

CL-60 型制备超速离心机

中国科学院生物物理研究所四室超速离心机研制组
北京医疗仪器修理厂

中国科学院生物物理研究所于一九七三年开始进行超速离心机研究工作,研制了超速离心机试验装置,用铝角转头达到最高转速6万转/分,获得最大离心加速度 $30 \times 10^4 g$ 。以后与北京医疗仪器修理厂协作,用二年多时间研制成功CL-60型制备超速离心机,为国家填补了空白,为科学研究工作提供了重要的设备。

CL-60型制备超速离心机是供生物学、化学、医学等科研和生产部门分离制备样品用的。其工作原理是:把欲分离的样品(溶液)装在离心转头试管内,利用转头高速旋转时产生的巨大离心加速度把样品中不同密度、不同分子量的物质分离开。

现将本机主要技术指标和结构原理分述如下:

一、主要技术指标

最高转速 60,000 转/分,
最大离心加速度 $328,000 \times g$ (重力加速度),
容量 60,000 转/分 8×10 毫升,
30,000 转/分 6×80 毫升,
速度控制精度 $\pm 1\%$,
离心室温度控制范围 室温 $\sim -10^\circ\text{C}$,
保证在最高转速 60,000 转/分 连续运转 2 小时。

二、结 构

本机主要由机架、离心室、转头、转动器、自

动控制线路、仪表控制面板以及真空、冷冻、润滑等部分组成。见图1。

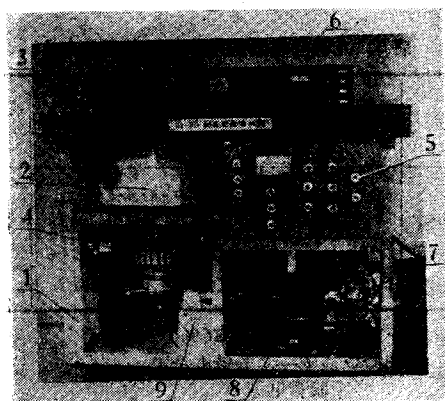


图 1

1——机架; 2——离心室; 3——转头; 4——转动器; 5——自动控制线路; 6——仪表控制面板; 7——真空泵; 8——冷冻机; 9——润滑油泵

1. 机架

机架采用等边角钢焊接而成。机架底部是8毫米厚结构钢板,钢板下面安装四只供仪器移动用的脚轮和四个供仪器安装、固定用的顶丝。结构牢固,移动方便,安装平稳,整机全部另件均安装在机架上。

2. 离心室

离心室主要由底板、防护套、上盖、内腔、致冷蒸发器、光电测速装置、安全拉杆和密封圈等组成,见图2。为了减少转头高速旋转时由于空气摩擦产生的热量,离心室做成密闭的,防护套与底板、上盖之间用橡皮圈密封,并用2X-2型真空泵抽真空,使离心室保持 10^{-2} 毫米汞柱

真空度。为了防腐、防蚀、离心室内腔用不锈钢板制成,在内腔的外壁上装有致冷蒸发器。为满足一些生物样品离心时的低温要求,本机装有功率为1千瓦,产冷量为1千仟卡2FM-4型封闭式氟利昂压缩机。根据使用者要求,可将离心室温度调节在室温至-10℃之间。为了确保

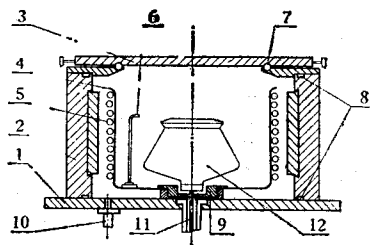


图2 离心室结构图

- 1——底板; 2——防护套; 3——上盖; 4——内套;
5——冷凝蒸发器; 6——速度选择旋杆; 7——密封橡皮圈; 8——密封橡皮圈; 9——光电测速装置;
10——抽气口; 11——转轴; 12——角转头

使用者的安全,除严格选择制造转头的材料,使其具有所需要的强度和其它性能,确保转头在额定转速安全运转外,为了防止转头万一破裂时金属碎片飞到腔外,离心室的外层安装有铅-合金钢双重防护套,在40毫米厚的优质合金钢套内壁上浇注20毫米厚的铅层。当转头意外破裂,金属碎片穿过离心室内腔后,首先打到铅层上。由于铅层具有较好的吸附能量作用,破裂的转头的能量被铅层吸收一部分后打到钢套上,本机钢套选用的优质合金钢除具有较高强度外,还具有较好的冲击韧性,当转头打到钢套上时,全部能量被防护套吸收,保证转头不会飞到腔外。为了确保使用者的安全,在设计防护套时,选用了较大的安全系数。

3. 转头

本机备有三种角转头:

转头型号	最高转速	容 量	最大离心加速度×g
Ti-6	60,000转/分	8×10毫升	328,000
Al-6	60,000转/分	8×10毫升	323,000
Al-3	30,000转/分	6×80毫升	99,300

Al-6转头和Al-3转头均采用锻造LC4超硬铝合金制成,Ti-6转头用锻造Tc-4钛合金制成,材料主要机械性能如下:

转头型号	材料牌号	抗拉强度 公斤/毫米 ²	屈服强度 公斤/毫米 ²	延伸率%
Ti-6	锻造 Tc-4	96—110		11—17
Al-6	锻造 Lc-4	54—58	51—52	10—11
Al-3	锻造 Lc-4	50—55	46—51	11—14

我们对Al-6转头材料进行材料力学试验,取材料的不同部位做成34根试棒。(其中31根沿横向取,3根沿纵向取),进行拉、压和冲击试验,试验表明,同一块材料上的不同部位和在不同方向上材料的机械性能不尽相同,一般说来,材料外部强度较高,内部稍低。用以上几种材料制造的转头可在规定的额定转速下安全运转。

钛合金具有较好的高温机械性能(本机选用的钛合金材料,根据材料出厂标准,400℃瞬时的抗拉强度为63.5—66公斤/毫米²)和抗腐蚀能力,可进行高温高压消毒和在较高温下使用。

转头材料在加工前,进行了超声波探伤。

转头底部安装一供测量转速用的测速齿环,测速齿环底面是一斜面,在斜面上压有一薄层橡胶,转头装在轴上时,依靠它与轴之间的摩擦力,使转头同转轴一起旋转。

转头动平衡精度为1微米。

离心管用聚丙烯和尼龙制造。

4. 转动器

转动器是一高速旋转机构,是本机的关键部件。主要结构见图3。由主电机经一对齿轮增速达到6万转/分,电机系采用博山电机厂为本机制造的110SZ-C01型直流伺服交流测速机组(电源电压110伏,转速15,000转/分,功率1千瓦),电机轴引出端做成带锥度的,在电机轴上安装一齿轮座和主动齿轮,主动齿轮带动一钢制的从动齿轮轴旋转,齿轮轴两端安装有精密滚珠轴承,齿轮轴通过滚珠轴承被安装在支撑座上。齿轮轴中心有一圆孔,孔的下端有一扁槽,当离心转轴插到齿轮轴里时,使转轴下端的扁部插到齿轮轴扁槽内,从而使钢齿轮带动离心轴和转头一起旋转。离心轴是用50Cr-V钢制造的φ5毫米/毫米挠性轴,运转时可自动调心平衡,这样可以合理降低对机械加工和安

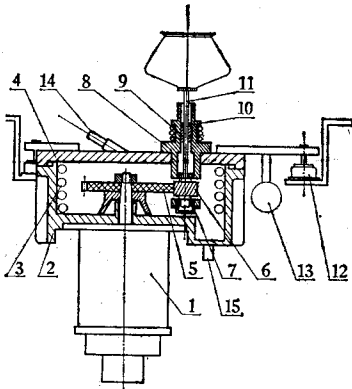


图3 转动器结构示意图

- 1——主电机；2——齿轮箱座；3——冷却水管；
4——齿轮箱盖；5——主动齿轮；6——从动齿轮；
7——滚珠轴承；8——支撑座；9——滑动轴承；
10——滚珠轴承；11——离心转轴；12——减震器；
13——重锤；14——润滑油入口；15——油出口

装的精度要求。在齿轮轴上方安装一套用轴承合金制造的滑动轴承，在滑动轴承上方安装一滚珠轴承支撑离心轴。

为使传动平稳，齿轮做成斜齿，并对齿形进行了修整，将齿尖做成圆弧形，为减小振动和噪声，主齿轮用酚醛夹布层压板制造。

在转动器后方安装一个重锤，使转动器重心在离心轴中心线上，以避免安装不同重量的转头时，造成重心的偏移。转动器外缘安装三个支板，支板下方安装空气阻尼式减震器，吸收转动器运转时产生的机械振动和把转动器与机架隔开，以防止仪器其它部件的振动对转动器的影响。减震器安装在支架上与离心室底板连接。

本机装有扬程4米、流量25升/分的润滑油泵，对齿轮、滚珠轴承、滑动轴承进行强迫润滑、冷却、离心机开动后，油泵运转，润滑油通过管道一路通到滑动轴承，润滑滑动轴承和滑动轴承上方的滚珠轴承，并使滑动轴承处充满润滑油，将离心室密封；另一路通到齿轮箱，从齿轮箱盖上方的油嘴把润滑油喷射到齿轮上，齿轮旋转时把油甩开，形成自由飞溅润滑，使齿轮和滚动轴承得到充分的润滑。在齿轮箱下方安装有油出口，润滑油从这里流出，通过管道返回

到油箱，形成循环润滑。

本机设有水冷却系统，在电机、滑动轴承外面和在转动器、油箱内安装有冷却水管，对各部件进行冷却。冷却水温度不得超过25℃，流量不小于2.5升/分。冷却管路如图4所示：

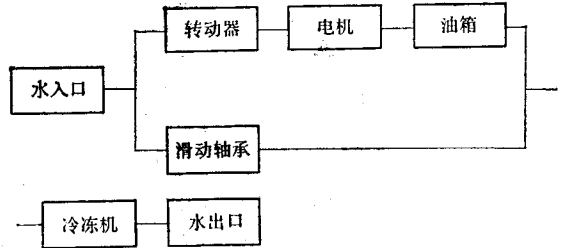


图4 水冷却系统

5. 自动控制线路

本机线路由运行条件自控线路和主驱动系统自动调节线路两部分组成。仪器控制仪表、调节旋钮和指示灯全部安装在控制面板上。为保证仪器正常运转，本机采用一系列主令电器和继电器、压力继电器、真空继电器等对主电机进行控制，当离心室盖不关闭，润滑油、冷却水达不到所要求的压力，离心室真空度过低时，主电机均不启动。

离心转头转速的调节和稳速，采用电子控制线路实现，本机采用测速负反馈闭环控制，转速连续可调，转速稳定度为 $\pm 1\%$ ，其方框原理图如图5。

本机采用改变转动器主电机电枢电压的方法调速；不仅调速范围宽，而且机械特性较硬。其工作原理为：220伏，50周/秒交流电源通过自耦变压器(ZOB)以变换电压并加到磁放大器(CF)上，它受反馈信号的控制，调节主电机的转速。磁放大器工作绕组并联，接成单拍直流输出内反馈式线路，磁放大器输出直流电压加到主电机电枢上驱动主电机转动。与主电机同轴的永磁测速发电机产生一频率和幅度与主电机转速成正比的电压讯号，此讯号经过整流加到差分调节放大器的一个输入端，而放大器另一输入端从一给定电压取得讯号，放大器输出端和磁放大器控制绕组相连，构成测速负反馈

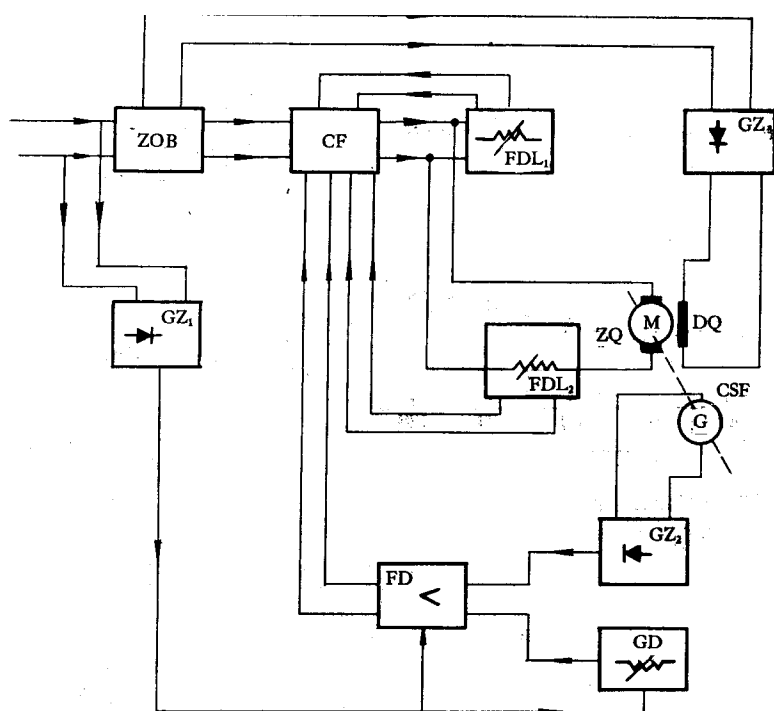


图5 速度控制线路原理图

ZOB——自耦变压器； CF——磁放大器； FD——调节差分放大器；
ZQ——电机转子绕组（即电枢）； DQ——定子绕组； GZ₁——电源
整流器； GZ₂——测速发电机整流器； GZ₃——励磁整流器；
GD——给定电压信号； CSF——测速发电机； FDL₁——正反馈电路；
FDL₂——负反馈电路

闭环控制线路。

本线路功率元件采用磁放大器，磁放大器虽然体积和重量较大，但其可靠性高。调节放大器是两级直流差分放大线路，不仅具有一定的增益，而且可以克服电源波动、温度变化等引起的直流漂移，有较高的调节精度。

线路的调速精度不仅与测速发电机性能、线路开环增益有关，而且与给定电压的稳定性有关，本机温度补偿性能较好，达到了调速精度要求。

为使驱动系统全速启动，线路中引入了电流截止负反馈，负反馈讯号从与主电机串联的电阻取得。本机加速电流为 15 安左右，为了改善加速特性，线路中引入了适当的正反馈。

主电机刹车用简单可靠的能耗制动方法，降速平稳。

用 A1-6 转头运转时，驱动系统加速、减速

特性曲线见图 6；驱动系统稳速特性曲线见图 7；驱动系统在不同转速的功率消耗曲线见图 8。

此外，仪器设有超速保护线路，当调速、稳速线路失控，转头实际转速超过速度选择挡所允许最高转速 2,000 转/分时，超速保护线路制动。

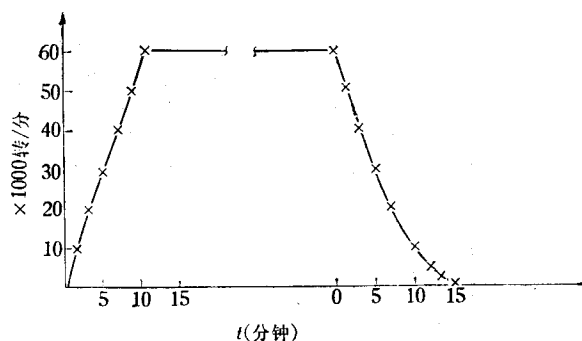


图6 驱动系统加速减速特性曲线*

* 用 A1-6 转头运转时

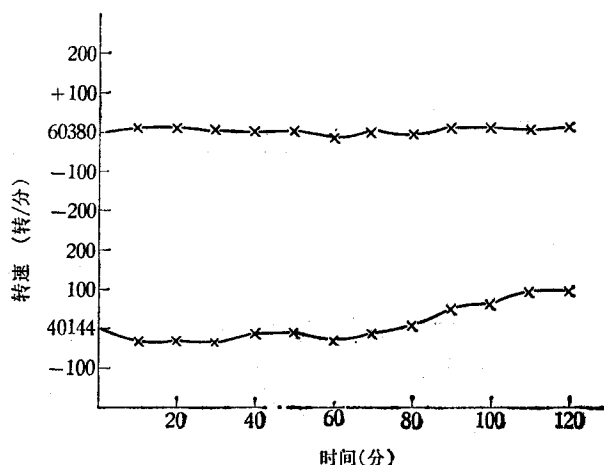


图7 驱动系统稳速特性曲线*

* 用 Al-6 转头运转时

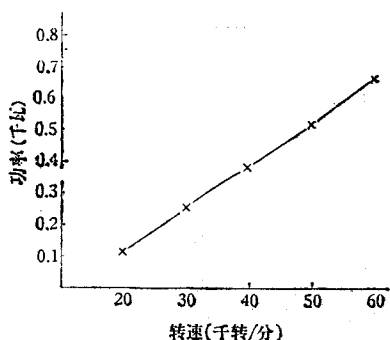


图8 驱动系统在不同转速的功率消耗曲线*

* 用 Al-6 转头运转时

三、测试和试用

仪器安装完毕后，我们对三台样机进行试运行，共运转约 180 次，累积约 150 小时。并对仪器噪声、转动器振动、轴承温升、转头温升等进行了测试。

1. 噪声

主电机、转动器、真空泵、冷冻机、油泵和电气元件是产生噪声的主要来源，为减小仪器工作时的噪声，将转动器室用钢板密封。我们用丹麦 2203 型精密声级计对整机噪声进行了现场测量，结果如下：

仪器在最高转速 6 万转/分正常运转，整机最大噪声为 62 分贝。

将仪器面板和密封盖板全部打开，在最高转速 6 万转/分运转，整机产生的最大噪声为

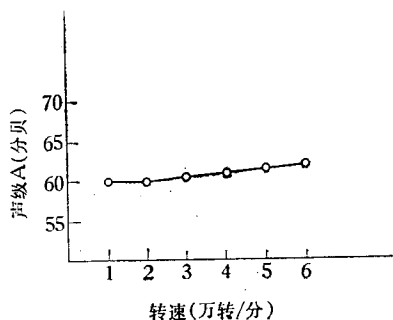


图9 整机噪声随转速变化曲线

75 分贝。

噪声随速度变化曲线见图 9。

2. 转动器的振动

振动是高速旋转机构必须加以解决的一个重要问题，对于超速离心机，除要求实验室地基牢固、仪器安装平稳、避免外界有激烈振动，采取减少真空泵、冷冻机振动对机架、转动器的影响外，在设计制造转动器时必须周密考虑和设法解决转动器的自身振动。旋转机件设计不合理，电机转子、齿轮、转头不平衡。齿轮传动不平稳以及制造精度、装配偏差、润滑不充分等原因，都会引起转动器产生强烈振动和发生共振，造成个别零件损坏以至整个系统破坏。

本机在最高转速 6 万转/分运转，转动器最大振动加速度不大于 7g (重力加速度)，实际测得转动器纵向振动加速度随转速变化的曲线见图 10。转动器横向振动加速度比纵向小得多，

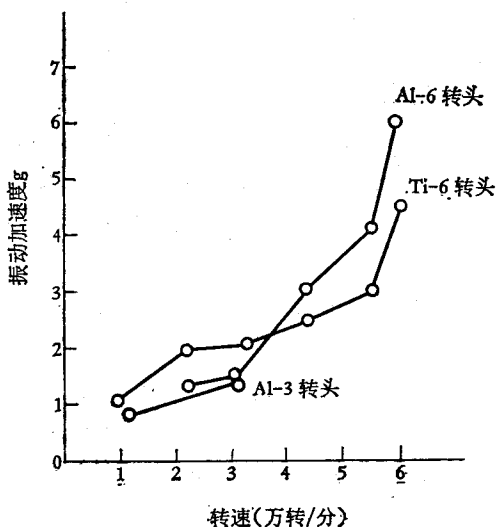


图10 转动器振动加速度随速度变化的曲线

在这里不列出。

3. 轴承温升

仪器运转时,随着转速的上升,安装在齿轮轴上的滚珠轴承的温度亦不断升高。我们对安装在齿轮轴下方的 C36102₁ 滚珠轴承温度进行实际测量,在仪器最高转速 60,000 转/分,连续运转 2 小时,轴承外座圈温升不超过 40℃。温度随转速变化情况见图 11。

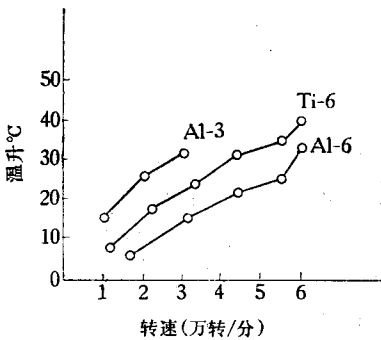


图 11 滚珠轴承温升随速度变化曲线

4. 转头温度

转头在离心室内运转,由于空气摩擦产生的热量和从转动器通过转轴传到转头一部分热量等原因,转头温度开始上升,随着运转时间延长,产生的热量增多,转头温度不断升高,但当超过一定时间后,转头温度不再继续上升(此时转头产生的热量与散发的热量相同),我们把转头的这个温升称为转头的平衡温度。转头在不同转速下平衡温度各不相同,由于各种转头直径、几何形状不同,在相同转速下平衡温度也不一样。对于每台仪器由于真空系统性能各有差异和在不同实验条件(如温度、湿度)下,平衡温度不完全相同。为了克服转头运转时的温升和满足一些离心样品的低温要求,离心时可开动冷动机,用蒸发器致冷,降低离心室的温度,吸

收转头运转时产生的热量,将转头冷却。根据生物实验室多次实际使用的条件,我们用半导体点温计测量装在转头内离心样品的温升,结果如下:

Al-3 转头,将转头预冷至 4—8℃:

转速(转/分)	离心时间(分)	离心室温度(℃)	转头温升(℃)
20,000	60	-5	1
30,000	60	-5	1
30,000	90	-5	2
30,000	120	-5	2

Ti-6 转头:

转速(转/分)	离心时间(分)	离心室温度	转头温升
50,000	45	0℃	从12℃升至17℃
60,000	90	0℃	从20℃升至26℃

5. 试用

本机调试完成后,将其中一台交付实验室试用,对噬菌体(用 Ti 头以 30,000 转/分的转速,离心两小时后噬菌体在 CsCl 分段梯度上分离成带,见封二图 5)、线粒体等多种样品进行离心,共运转 30 余次,累积达 80 小时,结果表明,主要技术指标达到原设计要求。

结 语

CL-60 型制备超速离心机是我们第一次设计制造的超速离心机,由于我们技术水平有限,在结构设计和制造工艺上还存在一些问题,尚须进一步改进和完善,主要有:改进转头结构,增加转头种类,扩大使用范围,提高离心室的真空度和转头温度控制精度,进一步提高机械和电子线路各部分的稳定性和可靠性。

[本文于 1977 年 8 月 11 日收到]

科技消息

超声——攻克癌的武器

低能量密度的超声——高频率声波往往作为一种安全诊断疾病的有用工具。目前在治疗肿瘤时,常用热来处死肿瘤,因而就考虑到能否直接利用超声的热效应来治疗肿瘤。最近报道用超声来处理患肿瘤的小鼠,得到十分显著的效果。

但是超声治疗肿瘤究竟是否仅仅是热的作用呢?有人做了这样的试验:细胞用超声处理后,发现细胞的反应不仅由于热效应,同时也由于所用的声强度。细胞存活的情况说明即使温度变化很小,声波强度的任何变化,也会影响细胞存活。这种发现是大大鼓舞人的,因为超声在杀死癌细胞的同时不损伤正常组织,这样超声的应用将比 x 线要大大有利。

摘自 Science News, 111 (23), 360, 1977.