

能源行业地热能专业标准化技术委员会秘书处

地热能标委会秘〔2020〕2号

关于征求《地热地球化学勘查规范（征求意见稿）》能源行业标准意见的函

各有关单位：

为了落实《标准化法》要求，促进地热能产业健康发展，根据《国家能源局综合司关于下达2018年能源领域行业标准制（修）订计划及英文版翻译出版计划的通知》（国能综通科技〔2018〕100号）的要求，在前期工作的基础上，能源行业地热能专业标准化技术委员会已组织相关单位编制了《地热地球化学勘查规范（征求意见稿）》能源行业标准（详见附件）。

现印送给你们，请组织有关人员审阅，填写“征求意见反馈表”，于2020年7月1日前将意见通过电子邮件反馈至相应标准联系人邮箱。

联系人：李义曼

联系电话：010-82998578

电子邮箱：liyiman@mail.iggcas.ac.cn

单位名称：中国科学院地质与地球物理研究所

邮编：100029

通讯地址：北京市朝阳区北土城西路19号

专此函达。

附件：1. 征求意见反馈表

2. 《地热地球化学勘查规范（征求意见稿）》及
编制说明



能源行业地热能专业标准化技术委员会秘书处

2020年6月2日

ICS 点击此处添加 ICS 号
点击此处添加中国标准文献分类号

NB

中华人民共和国能源行业标准

XX/T XXXXX—XXXX

地热地球化学勘查规范

Standard for Geochemical Exploration of Geothermal Resources

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家能源局
发布

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。

本标准由能源行业地热能专业标准化技术委员会提出并归口。

本规范的标准化管理机构为中国石油化工集团公司。

本标准起草单位包括：中国科学院地质与地球物理研究所、中国石化石油勘探开发研究院、中国石油大学（华东）、北京市地热研究院、吉林大学。

本标准起草人：庞忠和、天娇、李义曼、张英、段忠丰、袁利娟、杨峰田。

本标准于2019年XX月XX日首次发布。

地热地球化学勘查规范

1 范围

本规范对地热地球化学勘查工作的性质、基本任务、野外工作方法、分析测试质量评估、地球化学图和原始图件的编制、地球化学图说明书的编写、地热资源评价指标、成果报告编写等做了规定，确立了统一标准。

适用于行业内水热型地热资源的地球化学勘查工作部署及地热地球化学勘查报告的验收、评审备案、地热资源/储量登记统计，尚不包括干热岩地热资源及通过热泵换热技术开采利用的浅层地热资源的地球化学勘查。

2 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/T 11615 - 2010 地热资源地质勘查规范

GB 8978-1996 污水综合排放标准

GB 8537-2018 饮用天然矿泉水标准

GB 8538-2016 饮用天然矿泉水检验方法

GB 5749-2006 生活饮用水卫生标准

GB 5084-2005 农田灌溉水质标准

GB 11607-1989 渔业水质标准

GBn 270-88 天然气储量规范

NB/T 10097-2018 地热能术语

NB/T 10099-2018 地热回灌技术要求

NB/T 地热流体样品采集、保存方法规范

3 总则

3.1 本标准涉及的地热地球化学勘查对象为水热型地热资源，尚不包括干热岩型及通过热泵换热技术开采利用的浅层地热资源的地球化学勘查。

3.2 地热地球化学勘查的意义是为开发与保护地热资源，提高地热能开采效率，预防开采导致的环境污染提供基础资料，以确保地热能得以科学、可持续地开发利用。

3.3 地热地球化学勘查的目标是结合地热地质背景、水文地质背景识别地热流体的补给来源，计算热储温度，预测结垢、腐蚀趋势，分析开发前景及潜在环境影响，提出指导地热资源可持续开发利用的建议。

3.4 地热地球化学勘查分为地热资源调查、可行性勘查及开采/拟扩建评价三个阶段。大、中型地热资源开发项目的地球化学勘查可分阶段进行；地热地质条件简单的中、小型地热勘查项目可合并进行；不具备地球化学勘查资料的已开采或拟扩建项目，应补充当前开采状态下的地热地球化学资料。

3.5 地热地球化学勘查的内容包括水文地球化学勘查，气体地球化学勘查，土壤地球化学勘查，岩石地球化学勘查，生物地球化学勘查。根据不同勘查阶段的工作要求，酌情选择上述勘查内容的全部或部分开展工作，撰写勘查报告。

4 不同勘查阶段工作要求

4.1 调查阶段

开展调查的范围需要覆盖拟开采地热区。查明调查区内的地热显示（热泉、喷气孔、冒汽地面、泉华等）和地热井分布；测试热泉水流量、地热井出水量、温度、pH值、碱度、总溶解固体浓度（TDS）等；采集地热水、地热气体样品，测试水中主量离子含量及气体组分，估算热储温度，初步识别研究区热源性质；调查泉华和地表岩石水热蚀变分布；撰写区域地热地球化学调查报告。

4.2 可行性勘查阶段

结合地热资源开发规划或工程项目的具体要求，勘查范围可以是一个地热田，也可以是划定的拟开采地区。应进行下述工作，并撰写可行性勘查报告：

a) 对地表没有热显示但要求勘查隐伏地热资源的，开展土壤地球化学勘查，勘查内容可包括本标准所列的一种或多种，结合地质资料、地球物理资料和水文地质资料等，识别热流体的赋存位置和上升通道。

b) 对拟规模化开采的地热田，针对岩石地表露头或地热勘探井岩芯开展蚀变矿物的地球化学勘查，识别水热蚀变分带及泉华性质，分析区域地热流体运移通道的迁移规律。掌握地热水、地热气体的主要组分来源，计算热储温度，评价流体的结垢、腐蚀趋势，提出防治或处理方案。

- c) 对拟发电的高温地热井，测定井口压力、温度和流量，计算地热流体的焓值、蒸汽质量比例。
- d) 对拟直接利用的地热水，分析地热水化学组分、溶解气组分、微生物种类及含量，识别有用组分、有害组分，评价地热资源开发利用方式。

4.3 开采/拟扩建评价阶段

a) 对正在开采的地热井，持续监测井口温度、压力、流量，建立日尺度或更密集时间间隔的监测数据库。按季度、年度或供暖季监测地热流体化学组成，包括蒸汽质量比例、pH值、总溶解固体含量(TDS)、水化学组分、气体组分、微生物含量等，建立季度或年度流体化学数据库。对发生结垢的，查明结垢的位置、成分与生成速率，分析结垢机理并提出解决方法；对发生腐蚀的，查明腐蚀发生的位置与速率，分析腐蚀机理并提出防治措施。按年度撰写地热流体地球化学分析报告，发生结垢或腐蚀的，需将上述内容详细撰写。

b) 对已开采/拟扩建的群井地热开采项目，通过示踪试验方法量化当前地热水流动系统的运移参数（渗透率、流速等），识别地热水运移的优势通道，对长期回灌可能引起的热突破和温度下降进行预测。

b) 对拟回灌的地热尾水，测试流体化学组成、微生物种类、水中悬浮物的化学组成；分析目标回灌层岩石/土壤颗粒对地热尾水的化学敏感性；分析目标回灌层原位水与地热尾水的化学相容性，撰写目标回灌层对地热尾水的地球化学响应评价报告。

c) 对不回灌的地热尾水，测试尾水温度、水化学组分和微生物种类，评价其对排放环境中空气、水体、土壤和生物系统的地球化学影响和潜在环境污染威胁。超过环境承载力的，需进行预处理以达到排放标准。撰写地热尾水直接排放的地球化学评价报告。

5 勘查方法

5.1 水文地球化学勘查

5.1.1 工作质量控制

地热水的采样对象主要包括地热井水和热泉水。

在群井开采区，同一储层开采井的采样数量超过总开采井数的 30%，采样点位置需均匀布设；若同一区域内开采井的深度差别较大，层位不同或地质构造背景差异显著，应依据前述采样点布设原则在各深度区间、各层位和不同构造背景区域采集代表性地热水样品。在地热井数量较少的勘查区，可采集

全部地热井水样品。

在热泉集中出露区，采样点数量超过总热泉数的 30%，采样点位置需均匀布设。采样时选择流量较大，受其它水体混合较少的热泉。在热泉数量较少的勘查区，可采集全部热泉的地热水样品。

勘查区内无地热井、热泉，但有喷气孔出露时，可采集喷气孔中蒸汽冷凝水样品。采样点布设原则同热泉采样点布设方法。

样品采集、测试方法参考《地热流体样品采集、保存和测试方法规范》。地热水化学测试数据质量需进行阴阳离子平衡的检查：

$$E = \frac{\sum m_c - \sum m_a}{\sum m_c + \sum m_a} \quad (1)$$

式中，E 为相对误差（%）； m_c 及 m_a 分别为阳离子及阴离子的毫克当量总数/升。对地热水样品，E 应小于±10%。

5.1.2 补给来源

采集并测试地热水的 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 同位素，基于高程效应计估算地热水的补给高程。

$$H = \frac{\delta^{18}\text{O}_{gw} - \delta^{18}\text{O}_{lw}}{\text{grad}^{18}\text{O}} + h \quad (2)$$

其中，H（m）为补给高程， $\delta^{18}\text{O}_{gw}$ 为地下水样品 $\delta^{18}\text{O}$ 值， $\delta^{18}\text{O}_{lw}$ 为当地大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值， grad^{18}O 为大气降水高程梯度，h（m）为大气降水采样高程。 grad^{18}O 取值参考文献资料中研究区附近的 ^{18}O 的高程梯度，没有记录时参考全球平均梯度-0.15 ~ -0.5 ‰/100m，本地降水氧同位素值取研究区内大气降水同位素多年加权平均值或邻近 Global Network of Isotopes in Precipitation（GNIP）降水站多年记录均值。上述计算方法亦可用 $\delta^2\text{H}$ 计算，其全球平均梯度为-1 ~ -4 ‰/100m。

5.1.3 热储温度

测试地热水中 Na、K、Ca、Mg、Cl、 SO_4 、 $\text{HCO}_3/\text{HCO}_3$ 、 SiO_2 等浓度，利用硅温度计、Na-K 温度计、Na-K-Ca 温度计、Mg-校正的 Na-K-Ca 温度计、Na-K-Mg 体系平衡图解地温计、多矿物平衡化学温度计、FixAl 模拟等手段综合评价地热系统的热储温度。水化学温度计适用条件与计算方法详见附录 A。

5.1.4 其它水体混合比例及热泉向河流排泄量

(1) 混合比例

深层地热水和浅层地下水（或地表水）发生混合时，二者氯浓度分别为 C_d 、 C_s ，假设取得混合后地热水样品中氯浓度为 C ，则根据 Cl 离子二元混合可以计算浅层地下水（或地表水）的混合比例 α ：

$$\alpha = \frac{C - C_d}{C_s - C_d} \quad (3)$$

(2) 热泉向河流排泄量

河流某段有热泉集中排泄且河段内无其他支流汇入或流出时，测试集中排泄区上、下游河水氯浓度分别为 C_1 、 C_2 ，采样时段内河水流量为 Q_r ，测得热泉水中氯离子浓度（或多个热泉的均值）为 C ，则可以计算热泉向河水的集中排泄量 Q ：

$$Q = \frac{C_2 - C_1}{C} Q_r \quad (4)$$

5.1.5 焓值、水汽比及储层流体中的气体组分浓度

测试井口水汽混合物的温度、压力，查阅流体焓值表分别获得该温压条件下蒸气、流体的焓值 h_v 和 h_l 。根据地球化学温度计算出热储温度，并查表获得热储温度下流体的热焓值 h_{dl} ，则可计算井口水汽比 X ：

$$X = \frac{h_{dl} - h_l}{h_v - h_l} \quad (5)$$

测试井口蒸汽和流体中某种气体组分的质量浓度分别为 m_i^v 和 m_i^l （单位：mg/kg），利用上述获得水汽比可以计算储层流体中该气体组分的浓度 m_i^{dl} ：

$$m_i^{dl} = m_i^v X + m_i^l (1 - X) \quad (6)$$

5.1.6 结垢预测

(1) 试验法结垢预测

通过地热井的放喷试验，测试其结垢组分、速率和结垢产生的位置。

(2) 结垢总量法预测

参照工业上用结垢总量 H_0 （mg/L）来衡量地热流体的结垢性：

结垢总量 $H_0 < 125$ ，称为结垢很少的地热流体；

结垢总量 $H_0 = 125 \sim 250$ ，称为结垢少的地热流体；

结垢总量 $H_0 = 250 \sim 500$ ，称为结垢多的地热流体；

结垢总量 $H_0 \geq 500$ ，称为结垢很多的地热流体。

结垢总量的计算：

$$H_0 = S + C + 36\gamma Fe^{2+} + 17\gamma Al^{3+} + 20\gamma Mg^{2+} + 59\gamma Ca^{2+} \quad (6)$$

$$C = SiO_2 + Fe_2O_3 + Al_2O_3 \quad (7)$$

式中 S 指地热流体中的悬浮物含量，单位为毫克每升 (mg/L)； C 指胶体含量，单位为毫克每升 (mg/L)； γ 指离子含量的每升毫克当量数。

(3) 碳酸钙结垢预测

A. 对氯离子含量高（超过 25% 摩尔当量）的地热流体，可采用拉伸指数 (LI) 判断碳酸钙的结垢趋势和腐蚀性程度。拉伸指数 (LI) 计算：

$$LI = \frac{CL + SO_4}{ALK} \quad (8)$$

式中 CL 指氯化物或卤化物浓度； SO_4 指硫酸盐浓度； ALK 指总碱度。三项均以等当量的 $CaCO_3$ ，单位为毫克每升 (mg/L) 表示；当 $LI > 0.5$ ，不结垢，有腐蚀性； $LI < 0.5$ ，可能结垢，没有腐蚀性； $0.5 < LI < 3.0$ 有轻腐蚀性； $3.0 < LI < 10.0$ 有强腐蚀性。

B. 当地热流体中氯离子含量较低 (< 25% 摩尔当量) 时，可根据雷兹诺指数 (RI) 定性估计地热流体碳酸钙的结垢趋势。雷兹诺指数 (RI) 计算：

$$RI = 2pH_s - pH_n \quad (9)$$

$$pH_s = -\lg[Ca^{2+}] - \lg[ALK] + Ke \quad (10)$$

式中， RI 指雷兹诺指数； pH_s 指计算出的 pH 值； pH_n 指地热流体实测的 pH 值； $[Ca^{2+}]$ 指地热流体中钙离子的摩尔浓度； $[ALK]$ 指总碱度，即重碳酸根 HCO_3^- 离子摩尔浓度； Ke 是常数，当总固形物为 200 mg/L ~ 6000 mg/L 时，取值 1.8 ~ 2.6 之间，温度大于 100 °C 取低值，低于 50 °C 取高值。

当 $RI < 4.0$ ，结垢非常严重； $RI = 4.0 \sim 5.0$ ，结垢严重； $RI = 5.0 \sim 6.0$ ，结构中等； $RI = 6.0 \sim 7.0$ ，

结垢轻微； $RI > 7.0$ ，不结垢。

(4) 化学热力学模拟预测

利用化学热力学模拟软件，基于获得的水化学数据和气体含量，模拟当地年平均气温至热储温度下的流体-岩石化学反应，判断是否发生结垢；也可以通过化学热力学模拟手段计算地热井中沸腾点深度预测结垢深度。选择易发生沉淀的矿物，如方解石、白云石、非定型二氧化硅等绘制上述温度区间内矿物的饱和指数 SI 与温度变化的关系图。其中，矿物 SI 值大于 0 时的温度下易发生沉淀。

$$SI = \log \frac{Q}{K} = \log Q - \log K \quad (11)$$

其中， Q 是计算的离子活度积， K 是平衡常数。

5.1.7 腐蚀性评价

(1) 试验法腐蚀性评价

热流体中因含有氯离子，硫酸根，游离二氧化碳和硫化氢等组分而对金属有一定的腐蚀性，可以通过挂片试验等测定腐蚀速率。

(2) 计算法腐蚀性评价

可参照工业上用腐蚀系数 K_k 来衡量地热流体（水）的腐蚀性：

$$\text{对酸性水 } K_k = 1.008(\gamma H^+ + \gamma Al^{3+} + \gamma Fe^{2+} + \gamma Mg^{2+} - \gamma HCO_3^- - \gamma CO_3^{2-}) \quad (12)$$

$$\text{对碱性水 } K_k = 1.008(\gamma Mg^{2+} - \gamma HCO_3^-) \quad (13)$$

式中， γ 指离子含量的每升毫克当量（毫摩尔）数。若 $K_k > 0$ ，称为腐蚀性水；腐蚀系数 $K_k < 0$ ，并且 $K_k + 0.0503Ca^{2+} > 0$ ，称为半腐蚀性水；腐蚀系数 $K_k < 0$ ，并且 $K_k + 0.0503Ca^{2+} < 0$ ，称为非腐蚀性水。

5.1.8 地热水的不同用途评价

(1) 理疗热矿水评价：地热流体通常含有某些特有的矿物质（化学）成分，可作为理疗热矿水开发利用，可参考附录 B 对其属于何种类型的理疗热矿水做出评价。

(2) 饮用天然矿泉水评价：地热流体符合饮用天然矿泉水界限指标及限量指标的，可依据《GB 8537-2018 饮用天然矿泉水标准》做出评价。

(3) 生活饮用水评价：地热流体可作为生活饮用水源的，应根据《GB 5749-2006 生活饮用水卫生标准》做出评价。

(4) 农业灌溉用水评价：低温地热水在用于采暖供热等目的后不回灌的废弃水，一般可用于农田灌溉，依据《GB 5084-2005 农田灌溉水质标准》做出评价。

(5) 渔业用水评价：低温地热水用于水产养殖的，依据《GB 11607-1989 渔业水质标准》做出评价。

(6) 地热流体中 useful 矿物组分评价：中高温地热流体中通常含有高浓度的矿物质，有的为热卤矿物水，可从中提取工业利用的成分，如碘 (> 20 mg/L)、溴 (> 50 mg/L)、铯 (> 80 mg/L)、锂 (> 25 mg/L)、铷 (> 200 mg/L)、锆 (> 5 mg/L) 等，有的还可生产食盐、芒硝等，对达到工业利用可提取有用元素最低含量标准的，可参照《矿产工业要求参考手册》予以评价。

5.1.9 地热水运移的地球化学示踪

对已开采/拟扩建的群井开采地热资源的项目，应通过示踪试验方法量化当前地热水流动系统水力参数，如流速、渗透率等，识别流体运移优势通道，评价回灌井和开采井之间的水力联系，对长期回灌可能引起的热突破和温度下降进行预测。

常用地球化学示踪剂有四类：(1) 化学示踪剂，以无机盐、染料、卤代烃和醇类为代表；(2) 放射性同位素示踪剂，以氡水、 ^{125}I 和 ^{131}I 为代表；(3) 稳定同位素示踪剂；(4) 微量物质示踪剂，以荧光物质、稀土元素和微量离子为代表。

示踪剂的选择应遵循以下原则：

(1) 本底值低，热储中一般不应存在，或者含量稳定并远低于示踪剂监测点在试验期间的预期浓度；

(2) 检测效率高，灵敏度高，方便快捷；

(3) 吸附损失小，储层岩石对示踪剂无吸附或吸附量很小

(4) 稳定性好，具有热稳定性，在储层的温度、压力条件下不发生热分解反应；

(5) 配伍性好，示踪剂溶液与地层水配伍性好，混合后不发生化学反应，不产生沉淀；

(6) 示踪剂应易于投放、采样和分析，投放、测试成本低廉。

选定示踪剂后，采集勘查区内开采井的地热水样品，获得拟投放示踪剂的本底值；以开采井回收到1%的示踪剂计算示踪剂投放量。示踪剂的投放可以采用两种方式：一次性投放或长时间定量投放。监测时，开采井中示踪剂的预期浓度应达到其检测下限浓度或背景值的5~10倍。在开始阶段开采井的采样频率较高，当监测到示踪剂的峰值浓度且随后的示踪剂浓度呈现平缓降低趋势后，可以逐渐降低开采井的采样频率，直至样品中示踪剂浓度恢复至本底值并保持稳定，停止采样。示踪试验进行时，地热资源开采系统应处于稳定运行状态。

5.1.10 回灌水水质评价

地热尾水回灌前，应在实验室进行回灌水与目标回灌层原位水的配伍性实验，回灌水与目标回灌层岩石的水岩反应实验或现场回灌试验。分析目标回灌层原位水与地热尾水的化学相容性，若有沉淀和络合物生成，或者发生微生物积累等，分析其成因机制。监测回灌水的温度、压力、pH值、氧化还原电位、水化学组分、气体组分及微生物种类等，使回灌水水质需要满足以下基本要求，不满足要求时需经过处理以达到回灌要求：

- (1) 回灌水水质稳定，与回灌层原水相混不产生大量沉淀或络合物；
- (2) 回灌水注入回灌层后不使粘土矿物发生水化膨胀或悬浊；
- (3) 回灌水中不得携带大量悬浮物；
- (4) 回灌水对注水设施腐蚀性小；
- (5) 回灌水对回灌层不会造成热污染或其它水文地球化学危害。

5.1.11 环境危害性评价

地热尾水不回灌而直接排放时，应依据《GB 8978-1996 污水综合排放标准》进行评价；未达到污水排放标准的，需进行水质处理，达到要求后可以排放。

5.2 气体地球化学勘查

5.2.1 工作质量控制

气体地球化学勘查的对象主要是地热气体中的非冷凝气体。对于喷气孔、冒汽地面、冒气泡热泉和

脱气量大的地热井，应采集非冷凝气体；对脱气量小的地热井或无冒气泡现象的热泉，应提取热水中的溶解气。采样点布设一般与地热水采样点保持一致；在只有喷气孔的热显示区，采样点数量超过总喷气孔数的 30%，采样点位置需均匀分布。采样时选择气量较大的喷气孔。在喷气孔数量较少的勘查区，可采集全部喷气孔的气体样品。

5.2.2 气体组分

测试非冷凝地热气体中 CO₂、Ar、N₂、H₂、He 等组分的体积相对百分含量，当 H₂S 含量大于 0.5%，CO₂ 含量大于 5%，He 含量大于 0.1% 时，达到《GBn 270-88 天然气储量规范》规定的工业气流标准，具备工业开发的利用价值。

5.2.3 气体来源

测试地热气体 He 同位素，计算其与空气 He 同位素比值 R ($(^3\text{He}/^4\text{He})_{\text{样品}}/(^3\text{He}/^4\text{He})_{\text{空气}}$)，根据下述特征值判断气体来源：空气 $R = 1$ ；地壳 $R = \sim 0.02$ ；上地幔 $R = 7 \sim 9$ 。

测试 CO₂ 气体的碳同位素值 $\delta^{13}\text{C}$ ，根据下述特征值初步判断气体来源：地幔来源 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值约为 $-6.5 \pm 2.5\text{‰}$ ；海相沉积碳酸盐岩变质成因 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值近 0‰ ；有机沉积物变质成因 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值小于 -20‰ 。

可根据气体组成特征、勘查目的等其它实际情况，增加其它气体组分和同位素比值的测试与分析。

5.2.4 深部温度

对拟扩建地热资源开采项目，评价深部地热资源量时，或某些地热田的地表热显示仅由喷气孔组成，没有热水出露时，可利用地热气体组分或气体同位素估算深部温度。常用气体温度计的适用条件与计算方法见附录 A。

5.2.5 还原储层流体

利用地球化学模拟程序，如 WATCH、SOLVEQ-XPT、GEOT 和 PHREEQC 等，还原储层中流体组成。基于地热流体来源及水-气-岩相互作用过程，建立区域地热流体化学演化模式。

5.3 土壤地球化学勘查

5.3.1 工作质量控制

土壤地球化学勘查包括土壤气体勘查和土壤元素勘查,也可同步开展定深测温 and 土壤放射性强度测量。这种勘查方法对岩浆热源型地热区尤为适用,也可用于隐伏型地热资源靶区勘查。

采样/测试点(以下简称采样点)需按照网格布置,测点布设主方向应沿垂直于区域主断裂的方向。采样点间距需能够识别异常区,即异常区内至少包括2~3个采样点。进行地热区勘探时常用的网格为1×1km或1×2km,但对地热勘探重点区或已知地热区则常用250×250m或150×300m的网格。为获得更详细的勘探结果,网格可以细化为100×100m,50×25m甚至10×10m,可视地热勘查区实际情况(地形、地表覆盖或人为活动等)调整测点位置,测点控制面积一般不小于地热勘查区面积的二分之一。采样网格无需严格按照正方形或矩形布置,应根据野外现场工作条件所确定的具体采样点及时修正其在图上的位置,以保证底图上采样点位置与实际位置的准确对应。

土壤气体勘查的工作内容可以选择以下项目中的一种或多种,勘查报告中应包括浓度等值线图和测点数值表。分析数据时,需充分考虑勘查区岩性、地下水运动、松散沉积物覆盖情况、土壤的物理性质及气候条件等对测试结果的影响,分析活动断裂和地热流体上升通道的展布,为地热井选址提供依据。

5.3.2 二氧化碳气体通量

测定土壤 CO₂ 气体通量,利用已知体积的树脂玻璃箱子,将开口直接扣置到地面的土壤上,箱子两侧通过硅胶管连接 CO₂ 红外检测仪,形成闭路循环系统。测定箱子内 CO₂ 含量随时间的线性变化系数,时间一般在1分钟以内,得到各测点土壤 CO₂ 向大气的排泄通量。

5.3.3 氡气浓度测量

土壤氡气浓度测量采用环境氡测量仪。用长80 cm的钢钎在土壤中打孔;将钢钎拔出后,迅速将取样器插入孔中,并将取样器顶端地表部分用土密封压实,以防止抽气时空气进入孔内;用软橡胶皮管将取样器与测氡仪连接,测试α粒子强度;测试结束后,及时拔掉进气孔胶皮管,使仪器在完成排气过程。测试时应选择没有水或潮湿度不大的正常土壤进行土壤中氡气浓度的测量。

5.3.4 土壤气汞

在野外每个测点上,用铁锤将钢钎打入地下约1m左右深,扒出钢钎后立即将螺纹采样器旋入孔内,使与土壤保持良好密封接触。用抽气泵将土壤气抽入补汞管,带入室内测量。测量补汞管中的汞含量采

用测汞仪。土壤气汞浓度高的区域可能为地热流体运移主通道。

5.3.5 土壤微量元素

在勘查区内定深采集土壤样品，送实验室烘干、研磨、筛分后，用稀盐酸溶液溶滤土壤，测试滤液中微量元素的浓度，如 As、Sb、Bi、B、Li、Rb、Cs、Be、Au、Ag、W、Sn、Mo、Cu、Pb、Zn、Mn、Ni、Co 等，与元素的地壳丰度（克拉克值）对比。依据各元素浓度等值线图，结合热田的地质环境，热水埋深，表生地球化学作用等，识别地热流体运移主通道。

5.3.6 土壤定深测温

采用近地表定深地温测量方法，测定深度在 15cm~5m 之间的地温。处理勘查区定深测温数据时，需要识别区域背景值，地下局部热源造成的温度异常和近地表的干扰（包括太阳辐射造成的地表气温周期性变化和近地表地下水活动影响等）。通过对测量结果进行区域背景值和近地表干扰的校正，圈定地热异常区。

5.3.7 地面伽玛 (γ)

利用便携式 γ 辐射仪测量岩石、浮土或岩石样品的 γ 射线强度，圈定放射性异常区；也可以基于 γ 射线强度异常识别地热水运移通道。

5.4 岩石地球化学勘查

5.4.1 泉华

查明泉华胶结岩的分布面积与厚度；采集代表性泉华样品，通过 X 射线衍射识别泉华矿物类型，包括硅华、钙华、盐风化沉积物等；结合水-气-岩地球化学组成分析泉华生成机理。

5.4.2 水热蚀变矿物

观察野外露头初步查明区域水热蚀变分布范围，采集新鲜面处代表性样品，通过岩石薄片鉴定水热蚀变矿物，做岩石化学全分析和等离子体光谱及质谱分析或光谱半定量分析，测试蚀变岩石中微量元素含量；如发现矿物包体可进行包体测温。识别勘查区水热蚀变矿物分带，包括未蚀变岩石，高岭土化岩石，赤铁矿化蚀变岩，硫化蚀变岩石等，并研究其演化过程。

5.5 微生物地球化学勘查

地热水中微生物地球化学勘查应根据不同用途，依据 5.1.8 中各项用途进行评价。

对拟回灌的地热尾水，应根据以下内容评价腐生菌、铁细菌和硫酸盐还原菌等微生物导致发生回灌堵塞的风险，以满足回灌要求：

- (1) 细菌体在多孔介质中的累积效应；
- (2) 细菌胞外聚合物，尤其是多糖聚合物的累积效应；
- (3) 生物活动产生的气体滞留（如 CO_2 、 N_2 ）；
- (4) 以微生物为媒介的沉积物累积效应。

6 资料整理与报告编写要求

6.1 地热地球化学勘查区的样品采集和测试工作完成后，组织技术人员认真整理资料、绘制图件和编写地球化学图说明书，完成原始数据存档，动态数据库信息录入等要求。

6.2 报告编写要求

(1) 一个地热勘查区编写一份报告。若地热地球化学勘查的三个阶段时间间隔较长，勘查范围或勘查目标有所调整，应对各个勘查阶段分别编写报告。编写报告时，应以详细记录实测数据为主，结合地质、水文地质、地球物理、放射性勘查以及地热资源勘查开发资料分析地球化学结果为辅，对下一勘查或开发阶段给出合理指导与建议。

(2) 地热资源开采阶段，对地热流体化学变化的监测数据形成日报、月报、季报、年报，内容可相对简化，数据记录格式统一，以记录实测数据和分析变化趋势原因为主。

(3) 地热地球化学勘查报告需章节齐全、内容完整、重点突出、层次清楚、文字凝练、结论有据、建议明确可行，图标清晰。说明中用的专业术语、名词、计量单位和代号都要遵照已颁布的有关标准执行。在说明书中作者新创用的名词、术语、公式及代号等，应给予注释说明。

6.3 地球化学勘查报告编写提纲及附图附表要求见附录 C。

6.4 原始数据建库和资料成果验收、归档

地热地球化学勘查工作的各项原始数据必须及时整理、校核，资料应包括纸质文档和电子文档；地球化学勘查报告（含文字报告、成果图件、图册、异常登记卡等）分别以纸介质和PDF电子版形式存档

和汇交。电子版本数据资料，要严格按国家有关标准、软件格式进行复制，必须与纸介质各项成果资料内容相同。所有资料应按档案管理规定进行系统归档保存。

附录 A

地球化学温度计

对温泉和地热井都可以利用地球化学温度计来估算热储温度，预测地热田潜力。理论上，受温度控制的化学反应组分都可以作为地热温度计。实际应用中一般需要满足一下基本假定：（1）深部发生的反应只与温度有关；（2）反应物充足；（3）在热储温度下流体与岩石（或不同流体）之间的反应达到平衡；（4）当流体从热储流向地表时，在温度降低过程中，组分之间不发生再平衡，或变化很小；（5）来自深部的流体没有和浅部地下水发生混合。

地球化学温度计分为化学组分温度计和同位素温度计两类。目前常用的地球化学温度计主要有阳离子温度计，二氧化硅温度计，气体组分温度计，气体同位素温度计和化学热力学温度计等。

A.1 阳离子温度计

常用阳离子温度计公式如表 A 1 所示。

Na-K 温度计基于地热水与碱性长石之间的阳离子交换平衡，主要应用于 150 °C 以上的水，尤其是钻孔中的热水，其优点是受稀释和蒸汽分离的影响较小。

Na-K-Ca 温度计是为解释一些富 Ca^{2+} 水的不合理的 Na/K 估算温度而建立的修正方法。该温度计适用于温度较低的地热系统，优点在于对温度较低的热水和非平衡水，不会给出很高或错误结果。

对于富 Mg^{2+} 的中低温地热水，需用 K-Mg 温度计。该温度计基于钾长石转变为白云母和斜绿泥石的离子交换反应。在水岩反应体系中，K-Mg 溶质达到平衡最为快速。因此 K-Mg 温度计适用于中低温地热水。

此外，根据水化学组分特征和具体地质条件，还可应用 Mg-Li 温度计、Na-Li 温度计、Na-Ca 温度计和 K-Ca 温度计等。

目前最为常用的阳离子温度计为基于 Na-K 温度计和 K-Mg 温度计建立的 Na-K-Mg 三角图法(图 A 1)，该方法的优点在于可以辨别成熟水和未成熟水。

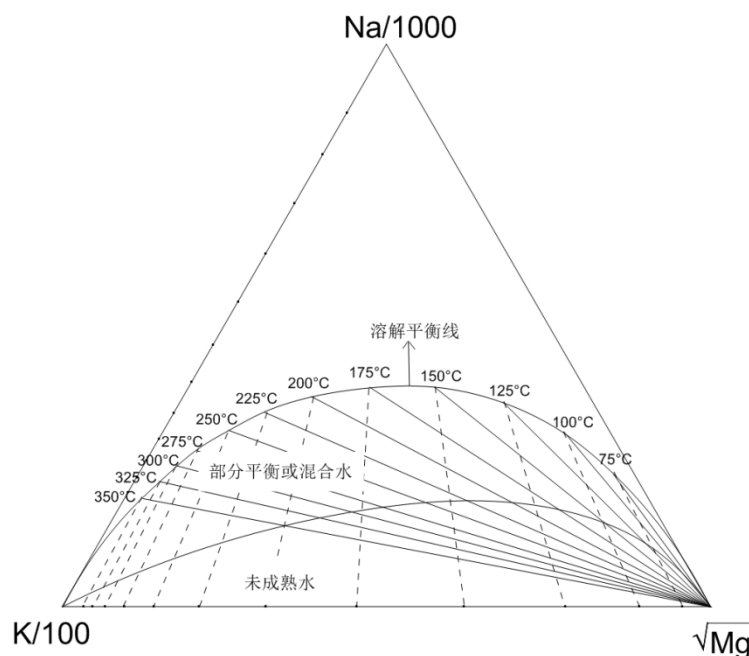


图 A 1 Na-K-Mg 三角图

表 A1 常用阳离子温度计公式

温度计	公式 (单位: °C)	作者
Na-K	$T = \frac{856}{0.857 + \lg(Na / K)} - 273.15$	Truesdell (1976)
Na-K	$T = \frac{1217}{1.438 + \lg(Na / K)} - 273.15$	Fournier (1979)
Na-K	$T = \frac{833}{0.780 + \lg(Na / K)} - 273.15$	Tonani (1980)
Na-K	$T = \frac{933}{0.993 + \lg(Na / K)} - 273.15$	Arnórsson et al. (1983)
Na-K	$T = \frac{1319}{1.699 + \lg(Na / K)} - 273.15$	Arnórsson et al. (1983)
Na-K	$T = \frac{1390}{1.750 + \lg(Na / K)} - 273.15$	Giggenbach (1988)
K-Mg ^a	$T = \frac{2330}{7.35 + \lg(K^2 / Mg)} - 273.15$	Fournier (1991)
K-Mg ^b	$T = \frac{1077}{4.033 + \lg(K^2 / Mg)} - 273.15$	Fournier (1991)
K-Mg	$T = \frac{4410}{14.0 + \lg(K^2 / Mg)} - 273.15$	Giggenbach et al. (1988)
Li-Mg	$T = \frac{2200}{5.470 - \lg(Li / Mg_{0.5})} - 273.15$	Kharaka and Mariner (1989)
Na-Li	$T = \frac{1590}{0.779 + \lg(Na / Li)} - 273.15$	Kharaka et al. (1982)
Na-Li ^{c,d}	$T = \frac{1000}{0.389 + \lg(Na / Li)} - 273.15$	Fouillac and Michard (1981)
Na-Li ^{d,e}	$T = \frac{1195}{0.130 + \lg(Na / Li^{0.5})} - 273.15$	Fouillac and Michard (1981)

Na-Ca	$T = \frac{1096.7}{3.08 - \lg(Na / Ca^{0.5})} - 273.15$	Tonani (1980)
K-Ca	$T = \frac{1930}{3.861 - \lg(K / Ca^{0.5})} - 273.15$	Tonani (1980)
Na-K-Ca ^f	$T = \frac{1647}{\lg(Na / K) + \beta \lg(Ca^{0.5} / Na) + 2.24} - 273.15$	Fournier and Tressdell (1973)

a. 适用于 $\lg(K/Mg^2) > 1.25$ 时; b. 适用于 $\log(K/Mg^2) < 1.25$ 时; c. 适用于 Cl 浓度 $< 0.3 \text{ mol/kg}$ 时; d. 单位为 mmol/kg ; e. 适用于 Cl 浓度 $> 0.3 \text{ mol/kg}$ 时; f. 浓度单位为 mol/kg 。T $< 100 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, $\beta = 4/3$; T $> 100 \text{ }^\circ\text{C}$ 且 $\lg(Ca^{0.5}/Na) < 0$ 时, $\beta = 1/3$ 。

A.2 二氧化硅温度计

二氧化硅的溶解度随温度升高而增加, 因此可将地热水中的二氧化硅浓度作为温度计。自然界中二氧化硅形态多变, 在应用二氧化硅温度计时, 应注意是何种二氧化硅矿物控制了水中二氧化硅的浓度。一般高于 $180 \sim 190 \text{ }^\circ\text{C}$ 的系统中, 与石英的平衡控制着二氧化硅的浓度, 而温度较低时, 玉髓是控制相。以下常用的硅温度计公式 (单位: $^\circ\text{C}$) 的适用区间为 $20 \sim 250 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\text{无蒸汽损失的石英: } T = \frac{1309}{5.19 - \lg S} - 273.15$$

$$\text{蒸汽损失最大的石英: } T = \frac{1522}{5.75 - \lg S} - 273.15$$

$$\text{玉髓: } T = \frac{1032}{4.69 - \lg S} - 273.15$$

$$\text{非定型二氧化硅: } T = \frac{731}{4.52 - \lg S} - 273.15$$

硅温度计的假设条件是热液中的二氧化硅以硅酸形式存在。但在有些情况下, 如某些花岗岩地区, 热水的 pH 值很高, 在 $\text{pH} > 8.5$ 时, 大量二氧化硅以偏硅酸形式存在。此时, 需要清除硅酸的浓度。

A.3 气体组分温度计

在某些地热田, 地表热显示仅由喷气孔组成, 没有温泉出露。在这种情况下, 可用气体化学温度计估算热储温度。严格来讲, 气体反应的平衡常数是气体逸度的函数, 但对于低压地热系统, 大部分逸度系数接近 1, 气体的分压能直接用逸度替换。主要的气体组分温度计方程列于表 A2 中。

气体组分温度计较多, 根据数据情况, 采样点地质条件和可能的矿物平衡组合选择合适的计算公式。

表 A2 气体组分温度计方程

温度计 (气体浓度单位/温度 单位)	公式	作者
CH ₄ -CO ₂ -H ₂ -H ₂ S (vol. % / °C)	$T = 24775 / (21\lg(CH_4 / CO_2) - 61\lg(H_2 / CO_2) - 31\lg(H_2S / CO_2) - 71\lg P_{CO_2} + 36.05)$	D'Amore and Panichi (1980)
CO ₂ -H ₂ (log(mmol/kg) / °C)	$T = 190.3 + 55.97Q_{HC} - 0.14Q_{HC}^2$ $Q_{HC} = \log H_2 + \frac{1}{2} \log CO_2$	Nehring and D'Amore (1984)
CO ₂ -H ₂ S (log(mmol/kg) / °C)	$T = 194.3 + 56.44Q_{SC} + 1.53Q_{SC}^2$ $Q_{SC} = \log H_2S + \frac{1}{6} \log CO_2$	Nehring and D'Amore (1984)
CO ₂ (log(mmol/kg) / °C)	$T = -44.1 + 269.25Q - 76.88Q^2 + 9.52Q^3$	Arnórsson and Gunnlaugsson (1985)
H ₂ S ^a (log(mmol/kg) / °C)	$T = 246.7 + 44.8Q$	Arnórsson and Gunnlaugsson (1985)
H ₂ ^a (log(mmol/kg) / °C)	$T = 277.2 + 20.99Q$	Arnórsson and Gunnlaugsson (1985)
CO ₂ - H ₂ ^a (log(mmol/kg) / °C)	$T = 341.7 - 28.57Q$	Arnórsson and Gunnlaugsson (1985)
H ₂ S - H ₂ ^a (log(mmol/kg) / °C)	$T = 304.1 - 39.48Q$	Arnórsson and Gunnlaugsson (1985)
H ₂ S ^b (log(mmol/kg) / °C)	$T = 173.2 + 65.04Q$	Arnórsson and Gunnlaugsson (1985)
H ₂ ^b (log(mmol/kg) / °C)	$T = 212.2 + 38.59Q$	Arnórsson and Gunnlaugsson (1985)
CO ₂ - H ₂ ^b (log(mmol/kg) / °C)	$T = 311.7 - 66.72Q$	Arnórsson and Gunnlaugsson (1985)
H ₂ - Ar (mol. % / °C)	$T = 70 \times (2.5 + \log(H_2 / Ar))$	Giggenbach (1991)
CO ₂ - Ar (mol. % / K)	$\log(CO_2 / Ar) = -0.04 + 0.0277T + 2048 / T$	Giggenbach (1991)
CH ₄ - CO ₂ (mol. % / °C)	$T = \frac{4625}{10.4 + \log(CH_4 / CO_2)} - 273.15$	Giggenbach (1991)

Q 为该气体组分浓度/比值的对数值。a. 适用于温度高于 300 °C 的地热田或者温度在 200 ~ 300 °C 之间，且 Cl 浓度大于 500 mg/L 的地热田；b. 适用于温度低于 200 °C 的地热田或者温度在 200 ~ 300 °C 之间，且 Cl 浓度小于 500 mg/L 的地热田。

A.4 同位素温度计

$$\text{同位素温度计广义关系式: } \ln \alpha_{I-II} = \ln \frac{R_I}{R_{II}} = A + \frac{10^3 B}{T} + \frac{10^6 C}{T}$$

式中， α 为同位素分馏系数， R 为同位素比值， T 为温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）。常用溶质同位素温度计系数列于表 A3 中。

表 A3 同位素温度计系数

温度计	同位素	适用范围 ($^{\circ}\text{C}$)	相态	A	B	C	数据来源
H ₂ O - H ₂	$\delta^2\text{H}$	100 ~ 400	气相	-217.4	396.8	11.76	理论值
			液相	-294.0	396.8	25.196	
CO ₂ - H ₂ O	$\delta^{18}\text{O}$	100 ~ 400	气相	-8.87	784.9	2.941	理论值
			液相	1961	18.29	7.626	
SO ₄ ²⁻ - H ₂ O	$\delta^{18}\text{O}$	0 ~ 300	液相	-5.6	0	3.251	Lloyd, 1968
				-4.1	0	2.880	Mizutani and Rafter, 1969

A.5 矿物组合温度计

基于地热系统多组分化学平衡模拟的化学热力学温度计，是在对地热水化学组分分析的基础上，利用数值模拟软件，如 SOLVEQ-XPT 等，计算不同温度下矿物与水的溶解平衡指数，根据热储岩性选择主要矿物绘制 $\text{Log}(Q/K)$ 值与温度变化的关系图。若各矿物饱和曲线收敛于某一温度，则认为其为流体在储层中达到水岩反应平衡时的温度，即热储温度。当地热水的化学分析缺少 Al 等组分的数据或流体出现混合、脱气等现象时，可利用 FixAl 方法进行矿物组合热力学模拟和校正，从而获得可靠的热储温度。

附录 B
理疗热矿泉水水质标准

理疗热矿泉水水质标准见表 E.1。

表 E.1 理疗热矿泉水水质标准（单位为 mg/L）

成分	有医疗价值浓度	矿水浓度	明明矿水浓度	矿水名称
二氧化碳	250	250	1000	碳酸水
总硫化氢	1	1	2	硫化氢水
氟	1	2	2	氟水
溴	5	5	25	溴水
碘	1	1	5	碘水
锶	10	10	10	锶水
铁	10	10	10	铁水
锂	1	1	5	锂水
钡	5	5	5	钡水
偏硼酸	1.2	5	50	硼水
偏硅酸	25	25	50	硅水
氡/（Bq/L）	37	47.14	129.5	氡水
温度/°C	≥ 34			温水
矿化度	< 1000			淡水

注：本表参考 GB/T 13727-1992《天然矿泉水地质勘探规范》(附录 B 医疗矿泉水水质标准)和 GB/T 11615-2010 《地热资源地质勘查规范》。

附录C

地球化学勘查报告编写提纲及附图附表

C.1 地球化学勘查报告编写提纲

针对各勘查阶段的工作要求，勘察报告内容可作调整。以可行性地球化学勘查报告为例，应包括以下内容：

1 前言

1.1 项目背景

1.2 目的和任务

1.3 完成工作量

1.4 项目经费使用情况等

2 研究区概况

2.1 自然地理概况

2.2 区域矿产资源

2.3 地质背景

2.3.1 地层

2.3.2 岩浆岩

2.3.3 褶皱构造

2.3.4 断裂构造

2.3.5 区域构造演化

2.3.6 区域地震活动概况

2.4 水文地质背景

2.4.1 地下水赋存特征

2.4.2 地下水化学特征

2.5 地热地质背景

3 样品采集与测试

3.1 地热水样品采集、测试方法

3.2 地热气体样品采集、测试方法

3.3 土壤地球化学勘查工作方法

3.4 岩石、微生物化学勘察工作方法

4 地热水化学

4.1 水化学类型

4.2 主量组分特征

4.3 微量组分特征

4.4 水中同位素特征

4.5 水化学温度计

4.6 结垢腐蚀性评价

4.7 地热尾水回灌（或排放）评价

5 地热气体化学

5.1 地热气体组分

5.2 地热气体同位素

5.3 地热气体温度计

6 土壤地球化学

6.1 土壤元素分布特征

6.2 土壤气体分布特征

6.3 土壤放射性分布特征

6.4 土壤温度分布特征

6.5 土壤地球化学对区域活动构造的指示

7 岩石地球化学

7.1 泉华类型及其成因

7.2 水热蚀变分带及迁移历史

8 微生物地球化学

8.1 微生物种类及含量

8.2 微生物对直接利用（或回灌）的影响

9 结论与建议

9.1 区域地球化学演化模型

9.2 拟开发利用方式评价

9.3 地球化学持续监测的主要指标和工作计划

9.4 对地热资源开发、管理的建议

C.2 报告主要附图

- (1) 地表热显示分布图
- (2) 地热（采/灌）井分布图
- (3) 水化学类型分布图
- (4) 主量气体组分分布图
- (5) 土壤元素浓度分布等值线图
- (6) 土壤气体浓度分布等值线图
- (7) 土壤放射性强度分布等值线图
- (8) 土壤温度分布等值线图
- (9) 区域水热蚀变分带图
- (10) 区域地球化学演化模式图

C.3 报告主要附表

- (1) 野外采样记录表扫描件
- (2) 勘查阶段进行室内实验或现场试验的数据记录
- (3) 地热流体、岩土、微生物化学成分（含同位素）及物理性质测试结果汇总表
- (4) 勘查、采样、测试、分析等各项工作负责人汇总表

《地热地球化学调查规范》

标准编制说明

1.工作简况

1.1 标准来源

本标准的制定由国家能源行业地热能专业标准化技术委员会(下文简称“地热能标委会”)提出,中国石油化工集团公司负责标准化管理,中国科学院地质与地球物理研究所和中国石化石油勘探开发研究院承担主要起草工作,中国石油大学(华东)和吉林大学共同参与起草与修订,经地热能标委会评议,由国家能源局发布。属于方法类中华人民共和国能源行业标准。

地球化学特征指示地热的成因及资源量信息,是评价地热开发潜力最简便、直接的依据。地热地球化学调查对象包括地热水、地热气体、地表土壤、泉华及蚀变矿物等。已有的地热调查因测试目标、样品采集、分析计算、研究单位及施工需求等各不相同,所得结果不尽相同、良莠不齐。这不仅导致地球化学的原始资料缺失,而且使得不同地区或同一地区不同批次基于地球化学方法评价的指标参数无统一衡量标准。本规范将对地热地球化学调查工作的工作性质和测区选择,野外工作方法,样品采集加工,野外工作质量检查,测试元素的选择,数据分析方法,图件的编制,成果报告的编写以及图件和资料的上交等方面做出规定,确立统一的标准,使科学、可持续地开采地热能做到有章可循。

1.2 主要工作过程

(1) 建立标准起草组

该标准由地热能标委会提出后，于2018年7月获国家能源局综合司立项，随即成立了由中国科学院地质与地球物理研究所，中国石化石油勘探开发研究院，中国石油大学（华东）和吉林大学等组成的标准起草组。

(2) 形成标准草案

标准起草组于2018年8月启动本标准的调研工作，基于相关资料的收集和分析，经起草组多次组内研讨，于2018年9月确定了标准的提纲与主要内容，有序开展标准的起草工作。

(3) 征求意见阶段

标准起草工作组先后召开了多次组内研讨会，对标准草案进行了讨论和修改，并于2019年6月形成标准的征求意见稿和编制说明。

2. 标准编制原则

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。

本规范的编制工作遵循“适用性、科学性、先进性、统一性、规范性”的原则，目的是使该规范成为行业内普遍适用的，可实施的操作手册。依据本规范收集的资料完整，获得的数据准确且符合国际通用标准。

3. 主要内容分析

3.1 标准的主要内容及适用范围

本规范对地热地球化学调查工作的性质、基本任务、野外工作方法、分析测试质量评估、地球化学图和原始图件的编制、地球化学图说明书的编写、地热资源评价指标、成果报告编写等做了规定，确立了统一标准。

适用于行业内水热型地热资源的地球化学调查工作部署及地热地球化学调查报告的验收、评审备案、地热资源/储量登记统计，尚不包括干热岩地热资源及通过热泵换热技术开采利用的浅层地热资源的地球化学调查。

3.2 标准主要内容的确定

本标准起草过程中，收集了国内外地热调查的文献、书籍、标准等资料，系统梳理了地热能开发利用与科学研究过程中，地球化学调查工作的基本内容、方法，掌握当前国际领域通用的调查方法和分析手段，结合国内地热开发现状和需求，对三个调查阶段划分不同工作内容，并对数据采集、样品测试与结果讨论作出具体要求。

(1) 名词术语

2018年10月29日国家能源局发布中华人民共和国能源行业标准《NB/T 10097-2018 地热能术语》，该标准于2019年3月1日起实施。标准中规定了地热能相关的术语，适用于地热能有关标准的制定，技术文件的编制，专业手册、教材和书刊等的编写和翻译。

本标准中所有地热名词术语参考《NB/T 10097-2018 地热能术语》。

(2) 不同调查阶段工作要求

《GB/T 11615-2010 地热资源地质勘查规范》中将地热勘察工作分为4个阶段，包括：地热资源调查阶段，地热资源预可行性勘察阶段，地热资源可行性勘察阶段和地热资源开采阶段。其中地热资源调查阶段以分析已有资料为主，针对重点地热天然露头（泉）和地热井开展野外调查；地热资源预可行性勘察阶段是选定在有地热资源开发前景又存在一定风险的地区，进行相对详细的资料整理，露头调查等工作，内容与调查阶段相似。从地热地球化学调查工作角度出发，上述两阶段可以合并。

本标准根据对地热资源富集区的不同调查目标和开采方式等实际工作经验，将地热地球化学调查分为地热资源调查、可行性勘查及开采/拟扩建评价三个阶段。大、中型地热资源开发项目的地球化学调查可分阶段进行；地热地质条件简单的中、小型地热调查项目可合并进行；不具备地球化学调查资料的已开采或拟扩建项目，应补充当前开采状态下的地热地球化学调查内容。

调查阶段的工作范围较广，内容相对简单，选择最能代表区域地热特征的参数加以表征，如查明调查区域及其外围的地热水天然露头（热泉、喷气孔等）和地热井分布；测试地热水流量、温度、pH值、碱度、总溶解固体浓度（TDS）等；采集地热水、地热气体样品，测试水中主量离子含量及气体组分，估算热储温度，初步识别研究区热源性质；调查泉华和地表岩石水热蚀变分带；编写和提交地热地球化学调查报告，为国家或地区地热资源调查远景规划提供依据。可行性勘查阶段是基于区域调查工作选取的地热资源重点调查区域，工作区

较小，针对性强，工作内容更为系统详细，是指导实施地热能开发利用的重要基础。具体工作要求包括识别区域导热构造，计算热储温度，建立地热地质模型，评价流体有利/有害组分，预测地热发电潜力及腐蚀、结垢趋势等。开采/拟扩建评价阶段，则是对已经以地热井的形式进行地热资源开发利用的地区或拟通过扩建增大地热资源开发规模的地区，持续监测已有地热井中的地热流体（水、气）的温度、压力、流量、蒸汽质量比例、pH值等特征指标，评价腐蚀性、结垢趋势。对已经发生结垢的，需查明结垢机理及发生位置，提出针对性的防治措施。出于环保目的，优先评价地热水回灌的可行性，对不进行回灌的地热水需测试尾水温度、水化学组分和微生物种类，严格评价其对排放环境中空气、水体、土壤和生物系统等的地球化学影响和潜在环境污染威胁。超过环境承载力的，需进行预处理以达到排放标准。

各个阶段地热地球化学调查工作的主旨是获得可靠的地球化学数据，建立系统性的地热地球化学资料库，并通过所得数据获取对地热资源各个勘查、开发阶段的工作具有指导意义的地热学指标参数。

（3）调查内容

根据地热地球化学调查的工作经验，将调查的内容按对象分为水文地球化学调查，气体地球化学调查，土壤地球化学调查，岩石地球化学调查，生物地球化学调查。根据不同调查阶段的工作要求和实际工作条件，酌情选择上述调查内容的全部或部分开展工作，撰写调查报告。标准中分别详述了各调查内容的主要工作方法，部分内容参考

《GB/T 11615-2010 地热资源地质调查规范》，样品采集方法参照《地热流体样品采集、保存和测试方法规范》，本标准中不再赘述。

(4) 地热水化学调查方法

地热水是目前地热能开发利用的主体，直接影响着地热资源量评价及地热能可持续发展。系统的地热水地球化学调查需要厘清补给来源，冷水混合过程，热储温度，更新能力及水化学演化等。

《GB/T 11615-2010 地热资源地质调查规范》中指出，地热流体质量评价应与地热资源/储量计算和评价同时进行，以提供地热资源的质量品位，作为地热资源开发的基础和依据。地热流体质量评价应依据不同用途有关的国家标准或行业标准进行综合评价，应在井(泉)试验现场和定期对代表性地热流体采样进行全分析及微生物检测的基础上进行，其评价指标包括地热流体的物理性质、化学成分、微生物含量等。本标准中基于地球化学的地热流体不同用途评价，结垢预测，腐蚀性评价的主要内容来自《GB/T 11615-2010 地热资源地质调查规范》；化学热力学模拟预测结垢的方法来自水文地球化学研究领域已经广泛应用的矿物溶解平衡计算理论。地热水运移示踪的工作标准由相关文献，如《Analysis of tracer test data, and injection-induced cooling, in the Laugaland geothermal field, N-Iceland》、《Tracer tests for the investigation of heterogeneous porous media and stochastic modelling of flow and transport—a review of some recent developments》、《岩溶热储井间连通性的示踪研究》等，结合已经进行的生产实践经验总结得出。

国际原子能机构出版的《Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use》一书中，将地热水化学与同位素的采样与分析方法作为重点内容，详细介绍基于水化学分析热动力学过程，水岩反应，化学平衡，地热水来源等。书中列举了多种同位素在地热开发不同阶段的应用： ^{18}O 可用于区分地热水和冷水， $\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 地热温度计，也可用于区分地热水的混合过程和蒸汽分离过程； ^2H 同位素用于区分地热水、冷水和岩浆水，也应用于 $\text{H}_2\text{-H}_2\text{O}$ 地热温度计； ^{11}B 和 ^{87}Sr 同位素可以用于区分热源类型，包括岩浆热源，非岩浆热源，热点等，也能指示地热流体的储层岩性； ^3H 、 ^{14}C 、 ^{36}Cl 则用于指示地热水年龄，提供地热水更新能力的信息。水化学地热温度计，同位素地热温度计，不同流体混合比例等内容参考此书的相关章节。

结合国内外地热地球化学研究已经成熟的理论和分析手段，充分考虑地热能调查工作开展过程的可操作性和必要性，本标准对地热水样品质量控制，热水补给来源分析，热储温度计算，其它水体混合比例及热泉排泄量估算，焓值、水汽比计算，结垢预测，腐蚀性评价，地热水不同用途评价，地热水流场示踪，回灌水水质评价和环境危害评价等工作内容做出详细介绍。地热资源评估，地热能发电，地热能直接利用等各个阶段中均可基于地热水化学获得相应参数，其中为评价地热水来源与混合过程，采样测试对象不仅局限于地热水，根据调查需求可拓展到大气降水、地表水和浅层地下水。所用公式及分级指标的出处已在标准中注明。

(5) 地热气体地球化学调查

地热气体是地热流体的重要组成部分，随地热水一起排出地表，由于在近地表发生减压、脱气作用，容易导致流体产生泉华沉淀，在回灌井中发生“气堵”降低回灌效率。因此，在地热能开发利用时，主要掌握地热气体组分，主要组分的含量及来源，识别资源型气体组分，识别腐蚀性气体组分等。数据获取方法参考《地热流体样品采集、保存和测试方法规范》和《地热流体测试规范》等，基于所得数据分析热源性质，气体来源，计算深部温度，评价资源型气体组分 H_2S 、 CO_2 、 He 等的标准参考国内外地热学研究的成熟方法及有关规范，如《Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use》、《天然气储量规范》等。

(6) 土壤地球化学调查

对出露的地热流体进行水化学和气体化学勘探是最常用的地热勘探手段。然而，当一个地区没有明显的地表热显示或热田展布范围尚不清楚时，土壤地球化学勘探可以提供有效信息，尤其适用于岩浆热源型地热系统。土壤地球化学勘探对象包括土壤元素和土壤气体，其目的是识别土壤中浓度异常高的元素或挥发分。一般认为，土壤中某些元素含量的正异常与下伏地热系统释放的挥发分有关，且沿断裂等高渗透区分布明显，可以帮助识别热田的高渗透性区域，流体上升通道或流体沸腾区；在地形条件复杂地区可以辅助解译地球物理探测数据，刻画地热系统的边界。

已有《GB/T 11615-2010 地热资源地质调查规范》对土壤地球化

学调查内容提及甚少，仅指出利用土壤汞、氦气测量确定浅埋藏的活动断裂构造，对测点选择及分析方法未做明确。但土壤地球化学调查在国际领域应用较广，国内出版的《地热田地球化学勘察》一书中包含相对详细的土壤地球化学调查工作方法。

本标准基于收集的国内外地热地球化学调查文献、书籍，如《Geothermal fluids chemistry and exploration techniques》、《Book reviews of soil gas and related methods for natural resource exploration》、《A soil gas survey over Rotorua geothermal field, Rotorua, New Zealand》、《Application of diffuse gas flux measurements and soil gas analysis to geothermal exploration and environmental monitoring: Example from the Reykjanes geothermal field, SW Iceland》等。充分考虑国内实际地热能调查工作开展过程的可操作性和必要性，对地热调查中土壤地球化学的工作内容做了规定，包括工作质量控制（采样/测试点布设），土壤二氧化碳气体通量，氦气浓度，土壤气汞，土壤微量元素，定深测温和地面伽玛(γ)等。实际地热地球化学调查时，根据场地情况，经费情况，时间及项目需求，选择一种或多种测试项目，综合分析结果，圈定异常区，识别高渗透性断裂展布。

（7）岩石地球化学调查

《GB/T 11615-2010 地热资源地质调查规范》和国际领域中的其它指导地热资源开发的标准、书籍等很少对岩石地球化学调查进行系统规定。通过总结文献中的工作方法和已有生产项目的实践经验，本标准中的岩石地球化学调查包括泉华和水热蚀变矿物两个主要内容。

其中，泉华的分布范围，种类与形成机制调查不仅对区域地热显示的分布、演化历史具有指示意义，而且有助于揭示热储温度，帮助预测地热资源开采过程中的结垢趋势。泉华调查是地热地球化学调查的重要内容。水热蚀变矿物调查在高温水热型地热系统中相对容易开展，指示区域地热资源分布和演化历史，但在热储埋深较大或温度较低的中低温地热系统，开展水热蚀变调查工作难度较大。十分必要时，可尝试通过深钻岩芯获得相应资料。

(8) 微生物地球化学调查

与岩石地球化学调查相似，已有标准或地热勘察指导书籍中对微生物调查的内容涉及甚少。但根据实际生产需求，本标准中，依据地热资源开发的不同目的，规定了相应的微生物地球化学调查内容：其一是地热开采阶段，对不同用途（理疗、引用、灌溉、渔业等）依据相应水质标准进行评价，具体评价标准与地热水质评价中的有关内容一致；其二是对于拟回灌的地热水，为防止因微生物作用发生回灌堵塞，需进行相应的微生物种类及累积效应的评价工作。

上述地热地球化学调查的工作成果，需做资料整理和档案留存。

4. 主要试验验证情况和预期达到的效果

本标准不涉及试验验证内容。

5. 知识产权专利等涉及情况

本标准未涉及知识产权专利。

6. 预期的社会效益、对产业发展的作用等情况

本标准的制定，将有利于确定地热资源勘探、开发过程中，开展

地球化学调查的统一工作标准，为科学、可持续地开采地热能提供详实、可信的基础资料。

7. 采用国际标准和国外先进标准情况

经资料收集与梳理，尚未发现针对地热地球化学调查的国际标准或国外先进标准。本标准为首次自主制定。

8. 在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调性

本标准符合国家现行法律、法规、规章和强制性国家标准的要求，本标准有助于《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国矿产资源法》和《中华人民共和国水资源保护法》等相关法律、法规、规章和强制性国家标准的实施。

9. 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在制定过程中未出现重大分歧意见。

10. 标准性质的建议说明

本标准为首次制定，建议作为推荐性标准发布实施。

11. 贯彻标准的要求和措施建议

本标准为首次针对地热地球化学调查制定的行业标准，为推荐性标准，在组织上建议在地热资源勘探、开发、研究机构应用实施，并逐渐引导其他地热应用、研究机构实施本标准。并将实施过程中出现的问题和好的改进建议反馈起草组以便进一步完善对本标准的修订。

在技术上，本标准的实施过程中，根据项目进行阶段和实际情况选择本标准中相应的地热地球化学调查的工作内容，以形成完整、可

靠的地球化学资料，为指导地热资源勘探、开发奠定基础。各项工作进行时，需要参考《NB/T 10097-2018 地热能术语》、《GB/T 11615-2010 地热资源地质勘查规范》、《NB/T 10099-2018 地热回灌技术要求》和《地热流体样品采集与保存规范》等相关标准。通过本标准的实施，尽可能实现在地热资源勘探、开发过程中的地球化学信息描述的规范化和一致性。

12. 废止现行相关标准的建议

本标准不涉及对线性标准的废止。

13. 其他应予说明的事项

无。

14. 标准负责起草单位和参编单位、主要起草人的联系方式。

本标准起草单位包括：中国科学院地质与地球物理研究所、中国石化石油勘探开发研究院、中国石油大学（华东）、吉林大学。

本标准起草人：庞忠和、天娇、李义曼、张英、段忠丰、杨峰田。

主要起草人联系方式：

庞忠和： z.pang@mail.iggcas.ac.cn

天娇： tianjiao@mail.iggcas.ac.cn

李义曼： liyiman@mail.iggcas.ac.cn