

问题探讨

安溪县地热水资源特征及开发利用分析

罗大富

(福建省 197 地质大队,福建 泉州 362011)

摘要:根据野外调查结果对安溪县地热水资源进行研究分析。安溪县地热水出露于北西向和北东向断裂带交汇区域,且主要沿北西向清流-安溪断裂带成带状分布;地热水出露点温度为 38.0 至 75.0 ℃,流量最大达 38.03 l/s,均为氟水和硅水,具有良好的理疗效果;建议剑斗镇地热水结合永春县牛姆林旅游景区开发温泉度假山庄。

关键词:地热;温泉;安溪

中图分类号:Q178.51+5

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2016)03-04

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS AND EXPLOITATION OF GEOTHERMAL WATER RESOURCES IN ANXI COUNTY

LUO Da-fu

(The 197 Geological Prospecting Team of Fujian Province, Quanzhou 362011,China)

Abstract: Research and analysis of geothermal water resources in Anxi County, according to the results of the field survey. Anxi County geothermal water exposed in the NW and NE trending fault intersection region, mainly along the NW trending of Qingliu- Anxi fault into zonal distribution; Geothermal water spots temperature was 38.0 to 75.0 ℃, flow rate up to 38.03 l/s, both fluorine and silicone water, has a good therapeutic effect; Proposal to combine geothermal water in Jiandou Town and Niumulin scenic area in Yongchun County to development Spa Resort.

Key words: Geothermal; Hot spring; Anxi

安溪县位于福建省东南沿海,厦、漳、泉闽南金三角西北部,东邻南安市,西连漳平市、华安县,南接厦门市同安区、长泰县,北以永春县为界(如图 1),地理座标:北纬 24°50′~25°26′,东经 117°36′~118°17′。地热水资源比较丰富,地热能作为一种可再生的新型环保能源,对环境危害较少,有着广阔的开发利用前景。安溪县目前已发现温泉的天然露头处,分布于各个乡镇,因前人缺少对安溪县的地热资源分布与开发利用进行系统调查分析,因此本次对安溪县地热水资源进行较详查的调查分析。

1 区域地质



图 1 安溪县行政图



图2 安溪县构造简图

1.1 地层

区内自老至新出露地层有震旦系、石炭系、二迭系、三迭系、侏罗系、白垩系及第四系。侏罗系分布最广，占全县总面积的二分之一以上岩性以火山岩为主；其次是三迭系；其余地层零星分布。

1.2 侵入岩

区内侵入岩主要分布于中部及东南部，可分为燕山早期第三阶段，晚期第一阶段及喜山早晚期共四期 10 次侵入，有大小岩体近百个，酸、中酸性岩为主。

1.3 构造

从福建省大地构造可知(如图 2)，安溪县位于福建省闽东火山断拗带大地构造分区，穿过安溪县的主要断裂带有东西向 F1 漳平-仙游断裂带、北西向 F2 清流-安溪断裂带、北东向 F3 连江永定断裂带和 F4 福安-南靖断裂带。

2 地热水资源分布特征

2.1 地热水出露特点

通过调查发现地热异常区 9 处(见表 1)。从图 1 可看出，安溪县地热水出露点主要分布在安溪县的东部及东北部，位于龙门镇、蓬莱镇、金谷镇、湖头镇、剑斗镇和福田乡。

2.2 地热水分布特征

表 1 地热水出露点一览表

序号	现场调查点	出露方式	成矿地质条件
1	魁头镇佛仔格村 DR01	钻孔	南园组第二段(J _{3n^b})流纹岩及第三段(J _{3n^c})英安质晶屑凝灰熔岩。北西向张性、张扭性断裂及北东向压性断裂通过。
2	金谷镇汤埔村 DR02	钻孔	四系全新统长乐组冲、洪积层(Q _{4c^{al-pl}})，两侧出露南园组第二段(J _{3n^b})流纹质晶屑凝灰岩、流纹岩，第三段(J _{3n^c})英安质晶屑凝灰熔岩。北西向张性断裂、南北向张性断裂、北东向压性断裂及东西向压性断裂通过。
3	蓬莱镇温泉村 DR03	泉点	出露第四系全新统长乐组冲、洪积(Q _{4c^{al-pl}})，砂砾岩，附近为南园组第二段(J _{3n^b})流纹质晶屑凝灰熔岩，第三段(J _{3n^c})英安岩。有北西向张性和张扭性断裂、北东向压扭性断裂通过，温泉出露与断裂带交汇部。
4	福田乡格口村 DR04	泉点	温泉出露三叠系下统文宾山组(T _{3w^a})下段。北北东向和北东东向压性、压扭性断裂及东西向断裂通过。
5	剑斗镇剑斗村 DR05	泉点	第四系全新统长乐组冲、洪积层(Q _{4c^{al-pl}})，河岸两侧出露二叠系下统童子岩组。北西向张性断裂及东西向压扭性断裂通过，北西向和东西向节理裂隙发育。
6	剑斗镇圳下村 DR06	泉点	温泉自河岸边第四系冲洪积层溢出，附近出露南园组。北北东向压性断裂及北西向张性断裂通过。
7	湖头镇汤头村 DR07	泉点	第四系全新统长乐组冲、洪积层(Q _{4c^{al-pl}})，两侧为第四系更新统龙海组冲、洪积层(Q _{3l^{al-pl}})，长乐组出露狭小，附近出露燕山早期二长花岗岩(ηγ _{5^{2(3)a}})。有北西向张性断裂通过。
8	龙门镇榜寨村 DR08	钻孔	温泉点西侧出露燕山早期肉红色粗糙黑云母花岗岩(ηγ _{5^{2(3)bc}})，东侧出露燕山晚期闪长花岗岩(γδ _{5^{3(1)a}})，河床及两岸洼地为第四系全新统长乐组冲、洪积层(Q _{4c^{al-pl}})。隐伏北西向断裂及北东向断裂通过。
9	龙门镇金狮村 DR09	泉点	西侧出露燕山早期肉红色粗糙黑云母花岗岩(ηγ _{5^{2(3)bc}})，东侧出露燕山晚期闪长花岗岩(γδ _{5^{3(1)a}})，河床及两岸洼地为第四系全新统长乐组冲、洪积层(Q _{4c^{al-pl}})。隐伏北西向断裂通过，北西向及北东向节理裂隙发育。

从地质构造角度分析，各地热水出露点位于北西向 F2 清流-安溪断裂带与东西向 F1 漳平-仙游断裂带或北东向 F3 连江永定断裂带交汇区域溢出，说明安溪县地热异常现象基本在以北西向和东西向或北东向构成的构造组合的楔形内。因为断裂交汇区域节理裂隙发育，高渗透率，为地

热水提供了良好的上涌通道。而安溪县地热水出露点连线走向总体呈北西向和东西向，与区域内主要断裂带走向一致且地热水出露点分布于断裂带上。北西向 F2 清流-安溪断裂带出露点尤为明显。构造断裂发育，断裂及其伴生裂隙成为地热水的良好通道，汇集地热水区域外围的补给水，地下

水在此深循环并迅速加热运移,在对流和静水压力作用下缓慢上升。

从地形地貌角度分析,安溪县地热水出露点基本分布在山间河流两侧冲洪积区域。在高山深谷地形配合下,谷底地下水较高中地地下水位低,山间谷底为静水压力差最大之处,而热水上涌以自谷底涌出的可能性最大,因此温泉大多发生在山谷河道区域。山间河谷平地,冲洪积地带,四面环山,有利于地表水的汇聚后径流进入热储层。沟谷两侧地表水面积较大,接受大气降水后,转化为

地表水和风化带潜水,经渗透径流补给,成为浅部第四纪堆积物孔隙含热水层。

3 地热流体特征

地下热水的化学特征,受形成地下热水的断裂带和深部地质环境控制,且与其在循环过程中所流经的地层岩性有关。本次调查9处地热点,采集8个水样做全分析测试(金谷镇汤埔村温泉孔口已围砌封闭未取到水样),分析成果见表2。

3.1 地热流体热流量及能量

表2 地热水样测试主要指标

项目	标准值 (mg/l)	魁斗镇 佛仔格村	蓬莱镇温 泉村	福田乡格 口村	剑斗镇剑 斗村	剑斗镇圳 下村	湖头镇汤 头村	龙门镇榜 寨村	龙门镇金 狮村
水样编号		DR01	DR03	DR04	DR05	DR06	DR07	DR08	DR09
PH 值	6.5~8.5	8.36	8.42	8.25	7.50	8.10	7.95	8.91	8.98
游离 CO ₂		0.00	0.00	9.86	23.65	19.71	13.80	0.00	0.00
可溶性 SiO ₂		92.00	100	80.00	50.00	100	80.00	100	100
耗氧量 mg/l	3.00	0.86	0.57	0.71	0.86	0.71	1.00	0.71	0.71
K ⁺ 、Na ⁺		119	112	83.20	108	116	103	71.83	73.99
Ca ²⁺		5.21	8.34	12.50	90.66	6.25	14.59	4.17	4.17
Mg ²⁺		0.63	0.63	0.63	3.16	0.63	0.63	0.63	0.63
CO ₃ ²⁻		16.89	8.44	0.00	0.00	0.00	0.00	28.14	25.33
HCO ₃ ⁻		85.86	149	103	177	220	146	65.82	71.55
SO ₄ ²⁻	250	128	80.00	80.00	224	48.00	80.00	64.00	64.00
Cl ⁻	250	17.55	22.81	12.28	10.53	15.79	21.06	17.55	17.55
F ⁻	1.0	10.00	10.00	7.50	2.00	10.00	9.00	10.00	10.00
矿化度	<1000	476	492	380	667	518	455	363	368

安溪县本次调查的9处地热异常,井口或泉点流量及温度如表3所示。从表中可以看出泉井流量因地制宜,相差悬殊。分析其原因,主要是地热水的补给来源由大气降水渗水,通过裂隙、断裂

径流,经过深部又与浅部潜水相混合被稀释而形成,并以温泉或钻孔井进行排泄。流量的不同,一是受热水上升的通道,也就是构造带性质的差异而引起的;二是构造水的补给源丰富与否有很大

表3 地热资源年开采累计可利用热能量及热储基础温度

编号异常 区编号	地理位置	实测 T (°C)	Q(l/s)	备注	Wt(kW)	ΣWt (×10 ⁷ MJ)	热储基础 温度 t(°C)
DR01	魁斗镇佛仔格	63.0	9.95	探明可采量 ^[1]	1712.17	9.00	132.589
DR02	金谷镇汤埔村	58.8	38.03	探明可采量 ^[2]	5875.37	30.88	未取样
DR03	蓬莱镇温泉村	60.3	3.07	实测	493.57	2.59	137.1948
DR04	福田乡格口村	43.1	0.45	实测	39.94	0.21	125.0964
DR05	剑斗镇剑斗村	38.0	6.64	实测	447.59	2.35	101.811
DR06	剑斗镇圳下村	75.0	0.86	实测	191.19	1.00	137.1948
DR07	湖头镇汤头村	40.0	2.00	资料 ^[3]	151.56	0.80	125.0964
DR08	龙门镇榜寨村	53.9	16.49	采矿权 ^[4]	2209.29	11.61	137.1948
DR09	龙门镇金狮村	56.4	4.00	资料 ^[3]	577.78	3.04	137.1948
	合计		81.49		11698.46	61.49	

$$Wt=4.1868Q(t-t_0)$$

Wt 为热功率,单位(kW);Q 为地热流体平均流量,单位(l/s);t 为地热流体平均温度,单位(°C);
t₀ 为当地年平均气温 21.9°C;4.1868 单位换算系数。

备注

$$\Sigma Wt=86.4DWt/K$$

ΣWt 为一年可利用热能,单位(MJ);D 全年开采日数,单位(d);Wt 为热功率,单位(kW);
86.4 为单位换算系数;K 热效比(按燃煤锅炉的热效率 0.6 计算)。

的关系。

根据地热水资源年开采累计可利用的热能量如下表 1 所示:

3.2 地球化学温标

热水中的二氧化硅是由热水溶解石英形成,因为此次调查的热水在其达到取样点(泉口或孔口)时均没有沸腾,所以选用如下公式进行计算。

$t=1309/(5.19-\lg C)-273.15$ 式中 C-热水中溶解的 H_4SiO_4 形式的 SiO_2 含量,单位为毫克/升。

从上表中可以看出,安溪县温度区域地热储基础温度在 101.8~137.2 °C 左右,表明该区热水为断裂深循环型中温地热水。

利用上述计算结果,采用均衡方法,推算出安溪区域地热储基础温度。均衡原则:算术平均值和就低值为原则。均衡结果:安溪地热田热储基础温度为 129.2(°C),这与实际地热温度较为贴近。综合评价热田的热储温度要考虑到热量在传递中的散失。通常采用地热储温度是热储基础温度的 80%,那么安溪地热田的热储温度为 129.2×80%,约为 103.3 °C。

3.3 理疗特性分析

根据地热水资源地质勘查规范(GB/T 11615-2010)中的理疗热矿水水质标准,安溪县地热点所有测试水样中可溶性 SiO_2 浓度均大于或等于 50 mg/l,而理疗热矿水水质标准中命名矿水浓度为 50 mg/l,所以此地热水样亦可称为硅水;各地热点氟离子浓度均达到 2.0 mg/l 以上,可称为氟水,除剑斗镇剑斗村地热点氟离子为 2.0 mg/l,其余各点氟离子浓度均在 7.50 mg/l 以上,即安溪县地热水是医疗矿泉水。由此可看出安溪县地热水具有较好的理疗和洗浴作用。

3.4 水化学类型分析

采用库尔洛夫式对安溪县地热水化学类型计算分类,此次安溪县测试分析 8 件地热水样的水质类型为: $SO_4 \cdot HCO_3 \cdot Cl-Na$ 型水(2 件)、 $SO_4 \cdot HCO_3-Na$ 型水(1 件)、 $SO_4 \cdot HCO_3-Ca \cdot Na$ 型水(2 件)、 $HCO_3 \cdot SO_4 \cdot Cl-Na$ 型水(1 件)、 $HCO_3 \cdot SO_4 \cdot Cl-Na \cdot Ca$ 型水(1 件)、 $HCO_3 \cdot SO_4-Na$ 型水(1 件)。从中可看出,8 个水样均含有较高的 SO_4 和 HCO_3 离子,其中有 4 件水样含有较高的 Cl 离子。

庄庆祥^[5]对福建省地下热水水质类型研究结果表明:水质类型中 HCO_3 离子代表大气降水循环(浅部)型温泉水质;水质类型中的 Cl 离子代表

火山岩浆高温成因为主温泉水质; SO_4 离子代表火山岩浆作用下深部循环作用的温泉水质。据此可推测:安溪县地下热水主要受火山岩浆和大气降水影响,成因为火山热-对流热混合型。

4 地热资源开发利用现状

安溪县南翼新城建设规划已把龙门镇地热水资源开发纳入南翼新城温泉度假中心。安溪清水岩温泉度假山庄开发有限公司正在申请开发利用魁斗镇佛仔格村和金谷镇汤埔村的地热水资源。其余地热水资源点未正式开发利用,主要有当地村民在温泉天然出露点砖墙围砌做洗浴用。

5 地热资源开发利用建议

根据安溪县及周边经济社会发展规划、温泉水质水量特征和温泉开发利用现状,对此次安溪县调查的地热田开发作如下建议:

湖头镇汤头村、蓬莱镇温泉村和福田乡格口村地热点:这 3 块地热点流量相对较小,居民已围砌做简易的洗浴池,免费开放。当地居民泡温泉历史悠久,具有一定的文化底蕴,建议当地乡镇为当地老百姓办实事做好事、改善民生,修建惠民工程,进一步修建完善理疗洗浴中心,免费向民众开放。

剑斗镇圳下村和剑斗村地热点:圳下村温泉点温度 75 °C,流量 6.4 l/s,氟离子 10 mg/l,氟水,可溶性二氧化硅 100 mg/l,硅水;剑斗村温泉点温度 38 °C,流量 4.9 l/s,氟离子 2 mg/l,氟水,可溶性二氧化硅 500 mg/l,硅水。除现场调查这两个温泉点(两点相距约 1.5 公里,如图 3 所示)外,据当地村民介绍沿河道还有多处温泉出露点,沿溪河呈珠状分布。剑斗村村民已围砌简易洗浴池,圳下村未开发利用。



图 3 剑斗镇地热水出露点

Na₂CO₃ 作为 CO₂ 气体的吸收剂,并制备了复合吸收剂 NaOH-Na₂CO₃ 和 CaO-Na₂CO₃, 处理模拟低浓度放射性 CO₂ 气体。研究发现:

(1) Na₂CO₃ 在单一吸收剂中,具有最高的实验吸收量(摩尔吸收 CO₂ 量 1089.24 mg/mol),超过了与之理论吸收量接近的 CaO;

(2) NaOH-Na₂CO₃ 和 CaO-Na₂CO₃ 复合吸收剂的吸收能力均显著超过单一吸收剂,其中 NaOH-Na₂CO₃ 表现出最高的吸收能力(1639.06 mg/mol),分别是单一吸收剂 NaOH 和 Na₂CO₃ 的 21.1 倍和 1.5 倍;

(3) 在水蒸气存在的条件下,复合吸收剂的吸收过反应中存在两个过程:

I. CO₂ 与吸收剂之间发生吸收反应,直接生成 Na₂CO₃ 或 CaCO₃;

II. Na₂CO₃ 与 CO₂ 生成 NaHCO₃, 同时与 NaOH 或 Ca(OH)₂ 反应生成 Na₂CO₃ 或 CaCO₃。这一步骤,也是复合吸收剂碳酸化性能明显高于单

(上接第 47 页)

通过调查发现安溪县剑斗镇北侧为永春县牛姆林旅游景区(景区方圆最近的地热水资源),直线距离约 10 km,省道 307 将其连接,剑斗镇往南约 2 km 有 S10 莆永高速。而永春县境内距牛姆林旅游景区最近的地热田为蓬壶镇温泉,距景区直线距离约 24 km,剑斗镇的 2.4 倍。牛姆林景区(H:400 m)与剑斗镇(H:250 m)高程差为 150 m,与蓬壶镇(H:300 m)高程差为 100 m(如图 4 所示)。



图 4 牛姆林景区与地热水点区位图

据《福建省永春县地热能的分布及开发利用研究》^[4]可知,永春县蓬壶镇有三个温泉出露点分别为魁都村有两个出露点,出露点 1,温度 68℃,流量 3.0 l/s,氟离子 6.8 mg/l,氟水,可溶性二氧化硅 95 mg/l,硅水;出露点 2,温度 64℃,流量 1.2 l/

一吸收剂的机理解释。

参考文献

- [1]Wacker L, N.M., Bourquin J., A revolutionary graphitisation system: fully automated, compact and simple. Nuclear Instruments and Methods in Physics, Research B 2010. 268(7-8): p. 931-934.
- [2]董伟,陈晓平,吴焯, TiO₂ 掺杂对 Na₂CO₃/Al₂O₃ 吸收剂 CO₂ 捕捉性能的影响. 化工学报, 2014. 65(9): p. 3617-3625.
- [3] 二氧化碳捕集技术的最新研究进展. 环境保护科学, 2010. 36(5): p. 7-10.
- [4]Cheng-Hsiu Yu, C.-H.H., Chung-Sung Tan, A Review of CO₂ Capture by Absorption and Adsorption. Aerosol and Air Quality Research, 2012. 12: p. 745-769.
- [5]Dong Wei, C.X., Wu Ye, Zhao Chuanwen, Liang Cai, Liu Daoyin, Carbonation Characteristics of Dry Sodium-Based Sorbents for CO₂ Capture. Energy & Fuels, 2012. 26(9): p. 6040-6046.
- [6]Mohsen Kianpour, M.A.S., Shahrokh Shahhosseini, Experimental and modeling of CO₂ capture by dry sodium hydroxide carbonation. Chemical Engineering Research and Design, 2012. 90: p. 2041-2050.

s;汤城村,温度 45℃,流量 2.1 l/s。

永春县牛姆林,被誉为“闽南西双版纳的生态旅游”,是国家 4A 级旅游区,福建省首批自然保护区,福建省生态教育基地科普教育基地及小公民道德建设示范基地,是泉州十八景之一。但冬季是旅游的淡季,旅游人员稀少,景区冷清。

在永春县牛姆林风景区开发温泉度假中心,将充实景区旅游项目,丰富娱乐活动,提高景区旅游价值度。同时,充分开发利用了安溪县剑斗镇的地热资源,避免溢流浪费,增加剑斗镇经济收入。永春县牛姆林风景区温泉度假中心的开发是一举两得的事,将形成一个双赢的局面。

综上所述牛姆林景区发展及比较分析周边地热水水质水量及理疗功效、热水运输距离,剑斗镇的地热水资源将是牛姆林景区配套开发温泉度假中心地热水来源的首选。

6 结语

通过调查分析,安溪县地热水大部分出露于北西向 F2 清流-安溪断裂带上,孔口温度在 38.0 至 75.0℃之间,全县温泉流量达 81.49 l/s 以上,水量相对丰富,均为硅水和氟水,具有良好的理疗

(下转第 9 页)

度从 120 ppm (v/v)逐步提升到 2 000 ppm (v/v),都能被该菌完全净化,在之后通入高浓度氨气的 61 天内,平均去除率达到了 85 %,最大去除能力和平均去除能力为 22.8 g-N/kg 干填料/d 和 18.6 g-N/kg 干填料/d。实验期间,Vibrio alginolyticus 菌株的量最多达到了 3×10^{11} cfu/g 干填料,平均量在 5×10^9 到 1×10^{10} cfu/g 干填料。

Bin Alam 等^[8]将菌株 Nitrosomonas europaea 加入生物过滤器中用以除去氨气。实验结果表明,Nitrosomonas europaea 的最大生长率达到了 0.0565 h^{-1} ,氨气的去除率达到了 92.67 %,提高了反应器的恢复能力。

文中出现的生物废气优势菌及其强化效果如表 1 所示。

3 结论

生物强化技术在废气方面的应用还基本停留在实验阶段,我们还需要在该领域进行更多的研究。大量的研究表明,生物强化技术能有效降解一些难降解的有毒有害物质,改善污泥性能,加快反应器的启动速度,并且能够有效的提高生物反应器的稳定性,因此逐渐受到国内外学者的关注。生物强化技术无疑为生物处理废气提供了一种新的思路。文献中经常会出现将生物强化技术与其他生物固定技术,微生物刺激等技术灵活结合的案例。说明生物强化技术应用于废气处理方面也有各种各样的方法和方向。我们应当开拓我们的思维,更加善于将生物强化技术灵活应用于废气处理中,更快更好推进实验废气处理设施工业化,为有效治理日益严峻的废气污染做出贡献。

参考文献

- [1] Ma F, Guo JB, Zhao LJ et al. Application of bioaugmentation to improve the activated sludge system into the contact oxidation system treating petrochemical wastewater. *Bioresour Technol*[J]. 2009,100(2): 597-602.
- [2] 王建芳, 赵庆良, 林佳侃等. 生物强化技术及其在废水生物处理

中的应用. *环境工程学报*[J]. 2007,(09):40-45.

- [3] 熊贵琳, 陈瑾, 叶文衍. 生物强化技术及其在水污染治理中的应用. *环境科学与管理*[J]. 2013,(04):82-86.
- [4] 徐军祥, 杨翔华, 姚秀清等. 生物强化技术处理难降解有机污染物的研究进展. *化工环保*[J]. 2007,(02):129-134.
- [5] 肖晶晶, 牛奕娜, 刘洋等. 生物强化技术优势及环保菌剂研究应用现状. *环境科学导刊*[J]. 2013,(S1):1-4.
- [6] 张雅旋. 生物滴滤塔处理乙硫醇恶臭气体的研究: [硕士]. 北京: 北京化工大学, 2007.
- [7] 刘春敬. 高效生物除臭滴滤塔的构建及微生物生态学分析: [博士]. 北京: 北京工业大学, 2012.
- [8] Sercu B, Boon N, Beken SV et al. Performance and microbial analysis of defined and non-defined inocula for the removal of dimethyl sulfide in a biotrickling filter. *Biotechnol Bioeng* [J]. 2007,96(4):661-672.
- [9] Giri BS, Juwarkar AA, Satpute DB et al. Isolation and characterization of dimethyl sulfide (DMS)-degrading bacteria from soil and biofilter treating waste gas containing DMS from the laboratory and pulp and paper industry. *Appl Biochem Biotechnol* [J]. 2012,167(6): 1744-1752.
- [10] 吕阳, 吕炳南, 刘京等. 室内装修烘烤气体的生物强化技术. *哈尔滨工业大学学报*[J]. 2008,(08):1261-1264.
- [11] Jeong E, Hirai M, Shoda M. Removal of o-xylene using biofilter inoculated with *Rhodococcus* sp. BTO62. *J Hazard Mater* [J]. 2008,152(1):140-147.
- [12] 张书景, 李坚, 李依丽等. 恶臭假单胞菌生物滴滤塔净化甲苯废气的研究. *环境科学*[J]. 2007,(08):1866-1872.
- [13] 冷守琴. 氯苯高效降解菌选育及应用其强化生物滴滤运行性能研究: [硕士]. 杭州: 浙江工业大学, 2011.
- [14] Aldric J-M, Thonart P. Performance evaluation of a water/silicone oil two-phase partitioning bioreactor using *Rhodococcus erythropolis*T902.1 to remove volatile organic compounds from gaseous effluents. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*[J]. 2008,83(10):1401-1408.
- [15] 徐淑敏. 生物滴滤法降解甲醛废气研究: [硕士]. 郑州: 郑州大学, 2014.
- [16] Garcia-Pena EI, Hernandez S, Favela-Torres E et al. Toluene biofiltration by the fungus *Scedosporium apiospermum* TB1. *Biotechnol Bioeng*[J]. 2001,76(1):61-69.
- [17] Kim NJ, Sugano Y, Hirai M et al. Removal of a high load of ammonia gas by a marine bacterium, *Vibrio alginolyticus*. *Journal Of Bioscience And Bioengineering*[J]. 2000,90(4):410-415.
- [18] Bin Alam J, Hasan A, Pathan AH et al. Study on the kinetics of NH₃ removal from air by *Nitrosomonas europaea*. *International Journal Of Environment And Pollution*[J]. 2010,43(1-3):42-51.

(上接第 26 页)

效果。建议结合安溪县社会经济发展规划及周边景区发展充分开发利用地热水清洁能源。

参考文献

- [1] 黄田中. 福建省安溪县佛仔格地热勘查[M]. 2014.06;

- [2] 黄田中. 福建省安溪县汤浦地热勘查[M]. 2014.06;
- [3] 福建省地质局区域地质测量队. 区域地质调查报告, 泉州幅, 厦门幅(矿产部分)[M]. 1977.10;
- [4] 安溪县南翼新城建设有限公司. 榜寨地热水采矿权[M]. 2011;
- [5] 庄庆祥. 福建地热研究与实践[M]. 2010.23;
- [6] 陈墨香, 汪集旻, 邓孝等. 中国地热资源[M]. 1994.12, 11.