指南编号/Guideline No.M-12(202607)

M-12

调速器

生效日期/Issued date:2026 年 07 月 01 日

©中国船级社 China Classification Society

前言

中国船级社（以下简称“本社”）产品检验指南规定了拟申请本社认可/检验的船舶入级产品、授权法定产品的适用技术要求及检验试验要求。

本指南并不限制用户采用其它试验方法和要求，但相关试验方法及要求应不低于本指南的要求。

本指南由本社编写和更新，通过网址 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 service@ccs.org.cn。

历史发布版本及发布时间：M-12(201510)　2015 年 10 月 20 日

本版本主要修改：

本版本在原版指南的基础上作了如下修订：

a） 更改了调速系统的定义、稳态调速率的定义；

b） 删除了转速调节的过渡过程、额定功率、额定转速、额定工况、最高瞬时转度、空载转速、最低瞬时转速、部分负载时的转速的定义；

c） 更改了试验分类和转速波动率测定、突加负载试验方法。

d） 删除了单件/单批检验。

目 录

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 7

5 原材料及零部件 8

6 技术要求 8

7 型式试验 11

8 单件/单批检验 18

调速器

1 适用范围

本指南适用于船用柴油机液压、电子及电液式调速器的认可和检验，其它类型调速器例如包含有机械调速器的喷油泵总成以及具有调速功能的电喷装置可参考本指南。

2 规范性引用文件

2.1 CCS《钢质海船入级规范》

2.2 CCS《电气电子设备型式认可试验指南》

3 术语和定义

3.1 关于产品检验、设计认可、型式认可、原型试验、样品等术语的定义，参见《海规》第 1 篇第 3 章 3.1.2 条。

3.2 本指南定义如下：

(1) 调速系统：能根据负荷变化情况自动调节供油量，以保持柴油机转速稳定的装置。调速系统主要由传感器、调速控制器、调速执行器和调节机构等组成。

(2) 转速波动率 υ：柴油机在负载不变的工况下运行，在一定的时间间隔内（不少于 1min）测得的最高转速 n_1 和最低转速 n_2 之差对两倍额定转速 n_r 的百分比，并按公式（1）计算：

$$\upsilon = \frac{n_1 - n_2}{2n_r} \times 100\% \qquad (1)$$

式中：

n_1—测得的最高转速，单位为转每分（r/min）

n_2—测得的最低转速，单位为转每分（r/min）

n_r—额定转速，单位为转每分（r/min）

(3) 稳态调速率δst：柴油机调速系统在额定工况整定后，负载自额定负载到空载或自空载到额定负载（一次或分段）变 化时，其稳定的空载转速与额定转速之差对额定转速的百分比，并按公式（2）、公式（3）进行计算。

① 从额定工况卸除额定负载：

$$\delta st = \frac{n_i - n_r}{n_r} \times 100\% \qquad (2)$$

② 从空载增加额定负载（一次或分段）：

$$\delta st = \frac{n'_r - n_i}{n_r} \times 100\% \qquad (3)$$

式中：

n_i—稳定的空载转速，单位为转每分（r/min）

n_r—额定转速，单位为转每分（r/min）

n_r’— 增加额定负载后的稳定转速，单位为转每分（r/min）

(4) 瞬时调速率δd：柴油机于整定稳态调速率后，突卸或突加（一次或分段）规定负载后的最大或最低转速与负载变化前稳定转速的差对额定转速的百分比，并按公式（4）~公式（6）进行计算。

① 从额定工况突卸额定负载：

$$\delta_d = \frac{n_{max} - n_r}{n_r} \times 100\% \qquad (4)$$

② 从空载突加部分负载：

$$\delta_d = \frac{n'_{min} - n_r}{n_r} \times 100\% \qquad (5)$$

③ 从部分负荷突加至额定负载：

$$\delta_d = \frac{n_{min} - n_L}{n_r} \times 100\% \qquad (6)$$

(5) 稳定状态：负载变化后，转速的变化最终进入规定的转速波动率 υ 的范围调速系统一直保持在这一范围之内的状态。

(6) 稳定转速：柴油机的负载不变，转速在规定的转速波动率 υ 的范围内波动，在一定的时间间隔内（不少于 1min）测得的转速平均值。

(7) 转速稳定时间 τ：从负载突变，转速骤然变化时起，到转速开始进入并保持在转速波动率允许值 α 的范围时止，其间所经历的时间。α 按公式（7）进行计算。

$$\alpha = \frac{n'_1 - n'_2}{2n_r} \times 100\% \qquad (7)$$

式中：

n'_1—转速波动率允许值 α 对应的最高转速值，单位为转每分（r/min）

n'_2—转速波动率允许值 α 对应的最低转速值，单位为转每分（r/min）

(8) 调速特性曲线：在额定工况下，固定调速手柄，缓慢减小负载，得到曲线 1；然后缓慢增加负载，得到曲线 2。在不同功率下，取曲线 1 和曲线 2 上两转速的算术平均值，连成曲线 3，则曲线 3 称为调速特性曲线（3.2（8））

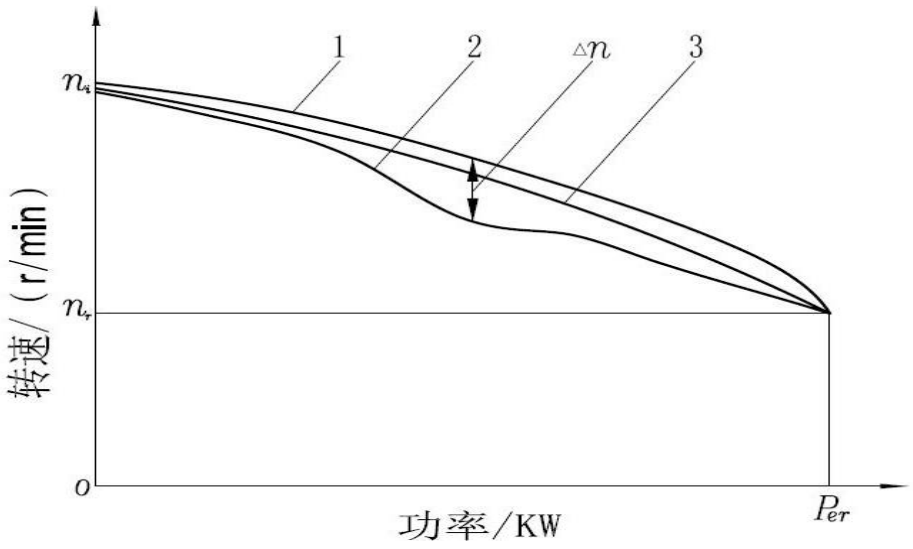


图 3.2（8） 调速特性曲线

(9) 调速系统的不灵敏度 ε：在一定功率下，曲线 1 和曲线 2（见图 3.2（8））之间的最大转速差 Δn 与额定转速 n_r 的百分比绝对值，并按公式（8）进行计算。

$$\varepsilon = \left|\frac{\triangle n}{n_r}\right| \times 100\% \qquad (8)$$

(10) 调速特性曲线的非直线度 γ：调速特性曲线的非直线度 γ 是指该曲线与理想直线 5（见图 3.2（10））间转速的最大偏差与额定转速 n_r 的百分比，取其绝对值，并按公式（9）进行计算。

$$\gamma = \left|\frac{n_3(n_4) - n_i}{n_r}\right| \times 100\% \qquad (9)$$

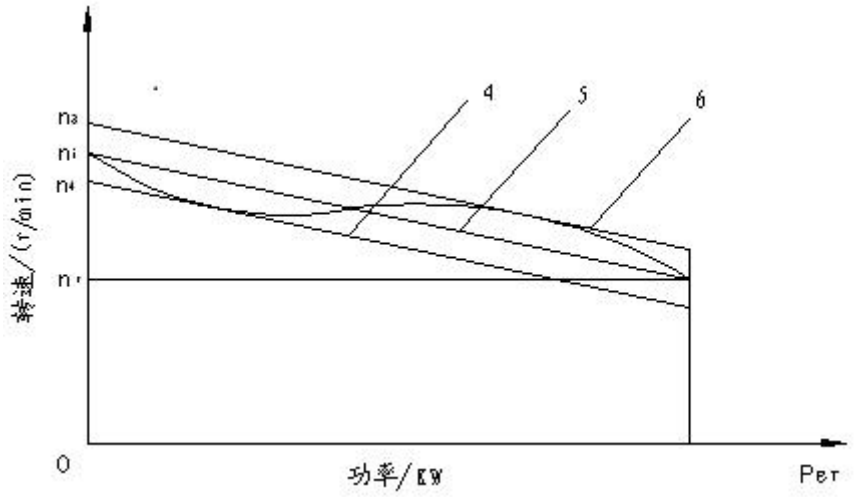


图 3.2（10） 调速特性的非直线度

理想直线 5 是调速特性曲线两端点（0，n_i）和（Per，n_r）所连成的直线，作平行于理想直线并与调速特性曲线相切的直线 4 和直线 6，它们于 n 轴交于 n_4 和 n_3（见图 3.2（10）），n_3 或 n_4 与 n_i 之差的大者即为所求的最大偏差。

(11) 负载分配差度 θ：柴油主机或柴油发电机组并联运行中，单台机组负载率与总负载率的差值，取其绝对值，以百分数表示，并按公式（10）进行计算。

$$\theta = \left| \frac{P_i}{P_{ri}} - \frac{\sum P_i}{\sum P_{ri}} \right| \times 100\% \qquad (10)$$

式中：

Pi—第 i 台机组的实际负载，单位为千瓦（kW）；

Pri—第 i 台机组的额定功率，单位为千瓦（kW）；

ΣPi—并联运行机组的实际总负载，单位为千瓦（kW）；

ΣPri—并联运行机组总的额定功率，单位为千瓦（kW）；

4 图纸资料

4.1 申请认可时，下列图纸和技术资料应提交 CCS 批准：

(1) 产品主要性能规格表；（转速范围、工作油压、输出轴扭矩、输出轴转角、工作电压及其它电气参数等）

(2) 装配图或（和）原理图；

(3) 重要（零）部件图；

(4) 型式试验大纲。

4.2 申请认可时，下列图纸和技术资料应提交 CCS 备查：

(1) 产品使用说明书；

(2) 产品铭牌、出厂合格证等样本。

4.3 除上述图纸资料外，制造厂还应提交以下资料：

(1) 有关工厂概况（包括工厂历史及现状）及产品生产历史的说明，如产品经过专门的验证或鉴定，可附上有关报告及证书；

(2) 质量控制计划，制造者应建立认可范围产品的质量控制计划并提交 CCS 审批。质量控制计划应按产品技术要求或标准，规定产品制造过程中的质量保证和控制的方法。该质量控制计划要包括认可后的检验计划，特别应反映 CCS 规范要求的检验和试验要求。

5 原材料及零部件

5.1 弹簧、飞块和各种偶件等对调速器性能和可靠性有较大影响的零件为重要零部件。

5.2 电子调速器中的控制器及执行器为重要零部件。

6 技术要求

6.1 船用柴油机调速系统的精度等级和适用范围见表 6.1。高于 1 级精度的特殊要求，由供需双方协定，如个别指标高于 1 级，则其余指标按 1 级精度规定。

柴油机调速系统的精度等级 **表 6.1**

精度等级	适用范围
1	要求提供最高精度稳定频率及电压的发电机组
2	要求提供较高精度稳定频率及电压的发电机组
3	要求提供一般精度稳定频率及电压的发电机组并联运行的电力推进或多机单桨的柴油机
4	一般直接传动柴油主机及其他用途柴油机

6.2 柴油机突卸负载，柴油发电机组突卸、突加（一次或分段）负载时，瞬时调速率 δ d，稳态调速率 δ st 及转速稳定时间 τ 应不大于表 6.2 的规定。

调速性能指标 **表 6.2**

精度等级	负载变化		
	突卸或缓卸 100%→0 突加或缓加 0→100%	突卸 分段突加	
	δ st/%	δ d/%	τ /s
1	2	5	2
2	3	7	3
3	5	10	5
4	10	高速机：12	—
		中低速机：15	—
并联运行的柴油发电机组，其调速器应具有能改变稳态调速率的机构，并应调至基本相等，其数值由机组配套总装厂通过试验调定。 注：在计量转速稳定时间 τ 时，分段突加情况下， τ 取较大值。			

6.3 调速系统转速波动率 υ 应不大于表 3 的规定。

转速波动率 **表 6.3**

柴油机工况			精度等级			
			1	2	3	4
			υ /%			
柴油主机	空载工作时转速与额定 转速比	≤50%	—	—	1.5	2.5
		>50%	—	—	1.0	2.0
	按推进特性工作时对应 转速与额定转速比	≤50%	—	—	1.0	2.0
		>50%	—	—	0.7	1.5
柴油发电机组在额定转速下运转		各种负载	0.25	0.4	0.5	—

6.4　调速系统的不灵敏度 ε 应不大于表 6.4 的规定。

调速系统的不灵敏度　　**表 6.4**

精度等级	1	2	3	4
ε /%	0.25	0.35	0.50	—

6.5　并联运行的柴油主机和柴油发电机组，其调速系统特性曲线的弯向应一致，调速特性曲线的非直线度 γ 应不大于表 6.5 的规定。

调速系统的非直线度　　**表 6.5**

精度等级	1	2	3	4
γ /%	0.15 δ st	0.15 δ st	0.20 δ st（液压调速统） 0.30 δ st（机械调速统）	—
注：表中的 δ st 表示实际的稳态调速率。				

6.6　并联运行的柴油主机和柴油发电机组，其负载分配差度 θ 应不大于 15%。

6.7　并联运行的交流发电机组应设有同步、控制有功负载分配和转移的远程转速控制机构，其调整速率应在每秒（0.2%~1.0%）额定转速范围以内，转速调整范围应不小于额定转速的±10%，该机构应备有手动和自动互相转换的装置。

6.8　输出功率不小于 220 kW 的柴油机应装有独立的超速保护装置，以防止柴油主机最高转速超过额定转速的 120%或柴油发电机组最高转速超过额定转速的 115%。

7　型式试验

7.1　下述情况下需进行型式试验：

(1)　初次认可；

(2)　新设计或经过重大改进的调速器；

(3)　换证认可，验船师认为需要时。

7.2　典型样品选择的原则：

(1) 不同类型的调速器例如液压和电子调速器应分别选取样品；

(2) 用于一般直接传动主机和用于发电机组的调速器应分别选择；

(3) 同一系列具有不同工作能力的调速器可选择 1-2 个型号产品作为样品。

7.3 试验设备、仪器和仪表

型式试验时应优先和所配柴油机一同进行试验，经验船师同意也可在专用试验台或和其它柴油机配合模拟进行。试验台应具备有测量瞬时转速波动的能力，如示波器等。试验所需的设备、仪器和仪表应经校验合格，其精度等级和测量范围应满足试验要求。

7.4 用于柴油主机调速器型式试验

7.4.1 稳态特性试验

柴油机在额定工况下，固定油门，缓慢减少负载，使柴油机的功率从额定值减少到零；然后缓慢增加负载，使柴油机的功率从零增加到额定值。测量负载改变前后的稳定转速和相应功率。记录测量结果并绘制图 7.4.1 所示的调速特性曲线；求出稳态调速率及调速特性曲线的非直线度和调速系统的不灵敏度（并联主机）。

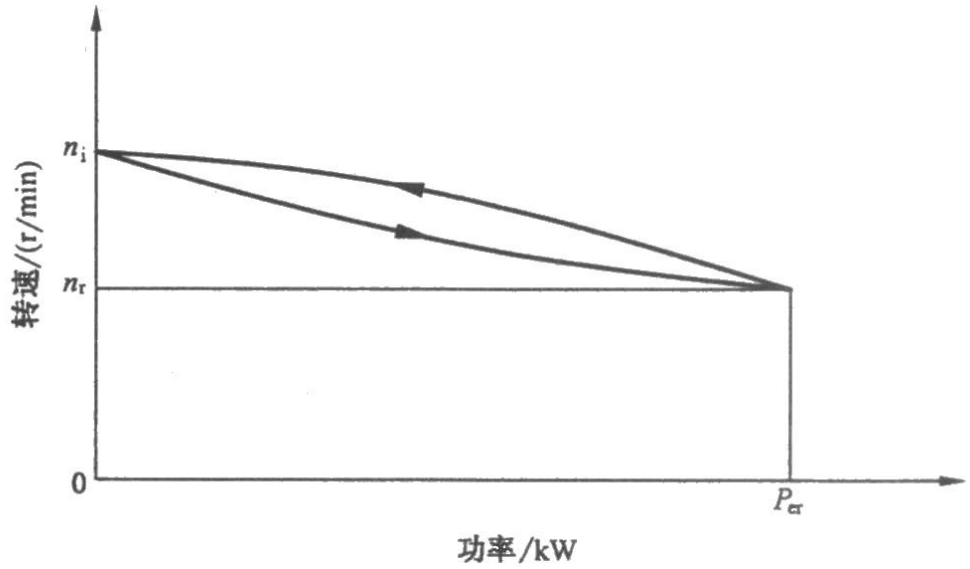


图 7.4.1 调速特性曲线绘制示意图

7.4.2　转速波动率测定试验

柴油机在稳定工况下，测量以下项目：

(1)　按推进特性，在负载为额定值的 100%、75%、50%、25%及空载时的转速波动率；

(2)　在空载且转速为额定值的 100%、80%、和 50%下的转速波动率。

7.4.3　动态特性试验

柴油机在额定工况下，突卸额定负载，测量以下项目：

(1)　突卸负载前的转速；

(2)　突卸负载前的功率；

(3)　突卸负载时的瞬时最高转速；

(4)　突卸负载后的转速；

(5)　转速稳定时间。

突卸负载方法有下列二种：

(1)　负载消耗系统——切断负载电源；

(2)　水力测功器——应设置快关阀（如蝶阀、球阀等），尽快关闭进水阀和开足出水阀。

7.4.4　超速保护装置试验

柴油机装有超速保护装置，应进行该项试验。试验时，柴油机的转速不应超过额定值的 120%，连续 3 次均应达到要求。

7.5　用于单台柴油发电机组调速器型式试验

7.5.1　稳态调速率可调范围检查试验

对调速器的稳态调速率调节机构进行调节，使稳态调速率改变并进行试验，以对其可调范围进行检查。在稳态调速率可调范围内，应能保证机组稳定运行。

7.5.2　稳态特性试验

柴油机在额定工况下，固定给定转速，并在稳态调速率的范围内，取两点进行试验。将负载缓慢减少，使电功率从额定值减少到零；然后将负载缓慢增加，使电功率从零增加到额定值（负载必须单方向缓慢改变）。测量负载改变前后的稳定转速和相应功率。

记录试验结果并绘制曲线见图 7.4.1；求出稳态调速率及调速特性曲线的非直线度和调速系统的不灵敏度。

7.5.3　转速波动率测定试验

将转速调整在额定转速，测量额定电功率的 100%、75%、50%、25%及空载时的转速波动率（允许与调速特性试验同时进行）。

7.5.4　动态特性试验

突卸及突加负载试验主要测量下列项目：

(1)　突卸负载前的转速；

(2)　突卸负裁前的电功率；

(3)　突卸负载时的瞬时最高转速；

(4)　突卸负载后的转速；

(5)　突加负载后的电功率；

(6)　突加负载时的瞬时最低转速；

(7)　转速稳定时间。

7.5.5　柴油发电机组在额定工况下运行，突卸额定负载，稳定后突加负载。连续重复 3 次，取 3 次的平均值作为试验结果。

7.5.6　突加负载方法如下：

(1)　增压柴油机按两段分级加载：0→50%稳定后再从 50% →100%。对高增压四冲程柴油机可采用多于 2 次的加载方式进行加载。（可按图 7.5.6（1）的方式进行加载）

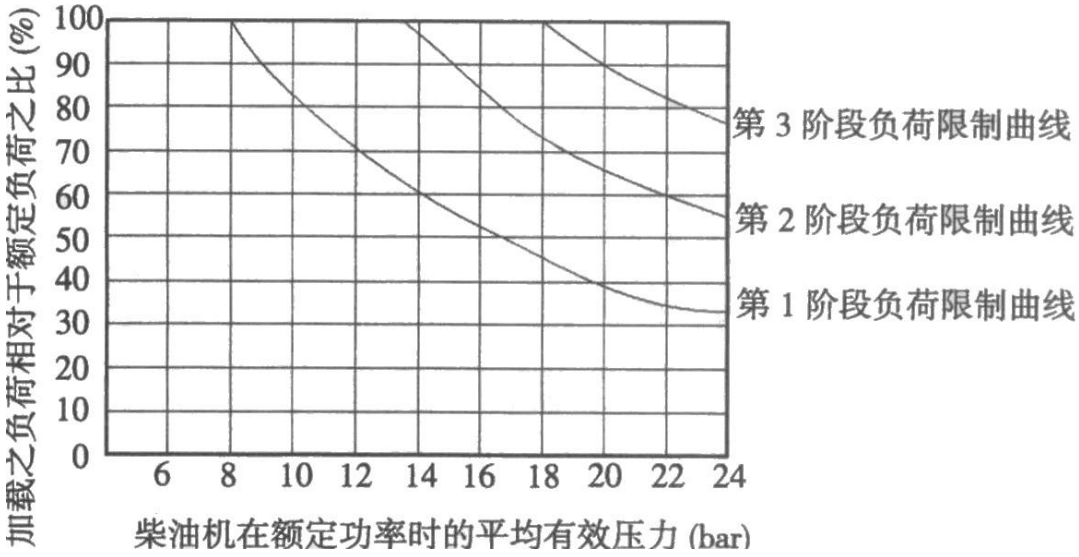


图 7.5.6（1）　高增压四冲程柴油机调速试验加载方式

(2)　对应急柴油机发电机组初次突加的负荷，应不小于规定的总应急负荷。

7.5.7　转速遥控机构的检查试验

(1)　灵敏性试验：在柴油机发电机组运行时，按下转速遥控调整按钮或旋动遥控旋钮，观察加、减速装置的运转是否正常；柴油机的转速变化是否均匀。

(2)　调整速率测定试验：在柴油机发电机组运行时，根据转速表的读数，测量转速每变化 10%额定转速所需的时间。

7.5.8　超速保护装置试验

柴油机装有超速保护装置，应在空载下进行试验。柴油机转速达到 112%~115% 额定转速时（不超过 115%），超速保护装置应能迅速动作，使柴油机停车的转速不应超过额定值的 115%，连续 3 次均应成功。

7.6　用于并联运行柴油发电机组调速器型式试验

用于并联运行柴油发电机组的调速器可只按 7.5 的项目进行型式试验，当验船师或用户认为有必要时可参照下述项目进行并车试验。

在进行本试验时，不应使用自动调频、调载装置。

7.6.1　并联运行检查试验：

(1)　将各机组的稳态调速率调至基本相等，试运行机组先加载到75%~100%额定电功率，然后调节被并机组的转速，使之投入并联运行。

(2)　将运行机组的负载转移给被并机组，然后再转移给原运行机组，观察负载运行的平稳性。

7.6.2　并联运行的负载分配及其稳定性试验

(1)　将准备并联运行的两台机组的电功率分别调整到机组的额定功率的 75%，功率因数为 0.8，以此作为基调点，将给定转速固定，并按 75%→100%→75% →50%→20%→50%→75%的程序缓慢地单方向改变总负载，测量各机组的参数，计算并联运行机组的负载分配差度。

(2)　在总负载为 90%额定电功率下，连续运行 1h，每隔 15min 记录数据 1 次，考核并联运行机组负载分配的稳定性。

7.6.3　动态稳定性试验

机组投入并联运行后，在总负载为 25%~50%额定电功率的工况下，突加单台机的 30%额定电功率负载，考核并联运行机组的动态稳定性。

7.7　电子调速器及电液调速器电气部分在进行型式试验时，除进行上述的性能试验外，还应按本社《电气电子设备型式认可试验指南》的相关要求进行如下基本试验：

(1)　绝缘电阻测量；

(2)　能源波动试验；

(3) 能源故障试验；

(4) 倾斜和摇摆试验；

(5) 振动试验；

(6) 高温试验；

(7) 低温试验；

(8) 电磁兼容试验；

(9) 交变湿热试验；

(10) 恒定湿热试验；

(11) 耐电压试验；

(12) 外壳保护试验。

7.8 除进行上述的调速性能试验外，如适用时还应进行如下试验：

(1) 就地及遥控操纵试验；

(2) 应急停车效用试验；

(3) 动力活塞最大行程或输出轴转角检测；

(4) 工作油压稳定性检测；

(5) 最低工作转速下的工作油压检测；

(6) 稳定调速率可调范围检查；

(7) 密性试验；

(8) 清洁度检查；

(9) 其它试验。

8 单件/单批检验

不适用