

爆炸硬化提高采金船挖斗使用寿命的初探

刘华生 龙维祺 郭安福 庞秉运

(北京科技大学)

杨启璞 黄洲荣

(四川白水金矿)

【摘要】 本文阐述了塑性板状炸药的选择、配制和工艺参数, 采金船挖斗实施爆炸硬化的工艺过程, 硬化效果及机理分析, 并对施行爆炸硬化后的挖斗, 装船以后的磨损状态进行了初步观测分析。

关键词: 采金船挖斗; 爆炸硬化; 塑性板状炸药

爆炸硬化是利用直接敷设在金属工件表面上的塑性板状炸药爆炸所产生的冲击波, 猛烈冲击金属工件表面, 以改善和提高其机械性能。目前, 国内外爆炸硬化的主要工业应用是对承受强烈冲击磨损的奥氏体高锰钢工件进行处理, 以改善该金属工件的机械性能, 提高其表面硬度, 从而延长高锰钢工件的整个使用寿命。

采金船挖斗斗唇系由高锰钢铸成。采用爆炸硬化的方法, 利用炸药爆轰产物与挖斗斗唇表面的相互作用, 在金属中产生强烈的冲击波, 使斗唇表面及其一定深度内产生硬化效果, 从而提高挖斗斗唇初期耐磨性, 延长其使用寿命。

一、塑性板状炸药的选择、配制和工艺参数

高锰钢挖斗斗唇爆炸硬化成败的关键是炸药的选择和配制。对爆炸硬化所用炸药的基本要求是: 爆速高、猛度大、临界直径小, 产生的压力应超过高锰钢的屈服弹性极限 (7.41 ± 1.09) 10^8 Pa 成本低廉, 操作安全简便, 用较小的药量能够显著提高斗唇的硬度, 并且不致引起金属表面产生龟裂现象。同时还要求炸药能制成柔软的薄片, 并能简单方便地贴敷在任何复杂形状工件的表面上。选择和配制成的塑性板状炸药能够较

好地满足上述这些技术要求。

选用黑索金做为塑性板状炸药的主要成分, 以环氧树脂做为粘结剂, 并在其中加入适量的增塑剂、固化剂及改性剂配制而成。环氧树脂的选择主要应根据爆炸加工条件及炸药制备工艺所提出的要求而加以确定。增塑剂的作用在于增加环、氧树脂的流动性, 降低树脂固化后在于增加环氧树脂的流动性, 降低树脂固化后的脆性, 它一般分为两类, 一类增塑剂为惰性剂, 即非爆炸成分, 本身不参与爆炸反应, 一般配制成的塑性板状炸药的密度在 $1.4 \sim 1.5 \text{g/cm}^3$ 左右, 爆速 6500m/s 左右; 另一类增塑剂为活性剂, 本身即是一种爆炸成分, 参与爆炸反应, 这类塑性板状炸药的爆速均在 7000m/s 以上。固化剂是使环氧树脂固化 (或称硬化、熟化), 环氧树脂分子是线性的, 必须用固化剂将树脂分子链端化学活泼的官能团 $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ 打开, 使线型环



氧树脂交联成空间网状结构, 从而使塑性板状炸药具有一定的强度。根据爆炸硬化加工的要求及环境条件状况在塑性板状炸药中加入少量的改性剂, 以改善板状炸药的性能, 提高炸药与金属的亲合作用。塑性板状炸药的制备工艺, 大体可按如下工序进行: 原料称量 \rightarrow 混合 \rightarrow 压制 \rightarrow 陈化 \rightarrow 辗片

—>切片—>陈化—>药片运送。用前述的组分和相应的比例，按塑性板状炸药加工操作规程和制备工艺流程所得到的炸药系均匀的白色薄片状，在水中溶解度极小，毒性与黑索金相当，其柔软性取决于固化剂的含

量，过量则硬而脆，不足则软而塌，适量的比例才具有塑性。所配制成的塑性板状炸药的具体技术要求如表1所示。我们先后配制出了BB—原，BB—1、BB—2 数种塑性板状炸药，所测得的性能见表2。

塑性板状炸药技术要求

表1

临界厚度 (mm)	厚度误差 (mm)	密度 (g/cm ³)	爆速 (m/s)	冲击感度 (%)	摩擦感度 (%)	引爆感度	柔软度
3	±0.5	1.4~1.5	>6500	8~28 (10kg/25cm)	10 (90° 仰角、指示 表 4MPa)	6*、8* 电雷 管引爆	φ10mm圆柱, 2s 内绕90°不断裂

配制炸药的主要性能

表2

炸药型号	密度 (g/cm ³)	爆速 (m/s)	物理性能	
			塑性	柔软性
BB—原	1.4~1.43	6452	很好	柔软
BB—1	1.5	7036	好	稍硬
BB—2	1.5	6926.7	好	稍硬

从表2可以看出，配制的塑性板状炸药的密度为1.4~1.5g/cm³，可以获得7000m/s的爆速，其所产生的爆轰压力远远超过了高锰钢两贡组弹性极限，从而能够保证获得爆炸硬化的预期效果。板状炸药的压片可以采用手工或机械压轱的方法，采用手工方法轱制的板状炸药，密度变化较大，其主要取决于操作人员和加工时的具体条件；而采用机械压轱的方法，可以获得比较稳定的炸药密度。板状炸药的厚度是一个很重要的爆炸工艺参数，其对爆轰压力、爆速以及最终结果都有着重要的影响。当药层厚度在临界直径以上时，炸药的爆速不受药厚变化的影响，因此，随药厚加大，则载荷、冲量加大，作用时间加长，从而使表面硬度及硬化层深度增加。药厚与高锰钢爆炸硬化的效果的关系见图1。从图中可以看出，厚度加大到一定值后，其硬度的提高幅度就不明显了，而板状炸药的用量却增加较多。

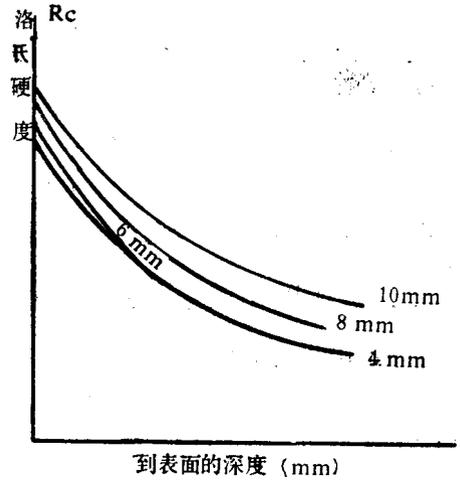


图1 药层与锰钢爆炸硬化效果的关系曲线

外侧左、右，斗唇上沿分别进行爆炸，以减少一次爆炸药量和减小爆炸震动，获得了安全和较好的硬化指标。

挖斗斗唇未加工过的铸造表面，爆炸后易出现微裂纹，且影响爆炸硬化效果，在表面脱碳严重时尤为突出。因此，在塑性板状炸药粘贴之前，要用手持式电动砂轮打磨，去掉斗唇欲粘贴部位上的铁屑，从而有效地防止了爆炸微裂纹的产生。同时，打磨后的斗唇比未打磨的硬度提高了10%。国内外有关资料也证明，同种铸件表面打磨与不打磨，其硬化的效果可差11~14%。由于挖斗悬空放置，板状炸药在斗唇上固定，试验中除采用在已打磨的斗唇部位上刷粘结剂，将板状炸药紧密地粘贴在斗唇上，同时还用电工胶布

二、爆炸硬化工艺的实施

采金船挖斗斗唇实行爆炸硬化采用悬空置放的方式。采用了斗唇内侧左、右，斗唇

在药面上压紧、贴实，并固定在挖斗上。为适应气温条件的变化，试验中在粘结剂中加入适量的丙酮，结果改善了粘结剂的流动性，达到了令人满意的效果。

为使炸药不稳定区所造成的影响最小，因此，雷管搁在工件不易磨损的地方。对于形状较为复杂的采金船挖斗，爆炸时的起爆方式及起爆点的选择，应按照使应力波轨迹简单和减少另件变形，提高硬化效果的原则加以选择。试验中采用了8*火雷管或电雷管

加导爆索的复式起爆系统，同时把雷管置放在斗唇上沿一端三分之一处。

爆炸硬化前先用钢丝刷或钢锉进行表面处理，对预计测定硬度的部位再用砂纸打磨光，并对该部位用4%的HNO₃乙醇溶液进行侵蚀处理，然后用HBX—0.5型携带式布氏硬度计，配JC—10型读数显微镜进行炸前硬度测定；爆炸硬化后，用同样的方法进行硬度测定，得出炸后的硬度。表3列出了采金船挖斗斗唇爆炸硬化的试验结果。

采金船挖斗斗唇爆炸硬化结果

表3

挖斗类型	爆炸次数	爆炸前 (HB)	爆炸后 (HB)	净增值 (HB)	提高百分数 (%)	备注
新斗斗唇	1	160.6	295	134.4	84	未打磨
焊接斗斗唇	1	162.0	325	163.0	100	未打磨
新斗斗唇	2	192.0	412	220.0	115	已打磨
新斗斗唇	2	210.5	411	200.5	95	未打磨
焊接斗斗唇	2	196.5	408	211.5	108	已打磨

三、爆炸硬化效果的初步分析

爆炸硬化是被爆金属在爆轰波侧滑和爆轰波后爆炸产物的不断作用下，使得在金属内部产生强烈冲击波的结果。从图2可见，金属中的冲击波与金属表面成一定的角度传播，冲击波速度 $v = (\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}) D$ (D为爆轰速度)，其获得的冲击波峰值压力按下式计算：

$$P = \rho v u$$

式中 P——冲击波峰值压力

ρ ——金属密度

v——冲击波速度

u——金属质点的运动速度

冲击波峰值压力越高，金属工件表面所

获得的硬度越高。

需要指出的是，在爆炸硬化过程中，冲击硬化和应变硬化两种硬化机理都同时在起作用。这就是说，爆炸硬化和常规的硬化方法（如冷压、冷锻等）是根本不同的。常规硬化方法是以应变硬化为主，而爆炸硬化是两种硬化机理同时作用。常规硬化方法要达到爆炸硬化相同的硬化程度，还需要大量的应变才有可能，而要做到这点，往往在技术上又是十分困难的。

为了提高采金船挖斗爆炸硬化的效果，在试验中除进一步改进爆炸工艺外，还改进了炸药的配比，提高炸药的爆炸威力。改配后的炸药性能如表1中所示。可以看出：改配后的BB—1型，BB—2型炸药的密度与爆速均优于BB—原，爆炸硬化的效果，一次炸后硬度平均提高了7.9%，二次炸后硬度平均提高了21.5%。从物理性能上看，比原配方要稍差些。后来通过酌量减少固化剂，所配制的BB—3型，BC—3型板状炸药，在物理性能上就有较大的提高。

采用小药量分次爆炸硬化的方法，比大

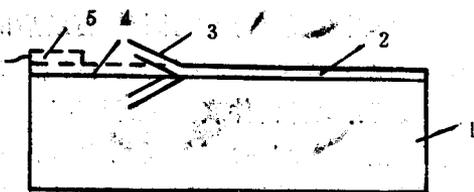


图2 爆炸硬化机理示意图

1. 被硬化金属；2. 塑性胶状炸药；

3. 冲击波波阵面；4. 硬化层；5. 雷管

药量单次爆炸硬化的方法效果要明显得多。如表4中采用BB-2板状炸药一次爆炸，其炸后硬度达到271HB，较初始硬度提高了78.3%，而采用同样的炸药进行二次爆炸，其炸后硬度平均达到379HB，较初始硬度提高了96.4%，详见表5。加大药量虽然也可以加大硬化层的深度，但却不能使表面硬度有较大幅度的提高。当药量相同时，分两次爆炸硬化的效果与单次相比，无论在表面硬度，硬化层深度均有明显地提高。塑性板状炸药的厚度同样为4mm时，爆炸两次效果最好。虽然增加爆炸的次数，仍可使金属工件的表面硬度提高，然而提高的幅度不大，硬度上升趋于稳定，见图3所示。同时，爆炸次数的增多，也会使得爆炸材料消耗量加大，从而使得爆炸硬化的成本上升，降低了经济效益。表3列出了新斗斗唇、焊接斗斗唇爆炸一次、两次的前后硬度对比。新斗斗唇经过一次炸后硬度达到295HB，相对提高了84%；经两次爆炸后硬度达到411HB，相对提高了95%；焊接斗斗唇经一次爆炸后硬度达到325HB，相对提高了100%；经两次爆炸后硬度达到408HB，相对提高了108%。这也证明了高锰钢件在前一次爆炸载荷作用下体积被压缩，其金属波阻抗 ρv 加大，第二次再爆炸后，其硬化效果就较为显著。

采金船挖斗斗唇的浇铸质量不同，因而也严重地影响爆炸效果的进一步提高。斗唇浇铸的表面，一般有脱炭层、杂质结晶、表面夹渣、颗粒和大小不等的麻坑，铸件表面的粗糙度和表面状况都对爆破效果产生影响，原因是：(1)表面凹凸处的大小，决定了爆炸射流的滞留程度，也就是决定了当射流的动能转化为热能时，增加了硬化表面的熔化程度；(2)如果对于表面粗糙有凹凸处来说，波形难以形成稳定的，结果造成爆轰将不稳定。从上述分析看，增加炸药加载可以相应地减少粗糙表面的影响（爆炸加载等于C/M。式中C为炸药质量，M为铸件质量）。

一次爆炸硬化试验结果 表4

试 块	炸药型号	初始硬度 (HB)	一次爆后 (HB)	提 高 (%)
高锰钢斗唇块1*	BB-原	155	238	53.5
高锰钢斗唇块2*	BB-1	164	237	44.5
高锰钢斗唇块3*	BB-2	152	271	78.3

用BB-2炸药爆炸硬化新斗结果表 表5

斗 号	爆炸次数	爆炸硬 度 (HB)	爆后硬 度 (HB)	提 高 值		备 注
				绝 对 (HB)	相 对 (%)	
新斗30*	2	197	382	185	93.9	BB-2 炸 药, 打 磨
新斗31*	2	190	382	192	101.1	同 上
新斗45*	2	193	374	181	93.8	同 上
平 均		193	379	186	96.4	

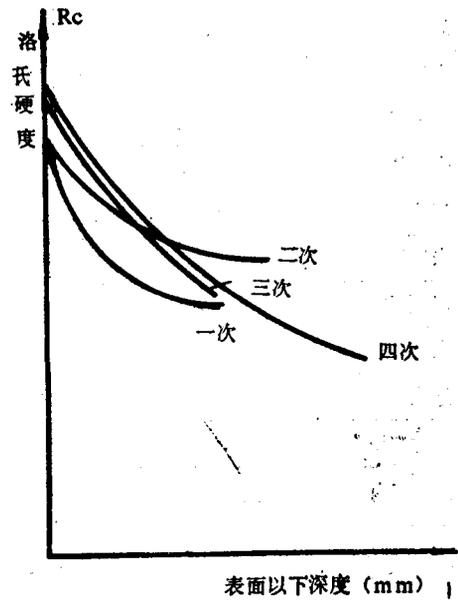


图3 板状炸药不同爆炸次数爆破效果

由于、斗唇铸件表面除有麻坑、夹渣外，而且还有一层极难清除的氧化层，使爆炸硬化效果有较大差异。所以，清除的氧化层，使爆炸硬化效果有较大差异。所以，在爆炸硬化前对挖斗斗唇一律用电动砂轮机打磨。表3表明，经打磨的挖斗斗唇明显好于未打磨的爆炸硬化效果。

四、试验斗生产运转过程的初步观测

将经过爆炸硬化后的试验斗与未经爆炸硬化的挖斗，同时按装在采金船上，选定量测基点，并用直角座标尺按期进行磨损量的测定，其测试结果列于表6、表7。

挖斗生产运转过程中的磨损情况 表6

挖斗类型	加工状况	运 天 转 数 (d)	磨损量(mm)		平均磨损量 (mm/d)	
			累 计	阶 段	累 计	阶 段
焊 接 斗	爆炸硬化	11	14.75	14.75	1.35	1.35
	未爆炸硬化		30.00	30.00	2.73	2.73
	爆炸硬化	24 (13)	19.25	4.50	0.74	0.35
	未爆炸硬化		40.00	10.00	1.67	0.77
	爆炸硬化	53 (29)	23.25	4.00	0.44	0.18
	未爆炸硬化		64.00	21.00	1.21	0.72
新 斗	爆炸硬化	11	20.00	20.00	1.82	1.82
	未爆炸硬化		30.00	30.00	2.72	2.72
	爆炸硬化	24 (13)	30.00	10.00	1.25	0.77
	未爆炸硬化		37.50	7.50	1.56	0.58
	爆炸硬化	39 (15)	36.80	6.80	0.94	0.45
	未爆炸硬化		42.50	5.00	1.09	0.33
	爆炸硬化	57 (18)	42.60	5.80	0.75	0.32
	未爆炸硬化		48.50	6.00	0.85	0.33

注：圆括弧内为阶段运转天数

不同类型挖斗生产运转前后的硬度 表7

挖斗类型	加工状况	平均硬度 (HB)	
		使用前	使用两月后
新 斗	爆炸硬化	295	354.8
	未爆炸硬化	161	339.5
焊 接 斗	爆炸硬化	325	343
	未爆炸硬化	162	299

从表中及观测分析可得：(1) 不论挖斗是否经过爆炸硬化，在装船运转后，其挖斗斗唇磨损的总趋势是：运转初期磨损量最大，随着运转时间的增长，磨损量减小，即耐磨性逐渐提高。这种规律完全符合高锰钢的冷加工特性；(2) 爆炸硬化后的焊接斗和新斗，初期磨损量分别为1.35mm/d和1.82mm/d，未爆炸硬化的挖斗初期磨损量分别为2.73mm/d和2.72mm/d。爆炸硬化后的初期磨损量较未爆炸硬化的挖斗耐磨性几乎提高一倍。这说明：用爆炸硬化技术提高挖斗的初期硬度是延长挖斗使用寿命的有效方法。且初期硬度越高，其耐磨性越好，使用寿命越长；(3) 通过现场观测，在生产运转过程中，挖斗斗唇口磨损最严重，其次是挖斗外侧，内侧磨损较轻。因此，在施行爆炸硬化时，要根据磨损部位确定布药位置及参数；(4) 挖斗不论是否经过爆炸硬化，经过装船生产运转后，其硬度均会提高。从表6可以看出，未经硬化的新斗，经过近两个月使用后，硬度由HB161达到HB339.5，此后硬度变化平缓，直至报废时才达到HB341。这个硬度并未达到高锰钢硬度的最佳值(HB450~500)。这同样也说明，采用爆炸硬化技术提高挖斗初期硬度的重要性。

参考文献

- [1] T.Z. 布拉齐恩斯基编,《爆炸焊接、成形与压制》,机械工业出版社,1988
- [2] 洪有秋等,“高锰钢爆炸硬化”,矿冶工程,1986, Vol.1,6, № 4,8~12
- [3] 赵士达等,高锰钢整铸辙叉爆炸予硬化的研究,《爆炸与冲击》,1982, № .1, 11~23
- [4] B.И. 鲍里索夫,《矿山设备零件的爆炸硬化》

编辑：李洪彦

Increasing working life of gold dredge by explosive
hardening techniques—a preliminary study

Liu Huasheng Long Weiqi Guo Anfu Pang Bingguan
(*Beijing University of Science and Technology*)

Yang qipu Huang Shourong
(*Baishui Gold Mine, Sichuan Province*)

Abstract: This paper discusses the selection, preparation, and working parameters of plastic plate charges, describes the operating procedure of applying blast hardening to the bucket and analyses its hardening results and its mechanism. Besides, the preliminary observations on wear and damage of bucket are made after application of hardening technique.

Keywords: gold dredge bucket; explosive hardening; plastic plate charges