

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2024.02.08

张森,孙世煜,阮传侠,赵艳婷,赵侃. 2024. 天津市地热资源开发利用与管理的成就和展望[J]. 华北地质, 47(4): 71-79.

Zhang Sen, Sun Shiyu, Ruan Chuanxia, Zhao Yanting, Zhao Kan. 2024. Achievements and Prospects of exploitation, utilization and management of geothermal resources in Tianjin[J]. North China Geology, 47(4):71-79.

天津市地热资源开发利用与管理的成就和展望

张森^{1,2*}, 孙世煜³, 阮传侠^{2,4}, 赵艳婷^{2,4}, 赵侃^{2,4}

(1. 天津市地热资源开发有限公司, 天津 300250; 2. 自然资源部天津中低温地热野外科学观测研究站, 天津 300250; 3. 天津市规划和自然资源局, 天津 300042; 4. 天津地热勘查开发设计院, 天津 300250)

摘要:【研究目的】天津市地热资源禀赋优势突出,在地热勘查、开发、保护、管理的诸多方面均处于领先地位。但在生态文明建设、能源资源安全保障和“双碳”目标实现的大背景下,地热资源开发利用和管理仍有不足,需进一步研究探讨。【研究方法】本文基于天津市地热资源开发利用的历程和成就,论述了天津市地热资源开发利用的现状与存在问题,明确了地热管理面临的挑战,提出了科学指导地热资源可持续开发利用的具体对策和方法。【研究结果】未来应整体提高天津市地热勘查控制程度,摸清4 000~6 000 m地热资源家底,保障资源供给;加强砂岩孔隙型热储回灌衰减防治、储层改造与外源水回灌等关键技术研究工作,提高资源承载力;推动多能联用、并网互通,降低尾水温度,提升供热效率,增加供热能力;加强地热资源管理的统一性、完整性和引导性,营造有利于地热资源开发利用的政策环境。【结论】天津市地热勘查历史悠久方法完善,地热开发与保护并重,管理体系日益规范,对全国地热勘查起到了引领作用。未来应提升勘查程度,挖掘深部热储资源;突破砂岩孔隙型热储回灌衰减技术难点,合理设置采灌布局 and 开发模式;完善地热井全生命周期管理机制,创新地热资源管理模式,推动地热产业健康有序发展。

关键词: 地热资源; 开发利用; 地热管理; 天津

创新点: 完整论述了天津市地热资源勘查开发利用的历程和成就,首次研究了规范管理对地热行业的促进作用,明确了现阶段存在的不足和挑战。多角度提出了地热资源可持续开发利用的措施,为天津市地热产业健康有序发展提供了保障。

中图分类号: P314

文献标志码: A

文章编号: 2097-0188(2024)04-0071-09

Achievements and prospects of exploitation, utilization and management of geothermal resources in Tianjin

ZHANG Sen^{1,2*}, SUN Shiyu³, RUAN Chuanxia^{2,4}, ZHAO Yanting^{2,4}, ZHAO Kan^{2,4}

(1. Tianjin Geothermal Resources Development Co., Ltd, Tianjin 300250, China; 2. Observation and Research Station of Tianjin Low - Medium Temperature Geothermal Resources, Ministry of Natural Resources, Tianjin 300250, China; 3. Tianjin Municipal Bureau of Planning and Natural Resources, Tianjin 300042, China; 4. Tianjin Geothermal Exploration and Development Design Institute, Tianjin 300250, China)

Abstract: This paper is the results of geothermal resources exploration, utilization and management.

收稿日期: 2024-06-28

基金项目: 天津市规划和自然资源局项目: “天津市矿业权价值测算和地热井监督机制建立”(HYGP-2023-C-048)

作者简介: 张森(1988—),男,硕士,工程师,从事地热资源开发利用与保护研究工作, E-mail: 420357810@qq.com。

[Objective] Tianjin's geothermal resource endowment has outstanding advantages, and it is in a leading position in geothermal exploration, development, protection and management in China. However, under the background of the construction of ecological civilization, the security of energy resources and the realization of the goal of "double carbon," the utilization and management of geothermal resources are still deficiency, which needs further research and discussion. **[Methods]** Based on the history and achievements of the utilization of geothermal resources in Tianjin, this paper discusses the current situation and existing problems of the utilization of geothermal resources, clarifies the challenges faced by geothermal management, and puts forward specific countermeasures and methods to scientifically guide the sustainable utilization. **[Results]** In the future, the control degree of geothermal exploration in Tianjin should be improved, and the geothermal resources of 4 000~6 000 m should be found out to ensure the supply of resources; Key technologies such as prevention and control of sandstone pore-type reinjection attenuation, reservoir reconstruction and injection of exogenous water should be strengthened to improve resource carrying capacity; It is necessary to promote multi-energy combination, grid-connected interconnection, reduce tail water temperature, improve heat supply efficiency and increase heat supply capacity; Strengthen the unity, integrity and guidance of geothermal resource management, and create a policy environment conducive to the development and utilization of geothermal resources. **[Conclusions]** Tianjin has a long history of geothermal exploration, and the method is perfect. Geothermal development and protection are equally important, and the management system is increasingly standardized, which has played a leading role in the national geothermal exploration. In the future, we should improve the degree of exploration and tap the deep geothermal resources; Break through the technical difficulties of sandstone reservoir reinjection attenuation, reasonably set the layout and development mode of geothermal resources utilization. Improve the life cycle management mechanism of geothermal wells, innovate the management mode of geothermal resources, and promote the healthy and orderly development of geothermal industry.

Key words: geothermal resources; exploitation and utilization; geothermal management; Tianjin

Highlights: The history and achievements of the exploration, utilization of geothermal resources in Tianjin are discussed; The promotion effect of standardized management on the geothermal industry is studied for the first time; and the shortcomings and challenges at the present stage are clarified. The measures for sustainable development and utilization of geothermal resources are put forward from multiple perspectives, which provide a guarantee for the healthy and orderly development of geothermal industry in Tianjin.

About the first author: Zhang Sen, born in 1988, master, senior engineer, engaged in utilization and protection of geothermal resources, E-mail:420357810@qq.com.

Fund support: supported by Tianjin Municipal Bureau of Planning and Natural Resources (No. HYPG-2023-C-048)

地热资源作为一种重要的清洁和可再生能源,储量巨大、分布广泛,稳定可靠,在优化能源结构、减轻气候变化威胁、发展循环经济和推进生态文明建设方面具有重要意义,地热产业发展迅速(王贵玲等,2017;Yanguang Liu et al.,2021;M. Soltani et al.,2021;Lin Wenjing et al.,2021)。当前,政策影响和技术研究对国内外地热产业引导促进明显,相关政策主要集中在法规制度保障、财税激励、投融资及贷款支持、中长期规划等(罗佐县等,2018;Katarzyna A. Kurek et al.,2021;John W. Lund et al.,2012;Yuqing Wang et al.,2020;M. Soltani et al.,2021;Yang

Yang et al.,2022),技术研究则侧重于快速精准的地球物理勘查、低成本高效率的地热利用、回灌保护和模拟预测等方面(许天福等,2023;杨吉龙等,2022;Muther T et al.,2022)。

天津市地热资源以沉积盆地水热型地热资源为主,资源储量大,开发利用历史悠久,地热供热面积居全国第一(林黎,2001;刘杰等,2017;刘杰等,2020;杨吉龙等,2022),形成了比较完整的产业链,取得了较为明显的经济社会效益(邢伟,2017;宫昊等,2018;殷肖肖等,2022)。天津市对地热资源进行统一管理(李波,2017;罗佐县等,2018;曾梅香

等,2017),资源管理工作随着认识的深入不断调整,实现了资源与环境协调发展(王福江等,2015;罗佐县等,2017;杨震等,2017),为全国地热开发利用及管理提供了引领示范(寇薇等,2014)。

1 地热资源概况及开发利用现状

1.1 资源现状

1.1.1 资源类型及特征

天津地处华北平原东北部,地质构造上跨蓟宝隆褶、冀中拗陷、沧县隆起和黄骅拗陷四个 III 级构造单元,构成了华北断陷盆地所特有的隆拗相间的构造格局,区内断裂构造发育,为地热资源形成提供了优越的地质条件(图 1)(李俊建等,2010;Qiu et al.,2015;靳宝珍等,2019)。天津地热资源类型主要为中低温水热型地热资源,按构造背景和成因,

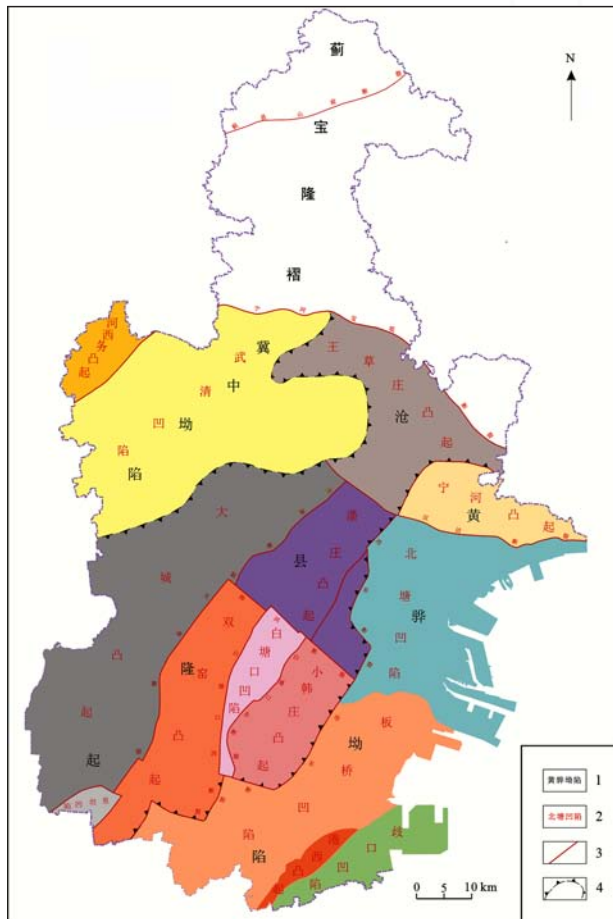


图1 天津市地质构造单元图

Fig.1 Geological tectonic units of Tianjin

1—III级构造单元;2—IV级构造单元;

3—断裂;4—古近系缺失线

划分为隆起山地型和沉积盆地型两类,以沉积盆地型为主(白晋斌等,2010;赵苏民等,2013;王贵玲等,2017;杨吉龙等,2022)。

沉积盆地水热型地热资源在宁河—宝坻断裂以南的平原区普遍分布。根据储层岩性、孔裂隙性质和结构等条件,可分为陆相碎屑沉积为主的新生界砂岩孔隙型热储和海相沉积为主的古生界、中元古界碳酸盐岩溶裂隙型热储(刘杰等,2020;杨吉龙等,2022)。目前已探明的热储层共有6个,包括明化镇组、馆陶组和东营组3个砂岩孔隙型热储层和奥陶系、寒武系昌平组、蓟县系雾迷山组3个碳酸盐岩溶裂隙型热储层,其中明化镇组在宁河—宝坻断裂以南普遍分布,出水温度最高可达80℃,单井涌水量最大为120 m³/h;馆陶组及东营组主要分布在冀中拗陷和黄骅拗陷,在沧县隆起区局部缺失,出水温度最高可达89℃,单井涌水量最大为130 m³/h;奥陶系及寒武系昌平组在沧县隆起区核部局部缺失,在拗陷区顶板埋深超过3 500 m,出水温度最高可达99℃,单井涌水量最大为200 m³/h;蓟县系雾迷山组在宁河—宝坻断裂以南普遍分布,但在拗陷区顶板埋深超过4 000 m,出水温度最高可达113℃,单井涌水量最大为300 m³/h(刘杰等,2020;陈勇等,2023)。

1.1.2 地热资源潜力

天津市4 000 m以浅沉积盆地水热型地热资源储量为965.17×10¹⁸ J,地热流体静储量为152.5×10¹⁰ m³,地热流体可开采量为4.96×10⁸ m³/a,其中主力开采热储馆陶组和雾迷山组的可采量约占33%(刘杰等,2020)。除已探明储量外,在沧县隆起区4 000 m以深还发育有巨厚的蓟县系高于庄组,但尚未进行有效探测,作为潜在的热储,地热资源潜力可观。

1.2 地热开发利用

天津市沉积盆地水热型地热资源开发利用早,规模大,目前已探明的6个热储层均已开发利用,利用形式以建筑供热为主。截至2022年底,全市地热井共计730眼,其中开采井332眼,回灌井294眼、专用监测井45眼、其他监测井59眼。2022年1—12月全市开采总量为4 659.12×10⁴ m³,回灌量为4 153.97×10⁴ m³,总消耗量为505.15×10⁴ m³,整体回灌率为89.16%(殷肖肖等,2022)。地热资源开采和回灌主要集中在雾迷山

组、馆陶组和奥陶系三个热储,开采量占全市开采总量的95.15%,回灌量占全市回灌总量的96.15%。全市开采量的95.99%用于地热供热,3.11%用于居民生活用水,温泉洗浴、种养殖等其它用途占比0.90%(图2,图3)。

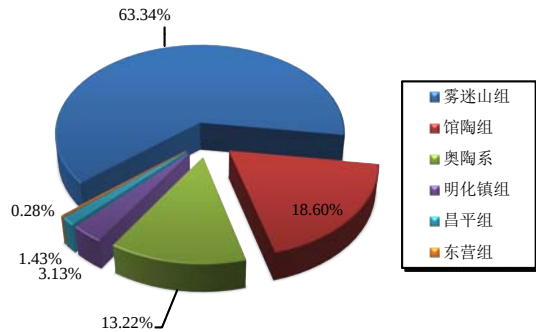


图2 2022年度天津市各热储开发利用规模占比图

Fig.2 The development and utilization scale proportion of each thermal reservoir in Tianjin in 2022

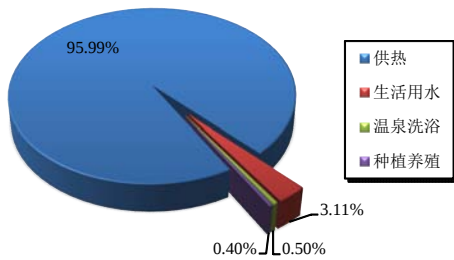


图3 2022年度天津市地热利用方式占比图

Fig.3 The proportion of geothermal utilization in Tianjin in 2022

2 地热资源勘查开发利用成就

2.1 地热资源勘查

20世纪70年代初,天津市开始大规模开展地热资源勘查工作(汪民,2010);80年代圈定的10个地热异常区,先后完成了王兰庄、山岭子和塘沽三个地热田的勘查工作(茹洪久等,2018);90年代初对滨海新区地热资源开展了普查工作;2000年以来,先后完成了武清地区、宁河—汉沽、潘庄—芦台等地热田的勘查工作;2018—2019年,在天津市东丽湖地区开凿了两眼深度大于4 000 m的雾迷山组勘探井,出水量100~147.60 m³/h,井口稳定流温100℃;至2021年,相继完成勘查项目总计20余项,

勘查面积达6 380 km²,占南部平原区总面积的66%,最大地热井勘查深度4 512.49 m,基本查明了天津地区的地热地质条件,进行了系统的资源评价,为天津市地热资源开发利用提供了科学依据。其中历时五年完成的《天津市区及王兰庄地热田勘探报告》探明市区及王兰庄地热田总资源量折合7.12×10⁸ t标准煤,是天津市探明的第一个大型地热田,形成了较完善的地热勘查方法(卢润等,1987;靳宝珍等,2010),对全国地热勘查起到了引领作用(陈勇等,2023)。

2.2 地热开发利用

天津是全国地热开发规模最大、利用模式最多的城市,也是全国唯一的集“中国温泉之都”“中国温泉之城”“中国温泉之乡”“温泉(地热)开发利用示范单位”为一体的省级城市。天津地热开发最早可以追溯至20世纪30年代,经过近90年的探索,形成了以地热供暖为主,集温泉理疗、旅游度假、生活洗浴、种植养殖等为一体的地热产业体系。

地热资源的开发利用,对天津市推动能源转型,落实碳达峰、碳中和目标作用明显。2022年,天津市地热资源开采量达4 659.12×10⁴ m³(图4),地热供热面积达到4 129×10⁴ m²,较2021年增加了268×10⁴ m²,约占全市集中供热面积的7.47%,开发利用的地热资源相当于替代了天然气2.74×10⁸ Nm³,相当于替代了标准煤30.19×10⁴ t,减少排放污染物76.01×10⁴ t(含二氧化碳72.05×10⁴ t),节省环境治理费0.84亿元(表1)。

天津市地热利用已从粗放型转变为集约型,建



图4 2016—2022年天津各热储开采量统计图

Fig.4 Statistics of production of each thermal reservoir in Tianjin from 2016 to 2022

表 1 2022 年度天津市各储层地热流体开发利用节能减排一览表
Table 1 List of energy saving and emission reduction in the development and utilization of geothermal fluids in Tianjin in 2022

热储层	开采量 / ×10 ⁴ m ³	平均温度/℃	折合原煤/×10 ⁴ t	折合标准煤/×10 ⁴ t	减排量/×10 ⁴ t	节约治理费/×10 ⁴ CNY
明化镇组	145.96	55	0.60	0.43	1.08	119.58
馆陶组	866.48	65	5.27	3.76	9.46	1 045.66
东营组	12.90	80	0.12	0.08	0.20	22.25
奥陶系	615.84	73	4.69	3.35	8.43	931.64
寒武系	66.77	75	0.53	0.38	0.96	105.68
雾迷山组	2 951.17	86	31.06	22.19	55.87	6 172.57
总计	4 659.12	-	42.27	30.19	76.01	8 397.37

成了一系列集约节约利用示范工程(刘东林等, 2017;阮传侠等, 2017;王冰等, 2017),形成了多能源协同化利用模式,提出供暖型地热矿山地热能利用率不低于 90% 的领跑者指标(赵侃等, 2023),引领了地热资源高效利用。

2.3 地热回灌保护

天津地热回灌水平和规模居于全国领先地位,地热回灌保护工作成效明显。20 世纪 80 年代初天津市开始进行回灌工作,是全国最早进行相关研究的城市之一,至 90 年代创新岩溶裂隙型热储“异层采灌”和“对井采灌”模式,并得到大规模推广。2012 年馆陶组回灌取得历史性突破,单井最大回灌量达

到 120 m³/h。近年来基于优势回灌层位识别、多工艺联合洗井、补射孔技术,优化了回灌衰减处置程序,结合适用于孔隙型热储的高精度多级过滤系统,形成了孔隙型热储可持续回灌技术体系,支撑天津孔隙型热储回灌能力提升 2~3 倍(李珊等, 2023;赵艳婷等, 2023;赵侃等, 2023)。此外,天津市积极探索资源保护新途径,对外源水回灌热储的可行性进行了研究,建设了地表水回灌工程(沈健, 2015;王冰等, 2016;刘东林等, 2019)。截至 2022 年,天津市地热采灌系统共计 291 处(含 294 眼回灌井)(表 2),总体回灌率从 48.23%(2016)增至 86.25%(2022),资源消耗量大幅下降(图 5、图 6)。

表 2 2022 年度天津市各热储地热采灌系统分类统计表
Table 2 Statistic of geothermal recovery and irrigation systems in Tianjin in 2022

系统类型	各热储采灌系统数量(处)						采灌系统小计(处)	开采井(眼)	回灌井(眼)
	明化镇组	馆陶组	东营组	奥陶系	寒武系	雾迷山组			
一采一灌	18	87	1	41	4	121	272	272	272
两采一灌	-	-	-	4	1	11	16	32	16
一采两灌	-	3	-	-	-	-	3	3	6
合计	18	90	1	45	5	132	291	307	294

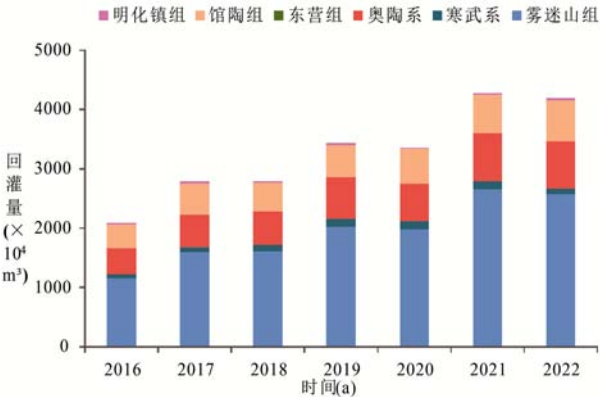


图 5 2016 年—2022 年天津各热储回灌量统计图
Fig.5 Statistics of reinjection of each thermal reservoir in Tianjin from 2016 to 2022

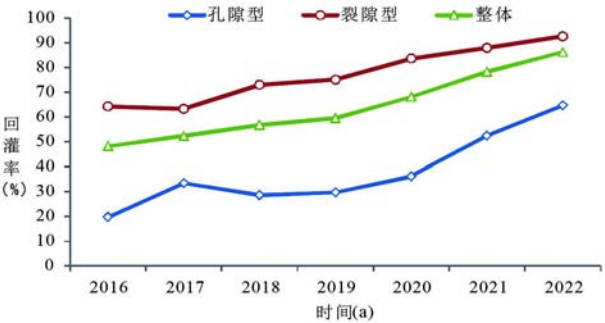


图 6 2016 年—2022 年天津市不同类型热储回灌率统计图
Fig.6 Statistical diagram of recharge rate of different types of thermal reservoirs in Tianjin from 2016 to 2022

自2019年起天津市热储水位以平均2~4 m/a的速度逐年回升,各热储层漏斗区面积不同程度减少(殷肖肖等,2024),地热资源的开发已逐渐走上可持续的良性发展轨道。

2.4 地热动态监测

天津是国内地热资源动态监测规模最大、最规范的城市。自20世纪80年代开始,采用“点线结合、分层布设、区域控制、局部加密”的布设原则,构建了控制性监测网,研发了以“地热深井井壁分布式光纤温度监测系统及其方法”为代表的系列数据自动采集发明专利技术,开发了“地热井远程双通道数据采集监测系统”和“地热资源动态监测信息平台”等智能传输和监控平台,构建了智能化监测网络,制定了全国首个地热动态监测地方标准《地热资源动态监测规程》。至2022年,建成监测井数达730眼、自动化采集率达90%以上的大型动态监测体系,实现了地热开发全时空智能监测,积累了我国地热开发利用最长、最完整的连续动态监测数据,为天津资源评价、规划等各项工作提供了宝贵基础资料。

3 规范管理对天津市地热行业发展的促进作用

3.1 完善制度保障,维护地热行业秩序

天津市于1994年成立了天津市地热管理处,对全市地热资源实行统一管理,理清了部门权责,在地热开发利用早期避免了多头、交叉的管理方式。经过多年的实践总结,相关管理部门依据《中华人民共和国矿产资源法》以及有关法律法规,建立了一套行之有效的管理制度,主要包括:矿业权有偿出让制度;地热资源勘查探矿采矿许可制度;地热资源储量备案制度;地热资源勘查、开采的监督检查制度等。这些制度强化了地热资源的精细化管理,维护了良好的地热行业秩序,保护了矿业权人合法权益。

多年来,相关管理部门坚持“在保护中开发,在开发中保护”“统一规划、统一管理、合理布局、综合利用、以热养热、滚动开发”的方针,出台了《天津市矿产资源管理条例》《天津市地热资源管理规定》等法律法规以及一系列地热勘查开发利用相关政策性文件,使天津市地热资源管理纳入法制化、规范

化轨道,为行业健康稳定发展提供了强有力的政策保障。

3.2 坚持规划先行,发挥保障支撑作用

天津是国内首个编制地热专项规划的城市。规划的编制明确了地热资源勘查开发的方向,强化了勘查开发保护区域布局,科学合理设置了资源勘查开发目标,提高了资源集约利用水平和资源保障能力,充分发挥了地热资源在我市经济社会高质量发展中的基础支撑作用。

地热规划于2000年首次启动,至2022年,已完成四轮地热规划,是依法审批和监督管理矿产资源保护、勘查、开采活动、资源宏观调控、矿业权有序出让等的重要依据。其中2012年国土资源部批复的《天津市地热资源规划(2011—2015年)》是全国首个获批的“十二五”地热资源专项规划。2022年9月8日发布的《天津市矿产资源规划(2021—2025年)》是保护和节约集约利用地热资源,服务“双碳”战略行动,推动绿色低碳循环发展的具体行动,对落实国家能源资源安全战略,助力能源结构调整,加强和改善地热资源管理,规范勘查工作,促进地热资源合理开发和保护起到了关键作用。

3.3 强化政策引导,推动地热事业高质量发展

天津严格执行地热回灌保护政策,支持研发并不断提高地热回灌技术。目前,天津市新出让地热矿业权项目全部采用对井采灌模式,地热资源储量评价遵循“以灌定采”原则。针对历史上形成的地热单井没有回灌的问题,采取地热单井补建回灌井;相邻地热井或新增地热项目与单井整合组成两采一灌系统;利用地表水热储回灌等措施提高回灌率,地热回灌保护工作成效明显。

4 地热资源勘查开发利用和管理存在的不足

4.1 地热资源勘查

天津市提出加快构建清洁低碳高效的能源体系,到2030年非化石能源消费比重力争达到11.7%以上,到2030年非化石能源消费比重力争达到16%以上,实现2030年前碳达峰目标,未来天津能源结构优化调整和绿色低碳高质量发展对清洁高效的地热资源需求迫切。但天津市整体勘查程度不均

衡,全市地热资源的潜力尚未充分发挥,普查阶段以下区域占全部勘查面积的66%;20世纪80年代圈定的10个地热异常区中仍有王庆坨、唐官屯、沙井子等区域尚未勘查(天津市规划和自然资源局,2022;张德森等,2024)。

天津地区4 000 m以深的基岩热储,温度普遍大于100℃,潜力巨大,但地热资源勘查研究甚少,尚未探明4 000 m以深地热资源勘探有利靶区,高精度大深度探测和低成本深部钻探技术缺乏,针对深部可能出现的汽、水混合型地热资源进行潜力和远景评价的技术方法不完善,未形成有效的勘查评价技术体系。

4.2 地热资源回灌

地热回灌是保障地热资源可持续利用的关键措施。目前,天津地热回灌保护工作成效明显,回灌率整体较高,但孔隙型热储采灌过程中,温度、压力、流速、水质等不同敏感因素对热储渗透性变化的影响并不明确,明化镇组回灌困难和馆陶组热储回灌衰减的问题仍未完全解决,在实际运行中增加了企业的成本,制约着孔隙型热储的可持续开发利用。部分企业对回灌工作也不够重视,孔隙型热储精密过滤装置安装率仅为35%,排气装置安装率仅为28%;岩溶裂隙型热储过滤装置安装率也仅为77%(赵侃等,2023),回灌运行也需进一步规范。

随着天津市地热回灌工作的大规模实施(殷肖肖等,2024),岩溶裂隙型热储集中采灌区冷水回灌后的储层响应问题研究不足,温度场、压力场和水化学场动态变化对地质环境安全和资源可持续开发影响的监测、追踪、模拟和预测技术尚不完善。在这种情况下,不仅影响地热资源的安全可持续开发利用,也可能引起经济损失和地质环境变化。

4.3 地热资源利用

天津市地热资源利用形成了垂向多层立体式开发的格局,但资源整合与规模化梯级利用程度不足,多能源耦合利用有待加强。目前天津市地热资源利用受历史上小区块矿权出让影响,加之采矿权人对合理井距的大小、热储水量和温度平衡的认识不足,在设计时采取偏保守的策略来避免经济损失,形成了基于单一采灌对井的分散式、小片区的供热模式,区域化、规模化、多能源联合互补的集中

供热能源站较少,资源难以整合利用,很大程度上限制了资源更大规模的开发利用;在2023年对全市254个地热供热系统调查中仅有154个采用电动或燃气热泵实现地热梯级利用,44个实现了多能互补,部分项目为节省成本,存在不开或少开热泵、以量补温的现象,供热利用的尾水温度过高(超过40℃),地热资源综合利用效率有待提高,多能源耦合利用程度不高。

4.4 地热资源管理

天津市在地热管理方面成果突出,管理精细化水平高,但随着地热利用需求及规模不断增加,地热资源管理实际工作中仍不免出现一些新问题。主要表现在我市地热开发利用还存在不均衡的情况,由于地热供需存在矛盾,现有地热矿业权设置较为分散,投放的灵活性和动态调控性不足;对勘查施工、开发利用、资源保护、监督管理等地热井全生命周期管理方面的政策针对性、强制性和支持性不够。

5 地热资源可持续开发利用的主要措施

5.1 地热资源勘查

依据新标准、新要求,重新划分不同区域地热资源勘查工作阶段等级,科学指导勘查工作,明确勘查部署方向,逐步扫除勘查空白区,升级已勘查区勘查程度,完善评价精度,整体提高天津市地热勘查控制程度。优选有利勘查靶区,先行先试开发深部热储。在“津城”范围内埋藏深度在4 000~6 000 m的蓟县系碳酸盐岩热储尚未勘查开发,应作为下一步地热资源开发利用的目标区,结合数字化与智能化探测技术、单井多储层勘探技术、深部地热勘查与评价理论研究,提升资源保障程度。

5.2 地热资源回灌

应加强地热资源回灌保护关键技术研究工作。一是从热储特征、渗流特征、堵塞机理、成井工艺等多方面进行研究,破解孔隙型热储回灌难题,形成优势回灌层位精确识别、回灌堵塞机理与防治、储层改造等孔隙型热储回灌关键技术体系并示范推广。二是开展集中采灌区岩溶裂隙型热储演化和布局研究,对典型岩溶裂隙型热储集中采灌区进行

监测并进行示踪试验,开展数值模拟和反演技术研究,对长期回灌可能引起的开采井热突破和化学场变化进行预测,形成集中采灌区可持续开发技术,为优化热储系统的开发方案提供科学依据。

5.3 地热资源利用

天津市地热资源的开发利用应坚持多能联用、并网互通的原则,充分发挥市场资源配置作用,鼓励有条件的单位对已有供热片区进行区域优化整合,打造群井联动、区域组网、科学管理的规模化利用新模式;结合能源替代和重点工程建设,在地热资源丰富的区域建成地热清洁能源综合利用能源基地,实现长距离热能输送,提升城市能源保障能力;对不具备梯级利用条件的早期供热项目逐步进行更新改造,鼓励推广采用更加高效的热泵梯级利用设计方案,降低尾水温度,提升供热效率;在有条件的区域,因地制宜推进“地热+”多种能源优势互补,探索已有或新批矿业权项目并入供热管网,充分利用现状地热资源,优化地热利用方式,扩大供热面积,推动我市供热能源结构调整和绿色供热比重逐步增加。

5.4 地热资源管理

积极探索地热矿业权出让模式改革,在大区块和“净矿”出让等方面进一步加大创新管理力度;建立矿业权可开采量动态调整机制,鼓励并网能源替代,不断提高地热在清洁能源中的占比;探索构建区域地热开发利用集中管理平台,对已有地热井进行集中统一管理,提升开发端和供给端高效协作水平。探索将地热供热项目开发成碳资产或碳减排项目,引入地热资源资产的概念,构建地热资源碳交易体系,实现资产保值增值。

完善地热井全生命周期管理机制,创新地热资源管理模式,营造有利于地热资源开发利用的政策环境。强化施工过程的质量和安全管理,明确相关单位的责任义务;有效提升地热矿山节约集约利用水平,地热矿山开发利用的主要技术指标应当符合地热资源“三率”指标、地热绿色矿山的要求;探索开展地热资源回灌市场调节机制,推动温泉康养产业发展,鼓励有条件的地热开发单位和社会资本,在非供热期利用地表水开展地热回灌工程项目,补充回灌量可增加年度生产规模或进行回灌量置换。

6 结论

本文基于天津市地热资源勘查开发利用的历程,总结了天津市地热资源勘查、开发利用与管理的成就与挑战,从多角度提出了推动地热资源可持续发展的措施。

(1)天津市地热资源勘查历史悠久,方法完善,但整体勘查程度不均衡,应整体提高天津市地热勘查控制程度,扫清空白区,推进深部勘查,提升资源保障程度。

(2)天津地热回灌保护工作成效明显,但仍需加强优势回灌层位精确识别、回灌堵塞机理与防治、储层改造等孔隙型热储回灌关键技术研究工作,开展集中采灌区岩溶裂隙型热储演化和布局研究,提高资源承载力。

(3)天津市地热资源利用形成了垂向多层立体式开发的格局,但资源整合与规模化梯级利用程度不足,多能源耦合利用有待加强。应积极推动多能联用、并网互通,合理设置采灌布局 and 开发模式,提升供热效率,增加供热能力。

(4)天津市地热资源管理体系较为完善,为行业健康稳定发展提供了强有力的政策保障。未来应适应新形势新任务的要求,积极探索地热矿业权出让模式改革,完善地热井全生命周期管理机制,营造有利于地热资源开发利用的政策环境,推动地热产业健康有序发展。

中文参考文献

- 白晋斌,牛修俊. 2010. 天津新生界固结特征与地面沉降[J]. 中国地质灾害与防治学报, 21(01): 42-46.
- 陈勇,张云霞,徐连和,等. 2023. 天津市地热资源勘查开发利用战略研究[M]. 北京:地质出版社.
- 宫昊,罗佐县,梁海军,等. 2018. 我国地热资源管理现状及优化研究[J]. 生态经济, 34(06): 94-99.
- 靳宝珍,杨永江,刘九龙,等. 2010. 天津市地热资源勘查与评价[A]. 中国地热能:成就与展望:李四光倡导中国地热能开发利用40周年纪念大会暨中国地热发展研讨会论文集[C]. 254-263.
- 靳宝珍,杨云霄,邱京卫,等. 2019. 天津市古潜山奥陶系岩溶裂隙发育规律研究[J]. 中国地质调查, 6(02): 94-99.
- 寇薇,潘春光,尹秀贞,等. 2014. 济南市地热资源开发管理现状及思考[J]. 山东国土资源, 30(10): 87-89.
- 卢润,杜宝金,蔡冠英,等. 1987. 天津市区及王兰庄地热田勘探报告[R]. 天津:天津第一地质勘探大队地质分队.

- 林黎. 2001. 天津市深部地热资源开发利用前景广阔. 天津科技[J]. (04):12-13.
- 李俊建, 罗镇宽, 燕长海, 等. 2010. 华北陆块的构造格局及其演化[J]. 地质找矿论丛, 25(02): 89-100.
- 李波. 2017. 天津地热资源可持续开发利用对策研究[D]. 天津大学.
- 刘杰, 宋美钰, 于彦, 等. 2017. 天津市地热资源可持续利用管理模型研究[J]. 地质调查与研究, 40(04): 315-320.
- 罗佐县. 2017. 我国地热产业政策优化改革思考[J]. 当代石油石化, 25(06):6-12+50.
- 王冰, 夏雨波, 刘东林, 等. 2016. PHREEQC模拟宝坻区地表水回灌雾迷山组地热井探析[J]. 地质调查与研究, 38(04):317-320.
- 刘东林, 蔡芸, 宗振海, 等. 2017. 天津市地热资源集约节约利用示范工程建设报告[R]. 天津: 天津地热勘查开发设计院.
- 刘东林, 李义曼, 庞忠和, 等. 2019. 碳酸盐岩热储对湖水回灌的响应[J]. 工程地质学, 27(01):178-183.
- 罗佐县, 梁海军, 许萍, 等. 2018. 我国地热产业发展机遇、挑战及对策分析[J]. 当代石油石化, 26(03):35-42.
- 刘杰, 赵苏民, 高宝珠, 等. 2020. 天津市地热资源潜力评价[R]. 天津地热勘查开发设计院.
- 李珊, 孙晓林, 杨宝美, 等. 2023. 天津市新近系馆陶组砂岩热储回灌能力评价分析[J]. 华北地质, 46(02):38-44.
- 阮传侠, 冯树友, 沈健, 等. 2017. 天津滨海新区地热资源循环利用研究——馆陶组热储回灌技术研究 with 示范[J]. 地质力学学报, 23(03):498-506.
- 茹洪久, 刘东林, 胡慧川, 等. 2018. 天津地热资源评价与综合研究[J]. 中国地质调查, 5(02):25-31.
- 沈健. 2015. 天津市东丽湖地表水热储回灌技术研究[D]. 中国地质大学(北京).
- 天津市规划和自然资源局. 2022. 天津市矿产资源规划(2021—2025)[Z].
- 汪民. 2010. 中国地热大事记:1950—2010[M]. 北京:地质出版社.
- 王福江, 王德铭, 王坤. 2015. 关于天津市地热资源管理的思考[J]. 地质找矿论丛, 30(03): 466-469.
- 王冰, 夏雨波, 刘东林, 等. 2017. 天津中医药大学新校区地热资源综合利用研究[J]. 地质调查与研究, 40(04):311-314.
- 王贵玲, 张薇, 蒯文静, 等. 2017. 京津冀地区地热资源成藏模式与潜力研究[J]. 中国地质, 44(06):1074-1085.
- 邢伟. 2017. 浅析地热供暖及其在天津的发展[J]. 山西建筑, 43(24): 133-135.
- 许天福, 姜振蛟, 袁益龙. 2023. 中深部地热资源开发利用研究现状与展望[J]. 中国基础科学, 25(03):11-22.
- 杨震, 徐婷, 方朝合, 等. 2017. 国内外地热产业政策法规梳理与思考[J]. 国际石油经济, 25(08):22-28.
- 殷肖肖, 闫佳贤, 李虎, 等. 2022. 2022年度天津市地质资源(地热、矿泉水)动态监测报告[R]. 天津:天津地热勘查开发设计院.
- 杨吉龙, 汪大明, 牛文超, 等. 2022. 天津地热资源开发利用前景及存在问题[J]. 华北地质, 45(03):1-6.
- 殷肖肖, 赵苏民, 蔡芸, 等. 2024. 近三十年天津市地热大规模开发热储动态特征研究[J]. 地质学报, 98(01):297-313.
- 赵苏民, 孙宝成, 林黎, 等. 2013. 沉积盆地型地热田勘查开发与利用[M]. 北京:地质出版社.
- 曾梅香, 赵苏民, 候福志, 等. 2017. 天津地热(温泉)志 [M]. 天津:天津科学技术出版社.
- 赵侃, 赵艳婷, 郑晓菲, 等. 2023. 地热合理开发利用“三率”标准及关键技术研究项目综合成果报告[R]. 天津地热勘查开发设计院.
- 赵艳婷, 沈健, 赵苏民, 等. 2023. 中深层砂岩回灌井成井工艺优化及效果分析:以天津市明化镇组为例[J]. 油气藏评价与开发, 13(06):765-772.
- 张德森, 张森, 诸葛晓昌. 2024. 天津市地热和矿泉水勘查工作程度研究报告[R]. 天津:天津市地热资源开发有限公司.

References

- John W, Lund R. 2012. Gordon Bloomquist. Development of geothermal policy the United States-What works and what doesn't work[C], Thirty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University.
- Katarzyna A. Kurek, Wim Heijman, Johan van Ophem, et al. 2021. The contribution of the geothermal resources to local employment: Case study from Poland[J]. Energy Reports, 7:1190-1202.
- Lin Wenjing, Wang Guiling, Zhang Shengsheng, et al. 2021. Heat aggregation mechanisms of hot dry rocks resources in the Gonghe basin, northeastern Tibetan Plateau[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 95(6):1793-1804.
- M. Soltani, Farshad Moradi Kashkooli, Mohammad Souri, et al. 2021. Environmental, economic, and social impacts of geothermal energy systems[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 140: 110750.
- Muther T, Syed F I, Lancaster A T. 2022. Geothermal 4.0: AI-enabled geothermal reservoir development - current status, potentials, limitations, and ways forward. Geothermics[J]. 100:102348.
- Qiu N, Xu W, Zuo Y, Chang J. 2015. Meso-Cenozoic thermal regime in the Bohai Bay Basin, eastern North China Craton[J]. International Geology Review, 57(3):271-289.
- Yuqing Wang, Yingxin Liu, Jinyue Dou et al. 2020. Geothermal energy in China: Status, challenges, and policy Recommendations[J]. Utilities Policy, 64:101020.
- Liu Yanguang, Wang Guiling, Zhu Xi, et al. 2021. Occurrence of geothermal resources and prospects for exploration and development in China[J]. Energy Exploration & Exploitation, 39(2): 536-552.
- Yang Yang, Zhang Jianmin, Hou Yaya, et al. 2022. Economic and ecological benefit evaluation of geothermal resource tax policy in China[J]. Environmental Economics and Management, 10.