doi: 10.19388/j.zgdzdc.2018.05.02
引用格式: 韩颖,白雪峰,张欣. 山西省地热资源及其开发利用模式探讨[J]. 中国地质调查,2018,5(5):13-20.

山西省地热资源及其开发利用模式探讨

韩 颖, 白雪峰, 张 欣
(山西省地质调查院,太原 030006)

摘要: 山西省地热资源丰富,但分布不均,总体开发利用程度偏低,存在资源勘查研究程度低、分散开采普遍、重开采、轻回灌、创新发展研究重视不够等问题,对地热资源可持续利用不利。在山西省地热资源现状调查评价的基础上,系统总结了山西省地热资源的分布规律、主要热储类型、特征以及水热型地热资源开发利用现状,按照不同热储类型及地热资源赋存地质条件,提出地热资源开发利用模式建议,并提出在山西省打造温泉小镇的构想。

关键词: 地热资源; 热储类型; 赋存条件; 地热开发利用; 山西省
中图分类号: P314 **文献标志码**: A **文章编号**: 2095-8706(2018)05-0013-08

0 引言

山西目前发现地下热水点230余处,露头点约500个,大于100 ℃的2处,大于60 ℃、小于100 ℃的约15处,大于40 ℃、小于60 ℃的约30处,其余多在20~40 ℃之间。近十多年来,随着地热勘查项目逐年增加,地热钻探能力提升,被发现的深埋自然增温地热点也快速增加,但由于勘查工作面积较小,多为点上的工作,没有系统考虑地热能源的可持续利用。本文依托山西省地质调查院完成的"全省地热资源调查"项目,总结了山西省地热分布特征、热储类型及开发利用现状,结合热储条件有针对性地提出了山西省地热资源开发利用模式的建议,为地热资源合理利用提供地学依据。

1 山西省地热田分布及特征

山西省地热田分布按所处的地貌单元概括来说可分为2个大区: 一是隆起山地区,二是沉积盆地区[1]。浑源汤头、盂县寺平安、鄂尔多斯盆地东缘、沁水煤盆地等均属于隆起山地区; 汾渭地堑形成的大同、忻州、太原、临汾、运城五大盆地为沉积盆地区。地热田分布见图1。

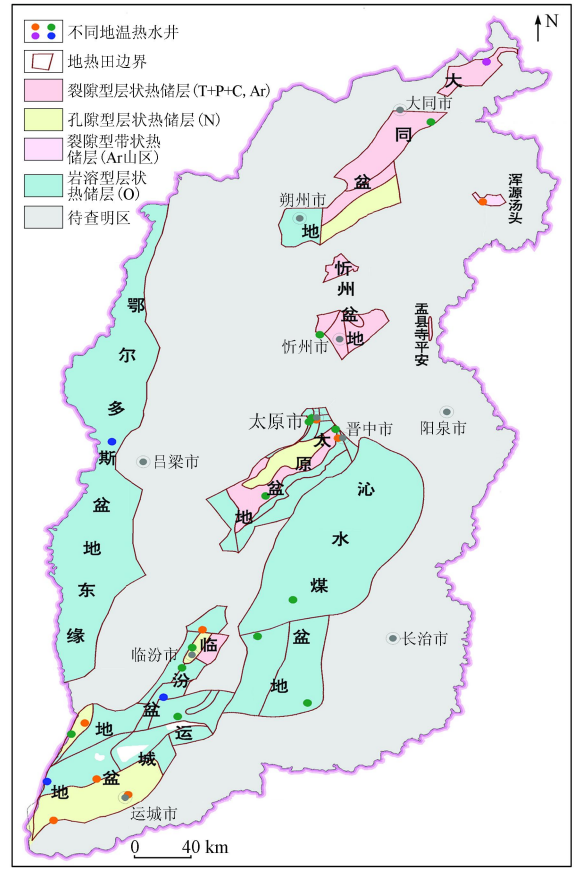

图1 山西省主要地热田分布

Fig.1 Distribution of the main geothermal fields in Shanxi Province

收稿日期: 2018-02-27; **修订日期**: 2018-04-26。
基金项目: 中国地质调查局"全国地热资源调查评价(编号: 12120113077300)"项目资助。
第一作者简介: 韩颖(1966—),女,硕士,教授级高级工程师,主要从事水工环地质调查研究工作。Email: hanying87@163.com。
万方数据

1.1 隆起山地区地热资源

1.1.1 浑源汤头地热田

浑源汤头地热田位于山西省大同市浑源县城以南45 km,北岳恒山脚下的王庄堡小盆地内,面积约153 km^2,处在恒山燕山断块恒山隆起带与唐河断裂带复合部位,NW—SE 向断裂较发育,并有不同方向的断裂与其交错,原温泉出露点处于这些交错部位,现已消失。花岗岩壳岩石中含有大量的放射性元素,衰变时能产生大量的热量,构成汤头地热田的深部热源。

汤头地热田主要热储层为太古宇黑云斜长片麻岩,盖层为第四系松散层。有效热储层厚度60 m,热储温度60 ℃。

浑源汤头温泉疗养院东50 m 的地热井,井深63 m,井口出水温度61 ℃,单井涌水量15 m^3/h。汤头地热田热矿水属 SO_4· Cl – Na 型,氟含量为13.4 mg/L,偏硅酸113 mg/L,pH 值为8.81。

1.1.2 寺平安地热田

寺平安地热田位于太行山穹状隆起阳泉盂县梁家寨乡寺平安村东的滹沱河边,地处山西、河北两省交界地带,地热田范围北起东峪口,南到活川口,沿活川口南北向压扭性逆断层分布,呈 SN 向纺锤状,南北长20 km,东西宽2.5 km,面积约38 km^2,地热田属太行山穹状隆起上五台穹状隆起的南部,断裂构造以 NNE、NE 向断层为主,寺平安地热田热水的出露受构造与岩性控制。从热储层岩性上看,热水出露于太古宇龙华河群底部至榆林坪顶部的伟晶岩脉中。就构造而言,寺平安地热田热水属于隆起断裂型深循环脉状承压水。活川口 SN 向压扭性逆断层和寺平安 SN 向压扭性逆断层,具有明显的水平方向的阻水性,而这2条断层的断裂带及伟晶岩脉中发育的 NNW、近 EW 及近 SN 向3组张性裂隙为热水的主要储存和导水通道。地热井单井涌水量为5 ~ 30 m^3/h,平均单井涌水量为25 m^3/h,阳泉市盂县梁家寨乡疗养院的几个地热井,井深约120 m。井口出水温度44 ~ 62 ℃。水化学类型为 Cl· SO_4 – Na 型,氟含量5.4 mg/L,偏硅酸78.2 mg/L,pH 值为8.32。

1.1.3 鄂尔多斯盆地东缘地热田

鄂尔多斯盆地东缘单斜构造地热异常区位于吕梁山西侧临县—永和—吉县一带,沿黄河东岸呈条带状展布,地貌属于黄土高原,大部分被黄土覆盖,沟谷出露基岩为三叠系中统二马营组砂页岩地层,热储层为奥陶系中统上马家沟组、下马家沟组中厚层石灰岩,白云质灰岩。控热构造受鄂尔多斯断陷盆地制约,盖层为三叠系、二叠系、石炭系及第四系,厚度为2 300 ~ 2 600 m,热储层有效厚度约300 m,分布面积约13 775 km^2。

据临县、柳林县地热井调查,其孔深600 ~ 805 m,井口出水温度32 ~ 36 ℃。

1.1.4 沁水煤盆地地热田

沁水煤盆地地热田北部以榆次北山边山断裂至寿阳平头、盂县一带二叠系地层出露分布带为界;东部以阳泉、昔阳、和顺、左权蟠龙、襄垣五阳二叠系地层出露分布带转西南长治断陷盆地北、西部边界一直到高平寺庄、阳城周村一线为界;南部以阳城县城、阳城土沃一带二叠系地层出露线为界;西部以晋中断陷盆地边山断裂至介休洪山转向太岳山东部二叠系出露地层分布沿线一直到古县旧县—浮山、续鲁峪断裂为界,该地热田总面积15 506 km^2。

该地热田热储层为寒武系—奥陶系灰岩,属深埋自然增温型地热田。根据区内近 EW 向古县—襄垣断裂带和 NNE 向安泽—沁水向斜构造,又将该热田划分为3处地热田,分别是榆社柳泉地热田、古县三合地热田和沁水郑庄地热田。

据晋中市灵石县、榆次市、太谷县、临汾市古县、晋城市沁水县地热孔资料,孔深1 547 ~ 2 520 m,井口出水温度40 ~ 56 ℃,单井涌水量为32 ~ 62.5 m^3/h。

1.2 沉积盆地型地热资源

1.2.1 大同盆地地热田

大同盆地地热田受口泉—鹅毛口大断裂及恒山山前断裂所控制。喜山运动以来,山西地块受到强有力的拉张应力影响,使山西北部地区形成复式向斜和拉张裂陷。桑干河新裂陷内有与裂陷边缘断裂相平行、垂直或斜交的隐伏断(阶)块,将盆地基底切割成许多块段,由于断裂构造发育展布方向及不均匀下沉,盆地内形成次一级隆起与凹陷,将盆地区地热田切割成许多小块地热田。该热田热储分别为变质岩、奥陶系灰岩及第三系砂岩,总面积为5 028 km^2。其中天镇—阳高裂陷地热田井深多在150 m 左右,水温一般为36 ~ 54 ℃,省内目前发现的104 ℃最高水温也位于该区。该区单井涌水量多为45 ~ 60 m^3/h,少数达到75 m^3/h。天镇谷

万方数据

前堡马圈羊村水化学类型为 HCO_3 · Cl - Na 型,氟含量 2.75 mg/L,偏硅酸 37.8 mg/L,pH 值为 8.82。大同市大同县瓜园乡李汪涧村地热井深 605 m,水温 44 ℃,水量 35 m^3/h。朔州市朔城区富善庄乡福善压村两眼井平均深 700 m,水温 25 ℃,水量 25 m^3/h。水化学类型为 HCO_3 - Ca · Mg 型,氟含量 0.51 mg/L,偏硅酸 15.9 mg/L,pH 值为 8.26。

1.2.2　忻州盆地地热田

忻州盆地内发育着与盆地边缘断裂相平行、垂直或斜交的隐伏断(阶)块,并将盆地基底切割成许多块段,致使盆地内形成次一级的隆起与凹陷,这些断裂将盆地切割成许多小块地热田。该地热田热储层主要为元古宇变质岩,变质岩热储盖层为第四系—第三系(Q + N)松散层。

根据地热田出露部位,将忻州盆地地热田划分为大营、奇村、顿村和上汤头地热田等。

大营地热田位于忻州市定襄县原平市沿沟乡大营村,井深在 150 ~ 540 m,水温为 42 ~ 55.8 ℃,单井涌水量一般为 26 ~ 60 m^3/h。水化学类型为 Cl · SO_4 - Na · Ca 型,氟含量为 5.83 mg/L,偏硅酸 41.1 mg/L,pH 值为 9.14。

奇村地热田位于忻州市忻府区奇村镇南高村,井深在 64 ~ 305 m,水温 37 ~ 39.5 ℃,单井涌水量一般为 45 ~ 50 m^3/h。水化学类型为 Cl · SO_4 - Na 型,氟含量为 7.04 mg/L,偏硅酸为 93.2 mg/L,pH 值为 8.83。

顿村地热田位于忻州市忻府区秦城乡顿村,井深在 145 ~ 384 m,水温 35.6 ~ 42.3 ℃,单井涌水量一般为 35 ~ 50 m^3/h。水化学类型为 SO_4 - Na · Ca 型,氟含量为 4.75 mg/L,偏硅酸为 52.2 mg/L,pH 值为 8.12。

上汤头地热田位于忻州市定襄县受录乡上汤头村,井深在 52 ~ 150 m,水温 43 ~ 53.8 ℃,单井涌水量一般为 13 ~ 45 m^3/h。水化学类型为 SO_4 · Cl - Ca · Na 型,氟含量为 5.11 mg/L,偏硅酸为 62.4 mg/L,pH 值为 8.21。

1.2.3　太原盆地地热田

太原裂陷盆地热储分别为寒武系和奥陶系灰岩、二叠系和三叠系砂岩、第三系未胶结砂岩热储。根据基底构造将太原盆地从北到南划分为 11 个构造单元[2],即: 太原城区凹陷,西铭断阶,城东断阶,亲贤地垒,西边山断阶,晋源凹陷,黄陵—西温庄隆起,清交凹陷,榆次东部断阶,候城—平遥断凹和孝义东部断阶。目前钻孔揭露地热部位除太原城区凹陷、西铭断阶、晋源凹陷外均有分布。

(1)城东断阶。太原市杏花岭区杨家峪村供水井与优山美地地热井,井深在 1 116 ~ 1 250 m,水温 33 ℃左右,单井涌水量一般为 30 ~ 120 m^3/h。

(2)亲贤地垒。太原市农展馆、晋祠路南上庄村丽华龙湾温泉酒店、太原市万柏林区滨河西路汇锦小区等地热孔,井深在 1 680 ~ 1 800 m,水温 50 ~ 63 ℃,单井涌水量一般为 58 ~ 250 m^3/h。农展馆水化学类型为 SO_4 - Ca · Mg 型,氟含量 2.25 mg/L,偏硅酸 39.1 mg/L,pH 值为 7.52。

(3)西边山断阶。太原市神堂沟村、太原市清徐县清源镇平泉村、太原市万柏林区沙沟村西西环路东侧等处,井深在 600 ~ 1 339 m,水温 25 ~ 54 ℃,单井涌水量一般为 60 ~ 82.9 m^3/h。神堂沟村水化学类型为 SO_4 - Ca · Mg 型,氟含量 1.8 mg/L,偏硅酸 36.4 mg/L,pH 值为 7.03。

(4)黄陵—西温庄隆起。太原市许坦街煤炭技术学院、太原市许坦街山西省旅游技术学院井深在 1 110 m 左右,水温为 33 ℃左右,单井涌水量为 40 ~ 55 m^3/h。

(5)清交凹陷。太原市小店区西温庄乡北王名、晋中市榆次市鸣李村三水、晋中市平遥县杜家庄乡南梁庄村、晋中市平遥县古陶镇西城村西城小区、晋中市祁县城赵乡常家堡村、晋中市榆次市榆次区经纬总厂等地,前 3 个钻孔热储为二叠系、三叠系砂岩,井深在 1 600 ~ 2 800 m,水温 53 ~ 62 ℃,单井涌水量为 30 ~ 45 m^3/h。后 3 个钻孔热储为奥陶系灰岩,井深在 3 000 m 左右,水温可达 75 ~ 81 ℃,单井涌水量约为 40 m^3/h。平遥县南梁庄村水化学类型为 SO_4 - Na 型,氟含量 3.8 mg/L,偏硅酸 43.7 mg/L,pH 值为 8.08。

(6)榆次东部断阶。晋中市榆次市安宁东街北全润园小区井深在 2 700 m 左右,水温在 58 ℃左右,单井涌水量约为 45 m^3/h。

(7)候城—平遥断凹。晋中市平遥县汇丰小区、祁县西六支乡王村、祁县西六支乡永兴庄村、太谷县北光乡西山底村黄河药业等地热井孔深 400 ~ 3 000 m,水温 28.8 ~ 50 ℃,单井涌水量为 30 ~ 50 m^3/h。祁县西六支乡永兴庄村水化学类型为 HCO_3 · SO_4 · Cl - Na 型,氟含量 2 mg/L,偏硅酸 30.7 mg/L,pH 值为 8.52。

(8)孝义东部断阶。晋中市榆社县讲堂乡柳泉

万方数据

村柳泉煤矿、灵石县静升镇静升村崇宁堡孔深 1 300 ~ 1 900 m,水温 31 ~ 42 ℃,单井涌水量为 32 ~ 45 m^3/h。

1.2.4　临汾、运城盆地地热田

临汾、运城裂陷地热异常区边界受东西边山的吕梁山、霍山和中条山山前大断裂控制。裂陷盆地次一级构造发育,将临汾运城盆地基底切割成大小块段,热储多为第三系未胶结砂岩及奥陶系灰岩热储,局部为二叠系和三叠系砂岩。

1.2.4.1　临汾盆地地热田

临汾盆地现勘查的地热田主要有洪洞地热田、古城地热田、邓庄地热田、稷山地热田、新绛地热田、侯马曲沃翼城地热田、西海地热田和河津地热田等。

(1)洪洞地热田在洪洞县辛村镇南段村钻孔深 2 650 m,水温 75 ℃,单井涌水量为 30.71 m^3/h。水化学类型为 SO_4· Cl – Ca 型,氟含量 3 mg/L, 偏硅酸 55.5 mg/L,pH 值为 7.5。

(2)古城地热田在临汾市尧都区屯里镇西芦村两钻孔深 1 200 ~ 2 200 m,水温 45 ~ 47 ℃,单井涌水量约为 20 m^3/h。

(3)邓庄地热田在襄汾县邓庄镇新民村与襄汾县邓庄镇银光化工厂区钻孔深 1 288 ~ 1 800 m,水温 41 ~ 42 ℃,单井涌水量为 28 ~ 90 m^3/h。尧都贾得乡东亢村地热孔 100 ~ 230 m,水温 25 ~ 34 ℃,单井涌水量为 70 ~ 100 m^3/h。东亢村水化学类型为 SO_4· HCO_3 – Na 型,氟含量 1.2 mg/L,偏硅酸 35.3 mg/L,pH 值为 7.58。

(4)稷山地热田在稷山县清河镇七级村,孔深 180 ~ 287 m,水温 37 ~ 51 ℃,单井涌水量为 30 ~ 45 m^3/h。水化学类型为 Cl· SO_4 – Na 型,氟含量为4.21 mg/L,偏硅酸为 58.8 mg/L,pH 值为 8.09。

(5)新绛地热田主要位于新绛县和襄汾县,有地热井 38 眼,孔深为 55 ~ 1 050.2 m,一般在 200 m 左右,水温为 27 ~ 53 ℃,单井涌水量为 30 ~ 130 m^3/h,一般为 60 m^3/h 左右。新绛古堆村水化学类型为 SO_4· HCO_3· Cl – Ca· Na 型,氟含量为 1.1 mg/L,偏硅酸 19.8 mg/L,pH 值为 7.72。

(6)侯马曲沃翼城地热田有地热井 8 眼,孔深 270 ~ 1 998 m,一般 1 500 m 左右,水温 25 ~ 47.5 ℃,单井涌水量 35 ~ 80 m^3/h,一般 50 m^3/h 左右。翼城牛家坡村水化学类型为 SO_4· HCO_3 – Ca· Mg 型,氟含量 1.2 mg/L,偏硅酸 22.8 mg/L,pH 值为 8.06。

(7)西海地热田位于曲沃县,有地热井 11 眼,孔深为 100 ~ 1 099 m,一般在 100 m 左右,水温 27 ~ 46 ℃,单井涌水量为 25 ~ 325 m^3/h,一般为 50 m^3/h左右。曲沃县乐昌镇苏村水化学类型为 SO_4· HCO_3 – Ca· Na 型,氟含量 2.06 mg/L,偏硅酸 33.4 mg/L,pH 值为 8.13。

(8)河津地热田位于河津市和万荣县,有地热井 8 眼,孔深为 1 213 ~ 2 100 m,一般在 1 500 m 左右,水温为 44.5 ~ 67 ℃,单井涌水量为 40 ~ 92.88 m^3/h,一般为 50 m^3/h 左右。河津市东都温泉为 Cl· SO_4 – Na 型,氟含量为 1.87 mg/L,偏硅酸为 33.4 mg/L,pH 值为 8.44。

1.2.4.2　运城盆地地热田

运城盆地现勘查的地热田主要有闻喜地热田、万荣地热田、夏县地热田、运城地热田。

(1)闻喜地热田主要位于闻喜县,有地热井 5 眼,孔深 50 ~ 220 m,一般在 150 m 左右,水温 33.7 ~ 67.5 ℃,单井涌水量为 13 ~ 45 m^3/h,一般为 20 m^3/h左右。水化学类型为 HCO_3· SO_4 – Na 型,氟含量 1.2 mg/L,偏硅酸 28.7 mg/L,pH 值为 8.4。

(2)万荣地热田位于临猗县和稷山县,有地热井 11 眼,孔深 146 ~ 1 420.3 m,一般为 200 m 左右,水温 28 ~ 58 ℃,单井涌水量一般为 50 m^3/h 左右。临猗县猗氏镇翟村水化学类型为 Cl· SO_4 – Na 型,氟含量 1.35 mg/L,偏硅酸 26.6 mg/L,pH 值为 8.02。

(3)夏县地热田地热井孔深 140 ~ 220 m,水温 26 ~ 34 ℃,单井涌水量为 25 ~ 40 m^3/h。位于夏县南山底的瑶池温泉水化学类型为 Cl – Na 型,氟含量 4.35 mg/L,偏硅酸 87.9 mg/L,pH 值为 8.1。

(4)运城地热田主要位于运城盐湖区、夏县、临猗县和永济市,有地热井 17 眼,其中夏县临猗孔深 120 ~ 498 m,一般为 200 m 左右,水温 30 ~ 44 ℃,单井涌水量 20 ~ 35 m^3/h,一般为 30 m^3/h 左右。盐湖区、永济市孔深 1 001 ~ 3 005 m,一般为 2 500 m 左右,水温 38 ~ 68 ℃,单井涌水量 37 ~ 109 m^3/h,一般为 70 m^3/h 左右。盐湖区锦绣花城水化学类型为 Cl – Na 型,氟含量为 1.38 mg/L,偏硅酸为 58.8 mg/L,pH 值为 7.72。

从山西省地质调查院 2014 年对全省地热采样调查显示,汾渭沉积盆地地热田热矿水水化学类型较复杂,其中以 Cl· SO_4 – Na 型水最多,Cl – Na 型

万方数据

水次之,HCO_3· SO_4 – Na· Ca、SO_4· Cl – Na· Ca、HCO_3· SO_4· Cl – Na、HCO_3· Cl – Na 型水也有分布。从基岩中直接出流的热矿水一般为 Cl· SO_4 – Na 型水,与浅部冷水混合后其水质类型发生变化,HCO_3 含量增加,水质类型变的复杂[3]。

2　山西省热储类型及地热勘查方向

2.1　山西省热储类型

根据地热赋存介质特征,确定山西省的热储分为 4 种类型: ①孔隙型层状热储层(松散岩类),为以新近系(N_2)及古近系(E)砾岩、中粗粒砂岩为主的热储,分布于临汾盆地和运城盆地; ②裂隙型层状热储(碎屑岩类),为二叠系(P)、三叠系(T)砂页岩,分布于太原盆地清交凹陷区,分布范围小; ③岩溶型层状热储(碳酸盐岩类),为寒武系(Є)、中奥陶系(O_2)碳酸盐岩热储,分布于大同盆地、太原盆地、临汾盆地、运城盆地、鄂尔多斯盆地东缘和沁水煤盆地等构造单元内; ④裂隙型带状热储层(变质岩类),为太古宇(Ar)、元古宇(Pt)变质岩热储,分布于大同盆地、忻州盆地、太行山、恒山燕山等构造单元内。热储类型划分见表 1。

表 1　山西省热储类型划分

Tab. 1　Partition of the geothermal reservoir types in Shanxi Province

热储类型	热储时代及岩性	构造分区	地热田
孔隙型层状	N_2、E 砂岩、砾岩	临汾盆地	河津地热田
		运城盆地	运城地热田
裂隙型层状	P、T 砂岩	太原盆地	清交凹陷区地热田
岩溶型层状	O_2、Є 灰岩	大同盆地	朔县断凸地热田
		太原盆地	城东断阶地热田
			亲贤地垒地热田
			西边山断阶地热田
			清交凹陷区地热田
			榆次东部地热田
			候城—平遥断凹地热田
			孝义东部断阶地热田
		临汾盆地	洪洞地热田
			古城地热田
			邓庄地热田
			稷山地热田
			新绛地热田
			侯马曲沃翼城地热田
			西海地热田
		运城盆地	闻喜地热田
			万荣地热田
			夏县地热田
		沁水煤盆地	榆社柳泉地热田
			古县三合地热田
			沁水郑庄地热田
		鄂尔多斯断块	鄂尔多斯盆地东缘地热田
裂隙型带状	Ar、Pt 变质岩	恒山燕山断块	浑源汤头地热田
		太行山穹状隆起	盂县寺平安地热田
		大同盆地	天镇—阳高裂陷地热田
			毛家皂断凸地热田
		忻州盆地	大营地热田
			奇村地热田
			顿村地热田
			忻州上汤头地热田

2.2　地热勘查方向

山区带状热储形成的温泉均受到岩性与构造的控制,热储为老的岩浆岩、变质岩、花岗岩体,上覆松散岩体,埋藏浅,在构造有利部位形成温泉,寻找这类温泉,首先要进行地质条件和构造条件的深入研究,先采用遥感解译和物探的方法进行初步选

万方数据

区,再在野外进行岩体和构造的追踪和研判,最后进行地热的钻探勘查工作。

对于沉积盆地层状热储,多属于自然增温型,我国沉积盆地平均地温梯度为 0.032 ℃/m[4],因此可适当增加勘探深度,以期发现温度更高的地热资源。如以往多勘探到奥陶系层位,可增加深度到寒武系,但灰岩热储因溶蚀条件不同,含水性不均[5],勘查时要注意地质构造条件的研究;在盆地区目前未进行深部地热勘查的构造单元可在地质资料分析、物探勘查的基础上尝试进行深部地热勘查工作。

3　山西省地热资源开发利用现状

2014 年山西省地质调查院对全省 224 眼地热孔进行了调查,其中大同盆地地热井 28 眼,忻州盆地地热井 31 眼,太原盆地地热井 28 眼,临汾盆地地热井 80 眼,运城盆地地热井 36 眼,隆起山地区调查地热井 21 眼。调查发现地热主要用于温泉洗浴、理疗保健、旅游度假、休闲娱乐、供热供暖、水产养殖、花卉栽培、温室蔬菜、地震预报等方面,应用范围较广。忻州奇村、忻州顿村、原平大营、浑源汤头、盂县寺平安、太原神堂沟、夏县南山底等地建有温泉旅游度假村,进行了较大规模的开发利用,开发利用程度较高。其他大部分地区开发利用程度较低。

归纳起来,地热主要涉及农业生产(灌溉、养鱼和花卉蔬菜种植等)、生活饮用(低温热矿水)、休闲娱乐(疗养、洗浴和游泳等)、地震监测等 4 个方面的应用。

大同盆地热田已开发利用的地热井中,以农业灌溉、洗浴、疗养和游泳为主,2006 年开始在养殖和蔬菜种植方面发展,但山西省仅存的 2 处 100 ℃以上的地热资源当时未被利用。

忻州盆地已开发利用的地热井,除个别地热孔用于地震监测,其余全部用于洗浴、游泳、温泉疗养,开发利用情况较好。

太原盆地已开发地热井绝大多数用于洗浴、供暖、游泳、疗养等,少量用于饮用、灌溉等,1 眼用于地震观测。太原市近年围绕地产开发,中高档住宅小区洗浴等方面的利用有增加趋势。

临汾盆地已钻探地热井最多,但温度偏低,其主要用于农业灌溉、生活用水、养殖种植等,仅约三分之一地热井用于洗浴、供暖、游泳、疗养等。

运城盆地已开发地热井三分之二用于洗浴、供暖、游泳、疗养等,其余地热井用于农业灌溉、生活用水、养殖种植,1 处用于地震监测。

沁水煤盆地区已开发地热井较少,大多未配套利用,只有 1 处度假村利用。

鄂尔多斯盆地东缘地热田开发少,尚未利用。

浑源汤头地热田和盂县寺平安地热田用于温泉疗养。

4　山西省地热资源开发利用模式建议

从现状调查看,山西省地热资源没有进行合理规划、统筹安排和有序开发,勘查、开采程度不均衡,造成过度开采和资源浪费。在开采过程中基本没有采用回灌、换热等新技术新方法。热储类型决定着地热资源开发利用的规模和方式。针对山西省深部地热资源赋存条件,建议因地制宜开发利用地热资源。

4.1　有限消耗模式

盆地区内的孔隙热储采用有限消耗模式。

热储以中、新生界弱胶结砂岩或松散砂岩、砂砾岩为主。储层为多层,层状分布,孔隙含水,分布面广。热水在储层中的渗透性差异较大,垂向水力联系不密切,易采难灌,地热水的补给条件随热储深度渐差,热储温度则随深度渐增。地热资源开发取决于热储埋藏深度与分布,具备面上的开发利用条件,但因储层渗透性能差异大,垂向水力联系不密切,回灌能力弱,初期一般只适宜分散性开采,并需严控开采期的水位下降速度。中后期则应积极探索不同的采、灌方式和深部热交换技术,以提高储层中的热能利用率。

河津、运城地热田等沉积盆地型新生界孔隙热储分布区,热储中地热水有一定补给但很缓慢,尤其是埋深大的深部热储,地热水的补给尤其缓慢,地热水的开发主要靠采区水位下降与周边形成水头差的渗流补给作用提供,要取得较大的开采量就必须在采区形成较大的水位下降。由于补给速度缓慢,在定量开采条件下,这一水位下降是持续性的。为了在一定时限内满足开采量的需求,规定保持一定水位下降速度的开采量作为这一地区的地热水资源可开采量。这一开采模式只适合于热储分布广泛的新生界热储分布区的开采初期,要求开采井保持足量的间距,不致因开采形成区域性的水

万方数据

位下降。

4.2 单井换热模式

碎屑岩热储采用单井换热模式。

碎屑岩热储开采易,但回灌条件差。据了解,一些地区正在利用深部井下换热技术,探索单井深部换热开发利用热储内的地热资源,可以借鉴[6]。

4.3 采灌结合、以灌定采模式

盆地区灰岩层状热储采用采灌结合、以灌定采模式。

热储呈层状分布,以岩溶孔隙、构造裂隙赋水,彼此水力联系较密切为特征,但受历次构造破坏、地形切割和长期的水溶蚀渗透作用的影响,其埋藏深度与热水的富集程度有较大的差异。地热资源开发主要限于热储埋藏深度小于 4 000 m、地热水相对富集的灰岩岩溶裂隙发育带。此类热储因储层联通性较好,分布面广,可采可灌,具备集中、规模化、最大限度开发利用深部地热资源的条件,是平原地区地热资源开发利用的首选地。对其开发利用宜实行采灌结合,以灌定采,集中统一规模化开发。

大同盆地、忻州盆地、太原盆地、临汾盆地与运城盆地均发育岩溶热储。为最大限度地利用热储中的地热资源,需要建立开采条件下新的水、热平衡。地热田内地热水的开采量取决于允许回灌量的大小,为持续开发利用的需要,缓解因开采形成的水位下降,热田开采应逐步实施采灌结合、以灌定采的开发利用模式,岩溶热储相对易回灌,一般采用"一抽一灌""两抽一灌"的井群布局,目前我国实现规模化开采的岩溶热储正逐步推行这一模式,回灌规模、采灌井群布局方式在积极的探索之中。

4.4 自然均衡模式和诱导补给模式

变质岩带状热储采用自然均衡模式和诱导补给模式。

热储受构造控制,主要断裂构造及其相伴的次级构造是导水、导热的通道,呈带状分布,地热水往往富集于两断裂构造交汇的部位。受构造变动及地形切割的影响,热储分布比较局限,热水的补给循环也局限于所处构造系统范围内,在热储构造受切割的地形低处以泉的形式自然排泄。这类热储主要分布于山区、山前地区,热田面积有限,地热资源开发多以天然温泉出露地及其与之有联系的断裂构造带延展部分为主,开发利用规模以中、小型为主,系统内各温泉相互间水力联系较密切,开发利用应实施统一管理。

目前开发利用较好的忻州盆地、盂县寺平安、大同盆地等变质岩热储地热田可采用这种模式。

自然均衡模式适用于天然温泉的开发利用,在自然条件下,热、水的补给排泄处于均衡状态,地热(温泉)资源的开发利用以不破坏其水、热平衡为原则,地热水的多年平均补给量或排泄量可视为地热资源的可开采量,为保持温泉的天然出流状态和后续利用,对温泉(地热)资源的开发利用总量以不大于温泉的多年平均流量为限。

在温度较高并具有人工补给条件的带状热储系统内,为增大利用地热水的需要,可采用人工补给或诱导补给方式增大补给量,进而相应地增大地热水(温泉)的开采量。但为保持热储系统内热量的平衡,利用地热水温度会有一定程度的下降,在保持可利用温度的条件下,地热(温泉)水的可开采量 = 人工补给(诱导补给)量 + 天然补给量。

4.5 打造温泉小镇或地热集中开发利用区

根据地热资源分布特征,可选择地热分布有利区域打造温泉小镇或地热集中开发利用区。

据了解,全国已命名 60 多处中国温泉之乡(城、都),虽然山西省也有很多很好的地热资源,但还没开展这项工作,根据山西省的实际情况,建议首先对天镇马圈痒、阳高县罗文皂镇、浑源汤头、忻州奇村、顿村、原平大营、盂县寺平安、太原神堂沟、夏县南山底等现有开发利用较好的区域做进一步的调查评价,确定其地热资源储量及可利用量,在地热资源可持续利用的基础上考虑申报全国温泉小镇。

温泉小镇建设应以可采地热(温泉)资源为依据,与当地景观建设、生态环境建设、文化建设、新农村建设及社会经济发展建设结合,统一规划,将其发展建设成为地热(温泉)知识科普教育的基地,中青年休闲娱乐、康体健身、信息交流的平台,老年康体养老、宜居生活的中心,地区特色文化、名优产品对外交流的窗口[7-8]。

5 结论

(1)依据现有勘查成果,系统总结了山西省地热田的分布及地热流体特征,将热储类型主要划分为孔隙型层状热储层、碎屑岩类裂隙型层状热储、岩溶型层状热储和变质岩类裂隙型带状热储 4 类。

万方数据

对于今后进一步开展地热资源勘查具有指导意义。

(2)山西地热资源目前总体开发利用程度偏低,为了可持续利用地热资源,提出不同热储条件采用不同的开采模式建议。盆地区孔隙热储采用有限消耗模式,碎屑岩热储采用单井换热模式,盆地区灰岩层状热储采用采灌结合、以灌定采模式,变质岩带状热储采用自然均衡模式和诱导补给模式,并提出选择有利地区打造山西省温泉小镇或地热集中开发利用区的构想。

(3)地热资源开发利用程度不均,建议加强地热资源开发过程中的动态监测,对地热资源的开发利用实行统一规划、统一管理、合理布局、综合利用。

参考文献:

[1] 马汉田,白雪峰,黄存宝,等. 山西省地热资源现状调查评价与区划[R]. 太原:山西省地质调查院,2015.

[2] 韩颖,闫世龙,马汉田,等. 山西六大盆地地下水资源及其环境问题调查评价[M]. 北京:地质出版社,2009.

[3] 黄卫星,裴捍华,崔海英. 山西的地热资源[C]//浅层地热能——全国地热(浅层地热能)开发利用现场经验交流会论文集. 北京:中国能源研究会,中国矿业联合会,国土资源部,2007,196 - 200.

[4] 王贵玲,张薇,梁继运,等. 中国地热资源潜力评价[J]. 地球学报,2017,38(4):449 - 459.

[5] 汪磊,张海. 贵州西部威水背斜地热赋存规律及靶区预测研究[J]. 中国地质调查,2016,3(6):26 - 31.

[6] 宾德智. 我国地热资源开发利用发展趋势及值得注意的几个问题[C]//全国油区城镇地热开发利用经验交流会论文集. 大庆:中国石油学会,中国能源研究会,2003,10 - 13.

[7] 宾德智. 地热资源——可持续开发利用的清洁能源[C]//浅层地热能——全国地热(浅层地热能)开发利用现场经验交流会论文集. 北京:中国能源研究会,中国矿业联合会,国土资源部,2007,12 - 15.

[8] 王贵玲,张发旺,刘志明. 国内外地热能开发利用现状及前景分析[J]. 地球学报,2000,21(2):134 - 139.

Discussion on geothermal resources and its exploitation and utilization model in Shanxi Province

HAN Ying, BAI Xuefeng, ZHANG Xin

(*Shanxi Institute of Geological Survey*, *Taiyuan* 030006, *China*)

Abstract: Shanxi is rich in geothermal resources, but their distribution is uneven, and the degree of overall exploitation and utilization is low. There are many problems in exploitation and utilization of geothermal resources, such as the low research level of resource exploration, the common disperse mining, focusing on mining and ignoring recharge, paying little attention to innovation and so on. These problems are not conducive to sustainable utilization of geothermal resources. Based on current investigation and evaluation situation of geothermal resources in Shanxi, the authors summarized systematically distribution regularity, major types and characteristics of geothermal resources in Shanxi. And they also analyzed the present situation of exploitation and utilization of hydrothermal geothermal resources. According to types and occurrence conditions of geothermal resources, the authors made some suggestions for the exploitation and utilization model of geothermal resources, and put forward the conception of building a hot spring town in Shanxi Province.

Key words: geothermal resources; geothermal reservoir type; occurrence conditions; exploitation and utilization of geothermal resources; Shanxi Province

(责任编辑: 常艳)

万方数据