

ICS 27.010

CCS F 15

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 10696—2021

地热井井身结构设计方法

Design method of borehole structure of geothermal well

2021-11-16 发布

2022-05-16 实施

国家能源局 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 基本规定 2

5 设计依据 2

6 自下而上设计步骤 4

附录 A（规范性） 套管与钻头尺寸选择图..... 7

参考文献..... 8

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。

本文件由中国石油化工集团有限公司提出。

本文件由能源行业地热能专业标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中国地质大学（武汉）、长江三峡勘测研究院有限公司（武汉）、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、河北省煤田地质局第二地质队、北京天和众邦勘探技术股份有限公司、中煤科工集团西安研究院有限公司、西南石油大学、中科院武汉岩土力学研究所、中国石化集团新星石油有限责任公司、河南省地质矿产勘查开发局第二地质环境调查院、河南省深部探矿工程技术研究中心。

本文件主要起草人：窦斌、郑君、田红、吴天予、胡郁乐、崔国栋、周光辉、罗文行、张国斌、李建华、房艳国、程万强、刘现川、张海雄、杨迎新、刘贺娟、赵丰年、李天舒、王吉亮、孙冠军、肖鹏、陈金龙、陈莹、卢玮。

本文件于 2021 年首次发布。

地热井井身结构设计方法

1 范围

本文件规定了地热井井身结构设计中的术语和定义、地热井井身结构的基本要求、设计依据以及设计步骤。

本文件适用于水热型地热勘探井、探采结合井、开采井与回灌井。

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。

GB/T 11615 地热资源地质勘查规范

GB 50027 供水水文地质勘查规范

GB 50296 供水管井技术规范

DZ/T 0148 水文水井地质钻探规程

DZ/T 0260 地热钻探技术规程

NB/T 10097 地热能术语

SY/T 5313 钻井工程术语

SY/T 5341 井身结构设计方法

SY/T 5724 套管柱结构与强度设计

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自下而上设计方法 up-the-hole design criteria

根据地热资源需求及裸眼井段安全钻进应满足的约束条件，自开采段设计开始，自下而上逐次设计各层套管尺寸及下入深度的井身结构设计方法。

[来源：改写 SY/T 5431—2008，3.7]

3.2

开采段 product section

位于目的层，用于开采地热的井段。回灌井的回灌段亦为开采段。

3.3

泵室段 pump chamber section

表层套管中用于安装抽水泵的井段。

3.4

过滤管 screen pipe

缠丝过滤器和填砾（贴砾）过滤器的骨架管。单独使用时亦称为过滤器。

[来源：DZ/T 0148—2014，3.13]

3.5

过滤器 screen assembly

位于开采段（回灌段），起滤水、挡砂和护壁作用的装置。

[来源：DZ/T 0148—2014，3.15]

3.6

填砾 gravel packing

将一定级配的砾料填入过滤管与孔壁之间环状间隙中的工序。

[来源：DZ/T 0148—2014，3.22]

3.7

沉淀管 blank casing slump

在井管底部用以沉淀砂粒和沉淀物的无孔管。

[来源：DZ/T 0148—2014，3.14]

3.8

必封点 seal point

裸露井眼中满足压力不等式条件的极限长度井段定义为可行裸露段，这一井深区间的顶端为上一层套管的必封点，底端为该层套管的必封点。

4 基本规定

4.1 基本准则

4.1.1 符合安全、环保、经济、高效的施工要求。

4.1.2 采取自下而上的设计方法；从目的层开采段设计开始，逐级向上对各级技术套管和表层套管进行设计。

4.1.3 勘探井设计时，宜适当增大开采段（终孔）孔径，为下入下一级套管提供尺寸余量。

4.1.4 应充分考虑地热水的水温、水量及储层初见水位，使整体设计能有效保护目的层。

4.1.5 应避免产生井漏、井塌、卡钻等井下复杂情况和事故。

4.1.6 有利于控制异常地层压力，保证井控作业顺利进行。

4.2 井眼直径系列

地热井井眼直径和钻头尺寸可参考附录 A 选择。

5 设计依据

5.1 钻井地质设计

5.1.1 地层孔隙压力、地层破裂压力。

5.1.2 地层岩性预测剖面

5.2 相邻区块参考井、同区块邻井实钻资料。

5.3 钻井装备及工艺技术水平，完井方式和过滤管尺寸要求。

5.4 井位附近水源分布情况，邻近河流河床底部深度，地下水水温、水量及初见水位。

5.5 钻井技术规范。

5.6 设计参数及取值范围

5.6.1 根据当地统计数据分析确定。

5.6.2 抽汲压力当量密度 S_b 和激动压力当量密度 S_g 一般取 $0.015\text{g/cm}^3 \sim 0.040\text{g/cm}^3$ 。

5.6.3 地层破裂压力当量密度安全允许值 S_t 一般取 0.03g/cm^3 。

5.6.4 正常压力地层压差卡钻临界值 Δp_n 一般取 $12\text{MPa} \sim 15\text{MPa}$ ，异常压力地层压差卡钻临界值 Δp_a 一般取 $15\text{MPa} \sim 20\text{MPa}$ 。

5.7 约束条件

5.7.1 钻井液密度

钻井液密度即最小液柱压力当量密度大于或等于裸眼井段的最大地层孔隙压力当量密度，且不大于地层破裂压力当量密度安全允许值，见式（1）。

$$\rho_f \geq \rho_m \geq \rho_{pmax} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ρ_m —— 钻井液密度， g/cm^3 ；

ρ_{pmax} —— 裸眼井段最大地层孔隙压力当量密度， g/cm^3 ；

ρ_f —— 地层破裂压力当量密度安全允许值， g/cm^3 。

5.7.2 压力平衡约束条件

裸眼井段内某一深度处的压力当量密度 ρ_b 应小于或等于裸眼井段最小安全地层破裂压力当量密度 ρ_{ffmin} ，见式（2）。

$$\rho_b \leq \rho_{ffmin} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ρ_b —— 裸眼井段内某一深度处的压力当量密度， g/cm^3 ；

ρ_{ffmin} —— 裸眼井段最小安全地层破裂压力当量密度， g/cm^3 。

5.7.3 压差卡钻约束条件

钻井作业过程中，钻井液液柱压力与地层孔隙压力最大压差不大于 Δp_n 或 Δp_a ，见式（3）。

$$\Delta p = 0.00981 \times (\rho_{mmax} - \rho_{pmin}) \cdot D_n \leq \Delta p_n (\Delta p_a) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

Δp —— 钻井液液柱压力与地层孔隙压力最大压差， MPa ；

ρ_{mmax} —— 裸眼井段最大钻井液密度， g/cm^3 ；

ρ_{pmin} —— 裸眼井段正常或最小地层孔隙压力当量密度， g/cm^3 ；

D_n —— 最深正常地层孔隙压力当量密度或最深最小地层孔隙压力当量密度对应井身， m ；

Δp_n —— 正常压力地层压差卡钻临界值, MPa;

Δp_a —— 异常压力地层压差卡钻临界值, MPa。

5.8 必封点

应将下述情况作为主要考虑因素确定必封点。

- a) 膏盐层、复合盐岩层等盐溶性地层;
- b) 塑性泥岩层、泥页岩层及页岩层等易坍塌地层;
- c) 断层破碎带、不整合交界面等漏失性地层;
- d) 水温、水质或水量不满足生产要求的含水层;
- e) 井眼轨迹控制等施工特殊要求, 欠平衡钻进等工艺特殊要求;
- f) 附近河流河床底部深度、附近饮用水源的地下水底部深度;
- g) 附近矿井采掘坑道、城区附近地下管线及地下交通网的分布、深度和走向。

6 自下而上设计步骤

6.1 确定井身结构设计参数

6.1.1 从目的层深度 H 开始, 根据 5.7 裸眼井段应满足的约束条件, 向上确定出安全裸眼井段的长度 L_1 , 从而确定出倒数第一层技术套管下入的深度 $H_1 = H - L_1$ 。

6.1.2 从倒数第一层技术套管应下入的深度 H_1 开始, 根据 5.7 裸眼井段应满足的约束条件, 确定出 H_1 上部的安全裸眼井段的长度 L_2 , 从而确定出倒数第二层技术套管的应下入深度 $H_2 = H_1 - L_2$ 。

6.1.3 参照 6.1.2, 向上逐层确定出每层套管的下入深度。

6.1.4 在确定了钻探设备能力前提下进行设计时, 各级套管下入深度应满足设备能力要求。

6.2 开采段设计

依据目的层含水层厚度及地层稳定性确定开采段长度 L_1 , 依据储层岩性确定过滤管类型, 依据出水量要求确定开采段孔径 (d)。

6.2.1 开采段长度 (L_1) 设计

开采段长度应根据目的层厚度, 出水量要求和过滤形式确定。

6.2.1.1 孔隙型热储

a) 开采段长度应保证能使过滤管安装在井内动水位以下。

b) 目的层厚度在 30m 以下时, 开采段长度可设计为储层厚度; 目的层厚度超过 30m, 储层均质性能较好时可设计为目的层厚度的 70%~80%, 储层非均质情况下可设计为目的层厚度的 33%~50%。储层透水性差时可在在此基础上适当增加开采段长度。

实钻过程中, 过滤管、井壁管等的排列依据测井、录井等成果确定。

c) 采用填砾工艺时, 填砾高度宜超过过滤管不少于 20m。

d) 采用沉淀管时, 沉淀管宜不少于 15m。

6.2.1.2 裂隙型热储开采段长度应钻穿岩溶、断裂构造等含水层段, 并进入完整层段不少于 15m。

6.2.2 开采段孔径 (d) 设计

开采段孔径根据出水量要求、过滤管直径及地层情况确定。

6.2.2.1 下入过滤管成井

a) 下入过滤管成井时, 开采段孔径应根据过滤管外径 D_0 确定, 可参考公式 (4):

$$D_0 = \frac{Q}{\pi \cdot L m v} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

Q —— 设计出水量, m^3/s ;

L —— 过滤器工作部分长度, m ;

m —— 过滤器表层进水面有效孔隙率 (可按过滤管表层进水面孔隙率的 50% 考虑), %;

v —— 最大允许进水流速 (与含水层渗透系数有关), m/s , 一般 v 宜按式 (5) 计算:

$$v = \sqrt{K}/15 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

K —— 含水层的渗透系数 (m/s)。

b) 采用填砾工艺时, 开采段直径取值时应在过滤管外径 D_0 基础上附加填砾厚度 D_1 。

$$d = D_0 + 2D_1 \quad \dots\dots\dots (6)$$

填砾厚度宜根据地层稳定性及砂岩粒度确定, 粗粒砂岩、砾岩宜设计为 75mm~100mm, 中、细、粉粒砂岩宜设计为 100mm~150mm。

6.2.2.2 裸眼成井

a) 四开及以上井身结构, 开采段孔径宜不小于 152.4mm;

b) 三开及以下井身结构, 开采段孔径宜不小于 215.9mm。

6.3 技术套管设计

6.3.1 技术套管结构及下深设计

技术套管的结构及下入深度设计主要根据储层上覆地层情况、压力梯度及必封点确定。

6.3.1.1 依据 6.1 确定技术套管下入深度。

6.3.1.2 目的层上覆地层主要为稳定的第四纪地层或基岩层, 且无大的漏失、破碎带等不稳定地层时, 钻孔结构宜采用一径成孔的形式, 可不下技术套管。

6.3.1.3 目的层上覆地层主要为易出现漏、塌、缩等不稳定地层时, 宜下技术套管封隔复杂地层; 在同一井段有两个以上压力梯度不同的地层 (即存在窄密度窗口) 且钻井工艺难以保证安全钻进的情况下, 应下技术套管封隔后换径下钻, 换径应位于稳定岩层。一口地热井一般不宜超过两径技术套管。

6.3.2 技术套管直径设计

技术套管直径及与钻孔孔径的常用尺寸配合见附录 A。

6.3.3 水泥返高设计

宜采用全封固井, 管外水泥应返至套管重叠段; 根据地层压力梯度判断地层存在异常低压时可采用部分封固的形式, 管外水泥上返高度不应低于 400m, 并自套管重叠段再压入垂向深度不小于 100m 水泥浆。

采用悬挂方式的技术套管封固时水泥应返至上层套管鞋以上不少于 30m。

6.4 表层套管设计

6.4.1 表层套管直径设计

表层套管直径应充分考虑地质条件、地热水水量及钻机卷扬能力，表层套管直径不宜小于 339.7mm；表层套管尺寸参数可参照附录 A。

6.4.2 泵室段长度设计

泵室段长度应考虑设备的抽汲能力、地下热水静水位和动水位，宜设计为 300m～500m；地热水动水位较浅、水量大、回灌好、补给充分的情况下泵室段长度可低于 300m。

特殊情况下泵室段兼做技术套管，在抽水设备和钻机卷扬能力满足要求的情况下可设计为 700m～800m。

6.4.3 水泥返高设计

宜采用全封固井，管外水泥应上返至地表。

6.5 套管重叠段设计

根据井下具体情况设计套管重叠段，一般不少于 30m，宜设计为 30m～50m。

6.6 套管螺纹扣型设计

地热井套管螺纹扣型通常情况下可采用长圆扣，大口径定向井可以采用偏梯形扣。

6.7 套管与孔壁间隙设计

套管与孔壁的间隙应确保水泥注浆时不存在压裂地层或水泥过早脱落形成水泥桥的可能，间隙值一般不小于 19mm。

套管与孔壁（钻头尺寸）间隙可参考附录 A 选择。

附 录 A
(规范性)
套管与钻头尺寸选择图

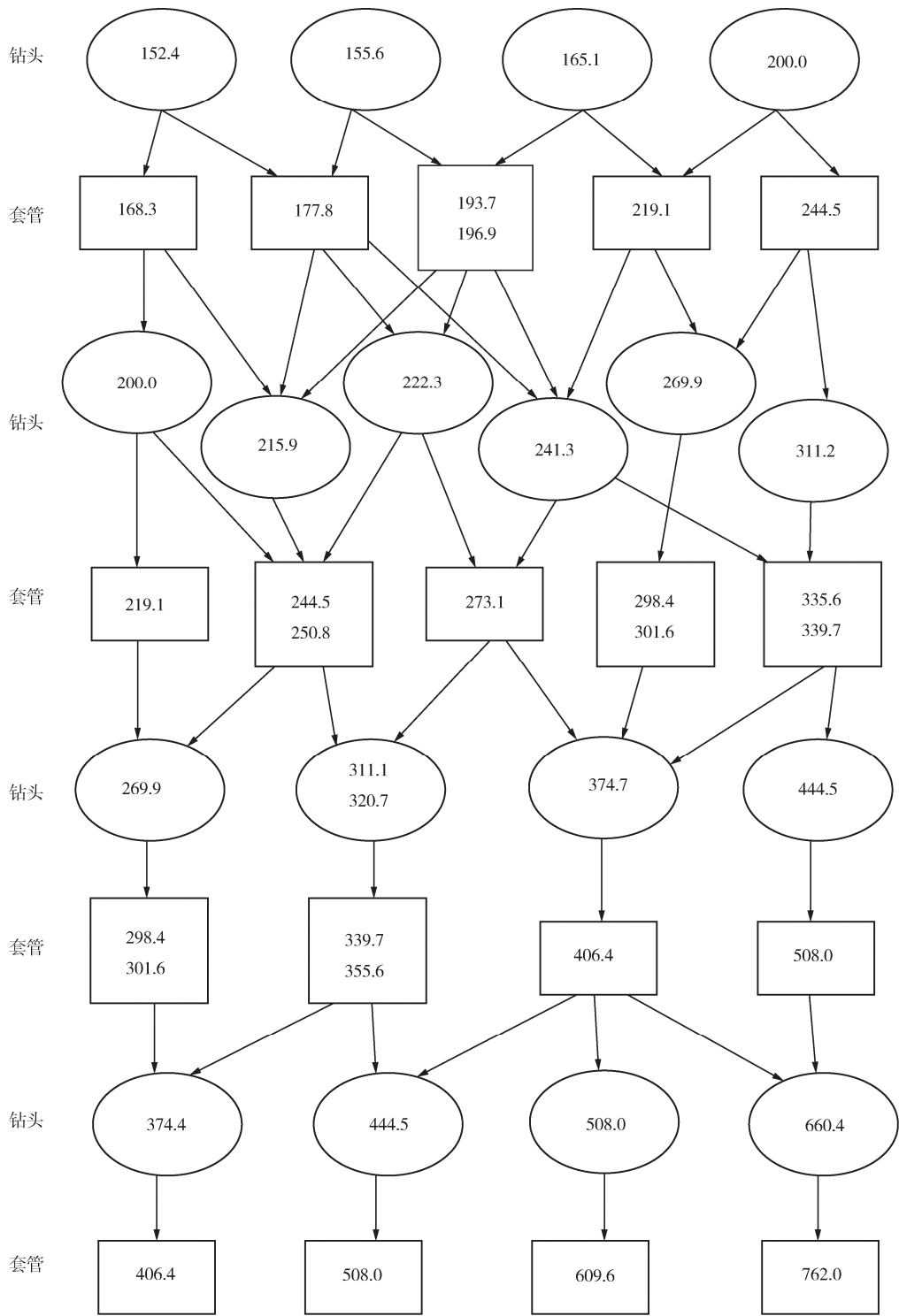


图 A.1 套管与钻头尺寸选择图

参 考 文 献

- [1] ASTM E957-2003 (2011) e1 有关地热能名词的定义
 - [2] NZS 2403-2015 地热深井作业守则
-

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
地 热 井 井 身 结 构 设 计 方 法
NB/T 10696—2021

*

中国石化出版社出版发行
地址：北京市东城区安定门外大街 58 号
邮编：100011 电话：(010) 57512500
石化标准编辑部电话：(010) 57512453
发行部电话：(010) 57512575
<http://www.sinopec-press.com>
E-mail: press@sinopec.com
北京艾普海德印刷有限公司印刷
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 19 千字
2022 年 3 月第 1 版 2022 年 3 月第 1 次印刷

*

书号：155114·2061 定价：40.00 元