

地热中心管技术发展现状与未来趋势

王毅凡, 马 勃, 吕佼佼

(中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 西安 710065)

摘要: 综合评述了地热中心管相关的研究,详细阐述了其在高效传输地热系统中的关键作用。首先探讨了其结构设计,如中心管类型、管径大小、管壁厚度及管内构造对热传递效率和流体流动的影响,以确保其长期稳定运行。此外,分析了其材料特性,包括耐高温、耐腐蚀以及良好的导热性能等对地热系统运行的影响以及论述了不同材料中心管的研究现状和应用实例。最后,对未来地热中心管的发展趋势进行了展望,强调了创新材料和制造工艺优化设计在提高地热利用效率和降低成本方面的重要性。

关键词: 地热; 中心管; 现状; 展望

中图分类号: TK52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)06-0074-06

能源是人类社会发展的重要物质基础,在全球能源需求持续增长和环境问题日益严峻的背景下,探索和利用可再生能源已成为当务之急,同时对清洁能源的需求呈现前所未有的增长态势^[1-3]。地热能源,作为一种深藏于地下、储量丰富、稳定可靠且具有可持续性的可再生能源,凭借其独特的优势,在能源领域的地位日益凸显^[4-6],逐渐成为能源领域的研究热点^[7]。地球内部蕴含着丰富的热能,其来源主要包括放射性元素衰变、地球形成时的残余热量以及地壳运动产生的摩擦热。热能在漫长的地质过程中逐渐积聚,形成了巨大的地热能源库。地球内部蕴含的地热能量几乎是无限的,若能得到合理开发和利用,将极大地改变全球能源格局,为解决全球能源危机和环境问题提供重要途径^[8-11]。

地热中心管作为地热系统中的关键组件,其性能和设计直接影响着地热资源的提取效率和系统的稳定性,发挥着不可或缺的作用。它不仅承担着将地下深处的热能精准、高效地传输至地面的重要使命,更是整个地热系统稳定运行的核心保障^[12-13]。地热中心管处于复杂且苛刻的地下环境中,需要承受高温、高压、化学腐蚀以及流体冲刷等多重挑战。其性能的优劣直接关系地热资源的开发效率、成本以及系统的可靠性和寿命。中心管广泛应用于地热能源的输送、地热井的开采以及地热热泵系统等领域。在地热能源的输送环节,中心管

的材质和结构设计对于减少热量损失、防止流体泄漏以及抵抗外部压力和腐蚀等具有关键作用。在地热井开采中,它承担着将地下深处的高温地热流体安全有效地输送到地面的重要任务,其性能直接关系到地热资源的开采效率和可持续性。此外,在地热热泵系统中,中心管的精准配置和高效运行对于实现室内舒适的温度调节和能源节约至关重要^[14]。

近年来,随着科技的飞速发展和地热领域研究的不断深入,地热中心管在技术创新方面取得了显著进展^[15]。新的材料研发、先进的制造工艺以及智能化的监测与控制技术不断涌现,为地热中心管的性能提升和应用拓展提供了有力支持。与此同时,地热中心管的市场也呈现蓬勃发展的态势。一方面,全球对清洁能源的需求持续增长,推动了地热能源开发的加速,进而带动了地热中心管市场的扩张。在政策支持和环保压力的双重驱动下,越来越多的地区将目光投向了地热资源的利用,这为地热中心管创造了广阔的市场空间。另一方面,市场对地热中心管的性能和质量要求也日益提高。不同类型的地热中心管,如交联聚乙烯(PEX)管、聚丁烯(PB)管、无规共聚聚丙烯(PPR)管等,在市场上竞争激烈,各有其优势和适用场景^[16-18]。例如,PEX管具有良好的耐温性和柔韧性^[19];PB管在化学稳定性方面表现出色^[20];PPR管具有较高的性价比^[21]等。一般选用高导热外管和低导热内管此外,从应

收稿日期: 2024-09-29

作者简介: 王毅凡(1993—),女,陕西西安人,博士,工程师,研究方向为市政工程;马勃(1974—),男,陕西西安人,高级工程师,研究方向为给水排水工程;吕佼佼(1989—),男,山西忻州人,博士,高级工程师,研究方向为岩土工程。

用领域来看,地热中心管不仅在住宅供暖领域得到广泛应用,在商业、公共设施等领域的需求也在逐渐增加。

然而,在实际应用场景中,地热中心管仍然面临着诸多复杂而严峻的挑战,地热资源的分布往往具有较强的地域性和复杂性,不同地区的地质条件和地热流体特性差异巨大,这使得地热中心管的设计和选型面临诸多不确定性。例如,在极端温度和压力条件下材料的耐久性问题、如何进一步优化传热效率以实现能源的最大利用、在复杂多样的地质环境中的适应性和可靠性等等。为了更全面、深入地把握地热中心管的发展现状和未来走向,推动其在技术和应用层面的持续创新与突破,从而进一步拓展地热能源的广泛应用,对其进行系统、全面的综述显得尤为重要。

本文旨在综合分析当前关于地热中心管的研究成果,梳理地热中心管技术的发展脉络,总结已取得的成果和存在的不足,为未来的研究方向和技术创新提供参考和借鉴。

1 中心管结构

1.1 中心管的类型

中心管作为地热系统中的关键组件,其类型的多样性对系统的性能和效率有着重要影响。

1.1.1 直筒型中心管

直筒型中心管是常见的类型之一,其结构简单,内壁光滑,流体在直筒型管道内遵循一定的流动规律,如层流或湍流,这取决于流体的流速、黏度和管道直径等因素。管内的压力分布相对均匀,有助于维持系统的稳定运行。在工程应用方面,直筒中心管具有广泛的用途。在深层地热能领域,它作为传输地热水或蒸汽的通道,其内部的光滑表面有助于减少流体阻力,提高能量传输效率。由于结构简单,直筒中心管在安装和维护方面相对较为便捷,降低了施工难度和成本。直筒型中心管通常由高强度的金属材料制成,如不锈钢或钛合金,以承受地热系统中的高温、高压和腐蚀性环境。然而,直筒型中心管也存在一定的局限性。由于其结构较为刚硬,在应对热胀冷缩时的适应性较差,容易产生应力集中和疲劳裂纹,从而降低其使用寿命。例如,在一些需要更高换热效率或更复杂流体流动控制的场合,其性能可能不如具有特殊结构的管道。如图1所示。

1.1.2 波纹管型中心管

波纹管型中心管则具有独特的结构优势。波



图1 直筒型中心管

纹管的波纹形状增加了管体的柔韧性和伸缩性,能够更好地适应地热系统中的热胀冷缩现象,减少因温度变化引起的应力集中和损坏风险。此外,波纹管型中心管的表面积相对较大,有助于提高传热效率。在深层地热能领域,波纹管型中心管可以用于输送地热水或蒸汽等流体介质。它的挠性和补偿位移的特点有助于减少管道系统的应力,提高系统的可靠性和稳定性。同时,其耐高压和耐腐蚀性也使其能够适应深层地热环境的要求。但波纹管型中心管的制造工艺相对复杂,成本较高,而且波纹结构可能会导致流体流动的局部阻力增加。

在实际应用中,选择直筒型还是波纹管型中心管需要综合考虑多种因素。例如,当地热系统对流体传输的稳定性和高效性要求较高,且地质条件相对稳定、温度变化较小的情况下,直筒型中心管可能是更优的选择;而对于地质条件复杂、温度变化较大的区域,波纹管型中心管的适应性更强。如图2所示。

1.2 管径和壁厚的设计

管径和壁厚的合理设计至关重要。管径的选择直接影响着流体的流量、流速和压力损失,而壁



图2 波纹管型中心管

厚则关系到中心管的强度、密封性和耐久性。

1.2.1 管径设计

地热流体在中心管内的流动遵循流体力学的基本原理。在地热系统中,中心管不仅要实现流体的输送,还需要进行热量的传递。热传递的效率取决于管道的材质、管径、壁厚以及流体的流速和温度等因素。一般来说,增大管径可以降低流体的流速,从而减小流体与管道内壁之间的对流热阻,提高热传递效率。常用的管径设计方法如下。

(1)经验公式法。根据以往的工程经验和实验数据,建立一些用于管径设计的经验公式。这些公式通常基于流体流量、流速、压力损失等参数,可以快速估算出管径的大致范围。然而,经验公式法的准确性受到经验数据的局限性和工程条件的差异性的影响,需要结合实际情况进行修正。

(2)数值模拟法。利用计算流体力学(CFD)等数值模拟方法,可以对地热流体在中心管内的流动和热传递过程进行详细的模拟分析^[22]。通过建立管道的几何模型,设置边界条件和初始条件,模拟不同管径下流体的流动状态和热传递性能,从而确定最优的管径方案。数值模拟法可以考虑复杂的几何形状和边界条件,具有较高的准确性,但计算成本较高,需要专业的软件和技术支持。

(3)优化算法法。将管径设计问题转化为一个优化问题,以系统的性能指标(如压力损失、热传递效率、经济成本等)为目标函数,管径等参数为设计变量,建立优化模型。然后采用遗传算法、粒子群优化算法等优化算法求解优化模型,得到最优的管径方案。优化算法法可以自动搜索最优解,具有较高的效率和准确性,但需要合理设置优化目标和约束条件。

1.2.2 壁厚设计

地热中心管在运行过程中需要承受一定的内压,工作压力的大小直接决定了管壁所受的应力水平。一般来说,工作压力越高,所需的管壁厚度越大。此外,地热流体的化学成分、腐蚀性和磨蚀性等特性对管道的壁厚设计有重要影响。具有强腐蚀性的地热流体可能会导致管道内壁的腐蚀减薄,需要增加管壁厚度以保证管道的使用寿命;而含有固体颗粒的地热流体可能会对管道内壁产生磨蚀作用,也需要适当增加管壁厚度。管材的屈服强度、抗拉强度、弹性模量、热膨胀系数等材料性能参数是壁厚设计的重要依据。不同的材料具有不同的力学性能和耐蚀性能,需要根据实际工作条件选

择合适的管材,并根据材料性能确定管壁厚度。

(1)内压设计法。根据管道的工作压力和材料的许用应力,按照弹性理论或塑性理论计算出所需的管壁厚度。内压设计法是壁厚设计中最基本的方法,适用于工作压力较为稳定的情况。

(2)腐蚀裕量法。考虑地热流体的腐蚀性,在计算出的管壁厚度基础上增加一定的腐蚀裕量,以保证管道在设计寿命内不会因腐蚀而失效。腐蚀裕量的大小取决于地热流体的腐蚀性、管道的使用寿命和材料的耐蚀性能等因素。

(3)热应力设计法。对于工作温度较高的地热中心管,需要考虑热膨胀引起的热应力。通过计算热应力的大小,并结合材料的热膨胀系数和许用应力,确定管壁厚度,以保证管道在热胀冷缩过程中不会因热应力过大而发生破坏。

(4)可靠性设计法。基于可靠性理论,考虑管道在工作过程中可能遇到的各种不确定性因素,如工作压力的波动、材料性能的离散性、地热流体特性的变化等,通过概率分析和统计方法确定管壁厚度,以保证管道在规定的可靠性水平下安全运行。

2 中心管材料

2.1 金属材料

不锈钢具有优异的耐腐蚀性、强度和韧性,是地热中心管常用的金属材料之一。例如,在冰岛的一些高温地热发电项目中,地下地热流体温度高达 200~300 °C,且含有硫化氢等腐蚀性气体。不锈钢地热中心管被用于从地下深处的地热储层到地面发电设备之间的地热流体输送。这些管道的管径根据发电规模和流量要求而定,一般在 DN200~DN600 之间,管道的铺设深度可达数千米。

碳钢具有较高的强度和良好的导热性能,价格相对较低。在一些中低温地热资源开发项目中,如中国北方部分地区的地热供暖系统,碳钢地热中心管得到了应用。但是,碳钢在地热流体的腐蚀作用下容易发生腐蚀和结垢,降低了管道的使用寿命和传热效率。

纯铜管材具有优异的导热性能,能大幅节能。同时它还具有耐高温、耐高压、不易渗透污染水质、杀菌抑菌等优点。在一些对热交换效率要求极高的小型地热系统中,铜材料普遍使用。

在实际应用中,仍需综合考虑成本、安装难度、具体环境要求等多方面因素来合理选择管材。

2.2 塑料材料

聚乙烯(PE)具有良好的耐腐蚀性、柔韧性和低

温性能,在地热中心管中得到了广泛的应用。其中,陕西四季春清洁能源公司、沔西新能源、陕西德龙地热能有限公司等在咸阳、天水等地区使用的中心管主要以 PE 管为主,由于其耐温性能的限制,应用井筒深度主要在 2 500 m 下。单层 PE 管做成的中心管(包括 PE100 或 PE-RT II)其价格较为便宜,一般管段长度为 9~12 m,通过热熔的形式进行连接,施工工艺较为简单。对于常规中深度地热热泵系统,其 PE 型中心管外径一般在 100~115 mm 范围,厚度约为 10 mm。对于该类型的中心管,其热导率、密度和比热分别约为 $0.39 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、 $950 \text{ kg}/\text{m}^3$ 和 $2\,300 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。然而,聚乙烯的热导率较低,且在高温下容易变形,限制了其在高温地热系统中的应用。

其次,为了解决普通 PE 管在较高温度下力学性能较差以及热导率偏高的问题,吉林大学在松原地区的 2 044 m 新钻地热井中使用了相同尺寸的无规共聚聚丙烯(PPR)型中心管,并在此基础上进行热开采试验研究,成本与 PE 管相当^[23]。对于 PPR 管,其材料的热导率为 $0.31\sim 0.37 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,低于 PE 材料;屈服强度在 22~26 MPa,略高于 PE100 和耐热聚乙烯(PE-RT)材料;但是,其断后延伸率约为 420%,PE 材料断后延伸率基本在 1 000% 左右。基于上述性能,开采出来的 PPR 型中心管单管长度只能限制在 9~12 m,且需要利用较长的金属接箍(150~200 mm)对其进行连接。

此外,临海伟星的团队研发出一种新型低导热耐高温塑料管道及其制备方法,结构由三层复合管道层,内层(PE)加中层(空心玻璃微珠)加外层(PE)组成,具有高耐热和高保温性能^[24]。

2.3 复合材料

复合材料是由两种或两种以上不同性质的材料,通过物理或化学的方法组合而成的一种新型材料。在地热能中心管的应用中,常见的复合材料一般由基体材料和增强材料构成。

东北绿能深层地热开发项目采用一种特殊的耐高温合金钢中心管,直径为 180 mm,壁厚为 12 mm,长度为 1 200 m。该地区致力于开发丰富的深层地热资源以满足区域能源需求。通过深井钻探将中心管置入热储层,利用地热流体的热量驱动地热发电机组。同时,将部分热量提取用于区域供暖。该中心管在长期运行中表现稳定,地热发电机组持续输出电能,供暖系统也为周边区域提供舒适的温度。项目取得良好的经济效益和环境效益。

西南石油大学团队研发出一种中深层地热井同轴换热的非金属复合管,其中心管结构包括外层防护套(PVC、PE、PP, 10~20 mm, 抗氧化层)加增强层(碳纤维、玻璃纤维、芳纶纤维、陶瓷纤维, 5~10 mm)加保温层(聚乙烯薄膜、玻璃微珠复合、气凝胶、绝热)加内衬层(聚四氟乙烯, 3~10 mm),增强层与保温层厚度具体由地热管深度决定^[25]。

可见,复合材料在地热领域发展迅速。其耐腐蚀性可应对地热环境中的化学物质,强度能支撑高温高压,良好的导热性和热稳定性提升了能源利用效率。研发创新降低了成本、提升了性能,未来有望在该领域发挥更关键作用。

2.4 隔热油管

部分石油企业由于在隔热油管利用方面的经验,开发了使用真空隔热油管作为中心管的新型地热井,较为典型的是长安大学和延长石油在西安新华小区开发的 2 500 m 同轴套管地热能开发利用系统。该隔热油管分为外管和内管,外管外径和内径一般为 127 mm 和 116 mm,内管外径和内径一般为 101 mm 和 88 mm,中间为抽真空的玻璃纤维棉隔热材料。其中内外管材质与普通油管相同,隔热层的热导率仅为 $0.02 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

对于该类型的中心管,由于其优异的隔热性能,其在使用过程中循环流体的出口温度较普通 PE 管有 2~3 °C 的提升。但是,由于隔热油管的成本较高,几乎占到了井筒总建设成本的一半,这在一定程度上限制了其大规模的推广应用。然而,随着技术的不断进步和市场需求的持续增长,有望通过优化生产工艺、降低原材料成本以及拓展应用领域等方式,逐步降低成本,提高其性价比,从而使这种具有卓越隔热性能的中心管在未来的地热及相关领域中发挥更大的作用,为能源的高效利用和可持续发展提供更有力的支持^[26-28]。

3 制造工艺

成型技术作为制造地热中心管的核心环节,直接决定了管材的结构完整性、尺寸精度和性能稳定性。

(1)挤出成型。挤出成型是将塑料或橡胶等原材料加热至熔融状态,通过挤出机的螺杆将其连续挤出,并经过特定形状的模具形成管状的方法。其优点在于生产效率高、成本低,适用于大规模生产。例如,聚乙烯(PE)地热中心管常采用挤出成型,能够制造出连续长度较长、尺寸均匀的管材。

(2)注塑成型。注塑成型是将塑料加热熔融

后,注入模具型腔中,经冷却固化得到成型制品。该方法适用于制造形状复杂、尺寸精度要求高的地热中心管部件。但生产效率较低,模具成本较高。

(3)缠绕成型。缠绕成型是将连续的纤维或带材在芯模上按照一定的规律缠绕,然后通过固化成型。这种方法常用于制造具有高强度和高刚度的复合材质地热中心管,如玻璃纤维增强塑料(FRP)地热中心管。

4 结论与展望

在材料选择方面,经过不断的试验和筛选,找到了适合不同工作条件的优质材料,如具有良好耐热和耐腐蚀性的特种塑料以及高强度的金属合金。这些材料的应用显著提高了地热中心管的使用寿命和可靠性。

在制造工艺上,创新的成型技术和精密的加工方法,使中心管的尺寸精度和表面质量达到了较高水平。例如,先进的挤出成型技术能够确保管材的均匀性,而高精度的焊接工艺则增强了连接处的密封性和强度。

性能优化方面,通过优化结构设计和采用新型的保温涂层,有效地提高了中心管的热传导效率,降低了能量损失,同时增强了其抗压和抗震能力。

然而,也面临一些挑战和不足。例如,部分材料的成本较高,限制了大规模应用;某些复杂工艺对设备和技术人员要求较高,增加了生产成本和生产难度;在长期使用中的性能监测和维护技术还需进一步完善。

未来地热中心管有望在以下几个方面实现更大的突破:材料研发上,继续探索性能更优越、成本更低廉的新型材料。例如,开发具有更高强度和耐温性的复合材料,以适应更苛刻的地热环境;制造工艺将朝着智能化和自动化方向发展;利用先进的机器人技术和自动化控制系统,提高生产效率和产品质量的稳定性。性能提升方面,借助先进的模拟软件和实验手段,进一步优化中心管的结构和热交换性能,降低能耗。同时,与其他可再生能源系统的结合也将成为可能,如与太阳能或风能系统协同工作,实现多能源互补,提高能源利用的综合效率^[29-31]。

总之,随着技术的不断进步和创新,地热中心管将不断完善和发展,为地热能源的高效利用提供更有力的支持。

参考文献

[1] 张凯,陈掌星,兰海帆,等. 碳捕集、利用与封存技术的

现状及前景[J]. 特种油气藏, 2023, 30(2): 1-9.

- [2] 柏明星,张志超,白华明,等. 二氧化碳地质封存系统泄漏风险研究进展[J]. 特种油气藏, 2022, 29(4): 1-11.
- [3] 张怿赫,盛家平,李情霞,等. CO₂吞吐技术应用进展[J]. 特种油气藏, 2021, 28(6): 1-10.
- [4] 牛兆轩,牛雪,张林友,等. 共和盆地恰卜恰地区新近系地下热水化学特征[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(21): 9025-9033.
- [5] 霍超,林倚天,李刚,等. 碳中和背景下中国地热资源勘查技术研究进展[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(12): 4917-4927.
- [6] 刘德民,张昌生,孙明行,等. 干热岩勘查评价指标与形成条件[J]. 地质科技通报, 2021, 40(3): 1-11.
- [7] 郑元超,刘人和,肖红平,等. 中深层地热田开发利用技术研究进展[J]. 石油科技论坛, 2024, 43(4): 75-84.
- [8] DINCER I, ROSEN M A. Exergy analysis of heating, refrigerating and air conditioning: methods and application [M]. Pittsburgh: Academic Press, 2015.
- [9] LIN B Q, LI Z. Towards world's low carbon development: the role of clean energy[J]. Appl Energy, 2022, 307: 118-160.
- [10] 汪浩,黄少鹏. 冀中拗陷雄县地热开采区地热资源的成因机制[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(17): 7203-7211.
- [11] 张超,胡圣标,黄荣华,等. 干热岩地热资源热源机制研究现状及其对成因机制研究的启示[J]. 地球物理学进展, 2022, 37(5): 1907-1919.
- [12] 张杰,王贵洋,尹文锋,等. 地下渗流场对中深层水平井同轴套管取热性能的影响[J]. 断块油气田, 2024, 31(3): 526-532.
- [13] 张杰,王贵洋,王鹏涛. 关中地区中深层同轴套管换热器换热能力及提升措施研究[J]. 热力发电, 2023, 52(2): 54-63.
- [14] 韩元红,张育平,刘俊,等. 西安中深层同轴套管换热井取热能力及热影响半径[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(18): 7527-7533.
- [15] 满意,姜国心,杜甜甜,等. 利用弃井开采中深层地热名义取热量的模拟[J]. 山东建筑大学学报, 2019, 34(4): 20-24.
- [16] BEIER R A, ACUÑA J, MOGENSEN P, et al. Transient heat transfer in a coaxial borehole heat exchanger [J]. Geothermics, 2014, 51: 470-482.
- [17] ZANCHINI E, LAZZARI S, PRIARONE A. Improving the thermal performance of coaxial borehole heat exchangers[J]. Energy, 2010, 35(2): 657-666.
- [18] GORDON D, BOLISSETTI T, TING D S K, et al. A physical and semi-analytical comparison between coaxial BHE designs considering various piping materials[J]. Energy, 2017, 141: 1610-1621.
- [19] 李敏,何婷婷,代志双,等. 交联聚乙烯非粘胶柔性管道生产工艺及质量控制[J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(1): 31-35.

- [20] 王玉如,任鹤,曹婷婷,等. 4种商用聚丁烯材料的结构与性能对比[J]. 精细石油化工进展, 2023, 24(5): 48-52.
- [21] 李鹏. 无规共聚聚丙烯(PP-R)管道的应用[J]. 建筑与预算, 2012(5): 52-53.
- [22] Rottmayer S P, Beckman W A. Mitchell simulation of a single vertical U-tube ground heat exchanger in an infinite medium[R]. Atlanta, GA (United States): American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., 1997.
- [23] 刘强斌. 中深层同轴地热换热器传热性能及强化机理研究[D]. 长春: 吉林大学, 2024.
- [24] 王俊程, 霍福磊, 刘跃明. 一种新型低导热耐高温塑料管道及其制备方法[P]. CN202111072795.3, 2024-01-09.
- [25] 雷清龙, 张家瑞, 祝效华. 一种中深层地热井同轴换热的非金属复合管[P]. CN202311513567.4, 2024-02-13.
- [26] 宋玉良, 赵海超, 丁鹏飞, 等. 气凝胶隔热油管在热采井中的应用与研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(14): 148-149.
- [27] 杜明俊, 杨子宁, 滕彧, 等. 保温型井下隔热油管的实验及数值模拟研究[J]. 石油化工高等学校学报, 2020, 33(4): 75-79.
- [28] 朱治国, 苗彦平, 李栋, 等. 保温隔热油管先导试验及效果评价[J]. 石油石化节能, 2019, 9(10): 12-14.
- [29] 马永法, 冯波, 王旭, 等. 一种太阳能和地热互补组合式供暖装置[P]. CN202410819131.6, 2024-08-23.
- [30] 耿直, 王剑利, 石天庆, 等. 一种太阳能、风能和地热能的多能互补梯级供热系统[P]. CN202211729123.X, 2023-03-03.
- [31] 王怡岷. 一种基于风能的地热温度补偿系统[P]. CN201320826153.2, 2014-06-04.

Overview of Geothermal Center Pipe Technology Development Status and Future Trends

WANG Yifan, MA Bo, LÜ Jiaojiao

(Power China Northwest Engineering Corporation Limited, Xi'an 710065, China)

Abstract: A comprehensive review of the research related to geothermal center tubes was provided and their key role were detailed in efficient geothermal heat transfer systems. Firstly, its structural design, such as the influence of center tube type, tube diameter size, tube wall thickness and tube structure on heat transfer efficiency and fluid flow, was discussed to ensure its long-term stable operation. In addition, the influence of material properties, including high temperature resistance, corrosion resistance and good thermal conductivity, on the operation of geothermal systems was analyzed, and the current research status and application examples of centerpipes made of different materials were discussed. Finally, the future development trend of geothermal centerpipe was outlooked, emphasizing the importance of innovative materials and optimal design of manufacturing process in improving the efficiency of geothermal utilization and reducing costs.

Keywords: geothermal; center pipe; current status; outlook