

doi: 10. 20008/j. kckc. 202404014

地浸砂岩型铀矿特高品位处理方法改进

陈放, 刘富强, 张虎军, 陈佳慧

(核工业二一六大队, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要 特高品位处理是地质矿产行业储量估算中的重要环节,但是现行的方法并不统一。在地浸砂岩型铀矿储量估算中,特高品位处理一直使用的是传统的品位变化系数法,该方法能够满足特高品位处理及资源量估算的要求,但仍有值得改进的地方。本文从常用的特高品位识别及处理方法入手,分析各种特高品位识别及处理方法的合理性及不足之处,试图通过综合分析并运用实例对当前地浸砂岩型铀矿特高品位处理方法进行改进。笔者参考传统品位变化系数法平均值替代特高值方法及分布函数法中随机数替代的思路,在不影响待处理矿段的替代值平均品位的情况下,以矿段原始随机品位的大小为权重分配替代品位进行方法改进,通过运用蒙古尔铀矿床4个品位分布特征各异的特高品位钻孔进行改进方法验证,结果表明该方法符合规范要求并能达到储量估算目的,也能使特高品位处理后矿段品位分布特征与原始地层中品位分布特征一致,达到改进效果。

关键词 特高品位处理;地浸砂岩型铀矿;品位变化系数法;分布函数法;数理统计法

中图分类号: P619. 14 文献标志码: A 文章编号: 1674-7801(2024)04-0644-06

An improved method of treating of erratic high-grade samples for in-situ leaching sandstone-type uranium deposits

CHEN Fang, LIU Fuqiang, ZHANG Hujun, CHEN Jiahui

(Geologic Party No. 216, CNNC, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: Treating of erratic high-grade samples is a crucial aspect of reserves calculation in the geological and mineral industry. However, current methods lack uniformity. In the calculation of reserves of in-situ leached sandstone-type uranium deposits, the traditional Coefficient of Grade Variation Method has been using, which can meet the basic requirement of reserves calculation, but there is still room for improvement. The authors start with common methods of treating erratic high-grade samples, analyze the rationality and shortcomings of them, and try to improve the current method of in-situ sandstone type uranium deposits by comprehensive analyses and practical

[收稿日期]2022-04-03; [修回日期]2022-06-16

[基金项目]本文受中国核工业地质局“新疆准噶尔盆地铀矿资源调查评价与勘查”项目(202206)和“新疆伊犁盆地及周边地区砂岩型铀矿资源调查评价与勘查”项目(202205)联合资助。

[第一作者简介]陈放,男,1996年生,助理工程师,从事砂岩型铀矿勘查工作;E-mail:191014803@qq.com。

[通讯作者简介]刘富强,男,1988年生,硕士,高级工程师,从事砂岩型铀矿勘查工作;E-mail:664781478@qq.com。

[引用格式]陈放,刘富强,张虎军,陈佳慧. 2024. 地浸砂岩型铀矿特高品位处理方法改进[J]. 矿产勘查, 15(4): 644-649.

Chen Fang, Liu Fuqiang, Zhang Hujun, Chen Jiahui. 2024. An improved method of treating of erratic high-grade samples for in-situ leaching sandstone-type uranium deposits[J]. Mineral Exploration, 15(4): 644-649.

applications. The improved method refers to the idea of replacing the erratic high-grade by the average grade of the traditional Coefficient of Grade Variation Method and the random number of the Distribution Function Method, and puts the weight of the original random grade of ore block on the replacement values without changing the average grade of replacement value of the ore block to be treated. The method is verified by four erratic high-grade boreholes in Mengqiguer uranium deposit, and the results show that it can reach the goal of reserves calculation, at the same time, the characteristics of grade distribution of the ore block after treating are consistent with those of the original strata, which proves that the new method can achieve the purpose of improvement.

Keywords: ultra-high grade treatment; in-situ leaching sandstone-type uranium ore; grade variation coefficient method; distribution function method; mathematical statistics method

0 引言

特高品位值指矿床中存在的比一般品位值高出许多的少数矿样,属于统计学上的异常值(薛良伟等,2010;贺超等,2021)。砂岩型铀矿传统的资源量估算方法本质是将形态复杂的矿体转化为与该矿体体积相同的简单形态矿体(乔淇等,2020),块段的平均品位则是计算所需的重要数据,而特高品位是影响平均品位的主要因素,如果不进行处理,将导致矿体的平均品位偏高,计算的储量也随之偏高。因此需对特高品位值进行识别和处理,然后将处理之后的品位值作为储量估算的原始数据进行计算,故处理是否科学合理将直接影响储量的可靠性(唐攀等,2013)。在地浸砂岩型铀矿中,低品位大矿量的矿床较常见,容易出现特高品位值引起储量夸大的现象(张金带,2000),地浸砂岩型铀矿特高品位处理一直沿用传统品位变化系数法进行特高值识别,然后将矿体、矿带或者矿床的平均品位代替特高值(张立明等,2019),此方法在处理特高品位时用平均值代替特高值,处理后矿段品位增减趋势、峰值分布等特征与地层中真实情况不符,例如当用块段平均品位值代替特高值时,会造成特高值被处理后明显低于其临近值,原本的特高值变成了低值,这并非是科学合理的(倪瑞等,2020),需对此进行改进以更接近矿体品位变化的真实情况。本文以伊犁盆地南缘可地浸砂岩型铀矿田的蒙其古尔铀矿床为例,分析对比4个钻孔中4种不同峰型的特高品位矿段传统方法处理结果,针对传统方法处理结果的不足之处,笔者尝试找到一种地浸砂岩型铀矿特高品位处理的改进方法,使得处理结果更加科学、合理,以求为地浸砂岩型铀矿特高品位处理提出建议。

1 常用特高品位识别及处理方法

特高品位值是大量数据中的少数部分(侯景儒等,1990),但是在储量估算过程中,占少数的特高品位值对数据整体的统计结果影响较大。特高品位值对品位均值及方差会造成较大的影响(刘宇英和李勇,2019),使得品位均值变大进而高估矿石储量,因此特高品位值必须经过特殊处理后才能应用到储量估算之中。目前在生产实践中应用的特高品位处理方法有很多(丁红岗,2017),但或多或少存在着不足之处(丁旭东,1996),下面对几种常用的识别和处理特高品位的方法进行介绍及评价。

1.1 品位变化系数法

品位变化系数法是地浸砂岩型铀矿中特高品位识别常用方法,利用品位变化系数识别特高品位值。采用矿床(地段)内矿石品位不小于0.01%的渗透性样段,按照加权平均品位的6~10倍来衡量特高品位下限值。当品位变化系数小于60%时,取加权平均品位的6倍为特高品位下限值;当品位变化系数在60%~100%时,取加权平均品位的6~8倍为特高品位下限值;当品位变化系数大于100%时,取加权平均品位的8~10倍为特高品位下限值。处理特高品位值时,采用矿体、矿带或者矿床的加权平均品位来替代特高品位值(张得宽和姚益轩,1994;程宗芳,2002),该方法能够达到特高品位处理目的,但处理后的矿段品位的增减变化趋势及峰值分布等特征与地层中真实情况不符,有待改进。

1.2 经典数理统计法

经典数理统计法通常根据品位均值、标准差、

倍数、变异系数(标准差/均值)以及分布密度曲线上拐点对应品位值来识别和处理特高品位值(秦娟和孙亮,2015)。通常情况下均值加3倍标准差可认定为特高品位值下限(3σ法则(孙玉建,2008;王丽艳,2014))。当变异系数小于20时,特高品位值下限取均值的2~3倍;变异系数大于150时取均值的15~20倍,处理特高品位值时该方法与传统品位变化系数法相似。

1.3 估值邻域法

估值邻域法是D. G. 克里格及D. M. 霍金斯基于地质统计学思想的识别和处理特异值的方法(李健等,2021),其识别特高品位值的统计特征值见式(1):

$$I = \frac{n(G - m)^2}{(n + 1)\sigma^2} \quad (1)$$

式(1)中:I—识别特高品位值的统计特征值,当I大于3.84时,G则被认定为特高品位值;m—除G以外邻域内其他矿样品位的算术平均值;n—除G以外的邻域内样品数;σ²—邻域内样品品位值的均方差。

识别出特高品位值后,处理特高品位的方法是用特高品位下限值GL代替全部特高品位值,如式(2):

$$GL = \sqrt{\frac{3.84\sigma^2(n + 1)}{n}} + m \quad (2)$$

估值邻域法处理特高品位相对可靠,估计邻域越大精度越高,但在使用估值邻域法进行特高品位处理时,参数n、m、σ²、GL的确定均与邻域相关,而邻域的确定需要根据矿段品位分布情况主观判断,存在一定主观因素,当地浸砂岩型铀矿中需处理大量数据时,该方法可操作性不强,且使用下限值代替后失去了真实品位分布特征。

1.4 影响系数法

影响系数法是通过认定特高值的影响程度进行识别和处理特高品位值的一种方法(任萌等,2014),该方法给定样品总数n,n个样品品位均值为M,m为去掉特高品位值的n-1个样品品位的均值,当M/m≤k+1时,认为n个样品中无特高品位值;当M/m>k+1,确定特高品位下限值(GL)见式(3):

$$GL = \left(\frac{nk + 1}{k + 1}\right) \cdot M \quad (3)$$

式(3)中:n—样品总数;M—n个样品品位均值;k—根据变量在空间的变异性人为给定的系数(假如给定k=0.1,说明特高品位值对全部样品值的影响不能超过10%,即当包含该特高品位值时,全部样品的平均品位最多只允许提高10%,当影响超过10%时,则该值被认定为特高品位值)。

不难看出,该方法中参数k无固定范围,k的确认需根据品位的变异性人为给定,k不同则特高品位下限值不同,不够客观,且使用该方法识别特高品位值时相对繁琐,用下限值代替特高值同样失去了真实品位分布特征,并非地浸砂岩型铀矿特高品位处理的优选方法。

1.5 分布函数法

该方法用概率分布函数来界定特高品位值,在识别特高品位时以地质统计学为基础,利用品位曲线的数学特征确立数学模型,量化了特高品位值的判定(刘默和支学军,2004;林吉飞等,2011)。在处理特高值时,给定品位值在一定置信度水平(通常为95%)的期望值,随机产生一组符合统计分布规律的数替代特高品位值,较客观实际地解决特高品位值的影响。

表1 常用特高品位识别及处理方法比较

处理方法	优点	缺点	是否适用地浸砂岩铀矿
传统品位变化系数法	处理方法客观、简便	处理后品位分布特征不科学、不合理	改进适用
经典数理统计法	与传统品位变化系数法相似		
估值邻域法	估计邻域越大、估计精度越高	参数确认主观、可操作性差、品位分布特征欠合理	不适用
影响系数法	/	参数确认主观、过程繁琐、品位分布特征欠合理	不适用
分布函数法	结果符合地质变量随机性	替代值有不确定性	可供参考

由表1可知,地浸砂岩型铀矿特高品位处理传统品位变化系数法存在改进空间;经典数理统计法与传统方法相似,参考改进价值不大;估值邻域法中各参数的确定存在主观因素,在存在大量数据的地浸砂岩型铀矿中使用时,可操作性不强(陈建均等,2015);影响系数法参数确认不够客观,处理过

程繁琐,非地浸砂岩型铀矿特高品位处理的优选方法;分布函数法中处理特高品位值时采用随机产生的数替代特高值,此替代方法符合统计分布规律,具有一定参考价值。

2 方法改进

在传统地浸砂岩型铀矿床特高品位处理方法中,当特高品位值被包含有特高品位样品(矿段)的工程平均品位代替时,原本该矿段的最高品位值可能变成了一个低于临近品位值的低值,品位峰值变成“凹谷”,出现峰值位移现象;当连续的特高品位值被同一平均品位值代替时,矿段的品位分布呈截断状,品位增减趋势被完全改变,处理结果不符合地层中的实际情况,故单纯使用平均值替代特高值的方法存在一定的缺陷,无法反应高品位矿段的矿化值高低起伏的情况,存在改进空间。

笔者参考传统方法平均值替代特高值及分布函数法中运用随机数替代的思想,在不改变待处理矿段的替代值平均品位的情况下,以矿段原始随机品位的大小为权重分配替代品位,如此求得的替代品位的平均品位仍然与传统方法所用工程平均替代品位相等,且新求取的替代品位具有与原始品位相同的分布特征。该方法既能满足规范要求消除

特高品位值对储量估算的影响,也能使特高品位处理后矿段品位分布特征与原始地层中品位分布特征一致,达到改进目的。替代品位值求取方法见式(4):

$$C_i = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \cdot A_i \quad (4)$$

式(4)中: i —需替代的矿样序号; n —需替代的总矿样数; A —处理前原始品位值(%); B —传统方法替代平均品位值(%); C —改进后替代品位值(%)。

3 应用实例

蒙其古尔铀矿床是中国现已发现的品位最富、单位面积产矿量最高、可采资源量最大的可地浸砂岩型铀矿床,该矿床位于伊犁盆地南缘中段扎吉斯坦向斜与郎卡倒转凹陷内,地处构造运动活跃的相对稳定区(刘富强等,2021)。矿体赋存于中下侏罗统三工河组下段和上段、西山窑组下段和上段4个层位,属于典型的多层位矿化可地浸砂岩型铀矿床。矿床内不同含矿层矿石厚度和品位均存在一定差异,特高品位值较常见,在进行资源量估算时往往需要进行特高品位处理,因此选择蒙其古尔铀矿床开展特高品位处理方法研究具有一定参考价值。

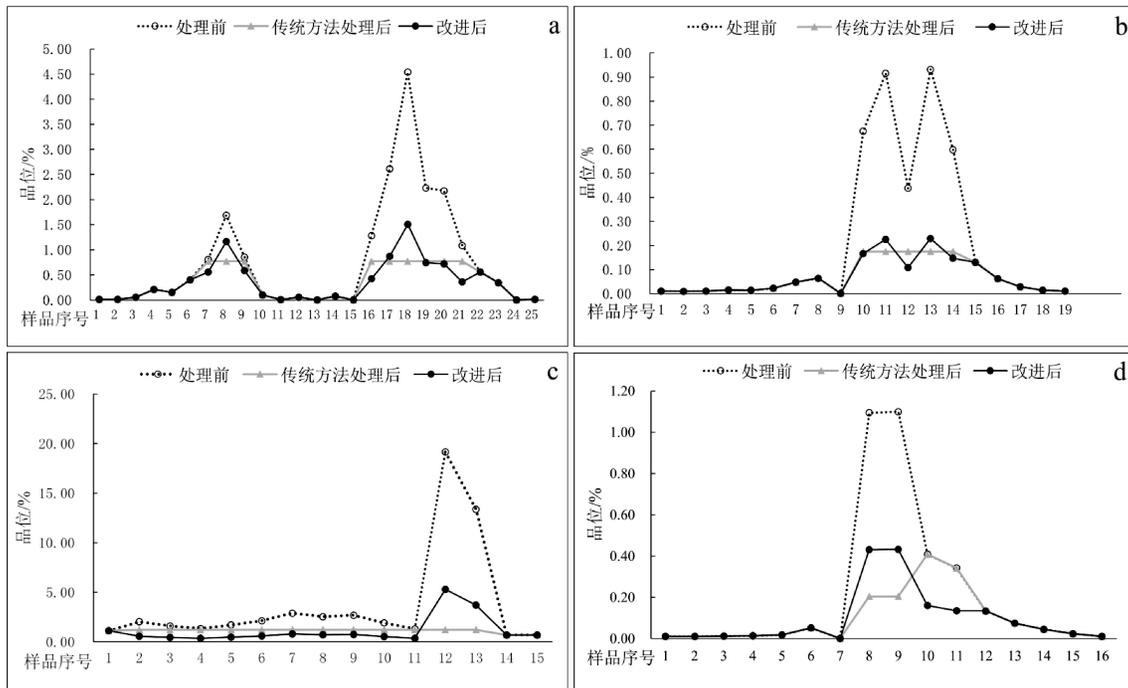


图1 不同钻孔特高品位处理结果图

a—L4916孔;b—L3712孔;c—L2132孔;d—L6516孔

以蒙其古尔铀矿床 L4916、L3712、L2132、L6516 钻孔特高品位处理为例,首先利用传统品位变化系数法及平均值替代进行特高品位处理,并与处理前进行对比,L4916 钻孔(图 1a)连续多个特高品位矿样使用同一替代值进行替代,处理后原本地层中铀含量连续、渐变分布的矿段呈截断状;L3712 钻孔(图 1b)中 9~15 号样品真实铀矿品位分布为先升高后降低再升高再降低的趋势,但使用传统方法处理后品位分布无任何趋势变化;L2132 钻孔(图 1c)出现极高品位矿样,使用传统方法进行特高品位处理后品位分布几乎呈一条直线;L6516 钻孔(图 1d)品位峰值原本在 8、9 号矿样位置,处理后峰值则出现在 10、11 号矿样处。

综上所述,直接用矿体、矿带或者矿床的平均品位替代特高品位值的处理方法虽然达到了降低特高品位值的目的,但处理后的含铀量分布增减趋势发生变化或产生峰值位移,与实际地层中变化情况不符。

采用改进方法(式 4),以矿段原始品位大小为权重重新分配替代品位,分别对 L4916、L3712、L2132、L6516 进行特高品位处理,表 2 为使用改进方法求取的替代品位,改进后替代品位平均值与传统方法替代品位平均值相等,满足地浸砂岩型铀矿储量估算规范要求,替代结果见图 1a~d。

由改进处理后品位分布可知(图 1a~c),L4916、L3712、L2132 钻孔特高品位处理改进后品位分布增减趋势得以还原,改进处理效果良好。

值得一提的是 L6516 钻孔中,按照上述方法进行改进后 8、9 号两个样品替代品位相近,替代后 8、9 号矿样品位值依然低于 10、11 号矿样,处理效果与传统处理方法差别不大,峰值位移现象仍然存在,达不到改进效果,需进一步改进(图 1d)。沿用初次改进思路,对 L6516 孔 10、11 号与 8、9 号 4 个样品进行特高品位改进处理,改进后替代品位平均值等于 8、9 号替代品位值及 10、11 号原始品位值 4 件样品的品位平均值,峰值位移现象消除且不影响储量估算,持续改进处理效果良好。

综上,传统品位变化系数法能够客观识别特高品位值,使用平均值替代特高品位值亦能简便有效达成储量计算目标,但该方法仅考虑量的计算,忽略了矿段中真实的品位变化,使得处理后的品位分布曲线失去原始起伏形态。改进方法在传统方法

表 2 方法改进替代品位

钻孔编号	处理样品序号	处理前原始品位值/%	传统方法替代品位值/%	改进后替代品位值/%
L4916	7	0.8103	0.7718	0.5599
	8	1.6886	0.7718	1.1668
	9	0.8519	0.7718	0.5887
	16	1.2826	0.7718	0.4265
	17	2.6114	0.7718	0.8684
	18	4.5395	0.7718	1.5096
	19	2.2310	0.7718	0.7419
	20	2.1746	0.7718	0.7231
	21	1.0865	0.7718	0.3613
	平均值		1.9196	0.7718
L3712	10	0.6745	0.1753	0.1661
	11	0.9160	0.1753	0.2256
	12	0.4380	0.1753	0.1079
	13	0.9315	0.1753	0.2295
	14	0.5983	0.1753	0.1474
平均值		0.7717	0.1753	0.1753
L2132	2	2.0359	1.2180	0.5646
	3	1.6097	1.2180	0.4464
	4	1.3358	1.2180	0.3704
	5	1.7038	1.2180	0.4725
	6	2.1265	1.2180	0.5897
	7	2.8950	1.2180	0.8028
	8	2.5471	1.2180	0.7064
	9	2.6919	1.2180	0.7465
	10	1.9130	1.2180	0.5305
	11	1.3057	1.2180	0.3621
	12	19.1558	1.2180	5.3123
	13	13.3845	1.2180	3.7118
	平均值		4.3921	1.2180
L6516	8	1.0946	0.2044	0.4310
	9	1.0993	0.2044	0.4328
	10	0.4084	0.4084(未处理)	0.1608
	11	0.3420	0.3420(未处理)	0.1346
平均值		0.7361	0.2898	0.2898

的基础上进行改进,该方法沿用了传统方法中客观简便的特高值识别方法,在进行特高值处理时,对传统方法的替代值进行变换改进,改进后替代值平均品位与传统方法相等,符合地浸砂岩型铀矿储量估算规范要求。改进方法保持了传统方法中客观简便达成储量计算目标的优越性,在未改变传统方

法简便的处理思想及客观的储量计算结果的基础上,消除了传统方法处理结果中品位分布曲线无起伏形态、“特高值”变成“低谷值”及峰值位移等不科学、不合理现象,使特高品位处理矿段铀含量增减趋势及峰值分布特征得以还原,具有一定的应用价值。

4 结论

(1)特高品位处理方法多样,各有优缺点,传统的地浸砂岩型铀矿特高品位处理方法能满足储量估算要求,但处理后矿段中矿样品位增减趋势、峰值分布等特征与地层中实际情况不相符合,存在改进空间。

(2)对传统方法中平均值替代处理过程进行改进,以矿段原始品位大小为权重分配替代品位,在符合储量估算规范要求的前提下,使得特高品位处理后矿段品位分布特征与原始地层中品位分布特征一致,应用实例表明改进效果良好。

(3)直接使用改进方法进行替代后或无法消除峰值位移现象,可根据实际情况增加临近样品进行处理,消除峰值位移,达到改进效果。

致谢 感谢核工业二一六大队提供的工作平台,感谢领导及同事们在本文撰写过程中提供的指导与帮助。

参考文献

陈建均,胡乃联,李国清. 2015. 分形理论在某铀矿特高品位识别与处理中的应用[J]. 中国矿业,24(5):133-136.
程宗芳. 2002. 地浸铀矿床储量计算中特高品位的处理方法[J]. 铀矿冶,21(4):210-213.
丁红岗. 2017. 某铁矿地质建模及应用研究[D]. 重庆:重庆大学.
丁旭东. 1996. 几种特异值处理方法的比较[J]. 物探化探计算技术,18(1):71-77.

贺超,魏威,王亮,赵宇飞. 2021. 不同方式特高品位处理方法差异性研究[J]. 中国矿山工程,50(4):68-70.
侯景儒,张树泉,黄竞先. 1990. 特异值的识别、处理及块段平均品位估计[J]. 地质找矿论丛,5(3):93-103.
李健,任太平,黄晓华,赵天雷. 2021. 莱比塘铜矿特高品位的识别与处理方法研究[J]. 四川水力发电,40(5):66-70.
林吉飞,陈日辉,李德,冯兴隆. 2011. 一种识别及处理特高品位值的新方法[J]. 矿冶,20(3):36-41.
刘富强,金永吉,文占久,邱余波,张虎军. 2021. 新疆蒙其古尔铀矿床镭氡平衡系数计算的新方法[J]. 矿产勘查,12(2):368-374.
刘默,支学军. 2004. 运用概率分布函数确定特高品位[J]. 吉林地质,23(4):118-120.
刘宇英,李勇. 2019. 关于品位估值过程中特异值处理的研究[J]. 中国矿业,28(S1):322-324.
倪瑞,孙尚信,周翔武. 2020. 数理统计法与传统倍数法进行特高品位处理的比较及建议[J]. 世界有色金属,(1):251-253.
乔淇,邱余波,罗星刚,贾智勇. 2020. 铀矿数字勘查资源量估算方法应用与验证[J]. 矿产勘查,11(11):2469-2477.
秦娟,孙亮. 2015. 资源估算中样品特高品位处理的方法[J]. 资源环境与工程,29(S1):59-62.
任萌,胡乃联,李国清,杨桦. 2014. 储量估算中特高品位识别与处理方法研究[J]. 矿业研究与开发,34(3):112-117.
孙玉建. 2008. 地质统计学在固体矿产资源评价中的若干问题研究[D]. 北京:中国地质大学(北京).
唐攀,唐晓倩,林彬,方向,王勤,林馨,杨欢欢. 2013. 特高品位和小体重对资源/储量估算的影响及处理[J]. 矿物学报,33(S2):962-963.
王丽艳. 2014. 内蒙古白音查干锌多金属矿资源量估值中特高品位的识别和处理[J]. 中国矿山工程,43(3):17-20.
薛良伟,张帅民,张向卫. 2010. 小秦岭金矿特富矿段的圈定及合理性研究[J]. 地质与勘探,46(2):272-276.
张得宽,姚益轩. 1994. 地浸矿床储量计算方法研究[J]. 铀矿冶,13(1):17.
张金带. 2000. 矿产储量与铀矿储量计算中几个问题的探讨[J]. 铀矿地质,16(3):171-179.
张立明,魏士书,郭帅. 2019. 矿产勘查特高品位样品的识别、剔除和处置方法探讨[J]. 安徽地质,29(3):225-230.