

探觅深地宝藏 ——浅析福建干热岩

庄庆祥

摘 要:福建省濒临环太平洋台湾地热、地震带,其干热岩高温地热能等矿产资源异常丰富;探索福建干热岩勘查与开发梯级综合循环利用的精准科学创新工作方法;对开发地热防震减灾、节能减排开展深入浅出的研究。

关键词:干热岩地热能;地幔对流与地幔热柱构造;防震减灾;节能减排

1 干热岩定义、特征与潜能

1.1 干热岩定义

干热岩又名热干岩(Hot Dry Rock, HDR)是地热资源的重要赋存形式,目前泛指地下 3-10km 深度段热储平均温度 180℃以上的块状岩体,为固体热能矿床。干热岩是名副其实的“热库”,因其储量丰富、分布较广、稳定可靠的特点,成为清洁能源中最闪亮的新星。

1.2 干热岩用途

世界上干热岩地热能的开发利用多采用对井压裂连通回灌地表水的方法,即通过 1-3 口井灌入地表水或回灌余热水,另一口井涌出超高温纯(干)蒸汽(374℃以上)或高温水汽混合(湿)蒸汽(180-374℃)热流体,用于地热发电为首的余热能(90℃左右)梯级综合循环利用。干热岩热储温度越高,可开发利用价值越大。如:建筑空调制冷、取暖,滑冰场、滑雪馆、冷库、地暖;工业发电,工农产品脱水、烘干加工;畜牧业、养殖业反季节养殖,名贵花卉种植;城市居民区、酒店温泉水供应等。目前,世界上干热岩地热能的开发利用仍处于科研阶段,尚未商业运行。毋庸置疑的是干热岩的科学开发利用将有助于体育、医疗、康养等诸多领域的发展建设,是未来人类社会生产、生活中,无可取代的可再生清洁能源。

1.3 福建干热岩特征与潜能

福建省地处环太平洋台湾地热、地震带内的地幔对流与地幔热柱大地构造带上,主体干热岩是高热导率、大生热率(为全球同期次花岗岩平均值的 1.5 倍)的各期次优质干热岩花岗岩,约占全

省干热岩面积的 2/3 以上,连成一片的优质花岗岩干热岩面积在中国大陆位居首位。但干热岩花岗岩热源、热储、热通、热盖等介质的不均匀性、各向异性、非线性这一特征决定了福建花岗岩介质内热流运移、上涌、分布、富集等特征极不均匀,造成超高温、高温热流高度汇集于成山成盆、成岩成矿、成热、成灾(地震、火山等地质灾害)、地应力场和地球物理、化学场异常、众多不同方向新构造活动断裂交汇强烈活动的第四系活裂谷中。如福建省境内分布着的众多具地壳下沉地幔上隆镜像倒影特征,地堑式的大陆地壳和岩石圈最薄的福建的海湾(宁德、福州、泉州、厦门、东山等大小不一的十余个海口平原);河口平原(闽江、木兰溪、晋江、九龙江等近十个河口平原);断陷盆地(福州、晋江、漳州等近十个断陷盆地)、山间盆地(邵武、永安、清流、龙岩、上杭、华安沙建汰内、平和、南靖、长泰、德化、安溪、德化等数十个山间盆地)、新生代以来大幅度地堑式沉降的台湾海峡西部第四系活裂谷等负地形的地堑式构造地貌单元(6)。针对各地热、地震构造地貌单元,笔者进行全面、综合、系统地开展地热潜能评估后,科学精准地鉴别、遴选出福建(包括所属的台湾西部)超高温(大于 374℃)、高温(180—374℃)、中高温(150—180℃)干热岩地热资源富集的重点工作靶区和次重点工作靶区,从而佐证福建大陆及台湾海峡西部干热岩地热等矿产资源极其丰富,综合开发利用潜能无限。

1.4 创新干热岩勘查与开发利用科学方法

大胆应用逆向思维创新工作方法,采用多领域、多学科、多技术互相碰撞交融、集成创新,形

成福建干热岩地热地质勘查与综合开发利用的全新工作方法;对福建壳、幔密度结构、电性结构、磁性结构、地震波速结构进行高精度的刻画与高分辨率信息的获取,充分应用与结合;认真仔细观测收集到的深部热物质活动与深部高温岩体八大异常地质响应强度蛛丝马迹等丰富多彩客观真实的证据,开展全面系统性综合研究;越过地平线,去捕捉、抚摸福建干热岩热源、热储、热通、热盖、地热能分布特征、富集规律、干热岩必要条件与充分条件等关键地质问题的脉搏;以深部热物质活动与深部高温岩体八大异常地质响应的强度和地热等矿产富集程度为标准,科学合理布置地热地质勘查工作量,精准划分重点工作区、一般工作区、简单工作区;科学精准划分干热岩重点工作靶区和次重点工作靶区,从中遴选确定深孔孔位,提高命中率,将深孔钻探风险降到最低,努力降低勘探成本;大胆实施以地热发电为首的地热能梯级综合循环利用,采用“矿—热共采”方案,达到大幅度降低生产成本和热灾害的风险,实现碳中和、碳减排的目标。

1.5 节能减排潜能

我国人口众多、地大物薄,福建的矿产资源尤为匮乏,无油气少煤始终制约着福建的经济建设。改革开放以来,福建东南沿海经济飞速发展,化石能源消耗与日俱增,环境污染严重。过量开采的浅层地热水等浅层矿产资源面临枯竭危险,急待开发利用可再生能源——干热岩等清洁能源。

众所周知,干热岩地热能是取之不尽、用之不竭的可再生清洁能源。在可再生能源家族中,干热岩热资源量仅次于太阳能,每年从地球内部传播出热量相当约 500 亿吨标准煤。地球现处于中、壮年期,还有 46 亿年,若按中国 3-10km 段干热岩地热资源量(相当标准煤 856 万亿吨)的 2%计,可相当于目前地球每年能量消耗的数千倍。由此可见,干热岩地热能潜能无限大的一斑。

如上所述,福建干热岩所处大地构造优势十分突出,干热岩地热资源量极其丰富,初步估算约相当标准煤 60 万亿吨,是典型的干热岩地热能大省,在中国东部、中部、北部和南部各省中首屈一指;其温泉密度、温度、地震频度和烈度、新构造断裂活动、中、新生代、第四系火山与岩浆活动等

强度和活动期长等均位列中国大陆前茅,昭示着福建干热岩高温地热等矿产资源非常丰富。若按福建省干热岩 3-10km 段地热资源量(相当标准煤约 60 万亿吨)开采率 2%计,可代替标准煤 1.2 万亿吨,减少排放污染物二氧化碳 2.866 万亿吨,二氧化硫 0.0204 万亿吨,二氧化氮 0.0072 万亿吨,悬浮质粉尘 0.0096 万亿吨,煤灰渣 0.12 万亿吨。由此可见,综合开发利用干热岩地热能,节能减排、防震减灾社会效益与经济效益都十分显著,是一项功在当代,利在千秋的伟业!

2 开发地热防震减灾

诚如,俄罗斯地震学家伽利津所言:可以把地震比作一盏灯,它燃着的时间很短,但却照亮着地球的内部,从而使我们能够观察到那里发生了什么。这盏灯的光目前还暗淡,但毋庸置疑,随着时间的流逝,它将越来越明亮,并将使我们能理解这些自然界的复杂现象……这个比喻是十分贴切的,他启发我们大胆采用逆向思维科学创新方法,从地热与地震孪生、二者可以互相转换的内、外在联系(全球三万余处温泉没有一处位于大、强破坏性地震震中区,即以地震能释放为主区域,浅层地热资源贫乏,没有温泉露头;而以地热能释放为主区域温泉密布,不发生破坏性大、强地震,为地震安全岛)入手;对大地震成因进行深入探讨,在全球首创大地震核爆成因;进而探索出大地震震源体核爆的四大控制因素(封闭环境、高温、高压、核类物质富集浓缩度达到 90%);摸索出开发释放地热能,消除大地震核爆四大控制因素,转换地震能量,创建地震安全岛,达到转危为安,变废为宝等防震减灾、节能减排的目标。可以肯定随着科技进步,政府的重视,社会大量投入,开发利用、释放地热能,实现防震减灾的目标指日可待。

3 创新成果与结论

综上所述,当今全球能源与环境危机的出路在于替代常规化石能源的新能源开发利用;地热能以热能储量巨大,取之不尽用之不竭,不受天气、昼夜、温差变化影响,利用率最高、最稳定,无污染等独特优势,成为新能源家族中核心一员,干热岩是地热能的希望与未来;伴随迫在眉睫的地

震危险带上的地热能开发推广利用,必将有越来越多的地震安全岛诞生,大地震发生的概率、频率将越来越少,震级与烈度将越来越小;干热岩增强型地热系统在全球普及之时,必然会是全球大地震和火山喷发等地质灾害消亡之日,这是全球意义的发明与预言。

通过以福建大陆与台湾海峡西部深部热物质活动与深部高温岩体地震、地热异常等八大异常地质响应的强度大小、热流(地热资源)密度与活动强度大小等地热能富集程度与变化规律为标准依据;遴选出 20 个干热岩重点工作靶区、9 个干热岩次重点工作靶区(其中,福建大陆:厦门湾河口平原、龙海河口平原、漳州与福州断陷盆地、华安沙建汰内山间盆地等 16 个干热岩重点工作靶区和漳浦盘陀一火田一孙坑、古田一屏南一周宁一寿宁等 7 个干热岩次重点工作靶区;台湾海峡西部的乌丘屿拗陷、厦澎拗陷等 4 个干热岩重点工作靶区和珠江口盆地、台湾浅滩等 2 个干热岩次重点工作靶区)(6)(7),扎实做好验证深孔和开采深孔施工之前的高精度、大比例尺干热岩地热地质普查工作,从中比较优选出验证深孔孔位,科学精准布置开采孔孔位,提高命中率,从而克服了干热岩深孔钻探(深地工程)风险大、成本高的瓶颈难题;探寻出干热岩地热发电为首的梯级综合

循环利用的高效方法,排除了干热岩勘查与开发利用成本高、风险大的拦路虎。

福建地处环太平洋台湾地热、地震带内地幔对流与地幔热柱构造上,高温干热岩地热资源异常丰富,优势十分突出。但也存在着干热岩地热资源分布极不均匀,干热岩深地工程成本高、风险大和深受地震灾害威胁的劣势,喜忧参半。福建省应十分珍惜自然赋予福建高温干热岩地热资源,开发利用好这一得天独厚的矿产资源,充分发挥福建干热岩地热等矿产资源优势,科学应用好来之不易的福建干热岩科研成果;在福建首创干热岩示范区项目,全面系统开展福建第二、三空间干热岩地热等矿产资源勘查与开发利用,勇于探索深地工程地球科学的奥秘;并在全中国率先实现地热科学化、产业化、规模化、集团化、普及化的综合开发高效利用模式,实现防震减灾、节能减排的目标,消除大地震对福建人民的长期威胁,造福福建人民。

科学开发利用干热岩地热能,从根本上摘除福建矿产资源长期短缺的帽子,为福建经济腾飞插上双翼使之成为福建靓丽的新经济增长极,让福建经济尽早驶向高效、健全、可持续发展的快车道,助力实现“双碳”目标。

参考文献略

四部门联合发文 ——地热发电再上榜!

地热产业工作委员会

近日,工业和信息化部、科技部、国家能源局、国家标准化管理委员会联合印发《新兴产业标准化领航工程实施方案(2023—2035 年)》,全面推进新兴产业标准体系建设,引领新兴产业高质量发展。到 2025 年,新制定国家标准和行业标准 2000 项以上,培育先进团体标准 300 项以上,以标准指导产业高质量发展的作用更加有力。

在新能源发电领域,研制光伏发电、光热发电、风力发电等新能源发电标准,优化完善新能源

并网标准,研制光储发电系统、光热发电系统、风电装备等关键设备标准。研制槽式、塔式、菲涅尔发电配套技术,大容量储热技术、高参数发电技术等光热标准。开展利用生物质能、地热能等发电标准预研。

在碳达峰碳中和领域,研制组织温室气体排放量、项目温室气体减排量、产品碳足迹核算核查标准。研制源头控制、生产过程控制、末端治理、协同降碳等技术装备标准。研制温室气体排放

监测技术、分析方法、设备及系统等监测标准。研制绿色低碳评价、碳排放管理、碳资产管理等管理与评价标准。

在工业节能领域,研制重点行业先进节能技术工艺、重点用能设备系统节能改造等设备节能标准。研制分布式能源、工业绿色微电网、可再生能源、余热余能回收利用等节能方法与技术应用标准。制修订能源计量、能效测试、能效评估、能量系统优化及梯级利用、能源管理体系、能源绩效评估、能源审计、节能监察、节能服务等配套管理服务标准。

在能源计量方面,今年 8 月,北京市市场监督管理局官网发布了北京市地方标准《能源计量器具设置和管理规范 地源热泵系统》征求意见稿,规范地源热泵系统能源计量器具设置和管理。



图为西藏羊易地热电站外景

2023 年 4 月,国家标准化委员会等十一部门联合印发《碳达峰碳中和标准体系建设指

南》提出,在海洋能、地热能领域重点编制、修订海洋能发电设备测试、评估、部署、运行等标准以及地热能发电设备标准;2023 年 8 月,国家发改委等部门发布《关于做好可再生能源绿色电力证书全覆盖工作促进可再生能源电力消费的通知》提出,“对生物质发电、地热能发电、海洋能发电等可再生能源发电项目的上网电量,核发可交易绿证。”

何为地热发电?国家能源局 2019 年 3 月 1 日发布实施的《地热能术语》指出:“利用地热流体所运载的热能转换为电能的发电方式。”

地热发电是稳定可靠的可再生能源,年发电利用小时数高达 8000 小时以上,可媲美核电,远高于风电和光伏。同时,地热发电还具有平均寿命周期内碳排放量低、负荷运行稳定、可调频调压、土地资源占用少、不受天气影响等优势特性,尤其在云南、四川等水电大省枯水时可派上大用场。在我国多元互补的新型能源体系中,地热发电应有一席之地。

截至 2020 年底,我国地热发电装机容量为 44.56 兆瓦,远未达到“十三五”规划提出的新增装机容量 500 兆瓦的目标。目前,国内企业已掌握了地热发电关键技术和成套装备核心技术,形成了地热发电规模化发展能力。业内人士认为,如果缺少政策支持,地热发电存在第二次无法完成国家规划的可能。

转自《地热能资讯》

瑞典利用地下洞穴储热供暖

郑 帆 编译

(中国技术监督情报协会地热产业工作委员会)

瑞典的一个项目将曾经储存石油的洞穴变成了巨大的热水瓶,展示了不同规模、不同温度的地下热能储存,表明这一技术在走向净零的过程中可以发挥重要的作用。

该研发总部设在维斯特斯(距斯德哥尔摩约 100 公里)的瑞典 Malarenergi 能源公司,已经开始了该项目的研发,将 20 世纪 70 年代用于储存石

油的 30 万立方米的巨大洞穴改造为地下热储,用于瑞典的城市供暖。洞穴分为三个平行且独立的部分。到 20 世纪 80 年代中期,这些洞穴内已经没有化石燃料,并充满了石油残渣。

洞穴目前已经进行了净化并清洁,公司热电业务部门负责人丽莎·格兰斯特伦介绍称:“我们现在正在安装管道和热交换器。”她预测新设施将于

2024 年全面投入运营。到时将蓄满 30 万立方米的水,温度保持在 95 摄氏度左右,洞穴充当保温体,最大储能容量为 13 吉瓦时。



洞穴可存储 30 万立方米的水,保持在 95 摄氏度左右,最大储能容量为 13 吉瓦时

巨大的能量收集器

目前,位于维斯特斯的市热电联产厂(CHP)采用锅炉可满足该市 98%家庭的热热水需求,同时生产电力。热电厂使用三种基本燃料:废物、木材和生物质,都是来自“社区不再需要的东西”,从而避免了使用石油、天然气或煤炭。

格兰斯特伦表示:“区域供暖的需求在一年中时高时低,每一天也均如此,冬季和早晨沐浴时间是高峰期。为了应对这些高峰,有两个大型热水器用于在需求较低时储存热水,在需求上升时使用。就如同蓄电池一样,只不过储存的是热水。它们足以控制那些早高峰用能量,也可以在我们的 CHP 生产出现故障的情况下使用几个小时,但它们不适合更长的时间。”



正在维斯特市地下建造的大型储能器将实现更可持续的生产

格兰斯特伦解释说:“目前正在地下建造的大型储能器将解决这个问题,并让我们更加可持续的生产。当冬天气温下降或出现供应故障时,我们将不必运行额外的锅炉。该项目是公司实现净零排放的又一步。我们正在调研碳捕获与储存,所以我们的生产将不仅是净零,而且是负碳的。”

在芬兰赫尔辛基的 Mustikkamaa 岛地下 80 米的地方也有类似的应用,作为海伦能源公司项目的一部分 现已投入运营。芬兰洞穴的储存量为 26 万立方米,能源产能约为 11500 兆瓦时。该设施储存废水产生的热量,温度保持在 45 至 100 摄氏度之间,全年为大约 25000 套一居室公寓供暖。

低温储存的好处

英国利兹大学地球能源工程教授 Fleur Loveridge 指出,瑞典项目和芬兰装置的新颖之处在于规模和温度。“低温热能储存一直都在发生,它正在被诸如地源热泵或“高效”系统等技术所利用,这些系统可以从冷却建筑物中捕获废热。

关于这一点,研究人员引用了位于瑞典 Emmaboda 的 HT-BTES 木质工厂的研究案例。该厂占地 33 万平方米,拥有一个铸造车间和其他废热来源。为了储存这些热量并提高其回收率,一个由 140 个钻孔组成的系统于 2010 年投入使用,每个钻孔深 150 米,四年后,温度保持在 45 摄氏度左右。在 2018 年至 2021 年期间,连接该设施热点的内部热泵供热系统产生了 7340 兆瓦时的热能,其中 5900 兆瓦时来自储存的部分。

Loveridge 本人参与了 ICE 出版社于 2022 年出版的《英国利用地下基础设施的热能回收和热能储存潜力》论文的研究,该论文着眼于地下设施(通常是运输隧道)成为热能储存和热能回收场所的潜力。



位于维斯特市的热电联产厂采用锅炉可满足该市 98%家庭的热热水需求

“地下热能储存是我们能源系统的重要组成部分。它可以在不同的规模和温度下发生,需要进一步开发这些方案,以适应地理环境、地质条件或需求。”

中肯地热发电项目助力肯尼亚加快能源转型

李卓群，李 成，王冠森

(新华社 内罗毕)

近年来，肯尼亚经济增速在非洲国家中名列前茅，电力需求也随之显著攀升。然而，电力供应短缺、电价过高成为制约其经济发展的主要瓶颈之一。

为弥补电力缺口和控制发电成本，肯尼亚政府计划加速建设地热发电设施。在此背景下，中国企业积极响应“一带一路”倡议，凭借自身技术与成本优势，助力肯尼亚加快推进能源转型。

1 自然景区里的地热发电站

在非洲东部的肯尼亚，东非大裂谷纵贯南北。得益于这条世界闻名的裂谷带，肯尼亚拥有丰富的地热资源，其发电潜能预计超过 10000 兆瓦，但目前该国地热发电装机容量只有 950 兆瓦。

梅嫩加伊火山口位于大裂谷底部，是极具成本效益的地热开发地点。同时这里草木繁茂、风光旖旎，每年吸引全球大量游客。

2011 年，肯尼亚地热开发公司在梅嫩加伊地区探明地热发电潜能约 1600 兆瓦。但因种种原因，开发计划被搁置。

2021 年，肯尼亚重启梅嫩加伊地热开发，一期规划的发电装机容量为 105 兆瓦。来自中国浙江的开山集团获得一期首个 35 兆瓦地热发电站——索西安地热电站的总承包。项目于 2021 年 1 月开工，2023 年 6 月底投产送电。

建成投运的该地热发电站与群山融为一体，水管蜿蜒穿行于林间，不时有狐獴、山韦羚、黑脸长尾猴从此经过。

项目承建方中国电建福建工程有限公司高级工程师邓超说：“由于这所地热发电站地处自然风景区中，对项目的环评非常严格。再加上地热的清洁能源属性，该地热发电站从建设到运营可以称得上是全环节绿色无污染。”

2 “100%中国技术” 备受关注

索西安地热电站是非洲首个从设计、产品生产到建设、调试完全由中国企业独立完成的地热

发电站。“100%中国技术”让这个地热发电站备受各方关注。

开山集团肯尼亚项目负责人李海涛介绍，比较其他国家企业的设备，开山集团的发电设备每年停机检修的必要时长更短，全年发电总时长已突破 8000 小时，达到世界领先水平。正因如此，非洲地热发电市场首次接受全套由中国研制并生产的发电设备。

中企的施工效率和成本优势也是肯尼亚方面关注的重点。“中企设备成本约比其他国家企业低 20%左右，同时我们具备建设周期短的优势。建设同样规模的 35 兆瓦地热发电站，中国电建仅需 16 个月。”邓超说。

3 中肯合作助力加快能源转型

长期以来，肯尼亚的电力大部分来自地热和水力。今年初，肯尼亚能源和石油监管局局长丹尼尔·基普图表示，该国 86.98%的能源供应来自可再生能源。最新数据显示，肯尼亚的地热和水力发电量分别占其总发电量的 39.15%和 26.47%。

但近年来，肯尼亚遭逢持续干旱，水力发电明显减少。在此背景下，稳定的地热发电成为肯尼亚能源转型首选。

根据肯尼亚制定的 2030 年愿景，该国将在 2030 年前实现 100%清洁能源发电，这其中地热发电的装机容量将达 1600 兆瓦，占全国发电量的 60%。

肯尼亚地热开发公司的项目工程师摩西·卡丘莫认为，索西安地热电站极具示范意义。卡丘莫表示，中国设备和施工质量在运营阶段表现稳定，中企在未来将能获得更多订单，肯尼亚地热发电领域也将会应用更多的中国工程技术和金融模式，从而加速推进能源转型。

转自《地热与温泉》

来源：新华网