

稀有元素重

砂矿物分离



冶金工业出版社

TD954

4

3

稀有元素重砂矿物分离

广东省冶金地质 九三五队

广东省冶金地质实验研究所

编

6/19/02

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书是在总结广东省冶金地质部门多年来重砂分析工作经验基础上，并参照其他单位的经验编写成的。比较系统地介绍了稀有元素重砂矿物分离的方法及实践经验。全书共分十二章，主要内容包括：制定矿物分离流程的依据和方法；不同类型的矿床分离流程实例及适用范围较广的两个常用分离流程；重砂样品从加工到分离、定量的全过程，以及主要分离设备、各设备的结构、性能、操作方法和应用效果；样品管理与质量检查；选矿中的重砂分析方法等等。书后附有常见重砂矿物可选性质及品位简易计算等以备查考。

本书是从事重砂矿物分离工作者的参考用书。可供地质勘探部门及矿山的岩矿人员、科研单位地质岩矿人员参考，对大专院校有关专业师生也有一定的参考价值。

稀有元素重砂矿物分离

广东省冶金地质九三五队

编

广东省冶金地质实验研究所

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

河北省阜城县印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张9 1/8 插页1张 字数239千字

1987年 7 月第一版 1987年 7 月第一次印刷

印数00,001~1,900册

统一书号：15062·4407 定价2.60元

前 言

为适应冶金地质工作发展的需要，在总结广东冶金地质部门多年来重砂分析工作实践的基础上，并参考了兄弟单位有关重砂分离的宝贵经验，我们编写了这本《稀有元素重砂矿物分离》。

本书介绍了稀有元素重砂矿物分离的方法及实践经验。全书共分三部分：第一部分共六章，比较系统地介绍了制定重砂分离流程的依据和方法，并列举了不同矿床类型的分离流程实例，在此基础上总结出两个适用范围较广的基础流程；第二部分共五章，介绍了重砂样品从加工到分离、定量的全过程，并讨论了样品管理办法及质量检查的内容、标准和方法。着重介绍了数十种分离设备。并对每一种设备的结构、性能、操作参数和分离效果以及它们的应用范围及优缺点作了评述；第三部分介绍了重砂分析在配合矿石可选性研究过程中的内容和一些主要方法。重点叙述了在选矿生产过程中用重砂分析方法确定选矿质量指标的效果和作法。正文后附有常见重砂矿物可选性质及品位简易计算表等，以备查考。

本书是从事重砂矿物分离工作者的参考用书。可供地质勘探队岩矿人员、科研单位地质和岩矿人员参考，对大专院校有关专业师生也有一定的参考价值。

本书是在广东省冶金地质勘探公司的领导和组织下，主要由刘甲昆、何谓泰、黄杨等同志执笔编写的。插图由张伟强、侯德良、殷万中同志绘制。定稿前承蒙刘连捷、朱佐涵、梁维业、张羽照等同志审校。在编写和审查过程中，得到冶金战线同行单位及有关人员的大力支持和协助。在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中一定还存在缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

作者

1984.11.

目 录

前言

第一章 重砂分析工作的意义和应用	1
一、重砂分析的一般概念.....	1
二、重砂分析的应用.....	2
三、重砂分析在地质勘探和矿山生产中的重要意义.....	4
第二章 稀有元素重砂矿物分离流程的制定	7
一、分离流程的意义.....	7
二、制定分离流程的主要依据.....	8
三、分离流程的制定方法.....	11
第三章 风化壳矿床重砂分离流程	33
一、磷钇矿-独居石花岗岩风化壳矿床.....	33
二、细晶石-钽铌铁矿花岗岩风化壳矿床.....	40
第四章 冲积砂矿床重砂分离流程	49
一、钨铁矿砂矿床.....	49
二、褐钨钨矿砂矿床.....	56
第五章 海滨砂矿床重砂分离流程	63
一、钛铁矿、金红石、锆石海滨砂矿床.....	63
二、独居石海滨砂矿床.....	68
第六章 稀有元素重砂矿物基础分离流程	75
一、基础分离流程的主要依据.....	75
二、基础分离流程.....	79
三、主要分离设备和工具.....	81
第七章 重砂样品加工	82
一、烘干、称重.....	82
二、样品的破碎.....	83
三、重砂样品的缩分.....	89

第八章 稀有元素重砂矿物的主要分离设备和方法	95
一、脱泥	95
二、分级	98
三、人工淘洗	101
(一) 粗洗方法	102
(二) 精洗方法	106
(三) 影响人工淘洗的主要因素	109
四、机动淘洗盘	111
五、矿物精洗机	115
六、摇床	121
七、溜槽	127
(一) 粗粒溜槽	127
(二) 矿泥溜槽	128
八、振动溜槽	133
九、振摆溜槽	136
十、离心机	141
十一、粒浮法	143
十二、磁选和电磁选	152
十三、高频介电分离	173
第九章 辅助方法及其他分离方法	180
一、焙烧法	180
二、薄膜反应法	183
(一) 锡石的薄膜反应分离	183
(二) 铌铁矿与钛铁矿的薄膜分离	184
三、磁化法	184
四、选择化学溶解法	185
五、其他分离方法	187
(一) 静电分离	187
(二) 重液分离	190
(三) 电磁重液分离	193

(四) 风力分离	195
(五) 电化学分离	199
(六) 利用矿物润湿性的分离方法	200
(七) 摩擦分离	201
第十章 定量方法	204
一、含量的确定	204
(一) 挑纯法	204
(二) 分堆法	205
(三) 数粒法	205
(四) 视域法	206
(五) 偏光镜下定量法	208
(六) 磁引力法	209
(七) 化学定量法	212
二、称重和品位计算	217
(一) 称重	217
(二) 品位计算	218
第十一章 样品管理与质量检查	220
一、样品管理	220
二、质量检查	223
第十二章 选矿中的重砂分析方法	234
一、选矿原矿的矿石物质成分研究	234
二、选矿过程中产品特征的研究	252
三、应用重砂分析确定选矿质量指标的方法	256
附录 1 常见重砂矿物可选性质表	262
附录 2 重砂分析品位 (克/米³) 简易计算表	274
附录 3 重砂矿物体积—重量百分数换算简表	277
主要参考文献	284
元素主矿物表及化学元素周期表	

第一章 重砂分析工作的意义和应用

一、重砂分析的一般概念

很久以前，劳动人民在与自然界斗争的实践中，就已使用重砂法从砂矿中获取金、铂等贵金属矿物。然而真正广泛应用和研究重砂分析方法，那还是近几十年的事。大约在三十年代初期，重砂分析才开始应用于某些地质工作中，但那时不论分离工具和鉴定方法，都是比较简单的。后来，由于在分离方面引进了某些选矿技术和设备，在鉴定方面使用了微量化学分析及显微镜下的光学性质研究等等方法，重砂分析工作才有了一个较大的发展。随着地质及采选工业的发展以及重砂分析的应用范围及效果的不断扩大，重砂分析工作得到了发展。至六十年代，不但发展和提高了原有的分离和鉴定方法，而且采用了X光粉晶分析、电子探针、X光荧光光谱等现代的测试手段和电磁重液、高频高压静电、超声波等较先进的分离技术，使这项工作由三十年代的以“描述重砂矿物”为主要内容，发展到利用重砂分析所获得的各项成果，指导对某些矿产的找矿勘探和综合利用，解决某些地质理论、研究某些矿产的选矿工艺流程等问题，成为冶金地质工作中不可缺少的重要工作方法之一。

我国的重砂分析工作虽然从五十年代才开始，但是，发展很快。现在，不但对那些常见的、粗粒的、简单易选的矿物组合或矿床能进行研究和评价，而且对于那些所谓新的类型、复杂的组合、含量微少、粒度很细的矿物组合或矿床，也可以进行很有成效的研究和评价。并在实践中，发现了一些新矿种和新的矿床类型。

“重砂”一词的最初涵义是指用淘洗的办法，从自然松散沉积物中获得的那一部分比重较大的矿物，称为重砂。所谓自然重砂，是指暴露于地壳上的各式各样的岩石，经过各种物理的、化

学的风化作用形成了各种各样的碎屑物质，有的未经搬运和分选就在原地堆积起来，有的则通过各种外营力搬运到适宜的环境沉积下来，这些残积物和各种成因所形成的沉积物统称之为自然重砂。用人工的方法，将半风化或未风化的新鲜岩石（包括火成的、沉积的、变质的等不同岩石类型）破碎到一定程度所获得的碎屑物质称之为人工重砂。不论自然重砂或人工重砂，以及某些矿产原料的选矿产品，都是重砂分析的主要研究对象。随着重砂分析工作的不断发展，不论在研究的对象、研究的内容、研究的方法和研究的目的是上，都远远超出了“重砂”一词的最初的涵义。重砂分析目前不仅用来研究自然松散沉积物，而且也普遍地用来研究未经搬运和分选的残积物，也包括研究那些半风化或完全新鲜岩石的破碎物。不仅用来研究用淘洗的方法获得的重矿物，而且也经常地用来研究那些通过各种分离方法所获得的、比重较小或稳定性较差的矿物，如绿柱石、硫化物及氟碳酸盐类矿物等。不仅用于寻找评价某些稀有、有色和贵金属矿床，也用于对铁铜矿床的找矿和评价。

重砂分析一般包括矿物的分离、矿物的鉴定、矿物或矿物集合体的研究这三个主要内容。矿物分离是矿物鉴定和研究工作的基础，不把矿物分离提纯出来，就无法进行鉴定和研究。

二、重砂分析的应用

随着我国冶金地质事业的发展，重砂分析已广泛应用于区域地质测量、普查找矿、地质勘探、选矿试验、矿山生产及有关科研等部门。

重砂分析是进行区域地质和矿床地质研究的重要手段之一。例如：通过火成岩的矿物成分研究和对比，对推断侵入体的时代、岩体或岩相的划分、侵入环境和介质成分的特征、以及推断不同岩性的侵入体是否属于同源等问题，都广泛地应用着重砂分析方法。在研究沉积岩的沉积环境，古沉积物的来源和迁移过程，沉积层位的对比，以及对变质带的划分，同化混染或混合岩化作

用的强度与规模等变质作用和变质岩的研究方面，也都普遍地应用着重砂分析方法。

根据重砂测量所获得的扩散晕及其他重砂分析资料，寻找某些有色、稀有及贵金属矿床，是行之有效的方法之一，特别是在水系发育和覆盖较深的情况下更为有效。通过矿物共生组合及其特征的研究，不但可以找到某种有意义的次生工业矿床，而且可以指导寻找原生矿床和推断原生矿床的成因类型。例如锡石，在不同矿床类型中，它的形态及共生矿物不同。伟晶岩型矿床中的锡石粒度粗，呈双锥状，柱体不发育，经常伴生有含铌、钽、锂、铍等矿物。含锡石石英脉型矿床中的锡石形态，则是锥柱状，经常伴生有黑钨矿、黄玉、萤石等矿物。而硫化物锡石矿床的锡石则为细长柱状，柱体很发育，甚至呈针状，经常伴生多量的硫化物及绿泥石等矿物。根据矿物共生组合，在一定的条件下，可以指示出矿化类型。例如伴随铂矿经常出现铬尖晶石、镁铝榴石等矿物。而伴随铌钽矿床则经常出现锆石、锡石、黄玉、独居石、磷钇矿等。在铌钽矿化中，亦可依据矿物共生组合，推断其矿化特征。如褐钇铌矿矿化总是伴随有独居石、榍石、钛铁矿、褐帘石、黑云母等。富铌的矿化地段则经常出现独居石、磷钇矿、锆石、黑钨矿、白云母等。而富钽的矿化地段则经常伴生有黄玉、萤石、变种锆石，锂云母等。在矿床地质研究中，矿体的物质组成、元素赋存状态及其工业价值、矿化或蚀变带的划分，以及运用矿物共生组合及标型矿物和矿物的标型特征等方面的资料，可推断矿床成因、成矿溶液性质。在元素的迁移和矿化富集条件等方面的研究工作中，重砂分析也是必不可少的手段之一。

重砂分析不但广泛用于区域地质测量、普查找矿以及某些地质理论问题的研究，而且已经成为对某些矿床，特别是某些有色、稀有、贵金属矿床的矿体圈定、储量计算、综合评价的主要依据。在选矿方面，重砂分析不但已普遍应用于矿石可选性研究中，而且在矿山生产过程中也应用重砂分析的方法解决综合回收、产品检验、确定生产工艺指标、指导选矿加工处理方法和提供生产

流程选择的依据等。此外在煤田地质、石油工业、水文地质、地貌第四纪地质等方面，也经常应用重砂分析方法，研究和解决某些理论和实际问题。

重砂分析的应用范围是广泛的，而且仍在不断扩大。相信，随着我国冶金地质事业的迅速发展，重砂分析也必将得到更大的发展。

三、重砂分析在地质勘探和矿山生产中的重要意义

稀有元素矿床一般品位较低，分散量较大，绝大部分的矿石都需要经过物理选矿使其富集后，才能提供工业利用。这就明确地提出了矿石中稀有元素含量的高低，与矿石中可供工业回收利用的稀有元素矿物的有无和多少是两个概念。而后者往往是确定矿体工业价值和矿石可选性的关键因素之一。稀有元素矿床的特点，往往是伴生有多种有益组分，在富集主要组分的同时，能否回收和如何回收那些伴生的有益组分，是有关矿床评价、矿山生产，资源综合利用的重要问题。重砂分析方法则可较好地解决这些实际问题。

重砂分析与选矿虽然目的不同，但其内容和效果基本上是相似的。即依据矿物的可选性，对原矿石通过一系列有效的、以物理方法为主的各种手段，在不破坏矿物晶体结构和化学组成的前提下，排出脉石矿物，达到充分回收和富集某种或某几种有用矿物的目的。实质上，重砂分析就是一种小规模的选择。

由下面列举的几个实例可以看出，利用重砂分析法进行矿床勘探评价及指导矿山生产，不仅能够比较可靠地提供具有工业价值的主要矿物的含量，而且对某些含量很低的伴生有益组分，亦可较准确地定量，以确定其综合利用价值、定量分析的误差、分析费用和速度。

例如××铌铁花岗岩风化壳矿床，在勘探评价的过程中，用化验品位圈定矿体，同时用个别样品查定了铌钽元素的赋存状态，结果把一部分目前尚无法回收的铌、钽金属量列入工业储量

中。通过几年的生产实践表明：如果以生产量为100计算，用化学品位计算的储量平均误差达192%；用重砂法计算的储量其平均误差则为48%。这就证明了用重砂品位圈定矿体、确定边界、计算储量所获得的结果可靠性大些，也较为符合生产实际。也表明在用化验品位评价稀有元素矿床时，配合重砂法，研究矿体的物质组成及稀有元素赋存状态以弥补化验的不足，是具有重要意义的，但是用少数几个样品的测定结果来推算每个具体采样点的实际品位是不客观的。而用重砂法直接测定每个样品的工业品位，就可以较全面地反映这一客观实际。

重砂法不但在配合矿石可选性试验中是必不可少的，而且在矿山选矿生产过程中，对综合利用，延长矿山服务年限等也具有重要意义。

例如××锡矿，为一锡石-铌铁矿及多种稀有金属的河流冲积砂矿床。建厂初期由于仅回收了锡石和少量的独居石、锆石，其他有色、稀有金属没有回收，以致影响矿山的生产发展，造成储量危机成本亏损的被动局面。后来，矿山利用以重砂分析为主要手段，对矿区进行了综合评价，使该矿的生产由一种矿产品发展到十多种矿产品，不仅扭转了亏损，扩大了矿山生产规模，而且合理地利用了国家资源。

此外，利用重砂分析法，可以及时查明影响产品质量的主要因素，从而指明选矿加工处理方向 and 提供流程选择的实际依据。例如在对钛铁矿产品检查时，钛铁矿的含量低于95%，产品中的 TiO_2 达不到出厂的要求（ TiO_2 48%），而磷的含量也超过了标准，通过重砂法检查指出了这主要是由于钛铁矿产品中石榴子石含量高和存在有稀土磷酸盐矿物所致。据此选矿采取了强化电磁选，及时排出了有害成分，使产品全面达到要求。又如尾矿是否可以丢弃，中矿再选流程的确定以及在原矿中含量极微的某些矿物是否有回收价值等，采用重砂分析法，均可以取得良好的效果。

应用重砂法在选矿生产过程中，确定选矿质量指标也是一种

较好的方法。某精选厂是一个以精选铌铁矿为主，综合回收多种稀有金属的多种选矿方法联合精选厂。资源来自几个不同的矿区，矿物组合复杂且变化大，综合回收的产品种类多，致使工艺流程复杂，设备的操作参数要经常调整。例如双盘磁选机每调整检查一次，就有10~15个产品，而每个样品又要检查多种矿种，如果用化验法检查需几天，采用重砂法只要10分钟左右就可得到成果，从而可及时地调整设备，使生产任务顺利地完。成本也降低几倍到几十倍。可见利用重砂法，对于及时指导选矿生产、防止返工浪费、多快好省地评价选矿效果等，都是一种较好的方法。

第二章 稀有元素重砂矿物分离 流程的制定

一、分离流程的意义

所谓重砂，其实并非都是重矿物的组合。相反，却经常包含有大量比重较轻的脉石矿物，只不过是重矿物相对较集中而已。真正具有工业意义或研究价值的矿物，在重砂中的含量往往是很微少的。如果不通过一定的手段，把它们集中和分离出来，不但无从着手去研究它们，就是发现它们也是较困难的。不仅为获得某种已知矿物的定性或定量分析结果需要进行矿物分离，而且通过分离可以为发现新的矿种提供条件。可以说，矿物分离是矿物研究工作的基础，不论研究的目的和内容如何，都必须首先解决矿物分离问题。当然，在某些情况下，例如对某些常见的、颗粒较粗而含量又较高的矿物，用人工挑选的办法，也可以发现和将它们挑选出来，但这种方法往往要花费大量的人力和时间，而且在多数情况下也是很难办到的。其实从广义来说，人工挑选也是一种分离方法，只不过是一种效率较低的方法罢了。

不同矿物具有各自不同的个性，但是有些矿物也具有某些相同的或相似的共性。所谓重砂分离，就是依据重砂矿物或矿物集合体的某些共性和个性，利用以物理方法为主的种种方法，富集某种或某几种矿物，排出其他矿物的工作。重砂分析是一项多工序的联合作业，如果没有一个正确而统一的控制程序，势必造成混乱和错误。分离流程就是这样一个控制和指导各工序联合作业的纲要。只有在这个纲要的指导下，才能选择合适的分离设备，制定正确的操作条件和方法，达到合理有效地富集提纯矿物的目的。当然制定正确的分离流程，绝非单单为了分离矿物，而

且对于综合找矿、矿床的综合评价、多种矿物原料的综合回收，使矿产资源得到最有效的综合利用，都是具有重要意义的。

分离流程的正确与否，直接影响分析资料的完整性和可靠性。例如，在某半风化的白云母花岗伟晶岩矿床的普查勘探初期，发现重砂品位波动很大，甚至在同一采样点矿物品位误差竟达30~50%，严重地影响了地质评价。经过反复查定后，发现导致品位误差的主要原因是原分离流程不够合理，经修正后，不但品位稳定，简化了分离程序，而且使矿物回收率提高10%以上，满足了地质工作的需要。

分离流程的正确与否不但影响分析资料的可靠程度，而且也直接关系到整个重砂分析各工序能否相互协调，有效地提供分析资料。例如某金红石砂矿，为了提高分析速度，采用一种流程，对电气石中混杂的金红石采用直接镜下定量法，平均台日效率14.5个矿种，虽然效率较高，但经外部验证平均相对误差为33%，合格率仅达35%，经查定发现电气石中混杂的金红石，是造成误差的主要原因。为了解决质量低的问题，又采用了另一种流程，对电气石进行反复提纯后定量，质量虽然达到了要求，但台日效率却降低21.4%，造成样品积压，影响野外施工的进展。最后采用强化电磁选和精洗联合流程，分析结果经外部验证，平均相对误差为5.81%，合格率达100%。不但质量满足了要求，而且生产效率比最快的第一个流程还高20%。可见分离流程是整个重砂分析工作的关键。因此，任何一个重砂分析单位，在开始工作或改变工作对象之前，首先必须进行流程试验，或对流程进行测定修正。

二、制定分离流程的主要依据

一个好的分离流程应该是：选别指标比较先进，经济上比较合理，而且要力求程序短，设备简单。总之在确定分离流程时，应本着多快好省的原则。不同类型的重砂样品，在其性质和特点

上往往有很大的差别，因而分离的程序方法也不同。

不同矿区的同一类型的矿石，甚至同一矿物，由于某些原因的影响，其物理和化学性质也常有变化，这些都影响着分离效果。因此，对于不同的分析对象，应该从实际出发，依据其固有的特点，制定出合理的流程。不可不加分析，一成不变地搬用。制定分离流程的依据主要是矿石的性质和设备技术条件。前者是物质基础，是决定的因素。制定分离流程的方法是多种多样的，但是不论采取什么样的程序和方法，都必须具备以下几个方面的基本依据。

(一) 矿石的化学性质

对于原矿的化学成分，必须首先利用化学分析和光谱分析进行查定。查清元素组成及主要有益组分的含量，以确定主要的和需要综合回收的成分，避免遗漏和产生不必要的错误。例如在×××矿区初期阶段，原矿分析稀土含量较高，但未作钇族和铈族分量分析，由于磷钇矿经过长期搬运和磨蚀，外表特征变化很大，与独居石极难区别，因而误将磷钇矿全部定为独居石。后来在对原矿化学分析检查时，发现钇族稀土含量较高，经过进一步查定矿物组合，才发现独居石中混有近20%的磷钇矿。不仅如此，通过对矿石化学性质的查定，对于确定矿物组合、有益元素的赋存状态、金属平衡等项工作，也都是很重要的。

(二) 矿物组合及主要矿物的物理化学性质

在查清原矿的化学组成后，对矿石的矿物组成及主要矿物的物理化学性质也必须查清。原矿主要化学成分相似的矿床，在矿物组合及含量上并不一定相同。例如，某三个铌钽矿床，虽然铌钽含量相差不大，但它们的主要铌钽矿物种类及影响分离的主要杂质矿物，却有较大的差别。一个矿区的主要矿物是铌钽铁矿，影响分离的主要杂质矿物是石榴子石；另一个矿区的主要铌钽矿物是铌钽矿，影响分离的主要杂质矿物是电气石；第三个矿区的主要铌钽矿物是细晶石，而影响分离的主要杂质矿物是铌铁金红石。因而必须查清矿物组合才能采取不同的流程和方法，达到有

效分离的目的。

矿物的某些物理化学性质，是确定可选性的重要条件之一。不同性质的矿物，分离方法和条件不同。同一种矿物，由于某些原因的影响，它的可选性也是有变化的，对其分离的方法和条件也就不相同。只有掌握了主要矿物的物理化学性质及其变化，才能最大限度地分离它们。例如钛铁矿，是一种用电磁选易选的矿物，但××矿区的钛铁矿磁性范围变化很大，强、中、弱都有。经试验证实，中弱电磁性的钛铁矿，在氧化条件下焙烧后，有磁性增强的特性，因而在正常分选钛铁矿的流程中，必须加入氧化焙烧的工序，才能使具有不同导磁系数的钛铁矿得到富集。

可见，只有查清矿石的矿物组合及主要矿物的可选性和变化情况，才有可能制定合理的分离流程和选择适宜的分离方法。

(三) 矿石及主要工业矿物的粒度

粒度分析是确定分级的主要依据。通过原矿和主要工业矿物的粒度分析，查明主要工业矿物的粒度上限和下限及富集粒度区间，就可以确定分级的间隔，弃掉不包含单体工业矿物的矿石，减少不必要的处理量。就可以选择最适应的设备，达到有效分选的目的。例如，某矿区粒度分析结果表明，在大于0.5毫米的区间内，原矿产率占47%，在小于0.018毫米的粒度区间中，原矿产率占7%，这两个区间均未发现有单体工业矿物，因此，可以通过分级弃掉50%不必要分选的原矿。98%以上的工业矿物均富集在0.5~0.018毫米的粒度区间，是分选的重点范围。但由于级差过大，难以选择适当的设备，因而必须将此区间，分为0.5~0.15毫米和0.15~0.018毫米二级，分别采用摇床和振动溜槽重选，以获得较好的效果。

(四) 主要工业矿物的单体解离度

矿石中的主要工业矿物自然解离度，是确定矿石是否需要人工解离、最佳解离粒度和推断最大限度回收率的主要依据，也是决定分离流程的复杂程度和分选效果的重要条件。例如某两个类