

台湾的地热资源

刘昭民^①

台湾位于环太平洋火山活动带西缘，在板块构造上为菲律宾海盆板块与欧亚大陆板块互撞缝合之处，曾有相当规模的火山及岩浆侵入活动分布于北部、东部及北方与东南方海岸外的火山岛。北部的大屯火山群、基隆火山群、以及基隆外海的棉花屿、花瓶屿、彭佳屿、宜兰外海的龟山岛、台东外海的绿岛、兰屿等，都是火山活动的遗迹。

台湾全岛共有近百处温泉遍布各地（见图1），地热活动相当广泛，具有明显地热潜能。其中大屯地热区和龟山岛的地热活动属于火山性，其他温泉分布于中央山脉的变质岩中以及庐山地带的上新世、更新世沉积岩中。现就台湾地热资源之地质条件、特征、开发利用情形等叙述如下。

乏高温类型，其次为第四纪火山区，如大屯火山群、龟山岛与绿岛。大屯火山群温泉密集分布于一狭长地带，长约18 km，宽约3 km，其下方有五指山层，为安山岩所覆。可见热水主要蕴藏于五指山层砂岩内，向上穿过安山岩到达地面，造成许多高温温泉（包括喷气孔）。除与火山有关的以外，温泉分布在中新世沉积岩区的极为少见，已知的有清泉与上岛二处。前者已接近变质岩区。但分布于上新世及年代更晚的新沉积岩地层（包括现代冲积层）的较为多见，已知有7处，包括宜兰县之礁溪和员山，嘉义县的中仑，台南县的关子岭及龟丹（玉井附近），台东县的安通，屏东县的四重溪（恒春北方）等地。

温泉的发生与构造线或断裂活动有密切关系，其直接或间接与构造线或断裂裂隙有关的很多，如台东纵谷两侧的瑞穗（花莲县）、安通（花莲县）、红叶（花莲县）、知本（台东县）、金仑（台东县）等，其中知本与金仑温泉明显位于弧形构造线上，在卫星图片上清晰可见。温泉亦常出现于岩层或地层的界面附近，界面的一侧为砂岩，另一侧为页岩或板岩，可以清泉和达见温泉为例。温泉在变质岩区大量出现的原因可能很多，例如：

（一）变质岩区受热力与压力作用较强时，片理、劈理、节理、断层、破碎带和深长的裂隙比较发育，岩石既经固结，裂隙一旦生成，除非被热水矿物充填堵塞，否则可长久成为热水上达地面的通道。

（二）部分变质岩区具有理想地形与地质构造条件，有助于地下水的深循环。

（三）台湾于800万年前发生最后一次

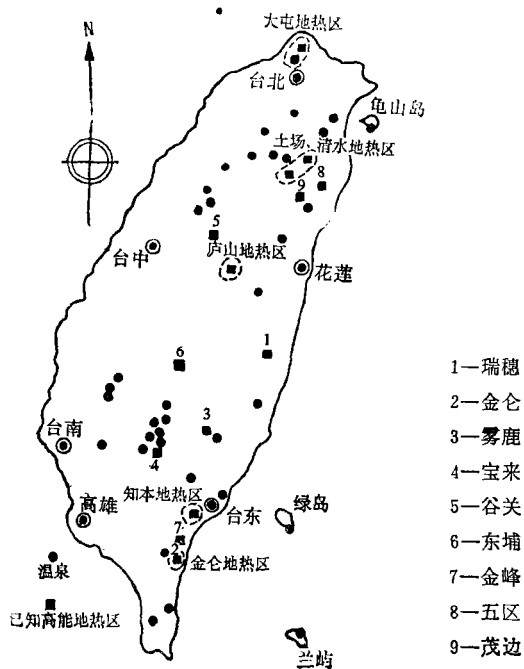


图1 台湾地热资源分布图

一、台湾地热资源的地质条件

台湾温泉多分布于变质岩区，其中亦不

变质作用,加上台湾岛自中新世以来,地形加速上升与侵蚀,于是在山区深处留下了残余热能,并造成区域性地温异常。

(四)山区基底上升过程中难免发生重力断层或开放性裂隙,增加温泉发生的机会,知本温泉和金仑温泉一带的弧形构造线即可能因基底上升,以致增加温泉发生的机会。

在中新世沉积岩分布地区,因为缺乏地温异常,岩石固结程度亦较差,泥质岩层又多,以致较难造成深长裂隙,纵有,亦难持久;又因这些地区多逆掩断层,裂隙多属紧密性,较难提供地下水作深循环而造成温泉,更难造成高温温泉。

至于温泉出现于上新世及其后的沉积岩层,可能有以下两方面的原因:

(一)地层内的地压迫使深部地层水沿裂隙上升到地面成温泉。如在关子岭和中仑温泉,当地岩石以泥岩及泥质砂岩为主,胶结欠佳,照理不大可能存在深长持久的裂隙提供热水流通,如有一定的地压存在,则即使没有开放性裂隙,仍可迫使深部地层水沿紧密裂隙上升至地面而成温泉。地压的产生可能由于地壳内部存在着水平方向的巨大应力,也可能由于高压天然气的存在。

(二)新地层(包括现代冲积层)下方有重要构造线通过,为热水穿过新地层到达地面形成温泉提供了通道。兰阳平原西北侧的礁溪、员山二温泉,以及台东纵谷东侧的安通温泉可能属于此类。

二、台湾地热资源的特征

地热温泉的化学组成,与地下热水温泉及其围岩的种类密切相关。热水温度愈高,其SiO₂含量也愈大,但超过330℃以后,则SiO₂含量反而下降,这主要由于受到石英溶解度的控制。热水中的K/Na比率也随温度的上升而增加,不过不同围岩所造成的K/Na比率亦不同,例如含钾长石的围岩所造成热水的K/Na比率,远较含钾云母的

围岩所造成者为大,这是由于两种矿物溶解度不同的缘故。

温泉水中常见的阴离子为Cl⁻,HCO₃⁻与SO₄⁻,根据其相对含量可大致分为三类,即以Cl⁻为主的氯化物泉,以HCO₃⁻为主的重碳酸盐泉,和以SO₄⁻为主的硫酸盐泉。如果有两种或三种主要阴离子等量存在,则称为混合型温泉。

根据上述原则来分析台湾各区域温泉,它们的特征可总结如下:

(一)大屯火山群的温泉

大屯火山群的温泉可分三种,第一种为酸性硫酸盐氯化物泉,是由深部酸性硫酸盐氯化物热水掺杂少量地表水而成,当热水接近地表时,水中部分H₂S氧化成硫酸,提高了热水的SO₄/Cl比率。第二种是低浓度酸性硫酸盐泉,主要由蒸汽冷凝而成,因蒸汽中含Cl很少,致使温泉水Cl⁻含量亦低,通常小于50ppm,而SO₄⁻则可能高达1000余ppm。第三种为低温浓度中性重碳酸钙泉,可能为地下水间接加热而成,较为少见。

大屯山区深部热水因渗入火山气体(HCl、S₂、SO₂、SO₃、H₂S、CO₂等)而酸化,浅部热水则因H₂S与黄铁矿氧化而酸化。在氧化带以下的安山岩具有中和能力,当深部酸水进入其内部时,便逐渐被硅酸矿物中和而成弱酸性至中性的热水,于是方解石、绿泥石、绿帘石、沸石类矿物得以在适当地点生成。深部酸性水(在沉积岩内)与氧化带以下安山岩内的热水在化学组成上有显著差别,前者主要成分为Cl⁻、SO₄⁻与Fe⁺⁺,后者主要成分为Cl⁻与Na⁺,其SO₄⁻与Fe⁺⁺含量锐减,Na⁺含量相对增加,这是由于酸性水中的游离盐酸同安山岩内斜长石的相互作用后,产生大量Na⁺与Ca⁺⁺,而Ca⁺⁺又与SO₄⁻结合成硬石膏(在高温情况下,硬石膏的溶解度极小,有利于硬石膏生成),热水中SO₄⁻含量于是锐减,Na⁺

则留在水中，成为主要成分之一。酸性水中原有的 Fe^{2+} 则与其它物质结合成绿泥石或黄铁矿，使得 Fe^{2+} 含量大为降低，这些变化可从 E 205 与 E 208 号井热水成分中看出（见表 1）。

(二) 变质岩区温泉

变质岩区温泉以重碳酸钠泉为主，pH 值在 6 与 10 之间，热水中的 Na^+ 和 HCO_3^- 可能主要由 CO_2 与钠长石发生作用而成；由于普遍存在 CO_2 与钠长石，因而就有可能造成重碳酸钠泉。变质岩区温泉的另一特征是 Cl^- 含

量很低，多数不超过 30mg/l，与火山区及沉积岩区热水的 Cl^- 含量差别甚大，主要因为变质岩区较火山区和沉积岩区缺乏氯化物来源供应的缘故。另一方面由于变质岩区含 CO_2 与 B 较富，结果造成 B/Cl 与 HCO_3^-/Cl^- 比率明显较火山区及沉积岩区热水为大的特有现象。

(三) 沉积岩区温泉

沉积岩区温泉有氯化物碳酸盐泉、重碳酸钠泉与氯化钠泉三种，前两者所占比例较大，可能系深处变质岩内热水上升进入沉积

表 1 台湾各地温泉热水之化学组成 (单位 mg/l)

地 点	温度 (°C)	pH (25°C)	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Cl	HCO_3^-	SO_4	B	SiO_2	K/Na	B/Cl	HCO_3^-/Cl^-	SO_4/Cl^-	(克分子比率)
大屯火山群:																		
*新北投地狱谷	98	1.6	965	360	68	240	132	101	3400	—	2680	42	191	0.219	0.041	—	0.291	
顶北投	46	7.6	7.2	nil	65	117	1	nil	92	367	185	0.3	113	—	0.009	2.3	0.74	
马槽	97	2.5	196	33	102	222	6.5	36	483	—	1231	7.1	190	0.18	0.048	—	0.941	
死磺子坪	94	3.9	9.3	nil	13	14	21	23	14	—	430	tr.	140	—	—	—	11	
*大埔	90	2.4	545	77	50	70	29	20	1240	—	525	9	95	0.083	0.024	—	0.156	
E 205-1400m	240	4.8	3734	659	467	509	nil	140	9573	—	105	—	570	0.104	—	—	0.004	
E 208	293	1.0	807	168	815	240	432	10550	24380	—	11120	684	2168	0.122	0.092	—	0.168	
变质岩区:																		
乌来	84	6.8	486	27	1	5	tr.	tr.	26	1061	—	—	61	0.033	—	24	—	
清水	99	9.7	923	39	tr.	tr.	0.5	tr.	6	681	10	10	289	0.025	16	66	0.6	
仁泽(土场)	98	8.7	710	15	0.3	1.7	1.7	tr.	13	2010	32	32	135	0.012	—	90	0.91	
IT 3(土场)	173	8.8	1090	20	—	—	0.8	—	38	2380	50	35	262	0.012	3.0	36	0.49	
文山	44	6.5	97	7.5	42	196	0.5	tr.	11	298	614	614	45	0.045	0.30	16	21	
谷关	60	7.5	161	4.3	6	11	0.6	tr.	18	415	59	59	50	0.016	0.26	13	1.2	
庐山	88	9.4	516	16	3.6	4.4	0.3	tr.	20	1357	86	86	107	0.018	3.6	39	1.6	
瑞穗	57	6.0	103	1.2	5.1	56	0.7	tr.	17	444	10	10	48	0.007	0.23	15	0.22	
宝来	62	6.8	476	7.5	3.9	19	tr.	tr.	12	1322	4.5	4.5	52	0.009	0.85	64	0.4	
利稻	92	7.5	368	25	6	1.6	0.8	tr.	31	980	67	67	125	0.040	0.32	18	0.80	
多纳	57	6.7	219	3.5	0.8	2	1.7	tr.	12	620	23	23	48	0.009	0.30	30	0.71	
知本	62	6.3	345	9.5	11	4	0.5	tr.	8.5	1135	33	33	77	0.013	6.2	78	1.4	
金仑	50	6.2	150	6.7	11	37	2.2	tr.	1.0	537	47	47	51	0.026	12	312	17	
沉积岩区:																		
礁溪	54	7.3	200	8.8	3.2	15	tr.	tr.	48	580	11	—	45	0.026	—	7.0	0.035	
员山	43	6.6	295	4.1	27	163	tr.	tr.	319	437	12	—	20	0.008	—	0.80	0.014	
清泉	39	7.9	425	5.6	41	11	0.6	tr.	24	1220	9.1	9.1	22	0.008	0.20	30	0.24	
中仑	56	7.0	9623	93	11	4.3	5.0	tr.	9576	10750	59	59	80	0.006	0.048	0.65	0.002	
关子岭	84	7.9	3790	139	4.7	3.6	tr.	tr.	2556	5429	15	15	30	0.022	0.174	1.23	0.002	
龟丹	38	7.5	529	5.1	0.8	2.9	tr.	tr.	178	1164	6.1	6.1	18	0.006	0.081	3.8	0.012	
四重溪	49	7.2	494	5.3	1.5	1.6	3.3	tr.	36	1306	13	13	60	0.006	0.20	21	0.13	
安通	64	8.5	505	40	0.1	88	3.9	tr.	664	73	370	370	45	0.047	0.01	0.06	0.206	

资料来源:有*者来自新西兰 DSIR 化验室,其他来自矿研所程枫萍。

岩层与氯化物水混合而成，宜兰县礁溪与员山温泉可能属于此类，清泉与四重溪温泉离变质岩区不远，两者均以重碳酸钠为主。至于龟丹、关子岭、中仑三处温泉虽离变质岩区较远，仍含大量重碳酸盐，其CO₂来源可能自三：一为来自下方的变质岩地层，二为来自岩浆岩侵入体（因为该地区有一重力正异常），三为来自天然气中之CO₂。

在地热资源（温泉）成因方面，各种温泉的成因也各有其特征：

1. 与火山活动有关的温泉：包括大屯火山群、龟山岛喷气孔、绿岛温泉等。这些地区有明显的重力正异常，显示下部有侵入岩体或岩浆库。

2. 非火山性温泉：包括变质岩及沉积岩分布地区的温泉。这些地区的岩石孔隙率极低，因此热水对流体借助于裂隙进行，热水以重碳酸钠为主要成份，pH值在8.5~9之间（见表1）。以土场、清水、庐山三地热区为例，其热水可能为大气水（雨水）自中央山脉脊梁渗入，向下或向各方向流入地下2~5 km深处，再沿断裂带或裂隙上升到地表附近而形成（见表2）。

表 2 台湾地热资源及其潜能

	大屯地热区	其他地热区 (包括变质岩区、沉积岩区)	备 注
成 因	火山性	非火山区	
温 度	200~300℃	100~200℃	
产 状	砂岩与火山岩中之裂隙	变质岩之片理、节理、裂隙，沉积岩之裂隙	
化学特征	SO ₄ ²⁻ Cl ⁻	NaHCO ₃	
pH 值	2~5	8~9	
潜 能	发电	50万千瓦	1~6万千瓦
	热能利用	1.5 × 10 ¹⁸ 焦耳	3.5 × 10 ¹⁸ 焦耳
			合计 100 万千瓦
			合计 5 × 10 ¹⁸ 焦耳

三、台湾地热资源的开发利用

台湾地热资源的开发始于1965年，当时成立了矿业研究服务组（矿业研究所前身）并展开了地热勘探工作。第一个目标区是北部大屯火山群地热区，调查面积达200 km²。经几年的调查研究，终于评估该区潜能可达50万千瓦，最高温度达300℃，但因地热流体具腐蚀性，有待研究耐腐蚀材料克服腐蚀问题后，方可开发利用。嗣后随即推动全省地热区之调查，据以选择主要潜能区作进一步勘探。

1974年第一次能源危机后，矿业研究所、“中国石油公司”、台湾电力公司密切配合，分别负责勘探、生产及发电。稍后矿业研究所根据全省地热普查结果选定宜兰县清水地热区，全力进行勘探调查，证实该区潜能大，且地热流体为弱碱性，没有腐蚀作用，品质很好。1976年春，由“中国石油公司”台湾油矿勘探处钻井，获得丰富生产。1977年成立地热发电研究小组进行研究工作，同年秋在清水地热区建造第一座1500千瓦先驱型地热试验电厂，以供各项试验及示范。目前该地区地热生产总量已达550吨/小时以上。1981年4月完成第二座3000千瓦的地热发电厂。同年9月正式营运。

1980年起，矿业研究所先后完成庐山、知本、安通、瑞穗、金仑、雾鹿、宝来等地区地热潜能的勘探和调查工作，初步评估全台湾27处地热区的发电潜能大约100万千瓦，将来计划开发为地热发电，农工商业方面的使用，以及一般住宅的热能利用、浴疗、观光等方面的应用。

① 作者为台湾学者