

“一口井”让干热岩取热不再难

超长重力热管成深层地热高效开发新途径

■本报见习记者 池涵

地热资源是一种极具竞争力的战略接替能源,按载热介质可分为水热型和干热岩型。干热岩热能开发尽管概念出众、潜力巨大,但国际开发经验表明,深层干热岩中的热能难以取出,开发项目大多人不敷出。

好消息是,近日,中国科学院广州能源研究所研究员蒋方明团队在干热岩超长重力热管取热研究方面获得突破。研究人员将一根独特的重力热管安装在数千米深度的地热单井中,成功实现从干热岩中持续取热,并将热能传输至地面。

蒋方明认为,该进展不仅为干热岩热能的开采找到了一种全新的技术途径,也为水热型地热资源开发利用提供了一种“只采热、不采水”的解决方案。并且,该技术具有高效、稳定、运行成本低的特点,有望实现较好的经济效益。

只要一口井的“地下锅炉”

“简单来说,热管就是在一个真空管体内注入一定量的液态工质。而重力热管是热管的一种,它依靠重力实现流体工质的循环流动。”蒋方明告诉《中国科学报》,“液态工质在热管底部蒸发并流向热管顶部,冷凝放热之后液体再在重力作用下回流至热管底部,从而持续将热量从热管底部传输至顶部。”

虽然热管技术在航空航天、化工、电力等领域已经有广泛的应用,但通常来说热管的长度一般都在10米以内,若长度超过10米,热管的传热性能就可能大幅下降,难以维持良好的均温性。

在过去几十年的发展,重力热管技术的主要难题是如何在长距离、高传热量的运行工况下实现管底工质的高效蒸发相变,减少湿蒸汽的流动阻力,避免气液卷携效应,提高系统高效稳定性。

也就是说,蒸汽和液体在狭窄的管道中可能会“撞车”。

“这个难题在我们开展的取热试验的设计实施过程中,已经通过热管结构设计和工质优选等方式实现技术突破。”蒋方明介绍称,他们依据具体的地热井地温参数和水文条件优化结构设计及优选工质,使管内外传热物质充分耦合,达到最佳的采热效果。

“我们研发的新型超长重力热管技术,将热管的有效传输距离提升至3千米以上,从而可以实现对埋藏数千米深的地热能的开采。”蒋方明说,他们在近期进行的现场试验中,在地下取热段岩石平均温度为119℃的地热条件下,地面获得了温度最高达90℃的饱和水蒸



冷却塔正在释放经由重力热管传导至地面的热量。 黄文博供图

气,持续采热功率接近200千瓦。

中国科学院广州能源所博士后黄文博告诉记者,重力热管采热系统类似在地下数千米深处建设了一个“超级锅炉”,“锅炉”的“燃料”即是干热岩中的热能。“锅炉”产生的蒸汽通过数千米的管道自发地流向地面,此后利用蒸汽所包含的内能(主要是潜热)进行发电、供暖,甚至驱动热泵制冷。

此外,记者了解到,该技术并不仅限于干热岩型地热资源的开采。作为一种“只采热不采水”“无泵驱”的高效单井地热开采技术,其也能够在地热水开采受限的区域开采水热型地热资源,其应用范围宽广,并有形成标准化产品的应用前景。

有望解决应用中的工程问题

蒋方明告诉记者,相对于水热型地热资源

源,干热岩的优点可以归结为三点。

一是质好,即品位高。其原因在于干热岩的高温储温度。数据显示,在10千米深度,青藏高原和帕米尔高原的干热岩热储温度可达450℃,其它地区可达250~300℃,高于75℃的占98%。

高品位的热能决定了干热岩地热能的利用模式不局限于供暖,还具有极大的发电制冷等综合利用的潜力。与太阳能、风能等其他可再生资源相比,地热能的能量输出具有高度的稳定性和持续性,不受气候、昼夜交替影响,可用作基础负荷。地热发电系数高达72%~80%,是风能的3~4倍、太阳能的4~5倍。

二是量大。在地热能中,水热型的地热能仅占不到10%,而超过90%的都为干热岩型地热能。计算结果表明,中国大陆(3~10千米深度)干热岩地热资源总量为 20.9×10^{12} 焦耳,合 714.9×10^2 吨标准煤,当量相当于目前全球已探明可采石油储量的50倍。若按2%的可采资源量计算,则是传统水热型地热资源量的168倍,相当于中国2019年能源消耗总量的近3000倍。

三是分布广。在中国境内,干热岩型地热分布广泛,除了青藏高原等温度高、储量大的干热岩靶区以外,京津冀环渤海地区、华南地区等能源需求紧张的地区,也分布有干热岩型地热资源。

既然干热岩资源绿色环保、质优量大,那么目前的应用状况如何呢?

据黄文博介绍,增强型地热系统(EGS)是一种工程实践较多的干热岩型地热开采方案。该系统通过水力压裂在两井或多井间形成连通的裂隙网络,再通过抽注流体工质的方式,让工质在地下岩体中循环流动,从而持续开采地热能。这种方式的出水温度与采热量都很高,具有规模化发电潜力,是长期以来开采干热岩热能的主流发展方向。

但就目前来看,该技术仍存在井下连通困难、工质损失严重、投资过高、技术风险大等问题。在世界范围内,迄今仅有极少数工程项目能够实现持续的商业化运行。

“这种技术概念看起来很好,但国际地热界四五十年来的实践证明,该技术一次性投入太大,投入产出比太低。”中国科学院院士汪集旸告诉《中国科学报》,“比如法国的苏尔土地热项目总计投入近百亿欧元,但在发出的电仅2000千瓦,电站本身还要用掉至少200万千瓦,最后能拿到手的也只有1000多千瓦时。”

而重力热管技术相对于EGS的优势在于结构简单,不需要或很少需要水力压裂,投资

较小,且管内工质不与地下岩体直接接触,取热工质仅在封闭腔体内流动,没有腐蚀、结垢、工质损失等问题。此外,热管系统产出气体工质,气体工质热利用的方式比高温水更加多样化,发电、制冷和供热都可以直接使用,无需进行闪蒸就可以直接驱动汽轮机进行发电,大幅简化了地面设备结构。

蒋方明认为,在我国北方地区,该技术能够高效地与地源热泵技术相结合进行供暖,可以获得更高的能量转化效率。

干热岩依然不失为潜力股

2012年中国地质调查局展开了全国范围的干热岩资源调查评价。2017年年初,国家发展改革委、国家能源局、国土资源部联合公布了《地热能开发利用“十三五”规划》,其中提到干热岩的勘探评价重点区域为:藏滇高温地热带、东南沿海、华北-松嫩平原等地。

其中,青藏高原南部占中国大陆地区干热岩总资源量的20.5%,温度也最高。青海共和盆地圈定了干热岩体并成功钻探,在其中一个3705米勘探孔,测得孔底温度达到236℃,已构成圈定干热岩资源靶区十字剖面的基础条件,表明我国具有国际认定标准的优质干热岩资源。

其次是华北和东南沿海中生代岩浆活动区(浙江、福建、广东),分别占总资源量的8.6%和8.2%;东北(松辽盆地)占5.2%;云贵西部干热岩温度较高,但面积有限,占总资源量的3.8%。近年来,在华北平原的河北唐山,东南沿海的广东阳江、惠州,福建漳州,海南福山等多个地区均发现优质的干热岩资源,证明上述地区具有较大的干热岩资源潜力。

据蒋方明介绍,该团队自主研发的3000米长度重力热管,近期已在河北唐山海港经济开发区马头营一口干热岩地热泵井内成功开展了取热试验。试验结果显示,在地下取热段岩石平均温度为119℃的地热条件下,经过人工压裂的情况下,地面获得了温度最高达90℃的饱和水蒸气,持续采热功率接近200千瓦。

“这是世界范围内首次实现干热岩地热资源的重力热管技术‘无泵式’开采,取得了干热岩地热资源开采技术的重大突破。后期我们将在雄安新区等地开展进一步的应用示范。”蒋方明说。

汪集旸认为,地热资源是一个聚宝盆,有很多问题亟待解决。重力热管单井长距离取热技术的突破,不仅能让干热岩资源更接近实用,对于水热型地热资源仍可持续开发,对于众多老油田的水、热资源再利用也有很多潜在价值。

视点

发展新能主要是为了解决石油危机与环境污染问题,氢能则起到了一石二鸟的作用。

那么,当前,约束氢能发展的主要因素有哪些?

第一,氢能是体积能量密度最小的能源,且极易泄漏,在密闭空间里很容易因为聚集而发生爆炸;第二,氢气制造成本虽然不高,但储运成本却很高,加氢站建设成本则更高。

由此可见,氢能虽然前景很好,但气态并不是最好的能源载体,各种液态形式才是最佳选择。液态形式有着能量密度高、可大规模运输、易实现低成本跨海输送等优点。另外,高压气态燃料电池汽车不适宜地下停车场等封闭空间场景,甲醇重整制氢燃料电池汽车则可以解决这一难题。

一升甲醇和水反应可以释放143克氢。我国的甲醇大多是通过煤炭来制取。由于我国煤炭资源丰富,所以甲醇取之不尽。

此外,采用甲醇制氢的路线,投入重资建设的加油站、加油站等基础设施就可以很好地利用起来,而不需要重新投资建设加氢站。所以,大有前途的氢能首先要选对技术路线。

电解水制氢并不是新技术、新事物,但是至今为止还没有任何一家炼油厂使用电解水路线来制氢,因为天然气和煤制氢成本更加低廉。如果电解水制氢成本低于天然气制氢、煤制氢,那么这些炼油厂、化肥厂马上就会更换电解水制氢工艺。

因此,经济性决定一切。很多人建议用风电、光伏发电来制氢,但即使风电、光伏的电价为零,由于电解水设备昂贵,经济上仍然不可行。当然,如果全球统一规定不能再使用化石能源,那就另当别论了。

不过,中国目前煤制甲醇也存在诸多缺点,因为只有优质煤才能制甲醇,但中国大部分煤炭为劣质煤,劣质煤炭不仅价格高且资源有限。所以,本人建议可以把劣质煤中大量的矿物质在燃烧前将其分离出来,做成有机肥进行土壤改良。因此,用劣质煤进行甲醇制氢,无论从技术上是经济性上都是完全可行的。

综上所述,甲醇是天然气、煤炭和氢能源的完美载体。甲醇与气态氢相比,能量密度更高,储运更安全。甲醇与氢能结合的路线是解决中国石油短缺和环境问题的重要路线之一。

(作者系南方科技大学清洁能源研究院院长,本报记者李惠钰根据其于“2020长三角国际氢能产业技术峰会”上的发言整理)

甲醇是氢能完美载体

■刘科

资讯

国家能源局将加快推进电力工程建设

本报讯(记者李惠钰)7月17日,国家能源局举办三季度网上新闻发布会,发布全国能源生产消费有关情况。国家能源局指出,全国能源生产消费逐步回升。从消费侧看,进入二季度,能源消费量明显回升,电力和天然气消费量持续增长,已经超过去年同期水平,成品油消费逐步回暖。

数据显示,一季度全社会用电量同比下降6.5%,从4月份起,用电量同比实现正增长,增速逐月提高,由4月份的0.7%回升到5月份的4.6%、6月份的6.1%,上半年累计用电量同比下降1.3%,比一季度降幅收窄5.2个百分点。

国家能源局指出,接下来要积极推进重大输电通道工程规划建设。国家能源局协调电网企业在做好疫情防控的同时积极复工复产,重点推进内蒙古西至晋中、张北至雄安、驻马店至南阳特高压交流工程、张北柔性直流工程、青海至河南、雅中至江西、陕北至湖北特高压直流输电工程,乌东德电站送电广东广西特高压多端直流示范工程,云贵互联通道工程等重大电网工程建设。

截至目前,张北柔性直流工程、云贵互联通道工程已建成投产,其余工程正在抓紧建设。上述项目总投资约1042亿元,今年拟安排投资约284亿元。与此同时,积极推动跨省跨区输电通道合作协议签订工作,并于

中亚风电市场进入4兆瓦时代

本报讯 近日,新疆金风科技股份有限公司(下称“金风科技”)以技术、商务、总分三项第一的成绩,成功中标哈萨克斯坦札纳塔斯二期100兆瓦风电项目(下称“札纳塔斯二期项目”),并完成项目签约。由此,中亚风电市场进入4兆瓦风机时代。

据悉,札纳塔斯二期项目所在地平均风速较高,且极限风速分布不同。金风科技通过全场机型定制化设计、塔架基础一体化设计,以度电投资最低和收益率最高为原则最终确定了GW155-4.5兆瓦机组排布的最优方案。

该项目位于哈萨克斯坦江布尔州,场址中心距离札纳塔斯市区约9公里,投产运行后预计每年可发电35.64万千瓦时,满足哈萨克斯坦当地十几万家庭的日常用电需求,直接改善哈萨克斯坦南部部分地区的电力短缺现状。据粗略计算,相比同等容量的火电,该项目商

业运行后,每年可为当地节约标准煤约11万吨,减少二氧化碳排放量约30万吨,减少烟尘排放量近14吨。该项目是金风科技在哈萨克斯坦的第三个风电项目。(计红梅)



位于哈萨克斯坦的金风科技奇利克(Shelik)项目现场

从造纸原材料到阴性电极

碳气凝胶走出空气电池新路径

■本报见习记者 任芳青

在华南理工大学制浆造纸工程国家重点实验室,研究人员正小心翼翼地透过透明塑料壳中取出一块黑乎乎的材料。它的质地看起来像一块烤焦的蛋糕,但每立方厘米的质量只有几毫克。当人走过,切“蛋糕”时产生的小碎屑会在空气中飘浮一会儿,再缓缓飘落。

这黑乎乎的“蛋糕”其实是实验室成员、华南理工大学轻工科学与工程学院教授彭新文团队新制备出的碳气凝胶。将其应用在锌空气电池中,每立方厘米20毫安时的大电流密度下,电池容量可达648毫安时/克。相关成果近日发表于《先进材料》。

彭新文告诉《中国科学报》,这种碳气凝胶的骨架源自纸张中的纤维。在微观层面,研究者对用于造纸的木质纤维进行结构设计和调变,为这种古老的生物质找到了一片新天地。

缘起生物质 碳气凝胶跨界电池应用

彭新文课题组的研究方向是高性能生物质材料与纸基材料。纸基材料即木材、秸秆等生物质,它们的主要成分是纤维素和木质素,将纤维直径控制在纳米层级,就可以得到柔性、长径比、机械性能俱佳的纳米纤维素,与石墨烯、二维纳米管等一道,被研究者用作基础构件材料。

在本月发表的研究中,彭新文课题组开发出的碳气凝胶就是以纳米纤维素为骨架。论文第一作者、课题组已毕业硕士生吴坤泽告诉《中国科学报》,因其柔软多孔的特性,碳气凝胶又被称为碳泡沫。当碳泡沫与石墨烯材料相复合,就表现出优越的基础物性性能。“机械强度很高,又有很好的水分散性。”

实际上,该课题组专注碳气凝胶研究已有数年。起初,彭新文等人用这种材料制备出柔性压力传感器,搭载于可穿戴设备的电子器件上,可灵敏监测电化学信号。在制备过程中,研发团队发现,掺杂氮和金属等物质后,碳气凝胶就有了催化活性,可作为还原和氧析出双功能催化剂。

“这实际上是燃料电池的工作原理。”彭新文说,结合先前在燃料电池领域的研究背景,她与课题组其他成员开始思考,如何设计将碳气凝胶用作空气电池的阴性电极。

“具有孔道结构的碳气凝胶,本身就具有良好的导电性和机械稳定性,对其进行调变,给它一些催化活性,就能让上这种材料既充当催化剂,同时又发挥出导电载体的作用。”吴坤泽表示。

自2013年以来,该领域内的许多研究团队都

在着手碳气凝胶的研发。这种热稳定性和导电性俱佳的材料孔隙率可达80%~99%。具有波浪片层结构、仿生结构的碳气凝胶在此期间相继问世,其制备方法和性能也在不断改善。

但在此之前,并未有将纤维素碳气凝胶用于空气电极的研究报告。若想实现这一目标,意味着碳气凝胶既要维持高孔隙率、强机械性能,还要发挥稳定、高效的电催化性能。

一石三鸟 冷冻浇筑让材料“听话”

过去,制备碳气凝胶的方法包括水热法、化学气相沉积法、模板法等,但它们往往无法在可控性和低成本之间取得平衡。为此,研究者盯上了陶瓷制造领域的老方法——冷冻浇筑法。

“碳气凝胶要有丰富的孔隙结构,冷冻浇筑法可以保证这一点。而且它的经济性很好,纳米纤维素等生物质材料也能和冷冻条件相配合。”吴坤泽介绍。

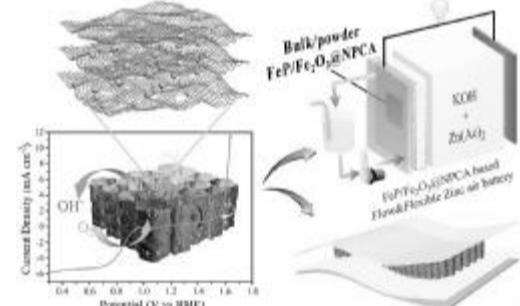
实验中,研究组以纳米纤维素和石墨烯为碳骨架,通过控制冷冻过程中的温度梯度,让作为衬底的水溶液按固定方向凝为冰晶。形成的冰晶衬底和骨架仿佛千层饼般相互叠合,此时进行冷冻干燥,冰晶升华消失,再对材料进行碳化处理,最终有层间距、呈堆积结构的碳气凝胶就诞生了。

高孔隙率和机械性能有了保证,碳气凝胶的催化性能从何而来?前期制备时,研究者会在前驱体中添加氯化铁和植酸酐的耦合剂,同时添加氨基葡萄糖作为小分子氮源,从而实现铁金属的负载和氮磷的掺杂修饰,确保碳气凝胶具备催化性能。

“掺杂了氮、磷、铁后,碳气凝胶制成的电极可以自行完成氧析出和氧还原的催化回路,形成电子通路。在与合作者进行大量的实验尝试与验证后,他们发现这其实是很好的电催化剂。”彭新文告诉记者。迄今为止,燃料电池中,由贵金属铂、钯等制成的催化剂大多被研磨成粉末,再添加到碳布、不锈钢网等导电载体上。“这个过程中有一个问题,如果粉末掺杂得太多,导电载体粘不住,催化剂会在反应过程中脱落,引起电池死火,催化剂也不再起作用。”彭新文解释,如此一来对电池的工作效率影响非常大。

但碳气凝胶打破了这一既有套路,实现了“一石三鸟”——自身集纳了电极、导电载体和催化剂三种功能,内部的金属和碳形成了稳定化学键,既能让催化剂在自己的工作岗位上稳定发挥作用,又不会让电极层开裂。

彭新文表示,驾驭这种材料其实并不难。“掌握



研究者首次制备出3D蜂窝状结构的碳气凝胶。图片来源:华南理工大学彭新文课题组

了一定性能调控技术的话,它还是很‘乖’的。”

找对发力点 进入寻常百姓家

“这种材料具有3D垂直、管壁孔道互通的蜂窝状结构,有利于气体扩散、电解液浸润,而且有良好的柔性和优异的电化学储能性能。”大连工业大学教授、纤维素与可再生资源材料领域最高奖“安塞姆佩恩奖”获得者孙润仓在点评中提到,未来这项有望为柔性电子器件提供高性能电极材料,且为生物质转化为碳材料、电化学储能应用提供新方案。

在彭新文看来,为电车、发电机等大型设备供电,并非所有电池的最终归宿。基于成本低、环境友好等特点,由生物质材料制成的电池可以在柔性电子器件中绽放异彩,融入日常生活中的各种细节。

“未来,我们还会继续把材料厚度降低,用于可充放电的手表等可穿戴设备。”彭新文指出,由于此类设备续航能力没有苛刻要求,“只要性价比合适,就可以去开发它”。未来,可更换的、廉价的生物质碳材料制成的电极,最终会走向工业化应用。

轻、薄、软,基于纳米纤维素制成的碳气凝胶,看似温和、存在感“低”,却被研究者赋予了多种可能。未来,纳米纤维素不仅会在功能造纸领域发挥所长,由其制成的薄膜、粒子也可在能源、生物医学、分子影像等领域派上用场。

就像小块的碳气凝胶,即便先在空中飘起,最终仍会落地。在彭新文看来,做科研也是一样,“不能高高飘在云端,最终还是要落地、要应用,这是我们做研究的初衷”。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1002/adma.202002292>