

发展中国的复合片（PDC）、 聚晶（PCD）， 为高速发展的钻采业服务



方啸虎 刘瑞平 温简杰

中国 北京

2009.10

报告提纲

- 1.国内外金刚石复合片（PDC）聚晶（PCD）研制情况
- 2.金刚石复合片（PDC）聚晶（PCD）在钻采业中的应用
- 3.提高金刚石复合片（PDC）聚晶（PCD）质量的主要方法
- 4.结论



国内外金刚石 复合片（PDC）、聚晶（PCD） 研制情况



概述

- 上世纪60年代金刚石合成以后，由于其硬度高、耐磨性好，因此被视为理想的钻进材料和切削加工材料。但由于那时的粒度还非常的细小，满足不了使用的要求，为了解决此难题，人们自然会想到一些复合材料的课题。这里包括：一方面是把小颗粒金刚石聚合在一起，就是PCD（Polycrystalline Diamond）；另一方面就是在前端放置金刚石，其后端放置其它材料，增强金刚石的韧性，后来普遍采用了硬质合金，就是PDC（Polycrystalline Diamond Cutter）。

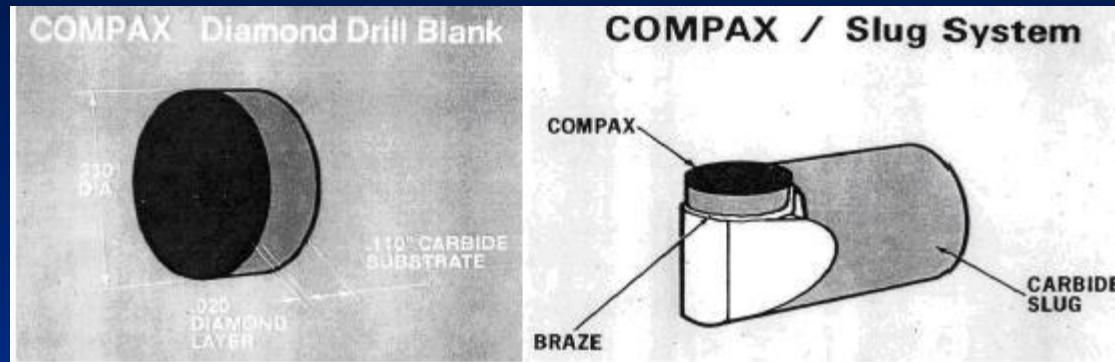


值得一提的几个国外公司

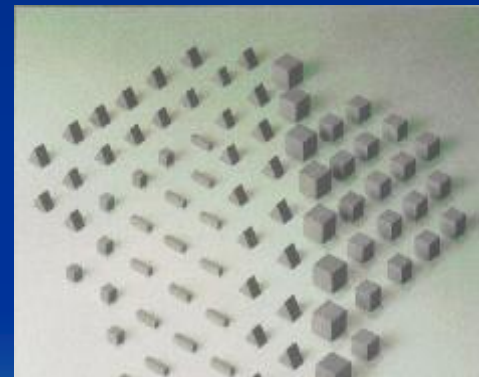
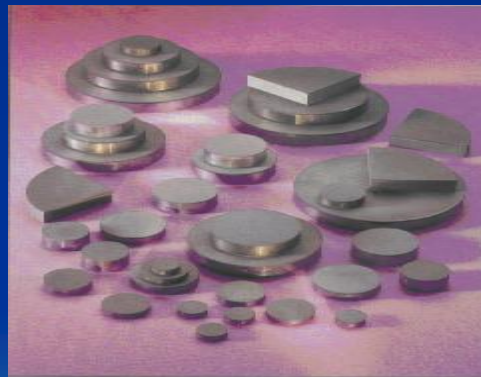
- 1) 1971年G.E.Co首先发明了Compax，1976年又推出Stratapax有更长的支承体和更耐冲击的PDC。1981年又推出热稳定聚晶Geoset用于硬岩地质钻进。
- 2) De Beers（即现元素六公司）于1981年进入PDC市场，推出Syndrill和Syndax 3。
- 3) 美国合成公司（US Synthetic）于1993年成为第一个取得ISO认证的PDC制造厂家，1997年即成为PDC领头
- 4) 美国梅加金刚石公司（Mega-diamond）1986年推出金刚石强化柱齿，用于三牙轮钻头和冲击钻头的硬岩钻进。

这样金刚石复合材料工具（**PDC, TSP, DEI**）逐渐在油田与矿山获得广泛应用。





G.E.Co生产的Compax



DE BEERS公司的Syndrill复合片；热稳定聚晶Syndax3

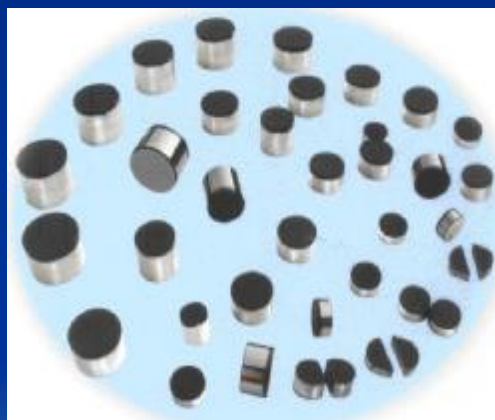
国内开展工作的几个单位

- 1) 郑州磨料所在桂林矿产地质研究院的建议下，迅速成立了攻关组，相继研究了Ni-Si、Ni-Si-B系列
- 2) 桂林矿产地质研究院多粒生产工艺技术在1977年的桂林三部一局会议上引起了相当大的反响，为我国地质钻探的聚晶钻头和钻头扩孔器的补强起到了积极的作用。
- 3) 后来PDC的复合片在郑州磨料所、中国科学院物理研究所、桂林矿产地质研究院、北京人工晶体研究所、北京探矿工具厂等相应得到了研究和发展。
- 4) 长沙矿山院和桂林金刚石总厂是最早从事金刚石强化柱齿与耐热聚晶的研究的单位，这些产品后来也得到了推广。
- 5) 郑州新亚复合超硬材料利用磨料所的技术；深圳兆丰达公司和江汉钻头厂分别从美国的合成公司、美国的凤凰晶体公司引进了制造PDC的设备与技术，形成的PDC生产企业近二十余家，这里包括如四方公司、上海琦实等都发展的很快，充分满足了我国石油钻井业的要求，同时进入采煤工业，并开始少量出口国外。





胜利油田钻井工艺研究院PDC产品和TSP产品



河南亚龙金刚石公司PDC产品；



江钻股份公司PDC产品



湖南飞碟新材料公司



湖南金瑞公司PDC产品

金刚石复合片（PDC）聚晶（PCD） 在钻采业中的应用



概况

- 自20 世纪70年代初GE公司成功制造聚晶金刚石复合片Compax 以来,引起了PCD 和PDC复合材料的研究热潮, 目前金刚石聚晶在地质、探矿、石油钻探工具方面得到了广泛应用, PDC钻头目前广泛应用于大井段软地层中高速钻进、定向井及丛式井配合井底动力钻进、在易斜井段钻直井、高温钻井、钻深井、沙漠及海洋钻井、平衡及超平衡钻井等。



国内已经可国产并推广地区

- 我国PDC及其钻头制造业虽然起步较晚，但从九十年代中期开始进步十分迅速，PDC的国产化率已达80%以上，其性能指标已能满足钻进软—中硬地层钻头的要求，而PDC钻头的国产化率已接近100%。由于国产PDC及其钻头低廉的价格，仅相当国际市场同类产品的1/3—1/4，因此PDC钻头在大庆油田、胜利油田、辽河油田、吉林油田、及中原油田、大港油田等地质条件相对较好的油田得到了大量应用与普及；



目前尚需进口的地区

- 新疆油田及四川天然气田等地质条件相对复杂，井位较深或风险性较大的地区，虽然PDC钻头也已实现了国产化，但由于国产PDC的性能及其可靠性相对国外产品而言还仍存在一定的差距，故仍需要采用部分价格昂贵的进口PDC。



PDC钻头



(a) PDC石油钻头； (b) 金刚石强化柱齿冲击钻头（已使用）

作者在600m矿坑现场所摄掘进机和钻头



(a) 掘进机； (b) 机具和钻头（球齿）

小结

- 由于我们研制了一系列适合探掘的复合片（包括球齿状复合齿）、聚晶，保证了国内钻探业向无人化（尽少的现场工作人员）、机械化、自动化方向有了极好的发展。



提高金刚石 复合片（PDC）、聚晶（PCD） 质量的主要方法



3.1 采用合理制作设备

- 国内外大量实践表明，复合材料的烧结采用六面顶金刚石压机是成功的，在应力分布上优于两面顶压机。因此美国合成公司（**US Synthetic**）在生产复合片，美国梅加金刚石公司在生产金刚石强化柱齿时都采用，能实现金刚石和金刚石的直接键合，生产出优质复合工具。



不同规格六面顶压机生产的不同性能产品

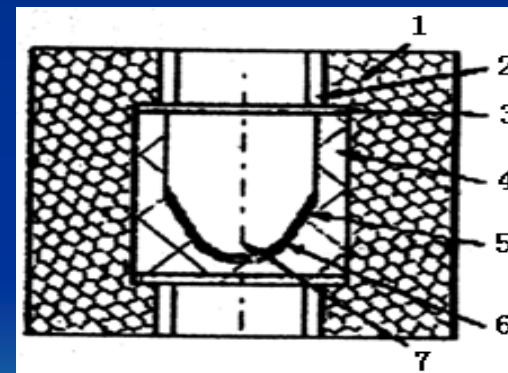
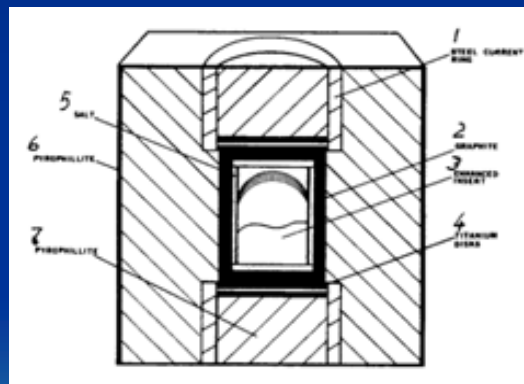
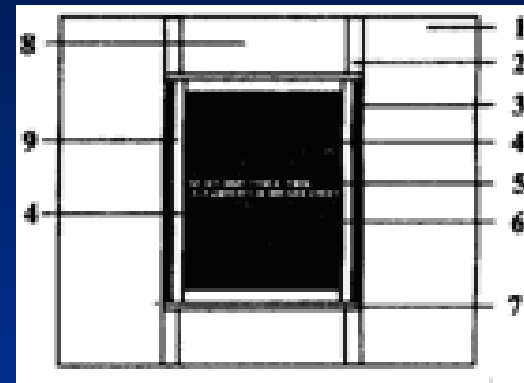
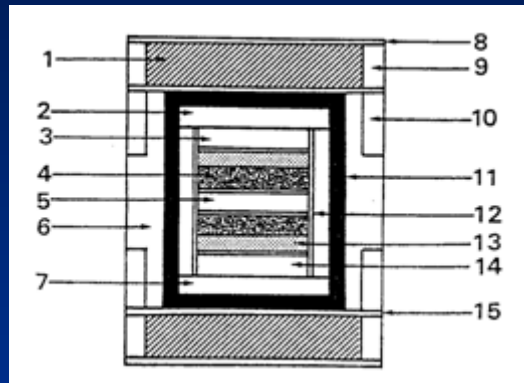
产品类型	液压缸直径/mm	单缸压力/KN	产品尺寸/mm
切削刀具PDC	$\Phi 750$ (国内已试产)	6×40000	$\geq \Phi 55$ 复合片 (待试)
切削刀具PDC 石油钻具PDC	$\Phi 650$	6×32000	$\Phi 50$ 复合片
石油钻具PDC	$\Phi 560$	6×25000	$\Phi 25 \sim 28$ 球齿
石油钻具PDC	$\Phi 500$	6×20000	$\Phi 25$ 复合片 (目前国内有试 $\Phi 60$ 复合片)
石油钻具PDC 煤田钻具PDC	$\Phi 460$	6×18000	$\Phi 19$ 复合片
煤田钻具PDC	$\Phi 420$	6×14000	$\Phi 14$ 复合片

3.2 设计合理的合成腔体组装结构

- ①采用叶蜡石做传压、绝缘、保温介质，也可使用 ZrO_2 , $\text{CsCl} + \text{ZrO}_2$;
- ②采用导电钢圈;
- ③使用石墨碳管做为发热体;
- ④采用 NaCl 管或 $\text{NaCl} + \text{ZrO}_2$ 做均衡压力介质;
- ⑤采用 Mo 、 Ta 、 Zr 箔做为屏蔽系统。



几种主要的组装结构



3.3 采用最佳的粘接剂和组分配比

- 其设计思路一般基于两个方面：
 - 1) 选择的粘结剂应与金刚石有一定粘结作用；
 - 2) 选择的粘结剂在高温高压下生成的物相自身应具有良好的耐磨性。
- 根据上述原则，最终选定两个被大部分厂家接受的粘结相体系：**Ni-Si-B**与**Ti-Si-B**体系。80年代中期以前，国内大部分生产厂家采用**Ni-Si-B**体系。80年代中期以后，普遍选用**Ti-Si-B**体系。应该说，这两个粘结相体系的确定，是中国超硬材料工作者对世界超硬材料的发展作出的重要贡献之一。
- 粘结剂加入量对聚晶性能也有比较大的影响，较低可以获得磨耗比较高的聚晶，但强度较低；粘结剂加入量增加，金刚石聚晶的磨耗比下降。且加入量以8%~10%(质量分数)为最佳；采用**Si-(Ni-Ti)-B**作粘结剂，金刚石聚晶体中金刚石颗粒与粘结剂的界面结合强度高于金刚石颗粒的强度，很大程度上提高了聚晶的使用性能。

3.4 消除残余应力，提高金刚石与WC/Co衬底结合强度

- 由于PCD 和硬质合金性质上的固有差异，它们的界面就成为了这种产品最脆弱的区域。



金刚石层

硬质合金层

- 为了改善复合片的性能，提高其抗冲击韧性，可以在PCD 层和硬质合金基体之间采用功能梯度过渡层，来改善两相界面的结合，或者采用非平面连接技术来改善界面的结合强度。

消除应力的方法（一）

- 消除残余应力，用结合剂解决衬底强度

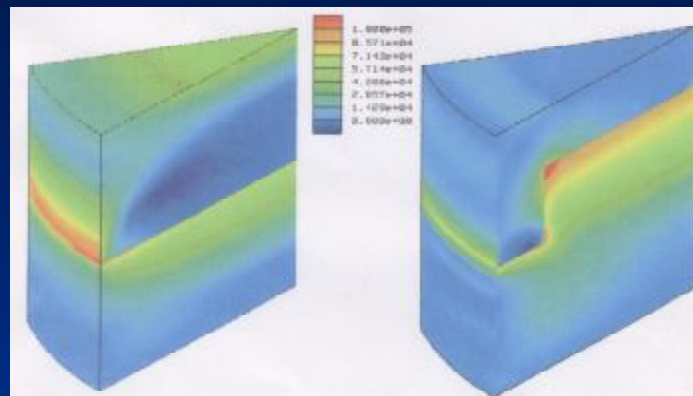
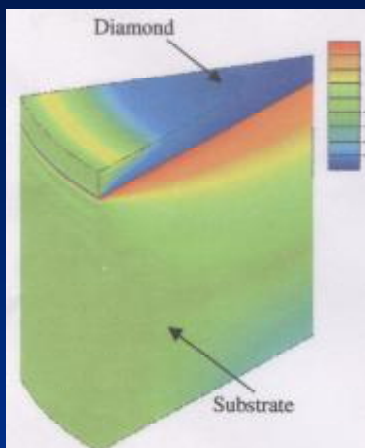


利用有限元方法对梯度结构聚晶金刚石复合片在制造过程中产生的残余热应力进行了计算，并分析了梯度组成分布指数及梯度层层数对热应力的影响。优化结果表明，分布指数最佳值为1.2，功能梯度层数为6层；与普通双层结构聚晶金刚石复合片相比，轴向拉应力由986 MPa降到了323MPa，剪应力由722MPa降到454MPa；此外还改善了界面处的应力分布，大大提高了界面的结合强度。

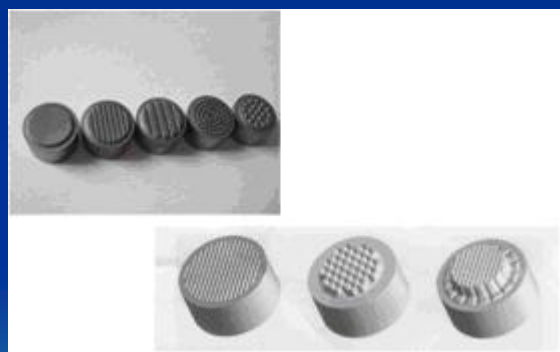
用不同的机械结合面解决衬底强度（二）

- 非平面连接是指硬质合金基体与聚晶金刚石层间采用台阶形、槽形或简单凸凹形等几何形式联结。
- ①沟槽状的复合片；
- ②锯齿形界面的复合片, 锯齿有多种表现形式, 比如是环形的或直线的, 其中锯齿的数目也是可变的；
- ③把锯齿或沟槽做成同心圆、螺旋或间断的圆弧等形状。
- 这种措施在一定程度上提高了复合片的机械结合强度, 改善了其使用性能





美国合成公司（US.Synthetic Co）通过有限元模型分析及应变测量表明



不同非平面界面设计硬质合金衬底

3.5 采取多种措施，改进PDC性能

- 1) 添加Si粘结剂，提高PDC的热稳定性（美）
- 2) 采用MgCO₃粘结剂，提高PCD钻头耐热耐磨性（日）
- 3) 改进设计与材料，提高硬岩球齿的冲击性能（美）
- 4) 增加PCD层厚度，设计多倒角钻头切削刃复合片（美、韩）



结 论



- （1）自从G.E公司于1971年推出Compax复合片和国内以磨料所、桂林矿产院等首先推出多粒合成聚晶后，PDC、TSP、DEI、PCD品种规格不断得到发展，这些PDC、TSP、DEI、PCD复合材料工具先后在油田、煤矿、金属矿、非金属等工程得到广泛应用，为钻探、采掘业做出了越来越大的贡献。
- （2）PDC、TSP、DEI、PCD市场的扩大，都伴随着前期复合材料的不断完善与技术突破，因此始终重视与坚持技术创新是其根本。
- （3）金刚石压机是生产超硬复合材料的重要工具与设备，国内外实践表明中国六面顶压机是生产PDC、PCD的优良设备。



- (4) 在PDC、PCD的发展历程中，工艺的改进也是必不可少的，这里在粘结剂的选用，金刚石层与合金层界面的应力消除，几何尺寸的增大、设计等都起到了重要的作用。
- (5) 中国的复合体、聚晶在国内新亚、兆丰达、江汉钻头、四方、亚龙、晶日科美、桂林金刚石、上海琦实等公司的倡领下，我国的PDC（TSP、DEI）、PCD的品种、规格已能满足国内市场需求，并有出口，中国复合片、聚晶技术进步已经引起探工行业、采掘行业的高度重视。

-



报告结束，
谢谢各位！

