

# 厚大矿体采空区充填工艺优化研究

Study on Optimization of Filling Process in Mined-out Area of Thick and Large Orebody

贺茂坤, 吴世剑, 温震江(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**摘要:**随着充填采矿法在厚大矿体开采中推广应用,提高充填体的质量成为采矿工艺一个重要环节。本文分别从充填料浆浓度控制、采场充填设施设置、胶凝材料选取等方面优化充填工艺,提出选择合适的充填挡墙、改善充填体脱水、采用低水化热高强度的充填胶凝材料等技术路线,以提高厚大充填体质量。

**关键词:**厚大充填体; 充填工艺; 充填质量; 胶凝材料

**中图分类号:** TD862      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-609X(2022)03-0054-04

**Abstract:** With the popularization and application of backfill mining method in thick and large ore body mining, improving the quality of filling body has become an important link in mining process. In this paper, the filling process is optimized from the aspects of concentration control of filling slurry, setting of filling facilities in stope, selection of binding materials, etc. The technical routes such as selecting appropriate barricade, improving dehydration of fill mass, and adopting filling binding materials with low hydration heat and high strength are put forward to improve the quality of thick and large filling mass.

**Key words:** thick and large filling mass; filling process; filling quality; binding material

## 1 前言

随着厚大矿体采用充填法采矿的比例逐年递增,尤其是对于大规模分多步回采的矿山,厚大充填体的强度、脱水、接顶质量、稳固性等对矿山的生产和安全有直接的影响。因此,充填系统能否保质保量的完成采空区的充填,对厚大矿体的安全开采至关重要。本文通过分析厚大充填体的自立强度和高度要求,提出控制充填料浆的制备质量的措施,在采场设置合适的挡墙设施和脱水系统,通过改善和提高整套充填系统的工艺水平,建立一套完善的充填质量保障体系是提高厚大充填体质量的重要途径。

## 2 充填体强度需求

厚大矿体通常采用的两步骤回采的充填采矿方法,由于一步骤矿房采空区充填形成强度后再进行二步回采。所以一步骤矿房充填体的强度首先要考虑在一定的高度和暴露宽度下是否能够保持稳定自

立,只有一步矿房充填体能保持自立,才能进行二步回采,并结合采准工程的布置要求,对充填体的强度提出综合需求。

充填体受到的作用力主要包括以下三部分:①充填体自身所受重力;②在滑动面上,阻止充填体下滑的抗剪阻力;③充填体两侧受到围岩或其他充填体的作用,称为壁面抗剪阻力<sup>[1]</sup>。围绕充填体的自立强度国内外专家学者开展了众多研究,提出了Thomas 计算法,卢平修正计算法,Askwe 和McCarthy 计算法等,综合分析自立强度一般约为0.08~0.66 MPa。

根据谷岩等<sup>[2]</sup>提出的充填体充填强度和自立高度的关系,充填体强度和自立高度呈正相关,但是高度增加的前期阶段所需自立强度增加较快,随着充填体高度增加,充填体两段围岩或充填体对充填体柱的成拱作用越来越大,从而减小了充填体底部应力。图1所示为充填体自立高度和强度关系。

理论计算分析后,根据采矿方法需求结合矿山经验类比参考也能确定矿山充填采空区所需自立强度和自立高度。

## 3 充填料浆制备工艺优化

大量的充填系统资料和相关试验表明,尾砂浆浓密、输送浓度与尾砂的粒径特别是极细颗粒的含量、胶凝材料的添加量与料浆制备质量有着密切关

[作者简介] 贺茂坤(1982-),男,湖南岳阳人,高级工程师,主要从事充填工程和矿山机械设计、科研工作。

[基金项目] 国家十三五重点研发计划课题2019YFC0605300 资助项目;科技部创新方法专项“深部金属矿山资源开发多创新方法集成应用研究与示范”(项目号2019IM050300)。

[引用格式] 贺茂坤,吴世剑,温震江.厚大矿体采空区充填工艺优化研究[J].中国矿山工程,2022,51(3):54-57.

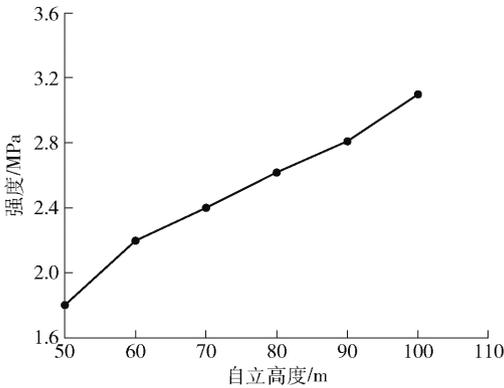


图1 充填体自立高度和强度关系曲线

系。通过对充填料浆输送特性参数的测定,充填料浆黏度—浓度—流速之间有密切关系,在充填料浆输送过程中,料浆的黏度是决定充填料浆输送方案十分重要的参数之一。

对于黏度低的充填料浆,通常体积浓度越低,料浆中的固体越容易沉淀而引起堵管,管路越容易磨损,料浆充填到采空区后也越容易脱水,此种情况多见于分级尾砂充填和水砂充填。对于黏度高的充填料浆,充填料浆体积浓度较高或极细粒级尾砂较多,常见于高浓度膏体充填,膏体充填的充填料浆具有几乎不沉淀、不离析、不脱水的特点,因此对采场的影响小,水泥流失少、充填体强度高,但由于料浆黏度大造成管路流速低、阻力损失大,一般需要泵送,充填成本相对较高。因此,在充填过程中根据充填采矿方法和目标采场进行相应充填浓度选择和控制。

厚大矿体容易忽视对充填料浆质量控制,应根据充填采矿方法的要求,结合胶结充填,特别胶面质量要求,优化胶面的充填骨料和灰砂比,通过多种级配尾砂充填工艺,减少胶面早凝时间,降低水泥添加量。

## 4 采场充填设施

### 4.1 采场充填挡墙的设置

大空场嗣后充填工艺面对的首要问题是充填挡墙的稳定性的,它是保障充填采场安全最重要的环节。由于全尾砂充填料浆性能的特殊性,充填挡墙任何形式的破坏及充填料浆的泄漏,都将导致充填体质量下降,并且污染井下工作环境甚至造成安全事故。因此根据采场和充填体的工况确定合适的挡墙形式及工艺参数,针对高阶阶段采场充填,根据挡墙的受力状态提出充填挡墙受力情况,采场充填及相关作用受力分析如图2所示。其中 $H$ 和 $W$ 分别为充填挡墙设计高度和宽度, $L$ 为采场边界距挡墙距离, $h$ 为充填料浆高度, $q$ 为作用在挡墙内衬上的线载荷, $P$

为挡墙上的总压力、 $M$ 为挡墙内衬上的弯矩、 $Z_0$ 压力在挡墙上的作用点<sup>[3-5]</sup>。

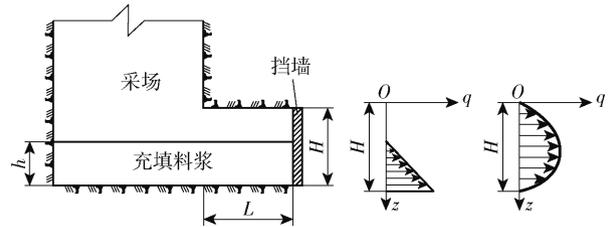


图2 采场充填及挡墙受力图

$$q = \begin{cases} 0 & 0 \leq Z_0 \leq H - h \\ \gamma_{液}(Z_0 - H + h) & H - h < Z_0 \leq H \end{cases} \quad (1)$$

$$P = \frac{\gamma_{液}}{2} h^2 W \quad (2)$$

$$M = \begin{cases} \frac{\gamma_{液}}{6H} h^3 Z_0 & 0 \leq Z_0 \leq H - h \\ \frac{\gamma_{液}}{6H} h^3 \left[ \frac{Z_0}{H} - \frac{(Z_0 - H + h)^3}{h^3} \right] & H - h < Z_0 \leq H \end{cases} \quad (3)$$

$$M_{max} = \frac{\gamma_{液}}{3H} h^3 \left( H - h + \frac{2h}{3} \sqrt{\frac{h}{3H}} \right) \quad (4)$$

$$Z_0 = H - h + \frac{2h}{3} \sqrt{\frac{h}{3H}} \quad (5)$$

根据挡墙的受力分析,可从以下几个方向优化充填挡墙的设置。

#### 1) 选择正确的充填挡墙设置地点和形式

充填挡墙上的总压力与其面积大小成正比。因此确定挡墙位置时,在不影响生产和充填的前提下,挡墙设置选择在距离采场距离较大且巷道面积较小的位置。这样不仅提高了挡墙的安全性和可靠性,而且可以降低挡墙造价。挡墙的形式是选择挡墙位置后需要考虑的问题,安全、施工方便、造价低是选择挡墙形式的重要原则<sup>[6-7]</sup>。

#### 2) 合理确定充填浓度和分次充填高度

研究表明,通过控制和提高浓度可提高充填料浆和充填体的黏结力。当充填体初始强度较大时,充填体自身强度即可承受其自重作用,很大程度降低了对充填挡墙产生的侧压。因此,通过提高浓度来提高黏结力可以显著减小挡墙受力,改善挡墙的受力状态。合理控制分次充填的高度,有利于充填体排水和的凝结,起到夯实基础的作用,这在充填浓度不够高的时候尤为重要。

#### 3) 根据分阶段充填调整灰砂比

需要根据不同的充填高度和部位,结合充填采

矿方法设计和充填体自立强度计算需求,实时调整充填灰砂比。

#### 4) 提高充填料内摩擦角

(1) 优化充填骨料的粒径级配,提高充填料浆的容重。

(2) 料浆含水量会很大程度减小充填料内摩擦角。因此,在满足自流的情况下,尽可能提高充填浓度,降低充填体内含水量,充填时应提前布置合理的脱水设施,实现采场快速脱水。

### 4.2 采场脱水设施

国内采场脱水一般采用采场周边布置排水井或采场内架设泄水井等设置进行脱水,这些设计仅仅局限于中小型采场,对于高大型的采场,施工人员不能进入采场施工作业。针对高大型采场充填的特点,国内矿山一般依靠矿岩裂隙渗滤进行脱水,不考虑采场脱水系统。过去国内深孔采场分级尾砂胶凝充填时,采场采用脱水管脱水,使用效果较好。

在采用极细粒级的全尾砂充填时,当充填料面未超过挡墙时,充填料所泌出的水可以从透水挡墙渗透或溢流排出。而当充填料面超过挡墙时,充填料泌水一小部分通过充填体自身渗透并由挡墙及空区周边围岩或矿石裂隙排出。由于充填体凝固后渗透系数小,该部分水量仅占总泌水量的5%~10%。而剩余90%以上的泌水必须通过采场中的脱水设施而排出,以达到下次充填时表面无积水的目的,否则充填料表面积水将导致充填料浆的严重离析而使充填体质量严重下降。

厚大充填体的脱水系统应重点关注以下问题:

(1) 为防止脱水管在充填时被压扁或垮塌,钻眼的主脱水管应适当增加管材壁厚;脱水管数量适当增加,增加固定点,确定安装牢固。

(2) 优化脱水末端设置形式,可采用型钢制作的脱水管笼,最后用土工布或麻布密封,可以较好的避免厚大充填体挤压脱水管口,使排水管通畅。

(3) 合理确定滤布的形式、规格和缠裹层数,因地制宜的采用麻布、棕衣替代土工布都是性价比较高的选择。

排水系统组件如图3所示。

## 5 胶凝材料的选择

对于采用充填采矿法的大规模矿山来说,大型机械化设备的使用和大量胶凝材料在水化过程中产生的大量水化热,特别是深井矿山,不仅使井下环境



图3 采场脱水管笼

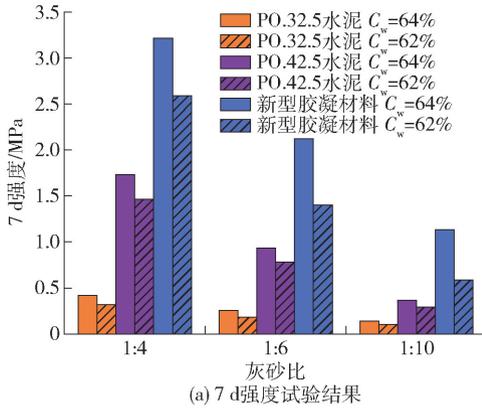
温度升高,降低作业环境的舒适度,而且大量消耗胶凝材料,充填成本也居高不下。针对大型采空区的充填胶凝材料选择,低热高强且成本低的胶凝材料是选择基本原则,另外合理确定分次充填的高度对控制大体积充填体胶凝材料的水化热也同样重要。在控制充填成本的前提下,选择合理的胶凝材料,调整各种充填材料比例,可有效保证充填体强度,同时满足输送和采矿工艺要求。

为了选择合适的胶凝材料,分别采用P. O 32.5水泥、P. O 42.5水泥以及新型胶凝材料在不同配比条件下进行充填体强度试验,结果见表2。

表1 不同胶凝材料和不同配比条件下充填体强度试验结果

胶凝材料	灰砂比	质量浓度/ %	抗压强度/MPa	
			7 d	28 d
P. O 32.5 水泥	1:4	64	0.42	0.71
	1:4	62	0.32	0.56
	1:6	64	0.25	0.44
	1:6	62	0.18	0.35
	1:10	64	0.14	0.20
	1:10	62	0.10	0.17
P. O 42.5 水泥	1:4	64	1.73	2.65
	1:4	62	1.46	2.18
	1:6	64	0.93	1.56
	1:6	62	0.78	1.25
	1:10	64	0.37	0.75
	1:10	62	0.29	0.48
新型胶凝材料	1:4	64	3.21	4.39
	1:4	62	2.59	3.82
	1:6	64	2.12	2.37
	1:6	62	1.40	2.22
	1:10	64	1.13	1.30
	1:10	62	0.59	0.91

根据试验结果分析胶凝材料种类及配比对充填



体强度的影响,结果如图4所示。

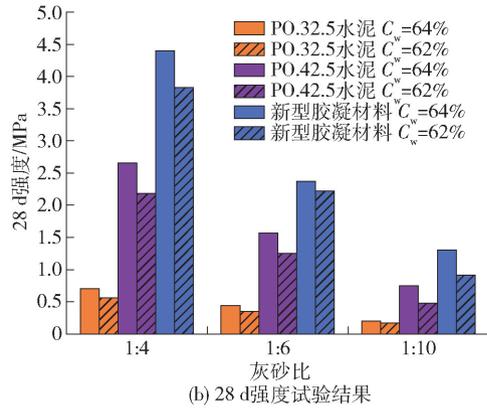


图4 不同胶凝材料胶砂强度试验结果

分析试验过程及图表结果可以得出如下结论:

(1)在配比一定条件下,充填料浆质量浓度越高,则充填体的抗压强度就越大,因此,应尽可能提高充填料浆浓度,减少充填体脱水量。

(2)料浆浓度一定条件下,胶凝材料的添加量(灰砂比)是影响充填体强度的关键因素。在其他因素不变的情况下,随着胶凝材料用量的增加,充填体的强度显著提高。

(3)P. O 32.5 水泥胶凝效果不佳,即使配比达到1:4,其7 d 强度也仅为0.3~0.5 MPa,而28 d 强度也不到1.0 MPa;P. O 42.5 水泥,较P. O 32.5 水泥胶结充填体强度显著提高(相同配比条件下均可提高2倍以上),但强度仍偏低,这是由于试验尾砂细颗粒含量多,难形成高浓度所致。

(4)与P. O 42.5 水泥相比,各配比条件下新型胶凝材料充填体强度均提高1倍左右,尤其是早期强度提高显著,后期强度增长相对缓慢。即新型胶凝材料比较突出特点是早期强度高,这有利于加快作业循环速度,提高采场生产能力;并且价格介于P. O 32.5 水泥和P. O 42.5 水泥之间,在满足充填体强度质量要求的情况下,采用新型胶凝材料可大大减少胶结剂用量,从而达到降低充填成本的目的。

## 6 结论

根据模型计算、理论分析和试验研究可以得出:

(1)对实际充填体进行建模、受力和计算,可以确定厚大充填体的灰砂比、浓度、挡墙等相关充

填参数,并对其进行优化。

(2)高浓度、膏体充填是厚大矿体充填的发展方向,充填体质量不仅与浓度有关,并且与尾砂尾砂粒径级配和胶凝材料种类和添加量等有关,确定合适的充填料浆浓度对充填体强度形成有显著提高,也有利于采场挡墙的安全和脱水设施排水。

(3)根据挡墙的受力计算,设置可靠的充填挡墙和合理的采场排水措施,是提高采场安全、保障厚大充填体质量的最直接的有效途径。

(4)对于厚大矿体胶结充填,采用低水化热、高强度的新型胶凝材料是提高充填体强度的重要方法,也是保证井下工作环境、降低充填成本的重要途径。

## [参考文献]

- [1] 姚银佩. 厚大破碎矿体二步矿房开采采场稳定性分析[D]. 长沙:中南大学,2011.
- [2] 谷岩,南世卿,李富平. 矿渣胶结材料充填体强度确定及配比优化[J]. 金属矿山,2014(3):10-14.
- [3] 魏威. 永平铜矿厚大矿体采矿方案优选及采场充填工艺研究[D]. 长沙:中南大学,2014.
- [4] 薛奕忠. 高大型采场全尾砂充填挡墙可靠性的力学分析[J]. 江西理工大学学报,2008(5):18-22.
- [5] 王丽红,李夕兵,赵国彦,等. 永平铜矿充填挡墙安全设计及工程应用[J]. 矿冶工程,2013(6):6-9.
- [6] 赵国彦. 充填隔离墙受力计算和安全措施[J]. 矿业研究与开发,1995,15(1):6.
- [7] 张月侠. 基于膨胀材料的充填接顶技术研究[D]. 沈阳:东北大学,2014.