

山西某地热水腐蚀结垢趋势实验研究

周伟东¹, 刘明言^{1,2}

(1. 津大学化工学院, 天津 300072;
2. 天津大学化学工程联合国家重点实验室, 天津 300072)

摘 要:针对来自山西省的两处地热水,应用 Larson 指数和 Langelier 饱和指数,对其腐蚀和结垢趋势进行了分析判断,并提出 langelier 饱和指数新模型;在 316 不锈钢、紫铜和 20#碳钢基底上进行地热水静态腐蚀结垢实验,并实验考查地热水浓缩一倍后的结垢状况。结果表明,两种地热水均属于强腐蚀型,地热水 B 比地热水 A 更易结垢;新模型能更准确判断地热水的结垢趋势。
关键词:地热水;污垢;腐蚀;Larson 指数;Langelier 饱和指数;模型

0 引 言

地热利用过程中存在腐蚀和结垢等技术瓶颈,制约着地热能的高效和经济利用。换热器加热壁面上的结垢会导致传热效率下降,能耗增加,影响地热利用系统的正常高效运行。在进行地热水开发利用前需要对其腐蚀结垢特性进行初步研究和判断,为后续的工程研究开发提供基础指导。本文针对取自山西某两地、分别标记为 A 和 B 的地热水,在实验室对其腐蚀和结垢趋势进行了研究。

1 地热水水质

2 种地热水的水质检测报告分别见表 1 和表 2。其中,温度 $T=20^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $RH=38\%$,其余微量。

2 地热水腐蚀结垢趋势的分析判断

我国绝大部分地热利用系统出现的污垢是碳

表 1 地热水 A 的组成

项目	浓度 (mg/L)	项目	浓度 (mg/L)	项目	浓度 (mg/L)
Na ⁺	2808	SO ₄ ²⁻	1136	可溶 SiO ₂	34.6
K ⁺	77.8	HCO ₃ ⁻	166	游离 CO ₂	15.1
Ca ²⁺	1343	Cl ⁻	6078	pH	7.02
Mg ²⁺	201	F ⁻	2.41	总碱度 (以 CaCO ₃ 计)	136
NH ₄ ⁺	< 0.04	CO ₃ ²⁻	0	总硬度 (以 CaCO ₃ 计)	4180
Fe ³⁺	34.2	-	-	-	-
Fe ²⁺	3.56	-	-	TDS	12179

表 2 地热水 B 的组成

项目	浓度 (mg/L)	项目	浓度 (mg/L)	项目	浓度 (mg/L)
Na ⁺	5151	SO ₄ ²⁻	3063	可溶 SiO ₂	32.0
K ⁺	38.6	HCO ₃ ⁻	196	游离 CO ₂	13.7
Ca ²⁺	515	Cl ⁻	7363	pH	7.58
Mg ²⁺	156.0	F ⁻	1.10	总碱度 (以 CaCO ₃ 计)	161
NH ₄ ⁺	4.33	CO ₃ ²⁻	0	总硬度 (以 CaCO ₃ 计)	1929
Fe ³⁺ Fe ²⁺	2.86	-	-	TDS	17443

酸钙垢。常用于预测碳酸钙结垢趋势的指数为 Larson 指数 ($L.I$) 和 Langelier 饱和指数 (LSI), 其均有特定的应用范围。研究表明,当地热水中氯离子占总阴离子的摩尔浓度百分数大于 25% 时,采用 Larson 指数判断其腐蚀趋势较为合理,其判断标准如表 3 所示。但地热水组成复杂,含有大量的腐蚀性离子和结垢性离子,因此,对于结垢趋势的判断,两种指数均具有局限性。

表 3 Larson 指数和 Langelier 饱和指数判断标准

$L.I$	腐蚀结垢趋势	LSI	腐蚀结垢趋势
< 0.5	无腐蚀(可能结垢)	< 0.0	腐蚀型
0.5 ~ 3.0	轻微腐蚀(基本稳定)	0.0 ~ 0.5	稳定型
3.0 ~ 10.0	中等腐蚀(稳定型)	0.5 ~ 1.0	轻微结垢
> 10.0	强腐蚀(稳定型)	> 1.0	严重结垢

2.1 Larson 指数

Larson 指数的定义式为:

$$L.I = ([Cl] + 2 \cdot [SO_4]) / AIK \tag{1}$$

式中: $[Cl]$ —氯化物或卤化物浓度, mol/L; $[SO_4]$ —硫酸盐浓度, mol/L; AlK —总碱度, 即重碳酸根 HCO_3^- 浓度, mol/L。

由式(1)可计算两种地热水的 Larson 指数: $L.I(A) = 71.25 > 10.0$; $L.I(B) = 84.07 > 10.0$ 。

2 种地热水的 Larson 指数均远超过 10。由表 3 可知: 2 种地热水均属于强腐蚀型, 且地热水 B 比地热水 A 的腐蚀性更强。

2.2 Langelier 饱和指数

Langelier 饱和指数的定义式:

$$LSI = pH_a - pH_s \quad (2)$$

式中: pH_a ——地热水的实测 pH 值; pH_s ——地热水系统中碳酸钙达到平衡时的 pH 值。 pH_s 计算式为,

$$pH_s = -\log[Ca] - \log[ALK] + K_c \quad (3)$$

式中: $[Ca]$ —地热水中 Ca^{2+} 的摩尔浓度, mol/L; $[ALK]$ —地热水中 HCO_3^- 的摩尔浓度, mol/L; K_c —包括与温度有关的平衡常数和活度系数的复杂常数, 取 75℃ 的值。

由式(2)和式(3)可计算出两种地热水的 Langelier 饱和指数: $LSI(A) = 1.38 > 1.0$; $LSI(B) = 1.55 > 1.0$ 。2 种地热水的 Langelier 饱和指数均大于 1。由表 3 可知: 2 种地热水均属于严重结垢型, 且地热水 B 比地热水 A 更易结垢。

2.3 Langelier 饱和指数新模型

式(3)中 pH_s 的计算过程只涉及到地热水中 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 、温度、离子强度的影响, 由于上述两种地热水中均含有大量的 Na^+ 、 Cl^- , 所以需要对其影响加以考虑。研究表明, Na^+ 、 Cl^- 等其它离子的存在能提高 $CaCO_3$ 盐的溶解度, 而且 Cl^- 在溶液中与 Ca^{2+} 以 $CaCl_2$ 结合而稳定存在, 从而减少了 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 结合而析出。因此本文作者认为计算 $[Ca]$ 时应减去由于 Cl^- 、 Na^+ 的作用而抵消的部分。新模型计算方法见式(4):

$$[Ca]' = [Ca] - \frac{[Cl] - [Na]}{2} \quad (4)$$

$$= \frac{[Ca^{2+}]}{40080} - \frac{1}{2000} \times \left(\frac{[Cl^-]}{35.5} - \frac{[Na^+]}{23} \right)$$

$$pH_s = -\log[Ca]' - \log[ALK] + K_c \quad (5)$$

式中: $[Ca]'$ —地热水中 Ca^{2+} 的当量摩尔浓度, mol/L; $[Ca]$ —地热水中 Ca^{2+} 的初始摩尔浓度,

mol/L; $[Cl]$ ——地热水中 Cl^- 的初始摩尔浓度, mol/L; $[Na]$ ——地热水中 Na^+ 的初始摩尔浓度, mol/L; $[Ca^{2+}]$ ——地热水中 Ca^{2+} 的初始质量浓度, mg/L; $[Cl^-]$ ——地热水中 Cl^- 的初始质量浓度, mg/L; $[Na^+]$ ——地热水中 Na^+ 的初始质量浓度, mg/L。

公式(2)和(5)即为地热水 Langelier 饱和指数新模型, 计算结果为:

$$LSI(A) = 0.81 < 1.0$$

$$LSI(B) = 1.76 > 1.0$$

由表 3 可知: 地热水 A 为轻微结垢, 地热水 B 为严重结垢。

3 腐蚀结垢评价实验

腐蚀结垢评估实验遵照国家和行业标准进行。采用重量法计算结垢速率, 计算方法见式(6); 采用深度法计算腐蚀速率, 计算方法见式(7)。

$$v = \frac{1000(W_2 - W_1)}{St} \quad (6)$$

$$v_L = \frac{W_1 - W_t}{St} \times \frac{8760}{\rho} \quad (7)$$

式中: v —结垢速率, $mg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$; v_L —腐蚀速率, m/a; W_1 —浸渍前样片的重量, g; W_2 —浸渍后样片的重量, g; W_t —浸渍后除去腐蚀产物后样片的重量, g; S —样片面积, m^2 ; t —浸渍时间, h; ρ —金属的密度, g/cm^3 。

实验步骤如下: 1) 测量样片的外形尺寸, 计算其表面积 S ; 2) 依次采用碱洗液、无水乙醇、丙酮对样片进行超声清洗, 烘干后称取重量 W_1 ; 3) 将样片垂直置于地热水中浸渍 24h, 期间每 2h 更换一次地热水; 4) 取出样片, 用蒸馏水冲洗, 烘干后称取重量 W_2 ; 5) 采用机械法和化学法除去样片表面的结垢和腐蚀产物, 用蒸馏水冲洗, 烘干后称取重量 W_t ; 6) 采用式(6)和式(7)分别计算不同样片的结垢和腐蚀速率。上述步骤中称重过程均重复测量 3 次, 取平均值。

4 结垢和腐蚀速率对比分析与讨论

4.1 紫铜样片分析

紫铜样片在不同温度下在地热水 A 中浸渍 24h 后, 表面均失去抛光清洗后的光泽, 当浸渍温

度为 75℃和 65℃时,表面呈暗灰色,发生均匀腐蚀,也可观察到均匀的白色垢层,但不明显;当浸渍温度为 55℃以下时,表面部分呈暗灰色,部分呈暗红色,腐蚀减弱,基本观察不到白色污垢。同样条件下,紫铜在地热水 B 中也失去抛光清洗后的光泽,当温度为 75℃和 65℃时,表面呈黑色,腐蚀严重,同时可观察到白色污垢,并且有白色颗粒堆积;当温度为 55℃时,表面呈暗红色,腐蚀减弱,但仍有大量白色污垢生成,基本覆盖基底;随着温度降低,白色污垢减少,可观察到基底。

紫铜样片在 75℃地热水中的结垢和腐蚀速率如表 4 所示。结垢速率数据表明,在相同条件下,紫铜在地热水 B 中结垢速率较大,且二者差别明显,所以地热水 B 较 A 地热水结垢严重。同时,紫铜在地热水 B 中的腐蚀速率较地热水 A 大,且远远超过 $50\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$,因此两种地热水均具有强腐蚀性,地热水 B 较地热水 A 腐蚀更严重。还测量了不同温度下的结垢速率(限于篇幅数据没有给出,下同),结果表明,温度升高,结垢速率增大,出现显著腐蚀,基底发黑。因此,地热水 B 是强腐蚀和强结垢型地热水。地热水 A 次之。

4.2 不锈钢样片分析

316 不锈钢样片在 75℃地热水中的结垢和腐蚀速率见表 4。不锈钢在地热水 A 和 B 中的腐蚀速率均为 0,表面较浸渍前基本没有变化,耐腐蚀性较好。在地热水 B 中的结垢速率较 A 大 1 倍多,但是,均小于在紫铜基底上的结垢速率。实验现象是,在地热水 B 中有少量污垢生成,在地热水 A 中几乎观察不到污垢。温度升高,结垢速率有波动,但整体上地热水 A 结垢明显增强,而 B 水样结垢速率稳定。因此,在没有观察到腐蚀现象的情况下(或通过选材不考虑腐蚀的条件下),地热水 B 比 A 更容易结垢,与 4.1 节分析结果一致。

表 4 不同样片在 75℃地热水中的结垢和腐蚀速率

样片	$v / \text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$		$v_p / \text{m} \cdot \text{a}^{-1}$	
	A	B	A	B
紫铜	24.8	61.88	138.1	180.7
316 不锈钢	9.9	22.2	0	0
20#碳钢	-	-	478.6	662.5

4.3 20#碳钢样片分析

相同实验条件下,20#碳钢在 A 水样中浸泡后

表面有大量红、黑色氧化物生成,溶液基本呈红色,有大量铁锈产生,分布相对均匀;在 B 水样中表面部分出现铁锈,局部有黑色块状物生成,溶液中只有少量铁锈产生,但难以判断两者腐蚀性的强弱。随着温度升高,腐蚀增强。

20#碳钢样片在 75℃地热水中的腐蚀速率如表 4 所示。结果表明,碳钢在浸渍前后失重明显,以致于无法得出结垢速率;其腐蚀速率较紫铜和 316 不锈钢均大大增加,发生严重腐蚀,且在地热水 B 中的腐蚀速率较地热水 A 大,腐蚀更严重。与前文分析结果一致。

4.4 地热水浓缩一倍后的情况分析

地热水浓缩一倍后的结晶污垢现象如图 1 所示。地热水 A 在电阻炉上加热蒸发浓缩至原来液体体积的一半后,烧杯底部有些黄色沉淀物(图 1 中右侧烧杯),但是,玻璃杯壁面污垢沉积不明显。而地热水 B 在烧杯壁和溶液中均有大量白色晶体析出(图 1 中左侧烧杯)。地热水 B 较地热水 A 易饱和析出晶体。分析地热水组成发现,地热水 B 较地热水 A 含更多的 HCO_3^- 、 Na^+ 和 Cl^- ,蒸发浓缩后更易结晶析出盐类。



图 1 地热水蒸发浓缩一倍后的结晶污垢观察

铜样片在浓缩地热水 A 中 75℃温度下浸渍 24h 后,样片表面形成均匀的红、黑色氧化物腐蚀,基本没有结晶析出;在地热水 B 中发生局部腐蚀(腐蚀不明显),样片表面有少量白色污垢,但重量减小。将两种地热水浓缩一倍 75℃温度下失重(地热水 A 有黑色区域)表明存在腐蚀。

相同实验条件下,316 不锈钢在地热水 A 浓缩液中基本不腐蚀(或者是均匀腐蚀,裸眼看不出),也不结垢;在地热水 B 浓缩液中腐蚀和结垢状况与非浓缩液中基本相同(局部腐蚀)。碳钢在两浓缩液中腐蚀均加剧,均为局部腐蚀。

关于两种地热水腐蚀性的强弱,若从铜基底看,地热水 B 腐蚀更严重;若从碳钢看,地热水 A 腐蚀更强。Larson 指数计算表明,两种地热水均为强腐蚀型,且 B 水样的 Larson 指数值更大,腐蚀性更强。因此, Larson 指数能准确地预测两种地热水的腐蚀趋势。Langlier 饱和指数计算结果表明两种地热水均严重结垢,然而实验发现,地热水 B 更易结垢,且是严重结垢型的,而地热水 A 难以结垢,是微结垢地热水,这与新模型计算结果相吻合,因此,新模型能准确预测 2 种地热水的结垢趋势。

需要说明的是, Langlier 饱和指数及修正模型计算时都用到 K_c , 是与温度有关的平衡常数和活度系数的复杂常数,可通过相应的温度和离子强度查表得出,不同温度下查图会得到不同的 K_c 值,本文取的数值是 75°C 的值。 K_c 基本随温度增大而减小,因此,分析模型考虑了流体温度的影响。Larson 指数计算时,没有直接涉及温度影响。但是,温度的影响通过影响离子的摩尔浓度体现出来。而 Larson 指数计算中,其分子分母都是摩尔浓度,温度的影响不会很大。温度对 Langlier 指数计算的影响也类似。 Ca^{2+} 与 HCO_3^- 的化学反应会受到压力和流速等条件的影响,但已不属于水化学分析的范畴。实验表明,温度升高,腐蚀结垢

程度加剧。压力增大会抑制流体中 CO_2 的逸出,从而减小 CaCO_3 的析出。增大流速,则增大流体对壁面的剪切力,从而增大污垢的移除速率,这些因素都会影响污垢的沉积速率。本文研究结果虽是在离线实验室条件下获得的,和对现场地热水进行腐蚀结垢研究所得结果相比有一定差别。但是,这些研究结果可以为地热利用提供初步的理论指导。更系统的温度、压力和流速等条件对地热水腐蚀和结垢行为的影响规律,还需在离线或现场换热设备及管件系统中进一步研究。

5 结 论

(1)地热水 A 为易腐蚀微结垢型地热水,或强腐蚀、微结垢;地热水 B 为易腐蚀易结垢型地热水,或更强腐蚀、严重结垢;

(2)新模型考虑了 Na^+ 、 Cl^- 对地热水结垢趋势的影响,能更准确地预测两种地热水的结垢趋势;

(3)针对现场运行条件下的地热水腐蚀结垢规律考查及修正模型广泛适用性研究是下一步工作。

致谢:感谢北京世纪佰特节能技术有限公司提供的地热水样品及水质分析报告。

参考文献略

转自《太阳能学报》2014, 35(2).

54 个国家、1400 余名嘉宾! 2023 世界地热大会开幕

9 月 15 日上午,2023 年世界地热大会在国家会议中心正式开幕。大会以“清洁地热、绿色地球”为主题,来自 54 个国家、1400 余名嘉宾出席盛会。中共中央政治局委员,国务院副总理张国清出席大会并讲话。冰岛总理雅各布斯多蒂尔视频致辞,国务院国资委副主任苟坪,国家能源局局长章建华,中国地质调查局局长李金发,国际地热协会主席西尔万·布洛格,2023 年世界地热大会组织委员会名誉主席、中国石化董事长马永生致辞。北极圈大会主席、冰岛前总统格里姆松,冰岛国家能源局局长洛加多蒂尔,埃塞俄比亚矿业部国务部长普克出席会议。开幕式由中国石化总经理赵东主

持。《中国地热》杂志、地热加 APP 受邀出席大会。

国务院副总理张国清在致辞中介绍,近年来中国已经建成全球最大的清洁能源体系,水电、风电、光伏、生物质发电、在建核电装机规模稳居世界第一。中国高度重视地热能等清洁能源的发展,地热供暖能力达到 13.8 亿平方米,地热直接利用量全球领先。中国清洁能源的快速发展不仅为建设美丽中国提供了有力支撑,也为推动全球能源转型做出了中国的积极贡献。张国清指出,我们将持续提高清洁能源的消费比重,发展清洁能源,既要增加供给,也要扩大消费,要优化绿色能源消费

促进机制,健全统一的绿色产品认证与标识体系,深入推进工业、建筑、交通等领域,用能清洁化,积极推进地热能供暖规模化应用,鼓励发展先进节能技术,持续推动能源清洁低碳高效利用。



张国清表示,习近平主席提出“四个革命、一个合作”能源安全新战略,强调要把促进新能源和清洁能源发展放在更加突出的位置,构建清洁、低碳、安全、高效的能源体系。我们将持续强化清洁能源科技创新,要加快突破低碳零碳负碳的绿色前沿技术和关键共性技术,大力推动清洁能源与现代信息、新材料和先进制造技术的深度融合,健全清洁能源制造体系和服务体系,不断增强清洁能源发展新动能。我们要强化能源监管和法制建设,完善能源转型政策机制,加快建设全国统一电力市场体系,完善重点领域碳达峰碳中和相关标准体系,推动能耗双控逐步转向碳排放双控,为清洁能源高质量发展提供有力的保障。



国务院国资委副主任苟坪在致辞中表示,中国地热能的利用总量连续多年稳居世界第一,地热产业已发展成为应对全球气候变化的重要增长极,具有无限潜力和广阔空间。当今世界正经历从化石能源为主向非化石能源转变的深刻变革,我们愿与各方一道共同打造清洁低碳、安全高效的新型能源体系,高质量推进风光电热等项目建设,探索多能互补、综合利用的新模式,打造高比例可

再生能源供给消纳体系,促进数字技术与清洁能源产业深度融合,推动产业高端化、智能化发展。我们将集中攻克干热岩地热资源开发、先进储能以及低碳、零碳、负碳等关键技术,不断提高开发利用效率和技术水平,推动成果规模化应用,加快形成新质生产力。国家能源局局长章建华在致辞中指出,地热能作为新能源家族的主力军、生力军,储量丰富、分布广,稳定性可靠,开发利用潜力巨大,在我国能源低碳转型中表现出蓬勃的生命力。多年来,中国国家能源局高度重视地热能开发利用管理,联合相关部门出台《关于促进地热能开发利用的若干意见》《“十四五”可再生能源发展规划》等政策措施,提出到 2025 年全国地热能供暖、制冷面积比 2020 年增加 50%。全国地热能发电装机容量比 2020 年翻一番。这些政策举措有力促进了中国地热产业的高质量发展。



章建华呼吁,我们应携起手来坚定不移推动地热能等可再生能源的发展。一是加快地热技术的创新,重点开发高温地热发电、中深层地热供暖、干热岩勘探开发等关键技术和关键设备以及系统集成技术的攻关,提高地热开发利用水平。二是加强地热能技术推广应用和示范,统筹资源情况和市场需求,积极开展地热能供暖、制冷、发电等利用模式和应用范围示范,探索有利于地热能开发利用的新型管理技术和市场运行模式。三是加强地热能全球治理体系建设,以共建全球清洁能源合作伙伴关系为抓手,加快地热能技术与产业的互利合作,推动地热产业全链条协同发展,加强同国际地热协会、国际可再生能源等国际能源组织的交流合作,促进地热能在全球的可持续发展。

中国地质调查局局长李金发在致辞中指出,中国地质调查局作为国家基础性、公益性、战略性



地质调查和矿产勘察的机构,认真贯彻落实国家应对气候变化行动和绿色低碳高质量发展要求,大力推进浅层地热能、节约型地热资源和干热岩型地热资源的综合调查,基本查明我国地热资源的潜力,形成最新的中国地热资源的国情数据。李金发表示,当前绿色低碳转型已成为全球共识,地热资源产业规模化高质量发展迎来新一轮战略机遇期。下一步,中国地质调查局将完整、准确、全面贯彻新发展理念,进一步加强基础地质与地热资源的国情调查,进一步摸清资源家底,推动深部地热资源探采关键理论与核心装备的突破,持续支持并参与全球地热产业发展。



中国工程院院士、中国石油化工集团有限公司董事长马永生在致辞中表示,近年来在习近平生态文明思想指导下,中国地热产业发展取得了举世瞩目的成就。在地热领域,中石化经过 11 年深耕发展,目前已经建设地热供暖能力超过 8500 万平方米,建成多个数百万平方米规模区域性、水热型地热供暖项目,单体大型江水源供暖项目,在探索地热规模开发利用方面起到示范作用。下一步将充分发挥多年积累形成的技术、人才、管理方面的优势与全球地热界深化合作,共同推动地热产业质量发展。力争到“十四五”末新增地热供暖能力 7500 万平方米,总规模达到 1.6 亿平方米,同时我们积极和中国地质局、相关地方开展合作,在干热岩这些领域争取实现规模化突破。主旨报告环节,中国工程院院士、国家地热能中心技术

委员会主任郭旭升在作题为《中国地热产业高质量发展》报告中指出,在清洁供暖需求的强烈作用下,中国逐渐形成了以供暖(制冷)为主的地热发展路径,为国际地热发展提供了新思路。截至 2021 年底,中国地热供暖(制冷)能力达到 13.3 亿平方米。未来几年,中国北方地区地热清洁供暖、长江中下游地区地热供暖(制冷)、青藏高原及其周边地热发电仍将是产业发展热点。



大会还同步发布了《世界地热发电进展》和《世界地热供暖制冷进展》权威报告。《世界地热发电进展》报告指出,目前,世界上已有 31 个国家有地热发电厂在运行,美国、印度尼西亚、菲律宾和土耳其是地热发电利用前四的国家。全球地热发电总装机容量已经从 1980 年的 2110 兆瓦增长到如今的 16260 兆瓦,分布在 197 个地热田,商业化开发利用的均是水热型地热资源,全球共有 3700 个生产井,每口生产井的年平均产量接近 3 兆瓦时。《世界地热供暖制冷进展》报告指出,截至 2022 年底,全球供热和制冷热能装机容量相当于 1.73 亿千瓦时,比 2020 年增加了 60%,最大的领用领域是建筑物的供暖和制冷,其次是健康娱乐和旅游、农业和食品加工。其中,中国的增长最为显著。2022 年全球使用的地热热能为 1476PJ(410TWh),比 2020 年增加了 44%。全球地热能使用场景最多的仍然为建筑供暖和制冷,约占 79%。世界地热大会被誉为地热界的“奥林匹克”。首届世界地热大会于 1995 年在意大利佛罗伦萨举办,目前已举办六届,前六届大会分别在佛罗伦萨、盛冈、安塔利亚、巴厘岛、墨尔本和雷克雅未克举办。本届大会会期 3 天,9 月 15 日开幕,9 月 17 日闭幕,会议期间将举办 88 场平行论坛,同步举办地热能开发技术与装备特装展览,参展企业数量、展览面积以及展示品类均创历届地热大会之最。

转自《地热加》