1mm										
	形状	板状										
	颜色	黑(表面为金色)										
	厚度	~0.1mm										
热液管线 No. 2 试验片	形状	板状										
	颜色	黑(一部分,透明)										
	厚度	~0.3mm										
	形状	板状										
	颜色	黑+透明										
	厚度	~0.3mm										
热液管线 No. 3 试验片	形状	板状										
	颜色	黑+透明										
	厚度	0.1mm										
	形状	板状										
	颜色	黑+透明										
	厚度	~0.3mm										
采取位置	绿泥	0.5	0.3	0.6	14.9	0.4	0.1	0.9	7.6			
采取位置	绿泥	0.6		0.5	29.2	0.8		1.3	1.6			
采取位置	绿泥						1.1				0.1	
采取位置	绿泥						1.9				0.1	
采取位置	绿泥										0.7	
采取位置	绿泥						0.1				0.6	0.1
采取位置	绿泥									0.2		0.4
采取位置	绿泥										0.7	0.2
采取位置	绿泥											0.1

出物见附录中的照片。

X射线分析鉴定出的矿物如下：

- ①粘土矿物：绿泥石、绢云母/蒙脱石混层矿物、绢云母、高岭石
- ②硅氧矿物：石英、鳞石英、非晶质硅岩
- ③硫化矿物：黄铜矿、黝铜矿、黄铁矿、白铁矿
- ④碳酸盐矿物：方解石、文石
- ⑤硫酸盐矿物：重晶石
- ⑥氧化物矿物：磁铁矿、磁赤铁矿、赤铁矿、针铁矿
- ⑦其它：岩盐

#### (1) 试验片 No. 1

2005年8月28日及2005年10月10日采取的垢，厚度在0.1mm以下。主要构成物是黝铜矿和黄铜矿。

#### (2) 试验片 No. 2

2005年8月28日及2005年10月10日采取的垢，厚度在0.3mm以下。鉴定出矿物的石英指数比较小在1以下，可能主要由非晶质矿物（透明部分）构成。

#### (3) 试验片 No. 3

2005年8月28日及2005年10月10日采取的垢，厚度分别为0.1mm和0.3mm，后者稍厚一些。均为黑色、透明板状垢，主要构成成分是非晶质硅岩。

#### (4) 分离器内的沉积物

在ZK4001井从2004年10月~2005年1月之间，实施的喷气试验有大量的岩石喷出。2004年11月26日采取的喷出岩由绿泥石、绢云母、石英、黄铁矿、方解石组成，全部来源于岩石和矿物脉。

另外，在2005年8月28日和2005年10月10日采取的喷出岩除了来源于岩石、矿物脉以外，还含有不少比较有特征的文石，这很明显来自于结垢。文石没有在分离器前后的试验片上生成，因此推测是在井内生成的。

#### (v) 结垢的解决方案

在本次结垢试验中，试验片上没有观察到有显著的垢生成。不论热水中含不含有大量的垢成分，推测没有垢生成的原因是，在本试验中，试验片内流动的热热水温度高于垢成分的沉淀温度（饱和温度）。这一点可以从，在热水储集部（热水箱的排水阀所用喷嘴等）温度降低后的热水中观察到有硅岩垢生成来证实。因此，今后为了防止ZK4001井垢

的发生，最重要的是避免喷出热水的温度降低。利用 ZK4001 井发电时，汽水分离器的运转压力和热水的回灌温度等还需要慎重探讨。

井内可能有文石(aragonite)垢生成。虽然到目前为止的喷汽试验还没有引起生产障碍，但在今后的长期生产中，由于文石垢使井内变狭窄，可能会造成生产流量的减少。文石是碳酸岩矿物，可以通过注入药液或者和浅部生产井一样用机械除去方式来处理。