

文章编号: 1004-0609(1999)04-0852-04

NiTi 合金智能传力垫的研究及应用^①

孙宝臣 杜彦良 马立明 赵维刚 赵田臣

(石家庄铁道学院 机械工程系, 石家庄 050043)

摘 要: 为了解决关键结构螺栓组的载荷不均和超载断裂问题, 利用 NiTi 合金的压缩拟弹性功能, 设计了一种智能传力垫, 分析了其调节载荷的功能特性, 并在内燃机车上进行了实际应用与测试。结果表明: NiTi 合金智能传力垫可以使螺栓组各螺栓间的受力不均匀度得到调整, 动载荷降低。因而, 具有良好的自动均载限载防断功能, 可以大幅度提高螺栓连接的安全性和可靠性。

关键词: NiTi 合金; 螺栓联接; 智能传力垫

中图分类号: TG139.6

文献标识码: A

螺栓联接是各种构件间相互连接的一种重要形式。但其联接部件的加工制造与安装误差, 或受载、受热不均, 都会造成螺栓组的受力不均, 从而导致联接构件的破坏^[1,2]。由于许多结构联接处载荷的不均匀性是随机的, 事先无法判断承受最大载荷的螺栓位置和采取必要的防备措施。因此, 解决大型关键结构联接螺栓的载荷不均匀和个别螺栓的超载断裂问题是目前急需解决的技术难题之一。

为了解决关键联接处螺栓受力的不均匀问题, 文献[3]提出了自动均载传力件的设计思想, 并成功地解决了卫星与火箭壳体联接边缘处的受力不均匀问题。它是将具有拉伸拟弹性的 NiTi 合金^[4]制成螺栓, 利用其拉伸拟弹性的特性实现自动均载防断功能。随着对 NiTi 合金研究的不断深入, 具有压缩拟弹性的 NiTi 合金也已经研制成功^[5]。可以设想, 利用 NiTi 合金压缩拟弹性制成自动均载传力垫, 也应该能起到自动均载防断的作用, 并且还具有结构简单、成本低的优点。本文依据 NiTi 合金的压缩拟弹性性能, 对自动均载防断智能传力垫的设计思想、功能特性等进行了分析, 并在内燃机车上进行了自动均载防断传力垫的实际应用

与试验, 以期 NiTi 合金自动均载传力垫在各个领域的推广应用奠定基础。

1 NiTi 合金智能传力垫的调节特性分析

具有压缩拟弹性的 NiTi 合金的压缩应力—应变曲线如图 1 所示^[6]。如果利用具有这种功能的材料制成传力垫与螺栓配合使用, 则当螺栓受到预紧力 p_1 的作用时, 传力垫也受到一同样大小的压缩力。当螺栓联接系统受到动载荷、热应力或其它附加载荷作用时, 将试图使螺栓的轴力增加, 而此时传力垫与螺栓配合使用, 两者受力始终大小相等; 当传力垫的载荷超过 p_1 时, 应力应变曲线将沿 AB 线变化, 即变形量增加较大而载荷增加较小, 也就是传力垫的大变形吸收了部分载荷的能量^[7]。因此, 传力垫与螺栓的配合使用能够限制螺栓载荷的增加, 即具有有限载防断作用。需要指出的是, NiTi 合金在 B 点以前的变形是可以恢复的^[8], 因此, 在动载荷的作用下, NiTi 合金传力垫始终具有有限载防断功能。

如果联接螺栓由多个螺栓组成, 且各个螺

① 收稿日期: 1998-10-06; 修回日期: 1999-02-01

孙宝臣(1961-), 男, 工学硕士, 副教授

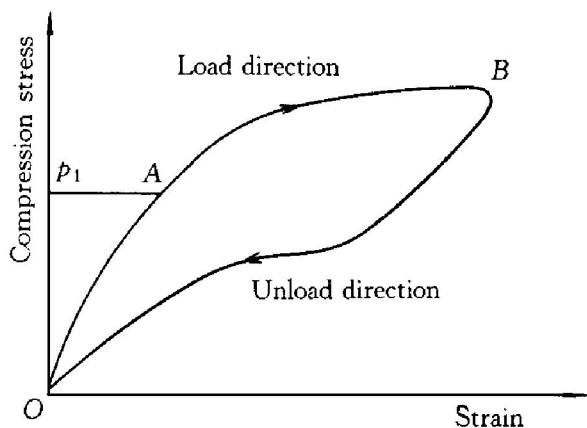


图1 NiTi 合金压缩应力—应变曲线

Fig. 1 Curves of compression stress and strain of NiTi alloy

栓的初始载荷不均匀,则随着外载荷的不断增大,受力最大的螺栓先达到拐点应力值 p_1 点,随后应力应变曲线沿 AB 线变化,载荷增加较小,多余的载荷让受力较小的螺栓承担,依此类推,最终将使各个螺栓的载荷限制在一定程度,从而实现自动均载限载防断的作用。

在实际应用时,可将 NiTi 合金的 p_1 值调整到与螺栓预紧力相匹配的数值,即可满足不同的螺栓组对均载防断的要求。

2 NiTi 合金智能传力垫的应用及受力测试试验

为了验证 NiTi 合金智能传力垫的自动均载防断功能,我们选取比较典型的结构联接螺栓——东风 4D 型内燃机车缸盖螺栓组为应用对象,将设计的 NiTi 合金智能传力垫安装在缸盖螺栓上,并进行实际螺栓受力测试试验。

2.1 智能传力垫的设计及试验方法

东风 4D 内燃机车缸盖螺栓是连接气缸盖和机体的关键联接件,由 6 个螺栓组成。在工作过程中,承受着预紧力、动应力和热应力的共同作用,并且各螺栓上的受力是不均匀的,螺栓受力不均,可导致个别螺栓超载断裂或缸盖变形、漏气等严重后果。缸盖螺栓的设计预紧力为 330 MPa,直径为 36 mm,为此,将传力垫设计成如图 2 所示的结构尺寸。传力垫与螺

栓承受面积之比为 1.59。因此,试验所用传力垫的拐点应力值经特定处理调整为 $330/1.59 = 208$ MPa, 以与螺栓的预紧力相配合。

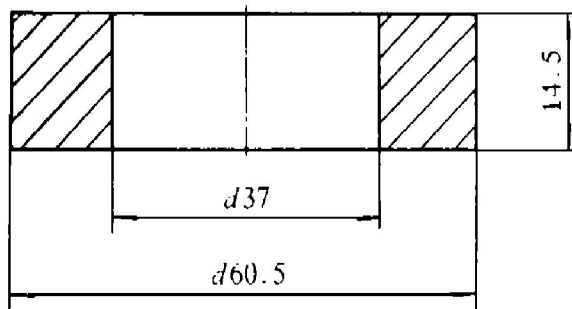


图2 缸盖螺栓智能传力垫结构尺寸示意图

Fig. 2 Schematic diagram of structure and size of intelligent washer

将 NiTi 合金智能传力垫按规定的工艺安装在东风 4D 内燃机车的缸盖螺栓上,并在机车水阻试验台进行水阻试验,以测试智能传力垫在实际安装与工作过程中的静、动态应力大小及其自动均载防断功能的大小。

考虑到测试分析的准确、方便,在静、动态应力测试时,以缸盖螺栓粘贴应变片的方法作为传感器,并采用全桥测量方法以提高测试系统的灵敏度,即在螺栓某一轴截面上对称粘贴两只纵向应变片作为工作片,另外粘贴两只横片作为补偿片。

为了分析对比加装和不加装 NiTi 合金智能传力垫的螺栓受力状态,我们选取机车对称分布的第 4 缸和第 12 缸作为测试对象,其中第 4 缸安装智能传力垫,第 12 缸采用原垫片。

静态测试时应变片输出的信号由 YJ-25 静态应变仪接收并记录,动态测试时应变片输出的信号由 MCC-8A 动态应变仪接收,采用 MR-10 磁带记录仪记录各种动态信号,并通过 CS2092 信号分析仪实时分析螺栓组在工作过程中的各种受力状况。

2.2 试验结果与分析

静、动态载荷测试结果如表 1、2 所示。从测试结果可以看出: 加装均载传力垫对缸盖螺栓的平均预紧力没有影响,但是缸盖各螺栓之间预紧力的不均匀度由 29.3% 降低到 19.9%,

表 1 东风 4D 内燃机车缸盖螺栓预紧力测试结果

Table 1 Prestress of bolts on Dongfeng 4D diesel locomotive

Cylinder number	Prestress of bolts/ MPa						Average stress/ MPa	Degree of uneven/ %
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]		
4th	338. 0	362. 6	345. 7	296. 1	308. 3	352. 4	333. 8	19. 9
12th	300. 5	384. 5	326. 0	287. 6	317. 8	369. 6	331. 0	29. 3

表 2 东风 4D 内燃机车缸盖螺栓动态载荷测试结果

Table 2 Dynamic stress of bolts on Dongfeng 4D diesel locomotive

Cylinder number	Dynamic stress of bolts/ MPa						Average stress/ MPa	Degree of uneven/ %
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]		
4th	79. 6	79. 8	86. 4	79. 9	87. 4	84. 3	84. 1	8. 9
12th	88. 9	89. 8	77. 1	89. 1	90. 9	96. 3	88. 4	22. 6

Test conditions: diesel rotational speed 1 000 r/ min, power 3 600 kW

动载荷的不均匀度由 22. 6% 降低到 8. 9%，动载荷的平均值由 88. 4 MPa 降低到 84. 1 MPa。因而，NiTi 合金智能传力垫可使螺栓组各螺栓之间的受力不均匀度得到调整，动载荷降低，因而具有良好的均载限载防断功能，可以大幅度提高螺栓联接的安全性和可靠性。

3 结论

- (1) NiTi 合金智能传力垫的功能特性分析表明，利用 NiTi 合金的压缩拟弹性，并将其应力值调整到与螺栓预紧力相匹配的程度，便可实现自动均载限载防断功能。
- (2) 将 NiTi 合金智能传力垫应用于东风 4D 内燃机车的缸盖螺栓上，可以使螺栓组各螺栓之间的预紧力和动载荷的不均匀度得到调整，动载荷降低。因而，它可以防止缸盖螺栓超载断裂以及由于受力不均引起的缸盖变形和漏气问题，大幅度提高内燃机车的安全性和可靠性。

REFERENCES

1 Du Yanliang and Zhao Weigang. In: Yu Heji, Cempel C eds. Proceedings of ICTD' 95. Jilin: 3rd Inter-

national Conference on Technical Diagnostics, 1995: 222~ 227.

2 Zhao Weixi(赵位西) and Li Feipeng(李飞鹏). The Construction and Principle of Diesel (内燃机构造与原理). Beijing: China Railway Press, 1981: 14~ 22.

3 Du Yanjiang and Nie Jingxu. In: Chu Youyi, Tu Hailing eds. Proceedings of the International Symposium on Shape Memory Materials. Beijing: International Academic Publishers, 1994: 551~ 555.

4 Miyazaki S. Scr Metall, 1983, 17(9): 1057~ 1062.

5 Zhang Weiwei(张维维) and Chen Jufang(陈菊芳). Functional Materials (功能材料), 1995, 26(4): 526~ 527.

6 Sun Baochen(孙宝臣) and Fu Hua(付华). In: C-MRS(中国材料研究学会). Proceedings of the 1997 Materials Conference of China('97 中国材料研讨会论文集). Beijing: Metallurgical Industry Press, 1998: 200~ 202.

7 Du Yanliang(杜彦良), Zhao Weigang(赵维刚) and Zhu Xinqun(朱信群). In: C-MRS(中国材料研究学会). Functional Materials (功能材料). Beijing: Chemical Industry Press, 1997: 681~ 686.

8 Muller I and Xu Huibin. Acta Metall, 1991, 39: 269.

Study and application of NiTi alloy intelligent washer

Sun Baochen, Du Yanliang, Ma Liming, Zhao Weigang, Zhao Tianchen

Department of Mechanical Engineering,

Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043, P. R. China

Abstract: In order to avoid the non-uniform load and the breakdown of a set of bolts in key joining construction, an intelligent washer was designed taking advantage of the compression pseudo-elasticity of NiTi alloy, and the function of adjusting load of intelligent washer was analyzed. The results of test in locomotive showed that NiTi alloy intelligent washer can share alike the load between the bolts, and reduce the dynamic stress of bolts. It has good function of auto-even load and anti-breakage. So it can improve the safety and reliability of bolt joined construction.

Key words: NiTi alloy; bolt joining; intelligent washer

(编辑 袁赛前)