



经济及社会理事会

Distr. :General
2 February 1998
Chinese
Original: English

自然资源委员会

第四届会议

1998年3月10日至19日

临时议程* 项目6

矿业活动所引起的环境保护和恢复问题

关于利用和再加工矿业废料的最新工艺环境技术

秘书长的报告

摘要

本报告是回应经济及社会理事会第 1996/306 号决定而编写的。报告叙述了在增加理解减少污染源技术的较大范围内,对矿物废料的利用和再加工。着重于贱金属和贵金属矿物的提炼和加工所产生的固态废料,这类废料造成一些最顽固而持续的环境影响。但在相关情况下,也提出其他矿业次级部门的例子。虽然报告集中讨论矿业废料,所审查的一些技术和措施也可适用于污染的土壤和其他含金属的固态物质上。

* E/C.7/1998/1。

目录

	段次	页次
一、 导言.....	1	3
二、 矿业的废料制造和相关问题.....	2-8	3
三、 利用和再加工.....	9-13	3
四、 影响到废料利用和再加工的动力.....	14-16	4
五、 采矿(开采)和可能产生的废料.....	17-18	4
六、 矿物加工和有可能产生的废料.....	19-23	4
七、 冶炼和可能产生的废料.....	24-31	5
A. 湿法冶炼.....	25-29	5
B. 高温冶炼.....	30-31	6
八、 利用矿业废料的最新工艺.....	32-35	6
A. 利用矿业废料方面的制约因素.....	32	6
B. 就地利用.....	33-34	6
C. 异地利用.....	35	6
九、 矿业废料再加工.....	36-40	6
A. 对废料进行再加工以回收生成酸的硫化物.....	36-38	6
B. 通过生物滤浸进行再加工.....	39	7
C. 在金的回收中替代氰化物的其它物质.....	40	7
十、 利用、再加工和减少污染源的方法.....	41-48	7
A. 在采矿、矿物加工和冶炼金方面减少污染源.....	41-45	7
B. 从管理废料到防止废料以及循环往复.....	46-48	8
十一、 结论:最有效地进行减少污染源、再加工和利用.....	49-50	9
十二、 参考资料.....		9

一、导言

1. 丰富的地质资源,加上大体不受金属生产企业控制的市场条件,造成了技术革新水平低的部门特征。但是现在重点已经改变:经过一般有限的技术变革时期之后,大众对于不利的环境影响的关切和环境规章的制订迫使厂商减轻或防止这类影响已使矿业技术发展突飞猛进。目前,“废料管理”(相对于“防止污染”)的主宰地位或许反映了当前对关闭使用的态度,亦即一个土木工程式的补救方法足以使一个矿场停产并且避免未来的可能赔偿责任。但是虽然这种办法在 20 年前可能可行,其后技术、立法和利害攸关者的期望已有变化,要是当前的废料管理方法与以往有任何共通之处,就是视为对长期环境问题和短期(但相对廉价)解决方法可能在未来会产生诉讼和赔偿责任。

二、矿业的废料制造和相关问题

2. 很少有纯度够高并能“即采即售”的金属和其他矿物资源。金属往往在含氧(如氧化物)或硫(如硫化物)或其他元素(氯化物、碳酸盐、砷酸盐、磷酸盐等)的化合物中发现。非金属矿物资源(煤、工业矿物)在原始状态,通常也含有物理或化学上夹带的杂质。

3. 虽然在整个采矿周期内的任何单元行动都有可能产生环境后果或影响,通常是固态、液态和气态废料的有意(管制的)和意外(非管制的)排放造成这种可能。这类排放物的特征、受影响环境的性质和排放物散泄的距离,是确定其后果或影响严重程度的主要因素。社会价值和取舍也在决定各种利害攸关者团体如何看待某些排放物上发挥重要作用:因此,这个附属于可计量和可衡量的排放物和受影响环境特征的比较主观的因素也部分印下了一个与开采行动的特定地点有关的环境“足迹”。

4. 环境保护的压力,日益根据对于可能产生的影响的比较彻底的了解,超过开采某些矿藏的理由 (Hodges, 1955 年)。整个采矿工业结合尽可能最广泛的利害攸关者,必须在整个开采周期中尽力达到控制和管理采矿过程方面的更高成绩。这包括在资源利用方面取得更高的效率。

5. 采矿及其后的加工产生的主要固态废料是“尾矿”(同目标或经济矿物有关的无价值或低价值的矿物)。杂质视乎其从过程中被排除之处,可在作为已开

采的阶段弃置(废石),作为尾砂弃置(在矿物加工后),作为矿渣弃置(在熔炼后)或作为其他废品弃置(粉末、水处理后留下的矿泥、滤浸后的矿砂等)。这种种废料中也可能含有由于无效率的加工、技术限制或矿物学因素而残存的大量目标矿物或金属。

6. 在等级(金属在最后或中间产品中的含量)和回收(制造可销售产品的加工厂原料中所含全部贵金属的比率)之间,也有一个相互平衡。有可能为了维持一个非常高的等级而抛弃一大部分原物质(即接受较低回收)或维持非常高的回收而用较低等级物质过度冲淡含量。但是,这两个极端通常都不是最理想的经济解决方法。简单来说,这是要在技术可行性的较大范围内,靠比较增加金属的回收得到的收益和这样作的资金和操作成本来衡量的。毫无例外,目标金属的某些部分最后会随着尾矿一起变成废料。

7. 在非铁矿的开采上,尾矿通常是一个矿体的主要组成部分。这在金矿中是最明显不过了。金矿中贵物质的含量甚低,通常每吨含有 5 公克或更少,实际上所有开采的矿砂都是以某种方式作为废料处置,除非同时会有其他有价值的成份,例如贱金属。其他矿物资源相对目标矿物来说,可能有较少尾矿,但是处置同尾矿有关的废料通常是一个重大问题,许多采矿行动对于废料处置就和资源提取同样关切。

8. 虽然,有关开采活动的废料处置过程是可能危害自然环境的因素的一个重要来源。但是,投入未必对环境造成损害;许多缓和因素可能存在,有些是同过程有关,例如废料的化学和物理特征,有些是同外在环境有关,例如气候、地形或生态系统特征。

三、利用和再加工

9. 利用和再加工是处理与采矿业所产生废料相关环境问题的一系列“终端”技术或“补救”技术中的两种技术。传统上,矿业部门是由使用低等技术的终端做法所主导。但是,近来因日益采用“减少原料”技术,解决办法已变得日益复杂先进。

10. 在处理“废料”的废料管理“层次”中,利用和再加工与减少原料(防止污染)相比,是较不可取的,但比治理或丢弃还是一种较好的选择(Allen 和 Rosselot, 1977 年)。

11. 废料利用通常涉及对未经处理(虽然物质的形体可能会调整)的废料的使用;以采矿业的废料而言,经过再加工以清除或减少对环境有影响的污染物或特定金属的含量后,这种利用可能会变得更为可行。所使用的只是足够“干净”的那些废料,特别是在矿场以外的地方,因为废料利用的主要问题是可能把对环境有害的污染物散布到更广泛的空间。一般而言,随着污染程度的增加,利用废料的可能性跟着减少。由于这些限制,废料利用对现有作业和对时间较长的或已经丢弃的废料而言,可能具有同等的吸引力。

12. 反过来,再加工的情况也是如此,因为特定金属物的含量增加,则再加工的可能性也随之增加。进行再加工以回收一种或多种有价值的产品(金属、金属盐类、矿物)的概念较适用于采矿业以前产生的废料。主要原因有二:从前的矿石等级一般比今天的高和技术成效较低。

13. 再加工不一定会导致环境的改善,举例来说,有时(再加工后的)残余废料仍然含有大量其他污染物,如非特定矿物。但是,许多条例规定,再加工可作为最终废料安全丢弃的方法(如丢弃到经过工程处理的丢弃场),而在再加工之前,则不可采取这种办法。

四、影响到废料利用和再加工的动力

14. 有许多“积极”动力推动采用创新的做法补救已经受污染的矿址,如废料利用和再加工等。也有许多阻碍加强这些做法的障碍(“消极”动力)。关键性的积极动力包括:技术的进展;金属价格的增加;商品的稀少;某些商品的战略用途的改变;资源的最大限度利用;《21 世纪议程》;可持续性;经济增长与环境影响脱钩的必要性;污染者支付原则;法律义务/赔偿责任和债券担保要求;以及其他各种利害攸关者的压力。

15. 一般大众认为,中期和长期来说,目前的做法也许不是最妥适也不是环境上行得通的。这种想法或许也很重要,但是在采矿业中比起其他工业部门来对这种动力的感受较不那么尖锐。不过,在地方和区域两级也许仍然是重要的。

16. 其他动力包括:推动技术创新和资源管理的条例构架,以及发展更有效而廉价的办法解决现有和未来的环境问题的工业倡议等(Kovalick,1993 年;Ayen,1994 年)。

五、采矿(开采)和可能产生的废料

17. 广义来说,采矿的类型有三:地表、地下和原地(溶解采矿)。后者的应用范围多少受到限制,虽然这种方法有时也随着地表或地下矿藏等级的下降被用于开采残余的成矿。地表采矿主要是开井式(贱金属和贵金属矿的采掘)或露天(煤矿开采)两种方法。不管使用何种方法,采矿一直都需要有某种的加工。对于比较纯或比较均匀的矿石来说,加工可能限于压碎和大小分类(一些自然沸石的采掘、已开采的石矿)或实物的冲洗(一些煤矿的作业)。这类简单的加工办法只有在特定矿物是所采掘物质的主体时才有可能进行。在这些情况中,主要的环境排放物、环境效果和环境的影响主要是与采矿本身而不是与其后的加工相关。

18. 与再加工和利用有关的地表和地底采矿的两种排放物是矿物废料(表土和废石)和污染水(从废物弃置场和运作当中排出的酸性、含金属排放物)。后者在原地采矿作业中也很重要,虽然滤取金属过程中添加的化学物也会把水沾污和污染。

六、矿物加工和有可能产生的废料

19. 矿物加工指的是矿物的物理加工过程。它不会给矿石的矿物成分带来任何化学变化,但却是把不同的矿物进行物理分离(或浓缩)的一种手段,例如,把目标矿石从矿尾、或把一种有价值的矿物从另一种矿物中分离开来(Hayes,1993 年)。对非金属矿物资源来说,矿物加工可制造出最后产品。但就金属而言,这只是一个中间阶段,因为它并不影响金属与氧、硫等元素的化学结合。矿物加工通常是采矿与冶炼的中间阶段,尽管也有一些例外,例如,堆浸和滤浸原矿石。矿物加工(浓缩)的成品是冶炼的原料(不论是湿法冶炼还是高温冶炼加工都是如此,见下文第 24 至 31 段)。

20. 矿物加工方法可分为两类:矿物的磨碎和分离。碾碎和磨碎(按大小碾磨)用于分离有经济价值的矿物与无经济价值的矿物,从而制造出合适的进料,供下一道加工之用,其中可把矿物分离出来。但是,磨碎通常并不能制造出完全分离的矿物产品。有些颗粒很可能混有两种或多种矿物,并具有这种混合物的物理或化学特征。这可能使目标矿物与矿尾一起被弃置,或矿物含量被矿尾降低。

21. 碾磨是靠碾磨机(齿板破碎机、环动和圆锥破碎机)以及“磨碎机”(棒磨机、球磨机、锤磨机和冲击式磨机)进行的。把运来的卵石大小的矿石碾碎成直径 25 毫米或更小的碎块。然后把这些材料运到碾磨机那里。如果有价值的矿物已被充分分离,那么,这些物质就可以送入碾磨机或直接加工。碾磨成大约 10 微米大小的颗粒。¹ 碾碎是对原矿进行的,与此相反,磨碎工作一般都是在矿物被淋温的情况下进行的。碾碎的产出是“矿泥”(微粒在水中的悬浮)。

22. 可以利用矿物特性的差异、例如颗粒大小、颗粒密度、磁性、电性或表面化学(浮选法)来选矿。

23. 最好的选矿技术以一些与矿场有关的因素为依据,包括生产规模、被充分分离的矿物颗粒的大小、矿物学、整个加工过程(从采掘到冶炼)等等。最后,每道工序都产生一种“精矿”(含有丰富的目标矿物)、“矿渣”(主要含有经济价值不高和无经济价值的矿物)和“中矿”(目标矿物和矿尾没有被充分分离的颗粒)。中矿通常都要重新磨碎,或送去另一道工序分离或提炼出有价值的矿物,而矿渣就被当作废料处置。在选矿的各道工序中,浮选法是生产精矿、特别是从硫化矿石中生产富矿的主要方法,也是矿渣的主要来源。在矿物加工过程中,从潜在到对外部环境的影响方面来说,其他生产部门的作用有限。因为它们主要是在切实封闭的范围内进行的,例如,很多生产部门把 100% 的投入传给下一道工序。浮选常常是最后一个加工部门。在这个阶段中,产生废料(矿渣),这些废料被运到外部环境。在浮选中产生出来的矿渣主要是由矿尾的微粒组成,其中目标矿物的含量不同,取决于加工效益、加工效率和冶炼的限约等因素。

七. 冶炼和可能产生的废料

24. 冶炼可以分为两大类,“湿法冶炼”和“高温冶炼”。第三种是“电冶炼”,此处不打算深入讨论后者,因为在采矿部门中,电冶炼的用处很有限(主要用于生产铝和一些锌)。

A. 湿法冶炼

25. 对矿物采用湿法冶炼处理的办法常用于金、铀、铜和铝,也用于锌和镍,但没有那么普遍。含有氧化物的矿物(大约占非铁金属矿石的 10%)尤其以滤浸法处

理。矿石首先按下一道工序的要求加工,然后使用滤浸剂浇淋以含有金属的稀释溶液的方式提取有价值的金属。对这种溶液进行金属回收,其中包括沉淀、溶剂提取或电解沉积。

26. 常用的滤浸剂和溶剂包括:

- (a) “酸剂”(盐酸、亚硫酸),用于氧化铜矿物,例如蓝铜矿、孔雀石、黑铜矿和硅孔雀石,以及“氧化剂”(硫酸铁)用于氧化程度较低的铜矿物例如辉铜矿、斑铜矿、铜蓝和黄铜矿;
- (b) “碱”和“氨基”制剂(氢氧化钠/铵或碳酸盐),用于某些铜矿物;
- (c) “细菌媒介”滤浸,用细菌从硫化矿物中出成价廉的酸和氧化物;
- (d) “氰化物”(氰化钠或钾溶剂)用来溶解金;
- (e) “汞”是回收金子时使用的一种汞齐化制剂,广泛用于小型采矿业中,主要是在发展中国家。

27. 使用上述滤浸制剂的方法有:

- (a) “堆浸”散乱在地面的矿物。这个词来自浇淋最初被废弃的矿石;但是,这种方法也适用于专为滤淋而堆放在未经准备的场地上的原矿、低品质硫化物或档次混合的硫化物矿物;和氧
- (b) “摊浸”低质量的矿石,这些矿石都放在专门准备的、用合成物、沥青和压实的泥土制成的垫子的场地上。这些矿石在被放在上摊浸之前,通常已经先进行过磨碎(碾碎)处
- (c) “槽浸”是除摊浸和堆浸之外高产量的替代办法,它是在一个槽子内或箱罐内,使用滤浸剂和原矿/精矿进行。浓缩

28. 金属回收的方法因金属不同而异。但一般都采用选择性渗入处理(铜或金)或溶剂提取或电解沉积(铜)的方法。

29. 与再加工和利用有关的湿法冶炼过程中产生的废料包括:

- (a) “废矿/废浓缩物”，其中含有剩余加工化学物质，目标或非目标矿物/金属；
- (b) “溶剂提取或电解沉积渣”，含有在溶剂提取/电解沉积槽中可积存的物质（颗粒物、有机乳液）；
- (c) “废电解液”是在电解时产生的，含有可溶性杂质；
- (d) “被汞污染的废料”是在汞齐化过程中产生的废料。

B. 高温冶炼

30. 高温冶炼是目前从硫化沉积物中回收铜、锌、镍和铅的主要办法。典型工序是利用矿石加工(通常采用浮选法),产生精矿,然后再以加热燃烧氧化的方式破坏矿物的晶体结构,使矿石熔化。

每种金属或系列金属的加工方法各不相同。例如,铜熔化产生“冰铜”(含有高止 40%的铜),在熔融状态下,转化分离为“粗铜”(纯度大约为 97-99%)和硅酸铁渣。这种铁渣具有足够的经济价值,值得进一步加工。由于粗铜纯度不够用于多数工业应用,因此需要精炼。如果进料的副产品很少,通常可用煅烧(用一种反射炉)或如需要回收其他金属,则可采用电解法。这样从阴极端收集得到的金属纯度通常为 99.8-99.9%,可直接销售给半制成品商或浇铸成锭(线锭)。铅用烧结法生产,在高炉中烧结还原,然后用高温或湿法冶炼铅锭。

31. 高温冶炼可产生五种污染产物:废气、漏气、废液、炉灰和炉渣,其中后两种废料与再加工和利用的关系最为密切。

八、利用矿业废料的最新工艺

A. 利用矿业废料方面的制约因素

32. 在贱金属和贵金属采矿业中,利用矿业废料的例子相对不多。这有两个主要原因。第一,因掺杂了可能危害环境的矿物质(金属),使废料利用受到限制。在这种情况下,废料利用可被视为是更大范围的环境污染的扩散方式和造因。第二个制约因素是即使矿物废料“不含”污染物,但它的位置价值高。在大多数情况下,相对有限的地区以外的运输成本可能远远超过废料本身的可售价值。另外一个制约因素是废料的价格和与之

竞争的初级材料的价格相对较低(初级和次级填料、其它充填材料等)。

B. 就地利用

33. 通过发展废料就地利用可以在很大程度上克服上述第一和第二种制约因素。多数矿场已在很大程度上采用这种作法,并将废料用于筑堤、筑路和养路以及大地工程。不过,废料就地利用的最大潜力是用作回填料,尤其是用于回填地下矿坑。但一旦废料到位后,污染物和可能的扩散问题又再度出现,所以通常做法是在回填的废料中掺入水泥、粉渣或其它稳定物剂(可溶性硅酸盐),这样既可改善其物理特性,并把金属物质渗入地下水的可行性降到最低限度。废料回填广泛地用于浅层地下采矿作业(煤、石灰石)。

34. 今后,少量或可能与具体矿场有关的使用可以包括水处理,例如把磨细的废矿石作为收集悬浮物的吸附材料(Heiskanen 和 Yao,1992 年),以及用黄铁矿(再加工的回收物质;见下文第九节)以吸附方法排除溶解的砷类物质(Zouboulis 等,1993 年)。

C. 异地利用

35. Toivola 和 Toivola(1997 年)发明一种方法,利用未经筛选的热塑废料和矿料的混合物生产出一种建筑材料,并取得专利。可能的用途包括用作铺板、铺砖或混凝土式的砖块。Aljaro(1991 年)报道说,根据智利国营铜矿公司提供资金、在智利进行了一项研究,发现可以将未经处理的尾矿废水用作农业水源。El Teniente 铜钼合金矿排出的未经处理的废水已用于灌溉农作物和供牲畜饮用。找出并已种植了耐高浓度铜、钼、锰和硫酸盐(并适应当地土壤和水质条件)的作物。金属物质转入作物可食部分的数量有限,未超出允许的限度。不过,由于金属可能积存在土壤和地下水中,因此用途可能非常有限。已有文件记述的其它用途包括:在美利坚合众国将大量的清洁铁燧尾矿用来筑堤、筑坝和筑公路材料,少量清洁铁燧尾矿用于生产陶瓷、砖瓦,以及将贱、贵金属废料用于生产密钙硅酸盐砖、多孔混凝土、轻型泡沫建筑产品、干压砖和玻璃(Mitchell,1990 年)。

九、矿业废料再加工

A. 对废料进行再加工以回收生成酸的硫化物

36. 将废料划分成含硫化物多和含硫化物少的两部分可扩大现有采矿方面可用的废料管理办法和解决未划分废料的矿场目前因产生酸液而造成的环境问题。在这两种情况下——理论上——少量含硫化物多的部分可弃置到设计建造精密的弃置场或在废料堆中作为掩埋的“元件”隔离,大量含硫化物少的部分则可作为惰性废料处理或就地或异地加以利用。

37. Humber(1995 年)在近期的一篇论文中分析了硫化物(黄铁矿和磁黄铁矿)回收、酸液的生成与再加工的作业/资本费用估算之间的关系。对一些矿业加工技术进行了调查,以了解从现有工厂尾矿中分离生成酸液的硫化物和产生含硫化物少的部分和少量含硫化物多的部分的能力。已检测的方法包括比重分离法(离心选矿机、振动台、螺旋选矿机)、悬浮法、磁性分离法和旋风分离法。用来自三个矿场的样品对这些方法作了检测。还对硫化物精矿的商业价值作了调查。² 每一样品中的硫化矿物质均已充分分离,并且浓度低至生产(理论上)少量硫化物精矿。所尝试的比重分离法中没有一种能生产出非活性(无生成酸液的净能力)尾矿。悬浮法比较可行,虽然在一定程度上,这似乎只是反映了矿物学的简单本质和硫化物的粉粒分布。通过悬浮法再加工不仅降低了含硫化物少的部分生成酸液的能力,而且也降低了诸如镉、铜和锌等其它具有环境重要性的金属的浓度。

38. 以生成酸液可能性最低的废料生成试验为基础,估算了作业和资本成本费用。资本费用位于 13 万至 127.5 万美元之间。作业费用估计在每吨 0.5 至 1.35 美元之间。不过,此项估算工作并未报告现有的作业或资本费用,而这些额外费用难以完全计算在内。但是,有大规模采用这一方法的其它一些例子,尽管只是在作业中的矿场,而不是重新处理原有废料。Magma 铜矿公司在其 Superior Mine 作业中将尾矿由铜循环工序转入一道额外的悬浮工序,从而生成一种活性较低的尾矿产品,并进而生产出一种优质、几乎是纯质的黄铁矿产品和一种粗颗粒的黄铁矿精矿(含 45%至 47%的铁,48%至 50%的硫)(美国环保署,1994 年 a)。1994 年每月售出约 500 吨黄铁矿产品,占美国市场销售量的 90%至 95%(美国环保署,1994 年 b)。不过,在本例中,之所以能生成可销售的黄铁矿产品,原因在于(a) 矿石含有多达 25%的黄铁矿,(b) 矿石几乎没有杂质。或许是这些因素使此矿具有相对独特性,并可能因此而使这种

方法移用至其它矿业比它最初表明的更为困难。正如以上所说,严格地讲,黄铁矿生产的动力并非单从环境考虑(虽说该公司确已认识到降低酸性岩污水生成所带来的益处),而是对此产品的需求——没有需求也就没有黄铁矿的回收。这突出说明了处理诸如黄铁矿之类的矿物质的困难,因为这类矿物质的市场地位或价值有限甚或没有。

B. 通过生物滤浸进行再加工

39. 已开始用以细菌为中介的滤浸方法加工顽金,在此以前,由于顽金与黄铁矿的结晶关系而无法回收,但用细菌可以很容易地将两者分解。生物技术的发展,以及生物滤浸技术相对于其它大规模、更为资本密集型和更具污染性的传统加工方法所拥有的环保和经济上的优越性可能预示着采矿业结构的重大变化。1994 年 3 月,Newmont 金矿公司报告,实地试验证实了一项独创的以生物滤浸加工方法从低级硫化物质中回收黄金的经济可行性,此前这种低级硫化物质不会被视为有经济价值的矿石(Brewis,1995 年)。这种加工系统用氧化铁硫杆菌和氧化铁钩端螺旋菌在堆摊滤浸板上氧化含有黄金的硫化物,然后进行氰化或铵基硫化硫酸盐滤浸而将黄金分离出来。虽然这种方法的反应较慢,但由于所用的生物加工系统的费用低,所以它在经济上是可行的。迄今,在商业上,生物滤浸方法用于回收金、铀、铜和镍;还有人建议用此方法堆摊滤浸低级锌矿石。

C. 在金的回收中替代氰化物的其它物质

40. 虽说在正规采矿业务中,氰化是回收金的主要途径(南非的正规金生产 100%采用这一方法)(Adams,1997 年),但氰化物并非是唯一可用于金回收的滤浸剂。可能替代氰化物的其它物质包括硫氰酸(Adams,1996 年)和卤素溶剂,如氯气、钠次氯酸盐、碘和溴(Ramadorai,1994 年)。所有这些物质都不能视为是氰化物的一般替代品,但它们可能对处理特定种类的矿石或含金废料有用处,在处理这些物质时尚没有经济上或技术上可行的加工方案。有迹象表明,就非耐熔性矿石而言,卤素溶剂并不比氰化物更有效率或符合成本效益。相反地,卤素溶剂可能在处理耐熔性矿石和废料方面有更多用途,不过,这仍是一个需要进一步验证的领域。

十、利用、再加工和减少污染源的方法

A. 在采矿、矿物加工和冶炼方面减少污染源

41. 洁净技术是尽量减少废料和防止污染(减少污染源)的组成部分,而且人们往往认为洁净技术就是尽量减少废料和防止污染。洁净技术主要在加工范围内使用,而且确实是在其中得到发展的。理想的作法是,在评估一种技术的“洁净”程度时,也应考虑到上游供应商和下游用户及产品处置者的环境表现,尽管它们的环境表现往往难以确定,而且这种评价的范围实际上更严格地限于有关工艺过程。

42. 为便利防止污染,在综合管理系统范围内实行了若干通用战略或跨部门战略:(a) 改善设备运转情况,(b) 改造加工技术,(c) 产出的废料的循环使用、回收和再使用,(d) 改变原材料和(e) 产品重整。

43. 在贱金属和贵金属采矿及加工战略方面,上述(a)、(b)、和(c)的应用最为明显,尽管有时存在改变加工投入性质的能力(即,战略(d)),例如,利用选择性开采法和更准确的(“准确定位”)采矿作法(Almgren 及其他,1996 年)。战略(e)对采矿业的直接意义甚微,此处忽略不谈。

44. 在存在若干类似洁净技术的情况下,根据与其废物产出相关的危险减少程度、处理和处置成本、未来赔偿责任、安全危害和投入材料成本,可以为其排列次序。确定某一特定技术洁净程度的手段,在很大程度上是依赖利用生产周期盘存和生产周期评估方法获得对资源利用和环境影响的评估情况。

45. 尽管尽量减少废料的好处十分广泛,但是往往存在一些机构性抑制因素,需要加以克服。例如,由于对投资利得无把握而造成管理上的不确定性,可能出现生产停工期,产品质量问题以及专利技术情报被泄漏给减少废物顾问人员。克服这些障碍最好的办法是请高中级管理部门、设备管理人员和设备操作人员都参与(即整个公司组织参与)(Haas,1995 年)。

B. 从管理废料到防止废料以及循环往复

46. 目前采矿部门朝减少污染源方向的发展趋势受到一些问题的影响,例如,砷和黄铁矿等贱金属和贵金属矿体所含低价值而有害环境的外围矿物造成的问题。在有价值的矿物组合通常包含的无经济意义和有毒污染物造成的麻烦和问题方面,砷就是时下特别关注的一个例子。砷主要是生产其他更重要的金属(例如铜、铅、锌、金、银和锡)期间产生的副产品。至少 18 个国家(Broad,1997 年)通过熔化或焙烧非铁金属矿或精矿,分离出商业级别的三氧化二砷。随着电池中的铅砷合金被铅钙合金所取代,以及木材处理等低技术用途受到日益增加的压力,砷的未来市场并不太看好。

47. 为安全处置危险废物开发出的许多处理技术,对于砷污染矿物废物并不适用。为填补空白,目前正在开发其他可行途径,其中包括:

(a) “合成矿物固定技术”: 这种处理方法析出金属或把金属转化为固定形式,然后加入适当的“调整”化学品,以便在转换阶段生成所需的合成金属结合体(White 和 Toor,1996 年)。这种方法已经用于稳定低溶度磷灰石矿($\text{Ca}_5(\text{AsO}_4)_3\text{F}$)形式的砷烟灰(含三氧化二砷);

(b) “砷酸铁”: 通过高温析出稳定的晶状砷酸铁分解砷,这种研究已进行若干年(例如可参见 Swash 和 Monhemius,1994 年,以及其中参考资料)。砷酸铁是通过分解含砷物质(通常是三氧化二砷(Van Weert 和 Droppert, 1994 年))生成的,然后利用温度范围在 140 摄氏度至 160 摄氏度的含铁酸性硝酸盐(或硫酸盐)溶液,将其转化为晶状臭葱($\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);

(c) “掺入硅矿渣”: 形成低溶度矿物的替代方法包括在硅矿渣中掺入砷。研究显示重量达 10% 的砷可以被掺入“玻璃状”的硅矿渣,随后的滤浸期间释放的砷很少(Machingawuta 和 Broadbent,1994 年)。

48. 尽管最近取得这些进展,砷的回收、处理和处置仍是必须解决的问题。砷副产品缺乏市场,造成对回收缺乏经济刺激(尽管在加工过程中经常偶然做到回收),另外对于财务责任还研究不够,不能成为替代性的推动力量。在某种废料或副产品没有市场而且加工供料不可避免出现污染物的情况下,不可能开发出真正“洁净”的技术解决办法。替代办法是(a) 不开采含有无销路

的有害金属和矿物的矿石,或者(b) 接受在处置之前回收、分离和有效处理有问题元素是最佳方案。现实地说,经常出现的是后一种情况,尽管也出现过一些拟议矿业开发由于普遍无法接受的风险而被否决的实例,(美国黄石国家公园边缘的新世界矿场),对于在尚未“得到保护”并免受这种活动影响的“敏感”地区或其临近地区的采矿活动进行限制。也许为将来树立了一个先例。至少,如果严格的科学研究能够确定这样做是最佳的环境选择方案,限制采矿这种逆耳忠言可能有助于促进回收或预先处置非目标的和无经济意义的金属和准金属。

十一、结论:最有效地进行减少污染源、再加工和利用

49. 很难绝对地说明最新的工艺技术,因为尚未完全发展生产周期评估等用以评估的辅助工具。虽然在特定的矿场进行的生态毒理评估方面有进展,减少了矿场的某些矫正行动有关的不明确情况,可是也没有充分了解利用和再加工所涉的生态毒理问题(Pascoe,1994年;Greene 和 Barich,1994年)。然而,参与废料管理的人受到的压力越来越大,要拟订可持续的办法和综合有关的战略,为保护环境提供最佳的切实可行的备选办法(Barton 等,1996年)。实际地说来,矿业部门总是需要同时使用减少污染源、再加工利用、治理和使用低级技术的矫正办法。每方面都有其合适的地位,虽然均势可能随着时间而改变,但没有一项能全部予以纳入。有可能参与矿场矫正(和推而广之再加工)行动的很多政府机构和私人机构,受到赔偿责任问题等规章体制障碍的阻挠。这些障碍不但阻挠矿场的实质改良和矫正,还往往抑制对发展新技术的资本投资(Durkin,1995年)。因此,问题是如何运用规章比现行办法更有效地促进矿业废物的再加工和利用。

50. 矫正现有矿场提供一个重大机会,为矿业废料的再加工发展新的富有创造性的技术,并酌情拟订政策和技术程序,促进次级废料而非初级资源的利用。由于对初级资源开发的限制日增,废料本身已提升为可能的资源。管制标准和质量标准可能妨碍富有创造性技术使用,某些复杂的废料的再加工也可能面临技术障碍。关于富有创造性的技术的成本和效用的资料也可能有限,从而无法鼓励大家对这种技术投资。最新的工艺技术又必须面对越来越多的稳定技术的竞争(SMITE)。虽然这些技术有一些缺点,如缺少可靠性和担心其长期稳

定性,可是对于没有市场价值或市场价值不大的矿物/金属来说,可能是唯一实际可行的解决办法。

十二、参考资料

Adams,MD.(1996).Environmental impact of cyanide and non-cyanide lixivants for gold.New Developments in the Extractive Metallurgical Industry(Johannesburg),23 February 1996.

(1997).Group Leader: Process and Environmental Chemistry Randburg,South Africa.Personal communication.

Aljaro,B,et al.(1991).Untreated tailings effluent:alternative use.Mining Journal Environment Supplement,20 September 1991,pp 16 and 17.

Allen,DT,and KS.Rosselot(1997).Pollution Prevention for Chemical Processes New York:John Wiley and Sons,Inc.

Almgren G,T Almgren and U.Kumar(1996).Just-in-time and right-in-space. Minerals Industry International (September),pp 26-29.

Ayen,RJ.(1994).A business and market assessment of waste treatment technologies.Journal of Metals(May 1994),pp 30-34.

Barton,JR,D Dalley and VS.Patel(1996).Life cycle assessment for waste management.Waste Management,Vol.16,Nos.1-3,pp 35-50.

Berkowitz,JB(1988).Environmental cost considerations and waste minimization in new plant design and process optimization, In Hazardous Waste:Detection,Control,Treatment, R Abbou,ed,Amsterdam:Elsevier Science publishers B.V.

Brewis,T.(1995).Metal extraction by bacterial oxidation.Mining Magazine(October 1995),pp 198-206.

Broad,A.(1997).Arsenic down but not out.Metal Bulletin Monthly,No.315(March 1997),pp 54-57.

Crittenden,B and S.Kolaczowski(1995).Waste Minimization. A Practical Guide.Rugby,United Kingdom: Institution of Chemical Engineers.

- Durkin,TV.(1995).New technology is needed to manage sulfide mine waste.Mining Engineering(June 1995),pp 507 and 511.
- Eaton,PB,AG Gray,PW Johnson and E.Hundert(1994).State of the Environment in the Atlantic Region Environment Canada.
- Greene,JC,and J.J.Barich(1994).Biological and chemical evaluation of remediation performed on metal bearing soils.In Tailings and Mine Waste '94 Rotterdam:Balkema.
- Haas,CN.(1995).Waste elimination options.In Hazardous and Industrial Waste Treatment,CN Haas and RJ Vamos,eds.
- Hayes,PC.(1993).Process Principles in Minerals and Materials Production,Australia:Hayes Publishing Company.
- Heiskanen,K. and L.yao(1992).Finely ground waste rock as an adsorption material for anionic collectors.In Minerals,Metals and the Environment,M Anthony,ed.London:Elsevier.
- Hodges,CA.(1995).Mineral resources,environmental issues and land use. Science,No.268,pp 1305-1312.
- Humber,AJ.(1995).Separation of sulphide minerals from mill tailings.In Proceedings,Sudbury'95,Conference on Mining and the Environment,Sudbury,Ontario,28 May-1 June 1995.
- Klimpel,RR.(1995).Technology trends in froth flotation chemistry. Mining Engineering(October),pp 933-942.
- Kovalick,WW.(1993).Trends in implementing innovative technologies in the U.S. In Contaminated Soil'93, Vol. II, F Arendt,GJ Annokkee,R Bosman and WJ van den Brink,eds. Kluwer Academic Publishers.
- Machingawuta,C, and CP.Broadbent(1994).Incorporation of arsenic in silicate slags as a disposal option.Institution of Mining and Metallurgy Abstract and Index,No.103(Jan-April 1994),pp 1-8.
- Mitchell,PB.(1990).Reclaiming derelict metalliferous mining land.Land and Minerals Surveying,Vol.8,No.1,pp 7-17.
- Pascoe,GA.(1994).Role of ecological risk assessment in reducing uncertainties in remedial decisions at mining waste sites.In Tailings and Mine Waste'94 Rotterdam:Balkema.
- Ramadorai,G.(1994).Halogen solvents in precious metal ores processing.In: Reagents for Better Metallurgy, PS Mulukutla, ed,Society for Mining,Metallurgy and Exploration,Inc.
- Redhead,RJ.(1996).Waste management:a materials management/product stewardship approach.CIM Bulletin, Vol. 89, No.999,pp 47-51.
- SETAC(1993).Guidelines for Life Cycle Assessment:A Code of Practice.
- Swash,PM and AJ.Monhemius(1994).Hydrothermal precipitation from aqueous solutions containing iron(III),arsenate and sulphate.In Proceedings,Hydrometallurgy'94,Cambridge United Kingdom,11-15 July 1994.
- Toivola,M and A-P. Toivola(1997).Method for producing a building material from a mixture of unscreened thermoplastic and mineral.United States Patent,No.5676895.
- USEPA(1994a).Innovative Methods of Managing Environmental Releases at Mine Sites.United States Environmental Protection Agency,Office of Solid Waste,Special Waste Branch Washington,D.C.
- (1994b).Treatment of Cyanide Heap Leaches and Tailings. United States Environmental Protection Agency,Office of Solid Waste,Special Waste Branch Washington,D.C.
- Van Weert,G,and DJ.Droppert(1994).Aqueous processing of arsenic trioxide to crystalline scorodite.Journal of Metals(June 1994),pp 36-38.
- Warhurst,AC and G.Bridge(1996).Improving environmental performance through innovation:recent trends in the mining industry.Minerals Engineering,Vol.9,No.9.

White,T,and I.Toor(1996).Stabilizing toxic metal concentrates by using SMITE.Journal of Metals(March),pp 54-57.

Wills,BA.(1997).Mineral Processing Technology Sixth edition.Butterworth-Heinemann.

Zouboulis,Al,KA Kydros and KA.Matis(1993).Arsenic(III) and arsenic(V) removal from solutions by pyrite fines.Separation Science and Technology,Vol.28,No.15 and 16,pp 2449-243.

注

¹ 小于这个尺寸的颗粒会更难于处理和/或分离。

² 在硫酸生产中,已用硫元素代替黄铁矿(Berkowitz,1988 年),表明黄铁矿销售可能无商业价值。