

青岛即墨温泉喷流沉积物及其沉积模式

栾光忠 王文正 刘东生 刘 激

(青岛海洋大学 , 山东 青岛 266003)

摘 要 本文应用 XRD 测试技术和岩石地层学方法、生物地层学方法 , 将即墨温泉地热区第四系划分为层 I、层 II₁、层 II₂ 和层 III。根据沉积物中所含石膏、岩盐等与温泉地热水相关的自生矿物的空间分布和以直隶小旋螺(*Gyraulus chihliensis*) 为代表的腹足类陆生软体动物化石 , 以及以土星介(*Illyocypris* sp.) 为代表的节肢动物介形虫化石的空间分布 , 确立 II₁ 层为温泉喷流沉积 , 是第四纪活动断裂控制的地球化学异常的产物 , 以此建立起温泉喷流沉积模式。

关键词 XRD 测试 层序划分 沉积模式 温泉喷流沉积 地热地质

The Eruptive Flow Sediments in Jimo Warm Spring of Qingdao and Its Depositional Model

LUAN Guangzhong WANG Wenzheng LIU Dongsheng LIU Ji

(Qingdao University of Oceanography , Qingdao , Shandong 266003)

Abstract The Quaternary deposits are divided into Layer I , Layer II₁ , Layer II₂ and layer III by means of XRD determination , stratigraphy and biostratigraphy. According to the spatial distribution of autogenetic minerals (gypsum and salt rock) , Quaternary mollusca (*Gyraulus chihliensis*) and microfossil (*Illyocypris* sp.) in the sediments and the spatial distribution of these sediments , Layer II₁ is considered to be the eruptive flow sediments of the warm spring formed through the erosion , transportation and deposition of Layer I and Layer II₂ under the action of high mineralized thermal water at the eruptive flow area of the warm spring. According to spatial distribution of the sediments , the depositional model of the sediments in Jimo warm spring is established.

Key words XRD determination division of Quaternary deposits depositional model of the warm spring geothermal geology

温泉喷流沉积物是在地下水-岩-气体作用和表生沉积联合作用下 , 以黑色矿泥的形式沉积于温泉周边的特殊沉积物 , 是温泉形成时空信息的载体和温泉存在的重要标识。同时 , 因其含有多钟对人体有益的微量元素 , 亦是泥疗的主要矿物质。涂光炽指出 : “ 中-低温热水沉积也称为喷流沉积 , 它沟通着水文学、沉积学、地球化学、油气地质、一些被忽视的成岩成矿作用等看来并不十分邻近和相关的学科领域 , 但可能正是由于这个原因 , 它有着广阔的发展前景 ” (汪集 , 1993) 当前 , 对大陆温泉研究多集中于温泉地热水的成因类型、地热属性 (汪集 , 1993 ; 栾光忠 , 2002 ; 李学伦 , 1994 ; 金秉福 , 2000) 控泉构造模式与构造分析 (汪集 , 1993 ; 栾光忠 , 1993) 以及可持续开发 (Axelsson , 1998) , 同位素与地球化学 (Pang Zhonghe , 1998) 等探测技术方面的研究。本

文通过野外取样 , 应用 X-衍射、生物地层学方法对山东青岛即墨温泉地热异常区第四系进行层序划分 , 建立温泉地热沉积物的沉积模式。

1 水文地质特征

青岛即墨温泉位于即墨市温泉镇 (图 1)。平均水温为 66 ℃ , 水温最高可达 93 ℃ , 是含多种化学元素的热水资源。地热水阴离子 CL 和阳离子 Na 的含量很高 , 为氯化钠型水质 , 矿化度为 12 g/L。此外 , 地热水中还含有 Br、K、I 等多种元素以及 Ra 等放射性元素 , 是具医疗作用的地热水。地热水携带固形物为 8 092.60 mg/L。温泉水资源储量丰富 , 单井最大涌水量为 1 019 m³/d。在胶东 14 处温泉中 , 即墨温泉是胶东三大温泉 (招远温泉、威海温泉和即墨温泉) 之一。

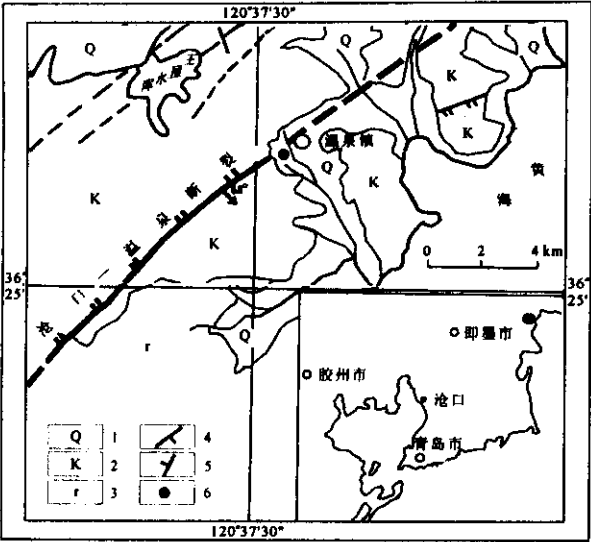


图 1 青岛即墨温泉位置及地质略图

Fig.1 Location of Jimo warm spring in Qingdao and geology sketch map

1-第四系 2-白垩系 3-燕山期花岗岩;
4-断裂及产状 5-地层产状 6-温泉;

1-Quaternary 2-Cretaceous 3-Yanshanqi granite 4-fault and occurrence 5-stratigraphic occurrence 6-warm spring

温泉位于崂山花岗岩体与白垩系侵入接触的 NE 边缘,地层为下白垩统青山组第一段(K_1q^1)。岩性为凝灰质碎屑岩和火山岩,厚约 1 500 m 左右。地热区内第四系较为发育,厚度为 10~15 m,最大可达 25 m,成因类型复杂。沧口-温泉第四纪活动断裂(栾光忠,2000)隐伏于地热区第四系之下,成为控制即墨温泉地热异常和地球化学异常的主导性构造。

2 第四纪沉积物层序划分及特征

2.1 第四纪沉积物的矿物学、生物地层学特征

即墨温泉地热区第四纪沉积物由于河流的侵蚀和冲沟的发育,第四系剖面出露良好(图 2)。在温泉地热区选择典型剖面 I、II、III、IV、V 取样。X-衍射分析结果见表 1。

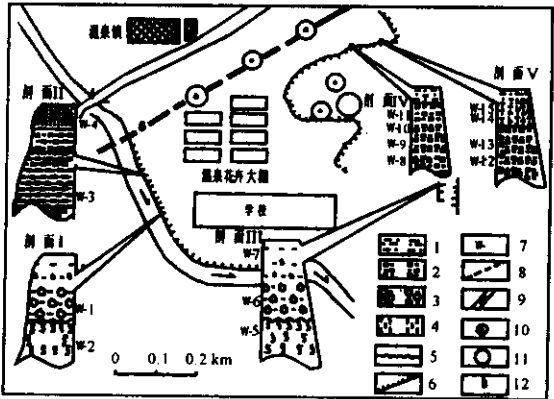


图 2 即墨温泉沉积物取样点及地层柱状图

Fig.2 Sampling spots of quaternary deposits

in Jimo warm spring and strata column like section

1-层 III 沼泽沉积物 2-层 II₁ 温泉喷流沉积物;
3-层 II₂ 温泉沉积物 4-层 I 冲、洪积物 5-风化剥蚀面;
6-第四纪沉积物剖面 7-样品代号 8-推测断层;
9-河流及流向;10-温泉机井;11-温泉大口井;12-温泉
1-layer III deposits of marsh 2-layer II₁ deposits of
warm spring eruptive flow 3-layer II₂ deposits of warm spring;
4-layer I deposits of river and flood water 5-surface of weathering;
6-section of Quaternary deo-sits 7-code of sample 8-deductive fault;
9-river and direction of flow;10-mechanical well of warm spring;
11-well of warm spring;12-warm spring

表 1 即墨温泉地热区沉积物样品 X-射线衍射分析与古生物化石含量

Table 1 The minerals contains of XRD and the contains of paleobiofossils in deposits of Jimo warm spring geothermal area

															%
矿物	w-1	w-2	w-3	w-4	w-5	w-6	w-7	w-8	w-9	w-10	w-11	w-12	w-13	w-14	w-15
石英	13.0	11.9	9.5	18.5	18.8	10.1	13.9	19.9	13.5	14.7	15.6	15.7	24.1	36.9	22.3
长石	8.5	5.1	4.8	10.7	11.4	7.8	7.5	8.4	7.9	9.0	23.0	9.7	12.3	52.0	11.7
方解石	44.2	2.8	1.0	—	—	24.4	—	—	7.3	—	—	—	—	—	—
岩盐	—	—	8.5	<1	—	—	<1	1.2	40.0	26.6	11.8	8.3	2.1	2.5	1.3
石膏	<1	<1	1.2	<1	<1	1.5	1.1	1.9	3.1	5.7	2.2	3.5	<1	<1	<1
	1.5	1	1.6	<1	<1	2.5	1.4	2.7	14.6	9.7	4.4	5.3	1.3	1.8	<1
伊利石	29.1	70.0	67.6	58.1	54.9	45.1	64.2	58.3	14.1	45.7	42.5	57.0	49.7	18.6	54.6
	84.7	87.3	88.7	82.7	78.6	78.1	82.3	82.7	66.0	77.8	85.5	86.0	80.7	83.4	83.4
绿泥石	2.9	3.1	2.5	5.9	6.5	3.6	5.7	5.7	1.3	3.8	2.5	1.9	4.1	1.8	5.3
	8.4	3.9	3.3	8.4	9.3	6.3	8.0	8.0	6.3	6.5	5.1	2.9	6.7	8.0	8.1
高岭石	1.8	6.3	5.0	5.7	8.1	7.5	7.1	4.6	2.8	3.5	5.03	3.9	7.0	1.5	5.2
	5.3	7.9	6.5	8.1	11.6	13.1	9.1	6.6	13.2	6.0	3.9	5.8	11.3	6.7	8.0
生物化石方数据	极少	—	—	—	极少	丰富	较少	—	—	—	—	—	—	—	—

剖面 I:W-1 号样品含有丰富的以直隶小旋螺 (*Gyraulus chihliensis*) 为代表的腹足类陆生软体动物化石和土星介 (*Illyocypris* sp.) 节肢动物门微体古生物化石。W-2 号样品位于 W-1 号之下。沉积物呈土黄色、致密块状, 硬度较大, 具有柱状节理。样品中含有少量生物介壳和碎屑矿物, 如石英, 多被染成红色, 反映沉积物是在氧化环境下形成的冲、洪积物。

剖面 II:自生矿物的质量百分数较高, 石膏为 1.2%, 岩盐为 8.5%。石膏晶体肉眼可见。沉积物中不含直隶小旋螺和土星介化石。反映沉积物与高矿化度、高盐度的环境相关。W-4 样品位于 W-3 样品代表的层位之上。W-4 样品碎屑矿物的百分含量较高, 以粉砂为主。该层沉积水平层理发育, 层位稳定, 垂直层面发育大量的褐色铁质胶结柱状结核(根管), 成为该层位的标识性特征。

剖面 III:W-5 沉积物与 W-2 具有相同的特征。样品中碎屑矿物(如石英), 多被染成红色, 反映沉积物是在氧化环境下形成的冲、洪积物。在该层位顶部, 有大约 20 cm 厚的沉积物具有被氢氧化铁淋滤的现象, 反映经受长期风化、剥蚀, 显示古风化壳的特征。W-6 与 W-1 沉积物具有相同的特征(详见剖面 I)。在野外风化面上, 肉眼可见丰度极高的直隶小旋螺介壳, 向上至 W-7 代表的层位, 未见化石存在。样品 W-6、W-7 号样品岩盐的百分含量均较低(无或小于 1)。反映了下部沉积物是远离温泉喷流区低矿化度、低盐度环境的产物。早期环境适应上述生物的生存, 而晚期是一个高矿化度、高盐度的环境, 导致直隶小旋螺软体动物和土星介节肢动物的灭绝。

剖面 IV:剖面接近于温泉的喷流区, 沉积物中石膏、岩盐自生矿物百分含量明显增高(石膏 1.9%~5.7%, 岩盐 1.2%~40.0%)。石膏晶体呈柱状、薄板状, 大者可达 20×4 mm。在根管和裂隙处发育更大的石膏晶体。反映上述沉积物是形成于温泉喷流区高矿化度、高盐度的热水环境。

剖面 V:W-12 所代表的层位以及沉积物特征与剖面 IV 中 W-10、W-11 基本相同。W-13、W-14、W-15 所代表的层位与剖面 II 中的 W-4 相同。沉积物以泥质粉砂为主, 从表 1 可以看出, 上述沉积物中碎屑矿物的百分含量明显增加。沉积物层理发育, 层位稳定, 垂直层面发育大量的褐色柱状结核(根管), 成为该层位的标识性特征。

2.2 温泉地热区的温泉沉积物

根据上述沉积物样品的 X-衍射分析结果和矿物学、生物地层学特征, 即墨温泉盆地第四系自下而上可以划分为层 I、层 II₁、层 II₂ 和层 III。

层 I (沉积物样品代号为 W-2, W-5) 该层为第四系基底地层。从表 1 可以看出, 层 I 除了不含石膏、岩盐等自生矿物外, 碎屑矿物、粘土矿物的含量与其他层系没有显著的区别, 表明在成因上虽然与温泉沉积没有直接的联系, 但是温泉地热水冲蚀、搬运、改造的母质层。在温泉喷流区, 该层沉积物在地表未见出露。

层 II₁ 沉积物含有大量的岩盐(平均质量百分数为 18.4%, 最高达 40%), 石膏(平均质量百分数为 2.93%, 最高达为 5.7%)等自生矿物和缺失直隶小旋螺和土星介等陆相生物化石, 证明层 II₁ 沉积物是高矿化、高盐度地热水沉积, 为典型的温泉喷流沉积物。

层 II₂ 沉积物分布于温泉喷流外围区(图 2), 据野外观察, 层 II₂ 层位非常稳定。含有丰度极高的直隶小旋螺和土星介化石。

层 III (样品号为 W-4, W-13、14、15) 沉积物以粉砂为主。从表 1 可以看出, 石英、长石碎屑矿物含量相对较高。沉积物层理发育, 层位稳定, 沿层发育大量的柱状结核, 成为该层位的标识性特征。根据沉积物的上述特征, 层 III 属于沼泽相沉积(徐脉直, 1988)。

3 温泉沉积物特征及其沉积模式

层 II 沉积物为温泉沉积物, 其中, 层 II₁ 是温泉喷流沉积, 其主要特征有:

(1) 由于温泉地热水喷流区处于缺 O₂ 富含 H₂S 的还原环境, 所以温泉喷流沉积物以黑色矿泥的形式沉积于温泉周边。

(2) 在温泉沉积物中, 特别在裂隙和柱状结核周边形成粗大的石膏晶体, 是温泉喷流沉积物重要的标识矿物, 亦是地球化学异常的表现。

(3) 温泉沉积物 II₁ 层中大量自生矿物(石膏, 岩盐)的出现, 反映了温泉盆地晚期是一个高矿化度、高盐度的环境, 造成直隶小旋螺和土星介的灭绝。

(4) 由于层 II₁ 是地热水对层 I 和层 II₂ 进行冲蚀、搬运和改造而形成, 沉积物层理不发育并形成层 II₂ 与层 I 之间的剥蚀面和层 II₂ 与层 II₁ 之间生物化石丰度的突变现象。在沉积空间上, 层 II₁ 占据了层 II₂ 与层 I 的沉积空间。其沉积模式见图 3。

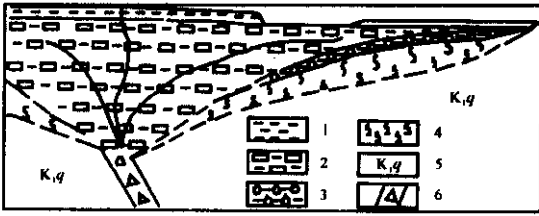


图3 青岛即墨温泉沉积物沉积模式图

Fig.3 Depositional model of Jimo warm spring deposition in Qingdao

- 1-层 III 沼泽沉积物 2-II₁ 温泉喷流沉积物 3-层 II₂ 温泉沉积物;
4-层 I 冲、洪积物 5-白垩系青山组 6-断裂带
1-layer III deposits of marsh 2-layer II₁ eruptive flow of
warm spring 3-layer II₂ deposits of warm spring 4-layer I
deposits of river and flood water 5-K₁q 6-fault zone

在沉积顺序上,层 II₁ 温泉喷流沉积物是晚于层 I 和层 II₂。根据直隶小旋螺所代表的地质时代为早、中更新世(余汶,1963)由此可推断,温泉喷流沉积物层 II₁ 是早、中更新世($248 \times 10^4 \sim 12.5 \times 10^4$ a)即墨温泉的产物。在分布空间上,层 II₁ 温泉喷流沉积物距控泉断裂越近,厚度就越大,以石膏、盐岩为代表的自生矿物的质量百分数,石膏晶体就越粗大,相反,缺失与上述生物相关的生物化石(图3)。

(5)由于层 II₁ 温泉沉积物含盐量高,沉积物分布区出现白色的盐渍化现象和返碱现象,不利于植物的生长,II₁ 层温泉沉积物露头无高大的树木存活,除有少量芦苇外,普遍缺失植被覆盖。

(6)由于温泉沉积物除了含有大量的氯化物、硫酸盐矿物外,还含有 Br、K、I 等多种对人体有益的微量元素并含有放射性元素,具有特殊医疗作用,具有重要的开发价值。

4 结语

即墨温泉喷流沉积物是沧口-温泉第四纪活动断裂带控制的地热异常和地球化学异常的产物。沉积物中的石膏、盐岩等自生矿物的源物质是沿断裂来自于地下深处。在气体压力的驱动下,高矿化地热水在喷流区对近地表层 I 和层 II₂ 进行冲蚀、搬运、沉积和改造是温泉喷流沉积物层 II₁ 形成的主要因素。关于温泉沉积物(矿泥)的成因,有人将其归因于地震期间的“泥火山现象”(兹维列夫,1985),说明温泉喷流沉积物与活动断裂带、地震异常带、地热异常带和地球化学异常带具有密切的联系,与有人提出的构造活动带-地震异常带-地热异常带-地球化学异常带的统一性(高文学,2000)是一致的。因此,大陆温泉喷流沉积物的研究在环境、资源以及对大陆温泉的开发利用具有重要意义。

参考文献

- 汪集,熊亮平,庞忠和.1993.中低温对流型地热系统.北京:科学出版社.
- 栾光忠,刘红军,刘冬雁.2002.山东半岛温泉的地热属性及其特征.地球学报,23(1):79~84.
- 李学伦,李桂群,崔承奇.1994.山东半岛地质环境与温泉分布.青岛海洋大学学报(增刊):9~15.
- 金秉福,张云吉,栾光忠.2000.胶东温泉的地热特征.西安工程学院学报,23(1):297~301.
- 栾光忠,李桂群.1993.胶东温泉地质、地热背景及控泉构造.青岛海洋大学学报,23(1):75~82.
- 栾光忠,张海平.2001.青岛沧口-温泉断裂的空间展布及现代活动性研究.地震地质,23(1):63~68.
- 徐脉直,李传威,翟学茂.1988.青岛即墨地热资源综合开发利用方案研究.海洋地质动态(增刊):18.
- 余汶,王惠基,李子舜.1963.中国腕足类化石.北京:科学出版社.286.
- 兹维列夫 B.И.,德门斯基 Б.Г.,托卡列夫 А.Н.等.1985.放射性同位素地球化学.北京:原子能出版社.232.
- 高文学,蒋凤亮,高庆华等.2000.地球化学异常——地震预测整体观的探索.北京:地震出版社.17.
- CiWeilief B.И.,Demensji B.Г.,TuokaLief A.Н.1985. Radioactivity isotope geochemistry. Beijing: Atomic Power Press, 233 in Chinese).
- Gao Wenxue, Jiang Fengying, Gao Qinghua. 2000. Geochemical abnormal—The discovery of entirety view of seismic forecast. Beijing: Seismological Press, 17 (in Chinese).
- Jin Bingfu, Chang Yunji, Luan Guangzhong. 2000. The geothermal characteristic of warm spring in Shandong peninsula. Journal of Xi'an Engineering University. 22 (1):297~301 (in Chinese with English abstract).
- Li Xuelun, Li Guiqun, Cui Chengqi. 1994. Relationship between geologic environment and distribution of warm spring in Shandong peninsula. Journal of Ocean University of Qingdao (Sup.):9~15 (in Chinese with English abstract).
- Luan Guangzhong, Chang Haiping. 2001. Place geometry and modern activity of the Qingdao Cangkou-Wenquan fault. Seismology and Geology 23(1):63~68 in Chinese with English abstract).
- Luan Guangzhong, Li Guiqun. 1993. The geology geothermal background and spring-controlling structure of Jiaodong warm springs. Journal of Ocean University of Qingdao, 23(1):75~82 in Chinese with English abstract).
- Luan Guangzhong, Liu Hongjun, Liu Dongyan. 2002. Geothermal attributes and characteristics of warm springs in Shandong peninsula. Acta Geoscientia Sinica, 23(1):79~84 in Chinese with English abstract).
- Yu Wen, Wang Huiji, Li Zishun. 1963. Chinese brachiopod type fossil. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Pang Zhonghe. 1998. Isotope and geochemical techniques in geothermal investigations in China: an overview. Geothermal Training in Iceland, 39~46.
- Wang Jiyang, Xiong Liangping, Pang Zhonghe. 1993. Low-medium temperature geothermal system of convection type. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Udri Axelsson et al. 1998. Thermal energy extraction and injection from a low-temperature geothermal system in N-ICELAND. Geothermal Training in Iceland, 79~90.
- Xu Maizhi, Li Chuanwei, Zhai Xuemao. 1998. The synthetic study of exploitation of geothermal resource in Jimo warm spring. Marine Geology Tendency (Sup.):18 (in Chinese with English abstract).