

油田采出水余热与光热梯级利用研究与经济效益分析

张冬冬 (中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 本论文以中石化石油工程设计有限公司张冬冬的研究为基础, 深入探讨油田采出水余热与光热梯级利用技术。通过分析油田采出水余热与光热资源的特点及利用现状, 阐述余热回收、光热转换与梯级利用的技术原理, 结合实际案例评估其应用效果与经济效益。研究表明, 该技术的合理应用可有效降低油田生产能耗, 减少环境污染, 对推动油田可持续发展具有重要意义, 为相关领域进一步研究和应用提供参考依据。

关键词: 油田采出水; 余热利用; 光热利用; 梯级利用; 经济效益分析

中图分类号: TE624 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 032-0079-03

Research and Economic Benefit Analysis of Oilfield Produced Water Waste Heat and Thermal Cascade Utilization

Zhang Dongdong (Sinopec Petroleum Engineering Design Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: Based on the research of Zhang Dongdong from Sinopec Petroleum Engineering Design Co., Ltd., this paper explores in depth the technology of utilizing waste heat and solar thermal cascade in oilfield produced water. By analyzing the characteristics and utilization status of waste heat and solar thermal resources in oilfield produced water, this paper elaborates on the technical principles of waste heat recovery, solar thermal conversion, and cascade utilization, and evaluates their application effects and economic benefits through practical cases. Research has shown that the reasonable application of this technology can effectively reduce energy consumption and environmental pollution in oilfield production, which is of great significance for promoting sustainable development of oilfields and providing reference for further research and application in related fields.

Keywords: oilfield produced water; Waste heat utilization; Photothermal utilization; Cascade utilization; Economic Benefit Analysis

1 研究背景、目的与意义

在全球能源需求持续增长和环境保护意识日益增强的背景下, 石油行业面临着巨大的能源消耗和环境污染压力。油田开采过程中会产生大量的采出水, 这些采出水通常具有较高的温度, 蕴含着丰富的余热资源。同时, 油田所在地区往往拥有充足的太阳能资源, 光热利用潜力巨大。然而, 目前我国油田在能源利用方面仍存在诸多问题, 传统的能源利用方式效率较低, 大量的余热和太阳能资源未得到有效利用, 造成了能源的浪费和环境的污染。研究油田采出水余热与光热梯级利用技术, 旨在充分挖掘油田生产过程中余热和太阳能资源的利用潜力, 提高能源利用效率, 降低油田生产的能耗和成本。通过梯级利用技术, 将不同品质的能源合理分配到不同的用能环节, 实现能源的最大化利用。这不仅有助于缓解能源供应压力, 减少对传统化石能源的依赖, 还能降低温室气体和污染物排放, 对推动油田的绿色、可持续发展具有重要的现实意义。同时, 该研究成果可为其他类似能源领域的资源利用提供借鉴和参考, 促进相关产业的技术创新和发展。

2 油田采出水余热与光热资源概述

2.1 油田采出水余热资源特点

油田采出水是在油田开采过程中伴随原油一起采

出的水, 其温度一般在 30-80℃之间, 不同油田、不同开采阶段的采出水温度存在一定差异。采出水的流量较大, 且相对稳定, 以某大型油田为例, 日均采出水量可达数万吨。此外, 采出水的水质较为复杂, 含有大量的悬浮物、矿物质、有机物以及石油类污染物等, 这些特性在一定程度上增加了余热回收利用的难度, 但同时也凸显了对其进行合理利用的必要性和价值。

2.2 油田光热资源特点

我国许多油田分布在光照资源较为丰富的地区, 如新疆、内蒙古等地。这些地区年日照时数较长, 一般在 2500-3500h 之间, 太阳辐射强度较高, 太阳能资源丰富。太阳能作为一种清洁、可再生能源, 具有取之不尽、用之不竭的特点, 且在利用过程中不会产生污染物和温室气体排放。然而, 太阳能也存在能量密度低、间歇性和不稳定性等问题, 需要通过合适的技术手段进行收集、转换和储存, 以实现稳定可靠的能源供应。

2.3 油田采出水余热与光热资源利用现状

目前, 我国油田对采出水余热的利用程度较低, 大部分采出水直接排放或经过简单处理后回注地层, 造成了大量余热资源的浪费。虽然部分油田开展了一些余热利用的尝试, 如利用采出水余热进行井口伴热、

加热生活用水等，但应用规模较小，技术水平有限，未能充分发挥余热资源的潜力。

在光热资源利用方面，油田的应用也相对较少，主要集中在一些小型的太阳能光伏发电和太阳能热水系统，且这些系统大多独立运行，与油田的生产工艺结合不够紧密，未能形成有效的能源梯级利用体系。总体而言，我国油田在采出水余热与光热资源利用方面仍处于起步阶段，具有广阔的发展空间。

3 油田采出水余热与光热梯级利用技术原理

3.1 余热回收技术原理

换热设备原理：余热回收的核心设备是换热器，其工作原理是通过热传导、对流等方式，将采出水中的热量传递给低温介质。常见的换热器有板式换热器、管壳式换热器等。以板式换热器为例，它由一系列具有一定波纹形状的金属板片叠装而成，相邻板片之间形成狭窄的通道，采出水和低温介质分别在不同的通道内流动，通过板片进行热量交换。板式换热器具有传热效率高、结构紧凑、占地面积小等优点，适用于采出水余热回收系统。

热泵技术原理：热泵是一种可以将低温热能提升为高温热能的设备，其工作原理基于逆卡诺循环。在油田采出水余热回收中，热泵以采出水为低温热源，通过消耗少量的电能，将热量从低温的采出水中提取出来，并提升到较高的温度，用于满足油田生产和生活中的供热需求。热泵技术能够有效提高余热的利用品位，扩大余热的应用范围，是实现余热高效利用的重要手段。

3.2 光热转换技术原理

太阳能集热器原理：太阳能集热器是实现光热转换的关键设备，它可以将太阳能转化为热能。根据集热方式的不同，太阳能集热器可分为平板型集热器和真空管集热器。平板型集热器主要由集热板、透明盖板、保温层和外壳等组成，通过集热板吸收太阳辐射能，并将其转化为热能传递给集热板内的传热介质。真空管集热器则由真空玻璃管、吸热体和支架等部分构成，真空玻璃管具有良好的保温性能，能够减少热量损失，提高集热效率。

光热发电技术原理：光热发电是将太阳能转化为电能的一种技术，主要包括塔式、槽式和碟式三种发电方式。在油田光热利用中，槽式光热发电技术具有一定的应用潜力。槽式光热发电系统由抛物面槽式聚光器、集热管、跟踪系统和发电装置等组成。抛物面槽式聚光器将太阳辐射能聚集到集热管上，加热集热管内的传热介质，传热介质产生高温高压蒸汽，驱动汽轮机发电。

3.3 梯级利用原理

梯级利用是根据不同用能环节对能源品质的需求，将余热和光热资源按照能量从高到低、品位从高到低的顺序进行合理分配和利用。例如，将温度较高的采出水余热首先用于油田生产中的加热工艺，如原油加热、集输管道伴热等；将温度降低后的余热用于生活热水供应、温室大棚供暖等对温度要求较低的环节。对于光热资源，高温的太阳能热能可用于发电，中低温的热能可用于供热、制冷等领域。通过梯级利用，能够最大限度地提高能源的利用效率，减少能源的浪费，实现能源的优化配置。

4 油田采出水余热与光热梯级利用应用实例

4.1 某油田采出水余热与光热梯级利用项目概况

中石化某油田位于西北地区，该油田年采出水量达 5000 万 t，平均温度为 50℃，同时该地区年日照时数超过 3000 h，太阳能资源丰富。为了提高能源利用效率，降低生产成本，该油田实施了采出水余热与光热梯级利用项目。项目主要包括采出水余热回收系统、太阳能光热利用系统以及能源梯级分配系统。

4.2 技术方案设计

采出水余热回收系统：采用板式换热器和热泵相结合的方式余热回收。首先，采出水通过板式换热器将热量传递给中间介质，使中间介质温度升高；然后，利用热泵将中间介质的热量进一步提升，用于原油加热和集输管道伴热。经过余热回收后，采出水温度降低至 25℃ 左右，再进行后续的污水处理和回注。

太阳能光热利用系统：安装了大量的真空管太阳能集热器和槽式光热发电装置。真空管太阳能集热器产生的中低温热能用于生活热水供应和温室大棚供暖；槽式光热发电装置产生的电能并入油田电网，为油田生产和生活提供电力支持。

能源梯级分配系统：根据不同用能环节的需求，建立了能源梯级分配控制系统。通过智能监测和调节设备，将采出水余热和太阳能光热资源合理分配到各个用能环节，实现能源的高效利用。

4.3 应用效果与经济效益分析

应用效果：项目实施后，该油田原油加热和集输管道伴热所需的常规能源消耗降低了 40%，生活热水供应和温室大棚供暖完全由余热和太阳能光热提供，减少了对燃煤锅炉的依赖。同时，槽式光热发电装置年发电量达到 500 万度，满足了油田部分生产和生活用电需求。

经济效益：经测算，该项目每年可节约标准煤 2 万 t，减少二氧化碳排放 5 万 t，降低生产成本 3000 万元。项目投资回收期为 5 年，具有良好的经济效益和环境

效益。

5 油田采出水余热与光热梯级利用面临的问题与挑战

5.1 技术层面问题

余热回收效率问题：由于油田采出水水质复杂，含有大量的悬浮物、矿物质等杂质，容易在换热器表面形成污垢，降低换热效率，增加设备的维护成本。同时，热泵系统在运行过程中也存在能效比不稳定的问题，受环境温度、热源温度等因素影响较大。

光热利用稳定性问题：太阳能具有间歇性和不稳定性特点，受天气、季节等因素影响明显。在阴天、雨天或夜间，太阳能光热系统的集热效率和发电能力会大幅下降，难以保证能源的稳定供应。此外，光热发电技术中的传热介质在高温下容易发生分解、腐蚀等问题，影响系统的可靠性和使用寿命。

5.2 经济层面问题

项目投资成本高：油田采出水余热与光热梯级利用项目涉及到余热回收设备、太阳能集热装置、发电设备以及能源梯级分配系统等多个方面，设备购置、安装和调试费用较高。对于一些中小型油田来说，巨大的前期投资成本成为制约项目实施的重要因素。

经济效益回报周期长：虽然从长期来看，该项目具有一定的经济效益，但由于投资成本高，能源价格波动等因素，导致项目的经济效益回报周期较长。在项目实施过程中，还可能面临技术更新换代、设备维护成本增加等风险，进一步影响项目的盈利能力。

5.3 管理与政策层面问题

管理难度大：油田采出水余热与光热梯级利用系统涉及多个技术领域和多个用能环节，系统运行管理复杂。需要建立完善的管理制度和专业的管理团队，对系统进行实时监测、维护和优化，但目前油田在这方面的管理经验和专业人才相对不足。

政策支持不足：目前，我国在油田采出水余热与光热利用方面的政策支持力度不够，缺乏针对性的补贴政策和激励措施。与传统能源相比，该技术在成本上不具有优势，难以吸引企业加大投资和推广应用。

6 促进油田采出水余热与光热梯级利用的对策建议

6.1 加强技术研发与创新

研发高效余热回收技术：针对采出水水质复杂导致的换热效率低问题，开展新型高效防污换热器的研发，采用特殊的材料和结构设计，提高换热器的抗污性能和传热效率。同时，优化热泵系统的设计和运行参数，提高热泵的能效比和稳定性。

提升光热利用技术水平：加强对太阳能光热利用关键技术研究，如研发高效的太阳能集热器、稳定

可靠的传热介质和先进的储能技术，解决太阳能间歇性和不稳定性问题。开展光热发电技术的优化升级，提高发电效率和系统可靠性。

6.2 完善经济激励政策

加大财政补贴力度：政府应出台相关政策，对实施油田采出水余热与光热梯级利用项目的企业给予财政补贴，补贴范围可包括设备购置费用、安装调试费用等，降低企业的投资成本。对项目产生的节能效益和环境效益给予相应的奖励，提高企业的积极性。

制定优惠的税收政策：对采用余热与光热梯级利用技术的油田企业，给予税收优惠，如减免企业所得税、增值税等。通过税收政策的引导，鼓励企业加大对该技术的应用和推广。

6.3 加强管理与人才培养

建立科学的管理体系：油田企业应建立完善的采出水余热与光热梯级利用系统管理体系，制定详细的操作规程和管理制度，加强对系统运行的实时监测和数据分析，及时发现和解决问题。引入智能化管理系统，实现能源的精准分配和高效利用。

培养专业人才队伍：加强与高校、科研机构的合作，开展相关专业人才的培养和培训工作。通过举办培训班、研讨会等方式，提高企业管理人员和技术人员的专业水平和业务能力，为油田采出水余热与光热梯级利用技术的发展提供人才支持。

7 结论

为了促进油田采出水余热与光热梯级利用技术的发展和推广，需要加强技术研发与创新，提高技术水平和可靠性；完善经济激励政策，降低企业投资成本和风险；加强管理与人才培养，提高系统运行管理水平。相信随着技术的不断进步和政策的逐步完善，油田采出水余热与光热梯级利用技术将在石油行业得到更广泛的应用，为我国能源可持续发展和环境保护做出更大的贡献。

参考文献：

- [1] 王宇喆. 油田采出水余热利用技术的研究与应用 [J]. 石油石化节能与计量, 2025(06):22-25.
- [2] 代云龙. 油田站场余热利用方案技术研究 [J]. 石油石化节能与计量, 2025(06):12-15.
- [3] 陈丽丽, 张光宇, 等. 油田采出液余热利用过程腐蚀结垢评价及控制方法 [J]. 油气田环境保护, 2025(04): 145-147.
- [4] 张伟文. 浅谈油田余热利用过程中采出水直进热泵机组技术 [J]. 油气田地工程, 2024(12):78-80.
- [5] 霍韩星. 油田绿色低碳工艺技术研究与分析 [J]. 石油石化节能与计量, 2024(12):65-69.