

文章编号:1004-4116(2022)01-0072-07

# 张掖—民乐盆地地热田热矿水化学特征 及理疗作用研究

尹 政<sup>1,2</sup>,张旭儒<sup>1,2</sup>,王春磊<sup>1,2</sup>,高 月<sup>1,2</sup>,张 玲<sup>1,2</sup>

(1. 甘肃省地矿局水文地质工程地质勘察院,甘肃 张掖 734000;

2. 甘肃省地下水工程及地热资源重点实验室,甘肃 兰州 730050)

**摘 要:**2016年以来,甘肃省地质矿产勘查开发局在张掖—民乐盆地开展了大量的地热勘探工作,先后实施了8眼地热勘探井,取得了突破性的勘探成果,单井涌水量1 348.00 m<sup>3</sup>/d ~ 6 897.84 m<sup>3</sup>/d,井口水温45℃ ~ 78℃,属盆地型大型低温地热田,热矿水中蕴含多种对人体身心健康有益的微量元素<sup>[1,①]</sup>。本文通过分析张掖—民乐盆地地热田地质背景、热矿水化学特征,结合国家有关理疗热矿水的标准,评价了热矿水中的各种组分对人体的理疗作用。研究结果对张掖市打造“温泉之乡”有一定的借鉴意义。

**关键词:**理疗作用;水化学特征;热矿水;张掖—民乐盆地

**中图分类号:**P 641.5

**文献标志码:**A

地热资源作为新能源具有水资源和矿产资源的三重属性,集热、矿、水为一体,是一种可再生资源,具有清洁、易于开发、经济廉价、用途广泛等特点。地热资源的可持续开发利用对改善生态环境,提高民众健康水平,促进旅游产业发展,扩大就业等方面都具有重要的现实意义。目前,我国地热资源的开发利用广泛应用于供暖、养殖、发电等方面,符合“绿色发展”的基本国策,对缓解当今世界能源紧张局面、实现“双碳”目标发挥着重要作用。理疗热矿水是地热资源的主要类型,一般具有较高的医疗价值,我国利用热矿水治疗疾病的历史可追溯到4 000多年前的远古时代,如陕西华清池、北京小汤山、南京汤山、辽宁汤岗等,在历史时期就被民间开发为温泉疗养地;甘肃省是我国利用热矿水进行理疗保健最早的省份之一,开发利用较早的热矿水(温泉)主要为通渭汤池沟温泉、武山温泉和清水温泉,另外,武威药王泉和永登药王沟也有洗浴理疗的历史记载。目前,国内外在对热矿水的研究主要按地质成因进行分类研究,如依据地热系统、构造、热储类型、赋水岩石特征

及水温等进行分类,但按理疗化学组分对热矿水进行分类研究的较少,本文通过分析张掖—民乐盆地热矿水地质成因、水化学特征,结合国家有关理疗热矿水的标准和文献,评价热矿水组分对人体的理疗作用,也为今后研究地下水环境与人体健康的关系提供了科学依据<sup>[2]</sup>。

## 1 研究区概况

研究区属张掖市所辖,张掖市位于河西走廊中段,东临武威、金昌,西至嘉峪关、酒泉,总面积39 436.53 km<sup>2</sup>。张掖自古以来就有“塞上江南”“金张掖”之美誉,自然资源丰富,人文积淀深厚,坐落于祁连山、黑河湿地两个国家级自然保护区之上,是国家生态文明建设示范市,也是全国历史文化名城和优秀旅游城市。研究区所处的张掖—民乐盆地为中新代断陷—拗陷盆地,其基底为前震旦纪及古生代褶皱系组成,盆地受南部祁连山北缘断裂和北部龙首山南缘断裂的控制呈菱形展布,属张扭性盆

收稿日期:2021-09-16

基金项目:甘肃省地矿局2021年度创新资金项目(甘地发[2021]223号)《张掖—民乐盆地地热资源开发利用条件研究》(任务书编号:2021CX08)资助成果

作者简介:尹政(1969~),男,正高级工程师,本科学历,甘肃山丹人,主要从事地下水资源勘查、环境地质及地热资源评价等工作。

E-mail:zyyz8029@163.com

① 张旭儒,尹政,等.甘肃省张掖国家沙漠体育公园地热资源普查报告,2022

地,有利于地热流体的运移和赋存,面积约 5 050 km<sup>2</sup>。盆地中生界下伏基底凸凹起伏,形态变化较大,次级构造较发育,严格控制着中生界地层的埋藏深度、厚度、分布及形态特征,同时也影响着上覆新近系中新统主要热储的分布和地热增温系统。根据盆地基底起伏特征,可将盆地分为 3 个一级构造单元,即西部隆起带、东部斜坡带和中央凹陷带(图 1)。其中:西部隆起带和东部斜坡带分别位于榆木山前和永固凸起区,覆盖面积分别为 1 250 km<sup>2</sup>,1 700 km<sup>2</sup>,埋深均达 2 500 m 左右;中央凹陷带位于西部隆起带与东部斜坡带之间,面积 2 100 km<sup>2</sup>,推测结晶基底最大埋藏深度 5 000 ~ 5 800 m 左右。盆地内推测结晶基底主要由奥陶、志留系和加里东期花岗岩组成,热矿水主要储存在新近系中新统白杨河组的砂岩、砂砾岩中,另外花岗岩或变质安山岩风化壳、白垩系砂岩也是其次要的热储层<sup>[1,①]</sup>。

2 地热勘查现状及主要成果

盆地内已施工地热勘探井 8 眼,井口出水温度达 45℃ ~ 78℃,另外,石油部门在盆地中部施工了 2 眼石油勘探井(图 1)。盆地内以新生界—中生界地层最为发育,其次为古生界。

勘探孔钻遇的地层由老至新有:(1)奥陶系上统变质安山岩,钻遇厚度 423. 38 m,未揭穿,属硅质火山岩建造;(2)下白垩统泥岩及含砾细砂岩、中砂岩,盆地中央凹陷带民参 1 井石油勘探孔揭露厚度 3 244. 20 m,未揭穿,属湖相、滨浅湖相沉积;(3)新

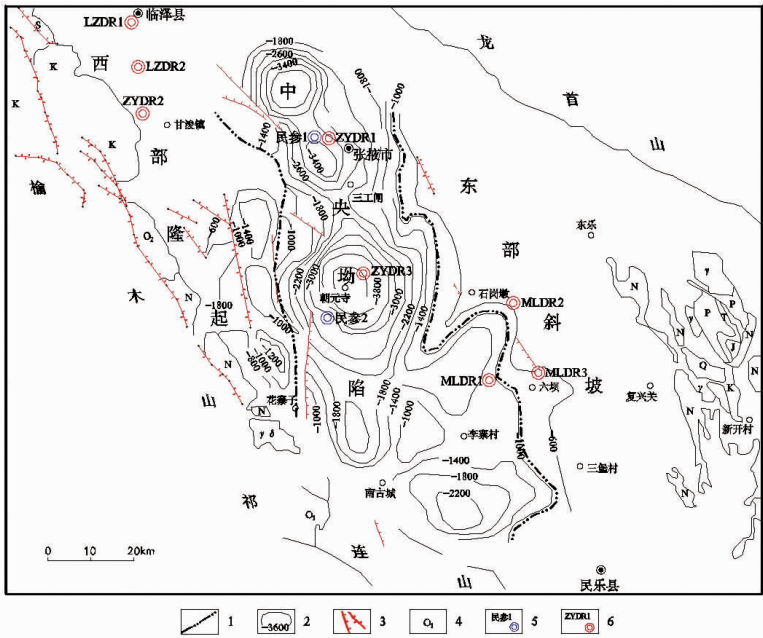


图 1 张掖盆地地震推断构造图(据中国石油地质志改编)  
Fig. 1 Inferred structures by seismic survey in Zhangye Basin  
(adapted from Petroleum Geology of China)

1—构造分区线;2—基底高程等值线;3—断层;4—地层时代;  
5—石油参数井及编号;6—地热勘探井及编号

近系中新统白杨河组泥岩、砂砾岩、泥质细砂岩、含砾粗砂岩、中砂岩等,属于内陆湖相碎屑岩建造,在盆地内发育连续稳定,揭露厚度 304. 10 m ~ 390. 00 m,埋藏深度一般大于 1 000 m,中央凹陷带 ZYDR1 孔揭露的白杨河组间泉段砂砾岩,孔隙率为 22. 2%,饱和含水率为 5. 2%,赋水性好,为地热田主要的热储层;(4)新近系上新统疏勒河组泥岩、砂质泥岩、砂质泥岩夹砂岩,属于内陆湖相碎屑岩建造,透水性差,揭露厚度 287. 15 m ~ 1 154. 00 m,构成了良好的热储盖层;(5)新近系上覆地层为第四系松散层,厚度约 600 m ~ 1 000 m 之间,储存有大量的孔隙型地下水。

另外,在临泽县城区南部(LZDR1 孔)、民乐新

表 1 张掖—民乐盆地地热勘探孔主要成果

Table 1 Key data of geothermal exploration holes constructed in Zhangye-Minle Basin

| 孔 号   | 位 置    | 孔深(m)     | 主要热储岩性 | 主要热储时代           | 主要热储厚度(m) | 涌水量(m <sup>3</sup> /d) | 出水温度(℃) |
|-------|--------|-----------|--------|------------------|-----------|------------------------|---------|
| LZDR1 | 临泽县城南部 | 1 500. 59 | 砂岩、砂砾岩 | N <sub>1</sub> b | 134. 55   | 2 904. 00              | 45      |
| ZYDR1 | 滨河新区   | 2 601. 22 | 砂岩、砂砾岩 | N <sub>1</sub> b | 174. 50   | 2 448. 00              | 56      |
| ZYDR2 | 甘州区甘浚镇 | 2 053. 08 | 砂岩、砂砾岩 | N <sub>1</sub> b | 165. 40   | 1 348. 00              | 46      |
| ZYDR3 | 沙漠体育公园 | 2 174. 00 | 砂岩、砂砾岩 | N <sub>1</sub> b | 175. 48   | 6 898. 84              | 78      |
| MLDR1 | 民乐县新天镇 | 2 269. 18 | 砂岩、砂砾岩 | N <sub>1</sub> b | 193. 05   | 2 592. 00              | 77      |

① 见 P72①。

天镇(MLDR1 孔)揭露了加里东期侵入岩,揭露深度分别为 496.49 m、81.18 m,岩体完整,未出现地温异常。

勘探成果表明(表 1),张掖盆地地热田属呈层状分布的盆地型中低温大型地热田,热源自深部地壳或上地幔的热传导<sup>[1-①]</sup>。

3 热矿水化学特征

岩石地球化学条件是地下水水质形成的基础,岩石中的矿物成分决定着地下水特征组分的形成,不同时代、不同性质的岩石具有不同的地球化学特征。在特定的地质环境中,地下水在地下深处运移,长期与围岩接触,在一定的水压、水温及水动力条件下,经溶滤作用、阴阳离子交换吸附、生物地球化学等一系列的物理、化学作用,岩石中的微量和常量元素进入到地下水中,形成不同类型的热矿水。依据  $\delta D$  与  $\delta^{18}O$  同位素资料分析,张掖盆地热矿水主要接受祁连山区大气降水的补给,为含岩盐地层溶滤水, $^{14}C$  同位素显示其形成年龄超过 2.00 万年,热矿水的形成是在正常的大地热流背景下,地下水沿深导水构造径流,在深循环过程中吸取围岩热量并与围岩发生水—岩相互作用,水化学成分发生改变,并形成了与第四系松散岩类孔隙冷水化学成分截然不同的较高温度的热矿水<sup>[1,①]</sup>。

统计资料较全的 5 眼地热井热矿水全分析测试成果,热矿水富含的微量元素或组分主要有: F(1.43 ~ 3.60 mg/L)、Sr(3.77 ~ 10.80 mg/L)、Li

(0.23 ~ 1.48 mg/L)、 $HBO_2$ (3.15 ~ 24.10 mg/L)、 $H_2SiO_3$ (28.36 ~ 59.80 mg/L);常规组分中阳离子以  $Na^+$  占优势,含量为 1 017 ~ 1 586 mg/L,阴离子以  $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$  离子占优势,含量分别为 1 285 ~ 1 754 mg/L、701.60 ~ 1 408 mg/L;TDS 为 3 432 ~ 5 810 mg/L;pH 值 7.06 ~ 8.52,为弱碱性,水化学类型均为  $CL-SO_4 \cdot Na$  型(表 2)。

进一步分析发现,张掖—民乐盆地地热田热矿水有 3 大特点:

(1)TDS、 $Na^+$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$  含量较高,且与水温高低基本呈正相关。常量分析中,热矿水中阳离子  $Na^+$  含量最大,约占 77.78% ~ 93.03%,阴离子中  $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$  占优势,分别为 41.44% ~ 58.26%、28.24% ~ 37.06%<sup>[1]</sup>,且  $Na^+$ 、 $Cl^-$  的含量较第四系松散岩类孔隙冷水高得多,而  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $HCO_3^-$  的含量较第四系冷水低的多。这是因为:NaCl、KCl、 $Na_2SO_4$  等一价碱金属化合物容易被热水溶解,且  $Na^+$  和  $Cl^-$  迁移能力较强,致使它们在热矿水中的含量普遍偏高,导致热矿水中 TDS 较高。另外,虽然自然岩体中  $K^+$  和  $Na^+$  的含量相差很小,但热矿水中  $K^+$  的含量占比却很少,一般不足  $Na^+$  含量的 10%,究其原因 是  $K^+$  比  $Na^+$  更容易被岩土体吸附; $CaCO_3$ 、 $MgCO_3$ 、 $CaSO_4$  等二价碱土金属在热水中容易形成难溶解的化合物,且围岩体对  $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  有较强的吸附作用,因此,热矿水中  $Na^+$  较  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  含量大得多。

(2)热矿水中  $F^-$ 、 $H_2SiO_3$  和  $HBO_2$  较高。热矿水中  $F^-$ 、 $H_2SiO_3$  和  $HBO_2$  的含量远高于第四系松散岩

表 2 张掖—民乐盆地热矿水化学成分统计表(mg/L)  
Table 2 Chemical analysis results of underground hot water in Zhangye-Minle Basin (mg/L)

| 孔号                            | LZDR1  | ZYDR1  | ZYDR2  | ZYDR3  | MLDR1  | 孔号                 | LZDR1  | ZYDR1   | ZYDR2   | ZYDR3  | MLDR1    |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 温度                            | 45     | 56     | 46     | 78     | 77     | 偏硅酸                | 28.36  | 35.44   | 31.10   | 64.21  | 59.8     |
| K +                           | 8.05   | 13.73  | 12.06  | 46.04  | 61.70  | 偏硼酸                | 12.02  | 20.23   | 15.97   | 26.32  | 3.15     |
| Na +                          | 1044   | 1409   | 1017   | 1586   | 1522   | 锶(Sr)              | 5.836  | 3.774   | 5.41    | 5.585  | 10.80    |
| Ca <sup>2+</sup>              | 84.24  | 56.18  | 142.9  | 88.52  | 250.00 | 锂(Li)              | 0.230  | 0.621   | 0.869   | 1.484  | 1.04     |
| Mg <sup>2+</sup>              | 39.92  | 35.58  | 37.04  | 64.80  | 123.00 | 硒(Se)              | 0.001  | < 0.002 | < 0.001 | 0.002  | 0.027    |
| CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | 0.00   | 23.76  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 铁(Fe)              | 0.061  | 0.023   | 0.333   | 0.580  | < 0.02   |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 217.10 | 743.00 | 167.50 | 773.10 | 596.00 | 溴(Br)              | 1.16   | 2.20    | 0.77    | 1.40   | < 0.005  |
| Cl <sup>-</sup>               | 1293   | 1331   | 1285   | 1449   | 1754   | 游离 CO <sub>2</sub> | 6.98   | 8.40    | 7.63    | 51.80  | 106      |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 701.60 | 828.00 | 804.60 | 1242   | 1408   | TDS                | 3432   | 4497    | 3513    | 5427   | 5810     |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 6.17   | 3.72   | 3.51   | 29.22  | 37.20  | 总硬度                | 374.80 | 286.70  | 509.40  | 487.90 | 1 131.00 |
| F <sup>-</sup>                | 1.43   | 2.07   | 1.85   | 3.47   | 3.60   | pH                 | 7.60   | 8.52    | 7.60    | 7.11   | 7.66     |

① 见 P72①。

类孔隙水,反映出了热矿水循环深度深,围岩体中硅酸盐、硼酸盐、氟化物矿物较丰富,水文地球化学环境也有利于  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ 、 $\text{HBO}_2$ 、F 运移,另外,温度对溶滤作用的影响较明显,即热矿水中氟化物、硅酸盐和硼酸盐的溶解度随温度的升高而增大。

(3)热矿水中含有一定量的对人体有益的微量元素或组分。如 Sr、Li、I、Br、Fe、游离  $\text{CO}_2$  等。

4 热矿水水质评价及理疗作用分析

4.1 热矿水水质评价

依据《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)<sup>[3]</sup>对资料较全的 5 眼地热井进行评价。张掖盆地热矿水中毒理学指标超标的主要为氟化物,几乎全部地热井热水中一般化学指标 Fe、Mn、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、TDS、总硬度均超标,沙漠体育公园地热井放射性指标总  $\alpha$ 、总  $\beta$  超标,可以肯定地热田热矿水不能直接作为生活饮用水源。

依据《地热资源地质勘查规范》(GB/T 11615-2010)附录 E 理疗热矿水水质标准<sup>[4]</sup>进行评价,3 眼地热井(ZYDR1、ZYDR3、MLDR1)热矿水 F 离子含量达到了命名矿水浓度,可命名为氟水;民乐县新天镇勘探井(MLDR1)Sr 含量达到了命名矿水浓度,可命名为锶水;张掖沙漠体育公园、民乐县新天镇的 2 眼地热井(ZYDR3、MLDR1) $\text{H}_2\text{SiO}_3$  含量达到了命名矿水浓度,可命名为硅水,且 Li 含量达到了矿水浓度,另外 3 眼井(LZDR1、ZYDR1、ZYDR2) $\text{H}_2\text{SiO}_3$

含量也达到了矿水浓度;临泽县城区南部地热井(LZDR1)I 含量达到了矿水浓度;除民乐县新天镇 1 眼地热井(MLDR1) $\text{HBO}_2$  含量达到有医疗价值浓度外,其余 4 眼井均达到矿水浓度;所有地热井热水中均含有各类有益的微量元素,温度均超过了  $\geq 34^\circ\text{C}$ ,为温水,总体评价热水适宜作为理疗热矿水<sup>[4-5]</sup>(表 3)。

4.2 热矿水理疗作用分析

热矿水的理疗作用包括物理作用和化学作用,其物理作用与普通热水洗浴相同,而理疗热矿水洗浴则具有独特的化学作用<sup>[6-12]</sup>。

4.2.1 热矿水的物理作用

热水洗浴的过程中能扩张皮肤血管,加快血液循环速度,有利于身体的代谢产物从尿汗液中排泄;另外,水的机械浮力与静水压力作用,使人更能有效舒展四肢,活动全身肌肉,按摩皮肤,达到收敛、消肿、止痛的疗效。热矿水和一般热水均有这方面的作用。

4.2.2 热矿水的化学作用

组成人体的化学元素大约有 60 种,其中至少有 26 种元素是人体生命活动所必需的。热矿水理疗作用主要体现在化学作用方面,热矿水的各种阴阳离子、游离性气体、微量元素及组分被人体缓慢吸收,从而不断刺激体表及人体感觉器官,并将这些信息传递给大脑皮层,从而改善中枢神经系统的病理状态,消除肌体病理,使肌体机能恢复正常。热矿水化

表 3 张掖—民乐盆地理疗热矿水水质评价一览表  
Table 3 Evaluation for physical therapy of hot mineral water

| 成分                       | 评价标准      |         | LZDR1<br>(mg/L)     | ZYDR1<br>(mg/L)     | ZYDR2<br>(mg/L)     | ZYDR3<br>(mg/L)     | MLDR1<br>(mg/L)     | 评价结果 |
|--------------------------|-----------|---------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
|                          | A(mg/L)   | B(mg/L) |                     |                     |                     |                     |                     |      |
| $\text{CO}_2$            | 250       | 1 000   |                     |                     |                     | 51. 80              | 106. 00             | /    |
| F                        | 2         | 2       | 1. 43               | 2. 07               | 1. 85               | 3. 47               | 3. 60               | B    |
| Br                       | 5         | 25      | 1. 16               | 2. 20               | 0. 77               | 1. 40               | 0. 10               | /    |
| I                        | 1         | 5       | 1. 12               | 0. 42               | 0. 84               | 0. 27               | <0. 01              | A    |
| Sr                       | 10        | 10      | 5. 836              | 3. 774              | 5. 41               | 5. 585              | 10. 80              | B    |
| Fe                       | 10        | 10      | 0. 061              | 0. 023              | 0. 333              | 0. 580              | 0. 86               | /    |
| Li                       | 1         | 5       | 0. 23               | 0. 621              | 0. 869              | 1. 484              | 1. 04               | A    |
| Ba                       | 5         | 5       | 0. 037              | 0. 047              | 0. 049              | 0. 051              | 0. 05               | /    |
| $\text{HBO}_2$           | 5         | 50      | 12. 02              | 20. 23              | 15. 97              | 26. 32              | 4. 05               | A    |
| $\text{H}_2\text{SiO}_3$ | 25        | 50      | 28. 36              | 35. 44              | 31. 10              | 64. 21              | 60. 60              | B    |
| Rn/(Bq/L)                | 47. 14    | 129. 5  |                     |                     |                     | 5. 60               |                     | /    |
| 温度/ $^\circ\text{C}$     | $\geq 34$ |         | 45 $^\circ\text{C}$ | 56 $^\circ\text{C}$ | 46 $^\circ\text{C}$ | 76 $^\circ\text{C}$ | 77 $^\circ\text{C}$ | 温水   |
| TDS                      | < 1 000   |         | 3 432               | 4 497               | 3 513               | 5 427               | 5 681               | 非淡水  |

注: A—矿水浓度;B—命名矿水浓度

学成分进入人体有三种途径:一是通过皮肤吸收进入体内,如 I、Sr、Li、Ba、Fe 等微量元素;二是离子状态的矿物质形成“生物薄膜”附着在皮肤表面发挥医疗作用,或者刺激皮肤感觉,从而对肌体产生某些调节作用;三是一些脂溶性的挥发性组分和有益气体,如  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、Rn 等,少量经呼吸道进入机体后,在肺泡中通过毛细血管进入肺循环,再进入全身血液循环,从而对机体产生治理作用。

#### 4.2.3 热矿水化学成分的理疗作用

不同热矿水中由于微量元素、矿物质及放射性气体的含量不同,也会有不同的理疗效果。依据评价结果:张掖盆地热矿水为  $\text{Cl-SO}_4\cdot\text{Na}$  型水,达到命名矿水浓度的组分主要是 F、Sr、 $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ;达到矿水浓度的组分主要是 I、Si、 $\text{HBO}_2$ ;其他微量组分含量相对较少,达不到医疗价值浓度。

##### 1) NaCl

张掖盆地热矿水中:Cl<sup>-</sup>含量达 1 285 ~ 1 754 mg/L,约占阴离子含量的 49.61%;Na<sup>+</sup>的含量达 1 017 ~ 1 586 mg/L,约占阳离子总量的 86.51%(见表 2)。热水优势成分为 NaCl,理疗作用主要有:

(1)NaCl 热水洗浴可刺激皮肤引起血管扩张,进而改善血液循环,促进皮肤炎症渗出物的吸收,加快皮肤组织新生;氯化钠晶体颗粒附着在皮肤表面形成保温层,造成体温散热缓慢(浴后可保温 1 h 以上),使身体有显著的温热感。

(2)在温热和 NaCl 盐类的共同刺激下,人体内各系统的机能通过皮肤神经反射性产生的刺激,产生一系列良性作用:可以增加尿和尿素的排出量,有效降低血糖,增加白细胞,促进新陈代谢;舒缓紧张情绪;有消炎镇痛和脱敏作用;改善体质,增强抵抗力;调整内分泌腺功能。

(3)NaCl 热矿水洗浴可用于治疗:痛风、慢性风湿痛、关节炎、神经性皮炎、牛皮癣、湿疹、皮肤瘙痒症、慢性胆囊炎、慢性胃炎、肌肉劳损、肥胖症、神经衰弱、神经痛、创伤、外伤后遗症、糖尿病、静脉炎等<sup>[6]</sup>。

##### 2) F

张掖盆地热矿水 F 离子含量较高,有 3 眼井地热水可命名为氟水。F 是人体必需的微量元素之一,氟水适用于骨质疏松及龋齿等症。主要参与骨骼与牙齿的组成及代谢,人体摄入适量的 F,有利于促进 Ca、P 的利用和在骨骼中沉积,可促进骨骼生长,维护骨骼的健康。F 在牙釉质中可形成坚硬的氟磷灰

质保护层,保持牙齿发育正常<sup>[7-12]</sup>。

##### 3) $\text{HBO}_2$ 与 $\text{H}_2\text{SiO}_3$

(1)张掖盆地热矿水  $\text{HBO}_2$  含量 4.05 ~ 26.32 mg/L,基本达到了矿水浓度。 $\text{HBO}_2$  具有消炎、消毒、止痒和防腐作用,在治疗关节炎、皮肤病方面有显著疗效<sup>[7-12]</sup>。硼元素在人体内起着维护关节健康、增强骨质密度、加速骨折愈合的作用,还可改善脑功能,对提高大脑的反应能力有一定作用。硼元素缺乏可能对体内的 Ca、Mg、P 的平衡有不良影响,导致骨骼细化,增加患高血压和关节炎的风险<sup>[9]</sup>。

(2)张掖盆地热矿水  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  含量 28.36 ~ 64.21 mg/L,达到了命名矿水浓度或矿水浓度。 $\text{H}_2\text{SiO}_3$  被称为“水中黄金”,是哺乳动物在生长和骨骼钙化中不可缺少的组分,一种非常安全的对人体有益无害的纯天然健康元素的载体,容易通过人体皮肤吸收,能有效地维持人体的生理机能和电解质平衡; $\text{H}_2\text{SiO}_3$  水洗浴会使皮肤产生“温泉水滑洗凝脂”的感觉,对皮肤的黏膜有清洁、消炎的作用,可用于治疗各类皮肤病,能软化皮肤角质,对皮肤有润滑、补水保湿、延缓衰老、防皱去皱的护肤作用; $\text{H}_2\text{SiO}_3$  在治疗面神经炎、神经系统的三叉神经痛、植物神经系统疾病、多发性神经炎、中枢神经系统疾病和损伤、静脉炎、关节周炎、软骨炎、脊椎炎、外伤性脊椎病、肌炎、肌痛、纤维炎、过敏性湿疹、脂溢性湿疹、皮肤系统银屑病、神经性皮炎方面均有好的疗效<sup>[7-12]</sup>。

##### 4) I、Sr、Li

(1)张掖盆地热矿水 I 含量仅有 1 眼达到了矿水浓度。利用含一定浓度 I 离子的热矿水洗浴,能起到消毒杀菌的作用,有治疗甲状腺肿、克汀病及各种心脏疾病之功效。水中 I 离子与 K、Ca、Na 离子结合时,对治疗慢性支气管炎、祛痰、梅毒有疗效<sup>[7-12]</sup>。

(2)张掖盆地热矿水 Sr 含量相对较丰富,1 眼地热井 Sr 含量达到了命名矿水浓度。Sr 是人体必需的微量元素,Sr 可减少人体对 Na 的吸收,有利于增强心血管的功能,降低心血管疾病的发生率,有促进 Ca 吸收、强壮骨骼、抗氧化抗衰老等功效;Sr 型水对治疗口腔溃疡、龋齿、腰腿病、肠胃疾病、风湿病、高血压、糖尿病、便秘等有减轻和消除的疗效<sup>[7-12]</sup>。

(3)张掖盆地热矿水 Li 含量有 2 眼地热井达到了矿水浓度。Li 对人体中枢神经系统活动有调节作用,能安定情绪,对治疗忧郁型精神病有特殊疗效,

还可以改善造血功能,治疗肾结石、痛风和风湿症,提高人体的免疫机能<sup>[7-12]</sup>。

## 5 结论与建议

(1)张掖—民乐盆地属中新世断陷—拗陷盆地,受南部祁连山北缘断裂和北部龙首山南缘断裂的控制呈菱形状展布,面积约 5 050 km<sup>2</sup>;依据  $\delta D$  与  $\delta^{18}O$  同位素资料分析,热矿水主要接受祁连山区大气降水的补给,为含岩盐地层溶滤水,热储层埋藏深度 1 000 ~ 2 000 m,  $^{14}C$  同位素显示其形成年龄超过 2.00 万年,单井涌水量 1 348.00 ~ 6 897.84 m<sup>3</sup>/d,井口水温 45℃ ~ 78℃,属层状分布的盆地型大型低温地热田<sup>[1,①]</sup>。

(2)张掖—民乐盆地热矿水化学成分较复杂,pH 一般 > 7,为弱碱性水,TDS 为 3 432 ~ 5 810 mg/L,为中等矿化水,水化学类型均为 CL-SO<sub>4</sub>·Na 型。热矿水中 F、HBO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>、I、Sr、Li、TDS、NaCl、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等含量均较高,采用理疗热矿水水质相关标准进行评价,普遍达到命名矿水浓度的组分主要是 F、Sr、H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>,另外有多项达到了理疗矿水浓度指标,因此,张掖盆地热矿水具有良好的理疗作用。

(3)张掖盆地地热田热矿水具有较高的理疗保健、供暖、养殖等综合开发利用价值,适宜开发以温泉为主题的休闲体验项目。作为理疗热矿水,长期洗浴,不仅能提高人体免疫机能,治疗多种疾病,改善

体质,舒缓紧张情绪,还具有护肤、美容、康养之功效。建议张掖市依据蕴藏丰富的热矿水资源打造“温泉之乡”。

## 参 考 文 献

- [1] 尹政,柳永刚,张旭儒,等. 张掖—民乐盆地中新世地层结构及对地热的控制作用[J]. 甘肃地质,2021,30(3)
- [2] 李龙. 热矿水中的健康密码[J]. 国土资源科普与文化,2018,1:19-21
- [3] 中华人民共和国卫生部. 生活饮用水卫生标准:GB5749—2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006
- [4] 中华人民共和国国土资源部. 地热资源地质勘查规范:GB/T 11615—2010[S]. 北京:中国标准出版社,2011
- [5] 中华人民共和国国土资源部. 天然矿泉水资源地质勘查规范:GB/T 13727—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017
- [6] 张小军,杨贡林,陈勇,等. 浅析盐(氯化钠)在洗浴产品中的应用[J]. 中国井矿盐,2018,2:9-12
- [7] 大塚吉则[日]. 温泉疗法—通往康复之路[M]. 北京:华夏出版社,2012:10-50
- [8] 杨建,邱燕燕,王心义. 地热水医疗保健作用评价[J]. 焦作工学院学报:自然科学版,2004,23(6):447-450
- [9] 李明礼. 西藏典型理疗地热矿泉的成因及功效研究[D]. 成都市:成都理工大学,2018
- [10] 陈正山. 贵州理疗热矿水(温泉)形成机理及其对人群健康的影响[D]. 贵阳市:贵州大学,2021
- [11] 尹成兵. 温泉资源在美丽乡村建设中作用的研究[D]. 青岛市:青岛科技大学,2021
- [12] 姜宝良,张石磊,豆敬磊,等. 豫北对流型地热区热矿水的特点及理疗作用[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版),2016,2:41-46

① 见 P72①。

## CHEMICAL CHARACTERISTICS AND PHYSIOTHERAPY EFFECTS OF THERMAL MINERAL WATER IN ZHANGYE BASIN

YIN Zheng<sup>1,2</sup>, ZHANG Xu-ru<sup>1,2</sup>, WANG Chun-lei<sup>1,2</sup>, GAO Yue<sup>1,2</sup>, ZHANG Ling<sup>1,2</sup>

(1. The Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral  
Development, Zhangye 734000, China;

2. The Laboratory of Groundwater Engineering and Geothermal Resources of Gansu Province, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** Since 2016, Gansu Provincial Bureau of Geology and Minerals Exploration and Development has carried out a large number of geothermal prospecting research work in Zhangye Basin. A total of 8 geothermal exploration wells have been implemented. The study believes that the Zhangye Basin is a large-scale medium-low temperature geothermal field with very high geothermal resources. However, due to insufficient knowledge of its hydro-chemical characteristics and development value, this precious geothermal resource has not yet been effectively utilized. This paper analyzes the geological background of the geothermal field, the chemical characteristics of hot mineral water, and evaluates the relevant national standards for physiotherapy hot mineral water, and expounds the physiotherapy effects of various components in the hot mineral water on the human body. Studies have shown that the hot mineral water in Zhangye Basin contains a variety of components and trace elements that are beneficial to the human body. Long-term use of the hot mineral water for bathing has a good physiotherapy effect on the human body. It is suggested that Zhangye City should build the brand of The Land of Hot Springs and develop leisure experience projects with hot springs as the theme, so that Geothermal resources play its due value.

**Key words:** physiotherapy; hydro-chemical characteristics; hot mineral water; geothermal field