

中国西南地区风化磷矿的勘查评价

中化地质矿山总局 田升平 连 卫

一、中国磷矿资源基本情况

众所周知,中国磷矿床以沉积磷块岩矿床为主,绝大部分形成于元古代的晚震旦世和古生代的早寒武世。在构造位置上属于扬子地台西区,在地理分布上主要集中在西南地区的云南、贵州、四川,以及中南地区的湖南和湖北西部,这五省占全国磷矿资源总量的 74.5%,磷矿平均品位 20.22%。

中国磷矿资源丰富,但贫矿多、富矿少却是目前探明磷矿资源的现状。据有关资料统计,截止 2001 年底,全国磷矿资源总量 131.6 亿吨,但富矿储量只有 10.7 亿吨,仅占保有储量的 8%,而有害杂质含量符合生产高浓度磷肥的高质量富矿就更少了。

中国西南地区广泛发育的面型风化磷矿为一种新的磷矿石工业类型。这种风化磷矿石与硅质磷矿、硅钙(镁)质磷矿、钙(镁)质磷矿三种磷矿石工业类型存在明显的差异,它是由含碳酸盐类磷矿经风化作用,碳酸盐矿物流失,磷酸盐矿物相对富集,达到适宜的风化程度而形成的一种高质量矿石。这种矿石 P_2O_5 含量高,选矿效果好,与原生富矿相比,有害杂质含量少,是生产高浓度磷肥的优质原料。

二、风化磷矿以往地质工作程度

(一)以往区域地质工作

工作区内 1980 年前开展过 1:20 万区域地质调查工作,编制了 1:20 万区域地质调查报告及图幅,基本上查明了工作区的地层、构造等地质情况,绝大部分报告及图幅已正式出版。

(二)以往矿产地质工作

1. 截止 1999 年,区内已发现磷矿产地(点)285 个,其中详勘、初勘程度 60 个,详查 26 个,初步普查及不足普查程度 199 个,已探明磷矿石储量 152.47 亿吨。

2. 1991~1994 年,化工部湖北地质勘察院对工作区内湘鄂西东山峰聚磷区的走马矿区风化磷矿进行过详查,探明风化矿储量 635.9 万吨。

(三)以往矿产科研工作

1. 1980.11~1983.11,地矿部跨省成矿远景区划项目《扬子地区晚震旦世陡山沱期磷块岩成矿远景区划》、《扬子地区西部早寒武世成磷区成矿远景区划》,分别对扬子地区晚震旦世陡山沱期、早寒武世梅树村期原生磷块岩的沉积环境、地质特征、矿石类型等作了阐述,对该区原生磷块岩成矿区带进行了划分,并对成矿远景作了预测,“区划”中指出:区内含磷地层为一套海相碳酸盐岩建造;磷矿石以磷酸盐矿物、碳酸盐矿物、硅酸盐矿物为主,矿石风化后, P_2O_5 、 R_2O_3 含量相对升高, MgO 、 CO_2 相对降低。

2. 1987.7~1990.12,“七五”国家重点科技攻关项目《云南滇池地区风化石的开发研究》对滇池

地区寒武系磷矿的风化进行了研究,总结了风化磷矿地质特征,影响风化矿发育的内外部因素,探讨了风化矿形成机理,提出了滇池地区富矿是风化形成的新见解,从理论和实践上论证并确认了风化磷矿是一种新的磷矿工业类型,提出了一系列判别该时代磷矿风化的定性和定量指标。

3. 1991~1994,化工部地质科研项目《湘鄂西东山峰地区风化磷矿研究》对东山峰地区震旦系磷矿的风化进行了系统研究。

4. 1994年12月,曾云孚等编著了国家自然科学基金资助项目(48970114)《滇东磷块岩次生风化富集规律》,对滇东寒武系磷块岩的形成机制,含磷岩系层序地层,风化型矿石的判别指标及磷灰石的富集特征进行了研究。

5. 1995~1996,化工部地质科研项目《中国南方风化磷矿研究》对中国南方云南、贵州、四川、湖南和湖北五省的风化磷矿成矿地质背景、地质特征、形成条件、形成机理、判别方法等进行了系统总结,认为中国南方碳酸盐类磷矿床是风化富集磷矿的找矿远景区。

三、区域地质背景及成矿特征

(一)区域地质背景

碳酸盐类磷块岩是风化磷矿成矿的物质基础,原生磷矿床的地质特征制约着风化磷矿的形成。中国磷矿床以沉积磷块岩矿床为主,绝大部分形成于元古代的晚震旦世和古生代的早寒武世。在构造位置上属于扬子地台西区,在地理分布上主要集中在云南、贵州、四川,以及湖南和湖北西部,含磷地层为一套海相碳酸盐岩建造。

磷块岩主要由磷酸盐矿物、碳酸盐矿物、硅酸盐矿物组成,根据磷块岩中主要矿物组成含量不同,西南地区磷矿大致可分为磷酸盐型磷矿、碳酸盐型磷矿、碳酸盐硅质型磷矿和硅质型磷矿四大类。据初步统计,本区近95%为碳酸盐型和碳酸盐硅质型磷矿,二者统称碳酸盐类磷矿,这类磷矿经风化作用碳酸盐物质容易流失,为磷矿的风化富集提供了重要的物质基础。

(二)区域成矿地质条件

风化磷矿的形成受原生磷块岩矿床的矿石自身特性和矿层(体)赋存的外部条件制约和控制。矿石特性主要表现在组成矿石的矿物种类、含量、稳定性(抗风化能力)以及矿石的结构和构造等方面。它是形成风化磷块岩的物质基础,也是磷块岩产生风化富集的内在条件。研究表明,原生磷矿必须含有一定数量的碳酸盐矿物,才能为磷矿风化富集提供内在条件。外界条件主要包括气候、地形地貌、矿层产状、断裂构造、覆盖层和水文地质条件等,外在条件不充分,如矿层倾角太大,矿区地形太陡等,也不利面型风化磷矿发育。总之,只有适宜的内外条件,才能形成具有单独开采价值的面型风化磷矿。

西南地区的滇池、寻甸、黔中、马边、湘西、东山峰、保康等聚磷区,晚震旦世、早寒武世碳酸盐类磷矿分布广泛,储量巨大,为磷矿层的风化富集提供了内在条件;区内气候湿热,地下水丰富,许多磷矿层倾角较缓,矿体上覆盖层厚度较小,为磷矿层的风化富集提供了外界条件。内外条件的综合作用已形成大量具有单独开采价值的面型风化磷矿。

(三)矿体地质特征

西南地区原生磷矿体主要产于晚震旦世陡山沱期和早寒武世梅树村期,矿体呈层状、似层状出露,矿层产状与地层产状一致。原生磷块岩经受风化作用(主要以化学风化为主),风化过程表现在磷块岩中的碳酸盐矿物分解淋失,磷酸盐矿物相对富集,风化后磷矿层在原地保持原生矿体的层位及层序不变,只是化学组分含量发生了增减,并在矿层(体)和矿石中留下诸多的风化特征。已有研究表明,凡有碳酸盐类磷矿层出露地段都发育有风化矿,仅是风化深度和风化程度不同而已。

西南地区磷矿区风化深度常达 50~100 米,最深可达 300 多米,其风化富集程度由浅至深随着深度的增加而递减,风化富矿体最大厚度达 23.18 米。一般来说,矿区的浅部是风化矿,深部是原生矿或半风化矿。由于风化作用的结果,磷矿石硬度较原矿约降低 2~3 级, P_2O_5 含量相对提高 2%~10%不等,而且难以选除的主要有害杂质镁钙碳酸盐含量降低。

(四)矿石选矿性能

众所周知,沉积型磷矿选矿难度大,成本高,而且所获得精矿质量还往往因为有害杂质含量超标,而不能满足高浓度磷肥生产的要求。风化磷矿不仅经历了一次自然降杂富集,使难以选除的有害杂质大大减少,而且风化矿石中的泥质与磷质团粒粘附不牢,经选矿处理后还可除去大部分粘土和 R_2O_3 型氧化物等其他杂质,获得较理想的磷精矿,成为高浓度磷肥的优质原料。

从云南滇池和湘鄂西东山峰磷矿区大量的选矿试验结果得知(表 1),风化磷矿经选矿处理后, P_2O_5 一般可提高 2%~4%, R_2O_3 含量可降低 0.5%~2.5%。实验表明风化磷矿具有较好的选矿效果。

表 1 风化磷矿擦洗试验结果

样号	P_2O_5		R_2O_3		P_2O_5 回收率
	原矿	精矿	原矿	精矿	
G2003—A2	31.84	33.91	2.01	1.17	90.73
G2206—A7	27.48	30.58	5.88	3.47	82.97
GL—6	25.01	28.29	5.16	3.27	84.75
13	28.00	32.26	4.84	3.01	86.60
16	25.21	32.04	4.78	2.67	73.28
CX1	30.48	32.51	5.13	3.41	92.60
CX5	29.93	31.38	4.21	3.23	85.96
J—21	26.11	29.60	4.23	3.35	94.43
杨 1	21.92	28.87	4.19	2.87	76.19
CA3	28.73	31.56	2.82	2.18	94.83

四、风化磷矿的勘查评价

(一)风化磷矿勘查评价的工作方法

风化磷矿层保持原生矿体的层位及层序不变,只是化学组分含量发生了增减。地质勘探中的常规研究很容易识别矿床是否发育风化矿,原始沉积是否含碳酸盐岩。如:通过地质背景调查、样品观察即可了解矿体是否存在风化;系统的矿石研究(如化学组分分析、岩矿鉴定等)可以查明矿石类型;浅部、深部样品分析结果对比,可以掌握矿石风化程度。对于含碳酸盐类磷矿床,可用化学组分判别标志加以判别,圈出风化矿,进而从中找出富矿。因此,在风化磷矿资源评价工作中,可类比沉积磷矿的地质研究与勘查程度要求,重点考虑其风化富集的特殊性。工作中要注意:

1. 矿体地质研究与矿区地质地理研究并重,地表与深部研究并重,以了解矿区风化矿形成条件,矿体风化程度、风化深度及风化富集规律。这样能在较短的时间内对风化矿体的远景作出评价。
2. 风化矿风化指标(判别标志),通常采用化学组分。为此,在进行资源量推测时,要分浅部、深部采集组合样品,以便更合理的确定风化指标值。
3. 矿石选矿性能是评价风化磷矿的重要指标。凡是风化矿石均有一定的擦洗效果,仅是 P_2O_5

的富集程度与杂质降低程度的差异,原生矿石没有擦洗效果。因此,评价风化磷矿体时,需对风化磷矿的擦洗性能作出评价,必要时需采集选矿实验室试验样。

4. 结合风化指标和矿石选矿性能,合理确定风化磷矿工业指标,圈定风化矿体,估算或推断风化磷矿资源量,其资源量质量最低要求达到国家酸法加工磷肥的最低指标。

(二)风化磷矿风化指标

根据风化磷矿的特征,以化学风化和矿物化学原理为理论基础,可确定一套适合判别碳酸盐类磷矿风化矿的风化指标,即 CO_2 和 $2\text{P}_2\text{O}_5 + \text{H} \cdot \text{P}$ 风化指标。

碳酸盐类磷块岩风化前后,矿石化学组分含量存在明显差异(表 2),利用这种差异可对碳酸盐类磷块岩矿石的风化程度作出定量判断。碳酸盐类磷块岩化学组分变化为风化磷块岩的风化指标确定提供了依据。

表 2 风化与原生磷矿化学成分对比表

省			云南	贵州	四川	湖南	湖北
矿区			尖山	瓮福	老河坝	鼓锣坪	走马
化 学 成 分	浅部 风化 矿	P_2O_5	30.54	37.29	30.70	31.74	29.15
		MgO	0.42	0.25	0.94	0.84	0.84
		CO_2	2.00	4.22	5.15	3.12	0.42
		R_2O_3	2.66	1.35	1.77	2.72	2.61
	深部 原生 矿	P_2O_5	20.37	28.02	21.45	15.90	17.00
		MgO	4.60	5.92	6.21	9.40	7.14
		CO_2	12.30	16.55	18.83	21.86	13.47
		R_2O_3	1.84	0.94	0.82	1.34	1.32

在磷块岩矿石中,组成碳酸盐矿物的三个主要化学组分是 CaO 、 MgO 、 CO_2 。 CaO 具有双重性,既是磷灰石的主要组分,又是碳酸盐矿物的主要组分; MgO 是碳酸盐矿物中白云石矿物的主要组分,不能全面反映磷块岩矿石中碳酸盐矿物的含量; CO_2 是磷块岩中既能全面又是唯一反映碳酸盐矿物的化学组分。为此确定 CO_2 作为风化指标(图 1)。 $2\text{P}_2\text{O}_5 + \text{H} \cdot \text{P}$ 风化指标是用磷酸盐、硅酸盐矿物之和,间接反映碳酸盐矿物组分的多少,从而达到判别风化矿的目的。风化磷块岩中由于碳酸盐矿物的淋失,存在的磷酸盐矿物和硅酸盐矿物互为消长, P_2O_5 和 $\text{H} \cdot \text{P}$ 负相关性极好(图 2),而原生磷块岩中由于磷酸盐、碳酸盐、硅酸盐三类矿物的存在,它们互为联系又互相制约, P_2O_5 与 $\text{H} \cdot \text{P}$ 也呈负相关关系,但其相关程度比风化磷块岩中差,这种差异为“间接法”风化指标提供了依据。

$2\text{P}_2\text{O}_5 + \text{H} \cdot \text{P}$ 风化指标,充分利用了已勘探磷矿床的资料,解决了已勘探矿床中风化磷矿的圈定; CO_2 风化指标只需用一个分析项目,且该分析项目是酸法加工磷肥用磷矿专业标准技术要求中的必要参数,该指标可用于新的勘探矿区。两个风化指标具有区域性、普遍性、简便、标志清楚、数值稳定、变化区间小等特点,而且符合地质勘探特点,不需额外增加勘探工作量。

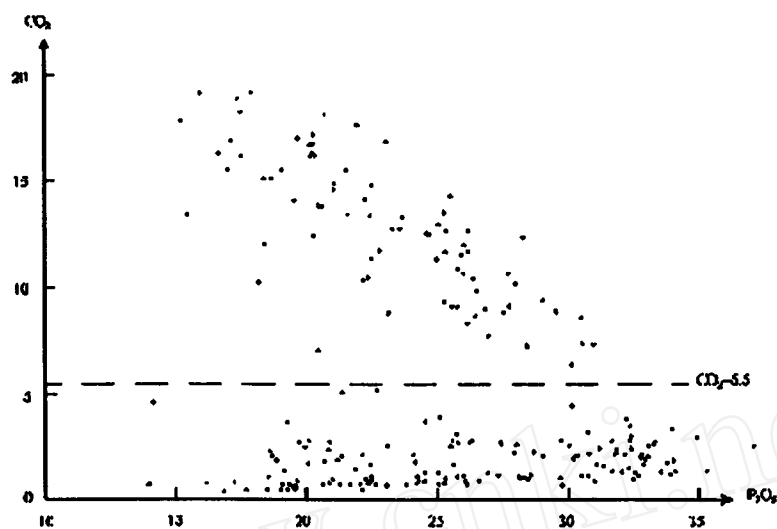


图 2-1 P_2O_5 — CO_2 关系图

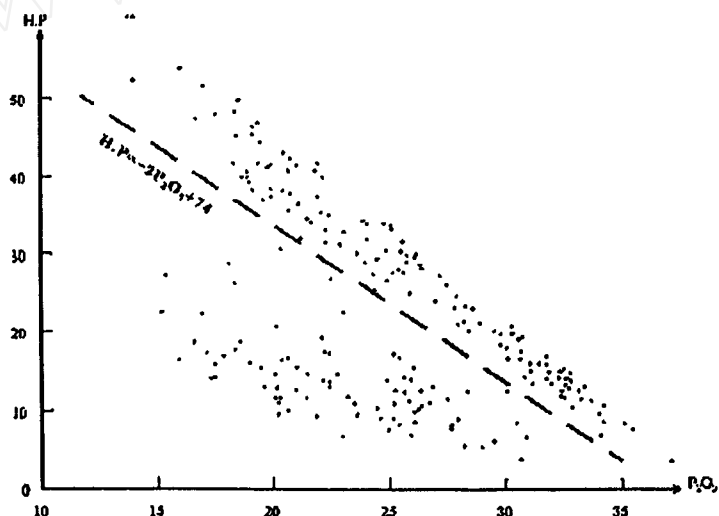


图 2-2 P_2O_5 —H. P 关系图

(三) 风化磷矿勘查评价的类型

西南地区晚震旦世、早寒武世磷矿分布面广,资源量巨大,这两个时期是我国最重要的两个成磷时期,风化磷矿也主要是这两个时期形成的磷块岩因风化作用而形成的一种 P_2O_5 含量高,有害杂质含量少的高质量矿石。加强区内磷矿地质调查工作,查明该区磷矿资源量,对该区磷矿资源作出系统评价是很有必要的。过去在磷矿勘查过程中,因工作条件所限,对风化磷矿没有引起重视,未进行深入工作,所以,对风化磷矿的评价可分以下几种类型进行:

1. 在风化磷矿远景区,对地质工作程度已达详查以上,并具有经各级储委或主管部门审查批准的地质报告的所有磷矿区,可充分利用前人已完成工程的原始记录资料及测试分析结果,采用风化指标,将风化矿体单独圈定出来,计算风化矿储量,实行优矿优用。这是一条投资少,见效快的寻找高质量磷矿的重要途径。

2. 对其他地质工作程度的磷矿区,可充分利用已有资料,必要时补充极少量工程,计算风化磷矿资源量,提出可供进一步工作的矿区,使“呆矿”变活,变废为宝。

3. 对新发现的磷矿区,在评价磷矿资源的同时对风化磷矿资源作出评价。

(四) 风化磷矿擦洗性能评价

风化磷矿的擦洗性能,主要是指磷矿物和脉石矿物经擦洗和磨细后,在适当细粒级中的偏集程度,从而通过简单脱泥处理,便可获得富集。磷矿擦洗脱泥实质是人工富集降杂过程,擦洗脱泥的根本目的是使矿石达到酸法加工磷肥的质量要求。影响擦洗性能的主要因素有:

1. 风化程度:风化作用强,化学溶解作用大,使碳酸盐类胶结物流失多,孔洞增加,使包裹在碳酸盐矿物中的细粒泥杂质离析,并残留在孔洞中或颗粒间,使磷质颗粒胶结力减弱散离,有利于脱泥和富集磷酸盐矿物,表现出较好的擦洗性能。反之,风化作用弱,碳酸盐类矿物保存多,则难于擦洗和脱泥。

2. 胶结物成分:胶结物的成分是确定能否擦洗的重要因素。若胶结物是碳酸盐如白云石、方解石等,则难以擦洗;若是硅泥质、泥质胶结,则可擦洗;若胶结物是泥晶磷灰石和少量的泥质,则易擦洗。

3. 陆源碎屑和铁锰质:陆源碎屑(砂屑)含量愈高,擦洗性也愈差,擦洗后混杂在磷质中的陆源砂屑不易清除殆尽,从而降低了精矿品位。铁锰质常以斑点状、浸染状及质点集合体散布矿石中,当含量多时,擦洗不易除净,也会影响精矿的品位。

4. 结构、构造:风化磷矿中磷质颗粒大小和磷质条带的宽窄是确定矿石擦洗脱泥的前提,也是选择破碎粒级大小的依据。矿石结构若以磷质的砂屑、团粒、生物碎屑、鲕粒等颗粒结构为主,则有利于擦洗;若是以砂质或晶质非磷酸盐矿物为主,则不利于擦洗。矿石构造多见有块状、条带(或条纹)状和松散构造。一般块状构造难擦洗;若条带构造中的脉石矿物是泥硅质或泥质者,则可擦洗;若脉石矿物是白云质或硅质,则就难擦洗了。

上述影响风化磷矿擦洗性能的主要因素不是单独孤立的,它们相互间存在着内在联系,在评判擦洗性能时,要全面综合考虑和分析,才可得出符合实际的结论。

总之,风化磷矿是含碳酸盐类磷块岩经风化作用而形成的高质量矿石,风化作用使磷块岩中的碳酸盐矿物溶解流失,由于碳酸盐矿物大量淋失,使得矿石由块状构造变为“多孔状构造”,疏松易碎,甚至常呈土状,包裹在碳酸盐矿物中的细粒泥杂质离析,并残留在孔洞中或颗粒间,使磷质颗粒胶结力减弱散离,有利于脱泥和富集磷酸盐矿物,这就是风化磷矿能够通过简单的擦洗脱泥便可获得理想精矿的重要原因。

五、风化磷矿的效益评估及远景预测

(一) 风化磷矿效益评估

1. 社会及环境效益

我国是以农业为基础的发展中国家,农业在国民经济中占有重要地位,因此,开发磷矿,发展磷肥,提高粮食产量,加速国民经济发展,具有十分重要的意义。

我国磷矿资源的特点是,储量多,富矿少,分布不均。由于富矿资源少,且多与中低品位矿石赋存在一起,分采较困难。另一特点是胶磷矿的选矿难度大,成本高,污染大。我国占总储量80%的中低品位胶磷矿有害杂质含量较高,不能直接做为生产高浓度磷复肥的原料。这类矿石颗粒细,嵌布紧密,属于世界上尚未完全解决的难选矿石。我国对此类矿石选矿技术虽有突破性进展,但还不能形成正规化生产,且选矿费用高昂,另一方面,选矿须使用各种药剂会造成环境污染。因此,限制着我国磷矿大规模开发以及生产高浓度磷复肥的发展。据调查,中国西南地区大部分风化磷矿擦洗性能好,可做为生产高浓度磷复肥的优质原料。我们曾在滇池地区圈定计算了2.56亿吨风化磷

矿储量,平均 P_2O_5 品位 30.48%, MgO 0.52%, R_2O_3 2.93%, CO_2 2.25%。其中露采储量 1.92 亿吨,都是生产高浓度磷肥的优质原料。若滇池地区每年开采 400 万吨风化磷矿,可生产 200 万吨重钙。利用国产高质量矿石生产一吨粒状重钙,工厂销售成本在 360~590 元,据国际化肥市场信息得知,近几年每吨散装重钙墨西哥湾离岸价为 130~165 美元,北非离岸价为 125~160 美元,显然,若使用国产品,国家每年将节约大量外汇。由此可见,风化磷矿的社会效益和国民经济效益是巨大的。同时,由于擦洗工艺不使用药剂,选矿处理将不会污染环境,因而环境效益也是良好的。

2. 矿山企业经济效益评估

对企业来说,风化磷矿的经济效益也是巨大的(表 3),由表可以看出,精矿售价是原矿售价的 2~3 倍,但浮选精矿成本较高,是风化矿擦洗精矿成本的 2~3 倍,另外,原生矿浮选需破碎、磨矿和使用药剂,随所需材料的价格上涨,浮选精矿的成本还将增高,因此,风化磷矿的开发利用可给企业带来良好的经济效益。滇池地区风化磷矿开发的实践证明,风化磷矿选矿具有流程简单、成本低、投资少、建设工期短等突出优点,同时,擦洗脱泥工艺不加药剂,排出的尾矿、尾水对环境基本无污染。

表 3 云南滇池部分矿区风化矿销售经济效益表

矿区	矿样	原矿品位 (P_2O_5)	选矿工艺	精矿品位 (P_2O_5)	原矿售价 (元/吨)	精矿成本 (元/吨)	精矿售价 (元/吨)
晋宁	风化富矿	33.45	擦洗脱泥	34.82	39	19.22	95
	风化中矿	23.68	擦洗脱泥	28.63	31.2	20.83	90
海口	原生矿	22.31	浮选	32.46	35.7	61.38	75
昆阳	原生矿	22.43	浮选	32.20	38	58.97	90

(二)西南地区风化磷矿找矿远景

风化磷矿是由含碳酸盐类磷矿经风化作用,碳酸盐矿物流失,磷酸盐矿物相对富集,达到适宜的风化程度而形成的一种高质量矿石,因此,我们可以把含碳酸盐类磷块岩矿区作为寻找风化富磷矿的远景区。西南地区分布有大量的含碳酸盐类磷矿,具有发育风化矿的内在因素,磷矿所处的地质地理环境也适合矿石发生风化,具备发育风化磷矿的外在条件。通过野外调查,我们发现西南地区磷矿床普遍发生了风化,已形成了大量具有单独开采价值的风化矿石。西南地区是风化磷矿找矿远景区。