

《地热能开发超长重力热管技术标准（征求意见稿）》

编制说明

1.工作简况

1.1 任务来源

本标准任务来源是根据国家重点研发项目“重力热管开发干热岩地热技术验证与工程示范”。

1.2 承担单位

本标准起草单位为中国科学院广州能源研究所、中国地质科学院水文地质环境地质研究所、清华大学、西安交通大学、河北省煤田地质局第二地质队、双良节能股份有限公司、电力规划设计总院、中国矿业大学。

1.3 主要工作过程

本标准制定工作从2023年5月13日中国地质学会批准立项至今，开展的工作情况如下：

（1）工作组成员和任务分配

编号	编制组成员	单位	任务分配
01	蒋方明	中国科学院州能源研究所	标准编制组织管理
02	王贵玲	中国地质科学院水文地质环境地质研究所	标准编制技术总体指导
03	岑继文	中国科学院州能源研究所	技术负责，重力热管换热性能评价等内容的撰写及参数校核，附录C
04	张薇	中国地质科学院水文地质环境地质研究所	技术指导，地热调查与资源评价相关内容校核、审查
05	邢林啸	中国地质科学院水文地质环境地质研究所	标准结构设计，基本规定、地热调查与钻井工程设计相关章节撰写，附录表格设计，统稿
06	李曼	中国地质科学院水文地质环境地质研究所	地热资源调查评估相关内容审核，格式审查、修订
07	李龙	中国地质科学院水文地质环境地质研究所	术语撰写，中英文校核，格式审查、修订

08	陈娟雯	中国科学院州能源研究所	超长重力热管设计相关内容审核, 修改
09	黄文博	中国科学院州能源研究所	超长重力热管设计、工质加注与回收等相关内容撰写, 附录 B、附录 D
10	郭剑	中国科学院州能源研究所	超长重力热管设计相关内容撰写, 附录 A
11	杨军	清华大学	超长重力热管采热评价
12	上官栓通	河北省煤田地质局第二地质队	钻井工程、系统运行监测评价等章节相关内容撰写、修改
13	田兰兰	河北省煤田地质局第二地质队	钻井工程、系统运行监测评价等章节相关内容撰写、修改
14	鞠贵东	双良节能股份有限公司	模块化热管设计、生产、运输、贮存, 系统运行监测评价等内容撰写
15	李龙	双良节能股份有限公司	模块化热管设计、生产、运输、贮存, 系统运行监测评价等等内容撰写、修改
16	高铁瑜	西安交通大学	地面用热系统设计等内容撰写
17	王家瑞	西安交通大学	地面用热系统设计等内容撰写
18	邓立生	中国科学院州能源研究所	发电制冷利用等内容撰写
19	李骥飞	电力规划设计总院	发电制冷利用等内容撰写
20	乔伟	中国矿业大学	地热调查部分内容修改
21	解经宇	中国矿业大学	资源评价相关章节核对、修改

(2) 标准制定工作启动 (第一次工作组会议)

2023年5月31日,《地热能开发重力热管技术标准》标准制定启动会依托项目进展交流会通过腾讯会议召开。本次会议由中国科学院广州能源研究所组织,参编单位的专家与企业代表20余人参加会议。与会专家与企业代表对国内外的标准情况和技术体系进行了讨论,确定了本标准的结构、标准编写内容、标准编写的注意事项、标准编制时间安排等工作。

(3) 标准工作讨论会 (第二次工作会议)

根据标准编制工作计划,于2023年9月14日依托项目进展交流会在北京组织召开第二次工作会议,会议由清华大学组织,参编单位的专家与企业代表20多人出

席会议。会议对标准引言、基本规定等内容进行了讨论，并根据项目示范工程进展，重点对地热能开采重力热管示范工程勘查与钻探工作关键技术内容即标准第五部分“地热调查与钻井工程”进行了讨论，确定了需要修改的内容及第五部分编写内容。

（4）标准工作讨论会（第三次工作会议）

根据第二次标准工作会的要求和建议，标准编制组起草单位完成了“地热调查与钻井工程”相关内容的编制与修改，于 2024 年 4 月 2 日与项目进展会开展技术标准交流会，结合团体标准《超长重力热管》（征求意见稿）对本标准“重力热管设计与生产”“重力热管运输、贮存与安装”的主要内容进行了研讨，确定了编写主要内容。

（5）标准工作讨论会（第四次工作会议）

根据标准第三次工作会议的安排，于 2024 年 10 月 26 日在陕西省西安市组织召开第四次工作会议，会议由西安交通大学组织，标准参编单位等专家与企业代表针对标准工作讨论稿进行了研讨，根据起草单位的校核结果和调研参数进行了深入讨论，并汇总做了相应修改，对“地面用热系统设计”、“系统运行、监测与评价”编制工作进行了具体安排。

（6）征求意见稿修改工作讨论会（第五次工作会议）

根据第一次和第四次工作会议安排，于 2025 年 1 月 9 日在组织召开第五次工作会议，会议由中国科学院广州能源研究所组织，会议邀请相关生产单位、企业、行业专家对本标内部讨论稿进行了详细讨论，重点对“地面用热系统设计”、“系统运行、监测与评价”章节进行了修改，补充完善了部分技术术语，对格式进行标准化修正。综合讨论确定标准名称为《地热能开发超长重力热管技术标准》

2.标准编制原则

本标准的格式、内容及描述方法参照了 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》和 T/CAS 1.1-2017《团体标准的结构和编

写指南》。标准制定按照《中国地质学会团体标准管理办法（试行）》的要求组织管理。

标准编制注重超长重力热管技术研究成果与工程实践的科学应用，根据开展的地热能开采超长重力热管技术的工作实际，充分结合相关领域技术标准，确定了地热能开采超长重力热管技术的地热勘查地热地质勘查与钻探工程、热管的设计与制备、重力热管的监测与装配、地面用热系统设计与建设、系统运行监测与评价等主要工作内容的技术要求。

3.主要内容

随着我国经济社会发展与能源结构调整，对清洁能源的需求不断增大，地热资源特别是中深层地热资源的开发利用成为重要选择。受开发利用规模持续增大、部分地层回灌难度大等因素影响，传统的直接抽取地热水的开采方式弊端显现，为实现资源的可持续开发利用，“取热不取（耗）水”的开发利用理念被广泛接受。在此背景下，提出了超长重力热管开采深部地热能技术，作为地热能开采技术的组成。

本标准提出的地热能开采重力热管技术，无需使用水泵，能耗低、采热效率高，避免对地下水扰动造成的地质环境问题，投资风险小，是一种稳定、高效、运行成本低的地热资源开采技术。

随着我国地下水管理及环境保护政策趋于严格，其推广应用的价值愈加明显。本技术标准可为深部地热能重力热管开采提供技术支持，推动该项技术的市场化发展，为规范地热能的超长重力热管开采技术的推广和应用，具有重要的工程实际意义与科学价值。

主要内容分为前言、引言、9个章节和4个附录。

3.1 范围

本标准的范围有以下两点含义：

1) 规定的内容：本文件规定了地热能开发重力热管工程的术语定义、地热地质勘查与钻探工程、热管的设计与制备、重力热管的监测与装配、地面用热

系统设计与建设、系统运行监测与评价等。

2) 适用的范围：本文件适用于以地下岩体、流体为主要热源、采用超长重力热管技术进行采热的地热开发工程设计和运行。

3.2 基本规定

说明：标准的基本规定主要是标准的基本通用性准则，主要包括以下几个方面：

(1) 超长重力热管工程的规划与建设应与能源规划、清洁能源供热规划等相协调。

(2) 超长重力热管工程的实施单位在勘查、设计、施工、运维等方面应具有相应的技术能力。

(3) 超长重力热管工程实施前，应对拟利用场地进行工程场地状况调查及中深层地热勘查。

(4) 超长重力热管工程设计方案应符合安全可靠、绿色低碳、节能高效、经济可行的要求

(5) 超长重力热管工程施工应选优节能高效设备及绿色环保材料。

4.主要内容分析

4.1 术语和定义

说明：本部分按规定对标准中出现的及与标准实施相关的术语和专业名词进行了定义与阐述，共包括16个术语和定义。部分术语和定义参考了GB/T 14811 《热管术语》。

4.2 地热调查与钻井工程

包括一般规定、场地与资源调查、资源评估、钻井工程四方面内容。

一般规定强调了在进行地热资源超长重力热管开采工程方案设计前，应由具备专业能力和经验的单位进行详细的地热资源及开采条件调查，以确保工程设计的科学性和可行性。明确地热资源调查和钻井工程应遵循的相关标准，保证工程质量。同时，对重力热管地热工程的井底温度和地温梯度提出了具体要求，以满足工程的实际需求。

场地与资源调查规定重力热管工程场地和地热资源调查内容方法，特别对无取芯钻孔控制场地选探采结合井，明确其样品采集测试、井温测井、物探测井工作要求。

资源评估规定了应对建设场地内中深层地热资源可利用热容量进行计算和评估的方法，参考 GB/T 11615 给出了单个重力热管采热井年最大采热量的计算公式，确保地热资源的合理开发和利用。对于取热段有多套热储的情况，提出了分层计算和累加的方法，以准确计算地热总储量。同时，明确了地热资源调查评估报告应包含的内容，为工程决策提供全面的信息。

钻井工程详细说明了重力热管采热井工程设计应包含的内容，从工程概况到安全技术措施等各个方面都做出了明确规定，确保工程设计的完整性和规范性。对采热井的设计形式、井身结构和钻孔孔径等提出了具体要求，以满足重力热管的安装和运行需求。同时，对钻井施工和固井作业的要求进行了明确，保证工程施工的质量和安全。

4.3 重力热管设计与生产

包括一般规定、模块化热管结构型式、模块化热管尺寸、模块化热管生产要求、超长重力热管管型设计等内容。

一般规定明确了超长重力热管由多组模块化热管拼接组成的基本结构形式，这是基于其实际制造和安装的可行性及便利性考虑，模块化设计便于生产、运输和现场组装。强调气密性和管壁强度要求，是为了适应井下高温、高压且存在地下水的复杂环境。良好的气密性防止内部工质泄漏和外界杂质进入，保证热管的热交换效率；足够的管壁强度则确保热管在承受地层压力时不发生变形，保障设备的长期稳定运行。

模块化热管结构型式：将热管分为蒸发段和绝热段，并给出详细结构图示和标引说明，是因为这两个部分在热管的热传递过程中承担着不同的功能。蒸发段负责吸收地热能使工质蒸发，绝热段则在传输蒸汽过程中减少热量散失，合理的结构设计有助于提高热管的整体性能。

模块化热管尺寸：规定热管外壳采用 API 标准石油套管或油管，并给出具体尺寸参数和允许误差，保证了热管的标准化和通用性，便于与其他井下设备配套使用，同时满足强度和空间要求。对内部结构尺寸误差的控制，如内管端面与管壳端面的距离误差，

是为了精确控制工质的流动路径和热交换区域，确保热管的热性能稳定。模

块化热管生产要求的通用要求中强调按规定图纸和文件制造，以及对管壳、焊条、焊丝等材料的标准要求，是为了从源头上保证热管的质量，使生产过程规范化、标准化。螺纹要求确保了热管模块之间的连接强度和密封性能，防止在井下工作时因连接部位问题导致泄漏或松动，影响热管正常运行。尺寸要求对成品热管长度和整体尺寸的公差控制，保证了热管在安装时的准确性和一致性，便于施工操作。性能要求中的气密性、液压和保温性能要求，分别从不同方面对热管的质量和性能进行了严格规定，确保热管在实际运行中能够安全、可靠、高效地工作。

超长重力热管管型设计，明确热管由绝热段和蒸发段组成，通过气密扣连接模块化热管，并可根据目标采热量计算长度，这种设计既考虑了热管的功能实现，又能根据不同的地热能开采需求进行灵活调整，提高了热管的适用性。规定蒸发段和绝热段的温度条件，是基于热管的工作原理，确保工质在合适的温度范围内进行蒸发和冷凝，实现高效的热传递。给出绝热段和蒸发段长度的计算公式，以及外径尺寸与井孔内径的匹配关系，为热管的设计和选型提供了科学依据，有助于优化热管的性能，提高地热能开采效率。

4.4 重力热管运输、贮存与安装

包括一般规定、热管运输与贮存、超长重力热管安装、换热工质加注与回收等。

一般规定强调了热管机械变形与破损防范、连接螺纹保护、包装运输贮存遵循的技术标准等，目的是保护热管的结构完整性，螺纹连接的密封性和可靠性，防止因变形或破损影响热管的传热性能和使用寿命。

热管运输与贮存对模块化热管的运输与贮存要求进行了规定，是为了在运输过程中保护热管不受损坏，防止因碰撞、潮湿等因素影响热管性能。并确保热管在贮存期间的稳定性和安全性，避免因场地不平整、支架不可靠或受腐蚀性物质影响而损坏热管。

超长重力热管安装，按照实际工序，分安装前准备工作、热管现场安装、现场气密性检查三阶段对关键工作环节进行了规定，目的是为了保证安装过程的顺利进行，避免因设备、工具或热管本身的问题导致安装失败或出现安全隐患；确保热管安装的准确性、

密封性和安全性，保证热管在井下的正常运行；防止因泄漏导致热管性能下降或无法正常工作。

换热工质加注对换热工质选择、注液量计算、换热工质加注、换热工质回收进行了规定，基于液氨在换热性能和经济性方面的优势，能够满足重力热管在不同场景下的工作需求。参考设计温度下的饱和物性参数计算注液量，指导工程实际，确保换热效果。换热工质加注对换热前准备、加注过程、加注完毕检查等关键环节作出具体要求，以确保换热工质加注过程的安全、准确，保证热管内的工质达到设计要求。换热工质回收提出使用冷凝方式回收工质，该方法经既有超长重力热管开采深部地热工程实际验证是可行且有效的回收方法，能够将气态工质冷凝为液态并回收到槽车或储罐中，实现工质的重复利用。

4.5 地面用热系统设计与建设

包括一般规定、地面供热系统设计、超长重力热管蒸汽直驱发电与制冷系统的设计等。

一般规定，明确地面用热系统设计需综合考虑场地工程与资源调查、超长重力热管换热性能、地面热负荷等因素；规定系统设计与建设应符合相关标准；强调宜进行动态负荷计算和数值模拟，以指导系统设计；对系统选用的材料设备提出适应环境、满足安全指标和绿色环保的要求。

地面供热系统设计对 8 方面内容进行了规定，分别是①设计范围涵盖超长重力热管和热源侧循环工质运行线路上的关联设备。②换热井能力确定：推荐采用现场实验确定换热井换热能力，多换热井项目可通过类比确定。③系统规划：确定超长重力热管工程在供热负荷中的比例，规划供热系统流程，选择建筑供热形式，制定不同工况负荷的调节和保障手段。④循环工质：换热系统管内循环工质优先采用软化水，补水系统需配备除氧及软化处理装置。⑤设备材质：与热管工质直接接触的设备材质需与工质兼容且耐腐蚀。⑥流道设计：地面换热器热管工质侧流道应满足液体重力回流，避免积液；减少流道迂回，保证蒸汽工质顺畅流动。⑦梯级利用：可根据不同地热资源条件采用梯级利用方式，确保回井下热管的液态工质温度不低于 0℃；合理选择梯级利用时的供暖方式，根据热管蒸汽参数设计梯级利用设备并选型。⑧热泵系统：配套热泵系统可采用热管工

质直接换热热泵，并明确设备与辅助配件的选用选型要求，如材料与承压按系统要求选用，水泵优先选具有变频调节功能等。

超长重力热管蒸汽直驱发电与制冷系统的设计，要求系统设计需考虑超长热管产蒸汽特点，确保稳定运行，最大化利用地热能源；吸附式热泵系统采用高效、环保的吸附剂和制冷剂；限定系统运行参数，如蒸汽流速、温度、压力等；系统应具备自动监测和控制功能，实时监测调节相关参数。

4.6 系统运行、监测与评价

包括一般规定、系统运行要求、系统监测与控制、采（制）热性能评价、环境效益评价等。

一般规定提出了监测与控制系统的的原则及功能，计量设备与传感器要求，换热井沿程温度监测设置等。

系统运行要求对重力热管系统运行前的性能测试、短期循环换试验、长期运行测试、正式运行前安全检查等内容进行了规定，确保系统在不同工况下的适应性和稳定性，通过运行测试为系统的实际应用提供数据支撑，综合保障系统的安全运行。

系统监测与控制，对监测与控制系统设计原则、现场航监测仪表设置、监测系统设置、用电计量要求、自动控制接口预留等内容做出规定，确保系统在运行过程中能够得到有效监控和管理、保障系统安全稳定运行，促进系统的节能运行，提高系统的运行效率和管理水平。

采（制）热性能评价提出了采热性能评价指标，分类测试及要求，规定了采（制）热性能系数的计算方法和供热系统常规能源替代量的计算方法，为衡量系统采热性能和能源效益提供了量化标准，为系统采热性能的量化评价提供了具体操作方法，为系统的能源利用效率提供量化参考。

环境效益评价方面，参考《中深层地热井下换热供热工程技术标准》给出了系统年节约费用的计算公式，涉及常规能源替代量、标准煤热值、能源价格、运行维护增加费用等参数，评估系统的经济。根据替代常规能源量 Q_s ，计算系统运行的节电量及 CO_2 、 SO_2 、粉尘等污染物减排量，作为环境效益评价的重要依据。

5.主要试验验证情况和预期达到的效果

(1) 2019-2020年在唐山完成了世界首个超长重力热管开采干热岩热能实验，布设长3000m的热管（水工质），实验运行总时长4个月，在井下取热段平均温度为119℃地温条件下，地面获最高达90℃的水蒸汽，长时采热功率约200kW，实际证实了使用重力热管开采中-深层地热能这一技术路线的可行性。

(2)2021-2022年采用进一步的优化方案在雄安新区建立了总长4150m(世界最长)的重力热管，其短时采热峰值达到3MW以上，长时采热功率可达1MW，表明了超长重力热管地热开采技术已经达到商业化运行能力。

(3)2022年在山西太原综改示范区科创城一号能源岛，是世界首个超长重力热管地热供暖项目，共两口超长重力热管地热井，下管深度分别为2200m和2000m，井底温度约63℃，根据建科环能科技有限公司（第三方）于2022年7月中下旬所进行的现场采热性能测试结果，长度为2200m的重力热管取热量为523.3kW，2000m重力热管的取热量为335.2kW，该工程的两口井可为约2.5万m²建筑供暖。

6.知识产权专利等涉及情况

需要说明标准中设计知识产权专利的情况，如涉及知识产权专利，标准制订应符合GB/T 20003.1-2014《标准制订的特殊程序 第1部分：涉及专利的标准》。

本标准不涉及专利。

7.预期的社会效益、对产业发展的作用等情况

地热能开发超长重力热管技术标准适用于地热勘查开发、地热能供暖与制冷等工程和科研领域相关的勘察设计、工程建设、城镇供热、科研院所等单位，就以地下岩体、流体为主要热源，但受限于自然、环保、工程技术等原因，无法采用抽取地下水等常规方式进行水热型地热资源开采，或难以实现对井压裂联通的传统干热岩开采方式等情况，如何实现深部地热资源的可持续高效开采，提供一种新型的深部热能提取技术与装备，作为传统地热资源开采的补充、替代技术，并为干热岩型

地热资源的开采提供新技术。

地热能开发超长重力热管技术基于重力热管的高效节能、环保、可靠稳定以及适用范围广之优势，创造性地发明了由模块式热管组装形成超长重力热管，用于深部地热能的无泵式开采，实现了地热资源的高效开采，无需考虑地热回灌困难、致密硬岩压裂联通难度大等技术难题，避免了地热水过量抽采导致的水位下降问题，有效提高了深部地热能开采可持续性，在一定程度上降低了开采难度。地热能开发超长重力热管技术是世界首创的新型地热资源开采技术，丰富了我国地热能源的开采技术体系。本规范的制订不仅有利于地热能开发超长重力热管技术规范化、标准化，也有利于该技术的推广应用，为深部地热能的高效开采提供新方法、新技术、新装备，具有重要的理论和工程实际意义、经济效益、社会效益和推广应用价值。

8.采用国内标准、国际标准和国内外先进标准情况

8.1 采标情况及参考情况

本标准编制过程中未采用国外先进标准。

本标准符合编制要求，不违背现行相关法律、法规和强制性标准。本标准在编写过程中参考了以下标准：

- GB /T 5117 碳钢焊条
- GB /T 5118 热强钢焊条
- GB/T 8110 熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝
- GB/T 11615 地热资源地质勘查规范
- GB/T 14811 热管术语
- GB/T 14957 熔化焊用钢丝
- GB/T 19830 石油天然气工业油气井套管或油管用钢管
- GB 50194 建设工程施工现场供用电安全规范
- GB 50243 通风与空调工程施工质量验收规范
- GB 50274 制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范

- GB 55015 建筑节能与可再生能源利用通用规范
- CJJ/T 34 城镇供热管网设计标准
- DB13(J)/T 8429-2021 中深层地热井下换热供热工程技术标准
- DB11/T 2038-2022 中深层地热供热技术规范 井下换热
- DZ/T 0260 地热钻探技术规程
- SY/T5374.1 固井作业规程(常规固井)
- SY/T 5396 石油套管现场检验、运输与贮存
- SY/T 6592 固井质量评价方法

8.2 国外标准情况

地热能开采超长重力热管技术，属创新性技术方法。目前国内外尚无公开发布的超长重力热管技术的相关标准或规范。

9.在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调性

本标准属于地热能开发标准体系中的特殊类标准。

10.重大分歧意见的处理经过和依据

无。

11.标准性质的建议说明

建议本标准作为推荐性标准。

12.贯彻标准的要求和措施建议

无。

13. 废止现行相关标准的建议

无。

14.其他应予说明的事项

无。