

瓮福磷矿矿区资源开发利用探索

贵州宏福实业开发有限公司瓮福磷矿

赵武强 张世亚 李再扬 张茂林

【引言】目前,世界磷矿资源已逐步贫化,磷矿资源不可再生,中国磷矿石已列入我国2010年后不能满足国民经济发展需要的20种矿产之一,现有折标磷矿储量仅能维持我国再使用70年。中国列入国家统计的磷矿石储量133亿吨,大多数磷矿难选难冶,富矿(P_2O_5 大于30%)约占10%,中低品位约占90%,26%以下的低品位磷矿石约占50%,中低品位的矿石含大量杂质,采用常规工艺,很难获得优质磷酸。

贵州属全国磷矿的富矿集中地,已探明的有一定赋存规模的只有开阳、瓮福、织金三大磷矿基地,品位以开阳最高、瓮福次之。

瓮福磷矿位于贵州省中部的瓮安县和福泉市境内,隶属于黔南布依族苗族自治州。处于湘黔铁路北侧,南距湘黔铁路福泉站60公里。

瓮福磷矿是一个特大型海相沉积磷块岩矿床。矿区走向长17.5公里,宽2.5~4公里,面积58km²,划分为白岩矿区和高坪矿区,地质储量8.2亿吨,其中工业储量5.8亿吨。

高坪矿区以钙镁质磷块岩为主(简称b层矿),白岩矿区以钙镁质磷块岩和硅钙质磷块岩(简称a层矿)并存,多元素组成如下表

表1 高坪、白岩矿区原矿多元素分析结果表

矿区	矿石类别	原有储量 (万 t)	P ₂ O ₅	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CO ₂	F
高坪	b	18976.96	26.5	4-8	3-7.5	0.3-0.6	0.3-0.4	10-18	2.2-2.9
白岩	b、a	19048.94	25.73	6-9	4-5	0.4-0.6	0.3-0.5	14-17.5	2.2-2.9
白岩	a	16414.5	24.75	2-4	16-18	2.5-3.5	1.7-1.9	5-7	2-2.2

此外,瓮福磷矿矿石中含有伴生碘元素,最高含量达 0.007%,且其含量与磷矿石品位成反比——即在低品位磷矿中的碘含量反而较高。

1 矿山开采历史与资源状况

1.1 开采历史

瓮福磷矿大规模的地质勘探工作,是从 1974 年开始的,但在 1965 年,白岩矿区的玉华及大塘矿段已经开始开采露头矿。高坪矿区从 1978 年开始有小规模开采,此后小采场遍及英坪、磨坊、小坝矿段,乱挖滥采、资源浪费现象严重。特别是部分高品位矿石资源因不规范开采而流失,剥离物就地排放增大了开采回收的难度。

为了治理整顿好矿业秩序,贵州省政府于 1998 年 10 月 28 日以黔府专议(1998)24 号文作出了《关于确定瓮福磷矿区资源规划调整方案会议纪要》。该文确定:将英坪、磨坊、王家院 3 个完好矿段和穿岩洞矿段 17.5[#]~23[#]勘探线之间,大塘 12[#]勘探线以北,小坝矿段 0[#]线勘探线以北共约 5.6 亿吨磷矿石储量划归宏福总公司开采,小坝 0[#]线勘探线以南约 3794 万吨磷矿石储量由福泉市开采;大塘矿段 12[#]勘探线以南至穿岩洞矿段 17.5[#]勘探线约 9960 万吨磷矿石储量由瓮安磷矿、瓮安县、大信集团三家按各自划分的范围开采。

1.2 现有资源状况

表 2 瓮福磷矿资源情况表

矿段	储量类别	保有储量(万吨)	平均地质品位(P ₂ O ₅ %)
英坪	b 层矿	8550	27.91
磨坊	b 层矿	6285.8	25.86
小坝	b 层矿	3374	22.4
大塘	b 层矿	4706.65	20.02
	a 层矿	3476.35	25.21
穿岩洞	b 层矿	8695.5	27.21
	a 层矿	12825.22	25.87
王家院	b 层矿	4914.19	19.88
b 层矿		36526.14	24.78

a 层矿	16301.57	25.31
现阶段全部资源	52827.71	25

上述资源,按现阶段开采的最高水平的平均贫化率 8%计,采出的矿石平均品位只能在 23%左右,而且矿床属沉积型磷块岩,矿物结晶非常微细,有害杂质 MgO 含量高,属较难选别的矿物。总体说来,整个矿区更是存在“四多、四少”——贫矿多,富矿少;较难选别的矿多,易选矿少;在现有经济条件下坑采量多,适合露天开采的少;开采中贫化损失率高,资源回收率低。

瓮福磷矿区的开发,本着“矿肥结合”的方针进行。一期建设项目内容为,设计采选生产能力 250 万吨/年,首采为最南端的英坪矿段,磨坊矿段接替开采,服务年限 23 年。二期建设穿岩洞矿段。实际上,上述三个矿段都属瓮福磷矿区开采条件好——部分实现露天开采、质量好、可满足企业先期自有资金的积累。后期从技术进步上寻找低品位矿石的综合回收利用的办法,以维持企业对资源需求。

规划设计以英坪矿段为首采矿段,该矿段属沉积型磷矿层,其特点总体是上贫下富,根据地质勘探资料和实际的生产情况可知,随着开采台阶下降,混配后出矿品位在 27%以下的矿石量将大幅度增加;再由于瓮福肥厂项目滞后矿山项目四年左右,使整个公司在矿山建成后,不能按矿山设计规模达产。因而,一方面要保证基建,另一方面要保证生产,按分采分运的方式,外销部分优质矿,从而把低品位矿石配送入选已属必然。长期以来,由于已形成的开采现状,其它矿段的高品位磷矿石(露头及浅表矿)不断被开采利用,剩余矿石即使通过配矿也很难长周期维持初步设计所定的入选品位。

如果我们不研究出开发、利用低品位矿石的有效途径,就会造成对矿产资源的大量浪费,资源量总量将会大幅减少。但如何合理有效开发利用整个瓮福磷矿区的资源是摆在企业面前的重要课题,如何走好持续健康发展的道路更需要我们认真思索。

2 加强科技攻关,综合利用矿产资源

2.1 改造选矿工艺综合利用低品位磷矿石

选矿厂的选矿富集为反浮选工艺,首采矿段系整个矿区的质量最好的矿段,设计入选品位为 $P_2O_5 \geq 30\%$,采用连云港化工矿山设计研究院自主开发的新型捕收剂 PA-31, H_2SO_4 作为调整剂,采场生产的矿石经过配矿后送选。通过试车、试生产证明,英坪矿段的 P_2O_5 为 $(30 \pm 1)\%$ 矿

石具有良好的可选性。但是,我们也发现该工艺存在着严重不足:即当入选的原矿品位 P_2O_5 低于 28%时,生产出来的磷精矿质量不能满足湿法磷酸的要求,因此该工艺的生产条件与我矿的矿产资源现状本身产生了突出的矛盾。

2.1.1 开发新药剂,以降低选矿的入选品位

自 1997 年以来,我们先后对英坪、磨坊矿段,平均品位 P_2O_5 在 25%的矿石进行了大量的实验室实验。试验研究本着服务于生产,在不改变现有生产工艺设备和原则流程的基础上进行,重点从浮选药剂、药剂制度等方面入手,经过多年的努力,于 1999 年上半年用我们自主研发的新型捕收剂 WF-01 在小试验上取得了良好的选别效果。当原矿品位 P_2O_5 为 24.65%, MgO 含量 7.28%,磨矿细度-200 目为 60%时,经过一次粗选,分批加药,泡沫产品直接废去为尾矿,可以获得综合磷精矿品位 $P_2O_5 \geq 35\%$, MgO 小于 1.2%, P_2O_5 回收率在 90%以上,尾矿 P_2O_5 品位小于 8%的良好指标。并于 1999 年 7 月 12 日到 7 月 24 日进行了工业性试验,摸索出了较好的工艺技术指标,取得较好的实验效果。

工业试验成功后,我们开始使用 WF-01 对低品位矿石进行生产,从工业生产的情况看,使用 WF-01 作为捕收剂能够解决我矿存在的大量低品位碳酸盐型磷块岩胶磷矿的选矿问题,它可将 $P_2O_5 > 26\%$, MgO 含量 6—7%的原矿经大工业生产选别得 P_2O_5 34%左右, MgO 1.2%以下的磷精矿。因此,WF-01 的开发利用在充分利用矿产资源方面具有良好的社会效益和经济效益。

2.1.2 通过对浮选流程的整改,进一步稳定了低品位矿石的选别指标

新龙坝选矿厂原浮选工艺为三段粗选和一段扫选。由于入选品位的降低和 WF-01 的投用,我们在工业生产过程中,通过对流程的考查,发现粗二、粗三尾矿品位 P_2O_5 在 8%以下,比设计值 12%小得多,且尾矿产率仅有 5%左右,原有的扫选已没有存在的必要;另外,我们通过小试验得知,如果要进一步降低选矿的入选品位 $P_2O_5 \leq 25\%$,杂质 $MgO \geq 6\%$ 时,必须延长浮选时间,才能得到较为理想的选别指标,表明原有的三段粗选已不能满足浮选对时间的要求。因此,我们决定对浮选工艺流程进行整改,取消扫选,把扫选改为第四段粗选,作为备用。

通过对浮选流程改造后,进一步稳定了低品位矿石的选别指标。当原矿的入选品位大于 25%, MgO 含量小于 6%时,只需开启三段粗选,即可得到合格的磷精矿品;当入选品位 $P_2O_5 \leq 25\%$,杂质 $MgO \geq 6\%$ 时,开启第四段粗选,也可得到较为理想的选别指标。从生产实践证明,对浮选的工艺进行改造是合理可行的,也是必要的。

2.1.3 对加药系统的整改和加药点的调整

2.1.3.1 加药系统的整改

从小试验可以得知,用WF-01作捕收剂,不仅可以降低入选的原矿品位,提高精矿质量,在实验室中硫酸用量在7Kg/(吨·原矿)就可满足要求。但在工业生产中,硫酸用量高达18—20Kg/(吨·原矿)方能满足要求,经考查,我们认为原加酸系统存在缺陷,必须进行整改。

原设计加酸系统是采用钢管直接将硫酸向浮选槽边加水混合后加入,由于硫酸与水混合产生大量的热,混合时间短,酸浓度大且不均匀,造成酸水混合器经常破裂,加之酸中含有大量杂质,易造成酸管及阀门堵塞,加酸量不容易控制,造成加酸量波动大,加酸量的平均值偏高。1999年11月我们完成了酸系统整改方案,并进行了整改。经过改造,加酸量得到了有效控制,达到或接近工艺要求。改造后药剂平均用量为:WF-01=0.233Kg/t原矿, H_2SO_4 =12.33Kg/t原矿。

2.1.3.2 加药点的调整

由于捕收剂的改变,我们对原来的加药点也进行了调整,原来的第一段粗选加酸量大,流程长,只有一个加酸点,因此,容易造成加酸地点结垢严重,矿浆与药剂作用不充分,指标不太稳定,为此,我们对加药点也进行了适当的调整,将原来的加酸点从集浆槽改到搅拌槽,WF-01加药点不变,并在第一段粗选增加了一个加药点,及第一段粗选分二次加药,总药量不变。经过改造,使加药点的布置更加合理,从而使浮选指标更加稳定。

通过对选矿工艺的改造,成功地回收利用了低品位磷矿石,它不但使瓮福磷矿矿区的低品位磷矿石的开发利用有了广阔的前景,而且对我国低品位碳酸盐型磷块岩胶磷矿的开发利用也具有借鉴作用。

2.2 分采分运采矿方法提高了英坪露天开采回收率

2.2.1 英坪矿开采特点

英坪矿段为瓮福磷矿一期工程露天开采的首采矿段,属缓倾斜中厚矿体,其自然类型自上而下分为致密状磷块岩、团块状及砂砾状磷块岩。致密状磷块岩品位高,杂质含量低,是

无需选矿的优质外销矿,销售价格高;团块矿及砂砾状磷块岩品位偏低,杂质含量高,需进行选矿才能用来制磷酸。如果三层矿混采,则加工成本高,达不到最佳,所以存在分采分运问题。英坪矿在近 10 年生产活动中,根据市场需求,对致密状矿石进行分采分运,直接外销,而团块状与砂砾状矿石进行混合开采,用于选别磷精矿。因此,能否实现矿石的分采分运,并保证矿石的贫化损失指标最优化,是英坪矿采矿成败的关键。

2.2.2 采矿方法中的资源回收:

台阶高度 10 米,工作台阶坡面角 65—70°。

采装工作:采用反铲进行顶板残留废石的清理,后用大功率推土机的裂土器分层松动集堆。临近分层处用反铲再行分采,以保证优质矿资源的最大利用。

当致密状矿石采完后,再用推土机将团块状及砂砾状矿石集堆混配送选。

矿石损失与贫化管理——造成缓倾斜中厚矿体贫化损失的主要原因:爆破造成顶板白云岩及底板硅质岩的混入,以及矿体在底板的残留。

因此,英坪矿对于矿体顶板穿孔采用现场质量管理员随钻机现场控制——避免超深,底板穿孔时同样不能穿入底板硅质岩中。

最后是底板残留矿体的清理,根据矿体残留情况,组织液压钻机穿孔,单独爆破,反铲铲装进行送选。

2.3 扩大选矿运用范围,将现有工艺应用到硅钙质磷块岩中

根据化工部连云港设计研究院对高坪和白岩矿区的总体规划及瓮福磷矿初步设计,首采地段为高坪矿区英坪矿段。所以兴建的新龙坝选矿厂主要处理b层矿。而我矿两矿区矿石组成有较大差异,高坪矿区的矿石类型以钙镁质磷块岩(称b层矿)为主,其矿石主要成分 P_5O_2 平均 27%, MgO 6%, SiO_2 4-6%;而白岩矿区 50%为硅钙质磷块岩(称a层矿),其矿石主要成分 P_5O_2 平均 25%, MgO 4%, SiO_2 10-16%,由于矿石的组成不同,在开发利用时应考虑不同的选矿方法或综合配矿使用。

根据企业矿肥发展的总体规划和要求,结合矿山目前生产的实际情况,为了达到矿山的均衡开采和充分利用有限的矿产资源,我矿在矿山投产后就进行了a层矿的选矿试验研究工作。

从小试验得知,白岩矿区a、b层矿混合入选,利用现有的反浮选工艺和选矿药剂,当 $a:b \leq 1:1$ 时,能获得 $P_5O_2 > 31\%$, $MgO < 1.0\%$, $SiO_2 < 13\%$ 、回收率大于 90%的选矿指标;磷精矿品位随着b层矿量的增加而增加, SiO_2 、 R_2O_3 的百分含量随着b层矿量的增加而降低。当 $a:b \leq 1:2.5$ 时,磷精矿中的 P_5O_2 、 MgO 、 R_2O_3 的百分含量才能满足湿法制酸的工艺要求。

为了进一步验证实验结果,同时为湿法制酸提供试验评价的磷精矿,进一步考查药剂消耗指标及浓密系统的生产情况,2002 年 10 月 28 日至 11 月 4 日选矿厂进行了工业试验。从工业试验生产得知,利用选矿厂现有的设备和设施、生产工艺流程,采用混合选矿来处理 a 层矿或a+b 层矿在技术上是完全可行的。完全能够湿法制酸的要求。

从一年的生产实际来看,处理混合矿石与单独处理b 层矿在磨矿方面的成本基本相同,在生产过程中药剂耗量为: $WF-01=0.243Kg/t$ 原矿, $H_2SO_4=12.37 Kg/t$ 原矿,只比单独处理b 层矿的药剂耗量 $WF-01=0.233Kg/t$ 原矿, $H_2SO_4=12.33 Kg/t$ 原矿略高,因此在经济上采用混合选矿也是可行的。

3 所取得的经济效益

3.1 采矿方面

瓮福磷矿采用新型浮选捕收剂WF-01 号代替PA-31,取得了很好的选矿指标,保证了英坪矿高品位矿石的发运及底板矿石的消化。若按原设计值的入选品位(30 ± 1)%计算,则外销优质矿后,中低品位矿石大量滞留采场。1999 年前,滞留在采场的估计在 40 万吨以上。

截止到 2004 年 12 月底,英坪矿共采出矿量 1268.87 万吨,(其中底板回收矿量 70.4 万吨),其中供外贸矿量 363.3 万吨。平均出矿品位 31.46%,供外贸矿品位 $P_2O_5 \geq 34.5\%$,英坪矿开采范围消耗储量 1309.21 万吨,平均地质品位 31.98%。

采矿实际贫化率、损失率指标远远优于设计指标,经计算,实际开采贫化率为 1.63%,开采损失率为 3.08% (设计贫化率 $p=4.77\%$,设计损失率 $Sk=3.75\%$)。

另外,由于外销富矿,入选矿石品位 P_2O_5 比设计降低了 3 个百分点。现在实际入选矿石品位月度平均在 26%左右,选别后的精矿即可满足湿法磷酸生产需求。

据统计,英坪矿共采出高品位矿石($P_2O_5 \geq 34.5\%$) 363.3 万吨,占已采出矿量的 28.63%。取得明显经济效益。仅底板回收矿量即可实现产值 2465 万元(按 $P_2O_5=25\%$ 的[矿石价格](#)为 35 元/t计)。

3.2 选矿方面

通过对[选矿工艺](#)的改造和捕收剂WF-01 的投用,不仅成功地回收利用了低品位磷矿石,而且精矿质量得到了提高,精矿产率提高了 3.48%,回收率提高了 3.08%,硫酸耗量由原来的 19Kg/t.精矿下降到 14Kg/t.精矿,磷精矿生产直接成本由原来的 97.14 元/吨下降到 72.07 元/吨,按年生产磷精矿 190 万吨计算,年节约直接成本 4763.30 万元。

根据新龙坝选矿厂的生产实践和在瓮福磷矿区的技术领先优势,公司决定通过支援地方建立小选矿厂,特别是新型浮选药剂的应用输出,最大限度地提高地方矿产回收率,达到资源综合所用。2003 年,我矿从技术、人力方面支援福泉市新建一个处理 25 万吨/年原矿的选矿厂,经过一年的建设,现已投产,其磷精矿输送管线已并入我矿输送系统中,达到了资源为我所用的目的。现在,其它企业在瓮福磷矿的影响带动下,正着手兴办选矿厂,使瓮福磷矿区的资源综合利用达到了一个新的水平。

采用混合选矿来处理a 层矿或a+b 层矿技术,我矿利用这一技术成功地回收利用了 15 万吨a 层矿生产了湿法制酸所需的合格磷精矿,这一技术的运用,不仅延长了矿山的服役年限,也使国家矿产资源得到了充分的利用。该项目的实施,保证了我矿资源得到了合理使用、均衡生产,提高了磷矿资源的综合利用率。

3.3 矿石回收利用展望

2002 年后,随着总公司磷复肥项目的进展,对原矿的需求迅猛增长。为此我矿利用新型浮选药剂的技术优势,对周边各地方矿段的矿石进行大量回收混配入选,先后从福泉、瓮安和我矿的零星开采点原堆存于坑口或废弃的、 P_2O_5 含量在 20%左右的矿石回收利用,两年时间,利用该类矿石达 20 多万吨。

现今瓮福磷矿已在小坝等地有组织地开展低品位矿石的清理性开采,仅二年左右,回收边角零星矿石 60 多万吨,有力保证了矿石的综合利用。也就是说,在 2002 至 2004 年两年时间内,从英坪主体采场以外供给的矿石总量已达 157 万多吨用于入选,减缓了英坪采场出矿压力。再者,英坪的高品位矿石与小坝的较低品位矿石混配入选,已取得成功。英坪目前入选品位达 29%,可配小坝矿段 23%的品位,按 1:1 的比例,是很经济的。这样一来,现阶段采场内采富弃贫的现象得以杜绝,整个矿区的资源回收率大大提高。

新龙坝选矿厂的工艺改造和新型浮选捕收剂的投用,对整个瓮福磷矿的资源规划产生了巨大的影响,并且,宏福总公司跨越式发展阶段对精矿的需求量 2005 年已达 217 万吨,其中中低品位的原矿入选量达 250 万吨左右,直接利用优质磷矿 30 万吨生产磷酸,实际已形成 320 万吨原矿的生产能力。为此,有了对磷矿资源综合回收利用的领先优势,在一定的资金投入下,合理配矿,提前开发原有的低品位资源,做好高低搭配,是今后生产、研发的主攻方向。最终目的是使瓮福磷矿区的资源得到充分合理的利用。

针对资源现状和地下开采的紧迫性,我矿与化工矿山设计研究院,于 2004 年 8 月,就磨坊矿段 II 号矿体 2+150~5+110 线磨坊河以西范围的开采展开讨论,按该处的资源量、资

源赋存特点及磨坊技改完成后所具备的运输条件,提出在该处按标准建立一座 25 万吨/年的地下开采点,可逐步摸索出缓倾斜中厚矿体开采的特点及资源的综合回采利用课题,并为今后大规模地下开采作技术、人才的储备。现设计已进入施工图阶段。

4 结语

宏福总公司瓮福磷矿经多年的生产实践和技术改造,消化、吸收了化工部化工矿山研究院初步设计的技术,自主开发研制新型浮选捕收剂,并广泛应用于瓮福磷矿浮选试验及生产,极大促进瓮福磷矿区的矿石开采和选矿回收率,带动了整个矿区的采选技术进步,推动了整个经济的发展。随着总公司发展步伐的加快,特别是总公司精细磷化工战略的提出——矿物中各种元素的综合回收利用工作已提上了议事日程(现已通过技改组建 2 万吨/年无水氢氟酸项目组、碘的回收利用也通过相关院企合作在进行试验工作中)。

新型浮选捕收剂的应用为我们提供了广泛的前景。但随着企业对资源的需求量的增加和对不同精矿类别的需求,我们将在磷资源的综合利用方面会面临更大的挑战。我们将有更大的信心,加大技术改造,推动技术进步,促进整个矿区的资源得以回收利用。