

船舶蒸汽机蒸汽分配的 改善方法

T. H. 福 金著

洪敏達譯

人民交通出版社

船舶蒸汽机蒸汽分配的 改善方法

Т.И.福 金著

洪敏遠譯

人民交通出版社

本書介紹了發揮船用蒸汽机潛力，提高機器功率，節約燃料消耗的先進方法。作者從多年實際工作中，研究了對於船用蒸汽机配汽的改善，得到了增加機器功率的良好成績，並且在個別情況下有特別顯著的效果，從而達到了充分利用蒸汽机功率的目的。書內對於怎樣改變汽缸進汽導程以改善蒸汽分配，提早排汽對機器功率的影響以及各種汽缸的調配等等，並用詳細的圖表資料，作了具體的分析。

本書可供船舶輪機人員學習和參考。

統一書號：15044·6082-京

船舶蒸汽机蒸汽分配的
改善方法

Т. И. ФОКИН

МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ
ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ
СУДОВЫХ ПАРОВЫХ МАШИН

РЕЧИЗДАТ
МОСКВА 1952

本書根據蘇聯河運出版社 1952 年莫斯科俄文版本譯出

洪敏達譯

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

新華書店發行

北京市印刷一廠排版

公私合營慈成印刷工廠印刷

1956年11月北京第一版 1956年11月北京第一次印刷

開本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張：4 $\frac{1}{2}$ 張

全書：100,000字 印數：1—1900冊

定價(10)：0.60元

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號)

目 录

序

第一章 蒸汽机試驗結果的修正	2
1. 換算为同一条件的平均指示压力	2
2. 变更平均指示压力时机器功率的确定	7
第二章 蒸汽机的进汽导程	12
3. 用改变低压汽缸进汽导程的方法以改善机器的 蒸汽分配	12
4. №52船机器的低压汽缸各种不同提早进汽值的 專門試驗	31
5. 低压汽缸进汽导程的选择	39
第三章 蒸汽机的提早排汽	45
6. 提早排汽对机器功率的影响	45
7. 高压汽缸的提早排汽值对高压汽缸和低压汽缸 示功圖形狀的影响	57
8. 低压汽缸提早排汽值对机器功率的影响	61
第四章 蒸汽机各汽缸的进汽度	67
9. 中压汽缸和低压汽缸的进汽度对三膨脹式机器 功率的影响	67
10. 低压汽缸进汽度对复膨脹式机器功率的影响	70
11. 机器各汽缸間的功率分配	79
12. 汽缸进汽度对示功圖圖片系数的影响	96
第五章 蒸汽机的經濟性和配汽系統与它的关系	105

13. 蒸汽机經濟性的指标·····	105
14. 滑閥行程及其大小·····	108
15. 滑閥傳动机构中的間隙值·····	110
16. 蒸汽配汽系統对进汽过程中蒸汽抽絲的影响·····	111
17. 滑閥型式的更換·····	115
18. 滑閥和活塞的漏汽·····	118
19. 噴射式凝汽器結構的改善·····	125

附 录

序

为了解决充分利用内河船舶蒸汽机功率的问题，首先必须知道在现有锅炉的蒸汽压力和高压汽缸的进汽度下，有哪些因素影响机器功率的發揮。

有时企图改善机器的工作，由于缺乏关于机器的足够资料，因而反而会得到不良的后果。

在不改变锅炉蒸汽压力和高压汽缸的进汽度下，采用改善配汽时刻的方法，在大多数的情况下，可以显著地增加机器的功率。

经过好几年的时间，作者研究了很多蒸汽机船舶机器配汽改善后配汽时刻对机器工作的影响。而从配汽改良前后的机器示功图中得到证明：机器的功率在颇大的程度上取决于配汽时刻的选择。

本书阐明作者所研究的配汽时刻的改良以及影响机器功率的效果和因素。

在完成这些研究工作中，全苏水运工程技术协会伏尔加上游分会给予作者以很大的帮助。

№11、16、52船舶机器配汽的叙述，是根据河运部教育总局高尔基科学研究实验室的报告书的材料。这几艘蒸汽机船舶是由河运部发明事业委员会定货完成的。

第一章 蒸汽机試驗結果的修正

1. 換算为同一条件的平均指示压力

蒸汽拖輪的机器功率是在各种不同的航行速度下，用热工試驗来确定的。

登記功率是当蒸汽机船舶在靜水速度为 2.22 公尺/秒（8 公里/小时）时所确定的。一般在确定拖輪和客輪的登記功率时，不考虑机器蒸汽分配的好坏，而仅确定其在試驗时所發出的功率。在規定的蒸汽压力和高压汽缸的进汽度下，認為机器已發出全部功率，并且也沒有任何潛力来增加功率。但是有时略为調整一下蒸汽分配，蒸汽机的功率就获得显著的增加。

作者所研究的一些伏尔加河船舶上的蒸汽机配汽的修改，提供了增加机器功率的可能性，并且在个别情况下有特別显著的效果。这些船舶在配汽修改前后的試驗結果，列于表 1 中。

表 1 中的符号：

P_e ——高压汽缸进汽时刻的蒸汽压力；

ϵ_e ——高压汽缸的进汽度；

n ——机器每分鐘的轉数；

N_i ——机器的指示功率；

P_e ——低压汽缸的排汽压力（真空度）；

$P_i n_p$ ——試驗时所得的并已換算为低压汽缸的平均指示压力；

$P_i^0 n_p$ ——經過校正并換算为低压汽缸的平均指示压力；

ΔN_i ——功率的增加。

蒸汽机船舶在修改配汽前后的試驗結果

表 1①

船 号	修改前和修改后	P_e , 气压	$\varepsilon \theta$	n , 轉/分	N_i , 馬力	P_2 , 气压	P_{inp} , 公斤/平方 公分	P_{inp}^0 , 公斤/平方 公分	ΔN_i , 馬力
1②	修前	10.33	0.68	25.5	525.0	0.57	3.69	3.69	—
2	修后	8.8	0.722	24.4	490.0	0.67	3.859	4.05	—
3	修前	9.4	0.64	38.0	462.0	0.70	3.37	3.37	+58
4	修后	10.5	0.619	39.2	548.0	0.72	4.01	3.63	—
5	修前	10.4	0.706	26.7	416.0	0.68	3.92	3.92	+41
6	修后	9.8	0.72	25.1	411.0	0.70	4.04	4.16	—
7	修前	8.74	0.78	25.9	594.3	0.72	3.715	3.715	+40
8	修后	8.5	0.74	23.3	435.5	0.65	3.66	3.87	—
9	修前	7.8	0.74	24.3	427.0	0.65	2.58	2.58	103
10	修后	7.8	0.765	20.5	433.0	0.63	3.09	3.00	—
11	修前	7.5	0.49	32.3	312.0	0.67	2.45	2.45	62
12	修后	7.2	0.53	32.9	342.3	0.63	2.68	2.75	—
13	修前	9.2	0.81	27.8	251.0	0.50	3.75	3.65	22
14	修后	9.3	0.740	31.0	287.0	0.54	3.76	3.86	—
15	修前	10.2	0.73	24.6	242.0	0.52	4.04	3.86	60
16	修后	12.3	0.55	37.8	490.0	0.65	3.94	3.94	—
17	修前	11.2	0.57	37.0	510.0	0.58	4.0	4.25	42
18	修后	11.11	0.74	28.0	251.0	0.62	3.35	3.35	—
19	修前	10.2	0.75	31.7	306.5	0.60	3.42	3.68	18
20	修后	10.2	0.695	28.3	232.7	0.43	3.51	3.51	—
21	修前	9.6	0.68	28.4	239.4	0.43	3.47	3.68	30
22	修后	9.8	0.515	44.2	130.4	0.54	2.75	2.75	—
23	修前	9.4	0.435	45.0	135.1	0.53	2.75	3.18	—
24	修后	9.8	0.74	30.5	173.8	0.75	3.50	3.50	18
25	修前	10.0	0.74	22.4	142.8	0.69	3.91	3.69	—

① 蒸汽机的主要尺寸——參閱附录。
② 蒸汽机船舶的低压汽缸中附裝汽缸套裝置。

从表 1 中可看出，在配汽修改后机器的功率增加 8~22%。

因此，改善配汽质量的經驗证明了不仅采用增加高压汽缸进汽度的方法可以增加蒸汽机的功率，就是在现有高压汽缸进汽度的情况下，由于高压汽缸和低压汽缸配汽时刻的改善，也能达到这一目的。同时正如試驗証明，每指示馬力的單位燃料消耗并不增加，而且减少；例如在 №6 船上修改配汽后机器的功率增加 16%，而燃料的單位消耗却减少 14%。

为了表示修改后的效果，在配汽时刻前后的热工試驗的資料应換算至同一条件。为此需將曾在修改配汽前自机器示功圖上所获得的压力，重新計算至在修改配汽后所获得的平均指示压力。

因此，平均指示压力可按照下列公式①来校正：

① 作者推荐的校正 $P_i n p$ 的方法，是引用 ΔP 修正值的方法， ΔP 应近似地按照公式(1~5)計算。

更詳細的分析配汽的质量对总合示功圖 圖片系数 k (示功圖完滿系数——譯注)的影响，可以利用算准关系(無因次关系)，例如 B. B. 拉赫副教授所建議的关系：

$$k = f \left[\frac{f_g a_x \varepsilon_g}{V_n (1 + v_0) g^n} \sqrt{1 - \left(\frac{P_p}{P_3} \right)^{\frac{m-1}{m}}} \right]$$

式中： f_g ——排汽口完全开启时的截面积，平方公尺；

a_x ——水蒸汽中的音速，公尺/秒；

ε_g ——高压汽缸的进汽度；

V_n ——低压汽缸的有效容积，立方公尺；

v_0 ——相对有害容积(即余隙容积与汽缸容积的比值——譯注)；

n ——机軸轉数，轉/分；

P_3 ——滑閥箱中的蒸汽压力，气压；

P_p ——膨胀終点的蒸汽压力，气压；

m ——蒸汽的多变膨胀指数。

$$P_{inp}^0 = P'_{inp} + \Delta P'_i + \Delta P''_i + \Delta P'''_i + \Delta P''''_i \quad \text{公斤/平方公分} \quad (1)$$

式中: P'_{inp} ——修改配汽后的試驗中所获得的低压汽缸的平均指示压力, 公斤/平方公分;

$\Delta P'_i$ ——考虑到蒸汽进入高压汽缸时压力变化的修正值, 公斤/平方公分;

$\Delta P''_i$ ——考虑到高压汽缸进汽度变化的修正值, 公斤/平方公分;

$\Delta P'''_i$ ——考虑到机器轉数变化的修正值, 公斤/平方公分;

$\Delta P''''_i$ ——考虑到低压汽缸排汽压力变化的修正值, 公斤/平方公分;

修正值 $\Delta P'_i$ 可以按照公式来确定:

$$\Delta P'_i = P_{inp} \left(\frac{P'_0}{P_0} - 1 \right) \quad (2)$$

式中: P_0 ——修改配汽前高压汽缸的进汽初压力, 绝对压力;

P'_0 ——修改配汽后高压汽缸的进汽初压力, 绝对压力。

如果修改配汽前的进汽压力 P_0 高于 P'_0 , 那么 $\Delta P'_i$ 的增量将是負值。

考虑到高压汽缸进汽度变化的修正值 $\Delta P'_i$ 的改变不大时, 可以按照公式来确定:

$$\Delta P''_i = k P_0 \varepsilon (1 - \ln \varepsilon) - k P'_0 \varepsilon' (1 - \ln \varepsilon') \quad (3)$$

式中: ε ——修改配汽前换算为低压汽缸的高压汽缸进汽度;

ε' ——修改配汽后换算为低压汽缸的高压汽缸进汽度;

k ——修改配汽后总合示功圖的圖片系数。

修改配汽前后, 高压汽缸进汽度的数值有变动較大时, 可按照中央水运科学研究所建議的公式来决定:

$$\Delta P_i'' = P_i' n_p \left[\frac{\varepsilon_\theta}{\varepsilon_\theta'} \cdot \frac{\frac{V_n}{V_\theta} + b\varepsilon_\theta'}{\frac{V_n}{V_\theta} + b\varepsilon_\theta} - 1 \right] \quad (4)$$

式中: ε_θ ——修改配汽前高压汽缸的进汽度;

ε_θ' ——修改配汽后高压汽缸的进汽度;

V_n ——低压汽缸的有效容积, 立方公尺;

V_θ ——高压汽缸的有效容积, 立方公尺;

b ——在 2.5~4 范围内变化的系数, 内河船舶的 $b \cong 3.7$ 。

考虑到蒸汽机轉数变化的修正值, 可以按照下列公式确定之:

$$\Delta P_i'' = a \Delta n$$

式中: $\Delta P_i''$ ——考虑到机器轉数变化时平均指示压力变化的系数;

Δn ——每一分鐘內轉数的变化^①。

为了确定 a 值, 我們可以根据試驗的数据, 認為 P_{in_p} 与轉数的变化是按直綫变化的^②。系数 a 对该机器可以根据其試驗資料按照公式来确定:

$$a = \frac{P_{i_{us}} - P_{i_n}}{n_n - n_{us}} \quad (5)$$

式中: $P_{i_{us}}$ ——系統試驗时换算为低压汽缸的平均指示压力;

P_{i_n} ——船速为 2.22 公尺/秒时换算为低压汽缸的平均指示压力。

① 当变更机器轉数以及 $\varepsilon_\theta =$ 恒值时, 根据多次試驗的資料, $P_{i_{n_p}}$ 是按照近似于直綫的規律变化的。

② 多次的試驗資料証明: 当变更轉数和 $\varepsilon =$ 恒值时, $P_{i_{n_p}}$ 数值变化的曲綫規律近似为双曲綫。——原文編者注。

n_{MC} ——船舶系纜時每分鐘的轉數；

n_H ——船速為 2.22 公尺/秒時每分鐘的轉數。

考慮到低壓汽缸排汽壓力變化的修正值，按下式確定之：

$$\Delta p_i'' = p_2 - p_2' \text{ 公斤/平方公分} \quad (6)$$

式中： p_2 ——修改配汽前低壓汽缸排汽壓力的真空表壓力，氣壓；

p_2' ——修改配汽後低壓汽缸的排汽壓力，氣壓。

由於修改配汽而變更低壓汽缸的排汽壓力時，例如增加低壓汽缸的提早排汽和滑閥行程，按照凝汽器中的壓力適當的列入修正值 $\Delta p_i''$ 。

上面所指定的確定修正值 p_i 的方法是近似的，並且只是當修改配汽前後 p_0 、 ε_0 和 n 的差值很小時才能應用。

2. 變更平均指示壓力時機器功率的確定

當低壓汽缸的平均指示壓力增加時，可以應用中央水運科學研究院提出的公式來確定機器的功率^①：

$$N_i' = N_i \left(\frac{p_{i np}^0}{p_{i np}} \right)^{1.65} \quad (7)$$

式中： N_i' ——修改配汽後的機器功率；

N_i ——修改配汽前的機器功率；

$p_{i np}$ ——修改配汽前的平均指示壓力；

$p_{i np}^0$ ——將修改配汽後的換算平均指示壓力重新計算至修改配汽前的平均指示壓力。

大家知道，增加 $p_{i np}$ 的同時機器的轉數也有若干增加。在公式(7)中轉數的增加是以指示壓力比值的 1.65 次方計算

① 對於以速度約為 2.22 公尺/秒（8 公里/小時）拖帶船隊工作的船舶，重新計算其機器功率時，可以應用作者推薦的公式——原文編者注。

的。如果在規定的高压汽缸进汽压力和高压汽缸进汽度的情況下，考虑到 $p_{i np}$ 与总合示功圖的圖片系数成正比，并且假定高压汽缸充汽度的变更很小时，这系数是不变的，那么修改配汽的結果可以借助于修改配汽前后的示功圖圖片系数来判断。同时为了使被比較の示功圖趋于同样的低压汽缸的排汽压力和同样的机器轉数，必須校正这些系数。在修改配汽前，总合示功圖的圖片系数可按公式来确定：

$$k = \frac{p_{i np}}{p_6 \varepsilon (1 - \ln \varepsilon)} \quad (8)$$

为了計算在修改配汽后的圖片系数，須將平均指示压力換算至修改配汽前的同一条件并且計及变更机器轉数的修正值 $\Delta p_i''$ 和变更真空度的修正值 $\Delta p_i'''$ ，在这种情况下：

$$k' = \frac{p_i' \pm \Delta p_i'' \pm \Delta p_i'''}{p_6' \varepsilon' (1 - \ln \varepsilon')} \quad (9)$$

修改配汽后的平均指示压力可按公式确定

$$p_{i np}^0 = p_{i np}' \frac{k'}{k} \text{ 公斤/平方公分} \quad (10)$$

当高压汽缸进汽度的数值不大时，可以采用这方法来确定 p_i' ，因为示功圖的圖片系数不是恒值，而是随高压汽缸进汽度的变化而变化。

在分析示功圖时，为了更完全的查明低压汽缸配汽后对示功圖圖片系数的影响起見，不是采取鍋爐压力，而是采取等于实际示功圖中的开始进入高压汽缸的蒸汽压力。这样的假設使示功圖的圖片系数比按照一般方法所計算的要高 1~1.5%，这就提供我們仅按示功圖的圖片系数来比較蒸汽机的可能性。

№ 3 船舶机器的配汽修改后質量的評定，參閱表 1 的測繪資料。

修改配汽前总合示功圖的圖片系数按公式(8)确定：

$$k = \frac{3.92}{11.4 \times 0.529} = 0.655$$

按計算修改配汽前的低压汽缸排汽压力和机器轉数的修正值的公式(9)来校正, 修改配汽后的总合示功圖的圖片系数, 采用这样的数值。

$$k' = \frac{4.06 - 0.02 - 0.04}{10.8 \times 0.531} = 0.7$$

当此数值为 k 时指示压力为:

$$p_{i np}^0 = 3.92 \frac{0.70}{0.655} = 4.16 \text{ 公斤/平方公分}$$

修改配汽后指示功率相对的增加值, 可按公式(7)确定之。

$$N'_i = N_i \left(\frac{p_{i np}^0}{p_{i np}} \right)^{1.65} = N_i \left(\frac{4.16}{3.92} \right)^{1.65} = 1.1 N_i$$

船舶在一般的監督試驗中和变更时平均指示压力, 可适当地应用上述的計算方法。这方法可以确定平均指示压力是否依然不变。当全部配汽时刻都不改变而平均指示压力却有变更, 这就証明机器中存在着缺陷。

从分析蒸汽分配的情况和研究示功圖的結果中可以看出, 示功圖的圖片系数由下列因素决定的:

- 1) 配汽系統及时刻;
- 2) 汽口和汽道中的蒸汽平均速度;
- 3) 机器的轉数;
- 4) 低压汽缸的真空度;
- 5) 汽缸的容积比和进汽度的数值;
- 6) 配汽机构和汽缸活塞的紧密性;
- 7) 蒸汽过热度和其他因素。

表 2 中列举了在修改配汽前后根据热工試驗資料所得 k 值。

从表 2 中可看出，該机器的系数 k 是随配汽时刻的改变而变更。正确的选择配汽时刻是获得最大系数 k 和最大功率的主要措施。

表 2
修改配汽前后蒸汽机船舶机器总合示功圖圖片
系数 k 的数值

船舶號碼	机器的指示功 率 N_i , 馬力	系 数 k 的 数 值		k 值增加的 %
		修 改 前	修 改 后	
7	280	0.628	0.67	6.5
3	420	0.66	0.72	9.5
5	420	0.58	0.67	15.5
4	510	0.62	0.66	6.4
6	400	0.60	0.665	10.6
10	280	0.62	0.65	4.8
1	500	0.62	0.72	16
14	650	0.61	0.66	8.2
8	600	0.633	0.68	7.6
2	500	0.63	0.685	8.7
11	170	0.58	0.645	11.2
15	500	0.61	0.66	8.2
13	650	0.64	0.70	9.3

机器的功率在很大的程度上取决于低压汽缸进汽导程的大小而定。

进汽导程太小就引起示功圖（圖 1, б）上在进汽初期的圓弧或是垂直进汽綫的傾斜（圖 1, а）。这就減少了示功圖的面积（減少 1 %），即圖中用断面綫所指出的面积。所以一般根据示功圖上的这个标志来确定导程量的不足。这样并不显著地減少示功圖面积，說明較小的进汽导程对机器功率的影响并不

大。根据这一点，在实际中，导程的大小并不具有应有的数值，并且往往采用减小导程的方法来增加汽缸的充汽量。但是根据修改配汽的试验，确定了进汽导程的数值是显著的影响机器的功率。

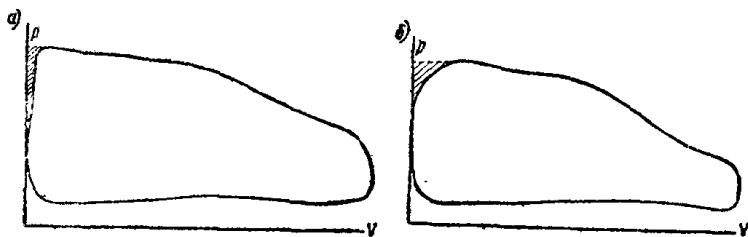


圖 1 高压汽缸具有小的进汽导程的示功圖

船用复膨胀式蒸汽机的总合示功圖証明，蒸汽从高压汽缸流入低压缸时，造成压力的大量降低，这就显著地减少示功圖的面积。

为了减少这损失，必须查明减少示功圖面积的因素。圖 2 中的复膨胀式机器的总合示功圖，表示了当低压汽缸的活塞行程开始时，高压汽缸和低压汽缸之间的压力降为 Δp_2 。高压汽缸的排汽綫位于低压汽缸进汽綫的上面。圖中綫段 bc 表示蒸汽从高压汽缸流入容汽器和从容汽器流入低压汽缸的过程，假使蒸汽从高压汽缸流入容汽器和自容汽器流入低压汽缸时没有损失，那么在联通二汽缸时 bc 綫就是低压汽缸的进汽压力綫。由于这些损失，低压汽缸的进汽压力綫低于 bc 綫 Δp_2 数值。 Δp_2 的大小是高压汽缸与容汽器之间以及容汽器与低压汽缸之间压力降的总和。这些数值在同一时间内从汽缸和滑閥箱中分别测得。 Δp_2 之值在 0.15~1.1 气压范围内变动，并且引起功率的大量损失和燃料的超耗。根据配汽的修改和示功圖的分析

資料，確定 Δp_2 的數值是取決於汽口和汽道中的蒸汽速度、高壓汽缸的排汽壓力、滑閥行程、配汽結構以及主要的是低壓汽缸進汽導程的大小。

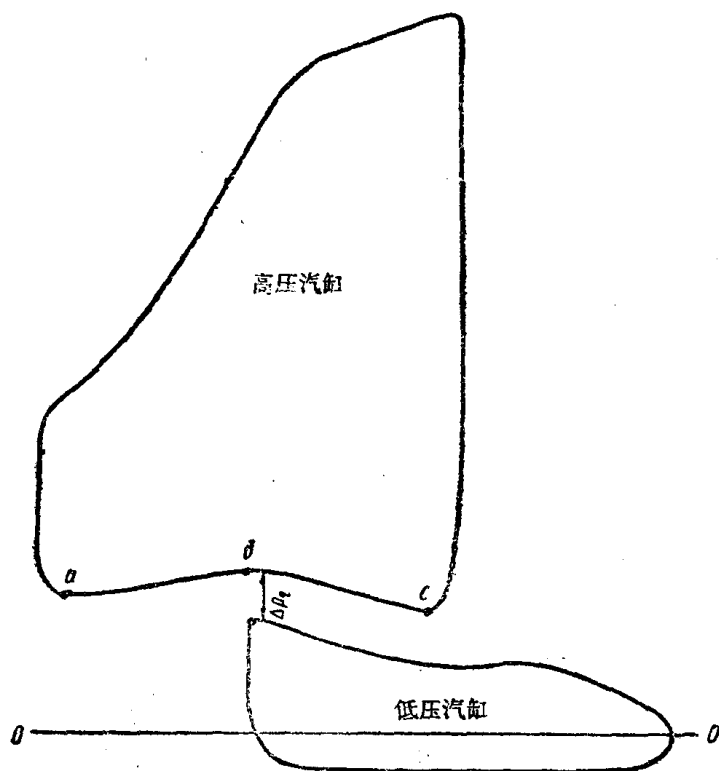


圖 2 復膨脹式機器低壓汽缸的總合示功圖

第二章 蒸汽机的进汽导程

3. 用改变低壓汽缸進汽導程的方法以改善 機器的蒸汽分配

功率為 500 指示馬力的 № 8 船舶機器低壓汽缸的示功圖的