

附件 1

山西省地热尾水回灌技术要求（试行）

目 录

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	3
4.1 目的	3
4.2 基本原则	3
4.3 总体要求	4
4.4 主要流程	4
5 回灌目的层可回灌性论证与地质设计	4
5.1 回灌目的层可回灌性论证	4
5.2 回灌目的段的确定	6
5.3 回灌井地质设计	7
6 回灌井钻井技术设计与施工	9
6.1 回灌井钻井技术设计	9
6.2 施工工艺及要求	11
7 热储层优化与增产增灌技术	14
7.1 一般原则	14
7.2 酸化压裂技术	15
7.3 加砂压裂技术	16
8 地面回灌系统设计与安装	17
8.1 地面回灌系统设计	17
8.2 地面回灌系统安装要求	17
9 回灌试验	19
9.1 通用要求	19
9.2 梯级流量试验	19
9.3 梯级温度试验	19
10 回灌工艺	19
10.1 一般原则	19
10.2 回灌方式	20
10.3 回扬	20
10.4 回灌数据统计分析	22
10.5 生产性回灌方案	22
11 回灌监测与评价	22
11.1 一般规定	22
11.2 回灌监测的内容	22
11.3 回灌评价	24

12 系统维护与保养.....	25
12.1 回灌运行前的养护.....	25
12.2 回灌运行期的养护.....	25
12.3 停灌后的养护.....	26
13 成果验收与资料提交.....	26
13.1 成果报告编制与验收.....	26
13.2 资料提交.....	27
附 录 A (资料性) 合理采灌井距.....	28
A.1 相对独立的砂岩热储同层等量回灌.....	28
A.2 受其他采灌井影响的砂岩热储同层等量回灌.....	28
A.3 裂隙型热储同层等量回灌.....	28
附录 B (资料性) 多井允许回灌量计算方法.....	29
B.1 计算原则.....	29
B.2 回灌设计参数.....	29
B.3 多井允许回灌量计算方法.....	29
附录 C (资料性) 回灌井回灌量设计方法.....	31
C.1 回灌井回灌量设计方法.....	31
附录 D (资料性) 大口径填砾井井身结构.....	33
附录 E (资料性) 中深层热储固井射孔井井身结构.....	34
附录 F (资料性) 常用套管尺寸及规格.....	35
附录 G (资料性) 回灌系统运行流程图.....	36
附录 H (规范性) 回灌井回灌监测记录表.....	37
附录 I (规范性) 开采井回灌监测记录表.....	38
附录 J (资料性) 回灌目的层可回灌性论证报告提纲.....	39
J.1 可回灌性论证报告的作用及要求.....	39
J.2 可回灌性论证报告提纲.....	39
J.3 可回灌性论证报告附件.....	40
附录 K (资料性) 年度回灌总结报告提纲.....	41
K.1 年度总结报告的作用及要求.....	41
K.2 年度总结报告提纲.....	41
K.3 年度总结报告附件.....	41

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》起草。

本文件由山西省自然资源厅提出并组织实施。

本文件起草单位：山西省煤炭地质水文勘查研究院有限公司、山西省地质勘查局二一四地质队有限公司、山西地质博物馆、山西省煤炭地质勘查研究院有限公司。

本文件主要起草人：张玉良、杨函、焦鹏帅、杨展、张晓亮、高阳、项彪、苑晓雨、魏巍、王爱武、王续祥、王昊、柴建宙、毛杰。

引 言

地热能是一种绿色低碳、可循环利用的清洁能源，在山西省广泛应用于供暖、制冷、理疗、康养、种植养殖等领域。为加快地热能勘查开发利用，对于调整能源结构、推进双碳减排、改善大气质量、减轻冬季雾霾具有重要的现实意义。地热尾水的大量排放不仅造成了资源浪费，并导致热储压力不断下降、抽水耗能不断增加，高盐分的地热尾水对周边地表水、地下水及土壤环境也带来了负面影响。

为实现地热资源的节能、绿色可持续开发利用，必须对地热尾水进行回灌处理，从而避免因地热尾水直接排放引起的热污染和化学污染，并维持热储压力、缓解地热水水位的大幅持续下降，保证地热田的可持续开采，即地热尾水回灌是地热资源可持续开发的主要保障措施。然而，全省地热地质条件复杂多样，造成了尾水回灌难度大，热储层易发生堵塞而使回灌量迅速衰减。鉴于此，为适应地热资源大规模开发利用的需求，经大量回灌试验研究和生产性回灌实践探索，针对我省地热尾水回灌的难点及要点，提出了相应的技术方法及工艺流程，制定了本要求。

山西省地热尾水回灌技术要求（试行）

1 范围

本文件规定了地热尾水回灌可行性论证与地质设计、回灌井钻井技术设计与施工、储层优化与增产增灌技术、地面回灌系统设计与安装、回灌试验、回灌工艺、回灌监测与评价、系统维护与保养、成果验收与资料提交等内容的技术要求。

本文件适用于中低温孔隙型砂岩热储、裂隙型（碎屑岩、碳酸盐岩和变质岩）热储地热回灌设计、实施和管理等工作，不适用于浅层地温资源和高温地热资源回灌系统。

2 规范性引用文件

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

DZ/T 0260 地热钻探技术规程

DZ/T 0330 砂岩热储地热尾水回灌技术规程

DZ/T 0331 地热资源评价方法及估算规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 地热资源回灌 **geothermal resources reinjection**

为保持热储压力、充分利用地热资源、减少地热流体直接排放对环境的污染，将经过利用（降低了温度）的地热流体通过地热回灌井重新注回热储的过程。

3.2 新生界砂岩孔隙型热储 **sandstone geothermal reservoir**

新生界砂岩孔隙型热储层，具有一定的胶结或成岩性，且有一定有效孔隙度和渗透性的多孔介质，其中存储的地热流体可供开发利用。

3.3 岩溶裂隙型热储 **karst geothermal reservoir**

岩溶裂隙发育的碳酸盐岩（石灰岩、白云岩、大理石等）、硫酸盐岩（石膏、硬石膏、芒硝等）等岩层构成的热储。

3.4 碎屑岩裂隙型热储 **clastic geothermal reservoir**

裂隙发育的碎屑岩（粗粒砂岩、中粒砂岩、细粒砂岩、泥岩及砂质泥岩等）岩层构成的热储，其中存储的地热流体可供开发利用。

3.5 变质岩裂隙型热储 **metamorphic geothermal reservoir**

裂隙发育的变质岩（片麻岩等）岩层构成的热储，其中存储的地热流体可供开发利用。

3.6 开采井 **exploitation well**

将地热水从热储层抽采出来进行利用的地热井。

3.7 回灌井 **reinjection well**

用于将地热尾水灌入同一热储层的地热井。

3.8 地热尾水 **geothermal return water**

供暖、制冷、发电利用为主的密闭系统，提取热量后的地热流体。

3.9 地热尾水回灌 **geothermal return water reinjection**

将经过利用后（降低了温度）的地热尾水通过回灌井重新注回热储层的过程。

3.10 采灌系统 **exploitation and reinjection system**

地热回灌中，包括开采井、回灌井以及连通开采井和回灌井之间的管路装置、过滤设备、排气设施、加压设备和监测设施等组成的地热采灌完整系统。

3.11 热突破 **geothermal breakthrough**

地热尾水的不合理回灌造成开采井温度降低的现象。

3.12 合理采灌井距 **reasonable distance between production and reinjection wells**

在100年开采、回灌周期内，开采井不产生热突破的前提下，采、灌井在回灌目的热储层的适宜距离。

3.13 回灌试验 **reinjection test**

在一定周期内将地热尾水灌入回灌井中，根据动态监测数据，对回灌井可回灌性进行的试验与评价。

3.14 自然回灌 **natural reinjection**

依靠高出区域水位的井筒水柱自重压力作为驱动力进行回灌的方式，即天然压力条件下的回灌。适用于热储水位埋藏较深，储层渗透性良好的热储层。

3.15 加压回灌 **pressurized reinjection**

依靠加压泵加压的作用下，强迫回灌流体以高出水柱自重压力从回灌水管内加速补给热储层的回灌方式。主要适用于热储水位埋藏较浅、储层渗透性较差和滤网强度较大的热储层。

3.16 单位回灌量 **specific reinjection rate**

回灌井每米水位升幅的地热流体回灌量。

3.17 允许回灌量 **permissible reinjection quantity**

保持地热田或开采区地热资源条件相对稳定的最大回灌量。

3.18 地热流体回灌率 **reinjection quantity ratio**

回灌量占开采量的比例。回灌率可分为瞬时回灌率、累计回灌率和某个区域的回灌率。

3.19 回灌衰减 **reinjection attenuation**

在地热回灌过程中，由于物理、化学、生物等原因造成的回灌能力随时间逐渐下降的现象。

3.20 回扬 **pump lifting**

需要定期或不定期的在回灌井中进行洗井或抽取地热流体的过程，以便将回灌产生的杂质、淤积物排出回灌井，疏通井筒和储水空间的过程。

3.21 回灌监测 **reinjection monitoring**

利用仪器仪表和其它装置对地热流体的采、灌进行监测，主要内容包括：地热流体压力、流量、温度及化学成分等，监测周期和频率可根据需要而定。

3.22 储层优化 **reservoir optimization**

通过储层改造，提高储层开采井、回灌井性能的工艺。

3.23 堵塞比 **clogging ratio**

回灌末期单位回灌量的减少量与回灌初期单位回灌量之比。

3.24 疏通比 **clearance ratio**

回扬末期单位涌水量与回灌前单位涌水量之比。

3.25 热储层损害 **geothermal reservoir damage**

储层空隙被缩小或被堵塞而造成渗透性能降低的现象。

3.26 地热流体腐蚀性 **the corrosion of geothermal fluid**

地热流体中溶解氧等化学组份和微生物对地热井井管、过滤网缠丝、垫筋产生的物理化学破坏作用。

4 总则

4.1 目的

地热资源回灌是将经过利用（降低了温度）的地热流体通过地热回灌井重新注回热储的过程，以保持地热田（或开采区）地热资源要素的相对稳定，减少地热流体直接排放对环境的污染，保障地热资源可持续开发。

4.2 基本原则

4.2.1 有利于地热资源综合利用和环境保护。

4.2.2 地热资源可持续利用。

4.2.3 因地制宜，循序渐进开展回灌工作。

4.2.4 兼顾技术可行、经济合理、环境友好，体现最佳综合效益。

4.2.5 地热开发项目除取热不耗水类型外，地下水水质出现恶化的地热开发项目，地热尾水不得回灌地下。

4.3 总体要求

4.3.1 热能利用的地热开发项目应秉承同层回灌，回灌量不低于95%。

4.3.2 地热资源回灌应在地热资源勘查程度达到可行性勘查或开采阶段的基础上布置，单井回灌及回灌量规模较小的项目可在地热资源达到预可行性勘查阶段的基础上布置。

4.3.3 地热流体应回灌至与开采相同或有明显水力联系的热储中，维护热储层原有水质。

4.3.4 回灌的地热流体应是未受污染的原水，回灌不得对原热储层造成污染。

4.3.5 回灌流体温度宜应低于 25℃，回灌量规模应不大于允许回灌量，不影响开采井水温。

4.3.6 地热资源回灌应采取有效的密闭、过滤措施。

4.3.7 地热资源回灌应主动开展监测和维护。

4.3.8 地热资源开发时，应配套施工回灌井和建设地面回灌系统，实施采灌平衡，维持开发热储层压力。

4.3.9 地热回灌的勘查、开发、设计和施工应以生态环境保护优先、绿色勘查，满足绿色勘查的要求。

4.4 主要流程

地热尾水回灌主要流程包括回灌目的层可回灌性论证、回灌井地质设计、回灌井钻井技术设计、回灌井施工（储层优化与增产增灌技术）、地面回灌系统设计、地面回灌系统安装、回灌试验、生产性回灌、回灌监测、回灌评价和系统维护与保养等，工作流程如图 1 所示。

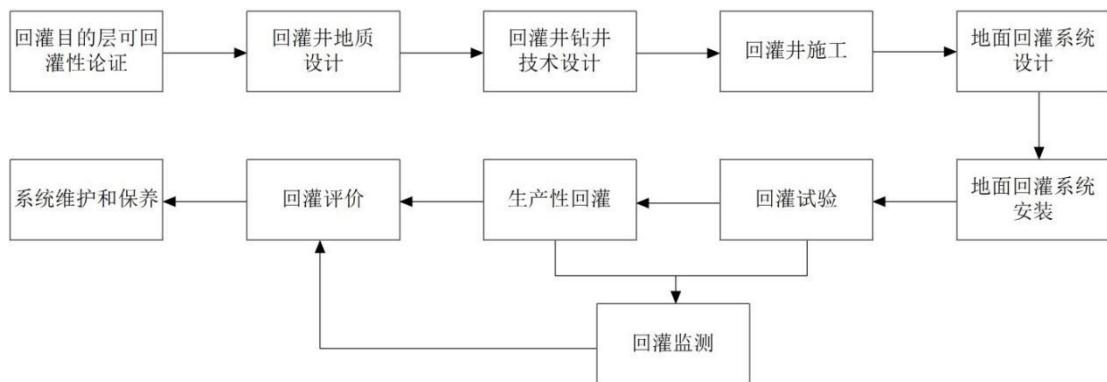


图1 地热回灌工作流程图

5 回灌目的层可回灌性论证与地质设计

5.1 回灌目的层可回灌性论证

5.1.1 地热地质参数

5.1.1.1 孔隙型热储

孔隙型热储地热地质参数的勘查，应符合下列要求：

- a) 应进行综合测井，解译回灌热储的地层岩性、渗透率、孔隙度、单层厚度、热储厚度、含水率、泥质含量、含油饱和度等参数；
- b) 应开展非稳定流抽水试验，确定回灌热储层的渗透系数、弹性释水系数、导水系数等参数；
- c) 前期未做勘探工作时，应进行砂粒大小和级配的实验分析工作：
 - 1) 砂岩分类，用主要粒径颗粒质量占总质量百分比判定，见表 1；
 - 2) 砂粒级配，用不均匀系数 (C_u , $C_u=d_{60}/d_{10}$) 判定，见表 2。

注1: d_{60} 为热储层砂、土试样筛分中能通过网眼的颗粒，其累计质量占试样总质量的60 %时的最大颗粒直径。

注2: d_{10} 为热储层砂、土试样筛分中能通过网眼的颗粒，其累计质量占试样总质量的10 %时的最大颗粒直径。

表1 砂岩分类与定名

砂岩分类	砂粒级配
砾砂岩	粒径大于 2 mm 的颗粒质量占总质量 25 %~50 %
粗砂岩	粒径大于 0.5 mm 的颗粒质量超过总质量 50 %
中砂岩	粒径大于 0.25 mm 的颗粒质量超过总质量 50 %
细砂岩	粒径大于 0.1 mm 的颗粒质量超过总质量 75 %
粉砂岩	粒径大于 0.1 mm 的颗粒质量不超过总质量 75 %

表2 回灌热储层砂粒级配判定

不均匀系数 (C_u)	$1 < C_u \leq 3$	$3 < C_u \leq 5$	$5 < C_u \leq 10$	$C_u > 10$
级配评价	均匀质砂	较均匀质砂	较不均匀质砂	不均匀质砂

5.1.1.2 裂隙型热储

热储地热地质参数的勘查，应符合下列要求：

- a) 应进行综合测井，解译回灌热储的裂隙发育段、渗透率、孔隙度等参数；
- b) 应开展非稳定流抽水试验，确定回灌热储层的渗透系数、弹性释水系数、导水系数等参数。
- c) 必要时应开展回灌示踪试验，进一步查明热储层的裂隙发育程度和可回灌性。

5.1.2 沉积环境

沉积环境的勘查，应满足下列要求：

- a) 达到可行性勘查阶段以上的地区，孔隙型热储应进行回灌热储层沉积环境、分布特征、矿物组份、颗粒形态（颗粒大小及组分含量、分选性、磨圆度、胶结状态）、平面及垂向的演化规律、成岩作用及杂基的勘查研究；裂隙型热储应进行岩石的组分结构、风化程度、裂隙岩溶率及分布特征的勘查研究；
- b) 未达到可行性勘查阶段以上的地区，宜开展地热地质勘查和施工探采结合井工作。

5.1.3 流体特征

流体特征的勘查，应满足下列要求：

- a) 应开展稳定流抽水试验，确定回灌热储层的涌水量、降深等出水能力参数；
- b) 应进行水质全分析、同位素分析，分析项目按 GB/T 11615 执行，确定地热流体水化学性质及补给条件，年龄，更新速度等；
- c) 应进行悬浮物测试，确定其物理成分；
- d) 进行水位、水温监测，确定回灌热储层的流场及温度场特征。

5.2 回灌目的段的确定

5.2.1 孔隙型热储

5.2.1.1 回灌目的段应选择与开采井对应的热储层、段。

5.2.1.2 孔隙型热储回灌目的段应选择颗粒粗、级配好的砂岩热储层、段，并应根据其孔隙度、渗透率和单层厚度再进行选取和可回灌性判定。砂岩段的可选性及可回灌性判定依据如下：

- a) 根据孔隙度 (n) 进行砂岩段选取和可回灌性判定，见表 3；

表3 根据孔隙度选取砂岩段及可回灌性判定

孔隙度 (n/%)	可回灌性	可选性
$n \leq 10\%$	差	不应选取
$10\% < n \leq 15\%$	较差	不宜选取
$15\% < n \leq 20\%$	较好	宜选取
$n > 20\%$	好	应选取

根据渗透率 (k) 进行砂岩段选取和可回灌性判定，见表 4；

表4 根据渗透率选取砂岩段及可回灌性判定

渗透率 ($k/\times 10^3 \mu\text{m}^2$)	可回灌性	可选性
$k \leq 100$	差	不应选取
$100 < k \leq 200$	较差	不宜选取
$200 < k \leq 500$	较好	宜选取
$k > 500$	好	应选取

根据单层厚度 (h) 进行砂岩段选取和可回灌性判定，见表 5。

表5 根据单层厚度选取砂岩段及可回灌性判定

h/m	可回灌性	可选性
$h \leq 5$	差	不应选取
$5 < h \leq 10$	较差	不宜选取
$10 < h \leq 20$	较好	宜选取
$h > 20$	好	应选取

5.2.1.3 回灌目的段的选择，应满足下列要求：

- a) 砂岩段颗粒为细砂级（0.01mm）以上，不均匀系数小于5；
- b) 砂岩单层段孔隙度大于15%；
- c) 砂岩单层段渗透率大于 $200 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ ；
- d) 砂岩单层段厚度宜大于10m；
- e) 满足a)至d)条件的砂岩层，累计厚度应大于80m。

5.2.2 裂隙型热储

5.2.2.1 热储回灌井井位确定及施工前，应先结合开采井抽采试验成果和测井资料，综合确定评价主要出水层段回灌能力及渗透性。

5.2.2.2 回灌目的层应选择与开采井对应的热储层、段。

5.3 回灌井地质设计

5.3.1 设计要求

5.3.1.1 设计应由水文地质、钻探技术人员共同编制，经施工单位技术负责审核后提交任务来源单位，经评审和审批后，方可实施。

5.3.1.2 设计的内容应符合国家、行业及地方有关地热回灌的要求和规定。

5.3.1.3 井身结构应满足钻井、回灌、回扬及获取水文地质参数的需要。

5.3.1.4 钻井工艺选择应有利于保护热储层、避免或减少对热储层的污染。

5.3.1.5 设计与实际情况不符时，应及时变更设计并报批。

5.3.2 设计内容

5.3.2.1 前言

5.3.2.1.1 工程概况

项目来源、既有开采井情况、钻井编号、钻井类型、井口坐标、设计井深、设计回灌目的层、钻井目的及任务；

5.3.2.1.2 设计编写的依据

项目任务书（合同）、相关标准及规范、相关技术成果及资料等。

5.3.2.2 设计井地热地质条件

地质构造概况、地层概况、钻遇地层预测、目的热储层特征预测、水位预测、水温预测、水量预测等。

5.3.2.3 合理采灌井距

5.3.2.3.1 孔隙型热储

应根据回灌目的热储层的渗透率、孔隙度、热储层厚度,以及回灌量、回灌尾水温度、回灌时间等控制因素,采用解析法或数值模拟法计算确定,参见附录A。

5.3.2.3.2 裂隙型热储

应根据回灌目的热储层的裂隙岩溶率、热储层厚度,以及开采井影响半径、回灌量、回灌尾水温度、回灌时间等控制因素,采用解析法或数值模拟法计算确定,参见附录A。回灌井宜布设在开采井的下游。

5.3.2.4 合理回灌量估算

5.3.2.4.1 采灌系统估算可开采量时,应结合实际供热需求量以及回灌试验,依据“依灌定采”和同层等量回灌的原则,计算在一定压力(水头)降条件下的合理开采强度,充分考虑流体回灌对热储的回补作用。

5.3.2.4.2 “以灌定采”应同时满足回灌率100%,回灌温度宜为不小于25℃,可根据实际情况取值。地热流体回灌后,100a内冷锋面不应到达开采井,即不产生热突破。

5.3.2.4.3 采灌井可回灌量的估算与确定,应根据解析法或数值法,DZ/T 0331中考虑回灌条件下地热流体可开采量的两种不同方法进行计算,结合回灌试验时地热井的实际回灌情况,综合评价确定地热回灌井的合理可回灌量。其中有两种特殊情况应酌情考虑:

a) 回灌井回灌能力极弱(小于出水量的三分之一)时,宜以该井回灌试验过程中相对延续时间较长的一段回灌量作为其可回灌量,并采用比拟法,对比分析相同地质构造条件下,成井工艺相同的同类型地热井的回灌能力,同时取保证系数为0.7时,作为其可回灌量的依据。

b) 回灌井回灌能力极强(大于最大出水量)时,主要应考虑冷锋面的运移,以对井中的开采井和附近其他同层开采井流体100a内温度不应下降、不产生热突破为宜。

5.3.2.5 钻井设备及场地布设

钻井主要设备和技术参数;地热井井控装置;施工场地面积、通水、通电、通路措施、场地平整;钻井平台搭建、设备安装及钻前准备。

5.3.2.6 回灌井钻井质量

5.3.2.6.1 地质录井:岩芯录井、岩屑录井、泥浆录井、钻时录井;综合测井、抽水试验、回灌试验等。

5.3.2.6.2 成井质量:钻井液要求,过滤器类型、长度及质量要求,井壁管要求,洗井要求,井斜要求

等。

6 回灌井钻井技术设计与施工

6.1 回灌井钻井技术设计

6.1.1 孔隙型热储井井身结构

6.1.1.1 大口径填砾井井身结构

大口径填砾井井身结构参见附录D，应满足下列要求：

- a) 泵室段，孔径不小于550mm，管径不小于273.1mm，长度根据实际需求确定；
- b) 井壁段，孔径不小于400mm，管径不小于177.8mm，长度根据实际需求确定；
- c) 滤水段，孔径不小于400mm，管径不小于177.8mm，长度根据开采井层位和回灌目的层条件确定；
- d) 应保持合理的孔管环状间隙，若套管有重叠，重叠段应大于30m。

6.1.1.2 固井射孔井井身结构

固井射孔井井身结构参见附录E，应满足下列要求：

- a) 泵室段，孔径不小于444.5mm，管径不小于339.7mm，长度根据实际需求确定；
- b) 井壁段，孔径不小于311.2mm，管径不小于244.5mm，长度根据实际需求确定；
- c) 滤水段，孔径不小于311.2mm，管径不小于244.5mm，长度根据开采井的层位和回灌目的层条件确定；
- d) 应保持合理的孔管环状间隙，若套管有重叠，重叠段应大于30m。

6.1.2 裂隙型热储井井身结构

6.1.2.1 泵室段，孔径不小于444.5mm，管径不小于339.7mm。

6.1.2.2 滤水段，孔径不小于215.9mm，管径不小于177.8mm。

6.1.2.3 目的热储层稳定时可裸眼成井；目的热储层不稳定时应下入套管成井，套管成井时应保持合理的孔管环状间隙，套管重叠段长度应大于30m，非目的热储层段应进行水泥浆全断面封闭止水固井。

6.1.2.4 常用井身结构有三开井身结构、四开井身结构。

6.1.3 钻井工艺

钻井工艺应满足下列要求：

- a) 各井段钻井方法、钻头类型、钻具组合、钻进参数和技术要求；取心井段与取心方法，取心钻进的

配备、使用及操作要求,按DZ/T 0260执行;

b) 受场地条件限制,采灌井距小于合理井距时,应采用定向钻井工艺;回灌目的层砂岩层垂向上不满足5.2.1.3 e)时,宜采用定向钻井工艺。定向钻井按DZ/T 0260执行,井身结构参见附录F。

6.1.4 钻井液

6.1.4.1 热储温度条件

应根据热储层的温度选择适宜的钻井液:

- a) 小于90℃的低温地热井,一般选用膨润土低固相钻井液;
- b) 90℃~150℃的中温地热井,一般采用膨润土、高岭土或海泡土及其混合土配浆,采用铬褐煤、丙烯酸盐、特种树脂等处理剂处理并加温石棉;

6.1.4.2 地层条件

应根据地层的条件选择适宜的钻井液:

- a) 地层稳定时,可选用清水、无固相钻井液;
- b) 地层松散、破碎时,应适当提高钻进液的黏度和切力,选用高密度优质钻井液;
- c) 在易水化膨胀坍塌的地层钻进时,应使用失水量低的钻井液,宜选用钾基钻井液、钙处理钻井液等具有较强抑制性能的钻井液。

6.1.4.3 水源条件

在缺水地区施工时,应选用节水钻井液。

6.1.5 成井工艺的选取原则

6.1.5.1 大口径填砾工艺

选用大口径填砾工艺时,应满足下列规定:

- a) 回灌目的段的渗透率小于 $500\times10^{-3}\mu\text{m}^2$;
- b) 回灌目的段砂岩层的颗粒为中砂以下;
- c) 回灌目的段砂岩层为弱固结至半固结(成岩程度低);
- d) 孔壁稳定;
- e) 回灌目的段易出砂;
- f) 成井深度宜小于2000m。

6.1.5.2 固井射孔工艺

选用固井射孔工艺时，应满足下列规定：

- a) 回灌目的段的渗透率大于 $500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ；
- b) 回灌目的段砂岩层的颗粒为中砂以上；
- c) 回灌目的段砂岩层为半固结至固结（成岩程度高）；
- d) 回灌目的段不易出砂；
- e) 成井深度宜大于 2000m。

6.1.6 其他要求

事故预防措施、抽水试验、井口装置和钻井交付、安全技术措施、施工组织与进度计划、工程预算等内容，按DZ/T 0260执行。

6.2 施工工艺及要求

6.2.1 钻进

按DZ/T 0260执行。

6.2.2 钻井液

宜选用对热储层有保护作用或对热储层损害小的钻井液，并满足下列要求：

- a) 钻井液宜选用低密度、满足储层近平衡钻井的需要；
- b) 钻井液应与热储层岩石、热储层中流体相配伍；
- c) 钻井液应具有良好的封堵能力，减少对热储层的渗透污染；固井射孔工艺成井时回灌层段应选用高封堵钻井液；
- d) 钻井液应易解堵，渗透性能恢复率应大于 80%。

6.2.3 测井

在钻进结束后，下管前，应进行测井工作，并符合以下要求：

- a) 测井前应保持钻井液性能良好，保持井壁稳定，井底干净；
- b) 常用测井项目包括：双感应-八侧向、视电阻率、自然电位、自然伽玛、声波时差、声波幅度、井温、井径及井斜；
- c) 提升（或下放）测井时要缓慢匀速，提升（或下放）速度小于 0.25m/s。

6.2.4 冲孔换浆

6.2.4.1 测井之后进行破壁，破壁结束后，可利用井内原钻具进行排渣和冲孔换浆。

6.2.4.2 较稳定地层换浆，钻井液黏度控制在 15s～20s 之间，密度小于 1.15 g/cm^3 ；稳定性较差地层换浆

，钻井液黏度控制在20s~25s之间、密度控制1.15g/cm³~1.20g/cm³之间。

6.2.5 下管

6.2.5.1 井管及套管材质应为石油套管，套管规格参见附录F，套管规格小于350mm管径连接应使用套管钳上扣，上扣扭矩应符合石油套管标准。

6.2.5.2 根据测井及解译结果，确定目的热储层及滤水管的深度及长度，要求滤水管与主要砂层的对准率达到90%以上。

6.2.5.3 下管前应校正孔深。

6.2.5.4 全井下管时，应在底部设有30m~50m沉淀管。

6.2.5.5 井管下放速度不宜过快，不稳定地层应小于0.3m/s。

6.2.6 填砾

6.2.6.1 砾料质量要求

砾料的质量应满足下列要求：

- a) 砾料应选择石英含量60%以上，质地坚硬，密度大，浑圆度好的砂砾；
- b) 在标准土酸（3%HF+12%HCl）中，砾石的溶解重量百分数不应超过1%。

6.2.6.2 砾料砾径

砾径的选择应符合下列要求：

- a) 对回灌含水层进行颗粒分析，确定含水层的粒度中值（即d₅₀）。
- b) 所填砾料规格应为D₅₀=（6~8）d₅₀。

注：D₅₀为砾料筛分中能通过网眼的颗粒，其累计质量占试样总质量的50%时的最大颗粒直径；d₅₀为回灌目的层砂样筛分中能通过网眼的颗粒，其累计质量占试样总质量的50%时的最大颗粒直径。

6.2.6.3 填砾厚度及高度

填砾的厚度及高度应符合下列要求：

- a) 填砾厚度应大于12D₅₀，一般控制在75mm~150mm之间；
- b) 填砾高度应高出滤水管顶界面30m~50m。

6.2.6.4 填砾方法

6.2.6.4.1 大口径填砾工艺在下管后，填砾前，应进行二次换浆，直至钻井液黏度不大于18s，遇孔壁不稳定地层时，钻井液黏度可适当提高。

6.2.6.4.2 常用填砾方法为：

- a) 动水填砾，井管底、井管口密封，冲洗液从井管返到环隙，从环隙返到地面，冲洗液黏度达18s、密度达 1.05g/cm^3 左右时，把砾料从环隙均匀填入，一般填入速度为 $3\text{m}^3/\text{h} \sim 6\text{m}^3/\text{h}$ 。填砾过程中注意返水量、泵压及冲洗液黏度的变化。当砾料超过最上部滤水管时，压力达到最大值，应注意调整冲洗液黏度；
- b) 静水填砾，将砾料从环隙均匀投入，利用砾料密度大于冲洗液的性质，将冲洗液从井管内压出，通过导管将溢出的冲洗液导入环隙内，应保持环隙冲洗液面与地面基本持平，若环隙冲洗液面下降，应从泥浆池抽取冲洗液进行补充，投砾速度控制在 $10\text{m}^3/\text{h} \sim 15\text{m}^3/\text{h}$ 之间为宜；
- c) 抽水填砾，将砾料从环隙均匀投入，利用潜水泵从井管内抽水，将抽出的冲洗液导入环隙内，应保持环隙冲洗液面与地面基本持平，投砾速度控制在 $15\text{m}^3/\text{h} \sim 20\text{m}^3/\text{h}$ 之间为宜。

6.2.7 止水及方法

6.2.7.1 大口径填砾工艺地热井砾料底部宜用橡胶止水，砾料顶部宜用粘土止水或水泥固井止水；多开孔或射孔工艺井，应采用水泥固井止水，止水后应进行止水检查，止水合格后方可钻进。

6.2.7.2 常用止水方法为：

- a) 粘土止水，可选用直径为 $15\text{mm} \sim 30\text{mm}$ 的半干粘土球止水，止水厚度大于或等于 20m ；
- b) 橡胶止水，止水位置应在泥岩密实井段，安装橡胶伞2组~4组；
- c) 固井止水，表层套管固井时，水泥浆返至地表；技术套管固井时，水泥浆返高应不低于 400m ，套管重叠段用水泥封固严密；水泥标号不宜小于P.O42.5；回灌目的层固井时，宜采用G级油井水泥。

6.2.8 固井

固井应符合下列要求：

- a) 固井前应做好水泥浆稠化时间试验工作，确保施工质量和固井安全；固井段内井管应安装扶正器，保证井管居中；
- b) 固井前应循环钻井液不少于2个循环周；
- c) 注水泥浆前应泵入 $2\text{m}^3 \sim 3\text{m}^3$ 清水作为隔离液；
- d) 注水泥浆液过程中，应随时监控水泥浆密度和泵压变化；水泥浆密度一般控制在 $1.60\text{g/cm}^3 \sim 1.85\text{g/cm}^3$ 之间；
- e) G级油井水泥候凝时间大于或等于 48h ，矿渣硅酸盐水泥候凝时间大于或等于 72h ；
- f) 固井结束后，应及时清洗有关设备和工具。

6.2.9 射孔

6.2.9.1 射孔作业前应根据地层的特性配制与地层相配伍的射孔液（地层条件较好时，可将钻井液全部替换为清水）。

6.2.9.2 射孔井段的深度应以测井资料为基准进行校对，保证射孔枪下到正确位置。

6.2.9.3 射孔井段长度应根据地质录井及测井资料确定，一般不小于 80 m，射孔参数参见表 6。

6.2.9.4 同一射孔段，不应为了增加孔密度而进行重复射孔。

表6 射孔参数参考表

射孔套管 Φ/mm	射孔枪 Φ/mm	射孔孔径 Φ/mm	孔密孔 m	孔道深度 mm
244.5	127	12	≥15	≥600
177.8	89	8	≥15	≥400
	127	12	≥15	≥600

注：射孔枪应配备相应型号的射孔弹。

6.2.10 洗井

6.2.10.1 应根据地热井类型、成井工艺、地热地质条件等确定洗井方法和洗井时间。

6.2.10.2 常用以下洗井方法：活塞洗井、潜水泵抽水洗井、焦磷酸钠洗井（质量浓度 0.6%~1%、井内浸泡 4h~8h）、高压喷射洗井、空压机气举洗井等。宜采用多种洗井方法联合洗井：

- 大口径填砾工艺成井宜采用活塞洗井、潜水泵抽水洗井或空压机气举洗井；
- 固井射孔工艺成井采用空压机气举洗井，潜水泵抽水洗井；
- 洗井至水清砂净，涌水量和水温无明显变化后做抽水试验。

6.2.11 抽水试验

抽水试验按GB/T 11615执行。

6.2.12 水质测试

水样采集、保存与测试按GB/T 11615执行，热储层含有其它气体时，应按照相关规定取样检测。

7 热储层优化与增产增灌技术

7.1 一般原则

7.1.1 储层优化与增产增灌技术用于岩溶裂隙型热储地热井增产及回灌井增灌。回灌目的段优化应符合下列要求：

- 裂隙率大于等于 2% 且热储厚度大于等于 80m 时，可直接进行回灌；
- 裂隙率小于 2%、热储厚度大于等于 80m 时；裂隙率大于等于 2%、热储厚度小于 80m 时，宜先开展热储层优化，再进行回灌；

c) 裂隙率小于2%且热储厚度小于80m时，应先开展热储层优化，再进行回灌。

7.1.2 在热储层裂隙岩溶发育程度满足回灌需求的情况下，涌水量或回灌量不能满足预期要求的情况下，宜采用酸化压裂技术；热储层裂隙发育程度不满足回灌需求时，宜采用加砂压裂技术。

7.1.3 裂隙型热储钻进时，岩屑连同泥浆漏失进入地层堵塞了含水裂隙时，应采用酸化压裂技术优化。

7.1.4 回灌时若发生结垢堵塞，应采用酸化压裂技术处理。

7.2 酸化压裂技术

7.2.1 施工工艺

7.2.1.1 酸化压裂的工艺流程是：选择酸化压裂热储段→下入套管及封隔器→加平衡压力→前置液增压形成裂缝(克服热储层地应力和岩石张力)→破裂形成裂缝→高压泵入酸液使裂缝酸蚀成沟槽(填塞压酸)→排酸(汽化水排酸)。

7.2.1.2 进行酸化压裂洗井时，先下入封隔器，从套管向井内注入清水(前置液)，较高的注入速度使井筒内压力增高，达到克服热储层地应力和岩石张力的强度，使酸化段出现破裂形成裂缝，然后再高压泵入酸液使裂缝酸蚀成沟槽。

7.2.2 施工要点

7.2.2.1 选取酸化压裂热储段

酸化热储段的选取应满足下列要求：

- a) 在热储层段选取之前，应先进行物探测井；
- b) 宜选择物探测井显示热储层含水量好，而抽水效果差的层段。

7.2.2.2 溶蚀试验

室内溶蚀试验满足下列要求：

- a) 在进行酸化压裂作业之前，应对处理岩层进行室内物理化学性质的实验分析；
- b) 通过录井岩屑了解地层内部岩石及流体的物理化学性质；
- c) 模拟井下压力、温度条件选择与之相容性较好的酸化液体，选择酸化压裂措施材料，确定注酸量等施工参数。

7.2.2.3 前置液酸压

前置液酸压设计满足下列要求：

- a) 用高粘液体作为前置压裂液先把地层压出裂缝；
- b) 前置液酸压后再泵入粘度较低的酸液，向缝中注入酸液。

7.2.2.4 酸液种类选择

根据热储层及井深合理使用酸液及添加剂且满足下列要求:

- a) 采用强酸压裂时, 宜选取约 20 %的盐酸;
- b) 采用有机弱酸压裂时, 甲酸浓度不宜超过 10 %, 乙酸液的浓度不宜超过 15 %。

7.2.2.5 排(液)酸

常用的排液方法有放喷、抽汲、气举法和增注液态 CO₂ 及氮气助喷排液法。

7.3 加砂压裂技术

7.3.1 选层要求

加砂压裂时应满足下列要求:

- a) 根据物探资料对储层进行预测;
- b) 根据热储层地质资料、物探资料、录井、岩芯、测井和抽水资料对热储层进行分类;
- c) 选取溶洞不发育, 微裂缝发育或微裂缝—基质孔隙型的热储层。

7.3.2 压裂液要求

压裂液应满足下列要求:

- a) 压裂液应具有良好的耐温耐剪切性能及流变性能, 压裂液应具有可控的延迟交联时间, 压裂液应具有低伤害性;
- b) 压裂液配方应减少压裂液残渣, 消除裂缝内滤饼和浓缩胶的影响;
- c) 压裂液基础配方: 0.35 %~0.55 %GHPG 低伤害超级瓜尔胶+2.0 %~6.0 %KCl+1.0%DJ-02 助排剂+1.0 % DJ-10 破乳剂+0.1 %HCHO 杀菌剂+0.3 %DJ-14 温度稳定剂+0.025 %柠檬酸PH 调节剂+5.0 % 甲醇; 胶联液: ZYT-A, ZYT-B 有机硼胶联剂; 破胶剂: 0.002 %~0.04 % (NBA-101+APS) 。

7.3.3 支撑剂要求

支撑剂(砂粒)应满足下列要求:

- a) 压裂之后, 支撑剂应进行酸化或采用酸压技术;
- b) 泵注前置液阶段, 应用 100 目的陶粒进行地层天然裂缝的堵塞; 在射孔方式下, 前置液阶段应混入 40 目~50 目或 30 目~50 目小粒径陶粒打磨裂缝壁面;
- c) 宜选取 40 目~50 目或 30 目~50 目小粒径陶粒作为支撑剂, 宜采用小陶粒在前, 大陶粒尾追在后;
- d) 应通过石油套管将支撑剂注入施工段, 全井宜采用Φ88.9mm 的石油套管;
- e) 砂比浓度宜控制在 360kg/m³以下。

8 地面回灌系统设计与安装

8.1 地面回灌系统设计

8.1.1 地面回灌系统选择应依据地热尾水的流量、温度、水质确定，过滤精度应依据地热尾水颗粒物、悬浮物的颗粒直径和数量确定。

8.1.2 地面回灌系统应包括井口装置、回灌管道、过滤器（除砂器、粗过滤器、精过滤器）、排气罐、加压泵、回扬泵及监测、计量等设备（设施）、水质监测设备，安装流程参见附录G。

8.1.3 回灌设备的安装应依据设计施工。

8.2 地面回灌系统安装要求

8.2.1 回灌井井口装置

8.2.1.1 回灌井井口装置应进行加固、密闭，回灌水管、测管、仪表、阀门等应采取耐腐蚀措施和密封连接方式。

8.2.1.2 在回灌井井口宜安装氮气保护设施隔绝氧气，充氮装置应设有压力自动调节控制系统。

8.2.2 回灌管道

8.2.2.1 地面回灌系统采用的管材和管件应符合相关标准技术要求，且满足回灌系统工作压力的要求。

8.2.2.2 地面回灌系统的输送管径应根据地热尾水输送量确定，一般不宜小于Φ150mm。

8.2.2.3 地面回灌系统的管材和管件的材质应根据地热尾水的水温、水质选定，且满足耐腐蚀和安装连接方便的要求，应符合下列规定：

- a) 地热尾水具有腐蚀性时，应选用玻璃钢管、碳钢管材或不锈钢钢管；
- b) 地热尾水无腐蚀性时，可选用防腐处理的无缝石油钢管或碳钢管材；
- c) 地热尾水温度高于当地平均气温时，不应选用 PE 管材。

8.2.3 过滤设备

8.2.3.1 回灌地热尾水应先经过除砂器进行处理。选用的除砂器应符合下列规定：

- a) 对地热流体中，直径大于 0.075mm 的固体颗粒的整体除砂效率应不小于 90 %；
- b) 应满足排砂方便、温度降低少、水头损失小、地热流体不与空气接触等要求；
- c) 进水口直径宜大于或等于出水口直径，最高使用压力不大于 1MPa；
- d) 外露金属面喷涂防锈底漆和面漆，内衬玻璃钢厚度不小于 1.5mm 或静电喷涂环氧树脂厚度大于 0.2mm。

8.2.3.2 除砂后的地热尾水应经过滤设备处理，过滤器设备应符合下列规定：

- a) 粗过滤器过滤精度应达到 $50\mu\text{m}\sim 80\mu\text{m}$ ，精过滤器过滤精度应达到 $3\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ ，泥质含量较高时，宜在粗过滤装置前加装排污器；
- b) 粗、精过滤设备应由单个或多个过滤器组成，精度相同的过滤器采用并联方式连接，精度不同的过滤器采用串联方式连接，过滤设备宜一用一备；
- c) 应根据回灌水量确定单个过滤器过滤量和过滤器数量，过滤器整体外壳承受压力应高于回灌系统最大工作压力；
- d) 每个过滤器应配有精确度等级达到1.0级的差压变送器，或在过滤器进、出水两端分别安装精度为 0.01MPa 的表盘式压力监测仪；
- e) 滤芯材料耐温性能高于地热尾水最高温度；过滤精度应满足系统所需精度要求；应满足可反冲洗或更换要求；
- f) 当过滤装置两端的压差达到 $50\text{kPa}\sim 60\text{kPa}$ 时，应进行反冲洗或更换滤芯；
- g) 反冲洗应采用大水量清洗，具体水量宜根据过滤装置的过水能力确定，反冲洗的持续时间不小于 30min 。

8.2.4 排气设备

回灌系统应安装排气设备，排气设备应符合下列规定：

- a) 地热尾水回灌的排气装置应安装在回灌加压泵之前；
- b) 排气装置的罐体顶部应设置自动排气阀，排气点应设在排气罐的最高点；
- c) 应通过排气管道将释放出的气体排除设备间，若气体具有易燃易爆性或有毒性，应按《危险化学品安全管理条例》及相关国家标准、行业标准进行处理。
- d) 排气罐的进出水口应安装在排气罐的最低点，排气罐的容积不小于 1m^3 ；
- e) 排气罐体容许的工作压力应高于回灌系统的最大工作压力。

8.2.5 加压泵

回灌系统应安装加压泵，加压泵应符合下列规定：

- a) 加压泵应安装在排气罐的排水端；
- b) 加压泵宜选用可变频的管道泵；
- c) 加压泵的规格、型号应根据回灌压力和回灌量的要求确定，并符合压力容器的设计安装要求。

8.2.6 回扬泵

回灌系统应安装回扬泵，回扬泵应符合下列规定：

- a) 选择带有抽灌转换装置的潜水泵；
- b) 根据抽水试验最大出水量选择适宜的潜水泵，泵头下入深度应大于抽水试验最大降深 $5\text{m}\sim 10\text{m}$ 。

m;

- c) 潜水泵和泵管应经过防腐防垢处理，确保无锈、无腐蚀，测管畅通。

8.2.7 变频器

开采泵、回扬泵、加压泵应用变频器来控制，变频器应符合下列规定：

- a) 变频器的功率宜大于控制设备的额定功率；
- b) 变频器的工作功率宜为额定功率的 60%~80%；
- c) 变频器与所控制设备的距离不应大于 100m；
- d) 变频器应安装在通风条件好的室内场地；如果需露天安放，变频器外壳应具有防雨功能。

8.2.8 监测设备

应安装监测水位、水温、水量、水质、温度场、压力的监测设备，并满足（11.2）的要求。

9 回灌试验

9.1 通用要求

生产性回灌前应进行回灌试验，确定可回灌性和方法。

9.2 梯级流量试验

梯级流量试验应在定水温条件下进行，控制灌入流量，确定该井的可回灌性，试验方法如下：

- a) 以 $20m^3/h$ 的回灌流量梯度增量进行回灌，水位每级应稳定 48h；
- b) 最大自然回灌量不应流出回灌井井口 2 m，稳定时间应大于 120h 为准。

9.3 梯级温度试验

梯级温度试验应在定流量回灌条件下进行，通过调节温度，确定温度对回灌的影响，试验方法如下：

- a) 原水温度回灌试验（与开采井井口水温相同）时，水位应稳定 48h；
- b) 35 °C（模拟地板辐射供暖尾水温度试验）时，水位应稳定 48h；
- c) 25 °C（模拟热泵利用供暖尾水温度试验）时，水位应稳定 48h。

注：在易堵塞地区（回灌目的层泥质含量较高的地区），每个试验阶段结束后应进行回扬，直至水清砂净。

10 回灌工艺

10.1 一般原则

10.1.1 生产性回灌前，应分别对开采井和回灌井进行抽水，直至水清砂净，按抽水试验要求做好水温、水位、水量数据记录，并进行相应的分析对比。

10.1.2 应通过回灌管进行回灌，回灌管应保持密封，浸入水中深度应大于 5m。

10.1.3 砂岩热储瞬时回灌率应不低于 80%，岩溶热储瞬时回灌率应不低于 90%。

10.2 回灌方式

10.2.1 自然回灌

自然回灌应符合下列要求：

- a) 回灌前应记录回灌井流量表起始读数、水位、液面温度等；
- b) 检查并保证回灌系统密封。关闭回扬水阀和回扬排水阀，开足回灌进水阀，再缓慢打开控制阀，让地热尾水从回灌管中进入回灌井；
- c) 回灌过程中密切关注回灌系统畅通和回灌井水位变化情况。当回灌井水位无快速上升，回灌量稳定时，持续回灌；当回灌井水位上升较快时应加密观测，水位距井口小于 10m 时，应停止回灌，采取措施；
- d) 回灌开始至结束后一定时间内，按要求连续观测、记录瞬时回灌量和累计回灌量、水位、温度等数据。对异常情况发生的时间、现象、原因分析、处理措施和效果要详细记录，确保回灌过程中数据记录准确、完整。

10.2.2 加压回灌

加压回灌应先排出井筒内的气体，并应符合下列要求：

- a) 加压回灌前观测、记录好流量表起始读数、回灌井水位、压力等原始数据；
- b) 当管网余压不足时开启加压泵进行加压回灌，压力从小到大逐渐迭加，直至回灌量正常；
- c) 加压回灌时回灌系统应通畅，井口压力无明显、快速上升，加压管道无异响、泄漏、变形等异常现象，确保人员与设备安全；
- d) 记录加压回灌量（瞬时回灌量和累计回灌量）、水温、井口管道压力表读数，确保数据记录准确完整；
- e) 当井口压力达到加压回灌设计值时，应停止加压回灌，待井口压力减小到 0 时，再进行检查、维护。

10.3 回扬

10.3.1 一般情况处理

10.3.1.1 回灌井堵塞评价（见 11.3.2），宜用回扬的方法处理，恢复至初始单位开采量 90%以上，方

可进行回灌。

10.3.1.2 回扬过程中应按时记录回扬量与静、动水位变化情况，宜采水样分析悬浮物含量及离子成分。

10.3.2 回扬的时机

10.3.2.1 适时回扬

生产性回灌时，发生下列情况时应进行回扬：

- a) 回灌量稳定，水位或压力持续上升时；
- b) 水位或压力稳定，回灌量逐步减小时；
- c) 水质发生恶化时。

10.3.2.2 定时回扬

回灌堵塞规律明显的地热回灌井，应定期进行回扬清洗。每次回扬应掌握好回扬次数和持续时间，回扬至水清砂净。回扬的次数和持续时间宜根据下列因素确定：

- a) 含水层中颗粒越细，宜增加回扬的次数和持续时间；
- b) 回灌量越大，宜增加回扬的次数和持续时间；
- c) 用机械压力加压回灌时，压力越大，宜增加回扬的次数和持续时间。

10.3.2.3 延时回扬

发生以下情况应延长回扬的持续时间：

- a) 回扬水质浑浊不清时；
- b) 动水位持续下降时；
- c) 回扬量持续减小时。

10.3.3 回扬的方法

10.3.3.1 连续回扬

宜用最大涌水量连续抽水的方式进行回扬，中途不停，至水清砂净。适用于下列情况：

- a) 回灌井洗井不彻底；
- b) 回灌井轻微堵塞（见11.3.2）时；
- c) 连续回扬可以疏通（见11.3.3）时。

10.3.3.2 间隔回扬

宜用最大涌水量抽水的方式进行回扬至水清砂净，停抽不小于4 h后，再次回扬至水清砂净；依次循环至回灌井疏通。适用于下列情况：

- a) 回灌井洗井不彻底；
- b) 回灌井中等堵塞时；
- c) 连续回扬不能疏通时。

10.3.3.3 回灌回扬

宜用最大涌水量抽水的方式进行回扬至水清砂净后，用不溢出井口的水量（一般不大于开采井开采量的25%）进行回灌，回灌时间不小于8 h，再次回扬至水清砂净；依次循环至回灌井疏通。回灌回扬适用于下列情况：

- a) 回灌井严重堵塞时；
- b) 间隔回扬不能疏通时。

10.4 回灌数据统计分析

应对回灌数据进行统计分析，满足下列要求：

- a) 绘制回灌量与回灌井水位埋深、回灌井水位升幅历时曲线；
- b) 绘制回灌量与开采井水位埋深、开采井水位升（降）幅历时曲线；
- c) 定流量回灌时，绘制回灌温度与回灌井水位升幅历时曲线；
- d) 将回灌后的回扬水位、流量与回灌前的抽水数据进行对比分析，评价可回灌性。

10.5 生产性回灌方案

根据回灌试验结果，制定适宜的回灌方案。回灌方案应包括最大回灌量、适宜的尾水温度、回灌方式、回扬周期及方法、堵塞处理预案等。

11 回灌监测与评价

11.1 一般规定

11.1.1 在回灌过程中，应对开采井和回灌井进行监测，有条件地区，宜以采灌井联线为中轴布置监测断面，重点监测水位、水质、水温、采灌量变化。

11.1.2 应进行自动化监测，监测数据应具备远程实时传送、记录、储存、管理和可视化界面。

11.1.3 水位、水温和采灌量应同步监测、记录，监测记录表应按附录H和附录I执行。

11.2 回灌监测的内容

11.2.1 水位监测

应对开采井、回灌井的水位进行监测，水位监测应符合下列规定：

- a) 在回灌前确定回灌井、开采井和观测井的初始水位；
- b) 对回灌井、开采井和观测井动水位进行同步监测，在具备安装远程自动水位监测仪的回灌井应安装远程自动水位监测仪，按日进行监测，不具备安装条件的回灌井应采用人工监测，供暖季每月人工测量1次，监测记录精确到1cm；
- c) 应在定压条件下测量。
- d) 可用人工测量或自动水位仪进行监测。自动水位仪应定期进行校正。

11.2.2 水量监测

应对开采量、回灌量、回扬量和排放量进行监测，水量监测应符合下列规定：

- a) 监测记录频率为每每日一次，监测记录精确到0.1m³；
- b) 回灌时应采用电磁流量计、声波流量计或水表等流量计进行计量；
- c) 流量计进水前端直管长度不小于70cm，后端直管长度不小于30cm。

11.2.3 水温监测

应对开采井井口水温、尾水温度和回灌井的液面水温进行监测，水温监测应符合下列规定：

- a) 在开采井口、回灌井口、除砂器前端分别安装温度计；
- b) 监测记录的频率30min一次，监测记录精确到0.1℃；
- c) 应采用电磁温度计、机械温度计或分布式光纤测温系统，不宜采用液体温度计。

11.2.4 水质监测

应对开采井水质、地热尾水水质、回扬水质进行定期监测，水质监测应符合下列规定：

- a) 地热开采井、地热尾水水质需每两个月监测一次；回扬水质每个月监测不少于1次；
- b) 水质监测应进行水质全分析（分析项目按GB/T 11615执行）和悬浮物分析，发生堵塞时进行细菌分析。
- c) 等量同层回灌，回灌水质不得低于原生地热水水质，严禁回灌过程造成地下水污染。

11.2.5 温度场监测

应进行温度场监测，温度场监测应符合下列规定：

- a) 回灌前进行井内测温，观测回灌井垂向上的温度序列，作为温度场演变研究的初始值；
- b) 回灌结束后，应对回灌井不同深度的温度每30d~60d监测一次，分析回灌对热储温度场的影响。

响。

11.2.6 回扬监测

应进行回扬监测，回扬监测应符合下列规定：

- a) 对单次回扬的持续时间进行监测记录；
- b) 对回扬的间隔、周期进行监测记录。

11.2.7 压力监测

应进行压力监测，压力监测应符合下列规定：

- a) 在开采井口、回灌井口、过滤器前端和末端、排气罐顶端分别安装压力计；
- b) 观测记录的频率 30min 一次，监测记录精确到 0.01MPa；
- c) 压力计宜安装在该部位的最高点。

11.3 回灌评价

11.3.1 回灌效果评价

11.3.1.1 进行回灌评价时，回灌井初始水位应参照非稳定流抽水试验观测井水位进行修正。

11.3.1.2 回灌量和回灌井水位同步稳定时，该水位为该回灌量所对应的稳定水位。

11.3.1.3 稳定水位与初始水位的差，为该回灌量时的水位升幅。

11.3.1.4 用单位回灌量与水位升幅的比值来评价该井的回灌效果；回灌效果按表 7 进行评价。

11.3.1.5 如果进行了加压，水位应换算为自然条件下的数值。

表7 回灌效果评价表

单位回灌效果 $q_r / (\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m})$	$q_r < 0.5$	$0.5 \leq q_r \leq 1.0$	$q_r > 1.0$
回灌效果评价	较差	一般	较好

11.3.2 回灌堵塞评价

11.3.2.1 根据回灌量、回扬量与水位的关系，分析、评价回灌井的堵塞情况。

11.3.2.2 回灌时，回灌井水位突然上升或连续上升，回扬时动水位突然下降或连续下降，不能稳定在某一标高，判定为回灌井堵塞。

11.3.2.3 回灌井的堵塞程度，可通过堵塞比 (ε_s) 来判别，堵塞比计算详见3.23：

- a) 在一个回灌期内，当 $\varepsilon_s \leq 0.3$ 时，为轻度堵塞；
- b) 当 $0.3 < \varepsilon_s < 0.6$ 时，为中等堵塞；

c) 当 $\varepsilon_s \geq 0.6$ 时, 为严重堵塞。

11.3.3 回扬疏通评价

11.3.3.1 回扬时水位不能稳定, 应停止回灌, 待问题解决后继续回灌。

11.3.3.2 回扬效果用疏通比 (ε_d) 进行评价, 疏通比计算详见3.24:

- a) 当 $\varepsilon_d \geq 0.8$ 时, 疏通良好;
- b) 当 $0.5 \leq \varepsilon_d < 0.8$ 时, 疏通中等;
- c) 当 $\varepsilon_d < 0.5$ 时, 疏通较差。

11.3.4 热储层损害评价

11.3.4.1 应根据回灌前后回灌井的渗透系数来判别热储层的损害情况。

11.3.4.2 当回灌后的渗透系数 (K_r) 大于回灌前的渗透系数 (K_e), 判断为热储层改良。

11.3.4.3 回灌热储层参数变化分析:

- a) 采用非稳定流抽水试验计算相关地热地质参数;
- b) 对比分析回灌前后地热井地热地质参数的变化;
- c) 对比分析多年回灌的地热地质参数及其变化规律。

11.3.4.4 当回灌后的渗透系数小于回灌前的渗透系数时, 判断为热储层损害, 损害程度用 K_r/K_e 进行评价:

- a) 当 $0.8 \leq K_r/K_e < 1$ 时, 轻度损害;
- b) 当 $0.5 \leq K_r/K_e < 0.8$ 时, 中度损害;
- c) 当 $K_r/K_e < 0.5$ 时, 严重损害。

12 系统维护与保养

12.1 回灌运行前的养护

12.1.1 回灌前应用回灌水对整个系统管路进行冲洗, 排掉系统中的气体及固体颗粒。

12.1.2 应检查回灌管路漏水、漏气情况; 检查仪器仪表和设备的正常工作情况。

12.1.3 回灌管路应做保温处理。

12.2 回灌运行期的养护

12.2.1 回灌期间应做好设备、仪器的防冻、防水保护措施, 防止他人损坏或对人身安全产生影响。

- 12.2.2 应定期对过滤设备进行排污、反冲洗或清洗。
- 12.2.3 应定时检查管道的密闭性，是否存在漏水、进气情况。
- 12.2.4 应定时检查温度计、流量计、压力计的工作情况。

12.3 停灌后的养护

- 12.3.1 停灌前，需对过滤设备进行排污、反冲洗或清洗。
- 12.3.2 回灌结束后，应进行回扬洗井。
- 12.3.3 回扬洗井后，排出管道和过滤设备内的积水，对设备进行检查维护。
- 12.3.4 回灌井发生严重堵塞，回扬的方法不能疏通时，宜采用酸洗或空压机洗井。
- 12.3.5 各项工作结束后，应将井下设备提至地面，清理附着杂物，涂刷防腐层，并密封井口。

13 成果验收与资料提交

13.1 成果报告编制与验收

13.1.1 成果验收的依据

- 成果验收的依据如下：
- a) 项目任务书（合同）；
 - b) 项目设计书；
 - c) 地面回灌系统建设方案；
 - d) 回灌操作方案；
 - e) 有关规范和地方政策文件、规定要求。

13.1.2 成果报告编制

应编写成果报告，成果报告应包含下列内容：

- a) 回灌目的层可回灌性论证报告编制参见附录 K；
- b) 回灌系统建设和总结报告；
- c) 年度回灌总结报告编制参见附录 L。

13.1.3 成果验收

- 13.1.3.1 应取得不少于一个采暖季的开采、回灌监测数据，并编制年度回灌总结报告。
- 13.1.3.2 申请成果报告评审，应提供下述技术文件：

- a) 项目任务书（合同）；
- b) 项目设计书及审批意见；
- c) 质量检查意见；
- d) 野外验收意见。

13.1.3.3 最终成果报告须经任务来源单位组织验收。

13.2 资料提交

应提交以下资料：

- a) 成果类。包括成果报告，以及专题报告、附图、附表、数据库及评审意见书等附件；
- b) 技术文件类。包括中标通知书、合同书、项目任务书、设计书及其审批意见书、野外验收意见书等文件；
- c) 电子类文件。包括工作中形成的各类电子介质载体的文件、图表、数据、图像等；
- d) 其他应提交的原始资料。

附录 A

(资料性) 合理采灌井距

A. 1 相对独立的孔隙型热储同层回灌

若该采灌对井与其他采灌井距离较远, 其他采灌井对该采灌对井的影响可以忽略, 回灌量等于开采量时, 可参考式 (A. 1) 进行合理采灌井距计算:

$$r_T = \sqrt{\frac{c_w Q t}{\pi H \langle pc \rangle}} \quad (A. 1)$$

式中:

r_T ——合理井距, 单位为米(m);

c_w ——地热水比热容, 单位为焦耳每千克摄氏度(J/(kg°C));

Q ——开采量(回灌量), 单位为千克每秒(kg/s);

t ——热突破时间, 单位为秒(s);

H ——回灌层段砂岩层总厚度, 单位为米(m);

$\langle pc \rangle$ ——含水层单位体积热容量, 单位为焦耳每立方米摄氏度(J/(m³°C)), 可用式 (A. 2) 计算:

$$\langle pc \rangle = n c_w p_w + (1-n) c_r p_r \quad (A. 2)$$

式中:

n ——砂岩孔隙度;

c_w ——地热水比热容, 单位为焦耳每千克摄氏度(J/(kg°C));

p_w ——地热水密度, 单位为千克每立方米(kg/m³);

c_r ——砂岩比热容, 单位为焦耳每千克摄氏度(J/(kg°C));

ρ_r ——砂岩密度, 单位为千克每立方米(kg/m³)。

A. 2 受其他采灌井影响的孔隙型热储对井同层回灌

若该采灌对井与其他采灌井距离较近, 受其他采灌井影响时; 或回灌量不等于开采量时, 合理采灌井距宜用数值模拟法确定。

A. 3 裂隙型热储同层回灌

合理采灌井距计算建议收集开采井及周边地热井抽水试验资料，宜用解析法和数值模拟法确定。

附录 B

(资料性)

多井允许回灌量计算方法

B. 1 计算原则

多井允许回灌量的参数应通过试验和测试取得。对于难于通过测试得到的参数或勘查工作程度较低时，可采用经验值。

B. 2 回灌设计参数

B. 2. 1 热储几何参数

B. 2. 1. 1 热储几何参数主要有热储面积和热储厚度。

B. 2. 1. 2 热储面积。带状热储的面积一般按地热异常区或同一深度地热等温线所圈定的范围确定；层状热储的面积依据地热田的构造边界和同一深度的地温等值线所圈定的范围确定。如果工作任务仅涉及地热田的部分范围，应按勘查工作控制的实际面积计算。

B. 2. 1. 3 热储厚度。应依据钻孔资料，结合地球物理勘探资料确定热储顶板深度和底板深度，依据近期开采技术水平和经济合理性确定计算的基础深度，然后计算基础深度之内的热储厚度。

B. 2. 2 热储物理性质

B. 2. 2. 1 热储物理性质主要有热储温度、压力、岩石的密度、比热和热导率。

B. 2. 2. 2 热储温度。有条件时应通过地热井内温度剖面的测量取得热储顶板温度、底板温度和热储不同深度的温度。在资料不充分时，可以通过地温梯度推算热储的温度，也可以用地球化学温标计算热储温度。据此，可以取得热储不同部位的温度分布情况。

B. 2. 2. 3 热储压力。应通过地热井的试井资料取得热储的压力分布情况。

B. 2. 2. 4 岩石的密度、比热和热导率。有条件时应通过试验、测试得到。在勘查程度较低时，可参照GB/T 11615 取经验值。

B. 2. 3 热流体性质

热流体性质主要有热流体的单位质量的体积、比重、动力粘滞系数、运动粘滞系数。这些参数与地热流体所处的温度和压力有关，具体参照GB/T 11615执行。

B. 2. 4 热储渗透性和贮存流体能力参数

热储渗透性和贮存流体能力参数主要有空隙率、有效空隙率、渗透率、渗透系数、导水系数、弹性释放率、弹性释放系数（贮存系数）。这些参数主要通过试井试验，具体参照GB/T 11615执行。

B. 3 多井允许回灌量计算方法

B. 3. 1 在项目区开展多井采灌试验

B. 3. 1. 1 多井采灌试验要求有多个开采井和多个回灌井，同时应布设一定数量的观测井，观测井的数

量、位置应能反应地热流体动力场、温度场和化学场的变化及其边界条件。

B. 3. 1. 2 试验前实测回灌井和观测井的井温及地热流体的温度、压力及化学组分；试验期间（包括回灌期间及停灌后）应定期监测其变化并分析这些变化与灌（采）量变化的关系；停灌后仍应定期监测回灌井、观测井压力、地温的变化，以及相邻开采井地热流体的温度、压力及化学组分的变化，直至相对稳定。

B. 3. 1. 3 试验宜与地热开发利用结合进行，在实行冬季采暖的地区，可结合冬季采暖进行一个采暖期的采灌试验（不含停灌后的观测时间），以评价采灌区温度场的年际变化及其对维持采灌区持续开采的影响。

B. 3. 2 利用采灌试验成果和区域动态监测数据建立采灌区数值模型，计算和预测在保持采灌区地热流体压力和温度相对稳定条件下的区域允许回灌量。

附录 C (资料性)

回灌井回灌量设计方法

C.1 回灌井回灌量设计方法

C.1.1 根据单位回灌量直接估算设计回灌量计算公式如下：

$$Q=q \times s \quad (公式C-1)$$

式中：

Q ——设计回灌量, m^3/d ;

q ——单位回灌量, m^3/dm ;

s ——设计地热水位抬升高度, m 。

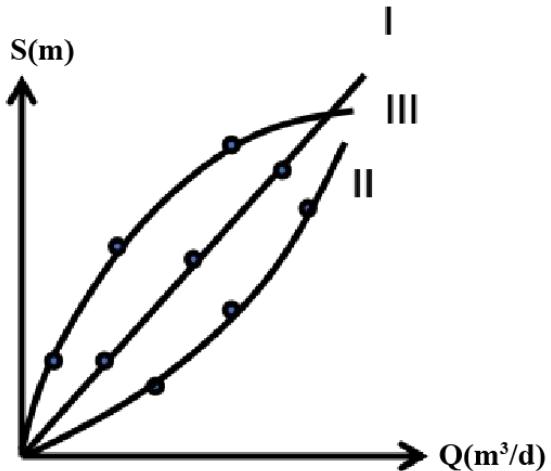
C.1.2 根据回灌试验曲线确定

C.1.2.1 一个回灌井时回灌量的设计

设计回灌量通过单井回灌试验的数据确定。单井回灌试验应做3次与设计回灌温度相近的定温梯级回灌流量试验, 确定同一回灌流体温度下的单井回灌能力, 其中最大回灌流量的稳定时间应不少于48h。利用回灌试验资料绘制 $Q=f(S)$ 曲线(见图1), 其中曲线I(直线)、曲线II(抛物线)为试验正确, 曲线III为试验错误。

在给定回灌温度和设计水位抬升高度的条件下, 可以根据 $Q=f(S)$ 曲线直接确定单井回灌量, 也可以利用最小二乘法建立回灌方程进行回灌量设计。

考虑到经济和安全因素, 设计单井回灌量时, 自然回灌方式一般将水位低于井口设为上限, 加压方式一般将增加的压力不超过1MPa设为上限。



图C.1 回灌试验Q-S 曲线类型图

C. 1. 2. 2 多个回灌井时利用多且回灌试验的资料确定干扰条件下回灌井的回灌量

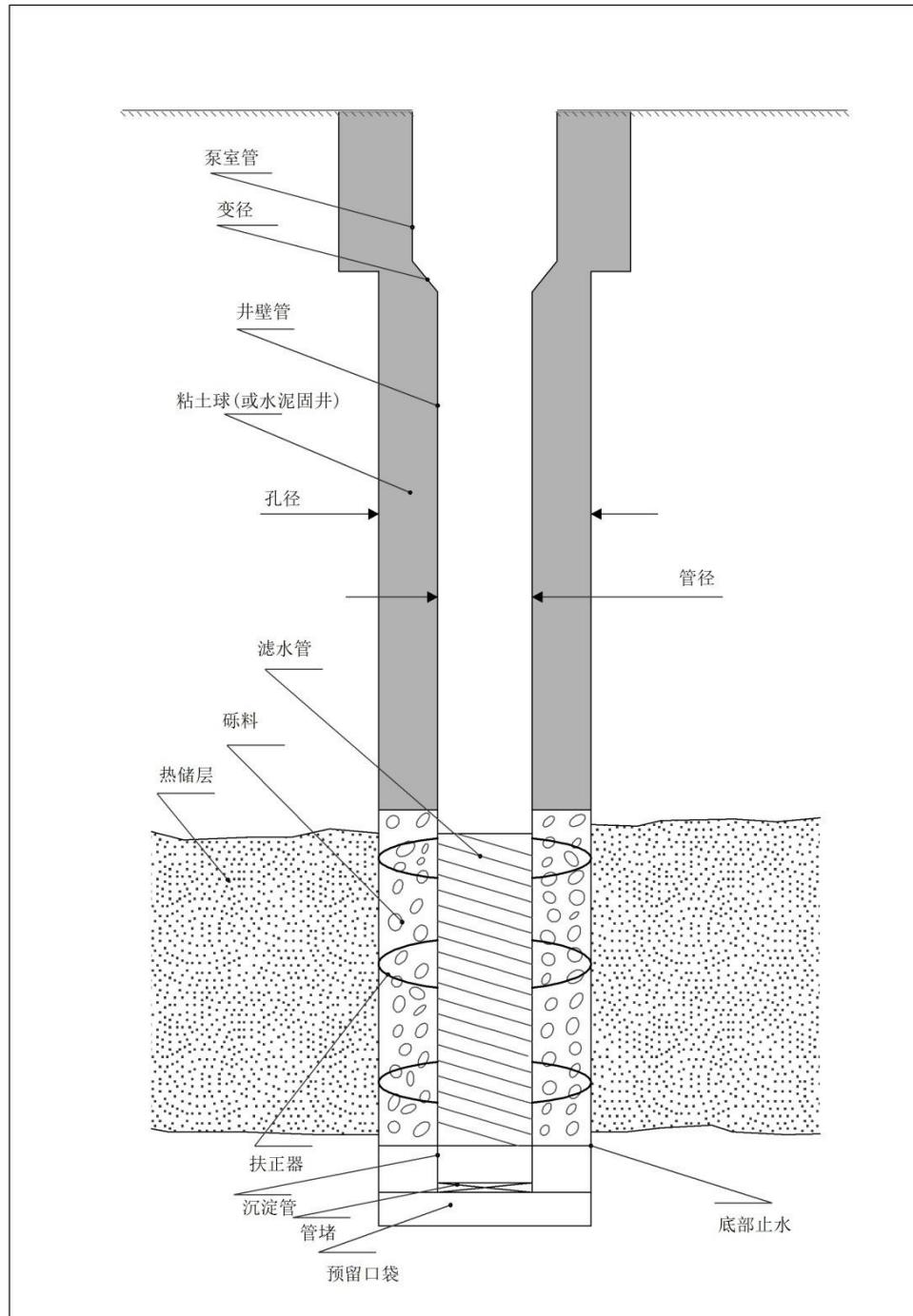
多且回灌试验是在同一热储内，在两个或两个以上地热井中同时进行的回灌试验，回灌试验时宣布设一定数量的观测井。试验应准确测定回灌井的回灌量、流体压力随时间的变化以及回灌影响范围等，最后根据单位回灌量或者 $Q=f(S)$ 曲线确定干扰条件下的单且回灌量。

附录 D

(资料性)

大口径填砾井井身结构

大口径填砾井井身结构见图D. 1。



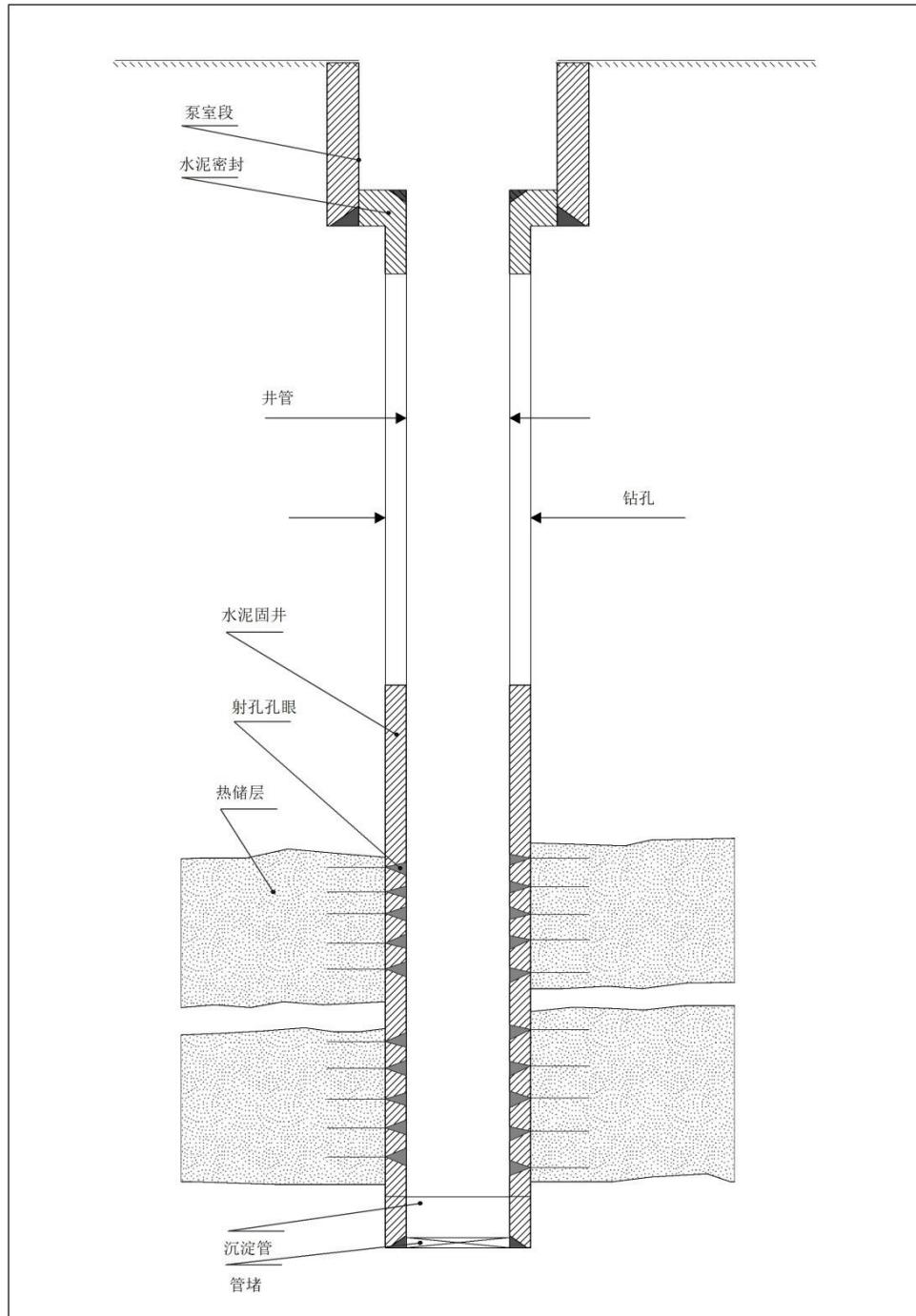
图D. 1 大口径填砾井井身结构

附录 E

(资料性)

固井射孔井井身结构

固井射孔井井身结构见图E. 1。



图E. 1 固井射孔井井身结构

附录 F

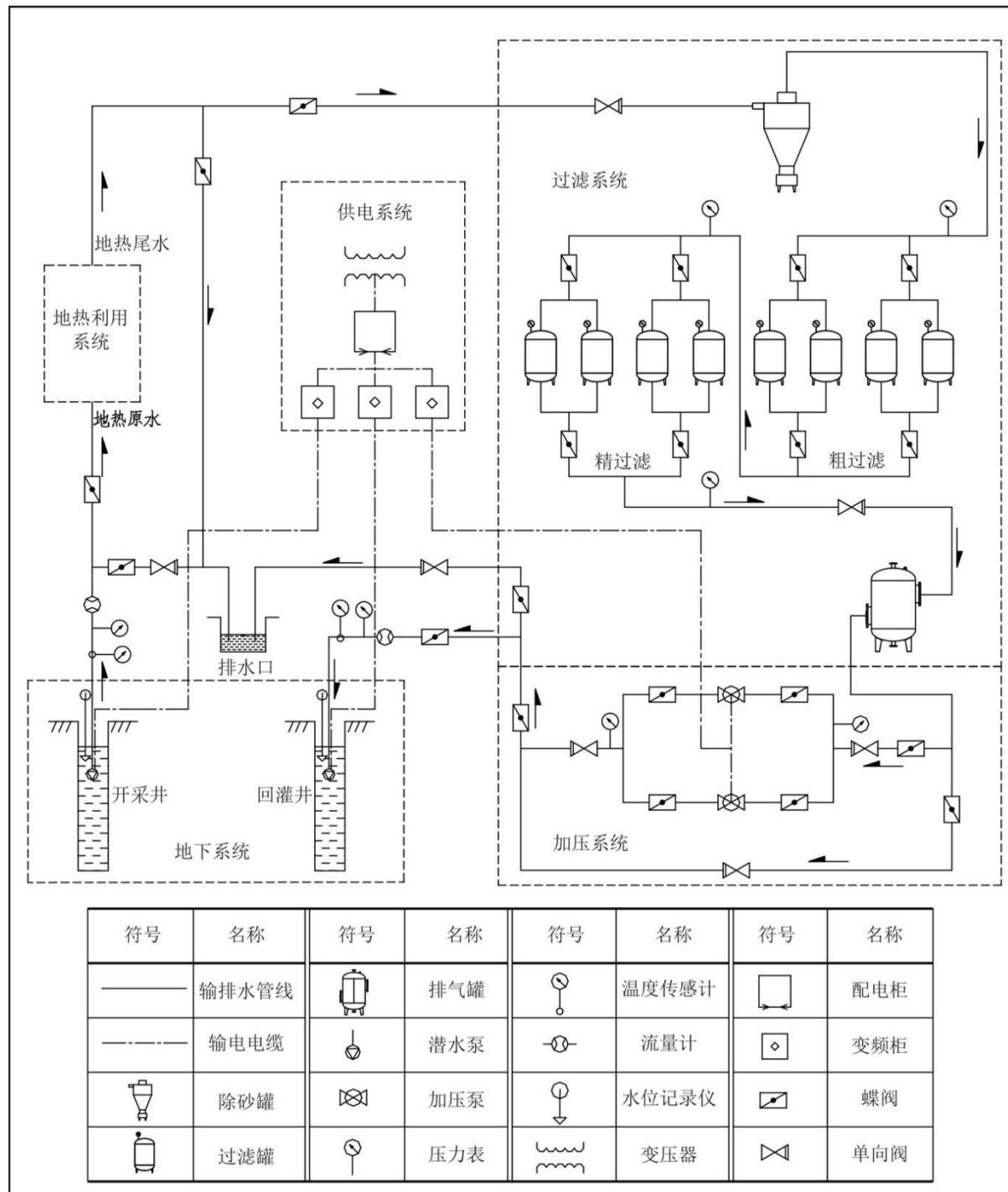
(资料性)

表F. 1 常用套管尺寸及规格

外径 mm (in)	名义重量 kg/m (lb/ft)	壁厚 mm (in)	内径 mm (in)	通径 mm (in)	接箍 外径 mm (in)	螺纹 类型	钢级	长度 m (ft)
177.8 (7)	25.52 (17.00)	5.87 (0.231)	166.1 (6.538)	162.9 (6.413)	194.5 (7.656)	圆螺 纹偏 梯螺 纹	J55 N80 P110	8-12 (26.2- 39.4)
	29.79 (20.00)	6.91 (0.272)	164.0 (6.456)	160.8 (6.331)				
	34.26 (23.00)	8.05 (0.317)	161.7 (6.366)	158.5 (6.204)				
	38.73 (26.00)	9.19 (0.362)	159.4 (6.276)	156.2 (6.151)				
	43.20 (29.00)	10.36 (0.408)	157.1 (6.180)	153.9 (6.059)				
	47.66 (32.00)	11.51 (0.453)	154.8 (6.090)	151.6 (5.969)				
	52.13 (35.00)	12.65 (0.498)	152.5 (6.004)	149.3 (5.879)				
	56.60 (38.00)	13.72 (0.540)	150.4 (5.921)	147.2 (5.795)				
219.1 (8- 5/8)	35.75 (24.00)	6.71 (0.264)	205.7 (8.093)	202.5 (7.972)	244.5 (9.625)	圆螺 纹偏 梯螺 纹	J55 N80 P110	8-12 (26.2- 39.4)
	41.71 (28.00)	7.72 (0.304)	203.7 (8.020)	200.5 (7.894)				
	47.66 (32.00)	8.94 (0.352)	201.2 (7.927)	198.0 (7.795)				
	53.62 (36.00)	10.16 (0.400)	198.8 (7.827)	195.6 (7.701)				
	59.58 (40.00)	11.43 (0.450)	196.2 (7.724)	193.0 (7.598)				
244.5 (9- 5/8)	48.07 (32.30)	7.92 (0.312)	228.6 (9.001)	224.6 (8.845)	269.6 (10.625)	圆螺 纹偏 梯螺 纹	J55 N80 P110	8-12 (26.2- 39.4)
	53.57 (36.00)	8.94 (0.352)	226.6 (8.921)	222.6 (8.765)				
	59.53 (40.00)	10.03 (0.395)	224.4 (8.835)	220.4 (8.679)				
	64.73 (43.50)	11.05 (0.435)	222.4 (8.755)	218.4 (8.599)				
	69.64 (47.00)	11.99 (0.472)	220.5 (8.681)	216.5 (8.525)				
	79.62 (53.50)	13.84 (0.545)	216.8 (8.535)	212.8 (8.379)				
273.1 (10- 3/4)	48.78 (32.75)	7.09 (0.279)	258.9 (10.192)	254.9 (10.035)	298.5 (11.752)	圆螺 纹偏 梯螺 纹	J55 N80 P110	8-12 (26.2- 39.4)
	60.32 (40.50)	8.89 (0.350)	255.3 (10.050)	251.3 (9.894)				
	67.77 (45.50)	10.26 (0.400)	252.7 (9.950)	248.8 (9.794)				
	75.96 (51.00)	11.43 (0.450)	250.2 (9.850)	246.2 (9.694)				
	82.67 (55.50)	12.57 (0.495)	247.9 (9.760)	243.9 (9.604)				
339.7 (13- 3/8)	71.50 (48.00)	8.38 (0.330)	322.9 (12.715)	319.0 (12.559)	365.1 (14.374)	圆螺 纹偏 梯螺 纹	J55 N80 P110	8-12 (26.2- 39.4)
	81.18 (54.50)	9.65 (0.380)	320.4 (12.615)	316.5 (12.459)				
	90.86 (61.00)	10.92 (0.430)	317.9 (12.515)	313.9 (12.359)				
	101.69 (68.00)	12.19 (0.480)	315.3 (12.415)	311.4 (12.259)				

附录 G

(资料性)



回灌系统运行流程参见图G.1。

注：加压泵、精过滤和粗过滤设备宜一用一备。

图G.1 回灌系统运行流程图

附录 H

(规范性)

表H. 1 回灌井回灌监测记录表

附录 I

(规范性)

表1.1 开采井回灌监测记录表

附录 J

(资料性)

回灌目的层可回灌性论证报告提纲

J. 1 可回灌性论证报告的作用及要求

回灌目的层可回灌性论证报告是地热尾水回灌勘查的阶段性成果，是回灌井技术设计、地面回灌系统设计的主要依据，报告内容应能反映回灌目的层可回灌性论证的主要成果，参考I. 2、I. 3编制。

J. 2 可回灌性论证报告提纲

论证报告编写提纲应包含以下内容：

1 前言

1.1 项目由来

1.2 目的的任务

2 回灌场地地热地质条件

2.1 地层

2.2 地质构造与岩浆

2.3 热储特征

2.4 地热资源开发及回灌现状

3 回灌条件勘查

3.1 沉积环境

3.2 回灌井钻遇地层

3.3 地球物理测井

3.4 回灌目的层分析

3.5 回灌目的层确定

4 抽水试验与回灌试验

4.1 抽水试验及数据分析

4.2 回灌试验系统设计

4.3 回灌试验及数据分析

4.4 可回灌性评价

5 地热水及尾水水质特征

5.1 地水水质特征

5.2 尾水水质特征

6 生产性回灌方法及工艺设计

6.1 地面回灌系统设计

6.2 生产性回灌方法

6.3 生产性回灌工艺

7 结论与建议

J. 3 可回灌性论证报告附件

论证过程中取得的各项数据应系统整理, 列表成册, 与回灌目的层可回灌性论证报告有关的资料应作为附件, 一般包括:

- a) 地热井完井报告;
- b) 钻井地质综合图表;
- c) 抽水试验观测记录表;
- d) 抽水试验小结报告;
- e) 回灌试验观测记录表;
- f) 回灌试验小结报告;
- g) 水、岩分析与实验报告。

附录 K

(资料性)

年度回灌总结报告提纲

K. 1 年度总结报告的作用及要求

年度回灌总结报告是地热尾水回灌勘查的阶段性或最终成果，地热尾水回灌可行性评价、地热资源开发利用规划与管理的主要依据，报告内容应能反映本年度回灌的主要成果，参考J. 2、J. 3要求编制。

K. 2 年度总结报告提纲

年度回灌总结报告编写提纲应包含以下内容：

- 1 前言
- 1.1 项目由来
- 1.2 目的的任务
- 2 地热地质条件
 - 2.1 地层
 - 2.2 地质构造与岩浆
 - 2.3 回灌目的层地热地质特征
- 3 回灌工程建设情况
 - 3.1 地下回灌系统的建设情况
 - 3.2 地面回灌系统的建设情况
 - 3.3 回灌系统工艺流程
- 4 年度回灌数据分析评价
 - 4.1 开采量与回灌量数据分析
 - 4.2 回灌量与回灌井水位分析
 - 4.3 回灌量与开采井水位分析
 - 4.4 回扬数据分析
 - 4.5 温度场分析
 - 4.6 水质分析
 - 4.7 年度回灌评价
 - 4.8 与往年回灌结果对比分析
 - 4.9 存在问题及分析
- 5 结论与建议

K. 3 年度总结报告附件

回灌过程中取得的各项数据应系统整理，列表成册，与年度回灌总结报告有关的资料应作为附件，一般包括：

- a) 回灌井回灌监测记录表；
- b) 开采井回灌监测记录表；

- c) 回灌井井内测温记录表;
- d) 开采井井内测温记录表;
- e) 水质分析报告。

参 考 文 献

- [1] GB 12228 通用阀门、碳素钢锻件技术条件
 - [2] GB 50021—2001 岩土工程勘察规范
 - [3] GB 50027—2001 供水水文地质勘查规范
 - [4] GB 50052—2016 供电系统设计规范
 - [5] GB 50217—2016 电力工程电缆设计规范
 - [6] GB 50235 工业金属管道工程施工及验收规范
 - [7] GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工质量验收规范
 - [8] CJJ 13—2013 供水水文地质钻探与凿井操作规程
 - [9] CJJ 28 城镇供热管网工程施工及验收规范
 - [10] CJJ 34—2010 城镇供热管网设计规范
 - [11] CJJ 138—2010 城镇地热供热工程技术规程
 - [12] DZ/T 0054 定向钻探技术规程
 - [13] DZ/T 0148 水文地质钻探规程
 - [14] DB29-187-2008 天津市地热回灌地面工程建设标准
-