
指南编号/Guideline No.H-03(201510)



H-03 液压马达

生效日期/Issued date:2015 年 10 月 20 日

©中国船级社 China Classification Society

前言

本指南是 CCS 规范的组成部分，规定船舶入级产品，授权法定产品检验适用技术要求，检验和试验要求。

本指南由 CCS 编写和更新，通过网页 <http://www.ccs.org.cn> 发布，使用相关方对于本社指南如有意见可反馈至 ps@ccs.org.cn

历史发布版本及发布时间

本版本主要修改内容及生效时间：

目 录

液压马达	4
1 适用范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 图纸资料	5
5 原材料及零部件	6
6 焊接工艺评定	6
7 设计技术要求	6
8 型式试验	14
9 单件/单批检验	15

液压马达

1 适用范围

1.1 本指南适用于拟配套安装于 CCS 入级的海上航行船舶及海上设施的液压马达（额定压力 $\leq 42\text{Mpa}$ ）。

1.2 本指南提及的液压马达主要包括：

- (1) 液压轴向、径向柱塞马达；
- (2) 外啮合渐开线齿轮马达；
- (3) 叶片马达；
- (4) 摆动式液压马达；

对其他类型液压马达可参照执行。

2 规范性引用文件

- 2.1 中国船级社《钢质海船入级规范》
- 2.2 GB/T 13853-2009《船用液压泵液压马达技术条件》
- 2.3 JB/T 10829-2008《液压马达》
- 2.4 JB/T 8728-2010《低速大扭矩液压马达》

3 术语和定义

3.1 关于产品检验、型式认可、型式试验、样品、单件/单批检验等术语的定义，参见 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章。

3.2 额定压力：在额定转速条件下连续运转，并能保证设计寿命的最高输入压力。

3.3 空载压力：液压马达不带负载运转时的输入压力。

3.4 最高压力：允许短时间运转的输入压力峰值。

3.5 公称排量：液压马达几何排量的公称值。

3.6 理论流量：在单位时间内为形成指定转速，液压马达封闭腔容积变化所需要的流量。

3.7 额定转速：在额定条件下连续运转，能保证设计寿命的最高转速。（注：对于变量马达，处于不同排量时，其额定转速可能是不相同的，因此，应提供变量马达处于不同排量时所对应的额定转速。）

3.8 最高转速：允许短时间运转的转速峰值，应不低于额定转速的 110%。

3.9 最低转速：马达在正常的工作条件下，能够稳定运转的转速的最低值。

3.10 额定工况：在额定压力、额定转速条件下（变量马达在最大排量）的运行工况。

3.11 输入功率：液压马达入口处输入的液压功率。

3.12 输出功率：液压马达输出轴上输出的机械功率。

3.13 理论扭矩：液体压力作用下液压马达转子形成的扭矩。

3.14 实际扭矩：液压马达轴输出的扭矩。

4 图纸资料

4.1 下列图纸资料应提交批准：

- (1) 产品主要性能规格；
- (2) 总装配图；
- (3) 主要零部件图（马达本体组件、安全阀组件、控制器组件、马达轴、转子（适用时）、活塞（适用时）、缸体（适用时）、活塞环（适

用时)、传动齿轮(适用时)、叶片(适用时)、马达壳体、端盖等);

- (4) 设计计算书;
- (5) 主要零件材料理化性能一览表;
- (6) 产品出厂试验大纲。

4.2 下列图纸资料应提交审查:

- (1) 有关主要的验收标准;
- (2) 产品使用说明书;
- (3) 产品铭牌、产品质量证明书等样本。

5 原材料及零部件

5.1 根据不同类型的液压马达,其零部件种类不同。

5.2 产品原材料及零部件应按照我社现行规范相关要求进行了控制

5.3 主要零部件包括:马达壳体、端盖、马达轴、转子(适用时)、活塞(适用时)、缸体(适用时)、活塞环(适用时)、传动齿轮(适用时)、叶片(适用时)、安全阀组件、控制器组件、密封件。

5.4 如 5.3 所述的主要零部件为外购或外协加工时,申请方必须建立完善的对分包方质量进行控制的方法以确保质量,且必须提供材料质量证明书。

6 焊接工艺评定

6.1 液压马达的壳体,如采用焊接结构或焊补工艺的,则该工艺需按照 CCS《材料与焊接规范》的有关要求进行焊接工艺评定。

7 设计技术要求

7.1 性能要求

液压马达的性能要求应满足 CCS 接受的公认标准要求，此外还应进行船用环境适应性试验。通常液压马达性能要求包括：

7.1.1 耐压性

液压马达的耐压腔室应能承受 1.5 倍额定压力并持续 5min 而无渗漏，零部件应无永久变形。

7.1.2 排量

液压马达的空载排量应在其公称排量的 95%~110% 范围内。

7.1.3 容积效率与总效率

按照本条规定计算或等效标准计算的马达容积效率和总效率，应符合 CCS 接受标准的要求。

按下列步骤操作：

- (1) 调节马达进口压力，使其试验压力分别为额定压力的 10%、25%、40%、55%、70%、85%、100%；
- (2) 调节马达的转速，使其转速分别为额定转速的 10%、25%、40%、55%、70%、85%、100%；
- (3) 对应上述各工况，分别测马达的压力、流量和转速，并绘制马达的压力、流量随其转速变化的曲线；
- (4) 按以下公式计算马达的容积效率与总效率。

$$\text{容积效率: } \eta_v = \frac{v_{1,i}}{v_{1,e}} = \frac{q_{v1,i} / n_i}{q_{v1,e} / n_e} \times 100\%$$

$$= \frac{(q_{v2,i} + q_{vd,i}) / n_i}{(q_{v2,e} + q_{vd,e}) / n_e}$$

----- (1)

$$\text{总效率: } \eta_t = \frac{2\pi n_e T_2}{1000(p_{1,e} q_{v1,e} - p_{2,e} q_{v2,e})} \times 100\%$$

$$= \frac{2\pi n_e T_2}{1000[p_{1,e}(q_{v2,e} + q_{vd,e}) - p_{2,e} q_{v2,e}]} \times 100\%$$

----- (2)

$$\text{输入液压功率: } p_{1,n} = \frac{p_{1,e} \times q_{v1,e}}{60} = \frac{p_{1,e}(q_{v2,e} + q_{vd,e})}{60} \text{ (KW)}$$

----- (3)

$$\text{输出机械效率: } p_{2,m} = \frac{2\pi n_e T_2}{60000} \text{ (KW)}$$

----- (4)

$$\text{起动效率: } \eta_{hm} = \frac{2\pi T_2}{\Delta p v_{1,i}} \times 100\%$$

式中:

$v_{1,i}$ -----空载压力时的输入排量, 单位为 ml/r;

$v_{1,e}$ -----试验压力时的输入排量, 单位为 ml/r;

$q_{v1,i}$ -----空载压力时的输入流量, 单位为 L/min;

$q_{v1,e}$ -----试验压力时的输入流量，单位为 L/min;

n_i -----空载压力时的转速，单位为 r/min;

n_e -----试验压力时的转速，单位为 r/min;

$q_{v2,i}$ -----空载压力时的输出流量，单位为 L/min;

$q_{vd,i}$ -----空载压力时的泄漏流量，单位为 L/min;

$q_{v2,e}$ -----试验压力时的输出流量，单位为 L/min;

Δp -----输入试验压力与输出试验压力之差，单位为 MPa;

$q_{vd,e}$ -----试验压力时的泄漏流量，单位为 L/min;

$p_{1,e}$ -----输入试验压力，高于大气压为正，低于大气压为负，单位为 MPa;

$p_{2,e}$ -----输出试验压力（即背压），单位为 MPa;

T_2 -----输出转矩，单位为 N.m.

7.1.4 启动效率试验

在额定压力下的最低启动效率应符合 CCS 接受标准的要求。

7.1.5 低速性能试验

在最大排量、额定压力和规定背压条件下，液压马达的最低稳定转速应符合 CCS 接受标准的要求。

7.1.6 变量特性试验（适用于变量马达）

根据变量控制方式，在设计规定的条件下，测量不同的控制量与被控制量之间的对应数据，绘制变量特性曲线，应符合公认标准的相关要求。

7.1.7 噪声

在额定工况下，液压马达空气噪声（A 声压级）应符合 CCS 接受的标准要求。噪声的测定可参照 CCS《船舶及产品噪声控制与检测指南》2013 进行。

7.1.8 超速性能

液压马达在额定压力及空载下应能承受在 125% 额定转速或设计规定的最高转速（选择其中高者）下，液压马达应能正常运转 15min 以上，无异常现象出现。

7.1.9 超载性能

液压马达在最高压力或 125% 的额定压力及额定转速工况下，液压马达至少能连续正常运转 20h，无异常现象出现。

7.1.10 耐久性

液压马达在耐久试验后，其容积效率下降值应满足：

- (1) 叶片马达、柱塞马达： $\leq 3\%$ ；
- (2) 齿轮马达： $\leq 4\%$ 。

耐久性能可按 CCS 接受的标准进行或下列方案之一：

- (1) 以每分钟 10 次~15 次的频率对液压马达进行不少于 10 万次的连续液压脉冲冲击试验（脉冲高低幅值分别为该马达额定压力、空载压力，其中高幅值的持续时间应不少于整个试验周期的 33%），观察马达运转情况。

- (2) 以每分钟 5 次的频率对液压马达进行不少于 5 万次的连续正反向切换试验冲击，观察马达的运转状况。
- (3) 液压马达满载试验连续运转 3000h，观察马达的运转情况。
- (4) 液压马达连续超载试验（超载量为该马达额定压力的 125%）运转 200h，观察马达的运转状况。

7.1.11 环境适应性

(1) 低温性能

在环境温度和液压油温度分别为-25℃和-15℃的条件下，液压马达应能够正常运转而无渗漏，其紧固件不松动；

(2) 高温性能

在环境温度和液压油温分别达到 55℃和 65℃的条件下，液压马达应能够正常运转而无渗漏，其紧固件不松动；

- (3) 倾斜摇摆： $\pm 7.5^\circ$ （纵摇，周期分别为 3s、5s、7s）； $\pm 22.5^\circ$ （横摇，周期分别为 3s、5s、7s）；

- (4) 振动：频率为 2Hz~10Hz 时，位移幅度值为 $\pm 1\text{mm}$ ；频率为 10Hz~80Hz 时，加速度值为 $\pm 7\text{m/s}^2$ ；

- (5) 冲击：加速度值为 100m/s^2 ，加速度波形持续时间为 6ms；

- (6) 交变湿热：温度为 $25^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 90%~96%；

- (7) 霉菌：温度为 $28^\circ\text{C} \sim 38^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 90%~98%，长霉程度为 1 级；

- (8) 盐雾：温度为 $35^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，PH 值为 6.5~7.2。

7.1.12 密封性能

- (1) 静密封：各静密封部位在正常工作条件下不应渗油；
- (2) 动密封：各动密封部位在正常工作条件下，4h 内不应滴油。

7.2 装配要求

7.2.1 元件应使用经检验合格的零件和外购件按相关产品标准或技术文件的规定和要求进行装配，任何变形、损伤和锈蚀的零件及外购件不应用于装配；零件在装配前应清洗干净，不应带有任何污染物(如铁屑、毛刺、纤维状杂质等)；元件装配时，不应使用棉纱、纸张等纤维易脱落物擦拭壳体内腔及零件配合表面和进、出流道，不应使用有缺陷及超过有效期限的密封件；元件的外露非加工表面的涂层应均匀，色泽一致，喷涂前处理不应涂腻子。

7.2.2 液压马达内部清洁度应符合制造厂采纳标准的规定。

7.2.2 马达装配后，将其各油口堵死，向封闭的壳体内充入 0.16MPa 的气体，不应有漏气现象（适用时）。

7.2.3 装配后的马达安全阀和控制器的功能应进行试验（适用时）。

7.3 外观质量及加工质量

产品及零部件外观应符合以下规定：

- (1) 马达壳体应经相应热处理，消除内应力，壳体等铸件非加工表面，不得有皱纹、流痕、气泡和针孔等缺陷；
- (2) 有关铸造零件的内部非加工表面和采用的紧固件应采取有效的防腐措施；
- (3) 涂装要求应符合相关通用标准规定的规定。

7.4 标志

7.4.1 液压马达应在明显位置设置产品铭牌，铭牌及相关标识使用语言必须为英文或中/英文，铭牌内容应包含：

- (1) 产品名称、型号、出厂编号；
- (2) 主要技术参数；
- (3) 制造厂名称；
- (4) 制造日期。

7.4.2 对有方向要求的液压元件（如液压泵的旋向等），应在元件的明显部位用箭头或相应记号标明。

7.5 材料要求

7.5.1 液压马达主要零部件材料的选用应适合工作介质的种类、温度和压力等条件。

7.5.2 液压马达壳体和控制器等主要受压部件所选材料应具有一定的延性，并满足 CCS《钢质海船入级规范》或 CCS 接受标准的规定。对于马达壳体等受压部件材料使用灰铁材料时，需评估其安全裕度，必要时采用合适的试验方法（如：爆破试验）进行验证试验。

7.5.3 马达轴的材料一般为碳钢或合金钢的锻件或圆钢，一般需渗碳调质处理。马达轴等承受交变载荷的重要零部件材质需进行热处理，热处理工艺应满足 CCS 接受标准中各有关材料热处理要求。

7.5.4 马达安全阀（如有时）的材料满足 CCS 接受标准的规定，材料强度应承受液压马达在最高工作压力而不致损坏。

7.5.5 所有受压零部件在装配前均应进行 1.5 倍设计压力、试验时间不少于 5min 的水压试验。

7.5.6 马达所使用的非金属材料应禁止含有石棉成分。

7.6 强度要求

7.6.1 液压马达壳体及控制器壳体的强度可按照 CCS《钢质海船入级规范》的相关要求或 CCS 接受标准进行计算校核。

7.6.2 液压马达轴的强度应承受输出端的扭矩；转子与马达驱动轴的连接强度应能承受所传递的扭矩。

7.7 马达轴承寿命设计应就所选型号的轴承在实际运用中承受的当量动载荷进行计算。

7.8 安全阀

7.8.1 液压马达一般应设安全阀，当系统压力超过设计压力时安全阀自动开启并溢流，从而起到安全保护功能；

7.8.2 液压马达安全阀开启压力一般设定为不小于马达额定压力的 1.25 倍；

7.8.3 对于安全阀的调整开启压力和相应于马达最大标定流量时安全阀的流量应进行试验，对已做过安全阀流量试验的同型号马达的安全阀，可不进行安全阀的流量试验。

8 型式试验

8.1 典型样品选取

8.1.1 申请方申请单一规格的产品进行型式认可时，任意抽取一台进行型式试验；

8.1.2 申请方申请不同型号不同规格的系列产品进行型式认可时，每一型号系列按大、中、小各抽取一台，以覆盖每一型号中最具代表性或最大规格的产品进行型式试验。

8.2 型式试验的项目与方法。

8.2.1 试验装置见附录 1。

8.2.2 试验条件

除另有规定外，试验用工作介质应符合下列要求：

(1) 型式试验时工作介质温度为 $50 \pm 2^\circ\text{C}$ ；出厂检验时工作介质温度应

为 $50 \pm 4^\circ\text{C}$;

- (2) 工作介质运动黏度应为 $1.7 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s} \sim 5 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$;
- (3) 工作介质的固体颗粒污染等级应不低于 GB/T14039-2002 规定的 -/19/16;
- (4) 测试仪表的精度等级不应低于表 2 中 B 级要求。

8.2.3 马达试验前应按照工厂的内部程序完成功能试验和跑合。

8.2.4 型式试验项目和方法见表 3。

9 单件/单批检验

9.1 检验内容

- (1) 认可后的液压马达的检验包括资料审查、制造过程中的检验及出厂试验;
- (2) 制造过程中的检验主要包括材料试验、重要零件的探伤（如有要求）、零部件的制造及装配质量检查等;
- (3) 马达轴、马达壳体等主要铸锻件应在经 CCS 认可的工厂采购并进行材料机械性能试验。

9.2 制造厂需提交的记录或报告，至少应包括：

- (1) 在制造厂完成加工的主要产品零件的材料质量保证书和/或理化性能复验报告;
- (2) 主要外购件或外协件的合格证明及有关证书;
- (3) 制造厂检验、测量、试验条件，并提供所使用的试验设备和检测设备清单及有效的检定证明复印件，测试仪表精度表和测试精度表见表 1、2;

测试仪表精度表

表 1

参数	精度等级		
	A	B	C
转速/%	±0.5	±1.0	±2.0
扭矩/%			
容积流量（排量）/%		±1.5	±2.5
压力/%			
温度/°C		±1.0	±2.0

测试精度表

表 2

参数	精度等级		
	A	B	C
转速/%	±0.5	±1.0	±2.0
扭矩/%			
容积流量（排量）/%		±1.5	±2.5
压力/%			
温度/°C	±1.0	±2.0	±4.0

注：对精度等级，A 级高于 B 级，B 级高于 C 级。

- (4) 制造厂试验报告。试验报告中应包括产品或样品型号、规格、编号和试验日期、试验环境、试验项目和各项试验数据、试验和检查中发现的问题及其处理的说明、试验的结论。

9.3 液压马达出厂试验的项目与方法见表 3。

液压马达检验项目与试验方法

表 3

序号	检验项目		型式 试验	出厂 检验	试验方法	备注
1	外观质量		X	X	马达零部件表面应无毛刺及其他杂物，铸件无裂纹、气孔、疏松等缺陷，其通道、容腔应无任何的夹渣或残留物。	
2	材料及装配质量		X	X	1、液压马达主要零部件材质证书核查； 2、重要零部件（如马达轴）须由验船师见证机械性能试验；批量生产时，接受按材料的炉批号抽样见证试验；3、受压零部件在装配前均应进行 1.5 倍设计压力、试验时间不少于 5min 的水压试验。	
3	密性试验		X	X	对马达施加额定压力的压力并保持 5min，马达密封部位应无泄漏现象。对采用等效方法应特别考虑。	
4	内部清洁度		X	X	按照 JB/T7858-2006 规定的方法测定马达的内部清洁度，结果应符合其 5.6 的要求或 CCS 接受的标准要求。	
5	安全阀起跳试验（适用时）		X	X	启动马达，使其工作压力逐渐增加，当压力增至额定压力的 1.25 倍时，安全阀应开启。	
6	安全阀排量试验		X	—	对于安全阀的调整开启压力和相应于马达最大标定流量时安全阀的流量应进行试验（对已做过安全阀流量试验的同型号马达的安全阀除外）。	
7	性能 试验	耐压性试验	X	X	对马达的耐压腔以每秒 0.1 倍该马达额定压力的递增速度实液压至 1.5 倍额定压力，保压 5min，应无渗漏现象，零部件无永久变形。	
8		排量验证试验	X	X	对马达按 GB/T7936 规定的方法进行试验，结果液压马达的空载排量应在其公称排量的 95%~110% 范围内。	
9		容积效率与总效率	X	—	按 3.7.1.3 容积效率与总效率的测定方法进行测定计算，结果应符合 CCS 接受标准的要求。	
10		启动效率试验		—	采用恒转矩起动方法或恒压力起动方法，在最大排量工况下，以不同的恒定转矩或恒定压力值，分别测量马达输出轴不同的相位角以及正反方向在额定压力的 25%、75%、100% 和规定背压条件下的启动压力或转矩，计算起动效率。	

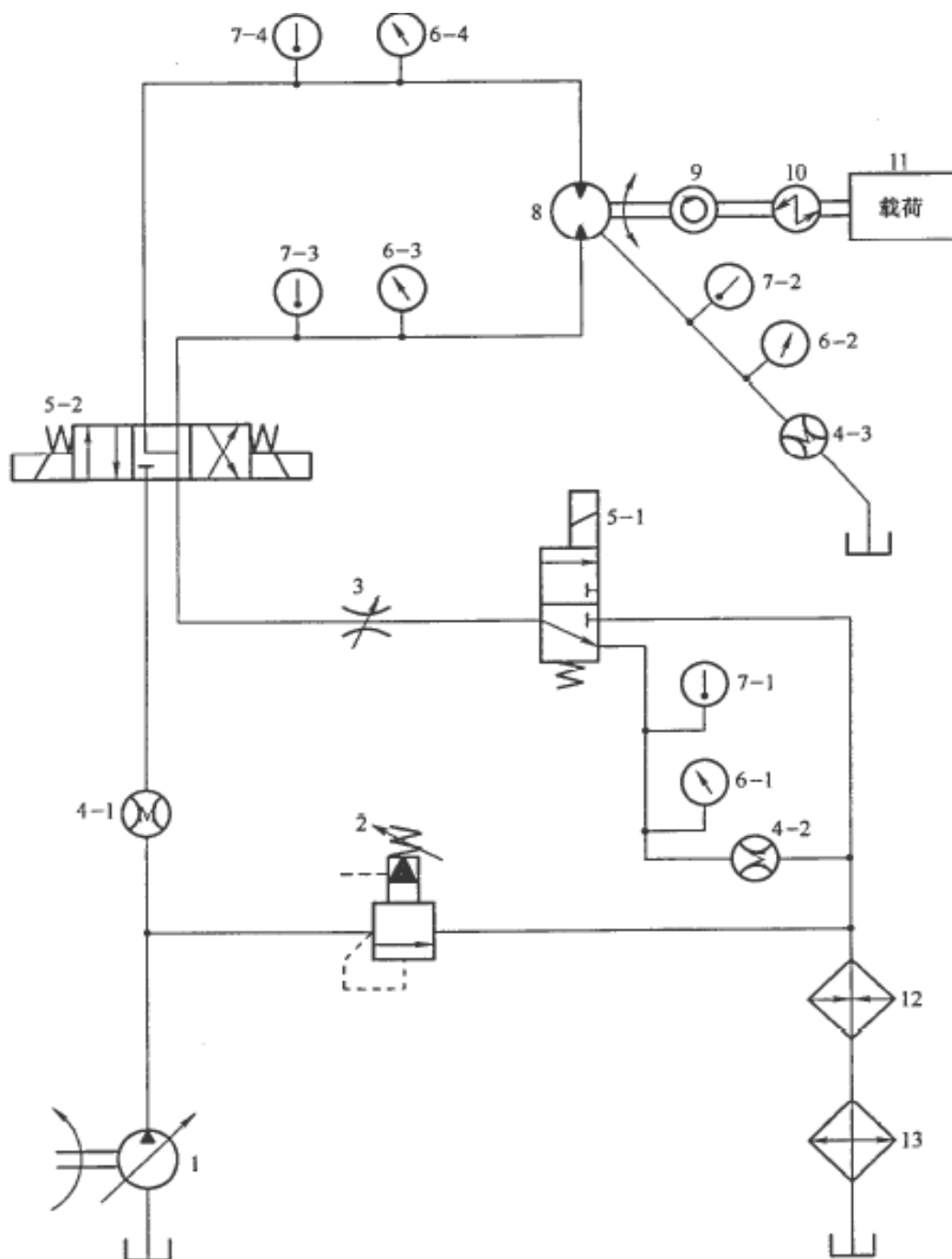
续表 3

11	性能试验	低速性能试验	X	—	1、在最大排量、额定压力和规定背压的条件下，以逐级降速和升速的方法分别重复测量正、反方向不爬行的最低稳定转速。 2、按上述方法分别测量从额定压力的 50%至额定压力之间 4 个等分压力点的最低稳定转速。 3、各试验压力点在正、反转向各试验 5 次以上。	
12		变量特性试验			根据变量控制方式，在设计规定的条件下，测量不同的控制量与被控制量之间的对应数据，绘制变量特性曲线。	
13		噪声	X	○	在马达的额定工况下，在距马达外壳体以 1m 为半径的近似球面上设置 10 个均匀分布的噪声测点分别测其空气噪声(A 声压级)，取均方根，结果应符合 CCS 接受标准的要求。	
14		超速性能试验	X	X	调整马达至最大排量，在其压力分别为其额定压力、空载压力时将其转速升至额定转速的 125%，连续运转 15min，应运转平稳，无异常现象。	
15		超载性能试验	X	X	调整马达转速为额定转速，将马达施压至其额定压力的 125%，连续运转 20h（注：出厂试验时 20h 不作要求），应运转平稳，无异常现象；试验后其容积效率下降值应满足 3.7.1.9 要求。	耐久试验项目
16		冲击试验	X	—	在最大排量、额定压力条件下，调整马达转速，使马达正反向时的冲击压力峰值为马达额定压力的 120%~125%，以每分钟 10 次~30 次的频率进行马达正反向冲击试验(换向一次即为一次冲击)，达到 3.7.1.9 规定的次数要求，冲击波形应符合公认的标准要求。试验后其容积效率下降值应满足 3.7.1.9 要求。	耐久试验项目
17		满载试验	X	X	在额定转速和额定压力的工况下，做连续运转。测量马达的实际转速、输入压力、输出压力、输入流量、输出流量、油温与设计参数比较，试验后，其容积效率下降值应满足 3.7.1.9 要求。	耐久试验项目

续表 3

18	环境适应性试验	低温性能	X	—	将环境温度和液压油温度分别调节为-25℃和-15℃，保温 1h，调节马达的排量为最大，压力为空载压力，连续起动 3 次，并在额定工况下连续运转 10min，液压马达应能够正常运转而无渗漏，其紧固件不松动。	
19		高温性能	X	—	将环境温度和液压油温度分别调节为 55℃和 65℃，使液压马达在额定工况下连续运转 1h，应能够正常运转而无渗漏，其紧固件不松动。	
20		倾斜摇摆试验	X	—	将马达安装在摇摆台上，分别按 3.7.1.8 c) 规定的 6 个单项参数启动摇摆台并同时启动被试马达，使该马达的转速、压力分别为其额定转速、额定压力。每项试验持续时间不少于 30min。观察马达的运转状况，结果应符合 3.7.1.8 c) 的要求。	
21		振动试验	X	—	将被试马达安装在振动台上，调整马达至额定工况，按 3.7.1.8 d) 规定的参数及 CB1146.9-1996 规定的方法进行试验，试验总时间不少于 2h。观察马达运转状况，其结果应符合 3.7.1.8 d) 的要求。	
22		环境冲击试验	X	—	将被试马达安装在冲击台上，调整马达至额定工况，按 3.7.1.8 e) 规定的参数及 CB1146.6-1996 规定的方法对被试马达的 3 个互相垂直的 6 个方各施加 3 次冲击。观察马达的运转状况，其结果应符合 3.7.1.8 e) 的要求。	
23		密封性能检查	X	X	将被试马达擦干净，如有个别部位不能一次擦干净，运转后产生“假”渗漏现象，允许再次擦干净。在完成上述试验后马达泄漏量应满足： 1、静密封：将干净的吸水纸压贴于静密封部位，然后取下，纸上如有油迹即为渗油； 2、动密封：在动密封部位下放置白纸，规定时间内（型式试验后运行 4h）纸上如有油滴即为漏油。	出厂试验时运行时间可按工厂规定进行
注：X 表示必做项目，○表示可选项目，—表示不做项目。						

附录 1. 液压马达试验回路原理图



1-液压泵；2-溢流阀；3-节流阀；4-1~4-3-流量计；5-1、5-2-换向阀；6-1~6-4-压力表；7-1~7-4-温度计；8-被试马达；9-转速仪；10-转矩仪；11-负载；12-加热器；13-冷却器