

前 言

中国有色金属工业总公司采矿情报网为了推动有色金属矿山废碴综合利用，变废为宝。根据网活动计划，于1990~1991年开展了矿山废碴（尾矿及废石等）综合利用调研活动（为中国采矿情报协作网协调项目）。在总公司计划部矿山处和情报所的关怀及大力支持下，经过两年的工作，通过函调、现场调查和大量的资料查找工作，基本上摸清了国内外有色金属矿山废碴综合利用的广度、深度和发展水平。

参加本次调研工作的主要人员有：徐树岚、谢龙水、言军跃、姚必鸿、左立标、吴伟英、焦承祖。

参加本报告编写工作的人员有：徐树岚、谢龙水、言军跃、左立标、姚必鸿。

在本次调研过程中，得到了我们网广大的理事及有关矿山的领导和工程技术人员的大力支持（提供了42个矿山的废碴综合利用情况），在此表示衷心感谢。

由于我们参加调研工作的同志对本专业了解不深、水平有限，加之我们有色矿山资源综合回收利用起步较晚，因此，本报告不尽另人满意，且谬误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

I 有色金属矿山废渣(尾矿及废石)综合利用调研报告

一、有色金属矿山废渣(尾矿及废石)的一般性问题	(1)
1. 矿山废渣是可以利用的二次资源	(1)
2. 矿山尾矿、废石的性质及其特征	(2)
二、关于矿山废渣的管理规定及措施	(9)
1. 中国	(9)
2. 苏联	(9)
3. 美国	(9)
4. 加拿大	(10)
三、矿山废渣综合利用需考虑的因素及其技术要求	(11)
1. 矿山废渣综合利用需考虑的有关因素	(11)
2. 矿山废渣综合利用的技术要求	(11)
四、有色矿山废渣综合利用状况	(12)
1. 利用基本情况	(12)
2. 技术经济评价	(20)
3. 矿山废渣利用的途径	(21)
五、当前矿山废渣综合利用存在的问题	(28)
1. 大部分矿山认识不足	(28)
2. 受技术经济条件的限制	(28)
3. 能源问题大	(28)
4. 矿山废渣堆置混乱	(28)
5. 选矿工艺技术与设备条件差	(29)
6. 有待建立矿山数据库	(29)
六、建议	(29)
1. 积极开展矿产资源的综合回收	(29)
2. 加强矿山废渣的管理	(29)
3. 对矿山过去遗留的废石、废矿进行综合查定,建立矿山废渣数据库	(29)
4. 有条件的矿山应积极开展废渣综合利用工作	(30)
5. 开展废渣综合利用的试验研究,作好技术储备	(30)
6. 应开展矿山废渣综合利用的宣传、教育工作	(30)

II 附有色金属矿山废渣(尾矿及废石)综合利用矿山实例

一、中 国	(31)
1. 铜官山铜矿	(31)

2. 金川镍矿	(33)
3. 安徽琅琊山铜矿	(34)
4. 黄沙坪铅锌矿	(35)
5. 凡口铅锌矿	(37)
6. 红透山铜矿	(39)
7. 石录铜矿	(41)
8. 西林铅锌矿	(43)
9. 小寺沟铜矿	(46)
10. 画眉坳钨矿	(48)
11. 西华山钨矿	(49)
12. 云南牟定铜矿	(51)
13. 云南大姚铜矿	(53)
14. 水口山铅锌矿	(55)
15. 云南锡业公司	(57)
16. 铜陵狮子山铜矿	(61)
17. 瑶岗仙钨矿	(64)
18. 东乡铜矿	(65)
19. 江西彭山锡矿	(67)
20. 河北涞源铜矿	(69)
21. 大吉山钨矿	(70)
22. 青城子铅锌矿	(72)
23. 铁山垅钨矿	(75)
24. 酒顶铅锌矿	(76)
25. 桓仁铅锌矿	(78)
26. 金堆城露天钼矿	(79)
27. 银山铅锌矿	(82)
二、苏 联	(85)
1. 因库 尔 钨 矿 选 厂	(85)
2. 季申斯克铅锌矿	(87)
3. 共青团40周年铅锌矿	(87)
4. 卡达姆贾伊锡矿选厂	(88)
三、美 国	(90)
1. 国际矿产与化学公司	(90)
2. 黑鸟钴矿选厂	(93)
3. 沙尔斯堡铅锌矿选厂	(94)
4. 皮马铜矿	(96)
5. 迈阿密铜矿	(98)
四、加 拿 大	(100)
1. 福里斯特希尔金矿选厂	(100)

2. 帕默金矿选厂	(102)
3. 埃克斯塔耳采矿公司	(104)
五、澳大利亚	(106)
1. 卡迪纳铜矿选厂	(106)
2. 罗斯贝里铅锌矿选厂	(106)
六、南非	(108)
鲁德普特金矿选厂	(108)
七、德国	(110)
阿尔腾贝格锡矿选厂	(110)
八、日本	(112)
千岁金银矿选厂	(112)
九、菲律宾	(114)
马尔科珀铜矿	(114)
十、津巴布韦	(115)
坎珀当金矿	(115)
十一、巴布亚新几内亚	(116)
布干维尔铜矿	(116)

III 附有色金属矿山废渣综合利用研讨会部分文章

尾矿利用工程前景广阔	(121)
宝定铜矿废渣综合利用生产实践及设想	(126)
细粒尾矿压制免烧砖的实践	(130)
废渣综合利用的实践	(133)
尾砂利用的新途径——钙化砖	(138)
综合治理废石尾矿保护生态环境	(141)
加强尾矿综合研究综合利用	(143)
利用全尾矿作充填料及老尾矿库的复垦	(146)

I 有色金属矿山废碴（尾矿及废石）综合利用调研报告

一、有色金属矿山废碴（尾矿及废石）的一般性问题

1. 矿山废碴是可以利用的二次资源

有色金属矿山企业是国民经济中排出废碴最多的行业。目前，仅就世界各国选厂尾矿年排放量就达近亿吨之多。这些尾矿加之掘进与剥离的废石及表土，占据和污染了大片土地及良田，破坏了生态环境，严重地影响着人们的身体健康，威胁着人类的生存。也正是如此，几百年，乃至千年，人们一直把这些尾矿及掘进和剥离排出的矸石作为废料而弃之。

近几十年来，由于人们对有色金属矿物需求量的增加，矿产资源日趋减少，品位逐渐下降；也由于科学技术的进步和人们对赖以生存的自然环境的保护，为了化害为利，变废为宝，世界各国先后不同程度地对此作了研究和开发利用。

在一定条件下，某一特定生产过程中产生的废弃物往往是另一生产过程的原料，甚至是不可多得的资源。我国矿产资源赋存的特点之一是共生、伴生的矿床多，单一矿产少。甚至有的矿床中共生或伴生的有用组分价值大大超过主矿产的价值。这些共生或伴生矿物和有价值元素，分别进入精矿产品和尾矿之中。随着生产和技术的发展，这些尾矿就可能成为回收某些有价值元素，尤其是稀有、贵金属元素的重要资源之一。而尾矿中的各种脉石矿物，如长石、石英、方解石、石灰石、重晶石、大理石、辉石、橄榄石、高岭土等，都可作建筑材料的原料。这正是矿山开展多种经营、开发新产品、提高经济效益的潜力所在。据介绍，我国金属矿山每年排弃的尾矿量约有一亿多吨。随着科学技术的发展和现代化建设的推进，矿山开采规模和矿石开采总量还会增加，加上富矿资源的逐渐减少，贫矿开采范围的不断扩大等因素，尾矿量将还会大大增加。

就本次对国内40多个有色矿山的调查的粗略统计，其中34个矿山年排尾矿量1608万吨，37个矿山年产废石量约645万吨。若按这些矿山的产量估算，每产1万吨矿石将要产出0.93万吨尾矿，0.34万吨废石。

据资料介绍，我国到1990年，已建成县以上国营有色矿山422个，有统计的乡镇、集体和个体矿山矿点9518个，年产矿石量7959万吨。若按这个数字估算，仅1990年一年，就产出尾矿7401.87万吨，废石2706.06万吨。从这个数字来看是很可观的。

目前，苏联有色矿山企业堆存有41亿米³尾矿，每年排入废石场的脉石有2.2~2.5亿米³。1985~1990年的尾矿与废石排放量见表I-1。

美国有色矿山废石与尾矿产出量为36万吨/日。现堆存有80多亿吨尾矿。据推测，将来

尾矿与废石量可能还会以较大的速度增长。美国目前几种有色金属矿山尾矿与废石产出量见表 I—2。

苏联有色矿山尾矿与废石产量 表 I—1

有色矿山	年产量 ($\times 10^6$ 吨)	
	1985	1990
铝	43.1	49.0
铜	67.7	60.4
铅-锌	15.3	8.2
镍-钴	42.1	35.9
钨-钼	41.5	39.9
汞-铋	4.3	4.2
锡	0.6	0.5
总计	243.6	232.7

美国有色矿山尾矿与废石产量

($\times 10^6$ 吨) 表 I—2

有色矿山	废石	选矿尾矿	
	年产量	年产量	堆存量
铜	624	234	7700
金	15	5	450
铅	0.5	8	180
钨	0.9	7.2	180
总计	1	5	1

据不完全统计, 国外其他一些有色矿山尾矿与废石产量 (表 I—3) 也比较高。

除苏、美外部分国家有色矿山尾矿与废石产量 表 I—3

有色矿山	年产量 ($\times 10^6$ 吨)		
	废石 (包括露采表土)	尾矿	堆存
(澳) 铅-锌	/	0.5	4.75
(芬) 多金属	3.1	5.1	94.8
(南非) 金	1	0.10	/
(英) 锡	0.5	0.75	/
铝	0.1	/	/
(加) 重金属	废石 + 尾矿 = 100		/
金-银	= 80		/
铝	= 1.5		/

因此, 从上述情况来看, 把尾矿与废石作为二次资源再次加以开发利用, 充分回收资源, 增加矿山经济效益。而且, 可以变废为宝, 化害为利, 产生良好的社会效益。

2. 矿山尾矿、废石的性质及其特征

1) 物理特性

对世界66个矿山调查的结果表明, 有色矿山尾矿粗细不等, 有50%的尾矿为-74微米以下的, 见图 I—1 和表 I—4、I—5。尾矿与废石的矿物组分及其物理特性见表 I—6、I—7所示。

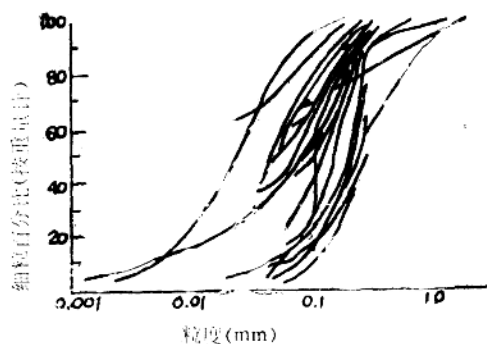


图 1—1 选厂尾矿的粒度分布

有色矿山尾矿粒度

表 1—4

国家与矿山类型	通过规定筛号的百分数	国家与矿山类型	通过规定筛号的百分数
(加拿大) 铜	60%~66% - 74 μ	(美国) 铅-锌	40%~50% - 74 μ
(美国) 铜	73% - 43 μ		86% - 43 μ
(加拿大) 铜-钼	40%~70% - 74 μ	(德国) 铅-锌	50% - 60 μ
(美国) 金	3.9%~99.2% - 150 μ		37% - 42 μ
(南非) 金	56.7% - 74 μ	(加拿大) 钼	72% - 150 μ
	70%~80% - 74 μ (平均)	(英国) 锡	60%~70% - 75 μ

2) 尾矿的化学性质

尾矿的化学性质分为三个方面，即尾矿残存矿物、尾矿沉积后所发生的化学变化和尾矿残存药剂。据分析，美国铜尾矿含硫 0.5%~9%、铜 0.05%~0.3%、钼 0.2%~0.8%；南非金尾矿含石英 85%~95%、黄铁矿 1.5%~3.5%。有色矿山尾矿、废石的化学特性见表 1—8、9、10、11。据测定，尾矿含单项工业药剂最高为 3 毫克/公斤，一般为 <2 毫克/公斤。选矿药剂的毒性较小，但铅矿选矿药剂却是一主要污染源。

表 I—5

中国几个有色金属矿山尾矿粒度

铜	铜录狮子山铜矿	粒度(mm)	+0.15	+0.10	+0.074	+0.053	+0.033	+0.025	+0.019	+0.01	+0.013	
		产率(%)	8.83	15.36	9.56	16.94	12.55	7.33	9.30	6.61	12.92	
矿	铜录山铜矿	粒度(mm)	+0.28	+0.18	+0.125	+0.11	+0.087	+0.071	+0.053	+0.037	+0.027	+0.019
		产率(%)	9.4	12.3	12.0	0.1	7.2	5.4	8.1	7.8	7.7	6.6
矿	铜录山铜矿	粒度(mm)	+2.00	+1.00	+0.75	+0.50	+0.30	+0.10	+0.074	-0.074		
		产率(%)	18.56	36.26	9.67	11.30	8.74	11.53	1.06	2.88		
矿	大吉山铜矿	粒度(mm)	+2	+1	+0.5	+0.28	+0.2	+0.125	+0.09	+0.074	-0.074	
		产率(%)	6.95	16.51	22.39	14.67	5.70	11.20	7.14	1.93	13.51	
矿	酒厂铅锌矿	粒度(mm)	+0.25	+0.177	+0.15	+0.125	+0.074	+0.064	+0.027	+0.020	-0.02	
		产率(%)	0.900	0.029	4.309	11.25	22.160	6.250	10.200	31.300	4.580	
矿	黄沙坪铅锌矿	粒度(mm)	+0.150	-0.15	-0.1	-0.074	-0.037	-0.019	-0.01			
		产率(%)	23.46	5.8	16.4	21.45	12.51	4.79	15.59			

有色矿山尾矿-废石的矿物组分

表 I—6

有色矿山	矿物组分比例		
	>20%	10%~20%	<10%
镍-铜	磁铁矿、滑石、蛇纹石	方解石、白云石、绿泥石	铁铁矿、黄铁矿、赤铁矿、石英
铅-锌	石英、黄铁矿	斜长石	云母、长石、角闪石
金-铜	黄铁矿、石英、石膏	白云石	绿泥石、云母、斜长石
银	石英、斜长石、角闪石	绿泥石	云母、方解石
金	石英、白云石、斜长石	长石、黄铁矿	闪角石、绿泥石、云母
锡	石英、长石、云母	黄玉、赤铁矿、褐铁矿	砷黄铁矿、斜方砷铁矿、黑钨矿、辉钼矿、辉铋矿
钨	长石、石英		角闪石、黄铁矿、萤石、绿帘石
铋	石英、玉髓	绿泥石	黄铁矿、钦铁矿
钴		黄铁矿	黄铜矿、辉砷钴矿、磁黄铁矿、砷黄铁矿

废石-露采表土-尾矿的物理特性

表 I—7

项 目	废石		露采表土		尾矿	
	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围
粒度分布, % < 2毫米	24	10~78	38	8~95	95	20~100
%砂	70	35~99	61	20~93	51	1~97
%粉砂	24	9~39	32	6~76	43	0~96
%粘土	10	1~29	11	1~37	7	0~40
保持湿度, 0.1巴%	15	4~28	25	7~32	22	0~55
实际保湿能力, 0.3巴%	12	3~22	21	9~33	18	0~55
干化系数, 15巴%	5	0~11	9	2~19	4	0~20
有效蓄水能力, %	9	3~17	12	5~19	16	0~35
比重, 克/厘米 ³	2.04	1.10~3.02	1.42	1.10~1.99	1.5	0.2~3.1
颗粒密度, 克/厘米 ³	2.73	2.05~3.06	2.27	1.40~2.90	2.91	0.1~4.29

废石-露采表土-尾矿的化学特性

表 I — 8

项 目	废石		露采表土		尾矿		
	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	
PH	水	7.7	3.5~9.4	5.6	3.1~8.1	6.2	1.8~9.4
正离子交 换能力	(毫克当量) (/100克)	11.4	0.3~32.4	16	1.0~118	2.63	0.19~46.5
导热率 (毫欧姆/厘米)		0.9	0.3~3.5	0.7	0.1~3.1	2	0.1~22.4
元素综合分析 (微克/克)							
	P	4.4	0~33.4	7.3	0.2~23	10	0.1~400
	K	85	4.0~193	70	15~595	63	1.0~564
	Ca	14900	1540~45500	8930	60~66000	11930	40~52480
	Mg	260	15~1186	175	10~566	230	15~1328
	%						
	N	0.01	0~0.12	0.17	0.01~0.87	0.013	0.001~0.166
	S	0.04	0~0.15	1.40	0.34~7.96	4.02	0.1~38.87
	Fe	7	1~50	4.1	1.4~11.7	15.5	0.4~56.81
	Al	6.2	0.1~13.2	8.0	1.3~11.0	2.8	0.1~8.1
	Mn	0.12	0.01~0.32	0.1	0.02~0.22	0.2	0.01~4.0
	K	1.09	0.01~2.97	1.92	0.81~2.86	0.7	0.04~3.32
	Na	1.29	0.01~2.75	0.37	0.11~1.48	0.5	0.01~2.9
	Mg	4.3	0.01~36	1.0	0.20~2.63	1.2	0.04~5.0
	Ca	4.5	0.01~35	1.99	0.09~16.62	1.7	0.01~10.95
	Si	/	/	25	7~30	22	4~37
	Cd	175	1~620	/	/	38	2~280
	Zn	15	2~30	/	/	510	1~5000
	Ti	8500	500~50000	65000	2900~9800	2500	200~10000
	Ni	85	20~250	/	/	96	10~546
	Mo	136	10~450	/	/	70	10~800
	Co	150	10~300	/	/	1140	100~9999
	Pb	/	/	/	/	310	0.3~2810
	Cu	/	/	/	/	130	1~750
	Cr	/	/	/	/	1000	70~7000

尾矿、废石半定量光谱化学分析

表 I—9

有色矿山	元素(%)													
	Si	Fe	Al	Ca	Mg	Na	Mn	Pb	Sn	Cr	Cu	Zr	Ni	Co
镍-铜	≥1	≥1	0.28	≥1	≥1	/	0.08	/	0.05	0.35	0.05	/	0.13	0.02
铅-锌	≥1	≥1	0.31	0.75	≥1	0.50	0.04	0.19	0.05	/	0.05	0.01	0.01	/
铜-锌	≥1	≥1	0.36	0.78	≥1	0.61	0.11	0.42	0.09	/	0.10	0.02	0.04	0.04
银	≥1	≥1	≥1	≥1	≥1	≥1	0.10	0.30	/	0.06	0.08	0.01	0.01	0.03
金	≥1	≥1	0.36	≥1	≥1	0.57	0.09	/	/	0.05	0.03	0.01	0.01	—

说明：由于受光谱化学分析方法的限制，因此有部分元素未检出。对于未检出的元素，本表用“/”表示或不予列出。

尾矿-废石的主要化学成分

表 I—10

有色矿山	化学成分, %					
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S
镍-铜	32.09	17.92	2.70	10.27	22.78	1.41
铅-锌	58.40	17.90	9.71	2.18	1.82	10.62
金-铜	22.96	32.53	11.33	8.81	4.97	17.62
铜-锌	43.70	28.60	7.31	1.27	0.95	17.43
银	54.01	9.02	16.36	6.36	4.99	0.14
金	56.18	9.66	13.23	4.56	4.28	0.91
铝	22.9	10.7	26.5	8.1	/	2.8
铜	71.1	3.4	13.2	1.1	2.1	/

从表 I—11 可以看出，尾矿及废石化学成分主要是 SiO₂、CaO、Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO，此外，还有其它金属和非金属氧化物。

3) 尾矿的技术性能

尾矿除了上述物理化学性质以外，因矿种不同而产生的尾矿技术性能也有其差异或相同。据资料介绍，一般为圆形、带有棱角或呈片状的小颗粒。在动力作用下易于液化（即触变性）。其塑性变形常用液性极限、塑性极限和收缩极限表示，其指数为液性极限与塑性极限之差。如智利 8 个溃决尾矿坝的尾矿塑性指数为 0~30.5，其含水量为 22.4%~56.3%。

中国几个有色矿山的尾矿及废石化学组成

表 I—11

凡口铅锌矿	分子式	Pb	Zn	S	Ga	Ge	Cd	Cu	As	F	Ag	Au	
	含量(%)	3~6	5~12	15~40	0.0033	0.0034	0.0305	0.03	0.23	0.02	108g/t	0.008 ~0.009g/t	
西林铅锌矿	分子式	S	Pb	Zn	Fe	SiO ₂	CaO	MgO	Ag				
	含量(%)	9.8	0.27	0.41	17.98	13.40	19.53	14.52	18g/t				
水口山铅锌矿	分子式	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MaO	Pb	Zn	Cu	Fe	S	Mn	Sn	U
	含量(%)	25.22	3.70	18.91	0.2	1.14	1.61	0.09	15.25	17.12	0.38	0.049	0.0042
牟定铜矿	分子式	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Mo	Te ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cu		
	含量(%)	72.44	6.18	6.32	0.94	1.06	1.64	0.34	1.61	0.52	0.03		
大姚铜矿	分子式	Cu	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe	S					
	含量(%)	0.14	83.97	3.16	0.91	3.37	1.26						
康保山铜矿	分子式	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	K ₂ O	Na					
	含量(%)	36	7	23	10	4	少量	少量					
大冶山铜矿	分子式	WO ₃	Bi	Mo	Sn	Zn	S	Cu	As	S			
	含量(%)	0.072	0.023	0.007	0.0022	0.022	0.054	0.0074	0.01	0.103			
	分子式	WO ₃	Mo	Bi	Fe	Mn	CaFe	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	IO ₃	Sn	
	含量(%)	0.04	0.01	0.01	1.62	0.09	0.53	0.53	3.14	1.88	71.16	0.004	

一般干尾矿的密度为70~130磅/英尺³，比重为1.5~3.5，但差异很大。

尾矿还具有渗水性和可压缩性。其水平渗水系数为 10^{-3} ~ 10^{-6} 厘米/秒，垂直渗水系数为 10^{-5} ~ 10^{-7} 厘米/秒。而可压缩性一般与泥土类似，随自重而密实。

二、关于矿山废碴的管理规定及措施

由于人们把矿山的尾矿、废石等废弃物作为二次资源加以回收利用，改善生态环境，变废为宝。因此，将其纳入资源管理范围，实现废碴资源化是必然的。所以，从六十年代开始，一些国家对此制定了相应的管理法规。现将我国及几个矿业发达国家管理规定的有关条款及情况介绍如下：

1. 中国

我国在“中华人民共和国矿产资源法”（1986年颁布）第一章总则第六条规定“国家对矿产资源的勘探、开发实行统一规划、合理布局、综合勘查、合理开采和综合利用的方针”。

在第四章矿产资源的开采第二十八条规定“在开采主要矿产的同时，对具有工业价值的共生和伴生矿产应当统一规划，综合开采，综合利用，防止浪费；对暂时不能综合开采或者必须同时采出而暂时还不能综合利用的矿产以及含有有用组分的尾矿，应当采取有效的保护措施，防止损失破坏”。

2. 苏联

苏联对二次矿产资源的管理与利用很重视。1975年颁布了《苏联与加盟共和国矿产资源法总则》（《The Principles of Mineral Resource Legislation of the USSR and Union Republics》）。本法第Ⅶ章第33~36条及第Ⅹ章第49~50条为矿产资源保护与二次矿产资源合理利用奖惩条例。有色金属工业废料回收利用由再生有色金属管理总局领导。

经过开采在地表或矿山巷道中堆积以及采、选、冶生产过程中形成的废料聚集，称之为技术成因的矿物层或目标物。苏联方面认为，技术成因矿床的综合开发，是解决矿产资源合理利用与保护以及自然环境免受污染的途径。因此，苏联有关方面加强了二次矿产资源管理方面的立法。

在一系列矿产资源法的指引下，矿产资源既得到了保护又获得了有效利用。

3. 美国

1970年，美国颁布了《资源回收条例》（《Resource Recovery Act》）。1978年又颁布了《资源保护与回收法规》（《The 1978 Resource Conservation and Recovery

Act》)。本法规的基本思想是：低品位废料回收和随后复田要把废料的重新利用与环境保护结合起来考虑。1988年美国环境保护局又就非煤矿山固体废料管理问题颁布了 Strawman I 法案；1990年5月，又颁布了 Strawman II 法案，这两个法案强调了矿山固体废料量大而危害小的准则。同时，美国环境保护局还颁布了矿山与选厂有害废料的排放标准，见表 I—12。

美国矿山与选厂有害废料排放标准

表 I—12

有害元素	As	Cu	Pb	Ni	Zn	SS	²²⁶ Ra	PH
毫克/升	0.5	0.05	0.20	0.50	0.20 (选厂) 0.50 (矿山)	20	3.0 微微居 里/升	6.0~9.0

注：SS—悬浮固体(suspended solids)

美国各州对二次矿产资源管理均有立法。例如1988年5月，纽约州把可回收资源的分选以及开发可回收资源市场的固体废料综合管理议案纳入法律。这项新法律规定了一项固体废物管理作法的州政策。到1992年9月底，将要求每个市政府制定废物分选计划。同年6月，美国环境保护局颁布了两项有关固体废物的条例，即6NYCRR360与6NYCRR219条例。这两项条例在强调回收方面有助于加强州对固体废物的有效管理。

为了鼓励开发二次矿产资源市场，美国环境保护局颁布了七条政策：

- ①开采贫矿给予补贴或对二次矿物回收给予直接奖励（包括产品价格补贴）；
- ②降低二次矿物的运费；
- ③对二次矿物产品实行减税；
- ④实行使用保证金不退还政策；
- ⑤规定政府各级部门采购再生原料或再生原料制品；
- ⑥实行投资减税并加快分期偿还工业购置设备的成本；
- ⑦严禁将国家规定的物品排入固体废物中去。

4. 加拿大

1974年12月加拿大联邦政府颁布了《关于加拿大矿产政策》（《Towards a Mineral Policy for Canada》）。这部法规明确规定：加强矿产资源保护、开拓二次矿产资源综合利用途径是制定本法规的主要宗旨之一。

通过对上述国家有关二次矿产资源管理法规的了解，可以看出以下四个共同特点：

- ①世界各国都是基于资源保护和自然环境保护方面立法。
- ②法规能促进二次矿产资源的综合利用，如减税、产品价格补贴等优惠政策。
- ③二次矿产资源管理法规与环境保护法配套实施，赋有行政处罚、经济赔偿和法律制裁等效力。

④在法规中，二次矿产资源归入工业废料范畴。法规含有综合治理措施等条款。实质上，二次矿产资源管理法规就是废料管理法规。

三、矿山废碴综合利用需考虑的因素及其技术要求

关于矿山尾矿和废石的综合利用与一个国家的技术发展水平、工农业发展水平、文明程度等有密切关系。一般来说，对废石的利用比较简单，但对尾矿的利用就复杂得多，因此，需考虑的问题也比较多。一般需考虑如下两个问题：

1. 矿山废碴综合利用需考虑的有关因素

矿山废碴综合利用的政策性较强，技术条件亦比较复杂，应根据国家的方针政策，工业与农业的关系，工业建设的条件和基本规定，科学技术水平，国民经济发展的情况和需要，充分合理地利用国家资源及其所生产的产品品种和销售途径等因素综合考虑确定。

综合利用应立足于：用量大、产品销路广、燃料用量少、生产周期短、基建投资省、上马快、力求经济效果显著。

在此应该提出的是，尾矿的综合利用，还是一项新兴事业，特别是对于我国来说，不能只着眼于目前技术经济指标计算盈亏，还应考虑到将来工艺过程的不断革新和改进，产品用途的逐渐推广，经营管理水平的提高，目前虽盈利少，但能做到少占地，不危害农业，达到新利除害的目的，也应大力探索研究，并且兴建相应的企业，以期将来的发展。

2. 矿山废碴综合利用的技术要求

①有用金属或有用矿物的含量极微，预计在较长的年限内在选矿技术上尚无回收价值；

②不含有放射性元素或含量极微，如用以作建筑材料，其放射性剂量不致危害人体健康；

③物理化学性质和矿物组分（包括有益组分和有害组分），基本符合于利用途径的要求；

④在利用尾矿之前，对其所含选矿药剂和油类，应采取适当措施妥善处理；

⑤利用尾矿制作建筑材料时，必须注意回收尾矿中所含微量的有用金属和稀贵元素；

⑥在利用尾矿时，应对尾矿进行化学成分的全分析。视利用途径的需要，同时对其比重、容重、孔隙率、压实系数、渗透系数、水解难易程度等参数进行测定。

另外，在综合利用尾矿时，由于尾矿中含有某些物质（如硫、铁等），若用于生产某些产品（如玻璃、水泥）时，既影响了生产的产品质量，又不能回收有益元素（含金属元素的矿物），造成了资源的浪费。若在综合利用之前，将有益元素先综合回收，同时将有害元素（如硫等杂质）除去，这既综合回收了有用矿物，又保证了尾矿生产的产品质量。如果为了利用尾矿需采取有效措施，同时，选出的杂质又不能利用，此时，则可考虑将所选出的杂质部分予以堆存，待将来再回收利用，这样既保证了生产某种产品时原料的质量，又减少了尾

矿的堆存。因此，尾矿的综合回收工作做得越好，则对尾矿用于建筑材料越有利。

四、有色矿山废渣综合利用状况

1. 利用基本情况

世界各国都存在矿产资源日趋减少、品位不断下降等问题。十九世纪铜矿开采品位为10%，如今只为 $\geq 1\%$ 。目前，品位0.5%、储量100~1000吨的有色金属矿；品位0.1%~0.2%、储量10~100吨的汞、铋、钼矿；品位0.0005%、储量0.01~0.1吨的铂、金矿等均列入了开采范围。除了从矿石中提取一次组分外，还从矿产废弃物中回收有用组分。

如以目前世界各国生产增长的速度估计，到2000年全世界将采出现已查明的镍、钴矿储量的50%，铅、锌、钨矿储量的90%。据预计，下世纪西欧各国矿产自给率仅为24%，而日本只有6%。目前美国镍、汞和锡依靠进口的比例为70%，锌为64%；德国为：镍100%，锡、锌和铜65%~69%，铅53%。

据统计，目前每年从废弃物中回收的金属在当年各金属总产量中所占的百分比为：金15.9%、银47.2%、铜28%、铅50%、汞20.6%、镍19.1%、锡20%、锌28%。就美国而言，1986年再生资源占资源消费量的比例是：铜53.9%、铅49.1%、锌36.7%、锡24.8%（1982年消耗的约4万吨锡中，从废弃中回收的1.4万吨，占35%），镍21.3%、钨24.9%、铋52.3%、金40.3%、银38.7%。

就产锡国来说，开采的锡矿石品位已大大降低，而从大量的废料中回收锡的工作得到迅速增长（如表I—13）。

从二次原料中生产锡统计 (t)

表 I—13

国家	1970年	1975年	1979年	1980年	1981年
美国	$\frac{2600}{17700}$	$\frac{1700}{14200}$	$\frac{1800}{19700}$	$\frac{1700}{11300}$	$\frac{1700}{/}$
比利时	$\frac{250}{1150}$	$\frac{240}{660}$	$\frac{240}{2060}$	$\frac{240}{/}$	$\frac{240}{/}$
英国	$\frac{2500}{7000}$	$\frac{900}{2500}$	$\frac{2300}{3400}$	$\frac{1300}{3490}$	$\frac{1300}{/}$
联邦德国	$\frac{1000}{3900}$	$\frac{1000}{3900}$	$\frac{1600}{3800}$	$\frac{1620}{3800}$	$\frac{1250}{/}$
法国	$\frac{1500}{/}$	$\frac{700}{/}$	$\frac{200}{/}$	$\frac{200}{/}$	$\frac{/}{/}$
日本	$\frac{200}{4600}$	$\frac{50}{5800}$	$\frac{/}{5800}$	$\frac{/}{/}$	$\frac{/}{/}$

注：分子为精炼锡数量，分母为合金及化合物中的锡。

目前,我国也是如此。中晚期矿山增多,生产能力消失加快。有色金属直属矿山大都建于五十、六十年代,有一部分具有百年以上开采史的超期服役的老矿山。由于资源枯竭,生产能力不断消失,“七五”期间已有42个坑口闭坑,消失年产金属10万吨的生产能力。按1990年末保有工业储量划分和对122个矿山的统计,开采寿命不足十年的就有47个,预计“八五”期间还将有31个坑口闭坑,消失10万吨金属的生产能力,平均每年消失2万吨。

鉴于这种严峻现实,世界各国特别是发达国家对矿产废弃物的回收利用倍加重视。

再以苏联为例,有色矿山尾矿、废石回收利用预计高达30%,详见表 I—14。

苏联有色矿山尾矿、废石产量与利用量 ($\times 10^3$ 米³)

表 I—14

有色矿山	铝	铜	铅-锌	钨-钼	钨-钼	汞-铋	钨
1985年	43.1/18.0	67.7/9.8	15.3/0.6	42.1/7.9	41.5/1.2	4.3/1.1	0.6/0.08
1990年	46.9/25.0	69.4/4.0	8.2/0.6	35.9/9.2	35.9/1.5	4.2/0.1	0.6/0.15

说明:分子为尾矿、废石年产量,分母为年利用量

苏联把二次矿产资源划分为三类,以作为综合开发的对象,即:

①难选矿石;

②表外矿石;

③采、选、冶的废料。

就二次矿产资源的综合利用问题,苏联有色冶金工业部什瓦尔茨提出一种无尾矿流程(图 I—2)。该工艺流程包括矿石选择破碎和分选富集金的细粒级和含金量低于边界品位的粒级的破碎产品,可用作铺路的碎石。细粒级矿石可随选矿尾矿、粘合剂和氰化钠碱性溶液粒化。烘干堆成矿堆并用返料溶液浸出。金属饱和溶液用活性炭去吸附,而冲洗尾矿和消毒尾矿用铁路运往矿山,作固体充填混合物惰性填料,以部分或全部替代专门采出的轻石砂。计算结果,金属回收成本比用现行流程低30%~40%,且大大减少了尾矿堆存开支和环境的破坏。

我国在矿产资源的综合利用方面也做了不少工作,特别是近年来,我国很重视对矿产资源的综合开发和综合利用,并已取得了较大的成绩,现在已可综合回收50多种有价值元素。

白银有色金属公司,对矿石中的17种有用元素已能回收利用14种,该公司30多年来,使产品品种由几种增加到十几种。到1984年底,产品累计总产值达50亿元,其中综合利用产品的产值12亿多元,并已初步形成综合利用体系。

金川公司选厂于1970年在每个生产系列增加24槽7A浮选机延长浮选时间的基础上,于1976年又建成尾矿脱泥—磁选—浮选工艺,以后又在24槽浮选机前增加脱泥作业,从而形成了主流程尾矿进行再选的脱泥—浮选—磁选—浮选工艺。至1981年,已从中国收镍金属达2700多吨,铜1100多吨,共获经济效益533.64万元,同时,为了解决选厂尾矿对环境的污染,并节约原材料,“七五”期间,开展了“全尾砂下向胶结充填技术及设备”的研究。

大冶有色公司近年来通过开展综合利用现已能回收10多种产品,年产值达2222万元。