

芬岩碳酸岩型磷矿
考察文集

河北省地质矿产局

一九九二年七月

芬兰碳酸岩型磷矿 考察文集

江苏工业学院图书馆
藏书章

河北省地质矿产局

一九九二年七月

前 言

应芬兰共和国克米拉公司的邀请，河北省地矿局吕士英等五人考察团，于1990年12月13~22日赴芬兰详细参观考察了该公司锡林加尔维低品位磷矿的成矿地质条件、开采加工过程及化肥生产情况；和芬方在磷矿资源勘察、开发利用及管理等方面进行了交流，并互赠了地质资料；对中芬双方今后开发利用河北省承德市罗锅子沟低品位磷矿的前景做了必要的讨论，同时还对两国地质学家今后的互访交换了意见。

此次磷矿考察内容丰富，涉及专业面较广，有的方面虽消化理解还不够深，但仍受益匪浅，尤其是碳酸岩型磷矿资源找矿勘察、综合开发应用和管理等方面值得学习。因为河北省已知的磷矿床，岩浆岩型磷矿占绝对优势，而且是集中分布在北部地区的低品位磷矿，同时在张北县还曾发现过碳酸岩体。为此，根据所获资料，结合我国和我省的具体情况，经过筛选整理，在这本《文集》中重点介绍了芬兰通过科学研究开发利用本国低品位磷矿资源所取得的巨大成就，以及他们在碳酸岩体岩相学、矿物学、岩石化学特征和岩体中的磷酸盐矿床工作研究成果等方面的宝贵资料，以供地质、生产和管理人员参考借鉴。

由于我国目前还尚未发现碳酸岩型磷矿床，对低品位磷矿的选矿工艺及其综合利用缺乏经验，我们接触这方面的资料也较少，再加之编、译工作水平有限，错误之处在所难免，祈望读者指正。

目 录

前言

芬兰低品位磷矿考察团综合报告.....	1
芬兰东部锡林加尔维碳酸岩杂岩体.....	6
锡林加尔维磷矿和肥料联合企业低品位矿的开发利用.....	12
克米拉公司治矿之本——研究与发展.....	23
芬兰索克利碳酸岩杂岩体中的磷酸盐矿床.....	31
芬兰北部索克利碳酸岩岩体岩相学、矿物学和岩石化学.....	38

芬兰低品位磷矿考察团综合报告

应芬兰共和国克米拉公司的邀请,河北地矿局吕士英、罗殿文、唐勤民、常大仁、董国臣五人,于1990年12月13~22日在芬兰考察了克米拉公司的低品位磷矿地质及开发利用情况。

在芬兰访问了克米拉公司(KEMIRA),先后会见了该公司出口部经理维斯特·斯卓莱(L·WESTERSTRAHLE)和董市长苏坡南(P·SUPPANEN);访问了芬兰地质调查所,会见了所长盖尔(G·GAAL),参观考察了锡林加尔维磷矿、矿山及工厂。

考察团受到克米拉公司的热情、友好的接待。芬兰驻中国大使馆的商务专员埃娅·波塔基维(E·POYTAKIVI)女士专程回国陪同考察团访问、考察。

考察团对锡林加尔维(Siilinjärvi)磷矿的地质条件、开采加工过程及化肥生产情况做了比较全面的了解,对今后中芬双方开发利用河北省承德市罗锅子沟低品位磷矿的前景同芬方做了必要的讨论。同时,对今后中芬两国地质学家的互访,同盖尔所长交换了意见。考察团在部国际合作司及省科委的指导下,圆满地完成了任务。

1 锡林加尔维磷矿床地质概况

锡林加尔维磷矿床,是在1950年修筑铁路时发现的。当时,由于品位低而未开采。磷矿床即含磷酸盐化金云母岩,呈岩墙状侵入前寒武系中,南北向展布,长达15km,一般宽0.5~0.6km,最宽达1.5km,倾角 $>75^{\circ}$ 。岩墙中的碳酸盐矿物含量变化较大,局部形成碳酸岩脉状体。K—Ar同位素测年资料,岩墙为25亿年。

矿体有明显的分带,其外带为含磷灰石的金云母岩(碳酸盐矿物 $<10\%$),金云母为黑色或黑褐色;内带主要为含磷灰石的碳酸金云母岩(碳酸盐矿物占10~25%);局部有含磷硅化金云母碳酸岩(碳酸盐矿物占5~50%或者50~100%)。

一般矿石的矿物组成为:

金云母65%,碳酸盐矿物19%(方解石占4/5,白云石占1/5),磷灰石10%,碱性角闪石4~5%。磷灰石呈浸染状、聚合晶及条带状出现,三者的分布面积大致相等,典型磷灰石晶体呈浑圆状,平均粒度约1mm,个别为巨晶,长达650mm。磷灰石的含量不均匀。在矿体的外带(与岩体分带对应)磷灰石含量为8~11%,粒度小于1mm;在内带,磷灰石含量为10~20%,粒度在1mm左右,个别达5~500mm。矿石储量达6~10亿t,计算深度为200m。经钻探验证,在孔深750m处仍为矿体,无尖灭趋势。

纯净的磷灰石主要化学成分:

CaO 55.8%, P_2O_5 41.5%, F 2.68%, CO_2 0.3%, Na_2O 0.4%, Al_2O_3 0.01%,

Fe_2O_3 0.03%。

2 锡林加尔维磷矿选矿工艺

为解决芬兰农业和化工用磷，扭转从摩洛哥等国进口磷矿的局面，克米拉公司实验中心在70年代初对锡林加尔维低品位磷矿进行物质组成及可选性试验。在小型试验的基础上，又进行了年处理矿石5 000t的试验，于1980年筹建了年采、选600万t的磷矿厂，矿石经破碎、磨矿、浮选、脱水工艺流程处理后，获得了磷精矿产品，综合回收了合格的金云母及碳酸钙产品。尾矿由泵打入尾矿坝，浓缩后的回水约80%，返回再用。

磷矿浮选工艺及药剂为该公司的专利——加碱工艺，矿浆温度 $20\sim 30^\circ\text{C}$ ， $\text{pH}9\sim 10$ ，浮磷粒度—200目35%，浮选指标：磷精矿含 P_2O_5 36~37%，回收率71~75%。磷精矿是该公司制肥厂制作磷酸的原料。尾矿经处理获得的碳酸钙出售给当地农民，用以改良土壤；金云母产品销往南朝鲜、日本作为塑料工业的原料，或用于颜料工业。综合利用提高了经济效益。

选矿流程的特点：破碎作业采用三段开路流程，加强筛分作业，严格控制破碎粒度。磨矿作业采取二段一闭路流程，第一段采用棒磨机，第二段采用球磨机闭路循环。浮选工艺，增加精选次数，略去扫选作业。

云母和碳酸钙均采用浮选工艺，两者单独进行选别。锡林加尔维磷精矿分析结果：

P_2O_5 35.78%，	CaO 53.87%，	MgO 1.33%，
K_2O 0.18%，	Na_2O 0.13%，	Fe_2O_3 0.53%，
Al_2O_3 0.21%，	CO_2 5.40%，	F 2.63%，
SiO_2 1.20%，	S 0.09%。	

磷精矿总成本中各项费用的比例：开采及运至选厂的运费占55%，材料及试剂占20%，工资占5%，电费占10%，维修及折旧占7%，其它费用占3%。

开采及运至选厂的费用可分解为以下几项：——运输、装载费用占75%，爆破费用占10%，钻孔（爆破用）费用占12%，其它占3%。

3 开采及制肥

锡林加尔维磷矿，覆盖层只有6m，露天开采，采场长1 250m，宽200~650m，开采段高为12~14m，设计采深215m，现已采5~6个段高，边坡角 $41^\circ\sim 46^\circ$ ，运输道的坡度为1:10。于1977年开工，年产原矿230万t，磷精矿20万t，现在已达年产原矿600万t，磷精矿50万t。

采矿作业是用钻机打孔，在钻孔中装入该公司自制的液体炸药，每米炸岩量可达 20m^3 。

该公司的制肥工业，在欧洲名列第二，生产的N·P·K复合肥料，除满足本国使用外，尚外销他国，部分销往中国。制肥厂建在采场附近，建有磷酸厂，年产磷酸14万t；硫酸厂，年产硫酸53万t。制肥厂的氯化钾和胺由苏联进口。

该厂设备除部分进口外，多为本国制造，自动化程度很高。制肥厂，年产化肥50万t，只有4个工人在微机房中工作，生产车间中没有人，全部自动化。

4. 克米拉公司对承德市罗锅子沟低品位磷矿的试验结果

罗锅子沟磷矿为含钒钛磁铁矿苏长岩型磷矿床，全岩均含磷灰石。矿石中含磷灰石10.43%，钛铁矿6.43%，磁铁矿（含钒）15.04%。原矿中含 P_2O_5 4.39%，含全铁16.95%，可溶铁11.64%， TiO_2 5.34%（其中在钛铁矿中为3.58%，在钛磁铁矿中为1.68%，在金红石中为0.08%）。

克米拉公司曾于1990年11月派专家组考察了罗锅子沟磷矿，并带走该矿床的5公斤矿样。经该公司初选试验，获得的磷精矿含 P_2O_5 为39%，回收率为63%。（磨矿为-200目100%）。该公司认为确属易选矿石。该公司对磷矿石中的钛铁矿做了电子探针测试，证明含 TiO_2 为49.2~49.6%。克米拉公司每年需含 $TiO_2 > 45\%$ 的钛铁矿精矿25万t作为化工原料，因此对罗锅子沟磷矿中的钛铁矿有浓厚的兴趣。

5 关于中芬双方合作开发罗锅子沟磷矿的讨论

在芬期间，考察团会见了克米拉公司董事长，就今后合作开发罗锅子沟磷矿问题，做了必要的讨论。克米拉公司强调一定要在矿山就近选矿并建化肥厂，这样可以大大降低运输费用。

该公司强调，“公司不是银行，不能贷款”，言下之意今后的合作他们将以技术和设备作为投资。公司要求中方尽快提供开采、运输、水电、废料处理的单位费用，而碎矿、磨矿、选矿、干燥等单位费用由芬方提出，然后由克米拉公司计算罗锅子沟磷矿的经济效益。该公司董事长表示，如果能开采利用，将继续合作，如不合算就中断合作。关于今后的合作方式，克米拉公司认为，“现在还不能讨论这个问题”。

6 几点体会

1、芬兰很注意通过科学研究达到利用本国资源的目的。尽管锡林加维的磷矿品位只有4%，且属难选矿石，但克米拉公司为了节省外汇，加强了科学研究工作，解决了磷与碳酸盐矿物的分离这个难题，取得很好的经济效益。

2、矿、肥生产结合，效益好。克米拉公司自己经营矿山、选厂和制肥厂，经济效益很好。他们的经验说明，罗锅子沟磷矿有用组分比锡林加维矿要多，肯定可以利用，也应该有很好的经济效益。

3、矿山就近建厂，是节省运费、降低化肥成本的有效途径。我国许多矿山将磷精

矿运往相距很远的制肥厂制肥，这个问题应引起今后注意。

4、综合利用搞得不好，不仅可以提高经济效益而且能够充分利用资源，还可减少尾矿的处理经费。

5、克米拉公司经济效益好的另一个原因是生产高度自动化，用工极少。从年采600万t矿石的矿山直到年产50万t的制肥厂，全部员工仅200多人。我们今后要开发利用低品位磷矿，必须借鉴这个经验。但是我国待业人员较多，究竟自动化程度应达到什么程度才能既增加了就业机会又确保有一定的经济效益，就应做全面的深入研究论证。

6、克米拉公司，在选矿工艺方面，仍为加碱工艺，而且有一定的温度要求，与我国山东掖县磷肥厂采用的不加碱不加温的选矿工艺相比，并不是先进工艺，应该注意发挥我国自己的技术优势。

7 今后工作建议

1、应注意在张家口及承德地区寻找碳酸岩型磷矿及稀有元素矿床。目前已在张家口地区找到与辉石岩有关的矾山磷矿，在张北发现过碳酸岩体，这是很值得注意的线索。在芬兰的索克利是根据航磁异常找到了含磁铁矿、稀有元素、磷灰石的碳酸岩型矿床，所以今后找同类型矿床时，应注意分析研究航磁异常。

2、我国北方低品位磷矿，含有钒、钛、铁多种有用组分，可以肯定有开采利用价值，一定要下力量进行必要的研究、论证、尽早开发，以解决我国长期南磷北运的问题。

3、今后低品位矿的开采，一要注意综合利用，二要就地选矿、制肥，以节省运费。要做到矿山开采与制肥相结合，要从整体的经济效益来论证低品位磷矿的开采利用价值，我们认为芬兰人能开发利用低品位磷矿，我们也应该能做到。

4、克米拉公司在进行罗锅子沟磷矿的经济效益论证，我们自己也应该进行论证，以保证今后与芬方合作开发时，我方也有一定的经济效益，此项工作应立即着手进行。

5、镉(Cd)有害于人体，所以在化肥中的含量高低，已成为化肥在国际市场的竞争因素，为此克米拉公司打算在今后几年内生产的化肥，镉含量达到 $<30\text{ppm}$ ，我国化肥生产应十分重视这个问题，并在磷矿评价时分析磷精矿中镉的含量。

6、克米拉公司每年进口大量钛铁矿精矿，其质量要求为： $\text{TiO}_2 > 45\%$ ， $\text{Cr}_2\text{O}_3 < 0.1\%$ ， $\text{V}_2\text{O}_5 < 0.2\%$ ， $\text{P}_2\text{O}_5 < 0.2\%$ 。这个指标，可作为矿体评价和出口钛铁矿时参考。

(吕士英 执笔)

1991.2.5

附：芬兰磷矿考察团日程

1990年12月13日星期四，上午10点乘机离京，21点到德国法兰克福机场（当地时间14点），当地时间18点换机飞往赫尔辛基，赫尔辛基时间21点到，克米拉公司凯胡南先生在机场迎接考察团。

12月14日星期五，上午10点，埃娅女士、凯胡南先生向考察团介绍日程安排；下午，向我国驻芬兰使馆商务处电话报告，考察团已抵赫尔辛基。

12月15日星期六，12月16日星期日，是芬兰公休日，埃娅女士陪同考察团参观市容名胜。

12月17日星期一，在克米拉公司，会见出口部经理维斯特斯卓莱先生，听取了对该公司的经营范围介绍。

12月18日星期二，下雪，上午访问芬兰地质调查所，午餐时会见了所长盖尔先生，互赠了地质资料，双方约定，地质学家可以互访。

下午乘机到阔皮欧（距锡林加维20km）

12月19日星期三，上午，考察锡林加维磷矿露天采场及矿床地质，下午参观选矿厂。

12月20日星期四，上午，参观制肥厂，下午，乘机返回赫尔辛基，在候机室与凡提埃先生交谈了罗锅子沟磷矿的试验结果。

12月21日星期五，上午，在克米拉公司会见董事长过坡南先生，讨论今后合作问题。下午，去我国驻芬商务处汇报，祝端倪同志接待。

12月22日星期六，赫尔辛基时间11点半乘机，莫斯科时间14点到达莫斯科，住中国驻苏使馆招待所。

12月23日星期日，办理回国车票。

12月24日星期一，12月25日星期二，等车，12月26日零点25分乘火车离莫斯科，经过六天六夜长途旅行，于12月31日下午6点到京。

芬兰东部锡林加尔维碳酸岩杂岩体

K. Puustinen

H. Kauppinen

1 名称与位置

锡林加尔维碳酸岩杂岩体名称来自于同名村庄，该村位于杂岩体南端西约2km处。杂岩体位于芬兰中东部的Kuopio市以北20km处，北纬63°08′，东经27°44′，呈狭长带状出露。

2 地质概况

锡林加尔维杂岩体在楔形的太古宙花岗片麻岩区南端附近侵入，位于Lake Ladoga—central Bothnia深断裂带稍偏北处。片麻岩区形成基底，Karelian石英岩在东部与之相邻花岗质片岩和超镁铁质深成岩位于其南部和西部（Puustinen, 1969, 1971）。除主要的杂岩体外，周围还有两个正长岩小岩体。

杂岩体是一近直立的N—S向板状体，倾向西，倾角70~90°。整个岩体约16km长，1.5km宽，总面积为14.7km²（图1）。一条NW—SE向断层带将杂岩体分成两部分。云母岩、正长岩和含绿帘石岩的零散分布，表明岩体可能向北延伸。如果这样，岩体的全长可达22km。

锡林加尔维杂岩体岩浆岩从老到新依次为：超镁铁质岩、正长岩和碳酸岩。正长岩边缘带几乎完全包围了中心核。在磷矿区Lake Sarkilampi以北，在中心核的边缘有巨大的霓长岩碎块，其中保留有周围片麻岩中的典型条带状构造。最小的霓长岩捕虏体直径小于1m，最大的达30m，它们没保留条带状构造。因此至少一些正长质岩是通过围岩（片麻岩）霓长岩化形成的。

1979年克米拉公司开始在Lake Sarkilampi北部开采，为公司的锡林加尔维化肥厂提供磷灰石精矿。在采矿过程中，更深入了解了锡林加尔维杂岩体的地质情况，以及有关低品位磷灰石矿开采的问题（Chadwick, 1981; Kiukkola, 1979; 采矿杂志, 1982; Notholt, 1979; 磷和钾, 1980）。Harmala（1981）曾研究过矿石矿物学和矿物分选。

3 岩浆构造（包括风化作用的影响）

三期岩浆侵位形成相应的三种岩石类型：云母岩（含磷灰石金云母岩）、正长岩（部分是霓长岩）和黑云碳酸岩，并见有富角闪石的和富磷灰石的岩石。在杂岩体北部

曾发现含蛇纹石云母岩(云母橄榄岩)。发生于深成带的侵位作用及各期岩浆的向上运移仅出现在狭长的侵入通道内。晚期的碳酸盐物质贯入先期形成的超铁质岩中,广泛形成了成分介于云母岩和黑云碳酸岩之间的混合岩。这样根据主要矿物的相对含量对核部的各种岩石进行分类和命名。

4 变质程度

总的来看,锡林加尔维的碳酸岩杂岩体的变质程度很低。没有发现硅酸盐矿物和碳酸盐矿物之间的反应,表明岩石没有受到大规模的热变质作用的影响。中心核岩石常呈面状构造,这可能是原生构造和(或)区域构造运动中侵入期后的基底块体运动的结果。原生的黑云碳酸岩岩墙破碎成分离的透镜体以及碳酸盐物质贯入云母质岩石时,也出现类似现象。在磷矿区还发现有NNW—SSE向剪切带。

5 岩石化学

含磷酸盐岩石(云母岩—碳酸岩岩石系列)的化学成分见表1,这些分析仅代表相对贫磷灰石的岩石类型。金刚石钻孔岩心中部分磷、二氧化碳和钾的分析的直方图表明: P_2O_5 (磷灰石含量的度量)和 K_2O (云母)呈正态分布,而 CO_2 (碳酸盐矿物,主要是方解石)含量变化较大。在矿区,岩石中 P_2O_5 平均含量为4.3%(大致相当于10.5%的磷灰石), CO_2 为11.5%(Puustinen, 1971)。

6 岩相学

在Lake Sarkilampi和Lake Saارين地区云母岩—碳酸岩岩石系列的相对

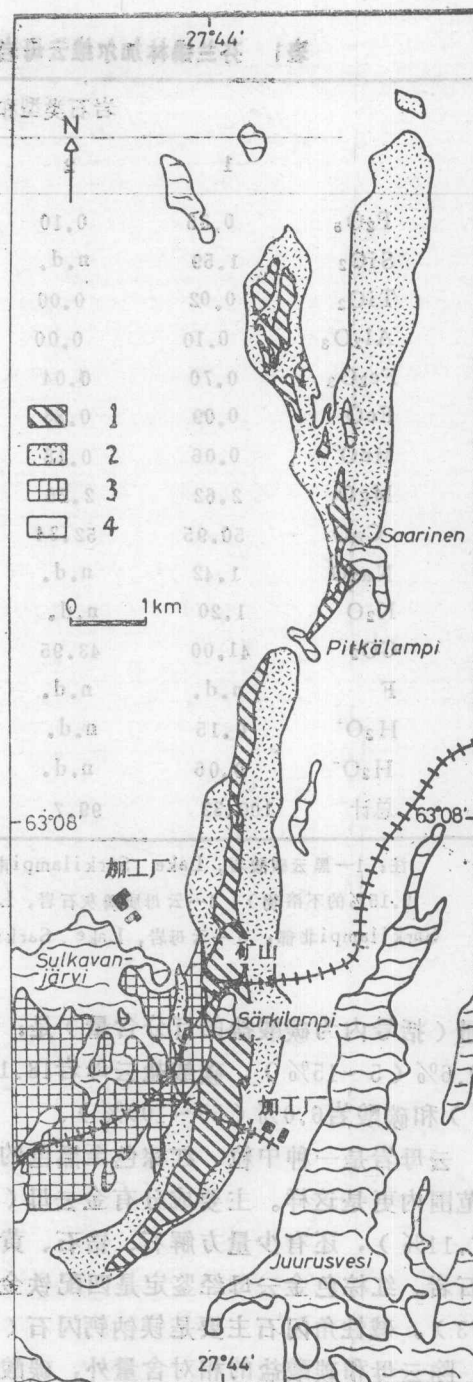


图1 锡林加尔维碳酸岩杂岩体地质图

- 1—云母岩—碳酸岩; 2—正长岩、霓长岩;
3—闪长岩; 4—花岗岩片麻岩。

表1 芬兰锡林加尔维云母岩-碳酸盐岩石的化学成分(重量%)

	岩石类型和取样位置				
	1	2	3	4	5
P ₂ O ₅	0.35	0.10	24.80	0.44	0.75
SiO ₂	1.59	n.d.	14.97	25.72	40.76
TiO ₂	0.02	0.00	0.12	0.05	0.30
Al ₂ O ₃	0.10	0.00	1.70	8.16	10.13
Fe ₂ O ₃	0.70	0.04	0.59	7.60	5.00
FeO	0.09	0.83	n.d.	2.58	3.13
MnO	0.06	0.18	0.01	0.06	0.29
MgO	2.62	2.26	5.84	23.31	24.58
CaO	50.95	52.34	36.65	15.58	0.92
Na ₂ O	1.42	n.d.	0.81	2.70	0.30
K ₂ O	1.20	n.d.	3.61	2.50	0.20
CO ₂	41.00	43.95	1.30	6.12	n.d.
F	n.d.	n.d.	1.48	n.d.	0.67
H ₂ O ⁺	0.15	n.d.	n.d.	5.44	2.17
H ₂ O ⁻	0.06	n.d.	n.d.	0.05	0.12
总计	100.32	99.7	99.88	100.31	99.32

注: 1—黑云碳酸岩, Lake Sarkilampi南部; 2—黑云碳酸岩, Lake Sarkilampi西部(含0.15%的不溶物); 3—云母质磷灰石岩, Lake Sarkilampi地区; 4—云母橄榄岩, Lake Sarkilampi北部; 5—云母岩, Lake Sarkilampi. n.d. 一未测定。资料来源: Puustinen (1971)

含量(括号内为碳酸盐的百分含量)是: 云母岩18.5%(0~5%)、贫碳酸盐云母岩400.6%(5~15%)、碳酸盐云母岩18.1%(15~25%)、硅质碳酸岩16.8%(25~5%)和碳酸岩6.0%(50~100%)。

云母岩是一种中粒、红棕色至黑色的岩石,常呈面状构造和强烈剪切构造,特别在矿区范围内更是这样。主要成分有金云母(70~85%)、碱性角闪石(约10%)和磷灰石(7.11%),还有少量方解石、锆石、黄铁矿和磁铁矿等。磷灰石局部高度富集形成磷灰石岩。红棕色金云母经鉴定是四配铁金云母,在薄片具异常多色性(Puustinen, 1973)。碱性角闪石主要是镁钠钙闪石(Puustinen, 1972)。

除云母和碳酸盐的相对含量外,碳酸盐云母岩的主要组成与云母岩相同,角闪石含量通常小于5%。岩石一般均面理化,但也有块状岩石,它们组成了矿区最常见的岩石。碳酸盐和磷灰石常呈几毫米宽的条带状产出,具网状构造,带内物质可能形成于较晚时期。侵入期后的运动可能在整个杂岩体中相当强烈地活化了碳酸盐和磷灰石。黑云碳酸岩岩墙在碳酸盐云母岩中也多常见。

在矿区西部晕带曾发现硅质碳酸岩,呈整合的长透镜体存在,最大的透镜体长约150m。交替出现的浅色富碳酸盐条带与近黑色金云母条带清晰可见。在二者接触的几厘

米范围内，白云石条带和方解石条带亦可区分。硅质碳酸岩中磷灰石含量与其它碳酸岩中磷灰石含量明显不同，硅质碳酸岩中磷灰石含量低，为2.5~6%，其它碳酸岩中为7~15%。该岩中褶皱特征亦不同于其它岩石。

黑云碳酸岩呈浅灰色或白色，一般为中粒结构。主要成分是方解石（一般70~90%），还有少量金云母（常小于10%）、碱性角闪石、白云石（在矿区有时达40%）和磷灰石

表2 锡林加尔维矿磷灰石的化学分析（重量%）

	磷灰石类型								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P ₂ O ₅	41.5	40.5	41.0	41.5	41.6	41.4	41.4	41.6	41.6
Al ₂ O ₃	0.041	0.010	0.12	0.082	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
Fe ₂ O ₃	0.130	0.130	0.22	0.15	0.048	0.051	0.040	0.027	0.027
MgO	0.36	0.140	0.46	0.25	0.055	0.093	0.073	0.042	0.020
CaO	54.5	54.8	54.0	55.0	54.9	54.7	55.3	54.6	54.3
SiO ₂	0.73	0.74	0.80	0.74	0.75	0.76	0.74	0.75	0.72
Na ₂ O	0.30	0.18	0.19	0.20	0.15	0.10	0.14	0.11	0.10
K ₂ O	0.024	0.002	0.14	0.10	0.002	0.004	0.031	0.002	0.001
CO ₂	1.2	0.91	0.9	0.5	0.45	0.43	0.43	0.24	0.20
F	2.47	2.3	2.50	2.57	2.4	2.3	2.4	2.5	2.4
Cl	0.01	n.d.	0.01	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	101.24	99.70	100.34	101.10	100.35	100.01	100.53	99.87	99.37
- O=F, Cl	1.04	0.97	1.05	1.08	1.01	1.05	1.01	1.05	1.01
总计	100.19	99.52	99.29	100.02	99.34	98.99	99.52	98.82	98.36

注：1—黑云碳酸岩中浅绿色磷灰石；2—黑云碳酸岩中浅绿色半透明磷灰石；3—磷灰石云母岩中浅棕色磷灰石；4—磷灰石云母岩中暗绿色磷灰石；5—碳酸盐云母岩中淡绿色磷灰石；6—磷灰石岩中浅棕色磷灰石；7—黑云碳酸岩中浅绿色模糊状磷灰石；8—云母岩中浅棕色磷灰石；9—云母岩中棕色磷灰石。

资料来源：Härmälä(1981)。

等。在个别小范围内，磷灰石含量可达25~30%。黑云碳酸岩中白云石呈薄层状、气泡状或文象状与方解石共生。这种结构是白云石从原生的镁方解石中出溶形成的。共生矿物对的化学成分表明，最小平衡温度为450℃（Puustinen, 1974）。黑云碳酸岩主要呈脉状或透镜状赋存于碳酸盐云母岩中。脉一般宽几厘米到10m，其产状与面理一致。

7 磷酸盐矿物学

磷灰石是锡林加尔维发现的唯一磷酸盐矿物，它大都赋存于云母岩——碳酸岩系列岩石中，磷灰石为灰色至绿黄色柱体，粒度不均（0.1~5mm），在碳酸岩中曾发现巨大的磷灰石晶体（大于56cm）。

磷灰石的化学分析（表2）表明是氟磷灰石，由于含有CO₂部分过渡为碳酸盐——

氟磷灰石。稀土配分是二氧化铈型, $La:Ce:Nd=1:2.6:1.3$ 。

8 年代

用K/Ar法测定金云母的年龄, 获得变质年龄为1785~2030Ma (Puustinen, 1972, 1973; Kononova, Shanin和Arakelyants, 1974)。阳起石和镁钠钙闪石的年龄是2260~2530Ma。黑云碳酸岩中锆石的U/Pb法年龄为2580Ma (Patchett等, 1981)。元古宙的锡林加尔维碳酸岩杂岩体(约2600Ma)是世界上最古老的碳酸岩杂岩体。

9 岩浆旋回

在矿区, 岩浆旋回十分清楚。最早期的岩浆中碳酸盐最少, 在中心核的边缘形成云母岩带(图2)。较晚阶段岩浆流体中含较多的碳酸盐物质, 磷含量与早期旋回近似, 该阶段形成了中心碳酸盐云母岩带。磷灰石矿床的形成可能经受了比上述二次旋回更多的作用。在晚期岩浆岩相中保存了原生构造。岩浆流体中富含碳酸盐(25~30%)而贫磷灰石(2~6%)。硅质黑云碳酸岩明显形成于富磷灰石碳酸岩相之后, 可能是两次脉动作用形成的。

10 区域构造

锡林加尔维杂岩体位于NW—SE向Lake Ladoga—Central Bothnia活动深断裂带与基底N—S向断裂的交叉部位。碳酸岩杂岩体的侵位受局部基底断裂控制。侵入期后的断裂多呈NW—SE向, 充填了Jotnian变辉绿岩岩墙。

碳酸岩杂岩体形成之后, 围岩的静地压力寻找最简单的释放途径, 中心核部暴露出来。在矿区特别在边缘带, 岩石被片理化甚至破碎。有些地方云母岩组成了宽达数十米的带, 其中的岩石被破碎成棱角状岩块, 大小 $0.3\sim 5m^3$ 。剪切带通常为近N—S或NW—SE向。露天矿坑被NNW—SSE方向的剪切带分割开。剪切带附近形成富含黑云碳酸岩和巨大磷灰石晶体的条带。

至少部分黑云碳酸岩是在基底运动影响下形成的。在露天矿坑中心部位, 黑云碳酸岩常赋存于宽5~30m、NNW—SSE向的剪切带的两侧。剪切带本身是黑色云母岩。在变形作用期间, 云母可能发生重结晶, 岩石中增加了碳酸盐成分。在剪切带和边缘带云母一般是金云母, 而在杂岩体中总体上大量云母是四配铁金云母(Harmala, 1981)。

11 资源

在矿区含矿带宽100~600m, 品位相对均匀, P_2O_5 3~6%, 时代较新的硅质黑云碳酸岩中 P_2O_5 仅1~2%。

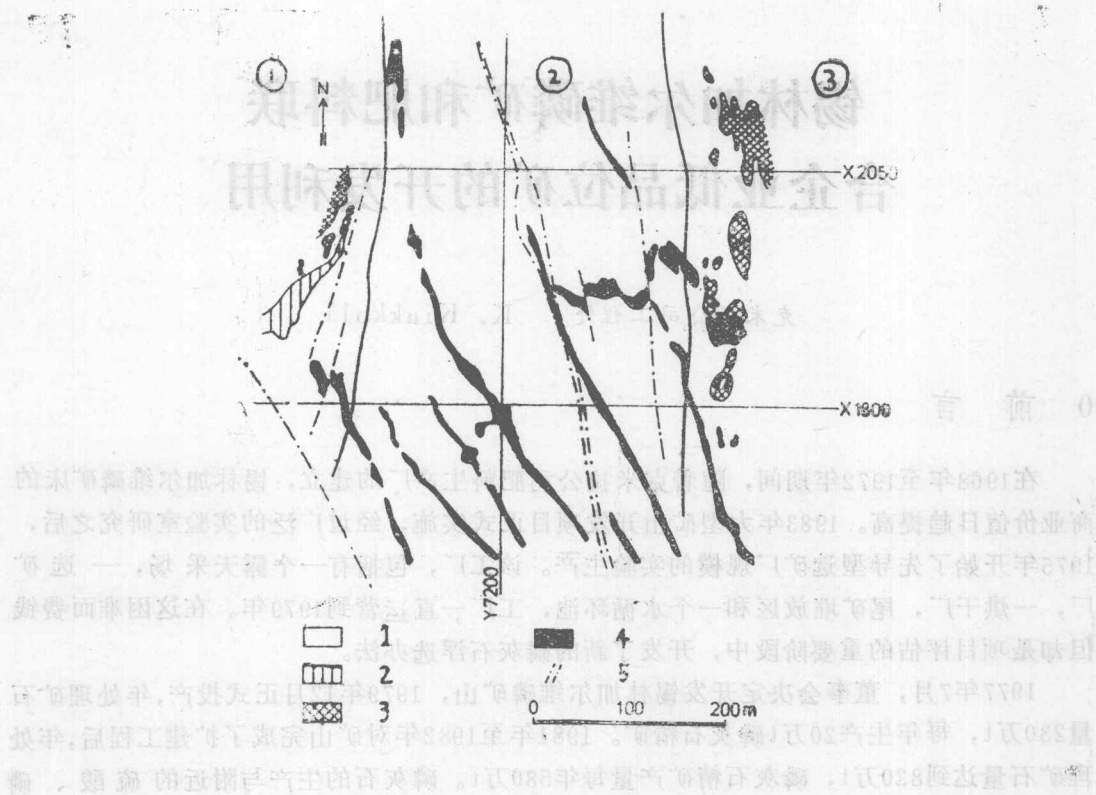


图2 克米拉公司露天采场中心部分地质图

①云母岩带；②碳酸盐云母岩带；③云母岩带。

1—磷灰石矿；2—硅质黑云碳酸岩；3—霓长岩；4—辉绿岩；5—主要剪切带。

按区内最宽部位长3.8km、垂深150m计算，推断资源量为4.7亿t。磷灰石平均含量为9.75%，碳酸盐含量为18.9%。截至1982年底，已开采矿石约700万t。

选厂入选矿石品位为 P_2O_5 3.5~5.5%。在云母岩原矿中含 CO_2 2.5~5%，而在黑云碳酸岩区 CO_2 为15%。

选择性地采矿，用单一的矿石爆破重新充填均一化堆(homogenisation pile) (40 000t)，这样在矿石处理时，就可使原矿的矿物成分尽可能简单一些。1986年磨碎的原矿中， P_2O_5 平均为4.16%， CO_2 为8.6%；生产的磷灰石精矿中， P_2O_5 平均为36.2%， CO_2 为5.8%。

克米拉公司在1976年底开始在锡林加尔维采矿，1980年磷灰石产量约13万t，1986年增长到52万t，1987年达55.3万t。

除了磷灰石精矿外，锡林加尔维矿山还为当地农场生产农用石灰（每年约10万t）。还开始小规模生产金云母。

锡林加尔维磷矿和肥料联合企业低品位矿的开发利用

克米拉公司工程处 K. Kiukkola

0 前言

在1968年至1972年期间,随着克米拉公司肥料生产厂的建立,锡林加尔维磷矿床的商业价值日趋提高。1983年大型矿山开发项目正式实施,经过广泛的实验室研究之后,1975年开始了先导型选矿厂规模的实验生产。该工厂,包括有一个露天采场,一选矿厂,一烘干厂,尾矿堆放区和一个水循环池,工厂一直运营到1979年。在这困难而费钱但却是项目评估的重要阶段中,开发了新的磷灰石浮选办法。

1977年7月,董事会决定开发锡林加尔维磷矿山,1979年12月正式投产,年处理矿石量230万t,每年生产20万t磷灰石精矿。1981年至1982年对矿山完成了扩建工程后,年处理矿石量达到820万t,磷灰石精矿产量每年580万t。磷灰石的生产与附近的硫酸、磷酸和肥料生产厂平衡一致,整个联合企业形成一个从磷矿到高级氮磷钾(NPK)肥生产的有特色综合的生产过程(见附件1)。

1 锡林加尔维磷矿床的地质矿物学特征及其在分选过程中的作用

锡林加尔维磷矿床为岩浆成因,形态大致为板状,近于直立的碳酸岩杂岩体。其长约16km,最宽处0.5km,据估计储量大于5亿吨。矿石中磷呈磷灰石矿物形式产出,矿体的 P_2O_5 平均含量只有4%,是已开采磷矿床中品位最低的矿床。

矿床中主要矿物及其平均含量,磷灰石(10%),方解石和白云石(19%),金云母(65%),及其他硅酸盐矿物(5%)。由于是岩浆成因的,因此,所有矿物结晶完好,颗粒粗大,纯净磷灰石矿物的主要成份为:CaO 55.8%, P_2O_5 41.5%,F 2.68%, CO_2 0.3%, Na_2O 0.4%, Al_2O_3 0.01%, Fe_2O_3 0.03%。

整个矿床中,磷灰石矿物分布相对稳定,而其他矿物则有变化,特别是碳酸盐和金云母,变化更加明显。矿山中磷灰石与碳酸盐矿物含量的比值变化在1:1至1:4之间,平均值只有1:2.2。

分选这种碳酸岩型磷矿石,主要问题是如何从碳酸盐矿物中分离出磷灰石,因为矿石中含钙矿物具有相似的表面化学性质。同时,矿石中矿物组份变化很大,这又带来一个附加的选矿问题,这种选矿方法,只有按矿石的类型提供对所选矿石及浮选条件的系统变化预先进行分析,选矿才能得到最佳的结果。

毫无疑问,选择性磷灰石浮选是研究工作中最重要的挑战,它的成功解决对整个矿

山的开发具有至关重要的意义。

2 露天采场生产计划的制定

矿床矿石类型复杂,分选特征各异,其内还含有一些废石,因此需要选择性开采,前期地质调查是制定适宜的采矿计划的先决条件。由于矿体规模巨大,使用岩心钻探不可能充分掌握矿石品位的变化程度以及内含废石的具体位置。所以,岩心钻探主要应用于矿山的长期规划。

短期预报矿石质量的变化及矿体内废石的具体位置主要依靠地质填图,干的岩屑(dry drilling cutting)资料及爆破钻孔资料。钻孔钻进越深,则从坑壁和炮眼所得的资料越为重要,如果岩心缺失,那么,从岩屑取得的资料必须加以综合分析。

每个爆破场地上,每个炮眼可取1~3节理样,其目的是从炮眼中至少可以确定其地质类型,它可用于预测下一阶段的废石。从炮眼取得的样品分析结果和运输、破碎过程资料综合起来,可进行原料堆平均品位的定量预测,预测结果可作为每个原料堆和选矿厂变化的过程控制。

3 钻进与爆破

1984年,整个矿山分别开采580万t矿石及240万t废石,即矿山总开采能力为820万t,其中含废石率为29%。整个露天开采过程由克米拉公司及其承包商联合完成。按通常规定,克米拉公司完成矿层开采台阶的爆破,而其承包商则在矿层面及斜坡上作业。

克米拉公司拥有两个炮眼钻机: Tamrock Herbert HPRD4000型钻机及Tower-trak DHA850/20型钻机:前者属于电力驱动是常用的最大口径的液压动力冲击钻,其钻孔口径为203mm,每分钟钻进速率可达1m,这种钻机主要用于采矿,它的每米钻深利用炸药可以炸碎20余立方米的矿石。而后者属柴油机动力钻,主要用于废石开采及拓宽工作面,为HPRD4000型钻机开拓空间做准备工作。锡林加尔维矿床生产的一个主要特点就是根据不同的矿石类型及其内所含废石的多少,分别使用不同的钻机,进行选择性开采。

在克米拉公司所完成的全部钻孔及其承包商所完成的部分钻孔中装入胶状炸药(Lemiitti),这种胶状炸药由克米拉公司用一辆特种装运卡车从矿山附近的炸药生产厂运来,炸药具有不同成分,只有当不同的胶体灌注到炮眼内混合后,才能产生爆炸。

Tamrock Herbert HPRD4000型钻机的钻孔网度从 2.5×10.5 m变化到 3.3×8.5 m(线距 $\times$ 孔距)。附录2列出了标准的钻孔布置、钻孔网度与装药量的多少随着岩石韧性及其碳酸盐矿物的含量而变化,冬天,各煤眼的起爆用电雷管来完成,而夏天则用火雷管来引爆。