

金川镍矿废弃物在充填采矿中利用现状与展望

杨志强^{1,2}, 王永前², 高谦¹, 王虎^{1,2}

(1. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083;

2. 金川集团股份有限公司镍钴资源综合利用国家重点实验室, 甘肃 金昌 737100)

摘要:金川镍矿深井与贫矿充填法开采面临采矿经济效益和环境保护压力。利用废弃物开发低成本和高性能充填胶凝材料,对于提高采矿经济与社会效益与金川矿山可持续发展具有重要意义。首先,调查金川公司废弃物现状及资源化利用存在的问题;然后,总结分析金川矿山废弃资源开发利用研究进展与技术进步成果;在此基础上,提出金川固体废弃物在充填采矿中资源化利用的技术途径及关键技术,并给出在金川矿山充填采矿中资源化利用研究技术路线;最后,展望金川矿山实现废石、废渣、尾砂等固体废弃物资源化利用经济效益与发展前景。

关键词:金川镍矿;二次资源;利用现状;充填采矿;资源化利用;技术途径

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.03.003

中图分类号:TD863 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2017)03-0022-07

金川镍矿床是我国最大、世界第三大硫化铜镍矿床,已探明资源储量5.64亿t,镍金属储量550万t。矿床从东向西划分为IV、II、I、III四个矿区。

金川硫化铜镍矿床埋藏深、地应力高、矿体厚大不利于开采。通过采矿技术攻关与工程实践,探索出与之相适应的下向分层进路式胶结充填采矿法,并以水泥作为胶凝材料和棒磨砂作为充填骨料,采用1:4高灰砂比和78%高浓度料浆实施管道自流输送充填技术,因此充填材料成本高达157.84元/m³。作为我国最大的镍钴生产基地、铂族金属提炼中心和全球知名的采、选、冶配套的大型有色冶金化工联合企业,金川集团公司在生产过程中排放出大量废石、尾砂、废渣、粉煤灰、脱硫灰渣等废弃物堆放地表,不仅占用大量土地,而且恶化生态环境,给矿山带来严峻环境问题。

金川企业历来重视金川资源开发利用,尤其在金川集团股份有限公司成立以来,紧紧围绕镍钴资源的综合利用,开展了一系列开发研究工作,大力实践循环经济,已经取得了显著成效,资源综合利用能力不断提高,节能减排成效显著。在“十一五”期

间,针对金川千米深井和低品位难处理贫矿的开发利用,开展了大型矿床深部开采综合技术和铜镍冶炼渣资源经济利用技术的国家科技支撑项目研究,建成了金川铜镍多金属矿资源综合利用示范基地,在低品位难处理贫矿开发和综合利用、大型难采矿床安全高效和低耗开采、废弃物在充填采矿中的综合利用等方面研究获得了突破性进展,不仅减少矿山废弃物排放量,而且还显著降低了充填采矿成本,提高了采矿经济效益和社会效益,促进了金川企业的可持续发展。

金川集团在各个不同的生产运行过程中,由于技术、经费等原因,采、选、冶等工艺技术欠先进、装备规模小和效率低,镍钴资源的综合利用水平相对较低。尤其在一期工程,大量镍铜及贵金属分散到各种中间物料中,影响金属资源的回收利用。同时,在生产过程中产生大量废石、尾砂、废渣、废气以及工业及生活垃圾等二次资源。金川集团已经投入巨资,开展了二次资源综合利用技术开发和工业化应用研究,且已经取得了成效,但由于在技术、效益以及投资等因素影响,金川二次资源的回收利用仍

收稿日期:2015-12-22

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)(SS2012AA062405),镍钴资源综合利用国家重点实验室资助项目(金科矿2015-01)

作者简介:杨志强(1957-),男,教授、博士生导师,主要从事金属矿充填采矿技术与废弃物综合利用等方面研究。

通讯作者:高谦(1956-),男,教授、博导,Email:gaoqian@ces.ustb.edu.cn

存在诸多问题。

1 金川废弃的二次资源利用现状与存在的问题

金川矿山废弃的二次资源主要包括矿山废石、选矿尾砂、镍铜火法冶炼炉渣和热电厂脱硫灰渣等。另外还有少量的铜冶炼白烟灰、镍精炼渣、铜电解渣、稀贵提炼渣、钴产品渣、硫酸系统渣、镍盐渣等。

1.1 金川废弃的二次资源调查^[1]

(1) 矿山废石。主要来自三个生产矿山和矿山工程分公司在采矿、井下基建和工程掘进与返修等工程中产生的废弃物。2011年,金川矿山产生的废石总量达到202.5万t,随着金川矿山采矿生产能力逐年提高,预计到2015年底达到1000万t,因此矿山废石排放量每年将以超过130万t的数量排放。龙首矿自1962年至今,废石全部运输至地表堆存在西部露天坑坑底和东部废石堆石场。其他矿山生产产生的废石均在地表废石堆石场堆放。

(2) 选矿尾砂。在矿石选矿加工过程中,尾矿产率在85%以上,1965年至今,尾矿分别存储在3个尾矿库中。第一尾矿库库存尾矿量达到3836.83万t,尾矿镍、铜品位分别为0.25%和0.30%。第二尾矿库从1991~2009年累计堆存尾矿量达到5946.06万t。第三尾矿库一期(南库)于2009年4月投入使用,每年堆存尾矿量为650~690万t。截止到2011年底,金川矿山产生尾矿累计达到11125.16万t,每年排放尾砂将超过500万t。

(3) 镍铜冶炼渣。火法冶炼过程中产生的渣主要有反射炉炉渣、合金炉炉渣、闪速炉水淬渣、顶吹炉水淬渣和铜炉渣等。镍冶炼熔铸反射炉每年产生炉渣10300t,反射炉每年产生烟灰2100t。镍冶炼熔铸合金炉每年产生炉渣1800t。自1963年采选冶系统投产到2012年末,累计堆存铜镍冶炼渣量达到3300万t,每年以160万t的速度增加。

(4) 热电厂脱硫灰渣。金川集团公司热电厂生产过程中的中间物料有粉煤灰和灰渣。粉煤灰来自锅炉烟气收尘系统,2011年产生粉煤灰11.528万t。而半干法脱硫每年产生脱硫灰5.33万t、脱硫渣3.72万t。

1.2 二次资源综合利用进展及存在问题

(1) 尾砂二次资源回收利用研究进展

由于不同时期的选矿工艺技术上的差异,选矿尾砂中的金属品位差别较大。矿山选矿尾矿产出量

以及不同时期的选矿尾矿中的金属品位见表1。由此可见,截止到2011年底,金川矿山累计产生尾矿11125.16万t,含镍金属量26.36万t,铜金属量31.32万t。尾矿中还含有Co 0.017%、Fe 9.90%、S 1.63%、MgO 27.79%、CaO 3.09%、SiO₂ 36.41%和Al₂O₃ 7.77%。尤其一期工程贵金属回收率较低,尾矿中贵金属含量相对较高。相当于一个多金属的铜镍矿,无论是金属、贵金属还是非金属,其经济价值十分可观。

表1 金川矿山选厂尾矿调查表

Table 1 Mill tailings reserves and copper nickel metal grade of the tailings in Jinchuan mine

年份	处理原矿 /万t	产出尾矿 /万t	尾矿产率 /%	镍品位 /%	铜品位 /%
1965~1990	4463.31	3836.83	85.96	0.25	0.30
1991~2009	7049.63	5946.06	84.35	0.23	0.27
2010~2011	1552.74	1342.27	86.44	0.23	0.28
合计	13065.68	11125.16			

金川集团多年来一直在探索尾矿资源的综合利用技术途径,在尝试再选法、微生物浸出法、酸浸法、尾矿库生态复垦、矿山充填、生产建材等研究中也取得一定成果,但总体上资源综合利用程度还相当低。2006~2008年利用旋流静态微泡浮选柱技术,进行了“尾矿再选半工业试验”、“机-柱联合浮选半工业试验”和“浮选柱全流程分选半工业试验”。其中采用浮选柱直接选别尾矿和代替二段浮选机选别技术取得了较好效果。试验结果表明,利用浮选柱比浮选机二段精矿含镍品位提高了1.24%,精矿氧化镁含量降低了2.03%。浮选柱尾矿镍品位降低了0.03%,对原矿镍、铜回收率分别提高了1.86%和2.08%。

2010年3月启动了金川选矿尾矿资源化治理技术攻关,利用金川冶炼烟气净化产生的300万t/a稀硫酸(浓度5%),对选矿尾砂进行金属浸出试验。两年多的室内试验和工业试验结果表明:对于经过长时间自然氧化后的选矿尾砂,镍和铜金属浸出率超过75%,但对自然存放时间较短的第二尾矿库中的尾矿,金属浸出率小于35%。由此可见,采用酸浸回收尾砂中的金属,仅可回收第一尾矿库中经过长期自然氧化后的尾矿资源回收,难以回收利用存放时间较短的第二尾矿库中的尾砂以及近年来排放的尾砂。

(2) 尾砂资源综合利用存在的问题

金川矿山每年产出大量尾砂排放到尾矿库中堆

放,并随着矿山生产能力的逐年提高,尾砂排放量逐年增加。无论是一期工程还是二期工程,选矿尾矿均含有可回收利用经济价值较高的有色金属,而目前对尾砂中的有价资源的综合利用仍存在诸多技术难题:

① 酸浸尾砂利用问题。金川地区地处高寒地带,气温常年偏低,不利于细菌对金属的浸出,酸浸回收尾矿金属仅适用于经过长期自然氧化的第一尾矿库的尾砂。因此,对于第二尾矿库以及每年排放出的大量尾矿砂难以实现有色金属资源的回收利用,是金川矿山尾砂二次资源综合利用面临的首要技术难题。

② 经过自然氧化后的尾矿在采用酸浸技术回收有价金属后仍将排放大量的选矿尾砂。这些尾砂如果难以利用堆放处理,仍存在占用土地,污染环境和潜在安全隐患。针对酸浸尾砂中含有酸性物质,作为矿山充填材料在充填中的应用,是金川矿山实现浸出尾砂资源化利用的重要研究课题。

(3) 镍铜火法冶炼炉渣综合利用存在的问题

金川公司火法冶炼过程中的渣主要有反射炉炉渣、合金炉渣、闪速炉系统水淬渣、顶吹炉系统水淬渣和铜系统炉渣等。镍冶炼熔铸反射炉每年产生炉渣 10300t,主要有用成分及含量有: Ni 10%, Cu 0.4%, Co 0.5%, S 2.3%, 返回闪速炉和顶吹炉循环处理。反射炉每年产生烟灰 2100t,其中含 Ni 8.5%, Cu 0.5%, Co 0.1%, 返回顶炉循环处理。镍冶炼熔铸合金炉每年产生炉渣 1800t,主要有用成分及含量有: Ni 10%, Cu 0.3%, Co 0.7%, S 3%, 返回闪速炉和顶吹炉循环处理。闪速炉系统水淬渣、顶吹炉系统水淬渣、铜合成炉渣、电炉渣等属于冶炼弃渣采用露天渣场堆放。金川集团公司自 1963 年冶炼系统投产至 2011 年底,累计堆存铜镍冶炼渣 2900 万 t,其中渣中含铁 1070 万 t、镍 5.5 万 t、铜 7.3 万 t、钴 2.2 万 t。

为了实现火法冶炼炉渣资源化综合利用,自 1987 年起,先后与国内多家单位合作,共同开展技术攻关。尤其 2009 年金川集团与中国恩菲工程技术有限公司和北京科技大学合作,开展了“铜镍冶炼渣资源化经济利用技术研究”的国家科技支撑计划课题研究,进行了冶炼炉渣还原提铁工艺与装备研究、半自熔渣冶炼技术和二次渣综合利用研究,形成了全套镍铜冶炼渣资源综合利用产业化技术^[2]。2012 年 9 月 14 日建成了目前世界上单系统规模最

大、装备水平高、技术指标优和经济效益好的铜渣选矿生产线-金川集团公司 110 万 t/年铜炉渣选矿工程^[3],每年产生 66 万 t 铜渣尾砂。因此该工程排放铜渣尾砂的资源化利用,也是金川公司解决的技术难题之一。

(4) 热电厂灰渣资源综合利用存在的问题

金川集团公司热电厂热电生产过程中的中间物料是粉煤灰和脱硫灰渣。粉煤灰来自锅炉烟气收尘系统,每年产生粉煤灰 11.5 万 t 左右。同时烟气干法每年脱硫产生脱硫灰 5.33 万 t 和脱硫渣 3.72 万 t。由于粉煤灰是由大部分具有火山灰性质的活性材料、碳粉及挥发性等惰性物质组成。化学成分与粘土相似,主要成分为 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO 等,因此金川热电厂的粉煤灰由金泥集团定期拉运做水泥活性添加剂,不收取费用,基本全部回收利用。但脱硫灰渣由于目前对其资源化利用尚无技术途径,因此除了周边砖厂、建筑工地等拉运少部分外,其余大部分拉运到在指定地点倾倒堆放处置,仅每年的拉运费就达到 300 万元。可见,资源化和高附加值利用粉煤灰和脱硫灰渣,也是金川集团公司亟待解决的技术难题。

2 废弃物在充填采矿中应用研究与进展

金川镍矿是一座深埋、破碎和高地应力极难采矿床,不得不采用生产能力低和采矿成本高的下向分层胶结充填法采矿。为了降低充填采矿成本和无废绿色开采,金川公司十分注重废弃物在充填采矿的资源化利用研究和矿山生态环境建设,为金川废弃二次资源循环经济利用进行研究与探索^[4-5]。

2.1 选矿尾砂膏体充填技术

尾砂作为金川矿山资源开发的大宗固体废弃物,在充填采矿中的应用是重要的途径之一。为此,金川矿山早在 20 世纪 90 年代在我国首次开展尾砂膏体充填采矿技术研究^[6-16],涉及的关键技术包括充填材料的优化配比、膏体料浆流变特性研究以及管道减阻输送技术。

周成浦等开展了流态混凝土与全尾砂膏体充填料的流变特性研究,采用不同外加剂膏体流变特性试验,分析了三种减水剂对膏体管道减阻输送效果。研究结果表明,膏体浓度和粒级组成是影响流变参数的两个主要因素。在尾砂中加入水泥、粉煤灰等细粒料能够使料浆的剪切应力、表观黏度、阻力系数下降。掺加平均粒径为 0.07 μm 的硅粉超细粒物

料,不仅能够显著改善膏体的可泵性,而且还提高了充填体强度。同时,从输送管道的管壁壁面添加减阻剂和采用水泥浆高速活化搅拌技术,均能够改善膏体的泵送条件^[6]。针对膏体料浆的性能,王正辉开展了膏体充填料的工程检测与判别方法。结果表明,对膏体性能参数影响的主要因素是粗粒、超细粒物料含量和膏体浓度,提出了以“坍落度+分层度”为主、以“浓度+黏度”为辅的膏体特性检测与判别方法^[7-8]。刘同有等开展了金川全尾砂膏体物料流变特性研究,提出了高浓度全尾砂充填料浆的流变特征属于宾汉体模型^[9]。党明智和李云武等开展了膏体料浆充填工业试验研究,研究膏体工业充填技术与工艺^[10-11]。张秀勇和武控军等开展了膏体管道输送可泵送性以及沿程减阻损失的工业试验,从而为膏体工业充填设计和水力坡降计算提供了理论依据^[12-13]。针对金川矿山膏体充填在理论分析和工业充填试验中存在的问题,杨志强等总结了金川镍矿尾砂膏体充填采矿技术进步与研究展望,概括了金川镍矿尾砂膏体充填技术改造与应用研究成果^[12-16]。根据大量的理论和工业试验研究,完善了金川矿山膏体充填技术,实现了每年20万m³的膏体充填设计生产能力。

2.2 矿山废石粗骨料充填采矿技术

针对金川矿山充填工艺,开展了废石粗骨料在充填采矿中的应用研究。结果表明,采用废石与戈壁砂的混合粗骨料,从而提高了胶结充填体强度,能够在满足下向进路式采矿胶结充填人工假顶强度要求的前提下,降低胶凝材料用量和提高充填采矿效益。同时,混合粗骨料膏体的可泵性、流动性、稳定性好,属典型的高流态自密实低标号混凝土,更适应下向进路式采矿工艺特点。实施废石破碎集料管输充填采矿技术,将废石骨料以“磨”改为“破”、不仅解决了金川充填材料面临的供需矛盾以及充填采矿经济效益差的问题,还是向现代化无废矿山发展迈出了坚实一步,具有环保经济效益意义^[17-19]。

废石作为混合充填料在充填采矿中应用涉及废石充填浆体制备与管输流变特性、废石-全尾砂高浓度充填料浆搅拌方式和废石-全尾砂高浓度料浆泵压管输充填系统三个方面的研究。张宗生等开展了废石与全尾砂混合料膏体制备与流变特性研究^[20-23]。结果表明,将废石破碎到一定粒度,与胶结剂和外加剂等进行有机组合,能够配制满足下向胶结充填人工假顶强度要求的废石低标号混

土。通过试验研究获得了成本低且符合金川矿山充填工艺要求的合理配比为:废石充填料浆重量浓度范围为77%~80%,水泥耗量达到260 kg/m³,废石和尾砂配比为6:4~6.5:3.5。此配比的充填体强度满足矿山设计要求,膏体塌落度为19~23 cm,满足可泵性要求,且料浆无分层离析现象,比棒磨砂-分级尾砂膏体充填工艺中的水泥用量减少50~70 kg/m³,材料成本降低31~36元/m³。苑雪超等进行了废石胶结充填料浆搅拌方式研究^[24-26],结果表明,对于废石胶结充填工艺,较佳搅拌时间为170 s,最佳搅拌线速度为1.5 m/s,由此获得的砂浆密度相对误差仅为0.31%。充填料浆质量能够满足金川二矿区充填量的要求。姚维信等进行了废石-全尾砂高浓度料浆泵压管输充填系统研究^[27-30]。通过对矿山充填骨料和混凝土骨料级配的研究,指出了采用泰波(Talbol)法进行矿山单一粗粒级充填骨料的级配分析和优化,同时对现用棒磨砂级配及棒磨砂高浓度料浆的配合标准进行分析,找到了现用-5 mm棒磨砂级配不佳和充填料浆配合比不合理,是棒磨砂高浓度自流充填水泥用量大而充填质量差的原因所在,为金川矿山改进棒磨砂充填设计提供了理论依据。

2.3 利用废弃物开发充填胶凝材料

充填胶凝材料占充填采矿成本的1/3~1/2,利用废弃物开发金川矿山新型充填胶凝材料,不仅可以降低充填采矿成本,而且还能够实现废弃物资源化和高附加值的综合利用。结合金川矿山的废弃物以及充填采矿方法,杨志强等探讨了金川矿山充填采矿固体废弃物综合利用的关键技术^[31]。在此基础上,分别进行了粉煤灰、脱硫灰渣和磷石膏在新型充填胶凝材料中试验研究^[32-35]。结果表明,粉煤灰是水泥的良好掺含量。当水泥的粉煤灰掺量不大于13%时,由此获得的胶结充填强度能够满足金川矿山的设计要求。脱硫灰渣和磷石膏废弃物可以作为基于矿渣微粉开发新型充填胶凝材料的复合激发剂。但由于灰渣和磷石膏的掺量一般控制在15%以内。在新型充填胶凝材料开发中,合理确定脱硫灰渣和磷石膏掺量,不仅可以提高胶结充填体强度,而且还可以降低充填体的沉缩率,从而开发出具有微膨胀的胶结充填胶凝材料,从而有利于采场充填接顶。王佳佳和杨志强等结合国家支撑计划项目,开展了利用金川镍水淬渣开发充填胶凝材料的研究^[36-37]。结果表明,适当提高镍水淬渣的粉磨细

度,并采用碱盐复合激发剂激发,能够获得满足金川矿山充填法采矿对充填体 7 d 和 28 d 的强度要求,但充填体的 3 d 强度较低,不能满足矿山设计强度。

成功开发充填胶凝材料,不仅取决于可以利用的粉煤灰、水淬渣等火山灰材料的物化特性,而且与所选择的碱或盐激发剂材料的矿物组成密切相关。同时,充填集料的物化特性与颗粒级配,也影响新型充填胶凝材料胶结充填体力学特性的重要因素。针对金川矿山棒磨砂充填料,杨志强和王有团等利用金铁水淬渣作为主要材料,开展了生石灰、脱硫石膏、水泥熟料和工业芒硝的复合激发剂正交试验研究,由此获得了满足金川矿山充填法采矿的新型充填胶凝材料^[38-39]。田立鹏和杨志强等针对金川棒磨砂与全尾砂混合充填料,进一步开展适用于金川矿山充填法开采的胶凝材料^[40-42]。结果表明,由于棒磨砂和全尾砂是两种粒径级配差别显著的粗细骨料,采取合理的配比能够制备出连续级配的充填混合料,由此开发的新型充填胶凝材料的胶结充填体强度性能更好,尤其早期强度更优。肖柏林等开展了利用粉煤灰替代矿渣微粉的新型充填胶凝材料的开发试验^[43]。结果表明,掺加少量的粉煤灰,不仅不影响胶结充填体强度,而且还有利于提高充填料浆的流动性。

3 充填采矿废弃物资源化综合利用途径与关键技术

3.1 废弃物利用主要问题

针对金川矿山充填采矿技术存在的成本高和效益低的问题,在不同时期分别开展了棒磨砂-全尾砂混合集料膏体充填采矿技术、废石-棒磨砂混合粗骨料充填采矿技术以及利用新型充填胶凝材料开发研究。为了实现废石、尾砂、棒磨砂混合充填料和新型充填胶凝材料的资源化综合利用,近年来,金川集团二矿区和龙首矿开展的废石和胶凝材料工业充填应用研究已经获得显著成果。但在工程应用中也暴露以下几个主要问题:

(1) 废石粗骨料粒径大,料浆离析严重,充填体强度低,整体稳定性差,并潜在堵管、爆管风险。

(2) 掺加粉煤灰的水泥胶凝材料,降低胶结充填体早期强度,导致粉煤灰用量受到严格限制。

(3) 脱硫灰渣、铜渣尾砂和磷石膏等具有低活性的物料,由于研究工作较少,目前尚无利用。

(4) 泡沫砂浆充填技术在三矿区进行试验研

究,但增加了充填工艺,目前在矿山尚未得到推广应用。

由于废弃物在充填采矿中的工业化应用尚存在问题,导致二矿区在 2014 年仅完成 18 万 t 的废石充填任务,与预计充填废石 25 万 t 充填计划相差甚大。

3.2 废弃物利用途径

实现充填料浆高浓度充填,是解决粗骨料充填料浆分层离析的主要途径,也是提高粗骨料胶结充填体早期强度必由之路。针对金川废弃物在采矿中综合利用存在的问题,提出了“以优化废石混合粗骨料级配和新型充填胶凝材料特性为主要技术措施,建立以料浆浓度为优化目标,以充填体设计强度为约束条件的固体废弃物资源化综合利用的优化模型”,从而提出了如下技术途径:

(1) 优化废石-棒磨砂-掺合料混合充填料粒径级配。充填料的粒径级配对充填料浆的流动性、稳定性和充填体强度均产生重要影响,优化“废石、棒磨砂和掺合料”三组分混合料粒径级配,从而确定粗、细、粉三种集料的最优配比,获得最佳的级配曲线和最大堆积密实度的混合充填料。同时,还能够发挥低活性掺合料对充填体强度的增强作用以及充填料浆的流动性与稳定性。

(2) 优化固结粉胶凝材料的流变性能。固结粉主要由火山灰质材料组成,因此固结粉充填料浆的流变性优于水泥充填料浆。在此基础上,以固结粉工业化为契机,通过在生产中添加如泡沫剂或减水剂等外加剂,来进一步提高固结粉胶凝材料流变性能,从而增强固结粉充填料浆的和易性与管输特性。

3.3 固体废弃物综合利用关键技术

实现三组分混合料的高浓度充填采矿亟待研究解决关键技术如下:

(1) 混合充填料的粒径级配分析与配比决策优化技术。在废石、棒磨砂和掺合料三种集料粒径级配分析的基础上,确定达到最优级配的三种混合料的最优配比是其关键技术之一。

(2) 固结粉和易性改性技术。通过开展在固结粉中添加不同类型和掺量的外加剂(如泡沫剂)的流变特性试验,由此选择与之相适应的高效外加剂,并采用在固结粉生产过程中的添加工艺和质量控制,从而提高固结粉新型充填胶凝材料早期强度。

(3) 混合充填料浆设计优化决策技术。采矿安全、技术可靠、经济显著和工艺简单是充填采矿技术

的所追求的目标,而满足矿山充填体设计强度、充填料浆具有良好的流动性及稳定性,并且充填工艺方便简单,是将废弃物在充填采矿中推广应用的基础。由于充填料浆的流动性与充填体强度及稳定性是一一对立的矛盾体,合理解决他们之间的对立关系,是充填料浆优化设计的目标。为此,将以充填料浆流动性作为优化目标,以充填体强度和料浆稳定性作为约束条件,建立固体废弃物充填料浆配比优化设计模型。从而获得满足约束条件的充填料浆的最优流动度。如果该流动性满足矿山自流输送要求,则通过数值仿真和环管试验,研究建立充填料浆管输水力坡度计算模型。否则,调整掺合料类型与配比,重复上述优化设计。

从混合充填料粒径级配和固结粉胶凝材料两个方面研究,提高混合粗骨料充填料浆的流动性,最大限度地提高充填料浆的流动性,来实现高浓度充填,从而解决粗骨料料浆的分层离析问题。

根据矿山充填系统选择灰砂比1:5。在废石、棒磨砂混合料优化设计的基础上,分别掺加铜渣尾砂、脱硫灰渣及磷石膏的三组分混合料的优化设计研究,由此确定在满足矿山安全、可靠和经济条件下最大废弃物掺加量。最后,在管输特性的环管试验和数值仿真基础上,建立充填料浆管输阻力的计算模型。

4 结 论

固体废弃物在充填采矿技术中的资源化利用,是降低金川矿山采矿成本来提高采矿经济效益的重要途径。目前金川矿山在废石、尾砂充填骨料工业化应用已经取得进展,二矿区和龙首矿2015年废石充填量计划20万t。替代水泥的新型充填胶凝材料-固结粉研发和工业化应用也已经获得初步成功,截止2015年5月,在龙首矿累计完成固结粉胶凝材料使用量达到28447.68t,充填体积达到24.6万m³,节省胶凝材料成本达到310万元。如果废石粗骨料与固结粉新型充填胶凝材料在金川矿山进行全面的推广应用,每年可以降低充填采矿成本接近亿元,由此可以获得显著的经济效益和社会效益,从而金川企业的可持续做出贡献。

参考文献:

- [1]金川集团股份有限公司.二次资源调查报告[R].金川:金川镍钴研究设计院,2012.9.
- [2]倪文,贾岩,郑斐.金川镍弃渣资源回收综合利用[J].北京科技大学学报.2010,32(8):975-980.
- [3]金川集团110万吨/年铜炉渣选矿工程竣工投产[J].中国有色金属,2012(19):19.
- [4]梁永顺,索文德.金川铜镍矿资源综合利用和矿山生态环境建设[J].有色金属:矿山部分,2002,54(2):111-113.
- [5]王武名,鲁安怀,陶维东.金川铜镍矿山尾矿砂循环经济研究[J].金属矿山,2006(4):81-84.
- [6]周成浦.流态混凝土与全尾砂膏体充填料[J].有色矿山,1996,25(6):1-3.
- [7]王正辉.膏体充填料的工程检测与判别[J].有色矿山,2000,29(5):11-14.
- [8]王正辉.物料粒度分布对泵送充填膏体性能的影响[J].有色矿山,2000,29(3):21-27.
- [9]刘同有.金川全尾砂膏体物料流变特性的研究[J].中国矿业,2001,10(1):14-21.
- [10]党明智,田维,莫亚斌.高浓度尾砂胶结充填在金川二矿区应用[J].矿业研究与开发,2004(2):73-75.
- [11]李云武.膏体泵送充填技术在金川二矿区的试验研究及应用[J].有色金属:矿山部分,2004,56(5):9-11.
- [12]张秀勇,乔登攀.金川二矿区胶结充填料浆可泵性影响因素分析[J].金属矿山,2010(9):34-37.
- [13]武拴军,辜大志,张海军.降低膏体料浆沿程阻力损失的试验研究[J].采矿技术,2011,11(4):37-38.
- [14]杨志强,高谦,王永前.金川镍矿尾砂膏体充填采矿技术进步与展望[J].徐州工程学院学报,2014,29(3):1-8.
- [15]杨志强,王永前,高谦.金川镍矿尾砂膏体充填系统工艺技术改造与应用研究[J].有色金属科学与工程,2014,5(2):1-9.
- [16]杨志强,高谦,王永前.金川全尾砂-棒磨砂混合充填料胶砂强度与料浆流变特性研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(z2):3985-3991.
- [17]郭慧高,辜大志,邹龙.浅析废石胶结充填技术在金川二矿区的应用前景[J].采矿技术,2011,11(4):39-41.
- [18]王正辉.金川矿山废料胶结充填工艺技术研究[J].采矿技术,2011,11(4):32-36.
- [19]乔登攀,姚维信.现代采矿理念与充填采矿[J].有色金属科学,2011(2):7-14.
- [20]张宗生.金川矿山废石膏体配制与流变特性研究[D].昆明:昆明理工大学,2008.
- [21]乔登攀.金川矿山废石充填浆体制备与管输流变特性研究[D].昆明:昆明理工大学,2009.
- [22]李云武,陈闻舞.全尾砂碎石膏体充填材料试验研究[J].中国矿山工程,2004,33(2):4-6.
- [23]张磊,乔登攀,程纬华,等.金川粗骨料级配与强度分析[J].矿冶,2012,21(2):12-15.

[24]苑雪超,乔登攀.金川二矿废石胶结充填料浆搅拌方式的研究[J].有色金属:矿山部分,2010,62(4):6-10.

[25]范雪超.金川矿山废石-全尾砂高浓度充填料浆搅拌方式研究[D].昆明:昆明理工大学,2010.

[26]乔登攀,姚维信.金川矿山废石-全尾砂高浓度充填工艺试验研究[J].有色金属科学与工程,2011,2(6):57-61.

[27]姚维信.矿山粗骨料高浓度充填理论研究与应用[D].昆明:昆明理工大学,2011.

[28]王晓宇.金川矿山废石-全尾砂高浓度充填料浆管输阻力模型研究[D].昆明:昆明理工大学,2010.

[29]王晓宇,乔登攀.废石全尾砂高浓度充填料浆管输阻力影响因素分析[J].有色金属,2010,62(4):61-65.

[30]张秀勇.金川二矿区废石-全尾砂高浓度料浆泵压管输充填系统研究[D].昆明:昆明理工大学,2010.

[31]杨志强,王永前,高谦.金川矿山充填采矿固体废弃物综合利用关键技术[J].资源环境与工程,2014,28(5):706-711.

[32]杨志强,陈得信,高谦,等.粉煤灰在下向分层胶结充填采矿中的应用试验[J].辽宁工程技术大学学报,2014,33(2):152-156.

[33]杨志强,高谦,董璐,等.基于脱硫灰渣新型充填胶凝材料关键技术[J].采矿技术,2013,13(3):20-27

[34]杨志强,熊良锋,方林,等.利用烧结脱硫灰渣制备新型充填胶凝材料试验[J].有色金属科学与工程,2015,6(1):8-12.

[35]肖柏林,杨志强,高谦.金川矿山磷石膏基新型充填胶凝材料的研制[J].矿业研究与开发,2015,35(1):21-24.

[36]王佳佳,刘广宇,倪文.激发剂对金川水淬二次镍渣胶结料强度的影响[J].金属矿山,2013,(4):159-162.

[37]杨志强,高谦,王永前.利用金川水淬镍渣尾砂开发新型充填胶凝剂试验研究[J].岩土工程学报,2014,36(8):1498-1506.

[38]杨志强,肖柏林,高谦.基于金川棒磨砂充填料开发新型充填胶凝材料试验研究[J].有色金属,2014,66(5):65-68.

[39]王有团,杨志强,王永前.金川棒磨砂新型充填胶凝材料的正交试验研究[J].矿业研究与开发,2014,34(4):27-30.

[40]田立鹏,杨志强,高谦.金川全尾砂新型充填胶凝材料激发剂配比与力学特性研究[J].有色金属,2014,66(5):74-78.

[41]杨志强,高谦,王永前,等.金川全尾砂-棒磨砂混合充填料胶砂强度与料浆流变特性研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(z2):3985-3991.

[42]杨志强,肖柏林,高谦,等.基于金川棒磨砂充填料开发新型充填胶凝材料的试验研究[J].有色金属,2014,66(5):65-68.

[43]肖柏林,杨志强,高谦,等.甘肃某矿山基于粉煤灰-水淬渣的新型胶凝材料开发[J].有色金属工程,2014,4(5):61-63.

Present Research Situation and Prospect of Nickel Utilization of Wastes in Filling Mining Technology in Jinchuan Mine

Yang Zhiqiang^{1,2}, Wang Yongqian¹, Gao Qian¹, Wang Hu^{1,2}

(1. School of Civil and Environmental Engineering University of Science and Technology of Beijing, Beijing, China;
2. National Key Laboratory of Nickel and Cobalt Resources Comprehensive Utilization Jinchuan Group Co., Ltd.,
Jinchuan, Gansu, China)

Abstract: Filling mining method used in deep and lean ore mining is faced with the pressure of economic benefit and environmental protection in Jinchuan mine. It is very importance to be exploit a new cementitious material of filling make use of waste resource that improve the mining economic and social benefits and the sustainable development in Jinchuan mine. First present waste situation and is investigated and the problems of recycling use is analyzed in Jinchuan company; Then the research progress and technical progress and achievements for the utilization of abandoned secondary resources are summarized. On this basis, the resource comprehensive utilization ways and key technologies of solid waste to be used in filling mining technology implementation technology are put forward in Jinchuan company. The research technique route on comprehensive utilization of wastes in filling mining is presented. Finally, economic benefits and development prospects on the comprehensive utilization of waste rock, waste residue of solid waste are prospected in Jinchuan mine.

Keywords: Jinchuan nickel ore; Secondary resources; Utilization status; Filling mining; Resource utilization; Technological ways