（三）分析诊断

1）机油压力始终过低时应先抽出机油尺检查油底壳内机油液面高低（存油量多少）。如果机油量严重不足，在发动机急加速时会出现主轴承、连杆轴承的敲击声。若机油量充足，应检查机油压力表或传感器。拆下机油压力传感器，当短时间启动发动机时，若机油喷出无力，则应检查机油滤清器旁通阀、限压阀、机油进油管、机油泵等。如果传感器良好，再检查机油压力表是否失效。为此可将机油压力传感器的导线拆下，接通电源开关，将导线头与汽缸体搭铁，观察机油压力表指针状态，若迅速上升到头，说明机油压力表良好。否则，说明机油压力表失效，或导线接触不良。

曲轴主轴承、连杆轴承、凸轮轴轴承等间隙增大，会直接影响机油压力。

2）发动机在运转过程中机油压力突然降低，应立即使发动机熄火，检查机油有无严重泄漏。

3）发动机启动时机油压力正常，运转一段时间后油压迅速降低，说明油底壳内机油量不足。若机油量充足还是出现这种故障，则可能是机油粘度过小，应抽出机油尺检查，如见水珠或燃油味，说明曲轴箱内渗入冷却水或燃油，在排除渗水故障后更换机油。

4）在发动机运转中发现机油压力降至标准值以下时，可直接卸下主油道上的螺塞进行观察，若出油有力，可继续运转，待停车时修复；若出油无力，应立即使发动机停止运转，以防发生严重的机械事故。

二、机油压力过高

（一）现　象

1）接通电源开关，机油压力表指针摆动，发动机启动后油压增至标准值以上。

2）发动机在运转过程中油压力突然增高。

3）严重时机油压力传感器或机油滤器盖被冲坏。

（二）原　因

1）机油粘度过大。

2）限压阀调整不当。

3）汽缸体润滑油道堵塞。

4）曲轴主轴承、连杆轴承的间隙过小。

5）机油滤清器滤芯堵塞且旁通阀开启困难。

6）机油压力表或机油压力传感器性能不良或失效。

（三）分析诊断

发现机油压力过高时应立即让发动机熄火，并通过分析检查故障发生的原因及部位。

1）首先检查机油粘度是否过大。

2）检查限压阀是否调整不当或弹簧是否过硬。

3）对于新发动机，应检查曲轴主轴承、连杆轴承、凸轮轴轴承等间隙是否过小。

4）机油压力突然升高，应先检查机油滤清器是否堵塞，旁通阀弹簧是否过硬或压缩过多。若上述良好，则一般为润滑油道堵塞。

5）接通电源开关，机油压力表即有指示，则应检查机油压力表和机油压力传感器是否良好。

三、机油消耗量过多

（一）现　象

1）每天检查油底壳机油液面时发现机油消耗量逐渐增多，机油消耗率超过规定值。

2）排气管冒蓝烟。

（二）原　因

1）活塞与汽缸壁间隙因装配不当或磨损过甚而增大。

2）活塞环磨损严重或弹力不足。

3）活塞环的端隙、侧隙、背隙过大。

4）活塞环粘接在活塞环槽内或对口。

5）扭曲环等断面形状不对称的活塞环，其环槽位置装错、方向装反。

6）进气门导管磨损严重。

7）曲轴箱通风不良，其内压力偏高。

8）正时齿轮室密封不良，造成机油渗漏。

9）曲轴后端油封失效，或最后的主轴承盖回油孔过小，造成机油向外泄漏。

10）凸轮轴后端油堵漏油。

11）油底壳、气门室罩、气门室侧盖密封不严而漏油。

12）空气压缩机窜机油，或曲轴前、后端的油封失效而漏油。

（三）分析诊断

1）首先检查有无漏油处。在发动机的主要漏油部位中，应特别注意曲轴前后端是否漏油。曲轴前端漏油常因油封损坏、老化或曲轴皮带轮与油封接触表面磨损严重所致。有时曲轴皮带轮与曲轴的配合间隙过大或键槽配合松旷也会引起漏油，当拆下启动爪后，可明显观察到曲轴皮带轮前端孔内存有机油，此时可在启动爪后端加上垫片或石棉绳。曲轴后端漏油除了油封密封不良的原因外，对无后油封的发动机应检查后主轴承盖回油孔是否过小。然后检查凸轮轴后端油堵是否松动而漏油。

2）踩下加速踏板使发动机转速提高时排气管大量排出蓝烟，机油加注口处也有冒蓝烟现象，说明活塞、活塞环、汽缸壁等磨损严重，使机油窜入燃烧室而燃烧掉，此时

应拆下活塞连杆组进行检查、分析。还应检查活塞环（特别是第一道环）的端隙、背隙和侧隙。若这些间隙过大，便会使活塞环泵油现象加重而促使机油消耗量增加。

发动机大负荷运转时排气管冒出浓重的蓝烟，但机油加油口处并不冒烟，这是因为飞溅到气门室罩内的机油沿气门导管被吸入燃烧室的结果。

若短时间内排气管冒蓝烟，而油底壳内机油并未减少，这是空气滤清器太脏而机油液面过高所致。

3）曲轴箱通风不良，使曲轴箱内气体压力和温度升高，这不仅造成机油渗漏，还能将油底壳衬垫等冲破。

4）若储气筒放污塞处放出很多机油时，说明空气压缩机活塞、活塞环、汽缸壁等磨损严重，使机油从空气压缩机的排气阀进入储气筒内。

四、机油过早变质

由于高温和氧化作用，即使在正常情况下机油也会生成氧化物或氧化聚合物，这种现象称为机油“老化”。老化的机油含有酸性化合物，不但使机油变黑、粘度下降，而且腐蚀零件。如果机油老化现象加快，应查明原因并予以排除。

（一）现　象

将机油尺以发动机内抽出，使机油滴在洁白的吸墨纸上，机油呈黑色并有杂质，或油滴外缘呈黄色而中心呈黑色。有条件者可以通过光谱法、X 射线分析法、铁谱分析法等予以鉴别。

（二）原　因

1）机油压力过低且机油粘度过大。

2）机油滤清器滤芯堵塞或其中心孔两端密封不良。

3）活塞环漏气或曲轴箱通风不良，曲轴箱内气体温度过高。

4）发动机汽缸体破裂，冷却水漏入油底壳。

（三）分析诊断

1）首先应检查机油压力，排除引起机油压力过低的各种原因。若机油压力正常，再查看油质——粘度、颜色、有无水分和其他杂质。

2）检查机油滤清器是否完好、性能正常。先拧转粗滤器手柄，若拧转不动则应拆下清洗。然后检查旁通阀和机油滤清器效能。

3）检查曲轴箱通风情况。曲轴箱通风不良，漏进曲轴箱的废气、可燃混合气、水蒸气和燃油等凝成有害化合物且稀释机油，使机油加速变质。

五、离心式机油滤清器的故障

（一）现　象

1）油底壳内机油变脏的速度加快，其使用周期缩短。

2）发动机熄火后 2～3mmin 内，在发动机罩旁听不到转子转动的“嗡嗡”声，即转子转速已迅速降低，其滤油性能下降。

（二）原　因

1）机油内杂质较多，使喷孔磨损、机油喷射速度降低。

2）转子轴及轴承磨损，使转子产生晃动。

3）拆装时转子盖没有按原位装配，转子的动平衡被破坏。

（三）分析诊断

1）发动机熄火时若听不到细滤器的“嗡嗡”声，说明转子不转，细滤器停止工作。

2）拆卸、清洗、检查细滤器。拧开外罩上的螺母，取下外罩，将转子转到喷嘴对准挡油板的缺口时，转子即可取出。清除转子壁上的污物并疏通喷嘴。

3）喷孔、转子轴与轴承等磨损后应更换新件。

第三节　润滑油污染度及其测定

一、润滑油污染度等级

（一）润滑油污染度表示方法

润滑油的污染度是指单位体积油液中固体颗粒污染物的含量。为了定量地描述和评定润滑油的污染程度，实施对润滑油的污染控制，已制定了润滑油污染度等级标准。

润滑油中的固体颗粒污染物的含量可以用宏观的总量表示，也可以用微观的颗粒数量表示。

用宏观的总量表示的形式有：

1）质量污染度。单位体积油液中所含固体颗粒污染物的质量，一般用 mg/L 表示。

2）质量分数。每百万质量单位油液中固体颗粒污染物所占的份数。

3）体积分数。每百万体积单位油液中固体颗粒污染物所占的份数。

用微观的颗粒数量表示的形式有：

1）区间颗粒污染度。单位体积油液中在某一尺寸区间内的固体颗粒数。例如，每

毫升油液中尺寸在 5～25μm 之间的固体颗粒数。

2）累计颗粒污染度。单位体积油液中大于某一尺寸的固体颗粒数。例如，每毫升油液中尺寸大于 5μm 的固体颗粒数。

用污染颗粒物总量的表示方法虽然比较简单，但不能反映颗粒的尺寸及分布，而了解这些参数对污染控制是十分必要的。随着颗粒计数的技术发展，目前已广泛采用颗粒污染度的表示方法。

为了实施油液污染控制的需要，世界各主要工业国家制定出各自的油液污染度等级标准。近年来各国趋向于采用国际标准化组织制订的油液污染度等级标准。

（二）ISO4406 污染度等级

ISO4406 污染度等级标准（见表 6－4－1）采用两个数码式表示油液的污染度等级，前面的数码代表 1 毫升油液中尺寸大于 5μm 的固体颗粒数等级，后面的数码代表 1 毫升油液中尺寸大于 15μm 的固体颗粒数等级，两个数码之间用一斜线隔开。例如，污染度等级 18/13 表示油液中大于 5μm 的固体颗粒数等级的数码为 18，浓度为每毫升油液中固体颗粒数在 1300～2500 之间；大于 15μm 的固体颗粒数等级的数码为 13，浓度为每毫升油液中固体颗粒数在 40～80 之间。

表 6－4－1　ISO4406 污染度等级数码

每毫升颗粒数		等级数码	每毫升颗粒数		等级数码
大于	上限值		大于	上限值	
8000	160000	24	10	20	11
40000	80000	23	5	10	10
20000	40000	22	2.5	5	9
10000	20000	21	1.3	2.5	8
5000	10000	20	0.64	1.3	7
2500	5000	19	0.32	0.64	6
1300	2500	18	0.16	0.32	5
640	1300	17	0.08	0.16	4
320	640	16	0.04	0.08	3
160	320	15	0.02	0.04	2
80	160	14	0.01	0.02	1
40	80	13	0.005	0.01	0
20	40	12	0.0025	0.005	0.9

注：ISO4406 污染度等级标准采用固体用颗粒浓度为 2 的等比级差，可明显地区分不同系统的污染程度，同时还允许适当的差别。

ISO4406 标准选择具有特征性的两个尺寸：5μm 和 15μm。一般认为，5μm 左右微小固体颗粒的浓度是引起润滑系统淤积和堵塞故障的主要原因，而大于 15μm 的固体颗粒浓度对润滑系元件的污染磨损起主导作用。因而，以这两个特征尺寸的固体颗粒浓度作

为制定等级的依据，可全面地反映大小不同的固体颗粒对液压系统的影响。

根据油液污染度的测定结果，对照表 6－4－4 查出相应的大于 5μm 和大于 15μm 的颗粒数的等级数码，即可确定油液的污染度等级。例如，前例每毫升油液中大于 5μm 的固体颗粒数，约为 600＋100＋20＝720，在 640～1300 之间，代码为 17；大于 15μm 的固体颗粒数约为 100＋20＝120，在 80～160 之间，代码为 14，所以该油液污染度等级为 17/14。

二、润滑油中固体颗粒污染物的鉴别

通过对润滑油中固体颗粒污染物的成分鉴别和含量测定，可以发动机润滑系元件污染磨损监测和润滑系故障诊断提供重要信息和依据。目前用于润滑油污染分析的方法有光谱法、X 射线分析法（包括射线能谱法和 X 射线波谱法）和铁谱分析法等。

（一）光谱分析法

光谱分析法主要有发射光谱和原子吸收光谱两种。

发射光谱法的原理是，根据物质受热能或电能激发后所发出的具有一定波长的光束采进行定性和定量分析。利用此方法使油液受电火花作用发出的光通过光谱仪，经色散作用形成具有不同波长的元素及其含量。发射光谱法可用于鉴别各种金属元素和硅、磷等。

原子吸收光谱法的原理是，根据物质在高温下产生的原子蒸气对特定波长的光的吸收作用来进行成分分析。分析时将少量油液放在火焰中气化，使光源发射的具有某一特定波长的光通过蒸气。如果这种光被蒸气吸收，则说明油液污染物中含有发射这种特征光波的元素。通过测定辐射光波减弱的程度可确定元素的含量。原子吸收光谱法可以用来测定各种金属元素的成分和含量。

（二）X 射线波谱分析法

X 射线波谱分析法的原理是，利用分光晶体对油液样品发出的特征 X 射线的衍射作用，测定特征 X 射线的波长和强度，从而确定分析区域内所含的元素及其含量。X 射线波谱仪检测元素的范围从原子序数 5 至 92。

X 射线波谱仪可以作为扫描电镜的附件。由于受电子显微镜结构的限制，一次只能安装 1～2 个分光晶体。而一个晶体对 X 射线衍射的波长范围是有限的，因而在原子序数 5～92 的检测范围内需要更换分光晶体，这给安装和调整带来不便。近年来发展的电子探针仪以波谱仪为主体，以扫描电镜为辅，可以同时安装 4 个分光晶体。电子探针仪适用于微小区域和微小颗粒元素的定性和定量分析。

（三）X 射线能谱分析法

X 射线能谱分析法是利用扫描电子显微镜与 X 射线能谱仪进行化学元素分析的。扫描电镜是一种高性能和多功能的电子光学仪器，它的放大倍数范围大（从十倍到数十万

倍），景深为普通显微镜的 300 倍。它不仅可以用于粗糙表面的结构分析，如固体颗粒污染物的外貌形态与尺寸分析，而且与 X 射线能谱仪结合，通过检测电子束在油液样品表面扫描时产生的特征 X 射线的能量，可以对分析区域内所含的化学元素作定性和定量分析。目前，多功能的扫描电镜都配有能谱仪。能谱仪采用效率锂漂移硅检测器（SiLi 检测器）可以在观察扫描图像条件下，有效地检测由油液样品发出的特征 X 射线。通过测得的 X 光电子能量和强度，可确定被测元素及其含量。X 射线能谱仪可以对原子数大于 11 的所有元素进行定性和定量分析。

由于扫描电镜要求固定试样，因而油液中的固体颗粒物需要用微孔滤膜作分离。滤膜上的油渍必须用超净溶剂去除。由滤膜制成的样品其表面覆盖一层 0.005 ~ 0，01μm 厚的导电物质，如金或碳等。

（四）铁谱分析法

铁谱分析法借助于铁谱仪将磨损颗粒或其他污染颗粒从油液中分离出来，并制成铁谱片，然后置于铁谱显微镜或扫描电镜下进行观察，或按照固体颗粒污染物尺寸大小依次沉积在一玻璃管内，应用光学方法进行定量检测。这种包括从取样开始，直至对固体颗粒污染物作出成分鉴别和含量测定的技术，称为铁谱技术。

铁谱分析法主要用于检测油液中与磨损有关的金属颗粒，通过对颗粒进行分析，可以准确地获得发动机润滑系有关磨损方面的重要信息。据此来分析磨损过程，监测零件及其磨损状况，诊断故障原因，进行失效预报。铁谱分析法能够在不分解润滑系甚至在发动机不停止运转的情况下进行在线测量，报告其磨损状态，进行润滑系的状态监测，被广泛地用于发动机润滑系及工程建设机械液压系统的工况监测和故障诊断。它具有较宽的颗粒尺寸检测范围和较高的检测效率，可同时进行定性诊断和定量测量。它能够准确地早期预报和诊断润滑系中一些不正常磨损的特征，为发动机及工程建设机械操作入员及时提供重要的信息，以便采取措施进行预防，避免事故发生，延长发动机使用寿命。

运用铁谱技术的基本工具是铁谱仪，目前铁谱仪主要有分析式、直读式和在线式等三种类型。

1）分析式铁谱仪。分析式铁谱仪的工作原理是，将油液中的铁磁性固体颗粒分离出来，并按其尺寸大小沉积在玻璃基片上制成铁谱片，以供铁谱显微镜和其他仪器对固体颗粒进行成分鉴定和含量测定。分析式锈谱仪应用较普遍，它由制谱仪、铁谱显微镜和光密度等组成。

制谱仪的工作原理如图 6－4－4 所示。被试油液由微量泵 2 吸出，经细管流至倾斜放置的玻璃基片 3 的上端，油液沿玻璃基片缓慢流动，经导流管 5 流入废油容器 6 内。玻璃基片下面装有高磁场强度和梯度的磁铁 4，油液沿倾斜的玻璃基片向下流动时，其中的金属颗粒（大部分为铁磁性和顺磁性）在磁力作用下按其颗粒大小和磁性强弱分别沉积在基片的各个部位，于是制成供分析用的铁谱片。

利用铁谱显微镜可以对铁谱片上的固体颗粒进行观察和鉴定。铁谱显微镜是一双光源显微镜，利用不同颜色的反射光和透射光，借助于标准铁谱图册，可以鉴别固体颗粒

物的种类。

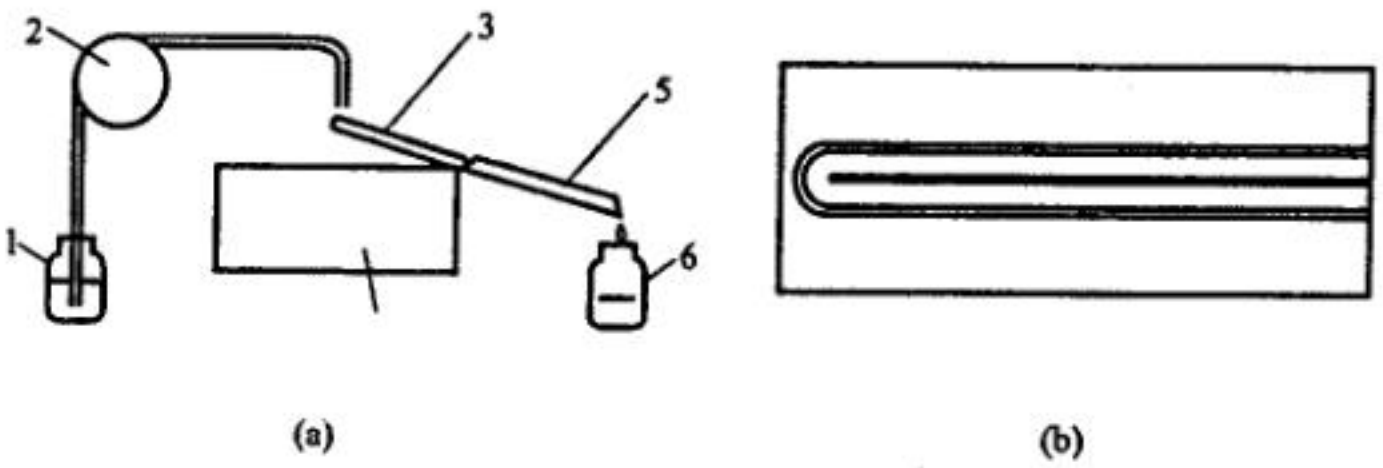

图 6－4－4　制谱仪工作原理

1、6－玻璃容器；2－微量泵；3－玻璃基片；4－磁铁；5－导流管

通过光密度计可读出铁谱片上某一部位的光密度，即微粒覆盖面积的百分数。一般在铁谱片上距离油液流出口 54mm 和 49mm 两个位置测量光密度值，它们分别代表较大颗粒（大于 5μm）和较小颗粒（小于 2μm）的读数，据此可判断润滑系的磨损情况。

2）旋转式铁谱仪。这是近年来发展起来的一种分析式铁谱仪，其特点利用旋转的磁铁和玻璃基片提高固体颗粒分离的效果。

旋转式铁谱仪的原理如图 6－4－5 所示。在旋转的圆形磁铁 1 上放置一正方形玻璃基片 2，用油样注射器 3 将油样注射到玻璃基片上，在磁场力和离心力的作用下，油样中的微粒按其尺寸大小沉积在玻璃基片上，形成内、中、外三个圆环（图 6－4－4（b））。当注射一定量（一般为 1mL）油样后，用清洗液注射器 4 向玻璃基片注以清洗溶剂，清除油液使微粒牢固地粘附在玻璃基片上。然后借助光学显微镜或扫描电镜等仪器观察、分析固体颗粒物的形状、外貌和成分，或用微粒计量器测定其含量。

旋转圆形磁铁由变速电机驱动，转速为 70、125、150 和 200r/min 等 4 挡。

根据对铁谱片上沉积固体颗粒的尺寸分析表明，内环上各种尺寸的固体颗粒都有，一般为 1～50μm 的固体颗粒，而中环上一般为 1～20μm 的固体颗粒，外环上一般为小于 10μm 的固体颗粒。

旋转式铁谱仪铁谱片上的固体颗粒分散比较充分，可避免其重叠，适用于分析污染严重的油液。

3）直读式铁谱仪。如图 6－4－6 所示，直读式铁谱仪的工作原理是，油样容器 1 内的油被虹吸泵 7 吸出，经细管 2 和位于磁铁 10 上方的玻璃沉积管 6 流入容器 11 内。油液中的铁磁性颗粒在高梯度、强磁场的作用下，按其尺寸大小顺序沉积在玻璃沉积管内壁的不同位置上。由光源 9 发出的光经光导纤维 8 传输到玻璃沉积管的两个固定测点，并由两个光电检测器 5 接受，该光信号的强弱反映了玻璃沉积管内铁磁性颗粒的沉积量。光信号通过电子电路 3 放大和 A/D 转换，最后在数字显示屏 4 上读出，其中 D_L 表征油样中大颗粒（大于 5μm）的含量，D_S 为小颗粒（1～2μm）的含量。

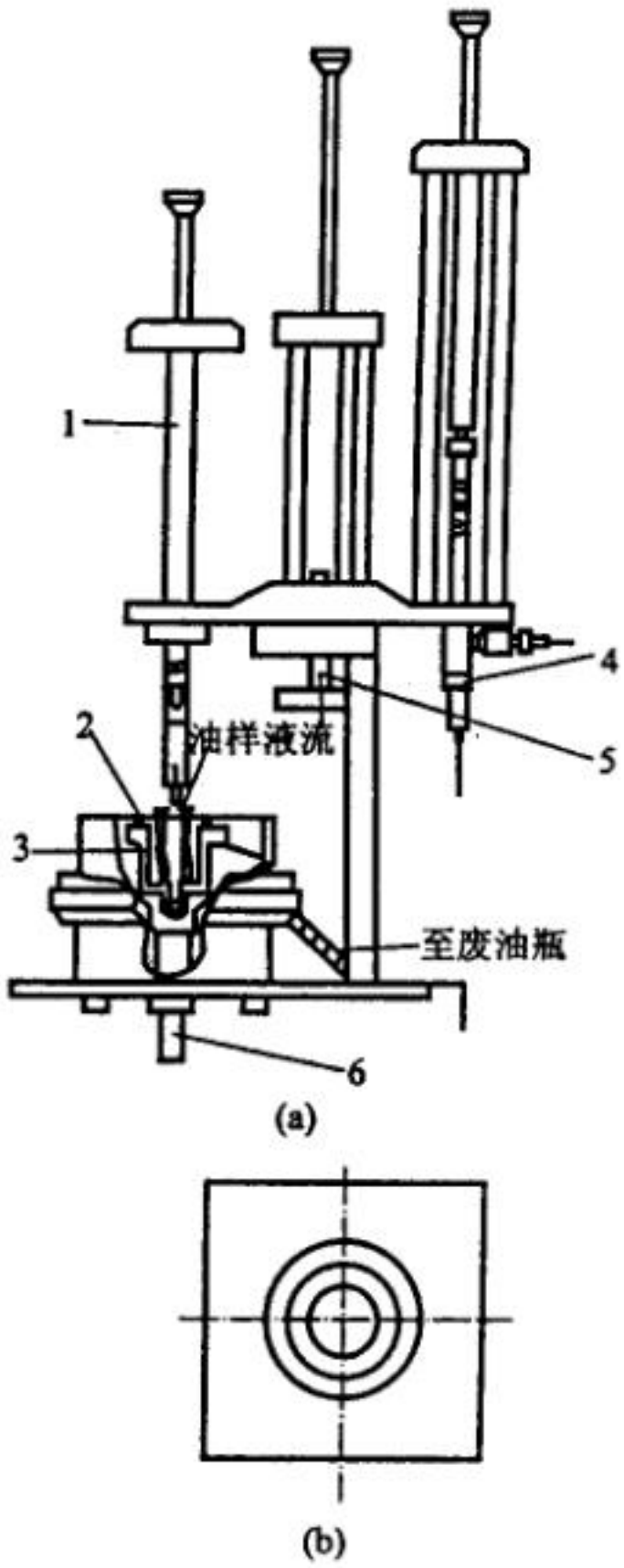

图 6－4－5　旋转式铁谱仪

（a）结构组成；（b）玻璃基片 1－旋转圆形磁铁；2－铁谱片；3－油样注射；4－清洗液注射器；5－压头；6－驱动轴

三、润滑油污染度测定

润滑油中固体颗粒污染物的含量可以用质量或颗粒数表示，因此与之相应的污染度测定方法有质量分析法和颗粒分析法。润滑油中其他污染物如空气和水，则可用空气含量和水含量表示。

（一）质量分析法

质量分析法是用来测定润滑油单位体积中所含固体颗粒污染物的质量，测定值一般用 mg/L 表示，也可用 mg/100mL 表示。该分析法采用滤膜过滤器将一定体积油样中的固体颗粒污染物收集在滤膜上，通过称量滤膜过滤前后的质量即可测得固体颗粒污染物的含量。

滤膜过滤装置如图 6－4－7 所示。通常采用孔径为 0.8μm 的微孔滤膜，滤膜直径为 47mm。测定的步骤是：将两片滤膜夹紧在滤膜夹持器中，上面的滤膜为检测滤膜 E，

下面的滤膜为校正滤网 T。用经过过滤的溶剂（一般用石英醚）冲洗漏斗，同时用真空抽滤，将滤膜上的溶剂抽干后取出滤膜。将两滤膜并排放置在清洁培养皿中，放入烘干箱内，在 80℃温度下烘干 30min，干燥后的两滤膜分别在精密天平上称量，记录两滤膜的质量 m_E 和 m_T，（精度在 0.05mg 以内）；然后将两滤膜再次夹持在过滤装置中，仍是滤膜 E 在上、滤膜 T 在下；将 100mL 油样倒入漏斗，在真空下过滤（真空度要达到 8.66kPa）。漏斗中的油样过滤完毕后将大约 50mL 的清洁溶剂倒入盛油样的容器中，摇晃涮洗后倒入漏斗，并用清洁剂冲洗漏斗侧壁，使油样中的全部污染物都收集在滤膜上；按上述方法将两滤膜烘干和称重，记录两滤膜的质量 M_E 和 M_T。

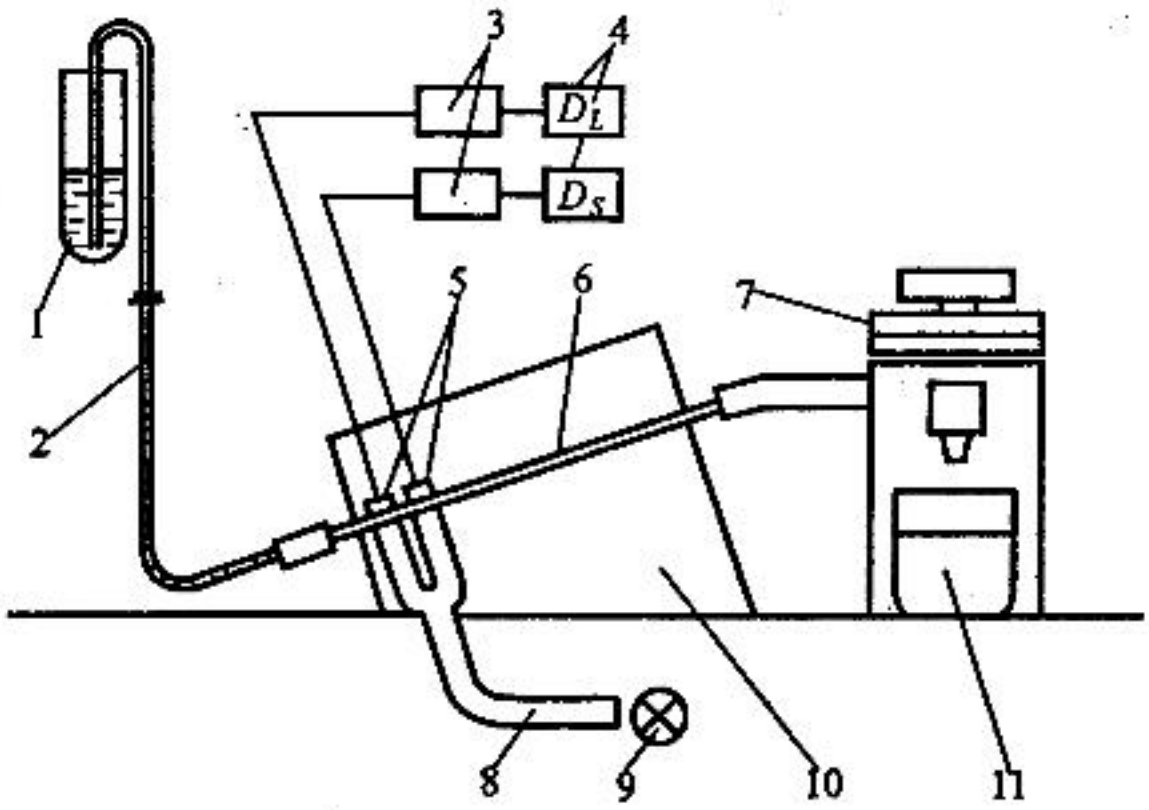

图 6－4－6　直读式铁谱仪

1－油样容器；2－细管；3－电子线路；4－数字显示屏；5－光电检测器；6－玻璃沉积管；7－虹吸泵；8－光导纤维；9－光源；10－磁铁；11－容器

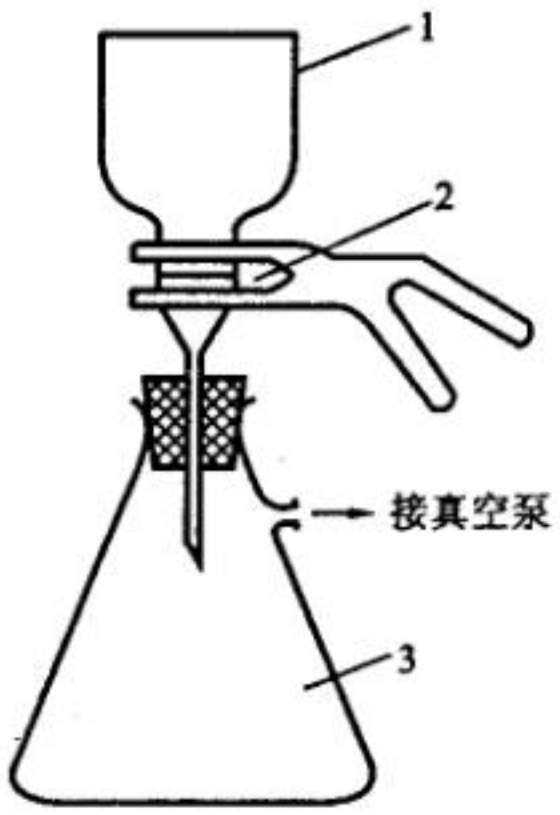

图 6－4－7　滤膜过滤装置

1－漏斗；2－滤膜夹持器；3－真空瓶

100mL 油样中所含固体颗粒污染物的质量 M 可用下式计算：

$$M = （M_E - m_E） - （M_T - m_T） \quad （mg） \qquad （6-4-2）$$

式中　M_E、m_E——分别为下滤膜过滤油样以后和以前的质量，mg；

M_T、m_T——分别为上滤膜过滤油样以后和以前的质量，mg。

质量分析法采用两片滤膜的目的是为了消除滤膜本身质量的变化：与清洁油液流经滤膜时可能冲刷掉一些滤膜材料或吸收油样中的一些成分，因而引起滤膜质量的变化。不同精度的滤膜，其质量变化范围大约为 -5 ~ +10mg。

质量分析法所需的测试装置比较简单，但测试时间长，测定结果只能反映油样中固体颗粒污染物总量，而不能反映其尺寸大小和分布。

（二）颗粒计数法

颗粒计数法是测定油样单位体积中各种尺寸范围固体颗粒污染物的颗粒数，表示方法有区间颗粒浓度和累计颗粒浓度两种。前者是指单位体积油样中含有某给定尺寸区间内的颗粒数。例如，1mL 油样中 5 ~ 10μm、10 ~ 20μm 等尺寸区间内的颗粒浓度；后者是指单位体积油样中含有大于某给定尺寸的颗粒数。例如，1mL 油样中大于 10μm、20μm 等尺寸范围的颗粒数。目前采用的颗粒计数法的仪器装置见表 6-4-2。

表 6-4-2　颗粒计数法使用的仪器装置

方法	原理	仪器	测量范围/μm	实例
视场扫描	目测	光学显微镜	>5	
	自动扫描	图像分析仪	>1	Quantiment（英） TTMC（美）
		扫描电子显微镜	0.02 ~ 50	
液流扫描	遮光 光散射 电阻变化	遮光型自动颗粒计数器 激光型自动颗粒计数器 电阻型电自动颗粒计数器	1 ~ 9000 0.5 ~ 25 1 ~ 100	HIAC/ROYCO（美） HIAC/ROYCO（美） Coulter（英）

1）显微镜法。这是一种普遍采用的颗粒计数法，是分析润滑油污染度的最基本的方法。它用微孔滤膜过滤装置过滤一定体积的油样，将其固体颗粒污染物全部收集在滤膜表面上。滤膜经过固定处理后制成片，然后在显微镜下观察并进行计数。

常用滤膜的直径为 47mm，滤膜孔径为 0.8μm，过滤油样容积为 100mL。为了便于计数，微孔滤膜上印有方格线条，方格边长为 3.08μm，滤膜的有效过滤面积约等于 100 个方格的面积。

在显微镜的目镜内装有测微标尺，用来测定污染物颗粒尺寸，并可将方格面积划分为更小的单元面积（约为方格面积的 1/6）和亚单元面积（约为方格面积的 1/20）。根据油样污染程度选定若干个方格面积或单元、亚单元面积进行颗粒计数，并用统计法计算出整个过滤面积的颗粒数。颗粒计数的尺寸范围（μm）为 >5 ~ 15，>15 ~ 25，>25

~50，＞50~100，＞100 时选用的放大倍数分别为 200~400，160~200，100~200，100，100。

显微镜法所需的仪器比较简单，并且可以直接观察到、固体颗粒污染物的大小、形状和外貌。缺点是计数所需的时间长，消耗精力大，计数的准确性差，重复性精度约为土 10%。

2）自动颗粒计数法。随着电子技术的发展，自动颗粒计数器在油液污染分析中得到日益广泛的应用。它为精确、迅速地测定油液污染度提供了先进的手段。

目前用于润滑油液污染分析的自动颗粒计数器多属于遮光型，图 6-4-8 为遮光型传感器原理。它由光源 1、透光材料制作的液流通道 2 和光电检测元件等组成。从光源发射的平行光束穿过液流通道和窗口 3，射向一光电二极管 4，由此输出经前置放大器至计数装置。被测试的油样垂直于光束流经窗口，传感区内油液中没有任何固体颗粒污染物时前置放大器输出电压为一定值。当有一颗粒杂质通过传感区时，一部分发射光被遮挡，于是光电二极管接收的光强减弱，便输出产生一个脉冲。由于被遮挡的光量与颗粒杂质的投影面积成正比例，因而输出电压脉冲的峰值直接反映出颗粒杂质的尺寸大小。电压脉冲幅值可用下式表示：

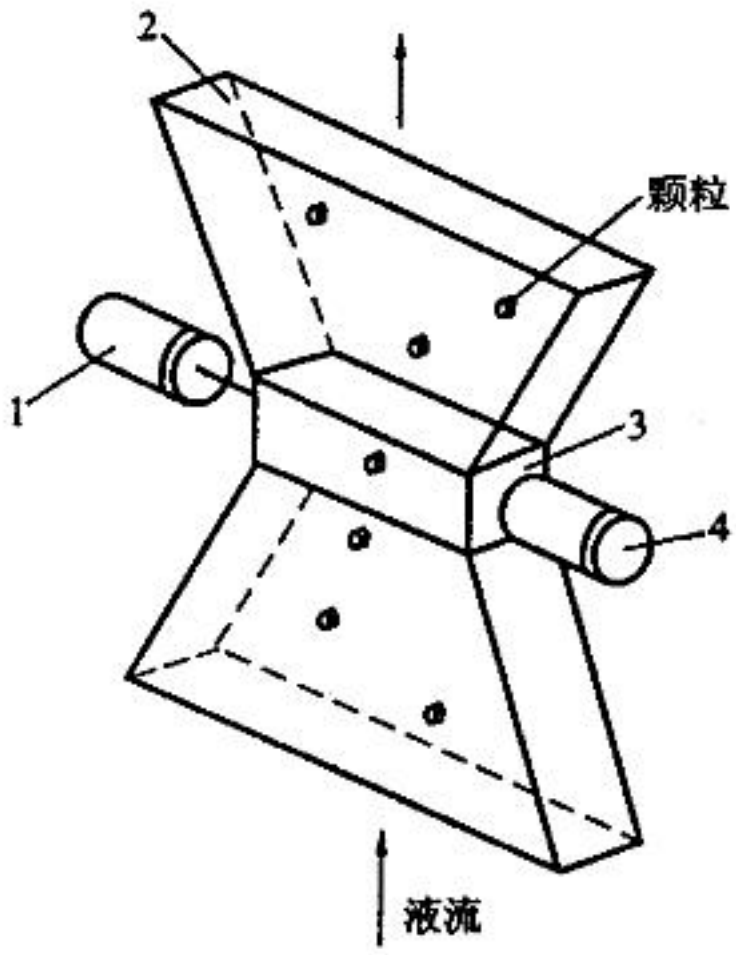

图 6-4-8　遮光型传感器原理

1-光源；2-液流通道；3-窗口；4-光电二极管

$$E_a = a/AE_b \quad (V) \qquad (6-4-3)$$

式中　a——颗粒杂质的最大投影面积，μm^2；

A——传感器光束通过的窗口面积，m^2；

E_b——无颗粒杂质通过传感区时前置放大器的输出电压，V。

将输出电脉冲幅值与预先调定的计数器阈值电压相比较，若脉冲幅值大于阈值电压，计数器即计数，传感器的输出同时输送到若干个阈电路，按照所要测定的颗粒杂质尺寸预先调定各个电路的阈值电压，即可同时测定各种尺寸范围的颗粒杂质数。

因遮光型自动颗粒计数器对油液中混杂的气泡和水珠同固体颗粒杂质一样进行计数，因此油样中不应有气泡和水珠。但是，为使被测油样中固体颗粒杂质分布均匀，测试前需对油样进行除气。其方法是先将油样瓶放入超声波槽内浴振半分钟左右，使小气泡聚结为大气泡逸出，然后将油样瓶放入密封的玻璃罩内，罩内抽真空，直到全部气泡释出为止。若油样中含有水珠，则需要预先对油样进行脱水处理。常用脱水方法是加入少量酒精，然后通入清洁的干燥空气，使油样中的酒精和水的混合物全部挥发逸出。

3）在线污染分析。这是将润滑油污染检测装置安装在发动机润滑系的油路中，不需要取样而直接对润滑油污染度进行测定和监测。

图 6－4－9 为使用自动颗粒计数器的在线污染分析系统。在线颗粒污染分析装置安装在润滑系的油路上以后，两个单向阀 8 打开，进入污染分析装置的润滑油的大部分从旁通阀 1 流过，仅小部分润滑油流经自动颗粒计数器的传感器 4。流量控制阀 6 用以调节流经传感器的流量并保持流量稳定。传感器被污染物堵塞时可操作换向阀 3 使液流反向冲洗传感器。通过二位二通阀 7 可用容器接收油液，进行标定流经传感器的流量，或供污染分析用。

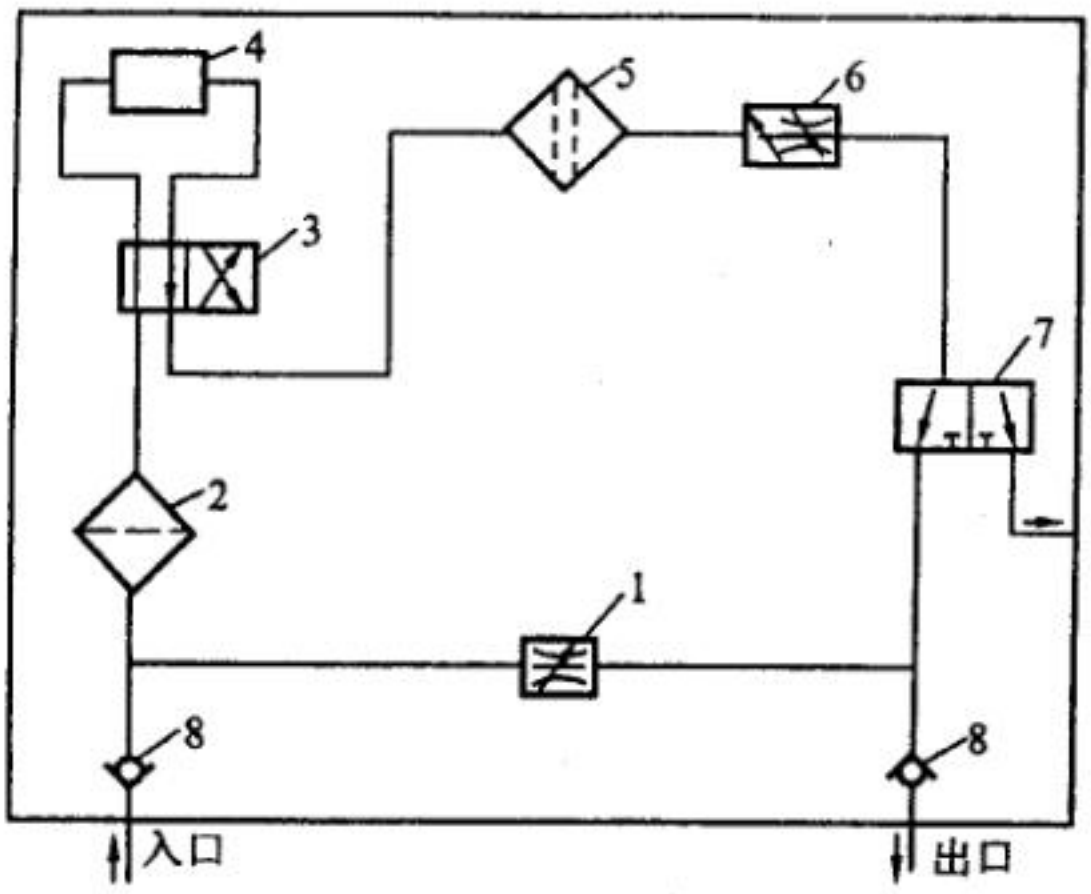

图 6－4－9　在线污染分析系统

1－旁通阀；2－粗滤油器；3－换向阀；4－传感器；
5－细滤油路；6－流量控制阀；7－二位二通阀；8－单向阀

在线污染分析可以在工程建设机械施工现场对发动机润滑系油液污染状况进行连续或定时监测、故障预报，并省去了容器取样操作，消除了容器污染对油液污染分析结果的影响。但由于设备成本高，在实际使用中受到一定的限制。

（三）半定量污染测定法

该方法比较简单，在不使用复杂设备仪器的情况下，可以大致确定润滑油的污染度等级。它包括滤膜堵塞法、光电法、电阻法和显微镜比较法等。本书只介绍显微镜比较法。

显微镜比较法是将过滤后的油样制成样片（制作方法与前述显微镜计数法的相同）。在专用的比较显微镜下与标准污染度等级样片进行比较，便可大概地确定油样的污染度。

该方法所用的比较显微镜由一组目镜、两组物镜和两个工作台（测试样片台和标准样片台）组成。标准样片台为一转动圆盘，沿其圆周方向装有各种污染度等级的标准样片，转动圆盘可以将任一标准样片对准物镜下面。测试时将被测样片放在测试样片台上，通过调节焦距使测试样片和标准样片上的固体颗粒杂质分布在同一视场内显现清晰的图像，如图 6－4－10 所示。对比左右视场内的颗粒分布，转动标准样片台选择合适的标准样片与被测样片比较，以与被测样片最为接近的标准样片的污染度等级作为被测油样的污染度等级。

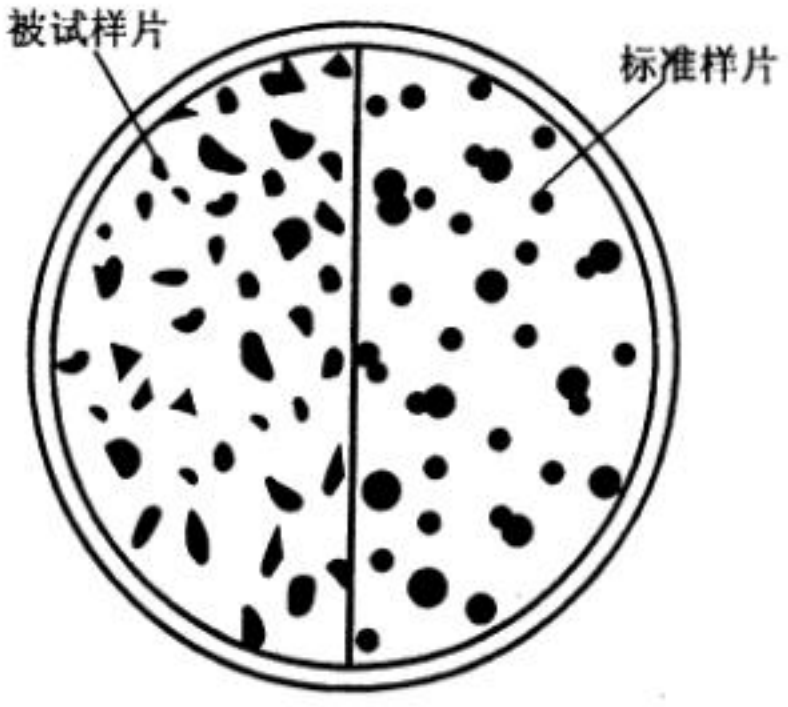

图 6－4－10　比较显微镜下颗粒尺寸分布

上海光学镜头厂生产的 XZR－B 型油液污染度比较显微镜，采用 9 个污染度等级的标准样片，其污染度等级符合 ISO4406 的规定，见表 6－4－3 测定的污染度范围为 13/10～21/18。

表 6－4－3　XZB－B 型比较显微镜标准样片污染度等级

等级	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ISO4406	13/10	14/11	15/12	16/13	17/14	18/15	19/16	20/17	21/18

显微镜比较法所用设备简单，检测过程短，便于操作，适合工程建设机械液压系统及发动机润滑系的现场油液污染检测。

四、油液取样

为了对发动机润滑系进行油液污染分析，首先需要从润滑系中取出一定量的油样，然后用一定的方法进行污染测定。油液取样必须满足两个要求：一是所取油样能够代表

整个润滑系油液的污染状况；二是取样过程中油样不受污染。容器取样是目前普遍采用的方法。

（一）取样容器的清洁度控制

原则上取样容器所需的清洁度一般应比油样的清洁度高两个量级。例如，若 100mL 油样中大于 10μm 的固体杂质颗粒数为 2000，则取样容器每 100mL 体积中大于 10μm 的固体杂质颗粒数不应超过 20。这样，取样容器的污染对油样污染分析结果的影响不大于 1%。因此，取样前应按一定程序清洗取样容器。

（二）容器取样方法

容积取样可采用管道取样和油箱取样两种方法。从运转中的发动机润滑系用管道取出油样具有较好的代表性，因此应尽可能地采用这种方法，并在润滑油紊流状态下进行，此时润滑油中的颗粒污染物与油液混合均匀并充分悬浮，所取油样反映整个润滑系的实际污染状况。

图 6－4－11 为管道取样装置的一个实例。取样时球阀应转到全开位置，为控制油液流量，设有节流管。取样时不要调节或关闭球阀，以防止产生附加污染物。

五、润滑油污染度现场观测

通过对润滑油进行合理取样，利用上述方法测定其颗粒污染物的含量，并结合取样化验所得到的粘度、酸值、相对密度变化等指标，可以确定是否换油。但是，在工程建设机械作业现场，由于条件限制，上述润滑油污染度检测方法的使用，有时很不方便或困难较大。在实践中，通常根据污染润滑油的外观特征，结合经验，用现场观测的方法决定对在用油液的处理方案。常用的现场观测方法包括目测法和比色法。

（一）目测法

目测法是通过看、闻、摸等直观感觉，结合经验，对润滑油的污染程度进行估测。

1）看。察看油样的颜色是否变化、是否混浊，摇动后的起泡和消泡情况，是否挂瓶估测粘度等。

2）闻。是指检查润滑油是否有异味。

3）摸。是指通过两手指捻摸油液，检查其光滑感及颗粒染质含量等。

（二）比色法

比色法是把一定体积油样中的污染物用滤纸过滤出来，然后根据滤纸的颜色来判断润滑油的污染程度。具体做法如下；取被测油液和同牌号新油（经过滤后）各 1～2 滴，分别滴在 240 目的滤纸上，数分钟后比较两滤纸所形成的图样，即可确定被测油液的污染程度。

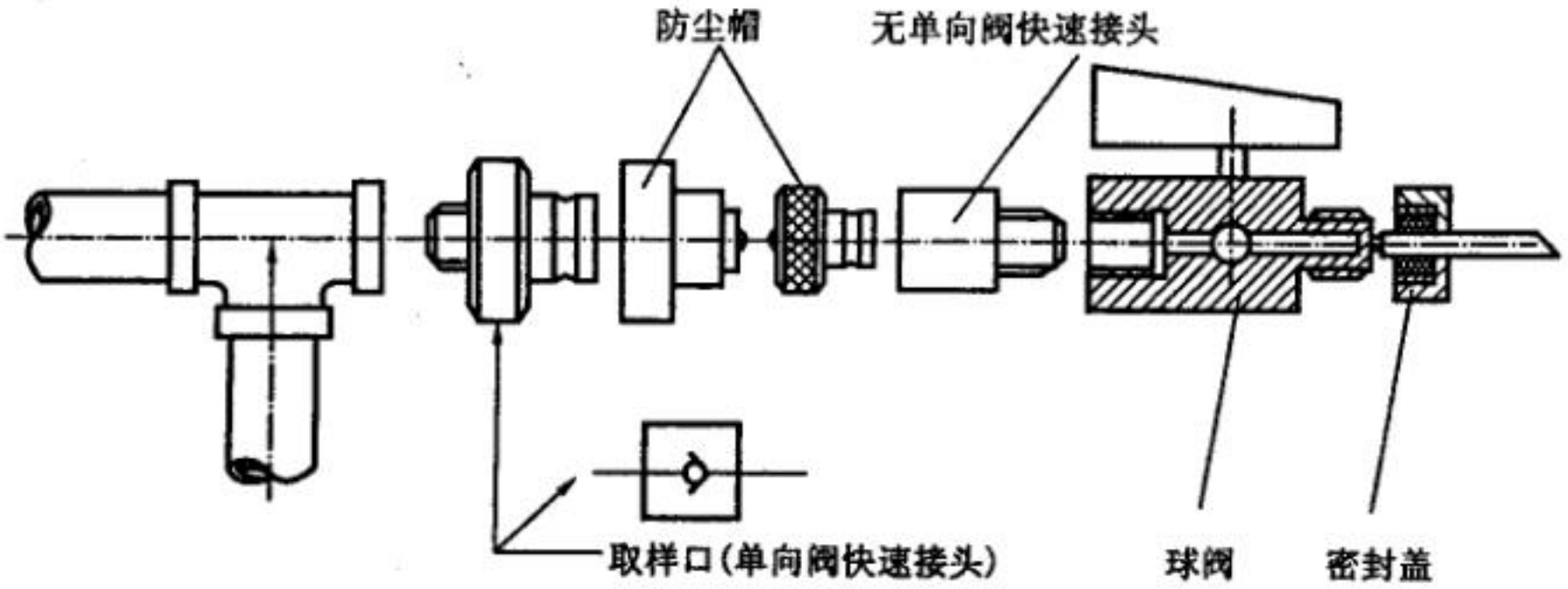

图 6－4－11　管路取样装置

（a）快速接头；（b）螺纹接头

第五章　工程机械柴油机冷却系

冷却系的作用是对柴油机、特别是高温零件进行冷却，维持其正常工作温度，避免零件的刚度、强度下降，避免零件的正常配合间隙被破坏、摩擦和磨损加剧，减缓机油粘度变化、润滑性能变差的速度，避免柴油机的充气效果降低、动力性和燃料使用经济性下降等。

柴油机的冷却方法有水冷和风冷两种。其中的水冷却系的组成与冷却水的循环线路如图 6－5－1 所示，它主要水泵、风扇、散热器、节温器等组成。水泵将散热器下水室中温度较低的冷却水吸出，提高压力后送入汽缸体内的水套中。冷却水在此吸收高温零件的热量，接着上升到汽缸盖内的水套中，冷却水再次吸收热量及温度进一步升高，然后经出水管流入散热器中。由于风扇的强力抽吸作用，空气以很高的速度流过散热器，促使冷却水的热量散发到大气中。温度降低后的冷却水流到散热器底部的下水室中。其中水泵的作用是使冷却水周而复始地循环；节温器的作用是，根据柴油机工作温度的高低，控制冷却水的流动线路及其数量，以实现对冷却系的冷却强度的自动调节，使冷却水处于正常温度范围内。

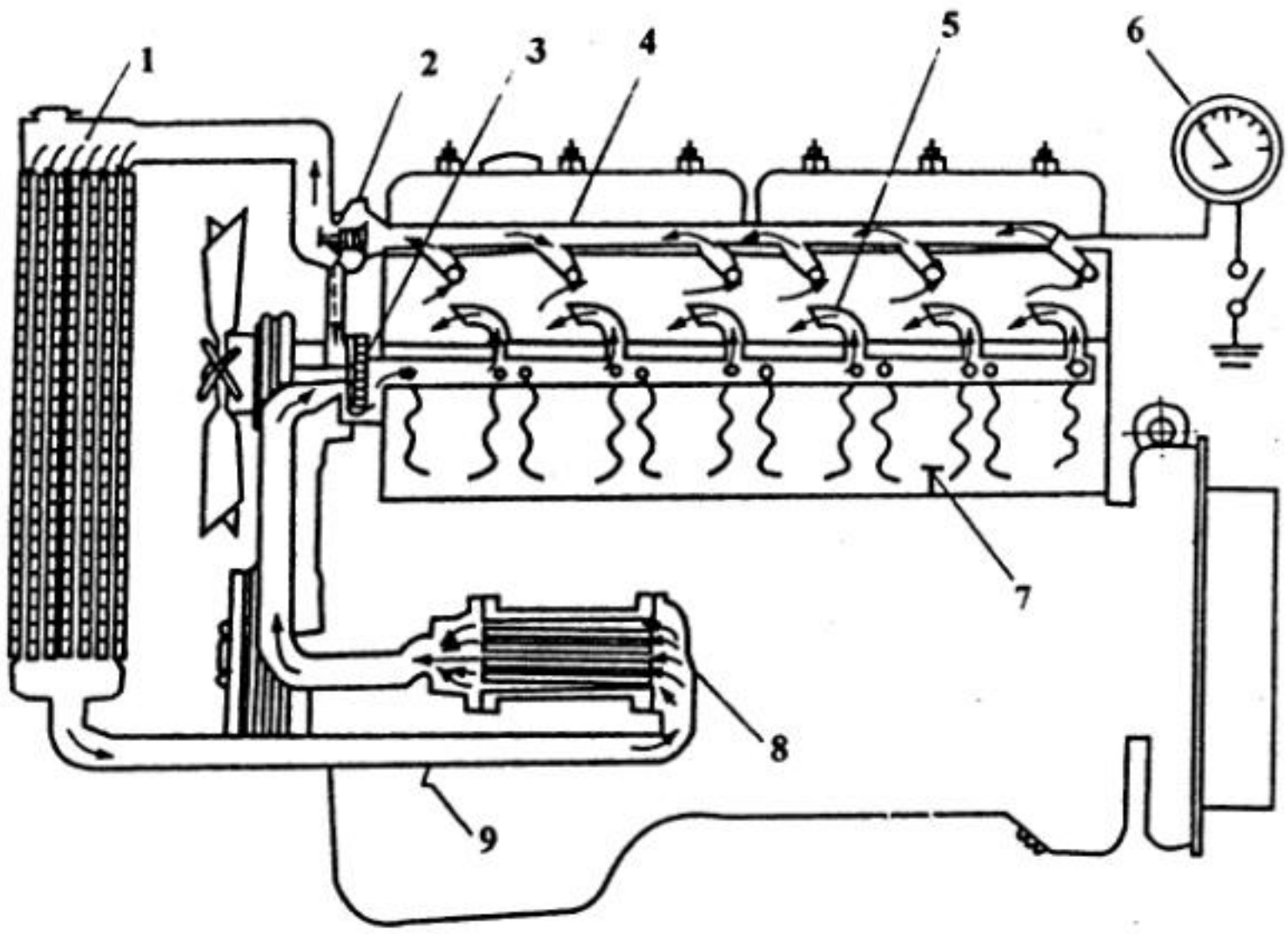

图 6－5－1　强制循环式水冷却系

1－散热器；2－节温器；3－水泵；4－出水管；5－喷水嘴；6－水温表；7、9－放水开关；8－机油冷却器

风冷却系是通过高速流动的空气直接吹过柴油机汽缸体和汽缸盖的外表面，带走高温零部件的热量而实现柴油机的冷却。直列式四缸柴油机风冷却系的组成及布置，如图

6－5－2所示。

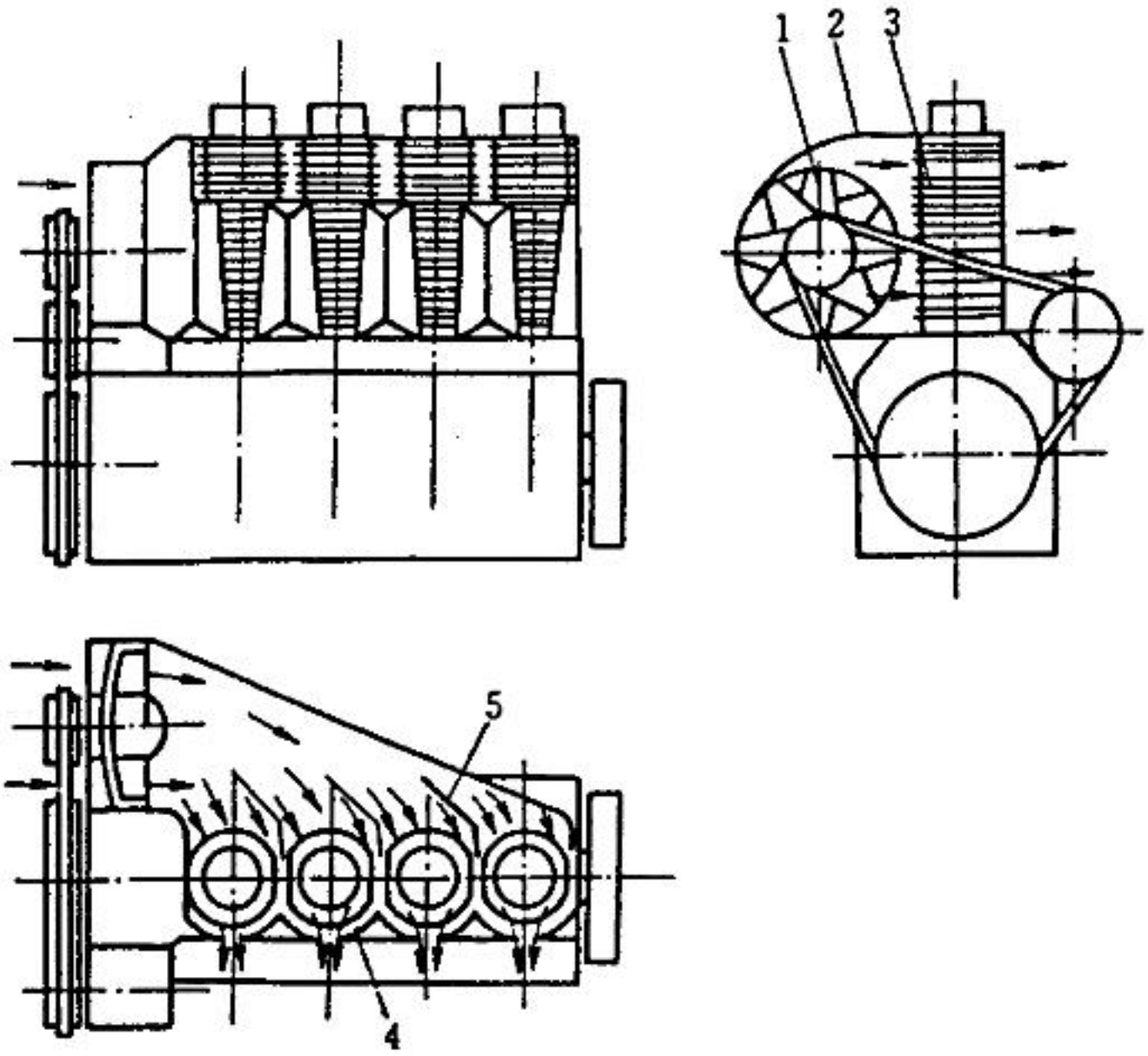

图6－5－2　风冷却系组成及布置

1－风扇；2－导流罩；3－散热片；4－汽缸体导流罩；5－分流板

风冷柴油机的汽缸体和汽缸盖都是单独铸造而成的，其外表面布满散热片（见图6－5－3），以增加散热面积。

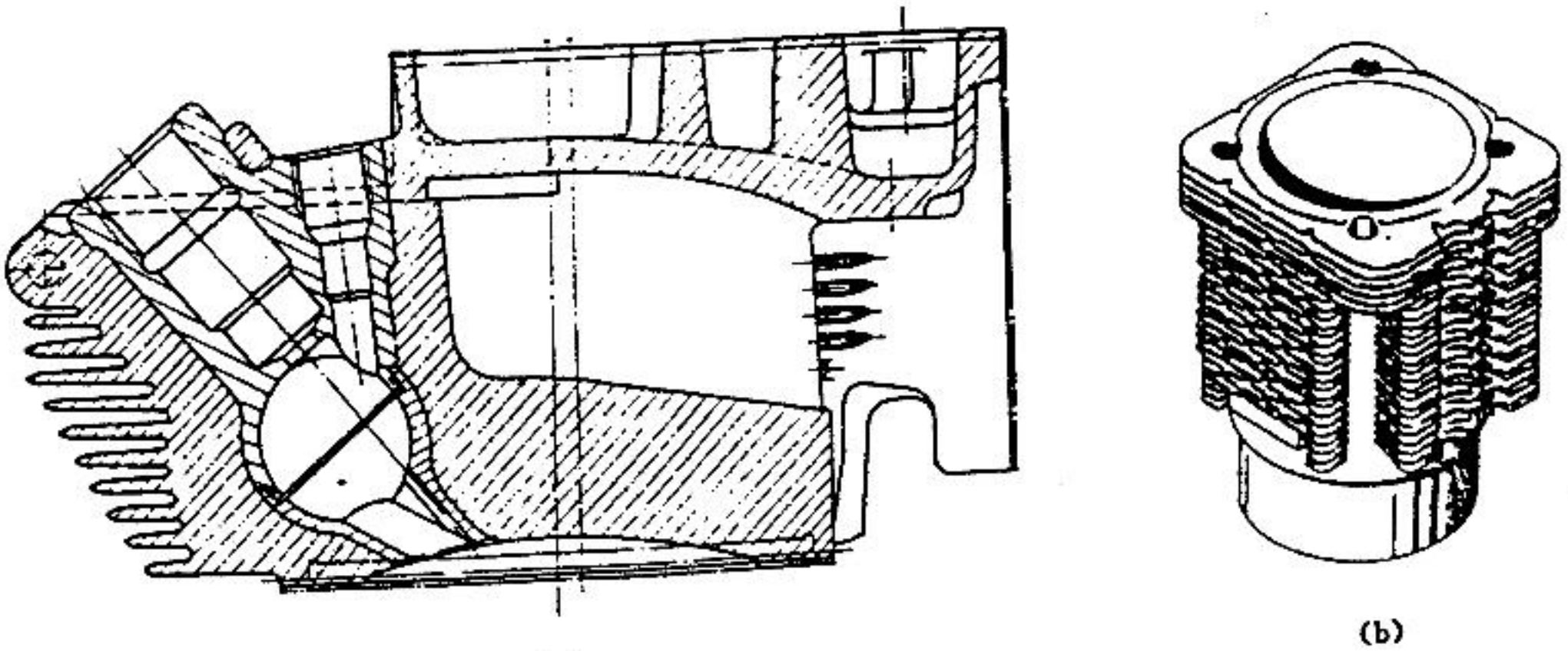

图6－5－3　风冷柴油机的汽缸盖和汽缸体

（a）汽缸盖；（b）汽缸体

风冷柴油机用风扇（见图6－5－4）的结构要比水冷柴油机用风扇的结构复杂，其性能也较好目的是为了供给柴油机足够的冷却风量和减少风扇的功率消耗。

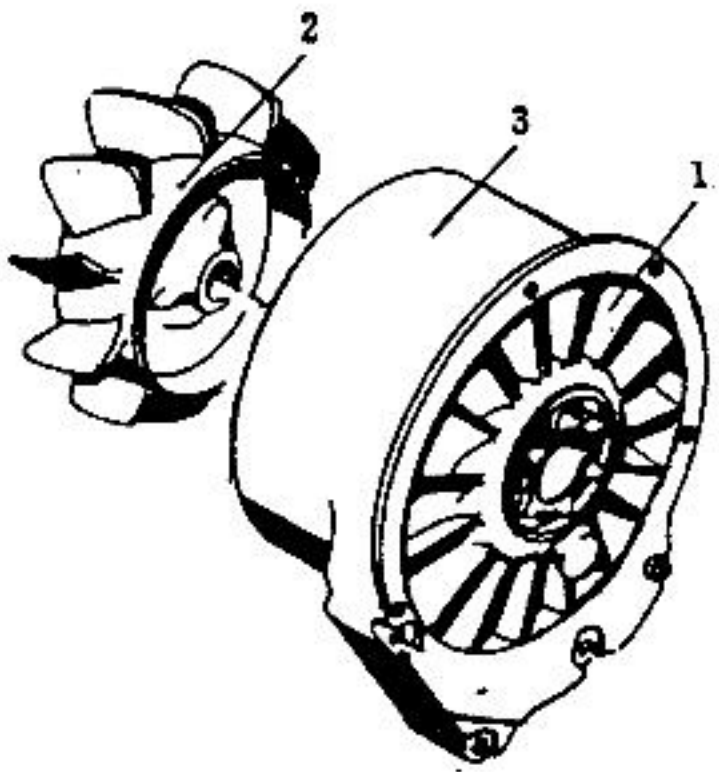

图6－5－4　风冷柴油机用风扇

1－定轮；2－动轮；3－外壳

为了更有效地利用空气气流，提高对柴油机的冷却效果，风冷却系中通常有导流罩（见图6－5－5）、分流板和汽缸体导流罩等。柴油机运转时由风扇产生的强大空气气流经导流罩和分流板引导到各个汽缸体和汽缸盖，然后从汽缸体导流罩中流出。

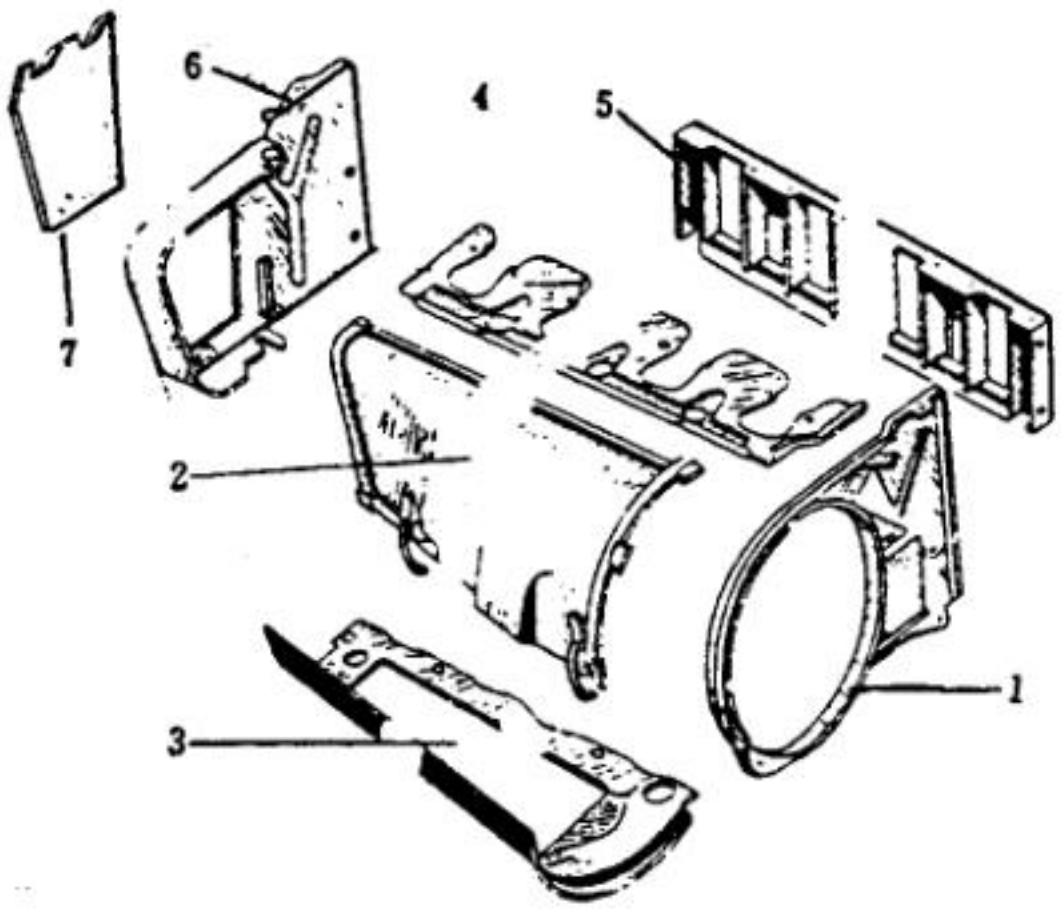

图6－5－5　风冷却系导流罩

1－前导流板；2－导流罩上部；3－导流罩底板；4－导流板；

5－汽缸体导流板；6－后导流板；7－盖板

前已述及，柴油机运转过程中，通过冷却系的作用应保持正常工作温度。但是，如果冷却强度不足，柴油机则容易发生过热现象，此时柴油机的充气量减少、功率下降；零件膨胀较大，相互间的配合间隙改变；机油粘度下降、容易变质，其润滑减磨作用减弱，使零件磨损加剧；材料的强度、刚度下降，造成零件变形和早期损坏。

如果柴油机冷却过度，则使柴油机出现过冷现象。此时冷却系带走的热量过多，转变为有用功的热量减少；机油粘度增大，零件运动阻力及机械损失增加；柴油喷射、可燃混合气及其燃烧的质量变差，使柴油机的指示效率下降；已蒸发的柴油在汽缸壁上重新凝结，并泄漏到油底壳，稀释了机油；废气中的水蒸气与硫化合形成硫酸等酸性物质，使零件受到严重的腐蚀。这些均造成柴油机动力性、燃料使用性下降，零件以至柴油机的使用寿命缩短。

第一节　水冷却系主要部件的失效

一、水　泵

水泵的失效形式主要有漏水和零件磨损等。

1）水泵漏水。多是从泄水孔处向外泄漏，使发动机缺水而过热。从泄水孔漏水说明水封有故障。对于用填料（石棉绳等）进行封水的水泵，产生漏水可能是填料与轴颈磨损所致；对于用胶木封水圈封水的水泵，则是由于夹布胶木封水圈与座产生磨损，以及橡胶密封件缺陷，如橡胶破裂、弹簧折断或变软等所致。

2）叶轮与泵壳产生磨损。使叶轮与泵壳间的配合间隙增大，造成水泵的泵水量下降，冷却效果变差。叶轮与泵壳的磨损主要是由于其间夹有水垢等磨料磨损，冷却水流动时的冲刷和锈蚀的结果。

3）水泵轴及轴承孔的磨损。某柴油机与水泵轴相配合的轴承为铜套，长期使用后因磨损使其与轴的配合间隙增大，造成叶轮及轴晃动，轻者影响泵水量，重者会导致叶轮与泵壳擦伤甚至打坏叶轮。此外，有时水泵轴与轴承会发生卡死现象，这主要是水封螺母旋得过紧而造成轴与轴承发热所致。对于大多数装有滚动轴承的水泵轴，除了轴承内圈松动及轴承缺油外，一般不会产生严重的磨损。

二、散热器

散热器主要失效形式有漏水和散热效果下降等。

1）散热器漏水。这是散热器常见的故障。除机械损伤外，漏水多发生在散热器的四角及水管焊接处，这主要是由于振动、腐蚀等焊缝开裂。此外，放水阀关闭不严或失效也会引起散热器漏水。

散热器漏水可用水压试验法、气压试验法等渗气法进行检测。为了使检测无误，应事先清除散热器中的水垢，以防水垢将某些小裂缝堵塞而影响检测结果的准确性。

2）经过使用未经软化处理的冷却水，散热器内沉积了过多的水垢，使其散热不良，导致发动机过热而影响其正常工作。

冷却水常用的脱垢方法是：先将散热器浸入 3% ~ 5% 的碳酸钠水溶液中加热至 80

~90℃，浸泡 5~8h 后取出，再用清洁的温水冲洗；将散热器浸入 10%~15%的苛性钠水溶液中，加热至 80~90℃，浸泡 25~30min 后取出，然后用清洁的温水冲洗；对于积垢严重的散热器可使用 3%~5%盐酸水溶液，并按每升溶液加入 3~5g 六亚甲基四胺的比例将六亚甲基四胺加入盐酸水溶液，然后加热至 60~70℃，清洗约 30min，再用热碱水清洗，最后清洁的温水冲洗。

3）散热器片串动、变形，水管压扁、弯折等使散热器散热不良和水流不畅，影响散热器工作效果。此多是机械损伤所致，如被风扇叶片打坏、拆装时碰伤等。

三、风　扇

风扇的主要失效形式有叶片及叶片架变形，叶片铆接松动等。叶片及叶片架变形、松动后使风扇的掮风量减少，导致发动机冷却效果下降，工作温度升高。同时也容易使风扇工作时产生振动，噪声增大。

四、节温器

节温器的主要失效形式是不能按照规定温度及时开启和关闭，以及开启高度不够、关闭不严等。节温器失效后会造成发动机过热或过冷。

检测节温器工作是否正常的方法有：

1）检测发动机冷却水的升温速度。发动机冷启动时观察水温表，如果冷却水温度上升较快，说明节温器工作正常；反之，说明节温器工作不良或失效。

2）检测散热器的升温情况。在发动机冷启动情况下，如果发动机冷却水温度在升到 70±2℃以前（观察水温表），散热器是凉的，当发动机冷却水继续升高时散热器才跟着慢慢地热起来，这说明节温器工作正常；若发动机冷却水温度在升到 70±2℃以前，甚至发动机启冷动后不久散热器的温度就与发动机的温度一同升高，则说明节温器工作不良或失效。

3）为了进一步检测发动机冷却系故障确实发生在节温器，可以将它拆下来检测。即将节温器放在热水中加热，用温度计测量水温，视其开启温度。良好的节温器在水温为 70±2℃时阀门开始开启，水温为 83±3℃时阀门全开且升起高度不小于 9mm；阀门关闭时的温度不低于 65℃。

第二节　水冷却系的故障分析

为了使发动机工作可靠、耐久并具有良好的动力性和燃料使用经济性，冷却系必须在发动机各种工况下都保持在正常温度范围内工作。否则，发动机工作不正常，或过热或过冷，进而引起发动机各种故障。

冷却系最常见的故障是散热不良而引起发动机过热，主要现象有冷却水量充足但发

动机过热，冷却水量不足而发动机过热以及发动机运转过程中突然过热等。

一、冷却水量充足而发动机过热

（一）现　象

发动机的冷却水既不缺少也不泄漏，但在运转过程中发动机突然工作粗爆、动力不足；冷却水温度超过95℃甚至沸腾（俗称“开锅”），或发动机运转时水温在95℃左右，但一熄火冷却水立即沸腾。

（二）原　因

1）百叶窗关闭或开度不足。

2）风扇皮带松弛或因油污而打滑。

3）散热器出水管被水泵吸瘪或被内壁脱层而堵塞。

4）水套内水垢沉积过多而堵塞水流通流面积。

5）风扇叶片角度不当。

6）散热器散热片变形、移串并拢的过多或水管弯折、堵塞。

7）节温器主阀不能（全部）开启，使冷却水大循环工作不良。

（三）分析诊断

先检查百叶窗是否关闭或开度不足，再检查风扇叶片的固定情况和皮带松紧度是否适当。调整风扇皮带松紧度的方法是用大姆指以一定压力（29～49N）压下皮带，测量其挠度（下垂量10～15mm为合格），如图6－5－6所示。

若风扇皮带不松而仍然打滑，说明皮带及皮带轮磨损或粘有油污，应予以更换或清洗。

若风扇转动正常而发动机过热，则应检查风扇的扌扇风量。方法是在发动机运转时，将一张纸放在散热器前面，若纸被牢牢吸出，说明风扇的扌扇风量足够。

检查风扇叶片是否装反及其攻角是否准确。

如果风扇工作正常，可用手触摸散热器和发动机，感觉其温度。若散热器温度低而发动机温度高，说明冷却系水循环不良，应检查散热器出水胶管是否被水泵吸瘪、内孔有无脱层堵塞。如果出水管良好，可拆下散热器的进水软管并启动发动机，此时冷却水应有力排出。若排水甚少或不排水则说明水泵或节温器有故障。

如果节温器工作不良，发动机水温升高时冷却水不经过散热器，只能进行小循环，因而发动机温度过高而散热器温度却过低。有时节温器虽然良好，但由于水泵有故障，也会影响冷却水的循环，这时即使拆下节温器，发动机出水管也无水排出。

若上述部位均正常，再检查散热器和发动机各部温度是否均匀。如果散热器冷热不够，说明其中水管有堵塞或散热片变形、并拢的过多。如果发动机的温度前端的明显的低于后端的，则表明分水管已损坏或堵塞，应予以修理或更换。

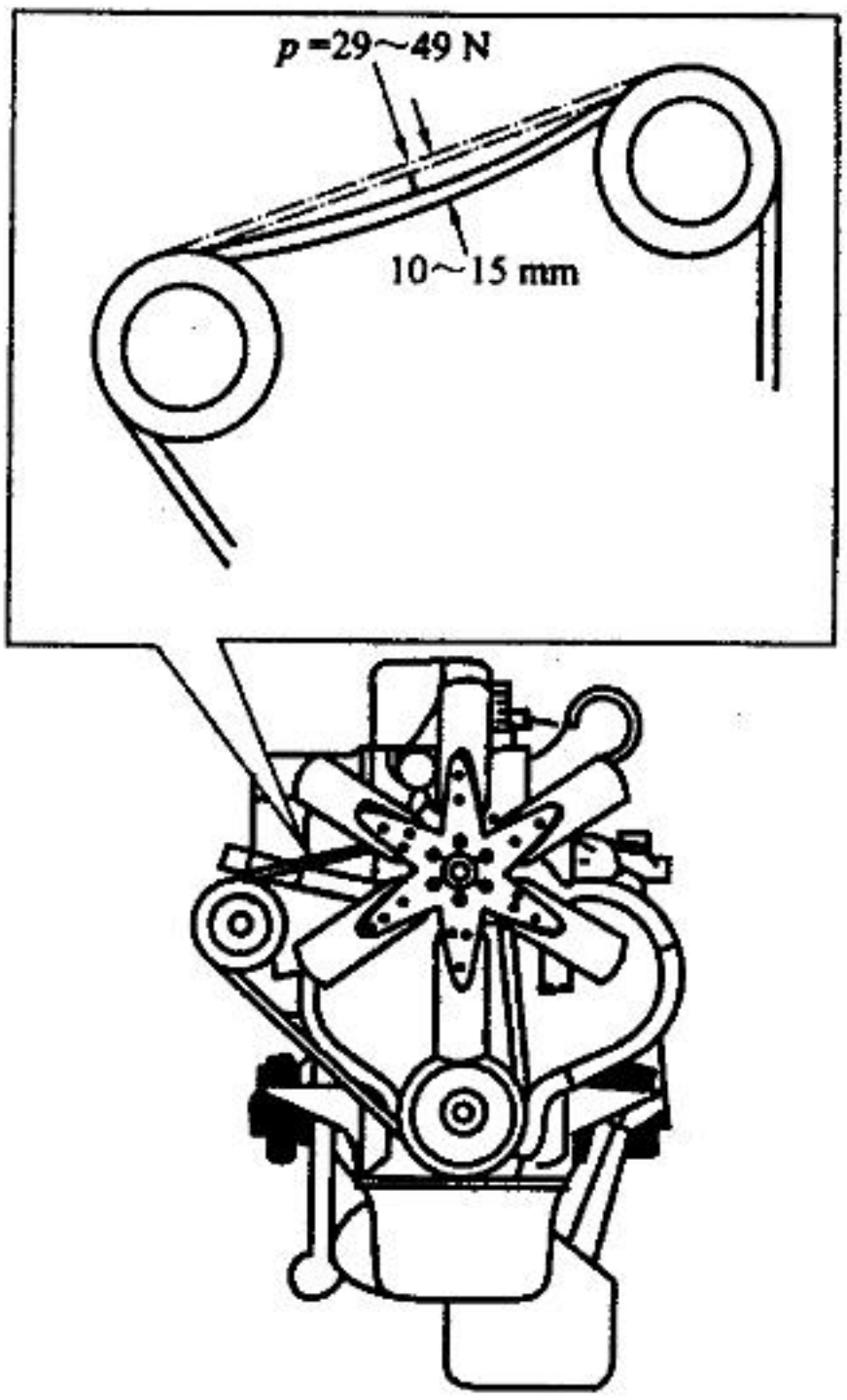

图 6－5－6　检查风扇皮带松紧度

若非上述原因，则可能水套内积垢过多，应予以清除。

在冷却系各组成部分均正常的情况下发动机仍过热，则应考虑其他系统的问题。如气门间隙是否过大，可燃混合气是否过浓或过稀，燃烧室内是否积炭，润滑油量是否不足等。此外，运行机械的上坡行驶、顺风行驶、高温季节长时间低速大负荷行驶等也会促使发动机过热。

二、冷却水量不足引起发动机过热

（一）现　象

发动机冷却系注水量不足，或运转中冷却水消耗异常而使发动机过热。

（二）原　因

1）冷却水套或散热器积垢过多或堵塞。
2）散热器盖的进、排气阀失效。
3）散热器漏水或放水阀关闭不严。
4）水泵水封皮碗不良或叶轮密封垫圈磨损而漏水。
5）汽缸垫水道孔与汽缸沟通。

6）个别进气通道破裂漏水。

7）气门室内壁破裂漏水。

8）水泵与汽缸体间的衬垫未留出水孔等。

（三）分析诊断

1）对照发动机使用说明书检查发动机冷却系水容量。

2）检查散热器内水垢沉积情况，必要时予以清除。

3）水泵泄水孔滴水常被误认为散热器出水胶管漏水，可用一洁净木条伸到泄水孔处，若木条上有水迹则说明水泵漏水。

4）若冷却系外部不漏水而冷却水仍消耗过多，则应检查冷却系内部有无漏水。例如，抽出机油尺发现机油中有水，这可能是气门室内壁或进气通道内壁破裂漏水；冷却水蒸发损失过大时，则应检查散热器盖的排气阀是否失效；若冷却水容易从加水口处飞溅出来，则说明散热器盖的进水阀失效。

三、发动机在运行中突然过热

（一）现　象

发动机运行中冷却水温度迅速升高并沸腾；发动机冷启动后冷却水温度迅速升高至沸腾，在补充冷却水后才转为正常。

（二）原　因

1）冷却系严重缺少。

2）风扇皮带断裂。

3）水泵轴与叶轮松脱。

4）节温器主阀门开启失效。

（三）分析诊断

1）发动机运转中突然过热，应首先检查电流表工作情况。若加大油门时电流表不指示充电，且指针只是由3～5A间歇摆回“0”位，说明风扇皮带断裂。如果电流表指示充电，则应让发动机熄火，用手抚摸散热器和发动机，若发动机温度过高而散热器温度低，说明水泵轴与叶轮松脱，使冷却水循环中断；若发动机和散热器温度差别不大，则应检查冷却系有无严重漏水处。

2）发动机启动后冷却水温度迅速升高至沸腾，这多系节温器主阀门脱落并横卡在散热器进水管内，阻碍了冷却水的大循环。在发动机运转中冷却水总是沸腾，应让发动机低速运转至水温正常后熄火，通过检查排除故障。

汽缸垫若损坏，有时也能使散热器加水口向外溢水和排出气泡，呈现出冷却水沸腾的状态。这主要是因为汽缸垫损坏或汽缸盖、汽缸套出现裂纹，使汽缸内气体窜入水套

而冒出大量的气泡。若汽缸垫或汽缸盖的裂纹与润滑油路相通，散热器中还会出现油迹。

汽缸内的高压气体窜入冷却系的检查方法是：拆掉风扇皮带，停止水泵转动，发动机在中速以下运转时散热器加水口处会看见气泡，并听到“咕噜、咕噜”的响声，这属于轻微漏气，散热器加水口盖处向外喷气，像开锅一样，属严重漏气。冷却水若吸入汽缸，发动机启动时排气管会排出水蒸气，运转时排气管冒白烟。

第三节　风冷却系的故障分析

一、常见故障

风冷柴油机就其冷却系而言，常见故障是散热不良而引起的柴油机过热。

二、故障原因

风冷柴油机出现过热现象，多数情况下是柴油机负荷重、发热量大，环境温度高，或风冷却系散热不良等原因造成的，亦即柴油机需要通过风冷却系散发的热量大于风冷却系实际散发的热量。

引起风冷却系散热不良的原因有：风扇扌扇风量减小；散热片积垢；导风罩等性能下降等。

（一）风扇扌扇风量小

1）风扇皮带松弛，皮带打滑，风扇转速降低，使空气的流速变慢、流量减少，引起风冷却系的冷却效果下降。

2）液力耦合器有故障。有的风冷柴油机的风扇皮带是通过偶力耦合器带动风扇旋转的。如果液力耦合器内的传动油液减少，则动力传递能力减小，其涡轮带动风扇转速下降，使风扇的扌扇风量减少，柴油机得不到应有的冷却。

（二）散热片积垢

柴油机使用过程中，其汽缸盖、汽缸体上的散热片难免有油污、尘垢，由于它们导热性能不良，从而导致柴油机的热量难以向空气散发。

（三）导流罩等性能下降

风冷柴油机上的导流罩、导流板和汽缸体导流罩等均是用来引导冷却空气按理想的方向流动，以便达到良好的散热效果的。如果导流罩等被随意拆除或变形或损坏，均会使冷却空气流失或不按设定的方向流动而影响柴油机的散热效果。

三、故障检测与排除

根据上述风冷柴油机过热现象的原因分析，除适当控制柴油机的负荷外，可按下列步骤和内容进行检查并排除。

1）检查导流罩等装置是否完好。若有破损、变形，应予以修复。

2）检查散热片上的积垢情况。打开导流罩、汽缸体导流罩，观察并清除散热片上的尘垢和油污等。

3）检查并调整风扇皮带的张紧度，参阅本章2.1.3。

4）观察机油压力表。如果机油压力表指示值低，说明柴油机过热是由于机油压力过低、向液力耦合器供油不足而影响液力耦合器的能量转换，进而引起风扇打扇风量不足。此时应按润滑系故障与分析步骤、方法，找其原因并予以排除。

第六章　工程机械柴油机废气有害成分

第一节　柴油机有害排放物

柴油机排气中除基本成分（二氧化碳、水蒸气）外，还有不完全燃烧和燃烧反应的中间产物，如一氧化碳（CO）、碳氢化合物（HC）、氮氧化物（NO_x）、二氧化硫（SO_2）、颗粒（铅化物、黑烟、油雾等）、臭气（甲醛、丙烯醛等）等。这些污染物的总和，在柴油机中不到废气总量的1%（在汽油机中随不同工况变化较大，有时可达5%左右）。它们中大部分是有害的，或有强烈的刺激性、臭味和致癌作用。不同工况下运输机械用发动机排放中有害成分浓度见表6-6-1。

表6-6-1　不同工况下运输机械用发动机排放有害成分浓度

车　　类	工况/（km h^{-1}）	CO/%	HC（$\times 10^{-6}$）	NOx（$\times 10^{-6}$）	碳烟/（g m^{-3}）	排气量
汽油车	怠速 0	4.0～10.0	300～2000	50～100	0.005	少
	加速 0→40	0.7～5.0	300～600	1000～4000		增多
	定速 40	0.5～1.0	200～400	1000～3000		高速最多
	减速 40→0	1.5～4.5	1000～3000	5～50		减少
柴油车	怠速 0	0	300～500	50～70	0.10～0.30	少
	加速 0→40	0～0.05	200	800～1000		增多
	定速 40	0～0.10	90～150	200～1000		高速最多
	减速 40→0	0～0.05	300～400	30～35		减少

一、一氧化碳

一氧化碳是汽油机有害排放物中浓度最高的一种成分。城市大气中的一氧化碳大部分是来自汽油车排气，以美国、日本为例，城市大气中的一氧化碳约95%～99%来自汽油车。一般来说，汽油机未采取净化措施时的一氧化碳浓度为排出废气的3%～4%。而对于工程建设机械用柴油机来说，其废气中一氧化碳含量相对较少。这是因为柴油机

可燃混合气的过量空气系数 a 值较大，转速相对较低、燃烧过程的时间较长的缘故。

一氧化碳是无色、无味，对人的皮肤和呼吸道粘膜无刺激的气体。所以说它有害，是因为它经人呼吸进入肺部、被血液吸收后，与血红蛋白的亲和力远远超过氧气（210～300 倍），即很容易与血红蛋白结合成一氧化碳——血红蛋白。它一经形成，离解很慢，阻碍血液输氧，造成脑细胞缺氧、神经中枢功能失调。在这种情况下，轻者使人产生精神萎靡不振、食欲不良、四肢无力、头痛、恶心等症状；重者造成人体严重缺氧而窒息。大气中各种浓度一氧化碳对人体的危害如图 6－6－1 所示。

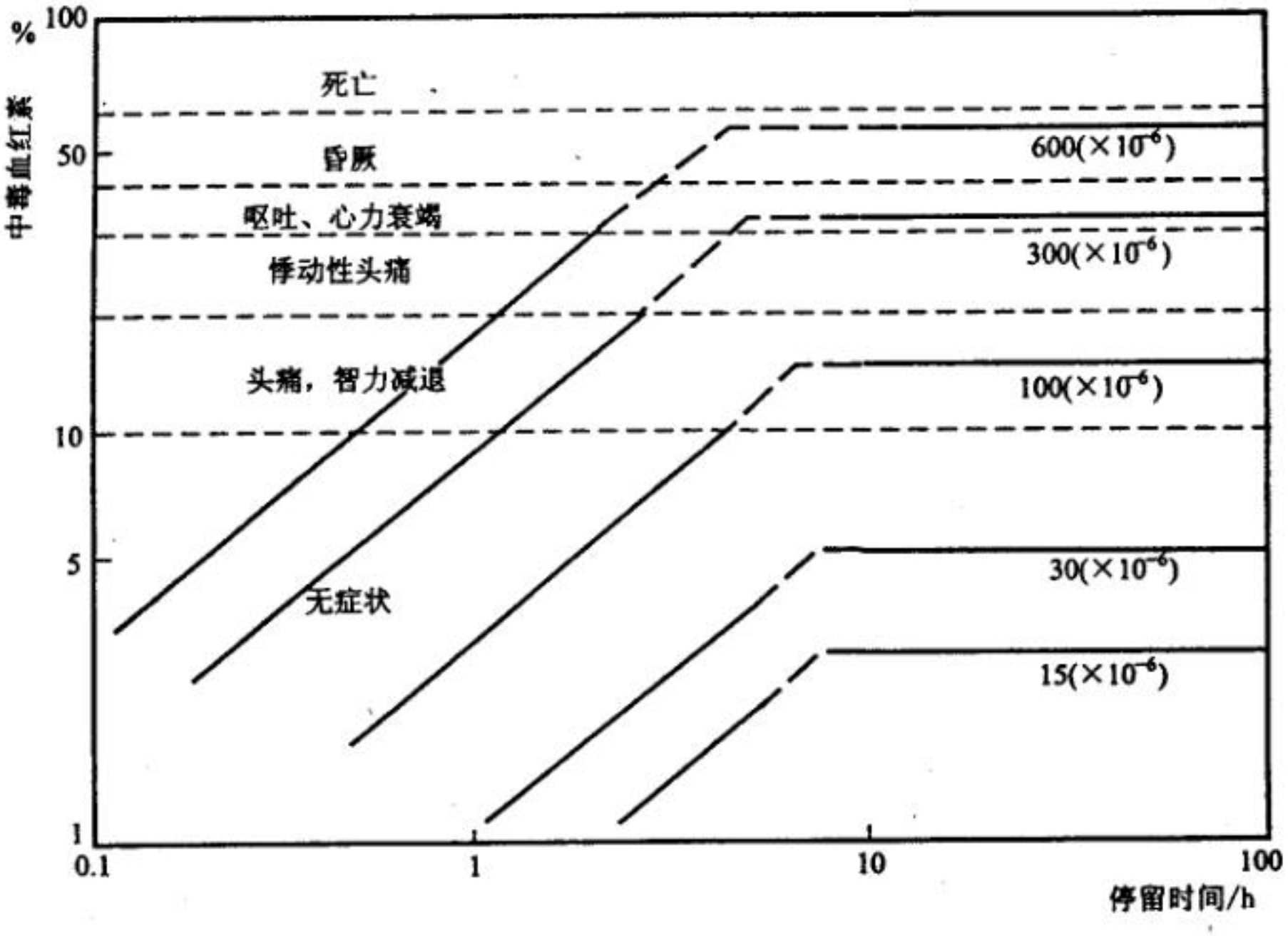

图 6－6－1　一氧化碳的毒性

二、碳氢化合物

柴油机废气排放中碳氢化合物包含多种饱和碳氢、不饱和碳氢及环状结构的芳香族碳氢。由于其分子结构不同，对人体的危害性有很大差异。例如，饱和碳氢对人体基本上无害，但低分子量碳氢对人体有一定的麻醉作用，随吸入量增加其麻醉作用与刺激性会增大；长链烷烃类碳氢和几个脂肪酸相结合时对人有致癌作用；不饱和碳氢随不饱和链数的增加，对人体的麻醉作用和刺激性增大；芳香族碳氢中存在有致癌很强的物质；此外，汽油机排气中乙烯含量较多，它具有很强的光化学反应性，是形成光化学烟雾的主要成分。人们生活、工作的大气环境中，汽油蒸气容许浓度为 500（$\times 10^{-6}$）。

三、氮氧化合物

柴油机排气中的氮氧化合物 NOx 是指各种氮氧化合物的总称，其中包括 NO、NO_2、N_2O_3、N_2O、N_2O_5 等。NO 占 90% ~ 95%，它对人体虽没有刺激性，但容易与人体血液中的红血球结合生成血红肮，使人感到缺氧，造成中枢神经障碍。从发动机排出的 NO 与大气中的氧相遇后进一步氧化成 NO_2，这是直接危害人体健康的成分。它对人呼吸道粘膜的刺激性很大，除了引起气管和肺的功能障碍外，还会促使在血液中生成血红肮。人由 NO_2 引起的症状有咳嗽、呼吸道粘膜腐蚀、呼吸紧促、失眠等，严重时唾液中会带有血丝，数日后会因肺水肿而死亡。若短时间接触 100（$\times 10^{-6}$）的 NO_2，人即出现上述中毒症状，在含 $NO_2$200（$\times 10^{-6}$）的环境中人会有生命危险。

柴油机产生氮氧化合物的基本条件是可燃混合气中空气过剩和燃烧形成一定的温度（≥1700K）。

四、光化学烟雾

光化学烟雾是柴油机及汽油机排入大气中的氮氧化合物和碳氢化合物（一次有害物）在太阳光能（紫外线 3000 ~ 4000Å）的作用下，在特定的自然条件（光照强且时间长，空气流动性差）下形成的。它由臭氧和过氧乙酰硝酸盐 PAN（PeroxyacylNitrates）等光化学过氧化物及各种游离基根、醛、酮等成分组成。其中主要物质是臭氧，这种光化学烟雾一旦形成，不仅大大降低环境的能见度，而且对人眼有刺激作用，呼吸道发生障碍和慢性中毒。光化学烟雾对人体健康的影响见表 6 - 6 - 2。

表 6 - 6 - 2　光化学烟雾对人体健康的影响

烟雾浓度（$\times 10^{-6}$）	对人体健康的影响
0.02	5 分钟内多数人能觉察
0.2	人肺的机能减弱、胸部有紧缩感，眼睛红痛
0.2 ~ 0.5	3 ~ 6 小时使人视力减弱
0.1 ~ 1.0	1 小时内呼吸紧张，气喘病恶化
1 ~ 2	2 小时头痛、胸痛、肺活量减少，人慢性中毒
5 ~ 10	全身疼痛、麻痹，肺气肿
> 50	人在 1 小时内死亡

形成光化学烟雾需要特定的诱发条件是，大气环境中的碳氢化合物浓度比氮氧化合

物浓度要大3倍，气温要高于24℃，湿度低和日照充足。这种二次污染大多发生在夏秋之间，发动机废气排放量大、大气流通不畅的地区。光化学烟雾大多在下午1~2点钟时浓度最高。

形成光化学烟雾的化学反应是一个极其复杂的过程，根治光化学烟雾的主要途径是尽量控制发动机的有害排放物。

五、碳　烟

碳烟是燃料不完全燃烧的产物。在高压燃烧条件下，过浓混合气在高温缺氧区内燃料裂解成碳，主要由直径0.1~10μm的多孔性碳粒构成。由于可燃混合气的形成及燃烧机理不同，柴油机在扩散燃烧阶段易生成碳烟，因此碳烟构成柴油机的主要排放颗粒物。

碳烟往往粘附有二氧化硫及3 4苯丙芘致癌物等有机化合物及臭气，对人和生物都有危害。一般说来，2~10μm的碳烟被人吸入气管后可排出体外，对身体健康影响不大。2μm以下的碳烟吸入肺部后会沉积起来，而0.1~0.5μm的碳烟对人体健康危害最大，除了致癌作用外，还会导致慢性病、肺气肿、皮肤病及变态性疾病。

碳烟颗粒越小，悬浮在空气中的时间越长，增加了人与碳烟颗粒的接触机会，以及碳烟颗粒在大气中受阳光和其他物质作用而产生光化学反应的机会。据资料介绍，一般柴油机排放微粒以重量计90%以上小于1μm，这说明柴油机碳烟颗粒的危害比汽油机的大得多。

第二节　柴油机废气成分检测

一、排气的取样及测量方法

柴油机排气的测量是利用专用仪表测出排气中有害成分的浓度和排气量，计算出排污物质量或排放率。取样方法有直接取样法、全量取样法和定容取样法等三种。

1）直接取样法。其流程见图6-6-2将取样测头（内径4~6mm不锈钢管，前端封闭，前段管壁上开有14~16个ϕ=2~4mm小孔）插入柴油机排气管内60cm左右，用取样泵直接采取排气的一部分。如果使用连续气体分析仪，直接取样法可以连续分析柴油机排气在各种状态下的瞬时变化情况。

为了避免水蒸气对非扩散型红外分析仪的干扰，一般在气样进入分析仪器前经过冷凝器除湿。为了防止碳化氢在取样管中凝结吸附而产生“拖尾”之类误差，取样管做成加热式的，可加热到200℃。

2）全量取样法。将柴油机的全部排气采集到一个容积很大的气袋中，然后分析测量的方法称为全量取样法，其流程如图6-6-3所示。

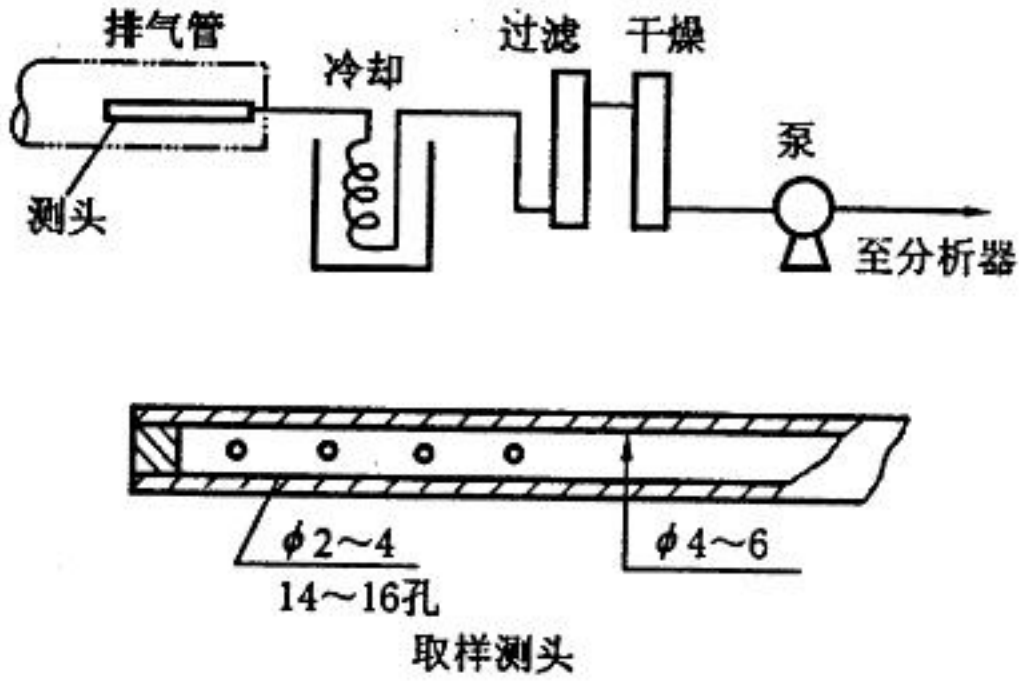

图 6－6－2　直接取样法流程

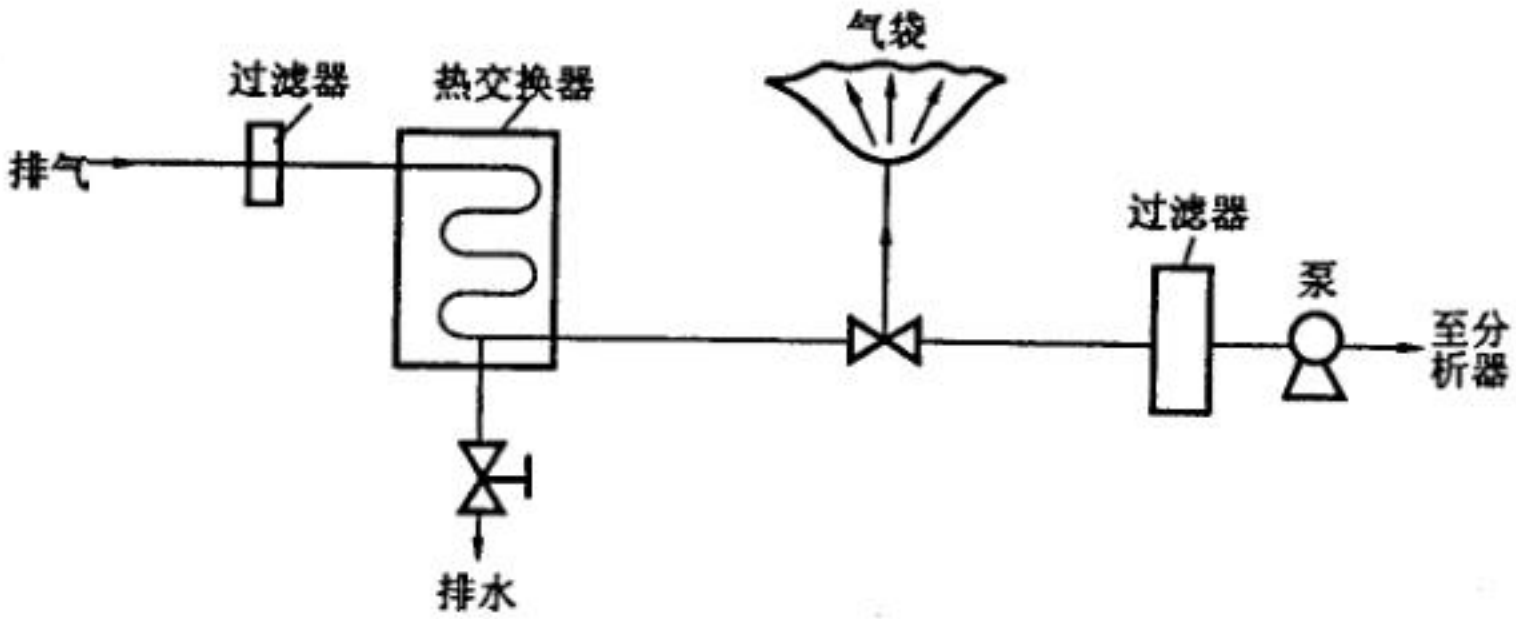

图 6－6－3　全量取样法流程

为了不使水蒸气在取样气袋中凝结，在排气进入气袋前进行冷却和除湿，通常冷却到低于大气温度。气袋中装有小鼓风机搅拌试样气体，使之均匀。

为了提高测量精确度，取样后要尽快地分析，这是由于碳氢化合物容易凝结并吸附于气袋壁面上。规定取样后 20min，碳化氢浓度变化不应超过初始值的 2%。如果变化大，应反复数次，直到气袋内壁饱和为止。因此测试前必须进行足够的初期调整。

3）定容取样法 CVS（Constant Volume Sampling）。这是美国 1972 年、日本 1973 年后使用的取样法，其装置及流程如图 6－6－4 所示。它将柴油机的排气全部接收到热交换器内，并用大约 8 倍以上的空气予以稀释，然后用定容泵抽出。在热交换器后、定容泵前由小的取样泵 P_0。将稀释排气一部分以一定流程，经微粒过滤器 F、针形阀 V、流量计 FL，并由电磁阀控制连续采集到排气取样袋中。同时，稀释空气也经同样流程由空气滤清器入口后采集到稀释空气取样，以测出空气中各种成分的浓度。试验中稀释排气的流量始终保持一定，测出取样袋中各种气体成分的浓度 X、稀排气量 $V_{混}$，即可计算出测定成分的排放率 Y_x。

定容取样法的测量误差取决于定容泵排量 V_c 的测量误差、测定成分浓度分析误差、定容泵入口处稀释排气温度 T_p 控制误差、机械行驶模型（柴油机工况）及距离 L 的控制误差等。为了提高测量精确度，应该使用具有低浓度挡的精度高的气体分析仪器；定

容取样器温度控制系统具有足够精度，按试验模型控制机械运行速度（柴油机转速）；经常校正定容泵排量 V_e（通常用层流式流量计采校正）。

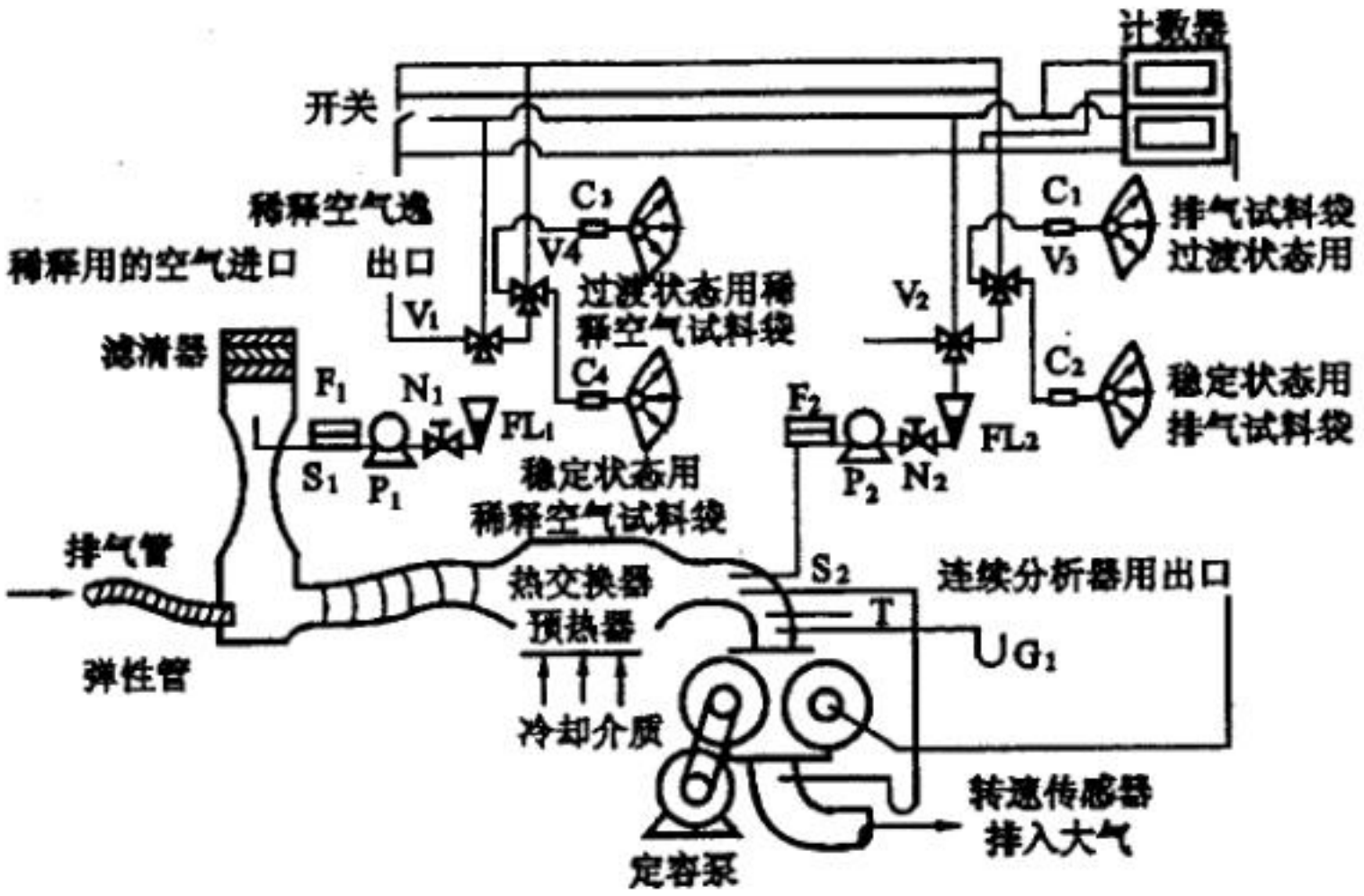

图 6-6-4　定容取样法流程

二、检测仪器

对用于柴油机排气成分分析仪器的基本要求是，灵敏度高，线性好，应答速度快，抗干扰性好，稳定性好（零点漂移小、增益变动小）等。目前使用的排气成分分析仪器有非扩散型红外分析仪、氢火焰离子型分析仪、化学发光分析仪、烟度计、微粒测量装置等。

1）非扩散型红外分析仪（NDIR）。该分析仪的工作原理是基于大多数非对称分子（单原子及双原子气体分子外）对红外波段中一定波长具有吸收能力，其吸收程度与被测气体的浓度有关。例如，CO 能够吸收波长为 4.5～5μm 的红外光线，CO_2 能吸收 4～4.5μm 波长的红外线，CH_4 能吸收波长为 2.3、3.4、7.6μm 的红外线等。

非扩散型红外分析仪结构简图如图 6-6-5 所示，它由分析室、基准室、检测室、信号放大器、记录显示器及两个相同的红外光源等组成。红外光源辐射出 2～7μm 波长的红外辐射，抛物体反射镜聚平行光束。切光片把连续光束调制成一定频率光信号。在基准室内封入对红外线不吸收的气体（如氮气）。在分析室内通过测定气体。在检测室内装有可变电容器，可动极为铝箔薄膜，把检测室分成左右两个辐射接收室，并在检测中充入纯的待测气体。当红外光同时照射分析室和基准室时，由于分析室试样气体吸收红外光线使之减光，结果检测室左右两个接收室接收的红外辐射能不同、热能不同，产生的压力不同，使薄膜发生位移，于是可动极与固定极之间电容量发生变化。当分析室内被测气体浓度变化时到达检测室的红外光强度也随之变化。被测气体浓度变化愈大，转换成检测室电容量的变化愈大，得到的电输出信号也愈大，如图 6-6-6 所示。

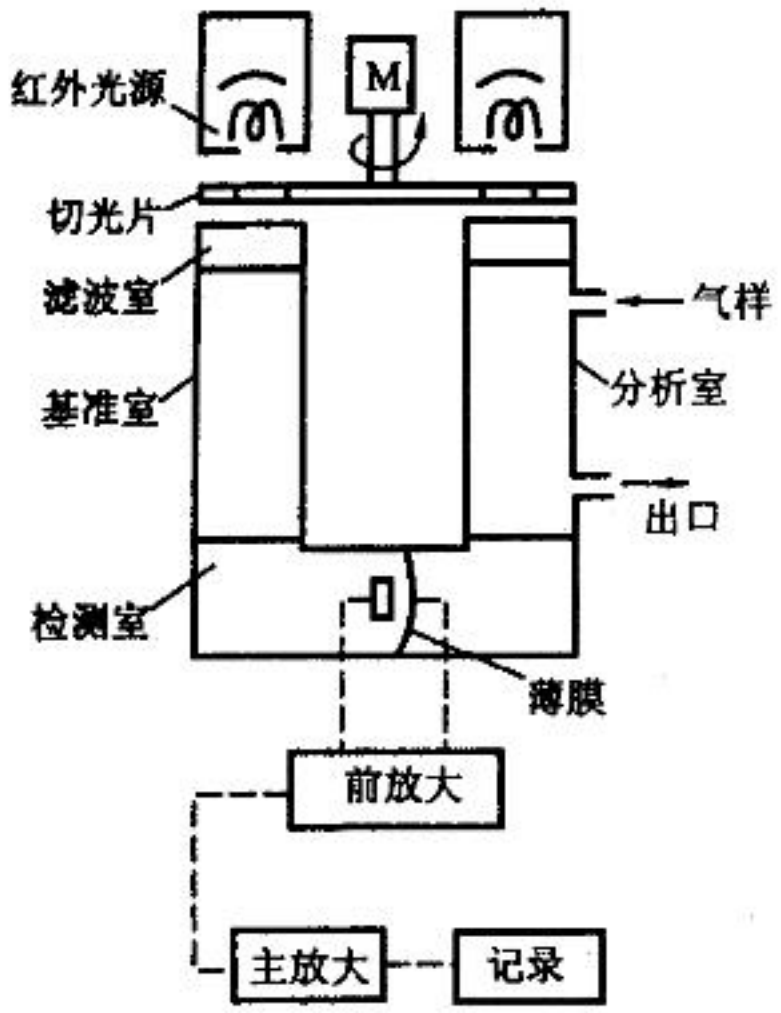

图 6-6-5　非扩散型红外分析仪简图

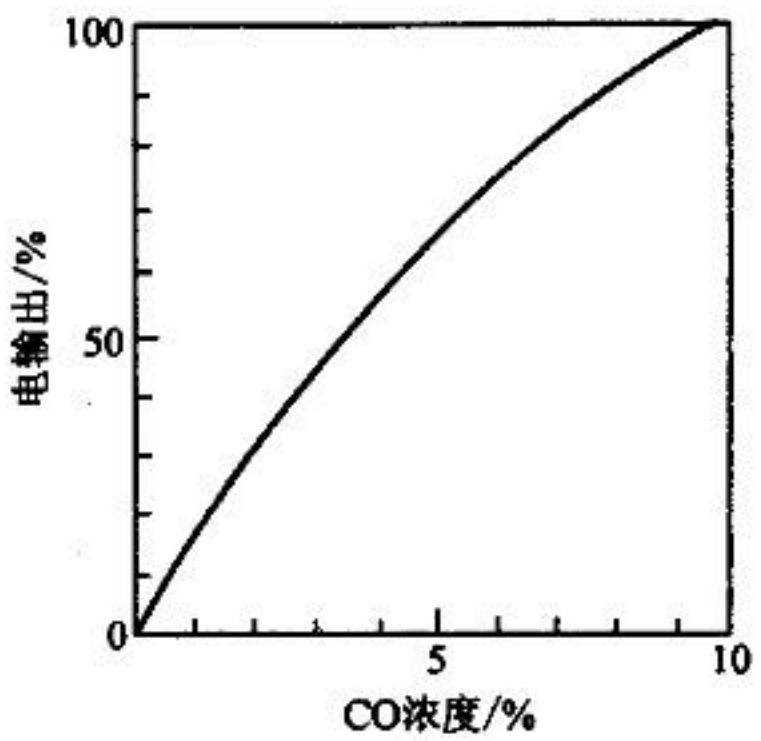

图 6-6-6　CO 浓度与电输出变化关系

在滤波室中充入干扰气体，滤掉干扰气体所能吸收的那部分波段。例如，分析 CO 的分析仪，在滤波室中充以 CO_2、CH_4 等将红外光源中 2.3、3.4、4.5、7.6m 等波段吸收掉，分析时就不受排气中 CO_2、CH_4 成分的干扰。同理，分析 CO_2 用的分析仪要在滤光室中充入 CO、CH_4 气体。

非扩散型红外分析仪主要用来分析 CO、CO_2 及 NO。用来分析 HC 时（检测室内封入正己烷 C_6H_{14}），对 HC 中的烯烃和芳香烃感受度很低，所以在定容取样法取样测定中宜改用 FID 分析仪分析 HC。水蒸气对 CO、NO 的测定有干扰，所以用直接取样法测定时，在取样流程中串联冷却器和除湿器，尽量除掉水分。

2）氢火焰离子型分析仪（FID）。该分析仪的原理是利用有机碳氢化合物在氢火焰 2000℃的高温中燃烧时，一部分分子或原子会离子化、生成自由离子。如果外加适当的

电场形成离子电流，产生微电流信号，其电流的大小和碳原子数、试样流量、浓度等成正比。经过电流放大器可把随碳原子浓度变化而形成的离子电流加以测量和记录；根据这一原理而制成的该分析仪的结构和原理，如图 6－6－7 所示。

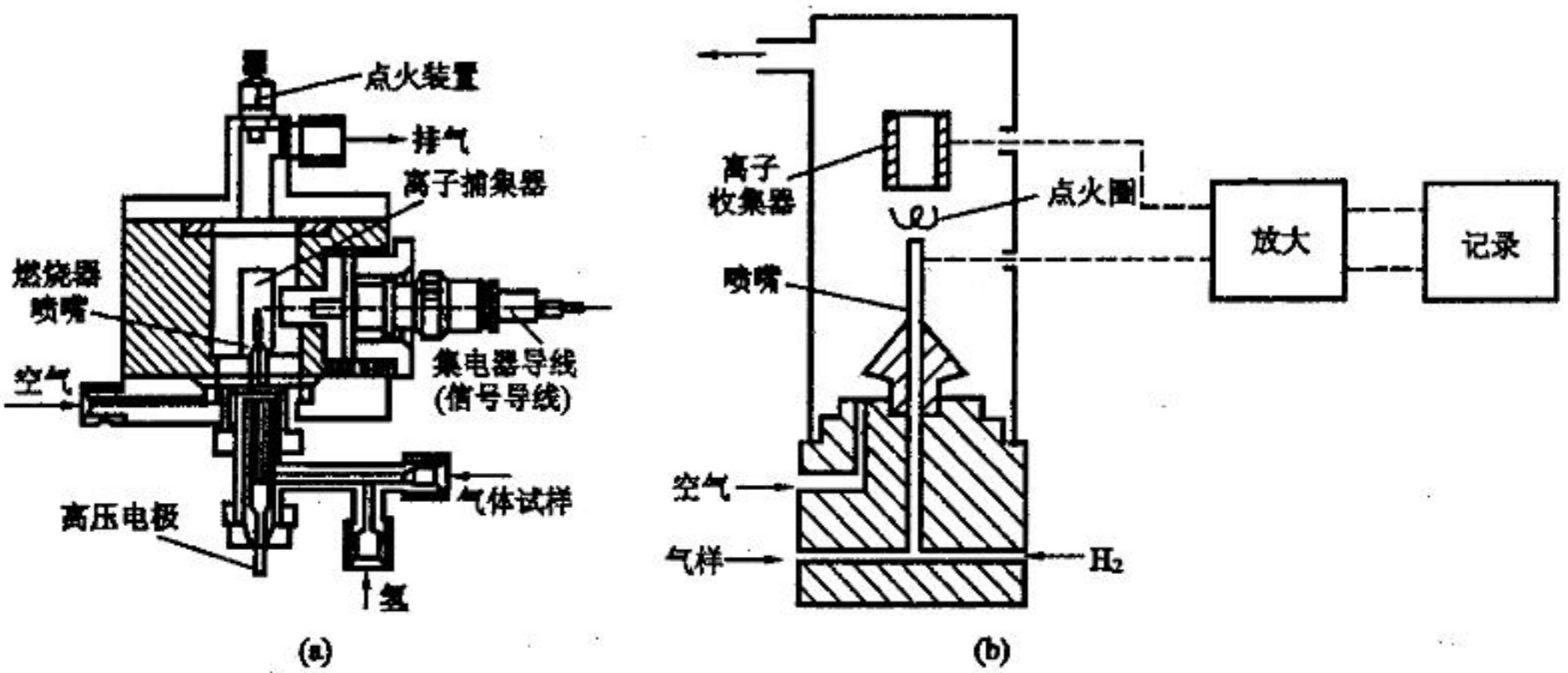

图 6－6－7　氢火焰离子型分析仪
（a）结构；（b）原理

该分析仪可测定几个到 50000×10^{-6}浓度的 HC，线性关系狠好。而且它对各种 HC 的感受度是正比于碳原子数的，因此对烯烃和芳香烃的感受度比 NDIR 分析仪高得多。当两种分析仪都用正己烷 C_6H_{14}标定时，其浓度测取值可差 1.8～2.5 倍。所以定容取样法及柴油机废气分析中宜使用 FID 分析 HC。

试样气体、燃气、空气等流量变化对测量感度有很大影响，必须精确控制。由于 HC 中各组分的沸点不同，高沸点的 HC 在取样过程中会产生凝缩。为了避免凝缩损失及防止水蒸气凝结而堵塞毛细管，在直接取样法中应加热取样管路，一般汽油为 150℃左右，柴油机因柴油高沸点组分多，需保持在 200℃以上。

试样中氧浓度增加会降低该分析仪的灵敏度：当 H_2/O_2 流量比不同，HC 的应答变化很大，一般 HC 的应答误差控制在 5% 以内是好的。用定容取样法时，试样中含有 20%氧时进入该分析仪就产生氧干扰问题，其干扰程度与该分析仪所用的燃料有关。在喷射二次空气或分析柴油机排气时，为了防止氧的干扰，使用 $40\%H_2 + 60\%N_2$ 为燃气，校正用标准气：载用空气而不用氮，零空气也用空气。

3）化学发光分析仪（CLD）。内燃机排气的氮氧化物主要是 NO 和 NO_2，其总和则为 NO_x。化学发光分析仪的原理是：$NO + O_3 \rightarrow NO_2^* + O_2$；$NO_2^* \rightarrow NO_2 + h_r$。式中 h_r 为光量子。当气样中的 NO 和 O_3（奥氧）反应生成 NO_2 时，大约有 10% 的 NO_2 处于激化状态（以 NO_2^* 表示）。这些激态分子向基态过渡时发射出波长 590～2500mm 的光量子 h_r，其强度与 NO 量成正比，利用光电增管将这一光能转变为电信号输出可推算出 NO 浓度。对于排气中的 NO_2^*，通过转换器分解成 NO，以上述相同的方法一起测定，求得 NO 和 NO_2 之和，即 NO_x 值。图 6－6－8 为化学发光分析仪的结构简图。

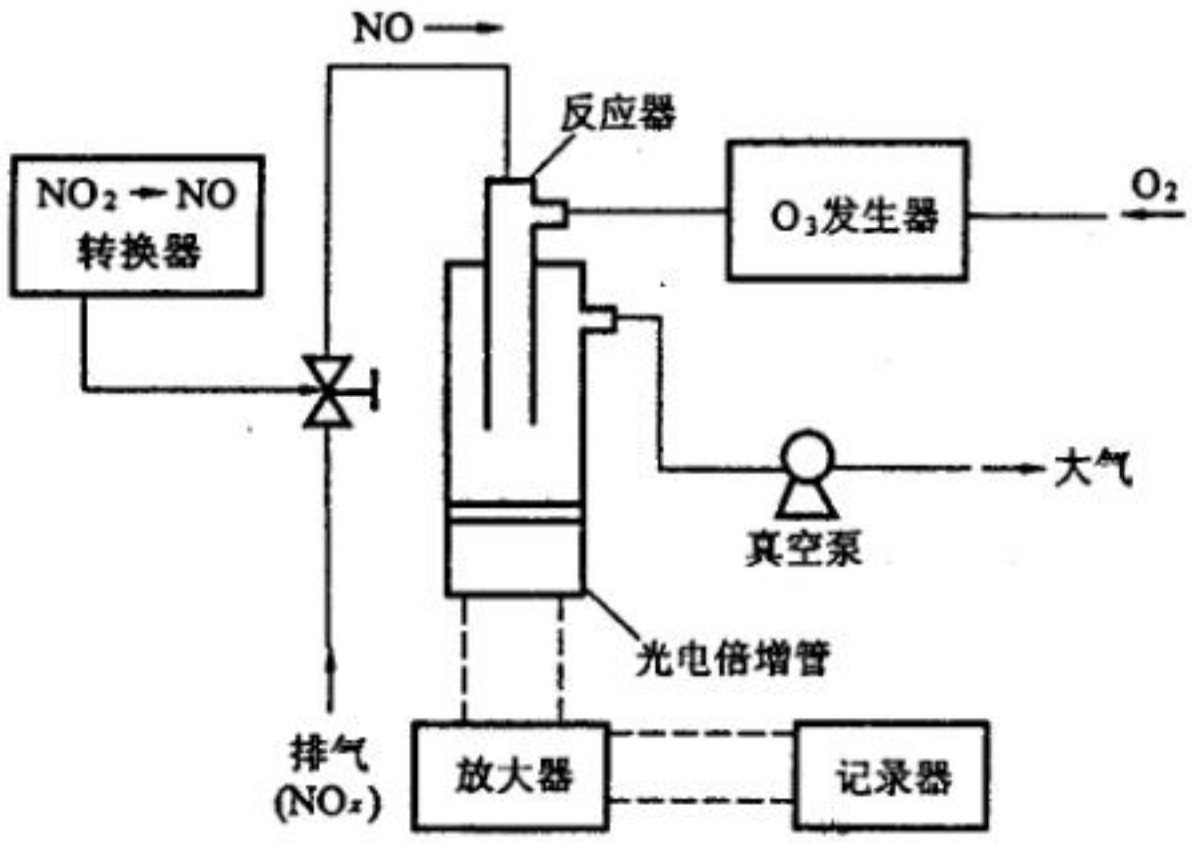

图 6-6-8　化学发光分析仪

化学发光分析仪的优点是，感受度高（可达 0.1×10^{-6}），应答性好，在一万个 10^{-6}范围内输出特性呈线性关系，适合于连续分析。为了提高该分析仪的感受度，应尽量增大 O_3 浓度，降低其他成分浓度。为此应检查臭氧发生管的效率，定期检查、维护真空泵，使反应器维持在良好的减压状态。NO_2 转换器的效率直接影响分析精度，因此要定期检查。当转换器效率低于 90% 时，应予以更换。

4）烟度计。目前各国柴油机排烟标准中规定的烟度计主要有透光式和滤纸式两大类。

透光式烟度计是利用透光衰减率来测定内燃机排气烟度的。图 6-6-9 为英国哈特

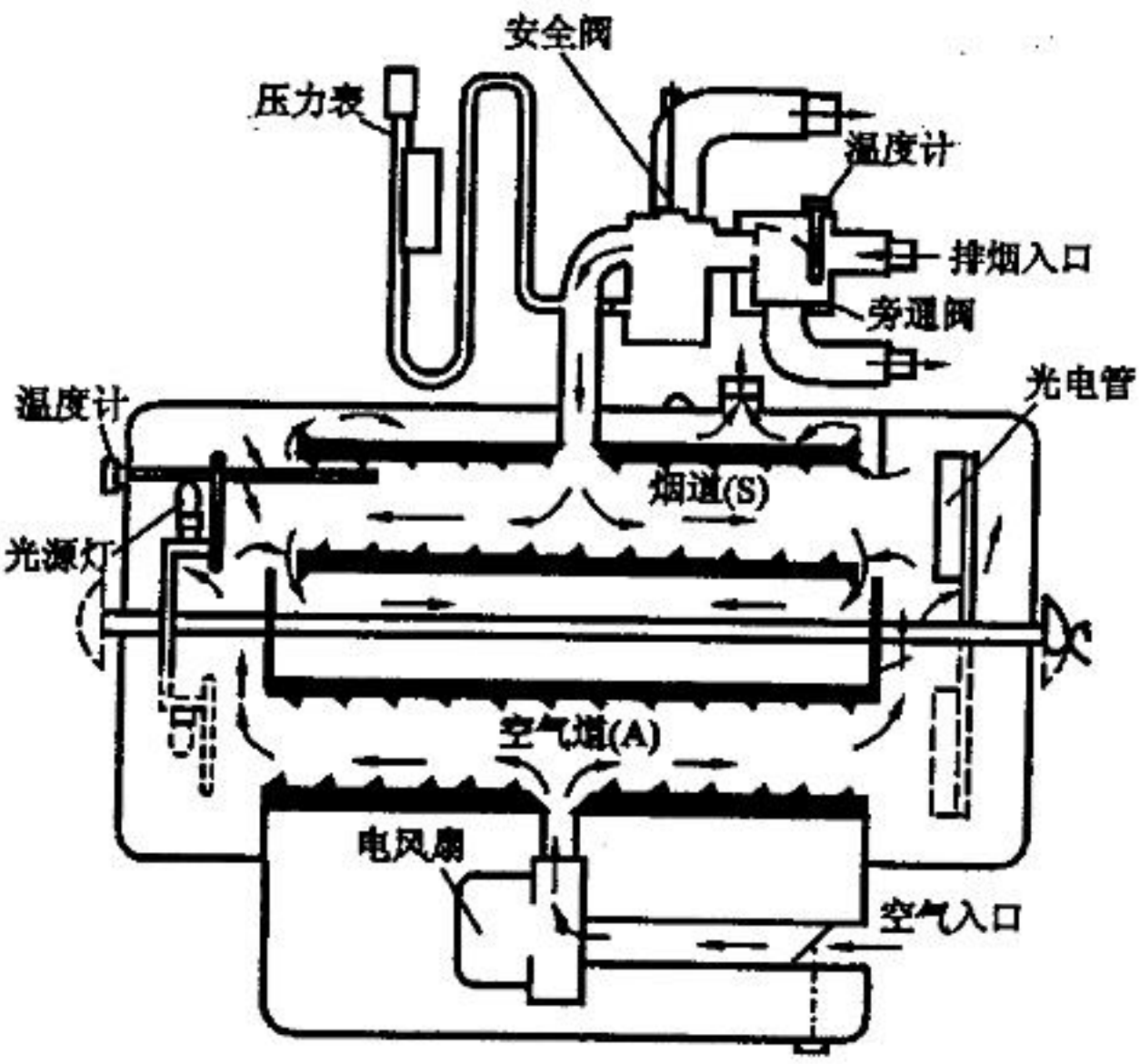

图 6-6-9　透光式烟度计

里奇透光式烟度计的结构简图，它各有一个测试管和校正管 A，将需要测定的一部分排气导向测试管，用电风扇向校正管吸入干净的空气，在测试管两端放置光源和光电池，当光线透过导入排气的烟层，由光电池测定光线的衰减量。图中虚线位置，将光源和光电池转向校正管以作零点校正。烟度记录器指示值 0 为无烟、100 为全黑。由于柴油机的排烟是连续不断地通过测试管的。所以不论稳态、非稳态和过渡工况烟度的测定都很方便，这是它的优点。但是由于光学系统的污染，该烟度计测定中容易产生误差，因此必须注意清洗。此外，排烟中所含的水滴和油滴也有可能作为烟度显示出来，当抽样检验的排烟超过 500℃时，必须采用其他热交换器来冷却排烟。

滤纸式烟度计的结构如图 6－6－10 所示，它包括采样器和检测器两部分。

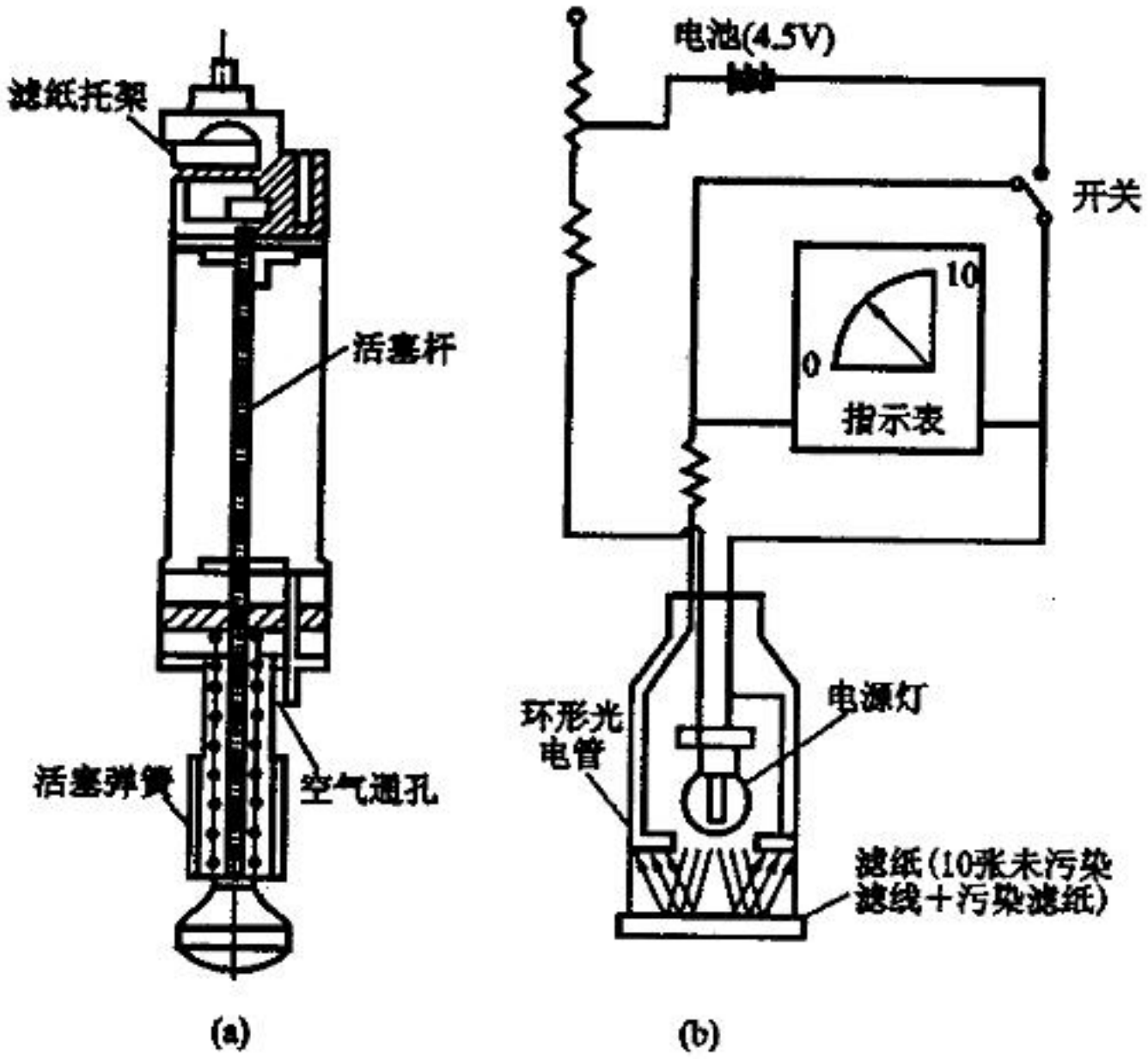

图 6－6－10　法国波许烟度计
（a）采样器；（b）检测器

采样器为一个弹簧泵，前端带有探针，插入内燃机排气管中央取气。吸气泵每次吸入量为 30mL，活塞全行程时间规定在 2s 以内。内燃机的排气通过滤纸吸入泵内，碳烟就留在滤纸上成为试样。检测器利用光反射原理测定滤纸试样的污染度，指示表的刻度范围规定：白色为 0，黑色为 10。

滤纸式烟度计结构简单，调整方便，测定值可靠性高，价格便宜。滤纸试样直观性好，便于保存，适宜稳态工况的测定。其缺点是不能直接连续读出数值，加、减速等非稳定工况无法测定。该烟度计除手动外，还有自动采样，滤纸自动送进及自动记录等多种型式。这些自动系统均采用卷筒式滤纸，如图 6－6－11 所示。

5）微粒测量装置。柴油机排气中的微粒测量方法是先将排气由室内空气混合稀释，在低于 52℃条件下，按运转工况抽取一定容积与空气混合的稀释排气通过滤纸，滤纸

在过滤前后应干燥处理排除水分，将测量滤纸在过滤后与过滤前的质量相减，得到过滤出来的微粒质量，再按限制标准规定单位计算出微粒排放率（g/m^3 或 g/（kW h））。该装置如图 6－6－12 所示。

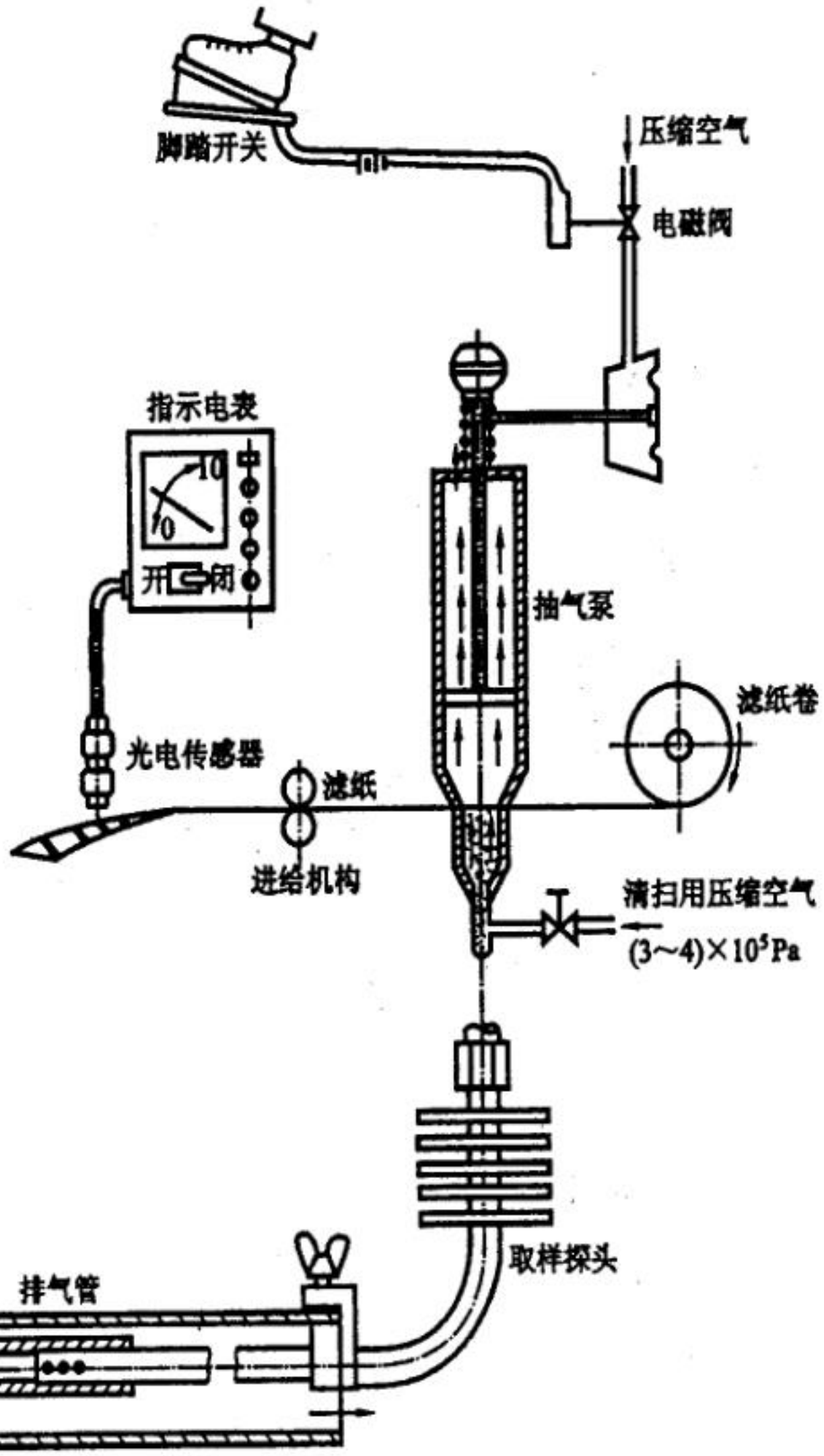

图 6－6－11　自动卷纸式烟度计

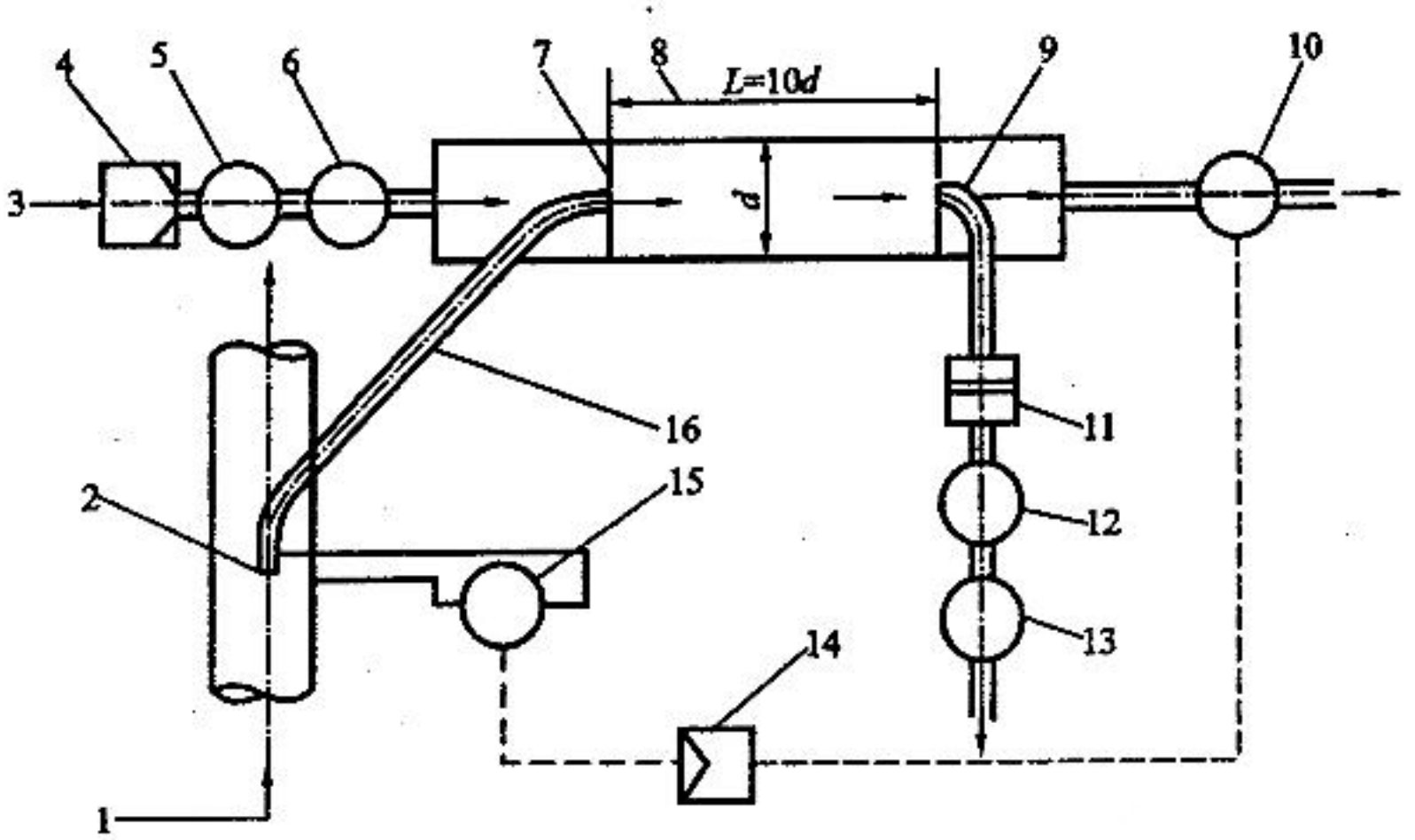

图 6－6－12　小型微粒测量装置

1－柴油机排气；2－取样探头；3－稀释空气；4－稀释空气滤清器；5－鼓风机；6－空气流量计；7－混合孔板；8－稀释通道；9－稀释排气取样头；10－调整风机；11－微粒过滤器；12－泵；13－稀释排气流量计；14－转速传感器；15－压力计；16－排气输送管

第七章　工程机械柴油机异响及噪声

第一节　柴油机的异常声响

技术状况良好的柴油机，匀速运转和工况变化时发出的是均匀、有节奏或有规律的振动、撞击等声音，这是正常的声响。如果柴油机运转过程中发生异乎异常的振动、撞击的声响，此即为柴油机异常声响。它说明柴油机中配合副的零件或机构的配合性质、工作位置，或零件的尺寸、形状等发生变化。使用中的柴油机常由于零件磨损使其配合间隙变大，或因装配不当造成零件的受力状态改变而产生异响。因此，人们常把异响作为判断柴油机各部的配合状况、技术状态是否正常的依据。由于产生异响的大部分机件，在柴油机不解体的条件下难以接近，所以直接检测这些部位的故障有很大难度。另外，某些不正常的响声，往往是柴油机产生恶性事故的前兆，因此对于有异响的柴油机，应根据异响的现象，检测、分析其原因及部位。

一、柴油机异响的特征及其变化规律

（一）异响类型

柴油机是一种自运转系统的周期性循环机械，其异响在一定时间间隔内产生重复的振动和声音。柴油机的各种振动最终以其机件辐射表面的振动而形成辐射声。柴油机是个激励多、结构复杂的运转机械，它的燃气压力通过活塞、连杆、曲轴等零件传递，并构成零件间的作用力。这些作用力使零部件在一定条件下加速，产生冲击振动，这是异响产生的动力学原因。振动经不同的传递介质，并通过多种反射、折射和相互叠加，最终表现为柴油机的表面振动。振动强度超出一定范围，即成为柴油机异响。诊断柴油机异响就是在不同的柴油机工况下，将冲击产生的振动异响与各种噪声（见本章2）区分，以确定产生异响的真正原因及具体部位。

（二）异响振动的频率和振幅

柴油机不同的零件，在不同的工况下有不同的机械振动，表现为不同异响声调，这就是异响的声响特征。声调的高低与振动频率有关，频率越高，声调越尖细；反之，声调越沉闷。声响的强弱由振动冲击的强度决定，振动强度越大，声响越响亮；反之，声响越微弱。柴油机中的零部件，在不同的柴油机工况下，表现出声调的明显不同。在诊断柴油机异响时，要选择某种零件声响最明显工况（异响的特征工况）。特征工况下异

响的频率和振幅在异响的仪器诊断中常用来确定异响的声源和判断配合副的技术状况。

（三）异响的相位

柴油机工作中燃气压力的周期性变化，会引起相关零件受力状态的周期性变化，并由此使相关零件异响出现的时刻各不相同，即相位不同。区分异响产生相位的不同，可容易地将其与某缸的情况联系起来，并以此区分产生异响的机构和汽缸。例如，曲柄连杆机构产生的异响一般与汽缸的工作情况密切相关，而配气机构的异响与汽缸工作关系不大。

在柴油机异响诊断中，常用“上缸”来区别异响的类别。上缸是指切断某缸的供油，使该缸的异响明显地减弱或消失。一般情况下，凡是上缸的异响，通常是曲柄连杆机构的零件造成的；不是上缸的异响通常是配气机构或其他运动零件产生的。

（四）异响在辐射面上的分布

柴油机异响的振源、传递介质、传播路径不同时，异响在柴油机辐射表面上的分布也不同。通常距振源越近，传播路径愈短，传播过程中的振动衰减愈小，则表面辐射声响愈强。图 6－7－1 为一台四缸四冲程、缸径 82mm、行程 94mm 的水冷涡流室式柴油机部分裸露时表面辐射的工作噪声，按其声强由高到低的次序为：1—正时齿轮室盖（包括皮带轮）；2—曲轴箱；3—喷油泵；4—排气消声器；5—油底壳；6—气门室罩。图 6－7－2 是用声道法对一台 V 型八缸风冷四冲程柴油机的一个侧面测定的噪声。图中各纵坐标均为 1/3 倍频程的声压级，各部位噪声按声压级由大到小排列的前 5 项分别为：1－油底壳，占 22.5%，2—曲轴箱，占 20%；3—进气管，占 12.5%；4—排气管，占 10%；5—风扇罩，占 4%。

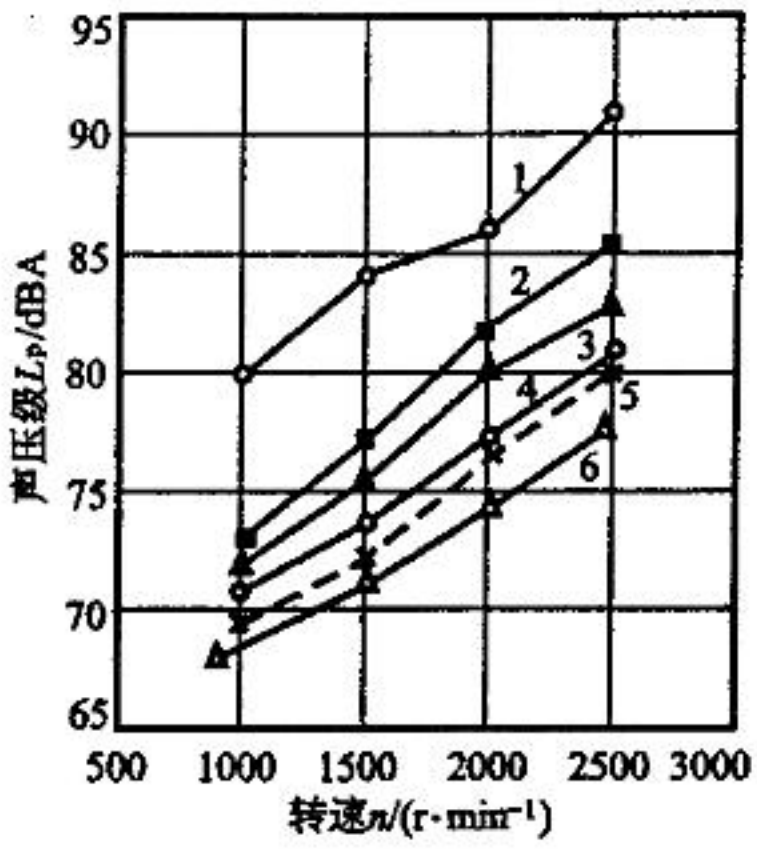

图 6－7－1　从柴油机表面辐射的噪声

因为柴油机结构决定了不能直接在振动表面上测定其振动，但由于振动是具有三维量的矢量参数，其测定结果与测定点、测定方向有关，因此对柴油机异响进行检测时，

一般是选择易于接近，且衰减量较小的方向和部位。实验证明，柴油机轴承异响最好在径向或轴向测量，其他机件最好选在冲击振动的方向上测量。柴油机主要异响的听察部位，如图 6－7－3 所示。

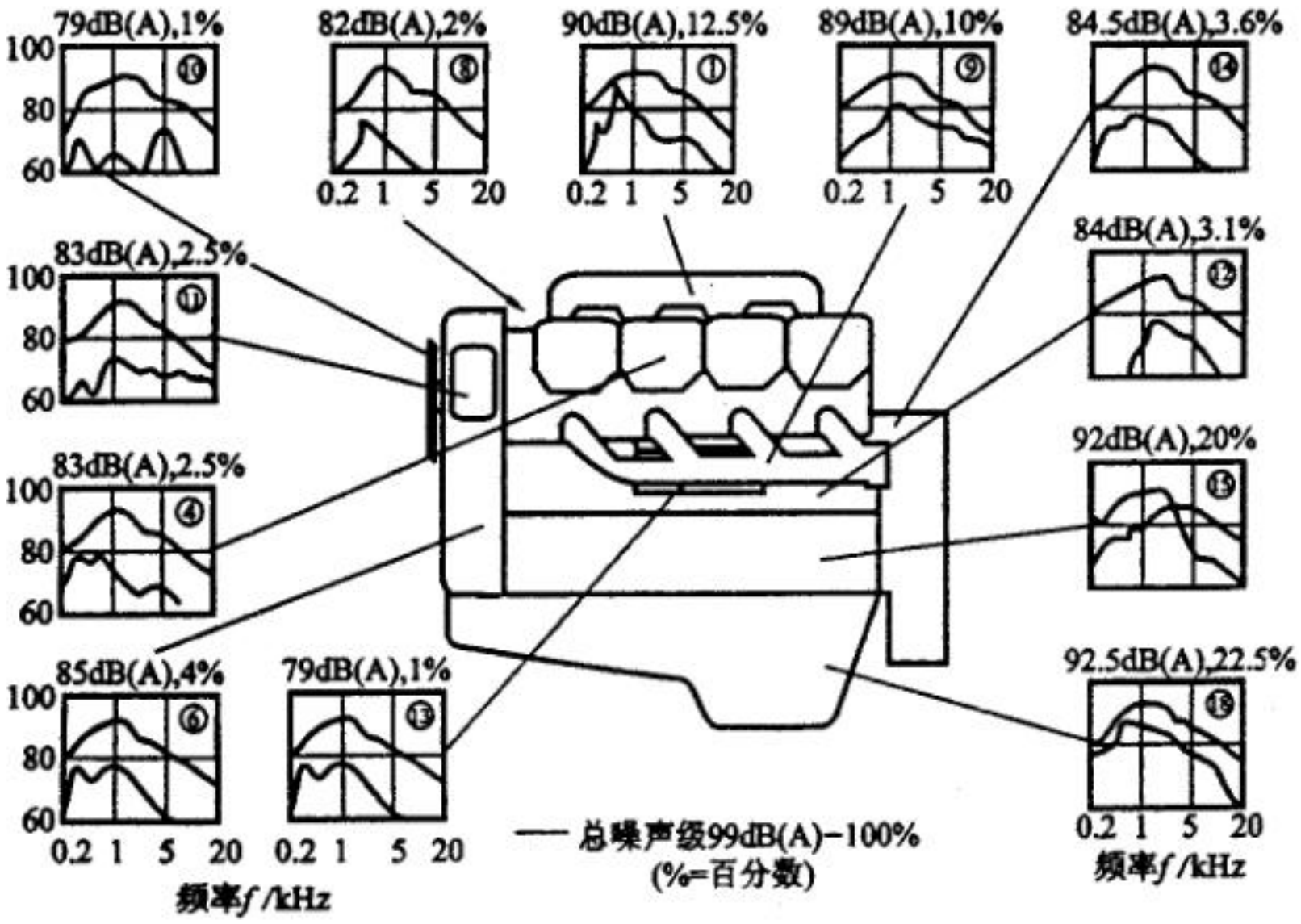

图 6－7－2　V 型风冷柴油机侧面上的噪声分布

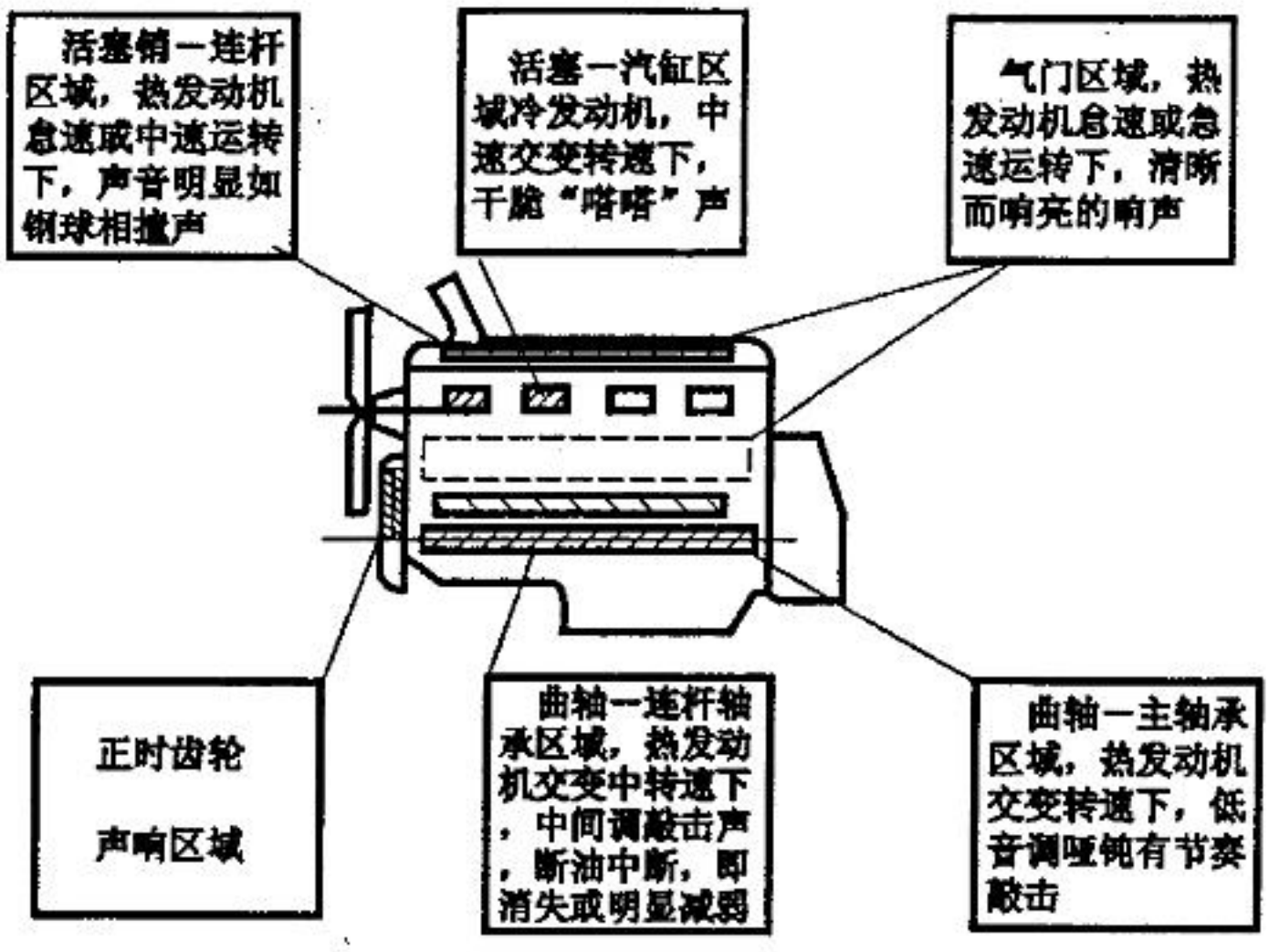

图 6－7－3　柴油机主要异响听察部位

二、异响的变化规律

柴油机中产生异响的零件，由于其材料、尺寸与形状、工作温度与润滑条件、运动

速度和运动形式、工作位置与载荷性质等条件的不同而呈现一定的规律性。异响的变化规律是指，柴油机各种异响随转速、温度、负荷、润滑和振动的变化关系。

（一）转　速

柴油机异响检测、诊断常在空载运转时进行。柴油机多数异响的特征工况有明显的特征转速，即柴油机异响在特征转速下很明显，低于或高于该转速时异响变得很不明显，或难以辨析。如连杆轴承响，在1000～1200r/min（柴油机常用转速）时非常易于听察，而在怠速时几乎听不到，在高速下因声响噪杂又难以分辨。

（二）温　度

柴油机的有些异响与其温度有关，利用零件材料膨胀、润滑条件与温度变化的关系，可方便地区分柴油机的异响类型。如活塞与汽缸的配合间隙，冷态时较大、热态时减小。若活塞有敲缸声响，就会表现为冷态时明显，而热态时减弱或消失。又如，曲轴与轴承的异响，柴油机启动时明显，冷态时减弱或消失（润滑油粘度大），随温度升高而声响加大。

（三）负　荷

曲柄连杆机构由于直接承受燃烧气体的爆发压力，故其声响对负荷变化比较敏感。通常，负荷增加时其声响明显加大，柴油机的燃气压力波冲击也随负荷增加而增大。但配气机构的异响一般随负荷变化不明显。

（四）润　滑

由于曲轴的主轴承、连杆轴承直接与润滑系的主油道相连，出现异响时会使润滑油压力明显低于正常值。另外，活塞与汽缸、轴承与轴颈的配合处，润滑条件差时也会加剧振动、冲击的异响。

（五）振　动

柴油机有些异响系零件间的直接撞击，如活塞敲缸声、连杆轴承响和曲轴主轴承响、正时齿轮严重的啮合噪声等，它们都会明显地反应在传播方向的机体表面上。利用区分相同缸不同冲击部位的振动差异和不同表面的传播强度差异，很容易分辨出异响的汽缸或零件。另外，当曲轴轴承松旷造成异响时，在高速时能引起整个柴油机抖震现象。

柴油机的不同异响，其变化规律各不相同，其敏感的影响因素往往成为异响检测、诊断的条件。

熟悉柴油机各种异响的变化规律，有助于快速、正确地检测、诊断其发生的原因和部位。因而在使用条件下总结各种异响的变化规律，对于检测、诊断柴油机异响有普遍的指导意义。

三、柴油机异响诊断仪

国内外各种柴油机综合测试仪均带有专用示波器，可很方便地检测、诊断、分析柴油机的各种异响。

检测柴油机异响的振动传感器一般采用压电式加速度传感器（其结构、原理、性能等见本书第3章6.1.3）。当拾取振动信号时，传感器有两种方法固在测试部位上：一是利用强磁材料制成的磁性座将传感器吸附在测试表面上（见图6－7－4）；二是手持式（见图6－7－5），将加速度计与探棒一起触到检测部位。前者有较好的频响特性，适用于振动的定量分析；后者适用于快速寻找振源。检测时加速度计通过压电效应，将振动信号直接转换成电信号，且电信号与振动加速度成正比，以此可用来确定振动的频率、振幅和显示波形。

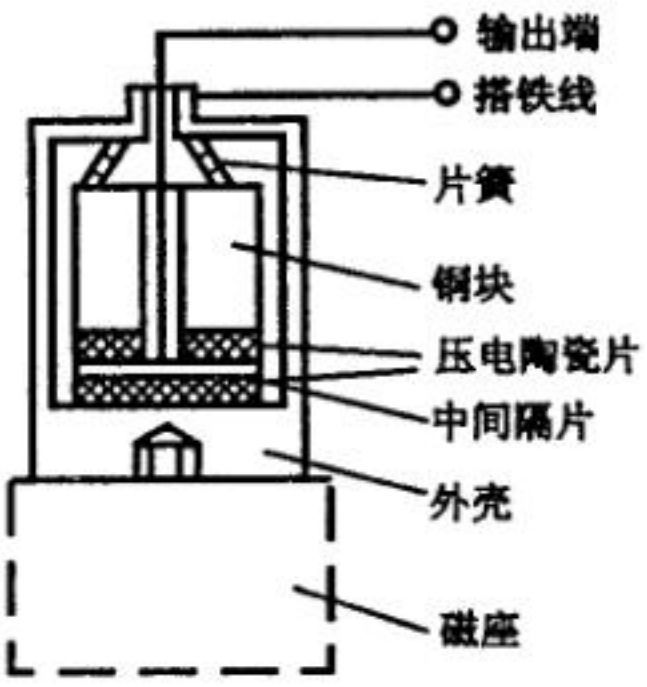

图6－7－4　固定式加速度计

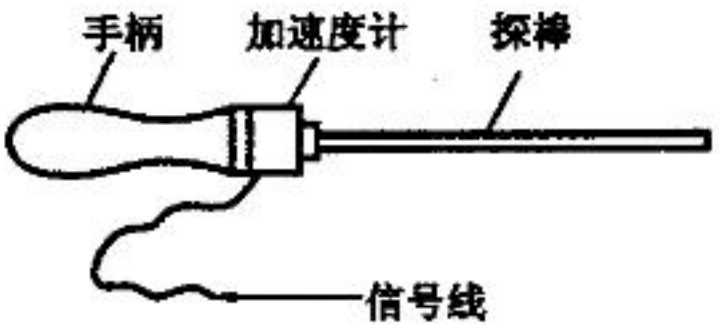

图6－7－5　手持式加速度计

异响诊断仪对输入的振动信号设有两个通道：一是直接通道，允许传感器的各种频率的信号输入，并对整个信号进行必要的放大增益；二是变频通道，即设置多个频域的通道选择区，在选定频域内的信号被充分放大，而频域外的振动信号尽量衰减，使所要检测的信号清晰地显示出来。这两种方式常用于柴油机的宏观检测和故障的深入分析。

柴油机异响诊断仪通常具有相位选择功能，以便区分振动信号与各缸作功情况的关系。相位选择是利用柴油机的转速、喷油信号和振动信号构成的与门电路进行的，并在示波器上按柴油机汽缸数设置扫描线，将被测汽缸作功时的振动信号反映在对应的示波线上，便于分析异响与汽缸作功的相互影响。异响示波如图6－7－6所示。

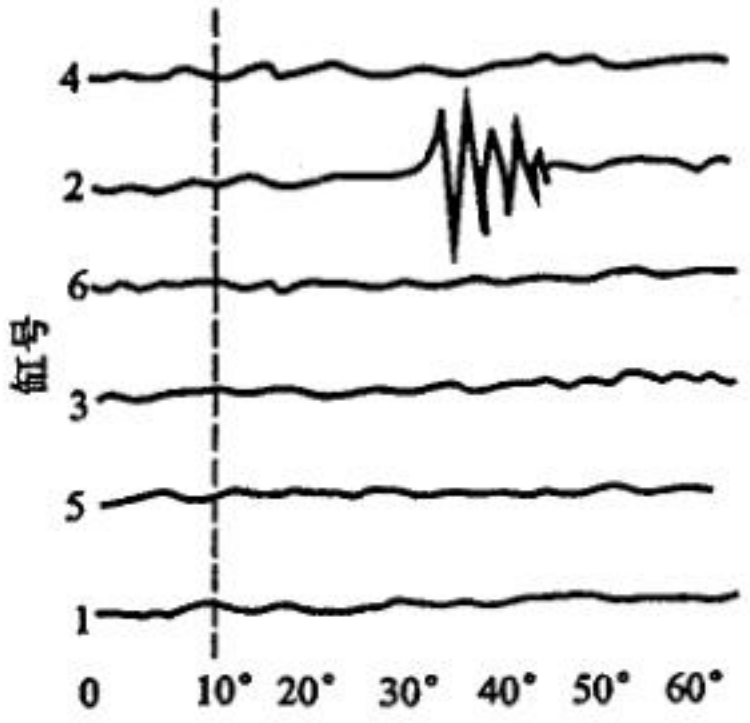

图 6－7－6　柴油机 2 缸轴承异响的波形
（n = 1200r/min）

图 6－7－7 为四缸四冲程柴油机配气机构的典型振动波形。由图可见，随着气门

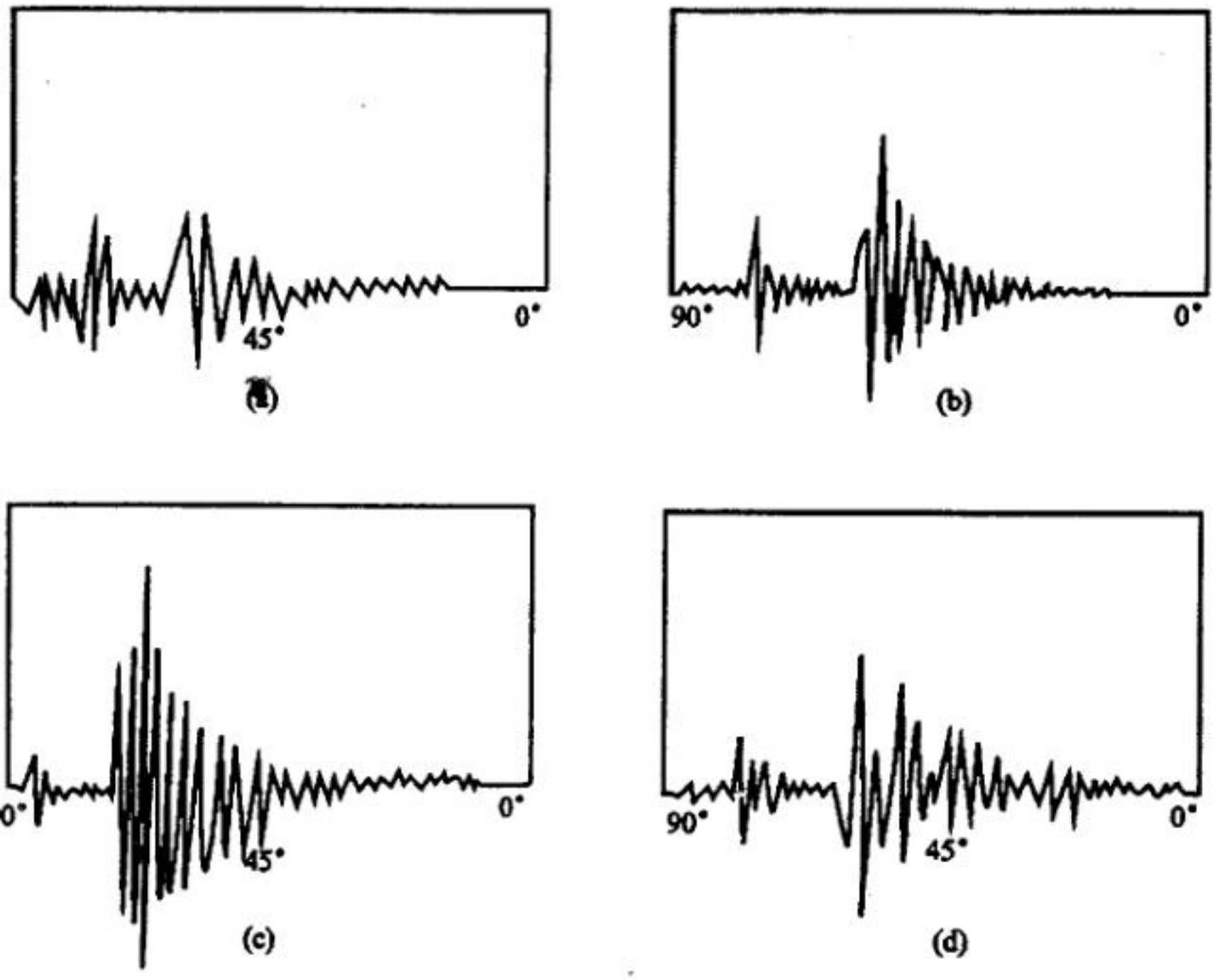

图 6－7－7　气门落座时振动波形
（a）气门间隙 0.15mm；（b）气门间隙正常 0.25mm；
（c）气门间隙 0.5mm；（d）气门－气门导管间隙过大

间隙的减小或增大，将引起气门落座时刻的滞后或提前，冲击脉冲的最大幅度几乎减少 50%或增大 60%；气门与气门导管间隙过大会引起气门落座的歪斜，使初始脉冲振幅减小（倾斜形成落座面的由小到大，减缓落座冲击），但整个脉冲不均匀。与正常波形

相比，振动衰减过程延长20%或更多。可见，通过振动波形的形状、振幅、频率、相位等分析，可查明配气机构的故障原因及部位。

四、异响检测、诊断

柴油机常见异响有曲轴主轴承响、连杆轴承响、活塞敲缸响、活塞销响、气门脚响、汽缸漏响、正时齿轮响和着火敲缸响等。

（一）曲轴主轴承响

1）现象。柴油机加速时会发出沉重、有力的“□当、□当、□当”或“刚、刚、刚”的金属敲击声（俗称大瓦响），严重时会引起机体的振动。响声随柴油机转速提高、负荷增大而增强。中间主轴承响在单缸断油时无明显变化，但相邻两缸断油时声响明显减弱或消失。两端主轴承响，当与其相近的汽缸断油时，响声明显减弱，非相近汽缸断油时响声变化不大。曲轴主轴承响时常伴有机油压力的明显降低。

2）原因。造成油轴主轴承响的主要原因有：主轴承和曲轴主轴颈磨损过甚，轴向定位装置磨损，造成曲轴的轴向和径向间隙过大；主轴承盖的固定螺栓松动；轴承减磨合金烧损或脱落；曲轴弯扭变形或汽缸体变形；曲轴（组合件）的动平衡偏差太大等。

3）检测分析。冷启动柴油机时在短暂时间内出现异响，但很快减弱或消失（润滑系开始工作且机油粘度较大）。随着柴油机温度升高，响声逐渐明显。

采用迅速抖动油门的方法，使柴油机转速变化，听察异响出现的时机。选择异响出现最明显的转速并维持不变，逐缸断油及相邻两缸断油，听察声响的变化。观察柴油机正常工作温度下的机油压力是否偏低。

曲轴主轴承响时将在油底壳上部激发出300～500Hz的低频振动。利用仪器诊断时在选定的异响最明显的转速上，将加速度计探棒触及图6－7－8（a）所示位置，先由全缸示波图上检测有无异响波形，再选缸检测，逐一观察各缸波形的异同。选择波形异常最明显汽缸，用断油法观察波形的变化。若断油后异响波形明显减弱或消失，则说明异响与断油缸有关。

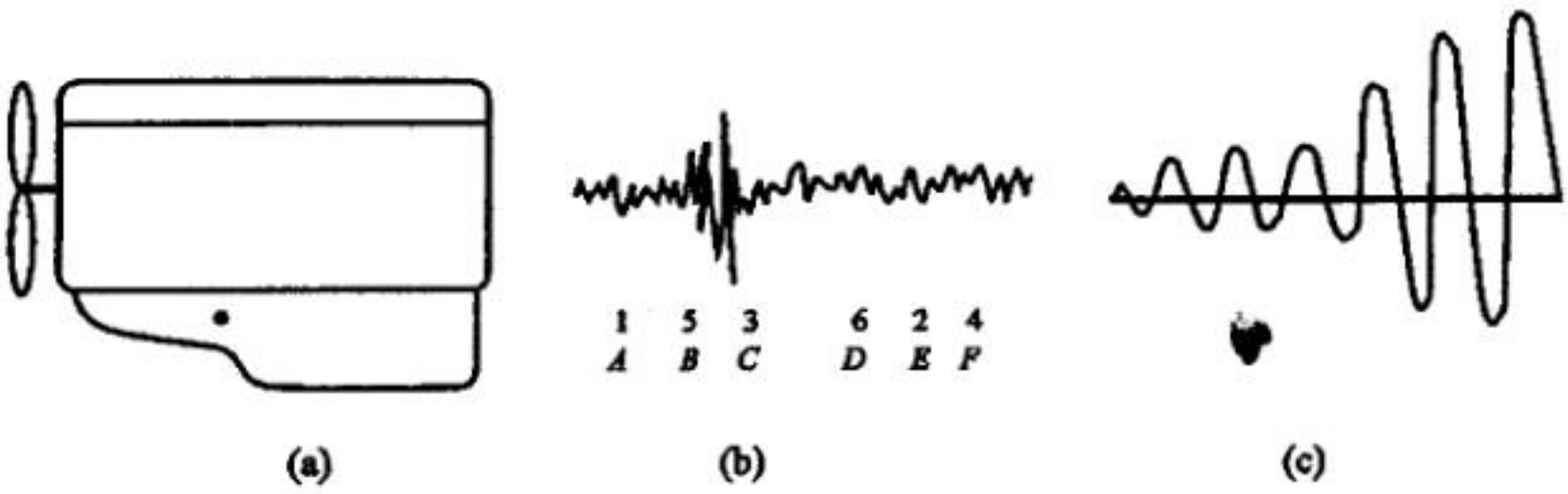

图6－7－8　曲轴主轴承响故障检测

（a）振动传感器抵触位置；（b）主轴承响全缸波形；（c）5缸主轴承响波形

（二）连杆轴承响

1）现象。当柴油机由怠速加速到中速时，发出清晰可辨的“□当、□当、□当”的连续、短促的金属敲击声；当维持柴油机中速运转（1000～1200r/min）时，声响连续、明显，这是连杆轴承响（俗称小瓦响）的典型特征。单缸断油时声响明显地减弱或消失，恢复供油后声响即刻出现，具有明显的“上缸”现象。随着柴油机负荷加大，声响明显加剧。单一连杆轴承响，对机油压力影响不大。当严重的连杆轴承响时（如减磨合金熔化剥落），在各种转速下都具有明显的响声，但“上缸”现象不明显（间隙太大）。

2）原因。引起连杆轴承响的主要原因有：曲轴的连杆轴颈与轴承磨损过甚，径向间隙太大；轴承减磨合金烧损或脱落；轴承盖紧固螺栓松动；连杆弯扭变形；曲轴弯扭变形引起连杆工作位置改变等。

3）检测分析。在柴油机怠速至中速范围内迅速抖动油门，听察有无节奏感很强的敲击声。然后再由怠速缓慢加速到中速，选择声响最明显的转速，用逐缸断油法听察声响的变化情况。当某汽缸断油后声响明显地减弱或消失，则说明连杆轴承响故障与该汽缸有关。

连杆轴承响是柴油机曲柄连杆机构中最典型、最容易辨别的故障，它在曲轴箱下部侧面上能激发600～800Hz的振动。利用异响诊断仪检测时先选定最明显的异响特征转速并保持不变，将加速度计探棒触及指定的检测部位，先由全频通道全缸示波图观察异响的大概波形，再用选频通道逐缸示波观察。将异响显示最明显的汽缸波形显示在示波器屏幕上，用断油法观察波形的变化情况。若断油后异响波形明显地减弱或消失，则说明连杆轴承响与断油缸有关。连杆轴承响的检测部位和异响波形如图6－7－9所示。

图6－7－9　连杆轴承响故障检测

（a）振动传感器抵触位置；（b）连杆轴承响全缸披形；（c）2缸连杆轴承响波形

（三）活塞销响

1）现象。活塞销响发生时在柴油机略高于怠速的转速下，可听到清脆而连续的“嗒、嗒、嗒”的金属敲击声。当柴油机由怠速迅速提高转速时，也可明显听到活塞销响。单缸断油时声响明显减弱或消失，恢复供油瞬间声响则又迅速出现，或迅即出现两个响声（双响）。柴油机转速偏低或偏高时活塞销响难以分辨，柴油的温度、润滑情况等对活塞销几乎没有影响。

2）原因。引起活塞销响的主要原因有：活塞销与连杆衬套、与活塞销座孔因磨损过甚而配合松旷。

3）检测分析。在柴油机怠速至低速间轻抖油门，使其转速频繁变化，听察活塞销异响出现的时机。然后由怠速缓慢提高转速，选择异响最明显的特征转速并维持不变。用逐缸断油法听察异响的变化情况。若某汽缸断油后声响明显地减弱或消失，则说明活塞销响与该汽缸有关。

活塞销的响声一般不易简单地听察判断。当活塞销响时，在正对该缸的汽缸盖上能激发出约 1200Hz 的振动。利用异响检测仪检测时，维持选定的特征转速，将加速度计探棒触及汽缸盖顶部，先由全频全缸示波观察波形，再用选频选缸示波逐缸观察。选择异常的波形置于示波器屏幕上，并将探棒触及异常缸活塞对应的汽缸盖顶部，用断油法观察波形的变化情况。若断油后异响波形明显地减弱或消失，则说明活塞销响与该缸有关。活塞销响的故障波形，如图 6－7－10 所示。

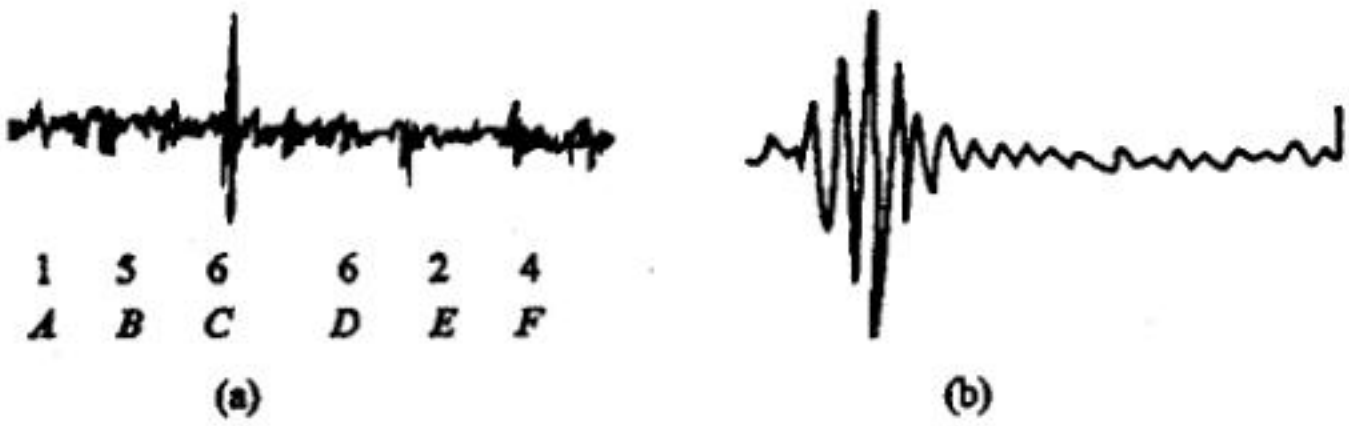

图 6－7－10 活塞销响故障波形

（a）活塞销响全缸波形；（b）某缸活塞销响波形

（四）活塞敲缸响

1）现象。柴油机在怠速或低速下运转时，在汽缸上部发生清亮、明显的“□堂、□堂、□堂的金属敲击声，随着转速的提高，响声逐渐减弱或消失；柴油机冷车时声响明显，热车后声响减弱或消失；单缸断油时响声减弱或消失；随着柴油机的负荷增加，声响逐渐加剧。

2）原因。引起活塞敲缸的主要原因是：活塞、汽缸过度磨损而使配合间隙过大；活塞在工作温度下的变形量、变形方向与设计要求不符；连杆的弯扭变形；活塞销与活塞座孔装配过紧而引起变形；连杆轴颈与轴承、活塞销与连杆衬套装配不当，使其运动随意性降低。

3）检测分析。柴油机在低速或怠速时能听察到清晰的活塞敲缸声，此时应选择敲缸声明显的转速，逐缸断油，听察异响的变化情况。若某缸断油后声响明显减弱或消失，则说明异响与该汽缸有关。由于活塞敲缸响与连杆轴承响相似，且都有“上缸”现象，检测时常采用向汽缸内注入少量机油的方法，以区分异响的确切原因。具体方法是：拆下喷油器，注入 15～25mL 机油，然后用启动机带动曲轴旋转几周。若为活塞敲缸响，则在注入机油后的短暂工作时间内异响会明显地减弱或消失，数分钟后声响又恢复到注油前的情况。活塞敲缸响对柴油机温度变化较为敏感，即低温时声响清亮、明

显，正常工作温度时声响减弱或消失。

活塞敲缸响是由于活塞在运动过程中对汽缸壁的碰撞、敲击而产生的，特别在作功行程换向时活塞对汽缸壁的冲击力达到最大值，使活塞敲缸晌更为明显。由于振动方向的原因，活塞在汽缸体上止点部位产生的冲击振动频率为 1000 ~ 1200Hz。利用异响检测仪检测时，在选定的特征转速下，用加速度计探棒触及汽缸体上部的指定部位，寻找到异响产生的可能声源，并用断缸法检测异响波形的变化情况。若被测缸断油时异响波形明显减弱或消失，则说明异响与该汽缸有关。此外，用注油法进一步验证检测结果。

活塞敲缸响检测、诊断的部位和波形，如图 6 - 7 - 11 所示。

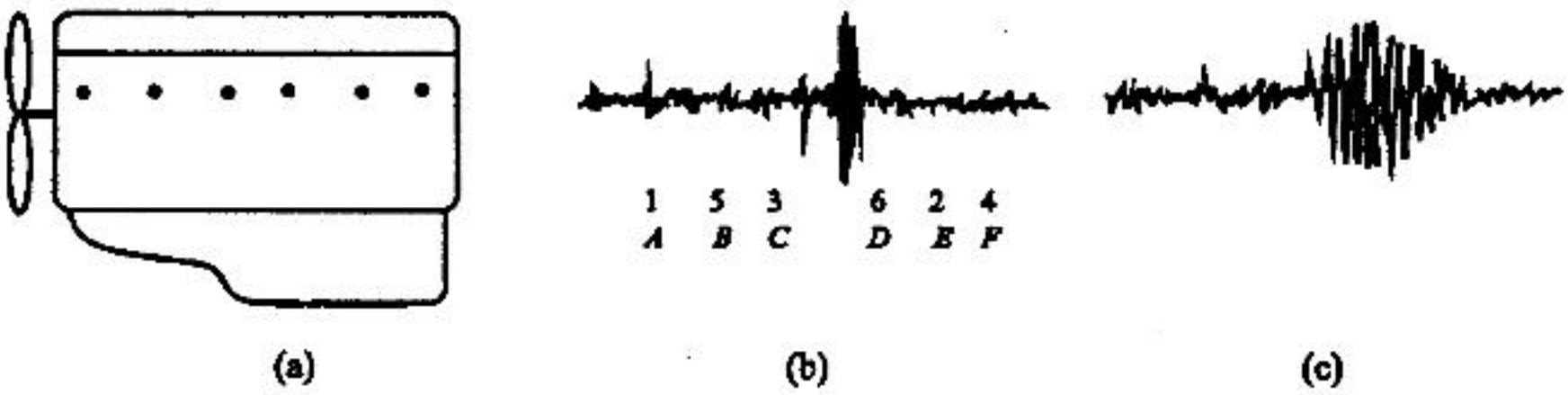

图 6 - 7 - 11　活塞敲缸响故障波形

（a）振动传感器抵触位置；（b）活塞敲缸响全缸波形；（c）6 缸活塞敲缸响波形

（五）着火敲击声

1）现象。柴油机在低速无负荷运转时，有时可听到尖锐、清脆而连续的“嘎啦、嘎啦”的敲击声，冷车时尤为明显。随着柴油机温度和转速的提高，声响逐渐减弱或消失；柴油机过热和超负荷运转时，着火敲击声明显增大；迅速抖门油门（供油拉杆）过程中，着火敲击声更是清脆可辨。

2）原因。产生着火敲击声的原因主要来源于柴油机的技术使用不当。例如，自燃性差的柴油使柴油机工作粗暴性加大；喷油泵供油早，使燃烧过程的着火落后期长、压力增长率大；柴油机工作温度低时燃烧过程不稳定；进气量不足，燃烧不完全等。与供油、喷油有关的主要因素有：供油间隔不均匀，使柴油机燃烧时刻和压力增高变化量难以控制；循环供油量不稳定或供油不均匀会导致燃烧恶化；喷油器的喷射压力、雾化等直接影响可燃混合气形成及燃烧过程，进而影响柴油机的工作粗暴性；汽缸密封性是保证柴油具有良好的着火与燃烧条件的主要因素，汽缸密封性下降将严重影响可燃混合气形成和燃烧过程，引发柴油机的着火敲击声，等等。

由上述可见，柴油机着火敲击声是由燃烧过程不正常引起的。归纳起来，产生原因主要有两个：一是汽缸内压力剧变引起的动力载荷，由此产生的结构振动频率相当于各传声零件的自振频率；二是汽缸内气体的冲击波引起的高频振动，其频率为汽缸内气体的自振频率。

3）检测分析。汽缸内气体压力剧变时的动力载荷是在速燃期内产生的，其性质相

当于活塞敲缸。振动传播辐射的频率为中高频范围，即处于人耳的最不愉快的听觉领域。汽缸内气体的冲击波源于着火点处的局部压力急剧升高，火焰向邻近区域传播的同时，也传播着具有冲击性质的压力波。该冲击波在燃烧室内多次反射，形成气体的高频振荡，它在作功冲程中要保持相当长的时间。

滞燃期内汽缸压力和温度的变化都不大，因此对着火敲击声的直接影响很小。但由于滞燃期持续时间对燃烧的进展有很大影响，因而对着火敲击声有间接影响。速燃期内汽缸压力迅速升高，直接影响振动噪声。其压力增长率愈大，振动冲击愈强烈，振动噪声愈大。影响速燃期内汽缸压力增长率的主要因素是滞燃期的长短及供油规律，这与柴油机燃油泵的供油时刻、供油规律、喷油质量等有关。滞燃期愈长，则喷入燃烧室的柴油愈多、着火后同时燃烧的燃油愈多、压力增长率和最高爆发压力也愈高。

试验表明，柴油机冷却水温度、负荷、转速及加速等对着火敲击声也有影响。例如，在缸径85～120mm的几种柴油机上，冷却水为30～50℃时，着火敲击声可降低1～2dB（A）；在120mm缸径的六缸柴油机上，冷却水温度由60℃升高到100℃时最大压力增长率由0.52MPa/（°）（曲轴转角）降到0.42MPa/（°）（曲轴转角），滞燃期由18°缩短到9°曲轴转角，最大爆发压力降低0.25MPa，结果使柴油机着火敲击噪声降低2dB（A）。

大多数柴油机由无负荷提高到全负荷时着火敲击声略有增大，其中的中型、轻型柴油机增加最多，约2～3dB（A），大型低速柴油机的基本不变。

柴油机加速时的着火敲击声比稳定工况时的增大约2dB（A），这是因为加速前的柴油机在较低的转速下运转，燃烧室壁温度较低，活塞与汽缸的间隙较大。加速时“壁温”和“间隙”均来不及适应高转速的状态，这样，与全负荷稳定工况相比，柴油喷射雾化及可燃混合气质量差，使燃烧过程的滞燃期相对延长。

在柴油机着火敲击声故障检测、诊断中，常对故障现象所包含的各种可能因素组合成故障分析推理，采用顺次推理分析方法，最后筛选、确定具体原因，如图6－7－12所示。

第二节　柴油机噪声

柴油机运转时发出的噪声是工程建设机械的主要噪声源之一，它对工程建设机械的整车噪声级有决定性的影响。

一、分　类

按照辐射的方式，柴油机噪声分为直接向大气辐射的和通过柴油机表面而辐射的两类：

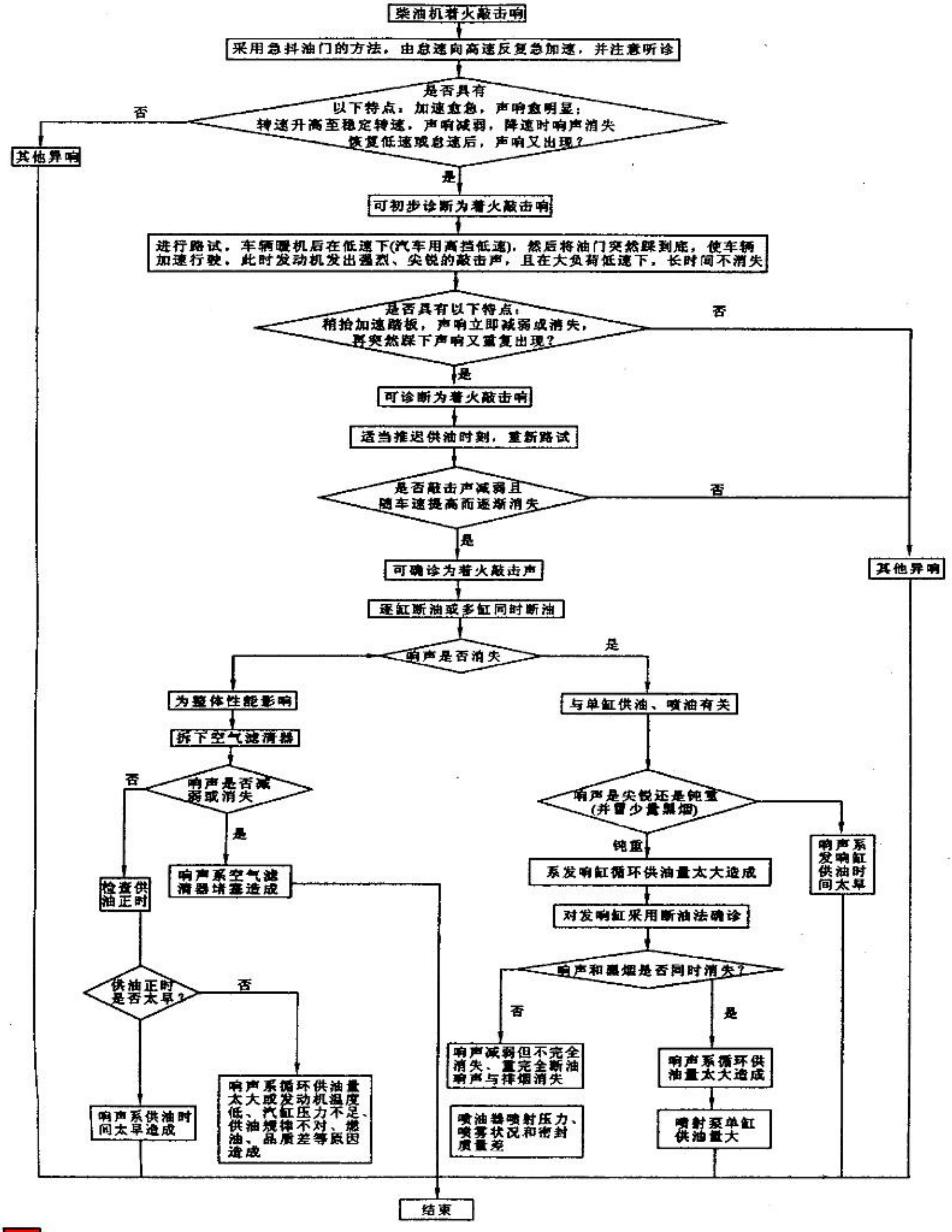

图 6－7－12　柴油机着火敲击声的故障分析推理

- 柴油机噪声
  - 直接辐射
    - 进气噪声
    - 排气噪声
    - 风扇噪声
    - 燃烧噪声
  - 表面辐射
    - 机械噪声
      - 活塞敲缸噪声
      - 配气机构噪声
      - 供油系噪声
      - 齿轮噪声

（一）进气噪声

这是由进气门的周期性开、启、进气气流的压力起伏变化而形成的。进气噪声的大小，与柴油机的进气方式、进气门结构、汽缸直径、配气机构凸轮线型及柴油机使用情况等因素有关。对同一台柴油机来说，转速影响最大，由图 6－7－13 可见，转速提高一倍，噪声级增加 13～14dB（A），而柴油机负荷变化对进气噪声的影响较小（见图 6－7－14）。

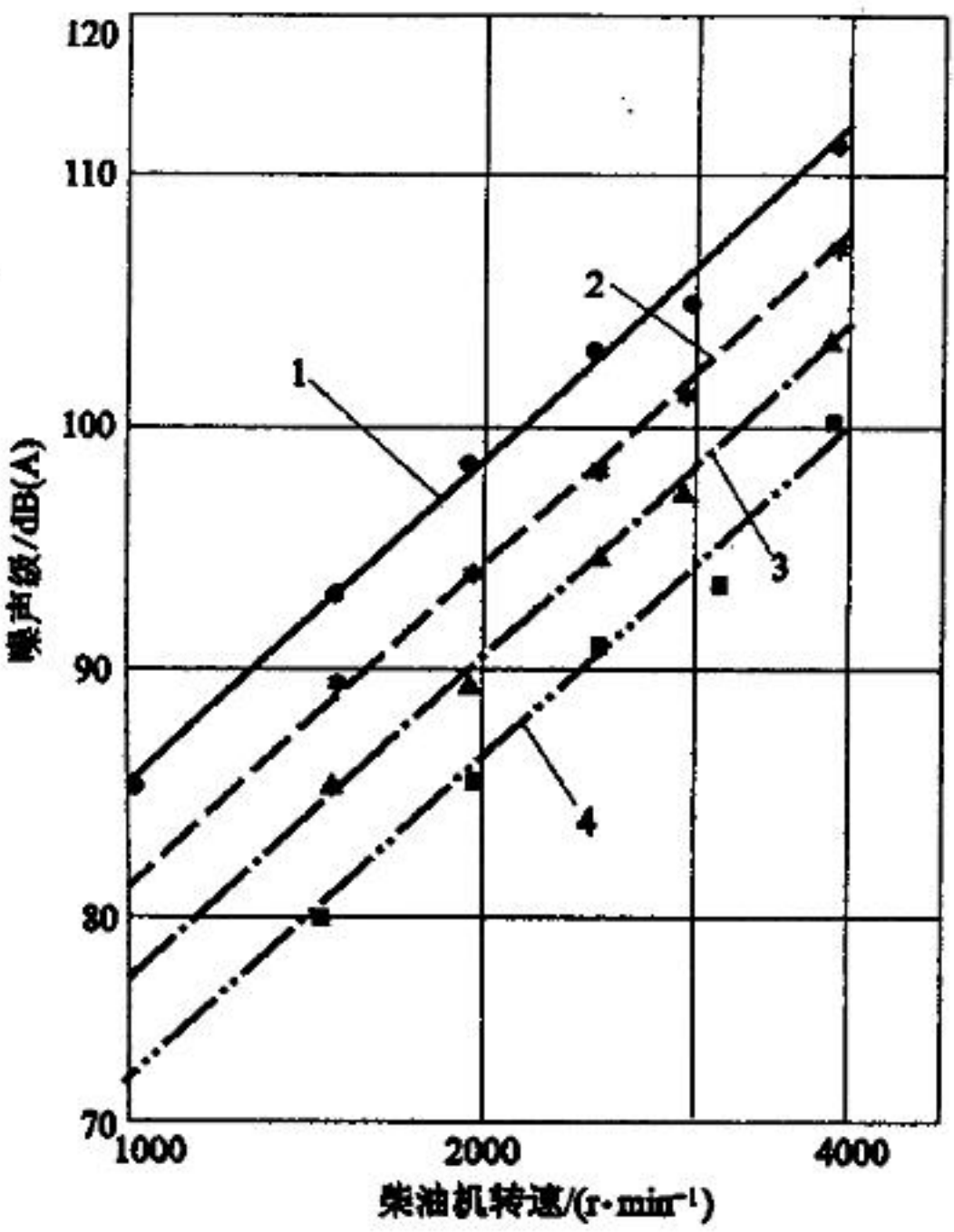

图 6－7－13　进气噪声与转速关系

1－不带进气歧管；2－带进气歧管；3－有小容积进气消声器；4－有大容积进气消声器

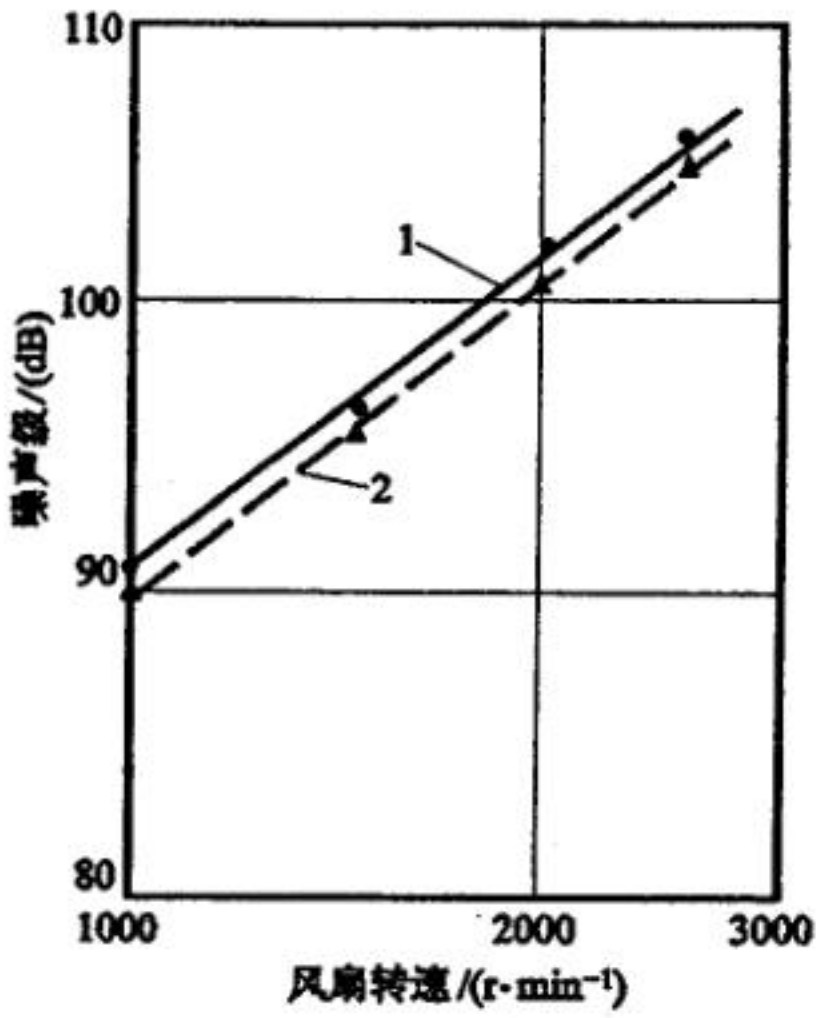

图 6－7－14　进气噪声与负荷关系

1－负荷增大后；2－负荷增大前

（二）排气噪声

排气噪声是排气门开启时，较高压力和温度的废气急速从汽缸排出，使排气门附近的气体压力发生剧变，产生压力波，以及高速气流在消声器内形成剧烈的湍流和旋涡而形成冲击波，它们分别作用在各自的壳体壁面上而产生的。同时，从排气管排出的废气，其温度和压力都高于外界大气，使周围的空气受到压缩并形成强大的脉动声波——释放噪声。

影响柴油机排气噪声的主要因素有：汽缸压力、排气门直径、柴油机排量以及排气门开启特性等。对同一柴油机来说，其排气噪声受转速和负荷影响最大。由图 6－7－15 可见，柴油机转速提高一倍时，其排气噪声增加 12～14dB（A）；同一转速下全负荷时的噪声明显增加。

（三）风扇噪声

风扇噪声是风扇叶片旋转时切割空气而引起空气振动、空气涡流等形成的。风扇噪声除空气动力噪声外，还包括一些机械噪声。风扇噪声与风扇叶片的形状、结构、安装情况及转速等因素有关。例如，当风扇转速提高一倍时，其噪声级增加 11～17dB（A），如图 6－7－16 所示。

（四）燃烧噪声

柴油机的燃烧噪声主要是在速燃期中由于汽缸内的气体压力急速增加，致使柴油机各部件振动而引起的，具体分析见（五）着火敲击声。

（五）活塞敲缸噪声

前已述及，活塞敲缸噪声是由于活塞与汽缸壁之间的配合间隙过大，以及作用在活塞上的气体压力、惯性力和摩擦力的周期性方向变化，使作用在活塞的测向力在上、下止点处改变方向，造成活塞撞击汽缸壁而形成的。因此，活塞与汽缸壁的间隙越大、柴油机转速越高，则活塞敲击噪声越大。

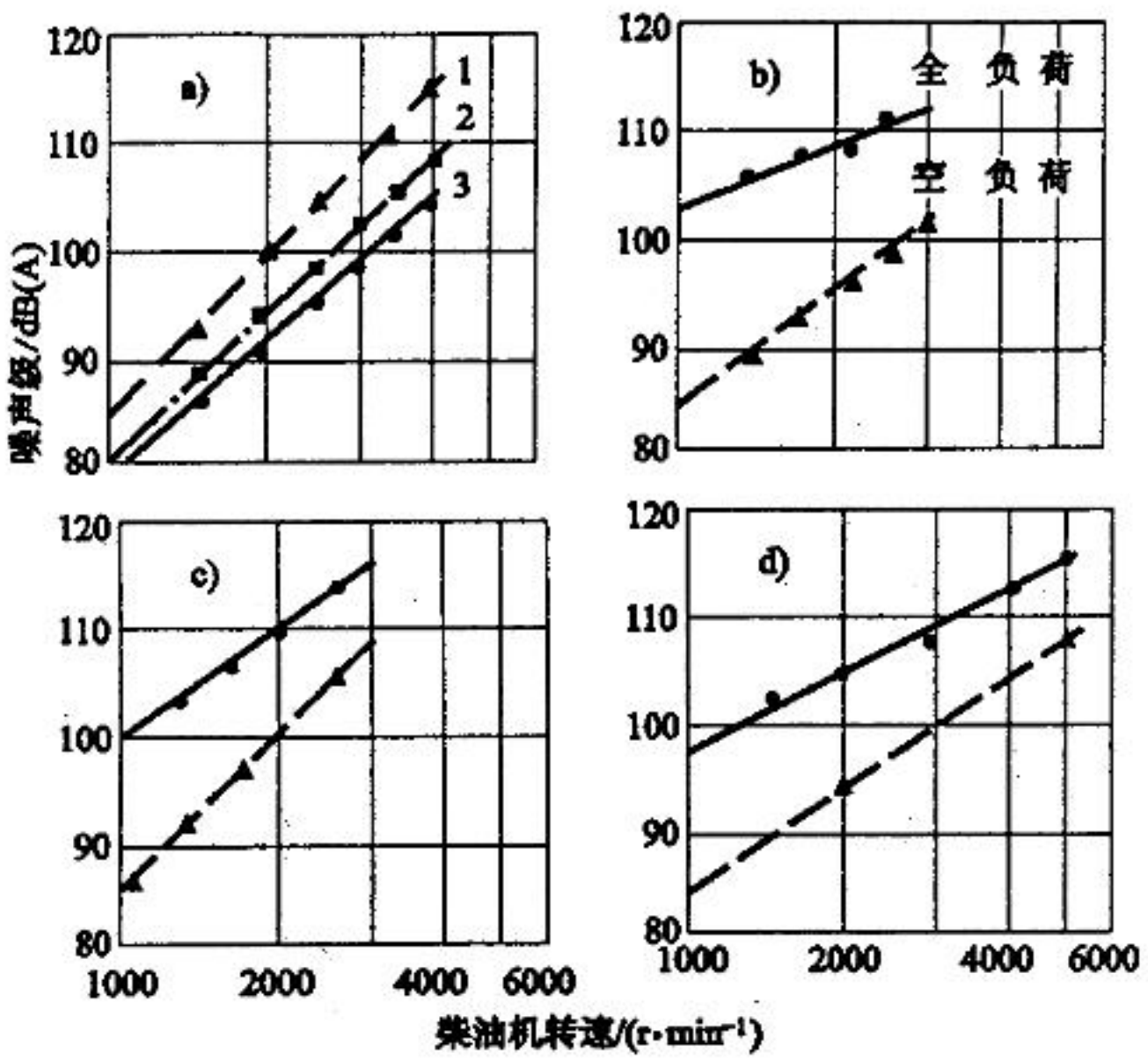

图 6－7－15　柴油机转速、负荷对排气噪声的影响

（a）2 升、四缸分隔形燃烧室柴油机，（b）1 升、V 八缸直喷式柴油机；

（c）8.2 升、六缸直喷式柴油机；（d）2 升、4 升汽油机

1－无排气歧管；2－有捧气歧管；3－带排气系统

（六）配气机构噪声

除正时齿轮噪声外，配气机构噪声主要是指气门开启和关闭时的撞击响声，即气门开启时摇臂撞击其杆身末端、关闭时气门头撞击在气门座上，发出“嗒、嗒、嗒”的声音。这种配气机构噪声与气门运动速度（柴油机转速）成正比（见图 6－7－17）。

（七）齿轮噪声

柴油机正对齿轮在传动过程中齿与齿之间的摩擦和撞击，使齿轮结构产生振动而发出噪声。它与齿轮结构、加工和安装精度、材料性质、正时齿轮室结构及柴油机工况等因素有关。

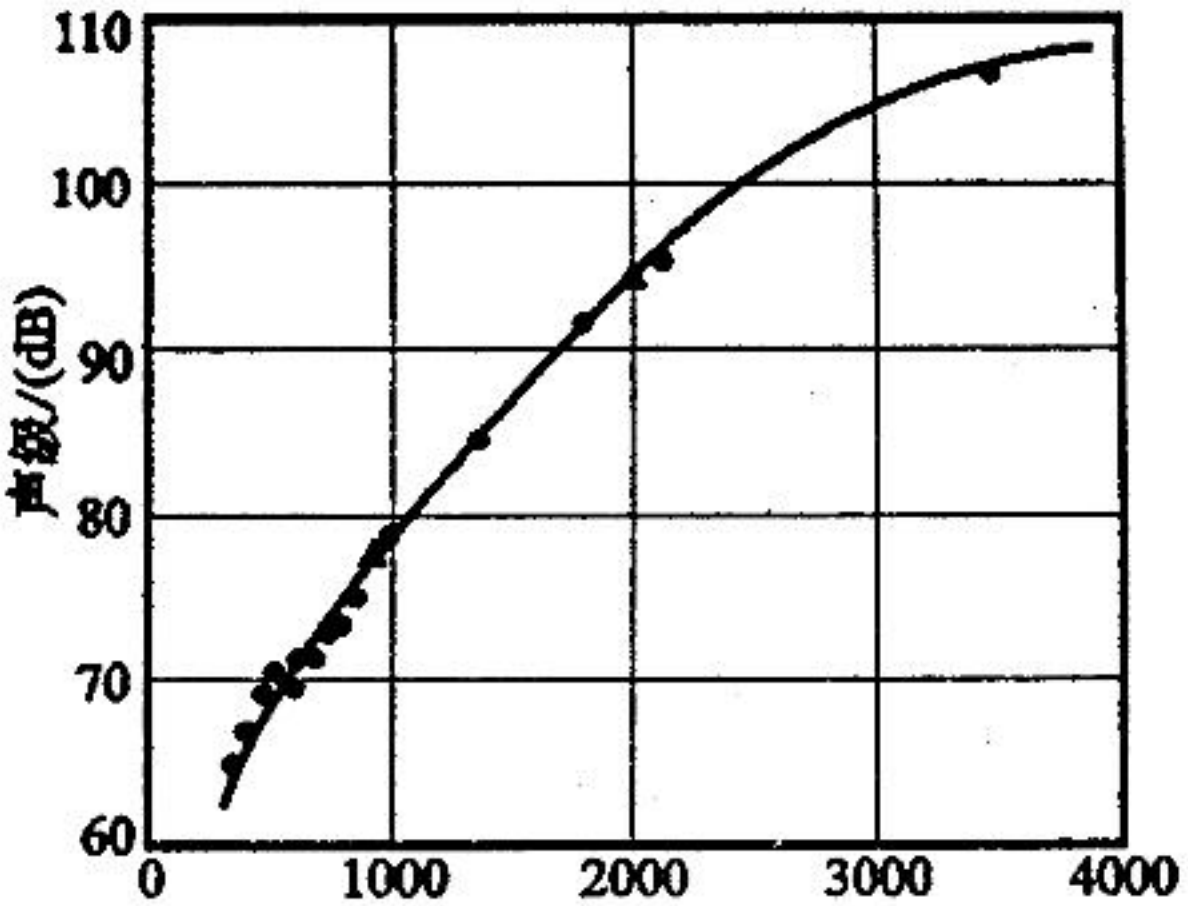

图 6－7－16　风扇转速时其噪声的影响

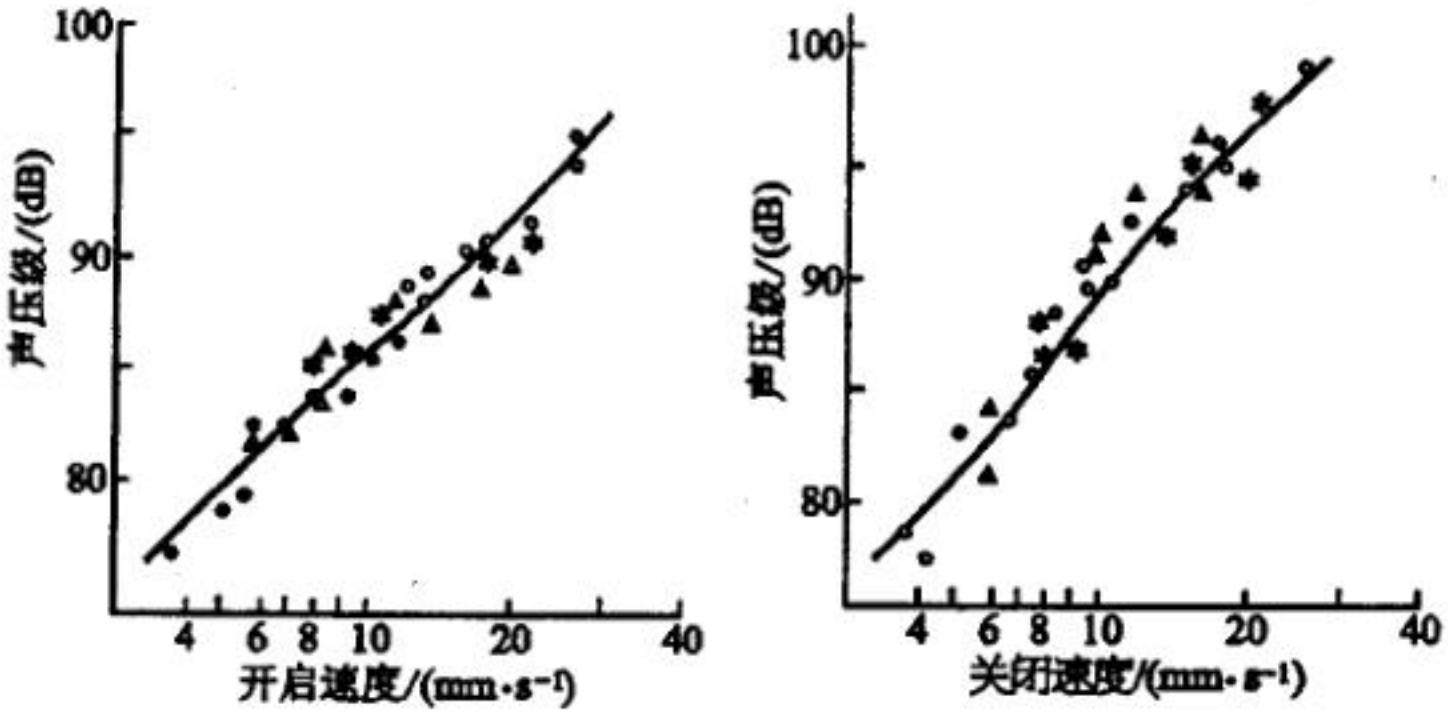

图 6－7－17　气门开闭噪声与气门运动速度的关系

二、噪声的危害

噪声对人的影响是一个很复杂的问题，不仅与噪声性质有关，而且还与每个人的生理状态以及社会生活等多方面的因素有关。研究表明，噪声级越高，对人的危害越大，即便噪声级较低，如小于 80dB（A）的噪声，虽然不致于直接危害人的身心健康，但会影响和干扰人们的正常活动。

（一）噪声会导致耳聋

噪声对人最直接的危害是对听觉器官的损伤。噪声对听力的影响与噪声的强度、频率及作用的时间有关，噪声强度越大、频率越高、作用时间越长，危害就越大。噪声对

听力的影响结果，轻者可引起暂时性听阈偏移，重者可产生噪声性听力损伤乃至耳聋。所谓暂时性听阈偏移，是在强烈的噪声作用下，听觉皮质层器官的毛细胞受到暂时性的伤害，引起听阈级的暂时性的偏移。离开噪声环境到比较安静的地方，经过一段时间仍会恢复到原来的听阈状态。恢复时间的长短，随噪声的声级而异。对于低声级噪声，恢复时间只需要几分钟；对于高声级噪声，则往往需要两三个星期。听阈偏移决定于噪声波、噪声特性、暴露时间以及各人对噪声的敏感性。听觉敏感最大改变率在 3000～6000Hz 范围内，低于或高于这一范围的频率改变得稍少一些。试验表明，强噪声环境下工作人员听阈最明显的偏移是在 4000Hz 左右。

长期处于噪声环境下的人，其听觉器官的暂时性听阈偏移可以转变为永久性听阈偏移，再也不能恢复正常的听阈能力，此时则称为听力损失。通常以 500、1000、2000Hz 三个频率的平均听力损失超过 25dB（A）时，就认为是噪声性耳聋，它影响人的工作能力和活动能力。据统计，在不同噪声级下长期工作，其后果见表 6－7－1 由表可见，80dB（A）以下的噪声，不至于引起噪声性耳聋，但大于 95dB（A）的噪声，后果就比较严重了。

表 6－7－1 工作 40 年后噪声性耳聋发病率

噪声级/dB（A）	国际统计 ISO/%	美国统计/%
80	0	0
85	10	8
90	21	18
95	29	28
100	41	40

噪声性耳聋通常按听力损失的分贝数分级：小于 25dB 的属于正常状况；大于 25dB 的为轻度噪声性耳聋，听轻声谈话略有障碍；在 40～45dB 之间的为中度噪声性耳聋，听正常谈话、收音机等均有困难；在 50～70dB 之间的属高度噪声性听力损伤，大声讲话也听不清楚；大于 70dB 的为重度噪声性耳聋，已听不到谈话声音。另外，特别高的噪声级还会引起人耳的外伤。例如，高于 130dB 的噪声不仅使人的听阈偏移不能恢复，甚至使耳膜击穿而出血，使耳朵完全失去听觉能力。

（二）噪声能引起某些疾病

强烈的噪声对人的生理刺激，是诱发某些疾病的一个重要原因。除了特别强烈的噪声能引起神精失常、休克乃至危及生命外，由噪声诱发的疾病主要表现在神经、心脏、消化系统等会产生一系列不良反应。对神经系统的影响主要表现为头晕、头胀、头痛、失眠、神经过敏、惊慌、记忆力下降、注意力不集中等；对心脏系统的影响主要表现为心跳过速、高血压、冠心病等；对消化系统的影响主要表现在消化不良、闻声呕吐等方面。

（三）噪声干扰谈话和通话

通常，人们正常谈话时的强度为 60～70dB。若环境噪声高于谈话时，谈话就要被干扰，以致于听不清对方谈话的内容。同样，打电话时的环境噪声在 60dB 时可以听清楚对方说话的内容。环境噪声超过 70dB 时就无法使用电话。不同环境噪声对人们谈话、通话的干扰程度，见表 6－7－2。由表可见，在讲课、开会、听广播、看电视等与语言有关的活动中，45dB 以下的环境噪声对人的影响很小，而超过 65dB 时干扰就比较严重了。

表 6－7－2　噪声对谈话、通话的干扰程度

噪声级/dB（A）	能正常交谈的最大距离/m	电话通话质量
45	10	很好
55	3.5	好
65	1.2	较困难
75	0.3	困难
85	0.1	不可能

（四）噪声对工作的影响

噪声对工作的影响是一个心理声学问题。在噪声影响下，人们不容易集中注意力去工作，尤其对于脑力劳动者，常常由于噪声打断思路、反应迟钝，因而大大降低工作效率。对于某些要求注意力高度集中的工作，噪声不仅影响工作进度，而且降低工作质量，容易出现差错和引发事故。

噪声对工作的影响是广泛而复杂的，其影响的方面很多，要想以一定指数或经济方法评估噪声对工作影响的程度，则比较困难。

（五）噪声对人们正常生活的影响

人们的正常生活（社交活动、休息、睡眠等）需要一个比较安静的环境，但城市中各种噪声混杂在一起，并达到相当高的数值。例如，调查资料表明，我国 47 个城市的白天平均噪声级为 59dB（A）、夜间的为 49dB（A），三分之二的城市人口生活在较高的噪声环境中，三分之一的城市人口受到环境噪声的严重干扰，他们的正常生活受到严重影响。

三、柴油机噪声的检测

（一）噪声控制标准

为了保持人的听力，噪声容许标准不应超过 90dB（A），这是目前国际上比较一致的认识，许多国家在这一方面的标准列于表 6－7－3。

表 6－7－3　部分国家的听力保护容许标准

国别	稳态噪声声压级/dB（A）	暴露时间/h	最高限度/dB（A）	脉冲声声压级峰值/dB	减半率/dB（A）
中国	90	8	–	–	–
德国	90	8	–	–	–
法国	90	40	–	–	–
英国	90	8	135	150	3
美国	90	8	115	140	5
加拿大	90	8	115	140	5

（二）噪声检测仪（声级计）的结构与工作原理

声级计是用来检测柴油机噪声最常用的仪器，它由话筒、听觉修正线路（网络）、放大器、指示仪表和校准装置等组成。检测噪声时听觉修正线路可根据工作需要（被测声音的频率范围）选择适当的修正（计权）网络，测得与人耳感觉相适应的噪声值。常用的声级计有三类：普通声级计，如国产 ND－2 型、ST－1 型，丹麦 BK－2206 型，日本 NA－09 型等；精密声级计，如国产 DSY－25 型、丹麦 BK－2203 型、日本 NA－56 型等；脉冲噪声精密声级计，如丹麦 BK－2209 型、日本 NA－57 型等。交流式声级计见图 6－7－18，直流式声级计如图 6－7－19 所示。

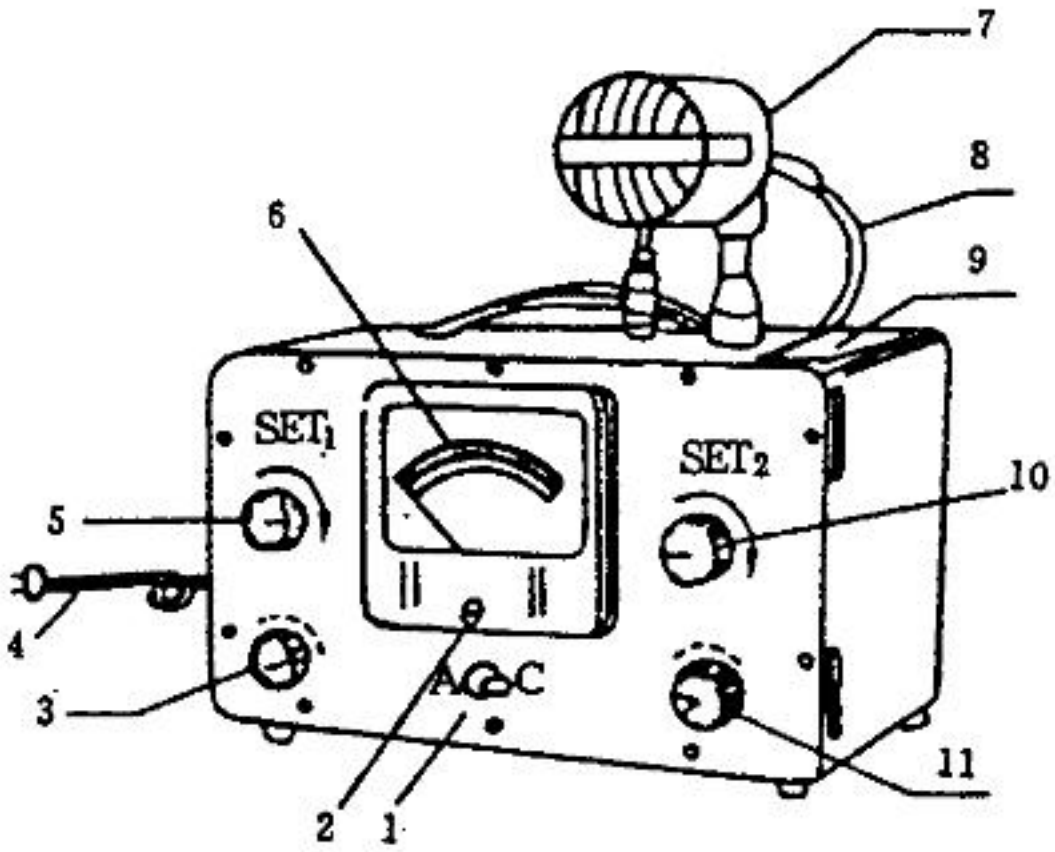

图 6－7－18　交流式声级计

1－网络开关；2－零点调整螺钉；3－电源电压控制旋钮；4－电源线；5－电压调整旋钮；6－指示仪表；7－话筒；8－话筒线；9－话筒盒；10－放大倍数调整旋钮；11－仪表控制旋钮

声级计的结构型式虽因制造厂家不同而异，但其主要部分却大致相同，都是由压力型传感器，放大器、计权网络、有效值检波电路、指示仪表等组成。

1）传声器。声级计中的传声器采用输出电压与声压成正比的压力型传声器。电压的激发形式很多（如前所述，一般采用的有静电型、动圈型和电压型等），目前广泛采

用频率响应平直且稳定性良好的静电型传声器。

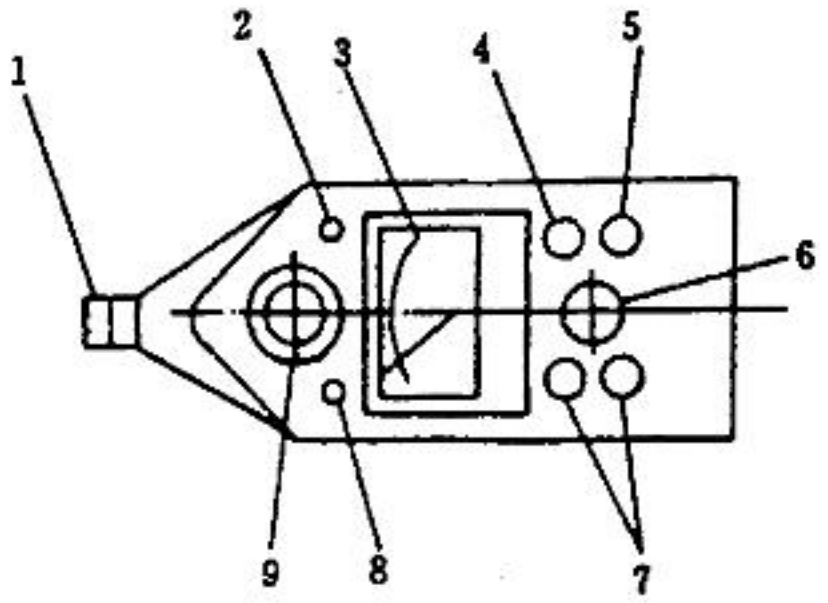

图 6－7－19　ND－2 型直读式声级计

1－话筒；2－仪表灯；3－指示仪表；4－放大器输出插口；5－指示灯；6－控制按钮；7－外接滤波器插口；8－灵敏度调整旋钮；9－网络旋钮

静电型传声器又称电容传声器，其结构如图 6－7－20 所示。当膜片受声压作用而振动时，膜片与后极板的距离会发生变化，进而引起电容量的变化，使膜片与后极板之间产生一输出电压。

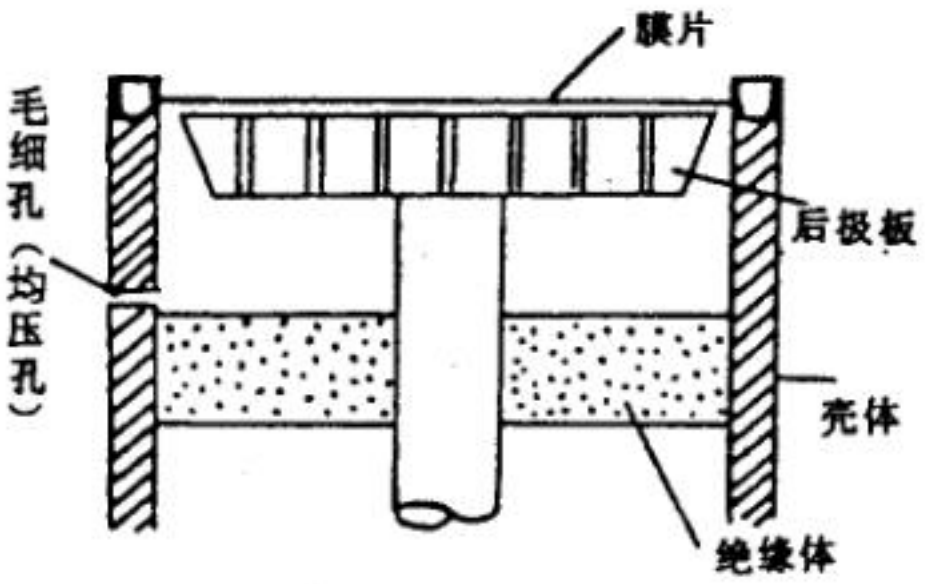

图 6－7－20　电容传声器

动圈传声器的结构如图 6－7－21 所示，它是在膜片上设置一个位于圆柱体强磁场中央的线圈。当膜片在声压作用下引起振动时，线圈在磁场中运动就会产生电动势。动圈传声器的优点是自身杂音小，不受温度、湿度的影响；缺点是频率响应特性在音频范围内不平直。因此，精密声级计不使用这种传声器。

压电型传声器，在普通声级计中时有采用。它是以锆钛酸铅陶瓷（PzT）为压电元件的传声器。另外，与电容传感器具有同样工作原理的是驻极体传声器，它由聚脂、聚四氟乙烯制成的高分子膜片，因膜片被永久磁化而保持着电荷。

传声器有指向性——声波与膜片垂直方向入射时的传声器灵敏度和从一定角度方向入射时的传声器灵敏度的比值变化情况。指向性由传声器的直径尺寸与声音波长的关系所引起，一般在 500Hz 以下的频率范围内无指向性，而在 4～8kHz 的频率范围、入射角

0～90°时，普通级声级计有 +15～ -15dB 范围的指向性，精密声级计有 +1～ -6dB 范围的指向性。

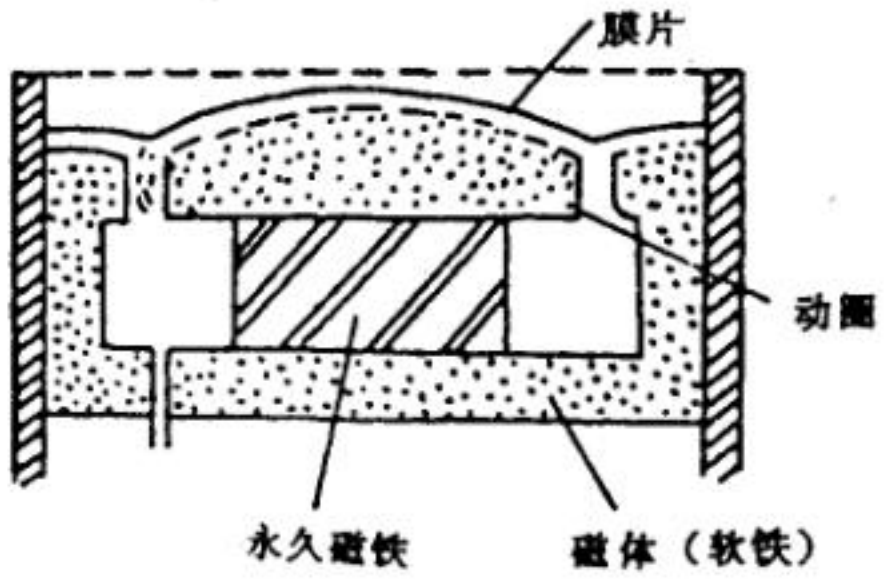

图 6-7-21　动圈传声器

2）放大器。放大器是将传声器输出的微弱电压信号放大，以满足指示仪表的需要。其结构、工作原理与一般通用的放大器相似。

3）衰减器。衰减器的作用是调整输入信号或放大器输出信号的幅度，使指示仪表上获得适当的指示值。放大器的输出级和输入级分开设置的目的，是为了按噪声级大小相应地提高信号/噪声比（S/N）。

4）计权网络。声级计与传感器、放大器所组成的检测仪，其频率特性不同处在于声级计加入了具有规格化的、与人耳听觉特性相近的计权网络。声级计内基本上部设有A、B、C三种计权网络。计权网络由电阻器和电容器组合而成，置于电路中可起到使传声器到表头的整个频率响应较为近似于听觉响应。A 挡是摸拟人耳对 40 □方纯音的响应感觉（LA），能较大地衰减低频带声间；B 挡是摸拟人耳对 70 □方纯音的响度感觉（LB），对低频带有一定的衰减；C 挡是模拟人耳对 100 □方纯音的响度感觉，可近似代表所测噪声的总声压级。A 挡测定值比较接近人耳对声音的感觉，所以常用它代表噪声的大小，国际上也统一用 A 挡计权网络进行噪声检测。计权网络的频率响应如图 6-7-22 所示。

5）检波电路。检波电路又称为有效值检波电路，它能使仪表的指示值与信号中各频率成分的声能按一定比例关系显示出来。通过这种方式，使能量相伺的两个声音叠加时，表头上的指示读数将增加 3dB。另外，为使声音随时间的变化在某种程度上与人耳的响应一致，显示电路中还附加了具有一定时间常数的 RC 电路，并规定了仪表的动态特性，即快特性（fast）和慢特性（slow）。快特性的时间常数大体上相当于 125ms。对于稳态噪声规定了约 1s 的时间常数，称为慢特性。

6）电源。声级计的电源一般采用直流电和交流电两种。小型声级计，为便于携带都采用内装电池的直流电源。

7）校准信号源。声级计在应用时必须能进行校准，有时使用活塞发声器作为标准声源，输入固定声压进行校准。若传声器的灵敏度无特别变化，则可以用标准电压校验电气系统的放大量，确定总的增益特性。在一般的声级计中均备有声级计校准用信号发生器，用于声级计的校准，见图 6-7-23。

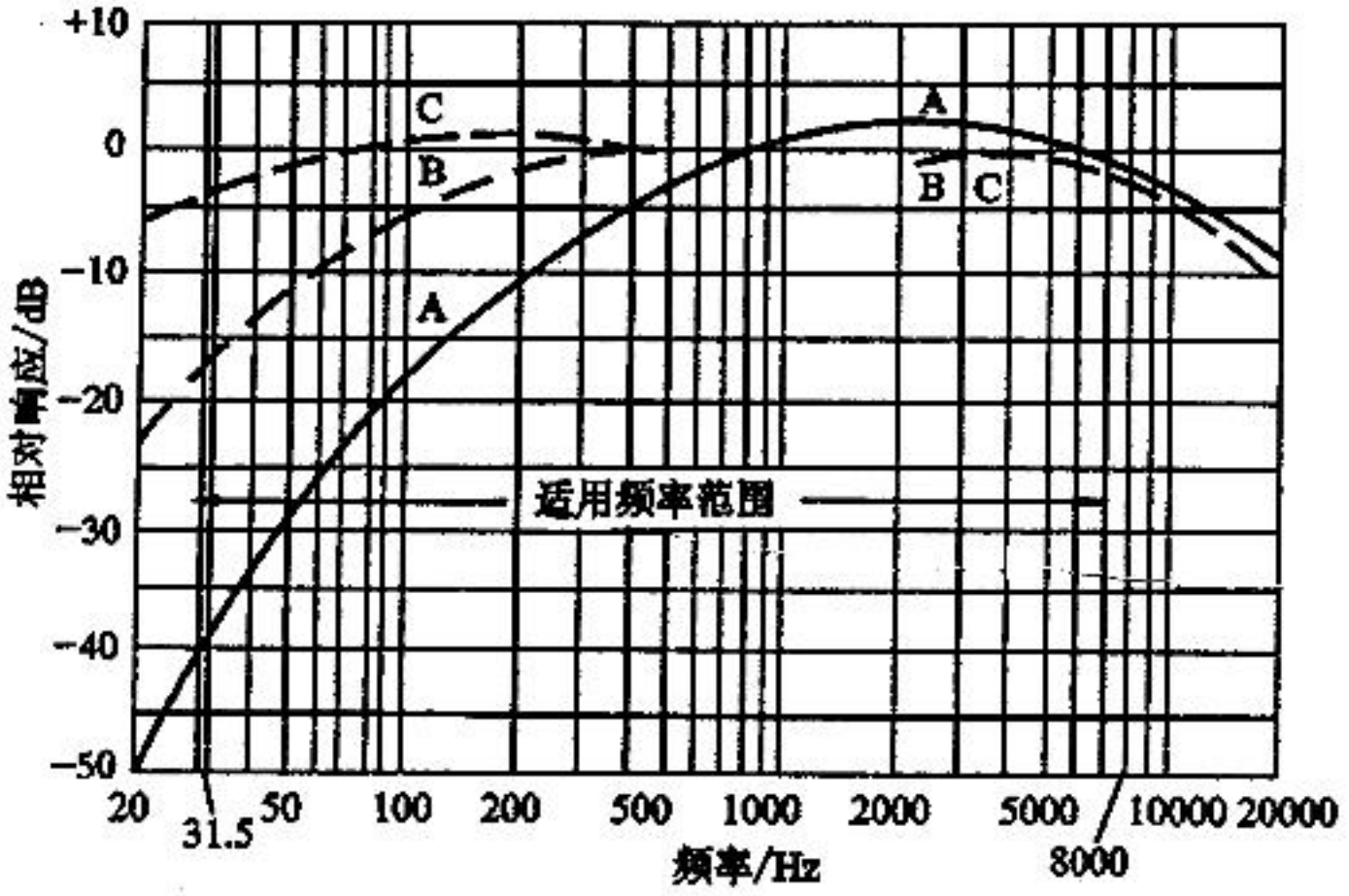

图 6－7－22　计权网络的频率响应曲线

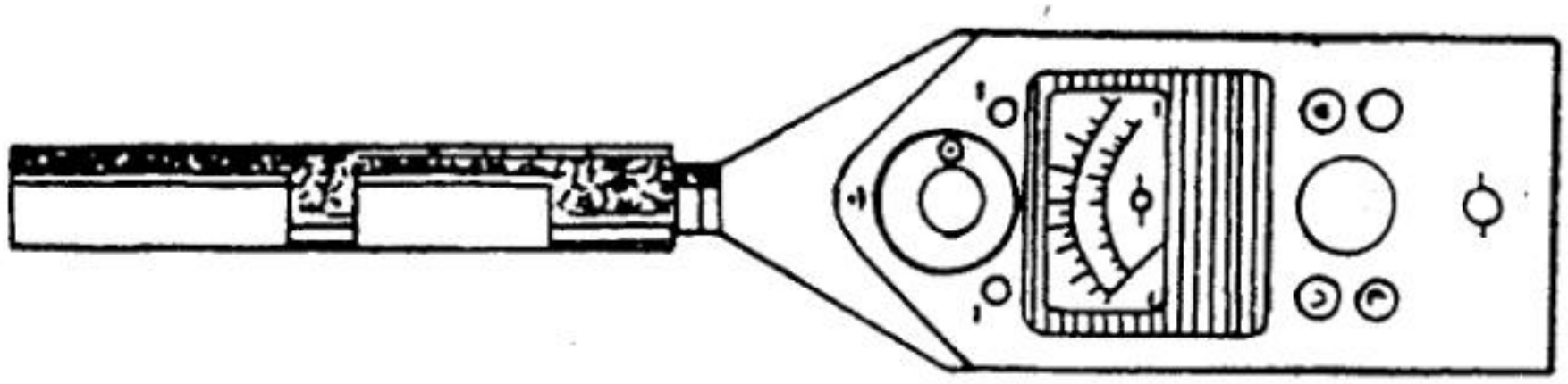

图 6－7－23　声级计校准用信号发生器

（三）声级计的使用

1）测试准备。由于声级计的品种、型号等不同，因此使用时必须根据使用说明书的要求进行如下的准备：

（1）接通电源，使声级计预热 5min 以上，检查电源电压是否符合要求。

（2）将听觉校正开关（计权挡）拨到所要测置的位置。

（3）根据对被测噪声级的估计值，预先选定量程。

（4）测定环境噪声。

2）柴油机车内噪声的测量条件。为了保证柴油机噪声测量的准确性，测量时应使工程建设机械及其柴油机符合实际使用工况。

（1）轮式工程建设机械的测量跑道应有足够测试需要的长度，并应是平直、干燥的沥青混凝土路或水泥混凝土路面。

（2）测试时自然风速应不大于 3m/s。

（3）测试时机械的门窗应关闭，车内带有的其他辅助设备是噪声源的，应按正常使用情况进行运转。

（4）车内本底噪声应比所测量车内噪声至少低 10dB（A），并保证机械在测试过程

中不被其他声源所干扰。

（5）车内除驾驶员和测试人员外，不应有其他人员。

3）柴油机车的噪声测点位置。测点位置按如下要点确定：

（1）车内噪声测试通常在人耳附近布置测点，话筒朝向机械前进方向。

（2）驾驶室内噪声测点位置按图 6－7－24 要求确定。

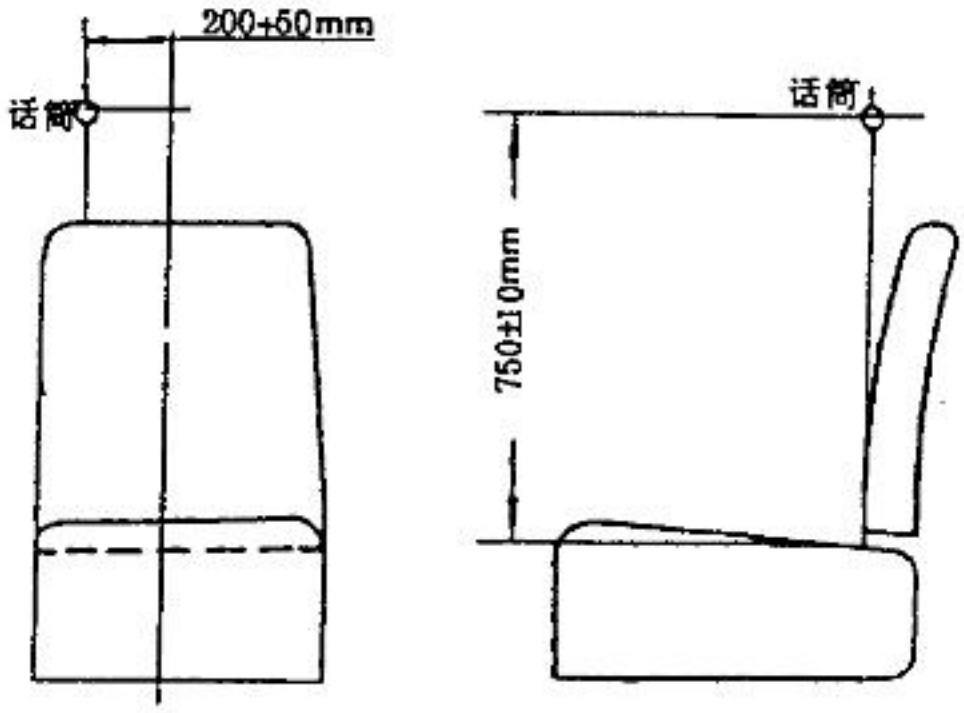

图 6－7－24　柴油机车内噪声测点位置

4）柴油机车内噪声测量方法。可按如下的方法、步骤进行柴油机车内噪声的测量：

（1）机械以常用挡位、不同车速匀速行驶，分别进行测量。

（2）用声级计“慢”挡测量 A、C 计权声级，分别读取表头指针最大读数的平均值。

（3）进行柴油机车内噪声频谱分析时应按中心频率为 31.5、63、125、250、500、1000、2000、4000、8000Hz 的信频带，依次测量各中心频率下的噪声级。

第七篇

工程机械电气设备故障原因分析、诊断与排除

第一章　概　述

第一节　工程机械电气设备的组成

电气设备是工程机械的主要组成部分，它主要由24V电压的电源（蓄电池、发电机级调节器）、用电设备（如启动机、灯光、信号等）以及电气控制装置等组成，舅图7－1－1所示。

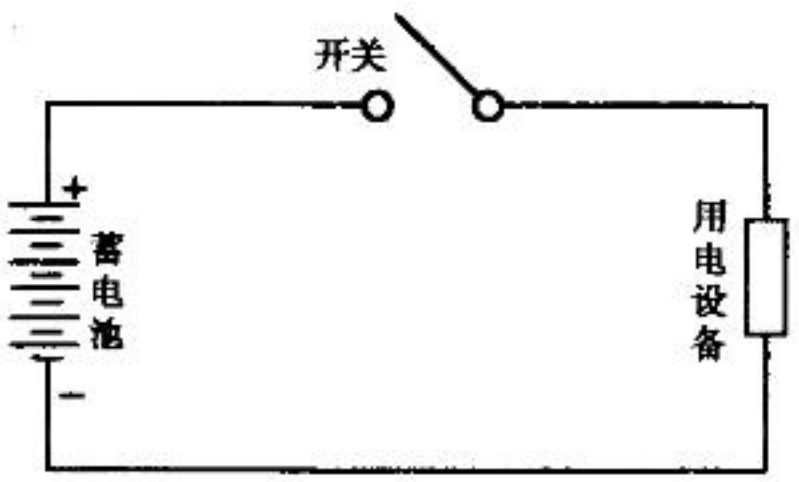

图7－1－1　基本电路图

电源是为工程机械提供电能的能源。在工程机械上一般有两套电源设备，即蓄电池和发电机及调节器。

蓄电池为第一电源设备，它是在发动机不工作时，为工程机械的用电设备提供能源。其特点是能供给较大的电流，如启动发动机时，启动机所需的电能就是由蓄电池来提供的。发电机为第二电源设备，它是在发动机启动后，才能产生电能，除向用电设备提供电能外，还将我余的电能充入蓄电池，以补充启动发动机时的用电消耗。同时，以储备以后再用。

用电设备是一个能量转换装置，即将电能转换成其他能的形式，以满足工程机械工作时的需要。例如，灯就是将电能转换成热能产生光效应；启动机、电磁阀等，是电能通过电磁效应转换成机械能，以执行不同的指令，完成执行机构所担负的工作。

工程机械电气设备的特点是：单线制、低电压、直流电流以及并联电路。

电气设备使用过久、使用不当或维修不当，以及其他方面原因，多数会使电气设备发生故障，常表现为工作质量差，甚至不工作等。

第二节　电气设备的故障诊断方法

工程机械电气设备故障率较高，同时引起电气设备发生故障的因素也很多，但归纳起来也不外乎是电气件损坏或调整不当，电路断路或短路，电源设备损坏等。为了较准确迅速地查找出故障部位，可采用以下直观诊断法。

1. 感觉诊断法

电气设备发生故障多表现为发热异常，有时还冒烟、产生火花；线圈烧毁其漆包线变成紫色；有时发出焦糊臭味；工程机械工况突变。这些现象通过人的眼看、耳听、手摸或鼻子闻，就可直观地发现故障所在部位。

2. 试灯检查法或刮火检查法

试灯检查法或刮火检查法，是用来检查电路的断路故障。

（1）试灯检查法　试灯检查法是指用一试灯检查某电路的断路情况，如图 7－1－2 所示。用试灯的一根导线搭铁，另一根导线搭接电源接点，若试灯亮，表示由此至电源线路良好，否则表明由此至电源断路。

图 7－1－2　试灯检查法

（2）刮火检查法　刮火检查法与试灯检查法基本相同，即将某电路的怀疑接点用导线与搭铁处刮碰，若有火花出现，表明由此至电源线路良好，否则表明由此至电源断路。

用刮火的方法检查电器绕组（电动刮水器定子绕组）好坏时，使绕组一端搭铁，另一端与电极刮火，根据火花的强烈程度和颜色来判断故障。若刮火时出现强烈的火花，多数是电器绕组匝间严重短路；若刮火时无火花，表明电器绕组匝间断路；若刮火时出现蓝色小火花，表示电器绕组良好。

3. 置换法

置换法是指拆下怀疑的电器件，换用相同规格型号好的电器件。若原来故障现象消除，表明原电器件损坏。否则，说明原电器件无故障。这种方法简单易行，对维修技术低的人员来说，可操作性好。

4. 仪表检查法

仪表检查法是指通过仪表测量被检查对象的电阻或电压等，为分析故障提供了依据。利用这种方法诊断故障，也叫仪表诊断法。例如，用万用表检查交流发电机激磁电路的电阻值是否符合技术要求，若被查对象电阻值大于技术文件规定，说明激磁电路接触不良；若被测电路电阻值小于技术文件规定值，说明发电机的电磁绕组有短路故障。

此外，还可通过测量某电气设备的电压或电压降来判断故障。

采用这种方法诊断故障，应首先了解被测电器件的技术文件规定值，然后再测得当前值与技术文件规定的标准值进行比较，即可查明故障。

5. 短路试验法

短路试验法是指用一根良好的导线，由电源直接与用电设备进行短接以取代原导线，如果用电设备工作正常，说明原来线路连接不好，应再继续检查电路中串接的关联件，如开关、熔断器或继电器等。

6. 拆线试验法

拆线试验法是将导线拆下来，以判断电路中的短路搭铁故障，即将某系统的导线从接线点拆下，若搭铁现象消除，表明此段线路有搭铁。

7. 熔断器故障诊断法

工程机械上各用电设备均应串接熔断器，若某熔断器常被烧断，说明此用电设备多半是有搭铁故障。

查找电路故障有顺查法和逆查法两种。所谓顺查法是指查找电路故障时，由电源至用电设备逐段检查的方法，这种检查方法称为顺查法。所谓逆查法是指查找电路故障时，由用电设备至电源逐段检查的方法，这种检查方法称为逆查法。

8. 利用电的特性来诊断故障

检查电气设备的电磁线圈是否断路，有时不必拆开电气设备，可接通被检查对象的电源，然后用螺丝刀在电磁线圈的支持部分的周围，看是否对螺丝刀有吸力感觉，如果有吸力感觉，说明此电磁线圈没有断路。如果采用这种方法诊断有较丰富的经验时，还可根据吸力的大小来判断电磁线圈损坏的程度。

第二章　工程机械电源设备故障

第一节　蓄电池故障

一、概　述

蓄电池是工程机械上的电源设备之一，它除向用电设备提供电能外，还能存储发电机发出的多余电能。它主要由蓄电池壳、正负极板、隔板、连接铅条、正负极柱和电解液等组成。其工作原理是通过电解液与极板进行化学反应来实现充电放电。

过去蓄电池壳采用硬质橡胶为原材料，随着科学技术的发展，新型的塑料壳免维护铅蓄电池不断涌人市场，由于它具有结构、工艺、材料的新颖性，同时故障率与传统的硬质橡胶壳铅蓄电池相比很小，所以应用较为广泛。但是，由于传统的硬质橡胶壳铅蓄电池使用时间很早，在社会上流传仍较为广泛，所以本书中介绍的多为硬质橡胶壳铅蓄电池（以下简称铅蓄电池）故障。

铅蓄电池的技术状况好坏，对工程机械的用电设备工作可靠性影响很大。如果铅蓄电池发生故障，会使用电设备工作质量下降。铅蓄电池常见故障有外部故障和内部故障。铅蓄电池外部故障系指壳体或盖板裂纹、封口胶干裂、极柱松动或腐蚀等；内部有极板硫化、活性物质脱落、极板短路、自行放电、极板拱曲等故障。

二、铅蓄电池壳体破裂

1. 现象

铅蓄电池壳体破裂是指其外壳、盖板或隔壁等破裂。其表现为电解液渗漏或有明显的裂纹。

2. 原因分析

传统的硬质橡胶壳铅蓄电池的外壳是采用硬质橡胶制成的，其弹性较差，当作用在壳体上的外力大于其机械强度时，易使外壳破裂。

作用在蓄电池外壳上的外力来源有：

（1）搬运不当　搬运蓄电池时，不慎将蓄电池掉在地上或猛放等，均会产生冲击力，使壳体破裂。

（2）安装不当　安装蓄电池时固定过紧，易形成机械性外力将壳体夹破；若固定不牢，则工程机械作业或在不平的道路上行驶时，因强烈振动使蓄电池外壳破裂，或与周

围的坚硬凸起物接触摩擦而破漏。

（3）冻胀　蓄电池内电解液比重过低时，严寒季节会因冻结而产生膨胀力将壳体胀裂。

（4）蓄电池加液螺塞气孔堵塞　加液螺塞气孔堵塞时，电解液产生的气体不能排出，使壳体产生压力。当压力过大或遇高温而使气体膨胀；易将壳体爆破。

（5）封口材料老化　蓄电池上部盖板与外壳之间缝隙处是用沥青为封口胶来密封的，随着使用时间推移，加之温度的影响，封口材料会逐渐老化而脆裂。

3. 诊断与排除

蓄电池外壳破裂一般明显易见，如果有内隔壁等处不易发现的隐蔽裂纹，可将极板抽出并倒出电解液，将壳体擦干，然后向怀疑的空格内灌满电解液用小锤轻击，观察渗漏情况便可查明故障部位。

若蓄电池壳体隔壁破裂，应更换新品，若外表部分或盖板有裂纹在途中无更换条件时，可用万能胶水或沥青临时粘补。

三、铅蓄电池外部件不良

1. 现象

铅蓄电池外部件不良主要是指正、负极柱或连接板有虚焊、断裂、腐蚀等。其现象是用电设备工作不正常，甚至不工作。

2. 原因分析

铅蓄电池是工程机械上电的能源装置，它为工程机械的用电设备提供电能，使用电设备转换为其他形式的能，以使工程机械正常工作。输入用电设备的电能多少与铅蓄电池的技术状况有关。铅蓄电池的技术状况良好时，输入用电设备的能量就大。反之，铅蓄电池的技术状况差时，输入用电设备的能量就小，降低了用电设备工作质量，甚至用电设备不工作。例如，发动机上的启动机就是用电设备之一，是一个能量转换装置，即输入电能转换为机械能，带动发动机启动。如果输入启动机的能量减少，则输出机械能就减少，难以带动发动机启动。铅蓄电池常见故障有外部故障和内部故障，由此看来，如果蓄电池外部件有故障是引起供给用电设备电能减少的原因之一。造成蓄电池外部件不良的常见原因有：

（1）制造质量低劣　制造蓄电池时，极柱熔接不良。

（2）连接不良　导线与蓄电池接柱连接不紧使导电截面减小，接触电阻增大，当启动机工作需输出大量电流（600～1000A）时，接触不良处产生过热现象，将极柱烧坏。

（3）线卡选用不当　蓄电池的规格不同，其接柱的粗细也不同，应选用与极柱配套的接线卡。若粗极柱配用了孔径小的线卡，在强行打入时，不仅易将线卡撑坏，同时还会因击振将极柱焊接处振坏；若细极柱配用了孔径大的线卡，当强行紧缩在极柱上时不仅会使线卡椭圆而且接触不良，同时还会使线卡塑性变形过大而断裂。

（4）安装不当　蓄电池极柱多为圆锥状，安装线卡时，其内圆锥面应与极的外柱圆锥面相吻合。如果装反会造成接触不良。

（5）导线长度选用不当　如果导线长度选用过短，连接时强行拉紧连接，当行车振动时易将蓄电池极柱或线卡拉坏，使导线截面减小，甚至完全断开。

（6）维护不当　线卡与蓄电池接柱连接时，应涂抹凡士林或黄油，以免极柱氧化腐蚀而导电不良。否则，会因极柱和线卡氧化、腐蚀造成导电不良，严重时不导电。

保修时，用刃器上下刮除蓄电池极柱上的腐蚀物，使极柱形成多边形棱锥柱体，于是与接线卡接触面积减小，则导电不良。

3. 诊断与排除

（1）外观蓄电池极柱有腐蚀或烧坏故障时，应用开水冲洗后用砂布打磨，以消除腐蚀物。若有严重烧坏时，应重新熔铸。

（2）用手水平转动接线卡，若能扳转，表明线卡接触不紧，应予以紧固。

（3）若外观无发现明显的不良现象时，多数是内部有连接虚焊现象，应予以修理。

四、铅蓄电池硫化

1. 现象

铅蓄电池硫化是指蓄电池在充电不足的情况下长期放置不用，极板表面逐渐生成一层很硬的粗粒结晶的硫酸铅，充电时它难以溶解，严重影响蓄电池充放电，这种现象称为蓄电池硫化。

2. 蓄电池硫化的原因

放电后的蓄电池若不及时充电，当温度升高时，极板上一部分硫酸铅溶解于电解液中；当温度低时，硫酸铅的溶解度随温度降低而减小，部分硫酸铅再度结晶成为粗粒晶体粘附在极板上，形成硫酸铅，简称硫化。放置时间越长，温度变化次数越多，粗粒结晶层越厚，硫化越严重。

此外，电解液面高度低于极板，液面以上的部分极板与空气接触发生氧化，当工程机械工作时，由于颠簸的作用，电解液上下波动，与极板氧化部分接触也会形成粗粒晶体的硫酸铅，使极板上部硫化。

3. 硫化对蓄电池的影响

（1）硫化物对蓄电池寿命的影响　由于粗粒结晶硫酸铅有膨胀的特性，当膨胀时，会将部分活性物质从极板栅架上推出来，造成活性材料脱落，影响蓄电池寿命；粗粒结晶硫酸铅膨胀不均匀，还会使极板翘曲变形，促使隔板破裂而形成短路自行放电，使蓄电池早期损坏。

（2）影响蓄电池容量　极板上的硫酸铅的结构很紧密且坚硬，如同砖砌的墙壁上抹了一层水泥砂浆，堵塞了活性材料的空隙，阻碍了电解液的渗透，使电解液难以渗透到极板内，蓄电池化学反应不充分，同时内阻增大，则蓄电池容量减小。

4. 诊断

若用启动机启动发动机困难，怀疑蓄电池硫化。

（1）检查蓄电池电解液密度　若密度低于规定值（1.1），蓄电池硫化的可能性很大，应再用其他方法验证。

（2）用蓄电池充电的方法检查　充电时，蓄电池温度和单格电压上升过快（电压上升至2.8V较正常蓄电池快），充电时电解液过早在出现气泡等现象说明蓄电池硫化。

（3）放电检查　对被查蓄电池进行大电流放电，若测量电压下降比正常的蓄电池大，应怀疑蓄电池硫化。

（4）解体检查　抽出极板直接观察，若极板表面有白色结晶物，便是极板硫化。

5. 预防与排除

（1）预防　根据蓄电池硫化的形成机理可按以下方法进行预防。

①蓄电池应经常保持充足状态；

②电解液密度应符合要求（1.24～1.28）；

③应经常保持液面高度（高出极板10～15mm）。

（2）排除　蓄电池轻度硫化时，应进行充电放电锻炼，即反复多次快速充放电。每次充电前将原电解液倒出，灌入蒸馏水进行充电，充电时应随时检查密度上升情况。若密度上升，应再换蒸馏水，直到密度上升的不明显时为止，再将蒸馏水倒出换电解液，进行最后一次充电至规定电压即可。当蓄电池硫化严重时，应予以报废。

五、铅蓄电池自行放电

1. 现象

充足电的蓄电池，放置一定时间后，其电量会自行消失，这种现象称为自行放电。自行放电分正常性放电和故障性放电两种：每昼夜电容量下降不大于2%是正常的自行放电；当超过2%时，就是故障性的自行放电。例如，有的工程机械在行驶时还能启动发动机，停一夜后，按喇叭按钮喇叭不响，这就是故障性的自行放电。

2. 原因分析

充足电的蓄电池，其正、负极之间有一定的电动势，当两极之间构成闭合电路时，电流就会由蓄电池的正极通过电路到负极，使两极之间的电位差减小即电动势下降，消耗了电能。蓄电池两极之间的电路闭合多是内部或外部构成了闭合电路，能构成闭合电路的因素常见有：

（1）蓄电池内混入了有害的杂质，如铜、铁等，铜杂质附在负极板上与铅构成了一个小电池。铜为正极，铅为负极，电流就会由正极到负极，再经过电解液回到正极，构成闭合电路而自行放电。

（2）蓄电池表面有电解液，构成正负极柱之间电路而自行放电。

（3）用电设备放电，停机时没有关掉总开关，当用电设备有短路时便自行放电。

3. 诊断

诊断时，应先大致查明故障所在部位以缩小怀疑范围。其方法是：将蓄电池极柱上任一线卡安装或拆下时，注意观察有无火花出现，若有火花出现，表明总开关未关，同时用电设备也有短路，应进而查明用电设备电路的故障所在并对症的排除；如果安装线卡时无火花出现，表明在蓄电池内部有短路故障，应进而查明并予以排除。

（1）外部电路短路的检查　外部电路短路的检查应区分用电设备电路短路和蓄电池

外部短路。

①用电设备电路短路的检查　其方法可采用逐个用电设备拆线断路法，即将某一用电设备的电路断开，然后再用线卡刮碰极柱看是否还有火花。若有火花，表明该用电设备没有短路故障，应再用上述同样的方法检查其他用电设备，直至查明为止，并应对症排除。

②如果蓄电池表面有电解液，或其他杂质，便是引起自行放电的原因所在，应进而查明电解液漏出的原因，并予以排除。

蓄电池表面应用橡胶板覆盖，以免机械杂质落在蓄电池上造成短路。

（2）蓄电池内部有闭合电路的检查　利用向蓄电池充电方法进行诊断。由于蓄电池内部有闭合电路，具备了消耗电能的条件，故充电时与良好的蓄电池相比较，充电时间长电解液的密度增加缓慢，端电压上升也缓慢。严重时，蓄电池内没有汽泡产生。这些现象，均能表明蓄电池内有自行放电故障。

为了防止故障性自行放电，需在使用时应做到以下几点：

①经常保持蓄电池的外部清洁、干燥。

②不得添加工业硫酸或非蒸馏水配制的电解液。

③发现蓄电池放电时，应急时排除引起放电故障的隐患。

六、极板活性物质脱落

极板活性物质脱落是指涂在正极板栅架上的二氧化铅脱落，使蓄电池容量减小。蓄电池在正常充电放电工作过程中，极板膨胀和收缩随着充放电次数增加，极板上活性物质的松散程度也相应地增大，活性物质逐渐脱离极板而下落。正极板较为明显，这种活性物质脱落是缓慢的，是正常的工作能力衰退现象。这里所述的蓄电池极板活性物质脱落是指非正常的，即蓄电池的工作能力早期衰退。

1. 现象

启动机转动无力，照明灯光暗淡，严重时发动机不易发动。

2. 原因分析

多孔性活性物质是较牢固地糊在极板栅架上的，要使活性物质脱离极板栅架，须有一定破坏它们之间的粘结力，这种力是怎样产生的呢？

（1）大电流放电　低温使用启动机启动发动机时，形成大电流急性放电，极板上较密的硫酸铅层膨胀，将栅架上的活物质撑松，如此这样经常反复，极板上的活性物质便会脱落。

（2）大电流充电或过充电　有的驾驶员错误认为蓄电池充电时间越长越好。因此，将发电机调节器调整的电压高于规定电压值，这样将会使蓄电池形成大电流充电或过充电。当蓄电池大电流过充电时，产生了大量的氢气，氢气从负极板的孔隙向外逸出时，对极板孔隙造成压力而使活性物质脱落。

（3）振动的影响　蓄电池安装不牢，工程机械作业或行车时因振动使其跳动；拆装蓄电池接线时，随便敲打；或搬运时，重放引起的振动等，均会加速活性物质脱落。

3. 诊断

诊断方法主要是通过充电、放电进行确诊。

（1）充电　充电时，如果有脱落的活性物质沸腾起来，电解液呈混浊状态的现象，说明极板活性物质脱落。

（2）如果有由于活性物质脱落，蓄电池容量减少，充电终了时间短，同时还会过早沸腾的现象，证明极板活性物质脱落。

（3）放电检查　用启动机启动发动机时，启动一下就没电了，这表示蓄电池容量减小的特性之一，可能是活性物质脱落所致。

4. 预防

蓄电池自然衰老是难免的，但是如果能对蓄电池正确使用与维护，便会使蓄电池老化和损坏速度得到控制，这就要求驾驶员及维护人员在使用或维护时，应注意不要大电流充电、放电，尽量减少蓄电池的振动。

第二节　交流发电机与调节器故障

一、概　述

1. 交流发电机的构造

交流发电机主要由定子（电枢）、转子（磁场部分）、整流二极管（三相桥式全波整流器）、前后端盖、风扇及皮带轮等组成，如图 7－2－1 所示。

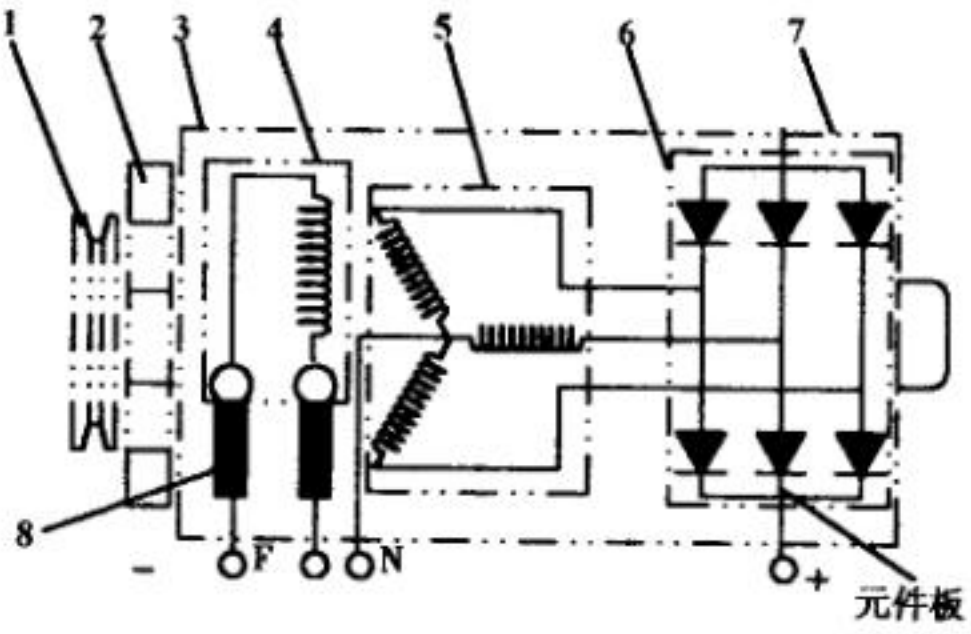

图 7－2－1　交流发电机结构示意图

1－皮带轮；2－风扇；3－前端盖；4－转子（包括磁场绕组、滑环和铁芯）；5－定子（包括电枢绕组和铁芯）；6－整流器；7－后端盖；8－电刷

2. 发电机工作原理

发电机工作原理，如图 7－2－2 所示。

当发电机工作时，发电机的激磁电流由蓄电池正极→电流表→开关→调节器→火线

接柱→触点与铁架→磁场接柱→发电机磁场接柱（F）→正电刷→滑环→磁场绕组→滑环→负电刷千搭铁→蓄电池负极，此时是靠蓄电池提供的电流向发电机激磁，即为它激磁。发电机的磁场绕组得到激磁电流产生磁场，其磁力线由转子磁爪N极径电枢铁芯（定子）回到磁爪的S极，构成了闭合磁路。当转子转动时，磁力线运动便切割了电枢线圈产生感应电动势，当与外电路勾通时，发电机便向用电设备输出电能。其电动势如式：

$$E = Cn\Phi$$

式中：E——发电机电动势；

n——发电机转数；

Φ——磁通量；

C——发电机常数（包括定子、相数和绕组匝数、转子绕组匝数、导线直径等）。

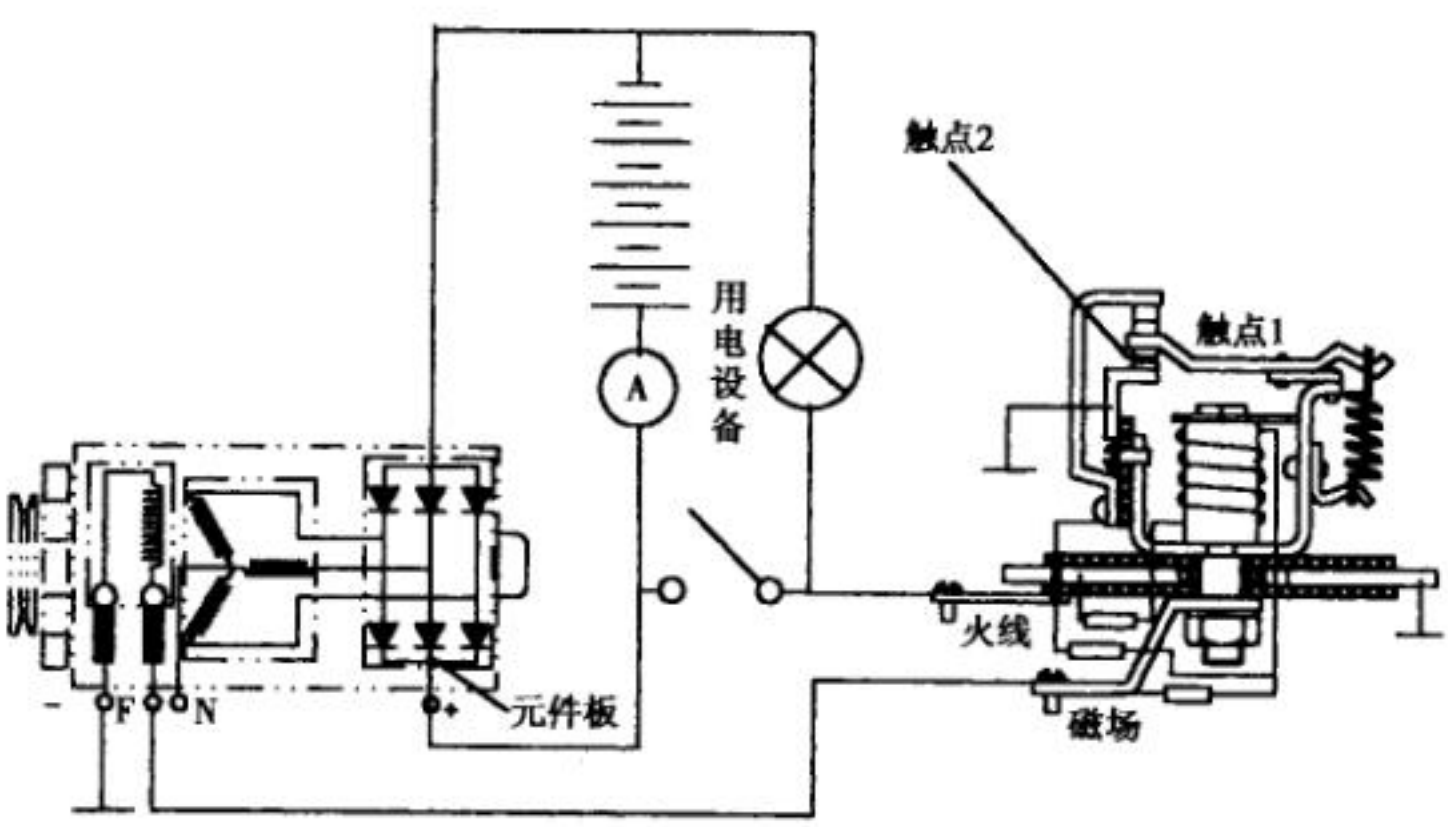

图7-2-2　发电机与调节器工作原理图

当发电机端电压高于蓄电池电压并与外电路沟通时，发电机便向用电设备输出电能，即发电机的感应电流便经硅二极管（桥式整流器）整流，变为直流电，经电枢接柱（+）向用电设备提供电能，并向蓄电池充电，以补充启动机或其他设备用电所消耗的电能，同时还经调节器为发电机的磁场绕组提供激磁电流（自激磁）。

3. 调节器工作原理

调节器可分机械触点振动式和晶体管式调节器。由于晶体管式调节器故障少，调节性能好且免维护，所以目前使用广泛。但是，机械触点振动式调节器因使用早，现在使用仍还较多，再说晶体管式调节器是在机械触点振动式调节器调节原理的基础上设计制造的，同时也为了便于理解，下面介绍机械触点振动式调节器的组成和工作原理。

调节器主要由动触点和触点臂、铁架、平衡弹簧、铁心及线圈、附加电阻等组成，如图7-2-3所示。

由于发动机转速变化幅度较大，发电机发出的电压会随发动机的转速变化而变化。发动机转速升高时，发电机的电压也会随之升高；发动机转速降低时，发电机输出的电压也随之下降。工程机械上的用电设备电压一般都是24V。如果发电机输出的电压高于

用电设备电压时，会烧坏用电设备。因此，要求发电机发出的电压稳定在一定范围内。要使发电机发出的电压稳定在一定范围内，故须设置发电机电压调节器。

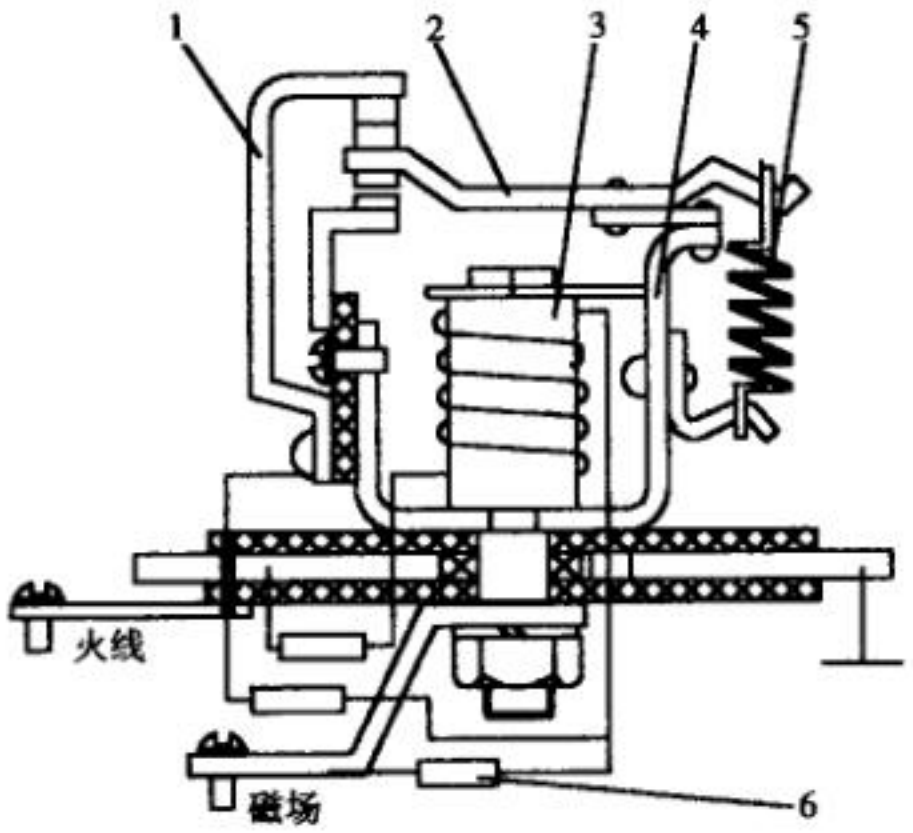

图 7－2－3　机械振动式调节器简图

1－固定触点臂；2－活动触点臂；3－铁心及线圈；4－铁架；

5－平衡弹簧；6－电阻

调节器控制发电机输出电压的基本原理是：根据发电机输出的电压是磁场强度与转速的乘积，所以通过控制发电机的激磁电流来控制发电机输出的电压。

调节器控制激磁电流的基本原理是，附加电阻与激磁电路并联，由调节器电磁线圈自动控制。发电机输出电压高时，附加电阻被串接入激磁电路中，使发电机的激磁电流减小，其端电压下降；当发电机的端电压低到一定值时，附加电阻又被隔出激磁电路，使激磁电流增大，发电机的端电压有升高，于是将发电机电压控制在额定范围内。

调节器的控制过程是：当发电机输出电压高时，建立在调节器铁芯线圈两端的电压也升高，铁心线圈吸力增强将触点臂吸下（触点断开），激磁电路便串入附加电阻，使激电流减小，则发电机端电压下降，建立在调节器铁芯线圈两端的电压也随之下降。当电压降至规定值时，调节器因铁芯线圈电压下降而吸力减小，活动触点在弹簧的作用下闭合，附加电阻又被隔出激磁电路，则激磁电流又增大，发电机电压又回升。由于调节器触点不断开闭，附加电阻时而隔出激磁电路又时而串入激磁电路，使发电机的激磁电流强度稳定在一定范围内，则发电机的端电压也就控制在额定范围内，如图 7－2－4 所示。

配用上海柴油机厂生产的 6135 型柴油发动机为动力装置的工程机械，其调节器采用的是 FT—221 型双联触点振动式调节器，其电路如图 7－2－5 所示。

工作情况：接通钥匙开关电路的同时，也接通了调节器截流继电器线圈 1 电路，线圈产生吸力，将动触点吸下触点闭合，此时，发电机的激磁电流由蓄电池的正极→电流表→调节器的电枢接柱→截流继电器触点和铁架→电压调节器的铁架和触点→磁场接柱→发电机的磁场接柱（F）→磁场绕组→“－”接柱→搭铁→蓄电池的负极，此时激磁电路闭合，发动机启动后立即松开启动按钮，这时调节器的线圈与启动机电磁开关线圈

的电路同时中断，但因发动机启动后发电机开始发电，发电机的中性为调节器的线圈2提供了电流，故截流继电器触点仍处于闭合状态使激磁电流导通。当发动机熄火后发电机不发电，调节器内的截流继电器线圈2失电而触点断开，截断了通向调节器和发电机的电流，于是起到了保护电压调节器和发电机的安全作用。

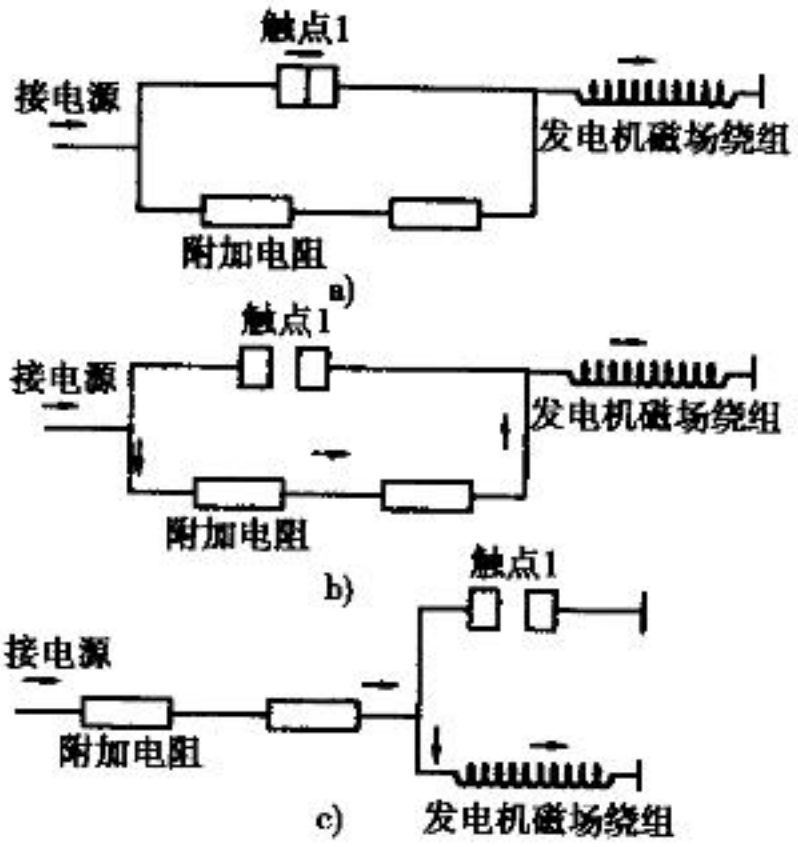

图7-2-4　调节器工作原理图

a）发电机发电时；b）发电机端电压高时；c）发电机端电压过高时

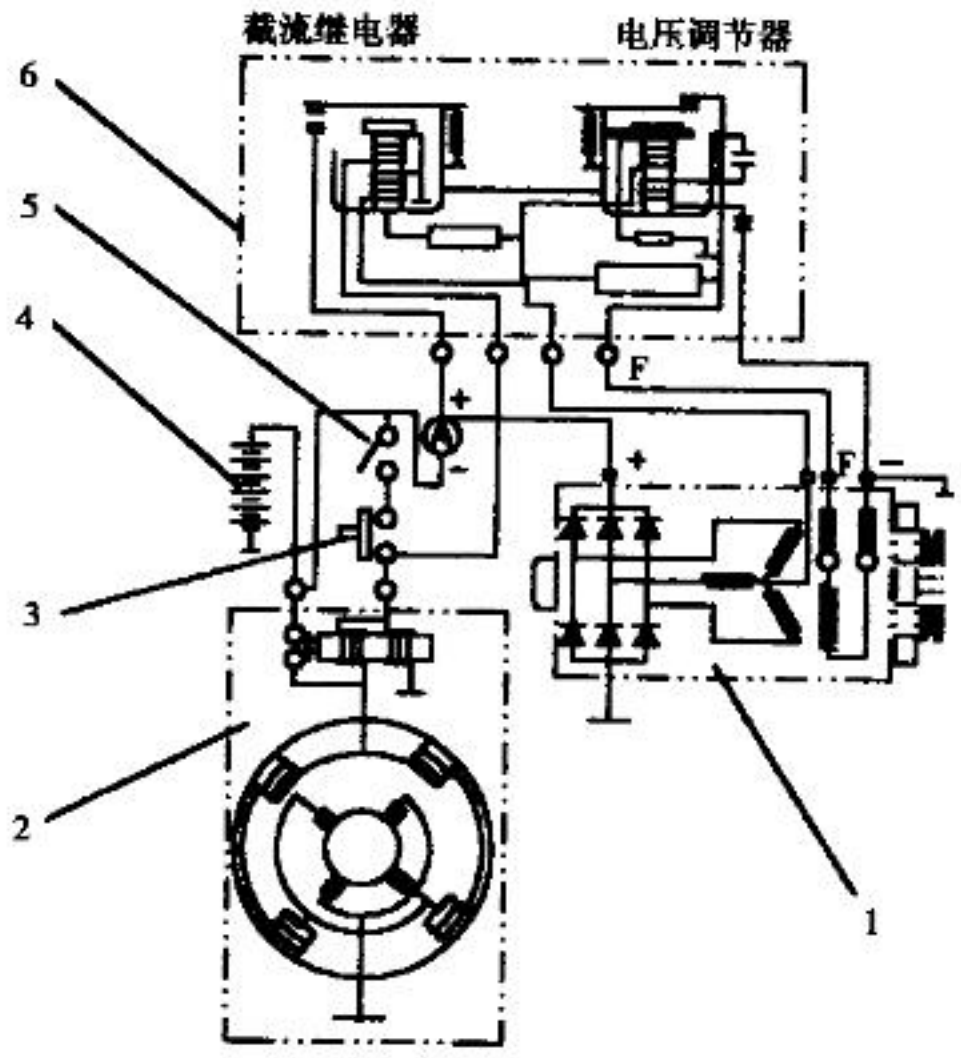

图7-2-5　启动机与充电系统电路图

1-发电机；2-启动机；3-启动按钮；4-蓄电池；

5-开关；6-调节器

由于电压调节器的构造和工作原理与前述的调节器相同，故在此对电压调节器的工作情况不再作介绍。

硅整流发电机与调节器组成了充电系统，无论发电机、调节器还是线路发生故障，其表现为充电电流过小或不充电，充电电流过大和充电电流不稳，发电机异响等。

二、充电电流过小或不充电

1. 现象

发电机启动后并提高转速，观察电流表指针指示值过小或为零，甚至蓄电池有放电现象，夜间作业时光红暗。

2. 原因分析

根据交流发电机工作原理中公式 $E = C\Phi n$ 胁可知，如果发电机转速 n、磁通量 Φ 或发电机常数 C 其中有一个减少，则感应电动势 E 减小；此外整流二极管烧坏或击穿，输出电路不良也会引起充电电流减小，甚至不充电。

进而分析，能够引起发电机转速 n 下降、磁通量 Φ 减小、发电机常数 C 减少或整流二极管损坏以及输出电路不良的原因常见有：

1）发电机转速 n 下降

发电机是由发动机皮带轮通过风扇皮带来带动。如果发动机风扇皮带过松或有油污而打滑（传动效率下降）使发电机转速 n 下降，旋转磁场的磁力线与电枢导线的切割速度变慢，感应电动势相应下降，则使充电电流减小；当风扇皮带折断或松脱时，发电机失去驱动力，其转速为零，则发电机不发电，即不充电。

2）磁通量 Φ 减小

由调节器的作用可知，发电机调节器是用来调节发电机的激磁电流，以控制发电机输出的电压。如果调节器调整不当或有故障，均会使激磁电流减小，甚至无激磁电流。如果发电机配用的是 FT—221 型双联触点振动式调节器，应考虑到此调节器内有激磁继电器和电压调节器。

（1）调节器有故障：

①激磁电路中的导线因锈蚀或连接松动引起接触不良，从而使激磁电路中的电阻增大。

②调节器触点（系指调节器内截流器和电压调节器的触点）工作面烧蚀、过脏等，造成触点接触电阻增大。

③调节器的截流器线圈短路时触点不闭合，即发电机的激磁电路中断，激磁电流为零。

（2）电压调节器调整不当：主要是指电压调节器调压弹簧的弹力和铁芯端与活动触臂的空气间隙调整不当。如果这两个调装置调整不当，会使激磁电流减小。

①平衡弹簧调整不当　发电机端电压的高低，取决于电压调节器的平衡弹簧弹力的大小。当弹簧拉力小于铁芯产生的磁力矩时，易将调节器触点吸开，故调节器触点闭合时间短，附加电阻介入激磁电路时间长，平均激磁电流减小，则输出电压低。

②气隙调整不当　调节器的铁芯上端与活动触点臂之间的空气间隙，简称为气隙，其大小对活动触点臂产生的磁力矩大小有很大影响。当气隙调整过小时，磁阻就会小，

则磁力矩大，从而使触点的断开电压降低，附加电阻介入激磁电路早，这就形成了附加电阻介入激磁电路时间长，致使激磁电路中的平均电流减小，则发电机输出电压下降，使充电电流减小。

（3）调节器中的截流继电器调整不当，对充电所造成的影响，与前述基本相同。

根据部分电路欧姆定律，电流与电阻成反比关系，又根据磁通量与激磁电流成反正关系，故发电机的磁通量随激磁电流减小，则充电电流也就相应减小。当激磁电路中的导线松脱或折断时，其电阻为无穷大，激磁电流为零，发电机不发电。

3）发电机常数 C 的减小

发电机的定子相数、各相的线圈匝数和线径，磁场绕组的匝数和线径，以及整流二极管的规格等都已是定值，如果发电机的线圈匝数减少或折断，二极管损坏等，均会使发电机充电电流减小，甚至不充电。

①发电机磁场绕组损坏　磁场绕组损坏常见的是短路和断路。前者损坏的原因多是激磁电流过大或时间过长（如停机没有切断电源或使用时间过长），发电机温度过高等，均会引起线圈之间的绝缘性能变坏而匝间短路，即磁场线圈有效匝数减小。根据磁通量 Φ 与线圈匝数成正比关系，如果磁场线圈匝数减少，其磁通量相应减小；当磁场绕组断路时，磁通量 Φ 为零。根据公式 $E = C\Phi n$，当磁通量减小时，发电机随磁通量 Φ 减小的程度充电电流也相应减小；当磁通量 Φ 为零时，发电机不发电，即不充电。

另外，发电机的电刷磨损或滑环的表面过脏，造成接触电阻过大而激磁电流减小。根据部分电路欧姆定律，电流与电阻成反比关系，又根据磁通量与激磁电流成正比关系，故发电机的磁通量随激磁电流减小，则充电电流也就需要相应减小。当激磁电路中的导线松脱或折断时，其电阻为无穷大，激磁电流为零，发电机不发电。

②定子绕组（电枢绕组）的影响　发电机工作时，由于输出电流过大，发电机温度过高或使用时间过久，线圈绝缘性能变差，易形成匝间短路，实质上是线圈匝数减少。当发电机的磁通量和转速为一定时，发电机输出电流会随电枢绕组线圈匝数减少而减少，严重时不充电。

③发电机轴承损坏或其他原因使转子与定子两轴线不重合，转子外表面与定子内表面发生刮檫（扫膛），导致发电量减小甚至不发电。

4）整流器的影响

发电机整流器是利用硅二极管单向导电特性组成桥式整流电路。它是将定子绕组产生的交流电变为直流电，供工程机械的用自设备使用。如果整流二极管被击穿（短路）或烧坏（断路）均会失去单向导电的作用，从而引起输出电流减小。随着二极管损坏数目的增加，输出电流会更小，甚至不充电。引起二极管损坏的主要原因有：

①安装蓄电池时极性接错，会使二极管烧坏。如果装错整流二极管，也同样会将二极管损坏。因为整流二极管有阴极和阳极之分，涂有黑色标记的为阴极二极管，应安装在发电机的后端盖上，涂有红色标记的为阳极二极管，应安装在元件板上。如果没有颜色标记的，应用万用表或用小灯泡试验，若外壳为阳极（P）应安装在发电机后端盖上，导线为阳极的应装在元件板上。如果修理时不慎错装，将会使发电机输出电流减小。装错越多，对发电机输出电流影响越大。

②串接电源。当工程机械启动时需借助于其他蓄电池与原车蓄电池联合启动发动机时，应采用蓄电池并联方法接线。若将蓄电池串联（会由24V变为48V）会因电压过高将二极管烧坏。

③检查二极管的好坏应用万用表或车用小灯泡检查，不得用兆欧表检查，否则会烧坏二极管。

④检查方法不当。用螺丝刀搭接发电机电枢与外壳做刮火试验来检查发电机是否发电，形成大电流回路而易将二极管烧坏。

5）发电机输出电路不良

发电机电枢接柱至电流表连接导线接头接触不良，造成输出电路接触电阻增大。当导线松脱或折断时，电阻为无穷大，也同样会使充电电流减小或不充电。

3. 诊断与排除

诊断时，可先从电流表指针指示情况或充电指示灯指示情况，以及工程机械照明灯的亮度等几方面大致确定充电系统是否有故障和故障范围。

工程机械作业时，提高发动机转速观察电流表指针指示情况。若电流表指针指示为零，表明发电机不发电；夜间作业时打开前照灯，若灯光强度随发电机转速变化很小或不变化，且电流表指针指示放电位置，或充电指示灯不熄，前者充电系统充电电流过小，后者表明不充电。

根据分析出的原因，以先易后难进而检查。

（1）观察仪表　如果提高发动机转速，电流表指针指向放电位置，这时看水温表，若水温表指示水温很高，表明风扇皮带打滑而传动损失过大或松脱。

（2）发电机工作时能听到异常响声，可能是发电机“扫膛”，应进一步检查轴承是否有损坏和轴是否弯曲等。检查电枢“扫膛”的方法如下：

拆下风扇皮带，用手拨转发电机皮带轮，若能听到发电机内有不均匀的摩擦声，且手感有阻力，再径向扳动皮带轮，若手感有松动，表明电枢有“扫膛”。如无松动感，表明“扫膛”是因轴弯曲所致，为了确诊故障，应解体观察电枢铁芯刮痕，并测量轴承松动或轴的弯曲程度，以便确诊故障。

（3）短路检查法　启动发动机并将转速控制在略高于怠速，用螺丝刀将调节器的火线接柱与磁场接柱搭接，此时观察电流表。若指针指示充电，表明故障在调节器，应进而检查调节器；若不指示充电，表明故障在发电机或激磁电路，检查电枢“扫膛”。

拆下风扇皮带，用手拨转发电机皮带轮，若能听到发电机内有不均匀的摩擦声，且手感有阻力，再径向扳动皮带轮，若手感过于松动，表明电枢有“扫膛”。如无松动感，表明“扫膛”是因轴弯曲所致，为了确诊故障，应解体观察电枢铁芯刮痕，并测量轴承松动或轴承的弯曲程度，以便确诊故障。

用螺丝刀搭接调节器触点，若发电，说明是调节器触点过脏，应用砂纸打磨触点即可。

在此应该说明的是：如果发电机的激磁电路正常可采用此方法确定大致故障范围，当无激磁电流时采用此方法无效。采用此方法检查是否充电时，发动机转速不宜过高，时间不宜过长，否则会烧坏电气设备。

（4）用试灯检查充电系统故障　拆下发电机电枢接柱上的导线，将试灯夹在搭铁良好处，启动发动机并提高转速，用试灯触针搭接发电机电枢接柱，若试灯亮，表明故障在发电机电枢接柱至电流表这段输出线路接触不良或折断，造成充电电流过小或不充电，应进而查明导线接触不良处或折断处，并对症排除。若试灯不亮，表明故障在发电机或激磁电路。

（5）检查激磁电路：

①观察发电机激磁电路中的导线连接情况。若连接有松动处或锈蚀现象，便可能是故障所在，应予以排除，以消除故障或怀疑。如果排除后充电还是不正常，应再进一步检查。

②接通点火开关，用螺丝刀接触发电机皮带轮感觉是否有吸力感，若无吸力感，表明激磁电路有故障。

③接通钥匙开关，将试灯夹在良好的搭铁处，再用试灯带导线的触针搭接发电机磁场接柱。若试灯亮，表明故障在发电机；若试灯不亮，再将触针移至调节器的磁场接柱；若试灯亮，表明故障在发电机至调节器这段线路中有断路，这是引起发电机不发电的原因所在，应查出断路部位并重新接好。若试灯仍不亮，应再将触针移至调节器前的火线接柱，若试灯亮，表明故障在调节器，因触点接触电阻过大所致，应用砂纸打磨触点，以消除触点间的电阻即可。若试灯仍不亮但发动机能启动，则表明点火开关至调节器这段线路断路，应进而查明原因并对症排除。

④检查调节器高速触点（下触点）是否与活动触点粘合，若粘合便是因调节器的下触点粘合而使无激磁电流而引起不充电故障，应予以排除。

（6）用万用表检查法　用万用表测量发电机各接柱之间电阻值来判断故障。

表 7－2－1　交流发电机各接柱之间的电阻值（Ω）

发电机型号	“F”与“－”	“＋”与“F”		“＋”与“－”	
JF11		正向	反向	正向	反向
JF13	5～6	40～50	>1000	50～60	>1000
JF15					
JF21					
JF12					
JF22	19.5～21	40～50	>1000	50～70	>1000
JF23					
JF25					

如果发电机磁场接柱“F”与搭铁接柱“－”接柱之间电阻值小于表 7－2－1 中所列值，说明磁场线圈有短路（线圈匝间短路或搭铁短路）应重新绕制。若大于表中所列值，说明电刷与滑环接触不良，应进一步检查电刷与滑环的接触力（弹簧弹力和电刷长

度）和滑环表面的清洁与光滑程度，并予以排除。若电阻无穷大，说明多数是磁场线圈断路所致，应重新连接或重绕线圈。

如果测量发电机磁场接柱（+）与搭铁接柱（-）之间的电阻值小于表7-2-2中所列值，则表明整流二极管短路；若大于表中值，则表示整流二极管断路。

如果以上均属正常，那么，发电机发出的电流过小或不发电，故障原因在于定子绕组（短路或断路）应进而解体测量检查，并对症排除。

表7-2-2　JF系列交流发电机绕组参数

磁场绕组				定子绕组				
型号	线径（mm）	匝数	电组(Ω)（20℃）	槽数	线径（mm）	每相线圈数	每个线圈匝数	接线方法
JF01C	0.75	500	5±0.25	24	1.04	4	21	星形接法
JF11C	0.62	520	5.3±0.2	36	1.08	6	13	
JF13E	0.62	550	5.6±0.3	36	1.04	6	13	
JF12	0.44	1080	19.3±0.2	36	0.38	6	25	
ZJF750	0.86	600	3.83	36	1.20	6	8	
JF132C	0.82/0.67	550	5.6±0.3	36	1.04/0.45	6	13	

三、充电电流过大

1. 现象

充电电流过大是指充电电流超过额定值。其现象是：电流表指针指示在（+）的极限。

2. 原因分析

由交流发电机与调节器的工作原理可知，发电机输出电流的大小取决于其端电压的高低；发电机端电压的高低，又取决于发电机的转速与磁通量。如果发电机转速在规定范围内，看来发电机输出电流过大主要是因为激磁电流过大所致。根据公式 $E = C\Phi n$，激磁电流又是由调节器来控制的，那么，发电机的激磁电流过大必然是因调节器控制不良，使附加电阻隔出激磁电路时间过长，串入激磁电路时间过短引起发电机的平均电流过大，严重时将附加电阻长期隔出，则激磁电流失控或激磁电路短路所致。

由上可知，充电电流过大多数是由于调节器控制不良和激磁电路短路所致。引起调节器控制不良和激磁电路短路的主要原因有：

（1）调节器控制不良：

①电压调节器调整不当　调节器活动触点臂平衡弹簧拉力过大，相对来讲铁心线圈吸力变小，使低速触点闭合时间长，则发电机激磁平均电流增大。

②气隙过大　铁芯线端与活动触点的空气间隙过大，使磁路中的磁阻增大，铁芯对点臂所产生的磁矩减小。因此，当发电机电压大到限额电压时，触点不能被吸开引起激磁电流增大。

③调节器的铁芯线圈短路或断路，使铁芯吸力减小或消失。当发电机电压达到限额时，不能将触点吸开，发电机的激磁电流增大甚至失控导致充电电流过大。

④调节器上触点烧蚀　调节器触点工作时易产生电弧，并将触点材料熔化，当触点断开时拉成金属丝形成金属桥，使激磁电流不能减小；调节器触点原被熔化金属液冷却后，将两触点焊接，当发电机端电压升高时，触点因烧结而不能被铁心吸开，发电机的激磁电流失控，则充电电流过大。

⑤调节器高速触点脏污　当发电机高转速时，虽然激磁电路中串入附加电阻，但电阻值为一定值，发电机端电压仍会随着转速升高而升高，建立在调节器铁芯线圈的端电压也随之升高，吸力增大，并将活动触点臂吸下与高速触点闭合，其目的是迅速衰减发电机的激磁电流。但是，由于高速触点脏污而接触电阻过大不能达到上述目的，发电机端电压随转速持续增长激磁电流不能衰减，使充电电流过大。

（2）发电机激磁电路短路　发电机电枢接柱导线（向外输出电流的导线）与其激磁线成线束，如果线束固定不牢振动时易将绝缘层损坏，导致激磁电路的线路和输出电流的充电线路间短路而将调节器隔出，激磁电流失控，充电电流过大。

3. 诊断与排除

（1）检查激磁导线短路情况　将调节器上的火线或磁场线任意拆下一根，如果充电电流过大，说明激磁线路短路，应进而查明短路部位，并采取抱扎绝缘措施。

（2）检查调节器气隙　拆下调节器盖，用塞尺测量铁芯端与活动触点臂的气隙一般应为 1.1～1.3mm。若过大，可通过调整固定触点臂使之符合要求。其调整方法本节第二部分 4 中有述。然后启动发动机，并将发电机转速稳定在 2000r/min 左右，若充电正常，表明故障是因气隙过大所致，否则作下列检查。

（3）用手将调节器活动触点臂强行按下，使之与上触点断开，若充电电流减小，表明充电电流过大是因触点烧结所致，应对触点进行打磨，提高触点工作面的质量。若触点表面无烧蚀迹象，可能是平衡弹簧弹力过大所引起的充电电流过大，应配合电压表对弹簧拉力进行调整，其调整方法见本节第二部分 3 中内容。

（4）检查调节器铁芯线圈　用万用表测量线圈电阻值，铁芯线圈电阻值应符合表中要求。若电阻值为无穷大时，表明线圈断路；若小于规定值时，表明线圈短路。若有上述两种情况中的其中一种，均能引起充电电流过大，应对症排除。

如果没有万用表时，接通点火开关，用螺丝刀在调节器铁芯上端试验吸力。若无吸动感，表明线圈电路中断。另外，也可通过观察线圈的颜色进行检查。如果线圈的颜色发黑紫色，表明是因线圈烧坏引起充电电流过大，应重新绕制。若线圈无烧坏现象，便是线圈断路，应更换线圈，并应检查线圈烧坏的原因，以免修理后再次将线圈烧坏。

（5）检查调节器高速触点和发电机激磁电路短路　发电机工作时，触点臂与高速触点接触，若发动机为中转速时充电电流仍过大，说明发电机激磁电路短路；若发电机为高速时充电电流过大，表明高速触点接触电阻过大所致。

如果发电机有激磁电路短路故障，应拆下线束查出短路的故障原因，并采取绝缘措施。若观察高速触点表面过脏，应用砂条或细砂纸打平磨光，打磨后应再用净纸除去附在触点表面的砂粒。

四、充电电流不稳

1. 现象

充电电流不稳是指充电电流忽大忽小或充电时断时续；电流表指针来回摆动，或充电指示灯闪烁。

2. 原因分析

发电机工作时，充电电流不稳大致有两种情况：一种是无规律的充电不稳，且与转速无关；另一种是有规律的充电不稳，与转速有关。根据这两种情况分别进行分析。

（1）无规律的充电不稳　无规律的充电不稳，是指时而充电，时而不充电，充电与不充电间隔时间不等。造成这种情况的原因多数是充电系统线路连接松动。其表现为发动机工作时或行车时振动，使充电系统导线连接处接触不良，时通时断，从而引起充电系统充电不稳。此外，风扇皮带打滑也会使发电机转速不稳而引起充电不稳。

（2）有规律的充电不稳　有规律的充电不稳表现在各种转速时充电不稳，其原因是：

①发动机怠速稍高时，充电不稳。这种情况多数是由于调节器铁芯与活动触点臂气隙调节不当或弹簧弹力调整过小所致。气隙过小或弹簧弹力过小时，触点断开电压降低，当触点断开电压降至与蓄电池电压相接近时，发电机电压忽高忽低上下波动，从而引起充电电流不稳。

②发动机高速运转时充电不稳，多数是因高速触点脏污引起的，造成供给发电机的激磁电流在高速时断续供电之故。

③发动机在各种转速下均充电不稳，其多数是因调节器调整不当或触点接触不良或发电机缺相所引起。

④调节器附加电阻断路，造成发电机激磁电流不连续，产生明显的脉冲电流，致使发电机发出的电压时高时低，而充电电流不稳。

⑤发电机转子滑环表面过脏。电刷弹力不足造成激磁电流不稳，致使充电电流不稳。

3. 诊断与排除

（1）无规律充电不稳　检查充电系统线路的接头或插接件等是否有松动处，检查方法有三种：

①外观检查或拉动导线，看是否有充电显示，若有好转，表明此线松动；

②短路检查，用一根导线分段短接激磁线路，即由发电机至调节器和调节器至点火开关，如果接通某段充电良好，表明此段导线接触不良，应紧固导线接头或更换导线。

另外，检查风扇皮带的张紧力，其方法详见本节第二部分 3 中的（1）、（2）。

（2）对有规律充电不稳的检查：

①发电机低速时充电不稳的检查　发动机在怠速稍高运转时，用螺丝刀搭接调节器触点，若电流表指示正常，说明调节器气隙或弹簧调整不当，应重新调整。

②高速时充电不稳的检查　检查调节器高速触点，若表面脏污，便是故障所在，用砂条打磨光洁即可。

③发动机在各种转速时均充电不稳的检查　发动机在各种转速时均充电不稳，用螺丝刀搭接调节器上触点，若充电良好，表明是触点接触不良，应用砂条打磨光洁。

④发电机转子滑环及电刷长度的检查　排除以上原因后，充电仍不稳，应检查发电机转子滑环工作面的清洁程度，电刷长度以及滑环径向跳动等。若有一项不符合要求，便可能是充电不稳的故障所在。若滑环工作面过脏，应用细砂纸打磨，如果滑环失圆，应重新加工（用车床车圆），轴承松动时应更换新品，电刷长度短于使用极限应更换，端盖上轴承孔损坏应更换相同型号的发电机端盖。

五、晶体管调节器故障

1. 晶体管调节器工作原理　为了分析晶体管调节器的故障，应再看触点振动式调节器的工作原理。由触点振动式调节器工作原理可知，发电机的电压是通过调节器触点的通断，使附加电阻介入或隔出激磁电路来实现对发电机激磁电流的调节，使磁场强度稳定在一定范围内，以适应工程机械用电设备的需要。晶体管调节器的工作原理与机械振动式调节器工作原理基本相同，它只不过是用晶体管三极管的导通截止来取代触点的断开和闭合，使发电机的激磁电流得到控制。

为了分析晶体管调节器的故障，需先了解晶体管调节器的电路和工作原理，图 7－2－6 为晶体管调节器电路图，图 7－2－7 为晶体管调节器工作原理图。

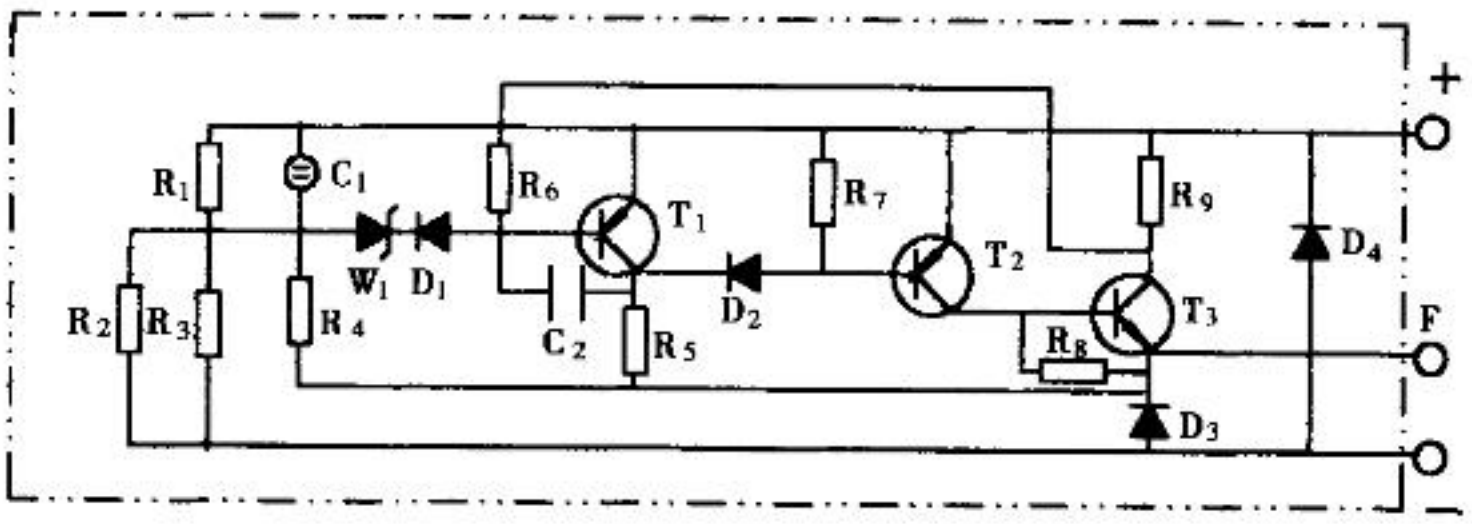

图 7－2－6　晶体管调节器电路图

接通点火开关 K，发电机激磁电流便由蓄电池的正极→开关 K→大功率三极晶体管 T_2→发电机激磁绕组→搭铁→蓄电池负极，这时为它激磁。

当发动机启动后，随着转速升高而发电机端电压也随之升高，当达到电压调节值时，分压电阻 R_1 上的控制电压达到稳压管的反向击穿电压稳压管导通，此时，小功率三极管 T_1 因基极电位下降而截止，发电机激磁电流为零，它的端电压下降，当低于调节值时，稳压管又截止，三极管 T_1 无基极电流也随即截止，三极管 T_2 的基极电位上升，这时有电流通过而导通。如此反复，使发电机的激磁电流得到控制，则发电机端电

压就被控制在额定范围内，达到了调节发电机端电压的目的。

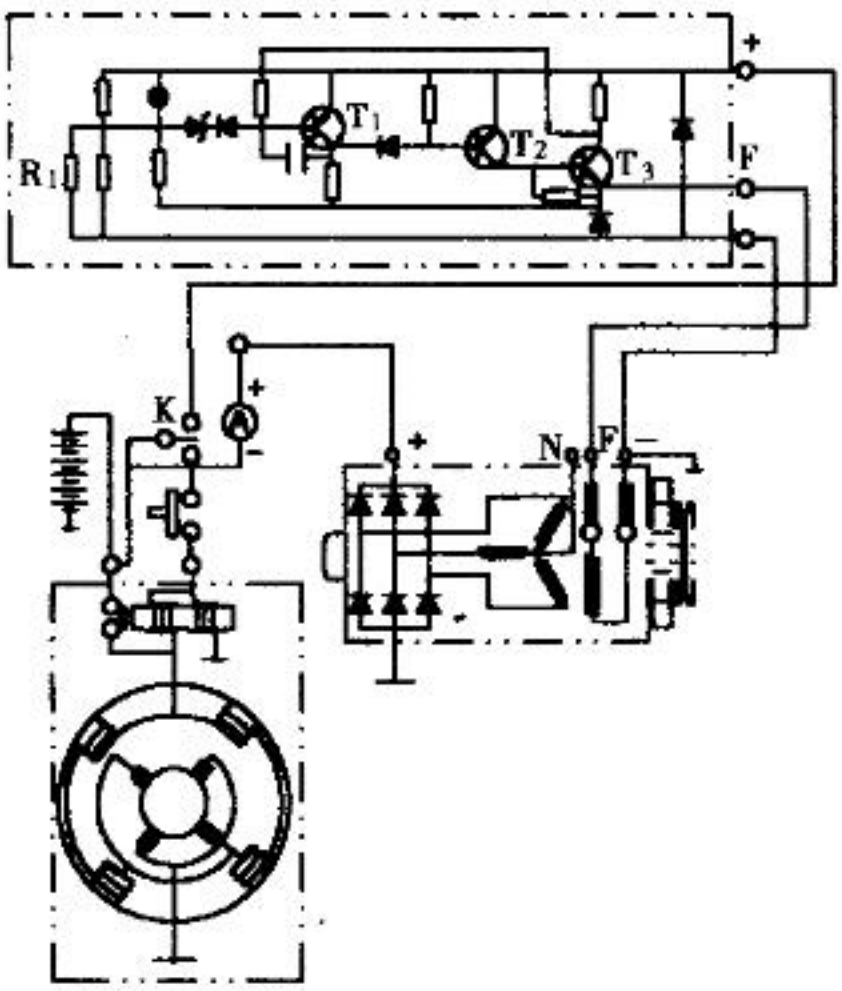

图 7-2-7　晶本管调节器工作原理图

发电机转速升高时，其端电压也随之升高，当与蓄电池电压平衡时，充电指示灯两端的电位差逐渐减小，指示灯熄灭。

集成电路调节器，是一个无源元件调节器，它采用不同的材料和制造工艺将电子元件或其他元件制作在一块板上，形成混合集成电路调节器，其工作原理与晶体管调节器相同。它的特点是体积小，可作为发电机的部件与发电机装在一起，成为整体式发电机。

晶体管调节器或集成电路调节器一般故障较少，晶体管调节器元件损坏原因除质量低劣外，一般常见的是安装时线路接错，易将电子元件或电器等元件损坏；发动机停机后，调节器电源未切断，使激磁电流长时间通过大功率三极管而烧坏，或检查调节器故障方法不当而使元件损坏。

另外，虽然晶体管调节器和集成电路调节器的型号繁多，但工作原理基本相同，只不过是为适应不同型号的发电机和改善调节器的性能增添些其他元件。分析故障原因和诊断时，应根据晶体管调节器的工作原理和具体构造进行具体分析和诊断。其故障主要表现为不充电或充电电流过大。

六、晶体管调节器引起的不充电

1. 现象

发电机工作时，电流表指示放电位置或充电指示灯不灭。

2. 原因分析

发电机及线路的技术状况良好时，发电机不发电必然是因调节器大功率三极管常截止所致。引起大功率三极管常截止的原因有：

（1）稳压管 W 的影响　由晶体管调节器的工作原理可知，稳压管是用来控制小功率三极管的基极电流。当发电机发出的电压升高需控制时，建立在稳压管处的电压也升高。当电压达到击穿稳压管的反向电压时，小功率三极管有基极电流通过而导通，大功率三极管 T_2 因小功率三极管 T_1 导通其基极电流即为零而截止。若稳压管 W 被击穿使三极管 T_1 的基极常有电流通过，使小功率三极管 T_1 常导通，大功率三极管 T_2 常截止，则发电机激磁电流中断，致使发电机不发电。

（2）三极管 T_1 的影响

小功率三极管 T_1 击穿而长期导通，其结果与上述情况相同。

（3）三极管 T_2 的影响

大功率三极管 T_2 烧毁而断路，则发电机激磁电流中断，发电机不发电。

3. 诊断与排除

（1）发动机怠速稍高时，用螺丝刀短时间搭接调节器的激磁与火线两接柱，若发电机发电正常，说明调节器有故障，应予以更换。

（2）置换法　置换法是指将怀疑有故障的调节器拆下换一个良好的调节器，证明原来调节器是否有故障，这种方法称为置换法。置换后，如果充电正常，表明原调节器已坏，应予以更换。

随着电子科学技术不断发展，晶体管调节器的体积越来越小，造价也越低廉。一般不可拆开的调节器，内部密封较好，工作性能可靠，则故障很少，一旦调节器有损坏，应更换新件。

（3）万用表检测法　测量静态电阻：拆下调节器，用万用表 R×10 挡测量调节器各接柱之间的电阻值应符合表 7-2-3 中所列值，表中所述正向电阻是指万用表红表笔搭接调节器的“+”或“F”接柱，黑表笔搭接调节器的“-”接柱；测量反向电阻时，表笔搭接方法与上述情况相反。

表 7-2-3　晶体管调节器电阻值表

调节器型号	“+”“-”之间反电组(kΩ)	“+”与 F 之间电阻(kΩ)		“-”与 F 之间电阻(kΩ)	
		正向电组	反向电阻	正向电组	反向电阻
JFT121	0.2~0.3	0.09	>50	0.10	50
JFT241	0.4~0.5	0.11	>50	0.11	50
JFT126	1.5~6.5	1.5~2	3~4	5.5	8.5
JFT246	3	4.6~5	9.5~10	5.5	8.5
JFT106	1.4~1.6	1.5~2	3~4	1.4~1.6	3~4
JFT107	1.4~1.6	1.5~2	3~4	1.4~1.6	3~4
JFT206	1500~2000	1.3~1.5	3~4	1.3~1.5	3.6
JFT207	1500~2000	1.3~1.5	3~4	1.3~1.5	3.6

若测得“+”与“F”之间正、反向电阻值过大，是不充电的故障所在，应更换调节器。

（4）电流表检查法　电流表检查法是在晶体管调节器F接柱与发电机F接柱之间串接一只量程10A的电流表，如图7-2-8所示，另外再在发动机上接一转速表（若车上有发动机转速表的不必再接）。

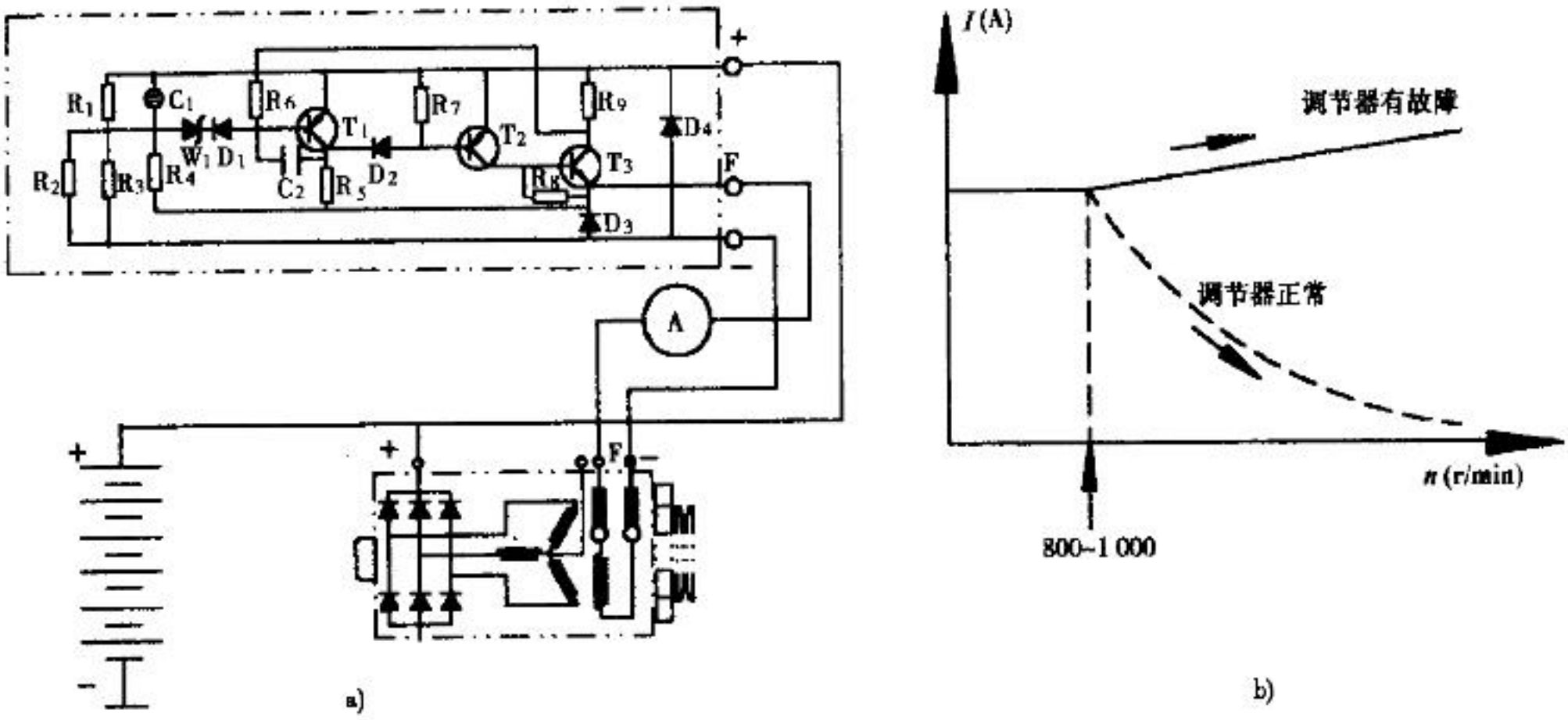

图7-2-8　晶体管调节器检查

a）检查；b）故障鉴别

试验方法：启动发动机并观察电流表。若在各种转速下电流为零，表明调节器中大功率三极管断路，或小功率三极管、稳压管 W_1 短路，导致发电机不发电。若发电机的激磁电流随发动机转速升高而增大，表明调节器中的大功率三极管被击穿而短路，或小功率三极管、稳压管 W_1 断路。

（5）模拟诊断法　模拟诊断法是用1号1.5V干电池三节，与原车蓄电池串接，用电源电压的变化来模拟发电机端电压的变化，检查晶体管调节器故障，如图7-2-9所示。

试验方法：按上图接线（外搭铁充电电路），当开关→A点接通时，调节器内大功率三极管导通，即电流由蓄电池正极→KA→调节器“+”接柱经大功率三极管 T_3→试灯→搭铁→蓄电池负极。调节器“+”接柱的电压为24V，不达调节器内的稳压管反向击穿电压。小功率三极管截止；这时试灯（试灯模拟发电机磁场线圈）应亮，若调节器内的大功率管断路或是小功率管三极管 T_1 短路或稳压管短路，试灯不亮，即发电机不发电。当开关扳向B点时，E_1、E_2 串接，其电压为28.5V，模拟发电机调节器内的稳压管被击穿，这时大功率三极管 T_3 应截止，试灯熄灭。若不熄灭，则是三极管 T_3 短路，或者是三极管 T_1 或稳压管断路，应予以更换调节器。

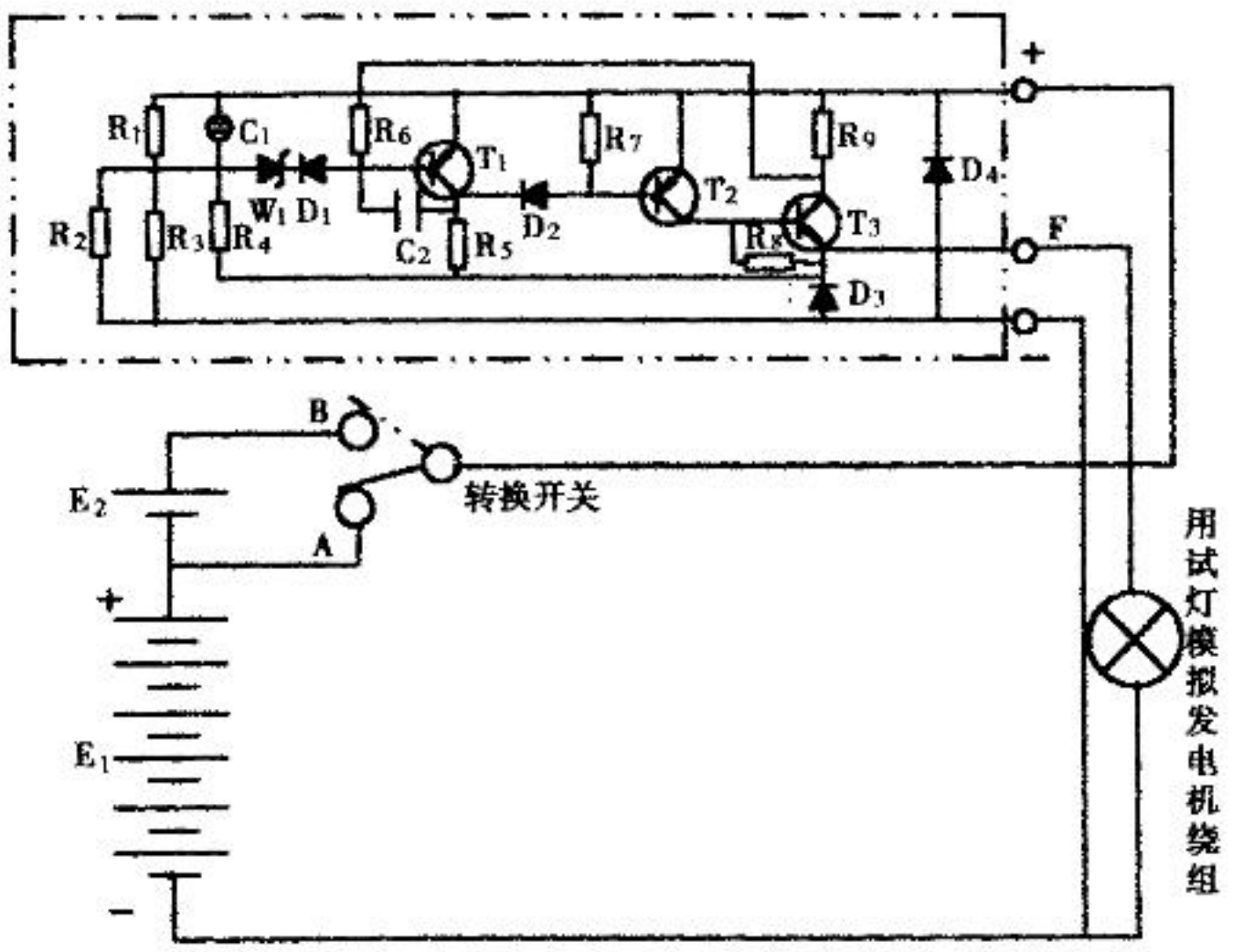

图 7-2-9　模拟检查晶体管调节器故障

七、晶体管调节器引起的充电电流过大

1. 现象

充电电流过大是指充电电流超过额定值。其现象是：电流表指针指示在（+）的极限。

2. 原因分析

根据晶体管调节器的工作原理分析，充电电流过大多数是调节器的小功率三极管 T_1 常截止，或大功率三极管 T_2（或 T_3）常导通，使发电机激磁电流失控所致。

晶体管调节器的稳压管 W_1 或小功率三极管 T_1 烧毁断路而常截止，使大功率三极管长期导通，则发电机激磁电流失控。

大功率三极管 T_2（或 T_3）击穿而长期导通其结果与上述情况相同。

3. 诊断与排除

（1）将晶体管调节器上的激磁导线拆下任意一根，若发电机不发电，表明调节器有故障是造成充电电流过大的原因所在，应予以更换。

（2）置换法　置换法是指将怀疑有故障的调节器拆下换一个良好的调节器，证明原来调节器是否有故障，这种方法称为置换法。置换后，如果充电正常，表明原调节器已坏，应予以更换。

（3）按本节第七部分采用万用表检测、电流表法或模拟诊断法，若测得结果与本节第七部分的结果相反，便是充电电流过大的原因，应予以更换调节器。

八、发电机异响

1. 现象

发电机异响是指发电机工作时，能听到“哗啦、啦”、“次楞、次楞”、或“吱儿、吱儿”的响声。

2. 原因分析

（1）轴承损坏

发电机有哗啦啦的响声时，可能是轴承的滚动体在滚道内形成不规则的滚动而发出的响声，它是因滚动轴承内缺乏润滑油，或轴承磨损过甚以及保持架损坏等原因造成轴承滚动体不规则的滚动而发出异响。

轴承损坏严重时，会使转子铁芯与定子铁芯轴线不重合，发生刮擦（扫膛）而发出“次嗯”“次嗯”的响声，其伴随现象是发电机发电量过小或不发电。

轴承损坏严重时，还会使发电机转子轴向定位失准而窜动。当风扇与发电机的前端盖刮擦时，便会发出“次楞”“次楞”或“吱儿、吱儿”的尖叫声。

（2）机件松动

发电机风扇是靠皮带轮与轴为刚性联接来固定，如果螺母松动，键槽或键损坏、皮带轮松动而摆动，风扇也就丧失固定条件，转动时与发电机前端盖会发生金属刮擦声或碰撞声。

此外，维护发电机时，将风扇撬变形，若与端盖刮擦时，便会发出响声。

3. 诊断与排除

观察发电机前端盖，若有明显刮擦痕迹，则表明是异响所在；将风扇皮带卸下，转动皮带轮听到异响，若还有另一种异响且伴有发电不良，可能是发电机“扫膛”，即转子与定子刮擦，应进一步检查电枢“扫膛”其方法是：

拆下风扇皮带，用手拨转发电机皮带轮，若能听到发电机内有不均匀的摩擦声，且手感有阻力，再径向扳动皮带轮，若手感过松，表明电枢有“扫膛”。如无松动感，表明“扫膛”是因轴弯曲所致，为了确诊故障，应解体观察电枢铁芯刮痕，并测量轴承松动或轴的弯曲。

若轴承松动，应更换新件。

若皮带轮松动是因键槽或键损坏，应更换键槽位置并配制键；若螺母松动引起皮带轮松动，可紧固螺母。

发电机风扇变形时，应校正。

九、充电系统使用注意事项

（1）维持充电系统良好的技术状况，搞好检查维护工作。

（2）发动机熄火后应切断电流，以免烧坏发电机的激磁绕组和晶体管调节器。

（3）安装蓄电池时，应注意搭铁极性，一般正极为火线，负极为搭铁线。如果错接

极性，会使发电机的整流二极管烧坏。

（4）按规定对发电机进行维护，检查交流发电机是否发电，不能采用直接刮火试验，否则会烧坏发电机整流二极管。

（5）发电机在高速时，不能突然卸荷，否则会使发电机电压急剧升高而烧坏电器元件。

（6）检查不充电故障时，也有采用将激磁短路的方法检查（即将调节器火线接柱与磁场接柱搭接短路，隔出调节器），这种检查法易在发动机转速略高于怠速下进行，短路时间要短。若在发动机高转速，且搭接时间长时，会使发电机的激磁电流失控而使发电机端电压急剧升高，这样易烧坏机械上的电气设备。

第三章　工程机械启动机故障

第一节　概　述

启动机的作用是将电能变为机械能，带动曲轴旋转使发动机启动。一般启动系统由电源、控制装置（有的启动系统设有继电器，有的启动系统没有设继电器，若启动系统设有继电器，可参看双点划线的电路，也可参看图 7－3－5）、启动机三大部分组成，如图 7－3－1 所示。启动机主要由直流电动机、单向离合器及电磁开关等组成。其特点是体积小，转矩大，常用电流大（600～1000A），每次启动时间不宜过长。

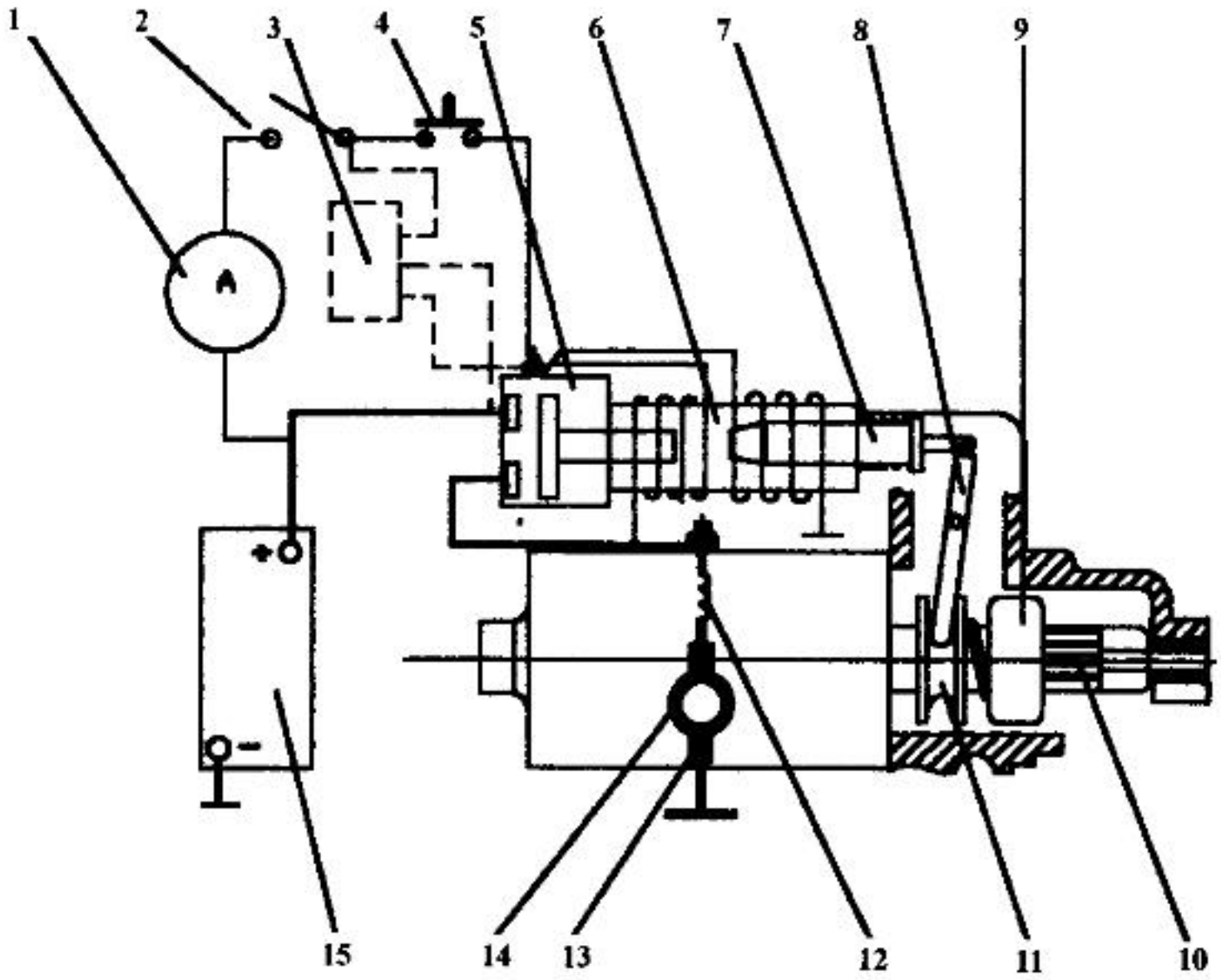

图 7－3－1　启动机及电磁控制原理图

1－电流表；2－点火开关；3－继电器；4－启动按钮；5－启动机开关；6－电磁吸拉线圈；7－引铁；8－拨叉；9－单向离合器；10－驱动齿轮；11－滑环；12－磁场绕组；13－电刷；14－电枢换向器；15－蓄电池

启动发动机时，首先接通启动开关，设有按钮的启动机控制线路是接通钥匙开关，然后按下按钮，以接通启动机电机的电磁开关，使启动机转动（如图所示）。没有按钮

的启动机控制线路是接通钥匙开关的启动挡，启动继电器线圈得电便产生吸力，吸动触点闭合，接通了电磁开关的吸拉线圈和保拉线圈的电路，两个线圈同时产生很强的吸力，吸动引铁。由于吸拉线圈是通过启动机磁场绕组和电枢绕组搭铁，故电枢开始旋转。引铁被吸动时，引铁的一端拉动拨叉上端，使下端拨动驱动齿轮轴向移动，驱动齿轮在慢转速下柔和地啮入飞轮齿圈；引铁的另一端顶动触盘推杆，使触盘向直流电动机的主电路触点靠近并接触，直流电动机电路接通，其电流便由蓄电池的正极→开关接柱→触盘→磁场绕组→正电刷→电磁绕组→负电刷→搭铁→蓄电池的负极。

由于磁场绕组及电枢绕组通电后便产生了磁场。磁场绕组的磁力线由 N 极到 S 极，而电枢绕组各导线磁场的磁力线是以导线为轴环状的，其方向用右手螺旋定则来判定。当电枢导线两侧磁力线方向与原磁场磁力线方向一致时，磁力线叠加，相反时磁力线削减。因此，引起了电枢导线两侧磁力线发生了疏密变化，所以电枢导线就会被磁力线密度大的一侧向密度小的一侧推动，这个力就是电磁力。推动电枢线框导线的电磁力乘以距电枢轴线的径向距离，即为电磁转矩。其转动方向用左手定则来判定。因电枢绕组是多匝线圈绕成的所以就能连续转动，如图 7－3－2 所示。

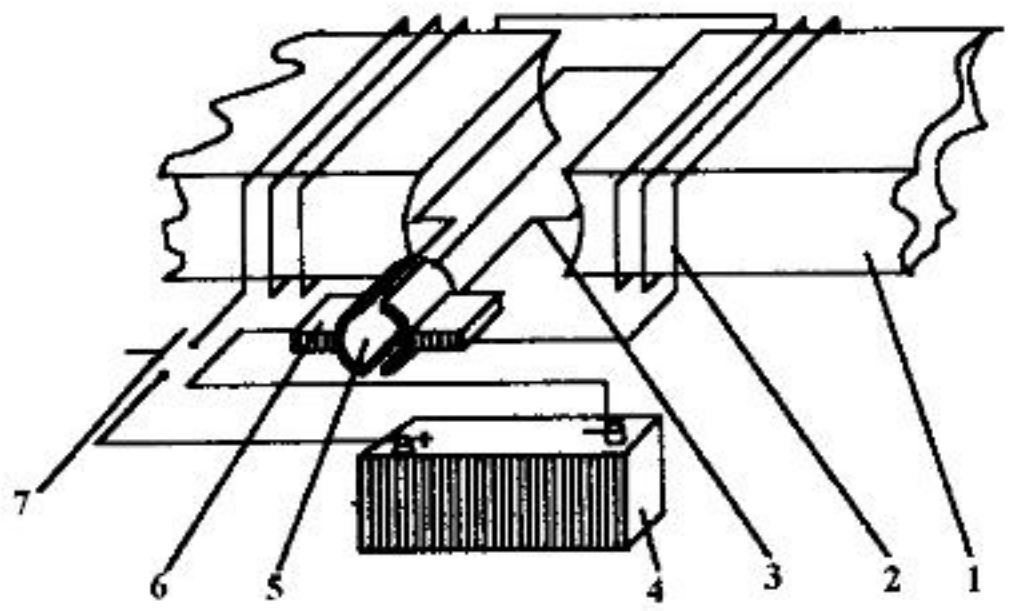

图 7－3－2　直流电动机工作原理图

1－磁极；2－磁场绕组；3－电枢线框；4－蓄电池；

5－换向器；6－电刷；7－动机开关

启动机转矩的大小 M 与电机磁通量 Φ、电枢电流 I_S 成正比。它们的关系用下式来表示：

$$M = K\Phi I_S$$

式中：Φ——磁极磁通；

I_S——电枢电流；

K——电机常数（与电机结构有关）。

对已设计制造好的直流电动机来说，其转矩为一定值。

如果对启动机使用不当或使用过久，常会引起启动机技术状况变差，其常见有定子绕组的磁通量 Φ 减小、电枢电流 I_S 减小、电机常数 K 值减小，或启动机离合器技术状况变差等。常见的故障有：启动机转动无力或不转动、启动机控制装置故障、启动机不脱离啮合和启动机异响等。

第二节　启动机故障诊断与排除

一、启动机转动无力或不转动

1. 现象

接通启动机开关，启动机转动无力或不转动。

2. 原因分析

根据故障现象结合直流电动机工作原理分析，启动机转动无力或不转动，总是直流电动机的磁转矩减小或为零，或因摩擦阻力过大所致，即对外输出的有效转矩减小或为零。以下可从电枢电流强度、电机常数、内摩擦阻力的变化和电枢“扫膛”等几方面进行原因分析。

（1）电枢电流强度的影响　一般工程机械上采用的是串激式直流电动机。其磁转矩为：

$$M = K\Phi I_S$$

由上式可知，电机常数 K 为一定值时，电动机转矩减小，多数是因电枢电流 I_S 和磁通量 Φ 两个因素其中有一个减小或都减小，均会使电枢转矩减小。电枢电流与磁场绕组电流相等，故当电枢电流减小时，电磁转矩减小，即电机转动无力，如图 7－3－3 所示。

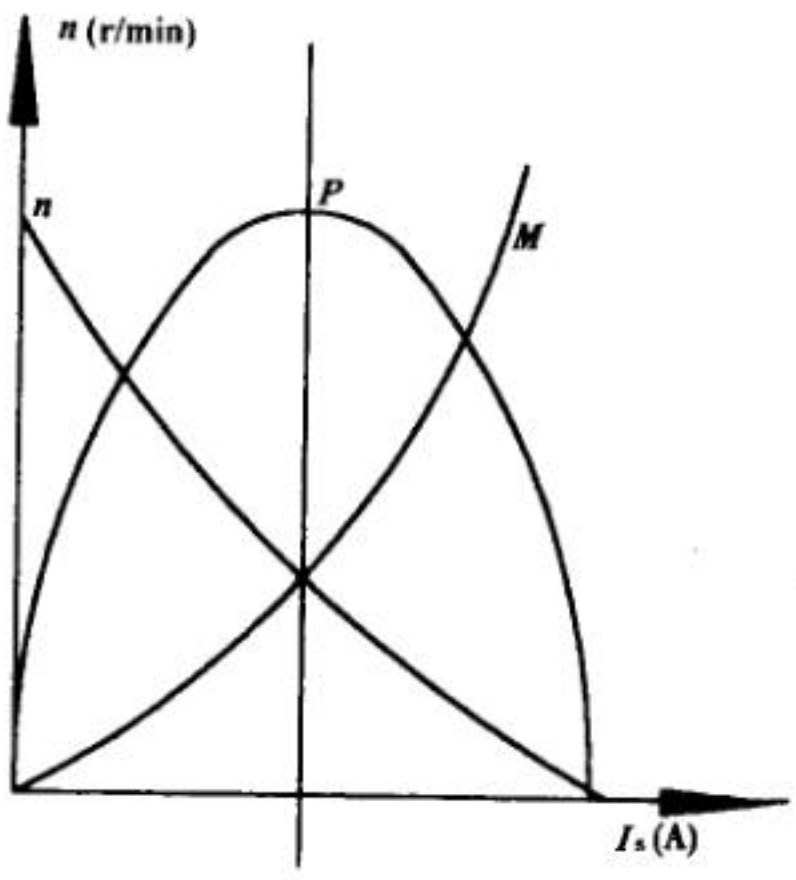

图 7－3－3　串激式直流电动机转矩特性图

n – 电动机转速；p – 电动机功率；M – 电动机转矩

电枢电流强度的大小主要受下列因素的影响：

①接触电阻和导线电阻的影响　启动机开关触盘与触点因烧蚀而接触不良、电刷换向器接触不良、电刷弹簧弹力弱使电刷与换向器接触不良，以及导线连接不紧等，均会引起电动机电路 ϕ 的电阻值增大，甚至为无穷大，故电枢电流会随其电路中的电阻增大而减小。根据电阻与导电横截面为反比关系，与导线长度为正比关系，多股导线因振动、腐蚀有部分折断而使导电横截面减小，或是导线过长等，均会使电枢电阻增大，导致电枢电流减小，从而使启动机功率和转矩减小。

②蓄电池的影响　蓄电池是启动机的电源，启动机功率的大小与蓄电池输入启动机电能的多少有直接关系。如果蓄电池有故障输入启动机的电能少，启动机输出的功率就会减小，故工作时转动无力。

③温度的影响　当环境温度过低时，蓄电池会因温度过低而使电解液浓度增大，造成蓄电池内化学反应速度缓慢，从而影响了启动机的电流，则电机转矩也减小。

总之，由于以上种种因素使启动机的电枢电流减小，磁场强度也减小，电机的电磁转矩相应减小，所以电动机转动无力。

（2）电动机磁通量中的影响　直流启动机的磁极对数、电枢绕组和磁场绕组的匝数等均是设计和制造好的，已成为定值。如果电机磁场中的磁极对数减少或线圈匝数减少，均会使磁通量减少，电动机转动无力。启动机中的绕组匝数减少的主要原因有：

启动机超期使用或使用维护不当，引起电枢线圈绕组和线圈磁场绕组绝缘老化而绝缘性能变差，易导致线圈绕组短路；

电动机的电枢转动时，其导线便切割磁力线产生感应电动势。其电流方向与蓄电池输入电动机的电流方向相反，抵抗蓄电池的电流输入电动机。因此，该电动势为反电动势，其反电动势大小与电枢转速成正比。当启动机遇有阻力转矩过大时，转速降低甚至为零，反电动势减小，抵抗外来电流的能力减小或消失，此时蓄电池的电流就会大量流入启动机，并产生很高的热量，而将电动机各绕组烧坏，破坏了其绝缘性能，造成匝间短路或断路。根据磁场强度与线圈绕组匝数成正比关系，由于线圈绕组短路相当于匝数减少，故磁场强度减小。

（3）启动机摩擦阻力的影响　启动机的电枢轴承处有一定的机械摩擦阻力，这属于正常的，不过要求越小越好。这里所指的内摩擦阻力过大，是指维护时由于铰削衬套不当，装配过紧造成的内摩擦阻力超过正常值，这些过大的摩擦阻力会大量消耗电动机所产生的磁转矩，故对外输出的有效转矩就会相应减小甚至为零，即启动机转动无力，严重时不转动。

（4）启动机“扫膛”　所谓启动机“扫膛”是指直流电动机转子铁芯与磁极发生刮擦的现象。电动机转子铁芯的外圆柱面与磁极的内圆柱面应保持规定的径向间隙（一般为 0.5mm 左右），如果电枢轴衬套磨损或轴弯曲等原因，均会引起电枢转子“扫膛”。启动机电枢转子“扫膛”会使机械摩擦阻力增大，输出有效转矩减小；同时还会因电枢转子扫膛时铁心距各磁极的间隙不等，径向大磁阻增大，磁通量减小。磁通量减小时，磁转矩 M 也减小。由此看来，启动机扫膛引起的摩擦阻力和磁通量减小的共同作用，使电动机转动无力，严重时不转动。

综上所述，如果要把电动机电路中的不应有的电阻和机械摩擦阻力看作是转换中的

效率，即电阻效率 η_D，机械摩擦阻力 η_Z。总效率 $\eta_{总} = \eta_D + \eta_Z$，那么，电动机输出的有效转矩为 $M_e = K\Phi I_S \eta_{总}$。由电功和电功率可知，电流通过启动机时，把电能转化为热能和机械能。启动机的电功率为：

$$电功率(P) = 电压(V) \times 电流(I)$$

根据欧姆定律 $I = E/R$，计算电功率的公式可换算为：

$$P = EI = E^2/R$$

$$P = (IR)I = I^2R$$

由上式可知，如果启动机电路中接触电阻增大，电动机的电枢电流就会减小，则输出的有效功率就会减小。

另外，启动机工作时，存在着机械摩擦损失和热能损失，使启动机转换的能量有效率下降，当理论功率乘以总效率时，启动机输出的有效功率下降，即电动机转动无力。

3. 诊断与排除

（1）检查　首先检查电源电路连接情况和电源总开关技术状况，其方法是通过观察和手动。如果发现线卡与蓄电池接柱接触不良，即线卡松动、蓄电池接柱有棱角或极柱氧化腐蚀严重，或启动机上的接柱与导线接触不良等，便是接触不良的原因所在，应予以排除。电源总开关接触不良电阻增大，也应对症排除。

另外，由蓄电池与启动机连接的导线过细，或蓄电池与车架连接的搭铁线过细，均会使电阻增大，致使启动机电枢电流减小，而启动机转动无力。诊断时应注意到这一点。

（2）检查蓄电池电压　用放电叉检查蓄电池电压。将放电叉与蓄电池某格正负极搭接，此时观察电压表，如果在 5s 内电压迅速下降低于 1.5V，表明蓄电池内部有故障，例如，短路或极板硫化。没有放电叉时，也可用导线在蓄电池的正负极柱上做刮火试验，若出现微弱红火花，表明是蓄电池有故障或充电不足，而电压过低引起启动机转动无力或不转动，应按蓄电池故障进行处理。

（3）检查启动机开关　接通启动机开关启动机不转动，用金属棒搭接开关两个接线柱（将开关隔出），若启动机转动正常，表明开关有故障，是触盘与触点接触电阻过大所致，应用砂纸打磨开关接触盘和触点，以消除电阻保证接触良好。

（4）检查直流电动机故障　其方法是：拆下启动机，并用手扳转驱动齿轮，启动机摩擦阻力正常时应能轻易扳动。若扳动时感到费力或电枢转子不转，表明启动机内摩擦阻力过大。如果是刚修复的启动机，可能是轴与承套装配过紧，电枢轴弯曲或电机中三个轴承套不同轴等，均会使电动机内摩擦阻力过大。若是使用过久多是电动机“扫膛”，应予以排除。

若用手转动转子手感轻松自如，则故障多在转子或定子绕组，或电刷接触不良，应再做下列检查。

（5）检查电枢绕组　观察电枢外圆柱面有无明显的擦痕、导线脱焊、搭铁或短路等，如有上述现象的其中之一便是故障所在，应进一步查明引起电枢外圆柱面有无明显的擦痕、导线脱焊搭铁或短路的原因，并对症排除。其检查方法是：

①搭铁检查　用试灯的两触针分别搭接在换向器和电枢轴上，如果试灯亮，表明电枢有搭铁现象，若不亮为良好。

②短路检查　将电枢放置在检验仪上，如图 7－3－4 所示。在电枢铁芯上，轴向放置一条形钢片（如手工锯锯条），接通电源并将电枢慢慢转动（锯条不动）。若钢片在某部位跳动，说明该线槽有匝间短路（多数是因换向片间有炭粉或金属屑），应予以更换或修理。

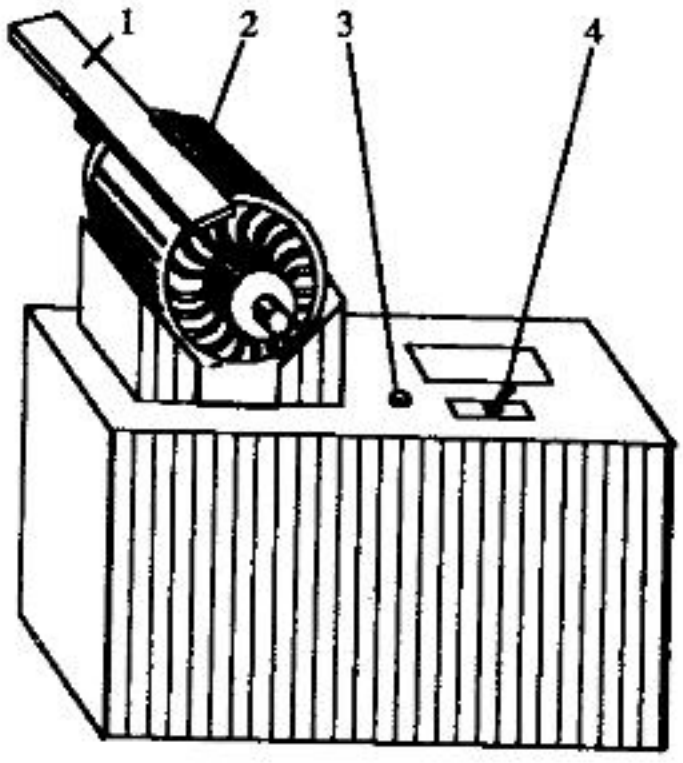

图 7－3－4　用电枢检验仪检查电枢短路

1－锯片；2－电枢；3－指示灯；4－开关

③断路检查　一般的磁场线圈不易折断，但引线焊接处脱焊还是有可能的。它的检查方法如图 7－3－5 所示。将电枢置于检验仪上并接通电源，用试灯两触针搭接水平位置的相邻换向片。若试灯亮，表明此线圈良好。否则，说明此线圈有断路。若没有试灯可用一导片在与试灯检查相同的换向片上周向刮火，若火花强烈表明线圈良好。否则，电枢线圈断路，应予以更换或修理。

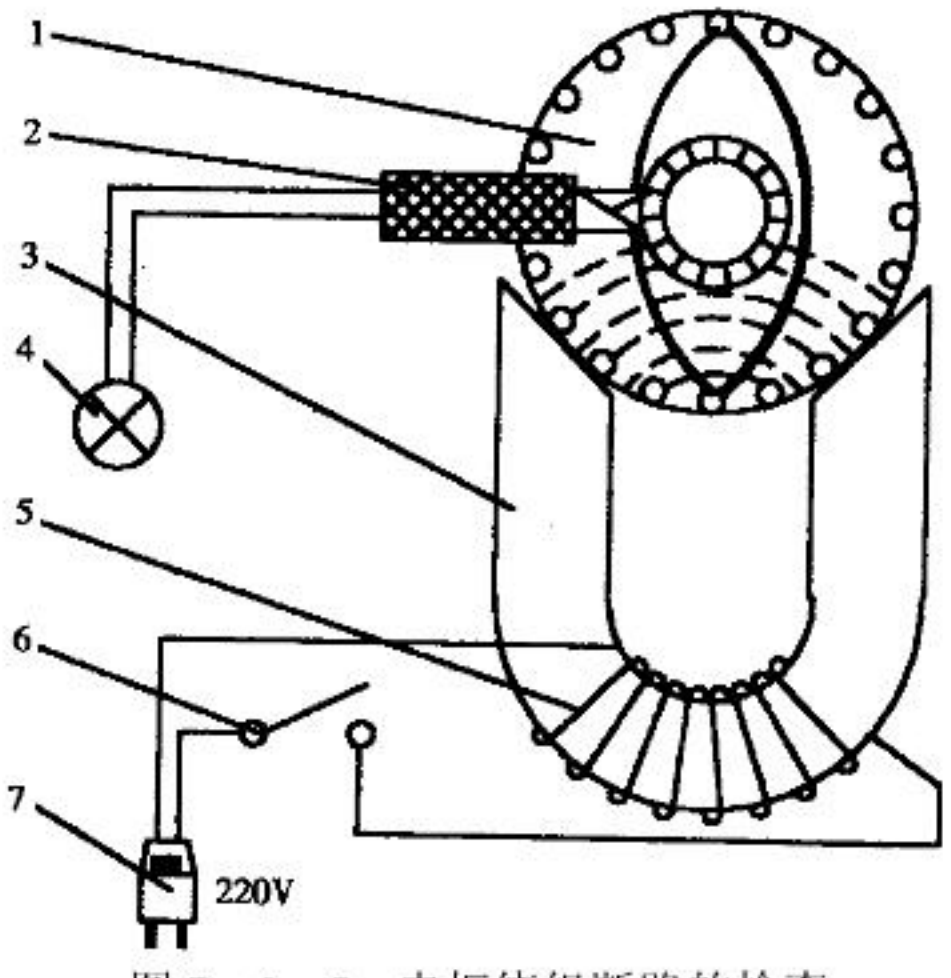

图 7－3－5　电枢绕组断路的检查

1－电枢；2－触针；3－U 形铁芯；4－试灯；5－检验仪线圈；6－开关；7－插头

（6）检查磁场绕组：

①磁场绕组搭铁检查：用一试灯两触针分别搭接启动机外壳和磁场绕组接线柱，若试灯不亮，表明良好。否则，磁场绕组有搭铁，应拆下线圈进行修理。

②检查短路情况：用 2V 直流电与磁场绕组两端接通，用螺丝刀靠近磁极检查吸力，并进行相互比较，手感吸力小的表明此绕组有匝间短路，如图 7－3－6 所示。应进而查明绕组的短路部位，并进行绝缘处理。

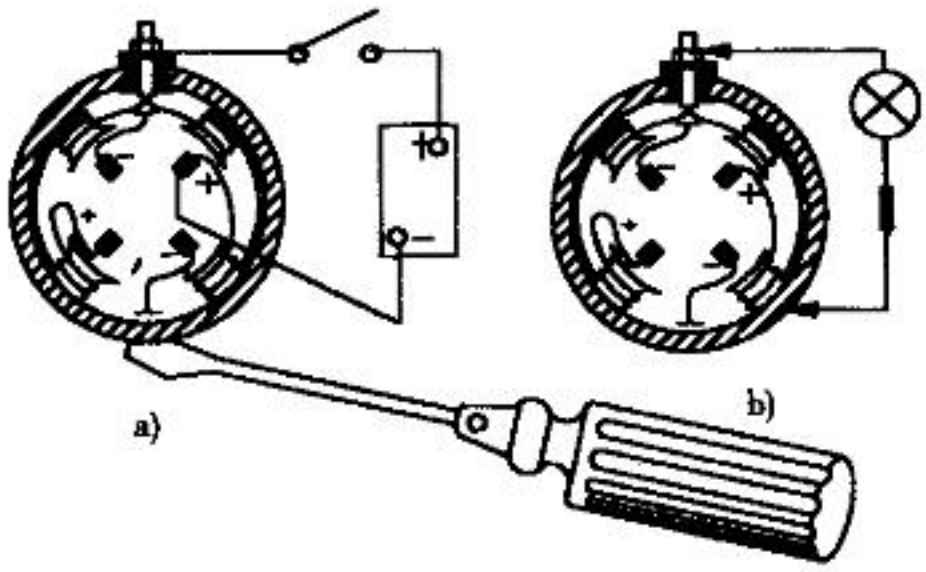

图 7－3－6　磁场绕组短路和搭铁检查

a）磁场绕组短路的检查；b）磁场绕组搭铁的检查

③电刷检查：电刷高度应不低于新电刷高度的 2/3（一般国产启动机新电刷高度为 14mm）。另外，电刷与换向器接触面积应不小于 75%，电刷弹簧弹力应不小于 15～20N。换向器表面应清洁，如不符合要求便是故障所在，应对症排除。

二、启动机控制电路故障

1. 概述

电磁控制式启动机开关是一种以小电流控制大电流的多层控制开关，如图 7－3－1 所示。

第一层是控制电路是由点火开关启动挡（或另按有按钮）控制启动机继电器；第二层是由启动机继电器触点的开闭来控制启动机电磁开关的电磁线圈；第三层控制电路是启动机电磁开关线圈又来控制启动机（执行机构）主电路的通断。这三层控制电路可把它看作三环相套，即一环控制一环，但这三环是一环比一环大，牵动小环大环则动。这就是开始所说的以小电流控制大电流。

其工作过程是：将点火开关钥匙钮至启动挡（有的是另装有启动按钮），启动机继电器线圈有电后产生吸力，吸下活动触点臂使触点闭合。此触点闭合接通了蓄电池与电磁开关线圈的电路，电磁开关线圈得到电流后产生吸力，吸动引铁向线圈中心移动，引铁一端顶动推动杆和触盘与触点相抵，接通启动机主电路电枢转动。与此同时，引铁的另一端拉动拨叉使驱动齿轮与发动机飞轮齿圈进入啮合状态，从而带动飞轮转动使发动机启动。

发动机启动后，只需松开点火开关钥匙，便能自动转回点火挡位，启动继电器触

点、启动机电磁开关引铁以及驱动齿轮等，先后依次退回原位，启动机停止工作。

由于使用时间过久或维护不当等原因，常会引起启动机控制系统的故障，其集中地表现在接通启动机开关后启动机工作不正常。

2. 原因分析

引起启动机电磁开关故障是多方面的。分析故障时，可按启动机控制电路工作程序和控制电路中串接的各装置职能进行故障分析。

（1）第一层控制电路的影响：

①电路

由工作原理可知，第一层控制电路主要控制启动继电器触点的开闭，如果第一层控制电路中的点火开关启动挡的触点接触不良、导线折断或接头处氧化、锈蚀、松脱等，均会引起电路中的电阻值增大，电流减小。电阻为无穷大时，电流为零，从而使启动继电器线圈因电流减小或无电流，不能将触点吸合，则启动机电磁开关不工作。

②线圈

启动继电器线圈断路或烧毁也同样不会产生吸力，则启动机电磁开关不工作。

③启动继电器调整不当

技术状况良好的继电器其触点应能适时地开闭，同时应保证接触良好。因此，对继电器铁芯与活动触点臂的空气间隙和触点间隙有一定要求，即空气间隙一般为 0.8～1.0mm，触点间隙一般为 0.6～0.8mm。合适的空气间隙继电器触点易吸合；空气间隙过大，继电器触点不易吸合，则启动机电磁开关不工作。触点间隙小于规定值时，触点断开电压就高。当启动机开关接通后，蓄电池电压下降较快，加在继电器线圈两端的电压也迅速下降，低于触点断开电压时触点断开，这时电动机尚未开始转动，第二层控制电路却被继电器断开，使电磁开关工作不能保证。

（2）第二层控制电路的影响：

①控制电路不良　第二层控制电路是由启动继电器、启动机电磁开关和电源等组成。如果启动继电器触点接触不良，导线连接处松动，氧化或锈蚀等，均会使电路中的电阻增大，甚至为无穷大，从而使电磁开关线圈得到的电流就小，甚至为零，电磁开关线圈随着电流减小吸力也相应减小，不能吸动引铁，电磁开关不工作。如果第二层控制电路中的电流未经负载（电磁开关线圈）而搭铁，则电磁开关不工作。

②电磁开关线圈损坏　电磁开关线圈是用来控制启动机主开关的接通、断开。电磁开关线圈是由吸拉线圈和保拉线圈组成，这两个线圈的作用不完全相同，故搭铁点也不相同。吸拉线圈只是与保拉线圈共同完成吸拉引铁的任务，其搭铁是通过导电片、启动机磁场绕组、经正电刷电枢绕组到负电刷至启动机外壳搭铁；而保拉线圈除完成吸拉引铁任务外，还需将引铁保持在启动位置，故该线圈直接与电磁开关外壳搭铁。因此，就形成了保拉和吸拉之分。当接通电磁开关线圈的电路后，两个线圈吸力叠加，吸动引铁，引铁又顶推触盘与触点接触使启动机主电路闭合，这时吸拉线圈被短路，即该线圈两端电位差近似为零，吸力消失，此时触盘与触点是靠保拉线圈的作用仍处于闭合状态。如果电磁开关线圈断路或短路，其磁场强度减小或消失，吸不动引铁，则电磁开关不工作。如果保拉线圈损坏后，只有吸拉线圈来吸动引铁，但它没有保持引铁的能力。

因此，引铁被吸动、释放，又吸动、又释放，周而复始地形成振动发出“嗒、嗒”的撞击声，使启动机开关工作不正常，如果吸拉线圈损坏，保拉线圈的工作可靠性降低，不能保证电磁开关的正常工作。

（3）第三层控制电路的影响　第三层控制电路是由电磁开关（线圈与引铁）、启动机主电路开关（触盘与触点）等组成。如果开关触点与触盘接触不良，会使启动机工作不良。

（4）蓄电池充电不足的影响　由于蓄电池充电不足，加在继电器线圈两端电压相应降低，即使接通启动机第一层控制电路，其线圈也会因电压过低通过电流强度也很小，使吸力减小，难以使触点闭合，启动机电磁开关不工作。

即使启动机的第一层和第二层控制电路均能勉强闭合，但因启动机启动时蓄电池电压还会继续下降，电磁开关线圈中也会因蓄电池电压下降使电流减小，其磁场强度相应减弱，保拉线圈会因吸力小难以保持引铁位置，则引铁在复位弹簧的作用下复位触盘与触点断开。由于启动机的主电路断开后蓄电池的电压回升，这时吸拉线圈又产生吸力，又与保拉线圈共同吸动引铁接通启动机的主电路，蓄电池的电压又下降，如此周而复始地吸动和释放引铁，使电磁开关出现“嗒、嗒”的振动声，即电磁开关工作不正常。

3. 诊断

（1）检查电源电路　接通点火开关启动挡，启动机不工作。可通过开灯或鸣喇叭，看蓄电池充电情况。如果灯光红暗或喇叭音量小或不响，说明蓄电池电压不足或启动机的导线接触不良或导线过细，应对症处理。

（2）检查第一层控制电路　接通点火开关启动挡后观察电流表，若电流表指针指示在放电极限位置，表明第一层控制电路有搭铁，应用拆线法检查搭铁故障，并进行绝缘处理。如果电流表指示值正常，而电磁开关不工作，表明第一层控制电路有断路，应用螺丝刀按图 7－3－7a）搭接启动继电器电源接线柱与启动机开关接线柱，若电磁开关工作正常表明第一层控制电路有断路，应进而查明，并重新接好。如果搭接后仍不工作，表明是继电器线圈有故障，应予以更换。如果能听到继电器触点有闭合时的撞击声，但电磁开关不工作，表明故障在触点，应打磨，保证触点洁净。

（3）对第二层控制电路的检查

接通点火开关启动挡，若能听到启动继电器触点闭合声响，但电磁开关不动作，可用螺丝刀按图 7－3－7b）作搭接试验。若启动机转动，表明故障是因继电器触点接触电阻值过大所致，应进行打磨消除触点间的电阻即可。否则，将是第二层控制电路断路，即故障在第二层控制电路至启动机电磁开关，应进而查明原因并予以排除。

值得注意的是，检查启动机的控制电路时，应事先检查启动机继电器触点间隙是否符合技术要求，若不符合时应调整。调整方法见图 7－3－8 所示。

（4）对第三层控制电路的检查　用一导线搭接启动机开关主接线柱的电源接柱和电磁开关线圈接柱，若启动机不工作，表明电磁开关线圈有故障，或用万用表测量线圈电阻值，按表电阻值来测定。若测得电阻与表中规定值相差太大，表明是故障所在。若能听到电磁开关内有吸动引铁声响，表明开关的触盘与触点严重接触不良（接触电阻过大），或者触盘不到位，应进而查明原因并予以排除。如果故障属于触盘接触不良，应