

热水活动波及到整个地区（图 2-2-11）。在断层 F2 的东西两侧只生成类型 1 和类型 2，存在着早期的包裹体消失区域。这表示此区域的热水活动度可能很高。

2-2-2 地球化学调查

(i) 调查内容

地球化学调查的内容有 4 项：对地球化学监测所用试样的采取、分析进行指导；试样的采取及分析；对中国方面所有的地球化学资料的详查及流体地球化学模型的建立。

(ii) 调查方法

(1) 地球化学监测所用试样的采取及分析指导

① 试样采取

在第 2 次现场调查时，将在日本被普遍采用、具有代表性的试样采取方法通过实际工作向中国方面技术人员进行了技术指导。

② 分析

对于地球化学监测中重要的热水中的 Cl 和 SiO₂ 浓度分析，蒸汽中的 H₂S 和 CO₂ 浓度分析，进行了分析指导。关于分析方法，一方面通过实际工作向中国方面技术人员进行技术指导，同时为了准确地进行技术指导，将拍摄的分析工作方法图象作成 CD-ROM 提供给中方。

(2) 试样的采取及分析

① 试样的采取

试样的采取是与中国方面技术人员一起进行的。取样地点数为，地热井的热水及温泉水：10 个地点；地表水：5 个地点；河流环境水：3 个地点；地热井的蒸汽：8 个地点。试样采取位置如图 2-2-12 所示，试样采取方法如图 2-2-13 所示。河流环境水的采取是为了确认从羊八井地热电厂流放到河流里含有 As 和 Hg 的热水对环境的影响，方法设计书中本来没有这个项目，但是在中国方面的要求下得到实施。同时，对于地热井的蒸汽采取，由于中国方面希望进行技术指导的要求比较强烈所以改为从第 2 年度开始实施。

② 分析

现场采取的试样运回日本进行了分析。分析方法如表 2-2-9 所示。

(3) 对中国方面所有的地球化学数据资料的详查

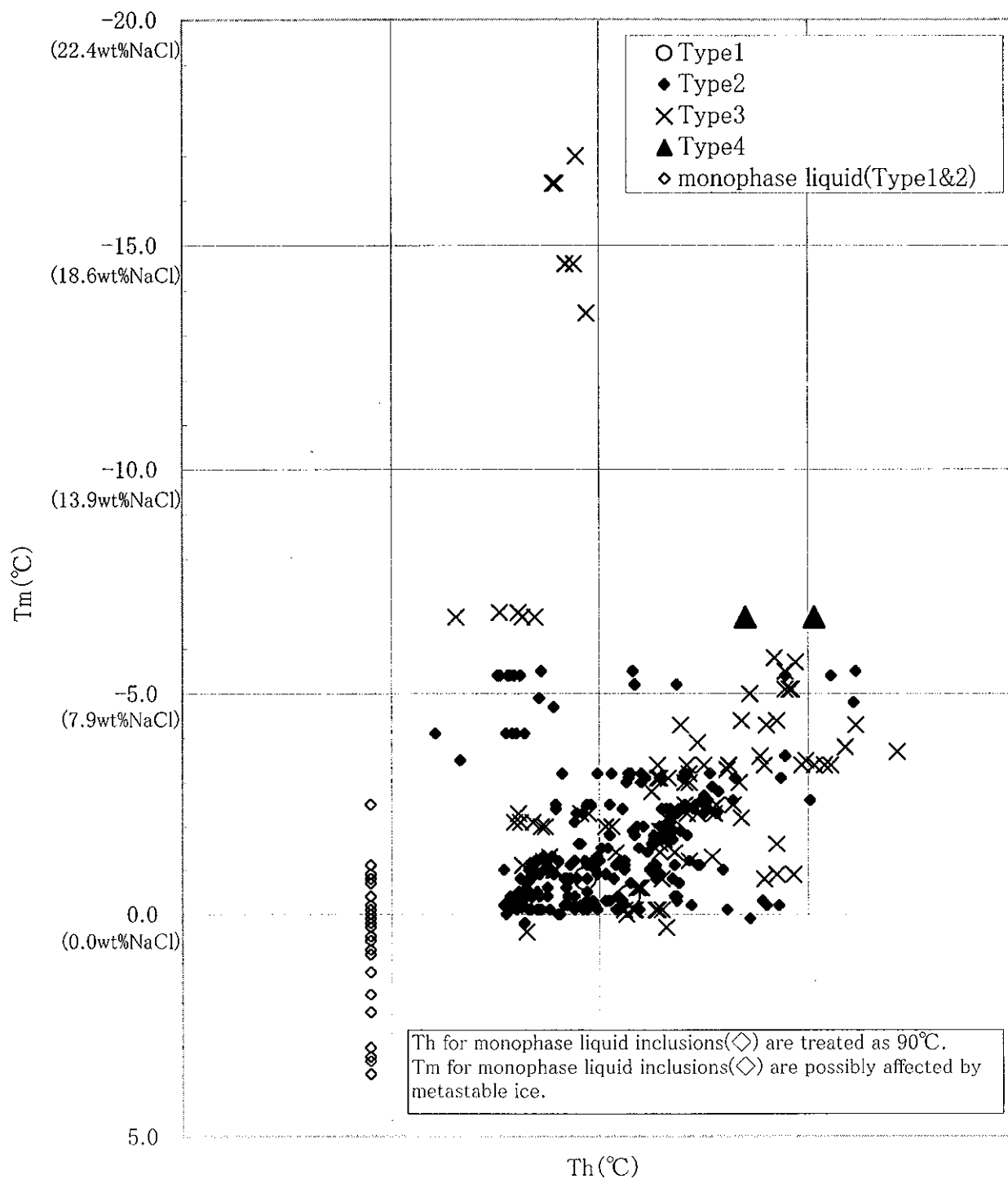


图 2-2-10 羊八井地区地表的均一化温度与盐浓度的关系图

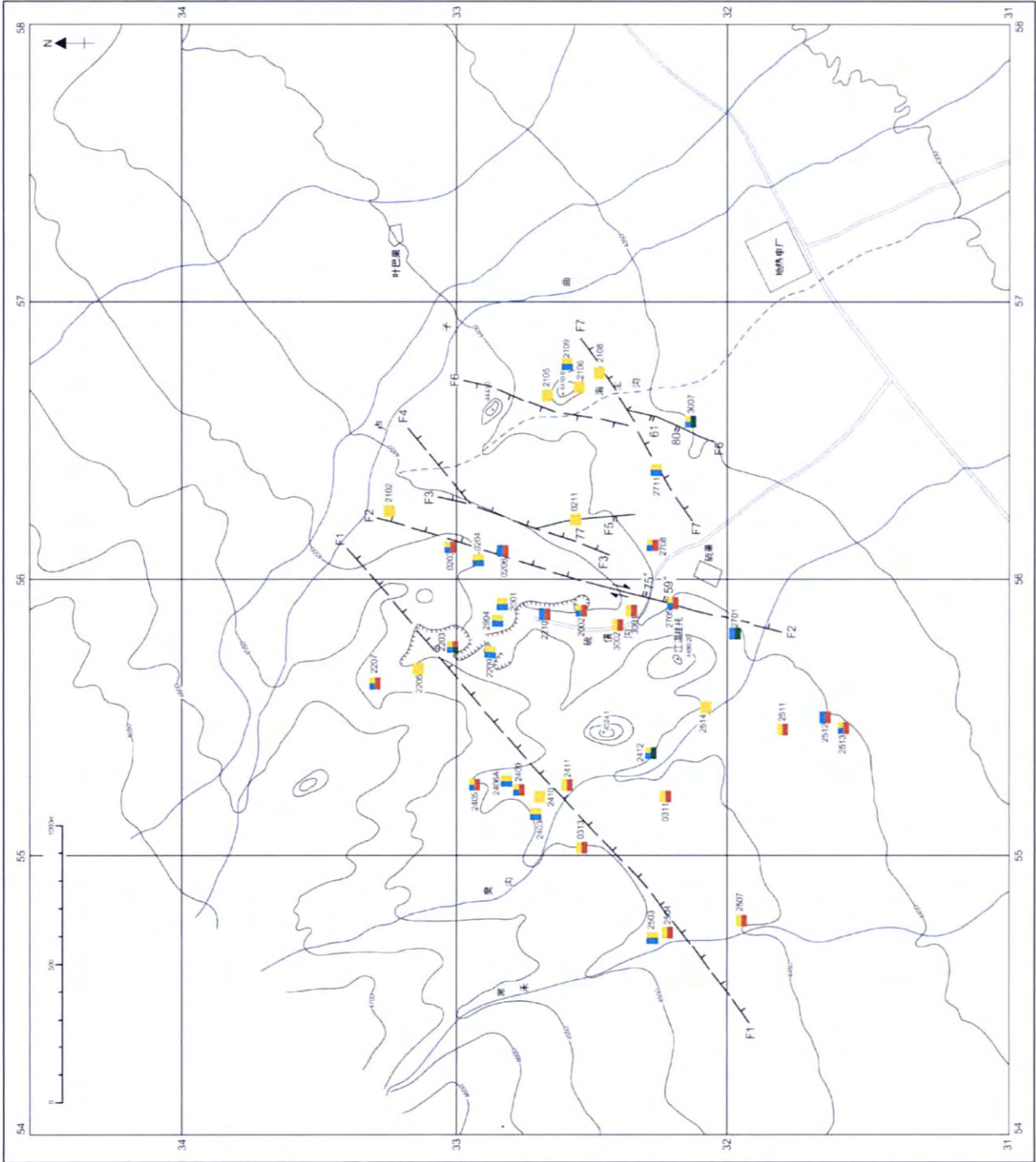


图 2-2-1-1 羊八井地热田流体包裹体的类型分布

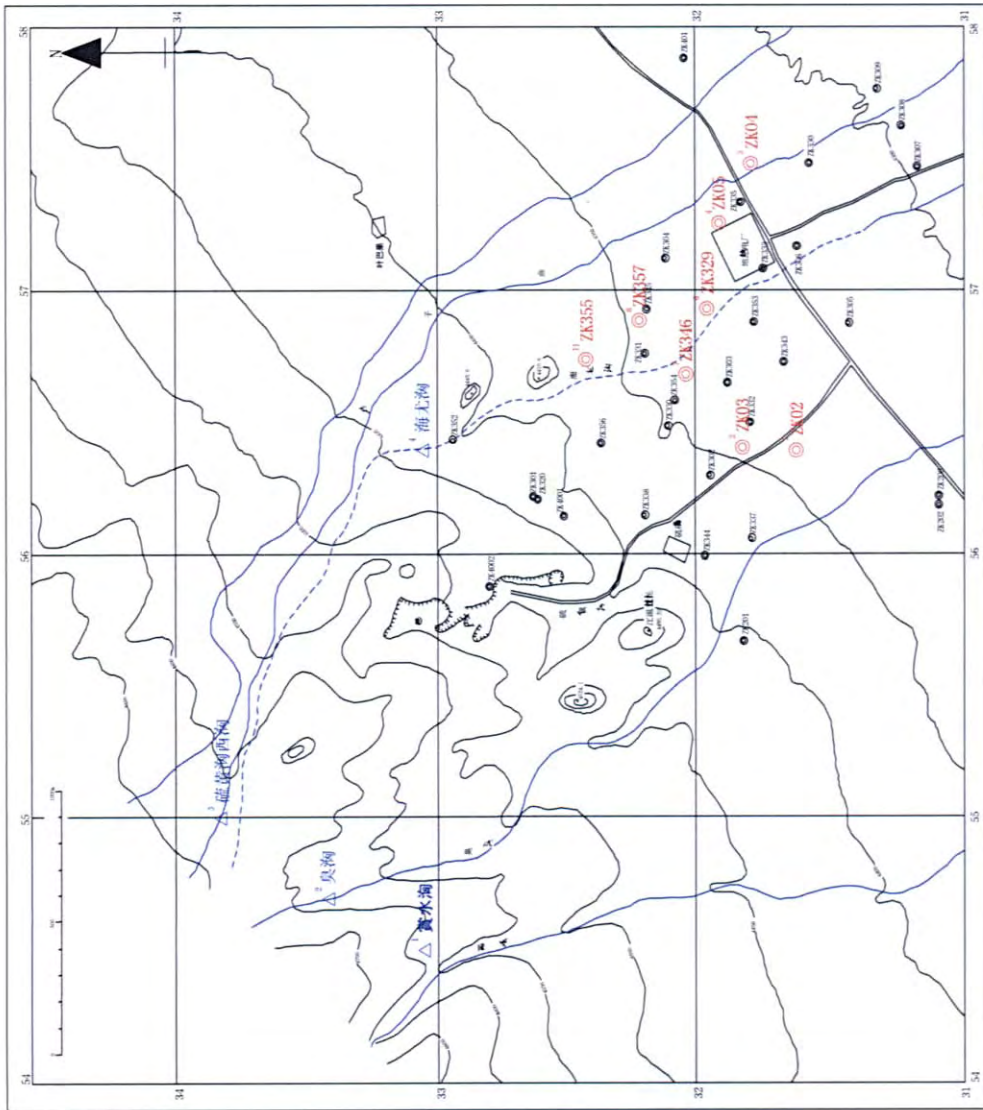
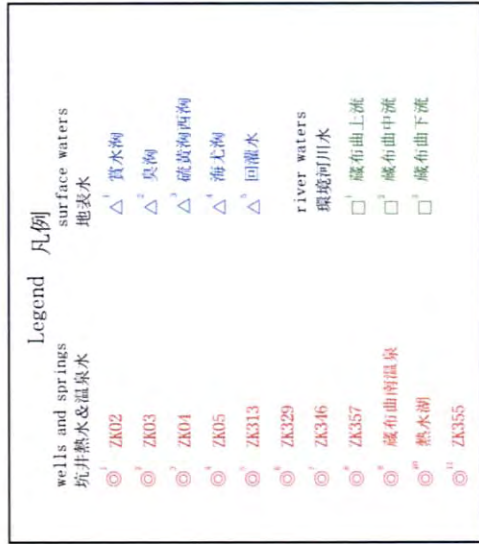
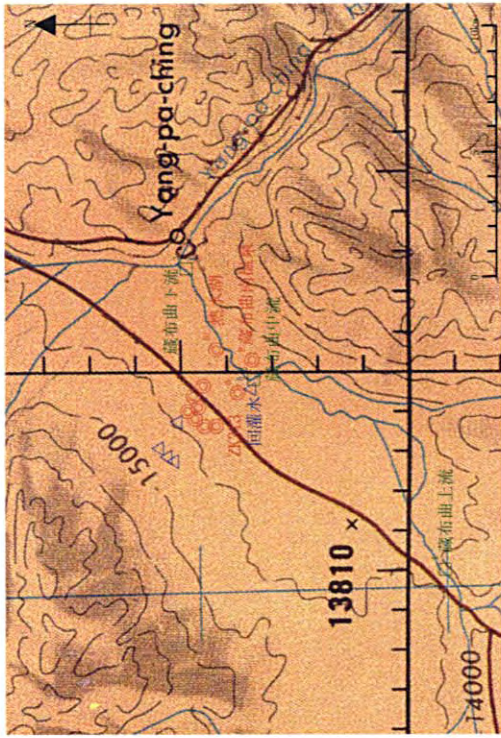
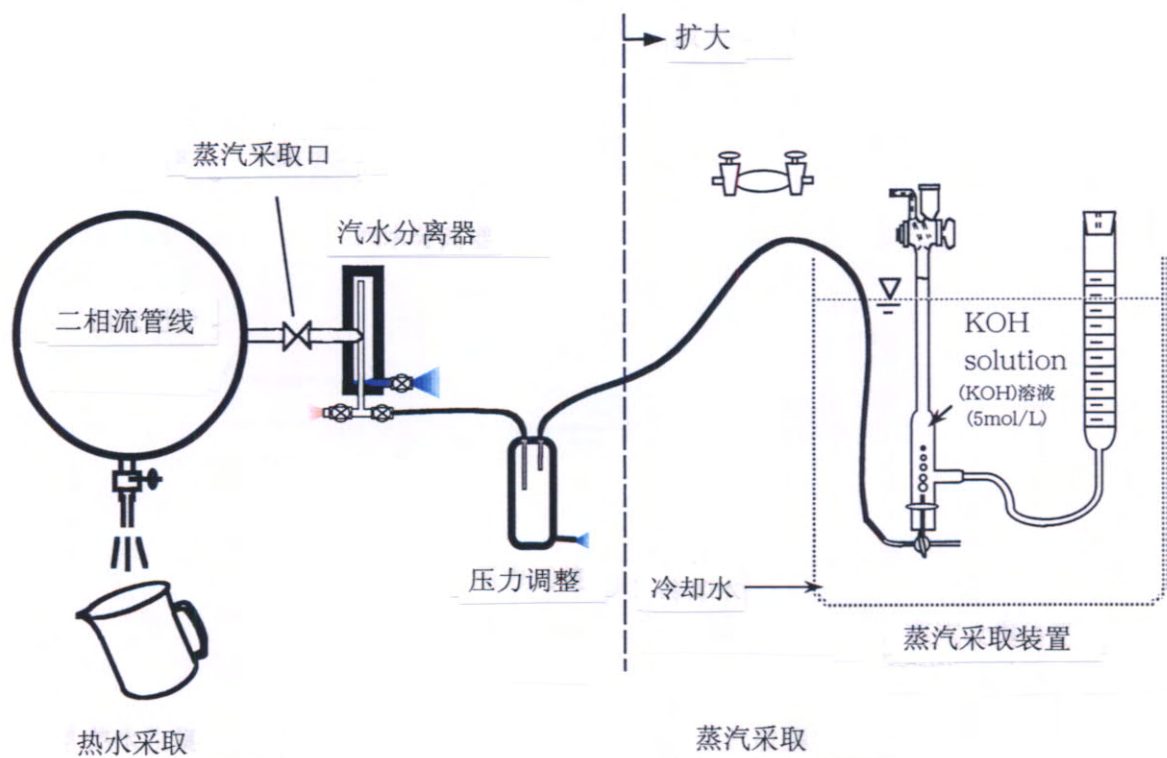


图 2-2-1-2 试样采取位置图



前处理方法

分析项目	添加试剂	添加量
Ca, Mg, SiO ₂ , As, Fe, Al, Li, Sr, NH ₄	6mol/l HCl	2.5ml/250ml
T-CO ₂	Granular KOH	0.5g/50ml
Hg	7mol/l HNO ₃	0.5ml/50ml
H ₂ S	5wt% (CH ₃ COO) ₂ Cd + 3mol/l CH ₃ COONa	10ml/500ml

图 2-2-13 试样采取方法

表 2 - 2 - 9 分析方法

air and water temperature	thermistor thermometer
pH	pH meter
electric conductivity	conductivity meter
SiO ₂	gravimetric
Cl	ion chromatography
SO ₄	ion chromatography
HCO ₃	calculation from T-CO ₂ and pH
Na	flame atomic emission spectrography (F-AES)
K	flame atomic emission spectrography (F-AES)
Ca	Inductively coupled plasma atomic emission spectrography (ICP-AES)
Mg	Inductively coupled plasma atomic emission spectrography (ICP-AES)
Fe	Inductively coupled plasma atomic emission spectrography (ICP-AES)
Al	Inductively coupled plasma atomic emission spectrography (ICP-AES)
As	Inductively coupled plasma atomic emission spectrography (ICP-AES)
Li	Inductively coupled plasma atomic emission spectrography (ICP-AES)
Sr	Inductively coupled plasma atomic emission spectrography (ICP-AES)
F	ion chromatography
Br	ion chromatography
I	ion chromatography
B	Inductively coupled plasma atomic emission spectrography (ICP-AES)
H ₂ S	iodimetric titration
Hg	Atomic absorption spectroscopy
T-CO ₂	Total organic carbon analyzer
total dissolved solid	gravimetric
H ₂	Gas chromatography
N ₂	Gas chromatography
CH ₄	Gas chromatography
He	Gas chromatography
Ar	Gas chromatography
δ D (H ₂ O)	mass analyzer
δ ¹⁸ O (H ₂ O)	mass analyzer
δ ¹⁸ O (SO ₄)	mass analyzer
δ ³⁴ S (SO ₄)	mass analyzer
δ ¹³ C (CO ₂)	mass analyzer
³ H	mass analyzer

为了考察中国方面提供的地热流体的化学分析值在解析中能否使用，通过①离子平衡，②本次调查的数据资料和中国方面的既存数据资料的比较进行了评价。

(4) 流体地球化学模型的建立

以本年度调查取得的数据资料为基础，建立流体地球化学模型。

(5) 地球化学平衡模拟计算

使用化学平衡计算程序SOLVEQ，进行了地热井热水热储层内的流体组成的计算及方解石垢生成可能性的评价。

(iii) 试样采取及分析指导

在第2次现场调查中实施了以下的技术指导。

(1) 试样采取

- 蒸汽采取及采取到试样前的处理
- 热水采取及采取到试样前的处理
- 地表水采取及采取到试样前的处理

(2) 分析

- SiO₂: 重量法
- Cl: 硝酸银滴定法
- H₂S: 碘(iodine)滴定法
- T-CO₂: 通过碳酸钡(barium)吸收的逆滴定法

(iv) 分析结果

在第2次现场调查中采取的试样分析结果如表2-2-10~12所示。同时，主要成分如三端元解说图(key diagram)(图2-2-14)所示。

(v) 中国方面所有的地球化学数据资料的详查

(1) 地球化学监测调查的现状

羊八井地区在开发初期的1980年以后及1995年左右曾一时连续进行了地球化学调查，不过现在没有进行定期的地球化学监测。在羊八井地热电厂，没有使用热水性状和蒸汽性状进行热储层维持管理的技术(也称热储层地球化学监测技术)，在第1次现场调查时向中国方面说明了其重要性之后，中方表示希望今后积极予以实施。

羊八井地区的流体分析由地热地质大队负责进行，在拉萨市内的分析室进行热水的主要成分的分析。同位素，微量成分及蒸汽成分的分析在北京进行。拉萨市内的分析室里有4名分析技术工作人员，人员安排上没有什么问题。试样采取是由电厂负责

表 2-2-10 井内热水、温泉水及井内蒸汽分析结果

试样名 name			ZK02	ZK03	ZK04	ZK05	ZK313	ZK329	ZK346	ZK355	ZK357	藏布曲南温泉	热水湖	
试样采取年月日 sampling date			01.9.29	01.9.29	01.9.27	01.9.26	01.9.28	01.9.29	01.9.27	01.9.28	01.10.6	01.9.28	01.9.28	
water temperature		℃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52.3	15.3	
line pressure		kg/cmG	1.6	1.5	1.8	1.7	0.3	1.3	1.3	1.3	-	/	/	
sampling pressure		kg/cmG	1.3-1.5	1.4	1.2	1.5	<0.2	1.2	1.1	1.0	-	/	/	
flow rate		L/min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	
steam	H ₂ O/Gas ratios	H ₂ O	vol%	99.82	99.83	99.87	99.81	99.95	99.82	99.84	99.63	-	-	-
		gas	vol%	0.18	0.17	0.13	0.19	0.05	0.18	0.16	0.37	-	-	-
	Gas compositions	H ₂ S	vol%	0.8	0.8	1.0	0.9	1.8	0.6	0.8	0.6	-	-	-
		CO ₂	vol%	98.3	98.3	98.0	98.3	96.6	98.3	98.5	98.6	-	-	-
		R	vol%	0.9	0.9	1.0	0.8	1.6	1.1	0.7	0.8	-	-	-
	R Gas compositions	H ₂	vol%	1.3	2.3	2.1	1.8	0.8	1.4	1.8	2.0	-	-	-
		N ₂	vol%	95.4	93.7	94.6	94.7	95.5	95.2	94.5	93.6	-	-	-
		CH ₄	vol%	1.2	1.7	1.1	1.3	0.6	1.1	1.6	2.2	-	-	-
		He	vol%	0.6	0.9	0.6	0.7	0.3	0.5	0.9	1.1	-	-	-
		Ar	vol%	1.5	1.4	1.6	1.5	2.8	1.8	1.3	1.1	-	-	-
hot water	pH	---	9.0	9.1	9.0	9.1	8.7	9.1	9.1	-	9.0	7.1	3.6	
	E.C.	mS/cm	2130	2180	2030	2150	2300	2120	2210	-	2170	1020	2210	
	SiO ₂	mg/L	260	257	235	257	171	228	251	-	252	93	65	
	Cl	mg/L	472	486	455	486	450	469	481	-	491	141	119	
	SO ₄	mg/L	43	44	41	44	33	44	43	-	44	15	1020	
	HCO ₃	mg/L	184	188	175	162	369	180	309	-	181	303	<0.5	
	Na	mg/L	388	397	372	396	436	391	407	-	395	193	181	
	K	mg/L	46	50	45	49	49	47	52	-	49	11	14	
	Ca	mg/L	5.3	1.6	2.5	2.0	1.4	1.7	2.0	-	2.1	18	195	
	Mg	mg/L	0.08	0.04	0.04	0.04	0.12	0.04	0.03	-	0.05	1.06	50.6	
	Fe	mg/L	0.04	0.04	0.08	0.01	0.02	0.02	0.04	-	0.05	0.22	9.0	
	Al	mg/L	0.30	0.21	0.26	0.20	0.14	0.19	0.22	-	0.22	0.54	14.6	
	As	mg/L	3.1	3.1	3.0	3.1	2.4	3.0	3.2	-	3.2	0.1	0.1	
	Li	mg/L	8.5	8.8	8.2	8.8	10.1	8.5	9.3	-	8.9	2.2	4.4	
	Sr	mg/L	0.23	0.18	0.20	0.15	0.08	0.15	0.18	-	0.19	0.24	2.3	
	F	mg/L	14.3	13.9	13.8	14.5	13.1	14.5	13.8	-	14.8	4.7	5.6	
	Br	mg/L	1.3	1.3	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	-	1.3	0.4	0.3	
	I	mg/L	0.11	0.05	0.08	0.08	0.08	0.09	0.07	-	0.07	<0.01	<0.01	
	B	mg/L	52	53	51	55	49	51	55	-	55	17	13	
	H ₂ S	mg/L	0.6	0.5	1.4	1.4	0.3	0.7	1.3	-	1.1	0.2	<0.5	
	Hg	μg/L	0.46	0.33	0.25	0.49	0.33	0.47	0.43	-	0.21	0.15	0.14	
	T-CO ₂	mg/L	143	149	136	128	278	143	245	-	142	259	5.73	
	TDS	mg/L	1570	1610	1460	1630	1760	1540	1640	-	1850	697	2080	
	δD (H ₂ O)	%SMOW	-140	-144	-145	-144	-145	-145	-144	-	-144	-150	-124	
	δ ¹⁸ O (H ₂ O)	%SMOW	-17.8	-18.1	-18.4	-18.1	-18.4	-18.2	-18.1	-	-18.1	-20.2	-14.1	
	δ ¹⁶ O (SO ₂)	%SMOW	+8.4	+8.3	+7.4	+8.3	+9.9	+7.8	+8.2	-	+8.4	+8.7	+0.2	
δ ³⁴ S (SO ₂)	%CDS	-8.8	-8.2	-9.1	-8.8	-8.6	-8.4	-8.9	-	-8.4	-7.3	-10.9		
δ ¹³ C (CO ₂)	%PDB	-9.2	-9.3	-9.6	-7.7	-8.3	-8.5	-8.5	-	-8.9	-9.1	-33.0		
³ H	TU	1.8±0.1	1.7±0.1	1.7±0.1	1.5±0.1	0.57±0.13	1.9±0.1	1.6±0.1	-	1.4±0.1	<0.37	6.0±0.2		

表 2-2-1 1 地表水分析结果

试样名称		箕水沟	吴沟	硫黄沟西沟	海尤沟	回灌水
试样收集年月日		01.9.26	01.9.26	01.9.26	01.9.25	01.9.25
水温	℃	12.6	12.7	9.0	8.9	13.3
气温	℃	9.2	8.6	6.4	10.1	24.3
纬度	---	N 30° 05.655'	N 30° 05.678'	N 30° 05.932'	N 30° 05.460'	N 30° 03.672'
经度	---	E090° 27.352'	E090° 27.424'	E090° 27.561'	E090° 28.417'	E090° 29.336'
标高	m	4576	4585	4630	4428	4315
pH	---	7.6	7.6	7.5	7.7	9.1
E.C.	mS/cm	75	76	79	161	2300
SiO ₂	mg/L	9	9	7	19	231
Cl	mg/L	0.12	0.12	0.17	4.8	515
SO ₄	mg/L	8.7	8.6	10.7	7.7	50
HCO ₃	mg/L	24	30	29	65	118
Na	mg/L	2.0	1.8	1.4	8.1	399
K	mg/L	0.70	0.52	0.74	0.56	49.0
Ca	mg/L	10	11	12	22	3.61
Mg	mg/L	1.0	1.1	1.0	2.3	0.11
Fe	mg/L	0.16	0.38	0.15	0.62	0.03
Al	mg/L	0.15	0.20	0.21	0.05	0.19
As	mg/L	0.005	0.005	0.009	<0.001	3.60
T-CO ₂	mg/L	18	23	23	49	93
δ D (H ₂ O)	%SMOW	-141	-141	-142	-140	-138
δ ¹⁸ O (H ₂ O)	%SMOW	-19.9	-19.7	-20.0	-19.2	-16.6
³ H	TU	13.8±0.3	13.0±0.2	12.2±0.3	13.4±0.2	2.3±0.2

纬度、经度、标高是用便携式 GPS 测得的值。

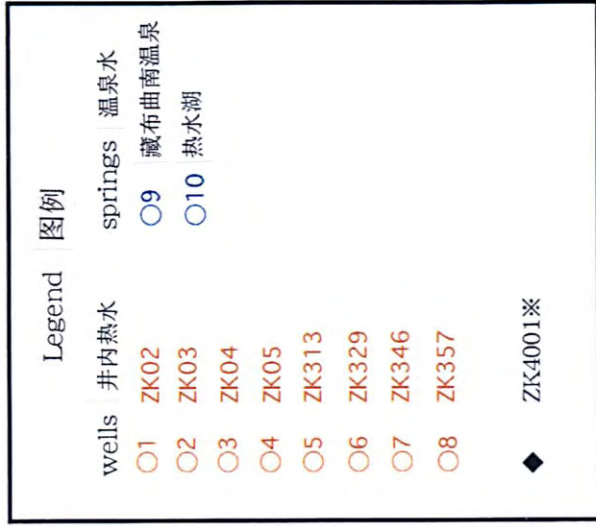
Latitude, longitude and altitude were measured with a portable GPS meter.

表 2-2-1 2 河流水分析结果

试样名称		麻布曲上流	麻布曲中流	麻布曲下流
试样收集年月日		01.9.25	01.9.25	01.9.29
水温	℃	12.2	14.8	9.7
气温	℃	19.8	18.0	14.0
纬度	---	N 29° 59.107'	N 30° 03.597'	N 30° 05.258'
经度	---	E090° 24.452'	E090° 29.606'	E090° 32.695'
标高	m	4380	4337	4293
pH(temp.)	---	7.8	8.3	8.1
E.C.	mS/cm	101	214	177
SiO ₂	mg/L	11	22	19
Cl	mg/L	0.96	24	15
SO ₄	mg/L	5.2	8.7	7.8
HCO ₃	mg/L	42	53	51
Na	mg/L	4.3	24.0	17.0
K	mg/L	0.9	3.1	2.3
Ca	mg/L	14	14	15
Mg	mg/L	1.5	1.6	1.5
Fe	mg/L	1.00	0.89	0.16
Al	mg/L	0.60	0.51	0.19
As	mg/L	0.01	0.18	<0.01
Hg	μg/L	0.16	0.16	0.15
T-CO ₂	mg/L	37	45	43

纬度、经度、标高是用便携式 GPS 测得的值。

Latitude, longitude and altitude were measured with a portable GPS meter.



※sourcebook 资料来源(地热地质大队, 1996)

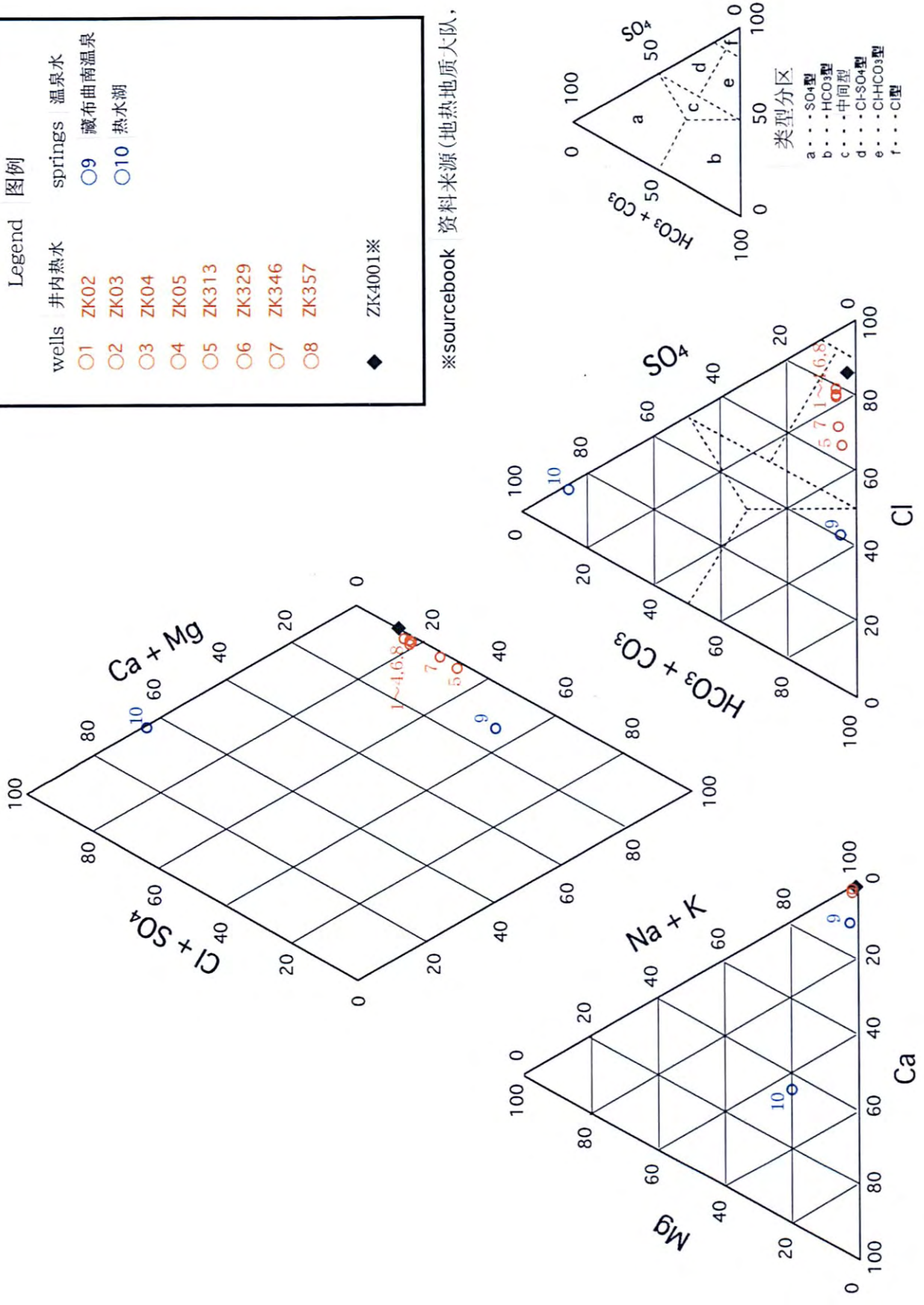


图 2-2-1-4 三端元解说图

进行的, 不过电厂没有试样采取的技术人员。同时, 因为没有进行定期的试样采取, 地热井上没有设置试样的采取口。

(2) 中国方面所有的地球化学数据资料的精度

对中国方面既存数据资料的离子平衡进行确认的结果是, 发现阴离子不足的分析值占全部的 5% 左右。所有资料的 CO_2 值都显的偏低。同时确认了半数的 SiO_2 浓度的热水分析结果比实际值要低。作为数据资料精度的确认方法, 一般来说采用同一口井的不同采取日的的数据资料进行比较是有效的, 但是, 在此次的调查中, 中国方面提供的的数据资料里同一口井的资料很少, 所以没能进行充分的详查。

(3) 地球化学数据资料的误差原因

在第2次现场调查时, 在地热地质大队的分析室使用实际的地热流体试样进行了分析。其结果确认了地热地质大队具有充分的分析地热流体的技术力量。在检验试样采取之后, 紧接着必须要做前处理以防止成分发生变化。从这一必要的分析项目来看, 中国方面数据资料的误差原因是因为试样采取后的前处理不当而引起的。

(vi) 流体地球化学模型的建立

解析用的主要数据资料如表 2-2-13 所示。在表中用斜体数字表示的热水成分, 是通过地球化学温度及化学平衡计算而推定的热储层内的热水组成值。

(1) 浅部热水的起源

图 2-2-15 表示了 2 种成分的相关图。从 δD 与 Cl 浓度, Cl 浓度与比焓的关系, 可以认为现在的羊八井地区的浅部热水, 是通过 ZK4001 井周围的深部热水和地表水混合而生成的。

(2) 关于浅部热储层的北部地区向南部地区的热水流

① 地球化学数据资料显示的倾向

气体浓度分布如图 2-2-16 所示, ^3H 浓度分布如图 2-2-17 所示。

1982 年, 1995 年和 1996 年及 2001 年的 Cl 浓度分布如图 2-2-18 所示。同时进一步从 Cl 浓度和比焓的关系, Cl 浓度和 ^3H 浓度的关系, 以及 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的关系等确认了如下的倾向。

- 2001 年的地热井蒸汽中的气体浓度, 显示了在北部地区比较高, 在南部地区比较低的倾向。
- 2001 年的气体浓度分布是温度越高浓度越高。
- ^3H 浓度在北部地区比较高, 在南部地区比较低。

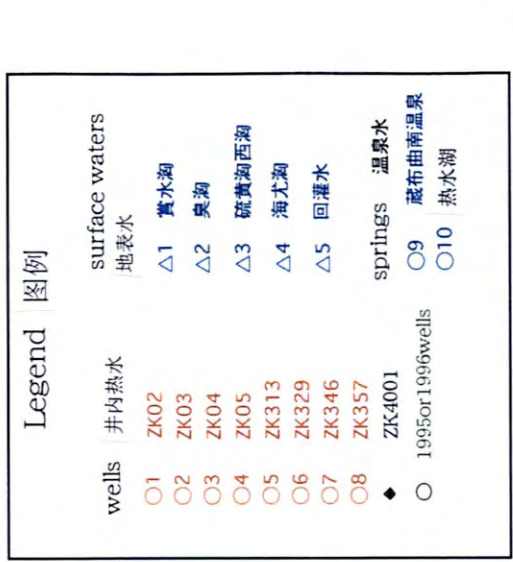
表 2-2-13 地球化学解析使用的数据

Well		ZK4001	ZK02	ZK03	ZK04	ZK05	ZK313	ZK329	ZK346	ZK355	ZK357	藏布曲南温泉	热水湖	
Sampling dates		96.11.13	01.9.29	01.9.29	01.9.27	01.9.26	01.9.28	01.9.29	01.9.27	01.9.28	01.10.6	01.9.28	01.9.28	
water temperature		°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52.3	15.3	
line pressure		kg/cmG	-	1.6	1.5	1.8	1.7	0.3	1.3	1.3	1.3	-	-	
sampling pressure		kg/cmG	-	1.3-1.5	1.4	1.2	1.5	<0.2	1.2	1.1	1.0	-	-	
flow rate		L/min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	
steam	H ₂ O/Gas ratios	H ₂ O	vol%	99.4	99.82	99.83	99.87	99.81	99.95	99.82	99.84	99.63	-	-
		gas	vol%	0.6	0.18	0.17	0.13	0.19	0.05	0.18	0.16	0.37	-	-
	Gas compositions	H ₂ S	vol%	0.4	0.8	0.8	1.0	0.9	1.8	0.6	0.8	0.6	-	-
		CO ₂	vol%	91.3	98.3	98.3	98.0	98.3	96.6	98.3	98.5	98.6	-	-
		R	vol%	6.8	0.9	0.9	1.0	0.8	1.6	1.1	0.7	0.8	-	-
	R Gas compositions	H ₂	vol%	0.2	1.3	2.3	2.1	1.8	0.8	1.4	1.8	2.0	-	-
		N ₂	vol%	86.0	95.4	93.7	94.6	94.7	95.5	95.2	94.5	93.6	-	-
		CH ₄	vol%	1.2	1.2	1.7	1.1	1.3	0.6	1.1	1.6	2.2	-	-
		He	vol%	0.9	0.6	0.9	0.6	0.7	0.3	0.5	0.9	1.1	-	-
		Ar	vol%	0.9	1.5	1.4	1.6	1.5	2.8	1.8	1.3	1.1	-	-
hot water	pH	-	6.4	6.3	6.3	6.4	6.5	7.0	6.5	6.5	-	-	7.1	3.6
	SiO ₂	mg/kg	483	213	211	196	211	148	190	207	-	207	93	65
	Cl	mg/kg	629	387	399	379	399	390	392	397	-	403	141	119
	SO ₄	mg/kg	11	35	36	34	36	29	37	35	-	36	15	1020
	HCO ₃	mg/kg	5579	1225	1162	870	1259	538	1135	1190	-	-	303	<0.5
	Na	mg/kg	386	318	326	309	325	378	327	336	-	324	193	181
	K	mg/kg	76	38	41	37	40	42	39	43	-	40	11	14
	Ca	mg/kg	1.6	4.4	1.3	2.1	1.6	1.2	1.4	1.7	-	1.7	18	195
	Mg	mg/kg	-	0.07	0.03	0.03	0.03	0.10	0.03	0.02	-	0.04	1.06	50.6
	Fe	mg/kg	0.02	0.03	0.03	0.07	0.01	0.02	0.02	0.03	-	0.04	0.22	9.0
	Al	mg/kg	1.5	0.25	0.17	0.22	0.16	0.12	0.16	0.18	-	0.18	0.54	14.6
	As	mg/kg	0.0	2.5	2.6	2.5	2.6	2.1	2.6	2.6	-	2.6	0.1	0.1
	Li	mg/kg	14.8	7.0	7.2	6.8	7.2	8.8	7.1	7.7	-	7.3	2.2	4.4
	Sr	mg/kg	0.00	0.19	0.15	0.17	0.12	0.07	0.13	0.15	-	0.16	0.24	2.3
	F	mg/kg	9.1	11.7	11.4	11.5	11.9	11.4	12.2	11.5	-	12.1	4.7	5.6
	Br	mg/kg	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	-	1.0	0.4	0.3
	I	mg/kg	0.00	0.09	0.04	0.07	0.07	0.07	0.08	0.06	-	0.06	<0.01	<0.01
	B	mg/kg	273	43	43	42	45	43	43	46	-	45	17	13
	H ₂ S	mg/kg	0.0	0.5	0.4	1.2	1.1	0.2	0.6	1.1	-	0.9	0.2	<0.5
	Hg	μg/kg	0.00	0.38	0.27	0.21	0.40	0.29	0.39	0.36	-	0.17	0.15	0.14
δD (H ₂ O)	‰SMOW	-148.5	-140	-140	-145	-144	-145	-145	-144	-	-144	-150	-124	
δ ¹⁸ O (H ₂ O)	‰SMOW	-17.7	-17.8	-17.8	-18.4	-18.1	-18.4	-18.2	-18.1	-	-18.1	-20.2	-14.1	
δ ¹⁸ O (SO ₄)	‰SMOW	-	+8.4	+8.5	+7.4	+8.3	+9.9	+7.8	+8.2	-	+8.4	+8.7	+0.2	
δ ³⁴ S (SO ₄)	‰CDS	+18.8	-8.8	-8.8	-9.1	-8.8	-8.6	-8.4	-8.9	-	-8.4	-7.3	-10.9	
δ ¹³ C (CO ₂)	‰PDB	-	-9.2	-9.2	-9.6	-7.7	-8.3	-8.5	-8.5	-	-8.9	-9.1	-33.0	
³ H	TU	5.6	1.8±0.1	1.8±0.2	1.7±0.1	1.5±0.1	1.57±0.13	1.9±0.1	1.6±0.1	-	1.4±0.1	<0.37	6.0±0.2	
Geothermometer (T _{SiO₂}) *		°C	249	182	181	176	181	158	174	179	-	180	-	

粘井热水的斜体字指深部换算值

$$* T_{SiO_2}(Quartz) = \frac{1522}{5.75 - \log(SiO_2)} - 273 \quad \text{Fournier(1977)}$$

(adiabatic)



sourcebook 资料来源(地热地质大队, 1996)
* Zhao Ping et al(2000)

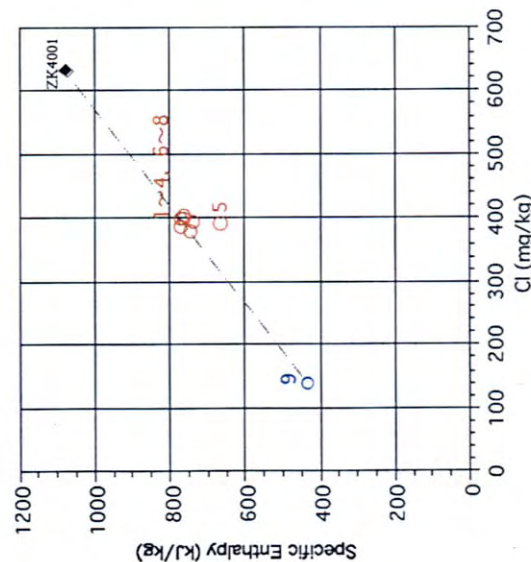
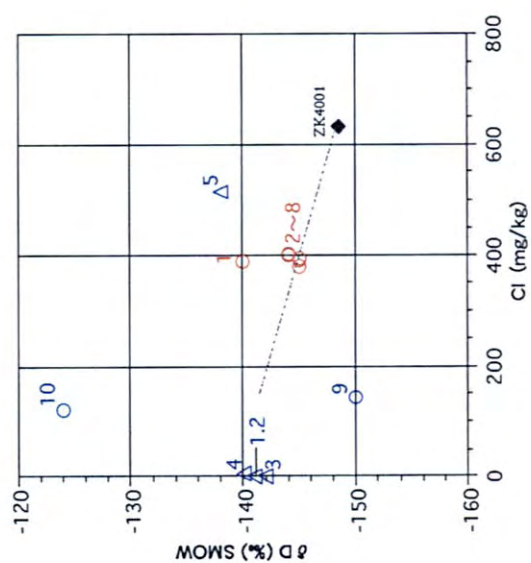
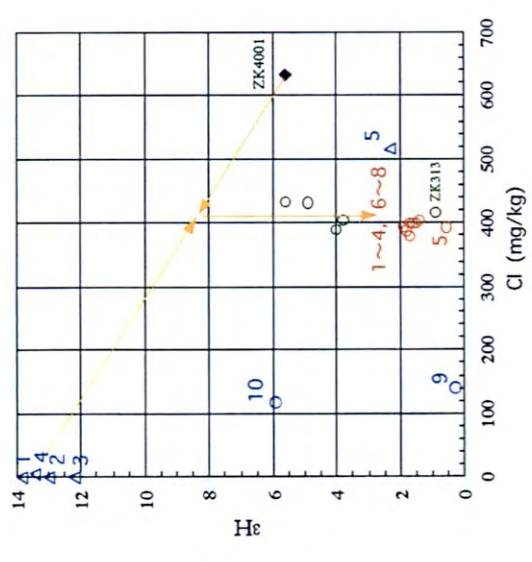
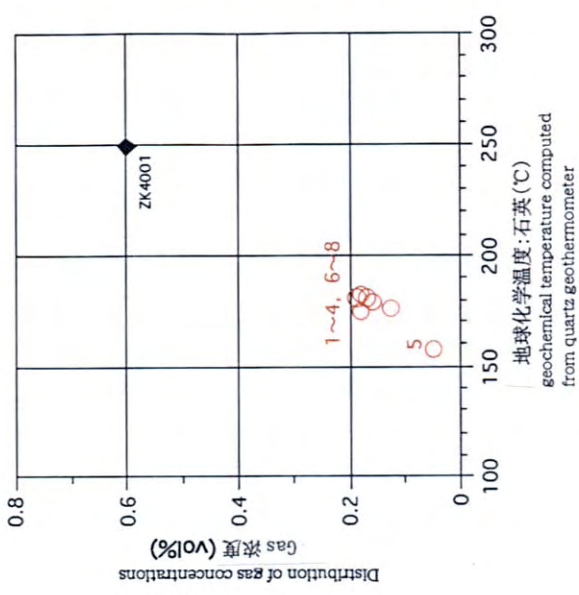
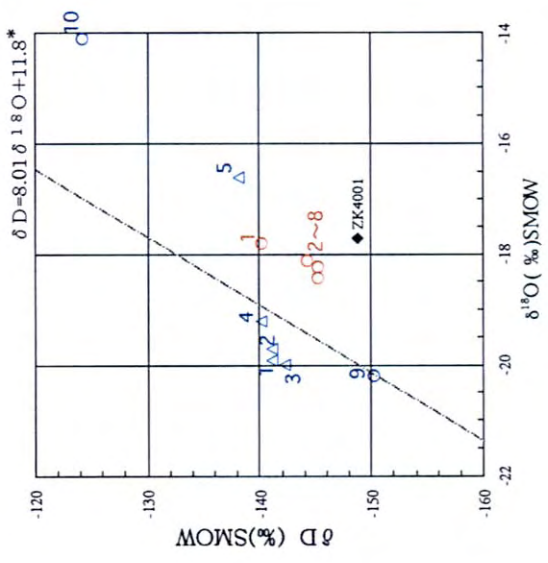


图 2-2-1-5 二成分相关图

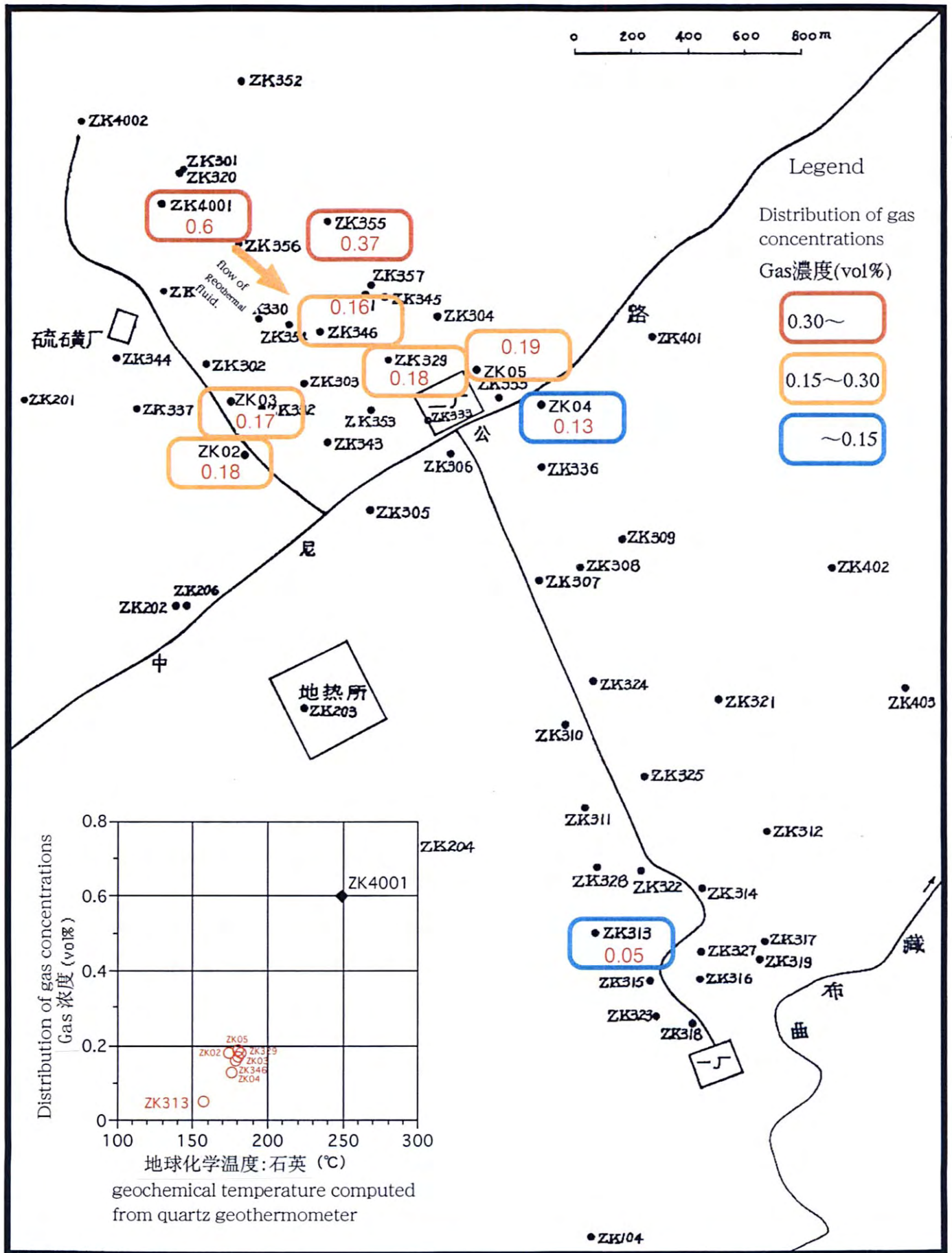


图 2-2-16 气体浓度分布图

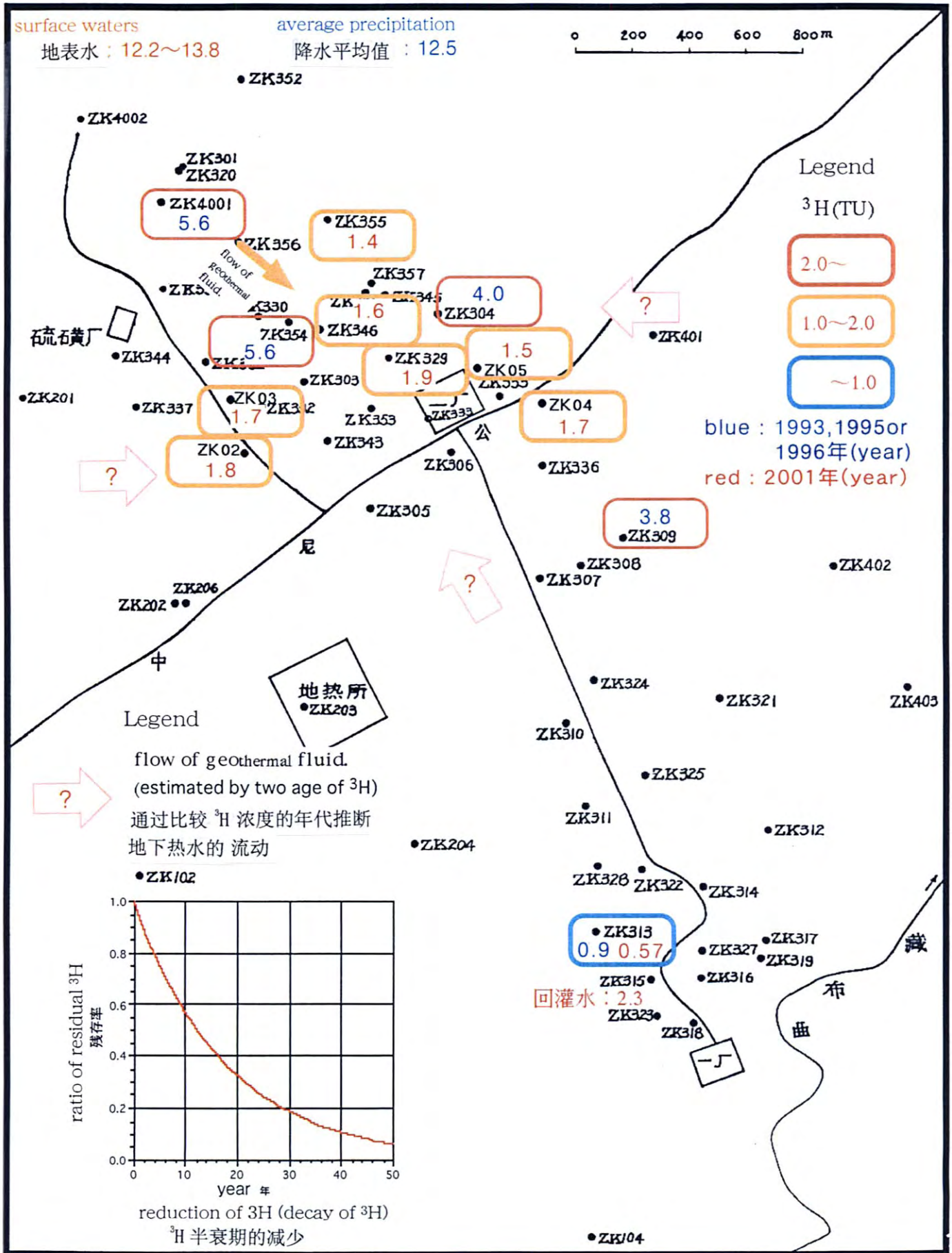
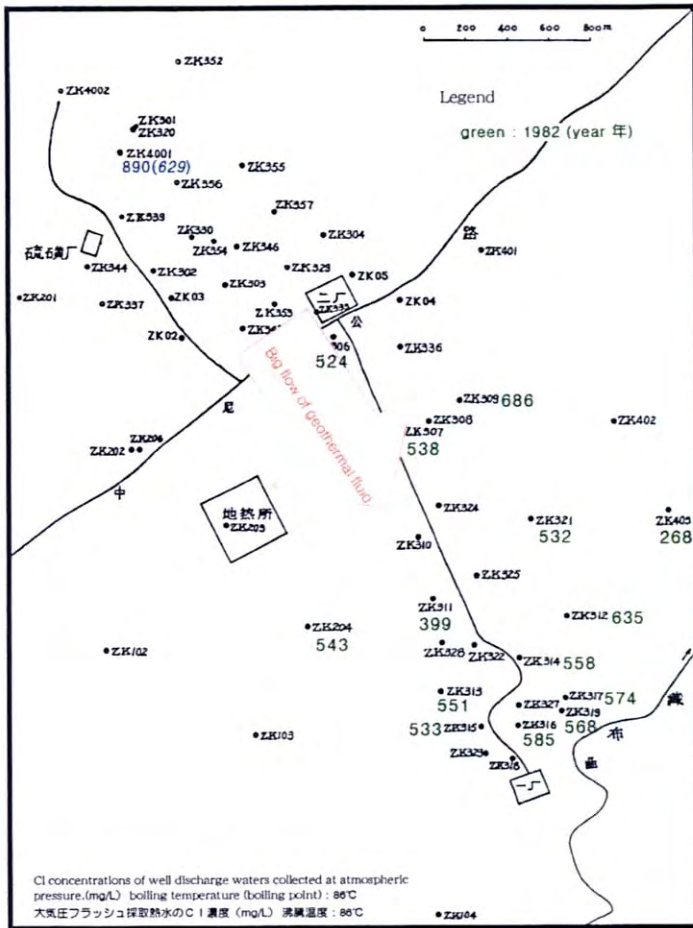
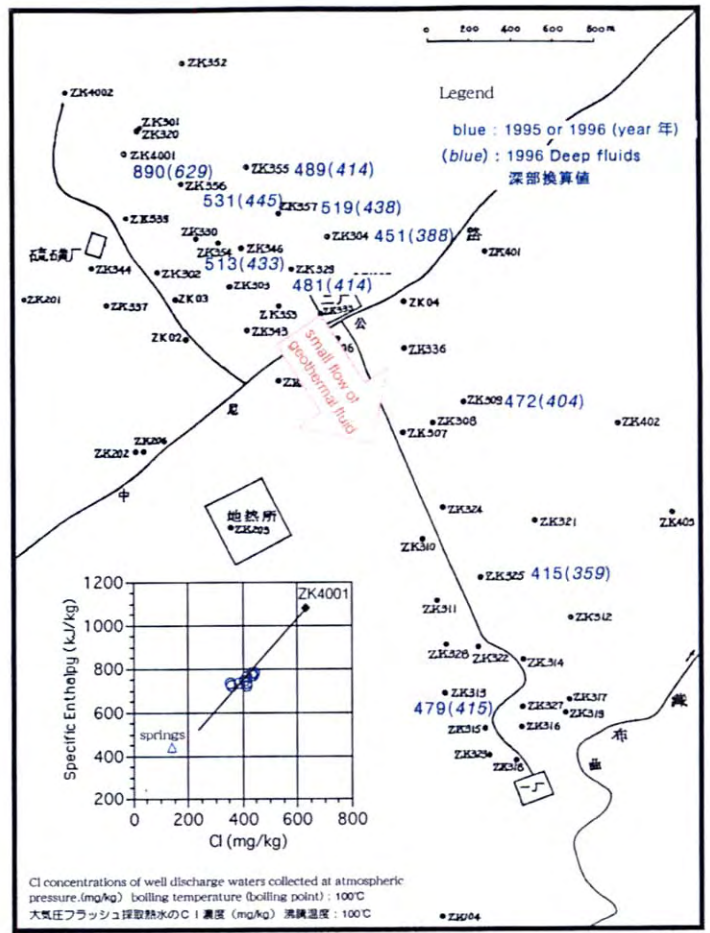


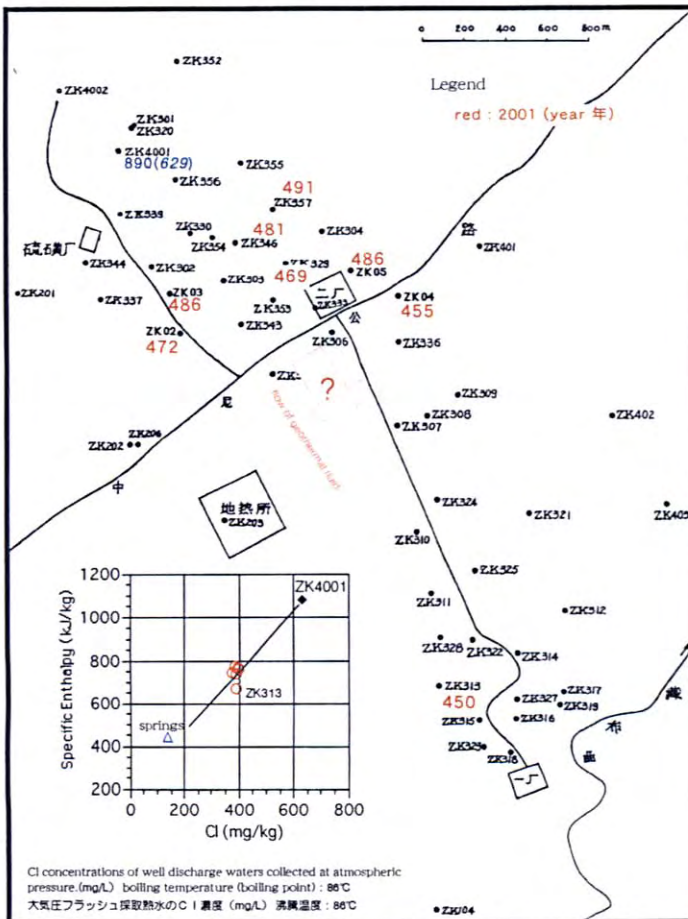
图 2-2-17 ^3H 浓度分布图



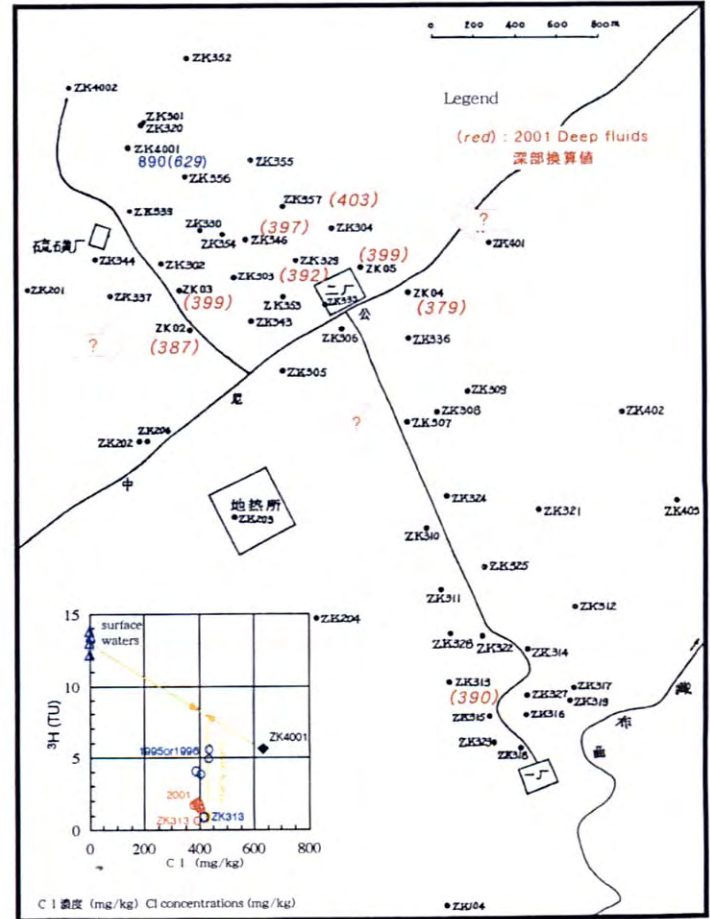
1982年 Cl 浓度分布图
Distribution of Cl concentrations 1982



1996年頃 Cl 浓度分布图
Distribution of Cl concentrations about 1996



2001年 Cl 浓度分布图
Distribution of Cl concentrations 2001



2001年 Cl 浓度分布图(深部換算値)
Distribution of Cl concentrations 2001 (Deep fluids)

图 2-2-18 Cl 浓度分布图

- 1996 年左右的 ^3H 浓度，在北部地区确认有浓度差。2001 年的 ^3H 浓度，在北部地区大体上相同。
- 1982 年的 Cl 浓度与 2001 年及 1996 年左右的相比，Cl 浓度高的地热井比较多，而且地热井之间的浓度值比较散乱。
- 1996 年左右，浅部热储层内的从北部地区往南部地区的流体流动状况，从热水的比焓与 Cl 浓度的相关关系得以确认。即从北部地区往南部地区的 Cl 浓度和比焓共同减少着。
- 2001 年的浅部热水的 Cl 浓度，在北部地区和南部地区相同。南部地区的 ZK313 井的比焓比较低，确认了为冷却传导。
- 1996 年左右和 2001 年的 Cl 浓度大体上相等，不过 2001 年的 ^3H 浓度相对比较低。
- 2001 年的 ZK313 井的 ^3H 浓度，与 1995 年的 ZK313 井的 ^3H 浓度通过放射性裂变（半衰期：12.3 年）减少的值一致。
- 2001 年的北部地区浅部热水的 ^3H 浓度，比 1996 年的 ^3H 浓度通过放射性裂变减少的浓度值还低。
- 2001 年的 ZK313 井的 δD 及 $\delta^{18}\text{O}$ ，与其他的浅部热储层的热水呈同样的值。

② 羊八井地区地表水热显示及 Cl 浓度

在推测流体流动之前先对 Cl 浓度及温泉的现状进行整理。热水中的 Cl 浓度变化的原因，一般来说可以考虑是「由地表水引起的稀释」，「由回灌热水的混入引起的高浓度化」，及「由汽化蒸发引起的浓缩」等引起的。现在的羊八井地区，随着蒸汽的生产开发，以前曾经活跃的地表喷气渐渐消失，温泉涌出口也从藏布曲以北消失掉，以前曾是巨大的温泉涌出口「热水湖」的水位也从电厂运转后下降十几米。根据这些现状将 Cl 浓度的变化整理如下。

- 1982 年以前，通过喷气活动，由于蒸汽的放出引起浅部热水部分浓缩而使得热水中的 Cl 浓度变得比较高的现象被确认。
- 现在地表的喷气和温泉渐渐消失没有发生 Cl 浓度的浓缩。
- 2001 年的浅部热水，在浅部热储层内地表水和回灌热液进一步得到混合的现象得不到确认。

③ 浅部热储层流体流动的推测

由以上的倾向和事实，推测出现在的羊八井地区浅部流体流动状况如下。

- 浅部热储层的热水是以 ZK4001 井周围的深部热水为起源水，跟地表水的混合而

生成的。

- 从 2001 年的 Cl 浓度及水的同位素比可以认为，供给浅部热储层的流体及热源，只单是从北部地区被供给的 ZK4001 井周围的深部热水和地表水混合而生成的。
- 从 1996 年左右的 Cl 浓度和比焓的关系可以推测出，1996 年左右为止时的浅部热水是从北部地区流向南部地区。
- 到 1996 年左右为止浅部热储层内的热水和地表水混合的现象得以确认，不过 2001 年的浅部热储层没有直接浸入地表水。
- 比较 1996 年和 2001 年的 Cl 浓度和比焓的关系，可以确认在 2001 年，ZK313 井的热水为冷却传导，因此推测出从北部地区向南部地区的热水流动，在 2001 年时显得非常的少或可能不存在。
- 从 ^3H 浓度的经时变化可以推测出，2001 年的北部地区的生产流体，可能是伴随着主生产地区向北部转移引起热储层压力的下降，使周围的旧热水返回流向北部地区。

(3) 浅部热储层的现状

在北部地区供给浅部热储层的热水量，相对于现在的浅部热储层的生产量来说是不足的。而南部地区的流体温度正逐渐下降，不过，这个温度的下降不是因为直接吸收冷地表水而发生急剧的温度下降。浅部热储层没有吸收地表水的原因，可以认为是因为「地表水少」或由于「热储层内的结垢使得断裂闭塞」引起的。但不论怎样羊八井的浅部热储层，由于没有直接吸收地表水而避免了急剧的温度下降。同时在北部地区也出现了热水供给不足的现象，现在有可能是周围地区的流体向北部地区流动。

(vii) 地球化学平衡模拟结果

通过地球化学平衡模拟演算得出地热井的热储层内的流体组成计算结果如表 2-1-4 所示。羊八井地区的地热井的热储层内的热水 pH 值被计算为 6.3~7.0。本计算结果在地球化学解析时被使用。

方解石的饱和度如表 2-2-15 所示。饱和度 ($\log Q/K$) 是矿物的溶解度积 ($\log K$) 与流体中对应的化学成分的活动度积 ($\log Q$) 进行比较的东西，饱和度 ($\log Q/K$) 为正时表示流体相对于其矿物为过饱和，为负时为不饱和。计算的结果，各生产井的深部换算热水，在流入点的状态中方解石为不饱和，深部换算热水在不引起矿物沉淀的状态下进行传导，在冷却到 100℃ 为止时方解石也为不饱和。但是，在闪蒸扩容 (flash) 后的 100℃ 的热水组成的情况下方解石变成过饱和。因此，热储层内流体在发生闪蒸扩容的情况

表 2-2-14 生产井喷出流体的流入点的化学组成计算结果

Well		ZK4001	ZK02	ZK03	ZK04	ZK05	ZK313	ZK329	ZK346
T _{so2}	℃	249	182	181	176	181	158	174	179
PH	-	6.4	6.3	6.3	6.4	6.5	7.0	6.5	6.5
Cl ⁻	mg/L	629	387	399	379	399	390	392	397
SO ₄ ²⁻	mg/L	11	35	36	34	36	29	37	35
HCO ₃ ⁻	mg/L	5579	1225	1162	870	1259	538	1135	1190
HS ⁻	mg/L	15.6	5.2	5.0	5.2	6.8	2.5	3.9	5.2
SiO ₂	mg/L	483	213	211	196	211	148	190	207
Al ³⁺	mg/L	1.49	0.25	0.17	0.22	0.16	0.12	0.16	0.18
Ca ²⁺	mg/L	1.6	4.4	1.3	2.1	1.6	1.2	1.4	1.7
Mg ²⁺	mg/L	<0.01	0.07	0.03	0.03	0.03	0.10	0.03	0.03
Fe ²⁺	mg/L	0.02	0.03	0.03	0.07	0.01	0.02	0.02	0.03
K ⁺	mg/L	76	38	41	37	40	42	39	43
Na ⁺	mg/L	386	318	326	309	325	378	327	336

表 2-2-15 方解石的饱和度计算结果

Well	ZK4001	ZK02	ZK03	ZK04	ZK05	ZK313	ZK329	ZK346
① Discharge at the feedpoint	-0.12	-0.29	-0.92	-0.58	-0.48	-0.27	-0.60	-0.52
② Case1 fluid	-2.76	-1.78	-2.40	-1.95	-1.93	-1.26	-1.91	-1.93
③ Case2 fluid	0.31	0.79	0.09	0.45	0.62	0.25	0.57	0.36

① 流入点的状态 Discharge at the feedpoint

② Case 1 fluid: 是①的流体传导冷却到 100℃ 时的状态。 State after conductive cooling down to 100℃ from state①

③ Case 2 fluid: 是①的流体绝热冷却到 101℃ 时的状态。 State after adiabatic cooling down to 101℃ from state①

下，方解石有可能从热水中沉淀，这实际上与浅部地热井内的方解石结垢沉淀的事实是吻合的。

在产生闪蒸扩容情况下地层内也可能产生方解石的沉淀，北部地区向南部地区的流体供给减少的一个原因，有可能是与地层内的方解石的沉淀有关。

(viii) 小结

地球化学调查在进行技术指导的同时，根据采取试样的分析结果，得到下面的解析结果。

- ① 对地球化学监测必要的试样采取方法，分析方法进行了技术指导并提供了一部分器材。
- ② 2001年现在的羊八井地区的浅部热水，是通过 ZK4001 井周围的深部热水和地表水混合而生成的。
- ③ 到 1996 年左右为止被确认的浅部热储层的流体从北部地区向南部地区流动供给的现象，在 2001 年时变得非常的少或可能不存在。
- ④ 2001 年现在的北部地区的浅部热储层，有可能是从周围地区吸收着旧流体返回流入北部地区。
- ⑤ 在羊八井地区需要尽早实施适当的回灌井系统以解决浅部热储层的涵养对策问题（延长使用寿命）。

2-2-3 电磁勘探 (MT 法)

(i) 调查概要

本调查是以弄清楚羊八井地区的电阻率构造，得到有关深部地热热储层信息为目的。调查范围如图 2-2-19 所示。调查的各种内容如下。

- 1) 广带域 MT 法（远距离参照点方式）进行 4 条测线、60 个测定的测定。
- 2) 测定成分是水平电场 2 成分 (E_x, E_y)、水平磁场 2 成分 (H_x, H_y)
- 3) 电场的电极间隔为 70m、测定的频率为 100Hz~1,000 秒、测定时间在 20 小时以上。

(ii) 测定方法

(1) 电场电极间隔的展开

遵从以下基准设定了电场的电极间隔。

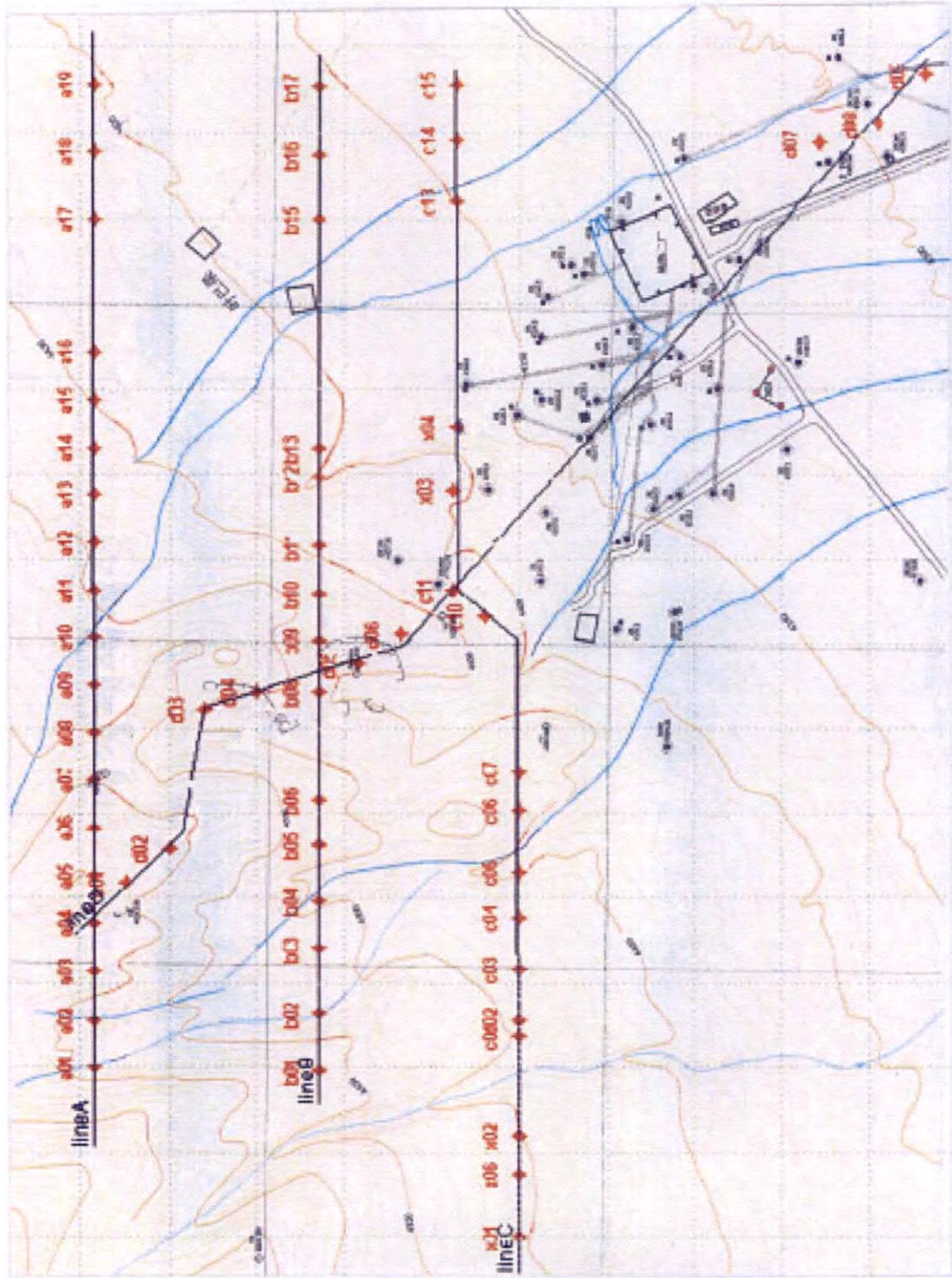


图 2-2-1-9 羊八井地区 MT 法调查测点位置图

① 电场的电极间隔原则上定为 70m 左右，测线的测量工作由西藏自治区地热地质大队实施。

② 电场的电极排列基本上是以 E_x 成分和 E_y 成分为 L 字型展开。

(2) 磁场用线圈的设定

磁场探头是采用感应(induction)型磁力计。磁场线圈的 H_x 、 H_y 是与电场测定用测线 E_x 、 E_y 成直交方向埋设在深度约 70cm 的水平坑内。

(3) MT 法数据取得系统

本调查是使用美国 EMI 公司制造的 MT 法测定系统 (MT-1) 进行 3 测点同时测定。在 1 天的测定结束之后，在现场宿舍将取得的数据资料(时间系列数据，功率谱(Power spectrum)，MT 参数)保存在 CD-R 中，并作成每个测点的资料文件保存起来。

(iii) 数据处理系统

在对各个测点进行实时处理的同时，为了进一步提高数据的质量，对所取得的时间系列数据，通过级联式采样间隔(Cascade decimation)实施频率解析。用频率解析得到的功率谱(Power spectrum)求得阻抗张量(Impedance tensor)，算出每个频率的各种 MT 参数(视电阻率及位相)。本数据处理软件系统，可以对所取得的数据资料文件进行连续处理，并具有通过确认相关性(Coherency)等来消除噪音的自动编辑功能，能够有效利用所取得的全部时间系列数据。同时也利用肉眼判断来进行时间系列数据的补助编辑。

(iv) 数据处理

本次调查除了羊八井第 2 地热电厂周围以外，取得了人工噪音比较少的良好数据资料。通过对在各个测点得到的阻抗张量进行 360 度的回转过程来推定地层的走向。这个角度被称为主方向，并成为在 1 维解析中构筑水平多层构造模型时使用的阻抗值。对每条测线按主方向作成视电阻率·位相频率断面图并进行讨论，发现成为 MT 法难题的浅部电阻率异常对深部地层的解析影响(Static-effect)，只发生在测线 C 的测点 C10，X04 附近及测线 D 的测点 D05，D06，C07 附近，判明了影响程度不大。

(v) 1 维解析

采用前述的阻抗值，通过 Bostick 反演(Bostick inversion)进行了 1 维解析(Bostick, 1977)。各个测线的断面图如图 2-2-20~23 所示。

在测线 A 确认了深部高电阻率基岩层的存在，不过其顶部的形状好象与浅部的低电阻率层的层厚有关，显示了 1 维解析中不能排除静态影响问题(Static-effect)。这个高电阻率层是向东倾斜的。

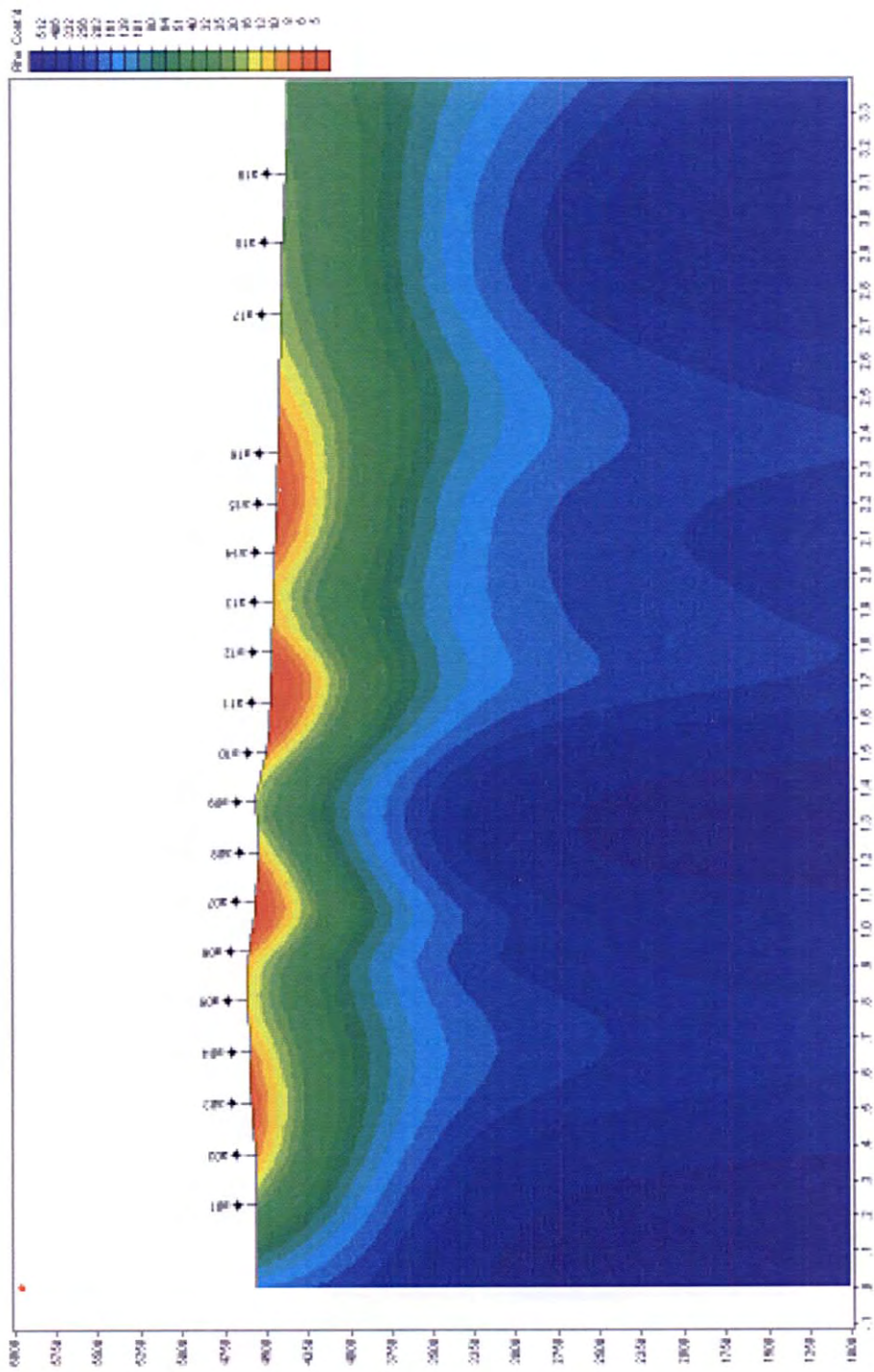


图 2-2-20 1 维解析结果 (测线 A)

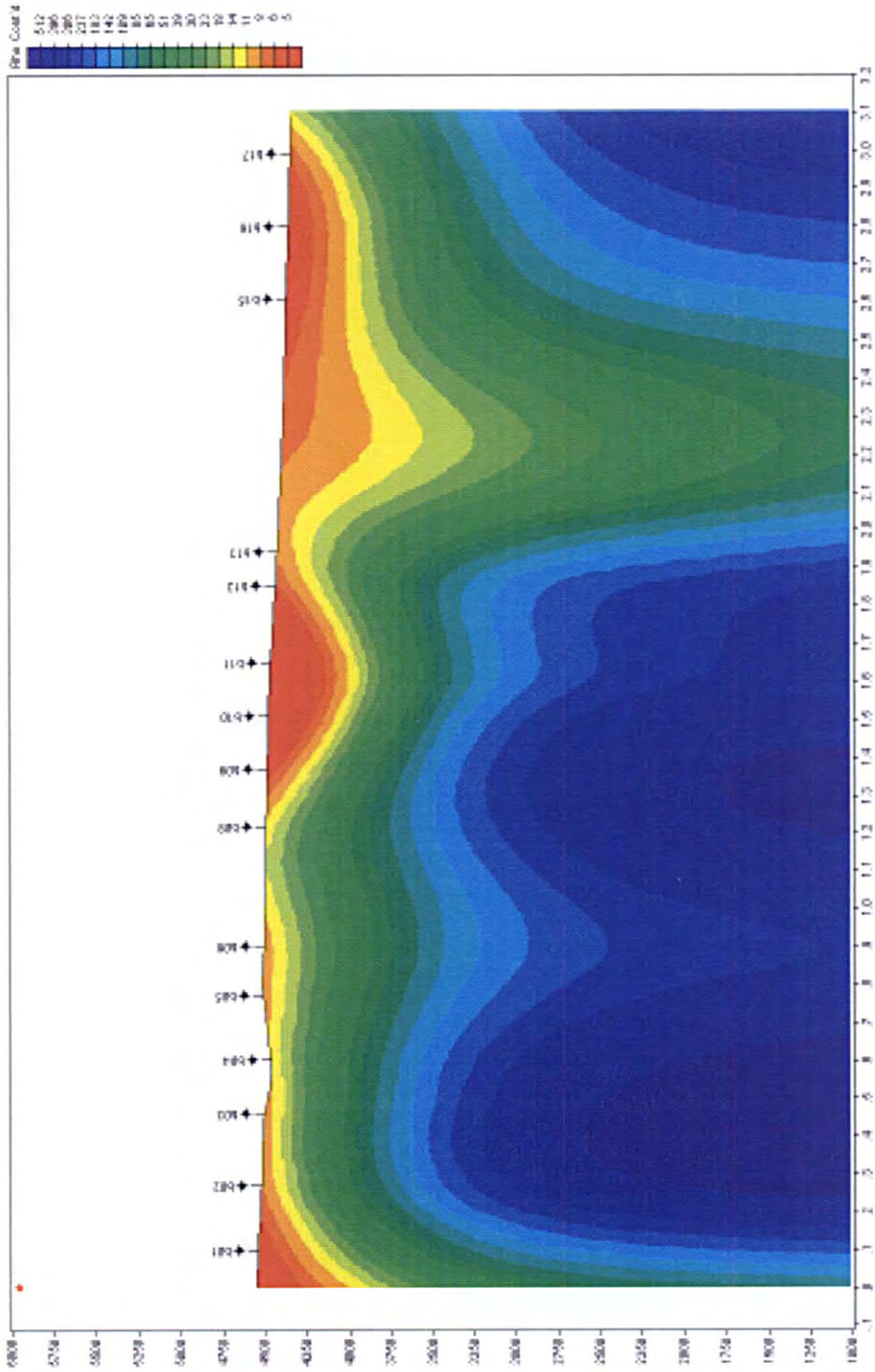


图 2-2-2-1 1 维解析结果 (测线 B)

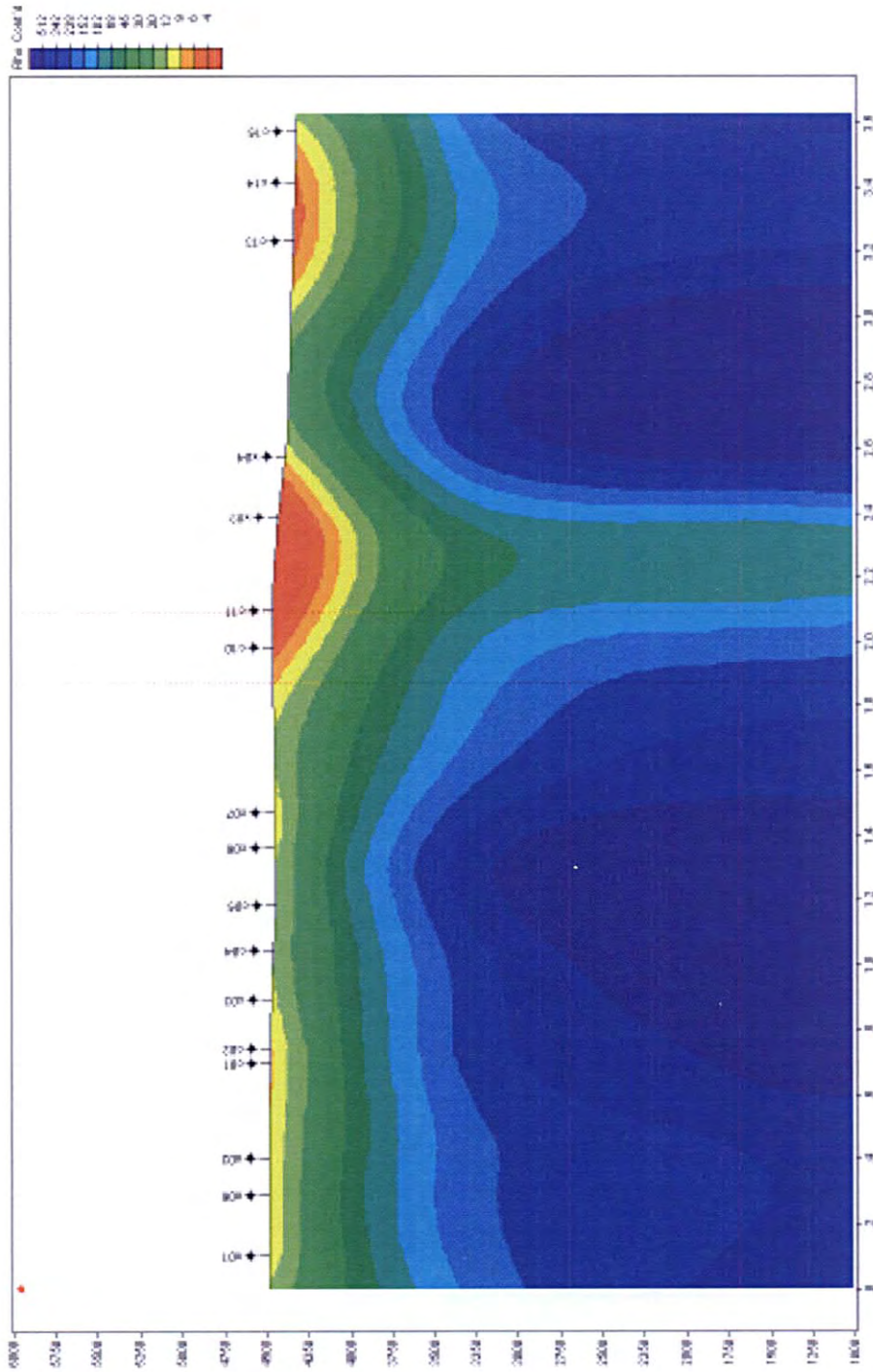


图 2-2-2 2 1 维解析结果 (测线 C)