第五篇

尾矿输送系统

第一章　尾矿输送系统概述

第一节　尾矿浓缩设施

黑色金属选矿和有色金属重力选矿排出的尾矿浆，浓度一般较低，为了节省新水消耗，降低选厂供水和尾矿输送设施的投资及经营费用，常在厂前修建浓缩池，回收尾矿水供选矿生产循环使用。

尾矿浓缩通常使用机械浓缩池、斜板（斜管）浓缩池和平流式沉淀池。

一、机械浓缩池

其特点是虽然占地面积较大，但操作管理简单，生产可靠，排泥效果好，可用于各种尾矿的浓缩，所以应用较多。

浓缩池的规格，应按定型产品进行选择，使其有效面积、池深以及耙泥设备的荷载能力均应满足设计要求。浓缩池的个数，应考虑与选厂系列相配合，一般不宜少于两个。当采用两个或多个浓缩池时，其型号与规格应力求一致。

浓缩机有周边传动和中心传动两种方式。

（一）周边传动式浓缩机

直径较大的浓缩机都采用周边传动式，其结构如图 5－1－1 所示。池子由混凝土筑成，池中央有一个钢筋混凝土支柱，用来支撑耙子机构的一端及矿浆槽等。耙子机构的另一端借助于传动小车支撑在池子周边的环形钢轨上。为增强牵引力，防止小车轮子打

滑，在环形钢轨的外缘增设一个与其平行的环形齿条。在小车轮上增设一个齿轮与环形齿条啮合。传动小车上装有电动机、减速器、小车轮及齿轮等传动部件。借此带动整个耙子机构在池中运动。

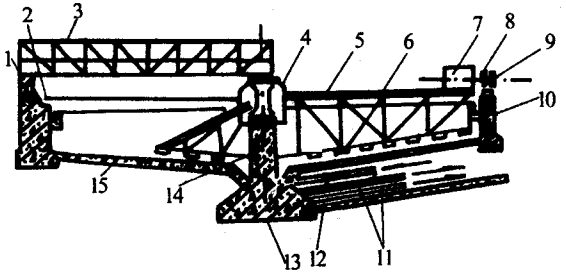


图 5－1－1　周边传动式浓缩机示意图

1—齿条；2—小车轮轨；3—矿浆槽及支架；4—进浆圆筒；5—耙架；6—耙齿；7—传动小车；8—小车轮；9—齿轮；10—溢流槽；11—排料管；12—记压水管；13—沉砂排矿口；14—中心支架；15—池体

周边传动浓缩机设有提升装置，一般是安装过载继电器以保护电动机。消除耙子过载的方法，一般是加速排料并用高压水冲洗排料口。电机的电源引入采用滑环集电接点装置。

矿浆沿矿浆槽流入中央进浆圆筒，并在池中沉淀，沉淀物从沿中心支柱外围分布并装有铸铁漏斗的排料口（一般 2～4 个）排出。澄清溢流从周边的环形溢流槽流出。

（二）中心传动式浓缩机

中心传动式浓缩机多为中、小型的，其结构如图 5－1－2 所示。它是由池子、耙子及传动机构等部分组成。池子为圆形，底部成圆锥漏斗形，与水平面约成 6～10 度的倾斜角。池底中心位置上开一个圆锥形排料口。池子一般由混凝土筑成，尺寸较小的池子也可用钢板焊成。在池子的中心竖轴上悬挂着耙子机构。耙子机构由耙臂、耙齿及加固用的拉条组成，两对耙臂互相垂直成十字形。耙子与耙臂大约成 30 度的倾斜角安装在耙臂上。竖轴由蜗轮传动机构驱动，并带动整个耙子机构在池子中旋转，将浓缩产品耙至中间的排料口排出。竖轴上设有手轮和离合器等组成的提升装置，以便过载时或停机检修时将耙子提起，平时可以用它来调节耙子的高度。池子上部的中央安装一圆形给料筒，矿浆由管道引入给料筒进入浓缩机，进行浓缩沉淀。溢流水由池子周边的环形溢流槽排出。

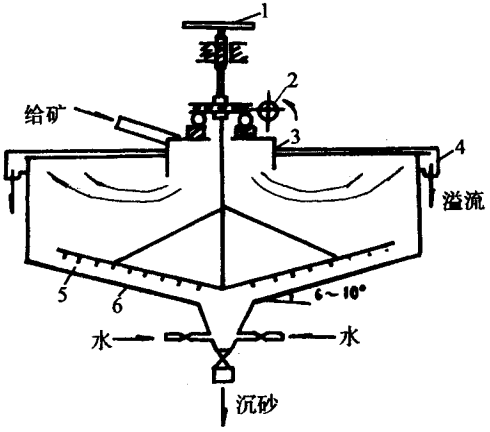


图 5－1－2　中心传动式浓缩池示意图

1—手轮；2—蜗轮传动机构；3—给矿筒；4—溢流槽；5—耙架；6—池体

二、斜板(斜管)浓缩池

其特点是效率高，可大大减小占地面积，适用于细粒尾矿的浓缩，但维护检修麻烦。自排式斜板(斜管)浓缩池靠重力连续排矿，排泥效果差，排矿浓度不易控制，但可省掉机械排泥装置。

三、平流式沉淀池

其特点是采用重力连续排泥和水枪定期清洗相结合的方式排泥，效果差，清池工作量大，但无机械耙泥装置。这样可节省钢材和投资，仅适用于小型选矿厂处理较均质的细粒尾矿。

随着科学技术的进步，新设备的不断涌现，除上述浓缩方式外，还有倾斜板浓缩箱、水力旋流器、高效浓缩机等已应用于尾矿浓缩。

第二节　尾矿压力输送

选矿厂尾矿水力输送应结合具体情况因地制宜。如果有足够的自然高差能满足矿浆自流坡度，应选择自流输送；如果没有自然高差，可选择压力输送，如图 5－1－3 所示；

如部分地段有自然高差可利用，则可选择自流和压力联合输送，如图 5－1－4 所示。

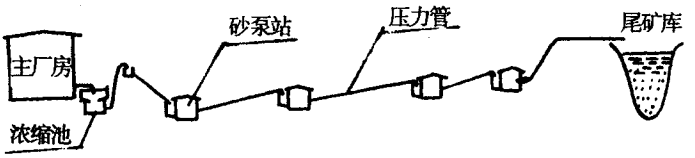


图 5－1－3　尾矿压力输送示意图

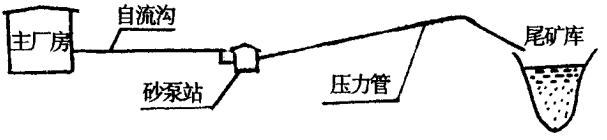


图 5－1－4　尾矿联合输送示意图

一、尾矿输送管线布置原则

尾矿输送管道（或流槽）线路的布置，一般应综合考虑下列原则：

（1）尽量不占或少占用农田；

（2）避免通过市区和居民区；

（3）结合砂泵站位置的选择，缩短压力管线；

（4）避免通过不良地质地段、矿区崩落和洪水淹没区；

（5）便于施工和维护。

二、尾矿输送管的敷设方式

（1）明设—将尾矿输送管（或流槽）设置在路堤、路堑或栈桥上。其主要优点是便于检查和维护，所以一般多采用此式。但受气温影响较大，容易造成伸缩节漏矿。

（2）暗设—将尾矿输送管（或流槽）设置在地沟或隧道内。一般在厂区交通繁华处或受地形限制时，才采用这种形式。

（3）埋设—将尾矿输送管（或封闭流槽）直接埋设在地表以下。其优点是地表农田仍可耕种，同时受气温影响较小，可少设甚至不设伸缩接头，因而漏矿事故较少 缺点是：一旦漏矿，检修非常麻烦。东鞍山、通化等选厂部分尾矿管道采用了这种敷设方式。

此外，还有半埋设形式，即管道半埋于地下或虽沿地表敷设，其上用土简单覆盖。它也可减少气温变化的影响，甚至可不设伸缩接头，如大冶金山殿的尾矿管道即采用此法。

管道敷设时尽可能成直线，弯头转角尽可能小些，转角较大的弯头尽可能圆滑些。

三、砂泵站的型式及连接方式

尾矿压力输送是借助于泵站设备运行得以实现的，因此，砂泵站在尾矿设施中占有很重要的地位。

（一）砂泵站的型式

砂泵站有地面式和地下式两种。最常见的是地面式砂泵站，它具有建筑结构要求低，投资少，操作、检修方便等优点。因此，被国内矿山广泛采用。另一种是地下式砂泵站，这种泵站是在地形及给矿等条件受到限制的情况下所采用的。地面式砂泵站一般采用矩形厂房，而地下式砂泵站往往采用圆形厂房。

（二）砂泵站的连接方式

我国有些矿山的尾矿库往往建在距选矿厂较远的地方，因此，一级泵站难以将尾矿一次输送到尾矿库，所以采用多级泵站串联输送的方式，将尾矿输送到最终目的地。串联方式有直接串联和间接串联，它们的优、缺点见表 5－1－1。

表 5－1－1　泵站连接方式特点表

连接方式	优　　点	缺　　点	使用单位
直接串联	省掉了爬矿仓的水头损失，充分利用砂泵扬程；省掉了矿仓的有关工程及操作。	目前矿浆输送系统的安全措施尚不完善，所以发生事故的可能性多；操作管理要求严格。	大孤山、水厂、锦屏、凡口等
间接串联	管理简单；发生事故的可能性少，易发现问题，便于处理事故。	多消耗矿仓的一段水头，泵的扬程不能充分利用；多了矿仓有关工程，占地面积也相应的大些。	较普遍

四、砂泵类型及其特点

尾矿压力输送常用的砂泵有离心泵（PN 泥浆泵、PH 灰渣泵、PS 砂泵、沃曼泵、渣浆泵等）和往复泵（即马尔斯泵）两类。

（1）离心泵主要由泵壳、叶轮、轴及轴承、泵座、吸入管和排出管组成，如图 5－1－5 所示。其工作原理是泵的叶轮由电机带动高速转动，在此过程中叶轮中心产生负压，浆体在大气压的作用下，源源不断地由吸入池进入叶轮中心，被压入排出管，使离心泵能连续不断地吸液排液。

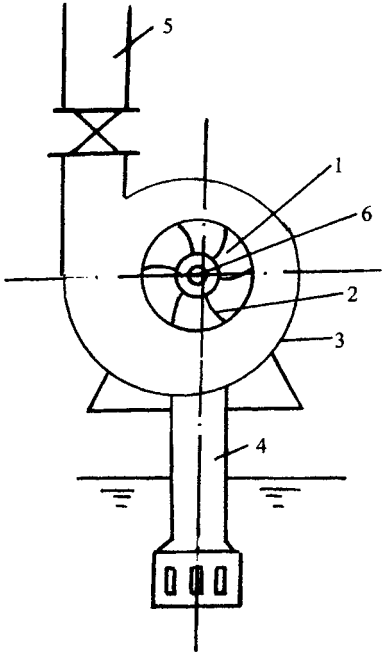


图 5－1－5　离心泵

1—叶轮；2—叶片；3—泵壳；4—吸入管；5—排出管；6—泵吸入口

(2)离心泵的串并联：离心泵的选择主要是根据需要扬送的尾矿量及所需要的总扬程而定的。当尾矿量有变化时，还要考虑其变化情况。选择时应尽可能以一台能扬送全部的尾矿量为原则。如有的产品不能满足尾矿量的要求时，可以选择几台同型号的泵并联同时工作，不要采用不同型号的泵进行并联使用。因为在泵并联工作时各泵的性能不尽相同，运行中会相互干扰，而降低泵的使用效率。

当用一般离心泵扬送尾矿时，扬程不能满足需要时，可以采用泵串联运行。启动时应先启动一级泵，再启动前一级泵以防止次级泵在大负荷时启动而烧毁电机，离心泵串联扬送时的剩余扬程一般为 3 ~ 5 米，水柱一般不超过 10 米水柱，否则失去泵串联的意义。

在远距离输送尾矿时，一般情况下电机的负荷都很大，容易造成烧毁电机现象。目前采用较为先进的矩形联轴器镶嵌在电机的主动轮上。当负荷较大时，联轴器可自动打滑而保护电机，待电机的运转速度转到能带动泵运行时，联轴器自动与电机同时运转而使泵运转。

离心泵的给矿方式：离心泵的给矿方式有压入式和吸入式两种。压入式给矿又有动压式和静压式之分，利用前一级泵的剩余压力向后一级泵给矿属动压式。动压式给矿方

式能把前一级泵输送的剩余压头充分地利用，但要保持前后两极泵的输送流量平衡，否则，易产生气蚀而加剧过流件的损耗，操作维护比较困难；由位置高于泵进口管的矿浆仓给矿属静压式。静压式给矿在操作上较为简单，便于流量的调节，但浪费剩余压头。由位置低于泵进口管的矿浆仓给矿属于吸入式给矿，由于尾矿浆中固体颗粒极易沉淀，吸入式给矿启动较困难，一般很少采用。但若受到条件的限制，必须采用吸入式给矿时，应采用真空泵或水力喷射器辅助启动。

(3)往复泵主要由活塞、泵缸，吸入阀、排出阀、吸入管和排出管等组成，活塞和吸入阀排出阀之间的空间称为工作室。如图 5－1－6 所示：往复泵的工作原理可分为吸入和排出两个过程，当活塞由原动机带动，从泵缸的左端开始向右端移动时，泵缸内工作室的容积逐渐增大，压力逐渐降低形成局部真空，这时排出阀紧闭，容器中的液体在大气的作用下，便进入吸入管并顶开吸入阀而进入工作室。当活塞移动到右顶端，工作室容积达到最大值，所以吸入液体也达到最大值，这是吸入过程。当活塞向左移动时，泵缸内的液体受到挤压，压力增高，将吸入阀关闭而推开排出阀，液体从排出管排出，活塞在原动机带动下这样来回往复一次，完成一个吸入过程和排出过程，称为一个工作循环。当活塞不断地作往复运动时，泵便不断输出流体。

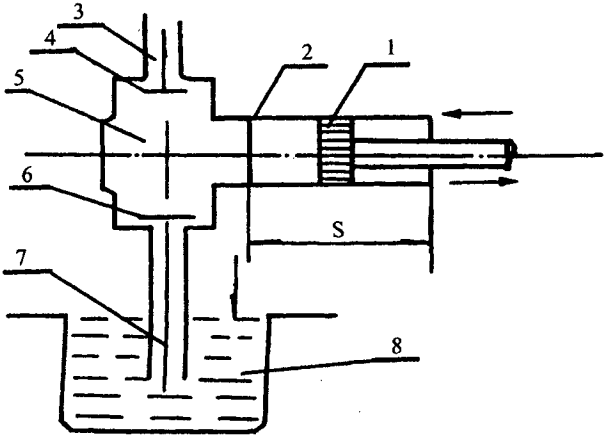


图 5－1－6　往复泵工作原理图

1—活塞；2—泵缸；3—排出管；4—排出阀；5—工作室；6—吸入阀；7—吸入管；8—容器

第三节　尾矿自流输送

当尾矿库低于选矿厂且有足够的自然高差能满足矿浆自流坡度要求，可选择自流输送。尾矿自流输送多采用流槽的形式。必要时，也可采用管道自流输送。由于它不需动力，又易于管理和维护，被很多矿山采用。

第四节　输送管材及零件

一、输送尾矿管(槽)

输送尾矿管道在运转过程中极易磨蚀而损坏，由于线路长、重量大，一旦发生故障，对尾矿坝的安全构成很大的威胁，而且造成环境污染。为此，人们努力从工艺和设备材料两方面进行探索，并取得了很大的进展。目前，尾矿压力输送使用的管道一般有普通钢管、无缝钢管、铸铁管、内衬耐磨材料的复合管(如铸石复合管、高分子材料复合管、陶瓷复合管等)、高密度聚乙烯管等。大大地提高了管道的耐磨性能。离心泵大多使用普通钢管；高扬程泵的压力较大，可采用无缝钢管；对于颗粒较粗的尾矿，可采用内衬耐磨材料的复合管，如内衬铸石钢管、内衬陶瓷钢管、稀土耐磨铸钢管等。北美不少矿山均采用高密度聚乙烯管，它不但耐磨，且适应变形能力较强，使用 20 余年未见翻过管。我国也已生产此管。

管道连接方式有法兰连接、承插连接、焊接和卡箍连接等。

自流槽多用砖石砌筑，或砼浇注。高架流槽可采用钢筋砼或钢板焊制的自承重流槽或用管材的形式。为了减轻磨损，也可在槽内壁贴砌铸石板材。

二、主要相关零件

(1)闸阀　输送尾矿的闸阀宜采用耐磨专用矿浆衬胶闸阀，不宜采用清水闸阀。

(2)伸缩器　根据本地区的温差变化量及管材的线膨胀系数在管线上适当位置按技

术要求安装伸缩器,以防止冬季拉断输送尾矿管道。

(3)排气装置 在管线的最高点设置排气阀,用于排出管道内聚集的气体。

(4)接口 对于承插连接方式的有石棉水泥用于打灰口,也有橡胶密封圈 ;对于卡箍连接的有卡箍,紧固件 ;对于法兰连接的有法兰,紧固件。

第二章　尾矿水力压力输送的试验方法

第一节　试验的程序和方法

尾矿压力输送既在克里沃罗日斯克南选厂的水力输送设施实际生产条件下进行了试验，也在乌克兰苏维埃共和国科学院水工研究所实验室的设备条件下进行了试验。

生产试验包括下列课题：①确定尾矿在直径 500、700、800 和 1000mm 的钢管中，以及在直径为 800mm 且有铸石内衬的钢管中水力输送的水头损失；②确定直径 500～1000mm 的管的临界流速；试验是在 1 号和 2 号砂泵站以及 300—40 泥浆泵设施上进行的，300—40 泥浆泵设施是 1 号砂泵站区清除尾矿库用的。

实验室试验的主要任务在于研究尾矿在直径 100、200 和 300mm 的管内水力输送时，矿浆容重、平均粒径、尾矿的不均匀性和比重对水头损失和临界速度的影响。此外，还包括对具有各种平均粒径的尾矿在水力输送时，矿浆的最大可能稠度的确定以及对矿浆和清水在有内衬管内流动时的水头损失的确定。

根据上述任务，制定了生产试验和实验室试验的方法。这个方法的原理是根据下面原则提出来的，即在无沉积管内的水力坡降和临界流速取决于一系列参数，亦即

$$I_{\Gamma} = f(v, D, \rho_{\Gamma}, \rho_{\text{т}}, d_{\text{ср}}, \delta, \varepsilon, t, \mu),$$

式中　v——矿浆平均流速；

D——管径；

ρ_{Γ}——矿浆容重；

ρ_T——尾矿比重；

d_{cp}——尾矿平均粒径；

δ——尾矿的不均匀性；

ε——管子内壁的绝对粗糙度；

t——矿浆温度；

μ——水的粘滞度。

如果管内产生局部沉积，则沉积厚度 h_3 也同样会影响到水头损失。

为了考虑管径的影响，对各种直径（100～1000mm）的管子都进行了试验。为了考虑流速对水力阻力的影响，在同一个管内，用不同的流量进行了试验。为了考虑固体物质比重的影响，在尾矿水力输送试验的同时，还作了砂和铁选厂的精矿的试验，它们的比重不同于尾矿。为了判明尾矿平均粒径和不均匀性对水力阻力和临界流速的影响程度，利用各种颗粒组成的尾矿来进行了试验。为了考虑输送管内壁粗糙度的影响，既在钢管内，又在衬以铸石的钢管内进行了试验。

生产的和实验室试验的方法，主要在于同时测定矿浆流的水头损失、矿浆流量及容重，并且为了确定尾矿的颗粒组成和它们的比重，要同时取样。管内流态的改变是用改变矿浆的流量或容重来达到的。在生产的试验中，矿浆流量和容重的变化范围是通过水力输送设施连续运转来测定的。通常在水力压力输送试验中，既要测定矿浆流动时的水头损失，也要测定清水流动时的水头损失，这样就能估计在液体里由于有固体颗粒存在而引起的附加水力阻力的大小。可是克里沃罗日斯克南选厂砂泵站的工作条件不能进行清水试验，因此，只能确定矿浆流动的水头损失。为了取得清水和各种稠度的矿浆在管内的水头损失的资料，就在300—40泥浆泵设施上进行了试验。

与确定矿浆的水头损失、流量和稠度有关的压力差是用ДП—430浮子式差压计进行量测的，并自动记录在园图上。该仪表园图一周的时间经过调整，在24小时48分到96分钟范围内变化。所使用的差压计自始至终都是借助于ДТ—150型双管差压计来校正的。

临界流速，即管内开始出现沉积层时之平均速度的量测是通过玻璃窗孔在目测的基础上进行的，玻璃窗孔装配在压力管壁上。管内沉积层的高度也是借助于这些窗孔测定的。

测定尾矿颗粒组成的试样是从垂直的管段内选取的，这段管子位于砂泵压力管的旁边。流量是用温透里管以及容重法来测定的。生产试验中，当管内出现沉积时，矿浆稠度用量测水平管段上部和下部之间的压力差来确定，局部沉积管内矿浆稠度基本上是从

垂直管段内选取的试样测定的。在实验室的试验中，矿浆的稠度是用容重法测定的，该法与温透里管一起还可用以测定矿浆的流量。

第二节　生产试验的设施

生产试验选择了三个生产设施：

(1) 1 号砂泵站：内设 HП—500 型泥浆泵和直径 800mm 和 1000mm 的压力输送管；

(2) 2 号砂泵站：内设同样的泥浆泵和直径 700mm 的压力输送管；

(3) 300—40 泥浆泵设施：装置 20P—11 型泥浆泵和直径 500mm 及 700mm 的压力输送管。

1 号砂泵站的生产试验设施：砂泵站装置了三台 HП—500 型泥浆泵，其中两台工作，一台备用，每台泵都单独使用直径 800mm 的输送管。在离砂泵站 1480m 处，三条管都联结在一根直径 1000mm 的总管上。为了在 800mm 的管内进行试验，选择了既有有内衬的、又有无内衬的水平直线管段作为试验管段。

无内衬的钢管试验段离砂泵站 790m，有内衬的则为 1350m。钢管和有内衬管的内径分别等于 800 和 700mm。水头损失是在 50m 长的一段无内衬管上和 51m 长的一段有内衬管上测定的。直径 1000mm 的钢管试验段也是水平直线的，水头损失是在 50m 长的一段上测定的。

根据试验研究的要求，在直径 800mm 和 1000mm 的试验管段上装设了必要的检查测量仪表，为了测定直径 800mm 无内衬管段上的矿浆流量，安设了温透里管。同时还设有观察孔，以测定管内沉积厚度。还设置了根据矿浆流上下两点之间的压差而测定其比重的仪表。

当一台泥浆泵工作时，用设置在 800mm 管上的温透里管量测直径 1000mm 管中的流量。当两台泵工作时，用奥尔洛夫—尤芬管量测。

该设施的试验是按这样的程序进行的，开始先测定直径 800mm 钢管和有内衬管的水头损失和临界流速，然后再在直径 1000mm 管内进行测定。

2 号砂泵站的生产试验设施：2 号砂泵站装置了四台 HП—500 型泥浆泵，每台泵都单独使用直径 700mm 的输送管。试验选择了一段水平直线的新钢管，其上装有测定流量、稠度和水头损失的仪表。测定尾矿颗粒组成和比重的试样是从砂泵站内竖直管段上

选取的。

300—40 泥浆泵设备的生产试验设施：该设备的试验分两个阶段进行。第一阶段在直径 510mm 的压力管内测定清水和矿浆运动的水力阻力；第二阶段在直径 700mm 管内测定。在 510mm 管内进行试验时，矿浆容重、沉积层厚度和水头损失是在温透里管旁边测定的。直径 700mm 管内的试验是这样进行的：其流量是在离试验地段相当远的地方测定的。

生产试验条件的说明：在试验条件下，任何一个正在运转的水力输送设备都不能为了进行试验而单独分开，因此仪表的安装及试验本身要适应设备实际生产工作的状况。

根据这点往往只好以设备使用过程中所发生的状态来试验。这样，在 $D = 800$mm 和 1000mm 管中经常呈现局部沉积状态，尽管矿浆稠度并不太大。为了使其不产生沉积，必须增加流量，亦即必须将两台泵接在一根输送管上。可是，这样的装配不能保证砂泵站正常工作。

第三节　实验室试验的装置

尾矿水力输送的实验室试验是在四套试验装置上进行的。每一装置都设置了泥浆泵、压力输送管、标准重量的容器以及为了量测水力输送的基本参数必需的校正测量的仪表。1 号和 2 号试验装置的简图如图 5－2－1 所示。每套装置都在室内设置了 8Н3 型泥浆泵和在露天场地上敷设了压力输送管。1 号装置敷设了两条平行的直径分别为 202mm 和 307mm 的压力钢管。2 号装置也敷设了两条平行的直径分别为 206mm 和 307mm 的钢管。206mm 管子有 19m 长的一段是用铸石作内衬的，它的内径等于 206mm。

根据所定的任务，1 号和 2 号试验装置要能进行开路和闭路工作。当 1 号装置开路工作时，矿浆从矿浆池吸入并通过压力管流入标准重量容器或矿浆池。当闭路工作时，矿浆是从压力管进入吸入管的。如果前者尾矿是利用矿浆池充满整个系统的，那么闭路工作时尾矿是利用装置在吸入管上的贮满矿浆的小矿浆池来充满整个系统的。该小矿浆池压力线大致与输送管轴心处的压力相符。

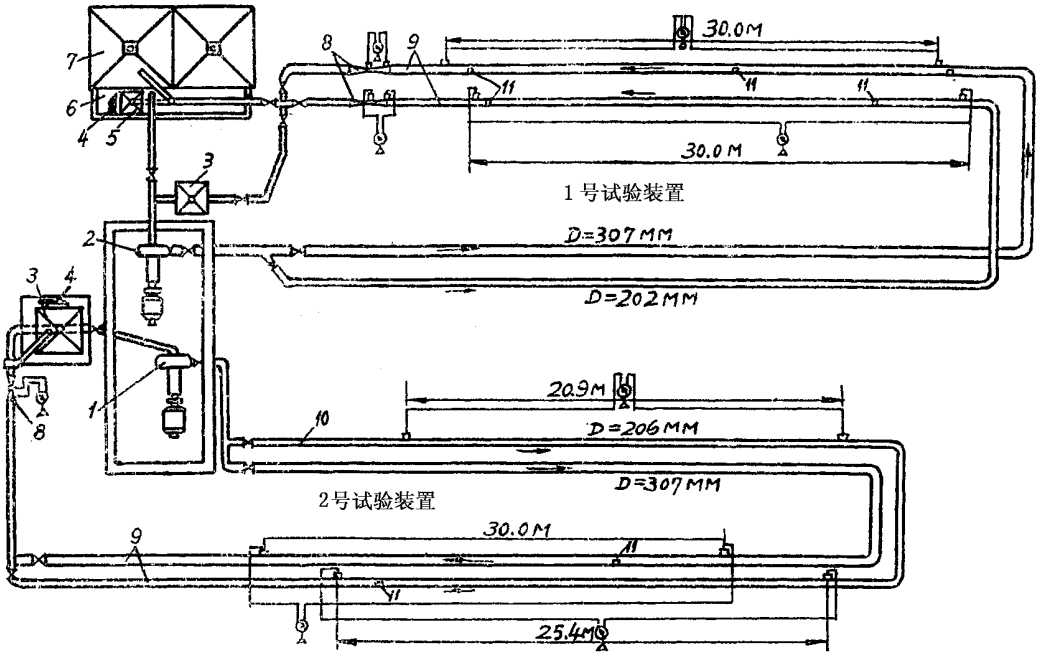


图 5－2－1　1 号、2 号试验装置简图及量测仪器的布置

1—2 号装置的 8*H*3 泥浆泵；2—1 号装置的 8*H*3 泥浆泵；3—充满的小矿浆池；4—秤；5—量测矿浆稠度的标准重量容器；6—矿浆池；7—标准容器；8—温透里流量计；9—在直径 200mm 和 300mm 的钢管内测量水力阻力的管段；10—在有内衬管内测量水力阻力的管段；11—观察窗孔

在直径 307mm 的管中进行了大于临界流速的闭路试验，所用尾矿平均粒径为 d_{cp} = 0.52mm。这时矿浆的实际容重是根据经过充满的小矿浆池进入泥浆泵和压力管系统的尾矿量确定的。为此，包括充满的小矿浆池在内的系统先用清水灌满，设备就开始工作，然后将尾矿倒入充满的小矿浆池内，并进入输送管，所装入的尾矿量是由水系统中被挤出的体积确定的。

直径 202mm 输送管的试验是按开路作的。矿浆容重是在标准重量的容器内选取矿浆试样测定的，此容器容积为 1m^3。重量规定为 2 吨。试样是靠专门的开关设备选取的。307mm 和 202mm 管中的矿浆流量，当没有沉积层时，是用事先装好的温透里管测定的。在带有局部沉积的流态试验时，202mm 管中的矿浆流量用容积法量测。水头损失是在 30m 长的一段管上测定的。

2 号试验装置与 1 号不同之处是它没有矿浆池，但装有专门的开关，它可以用标准重量容器测量矿浆容重。取样时，从管内排出的矿浆容积由充满的小矿浆池补充。测定尾

矿颗粒组成的试样是在垂直管段上借助直径 13mm 的管子选取的，这个小管焊在压力管三分之一直径的深度上。矿浆流量用设置在直径 206mm 管段上的温透里管测定，206mm 的钢管和有内衬管的水头损失是分别在 25m 和 19m 长度的管段上测定的。

3 号(图 5－2－2)和 4 号试验装置分别设置了 4HΦ 和 25HΦ 型的泵，直径 103mm 和 50mm 的输送管，标准容器和标准重量容器。

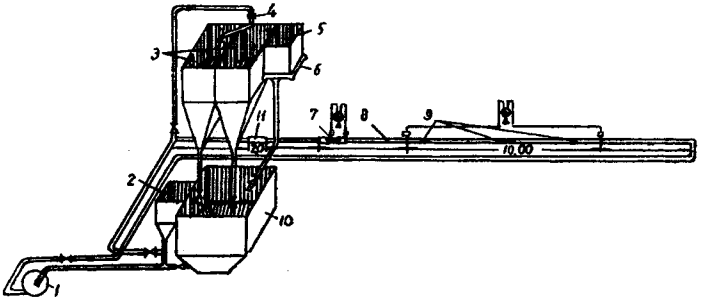


图 5－2－2　设有直径 103mm 输送管的试验装置简图

1—4HΦ 型泵；2—充满的矿浆斗；3—调节箱；4—转换接头；

5—确定矿浆容重的标准重量容器；6—秤；7—温透里流量计；

8—测量水力阻力的管段；9—观察窗孔；10—矿浆池；11—玻璃的连接段

第四节　决定尾矿水力输送设施工作的基本参数的量测

清水和矿浆的流量的量测：清水和矿浆的流量主要是用温透里管量测的。清水和矿浆流量的大小是根据在温透里管内测得的压力差用下式求得

$$A\sqrt{\frac{\Delta h}{\rho_{\Gamma}}} \qquad (5-2-1)$$

式中　ρ_{Γ}——矿浆的流量容重；

A——系数。

当进行实验室的试验时，系数 A 值是在当清水和矿浆流动时温透里管校正的结果中确定的。

已经指出，在个别情况下，直径 1000mm 管内的流量是用事先固定在管上的奥尔洛夫——尤芬管测出的平均流速来确定的。测定管内平均流速时，作了一个假设：即此流

速同清水运动一样，位于离管壁 0.223 半径处。这一假设是基于以下事实，即密度不大的细粒物质在水力输送时，管内流速的分布大致符合于清水运动时的分布规律。

平均流速的大小可根据测得的压差 h 用下式求出

$$v = k\sqrt{2gh\frac{(\rho_p - \rho_B)}{\rho_B}} \tag{5-2-2}$$

式中　k——管子系数；

ρ_B 和 ρ_p——分别为清水和差压计中水银的容重。

在管子校正的基础上采取 $k = 0.91$。

矿浆容重的量测　直径 500、700、800 和 1000mm 的水平管段上的矿浆容重是根据管内矿浆流上下两点的压差 h 来测定的。这个仪器的构造和工作原理有专门书籍介绍。

矿浆实际容重的平均值根据管子截面按下式计算

$$\rho_\Gamma = \frac{h(\rho_p - \rho_B) + D\rho_B}{D} \tag{5-2-3}$$

式中　ρ_p——差压计中工作液体的容重。

压差是用 ДП—430 型最大压差为 40mm 水银柱的自动记录差压计或 ДТ—150 型双管差压计测量的。ДТ—150 型差压计中的工作液体是容重为 2.96 T/m^3 的四溴化乙烷。为了规定仪器的零点并监督其工作，利用了清水运动时上下两点间的压差等于零的位置。

矿浆容重用容重法确定。试样是从直接安在泥浆泵压力管嘴旁边的一段垂直的取样管上选取的。所取试样的容积为 8～10 升，知道所取试样的容积和重量后，可用下式求出矿浆容重

$$\rho_\Gamma = \frac{P_1 - P_2}{W} \tag{5-2-4}$$

式中　P_1——充满的水箱重；

P_2——空水箱重；

W——水箱中试样的容积。

在经过矿浆池循环的装置中，矿浆容重是用标准重量容器测定的。而在闭路工作的装置中，矿浆容重是根据在给定的水力输送系统中加入的固体物质的数量来确定的。

水头损失的量测　水头损失是在直线水平管段上量测的。根据选出的压力断面，在输送管的上部钻有直径 3～5mm 的小孔。要在其上确定水头损失的断面间的压力差是用 ДП—430 型自动记录差压计测定的。水力坡降按下式确定

$$I = \frac{\Delta h(\rho_p - \rho_B)}{L} \tag{5-2-4}$$

式中　Δh——压力差，以 mm 水银柱计；

L——量测管段的长度以 m 计；

ρ_p，ρ_B——差压计中工作液和分界液的容重。

沉积层厚度及临界流速的量测　在直径 200、300、500、700、800 和 1000mm 的压力管中，沉积的开始产生及其厚度大小是通过装在管壁上的透明窗口测定的。为了测定颗粒开始沉积的时间，除了布置在量测段的透明窗口以外，还可利用 2m 长的玻璃插片。透明窗口的构造乃是在沿着管径向外弯的金属架上镶入一片宽度不大的有机玻璃板。沉积层的厚度是根据很容易看清的沉积边界和以 1mm 为单位画在窗口壁上的刻度用目测记录的。

尾矿的颗粒组成　进行生产试验时，为了测定尾矿的颗粒组成，矿浆试样如上所述，是从直接装在泥浆泵压力管嘴旁边的垂直管段上选取的。该垂直管段直径为 15mm，顶点离输送管壁为 200mm。取样后再加以烘干并用孔径为 0.1～0.3mm 的一套筛子进行筛分。个别试样用孔径为 0.05mm 的筛子筛分。粒径小于 0.05mm 的尾矿的颗粒组成是用移液管法测定的。在尾矿机械分析的过程中所得到的资料的基础上，可用下式求出平均粒径

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \Delta P d_{cpi}}{100} \tag{5-2-6}$$

式中　ΔP——含量的百分比，级配图纵坐标轴用它来划分；

d_{cpi}——相应于 ΔP 的平均粒径。

实验室的试验使用的是克里沃罗日斯克南选厂产出的尾矿和精矿。考虑到尾矿在尾矿库沉积滩上分布不均的影响，试验所用尾矿是在好几处选取的。然而，在这种情况下，从尾矿库所选取的尾矿的平均粒径通常还是大于从选厂排出的尾矿的平均粒径，因此必须对送来的尾矿进行分类。

第三章　尾矿在局部沉积管内的水力输送

第一节　固体物质在局部沉积管内水力输送的计算方法

选矿厂水力输送设施的运行经验表明，在很多情况下压力输送管内的矿浆呈现局部沉积的流态，这种流态只有在管内平均流速——矿浆流量与管断面面积之比——小于临界流速时才会出现。预计压力管内有局部沉积的水力输送的想法，正如 А.П. 尤芬所述，是属于 Н.Д. 郝林的。这个想法的基本原理是：①局部沉积在压力管中能起调节作用，即靠沉积层厚度的变化使矿浆的容重和流速保持不变；②沉积层能防止管道很快磨损；③沉积引起粗糙度的增加并形成椭园形液流断面，从而提高了流体的紊乱程度，这对保证固体颗粒的水力输送是很必要的。

局部沉积状态的研究已进行了一系列的工作，主要还是试验工作。第一个这样的研究是 Т.Д. 卡利宁娜在 А.П. 尤芬的领导下进行的。此外，А.А. 斯柯钦斯基矿业学院，乌克兰苏维埃共和国科学院水工研究所，水力输送经营管理中央科学研究所，全苏《水力机械化》托拉斯、钢筋混疑土科学研究所、马格尼托哥尔斯克矿冶研究所也都进行过类似的研究。根据 А.П. 尤芬、А.Е. 斯摩尔德列夫、И.Г. 哈斯喀尔别尔格、Л.С. 日依沃托夫斯基和 Б.И. 卡尔林以及 М.Я. 罗西洛夫所获得的资料建立了确定局部沉积管内矿浆流动时的流速和水头损失的方法和相应的公式。

А.П. 尤芬分析了局部沉积管内矿浆流动的情况，指出这种流动是非常复杂的，它与无沉积管内的矿浆流动有着本质上的差别，这个差别主要可解释为：在沉积管内矿浆流

量的增加引起沉积层的局部冲刷，因此增加了液流断面，它又影响到流速，这样一来，矿浆流量的变化通过流速、液流断面的面积和形状的变化影响着水力阻力。А.П. 尤芬基于在局部沉积管内水力输送砂子的试验资料，提出了计算水头损失的公式。

$$I = 0.0025 \frac{v_{ч.з}^2}{gR \dfrac{D - h_з}{D}} \tag{5-3-1}$$

式中　$v_{ч.з}$——当沉积厚度 $h_з = D - h_c$ 时的砂浆流速；

R——水力半径。

h_c——管内液流断面的高度。

假如要在局部沉积管内建立临界流速，А.П. 尤芬建议用下式计算

$$v_{кр} = 9.8 \sqrt[3]{4R} \sqrt[4]{W} \left(\frac{\rho_т}{\rho_в} - 0.4 \right), \tag{5-3-2}$$

А.Е. 斯摩尔德列夫没有去分析和评述前人所提出的方法，自己提出了局部沉积管水力输送的计算方法。作者指出，在拟制这个方法时，他利用了在局部沉积管内水力输送不同种类的物质（如煤、含有石子的砂和碎石）时所获得的定量分析资料和试验研究的成果，在上述试验研究的基础上他提出了计算水头损失的公式

$$I_з = I_{кр} + k_1 \left[\frac{gD \sqrt[3]{C^2}}{v_{ч.з}^2} \cdot \frac{h_з}{D} - k_2 \right], \tag{5-3-3}$$

式中　$I_{кр}$——临界坡降；

k_1——考虑固体颗粒对管壁摩擦作用影响的系数，对各种细砂来说都等于 0.38；

k_2——沉积层很薄时的流动特征系数；

C——固体颗粒在液体中的稠度；

$v_{ч.з}$——局部沉积管内的流速。

为了计算该式中的参数 $I_{кр}$ 和 $v_{ч.з}$ 建议采用下列经验公式

$$I_{кр} = (2.5 \sim 3.5) I_в； \tag{5-3-4}$$

$$v_{ч.з} = v_{кр} \sqrt{\cos\left(\frac{h}{D} \frac{\sqrt{gd_{ср}^0}}{W_*} \pi \right)}, \tag{5-3-5}$$

式中　$\dfrac{\sqrt{gd_{ср}^0}}{W_*}$——表示颗粒在液流中惯性力影响的参数。

建议用下式计算临界流速

$$v_{кР} = k\sqrt{D}\sqrt[3]{\frac{\alpha c W''_{*}}{\sqrt{d^{0}_{cP}}}}, \tag{5-3-6}$$

式中　k——系数，等于 6.5～8；$\alpha = \frac{\rho_T - \rho_B}{\rho_B}$；

W''_{*}——矿浆中固体颗粒的有限沉降速度；

$W''_{*} = W_{*}(1-c)^{2.5}$；

（W_{*}——静水中固体颗粒自由沉降速度）。

И.Г. 哈斯喀尔别尔格和 Б.И. 卡尔林利用在直径 100～500mm 的局部沉积管内水力输送细砂和中砂的试验资料提出了计算水头损失的公式

$$I_3 = I_{кР}\left(\frac{Q_{кР}}{Q_3}\right)^{0.13}, \tag{5-3-7}$$

式中　Q_3——局部沉积管内给定的矿浆流量；

$I_{кР}$和 $Q_{кР}$——临界坡降和临界流量。

临界坡降按下式计算

$$I_{кР} = I_B\left[1 + 165c\left(\frac{v'_{кР}}{gD}\sqrt{C_\phi}\right)^{-1.4}\right]; \tag{5-3-8}$$

式中　$v'_{кР}$——冲刷的临界流速；

C_ϕ——各种土粒在水中自由沉降的平均阻力系数。

冲刷的临界流速建议按下面经验公式计算

$$v'_{кР} = 6.5c^{0.36}\frac{\sqrt{gD}}{C_\phi^{0.25}}, \tag{5-3-9}$$

式中

$$c = \frac{\rho_Г - \rho_B}{\rho_T - \rho_B}。$$

临界流量用下式计算

$$Q_{кР} = \omega v'_{кР}。 \tag{5-3-10}$$

М.Я. 罗西洛夫提出用下面公式计算尾矿在局部沉积管内水力输送的水头损失

$$I'_3 = I_Г\sqrt[3]{\frac{h_3}{D}\frac{\sqrt[3]{c}}{0.0045}}, \tag{5-3-11}$$

式中 $I_Г$ 按公式确定。

前面曾经指出，输送物质的颗粒组成与选矿厂所产的尾矿的颗粒组成并不一样。因此，М.Я. 罗西洛夫提出的公式（5-3-11），在考虑尾矿的或细粒物质的不均匀系数对水

头损失的影响时，需要有明确的规定。

当给定压力管径、尾矿的平均比重 ρ_T 和平均粒径 d_{cp}、矿浆容重 ρ_Γ 和沉积厚度 h_3 时就可用上述公式计算局部沉积管内矿浆流动的水力坡降。如 $D = 800\text{mm}$、$d_{cp} = 0.15\text{mm}$、$\rho_T = 3.20$、$\rho_\Gamma = 1.052\ T/\text{m}^3$ 和 $h_3 = 140\text{mm}$，根据 И.Т. 哈斯喀尔别尔格、А.П. 尤芬、А.Е. 斯摩尔德列夫和 М.Я. 罗西洛夫的公式计算的水力坡降分别等于：0.004；0.008；0.0045 和 0.0084。这样一来，尽管作者说明这些公式都是基于试验资料提出的，但对同样的水力输送条件按不同公式所求出的水头损失则是各种各样的。如果作为这个或那个公式的基础的试验资料是正确的，那末，上述每个公式应用的范围应该是有限的，可是作者们没有给出这些应用的范围，从而在实际计算中很难应用这些公式。

第二节　尾矿在直径 100～1000mm 的局部沉积管内水力输送的水头损失的试验资料

已经指出，尾矿在局部沉积管内水力输送的水头损失既在生产条件下进行了试验，也在实验室的条件下进行了试验。在克里沃罗日斯克南选厂的水力输送设施上进行了直径 700、800、1000mm 管的试验，在 800、1000mm 管内进行试验时，虽然矿浆流量和沉积层厚度在很大的范围内变动，但矿浆容重变化并不大——$1.02 \sim 1.07\ T/\text{m}^3$；在直径 700mm 的压力管中则相反，虽然矿浆容重变化很大——$1.02 \sim 1.2\ T/\text{m}^3$，但矿浆流量变化却不大，该管中尾矿的平均粒径为 0.31mm，大于直径 800、1000mm 管内尾矿的平均粒径(0.15mm)。

局部沉积管水头损失的实验室试验是用水力输送中粒尾矿、砂和精矿来作的。平均粒径为 0.20～0.4mm 的中粒尾矿水力输送试验是用直径 103、202mm 的输送管作的，而细粒尾矿和精矿试验是用直径 103mm 管作的；平均粒径 $d_{cp} = 0.28\text{mm}$ 的砂的水力输送是用直径 202mm 管作的。所得数据，像无沉积管水头损失的数据那样，以试验点的形式绘在图 5－3－1～图 5－3－5 上。每个点的旁边，分子表示矿浆容重，分母表示沉积层厚度(cm)。

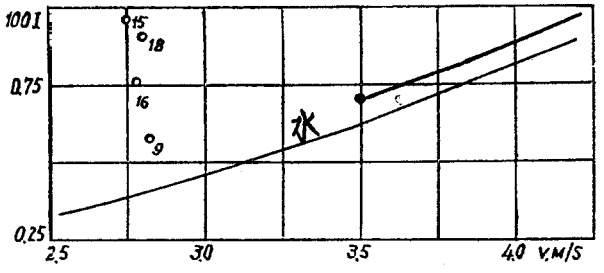


图 5－3－1　局部沉积管内水力坡降和矿浆流速的关系

管径为 1000mm，材料—尾矿，$d_{cP}=0.16$mm，$\rho_{\Gamma}=1.05\,T/m^3$

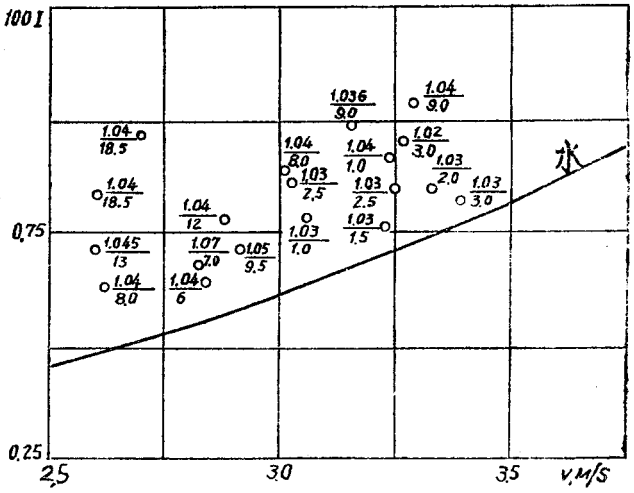


图 5－3－2　局部沉积管内水力坡降和矿浆流速的关系

管径为 800mm，材料—尾矿，$d_{cP}=0.16$mm

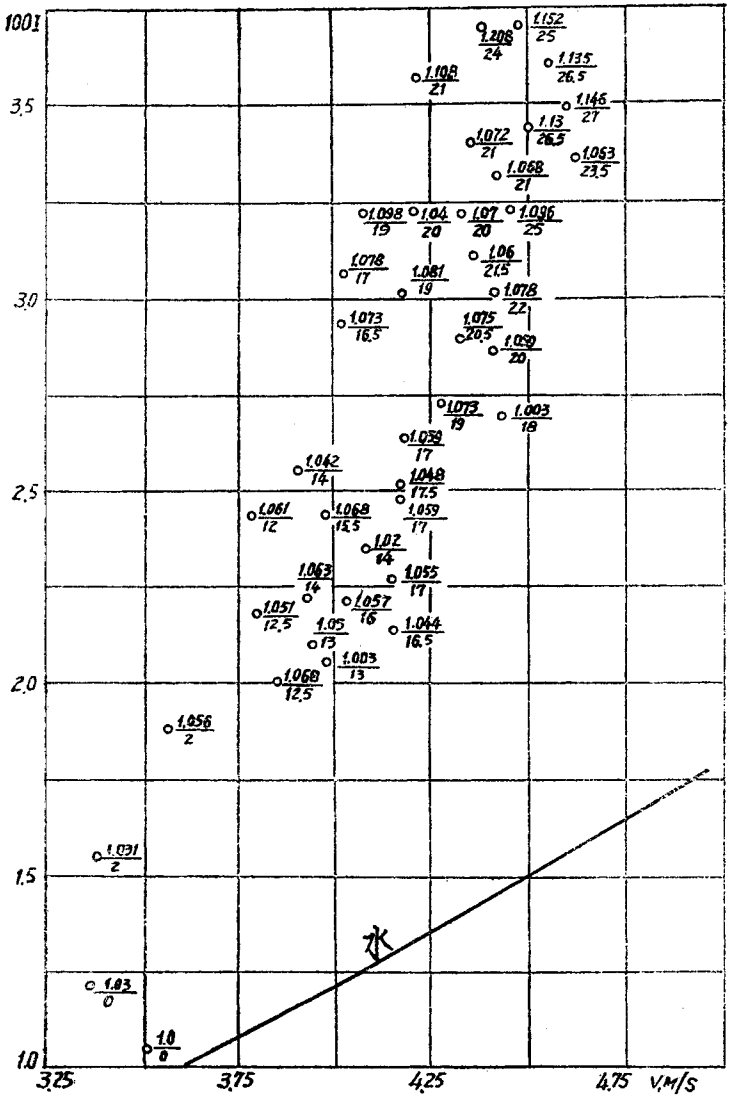


图 5－3－3　局部沉积管内水力坡降和矿浆流速的关系

管径为 700mm，材料—尾矿，d_{cp} = 0.31mm

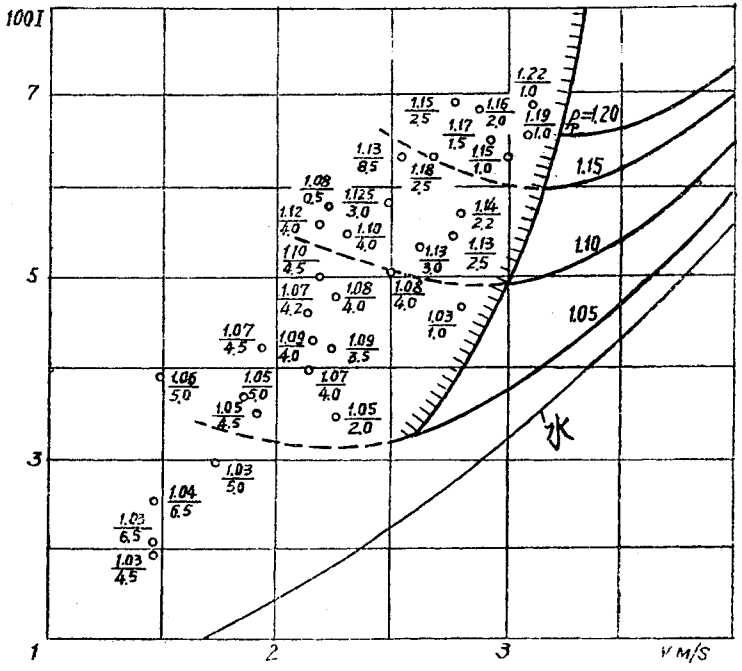


图 5－3－4　局部沉积管内水力坡降和矿浆流速的关系

管径为 202mm，材料—尾矿，$d_{cp}=0.30$mm，$\rho_T=3.36$

图上的横坐标轴表示管内未沉积的那部分的平均流速，它可用下式计算

$$v_{ч.з}=\frac{Q_T}{\omega_{нз}},$$

式中 Q_T—矿浆流量；$\omega_{нз}$—管内未沉积的那部分的液流断面面积。

在直径 1000mm 管的试验中所得到的相互位置的资料（图 5－3－1）表明，在大致均匀的流速 $v=2.75$m/s 之下，水头损失随沉积厚度的增加而显著增大。如果沉积厚度为 22cm 时其水头损失将比临界流速（$v_{кр}=3.50$m/s）时的水头损失大 60%　如果沉积厚度为 9cm 时，局部沉积管内的水头损失比临界流速时的要小，也就是说，在这种情况下，流态由不沉积变成沉积，引起了水头损失的降低。

在直径 800mm 管的试验中所得到的资料（图 5－3－2）表明，有沉积时的水头损失能够保持大致等于或小于临界流速时的水头损失。从图 5－3－2 中可以看出，这时沉积层厚度变化相当大，甚至达到 18cm 之多。从直径 700mm 管所得到的试验点的分布情况（图 5－3－3）可知，随着沉积层厚度的增加，不仅像直径 1000mm 管那样，水头损失在增加，而且流速也在增加。当水力输送中粒尾矿（$d_{cp}=0.30$mm，$d<0.074$mm 者占 16%）

时，水头损失随着沉积层的增加和矿浆流速的减小而增加（图 5－3－4）。

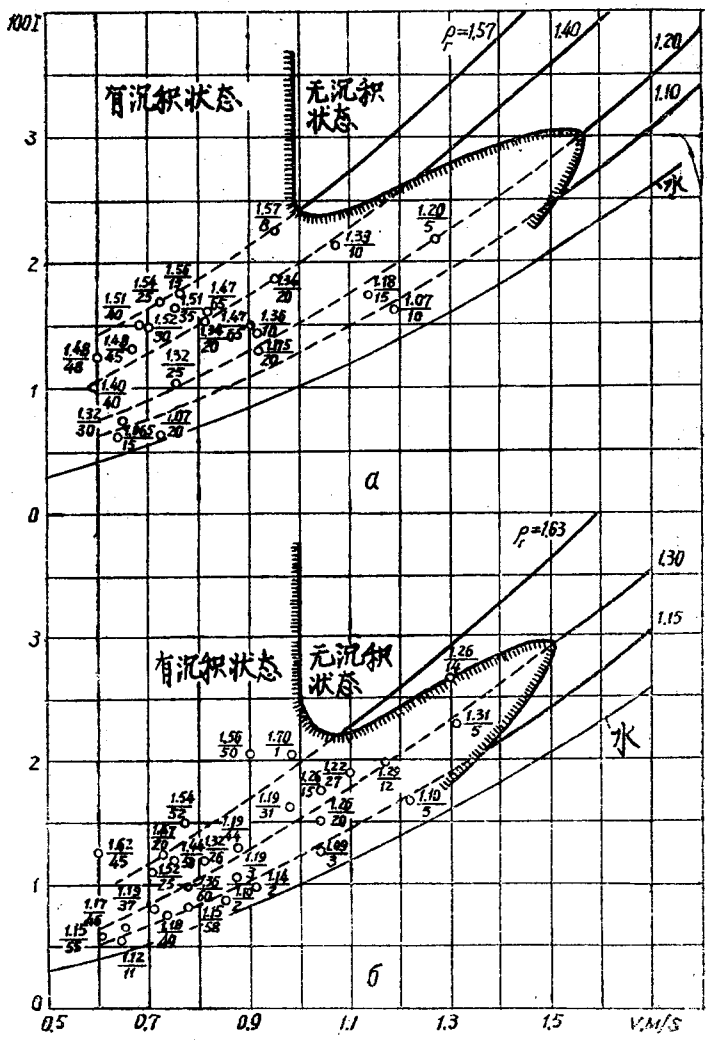


图 5－3－5　局部沉积管内水力坡降和矿浆流速的关系

管径为 103mm，

a—材料—尾矿，$d_{cP}=0.071$mm，$\rho_T=3.20$；

б—材料—精矿，$d_{cP}=0.05$mm，$\rho_T=4.45$

在直径 103mm 管内作的细粒尾矿和精矿水力输送的试验结果（图 5－3－5）表明，在这种情况下，曲线 $I=f(v)$ 的性质从无沉积状态变为有沉积状态的过程中始终不变，即水力坡降随着沉积层的增加和矿浆流速的降低而降低，这样一来，在给定的从无沉积状态变到有局部沉积状态的条件下，曲线 $I=f(v)$ 没有引起任何显著的变化。从图 5－3－

1～图 5－3－5 中试验点的分布情况可知，在同样的 v、ρ_T、h_3 和 d_{cp} 时，水力坡降 I_T 并不常常是一样的。在直径 614mm 和 800mm 局部沉积管内水力输送砂的试验中，我们看到了同样的现象(图 5－3－6)这时在相同的一些参数下水头损失是不同的，可是总的来说，根据所作的试验可以得出结论：在局部沉积管内，当流速降低而矿浆容重大致不变时，水头损失在有些情况下增加，在另一些情况下则减小，还有些情况下基本上保持不变。这就使得在水力输送设施设计中，当压力管内有局部沉积时，使用起这些试验资料来，感到很为难。

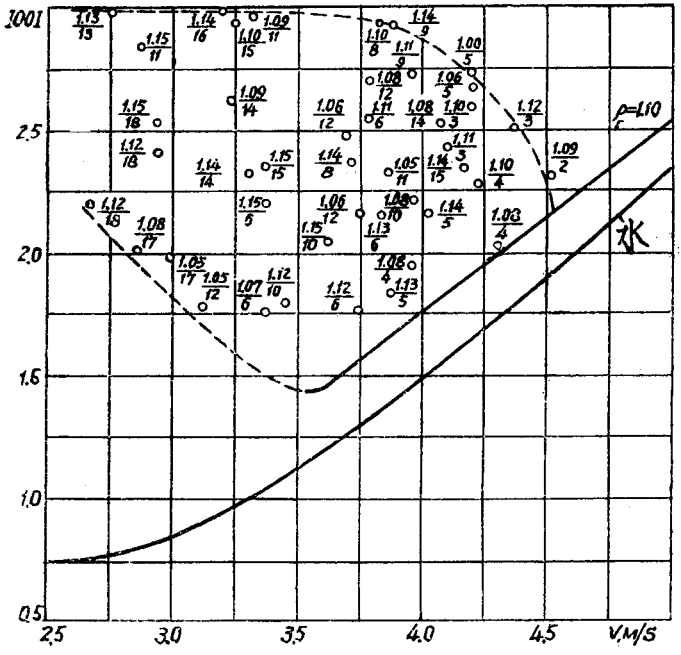


图 5－3－6　局部沉积管内临界坡降与砂浆流速的关系

管径为 614mm，材料—砂，$d_{cp}=0.27$mm，$\rho_T=2.65$

第三节　局部沉积管内沉积厚度与矿浆流速的关系

公式(5－3－1)、(5－3－3)、(5－3－7)和(5－3－11)中的水头损失在矿浆容重比较固定时，主要由流速 $v_{ч.з}$。和沉积层厚度 h_3 确定，因此必须建立流速和沉积厚度之间的关系式。真正建立了这样的关系式就大大地方便了对试验资料的综合。A.E. 斯摩尔德

列夫在直径 350mm 和 400mm 的局部沉积管内水力输送砂和一般的煤所得到的资料的基础上得出结论 沉积厚度随着流速的增加而减小。

为了详细阐明上述关系，我们在直径 103，202、700 和 800mm 管内水力输送尾矿和精矿所得到的资料的基础上作出了 $v_{ч.з}$ 和 $\frac{h}{D}$ 的坐标图（图 5－3－7），由此图可知，在某些情况下，当流速增加时，沉积厚度一般是减小的（图 5－3－7、б）：

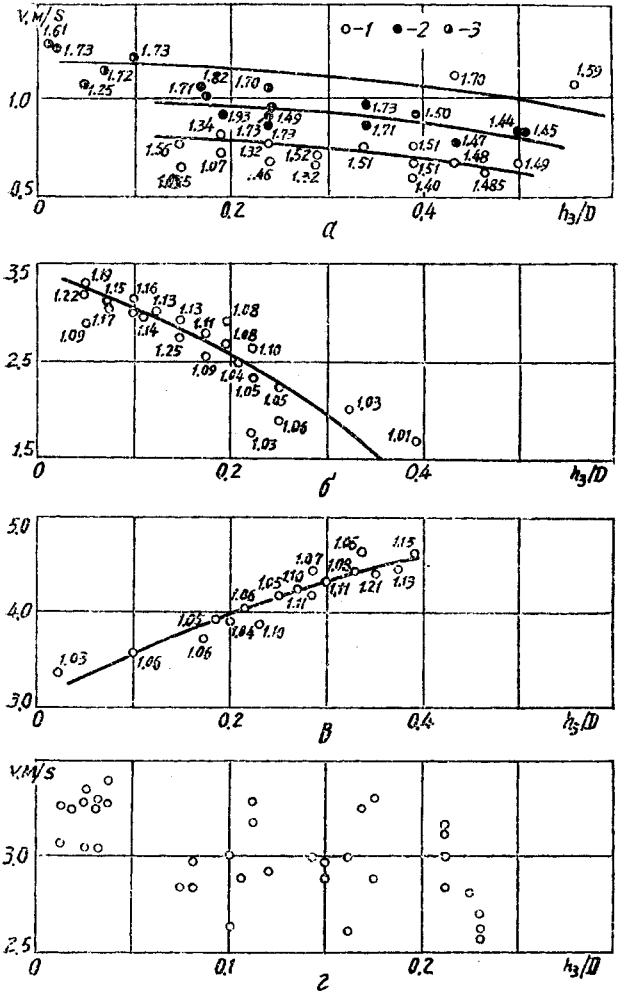


图 5－3－7　尾矿水力输送时流速与沉积层的相对高度的关系

а—管径为 103mm，$\rho_т = 3.20$，1— $d_{ср} = 0.07$mm，2— $d_{ср} = 0.15$mm，3— $d_{ср} = 0.30$mm，

б—管径为 202mm，$d_{ср} = 0.30$mm，$\rho_т = 3.36$；в—管径为 700mm，$d_{ср} = 0.31$mm，$\rho_т = 3.20$；

г—管径为 800mm，$d_{ср} = 0.16$mm，$\rho_т = 1.05\ T/m^3$

在另一些情况下，是增加的(图 5－3－7в)还有一些情况，流速与沉积厚度没有任何明显的关系(图 5－3－7г)。这样一来，我们取得的资料表明，А，Е. 斯摩尔德列夫采纳的 h_3 和 $v_{ц.з}$ 之间的关系尽管是存在的，但不能认为这是所有局部沉积状态的一般关系。这里应该指出，即使在沉积厚度随流速的增加而出现某种减小或增加的情况下，试验点也是呈带状分布的，这种情况证实了对应于某一个沉积层可以得出不同的尽管是近似的流速值；反之，对应于某一个流速可以得到不同的尽管也是近似的沉积厚度。另一种说法，在局部沉积管内，当沉积厚度一定时，看来，矿浆流量可以有一些变化。为了确定当沉积厚度不变时上述矿浆流量变化的范围，我们在直径 800mm 的局部沉积管内水力输送尾矿所得到的资料的基础上又补充作出 $h_3 = f(Q)$ 图(图 5－3－8)，从该图可知，试验点的分布带可以用 AB 和 CD 两条直线限定起来。当上述分布带中沉积厚度不变时，最小流量由直线 AB 上的点来确定，最大流量则由直线 CD 上的点来确定。最小和最大流速对应于最小和最大的流量，最小流速不是别的，正是所谓的沉积流速 v_3；而最大流速乃是冲刷流速 $v_{\text{р}}$。

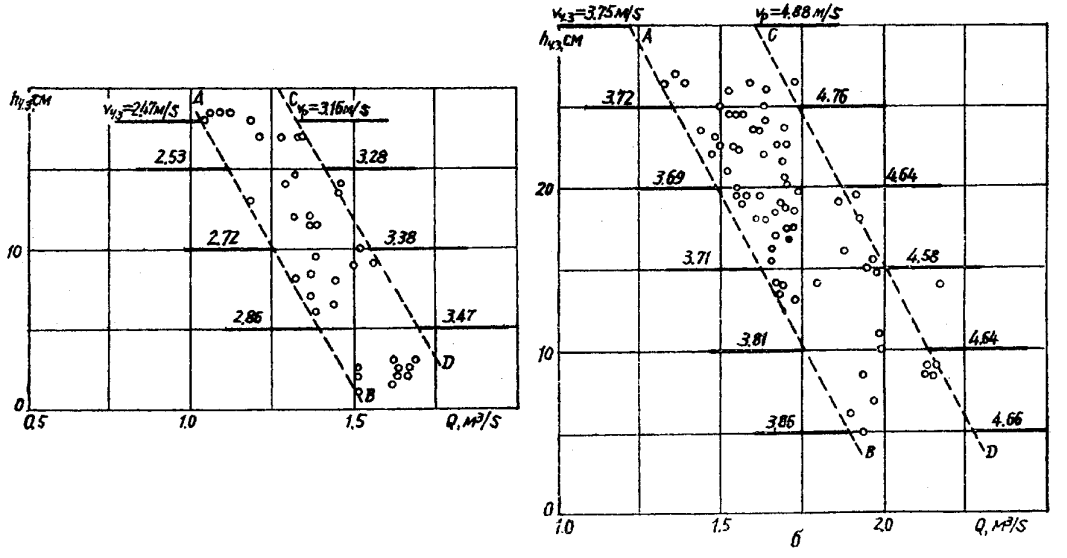


图 5－3－8　沉积厚度与矿浆流量的关系

管径为 800mm，

α—水力输送 $d_{\text{ср}} = 0.16\text{mm}$ 尾矿；б—水力输送 $d_{\text{ср}} = 0.27\text{mm}$ 的砂

基于在直径 800mm 管内水力输送 $d_{\text{ср}} = 0.15\text{mm}$ 的尾矿的试验成果对沉积厚度为 50、100、150 和 180nm 的情况，确定了 $v_{\text{р}}$ 与 v_3 的比值，平均为

$$\frac{v_{\text{P}}}{v_3} = 1.24。$$

可是必须指出，随着沉积厚度的增加（50～180mm），比值（$\frac{v_{\text{P}}}{v_3}$）也从 1.21 增到 1.27。

在直径 800mm 的局部沉积管内水力输送 $d_{\text{cP}} = 0.28\text{mm}$ 的砂时也得到大致相同的比值（$\frac{v_{\text{Г}}}{v_3}$）（图 5－3－8），这里，当沉积厚度从 50mm 变到 270mm 时，比值（$\frac{v_{\text{P}}}{v_3}$）也从 1.21 变到 1.30。对所得到的资料，特别是试图建立流速与沉积厚度之间的关系的资料的分析表明了局部沉积管内的矿浆流动是非常复杂的。因此，必须对这个过程进行更加深入的分析，可是由于试验资料的限制以及确定局部沉积管内矿浆流动的各个参数间的非常复杂的关系，要作这样的分析是很困难的。因此必须先来观察局部沉积管内的一些相对的运动情况。

第四节　局部沉积管内水力坡降与流速的关系

为了解决关于在局部沉积管内水力输送尾矿时水力坡降与流速的相互关系的特性问题，我们来研究某些最简单的情况，即从临界状态向局部沉积状态的转换，根据临界流速的定义可知，在给定的管内，这个转换在下列情况下可能发生：减少矿浆流量而保持它的容重和输送尾矿的粒径不变；增加矿浆容重而保持它的流量和输送尾矿的粒径不变；增加输送尾矿的粒径而保持矿浆流量和稠度不变。然而，经常遇到这种情况，当从临界状态转换为局部沉积状态时，引起的不是一个参数，而是同时引起好几个参数，如矿浆流量、矿浆容重以及输送物质的粒径的变化。

如果输送尾矿的粒径保持不变，则可认为基本上只会出现两种最简单的临界状态和局部沉积状态的转换情况：第一种情况，矿浆流量比临界状态时减少，而其容重保持不变，并等于临界状态时之容重。由于矿浆流量的减少（从 Q_{kP} 到 Q）和流速的降低，矿浆流的输送能力就减小，它又导致部分尾矿颗粒的向管底沉积而形成固定的沉积层，沉积层厚度一直增加到能在新条件下保持原有容重的矿浆的颗粒呈悬浮状态流动为止。如果说，在给定的条件下，这个速度是局部沉积管的临界流速，那么在某种输送尾矿的比重和稠度下，它的数值将与矿浆流的液体断面面积成比例。可见对于给定的管来说，当其它条件相同时，局部沉积管的流速 $v_{\text{ч.з}}$ 将小于临界流速 $v_{\text{кP}}$。这样一来，当从临界状态转

换为局部沉积状态时，由于矿浆流量的减少，如果容重保持不变，局部沉积状态的流速 $v_{ч.з}$ 将小于临界流速 $v_{кр}$。

现在来看看，当流速从 $v_{кр}$ 减少到 $v_{ч.з}$ 时，水力坡降比起临界状态来有什么变化？要确定这点是相当复杂的，因为流速的降低常常引起水力坡降的降低；与此同时，输送管的截面也因沉积层的形成而减小，于是又导致水力坡降的增加。所以水力坡降的变化必须分开来研究：开始时是由于速度的降低所引起的变化，而以后则是由于沉积的结果改变了液体的断面而引起的变化。这个划分相当复杂，可是这样的分析可以从本质上深入理解由临界状态转变到局部沉积状态时水力坡降变化的过程。为此，首先我们试图根据当流速比临界流速大得不多时，曲线 $I_Г = j(v)$ 变化的特点，预料该曲线当流速比临界流速小得不多时的变化趋势。上一章所介绍的我们的试验结果以及某些其他学者的试验结果表明了无沉积管内当流速接近于临界流速时所得到的曲线 $I_Г = f(v)$ 具有各种不同的性质，可是它们总的可归纳为下列三种（图 5－5－9）：

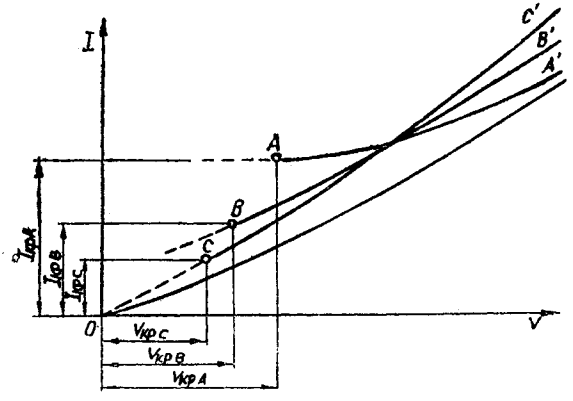


图 5－3－9　清水流动和矿浆流动的曲线 $I = f(v)$ 之间的关系

①当流速降低到接近于临界流速时，曲线 $I_Г = f(v)$ 上的水力坡降基本上没有增加和降低（AA'），这种情况出现在中粒物质的水力输送中；②细粒物质的水力输送当流速降低到接近于临界流速时，具有很大的水力坡降的迭减率（CC'）；③可能还有这类曲线，它们像曲线 BB' 那样位于某个过渡的位置上，例如水力输送小于 0.074mm 的含量不少于 50% 的中粒尾矿时的曲线，就具有这种特征。

也可假设：在临界范围内，即流速比临界流速大得和小得都不多且无沉积时，就可保持曲线 $I_Г = f(v)$ 的这个特征，当流速与临界流速相差不大时这是可能的。利用这些假设我们来深入研究上述三类曲线当流速比临界流速减小 Δv 值时，水力坡降是如何变化

的。在图 5－3－9 的的每根曲线上流速作这样的改变都会使水力坡降产生不同的增量 ΔI_v，最大值 ΔI_v 在曲线 CC' 上，最小值则在曲线 AA' 上。这里应该指出，如果在临界流速下曲线 AA' 基本上是水平的，则 $\Delta I_v = 0$。此外，由于流速降低了 Δv 开始形成沉积层，它首先使水力坡降增加某个数值 ΔI_h。

这样一来，当流速比临界流速降低了 Δv 时，一方面使水力坡降降低某个数值 ΔI_v，而另一方面又使水力坡降增加某个数值 ΔI_h。根据 ΔI_v 和 ΔI_h 之间的关系，可有下列几种情况(图 5－3－10)。

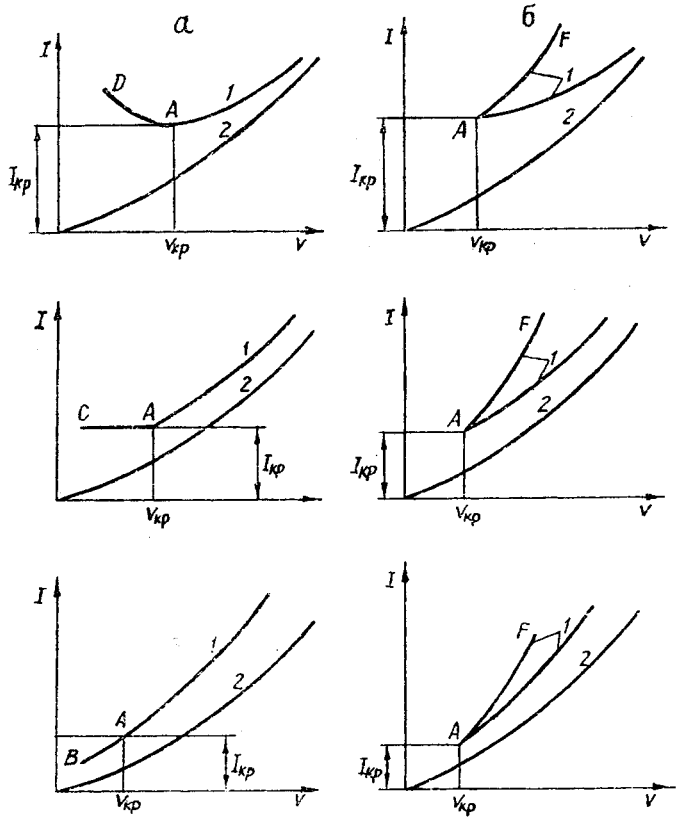


图 5－3－10　局部沉积管内水力坡降与流速的关系的几种可能的特性

1—矿浆；2—水

①假定 ΔI_v 和 ΔI_h 的绝对值相等，而作用相反，则从临界状态转为局部沉积状态时，不引起水力坡降的改变。换句话说，假如 $\Delta I_v = \Delta I_h$，则局部沉积状态的水力坡降与临界状态相等。关系式 $I_{ч.з} = f(v_{ч.з})$ 表现为直线 AC 的形式(图 5－3－10а)。

②假定($\Delta I_v > \Delta I_h$),则由于流速改变而引起的水力坡降的变化大于由于出现沉积层而引起的水力坡降的变化。因此,当从临界状态转为局部沉积状态时,水力坡降比临界状态时要低,而关系式 $I_{ч.з} = f(v_{ч.з})$可用曲线 AB 来表示(图 5 – 3 – 10а)。

③假如 $\Delta I_v < \Delta I_h$,则从临界状态转为局部沉积状态时,关系式 $I_{ч.з} = f(v_{ч.з})$可用曲线 AD 来表示(图 5 – 3 – 10а)。

这样一来,水力坡降与流速的关系特点,也就是由于流量的减少而形成局部沉积状态的曲线 $I_{ч.з} = f(v_{ч.з})$在很大程度上取决于无沉积状态的曲线 $I_Г = f(v)$的性质。因此,局部沉积管的关系式 $I_{ч.з} = f(v_{ч.з})$必须根据我们在大于临界流速时所得到的清水和矿浆流动曲线 $I_Г = f(v)$之间的相互关系来进行分析。

综上所述,从临界状态到局部沉积状态的转换,不仅在降低矿浆流量而保持其容重不变时可能发生,而且在增加矿浆容重(和临界状态相比)而保持其流量不变时,也可能发生。由于流量保持不变,则局部沉积管内的流速 $v_{ч.з}$ 将大于临界流速 $v_{кр}$,流速从临界流速增加某一数值 Δv,则使水力坡降增加一个数值 ΔI_v;与此同时,水力坡降又由于形成沉积层而增加一个数值 ΔI_h,显然,在这种情况下,流速改变一个数值 Δv,则使水力坡降改变了 $\Delta I_v + \Delta I_h$。

这样一来,由于矿浆容重的增加,从临界状态向局部沉积状态的转换,使水力坡降比临界状态时增加。这时,关系式 $I_{ч.з} = f(v_{ч.з})$将由曲线 AF 来确定(图 5 – 3 – 10б)。输送物质的粒径在很大程度上影响到这个曲线的性质。看来,物质粒径越大,则在同一种流速下,局部沉积管内和无沉积管内水头损失的差别越大。

图 5 – 3 – 10 所表示的各种可能的曲线 $I_{ч.з} = f(v_{ч.з})$的性质在很大程度上扩充了我们对局部沉积状态的概念,它将促进对这些状态建立比较可靠的计算方法。

第四章　砂 泵 站

第一节　离心式砂泵泵站

一、设备的选择与计算

(一)离心式砂泵

尾矿压力输送常用的离心式砂泵有 PNJ(衬胶泵)、PN(泥浆泵)、PH(灰渣泵)、PS(砂泵)等型砂泵,其特点简介如下:

PNJ 型——叶轮及泵壳内壁均衬胶,其使用寿命为一般铸铁件的 3 ~ 5 倍,甚至更长。出口可由竖向改为横向,便于布置。直接串联的使用经验较多,但一般厂矿不易自制衬胶备件。

PN 型——承磨件用耐磨铸铁制,使用寿命较一般铸铁件长 1 ~ 3 倍。但耐磨铸铁备品备件的供应不易得到保证,且一般厂矿不易加工。

PH 型——性能与 PN 型泵相同。

PS 型——构造较简单,便于维修。两侧均有进口,便于布置。不需水封水,只需少量冷却水。一般厂矿均可自制。

1. 砂泵的性能

(1)砂泵扬送清水时的性能曲线及安装尺寸

①PNJ 型衬胶砂泵的性能(图 5 – 4 – 1 及表 5 – 4 – 1)和安装尺寸(图 5 – 4 – 2 及表 5

－4－2）；

②PN、PNL 型泥浆泵及 PH 型灰渣泵的性能（图 5－4－3 及表 5－4－3）和安装尺寸（图 5－4－4 表 5－4－4）；

③PS 型砂泵的性能（图 5－4－5 及表 5－4－5）和安装尺寸（图 5－4－6 及表 5－4－6）；

④平桂型砂泵（表 5－4－7）。

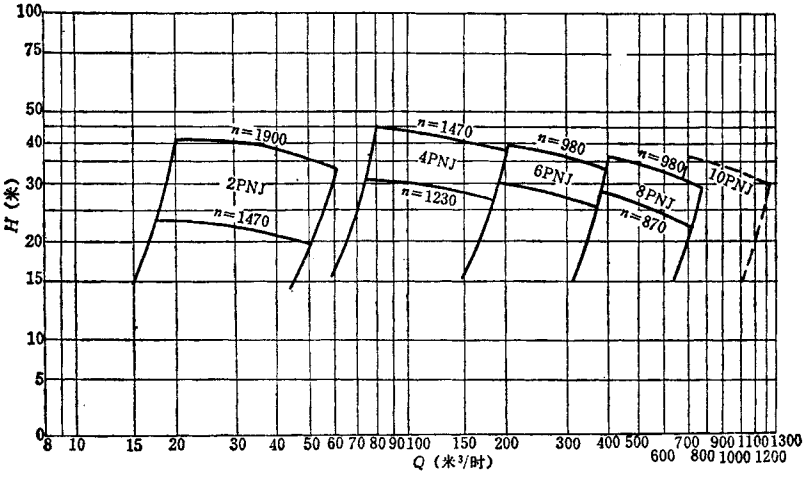


图 5－4－1　PNJ 型泵性能曲线

表 5－4－1　PNJ 型泵性能表

型号	流量		扬程	转速	功率（千瓦）		效率	叶轮直径	叶轮片数	泵重
	（米³/时）	（升/秒）	（米）	（转/分）	轴功率	配电机	（%）	（毫米）		（公斤）
2PNJ	27	7.5	40	1900	9	17	33	277	4	400
	40	11.1	38		10.3		40			
	50	13.9	36		11.1		44			
	27	7.5	22	1470	4.6	10	35			
	40	11.1	21		5.3		43			
	50	13.9	19		5.7		45			

型号	流量		扬程	转速	功率(千瓦)		效率	叶轮直径	叶轮	泵重
	(米³/时)	(升/秒)	(米)	(转/分)	轴功率	配电机	(%)	(毫米)	片数	(公斤)
4PNJ	95	26.6	43	1470	26	55	44	360	4	460
	130	36.2	41		28.5		50			
	160	44.5	40		30.5		56			
	80	22	30.5	1230	14.9	30	44			
	110	30.5	28.5		17		50			
	136	38	28		18		57			
6PNJ	250	69.5	38	980	45	75	58	490		1070
	300	83	37		50		60			
	350	97	35		53.5		62			
	400	111	33		60		60			
8PNJ	400	111	36	980	59	115	60	510	3	1900
	550	153	34		80		64			
	700	195	30		88		65			
	355	98.6	28.4	870	45.6	75	60			
	488	135.5	26.8		55.1		64			
	621	172.5	23.7		61.9		65			

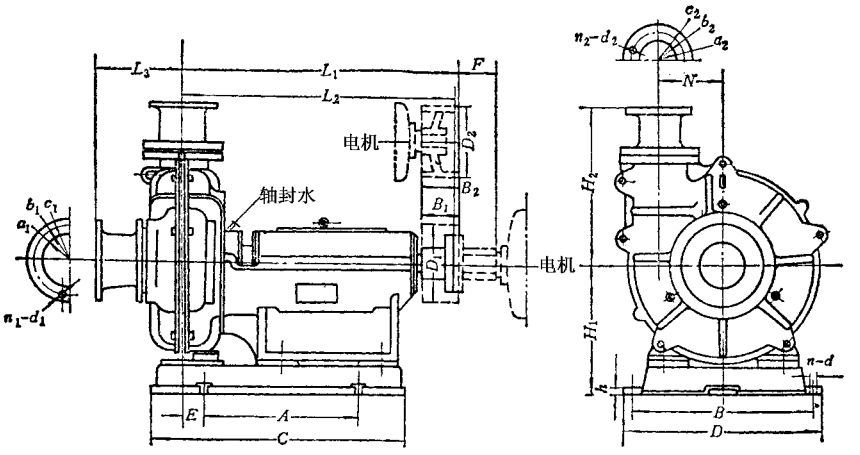


图 5－4－2　PNJ 型泵安装图

表 5－4－2　PNJ 型泵安装尺寸(毫米)

砂泵型号		2PNJ	4PNJ	6PNJ	8PNJ
电机功率(千瓦)		10,17	30,55	75	75,115,155
A		475	475	650	650
B		570	570	760	760
C		775	775	1060	1060
D		630	630	840	840
E		125	125	90	170
L_1		890	900	1185	1480
L_2		860	900	1140	1365
L_3		260	285	360	420
H_1		400	400	550	605
H_2		450	500	600	720
N		155	185	265	275
h		40	40	50	50
F		97,－	－,165	165	－,175,175
$n-d$		4－ϕ27	4－ϕ27	4－ϕ30	4－ϕ30
进口法兰	a_1	ϕ100	ϕ150	ϕ200	ϕ250
	b_1	ϕ180	ϕ240	ϕ295	ϕ350
	c_1	ϕ215	ϕ280	ϕ335	ϕ390
	n_1-d_1	4－ϕ18	8－ϕ18	8－ϕ23	12－ϕ23
出口法兰	a_2	ϕ50	ϕ100	ϕ150	ϕ200
	b_2	ϕ125	ϕ180	ϕ240	ϕ310
	c_2	ϕ160	ϕ215	ϕ280	ϕ360
	n_2-d_2	4－ϕ18	8－ϕ18	8－ϕ23	12－ϕ23
皮带轮	型号	C	C		D
	槽数	4	4		6
	$D_1 \times B_1$	ϕ267×112	ϕ368×112		ϕ487×385
	$D_2 \times B_2$	ϕ344×112	ϕ305×112		ϕ427×385

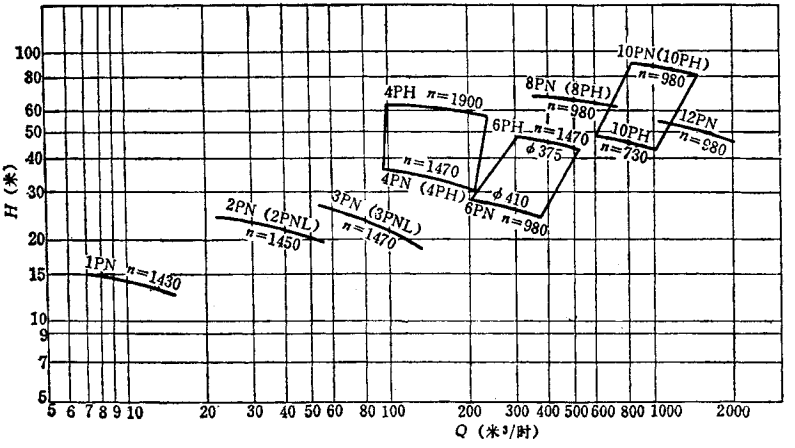


图 5－4－3　PN、PNL、PH **型泵性能曲线**

表 5－4－3　PN、PH **型泵性能表**

型号	流量		扬程	转速	功率(千瓦)		配带电机型号	效率	允许吸上真空高度	叶轮直径	叶轮片数	泵重
	(米³/时)	(升/秒)	(米)	(转/分)	轴功率	配电机		(%)	(米)	(毫米)		(公斤)
1PN	7.2	2	14	1430	1.3	3	$JO_2$32－4	21		204	5	120
	12	3.33	13		1.4			30				
	16	4.45	12		1.5			35				
2PN	30	8.3	22	1450	4.9	10	$JO_2$52－4	36.5		265	5	150
	47	13	20		5.7			44.5				
	58	16	18		6.3			45				
2PNL	30	8.3	22	1450	5.4	10	$JO_2$52－4(T_2)	33		265	5	
	47	13	19		6.2			39				
	58	16	17		6.8			39				
3PN(3PNL)	54	15	26	1470	12	22	$JO_2$71－4	32		300	5	450
	108	30	21		14.7		$JO_2$71－4(T_2)	42				
	151	42	15		16.7			37				
4PN(4PH)	100	28	41	1480	24	55 (40)	$JO_2$91－4	46	5.5	340	4	1000
	150	42	39		29			55				
	200	56	37		33			61				
4PH	140	39	62	1900	47	75		50	4.5	340	4	1000
	180	50	60		52			57				
	220	61	58		58			60				

型号	流量		扬程	转速	功率(千瓦)		配带电机型号	效率	允许吸上真空高度	叶轮直径	叶轮片数	泵重
	(米²/时)	(升/秒)	(米)	(转/分)	轴功率	配电机		(%)	(米)	(毫米)		(公斤)
6PN	230	64	27	980	30.4	75	$JO_2$94－6	56	5.5	410	4	1200
	280	78	26		33			60	5.3			
	320	90	25		35.5			62	4.2			
6PH	350	97	62	1480	107	135		55	5	420	4	1200
	400	111	60		112			58				
	450	125	58		120			59				
	550	153	54		132			60				
	330	92	48	1470	77	115		56	5.5	375	4	1200
	400	112	47		86			60	5.3			
	480	134	45		96			62	4.2			
8PN(8PH)	450	125	65	980	141	215 (185)	JS128－8	57	3.5	635	4	4000
	550	153	63		156			61				
	600	167	62		160			63				
10PN(10PH)	768	213	91.8	980	433	780 (550)	JSQ1512－6	44	5	750	4	4600
	1030	286	88		483			50.5				
	1290	358	85		500			63				
10PH	585	156	51	730	179	240		44	5	750	4	4600
	770	214	49		200			50.5				
	960	267	47.4		207			63				
12PN	1350	375	53	980	310	550	JSQ158－6	62.5	5	650	3	4500
	1600	444	50		334			65				

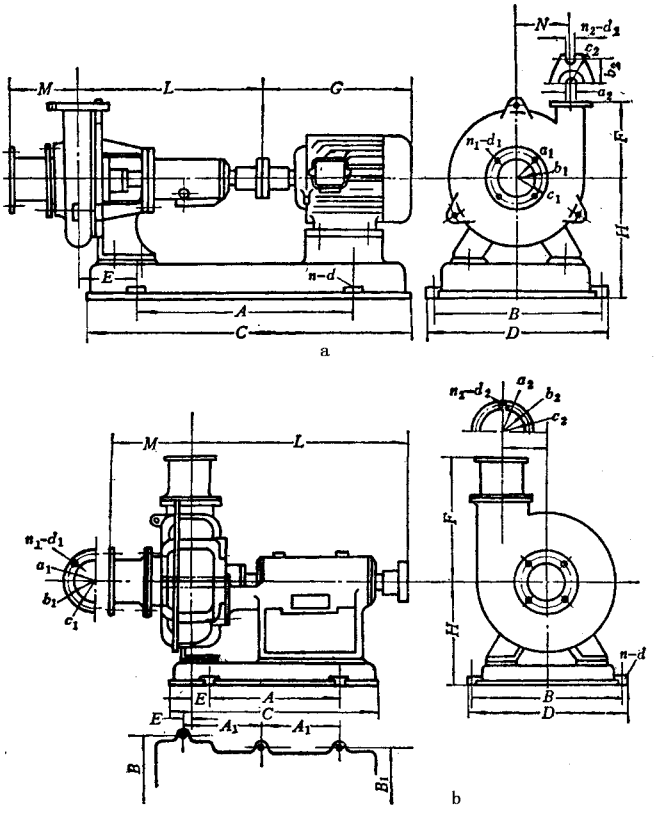


图 5－4－4　PN、PH 型泵外形图

a—1，2，3 英寸泵外形；2、3 英寸泵出口为圆法兰盘；

b—4 英寸以上泵外形；4、6 英寸泵是垂直侧开，

8 英寸以上是水平中开，12 英寸泵是水平出口

表 5－4－4　PN、PH 型泵安装尺寸(毫米)

型号	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*H*	*L*	*M*	*N*	*G*	A_1+A_1
1PN	530	400	770	460	130	160	235	425	165	115	415	—
2PN	630	405	930	465	175	205	283	475	175	162	575	—
3PN	850	530	1180	590	180	270	360	565	195	200	750	—
4PN(4PH)	650	760	1060	840	120	540	550	1140	340	195	—	—
6PN(6PH)	650	760	1060	840	125	700	550	1155	445	225	—	—
8PN(8PH)	—	1310	1715	1410	90	1100	810	1630	435	365	—	1260
10PN(10PH)	—	1310	1715	1410	90	1230	810	1620	500	375	—	1260
12PN	—	1410	1780	1510	65	980	810	1710	530	405	—	1310

型号	B_1	a_1	b_1	c_1	n_1	d_1	a_2	b_2	c_2	n_2	d_2	n	d
1PN	—	50	110	140	4	14	25	42.5	120	2	14	4	18
2PN	—	100	160	205	4	18	50	62.5	160	4	20	4	18
3PN	—	125	210	245	8	18	75	160	195	4	20	4	23
4PN(4PH)	—	150	240	280	8	23	100	180	215	8	18	4	30
6PN(6PH)	—	200	295	335	8	23	150	240	280	8	23	4	30
8PN(8PH)	1110	200	295	335	8	23	200	295	335	12	23	6	40
10PN(10PH)	1110	250	355	405	12	25	250	355	405	12	25	6	40
12PN	1110	300	410	460	12	25	300	410	460	12	25	6	40

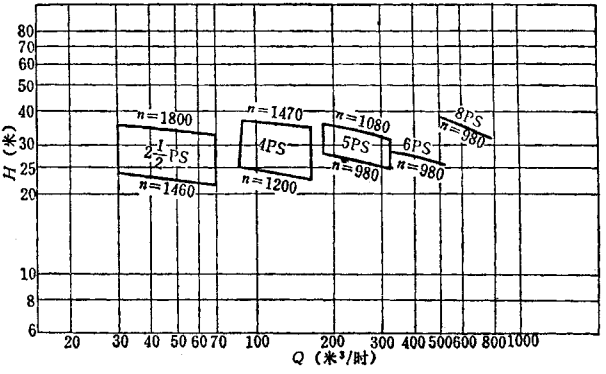


图 5－4－5　PS **型泵性能曲线**

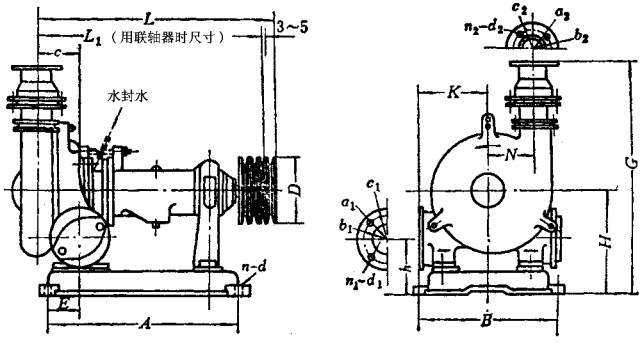


图 5－4－6　PS **型泵外形图**

表 5－4－5　PS 型泵性能表

型　号	流量（米³/时）	扬程（米）	转数（转/分）	功率(千瓦)		效率（%）	叶片数	泵重（公斤）
				轴功率	配电机			
2½PS	30	35	1800	10.6	22	27	7	310
	50	34.5		11.2		42		
	60	34		11.8		47		
	70	33		12.5		50		
2½PS	30	23.5	1460	6.4	13	30	7	310
	50	23		7		44.5		
	60	22		7.5		48		
	70	21		8		50		
4PS	90	37	1470	24.5	55	40	6	610
	120	36.5		24		50		
	140	36		25.6		54		
	160	35.5		27.3		57		
4PS	90	25	1200	14	30	44	6	610
	120	24		15		52		
	140	23		16.5		53		
	160	21		17		54		
5PS	180	29	980	28.4	55	50	7	980
	240	28		33.4		55		
	280	26.5		35		60		
	320	25		35		62		
5PS	180	36	1080	35.3	75	50	7	980
	240	35		41.8		55		
	280	33		42		60		
	320	31		44		62		
6PS	320	29	980	50.5	115	50	7	1460
	380	28.5		53		56		
	440	27		55		59		
	500	26		59		60		
8PS	500	39	980	102	215	52	7	2100
	650	37		110		60		
	750	33		112		60		

表 5－4－6　PS 型泵外形尺寸(毫米)

型号		2½PS	4PS	5PS	6PS	8PS
L		745	1150	1260	1455	
E		150	205	205	215	305
C		150	190	250	300	340
D		235	345	440	485	
A		675	760	760	850	980
B		470	690	690	730	930
G		785	925	1110	1300	1470
h		200	260	260	300	370
H		350	460	460	600	640
K		230	300	400	475	600
N		160	215	290	350	400
L_1		730	1155	1215	1380	1535
a_1		100	150	200	250	300
b_1		180	225	280	335	400
c_1		215	260	315	370	440
n_1		4	8	8	12	12
d_1		M16	M16	M16	M16	M20
a_2		65	100	125	150	200
b_2		130	170	210	225	280
c_2		160	205	245	260	315
n_2		4	4	8	8	8
d_2		14	18	18	18	18
n		4	4	4	4	4
d		23	27	27	27	30
三角皮带	型　号	B	C	D	D	
	根　数	5	4	5	8	

表 5－4－7　平柱型泵性能使用参数表

型号	流量(米³/时)	扬程(米)	转速(转/分)	电机功率(千瓦)	效率(%)	砂水浓度(%)	允许最大粒径(毫米)	砂泵重量(吨)
平柱‘50”	12～15	16	1450	7.5			6～8	0.6
平柱‘100”	80～130	8～35	800～1180	10～22		10	38	0.8
平柱‘125”	140～160	10～40	700～1000	17～40		10	60	1.0

型号	流量（米³/时）	扬程（米）	转速（转/分）	电机功率（千瓦）	效率（%）	砂水浓度（%）	允许最大粒径（毫米）	砂泵重量（吨）
平桂"150"	250～350	25～45	750～1080	40～100	45	10～20	75	2.0
平桂"200"	480～580	25～44	650～830	115～180	45～50	10～20	100	3.3

注：此型砂泵系平桂矿务局自制的，适用于输送含有大颗粒的物料，并且一般有6米左右的吸程（一般使用吸入高度不超过3.5米）。

(2)砂泵扬送矿浆时的计算扬程

离心式砂泵扬送矿浆时的扬量、扬程及效率均随矿浆浓度的变化而变化。由图5－4－7b可看出：当重量浓度 $P<20\%$ 时，扬程折减率随浓度的增加而减小；当 $P>20\%$ 时，扬程折减率又随浓度的增加而上升。再从图5－4－7a、c可看出：当泵转数 $n\geqslant 900$ 转/分，且重量浓度 $P<30\%$ 时，流量折减率均大于95%，也就是说流量降低很少。因此，当使用离心式砂泵扬送高浓度矿浆或泵转数较低时，其扬量、扬程及效率均应通过试验确定；而在一般情况下，扬送矿浆的扬量变化不予考虑，计算扬程可按公式(5－4－1)确定。

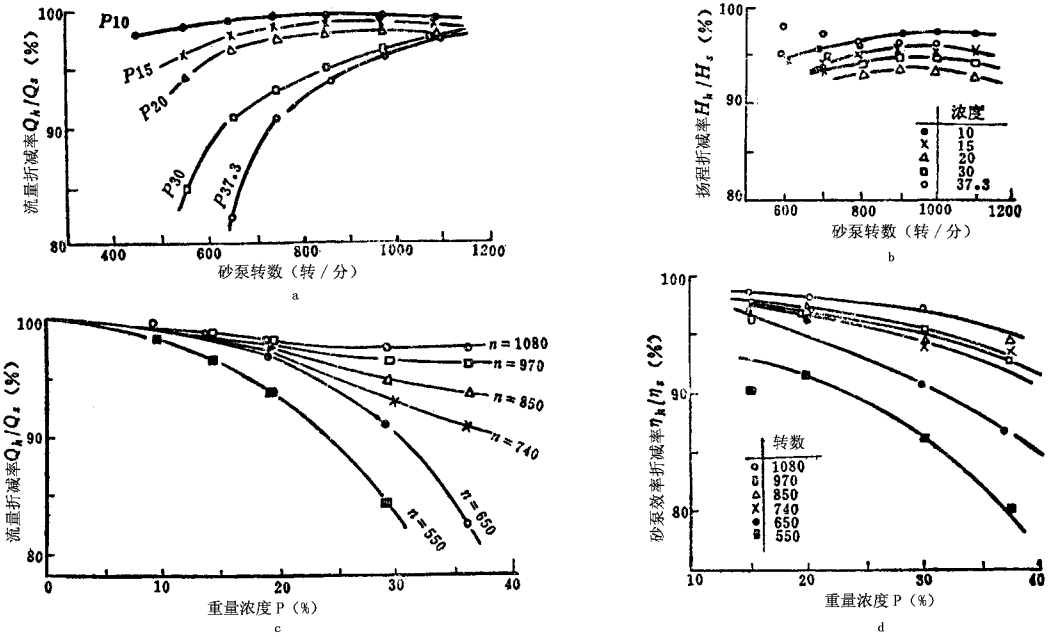


图5－4－7 "瓦曼"泵实验资料

a—流量折减率转数曲线；b—扬程折减率转数曲线；

c—流量折减率重量浓度曲线；d—效率折减率重量浓度曲线

试验条件：用10/8V/L4VM瓦曼泵扬送高炉水渣（$\gamma_g=2.65$，$d_{50}=0.47$ 毫米），管道为 $8\times 10''$ 长120米

$$H_k = H_s \gamma_k K_H k_M \tag{5-4-1}$$

式中　H_k——砂泵扬送矿浆时的计算扬程，米水柱；

H_s——砂泵扬送清水时的扬程，米水柱，由砂泵清水性能曲线或性能表查得；

γ_k——矿浆比重；

K_H——扬程降低率，可由图 5－4－8 或表 5－4－8 查得。也可按下式计算：

$$K_H = 1 - 0.25P$$

P——矿浆重量浓度；

k_M——叶轮磨损后扬程折减系数，在一般情况下，建议对于两侧封闭式的 8″ 以上的衬胶叶轮，k_M 取 0.95；其它叶轮 k_M 取 0.80～0.95。表 5－4－9 为现场报废叶轮磨损的实测数据，设计时应综合考虑输送物料特性、选用的泵型及技术经济条件适当选取。

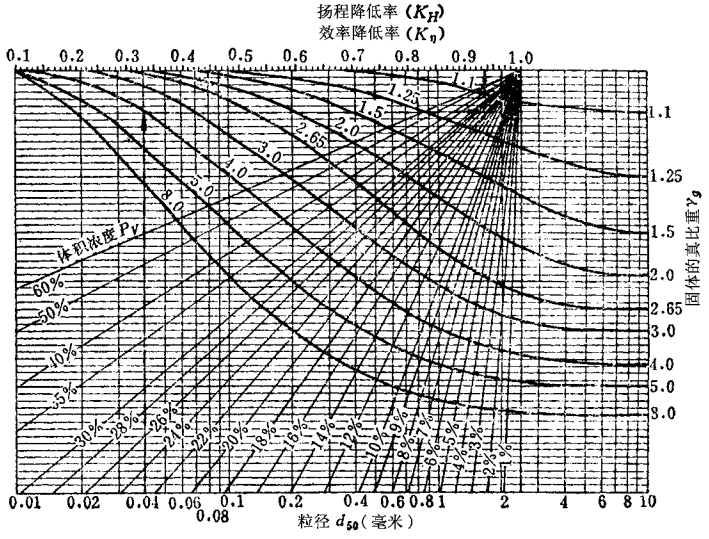


图 5－4－8　扬程降低率 K_H 及效率降低率 K_η 曲线图

表 5－4－8　扬程折减率 K_H 值表

γ_k	$K_H = (1 - 0.25P)$			
	$\gamma_g = 2.5$	$\gamma_g = 2.6$	$\gamma_g = 2.7$	$\gamma_g = 2.8$
1.05	0.98	0.98	0.98	0.98
1.10	0.96	0.96	0.96	0.96
1.15	0.95	0.95	0.95	0.95

γ_k	$K_H=(1-0.25P)$			
	$\gamma_g=2.5$	$\gamma_g=2.6$	$\gamma_g=2.7$	$\gamma_g=2.8$
1.20	0.93	0.93	0.93	0.94
1.25	0.92	0.92	0.92	0.92
1.30	0.90	0.91	0.91	0.91

表 5－4－9　砂泵叶轮磨损情况参考表

序号	厂矿名称	砂泵型号	转数（转/分）	叶轮直径（毫米）	径向单侧磨损量（毫米）	磨后直径 D_M / 新轮直径 D	$\left(\frac{D_M}{D}\right)^2$	一般使用天数	磨损情况	备注
1	鞍钢烧结总厂	4½″胶泵	1000	φ360	10～20	0.92	0.85	约 180		
2	闲林埠	6PH	1450	φ375	—	—	—	约 90	叶轮端部切线方向磨出局部沟槽及轮侧面磨损较重	叶轮材质为耐磨铸铁
3	铜官山	8″胶泵	975	φ510	3～4	0.98	0.97	约 120	磨损较均匀，侧面磨损轻微	
4	鞍钢烧结总厂	8″胶泵	970	φ510	3～4	0.98	0.97	约 240	同　上	
5	杨家杖子	8″铁泵	1100	φ520	约 40	0.85	0.72	约 30		
6	锦屏	8H3	730	φ620	10～15	0.95	0.90	30		
7	大吉山	8H3	730	φ620	20	0.94	0.87	20	磨损不均	
8	小凹塘	8H3	730	φ620	1～5（平均 3）	0.99	0.98	>90	局部有 50 毫米的拉沟	
9	大孤山	12P－7	585	φ1000	25～30	0.94	0.88	45～60		
10	南芬	12P－7	600	φ1000	20～120（平均 70）	0.86	0.74	20～25	磨损不均	
11	新冠	12P－7	730	φ1000	约 2	0.99	0.98	约 30	普遍不明显，但有局部拉沟	
12	歪头山	12PN	980	φ650	40	0.88	0.77	约 20	磨损不均	$P<10\%$；－200 目占 50%；$d_p=0.1$ 毫米

(3)砂泵性能的调节

现有砂泵的额定性能有时不能适应具体工程的需要，当相差不大时，可用下述方法

对砂泵的性能进行适当的调节。

①改变转速

改变转速后砂泵的性能变化按下列公式换算：

$$Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_1} \tag{5-4-2}$$

$$H_2 = H_1\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \tag{5-4-3}$$

$$N_2 = N_1\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \tag{5-4-4}$$

式中　Q_2、H_2、N_2、n_2——砂泵改变转速后的流量、扬程、轴功率及转速；

Q_1、H_1、N_1、n_1——砂泵的额定流量、扬程、轴功率及转速(由产品样本或性能曲线查得)。

砂泵转速的调节，一般应在产品样本给定的范围内进行，如需超出范围亦不宜过大以免效率降低过多或机器部件不能适应。

②切削叶轮(减小直径)

砂泵叶轮切削后的性能变化，可用离心式水泵的公式进行换算：

$$Q_2 = Q_1 \frac{D_2}{D_1} \tag{5-4-5}$$

$$H_2 = H_1\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \tag{5-4-6}$$

$$N_2 = N_1\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 \tag{5-4-7}$$

式中　Q_2、H_2、N_2、D_2——叶轮切削后的流量、扬程、轴功率及叶轮直径；

Q_1、H_1、N_1、D_1——叶轮切削前的流量、扬程、轴功率及叶轮直径(由产品样本或性能曲线查得)。

砂泵叶轮的切削量不应超过原直径的20%。

2. 砂泵的计算

(1)砂泵工作台数的确定

当砂浆量不大或有合适的设备时，应尽量选用一台砂泵扬送全部矿浆，当矿浆量较大又无合适的设备时，可选用几台同型号的砂泵并联工作。并联工作对于分期投产或生产有较大波动的选矿厂适应性较好。

并联砂泵的计算扬程可视为与单台砂泵相同。砂泵并联工作台数可按下式确定：

$$n = \frac{Q_b}{q_b} \tag{5-4-8}$$

式中　n——砂泵并联工作台数；

q_b——单台砂泵工作的扬量，米^3/时；

Q_b——砂泵站扬送的矿浆总量，米^3/时。Q_b 可按下式计算：

$$Q_b = KQ_k + q_s \tag{5-4-9}$$

K——流量波动系数，由选矿工艺提供或取 1.1～1.2，大型选厂或生产较稳定的浮选工艺流程取小值，否则取大值；

Q_k——选厂尾矿排出量，米^3/时，根据工艺流程图或生产系列的生产能力确定；

q_s——砂泵水封水量，米^3/时，可按砂泵扬送矿浆量的 1～2%（大型砂泵取小值，小型砂泵取大值）确定。当水封供水系统工程量较大时，建议参考同泵型的实测数据或实际供水情况设计。

(2)多段扬送所需砂泵段数的估算

已知扬送矿浆的几何高差和管道长度，即可按公式(5－4－10)初步估算所需砂泵段数。

$$n = \frac{H\gamma_k + 1.1Li_k}{H_k - x} \tag{5-4-10}$$

式中　n——估算的砂泵段数；

H——扬送矿浆的几何高差，米；

γ_k——矿浆比重；

L——矿浆管道总长度，米；

i_k——压力管道输送矿浆时的水力坡降，米水柱/米；

H_k——单段砂泵的计算扬程，米水柱，按公式(5－4－1)计算；

x——为泵站内部的水头损失、矿浆仓水头损失及剩余水头之和，米水柱。可根据泵站内的配置情况和泵站间的联接方式按表 5－4－10 选取。

表 5－4－10　x 值表(米水柱)

泵站联接方式	泵站内的砂泵段数	
	1	2
矿　浆　仓	6～9	3～5
直　接　串　联	2～4	—

注 对于室内管道配置复杂及矿浆仓高度大的泵站，x 取大值，反之取小值。

(3)每座砂泵站的复算

估算出砂泵段数后,即可基本确定砂泵站座数,并可根据地形条件初步定出泵站位置。为了最终确定泵站座数及位置,还应按下式对逐个泵站进行复算:

$$H_k \geqslant H\gamma_k + Li_k + h_j + h_n + h_y \qquad (5-4-11)$$

式中　H_k——砂泵扬送矿浆的计算扬程,米水柱。当泵站内有两台砂泵直接串联时,则 H_k 为两砂泵计算扬程之和。每台砂泵的计算扬程按公式(5-4-1)计算;

H——扬送矿浆的几何高差,米。其始端标高对于从浓缩池直接接受排矿的分砂泵站,可按浓缩池溢流水面下 2 米计,对于有矿浆仓的砂泵站,可按砂泵正常工作时矿浆仓内的最低液面计。终端标高按管道出口标高或管道最高隆起点标高计(取二者的最不利情况);

γ_k——矿浆比重;

L——管道长度,米;

i_k——压力管道输送矿浆时的水力坡降,米水柱/米;

h_j——管路的局部水头损失,米水柱。粗略计算可取为管道沿程损失(Li_k)的 10%;

h_n——泵站内部的水头损失,米水柱。粗略计算可根据砂泵及管路布置的繁简取 2~4 米。对于浓缩池下的分砂泵站,此项尚应包括浓缩池至砂泵入口间的局部损失;

h_y——剩余水头,米水柱。一般取 1~2 米;

详细计算 h_j 和 h_n 时,可按各管件的局部损失逐项累加而得。各管件的局部水头损失可按下式计算:

$$h_i = \xi \frac{v^2}{2g}\gamma_k \qquad (5-4-12)$$

式中　h_j——管件的水头损失,米水柱;

ξ——管件的局部阻力系数;

v——管内矿浆流速,米/秒;

γ_k——矿浆比重;

g——重力加速度,等于 9.81 米/秒^2。

[例 1]　某选厂排出的尾矿量 $Q = 0.088$ 米^3/秒,矿浆容重为 1.15 吨/米^3,尾矿比重 $\gamma_g = 2.76$,平均粒径 $d_p = 0.066$ 毫米,选厂距尾矿库约 8.5 公里,两地高差约 20 米。现

选用 6PNJ 型胶泵，经估算需四段扬送，拟建两座泵站，每座泵站内设两段砂泵直接串联，泵站之间间接串联。试确定泵站标高并进行复核计算。

解：假定尾矿出厂标高为 ±0.00 米，1 号泵站紧靠选厂，则各泵站标高确定及复算可列表进行（详见表 5－4－11）。

表 5－4－11　砂泵站定位计算表

序号	项　　目	单　　位	1 号泵站	2 号泵站
1	矿浆仓顶标高	米	±0.00	+10.00
2	矿浆仓正常工作最低液面标高 H_1	米	−2.00	+8.00
3	砂泵站地坪标高	米	−4.00	+6.00
4	输送管道终端出口标高 H_2	米	+10.00	+20.00
5	扬送矿浆的几何高差 $H = H_2 - H_1$	米	12.0	12.0
6	水封水量 q	升/秒	0.00176	0.00176
7	砂泵站扬送的矿浆总量 $1.1Q + q$	升/秒	0.0986	0.100
8	矿浆容重 γ_k	吨/米^3	1.144	1.14
9	输送管道长度 L	米	4280	4250
10	最大水力坡降 i_k	米水柱/米	0.0111	0.0111
11	沿程水头损失 Li_k	米水柱	47.5	47.2
12	局部水头损失 h_j	米水柱	4.75	4.72
13	泵站内部水头损失 h_n	米水柱	4	4
14	剩余水头 h_y	米水柱	2	2
15	泵站所需扬程 $H\gamma_k + Li_k + h_j + h_n + h_y$	米水柱	72.0	71.6
16	砂泵清水扬程 h_s	米	34	34
17	扬程折减率 K_H		0.98	0.98
18	叶轮磨损后扬程折减系数 k_M		0.95	0.95
19	砂泵计算扬程 $H_k = 2H_s\gamma_k K_H k_M$	米水柱	72.5 > 72.0	72.1 > 71.6
20	结论		位置合适	位置合适

3. 砂泵的备用

为保持砂泵站连续正常运转，应设备用砂泵。备用泵的数量应根据输送尾矿的粒度、硬度、矿浆浓度，砂泵的型号、台数，砂泵站的工作制度、布置情况以及检修条件等因

素决定，一般可按表 5－4－12 确定。

表 5－4－12　砂泵的备用数量

砂泵种类	砂泵规格	工作台(组)数	备用台(组)数
非衬胶砂泵	8″及 8″以下	1 2	1～2 2
	10″及 10″以上	1 2	2 2～3
衬胶砂泵	8″及 8″以下	1 2 3～4	1 1～2 2
	12P－7(叶轮不衬胶)	1 2	2 2

当矿浆管道转换后需冲洗时，备用泵的台(组)数还应满足冲洗的要求。

(二)电动机

砂泵驱动一般用异步电动机。当功率较大时，为了提高功率因数，也可采用同步电动机。

所需电动机的功率按公式(5－4－13)计算：

$$N = \frac{q_b \gamma_k H_s K_H K}{102 \eta_b \eta_j K_\eta} \qquad (5-4-13)$$

式中　N——所需电动机的功率，千瓦；

q_b——砂泵扬送矿浆量，升/秒；

H_s——砂泵的清水扬程，米水柱；由砂泵性能曲线查取；

K_H——砂泵扬送矿浆时的扬程折减率，由图 5－4－8 或表 5－4－8 查得；

γ_k——矿浆比重；

K——电动机的储备系数，一般取 1.1～1.2($N \leqslant 40$ 千瓦时取 $K = 1.2$，$N > 40$ 千瓦时取 $K = 1.1$)；

η_b——砂泵扬送清水时的效率；

η_j——机组的传动效率，联轴器传动取 1.0，三角皮带传动取 0.95～0.96，齿轮传动取 0.97～0.98；

K_η——输送矿浆时砂泵效率的折减率，(按图 5－4－8 确定)。

(三)三角皮带与带轮

1. 三角皮带型号选择

根据砂泵电动机的功率，按表 5－4－13 选择皮带型号。

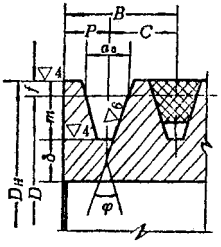
表 5－4－13　各型三角皮带适用的功率范围表

传动功率（千瓦）	0.4～0.75	0.75～2.2	2.2～3.7	3.7～7.5	7.5～20	20～40	40～75	75～150	150 以上
三角皮带型　号	O	O、A	O、A、B	A、B	B、C	C、D	D、E	E、F	F

2. 皮带轮节径的确定

(1)小皮带轮节径　按所选用的三角皮带型号，参照表 5－4－14 中给出的最小节径选定。

表 5－4－14　三角皮带轮轮槽尺寸(毫米)



槽型截面	型　号						
	O	A	B	C	D	E	F
m	10	12.5	16	21	28.5	34	43
f	2.5	3.5	5	6	8.5	10	12.5
c	12	16	20	26	37.5	44.5	58
p	8	10	12.5	17	24	29	38
a_0	8.5	11	14	19	27	32	42
δ	5.5	6	7.5	10	12	15	18
相应槽角 φ	三角皮带轮的最小节径 D_1						
34°	71	100	140	200	315	500	800
36°	90	125	180	250	400	710	1000
38°	112	160	224	315	500	800	1250
38°	≥140	≥180	≥280	≥400	≥630	≥1000	≥1600

小皮带轮节径选定后，应按公式(5－4－14)验算皮带速度。

$$v = \frac{\pi D_1 n_1}{60 \times 100} \qquad (5-4-14)$$

式中　v——皮带的线速度，米/秒；

D_1——小皮带轮的节径，毫米；

n_1——小皮带轮的转速，转/分。

皮带的线速度一般宜在 15～20 米/秒范围内，对于 O、A、B、C 型不得超过 25 米/秒，对于 D、E、F 型不得超过 30 米/秒。

(2)大皮带轮节径　按公式(5－4－15)确定。

$$D_2 = (1 - \varepsilon)\frac{n_1}{n_2}D_1 \qquad (5-4-15)$$

式中　D_2——大皮带轮节径，毫米；

ε——滑动系数，一般取 0.02；

n_2——大皮带轮转数，转/分；

D_1、n_1——同上。

两皮带轮的传动比($\frac{n_1}{n_2}$)应在 7 以内。求得大皮带轮的节径后，可将其调整为定型尺寸。

3. 皮带轮中心距与皮带长度计算

(1)初定中心距：皮带轮的中心距应符合公式(5－4－16)的要求。

$$A_{max} \geqslant A_c \geqslant A_{min} \qquad (5-4-16)$$

式中　A_{max}——皮带轮的允许最大中心距离，毫米；

A_c——皮带轮的初定中心距离，毫米；

A_{min}——皮带轮的允许最小中心距离，毫米。

$$A_{max} = 2(D_1 + D_2) \qquad (5-4-17)$$

$$A_{min} = 0.55(D_1 + D_2) + h \qquad (5-4-18)$$

式中　h——三角皮带的截面高度，毫米(见表 5－4－15)；

其余符号同前。

表 5－4－15　标准三角皮带型号及断面尺寸表

型号	截面尺寸及允许公差			截面积	尺寸	
	a(毫米)	h(毫米)	φ(度)	F(厘米²)	y_0(毫米)	a_0(毫米)
O	$10^{+0.5}_{-0.4}$	$6^{+1.0}_{-0.5}$		0.47	2.1	8.5
A	$13^{+0.7}_{-0.5}$	$8^{+1.0}_{-0.5}$		0.81	2.8	11
B	$17^{+0.9}_{-0.6}$	$10.5^{+1.0}_{-0.5}$		1.38	4.1	14
C	$22^{+0.9}_{-0.7}$	$13.5^{+1.0}_{-0.6}$	40±1	2.30	4.8	19
D	$32^{+1.0}_{-0.7}$	$19^{+1.5}_{-0.8}$		4.76	6.9	27
E	$38^{+1.1}_{-0.9}$	$23.5^{+1.5}_{-0.8}$		6.92	8.3	32
F	$50^{+1.2}_{-1.0}$	$30^{+1.5}_{-0.9}$		11.70	11.0	42

(2)根据初定的皮带轮中心距 A_c,按公式(5－4－19)求出皮带的初步计算长度。

$$L_c = 2A_c + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4A_c} \qquad (5-4-19)$$

式中　L_c——初步计算的皮带长度,毫米;

A_c——初定的皮带轮中心距,毫米;

其余符号同前。

(3)确定皮带长度,验算绕转数

根据求得的皮带初步计算长度,按表 5－4－16 选定与其相接近的标准皮带长度,并按公式(5－4－20)验算皮带的绕转数:

$$u = \frac{v}{L} \leqslant 20 \qquad (5-4-20)$$

式中　u——皮带的绕转数,转/秒;

v——皮带的线速度,毫米/秒;

L——选用皮带的计算长度,毫米。

验算结果如不符合上式时,则需增加皮带的长度。

表 5－4－16　三角皮带计算长度(毫米)

内周长度	计算长度 L						
	O	A	B	C	D	E	F
450	469						
500	519						
560	579	585			计算长度(通过截面重心)		
630	649	655	663		L = 内周长 + 修正系数 Y		
710	729	735	743				
800	819	825	833				
900	919	925	933				
1000	1019	1025	1033				
1120	1139	1145	1153				
1250	1269	1275	1283	1294			
1400	1419	1425	1433	1444			
1600	1619	1625	1633	1644			
1800	1819	1825	1833	1844			
2000	2019	2025	2033	2044			
2240	2259	2265	2273	2284			

内周长度	计算长度 L						
	O	A	B	C	D	E	F
2500	2519	2525	2533	2544			
2800		2825	2833	2844			
3150		3175	3183	3194	3210		
3550		3575	3583	3594	3610		
4000		4025	4033	4044	4060		
4500			4533	4544	4560	4574	
5000			5033	5044	5060	5074	
5600			5633	5644	5660	5674	
6300			6333	6344	6360	6374	6395
7100				7144	7160	7174	7195
8000				8044	8060	8074	8095
9000				9044	9060	9074	9095
10000					10060	10074	10095
11200					11260	11274	11295
12500						12574	12595
14000						14074	14095
16000						16074	16095
修正系数 Y	19	25	33	44	60	74	95

(4)求皮带轮的实际中心距

根据选定的标准皮带长度,按公式(5－4－21)**求出皮带轮的实际中心距** A(**图** 5－4－9)。

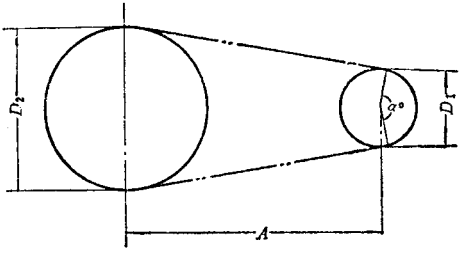


图 5－4－9　**皮带轮计算示意图**

$$A \approx A_c + \frac{L - L_c}{2} \qquad (5-4-21)$$

式中符号同上。

按公式(5－4－21)确定的皮带轮中心距离,应使小皮带轮的包角 α 满足公式(5－4－22)的要求。

$$\alpha = 180° - \frac{D_2 - D_1}{A} \times 60° \geqslant 120° \qquad (5-4-22)$$

式中符号同上。

如不符合上式时,需重新选择皮带长度,加大皮带轮的中心距。

此外电动机在滑座上的滑动范围应满足公式(5－4－23)及(5－4－24)的要求:

$$A_{max} \geqslant A + 0.03L \qquad (5-4-23)$$

$$A_{min} \geqslant A - 0.15L \qquad (5-4-24)$$

4. 三角皮带根数的确定

所需三角皮带的根数,按公式(5－4－25)计算:

$$z = \frac{N}{N_0 C_1 C_2} \qquad (5-4-25)$$

式中　z——三角皮带根数;

N——砂泵电动机的功率,千瓦;

N_0——每根三角皮带所能传动的功率数,千瓦/根,按表 5－4－17 采取;

C_1——小皮带轮的包角影响系数,按表 5－4－18 采取;

C_2——皮带轮工作情况系数,按 5－4－19 采取。

表 5－4－17　在包角 $\alpha = 180°$、平稳工作情况下单根三角皮带所传递的功率 N_0(千瓦)

型号	小皮带轮直径(节径) D_1(毫米)	皮带速度(米/秒)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
O	71	0.08	0.15	0.21	0.27	0.33	0.40	0.47	0.54	0.60	0.66	0.73	0.79	0.85	0.91	0.96
	≥90	0.10	0.19	0.26	0.34	0.42	0.50	0.58	0.66	0.74	0.82	0.88	0.95	1.02	1.08	1.14
A	100	0.15	0.28	0.41	0.54	0.66	0.78	0.89	0.99	1.10	1.18	1.26	1.33	1.40	1.45	1.51
	≥125	0.20	0.36	0.52	0.67	0.81	0.95	1.11	1.24	1.36	1.47	1.56	1.65	1.73	1.80	1.87
B	140		0.48	0.70	0.91	1.12	1.31	1.50	1.69	1.88	2.06	2.24	2.43	2.57	2.69	2.80
	≥180		0.58	0.83	1.08	1.32	1.54	1.75	1.97	2.19	2.41	2.59	2.97	2.94	3.11	3.28

型号	小皮带轮直径（节径）D_1（毫米）	皮带速度（米/秒）														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C	200		0.88	1.25	1.62	1.98	2.30	2.62	2.94	3.27	3.60	3.88	4.16	4.40	4.61	4.80
	250		1.18	1.59	2.00	2.41	2.82	3.24	3.64	4.05	4.45	4.86	5.26	5.63	5.89	6.14
	≥280		1.29	1.75	2.22	2.67	3.12	3.58	4.04	4.50	4.95	5.40	5.80	6.16	6.48	6.77
D	315					3.98	4.58	5.18	5.78	6.40	7.00	7.55	8.00	8.45	8.90	9.20
	400					5.07	5.89	6.70	7.50	8.30	9.10	9.85	10.5	11.1	11.7	12.3
	≥450					5.45	6.35	7.25	8.15	9.05	9.95	10.7	11.4	12.1	12.7	13.3
E	500					6.25	7.45	8.62	9.80	10.9	11.9	12.8	13.6	14.4	15.0	15.6
	≥710					8.45	9.85	11.3	12.7	14.1	15.5	16.6	17.5	18.5	19.5	20.5
F	800					10.0	11.8	13.6	15.4	17.2	19.0	20.8	22.4	23.8	25.2	26.4
	≥1000					12.1	14.4	16.7	19.0	21.3	23.6	25.7	27.7	29.6	31.0	32.4

型号	小皮带轮直径（节径）D_1（毫米）	皮带速度（米/秒）														
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
O	71	1.02	1.07	1.10	1.14	1.18	1.21	1.18	1.15	1.12	1.09					
	≥90	1.20	1.26	1.31	1,36	1.40	1.43	1.46	1.43	1.40	1.38					
A	100	1.55	1.57	1.59	1.62	1.64	1.65	1.65	1.62	1.59	1.56					
	≥125	1.95	2.03	2.10	2.16	2.21	2.25	2.28	2.25	2.23	2.21					
B	140	2.90	2.98	3.05	3.10	3.10	3.10	3.05	2.95	2.85	2.75					
	≥180	3.44	3.58	3.72	3.83	3.94	4.03	4.08	4.04	4.01	3.98					
C	200	4.98	5.15	5.30	5.40	5.52	5.52	5.50	5.45	5.35	5.15					
	250	6.36	6.56	6.74	6.88	7.00	7.10	7.10	7.05	7.00	6.95					
	≥280	7.04	7.22	7.41	7.56	7.72	7.88	8.00	7.95	7.92	7.88					
D	315	9.50	9.75	9.90	9.95	9.95	9.82	9.70	9.50	9.30	9.10					
	400	12.8	13.3	13.7	14.1	14.4	14.6	14.7	14.7	14.6	14.3	14.0	13.7	13.4	13.1	12.8
	≥450	13.8	14.4	14.7	15.1	15.4	15.7	15.8	15.9	15.9	15.8	15.6	15.3	15.0	14.7	14.3
E	500	16.1	16.6	17.0	17.3	17.6	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7				
	≥710	21.4	22.3	23.2	24.0	24.8	25.3	25.6	25.9	26.2	26.5	26.8	27.0	27.0	27.0	27.0
F	800	27.6	28.8	29.4	30.2	31.0	31.8	32.5	33.1	33.1	33.8	34.1	34.4	34.5	34.6	34.6
	≥1000	33.7	35.6	36.2	37.3	38.3	39.3	40.2	41.1	41.9	42.6	43.0	44.3	44.3	44.5	44.5

表 5－4－18　包角影响系数 C_1 表

包角 $\alpha°$	180	170	160	150	140	130	120
C_1	1	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.82

表 5－4－19　皮带轮工作情况系数 C_2 表

砂泵类型		电动机型式					
载荷性质	砂泵类型	交流鼠笼型异步电动机			交流绕线式异步电动机，交流同步电动机		
		一班制	二班制	三班制	一班制	二班制	三班制
起动载荷在正常载荷的125%以下，工作载荷有轻微的震动	一般离心式砂泵	1.0	0.9	0.8	0.9	0.8	0.7
起动载荷在正常载荷的150%以下，工作载荷有中等的震动	带有较重飞轮的活塞式砂泵	0.9	0.8	0.7	0.8	0.7	0.6
起动载荷在正常载荷的200%以下，工作载荷有剧烈的震动	带有较轻飞轮的活塞式砂泵	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.5

(四)起重设备

砂泵站的起重设备，一般可参照表 5－4－20 所示的标准设置。

表 5－4－20　砂泵站起重设备的设置标准

砂泵或电动机的整体重量（吨）	起重设备型式	
	地下式砂泵站	地上式砂泵站
<0.5	手动固定单轨起重机	三角架
0.5～1.5	手动桥式起重机	手动固定单轨起重机
1.5～4.0	手动或电动桥式起重机	手动桥式起重机
>4.0	电动桥式起重机	手动或电动桥式起重机

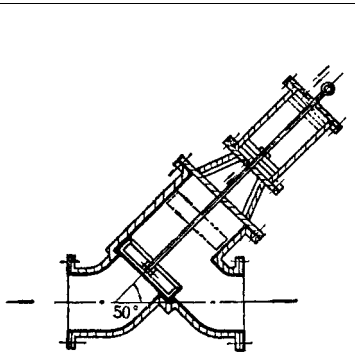
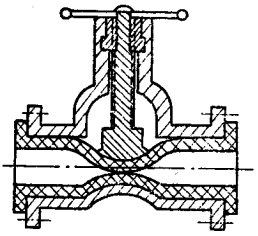
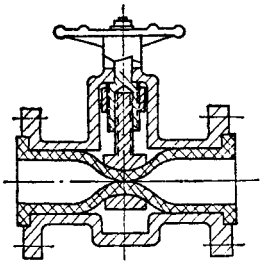
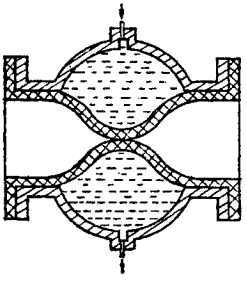
注：(1)起重设备的设置标准除与设备重量有关外，尚与砂泵的耐磨性能、输送物料的特性、机组布置方式、管路布置的繁简及闸阀的数量等多种因素有关，当上述诸因素多处于不利条件时，建议按高一级采用；

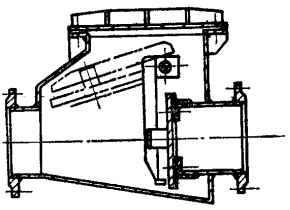
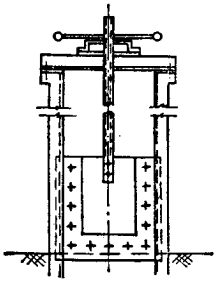
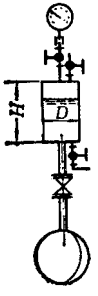
(2)当泵站内工作泵台数在三台或三台以上时，建议也按高一级采用。

(五)矿浆输送使用的闸阀及仪表

矿浆输送使用的零件设备，目前尚无完整的系列产品。表 5－4－21 列出部分适于矿浆输送的闸阀及仪表以供参考。

表 5－4－21　适于矿浆输送的部分闸阀及仪表

名称	示意图	规格	特点	设计单位	使用单位	注
液压矿浆阀		D = 250～500 毫米	1. 橡胶衬里及塞头，耐磨，使用寿命长； 2. 液压（水）启闭，操作省力； 3. 水头损失较大； 4. 不适于流量调节； 5. 工作压力≤8 公斤/厘米^2； 6. 所需液体压力应大于矿浆压力 3～5 公斤/厘米^2	大孤山矿、沈阳和平橡胶厂、鞍山矿山设计院等	水厂、大孤山、歪头山	鞍矿院图号：7 备 278（D250）、7 备 266、AB－22－2（D450）、7 备 268（D500）
单向手动胶管阀		目前生产有 D25、50、80 毫米	1. 适于调节流量用，耐磨损； 2. 流态好，水头损失小； 3. 构造简单； 4. 工作压力＜10 公斤/厘米^2	铁岭橡胶研究所、西丰县阀门厂	石油化工厂等	—
双向手动胶管阀						
双向液（气）控胶管阀		目前 D500 毫米试制成功	1. 构造更简单； 2. 调节流量靠电流大小估计，不够精确	铁岭橡胶研究所	本钢南芬选厂	—

名称	示意图	规格	特点	设计单位	使用单位	注
矿浆用逆止阀		D300 ~ 600 毫米等	1. 密封圈一般采用橡胶板，延长了使用寿命； 2. 逆止阀可设计成自动的或手动的； 3. 根据可能承受的压力，可设计成铸铁、铸钢或用钢板焊制	北京有色冶金设计院、鞍山矿山院，大石河矿等	云锡、大石河、大孤山、锦屏、歪头山	—
闸板		—	1. 设有胶板止水，效果较好； 2. 根据闸板尺寸的大小和承受的压力，提升机构可设计成手动丝杠、手动带轴承座的丝杠、液压或电动等传动方式	—	烧结总厂，歪头山，云锡、渡口	用于矿浆仓配矿槽
气垫式压力计		D = 100 毫米； H—可随压力的大小设计相应的尺寸 P（公斤/厘米²）：H（毫米） 2.0：200 3.0：300 4.0：400 5.0：500 6.0：600	1. 压力计与矿浆间有空气隔离，可防止堵塞； 2. 需要加强管理，并确保各截门的密闭性； 3. 压力较大时也可改为上部充油的油隔离式	北京有色冶金设计院等	武功试验中曾使用	—
电磁流量计	LD 型	产品规格： D25 ~ 700 毫米	1. 适用于各种含有固体悬浮物液体； 2. 如用于含铁的尾矿浆，需另加磁补偿措施，应特殊订货	制造厂家： 上海光华仪表厂、天津东方红仪表厂、开封仪表厂等	—	—

（六）水封水泵

现有砂泵除 PS 型泵外，均需供给水封用水。

水封水所需压力通常较高，泵站供水系统的水压如不能满足要求时，应设水封水泵增压。

所需水封水泵的扬程按公式(5－4－26)确定：

$$H_f = H_s\gamma_k + H_c + h_g + h_j \qquad (5-4-26)$$

式中　H_f——水封水泵的扬程，米水柱；

H_s——砂泵的清水扬程，米水柱；

γ_k——矿浆比重；

H_c——水封水超压值，一般取为≥2 公斤/厘米^2，即≥20 米水柱；

h_g——水封供水管的沿程水头损失，米水柱；

h_j——水封供水管的局部水头损失，米水柱。

水封用水量因砂泵结构，供水压力及检修质量的不同而异，即或是同类型的泵，用量也相差甚大。一般计算或选用水泵时，可按砂泵扬送矿浆量的 1～2%(大型砂泵取小值，小型砂泵取大值)确定；如有条件，最好参考同类砂泵的实际供水情况和实测数据进行设计。

水封水泵一般应设备用泵。

(七)水锤的安全保护装置

对于间接串联的泵站，突然停泵时会发生水锤现象，当砂泵扬程不高时，一般可不设逆止阀，或设带有旁通管的逆止阀(旁通管直径为逆止阀公称直径的 20～25%)，以使矿浆倒回矿仓。对于远距离直接串联的砂泵站，在停泵和泵站间非正常操作时都可能产生水锤，为保护设备和管道，除设置必要的逆止阀外，还应同时考虑设置下列防止水锤破坏的安全保护装置。

1. 安全切断销式短管(图 5－4－10)

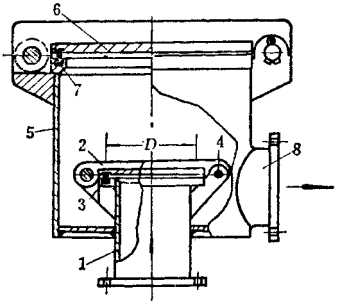


图 5－4－10　安全切断销式短管

1—短管；2—快速开启的堵板；3—密封胶圈；4—安全切断销；5—护筒；6—检查维护用护盖；7—密封胶圈；8—逸出口

短管端部以快速开启式堵板封闭，堵板一端柱以适当材质的销子，当管内压力超过一定数值时，销子被切断，堵板开启矿浆逸出。销子直径可按公式(5－4－27)确定：

$$d_s = \frac{D}{2} \cdot \sqrt{\frac{P}{[\tau]}} \qquad (5-4-27)$$

式中　d_s——安全切断销的直径，厘米；

D——堵板密封胶圈的直径，厘米；

$[\tau]$——销子材料的允许剪应力，公斤/厘米^2；

P——管道内的允许压力，公斤/厘米^2。

2．安全爆破式短管

以材质性能稳定的爆破片(如铝板等)代替图 5－4－10 中快速开启的堵板，当管内压力超过一定数值时，爆破片破坏矿浆逸出。爆破片的厚度应通过试验确定。

3．气—水罐装置

在水力输送系统上安装气—水罐与安全切断销式短管或安全爆破式短管配合使用，可以减少安全短管的作用次数和降低水锤力。图 5－4－11 为一种可自动补充空气的气—水罐的示意图。

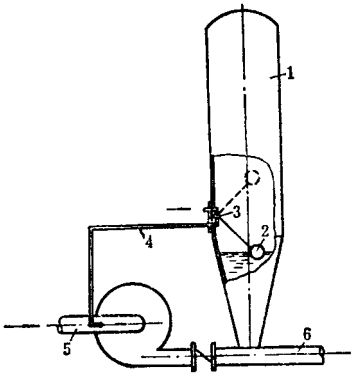


图 5－4－11　自动充气的气—水罐示意图

1—罐体；2—浮球；3—塞形阀；4—联通管；

5—砂泵吸入管；6—砂泵压出管

罐的结构尺寸，需满足下式要求：

$$h_s = \frac{15a}{nm} \qquad (5-4-28)$$

式中　h_s——液体在罐内升高的水位，米；

a——水锤波在罐内的传播速度，米/秒；

n——砂泵每分钟转数；

m——砂泵泵轮的叶片数。

二、砂泵站的配置

(一)泵站位置的选择原则

在选择砂泵站位置时,一般应综合考虑下列原则：

(1)避免做成地下式,且土石方工程少；

(2)交通运输方便；

(3)避开滑坡、断层及回填土等不良工程地质地段；

(4)避开积雨洼地,洪水淹没区及山洪可能冲刷的地段；

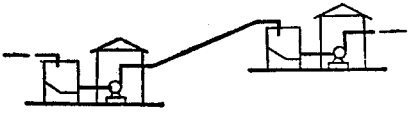
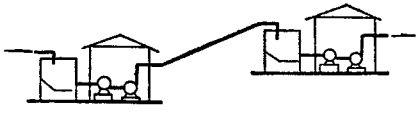
(5)泵站及外部管道的矿浆能自流至事故池。

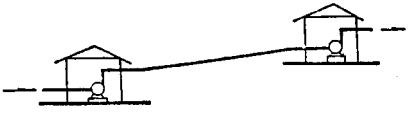
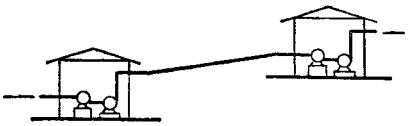
(二)砂泵站的连接方式

多段砂泵接力扬送尾矿,可采用间接串连(经矿浆仓)、近距离直接串连(在同一泵站内)、远距离直接串连(不经矿浆仓)以及这些方式的混合连接方式。

表 5－4－22 列出几种砂泵的基本连接方式及其特点。

表 5－4－22　砂泵站的联接方式

联接方式	图　　示	优　　点	缺　　点	使用厂矿
间接串联		1. 管理简单； 2. 发生事故的可能性少,易发现问题,便于处理事故	1. 多消耗爬矿浆仓的一段水头,砂泵扬程不能充分利用； 2. 多了矿仓有关工程,占地面积也相应的大些	较普遍
		1. 减少了泵站座数,减少了操作管理人员； 2. 便于维护、管理,检修； 3. 能充分地利用砂泵扬程	1. 检修需及时,备用率相对降低； 2. 由于扬程增高,需相应地提高水封压力	鞍钢烧结总厂、东鞍山、弓长岭、大石河、凹山(以上为 8″胶泵)杨家杖子(8″铁泵)、凤凰山(进口 8″胶泵)、狮子山、乌龙泉(4½″胶泵)等

联接方式	图　　示	优　　点	缺　　点	使用厂矿
直接串联		1. 省掉了爬矿仓的水头损失，充分利用砂泵扬程； 2. 省掉了矿仓的有关工程及操作	1. 目前矿浆输送系统的安全措施尚不完善，所以发生事故的可能性多； 2. 操作管理要求严格	杨家杖子（№2 泵站）、大孤山（№2 泵站，12P－7）、水厂（№2 泵站，12P－7 不衬陕）、锦屏（№2、3 泵站、8H3）、凡口（№2 泵站、8″胶泵）、上海航道局№2 接力泵站（自制 42－69 型泥泵）等
		同　　上	同　　上	乌龙泉（№2 泵站，4½″胶泵）、象山（6PH），杨家杖子（新设计的№2 泵站）等

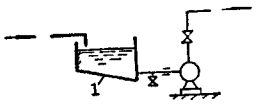
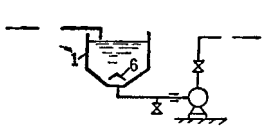
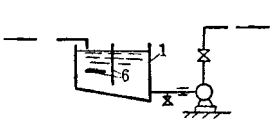
设计中应根据地形条件和输送系统的配置情况（全压力流或压力流和自流相结合），砂泵段数多寡、砂泵的机械性能以及砂泵扬程的富裕程度综合考虑确定砂泵的连接方式。

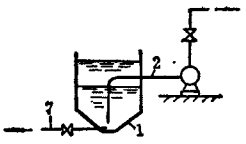
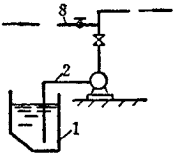
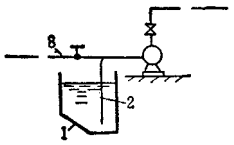
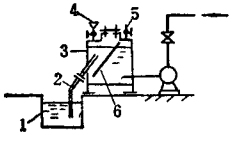
（三）泵站配置

1. 矿浆仓

矿浆仓向砂泵的给矿可布置成压入式、半压入式和吸入式，其特点及适用条件见表 5－4－23。从方便操作管理出发，一般多布置成压入式。

表 5－4－23　矿浆仓配置形式比较表

型式	特点	图　　示	优缺点	适用条件	使用厂矿
压入式	排排□斜底		结构简单	一　　般	较普遍
	底排□锥底		1. 可减少或避免仓内的塌矿现象； 2. 矿仓位置较高	容积较大时	歪头山 2 号砂泵站
	侧排加挡板		可防止汽泡直接进入砂泵	有泡沫的矿浆	

型式	特点	图　示	优缺点	适用条件	使用厂矿
半压入式			1. 部分利用了砂泵的吸程，砂泵站的标高可提高一些； 2. 管理稍复杂； 3. 底部应考虑排空矿仓的措施	1. 砂泵有吸程； 2. 由于地形条件限制，降低泵站标高不便于排水或不经济时	歪头山 1 号砂泵站，水厂 1 号砂泵站
吸入式	倒灌启动		1. 配置简单； 2. 开泵时靠倒回压出管内的积水而启动，需操作熟练； 3. 可提高泵站的标高	同上，且压出管具备倒矿（倒水）条件者	古山、大屯、小凹塘、卡房
	注水启动		1. 配置比较简单； 2. 开泵时靠灌水启动，需操作熟练； 3. 可提高泵站的标高	1. 同半压入式； 2. 灌水管压力≥2.0 公斤/厘米^2；灌水量≥砂泵最大出水量 15% 灌水管管径（毫米） 吸浆管 D：80　100　150　200　250 灌水管 d：50　65　80　80　100	
	吸上箱注水启动		开泵时靠吸上箱内的储水倒灌启动，配置较复杂	吸上箱容积计算： $V=(1.3\sim1.5)V_1$ $V_1=\dfrac{10.33V_2}{10.33-(H_s\gamma_K+h_f)}$ 式中　H_s—吸上高度，米； γ_k—矿浆比重； h_f—吸上管全损失，米； V_2—箱及吸上管中的残存空气量，米^3	

注：表中图内编号：1—矿浆池；2—吸上管；3—吸上箱；4—灌水漏斗；5—排气阀；6—挡板；7—排空管；8—灌水管。

根据气候条件和矿浆仓上操作的频繁程度，矿浆仓可设于室内或室外。

(1)矿浆仓的构造与尺寸

①矿浆仓一般分成几格（与砂泵台、组数相对应），个别厂矿为了减少倒泵时换矿浆仓的麻烦，使几台泵共用一个矿浆仓，经多年使用也是可行的，如大孤山 1 号砂泵站（图 5－4－15）。

②矿浆仓每格的有效容积按砂泵扬量的 1～3 分钟计算(对于矿浆来量较稳定的浮选厂可取小值,反之取大值)。

③矿浆仓仓底应做成一定的坡度坡向排矿口,坡角大小视尾矿特性、矿浆仓配置情况合理地确定,一般可取 1∶1～1∶4。

④矿浆仓应有溢流口,其各部尺寸按可能的最大矿浆溢流量计算确定。

⑤矿浆仓最高溢流水面以上的超高应不小于 0.2 米。

⑥砂泵吸入管穿越矿浆仓池壁处应设柔性防水套管。

(2)矿浆仓设计的其它要求

①矿浆仓来矿处应根据具体情况考虑设置格栅。

②矿浆仓应设有便于上下的阶梯、必要的行走平台及安全栏杆。仓内亦应设爬梯。

③矿浆仓应设置水位指示装置,其指示标尺应设于站内便于观察的部位。

④矿浆仓的每格应装设给水支管(供给冲洗水或调节水用),其闸门的启闭,必要时可由仓内液面指示装置联锁控制。

⑤矿浆仓上应设矿浆分配槽(管),以便向任一格给矿。分配槽的设置应避免死水段过长,激流涌高,矿浆四溅。分配槽(管)的闸板或塞阀应操作灵便,关闭严密。

⑥矿浆或补加水流入仓内的落点应远离矿仓排矿口,防止空气进入砂泵。

⑦室外矿浆仓上的管道、闸门以及矿浆分配槽必要时应采取保温措施,防止冻结。

对于寒冷地区多格数矿浆仓的配矿槽,也可设计成两侧同时流矿的环形流槽(齐大山联合泵站),以防止死水段冻结。

2. 管道

(1)设计要求

①管道及闸阀的布置应力求在砂泵、管线或闸阀发生故障时,不影响尾矿输送系统的正常工作。

②管道布置应力求简单,减少闸门、转角数量,并尽量避免死角管段。

③管道及闸门的布置应考虑操作及检修的方便。当管道有碍通行时,应设跨越走台。对于多台砂泵的泵站,宜将吸入管和压出管都布置在泵站的一侧。

当闸门的手轮高出地面较高时,应考虑设置操作平台。

④管道一般应采用明设钢管,管壁与地面、墙壁间的最小净距应不小于 0.4 米,同时不得在电气设备上方通过。

⑤管道的最低点处应设有放空管,最高点处应设有排气装置 ;排出的矿浆应引入泵站内的排矿地沟。

⑥直径 400 毫米以上的闸门宜采用液压或电动阀门。

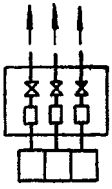
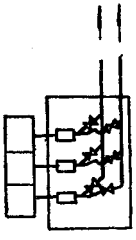
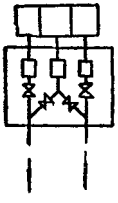
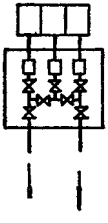
⑦在管道的适当地点(转角、闸门下)设置必要的支撑,避免其重量直接压到设备上。

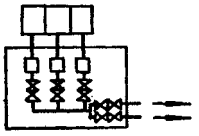
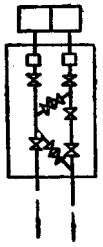
(2)布置形式

应主要根据砂泵台数、输送管道根数和长短、对闸门的磨损程度、管路的冲洗要求等因素考虑管道的布置形式。

表 5 – 4 – 24 所列为管道布置的几种主要形式及特点。设计中也可参照进行综合布置。

表 5 – 4 – 24　管路布置的几种主要形式

布置型式	图　示	优　点	缺　点	适用条件	使用厂矿
单打一		1. 布置简单,闸门与管件最少; 2. 操作与检修方便,水力条件好; 3. 所需泵站建筑面积小	1. 当砂泵台数多、输送距离远时,基建投资高; 2. 换泵即需转换管道,相应地增加了冲洗用水量及事故放矿次数	1. 砂泵台数少,最适于两台泵,两条管的情况; 2. 输送距离短	古山、五龙、桃林,杨家杖子等
Y 型		换泵可不换管	1. 闸门较多; 2. 管道有立体交叉	多台砂泵或并联砂泵接两条输送管道者	烧结总厂、齐大山、歪头山等
M 型		1. 管道布置较简单,闸门数量较少; 2. 操作管理比较简单; 3. 水力条件较好	两侧砂泵不能互为备用,备用率较其它型式为低	三台砂泵接两条输送管道	新冠选厂
H 型		1. 管道布置紧凑,所需建筑面积较“M”型小; 2. 砂泵的备用率较‘M’型布置高	1. 闸门较多; 2. 水力条件不好	同‘M’型,但闸门磨损较轻的场合	锦屏、弓长岭等

布置型式	图　示	优　点	缺　点	适 用 条 件	使用厂矿
集中分配管型		1. 管路布置较规则、简单，双排闸门的一排可用逆止阀代替； 2. 可做到换泵不换管	1. 集中管段部分或靠近集中管的闸门拆换时，砂泵站需停止运转； 2. 不能用砂泵扬水冲洗转换的管道； 3. 砂泵工作台数多时，需大口径闸门	1. 多台砂泵并联； 2. 管道不需冲洗，或冲洗水可不经砂泵扬送而直接冲洗的单段运行的砂泵站	水厂、南芬2、3号泵站
K型		1. 可做到少倒换管道； 2. 水力条件较好	1. 管路布置不规则占地面积大； 2. 闸门多，事故的机会也多	砂泵台数少（不多于3台）	大孤山、凡口等

3. 泵站尺寸

(1)平面尺寸

①砂泵机组间的通道宽度

A. 有起重设备且有集中检修场地的砂泵站：低压电动机机组之间一般不小于1.2米；高压电动机机组之间，不小于1.5米；

B. 无起重设备或有起重设备而无集中检修场地的砂泵站，应大于砂泵机组宽度1.5米。

②机组伸出基础以外的部分，其间的通道宽度一般不小于1.2米，伸出部分与墙壁之间的宽度不小于0.7米。

③低压配电盘前的通道宽度不小于1.5米；高压配电盘应设隔墙与机器间隔开。

④砂泵站内无集中检修场地时，应留有存放检修工具，必要的修理设备（如电焊机、工作台等）及备品备件的地方。

⑤砂泵站尺寸的确定符合建筑模数的要求。

⑥对于地下式砂泵站或场地受限制的砂泵站，上述各项尺寸要求可适当减小。

(2)立面尺寸

①当用三角架起吊设备时，机器间的高度应根据安装三角架进行操作的要求而定，但不应小于3.2米。

②有起重机的砂泵站，机器间的高度应视泵站的不同布置，吊车行走路线上的障碍

物的高度,按可能出现的不利情况计算确定。

$$H = a + b + c + d + e \qquad (5-4-29)$$

式中　H——起重机轨面至地面的高度,米;

a——起重机轨面至吊钩的最小尺寸,米;

b——起重绳所占的最小高度,米 对于砂泵为 $0.85x$;

对于电动机为 $1.2x$;

x——起吊物的宽度,米;

c——起吊物的高度,米;

d——吊起物底部至行经路线上最高障碍物顶部的净空尺寸,米 对于设备一般为 0.5 米 对于管道、地下式泵站的楼板或设备直接装车时的车箱均按 0.3 米考虑;

e——最高障碍物的高度,米,设备直接装车时,应以汽车车箱的高度校核。

(3)其他要求

①砂泵站的大门宽度应大于泵站最大设备的宽度,当泵站内设有起重设备时,大门的尺寸宜考虑汽车直接进入的可能。

②座落在山坡上的砂泵站,应尽量平行于等高线布置,以减少土石方工程量,必要时可将矿浆仓和泵站分两个台阶布置。

③在可能的条件下,泵站的朝向最好座北朝南。

三、砂泵站的辅助设施

(一)给水

砂泵站的用水包括饮用水和生产用水。生产用水根据不同的情况可能有如下各项:①砂泵水封用水,②轴承冷却用水,③水力闸门用水,④冲洗地坪用水,⑤调节流量用水,⑥冲洗管道用水等。前三项应尽量供给清水,如有困难或不经济,而尾矿回水的水质又较好(悬浮物在 500 毫克/升以下)时,也可供给尾矿回水。其余均可使用尾矿回水。

为保持水封供水压力的稳定性,水封给水系统上最好不再接出冲洗、调节用水水管。当必须由一个系统供水时,水封供水压力应按不利条件进行核算。水封系统如同时供水力闸阀用水时,应满足其对水压的要求。

冲洗水管的供水能力应视矿浆管道的冲洗要求而定 对于必须很好冲洗的管道,冲洗水量应不小于输送矿浆时的临界流量,总用水量按管道的容积另加 5 ~ 10 分钟的冲洗流量计 对于冲洗要求不严的管道,冲洗水流量可酌情减小。

(二)排水

(1)砂泵站内的排水(如冲洗地坪水及盘根等处的漏水等)应尽量自流排往附近的事故池。如受地形条件限制不能自流排水时(如地下式砂泵站),则需设置排水泵。排水泵可采用立式砂泵、卧式水泵或水射器等。

对于大、中型砂泵站、排水泵应有备用泵,并宜设计成自动启闭的。

(2)砂泵站内的地面应有不小于 0.01 的坡度坡向排水地沟,地沟的坡度一般不小于 0.02,宽度应考虑便于清理和冲洗。

(三)供电、照明和电讯

(1)砂泵站对供电可靠性的要求,应不低于选矿厂主要车间。

(2)对于需开动备用砂泵进行矿浆管道冲洗的砂泵站,应按冲洗时同时运转的砂泵台数确定供电设备的能力。

(3)末级砂泵站的供电,应考虑砂泵功率逐渐增大的特点,采取必要的调节措施。

(4)较大型的砂泵站,应设有电焊机专用的插头。

(5)砂泵站的照明尚应考虑室外矿浆仓以及砂泵站事故池等处的操作要求。

(6)第一总砂泵站一般应设有与调度室联系的调度电话,与各分砂泵站和各总砂泵站间的专用电话。

(7)较大型的砂泵站,应考虑设隔音电话间。

(四)采暖及通风

(1)砂泵站的采暖应考虑冬季电机全部停转的的防冻问题,此时室内温度应保持在 +5℃以上。

(2)地下式泵站应主要考虑底部操作区的采暖。

(3)当砂泵站机组容量较大,输送矿浆有特殊气味以及输送高温矿浆时,砂泵站应设置必要的通风设施。

(五)辅助用室

(1)砂泵站内应留有存放备品备件及常用材料的适当地方 ;砂泵站的废品可堆放于室外场地上。

(2)较大型的砂泵站可考虑设置值班室(电话可设于值班室内),值班室的位置应便于操作、观察设备运行情况。

(3)砂泵站距厂区与工人村较远时,应考虑设休息室。

(4)当砂泵站较大,级数较多,且距厂区较远时,为便于管理起见,可在适当地点(某砂泵站附近)设置必要的办公室、公用设施及专用的检修工段。

(六)运输道路

为便于设备运输,砂泵站与原有公路之间应修筑专用道路。对于地形条件特殊如陡坡上的砂泵站,可考虑设斜坡卷扬道等。

四、泵站能力的调节措施

由于矿浆来量的波动,或由于各种原因使多级泵站的各泵站间能力不均衡以及末级泵站的扬程随堆积坝的加高而增大等原因,常要求砂泵站的能力在一定范围内可以调节。

砂泵站能力调节范围的大小,视矿浆来量波动情况、砂泵工作台数的多少等因素确定。一般可按泵站扬量的 10 ~ 20% 考虑。

常用的调节措施及适用条件见表 5 – 4 – 25。

表 5 – 4 – 25　各种调节措施使用比较表

调节方法	优缺点及存在问题	适用条件	使用厂矿
用三角皮带轮改变砂泵的转数	1. 机动性差； 2. 变更时需更换全套三角皮带传动装置,比较麻烦	选用的砂泵性能不符合要求或最后一级泵站	烧结总厂、杨家杖子等
切削砂泵的叶轮直径	机动性差,且只能从大调小	同上,一般的金属叶轮	
闸门控制	1. 闸门易磨损,消耗量大； 2. 浪费电能	1. 中小型泵站； 2. 粒度细、浓度稀、磨损轻的矿浆； 3. 选用耐磨闸门或考虑磨损而设的简易闸门	云锡公司等
设补充水管	1. 水量消耗大,浪费电； 2. 只解决砂泵能力大的矛盾	1. 泵站座数少； 2. 水源充足； 3. 能力过大的泵站	凡口、闲林埠等
在砂泵前后设回流管	1. 浪费电能； 2. 只解决砂泵能力大的矛盾	能力过大的泵站	闲林埠曾用过
用可控硅实现电动机的无级变速	1. 机动性好,且能将节省的电量反馈给电路,是较理想的调节措施； 2. 目前基建投资较高,电气元件不容易解决	1. 大功率的砂泵站； 2. 多级泵站； 3. 要求选用绕线式感应电动机	水厂、果子园

五、砂泵站实例

(一)配置实例

(1)分砂泵站(鞍矿院通用设计,图 5－4－12)

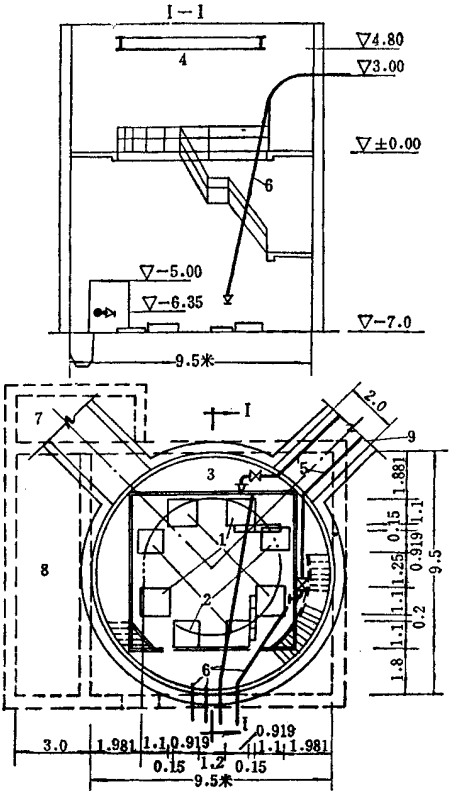


图 5－4－12　4×6PNJ 浓缩池分砂泵站配置示意图

1—6PNJ 泵；2—电机；3—2PNL 立式排水泵；4—2 吨单轨吊；5—$d219\times9$ 吸入管；6—$d273\times9$ 压出管；7—值班室；8—配电室；9—浓缩机底部通廊

(2)鞍山烧结总厂 2 号砂泵站(图 5－4－13)

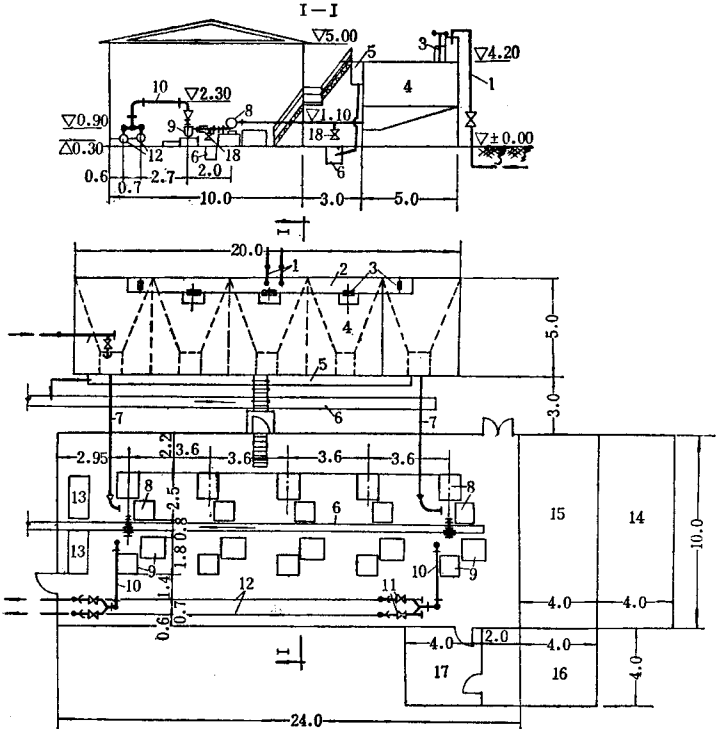


图 5－4－13　烧结总厂 2 号砂泵站配置示意图

(特点：1. 两台泵近串；2. 多台(组)并联；3. 压出管"Y"型布置)

1—d500 来矿管；2—分配流槽；3—配矿闸板；4—矿浆仓(每格平面尺寸为 4.0×5.0 米)；5—溢流槽；6—排水沟；7—d300 砂泵进矿管；8—8″胶泵(第 1 段)n = 940 转/分(三台)，n = 930 转(两台)，电机 N = 115 千瓦；9—8″胶泵(第 2 段)n = 940 转/分(三台)，n = 930 转/分(两台)，电机 N = 115 千瓦；10—d300 砂泵压出管；11—闸门(曾用水力提升闸)；12—2d500 矿浆管；13—水封泵；14—变压器室；15—配电室；16—休息室；17—值班室；18—放矿闸门；19—补加水管

(3)个旧小凹塘尾矿砂泵站(5～8号泵站,图5－4－14)

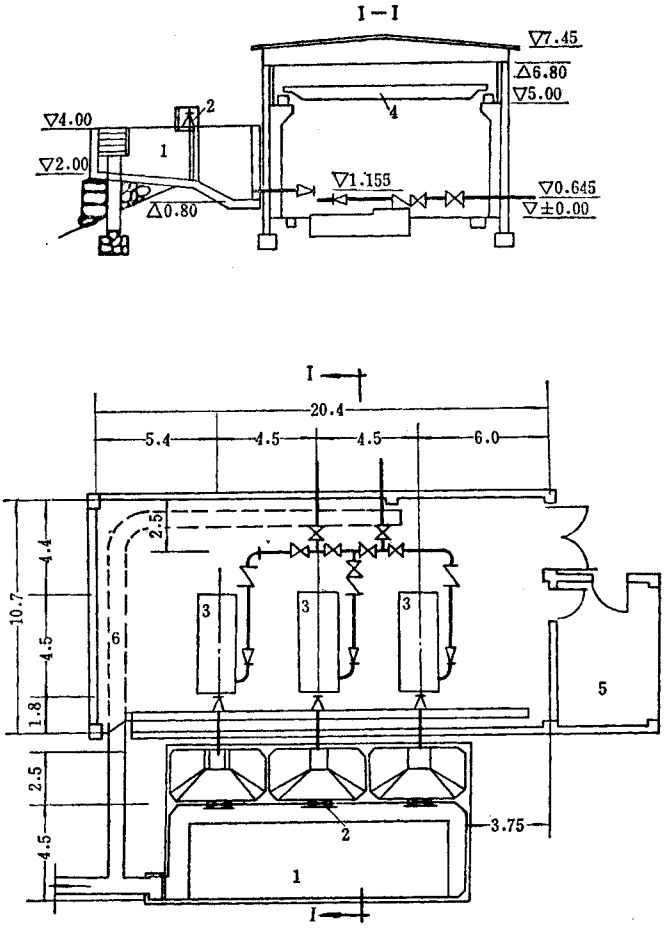


图5－4－14　个旧小凹塘尾矿砂泵站配置示意图

(特点:1. 带前池的矿浆仓;2. 压出管'H'型布置)

1—矿浆仓;2—带轴承座的手动丝杠传动闸板;3—12P－7砂泵机组;

4—5吨手动桥式吊车;5—配电室;6—排水沟

(4)大孤山 1 号砂泵站(图 5－4－15)

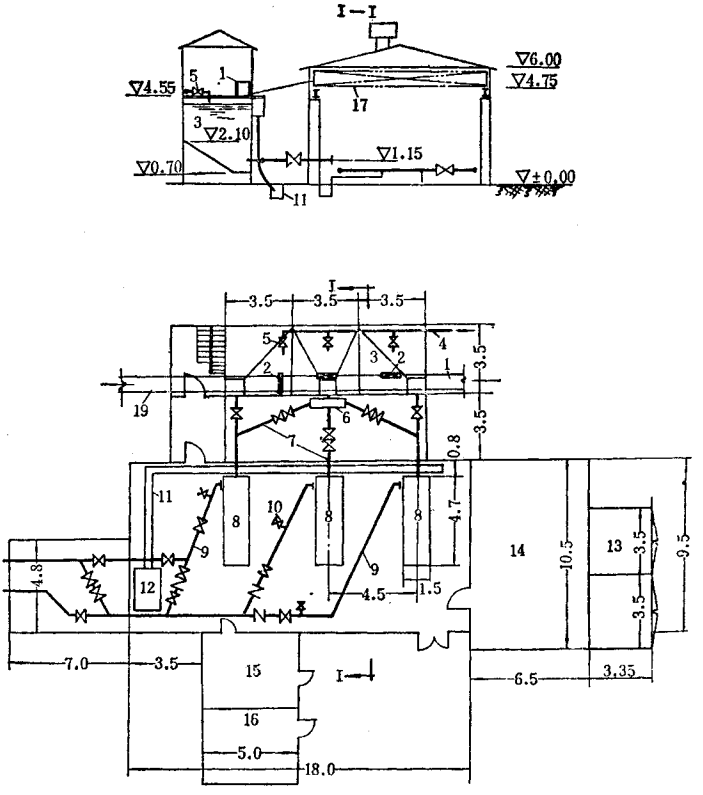


图 5－4－15　大孤山 1 号砂泵站配置示意图

(特点：1. 经常使用一个矿浆仓，换泵不换仓；2. 压出管属'K'型布置；3. 由值班室控制补加水)

1—来矿流槽；2—闸板；3—矿浆仓；4—补水管；5—钢丝绳传动的补水闸门；6—集矿箱；7—d400 砂泵进矿管；8—12P－7 衬胶泵机组；9—d400 砂泵压出管；10—放矿闸门；11—排水沟；12—立式排水泵；13—变压器室；14—配电室；15—值班室；16—检修备品间；17—手动桥式吊车；18—仓壁开孔连通；19—排往事故池

(5)大孤山 2 号砂泵站(图 5－4－16)

(6)狮子山矿砂泵站(图 5－4－17)

(7)杨家杖子矿砂泵站(图 5－4－18)

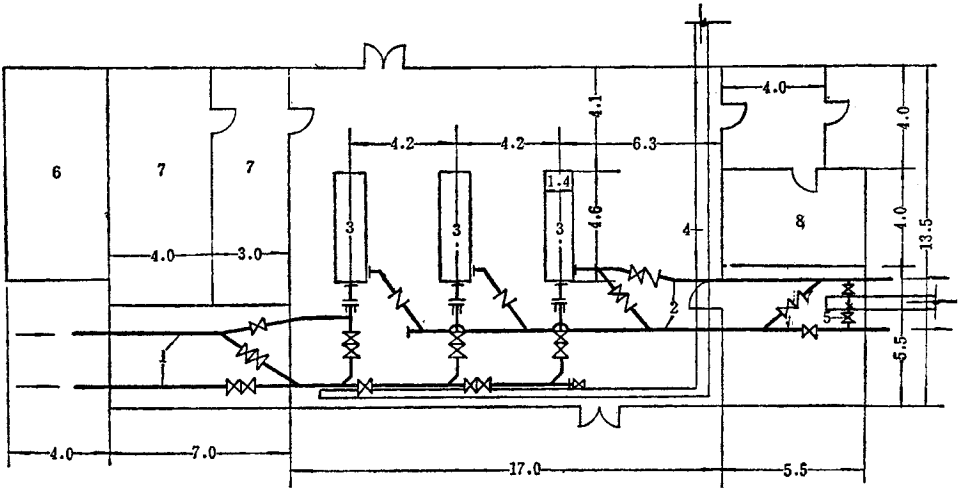


图 5－4－16　大孤山 2 号砂泵站平面布置示意图

（特点：1.12P－7 衬胶泵远距离离心串；2. 三台泵出入管属‘K’型布置）

1—d400 来矿管；2—d400 压出管；3—12P－7 衬胶泵机组，n = 590 转/分，JSO1512—10 型电机，N = 480 千瓦；4—排水沟；5—d200 排矿闸门；6—变压器室；7—配电室；8—值班室

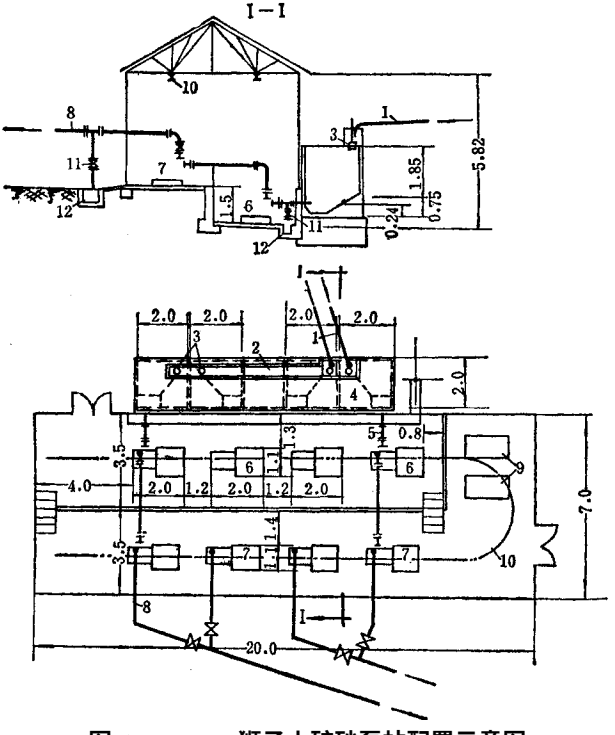


图 5－4－17　狮子山矿砂泵站配置示意图

（特点：1.4½″胶泵两台近串，台阶布置；2. 上塞式木塞配矿）

1—2d200 来矿；2—配矿槽；3—木塞；4—矿浆仓；5—砂泵进矿管，6—4½″胶泵（第一段）；7—4½″胶泵（第二段）；8—砂泵压出管；9—水封泵；10—手动单轨吊车；11—放矿闸门；12—排水沟

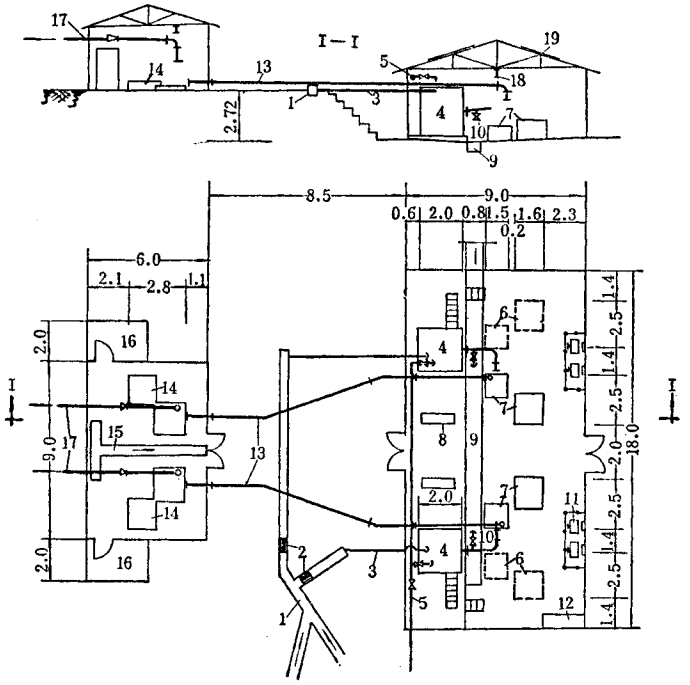


图 5－4－18　杨家杖子矿砂泵站配置示意图

（特点：原采用 8″铁泵三段近串，后将泵转数由 850 转/分提高到 1030～1100 转/分，省去一段砂泵并改用胶泵）

1—来矿自流沟；2—拦污篦条；3—d500 进矿管；4—矿浆仓；5—d350 补充水管；6—原第一级泵组；7—8″铁泵，第一级泵组（原第二级）；8—水封泵；9—排水沟；10—放矿阀；11—电气开关；12—低压配电盘；13—d500 钢管；14—8″铁泵，第二级（原第三级泵组）；15—排水沟；16—配电开关室；17—d500 压出管；18—电动单轨吊车；19—天窗

（二）运行实例（表 5－4－26）

表 5－4－26　砂泵站运行实例参考表

砂泵		使用厂矿	尾矿浆特性				磨损件使用寿命（天）/检修时间（小时）	
型号	转速		－200 目（%）	平均粒径 d_p（毫米）	固体比重 γ_g	浓度 P（%）	泵壳	护套或胶套
8″胶泵	970	铜官山	60		3.0	20～25		180
	930	东鞍山	85	0.046	2.8～2.97	18		210～300/8
	1470（电机）	凤凰山	水力旋流器溢流－37μ		3.1		90/4～8	180/2
	970	凹山	80	0.07	2.8～3.0	9～18	360/16	210～240/8
	970	大石河		0.28	2.8	17～18		180
	970	烧结总厂	70	0.07	2.85～2.95	20		360/16
	970	弓长岭	75	0.05	2.7	12～20		180

砂泵		使用厂矿	尾矿浆特性				磨损件使用寿命(天)/检修时间(小时)	
型号	转速		-200目(%)	平均粒径 d_P(毫米)	固体比重 γ_g	浓度 P(%)	泵壳	护套或胶套
4½″胶泵	1430	狮子山	60	0.066	3.1~3.2	35~40		30~40
	960	烧结总厂	70	0.07	2.85~2.95	25		360~720
4PSA	1450	五龙	93	0.032	2.53	18~20	60	
12P-7(内套衬胶)	585	大孤山	60~70	0.07	2.7~2.75	20~25	720	45~50/16
	600	南芬	80	0.044	2.7	12~20		30~40
	730	新冠	85	0.022	2.7	9	330	
12P-7(不衬胶)	580	水厂	50	0.26	2.82	22~23	10~15	
8H3	730	大吉山	10~15	0.42~2.5	2.7	7~10	30	
	580	桃林	37~50		2.55	18~20	60~90	
	730	个旧	84.18	0.037	3.07	3.85	270	
	730	锦屏	40		2.6	22~25	90/3	
8SRL(铁泵)	1100	杨家杖子	65	0.11	3.0	30		
6Π-7	1000	胡家峪	65	0.054	2.7	28	360	20
pH	1450	闲林埠	80	0.06	3.0	7~10		30(普通铸铁) 60(耐磨铸铁)

砂泵		使用厂矿	磨双线使用寿命(天)/检修时间(小时)				
型号	转速		内盖(后护板)	外盖(前护板)	叶轮	轴承	盘根
8″胶泵	970	铜官山		60	约30(铁轮)、约120(胶轮)	180	60
	930	东鞍山		300	100~200/4	30~180	180(摩擦片)
	1470(电机)	凤凰山		360/1	360/2		180
	970	凹山		300~360/8	150~180/8	180	20~30
	970	大石河			120~150		
	970	烧结总厂		360/8	240~270/8	180/4	210(摩擦片)
	970	弓长岭			120	60	20
4½″胶泵	1430	狮子山			30~40	90	15
	960	烧结总厂			240~270	360	90~120
4PSA	1450	五龙	10		30		
12P-7(内套衬胶)	585	大孤山	90~100/16	20~25/4	60/8	180/24	30
	600	南芬	30	30	20~25(№1站)、15(№2站)	25~180	
	730	新冠	180	20~60	30		

砂　泵		使用厂矿	磨听风失使用寿命(天)/检修时间(小时)				
型　号	转　速		内盖(后护板)	外盖(前护板)	叶　轮	轴　承	盘　根
12P－7(不衬胶)	580	水厂	30	10～15	20～30		
8H3	730	大吉山	15	15	7		
	580	桃林	15	20～30	20～30	360～720	
	730	个旧	180	60	45	180	30
	730	锦屏	25/4	15/2	30/4		10
8SRL(铁泵)	1100	杨家杖子			约25(铁)、约100～150(胶)	180	
6Ⅱ－7	1000	胡家峪		15	20～30	150	
6PH	1450	闲林埠	20	40	90/8	3年	90

砂　泵		使用厂矿	砂泵布置		砂泵台(组)数
型　号	转　速		砂泵台(组)数	压出管布置型式	工作/备用
8″胶　泵	970	铜官山	3	“K”型	1/2
	930	东鞍山	4组,每组2台串	两组对一条管‘单打一’	2组/2组
	1470(电机)	凤凰山	2组,同上	每组‘单打一’	1组/1组
	970	凹山	4组,同上	“Y”型	2组/2组
	970	大石河	6组,同上	“三角形”改‘集中管’式	4～5组/2～1组
	970	烧结总厂	5组,同上	“Y”型	2～3组/3～2组
	970	弓长岭	7组,同上	“集中管”式	5～6组/2～1组
4½胶　泵	1430	狮子山	4组,同上	两组对一条管	2组/2组
	900	烧结总厂	2台	“单打一”	1/1
4PSA	1450	五龙	2台	同上	1/1
12P－7(内套衬胶)	585	大孤山	3台	“K”型	1/2
	600	南芬	4台	“单打一’和‘二并一”	2/2
	730	新冠	3台	“M”型	1～2/2～1
12P－7(不衬胶)	580	水厂	4台	“集中管”式	2/2
8H3	730	大吉山	3台	“单打一’和‘二并一”	1/2
	580	桃林	3台	“单打一”	1/2
	730	个旧	4台	同上	2/2
	730	锦屏	2台	“H”型	1/1
8SPL(铁泵)	1100	杨家杖子	2组,每组2台串	“单打一”	1组/1组
6Π－7	1000	胡家峪			
6PH	1450	闲林埠	2台	“单打一”	1/1

砂泵		使用厂矿	吊车型式	备注
型　号	转　速			
8″胶　泵	970	铜官山	原为手动单轨，后改为 1.5 吨桥式，走行为电动	铁壳胶轮（原为瑞典设备）
	930	东鞍山	手动单轨	
	1470（电机）	凤凰山	4″铁棍吊挂起重葫芦（设计有吊车，未安装）	
	970	凹山	3 吨手动桥式，准备提升改电动	
	970	大石河	原设计为手动，后改为电动	
	970	烧结总厂	2 吨手动单轨，准备改手动桥式	
	970	弓长岭	手动单轨	
4½″胶　泵	1430	狮子山	有单轨梁，但未安装吊车	分砂泵站（地上）
	960	烧结总厂		
4PSA	1450	五龙		
12P－7（内套衬胶）	585	大孤山	5 吨手动桥式，准备改电动	泵轮 D = 840（№1 站） 泵轮 D = 1000（№2 站）
	600	南芬	电动桥式	
	730	新冠	5 吨手动单梁桥式	
12P－7（不衬胶）	580	水厂		
8H3	730	大吉山	手动桥式	
	580	桃林	手动单轨	
	730	个旧	固定环手拉葫芦（№2、3 站等）5 吨手动桥式（№4 站等）	
	730	锦屏	土吊车，附 1 吨手动单轨	
8SPL（铁泵）	1100	杨家杖子	电动单轨	原用铁泵，准备改胶泵
6П－7	1000	胡家峪		
6PH	1450	闲林埠	手动单轨（№1 站）手动桥式（№2 站）	

第二节　油隔离泥浆泵泵站

一、油隔离泥浆泵的特点及适用条件

（一）特点

油隔离泥浆泵是一种双缸双动往复泵。它与一般往复泵的主要区别是在活塞缸与阀箱之间，设有分离油罐，经过油的隔离作用，使矿浆不进入活塞缸，从而避免了泵的主

要部件的磨损，大大延长了使用寿命。

油隔离泥浆泵的构造见图 5－4－19。

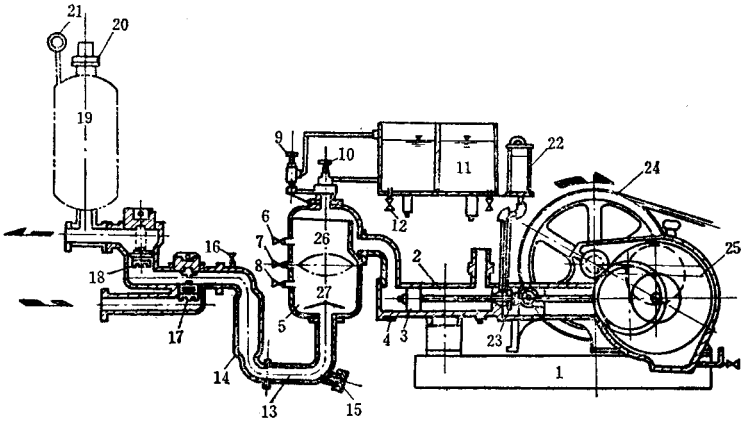


图 5－4－19　油隔离泥浆泵结构示意图

1—泵座；2—活塞缸；3—活塞；4—排油栓塞；5—分离油罐；6—油观察阀；7—油面观察阀；8—矿浆观察阀；9—排气阀；10—供油阀；11—油箱；12—排油阀；13—乙形管；14—乙形管扩大管；15—排污口螺母；16—给水阀；17—吸入阀；18—排出阀；19—压出空气室；20—安全阀；21—压力计；22—油杯；23—填料；24—皮带轮；25—减速箱；26—油；27—矿浆

(二)适用条件

(1)远距离、高扬程的矿浆输送。目前国产泵的压力可达 40 公斤/厘米^2。

(2)高浓度的矿浆输送。输送矿浆的重量浓度可达 60%。

(3)输送矿浆流量不大。目前国产泵的输送流量在 180 米^3/时·台以内。

(4)输送尾矿的颗粒粒径一般应小于 1 毫米。

二、设备的选择

(一)油隔离泥浆泵

油隔离泥浆泵的选择，同样是根据输送矿浆的流量及所需扬程选定。当采用一台泵流量不能满足要求时，也可采用两台或多台同型号的泵并联工作(目前尚缺乏多台泵并联工作的运行实例)。当采用一台泵扬程不能满足要求时，也可用多台接力扬送，此时泵站之间，应采用矿浆仓联接。

目前国产油隔离泥浆泵型号尚少，对具体工程如不适用，可试制新型号的泵或采用一般往复式泥浆泵加以改制。

(1)国内现有油隔离泥浆泵的型号及性能(表 5－4－27、5－4－28)

表 5－4－27　油隔离泥浆泵的型号及性能表

泵的型号	活塞缸径×冲程×活塞缸数	活塞往复次数(次/分) 相应流量(米³/时)							电动机			外形尺寸(长×宽×高)(毫米)	总重(公斤/台)	设计单位	注
									型号	转数转/分	功率(千瓦)				
Y8－3改装	185×450×2	19/46.5	22.5/55	25/61.3	27/66	29/71	32/81	36/88	JR137－10Z_2	585	155	7415×3890×(－)	8350	郑州503厂	郑州503厂制，最大工作压力为40公斤/厘米²
2DYN60－118/40	(160～200)×350×2	见图5－4－20、表5－4－28							JS138～10	585	180	8388×2365×(－)	1500	北京有色冶金设计院，广州重型机器厂	兰州通用机器厂制，为厂级定型产品，第一台样机生产价格为10万元，随机带有0.8米³压出空气室和0.15米³吸入空气室
2DN－120/25	200×330×2	35/80	40/90	45/100	50/110	60/120			JR128－10	585	130	6900×2500×2800	10800	二机部第四设计院	第一台样机生产价格为9万元，成批生产估价为5万元/台
2DN－30/25	125×330×2	20～60/10～30							JZS－81无极调速	470～1410	30	5300×1730×3740	3400	二机部第四设计院	第一台样机生产价格为9万元
2DN－180/13	250×480×2	27～40/120～180							JR128－10	585	130	7275×3110×9901	15820	沈阳铝镁设计院	郑州593厂(尚未制造)
2DN－90/15	200×350×2	8～42/17～90							JZS_2－10	200～1200	16.7～100	6232×2540×1471	10800	沈阳铝镁设计院	郑州503厂(尚未制造)
2DN－27/16	130×210×2	20～50/10～27							JZT－72～4	417～1250	10～39	4782×1734×(－)	～3400	沈阳铝镁设计院	郑州503厂(尚未制造)

表 5－4－28　2DYN60～118/40 型泵性能表

活塞直径×冲程×缸数	活塞往复次数（次/分）		50	45	40	35	30
200×350×2	流量	（米³/时）	107.1	96.4	85.2	75.0	64.3
	轴功率	（千瓦）	158	144	128	112	96.0
190×350×2	流量	（米³/时）	96.1	86.6	76.9	67.3	
	轴功率	（千瓦）	144	129	115	101	
180×350×2	流量	（米³/时）	85.8	77.2	68.6	60.1	
	轴功率	（千瓦）	130	116	104	91	
170×350×2	流量	（米³/时）	76.0	68.4	60.8		
	轴功率	（千瓦）	116	104	92		
160×350×2	流量	（米³/时）	66.7	60.1			
	轴功率	（千瓦）	102	93			

注：表中轴功率按输送压力 40 公斤/厘米² 计算，当使用压力小于 40 公斤/厘米² 时，在考虑起动负荷情况下，可按比例减少电动机容量。

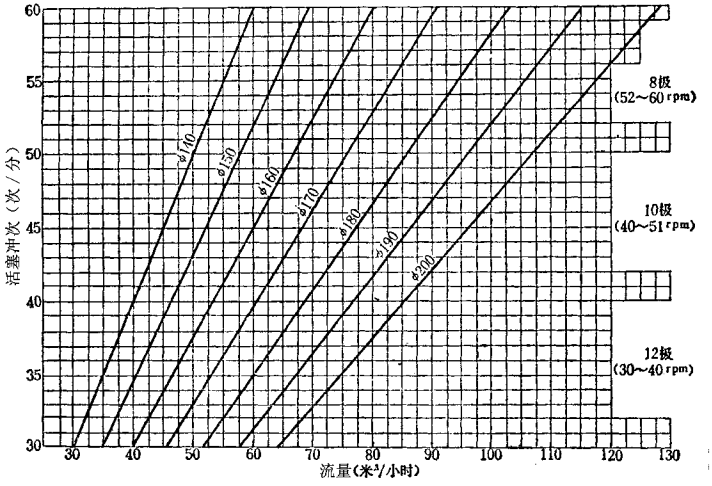


图 5－4－20　2DYN60－118/40 型泵技术性能表

（本表按泵的容积效率 $\eta_V = 0.85$ 绘制；ϕ—活塞直径，毫米）

(2)油隔离泥浆泵的选择计算：

①扬量

所选泵的扬量应符合下式

$$Q_b = K \cdot Q_x \tag{5－4－30}$$

式中　Q_b——泵的扬量，米³/时；

Q_x——所需扬送的矿浆量，米^3/时（根据工艺提供的数据或按工艺流程图确定）；

K——流量波动系数，一般可取为 1.05～1.1。

通常泵的产品性能表上给出不同额定往复次数时的扬量，如不合需要，欲改用其它非额定往复次数时，需经厂家同意，应满足公式（5－4－31）的要求：

$$120\eta_V(2F-f)Sn = Q_b \qquad (5-4-31)$$

式中　F——泵活塞断面积，米^2；

f——活塞杆的断面积，米^2；

S——活塞行程，米；

n——活塞往复次数，次/分；

η_V——泵的容积效率，见表 5－4－29。

表 5－4－29　国产油隔离泥浆泵的 η_V 值

泵的型号	设计 η_V 值	实测 η_V 值
2DN－120/25	0.88	0.88
2DYN60－118/40	0.85	0.91
Y8－3 改装型	—	0.90

②扬程

所选泵的额定压力应满足公式（5－4－32）的要求：

$$P_b > \frac{H_x}{10} \qquad (5-4-32)$$

式中　P_b——泵的额定压力，公斤/厘米^2；

H_x——输送矿浆所需的总扬程，米水柱，可按公式（5－4－33）计算：

$$H_x = \gamma_k H + Li_k + h_j + h_n + h_y \qquad (5-4-33)$$

式中　H——扬送矿浆的几何高差，米；

γ_k——矿浆比重；

L——输送管道的长度，米；

i_k——压力管道输送矿浆的最大沿程水头损失（按泵的最大扬量 $Q_M = \frac{Q_b}{\eta_V}$ 确定的水头损失），米水柱/米；

h_j——管路的局部水头掘失，米水柱，粗略计算可取为管道沿程损失（Li_k）的

10%；

h_n——泵站内部的水头损失，米水柱，粗略计算可根据管路布置的繁简取为 2～3 米；

h_y——剩余水头，米水柱，一般取 1～2 米。

(3)泵的备用

油隔离泥浆泵的备用台数可参照国内油隔离泥浆泵泵站设计实例选定(表 5－4－30)。

表 5－4－30　泵的备用数量

名称	泵的型号	工作台数	备用台数	备注
湖南锡矿山	L－180	1	1	
江西某矿	2DN－120/25	2	2	
綦江麻柳滩	2DN－120/25	1	1	尚未投产
郑州 503 厂二车间	Y8－3 改装	4	2	
三车间	2DN－90/15	3	2	尚未投产
四车间	2DN－180/13	3～4	2～1	尚未投产

(二)电动机功率计算

所需电动机的功率，按下式计算：

$$N = \frac{KQ_b H_x}{102\eta_V \eta_J} \qquad (5-4-34)$$

式中　N——所需电动机功率，千瓦；

K——电动机功率储备系数，一般可取 $K = 1.05 \sim 1.1$，大电动机取小值，小电动机取大值；

Q_b——泵的额定扬量，升/秒；

H_x——输送矿浆所需总扬程，米水柱；

η_V——泵的容积效率；

η_J——机械总效率，一般可取 $\eta_J = 0.94$。

(三)空气室

泵的压出管上需设置空气室，以稳定流量和压力，消除设备及管道的振动。

当泵的吸入管道较长时，在吸入管的近泵端也应设置空气室，以消除气蚀，减少管道中的惯性阻力。

1. 空气室的结构型式

空气室有圆筒形和球形。圆筒形空气室(图 5－4－21)使用效果良好,可以较好地稳定泵的出口压力(波动在 0.5～1 公斤/厘米^2 范围内)。

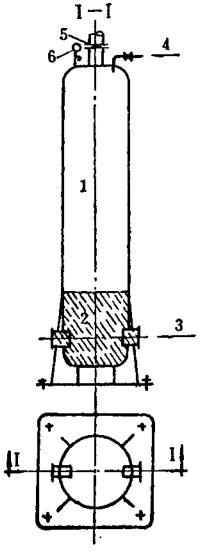


图 5－4－21　圆筒形空气室示意图

1—空气;2—矿浆;3—接泵的压出管;4—按压缩空气;5—安全爆破片;6—压力计

球形空气室(图 5－4－22)的特点是体积小,重量轻,但橡胶气囊易老化。据江西某矿使用结果,当泵的工作压力为 16 公斤/厘米^2,预充压缩空气压力为 6 公斤/厘米^2 时,压力表波动达 5～6 公斤/厘米^2,管道振动,噪音很大。其原因可能是空气室的容积小于计算所需容积,同时球形空气室的结构不够合理。

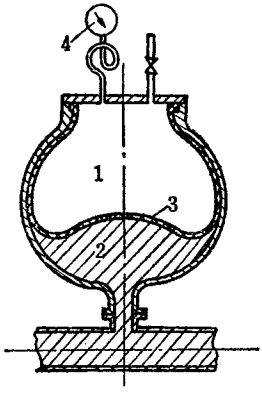


图 5－4－22　球形空气室示意图

1—空气;2—矿浆;3—气囊;4—压力计

2. 空气室的有效容积计算

(1)压出管上空气室的有效容积

①当空气室采用高压充气方式时

$$V = PV_p \tag{5-4-35}$$

式中　V——空气室的有效容积,米^3；

P——泵的额定工作压力,公斤/厘米^2；

V_p——空气室内空气的容积,米^3 按下式计算：

$$V_p = \frac{\beta FS}{\delta} \tag{5-4-36}$$

式中　β——剩余体积系数,一般可取 $\beta = 0.042$；

F——活塞断面积,米^2；

S——活塞冲程,米；

δ——压力不均匀系数,见表 5-4-31。

表 5-4-31　不同管长的 δ 值表

管长(米)	100	500	1000	2000	3000	5000
δ 值	0.02	0.01	0.0066	0.005	0.004	0.0034

②当空气室采用低压预充气方式时

$$V = V_p \frac{P}{P_s} \tag{5-4-37}$$

式中　V——预充气时空气室的有效容积,米^3；

P_s——预充气压力,公斤/厘米^2；

其它符号同前。

(2)吸入管上空气室的有效容积

$$V \geqslant 5FS \sim 10FS \tag{5-4-38}$$

式中　V——空气室的有效容积,米^3；

其它符号同前。

(四)起重设备

油隔离泥浆泵的主要易磨损部件是阀体,其重量很轻。目前设计中考虑起重设备的能力,均系按设备最重部件减速箱进行选择(表 5-4-32)。

表 5－4－32　泵站起重设备实例

名　　称	泵的型号及台数	减速箱重量（吨/台）	起重设备
江西某矿	2DN－120/25×4	2.6	5 吨手动单梁起重机
郑州 503 厂	6 台，其中 Y8－3 改装 3 台		5 吨手动单梁起重机
湖南锡矿山	L－180×2		原设计选用 3 吨手动单梁悬挂起重机，投产后未安装

（五）安全保护装置

油隔离泥浆泵一旦因出口或管道堵塞，其压力将急剧增高，导致电动机烧毁或管道爆裂。为确保设备及输送系统的安全生产，应装设必要的安全保护装置。

目前采用的安全保护装置有：

1. 电控安全保护装置

（1）电触点压力表：安装在泵的出口处，与空气室顶部的充气管道相连通。当压力超过泵的额定压力时，通过电控系统使电动机自动停车。

（2）过电流保护装置：当泵在运行中发生故障引起电负荷升高，超过额定电流时，使电动机自行停车。

2. 机械保护装置

（1）杠杆式安全阀（见图 5－4－23）：与给水单杠杆微启式安全阀基本相同，可安装在空气室以后的压出管段上。

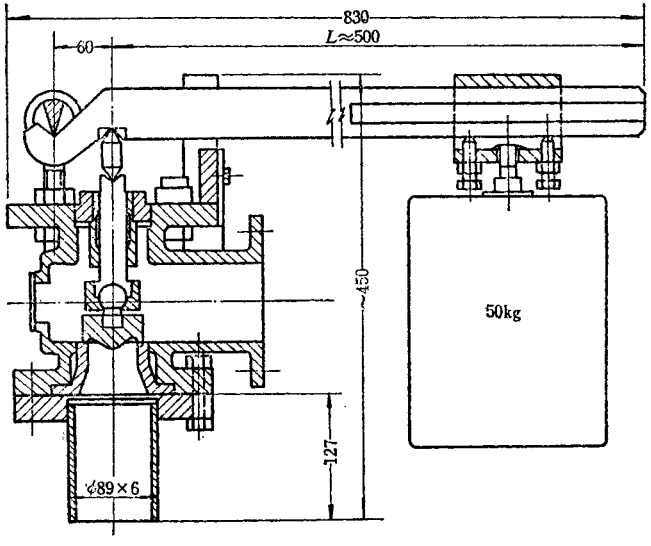


图 5－4－23　杠杆式安全阀

(2)插销式安全阀(见图 5－4－24)：多用于往复式泥浆泵。通过试制不同断裂剪应力的销钉来控制泵的出口压力。

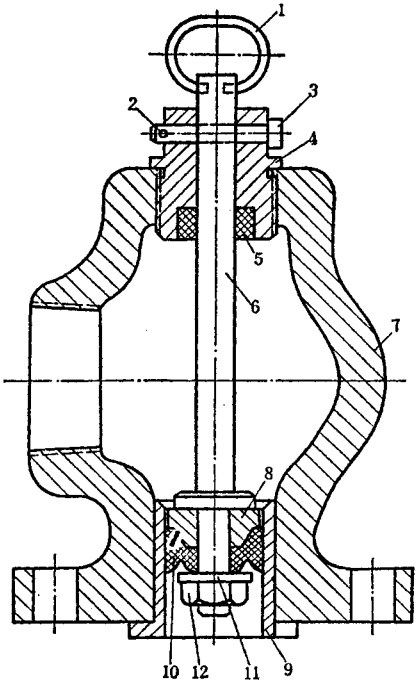


图 5－4－24　插销式安全阀

1—耳环；2—开销；3—销钉；4—导管；5—垫圈；6—活塞杆；7—外壳；8—活塞体；9—缸套；10—橡皮活塞；11—垫圈；12—螺帽

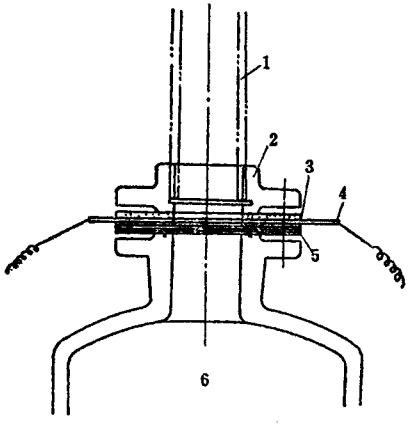


图 5－4－25　安全爆破片

1—管；2—法兰盘；3—绝缘板；4—安全阀保险线；5—电木板；6—空气室

(3)安全爆破片(见图 5－4－25)；一般安装在空气室的顶部。爆破片可用电木、铝片或其它材料制成。当超过泵的额定压力时，爆破片即破裂，同时与电动机连接的保险丝烧断，电动机自动停车。泵站安全装置的使用情况见表 5－4－33。

表 5－4－33　安全装置使用情况

名　称	电控系统安全保护装置	机械保护装置	使　用　情　况
江西某矿	电触点压力表过电流保护装置	杠杆式安全阀	杠杆式安全阀使用良好，但结构笨重，杠杆在接近作用点时易跳动，使矿浆漏泄，影响泵的连续运转。电触点压力表及过电流保护装置，均有失灵现象
郑州 503 厂	电触点压力表	插销式安全阀	插销式安全阀使用良好，电触点压力表有失灵现象
湖南锡矿山		安全爆破片	实际工作压力(12～16 公斤/厘米^2)远小于泵的额定压力(40 公斤/厘米^2)故未作用过

(六)调速装置

为适应矿浆流量发生波动的情况，油隔离泥浆泵宜考虑调速装置。现有泵站采用的调速方式见表 5－4－34。

表 5－4－34　调速装置采用型式

名　称	泵的型号	调速装置	优缺点
郑州 503 厂	Y8－3 改装	电阻调速，调速范围：转速 23～25 次/分，相应流量 64～96 米^3/时	优点 结构简单； 缺点 损耗大量电能
綦江麻柳滩	2DN－120/25	可控硅串级调速	优点 调速范围大，低速出力大，效率高，可以实现平滑无极的恒转矩调速，转差能返回电网，节省电能消耗； 缺点，功率因数较低，一次投资高

三、泵站布置

油隔离泥浆泵站的布置要点如下(与离心砂泵泵站相同的部分见第一节)。

(一)矿浆仓

1. 矿浆仓配置

(1)每台泵可用单独的矿浆仓，也可以两台泵共用一个矿浆仓。矿浆仓目前多采用

压入式配置。

(2)矿浆仓的容积主要与采矿波动幅度及有否设置调速装置有关。油隔离泥浆泵在没有调速装置的情况下,其流量是恒定不变的,因而矿浆仓的容积应考虑大些为好。

(3)为防止粗粒料及杂质进入泵内,造成阀体关闭不严或乙型管堵塞,在矿浆仓的来矿管、槽上应设置格栅,栅条间距采用 5 ~ 10 毫米。

(4)为防止粗砂沉积和进料不均,矿浆仓内一般均设有机械搅拌装置。

(5)矿浆仓一般应考虑设置自动加水系统,以确保输送流量的稳定,防止矿浆仓被吸空。

矿浆仓布置实例见表 5 – 4 – 35。

表 5 – 4 – 35　矿浆仓布置实例

厂矿	布置型式	矿浆仓			搅拌装置			加水设施	备注
		尺寸(米)	容积(米^3)	折合来矿历时(分)	电动机型号	转数(转/分)	功率(千瓦)		
江西某矿	压入式	$D=6.3$ $H=4.2$	60	30	JO_2 – 61 – 6	970	10	自动加水	矿浆含有害物质,布置于室外,两台泵共用一个矿浆仓,很少跑矿
江西某矿	压入式	$F=4\times7.2$ $H=3.7$	60	30	JO_2 – 71 – 6	970	17	自动加水	矿浆含有害物质,布置于室外,一台泵一个矿浆仓
湖南锡矿山	压入式	$D=2.2$ $H=2.2$	7.6	7 ~ 8	J52 – 6	960	10	人工加水	布置于室内,两台泵共用一个矿浆仓,经常跑矿
綦江麻柳滩	压入式	$D=2.2$ $H=2.2$	7.6		J52 – 6	960	10		同上
郑州503厂	压入式	$D=6$ $H=8$	200	90	JO72 – 4	1450	20		布置于室外,六台泵共用四个矿浆仓,矿浆仓的容积根据工艺要求确定

2. 矿浆仓最低工作液面的确定

当矿浆仓为吸入式配置,或虽为压入式配置但泵的进矿管道较长时,矿浆仓的配置应满足下式要求:

$$H_1 - H_2 \leqslant H \tag{5 – 4 – 39}$$

式中　H_1——泵的活塞缸中心标高;

H_2——矿浆仓最低工作液面标高；

H——泵的最大吸液高度，米，此值为正时矿浆仓应配置成吸入式，为负应配置成压入式。H 的计算可按公式(5－4－40)或(5－4－41)进行，也可由图 5－4－26 曲线上查得。

(1)当吸入管上未设空气室时

$$H = \frac{P_a}{\gamma_k} - \frac{P_s}{\gamma_k} - \frac{LF}{gf}\omega^2 r - h_f \qquad (5-4-40)$$

式中　H——泵的最大吸液高度，米；

P_a——大气压力，米水柱，见表 5－4－36；

γ_k——矿浆的比重；

P_s——水在不同温度时的饱和蒸汽压力，米水柱，见表 5－4－37；

L——吸入管的长度，米；

F——活塞缸的断面积，米^2；

g——重力加速度，为 9.81 米/秒^2；

f——吸入管的断面积，米^2；

ω——曲轴(或偏心轮)的角速度，1/秒；

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

n——曲轴(或偏心轮)的转数，转/分；

r——曲轴(或偏心轮)的偏心距，米；

h_f——泵的吸入阀阻力损失，米；视泵的构造及弹簧压力而定，当缺乏资料时，可参照表 5－4－38 选用。

表 5－4－36　不同海拔高度的大气压力值(米水柱)

海拔高度(米)	0	200	400	600	800	1000	1500	2000	3000	5001
大气压力(米水柱)	10.3	10.1	9.8	9.6	9.4	9.2	8.6	8.1	7.2	5.7

表 5－4－37　不同温度时的饱和蒸汽压力值(米水柱)

温度(℃)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
饱和蒸汽压力(米水柱)	0.06	0.12	0.24	0.43	0.75	1.25	2.02	3.17	4.82	7.14	10.33

表 5－4－38　泵的吸入阀阻力损失

泵的压力(公斤/厘米^2)	<5.0	5.0～50.0	>50.0
h_f 值(米液柱)	0.4～0.6	1～2	2～6

[例 2]　已知泵缸直径 $D=200$ 毫米,活塞冲程 $S=250$ 毫米,曲柄半径 $r=125$ 毫米,吸入管径 $d=150$ 毫米,吸入管长 $L=12$ 米,其上装有 3 个弯头($\xi=0.5$),一个闸阀($\xi=1$)和一个进水阀($\xi=2.5$),摩擦系数 $\lambda=0.03$,矿浆温度 $t=50℃$,矿浆比重 $\gamma_k=1.1$,气压表读数 724 毫米水银柱,泵的吸入阀阻力损失 $h_f=0.8$ 米,试求在未设置空气室的条件下,泵转数 $n=40$ 次/分时,泵的最大吸液高度。

解:

$$H=\frac{P_a}{\gamma_k}-\frac{P_s}{\gamma_k}-\frac{LF}{gf}\omega^2 r-h_f$$

$$=\frac{10.3\times 724}{760\times 1.1}-\frac{1.25}{1.1}-\frac{12\times(0.2)^2}{9.8\times(0.15)^2}$$

$$\times\left(\frac{\pi\times 40}{30}\right)^2\times 0.125-0.8=2.2\text{ 米。}$$

(2)当吸入管上设置空气室时

$$H=\frac{P_a}{\gamma_k}-\frac{P_s}{\gamma_k}-\frac{L_s F}{gf}\omega^2 r-\left[\left(\lambda\frac{L'_s}{d}+\Sigma\xi\right)\left(\frac{FS\omega}{2\pi f}\right)^2\Big/2g\right]-h_f \quad (5-4-41)$$

式中　L_s——泵至空气室间的管长,米;

λ——摩擦系数;

L'_s——进水阀至空气室间的管长,米;

d——吸入管径,米;

$\Sigma\xi$——进水阀至空气室间管道局部阻力系数之和;

S——活塞冲程,米;

其他符号同前。

[例 3]　设[例 2]中的泵吸入管上安设了空气室,将泵吸入管分为两段,即 $L_s=1$ 米及 $L'_s=11$ 米。三个弯头,一个闸阀和一个进水阀都装在 $L'_s=11$ 米的管段上,试求泵转数 $n=40$ 转/分时泵的最大吸液高度。

$$H=\frac{P_a}{\gamma_k}-\frac{P_s}{\gamma_k}-\frac{L_s\cdot F}{gf}\omega^2 r-\left[\left(\lambda\frac{L'_s}{d}+\Sigma\xi\right)\left(\frac{F\cdot S\cdot\omega}{2\pi f}\right)^2\Big/2g\right]-h_f$$

$$=\frac{10.3\times 724}{760\times 1.1}-\frac{1.25}{1.1}-\frac{1\times(0.2)^2}{9.8\times(0.15)^2}\times\left(\frac{\pi\times 40}{30}\right)^2\times 0.125$$

$$-\left[\left(0.03\times\frac{11}{0.15}\right)+(3\times0.5+1+2.5)\times\left(\frac{(0.2)^2\times0.25\times\frac{\pi\times40}{30}}{2\pi\times(0.15)^2}\right)^2\Big/2\times9.8\right]-0.8$$

$=4.3$ 米。

(3)参考马尔斯泵输送清水时泵的吸水高度(图 5－4－26)。

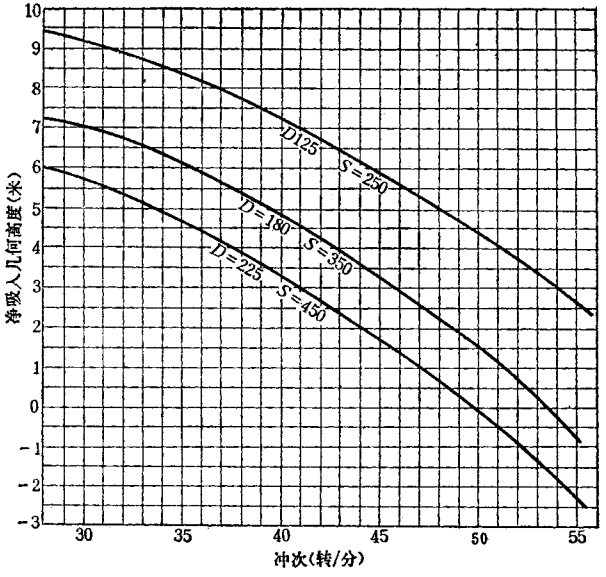


图 5－4－26　马尔斯泵转数与吸水高度关系曲线

(D—活塞直径,毫米;S—冲程,毫米)

(二)平面布置

(1)管道及闸阀宜集中布置于泵站一侧,并考虑操作与检修的方便,泵站一侧的通行宽度不小于 2～2.5 米。

2. 泵站内应考虑设备就地检修场地,两机组间突出部件的最小净距不小于 2 米。必要时应在泵站一侧设集中检修场地。

(三)管道及闸阀

(1)泵站的管道目前多采用单打一布置型式。

(2)泵站内的管道一般为明设。

(3)每台泵的进矿管上,均应设置闸阀,以防停泵时油的外溢及便于泵的维修。

根据江西某矿的实践经验,进矿管按图 5－4－27 布置,不易被矿浆堵死。

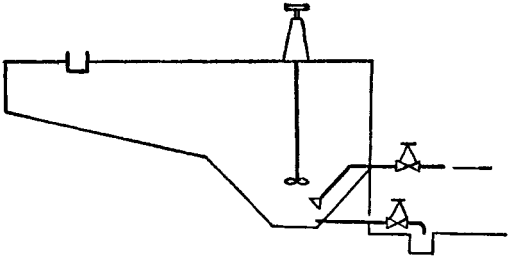


图 5－4－27　泵的进矿管布置示意图

四、油隔离泥浆泵泵站的辅助设施

(一)给水

泵站的给水除冲洗地坪用水、调节补充水和冲洗管道用水而外，还有调整油罐油面用水，后者要求尽量供给洁净水，给水水压应大于 1 公斤/厘米^2。

泵的给水管安装图，见图 5－4－28。

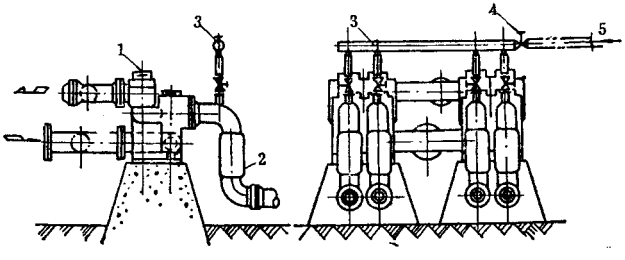


图 5－4－28　泵的给水管安装图

1—阀箱；2—乙形管；3—给水管；4—闸阀；5—给水

给水管也可安设在泵的吸入管上(如江西某矿)，这样给水闸阀承压小，但操作麻烦、灵活性差。

(二)给气

泵在启动前或运行中定时向压出管上的空气室内充加压缩空气，可消除波动惯性力，稳定输送压力。

空气室的充气方式有高压充气及低压预充气两种。

1. 高压充气

采用的充气压力大于泵的工作压力 3～5 公斤/厘米^2，因此可在泵的运行过程中随时进行充气。

2. 低压预充气

采用的充气压力小于泵的工作压力，因此必须停泵才能充气，这对设备及管道的工作均带来不利。除间断工作制及临时措施外，一般不宜采用。

当在泵站内设空压机充气时，空压机应有备用。空压机的技术规格见表 5－4－39。泵站的给气方式及运行情况，见表 5－4－40。

表 5－4－39　空气压缩机技术规格一览表

空压机型号	排气量（米³/分）	排气压力（公斤/厘米²）	转数（转/分）	轴功率（千瓦）	冷却水耗量（米³/时）	润滑油耗量（吨/时）	电动机			总重（公斤）	生产厂
							型号	转数（转/分）	功率（千瓦）		
Z1.2－1.25/25	1.2	25	730	17.5	—	25	J81－8	730	20	10.52	无锡压缩机厂
CZ－20/30（水冷式）CZ－20/30F（风冷式）	0.33	30	1000	5	—	30	JO_2－51－4	1450	7.5	水冷 80 风冷 70	衢州机械厂
CZ－60/30	1	30	750	≤15	1	30	JO_2－H－72－8	750	17	≤900	天津空气压缩机厂
CZ1:2－120/30	2	30	750	30	2	60	JO_2－91－8H	730	40	—	南京压缩机厂
1－0.433/60	0.433	60	500	9.5	0.5	30	JO2－52－4	1450	10	—	南京压缩机厂
V－1/60	1	60	970	≤15	—	≤60	JO2－72－6	970	22	945	北京第一通用机械厂
CV1－2－210/30	4	30	750	60	4	160	JO2－92－8H	730	55	—	南京压缩机厂

表 5－4－40　泵站给气方式及运行情况

名称	压出空气室的型式	充气方式	压气设备								运行情况
			压气机型号	排气量（米³/时）	工作压力（米³/时）	电动机型号	转数（转/分）	功率（千瓦）	工作台数	备用台数	
江西某矿	圆筒形 $D=0.5$ 米 $H=4.4$ 米 $V=0.8$ 米³	按自厂区低压充气	—	—	—	—	—	—	—	—	1. 每隔 6～8 小时充气一次，每次冲气须停泵 5～10 分钟；2. 压力波动 < 1 公斤/厘米²；3. 设计中预留两台空压机位置
江西某矿	同　上	高压充气	CZ－20/30F（风冷式）	20	30	JO_2－51－4	1450	7.5	1	1	尚未投产
郑州503厂	圆筒形 $D=0.33$ 米 $H=6.3$ 米 $V=0.54$ 米³	高压充气	1－0.433/60－1	26	60	J062－4	1460	10	1	1	压力波动 < 1 公斤/厘米²

名称	压出空气室的型式	充气方式	压气设备								运行情况
			压气机型号	排气量（米³/时）	工作压力（米³/时）	电动机型号	转数（转/分）	功率（千瓦）	工作台数	备用台数	
湖南锡矿山	圆筒形 $D=0.5$ 米 $H=4.4$ 米 $V=0.67$ 米³	接自厂区低压充气	—	—	—	—	—	—	—	—	1. 压力波动 < 1 公斤/厘米²；2. 间断工作制，工作 6 天，休息 1 天，采用换泵充气

（三）给油

油隔离泥浆泵用的隔离油采用 22 号透平油，加到泵的油箱中，通过阀门向油罐供油。

向油箱中加油可用人工或油泵。前者适用于泵台数少，油耗量小的情况（湖南锡矿山）；后者适用于泵台数多，耗油量大的情况（郑州 503 厂）。

五、应用概况

（一）实例（表 5－4－41～5－4－43）

表 5－4－41　矿浆特性

使用单位	输送物料	比重	浓度（%）	温度（℃）	颗粒组成								
郑州 503 厂	碱性矿浆 pH > 14	3.0	13.3～18.7 平均 16.1	90	粒径（毫米）	> 0.149		0.149～0.096		< 0.096			
					产率（%）	10		15		75			
江西某矿	尾矿	2.65	18.2	常温	尾矿最大粒径 $d_{max}=0.5$ 毫米 平均粒径 $d_p=0.074\sim0.1$ 毫米								
湖南锡矿山	井下充填用尾矿	2.6～2.9	最大 40 一般 24～30	常温	粒径（毫米）	> 0.4	0.4～0.3	0.3～0.2	0.2～0.1	0.1～0.074	0.074～0.037	0.037～0.02	< 0.02
					产率（%）	10.80	10.20	13.41	15.40	4.07	10.00	5.20	30.92

表 5－4－42　油隔离泥浆泵应用实例

项目名称		郑州 503 厂	江西某矿	湖南锡矿山
矿浆仓	布置形式 尺寸及容积	压入式 $D=6$ 米，$H=8$ 米 $V=200$ 米³	压入式 $D=6.3$ 米， $H=4.2$ 米， $V=60$ 米³	压入式 $D=2.2$ 米， $H=2.2$ 米， $V=7.6$ 米³

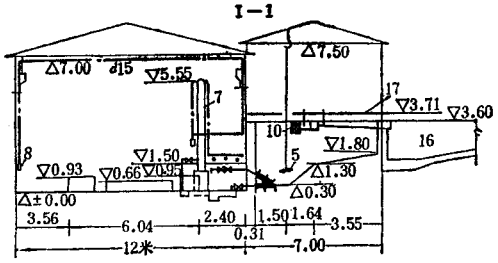
项目名称		郑州 503 厂	江西某矿	湖南锡矿山
机组	泵的型号	Y8－3(改装)	2DN－120/25	L－180(引进)
	活塞缸径×冲程×冲次×缸数	185×450×35×2	200×330×55×2	160×350×40×2
	流量(米^3/时)	96	120	额定 55(实测 61.5)
	压力(公斤/厘米^2)	最大 40(实用 30)	最大 25(实用 16)	最大 40(实用 12～16)
	电动机型号	JR137－10DZ$_2$	JR128－10	JISC4004
		电阻调速		
	转速(转/分)	585	585	490
	功率(千瓦)	155	130	95
	台数(工作×备用)	4×2(其中改装 3 台)	2×2	1×1
空气室 $D\times H$(米)		吸入 0.52×1.6 压出 0.33×6.3	吸入 0.31×1.0 压出 0.5×4.4	压出 0.5×4.4
安全装置		电触点压力表 插销式安全阀	电触点压力表 过电流保护装置 杠杆式安全阀	安全爆破片
管道布置型式		单打一	单打一	单打一
输送系统	管径(毫米)	150	150	100～125
	管长(米)		1402	2500～3000
	几何高度(米)		91	45
投产日期		1969	1974	1968

表 5－4－43　备品备件消耗指标

备品备件名称	湖南锡矿山	郑州 503 厂
阀体	1～2 个月	20 天
阀座	1～2 个月	20 天
阀体橡皮垫	0.5 个月	20 天
阀体弹簧	6 个月	3～4 个月
阀箱体	3 年	尚未换过
阀盖橡皮垫	15～20 天	1 个月
活塞 V 型密封环	3 个月	1～2 个月
活塞杆 V 型密封环	3 个月	2～3 年
乙型扩大管	3 年	4 年
乙型管下部水平管	1 年多	1 年

备品备件名称	湖南锡矿山	郑州 503 厂
活塞缸		6 个月
活塞		1 ~ 3 个月
活塞拉杆		3 ~ 6 个月
22# 透平油耗量	100 公斤/月	0.5 ~ 1.0 公斤/1000 米^3 矿浆（600 公斤/月）

（二）附图（图 5 – 4 – 29 和 5 – 4 – 30）



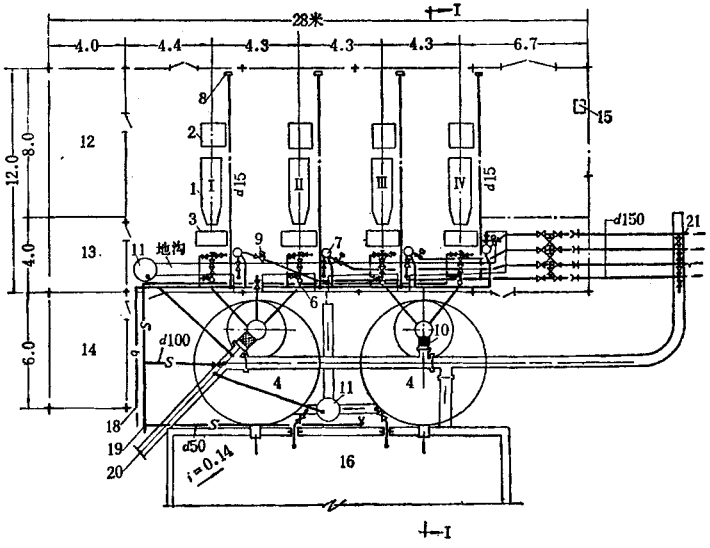


图 5 – 4 – 29　江西某矿油隔离泥浆泵泵站配置示意图

1—泵；2—电动机；3—阀体；4—矿浆仓；5—搅拌装置；6—吸入空气室；7—压出空气室；8—电触点压力计；9—安全阀；10—筛网；11—3PSL 泵泵坑；12—配电室；13—值班室；14—工具室；15—预留空压机；16—事故池；17—操作台；18—d32 给气管；19—d150 给水管；20—给矿槽；21—压出管

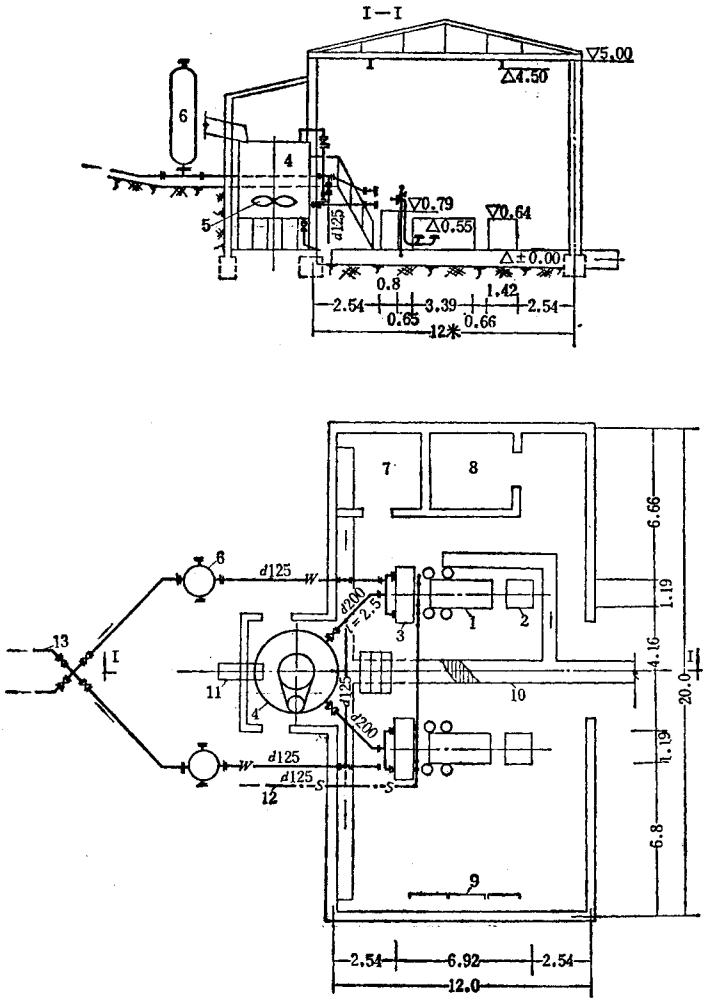


图 5－4－30　湖南锡矿山油隔离泥浆泵泵站配置示意图

1—泵；2—电动机；3—阀体；4—矿浆仓；5—搅拌装置；6—压出空气室；

7—仓库；8—值班室；9—配电盘；10—地沟；11—给矿；

12—来自高位水池的给水管；13—排矿管

六、高压管道零件

选用时应根据尾矿特性考虑允许磨损厚度。

1．**管道**(表 5－4－44)

表 5－4－44

D_g	P_g25、40 公斤/厘米^2		P_g16　公斤/厘米^2					
	无缝钢管		直缝直焊钢管		螺旋缝电焊钢管		水煤气输送钢管	
	材料：10－YB231－63、20－YB231－63		材料：A_3F－YB151－63					
	$D_w \times S$（毫米）	重　量（公斤/米）	$D_w \times S$（毫米）	重　量（公斤/米）	$D_w \times S$（毫米）	重　量（公斤/米）	$D_w \times S$（毫米）	重　量（公斤/米）
50	57×3	4.00	57×2	2.71			60×4.5	6.16
65	73×3	5.18	76×2	3.65			75.5×4.5	7.88
80	89×3.5	7.38	89×2	4.29			88.5×4.75	9.81
100	108×4	10.26	108×3	7.77			114×5	13.44
125	133×4	12.73	133×3.5	11.18			140×5.5	18.24
150	159×4.5	17.15	159×4.5①	17.15			165×5.5	21.63
175	194×6	27.82	194×6①	27.82				
200	219×6	31.52	219×6①	31.52	219×6	31.51		
225	245×7	41.09	245×7①	41.07	245×7	41.09		
250	273×7	45.92	273×5	33.04	273×7	45.92		
300	325×8	62.54	325×5	39.46	325×7	54.90		

①材料按 10－YB231－63、20－YB231－63。

2. **大小头**

(1)锻件大小头(表 5－4－45)

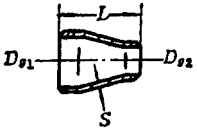


表 5－4－45

$D_{g1} \times D_{g2}$	L（毫米）	S（毫米）	重量（公斤）	$D_{g1} \times D_{g2}$	L（毫米）	S（毫米）	重量（公斤）	$D_{g1} \times D_{g2}$	L（毫米）	S（毫米）	重量（公斤）
65×50	120	3.5	0.655	175×100	240	6	5.26	250×150	300	7	11.00
80×50	130	4.5	1.00	175×125	220	6	5.20	250×175	290	7	10.30
80×65	130	4.5	1.15	175×150	220	6	5.57	250×200	280	7	11.80
100×50	160	4.5	1.38	200×100	290	6	6.78	250×225	260	7	11.40
100×65	160	4.5	1.55	200×125	240	6	6.10	300×150	400	8	19.60
100×80	160	4.5	1.67	200×150	220	6	6.00	300×175	400	8	20.70
125×65	200	4	2.00	200×175	200	6	5.83	300×200	400	8	21.30
125×80	160	4	1.70	225×125	300	7	9.65	300×225	360	8	20.30
125×100	160	4	1.85	225×150	300	7	10.30	300×250	300	8	17.80
150×80	200	4.5	2.7	225×175	280	7	10.30				
150×100	200	4.5	2.9	225×200	260	7	10.20				
150×125	200	4.5	3.2	250×125	360	7	12.60				

注：(1)材料按 YB231－63 规定的 10 号无缝钢管，在保证钢号及成品性能的条件下，也可采用其它材料；

(2)压力为 P_g40 公斤/厘米^2。

(2)焊制件大小头(表 5－4－46)

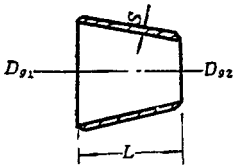


表 5－4－46

$D_{g1}\times D_{g2}$	L (毫米)	S (毫米)	重量 (公斤)	$D_{g1}\times D_{g2}$	L (毫米)	S (毫米)	重量 (公斤)	$D_{g1}\times D_{g2}$	L (毫米)	S (毫米)	重量 (公斤)
65×50	45	3	0.213	150×125	71	5	1.28	225×200	73	7	2.92
80×50	80	5	0.737	175×100	202	6	4.57	250×125	329	7	11.7
80×65	42	5	0.433	175×125	146	6	3.55	250×150	273	7	10.3
100×50	122	5	1.26	175×150	89	6	2.35	250×175	198	7	8.00
100×65	85	5	0.962	200×100	261	6	6.39	250×200	141	7	6.02
100×80	50	5	0.607	200×125	205	6	5.38	250×225	84	7	3.79
125×65	143	5	1.86	200×150	148	6	4.17	300×150	390	8	18.8
125×80	108	5	1.50	200×175	73	6	2.22	300×175	315	8	16.2
125×100	60	5	0.982	225×125	261	7	8.62	300×200	259	8	14.0
150×80	169	5	2.58	225×150	205	7	7.19	300×225	202	a	11.4
150×100	127	5	2.12	225×175	130	7	4.91	300×250	139	8	8.21

注：(1)材料按 A_3－YB151－63；
(2)压力为 P_g25、16 公斤/厘米^2。

(3)焊制件偏心大小头(表 5－4－47)

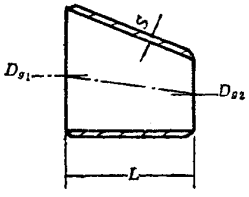


表 5－4－47

$D_{g1}\times D_{g2}$	L (毫米)	S (毫米)	重量 (公斤)	$D_{g1}\times D_{g2}$	L (毫米)	S (毫米)	重量 (公斤)	$D_{g1}\times D_{g2}$	L (毫米)	S (毫米)	重量 (公斤)
150×80	170	5	2.68	200×150	130	6	3.78	250×175	175	7	7.31
150×100	110	6	1.90	200×175	65	6	2.04	250×200	120	7	5.30
150×125	60	5	1.20	225×125	230	7	7.84	250×225	75	7	3.46
175×100	180	6	4.20	225×150	180	7	6.53	300×150	340	8	16.80
175×125	130	6	3.28	22S×175	115	7	4.50	300×175	275	8	14.70
175×150	80	6	2.17	225×200	65	7	2.69	300×200	225	8	12.60
200×100	230	6	5.81	250×125	290	7	10.70	300×225	175	8	10.30
200×125	180	6	4.89	250×150	240	7	9.33	300×250	120	8	7.34

注：(1)材料按 A_3－YB151－63；
(2)压力为 P_g25、16 公斤/厘米^2。

3. 三通管

(1)等径三通管

①锻、铸件(表 5－4－48)

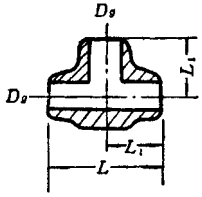


表 5－4－48

锻件(材料:20—YB4—63 压力:P_g < 100 公斤/厘米²)						铸件(材料:ZG25A—JB300—62 压力:P_g < 100 公斤/厘米²)				
D_g	L	L_1	S_1	S_2	重量	D_g	L	L_1	S	重量
(毫米)	(毫米)				(公斤)	(毫米)	(毫米)			(公斤)
50	130	65	4	7.5	1.93	100	400	200	16	21.2
65	150	75	4.5	8.5	4.13	125	450	225	16	27.4
80	170	85	8	11	5.34	150	500	250	18	38.6
100	210	105	6	13.5	9.44	200	550	275	20	64.5
						250	650	325	25	118.0
						300	700	350	32	196.0

②焊制件(表 5－4－49)

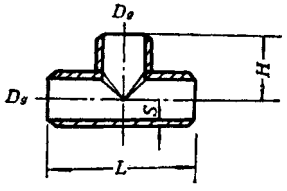


表 5－4－49

D_g	L	H	S	重量	D_g	L	H	S	重量
(毫米)	(毫米)			(公斤)	(毫米)	(毫米)			(公斤)
125	450	225	6	10.3	225	600	300	10	42.3
150	500	250	7	17.6	250	650	325	11	58.2
175	550	275	8	25.3	300	700	350	13	83.8
200	550	275	9	32.5					

注:(1)材料按 20—YB231—63;

(2)压力为 Pg < 60 公斤/厘米²。

(2)异径三通管

①锻、铸件(表 5－4－50)

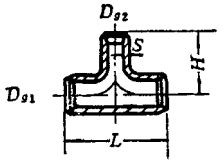


表 5－4－50

锻件 材料：20—YB4—63　压力：P_g < 100 公斤/厘米²								铸件 材料：ZG25A—JB300—62　压力：P_g < 100 公斤/厘米²					
$D_{g1} \times D_{g2}$ (毫米)	L	L_1	S_1	S_2	S_3	S_4	重量 (公斤)	$D_{g1} \times D_{g2}$ (毫米)	L	H	S_1	S_2	重量 (公斤)
	(毫米)								(毫米)				
65×50	150	75	4.5	8.5	4	16	3.70	100×80	400	160	16	16	21.3
80×50	170	85	6	11	4	25	5.71	125×80	450	200	16	16	28.0
80×65	180	90	6	11	4.5	17.5	5.01	125×100	450	200	16	16	28.5
100×50	190	95	6	13.5	4	37.5	10.60	150×100	500	225	18	16	40.5
100×65	200	100	6	13.5	4.5	30	10.30	150×125	500	225	18	16	41.5
100×80	210	105	6	13.5	6	23.5	9.91	200×125	550	250	20	16	64.0
								200×150	550	275	20	18	66.5
								250×150	650	300	25	18	114.0
								250×200	650	300	25	25	118.0
								300×200	700	350	32	25	190.0
								300×250	700	350	32	25	197.0

②焊制件(表 5－4－51)

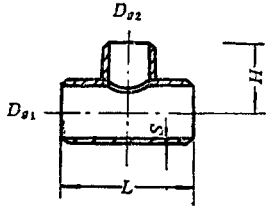


表 5－4－51

$D_{g1}\times D_{g2}$	L	H	S	S_1	重量	$D_{g1}\times D_{g2}$	L	H	S	S_1	重量
（毫米）	（毫米）				（公斤）	（毫米）	（毫米）				（公斤）
125×65	450	185	4	3	6.28	225×150	600	275	7	4.5	26.6
125×80	450	200	4	3.5	6.58	225×175	600	300	7	6	28.7
125×100	450	200	4	4	6.99	225×200	600	300	9	6	29.0
150×80	500	200	4.5	3.5	9.37	250×150	650	300	7	4.5	30.9
150×100	500	225	4.5	4	9.87	250×175	650	300	7	6	32.4
150×125	500	225	4.5	4	10.1	250×200	650	300	7	6	32.8
175×100	550	225	6	4	15.3	250×225	650	300	7	7	34.3
175×125	550	250	6	4	16.7	300×150	700	300	8	4.5	45.1
175×150	550	250	6	4.5	17.3	300×175	700	325	8	6	47.0
200×125	560	250	6	4	18.7	300×200	700	325	8	6	47.2
200×160	560	275	6	4.5	19.6	300×225	700	325	8	7	48.6
200×175	560	275	6	6	21.4	300×250	700	350	8	7	50.0

注：(1)**材料按** 20—YB231—63 **或** 10－YB231—63；
(2)**压力为** P_g40 **公斤/厘米**^{2}。

4．**弯头铸件(表** 5－4－52)

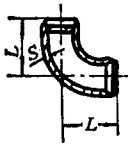


表 5－4－52

D_g	L	S	重量	D_g	L	S	重量	D_g	L	S	重量
（毫米）	（毫米）		（公斤）	（毫米）	（毫米）		（公斤）	（毫米）	（毫米）		（公斤）
80	140	16	8.7	150	205	16	20.5	225	280	20	54.3
100	165	16	12.2	175	240	20	36.9	250	300	20	64
125	185	16	16.3	200	260	20	44.4	300	350	25	105

注：(1)**材料按** ZG25A—JB300—62；
(2)**压力为** Pg＜100 **公斤/厘米**^{2}。

5．**法兰**

(1)**凸凹对焊法兰组件(表** 5－4－53)

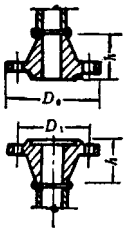


表 5－4－53

D_g	主要尺寸(毫米)			重量(公斤)		D_g	主要尺寸(毫米)			重量(公斤)	
(毫米)	D_0	D_1	h	凸面	凹面	(毫米)	D_0	D_1	h	凸面	凹面
50	160	125	48	2.92	2.68	175	350	295	88	21.4	20.2
65	180	145	58	3.98	3.63	200	375	320	88	25.0	23.6
80	195	160	58	5.02	4.64	225	415	355	98	32.1	30.5
100	230	190	68	7.56	6.97	250	445	385	102	36.7	35.0
125	270	220	68	10.3	9.48	300	510	450	116	52.3	50.0
150	300	250	72	13.5	12.6						

注：(1)材料按 20—YB4—63；

(2)压力为 $P_g < 40$ 公斤/厘米^2。

(2)对焊平法兰组件(表 5－4－54)

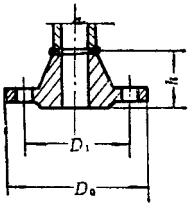


表 5－4－54

P_g25 公斤/厘米^2					P_g16 公斤/厘米^2				
D_g	主要尺寸(毫米)			重量	D_g	主要尺寸(毫米)			重量
(毫米)	D_0	D_1	h	(公斤)	(毫米)	D_0	D_1	h	(公斤)
50	160	125	48	2.78	50	160	125	48	2.41
65	180	145	55	3.64	65	180	145	50	3.28
80	195	160	55	4.68	80	195	160	52	4.22
100	230	190	62	6.89	100	215	180	52	5.03
125	270	220	68	9.67	125	245	210	60	6.81
150	300	250	72	12.56	150	280	240	60	8.25
175	330	280	75	14.18	175	310	270	60	10.4
200	360	310	80	18.1	200	335	295	62	12.1
225	396	340	80	23.4	225	365	325	68	15.6
250	425	370	85	27.2	250	405	355	68	17.8
300	485	430	92	34.4	300	460	410	70	24.6

注 材料按 20—YB4—63。

(3)平焊法兰组件(表 5－4－55)

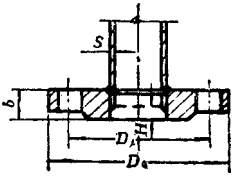


表 5－4－55

P_g25　公斤/厘米^2							P_g16　公斤/厘米^2						
D_g (毫米)	主要尺寸(毫米)					重量 (公斤)	D_g (毫米)	主要尺寸(毫米)					重量 (公斤)
	D_0	D_1	b	S	H			D_0	D_1	b	S	H	
50	160	125	24	3	5	2.71	50	160	125	22	2	5	2.61
65	180	145	24	3	6	3.22	65	180	145	24	2	6	3.45
80	195	160	26	3.5	6	4.06	80	195	160	24	2	6	3.71
100	230	190	28	4	6	6.00	100	215	180	26	3	6	4.80
125	270	220	30	4	6	8.26	125	245	210	28	3.5	6	6.47
150	300	250	30	4.5	6	10.4	150	280	240	28	4.5	6	7.92
175	330	280	32	6	7	11.9	175	310	270	28	5	7	8.81
200	360	310	32	6	8	14.5	200	335	295	30	5	8	10.1
225	395	340	34	7	9	17.0	225	365	325	30	5	9	11.7
250	425	370	34	7	10	18.9	250	405	355	32	5	10	15.7
300	485	430	36	8	10	26.8	300	460	410	32	5	10	18.1

注 材料按 A_3F—YB151—63。

第三节　输送系统的事故处理措施

当尾矿输送系统发生局部故障,非计划性停运、换泵或溢流等情况时,将有事故尾矿排出。为防止事故尾矿四处漫流造成环境污染,一般设事故池容纳事故排矿。待尾矿输送系统恢复正常后,再将事故池中的尾矿用水力清除送返输送系统中运走。

各部分事故池的设计要点分述如下。

1. 砂泵站的事故处理措施

(1)为了清除、管理方便,砂泵站事故池应就近设置。

(2)事故池的容积一般可按公式(5－4－42)计算:

$$V = V_b + V_c + V_g \qquad (5-4-42)$$

式中　V——事故池的有效容积，米^3；

V_b——半小时到 1 小时的来矿量，米^3；

V_c——需倒空的矿浆仓容积，米^3；

V_g——需倒空的管道容积，米^3。

当事故池尚需容纳前段管道的冲洗放矿时，应按容纳前段管道的全部容积另加 10 分钟的矿浆流量，以此与公式(5－4－42)所得值比较取其大者。

(3)对于人工清除的事故池应分成两格或多格；对于水力清除的则可不考虑分格。

(4)事故池池底应有不小于 5%的坡度，坡向返砂泵吸浆池，并用水泥砂浆抹面。

(5)事故池应有溢流管(沟)，溢流口应尽量远离来矿口。

(6)事故池冲洗水的压力宜大于 3.0 公斤/厘米^2，冲洗水量应与事故返砂泵的能力相适应。当砂泵站供水水压不能满足要求时，可考虑用水封加压泵的备用泵加压。

(7)事故返砂泵的能力一般应不大于正常输送矿浆量的 10%，以免影响输送系统的正常工作。

(8)事故返砂泵和返砂管道可不设备用。

(9)事故池一般应有室外照明。

(10)事故泵站的地下部分应设计成防渗漏结构的，管道穿墙处应设填料套管。

2. 浓缩池的事故处理措施

(1)一般情况下可不设事故池。

(2)如需要设置事故池时，事故池的有效容积应考虑容纳浓缩池内的全部压缩带的矿浆容积，一般可按浓缩池水面降落 0.3～0.5 米计算。

浓缩池底部应设有反冲洗用水管，反冲洗水管的压力宜大于 3.0 公斤/厘米^2，冲洗水管的能力应接近或等于浓缩池底部排矿的流量。

3. 矿浆管道的事故处理措施

在冲洗水比较可靠的条件下，(如设有专用高位冲洗水池时)矿浆管道上的排矿点可不设事故池。冲洗水量应按矿浆管道的临界流量计，一次冲洗用水量按置换管道的总容积，另加 10 分钟的冲洗流量计。

4. 事故池的实例：

(1)烧结总厂 2 号砂泵站事故池(图 5－4－31)

2 号泵站内设 10 台 5 组(2～3 组工作)8″胶泵。事故池距 2 号泵站约 100 米，倒空的管道约 1000 米，使用情况较正常。

冬季矿浆温度约 10℃，事故池冬季仍然使用。

(2)金堆城二选厂 0 号泵站事故池(图 5－4－32)

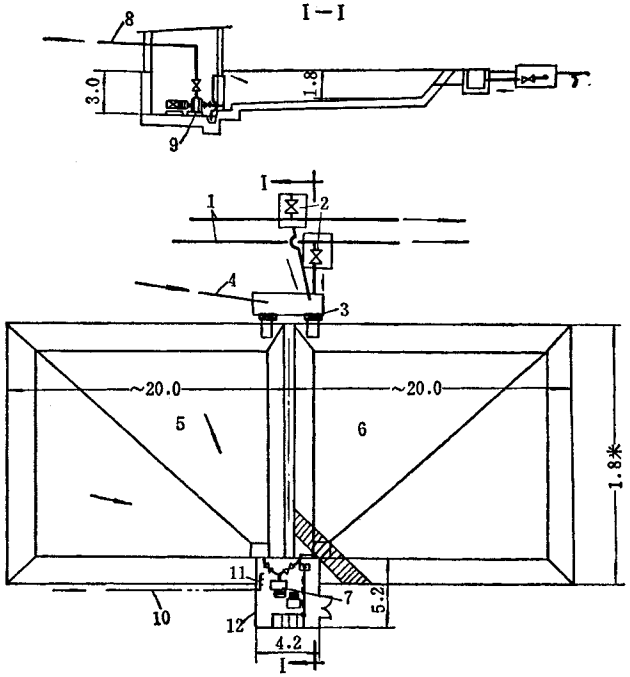


图 5－4－31　烧结总厂 2 号泵站事故池配置示意图
1—来自 2 号泵站的 2d600 尾矿管；2—放矿闸门 d300；3—木闸板；4—来自矿仓的 d500 溢流管；5—事故池(经常使用格)；6—事故池(经常不用)；7—4½″胶泵一台；8—返回 2 号泵站矿仓的事故矿浆管 d150；9—2″立式砂泵一台；10—接自 2 号泵站水封系统的冲洗水管 d75，压力 8.0 公斤/厘米^2；11—接冲洗胶管的接头；12—地下式事故返砂泵房

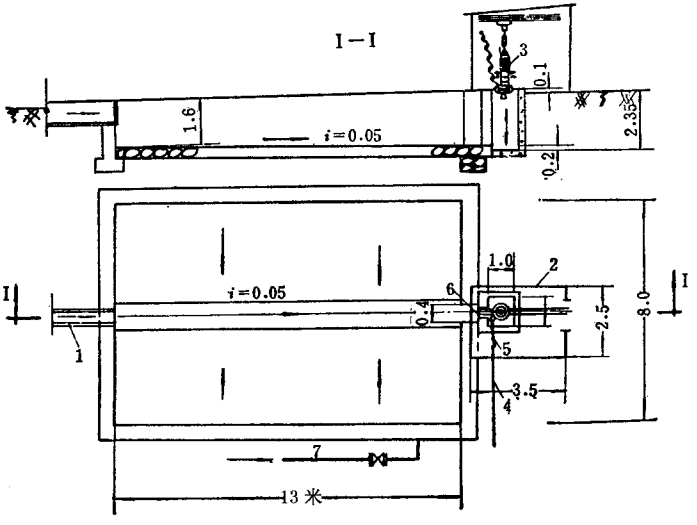


图 5－4－32　金堆城二选厂 0 号泵站事故池配置示意图
1—来自 0 号泵站的事故放矿沟；2—事故返砂泵房；3—手动猫头吊车吊挂的 2PNL 立式泵一台；4—d80 事故返砂管；5—橡胶软管；6—原设计闸板槽(实践证明以敞开为好)；7—d100 冲砂水管

0 号泵站内设 8″胶泵 4 台两组(一组工作,一组备用)。倒空的管道 d350 长 300 米,可正常使用。

(3)江西某矿油隔离泥浆泵泵站事故池(图 5－4－33)

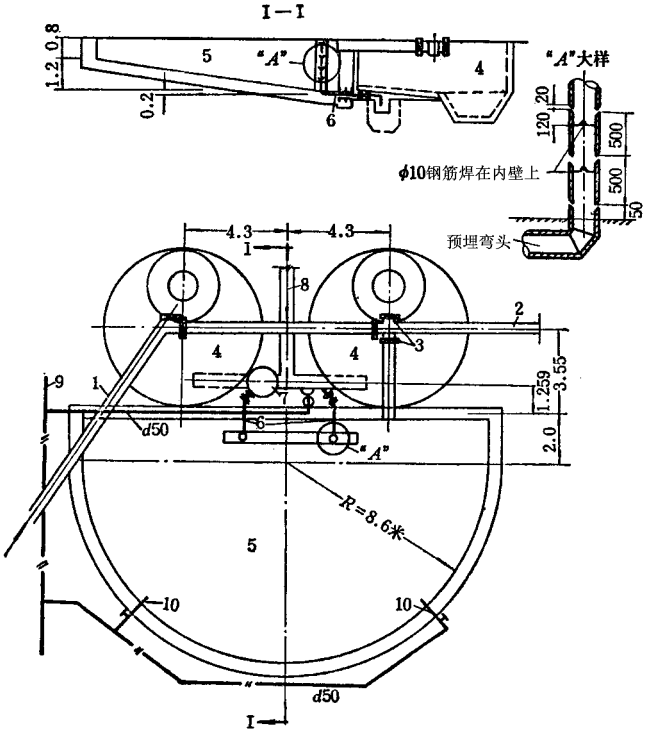


图 5－4－33　江西某矿泵站事故池配置示意图

1—自主厂房来的尾矿流槽;2—矿浆管道的事故放矿沟;3—木闸板;
4—矿浆仓;5—事故池;6—d150 溢流排浆(水)管;7—3″PSL 立式砂泵;
8—来自泵站的排水沟;9—d150 冲洗用水管;10—d38 简易水枪

第五章　尾矿输送系统的防冻

第一节　尾矿输送系统的防冻措施

尾矿管槽一般情况下多明设。但在北方寒冷地区的明设长距离低温矿浆管槽有可能产生冻结，造成严重事故。为此，设计时常需验算输送系统能否冻结，以便决定应否采取保温措施。然而，输送系统的热工计算中许多参数的取值比较困难，不易符合实际，因此设计时应参考类似工程的实际运用情况，并结合计算结果综合考虑，必要时还应通过现场实验加以验证。

尾矿管槽的保温可加保温层或改明设为埋设（全埋或半埋）。由于尾矿管道磨损较剧，每隔一定的时期需翻转管道，检修较频繁，采取保温措施会给管道维护检修带来很大的麻烦，故在实践中曾做过一些既不加保温又可防止输送系统冻结的试验。

经验表明：

（1）增大矿浆流速可提高尾矿输送系统的抗冻能力，流速达 1.5 米/秒以上时，矿浆管槽多不会产生冻结；

（2）为保证及时放空管槽内的矿浆和积水，并保证放空矿浆时有一定的流速，管槽敷设坡度应适当加大，并应严格控制施工坡度的准确度；

（3）管道敷设应避免凹形管段，如避免不了，应在凹形管段的最低点设可迅速开启的放矿阀。

采取以上措施在多数情况下可有效地防止管槽冻结，而不需采取保温措施。下面几

个实例可供参考。

实例一：

某矿地处北疆，冬季长达半年，最低气温常在 -40℃以下（最低达 -53℃），风力可达 7~8 级。

选厂尾矿量为 800 吨/日，出厂尾矿浆温度为 10℃，矿浆流量为 60 升/秒，浓度为 15%。

曾作过木流槽输送矿浆冻结试验：木流槽断面宽 200 毫米，高 250 毫米，长 80~100 米。当槽内矿浆流速达 1.5 米/秒时，表面形成厚 6~7 厘米的冰盖，矿浆可顺利流动。

工程中采用 D200 毫米铸铁管长 2600 米，明设于地表，敷设坡度为 3%，管内流速为 1.5 米/秒左右，于 1975 年 11 月投产后工作正常。

实例二：

周杖子矿地处承德地区，冬季气温 -15~ -20℃（最低达 -25℃）。选矿厂尾矿量为 50 吨/日（有时达 80 吨/日），出厂矿浆温度不超过 10℃。

原设计采用 D50~75 毫米铸铁管（部分为塑料管）输送尾矿，管道敷设坡度为 2.5~3%（施工时有少部分仅达 1.5%）。投产后每年冬季都发生冻结事故，以致不得不停产数月。

后改用宽 100 毫米，高 80 毫米的水流槽 600 米左右和 D75 毫米的铸铁管 600 米左右输送尾矿，管内流速 v = 1.3~1.5 米/秒，管槽敷设坡度加大到 5.5%，运用情况良好，不再冻结。

实例三：

小西林矿地处宜春地区，冬季气温达 -40℃（最低达 -45℃）。

选矿厂尾矿量为 500 吨/日。设计采用 D150 毫米铸铁管及水流槽长 2~2.5 公里输送尾矿，管槽敷设坡度为 3~3.5%。冬季生产中曾发生过冻结现象，经及时敲击处理，未形成严重事故。

第二节　管路温降实测数据

（1）通化二密矿（表 5-5-1、5-5-2）

表 5－5－1　尾矿管路温降实测值(1956 年)

实测日期	风速(米/秒)	气温(℃)	起点温度(℃)	终点温度(℃)	输送矿浆
1 月 19 日	1	－20	—	7.0	
1 月 21 日	0～0.5	－30	11.5	3.5	Q = 15 升/秒；
1 月 22 日	1～1.5	－14	—	6.5	P = 32%；
1 月 23 日	0～0.5	－25.5	11.5	4.5	γ_k = 1.255
	1	－10.5	11.0	5.5	
1 月 24 日	3	－5.0	—	6.5	
1 月 25 日	7～8	－0.5	11.2	6.5	
1 月 26 日	5～7	－2.5	—	6.5	
	7～8	－1.0	10.0	6.5	
1 月 28 日	0.5～1	－8.7	11.5	6.7	
2 月 4 日	1～2	－1.5	—	9.0	
2 月 5 日	1～2	－14.0	—	7.0	
2 月 6 日	0～0.5	－17.5	11.0	5.7	
2 月 9 日	4	－20.5	11.2	4.6	
2 月 10 日	4	－20.5	—	4.0	
2 月 12 日	1	－17.5	—	6.5	

注：管路为 D150 毫米铸铁管，长 2400 米，大部分沿山坡明设，有两处通过较大的沟谷，敷设在管桥上，一小段通过住宅区。

表 5－5－2　尾矿管路温降实测值(1966 年)

实测日期	风速(米/秒)	气温(℃)	起点温度(℃)	终点温度(℃)	输送矿浆
2 月 3 日	—	－26	8	6.5	Q = 26.3 升/秒；
		－20	8	7.5	P = 22%；
2 月 4 日	1.6～3.3	－29	8	5.8	γ_k = 1.19
		－30.5	8	6.7	
2 月 5 日	—	－28	7	6.0	
		－31	7	5.6	

注：管路为 D150 毫米铸铁管，长 1750 米，敷设情况同上表注。

(2)白银厂(表 5－5－3)

表 5－5－3　尾矿管路温降实测值

实测时间	风速（米/秒）	气温（℃）	起点温度（℃）	终点温度（℃）	输送矿浆
1966 年 1 月 17 日(15:30)	无风	－3	9	85	Q = 160～212 升/秒；
1966 年 1 月 18 日(8:00)	微风	－9	11.5	10	P = 23.6%

注：管路为 D350 毫米钢管长 4000 米，基本沿地表和坝顶明设，一处穿越河谷；尾矿经两级砂泵(10Б－7 型，N = 280 千瓦)扬送。

(3)青城子矿(表 5－5－4)

表 5－5－4　尾矿管路温降实测值

实测时间	风速（米/秒）	气温（℃）	起点温度（℃）	终点温度（℃）	输送矿浆
1966 年 2 月 12 日	—	－7	12.6	9.5	Q = 30.6 升/秒；
1966 年 2 月 13 日	—	－8.5	12.6	8.5	P = 30.5%；
1966 年 2 月 14 日	1.6～3.3	－10.5	12.6	8.5	γ_k = 1.23

注：管路为 D150 毫米铸铁管，长 2822 米，基本上沿山坡明设；少部分为架空敷设，尾矿经三座砂泵站扬送。

(4)鞍钢烧结总厂(表 5－5－5)

表 5－5－5　尾矿管路温降实测值(1966 年)

实测时间	风速（米/秒）	气温（℃）	起点温度（℃）	终点温度（℃）	输送矿浆的固水比
1 月 16 日 20:00	2.5	－9	24.2	21.6	1:4.3
21:00	1.2	－11.5	24.4	21.9	1:4.3
22:00	1.4	－12	24.1	21.5	1:4.1
23:00	3.2	－13	24.0	21.3	1:4.3
24:00	2.9	－13.5	23.8	21.2	1:4.3
1 月 17 日 1:00	4.5	－14	23.6	20.8	1:4.2
2:00	2.1	－15	23.7	20.9	1:4.2
3:00	2.4	－15	23.7	21.0	1:4.2
4:00	1.9	－16	23.4	20.2	1:6
5:00	0.1	－17	23.4	20.9	1:6
6:00	2.3	－17	23.8	21.0	1:6
7:00	2.8	－17	23.8	21.0	1:6
20:00	1.4	－15	24.4	22.6	1:6.3
21:00	2.4	－16	23.7	22.4	1:6.3

实测时间	风速（米/秒）	气温（℃）	起点温度（℃）	终点温度（℃）	输送矿浆的固水比
22:00	0	-17	24.3	20.9	1:4.8
23:00	0.5	-17	24.3	—	1:4.8
24:00	0.2	-17	24.0	21.8	1:4.2
1月18日 1:00	0.7	-17	24.3	21.0	1:4.2
2:00	0.6	-17	24.2	21.1	1:4.2
3:00	0.8	-19	24.1	21.5	1:4.2
4:00	0.6	-21	24.1	21.7	1:4.3
5:00	0	-22	24.3	21.5	1:4.2
6:00	0.5	-22	24.2	21.8	1:4.2

注：(1)矿浆流量当固:水=1:6时，$Q=320$升/秒，当固:水=1:4.3时，$Q=230$升/秒；

(2)管路为$D500$毫米铸铁管，长8500米，约三分之一敷设在暗沟内，其余大部分在沟堑内或半埋，仅少部分为地面上明设；

(3)尾矿经4座泵站(8″胶泵两段直接串联)扬送。

第三节　尾矿输送系统的热工计算

当选矿厂排出尾矿浆的温度已知时，热工计算就只须算出矿浆在输送系统中的热量增减，从而求得管槽终点处的尾矿浆温度。如选矿厂排出尾矿浆的温度未知时，则须考虑选矿厂的新水供应、回水供应、矿石供应、尾矿输送、尾矿库及回水系统各有关环节的热量平衡，以便求得管槽终点处的尾矿浆温度，计算相当繁复，且不易准确。

热工计算中影响较大的因素有气温和风速，气温最低时风速不一定最大，故计算时应考虑最不利情况。

对于较长的矿浆管槽，当其敷设条件不同时，应分段进行计算。

一、输送尾矿浆起点温度已知时的热工计算

(一)简便计算法

此法仅适用于明设无保温层的金属管道，其末端矿浆温度按公式(5-5-1)计算。

$$t_2 = t_1 - \frac{E(t_1 - t)}{G_s + G_k C_k + 0.5E} \qquad (5-5-1)$$

$$E = \pi D_\omega L(8 + 0.04t_b + 6\sqrt{\omega}) \qquad (5-5-2)$$

式中　t_2——管道末端排出尾矿浆的温度，℃；

t_1——管道始端尾矿浆的温度，℃；

t——冬季室外计算气温，℃；

G_s——尾矿浆的含水量，公斤/小时；

G_k——尾矿浆的固体量，公斤/小时；

C_k——尾矿的比热，千卡/公斤·℃，一般可取 $C_k = 0.2$；

D_ω——管道外径，米；

L——管道长度，米；

t_b——管壁温度，℃，计算中 $0.04t_b$ 一项相对很小可忽略；

ω——气温为 t 时吹过管道的风速，米/秒。

(二)详细计算法

矿浆通过输送系统到达终点时的温度可按公式(5－5－3)确定。

$$t_2 = \frac{t_1 + \Delta t_b + \Delta t_M - t_j}{e^{\varphi}} + t_j + \Delta t_s \qquad (5-5-3)$$

$$\varphi = \frac{L}{QCR\gamma_k} \qquad (5-5-4)$$

式中　t_2——管道末端排出尾矿浆的温度，℃；

t_1——管道始端尾矿浆的温度，℃；

t_j——冬季管槽周围介质的计算温度，℃，对于明设或半埋管槽取 $t_j = t$(气温)，对于全埋管槽取 $t_j = t_h$(土壤温度)；

L——管槽长度，公里；

Q——尾矿浆流量，米^3/小时；

γ_k——矿浆容重，吨/米^3；

C——矿浆的比热，千卡/公斤·℃；

Δt_b——矿浆通过输送系统中所有工作砂泵时的功热总温升，℃；

Δt_M——矿浆流过管槽时的摩擦温升，℃；

Δt_s——输送系统中浓缩池、无盖流槽等敞露水面的散热总温降，℃；

R——管槽的热阻，米·小时·℃/千卡。

上述后五项的计算见表 5－5－6、5－5－7。

初步估算时，有关气象参数可查表 5－5－14。

表 5－5－6　$C.\Delta t_b.\Delta t_M.\Delta t_s$ 计算公式表

计算项目	矿浆比热 C（千卡/公斤，℃）	矿浆通过砂泵的增热量 A_b（千卡/小时）和温升 Δt_b（℃）	矿浆流过管槽的摩擦增热量 A_M（千卡/小时）和温升 Δt_M（℃）	敞露水面的散热量 G_s（千卡/小时）和温降 Δt_s（℃）
计算公式	$C=\dfrac{1+DC_k}{1+D}$	$A_b=\Sigma\dfrac{2.34\gamma_k QHK_H}{\eta}(0.95-\eta)$ 或 $A_b=\Sigma 860N_z(0.95-\eta)$ $\Delta t_b=\Sigma\dfrac{0.00234HK_H}{C\eta}(0.95-\eta)$	$A_M=2340i_kLQ$ $\Delta t_M=2.34\dfrac{i_k}{\gamma_k}\dfrac{L}{C}$	$G_s=(q_1+q_2)\Sigma F$ $q_1=\dfrac{7870(1.32+\omega)}{P}(P_t-\phi P_b)$ $q_2=3.5(1.4+\omega)(t_s-t)$ $\Delta t_s=\dfrac{G_s}{1000\gamma_k QC}$

注：表中公式符号说明：

γ_k、Q、L 同前；D—矿浆的重量稠度；C_k—尾矿的比热，千卡/公斤，℃，一般可取 $C_k=0.2$；H—各砂泵的清水扬程，米水柱，由砂泵性能曲线查得；K_H—砂泵扬送矿浆时的扬程折减率，由图 5－5－8 或表 5－5－8 查取；η—各砂泵扬送矿浆时的效率；N_z—各砂泵的轴功率，千瓦；i_k—管槽输送矿浆时的水力坡降，米水柱/米；F—浓缩池或无盖流槽的敞露水面面积，米^2；P_t—水面温度为 t_s 时的饱和蒸气分压力，毫米水银柱，由表 5－5－10 查取；P_b—气温为 t 时的饱和蒸汽分压力，毫米水银柱，由表 5－5－10 查取；ϕ—最冷月平均相对湿度；P—大气压力，毫米水银柱，取最冷月平均值；t—冬季室外计算气温，℃；t_s—冬季室外水面温度，℃，可近似取为水温；ω—水面以上 2 米高处的风速，米/秒，如已知气象记录风速仪安装高度时，可按公式（5－5－5）换算：

$$\omega=\omega_f\left(\frac{h_j}{h_f}\right)^{0.3} \tag{5-5-5}$$

ω_f—风速仪观测的风速，米/秒；h_j—计算高度，米；h_f—风速仪安装高度，米（一般为 10 米）。

表 5－5－7　管槽热阻计算公式表

计算项目	明设管道的热阻 R（米·℃·小时/千卡）	全埋管道的热阻 R（米·℃·小时/千卡）	半埋管道上部裸露部分的热阻 R_1、地下部分的热阻 R_2（米·℃·小时/千卡）及温降 Δt/（℃）
计算公式	无保温层的金属管道： $R=\dfrac{1}{\pi d_2 a}$ $a=\dfrac{4\omega^{0,7}}{d_2^{0,3}}$ （a 计算值小于 10 时，应取 $a=10$） 有保温层的金属管道： $R=\dfrac{1}{2\pi\lambda}\ln\dfrac{d_3}{d_2}$	$R=R_1+R_2$ $R_1=\dfrac{1}{2\pi\lambda r}\ln\dfrac{D_r}{d_2}$ $R_2=\dfrac{1}{2\pi\lambda_0}\ln\left(\dfrac{4h_1}{D_r}+\dfrac{4}{B_i}+1\right)$ $B_i=\dfrac{a_0 D_r}{\lambda_0}$ $D_r=e^T$ $T=\dfrac{\lambda_0 t_h\ln d_2-\lambda_r t_k\ln 4h_1}{\lambda_0 t_h-\lambda_r t_k}$ $t_h=t_d\left(1-\dfrac{h}{h_0}\right)^2$	$R_1=\dfrac{360}{\beta\pi d_2 a}$ $a=\dfrac{4\omega^{0,7}}{d_2^{0,3}}$ $R_2=\dfrac{1}{2\pi\lambda_0}\ln\left(3+\dfrac{4}{B_i}\right)$ $B_i=\dfrac{a_0 d_d}{\lambda_0}$ $d_d=\left(1-\dfrac{\beta}{360}\right)d_2$ $\Delta t=\dfrac{(g_1+g_2)L}{Q\gamma_k C}$ $g_1=\dfrac{t_1+\Delta t_b+\Delta t_M-t_j}{R_1}$ $g_2=\dfrac{t_1+\Delta t_b+\Delta t_M-t_d}{R_2}$

计算项目	架空无盖自流槽的热阻 R（米·℃·小时/千卡）	架空有盖自流槽的热阻 R（米·℃·小时/千卡）	地表无盖自流槽的热阻 R（米·℃·小时/千卡）	地表有盖自流槽的热阻 R（米·℃·小时/千卡）
计算公式	$\frac{1}{R}=A+B$ $A=\frac{2(h_c+\delta_2)}{\frac{\delta_1}{\lambda_b}+\frac{1}{a_2}}$ $B=\frac{b+2\delta_1}{\frac{\delta_2}{\lambda_b}+\frac{1}{a_2}}$ $a_2=\frac{4\omega^{0.7}}{\left(\frac{4f}{\rho}\right)^{0.3}}$	$\frac{1}{R}=A+B$ $A=\frac{b+2h_c}{\frac{1}{a_1}+\frac{1}{a_2}+\frac{\delta_1}{\lambda_b}}$ $B=\frac{b}{\frac{1}{\Delta}+\frac{1}{a_2}+\frac{\delta_3}{\lambda_g}+\frac{1}{a_3}}$ $a_2=\frac{4\omega^{0.7}}{\left(\frac{4f}{\rho}\right)^{0.3}}$	$\frac{1}{R}=\frac{2(h_c+\delta_2)}{\frac{\delta_1}{\lambda_b}+\frac{1}{a_2}}$ $a_2=\frac{4\omega^{0.7}}{\left(\frac{4f}{\rho}\right)^{0.3}}$	$\frac{1}{R}=A+B$ $A=\frac{2(h_c+\delta_2)}{\frac{\delta_1}{\lambda_b}+\frac{1}{a_2}}$ $B=\frac{b}{\frac{1}{\Delta}+\frac{1}{a_2}+\frac{\delta_3}{\lambda_g}+\frac{1}{a_3}}$ $a_2=\frac{4\omega^{0.7}}{\left(\frac{4f}{\rho}\right)^{0.3}}$

注：表中公式符号说明

λ—管道保温层的导热系数，千卡/米·℃·小时，查表 5－5－11；λ_b、λ_g—流槽槽壁和盖板的导热系数，千卡/米·℃·小时，查表 5－5－11；λ_f—冻土层内管道周围融土的导热系数，千卡/米·℃·小时，一般可取 $\lambda_r=(0.7\sim0.8)\lambda_0$；$\lambda_0$—冻土的导热系数，千卡/米·℃·小时，查表 5－5－12、5－5－13；d_3、d_2—分别为管道保温层和管道的外径，米；ω—管槽上方 2 米高处的计算风速，米/秒，已知气象记录风速仪安装高度时可按公式(5－5－5)推算；h_1、h_0、h—分别为管中心距地表，冻土层、管顶内壁至地表的深度，米；h_c—流槽中水深，米；a_0—地面向空气的散热系数，千卡/米²·℃·小时，查表 5－5－8；a_1—水向槽壁的散热系数，千卡/米²·℃·小时，一般取 $a_1=1000$；a_3—空气向槽壁的散热系数，千卡/米²·℃·小时，取 $a_3=7.5$；t_k—矿浆温度，℃；t_d—地表温度，可取为多年最冷月平均气温，℃；β—露出地表的管壁对应的圆心角，度；δ_1、δ_2、δ_3—分别为流槽侧壁、槽底和盖板的厚度，米；b—流槽宽度，米；f—流槽过水断面面积，米²；ρ—流槽的湿周，米；$\frac{1}{\Delta}$—流槽上部空气层的热阻，米·℃·小时/千卡，查表 5－5－9；其余符号见公式(5－5－3)及表 5－5－6 的符号说明。

表 5－5－8　散热条件 a_0

散热条件	a_0（千卡/米²·℃·小时）
风寒侵袭强烈的敞野地区	15
一般地区	10～12
防风好的地区	8
无草皮保护的地区	$13\sqrt{\omega}$

注：表中 ω 为地面以上 2 米高处的计算风速，米/秒。

表 5－5－9　空气层的热阻 $\frac{1}{\Delta}$

空气层厚度(米)	0.01	0.02	0.03	0.05～0.3
$\frac{1}{\Delta}$(米·℃·小时/千卡)	0.14	0.17	0.18	0.19

表 5－5－10　不同水温 t_s 和气温 t 时的饱和蒸气分压力表

t_s（℃）	P_t（毫米水银柱）	$t_s(t)$（℃）	$P_t(P_b)$（毫米水银柱）	t_s（℃）	P_b（毫米水银柱）	t_s（℃）	P_b（毫米水银柱）
35	42.23	14	11.99	－7	2.55	－28	0.35
34	39.95	13	11.24	－8	2.34	－29	0.32
33	37.78	12	10.52	－9	2.14	－30	0.29
32	35.71	11	9.85	－10	1.96	－31	0.26
31	33.74	10	9.21	－11	1.80	－32	0.23
30	31.85	9	8.61	－12	1.64	－33	0.21
29	30.08	8	8.05	－13	1.50	－34	0.19
28	28.38	7	7.51	－14	1.37	－35	0.17
27	26.77	6	7.01	－15	1.25	－36	0.15
26	25.24	5	6.54	－16	1.14	－37	0.13
25	23.78	4	6.10	－17	1.04	－38	0.12
24	22.40	3	5.68	－18	0.95	－39	0.11
23	21.09	2	5.29	－19	0.86	－40	0.09
22	19.84	1	4.92	－20	0.78	－41	0.09
21	18.67	0	4.58	－21	0.71	－42	0.07
20	17.55	－1	4.22	－22	0.65	－43	0.06
19	16.49	－2	3.89	－23	0.59	－44	0.06
18	15.49	－3	3.58	－24	0.53	－45	0.05
17	14.54	－4	3.29	－25	0.48		
16	13.64	－5	3.02	－26	0.43		
15	12.79	－6	2.78	－27	0.39		

表 5－5－11　各种物质的导热系数 λ

分类	名　　称	容重（公斤/米³）	导热系数 λ（千卡/米·℃·小时）
混凝土	钢筋混凝土	2500	1.40
	〃	2400	1.33
	碎石或卵石混凝土	2200	1.10
	〃	2000	0.90
	碎砖混凝土	1800	0.75
	大孔隙的无砂混凝土	1900	0.85
	〃	1600	0.60
	轻混凝土（矿渣混凝土等）	1500	0.60
	〃	1200	0.45
	〃	1000	0.50
	加气混凝土、泡沫混凝土	1000	0.34
	〃	800	0.25
	〃	600	0.18
	〃	400	0.13
	〃	300	0.11

分类	名　　称	容重 （公斤/米³）	导热系数 λ （千卡/米·℃·小时）
天然石	形状整齐的浆砌块石	2680	2.75
	〃	1960	0.97
	〃	1260	0.44
	大理岩、花岗岩、玄武岩	2800	3.00
	砂岩、石英岩	2400	1.75
	重石灰岩	2000	0.80
	〃	1700	0.80
	贝壳石灰岩	1400	0.55
	石灰质凝灰岩	1300	0.45
砖砌体	用重砂浆砌	1800	0.70
	用轻砂浆砌	1700	0.65
刨花锯末	密实的刨花	300	0.10
	木锯末	250	0.08
	防腐锯末	300	0.11
植物草	稻草	300	0.09
	芦苇	100	0.12
	切碎稻草填充物	120	0.04
玻璃制品	玻璃棉，玻璃丝	200	0.05
	〃	100	0.045
矿渣及其制品	高炉矿渣	1000	0.25
	〃	700	0.19
	粒状的高炉矿渣	900	0.22
	〃	500	0.14
	矿渣砖	1400	0.50
	矿渣棉	350	0.06
松散体	松散矿渣	135	0.348
	松散稻壳	127	0.104
	松散锯末	304	0.128
	松散蛭石	194	0.108
	松散矿渣棉	198	0.065
金属	建筑钢	7850	50
	铸铁	7200	43
流体	水	1000	0.47
	冰	—	2.04
	空气	—	0.02

表 5－5－12　各种冻土的导热系数 λ_0

土壤类别	含水率（以重量计，%）	导热系数 λ_0（千卡/米·℃·小时）
采砂场的砂	＜15	2.0
	＜30	2.5
砂质垆坶及砂质粘土	＜15	2.2
	＜30	2.8
粘土	＜15	2.8
	＜30	3.0
粉末状土壤	＜10	1.7
	＜30	2.2
碎石夹砂或粘土夹砂	＜10	3.0
泥炭土		0.6

表 5－5－13　各种土壤导热系数 λ_0

土壤类别	干土容重（公斤/米^3）	试验温度（℃）	含水量（%）		导热系数 λ_0（千卡/米·℃·小时）
			按容积	按重量	
十分密实的砂	1640	－0.2	10	7	1.42
海砂	1585	＜0	27.5	14	2.40
采砂场的砂或河砂	1520	－2	10～15	7～10	2.10
	—	－2	22	15	2.10
	—	－2	31	20	2.25
	—	－2	40	28	2.40
夹杂有碎石的砂	—	＜0	16	10	2.25
湿粘土	1400	－2	10	6	2.55
	—	－2	15	10	2.65
	—	－2	22	15	2.75
	—	－2	33	22	2.85
	—	－2	40	28	2.90
	—	－2	50	35	3.00
砂质粘土	1540	＜0	15	10	1.80
	—	＜0	22	15	2.20
	—	＜0	30	20	2.50
	—	＜0	40	28	2.70

土壤类别	干土容重（公斤/米³）	试验温度（℃）	含水量（%）		导热系数 λ_0（千卡/米·℃·小时）
			按容积	按重量	
砾石（带有砂土的碎石）	2040	< 0	16	10	2.90
砾石（带有粘土的碎石）	—	– 2	16	10	3.00
粉质类土，流砂	1330	< 0	8	6	1.65
	—	< 0	18	13	1.95
	1330	– 2	38.5	23	2.25

表 5 – 5 – 14　某些寒冷地区的有关气象参数

序号	地名	极端最低温度（℃）	最冷月平均温度（℃）	最冷月平均相对湿度（%）	最冷月最大风速（米/秒）	最冷月平均风速（米/秒）	最大冻土深度（米）	最冷月平均大气压力（毫米水银柱）
	黑龙江省							
1	嫩江	– 43.0	– 25.2	73	12	1.3	2.26	745.5
2	伊春	– 43.1	– 23.7	74	10	2.1	2.76	743.7
3	齐齐哈尔	– 35.3	– 19.3	69	12	3.1	2.25	753.5
4	哈尔滨	– 38.1	– 19.7	72	13.5	3.1	1.94	751.3
5	鸡西	– 33.4	– 17.3	65	20	4.0	2.25	743.6
6	安达	– 37.2	– 19.8	72	12	3.0	2.07	752.9
7	海拉尔	– 43.6	– 27.1	76		2.2	2.2	710.3
	吉林省							
8	吉林	– 40.2	– 18.4	72		3.1	1.9	751.1
9	长春	– 36.5	– 16.9	68	20	4.1	1.69	745.6
10	四平	– 33.3	– 15.4	66	14	2.5	1.45	753.2
11	延吉	– 31.4	– 14.4	58	20	3.4	> 1.97	750.0
12	临江	– 34.8	– 17.7	73	8	0.8	1.08	737.5
13	通化	– 35.0	– 16.6	72	12	1.1	1.18	730.7
14	通辽	– 30.0	– 14.5	53	16	3.2	1.27	752.6
	辽宁省							
15	阜新	– 28.4	– 12.1	52	18	2.9	1.4	756.5
16	沈阳	– 30.5	– 12.7	63	16	3.0	1.39	765.8
17	朝阳	– 28.5	– 11.2	43	19	3.0	1.22	753.7
18	建平	– 23.9	– 10.5	45	18	2.8	1.47	729.9

序号	地名	极端最低温度（℃）	最冷月平均温度（℃）	最冷月平均相对湿度（%）	最冷月最大风速（米/秒）	最冷月平均风速（米/秒）	最大冻土深度（米）	最冷月平均大气压力（毫米水银柱）
19	本溪	－31.0	－12.3	65		2.3	1.05	754.2
20	桓仁	－35.7	－15.0	64	12	1.7	1.13	746.9
21	锦州	－24.7	－9.0	47	20	4.0	1.13	763.5
22	鞍山	－29.9	－10.9	62		2.7	1.03	768.2
23	草河口	－31.7	－13.1	65	20	2.5	0.90	747.0
24	营口	－25.7	－9.7	61	18	3.1	0.96	770.0
25	岫岩	－30.9	－11.5	62	16	3.3	0.99	762.0
26	丹东	－22.6	－8.6	57	24	4.4	0.87	768.2
27	大连	－21.1	－5.4	56	28	6.4	0.93	760.9
	内蒙							
28	锡林浩特	－38.0	－20.3	69	16	3.3	2.89	679.5
29	百灵庙	－39.1	－16.9	58	18	3.7	2.45	649.1
30	固阳	－34.3	－16.2	59		2.9	＞2.03	650.3
31	呼和浩特	－31.2	－13.7	55	16	1.4	1.2	676.1
32	磴口	－25.0	－11.0	49	13	3.3	1.08	677.4
	新疆							
33	富蕴	－49.8	－22.5	77	10	0.4	1.15	670.0
34	克拉玛依	－35.9	－17.1	77	10	1.3	1.97	736.4
35	伊宁	－40.4	－9.5	77	12.5	1.7	0.58	710.5
36	乌鲁木齐	－32.0	－15.2	78	24	1.2	1.62	715.7
37	哈密	－25.4	－10.4	57	10	1.9	1.12	706.4
38	喀什	－24.2	－6.0	63	10	1.2	0.64	658.0
39	若羌	－24.8	－8.4	56	12	1.6	0.96	692.9
40	和田	－21.6	－5.2	50	10.7	1.5	0.67	650.9
	甘肃省							
41	酒泉	－27.6	－10.3	57	＞20	1.9	1.32	643.0
42	张掖	－26.8	－10.6	57	16	1.8	1.08	641.9
43	乌鞘岭	－26.7	－12.3	46	19	4.3	1.49	525.2
44	兰州	－21.7	－7.3	55	7	0.4	1.03	638.8
45	天水	－15.2	－3.0	61	20	1.1	0.41	669.6

序号	地名	极端最低温度（℃）	最冷月平均温度（℃）	最冷月平均相对湿度（%）	最冷月最大风速（米/秒）	最冷月平均风速（米/秒）	最大冻土深度（米）	最冷月平均大气压力（毫米水银柱）
	宁夏							
46	银川	－24.3	－9.1	57	28	1.6	1.0	672.3
47	同心	－26.0	－8.7	48	15	2.4	1.37	653.2
48	固原	－25.7	－8.1	50	16	3.0	1.02	620.1
	青海省							
49	冷湖	－33.3	－13.2	33		2.6	1.48	545.4
50	大柴旦	－33.6	－14.6	36	10	1.2	＞1.5	517.4
51	西宁	－21.9	－8.6	46	13.6	1.5	1.3	581.5
52	都兰	－25.0	－10.7	40	13	2.8	2.01	516.3
	陕西省							
63	榆林	－27.3	－9.9	57	14	1.7	1.47	677.3
62	延安	－21.7	－6.5	51	7	2.3	0.75	685.6
	河北省							
55	承德	－21.3	－9.1	41	14	1.6	1.12	736.2
56	张家口	－24.6	－10.0	41	17	4.0	1.32	704.9
57	密云	－20.4	－6.3	38	14	3.0	0.65	763.8
58	遵化	－22.7	－7.3	43		1.8	1.06	765.2
59	唐山	－21.0	－5.6	49	15	2.8	0.73	768.5
60	涞源	－26.0	－9.5	46		3.3	1.50	693.1
61	保定	－22.0	－4.3	53	15.7	2.1	0.46	769.1
62	石家庄	－18.3	－2.7	48	16	2.0	0.52	763.4
63	邢台	－18.8	－3.2	54	10	2.0	0.44	763.7
64	邯郸	－19.0	－7.6					
65	北京	－17.8	－4.7	41	19.7	3.1	0.69	768.0
66	天津	－16.3	－4.0	51	23.3	3.0	0.51	770.6
	山西省							
67	大同	－29.1	－11.5	50	22.1	3.2	1.79	674.9
68	五台山	－38.4	－18.8	64	35.0	13.1		530.1
69	阳泉	－16.7	－4.3	40	14	2.4	0.68	702.4
70	太原	－24.2	－6.5	46	15.7	2.7	0.74	699.9

序号	地名	极端最低温度（℃）	最冷月平均温度（℃）	最冷月平均相对湿度（%）	最冷月最大风速（米/秒）	最冷月平均风速（米/秒）	最大冻土深度（米）	最冷月平均大气压力（毫米水银柱）
	山东省							
71	德州	-21.4	-3.9	57	18	2.8	0.48	769.1
72	淄博	-21.3	-3.4	57		2.4	0.42	767.5
73	济南	-16.7	-1.4	49	14	2.8	0.44	765.9
74	昌潍	-16.4	-3.6	57	16	3.3	0.42	764.9
75	泰安	-17.4	-3.0	52	18	3.1	0.46	758.7
	四川省							
76	阿坝	-33.9	-8.3	48		1.1	0.91	
77	甘孜	-21.6	-4.9	39	16	1.3	0.95	503.0
78	蛾眉山	-17.6	-6.3	76		3.6		524.4
	云南省							
79	中甸	-25.4	-3.9	59	14	2.1		513.1
	西藏							
80	昌都	-18.7	-2.7	34	9	0.8	0.71	509.3
81	拉萨	-16.5	-2.4	28	14	2.1	0.26	487.1
82	日喀则	-25.1	-4.1	29	14	1.6	0.67	476.6
83	江孜	-22.6	-5.4	21	16	2.3	1.01	466.0

注 本表择自《中国地面气候资料》(1961～1970)。

[例 1]某选厂用 φ50 米浓缩池两台(水面面积共 3920 米^2)回收尾矿水,尾矿量 3000 米^3/小时,矿浆比重 1.04,重量稠度 0.063,进入浓缩池的矿浆温度 10℃;当地极端最低气温 -30℃,最冷月平均风速 3.3 米/秒,平均相对湿度 60%,大气压力为 760 毫米水银柱。试求浓缩池排矿或溢流水的温度。

解:

按公式(5-5-5):

$$\omega = \omega_f\left(\frac{h_j}{h_f}\right)^{0.3} = 3.3\left(\frac{2}{10}\right)^{0.3} = 2\ \text{米/秒};\qquad (5-5-5)$$

查表 5-5-10:$P_f = 9.21$,$P_b = 0.29$;

按表 5-5-6 中公式:

$$q_1 = \frac{1}{P}7870(1.32+\omega)(P_t - \phi P_b)$$

$$= \frac{7870}{760}(1.32 + 2)(9.21 - 0.6 \times 0.29) = 310$$

$$q_2 = 3.5(1.4 + \omega)(t_s - t) = 3.5(1.4 + 2)(10 + 30)$$

$$= 475$$

$$C = \frac{1 + DC_k}{1 + D} = \frac{1 + 0.063 \times 0.2}{1 + 0.063} = 0.96$$

$$\Delta t_s = \frac{(q_1 + q_2)\Sigma F}{1000\gamma_k QC} = \frac{(310 + 475) \times 3920}{1000 \times 1.04 \times 3000 \times 0.96} = 1.03℃$$

$$\therefore t_2 = t_1 - \Delta t = 10 - 1.03 = 8.97℃$$

[例 2]　某选厂尾矿量 63 吨/小时，矿浆量 340 米/小时，矿浆出厂温度 8℃，矿浆比重 1.12，重量稠度 0.2 矿浆管为直径 250 毫米(外径 269 毫米)的铸铁管长 8 公里，矿浆流速 1.94 米/秒，水力坡降 $i_k = 0.027$ 尾矿用 4 座砂泵站扬送，砂泵电机功率 75 千瓦，泵效率 0.6，扬程 35 米，输送矿浆时的扬程折减率为 0.92 冬季室外计算气温 - 30℃，风速 6 米/秒，最冷月平均温度 - 10℃，冻土深度 1.1 米，冻土导热系数 2.5 千卡/米·℃·小时。试进行尾矿输送系统的热工计算。

解：

按表 5 - 5 - 6 中公式：

$$C = \frac{1 + DC_k}{1 + D} = \frac{1 + 0.2 \times 0.2}{1 + 0.2} = 0.867$$

$$\Delta t_b = 4 \times \frac{0.00234 HK_H}{C\eta}(0.95 - \eta)$$

$$= 4 \times \frac{0.00234 \times 35 \times 0.92}{0.867 \times 0.6}(0.95 - 0.6) = 0.202℃$$

$$\Delta t_M = \frac{2.34 i_k L}{\gamma_k C} = \frac{2.34 \times 0.027 \times 8}{1.12 \times 0.867} = 0.52℃$$

若管道明设，按表 5 - 5 - 7 中公式：

$$\omega = \omega_f\left(\frac{h_j}{h_f}\right)^{0.3} = 6\left(\frac{2}{10}\right)^{0.3} = 3.7 \text{ 米/秒}$$

$$a = \frac{4\omega^{0.7}}{d_2^{0.3}} = \frac{4 \times 3.7^{0.7}}{0.269^{0.3}} = 14.8 \text{ 千卡/米·℃·小时}$$

$$R = \frac{1}{\pi d_2 a} = \frac{1}{\pi \times 0.269 \times 14.8} = 0.08 \text{ 米·℃·小时/千卡}$$

按公式(5 - 5 - 4)、(5 - 5 - 3)：

$$\varphi = \frac{L}{QCR\gamma_k} = \frac{8}{340 \times 0.867 \times 0.08 \times 1.12} = 0.303$$

$$e^{\varphi} = 1.345$$

$$t_2 = \frac{t_1 + \Delta t_b + \Delta t_M - t_j}{e^{\varphi}} + t_j = \frac{8 + 0.202 + 0.52 + 30}{1.354} - 30$$

$$= -1.4℃$$

计算结果说明明设管道可能冻结。如用泡沫混凝土保温，使管道终点处矿浆温度提高到 $1.5℃$**，求保温层厚度。**

公式(5－5－3)**可变为：**

$$e^{\varphi} = \frac{t_1 + \Delta t_b + \Delta t_M - t_j}{t_2 - t_j}$$**，即**

$$\ln \frac{t_1 + \Delta t_b + \Delta t_M - t_j}{t_2 - t_j} = \varphi = \frac{L}{QCR\gamma_k}$$

由此得：

$$R = \frac{L}{QC\gamma_k \ln \dfrac{t_1 + \Delta t_b + \Delta t_M - t_j}{t_2 - t_j}} = \frac{8}{340 \times 0.867 \times 1.12 \ln \dfrac{38.722}{1.5 + 20}}$$

$$= 0.117$$**，米·℃·小时／千卡**

表 5－5－7 **中公式** $R = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_3}{d_2}$ **可变为** $\ln \frac{d_3}{d_2} = 2\pi\lambda R$

即 $e^{2\pi\lambda R} = \frac{d_3}{d_2}$**，**$d_3 = d_2 e^{2\pi\lambda R} = 0.269 \times e^{2\pi \times 0.25 \times 0.117} = 0.323$ **米**

$\therefore$ **保温层的厚度** $\delta = \frac{0.323 - 0.269}{2} = 0.027$ **米。**

若将管道埋设于地下 0.3 **米处，按表** 5－5－7 **中公式：**

$$t_h = t_d \left(1 - \frac{h}{h_0}\right)^2 = -10\left(1 - \frac{0.3 - 0.15}{1.1}\right)^2 = -7.45℃$$

$$T = \frac{\lambda_0 t_h \ln d_2 - \lambda_r t_k \ln 4h_1}{\lambda_0 t_n - \lambda_r t_k}$$

$$= \frac{2.5 \times (-7.45) \ln 0.269 - 2 \times 8 \ln 1.2}{2.5 \times (-7.45) - 2 \times 8} = -0.622$$

$$D_r = e^T = e^{-0.622} = 0.536 \text{ 米}$$

$$B_i = \frac{\alpha_0 D_r}{\lambda_0} = \frac{13\sqrt{3.7} \times 0.536}{2.5} = 5.36$$

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda_r} \ln \frac{D_r}{d_2} + \frac{1}{2\pi\lambda_0} \ln \left(\frac{4h_1}{D_r} + \frac{4}{B_i} + 1\right)$$

$$= \frac{1}{2\pi \times 2} \ln \frac{0.536}{0.269} + \frac{1}{2\pi \times 2.5} \ln \left(\frac{1.2}{0.536} + \frac{4}{5.36} + 1\right)$$

$$= 0.1425$$

按公式(5－5－4)与(5－5－3)得：

$$\varphi = \frac{L}{QCR\gamma_h} = \frac{8}{340 \times 0.867 \times 0.1425 \times 1.12} = 0.17$$

$$e^{\varphi} = 1.185$$

$$\therefore\ t_2 = \frac{t_1 \Delta t_b + \Delta t_M - t_j}{e^{\varphi}} + t_j = \frac{8 + 0.202 + 0.52 + 7.45}{1.185} - 7.45$$

$$= 6.25℃。$$

若将管道半埋，使外露管壁对应的圆心角 $\beta = 90°$**，则按表** 5－5－7 **中公式：**

$$R_1 = \frac{360}{\beta\pi d_2 a} = \frac{360}{90 \times \pi \times 0.269 \times 14.8} = 0.32$$

$$d_d = \left(1 - \frac{\beta}{360}\right) d_2 = \left(1 - \frac{90}{360}\right) 0.269 = 0.202$$

$$B_i = \frac{\alpha_0 d_d}{\lambda_0} = \frac{13\sqrt{3.7} \times 0.202}{2.5} = 2.02$$

$$R_2 = \frac{1}{2\pi\lambda_0} \ln\left(3 + \frac{4}{B_i}\right) = \frac{1}{2\pi \times 2.5} \ln\left(3 + \frac{4}{2.02}\right) = 0.102$$

$$g_1 = \frac{t_1 + \Delta t_b + \Delta t_M - t_j}{R_1} = \frac{38.72}{0.32} = 121$$

$$g_2 = \frac{t_1 + \Delta t_b + \Delta t_M - t_d}{R_2} = \frac{8.72 + 10}{0.102} = 184\ \text{千卡/米·℃·小时}$$

$$\Delta t = \frac{(g_1 + g_2) L}{Q\gamma_k C} = \frac{305 \times 8}{340 \times 1.12 \times 0.867} = 7.39℃$$

$$\therefore t_2 = t_1 - \Delta t = 8 - 7.39 = 0.61℃$$

〔例 3〕 **已知矿浆流量** 2160 **米**^{3}**/小时，矿浆比重** 1.12**，比热** 0.867**，重量稠度** 0.2 **；用钢筋混凝土架空流槽(高** 2 **米)输送，流槽** $b = 0.8$ **米，**$h_c = 0.3$ **米，**$\delta_1 = 0.1$ **米，**$\delta_3 = 0.15$ **米，**$\lambda_b = 1.4$ **千卡/米·℃·小时，全长** 8 **公里，坡度** $i_k = 0.014$ **；流槽始端矿浆温度** 3℃**，冬季室外计算气温** －30℃**，风速** 10 **米/秒，大气压力为** 760 **毫米水银柱，最冷月平均相对湿度** 0.6**。试计算流槽终点的矿浆温度。**

解：

若流槽无盖，按表 5－5－7 **中公式：**

$$w = w_f \left(\frac{h_j}{h_f}\right)^{0.3} = 10\left(\frac{2}{10}\right)^{0.3} = 6.2\ \text{米/秒}$$

$$\alpha_2 = \frac{4\omega^{0.7}}{\left(\frac{4f}{\rho}\right)^{0.3}} = \frac{4 \times 6.2^{0.7}}{\left(\frac{4 \times 0.8 \times 0.3}{0.8 + 2 \times 0.3}\right)^{0.3}} = 16.1$$

$$\frac{1}{R} = \frac{2(h_c + \delta_2)}{\frac{\delta_1}{\lambda_b} + \frac{1}{\alpha_2}} + \frac{b + 2\delta_1}{\frac{\delta_2}{\lambda_b} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{2(0.3 + 0.15)}{\frac{0.1}{1.4} + \frac{1}{16.1}} + \frac{0.8 + 2 \times 0.1}{\frac{0.15}{1.4} + \frac{1}{16.1}}$$

$$= 12.65$$

$R = 0.079$，**按表** 5－5－6 **中公式：**

当 $t_s = 3℃$，$t = -30℃$**时，查表** 5－5－10 **得** $P_t = 5.68$，$P_b = 0.29$，

$$q_1 = \frac{7870(1.32 + w)}{P}(P_t - \phi P_b)$$

$$= \frac{7870(1.32 + 6.2)}{760}(5.68 - 0.6 \times 0.29) = 430$$

$$q_2 = 3.5(1.4 + w)(t_s - t) = 3.5(1.4 + 6.2)(3 + 30) = 878$$

$$G_s = (q_1 + q_2)F = (430 + 878) \times 0.8 \times 8000$$

$$= 8380000 \text{ 千卡/小时}$$

$$\Delta t_s = \frac{G_s}{1000\gamma_k QC} = \frac{8380000}{1000 \times 1.12 \times 2160 \times 0.867} = 4℃$$

$$\Delta t_M = \frac{2.34 i_k L}{\gamma_k C} = \frac{2.34 \times 0.14 \times 8}{1.12 \times 0.867} = 0.27℃$$

按公式(5－5－4)、(5－5－3)：

$$\varphi = \frac{L}{QCR\gamma_k} = \frac{8}{2160 \times 0.867 \times 0.079 \times 1.12} = 0.048$$

$$t_2 = \frac{t_1 + \Delta t_M - t_j}{e^{\varphi}} + t_j - \Delta t_s = \frac{3 + 0.27 + 30}{e^{0.048}} - 30 - 4$$

$$= -2.3℃$$

计算结果说明无盖流槽可能冻结。改用加盖流槽，盖板厚 0.06 **米，槽高** 0.6 **米，则按表** 5－5－7 **中公式：**

$$\frac{1}{R} = \frac{b + 2h_c}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_1}{\lambda_b}} + \frac{b}{\frac{1}{\Delta} + \frac{1}{a_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_g} + \frac{1}{a_3}}$$

$$= \frac{0.8 + 2 \times 0.3}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{16.1} + \frac{0.15}{1.4}} + \frac{0.8}{0.19 + \frac{1}{16.1} + \frac{0.06}{1.4} + \frac{1}{7.5}} = 10.11$$

$R = 0.099$

按公式(5－5－4)、(5－5－3)：

$$\varphi = 0.0412$$

$$t_2 = \frac{3 + 0.27 + 30}{e^{0.0412}} - 30 = 2℃。$$

二、输送尾矿浆起点温度未知时的热工计算

(一)选矿厂不回收尾矿回水时

按尾矿含水量及生产用水供水温度、尾矿量及来矿矿石温度计算矿浆的含热量,并考虑矿浆在选矿流程中的全部增热和散热(为简化计算,散热忽略不计),即可按公式(5-5-6)求出尾矿浆的出厂温度。

$$t_1 = \frac{Q_s t_s + WC_k t + \frac{\Sigma A}{1000}}{CQ\gamma_k} \qquad (5-5-6)$$

式中　t_1——尾矿浆的出厂温度,℃;

Q_s——尾矿浆中的水量,米^3/小时;

Q——尾矿浆的流量,米^3/小时;

C_k——尾矿的比热,千卡/公斤·℃,一般可取 $C_k = 0.2$;

W——尾矿量,吨/小时;

t_s——选矿生产用水的水温,℃;

t——选矿厂来矿矿石的温度,℃;

γ_k——尾矿浆的容重,吨/米^3;

C——尾矿浆的比热,千卡/公斤·℃,按表5-5-6中的公式计算;

ΣA——矿浆在选矿流程中的增热量,千卡/小时,主要是通过球磨机、分级机等选矿设备的增热量和通过砂泵的增热量,可按公式(5-5-7)、(5-5-8)计算。

$$A_s = 860\Sigma N_z \psi_1 \psi_2 \qquad (5-5-7)$$

式中　A_s——矿浆通过选矿设备的增热量,千卡/小时;

N_z——各选矿设备的轴功率,千瓦;

ψ_1——设备的同时工作系数;

ψ_2——电能的热效系数,一般可取 $\psi_2 = 0.85$。

$$A_b = 860\Sigma N_z(0.95 - \eta) \qquad (5-5-8)$$

式中　A_b——矿浆通过砂泵的增热量,千卡/小时;

N_z——各工作砂泵的轴功率,千瓦,

η——各砂泵输送矿浆时的效率。

(二)选矿厂利用厂前浓缩池回收尾矿水时

可用联立方程或试算求解尾矿浆的出厂温度(即浓缩池给矿矿浆的温度)和浓缩池溢流水或排矿矿浆的温度(亦即选厂使用回水的温度)。

1. 联立方程法

利用浓缩池的热平衡方程与选厂热平衡方程联立求解。

浓缩池的热平衡方程为：

当 $\Delta > 0$ 时：

$$t_2 = \frac{(\sqrt{\Delta} - b\,\mathrm{tg}\alpha)\,t_1 - \frac{\mathrm{tg}\alpha}{2\alpha}(\Delta + b^2)}{2\alpha\,\mathrm{tg}\alpha t_1 + b\,\mathrm{tg}\alpha + \sqrt{\Delta}} \qquad (5-5-10a)$$

当 $\Delta < 0$ 时：$t_2 = \frac{1}{e^K}t_1 + \frac{(b - \sqrt{-\Delta})(1 - e^K)}{2\alpha e^K}$ $\qquad (5-5-10b)$

式中 $\Delta = 4\alpha C - b^2$；

$a = 0.0207\,C_1$；

$b = 0.23\,C_1 + 4.9 + 3.5\omega$；

$C = (4.7 - \phi P_b)\,C_1 - (4.9 + 3.5\omega)\,t$；

$a = \left(\frac{F\sqrt{\Delta}}{35\,Q}\right)^\circ$；

$K = \frac{F\sqrt{-\Delta}}{1000\,Q}$；

$C_1 = \frac{7870}{P}(1.32 + \omega)$；

F——浓缩池水面面积，米^2；

Q——进入浓缩池的矿浆量，米^3/小时；

t_1——浓缩池给矿矿浆的温度，℃；

t_2——浓缩池排矿矿浆和溢流水的温度，℃；

ω——水面以上 2 米高处的风速，米/秒，如已知气象记录风速仪安装高度时，可按公式(5－5－5)换算；

ϕ——最冷月平均相对湿度；

P_b——气温为 t 时的饱和蒸汽分压力，毫米水银柱，由表 5－5－10 查取；

t——冬季室外计算气温，℃；

P——大气压力，毫米水银柱。

选矿厂的热平衡方程为：

$$Q_0 t_0 + Q_h t_2 + WC_k t + \frac{\Sigma A}{1000} = Q\gamma_k C t_1 \qquad (5-5-11)$$

式中　Q_0——选矿生产用新水进入尾矿浆中的数量，米^3/小时；

t_0—新水的水温，℃；

Q_h——选矿生产用回水进入尾矿浆中的数量，米^3/小时；

t_2——浓缩池溢流水亦即选矿生产用回水的水温，℃；

其余符号同公式(5－5－6)。

具体计算方法详见[例 4]。

2. 试算法

先假定浓缩池给矿矿浆的温度 t'_1，算出浓缩池散热量 G，从而求得排矿矿浆的温度 t'_2，根据 t'_2 按公式(5－5－11)试算选厂的热平衡，如一次计算不能达到平衡，需重新假定 t''_1 进行计算，至计算结果达到平衡为止。此时的 t_1、t_2 即为所求。具体计算详见[例 4]。

(三)选矿厂利用尾矿库回收尾矿水时

此种情况的热工计算也可参照浓缩池回水的试算法进行。

先假定排入尾矿库的矿浆温度 t'_1，算出矿浆含热量及尾矿库的散热量，从而求得尾矿库排出澄清水的温度。根据回水系统的设置情况，算出澄清水在回水系统中的温升和温降，求得选矿厂使用回水的温度，再计算矿浆在主厂房内的增热，求得选矿厂排出尾矿浆的温度。最后根据尾矿输送系统的设置情况，算出矿浆流达管路终点时的温度(即排入尾矿库的矿浆温度)。当计算结果与原假定相符时，各处的温度即为所求。

尾矿回水通过水泵扬送时的增热量和温升按公式(5－5－12)、(5－5－13)计算。

$$A_b = 860\Sigma N_z(0.95 - \eta_s) \qquad (5-5-12)$$

$$\Delta t_b = \frac{A_b}{1000 Q_h} \qquad (5-5-13)$$

式中　A_b——尾矿回水通过水泵时的增热量；

N_z——回水系统各工作水泵的轴功率，千瓦；

η_s——水泵的效率；

Q_h——回水水量，米^3/小时。

尾矿库的散热主要通过水面，但冬季水面结冰时可减少散热。矿浆进入尾矿库后的温降计算比较困难，也不易准确，设计中可参考类似条件的尾矿库温降实际数据确定澄清水的温度。

几个选矿厂的尾矿库温降实测资料列于表 5－5－15。

表 5－5－15　尾矿库温降实测数据

选厂名称	南芬选厂			东鞍山选厂
实测时间	1974 年 1 月 14 日 16 时	1974 年 1 月 15 日 7 时 30 分	1974 年 1 月 15 日 15 时 40 分	1974 年 2 月 21 日 9 时 30 分
气温(℃)	－2.3	－17.2	－11	3～4
风速(级)	2～3	3～4	约 3	3～4
坝上放矿口矿浆温度 t_2(℃)	3.3	3.2	3.2	29.0
尾矿库排出澄清水温度 t_1(℃)	2.5	2.2	2.5	4
矿浆通过尾矿库的温降(℃)	0.8	1	0.7	25.0
备注	冰下放矿	冰下放矿	冰下放矿	冰上、冰下放矿

[例 4]　某选厂尾矿量 63 吨/小时，矿浆比重 1.04，流量 1022.5 米^3/小时，比热 0.96 千卡/公斤·℃，用两台 ϕ30 米浓缩池(水面面积共 1410 米^2)回收尾矿水，选矿生产用新水和回水进入尾矿浆中的数量分别为 315 米^3/小时和 685 米^3/小时，新水给水水温 5℃，主厂房内球磨、分级机等选矿设备的轴功率 1800 千瓦，同时工作系数 $\psi_1=0.9$，砂泵设备的运转轴功率 500 千瓦，砂泵效率 0.6，选矿来矿矿石温度 7℃，其它气象条件同[例 1]。试求尾矿浆的出厂温度。

解：

按公式(5－5－9)、(5－5－10)：

$$C_1=\frac{7870}{P}(1.32+w)=\frac{7870}{760}(1.32+2)=34.3$$

$$a=0.0207C_1=0.71$$

$$b=0.23C_1+4.9+3.5w=7.9+4.9+3.5\times2=19.8$$

$$\phi P_b=0.6\times0.29=0.174$$

$$C=(4.7-\phi P_b)C_1-(4.9+3.5w)t=4.53\times34.3-11.9\times(-30)=512$$

$$\Delta=4aC-b^2=4\times0.71\times512-19.8^2=1060>0,\sqrt{\Delta}=32.6$$

$$a=\left(\frac{F\sqrt{\Delta}}{35Q}\right)^\circ=\frac{1410\times32.6}{35\times1022.5}=1.285^\circ$$

将以上数据代入公公(5－5－9)：

$$t_2=\frac{(\sqrt{\Delta}-b\mathrm{tg}a)t_1-\frac{\mathrm{tg}a}{2a}(\Delta+b^2)}{2a\mathrm{tg}at_1+b\mathrm{tg}a+\sqrt{\Delta}}$$

$$=\frac{(32.6-19.8\times0.0224)t_1-\frac{0.0224}{1.42}(1060+19.8^2)}{2\times0.71\times0.0224t_1+19.8\times0.0224+32.6}$$

$$= \frac{32.16t_1 - 23}{0.318t_1 + 33.04}$$

矿浆在选矿流程内的总吸热量

$$\Sigma A = A_s + A_b = 860 \times 1800 \times 0.9 \times 0.85 + 860 \times 500(0.95 - 0.6)$$

$$= 1330 \times 10^3 \text{ 千卡/小时}$$

主厂房热平衡方程式

$$Q_0 t_0 + Q_h t_2 + WC_k t + \frac{\Sigma A}{1000} = Q\gamma_k Ct_1$$

$$315 \times 5 + 685\left(\frac{32.16t_1 - 23}{0.318t_1 + 33.04}\right) + 63 \times 0.2 \times 7 + 1330$$

$$= 1022.5 \times 1.04 \times 0.96t_1$$

整理得：$t_1^2 + 33.6t_1 - 254 = 0$

解之得：$t_1 = 6.4℃$

$$t_2 = \frac{32.16 \times 6.4 - 23}{0.318 \times 6.4 + 33.04} = 5.2℃$$

如用试算法求解：设 $t'_1 = 6℃$**，查表** $5-5-10$**，**$P_t = 7.01$**，**$P_b = 0.29$ **按表** $5-5-6$ **中公式：**

$$q_1 = \frac{7870(1.32 + w)}{P}(P_t - \phi P_b)$$

$$= \frac{7870 \times 3.32}{760}(7.01 - 0.6 \times 0.29) = 235$$

$$q_2 = 3.5(1.4 + w)(t_s + t) = 3.5 \times 3.4 \times (6 + 30) = 428$$

通过浓缩池的散热量

$$G_s = (q_1 + q_2)\Sigma F = (235 + 428) \times 1410 = 937 \times 10^3 \text{ 千卡/小时}$$

温降

$$\Delta t_s = \frac{G_s}{1000\gamma_k QC} = \frac{937 \times 10^3}{1000 \times 1.04 \times 1022.5 \times 0.96} = 0.915℃$$

$$t'_2 = 6 - 0.915 = 5.085℃$$

按公式$(5-5-11)$**：**

$$315 \times 5 + 685 \times 5.09 + 63 \times 0.2 \times 7 + 1330$$

$$= 5153.2 < 1022.5 \times 1.04 \times 0.96 \times 6 = 6140$$

热量不平衡，需要新假定 t''_1 **进行计算，至平衡为止。**

第六章　矿浆输送设备

第一节　概　　述

矿浆的输送是在矿山将有益矿物选取后，为了处理剩下的尾矿而被广泛的利用，也就是为了取得有益矿物将矿石进行碎矿、磨矿，使矿物与岩石分离并经浮选后将剩下来的大量泥浆状尾矿用泵输送至尾矿库或采空区。此外，从山区的矿山运送粉碎后的矿石和开采后的矿物也用这种输送方式。

在其他一些国家的矿山，土地广阔，人口稀少，没有普及铁路，由于长距离运输的成本比较高等原因，对水力输送进行了充分的探讨。例如澳大利亚输送铁矿石的管路长达193.12公里。

尤其是最近，环境污染的问题越来越严重，象日本秋田县大馆地区矿山的处理尾矿那样，输送到远地方进行集中处理的方式。今后在各企业里大概也将会被采用。

第二节　矿浆输送的现状

一、输送距离和实际扬程

各种泵的输送距离和实际扬程如图5－6－1所示，从泵的特性可以看出，对于远距

离、高扬程的输送使用活塞式泵，在矿山选矿厂内部输送矿浆是使用离心式泵。对于远距离输送的尾矿几乎都是采用活塞式泵。

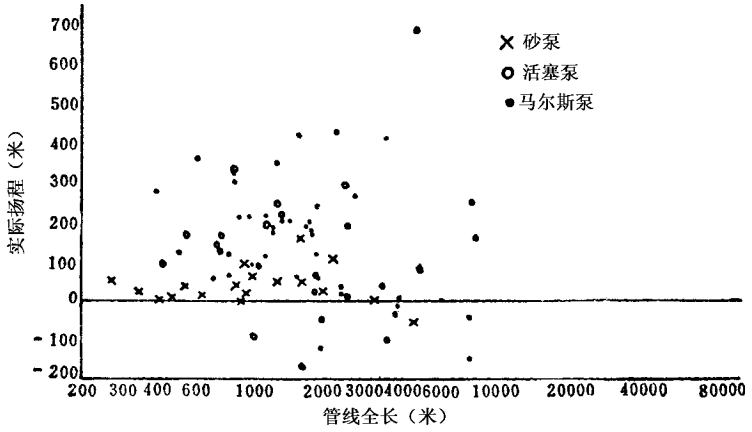


图 5－6－1　输送距离和实际扬程

一般说来，输送也包含作为输送介质水的输送，和其他输送方式相比，如图 5－6－2 所示，其单位输送量的动力较大，但输送距离越远，则单位输送量的动力成本越少，所以，输送距离越远越可以发挥输送的特点。

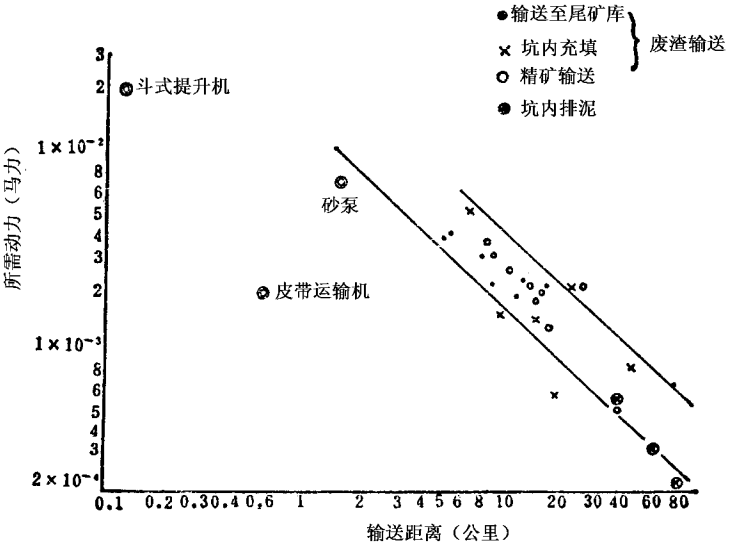


图 5－6－2　各种输送方式和所需的动力

二、输送的使用部门及其用途分类情况

表 5－6－1 是各部门使用马尔斯泵的实际情况。这种泵不论在日本和其他国家，用于矿山数量均占 85%，而且，在其他国家随着矿山的迅速发展对这种泵的需要量也正在增加。

表 5－6－1　马尔斯泵使用部门的实际情况

年份	日本					其他国家				
	矿山		冶炼	土建及其他	合计	矿山		冶炼	土建及其他	合计
	金属	其他				金属	其他			
1963	7				7					
1964	8				8					
1965	14		1		15	1				1
1966	7				7	1				1
1967	8	1	1		10				2	2
1968	8	1		3	12	2				2
1969	3	3			6	8	1			9
1970	5			1	6	10				10
1971	5			3	8	7	1			8
合计	65	5	2	7	79	29	2		2	33

表 5－6－2 是同样的马尔斯泵按不同用途的实际使用的实例。

表 5－6－2　用于各种用途的马尔斯泵实例

年份	日本					其他国家				
	输送尾矿	输送精矿	坑内排泥	坑内充填	其他	输送尾矿	输送精矿	坑内排泥	坑内充填	其他
1963	1	1		5						
1964	5	1		2						
1965	13		1	1		1				
1966	2		1	4				1		
1967	6		2	1	1					2
1968	10		1	1		1		1		
1969	2	2		1	1	2	4	3		
1970	3			3		6		4		
1971	3		3	2		3		4	1	
合计	45	4	8	20	2	13	4	13	1	2

在日本，80％的马尔斯泵用于矿山的尾矿处理，而在其他国家则多用于坑内排泥，也就是用于维护生产上。但从防止环境污染规定来看，今后的趋势可以认为对于精矿或尾矿的长距离输送方面的需要可能有所增加。

三、输送条件

(一)粒度分布

图 5－6－3 是杜兰德的临界流速计算值和实际的流速值。众所周知，对于输送粗颗粒的时候，就需要加快流速，因此由于输送阻力的增大，其动力也增加，同时管道磨损显著，尤其是在远距离输送的情况下，未必是个好方法。输送 1 毫米以下范围的颗粒和 1～3 毫米范围的颗粒的输送费用，据说粗粒的费用比细粒的费用要高出两倍。对输送前后的磨矿以及脱水等设备也加以考虑，还是输送细粒的比较有利。可以认为对于输送去掉超过 1～2 毫米的粗粒是比较经济的。图 5－6－4 所示是具有代表性的矿浆输送的粒度分布平均情况，几乎都调整到 1 毫米以下的细粒。

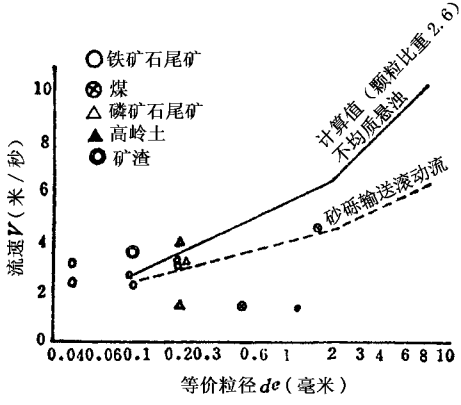


图 5－6－3　粒径和流速

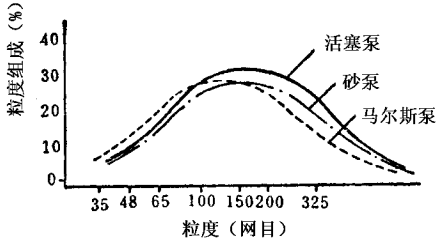


图 5－6－4　平均粒度分布

(二)流速

流速一快,则输送能力随之增大,但摩擦水头损失则与流速的平方成正比而增加。此外如图 5－6－5 所示,由于管道的磨损也随流速的增加而成对数的增加。因此要在不致因颗粒的沉降而堵塞管道的前提下选定尽可能低的流速。图 5－6－6 表明了几个输送的实例,可以明显地看出其趋向是,固体比重大的、颗粒越粗的则更需要增加流速。

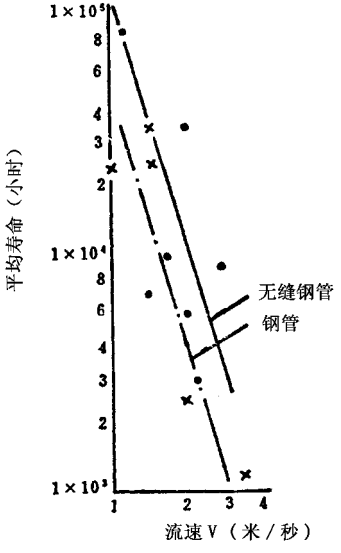


图 5－6－5　管子寿命

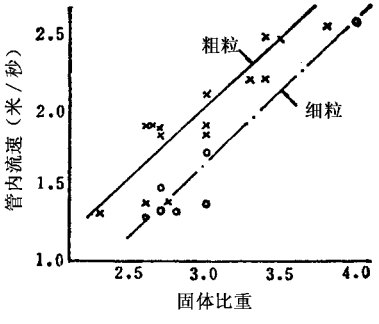


图 5－6－6　颗粒和流速

另外,图 5－6－7 表明各种泵的输送流速由于粒度分布、固体比重及浓度等而有所不同,但一般的流速大致在 1.2～2.1 米/秒左右。

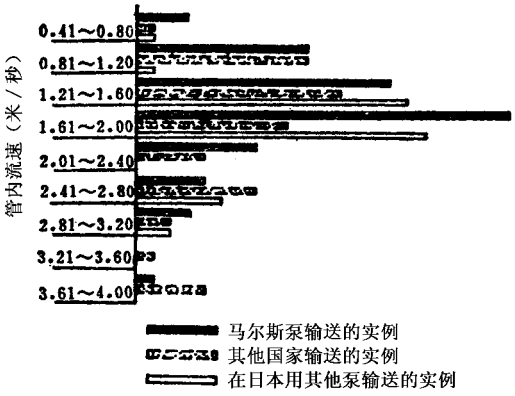


图 5－6－7　流速分布的实例

（三）浓度

如以低浓度输送，由于输送多余的水而浪费许多动力。另一方面，当浓度太高时则出口压力大，因而需要高压管道和大功率的电动机。因此需要根据相应使用目的来选择最合适的浓度。

图 5－6－8 是根据不同的使用目的采用的实际输送浓度。但为了提高充填效果，往坑内采空区则输送高浓度的尾矿。从坑内排泥，因与坑内水同时排出，所以其输送浓度较低些，往尾矿库的输送因与浓密机的容量有关，多采用中等浓度。此外，活塞式砂泵比离心式砂泵浓度稍高一些，很明显输送浓度是根据不同的使用目的而确定的。

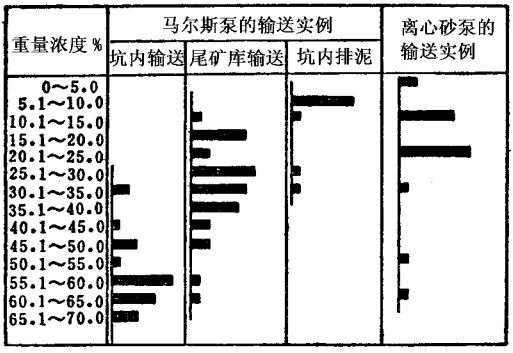


图 5－6－8　输送浓度

第三节　输送用泵

一、经济比较

表 5－6－3 是往复泵和离心泵在一定条件下的设备费、基建费的计算例，也就是往复泵的泵和电动机的设备费约占整个投资的一半，所以就有必要选用高浓度输送的小型泵，并考虑采用低流速来减少动力。另一方面，离心泵由于低浓度输送而流量较大，因而管径需要加大，其管道费用也多，所以在选定输送条件时需要考虑管道磨损。

表 5－6－4 是用往复泵对不同输送距离进行输送的经营费实例。远距离输送经费的大半用于动力，因此，在选定输送条件的同时须要选择效率比较高的泵。而短距离的输送，消耗品和人工费用所占比例较大。所以要选择维修比较方便的泵，同时也有必要考虑管理自动化方式。

表 5－6－3　输送设备的基建费

泵 / 设备	往复泵	离心泵
泵及电动机	55	25
管道及敷设	15	27
辅助设备	5	11
基建工程及其他	25	37
合　计	100	100

表 5－6－4　输送经费

输送距离 / 费用名称	>50%	<10%
消耗备品	8.4	29.7
动力费	87.0	26.9
人工费	4.6	44.4
合计	100	100

二、往复泵和离心泵的比较

表 5－7－5 是往复泵和离心泵特性的比较，一般在远距离输送时多采用往复泵。另

外，图 5－7－9 是表示往复泵和离心泵的适用范围，但往复泵是用于高压，小容量，当流量大时采用并联运输方式。而离心泵用于低压、大流量、当输送距离远时则采用串联运输方式。

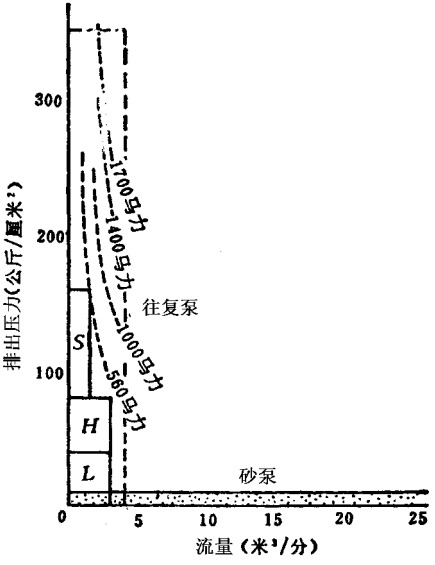


图 5－6－9　各种泵的适用范围

三、输送用泵

过去在高压、远距离输送方面多用隔膜泵、活塞泵及柱塞泵。但隔膜泵的隔膜强度还存在问题，只能使用到 20～30 公斤/厘米^2 的程度。活塞泵因为是把泥浆直接吸入汽缸，因此，活塞、汽缸磨损的快，虽然也有使用特殊合金制的，但使用时间不长，效率即降低。另外，柱塞泵同活塞泵一样也有泥浆磨损的问题，但采取在密封套部分进行注水防止磨损等措施，既不象活塞泵那样的磨损厉害，强度也大，在输送矿浆方面作为超高压泵而使用。

(1)马尔斯泵的结构和特点(如图 5－6－10 所示)。马尔斯泵是油隔离罐与汽缸直接相连，油隔离罐和阀体之间是由 Z 型管和连接管连接起来的。在吸入冲程中，随着活塞的运动油隔离罐里的油面就上升，而将上升容积部分的矿浆进行吸入。在排出冲程中，是使油隔离罐的油面挤压下降，矿浆冲开排出阀而排到排出管里，也就是矿浆只能进入到油隔离罐的中间位置，进行往复动作的汽缸部分被油所充满。此泵是一种汽缸几乎不磨损的泵。

表 5－6－5　往复泵和离心泵的比较

项　目	离　心　泵	往　复　泵
流量和压力	可输送 15～20 立方米/分的大流量，最大压力至多是 5～8 公斤/平方厘米	流量约在 3 立方米/分，但压力可以达到 200 公斤/平方厘米左右
随时间的变化	由于管道内水垢等的阻力增加而流量减少，以致不能达到计划的出水。	虽然由于水垢等使压力增高，但流量几乎没有变化。须要注意的是由于压力的增高，使管道损坏和电动机的过载负荷
效率	最大为 30%～50%，动力消耗大	效率可高达 80%～90%
输送浓度	最大为 30%左右，为提高浓度，泵的效率则显著下降。	浓度即使达到 70～80%也可以输送
重量	2～3 吨(小型)	20～30 吨(大型)
转数	1000～3000 转/分(高速运转)	50～200 转/分(低速运转)
脉动	无	用空气室防止脉动
粒径范围	可达到管内径的 1/3	限于在 1～5 毫米以下
磨损	转速快磨损大，使用特殊钢和橡胶衬里	比较少
轴封	密封套部分磨损大(填料盖)	比较少

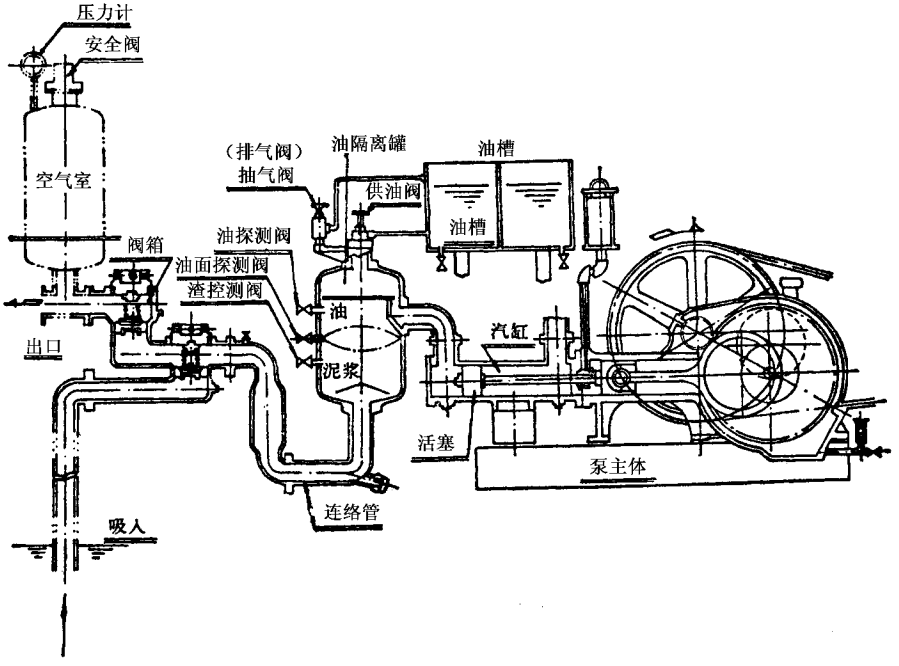


图 5－6－10　马尔斯泵的结构和全貌

表 5－6－6 是马尔斯泵和普通活塞式泵运转经费比较的例子，马尔斯泵消耗备品少以及容积效率降低很少，电费也便宜，运转费为活塞泵的 1/3 左右。

另外，关于消耗备品方面的比较如表 5－6－7 所示，阀的消耗基本上是一样，但马尔斯泵的活塞、汽缸几乎没有消耗，因此，消耗备品的费用显著地减少。

表 5－6－6　运转经费，日元/吨干量

使　用　例	马　尔　斯　泵	活塞式泵	比　　率
A	2.94	11.47	3.9
B	4.56	6.71	1.47
C	13.24	25.29	1.9
D	6.13	35.86	5.85
			平均 3.3

(2)油隔离罐作用。矿浆在油隔离罐里和油直接接触，由于油和水的比重差异和不亲合性彼此分离，因而油隔离罐内的油面由于活塞往复活动，进行着如图 5－6－11 所示的动作。其振幅设计为 30～50 毫米，以防止油和矿浆的混合浮化。进而在油隔离罐内装有整流板，以防止油面搅动。对运行中的油面位置，可以用探测阀进行人工的测定，也可使用静电电容器式水位指示器自动进行测定。

表 5－6－7　消耗备品费用，%

项　　目	活塞式泵	马尔斯泵
关于汽缸方面的	175	—
关于阀方面的	81	100
合　　计	256	100

注 :以马尔斯阀为 100 时

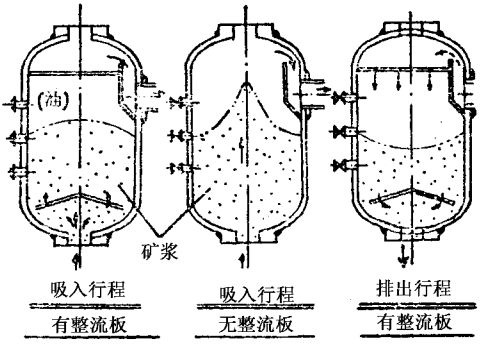


图 5－6－11　油隔离罐工作图

(3)吸入阻力。马尔斯泵在结构上吸入阻力大,因而吸入高度就有一定的限制。图 5 – 6 – 12 是表示清水的允许吸入水头,越是大型泵同时转数就越快,流体的惯性阻力就越增加,吸入高度就减少。

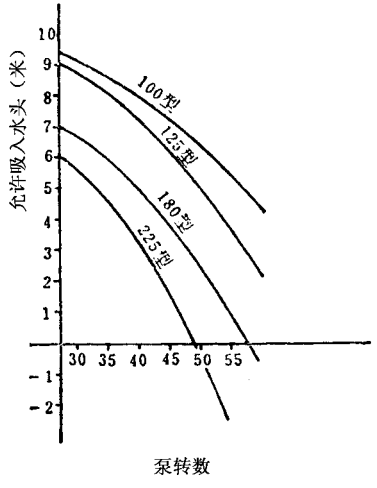


图 5 – 6 – 12　转数和吸入水头的关系图

四、输送阻力

在确定输送方式时,最主要的是根据输送阻力计算来确定所需要的动力。一般在设计新的远距离输送最好是根据实验测定的资料来计算输送阻力,但在设计阶段则使用经验值,根据实验公式或理论公式进行计算。

(1)实验公式。已经发表的实验公式有恰瑞斯(CHARES),聂维特(NEWITT)以及其他几个比较常用的杜兰德公式如下:

$$\frac{i_W - i_m}{i_m} = 81 C_V \left[\frac{g \cdot D(\delta - 1)}{V^2} \times \frac{1}{\sqrt{C_D}} \right]^{1.5}$$

$$17 v_S < V < (1800 \times g \times D \times v_S)^{1/3}$$

式中　i_W——矿浆的水头损失;

i_m——清水的水头损失;

C_V—容积浓度;

D——管径;

δ——固体比重;

V——平均流速;

C_D、V_S 如图 5－6－13 所示。

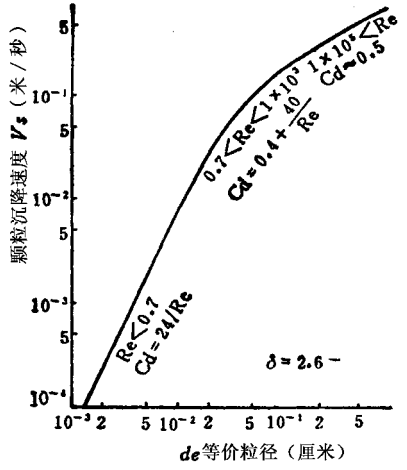


图 5－6－13　d_e—V_s 的关系

另外，应用上由于上式的 C_D 的选定会有很大的不同，需要注意。

(2)理论公式。一般的矿浆据说可以看作是宾厄姆液体。

$$\frac{\Delta P}{L}=\lambda_B\times\frac{\gamma}{D}\times\frac{V^2}{2g}$$

式中　ΔP——管道长为 L 的水头损失；

L——管道长度；

λ_B——管道摩擦系数；

γ——矿浆比重。

其中　$\lambda_B=4f_BF(a)$

$Re_B\cdot f_B=16$(在层流范围内)

$$Re_B=\frac{\gamma\cdot V\cdot D}{\mu_\beta\cdot g}\times 4\times a\times a\times F(a)$$

$$\alpha=\frac{3-4\times a+a^4}{12a}$$

$$F(a)=1-a$$

$$V=\frac{D\cdot\tau_\omega}{2\mu_\beta}\times\alpha$$

式中　Re_B——矿浆的雷诺数；

α——水力半径；

τ_ω——矿浆的剪切力；

μ_β——矿浆的粘滞系数。

即如果是宾厄姆液体的时候如 τ_ω 及 μ_β 是已知，按上述理论公式的关系式就可以计算出压力损失。图 5－6－14 表示具有代表性矿浆的 τ_ω 及 μ_β 值。

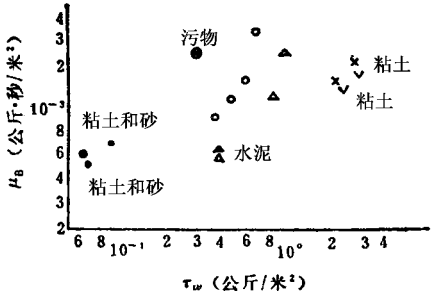


图 5－6－14　各种流体的 τ_ω 和 μ_β

第四节　输送前后的处理设备

一、分级设备

对分级设备来说，机械分级设备有 耙式分级机、螺旋分级机及刮板分级机。水力分级设备有 跳汰分级机及摇床分级机。沉积分级装置有 圆锥分级机。离心分级设备有：旋流器等。是按用途而分别使用，但对输送用的是一般采用也作为浓密机使用的旋流器。

(一)旋流器的特点

将悬浮于液体中的颗粒以矿浆原来的状态压入旋流器内，在旋流器里由于根据旋转运动对颗粒引起离心作用，而将液体和固体颗粒进行分离的设备。

(1)能够对 20 微米到 1 毫米左右的颗粒进行范围广的粒度分级。

(2)能够以多段方式分级，可以达到精度较高的颗粒自动分级。

(3)没有可动部分，发生事故少，容易操作。

(4)从其处理量上来看，比其他分级机型体都小。

(二)旋流器的选择

为了调整旋流器的颗粒分级和浓缩性能,需要对流入口面积 A_i、溢流排泥口直径(D_e)及底流排砂口即沉砂嘴、直径 D_u 加以调节。处理能力是和这些口径尺寸大小有关,图 5－6－15 是用实际旋流器进行实验的结果。其次是关于浓度调节,如把沉砂嘴关小,则底流浓度增大,而排出似绳状的矿浆。反之,如把沉砂嘴开大,则排出射流状浓度稀薄的矿浆。图 5－6－16 是表示调整沉砂嘴后其底流流量和溢流流量之比。另外,图 5－6－17 是表示给矿浓度和流量调整后,其浓度上升率的关系。如把底流面积缩小则底流浓缩率就显著的上升,如给矿浓度很大,个别情况也可能发生沉砂嘴堵塞。

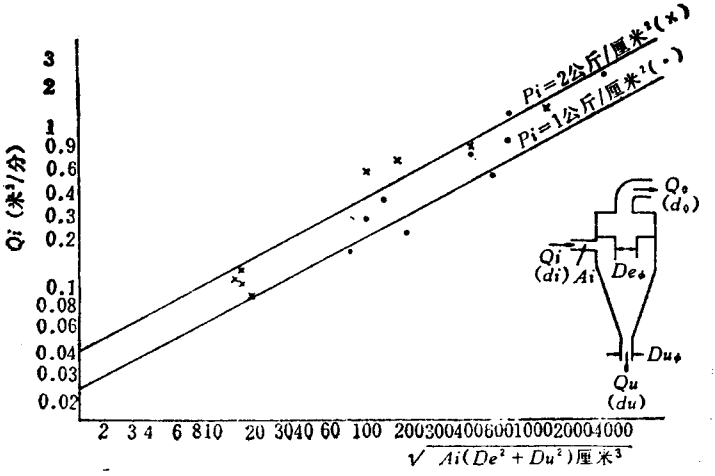


图 5－6－15　旋流器的处理能力

3)使用实例。图 5－6－18 是旋流器运转的一例。

二、浓缩设备

一般由选矿厂排出的尾矿浓度比较低,根据输送的目的不同有必要进行浓缩处理来减少不必要的输送动力。使用的浓缩设备为旋流器和浓密池,特别是对于微粒的分离浓缩,则采用浓密池。

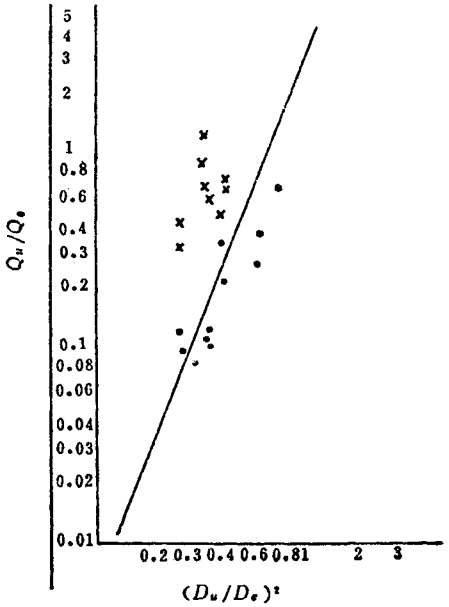


图 5－6－16　由于调整水力旋流器阀的流量比

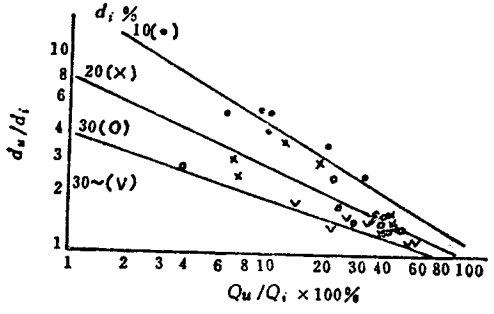
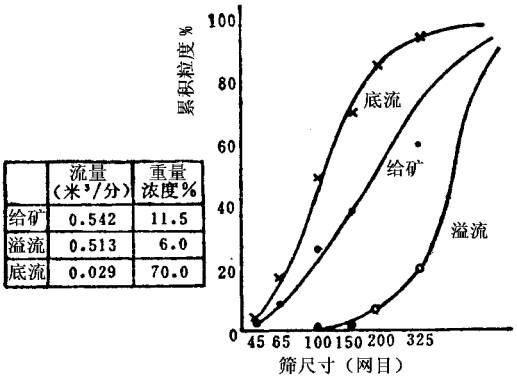


图 5－6－17　给矿浓度和浓缩性

(一)浓密池的操作

为了不使流入池内的微粒矿浆向上翻转,因此矿浆一定要稳定的流入池内。在池子里固体颗粒慢慢地和水沉淀分离,则形成如图 5－6－19 那样的浓度分布情况。上部澄清水从池的周围溢出,沉淀浓缩下来的固体颗粒则用机械耙子集积一起待达到适当浓度以后,从池底中央部分间断的排出。



	流量（米³/分）	重量浓度%
给矿	0.542	11.5
溢流	0.513	6.0
底流	0.029	70.0

图 5－6－18　*M*D6 旋流器运转实例

给矿压力—1.9 公斤/厘米² 流速—7.84 米/秒 给矿面积—48×24 毫米；
细粒出口内径—φ50 毫米，沉砂嘴内径—φ32 毫米 固体比重—2.7

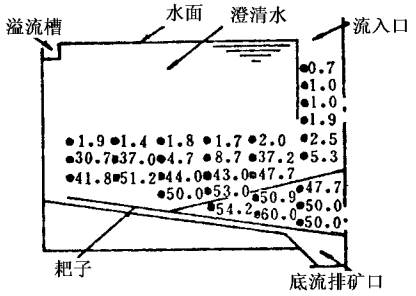


图 5－6－19　浓密池内矿浆浓度分布%（重量）

（二）浓密池容量的计算

将矿浆的取样放在量筒里静置一段时间后，则产生颗粒沉淀形成澄清水层。图 5－6－20 是对矿山的尾矿进行了测定的例子，一般是求出 10 分钟的澄清平均速度（v）来计算所需要的浓密池表面积。

$$A = \frac{W}{v}$$

$$W = \frac{a \cdot \delta}{\delta - a_1 \delta + a_1} Q_1 \left(\frac{1}{a_1} - \frac{1}{a_2} \right)$$

式中　a_1 **——给矿浓度；**

a_2 **——排矿浓度（即沉淀浓度）；**

δ **——颗粒固体比重；**

Q **——给矿量。**

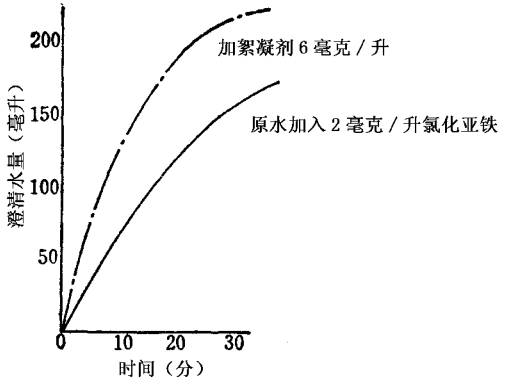


图 5－6－20　矿山尾矿澄清速度的测定结果(浓度 6.96% W_t)

然而,一般在浓密池里由于耙子搂集沉淀颗粒时的扰动,所以需要计算面积的两倍。

(三)使用实例

图 5－7－21 是日本矿山使用的浓密机实例。

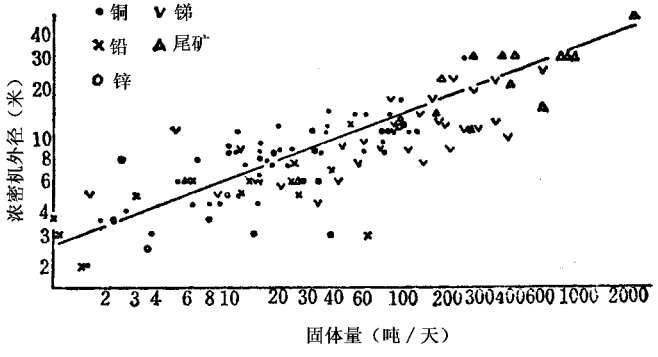


图 5－6－21　日本矿山所使用的浓密机实例

三、脱水设备

矿浆用机械脱水的有:压缩脱水、离心脱水及真空脱水。对于浓度稀薄过滤困难的矿浆则用压滤机进行脱水。而对浓度高的又连续进行处理时,则用圆盘式或圆筒式真空过滤机进行脱水。

(一)圆筒式真空过滤机的作用

表面贴有滤布的圆筒滤体,在矿浆中旋转,矿浆便挂在滤布上并用真空泵通过滤布进行脱水。脱水后的滤饼在剥离部分用压缩空气或刮板进行剥离收集。图 5－6－22 是圆筒式真空过滤机辅助设备的配置图。

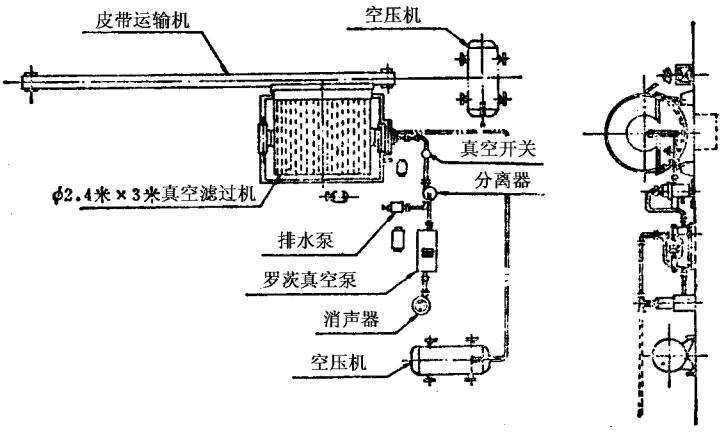


图 5－6－22　真空滤过机配管图

(二)处理能力

圆筒式真空过滤机的处理能力是与滤布质量、真至压力大小及矿浆粒度组成等有关,难于统一规定,一般是通过实验测定的资料来确定。以下几个人提出了不同的数据

他卡陶　0.3～0.4　吨/米^2/时

立基露　0.12～0.20吨/米^2/时

山　田　0.7　吨/米^2/时

关于滤饼的含水量如下：

精　矿　7～20%

水　泥　20～40%

高岭土　30～40%

(三)使用实例

图 5－6－23 是日本矿山圆筒式真空过滤机运转实例。

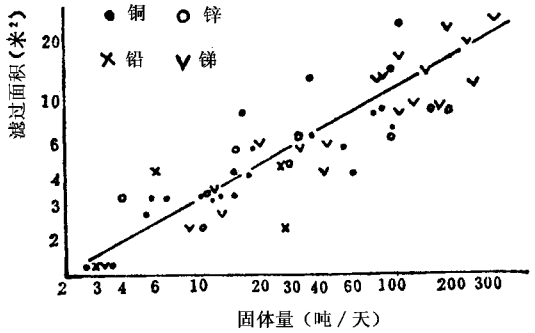


图 5－6－23　日本矿山使用圆筒式真空过滤机的实例

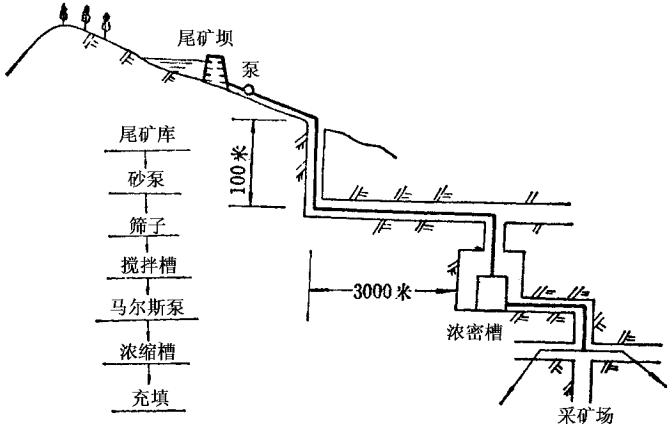
第五节　输送实例

列举具有代表性的输送实例(例 1 ~ 例 5)。

例 1　尾矿的井下充填输送

此例是将尾矿库所堆积的尾矿,为了把它输送到井下充填采空区,特点是向下输送,由于水平部分的摩擦阻力还不能自流输送,因而用泵输送。

输送条件：	矿浆条件：
流量 0.342 米^3/分	浓度 50%(重量)
流速 1.7 米/秒	比重 1.46
出口压力 24 公斤/厘米^2	pH—
泵型号 L—125	粒度 + 65　39%
电动机 35 千瓦	+ 325　54%
管路全长 3440 米	- 325　7%
实际扬程 115 米	
管内径　65 毫米	

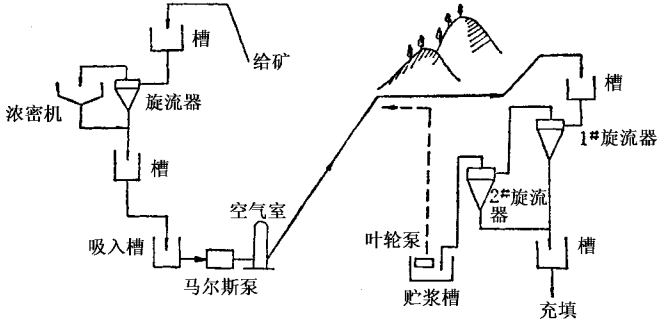


例 1 图

例 2　井下充填和平衡表

此例是井下的尾矿充填,其特点 :在井下再一次进行旋流浓缩把高浓度的矿沙充填采空区。

输送条件：	矿浆条件：
流量 0.75 米^3/分	浓度 50%(重量)
流速 1.54 米/秒	比重 1.5
出口压力 28 公斤/厘米^2	pH9.5
泵型号 H—180	粒度 +65　14%
电动机 150 千瓦	+100 12.5%
管路全长 1830 米	+200 23.5%
管内径 100 毫米	+325 17.1%
	−325 32.9%

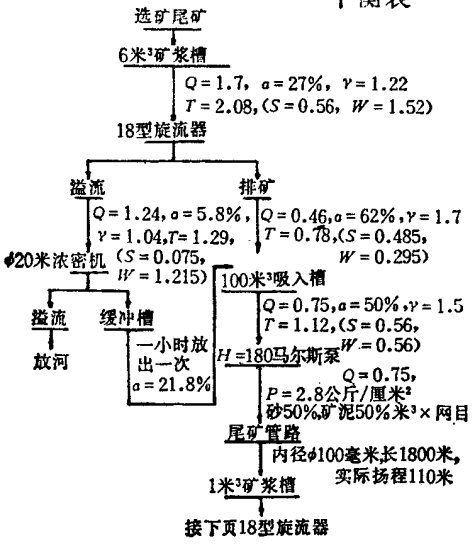


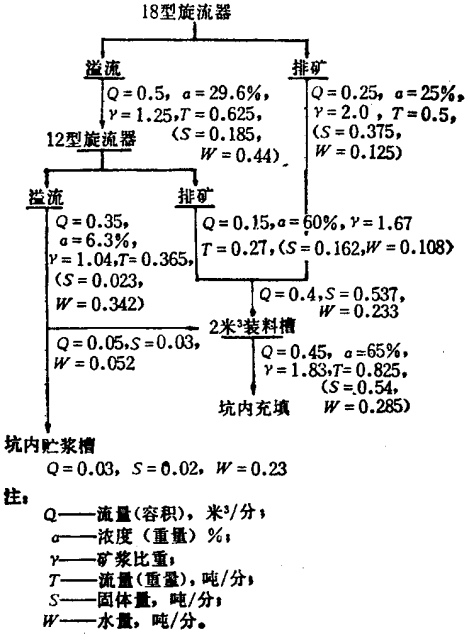
例 2 图

例 3　坑内排泥的输送

此例是将坑内涌水中所含的泥经过沉淀池进行沉淀分离,其上部澄清水用叶轮泵扬送,而沉泥则用马尔斯泵直接送到坑外浓密池的方式。尤其是从采用充填法采矿后,用尾矿充填采空区,坑内水中的含泥量越来越多,叶轮泵的寿命显著缩短,因而采用了这种扬水方法。

平衡表

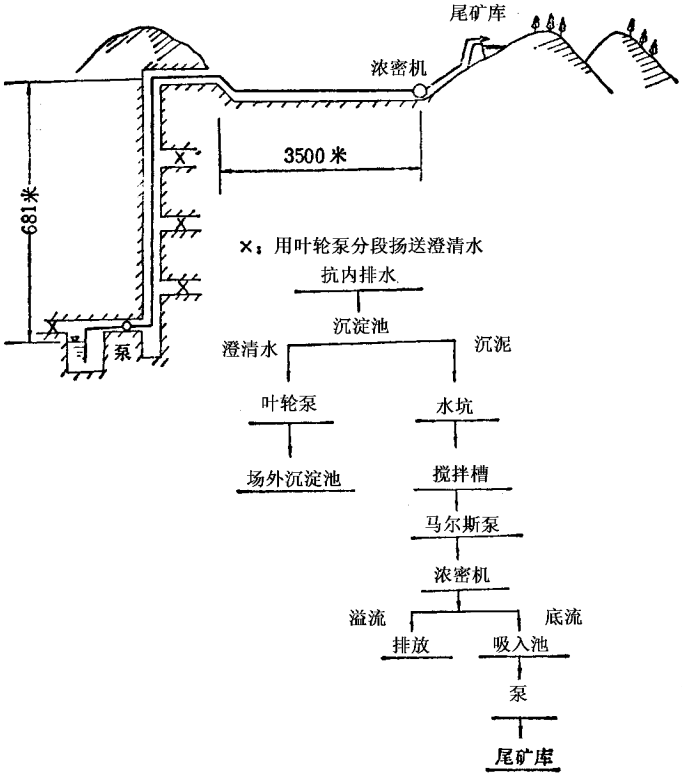




注：

Q——流量(容积)，米³/分；
a——浓度（重量）%；
γ——矿浆比重；
T——流量(重量)，吨/分；
S——固体量，吨/分；
W——水量，吨/分。

输送条件：	矿浆条件：
流量 0.25 米^3/分	浓度 50%
流速 1.0 米/秒	比重 1.44
排出压力 114 公斤/厘米^2	pH—
泵型号 S—125	粒度 + 65　3%
电动机 75 千瓦	+ 100　8%
管路全长 5660 米	+ 150　10%
实际扬程 680 米	+ 200　5%
管内径 80 毫米	+ 325　32%
	− 325　42%

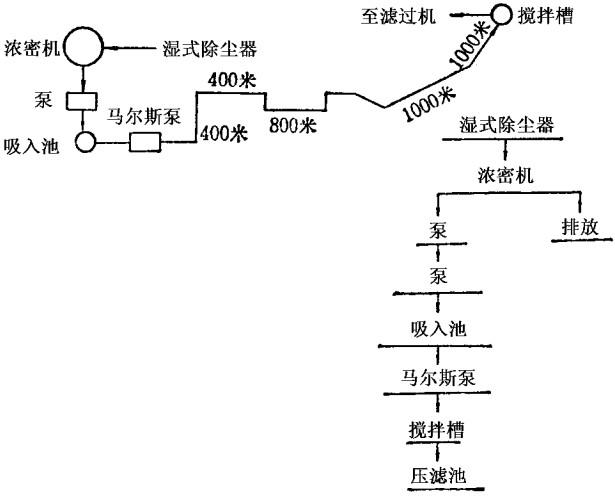


例 3 图

例 4　钢铁厂处理烟尘沉淀物的输送

此例是钢厂转炉的烟尘经过湿式除尘器排出时所产生的氧化铁沉渣，在浓密池进行浓缩，其底流用马尔斯泵输送。特点：虽然是微粒矿浆，但在多弯曲的管路中进行矿浆输送。

输送条件：	矿浆条件：
流量 0.75 米³/分	浓度 14 ~ 18%（重量）
流速 2.6 米/秒	比重 1.12 ~ 1.16
出口压力 20 ~ 25 公斤/厘米²	pH 8 ~ 10
泵型号 L—180	粒度 + 325　6%
电动机 75 千瓦	− 325　94%
管路全长 4000 米	
实际扬程 1 米	
管内径 80 毫米	

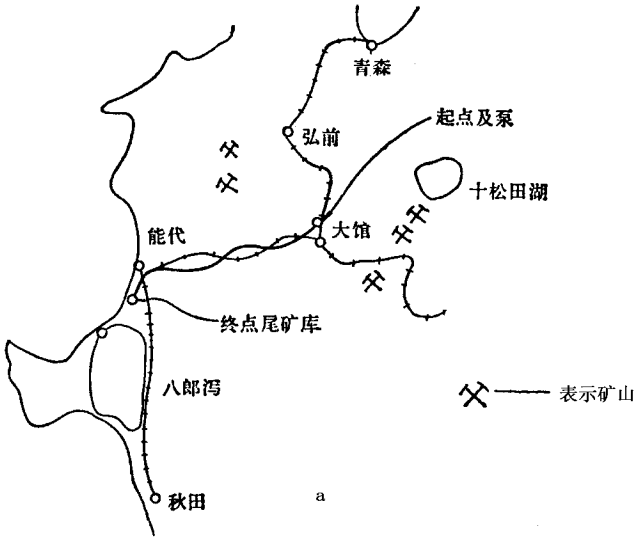


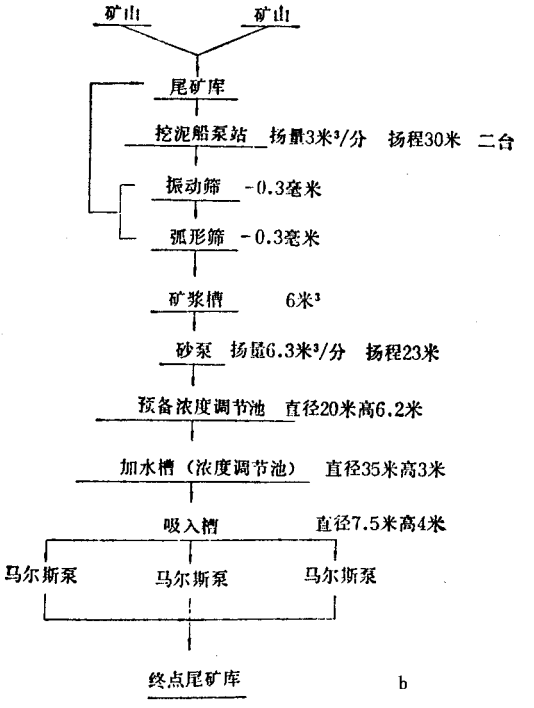
例 4 图

例 5　**矿山尾矿远距离输送处理**

此例是集中矿山尾矿进行远距离输送。特点：因为是远距离输送，由于粒度、粘度调整所带来的摩擦损失进行了控制，同时对磨损和颗粒沉淀等也加以注意。另外，根据两年多的使用，将出口压力从 30 公斤/厘米^2 增加到 50 公斤/厘米^2。

输送条件：	矿浆条件：
流量 5.9 米^3/分	浓度 18.8%（重量）
流速 1.36 米/秒	比重 1.136
出口压力 30～50 公斤/厘米^2	pH 6～8
泵型号 H—225	粒度 + 200　13～20%
电动机 370 千瓦	− 200　80～87%
管路全长 71.4 公里	
实际扬程 110 米	
管内径 300 毫米	





例5图

第六节　结　　语

以上概述了矿浆的输送及其主要设备，但输送是根据输送物料、地区、条件等不同，就会有各种不同的设计方案，主要设备的选择要适合使用条件，管道配置、控制等要适应设计的要求。

今后，从环境保护、节省劳力方面来考虑，可以认为输送的特点更会得到发挥而被利用，也会在海洋开发等新开辟的领域里应用，可以推想水力输送是一个有前途的输送手段。

第七章　尾矿输送

第一节　概　　述

在任何选矿厂内，用泵输送尾矿，往往是一项很大的工作。因为尾矿通常要输送到一定距离，所需扬程一般高于选矿厂其它工序所用的。

根据环境保护和防止污染条例的规定常常需要将尾矿库设在距选矿厂相当远的地方。管路的摩擦损失很大，因此需要高扬程的砂泵。

在日本北部有一套装置，将三个矿山的尾矿汇集起来，用砂泵扬送到 44 英里❶ 以外海岸沼泽地的尾矿库。

近代采矿方法允许开采低品位的大型矿床。世界上有几个选矿厂日处理矿石超过 8 万吨。这些物料的大部分作为尾矿处理。

尾矿颗粒越粗，输送时就需要较高的流速，因而也就需要较高的压头和消耗较多的动力。如果能将尾矿中粗粒部分分出堆放在较近的地区，是很大的节省。只是细粒部分才长距离输送，则所需的速度就会降低，因而也就降低了动力消耗。这样就可大大节省投资与生产费。

结合井下开采，可将分出的粗粒尾矿作为井下充填物料。

对压头高、距离长的管路来说，需使用往复泵扬送，而对低压头、短距离的管路来说，优先采用离心泵。

---

❶ 1 英里 = 1.6093 公里。

第二节　扬送要求的确定

一、适应性

对扬送系统来说，流速、管径、固体浓度（比重）、泵的大小和速度均必须适应最大处理量的需要，而且同时对于正常情况能够经济地供给。

二、浓度

扬送固体物料，通常尽可能在高浓度下进行。这样就减少了用水量（或回收水量），并且在一定的限度内降低了泵、管路和电动机等的规格。

（一）厂内分选

（1）初次去除，如非磁性的磁选机尾矿；

（2）筛子去除不含矿物的大粒；

（3）扫选回收水和有益矿物。

（二）尾矿与分选系统

①螺旋分级机；②旋流器；③筛子；

④回收水溶液用的水力分级装置。

（三）大多数选矿厂目前都使用浓密机处理尾矿

一般都使用絮凝剂，使供水与溢流和尾矿库回水呈闭路循环。

扬送尾矿的最大浓度受尾矿浓密机运行上的限制，另一方面受高粘度对泵性能和管路水头损失不利影响的限制。一般含固体 50%（按重量）的浓度均适合需要。

三、速度

当数量和浓度确定后，为了确定输送流量，最重要的是选择管径。为了达到经济地运行，重要的是流速要尽量接近最佳值。如果流速过低，固体将会沉淀，不仅浪费，还会出现管路堵塞等不良情况。反之，如果流速过大，摩擦损失增高，动能消耗加大，泵和管路的磨损也会严重起来。因此，关键在于决定最低的安全输送流速。这个流速可按经验或试验来确定。当矿浆内只含颗粒极细的固体时，矿浆在管路里的流动状态根据试验室

的粘度试验就可以近似地预先确定出来。

对于颗粒较粗的矿浆，其临界流速可用杜兰德公式概略地计算。

$$V_L = F_L \sqrt{2gD\frac{S - S_L}{S_L}}$$

式中　V_L——临界流速，英尺/秒；

F_L——与粒径和浓度有关的系数（见图 5－7－3）；

g——重力加速度，英尺/秒^2；

D——管径，英尺；

S——固体的比重；

S_L——输送流体的比重。

图 5－7－1 表示杜兰德所给出的 F_L 参数。

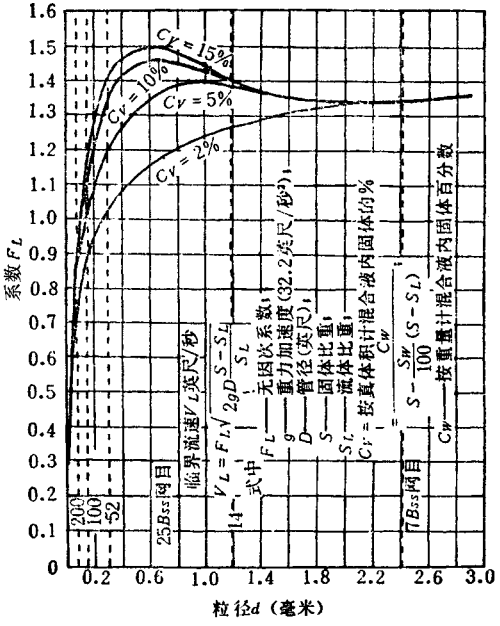


图 5－7－1　临界流速系数 F_L 与粒径 d 的关系曲线图

注　BSS—英国标准筛

据报道，杜兰德的研究工作是用均匀的粒度进行的。作者指出，当应用到不同的粒级固体时杜兰德的 F_L 系数是保守的。图 5－7－3 给出作者基于 d_{50} 粒级进行研究所得的不同粒级固体的 F_L 估计值。所谓粒径 d_{50} 是按重量来分，大于 d 部分占 50%，小于 d 的部分占 50%。

对于很长的管路，要根据管路试验来确定最佳流速和相应的压头损失。而对于较短管路，这里所给的方法可供实际使用。

细粒固体（小于 50 微米）的流速问题谈不上和固体的沉淀有什么关系，而是关联到矿浆的粘度特性。这种矿浆往往象宾厄姆（Bingham）型流体，它的流动状态宾厄姆在 1922 年曾作过研究并做了报道。

R.W. 史密斯（R.W.Smith）给出用斯托默（Stormer）粘度试验的方法以确定矿浆的流变特性，从而预测管路的性能。虽然他的研究工作是对水泥生料浆，但是也能应用到很多典型的尾矿浆。

对细粒固体的短管路来说，速度并不是一个重要问题，而对于长管路，则需要有足够大的输送流速，以保证矿浆流动是在紊流状态范围。

使用部分沉淀的管路是有良好的实践经验，但缺乏理论根据。

通常都不希望固体颗粒沿管底拖着流动。但也确有一些有经验的操作人员成功地用沉淀的管路输送固体。必须指出，这是一项成熟的操作技术，要由有经验的操作人员按照操作规程执行。

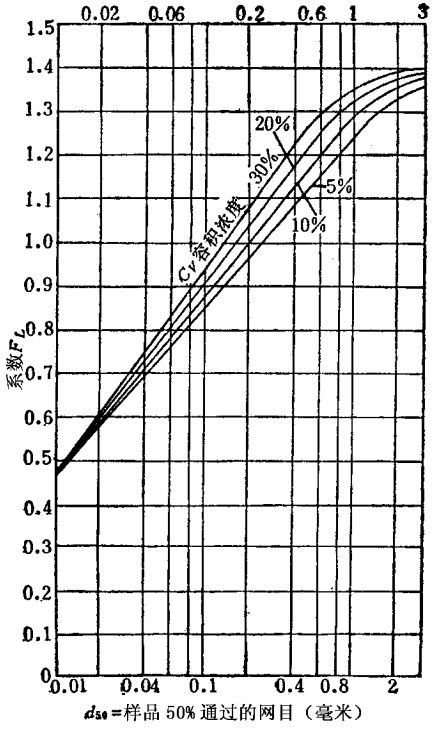


图 5－7－2　按 d_{50} 分级固体的 F_L 估算值

四、压头损失

管径、浓度和流速确定后，就需要估计压头损失。杜兰德叙述了根据水的压头损失，固体浓度和颗粒的牵引摩擦系数(drag coefficient)来确定矿浆压头损失的方法。

他的方法连同试验结果适用于广范围的管径、粒度、浓度和固体颗粒比重。其相互关系杜兰德于 1952 年初次发表，以后又发表过数次。

这些结果也是用均匀的颗粒做试验得出的。作者的经验用于分级的矿浆，当浓度相同时，其压头损失低于杜兰德的试验所提的数值。

具有水力坡降线的尾矿管路的断面是绘制整个系统的有用方法，参看图 5－7－3。

作者确定压头损失所用的方法如下：

(1)管路直径一般先根据所需的速度来估计。再根据管路长度和所选择的管材管径去确定管路的水头和流量的特性关系，用图 5－7－4 的曲线查出达西(Darcy)公式的 f 值，这些曲线和公式即可用来确定压头损失。

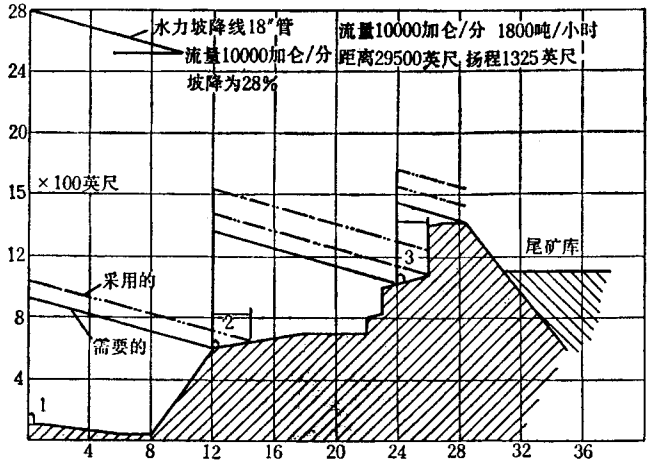


图 5－7－3　管路水力坡降图

(2)按照流量范围，采用合适的比例，画出压头和流量的关系图，参看图 5－7－5。

(3)在图上画垂直线代表用杜兰德公式和用图 5－7－2 查得的 F_L 值所求得的临界流量。

(4)通过临界流量值和清水 $H-Q$ 关系曲线(图 5－7－5)的交点画一水平线。这将是最低的矿浆压头线。

(5)流量超过临界流量的 30% 时，固体将完全呈悬浮状态。此处是用矿浆按英尺数

表示的矿浆压头损失，将比水的压头损失约高 10%。

(6)代表矿浆压头损失的曲线可画出，如图 5－7－5 所示。矿浆压头曲线假定在高过临界流量 30%的流量处与水的曲线平行。并且在低于临界流量 30%处与最低矿浆压头线相切。

上述方法并不是精确的计算，但在实际应用上却可给出合理的结果。

举例：

用长度为 1000 英尺❶、内径为 18 英寸的钢管路输送尾矿浆，尾矿比重为 2.65，d_{50}粒度为 150 微米(100 网目)。按重量计矿浆浓度为 50%，用图 5－7－6 转换成容积浓度 C_V = 27%。

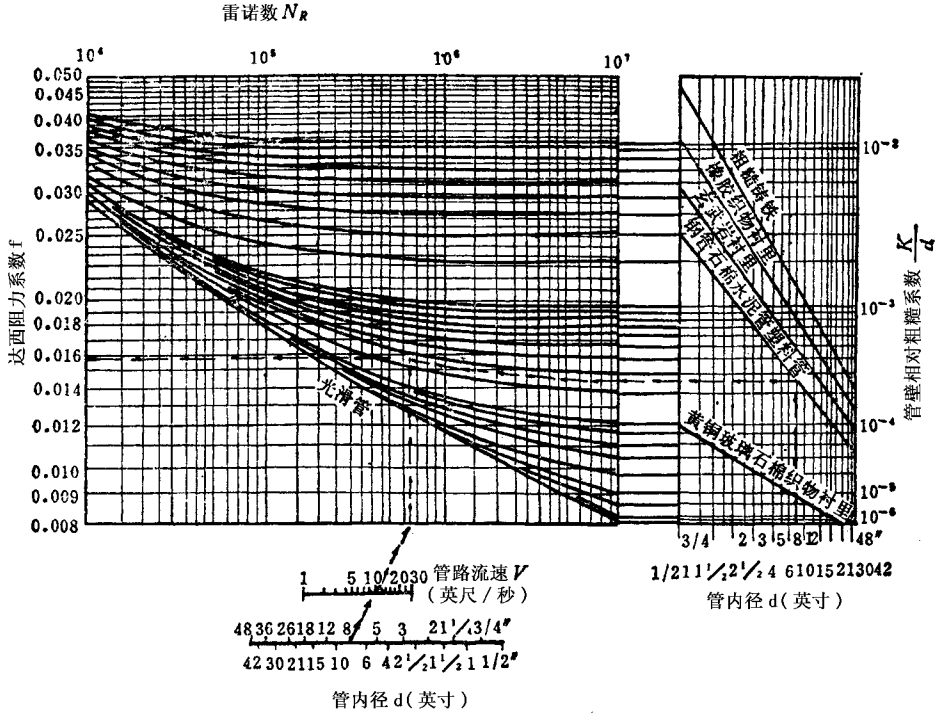


图 5－7－4　管阻力系数图

管路内阻力损失由下式算出：

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \text{(液体英尺数)}$$

式中　f——达西阻力系数；

❶ 1 英尺 = 0.3048 米；

L——管长(英尺)；

D——管内径(英尺)；

V——管路流速(英尺/秒)；

g——重力加速度(32.2 英尺/秒^2)。

所有液体其动力粘度属于 60°F 水的动力粘度时，都可使用比图。

对于其他粘度将 N_R 除以百分之一的史托，再以新计算

出的 N_R 值去求相应的 f。

(1)用图 5－7－1 和图 5－7－2 确定临界流量，当 $F_L = 1.0$ 时

$V_L = 1\sqrt{2g \times 1.5 \times 1.65} = 12.6$ 英尺/秒，其流量为 10000 美加仑/分❶(8250 英加仑/分)❷

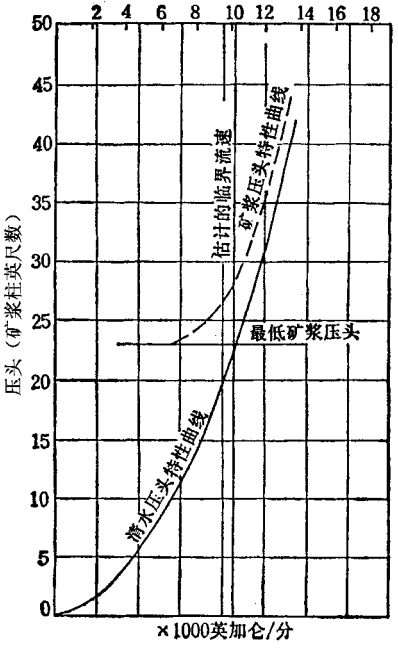


图 5－7－5　压头—流量的线性关系图

(2)假定是一般钢管的粗糙度，确定输送清水的管路特性。用 5－7－4 查出 f 值，列表计算如下：

美加仑/分：	2400	4800	7200	9600	12000
英加仑/分：	2000	4000	6000	8000	10000

❶ 1 英加仑 = 4.5435 升

❷ 1 美加仑 = 3.7854 升。

▽英尺/秒：	3.02	6.04	9.06	12.08	15.1
f 系数：	0.015	0.0143	0.0138	0.0135	0.0133
$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$：	1.5	5.5	11.8	20.5	31.5

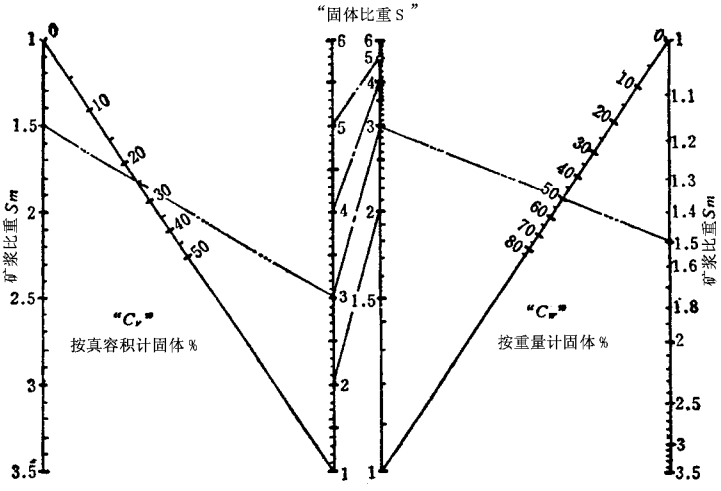


图 5－7－6　矿浆比重浓度图

输送清水的压头特性曲线即可绘出，见图 5－7－5。临界流量和最低尾矿浆压头线也已示出，并将估计的矿浆特性曲线绘出，做法前面已经叙述过。

在附表中列出全世界常用的各种筛网目标准，便于对照比较。

矿浆的基本公式

$$S_m = 1 + \frac{C_V}{100}(S-1) = \frac{1}{1 - \frac{C_W}{100}\left(\frac{S-1}{S}\right)} = \frac{100 - C_V}{100 - C_W};$$

$$\left(S - \frac{C_V}{C_W} = S_m\right)^{❶}$$

$$C_W = \frac{100S}{\frac{100}{C_V} + (S-1)}$$ 固体比重“S”

式中　S——固体比重；

S_m——矿浆比重；

C_W—按重量计矿浆中固体的%；

C_V——按真容积计，矿浆中固体的%。

❶ 这个公式可用于固体和任何液体的混合液。

第三节　泵的类型

一、范围

适合扬送尾矿的砂泵可分为两大类，即离心砂泵和往复砂泵。两种砂泵各有其特殊的用途，但对某些用场要对泵的优点进行比较后，才能选择砂泵。

往复砂泵最适合用在很高的压头，而离心砂泵则适用于处理相对的低压头大流量的场合。

二、往复砂泵

往复砂泵一般考虑用于超过 500 磅/英寸^{2}❶ 的压力，但有的也用在低流量和压力较低的地方。它的优点是能产生高的压力，且效率较高。它的缺点是造价高，高功率低转速的传动机并需要配备减速机，而且阀门、活塞及填函等也容易磨损。一般说来它的投资和维护费用高，而动力费用则较低。

适于扬送尾矿的主要往复砂泵有三大类：

(1)柱塞直接作用型砂泵，如美国钢铁公司油井部制造的维新德砂泵。

(2)往复油压传送型砂泵，如日本马尔斯—三菱公司制造的泵。这种型式的砂泵它的柱塞在冲满油的柱塞缸中运行，压力通过油传递至中间压力室的尾矿浆。这样的配置是为了消除矿浆对柱塞和填函的磨损。

(3)传送压力直接型砂泵，此处压力是由清水离心泵供给 压力经过一连串的几个压力室，通过自动控制的进出阀门传送到尾矿浆。

清水高压进入各室并低压排出，而尾矿浆则低压进入各室，高压排出。清水经给水泵循环使用。

日本日立公司已成功地发展了这种类型的砂泵。

该系统不用柱塞，也不用高功率的低转速的传动装置和减速机(齿轮)。所有的往复砂泵通常在矿浆需要止回阀。这种阀门经常需要相当的维护工作。

---

❶ 1 磅/英寸^2 = 0.0703 公斤/厘米^2。

三、离心砂泵

好的离心砂泵每级压头可超过 100 磅/英寸，离心砂泵串联运行压头可达到 600～800 磅/英寸^2，也可以沿着管道间隔着分段设立砂泵站。

很多实例说明离心砂泵比往复砂泵效率低，但离心砂泵的操作则比较简单，不需要阀门，而且投资和维护费用都比较低。

无论压力多高或加压砂泵站需要多少，在处理大量砂浆时，离心砂泵往往是最经济的。

第四节　离心砂泵的选择

一、扬水性能

已发表的离心砂泵的性能曲线一般只是扬清水的。当处理矿浆选择砂泵时则需要留有一定的余量。这种余量取决于所处理的矿浆的性质。悬浮固体对所产生的压头和动能消耗都有不利的影响，因而用比重校正，以确定所需的功率是不够的。

二、固体对砂泵性能的影响

矿浆中的固体对离心砂泵性能产生的不利影响（与清水运行性能相比）主要是由于：

（1）进出叶轮时矿浆的加速和减速导致液体和固体颗粒间的滑动（固体颗粒沉降速度大者，其固体滑动和伴随产生的能量损失也大）。

（2）矿浆的浓度。

在本文中，离心砂泵所产生的总压头是用所扬送的液体或混合物柱的英尺数来表示。当扬送水时，所产生压头以 H_W 代表，单位是水柱英尺❶ 数；当扬送矿浆时，所产生压头以 H_m 代表，单位是矿浆柱英尺数。

压头比（HR）是 H_m/H_W，式中 H_m 和 H_W 是在同一流量和同一流速下的数值。对水来说，压头比为 1，而矿浆浓度增加时压头比将降低。压头比受固体颗粒大小、固体比重和矿浆浓度等因素的影响。

❶ 水柱英尺 = 0.3048 米水柱。

除降低砂泵所产生的压头外，固体还会降低砂泵的效率。

符号‘ ew ’表示扬送清水时的砂泵效率，‘ em ’表示扬送矿浆时砂泵的效率。效率比“ ER ”是在相同流量和相同的砂泵转数情况下 em 与 eW 的比值，即 em/eW。

三、压头降低的试验结果

图 5－7－7、5－7－8 和 5－7－9 为作者过去做的一些试验结果，说明矿浆浓度、固体粒径和固体比重（注意流量单位是英加仑/分）的影响

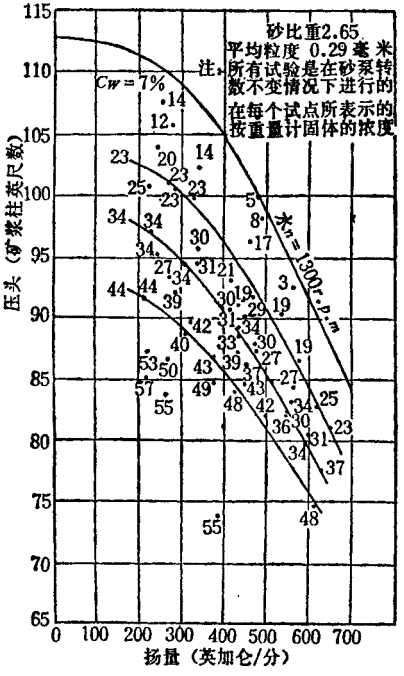


图 5－7－7　压头降低是按重量计固体浓度的函数，砂粒径为 0.29 毫米

所做试验是砂泵的转数不变，而使用不同浓度的矿浆，使用两种不同粒径的石英砂和一种粒径的重矿物。

很多的试验表明 ER 略高于 HR，但结果都还不是结论性的，为了实际应用，可以假定 HR = ER。

四、HR 和 ER 值

利用已有的数据绘出图 5－7－8，可用来计算 HR 和 ER。

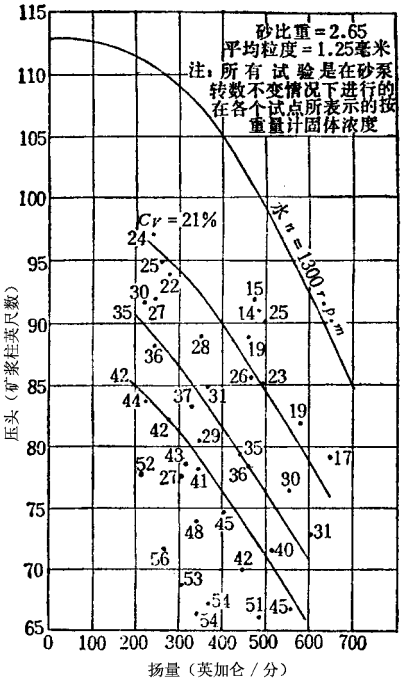


图 5－7－8　压头降低是按重量计固体浓度的函数，砂粒径为 1.25 毫米

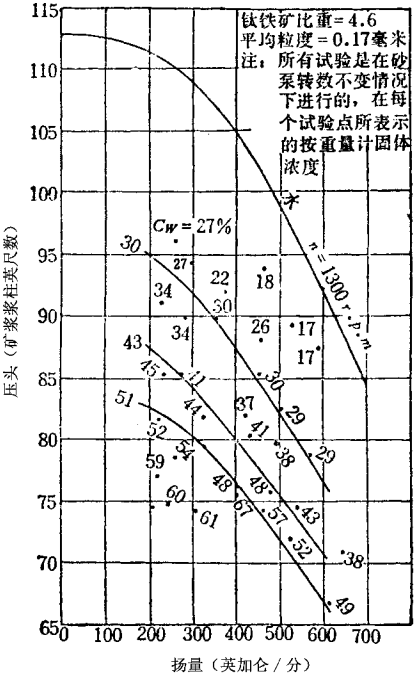


图 5－7－9　压头降低是按重量计固体浓度函数，铁矿粒径为 0.17 毫米

为了求得所需的矿浆压头，须将砂泵转数提高，即比同样大小的清水压头时的转数要大。当确定了 H_m 后，即可用 HR 来算出 H_W，和 H_W 相对应的砂泵转数可以从砂泵清水性能曲线上查出。

为了计算砂泵功率，先从曲线上查出扬清水的效率，再用 ER 加以校正求出扬砂浆的效率。

五、扬程和功率的计算

下面是估算砂泵扬送矿浆时的砂泵转数和功率的例子。一台砂泵每小时需处理 1800 吨尾矿，其比重 $S = 2.65$，按重量计浓度 $C_W = 50\%$ 的固体，总动压头 $H_m = 160$ 英尺矿浆柱，平均固体粒径 $d_{50} = 150$ 微米（100 网目）。

解：

(1) 矿浆中的固体重量　　= 1800 吨/时

(2) 与固体容积相等的水量 $\frac{1800}{2.65}$　　= 680 吨/时

(3) 矿浆（C_W 50%）中的水重　　= 1800 吨/时

(4) 矿浆总量，(1) + (3)　　= 3600 吨/时

(5) 与矿浆容积相等的水重，(2) + (3)　　= 2480 吨/时

(6) 矿浆量，$\frac{2480 \times 2000}{60 \times 8.33}$　　= 9924 加仑/时

(7) 矿浆比重 $S_m\left(\frac{4}{5}\right) = \frac{3600}{2480}$　　= 1.45（S_m）

(8) 容积浓度 $C_V = \frac{(2)}{(5)} = \frac{680 \times 100}{2480}\%$　　= 27.4%（C_V）

S_m(7) 和 C_V(8) 的值也可以用 S 为 2.65，C_W 为 50% 固体，直接在图 5 - 7 - 6 上查出。

(1) 由图 5 - 7 - 10 查出压头比（HR）和效率比（ER），此处 $S = 2.65$，$d_{50} = 150$ 微米（100 网目），折减系数（deratingfactor）$K = 0.075$。

用图 5 - 7 - 10 中的公式计算

$$HR = ER = 1 - \frac{K \times C_V}{20} = 1 - \frac{0.075 \times 27.4\%}{20} = 0.9$$

(2) 已给出总压头 $H_m = 160$ 英尺矿浆柱。

需要求出的清水压头 $H_W = \frac{H_m}{HR} = \frac{160}{0.9} = 178$ 英尺水柱

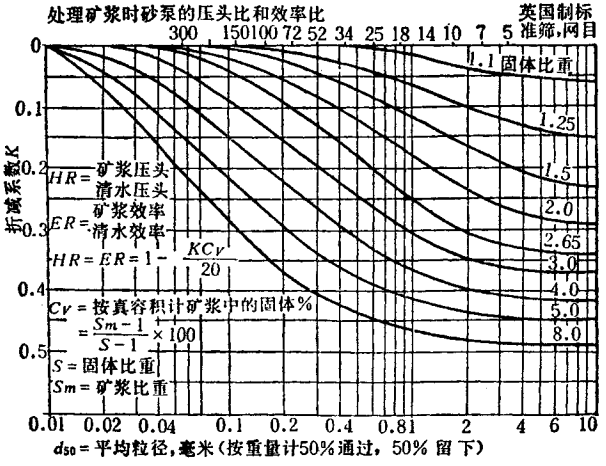


图 5 – 7 – 10　矿浆中的固体对砂泵压头和效率的影响

(3)按照 5 叶封闭叶轮性能曲线(图 5 – 7 – 11),在处理 9925 美加仑/分清水时,产生 178 英尺水柱压头的砂泵转数为 505 转/分。也就是处理 9925 美加仑/分矿浆时,为产生 160 英尺矿浆柱压头所需的砂泵转数。

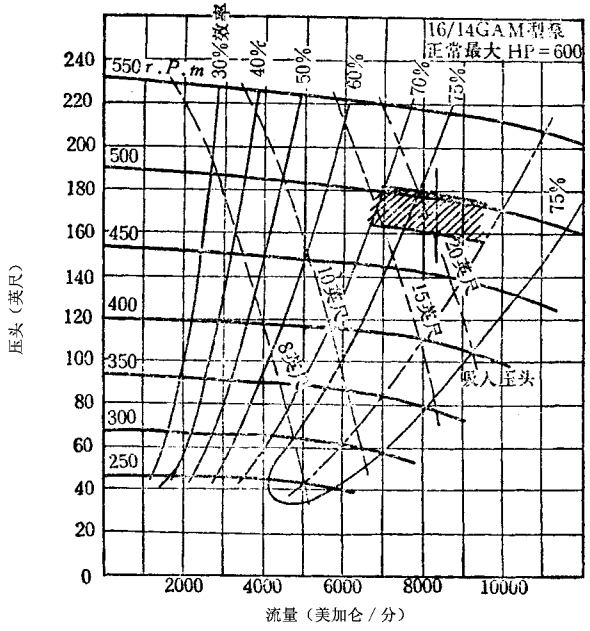


图 5 – 7 – 11　5 叶封闭叶轮的性能曲线

(4)扬清水时,相当于 178 英尺水柱压头的砂泵效率(eW)为 76%。

(5)当扬矿浆时,效率(em) = $eW \times \mathrm{ER} = 76 \times 0.9 = 68\%$。

(6)砂泵轴马力 = $\dfrac{Q \times S_m \times H_m \times 10}{33000 \times em}$

$= \dfrac{9925 \times 1.45 \times 160 \times 8.33}{33000 \times 0.68} = 855\mathrm{HP}$

第五节　结构材料

一、要求

这里所讨论的是限于砂泵内(而主要是离心砂泵)可使用的耐湿磨损的材料,适用的材料必须符合下列要求:

(1)耐磨性能好,成本低;

(2)易于做成所需的形状,并能满足公差要求;

(3)具备所需的机械强度。

现将各种具有耐磨性能的材料列述如下,并对使用上的限度加以讨论。

二、橡胶

橡胶具有抵抗某些类型磨蚀的独特性能。当磨蚀颗粒冲击橡胶后,橡胶仍会恢复原状而不受损伤。但是磨蚀颗粒的大小对橡胶的耐磨性能是有限度的。如果颗粒过大,以致将橡胶割裂很快毁坏,则橡胶就成为不经济的了,正确粒径是由很多因素决定的。但是,很多种材料的粒径大到 35 网目时仍用橡胶的处理;更粗的颗粒(大到 1/2″)则常用橡胶和金属结合的构件来扬送。

在其最适合的使用条件下,好的耐磨橡胶可能比最硬的铁合金寿命长 10 倍,但橡胶的机械强度在使用上则受了限制,所以它必须采取加强措施。

在高压头离心砂泵中,橡胶的使用受到限制。设计和制造时要特别注意如何防止在高能消散点时橡胶的裂损。除特殊理由不能使用橡胶时外,尾矿的粒径都适于用橡胶制造的部件来处理。

三、硬质铸铁

早期设计的砂泵零件是用冷铸的铸铁。最近由于乎冶金技术的发展,很多主要的砂

泵制造厂使用了铁合金,并控制其硬度约为布氏 600 度。但这些铁合金在某些场合是否最经济,需要在成本和耐磨性能上进行比较。

四、陶瓷

已用各种陶瓷制造了一些零件。但是考虑到目前的制造技术问题,除了特殊用途外,对陶瓷并不感兴趣,这是因为:

(1)按其性能来说成本是很高的;

(2)制造上不易达到所要求的精度;

(3)陶瓷零件质脆,操作时要特别注意。

五、合成橡胶

各种合成橡胶包括氯丁橡胶(Neoprene),丁基、腈、聚胺酯及其他,因具有特殊的性能,所以用途很广。但按一般的耐磨问题来说,较之天然橡胶并没有特殊的优点。

六、关于耐磨材料的结语

目前的趋势是从金属到合成橡胶衬到金属件上,在样式上看来变化简单,而所获结果都很明显。砂泵的连续运转使用期限已有很大的增加,过去只用六周,而现在已超过六个月。

第六节　设计特征

砂泵的设计实际是水力性能和耐磨问题的选择。大直径的叶轮的速度较低,因而叶轮进口处的磨损较小;从另一方面来说,叶轮大了,其水力效率也低。另外,对费用和性能也应进行比较。

在紊流最大的地方或涡流发生的地方往往磨损也最严重。而高速度并不一定导致高的磨损率。严重磨损常发生在使浆流骚乱的下游侧,如突然改变断面或突出物伸入浆流等。

在使用橡胶衬里的地方,如果衬里是自成一个零件,能够容易地从泵内取出和装进,则有优点 如果衬里是粘到壳子上的,则有很多缺点。

使用劣质材料而加厚零件厚度是不经济的。当发生磨损后磨损速率也增加,其不利

影响就越来越大。当出现磨损后水力性能也变坏。

第七节　离心砂泵串联运行

所谓多台离心砂泵串联安装，可能是几台砂泵紧凑地安装在一个泵站内，或是一个个的砂泵沿着管路间隔开安装。

几台砂泵布置在一个泵站内的优点如下：

(1)控制、检查、运行简单；

(2)电气控制和仪表设备集中；

(3)集中维护和备件管理简单。

几台砂泵安装在一起的主要缺点是要承受高的压头，管路、填函、轴承和泵壳都要受到影响。如果使用的是钢管，在一般的情况下，管路压力是可以承受的。

各个砂泵沿着管路隔离开安装的优点：

(1)可能使用离心密封，不再需要填函密封水；

(2)降低了管路压力，可能使用较便宜的管路材料，如聚乙烯或石棉水泥管；

(3)在尾矿有腐蚀性和有毒的地方，由于压力高喷射出来而伤人的危险可以减少。

当多段设备使用在一个砂泵站时，各段间的管路轴向推力可能相当大，配置砂泵时要特别注意管路的固定，以免不致损坏砂泵或管路。

第八节　变速的考虑

由于以下理由，砂泵变速驱动是有利的：

(1)由于选矿厂的条件发生了变化或供矿品位的变化以致所处理的尾矿量发生变化。

(2)为了节省水量，需要在最佳比重下扬送。

(3)根据尾矿坝的条件改变，排出管长度可以变化。

(4)由于坝高度提高，使静压头增加。

(5)当砂泵老损时，砂泵性能改变。当砂泵零件老损时，定速的设备必须加快速度，以满足最大的要求。这就意味着当零件换新后，砂泵就会超速运行，以致零件的磨损加

快,同时动能的消耗也比最佳速度时的大。

如能进行适当的控制做到可靠的变速时,就可能做到对比重的控制,最大限度的节省动能,增加耐磨零件的寿命。

虽然变速乍看起来是吸引人的,但对所有因素加以评定后,往往看出它是难于采用的。曾观察到变速设备常常是在最高速度上运行。这可能是因为变速装置本身不符合要求,也可能是操作人员认为这样最方便。

第九节　砂泵的传动

一、往复式砂泵的传动

正位移往复式砂泵的速度低,一般是经过减速齿轮箱驱动。小型砂泵可在电动机和齿轮减速机间用皮带传动,而大型砂泵则以联轴器直接带动。

二、离心式砂泵的位动

离心式砂泵可以直接带动、皮带传动或经过齿轮减速机带动,也可使用某种形式的变速联轴器。

300 马力以内的砂泵,三角皮带往往是最方便的传动形式。大型砂泵转数低、马力大,不适合使用皮带传动,需要经过减速机传动。在这种砂泵上,一般的变速装置都可以采用。另一个可能的传动方式是低转数电动机直接带动大功率的砂泵。这样做往往费用提高,但可靠性较好,而且噪音也小。

三、变速传动

(一)直流电动机

由于固体整流的发展,直流电动机用来做砂泵的原动机就增多了。而此处所讨论的是限制在适用于交流感应电动机的传动方式。

(二)变速交流电动机

最简单的变速方式是用滑环感应电动机,并在电动机转子线路上接上永久额定电阻器。这样做最省投资,但浪费动力。

采用滑环电动机较复杂的一种方式,是装上一套设备将转子电流整流,再转换成供

电的频率,并将此动力供回定子电源。

这种变速交流电动机是变速的有效方法。但是所增加的电动部件有几处容易发生故障。一个保险的办法是配置控制设备,当其发生故障时,电动机即做为定速设备运行。

有各种整流子装置的特殊交流电动机可以大幅度地变速,并可以用到大的功率。这种机器的效率高,并且使用了近代的感应调整方式,其可靠性高,维护费用低。

交流电动机变速的最后一种方式大概是鼠笼电动机改变频率,这种设备还在发展。

(三)变速联轴器

变速联轴器是控制联轴器内的滑动而达到变速的目的。可以采用的两种主要形式是所谓的涡流联轴器和液压联轴器。

因为所发生的滑动就是直接的动力损失,所以这种联轴器并不是高效率的。选择这种联轴器时,要考虑在最大速度时的满负荷滑动,因为它确定能够达到的最大效率。

减速将使效率降低。离心砂泵按照可变化的转距特性运行并且是容易控制的。在约三分之二的速度时损失最大,而这个速度也正是所要求的运行速度。

(四)两速电动机

当几台砂泵串联运行(或正位移砂泵并联运行)时,并不要求所有的砂泵都要变速。一两台砂泵能够变速和其它定速砂泵结合运行往往就能达到控制的要求。

在一套多台砂泵装置中,不使用复杂的设备而达到变化输出的目的,其方法是在全部或几台砂泵上使用两速电动机,六极到八极电机使用简单的控制设备就能分级降下输出。在现代电动机绕线技术条件下,两速电动机较同功率的单速电动机只是零件大些且造价高些而已。

附表试验筛的对比

英国标准筛				IMM筛				美国标准局筛				泰勒筛			
网目	孔径		平均孔径的公差±(%)	网目	孔径		平均孔径的公差±(%)	网目	孔径		平均孔径的公差±(%)	网目	孔径		双泰勒筛系的网目
	英寸	毫米			英寸	毫米			英寸	毫米			英寸	毫米	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
								3	0.265	6.73	3	3	0.263	6.680	
								3½	0.223	5.66	3		0.221	5.613	3½
								4	0.187	4.76	3	4	0.185	4.699	
								5	0.157	4.00	3		0.156	3.162	5
5	0.1320	3.34	3					6	0.132	3.36	3	6	0.131	3.327	
6	0.1107	2.81	3					7	0.111	2.83	3		0.111	2.794	7
7	0.0949	2.41	3	5	0.100	2.54		8	0.0937	2.38	3	8	0.0937	2.362	
8	0.0810	2.05	3					10	0.0787	2.00	3		0.078	1.981	9
10	0.0660	1.67	3					12	0.0661	1.68	3	10	0.065	1.651	
				8	0.062	1.574									
12	0.0553	1.40	3					14	0.0555	1.41	3		0.055	1.397	12
				10	0.050	1.270									
14	0.0474	1.20	3					16	0.0469	1.19	3	14	0.046	1.168	
				12	0.0416	1.056									
16	0.0395	1.00	3					18	0.0394	1.00	3		0.039	0.991	16
18	0.0336	0.85	5					20	0.0331	0.84	5	20	0.0328	0.833	
				16	0.0312	0.792									
22	0.0275	0.70	5					25	0.0280	0.71	5		0.0276	0.701	24
				20	0.025	0.635									
25	0.0263	0.60	5					30	0.0232	0.59	5	28	0.0232	0.589	
30	0.0197	0.50	5	25	0.020	0.508		35	0.0197	0.50	5		0.0195	0.495	32
36	0.0166	0.421	5	30	0.0166	0.421		40	0.0165	0.42	5	35	0.0164	0.417	
44	0.0139	0.353	5	35	0.0142	0.361		45	0.0138	0.35	5		0.0138	0.351	42

英国标准筛				IMM筛				美国标准局筛				泰勒筛			
网目	孔径		平均孔径的公差±(%)	网目	孔径		平均孔径的公差±(%)	网目	孔径		平均孔径的公差±(%)	网目	孔径		双泰勒筛系的网目
	英寸	毫米			英寸	毫米			英寸	毫米			英寸	毫米	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
				40	0.0125	0.317									
52	0.0116	0.295	6					50	0.0117	0.297	6	48	0.0116	0.295	
60	0.0099	0.252	6	50	0.01	0.254		60	0.0098	0.250	6		0.0097	0.246	60
72	0.0083	0.213	6	60	0.0083	0.211		70	0.0083	0.210	6	65	0.0082	0.208	
85	0.0070	0.177	6	70	0.0071	0.180		80	0.0070	0177	6		0.0069	0.175	80
100	0.0060	0.152	6	80	0.0062	0.157		100	0.0059	0.149	6	100	0.0058	0.147	
				90	0.0055	0.139									
120	0.0049	0.125	6	100	0.0050	0.127		120	0.0049	0.125	6		0.0049	0.124	125
150	0.0041	0.105	8	120	0.0042	0.107		140	0.0041	0.105	8	150	0.0041	0.104	
170	0.0035	0.088	8	150	0.0033	0.084		170	0.0035	0.088	8		0.0035	0.088	170
200	0.0030	0.076	8	170	0.0029	0.074		200	0.0029	0.074	8	200	0.0029	0.074	
240	0.0026	0.065	8	200	0.0025	0.063		230	0.0024	0.062	8		0.0024	0.061	250
300	0.0021	0.053	8					270	0.0021	0.053	8	270	0.0021	0.053	
								325	0.0017	0.044	8		0.0017	0.043	
												400	0.0015	0.037	325

注：英国标准筛相邻两孔径的比约等于2的四次方根，这是因线径受了线规S.W.G系统的限止。

在IMM筛中线径等于孔径，并且以英寸为单位的孔径等于1除以2×网目号数。

美国标准局筛的基础是网目18的孔径为1毫米。相邻两孔径的比为2的四次方根。

泰勒系统的基础是200网目的孔径等于0.0029英寸(0.074毫米)，相邻两孔径之比为2的平方根。对较细粒径需要居间的筛系统，相邻两孔径的比是泰勒系统的两倍，为2的四次方根。

1 micron = 0.001毫米

第八章　澳大利亚萨维捷河矿铁精矿输送管路

本文叙述了澳大利亚塔斯马尼亚的 85.30 公里长铁精矿输送管路的设计、建设和运行。讨论了特殊的设计技术以及管路的运行和它对于长距离输送的影响。

第一节　历　　史

萨维捷河矿输送管路于 1967 年投产，经过三年的勘察设计和建设以及三年的运行，对这种输送方法有了相当的了解。

萨维捷河矿位于澳大利亚塔斯马尼亚省的西北部，它是一个铁矿，于 1965 年开始兴建。

矿山和选矿厂地处荒僻的半山区，距瓦拉塔城约 48.28 公里。矿山为露天开采年产原矿石 500 万吨。原矿石在自磨机中磨碎、进行磁选分离、精矿经浓缩以便于管路输送。管路全长 85.30 公里，其输送能力为 2.25 百万吨精矿，向北运至拉塔港。在拉塔港有精矿浆接收、贮存和浓缩设施，以及球团机。球团含铁品位 67.5%和二氧化硅 1.2%。

有关管路的研制工作共分四项：

①试验室的预备试验；②回路试验和计算机研究；③类似工程的现场调查；④泵的研制工作。

试验室的预备试验为确定各种精矿浆的粘度特性。试验使用稠度计，以评价固体含

量百分数、磁化、温度和颗粒大小等因素。结果表明脱磁很重要，在 60% 固体时粘度有大的变化，温度的影响很小，颗粒在 200 网目以上的百分数是关键。

萨维捷河矿精矿不同粒度的沉降试验表明 200 网目为输送精矿浆中的最大粒度，与输送煤浆的最大粒度 14 网目相当。因此煤输送管路的数据是有用的。

回路试验是确定临界流速和压力损失，还试验停泵后再启动的性能，做了一次停泵 24 小时后再启动的成功试验。

静态试验是用管径为 200 毫米，长 6.0 米的立管充满 68% 固体的精矿浆，经过不同的时间后打开管底部开口排放物料。最长的静态间隔时间为 35 天，在每次实测例中物料都能排放出来。

参观类似现场和访问有经验的操作人员对泵及泵站的设计启发很大。初步设计将排出压力确定为 70.30 公斤/厘米^2，选择活塞泵，后来要求压力提高至 140.60 公斤/厘米^2 时改用柱塞泵(见图 5－8－1)。因为柱塞泵没有复杂的活塞环，并且柱塞可用清水冲洗，所以柱塞和盘根均不受精矿的磨损。此性能在采用 140.60 公斤/厘米^2 压力是很重要的。

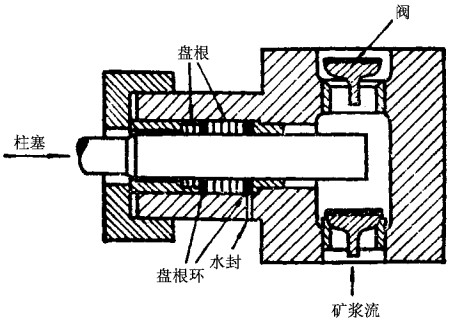


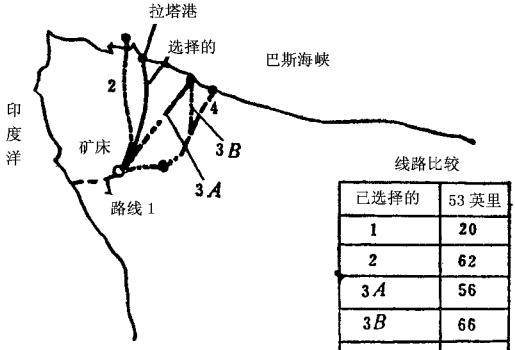
图 5－8－1　柱塞泵

图 5－8－2 所示的管路线选择是向塔斯马尼亚的北方海岸，终点余压选择为 45.36 公斤，终点树一立管保持余压。

图 5－8－3 所示为管线的地形断面和水力坡降。

为清理管内沉积附着物而准备的清除设施，在泵站设有投射阀，在终点设有接受阀。

关于管路埋设或明设进行了比较，明设管路虽较经济，但要考虑安全和稳定等方面还是决定用埋设。部分明设管路设有固定支架和防树倒压坏等设施以及其他防护设施。



已选择的	53英里
1	20
2	62
3A	56
3B	66
4	66

图 5－8－2　可能的管路线的方案

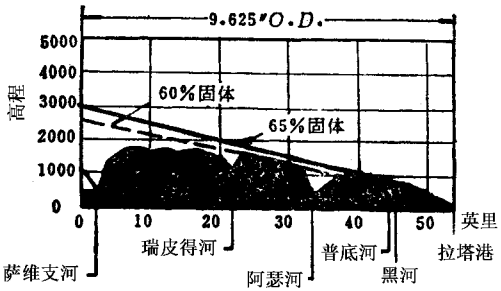


图 5－8－3　管线的地形断面和水力坡降

第二节　建设和运行

管线的建设于 1966 年 1 月的航空测量开始。自北部海岸开始向矿区进行，为满足测量要求，首先开辟一条小道；随即扩展为开建 18 米宽的通行道路，在施工时常遇到高达 60 米的桉树给工作造成一些困难。1966 年 10 月中旬开始自北端起向矿山敷设管路，跨过阿瑟河的跨度为 64 米。距水面 12.20 米高。过萨维捷河峡谷的跨度为 365.76 米，距水面为 137.16 米高。

全管路直径为 245 毫米，长为 85000 米，包括清理设施，于 15 个月完成。安装过程中每隔 8～16 公里分段进行水压试验，试验压力为工作压力的 125%，或回路应力为屈服值的 90%。1967 年 10 月 27 日管路充浆试投产，观测站的排出口压力在试验计算值的 2%

范围内。管路系统运行的一般描述示于图 5－8－4。

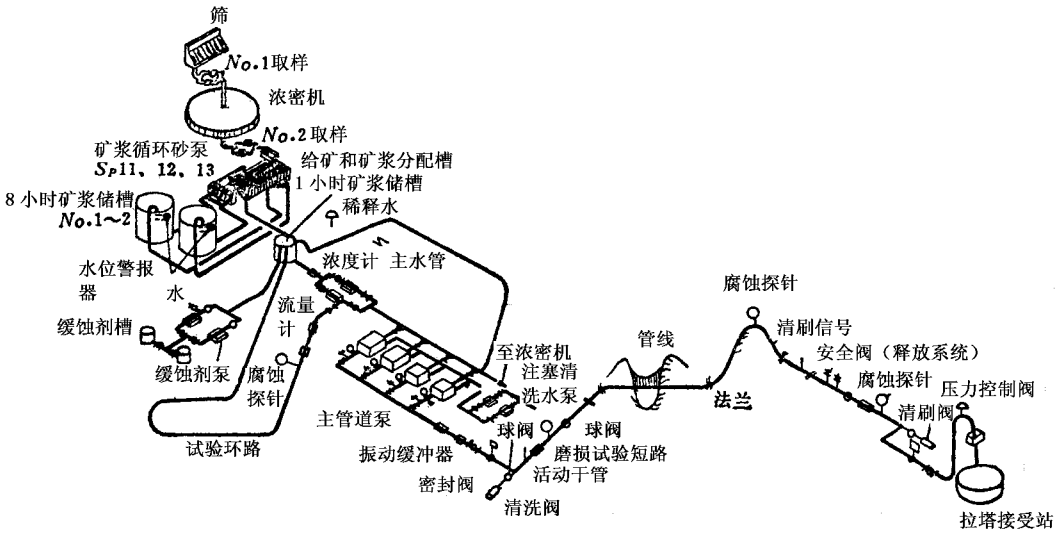


图 5－8－4　萨维捷河矿输送管路系统半示意流程图

第三节　矿浆的制备和贮存

由选厂排出的精矿浆，经过瑞藩克（Rapainc）筛，将 200 网目以上的物料返至磨矿回路。200 网目以下的矿浆浓缩到 69％固体浓度，用泵扬送至容积能贮存八小时的储存槽中之一（两个储存槽交替使用）。两槽经常搅拌，矿浆用离心泵循环。两贮存槽中一个注浆，另一个往外用泵扬送。这样能保证矿浆量的控制：

（1）对泵检查其适应性；

（2）保证控制产品的金属含量。

矿浆自八小时贮存槽泵入一小时的给浆槽，在此槽内控制给浆量使不致超过某一水平，加稀释水使浓度下降到所要求的数值，一般为 55～60％固体。

给浆槽的底流供给升压泵，再供给主管路泵和试验回路的吸入口。

第四节　泵　　站

在泵站的运行上控制的主要因素：

(1)矿浆浓度；

(2)矿浆流量；

(3)泵站的排出压力；

(4)矿浆的粒度组成。

一、浓度控制

泵站设有三个浓度计，两个 γ－射线仪和一个连续计量计。

第一个 γ－射线仪装在给浆槽的底流，其作用是控制加入给浆槽中的稀释水。第二个浓度计装在试验回路，它是个连续计量计，其目的是记录试验回路的矿浆浓度。第三个装在主管路，其作用是记录管路中浓度，此仪表配有高低限报警器。

二、流量控制

速度必须高于临界点以防止粗颗粒的沉降。在 60% 固体时临界速度约 1.22 米/秒，正常运行范围为 1.37～1.83 米/秒。为适应变化的流量，在四台主管路泵中的两台上配备变速液压联轴节，试验回路和主管路中的流量由磁力流量计记录，而计量主管路流量的最准确方法是记录每台运行泵的冲程数，因此流量可自每分钟排出矿浆的体积来计算，容积效率采用 95%。到拉塔港的输送时间约 14 小时。

三、输出压力

设计主管路泵，应使压力不大于 140.60 公斤/厘米^2 下连续运行，正常管路的输出压力当流量为 4.3 米^2/分时是 107 公斤/厘米^2，输出压力是随流量和浓度而变的。由于泵是正位移型的❶，所以对输出压力要经常密切注意检查校对。输出压力在表盘上连续记录，如输出压力大于 140.60 公斤/厘米^2 时，管路控制盘上的报警器即发出信号，如果排出容许超过 140.60 公斤/厘米^2，在 161.70 公斤/厘米^2 处自动切断开关。如果超过这两

❶ 柱塞冲程是固定的，柱塞位移等于柱塞面积与冲程的乘积。——译者注

个限度时，每台泵在 179 公斤/厘米^2 处都装有安全爆破片，它的破坏即可降低压力。

152 米试验回路有一只流量计和一只浓度计。另外还装备一只差压记录器以记录试验回路两端的压力差。试验回路就这样成功地在矿浆进入管道前计测校验矿浆试样的泵送能力。试验回路及早地对矿浆特性的任何变化都给予警告。如果在运行中试验回路的压力降变化了，这就警告了矿浆的流变起了变化，并且必须采取改正措施。一些有经验的操作工人，在正常的操作条件下，可能不使用试验回路。

第五节　砂泵的运行和维护

主管路泵是威尔逊斯奈得三缸柱塞泵，用 600 马力电动机带动，并且并联运行。离心泵用作泵站内矿浆的处理 矿浆贮存槽内的循环 ;试验回路的给浆及向主管路泵提供正的给浆压头。

泵的运行如下 :当吸入冲程时，排出阀由于管道压力而关闭，吸入阀在柱塞返冲时开启。在此冲程内，柱塞连续被射向柱塞底部的清洗水冲洗。在排出冲程时，在泵缸内产生的压力关闭吸入阀并开启排出阀，同时关闭清洗水系统的止回阀，还在柱塞周围留有一圈水，防止了矿浆对柱塞的磨损。

两个主要地点须特别维护 :一是承受高压矿浆的地方 ;另一是防止管路腐蚀的地方。如果柱塞盘根、管路焊缝或是主管路阀门出现任何的漏矿，则其寿命只能以分钟来计。高速度的矿浆很快将金属表面腐蚀，在 105.45 公斤/厘米^2 压力下，漏了矿浆可在几分钟内将一小孔穿成大洞。在过去三年的运行中，大部分维修时间是用在研究一种主管路阀门，使它工作性能可靠又能迅速关闭。阀门的关键问题是当开或闭，特别是当部分开的时候承受极高的矿浆速度。因此将导致过度的磨损和精矿堆积在柱塞之后，致使阀门不能再正常工作。作者认为用外部操作的止回阀已经解决了此问题。同样在主管路泵的进出阀门也使用了这种装置。这种阀门有一种聚氨酯耐磨衬里使封闭可靠。

另一需要进行研究的是冲洗水阀门，水在吸入冲程压力 38.67 ~ 42.20 公斤/厘米^2 时进行。水流在泵排出冲程被阻止，在 1.41 ~ 105.45 公斤/厘米^2 压差时，此阀门大约一分钟关闭 174 次。此阀门寿命短。现在同制造厂研究已得出运行满意的阀门。

一、腐蚀的控制

腐蚀速率用腐蚀探针探测，探针装在萨维捷河端，每天观测一次探针读数，记录内部

腐蚀率。腐蚀卷筒每六个月称量一次。到目前为止腐蚀率远较设计数字为低。原设计在萨维捷河端的腐蚀率每年为 9 密尔(为 1/4 英寸),在排出口端每年为 4 密尔。

二、道路的维护

管路和道路需要定期检查和维修,由于地区条件需在全管路修筑维修道路。维护内容有清理暗沟、修复沟渠,明管的刷油及其他一些小的工作。

三、排出站

在拉塔港排出站能将矿浆分配到各贮存槽或浓密机。排出站的一项主要任务是控制管路的闭塞阀门。在萨维捷河的管路运行工人可以用无线电讯号关闭在拉塔港的闭塞阀门,返回信号将指出阀门的位置。排出站有接收管路清除口的设施。

第六节　结　　语

过去三年的运行情况,主要是这条管路已按设计运行了。实际的精矿由于制团的需要比原计划的细了。但 200 网目以上的量没变。固体量还是 60%。两泵运行时常出现速度降低。管路曾完全关闭过 24 小时以上,在正常顺序下再启动则管路满流运行需半小时左右。

设计泵站运行率 89%,10 月 ~ 3 月(1970 年)管路运行率超过 95%,其原因是增加了阀门的寿命和建立了正规的维修制度,因此管路输送能力可达 2.5 百万吨/年。

建成后的管路投资每英里(1.61 公里)100000 元(加)。运行费用吨/英里低于 0.5 分,在任何新工程的估算时是不可忽略它的。经济性和技术可靠性是随地区条件而变化,但是这种水力运输方式已证明,在运输大量物料时和其它运输方式是一样地可靠。如在管路用水力输送大量物料的领域中进一步进行研究工作,将扩大其使用范围,并较目前状况有更大的效益。