



聚羧酸减水剂对超细全尾砂膏体性能的影响

饶运章^{1,2}, 邵亚建¹, 肖广哲^{1,2}, 孙翔¹, 黄永刚¹

(1. 江西理工大学 资源与环境工程学院, 赣州 341000;

2. 江西理工大学 江西省矿业工程重点实验室, 赣州 341000)

摘 要: 针对超细全尾砂-水泥胶结膏体充填料浆黏性大、和易性差, 其满足充填输送要求时充填体强度低的问题, 通过不同掺量聚羧酸高效减水剂对膏体料浆流动度、坍落、泌水率及其充填体抗压强度影响的试验研究, 并借助 XRD 能谱分析和电镜扫描(SEM)方法, 从微观角度揭示减水剂提到充填体强度机理。结果表明: 掺量 0.5%(质量分数)的聚羧酸高效减水剂可使质量分数为 70%~76%膏体充填料浆的流动度、坍落度有效增加; 料浆泌水率明显提高, 但不会发生严重离析; 充填体微观上水泥水化凝胶更多, 尾砂颗粒因水化凝胶“包裹”作用形成更大的晶体颗粒, 且颗粒分布更为均匀、孔隙更小、结构更为致密, 宏观上初期/长期强度显著提高, 最高达 50%; 同时, 减水剂掺量小于 0.5%为“安全掺量”, 对充填体强度不会造成劣化影响。

关键词: 聚羧酸减水剂; 膏体充填; 超细全尾砂; 流动性; 充填体强度; 微观机制

中图分类号: TD853; X753

文献标志码: A

以全尾砂膏体或高浓度充填能够显著改善充填体强度、降低胶结剂用量、减少采场脱水和改善采场作业环境, 国内外充填采矿技术研究中呈井喷趋势^[1]。对于超细全尾砂充填材料, 试验表明质量分数 70%的料浆 20 min 内泌水率仅为 2.2%左右即可定义为膏体^[2], 该浓度灰砂比为 1:10 的膏体, 其充填体 28 d 强度低(仅为 0.29 MPa)。质量分数提高至 76%的膏体和易性差, 坍落度仅为 65 mm 左右, 基本不具备输送性能。超细全尾砂制成的充填膏体料浆黏性大、和易性差且硬化后的充填体强度低, 制约其在矿山推广。国内外学者针对超细全尾砂处置展开研究^[3-7], 规避尾砂分级、脱泥造成的尾砂利用率低和泥质尾砂筑坝易失稳的风险后, 认为添加改性材料——减水剂是一种提高充填料浆浓度、和易性及充填体强度的有效方法。

李林等^[8]认为, 对于低浓度充填料浆(质量分数 50%)而言, 聚羧酸减水剂对料浆流动性有一定增益, 但充填体强度增益不大。张钦礼等^[9-10]针对介于固液两相流与柱塞均质结构流之间的似膏体胶结充填材料, 认为减水剂对其减水效果明显。杨志强等^[1]认为, 对于膏体(或高浓度)充填料浆, 减水剂掺量存在“临界掺量”, 超过临界值充填体强度随之降低。何廷树等^[11]对不同级配的(全/分级)尾砂高浓度(质量分数为

72%)充填材料展开研究, 认为相同减水剂掺量下颗粒级配更均匀的全尾砂料浆在沉降速率、流动度以及充填体强度表现更优。李宏泉等^[12]从膏体流变学特性入手, 阐明减水剂可有效降低膏体屈服应力和塑性粘度, 减少膏体输送阻力。范作鹏等^[13]研究表明, 高效减水剂使得全尾砂充填体粒级分布均匀, 整体性好, 稳定性高, 可代替分级尾砂。郑娟荣等^[14]阐明全尾砂膏体充填料中的胶结组分——水泥、炉渣、粉煤灰、石灰粉, 有各自颗粒分散性最好的减水剂种类。李典等^[15]为最优配比, 借助可直观判别优化区域的响应面法确定减水剂的最佳掺量。高峰等^[16]采用基于指标满意度的多指标正交试验综合评价模型确定减水剂的最优掺量。上述研究多从减水剂种类和掺量、料浆浓度、尾砂级配和胶结剂种类等多方面对全尾砂料浆和易性、抗压强度变化规律进行探究, 但对于全尾砂料浆和易性提高的物理、化学机理分析较少, 而对掺加减水剂超细全尾砂充填材料演化成岩和强度增益的物理、化学及其耦合分析则更鲜有报道。

本文作者以超细全尾砂膏体与聚羧酸高效减水剂(简称聚羧酸系)为核心, 探究不同减水剂掺量对超细全尾砂膏体料浆的流动度、坍落度、泌水率 3 个和易性参数及其抗压强度的影响规律, 并借助 SEM、XRD

分析手段分析充填体微观结构、粉质物相进而揭示充填体强度增益机理，为确定膏体合理配比提供理论依据。

1 实验

1.1 实验材料及设备

实验用尾砂取自某金矿全尾砂，其粒度组成、基本物理性质如表 1 和 2 所列。该矿全尾砂粒度超细，粒径<75 μm 的含量为 90%(其中<37 μm 的含量达 65.3%)， d_{50} =20.1 μm(中值粒径)， d_{90} =76.0 μm，远小于一般矿山所用充填尾砂粒度。且按土力学粒径级配评价方式，不均匀系数 17.29，曲率系数 0.98，级配不良。与水泥混合制成的高浓度浆体黏性大、不易输送，质量分数为 76%的浆体坍落度仅为 60 mm 左右，基本不具备输送性能。低浓度充填时，灰砂易离析，充填体脱水困难，初凝/终凝时间长且强度不高，满足强度要求时水泥消耗大。

表 1 全尾砂粒度组成

Table 1 Particle size composition of full tailings					
<5 μm	5–10 μm	10–19 μm	19–37 μm	37–74 μm	>74 μm
21.0%	13.5%	14.8%	16.0%	24.9%	9.8%
d_{10}	d_{50}	d_{90}	d_{ave}		
2.3 μm	20.1 μm	76.0 μm	30.45 μm		

表 2 全尾砂基本物理性质

Table 2 Basic physical properties of full tailings					
Specific density/ (t·m ⁻³)	Loose density/ (t·m ⁻³)	Compacted density/ (t·m ⁻³)	Loose porosity/ %	Compacted porosity/ %	Moisture content (Air-dry)/ %
2.81	1.025	1.396	63.5	50.3	2.0

水泥为“圣塔牌”复合硅酸盐水泥(标号 P.C 32.5R)，减水剂为聚羧酸高性能减水剂母液(固含量 20%)，水为自来水。

1.2 实验方案

根据文献对于水泥基的尾砂充填料浆聚羧酸减水剂对其分散效果最佳，且需用掺量最小。减水剂掺量在水泥质量的 0.3%左右即可达到最大浆体流动度^[14]。从水泥颗粒表面吸附行为角度，聚羧酸减水剂在水泥颗粒表面的饱和吸附量为 1.45~3.7 mg/g^[17–18]，即掺量

在水泥质量的 1.45%~3.7%时可将水泥颗粒最大限度分散，故实验中减水剂掺量设计在 0.1%~0.5%之间。充填料浆静置过程中，相对密度较大的尾矿下沉，相对密度较小的毛细/自由水上浮从料中将分泌出来，即泌水。泌水率反应充填料浆均匀、离析、沉淀等性能，是影响高浓度料浆流动性的重要因素^[19]。试验研究减水剂对超细全尾砂膏体充填材料流动度、坍落度、泌水率及其充填体(初期/长期)强度的影响规律，并寻得满足充填要求减水剂合理掺量。

试验采用 2 因素 4 水平全面试验设计方案，因素分别为料浆浓度，减水剂掺量，并分别设置 4 个水平，共进行 16 组灰砂比为 1:10 的配比试验^[20]，减水剂掺量指胶结剂质量分数，具体试验因素及水平如表 3 所列。

表 3 正交试验因素水平

Table 3 Factors level of orthogonal test		
Level	Concentration/%	Dosage/%
1	70	0
2	72	0.1
3	74	0.3
4	76	0.5

1.3 实验步骤

1) 膏体制备。按实验方案准确称量各组水泥、全尾砂、水、减水剂，减水剂充分溶于水并置于搅拌容器内，水泥与全尾砂干粉状态下充分混合均匀而后倒入搅拌容器。而后再将其安放到 JJ-5 型行星式水泥胶砂搅拌机，启动搅拌机自动控制程序，搅拌 180 s 制成充填膏体。

2) 流动度测试。参照 GB/T 2419–2005《水泥胶砂流动度测定方法》及文献[14]，利用 NLD-3 型水泥砂浆流动度测定仪进行全尾砂充填膏体的流动度测试。

3) 坍落度测试。参照 DL-T 5150–2001《水工混凝土试验规程》，利用 TLY-1 型坍落度筒进行全尾砂膏体坍落度测试。

4) 泌水率测试。参考 DL-T 5150–2001《水工混凝土试验规程》及文献[19]，制好的膏体导入 300 mL 烧杯中并称量质量，而后迅速将棉纱铺在膏体表面，同时使用多层滤纸吸取泌出的水分，并使用精度为 1 mg 天平称量泌出水分质量。分 9 次吸取，每次吸取 2 min 再间隔 8 min，最终算膏体 90 min 内最终泌水率。

5) 试件浇注。将制备好的充填膏体注入 d 50

mm×100 mm 圆柱形模具, 为保证试块浇注过程中不发生沉淀, 采用边搅拌、边注模的浇注方式。

6) 试件脱模。温度(20±1)℃、湿度不低于 90% 的养护箱(JBY-60B 型)内养护 48 h 后脱模, 脱模后对试件编号后继续养护至指定龄期。

7) 强度测试。利用 RMT-150C 岩石力学试验系统以 5 N/s 连续匀速加载方式测充填体力学参数。

8) 电镜扫描。将充填体试件折断, 取内部断面制样后, 利用 ML650-F 型扫描电镜观测其形貌特征。

9) XRD 衍射。取充填体内部碎块研碎粉质后, 利用 SMART APEX-II 型衍射仪检测水化凝胶含量。

2 实验结果

2.1 减水剂对超细全尾砂膏体和易性影响

试验测得不同浓度充填膏体在不同减水剂掺量下的和易性参数(流动度、坍落度、沁水率)及各参数相

对于参照组(未掺加减水剂)增加比例关系见图 1~3, 可得充填膏体的流动度随减水剂掺量的增加而提高, 浓度越高其流动度提高的幅度越大, 如图 1 所示。针对提高幅度而言, 减水剂掺量 0.1%~0.5% 范围内, 各浓度膏体流动度提高幅度不大, 尤其质量分数为 70% 的料浆提高幅度仅为 3.3%~6.0%。针对提高趋势而言, 质量分数为 70% 时, 流动度在减水剂掺量 0.3% 及以上时趋于稳定值。质量分数为 72%~76% 时, 流动度与减水剂掺量呈线性递增关系。减水剂对充填膏体坍落度的影响规律与流动度的类似, 但相同减水剂掺量下各浓度膏体的坍落度提高幅度相对于流动度更大, 如图 2 所示。

充填膏体泌水率随减水剂掺量的增加而提高, 但浓度 70%~76% 的料浆 90 min 内泌水率都在较低水平(2.0%~6.4%)。不同浓度料浆沁水率提高比例规律不明显, 超细全尾砂骨料的泌水过程复杂, 受多个因素影响, 如饱和率^[21]、充填物料容重、颗粒级配、水泥水化初凝等。减水剂作用下, 水分从絮凝团中释放出

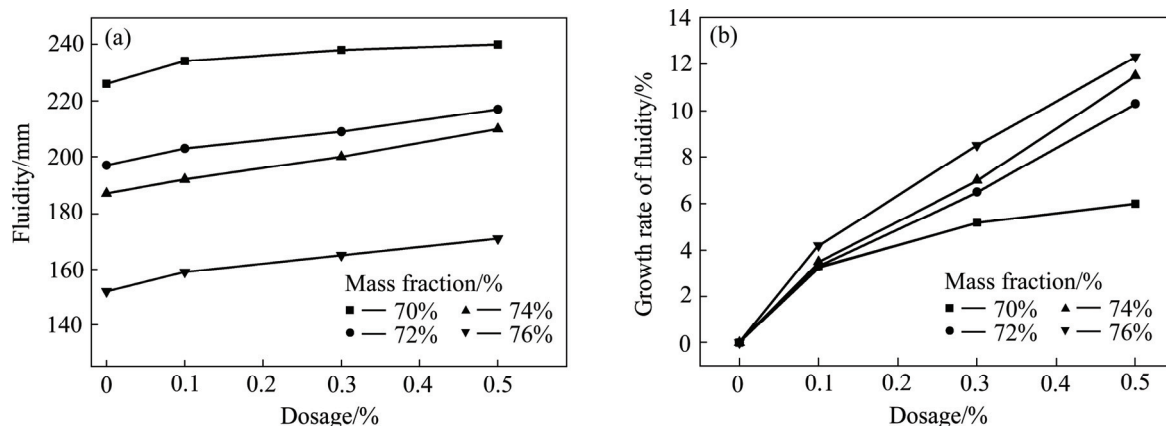


图 1 不同减水剂掺量下料浆流动度及其增加比例的关系

Fig. 1 Relationship between fluidity and growth rate at different dosages: (a) Fluidity; (b) Growth rate of fluidity

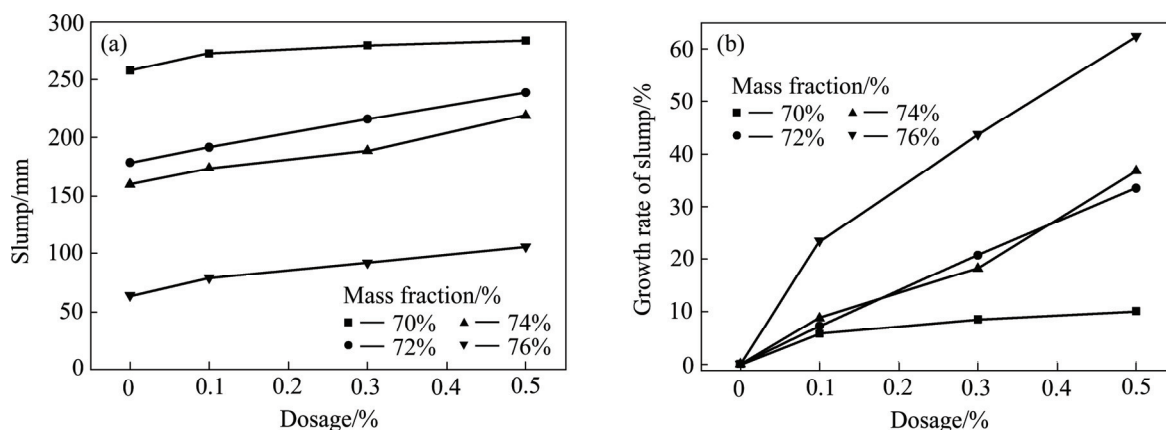


图 2 不同减水剂掺量下料浆坍落度及其增加比例的关系。

Fig. 2 Relationship between slump and growth rate at different dosages: (a) Slump; (b) Growth rate of slump

来,但在各因素影响下不能直接泌出,以致泌水率提高比例无规律性。

2.2 减水剂对超细全尾砂充填体强度影响

试验测得膏体不同减水剂掺量的充填体强度结果及其相对于参照组强度增加比例见图 4~6,可得在减水剂作用下,各养护龄期不同浓度的充填体强度都有显著提高。针对强度提高幅度,具有浓度越低减水剂掺量越高,充填体强度提高幅度越大的趋势。对于质量分数为 70%~74% 养护龄期 14 d 的充填体强度随减水剂掺量从 0.3% 至 0.5% 并没有提高。由此可以认为,减水剂的保水性致使充填体保持更高含水率,影响水泥凝胶凝结硬化程度,从而延缓了充填体强度的增长,因此在质量分数为 70% 养护 28 d、90 d 时该现象逐渐消失,并且质量分数为 76% 的充填体含水率已在较低水平,也就不会出现明显的减水剂“缓凝”现象。

养护龄期延长,充填体强度提高显著。针对减水剂对充填体强度的提高效应,养护龄期延长,充填体

强度提高效应会减弱,即充填体长期(90 d)强度提高幅度弱于早期(14 d)和中期(28 d)。如:质量分数 70% 减水剂掺量 0.1%~0.3% 的充填体养护龄期 90 d 强度提高幅度分别为 22.11%~44.51%,养护龄期 14 d、28 d 强度提高幅度为 47.79%~51.32%、44.79%~58.68%。

2.3 减水剂对超细全尾砂充填体物相分析与微观结构影响

图 7 所示为充填体试件浓度、养护龄期相同(分别为 70%、90 d)不同减水剂掺量下的 XRD 谱。从图 7 中可得,试件养护 90 d 后,掺加 0.5% 减水剂的充填体在 2θ 为 28.5° 和 45.2° 处峰值更高,说明此时 C-S-H 凝胶含量更多;即水泥水化更充分,水化生成的凝胶更多,从而为聚羧酸减水剂提高充填体强度提供物质基础。

通过 SEM 观测可以直观的获取充填体内部颗粒、水泥水化产物的形貌特征,对比结构的均匀性、致密程度、水泥水化凝胶的形态^[22]。选取强度提高最为明

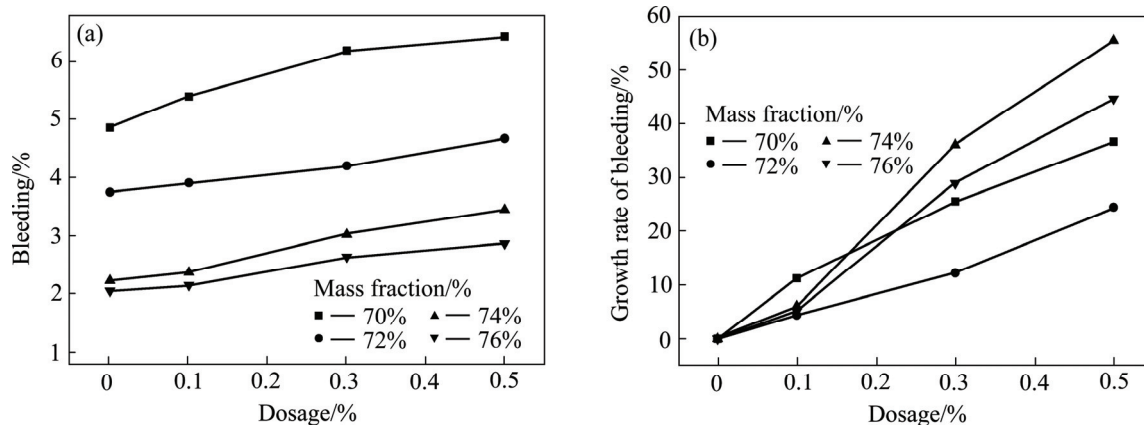


图 3 不同减水剂掺量下料浆泌水率及其增加比例的关系

Fig. 3 Relationship between bleeding and growth rate at different dosages: (a) Bleeding; (b) Growth rate of bleeding

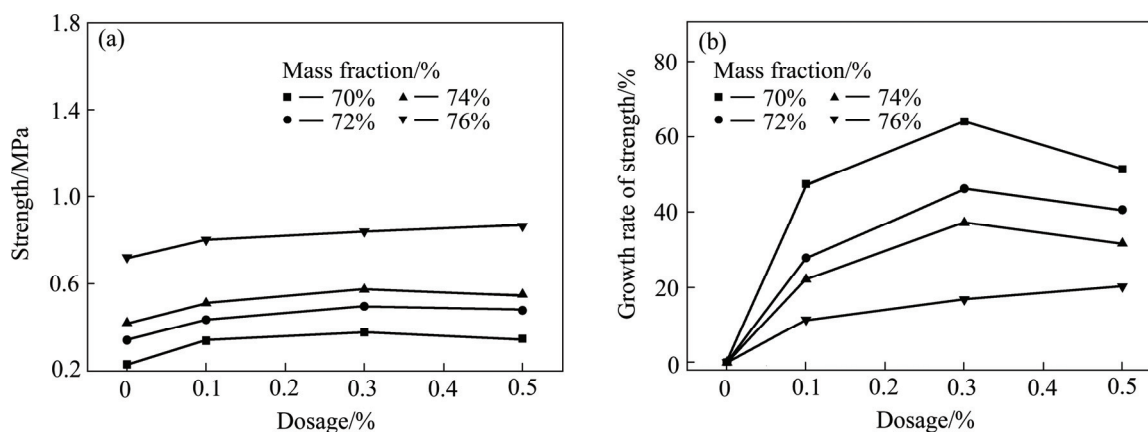


图 4 充填体强度(14d)与减水剂掺量的关系

Fig. 4 Relationship between compress strength (14 d) and dosage: (a) Strength; (b) Growth rate of strength

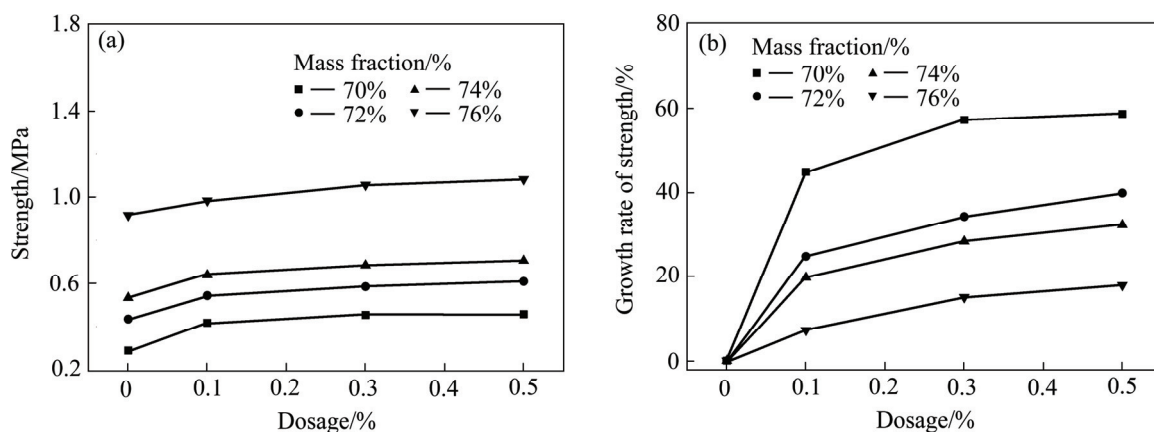


图 5 充填体强度(28 d)与减水剂掺量的关系

Fig. 5 Relationship between compress strength (28 d) and dosage: (a) Strength; (b) Growth rate of strength

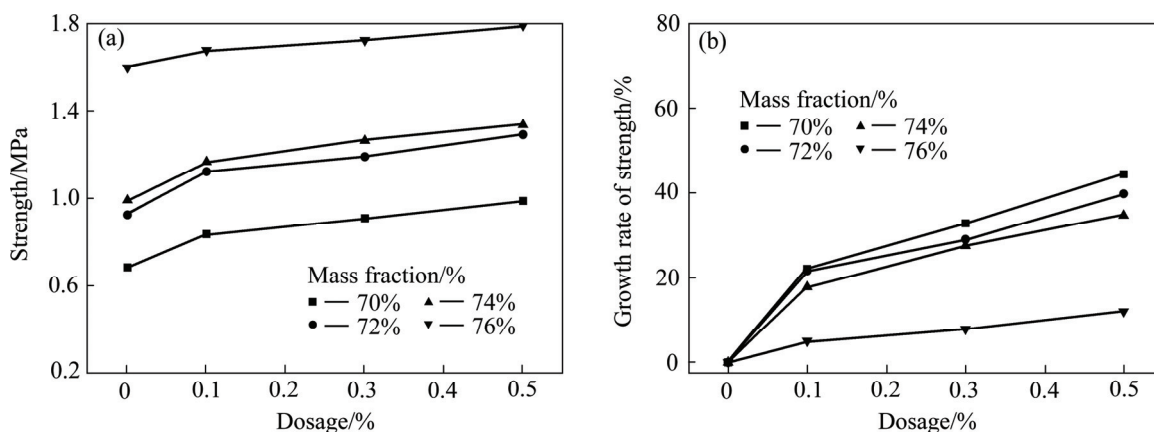


图 6 充填体强度(90 d)与减水剂掺量的关系

Fig. 6 Relationship between the compress strength (90 d) and dosage: (a) Strength; (b) Growth rate of strength

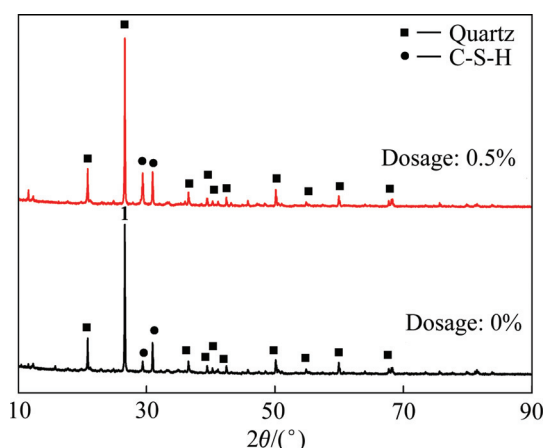


图 7 充填体 XRD 衍射谱

Fig. 7 XRD patterns of backfill body

显的两组试件内部断面(不做打磨/粉质处理)进行 SEM 观察, 其结果见图 8。两组浓度、养护龄期相同, 分别为 70%、90 d, 减水剂掺量不同。结果表明: 未

参加减水剂的充填体孔隙中填充着针状晶体, 尾砂颗粒间少量 C-S-H 凝胶粘结, 直观表现结构比较松散; 掺加减水剂的充填体尾砂/水泥颗粒分布均匀, 加之聚羧酸减水剂对水泥的促水化作用^[23], 颗粒表面仅有少量针状晶体, 而是主要由水化凝胶以“膜”的形式包裹并彼此联结^[24], 使尾砂颗粒因凝胶包裹而形成明显更大的“晶体颗粒”, 且颗粒分布均匀, 充填体孔隙更少, 微观结构更为致密, 宏观充填体强度增大。

3 讨论与分析

3.1 对超细全尾砂膏体和易性影响分析

充填膏体作为一种流体, 在受到外部剪切力作用时发生流动变形, 内部相应产生对变形的抵抗, 并以摩擦的形式表现出来^[25-26](见图 9)。由图 9 可知, 聚羧酸减水剂加入水泥基充填料浆中, 会优先吸附到水泥

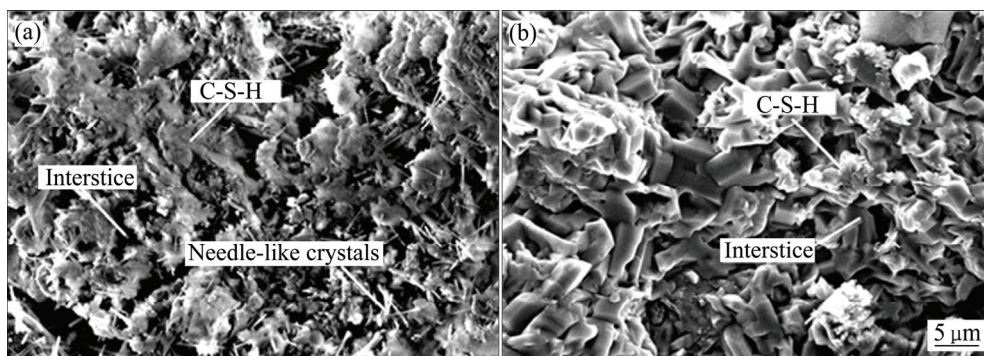


图 8 不同减水剂掺量充填体断面的 SEM 像

Fig. 8 SEM images of backfill section with different dosages: (a) Dosage of 0; (b) Dosage of 0.5%

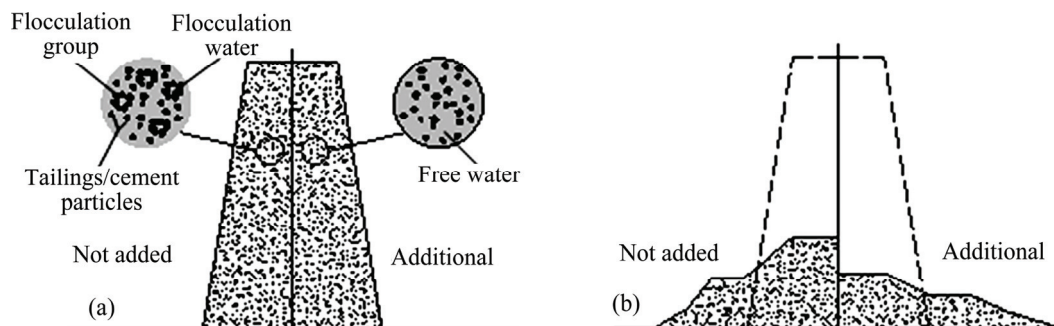


图 9 充填体流动性提高的机理

Fig. 9 Mechanism of paste slump raise of backfill body: (a) Stationary state; (b) Flow state

颗粒表面，使其彼此分散开来，抑制膏体中水泥颗粒间、水泥-尾砂颗粒间的絮凝团状结构，释放絮凝团中包裹水而形成自由水^[27]，释放的自由水一部分附着在固体颗粒表面，剩余部分游离到固体颗粒之间，从而发挥减水“降低浓度”的作用。此时，对絮凝团的浮力消失，在重力作用下分散的固体颗粒下沉，游离的自由水由颗粒孔隙间上浮泌出，使泌水率增加。

聚羧酸减水剂提高超细全尾砂膏体流动性主要作用：1) 未掺加减水剂的膏体会存在较多絮凝团，因絮凝团内含包裹水以致其密度小于分散尾砂/水泥固体颗粒，在重力作用下转为流动状态，絮凝团间或絮凝团与分散的固体颗粒间发生更多相对位移，相同坍落度下摩擦损失更大；2) 掺加减水剂的膏体絮凝团更少，自由水得以释放，宏观表现为膏体更为均质，流动状态下降低膏体内絮凝团间、絮凝团与固体颗粒间产生“大颗粒”摩擦的机会；3) 减水剂作用释放的自由水包裹膏体中的固体颗粒并填充颗粒间隙，流动状态下发挥“润滑”作用，降低膏体的屈服应力，直接减少颗粒间摩擦阻力。

3.2 对超细全尾砂充填体强度影响分析

聚羧酸减水剂对于充填体强度存在“临界掺量”，即掺量小于临界值，减水剂掺量与充填体强度呈正相关，大于临界值则负相关。试验表明在掺量小于 0.5% 范围内，聚羧酸减水剂可有效提高超细全尾砂充填体强度。机理分析：1) 减水剂可以使水泥颗粒分散致使充填料浆中胶结材料分散更为均匀，并且尾砂粒度细依旧保持悬浮状态，硬化后的充填体无或较少由絮凝团状结构硬化产生的细观“结构面”或损伤，在荷载下减少应力集中，从而稳定性更高强度更大^[28](见图 10)。2) 减水剂促进水泥水化程度，使充填体中水化硅酸钙凝胶及氢氧化钙的生成总量增大，可更加充分胶结尾砂颗粒，从而提高充填体强度。3) 在一定范围内，减水剂增加充填料浆泌水同时会使得沉降硬化后膏体的实际固体浓度增大，充填体孔隙率减小且结构更加致密，益于充填体强度。4) 减水剂作用下超细全尾砂膏体泌水率小于 6.0%，仍保持较好黏性、悬浮性，即未发生严重泌水、沉降、离析现象，其充填体依旧保持均质状态，充填体强度亦未发生劣化现象。

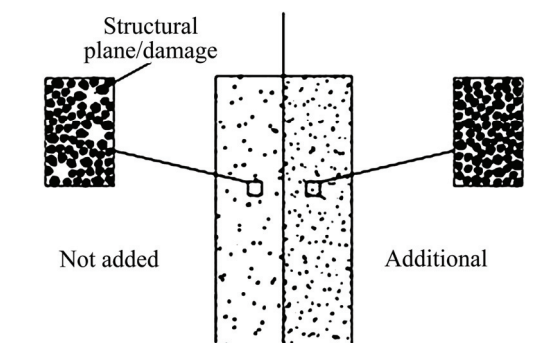


图10 充填体强度增益机理

Fig. 10 Mechanism of filling body strength raise

4 结论

1) 聚羧酸减水剂通过对水泥的分散作用抑制水泥/尾砂颗粒吸附形成絮凝团并释放出自由水,降低膏体屈服应力,减少膏体流动状态下的摩擦阻力,提高其流动性。

2) SEM 观测充填体内部断面,聚羧酸减水剂有效减少絮凝团硬化形成的充填体“结构面”,尾砂颗粒因凝胶包裹而形成明显更大的“晶体颗粒”,且颗粒分布均匀,并在未发生严重泌水、沉降、离析的情况下充填体孔隙更少,微观结构更为致密。

3) XRD 衍射分析可知,聚羧酸减水剂使充填体内水泥水化更充分,水化生成的 C-S-H 凝胶更多,更有效地将尾砂颗粒包裹、联结,从而为聚羧酸减水剂提高充填体强度提供物质基础。

4) 对于超细全尾砂为充填骨料的充填膏体,减水剂掺量小于 0.5% 为“安全掺量”,不会对其充填体强度造成劣化影响。为此,超细全尾砂膏体充填推荐配比为质量分数 72%~74%,灰砂比 1: 10,聚羧酸减水剂掺量 0.5%,此时料浆坍落度 219~239 mm,充填体 28d 抗压强度 0.6~0.7 MPa,两者与参照组相比提高 25%~35%。

5) 聚羧酸减水剂掺量 0.5% 的充填膏体其泌水率确有提高,但未出现严重泌水、沉降和离析,因此,未造成充填体强度劣化。对于超细全尾砂充填骨料,仅依据聚羧酸减水剂在水泥颗粒表面的饱和吸附量 (1.45~3.7 mg/g) 确定掺量过于保守,试验结果推断聚羧酸减水剂的“临界掺量”要大于 0.5%。

REFERENCES

[1] 杨志强,王永前,高 谦,陈得信,姚维信. 泵送减水剂对尾

砂-棒磨砂膏体料浆和易性与充填体强度影响研究[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2015, 43(1): 129-134.

YANG Zhi-qiang, WANG Yong-qian, GAO Qian, CHEN De-xin, YAO Wei-xin. Research on pumping water reducing agent affecting on the strength of backfilling body and workability of paste slurry with tailing and rod grinding sand[J]. Journal of Fuzhou University(Natural Science Edition), 2015, 43(1): 129-134.

[2] 王洪江,王 勇,吴爱祥,翟永刚,焦华喆. 从饱和率和泌水率角度探讨膏体新定义[J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33(6): 85-89.

WANG Hong-jiang, WANG Yong, WU Ai-xiang, ZHAI Yong-gang, JIAO Hua-zhe. Research of paste new definition from the viewpoint of saturation ratio and bleeding rate[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2011, 33(6): 85-89.

[3] 吴爱祥,杨盛凯,王洪江,焦华喆,肖云涛. 超细全尾膏体处置技术现状与趋势[J]. 采矿技术, 2011, 11(3): 4-7, 18.

WU Ai-xiang, YANG Sheng-kai, WANG Hong-jiang, JIAO Hua-zhe, XIAO Yun-tao. Actuality and trend of super fine tailing paste backfill disposal technology[J]. Mining Technology, 2011, 11(3): 4-7, 18.

[4] 杨 建,王新民,张钦礼,柯愈贤. 含硫高黏性三相流态充填浆体管道输送性能[J]. 中国有色金属学报, 2015, 25(4): 1049-1055.

YANG Jian, WANG Xin-min, ZHANG Qin-li, KE Yu-xian. Pipeline transportation properties of high viscosity sulfur-content filling slurry in three-phase flow[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2015, 25(4): 1049-1055.

[5] ERICKI B, CIHANGIR F, KESIMAL A, DEVECI H, ALP I. Utilization of water-reducing admixtures in cemented paste backfill of sulphide-rich mill tailings[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 179: 940-946.

[6] NEMATOLLAHI B, SANJAYAN J. Effect of different superplasticizers and activator combinations on workability and strength of fly ash based geopolymer[J]. Materials & Design, 2014, 57: 667-672.

[7] SINGH C B, SANTOSH K. Underground void filling by cemented mill tailings[J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2013, 6(23): 893-900.

[8] 李 林,杨若普,贾延杰,陈 结. 金属矿山尾砂胶结充填材料优化试验研究[J]. 中国科技论文, 2015, 10(9): 1050-1052, 1057.

LI Lin, YANG Ruo-pu, JIA Yan-jie, CHEN Jie. Optimization test of metal mine cemented backfilling tailings[J]. China Science Paper, 2015, 10(9): 1050-1052, 1057.

[9] 姚志全,张钦礼,王新民. 减水剂在似膏体胶结充填中的应用[J]. 煤矿安全, 2009, 1: 43-45.

YAO Zhi-quan, ZHANG Qin-li, WANG Xin-min. Utilization of water-reducing in cemented paste-like backfill[J]. Safety in Coal Mines, 2009, 1: 43-45.

- [10] 张钦礼, 刘奇, 赵建文, 刘贱刚. 深井似膏体充填管道的输送特性[J]. 中国有色金属学报, 2015, 25(11): 3190-3195.
ZHANG Qin-li, LIU Qi, ZHAO Jian-wen, LIU Jian-gang. Pipeline transportation characteristics of filling paste-like slurry pipeline in deep mine[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2015, 25(11): 3190-3195.
- [11] 何廷树, 蔡梦茜, 史琛, 张忠辉, 何倩. 羧基减水剂对不同种类尾砂充填材料性能的影响[J]. 硅酸盐通报, 2015, 34(1): 280-285.
HE Ting-shu, CAI Meng-qian, SHI Shen, ZHANG Zhong-hui, HE Qian. Effect of naphthalene-based superplasticizer on the performances of different types of tailings backfill materials[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2015, 34(1): 280-285.
- [12] 李宏泉, 方理刚. 空区膏体充填泵送特性及减阻试验研究[J]. 湘潭矿业学院学报(自然科学版), 2004, 19(1): 31-34.
LI Hong-quan, FANG Li-gang. Investigation on the characteristics of paste pumping into the empty area and the reducing pumping resistance[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2004, 19(1): 31-34.
- [13] 范作鹏, 任少锋, 张忠辉, 蔡梦茜, 史琛, 何廷树. 高效减水剂对全尾砂充填料性能的影响[J]. 金属矿山, 2014, 5: 40-44.
FAN Zuo-peng, REN Shao-feng, ZHANG Zhong-hui, CAI Meng-qian, SHI Chen, HE Ting-shu. Effects of superplasticizers on properties of whole tailing backfilling materials[J]. Metal Mine, 2014, 5: 40-44.
- [14] 郑娟荣, 吕杉杉. 减水剂对全尾砂胶结膏体充填料浆中粉状组成分散程度的影响试验[J]. 有色金属(矿山部分), 2014, 66(5): 69-73.
ZHENG Juan-rong, LÜ Shan-shan. Study on effect of water-reducing agents on dispersing degree of powdery compositions in whole tailings cementation filling slurry[J]. Nonferrous Metals(Mining Section), 2014, 66(5): 69-73.
- [15] 李典, 冯国瑞, 郭育霞, 戚庭野, 贾学强, 冯佳瑞, 李振. 基于响应面法的充填体强度增长规律分析[J]. 煤炭学报, 2016, 41(2): 392-398.
LI Dian, FENG Guo-rui, GUO Yu-xia, QI Ting-ye, JIA Xue-qiang, FENG Jia-rui, LI Zhen. Analysis on the strength increase law of filling material based on response surface method[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(2): 392-398.
- [16] 高峰, 王巧莉, 彭先艳, 艾凯明. 基于指标满意度的充填配比优化试验[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2015, 43(3): 422-427.
GAO Feng, WANG Qiao-li, PENG Xian-yan, AI Kai-ming. Orthogonal optimization test of backfill mix ratio based on index satisfaction[J]. Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition), 2015, 43(3): 422-427.
- [17] 马保军, 杨虎, 谭洪波, 何超, 付浩兵. 聚羧酸减水剂在水泥和泥土表面的吸附行为[J]. 武汉理工大学学报, 2012, 34(5): 1-5.
MA Bao-jun, YANG Hu, TAN Hong-bo, HE Chao, FU Hao-bing. Adsorption characteristics of polycarboxylate superplasticizer on surface of cement and clay[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2012, 34(5): 1-5.
- [18] 易聪华, 汤潜潜, 黄欣, 邱学青. 聚羧酸减水剂在水泥颗粒表面的吸附行为[J]. 化工学报, 2012, 63(8): 2460-2468.
YI Cong-hua, TANG Qian-qian, HUANG Xin, QIU Xue-qing. Adsorption behavior of polycarboxylate superplasticizer on cement particle surfaces[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering(China), 2012, 63(8): 2460-2468.
- [19] 王勇, 王洪江, 吴爱祥, 李辉, 刘洪钧, 谷志君. 细粒尾矿泌水特性及其影响因素[J]. 黄金, 2011, 32(9): 51-54.
WANG Yong, WANG Hong-jiang, WU Ai-xiang, LI Hui, LIU Hong-jun, GU Zhi-jun. Research on fine tailings bleeding characteristics and the influencing factors[J]. Gold, 2011, 32(9): 51-54.
- [20] 饶运章, 舒太镜, 郑长龙, 彭立正, 张海涛, 王正英. 会宝岭铁矿全尾砂胶结充填最优配比试验研究[J]. 中国矿业, 2014, 23(3): 97-100.
RAO Yun-zhang, SHU Tai-jing, ZHENG Chang-long, PENG Li-zheng, ZHANG Hai-tao, WANG Zheng-ying. Experimental study on the optimal proportion of unclassified tailings cemented filling in Huibaoling iron ore[J]. China Mining Magazine, 2014, 23(3): 97-100.
- [21] 刘超, 王洪江, 吴爱祥, 王勇. 铜钼矿细粒全尾膏体浓度范围确定[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(S1): 3432-3438.
LIU Chao, WANG Hong-jiang, WU Ai-xiang, WANG Yong. Determination of concentration range of fine unclassified tailings paste in copper-molybdenum mine[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2015, 34(S1): 3432-3438.
- [22] LIU Ming, LEI Jia-heng, GUO Li-ping, DU Xiao-di, LI Jun-sheng. The application of thermal analysis, XRD and SEM to study the hydration behavior of tricalcium silicate in the presence of a polycarboxylate superplasticizer[J]. Thermochimica Acta, 2015, 613: 54-60.
- [23] 陈怀成, 钱春香, 赵飞, 曲军, 郭景强, MICHEAL D. 聚羧酸系减水剂对水泥水化产物的影响[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2015, 45(4): 745-749.
CHEN Hai-cheng, QIAN Chun-xiang, ZHAO Fei, QU Jun, GUO Jing-qiang, MICHEAL D. Effect of polycarboxylate-type superplasticizer on hydration products of cement[J]. Journal of Southeast University(Natural Science Edition), 2015, 45(4): 745-749.
- [24] 徐文彬, 杜建华, 宋卫东, 陈海燕. 超细全尾砂材料胶凝成岩机理试验[J]. 岩土力学, 2013, 34(8): 2295-2302.
XU Wen-bin, DU Jian-hua, SONG Wei-dong, CHEN Hai-yan. Experiment on the mechanism of consolidating backfill body of extra-fine grain unclassified tailings and cementitious materials[J]. Rock and Soil Mechanics, 2013, 34(8): 2295-2302.

- [25] 赵建会, 刘浪. 基于坍落度的充填体流变特性研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2015, 47(2): 192–198.
ZHAO Jian-hui, LIU Lang. Research into rheological properties of backfill paste based on the slump test[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology. (Natural Science Edition), 2015, 47(2): 192–198.
- [26] CARTUXO F, de BRITO J, EVANGELISTA L, JIMÉNEZ J R, LEDESMA E F. Rheological behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates—Influence of the superplasticizer[J]. Construction and Building Materials, 2015, 89: 36–47.
- [27] 王浩, 逢建军, 张力冉, 王栋民, 王启宝. 减水剂对水泥浆体流变参数影响的数学分析[J]. 硅酸盐通报, 2014, 33(5): 1035–1039.
WANG Hao, PANG Jian-jun, ZHANG Li-ran, WANG Dong-min, WANG Qi-bao. Effect of superplasticizers on cement paste rheological parameter using mathematical analysis[J]. Bulletin of the Chinese ceramic society, 2014, 33(5): 1035–1039.
- [28] LIU Zhi-xiang, LAN Ming, XIAO Si-you, GUO Hu-qiang. Damage failure of cemented backfill and its reasonable match with rock mass[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2015, 25(3): 954–959.

Effect of polycarboxylate-based superplasticizer on performances of super fine tailings paste backfill

RAO Yun-zhang^{1,2}, SHAO Ya-jian¹, XIAO Guang-zhe^{1,2}, SUN Xiang¹, HUANG Yong-gang¹

(1. School of Resource and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;

2. Jiangxi Key Laboratory of Mining Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract: Considering the problem of the super fine tailings cemented paste backfill slurry high viscosity, poor workability, and the filling body with low strength while the slurry satisfies the requirements of pipelines transportation, the effects about different dosages Polycarboxylate-based superplasticizer on fluidity, slump, bleeding of paste slurry and its compress strength of filling body were studied. From the microscopic point of view, the mechanism of superplasticizer was revealed to improve the strength of the filling body by the means of XRD and SEM. The results show that, firstly, when the dosage is 0.5%, the paste slurry fluidity and slump of the mass fraction from 70% to 76% are effectively increased. Secondly, although slurry bleeding rate is significantly improved, it could not severely segregated. Thirdly, from the micro level, the backfill body has more cement hydration products; tailings particles become larger crystal particles due to “package” by hydration products, which is distributed more uniformly, has smaller porosity and more compact micro structure. All in all, from the macro level, early or long-term strength significantly increases to 50% at most. Meanwhile, the dosage below 0.5% is “safe adding amount”, which would not cause a bad influence on filling body strength.

Key words: polycarboxylate-based superplasticizer; paste backfill; super fine tailing; fluidity; filling body strength; microscopic mechanism

Foundation item: Project(E51364010) supported by the National Natural Science Foundation of China

Received date: 2015-11-23; **Accepted date:** 2016-04-27

Corresponding author: RAO Yun-zhang; Tel: +86-13979769340; E-mail: yaoyunzhang@jxust.edu.cn

(编辑 王超)