



# 跳出温泉池 地热产业如何“沸腾”

装机容量7.0吉瓦,相比2015年增长138%,是所有直接利用方式中增长最快的。到2021年底,我国地热供暖(制冷)能力已达13.3亿平方米。

雄安新区正位于我国三大热带之一的华北热带内。区内地热资源丰富,地热供暖起步早、发展迅速,成为当地的主要供暖方式。在雄安的冬季,看不到高耸的烟囱“吞云吐雾”,只有地下源源不断的热量温暖千家万户。

早在2009年,当时的河北雄县便与中国石化合作开发当地地热资源。到雄安新区设立前,雄县县内已拥有地热井77口(包括回灌井29口),换热站35座,建成供暖能力450万平方米,城区95%以上的建筑实现地热供暖,基本实现了城区地热集中供暖全覆盖。而在雄安新区设立后,截至2023年底,雄安三县建成以地热为主的清洁供暖换热站超百座,敷设供热管网约550公里,供暖面积超700万平方米。

今年入冬以来,雄安新区室外最低气温已降至零下,但在雄安新区鑫城小区,室内温度达到20摄氏度。走进位于该小区内的中国石化绿源公司人才家园换热站,记者看到,粗壮的银色管道布满房间,厂房内整洁、安静。工作人员告诉记者,供暖季到来后,来自地下深处、蕴含热量的水会被抽取上来,在这里进行热量交换,加热供暖水。随后水循环系统将加热的供暖水通过管道送入千家万户。这也是全国首批通过行业权威机构正式认证的地热能开发利用标准化示范项目。目前,该换热站每个供暖季可为人才家园社区50.8万平方米范围提供供暖服务,地热尾水实现100%回灌。

## 地热发电装机容量跌至世界第19位

作为清洁能源之一,地热除了直接利用,在发电方面也独具优势,被认为是更具价值的利用方式。

“我们都说发电的本质是‘烧开水’,地热发电不需要我们自己把水烧开,抽上来的直接就是高温水。”香港中文大学(深圳)城市地下空间及能源研究院、地热能科学技术(大理)研究院院长张大伟向记者介绍,通常90摄氏度以上的地热水便可用于发电,温度越高,发电效率越高。

地热发电最大的优势是稳定。相比风力、水力、光伏等“看天吃饭”的清洁能源,地热发电受天气影响极小,稳定性甚至可以达到媲美火力发电。

羊易地热发电站是我国海拔最高、技术最先进的地热电站,装机容量16兆瓦。在全年8760小时中,羊易电站能够稳定发电8732小时,每年只需数小时的停电检修时间。相比之下,我国2022年风力发电年均利用时间为2259小时,光伏发电为1202小时,即使是利用时间相对较长的水力发电,也仅在3500小时左右。因此,地热发电的年均利用时长是水电、风电、光伏的2—7倍,这意味着同等装机容量的机组,地热发电可以产生更多电量。

稳定性不仅能够提升电站运行的经济效益,在清洁能源发电占比逐渐提升、电力系统所面临的不稳定性挑战逐渐增大时,地热发电凭借超强的稳定性可有效应对新能源发电占比增加对电力系统带来的波动风险,有望在互补的新型能源体系建设中发挥重要作用。此外,地热发电占地面积小、部署灵活、对生态环境影响较小等优势也使其备受青睐。

虽然地热发电优势明显,但一个令人尴尬的现实是,我国地热发电的建设规模却落后于世界上很多国家。截至2022年底,全球地热发电装机容量约1.6兆瓦,我国地热发电装机容量仅为50多兆瓦,占全球总装机量的0.3%。“还在运行的可能只有20多兆瓦。”张大伟表示,从地热发电的装机容量看,我国已经由20世纪70年代末的全球第8,下降到了目前的第19位。

我国曾是世界上第8个掌握地热发电技术的国家。20世纪70年代,时任地质部部长李四光看好地热能发展潜力,在全国掀起了一场“地热会战”。1970年,我国在广东丰顺建立了第一座试验地热发电站。随后,江西宜春、河北怀来、湖南宁乡等地都建起了地热发电项目。其中,1977年投产的西藏羊八井高温地热发电项目是我国地热发展史上浓墨重彩的一笔。羊八井井口喷出的地热水,温度最高可达172摄氏度。该地热发电项目的发电量,曾占拉萨电网全年供电量的40%,冬季超过60%,为拉萨市发展提供了重要能源保障。

但受限于当时的技术条件,我国能动用的地热资源并不多,开采成本居高不下。最终,这场“地热会战”逐渐沉寂,没

能取得持续发展。

从1977年羊八井电站投产,到2018年羊易电站建设,中间40余年间,我国再没有大规模地热发电项目上马。截至2020年,国内在运行的地热电站只剩6座。

## 凸显地热发电规模效应需多管齐下

沉寂40余年的地热发电,如今在“双碳”目标的召唤下,伴随着开采技术的进步,重新得到青睐。但停滞数十年造成的空白,也让其在今天的发展面临诸多阻碍。

必须承认的一点是,最适宜发电的水热型高温地热资源在我国地热资源总量中占比并不大。根据2017年的调查结果,我国水热型高温地热资源总量折合标准煤141亿吨,每年可开采折合标准煤0.18亿吨,发电潜力为846万千瓦,仅占水热型地热资源可开采总量的不到1%。

虽然占比不大,但面对846万千瓦的开发潜力,目前仅数十兆瓦的装机容量几乎可以忽略不计。

造成这一尴尬局面的主要原因仍然是地热发电居高不下的建设成本。地热发电项目建设成本主要集中在前期勘探钻井环节。要开发利用地热资源,首先要摸清其具体分布情况,也就是哪里有热,温度有多高。

地热发电依赖中高温水热型地热资源,其往往分布在地下数千米。如何精准找到热源并不是一件容易的事。“目前我国地热资源的家底还没有完全摸清,最新的调查数据也是2017年的,并且精度不高,还无法有效指导地热资源勘探。”张大伟直言,摸不清带来的直接后果是“打不准”。地热钻井就像开盲盒,“有没有地热水、有多少度的地热水,这些都有很大不确定性。一口井打几千米,没有符合要求的水,这是常有的事”。

而一旦水温无法达到发电要求,投入成本也将“打水漂”。加之目前我国探明的水热型高温地热资源主要分布于西南地区,当地消纳能力有限,长距离运输会再次增加成本。这些因素使得在目前电价水平下,地热发电难以吸引市场更多投入,企业积极性不高。

建设规模小,致使行业无法形成规模效应,进一步推升了地热发电开发成本,陷入一种恶性循环。曾参与西藏羊八井和羊易电站建设的西藏地热产业协会会长王善民告诉记者,国内的地热发电装机规模至少要达到200兆瓦,才能实现规模化,与燃煤火电的标杆电价持平,实现平价上网。但目前建设规模距离这个目标相去甚远,规模化效应迟迟未能形成。

除了前期建设成本居高不下,目前关于地热资源利用尤其是地热发电的相关法规政策也有待进一步明确。2020年新出台的《资源税法》将地热列为能源矿产,要求按原矿1%—20%或每立方米1—30元的税率标准征税。这意味着像羊易地热发电站这样年地热水体循环量547万立方米的地热资源,需要缴纳至少547万元的资源税。

有业内人士曾指出,“对地热征收资源税并不是征税多少的问题,而是合理与否的问题。资源税法规定对煤炭、石油、天然气征收资源税,是因为化石能源是不可再生资源。而地热能是可再生资源,且用于供暖和发电用途本质上只用热未用水,并不符合从量计征的条件。”中国科学院院士、中国地源热泵产业联盟名誉理事长汪集旻此前在接受媒体采访时同样指出,“实际上,地热用于供暖时,在100%同层回灌的前提下,地热水仅作为能量载体,回灌后并不存在水的消耗问题。现行可再生能源法已明确将地热能纳入可再生能源资源,对其征税是不合理的。”

## 探索梯级利用新模式摊薄开发成本

虽然仍面临不少发展瓶颈,但地热发电并非没有机会。张大伟介绍,在地热发电已经实现规模化发展的冰岛,其成本已降低到约0.2元/度。从长远角度看,地热发电在经济上是可行的。

电价补贴被视为是扩大地热发电开发规模,从而降低成本,打破发展恶性循环的有效手段。“地热发电前期,需要采取

风电和光伏类似的电价补贴。等发展到规模化之后,成本就有可能降下来。”王善民举例介绍,目前补贴后的羊八井电站含税上网电价为0.9元/度,并且已经纳入全国可再生能源电价附加分摊项目,经济效益较好。但由于我国地热电价补贴政策为一站一议,缺乏全国统一补贴政策,后续开发的地热电站不一定能够争取到补贴机会。2018年开发的羊易电站没能争取到地热电价补贴,目前上网电价为0.25元/度,亏损严重。业内专家预估,地热发电要想实现盈利,上网补贴电价建议在0.65—0.85元/度。“一旦有合理的电价补贴,政府引导、企业积极参与,我相信中国地热发电很快就能建立起来。”中国工程院院士何继善认为。

除了立竿见影的补贴手段,梯级利用也被认为是能够摊薄地热开发成本的有效手段。地热梯级利用是指根据热能的不同温度进行逐级利用。一般情况下,高温地热首先用于发电,发电后产生的中低温热能可用于供暖、温泉洗浴、养殖等。一次开发,多次利用,将建设成本在延长的利用链中逐级消化。

大理弥渡县建设有全国最大的单品樱桃番茄无土栽培生产基地,其温室大棚需要大量能源维持温度。基地建设企业大理春沐源农业科技分公司负责人曲健很期待地热能梯级利用开发:“地热发电剩余的尾水可以为温室大棚提供热量,节约其他能源消耗。”据曲健介绍,该公司温室大棚每年约消费天然气100万立方米,成本超过500万元,占总成本的30%。“如果将天然气替换为地热能,公司的能源消费成本可以下降三分之一。”曲健表示。

2021年,国家能源局等8部门联合发布关于促进地热能开发利用的若干意见。意见提出,鼓励地方建设地热能高质量发展示范区。鼓励各地开展地热能旅游业、种植养殖业及工业等产业的综合利用。地热能梯级开发利用以及地热能开发运营与数字化、智能化发展相结合,总结各地区可复制、效果好的地热能开发实践经验,及时推广典型案例。

在水热型高温地热资源丰富的云南大理,当地政府正在采取一系列行动,推动地热能有序发展。大理州常务副州长李苏表示,《大理州产业振兴三年行动计划(2022—2024年)》明确将地热能列为重点发展新能源产业之一,探索地热能勘查开发和综合利用模式,建设大理国家级地热能高质量发展示范区。

大理州能源局局长彭建华介绍说,大理通过对弥渡、洱海两个试点县的地热资源勘探,初步优选的区块预计可以开发20—40兆瓦装机的地热发电项目。弥渡小河淌水片区作为第一个试点,以20兆瓦装机发电为主开展梯级综合利用,项目投资大约10亿元,其中6亿元用于发电项目,4亿元用于综合利用项目建设。

大理州相关领导表示,地热发电项目单体的经济性很大程度上取决于国家电价扶持政策。如果国家出台电价扶持政策,将有利于试点项目的顺利推进。除了前期资源勘查配套经费外,大理州也将对地热能研究给予经费支持。下一步他们将研究出台具体的税费减免政策。

(本报记者操秀英对本文亦有贡献)

## 深瞳工作室出品

采写:本报记者 都芃  
策划:刘莉 李坤

进入冬季,云南腾冲的天气逐渐变凉。一场雨过后,最低气温已不足10摄氏度。

但在当地地热海风景区内,一口直径3米的“大锅”正在昼夜不息地翻滚沸腾。“锅”中是从数千米深地下一路冲出地表的温泉水,温度高达97摄氏度,还没靠近就能闻到淡淡的硫磺味。这口锅被形象地称为“热海大滚锅”。

这样的地热温泉在云南星罗棋布,每年吸引众多游客慕名前来体验。但在从事地热能开发研究多年的专家们看来,如此优质的地热资源,如果仅停留在温泉开发,实在可惜。

温泉只是地热能众多利用方式之一。我国地热资源丰富,地热能直接利用规模连续多年位居世界第一,是无可争议的地热大国。

20世纪70年代,我国开始对地热能进行规模化利用,一度掀起“地热会战”。但受当时技术条件限制,地热产业没能进一步发展壮大。

近年来,随着技术的不断突破,以及“双碳”目标的提出,人们再次将目光投向作为清洁能源之一的地热能。

但在沉寂数十年后,高价值利用占比低、商业模式不成熟、管理机制待完善等问题,正困扰着我国地热产业。如何让地热产业“沸腾”,有待各方共同探索。

## 我国地热能直接利用规模全球最大

地热能是地球内部以热的形式蕴藏的能量,其主要来源是地球的熔融岩浆和内部放射性物质衰变。由于地球内部一直在不停地释放热量,因此,地热能取之不尽用之不竭,是可循环利用的清洁能源,被列为五大非碳基能源之一。

地热能种类繁多。按照不同的地质构造特征、热流体传输方式、温度范围等,我国地热资源大致可分为浅层地热资源、水热型地热资源和干热岩资源等。分布区域最浅的仅位于地表下数米,最深的则达地下数千米。

与化石能源储量相对匮乏不同,我国可以算得上是地热能“富国”。2017年,原国土资源部中国地质调查局组织对我国地热能摸底调查结果显示,我国可开发利用规模最大的水热型地热资源储量十分丰富,总量折合标准煤约12500亿吨,其中每年可开采折合标准煤达18.65亿吨,是2022年全国能源消费总量的34%。对于开采难度较大、目前暂不具备大规模开采条件的干热岩资源,其资源储量更是高达856万吨标准煤,潜力巨大,被认为是未来的战略资源。

地热能的开发利用大致可分为直接利用和地热发电两种。对于浅层地热资源,以及中低温的水热型地热资源,通常以直接利用为主,如地源热泵、地热供暖、温泉康养等。对于高温水热型地热资源,地热发电则是价值更高的利用方式。

无论是直接利用还是地热发电,对于水热型地热资源,其利用技术的核心都是“取热不耗水”,即从开采中将蕴含热量的地热水抽取出来,利用换热器吸收水中的热量,随后再将失去热量的冷水通过回灌井重新注入回水层。经过一段时间,地下热源会将冷水重新加热,等待再次开采。整个过程中,地下热源就像一台锅炉,通过不断加热地下水,实现地热能循环利用。这种地热资源开采方式要求必须对抽取的地热水进行100%回灌,以实现“采灌平衡”,保证地热资源可持续利用。此外,还有部分地热发电技术直接利用地热蒸汽进行发电,对地下水的抽取量更低,近乎为零。

根据世界地热大会的统计数据显示,截至2020年底,我国地热直接利用装机容量达40.6吉瓦,占全球38%,连续多年位居世界首位。其中,地热泵装机容量26.5吉瓦;地热供暖



图① 云南腾冲“热海大滚锅”。视觉中国供图  
图② 雄安新区鑫城人才家园地热站。受访者供图  
图③ 我国海拔最高的地热电站羊易电站投运至今,累计发电突破5亿千瓦时。新华社记者 晋美多吉摄  
图④ 地热站员工在对利用地热资源进行供暖的运行设备进行巡检。视觉中国供图