

◀设备与工具▶

PCD 弹性模量、泊松比的测试实验研究

徐 根¹ 陈 枫² 马春德² 徐国平³

(1. 中南大学 资源与安全工程学院, 湖南 长沙 410083; 2. 中南大学 现代分析测试中心, 湖南 长沙 410083; 3. 金瑞新材料科技股份有限公司, 湖南 长沙 410012)

摘要: 弹性模量、泊松比作为 PDC 的重要物性参数, 其取值的精确与否将直接影响到 PDC 其他的力学性能。利用 Instron1342 电液伺服材料试验机, 采用简单的压缩加载实验, 成功测得了聚晶金刚石 (PCD) 的弹性模量、泊松比, 且弹性模量最大误差不超过 6%, 泊松比最大误差不超过 8%, 均在允许范围之内, 测试结果相当理想。该实验证明, 用压缩加载实验来测试 PCD 的弹性模量和泊松比是可行的, 且该方法简单、可靠, 测试费用低。

关键词: 聚晶金刚石; 弹性模量; 泊松比; 应变; 测试

中图分类号: TH145. 1⁺ 3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-0890(2009)02-0063-03

聚晶金刚石复合片 (polycrystalline diamond compacts) 是由聚晶金刚石层 (PCD) 与硬质合金基体构成的超硬复合材料, 现在已经被广泛应用于钻探及机械加工领域^[1-4]。弹性模量、泊松比作为 PDC 重要的物性参数, 其取值的精确与否将直接影响到 PDC 的其他力学性能。由于 PDC 材料的特殊性, 尤其是金刚石层 (PCD), 由于其硬度大, 取大尺寸试样又相对困难, 因而不容易测定。测量 PCD 弹性模量的方法有超声波声速法和自由振动频率法^[5-9], 但两种方法各有利弊: 通过测量超声波传播速度计算弹性模量的方法比较简单, 但是需要很多测量设备 (换能器, 脉冲发生器, 带有傅立叶变换功能的示波器等), 并且得到的结果反映的是圆片样品上一个点附近区域的弹性性能; 自由振动频率法需要的仪器比较简单, 也可以得到样品整体的弹性性能数据, 但是由于样品的质量都很轻, 其自由振动很容易受到采样探头的影响, 从而影响其频率, 进而影响结果。以上两种方法的测试费用均较高。为此, 笔者采用岩石材料弹性模量的测试方法, 即根据虎克定律, 利用简单的压缩加载实验来测试 PCD 的弹性模量和泊松比, 并得到了精确的测试值。

1 实验原理与步骤

1.1 实验原理

聚晶金刚石属于硬脆性材料, 当受到压缩载荷时, 在其极限抗压强度范围之内可视为弹性变形, 即

变形符合虎克定律。材料纵向应力与纵向应变的比例常数称为弹性模量 (E), 而横向应变与纵向应变的比值称为泊松比 (μ)。根据以上定义, 只需测得 PCD 试样在某一压缩载荷下的纵向与横向变形值, 即可通过公式 $E = \frac{\sigma}{\epsilon_1}$ 和 $\mu = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$, 求得 PCD 材料的 E 、 μ 值。

1.2 实验步骤

实验所采用的试样为金瑞新材料科技股份有限公司生产的 $\phi 19\text{ mm} \times 13\text{ mm}$ 平界面复合片, 金刚石层厚 2.0 mm。首先利用电火花线切割机将金刚石层与基体分离, 然后再将 PCD 层加工成 $8\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 的试样 (图 1), 并对切割面进行研磨处理, 确保试样表面平整。

由于试样及应变片尺寸的限制, 采取了在试样正反面各贴一应变片的方法 (图 2)。应变片规格为 BE120-03AA(11)-×30(3 mm×2 mm)。在 Instron1342 电液伺服材料试验机上进行测试, 采用位

收稿日期: 2008-09-09; 改回日期: 2009-01-12

基金项目: 博士点基金项目“油田钻探用金刚石复合片热残余应力致裂与止裂研究”(编号: 20070533113)部分研究成果

作者简介: 徐根(1979—), 浙江桐乡人, 2002 年毕业于中南大学土木建筑学院建筑工程专业, 2005 年获中南大学固体力学专业硕士学位, 在读博士研究生, 主要从事金刚石复合片残余应力与界面结构优化方面的研究。

联系电话: (0731)8876593

移控制方式进行加载(加载装置如图 3 所示),采用 DH3817 型动静态应变测试系统和 DHDAS 信号测试分析系统采集分析数据。由于 PCD 的硬度极高,为确保加载装置不被压坏及减少测试误差,实验时在试样上下各垫一个 PDC 片。

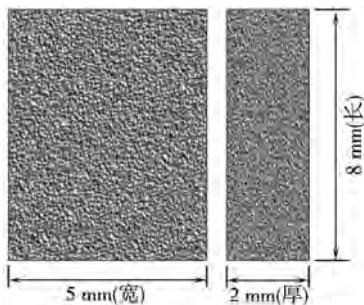


图 1 试样尺寸示意

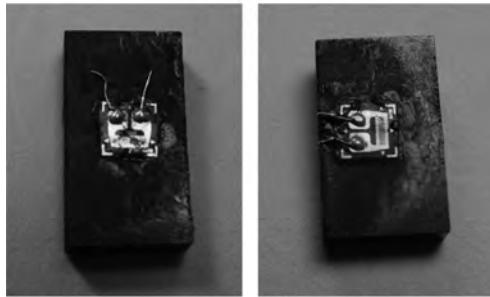


图 2 试样应变片粘贴示意

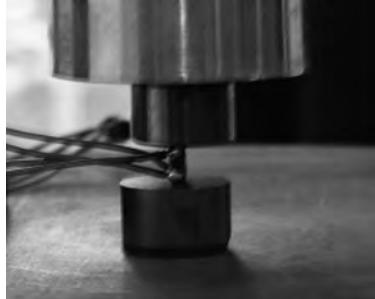


图 3 加载装置

2 结果分析

图 4 为试样应变随时间的变化曲线,图 5 为同一试样的载荷位移曲线(为节省篇幅,笔者只给出了一个试样的应变一时间曲线和载荷一位移曲线)。表 1 为弹性模量及泊松比测试结果。

表 1 弹性模量及泊松比测试结果

试样	载荷/kN	$\epsilon_1/10^{-3}$	$\epsilon_t/10^{-3}$	E/GPa	μ
1	44.533 5	5.068 4	0.407 5	878.650	0.080
2	46.054 8	5.339 2	0.410 8	862.579	0.077
3	41.732 3	4.998 5	0.389 9	834.897	0.078
4	46.712 7	5.471 2	0.410 3	853.793	0.075
5	45.560 9	5.234 2	0.387 3	870.446	0.074

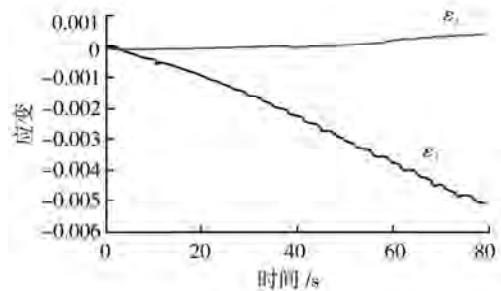


图 4 应变一时间曲线

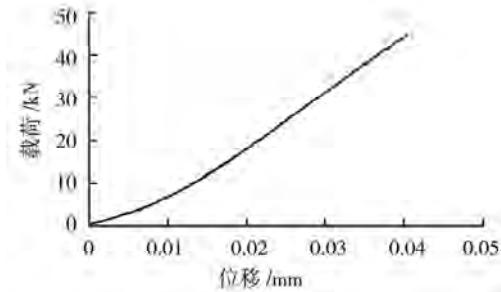


图 5 载荷一位移曲线

由图 4 可看出,纵向应变为压缩应变,横向应变为拉伸应变。从表 1 中可以看出,5 个 PCD 试样所得到的弹性模量和泊松比测试结果都非常接近,弹性模量最大误差不超过 6%,泊松比最大误差不超过 8%,均在允许范围之内,可见测试结果相当理想。与文献[10-12]中所采用的值相比,笔者实验所测得的弹性模量(858 GPa)要比文献[10-12]中所采用的弹性模量(890 GPa)略小,而泊松比(0.077)却比文献[10-12]中的(0.07)略大,笔者认为其主要原因在于:笔者实验所采用 PDC 试样的材料配比、金刚石粒度、合成工艺等均与其他实验所采用的试样有着差异,而 PCD 的物理性质与这些因素息息相关,如 PCD 中纯金刚石微粉含量越高,则 PCD 的弹性模量将越大。

3 结论及认识

1) 利用 Instorn1342 电液伺服材料试验机,采用简单的压缩加载实验,成功得到了 PCD 材料的弹性模量、泊松比值,且弹性模量最大误差不超过 6%,泊松比最大误差不超过 8%,均在允许范围之内。

2) 实验证明了用压缩加载实验来测试 PCD 材料的弹性模量和泊松比是可行的,且该方法简单、可靠,测试费用低。

参 考 文 献

[1] Zeren M, Karagoz S. Sintering of polycrystalline diamond cutting tools[J]. Materials and Design, 2007, 28(3): 1 055–1 058.

[2] Gittel H-J. Cutting tool materials for high performance machine[J]. Industrial Diamond Review, 2001, 61(588): 17–21.

[3] Clark I E, Bex P A. The use of PDC for petroleum and mining drilling[J]. Industrial Diamond Review, 1999, 59(1): 43–49.

[4] 杨丽, 陈康民. PDC钻头的应用现状与发展前景[J]. 石油机械, 2007, 35(12): 70–72.

[5] Wang Sea-Fue, Hsu Yung-Fu, Pu Jui-Chen, et al. Determination of acoustic wave velocities and elastic properties for diamond and other hard materials[J]. Materials Chemistry and Physics, 2004, 85(2): 432–437.

[6] Whitfield M D, Audic B, Flannery C M, et al. Polycrystalline diamond films for acoustic wave devices[J]. Diamond Related Materials, 1998, 7(2): 533–539.

[7] Nakahata H, Higaki K, Fujii S, et al. SAW devices on diamond: proceedings of the 1995 IEEE Ultrasonics Symposium, Seattle, November 7–10, 1995[C].

[8] Dogheche E, Lansiaux X, Remiens D. Improvement of LiNbO₃ surface roughness by using a multi-step process: relationship between optical and AFM analysis[J]. Integrated Ferroelectrics, 2002, 49(1): 211–219.

[9] Higaki K, Nakahata H, Kitabayashi H, et al. High frequency SAW filter on diamond: proceedings of the 1997 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, Denver, June 8–13, 1997[C].

[10] Paggett J W, Drake E F, Krawite A D, et al. Residual stress and stress gradients in polycrystalline diamond compacts[J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Mater, 2002, 20(3): 187–194.

[11] Tze-Pin Lin, Michael Hood, George A Cooper, et al. Residual stresses in polycrystalline diamond compacts[J]. Journal American Ceramic Society, 1994, 77(6): 1562–1568.

[12] 徐根, 陈枫, 肖建清, 等. 油田钻探用金刚石复合片热残余应力分析[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(4): 49–52.

[审稿 孙明光]

Lab Test of PCD's Young's Modulus and Poisson's Ratio

Xu Gen¹ Chen Feng² Ma Chunde² Xu Guoping³

(1. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha, Hunan, 410083, China; 2. Mechanical Testing Center, Central South University, Changsha, Hunan, 410083, China; 3. King-ray New Materials Science & Technology Co. Ltd, Changsha, Hunan, 410012, China)

Abstract: Young's modulus and Poisson's ratio are two important physical parameters of polycrystalline diamond compacts (PDC). Instron-1342 testing machine was used to measure the Young's modulus and Poisson's ratio of polycrystalline diamond (PCD). Using compression loading test the Young's modulus and Poisson's ratio of PCD was measured successfully and the relative error is less than 6% for Young's modulus and less than 8% for Poisson's ratio which both are in the acceptable range. The results indicate that using compression loading test to test PCD's Young's modulus and Poisson's ratio is simple, reliable and cost-effective.

Key words: polycrystalline diamond; modulus elasticity; Poisons ratio; strain; testing

SPE 112077, 2008

A Case Study of Oil-Based Mud Effect on Horizontal Well Productivity

油基钻井液对水平井产能影响的个案研究

水平井通常采用裸眼或非固井尾管方式完井。裸眼完井可以充分发挥水平井的生产能力,但也存在一些问题:投产时或投产之前是否必须清除裸眼井段的钻井液和泥饼?生产期间和地层压力降低,进入地层的泥饼能否分散并清除掉?残留的泥饼是否会降低水平井的产能?

该文介绍了印尼一口采用预射孔尾管方式完井的水平气井,该井产层岩性为纯净砂岩,水平生产段长325.04 m(1 155 ft),产层渗透率为 $(0.1 \sim 5.0) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。该井使用油基钻井液钻进,在井壁上形成了一层薄而可靠的碳酸盐颗粒泥饼,降低了对气层的伤害,不需要清除井内剩余的钻井液和泥饼,投产后容易自行清除。由于该井测试时没有产气量,于是决定研究钻井液对该井产能的影响,采取了一系列消除地层潜在伤害因素的技术措施,并研究了其对该井产能的影响。采取一系列措施后投产,投产一个月后的压力恢复测试显示该井的表皮系数为0。

该文讨论了不同措施、试验结果和措施的每一步对油气井产能的影响,给出了采取措施后的效果,并推荐了新裸眼水平井投产时的完井方案。

[闫循彪 译]