

田雷,周志华,晏锐,等. 2024. 地球化学数据库管理平台的建设与思考. 中国地震, 40(1):173~183.

# 地球化学数据库管理平台的建设与思考

田雷 周志华 晏锐 冯晓博

中国地震台网中心, 北京 100045

**摘要** 为更好地发挥地球化学数据及方法在异常分析及震情跟踪研判中的作用,提高地球化学数据获取的便利性 & 数据存储的可靠性,规范异常核实及流动观测等地球化学样品的采集及检测流程,实现地球化学数据的自动分析及相关图件的自动绘制,中国地震台网中心建立了基于 Linux 系统的地球化学数据库管理平台,该平台应用数据库、地理信息系统(GIS)、WebGIS 等技术,集成了样品送检、实验室检测、报告产出、数据存储筛选下载分析、图件绘制等功能,利用 Piper 图、Na-K-Mg 三角图、同位素分析等方法,分析不同样品的地球化学特征,并给出相关图件。平台自推广以来,收集了大量的地球化学数据,提升了数据的可利用性,降低了地球化学数据分析的技术门槛,在异常性质分析及震情跟踪研判中发挥了作用。

**关键词:** 地球化学数据 数据库 系统平台

[文章编号] 1001-4683(2024)01-0173-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

地震在孕育、发生过程中不仅伴随着大面积的地球物理场的变化,还有大量的地球化学异常变化,而地下流体作为地下介质的重要组成部分,是地下介质对应力状态改变最敏感的组分之一(Skelton et al, 2014; 晏锐, 2018; 王喜龙等, 2021; 石宏宇等, 2021)。地壳运动可以引起地下应力、应变状态的改变,这种变化沿断裂带多以断层气及温泉的形式出露,气体及水体在运移过程中携带了大量深部信息,能够反映地下流体的赋存状态和水岩反应程度,表征地下流体的化学及同位素特征(Igarashi, 1995; Sano et al, 1998; Martinelli et al, 2021; 周晓成等, 2020; 孙小龙等, 2020)。

地震孕育一发生过程中,伴随着区域应力场的改变,断裂带及其周边区域的流体地球化学场也会随之改变,造成流体中元素浓度和同位素组成的改变,形成地震地球化学异常。因此,在活动断裂带或地震活跃区域开展流体监测,有效识别监测数据异常,综合分析异常成因,是利用流体地球化学方法进行地震预测的前提(King et al, 1986; Li et al, 2013; 刘耀炜等, 2009; 吕超甲等, 2017)。

流体地球化学参量携带着深部流体运动及流体-岩石相互作用的大量信息,是指示深部构造活动的重要因子。在构造活动强烈期及地震活动时期,地壳介质中水-岩之间原有的平

[收稿日期] 2023-12-29 [修定日期] 2024-02-27

[项目类别] 中国地震局地震预测开放基金(XH24009D)、震情跟踪定向工作任务(2023020302)共同资助

[作者简介] 田雷,男,1988年生,高级工程师,主要从事地震地下流体相关研究。E-mail:leitian@seis.ac.cn

衡状态也会被打破,出现地球化学异常,可为地震短临预报提供证据。活动断裂带地下流体常表现出很多地球化学异常现象,可以为断裂带内的断层活动性及其构造状态研究提供新的证据(李静等,2017)。目前,许多国内外研究学者开始关注地震地球化学这一科学问题,越来越多的研究学者开始研究深部流体地球化学特征与地震活动的关系,通过多种地球化学手段监测温泉水中离子及同位素、断层气、氦、汞等地球化学变化特征,探究地震前可能出现的地球化学异常。同时,利用地球化学方法还能够为识别地下流体常规观测(如水位、水温、流量观测)中的异常物质来源提供支撑,进而对异常性质进行判定(李营等,2022)。

目前,流体地球化学观测数据分布较为分散,数据存在形式也较为多样,包括核实报告、科学文献、检测报告等,且数据并未得到充分的利用,不利于数据及分析方法的传承。地球化学数据的共享、管理、深入研究已经成为地震预报领域与地球化学学科融合迫切需要解决的重要问题。科学数据库的开发及应用为解决这一问题提供了良好的契机。科学数据库利用数据库技术及其他相关技术实现对大量科学数据的合理、高效管理,使相关领域的科研人员能够利用该数据库快速地进行数据查询、分析和研究(李江海等,2006;周新华和张宏福,2006)。

针对地球化学数据在获取、分析、存储及应用上的各种问题,2020年中国地震台网中心基于Linux系统建立了地球化学数据库管理平台(以下简称平台),该平台基于关系数据库技术、GIS、WebGIS技术、网络技术建立,集样品送检、测试分析、报告产出、数据分析、自动出图、特定条件筛选等功能于一体,涵盖了地球化学数据从产出到应用的全部流程,从根本上解决了非地球化学专业人员在异常核实、地球化学数据分析、图件制作等方面的困难。

## 1 地球化学数据模型

地球化学数据模型是地球化学科学数据库的研究基础。在对地球化学数据本身特点、组成、内容、使用方式分析的基础上,参考已有国内外类似数据库的建设,完成了数据库逻辑结构设计和数据编码设计(表1)。

表1 数据库元数据简表

| 条目       | 描述  |
|----------|---|
| 数据库名称    | 地球化学数据库管理平台   |
| 数据库作者    | 晏锐,中国地震台网中心<br>周志华,中国地震台网中心<br>田雷,中国地震台网中心                      |
| 数据时间范围   | 2008—2023年  |
| 地理区域     | 全国范围  |
| 数据格式     | *.txt, *.xls  |
| 数据量      | 3000条以上   |
| 数据服务系统网址 | <a href="http://10.5.108.85:8080/">http://10.5.108.85:8080/</a> |

### 1.1 地球化学数据

地球化学数据主要包括水体样品的分析检测数据、其他特征信息及辅助信息。目前平台数据包括3类:第一类为水体样品的编码、名称、位置、取样时间、取样人等辅助信息;第

二类为水体样品的现场检测数据,包括 pH、ORP、TDS 等相关信息;第三类为水体样品的实验室检测数据,包括阴阳离子、氢氧同位素、微量元素等信息。

### 1.2 地球化学数据模型

目前平台所涉及的样品均为水体样品,暂未涉及二氧化碳、氢气等断层气和氦、汞等放射性物质的数据。根据地球化学方法在震情跟踪中的应用现状及未来的应用前景,平台所有数据均被储存在一系列具有唯一名称且互相关联的关系数据表中。表格中包含的编码与地球物理数据共享数据库的编码规则一致,即若该水体样品取自地球物理观测中的固定观测井,则规定该编码使用地球物理数据共享数据库中该井的固定编码,此原则会将观测点的地球物理观测数据与平台上的该观测点的地球化学数据进行唯一匹配,方便后续分析该观测点数据的异常变化;若该样品为非固定观测井中所取样品,则按照 C 类编码规则进行编码(表 2)。

## 2 系统结构与功能

### 2.1 系统结构

本平台采用关系数据库 MYSQL8.0、VUE、NETCORE3.1 等技术,使用 C#和 Python 语言开发,整体遵循分布式、低耦合的分层体系结构和 Redis 多级缓存策略,应用了 Leaflet Map、Ajax、Echarts 等前端技术和基于 MATLAB 的图件生成技术,注重性能优化和调试,提升用户体验和效率。

### 2.2 系统功能和特点

平台设置了实验室模块、数据分析模块、用户管理模块 3 个模块,实现了用户从样品寄送到样品分析全过程的各项功能(图 1)。

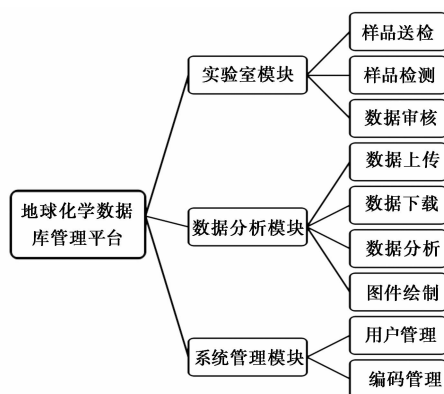


图 1 地球化学数据库管理平台功能设计

#### 2.2.1 实验室模块

实验室模块设计理念基于异常核实过程中所取得的各类样品,结合样品送检—实验室检测—数据审核三步流程开发,在填写样品登记后自动生成样品批号,同时用户能够在系统中实时查看样品当前状态,并在样品检测且检测结果经过审核后,通过数据下载界面下载检测报告(图 2)。

表 2 平台数据的相关项目及录入要求

| 数据类型   | 详细项目                                      | 相关要求  | 备注         |
|--|---|---|------------|
|  | 编码  | 与地球物理数据共享数据库中编码一致<br>固定观测井 A 类<br>流动观测 B 类<br>非固定观测井及浅表水体 C 类 | 必填<br>唯一匹配 |
| 第一类数据  | 台站/地点                                     | 台站名称或乡镇名称   | 必填         |
|  | 井名/样品名                                    | 井孔名称或水体名称   | 必填         |
|  | 经度  | 小数点格式   | 必填         |
|  | 纬度  | 小数点格式   | 必填         |
|  | 采样时间                                      | 具体到日期   | 必填         |
|  | 水类型                                       | 地下水、温泉水、湖水、河水等  | 必填         |
|  | 采样人                                       | 明确取样人及后续数据负责人方便后续数据使用   | 必填         |
| 第二类数据  | 温度(℃)                                     |   | 现场检测       |
|  | TDS(mg/L)                                 |   | 现场检测       |
|  | PH 值                                      |   | 现场检测       |
|  | ORP(mv)                                   |   | 现场检测       |
|  | COND(μs/cm)                               |   | 现场检测       |
| 第三类数据  | Na <sup>+</sup> (mg/L)                    |   | 必填         |
|  | K <sup>+</sup> (mg/L)                     |   | 必填         |
|  | Mg <sup>2+</sup> (mg/L)                   |   | 必填         |
|  | Ca <sup>2+</sup> (mg/L)                   |   | 必填         |
|  | Li <sup>+</sup> (mg/L)                    |   | 选填         |
|  | Fe <sup>3+</sup> (mg/L)                   |   | 选填         |
|  | Fe <sup>2+</sup> (mg/L)                   |   | 选填         |
|  | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)       |   | 选填         |
|  | F <sup>-</sup> (mg/L)                     |   | 必填         |
|  | Cl <sup>-</sup> (mg/L)                    |   | 必填         |
|  | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)      |   | 必填         |
|  | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)       |   | 必填         |
|  | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)      |   | 必填         |
|  | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)      |   | 必填         |
|  | Br <sup>-</sup> (mg/L)                    |   | 选填         |
|  | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)       |   | 选填         |
|  | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)      |   | 选填         |
|  | δD <sub>V-SMOW</sub> (×10 <sup>-3</sup> ) |   | 必填         |
|  | δD <sub>V-SMOW</sub> StDev                |   | 选填         |
| δ <sup>18</sup> O <sub>V-SMOW</sub> (×10 <sup>-3</sup> )       |   | 必填  |            |
| δ <sup>18</sup> O <sub>V-SMOW</sub> (×10 <sup>-3</sup> ) StDev |   | 选填  |            |

2.2.2 数据分析模块

为了收集现存的数据,平台设计了数据上传模块。为保证相关样品的数据与取样点名称及观测井/泉的名称一一对应,在数据上传模块中设计了上传格式限制,要求所有上传数据中 A、B 类数据必填的编码项需与地球物理观测台网中固定及流动观测台站的编码统一。其中, A 类编码为二位省编码和三位台站编码共计五位编码以及对应的台站名称组合,并且



图 2 平台实验室模块流程

该编码会直接读取地球物理观测台网中的经纬度并设置为该样品的取样经纬度；B类编码为定期流动观测中的温泉点位，主要由流动观测人员确定，编码规则为二位省份编码及三位温泉点位编码。该模式保证了同一观测井/泉所取得的样品与数据库中台站能够唯一对应，方便后续数据的对比及分析。

针对用户及实验室已经上传的数据，平台开发了筛选模块，通过地图筛选、行政区划筛选、多边形筛选、采样时间筛选、pH值筛选、TDS值筛选等多种筛选方法，实现特定参数的快速查找、筛选及数据下载。

数据分析则通过数据选择与Piper图、Na-K-Mg三角图、同位素关系图等自动绘图模块联动，对数据库内的数据进行下载及相关图件绘制，保证能够快速得到相关分析结果，方便后续的异常性质分析及震情跟踪研判工作。

### 2.2.3 系统功能模块

系统功能模块包括日志模块、系统管理、个人中心等相关操作。其中，日志模块主要是记录该账号的所有操作及数据上传下载情况，且管理员账号具有统计的相关功能；系统管理主要用于操作用户分组及权限的赋予，所有用户都具有浏览数据的权限，省局用户具有所在省局数据上传、下载、删除的权限及其他省局数据浏览的权限，实验室用户具有上传、下载、样品审核、实验室检测数据上传等相关权限，管理员具有除以上权限外的用户分组调整等相关权限；个人中心的主要功能是用于修改用户密码等操作。

## 3 数据分析方法及结果

### 3.1 数据基础

#### 3.1.1 地球化学数据库管理

建立合理、有效的空间数据库可实现灵活的图形信息与属性的双向查询检索，即可从地图检索数据，也可根据行政区划、数据上传时间、采样人等相关属性检索相应的数据，还可以由多种属性进行组合条件检索(图3)。

#### 3.1.2 地球化学数据分析处理方法

地球化学数据分析处理方法是在地球化学方法检验结果的基础上，利用数学方法从地





图3 地球化学数据库管理平台主界面

球化学原始数据中提取信息,指示不同样品在主要及次要变量上的区别及联系,同时结合各种地质构造及其他周边情况,分析不同样品之间的内在联系,为判定水体之间的内在联系、解决物质来源、分析地壳深部演化过程等问题提供技术支撑。

目前,针对平台上的水化学离子数据,主要利用阴阳离子平衡、水化学类型分析、Piper 三线图、Na-K-Mg 三角图等方法,对其水化学类型、离子含量特征、水体成熟度等进行分析。

阴阳离子平衡是利用水体样品不显电性的特征,结合地球化学检测结果,对数据的合理性进行分析,水中阴阳离子的平衡误差可用下式来计算

$$E = \frac{\sum n_c - \sum n_a}{\sum n_c + \sum n_a} \times 100\% \quad (1)$$

式中,  $E$  为相对误差,  $n_c$ 、 $n_a$  分别为阳离子和阴离子的毫克当量浓度(meq/L)。如  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  为实测值,  $E$  应在  $\pm 5$  之间; 如  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  为计算值,  $E$  应等于或接近于零。

检测结果中主量离子的阴阳离子平衡相对误差不大于 5%,认为该结果较为可信。若该结果大于 5%,则考虑检测问题,或含水层的岩性较为复杂,存在无法检测到的非主量离子,如亚硝酸盐、磷酸盐等。

水化学类型分析目前主要以舒卡列夫分类的方法进行,该方法是利用阴阳离子毫克当量在各自阴阳离子中所占的百分比对样品的水化学类型进行分类,当离子毫克当量百分数占比大于 25%时,该离子参与组合定名,主要用于表示样品的主要离子及对应的水化学特征,用于分析其水岩反应情况及含水层的相关性质。

三线图是由 Piper 在 1944 年提出的,故也叫作 Piper 三线图(Piper, 1944; 陆徐荣等, 2010)。Piper 三线图的方法同样是根据物质的水化学元素组成判断物质的水化学类型,在三线图的菱形区域进行投影并分析样品间的差别。如图 4 所示,图 4(a) 两个基底的三角形中,左右三角分别表示阴、阳离子的毫克当量百分数,阴离子和阳离子相对质量浓度和均为

100%,并用上部菱形对水化学进行分类;图4(b)所示菱形区域各个区间分别为:1号区域代表碱土金属离子大于碱金属,2号区域代表碱金属离子大于碱土金属离子,3号区域代表强酸根为主,4号区域代表弱酸根为主,5号区域代表碳酸盐硬度大于50%,6号区域代表非碳酸盐硬度超过50%,7号区域代表碱金属及强酸为主,8号区域代表碱土金属及弱酸为主,9号区域代表任一阴阳离子含量均不超过50%。

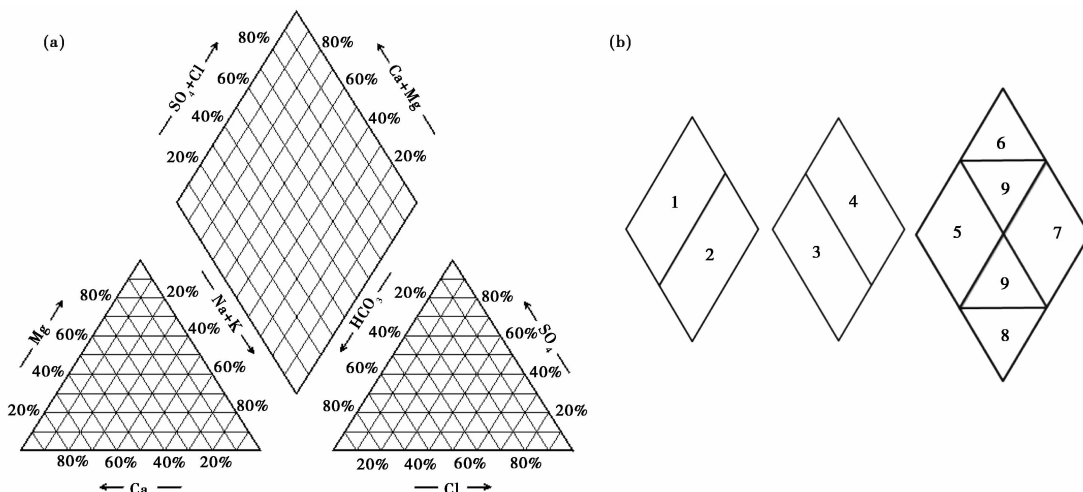


图4 Piper 三线图分析结果(a)及特征分区(b)

Na-K-Mg 三角图最主要的作用是用来计算地下水的成熟程度,即水岩平衡状态。Na-K-Mg 三角图的方法最早是由 Giggenbach 于 1988 年提出的(Giggenbach,1988),通过计算样品中 Na-K-Mg 的相对含量,估算水体的成熟程度,同时评价水岩平衡状态和区分不同类型的水样,进一步验证 Na-K-Mg 阳离子温标法的可靠性。一般大气降水或地表水由于水岩反应的时间较短,反应并未完全平衡,应处于未成熟水的区域,而大部分的地下水由于地下环境相对稳定,且循环时间较长,应处于部分平衡水或完全平衡水的区域(图5)。

根据水体成熟度的估算结果可以区分不同类型的水样,判定不同水样的补给来源及水岩反应程度,进而推断水岩反应的时间或相应的循环时间,同时也为合理的选择地热温标的估算方法提供依据。

Craig(1961)通过对全球降水样品同位素资料的分析指出,雨水中  $\delta^2\text{H}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值之间存在线性相关关系,并得出了如下的相关关系式: $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ ,其为一条斜率为 8,截距为 10 的直线,称为全球大气降水线(GMWL),即 Craig 方程,作为描绘水中稳定同位素的标准方法。大气降水的同位素组成变化很大,随空间、时间而异,故世界各地不同地区的降水方程往往偏离全球性方程,除全球降水线外,不同地区也有反映各自降水规律的降水线,即地区大气降水线(LMWL)。

如图6所示,当地下水的氢氧同位素比值均在大气雨水线附近,表明其成因主要是大气成因水,水-岩反应程度较低,循环时间较短且深度不大(苏鹤军等,2010);而当其比值向右下方发生偏移时,可能出现2种情况:一是瑞利分馏现象,反应该地区降雨量小、蒸发作用强;二是氧飘逸现象,即地下水与硅酸盐或碳酸盐之间发生了水-岩反应,进行了氢氧同位素

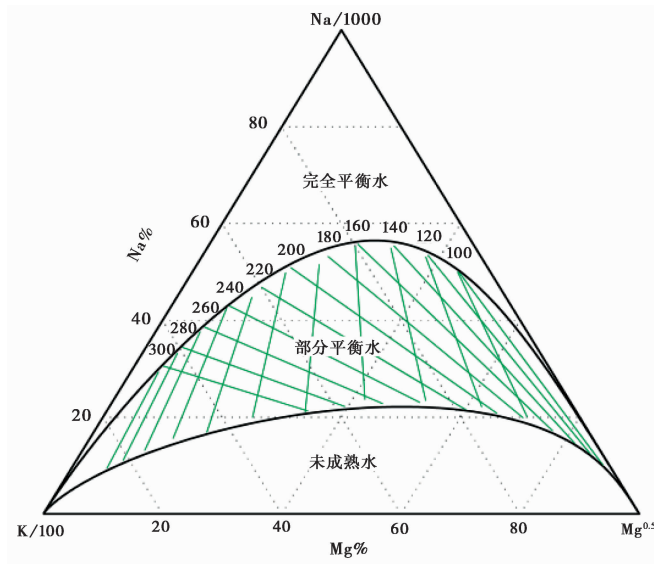


图5 Na-K-Mg三角图分析结果

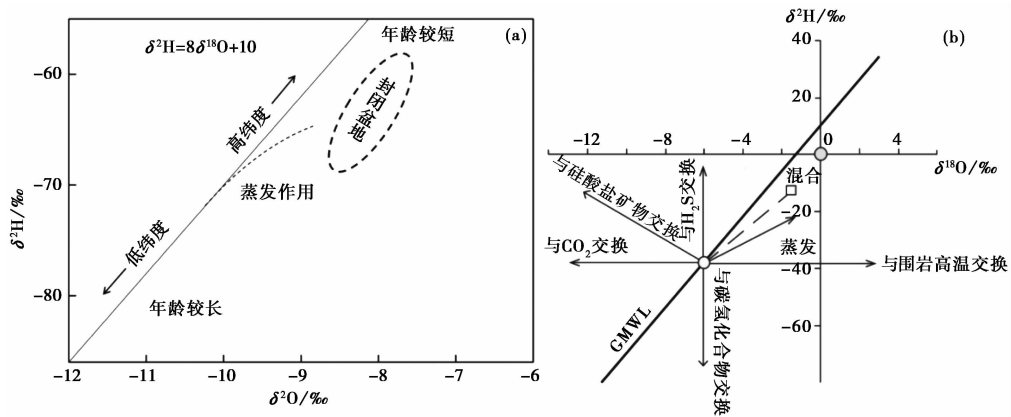
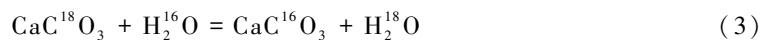
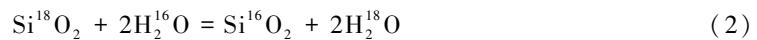


图6 大气降雨线及相关影响因素的变化趋势

的交换(桂和荣等,2005;黄天明等,2008),可表示为



### 3.2 分析结果

经过以上分析,平台在数据展示界面会自动计算阴阳离子平衡及水化学类型。对于阴阳离子平衡大于5%的样品,其离子平衡系数会自动标红,以提示相关上传人员及使用人员该数据可能存在误差(图7)。

生成图件功能能够利用 Piper、Na-K-Mg 三角图、同位素关系图等方法,对样品的地球化学特征进行分析及表征,通过不同样品的特征,分析观测井的水岩反应情况、与潜在干扰水体的水利联系情况,以及含水层多年来的地球化学特征是否发生改变等相关特性,进而判断异常变化的受干扰情况及与构造改变的关联性,为震情跟踪研判提供可靠依据(图8)。



区域: 全部 编码: 请输入 井名/样品名: 请输入 采样时间: 选择日期

上传数据 导出 生成图片 AB类离子模板下载 C类离子模板下载

| #  | 区域  | 编码        | 台站/地点  | 井名/样品名   | 离子平衡计算 (%) | 水化学类型                                    | 操作    |
|----|-----|-----------|--------|----------|------------|--|-------|
| 1  | 辽宁省 | C21002471 | 普兰店蔄沟村 | PLD7m    | -4.73      | HCO <sub>3</sub> -Ca-Na                  | 编辑 删除 |
| 2  | 辽宁省 | C21002472 | 普兰店蔄沟村 | PLD90m   | -3.87      | HCO <sub>3</sub> -Ca                     | 编辑 删除 |
| 3  | 辽宁省 | C21002473 | 普兰店蔄沟村 | PLDY210m | -2         | HCO <sub>3</sub> -Ca                     | 编辑 删除 |
| 4  | 辽宁省 | C21002474 | 普兰店蔄沟村 | PLDY220m | -0.82      | HCO <sub>3</sub> -Ca                     | 编辑 删除 |
| 5  | 辽宁省 | C21002475 | 普兰店蔄沟村 | PLDL4m   | -4.53      | SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> -Ca-Na | 编辑 删除 |
| 6  | 甘肃省 | C62002463 | 武山地震台  | 武山井      | -1.79      | HCO <sub>3</sub> -Na                     | 编辑 删除 |
| 7  | 甘肃省 | C62002464 | 武山地震台  | 武山井      | 1.19       | HCO <sub>3</sub> -F-Na                   | 编辑 删除 |
| 8  | 甘肃省 | C62002465 | 武山地震台  | 武山井      | 3.21       | F-CO <sub>3</sub> -Na                    | 编辑 删除 |
| 9  | 甘肃省 | C62002466 | 武山地震台  | 武山井      | -0.82      | HCO <sub>3</sub> -Na                     | 编辑 删除 |
| 10 | 云南局 | A53099    | 南华县局   | 南华井      | -0.22      | Cl-Ca-Na                                 | 编辑 删除 |

共 2156 条 < 1 2 3 ... 216 >

图 7 平台数据管理界面

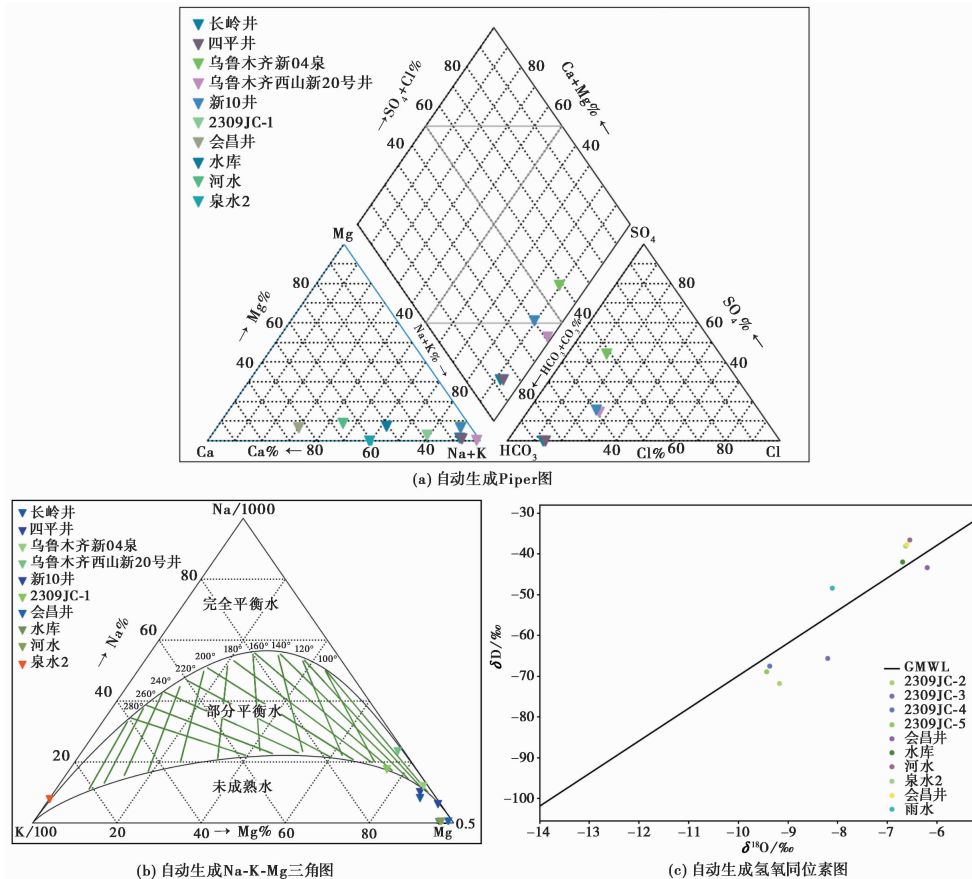


图 8 平台自动分析产生的相关分析结果

## 4 结论及展望

地球化学数据库管理平台自2020年正式上线运行以来,已经积累了超3000条的数据,数据覆盖了全国31个省市自治区直辖市。同时,平台利用已经较为成熟的水化学及同位素分析方法,开发了自动分析模块,在判定数据可靠性的基础上,提供了多种分析手段及自动图件绘制,大大减轻了预报人员的分析工作量,提高了地球化学数据分析的便利性及效率,为异常性质分析提供了重要的参考背景值及多期的对比参考数据,为震情跟踪研判提供依据及支撑。

在平台应用推广方面,通过已经发布的《地球化学数据库管理平台使用说明书》以及《地球化学数据库管理平台使用规则(震台网函[2022]113号)》,在平台使用推广以及相关功能、数据的管理及使用方面做出了介绍及相关要求,对于未来平台的应用及推广提供了有力保障。

未来,平台将依托现有功能进行不断升级、优化,同时依托震情跟踪及背景普查等工作,拓展数据量及分析方法,对现存的可能不准确的观测数据进行分类标注,对可能是异常出现时期所取得的样品进行重点分析,筛查区分背景数据、干扰时期数据、异常时期数据,为未来可能出现异常变化提供更加科学合理的数据支撑。

## 参考文献

- 桂和荣,陈陆望,宋晓梅. 2005. 皖北矿区地下水中氢氧稳定同位素的漂移特征. 哈尔滨工业大学学报, **37**(1):111~114.
- 黄天明,聂中青,袁利娟. 2008. 西部降水氢氧稳定同位素温度及地理效应. 干旱区资源与环境, **22**(8):76~81.
- 李静,李营,陆丽娜,等. 2017. 六盘山地区泉水地球化学特征. 地震, **37**(1):61~72.
- 李江海,牛向龙,程素华,等. 2006. 大陆克拉通早期构造演化历史探讨:以华北为例. 地球科学——中国地质大学学报, **31**(3):285~293.
- 李营,陈志,胡乐,等. 2022. 流体地球化学进展及其在地震预测研究中的应用. 科学通报, **67**(13):1404~1420.
- 刘耀炜,任宏微,王博. 2009. 环境同位素及其示踪技术在地震预测研究中的应用前景. 地学前缘, **16**(2):369~377.
- 陆徐荣,周爱国,王茂亭,等. 2010. Piper图解淮河流域江苏地区浅层地下水水质演化特征. 工程勘察, **38**(2):42~47.
- 吕超甲,刘雷,周晓成,等. 2017. 甘肃东南地区温泉流体地球化学特征. 地震, **37**(1):52~60.
- 石宏宇,王万丽,周晓成,等. 2021. 四川石棉公益海温泉水文地球化学特征. 地震, **41**(1):93~115.
- 苏鹤军,张慧,史杰. 2010. 祁连山断裂带中东段地下水地球化学特征研究. 西北地震学报, **32**(2):122~128.
- 孙小龙,刘耀炜,付虹,等. 2020. 我国地震地下流体学科分析预报研究进展回顾. 地震研究, **43**(2):216~231.
- 王喜龙,贾晓东,杨梦尧. 2021. 辽宁金州断裂断层土壤气地球化学调查. 中国地震, **37**(4):767~779.
- 晏锐. 2018. 云南省龙陵邦腊掌温泉水文变化特征与机理研究. 博士学位论文. 中国地质大学(北京).
- 周晓成,王万丽,李立武,等. 2020. 金沙江—红河断裂带温泉气体地球化学特征. 岩石学报, **36**(7):2197~2214.
- 周新华,张宏福. 2006. 中生代华北岩石圈地幔高度化学不均一性与大陆岩石圈转型. 地球科学——中国地质大学学报, **31**(1):8~13.
- Craig H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters. Science, **133**(3465):1702~1703.
- Giggenbach W F. 1988. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. Geochim Cosmochim Acta, **52**(12):2749~2765.
- Igarashi G. 1995. Ground-water radon anomaly before the Kobe Earthquake in Japan. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr, **31**(3):108A.
- King C Y. 1986. Gas geochemistry applied to earthquake prediction: An overview. J Geophys Res, **91**(B12):12269~12281.
- Li Y, Du J G, Wang X, et al. 2013. Spatial variations of soil gas geochemistry in the Tangshan area of northern China. Terr Atmos

- Ocean Sci, **24**(3):323~332.
- Martinelli G, Ciolini R, Facca G, et al. 2021. Tectonic-related geochemical and hydrological anomalies in Italy during the Last Fifty Years. *Minerals*, **11**(2):107.
- Piper A M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos Trans Am Geophys Union*, **25**(6):914~928.
- Sano Y, Takahata N, Igarashi G, et al. 1998. Helium degassing related to the Kobe Earthquake. *Chem Geol*, **150**(1~2):171~179.
- Skelton A, Andr n M, Kristmannsd ttir H, et al. 2014. Changes in groundwater chemistry before two consecutive earthquakes in Iceland. *Nat Geosci*, **7**(10):752~756.

## Construction and Consideration of Geochemical Observation Database System

Tian Lei, Zhou Zhihua, Yan Rui, Feng Xiaobo

China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

**Abstract** In order to promote the role of geochemical observation data and methods in anomaly analysis and seismic regime tracking, China Earthquake Networks Center (CENC) has established a geochemical database system under the Linux system, which applies database technology, Geographic Information System (GIS), WebGIS and other technologies together. The system includes sample inspection, laboratory testing, report output, data storage, screening, download and analyzing, diagram rendering and other functions. In terms of data analysis, the system uses Piper plotting, Na-K-Mg plotting, isotope analysis diagram and other methods to analyze the geochemical characteristics of different samples. Since popularization, the system has collected a large amount of geochemical observation data, improved the availability of data, reduced the technical difficulty of geochemical data analysis, and played an important role in the anomaly property detecting and earthquake tracking.

**Keywords:** geochemical data; database; system