

A Brief Discussion on Rapid Analysis Method of Gold in Field—Colorimetry

Qi Pei¹, Fei Xia¹, Shan Jiang², Wenbo Zhou²

¹East China Institute of Technology, Fuzhou

²Geologic Party No. 243, The China National Nuclear Corporation, Chifeng

Email: 313363600@163.com

Received: Jul. 26th, 2012; revised: Aug. 16th, 2012; accepted: Aug. 27th, 2012

Abstract: In recent years, the continuous exploration of gold has always been receiving great attention. In order to accelerating the test of gold geochemical anomaly, guiding the field construction, reducing the prospecting targets, shortening prospecting period and evaluating deposit promptly, field on-site analysis measurement methods have been appeared, and colorimetry has been widely applied because of its rapidness, sensitiveness and convenience. Thus, the authors make a review of the articles on visual colorimetry during 1988-2010 in the perspectives of sensitiveness, convenience and time, so as to helping the geologists who firstly contact rapid analysis method of gold in understanding and for their reference.

Keywords: Visual Colorimetry; Rapid Analysis Method of Gold in Field

浅谈野外快速测金方法——比色法

裴琦¹, 夏菲¹, 姜山², 周文博²

¹东华理工大学, 抚州

²核工业二四三大队, 赤峰

Email: 313363600@163.com

收稿日期: 2012年7月26日; 修回日期: 2012年8月16日; 录用日期: 2012年8月27日

摘要:近年来, 随着黄金矿的不断开采, 为了加速金矿化探异常的验证, 指导野外施工, 缩小找矿的靶区, 缩短找矿周期和及时对矿床作出评价, 出现了野外现场分析测定方法, 其中目视比色法以其快速、灵敏、简便的特点应用较为广泛。为此, 笔者从灵敏度、简易程度、耗时等方面综述了1988~2010年所发表的关于目视比色法快速测金的文献, 以便于初次接触野外快速测金实验的地质工作者进行了解、参考。

关键词: 目视比色法; 野外快速测金

1. 前言

金原子序数 79, 在元素周期表上位于第六周期第一副族(1B), 和铜、银一起称铜族元素。原子量为 196.9665, 比重为 19.319/cm³, 因而金是贵“重”金属。金的延展性很强。由于金在地壳中的含量极低, 地质样品中存在的金、银矿物很难用肉眼鉴别, 其含量的高低只能等到化验结果, 在很大程度上影响了地质找矿的速度。近年来, 随着黄金矿的不断开采, 必

须尽快寻找新的矿产资源, 以满足不断增长的黄金需求量。为了加速金矿化探异常的验证, 指导野外施工, 缩小找矿的靶区, 缩短找矿周期和及时对矿床作出评价, 因此需要野外现场分析测定方法。金的野外分析不但受野外仪器设备条件的影响, 而且还受到当地的地理、地质条件的限制。地质探金与生产相结合, 就要求分析操作简便、省时、省料, 仪器简单, 检出效果较好。随着金的普查找矿和成矿规律的研究以及地

球化学找矿的需要,国内对此已做过大量的金的野外快速分析方法研究,并且成果显著。

2. 目视比色法

主要的野外快速测金方法有氢醌容量法和目视比色法。目视比色法应用于地质找矿中具有操作简便、设备简单及灵敏度高优点,因而应用较为广泛。国内的很多分析化学教科书中,都介绍了这种方法。有些教科书对于目视比色法原理直接引用 Lambert-Ber 定律^[26,27],丁荫祥 1991 年 8 月曾在龙岩师专学报上对目视比色法的原理进行推导^[28],即:

设:一束强度为 I_0 的平行复合光通过浓度为 c ,液层厚度为 b 的样品溶液时,其透过光强度为 I_t ,则:

$$I_0 = I_0 + I_0 f_1 + I_0 f_2 + I_0 f_3 + \dots + I_0 f_{n-1} + I_0 f_n = \sum_{i=1}^n I_0 f_i$$

$$I_t = I_t f_1 + I_t f_2 + I_t f_3 + \dots + I_t f_{n-1} + I_t f_n = \sum_{i=1}^n I_t f_i$$

其中, f_i 为某波长单色光强度占入射光总强度的百分率, I_{ti} 为该波长单色光透过溶液后的强度。

对于单色光来说,其通过溶液后光强度的变化是符合 Lambert-Beer 定律的。现假设溶液对某色光吸收的吸光系数为 K_i ,根据 Lambert-Beer 定律,则有:

$$I_{ti} = I_0 f_{ie}^{-K_i C b s}$$

$$I_t = \sum_{i=1}^n I_0 f_{ie}^{-K_i C b} = I_0 \sum_{i=1}^n f_{ie}^{-K_i C b}$$

如果透过标准溶液和试液后的光强度分别为 I_{ts} 和 I_{tx} ,则:

$$I_{ts} = I_0 \sum_{i=1}^n f_{ie}^{-K_i C s b s}$$

$$I_{tx} = I_0 \sum_{i=1}^n f_{ie}^{-K_i C x b x}$$

当它们的颜色和深度相同时:

$$I_{ts} = I_{tx}$$

即:

$$I_0 \sum_{i=1}^n f_{ie}^{-K_i C s b s} = I_0 \sum_{i=1}^n f_{ie}^{-K_i C x b x} \quad (1)$$

由于入射光弧度 I_0 相同,各波长单色光占入射光强度的百分率 f_i 也相同,所以(1)式可简化为:

$$\sum_{i=1}^n f_{ie}^{-K_i C s b s} = \sum_{i=1}^n f_{ie}^{-K_i C x b x} \quad (2)$$

又由于标准系列与试液的显色条件和有色物质均相同,液层厚度也相同,所以有 $b x = b s$ 。因此,(2)式又可简化为:

$$\sum e^{C s} = \sum e^{C x}$$

既:

$$C_s = C_x$$

因此,当标准溶液与式样溶液颜色深度相同时,他们的浓度也相同。

此数学推导的过程,说明了目视比色法进行定最分析的原理。并对该方法的可靠性给予了证明。有助于初次接触目视比色法的地质工作者进一步了解该定律。

3. 应用概况

笔者综述了近 20 年来目视比色法的应用进展情况,有关目视比色法野外快速测定金的应用概况见表 1。

方法的顺序排列为文献发表时间的先后顺序,检出限为相关文献的实验测定数据,实验耗时是按照实验步骤所需时间针对初次接触实验的地质人员所估算。从溶矿到富集分离皆有許多可供选择的物质及设备,如溶矿可用王水、硝酸及盐酸等,富集可用泡塑、巯基棉、活性炭、黄原酯棉等,具体选择哪种方法哪些物质和设备,这需要结合野外的实际情况由地质人员具体情况具体分析,以上相关方法的综述可以为初次接触野外快速测金实验的地质人员提供参考。

4. 结语

本人结合前人文献中所提及的操作方法与实际工作经验,在野外各种条件不便利的情况下总结出几点注意事项:

1) 严把样品的加工工序,要满足样品的代表性、分析粒度和防止样品污染,在实际工作中对地质样品的碎样、过筛严格按规范要求操作,对化探样品采取翻滚法混匀后,用牛角勺随机取样。否则会影响分析结果的可靠性;

2) 实验操作人员要掌握一定的专业知识,熟悉各类常用的化学试剂,熟练各项化学分析实验操作,严格按实验规范要求工作,根据野外实际条件选用相适应的实

Table 1. Application situation of colorimetry in rapid analysis method of gold on field
表 1. 目视比色法野外快速测定金的应用概况

方法类型	适用样品	富集分离方法原理	检测限	耗时	优缺点综述	文献
痕量金的微珠析出比色法	化探样品	该法建立在Au-TMK配合显色水相分光光度法基础上,将有机提取剂溶于醋酸-乙醇介质中,加入水改变介质成份使Au-TMK配合物富集于提取剂中成微珠析出,直接在坩埚中目视比色。	0.3 ppb	4小时左右	该法操作灵敏简便,色阶梯度大,清晰可辨,稳定,成本低。但是样品的前期处理需要用电及大型设备,有些地区达不到该法的操作条件,该法适用于靠近城镇或交通相对便利的地区。	文献[1]
目视比色法测定岩石中的痕量金	地质样品	王水、饱和溴水溶矿,泡沫塑料吸附分离、硫脲洗脱,溶液经破坏处理后,以TMK目视比色法测定。	1 ppb	2小时左右	该法操作无需复杂仪器设备,可在野外工作使用。但是实验过程中人工操作比较多,可能会增大实验结果误差。因此该法适用于大量地质样品的快速分析初选。	文献[2]
目视比色法测定化探样品中ppb级的金	化探样品	本文采用金-金试剂(4,4'-双(二乙氨基)-二苯基甲硫酮)-吐温-80显色体系研究和拟定了水相目视比色测定化探样品中金的方法。王水溶矿,活性炭吸附,盐酸、混合洗液洗脱,加混合掩蔽剂、吐温-80、缓冲溶液、金试剂进行目视比色。	0~0.01 ppb	5小时左右	使用该法进行分析,比色色阶清晰,与金共存的离子一般不再干扰测定。但是实验过程要应用布氏漏斗且实验操作较为繁琐,因此该法并不适用于大量地质样品。	文献[3]
磷酸-王水溶样萃取比色法测定岩矿中的金	岩矿样品	试样经灼烧,磷酸-王水分解,用醋酸丁酯-甲基异丁基酮直接萃取比色或泡塑吸附富集金,经灰化,过氧化氢和盐酸溶解,在(pH=3~4)缓冲液和掩蔽剂的混合液中萃取, TMK显色测定金。	大于1 ppm	4小时左右	此法简便、快速、准确、易掌握,成本低、效率高,既适用于野外也适用于室内。但应用此法须10 g以上样品,建议样品较充足的条件下考虑使用。	文献[4]
硫代米蚩酮液珠萃取比色法测定化探样品中的痕量金	化探样品	封闭溶样技术、泡沫塑料富集分离,硫脲解脱,以硝酸和硫酸破坏硫脲,拟定了液珠萃取比色测定痕量金的方法。	0.5 ppb	4小时左右	该方法测试灵敏度高,选择性好,稳定性好,形成的液珠色泽清晰,0 mg~5 mg之间的色阶可用肉眼辨认且设备简单,但实验过程中需要用电,建议满足供电条件的地区使用。	文献[5]
黄原酯棉富集-液珠萃取比色法测定地质样品中的金。	地质样品	黄原酯棉吸附,灰化法解脱。浸取液用三正辛胺-TBP(1:3)混合萃取-金试剂液珠比色法测定金。	0.5 ppb	3小时左右	该方法操作简单快速、成本低,黄原酯棉灰化时无臭味、残渣少,三正辛胺-TBP(1:3)混合萃取-金试剂液珠比色法测定Au,其液珠凝聚好,灵敏度高,选择性和稳定性都比单用TBP有所提高。但实验过程繁琐且操作要求标准高,建议能满足实验条件的地区使用。	文献[6]
泡塑吸附 TMK-TBP 液珠萃取比色测定痕量金	化探样品	在磷酸-磷酸氢二钠介质中(PH-5),在F作为增敏剂的条件下,以TBP萃取金与TMK生成的有色络合物的方法。	0.2~20,000 ppb	5小时左右	此法液珠不论冬夏均能长时间不散,颜色稳定,具较好的实用性,但实验要求精度高,有些野外实际操作达不到该标准,因此使用该法时需视具体情况而定。	文献[7]
金试剂液珠萃取比色法测定痕量金	化探样品	王水溶矿,硫脲解脱,采用金试剂(4,4'-双(二乙氨基)-二苯基甲硫酮)为显色剂,磷酸三丁酯(TBP)为萃取剂,研制了液珠萃取比色新方法。	0.5~10,000 ppb	5小时左右	文献[8]中提及利用拟定的方法制备了“金的野外快速分析箱”。分析箱体积小,携带方便,可用于化探找矿、地质普查找矿现场采样分析。但是该方法实验操作中需要的试剂较多,建议使用前将所需试剂准备齐全。	文献[8]
化探样品中金、银、铜的野外现场快速联合测定——黄原酯棉富集分离金试剂液珠萃取比色法	化探样品	王水、氢氟酸溶矿,采用黄原酯棉为吸附剂,以(4,4'-双(二乙氨基)-二苯基甲硫酮)为显色剂, TBP(磷酸三丁酯)为萃取剂,拟定了联合测定化探样品中金、银、铜的新方法。	金: 0.2 ppb 银: 50 ppb 铜: 0.1 ppm	6小时左右	该法简单快速,可在野外无电、无排风条件下进行现场采样、加工、分析及金、银、铜的联合测定。由于该法可对化探样品进行联合测定,如果实验要求只需测单一金属,则会造成试剂浪费,因此建议需要测多金属时考虑该法。	文献[9]

Continued

二苯硫脲-甲基异丁酮泡塑富集液珠萃取比色法测定化探样品中的金银	化探样品	本法采用HCl-NaCl-KMnO ₄ 为溶剂,以封闭溶样法分解试样。利用自制的二苯硫脲-甲基异丁(DPTU-MIBK)泡塑,在10%HCl介质中富集分离金、银。泡塑经灰化解脱后,以金试剂(4,4'-双(二乙氨基)二苯甲硫酮)TBP(磷酸三丁酯)-TOA(三正辛胺)液珠萃取比色法分别测定金、银。	金: 0.5 ppb 银: 5 ppb	6小时左右	该法简单快速,一次溶样可连续测定Au、Ag。但需自制二苯硫脲-甲基异丁酮(DPTU-MIBK)泡塑,有些地区一次制备不易保存,需反复多次制备。建议有保存条件的地区使用。	文献[10]
三正辛胺棉富集分离液珠萃取比色法测定地质样品中的金	地质样品	王水溶矿,三正辛胺棉吸附,掩蔽剂混合溶液解脱,金试剂-TBP混合显色剂与洗洁精溶液显色。	0.5 ppb	5小时左右	加入洗洁精溶液,提高了液珠萃取比色法测定金的稳定性,降低了成本。但是市场所售洗洁精溶液有很多种,因此具体哪种洗洁精溶液适用于该方法还需多次实验验证。	文献[11]
野外快速测金新方法及其应用效果	地质样品	王水溶矿,泡塑吸附,DNG解脱,TKM显色。	0.5 ppm	3小时左右	此法易学、测试快、操作简便,结果准确,经济省时。但原样烘干、破碎缩分这道程序在有些地区的野外实际操作中达不到实验规范要求,容易造成目数过大或样品污染等问题。因此建议使用该法时严把样品加工第一关。	文献[12]
二正辛基亚砷棉富集分离液珠萃取比色法测定化探样品中的金、银	化探样品	本文采取盐酸、磷酸、高锰酸钾、氯化钠溶矿,将金的螯合萃取剂负载在脱脂棉上,制备了一种螯合纤维素——二正辛基亚砷棉吸附剂,利用该吸附剂富集分离金、银,以硫代米蚩酮(TMK)-磷酸三丁酯(TBP)液珠萃取比色法进行测定。	0.5 ppb	6小时左右	该法简单快速、灵敏度高、选择性好、设备简单、成本低,一次溶样可连续测定金、银。此法选用DOSO棉进行吸附,而高锰酸钾是一种强氧化剂,容易破坏DOSO棉,故高锰酸钾加入量要严格控制。此法要求实验人员熟练掌握该法且经验丰富,建议使用该法时选用熟悉化学、工作多年的实验人员操作,以减小人为误差。	文献[13]
野外快速测金——目视比色法	地质样品	硝酸、氯酸钾、盐酸溶矿,巯基棉吸附,盐酸解脱,TKM显色。	1~200 ppm	3小时左右	该法选用的吸附物质为巯基棉,巯基棉对金的吸附还可在漏斗上进行,所需设备少、易操作、富集效果好,为野外找金、现场采矿及提金工艺提供一个便捷、较准确、易掌握的分析方法。但巯基棉的制备较麻烦,建议有野外配制条件的地区使用。	文献[14]
地质样品中金银的连续快速测定——二苯硫脲-三正辛胺棉富集分离液珠萃取比色法	地质样品	本文采用氯化钠、高锰酸钾、氟化氢铵、硝酸溶矿,DPTU-TNOA棉吸附柱吸附,硫代米蚩酮(TMK)液珠萃取比色法进行测定。	金: 0.5 ppb 银: 0.5 ppb	5小时左右	该法制备了DPTU-TNOA棉吸附柱吸附并研究了动态法富集分离金、银的条件。当含金溶液以1~6 ml·Min ⁻¹ ,流速通过0.1 g吸附剂制备的吸附柱时,金、银的吸附率均在98%以上。但是制备该吸附剂过程繁琐且要求精度高,一般野外达不到该实验标准,建议有条件的地区使用。	文献[15]
野外快速测金新方法及其应用效果(TMK泡塑光导比色法)	地质样品	王水溶矿,泡塑吸附,混合解脱剂解脱,利用XBG-1型光电比色计显色分析。	0.02~50 ppm	2小时左右	TMK泡塑光导比色法是集化学的冷分析与物理的光导探测为一体的,适用于野外快速分析并指导野外找矿,克服了由于单一使用仪器法带来的购置费昂贵以及野外携带维修不便的缺点,又提高了单一使用化学目测比色法的测试精度。但该法所需实验设备与试剂较多,建议能满足实验要求的地区使用。	文献[16]

Continued

泡沫塑料富集硫代米氏酮目视比色法野外快速测定痕量金	岩石矿物	王水溶矿，泡塑吸附，EDTA、磷酸盐酸溶液解脱，TMK直接于泡沫塑料上显色。		5小时左右	该法可直接在泡塑上TMK显色，这对野外分析是极为方便的，适应野外地质化探样品的测定，可为野外提供可靠、稳定、快速的分析结果。但样品含量的高低、显色时酸度及过氧化氢含量等均可对显色造成影响。影响显色的因素较多，可能造成的误差就会增大，因此建议使用该法时注意实验环境与操作精度。	文献[17]
地质样品中金的快速测定	地质样品	混合溶剂、硝酸溶矿，双硫脲泡塑吸附，硫脲或灰化解脱，采用液珠萃取比色法进行测定。	0.005~Xppm	3小时左右	该方法制备了双硫脲泡塑并研究了富集分离金的条件和解脱方法，该法可在室温条件下进行，精度高，可用两种方法进行解脱，适用于地质样品中金的快速测定。但整个实验要求准确度高，建议有保存条件和实验条件的地区使用。	文献[18]
地矿样品中金的快速测定——双硫脲泡塑富集分离液珠萃取比色法	地质样品	氯酸钾、高锰酸钾、氟化氢铵、硝酸溶矿，双硫脲泡塑吸附，氯化钾、盐酸、硝酸解脱，加入掩蔽缓冲溶液、混合显色剂、洗洁精形成有色液珠，与标准系列色阶进行比色测定。	2.5~0.72 ppm	3小时左右	该法与文献[18]都选用双硫脲泡塑进行吸附，双硫脲对金具有极强的萃取能力。将双硫脲负载在泡塑上非常牢固，不易脱落。该法建议有制备和保存双硫脲泡塑条件的地区使用。	文献[19]
目视比色法测定化探样品中的痕量金	化探样品	本法采用王水溶样、活性炭吸附富集，与其他杂质分离，载金活性炭经高温灰化、灰渣中的金用王水溶解，蒸干，在PH3.2的缓冲溶液中，用硫代米氏酮(TMK)的正丁醇溶液萃取，进行比色测定。	0.01~2 ppm	3小时左右	该法采用常量金吸附装置，方便、快速，用正丁醇为萃取剂，TMK与Au在氯乙酸(柠檬酸铵)EDTA)氯化铵)氨水体系中显色，方法简便快速，能适合大量化探样品的实际分析。但是实验要求准确度高，实验过程较为繁琐，建议能满足实验条件的地区使用。	文献[20]
泡塑富集 - 硫代米氏酮萃取微珠比色法在野外测金的应用	化探样品	王水溶矿，泡塑吸附，盐酸解脱，TMK显色。	5~1200 ppb	2.5小时左右	经实践检验，此法可应用于野外无电力条件下现场金的测试，误差较小。但是操作注意事项较多，文献[21]提及10条，影响实验结果准确性因素较多，建议各方面均达到实验要求的地区使用。	文献[21]
萃取分离硫代米氏酮目视比色法快速测定岩石矿物中的金	岩石样品	结合野外现场的条件，经试验提出了用甲基异丁基酮 - 异戊醇萃取分离，硫代米氏酮目视比色法快速测试地质样品中的金。	可测得ppb级别的金	4小时左右	该方法适宜于矿石中痕量金的测定，方法简便、实用、稳定。突出对野外现场分析的适应性、快速性、可操作性及可信性。建议使用该法时环境温度保持在10℃~30℃，并保证样品加工的质量，样品加工的粒度及流程必须符合规范的要求，否则分析结果的可靠性不能保证。	文献[22]
痕量金现场快速简便测试方法	地质样品	经酸溶(王水加热或HCL-KClO ₃ 冷溶溶样)，活性炭富集，用硫代米氏酮(TMK)显色，小体积水相目视比色。	可测得ppb级别的金	3小时左右	本法可在野外不具备用电的简陋条件下，对样品痕量金进行快速分析，适合野外工作对样品的直接现场分析，操作快速、简便。本法显色条件严格，操作必须精细。比色时如水相发红，或微珠呈绿色，均应补加TMK显色溶液及增大微珠体积后再比色测定。建议能满足实验条件与要求的地区使用。	文献[23]

Continued

痕量金野外快速测试方法	地质样品	金在一定的酸度条件下,能聚氨基甲酸酯泡沫塑料所富集,与其它元素分离。在浸金后的溶液中,用EDTA二钠掩蔽砷、锑等干扰元素,再以小泡沫塑料富集,并以它为载体,无臭味灰化后,硫代米氏酮直接在泡塑上显色。	可测得ppb级别的金	3小时左右	此方法完全可满足化探普、详查和异常矿点检查的要求。与其他的化学法和仪器法比较,具有重现性好、分析快速、成本低、易掌握等特点。实验过程较类似方法相对简化,但实验操作要求严格,符合规范要求,否则会对实验结果的准确性造成影响。	文献[24]
浅析野外金的快速分析方法	地质样品	该法采取结晶紫染色、乙酸丁酯萃取的目视比色法进行野外金的快速测试。	可测得ppm级别的金	3~4小时左右	文献[25]中所提及的比色法操作快速、简便、实用,适合地质样品的现场分析。但该方法重现性较差,且标准色阶的溶液配制要求条件较高,不仅要在相同分析条件下进行,而且要使用到高精度天平的称取;标准液要当日配制,由标准液做出的标准色阶通常只能放置数小时,十分不便,而且在样品不多的情况下,浪费试剂,不经济。因此建议视野外具体条件来决定是否使用该方法。	文献[25]

验方法,尽量避免试剂浪费,减少影响实验结果的人为因素;

3) 在野外的实际操作中,由于所处环境各不相同,实验人员应及时清理相关实验设备,保持野外实验室干净整洁。

参考文献 (References)

[1] 盛绍基, 戚文玲, 李品光等. 痕量金的微珠析出比色法[J]. 分析化学, 1998, 16(2): 153-155.

[2] 丁耀炜, 王青海. 目视比色法测定岩石中的痕量金[J]. 冶金分析, 1998, 8(3): 18-20.

[3] 薛光. 目视比色法测定化探样品中 ppb 级的金[J]. 冶金分析, 1988, 8(4): 54-55.

[4] 石光明. 磷酸 - 王水溶样萃取比色法测定岩矿中的金[J]. 岩石矿物, 1989, 9(2): 112-116.

[5] 薛光. 硫代米氏酮液珠萃取比色法测定化探样品中的痕量金[J]. 分析试验室, 1989, 8(6): 17-18.

[6] 薛光. 黄原酯棉富集 - 液珠萃取比色法测定地质样品中的金[J]. 岩矿测试, 1990, 9(4): 296-298.

[7] 黄国劲, 刘玉清, 赵淑云. 泡塑吸附 TMK-TBP 液珠萃取比色测定痕量金[J]. 铀矿地质, 1990, 6(6): 375-379.

[8] 薛光. 金试剂液珠萃取比色法测定痕量金[J]. 黄金, 1991, 12(2): 36, 41-45.

[9] 薛光. 化探样品中金、银、铜的野外现场快速联合测定——黄原酯棉富集分离金试剂液珠萃取比色法[J]. 分析试验室, 1993, 12(5): 41-43.

[10] 薛光. 二苯硫脲 - 甲基异丁酮泡塑富集液珠萃取比色法测定化探样品中的金银[J]. 岩矿测试, 1995, 14(1): 72-74.

[11] 薛光. 三正辛胺棉富集分离液珠萃取比色法测定地质样品中的金[J]. 冶金分析, 1997, 17(2): 40-42.

[12] 张厚宏, 王积廉. 野外快速测金新方法及其应用效果[J]. 湖南地质, 1997, 16(2): 47-48.

[13] 薛光. 二正辛基亚砷棉富集分离液珠萃取比色法测定化探样品中的金、银[J]. 黄金, 1998, 19(2): 45-46.

[14] 许晓光. 野外快速测金——目视比色法[J]. 广西地质, 1998, 11(4): 65-67.

[15] 薛光. 地质样品中金银的连续快速测定——二苯硫脲 - 三正辛胺棉富集分离液珠萃取比色法[J]. 理化检验: 化学分册, 1999, 35(2): 74-75.

[16] 黄晋荣, 李敏敏. 野外快速测金新方法及其应用效果[J]. 华北地质矿产杂志, 1999, 14(1): 93-97.

[17] 林滨兰, 王磊. 泡沫塑料富集硫代米氏酮目视比色法野外快速测定痕量金[J]. Geology of Shanxi, 2001, 19(1): 99-102.

[18] 薛光, 刘玖芬, 姚万林, 曹志余. 地质样品中金的快速测定[J]. 黄金, 2002, 23(11): 47-48.

[19] 薛光, 姚万林, 孙鹏. 地矿样品中金的快速测定——双硫脲泡塑富集分离液珠萃取比色法[J]. 理化检验: 化学分册, 2003, 39(7): 438-439.

[20] 崔喜春. 目视比色法测定化探样品中的痕量金[J]. 内蒙古科技与经济, 2005, 9: 131-132.

[21] 曹建勇. 泡塑富集 - 硫代米氏酮萃取微珠比色法在野外测金的应用[J]. 岩矿测试, 2006, 25(2): 193-194.

[22] 王武华, 李吉生. 萃取分离硫代米氏酮目视比色法快速测定岩石矿物中的金[J]. 青海国土经略, 2007, 2: 43-44.

[23] 赵文刚. 痕量金现场快速简便测试方法[J]. 甘肃冶金, 2007, 29(3): 51-52.

[24] 党彩云. 痕量金野外快速测试方法[J]. 西部探矿工程, 2008, 20(8): 131-133.

[25] 高翠芬. 浅析野外金的快速分析方法[J]. 山东国土资源, 2010, 26(10): 44-47.

[26] 武汉大学. 分析化学第二版[M]. 北京: 高等教育出版社, 1982.

[27] 山东建材工少学院. 分析化学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1980.

[28] 丁荫祥. 关于目视比色法原理的讨论[J]. 龙岩师专学报(自然科学版), 1991, 9(3): 129-130.