

发动机试验室的设计

第一机械工业部
重庆重型汽车研究所

目 录

前言	(1)
一、试验台的选取和数量的确定	(2)
二、发动机试验台和试验台各系统的配备	(3)
三、测功设备的选择	(11)
四、如何实现隔室操作	(16)
五、操作仪表台、仪表和安全技术措施	(22)
六、试验室总体设计和对建筑设计的要求	(26)
七、典型的发动机试验室设计简介	(51)
八、零下50℃的发动机冷起动试验室概况	(54)
九、发展与展望	(59)

汽车发动机试验室的设计

前 言

为研究发展新产品、提高产品质量和改进其性能、以及新产品鉴定等，发动机试验研究、设计和生产单位、以及大专院校有关专业和某些使用维修单位，皆需设置发动机试验室。

由于汽车发动机要使用在不同的地区、气候和路面上，随汽车担负着各种不同的运输任务，故汽车发动机试验室是一个比较复杂的动力试验室。它与别的一般工业试验室相比，包含的内容和涉及的知识面比较广泛，有动、静、热、冷、机械和电等的测量问题；有振动、噪音、发热和排气污染等问题；包括水、电、油和气等的动力供应问题；还有不同的复杂的气候及使用情况模拟、控制和运算等问题。因此试验室的建筑结构较复杂，建筑费用较高，平均约为300—500元/米²。

发动机试验室设计的主要任务是根据试验发动机的使用条件、科研和生产所要求的试验任务，确定试验室的组成，并参照国内外先进水平，尽量采用先进技术，设计先进的试验装备，合理的选择试验设备、仪器和布局，妥善地协调和处理振动、噪音、热和公害之间的矛盾、以及先进和一般测试技术的关系，从而进行试验室的总体布置设计和提出有关建筑设计的要求，以保证新建设的试验室能完成科学试验任务。

发动机试验室设计的要求如下：

1. 试验台要准确、可靠、耐用；

2. 尽量采用先进技术，合理选择试验设备，提高自动化水平和测试精度；

3. 改善试验环境和减轻劳动强度；

4. 使用（如操作、读数和装卸等）、维修和管理方便；

5. 要有完善和可靠的安全技术措施和防火设施；

6. 要留有适当的地方来陈设发动机和试验设备；

7. 有良好的变通性和留有发展的前途——变通性是指可以变更和通用的性能。

试验室设计的内容和程序如附表 1 所示。一份完整的试验室设计应有：（1）试验室设计说明书；（2）试验设备明细表；（3）试验室总平面和单个试验台平面布置图、试验台各系统图以及非标设计图等；（4）对建筑设计的要求和必须提供的图纸资料。

本文介绍了我们对汽车发动机试验室的设计和建设工作的一些体会，引用了现有试验室的一些实测数据和装置，并结合国内外试验室发展概况略加评述。由于篇幅限制，故只选择了几个主要方面的内容，供内燃机行业和试验室建设单位参考使用。

一、试验台的选取和数量的确定

发动机的各种模拟和特种或专用的试验台的选取，主要依据试验发动机的使用和科研要求以及经费的可能而定。

试验室发动机整机试验台数量的确定和选取主要根据发展的产品品种和科学试验研究的需要而定。如果是用于产品出厂检验的工厂试验站，则主要根据产品的产量和工艺流程而定。

从国内外许多发动机试验室的统计资料得知，发展一个产品品种一般需要 4—8 个试验台，最少 3 个，多则十几个。各部门试验台的数量是随着科学技术和产品品种的发展而不断增加的。国外一些发动机试验室的建设和发展概况见附表 2。

里卡图公司为研制发展一种新型发动机要试制出15台样机，其中规定性能试验研究、机械负荷耐久试验和热负荷耐久试验最少各占用一台样机和一个试验台。

西德本茨公司声称，为发展缸径125毫米、功率为240—525马力的OM400系列七个品种柴油机先后动用了五十多个试验台。

美国通用汽车公司的底特律——阿里逊公司为发展一种功率为123KW和153KW（增压）/3000转/分的V8四冲程柴油机（排量8.2升）来代替装在短途送货卡车上的V8汽油机，动用了近20个试验台。

一般认为，发展一个新系列的产品约需七年时间，在同一系列里发展一个新型号也需2—3年时间。在此期间要做大量的试验研究和改进工作，如果没有足够的试验台，势必影响产品定型投产时间。

二、发动机试验台和试验台各系统的配备

发动机试验台由混凝土基础、铸铁底板、测功机、发动机支架、试验台各系统和操作仪表台及仪表等组成。测功机和底板都安装在基础上，发动机则安装在底板上面的活动支架上，用挠性联轴节与测功机联接在一起。

现代一些发动机试验台多采用全基础底板（整个试验台基础上都装有底板）和发动机的活动支架，使试验台具有良好的变通性，以适应多品种发动机和大小测功机的安装和更换。

试验台各系统的油、水、电、气管道繁多，除合理设计与布局外，在与试验发动机连接处，要采用标准橡胶软管和金属软管、标准接头和接插元件连接，以隔振和便于快速装卸。

试验台各系统包括燃油、机油（润滑油）、冷却水、测功机用水、进排气和起动等系统。设计和配备各系统时，要注意管道

阻力小，使用可靠、耐久、抗腐蚀、便于操作和维护等。液体管道要能避免气障，有排除管道中气体的措施；排气管道还要有消音、防爆和排除沉积在管道和消音坑中油水的措施。

1. 燃油供给系统

试验台的燃油从集中供油站油罐、经沉淀和滤清，通过重力、油泵、气压或水压等方式输送至各试验台的油耗测量装置的容器中，再由试验发动机本身的低压燃油泵抽送给高压油泵或汽化器后供给发动机。进入测量装置前应有专门的旋塞油阀或再与一般油阀串联双重保险，以防止漏泄，便于维修。

汽油机一般采用容积法油耗测量装置，柴油机则采用重量法。精确和连续测量二者皆可采用质量流量计（美国FLO-TRON公司生产）。

在一定的条件下，水压式集中供油是较为合理的，它用自来水或高处水箱的压力来推动和控制燃油流动（可输出又可抽回），在贮油箱里

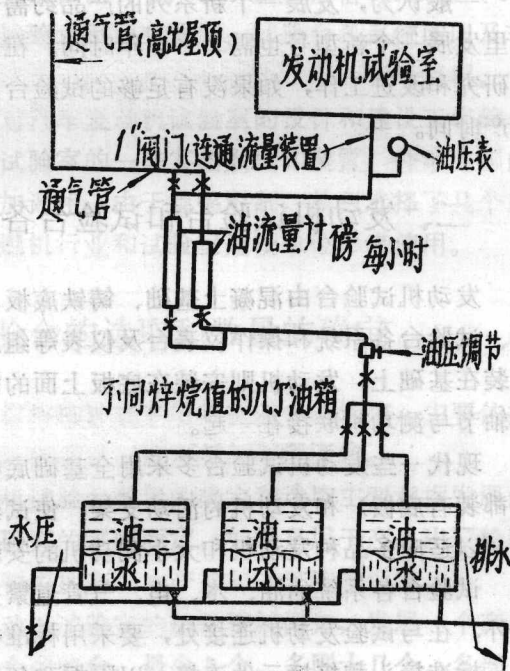


图1 水压式燃油供给系统

两种液体因比重不同而自动分层，如图 1 所示。这种装置中水还起到降温作用，因此避免了燃油的蒸发损失和爆炸的可能性。由于不需别的动力，设备费用少，经济可靠。

2. 机油冷却系统

试验台多和机油用量大的试验室采用集中供油。机油冷却系统和油温自动控制装置如图 2 所示。

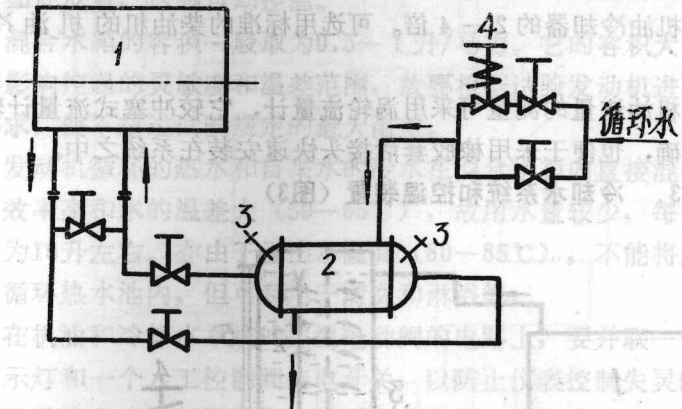


图 2 机油冷却和自动控温系统示意图

- | | |
|----------|----------|
| 1. 发动机 | 2. 机油冷却器 |
| 3. 温度传感器 | 4. 电磁阀 |

除单缸机外，机油的流动、循环和滤清皆利用试验发动机本身的机油泵、管道和粗细滤清器，也不需额外加热，只需冷却，即另增加一个机油冷却器（或采用喷水冷却发动机油底壳）。如图 2 中，当预热发动机需要时，可关闭通往机油冷却器两阀门而打开中间阀门，此时机油便不通过外加的冷却器进行发动机内部的小循环。试验时，通往冷却器的两阀是打开的，中间阀门则关闭。当机油温度升至一定时，由温度传感器反应给调节式温度

计，而控制电动阀门开启或打开直接作用温度调节器的阀门，冷却水便自动进入机油冷却器中，使机油冷却。温度降低后，调节式温度计作用又将水阀关闭，如此循环，达到自动控温。

机油的冷却为热交换式间接冷却，进出冷却水的温差较小，约20—30℃，效率低和耗水量大，每马力小时约需20—30升。设有循环水的试验室，应采用循环水冷却，以节约用水和便于直接作用式温度调节器的使用。

设计或选用机油冷却器时，它的散热面积一般宜采用为原发动机机油冷却器的2—4倍。可选用标准的柴油机的机油冷却器。

机油流量的测量可采用涡轮流量计，它较冲塞式流量计轻便和精确，也便于采用橡胶套活接头快速安装在系统之中。

3. 冷却水系统和控温装置 (图3)

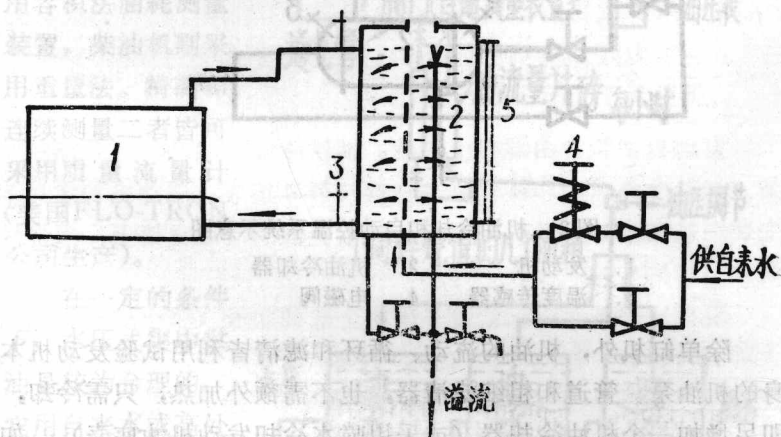


图3 发动机冷却系统示意图

1. 发动机 2. 混合水箱 3. 温度传感器
4. 电磁阀 5. 液面器

多缸发动机冷却水借助本身水泵循环，不另设加热器。试验

运转时水温逐渐上升，安装在混合水箱进出口处的温度传感器便不断将温度变化信号传给调节式温度计，当发动机出水温度达到一定时（80—90℃），调节式温度计将电动阀门开启，或温度传感器直接作用的温度调节器（如汽车节温器）的阀门受热自行打开，使自来水充入混合水箱内与原来的热水混合形成热交换，从而降低发动机的冷却水温度。此时，多余的热量便经溢流管流出，带走大量的热量。水温下降后，温度调节器控制自来水阀门关闭，如此反复，达到自动控温。

混合水箱的容积一般取为0.5—1升/马力。它的容积大小将直接影响控温的灵敏度和温差范围，故要根据试验发动机进出水温要求，使不超过试验规定的最大温差。

发动机循环的热水和自来水的冷水在混合水箱内直接混合，冷却效率高和水的温差大（50—65℃），故用水量较少，每马力小时为10升左右。亦由于溢出水温高（80—85℃），不能将此水排入循环热水池内，但可利用于清洗和淋浴等。

在机油和冷却水系统的控温电动阀的电路上，要并联一个阀门指示灯和一个人工控制阀的电开关，以防止仪表控制失灵时和在试验前能人工控制开启电动阀门向冷却器和混合水箱加水。

4. 测功机供水系统配备（循环水系统）

水力或水冷电涡流测功机的耗水量大（20—30升/马力），并要求恒定和稳定的压头，一般为0.35—0.7公斤/厘米²，因此在试验台多和试验发动机功率大时，应采用循环水以节约用水（如图4所示）。

各试验台测功机用水分别从冷却塔下的上水池借其水位差自动流来。每一测功机皆设单独管道，不能共用一管，以免产生压力波动和相互干扰。用过的水借其本身重力流回循环热水池，非封闭循环，故来回水管管径不能设计成一样，即回水管径应大于

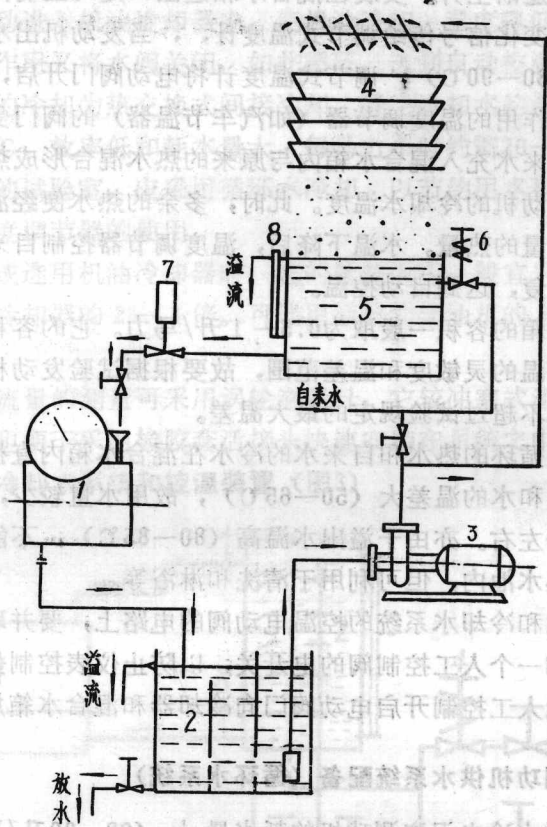


图4 测功机循环水系统示意图

1. 测功机
2. 热水池
3. 水泵
4. 冷却塔
5. 上水池
6. 电磁阀
7. 电动调节阀
8. 液面指示控制器

供(来)水管径。设计的热水池必须如图4分数格,达到表面除油污和底面沉积尘砂的目的。经过清洁处理的热,才由水泵泵送至冷却塔,冷却后再供给各试验台测功设备使用,这就是它

的循环。上水池的水面指示和控制，可用标准的半导体水面指示器来控制一台或数台水泵泵水，以保持水面一定。由于循环水的蒸发消耗，当热水池或上水池的水面低于一定时，皆要能自动控制电控阀向上水池增添自来水，同时发出缺水警报信号，如电铃和指示灯等。测功机要求进水温度在 $25-28^{\circ}\text{C}$ 以下，出水温度不超过 $50-55^{\circ}\text{C}$ 。

试验台的测功机、发动机和机油冷却水应全部供给软水，如当地自来水为硬水，应经软化处理。

循环水系统一般只供给测功机和机油冷却器用水，有时还供给其它试验设备如制冷设备和水环式真空泵等用水。经软化处理的水，也供给发动机的冷却用，但它不回收。

循环水系统的建筑包括冷却塔、上下（热）水池以及水泵房等。这里只提出上述有关要求、流量和各用水处，交建筑单位设计。

5. 进排气系统的配备

(1) 排气系统

用于排出发动机的废气和降低排气噪音。管径可根据试验发动机最大排气量和允许的背压来选择。一般汽车发动机试验容许的排气系统最大阻力为 $40-50$ 毫米水柱。为适应增压柴油机的实际使用情况，增压单缸柴油机排气管道中要装背压控制阀。

试验发动机的排气管与试验台的排气管联接，要采用可自动伸缩以补偿其热胀冷缩的接管或接头，如不锈钢波纹软管或部分不锈钢波纹软管做的接头，以适应不同试验发动机的排气口的不同位置和方向，使有良好的变通性。否则，每更换一种发动机便需专门配制一根或二根排气管。

地下埋设的排气管要采用铸铁管，才能经久耐用，并要求搁架在地沟内的弹性垫层上（如沙坑内），以防止排气压力波引起

的振动传至外界。经过混凝土地面时要预埋金属套管以隔热和隔振。

试验台用的排气消音措施，现一般不用金属消声器，而采用砖砌二节或三节阻抗结合式消音坑。图5所示为重庆汽车发动机试验室（以下简称重发试验室）用的排气消音坑。这种消音坑消音效果好（达40分贝左右），结构简单，施工方便，并能就地取材。

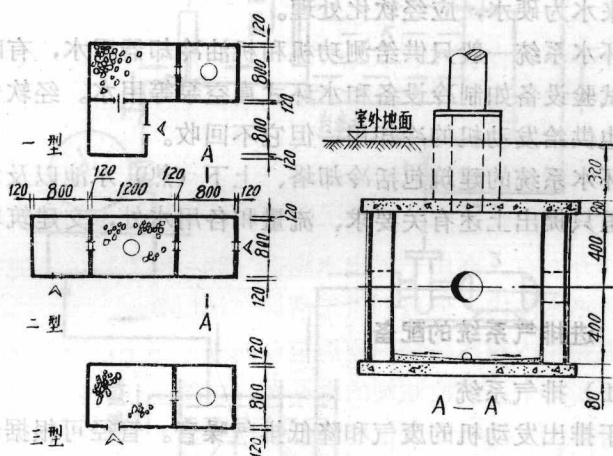


图5 排气消音坑平剖面示意图

消音坑的横向(短)尺寸可取为试验发动机排气管径的10倍左右。各种大小消音坑建工部门有许多研究，设计时可参考建工部建研院建筑物理研究所的“发动机排气消音坑的试验研究”。

废气排出室外要采用砖烟囱，3毫米厚的钢制烟囱因为锈蚀，寿命只有10年左右。由于废气中主要成份为二氧化碳和水蒸气，排出的气体遇到室外冷空气和冷管壁要凝结成水滴，故消音坑内要做排水口，并将排气管道向消音坑的排水口作流水坡度，以避免积水或油而堵塞排气管道。

(2) 进气系统

试验发动机的进气一般从室内吸取，为不受室温波动的影响也有从室外接管引入的。需测量空气流量时得增加空气稳压箱、流量计及相应的管道。为保持试验的准确性，研究性和单缸试验台室内宜采用空气调节，以保持一定的大气温度、湿度和压力，尽可能保持到试验规范的标准状态。这样试验的再现性就比较容易保证，而不受冬天和夏天、室温和气候条件变化的影响，试验的功率和油耗便可避免修正的误差。

6. 起动系统的配备

汽车发动机本身带有马达起动，在车上有蓄电池供给12或24伏直流电源。起动时瞬间电流很大，为数百到成千安培，如6140型柴油机瞬间起动电流平均为400A左右，用示波器测得最大波峰电流为900—1000安/21伏，6150Z柴油机瞬间起动电流峰值达1500安/21伏。因此，在设计选用试验供电装置线路的截面时要尽可能大些，使发动机起动时瞬间电压降不超过2—3伏。

在试验台多的发动机试验室，宜采用直流发电机组作为各试验台起动的直流电源设备，它比使用硅整流器有下列优点：如有较大的超载能力，使用可靠（传统的电机不易发生故障），且价格只有相同容量硅整流器的三分之一左右。用瓶供电是不方便的，也要购置充电设备，占用专门的充电间和人员，且试验室易为电液污染，增加管理的麻烦。

三、测功设备的选择

测功设备是发动机试验室的主要设备，用于测功和吸收功率。选择使用时不能单纯视其型号和规格，还要从性能、经济和动力供应等全面考虑。

最常用的吸收和测量功率的测功设备有直流电力测功机、水冷电涡流测功机和水力测功机三种，它们的功率和转速特性见图6。

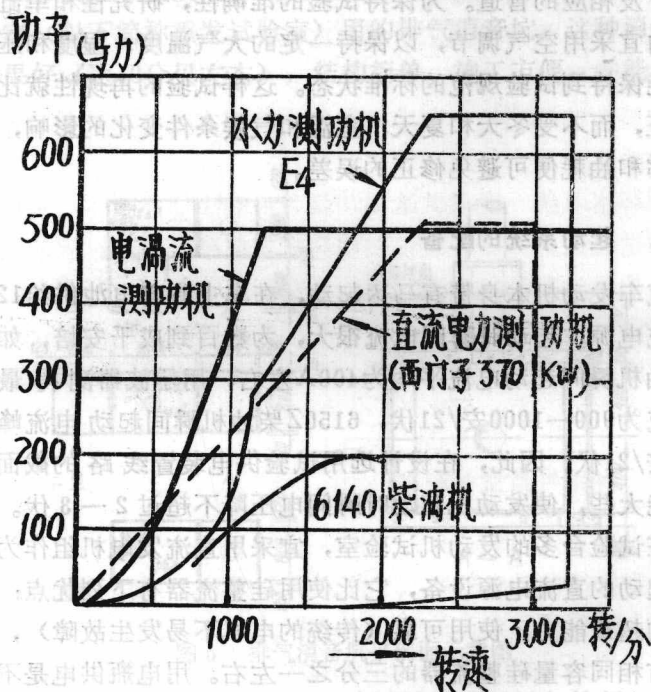


图6 三种测功机的特性

直流电力测功机在低转速和中等转速时扭矩不变，功率随着转速的增加直线上升，但高转速时扭矩下降，功率不变与转速成平行直线。故选取时应考虑发动机在额定功率的转速时测功机的相应功率。如图6所示，西门子370千瓦电力测功机要2300转/分才达到全功率，在2000转/分时测功机功率为322千瓦(435马力)，故试验发动机在2000转/分时功率应小于322千瓦，而不能用到

370千瓦。

直流电力测功机灵敏度和精度较高。它的最大优点是可以拖动试验发动机或其它需要拖动的试验设备，并适应于电气化和自动化。但由于它配有一套相应的供电和变流机组，故价格比较贵和占用较大的建筑面积。另外是它起动时要备用足够功率的电源，但在试验发动机运转时，它可发电并向电网供电。

由统计资料知，可试验相同发动机功率的电力测功机价格一般为水力测功机的8—12倍，为一般电涡流测功机的4—6倍。而电涡流测功机的价格又约为水力测功机的2—3倍。

水力测功机的扭矩与转速的平方成正比，功率则与转速的立方成正比，因此在低转速时能吸收的扭矩或功率很小，对试验汽车发动机来说，这是它最大弱点。其次是它不便于自动化，虽采用电动调节阀可解决远距离操作或自动控制问题，但由于水阀开关时水头的滞后和冲击现象以及水流的不稳定，使它对负荷和转速变化反应很慢，不灵敏、不平稳和测量精度较差。故发动机试验要求精度高和重复性好的，以及汽车道路模拟试验或需进行瞬态变化的连续试验等，都不宜采用水力测功机。但因其体积小、结构简单、制造维修方便和价格便宜，故国内外还多采用它，特别是大功率和固定转速的船用柴油机更为广泛使用它。

选用水力测功机时，特别要注意它的功率与转速特性曲线，如E₄型和标称为650马力/3500转/分的水力测功机，由于它低转速时吸收功率很少（如图6），用于柴油机试验只能适应于6140和6130Z型柴油机，最大试验功率分别为200和300马力左右。X₃型水力测功机标称为1000马力/3000转/分，实际上根据转速的不同，最大只能试验300—450马力的汽车柴油机。其次是选用水力测功机时，要考虑它比较大的耗水量（每马力小时为20—30升）。

电涡流测功机在最低转速范围内扭矩小于电力测功机，而高于水力测功机。但它在较低的转速时便可达到最大扭矩，功率开

始直线上升。当转速升高到最高转速的 $1/3-2/5$ 时（电力测功机要到 $2/3-4/5$ ）便达到额定功率，这一性能又优于电力测功机。而高转速时扭矩下降，功率曲线平直，与电力测功机相同。因发动机试验一般不需太低的转速，故也有认为电涡流测功机的性能优于电力测功机。电涡流测功机一般皆附加自动控制装置，使激磁电流随转速自动变化，测量精度高，最适用于需要重复进行的试验；亦具有结构简单、价格较低、能适应于自动化的优点。它只需变动最大不过几安培的激磁电流就可自由控制吸收的扭矩，故比水力测功机运转平稳和操纵方便得多，成为现代发动机试验室广泛应用和代替水力测功机的设备。

电涡流测功机的耗电量不大，耗水量与水力测功机相同，每马力小时为20—30升。如英国亨拉水冷电涡流测功机 Mark VI 型 3000 马力/1160—2500 转/分，1855/860 公斤·米，全负荷时只耗电 2 千瓦。又如日本明电舍生产的电涡流测功机 TW-D1 型，220 千瓦/2500—6000 转/分，全负荷耗电量只 140 瓦（36 伏，3.6 安），水压 0.42 公斤/厘米²，耗水量每分钟 120 升。英国亨拉和日本明电舍生产的部分电涡流测功机规格见附表 3。

不论选用何种测功机，要试验的发动机功率—转速特性（外特性）必须包含在选择测功机功率与转速特性曲线之内。如图所示的 6140 型柴油机外特性包含在三种测功机特性之内，但在 650 转/分以下，E₄ 型水力测功机已不能全吸收该发动机的功率。

总之，直流电力测功机虽然价格很贵，但为了拖动发动机或其它试验设备，以及为了科研试验的需要，试验室的性能试验台皆需要采用有一定比例和数量的直流电力测功机，并且单缸试验台一般也需采用它。今后电涡流测功机（特大功率者除外）将代替水力测功机广泛使用在汽车发动机试验台上，现有水力测功机特别是大功率者仍将继续使用和向自动控制发展。

但如从能源或长远的观点看问题，直流电力测功机更显示出

它所独特的优点，即用它进行发动机试验时可不断向电网供电，不单是它的成本可在5—10年收回，而且它每年都能额外地给国家增供许多电力。如西门子370千瓦电力测功机用于200—300马力的柴油机试验，以每天开一班计，平均每年至少可发电20万度，按回收电费折算，它的成本可在9年收回。如用E₄或X₃型水力测功机进行相同的功率和班制的试验，平均每年至少需耗循环水量1.2万吨，平均每年耗电至少6000度，这样10年付出的水电费，又可再购置一台相同的水力测功机。目前，现代电力测功机结构在简化，技术改进和采用可控硅代替励磁机组等，使试验的负荷和速度调节自动化，并不受外界电网的影响，更提高了测量的精度和稳定性。因此，可以预见，电力测功机的广泛使用是有前途的。

重发试验室各试验台选用的测功机一览表

测 功 机 及 型 号	台数	最大吸收功率	最 高 转 速 转/分
电力, 西门子AQG286/23-4	1	370千瓦	3000
水力, E ₄	1	650马力	3500
电涡流 (法)	1	450马力	3000
水力, X ₃	1	1000马力	3000
水力, X ₃	1	1000马力	3000
水力, G ₅ 串联X ₃	2	1700马力	3000
电力, 西门子AQG1592-4	1	70千瓦	3000
电力, 西门子AQG1592-4	1	55千瓦	4000
电力, GPF—5型	1	14千瓦	6000