

Numerical Simulation of Effect of Low Temperature on Characteristics of Cemented Filling Body

Jun Cao Kai Ge Hongyan Li Jingang Chen

Tibet Huatailong Mining Development Co., Ltd., Lhasa, Xizang, 850200, China

Abstract

Based on the actual ambient temperature in the process of mine production, by establishing the numerical calculation model of filling specimen, this paper analyzes the internal humidity, temperature and mechanical properties of filling under different ambient temperatures (10 °C, 15 °C, 20 °C and 25 °C). The results show that the peak value of internal temperature and strength of the filling specimen decrease with the decrease of ambient temperature. The lower the ambient temperature, the smaller the increase of the maximum expansion deformation in the filling specimen, and it will experience a process from rapid growth in the initial stage to stable decline in the middle stage, and finally stable to a fixed value.

Keywords

low temperature; cementation; characteristics of filling body; numerical simulation

低温对胶结充填体特性影响的数值模拟研究

曹俊 戈凯 李洪彦 陈金刚

西藏华泰龙矿业开发有限公司, 中国·西藏 拉萨 850200

摘要

论文基于矿山生产过程中实际环境温度,通过建立充填体试件数值计算模型,分析了不同环境温度(10°C、15°C、20°C和25°C)条件下,充填体内部湿度、温度及力学特性。研究表明:充填体试件内部温度所能达到的峰值及强度峰值都随着环境温度的降低而减小;环境温度越低,充填体试件内部的最大膨胀变形增幅越小,且将经历了从初期的快速增长到中期的平稳下降,以及最后稳定到固定值的过程。

关键词

低温;胶结;充填体特性;数值模拟

1 引言

西藏甲玛铜多金属矿是中国较为典型的高海拔低温矿井,其井下温度年均3~4个月处于10°C以下,局部中段5°C以下^[1-2]。该矿山部分采用充填采矿法进行开采,生产过程中由于环境温度较低,导致标准养护龄期条件下的全尾砂胶结充填体试件强度相对较小^[3]。为保障充填体实际强度达到其需求强度,论文采用数值模拟的手段揭示低温环境对充填体特性的影响规律,为充填体强度设计提供参考和依据。

2 模型建立及模型方案

2.1 模型建立

采用数值模拟软件内置的模块,建立充填体试件几何

模型(0.3×0.3×0.3m)及其网格划分如图1所示。

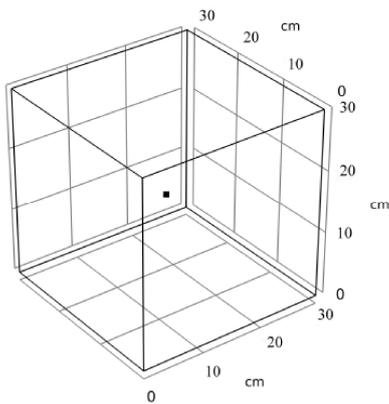
2.2 边界条件

为了确保与充填体在井下所处的实际环境相接近,几何模型除了顶部为自由条件外,其余五个面均为固定约束条件。充填体试件模型其他相关参数设置如表1所示。

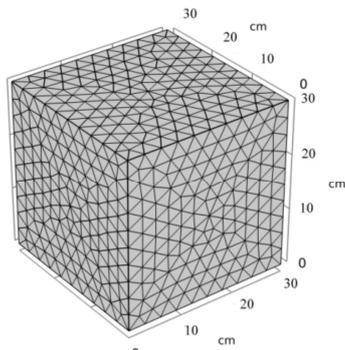
2.3 模拟方案

充填体的强度主要来源于水化反应产生的产物聚集,而充填体的水化反应又受周围环境温度的影响,对于高海拔地区的充填体来说,其所处的环境温度较低(如部分矿井采场温度最低可达到11°C),较低的环境温度通过影响充填体内部水化反应过程,来间接影响充填体特性。以下将通过对比四组环境温度(10°C、15°C、20°C和25°C)下充填体的温湿度演化、温湿度分布、强度演化和最大膨胀变形值演化来研究低环境温度对充填体特性的影响。

【作者简介】曹俊(1986-),男,中国山西太原市人,本科,从事采矿工程技术与管理研究。



(a) 几何模型



(b) 网格划分

图1 胶结充填体试件模型

表1 充填体试件模型参数设置

编号	参数名称	值 / 设置方式
1	充填体初始温度(°C)	10°C
2	热通量	上部为对流热通量, 其余面为广义热通量
3	热源	广义源(水化反应产热)
4	充填体初始湿度(%)	100%
5	环境温度(%)	45%
6	水汽通量	上部为对流水汽通量, 其余面为广义水汽通量
7	水汽源	广义源(水化反应耗水)

3 充填体特性参数演化规律

3.1 湿度特性演化规律

图2显示了低环境温度对充填体内部相对湿度演化的影响, 由图2可知当充填体所处的环境温度由25°C逐步降低到10°C时, 充填体中心部位的相对湿度也逐步推迟进入“急速下降阶段”, 且最终达到稳定时的相对湿度也逐渐升高。这是由于较低的环境温度减缓了充填体内部水化反应的进行, 充填体中的水化反应耗水速率也因此降低。

为了进一步揭示充填体在低温度环境下湿度的分布规律, 现对不同环境温度(10°C和25°C)下的胶结充填体部分时刻的湿度分布进行对比分析(如图3和图4所示)。

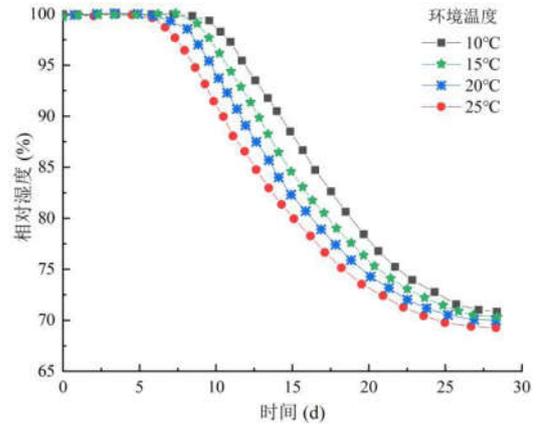


图2 低环境温度对充填体内部相对湿度演化的影响

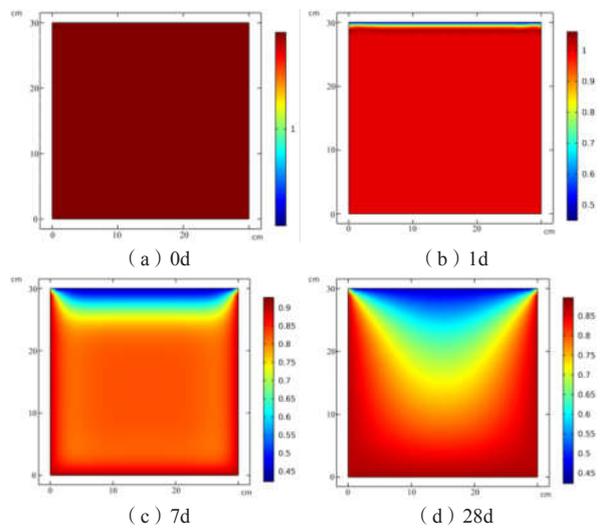


图3 低温对充填体内相对湿度分布演化规律(10°C)

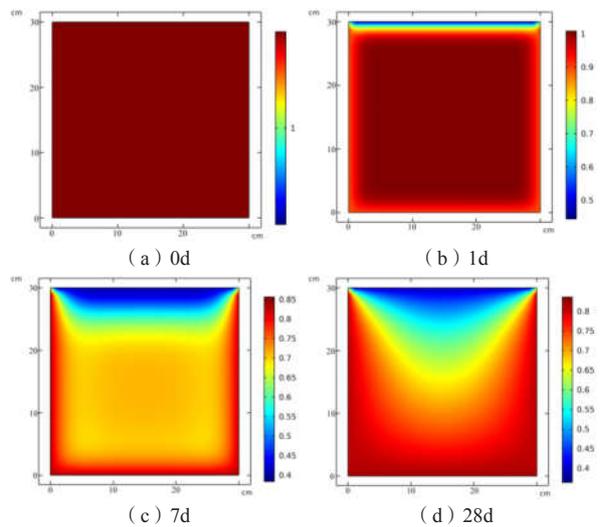


图4 低温对充填体内相对湿度分布演化规律(25°C)

从如图3和图4可知: 与较低环境温度(10°C)下的充填体湿度分布, 如图3(b)、图3(c)和图3(d)相比,

充填体在 25℃ 的环境温度下，各个时刻的湿度分布也与前者的类似，即充填体中心处的湿度最高，其次是四周和底面的湿度，最后是顶部的湿度，不同的是，后者各个时刻的湿度值要低于前者，这主要是因为更高的环境温度有利于促进水化反应的进行，充填体内部的湿度因此下降更快，湿度值更低。

3.2 温度特性演化规律

图 5 显示了低环境温度对充填体内部温度演化的影响，由图 5 可知随着环境温度的降低，充填体内部温度演化的峰值也随之降低，这是因为充填体内部温度升高是水化反应产热的结果，较低的环境温度不利于充填体内部水化放热反应的进行。同时，环境温度越低，充填体对外散失的热量也就越多，充填体可达到的峰值也就越低。

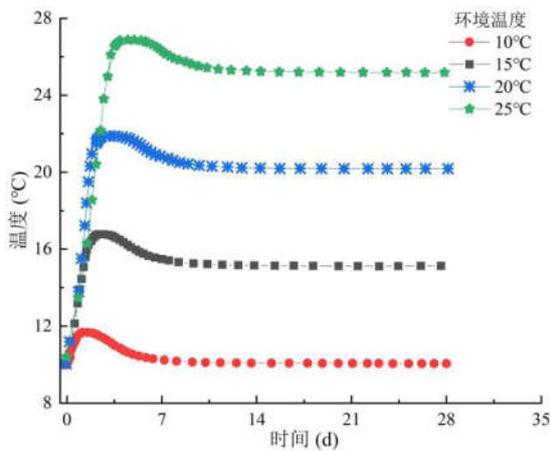


图 5 低环境温度对充填体内部温度演化的影响

为了进一步揭示充填体在低环境温度下温度的分布规律，现对环境温度分别为 10℃（如图 6 所示）和 25℃（如图 7 所示）的充填体部分时刻的温度分布情况进行对比分析。

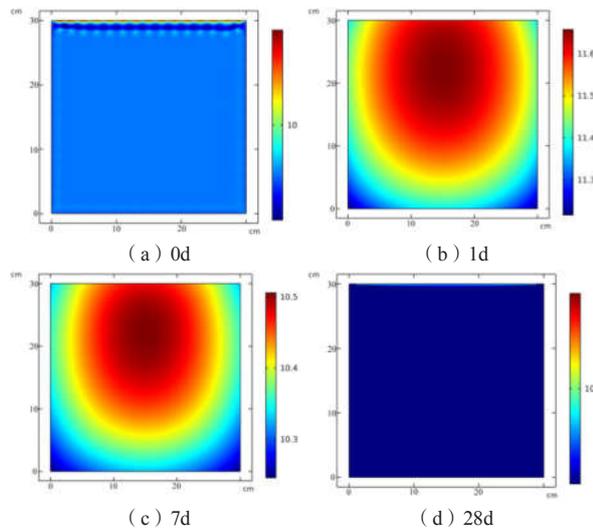


图 6 低温对充填体内温度分布演化规律（10℃）

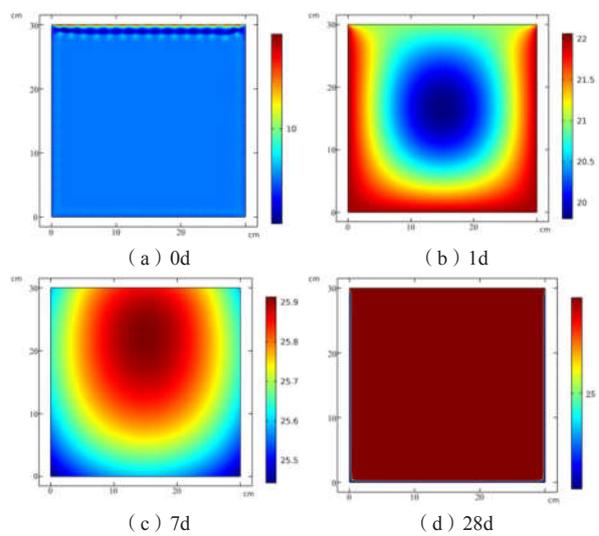


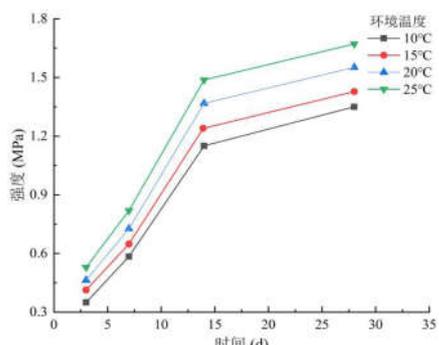
图 7 低温对充填体内温度分布演化规律（25℃）

从图 6 和图 7 可知：与较低环境温度（10℃）下的充填体温度分布相比，充填体在 25℃ 的环境温度下，1d 时的温度分布与前者的相反，即充填体中心处的温度最低，其次是顶部的温度，最后是四周和底面的温度，这主要是因为周围环境温度高于充填体初始温度，两者之间存在热交换，且“围岩”热传导效果比空气对流传热效果更明显。充填体在 25℃ 的环境温度下，各个时刻的温度值要高于在 10℃ 的环境温度下各个时刻的温度值，这主要是因为更高的环境温度有利于促进水化反应的进行，充填体内部因此积累了更多的热量，温度值也更高。

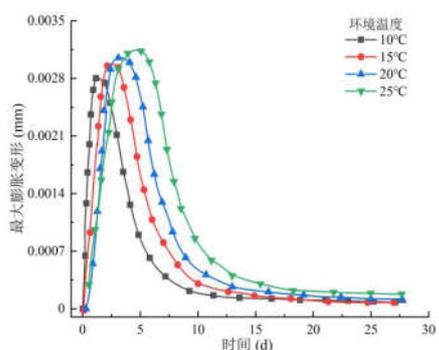
3.3 力学特性演化规律

图 8 显示了低环境温度对充填体强度和最大膨胀变形的影响，从图 8（a）可知当充填体所处的环境温度由 25℃ 逐步降低到 10℃ 时，无论是在哪个龄期，充填体的强度都发生下降。这是因为较低的环境温度不利于充填体内部水化反应的进行，充填体的环境温度越低，内部产生的水化反应产物越少，这也就越不利于充填体强度的形成。因此，在实际充填过程中，需要注意低环境温度对充填体强度的不利影响。

由于充填体在受到重力作用和湿度梯度应力作用时也会产生相应的变形，研究环境温度对充填体最大膨胀变形的影响时，需要排除重力变形和湿度变形的影响，此条件下的模拟结果如图 8（b）所示。由图 8（b）中可知：充填体的环境温度越低，其内部的最大膨胀变形增幅越小，这有利于充填体保持稳定。充填体的最大膨胀变形变化趋势与其内部温度变化趋势相类似。在初期，水化反应产生了大量热量，导致充填体温度上升，并且由于此时充填体处于塑性状态，热量对变形的影响明显；在后期，充填体的温度逐渐稳定到环境温度，充填体的最大膨胀变形也逐渐减小，最后趋于稳定。



(a) 强度



(b) 最大膨胀变形

图8 低温对充填体力学特性的影响

4 结论

①充填体内部材料的水化反应速率和强度均受温度影响，其具体表现为充填体试件水化反应过程中的内部温度峰值及强度峰值都随着环境温度的降低而减小。

②充填体所处的环境温度越低，其内部的最大膨胀变形增幅越小，且充填体的最大膨胀变形变化趋势与其内部温度变化趋势相类似，即都经历了从初期的快速增长到中期的平稳下降以及最后稳定到固定值的过程；充填体在由温度变化引起变形的同时，也出现了应力集中现象。

参考文献

- [1] 杨小聪,郭利杰.尾矿和废石综合利用技术[M].北京:化学工业出版社,2018.
- [2] 关士良,李宗楠,许文远,等.甲玛铜矿胶结充填体低温水化特征及其强度规律[J].中国矿业,2019,28(8):135-140.
- [3] 王勇,吴爱祥.低温对某铜矿膏体充填早期强度影响及工程建议[J].工程科学学报,2018,40(8):925-930.