



Albion Process™

研发项目

GLENCORE TECHNOLOGY

A GLENCORE COMPANY

“

Albion ProcessTM超出了预期。
即使硫含量和给料速率存在较大波动，我们仍能保
持氰化厂中的金回收率高于设计目标。如果没有
Albion ProcessTM，我们的金回收率将只有大约
20%，并且氰化物消耗量巨大。但使用Albion
ProcessTM，我们能够实现超过95%的金回收率，
并将氰化物消耗量降至最低，为加工厂带来卓越的
投资回报率。”

– GPM Gold



了解更多：

michael.feng@glencore.com.cn

联系电话：+61 7 3833 8500



图1：拉斯拉古纳斯 Albion工厂



图2：硫化矿物的钝化机制

Albion Process™简介

Albion Process™巧妙融合了大气压下的超细研磨技术与氧化浸出方法。Albion Process™的原料是含有基础金属或贵金属的精矿，该工艺旨在氧化精矿中的硫化矿物，并通过常规工艺手段将这些金属分离出来以便进行回收。

Albion Process™技术是嘉能可于1994年研发的成果，并已在全球范围内获得专利保护。目前全球范围内有五座Albion Process™工厂正在投入运营。其中三座工厂专门处理硫化锌精矿，它们分别位于西班牙（年产量4,000吨锌金属）、德国（年产量18,000吨锌金属）和澳大利亚（年产量高达250,000吨锌铅）。第四座Albion Process™工厂位于多米尼加共和国，专注于处理难选冶金银精矿，年产量可达80,000盎司黄金。然而，由于原料枯竭，该工厂目前已停止运营。拉斯·拉古纳斯IsaGrind 和氧化浸出回路的照片如图1所示。第五座工厂是位于亚美尼亚的GPM金矿。自2014年投产以来，该工厂的回收率实现了显著提升，达到了原先的四倍，且持续保持高于预期目标的结果。第六座（当前实际运营中的第五座）Albion工厂负责处理赞比亚Sable 锌矿中的黄铜矿铜精矿。然而，在所有权变更后，该工厂暂停了运营，目前正在等待许可证的续期。

Albion Process™的第一阶段是精矿的精细研磨。大多数硫化矿物在常压条件下无法被浸出。通过引入特定菌种，降低了硫化物氧化的活化能要求，从而实现了在常压条件下的浸出操作。由于矿物表面积的增加，浸出速率也得到了提高。

精细研磨还能防止浸出矿物因浸出反应产物而发生钝化。当浸出产物（如铁氧化物和单质硫）在浸出矿物表面沉淀时，会发生钝化现象。这些沉淀物会阻止化学物质接触矿物表面，从而导致矿物钝化。

钝化通常在沉淀层达到2–3微米厚时完成。将矿物研磨至80%颗粒通过10–12微米筛网，可有效防止钝化，确保浸出矿物在钝化层形成前充分分解。如图2所示。

精矿经过精细研磨后，将矿浆置于搅拌容器中浸出，并向浸出矿浆中通入氧气以氧化硫化矿物。这些搅拌浸出容器由嘉能可科技设计，被称为Albion Process™浸出反应器。Albion Process™浸出反应器采用双水翼叶轮进行搅拌，并以超声速向浸出矿浆中通入氧气，以提高传质效率并确保硫化物的有效氧化。而HyperSparge™技术便是实现上述程序的技术基础。

Albion Process™浸出反应器设计用于在接近矿浆沸点的温度下运行，无需冷却。浸出过程是自热的，浸出矿浆的温度由浸出反应释放的热量决定。浸出容器不从外部热源

加热，氧化过程中产生的多余热量通过容器排放气体的加湿去除。

Albion Process™ 装置

工厂	年份	产能 (年产量)	工艺流程	状态
圣胡安德内瓦	2010	8,056	集成在焙烧-浸出-电积精炼	运营
诺登汉姆	2011	76,100	集成在焙烧-浸出-电积精炼	运营
MRM	2011	250,000	方铅矿的部分氧化	运营
拉斯拉古纳斯	2012	322,240	黄铁矿/毒砂氧化为碳浸法提金	耗尽
GPM Gold	2014	110,000	黄铁矿/毒砂氧化为碳浸法提金	运营
萨布尔	2018	9,000	黄铜矿氧化进料至溶剂萃取/电积电解和钴沉淀	暂停

超细研磨与IsaGrind技术

超细研磨工艺对研磨介质的要求较高，需要采用比常规球磨机更细的研磨介质，并因此需要采用不同于常规球磨机的研磨机制。

在大多数超细研磨机中，使用叶轮为研磨介质提供动量。搅拌作用使介质产生湍流混合，从而避免了精细介质因离心力而分离的现象。研磨机中的主要破碎机制是磨蚀。搅拌磨机通常由一根中心轴及轴上安装的多组叶轮构成。这些叶轮可以是销钉、螺旋或圆盘形。

在搅拌机中，有两种常见的配置。第一种配置中，磨机轴和研磨元件在磨机内垂直设置。这种配置的大小通常限制在750千瓦或以下的安装功率。由于垂直位于叶轮上的研磨介质产生的压缩载荷，对于研磨介质底部叶轮施加较大的断裂扭矩，从而导致了这种限制。

在第二种配置中，磨机轴在磨机室内水平对齐。这种配置用于嘉能可科技的IsaGrind，在电机规格超过500千瓦时更具成本效益。开始搅动研磨介质所需的启动扭矩非常小，从而将电机尺寸限制为仅满足研磨需求。

IsaGrind是一种专为恶劣的金属矿石应用而开发的大规模节能连续研磨技术。嘉能可科技向全球矿业公司提供IsaGrind技术，目前在全球21个国家安装了超过130台研磨机。IsaGrind的研磨室内能量强度极高，达到 300 kW/m^3 ，从而减小了占地面积并简化了安装流程。IsaGrind磨机可直接根据小型实验室测试结果进行规模放大。嘉能可科技的IsaGrind磨机已应用于全球三分之二以上的金属矿物超细研磨项目中。IsaGrind的研磨介质尺寸控制在1.5–3.5毫米范围内，这些介质可以来源于多种材料，如从给料矿石中筛分的自磨介质、硅砂或陶瓷珠等。

嘉能可科技将提供IsaGrind成套研磨设备，包括磨机、矿浆给料和排放系统、研磨介质处理系统、所有仪器仪表和控制装置以及所有结构钢和平台。IsaGrind研磨设备的一些组件如图3和图4所示。IsaGrind研磨工厂的设计和建设充分融合了嘉能可科技在130多个IsaGrind安装项目中积累的操作和设计经验，从而确保了调试过程的顺利进行和故障率的降低。

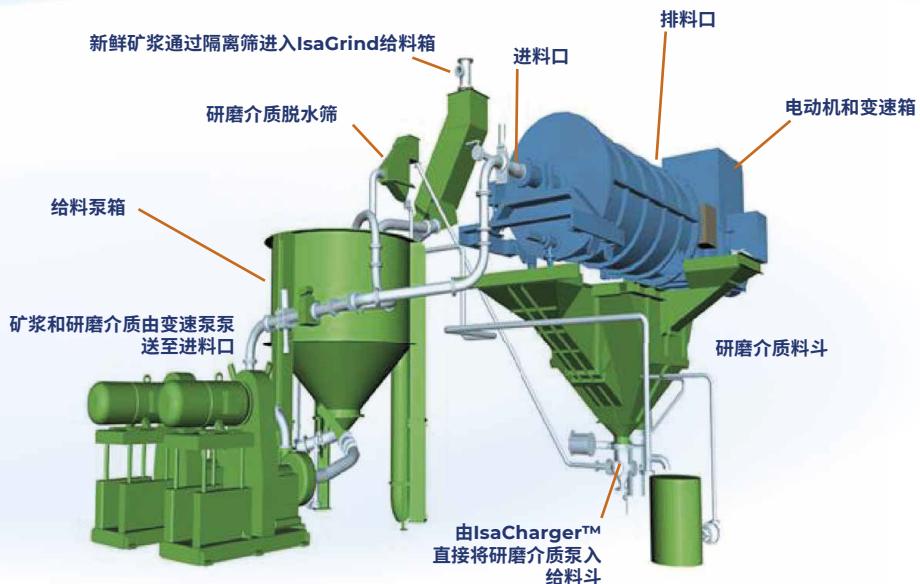


图3：IsaGrind给料和研磨介质系统

IsaGrind磨机的轴上最多可安装八个磨盘，每个磨盘都作为一个独立的研磨元件。

IsaGrind磨机的操作机制如图5所示。这使得IsaGrind能够在无需旋流器的情况下以开路方式运行。IsaGrind磨机采用独特的研磨设计，物料依次通过多个研磨区域后，在开路状态下即可产出粒度分布高度均匀的研磨产品。这种塞流作用可确保不会发生短路，并能将能量有效地传递给较粗的给料颗粒。

产品分离器是安装于磨机轴末端的离心分离装置，它以足够的转速旋转以产生超过20个‘g’的离心力，从而实现磨机内部的精细化分级操作。IsaGrind磨机凭借其独特的高矿浆密度开路运行特性，为浸出工艺带来显著优势：通过精确控制进水量，实现水平衡的进一步简化，大幅提升工艺效率。

IsaGrind使用惰性研磨介质，能够产生干净、光滑的矿物表面，从而提高浸出动力学表现。磨机内产生粒度分布陡峭的研磨产品。磨机中98%通过率的粒度通常控制在

80%通过率粒度的2.5倍以内，加之粗颗粒极少进入浸出回路，从而确保了极高的浸出回收率。

IsaGrind是现有能量强度最高的研磨技术($>300\text{ kW/m}^3$)，这也意味着它结构最紧凑，占地面积小且外形低矮。IsaGrind呈水平布置，可通过一个位于约三米高处的平台进入研磨设备。IsaGrind及其配套研磨设备设计紧凑，较低的操作高度极大地方便了对磨机的日常检修与高效维护。IsaGrind磨机的维护与渣浆泵的常规维护相似。

IsaGrind内部的旋转轴在进料口端巧妙地采用了反杠杆设计，使得维护人员在需要时仅需使用液压千斤顶松开排料端法兰和研磨室的螺栓，即可轻松将相关部件滑下。停机检查并更换内部磨损部件的时间不到八小时。IsaGrind的典型可用率为99%，利用率为96%。



IsaGrind的规模放大技术简单易懂。实验室测试结果可100%准确直接放大至工业规模。IsaGrind已证实具备1:1直接放大效果，可大幅降低项目风险。

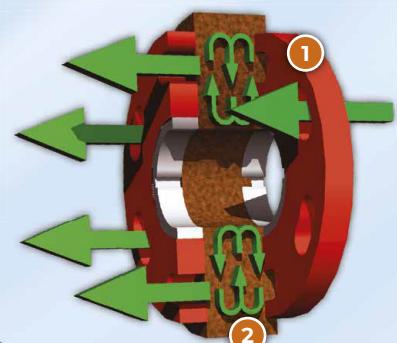
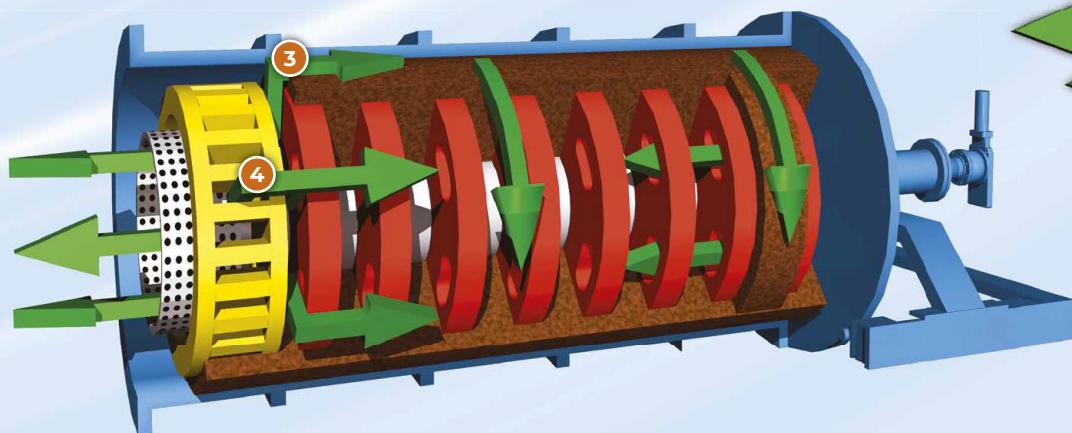
图4：IsaGrind研磨厂布局

IsaGrind有以下型号可供选择：

- » **M500 (200 千瓦)**: 最大流量可达30吨/小时
- » **M1000 (500 千瓦)**: 最大流量可达90吨/小时
- » **M5000 (1200 和 1500 千瓦)**: 最大流量可达200吨/小时
- » **M7500 (2200 千瓦)**: 最大流量可达275吨/小时
- » **M10000 (3000 千瓦)**: 最大流量可达350吨/小时
- » **M15000 (3800 千瓦)**: 最大流量可达600吨/小时

图5：IsaGrind运行机制

- ① 轴以高速旋转，产生19–22米/秒的圆盘尖端速度。
- ② 由于圆盘间速度分布的差异，介质在圆盘间循环。
- ③ 介质因磨机内部产生的高离心力而被甩至研磨室外侧。
- ④ 转子将粗颗粒和介质泵送回研磨室进一步研磨。



氧化浸出

硫化物精矿经过精细研磨后，在大气条件下，通过由相互连接的 Albion Process™ 浸出反应器组成的氧化浸出装置进行浸出。每个反应器都是由嘉能可科技设计的常压浸出容器，旨在以较低的成本和运营成本实现硫化物矿物氧化所需的氧气传质。

使用嘉能可的HyperSparge™超音速喷射枪将氧气注入 Albion Process™ 浸出反应器的底部。HyperSparge™ 喷射系统的设计与搅拌系统的设计相结合，从而确保反应器内实现高氧气传质速率。搅拌装置功率适中，叶轮尖端速度与HyperSparge™喷射速度相结合，以提供所需的传质速率。

Albion Process™ 浸出反应器采用耐腐蚀合金钢壳体和底座，支撑在环形梁或筏式基础上。反应器的高宽比设计旨在实现高氧气传质速率和捕获效率。嘉能可科技开发了完全模块化的罐体系统，可在现场快速安装，安装时间仅为现场焊接罐体的三分之一，且成本大幅降低。嘉能可的模块化反应器设计无需现场焊接。模块化 Albion Process™ 浸出反应器如图6所示。

反应器配有中央安装的搅拌装置，由一个或多个水翼叶轮组成。嘉能可科技依据其内部相关性分析和试验数据，精心选择了搅拌器的尺寸和叶轮的几何形状，以确保提供足够的动力来满足浸出槽中的氧气传质需求，同时确保固体颗粒得到充分悬浮以及气体有效分散。叶轮布置和间距设计也有助于控制容器内的泡沫。搅拌装置安装在罐体外部，且作为 Albion Process™ 浸出反应器的一部分，提供模块化维护平台和结构支撑。

搅拌装置的关键设计方面，包括密实度、叶轮直径、尖端速度以及总泵送量，需与氧气输送系统的设计紧密融合，共同确保反应器内实现最优的传质速率。

HyperSparge™ 超音速氧气喷射枪安装在反应器周围，靠近底部。HyperSparge™ 安装在储罐外部，并通过一系列密封组件贯穿罐壁。采用明装设计的HyperSparge™ 单元支持在线拆卸与维护，确保氧气输送系统实现零停机连续运行。

HyperSparge™ 以450–550米/秒的超音速喷射氧气。超音速喷射速度在曝气器尖端形成压缩气体射流，通过剪切作用将矿浆混合，从而在反应器内实现非常高的传质速率。

HyperSparge™ 的独特设计意味着 Albion Process™ 浸出反应器所需的搅拌功率远低于传统系统。嘉能可科技公司的 Albion 工厂采用 HyperSparge™ 系统，氧气捕获效率可达 85% 或以上。HyperSparge™ 的典型装配如图7所示。HyperSparge™ 喷嘴尖端的高喷射速度可保持喷嘴清洁，避免堵塞。

HyperSparge™ 被整合到嘉能可科技开发的整体氧气添加与控制系统中，该系统包括烟囱内废气监测以及对 HyperSparge™ 输送压力的控制。氧气控制系统用于维持 Albion Process™ 浸出反应器内的高氧气捕获效率。

氧化浸出产生的废气为惰性气体，因此反应器配备有分段式盖板和废气烟囱，可将容器内的蒸汽排放至安全的工作高度。像 Albion Process™ 浸出反应器在接近矿浆沸点的较高温度下运行，过程中会产生大量水蒸气并随废气从反应器中排出，这有助于维持整个工艺过程中的水平衡状态。废气烟囱被设计为自然烟囱，可将废气排放至安全的工作高度。废气通常直接进行排放处理，但如果需要的话，可以安装冷凝器来回收蒸发产生的水资源。反应器配置了模块化顶盖组件，集成搅拌器槽密封和滑动顶板，方便搅拌机构的拆卸与维护。如图8所示。

每个 Albion Process™ 浸出反应器都配备了模块化的内部挡板设计，这有助于实现矿浆的均匀混合并防止旋涡现象的发生。同时，还配备了模块化的矿浆提升管，以防止矿浆短路并确保粗物料能够顺利地通过浸出系列进行输送。

反应器通过一个洗矿槽系统串联起来，该系统使矿浆能够通过浸出流程实现重力流动。所有 Albion Process™ 浸出反应器均配有旁路溜槽，以便将任何反应器停机进行定期维护。这是一套低成本浸出系统，具有操作简单灵活的特点，氧化浸出系统的整体运行率可达 99%。嘉能可科技的溜槽设计可容纳泡沫，从而防止浸出系统中出现泡沫堆积现象。溜槽组件如图9所示。

Albion Process™ 浸出反应器无需内部加热或冷却系统。容器可在其平衡温度下运行，通常该温度范围为 90–95°C。热量来源于硫化矿物的氧化反应，并通过尾气加湿从容器中散失。无需直接或间接温度控制，简化了罐体结构和维护。无需外部冷却塔或闪蒸容器。



图6: Albion Process™浸出反应器



图7: HyperSparge V=800 m³

嘉能可科技的溜槽设计可容纳泡沫，从而防止浸出系统中出现泡沫堆积现象。

Albion Process™ 浸出反应器采用耐腐蚀合金钢壳体和底座，支撑在环形梁或筏式基础上。

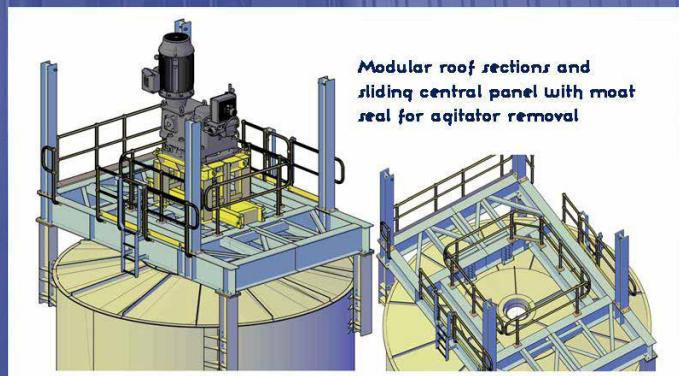


图8: Albion Process™浸出反应器顶盖部分

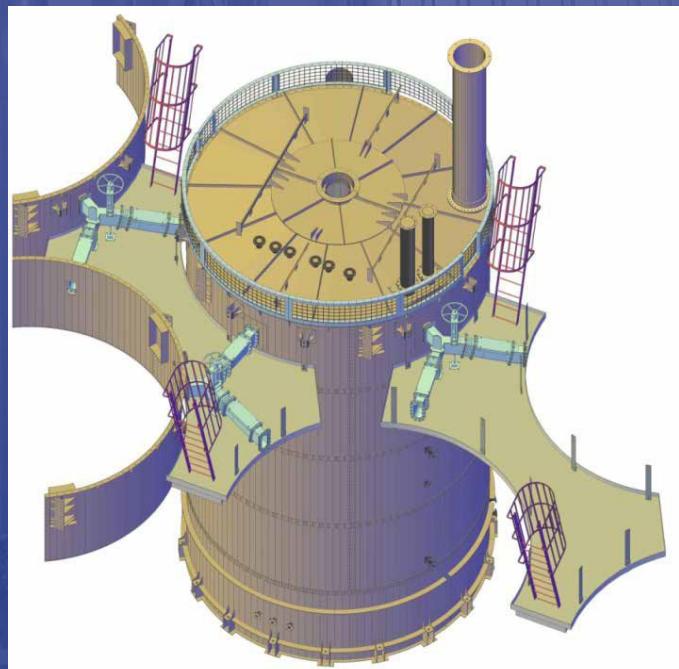


图9: 溜槽系统

开发项目概览

Albion Process™工程的典型开发项目将分为五个阶段进行：

第一阶段：概念验证 5级（AACE）工程研究

第二阶段：项目范围等级评估 试验方案和4级（AACE）工程研究

第三阶段：预可研程度预评估和3级（AACE）工程研究

第四阶段：可行性程度评估及2级（AACE）确定性可行性研究

第五阶段：项目实施：嘉能可科技提供一站式工厂设计与供应方案

第一阶段：适应性测试+5级评估

第一阶段概念验证计划包括根据客户提供的初步精矿产量和分析数据，对 Albion Process™工厂进行5级（AACE指南）的资本和运营成本量级估算。第一阶段所需试验工作量有限，所有数据均基于嘉能可科技数据库。若试验工作量所需样品不足，则可仅根据客户提供的精矿分析生成第一阶段5级工程研究。

第二阶段：参数化+4级评估

第二阶段工作范围评估试验方案仅对Albion Process™的两大核心部分（IsaGrind磨机超细研磨和氧化浸出单元操作）进行评估。下游单元操作通常不作为此评估级别的测试内容。

此阶段试验工作通常需要 10-20 千克精矿，并在 12-16 周内完成。完成此部分试验工作计划后，嘉能可科技可对 Albion Process™工厂进行4级（AACE指南）工程研究，精度达到±35%，并对完全集成的工艺流程进行额外成本估算，但其精度稍低。此工程研究可用于项目的详细评估，并可用于比较各种技术或工艺流程方案。

第三阶段：可变性测试+3级评估

第三阶段预可行性级工作计划是对工作范围界定研究的扩展。可以对其他类型的精矿进行评估研究，以在项目生命周期内为每种特定的精矿类型提供相关的工艺数据支持。还将对下游杂质控制（如铁和砷沉淀）以及固液分离进行测试。若需研究金属回收方案，则在此阶段进行确定优选工艺流程的测试。预可行性级试验工作通常需要每种精矿类型 20-50 千克，并在 12-18 周内完成。预可行性阶段试验的主要目标是确定从精矿到金属或最终产品生产的工艺流程，并提供充分的数据支持，以便为Albion Process™工厂的预可行性阶段资本和运营成本估算提供可靠依据。在完成这一试验方案后，嘉能可科技便能够依据AACE指南的要求，成功完成 Albion Process™工厂及其集成工艺流程的3级工程研究（准确度达到±25%）。

第四阶段：2级评估

第四阶段确定性可行性研究涉及试验工作和进一步的工程设计。第四阶段试验工作涉及根据预可行性工作计划中确定的工艺流程，对完全集成的试验工厂进行连续运行。此试验涵盖从精矿超细研磨到金属或最终产品生产的所有单元操作，并保持封闭的水平衡。此阶段试验工作通常需要 500-2000 千克精矿，并在连续运行 12-16 周内完成。尽可能由供应商对所有单元操作进行测试。可行性阶段试验的目的是提供所有必要的过程数据，以支持为 Albion Process™工厂编制可行性阶段的资本和运营成本估算。

在试点工厂项目同步进行的同时，嘉能可技术公司还针对Albion Process™工厂及集成工艺流程出具了一份完整的二级（AACE 指南）工程研究报告，其准确度为±10%此研究旨在将项目中的工程设计水平提升至 45-55% 的完成度范围。

完成项目第四阶段后，嘉能可科技向客户提供一站式设计和供应方案，以提供项目的所有工厂和设备，以及全部工程设计。

第五阶段

项目第五阶段涉及项目实施，包括完成所有工程设计、采购所有设备、管道、阀门、仪表、控制系统和结构钢，并以模块化的形式将整套工厂设备运抵项目现场进行施工。

第二部分详细说明了每个开发阶段的工作范围。以下是对嘉能可科技作为开发项目一部分所开展的工程研究类别的描述。所有工程研究均遵循 AACE国际推荐惯例第18R-97号《成本估算分类系统》中概述的指南。

工程研究类别

试验工作阶段	估算类别	目的	准确性	项目完成度
第一阶段：	5类，数量级估算	概念筛选	误差下限：-20%至-50% 误差上限：30%至100%	0-2%
第二阶段：	4类，研究估算	概念研究	误差下限：-15%至-30% 误差上限：20%至50%	1-15%
第三阶段：	3类，确定性估算	预算编制	误差下限：-10%至-20% 误差上限：10%至30%	10-40%
第四阶段：	2类，详细估算	控制估算或投标准备	误差下限：-5%至-15% 误差上限：5%至20%	30-70%
	1类，复核估算	招标	误差下限：-3%至-10% 误差上限：3%至15%	50-100%



工程与项目开发服务

嘉能可科技是Albion Process™技术的开发者与所有者，并向全球客户提供该技术。

嘉能可科技为所有Albion Process™客户提一揽子设备设计与供应服务。供货范围包括整套 Albion Process™工厂，涵盖所有结构钢、管道与溜槽、平台、楼梯及支撑结构。嘉能可科技的工作范围可包括全部的土建和基础设计。施工由客户提供，嘉能可提供监理劳务。

嘉能可科技提供的Albion Process™工厂套餐成本低、风险低，融合了嘉能可在IsaGrind磨机™和Albion Process™技术20年发展历程中的所有专业知识。嘉能可科技能够与客户的EPCM承包商合作，确保Albion Process™工厂与其他所有工厂区域实现工程界面高效对接。嘉能可科技参与一个项目通常始于试验阶段，此阶段包括由嘉能可科技和我们的营销合作伙伴Core Resources为客户设计的试验工作和项目开发计划。所有试验工作均在经批准的测试设施中进行。嘉能可

科技可以提供一系列工程研究来支持试验方案，从而Albion Process™工厂提供资本和经营成本数据。嘉能可科技还可以提供可行性研究服务，最终将形成一个一揽子设备设计和供应方案，该方案享有全面保障。

作为对Albion Process™技术的初步介绍，嘉能可科技可为客户免费提供Albion Process™工厂的概略性资本和运营成本估算，只需客户提供精矿成分和计划处理量即可。

如需了解更多有关Albion Process™的信息，请将所有咨询事宜发往：

Albion工艺团队

T. +61 7 3833 8500
F. +61 7 3833 8555
邮箱: albionprocess@glencore.com.au

嘉能可科技有限公司

地址：安街160号10层
布里斯班，昆士兰 4000
澳大利亚

T. +61 7 3833 8539
F. +61 7 3833 8555
邮箱: www.albionprocess.com

albionprocess.com

glencoretechnology.cn

关注我们



联系方式

嘉能可科技有限公司

Email: michael.feng@glencore.com.cn

联系电话: +86 136 9365 0595

地址: 北京市朝阳区东三环北路27号嘉铭中心B座23层