

冯光明 丁玉 著

超高水材料充填开采技术 研究及应用

Chaogao Shuicailiao

Chongtian Kaicai Jishu Yanjiu Ji Yingyong

★ China University of Mining and Technology Press ★

中国矿业大学出版社

超高水材料充填开采技术 研究及应用

冯光明 丁 玉 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了水体积分数可达 97% 的超高水材料的形成机理、组成要素以及力学性能等,超高水材料在煤矿采空区充填开采的方法与工艺技术,超高水材料充填开采在矿山中的应用实例。本书所介绍的水体积分数可达 97% 的超高水材料是作者经过 20 余年的理论与实践研制出来的,可应用于矿山充填开采、沿空留巷、防灭火、固体废弃物胶结以及注浆加固与堵水等方面。书中所提出的开放式、袋(包)式、混合式、阻隔式及厚煤层分层充填开采等方法等也是作者多年研究的成果。

本书可作为材料、土木、水利、矿山、煤炭、人防与交通等系统的科技工作者的技术参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

超高水材料充填开采技术研究及应用 / 冯光明, 丁玉

著. —徐州:中国矿业大学出版社, 2010. 12

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0912 - 2

I. ①超… II. ①冯… ②丁… III. ①充填材料—矿山开采—技术—研究 IV. ①TD353②TD8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 242070 号

书 名 超高水材料充填开采技术研究及应用

著 者 冯光明 丁 玉

责任编辑 郭 玉 李士峰

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 淮安淮海印务有限公司

开 本 850×1168 1/32 印张 5.75 字数 146 千字

版次印次 2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷

定 价 38.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

煤炭是我国的第一大能源,在我国能源消费中占 70% 左右。在未来几十年内,我国以煤为主的能源结构格局不会有较大的改变。我国煤炭资源的分布特点是煤矿“三下一上”(建筑物下、铁路下、水体下、承压水体上)压煤比较普遍。据对统配煤矿的不完全统计,全国“三下”压煤量高达数百亿吨。主要产煤省如山东、江苏、安徽、河南、河北等省,多数矿区(井)地处平原,由于村庄密集、人口众多,造成村庄压煤比例较大,有的矿区或井田村庄压煤量占总储量的 70%。煤炭采出后,采出空间上覆岩层失去支撑而向采空区内逐渐移动、弯曲和破坏,从而引发土地沉陷灾害,地表沉陷带来的破坏已涉及工业、农业、交通运输、环境保护、生态平衡等多方面。如煤矿开采后,地面房屋局部开裂甚至倒塌;铁路弯曲或下沉,给铁路安全运输留下隐患;围岩裂隙与水体沟通后会出现透水事故,严重影响矿井的安全高效生产。此外,随着矿井储量的逐渐减少,煤炭资源的枯竭与经济矛盾的矛盾日益突出。有效进行“三下”压煤开采对充分利用地下资源,延长资源枯竭矿井寿命,促进煤炭工业的健康发展具有重要意义。

采空区充填开采正逐渐成为解决“三下”压煤的主要方法之一。煤炭采出后,在上覆岩层未到达充分下沉前,用充填材料对采空区进行密实充填,使上覆岩层仅产生少量下沉或不下沉,从而减少上覆岩层及地表移动和变形。这不仅可以安全采出“三下”压煤,也能大幅度提高煤炭的回收率,同时解决了因煤炭开采而造成

的一系列环境问题。充填开采的核心是充填材料。超高水材料是笔者倾 20 余年之力,着力研制并取得成功的一种新型充填材料,其水体积分数最高可达 97%。该材料由 A、B 两部分组成,具有单浆(A 或 B 浆液)流动性好、混合浆体早强快硬、初凝时间可调等特点,生成的固结体不收缩,体积应变小,在三向受力状态下有良好的不可压缩性。本书重点对超高水材料的形成机理、形成要素、基本性能、流体力学性能以及超高水材料充填开采技术及其现场应用方面作了详细介绍,以期进一步推进我国充填开采技术的发展。

由于作者水平有限及成书仓促,书中缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

著 者

2010. 5. 18

目 录

1 绪论	1
1.1 煤炭开采存在的问题及对环境的影响	1
1.2 煤炭充填开采工艺	4
1.3 胶结充填材料的主要类型	11
2 超高水材料的形成机理	15
2.1 钙矾石的形成及其影响因素	15
2.2 超高水材料的形成机理	22
3 超高水材料的组成	33
3.1 类水泥熟料及烧制矿物	33
3.2 辅料	44
3.3 外加剂	48
3.4 影响超高水材料性能的因素	57
4 超高水材料的基本性能	59
4.1 超高水材料的力学性能	59
4.2 超高水材料固结体形变性能	63
4.3 超高水材料的凝结时间	66
4.4 超高水材料固结体的稳定性	68
4.5 超高水材料固结体显微形貌分析	71

5 超高水材料的流体力学性能	76
5.1 流体的基本特性.....	76
5.2 超高水材料浆体的流变性能.....	82
5.3 超高水材料的流动性.....	89
6 超高水材料采空区充填方法与工艺	99
6.1 超高水材料采空区充填方法.....	99
6.2 超高水材料采空区充填过程分析	110
6.3 超高水材料充填工艺系统	118
7 超高水材料充填开采应用实例	130
7.1 田庄煤矿薄煤层超高水材料充填开采应用	130
7.2 陶一煤矿厚煤层超高水材料充填开采工程应用 ...	148
参考文献	167

1 绪论

煤炭是我国的主要能源,在一次性能源结构中处于绝对主体位置,20 世纪 50 年代曾高达 90%。在《中国可持续能源发展战略》研究报告中,20 多位院士一致认为,即使到了 2050 年,煤炭所占比例仍然不会低于 50%。可以预见,煤炭工业在国民经济中的基础地位将是长期的和稳固的,具有不可替代性。

现代科学技术的高速发展和现代工业生产的高速增长,使得煤炭资源的开发利用规模和强度达到了前所未有的程度。截至 2007 年,我国在过去的 10 年间,煤炭生产总量增长了约 80%,消费总量增加了一倍以上。在这不断快速增长的开发过程中,煤炭资源正逐步枯竭,若不采取措施,煤炭供应将出现大的缺口。

经济快速发展与资源匮乏、枯竭之间日益尖锐的矛盾,给人们合理开发和充分利用煤炭资源提出了一个严峻的课题。如何充分利用现有资源,更加科学、合理、有效地开发和利用不可再生的矿产资源,是我国矿业发展亟待解决且不能回避的问题。

1.1 煤炭开采存在的问题及对环境的影响

采矿业是矿产资源开发利用的基础工业,是社会生产链的最前端。但是采矿在为人类提供原材料的同时,也带来一系列的问题:开采方式不当造成资源浪费;扰动地层和破坏地表环境,带来安全隐患;废料排放造成环境污染等。煤炭开采过程中主要存在

的问题及对环境的破坏主要表现在以下几个方面:

(1) 资源浪费

我国煤炭回采率普遍偏低,原国有重点煤矿矿井回采率为40%~60%,地方煤矿的回采率不到40%,乡镇煤矿仅为10%~15%,有些小煤矿甚至在8%以下,全国煤炭资源的矿井综合回采率约为30%。在全面推进资源节约型社会建设的今天,这个问题已经得到政府高度重视。造成煤炭回采率低的原因是很复杂的,除了采矿方法和回采工艺选择不合理,矿山企业自身管理不到位和资源配置不匹配等因素外,法律制度和监督机制不完备也是影响和制约煤炭资源回采率的重要因素。

另一方面,目前煤炭开采资源浪费、乱采滥挖现象较为严重。一些企业为了追求利润,在开采过程中挑肥拣瘦,薄煤层弃之采;采取掠夺性采煤方式。据调查分析,我国目前的综合回采率低于主要产煤国家,比美国、英国低20个百分点。据2000年以前对原国有重点煤矿的统计数据,采区回采率一般平均为78.5%左右,2000年下降为77.97%。因此,提高煤炭资源回采率刻不容缓。

(2) 煤炭开采对环境的影响

随着煤炭开采规模的不断扩大,对环境、生态的破坏也越来越严重,主要表现在对水资源、土地资源的破坏,产生有毒有害气体及对地表生态环境的破坏等。

① 对水资源的破坏。

煤炭在开采过程中所进行的人为疏干排水和采动形成的导水裂隙对煤系含水层的自然疏干,导致大面积地区的地下水位大幅度下降,矿区主要供水水源枯竭,地表植被干枯,自然景观被破坏,农业产量下降,严重时引起地表土壤沙漠化。另一方面,开采造成地表及地下水污染,矿井水、矸石堆淋溶水、选煤废水等普遍含有煤粉、岩粉悬浮物及可溶性的无机盐类。在我国西部和黄淮地区,

矿井水矿化度较高,而南方矿井含硫量高,矿井水多呈酸性。这些废水对地表河、海、水库等水资源浸染较为严重,并会使矿区土地贫化,污染植被,严重影响农业的可持续发展。

② 对土地资源的破坏。

煤炭开采对土地资源的破坏损害,井工开采以地表塌陷和矸石山压占为主,而露天开采则以直接挖损和外排土场压占为主。煤炭开采后,留下采空区,造成地表塌陷。据估算,全国平均万吨开采沉降率在 0.2 公顷以上,全国已有开采沉陷地 45 万公顷以上。其中山西省在 1949~1998 年共生产原煤 56 亿多吨,地面塌陷破坏面积达 7 万公顷,其中 40% 是耕地。

煤炭生产过程中矸石排放量一般为原煤产量的 8%~20%, 平均为 12%。以 2007 年生产原煤 23.7 亿 t 为例,煤矿排放矸石量约为 2.84 亿 t。目前全国大、中型煤矿有矸石山约 1 500 余座(尚不包括近 8 万个乡镇及个体小煤矿堆积的矸石山),矸石堆放量达 30 亿 t 以上,占地面积约 2.6 万公顷。另外,据统计,全国正在自燃的矸石山约 200 余座,自燃过程排出大量有害气体(如 SO_2 、 CO_2 、 H_2S 、氮氧化合物)和烟尘等,污染空气,形成酸雨,污染水源和土地,抑制植物生长,危及人类健康。

③ 产生大量有毒有害气体和粉尘。

地下矿层中赋存的大量有毒有害气体,如 CH_4 、 CO 、 CO_2 、 SO_2 、 SO_3 、 H_2S 等,由于开采,经矿井通风风流携带进入大气,同时伴有大量粉尘。我国煤矿每年排入大气的 CH_4 约 100 亿 m^3 , 排放粉尘约 40 万 t,不仅对环境造成严重污染,而且引发几十万人患尘肺病。

④ 传统开采方法造成生态与环境的破坏。

开采造成岩层移动破坏,引起岩层中水与瓦斯的流动,导致煤矿瓦斯事故与井下突水事故。瓦斯排放到大气引起大气环境污染。煤炭开采引起地下水的流失,甚至引起土地沙漠化。

煤炭开采造成地表沉陷,引起地表耕地、建筑设施受到破坏,山体滑坡。地表塌陷引起地表积水,地表、地下水系受到破坏,使居民生活用水、灌溉用水发生困难,生态环境遭受沉重打击。

1.2 煤炭充填开采工艺

我国煤炭开采形式以井工开采为主。充填采矿有提高煤炭回收率,充分利用资源,有效控制地压,减少或消除地表沉降及可在“三下”开采等优点;加上采空区可以用废石来充填,可减少矸石等废物的堆放及环境污染,改善矿区周围生态环境。基于这些优点,在我国目前的能源状况及形势下,充填采矿法越来越受到人们的重视,充填工艺与技术也在充填采矿法不断改造与发展的过程中得到创新与发展。

根据采空区充填工艺与充填物料含水与否,充填工艺可分成两类:干式充填与非干式充填。

1.2.1 干式充填

充填物料以相对干燥状态送入采空区的工艺称为干式充填。该法较早在国外引起人们的重视,20世纪40年代以前,基本以处理废弃物为目的,将矿山废料送入井下采空区。如澳大利亚的塔斯马尼亚芒特莱尔和北莱尔矿在20世纪初进行的就是废石干式充填。20世纪30年代,加拿大诺兰达公司霍恩矿将粒状炉渣加入磁铁矿构成充填料充入采空区。

国内在20世纪50年代以前,均是以处理废弃物为目的进行废石干式充填。这种方法用于矿石稳固、围岩不稳固的倾斜矿床的开采时具有以下优点:矿石回收率高,贫化率低,能适应矿体产状的复杂变化,作业比较安全,是我国非煤矿山主要的采矿方法之一。1955年,它在有色金属矿床地下开采中占38.2%,在黑色金

属矿床地下开采中达到了 54.8%。在我国铀矿开采中,从 20 世纪 60 年代起干式充填采矿法所采出矿量一直占铀矿地下开采所采矿量的 50% 以上,70 年代末 80 年代初占 65%~70%。此外,应用干式充填工艺的还有金矿、银矿、锡矿、锰矿、石棉矿等主要非煤矿山。

目前,煤矿采空区干式充填工艺主要是矸石充填,即使井下开拓、准备与回采期间产生的矸石不上井(不进行处理或适当进行破碎)直接回填到采空区或将地面矸石山通过一定手段(适当破碎)进行处理后返运到井下对采空区进行回填。这既解决了“掘”带来的矸石处理问题,缓解了矿井辅助提升压力,又减少了矸石占地量,保护了环境。同时,矸石充填还减小了工作面顶板下沉量,降低了工作面开采管理难度,提高了回采作业的安全性。

1.2.2 非干式充填

除干式充填之外的充填工艺即为非干式充填,包括水砂充填与胶结充填等。

(1) 水砂充填

20 世纪四五十年代,澳大利亚和加拿大等国开始应用水砂充填技术,波兰矿井均采用全部充填法或垮落法与充填法联合采煤。充填法以水砂充填为主,并有少数矿井试用矸石风力充填或电厂粉煤灰充填。波兰采用水砂充填为主的充填开采方法可采出建筑物下压煤的 80%。其有色金属矿山水砂充填的主要特点是使用粗粒级的充填料如天然砂、粗粒废石和选矿尾砂等。这种方法具有以下优点:强度大,脱水快,接顶质量好,有较大的支承能力和稳固性,不需胶结即能支承顶板;充填系统和砂浆制备工艺流程简单,充填料在高压水作用下可一次成浆,制备环节少,设备简单,特别是成功地采用了管道自溜输送技术,节省了设备和动力。

我国的水砂充填技术应用可追溯到 1911 年,抚顺煤矿率先采

用水砂充填。20 世纪 60 年代,水砂充填在金属矿山得到了一定程度的应用,在房柱法采空区充填中较为多见;20 世纪 70 年代一些矿山先后成功应用了尾砂水力充填工艺;进入 20 世纪 80 年代后,分级尾砂充填工艺与技术应用更加广泛,有 60 余座有色、黑色金属矿山都推广应用了该项工艺技术。采用此法时应充分考虑到围岩矿体的稳固性、地表沉陷的可能性及回采巷道的尺寸。

水砂充填一般要求构筑专门的护壁和隔墙,但是我国水砂充填多数采用敞开式混料沟方式混料,造成水砂比过大,混料不匀,质量难以控制。加上水砂充填工艺较为复杂(需砌筑溜矿井和人行滤水井,构筑混凝土隔墙,铺设混凝土底板等),从采场渗出的泥水污染巷道、水沟和水仓,清理工作量大、排水费用高、充填量小,回采的安全问题和充填体压缩沉降均未得到很好解决。因此,充填体强度一般不高,不能从根本上阻止岩石移动,使其应用范围受到很大限制。

(2) 胶结充填

20 世纪六七十年代,胶结充填技术开始应用。由于非胶结充填体无自立能力,不能满足采矿回采率要高,而贫化率要低的要求,因而在水砂充填工艺得以发展并推广应用后,又开始发展胶结充填技术。胶结充填法一般采用以碎石、河砂、尾砂为骨料(间或掺入块石),与水泥类材料拌合形成浆体或膏体后,以管道泵送或重力自流方式输送到采空区对围岩进行支撑。与水砂充填相比,胶结充填可以取消充填料与矿柱之间的隔板,充填料表面也不必铺设垫板,因此可节省大量木材。据统计,加拿大国际镍公司所属各矿因此节约了大量木材。胶结充填法不需要人工支护作业,因此劳动生产率与开采强度得到大幅度提高,如加拿大国际镍公司回采的劳动生产率提高了 20%。该方法最重要的特点是胶结充填体的强度较大,充填速度快,充填量大,工艺简单,充填料不收缩,有利于改善地压和防止地表塌陷,同时矿石的损失和贫化率也

得以降低。

随着胶结充填技术与材料科学的发展,人们开始深入研究充填料的性质、充填料与围岩的相互作用、充填体的稳定性和矿山充填胶结材料等。胶结材料的类型、品种多样,加上掺合料的多样化,使胶体、浆体的成分愈加复杂和多样,再加上浆体泵送工艺的发展,使胶结充填出现了空前的繁荣局面,大致又可细分为以下几种:

① 尾砂胶结充填。

20 世纪六七十年代,尾砂胶结充填技术开始开发和应用。这一时期的胶结充填均为传统的混凝土充填,即完全按建筑混凝土的要求制备与输送胶结充填料。这种传统的粗骨料胶结充填输送工艺复杂,对物料的级配要求较高,因而一直未获得大规模推广与使用。到 20 世纪七八十年代,细砂胶结充填开始被研究采用。细砂胶结充填以尾砂、天然砂和棒磨砂等材料作为充填骨料,以水泥为主要凝固料,二者拌合后,以两相流管道输送方式输入到采场进行充填。因此,细砂胶结充填具有胶结强度较高和便于管道输送的特点,在 20 世纪 80 年代得到广泛应用。

尾砂胶结充填虽然具有较高的生产能力和良好的管道输送特性,但由于使用大量水泥作为固结料,使充填成本明显增加,而且受自流管道输送浓度限制,普通的尾砂胶结充填质量浓度不高(一般在 70% 以下),充入采场后,大量的水必须通过滤水设施排出,不仅增加了排水费用,污染了井下环境,而且还造成大量水泥胶结料流失,既增加了成本又降低了充填体强度。

② 块石胶结充填。

块石胶结充填是干式充填和水泥砂浆充填结合的一种方式,它具有充填工艺简单、充填能力大、充填体强度高、水泥用量小、能最大限度利用井下废石等优点。其实质是利用块石或井下掘进废石或将一定量的粗骨料和胶结料浆混合作为充填骨料,水泥砂浆

填充块石间隙将其胶结成一个整体,充填于采场或采空区,并使之成为胶结整体,以控制矿山地压、防止地表塌陷。

国外块石胶结充填已有多年的历史,20 世纪 70 年代在澳大利亚艺特艾萨矿应用成功后,即在许多国家得到了全面的推广。

块石砂浆胶结充填的块石粒径一般小于 300 mm,多数控制在 150 mm 以下,砂浆为尾砂浆或细砂浆。它与尾砂胶结充填相比,可以节约水泥 60%,成本降低近 50%,而同龄期抗压强度可提高 1~2 倍。同时,由于块石与砂浆分开输送,利用砂浆的穿透性固结块石,无需搅拌,其充填体强度接近于混凝土胶结充填强度,而与混凝土胶结充填相比,其充填效率又大大提高,工艺更为简单,工人劳动强度大大降低。

块石胶结充填除具有以上优点外,还具有减轻矿山开采对环境造成的污染程度以及减少土地占用量的优越性。因此,块石胶结充填技术目前在我国的采矿业中仍有不少应用。当前存在的问题主要是对块石胶结充填体的强度、稳定性等尚没有较好的监测方式及仪器设备,缺乏综合测试和评价手段。

③ 全尾砂胶结充填。

为了提高尾砂利用率和充填浓度,20 世纪 70 年代后期,人们开始探索实现全尾砂高浓度充填技术的途径。20 世纪 80 年代以来,全尾砂胶结充填技术首先在德国、南非等国进行了试验研究,取得了一定成果,并在一些矿山试验应用,如南非的西德瑞方登金矿。全尾砂在井下脱水后,砂浆质量浓度可达到 70%~78% 甚至更高。该工艺是以物理化学和胶体化学的理论为基础,直接采用选矿厂的尾砂浆,经高效浓密机和真空过滤机两段脱水获取湿尾砂,应用带破拱架的振动放矿装置和强力机械搅拌装置,将全粒级尾砂与适量的水泥和水合成高浓度的均质胶结充填料,以管路输送(此时为宾汉流体)的方式充入采场。尾砂流量、水泥流量、加水量和混合料的质量浓度等参数均由微机处理系统自动检测。全尾

砂胶结充填的尾砂利用率达到 95% 以上。

20 世纪 80 年代末期,我国开始在广东凡口铅锌矿和金川有色金属公司进行试验研究,并用于工业生产。从此全尾砂胶结充填技术在全国范围内得到广泛应用。这一阶段人们开始关注充填料的性质及其对充填体性能的影响、充填料与围岩的相互作用、充填体的稳定性和矿山充填胶凝材料等内容,陆续出现了一系列诸如以粉煤灰、赤泥、黏土、脱硫石膏、高炉水淬渣、高水速凝材料等作为胶结材料的充填材料,外加剂的研究也开始受到重视,胶结充填材料及其技术开始空前繁荣。

全尾砂胶结充填技术的成功应用,解决了许多矿山充填料不足的问题,而且有效地避免环境污染,大大减少了尾矿库筑坝费用。但该工艺受胶结材料的性能等影响而复杂多样,尤其是高浓度全尾砂工艺涉及尾砂的脱水问题,工艺复杂,运行成本较高。

④ 膏体、似膏体泵送充填。

膏体充填是在高浓度全尾砂充填的基础上发展起来的一种充填工艺,近 10 年来发展极为迅速,世界上一些矿业发达的国家投入了大量的人力、物力研究和开发应用膏体充填技术。

由高浓度全尾砂工艺可知,高浓度全尾砂浆的极限输送浓度一般在 72%~78%。而充填体的强度要求,其浓度必须尽可能地提高(约 75%~85%)。为了满足此要求,通常需要对尾砂进行分级脱泥,其结果是充填尾砂的利用率低,充入采场后的充填体需脱水。脱水时会带走充填料中的水泥,造成水泥流失,削弱充填体的强度,并且造成井下严重污染。如何提高充填料浆的浓度是解决这类问题的关键。但由于受管道自流输送的限制,要想进一步提高料浆浓度,必须借助适当的设备,实现膏体泵送充填。

1978 年,联邦德国 Preussag 金属公司格隆德铅锌矿首先进行了全尾砂膏体泵送充填试验。通过该矿 6 年的建设和系统试验,形成泵送充填新工艺,并先后在南非等陆续推广使用,效果良

好。膏体充填综合运用了现代工业的多项高新技术,是现代采矿工业中一项技术含量较高的工艺之一。其充填材料是使用全尾砂或全尾砂与碎石的混合料。膏体充填料浆可使用全尾砂,充填料充入采场后无需脱水,也不会出现离析现象,减少了井下充填水污染及排水费用。由于含水量低,充填体强度高且水泥耗量小,可以适当降低充填成本。凝固时间相对于自流充填短,可减小充填作业循环周期,充填体易于接顶,有利于采场稳定和采矿作业安全。

2004年以来,中国矿业大学周华强等人率先将膏体充填技术应用于煤矿采空区充填,对不迁村采煤的固体废物膏体充填的工艺与方法进行了研究,并在多个煤矿进行了实践应用,取得了良好效果。

从目前应用情况看,该充填工艺系统的主要特点是输送物料浓度较高,泵送设备要求功率大,系统构建相对复杂,充填管道易堵塞。针对这些问题,这一时期的有关膏体充填的研究也以料浆的流体力学性能(如流动性能、临界流速等)及各种因素(包括温度、时间、化学因素等)对膏体料浆的流变性能、强度等的影响居多。

⑤ 高水速凝充填。

与以往的充填工艺不同的是,高水速凝充填不着意提高充填料浆的质量浓度,而是利用高水材料具有较好固水能力的特点,实现高水胶结充填。该技术的优点是:可将较高比例水凝结起来,水体积分数可以接近 87%~90%;充填料浆凝固较快,早期强度较高,此特性可以缩短充填和采场回采周期,提高采场生产效率。具体工艺为:以高水材料作胶结材料,使用全尾砂作充填骨料,按一定的配比加水混合后,形成充填料浆。根据工艺设备条件和现场技术的要求,充填料浆浓度可在 30%~70%变化,充入采场后浆体可以不脱水便可凝结成固体,无环境污染,易于实现中低浓度料浆的水力输送。但高水材料有许多不足之处,如充填料输送与混