
水热型地热尾水回灌技术规程

（征求意见稿）

编制说明

起草单位：山东省地质矿产勘查开发局

二〇二一年三月

目 录

一、工作简况	1
(一) 任务来源	1
(二) 主要工作过程	1
(三) 标准主要起草人及其所做的工作	12
(四) 项目取得的主要成果	13
二、标准编制原则和确定主要内容的论据	14
(一) 标准编制原则	14
(二) 确定标准主要内容	15
(三) 确定主要内容的论据	15
三、主要试验(或验证)的分析、综述报告、技术经济论证及预期的经济效果	32
四、采用国际标准和国外先进标准的程度及与国际、国外同类标准水平的对比	35
五、与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系	35
六、重大分歧意见的处理经过和依据	36
七、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议	36
八、贯彻标准的要求和措施建议	36
九、废止现行有关标准的建议	37
十、其他应予说明的事项	37

一、工作简况

（一）任务来源

自上世纪 90 年代以来，由于地热资源的经济性和环保性，地热资源开发利用的程度逐年提高，地热开采井数量逐年增加。据不完全统计，全国沉积盆地砂岩热储地热开采井约 6000 眼，120 天采暖开采计算，年开采量达 16 亿 m^3 。地热水位加速下降，目前年降幅 3~5m，并有增大趋势。开采初期地热水均有自流现象，目前静水位已降至 80~100m，下泵深度逐年增加，开采耗能大幅增加。目前的地热开发利用以供暖为主，供暖后尾水的温度约 35℃同时地热水的大量开采和任意排放，也有产生地面沉降等地质环境问题的风险。砂岩热储主要开采层埋深为 1200~2500m，开发的热储层主要为新近纪管陶组、霸河组，古近纪东营组、沙河街组等。碳酸盐岩热储主要为奥陶系马家沟组（OM）岩性为一套纯灰岩和泥质灰岩、白云岩及白云质灰岩互层的组合，热储层厚度 600~1000m。

鉴于当前区内地热水水位的不断下降，地热水资源浪费严重，且直接排放必定向大气、水中排放一定的热量、有害有毒等物质，使周围的空气或水体温度上升，影响环境和生物的生长和生存，造成热污染，对周围水域或土壤环境造成负面影响

砂岩热储的成岩性差，均为半成岩、多为泥质胶结，砂层具有颗粒细、泥质含量高、渗透性低等特点，地热尾水的回灌存在一定的难度。2006 年~2010 年，砂岩热储地热回灌经历了探索期。2010 年~2012 年进入一个相对的成熟期，这一阶段出现了数量较多的成功案例。2012 年~2018 年，进入了一个提升期，砂岩热储地热尾水回灌的数量大幅增加，成功的案例也较多，同时进行经验、理论的总结。期间区内开展了大量回灌试验、回灌工程工作，并取得了较好的回灌效果。

为实现地热资源的绿色可持续开发利用，必须对地热供暖尾水进行回灌处理，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，砂岩热储地质条件的复杂性，造成了尾水回灌难度大，热储层易发生堵塞而使回灌量衰减迅速。鉴此，为适应我国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，针对砂岩热储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《水热型地热尾水回灌技术规程》。

2020年9月国家能源局综合司关于下达2020年能源领域行业标准制修订计划及外文版翻译计划的通知(国能综通科技[2020]106号)文批准了该项目。由山东省地质矿产勘查开发局实施《水热型地热尾水回灌技术规程》研制工作。

(二) 主要工作过程

1、资料收集

搜集了国内外砂岩热储回灌的资料、论文、报告等、抽水试验数据、测井数据、水质分析数据、岩矿测试等资料。

其中，收集各类砂岩回灌论文200篇。收集砂岩热储地热回灌试验报告9份。收集示踪试验3处。收集回灌井测井资料10份。收集热储层原状岩心岩矿鉴定8个。

2、调查研究

分别在天津市、咸阳市、兰考县、乐陵市、禹城市、武城县、夏津县、陵县、阳信、无棣县、商河县、博兴县、滨州市、平原县、东营市、枣强县、辛集县等地调查研究20余次，见照1至照8。



照 1 山东省夏津县砂岩热储地热尾水回灌照 2 山东省商河县砂岩热储地热尾水回灌



照 3 山东省博兴县砂岩热储地热尾水回灌照 4 天津市砂岩热储地热尾水回灌



照 5 山东省平原县砂岩热储地热尾水回灌照 6 山东省禹城市砂岩热储地热尾水回灌



照 7 山东省陵县砂岩热储地热尾水回灌照 8 山东省东营市砂岩热储地热尾水回灌

经调查研究目前开展回灌的砂岩热储有新近纪馆陶组、灞河组、古近纪东营组、沙河街组，回灌目的层段埋深为 1200m~2500m，回灌量为 $60\text{m}^3/\text{h} \sim 110\text{m}^3/\text{h}$ 不等，回灌尾水温度为 $30^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ ，矿化度为 $2\text{g/L} \sim 20\text{g/L}$ ，热储层颗粒由细砂至粗砂，回灌目的层总厚度 100m~600m 不等，稳定回灌量约等于开采量。

基本上为同层对井回灌，山东禹城有一组三采三灌的群灌案例，对井回灌相对简单。群灌时回灌井水位相互影响，对回灌量有所影响，操作相对繁琐，有待进一步探索研究。

回灌井的成井工艺以大口径填砾井和固井射孔井为主，回灌效果较好。回灌井的成井工艺因地而异，总体来说，回灌井常采用这两种工艺，固井射孔工艺在天津地区较为适宜，同时经过了大量的实践验证，回灌效果非常不错。大口径填砾工艺在山东地区广泛应用，并取得了较好的回灌效果。滤水管不填砾的工艺一般用于开采井，有部分地区用于回灌井，回灌的难度较前两种工艺有所增加，回灌效果有所影响，操作相对繁琐。

天津地区砂岩的回灌目的层为馆陶组热储，该地区热储层颗粒较粗，多为中粗砂，胶结性较好，砂岩层泥质含量较低，孔隙度较大，一般不需要回扬，山东、河北、河南、陕西等地需要进行周期性的回扬。

回灌层目的层埋深和矿化度对回灌工作有所影响，一般深度越大矿化度越高，回灌的难度就越大。

我国经济型岩溶热储主要分布在临清凹陷构造单元内，埋藏相对较浅，温度满足开发需要，矿化度较低。岩溶热储通道为裂隙型，在近期回灌过程，未发现堵塞的情况，回灌相对容易，但易发生热突破。其岩溶裂隙的发育及分布情况较复杂，难以刻画和描述，对合理采灌井距的确定造成困扰。

本规程是在对全国各地的回灌试验、工程进行分析、总结的基础

上编制而成，内容涵盖的各种类型的砂岩热储回灌，比较全面系统的总结了目前的砂岩回灌工作，可以对砂岩热储的回灌工作提供指导帮助。

3、标准编制过程

(1) 在能源行业标准《水热型地热尾水回灌技术规程》研制之前，项目组负责编制了地质矿产行业标准《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》，并投入了大量的工作。而砂岩回灌难度较大，是地热尾水回灌的重头戏，因此前期的工作对本次《水热型地热尾水回灌技术规程》编制有重要支撑作用。

(2) 2016 年 12 月 31 日，项目组组织召开了《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》(工作组讨论稿)初稿研讨会，组织有关专家对本规程的讨论稿初稿进行了研讨。山东省地矿局、山东省地勘局第二水文地质工程地质大队(山东省鲁北地质工程勘察院)、天津地热勘查开发设计院、河北省地矿局第三水文地质工程地质大队等单位，专家、学者、一线技术人员对《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》(工作组讨论稿)初稿进行了讨论，提出修改完善意见，项目组对初稿进行了完善，形成了工作组讨论稿。重点对回灌井地质勘查、回灌地质条件、成岩程度、开发利用程度与回灌的可行性等问题进行了讨论，在回灌井地质条件的确定，根据场地地质参数确定回灌的可行性达成共识，提高了回灌工作的成功率，避免盲目开展回灌工作。

(3) 2017 年 7 月 31 日项目组组织召开了《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》(工作组讨论稿)研讨会，组织有关专家对本规程的讨论稿进行了研讨(照 10)。中国地质科学院水文地质环境地质研究所、北京地质矿产开发局、中国地质大学、中科院地球物理研究所、天津地热勘查开发设计院、中国地质科学院勘探技术研究所、中国地质科学院岩溶地质研究所、山东省地质矿产勘查开发局、山东地热与矿泉水专业委员会、山东省地矿工程集团有限公司、山东省第一地质

矿产勘查院、山东省第三地质矿产勘查院、山东省地矿工程勘察院、山东省鲁南地质工程勘察院、青岛地质工程勘察院等 29 位专家、学者、技术人员参加了会议，会上专家提出了修改意见。会后根据专家意见，项目组进行了修改，完成了《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》（征求意见稿初稿）。重点对泥浆选配、泥浆黏度、回灌设备的选型等问题进行了讨论，对规程的编写格式提出修改意见，在泥浆选配、投砾泥浆黏度及回灌设备选型等方面达成共识，提高了规程的实用性。



照 10 《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》（工作组讨论稿）研讨会

（4）2017 年 11 月 27 日项目组组织召开了《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》（征求意见稿）初稿研讨会，组织有关专家对本规程的征求意见稿初稿进行了研讨。国家能源中心、西藏地矿局、中国地质调查局、中国地质调查局地科院地球深部探测中心、中国地质科学院水文地质环境地质研究所、天津地热开发设计院、山东省地矿工程集团有限公司、山东地矿新能源有限公司、中石化新星新能源研究院等 10 余名专家参加了研讨会（照 11），会上专家提出了修改意见，并对一些等细节问题提出意见。会后根据专家意见，项目组进行了修

改，完成了《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》(征求意见稿)。重点对回灌工艺、回灌效果和难度、回灌的必要性和重要性进行了讨论，在砂岩回灌的必要性和回灌工艺、回灌方法等方面达成共识，提高了该规程的可操作性和适用性。



照 11 《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》(征求意见稿)初稿研讨会

(5) 2018 年 3 月，项目组将《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》(征求意见稿)通过函征的方式向全国范围的大学院校、科研单位、专家学者、施工单位和管理单位等广泛征求意见，特别是征求了基层单位有实际工作经验的一线地热回灌工作者及技术人员等对《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》的修改意见和建议，其间共发出征求意见稿件 36 份，回执 36 份，共 409 条意见，采纳及部分采纳 337 条，不予采纳 72 条，意见汇总处理情况见国土资源标准征求意见稿汇总处理表。将收集到的意见和建议经归纳、分析和充分讨论后，对合理的意见和建议予以采纳或部分采纳，补充到本规程中，同时完成《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》(编制说明)初稿和《砂岩热储地热尾水回灌技术规程(送审稿)初稿。

(6) 2018 年 5 月 12 日项目组组织有关专家召开了《砂岩热储

地热尾水回灌技术规程》（送审稿）初稿研讨会。中国地质调查局水文地质环境地质调查中心、天津地热勘查开发设计院、北京探矿工程研究所等 4 名专家参加了会议（照 12）。重点对规程中回灌井的钻探工艺及成井工艺进行了讨论，在回灌井地质设计、技术设计和工艺要求方面达成共识，对标准的段落、条款的组织提出相关修改意见，提高了规程结构的规范性。



照 12 《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》（送审稿）初稿研讨会

（7）2018 年 5 月 27 日项目组组织有关专家召开了《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》（送审稿）和《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》（编制说明）研讨会。北京水文地质工程地质大队、中国地质大学（北京）、山东省地质矿产勘查开发局、天津地热开发设计研究院、雄安新区管委会综合执法局、河北省地矿局第三水文工程地质大队等 6 名专家参加了会议（照 13），提出了相关修改意见。送审之前对规程的全部内容进行了系统的讨论，针对规程中附图附件进行了重点讨论，相关表格、报告提纲、附图的内容及表达达成共识，提高稿规程的质量。



照 13 《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》（送审稿）研讨会

(8) 2018 年 9 月 18-19 日，全国国土资源标准化技术委员会水文地质工程地质环境地质分技术委员会在北京组织有关委员和专家召开审查会，对《地热尾水回灌技术规程》（送审稿）进行了审查（照 14）。经 26 位专家投票，通过了分标委审查，与会专家提出了详细的修改意见，提高规范的实用性及表述的规范性。



照 14 《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》（送审稿）分标委审查会

(9) 2020 年 10 月, 项目组组织召开了《水热型地热尾水回灌技术规程》编制提纲会议, 本次会议确定本标准的编写提纲为:

前言

引言

1 范围

2 规范性引用文件

3 术语和定义

4 总则

5 回灌目的层可回灌性论证与地质设计

5.1 回灌目的层勘查

5.2 回灌目的段的确定

5.3 回灌井地质设计

6 回灌井钻井技术设计与施工

6.1 回灌井钻井技术设计

6.2 施工工艺及要求

7 储层优化与增产增灌技术

7.1 一般要求

7.2 酸化压裂技术

7.3 加砂压裂技术

8 地面回灌系统设计与安装

8.1 地面回灌系统设计

8.2 地面回灌系统安装要求

9 回灌试验

9.1 一般规定

9.2 梯级流量试验

9.3 梯级温度试验

10 回灌工艺

- 10.1 一般规定
- 10.2 回灌方式
- 10.3 回扬
- 10.4 回灌数据统计分析
- 10.5 生产性回灌方案
- 11 回灌监测与评价
 - 11.1 一般规定
 - 11.2 回灌监测的内容
 - 11.3 回灌热储参数变化分析
 - 11.4 回灌评价
- 12 系统维护与保养
 - 12.1 回灌运行前的养护
 - 12.2 回灌运行期的养护
 - 12.3 停灌后的养护
- 13 成果验收与资料提交
 - 13.1 成果报告编制与验收
 - 13.2 资料提交
- 附录 A (资料性附录) 合理采灌井距
- 附录 B (资料性附录) 大口径填砾井身结构
- 附录 C (资料性附录) 固井射孔井身结构
- 附录 D (资料性附录) 定向钻进的井身结构
- 附录 E (资料性附录) 常用套管尺寸及规格
- 附录 F (资料性附录) 回灌系统运行流程图
- 附录 G (规范性附录) 回灌井回灌监测记录表
- 附录 H (规范性附录) 开采井回灌监测记录表
- 附录 I (资料性附录) 回灌目的层可回灌性论证报告提纲
- 附录 J (资料性附录) 年度回灌总结报告提纲

参考文献

(10) 2020 年 10 月-2020 年 11 月, 项目组起草了《水热型地热尾水回灌技术规程》工作组讨论稿。

(11) 2020 年 12 月, 山东省地质矿产勘查开发局组织研讨《水热型地热尾水回灌技术规程》(工作组讨论稿), 并提出了修改意见, 进行了第一次修改。(见照 15)。



照 15 《水热型地热尾水回灌技术规程》工作组讨论稿研讨会

(12) 2021 年 1 月, 项目组组织专家对规范进行了第二次咨询和修改。

(13) 2021 年 2 月, 编写组成员集中对标准进行第三次咨询和修改, 形成征求意见稿。

(三) 标准主要起草人及其所做的工作

本标准的主要起草人包括: 康凤新、周群道、....., 具体分工见表 1-1。主要起草单位包括: 山东省地质矿产勘查开发局、中国石化集团新星石油有限责任公司、山东省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质大队(山东省鲁北地质工程勘察院)、山东地子新能源科

技有限公司、陕西煤田地质集团有限公司、天津地热勘查开发设计院、清华大学、山东省地质矿产勘查开发局 801 水文地质工程地质大队、中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院。

表 1-1 标准主要起草人及分工

序号	姓名	单位	具体工作
1	康凤新	山东省地质矿产勘查开发局	标准研制负责人，负责标准的起草、修改与定稿
2	周群道	山东地子新能源科技有限公司、山东省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质大队（山东省鲁北地质工程勘察院）	负责标准的起草、修改
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			

（四）项目取得的主要成果

本标准建立了回灌目的层的选层理论，建立了砂岩热储回灌井的钻、成井技术及工艺，确定了回灌尾水的过滤工艺及流程，建立了地

热尾水回灌试验的方法及回灌工艺，建立了回灌评价与回灌系统监测维护技术体系，解决了制约砂岩热储回灌易堵塞、回灌量不稳定等难题。具有较好的社会效益、环境效益和经济效益，对地质环境保护、节能减排、改善空气质量有重要作用。在充分吸纳以往工作经验的基础上，制定了本标准。

二、标准编制原则和确定主要内容的论据

（一）标准编制原则

1. 资源保护、环境保护原则

本标准的编制本着保护地下水水质、地表水体，防止发生环境地质问题，同时保护有限、难以再生的水热型地热资源的原则。

2. 与相关规范标准相一致的原则

本标准设计到水文地质、地质钻探、地热勘查、电力、供热输水管网等方面的内容，阐述该项工作的特殊性的同时，与其他共性现行的相关规范、标准相一致，某些内容进行了适当的扩充和延伸。

3. 经济可行性原则

本标准采用的勘查手段、工程工艺、设备选型、材料选择，是在现有的技术条件下，经济节约，满足工程需要，保证质量，安全环保，能达到回灌目的的原则，并能实现一定的经济效益，具备投资性。

4. 促进行业发展的原则

本标准的制定，不是为了限制行业内各单位的发展和业务范围，而是将行业引领到一个正确、健康的方向上，然后不断的探索和发展，进一步提高质量和业务水平，少走弯路。减少行业内单位的资金损失，人员精力的浪费。

5. 实践可行性原则

本标准的相关内容，均经过大量的实践，切实可行，均源于实际试验、工程、施工过程中的经验及教训。

6. 安全保障原则

规范性操作和施工是安全保障的有力措施，本标准编制过程中，也将安全问题放在了重要的位置。

（二）确定标准主要内容

前言部分明确了制定本标准的依据、制定规则、提出单位、归口管理单位、起草单位、起草人和解释部门。

主要内容包括：回灌目的层回灌能力勘查与地质设计、回灌井技术与施工、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章节。按回灌工作的先后顺序及工作重点进行编写。

1. 确定依据

（1）本规程是在广泛收集区内水热型地热回灌资料的基础上，结合水热型地热回灌工作的需求和现状，及我们大量的实践经验编制而成。内容力求做到规程的系统性、完整性、实用性。本规程正文共计 13 章，全文 1.7 万余字。

（2）为使本规程既简明扼要、适用，又避免规程内容冗长和与有关的手册、教材重复，许多技术参数的计算公式没有编入，只规定了选用的参数，因此，在选用有关参数时可查阅相关规程、手册或教材经计算确定。

2. 规程主要内容确定

（1）回灌目的层回灌能力勘查是砂岩热储地热尾水回灌工作的基础和前提条件，回灌目的层回灌能力与地质条件相关。地质条件的

优略取决于沉积环境，通过综合测井等地学手段所取得的参数，对沉积环境等地质条件进行回灌能力的判定。本标准通过砂的颗粒大小、砂的级配、孔隙度、渗透率、单层厚度等地质参数，对目的层的回灌能力进行综合判定。参数的设置砂的颗粒大小、砂的级配主要根据相关手册和规范，孔隙度、渗透率、单层厚度来自于工作经验。

本标准中给出的不小于 80m 的总厚度是一个最低条件，一般在回灌井成井过程中，在保证同层回灌的前提下，尽可能的多取砂层。

岩溶回灌的目的层，要根据物探成果进行综合确定。

（2）回灌井成井工艺的选取应根据地质条件来选择，主要从砂层的渗透性、砂层颗粒大小、成岩的程度、孔壁的稳定性及成井深度等条件来选择。大口径填砾井在考虑防砂任务的基础上，最大限度的提高回灌井的渗透能力。水泥固井射孔工艺一般没有防砂任务，最大限度的发挥地层高渗透的优势。

（3）岩溶热储岩溶裂隙发育不好时，可以进行储层的优化，提高该热储层的开采量和回灌量。如果在回灌过程中存在结垢堵塞的情况，可采用定期酸洗的措施来消除堵塞。

（4）地面回灌系统按回灌所需的设备及设备的连接顺序和需求进行编写，其中的过滤环节尤为重要，过滤的精度由含水层的孔隙直径和悬浮物粒径确定。个别地区水中悬浮物过多时，可以在除砂器之前加装排污器，因安装排污器的成本较高，一般地区也不需要安装，规程里只做了提及。如果水中的砂含量较高时，可以安装二级除砂或二级以上的除砂，可根据实际情况来定，一般一级除砂可以解决。

过滤的精度宜细不宜粗，防止尾水的悬浮物堵塞回灌层的孔隙而造成回灌井的堵塞，尽可能的将水中的悬浮物从地面系统中去除。过滤器一般设精过滤和粗过滤两级过滤，过滤的级次根据悬浮物的含量具体确定；若尾水中的悬浮物较少，可以精简至一级过滤；若尾水中的悬浮物含量较高，可以设置三级以上的过滤，但过滤的精度应达到 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 。

回灌的过程应注意排气，防止空气进入含水层造成气堵，地面过滤系统中应安装排气罐。新近纪热储一下的多数热储层中不同程度的含有天然气，应从排气罐中排出，一方面容易造成气堵，另一方面也有安全隐患。

(5) 在生产性回灌之前，应通过梯级流量和温度试验确定该回灌井的最大回灌能力及回灌方法。一般采用自然回灌的方式进行回灌，当回灌量和水位相对稳定一段时间时，认为该灌量下是可行的。若回灌量稳定，水位不断上升时直至溢出井口，认为该灌量是不可行的，应降低灌量进行回灌，不能提高压力强制进行回灌。加压回灌仅适用于水位较高，而具有较强的回灌能力时采用，而且压力和回灌量均要稳定，如果压力不断升高，说明该回灌不可行。

(6) 回灌的监测是为了保证回灌的持续性，监测的项目有水量、水位、水温、水质、压力、地质参数等，对回灌的评价从回灌效果、回灌堵塞、回扬疏通、热储层损害等方面进行。

(7) 回灌系统需要细致的维护和保养，分为三个阶段即回灌运行前、回灌运行期和停灌后，每个阶段的维护和保养任务及侧重点有

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/397033032164006042>