

中华人民共和国国家标准

船用柴油机排气排放污染物测量方法

GB/T 15097—94

Measurement method for emission pollutants of exhaust gas of marine diesel engine

1 主题内容与适用范围

本标准规定了船用柴油机(以下简称柴油机)排气排放污染物(CO、NO_x和HC)排放浓度,比排放量台架试验的测量方法。

本标准适用于船用柴油主机、发电用船舶柴油机和游艇柴油机。

2 引用标准

GB 1105 内燃机台架性能试验方法

GB 8190 柴油机排气分析系统技术要求

GB 8191 柴油机排气中一氧化碳、二氧化碳和氮氧化物的测定 不分光红外线法

GB 8192 柴油机排气中氮氧化物的测定 化学发光分析

GB 8193 柴油机排气中总碳氢化合物的测定 氢火焰离子化法

3 测量条件和仪器

3.1 测量条件

3.1.1 提交测量的柴油机应按制造厂技术文件规定完成磨合运转并达到规定的性能指标。

3.1.2 环境状况应符合 GB 1105 的规定。

3.1.3 柴油机的进气阻力应控制在制造厂规定的最大空气消耗量时允许值的 ± 0.3 kPa 以内。

3.1.4 柴油机排气系统的背压应控制在制造厂规定的标定工况时最大允许值的 ± 0.65 kPa 以内。

3.1.5 柴油机应使用制造厂技术文件规定的燃油,对比试验时,应使用同一牌号燃油,并应在测量报告中注明燃油牌号及喷油泵进口处的燃油温度。

3.2 测量系统和仪器

3.2.1 取样系统应符合 GB 8190 的规定,采用直接连续取样法采集排气气样。

3.2.2 测量 CO 的排放浓度使用不分光红外线(NDIR)分析仪,并应符合 GB 8191 的规定。

3.2.3 测量 NO_x 的排放浓度使用化学发光(CLD)分析仪,并应符合 GB 8192 的规定。

3.2.4 测量 HC 的浓度采用加热型氢火焰离子化(HFID)分析仪,并应符合 GB 8193 的规定。

3.2.5 测量柴油机空气消耗量的流量计。应采用精度为其满量程的 $\pm 2\%$ 。

3.2.6 测量柴油机其它参数用的仪器仪表应符合 GB 1105 的规定。

4 测量方法

4.1 柴油机排气排放污染物的测量循环应按表 1 规定的工况和顺序进行。

表 1

测量循环类型	项 目	测 量 点				
		1	2	3	4	5
A (游艇柴油机)	转速百分数	100	60	60	60	最低稳定转速 0 0.4
	负荷百分数	100	75	50	25	
	加权系数 W_F	0.06	0.14	0.15	0.25	
B (船用主机)	转速百分数	100	91	80	63	—
	负荷百分数	100	75	50	25	—
	加权系数 W_F	0.2	0.5	0.15	0.15	—
C (恒定转速船用主机)	转速百分数	100	100	100	100	—
	负荷百分数	100	75	50	25	—
	加权系数 W_F	0.2	0.5	0.15	0.15	—
D (发电用船舶柴油机)	转速百分数	100	100	100	—	—
	负荷百分数	100	75	50	—	—
	加权系数 W_F	0.3	0.5	0.2	—	—

注：① 转速百分数系指测量点的柴油机转速与该柴油机标定转速比值的百分数。

② 负荷百分数系指测量点的柴油机功率与该柴油机标定功率比值的百分数。

4.2 将取样探头装在距柴油机排气总管或废气涡轮出口下游 0.5~3 m 的直管段处,并接通 CO、NO_x 和 HC 分析仪的取样系统。

4.3 对 CO、NO_x 和 HC 分析仪进行零点和量距刻度标定。

4.4 测量应在柴油机工况稳定后进行,每一测量点的转速调整偏差应不大于标定转速的 ±1% 或 ±3 r/min;负荷调整偏差应不大于全负荷的 ±2%。一次测量循环应按表 1 规定的测量点和顺序连续完成,否则测量无效。

4.5 每一测量点稳定运转 10 min,在最后 5 min 内,按表 1 的规定对柴油机进行排气排放污染物测量,并将 CO、NO_x 和 HC 分析仪的输出信号连续记录在长图记录纸上。

4.6 在进行排气污染物测量的同时,按附录 A(补充件)测量并记录各参数。

4.7 找出每一测量点最后 1 min 的 CO、NO_x 和 HC 测量记录线的位置,并将其等分成 10 个间隔,确定出每一等分间隔的平均读数。10 个平均读数的算术平均值代表该测量点的 CO、NO_x 和 HC 的排放浓度。CO 和 NO_x 排放浓度以 10⁻⁶ 表示;HC 排放浓度以 C×10⁻⁶ 表示。

4.8 完成最后一个测量点后,应立即复核 4.3 确定的 CO、NO_x 和 HC 分析仪的零点和量距刻度定标,当测量前后分析仪的零点漂移超过该分析仪满量程的 2% 或零点与量距刻度定标点的间距偏差超过该分析仪满量程的 2% 时,测量无效。

5 测量结果的计算

5.1 按公式(1)、公式(2)、公式(3)分别计算每个测量点的 CO、NO_x 和 HC 质量排放量。

$$G_{CO} = 0.966[G_s(\text{干}) + G_i]V_{CO}(\text{实测}) \times K_w \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$G_{NO_x} = 1.586[G_s(\text{干}) + G_i]V_{NO_x}(\text{实测}) \times K_h \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$G_{HC} = 0.478[G_s(\text{干}) + G_i]V_{HC}(\text{实测}) \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(3)$$

- 式中： G_{CO} ——每个测量点的 CO 质量排放量，g/h；
 G_{NO_x} ——每个测量点的 NO_x 质量排放量，g/h；
 G_{HC} ——每个测量点的 HC 质量排放量，g/h；
 $G_a(\text{干})$ ——每个测量点换算到标准环境状况下的柴油机空气消耗量，kg/h；
 G_f ——每个测量点柴油机燃油消耗量，kg/h；
 $V_{CO}(\text{实测})$ ——按 4.7 条确定的每个测量点的 CO 排放浓度， $\times 10^{-6}$ ；
 $V_{NO_x}(\text{实测})$ ——按 4.7 条确定的每个测量点的 NO_x 排放浓度， $\times 10^{-6}$ ；
 $V_{HC}(\text{实测})$ ——按 4.7 条确定的每个测量点的 HC 排放浓度， $C \times 10^{-6}$ ；
 K_w ——干、湿基浓度换算系数，见附录 B(补充件)；
 K_h —— NO_x 排放浓度的进气湿度修正系数，见附录 C(补充件)。

5.2 按公式(4)、公式(5)、公式(6)分别计算每个测量点的 CO、 NO_x 和 HC 的比排放量。

$$bs_{CO} = \frac{G_{CO}}{P} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$bs_{NO_x} = \frac{G_{NO_x}}{P} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$bs_{HC} = \frac{G_{HC}}{P} \quad \dots\dots\dots(6)$$

- 式中： bs_{CO} ——每个测量点的 CO 比排放量，g/(kW·h)；
 bs_{NO_x} ——每个测量点的 NO_x 比排放量，g/(kW·h)；
 bs_{HC} ——每个测量点的 HC 比排放量，g/(kW·h)；
 P ——每个测量点的功率，kW。

5.3 按公式(7)、公式(8)、公式(9)分别计算 CO、 NO_x 和 HC 的加权平均比排放量。

$$BS_{CO} = \frac{\Sigma(G_{CO} \cdot W_F)}{\Sigma(P \cdot W_F)} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$BS_{NO_x} = \frac{\Sigma(G_{NO_x} \cdot W_F)}{\Sigma(P \cdot W_F)} \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$BS_{HC} = \frac{\Sigma(G_{HC} \cdot W_F)}{\Sigma(P \cdot W_F)} \quad \dots\dots\dots(9)$$

- 式中： BS_{CO} ——一次测量循环的 CO 加权平均比排放量，g/(kW·h)；
 BS_{NO_x} ——一次测量循环的 NO_x 加权平均比排放量，g/(kW·h)；
 BS_{HC} ——一次测量循环的 HC 加权平均比排放量，g/(kW·h)；
 W_F ——每个测量工况的加权系数，见表 1。

附录 B
柴油机 CO 排放浓度的干、湿基换算
(补充件)

B1 CO 干、湿基浓度的换算按公式(B1)计算:

$$V_{CO(湿)} = K_w \times V_{CO(实测)} \dots\dots\dots(B1)$$

B2 干、湿基浓度换算系数 K_w 按公式(B2)、公式(B3)、公式(B4)计算。

$$K_w = 1 - W \dots\dots\dots(B2)$$

$$W = \frac{0.5y + 7.63MH \times 10^{-3}}{(4.76 + 7.63H \times 10^{-3})M + 0.25y} \dots\dots\dots(B3)$$

$$M = \frac{1}{G_i/G_a(干)} \left(\frac{12.01 + 1.008y}{137.28 + 13.75H \times 10^{-2}} \right) \dots\dots\dots(B4)$$

式中: W —— 柴油机排气中的水蒸气容积分量;
 y —— 柴油的氢/碳原子数比,取 $y = 1.75$;
 M —— 吸入柴油机的空气中氧的摩尔数;
 H —— 试验时的环境空气含湿量, $g(水)/kg(干空气)$ 。

B3 试验时环境空气含湿量 H 按公式(B5)计算。

$$H = \frac{622\phi p_s}{p - \phi p_s} \dots\dots\dots(B5)$$

式中: ϕ —— 进气空气的相对湿度, %;
 p_s —— 干球温度(进气温度)下的饱和水蒸气压, kPa (由表 B2 查得)。
 p —— 大气压, kPa 。

B4 不同 $G_i/G_a(干)$ 和 H 时的 K_w 值也可由表 B1 中查得。

表 B1 干、湿基浓度换算系数 K_w

y	H	$G_i/G_a(干)$											
		0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040	0.045	0.050	0.055	0.060
1.75	0	0.991	0.982	0.973	0.964	0.955	0.947	0.938	0.929	0.921	0.912	0.904	0.896
	1	0.989	0.980	0.971	0.962	0.954	0.945	0.936	0.928	0.919	0.911	0.903	0.894
	2	0.988	0.979	0.970	0.961	0.952	0.943	0.935	0.926	0.918	0.909	0.901	0.893
	3	0.986	0.977	0.968	0.959	0.951	0.942	0.933	0.925	0.916	0.908	0.900	0.891
	4	0.985	0.976	0.967	0.958	0.949	0.940	0.932	0.923	0.915	0.907	0.898	0.890
	5	0.983	0.974	0.965	0.956	0.948	0.939	0.930	0.922	0.913	0.905	0.897	0.889
	6	0.981	0.972	0.964	0.955	0.946	0.937	0.929	0.920	0.912	0.904	0.895	0.887
	7	0.980	0.971	0.962	0.953	0.945	0.936	0.927	0.919	0.910	0.902	0.894	0.886

续表 B1

y	H	G_t/G_s (干)											
		0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040	0.045	0.050	0.055	0.060
1.75	8	0.978	0.969	0.961	0.952	0.943	0.934	0.926	0.917	0.909	0.901	0.892	0.881
	9	0.977	0.968	0.959	0.950	0.942	0.933	0.924	0.916	0.908	0.899	0.891	0.883
	10	0.975	0.966	0.957	0.949	0.940	0.931	0.923	0.914	0.906	0.898	0.890	0.881
	11	0.974	0.965	0.956	0.947	0.939	0.930	0.921	0.913	0.905	0.896	0.888	0.880
	12	0.972	0.963	0.954	0.946	0.937	0.929	0.920	0.912	0.903	0.895	0.887	0.879
	13	0.971	0.962	0.953	0.944	0.936	0.927	0.919	0.910	0.902	0.894	0.885	0.877
	14	0.969	0.960	0.951	0.943	0.934	0.926	0.917	0.909	0.900	0.892	0.884	0.876
	15	0.968	0.959	0.950	0.941	0.933	0.924	0.916	0.907	0.899	0.891	0.883	0.874
	16	0.966	0.957	0.948	0.940	0.931	0.923	0.914	0.906	0.898	0.889	0.881	0.873
	17	0.965	0.956	0.947	0.938	0.930	0.921	0.913	0.904	0.896	0.888	0.880	0.872
	18	0.963	0.954	0.946	0.937	0.928	0.920	0.911	0.903	0.895	0.886	0.878	0.870
	19	0.962	0.953	0.944	0.935	0.927	0.918	0.910	0.902	0.893	0.885	0.877	0.869
	20	0.960	0.951	0.943	0.934	0.925	0.917	0.908	0.900	0.892	0.884	0.876	0.867
	21	0.959	0.950	0.941	0.932	0.924	0.915	0.907	0.899	0.890	0.882	0.874	0.866
	22	0.957	0.948	0.940	0.931	0.922	0.914	0.906	0.897	0.889	0.881	0.873	0.865
	23	0.956	0.947	0.938	0.930	0.921	0.913	0.904	0.896	0.888	0.880	0.871	0.863
	24	0.954	0.945	0.937	0.928	0.920	0.911	0.903	0.895	0.886	0.878	0.870	0.862
	25	0.953	0.944	0.935	0.927	0.918	0.910	0.901	0.893	0.885	0.877	0.869	0.861
	26	0.951	0.942	0.934	0.925	0.917	0.908	0.900	0.892	0.884	0.875	0.867	0.859
	27	0.950	0.941	0.932	0.924	0.915	0.907	0.899	0.890	0.882	0.874	0.866	0.858
	28	0.948	0.940	0.931	0.922	0.914	0.906	0.897	0.889	0.881	0.873	0.865	0.857
	29	0.947	0.938	0.930	0.921	0.913	0.904	0.896	0.888	0.879	0.871	0.863	0.855
	30	0.945	0.937	0.928	0.920	0.911	0.903	0.894	0.886	0.878	0.870	0.862	0.854
	31	0.944	0.935	0.927	0.918	0.910	0.901	0.893	0.885	0.877	0.869	0.861	0.853
	32	0.942	0.934	0.925	0.917	0.908	0.900	0.892	0.883	0.875	0.867	0.859	0.851
	33	0.941	0.932	0.924	0.915	0.907	0.899	0.890	0.882	0.874	0.866	0.858	0.850
	34	0.940	0.931	0.922	0.914	0.906	0.897	0.889	0.881	0.873	0.865	0.857	0.849
	35	0.938	0.930	0.921	0.913	0.904	0.896	0.888	0.879	0.871	0.863	0.855	0.847
	36	0.937	0.928	0.920	0.911	0.903	0.894	0.886	0.878	0.870	0.862	0.854	0.846
	37	0.935	0.927	0.918	0.910	0.901	0.893	0.885	0.877	0.869	0.861	0.853	0.845
	38	0.934	0.925	0.917	0.908	0.900	0.892	0.883	0.875	0.867	0.859	0.851	0.843
	39	0.933	0.924	0.915	0.907	0.899	0.890	0.882	0.874	0.866	0.858	0.850	0.842
	40	0.931	0.923	0.914	0.906	0.897	0.889	0.881	0.873	0.865	0.857	0.849	0.841

注：当 G_t/G_s (干) 为其他数值时，可用内插法求 K_w 值。

表 B2 各种温度下的饱和水蒸气压 p_s

kPa

$t, ^\circ\text{C}$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.611	0.615	0.620	0.624	0.629	0.633	0.638	0.642	0.647	0.652
1	0.657	0.661	0.666	0.671	0.676	0.681	0.685	0.690	0.695	0.700
2	0.705	0.710	0.716	0.721	0.726	0.731	0.736	0.741	0.747	0.752
3	0.757	0.763	0.768	0.774	0.779	0.785	0.790	0.796	0.801	0.807
4	0.813	0.819	0.824	0.830	0.836	0.842	0.848	0.854	0.860	0.866
5	0.872	0.878	0.884	0.890	0.896	0.903	0.909	0.915	0.922	0.928
6	0.935	0.941	0.948	0.954	0.961	0.967	0.974	0.981	0.988	0.994
7	1.001	1.008	1.015	1.022	1.029	1.036	1.043	1.050	1.058	1.065
8	1.072	1.079	1.087	1.094	1.102	1.109	1.117	1.124	1.132	1.140
9	1.147	1.155	1.163	1.171	1.179	1.187	1.195	1.203	1.211	1.219
10	1.227	1.235	1.244	1.252	1.260	1.269	1.277	1.286	1.294	1.303
11	1.312	1.321	1.329	1.338	1.347	1.356	1.365	1.374	1.383	1.392
12	1.402	1.411	1.420	1.430	1.439	1.448	1.458	1.468	1.477	1.487
13	1.497	1.507	1.516	1.526	1.536	1.546	1.556	1.567	1.577	1.587
14	1.598	1.608	1.618	1.629	1.639	1.650	1.661	1.672	1.682	1.693
15	1.704	1.715	1.726	1.737	1.749	1.760	1.771	1.783	1.794	1.806
16	1.817	1.829	1.840	1.852	1.864	1.876	1.888	1.900	1.912	1.924
17	1.937	1.949	1.961	1.974	1.986	1.999	2.011	2.024	2.037	2.050
18	2.063	2.076	2.089	2.102	2.115	2.129	2.142	2.155	2.169	2.183
19	2.196	2.210	2.224	2.238	2.252	2.266	2.280	2.294	2.308	2.323
20	2.337	2.352	2.366	2.381	2.396	2.410	2.425	2.440	2.455	2.471
21	2.486	2.501	2.517	2.532	2.548	2.563	2.579	2.595	2.611	2.627
22	2.643	2.659	2.675	2.692	2.708	2.724	2.741	2.758	2.775	2.791
23	2.808	2.825	2.843	2.860	2.877	2.894	2.912	2.930	2.947	2.965
24	2.983	3.001	3.019	3.037	3.055	3.074	3.092	3.111	3.129	3.148
25	3.167	3.186	3.205	3.224	3.243	3.262	3.282	3.301	3.321	3.341
26	3.361	3.381	3.401	3.421	3.441	3.461	3.482	3.502	3.523	3.544
27	3.565	3.586	3.607	3.628	3.649	3.671	3.692	3.714	3.735	3.757
28	3.779	3.801	3.824	3.846	3.868	3.891	3.913	3.936	3.959	3.982
29	4.005	4.028	4.052	4.075	4.099	4.122	4.146	4.170	4.194	4.218
30	4.243	4.267	4.292	4.316	4.341	4.366	4.391	4.416	4.441	4.467
31	4.492	4.518	4.544	4.570	4.596	4.622	4.648	4.675	4.701	4.728
32	4.755	4.782	4.809	4.836	4.863	4.891	4.919	4.946	4.974	5.002
33	5.030	5.059	5.087	5.116	5.144	5.173	5.202	5.231	5.261	5.290
34	5.320	5.349	5.379	5.409	5.439	5.470	5.500	5.531	5.561	5.592
35	5.623	5.654	5.686	5.717	5.749	5.781	5.813	5.845	5.877	5.909
36	5.942	5.975	6.007	6.040	6.074	6.107	6.140	6.174	6.208	6.242
37	6.276	6.310	6.345	6.379	6.414	6.449	6.484	6.519	6.555	6.590
38	6.626	6.662	6.698	6.734	6.771	6.807	6.844	6.881	6.918	6.956
39	6.993	7.031	7.068	7.106	7.145	7.183	7.221	7.260	7.299	7.338
40	7.377	7.417	7.456	7.496	7.536	7.576	7.617	7.657	7.698	7.739
41	7.780	7.821	7.863	7.904	7.946	7.988	8.030	8.073	8.115	8.158
42	8.201	8.244	8.288	8.331	8.375	8.419	8.463	8.508	8.552	8.597
43	8.642	8.687	8.732	8.778	8.824	8.870	8.916	8.962	9.009	9.056
44	9.103	9.150	9.198	9.245	9.293	9.341	9.390	9.438	9.487	9.536
45	9.585	9.634	9.684	9.734	9.784	9.834	9.885	9.935	9.986	10.038

附录 C
柴油机 NO_x 排放浓度的进气湿度修正
 (补充件)

C1 NO_x 排放浓度的进气湿度修正按公式(C1)、公式(C2)计算。

$$V_{\text{NO}_x}(\text{修正}) = K_h \times V_{\text{NO}_x}(\text{湿}) \dots\dots\dots(\text{C1})$$

式中: $V_{\text{NO}_x}(\text{修正})$ ——进气湿度修正后的 NO_x 排放浓度。

C2 NO_x 排放浓度进气湿度修正系数 K_h 按公式(C2)计算。

$$K_h = \frac{1}{1 + 7A(H - 5.97) + 1.8B(t - 25)} \dots\dots\dots(\text{C2})$$

式中: $A = 0.044[G_t/G_a(\text{干})] - 0.0038$;

$B = -0.116[G_t/G_a(\text{干})] + 0.0053$;

t —— 试验时的进气温度, °C。

附加说明:

本标准由中国船舶工业总公司提出。

本标准由中国船舶工业总公司第七研究院七一一研究所归口。

本标准由哈尔滨船舶工程学院、中国船舶工业总公司六〇三研究所负责起草。

本标准主要起草人魏荣年、刘运安、张滨阿、韩凤明、刘光祖。