

西安建筑科技大学

硕士学位论文

梅山铁矿尾矿高压浓缩工艺研究

姓名：张祖刚

申请学位级别：硕士

专业：矿物加工工程

指导教师：何廷树;孙炳泉

20050601

摘 要

减少环境污染和提高尾矿浓缩浓度,已成为梅山铁矿选矿科研工作面临的最重要的技术挑战。通过高压浓缩生产工艺能够解决这些问题。提高尾矿底流浓度主要依靠高压浓缩先进技术的应用和絮凝剂的选择及影响絮凝沉降因素的合适控制。论文主要的研究目标是研究改善尾矿沉降性能的途径,研究影响絮凝沉降的主要因素和分析普通浓密机、高压深锥浓密机的沉降浓缩机理,实现尾矿高浓度浓缩和输送。

论文的主要研究内容有:(I)用静态沉降试验研究了改善梅山尾矿沉降性能的途径,选择出絮凝剂种类、确定絮凝剂用量范围、合适的絮凝浓缩条件以及温度对沉降性能的影响。确定阴离子聚丙烯酰胺是梅山尾矿的有效絮凝剂。(II)温度对压缩时间的研究表明,随浓度提高温度系数 K_c 变大,温度对压缩时间的影响愈显著,随浓度增高越难压缩; 10°C – 18°C 温度区段的 K_c 值最大,表明在此温度区段温度对压缩时间的影响最显著; 6°C – 10°C 温度区段难压缩,所以 K_c 值小, 18°C 以上非常易压缩,因此 K_c 值也小。(III) $\Phi 1.5\text{m}$ 高压深锥浓密机对梅山尾矿的分流试验得出高压深锥浓密机具有较高的设备处理能力,高压浓密机加絮凝浓缩可获得较高的稳定的底流浓度。实践证明,应用高压浓密机与 $\Phi 50\text{m}$ 浓密机高效化改造浓缩新工艺处理梅山尾矿取得了成功,底流浓度达到 45%,溢流含固量 $\leq 300 \times 10^{-6}$ 。(IV)运用流体力学对固体颗粒在普通浓密机不同区的沉降理论进行研究,对高压深锥浓密机的液固相进行两相流运动分析,研究了高分子絮凝剂在尾矿固体颗粒表面的吸附行为、吸附过程以及絮凝机理。

关键词: 浓密机 絮凝剂 尾矿 沉降性能 高压浓缩 工艺与理论

Abstract:

To reduce environmental pollution and to increase thickening density of tailings have become the most important technical challenges facing the dressing scientific research work of Meishan Iron Mine. The high-pressure thickening process may solve these problems. To increase underflow density of the tailings mainly depends on the application of the advanced high-pressure thickening technology, selection of flocculent and appropriate control influencing flocculating settling factor. The paper mainly aims to research on the ways to improve the settling property of the tailings, to research on the main factors affecting flocculating settling and to analyze the settling thickening mechanisms of a general thickener and a high-pressure deep cone thickener, so as to realize high density thickening and transport of the tailings.

The paper has four main research contents: (1) The static settling test is used to research on the ways to improve the settling property of the tailings, selection of flocculent types, determination of flocculent dosage range, appropriate flocculating thickening conditions and effect of temperature on the settling property. It is determined that the anion polyacrylamide is an effective flocculent for Meishan tailings. (2) The research on temperature to compressing time shows that with enhancement of density, the temperature K_c enlarges, the effect of the temperature on the compressing time is significant. With increasing of density, the compression becomes difficult. The K_c value in the temperature section of 10°C - 18°C is the largest. It shows that the temperature has a significant effect on the compressing time in this

temperature section. The compression becomes difficult in the temperature section of 6°C-10°C, therefore, the Kc value is small. The compression becomes easy as the temperature is above 18°C, therefore, the Kc value is also small. (3) The test results of a part of Meishan tailings by using the ϕ 1.5m high-pressure deep cone thickener show that the high-pressure deep cone thickener has high capacity. The stable underflow density may be obtained as the high-pressure thickener and the flocculating thickening process are used. The practice proves that the improved thickening process of using the high-pressure thickener and ϕ 50m thickener to treat Meishan tailings has achieved good results. The underflow density reaches 45% and solid content in the overflow is $\leq 300 \times 10^{-6}$. (4) The fluid mechanics is used to research on the settling theory of solid particles in different zones of the general thickener. The two-phase flow movement of the liquid-solid phase of the high-pressure deep cone thickener is analyzed. The paper researches on the adsorption behaviour, adsorption process and flocculating mechanism of high molecular flocculent on the solid particle surface of the tailings.

Keywords: Thickener, Flocculent, Tailing, Settling property, High-pressure thickening, Process and theory

声 明

本人郑重声明我所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含本人或其他人在其它单位已申请学位或为其它用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的所有贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了致谢。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

论文作者签名：张祖刚

日期：2005年6月13日

关于论文使用授权的说明

本人完全了解西安建筑科技大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或者其它复制手段保存论文。

（保密的论文在论文解密后应遵守此规定）

论文作者签名：张祖刚 导师签名：

日期：2005年6月13日

前 言

梅山铁矿的矿石储量丰富,铁矿石总储量两亿六千多万吨。铁矿石中主要含铁矿物为磁铁矿、赤铁矿、菱铁矿和黄铁矿等;主要脉石矿物有白云石、方解石、磷灰石、石英、玉髓、粘土矿物等。

近年来随着采出品位的下降,矿物组成发生较大变化,菱铁矿大量增加,致使梅山尾矿由于矿石中含有大量粘土类矿物(高岭土、云母等)及碳酸盐类矿物(白云石、方解石等),尾矿粒度细、沉降性能较差。尤其是重选尾矿,原生细泥含量高,粘土类矿物多,其-200目粒级中细粒级含量很高,十分难沉降,该尾矿属于难沉降的尾矿。冬季的低温使浓密机溢流水中固体含量增大,影响了回水的利用。

梅山尾矿浓缩系统原采用5台 $\Phi 50\text{m}$ 浓密机三段浓缩脱水工艺,尾矿输送浓度可提高到30-35%,用三台SGMB170/7油隔离泵输送到尾矿库进行堆存。该尾矿浓缩工艺由于浓缩效果差,底流浓度低,难以满足生产要求。特别是进入冬季生产,尾矿浓缩系统跑浑严重,既影响环水利用又影响正常生产,生产中多余的工业废水直接外排进入新秦淮河水系,严重影响南京市的生态环境。由于梅山铁矿地处南京市近郊,如果这些尾矿资源不能得到综合利用,不仅降低资源利用率,而且吉山尾矿库将很快堆满,因无法再找到合适的新尾矿库库址将面临被迫停产。因此,进行梅山尾矿浓缩工艺的研究和优化,提高尾矿浓缩浓度,已成为梅山铁矿选矿科研工作的当务之急。

本研究的主要目标是根据国内外尾矿沉降浓缩工艺的研究现状和高压浓密机在国外浓缩工艺中处理大量尾矿的应用,探讨改善梅山尾矿沉降性能的途径,应用高压浓缩先进技术提高尾矿浓密机底流浓度,达到尾矿制砖综合利用要求的浓度的目标,确保冬季环水水质达到利用和排放要求。

论文主要分两部分:(I)重选尾矿、降磷尾矿、重选降磷混合尾矿和4[#]浓密机溢流的静态沉降试验和工业分流试验,提出浓缩系统改造方案。(II)对普通浓密机、高压深锥浓密机的沉降浓缩机理分析以及聚丙烯酰胺絮凝剂的絮凝机理的研究。

1 铁尾矿浓缩沉降工艺进展

1.1 我国尾矿浓缩生产工艺概况^{[3][6]}

我国的铁矿资源中多为贫矿,随着矿物资源的不断开采和利用,矿石日趋“贫、细、杂”。许多选矿厂通过助磨剂的添加等措施,解决了微细矿粒的单体解离和选别问题,但是选矿后产生了大量的细粒尾矿,需要进行浓缩、输送、堆存处理。据全国30个重点铁矿选矿厂的调查统计,每年需要处理的干尾矿约6342万吨。按现有尾矿浓度15%左右计算,每年需要输送尾矿浆约4.22亿 m^3 。如果将尾矿输送浓度提高到35%左右,经初步估算每年可节电2.78亿kwh,降低输送成本1.53亿元^{[3][27]}。

我国大中型矿山及选矿厂多为二十世纪50-60年代建设,受当时技术经济条件的限制,浓密机底流浓度较低,回水利用率低,尾矿输送量大、能耗高,溢流水悬浮物浓度高,一些微细粒有用矿物随溢流外排,既浪费资源又造成水系污染。如东鞍山铁矿浓密机溢流跑浑固体含量最高可达到5%,其结果一是资源损失严重,二是给附近造成环境污染。当前,全球水资源急剧短缺,生存环境日益恶化,人们对尾矿浓缩沉降技术提出了更高要求,并倾注了很多心血去研究开发新的浓缩沉降工艺,以达到降低选矿能耗、降低精矿成本、缓解生产用水紧张局势和保护环境的目。

据全国尾矿系统调查资料表明,我国多数选矿厂存在着尾矿颗粒细的状况,这就造成尾矿固体颗粒在浓缩过程中不易自然沉淀,给提高浓密机底流排矿浓度带来了不利的因素。表1-1列出20个选矿厂尾矿平均粒径与-200目含量。

1-1列出20个选矿厂尾矿平均粒径与-200目含量。

表1-1 尾矿平均粒径与-200目含量

选厂名称	平均粒径 / μm	-200目含量 /%	选厂名称	平均粒径 / μm	-200目含量 /%
南芬	44	78.9	酒钢	113	37.47
东鞍山	30.6	71.0	包钢	88	55.75
鞍钢烧总	70	61.0	石人沟	154	54.0
齐大山	50-70	59.4	符山	100	57.17
歪头山	114	44.2	凹山	75.1	-66 μm 占60.39
大孤山	44	68.2	梅山	26.03	86.05
弓长岭	49.8	64.0	大冶	42	64.54
大石河	182	27.7	攀矿	144	25.20
水厂	160	55.0	铁古坑	65	55.79
峨口	936	26.8	海南	45	60以上

从表1-1可以看出绝大多数的选矿厂尾矿平均颗粒粒度细,而且-200目以下的粒径所占

的比例大,这就为提高浓密机底流浓度带来了不利因素。如果强制提高底流浓度,势必恶化溢流水水质,所以各选矿厂只能在保证溢流水水质能回用且保证不压浓密机耙子的前提下维持一定的浓密机底流浓度。表1-2列出18个选矿厂浓密机底流浓度。

表1-2 尾矿浓密机底流浓度

选厂名称	正常底流 浓度/%	瞬时底流 浓度/%	选厂名称	正常底流 浓度/%	瞬时底流 浓度/%
南 芬	15.0	--	酒钢	15-17	
鞍钢烧总	28.0-25.65	--	包钢	14	--
齐大山	25	33	石人沟	10	14
歪头山	10-12	15-25	符山	13-16	21.34
大弧山	13.1-18.5	--	凹山	14.48	--
弓长岭	18.2	30-35	梅山	13-15	--
大石河	16-16.5	20	大冶	30-35	40
水 厂	15.5	--	攀矿	30	--
峨 口	22.2	--	铁古坑	12.32	--

从表1-2中可以看出多数选矿厂尾矿浓密机底流浓度都在20%以下,如果进入尾矿总砂泵站前再混入其他的废水,尾矿的输送浓度还要降低。表1-3列出20个选矿厂尾矿输送浓度。

表1-3 尾矿输送浓度

选厂名称	浓 度 (%)	选厂名称	浓 度 (%)
南 芬	10.0	酒钢	12.1
东鞍山	18.0	包钢	14.17
鞍钢烧总	20.04	石人沟	10.0
齐大山	12.40	符山	12-16
歪头山	12.90	凹山	13.26
大弧山	16.30	梅山	30.0
弓长岭	11.0	大冶	30.0
大石河	15.4	攀矿	20.0
水 厂	15.3	铁古坑	7
峨 口	22.2	海南	15.0

从表1-3中可以看出多数选矿厂尾矿输送浓度都低于浓密机底流浓度,要想提高尾矿输送浓度,关键在提高浓密机底流排矿浓度。近年来,由于水隔离泥浆泵、油隔离泥浆泵及喷水式柱塞泵在尾矿输送系统中的应用,为尾矿输送系统实现高浓度、远距离输送创造了有利条件,但尾矿矿浆高浓度制备仍没有得到很好的解决。很多设计科研部门及生产厂矿自二十世纪九十年代以来在尾矿浓缩沉降工艺和新型浓缩设备研究方面做过不少的工作。如鞍山冶金设计研究院在张家洼、尖山等新建矿山选矿厂设计的两段浓缩可使矿浆浓度提高到40%左右,但只在新建厂矿才有可能实现,且基建投资较高。又如秦皇岛院在棒磨山设计的两段浓

缩,也使尾矿浓度提高到40%左右,但选矿工艺部分要相应地进行较大的改造,在现有厂矿推行也有较大的困难。又如峨口铁矿采用絮凝浓缩也可使矿浆浓度提高到35-38%,但它仅对于像峨口那样尾矿矿浆在坝前通过旋流器进行二次分级的中线筑坝方法才比较适用。另外,我国长沙矿冶研究院研制了深锥浓密机SZN-6,直径为6m,沉降面积为28m²,在江西铜业公司武山铜矿进行了工业试验,获得了成功^{[49][52]}。

我国多数选矿厂均为二十世纪50-60年代建设,多数选矿厂均已建厂多年,厂区内增建了很多附属建筑物,将原系统改造成两段浓缩困难较多,再想新建浓密机十分困难。以弓长岭为例,1991年曾作过高浓度输送的科研,如果再新建二段浓密机需搬迁很多厂房,困难很大不易实现。所以要实现尾矿系统高浓度输送,能否利用现有尾矿浓缩沉降系统并稍做改造就简便经济地制备出高浓度的矿浆将是个关键的问题^[7]。

1.2 尾矿浓缩沉降工艺的技术现状

近年,国内外针对不同矿石的尾矿沉降特性,进行了较为深入的尾矿浓缩沉降工艺研究。主要工艺有:多段浓缩工艺、高效旋流器-絮凝浓缩工艺、旋流器分级-高效浓密机工艺和深锥浓密机脱水工艺。

1.2.1 多段浓缩工艺

梅山铁矿二期工程的尾矿浓缩系统由鞍山矿山设计院设计成三段浓缩脱水工艺,尾矿输送浓度可提高到30-35%。该尾矿浓缩系统现采用5台Φ50m浓密机进行浓缩,浓缩机底流通过输送泵送到尾矿高位料仓,采用三台SGMB170/7油隔离泵输送到尾矿库进行堆存,浓缩系统的工艺流程见图1-1。

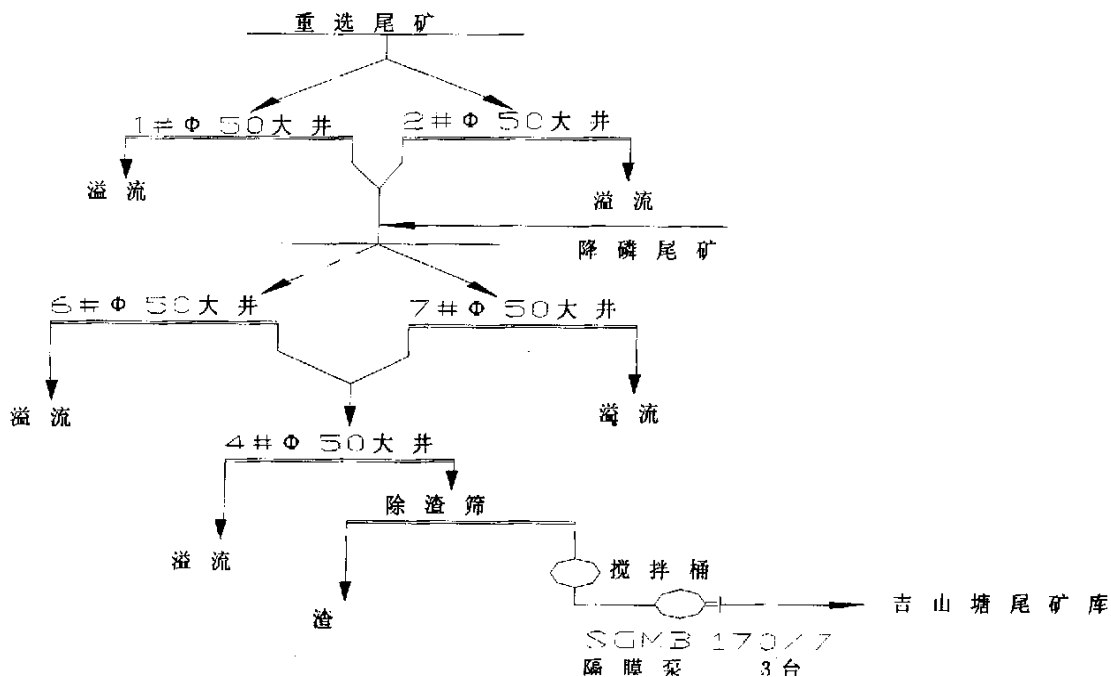


图1-1 原尾矿浓缩处理系统工艺流程

1.2.2 高效旋流器-浓密机混凝沉降工艺^{[5][8][45]}

武钢大冶铁矿选矿厂采用先浮后磁工艺,其最终尾矿全部送2台 $\Phi 50\text{m}$ 的浓密机经一段浓缩后,底流经总砂泵站送到尾矿库,溢流全部循环使用。近几年来,由于入选原矿品位下降,尾矿产率大增,2台浓密机沉降面积不足使得浓密机溢流混浊。为此,同中南工业大学合作开展旋流器-浓密机混凝沉降工艺的研究,用以代替一段浓缩工艺。其基本设想是:尾矿矿浆先经旋流器浓缩获得高浓度高产率的沉砂;旋流器溢流再进入浓密机,加药进行浓缩沉降,获得合格溢流水质,旋流器沉砂和浓密机底流合并,达到尾矿高浓度输送的目的。其尾矿沉降浓缩原则流程见图1-2。

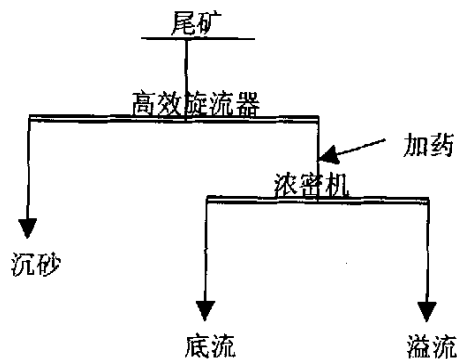


图1-2 武钢大冶铁矿选矿厂尾矿沉降浓缩工艺流程

1.2.3 旋流器分级-高效浓密机尾矿脱水工艺^{[4][54]}

高效浓缩机是在普通浓密机基础上发展起来的新型浓缩设备,主要用于黄金矿山炭浆法提金工艺的浸前浓缩。1998年新疆喀拉通克铜镍矿新建选矿厂,选矿厂规模为900t/d,因该矿地处寒冷地带并缺水,必须使用浮选尾矿回水。经试验推荐,采用高效浓密机进行浮选尾矿脱水工艺。生产中,浓密机底流浓度能够控制在45%以上且能保证溢流水质不跑浑,达到设计指标。其尾矿沉降浓缩原则流程见图1-3。

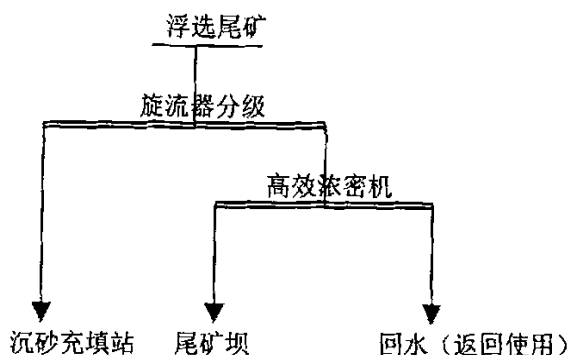


图 1-3 喀拉通克铜镍矿尾矿脱水工艺流程

1.2.4 国外用深锥浓密机处理尾煤浓缩工艺^[12]

在过去的几年中,能够生产膏体尾矿的工业脱水浓密机的设计和装备方面均有了很大的发展。加拿大铝业有限公司开发和完善了深锥型浓密机的设计、装备和自动化,这种设备已经在某些国家的氧化铝厂应用了约20年。加拿大铝业有限公司的深锥型浓密机生产膏体浓缩尾矿,其尾矿产量上限可达3000 t/d,浓密机直径为12~18m,高与直径比率为10。这种高径比率的浓密机结构紧凑,其面积大约为传统的浅型浓密机的10%。将矿山尾矿浓缩成膏体,可实现其缓坡度的露天堆存(而不是将矿浆沉淀在“湿”的尾矿池中),全世界已有12个地方应用浓缩尾矿露天堆存技术,其主要用于精选氧化铝、一些金和碱金属的细粒尾矿。最近,结构紧凑的自动控制深锥型浓密机在设计、效果和可用性等方面的发展很快,在不使用过滤机和离心机的情况下,也能生产均一的可堆积的膏体。因此,重新激起了人们对尾矿“干”堆的兴趣。另外,改善尾矿堆存的稳定性,大力保护水资源和减少对环境的影响,也成为世界范围的普遍要求^{[56][57][59]}。

1.3 浓缩沉降技术的研究方向

浓缩沉降是化工冶金矿业等连续物料流程作业的主要的固液分离工序,浓密机是固液分离的主要设备。第一批浓密机问世于二十世纪初期。随着资源的日益贫乏,选矿厂的处理量日益扩大,同时对环保的日益关注,国内外进行了大量的理论研究,浓缩沉降技术取得了重

要进展^{[1][2]}。

1.3.1 重力浓缩设备的大型化研究

重力浓密机是在重力场中实现悬浮物浓缩的设备。自从1905年道尔(Dorr)发明第一台耙式浓密机以来,浓缩设备得到了不断的发展,从60年代以来,其发展的主要方向是大型化和高效化,浓缩机向大型化发展的结果,使其直径达100-200m,因此大大地提高了其处理能力。如1993年鞍钢调军台选矿厂从美国“道尔”公司引进一台 $\Phi 140\text{m}$ 尾矿浓密机进行尾矿浓缩。调军台选矿厂的尾矿平均粒径为 $d_{50}=57.4\mu\text{m}$, -200目占74.6%,给矿浓度为5.98%,给矿量为746.22t/h,在添加絮凝剂后底流浓度达到45%左右,溢流浓度小于 100×10^{-6} 。但是,浓缩机的大型化以至超大型化存在笨重、占地面积大、基建投资费用高等缺点,使得其在选矿厂的推广应用受到限制^[26]。

1.3.2 国外浓缩设备的高效化研究

二十世纪六十年代末,国外开始发展高效浓密机和深锥浓密机,第一台深锥浓密机由英国煤碳局开发,用于处理尾煤,底流浓度可达60-70%^[55]。高效浓密机主要有三种类型,分别为EIMCO高效浓密机,Dorr-Oliver高效浓密机,Enviro-Clear高效浓密机,均采用絮凝浓缩,设计了自动控制系统,主要差别是給料井不同^{[20][21][35]}。

图1-4为英国煤碳公司用于处理尾煤的深锥浓密机,其直径为6m。待处理物料在溜槽中与絮凝剂混合,混合后的浆体通过給料井进入浓密机中,开始了悬浮液的固液分离过程。溢流水通过溢流槽排出,固体颗粒在重力作用下沉降到浓密机的底部,通过底流管排出。搅拌器在浓密机缓缓转动,在浓密机下部和浓相层中形成水的通道,使絮团中夹带水排出,进一步提高浓缩产品的浓度。

国外研究表明借助计算机流体力学模型(CFD)技术^{[22][36]},浓密机处理量可提高一倍。高效浓密机可以大型化,但底流浓度只能达到55%。深锥浓密机底流浓度可达70%,但直径较小,因此应用受到限制。近年国外开始发展高压浓缩浓密机,1995年Outokumpu公司制造的高压浓缩浓密机直径达35m,底流浓度稳定达到50%以上,最高达63%。高压浓密机结合了高效浓密机处理量大可以大型化及深锥浓密机底流浓度高的特点^{[14][30]}。

1.3.3 国内浓缩设备的高效化研究

从70年代初,国内的一些科研院所开始了高效浓缩设备和深锥浓密机的研究。我国煤碳系统70年代末研制了直径5m的深锥浓密机,底流浓度可以达到60-70%以上,呈膏状排出的底流可以采用皮带输送,但这种高效浓缩设备未能进一步大型化和在工业上推广应用^[54]。近年来我国长沙矿冶研究院研制了数个型号的高效浓密机,深锥浓密机和高压浓密机,最大的高压浓密机直径达到25m。图1-5是安装于三门峡中原冶炼厂用于黄金氰化洗涤的 $\Phi 12\text{m}$ 深锥浓密机^{[52][53]}。

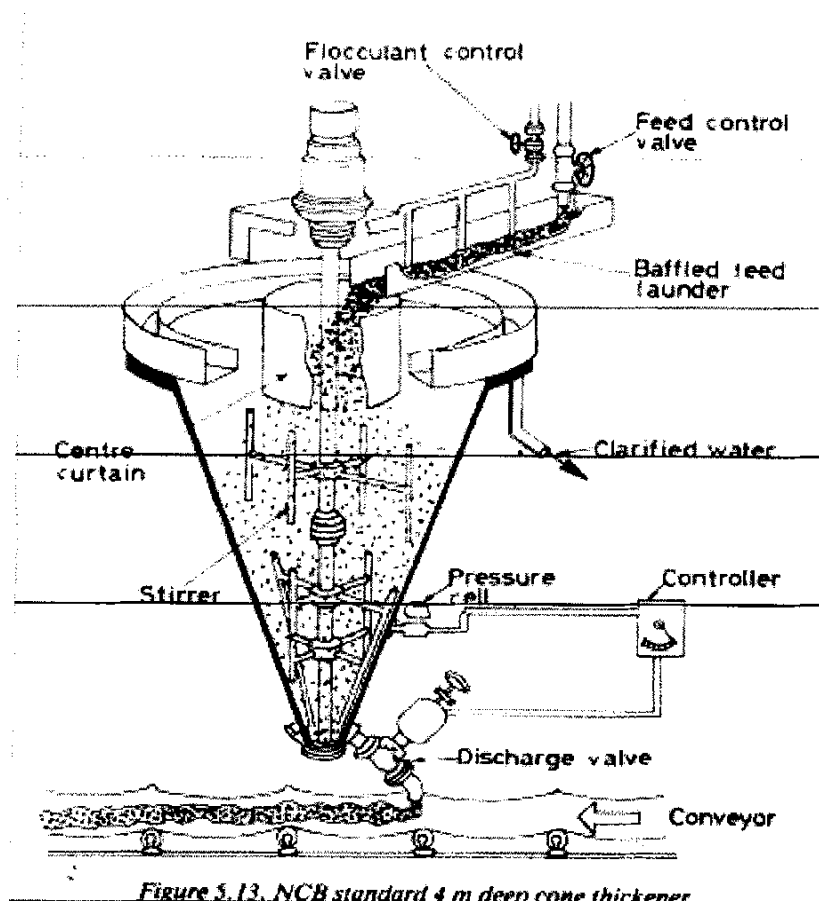


图1-4 英国煤炭局用于处理尾煤的 $\Phi 6\text{m}$ 浓密机



图1-5 长沙矿冶研究院 $\Phi 12\text{m}$ 深锥浓密机

1.3.4 沉降技术的研究^{[9][10][11]}

浓缩沉降技术的发展除了设计使用不同机械原理的沉降、澄清、浓缩设备外,主要集中于絮凝剂的开发上^[48]。当物料粒度很细时,特别是粒度小于 $5-10\mu\text{m}$ 的矿泥,细小颗粒之间由于范德华力的相互作用使其吸引,经常呈无选择的粘附状态。又由于细粒物料本身具有很大的比表面、质量小、表面能高、属于热力学不稳定体系,故细粒物料之间的粘附现象,经常可以自发产生。因此,絮凝剂的研究和开发在固液分离技术中深受重视并取得了较大进展。已用于浓缩沉降的絮凝剂包括:部分水解的聚丙烯酰胺、非离子型的聚丙烯酰胺,聚苯乙烯磺酸盐、含有螯合基和络合基团的聚丙烯酰胺等^{[40][63]}。

生物絮凝剂是近年发现的新型高效絮凝剂。有许多微生物具有一定的线型长度,有的表面具有较高的荷电性和较强的亲水性,能与固体颗粒通过离子键、氢键等作用结合,如同高分子聚合物一样,起着絮凝作用。生物絮凝剂可在较宽的 pH 值范围内作用,而且比合成絮凝剂的浓度要低。生物絮凝剂从研究到开发,虽然不到 20 年,但至今却已发现有 17 种以上的微生物具有较好的絮凝功能,其中有霉菌、细菌、放线菌和酵母等。有关文献报导,能被微生物絮凝剂处理的对象种类很多,目前主要有含高浓度有机物的废水、有色液体、活性污泥、粉煤灰、高岭土、粪尿水、泥水浆、河床沉积物及印染废水等。如美国内华达大学麦凯矿山学院化学和冶金工程系的 A.M 雷查等关于生物絮凝剂絮凝粉煤的研究就是一个好的发展方向。该研究所用生物絮凝剂为微生物分支杆菌属,呈一种冻干细菌培养的状态。作为对比所用的两种合成聚合絮凝剂为聚氧化乙烯(PEO)和聚丙烯酰胺(PAM)。研究表明,使用生物絮凝剂,絮团的形成非常迅速,并且很快沉降,可以获得较快的沉降速率;使用合成絮凝剂时,絮团慢慢地形成,结合松散的絮团缓慢沉降。

综上所述,目前国内外浓缩沉降技术主要是高压浓密机的大型化研究并借助计算机流体力学模型(CFD)技术进一步提高高压浓密机的处理量,同时对一些新型、高效絮凝剂的研究和开发,特别是一些生物絮凝剂的发现与应用。

1.4 本课题的提出、目标及研究内容

梅山铁矿位于南京市西南近郊,铁矿石总储量两亿六千多万吨,隶属于上海梅山集团公司,是宝钢集团梅山公司的铁精矿原料基地。该铁矿石属于典型的磁铁矿—赤铁矿—菱铁矿—黄铁矿复合铁矿石,主要有用矿物为磁铁矿、半假象赤铁矿、假象赤铁矿、菱铁矿和黄铁矿等;主要脉石矿物为磷灰石、白云石、方解石、石英、玉髓、粘土矿物,如高岭土、蒙脱石、伊利石、绢云母等。

梅山铁矿采用无底柱分段崩落法采矿,用竖井把矿石提升到地面。梅山铁矿目前已经形成年 400 万吨采选综合生产能力,选矿厂将从井下开采出来的矿石,除去有害杂质和大量脉石矿物,使精矿品位达到冶炼要求。梅山选矿厂原则工艺流程是磁重预选抛尾产生粗精矿和

部分尾矿，粗精矿经浮选脱硫和磁选降磷后，产生降磷尾矿和再经浓缩脱水后得到最终铁精矿产品。梅山选矿厂生产工艺原则流程见图 1-6。

梅山铁矿原尾矿浓缩系统采用 5 台 $\Phi 50\text{m}$ 浓密机进行沉降浓缩，形成三段浓缩脱水工艺，尾矿输送浓度可提高到 30-35%，用三台 SGMB170/7 油隔离泵输送到尾矿库进行堆存，浓缩系统的工艺流程见图 1-1。近年来随着采场开采深度的下降，采出品位越来越低，矿石性质发生较大变化，菱铁矿大量增加，致使梅山尾矿中含有大量的粘土类矿物（高岭土、云母）和碳酸盐类矿物，尾矿沉降性能较差。加之产量逐年增加，尾矿量增大，每年排出铁品位 20% 左右的细粒尾矿达 100 万吨以上，特别是进入冬季生产，尾矿浓密机沉降面积显得不够，原有的尾矿浓缩系统跑浑严重，既影响环水利用又影响正常生产，生产中多余的工业废水直接外排进入新秦淮河水系，严重影响南京市的生态环境。如果这些尾矿资源不能得到综合利用，不仅降低资源利用率，而且吉山尾矿库将很快堆满。由于梅山铁矿地处南京市近郊，无法再找到合适的新尾矿库，将面临被迫停产的可能。同时由于原尾矿浓缩系统底流浓度低，尾矿输送量大，不仅环水得不到充分利用，而且尾矿输送浪费大量的能源。因此，进行梅山尾矿浓缩工艺的研究和优化，进一步提高尾矿浓缩浓度，已成为梅山铁矿选矿科研工作的当务之急，关系到梅山铁矿的生存和发展。

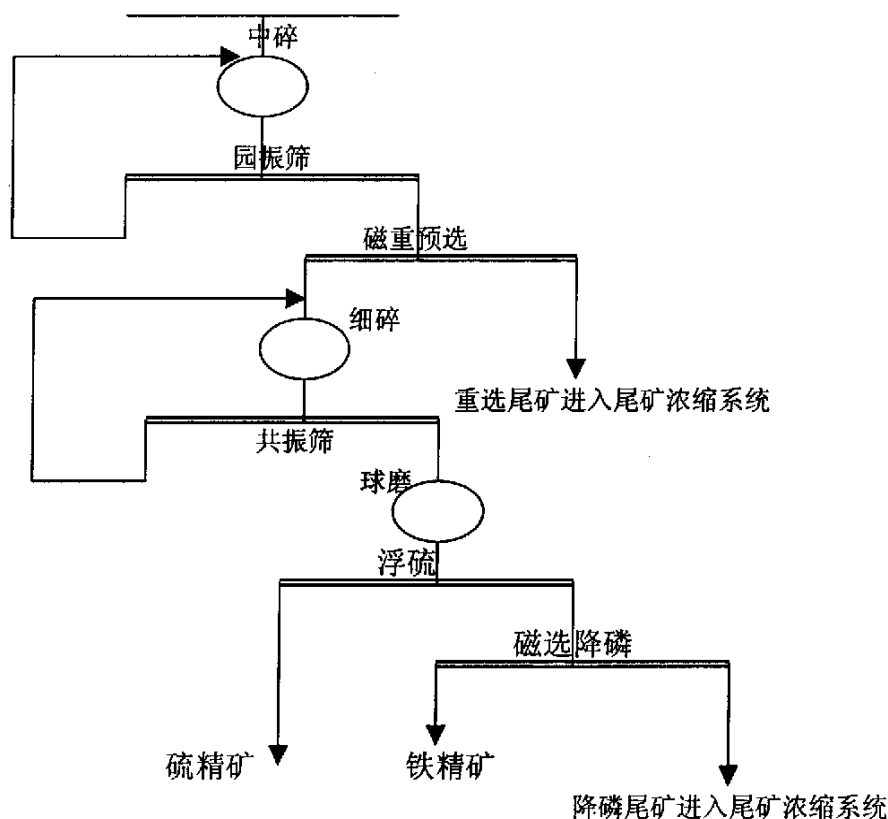


图 1-6 梅山选矿厂生产工艺原则流程

自 98 年以来,梅山铁矿同国内科研院所对尾矿浓缩系统进行了大量的试验研究工作,取得了一些进展。其主要试验研究工作有:尾矿的加药絮凝沉降,建设尾矿加药沉淀池和现有 $\Phi 50\text{m}$ 浓密机的高效化改造。但因受技术水平和浓缩工艺的制约,仍无法有效解决尾矿浓缩系统跑浑和溢流水对环境的污染。

为了解决溢流水对环境的污染和实现梅山尾矿高浓度浓缩及输送,本研究根据国内外尾矿沉降浓缩工艺的研究现状和高压浓密机在国外浓缩工艺中处理大量尾矿的应用,探讨改善梅山尾矿沉降性能的途径,应用高压浓密机先进技术提高尾矿浓密机底流浓度,达到尾矿制砖综合利用要求的浓度的目标,确保冬季环水水质达到利用和排放要求,提出对现有的尾矿浓缩系统可行性改造方案。

论文对普通浓密机沉降浓缩机理、高压深锥浓密机的液固两相流运动规律和聚丙烯酰胺絮凝剂的絮凝机理进行探讨和研究,以便更好指导工业生产。

对重选尾矿、降磷尾矿、重选降磷混合尾矿以及 $\Phi 4\text{m}$ 浓密机的溢流进行了静态沉降试验和工业分流试验,提出了浓缩系统改造方案。本研究也为国内其他铁矿山尾矿沉降浓缩工艺的改造,实现尾矿高浓度浓缩和输送提供了参考和借鉴。

2 试验样品、试验设备及研究方法

2.1 梅山尾矿物料性质

梅山铁矿选矿厂尾矿由于矿石中含有大量粘土类矿物(高岭土、云母等)及碳酸盐类矿物(白云石、方解石等),尾矿粒度细、沉降性能较差。尤其是重选尾矿,原生细泥含量高,粘土类矿物多,十分难沉降。冬季的低温使浓密机溢流水中固体含量增大,影响了回水的利用。

对梅山铁矿选矿厂的重选尾矿和磁选尾矿采用激光粒度分析仪进行了粒度测定,分析结果列于表 2-1。重选尾矿 d_{10} 粒度为 $0.63\mu\text{m}$, d_{50} 粒度为 $8.87\mu\text{m}$, d_{90} 粒度为 $72.25\mu\text{m}$, 平均粒度 $24.54\mu\text{m}$ 。 $-1\mu\text{m}$ 粒级达 12.81%, $-10\mu\text{m}$ 粒级高达 51.7%。磁选尾矿 d_{10} 粒度为 $0.53\mu\text{m}$, d_{50} 粒度为 $10.66\mu\text{m}$, d_{90} 粒度为 $179.7\mu\text{m}$, 平均粒度 $52.39\mu\text{m}$ 。 $-1\mu\text{m}$ 粒级高达 15.26%, $-10\mu\text{m}$ 粒级高达 49.14%。由此可见,两种尾矿粒度都非常细。

表 2-1 梅山尾矿粒度分析

粒级 / μm	重选尾矿		降磷尾矿	
	产率/%	累计产率/%	产率/%	累计产率/%
+150	0.33	0.33	11.75	11.75
+100-150	3.79	4.12	3.48	15.23
+75-100	5.11	9.23	3.27	18.50
+38-75	15.09	24.32	10.56	29.06
+19-38	14.22	38.54	12.34	41.40
+10-19	9.76	48.30	9.46	50.86
+1-10	38.89	87.19	33.88	84.74
-1	12.81	100.00	15.26	100.00
合计	100.00		100.00	

2.2 尾矿试料的采取

尾矿试料包括重选尾矿、降磷尾矿、重选降磷混合尾矿和溢流样等四个样。

2.2.1 重选尾矿

重选尾矿取 1[#]、2[#]浓密机底流。静态沉降试验取自 1[#]、2[#]浓密机底流输送管道出口,每 10 分钟用取样器沿过流断面截接一次,共取 2 小时,混合,缩分供试验用。

分流试验取样,自底流输送管道开口,接支管至试验搅拌桶。开口部位在主管中部(见图 2-1)。

重选尾矿的粒度分析结果为静态沉降用样平均粒度 $26.03\ \mu\text{m}$ ，分流试验用样平均粒度 $24.54\ \mu\text{m}$ ，分流试验样含铁品位 $\text{TFe}13.08\%$ 。

2.2.2 降磷尾矿

降磷尾矿取自浮选车间至 7[#]浓密机尾矿输送管道。

静态沉降试验用样，取自输送管道出口，用取样器接取。

分流试验用样，在输送管道中部开口，接支管分流。分流支管安装方式同重选尾矿取样。

降磷尾矿平均粒度 $52.39\ \mu\text{m}$ ，全铁分析含铁品位 $\text{TFe}23.34\%$ 。

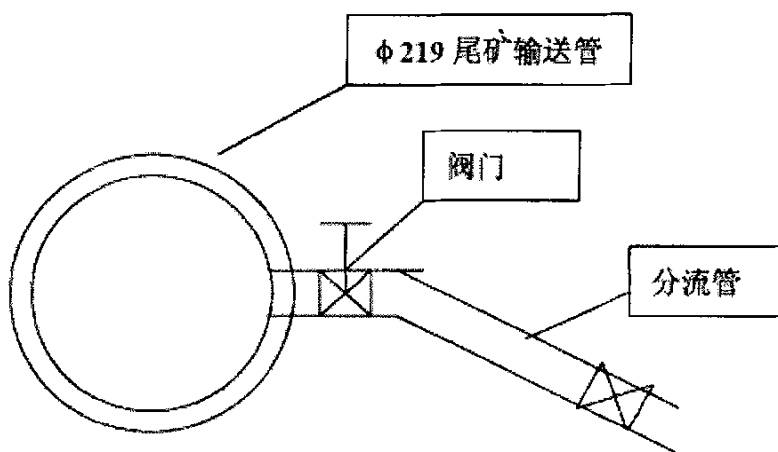


图 2-1 分流支管安装示意图

2.2.3 重选降磷混合尾矿

重选降磷混合尾矿取自 7[#]浓密机底流输送管道。

静态沉降用样在底流管出口处接取。

分流试验用样，在输送管道中部开口，接支管分流。安装方式同重选尾矿。

静态沉降用样平均粒度 $23.64\ \mu\text{m}$ ，分流试验用样平均粒度 $26.26\ \mu\text{m}$ ，铁品位 $\text{TFe}21.66\%$ 。

2.2.4 溢流样

梅山尾矿浓缩系统夏季溢流水不跑浑，为了解决冬季溢流水跑浑问题，需通过试验研究尽快取得该部分数据，决定取 4[#]浓密机上层细泥作为溢流样进行试验。

溢流样取自 4[#]浓密机上层泥浆，用泵抽出送试验搅拌桶，取样方式见图 2-2。

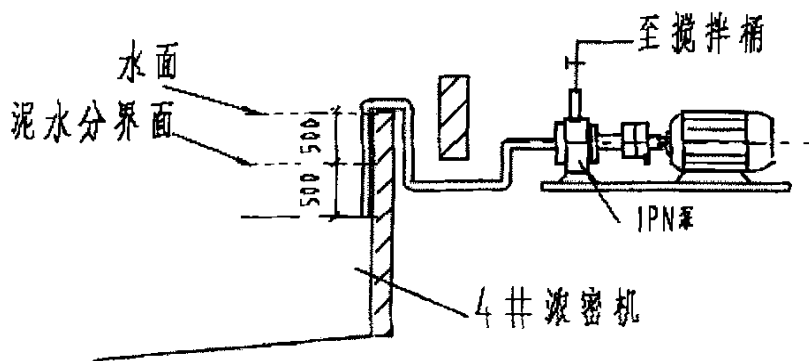


图 2-2 溢流样取样示意图

溢流样粒度分析为平均粒度为 $8.25\mu\text{m}$ 。本次试验溢流样与冬季现场取溢流样送长沙矿冶研究院溢流样粒度分析相近（平均粒度为 $8.91\mu\text{m}$ ）。

2.3 试验方法及试验装置

2.3.1 静态沉降试验

静态沉降试验在1000ml量筒中进行，絮凝剂配制浓度1‰。低温试验时，先将配制好的矿浆装入量筒，放入冰箱中保温一夜，加入预定量的絮凝剂搅拌后，在冰箱内低温环境中进行沉降，并记录实际温度。

矿浆浓度对沉降影响极大，因此每批试验矿浆制备要求尽量一致。制备时，先将矿浆用缩分器分样，取一份过滤烘干称重，然后配制出所需浓度矿浆。沉降试验完成后，称矿浆重，过滤烘干称干矿重，计算出试验的实际矿浆浓度。

试验记录泥水分界面的沉降高度、时间以及泥浆层体积，计算出沉降初速和压缩浓度。静态沉降试验装置测绘示意图见图 2-3。

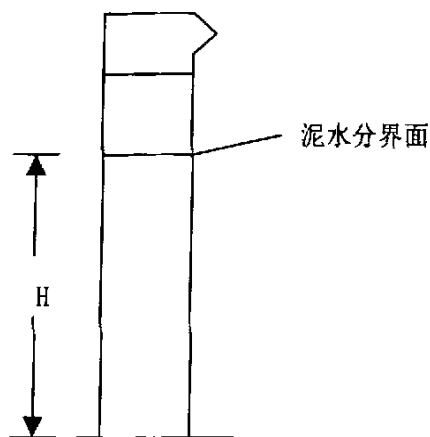


图 2-3 静态沉降试验装置测绘示意图

2.3.2 分流试验

矿浆从尾矿总管分流（溢流样从浓密机中泵出）进入 $\Phi 1\text{m}$ 搅拌桶，调至所需浓度，泵送至浓密机给矿箱。药剂配制好，放入储药箱，泵送至给药箱，矿浆量、药剂量通过阀门调节，在给矿箱中混合后进入浓密机。现场分流试验所用的 $\Phi 1.5\text{m}$ 深锥浓密机见图 2-4。

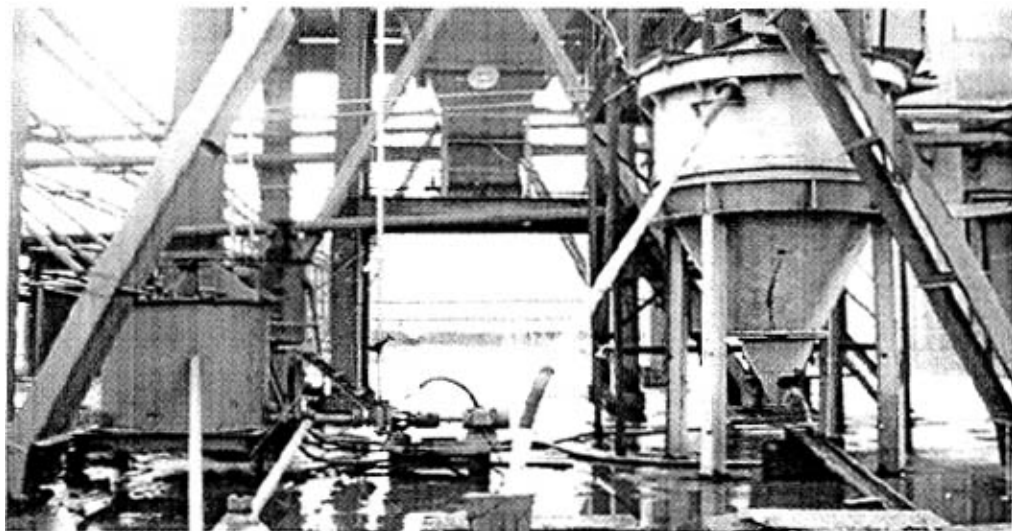


图 2-4 分流试验所用 $\Phi 1.5\text{m}$ 深锥浓密机

3 静态沉降试验

静态沉降试验是根据悬浮液在重力场中的沉降分区现象,通过测定各区随时间的变化来研究悬浮液的沉降特性。做沉降试验时是将待测的悬浮液配制成一定浓度,充分摇匀后静置,并立即观察计时,记录沉降区和澄清区在每个计时时的分界面位置,也就是每个时刻的沉降区高度。根据沉降试验数据,以沉降时间为横坐标,沉降区高度为纵坐标,作出沉降时间与沉降区高度的关系曲线,其目的是选择絮凝剂种类、确定用量范围、合适的浓缩条件和研究温度对沉降性能的影响,为冬季低温下浓缩效果提供换算数据和采取措施的依据。

3.1 药剂选择

3.1.1 无机凝聚剂

把溢流样配制成矿浆浓度 7.2%,选择明矾、 FeCl_3 、 CaCl_2 在常温下对溢流样进行沉降试验,凝聚剂的用量分别按照每吨干矿 2kg 和 0.5kg 两个水平进行试验并与自然沉降进行对比,试验结果见表 3-1、3-2。

从表 3-1、3-2 可知,这几种无机凝聚剂无法靠自身电解质对尾矿溢流样固体悬浮颗粒表面上的双电层进行消除或压缩,来降低尾矿微细粒间的排斥能使悬浮液不稳定而发生凝聚,因此对梅山尾矿均无凝聚效果。

表 3-1 无机凝聚剂沉降试验 (药剂用量 2kg/t)

沉降时间 /min	沉 降 区 高 度 /mm			
	自然沉降	明矾	FeCl_3	CaCl_2
0	280.0	280.0	280.0	280.0
2	279.3	279.3	279.5	279.2
6	278.0	278.0	278.1	277.9
12	276.4	276.5	276.3	276.2
20	273.6	274.3	273.9	273.9
30	270.8	271.8	271.0	271.1
40	268.0	269.6	268.2	268.4
50	265.7	267.3	265.7	266.1
60		265.0	263.3	263.7

表 3-2 无机凝聚剂沉降试验 (药剂用量 0.5kg/t)

沉降时间 /min	沉 降 区 高 度 /mm			
	自然沉降	明矾	FeCl ₃	CaCl ₂
0	280.0	280.0	280.0	280.0
2	279.3	279.4	279.5	279.2
8	277.2	277.5	277.4	277.1
15	274.8	275.3	275.1	275.0
25	271.6	272.5	272.1	271.7
35	268.8	269.9	269.2	268.8
45	266.1	267.3	266.4	265.9
55	264.1	265.5	264.3	264.1

3.1.2 有机高分子絮凝剂

选择常用的高分子絮凝剂——聚丙烯酰胺进行沉降试验。分别选用了非离子型、阴离子 800 万、阴离子 1200 万、阴离子 700 万和阴离子 1500 万几种不同型号、产地的聚丙烯酰胺进行沉降试验。在矿浆浓度 17.47-17.6%、水温 24℃ 的条件下对重选尾矿进行药剂选择沉降试验, 试验结果见表 3-3。

表 3-3 重选尾矿药剂选择试验 (药剂用量 25.3g/t)

沉降时间 /min	沉 降 区 高 度 /mm				
	非离子型	800 万阴离子	1200 万阴离子	700 万阴离子	1500 万阴离子
0	280	280	280	280	280
5	275	273	273	275	275
10	270	264	264	266	266
15	258	253	253	255	255
20	245	239	244	244	244
30	226	214	215	222	218
40	204	202	198	201	196
50	192	194	189	191	187
60	186	188	182	184	180
70	181	183	177	180	175
80	177	177	173	176	170
90	174	173	169	173	167
100	171	169	166	169	164
120	167	166	160	165	159
300	146	142	137	142	136

从表 3-3 可知, 聚丙烯酰胺比无机凝聚剂对梅山尾矿的絮凝效果明显, 阴离子型聚丙烯酰胺比非离子型絮凝效果好。

在矿浆 pH 为 6、水温 24℃ 的条件下对降磷尾矿进行药剂对比沉降试验, 试验结果见表 3-4。在矿浆浓度 17.5-17.6%、水温 8℃ 的条件下对重选尾矿进行药剂对比沉降试验, 试验结果见表 3-5。

表 3-4 降磷尾矿常温药剂对比试验 (药剂用量 15g/t)

沉降时间 /min	沉 降 区 高 度 /mm			
	沪产阴离子 800 万	冀产阴离子 1200 万	沪阴离子 1500 万	苏州阴离子 700 万
0	280	280	280	280
2	267	268	270	268
6	237	242	245	241
10	213	222	225	214
15	184	197	200	187
20	166	173	175	168
30	154	159	157	156
40	147	151	150	149
50	142	146	145	145
60	138	142	141	141

表 3-5 重选尾矿低温药剂对比试验 (药剂用量 25.3g/t)

沉降时间 /min	沉 降 区 高 度 /mm			
	苏产阴离子 700 万	沪产阴离子 800 万	冀产阴离子 1200 万	沪阴离子 1500 万
0	280	280	280	280
5	278	278	279	277
10	273	274	274	270
15	266.5	266	267	262.5
20	258.5	257	260	255
30	242	240	245	239
40	228	229	232.5	225
50	208.5	207	213	206
60	199	196	200	197
70	193	191	194	191
80	188	186	189	186.5
90	184	182	185	182.5
100	181	179	181.5	179
120	175.5	174	176	173.5

从表 3-4、3-5 可知,聚丙烯酰胺对梅山尾矿有明显的絮凝效果,能在分子上吸附多个微粒的架桥作用而使多个微粒形成絮团,不同类型,产地药剂絮凝效果差别不大,而分子量为 800 万的沪产水解阴离子型聚丙烯酰胺絮凝效果较好。因为当聚丙烯酰胺水解度适当时,分子链上每隔两个酰胺基团就有一个 $-COO^-$ 离子基团,此时电性适中,分子链也不过于卷曲,絮凝效果为最好。考虑到价格及冬季配制容易等因素,选择阴离子型、分子量为 800 万的沪产水解聚丙烯酰胺为梅山尾矿絮凝药剂。

3.2 絮凝剂用量试验

3.2.1 絮凝剂常温用量试验

在矿浆浓度为 20%、水温 24℃ 的条件下对降磷尾矿进行药剂用量沉降试验, 絮凝剂用量分别按照 0g/t、30g/t 和 50g/t 三个水平进行对比试验, 试验结果见表 3-6, 图 3-1。在矿浆浓度为 18-19%、水温 24℃ 的条件下对重选尾矿进行药剂用量沉降试验, 絮凝剂用量分别按照 0g/t、10g/t、30g/t 和 50g/t 四个水平进行对比试验, 试验结果见表 3-7, 图 3-2。

表 3-6 降磷尾矿常温药剂用量试验

沉降时间 / min	沉 降 区 高 度 /mm		
	加药 0g/t	30g/t	50g/t
0	280	280	280
2	272	255	254
5	262	228	220
10	246	183	174
20	215	137	134
30	184	125	121
40	159	117	114
60	126	107	105
80	119	100	99
100	114	96	95
120	110	92	91

表 3-7 重选尾矿常温药剂用量试验

沉降时间 /min	沉 降 区 高 度 /mm			
	加药 0g/t	10g/t	30g/t	50g/t
0	280	280	280	280
5	277	276.5	282	265
10	275	273	263.5	240
15	273	267	253	217
20	269	261	246	204
30	261	252	237	190
40	252.5	243.5	230	180
50	243	236	225	174
60	234	230	220	169
80	224	222	215	161
100	218	216	208	156
120	213	211	203	152

从表 3-6 可知, 常温条件下对降磷尾矿絮凝剂用量增加, 沉降速度加快, 均能使颗粒较快吸附形成大的絮团进行沉降, 但絮凝剂用量从 30g/t 增加到 50g/t 时沉降速度增加变缓, 聚丙烯酰胺对降磷尾矿的絮凝效果相差不大。因此, 药剂的合适用量对降磷尾矿在 50g/t

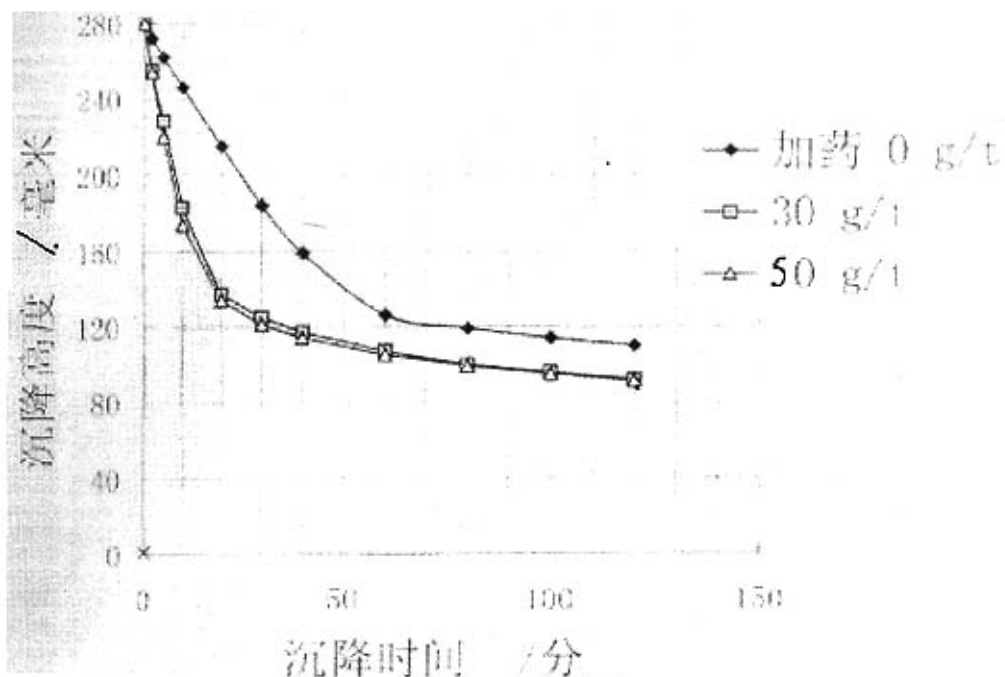


图 3-1 降磷尾矿常温药剂用量试验

从表 3-7 可知, 常温条件下对重选尾矿絮凝剂用量增加, 沉降速度加快。絮凝剂用量从 0g/t 增加到 30g/t 时沉降速度增加缓慢, 絮凝效果不明显, 但当絮凝剂用量从 30g/t 增加到 50g/t 时, 沉降速度显著增加。因此, 聚丙烯酰胺的合适用量对重选尾矿药剂用量应不小于 50g/t。

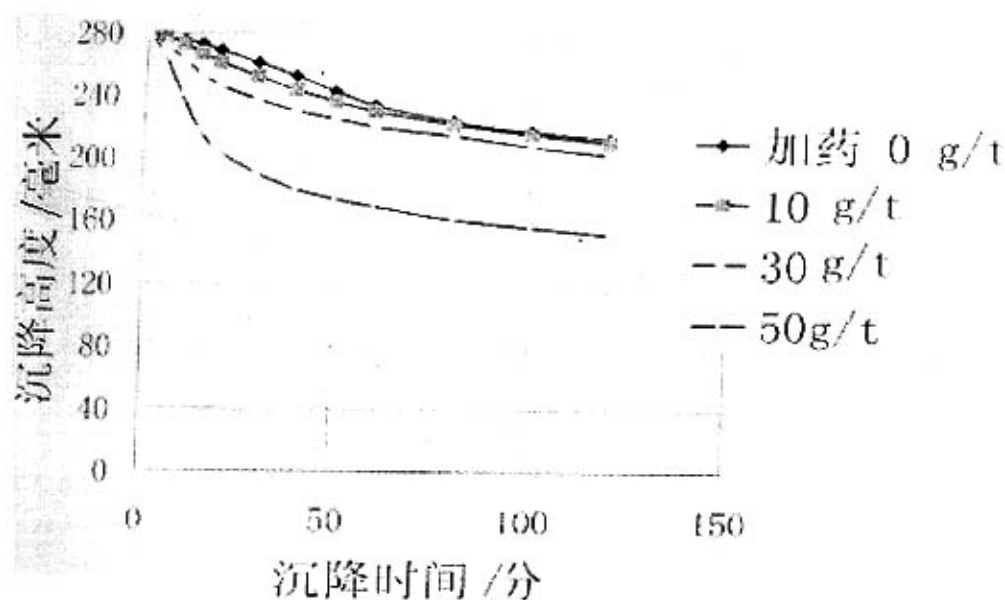


图 3-2 重选尾矿常温药剂用量试验

3.2.2 絮凝剂低温用量试验

在矿浆浓度为 20%、水温 10℃ 的条件下对降磷尾矿进行药剂用量沉降试验, 絮凝剂用量分别按照 0g/t、20g/t、30g/t 和 50g/t 四个水平进行对比试验, 试验结果见表 3-8, 图 3-3。在矿浆浓度为 18-19%、水温 5℃ 的条件下对重选尾矿进行药剂用量沉降试验, 絮凝剂用量分别按照 0g/t、10g/t、30g/t 和 50g/t 四个水平进行对比试验, 试验结果见表 3-9, 图 3-4。

表 3-8 降磷尾矿低温药剂用量试验

沉降时间 /min	沉 降 区 高 度 /mm			
	0g/t	20g/t	30g/t	50g/t
0	280	280	280	280
5	269	247	240	232
10	255	219	207	195
15	243	194	179	163
20	231	171	152	142
30	208	143	134	128
40	187	133	125	119
50	165	127	118	114
60	144	123	113	109
80	126	116	105	102
120	116	106	96	93

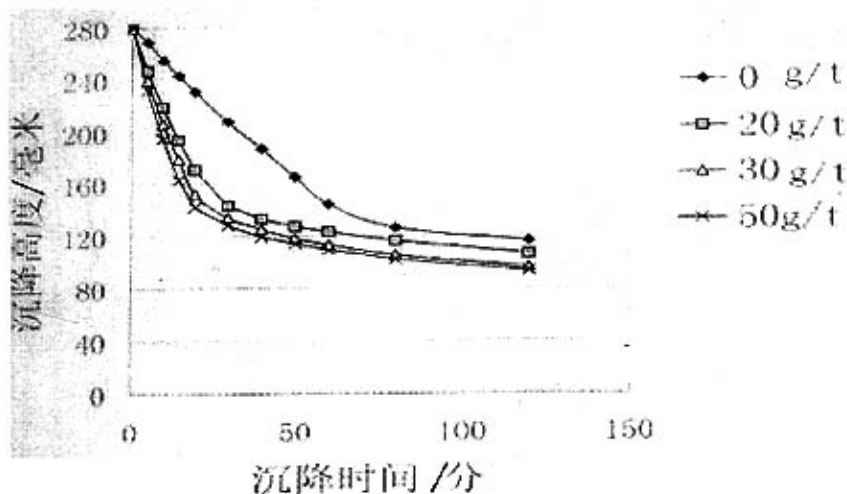


图 3-3 降磷尾矿低温药剂用量试验

从表 3-8、图 3-3 可知, 低温条件下对降磷尾矿絮凝剂用量增加, 沉降速度加快, 但絮凝剂用量为 30g/t 增加到 50g/t 时沉降速度增加变缓, 因此, 药剂的合适用量对降磷尾矿在 50g/t 以下, 建议为 30g/t。

表 3-9 重选尾矿低温药剂用量试验

沉降时间 /min	沉 降 区 高 度 /mm			
	加药 0g/t	10g/t	30g/t	50g/t
0	280	280	280	280
5	280	278	275	266
10	279	277	271	251
15	278	275	266	240
20	277	273	264	234
30	274	270	255	225
40	269	266	252	215
50	265	262	247	208
60	261	258	242	202
80	253	247	234	194
100	243	239	227	187
120	236	235	221	182

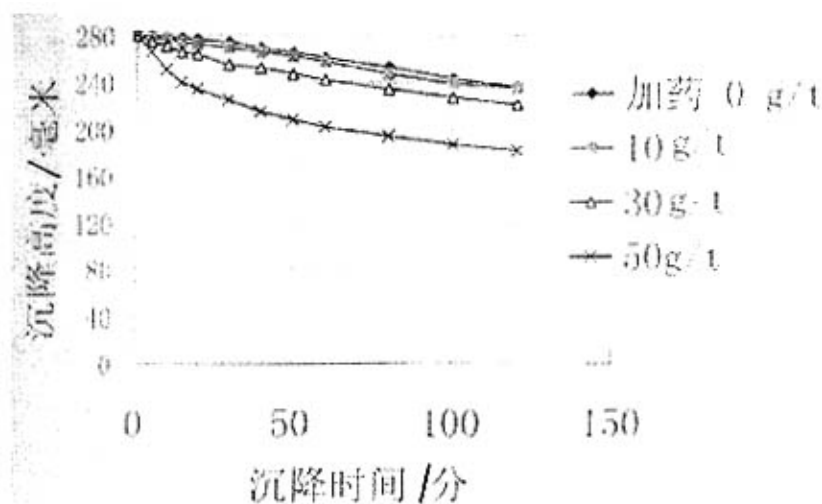


图 3-4 重选尾矿低温药剂用量试验

从表 3-9、图 3-4 可知，低温条件下对重选尾矿絮凝剂用量增加，沉降速度加快。絮凝剂用量从 0g/t 增加到 10g/t 和从 10g/t 增加到 30g/t 时沉降速度增加缓慢，絮凝效果不明显，但当絮凝剂用量从 30g/t 增加到 50g/t 时，沉降速度显著增加。因此，聚丙烯酰胺的合适用量对重选尾矿药剂用量应不小于 50g/t。

3.3 尾矿浓度试验

3.3.1 重选尾矿浓度试验

考查了絮凝剂用量为 50g/t、沉降温度为 26-27°C（常温）时，重选尾矿不同浓度下的

沉降性能，研究了重选尾矿常温下浓度与沉降速度的关系，以确定常温条件下重选尾矿的合适给入浓度，由不同浓度下的沉降曲线的斜率得出相应的沉降速度，试验结果见表 3-10，表 3-11 和图 3-5、图 3-6。

表 3-10 重选尾矿常温沉降浓度试验

沉降时间 /min	沉 降 区 高 度 / mm									
浓度	2.3%	3.5%	5.5%	12.9%	16.0%	18.0%	20.3%	23.7%	29.8%	32.30%
0	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
2	65	87	212				275.8			
5	45	64	145	233	264	277	276.8	278		
10	36	53	110	191	246	268	271	277		
20	30	44	88	154	212	250	255	273		
20	28	42	77	143	184	231	243	267		
40	27	40	71	136	172	209	232	262	276	
50	26	39	66	130	166	192	222	255	275	278
60		38	63	126	161	181	215	251	274	277

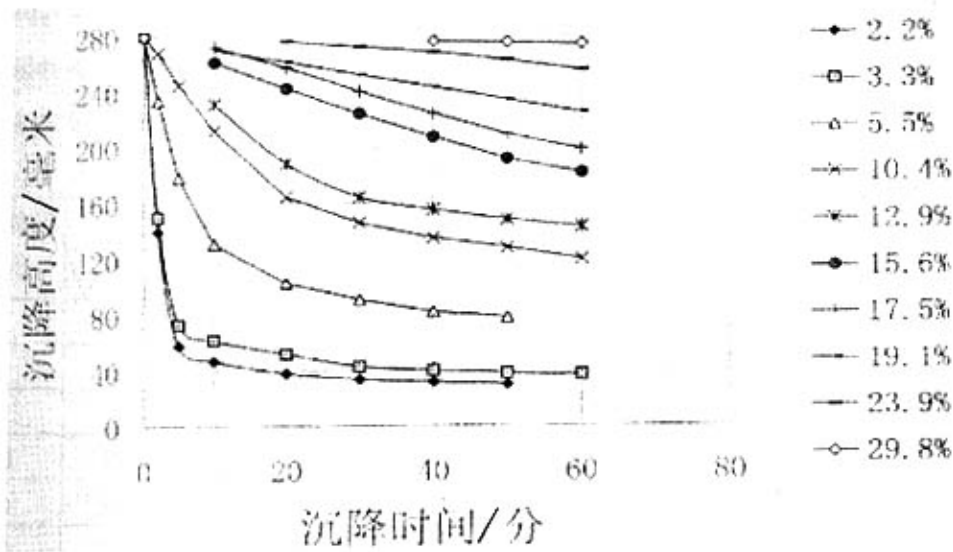


图 3-5 重选尾矿常温沉降浓度试验

表 3-11 重选尾矿常温下浓度与沉降速度的关系

矿浆浓度(%)	2.3	3.5	5.5	12.9	16.0	18.0	20.3	23.7	29.8
沉降速度(m/h)	6.45	5.79	2.04	0.38	0.204	0.10	0.075	0.026	0.006

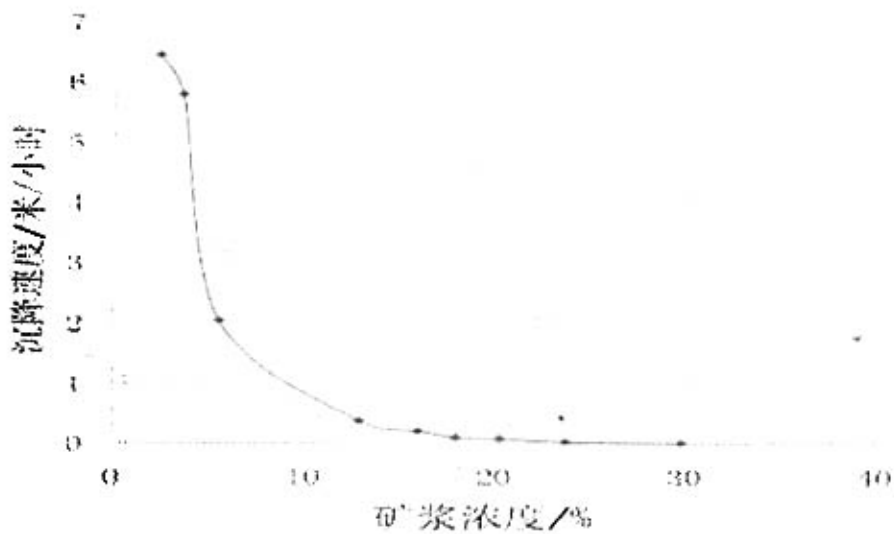


图 3-6 重选尾矿常温下浓度与沉降速度的关系

试验表明：在常温时，重选尾矿随着浓度的增大，沉降速度急剧下降。当重选尾矿浓度增加到 10%时，沉降速度已变得很小。因此从絮凝效果来看，絮凝时重选尾矿给入浓度不宜过高，应在 10%左右为好。

同时考查了絮凝剂用量为 50g/t、沉降温度为 5-7℃（低温）时，重选尾矿不同浓度下的沉降性能，以确定低温条件下重选尾矿的合适给入浓度，由不同浓度下的沉降曲线的斜率得出相应的沉降速度，试验结果见表 3-12，表 3-13 和图 3-7、图 3-8。

表 3-12 重选尾矿低温沉降浓度试验

沉降时间 /min	沉 降 区 高 度 /mm									
	2.2%	3.3%	5.5%	10.4%	12.9%	15.6%	17.5%	19.1%	23.9%	29.8%
0	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
2	140	150	234	268						
5	58	73	178	245						
10	47	62	131	212	231	261	272	270		
20	38	52	103	164	188	242	257	261	276	
20	34	43	91	146	164	224	240	252	272	
40	32	40	82	135	155	207	224	243	268	276
50	30	38	78	128	148	191	209	234	262	275
60		37		120	143	181	198	225	255	274

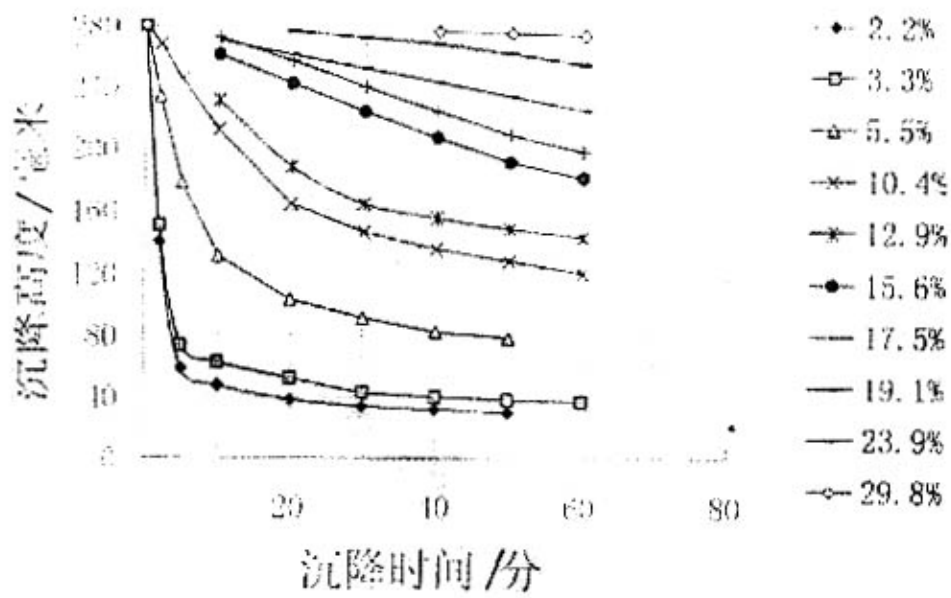


图 3-7 重选尾矿低温沉降浓度试验

表 3-13 重选尾矿低温下浓度与沉降速度的关系

矿浆浓度(%)	2.2	3.3	5.5	10.4	12.9	15.6	19.1	23.9	29.8
沉降速度(m/h)	4.2	3.9	1.38	0.35	0.28	0.11	0.056	0.018	0.006

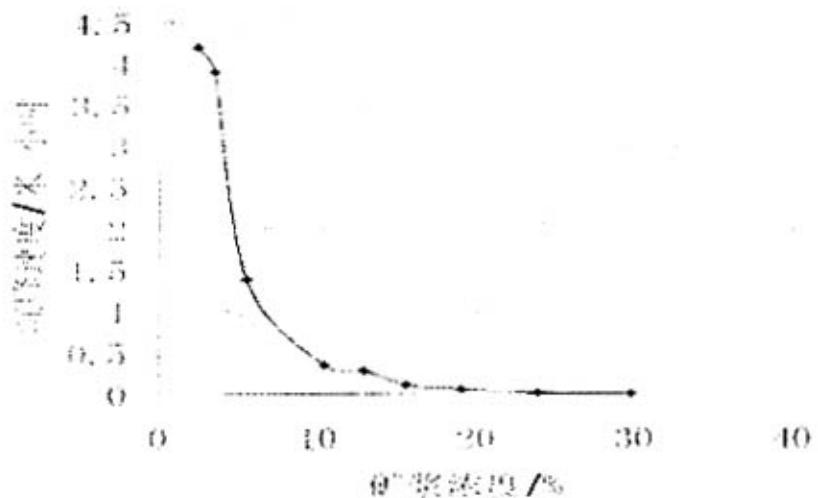


图 3-8 重选尾矿低温下浓度与沉降速度的关系

试验表明：在低温时，重选尾矿随着浓度的增大，沉降速度亦急剧下降。当重选尾矿浓度增加到 10% 时，沉降速度已变得很小。因此从絮凝效果来看，重选尾矿絮凝给入浓度不宜过高，应低于 10% 为好。

3.3.2 降磷尾矿浓度试验

由于降磷尾矿比重选尾矿易于沉降,只考查了絮凝剂用量为 30g/t、沉降温度为 6-8℃(低温)时,降磷尾矿不同浓度下的沉降性能,研究了降磷尾矿低温下浓度与沉降速度的关系,以确定低温条件下降磷尾矿的合适给入浓度,试验结果见表 3-14、表 3-15 和图 3-9、图 3-10。

表 3-14 降磷尾矿低温浓度试验

沉降时间/min	沉 降 区 高 度 /mm				
浓度	9%	14%	19%	25.3%	28.6%
0	280	280	280	280	280
2	135	237	252		
5	90	187	220	262.5	269
10	74	138	190	245	253
20	61	113	134	212	227
30	57	100	122	181.5	200
60	50	85	104	152	164
80				145	155
110				138	149

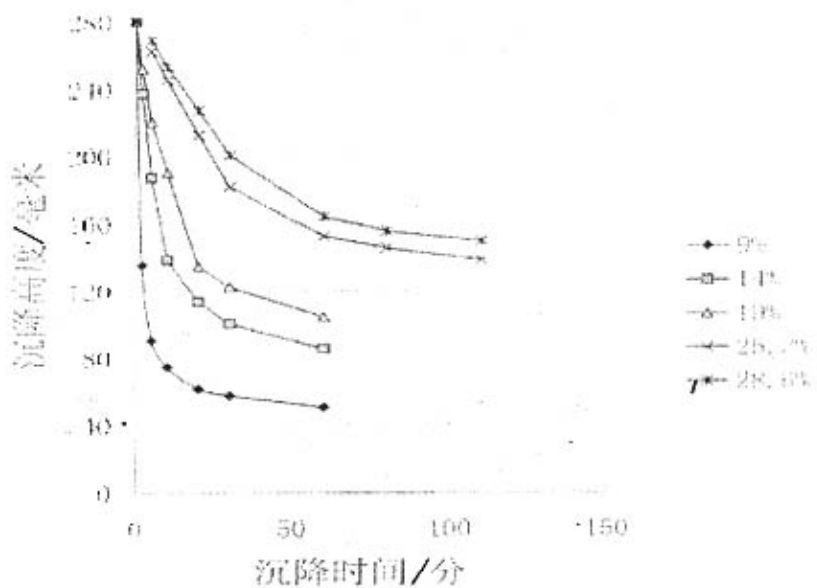


图 3-9 降磷尾矿低温浓度试验

表 3-15 降磷尾矿低温下浓度与沉降速度的关系

矿浆浓度(%)	9	14	19	25.3	28.6
沉降速度(m/h)	2.28	0.85	0.54	0.2	0.16

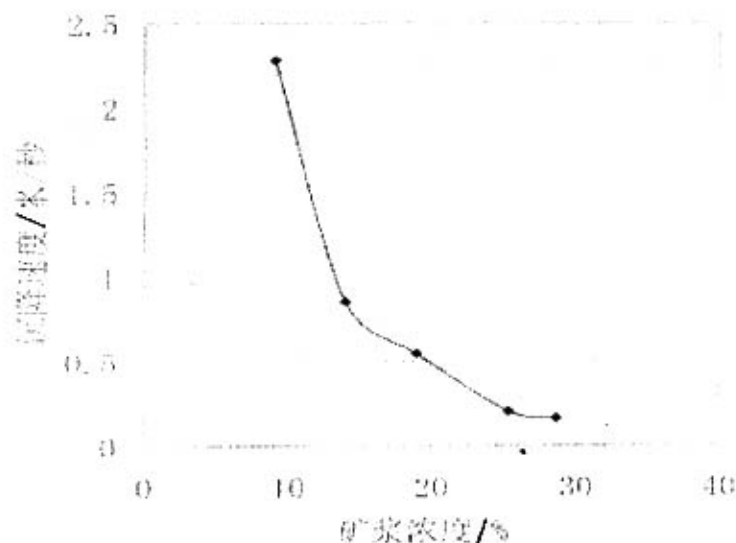


图 3-10 降磷尾矿低温下浓度与沉降速度的关系

试验表明：在低温时，降磷尾矿随着浓度的增大，沉降速度急剧下降。当降磷尾矿浓度增加到 20%时，沉降速度已变得很小。因此从絮凝效果来看，降磷尾矿絮凝适宜给入浓度在 20%左右。

3.4 尾矿温度试验

生产实践表明，温度对尾矿的沉降性能影响很大，夏季工作很好的原梅山尾矿浓缩系统，冬季却严重跑浑。因此，静态沉降试验需重点考查不同尾矿沉降性能随温度的变化，以便为浓缩系统方案改造适应冬季气候提供指导数据。

3.4.1 温度对沉降速度的影响

在不同温度下进行沉降试验，记录沉降时间和沉降高度，作沉降曲线。在矿浆浓度 17.6-17.7%、加药量 32.3-32.7g/t 的条件下，对重选尾矿在水温 6℃、10℃、18℃ 和 28℃ 进行沉降试验，试验结果见表 3-16、图 3-11。试验表明，随着温度的降低重选尾矿的沉降速度变慢，温度升高有利于重选尾矿沉降。

表 3-16 重选尾矿温度试验

沉降时间 /min	6℃	10℃	18℃	28℃
	沉 降 区 高 度 /mm			
0	280	280	280	280
10	272.5	271	268	262
15	267	264	258	248
20	256	252	247	232
30	236	233	225	204
40	219	214	207	186.5
60	192	185		174

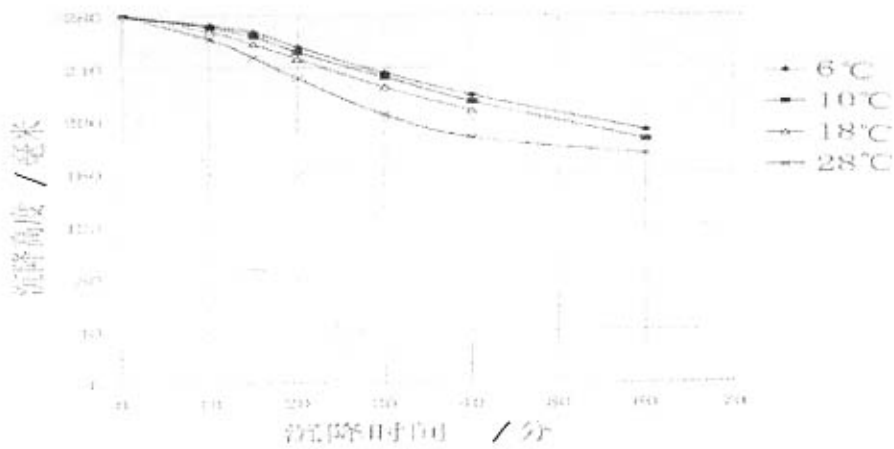


图 3-11 重选尾矿温度试验

在矿浆浓度 21.0~21.7%、加药量 29.4~30.6 克/吨的条件下，对降磷尾矿在水温 6℃、10℃、18℃ 和 28℃ 进行沉降试验，试验结果见表 3-17、图 3-12。试验表明，随着温度的降低降磷尾矿的沉降速度变慢，温度升高同样有利于降磷尾矿沉降。

表 3-17 降磷尾矿温度试验

沉降时间 /min	沉 降 区 高 度 /mm			
	6℃	10℃	18℃	28℃
0	280	280	280	280
5	254	251	246	226
10	228	222	214	182
15	203	195	184	160
20	177	174	164	143.5
30	154	154	145	135
40	144	144	137	128
60	133	133		119

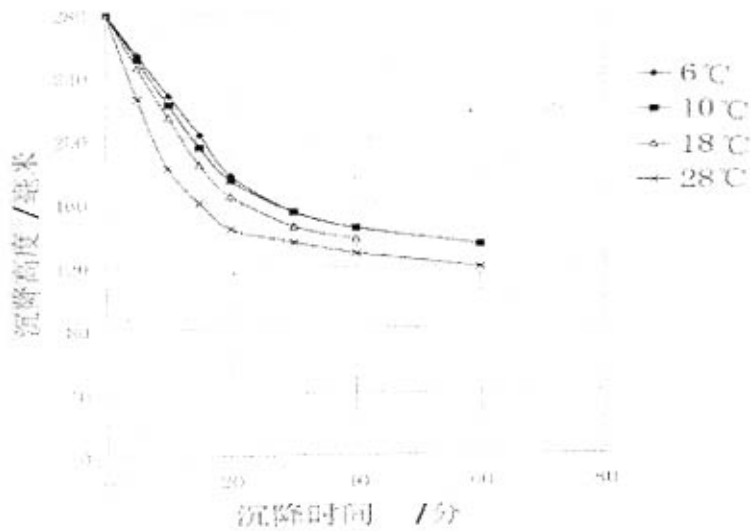


图 3-12 降磷尾矿温度试验

在矿浆浓度 18.0-19.4%、加药量 30.0-32.7 克/吨的条件下,对混合尾矿在水温 6℃、10℃、18℃ 和 28℃ 进行沉降试验,试验结果见表 3-18、图 3-13。试验表明,随着温度的降低混合尾矿的沉降速度变慢,温度升高同样有利于混合尾矿沉降。

表 3-18 混合尾矿温度试验

沉降时间 /min	沉 降 区 高 度 /mm				
	6℃	10℃	16℃	18℃	28℃
0	280	280	280	280	280
5	256	249	247	244	235
10	236	220	214	209	194
15	212	197	190	181	165
20	190	175	170	169	154
30	166	154	151	150	143
40	158	146	143	141	136
60	144	135	131		127

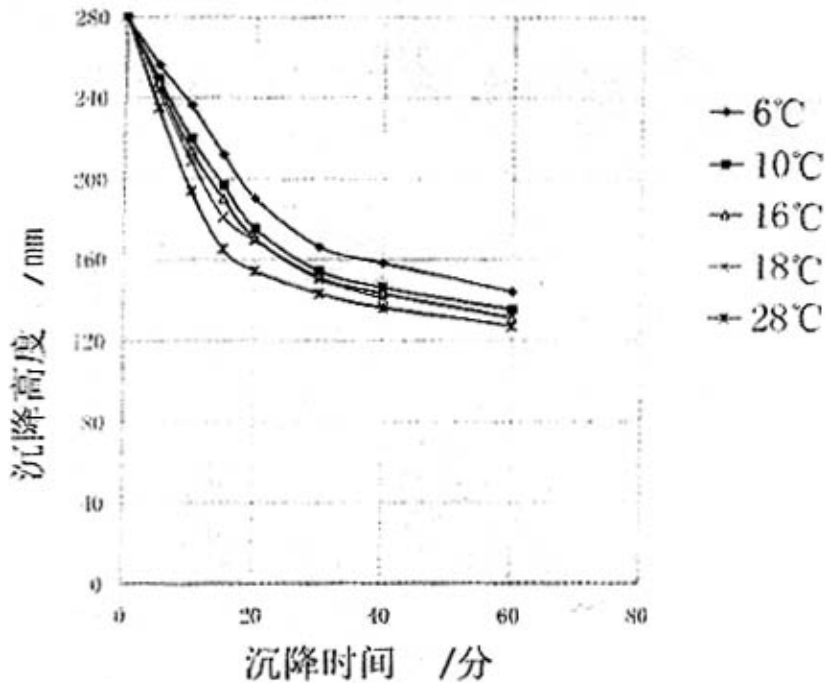


图 3-13 混合尾矿温度试验

取沉降曲线起始直线段的平均速度作为该试验条件下的沉降速度,用以评价温度对沉降速度的影响,温度对沉降速度的影响见图 3-14 和表 3-19。

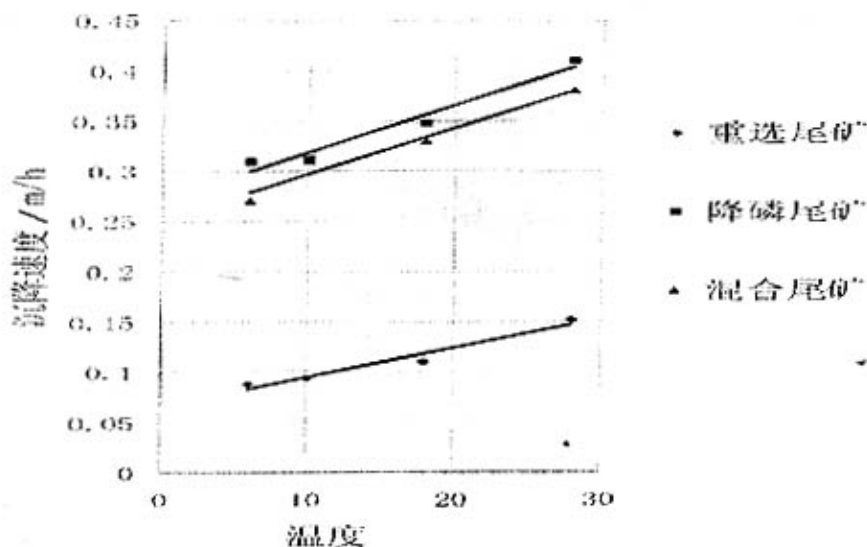


图 3-14 温度对沉降速度的影响

表 3-19 不同温度下的沉降速度 (m/h)

温度	6°C	10°C	18°C	28°C
重选尾矿	0.088	0.094	0.11	0.152
降磷尾矿	0.309	0.312	0.348	0.41
混合尾矿	0.27	0.31	0.33	0.38

试验表明, 三种尾矿的沉降速度和温度正相关, 随着温度的升高三种尾矿的沉降速度均加快, 而且有明显的线性关系。混合尾矿和降磷尾矿在不同温度下的沉降速度比较相近、相似, 而重选尾矿最难沉降。

3.4.2 温度对压缩时间的影响^[47]

初始矿浆体积 1000ml, 在不同温度下进行沉降试验, 记录不同时间泥浆沉积层的体积 $V(\text{ml})$, 试验后测定矿浆重 $W(\text{g})$ 和矿浆中尾矿干重 $W_s(\text{g})$, 除重选尾矿低浓度自然沉降初始 15-20 分钟内上层水浑浊外, 其余试验上层澄清水浊度低, 固体含量小于 300×10^{-4} , 密度近似按 1 g/ml 计。按下式计算不同沉积时间达到的沉积浓度 $C(\%)$, 然后绘制沉积时间 T 与沉积浓度 C 的曲线, 作图求出特定浓度需要的沉积时间。

$$C = W_s / [W - (1000 - V)] \times 100\%$$

温度对沉积层压缩时间的影响见图 3-15 和表 3-20。

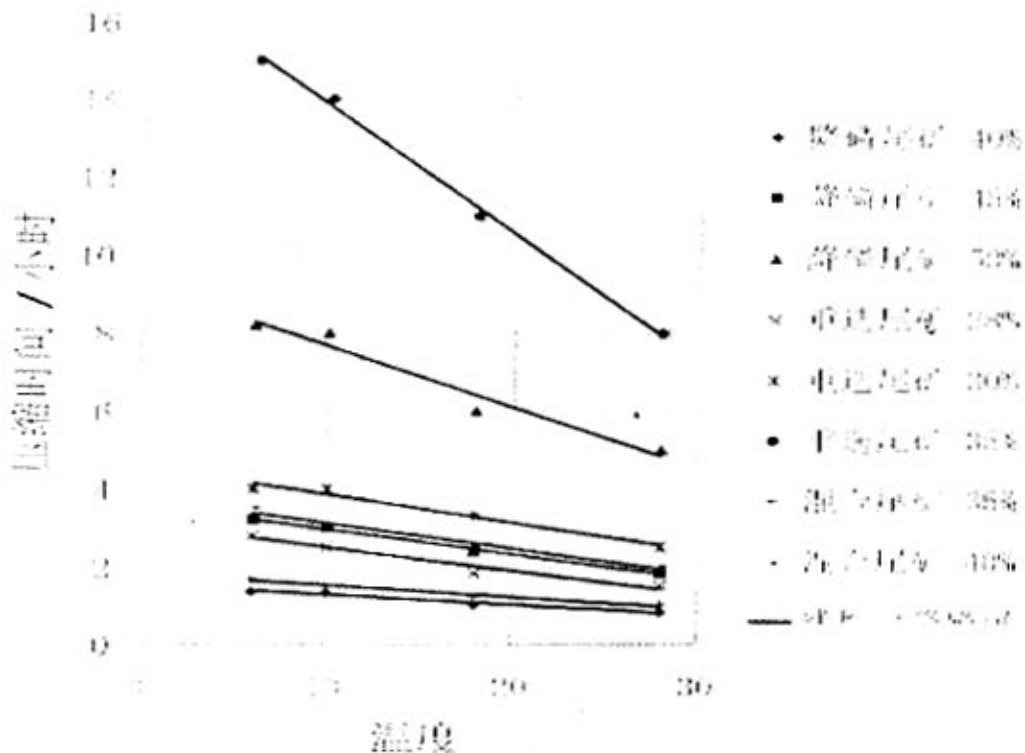


图 3-15 温度对压缩时间的影响

表 3-20 温度对压缩时间的影响

尾矿	压 缩 浓 度 /%	压缩时间/h				温度系数 K_c /h/°C			
		6°C	10°C	18°C	28°C	6-10°C	10-18°C	18-28°C	6-28°C
降磷 尾矿	40%	1.35	1.33	1	0.85	0.005	0.041	0.015	0.023
	45%	3.2	3	2.4	1.83	0.05	0.075	0.057	0.062
	50%	8.2	8	6	5	0.05	0.25	0.10	0.145
重选 尾矿	28%	2.8	2.5	1.83	1.5	0.075	0.084	0.033	0.05
	30%	4	4	3.3	2.5	0	0.0875	0.08	0.083
	35%	15	14	11	8	0.25	0.375	0.30	0.33
混合 尾矿	35%	1.67	1.5	1.2	1	0.05	0.0375	0.02	0.03
	40%	3.5	3	2.5	2	0.125	0.0625	0.05	0.056

由表 3-20 可看出以下规律，随浓度提高温度系数 K_c 变大，温度对压缩时间的影响愈显著，随浓度增高越难压缩；10°C-18°C 温度区段的 K_c 值最大，表明在此温度区段温度对压缩时间的影响最显著；6°C-10°C 温度区段难压缩，所以 K_c 值小，18°C 以上非常易压缩，因此 K_c 值也小。

在水温 36°C 和 6°C 条件下对重选尾矿、降磷尾矿和混合尾矿进行沉降试验，测定沉降速度，计算出沉降速度变化率。水温从夏季 36°C 降至冬季温度 6°C 可造成沉降速度下降百分比见表 3-21。

表 3-21 水温从 36℃ 降至 6℃ 沉降速度变化率

尾矿样	沉 降 速 度 /m. s ⁻¹		沉降速度变化率/%	备 注
	6℃	36℃	6-36℃	
重选尾矿	0.38	0.76	50	3%, 自然浓缩
	3.9	6.75	58	3.3%, 30g/t
	1.38	2.35	59	5.5%, 30g/t
	0.28	0.43	65	12.9%, 30g/t
	0.16	0.31	52	18-19%, 50g/t
降磷尾矿	0.309	0.471	65.6	21%, 30g/t
混合尾矿	0.27	0.421	64	18-19%, 30g/t

试验表明, 温度对物料自然沉降性能和絮凝沉降性能均有很大影响, 温度下降使沉降速度变小。在浓缩过程中, 底流排放浓度高, 温度的影响更大。因此, 生产中在尾矿浓缩系统改造时必须考虑冬季低温对尾矿沉降速度的影响。

3.5 混凝方式试验和重选尾矿自然沉降试验

3.5.1 混凝方式试验

浓度试验表明高浓度下絮凝效果差。原因是高浓度下矿浆粘度大, 影响药剂混凝。试验考查了先在较低浓度下加入絮凝剂后, 高浓度下的沉降效果, 试验结果见表 3-22 和图 3-16。试验表明, 低浓度下先加入絮凝剂, 有利于高浓度时尾矿沉降。

表 3-22 重选尾矿常温药剂混凝方式实验

沉降时间/min		0	10	20	30	40	50	60	70	80
沉降区高度 /mm	方式 A	280	275	263	250	236	224	205	195	189
	方式 B	280	269	249	230	202	192	184	180	176

备注: 加药量为 30 克/吨, 浓度为 20.5%。方式 A—矿浆浓度 20.5%加药搅拌沉降; 方式 B—矿浆浓度 5%加药搅拌脱水至矿浆浓度 20.5%后再搅拌沉降。

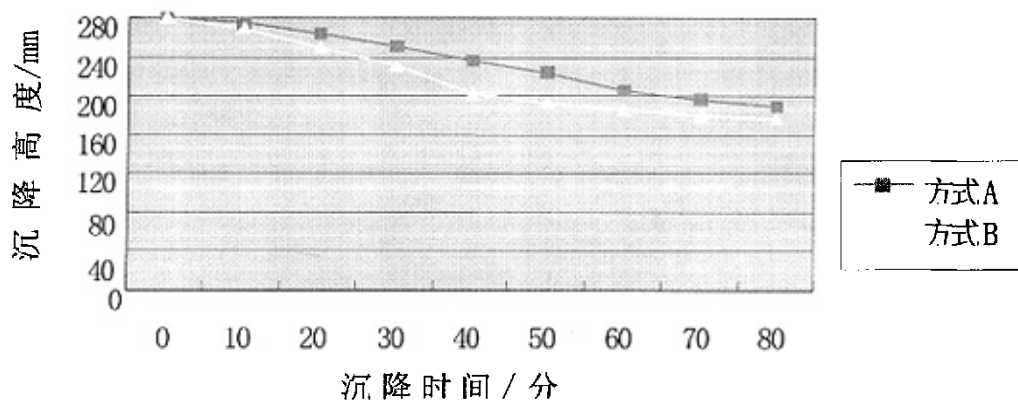


图3-16 重选尾矿常温药剂混凝方式试验

3.5.2 重选尾矿自然沉降试验

通常重选尾矿第一段浓缩给矿浓度为 3%左右，试验考察了该浓度下常温和低温沉降性能的差异，试验结果见表 3-23、图 3-17。

表 3-23 重选尾矿（3%）自然沉降

沉降时间/min		0	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120
沉降区高度	28℃	280	260	224	162	115	94	80	70	61	57	54	50	47	45
	/mm	5℃	280	272	255	223	185	152	121	102	82	69	59	53	50

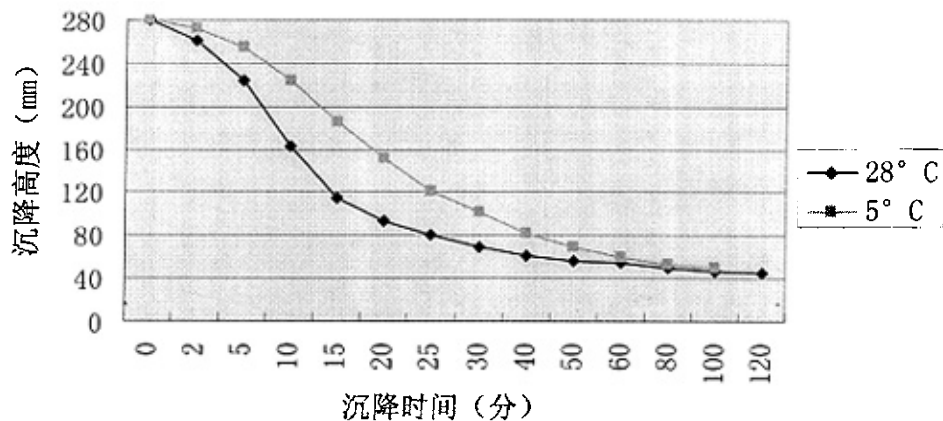


图3-17 重选尾矿（3%）自然沉降试验

试验观察到低浓度下沉降初期上层水浑，低温下上层水变清所需时间更长，这是低浓度下颗粒碰撞几率低，部分微细颗粒未被高分子官能团吸附絮凝而悬浮在水中所致。高效化改造利用浓相层过滤作用对解决这一问题是有有效的。

4 现场分流试验

在静态沉降试验的基础上，分别对重选尾矿、降磷尾矿、混合尾矿和溢流样进行了分流试验，试验在 $\Phi 1.5\text{m}$ 深锥浓密机中进行。

4.1 现场分流试验工艺流程

本次分流试验采用的主体浓缩设备为 $\Phi 1.5\text{m}$ 深锥浓密机，其容积为 2.7m^3 。试验流程设备联系图见图 4-1。试验中检测的工艺参数有给矿浓度、给矿体积量、药剂量、底流浓度、水质、浓密机中清水层高、水温等参数。现场分流试验流程图见图 4-2，浓缩产物见图 4-3。

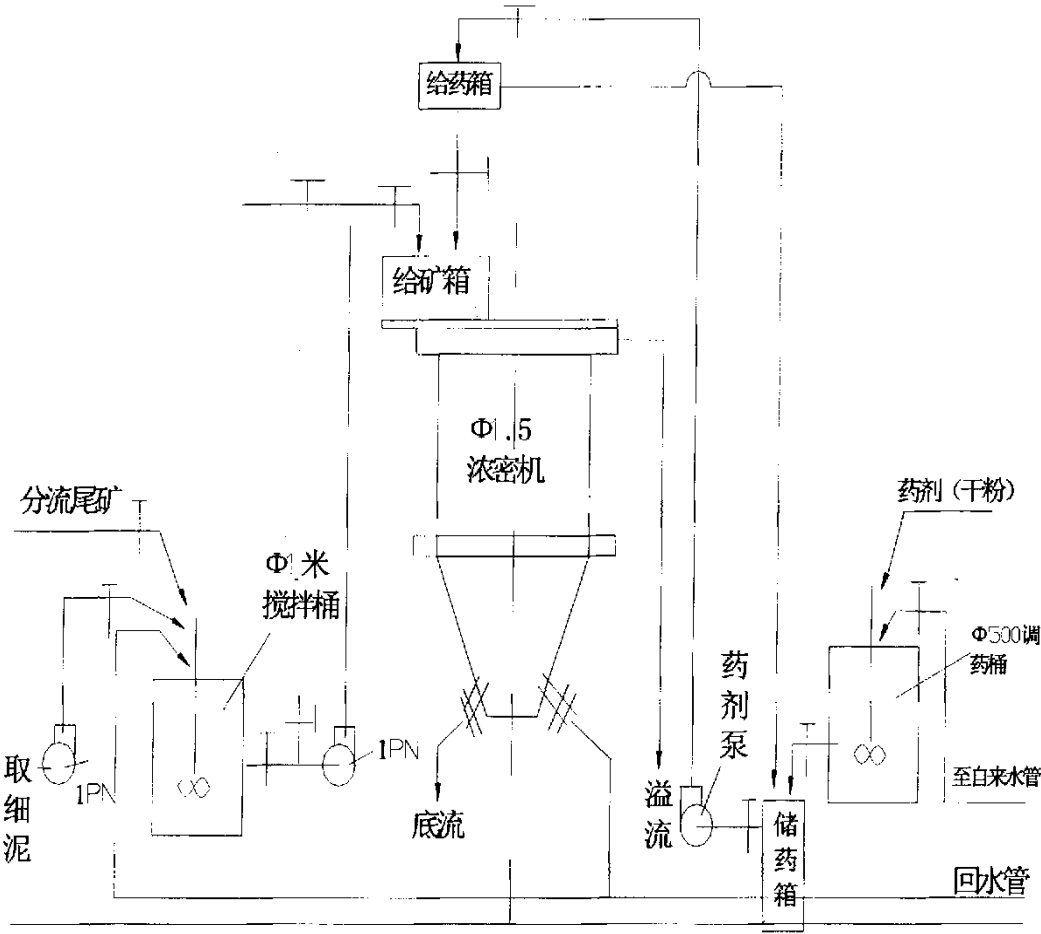


图 4-1 尾矿浓缩分流试验设备联系图

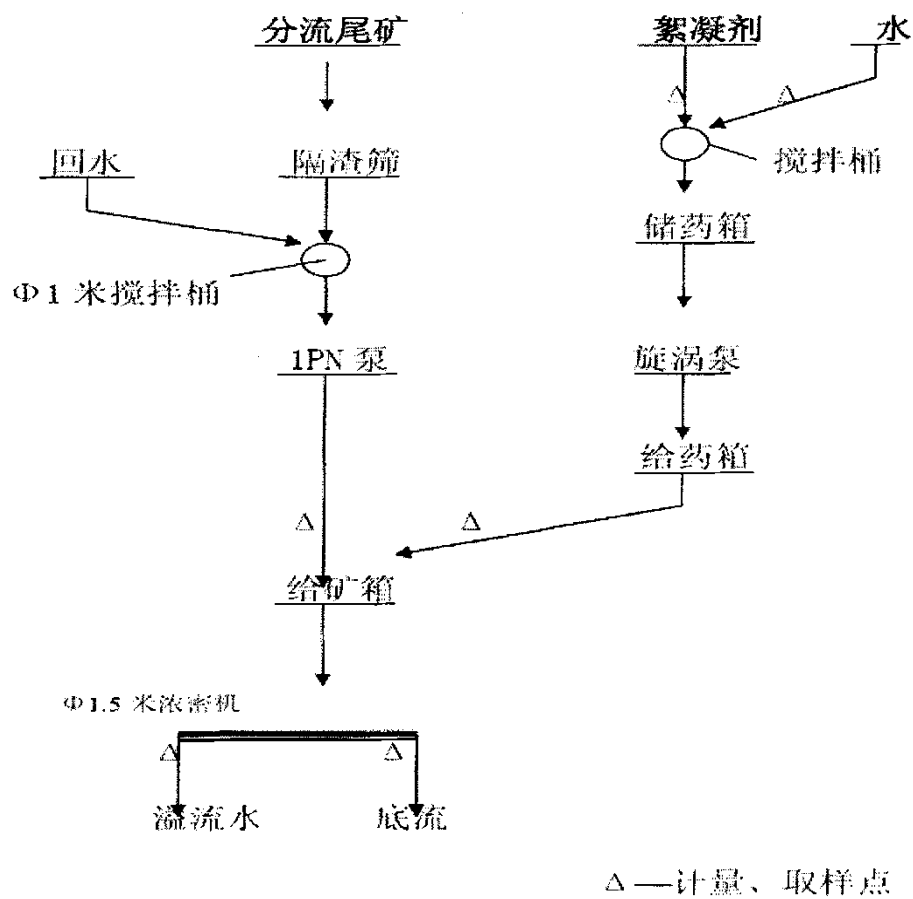


图 4-2 现场分流试验流程图

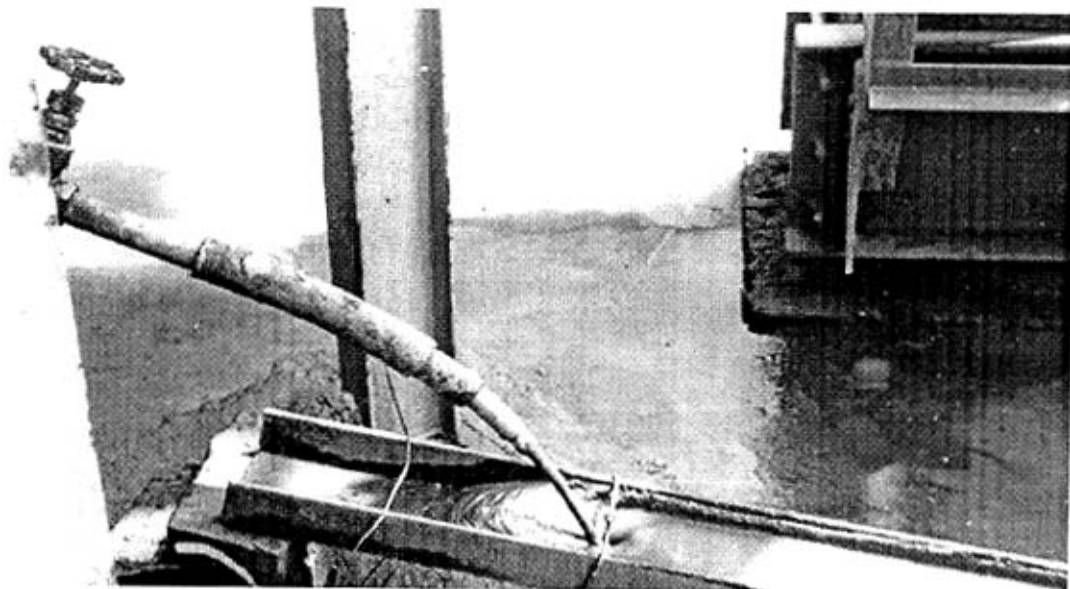


图 4-3 分流试验制备的浓缩产物

4.2 降磷尾矿分流浓缩试验

4.2.1 降磷尾矿自然浓缩和絮凝浓缩对比试验

降磷尾矿自然浓缩试验结果见表 4-1, 试验表明用深锥浓密机自然浓缩, 也可得到较高的底流浓度, 保证溢流水质清, 但设备处理能力较低, 常温下一般每小时每平方米处理 50 多公斤, 有合适的清水层。

表 4-1 降磷尾矿自然浓缩

给矿浓度 /%	给矿体积 /m ³ /h	设备负荷 /kg/(m ² ·h)	底流浓度 /%	清水层深 /mm	水温 /°C	上升水速 /m/h
12.28	0.71	54.39	45.67	600	37	0.326
13.60	1.23	106.17	43.8	0	37	0.531

降磷尾矿絮凝浓缩试验结果见表 4-2。由表中数据看出, 降磷尾矿给矿浓度达 26% 时, 浓缩效果变坏, 可能是絮凝剂用量过大所致。当絮凝剂浓度达到一定程度时, 由于聚丙烯酰胺分子量非常大, 长分子链卷曲不能有效舒展, 整个矿浆便形成了一个絮体, 絮凝沉降现象就减弱。13%-18% 浓度范围内浓缩效果较好, 浓缩效率较高, 底流浓度指标较好。

表 4-2 降磷尾矿絮凝浓缩

给矿浓度 /%	给矿体积 /m ³ /h	设备负荷 /kg/(m ² ·h)	药耗 /g/t	底流浓度 /%	清水层深 /mm	水温 /°C	上升水速 /m/h
26.0	1.03	184.9	40.1	42	50	36	0.274
13.25	2.76	228	42.5	50.5	940	36	1.280
15.0	0.86	81.06	27	52.2	394	36	0.389
15.5	1.637	159.5	25.6	45.1	346	38	0.690
15.14	3.07	295.5	40.7	48.6	600	36	1.342
18.2	3.47	410	50.7	53.2	780	36	1.486

4.2.2 降磷尾矿絮凝浓缩分流稳定试验

降磷尾矿絮凝浓缩稳定试验时间为 44 小时, 稳定试验平均给矿浓度 16.0%, 给矿体积 3.22m³/h, 设备负荷 327.8kg/m²·h, 药耗 43g/t, 底流浓度 50%, 溢流不跑泥清水层深 660mm, 上升水速 1.41m/h。试验过程中, 虽然浓度、负荷波动较大, 但底流浓度均稳定在 40% 以上, 体现了高压浓密机底流浓度高且稳定的性能, 稳定试验结果见表 4-3 和图 4-4。

表 4-3 降磷尾矿分流试验稳定试验

取样 时间	给矿浓度 /%	给矿体积 /m ³ /h	设备负荷 /kg/(m ² ·h)	药耗 /g/t	底流浓度 /%	清水层深 /mm	自然水温 /°C	备注
10:00	12	4.5	336	45	42	900	38	
11:00	12	4.43	331	45	48	1000	36	
12:00	15	4.17	398	38	52	800	36	
13:00	15	4.11	393	38	51	800	36	

14: 00	13	4. 11	335	45	51	750	36	
15: 00	12	4. 11	307	48	51	500	36	
16: 00	14	3. 43	303	52	46. 5	500	37	
18: 00	16	3. 6	369	26	47	350	36	
19: 00	19	3. 43	427	30	50	100	36	
20: 00	18	2. 88	337	37	49	250	36	
21: 00	15	2. 88	275	52	48	450	36	
22: 00	16	2. 88	295	38	48	450	36	
23: 00	14	1. 92	170	64	45	600	37	
0: 00	15	2. 88	275	41	49	600	37	
1: 00	12	2. 88	215	51	49	700	36	
2: 00	14	2. 88	255	44	49	750	36	
3: 00	13	2. 88	235	49	48	800	36	
4: 00	15	2. 88	275	40	48	600	36	
5: 00	15	2. 88	255	44	48	700	36	
6: 00	13	2. 88	235	49	47	750	36	
7: 00	15	2. 88	275	32	48	750	36	
8: 00	15	2. 88	343	42	46	700	36	
9: 00	15	3. 6	359	25	47	300	36	
10: 00	19	2. 88	287	32	45	500	36	
11: 00	17	2. 62	316	50	48	600	36	
12: 00	17	2. 88	307	38	55	400	36	
13: 00	18	2. 62	307	47	52	500	36	
14: 00	18	2. 62	307	38	51	600	36	
15: 00	18	2. 62	307	38	50	600	36	
16: 00	20	2. 4	317	39	54. 5	450	36	
17: 00	15	2. 4	229	40	54	500	36	
18: 00	14	3. 2	283	29	52	600	36	
19: 00	16	3. 2	328	28	52	500	36	
20: 00	16	3. 2	328	28	51	500	36	
0: 00	20	4. 11	544	38	48	0	36	
1: 00	15	4. 11	393	51	53	1300	36	
2: 00	16	4. 11	422	51	55	1000	36	
3: 00	18	2. 4	281	72	55	1300	36	
4: 00	18	4. 11	482	43	55	1000	36	
5: 00	18	2. 4	281	75	55	1200	36	
6: 00	19	4. 11	513	40	55	1000	36	
7: 00	20	4. 11	544	39	53	200	36	
8: 00	18	2. 88	337	63	51	900	36	
9: 00	20	2. 62	346	59	52	800	36	
平均值	16. 0	3. 22	327. 8	43	50	660	36	

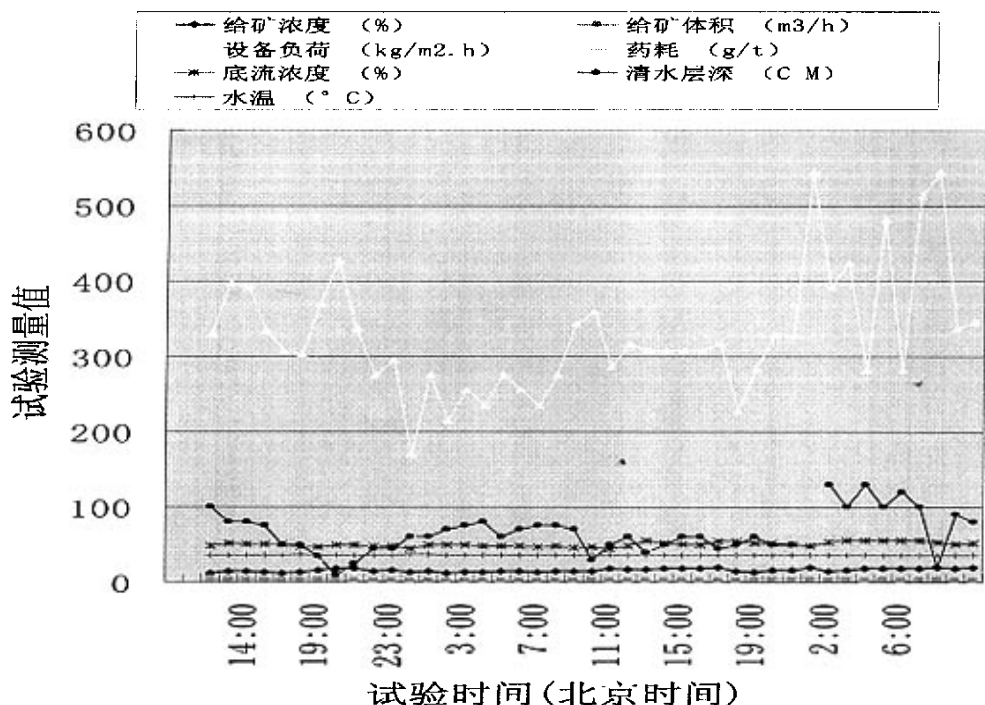


图 4-4 降磷尾矿分流稳定试验

4.2.3 降磷尾矿絮凝浓缩设备选择计算^{[18][38]}

梅山选厂按照 400 万吨/年的生产能力, 产生降磷尾矿干矿量为 75.8t/h 和矿浆体积量 (V) 为 580m³/h。降磷尾矿分流稳定试验设备负荷 Q 为 327.8kg/m²·h, 冬季沉降速度变化率 η 为 65.6%, HRC-25 高压浓密机的沉降面积 S 为 490m²、设备容积为 2439m³, 面积安全系数取 1.2。要到底流浓度 $\geq 45\%$, 溢流不跑泥, 则所需设备台数 (N) 为:

$$\begin{aligned}
 N &= 75.8 \times 1000 \div S \div Q \div \eta \times 1.2 \\
 &= 75.8 \times 1000 \div 490 \div 327.8 \div 0.656 \times 1.2 \\
 &= 0.86 \quad \text{取 } N=1(\text{台})
 \end{aligned}$$

由表 3-20 可得, 28℃ 时降磷尾矿沉降到底流浓度 45% 压缩时间为 1.83 小时, 6℃ 时降磷尾矿沉降到底流浓度 45% 压缩时间为 3.2 小时, 温度系数 0.062h/℃, 容积安全系数取 1.5, 按压缩时间校核如下:

$$\begin{aligned}
 \text{分流稳定试验平均压缩时间 } T_1 &= 2.7 \div 3.22 = 0.84 \text{ (h)} \\
 \text{降磷尾矿 } 36^\circ\text{C} \text{ 沉降至 } 45\% \text{ 压缩时间 } t_2 &= 1.83 - 0.062 \times (36 - 28) = 1.34 \text{ (h)} \\
 36^\circ\text{C} \text{ 至 } 6^\circ\text{C} \text{ 压缩时间变化率 } P &= 3.2 \div 1.34 = 2.39 \\
 \text{冬季浓密机中所需压缩时间为 } T_2 &= 0.84 \times 2.39 = 2.01 \text{ (h)}
 \end{aligned}$$

所需 HRC-25 高压浓密机容积 $580 \times 2.01 \times 1.5 = 1749\text{m}^3 \leq \text{设备容积}$

HRC-25 高压浓密机实际设备负荷为 $75.8 \times 1000 \div 490 = 154.7 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ 。

因此, 选择 1 台 HRC-25 高压浓密机处理降磷尾矿就能达到底流浓度 $\geq 45\%$, 溢流不跑泥

且实际设备负荷小于分流稳定试验设备负荷^[50]。

4.3 重选尾矿分流浓缩试验

4.3.1 重选尾矿絮凝浓缩条件试验

重选尾矿分流浓缩试验为重选尾矿二段浓缩, 从 1[#]、2[#]重选尾矿浓密机底流管道分流, 在 $\Phi 1.5\text{m}$ 深锥浓密机进行了絮凝浓缩试验, 不同条件下重选尾矿浓缩试验结果见表 4-4。

表 4-4 重选尾矿絮凝浓缩试验结果

给矿浓度 /%	给矿体积 / m^3/h	设备负荷 / $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$	药耗 / g/t	底流浓度 /%	清水层深 / mm	水温 / $^{\circ}\text{C}$	上升水速 / m/h
9.25	3.16	179	78.0	820	820	36	1.480
11.7	2.30	164	65.8	920	920	34	0.943
12.0	2.97	220	67.0	300	300	36	1.21
12.3	2.85	216	67.4	680	680	36	1.23
13.0	2.88	233	56.5	800	800	35	1.189
14.4	1.62	147	49.0	760	760	34	0.606
19.0	1.358	170	60.5	0	0	34	0.299

从表中数据可见, 给矿浓度达到 19% 时, 浓缩效果明显变坏, 给矿浓度 14% 以下浓度效果较好。这是因为高浓度时絮凝剂与矿浆混凝不好所致。试验过程发现重选尾矿有时浓度为 15% 时絮凝剂已不能很好混凝, 可能是这时细泥含量较高所致。因此, 重选尾矿絮凝浓缩适宜的给浓度应小于 15%。

4.3.2 重选尾矿絮凝浓缩分流稳定试验

重选尾矿絮凝浓缩分流稳定试验时间为 62 小时, 中途因给矿原因有两次短暂停顿。分流稳定试验平均给矿浓度为 11.23%, 给矿体积 $3.18\text{m}^3/\text{h}$, 设备负荷 $221.1\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$, 药耗 $72.6\text{g}/\text{t}$, 底流浓度 40%, 清水层深 740mm 溢流不跑泥, 上升水速 $1.41\text{m}/\text{h}$ 。 $\Phi 1.5\text{m}$ 深锥浓密机底流排放情况见图 4-3, 浓度 35% 以上流动性能好, 稳定试验结果见表 4-5 和图 4-5。 $\Phi 1.5\text{m}$ 深锥浓密机底流为 35% 时, 机内浓度分布见表 4-6。试验表明, 重选尾矿在较低浓度下, 采用高压浓密机絮凝浓缩可得到较高的底流浓度, 达到 40%, 溢流含固量 $\leq 300 \times 10^{-6}$, 常温下设备处理能力可达 $200\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 。

表 4-5 重选尾矿分流试验稳定试验

取样时间	给矿浓度 /%	给矿体积 / m^3/h	设备负荷 / $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$	药耗 / g/t	底流浓度 /%	清水层 / mm	水温 / $^{\circ}\text{C}$	备注
12: 00	11	3.2	216.76	57	37	1200	34	
13: 00	15	3.2	304.18	49	38	600	35	
14: 00	15	2.4	228.13	68	33	700	36	
15: 00	11	3.03	205.36	50	45	700	34	
16: 00	12	2.88	214.34	60	48	700	34	

17: 00	12	3.31	246.36	61	45	900	34
18: 00	12	2.88	214.34	69	41	1000	34
19: 00	14	3.03	267.02	55	44	1000	34
20: 00	11	3.13	212.05	69	38	1000	34
21: 00	17	3.2	349.82	43	37	1200	34
22: 00	14	2.4	211.39	74	40	1300	34
23: 00	17	3.31	361.88	42	37	600	34
0: 00	12	1.15	85.73	80	38	600	34
1: 00	15	3.2	304.18	43	38	50	34
2: 00	13	1.15	93.54	63	38	600	34
3: 00	12	2.88	214.34	58	38	600	34
4: 00	15	2.88	273.76	56	40	600	34
5: 00	14	2.62	230.61	65	45	500	34
6: 00	16	2.62	267.41	57	43	650	34
7: 00	16	3.35	342.03	32	40	800	34
8: 00	11	2.88	195.09	83	41	700	34
13: 00	10	2.62	160.1	99	42	900	35
14: 00	10	2.88	176.11	91	42	900	35
15: 00	7	3.2	134.15	117	45	1000	35
16: 00	11	3.6	243.86	70	45	700	36
17: 00	11	4.11	278.7	55	35	600	36
18: 00	10	4.11	251.59	62	37	400	36
19: 00	8	3.6	173.67	91	36	800	36
20: 00	12	3.6	267.92	55	36	300	36
21: 00	12	3.6	267.92	55	33	600	36
22: 00	13	5.76	467.72	31	38	700	36
23: 00	13	3.6	292.33	41	34	100	36
0: 00	12	3.6	267.92	57	35	400	36
1: 00	12	3.6	267.92	44	36	500	36
2: 00	12	3.6	267.92	50	38	500	36
3: 00	11	3.6	243.86	62	39	800	36
4: 00	11	3.6	243.86	62	37	900	36
5: 00	8	1.69	81.73	138	43	1000	36
6: 00	14	3.31	296.16	51	45	400	36
7: 00	11	3.39	229.52	66	43	250	36
8: 00	7	2.88	120.74	78	44	600	35
14: 00	9	3.6	196.74	78	43	900	35
15: 00	8	2.88	138.94	113	41	900	35
16: 00	10	2.88	176.11	81	37	1000	36
17: 00	10	3.2	195.68	53	44	1000	36
18: 00	11	3.6	243.86	53	41	700	36
19: 00	11	2.88	195.09	76	45	700	36
20: 00	11	3.6	243.86	51	39	1000	36
21: 00	11	4.11	278.7	55	39	900	36
22: 00	9.5	3.89	225.3	68	44	700	36
23: 00	8	4.11	198.48	78	42	1200	36
0: 00	10	2.67	163.06	79	36	1200	36
1: 00	8	2.94	141.77	103	48	1300	36

2: 00	12	3. 6	267. 92	57	38	50	36	
3: 00	8	3. 24	156. 11	88	36	600	36	
4: 00	7	3. 39	142. 04	106	38	900	36	
5: 00	10	2. 88	176. 11	86	39	1000	36	
6: 00	11	3. 2	216. 76	71	39	900	36	
7: 00	9	3. 03	165. 68	88	39	1100	36	
8: 00	8	2. 62	126. 31	109	42	300	36	
9: 00	8	3. 2	154. 38	97	38	600	36	
10: 00	7	3. 2	134. 15	102	45	600	36	
平均值	11. 23	3. 18	221. 1	69. 37	40	740	35	

表 4-6 重选尾矿分流试验机内浓度分布

水 深	30cm	40cm	60cm	90cm	100cm	150cm	底流
矿浆浓度	0%	15%	20%	24%	26%	27%	35%

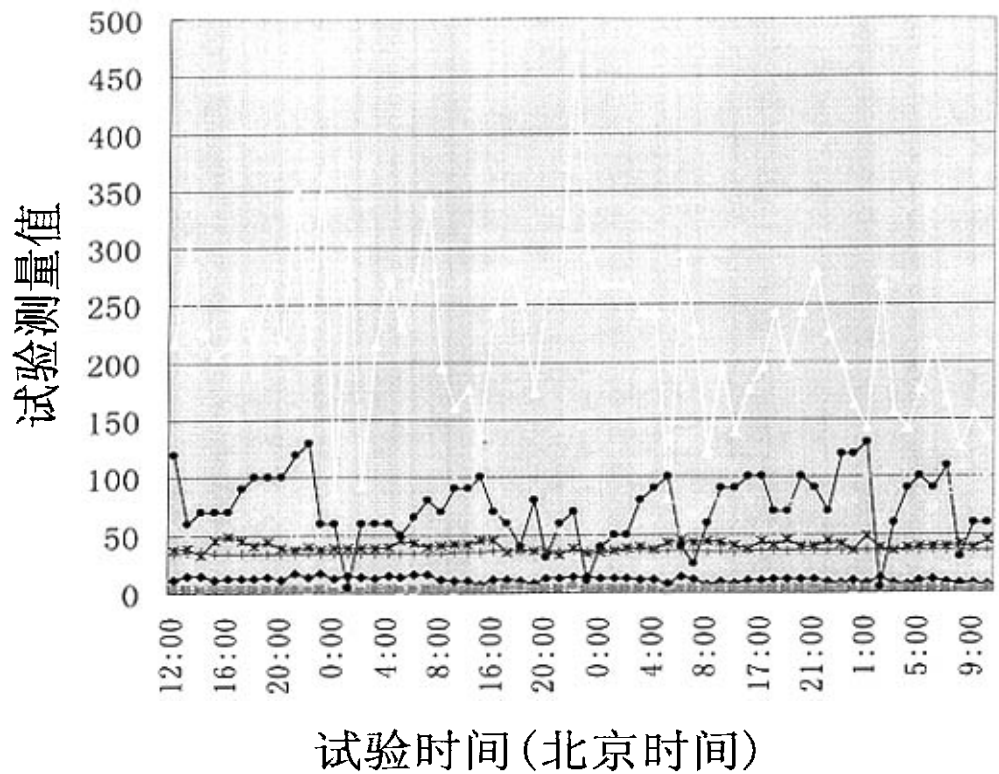
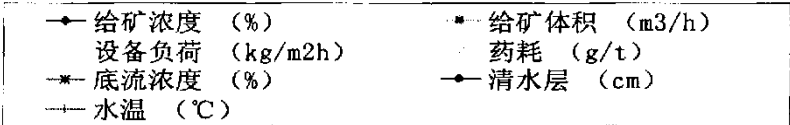


图 4-5 重选尾矿分流稳定试验

4.3.3 重选尾矿絮凝浓缩设备选择计算

梅山选厂按照 400 万吨/年的生产能力, 产生重选尾矿干矿量为 50.5t/h 和矿浆体积量 (V) 为 390m³/h。重选尾矿分流稳定试验设备负荷 Q 为 221kg/m²·h, 冬季沉降速度变化率 η 为 60%, HRC-25 高压浓密机的沉降面积 S 为 490m²、设备容积为 2439 m³, 面积安全系数取 1.2。要到底流浓度 $\geq 35\%$, 溢流不跑泥, 则所需设备台数 (N) 为:

$$\begin{aligned} N &= 50.5 \times 1000 \div S \div Q \div \eta \times 1.2 \\ &= 50.5 \times 1000 \div 490 \div 221 \div 0.6 \times 1.2 \\ &= 0.93 \quad \text{取 } N=1(\text{台}) \end{aligned}$$

由表 3-20 可得, 28℃时重选尾矿沉降到底流浓度 35%压缩时间为 8 小时, 6℃时重选尾矿沉降到底流浓度 35%压缩时间为 15 小时, 温度系数 0.33h/℃, 容积安全系数取 1.5, 按压缩时间校核如下:

分流稳定试验平均压缩时间 $T_1 = 2.7 \div 3.18 = 0.85(\text{h})$

重选尾矿 35℃沉降至 35%压缩时间 $t_2 = 8 - 0.33 \times (35 - 28) = 5.69(\text{h})$

35℃至 6℃压缩时间变化率 $P = 15 \div 5.69 = 2.64$

冬季浓密机中所需压缩时间为 $T_2 = 0.85 \times 2.64 = 2.24(\text{h})$

所需 HRC-25 高压浓密机容积 $390 \times 2.24 \times 1.5 = 1310 \text{ m}^3 \leq \text{设备容积}$

HRC-25 高压浓密机实际设备负荷为 $50.5 \times 1000 \div 490 = 103.1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ 。

因此, 选择 1 台 HRC-25 高压浓密机处理重选尾矿就能到底流浓度 $\geq 35\%$, 溢流不跑泥且实际设备负荷小于分流稳定试验设备负荷。

4.4 混合尾矿分流浓缩试验

4.4.1 混合尾矿絮凝浓缩条件试验

混合尾矿样为生产现场 7[#]浓密机底流, 混合尾矿絮凝浓缩条件试验结果见表 4-7。自然浓缩试验表明设备处理负荷 51.5kg/m²·h, 已是设备最大处理负荷, 清水层仅为 300mm, 底流浓度较低为 33.0%。絮凝浓缩试验给矿浓度范围 15-19%, 药耗 45-50g/t, 处理负荷可达 300kg/m²·h, 底流浓度可达 40%以上。

表 4-7 混合样 (7[#]浓密机底流) 絮凝浓缩试验结果

给矿浓度 /%	给矿体积 /m ³ /h	设备负荷 /kg/(m ² ·h)	药耗 /g/t	底流浓度 /%	清水层深 /mm	水温 /℃	上升水速 /m/h
15.28	3.16	304.0	45	43.2	370	36	1.303
16.0	2.88	295.0	45.8	46.7	939	36	1.211
19.0	2.45	304.0	45	40.2	410	36	0.846
16.0	0.51	51.5	0	33.0	300	36	0.171

4.4.2 混合尾矿絮凝浓缩分流稳定试验

混合尾矿絮凝浓缩分流稳定试验时间为 69 小时, 稳定试验结果见表 4-8 和图 4-6。混合尾矿分流稳定试验平均给矿浓度 16%, 给矿体积 $2.96\text{m}^3/\text{h}$, 设备负荷 $306.68\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$, 药耗 $49\text{g}/\text{t}$, 底流浓度 45.8%, 清水层深 870mm 溢流不跑泥, 上升水速 $1.23\text{m}/\text{h}$ 。试验表明, 混合尾矿在较低浓度下, 采用高压浓密机絮凝浓缩可得到较高的底流浓度, 达到 45%, 溢流含固量 $\leq 300 \times 10^{-6}$, 常温下混合尾矿样采用高压浓密机絮凝浓缩可得到满意的指标。

表 4-8 混合尾矿分流试验稳定试验

取样时间 (8月1日)	给矿浓度 /%	给矿体积 / m^3/h	设备负荷 / $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$	药耗 / g/t	底流浓度 /%	清水层 / mm	水温 / $^{\circ}\text{C}$	备注
11: 00	20	3.39	446.8	23	41	600	34	
12: 00	20	2.88	379.78	38	40	600	36	
13: 00	20	2.4	316.48	46	41.5	400	36	
14: 00	17	1.52	166.07	69	40	350	36	
15: 00	18	2.74	320.59	46	40	100	36	
16: 00	19	2.4	298.36	54	39	450	36	
17: 00	15	3.2	304.76	49	43	450	36	
18: 00	15	2.88	274.29	56	43	500	36	
19: 00	16	2.88	294.75	44	45	500	36	
20: 00	16	3.2	327.51	46	45	300	36	
21: 00	15	3.2	304.76	52	41	400	36	
22: 00	15	4.11	391.84	32	44	500	36	
23: 00	15	2.88	274.29	48	42	50	36	
0: 00	13	1.92	156.16	96	50	400	36	
1: 00	14	2.88	254.12	57	50	600	36	
2: 00	22	2.88	424.29	35	48	750	36	
3: 00	16	2.88	294.75	50	49	900	36	
4: 00	15.5	2.88	284.48	52	41	900	36	
5: 00	17	2.88	315.53	48	44	1500	36	
6: 00	15.5	2.88	284.48	52	40	1500	36	
7: 00	17	2.88	315.53	48	48	1200	36	
8: 00	19	2.4	289.36	46	43	800	36	
10: 00	13	3.27	266.19	46	50	700	36	
11: 00	19	3.03	376.88	36	43	1200	36	
12: 00	12	2.62	195.14	67	42	600	36	
13: 00	12	3.16	235.89	64	46	1100	36	
14: 00	12	2.94	219.04	69	50	140	36	
15: 00	16	3.2	327.51	47	42	600	36	
16: 00	8	2.4	115.9	130	42	1000	36	
17: 00	14	3.2	282.35	54	45	1000	36	
18: 00	18	3.2	374.03	42	48	800	36	
19: 00	15	3.2	304.76	51	48	1000	36	
20: 00	18	4.8	561.04	26	49	400	36	

21: 00	19	3.2	397.82	26	50	350	36	
22: 00	18	3.2	374.03	36	48	600	36	
23: 00	16	3.2	327.51	45	52	600	36	
0: 00	11	2.88	195.35	76	53	700	36	
1: 00	18	3.2	374.03	40	50	900	36	
2: 00	17	3.2	350.59	43	53	900	36	
3: 00	17	3.2	350.59	43	53	1000	36	
4: 00	17	2.88	315.53	48	52	1200	36	
5: 00	17	2.88	315.53	47	53	1500	36	
6: 00	16	3.03	310.27	34	46	1500	36	
7: 00	17	2.88	315.53	49	44	1500	36	
8: 00	19	3.27	406.86	38	41	1200	36	
9: 00	20	3.2	421.98	36	41	1100	36	
10: 00	18	2.88	336.62	42	47.5	1300	36	
11: 00	18	2.88	336.62	44	51	900	36	
12: 00	17	2.88	315.53	48	42	700	36	
13: 00	17	3.2	350.59	43	45	800	36	
14: 00	14.5	3.2	293.52	54	43	900	36	
15: 00	16	3.27	334.95	46	48	1100	36	
16: 00	14	2.22	195.48	77	48	1100	36	
17: 00	17	3.2	238.51	43	48	1000	36	
18: 00	18	2.22	258.94	60	48	1300	36	
19: 00	17	3.2	350.59	31	38	400	36	
20: 00	16	2.88	294.75	52	41	1000	36	
21: 00	16	2.88	294.75	51	47	1300	36	
22: 00	16	2.88	294.75	47	50	1300	36	
23: 00	13	4.8	390.41	24	40	300	36	
0: 00	14	2.88	254.12	61	41	1200	36	
1: 00	16	2.88	294.75	38	46	1100	36	
2: 00	16	2.88	294.75	48	45.5	1000	36	
3: 00	16	2.88	294.75	47	47	900	36	
4: 00	17	2.88	315.53	42	49	900	36	
5: 00	16	2.4	245.63	54	54	800	36	
6: 00	16	2.88	294.75	52	50	1000	36	
7: 00	16	1.60	163.75	75	53	1500	36	
8: 00	15	2.88	274.29	53	41	1500	36	
平均值	16	2.96	306.68	49	45.8	870	36	

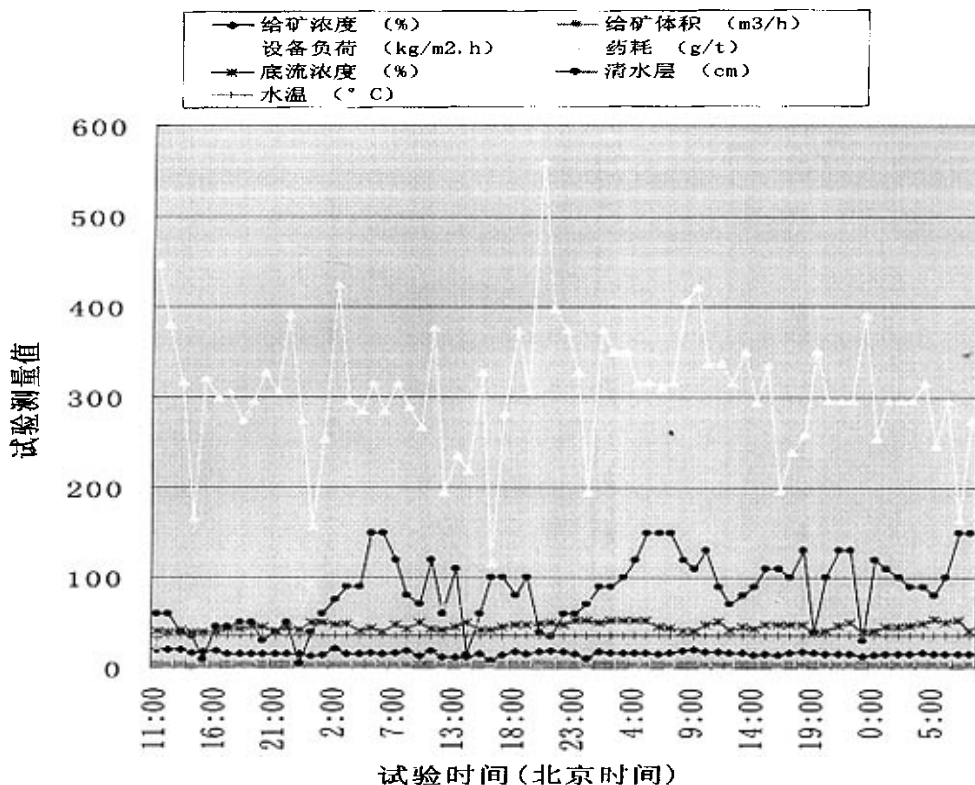


图4-6 混合尾矿(7浓密机底流)分流稳定试验

4.4.3 混合尾矿絮凝浓缩设备选择计算

梅山选厂按照 400 万吨/年的生产能力, 产生混合尾矿干矿量为 126.3t/h 和矿浆体积量 (V) 为 970m³/h。混合尾矿分流稳定试验设备负荷 Q 为 306.7kg/m²·h, 冬季沉降速度变化率 η 为 64%, HRC-25 高压浓密机的沉降面积 S 为 490m²、设备容积为 2439 m³, 面积安全系数取 1.2。要达到底流浓度 $\geq 40\%$, 溢流不跑泥, 则所需设备台数 (N) 为:

$$\begin{aligned}
 N &= 126.3 \times 1000 \div S \div Q \div \eta \times 1.2 \\
 &= 126.3 \times 1000 \div 490 \div 306.7 \div 0.64 \times 1.2 \\
 &= 1.58 \quad \text{取 } N=2(\text{台})
 \end{aligned}$$

由表 3-20 可得, 28℃ 时混合尾矿沉降到底流浓度 40% 压缩时间为 2.0 小时, 6℃ 时混合尾矿沉降到底流浓度 40% 压缩时间为 3.5 小时, 温度系数 0.056h/℃, 容积安全系数取 1.5, 按压缩时间校核如下:

$$\text{分流稳定试验平均压缩时间 } T_1 = 2.7 \div 2.96 = 0.91(\text{h})$$

$$\text{混合尾矿 } 36^\circ\text{C} \text{ 沉降到底流浓度 } 40\% \text{ 压缩时间 } t_2 = 2.0 - 0.056 \times (36 - 28) = 1.552(\text{h})$$

$$36^\circ\text{C} \text{ 至 } 6^\circ\text{C} \text{ 压缩时间变化率 } P = 3.5 \div 1.552 = 2.3$$

$$\text{冬季浓密机中所需压缩时间为 } T_2 = 0.91 \times 2.3 = 2.1(\text{h})$$

$$\text{所需 HRC-25 高压浓密机容积 } 970 \times 2.1 \times 1.5 = 3056 \text{ m}^3 \leq 2 \text{ 台设备容积}$$

HRC-25 高压浓密机实际设备负荷为 $126.3 \times 1000 \div 490 \div 2 = 128.9 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ 。

因此，选择 2 台 HRC-25 高压浓密机处理混合尾矿就能达到底流浓度 $\geq 40\%$ ，溢流不跑泥且实际设备负荷小于分流稳定试验设备负荷。

4.5 尾矿溢流样分流浓缩试验和模拟环水试验

4.5.1 尾矿溢流样分流浓缩试验

分流试验用溢流样为 4[#]浓密机上层池边沉积层细泥，为重选尾矿与降磷尾的混合样溢流。对溢流样进行了自然浓缩和絮凝浓缩试验，实验结果见表 4-9。

表 4-9 4[#]浓密机溢流样浓缩试验结果

给矿浓度 /%	给矿体积 /m ³ /h	设备负荷 /kg/(m ² ·h)	药耗 /g/t	底流浓度 /%	清水层深 /mm	水温 /°C	上升水速 /m/h
4.04	0.95	22	0	24	800	35-36	0.463
4.0	4.59	107.64	84	32	920	37.5	平均

试验表明，絮凝浓缩可极大提高设备处理能力，底流浓度也有提高。但与重选尾矿和降磷尾矿全粒级浓缩相差较大，未达到 35% 的总尾排放要求，可能是尾矿溢流样中细泥含量较高、细度很细所致，絮凝剂已不能很好与微细泥混凝，形成絮团。

4.5.2 溢流水质和模拟环水试验

各尾矿分流实验中存在清水层，溢流水质清澈透明，可满足回水和排放要求（悬浮物体积含量 300×10^{-6} ）。抽取两个水样分析结果为： 18×10^{-6} 和 15×10^{-6} 。

在试验室，用重选尾矿在 12% 浓度下，加入不同用量絮凝剂，沉清后，上清水层用于浮硫试验，尾矿加絮凝剂沉降环水浮硫试验流程见图 4-7。从试验室小试验结果看，环水对浮硫没有明显影响。

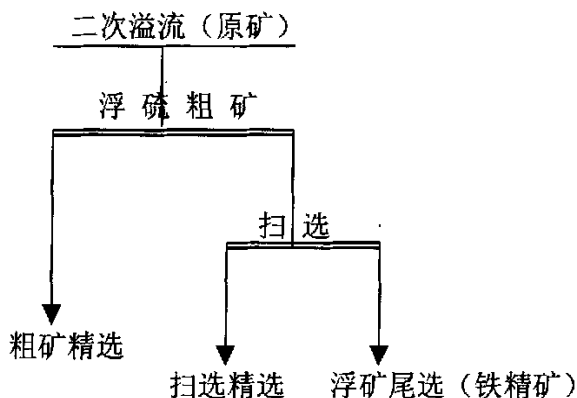


图 4-7 尾矿加絮凝剂沉降环水浮硫试验流程

5 梅山选矿厂尾矿高压浓缩新工艺的改造与实践

5.1 梅山选矿厂尾矿浓缩沉降系统改造方案选择

梅山选矿厂尾矿现采用3段浓缩作业，为了提高综合尾矿的输送浓度，从静态沉降试验对梅山尾矿沉降特性分析和现场分流试验的结果看出给矿浓度过高或过低均不利于浓密机效率的提高，因此方案切入点为二段浓缩作业，考虑通过两段浓缩达到要求的输送浓度以及尾矿制砖综合利用要求的浓度。为此提出了一台高压浓密机与Φ50m浓密机并联方案、对现有Φ50m浓密机进行高效化改造和增加两台HRC-25高压浓密机方案的三个浓缩系统改造方案，三个方案共同点是取消第三段浓缩作业。通过对各个方案工艺特点、可以达到的工艺指标以及所需要的投资进行比较，选择出最优方案。

5.1.1 方案1高压浓密机与Φ50m浓密机并联方案

浓缩系统保留第一段浓缩作业，对于二段浓缩作业进行改进，增加一台HRC-25高压浓密机，选择6[#]或7[#]普通浓密机中的一台进行高效化改造，取消三段浓缩作业。方案达到的综合工艺指标见表5-1。

表5-1 并联方案达到的综合工艺指标

浓密机类型	给矿浓度 /%	处理量 /t/h	底流浓度 /%	溢流固体含量×10 ⁻⁶	底流体积量 /m ³ /h
普通型	18	52	≥35	≤300	113
高压型	18	75	≥45	≤300	117
合 计	18	127	≥40	≤300	230

5.1.2 方案2对现有Φ50m浓密机进行高效化改造

对6[#]、7[#]浓密机进行高效化改造。取消第三段浓缩作业，浓缩工艺流程见图5-1。改造内容与方案1中对普通浓密机改造的内容相同。

表5-2 现有Φ50m浓密机进行高效化改造工艺指标

给矿浓度 /%	处理量 /t/h	底流浓度 /%	溢流固体含量 ×10 ⁻⁶	底流体积量 /m ³ /h
18	127	≥35	≤300	279

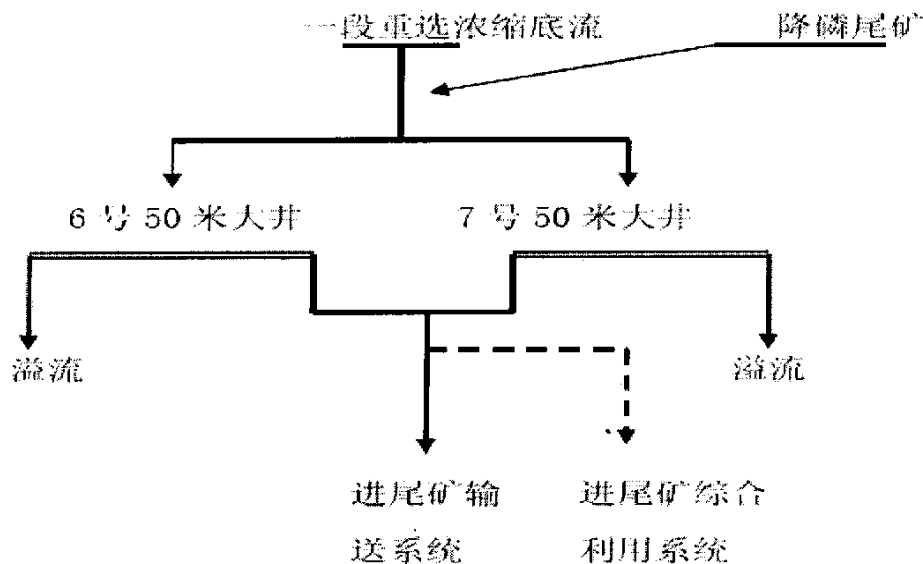


图5-1 高效化改造浓缩工艺流程

5.1.3 方案3 增加两台 HRC-25 高压浓密机方案

用2台HRC-25高压浓密机取代现生产使用的6[#]、7[#]普通Φ50m浓密机，同时取消三段浓缩作业，设计流程见图5-2，工艺指标见表5-3。

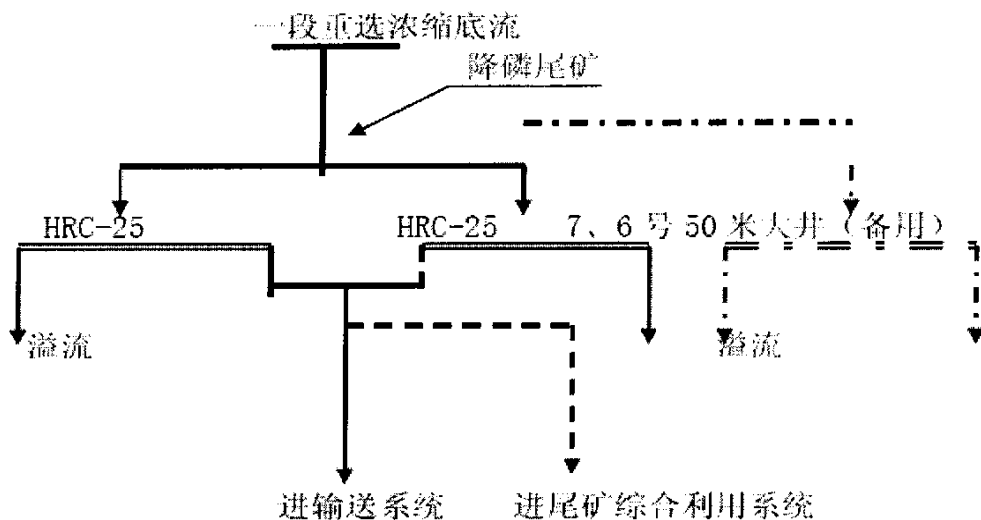


图 5-2 增加两台 HRC-25 高压浓密机方案工艺流程

表 5-3 增加两台 HRC-25 高压浓密机方案工艺指标

给矿浓度/%	处理量/t/h	底流浓度/%	溢流固体含量×10 ⁻⁶	底流体积量/m ³ /h
18	127	≥45	≤300	202

5.1.4 三种尾矿沉降浓缩方案对比

三种尾矿浓缩沉降方案底流浓度和投资比较见表5-4，三种尾矿沉降浓缩方案综合指标比较见表5-5。方案1采用国际先进的高压浓缩技术以及HRC高压浓密机，高压浓缩技术是90

年代国际上发展起来的新的重力沉降脱水技术,它以获得高的稳定底流浓度为特点,长沙矿冶研究院研制的HRC系列高压浓密机所达到的工艺指标与国外高压浓密机(如芬兰奥托昆普公司90年代研制的SUPAFLO, Dorr公司的PASTE THICKENER)相近。

表5-4 三种尾矿浓缩沉降方案底流浓度和投资比较

方 案	工程内容	综合底流浓度	投资估算
1	普通浓密机实行高效化改造、 增加1台HRC型高压浓密机	大于40%	220万元
2	普通浓密机实行高效化改造	大于35%	150万元
3	增加2台HRC型高压浓密机	大于45%	320万元

表5-5 三种尾矿沉降浓缩方案综合指标比较

方 案	技术先进性	工艺指标	投资	管理
方案1	先进	高	较高	容易
方案2	较先进	较高	较低	容易
方案3	先进	高	高	容易

长沙矿冶研究院的HRC系列高压浓密机1994年开始研制,现已通过 $\Phi 6m$, $\Phi 9m$, $\Phi 12m$ 以及 $\Phi 25m$ 直径逐级放大和工业考核,各项指标已经满足选矿厂尾矿串级浓缩中的第二级浓缩设备,表5-6为邯邢冶金矿山管理局玉石洼铁矿尾矿浓缩工业考核指标。其中 $\Phi 12m$ 浓密机经过3年工业考核, $\Phi 25m$ 高压浓密机经过1.5年工业考核。

表5-6 玉石洼铁矿尾矿浓缩工业考核指标

给矿浓度/%	底流浓度/%	台时处理量/t	溢流固体含量 $\times 10^{-6}$
16	≥ 50	60	< 300

5.2 普通浓密机存在的弊端和高效化改造

5.2.1 普通浓密机的弊端

我国原有浓密机基本上都是二十世纪50年代以前苏联浓密机的翻版。所有浓密机都是顶部中间进矿,澄清后的溢流水由周边排出,浓缩后制备好的矿浆由中间锥底排出。浓密机给矿排出口距浓密机水面都有较高的距离,详见表5-7。

表5-7 浓密机给矿排出口距水面的高度

浓缩机 型号	TN6-15 $\Phi 15$	TN6-18 $\Phi 18$	TN7-24 $\Phi 24$	TN7-30 $\Phi 30$	TN7-45 $\Phi 45$	TN7-50 $\Phi 50$	TN7-50 S $\Phi 50$	TN7-53 $\Phi 53$
排矿口距 水面高度	1080mm	1080mm	1765mm	1765mm	1751mm	1751mm	2358mm	1545mm

从表5-7可以看出从 $\Phi 15m$ - $\Phi 53m$ 浓密机由矿浆给矿出口距浓密机水面有1.08~2.35m不

等的高差,大量的矿浆从中间跌落到浓密机中心,造成中间水流的紊乱,不利于固体颗粒的沉淀。另一方面,多数浓密机都是流槽给矿,为了防止浆体在流槽中沉淀,一般流槽都有3%-5%的坡度,有的进矿流槽坡度还要更大些。矿浆在流槽内流动过程中或在大高差跌落过程中要混入一些气体,这些气体随矿浆进入浓密机水中后,要上浮溢出,有些固体颗粒也携带上浮,不利于固体颗粒的沉淀。这些都是造成现有浓密机沉降效率不高的原因^[3]。

5.2.2 普通浓密机高效化改造^[46]

浓密机底流浓度提高和降低环水悬浮物是矛盾的,因为在正常的情况下,随着池内沉积层的增高,底流排出浓度升高,环水中悬浮物含量也上升。考虑到浓密机底流浓度的高低与尾矿在浓密机内的沉降速度和给料方式有关,而矿浆在不加入絮凝剂的情况下尾矿沉降特性不会有大的变化,所以为适应高浓度浓缩的要求对浓缩机的结构进行一些改造,以求改变其沉降条件。

5.2.2.1 将中心给矿圆筒向下延伸

根据尾矿中超细粒矿泥难于沉降的性质,将尾矿送至浓密机深层,通过深层过滤的原理来达到阻止其上升迫使其加速沉降的目的,从而改善其沉降性能,可以有效的提高浓密机底流浓度。具体措施是用4-6mm的厚钢板,绕浓密机中心立柱卷焊成高约1-1.5m的直圆桶。这样,浓密机中心立柱与钢板圆桶之间就形成了一个泄矿圆环槽,槽内矿浆与池内矿浆不直接作用。尾矿浆给入浓密机时矿浆经该圆环槽被导入较深部位,使矿浆在较小的“容积”范围内扩散、沉积;同时,由于矿浆由圆环槽给入,消除了矿浆流入浓密机时对池内浆体(特别是浅层浆体)的搅拌、冲击作用,使矿浆易于沉积,易于排出。在其下部增装一个圆形挡矿环,防止尾矿将耙架冲坏,同时使绝大部分尾矿沉降在中心附近。

5.2.2.2 浓密机排矿系统改造

首先,将底部给矿角度由现在的平面改为 30° 放射角。底流浓度提高后将增加进入浓密机底部的干矿量,改造后使进入下矿口的尾矿自然滑落,以利进浆排矿,不至于产生淤积现象,防止压耙。其次,将浓密机池底尾矿室排矿管向里延伸1m左右,使管口直接插至中心孔下方,保证进入中心孔的尾矿能及时排走。这样可避免进入中心孔的尾矿淤积造成压耙。最后,为适应给矿高速度沉降和底流高浓度排矿的需要,要对浓密机进行加固改造。大、小耙架加筋增强强度,中心回转体用槽钢加固。为适应高浓度沉降带来的影响,对耙架和中心筒进行必要的加固以保证设备满足要求;除了加固副耙达到强度的要求外,还可降低副耙距集矿区的高度,使集矿区尾矿淤积层大大降低,从而提高下矿口尾矿通过量。

5.2.2.3 浓密机溢流堰改造

当进入浓缩池矿浆流量较大时,浓密机溢流量相应较大,浓密机沉降面积不变,导致上升水流速度 V_{\uparrow} 较大,这是造成浓密机跑泥的根本原因。如果 $V_{\uparrow} > V_{\text{沉}}$,即溢流上升水速大于细粒尾矿沉降速度,浓密机必然跑泥,只有 $V_{\uparrow} \leq V_{\text{沉}}$ 时浓密机溢流水才不跑泥。而梅山选矿厂一段浓

缩系统采用两台 $\Phi 50\text{m}$ 周边传动方式浓密机浓缩重选尾矿和两台 $\Phi 53\text{m}$ 周边传动方式浓密机浓缩降磷尾矿。根据计算,浓缩池沉降面积已经足够,但是冬季也会出现浓密机溢流严重跑泥。经现场观察分析,主要是因为浓密机的溢流堰不是绝对水平,局部地方溢流堰较低,造成局部溢流量较大,致使局部上升水流速度 $V_{\text{上}}$ 大于 $V_{\text{沉}}$ 浓密机溢流水出现跑泥。为了解决局部上升水流速度过大的问题,我们对1[#]、2[#]、6[#]、7[#]尾矿浓密机溢流堰进行了技术改造,用6mm的钢板沿溢流堰一周做成锯齿形溢流堰,以保证浓密机在溢流堰一周的上升水流速度均匀。通过冬季生产考验,证明改造是成功的,取得了明显的成效,减少了冬季生产尾矿浓密机出现跑泥现象^{[13][23]}。

5.3 高压浓缩系统工艺流程和高压浓密机结构特点

5.3.1 高压浓缩系统的工艺流程

在试验研究基础上,通过对提供的3个方案的综合比较,选择方案1作为设计方案,确定的浓缩流程见图5-3,设计工艺指标见表5-8。

表5-8 确定的设计方案工艺指标

系统处理量/t/h	综合底流浓度/%	溢流固体含量/ $\times 10^{-6}$
127	大于40	小于300

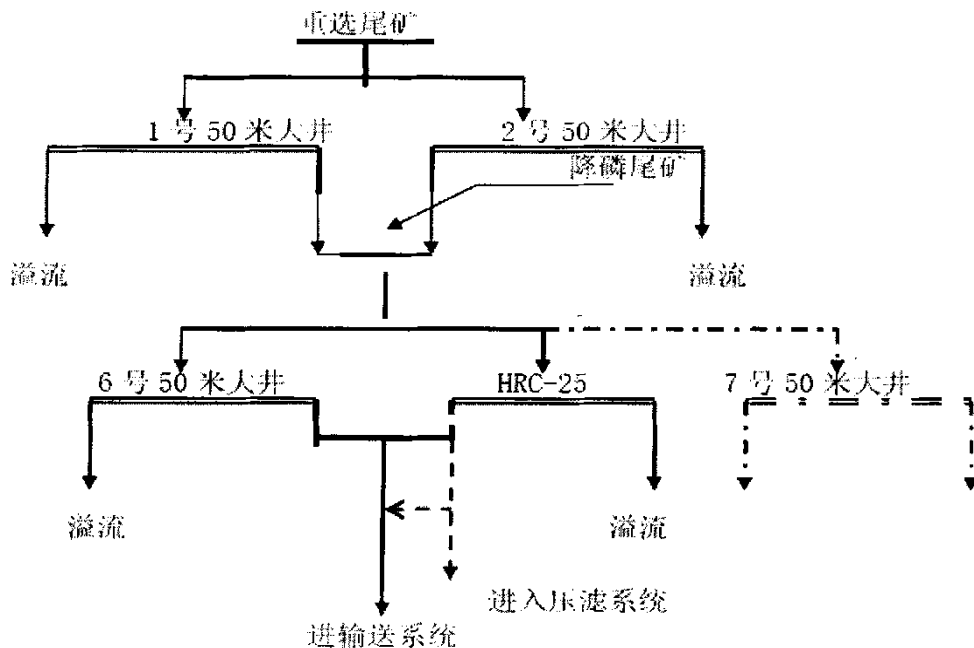


图 5-3 设计流程图

5.3.2 高压浓缩系统设备配置方案

设备配置经过讨论分析,保持原有重选底流泵和降磷底流泵都不变,在6"和7"浓密机处建一个泵站,将分出的矿浆泵至高压浓密机,不需要架空管道。其高压浓缩系统设计工艺设备流程图见图5-4。

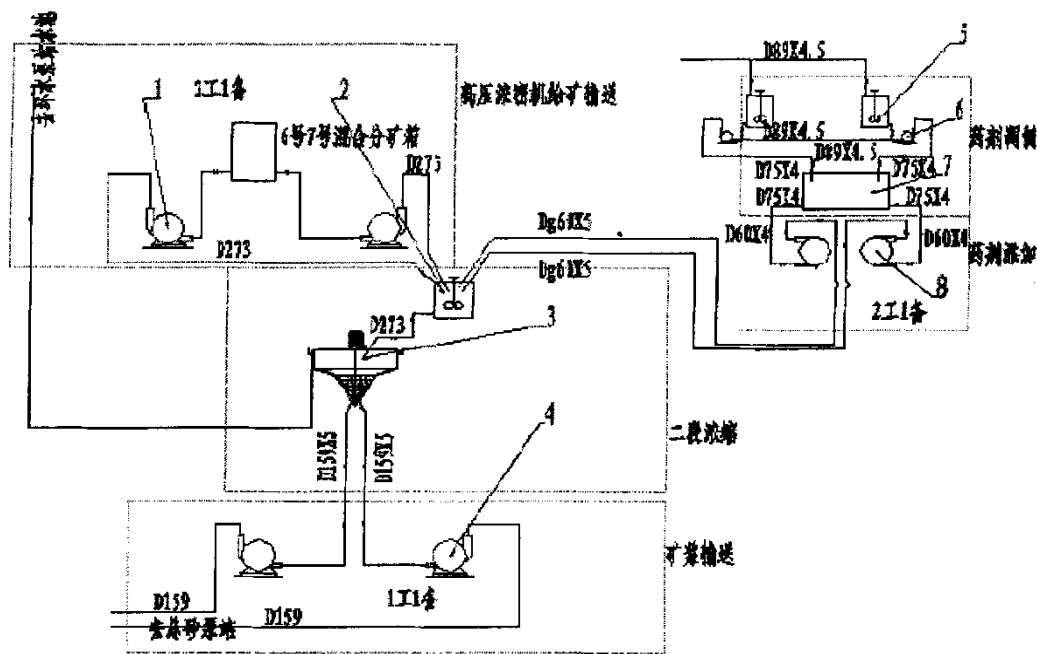
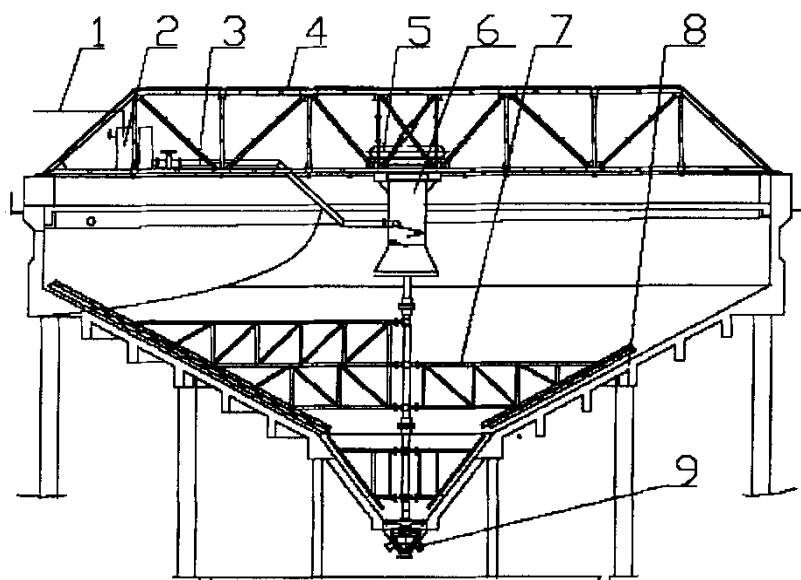


图5-4 设计工艺设备流程图

5.3.3 高压浓密机的结构特点

梅山选厂使用的HRC-25高压浓密机结构如图5-5所示,为中心传动式。主传动为低转速大扭矩涡轮减速机,采用低阻力的耙子作为破坏絮凝体受力平衡的搅拌机构。壳体为钢筋混凝土高架式弹性结构,采用深锥大坡度钢筋混凝土自防水结构。给矿量和加药量采用手动控制,底流排矿采用自动控制,采用双输入单输出模糊逻辑与PID结合的算法,给矿采用电磁流量计监测,底流浓度采用 γ -射线密度计检测,浓密机内储矿量用微差压计检测,控制系统为集散控制,系统具有三级过载保护,确保浓密机稳定工作。



1. 药剂管；2. 给料桶；3. 给矿管；4. 桥架；5. 传动；6. 给料分散井；
7. 耙子；8. 池体；9. 底流排放口

图5-5 HRC-25高压浓密机结构示意图

5.4 高压浓密机的自动控制技术

大型高压浓密机运行过程中，由于其底流浓度特高，底流呈膏状，容易压耙；另外冶金矿山等行业应用高压浓密机时，一般除要求底流浓度高外，还需要底流浓度很稳定。因此无论是从高压浓密机本体的工作稳定性、可靠性和其应用领域对底流浓度指标的要求均必须实行自动控制。

5.4.1 高压浓密机的系统变量

HRC-25高压浓密机的操作过程中，主要操作指标是浓密机的底流浓度和溢流中的固体含量，如果是絮凝浓缩，则还必须包括加药量。高压浓密机运行过程中的主要变化因素有：给入物料流量和性质变化，物料性质主要是含泥量及粒度组成变化影响絮凝效果，给料流量变化影响絮凝剂用量，两者合并影响絮凝剂用量；给料浓度，给料浓度是最重要的工艺参数，亦影响絮凝效果，矿浆和絮凝剂作用的浓度不宜太高，太高则絮凝效果不好。因此，高压浓密机的给料浓度不宜太高也不宜太低，给料浓度变化也影响絮凝，因而影响絮凝剂用量。控制系统目标参数：底流浓度和溢流水固体含量。

5.4.2 高压浓密机的底流控制方案

当物料性质不变时，给药量亦不变，高压浓密机的底流浓度仅仅与高压浓密机内的压缩层高度有关，亦即只与浓密机底部压力相关，其控制原理如图5-6。

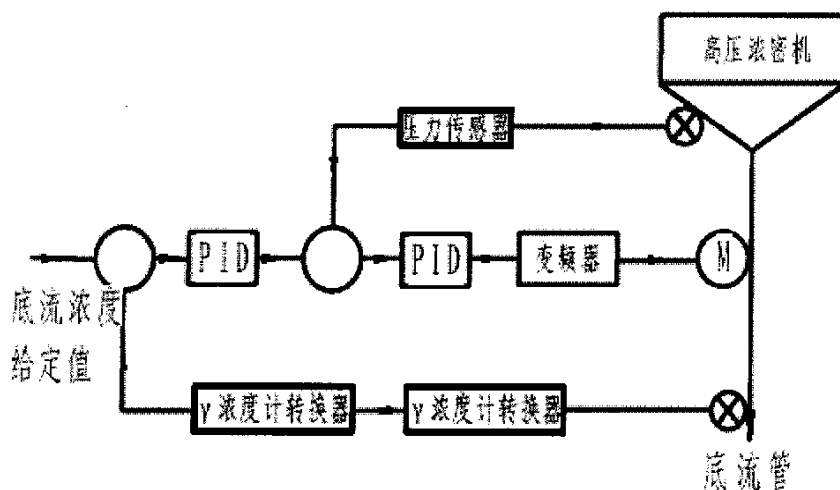


图5-6 HRC-25高压浓密机底流控制原理图

实际生产过程中，给料粒度含泥量等物料性质是不断变化的，但变化不是十分频繁；而给料流量及给料浓度则受前面作业影响，频繁变化，但变化幅度不大，且有一个变化范围。高压浓密机是一个很大的容量系统，运行过程中要控制的参数是底流浓度和溢流固体含量。给料浓度和给料流量的变化不能立即反映到底流浓度，而是影响到相同底流浓度下的泥线高度。设计HRC-25高压浓密机时，考虑到处理量的波动，允许泥线在一定范围内变化。因此底流控制系统由一个底流浓度闭环和一个加药量开环组成，采用SIEMENS公司的S7-300型PLC作系统控制处理机——下位机，工控计算机作为上位机，既保证了控制系统的稳定可靠又便于数据管理，同时由于系统具有开放的结构，易于与选矿厂其它控制系统的集成与整合。该系统采用 γ —射线密度计在线检测浓密机的底流浓度，压力传感器测定浓密机底部压力，反应澄清层和沉降层分界面的变化，功率变送器检测浓密机驱动电机功率，采用变频调速器调节底流泵转速从而调节底流泵的扬量。由于高压浓密机底流浓度上升，浓密机内泥线上升后，浓密机内平均密度升高，浓密机底部的压力升高，因此可以通过调节高压浓密机底流量达到控制高压浓密机内的泥线高度从而稳定底流浓度。而加药量控制用比例调节，根据底流浓度和泥线的变化趋势，改变比例调节的比例系数来控制加药量。因此HRC-25高压浓密机的自动控制系统通过测定给料流量、底部压力、絮凝剂流量、底流浓度和泥线高度，把这些测试量送入微处理器，微处理器自动控制高压浓密机的底流量和药剂流量。

5.4.3 高压浓密机底流浓度的自动稳定

浓密机的底流浓度是由物料在浓密机内的压缩时间和压缩层高度决定的。高压浓密机建成后，对于相对固定的生产工艺，压缩时间基本是固定的，影响底流浓度的因素是压缩层高度，由于物料性质的变化，对相同的底流浓度，压缩层高度不同，因此要稳定高压浓密机底流浓度必须控制压缩层高度。而高压浓密机压缩层高度可通过控制底流泵的排量来控制，因此实时控制高压浓密机的底流流量也就实现了浓密机底流浓度的稳定。梅山选厂HRC-25高压

浓密机底流量采用PID调节,采用PID调节时,比例调节反映系统偏差大小,只要偏差存在,比例调节便会产生控制作用。当系统启动时,电动机功率低,床层压力低,底流浓度太低,压缩层未建立,为加速浓度响应,关闭底流泵。当电动机功率低,床层压力低,底流浓度在控制范围内,保持底流流量不变。当电动机功率低,床层压力高,底流浓度小于控制范围,加大药剂量,保持底流排量。当电动机功率低,床层压力高,底流浓度在控制范围内,加大药剂量,加大底流排量。当电动机功率高,应加大底流排量,以确保高压浓密机内的矿量平衡,避免压耙^[51]。

5.5 梅山选厂尾矿高压浓缩系统的工业调试

梅山选厂HRC-25高压浓密机工业调试矿样为正常生产的尾矿样,从6[#]、7[#]浓密机给矿箱中分取。工业调试时测试了对浓密机工艺指标有重要影响的粒度分布及比重。测试出物料真比重为3.2211g/cm³,因为激光粒度分析仪不适合测试+200目粒级,物料的粒度分布采用筛分分析及激光粒度分析仪分析,表5-9为尾矿的筛分分析。 -200目物料用CILAS激光粒度分析仪测试, -200目物料的中值粒径(Diameter at 50%)为4.06 μm,平均粒径(Mean diameter)为9.23 μm。测试结果表明尾矿中-200目含量虽不高,但-200目粒级中细粒级含量很高,该尾矿属于难沉降的尾矿^[17]。

表5-9 工业调试尾矿样的筛分分析

粒 级	+200	-200
粒级分布, %	24.94	75.06

工业调试时给矿流量用电磁流量计检测;给矿浓度人工取样检测,不定期取样。底流流量用电磁流量计检测;底流浓度用γ-射线密度计检测,采用手动取样标定,并手动取样对γ-射线密度计检测结果进行不定期验证。自2004年11月15日正式投料试车后,一次试车成功,当天达到设计指标,底流浓度达到45-50%,溢流水固体含量小于300×10⁻⁶,满足了环保的要求,并稳定运行一个星期,取得了满意的工艺指标。试验结果表明:梅山选厂尾矿实施高压浓缩新工艺后,尾矿的总输送量减少到220立方米/小时,解决了尾矿输送能力不足的问题,尾矿输送油隔离泵可以由现在的3台工作减少为2台工作,每年可以节约动力电200万千瓦时,厂区回水增加180万立方米,节约运行费用近200万元。同时由于HRC-25高压浓密机尾矿底流浓度较高,达到了压滤脱水的需要,提高了压滤机的工作效率,可实现尾矿制砖的综合利用。

6 沉降浓缩工艺机理研究

6.1 普通浓密机沉降浓缩机理

重力浓缩是依靠重力沉降使悬浮固体颗粒与液体分离的工艺方法,主要目的是提高给矿流中的固体浓度。重力浓缩设备构造简单、易于操作,选矿厂最常用的浓缩设备主要为耙式浓密机^[42]。

6.1.1 普通浓密机重力浓缩过程研究

悬浮液在重力浓缩池中沉降浓缩时,矿浆在耙式浓密机中浓缩是靠悬浮液中微细矿粒的重力沉降实现的。需要浓缩的料浆从浓密机中心给入后,在机内形成了放射状上升流。其中较大的颗粒沉降于浓密机的下部,经过旋转的耙子将沉砂集中在排砂口连续式间断排出,细小颗粒及澄清的液体由溢流口流出。

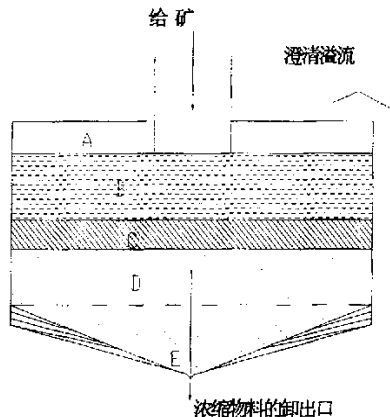


图 6-1 浓密机的浓缩过程

重力浓缩池的作业空间按照浓度大小可分为 A、B、C、D、E 五个区, A、E 区是浓缩的结果, 见图 6-1。A 区是澄清的水(上清层), 得到的澄清水作为溢流产物从溢流堰排出。B 区为自由沉降区(沉降层), 需要浓缩的悬浮液浆体首先进入 B 区, 固体颗粒依靠自重迅速沉降, 进入压缩区(D 区), 在压缩区, 悬浮液中的固体颗粒已形成较紧密的絮团, 絮团仍继续沉降, 但其速度已较缓慢; E 区为浓缩物区(沉积区), 因在此处设有旋转刮板, 有时该区的一部分呈浅锥形表面, 浓缩物中的水又会在刮板的压力作用下溢出, 悬浮液浓度进一步提高, 最终由浓密机底口排出, 成为浓缩机的底流产品, 得到高浓度的尾矿料浆。在自由沉降区与压缩区之间, 有一个过渡区 C, 在该区中, 部分颗粒由于自重作用沉降, 部分颗

粒则受到密集颗粒的阻碍,难以继续沉降,因此该区又为干涉沉降区。C、D两区差异不显著时,可将C、D两区统称浓相层。

颗粒在水中的自由沉降,由自身密度、粒度、形状决定,有一定值沉降速度——自由沉降末速,这一沉降速度视为它的固有属性。

料浆中颗粒在B区,将按上升流中自由沉降规律沉降进入浓相层。在浓相层中,残存于颗粒间隙之中的水分在后续沉降下来的颗粒群重力的作用下排出,上升、进入澄清层。愈往深部悬浮浓度愈大,由于沉积层在耙架刮板推动下连续不断排出,浓相层在脱水的同时逐渐变为高浓度的新的沉积层^{[1][18]}。

浓缩机的效率主要取决于沉降层和浓相层。颗粒在沉降区中的行为直接影响澄清的性质(微细颗粒的粒度和含量)。浓相层的可缩性能将影响底流产品中的含水量。

6.1.2 固体颗粒在浓缩机的沉降理论

固体颗粒在浓缩机的B区为自由沉降区,固体颗粒在水介质中的自由沉降速度可按斯托克斯^{[2][15]}(Stokes)公式求得:

$$V_0 = \frac{d^2(\delta - \rho)gx}{18\mu}$$

式中: V_0 —颗粒在水中的自由沉降速度, cm/s;

μ —常温下取水的粘度为 0.01 泊;

δ —固体颗粒的密度, g/cm³;

d —固体颗粒的粒度, cm;

x —固体颗粒的球形系数,一般取 $x=0.3$;

ρ —水的密度, $\rho=1\text{g/cm}^3$

g —重力加速度,一般取 $g=981\text{cm/s}^2$

浓缩机中的上升水速大小主要取决于浓缩机溢流量,计算公式如下:

$$V_{\uparrow}=Q_{\text{溢}}/S$$

式中: V_{\uparrow} —浓缩机上升水速, m/s;

$Q_{\text{溢}}$ —浓缩机溢流量, m³/s;

S —浓缩机沉降面积, m²。

由此看出,如果固体颗粒在浓缩机B区的沉降速度 $V_0 \leq V_{\uparrow}$,即溢流上升水速大于固体颗粒沉降速度,从而导致跑泥。

固体颗粒在过渡区C的沉降为干涉沉降,其沉降速度可按利亚中柯公式^{[60][61]}计算:

$$V_{st}=V_0(1-\lambda)^n$$

式中: V_{st} —颗粒在悬浮液中的干涉沉降速度, cm/s;

n —实验指数, 一般取 $n=5-6$;

λ —悬浮液的固体容积浓度 (以小数表示), $\lambda=1/(R\delta+1)$;

R —悬浮液的液固比。

把上述的数值代入式中, 可得

$$V_{st}=588.6(\delta-1)d^2(1-\lambda)^n$$

从以上分析可以看出, 固体颗粒沉降速度是由矿物的粒度特征和介质阻力二者共同决定, 主要取决于固体颗粒的粒度、颗粒的密度以及悬浮液的浓度。其中, 固体颗粒在过渡区和自由沉降区的沉降速度均与 d^2 成正比, 即颗粒的粒度对沉降速度影响最大。因此, 要保证浓缩机不跑泥可采取降低浓缩机上升水速 V_{\uparrow} 或者增大固体颗粒的粒度。要降低浓缩机上升水速 V_{\uparrow} 一是增大浓缩机的沉降面积; 二是减少浓缩机溢流量; 要减少溢流量一是须严格控制进入浓缩机的矿浆流量; 三是底流泵多抽一些, 底流浓度适当稀一些^{[23][43]}。要增大固体颗粒的粒度通常可采取添加絮凝剂使微细颗粒絮凝成团进行絮凝沉降。

6.1.3 普通浓密机高效化改造的理论研究

传统浓密机一般为上部中心给矿, 矿浆由上部经中心给矿筒进入池内。在池内形成澄清带、自由沉降带、浓相层(压缩带)、耙子运动带。

浓缩池中心部分高度 H : $H=H_c+H_z+H_n+H_p$

式中: H_c —澄清带高度, 约0.3-0.6m;

H_z —自由沉降带高度, m;

H_n —浓相层的高度, m;

H_p —耙子运动带的高度, m。

当矿浆由上部进入浓缩池后, 固体颗粒在自由沉降带开始下沉。当众多的固体颗粒下沉到压缩带以后, 形成一个群体颗粒压缩沉淀, H_n 可由下式表示。

$$H_n = \frac{W_z(r_g - 1)t}{(r_k - 1)r_g A}$$

式中: W_z —进入浓缩机的固体量, t/h。

r_g —尾矿固体比重, g/cm³。

r_k —浓缩池底部排出矿浆的比重, g/cm³。

A —浓缩池的沉降面积, m²。

t —矿浆在浓缩池中的停留时间, h; 根据静态沉降试验资料确定; 对于澄清界面清晰的砂质尾矿, 即为矿浆浓缩至设计排矿浓度所需的时间与矿浆沉降至临界点的时间差; 对于澄清界面不清晰的泥质尾矿, 则为矿浆压缩至设计排矿浓度所需的时间与矿浆沉降至开始出现沉渣面的时间之差。

从上式中可以看出: 矿浆在浓相层停留的时间越长, 即 t 越大, 则视为沉降的效果越好;

在浓缩池面积A一定的条件下,浓相层 H_n 越深,说明沉降时间越长,因此沉降的效果也越好,底流浓度越高。在给水净水工程中,也有利用上述处理矿浆的浓缩机设备,被称为辐射式沉淀池,像我国兰州西固水厂、包头黄河水厂的 $\Phi 100\text{m}$ 辐射式浓缩池,这些浓缩池进水方向都是由底部进水,有利于固体颗粒的沉淀^[3]。其理论分析可如图6-2解释。

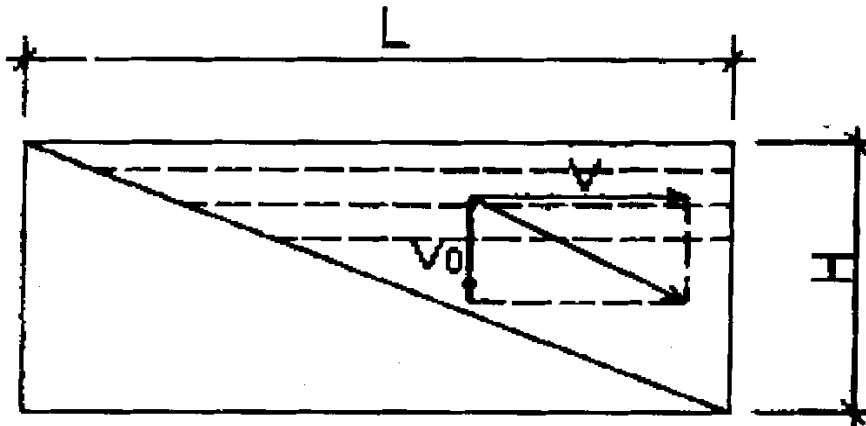


图6-2 颗粒沉降示意图

每一个固体颗粒在水中都是沿水流的水平速度 V 与颗粒下沉的铅垂速度 V_0 的合成速度方向移动。固体颗粒在池中,只有下沉速度不小于 V_0 的颗粒才能沉淀下去,而所有小于 V_0 下沉的颗粒,都将与水一起溢出,悬浮颗粒在起点沉淀的较多。从图6-2中可以看出,速度三角形与池对角线形成的三角形相似,因此 V 比 V_0 等于 L 比 H ,即:

$$V/V_0=L/H$$

由上式可得: $V_0=V \cdot H/L$

由此可以看出, L 越大,也就是说池面积越大, V_0 越小,所能沉淀下来的固体颗粒越多; H 越小,也就是说浓缩池中的给矿出水口距池底越近,也会得出同样的结果。把这一结果引入浓缩池,如果把中心柱给矿导入距池底较近处排矿,即降低 H 值,所得到的固体颗粒沉淀越多。而且多数固体颗粒都在浓缩池中心柱附近就近下沉,可控制二次渗水量,这样也就减少浓缩机耙子刮泥力臂。这就是梅山选厂对一些传统浓缩机进行出矿口下引改造来强化固体颗粒的沉降,使得浓缩机处理量大和保证水质,还不压耙子的原因。如:1993 年鞍钢调军台选矿厂从美国“道尔”公司引进一台 $\Phi 140\text{m}$ 尾矿浓缩池,其进矿方式也是流槽顶部进矿,到浓缩机中心后由管道斜方向从中心柱两侧进入,中心混矿部分成螺旋状,一方面起消能作用,另一方面也起到排气作用,这就为固体颗粒的沉淀创造了一个良好的条件^{[3][7]}。

6.2 高压深锥浓密机的液固相运动分析

6.2.1 液相运动状况分析^{[49][53][62]}

给入高压浓密机的矿浆与药剂混合后通过给料井进入浓密机中,即开始了固体和液体的分离。悬浮液中的液体除部分从浓密机的底流排出,其中的大部分由浓密机的溢流排出。浓密机内液相的运动可以由流体的纵向运动和径向运动两部分组成。

液、固两相流纵向运动速度可以分为三个区段(见图 6-3)。其中 OA 段为由于给入浓密机的浆体所具有的流动速度以及给矿点与溢流面具有的高差所造成的浆体向下的运动。向下运动的浆体受到下部物料的阻挡进而转化为横向水流,即 AB 段,横向水流运动至浓密机的池壁,受到池壁的阻挡转化为向上运动的水流,进入溢流槽。

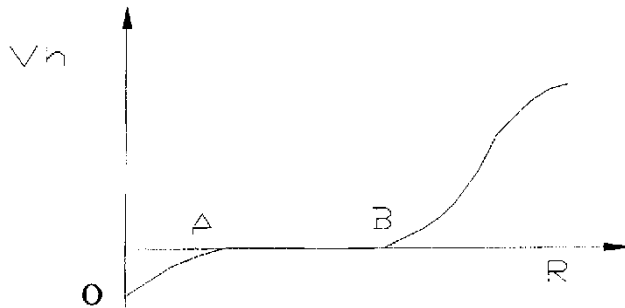


图 6-3 沿浓密机径向, 竖直水流速度分布

浓密机的底流排矿造成了浓密机中向下的水流运动,其运动的速度可以表示为: $V_h = Q_{\text{底}}/S$

式中 $Q_{\text{底}}$ —底流排矿体流量;

S —浓密机的横截面积。

深锥浓密机的直筒体部分,其截面积大,由底流排矿造成的纵向水流速度小。到浓密机锥体部分,随浓密机深度的增加,竖直水流速度增加。

$$V_h = \frac{Q}{\pi(R - H \cdot \tan \frac{\alpha}{2})^2}$$

因此,沿浓密机的纵向,竖直水流速度 V_h 分布可表示为图 6-4。

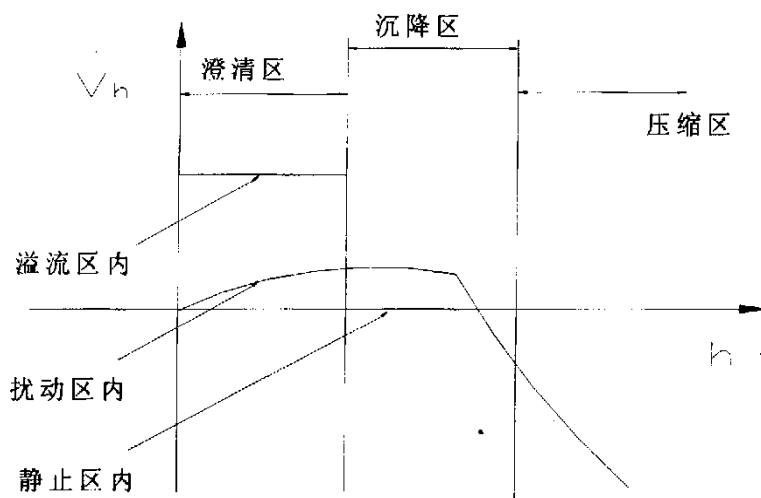


图 6-4 沿深锥浓密机纵向，竖直水流速度分布

水流的径向移动在固体颗粒的分布状况上起重要的作用，在深锥浓密机中水流的径向运动主要发生在浓密机的上部（沉降区），在压缩区水流基本是向下运动。沿浓密机的径向和纵向，水流的径向速度 V_R 可分别由图 6-5 和图 6-6 所示。

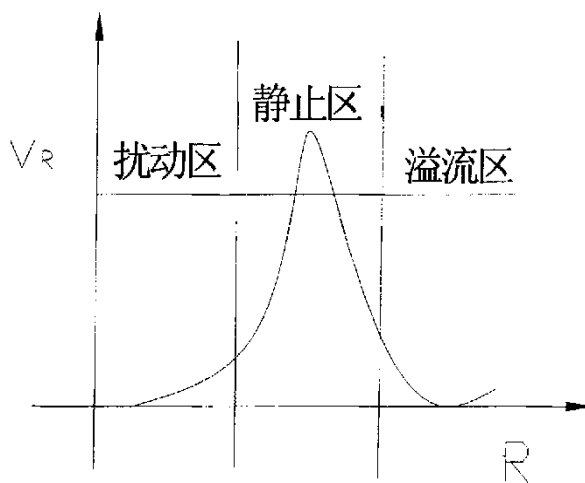


图 6-5 沿深锥浓密机径向，径向水流速度分布

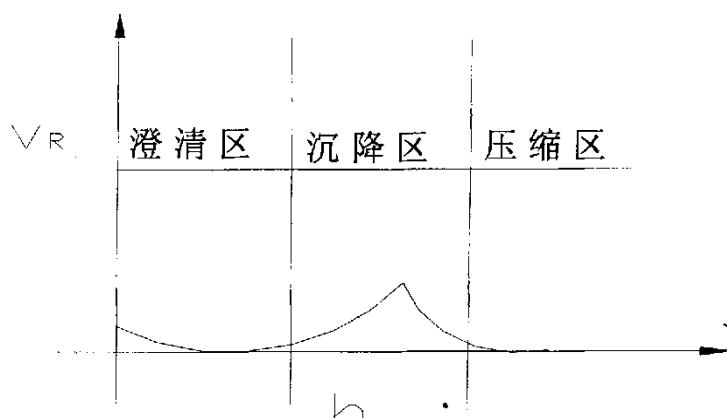


图 6-6 沿深锥浓密机纵向，径向水流速度分布

6.2.2 高压深锥浓密机中固体浓度分布^{[49][53]}

在重力场及浓密机内水流夹带的作用下，浆体中的固体颗粒按照一定的规律分布在浓密机中，沿浓密机竖直方向浓密机内固体浓度分布状况见图 6-7。沿竖直方向，固体的浓度分布基本可以分为三个区域：澄清区、沉降区、压缩区。固体的沉降主要发生在沉降区。在这一区域，随深度的增加，浓度增加幅度大。压缩区内，随深度增加，浓度变化的幅度小，达到一定深度，固体深度恒定。

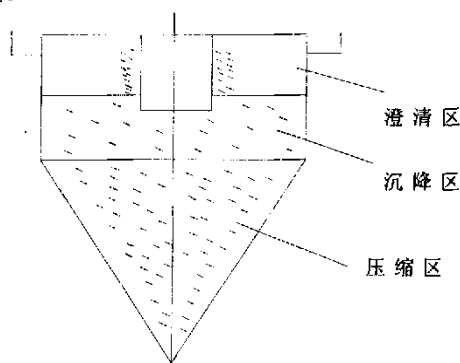


图 6-7 高压深锥浓密机竖直方向浓度分布状况

浆体由浓密机的给料井进入浓密机，在给料井的排矿点，由于水流运动状态的急剧变化，在这一区域产生了一个涡动区，固体颗粒在涡动水流的作用下，扩散加剧，在浓密机的中心部位形成了一个高浊度区。

水流继续向周边迁移，水流逐步转化为呈层流状的水平运动，固体颗粒在这一水流的夹带下向周边移动，并在重力场的作用下慢慢沉积下来。

接近浓密机周边，受到池壁的阻挡，水流逐步转化为竖直向上的运动，固体颗粒随之向上运动，在澄清区形成了另一个浊度较高的区域。深锥浓密机沿径向的浓度分布状况见图 6-8。

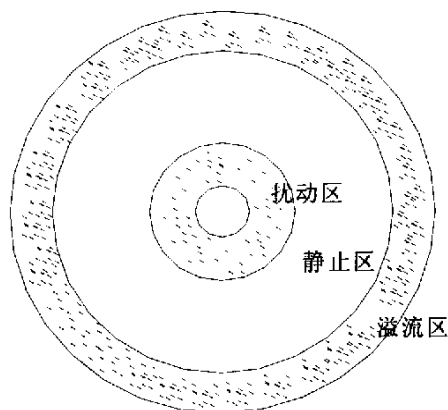


图 6-8 深锥浓密机内沿径向固体浓度分布状况

6.2.3 高压深锥浓密机的工作原理

物料给入浓密机顶部桥架上的给料箱消能，通过料箱给入浓密机的给料井，并与絮凝剂混合发生絮凝，絮凝后的物料在重力作用下在浓密机内沉降。根据现有的浓密理论，浓缩过程分为三个阶段。现使用的浓密机，包括高效浓密机反映的浓缩过程主要是固体颗粒在沉降段和过渡段的工作过程，当浓密机处于这一工作阶段，采用絮凝浓缩，大大地增加了固体通量，设备可以获得大的处理量。但进入浓缩过程的压缩段，固体颗粒的沉降过程已经发生了质的变化，由固体颗粒的沉降变成了水从浓相层中挤压出来的一个过程。Buscall和White (1987)在分析絮凝沉降特性时提出了一个屈服应力的概念，他们认为絮凝浓缩的压缩阶段，固体的沉降速率和压实程度取决于三种力，即重力、流出浓相层液体的粘滞力以及浓相层固体颗粒间的应力的平衡。他们认为，絮凝浓缩形成的网状结构物的压缩脱水仅与压力有关，当浓相层所承受的压力大于一临界值，浓相层的浓度才可能大幅度地提高。他们认为要获得高的浓密机底流浓度只有通过增加浓缩设备的高度来实现。在对尾煤进行的实验过程中，他们认为，只有当压缩床层的高度大于5m，才可能获得体积浓度44%（重量浓度55%）的底流。因此，据此设计的高压浓密机的筒体较高，浓密机内的泥线也较高，矿浆进入高压浓密机后，沉降过程将在很短时间内完成，而要达到极高的底流浓度，需要的压缩时间较长，反应在浓密机内的浓度分布，则沉降区较小，压缩区较大。梅山选厂HRC-25高压浓密机工作时，浓密机底部储存有大量的高浓度矿浆，低阻力耙子的缓慢转动，成为破坏疏松絮凝体受力平衡的搅拌机构，形成上升水的通道，高浓度矿浆中的水逐步挤出，从而达到要求的底流浓度，根据实际试验的结果，高压浓密机内的浓度分布如图6-9所示。为了浓密机工作时能稳定得到符合工业排放标准的溢流，澄清区必须较大，有一定的缓冲能力^{[31][52][58]}。

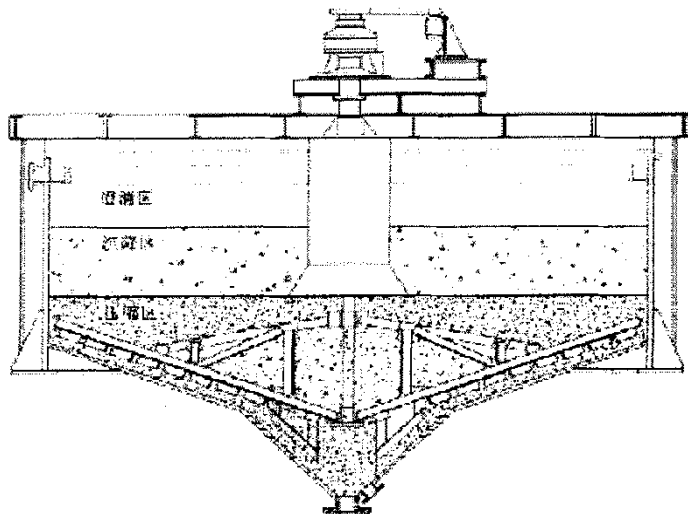


图 6-9 HRC-25 高压深锥浓密机内矿浆浓度分布图

6.3 聚丙烯酰胺絮凝剂的絮凝机理

絮凝一般是指在悬浮液中加入高分子化合物进行脱稳之后,相互接触碰撞,在吸引力作用下由于其架桥作用而使悬浮液失稳合并成长为大絮凝体的过程。一般高分子化合物都有很长的分子链,而且链上有很多活性基团,这些活性基团能在颗粒表面进行吸附。若一个这样的分子链能同时吸附两个或两个以上微粒,那么就会把微粒像架桥一样地连接起来而形成絮团。这种作用又称架桥作用。用高分子化合物进行架桥时,无论悬浮液颗粒表面荷电状况如何、势垒多大,只要添加的絮凝剂分子具有可在颗粒表面吸附的官能团或吸附活性,便可实现絮凝^[28]。

6.3.1 高分子絮凝剂的作用力

絮凝剂在颗粒-水界面上固着被认为是多点附着^[29],即絮凝剂分子是依靠多个官能团在颗粒表面多个位置上吸附的,吸附作用可以是物理吸附(长距力)也可以是化学吸附(短距力)或两者兼而有之。高分子絮凝剂的物理吸附作用主要有:静电作用、偶极吸引作用、范德华作用和疏水作用。高分子絮凝剂的化学吸附作用主要有:化学键、配位键和氢键。因为化学吸附作用是短程力,而静电力是长程力,所以带有与固体表面同号电荷的絮凝剂要在固体表面上吸附,须事先借助其它的作用力使两者互相接近方可达到。

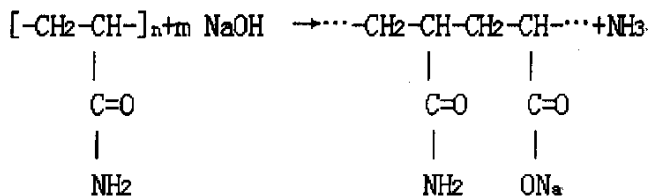
絮凝剂在颗粒表面的吸附,主要有静电键合、氢键键合和共价键键合三种类型:①静电键合:主要由双电层的静电作用引起。②氢键键合:当絮凝剂分子中有 $-NH_2$ 和 $-OH$ 基团时,可与颗粒表面电负性较强的氧进行作用而形成氢键,虽然氢键键能较弱,但由于絮凝剂聚合度大,氢键键合的总数亦大,所以该项能量不可忽视,但单纯氢键的选择性较差。③共价键

键合：高分子絮凝剂的活性基团在矿物表面的活性基区吸附，并与表面离子产生共价键键合作用。此种键合，常可在颗粒表面生成难溶的表面化合物或稳定的络合物，并能导致絮凝剂的选择性吸附。三种键合可以同时起作用，也可以仅一种或两种起作用，具体视颗粒与聚合物体系的特性和水溶液的性质而定。

大量试验表明，使用絮凝剂时用量不宜过大。这是因为：过量的絮凝剂会使长分子链包裹住，不利于与其他颗粒作用而使絮凝作用削弱。一般情况下，颗粒表面被絮凝剂半饱和覆盖时，絮凝效果最佳。絮凝作用由于没有改变颗粒表面的电荷性质，即颗粒与颗粒之间的斥力仍然存在，所以产生的絮团大而蓬松，其间含有大量水分。絮团虽有一定的强度，但强烈搅拌会使其破碎，且破碎后一般不再成团，即过程不可逆。絮凝对于粒度较粗的颗粒作用明显^{[11][25]}。

6.3.2 高分子絮凝剂的水解度对絮凝效果的影响

高分子絮凝剂种类很多，按其官能团分类，主要有阴离子型、阳离子型和非离子型三大类。在人工合成的高分子絮凝剂中，应用最广的是聚丙烯酰胺及其衍生物。最终产品聚丙烯酰胺为粘稠状物质，含聚丙烯酰胺 8%。聚丙烯酰胺又叫做 PAM。由于其分子侧链上的酰胺基之间可形成氢键，使得整个分子链呈卷曲状。对于絮凝剂来说，分子链越长，絮凝效果越好，而卷曲的分子链势必影响絮凝效果。于是人们又研制了部分水解体的聚丙烯酰胺，又称 PHP。实际用于生产的多为 PHP，其水解方程式如下：



聚合物在碱性或中性溶液中进行水解，可电离出钠离子而使得 $-\text{COO}^-$ 基团带负电，由此可知 PHP 是阴离子型絮凝剂。水解度越大，带负电的基团就越多，对伸长分子链有利。由于絮凝剂处理的微细颗粒大都带负电，而絮凝剂本身亦带过多的负电，所以对吸附颗粒不利。水解度对高分子絮凝剂分子卷曲程度有较明显的影响，因此聚丙烯酰胺的水解有一定的限度，见图 6-10。

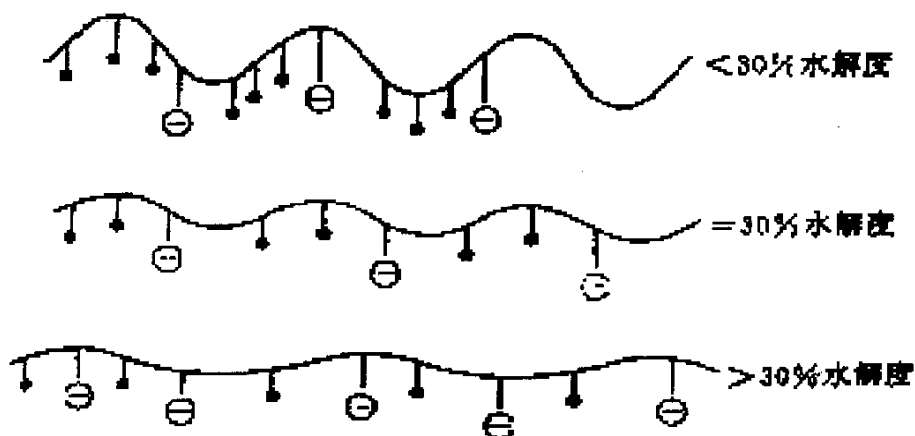


图 6-10 水解度对分子卷曲程度的影响

从图中可以看出,当水解度小于 30% 时, -COO^- 基团较少,相互间产生的斥力较小,分子链卷曲得比较厉害,其架桥作用较差,但受同性电荷的排斥力却较小。当水解度大于 30% 时, -COO^- 基团增加,产生的斥力增大,分子链比较伸展,但此时受同性电荷的排斥力也较大,可能阻止架桥作用而使絮凝效果不理想。当水解度=30% 时,分子链上每隔两个酰胺基团就有一个 -COO^- 离子基团,此时电性适中,分子链也不过于卷曲,絮凝效果为最好^{[39][48]}。

6.3.3 高分子絮凝剂吸附状态^{[1][32]}

高分子絮凝剂不同于低分子,它有众多的活性官能团,分子链中可有多处吸附在颗粒表面,由于分子链较长,未吸附的部分以链环和无规则的链端伸向溶液,如图 6-11 所示。

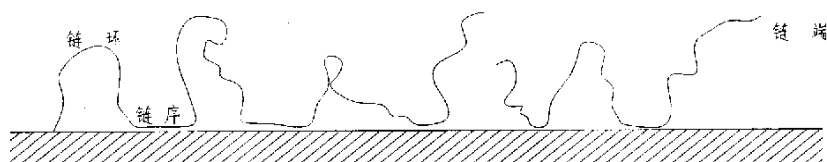


图 6-11 絮凝剂在颗粒表面吸附示意图

不同种类的絮凝剂吸附状态有所不同,此外颗粒表面的性质及溶液中的化学环境都将很大程度上影响絮凝剂的吸附形态。例如,阴离子型的水解聚丙烯酰胺,由于其分子链上引入了荷负电的阴离子基团 -COO^- ,荷负电的基团之间的静电斥力会使分子链舒展,当某些链段吸附在颗粒表面时,其余部分则伸展在溶液中。有人认为高分子电解质在固体表面的吸附形态,只有固着在固体表面的链序和伸向溶液的链端,而没有伸向溶液的链环。但研究表明,溶液 pH 值对阴离子高分子絮凝剂的吸附状况有很大的影响。图 6-12 所示为不同 pH 值下,

阴离子絮凝剂在粘土表面的吸附状态。

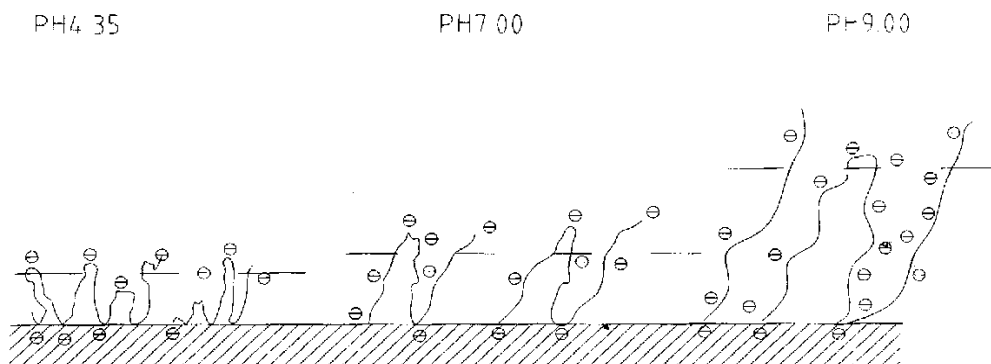


图 6-12 阴离子絮凝剂在粘土表面的固着形态^[11]

当 pH 为 4.35 时，絮凝剂的解离受到限制，分子形态卷曲，加之粘土表面电荷也少，所以此时阴离子絮凝剂犹如非离子絮凝剂一般与粘土表面呈点附着的链段状吸附，伸向溶液部分也多呈环形或卷曲态，pH 为 7.0 时，絮凝剂开始解离，由于静电斥力，分子形态伸展，又由于粘土表面的负电荷增多，所以当絮凝剂分子的某一链段在粘土表面吸附后，其余部分由于同性电荷的斥力，很难再吸附以环状或链端伸展在液相中；当 pH 值为 9.0 时，分子中阴离子间的斥力以及分子与粘土表面斥力都继续增大，絮凝剂在粘土表面吸附伸向溶液的部分更多的是舒展链端。

对于阳离子絮凝剂在荷负电荷的固体表面上的吸附情况又有所不同（见图 6-13），由于絮凝剂分子中众多阳离子基团与带负电荷的颗粒的引力作用，其吸附形态可能是多点平卧。

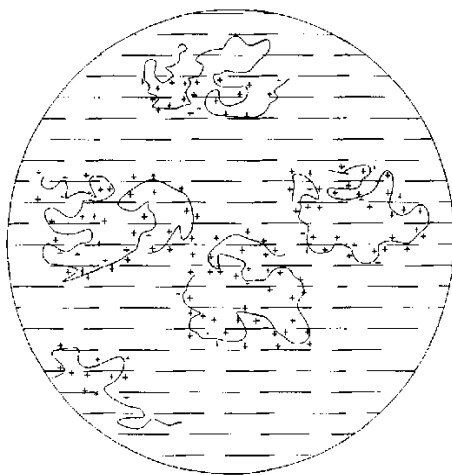


图 6-13 阳离子絮凝剂在低负电荷密度粒子表面上的吸附

6.3.4 高分子絮凝剂的絮凝过程及机理

早在二十世纪 50 年代初鲁尔温 (Ruehrwein) 和沃德 (Ward)^[24] 就提出用高分子架桥作用来解释絮凝过程的机理。这一解释逐步得到人们的承认和发展, 如图 6-14 所示的机理模型普遍认为比较合理的描述整个絮凝过程。

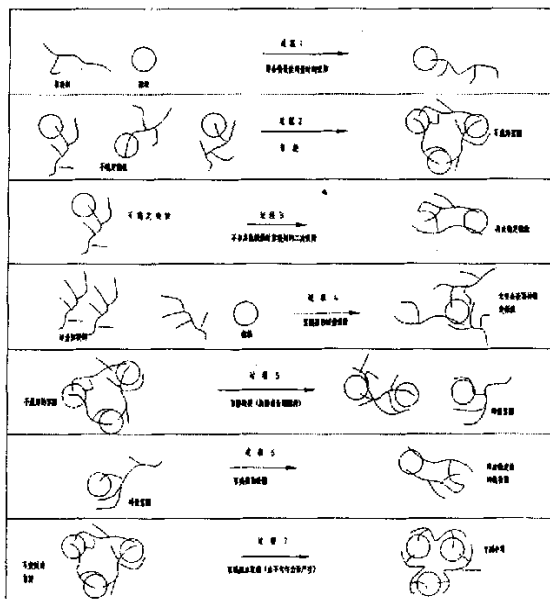


图 6-14 高分子絮凝过程模型^[1]

过程一: 分散体系中加入高分子絮凝剂, 絮凝剂分子与颗粒碰撞, 高分子中的某些基团在颗粒上吸附, 其余部分伸向溶液, 形成不稳定颗粒。

过程二: 不稳定颗粒上的絮凝剂分子在另一个有吸附空位的颗粒上吸附, 形成随机絮团, 此时的絮凝剂分子在两颗粒间起着架桥作用。

过程三: 不稳定颗粒上絮凝剂分子的伸向溶液的另一部分, 没有机会在其他颗粒上吸附, 在运动过程中, 有可能吸附在该颗粒的其他位置是, 重新形成稳定颗粒。

过程四: 当絮凝剂添加过量, 颗粒表面为絮凝剂分子所饱和而不再有吸附空位, 此外高分子絮凝剂不仅起不了架桥作用, 反而因位阻效应使颗粒稳定分散;

过程五、六: 在强烈或长时间搅拌作用下, 絮团破裂, 伸向溶液的絮凝剂分子的另一部分在原吸附颗粒表面的其他部位吸附, 使颗粒重新分散;

过程七: 架桥作用的松散絮团, 因外部作用力不均匀产生机械脱水收缩形成稳定的絮团。

由吸附状态的讨论, 我们知道不同类型的絮凝剂吸附状态存在差异且还受到诸多因素的影响。显然这也将影响絮凝过程。一般来说, 非离子型的絮凝剂分子链上没有解离基团, 所以无特殊的静电作用, 又由于分子链上的极性基 (例如 $-\text{CONH}_2$ 等) 彼此间氢键的作用, 其分子在溶液中呈弯曲扭转状态, 在颗粒表面上吸附后伸向溶液部分多呈环状, 使絮凝颗粒彼此

靠得更近些,易形成小絮团。虽然非离子型絮凝剂本身与溶液的 pH 和盐类的关系不太明显,但颗粒表面的荷电性对絮凝剂架桥过程有很大影响,如当溶液 pH 较高时,颗粒表面负电荷增加,双电层变厚,粒间的静电斥力增大,不利于已在单个颗粒表面上吸附的伸向溶液部分长度有限的絮凝剂发挥桥联作用。

对于阴离子絮凝剂(聚丙烯酰胺),在中性或碱性介质中,当颗粒表面荷负电时,如上所讨论的那样,其在颗粒表面上吸附后,以较多的链端伸展在溶液中,所以絮凝能力强,能捕集远距离的周围颗粒,易形成大而易破碎的絮团。

一般情况下,阳离子型絮凝剂与溶液中颗粒所带电荷的符号是相反的。人们认为低分子量的阳离子絮凝剂在荷负电的颗粒表面吸附很难形成伸向溶液的自由链端和疏松链环,其絮凝机理类似于无机电解质絮凝剂,即降低颗粒表面电位,压缩双电层而使颗粒絮凝;此外由于其大分子特性,又可能造成颗粒表面电荷不均匀,与邻近的相反符号的电荷相吸引。对于较高分子量的阳离子絮凝剂则上述电荷中和所引起的絮凝作用和粒间架桥作用有可能共同存在^[25]。

6.3.5 絮凝动力学^{[1][33]}

絮凝效果的好坏取决于两个因素:(1)絮凝剂水解后产生的高分子络合物形成吸附架桥的联结能力,这由絮凝剂的性质决定;(2)微小颗粒的碰撞几率和如何控制它们进行合理的有效碰撞,这由混凝过程的动力学条件决定。水中的胶体颗粒及小矾花的尺度很小,在惯性力为主导的区域内,流动过程中跟随性很好,若流层间无速度差,随水流动的两质点即使是相距无穷近,也决不会发生相互接触碰撞现象。换言之要使颗粒产生接触碰撞,流层间就必须存在速度差,即:速度梯度或塑变形。在工程界应用最多的是基于层流条件下导出的速度梯度理论,主要有异向絮凝、同向絮凝动力学理论^[34]。

异向絮凝是指胶体颗粒由于布朗运动相碰而凝聚的现象。根据斯莫罗索夫斯机(Smoluchowski)理论,胶体与分散相的颗粒浓度(N)随布朗运动相碰而减少的速率可表示为N的二级反应。异向絮凝的速率方程可表示如下:

$$-\frac{dN}{dt} = K_v N^2$$

式中 N—单位容积中的颗粒个数;

K_v ——速率常数。

当颗粒每次碰撞都导致一次颗粒凝聚的过程,称为快速凝聚,其速率常数为 K_r :

$$K_r = \frac{4t \kappa}{3 \mu}$$

式中 μ —动力粘度;

T—绝对温度 (K);

K—玻尔茨曼常数。

当颗粒每次碰撞并不一定都导致颗粒凝聚时,这种凝聚过程称为慢速凝聚,慢速凝聚的速率常数为 K_s :

$$K_s = \frac{K_r}{W} = \frac{2 \chi \alpha K_r}{\exp(U_{\max}/T)}$$

式中 χ —双电层扩散部分的厚度的倒数;

α —颗粒的半径;

W——悬浮液的稳定度;

U_{\max} ——位能曲线中的最大值,即能垒值。

由于介质的层流和紊流运动,而引起颗粒碰撞、凝聚的过程称为“同向凝聚”。假定由层流的速度梯度所引起的颗粒每一次碰撞都产生一次凝聚,于是对于同向凝聚的速率方程可表示如下:

$$-\frac{dN}{dt} = \frac{2}{3} G d^3 N^2$$

式中 G —剪切速度;

d —颗粒的直径。

分散体系中搅拌速度和颗粒直径与凝聚速度的关系,可由下式表述:

$$\text{同向凝聚速度/异向凝聚速度} = \frac{G d^3 \mu}{4 t \kappa}$$

由上式可以算出当同向凝聚速度与异向凝聚速度相等时,颗粒直径与速度梯度的对应值如下:

速度梯度 G (s ⁻¹)	1	10	20	50	100
颗粒直径 d (μm)	2.1	1.0	0.8	0.6	0.46

由此可见,在高速度梯度作用下,小于 1 μm 的颗粒以异向凝聚为主,而大于 1 μm 的颗粒以同向凝聚为主。

7 结 论

用静态沉降试验研究了梅山重选尾矿、降磷尾矿和混合尾矿的沉降性能, 选择出絮凝剂种类、确定絮凝剂用量范围、合适的絮凝浓缩条件以及温度对沉降性能的影响, 确定阴离子聚丙烯酰胺是梅山尾矿的有效絮凝剂, 能有效改善梅山尾矿的沉降性能。应用 $\Phi 1.5\text{m}$ 高压深锥浓密机对梅山尾矿进行分流试验, 研究得出高压深锥浓密机具有较高的设备处理能力, 高压浓密机加絮凝浓缩可得到较高的稳定的底流浓度, 达到 45%, 溢流含固量 $\leq 300 \times 10^{-6}$ 。应用高压浓密机与 $\Phi 50\text{m}$ 浓密机高效化改造浓缩新工艺处理梅山尾矿取得了成功, 得到满意的指标。运用流体力学对固体颗粒在普通浓密机不同区的沉降理论进行研究, 对高压深锥浓密机的液固相进行两相流运动分析, 分析研究了高分子絮凝剂在尾矿固体颗粒表面的吸附行为、吸附过程以及絮凝机理。主要结论为:

(1) 聚丙烯酰胺是梅山尾矿的有效絮凝剂。聚丙烯酰胺有众多的活性官能团, 分子链中可有多处吸附在颗粒表面, 由于分子链较长, 未吸附的部分以链环和无规则的链端伸向溶液, 在分子上吸附多个微粒的架桥作用而使多个微粒形成絮团, 增大尾矿颗粒的粒度进行絮凝沉降。由于颗粒的粒度对沉降速度影响最大, 而固体颗粒在浓密机过渡区和自由沉降区的沉降速度均与 d^2 成正比, 因此聚丙烯酰胺能有效改善梅山尾矿的沉降性能, 提高尾矿的沉降速度。

(2) 随着聚丙烯酰胺用量的增加, 梅山尾矿沉降速度加快, 但增加到一定用量后沉降速度增加变缓, 因此絮凝剂用量不宜过大。过量的絮凝剂会使长分子链包裹住, 不利于与其他颗粒作用而使絮凝作用削弱。一般情况下, 颗粒表面被絮凝剂半饱和覆盖时, 絮凝效果最佳。絮凝剂用量试验表明, 梅山重选尾矿合适的絮凝剂用量应不小于 50g/t , 降磷尾矿絮凝剂的合适用量应在 50g/t 以下, 建议为 30g/t 。

(3) 水解度对聚丙烯酰胺絮凝剂分子卷曲程度有较明显的影响, 当水解度小于 30% 时, $-\text{COO}^-$ 基团较少, 相互间产生的斥力较小, 分子链卷曲得比较厉害, 其架桥作用较差, 但受同性电荷的排斥力却较小。当水解度大于 30% 时, $-\text{COO}^-$ 基团增加, 产生的斥力增大, 分子链比较伸展, 但此时受同性电荷的排斥力也较大, 可能阻止架桥作用而使絮凝效果不理想。当水解度=30% 时, 分子链上每隔两个酰胺基团就有一个 $-\text{COO}^-$ 离子基团, 此时电性适中, 分子链也不过于卷曲, 絮凝效果为最好。

(4) 矿浆浓度对药剂絮凝效果有显著影响, 浓度试验表明高浓度下絮凝效果差。原因是高浓度下矿浆粘度大, 流体间的运动阻力增大, 流层间存在的速度差变小, 产生接触碰撞的几率减少, 影响药剂的混凝。梅山尾矿随着浓度的增大, 沉降速度急剧下降, 因此从絮凝效果来看, 梅山尾矿絮凝剂给入浓度不宜过高, 适宜药剂絮凝的矿浆浓度范围: 重选尾矿 10%

左右；降磷尾矿 10-20%。

(5) 温度对梅山尾矿的自然沉降性能和絮凝沉降性能均有很大影响, 温度下降使沉降速度变小。在浓缩过程中, 浓缩底流排放浓度高, 温度的影响将更大。梅山三种尾矿的沉降速度和温度正相关, 随着温度的升高三种尾矿的沉降速度均加快, 而且有明显的线性关系。混合尾矿和降磷尾矿在不同温度下的沉降速度比较相近、相似, 而重选尾矿最难沉降。

(6) 梅山选厂尾矿实施高压浓缩新工艺后, 采用絮凝浓缩, 提高了浓密机的处理能力, 大大地增加了固体通量, 设备可以获得大的处理量和较高的设备负荷。尾矿的总输送量减少到 220 立方米/小时, 解决了尾矿输送能力不足的问题, 尾矿输送油隔离泵可以由现在的 3 台工作减少为 2 台工作, 每年可以节约动力电 200 万千瓦时, 厂区回水增加 180 万立方米, 节约运行费用近 200 万元。同时由于 HRC-25 高压浓密机尾矿底流浓度较高, 达到了压滤脱水的需要, 提高了压滤机的工作效率, 可实现尾矿制砖的综合利用。

(7) 梅山选厂传统浓缩机高效化改造实践表明, 矿浆在浓相层停留的时间越长, 即 t 越大, 则视为沉降的效果越好; 在浓缩池面积 A 一定的条件下, 浓相层 H_n 越深, 说明沉降时间越长, 因此沉降的效果也越好, 底流浓度越高。这正是梅山选厂对一些传统浓缩机进行出矿口下引改造来强化固体颗粒的沉降, 使得浓缩机处理量大和保证水质, 还不压耙子的原因。

(8) 采用高压浓密机可以将梅山尾矿输送浓度提高到 45% 以上。HRC-25 高压浓密机工作时, 浓密机底部储存有大量的低浓度矿浆, 固体颗粒的沉降过程已经发生了质的变化, 由固体颗粒的沉降变成了水从浓相层中挤压出来的一个过程。絮凝作用由于没有改变颗粒表面的电荷性质, 即颗粒与颗粒之间的斥力仍然存在, 所以产生的絮团大而蓬松, 其间含有大量水分, 低阻力耙子的缓慢转动, 成为破坏疏松絮凝体受力平衡的搅拌机构, 形成上升水的通道, 高浓度矿浆中的水逐步挤出。同时由于高压浓密机具有较高的高度, 而浓相层压缩脱水又与压力有关, 当浓相层所承受的压力大于一临界值, 浓相层的浓度可大幅度地提高, 从而达到要求的底流浓度。

致 谢

在许多老师和同仁的指导下，本文今天终于成稿排印。在此首先向孙炳泉教授、陈青波教授、杨龙硕士、刘安平博士、何廷树教授、张治元教授和尹洪峰教授表示衷心的感谢！感谢六位老师在我的学习和论文完成过程中严格耐心的指导和孜孜不倦的教诲；感谢老师给学生提供的现场和实验室试验等实践机会，使我从中学到了导师求真务实的学术思想和严谨的治学态度。

附录 1、在攻读硕士期间发表的论文:

- 1、《永磁辊式强磁选机在梅山选厂的应用》 矿业快报 2004. 9
- 2、《永磁高梯度筒式磁选机在梅山选厂的应用》 矿业快报 2004. 5
- 3、《耙式浓缩机的工作原理及跑泥原因浅析》 梅山科技 2001. 2

附录2: 参考文献:

- [1] 罗茜主编, 固液分离, 冶金工业出版社, 1997.3
- [2] 丘继存主编, 选矿学, 冶金工业出版社, 1987.6
- [3] 陈鹰, 改造现有选矿厂尾矿浓缩池的途径, 矿山环保, 2001, No.6: 18~22
- [4] 高战新, 高效浓缩机在浮选尾矿脱水工艺中的应用, 新疆有色金属, 2001, No.3: 21~24
- [5] 杨小生, 陈庭中, 吕桂芝, 陈荃, 高效旋流器-新型絮凝剂混凝沉降尾矿浓缩工艺研究, 国外金属矿选矿, 1994, No.1: 15~19
- [6] 黄新琛, 邹健, 谈尾矿高浓缩输送, 金属矿山, 1992, No.9: 34~38
- [7] 陈述文, 陈启平, 利用现有浓密机实现尾矿高浓度浓缩, 矿冶工程, 1994, No.12: 26~29
- [8] 王新继, 武钢大冶铁尾矿旋流器-浓密机混凝沉降工艺试验, 武钢矿业文集: 185~190
- [9] 曲景奎, 隋智慧, 周桂英, 肖宝清, 张强, 固-液分离技术的新进展及发展动向, 过滤与分离, 2001, Vol.11, No.4: 4~9
- [10] A.M.雷查, M.米斯拉, S.A.戴维斯, R.W.史密斯, 使用合成絮凝剂和生物絮凝剂絮凝粉煤, 国外选矿快报, 1998, (14): 11~15
- [11] 卢寿慈, 翁达, 界面分选原理及应用, 冶金工业出版社, 1992.1
- [12] L.S.布热津斯基, 浓缩尾矿的露天“干堆”处理, 国外金属矿山, 2002, No.6: 49~52
- [13] 储德应, 梅山铁矿尾矿高效浓缩技术的实践, 中国矿业, 2001, Vol.10, No.3: 59~60
- [14] Thickened tailings disposal, Surface disposal of thickened tailings, Mining Environmental Management, 2001, No.9
- [15] A.Hazen, Trans. Am. Soc. Civil. Eng. 1904, 53, 45
- [16] 选矿手册, 冶金工业出版社, 第八卷第四分册, 434~438
- [17] 许时等编, 矿石可选性研究, 冶金工业出版社, 1981
- [18] 孙时元编, 中国选矿设备手册, 机械工业出版社, 1994
- [19] H.S.Coe & G.H.Clevenger, Trans. A. Inst. Mining Eng. 1916, 55, 356
- [20] E.B.Fitch, Dorr-Oliver Internal Rept
- [21] E.B.Fitch, “Solid/Liquid Separation Equipment Scale-up” Chap.4: 90
- [22] Zheng YS, Bagley DM, Dynamic model for zone settling and compression in gravity thickener, Journal of Environmental Engineering, 1998, Vol.124, No.10: 953~958
- [23] 张祖刚, 耙式浓缩机的工作原理及跑泥原因浅析, 梅山科技, 2001, No.2: 52~54
- [24] R.艾克斯, 絮凝技术, 原子能出版社, 1981
- [25] 蔡璋主编, 选煤厂固-液、固-气分离技术, 机械工业出版社, 1992

- [26] 《选矿设计》编委会, 选矿设计手册, 冶金工业出版社, 1988
- [27] 丁宏达, 我国铁尾矿输送现状及其发展, 冶金矿山设计与建设, 1991, No.3: 25~30
- [28] Y.A.Attia and D.W. fuerstenau, Recent development in Separation, 1978, Vol.4, 51~68
- [29] J.A.Kitchener, Filtration & Separation, 1969, No.6: 553
- [30] Thickened tailings disposal, evaluating paste thickeners for surface stacking talings,
Mining Environmental Management, 2001, No.9
- [31] E. 涅切耶娃等, 使用SUPAFLO 型高生产率浓密机的优点,
国外金属矿选矿, 2002, No.3: 39-43
- [32] 姚允斌, 裘祖南, 胶体与表面化学导论, 南开大学出版社, 1988
- [33] 松全元, 任皓, 赤铁矿和含铁尾矿的絮凝动力学研究,
国外金属矿选矿, 2000, No.4: 16-19
- [34] L.Svarovsky, Solid-Liquid Separation, Butterworths
- [35] W.Keleghan, the Hi-Capacity Thickener Filtration & Separation, 1980, No.11/12: 534-538
- [36] J.L.Shelley; L.MacNamara S.Slottee, An introduction do Deep Cone-(TM) thickening
technology and its application, 8th International Mineral Processing
Symposium Antalya, 2000: 581-584
- [37] 张贵英, 张家洼铁矿石分选的尾矿沉降特性浅析, 金属矿山, 1990, No.12: 55~59
- [38] [加拿大] T. Yalcin, 铜—镍尾矿的沉积特性和浓缩机尺寸的估算,
选矿机械, 1989, No.3: 6~13
- [39] 任皓, 孙体昌, 松全元, 聚丙烯酰胺对含富镁粘土的铁尾矿絮凝作用影响因素的研究,
冶金矿山设计与建设, 1998, No.11: 13~18
- [40] 李本固, 龙志泽, 老牛沟铁矿尾矿的絮凝浓缩试验, 有色矿冶, 1994, No.4: 22~24
- [41] 蔡志斌, 鲁中选矿厂尾矿高浓度浓缩工艺的探讨, 金属矿山, 1992, No.3: 57~59
- [42] Л.Н. 利相斯基等, 尾矿浆浓缩系统的装备问题, 国外金属矿山, 1992, No.3: 66~69
- [43] 衣德强, 尾矿浓缩池跑泥改进措施探讨, 冶金矿山设计与建设, 1998, No.9: 30~32
- [44] 张治元, 黄定轩, 何廷树, 一种流体动力型尾矿高效浓缩脱水设备的研制,
金属矿山, 2001, No.2: 36~39
- [45] 李春哲, 用 $\phi 350\text{mm}$ 水力旋流器浓缩尾矿的探讨, 鞍钢矿山, 1996, No.2: 47~48
- [46] 李文, 尾矿浓缩机高效化改造设想, 梅山科技, 2000, No.4: 38~39
- [47] 齐丁丁, 温度对微细尾矿沉降性能的影响, 矿冶工程, 2003, No.8: 27~29
- [48] Л.斯瓦洛夫斯基著, 朱企新等译, 固液分离 (第2版), 化学工业出版社, 1990
- [49] 陈述文, 全克闻, 陈启平, SZN型深锥浓密机的设计思想及应用考核,
矿冶工程, 1998, No.3: 34~38

- [50] 谢意, 浓密机矿浆浓缩面积的确定方法, 矿冶工程, 1997, No.6: 38~41
- [51] 王卫, 谭建平, 深锥浓密机刮泥功率的确定及絮凝沉降实验研究,
矿冶工程, 2004, No.2: 44~46
- [52] 全克闻, NGS 型高效深锥浓缩机的应用, 金属矿山, 1996, No.1: 44~48
- [53] 王卫, 高效深锥浓密机结构的理论研究与应用, 中南大学学报, 2003
- [54] 薛玺罡等, 磁处理技术在煤泥水处理中的应用, 煤炭技术, 2001, No.3: 29~31
- [55] J.B.Farrow,P.D.Fawell,R.R.M.Johnston,T.B.Nguyen,M.Rudman, K.Simic,J.D.Swift, Recent
developments in techniques and methodologies for improving thickener
performance, Chemical Engineering Journal, V.80 N.1-3 2000,p.149-155
- [56] Srivastava,Characterization and processing of iron ore fines of Kiriburu deposit of India,
International Journal of Mineral Processing Vol: 61, Issue: 2, February,
2001 pp. 93-107
- [57] El-Shall, H.a; Zhang, Patrickb,Process for dewatering and utilization of mining wastes,
Minerals Engineering Vol: 17, Issue: 2, February, 2004 pp. 269-277
- [58] 张法军, 吴影, 过滤机滤液独立回收工艺的研究与实践,
煤炭技术, 2001, No.5: 29~31
- [59] 江超, 尾矿浓缩排放法探讨, 长沙矿山研究院季刊, 1989, Vol.9, No.1: 49~31
- [60] 孙玉波主编, 重力选矿, 冶金工业出版社,1982.6
- [61] 钱宁, 万兆蕙, 泥沙运动力学, 科学出版社,1983
- [62] 周亨达, 工程流体力学, 冶金工业出版社,1981.12
- [63] 王陆新, 东鞍山烧结厂二选尾矿浓缩净化回水利用的试验研究,
金属矿山,2002, No.7: 41~43

作者: [张祖刚](#)
学位授予单位: [西安建筑科技大学](#)

参考文献(60条)

1. [罗茜, 余仁焕, 徐继润 固液分离](#) 1997
2. [丘继存 选矿学](#) 1987
3. [陈鹰 改造现有选矿厂尾矿浓缩池的途径](#) 2001(06)
4. [高战新 高效浓缩机在浮选尾矿脱水工艺中的应用](#)[期刊论文]-[新疆有色金属](#) 2001(3)
5. [杨小生, 陈庭中, 吕桂芝, 陈苾 高效旋流器-新型絮凝剂混凝沉降尾矿浓缩工艺研究](#) 1994(01)
6. [黄新琛 谈尾矿高浓度输送](#)[期刊论文]-[金属矿山](#) 1992(9)
7. [陈述文 利用现有浓密机实现尾矿高浓度浓缩](#)[期刊论文]-[矿冶工程](#) 1992(4)
8. [王新继 武钢大冶铁矿尾矿旋流器-浓密机混凝沉降工艺试验](#)
9. [曲景奎, 隋智慧, 周桂英, 肖宝清, 张强 固-液分离技术的新进展及发展动向](#)[期刊论文]-[过滤与分离](#) 2001(4)
10. [A M 雷查, M 米斯拉, S A 戴维斯, R. W. 史密斯 使用合成絮凝剂和生物絮凝剂絮凝粉煤](#) 1998(14)
11. [卢寿慈, 翁达 界面分选原理及应用](#) 1992
12. [L·S·布热津斯基 浓缩尾矿的露天“干堆”处理](#)[期刊论文]-[国外金属矿山](#) 2002(6)
13. [储德应 梅山铁矿尾矿高效浓缩技术的实践](#)[期刊论文]-[中国矿业](#) 2001(3)
14. [Thickened tailings disposal, Surface disposal of thickened tailings](#) 2001(09)
15. [A Hazen 查看详情](#) 1904
16. [选矿手册](#)
17. [许时 矿石可选性研究](#) 1981
18. [孙时元 中国选矿设备手册](#) 1994
19. [H S Coe, G H Clevenger 查看详情](#) 1916
20. [E B Fitch Dorr-Oliver Internal Rept](#)
21. [Zheng YS, Bagley DM Dynamic model for zone settling and compression in gravity thickener](#) 1998(10)
22. [张祖刚 耙式浓缩机的工作原理及跑泥原因浅析](#) 2001(02)
23. [R 艾克斯 絮凝技术](#) 1981
24. [蔡璋 选煤厂固-液、固-气分离技术](#) 1992
25. [《选矿设计》编委会 选矿设计手册](#) 1988
26. [丁宏达 我国铁尾矿输送现状及其发展](#) 1991(03)
27. [Y A Attia, D W fuerstenau 查看详情](#) 1978(04)
28. [J A Kitchener 查看详情](#) 1969(06)
29. [Thickened tailings disposal, evaluating paste thickeners for surface stacking talings](#) 2001(09)
30. [E·涅切耶娃 使用SUPAFLO型高生产率浓密机的优点](#)[期刊论文]-[国外金属矿选矿](#) 2002(3)
31. [姚允斌, 裘祖南 胶体与表面化学导论](#) 1988
32. [松全元, 任皓 赤铁矿和含铁尾矿的絮凝动力学研究](#)[期刊论文]-[国外金属矿选矿](#) 2000(4)
33. [W Keleghan 查看详情](#) 1980(11-12)
34. [J L Shelley, L MacNamara, S Slottee An introduction do Deep Cone~\(TM\) thickening technology and](#)

35. [张贵英](#) [张家洼铁矿石分选的尾矿沉降特性浅析](#) 1990(12)
36. [T Yalcin](#) [铜—镍尾矿的沉积特性和浓缩机尺寸的估算](#) 1989(03)
37. [任皓](#), [孙体昌](#), [松全元](#) [聚丙烯酰胺对含富镁粘土的铁尾矿絮凝作用影响因素的研究](#) 1998(11)
38. [李本固](#), [龙志泽](#) [老牛沟铁矿尾矿的絮凝浓缩试验](#)[期刊论文]-[有色矿冶](#) 1994(4)
39. [蔡志斌](#) [鲁中选矿厂尾矿高浓度浓缩工艺的探讨](#) 1992(03)
40. [Jl H](#) [利相斯基](#) [尾矿浆浓缩系统的装备问题](#) 1992(03)
41. [衣德强](#) [尾矿浓缩池跑泥改进措施探讨](#) 1998(09)
42. [张治元](#), [黄定轩](#), [何廷树](#) [一种流体动力型尾矿高效浓缩脱水设备的研制](#)[期刊论文]-[金属矿山](#) 2001(2)
43. [李春哲](#) [用 \$\Phi\$ 350mm水力旋流器浓缩尾矿的探讨](#) 1996(02)
44. [李文](#) [尾矿浓缩机高效化改造设想](#) 2000(04)
45. [齐丁丁](#) [温度对微细尾矿沉降性能的影响](#)[期刊论文]-[矿冶工程](#) 2003(4)
46. [L·斯瓦洛夫斯基](#), [朱企新](#) [固液分离](#) 1990
47. [陈述文](#), [全克闻](#), [陈启平](#) [SZN型深锥浓密机的设计思想及应用考核](#) 1998(03)
48. [谢意](#) [浓密机矿浆浓缩面积的确定方法](#)[期刊论文]-[矿冶工程](#) 1997(2)
49. [王卫](#), [谭建平](#) [深锥浓密机刮泥功率的确定及絮凝沉降实验研究](#)[期刊论文]-[矿冶工程](#) 2004(1)
50. [全克闻](#) [NGS型高效深锥浓密机的应用](#) 1996(01)
51. [王卫](#) [高效深锥浓密机结构的理论研究与应用](#) 2003
52. [薛玺罡](#), [刘戡](#), [赵寒雪](#), [张晓旭](#) [磁处理技术在煤泥水处理中的应用](#)[期刊论文]-[煤炭技术](#) 2000(3)
53. [Srivastava](#) [Characterization and processing of iron ore fines of Kiriburu deposit of India](#) 2001(02)
54. [El Shall H a](#), [Zhang Patrickb](#) [Process for dewatering and utilization of mining wastes](#) 2004(02)
55. [张法军](#), [吴影](#) [过滤器滤液独立回收工艺的研究与实践](#) 2001(05)
56. [江超](#) [尾矿浓缩排放法探讨](#)[期刊论文]-[长沙矿山研究院季刊](#) 1989(1)
57. [孙玉波](#) [重力选矿](#) 1982
58. [钱宁](#), [万兆蕙](#) [泥沙运动力学](#) 1983
59. [周亨达](#) [工程流体力学](#) 1981
60. [王陆新](#) [东鞍山烧结厂二选尾矿浓缩净化回水利用的试验研究](#)[期刊论文]-[金属矿山](#) 2002(7)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [刘桂云](#), [许洪冈](#), [孙长胜](#) [KP07复合絮凝剂提高浓密机处理能力的试验研究](#) -[金属矿山](#)2009, ""(7)
针对新增 Φ 53 m浓密机处理能力不足,造成底流浓度低、溢流浓度大、尾矿输送电耗增加、水星流失,直接影响循环水质量及 Φ 140 m浓密机的稳定运行,首先通过实验室试验对国内外目前应用较成功的絮凝剂进行筛选,筛选出进口纳尔科絮凝剂83384及KP07复合国产絮凝剂效果较好,一是沉降速度较快,二是对浮选指标影响较小,为此采用该两种絮凝剂进行了工业试验研究.
2. 期刊论文 [白时平](#), [BAI Shi-ping](#) [高效浓密机在瓮福基地的应用](#) -[矿产综合利用](#)2000, ""(2)
本文叙述了一种底流浓度可达70%以上的高效浓密机及其应用.瓮福矿肥基地使用了2台此种高效浓密机,其生产能力相当于7台普通浓密机.高效浓密机的特点是特殊的给矿方式使絮凝剂能快速有效地与矿浆混合,高效浓密机的操作应注意控制好给矿的特性、絮凝剂的用量以及保持给矿量和底流的平衡.
3. 期刊论文 [侯晓东](#) [高效浓密机的选型设计](#) -[有色矿山](#)2002, 31(3)
结合山达克铜金工程尾矿厂前高效浓密机回水实例,介绍了高效浓密机选型设计情况,并对絮凝剂制备及浓密机自动控制系统做了简单描述.
4. 期刊论文 [王卫](#), [谭建平](#) [深锥浓密机刮泥功率的确定及絮凝沉降实验研究](#) -[矿冶工程](#)2004, 24(1)
简述了深锥浓密机的结构及工作原理,提出了深锥浓密机刮泥功率的计算公式;通过实验,分析研究了絮凝剂不同分子量和加入量对沉降速度的影响.
5. 期刊论文 [胡凤清](#), [周高云](#), [段福成](#), [庞宝荣](#), [付中兴](#) [锌精矿浓密机溢流跑浑的治理实践](#) -[有色金属\(选矿部分\)](#)

2003, "" (1)

针对矿山现有生产工艺中锌精矿浓密机溢流金属量的大量流失,采取了添加絮凝剂BKN絮凝细粒锌精矿的方案,通过一系列的小型沉降试验和工业试验研究,使沉淀池溢流水的固含量由原来的1.94g/L降低到0.18g/L,每年为矿山挽回经济损失52万元,同时也具有较大的环境效益。

6. 会议论文 [周高云. 锌精矿浓密机溢流跑浑的治理实践](#) 2002

针对某铅锌矿现有生产工艺中锌精矿浓密机溢流金属量的大量流失的现状,采取了添加絮凝剂BKN絮凝细粒锌精矿的方案,通过一系列的小型沉降试验和工业试验研究,使沉淀池溢流水的固含量由原来的1.94g/L降低到0.18g/L,为矿山挽回年经济损失52万元,同时也具有较大的环境效益。

7. 会议论文 [罗桂民. 黄振艺. \$\phi\$ 53m高效浓密机在平果铝土矿的应用](#) 2005

针对NT-30普通浓密机在平果铝土矿一期工程的应用现状,认真分析了铝土矿矿泥的特性及其对浓密机絮凝、沉降的影响.介绍了 ϕ 53m高效浓密机的结构和性能特点以及在平果铝土矿二期工程的应用实践,并就浓密机的操作控制及工艺难点进行了系统分析,对其操作条件的完善及优化改进进行了探索。

8. 期刊论文 [李淑艳. 游维. Li Shuyan. You Wei 提高南芬选矿厂浓密机底流浓度的研究 -金属矿山2005, "" \(z2\)](#)

介绍了普通浓密机进行高效化改造、提高浓密机底流浓度、成倍地减少输送过程中所带走的水量,具有明显的经济效益和社会效益.同时也为新尾矿库长距离输送节约投资。

9. 期刊论文 [李淑艳. 游维. Li Shuyan. You Wei 南芬选矿厂浓密机高效化改造的研究 -金属矿山2005, "" \(11\)](#)

介绍了普通浓密机进行高效化改造、提高浓密机底流浓度、成倍地减少输送过程中所带走的水量,具有明显的经济效益和社会效益.同时也为新尾矿库长距离输送节约投资。

10. 会议论文 [李淑艳. 游维 提高南芬选矿厂浓密机底流浓度的研究](#) 2005

介绍了普通浓密机进行高效化改造、提高浓密机底流浓度、成倍地减少输送过程中所带走的水量,具有明显的经济效益和社会效益.同时也为新尾矿库长距离输送节约投资。

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y841465.aspx

授权使用: 中国地质大学(zgdzdx), 授权号: 07a7b620-b630-4929-9fa2-9dcc0066e069

下载时间: 2010年8月8日