

国外造船工业编辑部 译



船舶轮机小丛书 3

船用大型低速柴油机拉缸事故分析

U.664.121
G950

50914

船舶轮机小丛书③

船用大型低速柴油机 拉缸事故分析

国外造船工业编辑部 译



人民交通出版社

1976年·北京

内 容 提 要

本书系根据丹麦 B. & W 柴油机公司出版的“活寒环、活塞与气缸套之间的相互作用”(Coagency between piston rings, piston and cylinder liner)一书译出。文中所举活塞、活寒环、气缸衬套三者之间的磨损作用及其分析比较新颖,取用的照片、插图也较好。这对于分析及处理船用大型低速柴油机的拉缸事故可能有所助益。对我国远洋、近海船舶轮机管理人员有一定参考价值, 亦可供修造船单位及水运院校有关人员参考使用。

船舶轮机小丛书⑧

船用大型低速柴油机

拉缸事故分析

国外造船工业编辑部译

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 2.5 字数: 51 千

1976年12月 第1版

1976年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—12,500册 定价(科三): 0.21元

毛主席语录

学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东两，即吸取对我们有益的经验，我们需要的是这样一种态度。

……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

出版说明

此资料选译自丹麦 B & W 柴油机公司出版的“活塞环、活塞与气缸套之间的相互作用”(Coagency between piston rings, piston and cylinder liner)一书。文中所举活塞、活塞环、气缸衬套三者之间的磨损作用及其分析比较新颖,取用的照片、插图也较好。这对于分析及处理大型低速船用柴油机的拉缸事故可能有所助益。

本书的内容,难免有些错误的观点,希望广大船员及有关技术人员遵照毛主席“排泄其糟粕,吸收其精华”的教导,对其内容批判地使用参考。

序 言

本文是为承担检验柴油机活塞、活塞环及气缸套的人员所写的，他们的责任，一方面是在事故报告中叙述他们所发现的一些情况，另一方面找出可能导致损坏的原因，并决定应采用最合适处置措施。

所介绍的材料选自 1952—1972 年 B & W 设计的柴油机在使用过程中所遇到的一些情况。一些较重要损坏现象和性质都相应地用照片来说明，以利于在检验时得出适当的判断，并提出了产生损坏的理论。然而，这些损坏往往由多种原因纠缠在一起的，因此在分析过程中常常难以得出其真正的主要原因。

通过材料的收集，已经很清楚地得出了两个通常的面且非常简单的规律。首先，几乎所有的拉缸都是由于缺油所引起；第二，所有的活塞环断裂是由于压入所致。但当我们想沿着产生故障的一系列原因进一步探索其背景时，解释就变得复杂了。

本文着重于阐述滑动部件之间经常出现的一些问题，诸如拉缸、化学磨损、磨料磨损、环的断裂及粘结、漏气、划伤等故障。

目 录

頁	序 号	照 片 号			图 号
		活 塞 环	活 塞	缸 套	
1	一、拉 缸	3, 4, 6, 8~12, 42, 45	1, 5	2, 7, 13	1~13, 44
4	二、腐 蚀 磨 损			14~17	12, 13, 26, 27, 45, 47, 48, 50
5	三、磨 料 磨 损		18, 20, 21	19	
6	四、活塞环的粘 结		27		28, 64, 65
7	五、活塞环的弹 力丧失	25	5, 24, 27		
8	六、环 槽 损 坏		22, 23		12, 13, 52~55
9	七、活塞环断裂	25, 26	24, 39	28	12, 13
10	八、漏 气		27, 29, 30	28	12, 13
11	九、活塞上部的 积炭		1, 31, 32 33, 43, 44, 46		12, 13, 56~59, 66
12	十、活塞顶的烧 损		34, 35, 36		
13	十一、活塞拉缸		37	38	
13	十二、气缸套过 度磨损				12, 13
14	十三、气 封				14~35
17	十四、活塞环和 环槽的磨损概况		39		39 36到40, 64, 65
18	十五、气缸套垂 直表面磨损轮廓				40 41~44
18	十六、局部过冷 造成的磨损				40 45
19	十七、气缸套圆 周的磨损				41 46~55
20	十八、气缸的刮 滑		43, 44, 45, 46		45, 6, 12, 13, 35, 36, 37, 40, 42, 56~65
22	十九、监 控		42, 46		67~70

附录一：本书所用照片 1~46；

附录二：本书所用插图 1~70

一、拉 缸

当检验活塞和缸套时，无论是通过扫气口观察或拆出零件检查，都必须注意其润滑情况。然后，必须擦掉活塞环、活塞裙部及气缸套表面所吸附的油，以便根据滑动面的情况来判断。假如擦得不干净，就可能把活塞环或气缸套上的一些黑色的油迹条纹误认为是拉缸。在某些情况下，甚至必须用脂肪溶剂来擦干净，以免将拉缸的位置搞错。

照片1显示了一个部分清洗了的活塞，仅在活塞环上出现拉缸。

照片2为气缸套上局部相应地产生了拉缸。

条纹极细的拉缸可能会和磨料擦痕相混淆。磨料擦痕是一种机械加工痕迹，完全垂直并均匀地分布在表面上，并形成很容易用手指感觉出来的表面粗糙度；而细微的拉缸手指感觉十分光滑，且出现的条纹的宽度及颜色则更不规则。非常新的拉缸是蓝灰色的，而老的拉缸由于嵌入燃油积碳面呈褐色。

在任何情况下，都可以用锉削法判断这个问题，因为拉缸的表面已形成了一层非常薄而硬的光滑层，这层光滑层很容易用一把非常细的新锉锉去。但要锉掉已轻度拉缸的表层需用很大的压力，因为表面的硬度大约已从布氏180°提高了4~5倍。假如在活塞环或活塞裙部已发现了拉缸症状时，那末，通常在气缸套中也可相应地见到拉缸区。

照片3和4表示一个活塞环的正常的表面和拉缸的表面（放大100倍）。

照片3所示，表面已被抛光，因此石墨鳞片清晰可见，由小颗粒造成的非常锋利的细擦痕像铅笔线一样直接穿过画面。

在拉缸的试样上，其表面或多或少被水平裂纹所分割；没出现石墨的鳞片，并且在被剥落的小孔穴中已填满了积炭。金属刮掉以后所形成的垂直擦痕短而无规则，并且形成许多组。

这种现象一般解释为，由于油膜太薄或没有形成油膜而使两个粗糙的滑动面彼此靠得太近，以至互相接触，如图1所示；另外由于产生了摩擦热，把两者熔接在一起（图2）。然后，其中一个扯开（图3），并粘附到另一个滑动面上。这些凹凸不平的点被加热到焊接温度，随后快速冷却，使这些点一个一个地高度硬化，直到所有的表面形成薄的硬化层。

正常工作情况下的活塞环，其运转面上呈微曲的鼓形，（如图36、37所示）。当出现拉缸时，这个鼓形立即破坏，并变成了一个在上下边缘都有锐利毛刺的圆柱形表面，参见图8。略呈鼓形是非常重要的特征，因为它形成油楔，使活塞环有可能在气缸套壁的油膜上以流体动力形式滑动。

因此很明显，拉缸后，滑动能力大大地降低，因为活塞环上锐利的毛刺将刮掉气缸壁上的油膜，从而迫使活塞环和气缸套以机械接触方式而继续运转。因此严重的拉缸在某些情况下可能继续存在，最终磨损率可高达每1000小时10毫米。

为了制止长时间地拉缸，必须找出起因并予以消除，这就是应调整不合格的装配，修整活塞刮油环的边缘（图4），使之具有油楔（图5、6），同时充分供油等。

此后，必须用粗油石的角，以几乎水平的方向来回磨接，把已拉缸的缸套内表面已损坏的那层磨掉，并且换新活塞环。假如活塞裙和其他部分也已拉缸的话，则必须像缸套一样进行处理，并且引进油楔。

假如拉缸已经消除并进入恢复期，那么外观将如图9所示，活塞环的运转面的上下边缘重新开始形成鼓面。从照片1的活塞环5和6可观察出这样一个恢复。照片9和10放大了五倍来进一步说明之。为了比较起见，照片8示出了仍在起作用的拉缸。

在长期试验运转期间，发动机每隔8小时停下来一次，通过扫气口进行检视，由于在活塞环的上半环或下半环上间断地以新月状形式出现拉缸，在两个月中把每次观察结果画成草图

(图7)，可以看出拉缸区似乎是在产生拉缸后的几个小时，由于嵌进了积炭而变黑。过后两个星期期间，新月形区变得越来越小，即逐渐磨损掉。此后，拉缸也许按类似的过程出现在临近区。在上述整个过程中，活塞环的总的磨损量并不过分，因此，这些变化可认为是一种正常的磨损过程。即测得的磨损曲线(图10)是大量小拉缸损坏叠加成的；假如小的拉缸可完全避免的话，机械磨损就会很小。

照片5表示一个活塞，尽管在裙部镶有青铜环，由于装得不对中而产生拉缸的，对活塞环的下部也有一点影响。

照片6表示刚完成平台试车的9缸机的全部活塞环。在所有这些气缸里，拉缸的共同原因是在跑合开始前缸套表面就磨得太细。目前对于大直径的气缸套已用进给约8毫米的波纹切削来代替这种非常麻烦的珩磨。

照片7表示在一个缸套气口边缘产生的拉缸条纹。在这个气缸套里，初始的珩磨痕迹在扫气口附近已部分磨损掉。在运行期间，活塞环端恰好到达扫气口垂直边缘。当此处支承面积接近零时，环端和气口边缘之间的比压变得非常高，引起局部拉缸。在缸套里，硬化的环端使拉缸向上蔓延。

照片13为一个带垂直波峰的缸套，如照片12所示的具有类

似表面的活塞环已在这个气缸套中跑合。这种现象被假设是由早已终止的严重拉缸所遗留的。活塞环上的硬片已在气缸套中磨出槽来，并反过来由于所造成的锯齿形面使活塞环停止了转动。然而，这对活塞环的密封能力似乎没有什么有害的影响。

在中速机里，四冲程机的轻合金活塞在大修后，当从活塞上拆下并重新装上活塞环时，马上就会在缸套中划上一道道划痕。这种现象似乎仅发生在大部分珩磨痕迹已从气缸套上磨损掉的时候，因此，气缸套和活塞环具有光滑的滑动面。在环槽里拆装活塞环时，即使利用一个特殊的活塞环拆装工具，活塞环也会有轻微地永久变形，因此，在重新装入气缸套后，必须进行一定的跑合，以获得全面密封。然而，由于表面已经磨光，所以跑合期拖得太长可能会导致活塞环的拉缸。

要是珩磨痕迹已经消失了的话，那么在每个活塞大修后，可以把气缸套稍微珩磨一下来克服这个困难。图11即为珩磨工具，活塞环可以继续使用，也可换新。

拉缸的倾向主要取决于活塞环和缸套的材料成分及铸造技术。石墨鳞片的形状尤为重要。强度较高的铸铁（球墨铸铁、密烘铸铁）通常滑动性能较差。

二、腐蚀磨损

当初次想在柴油机里燃烧含硫量相当高的重油时，由于硫酸所产生的腐蚀磨损非常严重，在气缸的润滑油中加入碱性添加剂后已完全克服这个困难，而且气缸内显得特别干净，因此活塞环的粘结如今已成了罕见的事。

当润滑油通过润滑油孔注入气缸套时，活塞环将吸附润滑

油，并且，在它以低速的圆周运动到达润滑油孔之间的中间位置以前，在气缸中几次把油分布到活塞的整个冲程。即使检查证明大量的油到达了这些中间位置，在润滑油分布到气缸套中的长途输送期间，硫酸已对碱性添加剂起了作用。因此，当润滑油到达这些位置时，碱性将大大地减弱，并有可能完全消失。所以在这些中间区域的气缸套的磨损率通常比经过润滑油孔的垂直线上的磨损大得多。照片14、15、16和17所表明的现象通常叫做棱圆度。照片14上部的针孔可清楚地表明腐蚀的性质。

假如在空气冷却器里凝聚而成的小水滴由扫气空气吹进了气缸内壁，一方面水要破坏油膜，另一方面要从燃烧气体中吸收三氧化硫(SO_3)并直接在缸套壁上形成硫酸，大大地增加了腐蚀磨损速率，由此加重了棱圆度。

当气缸套油孔之间的直径比油孔线上大0.5毫米时，在磨损区中，活塞环通常就不密封了，并且活塞环开始断裂。活塞环和缸套之间的压力将逐渐集中在通过润滑油孔的垂直线上，因此在这些地方发生拉缸。

照片16表示镀铬气缸套的棱圆外观。照片17表示清洗前油膜的外观；由于润滑油孔之间的活塞环压力降低，所以滑油以一个很厚的油膜形式集中在这些地方，而活塞环则主要支承在通过油孔的垂直线上。

三、磨料磨损

磨料颗粒可随燃烧空气从上面进入气缸套，筒状活塞发动机则可从下部由飞溅油带入气缸。这两种过程通常只是在有关系统被弄脏时，例如安装或修理之后的短时期内出现。要是粉

状货物的砂砾连续不断地吹进机舱，或者镀铬的活塞环或镀铬气缸套的铬层剥落，则磨料磨损期就可能很长。

这个过程在很长的一段时期里不会产生大的磨损速率，然而却可能严重地损坏滑动表面，最后导致拉缸并可能拉伤活塞。尤其是轻金属活塞对这类滑油的变化是很敏感的。参见照片18，它表示只运转了几个小时的一个轻合金活塞环区的详情。铝表面被颗粒划伤，并且在活塞环上已开始出现拉缸。照片19相应地表示了气缸套的情况。随燃烧空气吹入的焊接飞溅物已划伤了新珩磨的气缸套，并可清楚地看出有些划伤已开始发展成拉缸，可能是和活塞环表面互相作用之故。

照片20和21是取自轻合金的活塞，这活塞在滑油系统被砂和焊渣弄脏而运转了很长时间。所有的滑动面全被划伤，并且大量地嵌进了磨料颗粒。

防止产生上述问题的一个可靠的办法就是保证进入发动机的空气和润滑油中没有极细的磨料颗粒。

四、活塞环的粘结

假如在活塞环区形成了沉淀物，并压进了活塞环槽的间隙，那么沉淀物可能固化并由此阻止活塞环在槽里作径向运动。因为活塞在气缸套中作水平摇动，所以活塞环那时将压回环槽，并留在那里。通常这种现象首先发生于一个活塞环的一部分，例如一端，然而却可蔓延而使整个活塞环被固定。最危险的是顶环，因其温度最高。当这些压缩环和气缸套脱离接触的时候，它们与燃烧气体相接触的外表面呈黑色，所以很容易识别，见照片27的活塞环2、3、4。

在通过扫气口检验活塞环在环槽里的自由度时，可转动曲

轴，使活塞上下移动几毫米来判定。然后气缸套就能更好地容纳活塞环，使活塞环在环槽里配合得更好。

活塞环的粘结是由于活塞环温度大约超过了 220°C 或气缸润滑油不净。燃烧不良以及铜的磨损颗粒的出现可加速形成粘结活塞环的沉积物。

活塞环部分粘结将导致活塞环压入、漏气并可能导致环的断裂。

五、活塞环的弹力丧失

当从气缸里取出一个活塞的时候，如果活塞环不粘结在环槽里，则几乎都会扩张恢复到原来的形状，如照片5的环4~6。通常搭口间隙约为活塞直径的8~10%。然而，有时当活塞环自由时，搭口间隙增加相当少，如小于活塞直径的5%。这表示活塞环材料已永久屈服于缸套的压缩应力，即部分地失去了它的原始弹力，参见照片24的环1、5和6，照片27的环1、5和6。

即使其他各方面都处于良好状态，这种已疲劳的活塞环也必须更换。因为活塞环的弹力可用以查明在气缸套内气压开始升高时，活塞环和缸套是否完全接触，因此，他们是否具有密封能力是值得怀疑的。活塞环弹力丧失的原因是一时的过热，但据信多半是活塞环频繁的压入所致，即活塞环在每一冲程里一次或多次地被气体压力压到环槽的底部。

活塞环材料的重要条件是不太容易发生这种持久的屈服。假如在某些活塞环上出现弹力的丧失，那么，还需查证这些活塞环损坏的其他原因。

有时在活塞环自由搭口间隙增大的同时，可在活塞环离环

端一定距离的运行表面上看到黑色油灰（参见照片25），它表示这部分根本没有和气缸套内壁接触。

从活塞上拆下活塞环前必须减少自由搭口间隙，因为强迫撑开活塞环会增加新的变形。

六、环槽损坏

这是一种在活塞吊缸时最经常漏检的损坏，因为它无明显的痕迹。活塞环槽上下两面的均匀磨损（环间隙增大）保持在适当的范围内不会发生问题，但槽底的形状即使有很少的不规则就将导致压入、漏气和活塞环的断裂（参见“气封”一节）。

很早以前使用的以嵌进定位销，使活塞环在槽内不转动的方式。在环槽底部固定的环的搭口间隙位置产生了未磨损的凸出部位（图31），这个凸出部位通常不损害以往安装的，已产生了不规则度的活塞环，然而，却不利于以后装进去的新活塞环。由于新环搭口间隙太小，因而迫使环端搁在凸起上（如图32），假如不仔细地把凸起点锉平，那末新装的环在一、两天里即会断裂。

在轻合金的活塞里，由于环的锤击运动，环的磨损速率随着环槽间隙的增加而迅速增加。假如断裂环的碎片进入环槽（见照片22），环槽会产生惊人的不规则损坏。

为了避免轻金属活塞环槽的这种敏感性，希望使用铸铁活塞来代替轻合金活塞（如照片23所示），可铸成非常薄的壁，用许多筋来增强之，并且在活塞顶和活塞环区进行有效的油冷。

在活塞大修后并装入新的环时，应用适当的厚薄规检查环槽的上、下间隙，以确定环的圆周方向活塞环间隙有无变化，

特别是确定环槽底部有无波动，以及在间隙里有无积炭。

七、活塞环断裂

假如已长期没有通过扫气口进行检视，在吊出活塞时，可以看到照片24所示的非常惊人的情况。值得注意的是第1和第5环仅在环端附近断裂，然而弹力却已完全丧失。第2环已完全断成小碎片并通过扫气口飞出。3环和4环已碎成几乎相等长度的小碎段。甚至第6环（布油环）似乎也已经过热或压入，因为它也已失去了弹力。

照片39表示一个二冲程筒状活塞发动机的环区。活塞环已拿掉，然而很容易看出在这些环槽里已经普遍发生活塞环断裂，对着扫气口的环槽顶部边缘有很大的凹坑。这就表明活塞向下运动环槽通过扫气口时，断裂的活塞环已被剪切成小段。扫气口的这种剪切作用常使在扫气箱里发现的活塞环的碎段总长度很少大于活塞环的宽度。

对具有18~24个扫气口的直流扫气型气缸套，人们经常把这种活塞环的初期断裂误解成是由于环端挂住扫气口所致。这种断裂只发生在宽度很宽的扫气口里。因此，许多轮机人员采取了不必要的预防措施，即把环端倒以很大的斜角。这种修改是有害的，因为它会引起活塞环的压入，故不应这样做（参见图29、30）。

大部分观察结果证实几乎所有环的断裂可能都是由于气体压缩过程导致活塞环压入所致，参见“气封”一节。

所以在检查中，很重要的一点是弄清活塞环是否已经压入，即使还不能十分肯定实际活塞环有无断裂。因此，必须寻找出经常表示压入的下列迹象：

活塞环失去弹力（从自由间隙大量减少就可看出，第5节）。环端变黑。

在搭口间隙里发现活塞环端部相互锤击（参见照片25），斜端也被抛光（如照片26所示）。环端内部锤击的迹象可从敲击槽底看出，而且在槽底或在积炭中也可发现相应的痕迹。

缸套上部有漏气的迹象（如照片28所示），因为压入会产生周期性漏气。

压缩压力突然上升到燃烧压力将促使活塞环压入，并导致图19到32所示的变形及损坏。

气缸套圆周方向很少发现磨损的阶梯。在最明显的情况下，这种阶梯可能会引起活塞环断裂。在扫气口之间的筋上或刚好在扫气口上方可能形成磨损阶梯，并可能在气缸套顶部、活塞环最高位置处进一步形成阶梯。当出现这种情况时，必须用砂轮把因磨损而出现的阶梯磨平。

八、漏 气

漏气意味着活塞环的密封性能局部或大部分丧失，让燃气通过活塞往下泄漏。在少量漏气都很难全部查出来时，假如扫气箱的排气开关被打开的话，在发动机运转期间反而可看到大量漏气。一部分是通过嘶嘶声放出，一部分是通过油雾及火花放出。假如漏气是由于活塞环粘结或活塞环断裂引起的话，那末在发动机运转期间就无法消除，在严重的情况下，这个气缸就必须停止工作。

在活塞环处于自由和无损伤状态时，漏气的原因则是所有活塞环的压入所致。假如这样，可以把燃油泵的刻度减到零，增加气缸的润滑，随后再慢慢地把燃油泵恢复到正常位置就有