

创造性思维的应用实例及其启示作用

黎 强

(清华大学 热能工程系, 北京 100084)

[摘要] 以矿物加工领域新出现的空气重介质流化床选矿方法提出的背景和实现途径为基础, 运用发散—收敛模型讨论了解决工程技术问题时创造性成果的产生机制, 分析了创造性思维的应用过程及其启示作用。

[关键词] 重力选矿; 创造性思维; 发散—收敛模型; 应用实例

[中图分类号] B804.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)06-0059-04

由选矿科学的发展推及各种工程科学的演变, 我们将会看到, 人们对新技术的研究探索实际上是充满风险和不确定性的, 也是人类借鉴历史与现实、充分发挥主观能动作用的大胆进取的创造性活动。尽管这些风险或不确定性常常使人们对创造性活动的意义、新技术的特性和创新成果的经济性的预测变得难以把握, 但研究者们仍然乐此不疲地探索着解决各种实际问题的新技术或新方法。

1 问题的提出

从古代的淘洗法到现代人类发明采用的跳汰分选、重介质分选、旋流器、风力跳汰、溜槽等, 这些分选方法就其本质来说是一脉相承的, 它们都是建立在阿基米德原理基础之上的。对于被分选的矿物(本文主要讨论煤), 矿物颗粒在空气、水或其他介质中主要受到重力和浮力的作用, 颗粒的浮沉运动遵循阿基米德原理, 即颗粒受到的合力等于颗粒受到的重力和浮力(该浮力在数值上等于颗粒排开的介质受到的重力)之差。对于沉浸在介质中的固体颗粒, 如果颗粒受到的合力大于0, 颗粒就会因自身受到的重力大于浮力而下沉; 如果合力小于0, 颗粒就会因自身受到的重力小于浮力而上浮, 因此, 在重力选矿领域, 一个核心的问题就是选择

或营造一种合适的介质或分选环境, 使该介质或分选环境具备相应的密度, 从而使被分选的矸石因自身密度大于该介质密度而下沉, 使精煤因自身密度小于该介质密度而上浮。如果分选介质为相对静止或运动速度很小的空气(密度为 1.23 kg/m^3), 则不论是精煤(密度为 1400 kg/m^3 左右)或矸石(密度在 1800 kg/m^3 左右), 都必然有合力大于0, 在这种纯粹的空气介质中精煤和矸石都会下沉, 精煤与矸石不能分层或分离, 因而就无法实现精煤与矸石的分选。

从现代工业生产的角度考虑, 密度比较合适而且实现手段相对容易的分选介质就是水, 湿法重力选矿既是源远流长的一种矿物选别方法, 也是人们目前广泛采用的一种成熟的技术。假如提出以下条件: 待分选的煤炭处于干旱缺水地区, 如占有我国煤炭储量 $2/3$ 以上的华北、西北地区就属于严重缺水地区; 待分选的煤炭处于寒冷地区, 如我国的东北地区; 待分选的煤炭属于易泥化煤, 那么, 现有的传统的湿法跳汰和湿法重介质选煤方法(技术)的应用就会受到极大的限制。而且, 面对全球性的水资源日益紧缺的现实, 人们很希望找到一种不用水或耗水量极低的新的矿物分选方法, 希望在经历数百年之后, 传统的湿法重力选矿技术能够有所突

破。因此，实现干法选煤或选矿就成了人们的一种追求。

2 创造性思维是解决问题的途径

湿法选矿与干法选矿，尽管仅一字之差，但二者的含义及实现途径却截然不同。从思维发散的角度看，可供选择的湿介质或干介质很多。例如，以空气为分选介质，可以有效地分选密度较小的谷物，但用来处理密度较高的矿物则显得无能为力。造成这种情况的根本原因就是空气的密度太低。

在这种情况下，人们的一种选择是放弃，另一种选择是迎难而上。历史上，人们在选煤生产中曾尝试过选择高密度的气体（密度大致介于精煤和矸石之间）。例如，惰性气体氩常态条件下的密度为 $1\ 200\ \text{kg/m}^3$ ，比较接近煤的密度，可以用来分选超低灰的精煤，但这种气体的制备成本较高，维持这种惰性气体氛围在技术上也很困难，从成本核算的角度看，这种选择是没有意义的。对于自身价值较低的煤而言，选择分选介质的依据首先是制备容易，成本低廉，其次是技术手段简洁、实用。

那么，能否借鉴、移植相对成熟的湿法重介质分选方法（技术）来构造或实现干法重介质分选方法（技术）呢？实际上，湿法重介质分选方法就是人们在分析原有的跳汰方法存在的缺陷基础上发展起来的。这一发展过程可以用发散—收敛模型（图1）来说明。

图1是参照英国地质学家E·A·贝蒙特的地质勘探过程图而提出的^[1]，该模型反映了创造性成果产生过程中人们的思维演化过程，思维的发散期和收敛期分别代表人们从事创造性活动时主观认识的类型和取向。由该模型可以看出，从已有的跳汰分选到湿法重介质分选，人们的思维实际上存在着一个发散期和收敛期不断交织进行的过程。所谓思维的发散，就是不加限制地考虑问题，也就是大胆假设。从某种意义上说，创造性思维就是发散型思维，思维的发散性是创造性思维的最本质的特征之一。所谓思维的收敛，就是依据科学的原理或已有的经验，对各种大胆假设或创意进行的论证或小心求证。为了改进生产工艺、提高工作效率或丰富自己的精神境界，人们在改造客观世界的同时，自身的主观认识总是在发散或收敛之间不断变换着思维的形式和取向。这种变换可能表现为若干次轮回，

而每一次轮回就或多或少地反映了人们认识程度的不断深化或提高。当被分选的有用矿物与混入的杂质的密度差异不大时，或者说当煤的可选性不好时，矿物在水流作用下的分层效果就不好，便暴露出以水为介质的跳汰选矿方法的局限性。通过分析跳汰机的所有可能的缺陷并加以比较、验证，不难发现，问题的根本原因是水介质的密度偏低。在跳汰分选方法的改进工作中，对分选介质进行比较和尝试尤其具有典型意义。曾尝试过各种单一的液体介质或将液体与各种固体粉末颗粒加以组合，如德国的亨利·贝斯麦曾试验用氯化钙溶液分选煤炭，美国的强斯采用水砂混合物作为重介质进行选煤作业，英国的康可林最早采用磁铁矿悬浮液分选无烟煤等^[2]。正是由于人们没有墨守成规，没有将单纯的水介质作为固定不变的教条来看待，经过几代人的反复探索和择优汰劣，人们才最终发现并选择采用容易回收和重复利用的磁铁矿粉与水组成的悬浮液作为分选介质，从而使煤炭分选的精度和效率都有了明显提高。这就是现今选煤工业中广泛使用的高效湿法重介质选矿方法的由来。

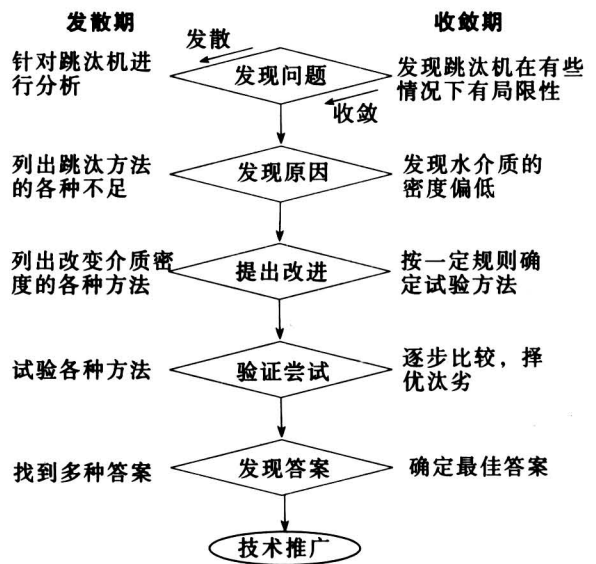


图1 创造性思维的发散—收敛模型

Fig.1 The divergence-convergence model on creativity thinking

既然水与固体加重质（如磁铁矿粉等）可以构成比较稳定的两相非均质流体，为煤与矸石的分层分离创造良好的条件，人们可以采用这种湿法重介质技术获得良好的分选效果，那么，借鉴化工生产中已有的气固两相流技术，采用空气与固体加重质

颗粒必然也能够构成两相非均质“流体”并用于固体矿物的分选。这种采用空气与磁铁矿粉两相流作为分选介质的选矿方法就被称为空气重介质流化床选矿方法，它是中国学者在过去 10 年里率先完成并初步实现工业化应用的一项新技术^[3,4]。

实际上，从方法论角度衡量，空气重介质流化床选矿方法的产生存在着两次明显的移植和借鉴过程。第一次移植和借鉴就是参照现有的湿法重介质分选技术构造出新的干法分选介质的概念；第二次移植和借鉴则是参照已有的流态化方法使空气与固体加重质颗粒构成的两相非均质“流体”成为工程意义上的干法分选介质。这两次移植和借鉴同时也反映了研究者的思维从发散到收敛、从收敛到再发散、从再发散到再收敛的反复作用过程。以第二次移植和借鉴为例，该方法的实现并非仅仅通过简单地移植或照搬一般流态化装置即可完成，而是经历了一个反复摸索、逐步提高的再创造过程。流态化技术最早出现在 20 世纪中期，在化工生产中它被用于强化两相物料的传质和传热过程。流态化一般分为聚式和散式两种。气固流态化多为聚式流态化，气固两相物运动形成的床层由气泡相和乳化相构成，床层的速度、密度分布都是不均匀的，气泡相的运动可以使流化床中不同粒径、不同密度和不同形状的固体颗粒相互碰撞、混合，这种流态化不稳定，在高密度固体颗粒与空气构成的流化床中，这种非均匀性和不稳定性表现得更为明显。液固流态化多为散式流态化，床内也是高速扰动状态，但固体颗粒的分布相对稀疏、均匀，运动状态比较平稳，床层密度趋于一致。根据煤炭等矿物的分选要求，这种相对平稳、床层密度趋于一致的散式流态化才是我们所需要的，因此，实现空气重介质流化床分选的一个关键问题就是实现气固流态化的散式化^[5]。分析气固两相流的流态化过程可以看出，影响流态化的流型、稳定性、床层密度和速度分布特性的因素很多，逐一列出所有已知的影响因素并进行分析，就可以逐步确定这些影响因素的作用程度。这个分析过程就是思维的发散过程。

通过选择具有合理级配（粒级搭配）的磁铁矿粉，选择特殊结构的气体分布器，控制所需的气体操作速度和床层高度，即可明显缓和气泡相的扰动影响，使磁铁矿粉颗粒的分布趋于均匀，床层运行趋于平稳，获得稳定的流态化，这一过程就是气固流态化的散式化。从众多的固体物料中选择磁铁矿

粉作为固体加重质，以及针对所有已知的影响因素，采用比较法、排除法、顺序因子法等手段确定最主要的控制参数（如选择粒级搭配合理的磁铁矿粉和特殊结构的气体分布器），这个分析过程就是思维的收敛过程。由于流态化床层的平均密度主要取决于磁铁矿粉的密度和床层空隙率，而床层空隙率又取决于静止料层高度和气体操作速度，因而流态化床层的两相流的平均密度（简称为床层平均密度）是一个调节范围很宽的参数。实验表明，流态化床层平均密度可以调节控制在 $1\ 300 \sim 2\ 200\ \text{kg}/\text{m}^3$ 之间，低灰分煤炭和矸石的密度就处在这个密度范围内，这样的床层平均密度就为分选煤炭营造出了良好的条件。换句话说，具有上述密度调节范围的气固两相流可以作为选煤生产中的分选介质。

通过上述分析还可以看出，将空气重介质流化床分选方法与湿法重介质选矿方法相比，二者在分选原理和最终用途上是相同的，在外在的表现形式上又是相似的，而且二者还存在着明显的借鉴和继承关系。另一方面，两者的技术构成和操作要求又有明显差异。因此这两种选矿方法决不仅仅是“干法分选”和“湿法分选”的一字之差，而是一种嬗变。这种嬗变既能够体现出选矿技术的质态变化，又反映了人们的思维在发散和收敛过程中不断交叉、变换，认识水平不断提高的结果。

3 创造性思维的启示作用

空气重介质流化床选矿方法是一种不同于湿法跳汰或湿法重介质分选的新方法，它为了解决干旱缺水地区、高寒地区的易泥化煤炭和普通动力煤的分选提供了一种新的选择。从其产生过程可以看出，这种方法的提出属于一种外源性创新，即在借鉴、移植湿法重介质分选和气固流态化技术的基础上完成的一种技术创新，因而呈现出新的控制参数、操作特性和表现现象。从时序上看，已有的湿法重介质分选或气固流态化技术与空气重介质流化床选矿方法之间存在客观的承继性和因果性，但后者并非简单地将前者加以翻版、照搬，而是有继承，有突破，实现了两种异类技术的交叉或组合^[6]。

回顾重力选矿技术的发展历程可以看出，人们的“大胆假设”要想发展成为相对成熟、可靠的创造性成果总是要经过一系列艰难曲折的思维变化或认识深化过程的。空气重介质流化床选矿方法的产生也是如此。研究者们并非在一开始就想到采用

“磁铁矿粉 + 空气”来实现干法分选过程,相反,他们是在借鉴历史与现实的基础上才取得了领先性的创造成果。例如,他们曾尝试采用石英砂作为加重介质,也曾为寻找其他价廉易得的气体介质而煞费苦心。他们针对我国北方地区的实际情况,在广泛收集资料、反复论证和进行多次试验探索之后才找到了目前的答案。由不能直接利用空气作为分选介质到最终仍采用空气作为分选介质,是经历了一次迂回的认识深化过程,从而最终赋予空气以新的涵义,实现了空气概念的升级。

假如选择密度更高的固体加重质(例如密度为 $6\ 900\text{ kg/m}^3$ 的硅铁),流化床的平均密度可以在更大的范围内调节,甚至可以达到 $3\ 000\text{ kg/m}^3$ 。在这种情况下,空气重介质流化床选矿方法将可以用来直接分选铁矿石,流化床中密度较小并上浮的将是混杂在铁矿石中的杂质,而密度较大并下沉的将是含铁量较高的铁精矿。由此可见,只要根据分选要求选择合适的固体加重质并营造出适宜的环境,则空气重介质流化床就可以有不同的用途。

对于任何一项潜在的新技术而言,有两条要求是研究者们不应忽略的,一是新技术的推广应用应以确保性能价格比的最大化或最优化为准则;二是作为新技术载体的新设备或新装置的操作使用应尽可能简洁、方便,如同计算机操作由艰涩、复杂的DOS命令进化发展到直观、简洁的视窗界面一样。从空气重介质流化床分选过程来看,这种新方法的实验效果比较理想,实验成本相对低廉。与相同规模的湿法跳汰选煤系统相比,空气重介质流化床干法选煤系统的后处理工序即可以省略,因而干法选煤厂的性能价格比很有竞争力。考虑到我国的华北

西部地区和西北各省区既是煤炭资源的主产区,又是严重缺水的内陆地区,开发应用这种分选精度很高的空气重介质流化床干法选矿技术就显得很有意义了。

当代科学的一个重要特征就是各门科学或各个科学分支之间的相互交叉、相互渗透和相互联系正变得越来越紧密、频繁,这不仅表现在理论层次和应用层次,而且突出表现在方法论层次^[7]。也就是说,科学的研究方法对新的研究领域或新学科的形成发挥着越来越大的作用,新的研究方法的出现往往是新的研究领域、新的科学或新技术形成的先导。因此,只要坚持科学的理性精神,敢于发现问题,敢于试验和探索,任何科学研究的“大胆假设”都能够在“小心求证”的基础上实现阶段性或全面的收敛,就必然能够获得成功的结果。

参考文献

- [1] 庄寿强,戎志毅.普通创造学[M].徐州:中国矿业大学出版社,1997.65~69
- [2] 王祖瑞,等.重介质选煤的理论与实践[M].北京:煤炭工业出版社,1988.3~6
- [3] 陈清如.筛分和重选理论及其应用的新进展[M].徐州:中国矿业大学出版社,1994.34~36
- [4] 黎强.用创造性思维方法研究重力选矿的发展过程与创新规律[D].徐州:中国矿业大学,2001
- [5] 曾凡,胡永平,杨毅,等.矿物加工颗粒学[M].徐州:中国矿业大学出版社,1995.323~324
- [6] 庄寿强,戎志毅.普通创造学[M].徐州:中国矿业大学出版社,1997.157
- [7] 鲁兴启.当代科研模式呼唤研究方法的变革[J].科学学研究,2002,20(1):20~24

Application Example of Creativity Thinking and Its Revelation Effect

Li Qinag

(The Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

[Abstract] The yield mechanism of creativity achievement of gravity separation for solving engineering problem has been analyzed in this paper according to the divergence-convergence model, after the background and realizing track of the advanced dry coal separation with air-dense medium in fluidization bed be put forward in the field of mineral processing. And the application process of creativity thinking and its revelation effect have been discussed, too.

[Key words] gravity separation; creativity thinking; divergence-convergence model; application example