

中深层井下换热系统性能测试规程

Specification for performance test of medium and deep underground heat exchange system



^a (工作组讨论稿)

^b (本稿完成日期:)

-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009《标准化工作导则第1 部分：标准的结构和编写》给出的规定起草。

本标准起草单位：陕西省煤田地质集团有限公司、陕西中煤新能源有限公司、中煤科工集团西安研究院有限公司、西安交通大学、中国建筑西北设计研究院有限公司、陕西燃气集团新能源发展股份有限公司、陕西西咸新区沣西新城能源发展有限公司、西安市建筑设计研究院有限公司、中煤西安设计工程有限责任公司。

目 次

1 总则..... 1

2 范围..... 1

3 规范性引用文件..... 1

4 术语和定义..... 1

 4.1 换热井 Geothermal heat exchange borehole..... 1

 4.2 地热换热器 medium deep geothermal heat exchanger..... 1

 4.3 换热介质 circulating medium in heat source side..... 1

 4.4 换热试验 heat transfer test.....2

 4.5 地温梯度 geothermal gradient.....2

 4.6 岩土热导率 thermal conductivity of rock..... 2

5 换热试验系统主要装置和设备.....2

 5.1 除污器.....2

 5.2 变频循环水泵.....2

 5.3 试验冷却设备.....2

 5.4 井口装置.....2

 5.5 数据采集装置.....2

6 换热试验换热井要求.....2

7 换热试验..... 3

 7.1 基础资料..... 3

 7.2 试验准备..... 3

 7.3 换热试验系统设计..... 3

 7.4 换热试验运行.....4

8 资料整理.....4

附录 A（资料性附录） 中深层换热井换热试验系统原理图..... 5

附录 B（资料性附录） 中深层换热井换热试验流量推荐表..... 6

附录 C（资料性附录） 中深层换热井换热试验数据记录表..... 7

中深层井下换热性能测试规程

1 总则

中深层地热能井下换热开发利用项目，需通过科学换热试验评价换热井的换热能力，并结合理论建模的方法，计算换热井的单井换热能力，推荐运行工况以及设备选型，指导项目设计实施，保证项目正常高效运行，实现地热资源的可持续开发和利用。

2 范围

本标准规定了中深层换热井换热试验的名词术语、总则、基础资料的准备、换热试验工程设计、换热试验系统主要装置及设备、换热试验数据监测的要求。

本标准适用于中深层地热井井下换热性能试验的设计、实施和数据分析，其他类型的地热换热试验参照执行。

3 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 11615-2010 地热资源地质勘查规范

T/CECS 854-2021 中深层地埋管地源热泵供暖技术规程

DBJ 61/T 166-2020 中深层地热地埋管供热系统应用技术规程

NB/T 10097—2018 地热能术语

DZ/T 0260-2014 地热钻探技术规程

SY/T 5088-2017 钻井井身质量控制规范

GB/T 5005-2010 钻井液材料规范

SY/T 6592-2017 固井质量评价方法

SY/T6194-2017 石油天然气工业 油气井套管或油管专用钢管

4 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

4.1 换热井 Geothermal heat exchange borehole

以导出地下热能为目的的地热井，取热不取水，又称换热孔。

4.2 地热换热器 medium deep geothermal heat exchanger

换热井中的密闭循环管组成的装置，供换热介质与岩土体换热使用。

4.3 换热介质 circulating medium in heat source side

通过地热换热器与岩土体进行热交换的工质，一般为水或水溶液。

4.4 换热试验 heat transfer test

利用测试仪器设备按照试验设计工况对井下换热系统进行运行监测，记录换热介质进口、出口温度、流量及压力等参数，分析换热井换热能力的试验。

4.5 地温梯度 geothermal gradient

地温随深度变化的速率。单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 或 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。

4.6 岩土热导率 thermal conductivity of rock

岩土导热能力的量度，即在热传导方向上单位长度温度降低 1°C 时，在单位时间内通过单位面积的热量，一般用符号 λ 或 K 表示，单位为 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

5 换热试验系统主要装置和设备

5.1 除污器

用于除去换热井内沉淀物或套管油污物，防止堵塞。

5.2 变频循环水泵

用于循环换热介质，水泵电机应具有变频控制功能，水泵选型流量要高于最大试验流量（试验流量参见附录），扬程需克服试验系统管道阻力。

5.3 试验冷却设备

用于接入换热井中循环介质进行冷却，可由冷却塔、热泵机组、连接管道、阀门配件等组成。

5.4 井口装置

安装在换热井口的密封装置，安装完成后通过压力测试进行密封检查，确保系统满足换热实验压力要求。

5.5 数据采集装置

用于采集换热试验过程中压力、温度、流量等数据的监测仪表，包括温度计、流量计、压力计、热能表、电能表等，仪表精度应满足以下要求：温度计准确度1.0级，流量计准确度2.0级，压力计准确度2.5级，热能表准确度2.0级，电能表准确度1.5级，应根据检定规程定期检定或校验。监测仪器仪表所有接触液体部分应满足于地热应用工况要求。

6 换热试验换热井要求

a) 在无中深层换热型换热井开发利用的区域，应在首口实施的换热井进行换热试验。

b) 对计划实施多口换热井，且处于同一地层条件、换热井成井工艺、地热换热器结构特征、换热介质均一致的项目，除对首口换热井进行换热试验外，当换热井供能面积大于10万平米时，还需选取代表井位进行换热试验。

c) 换热井钻井工程设计及钻井作业按照《地热钻探技术规程》DZ/T 0260-2014及《钻井井身质量控制规范》SY/T 5088-2017规定执行，开、完钻过程应连续作业，防止发生坍塌。

d) 钻井液材料应符合《钻井液材料规范》GB/T 5005-2010的规定。

e) 全井段固井作业应符合《固井质量评价方法》SY/T 6592-2017的规定。

f) 套管标准应符合《石油天然气工业 油气井套管或油管专用钢管》SY/T6194-2017的规定。

g) 成井时对换热井进行洗井工作，应符合《地热钻探技术规程》DZ/T 0260-2014的规定。具体洗井工艺及要求根据实际情况而定。

h) 如果基础资料中无地层温度，应在换热试验开展前应进行测温工作。

7 换热试验

7.1 基础资料

换热试验开展前，结合前期的地质勘查和钻探情况准备基础资料，准备资料包括以下内容：

- a) 地热田的地质构造、岩浆活动、控热构造及地热流体的动力场、温度场和循环途径；
- b) 换热井位置、深度、钻孔结构、地温梯度、流体化学成分等参数；
- c) 热储边界位置、面积、顶板深度、底板深度等几何参数；
- d) 热储温度、储层压力、岩石密度、比热、导热系数和压缩系数等物理性质；
- e) 地热换热器几何结构、材质型号、导热系数等参数；
- f) 换热介质的密度、导热系数、比热、组分、粘滞系数和压缩系数等热流体性质。

7.2 试验准备

7.2.1 对系统装置检查要求

换热井及冷却设备的动态监测仪器仪表正常，试验系统电源、设备和阀门状态正常。

7.2.2 管道设备冲洗

在试验前对试验系统管道进行冲洗，清除冷却设备中的杂质泥污，然后对地面管道和设备进行运行测试，保证系统管路完好、无渗漏，各设备运行正常。

7.3 换热试验系统设计

7.3.1 换热试验方式

换热试验可分为空冷换热试验、热泵换热试验和井水/河水换热试验。

7.3.2 换热试验工艺流程设计

从地热换热器中吸收热量的换热介质经过除污、排气装置后，通过循环水泵抽取经过后输送回地热换热器。

7.3.3 换热试验管网设计应保证除污、气体排出和清洗方便。

7.3.4 换热试验数据监测要求

记录的内容包括：

- a) 换热井监测内容：压力、流量、出水温度、进水温度等；
- b) 冷却设备监测内容：压力、流量、出水温度、进水温度等；
- c) 环境温度监测：项目所在地区开展试验阶段环境湿球温度、气象参数；
- d) 补水监测：冷却设备补水量及补水温度；
- e) 数据记录一般在测试开始后第1、3、5、10、20、30、45、60、75、90 min 进行观测，以后每隔30 min 观测一次。

7.3.5 换热试验控制模式

换热试验系统可具有“自动控制”和“手动控制”两种控制模式。

- a) 自动控制。自动控制装置运用现在控制技术（如模糊控制）构建的控制模型，对换热试验系统进行控制，以实现高效运行。
- b) 手动控制。由操作人员根据试验运行要求在控制柜（箱）上进行操作。

7.4 换热试验运行

换热试验运行时应满足以下要求：

- a) 试验开始前，记录换热介质温度、流量的起始读数，管路系统压力的起始读数；
- b) 试验开始后，应及时检查整个试验系统的密封情况，检查循环水泵及冷却设备是否正常运转；
- c) 当发现冷却设备发生堵塞或换热温差显著减小时，应进行清洗；
- d) 试验系统运行稳定后，一个试验流量工况的运行时长宜大于120h；
- e) 一个换热井宜根据不同流量进行三个工况以上的换热试验，每个工况的试验完成后应进行地温恢复，恢复时间应大于10d。
- f) 换热井流量温度变化异常时应及时采取有效措施。

换热试验结束后应满足以下要求：

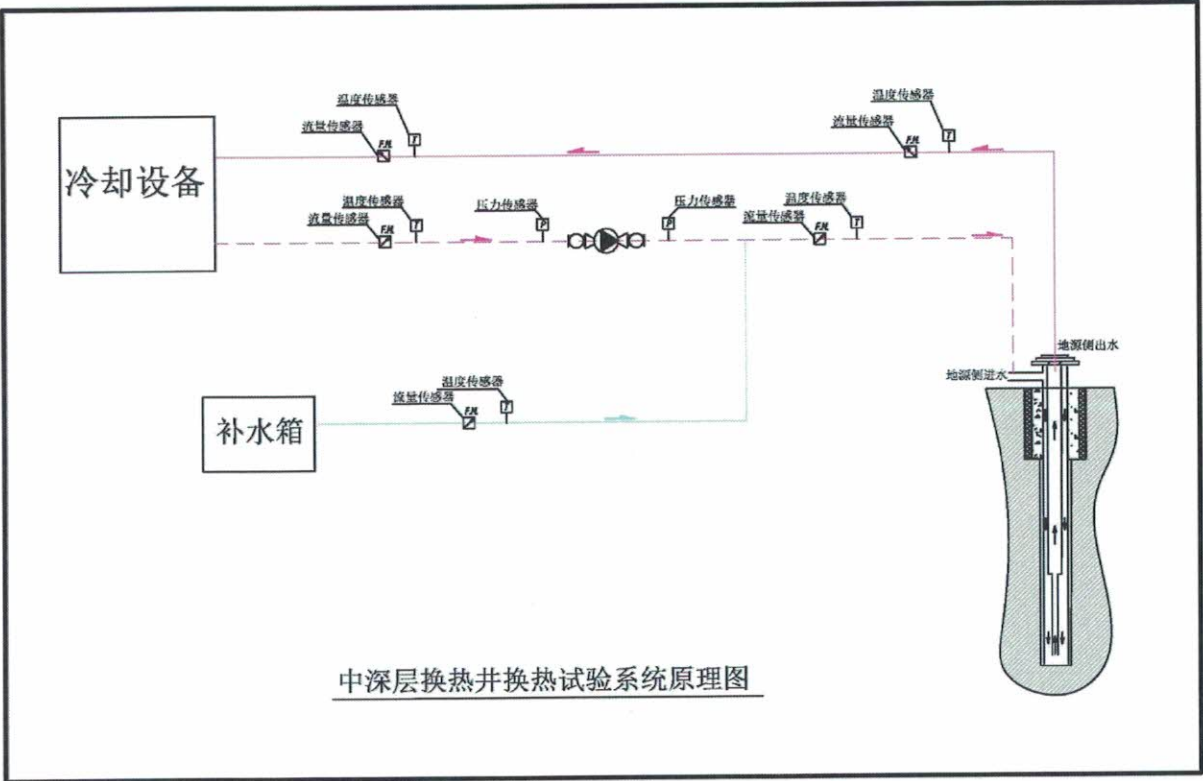
- a) 做好设备管道的维护保养及防腐、防锈等工作；
- b) 做好换热井的密封保护工作，对井口装置进行密封检查。

8 资料整理

a) 各动态数据的获得可自动记录或由人工记录。自动记录数据应及时做好储存和备份，人工记录的数据应定期收集整理成电子版并存档。

b) 试验结束后对试验资料进行系统分析，包括以下内容：换热井换热量、流量、温度、压力等，分析换热量的动态变化趋势，编制试验运行分析报告。

附录 A
(资料性附录)
中深层换热井换热试验系统原理图



附录 B
(资料性附录)
中深层换热井换热试验流量推荐表

中深层换热井换热试验推荐流量见表 B.1

表 B.1 中深层换热井换热试验推荐流量表 (m³/h)

管径规格		井型	工况	φ 177.8×9.19mm	φ 219.1×10.16mm	φ 244.5×10.3mm
同心井	试验工况 1			30	30	40
	试验工况 2			/	45	55
	试验工况 3			/	60	70
U 型对接井	试验工况 1			60	60	/
	试验工况 2			/	80	/
	试验工况 3			/	100	/

1. 表B. 1中给出了中深层换热井两种不同换热井型试验工况流量推荐值，可根据项目实际情况具体制定试验方案。
2. 以上所述中深层换热井管径规格，均为井下换热器生产套管外管尺寸。
3. 考虑到项目实际运行效果和经济性， φ 177. 8×9. 19mm同心井仅推荐30 m³/h为试验工况， φ 177. 8×9. 19mm U型对接井仅推荐60 m³/h为试验工况。

附录 C
(资料性附录)
中深层换热井换热试验数据记录表

表 C.1 中深层换热井换热实验数据记录表

工程名称:						施工单位:						
测试地点:		测试日期:				测试周期 (h) :				测试持续时间 (h) :		
换热井编号:		井深 (m) :				设备名称:				设备编号:		
时间	循环介质流量 (m³/h) 实测值	换热井侧 (循环介质)		冷却设备侧 (循环介质)		换热井井口压力 (Pa)		补给水		环境 (湿球) 温度 (°C)	换热井取热量 (KW)	换热设备换热量 (KW)
		进出口温度	出口温度	进出口温度	出口温度	进口	出口	水温 (°C)	水量 (m³/h)			
平均值												
测试人:						记录人:		核查人:				