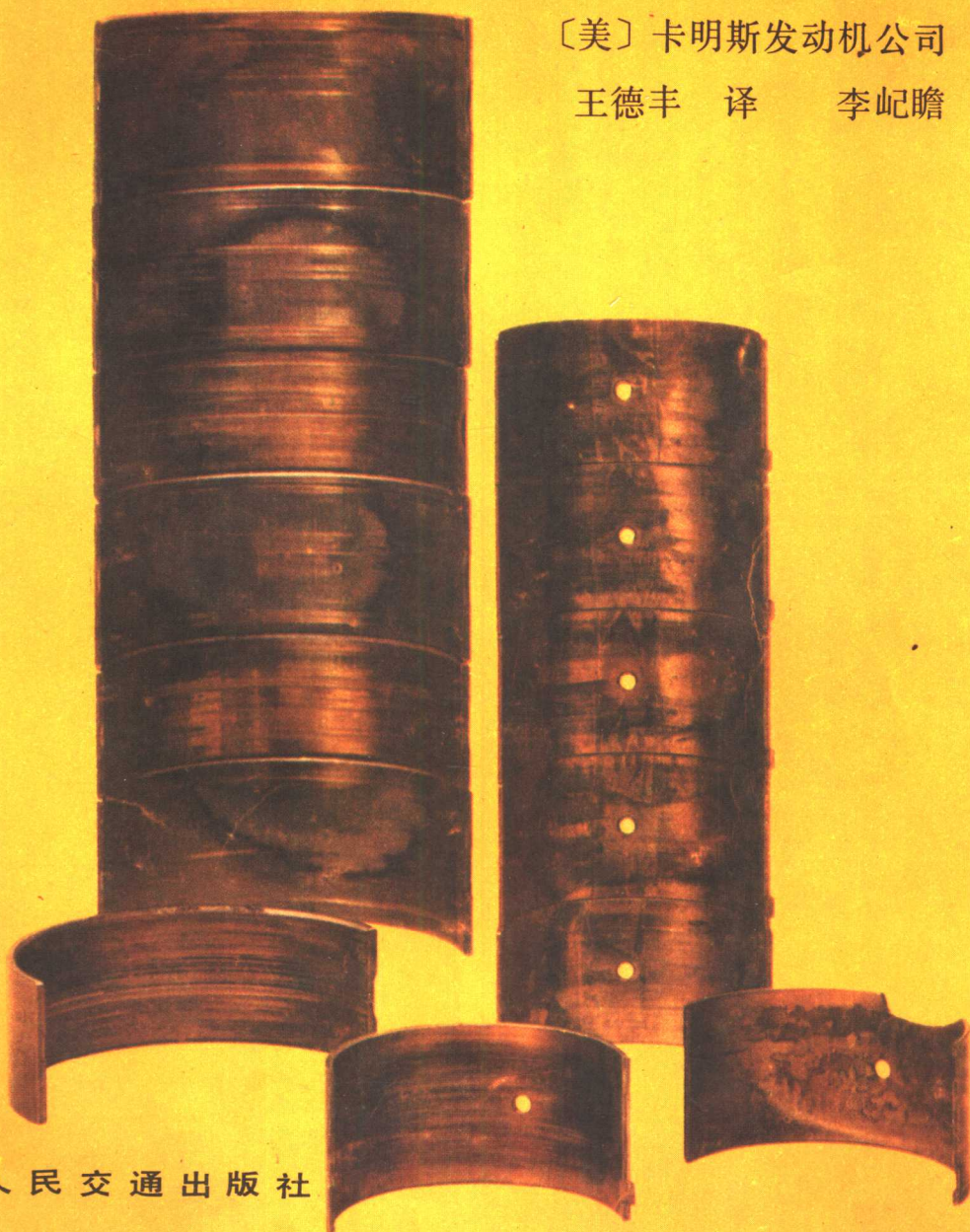


发动机轴瓦损坏的 分析与预防

〔美〕卡明斯发动机公司 编

王德丰 译 李屹瞻 校



人民交通出版社

发动机轴瓦损坏的

分析与预防

〔美〕卡明斯发动机公司 编

王德丰 译 李岷瞻 校

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

北京市胶印二厂印

开本: 787×1092 1/16 印张: 3 字数: 26千

1981年1月第1版

1981年1月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—8000册 定价: 1.50元

统一书号: 15044·4598

目 录

序 言.....	2
一、轴瓦损坏的分析.....	2
二、轴瓦损坏的形式.....	3
1. 擦伤.....	3
2. 表面层脱落和过度磨损.....	3
3. 露铜和深度磨损.....	4
4. 轴瓦内衬层疲劳.....	4
5. 腐蚀.....	4
6. 缺乏润滑.....	5
7. 快速起动主轴瓦抱瓦.....	6
8. 装配和几何形状的缺陷.....	7
9. 连杆螺栓紧度不当.....	7
10. 连杆瓦盖装配错误.....	8
11. 连杆轴瓦装配错误.....	8
12. 轴瓦和承孔间夹进杂质.....	8
13. 异常的磨损形式.....	8
14. 灰尘和杂质引起的损坏.....	9
三、照片索引.....	10
四、轴瓦损坏的预防.....	46
1. 缸体的清洁和准备.....	46
2. 曲轴的清洁和准备.....	46
3. 连杆的清洁和准备.....	46
4. 装配.....	46
5. 往曲轴上装配连杆.....	47
6. 润滑和滤清器.....	47
7. 使用注意事项.....	48

序 言

近年来，在连杆轴瓦和主轴瓦的设计和材料方面都有了很大的改进。不过，轴瓦的使用寿命还是要依靠正确的装配、良好的润滑和洁净。当其中的一个或几个条件不能满足要求时，轴瓦就会出现各种不同形式的损坏，根据其损坏形式可以分析并决定当时的情况和损坏的原因。

更为重要的是通过分析轴瓦损坏的实践，将会增加对引起轴瓦损坏情况的理解和判断，因而预防的方法也就更加合理。

一、轴瓦损坏的分析

轴瓦损坏的分析是对轴瓦损坏原因进行推断的过程，其根据是轴瓦明显的损坏形式以及其它与损坏有关的报告资料。重要的是对全部与损坏有关的资料都要进行搜集，并在最后结论中加以考虑。一些微小的细节往往会对损坏原因的解释和确认提供重要的线索。

当对轴瓦损坏进行分析时，对发动机中的全部连杆轴瓦和主轴瓦都应进行检查并在最后结论中考虑它们的情况。在许多场合下，造成一个轴瓦损坏的情况可能还会引起另外一些轴瓦的某些损坏，由此便可提供损坏原因的线索。

对连杆、曲轴、润滑系零件和其它发动机零件进行检查也是必要的，诸如轴瓦座吃合的形式，滤清器阻塞和其它征兆的发现往往会给问题的解决提供有价值的帮助。

判别轴瓦损坏形式的经验，对于进行损坏分析会有极大的帮助。要认出并能辨别不同类型的损坏形式需要有一定的技能。将这些损坏形式与以前所掌握的经验（损坏原因已知）结合起来分析，就有可能指出其损坏的原因。

由于不同类型的损坏形式往往会彼此叠加在一起，因而需要有相当强的判断力。例如，一套损坏的轴瓦可能表现出严重刮伤、其中一个或几个严重变色和有缺乏润滑的迹象。两种情况都会导致损坏。但是，由于缺乏润滑便会引起全部轴瓦立刻毁坏，这是较为合乎逻辑的损坏原因。

在某些场合，损坏的轴瓦已全部破坏，很少留下什么足以说明其损坏原因的迹象。在这些原因不明的场合，应该特别仔细检查其余轴瓦、连杆和曲轴，以找出造成损坏情况而存在的线索和证据。确定损坏原因的主要目的是为了尽力纠正，以防止损坏的再现。

二、轴瓦损坏的形式

依据引起损坏情况的不同，破损的或损伤的轴瓦将显现出不同的损坏形式。损坏形式的变化可以轻度擦伤（由于瞬时缺乏润滑或来自润滑油中细磨料的轻微刮伤）到磨损疲劳、腐蚀和缺乏润滑等更为复杂的形式。仔细地观察轴瓦损坏形式的微小细节，就可以相当准确地推断出损坏的原因。

1. 擦 伤

由于轴瓦表面和轴颈表面发生金属之间的直接接触而呈现斑痕或严重擦痕称为擦伤。擦伤通常出现在由于瞬时缺乏润滑而产生损坏的最初阶段。图 1 表示的可称为严重擦伤，而图 2 中表示的为程度较轻的擦伤。图 3 表示一套连杆轴瓦和主轴瓦，其中上连杆轴瓦有明显的轻度擦伤损坏。这些连杆轴瓦中有一个已旋转并已毁坏。其连杆已不能用来检测原来的拧紧情况，因此连杆轴瓦的擦伤特征就是我们对损坏的仅有线索。

擦伤损坏仅在润滑油瞬时断流的情况下发生，较长时间断流或反复瞬时断流会造成另外的损坏形式。当发动机在润滑油面低或进油管破裂的情况下工作时，少量的空气会进入润滑系的油道，造成润滑油瞬时的足以使轴瓦擦伤的断流。瞬时缺乏润滑的主要原因是发动机启动后立刻转入高速。发动机启动后，需要15~20秒钟的时间才有充足的油流流经发动机，这还取决于停车时的温度和发动机已停了多久。如果发动机在启动后几秒钟内就加速到高速，那时尚未形成充足的油流，则有些轴瓦就可能得不到充足的润滑来防止擦伤。

擦伤损坏发生得很迅速，如果擦伤的条件存在时间略微长一点，轴瓦就会损坏。连续擦伤和反复擦伤的损坏情况将在下面叙述。

2. 表面层脱落和过度磨损

轴瓦的过度磨损和表面层脱落发生在轻微的瞬时缺油并反复出现的情况下，此时，每次发生的金属之间的直接接触和缺乏润滑，既不严重，持续的时间也不长，所提高的轴瓦温度不足以引起轴瓦变色或产生其它的过热现象。但是，每当发生金属之间直接接触时，就有少量轴瓦表面金属被磨掉，因而润滑间隙扩大，不能保持住润滑油。因此，轴瓦就变得更易损伤，以致达到如下所述的严重损坏。

图 4 为行驶里程较少时，轴瓦表面层脱落的一例，它是在有反复擦伤的情况下发生的。注意在主轴瓦中有些擦伤的征兆，但表面层脱落较为严重的是连杆轴瓦，因为它们处在润滑系的末端，最后得到润滑，并且首先受到油流减弱的影响。

轴瓦表面的磨损达到像图 4 这样的程度，应该在更高的里程内发生，但当这一磨损程度出现在不到150,000英里^①（或相当的工作小时）时，就暗示在发动机操作和保养实践中应该

① 英里是英制长度单位，1英里约等于1.61公里——译者注。

特别注意:

- (1)避免在润滑油面低的情况下运转;
- (2)避免大开节气门起动;
- (3)经常更换润滑油滤清器以防阻塞;
- (4)避免超速和给油过多。

3. 露铜和深度磨损

连续的反复轻度擦伤导致轴瓦内衬层的深度磨损和大面积露铜。图6和图7是这种情况的很好实例。要达到这样的状态必须产生多次金属之间的直接接触。从理论上说,只有在缺乏油膜或者在润滑不足时才会出现金属之间的直接接触。

但从不存在变色或其它过热的征象看来,擦伤情况仅存在很短时间,这在快速起动(起动后发动机立刻转入高速)或油压间歇跌落的情况下有可能发生,发动机在机油油面过低、滤清器阻塞的情况下运转时,可能发生后一种情况。露铜和深度磨损也可能来自超速、给油过多以及由这些情况引起的油温过高。连杆轴瓦载荷的增加与转速的平方成正比。升高了的油温和附加载荷一起使轴瓦油膜的厚度减薄,直至减薄到金属之间发生直接接触。此外,在油温较高和油膜厚度较薄的情况下,细灰尘的磨损就表现的更为严重。

图8表示的是在超速10%和过量给油10%的情况下经1000小时耐久试验的一套轴瓦。注意连杆轴瓦的磨损和露铜。在正常工作条件和润滑良好的情况下,这些轴瓦是不会损坏而应正常工作的。但在耐久试验期间,轴瓦在擦伤连续存在的情况下,不久便会产生损坏。

在此阶段,由于磨损的结果,增大了间隙,因此在起动情况下,油膜需要有一个较长时间才能形成。另外,当发动机在高扭矩条件下工作时,油膜的厚度可变薄到危险的程度。

若露铜情况良好,也不存在疲劳裂纹,则不属于损坏。这种状态的轴瓦将继续令人满意地工作,但是,如果存在连续擦伤的情况,不久就会出现损坏。

4. 轴瓦内衬层疲劳

轴瓦轻度反复擦伤损坏的进一步发展是轴瓦的内衬层疲劳。在深度磨损(露出铜衬层)之后,金属之间的直接接触使轴瓦表面温度升得更高,从而使疲劳强度降低。

图9和图10为轴瓦内衬层疲劳的实例。通常所有的轴瓦损坏程度不同。显然,首先所有轴瓦的间隙和其它因素并不完全相同,其次在起动期间某些轴瓦较另一些轴瓦将会先得到正常的润滑。因此,一些轴瓦磨损得比另一些轴瓦更厉害是正常的。

在疲劳的最初阶段,如用放大镜仔细观察,可在轴瓦内衬层的表面上看到极细的网状裂纹。若将该轴瓦挤拢,由于裂纹中的润滑油被挤出,使得这些裂纹变得更加明显。图12所示为典型的轴瓦内衬层疲劳形式。

疲劳裂纹中润滑油的液力作用使轴瓦内衬层呈小块剥落。图9和图10所示即为这种实例。

5. 腐 蚀

润滑油用得过久,其判定的标准是酸值超过规定。酸值过大会在轴瓦上引起腐蚀作用。

深度磨损和露铜会增加轴瓦对腐蚀作用的敏感性。当露铜时，因缺乏对腐蚀有抵制作用的表面层和镍保护层，酸会与铜基体中的纯铅自由作用并使之消失。剩下的蜂窝状结构的铜将使疲劳强度大为降低。在这一点上，其轴瓦表面的裂纹和剥落的形式与前述的疲劳损坏形式非常类似。事实上，疲劳的损坏形式常常与腐蚀损坏相混淆。

腐蚀的损坏形式可根据它与普通疲劳稍有不同的麻坑形式加以区别。腐蚀的麻坑较小而且密集，通常在连杆瓦上有较均匀的损坏。一个有经验的人会发现被腐蚀的轴瓦有不同的颜色。露铜的轴瓦受到腐蚀的作用（如果腐蚀已作用到铜），通常表现为深橘色（橙色）到咖啡色（褐色），确定腐蚀作用的最准确方法是研究损坏轴瓦的显微照片。

图13和图14是腐蚀损坏的连杆轴瓦典型实例。

6. 缺乏润滑

直到现在所讨论到的轴瓦损坏形式是指在极短时间内有润滑的轻微减弱或缺乏润滑的情况。当缺乏润滑相当厉害或在一个可觉察到的相当长时间内存在时，轴瓦的温度将急剧增高。随着温度的升高，轴瓦和轴颈发生膨胀变形，间隙消失。在温度上升的同时，金属之间直接接触更加严重，在轴颈上可能存在的润滑油会烧掉，以致温度由于复合的原因急剧增高。抱瓦后会发生轴瓦表面撕裂以及（或者）轴瓦在瓦孔中转动。在某些实例中，轴瓦完全毁坏。

由于缺乏润滑而引起的轴瓦损坏形式有很多种。由于温度的综合效果，它对间隙的微小变化和供到轴瓦的润滑油量很敏感，因此，某些轴瓦会全部损坏，而在同一发动机中的另一些可能表现得仅有轻度擦伤或根本没有损伤。

对损坏形式变化的另一影响因素是在破坏进展中损坏速度不同。在缺乏润滑的最初阶段产生的高温使轴瓦表面层和内衬层中的铅和其它软金属熔化，熔化的铅被涂抹在表面层上，并如同润滑剂一样，部分起到润滑作用，使温度的进一步升高为之减慢。在软金属被烧掉之后，损坏的进程就大大加快。

轴瓦由于缺乏润滑而损坏的形式将取决于下述情况：

- (1) 缺乏润滑是怎样发生的；
- (2) 在损坏条件下发动机是如何工作的；
- (3) 在发动机停车或损坏情况停止之前损坏的发展程度如何；
- (4) 损坏发生后愈合作用的程度。

图15是典型缺乏润滑的连杆轴瓦。注意变色的形式说明轴瓦的温度过高。间隙减小到如此严重的擦伤和过热损坏也出现在下连杆轴瓦中。

在图15所示的一套连杆轴瓦中，有一个抱瓦并完全毁坏。其余的五个连杆轴瓦显示出十分均匀的损坏。一些轴瓦较另一些损坏程度来得小的情况并不少见，甚至常常有一个或几个轴瓦根本没有损伤。主轴瓦显现为轻微擦伤损坏的情况是表示主轴瓦的油流近乎理想但又稍有不足，而连杆轴瓦则是缺油的。对于大多数发动机，其连杆轴瓦较主轴瓦的负荷和油膜压力要大得多，而且连杆轴瓦还会首先受到油压下降的影响。

在图16中所表示的两个上连杆轴瓦具有异样的变色和严重擦伤，这是由于缺乏润滑而造成的。注意在其中一个连杆轴瓦上的损坏已发展到相当大的一片。这个轴瓦受高温作用如同抱瓦的结果一样足以使间隙消失，在这个轴瓦的下瓦上已经开始出现此种情况。

其中有一个连杆轴瓦仅留下一块钢背残片，表明它已抱瓦并在瓦孔中转动。由于受到如

此严重的毁坏, 所以就不可能确定出它为什么会损坏。但是, 在另一个连杆轴瓦中具有非常明显的缺乏润滑的特征, 这说明缺乏润滑是最可能的原因。事实上, 经过对这些轴瓦的检验得出了这样的结论, 即它们都已遭到缺乏润滑的影响, 曾数次几乎损坏, 由于足够的边界润滑才免于抱瓦。在另一个连杆轴瓦中, 出现轴承内衬层疲劳和露铜的现象也得出了这个印象。

在这些连杆轴瓦中, 不同的损坏程度表明, 轴瓦损坏是在润滑系统不稳定时发生的。这种情况可能发生在发动机起动后, 机油压力升起之前就立刻被加速到1500转/分以上。发动机的速度较高, 意味着连杆轴瓦有较高的表面速度和较高的负荷, 因此导致油膜形成前的高摩擦温度。在这种场合下, 可能有些连杆轴瓦未能很快得到充足的润滑以防止过热。

图17表示另一套轴承, 其中上连杆轴瓦明显缺乏润滑。一个连杆轴瓦转动, 另外三个因受不同程度的过热而变色, 一个连杆轴瓦表现出有些疲劳和剥落, 还有一个的钢背在机油孔位置处有横向断裂。这些损坏形式表明, 发动机曾屡次发生瞬时丧失润滑的情况。

为比较起见, 图18和图19所示的轴瓦损坏形式是在实验室内特意让发动机在没有润滑的条件下运转而造成的。在两台 NTC-350 型发动机^①上, 各自装有新的轴瓦和其它标准零件, 然后再装到试验台上, 起动后经暖车并使之稳定在额定功率和额定转速下运转, 此时取下机油盘的放油塞放净发动机的润滑油。约6分钟之后, 在各自的试验中, 油压开始波动, 即表示油面已充分降低, 空气被吸进润滑系。此后不久, 发动机的转速便慢下来, 这表明已开始抱瓦。

图18所示的轴瓦, 曾企图用减小负荷的方法使发动机保持在2100转/分的转速下运转, 但减小负荷后, 发动机的转速又立即慢下来并停转。

如图18所示: 第三道连杆轴瓦完全毁坏, 第四道连杆轴瓦也接近完全毁坏, 其余全部上、下连杆轴瓦都严重过热, 软金属被熔化并从轴瓦的内衬层析出。而主轴瓦仅仅表现出轻度擦伤。

图19中所示的轴瓦状态, 是在一旦发现发动机转速下降时就立即停车的情况。连杆轴瓦严重损坏, 其产生抱瓦的严重程度与图18中的轴瓦相比, 要稍轻一些。

7. 快速起动主轴瓦抱瓦

这种损坏形式常常在冷天发动机用乙醚起动时遇到。不过, 不用乙醚时也可能发生。抱瓦是由于在起动后润滑油流形成之前发动机就立刻加速到高速而引起的。

这种损坏形式通常是下述情况的结果, 即发动机在温度低于30°F^②的条件停放四小时以上。30号^③或更重的润滑油, 在这样的温度下粘度极大。发动机用乙醚起动后立即增速到调速器限制的转速并保持该转速。约20秒钟之后, 发动机用完乙醚并灭火。在试图重新起动之前, 如有几秒钟的延迟, 发动机将会有有一个或几个主轴瓦抱瓦并与曲轴发生熔粘。在高速工作期间, 会有一个、二个或三个主轴瓦根本没有油并过热到使轴瓦内衬层的金属熔化。由于这种情况发生在润滑油流形成之前, 所以常常有1~3道主轴瓦受到影响, 而其余的轴瓦将表现为一定程度的擦伤。当发动机停转而温度下降时, 因曲轴冷却的结果使熔化的轴承金属迅速凝固, 轴瓦便会与轴颈粘在一起。

① NTC-350 为 6 缸发动机, 在额定转速为 2100 转/分 时额定功率为 350 马力。

② °F 是华氏温度单位, 它与摄氏温度 (°C) 的换算公式为: $^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} \times (^{\circ}\text{F} - 32)$ 。

③ 30 号润滑油是美国汽车工程师学会润滑油标准牌号 SAE-30——译者注。

图20为这种损坏形式的一例。在这个实例中仅有一个主轴瓦（第三道主轴瓦）抱瓦，其上连杆轴瓦有些擦伤，但未发现有其它形式的损坏。仔细检查抱瓦的轴承，发现在沿轴瓦边缘处有已凝固的轴瓦金属滴。在某些实例中，还可在机油盘油底中找到一些凝固的金属滴。

这一损坏形式有不同的变化。在某些场合下，如对已发生抱瓦的发动机仍试图继续起动，则会损坏轴瓦的定位唇并使轴瓦在瓦孔中转动。

在另外一种场合，即没有让发动机停歇到轴瓦冷却而继续运转，此时，过热的轴瓦便不会与轴颈粘住，并使轴瓦趋于愈合，则显现出不同的损坏形式。这种例子可参阅图21。

在图21的实例中，全部较宽的主轴瓦都已损坏，它们已经过度磨损和露铜，但由于愈合作用的结果，外观已有所改善。仔细检查这些轴瓦得出这样的结论，即损坏或接近抱瓦的情况已发生数次。这就说明了为什么会有这么多主轴瓦损坏。

图21中所示的这套上连杆轴瓦有相当大的磨损并已露铜，从而证实了这些轴瓦可能已经有过几次是处在缺乏润滑的情况下。在这套轴瓦中缺一个已抱瓦的连杆轴瓦，它损坏的原因是不明确的，但确定是因缺乏润滑而损坏则是明显的。

8. 装配和几何形状的缺陷

轴瓦的润滑对于间隙的大小是很敏感的。间隙不足会限制润滑油流以致使摩擦热不能很好带走，增加过热变形和抱瓦的可能。间隙过大导致轴瓦与轴颈间的接触弧长变小，大大增加了油膜的压力载荷并加剧轴瓦的疲劳。轴瓦的磨损增加了间隙，并可能引起抱瓦。同样，装配和几何形状的偏差（鞍形、鼓形、不同轴、不直等，参阅图29）也会引起间隙的变化，这将增加金属之间直接接触的可能，而且其损坏形式很明显地与缺乏润滑的损坏形式相类似。因此，分析由于装配或几何形状偏差引起损坏的实质是寻找存在这些偏差的证据。图21所示的可能是属于轴颈的不同轴问题，宽的下主轴瓦和窄的上主轴瓦中磨损较为严重，因它们承受着载荷的绝大部分。

9. 连杆螺栓紧度不当

连杆大头轴孔的圆度取决于连杆螺栓加在瓦盖上的紧度。因此，就要求连杆瓦盖有与加工时相同的螺栓紧度，连杆瓦盖在检查和装在发动机上后螺栓紧度应该相同。紧度的偏差将引起内孔失圆并导致间隙不合适。

不合适的连杆螺栓紧度可来自不准确的扭力扳手、连杆螺栓或螺母上损伤的螺纹、扭紧前没有适当加以润滑以及在瓦盖和连杆分界面之间有毛刺或夹进杂物，这样也会引起轴瓦的变形。

对由于连杆螺栓过紧而引起的连杆轴瓦损坏是难以分析的，因为损坏以后可能不会留下许多过紧的证据，因此，使其成为不明确的单个连杆轴瓦损坏。

过紧可能仅仅是某些损坏中的促进因素，在损坏中只留下少量证据。过紧会引起磨损和露铜，它取决于过紧的程度和发动机的运转情况，当润滑作用稍有削弱时，更容易使轴承抱瓦。

在装配时应加注意，为防止由于螺栓过紧而致损坏，其有效方法是在装配完成之后用手向侧面晃动连杆。用这种方法，对任何不正常的配合都能发现并得到纠正。

因紧度不够而引起的轴瓦损坏，可按不同情况予以证实。瓦盖和连杆间的相对运动将在分界面上引起擦蚀损坏，这种损坏将从连杆轴瓦在损坏中完全毁坏来证实。图22表示的为紧度不足而使连杆分界面擦蚀的实例。连杆螺栓扭矩低也能导致分界面处轴瓦收口，使轴瓦分界面如同刮滑油的刮板一样，破坏油膜的形成。

除了造成连杆内孔失圆之外，紧度小也能引起轴瓦丧失正常挤压载荷。如果连杆瓦孔的尺寸超限或轴瓦长度不足也会减小挤压载荷。预加挤压载荷过小会使轴瓦在瓦孔内转动或翘曲，导致瓦背出现擦蚀或磨光。翘曲会引起钢背的疲劳和裂纹。属于这种情况的实例见图23。

当轴瓦内衬层有严重疲劳和磨损时，也会产生轴瓦背面的擦蚀和钢背的疲劳裂纹。钢背在这些情况下的擦蚀疲劳产生于钢背挤压应力的减小和松弛轴瓦的翘曲变形。

10. 连杆瓦盖装配错误

连杆瓦盖是不可互换的。瓦盖与对应的连杆经配对同时加工，装配时瓦盖必须装在同一连杆的同一位置，以保证合适的同心度和瓦孔的圆度。这一点也适用于主轴瓦瓦盖的装配。在连杆和瓦盖分界面处的同一侧分别打有规定的记号，使两者对准就可保证装配正确。

有时连杆瓦盖位置被装错或装错连杆。这种错误将引起金属之间直接接触和轴瓦的严重磨损或抱瓦。损坏呈现偏移或歪扭的形式，这表示装错，但在其它方面，则与其它的由于金属之间直接接触和缺乏润滑而损坏的实例相类似。若要明确损坏的确切原因，需检测装配是否有错误。

在装配完成之后，用手晃动连杆是发现这种错误的有效方法，这样便可及时纠正以防止轴瓦损坏。

11. 连杆轴瓦装配错误

有时连杆轴瓦在瓦座孔内装配位置不当——即转位几度或被推到一端。连杆瓦盖往连杆上安装时是看不见连杆瓦的位置的，除非特别注意练习，否则轴瓦就可能错位而未被察觉。

这种错位损坏的痕迹可通过仔细检查轴瓦上的定位唇和连杆以及连杆瓦盖上的定位槽来查找。另外，轴瓦变形也会导致金属之间直接接触和定位唇周围严重磨损，如图24所示。

还有，当轴瓦一端错位时，严重磨损将发生在与曲轴圆角相接触的轴瓦边缘，参阅图25。属于这种错误而造成的损坏形式常常较图24和图25所表示的更为严重。

12. 轴瓦和承孔间夹进杂质

有时，金属屑或外来的颗粒会被夹进轴瓦和主轴瓦或连杆轴瓦的承孔表面之间，造成局部间隙消失和引起金属之间的直接接触。承孔中的毛刺也会导致上述情况。这类损坏形式在主轴瓦或连杆轴瓦上都可能发生。实例如图24所示。

13. 异常的磨损形式

有一些损坏形式是由几何形状和不同轴度的变化所造成的。当连杆有过大的弯曲和扭曲

时，在连杆轴瓦上所造成的磨损就会集中在轴瓦的一个边缘上或者发生歪扭现象。当一个连杆轴瓦过热时，往往因曲轴变形的结果而引起相邻主轴瓦的一侧边缘磨损，参阅图27。

下主轴瓦类似的边缘负荷可能产生于主轴瓦瓦盖的定位不良。定位销周围的间隙足以造成这种错误定位。因此，在装配时必须注意保证主轴瓦盖与缸体轴瓦孔的同心。

第七道主轴瓦的这种磨损形式表示在图28中，其原因来自飞轮不平衡或发动机在低速减速时的颠簸。

由曲轴几何形状的缺陷而引起的主轴瓦或连杆轴瓦的过度磨损和早期损坏如图29所示。棱圆可能来自曲轴磨床砂轮不平衡或由于附近其它机床的影响而使磨床振动。凸棱通常相互对称，而且对棱圆的产生进行精确测量较为困难。最好的方法是在正确的定心装置上使曲轴定心，用千分表在要检查的轴颈上进行测量。

轴颈形状呈阶梯形、锥形、鼓形和鞍形的原因来自曲轴磨削不合适。这些情况可起因于砂轮修整不当、在磨床上磨削时曲轴未对正或使用宽度过小的砂轮，以及对轴颈横向磨过时没有产生磨削火花。如曲轴轴颈不是精确的圆柱形，而是带有上述这些缺陷，就会使间隙变化，减小油膜厚度，并促进金属间直接接触和轴瓦磨损，参见图29。

14. 灰尘和杂质引起的损坏

轴瓦损坏最常见的原因是灰尘和杂质混进润滑油并随着润滑油通过轴瓦表面造成刮痕和拉槽。绕过全流式滤清器或在发动机装配之前，因油道未被清除干净而进入的金属屑或灰砂颗粒，会在轴瓦中拉成深的沟槽。沟槽使轴瓦的承载面积显著减小并减薄油膜厚度，从而增加了金属之间直接接触的可能性。当存在严重的沟槽时，会使轴瓦金属翻卷而减小间隙，挤出润滑油以致发生轴瓦内衬层的过热或疲劳。

主轴瓦同时承受粗、细杂质颗粒两者的侵袭，但由于曲轴的离心作用，通常只有细的颗粒才能进入连杆轴瓦。粗颗粒在轴瓦表面上拉出较大的沟槽，而细的灰尘像研磨剂一样磨掉轴瓦表面，使间隙增大。这两种情况都使油膜减薄，因此就容易引起金属之间的直接接触和轴瓦的毁坏。

图30所示为因灰尘而严重损坏的实例。应注意，大部分主轴瓦都存在着比较严重的刮伤，而连杆轴瓦则在轴瓦表面上有细微的刮伤。

图31为另一套因灰尘而损坏的轴瓦，但损坏的形式已复杂化，这是由于曾发生过快速启动抱瓦，而且有了一定程度的愈合。

三、照片索引

图1. 连杆轴瓦严重擦伤	12
图2. 连杆轴瓦轻度擦伤	13
图3. 上连杆轴瓦轻度擦伤的一套轴瓦	14
图4. 连杆轴瓦表面层磨损和脱落、主轴瓦擦伤的一套轴瓦	15
图5. 连杆轴瓦表面层磨损和脱落	16
图6. 连杆轴瓦露铜和深度磨损	17
图7. 连杆轴瓦存在深度磨损和露铜 (图6中一个瓦片的放大)	18
图8. 超速和超负荷引起的连杆轴瓦深度磨损和露铜	19
图9. 上连杆轴瓦内衬层疲劳的一套轴瓦	20
图10. 取自图9中轴瓦内衬层疲劳的连杆轴瓦	22
图11. 上连杆轴瓦内衬层疲劳破坏的一套轴瓦	23
图12. 轴瓦内衬层带有疲劳裂纹的连杆轴瓦	24
图13. 连杆轴瓦存在腐蚀的一套轴瓦	25
图14. 存在腐蚀损坏的连杆轴瓦	26
图15. 连杆轴瓦因缺乏润滑而损坏的一套轴瓦	27
图16. 两个上连杆轴瓦显示缺乏润滑的一套轴瓦	28
图17. 连杆轴瓦另外一种缺乏润滑的损坏形式	29
图18. 实验室试验缺乏润滑的一套轴瓦	31
图19. 实验室试验缺乏润滑的另一套轴瓦	32
图20. 冷起动主轴瓦抱瓦	33
图21. 愈合后的冷起动主轴瓦抱瓦	34
图22. 因螺栓扭矩过低连杆分界面擦蚀	35
图23. 因预加载荷低连杆瓦背擦蚀	36
图24. 因错位连杆轴瓦定位唇周围磨损	37
图25. 因一侧错位连杆轴瓦边缘磨损	38
图26. 因夹进杂质主轴瓦磨损的部位	39
图27. 因连杆轴瓦损坏而曲轴受热变形使主轴瓦边缘磨损	41
图28. 因飞轮不平衡使后主轴瓦边缘磨损	42
图29. 轴颈几何形状的缺陷	43
图30. 主轴瓦严重灰尘刮伤	44
图31. 主轴瓦严重灰尘损坏加上快速冷起动抱瓦损坏	45

图1. 这个连杆轴瓦的表面出现严重擦伤。该轴瓦取自一台在研究实验室中进行运转试验的 NTC-350 型发动机的一套轴瓦。发动机在500小时热箱试验（额定功率及额定转速）进行到 383 小时的时候，机油泵发生咬死。虽然在发动机上装有低油压自动停车装置，避免了轴瓦严重损坏，但是从照片上仍然可以看到轴瓦表面的擦伤。

图2. 该连杆轴瓦的表面显示有轻度擦伤。它取自一台在公路上仅工作了 861 英里的 NTCC-350型发动机。图 3 中的照片为该发动机的全套轴瓦。

图3. 在该套轴瓦中，上连杆轴瓦有中等程度的擦伤。该轴瓦是从一台在公路上仅工作了 861 英里的 NTCC-350 型发动机上取下的。第 4 连杆轴瓦已转动移位并已全部碎裂，因此没有在该套照片中列出。但是，由于其余轴瓦均已显示擦伤，因此，至少可以断定缺乏润滑是轴瓦损坏的一部分原因。

图4. 这些轴瓦中的上连杆轴瓦表面层脱落和磨损。它们取自一台在公路上行驶了 36,317 英里的 NTC-290 型发动机。注意下主轴瓦也出现了相当程度的擦伤，按其运行的里程来说，这也被认为是过度磨损。根据取得的资料，第六道连杆轴瓦转动并已毁坏。一个轴瓦抱瓦，其原因尚未确定，但根据其余连杆轴瓦上的擦伤程度，表明已出现了缺乏润滑。可能是结合有间隙的减小或几何形状的变化，使某一轴瓦抱瓦而其余轴瓦尚处于良好状态。一旦轴瓦因缺乏润滑而发热，间隙减小，就会引起温度剧增以致很快发生损坏。

图5. 该连杆轴瓦表面层磨损和脱落的照片是取自图 4 所示的那套连杆轴瓦。注意已露出了镍的防护层并开始磨损到露出铜衬层。

图6. 这套轴瓦显示露铜和上连杆轴瓦深度磨损。注意其下主轴瓦也出现了相当程度的磨损。

变色，特别是下连杆轴瓦的变色，是由不溶于润滑油的胶状物质所污染，这表明润滑油在更换以前已过度脏污。经仔细检查表明并没有过热的迹象。这些轴瓦取自一台在公路上已工作280,591英里的 NTC-350型发动机。其中一片下连杆轴瓦因丢失而未收回。

图7. 此放大照片的连杆轴瓦取自图 6 所示的那套轴瓦。注意大面积露铜，未磨损部分的变色是由不溶于润滑油的胶状物所污染。这表明润滑油更换周期过长。

图8. 整套轴瓦出现露铜和因超速、给油过多而在连杆轴瓦上呈现深度磨损。这些轴瓦取自一台在过量给油10%（380马力）和超速（2300转/分）下经1000小时耐久试验的 NTC-350 型发动机。在试验期间，润滑油温度在 250°F 以上，冷却液有过过热现象。百分之十超速相当于在连杆轴瓦上增加约20%的负荷。

图9. 这套轴瓦显示轴瓦内衬层疲劳和上连杆轴瓦金属剥落。大量金属之间直接接触必然会引起这种损坏形式，由于轴瓦间隙因磨损而增大，油膜的形成和保持就变得更加困难。注意上连杆轴瓦的变色和下连杆轴瓦的擦伤，都表明轴瓦过热和膨胀使间隙减小到足以挤压曲轴。在这套轴瓦中有一对连杆轴瓦抱瓦并毁坏，因为得不到这个轴瓦，所以其抱瓦原因是不明确的。但是其余连杆轴瓦出现的迹象表明，其严重损坏是由于缺乏润滑。同时这也是连杆轴瓦抱瓦最可能的原因。

这套轴瓦取自一台在公路上工作了254,417英里的 NTC-290 型发动机。

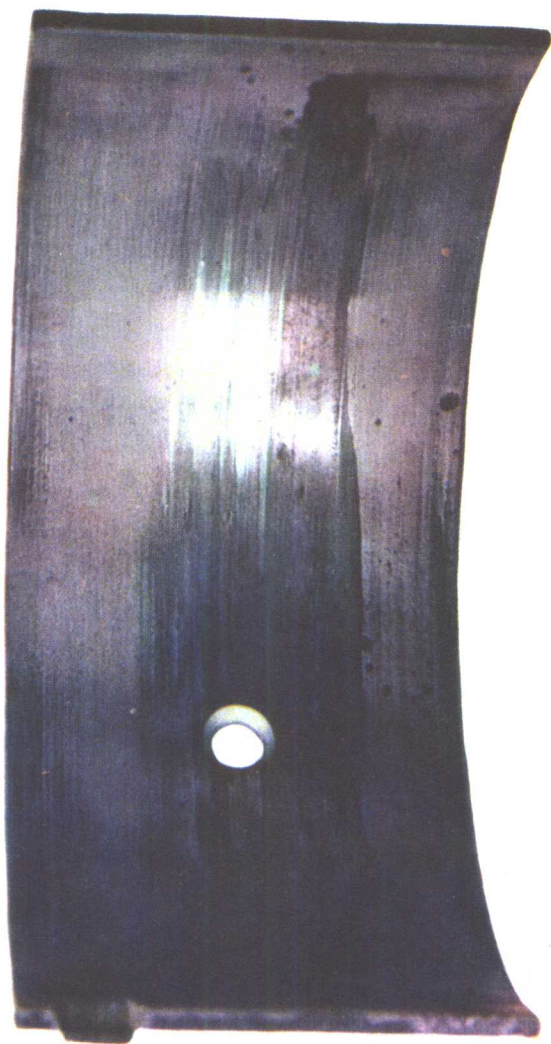


图 1

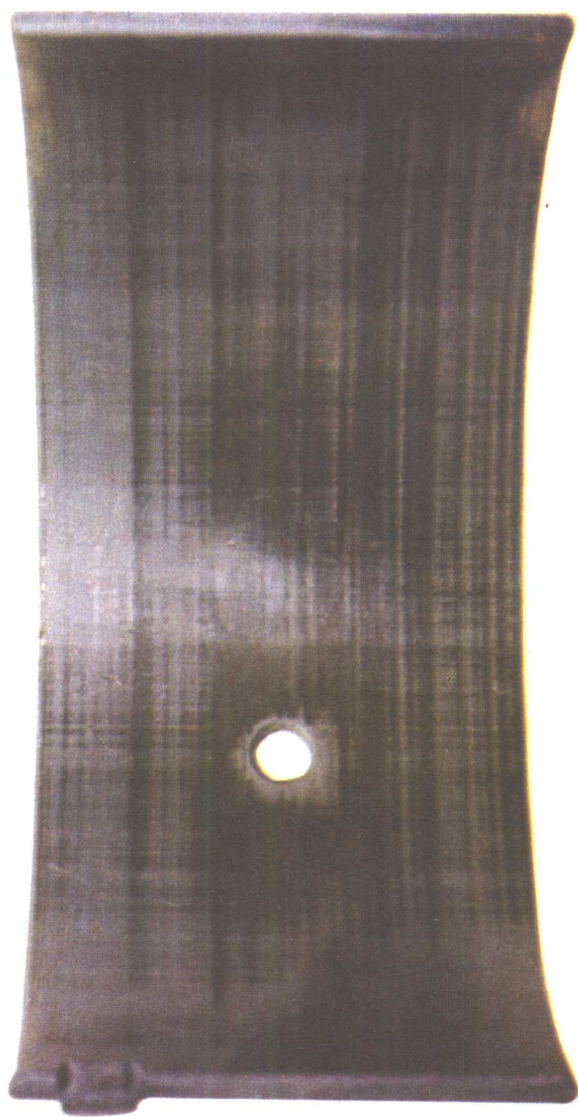
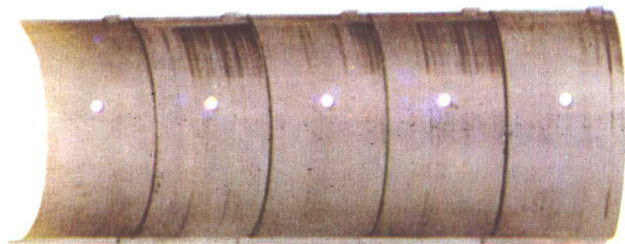
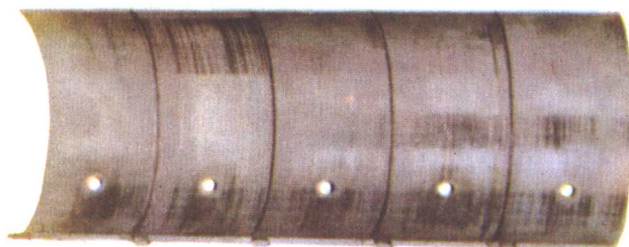


图 2

连杆轴瓦

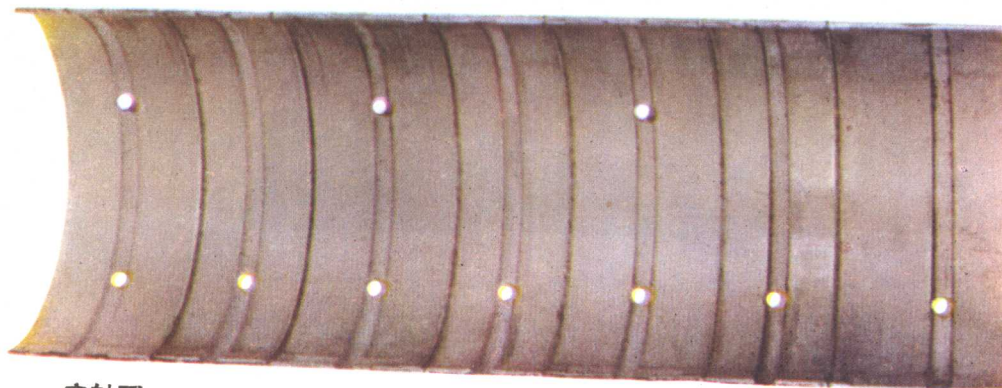
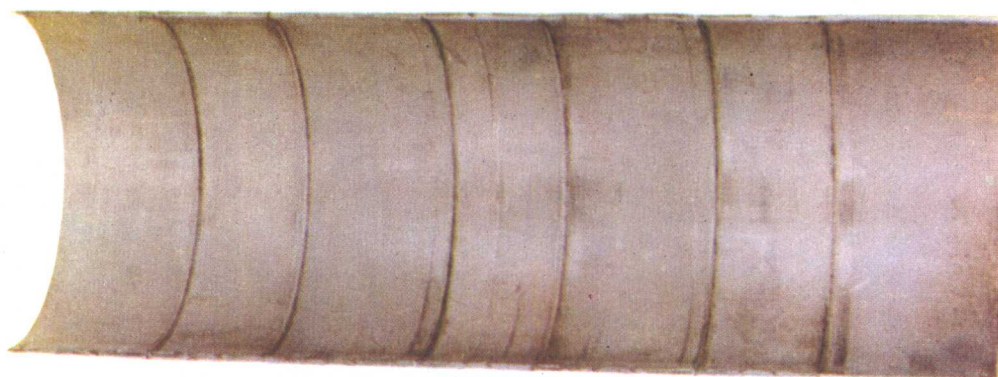


下连杆轴瓦



上连杆轴瓦

下主轴瓦

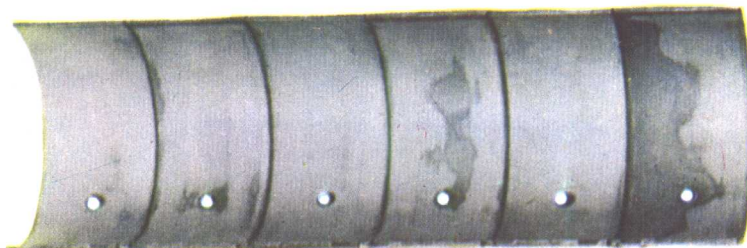


主轴瓦

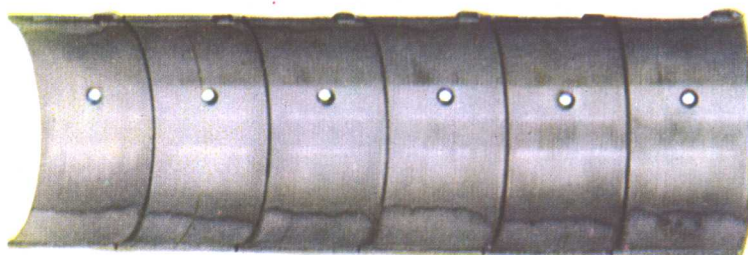
上主轴瓦

图 3

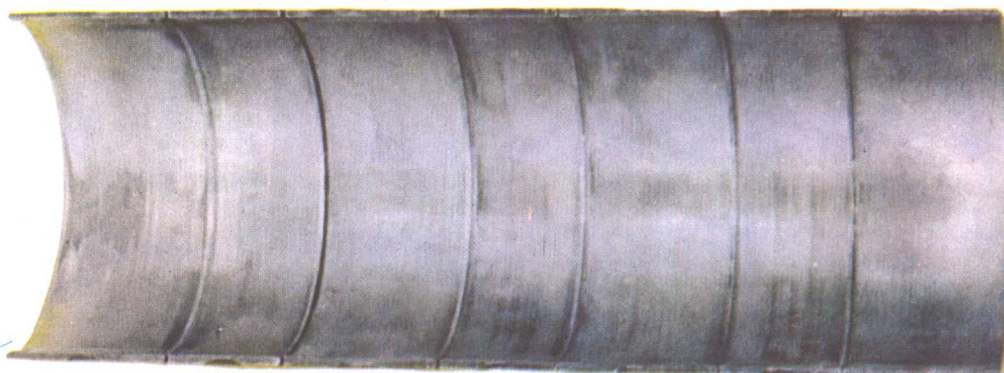
连杆轴瓦



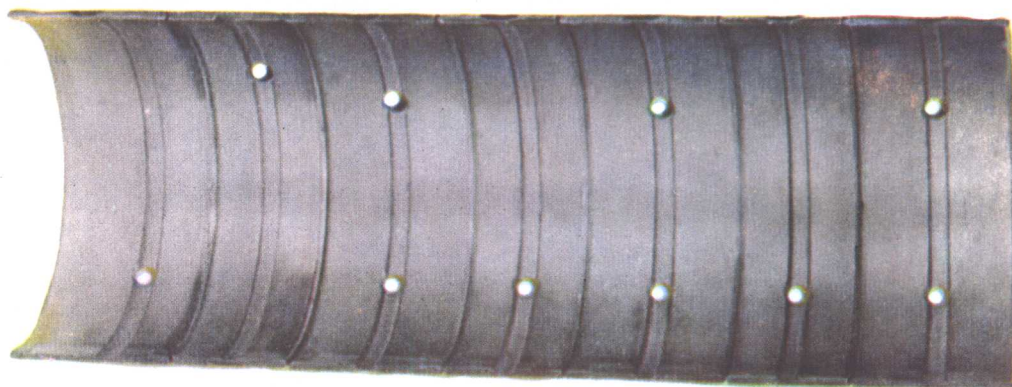
下连杆轴瓦



上连杆轴瓦



下主轴瓦



主轴瓦

上主轴瓦

图 4