

基于混料设计的 WC 基复合胎体性能研究

黄帆¹, 肖冬顺¹, 瞿霞², 赵小军³, 谭松成³

(1.长江岩土工程总公司(武汉),湖北武汉 430000; 2.中铁第四勘察设计院集团有限公司,湖北武汉 430063; 3.中国地质大学(武汉),湖北武汉 430074)

摘要:采用混料设计方法,研究了 WC、YG8、663-Cu 含量变化对 WC 基复合胎体抗弯强度的影响规律。3 种成分含量变化对抗弯强度有显著性影响,呈线性模型关系,得出了相应的回归方程。三者之间的影响大小是 YG8>WC>663-Cu;3 种成分含量变化对强度损失率影响很小,通过调整三者的成分比例,无法有效地提高胎体对金刚石的把持力。

关键词:混料设计;WC 基复合胎体;抗弯强度;把持力

中图分类号:P634.4⁺1;TG14 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)01-0089-04

Properties of WC-based composite matrix by mixture design

HUANG Fan¹, XIAO Dongshun¹, QU Xia², ZHAO Xiaojun³, TAN Songcheng³

(1.Changjiang Geotechnical Engineering Corporation, Wuhan Hubei 430000, China;

2.China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan Hubei 430063, China;

3.China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: The effect of the content changes of WC, YG8 and 663-Cu on the bending strength of the WC based composite is investigated by the mixture design. The content changes of the three components have significant effects on the bending strength of the matrix with or without diamonds, and the effects exhibits linear model relations. The related regression equations are obtained, and the order of the effect of the results is as follows: YG8>WC>663-Cu. Besides, the content changes have less effects on the bending strength loss rate, indicating that the diamond retention cannot be effectively improved by adjusting the proportion of WC, YG8 and 663-Cu in WC based composites.

Key words: mixture design; WC-based composite matrix; bending strength; diamond retention

0 引言

WC 基复合胎体具有烧结温度高、硬度和耐磨性好、对金刚石的热损伤小等特点,因而被广泛应用于金刚石钻头钻进比较坚硬的地层中^[1-4]。在 WC 基配方体系中,663-Cu 由于其较低的烧结温度,好的成形性和可烧结性,并且与 WC、Ni、Mn 等金属的相容性好,被广泛用作粘结剂^[2, 5-6]。在金刚石钻头中,胎体需要牢固地把持住金刚石。胎体对金刚石的把持力极大地决定了金刚石钻头的使用寿命

和工作性能^[7-9],而钻头的胎体性能主要取决于胎体配方^[10]。本文采用混料试验设计方法^[11-12],通过改变胎体配方中金属粉末的配比来进行试验,进而研究胎体配方变化对 WC 基复合胎体抗弯强度的作用规律,分析其对金刚石把持性能的影响大小。

1 实验方案设计

1.1 实验材料

WC 粉: 200 目,纯度 99.9%。663 青铜

收稿日期:2018-07-26; 修回日期:2018-11-30 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.01.016

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:41602373、41672364);中石油科技创新基金项目(编号:2016D-5007-0307);长江勘测规划设计研究院自主创新项目“水利水电工程大角度斜孔钻探及相关配套技术研究”

作者简介:黄帆,男,汉族,1991 年生,助理工程师,硕士,主要从事水利水电工程项目管理和砂卵石地层碎岩机理及取心技术研究工作,湖北省武汉市江岸区解放大道 1863 号长江设计乙楼 805 室,331938127@qq.com。

引用格式:黄帆,肖冬顺,瞿霞,等.基于混料设计的 WC 基复合胎体性能研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(1):89-92.

HUANG Fan, XIAO Dongshun, QU Xia, et al. Properties of WC-based composite matrix by mixture design[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(1):89-92.

(ZQSn663)粉:300目,纯度99.9%。硬质合金(YG8)粉:300目,纯度99.9%。锰(Mn)粉:200目,纯度99.9%。镍(Ni)粉:300目,纯度99.9%。金刚石:MBD₈,35/40目。

1.2 制备工艺

按照混料试验设计原理,采用 Design - Expert 软件对胎体配方进行了设计,其中 $0 \leq WC \leq 55\%$ 、 $0 \leq YG8 \leq 30\%$ 、 $20\% \leq 663 - Cu \leq 75\%$ 、 $15\% \leq (WC + YG8) \leq 70\%$ 、 $Ni = 5\%$ 、 $Mn = 5\%$,具体配方组成见表1。

表1 WC基复合胎体材料配方

Table 1 Formulation of WC-based composite matrix material %

编号	WC	YG8	Ni	Mn	663 - Cu
1	0	15	5	5	75
2	0	30	5	5	60
3	10	30	5	5	50
4	14	15	5	5	61
5	15	0	5	5	75
6	20	30	5	5	40
7	27	15	5	5	48
8	33	24	5	5	33
9	35	0	5	5	55
10	40	30	5	5	20
11	43	3	5	5	44
12	44	14	5	5	32
13	55	0	5	5	35
14	55	15	5	5	20

按照表1中的配方进行混料,然后使用 SM - 100A 型智能电阻炉对胎体试块进行烧结。在制备含金刚石节块时,金刚石的体积浓度为25%。试验用胎体试样规格为5 mm × 5 mm × 30 mm,模具材料为高强石墨。本次研究仅考虑不同胎体配方对胎体抗弯强度的影响,依据经验采用的烧结工艺参数为:烧结温度920 °C,保温时间4 min,烧结压力16 MPa,出炉温度650 °C。

采用三点弯曲法测抗弯强度,在 CTM2500 微机控制型电子万能材料试验机上进行。试样的加载速度为10~20 mm/min,跨距24.5 mm。每个配方烧制3个空白胎体试样,3个含金刚石试样。每种胎体材料配方的抗弯强度测试值为3个数据的平均值。胎体抗弯强度计算公式如式(1)所示:

$$\sigma = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad (1)$$

式中: σ ——胎体的抗弯强度,MPa; P ——试样断裂时的载荷,N; l ——支点间距,mm; b ——试样宽度,

mm; h ——试样高度,mm。

在金刚石工具中,一般采用强度损失率 q 来间接的表示胎体对金刚石把持能力的大小^[13-15],其计算公式如下:

$$q = \frac{\sigma_B - \sigma_D}{\sigma_B} \times 100\% \quad (2)$$

式中: σ_B ——不含金刚石时胎体块的抗弯强度,MPa; σ_D ——含金刚石时胎体块的抗弯强度,MPa。

2 实验结果与分析

2.1 空白胎体抗弯强度的方差与回归分析

抗弯强度测试的具体结果见表2。对空白胎体抗弯强度的实验数据进行方差与回归分析,发现线性混合模型的 P 值远小于0.05,关系显著;WC、YG、663 - Cu 三种成分交互作用的 P 值比0.05大得多,三者之间的交互作用很不显著(参见表3)。

表2 不同胎体配方的胎体抗弯强度测试结果

Table 2 Test results of bending strength of different matrix formulations MPa

胎体配方编号	σ_B	σ_D	胎体配方编号	σ_B	σ_D
1	778	436	8	950	518
2	925	498	9	860	486
3	907	538	10	1100	598
4	798	448	11	935	510
5	702	422	12	905	506
6	992	563	13	943	506
7	935	527	14	980	529

表3 方差与回归分析结果

Table 3 Variance and regression analysis results

变异度	平方和	自由度	均方差	F 值	P 值
模型	112900.00	5	22584.10	13.17	0.0011
线性混合模型	107000.00	2	53484.06	31.20	0.0002
WC * YG8	4045.99	1	4045.99	2.36	0.1630
WC * 663 - Cu	221.91	1	221.91	0.13	0.7283
YG8 * 663 - Cu	1839.73	1	1839.73	1.07	0.3305

3种胎体成分含量变化对空白胎体抗弯强度的影响存在线性模型关系。设定WC、YG8和663 - Cu的质量分数分别为 $X_1\%$ 、 $X_2\%$ 和 $X_3\%$,回归方程为:

$$\sigma_B = 11.90X_1 + 14.47X_2 + 7.49X_3 \quad (3)$$

由于 $X_1\% + X_2\% + X_3\% = 90\%$,故回归方程可以降低维处理,如下式所示:

$$\sigma_B = 4.41X_1 + 6.98X_2 + 674.1 \quad (4)$$

对回归方程与实际数据进行对比,可以直观的

看到拟合效果很好(如图 1 所示)。另外从回归方程可知,从对抗弯强度的影响效果来看, $YG8 > WC > 663 - Cu$;随着胎体成分中 WC、YG8 含量的增加,胎体的抗弯强度增加;随着 663 - Cu 含量的增加,胎体的抗弯强度减小。

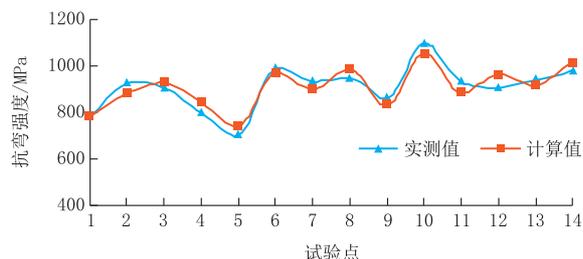


图 1 空白胎体抗弯强度回归方程拟合效果

Fig.1 Fitting effect of regression equation of bending strength of matrix without diamond

2.2 含金刚石胎体抗弯强度的方差与回归分析

对含金刚石的胎体进行方差和回归分析发现,线性模型显著。胎体成分对含金刚石胎体的抗弯强度影响的回归方程如式(5)所示,拟合效果如图 2 所示。

$$\sigma_B = 6.32X_1 + 7.94X_2 + 4.41X_3 \quad (5)$$

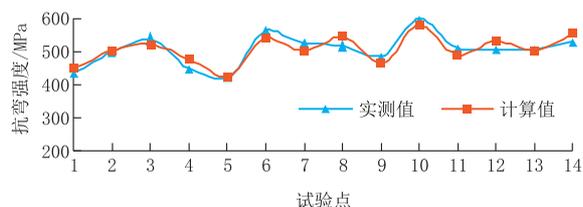


图 2 含金刚石胎体抗弯强度回归方程拟合效果

Fig.2 Fitting effect of regression equation of bending strength of matrix with diamond

从回归方程可以看出,对含金刚石胎体的抗弯强度影响大小是 $YG8 > WC > 663 - Cu$;随着胎体成分中 WC、YG8 含量的增加,含金刚石胎体的抗弯强度增加;随着 663 - Cu 含量的增加,含金刚石胎体的抗弯强度减小。

比较空白胎体和含金刚石胎体的抗弯强度,发现 WC 基复合胎体成分含量的变化对其影响比较一致,而对强度损失率的影响则不同(见图 3)。WC、YG8、663 - Cu 对抗弯强度都有显著性影响,但是对强度损失率的影响不大。强度损失率的方差分析验证了这一点,没有任何影响因素的 F 值 < 0.05 (见表 4)。这意味着 WC 基复合胎体 WC、YG8、663 - Cu 含量的变化对金刚石把持力能力的影响很小,不显著。只通过调整三者的成分比例,无法有效

地改善胎体对金刚石的粘结状态,提高胎体对金刚石的把持力。

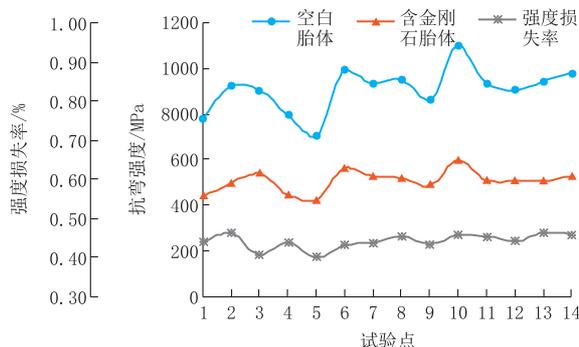


图 3 试样的抗弯强度与强度损失率

Fig.3 Bending strength and strength loss rate of specimens

表 4 强度损失率的方差与回归分析结果

Table 3 Variance and regression analysis results of strength loss rate

变异度	平方和	自由度	均方差	F 值	P 值
模型	0.002761000	5	0.000552300	1.980	0.1861
线性混合模型	0.001545000	2	0.000772300	2.770	0.1218
WC * YG8	0.000004732	1	0.000004732	0.017	0.8996
WC * 663 - Cu	0.000352200	1	0.000352200	1.260	0.2936
YG8 * 663 - Cu	0.000170800	1	0.000170800	0.610	0.4563

3 结论

本文采用混料设计的方法,研究了 WC 基复合胎体中 WC、YG8、663 - Cu 含量变化对抗弯强度以及把持性能的影响规律。WC、YG8、663 - Cu 含量变化与空白胎体的抗弯强度、含金刚石胎体的抗弯强度之间的变化规律大体一致;WC、YG8、663 - Cu 含量变化对胎体抗弯强度有显著性影响,呈线性模型关系,并且得到了相应的回归方程;对胎体的抗弯强度影响大小是 $YG8 > WC > 663 - Cu$;WC、YG8、663 - Cu 含量变化对强度损失率影响不显著,只通过调整三者的成分比例,无法有效地改善胎体对金刚石的粘结状态,提高胎体对金刚石的把持力。本文的研究对于 WC 基复合胎体抗弯强度的定量评价有一定的指导意义。

参考文献 (References):

[1] 王帅,吕智,林峰,等.Sn 含量对 WC 基金刚石钻头的性能影响研究[J].超硬材料工程,2014,26(4):5-9.
WANG Shuai, LÜ Zhi, LIN Feng, et al. Study of the influence of Sn content on the performance of WC-base diamond drill bit[J]. Superhard Material Engineering, 2014,26(4):5-9.

[2] 王帅,吕智,林峰,等.WC 含量对金刚石钻头胎体性能的影响

- 研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2014, 34(6): 16-21.
WANG Shuai, LÜ Zhi, LIN Feng, et al. Effect of WC content on the properties of impregnated diamond bit matrix [J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2014, (6): 16-21.
- [3] 金鑫. 新型热压 WC-Fe 基金刚石钻头钻进试验[J]. 煤田地质与勘探, 2014, (6): 117-120.
JIN Xin. Drilling test of new type of hot pressed tungsten carbide and iron-based diamond bit[J]. Coal Geology & Exploration, 2014, (6): 117-120.
- [4] 马银龙, 孙友宏, 高科, 等. 热压碳化钨基复合胎体材料性能试验[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2013, (1): 207-211.
MA Yinlong, SUN Youhong, GAO Ke, et al. Experiment on WC matrix composites performance prepared by hot-pressing sintering[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2013, (1): 207-211.
- [5] 杨展. 预合金粉胎体钻头性能的研究[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版), 2013, 34(1): 71-75.
YANG Zhan. Performance of diamond bit matrix fabricated by pre-alloyed powder materials[J]. Journal of Qingdao University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2013, 34(1): 71-75.
- [6] 侯传彬, 郭铁峰, 张祖培, 等. 对我国金刚石钻头胎体经典配方的理论优化和建议[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(8): 58-59.
HOU Chuanbin, GUO Tiefeng, ZHANG Zupei, et al. Theoretical optimization of typical diamond bit formula[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2005, 32(8): 58-59.
- [7] 赵小军, 段隆臣, 契霍特金. V. F., 等. 金属胎体对金刚石把持力的概述[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2015, 35(6): 41-46, 50.
ZHAO Xiaojun, DUAN Longchen, CHIKHOTKIN V.F., et al. Summary on holding force of metallic matrix to diamond [J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2015, (6): 41-46, 50.
- [8] 肖长江, 栗正新, 邓相荣, 等. 铜基结合剂金刚石节块的烧结和性能研究[J]. 工具技术, 2011, 45(10): 24-26.
XIAO Changjiang, LI Zhengxin, DENG Xiangrong, et al. Sintering and properties study of Cu-matrix bonding diamond tool bits[J]. Tool Engineering, 2011, 45(10): 24-26.
- [9] 周玉梅, 张凤林. 金属基金刚石工具中胎体对金刚石的包镶能力[J]. 工具技术, 2010, 44(7): 20-23.
ZHOU Yumei, ZHANG Fenglin. Diamond-wrapped inlay ability of diamond tools with metal matrix[J]. Tool Engineering, 2010, 44(7): 20-23.
- [10] 黄垒, 李宏伟, 杨凯华. 铁基金刚石钻头胎体配方的混料试验设计研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2010, 30(4): 62-66.
HUANG Lei, LI Hongwei, YANG Kaihua. Design of mixture experiments of iron-based matrix formula for diamond bit[J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2010, 30(4): 62-66.
- [11] 阎冠欣. 热压高磷铁基胎体性能及其金刚石钻头研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(5): 75-77.
YAN Guanxin. Study on the performance of hot pressed high phosphorus iron alloy matrix and the diamond bit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36(5): 75-77.
- [12] 方小红, 潘秉锁, 杨凯华. 极端顶点设计在热压金刚石工具胎体配方试验中的应用[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2008, 28(2): 33-36, 40.
FANG Xiaohong, PAN Bingsuo, YANG Kaihua. Application of extreme vertices design in matrix formula experiment for hot pressing diamond tools[J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2008, 28(2): 33-36, 40.
- [13] 肖长江, 栗晓龙, 李娟, 等. 镀钛对金属结合剂金刚石节块把持力的影响[J]. 电镀与涂饰, 2016, 35(8): 407-410.
XIAO Changjiang, LI Xiaolong, LI Juan, et al. Effect of titanium coating on holding force of metal-bonded diamond segment[J]. Electroplating & Finishing, 2016, 35(8): 407-410.
- [14] 肖长江, 李娟, 栗正新. 铬对金刚石润湿性和把持力的影响[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2015, 35(2): 33-36, 41.
XIAO Changjiang, LI Juan, LI Zhengxin. Effect of Cr on wettability and holding force in Al/diamond system[J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2015, 35(2): 33-36, 41.
- [15] 何锋, 谢德龙, 周新翔, 等. Fe 和 WC 两种骨架相对金刚石地质钻头性能的影响研究[J]. 超硬材料工程, 2016, 28(1): 15-18.
HE Feng, XIE Delong, ZHOU Xinxiang, et al. Study of the influence of Fe and WC framework phases on the performance of geological diamond bits[J]. Superhard Material Engineering, 2016, 28(1): 15-18.

(编辑 王建华)