

“十一五”国家重点图书出版规划项目

Cu

中国有色金属丛书

中国有色金属工业协会组织编写

湿法炼铜

工艺·设备与控制

杨国才 编著

Nonferrous Metals



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



“十一五”国家重点图书出版规划项目



湿法炼铜工艺·设备与 控制

中国有色金属工业协会组织编写

杨国才 编著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

内容简介

本书主要介绍湿法炼铜的有关知识,以刚果(金)SMCO 的实际资料为蓝本,参考了一些其他的资料,全面介绍了湿法炼铜厂各车间的工艺流程、所用设备、主要设备的工作原理与构造,各车间操作规程,操作点检注意事项,还介绍了各工序的自动控制和联锁系统等。另外,在本书的附录中还收集了几家湿法铜冶炼厂的设计工艺流程,供对此感兴趣的读者参考。

本书适合于湿法铜冶炼行业的操作工人,机、电、仪维修人员使用,还可以作为铜冶炼专业大专院校学生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

湿法炼铜工艺·设备与控制/杨国才编著.

—长沙:中南大学出版社,2014.2

ISBN 978-7-5487-1025-7

I. 湿... II. 杨... III. 湿法冶金-炼铜 IV. TF811

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 302228 号

湿法炼铜工艺·设备与控制

杨国才 编著

☐责任编辑 秦瑞卿

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙市宏发印刷有限公司

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 14.5 ☐字数 360 千字

☐版 次 2014 年 2 月第 1 版 ☐2014 年 2 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-1025-7

☐定 价 45.00 元

中国有色金属丛书
NMS 编委会

主任：

康 义

中国有色金属工业协会

常务副主任：

黄伯云

中南大学

副主任：

熊维平

中国铝业公司

罗 涛

中国有色矿业集团有限公司

李福利

中国五矿集团公司

李贻煌

江西铜业集团公司

杨志强

金川集团有限公司

韦江宏

铜陵有色金属集团控股有限公司

何仁春

湖南有色金属控股集团有限公司

董 英

云南冶金集团总公司

孙永贵

西部矿业股份有限公司

余德辉

中国电力投资集团公司

屠海令

北京有色金属研究总院

张水鉴

中金岭南有色金属股份有限公司

张学信

信发集团有限公司

宋作文

南山集团有限公司

雷 毅

云南锡业集团有限公司

黄晓平

陕西有色金属控股集团有限公司

王京彬

有色金属矿产地质调查中心

尚福山

中国有色金属工业协会

文献军

中国有色金属工业协会

委员(以姓氏笔划排序)：

马世光

中国有色金属工业协会加工工业分会

马宝平

中国有色金属工业协会铝业分会

王再云

中铝山东分公司

王吉位

中国有色金属工业协会再生金属分会

王华俊

中国有色金属工业协会

王向东

中国有色金属工业协会钛锆铪分会

王树琪

中条山有色金属集团有限公司

王海东	中南大学出版社
乐维宁	中铝国际沈阳铝镁设计研究院
许健	中冶葫芦岛有色金属集团有限公司
刘同高	厦门钨业集团有限公司
刘良先	中国钨业协会
刘柏禄	赣州有色冶金研究所
刘继军	荏平华信铝业有限公司
李宁	兰州铝业股份有限公司
李凤轶	西南铝业(集团)有限责任公司
李阳通	柳州华锡集团有限责任公司
李沛兴	白银有色金属股份有限公司
李旺兴	中铝郑州研究院
杨超	云南铜业(集团)有限公司
杨文浩	甘肃稀土集团有限责任公司
杨安国	河南豫光金铅集团有限责任公司
杨龄益	锡矿山闪星锑业有限责任公司
吴跃武	洛阳有色金属加工设计研究院
吴锈钢	中国有色金属工业协会镁业分会
邱冠周	中南大学
冷正旭	中铝山西分公司
汪汉臣	宝钛集团有限公司
宋玉芳	江西钨业集团有限公司
张麟	大冶有色金属有限公司
张创奇	宁夏东方有色金属集团有限公司
张洪国	中国有色金属工业协会
张洪恩	河南中孚实业股份有限公司
张培良	山东丛林集团有限公司
陆志方	中国有色工程有限公司
陈成秀	厦门厦顺铝箔有限公司
武建强	中铝广西分公司
周江	东北轻合金有限责任公司
赵波	中国有色金属工业协会
赵翠青	中国有色金属工业协会
胡长平	中国有色金属工业协会
钟卫佳	中铝洛阳铜业有限公司
钟晓云	江西稀有稀土金属钨业集团公司
段玉贤	洛阳栾川钼业集团有限责任公司
胥力	遵义钛厂
黄河	中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司
黄粮成	中铝国际贵阳铝镁设计研究院
蒋开喜	北京矿冶研究总院
傅少武	株洲冶炼集团有限责任公司
瞿向东	中铝广西分公司



中国有色金属丛书

NMS

学术委员会

主任:

王淀佐 院士 北京有色金属研究总院

常务副主任:

黄伯云 院士 中南大学

副主任(按姓氏笔划排序):

于润沧	院士	中国有色工程有限公司
古德生	院士	中南大学
左铁镞	院士	北京工业大学
刘业翔	院士	中南大学
孙传尧	院士	北京矿冶研究院
李东英	院士	北京有色金属研究总院
邱定蕃	院士	北京矿冶研究院
何季麟	院士	宁夏东方有色金属集团有限公司
何继善	院士	中南大学
汪旭光	院士	北京矿冶研究院
张文海	院士	南昌有色冶金设计研究院
张国成	院士	北京有色金属研究总院
陈景	院士	昆明贵金属研究所
金展鹏	院士	中南大学
周廉	院士	西北有色金属研究院
钟掘	院士	中南大学
黄培云	院士	中南大学
曾苏民	院士	西南铝加工厂
戴永年	院士	昆明理工大学

委员(按姓氏笔划排序):

卜长海	厦门厦顺铝箔有限公司
于家华	遵义钛厂
马保平	金堆城钼业集团有限公司
王辉	株洲冶炼集团有限责任公司
王斌	洛阳栾川钼业集团有限责任公司

王林生	赣州有色冶金研究所
尹晓辉	西南铝业(集团)有限责任公司
邓吉牛	西部矿业股份有限公司
吕新宇	东北轻合金有限责任公司
任必军	伊川电力集团
刘江浩	江西铜业集团公司
刘劲波	洛阳有色金属加工设计研究院
刘昌俊	中铝山东分公司
刘侦德	中金岭南有色金属股份有限公司
刘保伟	中铝广西分公司
刘海石	山东南山集团有限公司
刘祥民	中铝股份有限公司
许新强	中条山有色金属集团有限公司
苏家宏	柳州华锡集团有限责任公司
李宏磊	中铝洛阳铜业有限公司
李尚勇	金川集团有限公司
李金鹏	中铝国际沈阳铝镁设计研究院
李桂生	江西稀有稀土金属钨业集团公司
吴连成	青铜峡铝业集团有限公司
沈南山	云南铜业(集团)公司
张一宪	湖南有色金属控股集团有限公司
张占明	中铝山西分公司
张晓国	河南豫光金铅集团有限责任公司
邵武	铜陵有色金属(集团)公司
苗广礼	甘肃稀土集团有限责任公司
周基校	江西钨业集团有限公司
郑莆	中铝国际贵阳铝镁设计研究院
赵庆云	中铝郑州研究院
战凯	北京矿冶研究总院
钟景明	宁夏东方有色金属集团有限公司
俞德庆	云南冶金集团总公司
钱文连	厦门钨业集团有限公司
高顺	宝钛集团有限公司
高文翔	云南锡业集团有限责任公司
郭天立	中冶葫芦岛有色金属集团有限公司
梁学民	河南中孚实业股份有限公司
廖明	白银有色金属股份有限公司
翟保金	大冶有色金属有限公司
熊柏青	北京有色金属研究总院
颜学柏	陕西有色金属控股集团有限公司
戴云俊	锡矿山闪星锑业有限责任公司
黎云	中铝贵州分公司

总序



有色金属是重要的基础原材料，广泛应用于电力、交通、建筑、机械、电子信息、航空航天和国防军工等领域，在保障国民经济建设和社会发展等方面发挥了不可或缺的作用。

改革开放以来，特别是新世纪以来，我国有色金属工业持续快速发展，已成为世界最大的有色金属生产国和消费国，产业整体实力显著增强，在国际同行业中的影响力日益提高。主要表现在：总产量和消费量持续快速增长，2008年，十种有色金属总产量2 520万吨，连续七年居世界第一，其中铜产量和消费量分别占世界的20%和24%；电解铝、铅、锌产量和消费量均占世界总量的30%以上。经济效益大幅提高，2008年，规模以上企业实现销售收入预计2.1万亿以上，实现利润预计800亿元以上。产业结构优化升级步伐加快，2005年已全部淘汰了落后的自焙铝电解槽；目前，铜、铅、锌先进冶炼技术产能占总产能的85%以上；铜、铝加工能力有较大改善。自主创新能力显著增强，自主研发的具有自主知识产权的350 kA、400 kA大型预焙电解槽技术处于世界铝工业先进水平，并已输出到国外；高精度内螺纹铜管、高档铝合金建筑型材及时速350 km高速列车用铝材不仅满足了国内需求，已大量出口到发达国家和地区。国内矿山新一轮找矿和境外矿产资源开发取得了突破性进展，现有9大矿区的边部和深部找矿成效显著，一批有实力的大型企业集团在海外资源开发和收购重组境外矿山企业方面迈出了实质性步伐，有效增强了矿产资源的保障能力。

2008年9月份以来，我国有色金属工业受到了国际金融危机的严重冲击，产品价格暴跌，市场需求萎缩，生产增幅大幅回落，企业利润急剧下降，部分行业

已出现亏损。纵观整体形势，我国有色金属工业仍处在重要机遇期，挑战和机遇并存，长期发展向好的趋势没有改变。今后一个时期，我国有色金属工业发展以控制总量、淘汰落后、技术改造、企业重组、充分利用境内外两种资源，提高资源保障能力为重点，推动产业结构调整和优化升级，促进有色金属工业可持续发展。

实现有色金属工业持续发展，必须依靠科技进步，关键在人才。为了提高劳动者素质，培养一大批高水平的科技创新人才和高技能的技术工人，由中国有色金属工业协会牵头，组织中南大学出版社及有关企业、科研院校数百名有经验的专家学者、工程技术人员，编写了《中国有色金属丛书》。《丛书》内容丰富，专业齐全，科学系统，实用性强，是一套好教材，也可作为企业管理人员和相关专业大学生的参考书。经过编写、编辑、出版人员的艰辛努力，《丛书》即将陆续与广大读者见面。相信它一定会为培养我国有色金属行业高素质人才，提高科技水平，实现产业振兴发挥积极作用。

康翔

2009年3月

前言

铜的湿法冶炼技术是采用各种浸出方法(堆浸、搅拌浸出、生物浸出、地下浸出等)直接从难采选的铜矿或低品位铜矿中提取铜,用特定的萃取剂从含铜溶液萃取铜、去除杂质,然后采用电积的办法生产出高品位的阴极铜。由于该项技术的投资和成本远低于传统的炼铜工艺以及不污染环境等,所以得到了迅速的发展。该方法在国外已达到了很大的生产规模和很高的机械化、自动化水平。近年来处理硫化铜矿的生物冶金技术也得到了迅速的发展,为铜湿法冶炼的进一步发展提供了广阔的前景。

湿法炼铜由浸出、萃取、电积三个工序组成。企业通常把整个过程分为三个生产车间进行管理。

浸出:用硫酸溶液溶解矿石中的铜,生成硫酸铜溶液。浸出的方法有搅拌浸出、堆浸浸出、生物浸出、地下浸出等。一般高品位矿石用搅拌浸出,低品位矿石用堆浸浸出。有条件的工厂则搅拌浸出和堆浸浸出同时进行,对提高金属的回收率、降低生产成本、环境保护等都有好处。

在一些特殊的条件可以采用生物浸出和地下浸出,但相对要少些。

堆浸浸出工序比较简单,只要将矿石破碎成一定大小的块矿,堆成一定的形状,往矿堆上喷洒一定量的稀硫酸溶液,慢慢地进行化学反应,然后从矿堆下面就会流出硫酸铜溶液。

搅拌浸出的工艺则要复杂得多,一般先要将大块矿石破碎成中、小形块矿,再进行筛分,然后放到半自磨机或球磨机里加水研磨,再进行粗细分离,将其中-200 目的矿浆,用浓密机进行脱水,最后再进到浸出槽里,加入硫酸进行化学反应,2 小时左右就可以完成浸出反应,生成硫酸铜溶液。因此,搅拌浸出工艺比较复杂,必须有矿石破碎系统、筛分系统、磨矿系统、脱水系统,最后才能进入浸出工序。后面还有尾矿清洗回收系统、酸性水处理、尾矿水回收等环保系统。有的工厂还要对有些矿石进行浮选。

萃取:实质上是将浓度比较低的浸出液进行浓缩(富集),以达到电积工序所需要的浓度条件的硫酸铜溶液。

萃取由萃取和反萃两个部分组成。

萃取,即采用一种萃取剂把铜萃入有机相;反萃就是用硫酸溶液再把有机相中的铜反萃到另一种水相中。一般将萃取工序纳入一个单位管理,称为“萃取车间”。

电积:将反萃液(即高浓度硫酸铜溶液)用电积法生产阴极铜。一般将电积工序纳入一个单位管理,称为“电积车间”。

湿法炼铜知识根据上述说明的选矿车间、萃取车间、电积车间顺序进行介绍。当然,后面还简单介绍了一些配套的供电系统和供水系统等。

位于非洲刚果(金)的铜矿贮藏量占世界的 10%,居世界第二位,号称“中非宝石”,刚果(金)南部的加丹加省和赞比亚相邻的地区是世界著名的加丹加铜钴矿带。

目前,由于国内铜矿储量日趋减少,远远不能满足国内铜的需求,不少企业响应国家走出去的号召,纷纷来到这个世界著名的加丹加铜钴矿带。现在,在这一地区已经聚集有数十家的各种中国公司和企业,从业人员数万人,他们都是来进行铜的采选和冶炼,除了极少数的公司采用小型火法炼铜外,绝大多数公司都是采用湿法冶炼方法炼铜。

上海鹏欣公司组建的“刚果(金)希图鲁矿业公司”(简称SMCO)位于加丹加铜钴矿带的利卡西市,是目前刚果(金)最大的湿法炼铜企业,设计年产电积铜4万吨,自动化程度非常高。刚果(金)希图鲁矿业公司就是采用“浸出—萃取—电积”工艺生产电积铜。

笔者长期从事铜冶炼行业的工作,在工作中发现到目前为止,湿法炼铜方面还没有一本实用的培训资料。刚参加工作的新职工对铜的湿法冶炼更是一无所知,无法很好地自学,若有一本这方面的培训资料,对他们的学习、成长和工作都是非常有利的。

笔者自2010年初加盟刚果(金)希图鲁矿业公司以来,参加了从设计到施工、安装调试和试生产的全过程。公司董事长何昌明先生经常说:“我们应该对社会做点贡献。”于是,笔者根据多年的工作经验,结合设计院的有关资料和在SMCO的工作实践,编写了这本培训教材——《湿法炼铜工艺·设备与控制》,作为湿法炼铜行业职工的培训教材。

本书主要介绍湿法炼铜的有关知识,以刚果(金)希图鲁矿业公司的设计资料为蓝本,参考了一些其他的资料,根据湿法炼铜生产工艺流程的顺序分章介绍。

每个工序的内容是一章,每章介绍的内容分别是:工序功能、带检测点的工艺流程图(P&I图)、工艺流程描述、工序设备、主要设备介绍、自动控制系统介绍、监测仪表介绍、设备连锁系统介绍、操作规程、操作点检注意事项等。后面还有SMCO在生产过程中遇到的各种问题和进行改造以解决问题的方法。

为了加强对本书的学习和理解,本书的附录特别地介绍了一些有关自动控制方面的基础知识。

另外,在本书的附录中还收集了几家湿法铜冶炼厂的设计工艺流程图,对其设计特点进行了一些介绍,供对此感兴趣的读者参考。

本书对湿法炼铜企业生产一线的操作工人、机电维修人员都有重要的参考价值,尤其是对刚参加工作的新职工,通过自学将会得到事半功倍的效果,对新建的湿法铜冶炼厂将有更大的益处,会给他们的培训工作提供极大的方便。

本书的读者是湿法铜冶炼企业的操作工人,机、电、仪维修人员。但它也可以作为铜冶炼专业大专院校学生的参考书。

本书在编写的过程中得到了上海鹏欣集团董事局主席姜照柏先生的肯定和支持,希图鲁矿业公司董事长何昌明先生和总经理何寅先生多次表示关心,SMCO不少员工都提供了大量的帮助,另外,还得到了中国瑞林工程技术有限公司等单位有关人员的大力协助,在此向他们表示衷心的感谢!

但愿此书的出版能为我国湿法铜冶炼行业的发展、壮大贡献自己的一点微薄之力。

由于笔者水平有限,文中难免有叙述不清、解释不明,甚至有一些错误的地方,敬请各位读者批评指正。

编者

目 录



绪论 铜及铜冶炼的有关知识	1
第1章 矿石破碎工序	3
1.1 工艺流程	3
1.2 工序设备	3
1.3 自动控制与设备连锁系统	7
1.4 生产操作	11
1.5 投产以来的技术改造	12
第2章 磨矿工序	13
2.1 工艺流程	13
2.2 工序设备	13
2.3 自动控制与设备连锁系统	18
2.4 生产操作	31
2.5 投产以来的技术改造	33
第3章 浸前脱水工序	35
3.1 工艺流程	35
3.2 工序设备	35
3.3 自动控制、仪表监测、设备连锁系统	39
3.4 生产操作	42
3.5 投产以来的技术改造	44
第4章 浆化浸出工序	46
4.1 工艺流程	46
4.2 工序设备	52
4.3 自动控制、仪表监测、设备连锁系统	54
4.4 生产操作	55
4.5 投产以来的技术改造	59
4.6 以后要解决的问题	60
第5章 逆流洗涤工序	61
5.1 工艺流程	61
5.2 工序设备	63
5.3 自动控制与设备连锁系统	64

5.4	生产操作	64
5.5	投产以来的技术改造	65
第6章	中和剂制备工序	66
6.1	工艺流程	66
6.2	工序设备	67
6.3	自动控制与设备连锁系统	68
6.4	生产操作	68
第7章	尾矿中和工序	76
7.1	工艺流程	76
7.2	工序设备	76
7.3	自动控制系统	78
7.4	生产操作	78
7.5	投产以来的技术改造	79
第8章	萃取工序	80
8.1	工艺流程	80
8.2	工序设备	90
8.3	自动控制系统	95
8.4	仪表监测系统	99
8.5	设备连锁系统	101
8.6	生产操作	102
8.7	生产中应注意的几个问题	110
8.8	投产以来的技术改造	112
第9章	电积工序	115
9.1	工艺流程	115
9.2	工序设备	119
9.3	自动控制、仪表监测、设备连锁系统	132
9.4	生产操作	137
9.5	生产中应注意的几个问题	138
第10章	硫酸系统	145
10.1	熔硫工序	145
10.2	焚硫转化工序	150
10.3	干燥、吸收、成品工序	157
10.4	生产操作	164
第11章	动力系统	167
11.1	供电系统	167
11.2	供水系统	169

附录	174
附录 1 自动控制的基础知识	174
附录 2 几个湿法铜冶炼厂工艺流程特点介绍	188
附录 3 矿浆浓度计	213
附录 4 铜冶炼生产的安全环保	215
参考文献	218

绪论 铜及铜冶炼的有关知识

0.1 铜的物理化学性质

铜是紫红色金属，密度是 8.96 g/cm^3 ，熔点是 1083.4°C ，沸点是 2325°C 。铜的导热性和导电性在所有金属中仅次于银。铜在干燥的空气中不易氧化，但在含有二氧化碳的潮湿空气中，表面易生成一层有毒的碱式碳酸铜(俗称铜绿)，这层薄膜能保护铜不再被腐蚀。铜在盐酸和稀硫酸中不易溶解，但能溶于有氧化作用的硝酸和含有氧化剂的盐酸中。铜还能溶于氨水。铜易加工，可制成管、棒、线、带以及箔等型材。

铜易与许多元素形成合金，如青铜(铜锡合金)、黄铜(铜锌合金)、白铜(铜镍合金)等等。地壳中铜的含量仅占 0.01% 。铜的矿物常见的有黄铜矿、斑铜矿和孔雀石，前两者属于硫化铜矿，后者属于氧化铜矿。

0.2 铜的用途

铜是一种重要的有色金属，也是人类最先发现和最早使用的金属之一。远在史前时代，人类就用天然铜及其合金制造各种劳动工具、兵器及生活用具、装饰品等。现在，铜及其合金在国民经济各部门仍然起着非常重要的作用，其消耗量仅次于钢铁和铝。

由于铜具有良好的导电性、传热性、延展性、较强的抗拉和耐腐蚀性，所以，在电力工业、机械制造业、国防工业以及国民经济其他各部门都有广泛的用途，特别是在国防工业和电力工业中，尤其突出。在国防工业上，制造枪弹、飞机、大炮、坦克、战车、兵舰都要使用到铜；在电气、电子工业中，可制造电缆、导线、电机及输电、电讯器材、精密电器等。

0.3 铜的冶炼

铜一般以化合物的形式存在于地下的矿藏中。铜矿石经过采、选得到铜精矿。铜精矿除含有一定量的铜外，还伴生有一些其他的元素，如金、银、铂、钯、铋、镍、铁、铅、硫、砷等。相对于铜来说，这些都是杂质，都是要除去的。所谓铜冶炼，就是想办法将铜元素以外的其他杂质去掉，得到高品位的纯净铜。

在这些杂质中，金、银、铂、钯等属于贵金属，是不能随意扔掉的，要想法回收；为了加强资源的再利用，还要想法回收这些杂质中的铋、镍等；而这些杂质中的铁、铅、砷等由于品位不高，不具备回收价值，是真正的杂质，要尽量去掉；硫在燃烧的过程中会产生大量的热量，这是火法铜冶炼的基本能源。

现代的铜冶炼方法分为火法冶炼和湿法冶炼两种，火法冶炼在铜的冶炼中约占 90% ，湿

法冶炼在铜冶炼中只占 10% 多一点。火法冶炼多用于硫化矿，而湿法冶炼则多用于氧化矿和低品位的铜矿石。

随着富矿逐渐枯竭、矿石品位下降，矿物原料综合利用程度的提高、环境保护标准的日趋严格，湿法冶炼得到了迅速的发展。在国外已达到了很大的生产规模和很高的机械化、自动化水平。近年来处理硫化铜矿的生物冶金技术也得到了迅速的发展，为铜湿法冶炼的进一步发展提供了广阔的前景。

第 1 章 矿石破碎工序

将采矿场送来的大块矿石经颚式破碎机破碎成小于 150 mm 的块矿，经皮带运输机送到中间矿堆堆存。这是为磨矿工序准备原料的工序。

1.1 工艺流程

破碎工序的工艺流程见图 1-1。

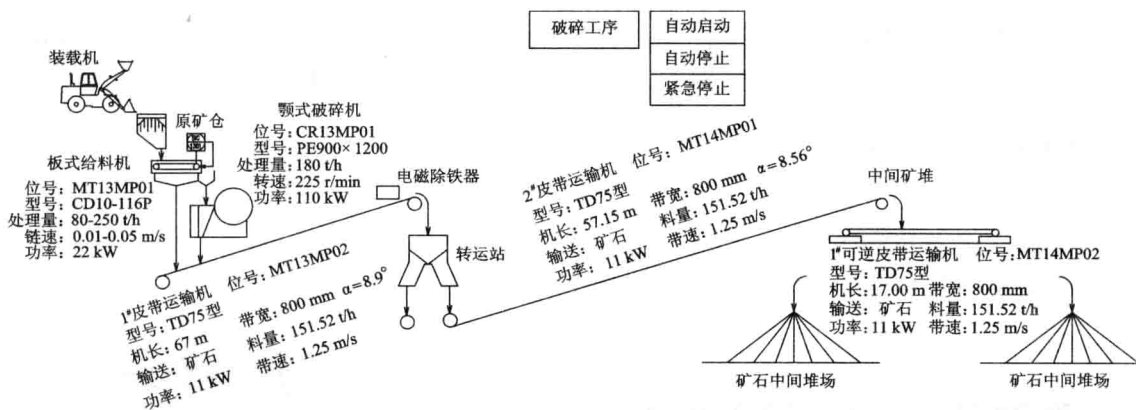


图 1-1 矿石破碎工序工艺流程图

铲车将堆放在原矿堆场内不同品位的矿石倒运至原矿仓，矿仓底下设有一台板式给料机。板式给料机是由变频器控制的电机驱动的，可以任意调节给料速度（即可以任意调节颚式破碎机的给料量），将配好的矿石送给颚式破碎机进行破碎。原矿石是不大于 650 mm 的块状粗矿，经破碎后产品的粒度不大于 150 mm；板式给料机的粉料与颚式破碎机排料合并，经 1# 皮带运输机运至转运站。转运站下有两个排料口：一个是用于白云石排料，将其通过 6# 皮带运输机运送到中和剂仓；另外一个用于矿石排料，通过 2# 皮带运输机转运到处于高位置的 1# 可逆皮带运输机，再分别送到两个矿石中间堆场堆存。

1.2 工序设备

1.2.1 主要设备

1. 重板给料机

工位号：MT13MP01；生产厂家：北方重工集团有限公司。型号：CD10-116P；给料能