

ICS

CCS 点击此处添加 CCS 号

DB 61

陕 西 省 地 方 标 准

DB XX/T XXXX—XXXX

中深层同心管井下换热技术规程

Technical regulations for coaxial downhole heat exchange of
medium-deep geothermal energy

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2024.5.8）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

陕西省市场监督管理局 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基础条件调查 2

5 系统设计 3

6 施工与验收 4

7 系统测试及运行维护 5

附录 A（资料性） 中深层套管式地热井的设计计算 7

附录 B（资料性） 连续运行（24h）工况下单井基准换热功率 10

附录 C（资料性） 间歇（连续运行 8h、12h、16h）运行工况下单井基准换热功率 12

附录 D 本文件用词说明 13

前 言

本文件按照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》的规定起草。

本文件由陕西省发展与改革委员会提出并归口。

本文件起草单位：中煤科工西安研究院（集团）有限公司等

本文件主要起草人：韩永亮等

本文件由陕西省地热能标准化技术委员会负责解释。

本文件首次发布。

联系信息如下：

单位：中煤科工西安研究院（集团）有限公司地热所

电话：18829021885

地址：陕西省西安市高新区锦业一路82号

邮编：710000

中深层同心管井下换热技术规程

1 范围

本文件规定了中深层地热能同轴套管井井下换热的基础条件调查、系统设计、施工与验收、系统测试及运行维护相关要求。

本文件适用于以中深层岩土体及流体为热源，采用中深层同轴套管井井下换热技术的设计、实施和验收，其他类型井下换热技术参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

- DZ/T 0260—2014 地热钻探技术规程
- NB/T 10266—2019 地热井钻井工程设计规范
- NB/T 10267—2019 地热井钻井地质设计规范
- NB/T 10268—2019 地热井录井技术规范
- NB/T 10269—2019 地热测井技术规范
- SY/T 5374.1—2016 固井作业规程 第 1 部分：常规固井
- SY/T 5435—2012 定向井轨道设计与轨迹计算
- SY/T 5467—2007 套管柱试压规范
- SY/T 5593—2016 井筒取心质量规范
- SY/T 6466—2016 油井水泥性能试验方法
- SY/T 6544—2017 油井水泥浆性能要求
- DB61/T 166—2020 中深层地热地埋管供热系统应用技术规程
- DB61/T 1808—2024 中深层地热能井下换热开发利用术语

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

中深层地热能 medium-deep geothermal energy
200m～4000m深度范围内的地热能。
[DB61/T 1808—2024, 3.1.2]

3.2

同轴套管井井下换热装置 coaxial downhole heat exchang
在井管内安装与井管同轴心的内管，内管与井管形成环状间隙，载热介质在内管与环状间隙循环的井下换热装置。
[DB61/T 1808—2024, 3.3.6]

3.3

中深层井下换热系统 medium-deep downhole heat exchange system

中深层井下换热装置与地面热交换设备连通形成的闭式管路系统。
[DB61/T 1808—2024, 3.3.2]

3.4

导热固井水泥 thermal conduction well cement
导热系数大于等于1.3W/(m·K)的固井水泥。
[DB61/T 1808—2024, 3.3.9.1]

3.5

载热介质 heat carried medium
井下换热系统中，循环载热的工质。
[DB61/T 1808—2024, 3.3.5]

3.6

地热井取热段 Heat extraction section of geothermal well
载热介质能够从地热井周围岩土体及流体中吸取热量的目的井段。

3.7

换热功率 heat exchanger power
单位时间内井下换热装置从地下岩土体及流体中获取的热量。

3.8

井口装置 wellhead device
安装在地热井管上端，用于封闭井口、连接管线，利于载热介质循环和数据采集的装置。
[DB61/T 1808—2024, 3.3.10]

3.9

换热试验 heat transfer test
利用测试设备对井下换热系统进行试验监测，记录循环载热介质进口、出口温度、流量及压力参数，分析系统换热能力的试验。分为恒温换热试验和恒热流换热试验。
[DB61/T 1808—2024, 3.3.12]

4 基础条件调查

4.1 一般规定

- 4.1.1 井下换热系统实施前，应对场地条件、地热地质条件进行调查。
- 4.1.2 场地条件调查主要开展场地地形、地物、地下状况、周边条件及社会资源供应调查。
- 4.1.3 地热地质条件调查应包括地质条件调查和地热条件调查，主要收集分析建设场地及周边范围内已有的地热地质信息。
- 4.1.4 同轴套管井平均地温梯度不宜小于 2.5℃/hm。

4.2 场地条件调查

查明场地内既有建筑物与规划建筑物占地面积与分布，已建或规划的地下管线与地下构筑物的分布、埋深及运行情况，树木植被、池塘及已有供水、供电、供气、排水设施；场地周边道路交通路网、历史文化遗迹和红线范围。

4.3 地质条件调查

- 4.3.1 地质构造调查：收集地质构造区域成果资料，查明场地主要地质构造性质、时代、产状、规模，

着重调查控热断裂构造，查明断裂产状、性质、规模、破碎带特征。

4.3.2 地层岩性调查：收集综合地层柱状图、岩矿鉴定、勘探钻孔等成果资料，查明场地地层厚度、产状、层序、地质时代、成因类型及岩性岩相特征。

4.3.3 水文地质条件调查：收集水文地质图、水文地质钻孔、区域及专门水文地质地层等成果资料，查明场地地下含水层和隔水层埋藏与分布、岩土渗透性、富水性、水化学类型、水力性质、地下水流速、流向及补给径流和排泄条件。

4.3.4 不良地质作用调查：调查核实场地内可能发生的滑坡、崩塌、泥石流、湿陷性黄土、地面沉降、采空区及地裂缝等不良地质作用。

4.4 地热条件调查

收集场地周边及区域地热井资料、地热系统相关报告、地热能开发利用现状，查明岩土体热物性、地温场特征及空间分布，在地热条件不清楚的空白区，应采用勘探和开采结合的方式，选择首口井作为探采井，采用钻探、地球物理勘探手段查明地热条件。

5 系统设计

5.1 一般规定

5.1.1 地热井井群项目，宜选取第 1 口地热井进行换热功率测试。

5.1.2 地热井固井层段应根据保护权益资源确定。

5.1.3 地热井可独立布设温度、流量、压力等监测仪器。

5.1.4 地热井井位应根据能源站位置就近选择。

5.1.5 应考虑与既有建筑的安全距离。

5.1.6 井下换热系统应有防腐蚀措施。

5.1.7 地热井设计宜考虑地下水渗流对换热功率的影响。

5.1.8 井下换热系统应进行水力计算。

5.1.9 地面供热系统设计应考虑中深层地热资源的梯级利用。

5.2 单井换热功率

5.2.1 单井换热功率估算应根据地层条件、岩土体热物性参数、井身结构及运行工况采用数值模拟软件计算确定。

5.2.2 同轴套管井井下换热装置入口温度宜取 10℃~15℃。

5.2.3 连续 24h 运行工况，基准换热功率可通过附录 B 查找。

5.2.4 间歇（连续运行 8h、12h、16h）运行工况，单井基准换热功率可通过附录 C 查找。

5.2.5 实际工况与基准工况不一致，单井换热功率根据附录 A.3 修正。

5.3 地热能钻井设计

5.3.1 地热井钻井设计包括钻井地质设计和钻井工程设计。

5.3.2 钻井地质设计内容包括地层结构、井深、地热地质条件分析、井位布置、设计井预测、地温梯度预测、单井换热功率计算、钻井液使用要求、录井项目及要求、地球物理测井要求及内容、井身结构及质量要求，应参考 NB/T 10267。

5.3.3 钻井工程设计内容包括井身结构设计、钻进工艺设计、钻井设备选型、钻具组合、取心及钻井液设计、地热井井控设计、固井设计、洗井、井管及地温监测系统安装要求，应参考 NB/T 10266 和 DZ/T

0260。

5.3.4 集中布设地热井，宜采用丛式定向井，应参考 SY/T 5435。

5.3.5 地热井群间距宜通过数值模拟计算确定，通常条件下主要取热段井身间距不宜小于 65m。

5.4 井管和内管

5.4.1 井管管材及管件应适用井下环境，具有出厂合格证和质量检验报告。

5.4.2 井管管材及管件应具有化学稳定性好、耐腐蚀、耐高压、耐高温、流动阻力小特性，应参考《API SPEC 5CT-10th-2018》。

5.4.3 内管可采用塑料管材或钢管，内管导热系数应低于 $0.4\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

5.4.4 内管安装宜居中，距井底应大于 10m。

5.4.5 内管下部 10m~20m 宜采用花管，孔洞宜交错分布，上部过水面积应小于下部。

5.4.6 井管与内管环空面积与内管截面积之比宜控制在 1.3~1.6。

5.4.7 同一项目宜安装一套地温监测系统。

5.5 载热介质

5.5.1 载热介质应选用环保、性能稳定、比热容高的换热工质。

5.5.2 载热介质应充足稳定，满足系统供热时对入口温度和流量的要求。

5.5.3 载热介质应采用软化水或水溶液。

5.6 固井水泥

5.6.1 固井水泥应选用导热固井水泥，其导热系数应接近或略高于周围岩土体。

5.6.2 固井水泥通常以常规密度为基础，并根据井深、地层压力和地质条件辅以低密度或高密度。

5.6.3 固井浆液流动性能、水泥石抗压强度应参考 SY/T 6466 和 SY/T 6544。

5.7 井口装置

5.7.1 井口装置宜包括井口控制阀门、金属软管、温度计、压力表、过滤器、排气阀、泄水装置。

5.7.2 井口装置应持续监测井口温度、流量、压力。

5.7.3 井口宜利于管线连接及数据采集。

5.7.4 井口装置连接件应与内、外管材质相同。

5.7.5 井下换热装置应进行强度验算。

6 施工与验收

6.1 钻井施工与录井

6.1.1 场地安装、拆卸钻塔时，钻塔外边缘与输电线路边缘之间的安全距离应符合最小安全距离的规定。

6.1.2 施工准备应包括基础条件调查报告、设计文件及图纸、施工组织设计等；井下换热系统施工影响范围内的既有管线和建（构）筑物由建设单位和施工单位共同标记，按相关标准要求做好保护措施；人工、材料、机械进场，设备试运行正常，质量安全检查通过验收。

6.1.3 钻井施工应参考 DZ/T 0260。

6.1.4 录井工程应参考 NB/T 10268。

6.1.5 地热井取样时主要取热段应采取不少于 1 组岩心，常规地层取心获取率不低于 75%，松散、破

碎地层取心获取率不低于 50%，应参考 SY/T 5593。

6.2 固井

6.2.1 固井作业宜在井管安装完成后 24h 内进行，其他固井作业内容应参考 SY/T5374.1。

6.2.2 固井作业完成后，对井管应进行试压，应参考 SY/T 5467。

6.3 地球物理测井

6.3.1 每口地热井应测量井身轨迹。

6.3.2 测井包括裸眼测井和套管井测井。

6.3.3 测井项目应包括自然伽马、自然电位、井径、连续井斜、双感应-八侧向、声波、井温、磁定位、声幅，选测项目应参考 NB/T 10269。

6.3.4 同轴套管井完井后，静置不宜少于 7 天进行一次静态地温测量。

6.3.5 固井质量检查测井应在固井结束 48 小时后进行。

6.4 井下换热装置

6.4.1 用于吊装的设备能力满足需求，运转正常。

6.4.2 井管、内管及井口装置应现场排序编号，按顺序安装。

6.4.3 井管安装前应进行通井，裸眼测井后，24h 内进行井管安装。

6.4.4 井管与内管应采用扶正器居中。

6.4.5 井管或内管安装测温设备时，应做好保护措施。

6.4.6 内管安装前应进行抗浮验算。

6.4.7 井下换热装置安装完成后，应进行冲洗。

6.4.8 测温设备安装

a) 根据同轴套管井井型、深度、温压环境选择测温设备规格、结构及性能。

b) 测温设备应进行进场验收，核验产品合格证、质量保证书及检测报告。

c) 测温设备应进行现场标定。

6.5 井下换热系统验收

6.5.1 地热井工程应提交成井报告，包括钻井工程、地质录井、测井、地层划分与岩性综述、成井工艺等。

6.5.2 成井报告附件应包括井管与内管安装记录、钻孔平面位置图、综合柱状图，钻孔班报表，钻孔岩屑记录表、钻井液进出口测温记录表、固井试压记录表、测井曲线以及质量证明文件。

6.5.3 管材、测温设备及固井材料应提供合格检验证明。

6.5.4 井管、内管、测温设备安装验收应与安装同步进行。

6.5.5 其他工程质量验收内容执行设计要求。

6.5.6 井下换热系统验收结束后，应提交验收报告。

7 系统测试及运行维护

7.1.1 井下换热系统宜结合供能季节对地热井进行 1 次换热功率测试。

7.1.2 系统测试应结合供能需求设计不同运行工况条件，并编制测试方案。

7.1.3 测试方案应包括进行不同流量、进口温度、运行模式的换热试验。

- 7.1.4 测试数据分析应包括不同工况下地热井单井换热功率、延米换热功率以及地温场变化特征。
- 7.1.5 根据测试数据对数值模型进行修正。
- 7.1.6 结合测试数据及数值模拟结果确定最佳运行工况，指导地面供热系统设计与设备选型。
- 7.1.7 测试成果报告应包括项目概况、测试方案、参考标准规范、原始测试数据记录、数据整理与分析结果等。
- 7.1.8 中深层同轴套管井井下换热系统在运行过程中，应对运行状态进行监测，包括热源侧与用户侧供回水温度、压力、流量，结合地温场恢复特性，优化运行方案。
- 7.1.9 地热井运行数量应根据热负荷变化特征进行调节，可采用交替运行方式。
- 7.1.10 应定期对井下换热系统进行排气。
- 7.1.11 中深层同轴套管井井下换热系统建成后应进行长期监测。
- 7.1.12 废弃地热井，应拆除内管、井口装置及监测设备，进行永久性封闭。

附录 A

(资料性)

中深层套管式地热井的设计计算

A.1 传热模拟计算

A.1.1 固体区域（岩土体、固井水泥、井管与内管管壁）传热控制方程可按式计算：

$$\rho_s C_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\lambda_s r \frac{\partial T_s}{\partial r}) + \frac{\partial}{\partial z} (\lambda_s \frac{\partial T_s}{\partial z}) \quad (\text{A.1.1})$$

A.1.2 内管流体能量守恒方程可按式计算：

$$A_i \rho_f C_f (\frac{\partial T_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial T_i}{\partial z}) - A_i \lambda_f \frac{\partial^2 T_i}{\partial z^2} = 2\pi r_1 h_1 (T_{pi} - T_i) \quad (\text{A.1.2})$$

A.1.3 井管流体能量守恒方程可按式计算：

$$A_o \rho_f C_f (\frac{\partial T_o}{\partial t} - u_o \frac{\partial T_o}{\partial z}) - A_o \lambda_f \frac{\partial^2 T_o}{\partial z^2} = 2\pi r_2 h_2 (T_{pi} - T_o) + \frac{T_g - T_o}{R} \quad (\text{A.1.3})$$

A.1.4 井管流体与钻孔壁间的单位长度热阻R可按式计算：

$$R = \frac{1}{2\pi r_3 h_3} + \frac{1}{2\pi \lambda_{po}} \ln \left(\frac{r_4}{r_3} \right) + \frac{1}{2\pi \lambda_g} \ln \left(\frac{r_5}{r_4} \right) \quad (\text{A.1.4})$$

式中，r——距钻孔轴线的距离，m；

t——时间，s；

z——距地表距离，m；

T_s ——固体温度，K，下标 s 可分别表示为 l、g、po、pi，其中 l 为岩土体，g 为固井水泥，po 为井管管壁，pi 内管管壁；

 T_i ——内管流体温度，K； T_o ——井管流体温度，K； T_{pi} ——内管管壁温度，K； ρ_s ——固体密度，kg/m³，下标 s 表示意义同上； C_s ——固体比热容，J/(kg·K)，下标 s 表示意义同上； $\rho_f C_f$ ——流体体积比热容，kJ/(m³·K)； λ_s ——固体导热系数，W/(m·K)，下标 s 表示意义同上； λ_f ——流体导热系数，W/(m·K)；

- A_i ——内管过水断面面积， m^2 ；
- A_o ——井管过水断面面积， m^2 ；
- u_i ——内管中流体流速， m/s ；
- u_o ——井管中流体流速， m/s ；
- r_1 ——内管内半径， m ；
- r_2 ——内管外半径， m ；
- r_3 ——井管内半径， m ；
- r_4 ——井管外半径， m ；
- r_5 ——钻孔半径， m ；
- h_1 ——内管内壁对流换热系数， $W/(m^2 \cdot K)$ ；
- h_2 ——内管外壁对流换热系数， $W/(m^2 \cdot K)$ ；
- h_3 ——井管壁对流换热系数， $W/(m^2 \cdot K)$ 。

A.2 单井换热功率估算

A.2.1 中深层同轴套管井换热功率估算可按附图B、C选取，作为方案设计的参考。

A.3 单井换热功率修正

A.3.1 单井换热功率修正可按下列公式计算：

$$Q = Q_0 \alpha_{in} \alpha_d \alpha_p \alpha_f \tag{A.3.1}$$

式中， Q ——单井换热功率， kW ；

Q_0 ——基准换热功率， kW ，可按附图 B.1、B.2、B.3、C.1、C.2 选取；

α_{in} ——入口温度修正系数， $0.89 \sim 1.00$ ，适用温度范围 $10^{\circ}C \sim 15^{\circ}C$ ，入口温度高者取较小值；

α_d ——安装深度修正系数，计算方法见公式 A.3.2、A.3.3。进行单井换热功率修正时，需以安装深度 2500m 基准换热功率作为计算基础。公式 A.3.2 适用深度范围 1500m~4000m，公式 A.3.3 适用深度范围 1500m~2500m。

α_p ——管径修正系数，可参照《中深层地热地埋管供热系统应用技术规程》DBJ61_T 166-2020 附录 B 进行换热量修正；

α_f ——流量修正系数，可使用插值法进行修正，修正系数范围见表 A.3.1。

表 A.1 流量修正系数范围

内管导热系数/(W/(m·K))	基准流量/(m³/h)	修正系数范围	适用流量范围/(m³/h)
0.40	26	0.90~1.04	20~30
	30	0.87~1.00	
0.02	26	0.96~1.02	

	30	0.94~1.00	
--	----	-----------	--

A. 3. 2 安装深度修正系数可按下列公式计算：

内管导热系数为 0.02W/(m·K)时，安装深度修正系数(α_{d1})计算公式如下：

$$\alpha_{d1} = 0.0007H + 0.0003G - 0.0046\lambda - 0.7 \tag{A.3.2}$$

内管导热系数为 0.40W/(m·K)时，安装深度修正系数(α_{d2})计算公式如下：

$$\alpha_{d2} = 0.0005H - 0.0005G + 0.0105\lambda - 0.37 \tag{A.3.3}$$

式中， H ——井管安装深度，m；
 G ——地温梯度，℃/km；
 λ ——岩土导热系数，W/(m·K)。

附录 B
(资料性)

连续运行（24h）工况下单井基准换热功率

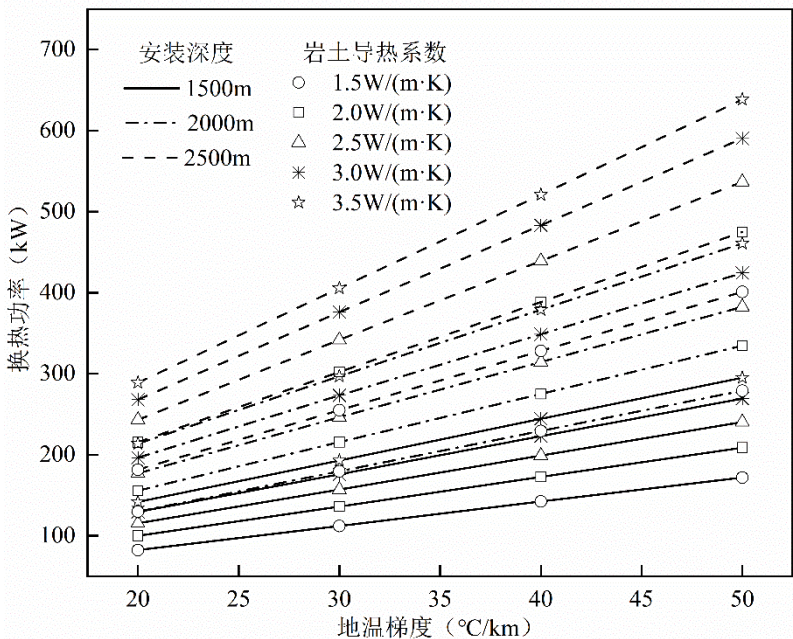


图 B.1 基准工况I：流量 26m³/h，入口水温 10℃，外管Φ177.8×9.19mm，内管Φ110×10mm，内管导热系数 0.40W/(m·K)

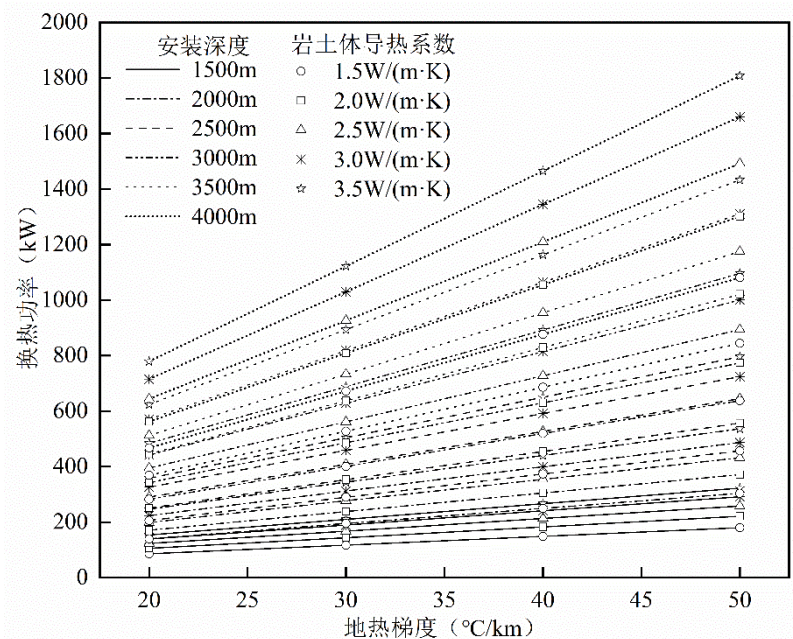


图 B.2 基准工况II：流量 26m³/h，入口水温 10℃，外管Φ177.8×9.19mm，内管Φ114.3×76mm，内管导热系数 0.02W/(m·K)

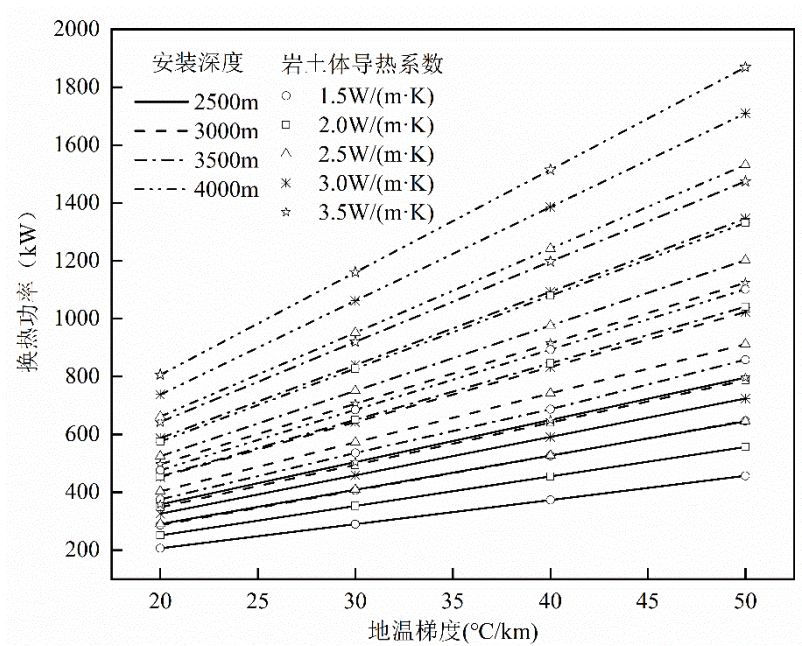


图 B.3 基准工况III：流量 30m³/h，入口水温 10℃，外管Φ177.8×9.19mm，内管Φ114.3×76mm，内管导热系数 0.02W/(m·K)

附录 C
(资料性)

间歇（连续运行 8h、12h、16h）运行工况下单井基准换热功率

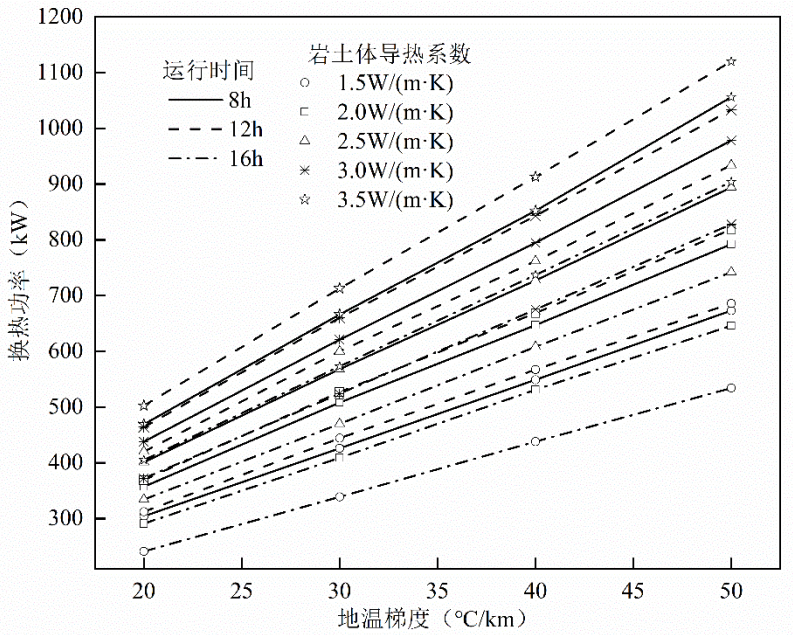


图 C.1 基准工况I：流量 26m³/h，入口水温 10℃，外管Φ177.8×9.19mm，内管Φ114.3×76mm，内管导热系数 0.02W/(m·K)

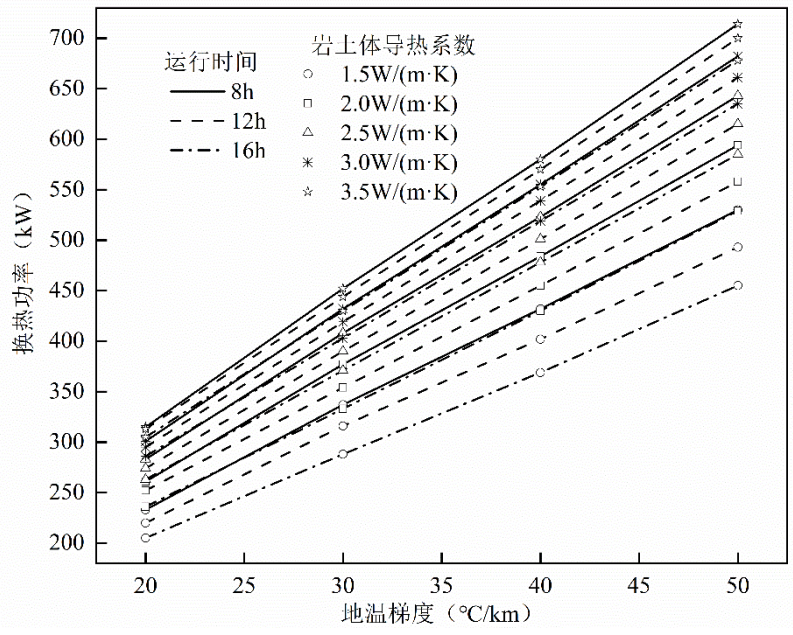


图 C.2 基准工况III：流量 26m³/h，入口水温 10℃，外管Φ177.8×9.19mm，内管Φ110×10mm，内管导热系数 0.4W/(m·K)

附 录 D 本文件用词说明

- 1 为便于执行本文件条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：
- 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他标准执行的写法为：“应按……执行”或“应符合……的规定”。
-