



指南编号/Guideline No.E-05(201510)

E-05 发电机组

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

1	一般规定.....	4
2	图纸资料.....	10
3	原材料及零部件.....	10
4	设计技术要求.....	10
5	典型样品的选取.....	11
6	型式试验.....	11
7	单件/单批检验	17

发电机组

1 一般规定

1.1 适用范围

本指南适用于作为船舶主电源和应急电源用柴油发电机组的检验。

1.2 规范性引用文件

CCS 《钢质海船入级规范》

CCS 《材料与焊接规范》

IEC 60529“外壳防护等级（IP code）”

IEC 60092-301-1994{Ed.3.0}船用电气装置.第 301 部分:设备-发电机和电动机

1.3 术语和定义

1.3.1 柴油发电机组：由柴油机和发电机及公共底盘组成的，包括柴油机调速装置及简单的机旁仪表板，若仪表板被机旁控制箱替代，并具有安全、保护等功能，则该机旁控制箱应符合 CCS 《钢质海船入级规范》要求并单独检验，除非在柴油机证书中已明确。

1.3.2 应急柴油发电机组：由应急柴油机和发电机及公共底盘组成的，包括应急柴油机调速装置、简单的机旁仪表板、双能源起动装置、冷却器、冷却风扇等，若应急柴油机证书中未包含上述附件，则附件应持有 CCS 证书。若仪表板被机旁控制箱替代，并具有安全、保护等功能，则该机旁控制箱应符合 CCS 《钢质海船入级规范》要求并单独检验，除非在柴油机证书中已明确。

1.3.3 防护等级:指机组所具有的在运转时,按 IEC60529 定义的环境条件下,不至于出现损坏和有害影响的能力;

1.3.4 应急负荷:指在船舶应急状态下一次投入的最大应急负荷;

1.3.5 柴油机额定功率：指柴油机在一定的环境条件下的持续功率，对于内河船舶和海船应按实际环境条件对柴油机额定功率进行修正；

1.3.6 机组稳态调速特性曲线

机组在额定负载、额定转速下，固定调速器的调节机构，在空载到满载范围内单向来回变化负载时，转速功率特性曲线回线的算术平均值连成的曲线。

1.3.7 机组稳态调速率

机组整定在额定负载、额定转速，负载自空载到满载或自满载到空载均匀或急剧变化时、稳定的空载转速 n_i 与额定转速 n_N 之差对额定转速 n_N 的百分比。

$$\delta_{st} = \frac{n_i - n_N}{n_N} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

式中： δ_{si} —— 机组稳态调速率 %；

n_i —— 稳定的空载转速 r/min；

n_N —— 额定转速 r/min。

1.3.8 机组瞬态调速率及稳定时间

- (1) 机组瞬态调速率是指机组整定于稳定调速率后，在额定负载、额定转速下，先突卸，后突加规定对称负载时，最低瞬时转速 n_{\min} 或最高瞬时转速 n_{\max} 与负载变化前的转速 n_i 或额定转速 n_N 之差，对额定转速 n_N 的百分比。

机组在最高瞬时转速下的瞬态调速率 δ_d 按式 (2) 计算。

$$\delta_d = \frac{n_{\max} - n_N}{n_N} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

机组在最低瞬时转速下的瞬态调速率 δ_d 按式 (3) 计算。

$$\delta_d = \frac{n_{\max} - n_i}{n_N} \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

- (2) 稳定时间是指从转速变化时起，至转速恢复到与相应负载下的稳定转速的偏差在转速波动率范围内为止的时间。见图 1.3.8(2)。

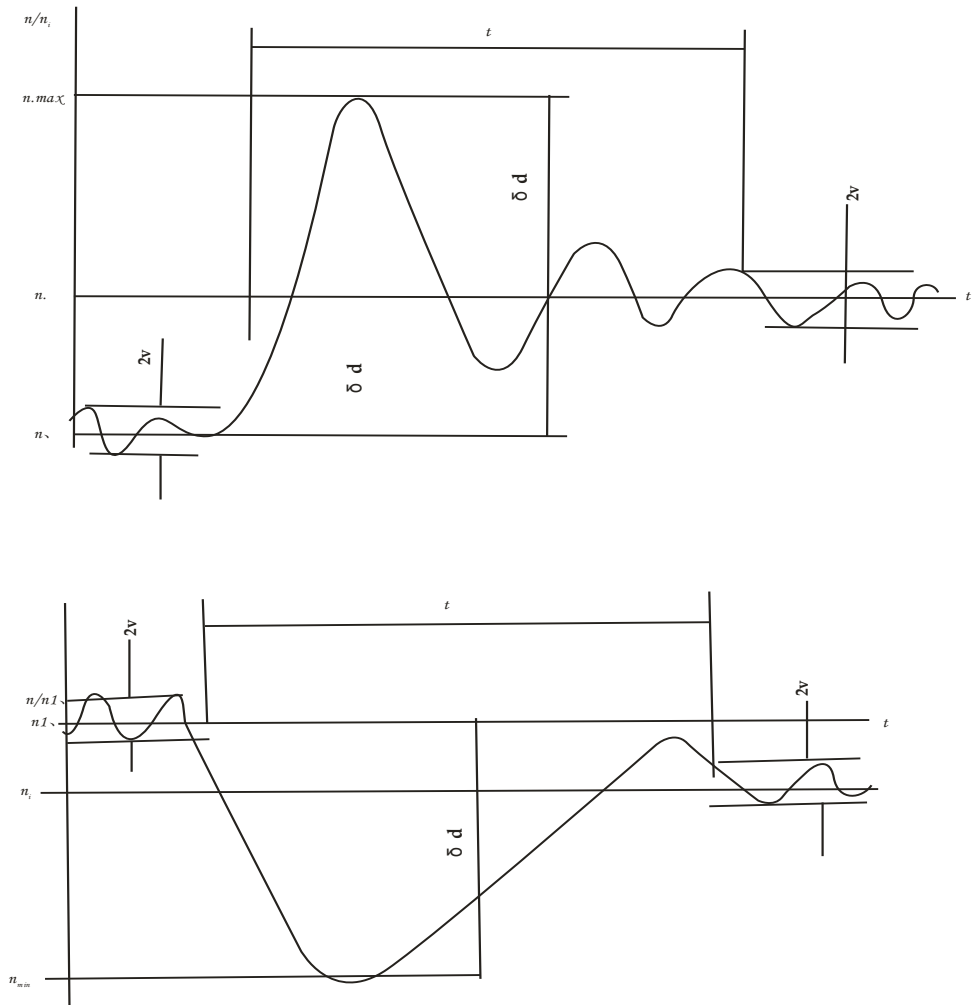


图 1.3.8(2)转速瞬变过程图

n_N — 额定转速； n_i — 空载转速； n_{max} 、 n_{min} — 负载变化引起的瞬时转速；

n_1 — 增加部分负载后的稳定转速； t — 时间； v — 转速波动率

1.3.9 机组调速系统不灵敏度

机组整定于稳态调速后，在额定负载、额定转速下，使负载在空载到满载范围仙单向来回变化时，转速功率等性回线之间最大垂直距离 Δn 与额定转速 n_N 的百分比。见图 1.3.9。

$$\delta = \left| \frac{\Delta n}{n_N} \right| \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

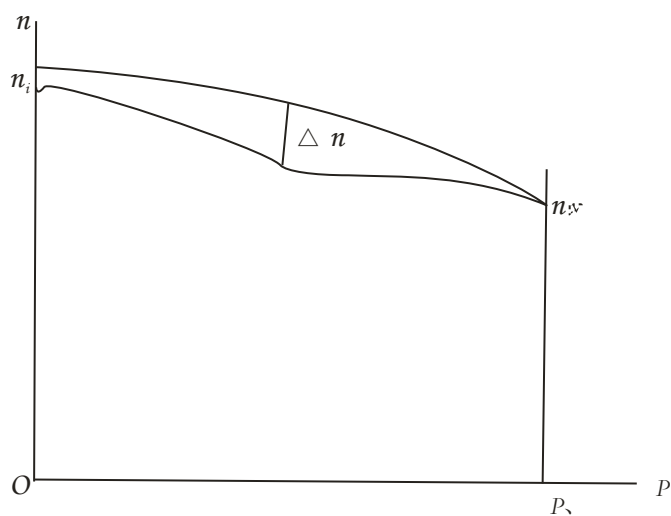


图 1.3.9 调速系统的不灵敏度 ε

1.3.10 稳态调速特性非线性度

稳态调速特性曲线与对应的空载和额定点连线之间的最大转速偏差与额定转速之比，那调速特性曲线空载与满载点间的连线与切于稳态调速特性曲线且平行于该连线之直线间的相对转速差。见图 1.3.10。

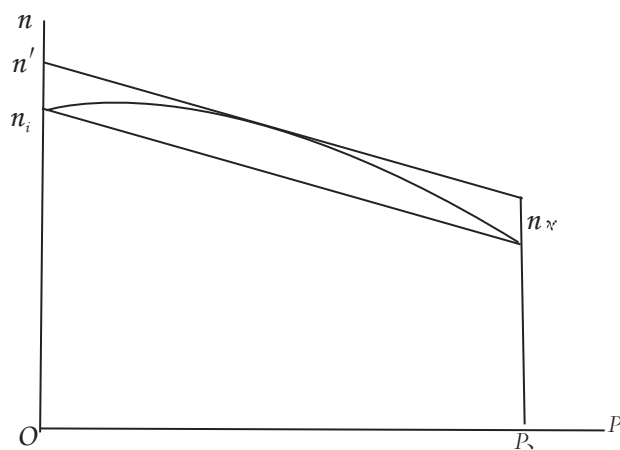


图 1.3.10 调速特性的非线性度

1.3.11 转速波动率

机组在空载到满载范围内任一负载下运行时，于一定时间间隔内测得的最髙转速 n_1 或最低转速 n_2 与它们的平均值 n_m 之差对平均转速 n_m 的百分比。

$$v = \frac{n1-n_m}{n_m} \times 100 \text{ 或 } v = \frac{n2-n_m}{n_m} \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

式中: v ——转速波动率, %

n_m ——平均转速, 即 $\frac{n1+n2}{2}$, r/min;

$n1$ ——最高转速, r/min;

$n2$ ——最低转速, r/min

1.3.12 机组稳态电压调整率

机组整定于稳态调速特性后, 在额定负载、额定转速上, 励磁调压系统整定不变, 使负载功率因数保持额定值, 在空载到满载范围内单向来回变化回线中最高或最低电压 u 与额定电压 u_N 之差对额定电压的 u_N 百分比。

$$\delta u = \frac{u-u_N}{u_N} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

式中: δu ——稳态电压调整率, %

U ——最高或最低电压, V

u_N ——额定电压, V。

1.3.13 机组瞬态电压变化率及稳定时间

机组在整定的稳态调速率、电压调整率下, 空载突加后再突卸功率因数为 0.4 (滞后) 及以下的规定对称负载时, 最低或最高瞬时电压 u' 与负载变化前的电压 u_0 之差对额定电压 u_N 的百分比。

$$\Delta u = \frac{U'-u_0}{u_N} \times 100 \dots\dots\dots (7)$$

式中: Δu ——瞬态电压变化率, %

U' ——最低或最高瞬时电压, V

u_0 ——负载变化前的电压，V。

稳定时间是指从电压变化时起至电压恢复到与额定值的偏差在 1-3% 额定电压以内的时间。

1.3.14 电压波动率

机组在整定调速特性下，在空载到满载范围内任一负载下运行时，于一定时间间隔内测得的最高电压 u_1 或最低峰电压 u_2 与它们的平均值 u_m 之差，对平均电压 u_m 的百分比。

$$\theta = \frac{u_1 - u_m}{u_m} \times 100$$

$$\text{或 } \theta = \frac{u_2 - u_m}{u_m} \times 100 \dots\dots\dots (8)$$

式中： θ ——电压波动率，%；

u_m ——平均电压，即 $\frac{u_1 + u_2}{2}$ ，V；

u_1 ——最高电压，V；

u_2 ——电低电压，V。

1.3.15 负载分配差度

并联运行中第 i 台发电机组的实际负载率与总平均负载率之差。

$$\Delta P_i = \left| \frac{P_i}{P_i N} - \frac{\Sigma P_i}{\Sigma P_i N} \right| \times 100 \dots\dots\dots (9)$$

$$\Delta Q_i = \left| \frac{Q_i}{Q_i N} - \frac{\Sigma Q_i}{\Sigma Q_i N} \right| \times 100 \dots\dots\dots (10)$$

式中： ΔP_i ——有功负载分配差度，%；

Q_i ——无功负载分配差度，%

P_i —— 第 i 台机组实际有功功率，KW

Q_i —— 第 i 台机组实际无功功率，Kvar；

ΣP_i —— 并联运行机组总实际有功功率，KW；

ΣQ_i —— 并联运行机组总实际无功功率，Kvar

P_{iN} —— 第 i 台机组实际有功功率，KW

Q_{iN} —— 第 i 台机组实际无功功率，Kvar；

ΣP_{iN} —— 并联运行机组总额定有功功率，KW；

ΣQ_{iN} —— 并联运行机组总额定无功功率，Kvar。

2 图纸资料

2.1 应将下列图纸资料提交 CCS 备查：

- (1) 总图；
- (2) 部件清单，应包括柴油机、发电机；
- (3) 船舶电力负荷计算书（验船师认为必要时）。

2.2 扭振计算书应提交 CCS 批准。（仅适用于额定功率大于 110kW 的海船柴油机和额定功率大于 220kW 的河船柴油机）

3 原材料及零部件

3.1 产品原材料及零部件应按照我社现行规范相关要求进行控制。

4 设计技术要求

4.1 机组应能满足 CCS 《钢质海船入级规范》对船舶主/应急电源的要求。

4.2 一般机组额定功率应不大于柴油机额定功率的 85%（注意河船和海船的冷却条件不同，导致柴油机额定功率也不同），但在试验中能保证动态性能试验能满足本社规范要求的配套方式除外；

4.3 扭振计算结果应满足 CCS 《钢质海船入级规范》。

5 典型样品的选取

型式试验时样品应至少选取机组额定功率最大的产品为代表。

6 型式试验

6.1 发电机组的型式试验应至少进行以下的试验项目：

- (1) 外观检查；
- (2) 冷态绝缘电阻测试；
- (3) 滑油低压报警；
- (4) 冷却水高温报警；
- (5) 超速保护装置试验；
- (6) 起动试验；
- (7) 运转检查；
- (8) 扭振测量（根据审图意见的要求）；
- (9) 负载试验；
- (10) 过载试验；
- (11) 稳态调速率特性测定；
- (12) 转速波动率测定；
- (13) 瞬态调速率及稳定时间测定；
- (14) 电压整定范围测定；
- (15) 稳态电压调整率测定；
- (16) 电压波动率测定；
- (17) 瞬态电压变化率及稳定时间测定；

(18) 并联运行试验或负载转移试验;

(19) 热态绝缘电阻测试。

6.2.1 测试设备

(1) 电流表、电压表、功率表、频率表等电气仪表的精度应不低于 0.5 级,功率因数表的精度应不低于 1.0 级。

(2) 温度表、压力表等热工参数测量仪表的精度应不低于 2.5 级。

机组出厂试验时允许用机旁仪表板仪表。

(3) 仪用互感器的精度应不低于 0.5 级。

(4) 负载设备

① 用水电阻作有功负载时,其三相电流的不平衡度应小于 3%发电机额定电充。

② 用感应调压器作无功负载时,应工作在非饱和区。

③ 动负载可以采用堵转的异步电动机或水电阻加线性电抗器,无条件时允许采用感应调压器作为无功负载。

④ 在进行机组负载试验时,允许采用电能反馈电网的形式。

在做机组的调速与调压特性时不能采用此种形式。

(5) 试验中所用的仪器仪表、示波器等均需有定期检验合格证。

(6) 测量仪表的量程,应使测试数据可能的最大变化范围在测仪表量程的 20%~90% 范围内。

6.2.2 机组外观检查

试验前应对机组的公共底座、联轴器连接螺钉、各部件安装质量进行检查,检查机组轴系安装的对中性;检查调速器手柄是否在规定的位上,停车手柄是否灵活;检查滑油、燃油液位是否正常;消除燃油系统中的空气;检查附件、管路、电气线路连接是否可靠;管路有无漏油、漏水现象;起动系统是否正常(起动空气瓶的气压是否在规定的范围内或蓄电池容量是否正常等);各阀件是否在起动准备状态。

6.2.3 发电机绝缘电阻检查

机组在开机前和停机后检查发电机绕组的绝缘电阻是否在 5.16 规定的范围内。所用绝缘测试仪电压等级按表 6.2.3 规定。

表 6.2.3

发电机额定电压, V	绝缘测试仪的电压等级, V
≤500	500
500~1000	1000
3000~6300	2500

6.2.4 机组试运转检查

当机组经过外观检查、绝缘电阻检查之后,认为机组状态正常时,可按柴油机使用保养说明书规定的程序起动柴油机,逐渐加速到额定转速,观察柴油机有无异常声响,热工参数是否在规定的范围内,有无漏油、漏水,发电机电压能否启励建压,初步观察一下电压可调范围。

6.2.5 机组的倾斜试验

使用刚性联轴节的机组应做纵倾试验,试验时将机组安装在有固定倾斜角 10° 的台架上,分前倾和后倾两种情况进行,在额定工况下,各运行 1h。运转应平稳无不正常振动、轴承无连续的撞击和摩擦声、无滑油泄漏等现象发生。

6.2.6 机组起动性能试验

机组在环境温度不低于 5°C ,冷却水、滑油不预热的条件下,应急机组在环境温度为 0°C (条件下起动有困难时允许采用预热措施)应能顺利起动,连续起动六次,以六次起动中成功五次以上为合格。每次起动的时间间隔不超过 1min。

起动时间的测定:

在型式试验时,测量起动时间用示波器记录,将转速信号送到瞬时转速测量仪后,再送示波器拍片,出厂试验时允许用秒表记录,起动时间为每次起动时间的代数和除以起动成功的次数。

应急机组起动到空载转速的时间应不大于 10s。

6.2.7 机组稳态调速率可调范围检查

将调速器上的稳态调速率调节旋钮置于最小位置。机组带额定负载，并使机组为额定转速。减去全部负载，记录此时机组的空载转速或频率。将调速器上的稳态调速率调节旋钮置于最大位置。重复上述试验，分别求出机组稳态调速率的最小值与最大值。

6.2.8 机组稳态调速特性测定

机组稳态调速率一般调整在 3%~5% 范围内，使机组带额定有功负载，转速为额定转速，固定调速手柄，机组从额定负载的 100%→0%；再由 0%→100% 额定负载，单方向缓慢改变负载（不允许在一种负荷工况下来回调整负载，加载或减载方向上的测点应不少于五点），测定负载改变后的稳定转速或频率及相应的机组功率，试验应连续进行三次（出厂试验时允许只测一次），在各次特性基本稳定的情况下，取其中一个循环的平均特性曲线，求出调速系统的不灵敏度 ε 和调速特性的非线性度 ν 稳定调速率 δ_{st} 。

6.2.9 机组转速波动率测定

机组在额定转速下，于 100%，75%，50%，20% 额定负载及空载时分别用示波器（配瞬时转速测量仪）记录机组转速变化，每一工况稳定 1~2min。出厂试验时允许用频率表测量。

6.2.10 机组瞬态调速率和稳定时间的测定

机组在额定有功负载工况下运转 5~10min，突卸全部负载，然后先突加 50% 额定负载，待稳定后再突加 50% 额定负载，用示波器（配瞬时转速测量仪）或其他有效测试方法，记录转速的变化和稳定时间。

本项试验应连续（一种状态稳定后再进行另一次突变负荷试验）重复三次，取三次的平均值作为试验的结果。

用测量仪表记录机组突加、突卸负载前后的稳定转速（频率）。

6.2.11 机组空载电压整定范围的检查

机组升到空载转速，发电机应能起励建压，调整电压整定电位器，观察电压是否在 95%~105% 额定电压范围内变化。

6.2.12 机组稳态调压率测定

机组在额定功率、额定转速运行至热态,卸载后,使机组负载从空载到 100% 额定负载,再从 100% 额定负载到空载,保持功率因数 0.8 (滞后),单方向缓慢变化,每一方向测量不少于五点,并包括 20% 额定负载,记录各点负载、电流、电压、频率值。

6.2.13 机组电压波动率测定

机组在额定功率因数的条件下,对 20%、50%、75%、100% 额定负载用示波器记录电压波动情况,出厂试验时允许用电压表测量。

6.2.14 机组瞬态电压变化率及恢复时间的测定

待机组的稳态调压率测定后,卸去负载,机组空载突加后突卸对称的 60% 额定电流,功率因数低于 0.4 (滞后)。

用示波器记录三相线电压和一相电流的变化,连续作三次,取各次中最大值的平均值为其试验的结果。

6.2.15 机组噪声测定

机组在整定于额定转速、额定负载后、分别测定其在 50%、100% 额定负载和空载下的噪声,可结合负载试验进行。

测量可以在噪声试验室或符合 GB 1859 规定的普通试验室,用 A 计权网络进行。

背噪声应比所测机组的噪声低 10dB 以上,且不应被偶然的其它声源所干扰。

测量点的高度与汽缸头齐平,距离机组本体为 1m,特别是柴油机增压器和发电机排风口等处。

每个测点应重复测量三次,每次测量结果之差应不大于 2Db。记录环境温度、湿度、大气压力、日期、各测点噪声级 LP(A)、背景噪声级。

6.2.16 机组扭振测量

(1) 机组在空载工况下,在最低稳定转速至 110% 额定转速范围内测量机组的扭振振幅及应力(或扭矩、角度)。

(2) 机组在额定负载下,在 95%~100% 额定转速范围内测量机组的扭振振幅及应力(或扭矩、角度)。

6.2.17 机组负载试验

机组在整定的调速率和功率因数 0.8（滞后）情况下，机组空载运转 5 min，在 25%、50%、75% 额定负载分别运转 10min 后，将负载加到额定功率，转速调到额定值连续运转不少于 2h 每半小时记录一次机组的功率、频率、电压和油耗。

6.2.18 机组过载试验

在机组负载试验后，随即进行 110% 额定负载过载试验，试验时间为 0.5h。

6.2.19 机组超速保护装置试验

机组在空载条件下调节超速保护装置的转速整定值，使柴油转速达到 $113^{\circ} \sim 115^{\circ}$ 额定转速时，超速保护装置应迅速动作，使柴油机停车，试验三次均应成功。

6.2.20 并联运行试验

- (1) 此项试验应在单台机组试验合格后进行，并联运行机组的稳态调速率应调得尽量一致。
- (2) 使运行机组加载到 40% 额定负载，功率因数为 0.8（滞后），调节待并机组的电压，频率略高于运行机组，使之投入并联运行，把总负载增加到 75% 额定负载作为基调点，调节并联机组的转速，使有功和无功功率的分配基本一致，均功后不允许进行第二次调节，然后单向改变总负载：75%→100%→75%→50%→20%→50%→75%，保持总负载功率因数为 0.8（滞后），求出有功功率分配差度 ΔP 和无功功率分配差度 ΔQ ，并在总功率为 90% 时运行 1h，观察并联的稳定性。

并联运行机组在 25%~50% 负载工况下，直接起动并联运行中小机组容量的 25% 左右的异步电动机，观察并联运行的稳定性。

6.2.21 机组机械振动测定

机组应在起动转速到额定转速范围内检查最大振动点，并在额定转速和额定负载整定后，分别在带 50%、100%、110% 额定负载时，测定机组运行部分各点三个方向上振动速度的有效值，测点分布如图 6.2.21 所示。

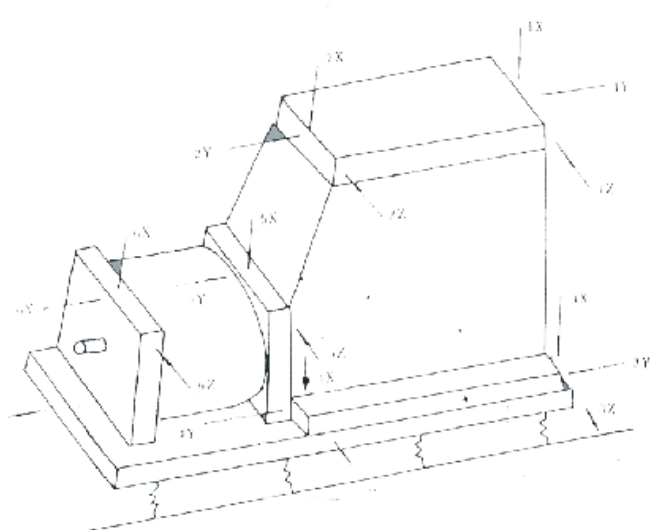


图 6.2.21 测点分布图

7 单件/单批检验

7.1 获得设计认可后，产品单件/单批检验工作应在成套企业完成安装、调试和出厂试验后进行。

7.2 企业的出厂试验报告应随检验申请书同时报 CCS。

7.3 在工厂进行 100% 出厂试验的基础上，对非逐船订货且批量较大的情况下，验船师应至少抽取 5% 的机组进行检验。

7.4 单件/单批检验项目应包括：

- (1) 外观检查；
- (2) 冷态绝缘电阻测试；
- (3) 滑油低压报警；
- (4) 冷却水高温报警；
- (5) 超速保护装置试验；
- (6) 起动试验（仅适用于带起动用蓄电池或起动气源的机组）；
- (7) 运转检查；

- (8) 负载试验 2 小时及过载试验 0.5 小时；
- (9) 稳态调速率特性测定；
- (10) 转速波动率测定；
- (11) 瞬态调速率及稳定时间测定；
- (12) 电压整定范围测定；
- (13) 稳态电压调整率测定；
- (14) 电压波动率测定；
- (15) 瞬态电压变化率及稳定时间测定；
- (16) 并联运行试验或负载转移试验；
- (17) 热态绝缘电阻测试。

7.5 柴油机和/或发电机未取得 CCS 产品证书的机组应按型式试验的要求进行，并补充柴油机和/或发电机的型式试验。