

西藏地热资源开发利用现状及工作建议

郭建慈*, 周 鹏, 万忠焱, 肖跃庭, 周连河

(西藏自治区地勘局地热地质大队, 拉萨 850000)

摘要: 地热能是一种可再生清洁能源, 在能源大家庭中具有独特显著的优势, 有效开发利用地热资源, 对助力实现“双碳”战略目标具有重大意义。西藏自治区拥有十分丰富、高品质的地热资源, 是国内少数适宜规模化发展地热发电、集中供暖和梯级综合利用的地区。本文系统分析了西藏地区大地热流特征, 认为西藏具有寻找高温地热资源的巨大前景, 是地热勘探的重要方向。并详细阐述了西藏地热资源的分布特征、资源潜力及目前开发利用状况, 提出了推动我区地热资源高质量发展的意见及建议。

关键词: 开发利用; 分布特征; 资源潜力; 发展建议

DOI: 10.48014/cesr.20220908001

引用格式: 郭建慈, 周鹏, 万忠焱, 等. 西藏地热资源开发利用现状及工作建议[J]. 中国地球科学评论, 2022, 1(1): 1-9.

党的十八大以来, 以习近平同志为核心的党中央坚定贯彻新发展理念, 坚定不移走生态优先、绿色低碳发展道路, 对国际社会作出了实现“双碳”目标的庄严承诺, 为推动建设清洁美丽世界作出了贡献。2022年1月24日, 习近平总书记在十九届中央政治局第三十次集体学习时讲话指出: “要把促进新能源和清洁能源发展放在更加突出的位置, 积极有序发展光能源、硅能源、氢能源、可再生能源。” “要加快发展有规模有效益的风能、太阳能、生物质能、地热能、海洋能、氢能等新能源, 统筹水电开发和生态保护, 积极安全有序发展核电。” 这对我国地热能发展具有重要里程碑意义。西藏拥有丰富的地热资源, 已知地热活动显示区(点) 677处^[1], 其中高温地热居全国之首, 高于沸点的地热显示占全国二分之一, 开发利用潜力巨大^[2,3]。但目前西藏地热资源探明率和利用程度较低, 中低温地热以理疗、洗浴等直接利用的方式较普遍, 高温地热仅羊八井和羊易等四个热田曾先后用于发电。有鉴于此, 笔者在系统分析西藏地热资源的潜力及开发利

用现状基础上, 提出促进我区地热资源的发展的一些建议。

1 西藏地区大地热流特征

大地热流是地球内部热动力过程最直接的地表显示, 反映了岩石圈的热状态和能量平衡, 其中蕴涵着丰富的地质、地球物理和地球动力学信息, 也是进行岩石圈热结构和区域地热资源潜力评价的重要参数^[4-6]。因此, 大地热流的研究一直以来都是地热研究中重要的基础性工作, 我国先后进行了多次大地热流数据的汇编, 最早开始于1988年汪集旸等采用167个热流数据进行了第一次汇编, 随后胡圣标等^[6]、Huang等^[7]、黄方等^[8]陆续开展了汇编工作, 到2016年6月中国大陆地区已汇编热流数据达1230个。

研究结果认为, 中国大陆地区的区域热流分布格局可描述为东高、中低—西南高和西北低^[9,10]。这种热流分布格局主要受中、新生代岩石圈构造—热活动控制并与我国大陆地区的阶梯状地势存在

* 通讯作者 Corresponding author: 郭建慈, 626501717@qq.com

收稿日期: 2022-09-08; 录用日期: 2022-09-15; 发表日期: 2022-09-28

某种表观联系:地势最高的青藏高原表现为高热流($>80\text{MW/m}^2$),但地势最低的大陆东部地区亦表现为较高热流($60\sim75\text{MW/m}^2$),中间的中部和西北部地区以低热流($<60\text{MW/m}^2$)为特征,类似现象在北美大陆亦存在。从最新热流测点及分布图

可以看出(图 1、图 2),近年来虽热流测点数量逐渐增加,西藏热流测量的覆盖率仍较低,地理分布不均匀,但高热流测点依然集中分布在西藏境内。说明西藏目前地热工作虽开展较少,但热流值高,处于热流高背景区域。

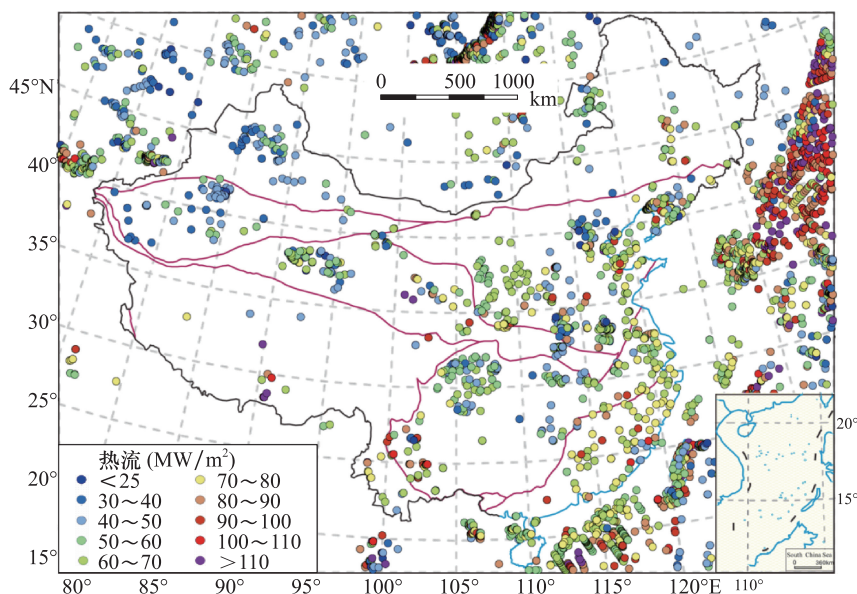


图 1 中国大陆地区热流测点分布图(据文献^[9])

Fig. 1 Distribution map of heat flow measuring points in mainland China

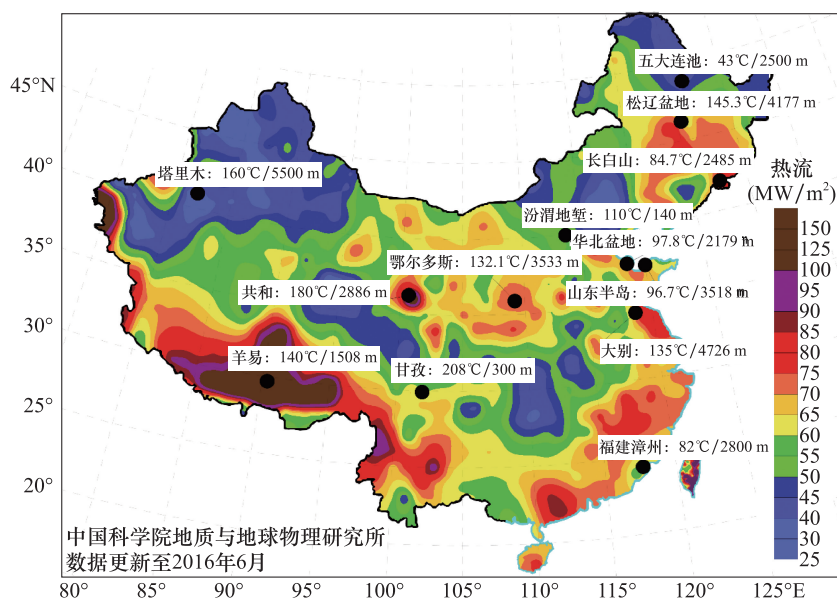


图 2 中国大陆地区热流分布图(据文献^[12])

Fig. 2 Distribution map of heat flow in mainland China

西藏地区的高热流区整体呈带状分布,东西方向上集中在雅鲁藏布江缝合带,向北各构造单元热流值逐渐降低^[11],南北方向集中在羊八井—拉萨—那曲—古堆一带。西藏南部的高热流分布与藏南活动构造系及水热活动分布基本一致,集中分布在雅鲁藏布江缝合带一线。印度—欧亚板块陆—陆碰撞,使得印度板块继续向北俯冲到欧亚板块之下,陆—陆碰撞导致地壳相叠合,形成了巨厚的青藏高原地壳。同时在强烈的构造运动作用下,青藏高原部分上地壳中出现了岩浆熔融体,为西藏地热的形成提供了强大的热源,使其成为我国水热活动最强烈的地区,呈现出寻找高温地热资源的巨大前景,是地热勘探的重要方向。

2 西藏地热资源的分布特征

青藏高原是环球纬向特提斯造山系的东部主体,具有复杂而独特的巨厚地壳和岩石圈结构,经历了新元古代以来“多洋盆、多俯冲、多碰撞和多造山”长期的动力学作用过程以及特提斯洋盆开启和消亡的聚散历史,最后构筑成了巨型复合碰撞造山拼贴体^[13]。印度—亚洲大陆的碰撞为形成和发展

西藏及周缘地区丰富多彩的水热活动提供了非常有利的构造背景条件,使其成为现今世界构造运动最强烈、水热活动最密集的地域之一。

西藏境内已知地热活动显示区(点)677处,科研人员考察了其中361处^[1](图3)。其中高温(热储温度 $>150^{\circ}\text{C}$)地热区达65处,中温(当地沸点 $\sim 150^{\circ}\text{C}$)地热区342处,低温($<$ 当地沸点)58处,古地热遗迹近200处^[2]。西藏温泉主要分布在班公湖—怒江构造带与喜马拉雅构造带之间,其间的北东、北西、近南北向活动构造(裂谷/地堑)控制着地热活动的空间展布。班公湖—怒江构造带出露的大多是中低温地热田,泉区出露有大面积的、巨厚的钙质泉华层,暗示着过去那里所发生的水热活动非常强烈。高温地热田主要出现在西藏南部近南北向的新生代裂谷/地堑中,如当雄县羊八井和羊易、措美县古堆等地热田。近年来研究亦显示^[15],西藏高温热储区主要集中于藏南,有南强北弱特点,并沿着断裂带以“簇丛”状分布(图4),温泉密度和高温热储区与南北向的断裂—地堑带及地震活动在空间上有较好的匹配关系。

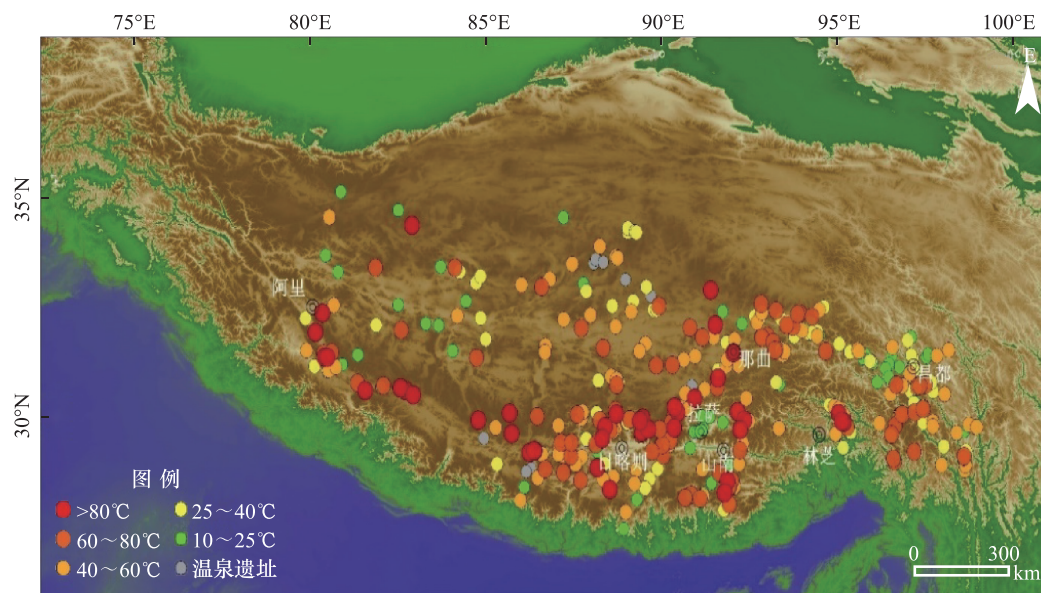


图3 西藏温泉分布概况(据文献^[14])

Fig. 3 Distribution of hot springs in Tibet

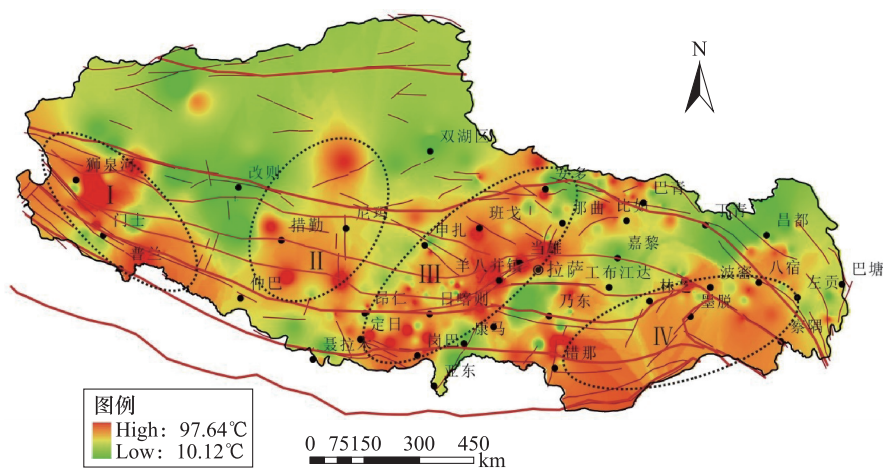
图 4. 西藏地热水温度平面分布图(据文献^[15])

Fig. 4. Planar distribution map of geothermal water temperature in Tibet

3 西藏地热资源潜力

在过去四十多年间,西藏地热领域先后开展了较系统的科学考察和资源勘探等工作。1999年,廖志杰等应用地球化学方法初步估算了西藏地热资源潜力,认为西藏地热资源的发电潜力是3.03GW,折合标准煤2.46亿吨,其中高温地热资源发电潜力是1.92GW,折合标准煤1.56亿吨^[16],与其他省(区、市)相比,高温地热资源开发利用潜力位居全国之首。据近年来开展的调查研究显示^[17],西藏全区地热流体总开采量约为 $0.77 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,年可采热量为 $1.7 \times 10^{16} \text{ J/a}$,高温地热资源发电潜力在3000MW以上。同时西藏是干热岩资源的重点靶区,科研人员对其中地表热流体温度大于沸点的19处显示区进行了初步计算,结果显示埋深3~5km段积存热量约 $145.37 \times 10^{18} \text{ J}$,相当于 49.68×10^8 吨标准煤,资源潜力巨大。而且西藏不仅高温地热资源丰富,中低温地热资源亦十分丰富,可以为地热集中供暖、康复理疗、洗浴与水上娱乐、养殖业和种植业等行业的地热直接利用提供能源保障。

前已述及西藏地热主要沿近南北向、北东向及北西向活动构造呈带状展布,而这些构造带中最为著名的就是那曲—羊八井—多庆错活动构造带,该带内有地热显示区(点)30余处,热储温度有望超过150°C的显示区9处,资源优势明显^[2],带内的热田尤以羊八井最为著名,该热田于1952年首次报道,70年代开始国家将其列为重点科技攻关项目,陆续

开展了普查、详查、勘探等工作,至1991年共实施地热井70眼,总井尺19430.42m(图5)。随着热田的不断开采导致南区发生萎缩,为进一步可持续生产,在多吉院士的带领下先后在北部热沟和硫黄沟一带开展深部地热资源勘查。勘探结果显示,ZK4002孔井深2006.8m,在井深1850m处获得329.9°C的超高温参数^[18],是我国迄今为止最高的



图 5 羊八井热田放喷景象

Fig. 5 Blowout scene of Yangbajing thermal field

井温,具有干热岩资源前景。同时 1996 年完成的 ZK4001 孔汽水总量 302t/h,蒸汽量 37.1t/h,单井发电潜力 12.58MW^[19],证明羊八井地热田北区深部热储层,蕴藏有很大潜力的高焓地热资源,展示了非常优越的开发利用前景。

4 西藏地热资源开发利用现状

地热能开发利用分为地热发电和直接利用两大类:高温地热资源主要用来发电,中低温地热资源主要用于直接利用。西藏有悠久的历史地热开发利用历史,在发电、地热供暖、旅游洗浴、种养殖业、饮用天然矿泉水、工业应用等方面均有涉及,其中最为著名的就是羊八井地热电厂,曾一度占据拉萨电网冬季的 60%,被誉为青藏高原上的一颗明珠。

4.1 地热能发电现状

西藏自治区先后建立过 4 座地热电站,累计装机容量为 46.18MW;羊八井地热电厂和羊易地热电厂是正在运行中的两座地热电厂,总装机容量为

43.18MW,现有装机容量为 42.18MW。

西藏地热发电始于羊八井地热田,1974 年西藏工业局试验小组进驻羊八井,利用沸泉口的地热蒸汽开展发电试验,用 1 台简易的单叶片汽轮机带动 50W 汽车发电机工作,试验取得圆满成功。1977 年,羊八井地热田 1MW 试验机组试运行成功,此后又陆续安装了 8 台发电机组。除 1986 年引进 1 台 3.18MW 日本产快装机组外,其余 7 台机组均为国产 3MW 汽轮发电机组,而最早运行的 1MW 试验机组已在 1986 年退役。2009 年、2010 年羊八井地热田新增两台江西华电制造的 1MW 螺杆膨胀发电机组,地热电厂现有装机容量增加到 26.18MW。截至 2019 年 12 月,羊八井地热电厂累计发电 34.1 亿度,为西藏社会经济发展和节能减排作出了重要贡献(图 6)。但令人遗憾的是,随着近年来国家加大了对西藏水电、光伏发电的投资力度,而地热发电却一直停滞不前,羊八井深部高温地热资源至今没有得到有效的开发与利用。

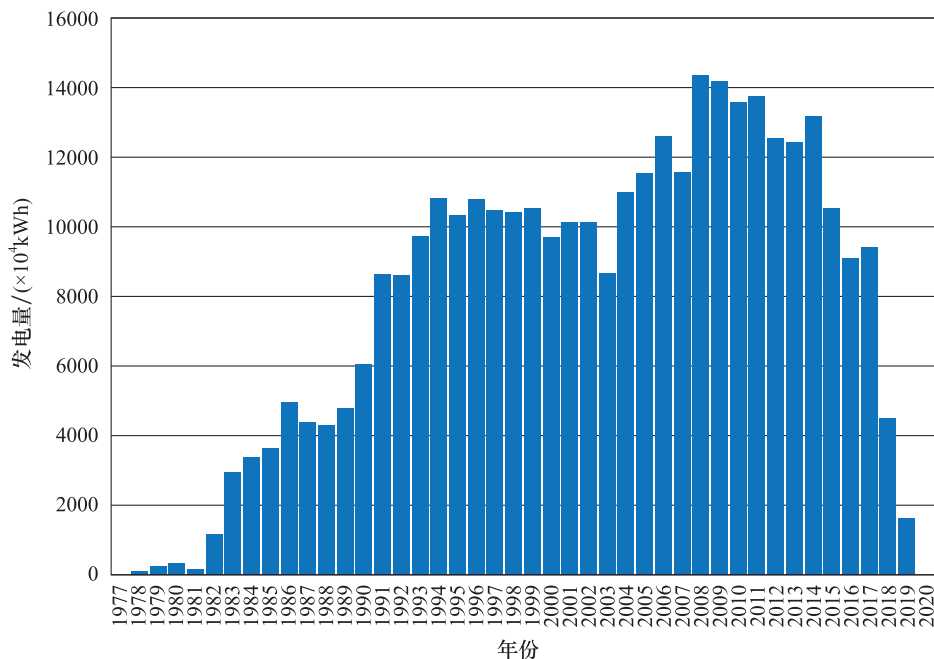


图 6 羊八井地热电厂历年发电量统计(据文献^[14])

Fig. 6 Statistics of power generation of Yangbajing Geothermal Power Plant over the years

羊易地热田于 2011 年和 2012 年先后安装了 1 台 400kW 和 500kW 的螺杆膨胀发电机组,后因热转换效率偏低而拆除,取而代之的是以色列奥玛特

(ORMAT)公司生产制造的 16MW 机组(图 7)。2018 年 10 月,羊易地热电厂正式发电并网,修复后的勘探井 ZK203 和 ZK208 作为生产井投入使用,

尾水全部灌入 ZK403 井。运行初期的工作负荷达到 13MW,在冬季环境温度降至 -5°C 时,发电功率可上升至 18MW,发电能力超出预期。据统计,截至 2021 年底羊易热田发电量共计达 3.7 亿度,其中 2021 年机组运行时间达 8723.37h,年发电量近 1.3 亿度。



图 7 羊易地热电厂发电机组照片

Fig. 7 Photo of the generating units of Yangyi Geothermal Power Plant

朗久地热电厂位于阿里地区狮泉河镇,1987 年 10 月,两台 1MW 的汽轮发电机组投入运行。因地热蒸汽压力过低、井口结垢严重、发电技术落后等因素,实际发电功率只有 0.6~0.7MW。1988 年开始间断发电,1994 年停产,累计发电 288.4 万度。

那曲地热电厂位于那曲市城区,1993 年 11 月在联合国开发计划署的资助下引进 1MW 双循环双工质(ORMAT)发电机组并网发电。为了减缓井筒结垢速度,先后实施了井下增压、井内注射阻垢剂等技术措施。1995 年那曲地热电站正式停产,累计发电 223 万度。客观来说,发电机组在当时还是属于比较先进的,井口温度偏低、阻垢剂价格昂贵可能是影响电厂经济效益的主要原因。

4.2 地热能供暖现状

水热型地热能供暖是中低温地热资源和地热发电尾水主要利用方式之一,自 20 世纪 90 年代以来,我国开始加大对地热资源的开发力度,地热集中供暖发展迅速。西藏先后开展了两个县的地热供暖示范工程,改善了人民群众的生活水平。

2016 年,错那县城实施了地热供暖一期试点工程,总投资 5000 万元,供热面积 4 万 m^2 ;2017 年,实施地热供暖二期工程,总投资 1.6 亿元,供暖面积

达 22 万 m^2 ,人民群众工作和生活环境大为改善。当雄县于 2017 年开始建设地热能供暖工程,一期工程于 2018 年正式供暖,投资 3000 余万元,供暖面积约 4 万 m^2 ;二期工程 2019 年完工,供暖面积约 13 万 m^2 ,投资约 1.3 亿元,向 30 多家单位提供服务。

5 西藏地热资源发展建议

地球是个巨大的热库,地球内部不仅储热而且生热。地热能是来自地球内部的能量,具有强大的生命力,储存于地球内部的地热资源量约为全球煤炭储量的 1.7 亿倍,其中可利用量相当于 4948 万吨标准煤,能满足人类数十万年的能源需求,被称为地球的终极能源。地热能有其独特的显著优势,首先资源量极大,且具有可再生性;同时在新能源和可再生能源大家族中,地热能的能源利用系数最高(73%),在一些国家可达 90%,且可靠性强,不受气候变化、天气等因素的影响,不靠天吃饭;此外在 CO_2 排放方面,研究显示采用煤发电 CO_2 排放量约为 955g/kWh,石油约为 893g/kWh,天然气为 599g/kWh,而高温地热发电仅为 91g/kWh,与传统能源发电方式相比减排优势非常明显。可以看出,在可再生能源大家族中地热能的优点是显而易见的。西藏拥有丰富的地热资源,不充分利用将白白流失甚是可惜,鉴于目前开发利用现状,亟待进一步开发,助力“双碳”战略目标的顺利实现。

5.1 开展地热资源勘查,准确评估资源潜力

西藏是技术和经济欠发达的西部地区,地热资源的调查、勘查和勘探程度都较低。自然资源厅先后依托自治区找矿专项资金在昌都市、日喀则市、山南市开展了地热资源调查,因后续资金断档,拉萨市、林芝市、那曲市、阿里地区未能完成计划中的调查工作。在西藏众多地热田中,羊八井、羊易、拉多岗、那曲、古堆等中高温地热田曾先后开展过地质工作,研究程度相对较高。昂仁县查孜、江孜县金嘎、拉孜县锡钦等一些规模较小的中低温热田也开展过零星的地质调查。但现有地质资料只能满足从宏观上对西藏地热资源做出评估,而要做到精细化评价,还有许多地热地质工作亟待开展。为

了实现西藏地热发电装机容量的可持续增长,急需开展全区地热资源调查和部分中高温地热田地质勘查工作。建议优先开展面上调查,结合先进的技术方法,深入阐述西藏地热资源的分布特征,精准评估西藏地热资源的开发潜力,为西藏地热资源的开发利用提供决策依据。同时根据现阶段工作成果,建议启动和完成当雄县羊八井地热田深部热储、羊易地热田,措美县古堆、色尼区古露、谢通门县查布等 10 多个地热田的勘查工作,为地热发电、集中供暖和综合利用提供资源保证。而且我区中低温地热资源分布广,勘查工作有着广泛的市场前景,建议启动和完成当雄县、错那县、萨嘎县、色尼区、岗巴县、谢通门县、八宿县、左贡县、类乌齐县等城镇附近 10~15 个低温地热田的地质勘查工作,为城镇居民集中供暖和综合利用提供资源保证。此外锂、铷、铯等稀有元素是国家紧缺型战略矿产资源,用途广泛。西藏中高温地热系统的地热水普遍富含这些元素,已达单项和综合利用标准,潜在经济价值巨大,是寻找战略矿产资源的新方向,建议开展相应的研究和开发利用工作。

5.2 重点支持高温地热发电,打造西藏优势特色产业

高温地热资源是我区的优势能源矿产资源,高温地热适宜于发电和梯级综合利用,可取得较高的热效率。西藏总体以水电为主,形成了太阳能、风能、地热能多能互补的综合能源体系格局。现阶段从装机容量看,水力发电占 50%、火力发电占 17%、光伏发电 32%、地热及其他占 1%,与丰富的高温地热资源极不相称。高温地热发电是将地热资源优势转化为产业优势的最佳途径之一,建议重点支持高温地热发电,将西藏打造成为地热能发电的研究示范基地。在勘探获得地热资源储量的情况下,尽快开展地热电站建设及使用。

5.3 大力推进地热能供暖,提高人民群众生活水平

建议在地热电站周边及中低温地热资源区与居民集中居住地耦合较好的地区,大力提倡水热型地热能供暖。西藏有 10 余个县城附近有地热显示区分布,且数十个乡镇附近也有地热显示区分布,

可以在资源优势和区位优势较好的县城和乡镇逐步开展地热能集中供暖的规划和建设。

致谢:感谢多吉院士在西藏地热产业发展中一直以来的关心、帮助和指导,感谢三位审稿专家在论文成文过程中提出的建设性意见和建议。

利益冲突:作者声明无利益冲突。

参考文献(References)

- [1] 佟伟,廖志杰,刘时彬,等. 西藏温泉志[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [2] 多吉. 西藏高温地热资源开发利用建议[C]. 第十三届中国科协年会第十四分会场论文摘要集,2011,11:13.
- [3] 王贵玲,张薇,梁继运,等. 中国地热资源潜力评价[J]. 地球学报,2017,138(4):449-459.
<https://doi.org/10.3975/cagsb.2017.04.02>
- [4] 汪集旸,黄少鹏. 中国大陆地区大地热流数据汇编[J]. 地质科学,1988,(2):351-363.
- [5] Pollack H N, Hurter S J, Johnson J R. Heatflow from the earth interior: Analysis of the globe data set[J]. Reviews of Geophysics, 1993, 31(3): 267-280.
<https://doi.org/10.1029/93RG01249>
- [6] 胡圣标,何丽娟,汪集旸. 中国大陆地区大地热流数据汇编(第三版)[J]. 地球物理学报,2001,44(5):612-626.
<https://doi.org/10.3321/j.issn:0001-5733.2001.05.005>
- [7] Huang S P, Wang J Y. Heat flow distribution and thermal structure of the continental area of China//In: WANG Si-Jiang ed. Advances in Geoscience(2)[M]. Beijing: China Ocean Press, 1992.
- [8] 黄方,何丽娟,吴庆举. 鄂尔多斯盆地深部热结构特征及其对华北克拉通破坏的启示[J]. 地球物理学报,2015, 58(10):3671-3686.
<https://doi.org/10.6038/cjg20151020>
- [9] 姜光政,高珊,饶松,等. 中国大陆地区大地热流数据汇编(第四版)[J]. 地球物理学报,2016,59(8):2892-2910.
<https://doi.org/10.6038/cjg20160815>
- [10] 汪集旸,胡圣标,庞忠和,等. 中国大陆干热岩地热资源潜力评估[J]. 科技导报,2012,30(32):25-31.
<https://doi.org/10.3981/j.issn.1000-7857.2012.32.003>
- [11] 赵平,谢鄂军,多吉,等. 西藏地热气体的地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石学报,2002,18(4):539-550.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-0569.2002.04.013>

- [12] Jiang G Z, Hu S B, Shi Y Z, et al. Terrestrial heat flow of continental China: Updated dataset and tectonic implications[J]. *Tectonophysics*, 2019, 753: 36-48.
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.01.006>
- [13] 许志琴, 王勤, 李忠海, 等. 印度—亚洲碰撞: 从挤压到走滑的构造转换[J]. *地质学报*, 2016, 90(1): 1-23.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.0001-5717.2016.01.001>
- [14] 西藏自治区地勘局地热地质大队. 西藏自治区地热能发展研究报告[R]. 2020.
- [15] 王鹏, 陈晓宏, 沈立成, 等. 西藏地热异常区热储温度及其地质环境效应[J]. *中国地质*, 2016, 43(4): 1429-1438.
<https://doi.org/10.12029/gc20160426>
- [16] 廖志杰, 赵平. 滇藏地热带—地热资源与典型地热系统[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [17] 西藏地勘局地热地质大队. 西藏地热资源评价与区划示范研究成果报告[R]. 2014.
- [18] 西藏地矿厅地热地质大队. 西藏自治区当雄县羊八井地热田北区深部地热资源普查报告[R]. 1995.
- [19] 西藏地矿厅地热地质大队. 西藏自治区当雄县羊八井地热田北区深部地热资源开发性勘探 ZK4001 勘查地质报告[R]. 1996.

Current Situation and Suggestions for work of Geothermal Resources Development and Utilization in Tibet

GUO Jianci, ZHOU Peng, WAN Zhongyan, XIAO Yueting, ZHOU Lianhe

(Geothermal Geological Brigade, Geological Survey Bureau of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850000, China)

Abstract: Geothermal energy is a kind of renewable and clean energy. It has unique and significant advantages in the energy family. The effective development and utilization of geothermal resources is of great significance to help achieve the strategic goal of “double carbon”. The Tibet Autonomous Region has abundant and high-quality geothermal resources, and is one of the few areas in China suitable for large-scale development of geothermal power generation, central heating and cascade comprehensive utilization. This paper systematically analyzes the characteristics of geothermal heat flow in Tibet, and concludes that Tibet has great prospects for finding high-temperature geothermal resources and is an important direction for geothermal exploration. It also elaborates on the distribution characteristics, resource potential and current development and utilization of geothermal resources in Tibet, and puts forward opinions and suggestions for promoting the high-quality development of geothermal resources in the region.

Keywords: Development and utilization; distribution characteristics; resource potential; development suggestions

DOI: 10.48014/cesr.20220908001

Citation: GUO Jianci, ZHOU Peng, WAN Zhongyan, et al. Current situation and suggestions for work of geothermal resources development and utilization in Tibet[J]. Chinese Earth Sciences Review, 2022, 1(1): 1-9.

Copyright © 2022 by author(s) and Science Footprint Press Co., Limited. This article is open accessed under the CC-BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

