

某发动机工艺缸盖螺栓的设计与验证

刘超, 韩祖豪, 王旭, 路林, 刘家伟

(道依茨一汽(大连)柴油机有限公司, 辽宁 大连 116021)

摘要: 针对某发动机由于缸筒变形过大, 导致机油耗过高的问题, 通过对工艺缸盖的使用分析, 介绍了工艺缸盖螺栓的设计过程和验证方法。试验验证表明: 最终确定的工艺缸盖螺栓目标轴向力和拧紧规范满足使用要求; 解决了发动机缸筒变形问题。

关键词: 缸盖; 螺栓; 设计; 工艺

中图分类号: TK423.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2015)04-0038-03

Design and Verification of the Process Cylinder Head of a Certain Engine

Liu Chao, Han Zuhao, Wang Xu, Lu Lin, Liu Jiawei

(DEUTZ (Dallian) Engine Co., Ltd., Liaoning Dalian 116021)

Abstract: To solve the big deformation of an engine cylinder, which led to the problem of high engine oil consumption, by application analysis of the process cylinder head, its design process and verification method is introduced. The test results show that the required axial force and tighten standard of the process cylinder head could meet the application requirements, and solve the deformation problem of engine cylinders.

Key words: cylinder head; bolt; design; process

0 引言

在发动机缸盖螺栓装配后, 缸体受力, 导致缸筒在静力载荷作用下产生一定变形。如果缸筒变形过大会影响到机油消耗量、漏气量、摩擦功、缸筒磨损、尾气排放等。为了满足更高的设计和排放要求, 缸盖螺栓的设计轴向力越来越高, 因而减小缸筒变形也变得更加重要。利用工艺缸盖和工艺螺栓来模拟真实装机状态, 再进行缸筒珩磨, 是一种降低装机后缸筒变形的有效手段。而如何使工艺螺栓达到特定的轴向力则是此方法成败的关键。本文通过实例介绍工艺缸盖螺栓的设计思路和验证方法。

1 工艺缸盖螺栓设计

道依茨一汽某型号发动机开发过程中, 发现由于较大的螺栓轴向力, 实际装配缸盖后, 缸体缸筒

变形大, 导致漏气量和机油耗较高。为了解决此问题, 采用装配工艺缸盖后进行缸筒珩磨的工艺。该工艺要求设计工艺缸盖螺栓满足如下条件:

(1) 可多次重复使用;

(2) 工艺缸盖螺栓拧紧后的轴向力与实际装机的产品缸盖螺栓轴向力相同, 减小实际装配后的缸筒变形。

1.1 确定螺栓规格

产品缸盖螺栓为 10.9 级 M14 × 1.5, 长度为 173 mm, 使用于塑性变形区。根据设计需求做如下分析:

(1) 为了达到重复使用目的, 工艺缸盖螺栓必须设计使用于弹性区, 避免多次使用后发生伸长的现象; 且在生产成本允许的条件下, 尽量选取较高的性能等级。

(2) 采用转角法分步拧紧。

因此，工艺螺栓初步定义为 12.9 级 M14 × 1.5，螺栓长度根据工艺缸盖的厚度进行调整。

1.2 确定拧紧规范

1.2.1 测量产品缸盖螺栓轴向力试验

利用 schatz 多功能螺纹紧固件分析测量机，测得产品缸盖螺栓（10.9 级）在实际装机拧紧规范为 60（N · m）+ 180° + 120° 下的轴向力均值为 111.96 kN，且摩擦系数稳定，见表 1。

因此，12.9 级的工艺缸盖螺栓的轴向力也需要达到 111.96 kN。

表 1 螺栓拧紧规范与轴向力关系

序号	螺栓拧紧规范	扭矩/(N·m)	轴向力/kN	摩擦系数
1	60(N·m) + 180° + 120°	212.87	113.19	0.12
2		204.28	111.47	0.13
3		207.87	112.07	0.13
4		210.58	109.95	0.13
5		238.45	112.54	0.14
6		224.75	109.99	0.14
7		256.69	113.26	0.13
8		237.93	113.23	0.14
均值		224.18	111.96	0.13
散差		23.38%	2.96%	15.38%

1.2.2 制定工艺缸盖螺栓的拧紧规范试验

- (1) 检验螺栓的摩擦系数。结果：摩擦系数合格，且均值为 0.11，具备转角法拧紧工艺的条件。
- (2) 测量工艺螺栓轴向力 - 扭矩 - 角度（目标轴向力为 112 kN）。结果：根据 10.9 级产品螺栓的实测轴向力，设定 12.9 级工艺螺栓的目标轴向力。
- (3) 工艺方案的制定。经过多次试验得出在规范 60(N · m) + 140° + 90° 下可达到需要的轴向力，为了进一步验证，又做了 8 支样品螺栓的试验，结果如图 1、图 2 所示。

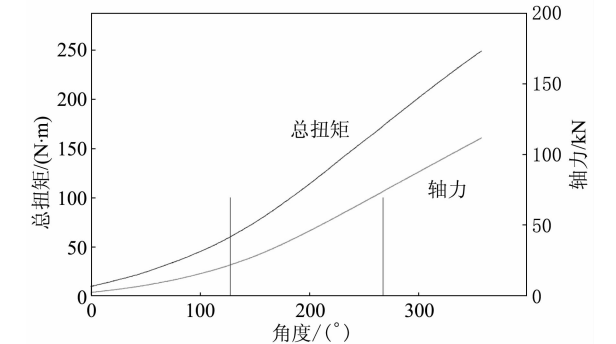


图 1 角度与轴向力的关系

小结：试验初步确定拧紧规范，工艺螺栓转角法拧紧规范为：60(N · m) + 140° + 90°。轴向力均值为 112.4 kN。且散差在 5% 之内，符合要求。

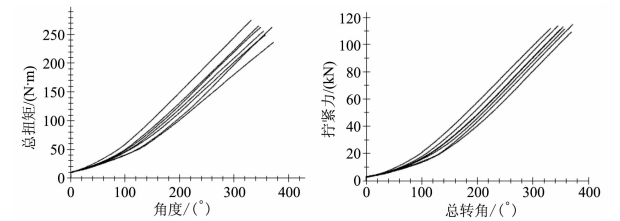


图 2 扭矩和轴向力的散差

2 缸筒变形验证

缸筒变形测量输出参数：圆度、平行度、直线度、圆柱度和傅立叶系数。

在缸体自由状态时，主要评价缸筒的圆度、平行度、直线度和圆柱度是否超过设计允许值。

在拧紧状态下，主要对缸筒变形的傅立叶系数进行评价。

傅立叶解析数学表达式如下。

$$\Sigma = A_0 + A_1 \cos 1\beta + A_2 \cos 2\beta + A_3 \cos 3\beta + \cdots + A_i \cos i\beta + B_1 \sin 1\beta + B_2 \sin 2\beta + B_3 \sin 3\beta + \cdots + B_i \sin i\beta$$

其中：A_i、B_i 为傅立叶系数，i 为傅立叶阶数，i 阶变形量： $U_{\max} = 2 (A_i^2 + B_i^2)^{\frac{1}{2}}$ ，i 阶变形的角度方向： $\beta_{\max}(i) = 1/i \times \arctan B_i/A_i$ 。

傅立叶解析的物理（几何）概念见图 3。

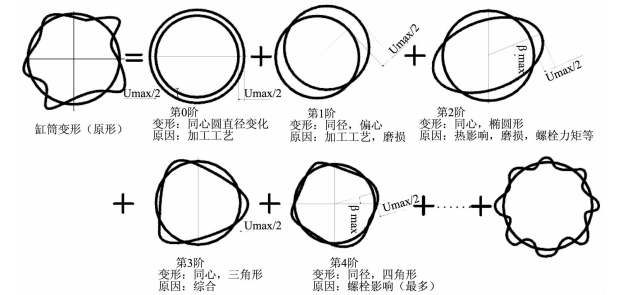


图 3 傅立叶解析的物理（几何）概念图

试验目的：对比采用工艺缸盖方式加工的气缸体，与无工艺缸盖加工的气缸体在装配后缸筒变形量方面的差异。

试验方法：

方案一：无工艺缸盖加工的气缸体，与产品螺栓、产品缸盖按照产品拧紧规范装配在一起，测量实际的缸筒变形量。

方案二：用工艺螺栓按 60(N · m) + 140° + 90° 拧紧的缸体，其它的均不变，重复上一步骤。

图 4 为装配照片，表 2、表 3、图 5 分别为方案一和方案二测得的缸筒的变形量。

从对比结果上看，采用工艺缸盖拧紧后珩磨的缸体，装配后缸筒变形得到明显改善，满足使用要求。

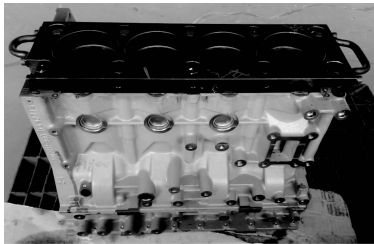


图 4 装配照片

表 2 方案一缸筒变形量

傅立叶阶次	1 缸	2 缸	3 缸	4 缸	限值
2	19.49	33.72	27.7	21.28	20
3	9.64	5.07	4.55	10.12	11
4	5.62	8.34	8.39	6.68	14
5	2.66	2.9	3.25	3.47	6
6	1.04	2.57	2.18	2.05	5

表 3 方案二缸筒变形量

傅立叶阶次	1 缸	2 缸	3 缸	4 缸	限值
2	10	9.57	7.91	6.1	20
3	4.38	2.56	1.72	6.91	11
4	3.83	4.92	5.67	5.53	14
5	0.97	1.85	1.3	1.18	6
6	0.41	0.79	1.14	1.15	5

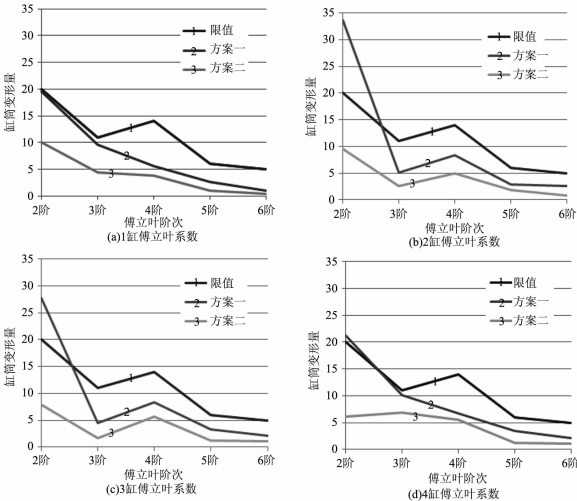


图 5 方案一、二不同傅立叶阶次缸筒变形量柱状对比图

3 工艺缸盖螺栓的重复使用

进行 12.9 级工艺缸盖螺栓的屈服极限测量，目的是为了了解螺栓屈服处的轴向力，以便确定螺栓的使用极限。根据螺栓的屈服情况，12.9 级工艺缸盖螺栓在工艺装配规范 $60(N \cdot m) + 140^\circ + 90^\circ$ 下，处于弹性区，并使用在保证载荷的 74%，螺栓有较好的利用率。

采用已使用 20 次的工艺螺栓进行试验：

(1) 检验螺栓的摩擦系数。摩擦系数为 0.14，在合格范围内（已经到达公差上限）。

(2) 按 $60(N \cdot m) + 140^\circ + 90^\circ$ 的工艺方案验证轴向力是否可以达到 112 kN。

结果见图 6 及表 4。测试的样品螺栓的轴向力范围和散差符合要求。工艺螺栓可满足 15 次使用的需求。

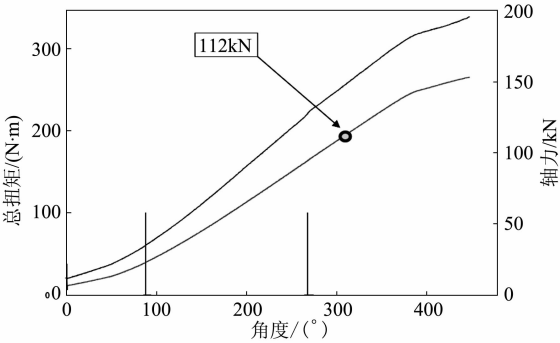


图 6 角度-扭矩-轴向力的关系

表 4 试验结果

序号	扭矩/(N · m)	轴力/kN
1	254.59	111.26
2	258.34	111.09
3	260.32	116.45
4	277.77	111.69
5	246.05	116.38
6	287.25	113.94
7	254.64	111.53
均值	262.71	113.19
散差	15.68%	4.74%

4 总结

工艺缸盖螺栓设计的关键在于如何达到和现生产装机用的产品螺栓一致的轴向力。本文通过对比试验，确定了目标轴向力和拧紧规范。

(1) 轴向力方面：经验证此方式制定的拧紧工艺，其螺栓的轴向力散差和使用范围均满足要求。

(2) 缸筒变形方面：增加工艺缸盖并配合正确的拧紧工艺，其缸筒变形情况远远好于无工艺缸盖的方式。

(3) 螺栓重复性使用方面：螺栓设计使用在弹性区，可提高使用次数，但仍需要关注螺栓的伸长量，经验值是使用伸长量 $< 1.5\%$ 。本次试验中的工艺螺栓最终可保证使用 15 次。

参考文献

[1] 蒋文虎. 发动机缸筒变形测试分析 [C]. 2006 年 APC 联合学术年会论文集, 2006.
[2] GB16823.3, 紧固件 扭矩-夹紧力试验 [S].