

揭秘地下蒸汽

林化领

地下蒸汽是地下热能的重要组成部分,其性态与地下热水有着本质的区别,具有独特优势,因此,有必要对其深入地探索研究。

在雪域高原地区,长期从事地热调查和地热水文地质勘探与试验工作,实践中,收集、积累、总结出大量的有关地下蒸汽方面第一性资料,其中以四川甘孜县城郊 ZK3 勘探的地热喷井最为典型,所采集获取资料较全面系统,该井初期井内热水性质具承压性。然而,在实施永久性止水 24 小时后,出其不意发生井喷事件,从而改写了地下热水的性态,此后又在处理井喷的实践中探索止喷、复喷的工作方法。

人工干预诱发的井喷事件可首次列入地热领域中一种罕见的“蝶变”现象。

经初步研究分析,井喷事件发生绝非偶然,而是必然发生的产物,应从井喷的静态定深测温曲线中地面沸点和饱和蒸汽压沸点是揭秘地下蒸汽的两个节点。



1 破解静态测温曲线

井内静态测温工作,自井口向下每间隔 10 米测一次温度,现将测温结果记录如下。

观测深度、温度的记录绘制温度随深度增加的曲线图(图 1)

孔深/m	温度/℃
0.0	58
10.0	64
20.0	70
30.0	76
40.0	82
50.0	87(地面沸点)
60.0	93
70.0	104
80.0	111
90.0	114(饱和蒸汽压沸点)
100.0	113
110.0	116
120.0	115

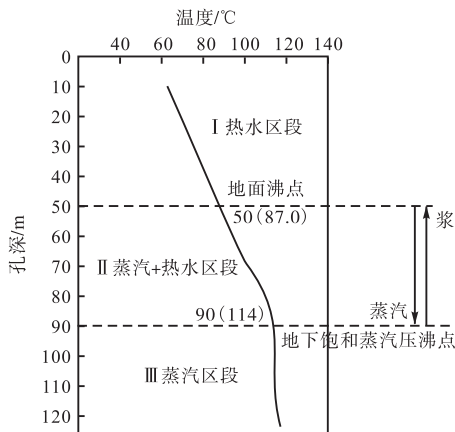


图 1 喷井静态定深测温曲线

1.1 分解测温曲线

首先对图 1 喷井静态定深测温曲线分解,第一段曲线,从热水静止水位 1.63 米,水温 58.0℃,到地面沸点 87.0℃,热水温度随井深的加深而升高,称井深增加与水温升高为正线性关系。

地面沸点埋深为 50 米。

从地面沸点到饱和蒸汽压沸点 114.0℃为第二段曲线,温度高于地面沸点,同样伴随井深增加而升温,但升温的曲线有别于第一段曲线。

按该段曲线特点大体可分为上下两段,上半段近似直线,类似第一段曲线延伸部分;下半段曲

线相当于抛物线转为渐近线。实际上是第一段曲线向第三段曲线过度段曲线。

第二段曲线温度高于地面沸点,其原因是热水中富含蒸汽成分之故,温度升高表明热水中蒸汽含量随井深增加而增加,最终达到极至,蒸汽饱和状态即为第三段曲线,即温度持平,稍有波动,曲线为直线且平行于纵轴。

饱和蒸汽压沸点埋深为 90 米。

1.2 浅谈地下蒸汽形成机理

“啃定青山不放松,立根原在破岩中。”为了更简约,更清晰,更直观,象征性表述地热层次结构,利于分析,推判地下蒸汽形成环境,故将图 1 曲线图改为倒三角形图(图 2)。

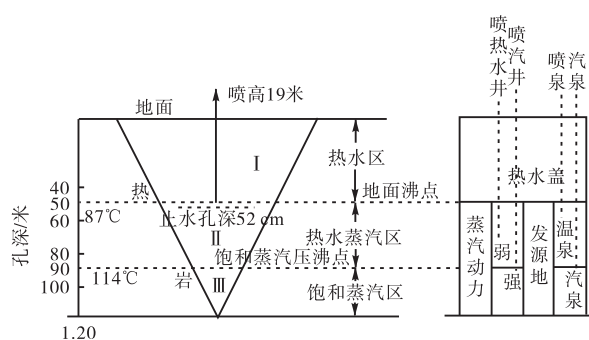


图 2 地热层次结构倒三角形

倒三角形表示断层破碎带内裂隙发育程度,上部近地表的一定深度,因受风化作用,构造裂隙势必拓宽,裂隙发育强度相对上部高于下部,相应地下水富水性无疑上部优于下部。

倒三角形两条边,代表断层破碎带热岩与地下水多边接触面,因近地表上部外界低温环境的影响,降低了热岩的温度,故断层破碎带热岩的温度自上而下逐渐升温。

从图中标出两点三段式,两点即地面沸点和饱和蒸汽压沸点。三段即由两点分割为三个区段;自上而下依次为热水区段(I)、热水和蒸汽混合区段(II)和饱和蒸汽区段(III),其中热水、蒸汽区段中,热水成分自上而下减少终止为零,相反蒸汽成分自上而下增加,直到饱和。

下面重点讨论地下蒸汽是如何形成的?地下蒸汽形成的必要条件,据以前分析,断层破碎带多为高温热岩。以甘孜县城 3 号喷井为例,上部热岩温度为 58℃,下部热岩为 114℃,是上部温度的两

倍。

在高温热岩裂隙中赋存地下水,其富水性下部低于上部,无疑将下部的高温热岩裂隙水热化,继而汽化形成地下蒸汽,因此,充分理由确认,断层高温热岩破碎带裂隙赋存地下水是地下蒸汽形成的必要条件。

生成的地下蒸汽具有膨胀力,即张力,可驱动蒸汽上逸外泄,故难以在地下蓄集、储存。

然而,从永久性止水诱发井喷事件,尤其在处理制喷、复喷的工作实践中,探索到地下蒸汽保留、聚集、储存的依据。

因为永久性止水的井段深度选定是关键,3 号喷井止水井段深度为 52 米,恰好是地面沸点埋深 50 米以下 2.0 米,即处于两点三段式中第 II 区段顶部位置,上部临近热水区段。

事实表明上部热水层静水压力足以起到阻滞地下蒸汽外溢的盖层作用。诚如当时在现场注入冷水止喷的施工人员的比喻为“冷水塞”作用。

基于上述对地下蒸汽形成必要条件分析及遏制地下蒸汽外溢的环境诠释。据此,判断代表倒三角形顶部至饱和蒸汽压沸点形成的机理,因顶点部位,静水压力最大,而且裂隙水富水性较弱,加之深部断层热岩温度相对较高,极易成就地下水热化汽化,生成地下蒸汽,又受制于静水压力而蓄集、储存,乃至扩展到控制特定的空间,且具有相当较大的膨胀力,即张力,与其静水压力相抗衡。

当地下蒸汽逐渐增加过程中,其张力增加,不断扩展地下空间,同时又与外部静水压力抗争的过程,在地下蒸汽增加足够数量时所产生的张力与静水压力持平时,即地下蒸汽达到饱和状态,所发生的压力的温度称之为饱和蒸汽压沸点,温度恒定,稍有波动,变幅 1—2℃间,此即完成两点三段式的第 III 区段。

当饱和蒸汽形成之后,热岩的温度随埋深浅难以导致热水汽化出蒸汽数量的张力不足以抗衡静水压力,故蒸汽成分便融入热水之中,初始蒸汽成分融入量最大,略低于饱和蒸汽量,相应热水成分极低。

因埋深自下而上逐渐趋浅,热岩温度随之降低,从而热水汽化量相应减少,故融入热水中蒸汽

成分亦逐渐减少;相反热水相应增大,最终蒸汽趋零,全为热水,即水温达到地面沸点。

至此,完成了两点三段式第Ⅱ区段,即热水蒸汽混合区段形成原因,或称非饱和蒸汽区段,实质上是饱和蒸汽区段向热水区段的过度段。

当热岩温度降至地面沸点之后,埋深变浅,热水温度随热岩温度相应降低,直至近地面附近保持 58℃,即完成第Ⅰ区段热水区段。

1.3 两点三段式法则

以上初步对两点三段式形成的机理进行分析和研究。两点三段式是真实鲜明地反应断层带高温热岩裂隙水体的性态变化所呈现地下热能结构层次,充分地描绘集液态,混合态和气态于一体的地下热能韵谱。

下面就热水区段、热水和蒸汽混合区段以及饱和蒸汽区段,各区段特征分述如下。

1.3.1 热水区段

热水区段,温度区间自井口附近水温 58.0℃到地面沸点 87.0℃,地下热水类型属断层构造热岩裂隙承压热水,顶板为泥砾碎石层,厚 18.73 米,水头值为 16.9 米。承压压力不是静水压力,而是地下蒸汽膨胀力,即张力,热水区段特征是遏制地下蒸汽外逸的天然屏障,或称之地下蒸汽盖。

从勘探地热井实施永久性止水后诱发井喷事件中得到充分印证,因为止水效应,势必导致止水管内静水压力降低,从而在地下蒸汽张力的驱动下,地下热水和蒸汽喷薄而出。犹如打开上面热水盖的一个缺口一般。

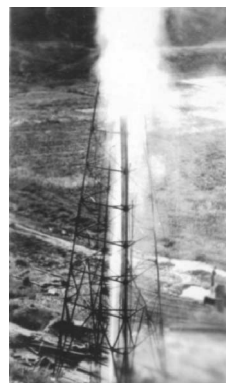
热水区段尚具有承上启下的作用,上部接受大气降水渗入地下热化为地下热水充实热水区段;同时热水区段下部水温高近沸点,极易汽化为地下蒸汽以充实蒸汽成分。

1.3.2 热水蒸汽区段

该区段的温度区间,自地面沸点 87.0℃到饱和蒸汽压沸点 114℃,为温度超地面沸点区段,而温度增升,纯系区段内蒸汽成分增加使然。

该区段主要特征是具有动力,动力源自蒸汽成分的张力,张力大小取决于区段内蒸汽数量的多少,因为蒸汽数量在区段内自上而下逐渐增加,故张力也一步一趋地扩大,而热水成分却截然相反,在区段内热水成分自上而下逐渐减少。

由此,结合井喷事件加以预测,因为井喷发生在止水管深度,恰在该区段顶部(图 2),经井喷现场实测记录如下:喷高 19.0 米(照片 1)涌热水量为 2.0 升/秒,温度为 90.5℃。



照片 1

现将喷井实测的喷出的温度。涌出热量及喷高,参照图 2 上标出止水管口井深位置所处Ⅱ区段近顶部,所显示的相应的温度比一下,惊奇地发现,喷出的热汽温度略高于地面沸点,再查实测记录:井深 50 米,温度 87℃;井深 60 米处,温度为 93℃,对照现井喷出的温度 90.5℃,恰处于中间值,充分印证静态测温曲线值与井喷实测喷出热水(汽)的温度相吻合。

井喷不仅是喷出热水(汽)温度吻合,而且喷出的热量也超过蒸汽量,也完全符合倒三角形内Ⅱ区段中井深 52 米处所标出的热水成分高,而蒸汽成分低的定性指标。

但引人注目的是,虽蒸汽成分相对少些,喷高达 19.0 米,壮观的景象足以显示出蒸汽的实力。

上述在止水井深为 52.0 米引发井喷,经地下静态测温,确认在地热Ⅱ区段近顶部相应的热水(汽)温度等要素指标与地面上井喷动态实测热水(汽)温度等惊人的吻合典型个例,从中得到启发和联想,举一反三,触类旁通,是提供预测的依据。

预测之一,如将止水管井段选定在Ⅱ区段中部,即井深 70 米处,可预测喷出高达 25 米以上,喷出热水(汽)温度高达 104.0℃左右,涌水量较前测定的 2.0 升/秒减少一半,但喷出的蒸汽成分却增加相当现喷出蒸汽的一倍以上,故久喷不衰。

预测之二,如将止水管置入Ⅱ区段底部,近临

饱和蒸汽压沸点埋深处,可预测喷井喷出几乎全为蒸汽,热水成分微乎其微,喷出高度估计为 35 米左右,温度约 113℃,温度恒定。

预测之三,如果将止水管置入 II 区段内,均可引发井喷事件,但各个井段喷发强弱有别,温度迥然不同,喷出热水量和蒸汽量各占的比例不尽相同,喷出高低差别亦大,但自上而下总的变化趋势:喷高由低增高,温度由低升高,热水量由多减少,蒸汽量由少增多,若由下而上,则反之。

1.3.3 饱和蒸汽区段

该区段区间温度为恒定温度 114.0℃,稍有波动,变幅在 1~2℃间,埋深 90 米至终孔 120.92 米。

如将止水管井段选定在 90 米以下,实际上无需止水,因无水,估测喷井全为地下蒸汽,温度为 114.0℃,拟似康定新城区热田 1 号喷汽井,喷出高度在 40 米上下。(照片二)



照片 2

1.3.4 地下蒸汽、温泉、汽泉

地下热能热韵谱的 II 区段不仅置入止水管诱发井喷事件,而且还是温泉的发源地。

先了解人为的模拟温泉,在当年井喷被遏制后两天,止水管内水位上升且高出地面 1.10 米,静止后放水,实测涌水量为 0.1 升/秒,水温为 58.0℃,较前水位 1.63 米高出 2.73 米,而管外水位由 1.63 米下降到 2.64 米,水温仍为 58.0℃。

此前曾调查过众多的温泉,但对温泉的认知,尤其是对温泉怎样形成的,仅仅是知其当然,不知其所以然,面对人为的温泉问世却引起了浓厚的兴趣,深刻的思考、认真的分析。

温泉的形成务必满足如下四大要素或条件。

(1) 温泉水温超过当地地下水的常温,一般在 17—20℃ 以上。

(2) 涌出的热水量可大可小。

(3) 热水从地下涌出到地面的驱动力,与一般上升泉不同。

(4) 热水从地下涌到地面通道或途径。

从上述止水管中形成的温泉模式获得启示和诠释。不言而喻,温泉水源自 II 区段的上部,因止水管口井深为 52 米,泉水的驱动力即为地下蒸汽的张力,又因涌水量小,仅 0.1 升/秒,涌出的途径短速度较快沿途降温微弱,终为 58℃,热水涌出通道为止水管。但自然界的温泉通道途径却潜伏在断层破碎带的裂隙之中。

通过雪域高原地区大面积地热调查表明,温泉、汽泉多出现在断层破碎带裂隙之中,尤其是裂隙密集带。多见张性裂隙,处在地下深处,在众多的无序裂隙中,如能组合形成贯通率高的裂隙系列作为热水的通道,机率是低的,尤其是发育在 II 区段内,又经过 I 区段,再穿越饱气带贯通途径通达的裂隙群组,无疑是少之又少,但不乏裂隙贯通是曲折的途径,毕竟是客观存在的,给 II 区段的热水蒸汽泄出提供可乘之机。热水在蒸汽张力驱动下向地面涌泄形成温泉。

温泉水源自 II 热水蒸汽混合区段,因 II 区段埋深区间范围较大,由井深 50 米到 90 米,在此区间内少数或极少数的裂隙贯通率良好可形成温泉上涌通道,从而孕育温泉温度的高低,涌水量大小,以及涌水之动力强弱的差异彰显出来的原因之所在。

作为温泉的涌水通道的有效的裂隙贯通率的影响因素概括如下。

(1) 埋藏的深浅

(2) 平均可贯通裂隙横断面大小

(3) 贯通组合裂隙系列曲折程度

(4) 基岩上覆松散堆积物或地表水体

(5) 气候,当地下热水顺贯通裂隙涌临近地表的一段距离内受外界低温环境气温影响明显。

(6) 地震干预因地应力变化,必然改变贯通裂隙空间形态,如压应力增强,可导致温泉水温升高,涌水量增大;如拉应力加大,则可影响温泉水温降低,水量减小(链接:温泉是地下情况侦察

兵)。

此外,正因为上述等诸因素,影响干扰,故自然界出露温泉水温高低,流量大小悬殊甚大。从温泉在地面出露特征,也可以发现温泉与地下蒸汽之间有千丝万缕地联系。

温泉水的涌泄,从水力性质分析,是承压的上升泉,但驱动力绝非静水压力,因温泉水向上冒涌翻腾泛花且高出水面 2~6 公分不等,主泉一股或两股以上,在主泉的周边范围面积数十平方米到数百平方米的地面上,岩表发育的微细裂隙中缓慢浸出微量的低温水,且伴有大量的气泡逸出,成排成行,成串的释出,且滋滋作响。

细察温泉涌泄,从而直观见证源源不断地热水传递地下信息,蒸汽源自 II 区段,依其张力驱动热水涌向地面,地下蒸汽在涌动裂隙的途迳中阻力很大,蒸汽张力较大,但受阻除大量的蒸汽和热

水,从主要裂隙中涌泄外,还有少量蒸汽被挤压在附近的微细裂隙,温度降为低温水浸出地面,且伴有气泡逸出。

汽泉温度超过地面沸点称汽泉,汽泉出露数量极少,经调查,四川甘孜藏族自治州高原上仅出现八处汽泉,泉位多在海拔 3000~3500 米以上。

汽泉是地下蒸汽的天然露头,因此图 2 中 II 区段底部及 III 区段是汽泉的发源地,埋深较大,可供蒸汽泄出的裂隙组合的通道为数甚少,故在全州面积为十五万平方公里内,乃至全四川省境仅八处汽泉。

经实地考查,八处汽泉出现在断层上均为活性断层,显而易见,活性断层为汽泉的形成打开通道。

现将八处汽泉出露主要特征统计如下(表 1)。

表 1 汽泉出露特征统计表

序号	位置	断层	高程/米	流量/(升/秒)	温度/℃	主要特征
1	康定新城榆林宫村	NW 向 SN 转弧形弯曲处	3000	3.339	91	锥形体钙华堆积,顶部洼坑汽泡蜂窝状冒出
2	甘孜县托坝南 200 米	NW 向隐伏断层	3345		98	雅砻江左岸,喷出汽柱面积达 100—200 平方米(链接:甘孜汽泉)
3	巴塘县茶洛热坑	NEE 向断层	3600	3.0	98	巴曲河岸边喷汽孔间歇喷泉,链接(迷人的茶洛间歇热喷泉)
4	巴塘县拉多乡日隆沟	NE 向小断层	3450	1.243	97	断层沟谷底冒大量蒸汽
5	巴塘县章德	NW 向断层小盆的中间	4095	1.055	92	汽泉温泉共生,范围约 200 平方米,钙华低丘
6	理塘县尼禾乡北 6 公里	NE 向小断层	4180	3.620	86	两个柱状钙华,柱头小坑中冒蒸汽
7	理塘县无量河右岸	NW 向断层	3956	11.88	85	钙华将碎石固结,分散流出热水喷汽
8	理塘县热柯乡内	NNE 向与 NE 向两断层交汇处	4150	24.05	85	长达 1 公里的热热水热汽溢出带

联想短语

(1) 火山喷发是地球内部岩浆的天然露头

(2) 断层是地球外部地壳创伤或伤痕,是地下热源的排泄带为地下热能向地壳表层排泄的通道,断层破碎带热岩成为地下热能载体。

(3) 地热循环系统特征

地热(含地下热水、地下蒸汽)循环系统与一般地下水循环系统迥然不同,区别在于地下水类型的差异,此为断层破碎带内热岩裂隙热水带。

先了解温泉动态变化。

在四川省康定县城区内,选定二道桥温泉、幸福桥温泉、党校温泉及甘孜州委南后院等四处温泉作动态观测点。

观测时间:自 1973 年 4 月至 1974 年 3 月底,一个完整的水文年。观测项目:气温、水温及涌水

量,定时观测为每周一次。

现将温泉动态观测成果总结如下。

1、二道桥温泉(W11)和幸福桥温泉(W5)。因处于康定雅拉河谷底,观测涌水量曲线受降水和河水干扰明显,尤其是幸福桥温泉(W5),涌水量增加和降水量峰值相吻合,河水影响也很明显。

2、州委后院温泉(W22),因水量小,涌水量仅 0.2—0.3 升/秒,但温泉流量变化幅度最大为 2.7 倍,泉位高出河水面约 30 米。

3、党校温泉(W14),泉位高出河水面 32 米,流量动态观测曲线较为典型。一年内流量出现的高值形成两个洪峰值,前一个出现在 8 月、9 月,后一个出现在 11 月和 12 月,再对应康定同年城区降水量分配不均匀,六月份降水量最大,为 228.8 毫米,九月份降水量次之,为 113.3 毫米。是

导致康定党校温泉(W14)流量曲线上出现两个洪峰的根本原因,但温泉出现两个洪峰时间均比降水充沛的六月和九月份滞后一个月余(图 3)温泉流量变化幅度为 1.5 倍,流量较稳定的。

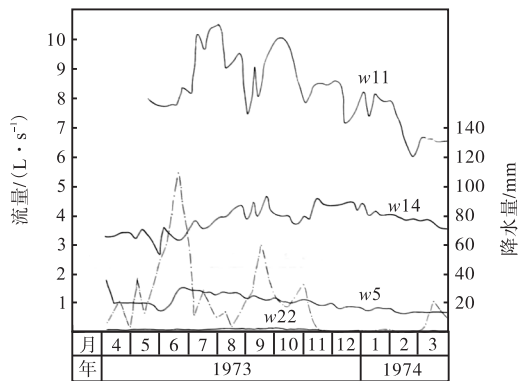


图 3

4、四处温泉动态观测,水温变化幅度不大,在 1.0 ~ 2.0℃间,夏季水温稍微升高,冬季略偏低。

通过温泉一个水文年内的动态观测,结果表明,断层破碎带热岩裂隙热水层(带)补给水源为大气降水和地表水体,而排泄的方式为温泉或汽泉。

大气降水通过地面上岩石的孔隙、裂隙或缝隙向地下渗透、靠自身重力,穿过饱气带,向断层构造裂隙热水层(带)汇聚,经过热化为地下热水,势必增重加厚断层裂隙热水层(带)。在重力作用,地下裂隙热水层(带)底界面将会越过地面沸点的埋深而发生汽化,即由热水层(I)跨入热水蒸汽混合层(II)。由于蒸汽扩容、膨胀张力增强,沿固有导热水的裂隙贯通途径强劲驱动热水上涌,同时液化一部分蒸汽,增添热量,一并涌向地面形成温泉涌出增升量,形成温泉流量的洪峰值,相应降水量洪峰值滞后一个月余。

现将断层热岩裂隙热水层(带)吸纳大气降水或地表水体水源之后,进而热化,促成汽化,作为动力,驱动热水向上涌动,在涌动过程中又液化部

分蒸汽后上升为温泉。

因此,整个过程可称之为地热能运化作用的过程,也就是地热循环系统特征。

温泉、汽泉涌出地面之后,水温变化幅度极小,而水量变化幅度一般小于 2 倍,基本稳定,其原因可以从甘孜县城郊井喷事件止喷之后,止水管内水位升高于地面 1.1 米,放水流量为 0.10 升/秒,且稳定的现象中获得启发,止水管外水位下降水温与管内流出的水温雷同。

实际上这是温泉形成模拟,热水源自 II 区段的热水和蒸汽混合段内,不同的是一个是人工凿井作为热水涌出的通道;而温泉则是自然界中断层构造裂隙密集且贯通率高作为热水涌出通道形成的温泉,原因是共通的。

因为热水涌出时,势必造成涌水管底部吸水端周围形成负压,故引外部热水水位下降,以补充管内排出的热量,以达到水量排出与补充的水量的均衡,故热量流出是稳定的,而且管内外水温相同,由此可以看出温泉流量和水温相对稳定的原因所在。

2 地热水化学特征

四川省甘孜县城郊在上世纪八十年代初,一口地热水文地质勘探井,经过人工干预后诱发的井喷事件后,不仅改变了地下热水的性态,而且也改变了地热水水化学性质变化,这些从水质分析成果上得到充分印证。

在 I 区段热水层(带)抽水试验结束之前和 II 区段热水蒸汽混合层带,井喷放喷试验中各采集水样两件分别做全项分析和专项分析,又在井喷中取气体一件和光谱分析一件。

此外,在喷井左近出露一处温泉取一件水样做全项分析。

现将水质全项分析专项分析及气体组分以及光谱分析成果分别统计如下(表 2、表 3、表 4、表 5)

表 2 抽水、喷水、温泉水质分析成果对比表

地热层序	类别	温度/ ℃	阳离子/(mg/l)					阴离子/(mg/l)					侵蚀性 CO ₂	游离 矿化度	SiO ₂	F	总硬度/ 德度	水质类型
			K	Na	Ca	Mg	NH ₄	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	NO ₂						
热水层 I 热水蒸汽层 II	抽水	70	12.00	169.50	11.34	19.62	0.40	4.55	25.00	488.38	16.93	0	3.95	533.51	40.00	12.00	4.96	HCO ₃ —Na
	喷水	90	31.25	374.00	3.16	1.92	0.51	13.68	65.00	652.00	45.88	0	0.00	103.47	73.25	10.00	0.84	HCO ₃ —Na
	温泉	38	11.50	132.50	48.10	15.08	0.52	10.99	30.00	569.20	0.02		35.45	540.00	8.10	8.10	10.21	HCO ₃ —Na

表 3 ZK3 孔抽水喷水专项分析成果对比表

项目	Hg	As	CN ⁻	Br ⁻	I ⁻	HBO ₂ ⁻	挥发酚	H ₂ S	Cu	Pb	Zn	Ca	水温
单位	mg/l												℃
抽水	0	0.005	0.013	0	0		0.012	0	0	0	0.04	0	70
喷水	0	0.004	0	0	0		0.010	15.50	0	0	0	0	90

从表中明显看出抽水与喷水,在水化学性质上是截然不同的,其中阴离子元素在喷水含量普遍高于抽水;阳离子中的 K 和 Na 喷水含量高于抽水明显,而 Ca 和 Mg 含量又大幅度低于抽水。总硬度、二氧化碳喷水含量大为减少,矿化度却高于抽水,因此,水质类型不同:抽水为 HCO₃—Na 型水;喷水为 HCO₃.CO₃—Na 型水。

抽水喷水源自同一个井内,水化学性质相差如此之大,原因在于不同地热结构层面上,抽水发

生在(Ⅰ)区段,热水层;喷水为(Ⅱ)区段内热水蒸汽混合层。抽水与温泉水质类型相同,为 HCO₃—Na 型水,温泉水中 CO₃、矿化度、F 含量却低抽水,而 Ca、Cl、侵蚀性 CO₂ 及总硬度含量竟大于抽水,表明温泉水受浅层水渗入混合、稀释、淡化、降温的结果。喷水与抽水水质上巨大差异,不仅反应在水化学成分含量悬殊之大,而且在光谱分析也有明显区别(表 4)

表 4 光谱分析成果对比表

元素名称	Ca		Mg		Mn		Fe	
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
喷水	0.10—1.02	0.01—0.10	1.02	1.02	0.1—0.3	0.01—0.03	0.41	0.04
抽水	24.05	4.0	30.06—60.13	5—10	0.06—0.18	0.01—0.03	0.24	0.04

元素名称	Al		Na		Cu		Si		K	
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
喷水	≤0.31	≤0.03	大量		<0.41	= 0.04	51.14—102.25	5—30	少量	
抽水	≤0.24	≤0.04	大量		<0.24	< 0.04	30.06—60.13	5—10	少量	

喷水气体组分分析成果如下(表 5)

表 5 气体分析成果表

气体组分	氮	氢	氧	氮	硫化氢	二氧化碳	甲烷	乙烷	丙烷
体积百分比/%	0.00	0.155	83.61		0.00	13.67	2.56	0.005	0.00

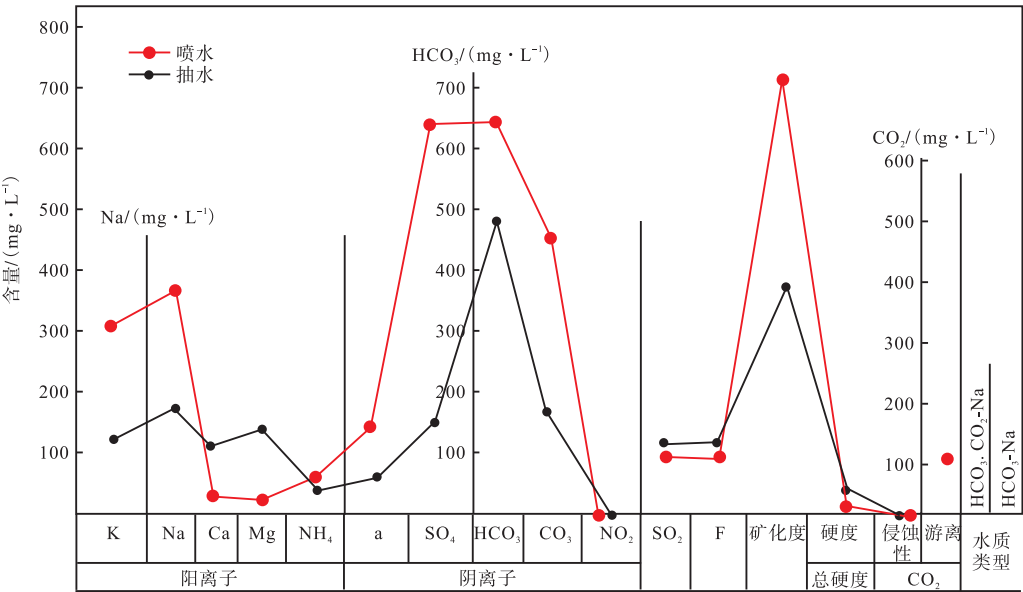


图 4 喷水抽水水质分析成果对比图

3 结 语

甘孜城郊 3 号热水井,人工干预后,引“爆”井喷突发事件,据静态定深测温结果绘制出完整曲线形态,从中引伸两点三段式法则,终于破解了井喷实属地下蒸汽所为。

无独有偶,经查阅早在上世纪七十年代,在西藏羊八井热田区,勘探 20 号地热井,静态定深测温绘制的曲线形态,与甘孜县城郊 3 号喷井静态测温曲线形态不谋而合,孔深 150 米。

继后,近期于二〇一三年,在甘孜县城郊 3 号喷井东南约 500 米,在甘孜隐伏断层上盘,施工 2 号地热井,井深 300.3 米,终孔后,静态测温曲线形态完全与甘孜 3 号喷井静态测温曲线形态相吻合。

事实表明,在雪域高原,不同的地热田,不同的储热断层带,或同一条储热断层不同段落上勘探地热井,其静态测温曲线形态均属同一类型。

然而不同的是:两点三段式差异明显。

羊八井热田中的 20 号地热井两点三段式,两点:地面沸点为 87℃,相应埋深为 50 米。饱和蒸

汽压沸点为 145℃,相应埋深为 105 米。

甘孜城郊 2 号地热井两点三段式,两点:地面沸点 87℃,相应埋深为 28 米,饱和蒸汽压沸点为 127℃,相应埋深为 60 米。

与此相关的三个区段的厚度及其功能也随之改变。

因此,分析和研究两点三段式法则重大意义,在于为开发地下蒸汽提供依据和方向。

如果开发高温热能的地下蒸汽,可选择羊八井热田 20 号地热井附近为佳。

如果开采埋藏浅的地下蒸汽,甘孜县城郊 2 号地热井一带断层段上作为首选。

开发地下蒸汽高温热能,仅仅是一个方面,尚有更深层意义须进一步发掘,就是通过开发地下蒸汽所取得有关资料成果,可利用于地下蒸汽发电为终极目的。

编者按:该篇文章已刊登在 2023 年第 6 期,但因作者在原文基础上进行了关键技术点的补充,故在本期再次刊登,以保证读者对于该篇文章完整学术思想的理解。

地热资源开发技术与装备教育部工程研究中心 召开 2023 年技术委员会年会 暨开放课题验收会

吉林大学建设工程学院

为加强地热工程领域学术交流,总结地热资源开发技术与装备教育部工程研究中心建设进展,促进学科建设、谋划中心发展、激发中心创新活力和工程转化能力。2023 年 12 月 16 日,地热资源开发技术与装备教育部工程研究中心 2023 年技术委员会年会暨开放课题验收会顺利召开,会议采用线上线下结合方式举行。中国科学院院士、中心技术委员会主任、吉林大学林学钰教授,中国工程院院士、吉林大学地学部学部长、吉林大学林君教授,中国地质大学(武汉)蒋国盛教授,中国地质大学(北京)刘宝林教授,中国地质调查局

刘三意教授级高工,中国地质装备集团总公司刘跃进教授级高工,中国地调局浅层地温能研究与推广中心李宁波教授,天津地热勘察开发设计院赵苏民教授级高工,中国地质大学(北京)王广才教授,上海市地矿工程勘察(集团)有限公司黄坚教授级高工,中南大学隆威教授,中国地质调查局陶士先教授,中国地质大学(武汉)窦斌教授,上海市地矿工程勘察(集团)有限公司地热资源应用研究中心王庆华教授等出席了会议。

上海市地矿工程勘察(集团)有限公司党委书记陆伟军、集团副总经理章长松、集团首席地质专

家王小清教授、集团科技创新中心主任高顺喜,中煤科工集团西安煤科地热能开发有限公司总经理赵永哲研究员,新能源与环境学院院长、中心技术带头人许天福教授,地球科学学院院长、中心技术带头人单玄龙教授,地球探测科学与技术学院院长、中心技术带头人曾昭发教授,仪器科学与电气工程学院院长、中心技术带头人嵇艳鞠教授,建设工程学院院长、中心主任郭威教授,以及中心各研究方向教师、研究生以及中心开放课题负责人参加了会议。

会议开幕式由吉林大学科研院科技管理办公室副主任白文翔主持,他对参会的各位院士和专家学者表示欢迎,并代表学校科研院对大家长期以来给予中心建设发展的关心、支持和帮助表示感谢。上海市地矿工程勘察(集团)有限公司陆伟军书记致辞,上海市地矿集团植根上海、持续深耕地热产业,在地热勘察测试、方案设计、项目施工、验收评估等领域打造了一批示范引领标杆项目,并搭建了地热能资源开发利用信息平台,赋能地热产业高质量发展。上海地矿集团与地热中心一致认同彼此密切合作关系,表示将坚持创新、协调、开放、共享的发展理念,共同开展科学研究和成果转化,并代表集团公司表示并进一步加强校企联动。

会上,还签署了上海市地矿工程勘察(集团)有限公司和地热资源开发技术与装备教育部工程研究中心校企合作备忘录,以及地热资源开发技术与装备教育部工程研究中心浅层地热应用示范基地揭牌仪式。此次签署校企合作备忘录,建设地热资源开发技术与装备教育部工程研究中心浅层地热示范基地,必将进一步促进科技成果转化,进一步推动科技创新与企业发展的深度融合。

中心年度工作汇报由工程研究中心技术委员会主任林学钰院士主持。中心主任郭威教授作了工作汇报,汇报了工程研究中心年度建设情况、工程技术研发能力与水平、成果转化与行业贡献、学科发展与人才培养、开放与运行管理以及2024年重点工作计划等。技术委员会和参会专家对中心

在人才队伍建设、工程技术重大突破和工程化典型案例等方面取得的进展给予了高度评价,同时对中心下一步工作的方向、目标和任务提出了建议。

中心学术报告由新能源与环境学院院长、中心技术带头人许天福教授主持。围绕地热资源开发技术与装备,共有7个学术报告。王小清教授以上海市浅层地热能开发利用现状与关键技术为题进行了报告,姜振蛟教授以干热岩体裂隙结构示踪试验与微地震数据联合反演为题进行了报告,赵永哲研究员以中深层地热埋管高效开发技术研究与应用为题进行了报告,赵容生教授以松辽盆地地热结构特征基于对地热系统的控制作用为题进行了报告,庞营教授以地热资源勘探开发技术装备研究进展为题进行了报告,孙章庆教授以长三角区域地热资源评价与成因机理研究为题进行了报告,赵研教授以严寒地区自然冷能跨季利用技术研究进展为题进行了报告。

新能源与环境学院、中心副主任冯波教授主持2022年度中心开放课题验收会议,中心2022年共设立了11项开放课题,评审专家对开放课题取得的成果给予了充分肯定,由验收专家讨论并形成了评审意见。

地热资源开发技术与装备教育部工程研究中心依托吉林大学于2009年由教育部批准立项建设,2018年通过验收,2019年教育部评估获得优秀。工程研究中心面向双碳国家战略,聚焦国家新型能源领域战略规划,面向地热能开发和地热供暖领域对新装备和新技术的迫切需求,开展地热资源的探测技术与仪器、钻井技术与装备、地热开发利用与环境评价的基础创新、应用技术和工程化研究。2024年将开展下一轮评估工作,中心将进一步落实工科集群建设,加强校企合作、学科交叉和国际合作,并结合国家重大工程,进一步加强中心的工程化能力,将中心建成一流的地热工程创新研究平台、成果转化基地和优秀专业人才培养基地。

全国各大机场地热能利用技术盘点

地热加 整编

当前,推进地热能高质量开发利用已成为共识,特别是随着“十四五”规划的实施,国家、各省以及地方政府纷纷出台了一系列政策和措施,以加快地热能开发应用的进程。在这一进程中,作为国家经济与社会窗口的机场业表现抢眼,纷纷采用地源热泵系统打造空间冷暖,不仅提升了空间的舒适性、环保性,而且大大降低能源成本和运维费用。

1 济宁大安国际机场

2023 年 12 月 28 日,随着首架航班平稳飞抵,鲁西南地区最大民用机场“济宁大安机场”正式启用。济宁大安机场是 4C 级民用支线机场,场区占地面积 2909 亩,跑道长 2800 米、宽 45 米,航站楼面积 29700 平方米,建设有 16 个 C 类机位、8 个廊桥。本期工程按照 2025 年旅客吞吐量 260 万人次,货邮吞吐量 7000 吨目标设计。

据了解,济宁大安机场建设了分布式低碳复合供能系统,以地埋管地源热泵系统加冷却塔的方式,对候机厅等重要场所进行制热供冷。根据设计,整个机场共布置了 1547 个地埋管换热器,供能建筑面积为 5.27 万平方米,每年节约用电量约为 132 万千瓦时,成为山东机场领域又一个践行双碳战略的标杆。

2 北京大兴国际机场

北京大兴国际机场为 4F 级国际机场、世界级航空枢纽、国家发展新动力源。机场于 2014 年 12 月 26 日开工建设,2019 年 9 月 25 日正式通航。据了解,大兴机场地源热泵工程一共建设 2 个能源站,共安装 8 台地源热泵机组。同时,为增大地源热泵供能面积,大兴机场还分别在 1 号能源站和 2 号能源站配套安装了 5 套锅炉烟气余热回收热泵和 1 套冰蓄冷设备,加大设备运行期间对多种再生能源的综合利用。

根据测算,大兴机场地源热泵系统每年能提取浅层地热能 56.36 万吉焦(GJ),实现大兴机场公共区域近 250 万平方米办公场地的供热和制冷,节省天然气 1735.89 立方米,可减少碳排放 1.58 万吨以上,是真正意义上的绿色节能空调系统。

3 合肥新桥国际机场

合肥新桥国际机场位于安徽省合肥经济开发区,是 4E 级国际机场、区域枢纽机场、华东机场群成员。2021 年 11 月 15 日,开工建设 T2 航站楼工程,项目总建筑面积约 35 万平方米。T2 航站楼设计践行低碳生态发展理念,其航站楼等设施全部采用地源热泵作为冷热源,将大大提升机场的低碳特色和绿色节能优势。

4 西安咸阳国际机场

西安咸阳国际机场位于陕西省咸阳市渭城区,距西安市区 25 公里,是 4F 级民用国际机场、中国国内干线重要的航空港和国际定期航班机场,是中国民用航空局规划建设八大区域性枢纽机场之一。

东航站楼及综合交通中心项目是西安咸阳国际机场三期扩建工程的核心建设内容之一,总建筑面积 105.74 万平方米,运用了地热、光伏、雨水回用、地板辐射等多项绿色新技术、新工艺,其中地热能作为热源提供不少于 2/3 的生活热水,建筑空调末端采用了辐射地板+分布式送风系统,大大降低能耗指标。

5 湖北鄂州花湖机场

鄂州花湖机场位于湖北省鄂州市鄂城区燕矶镇,西北距鄂州市中心约 16 千米、南距黄石市中心约 15 千米,为 4E 级国际机场、航空物流国际口岸、亚洲第一座专业性货运枢纽机场。

鄂州花湖机场于 2022 年 7 月 17 日正式投运。机场航站楼、货站楼、转运中心、综合楼、宿舍楼等设施共计 5.2 万平方米,采用地埋管地源热泵。在机场周边 1.6 万平方米的场地上,总共预埋了地下深埋着 624 根长 120 米、直径 180 毫米的 U 型地埋管。

6 石家庄正定国际机场

石家庄正定国际机场位于河北省石家庄市正定县东北部,距市区 32 公里,为 4E 级民用国际机场,是京津冀城市群的重要空中门户、北京首都机场的备降机场、区域航空枢纽、中国北方重要的国际航空货运中转基地。

未完待续

雄安新区地热资源高效钻井与 开采新型技术创新应用产学研基地揭牌

北地科技 报

2024 年 1 月 11 日,中国雄安智慧能源有限公司、中国地质大学(北京)、山西省勘察设计院有限公司在雄安新区容西片区 5 号能源站隆重举行“科技部雄安新区科技创新专项-中国地质大学(北京)-雄安新区地热资源高效钻井与开采新型技术应用研究现场试验基地”和“雄安新区地热资源高效钻井与开采新型技术创新应用产学研基地”揭牌仪式。雄安新区管委会自然资源和规划局积极推动科技部雄安新区科技创新项目在雄安落地,高度关注钻探高新技术在容西地热井施工中的创新应用,对现场试验和产学研基地建设给予大力支持。测绘地质和信息化组负责人李红英同志到场参加基地挂牌仪式并表示热烈祝贺。雄安新区各级领导高度重视地热资源开发助力清洁能源利用,校企合作促成三方优势互补,发挥雄安资源优势和新区战略高度,建设地热开发利用样板工程,具有示范引领作用。

中国雄安智慧能源有限公司副总经理王沙汀向中国地质大学(北京)的科技引领和山西省勘察设计院有限公司的优质高效表达了感谢。他指出推进地热资源开发,对助力“双碳”战略,建设绿色雄安至关重要。产学研基地助力公司科技研发、人才培养,能源公司将全力保障产学研基地建设运行,促进校企协同发展,合作共赢。山西省勘察设计院有限公司总经理党军对新区相关部门、中国雄安智慧能源公司和中国地质大学(北

京)在容西地热工程建设中给予的帮助和支持表示感谢。公司首次参建雄安新区地热井工程,秉持国际标准、高点定位的建设理念,创新应用技术,成功打出 2 口高产地热井。以此为基础,公司将借产学研合作之力,以更高质量完成容西片区后续 4 口井。中国地质大学(北京)科技处副处长郑远川表示中国地质大学(北京)作为首批疏解的高校,服务支持新区建设是义不容辞的政治责任和使命,希望未来在地热地质等领域加深合作,全力推动产学研基地建设发展、科研成果转化、人才联合培养等工作,为雄安新区绿色发展做出新的贡献。

科技部雄安专项-雄安新区地热资源高效钻井与开采新型技术应用研究负责人,中国地质大学(北京)工程技术学院郑秀华教授介绍了基地建设背景、技术优势和应用案例,表达了雄安新区和有关单位支持项目落地的感谢,提出了基地建设和发展设想。最后,倡议雄安新区利用地热资源优势,打造全球地热资源开发利用样板工程,为绿色生态宜居新城区做出贡献。此前,2023 年 12 月 21 日,记者从山西建投勘察院公司了解到,由该公司实施的雄安新区容西片区供热(冷)一期、二期工程中深层地热项目第一口地热井成功出水,井深 3945 米,井口水温 71 摄氏度,出水量 140 立方米/时。项目采用“螺杆+球形扶正器+无磁钻铤”工艺,辅以 MWD 无线随钻测斜仪进行轨迹计算和预测,向大倾角地层目标靶区进行定向钻探。

转自 地热加