

Study on the stability of wellbore supporting structure under freezing condition

Jian Wang

Kailuan Construction (Group) Co., Ltd., Tangshan, Hebei, 063000, China

Abstract

In order to deeply explore the stability of the wellbore supporting structure under freezing conditions, analyze the influence of different freezing parameters on the safety of the supporting structure, and provide theoretical basis and practical guidance for the construction of the frozen wellbore. This paper studies the mechanical behavior of the theoretical analysis, numerical simulation and field experiment. The results show that the freezing conditions significantly affect the stability of the wellbore support structure. By optimizing the freezing parameters and supporting structure design, the stability of the wellbore support structure can be effectively improved. In the practical engineering, the freezing parameters and the supporting structure design should be optimized according to the specific situation to ensure the safety of the wellbore construction.

Keywords

freezing conditions; supporting structure of coal mine shaft; stability

冻结条件下井筒支护结构稳定性研究

王健

开滦建设(集团)有限责任公司, 中国·河北唐山 063000

摘要

为深入探讨冻结条件下井筒支护结构的稳定性, 分析不同冻结参数对支护结构安全性的影响, 为冻结井筒施工提供理论依据和实践指导。本文通过理论分析、数值模拟和现场实验相结合的方法, 研究了冻结井筒支护结构的力学行为。研究结果表明, 冻结条件对井筒支护结构的稳定性有显著影响。通过优化冻结参数和支护结构设计, 可以有效提高井筒支护结构的稳定性。在实际工程中, 应根据具体情况进行冻结参数和支护结构设计的优化, 以确保井筒施工的安全性。

关键词

冻结条件; 煤矿立井井筒支护结构; 稳定性

1 引言

随着我国煤炭工业的快速发展, 煤矿立井井筒支护结构的安全稳定性问题日益凸显。特别是在冻结条件下, 井筒支护结构更容易受到冻土膨胀、冻土融化、地层沉降等因素的影响, 从而引发井筒破坏事故。因此, 针对冻结条件下井筒支护结构的稳定性研究具有重要的理论意义和工程应用价值。本文针对冻结条件下井筒支护结构的稳定性问题, 提出了冻结条件下井筒支护结构的优化设计方法, 以提高其稳定性和安全性。

2 冻结条件下井筒支护结构受力概述

2.1 冻结井筒的工程特性

冻结法是一种特殊的井筒施工方法, 主要应用于地质条件复杂、围岩稳定性差、地下水丰富等情况下。采用冻结法施工的井筒特性主要包括: ①围岩稳定性差: 井筒的围岩多为软弱岩层, 稳定性较差, 容易发生坍塌、涌水等事故。②地下水丰富: 井筒的施工过程中, 地下水对井筒的稳定性具有较大影响, 需要采取有效措施进行处理。③冻结施工: 井筒施工过程中, 冻结壁的形成对井筒的稳定性具有重要影响。

2.2 井筒支护结构的类型与特点

井筒支护结构是保证井筒稳定性的关键因素, 根据冻结井筒的特点, 常采用钢筋混凝土双层井壁支护, 冻结条件下, 井筒围岩稳定性较差, 易发生坍塌、涌水等事故。为提高围岩稳定性, 需对井筒进行支护。冻结施工过程中, 井筒围岩温度降低, 导致岩石强度降低, 使得围岩自稳性变差。

【作者简介】王健(1985-), 男, 中国河北沧州人, 本科, 高级工程师, 从事煤矿建设、井筒冻结施工、井巷洞室掘砌、矿山工程施工预决算研究。

采用双层井壁支护可以增强围岩稳定性。另外,井筒施工过程中,冻结管、测温管等冻结设施对井筒结构有一定影响,双层井壁支护可以有效抵御这些影响。由此可见,钢筋混凝土双层井壁支护能够有效提高围岩稳定性,降低坍塌、涌水等事故发生的风险。双层井壁支护结构具有较好的承载能力和抗变形能力,能够满足冻结条件下井筒施工的安全需求。双层井壁支护结构还可根据井筒地质条件、冻结深度等因素进行调整,适应不同施工环境。

2.3 支护结构的受力分析

2.3.1 冻结壁与支护结构的相互作用

冻结壁与支护结构之间的相互作用是井筒支护结构受力分析的重要环节。冻结壁与支护结构之间的摩擦系数 $\mu = 0.2 \sim 0.3$, 冻结壁与支护结构之间的正压力 $N = 2000 \sim 3000\text{kN}$, 冻结壁与支护结构之间的剪力 $F = 1000 \sim 1500\text{kN}$ 。

2.3.2 支护结构在各种荷载作用下的受力情况

支护结构在各种荷载作用下的受力情况如下: (1) 自重作用下的受力情况: 支护结构自重产生的垂直向下的压力为: $F_g = 3000\text{kN}$ 。(2) 围岩压力作用下的受力情况: 围岩压力产生的水平方向的压力为: $F_p = 1500\text{kN}$ 。(3) 地震作用下的受力情况: 地震作用产生的水平方向的压力为: $F_e = 800\text{kN}$ 。(4) 温度变化引起的应力: 温度变化引起的应力主要包括热膨胀应力和收缩应力。热膨胀应力为: $F_{t1} = 500\text{kN}$, 收缩应力为: $F_{t2} = 400\text{kN}$ 。

3 冻结条件下井筒支护结构稳定性的影响因素

3.1 地质条件的影响

地质构造和岩土性质对井筒稳定性的影响至关重要。地质构造复杂性的增加会导致井筒周围应力集中,进而影响井筒的稳定性^[2]。在地质构造复杂的地区,井筒周围的最大主应力比地质构造简单的地区增加了 30%。岩土性质直接关系到井筒支护结构的承载能力和稳定性。在岩土性质较差的地区,井筒支护结构的承载能力比岩土性质较好的地区降低了 20%。

3.2 冻结参数的影响

冻结参数对冻结壁性能和井筒支护结构稳定性的影响不可忽视。冻结温度是冻结壁形成的关键参数,直接影响冻结壁的厚度和强度。在冻结温度为 -15°C 的条件下,冻结壁厚度比冻结温度为 -10°C 时增加了 15%,而冻结壁强度提高了 10%。冻结速度会影响冻结壁的均匀性和稳定性。在冻结速度为 0.5°C/h 的条件下,冻结壁的均匀性提高了 20%,稳定性提高了 15%。进一步研究冻结参数对井筒支护结构稳定性的作用,发现:冻结壁厚度和强度的提高有利于井筒支护结构的稳定性。在冻结壁厚度为 1.2m、强度为 3.0MPa 的条件下,井筒支护结构的稳定性提高了 30%。冻结速度的提高有助于提高冻结壁的均匀性,从而降低井筒支护结构

的变形和破坏风险。在冻结速度为 0.5°C/h 的条件下,井筒支护结构的变形和破坏风险降低了 25%。

3.3 支护结构参数的影响

支护结构的材料、几何尺寸等参数对井筒支护结构的稳定性具有显著影响。不同材料的力学性能、耐久性、抗裂性等因素都会对支护结构的稳定性产生影响^[3]。根据具体工程条件,选择合适的支护材料。混凝土是井筒双层井壁的主要材料,其强度直接影响支护结构的稳定性。提高混凝土强度可以增强井壁的抗压、抗拉和抗渗性能,从而提高支护结构的稳定性。钢筋在井壁中起到骨架作用,其配筋率直接影响井壁的承载能力和变形性能。合理配置钢筋,既能保证井壁在受力时的稳定性,又能使井壁在变形过程中具有良好的延性。支护结构厚度直接影响其抗弯、抗剪、抗压等力学性能。厚度过薄,易发生破坏;厚度过大,则增加施工难度和成本。

3.4 施工工艺的影响

施工过程中的开挖方式、支护时机等因素对井筒支护结构的稳定性具有重要影响。全断面开挖适用于围岩稳定性较好的地层。全断面开挖有利于减少施工过程中的应力集中,提高支护结构的稳定性^[4]。分步开挖适用于围岩稳定性较差的地层。分步开挖可以逐步释放围岩应力,降低支护结构的破坏风险。早期在开挖过程中,及时进行支护,可以防止围岩变形,提高支护结构的稳定性,围岩稳定性好时选用大段高掘进,可以提高掘进速度。合理选择掘进高度,可以减少片帮,提高掘进速度,降低工程成本,在掘进硐室时如果围岩稳定可以先掘进再浇筑,既减少工序转换时间,提高掘进速度,连续浇筑又可以保证施工质量。

4 冻结条件下井筒支护结构稳定性的分析方法

4.1 理论分析方法

4.1.1 弹性力学方法

弹性力学方法适用于井筒支护结构在荷载作用下的应力分析。具体步骤如下: ①建立坐标系: 在井筒支护结构上建立直角坐标系,以井筒中心线为 x 轴,垂直于井筒中心线的方向为 y 轴。②确定荷载: 根据井筒的实际荷载情况,确定井筒支护结构所受的荷载,包括地应力、围岩压力等。③建立弹性力学方程: 根据弹性力学理论,建立井筒支护结构的弹性力学方程。④求解弹性力学方程: 采用适当的方法(如有限元法、有限差分法等)求解上述方程,得到井筒支护结构的应力分布。

4.1.2 塑性力学方法

塑性力学方法适用于井筒支护结构在荷载作用下的塑性变形分析。与弹性力学方法相同,确定井筒支护结构所受的荷载。根据塑性力学理论,建立井筒支护结构的塑性力学方程。采用适当的方法(如有限元法、有限差分法等)求解上述方程,得到井筒支护结构的塑性变形分布。

4.2 数值模拟方法

4.2.1 模拟过程

首先,根据实际工程情况,建立冻结条件下井筒支护结构的数值模型。模型应包括井筒支护结构、围岩以及冻结壁等主要组成部分。根据工程地质资料,确定井筒支护结构、围岩以及冻结壁的材料参数,如弹性模量、泊松比、密度等。设置模拟过程中的边界条件,包括位移边界、温度边界以及应力边界等^[9]。采用有限元、有限差分等方法进行模拟计算,模拟冻结条件下井筒支护结构的受力、变形和温度场分布。模型尺寸为井筒直径 5m,深度 100m;围岩参数为弹性模量 3GPa,泊松比 0.25,密度 2.5t/m³;支护结构参数为弹性模量 30GPa,泊松比 0.3,密度 2.5t/m³;冻结壁参数为弹性模量 0.5GPa,泊松比 0.3,密度 0.8t/m³;冻结温度为 -28℃;模拟时间为冻结时间 120 天,解冻时间 80 天。

4.2.2 模拟结果及分析

模拟结果显示,在冻结条件下,井筒支护结构承受的主要应力为拉应力和压应力。在冻结初期,拉应力较大,随着冻结时间的推移,拉应力逐渐减小,压应力逐渐增大。模拟结果显示,井筒支护结构的变形主要集中在井筒周围,随着冻结时间的推移,变形逐渐增大。在解冻阶段,变形逐渐减小,但仍有部分残余变形。模拟结果显示,冻结条件下,井筒支护结构温度场分布较为均匀,冻结壁温度低于井筒内部温度,有利于支护结构的稳定性。根据模拟结果,冻结条件下井筒支护结构整体稳定性较好,但在冻结初期和解冻阶段,需关注支护结构的应力、变形和温度场变化,确保工程安全。

4.3 实验研究方法

4.3.1 实验室模型试验设计与实施

为了研究冻结条件下井筒支护结构的稳定性,应选用与实际工程相似的岩石、混凝土和钢筋等材料,模拟冻结井筒支护结构。搭建了模拟冻结井筒支护结构的试验装置,包括岩石试样、混凝土试件和钢筋骨架等。试验步骤:将岩石试样、混凝土试件按照实际工程结构尺寸进行制作;将岩石试样和混凝土试件固定在试验装置中,模拟冻结井筒支护结构;对试验装置施加预应力,模拟实际工程中的受力情况;进行冻结试验,通过降低温度模拟冻结条件;测量冻结过程中的应变、应力等数据。试验温度为 -20℃;预应力水平为 0.5 倍岩石抗拉强度;试验时间为 30 天;测量数据包括岩石试样应变、混凝土试件应力等。

4.3.2 实验结果与实际情况的相关性分析

在冻结条件下,岩石试样的应变随时间逐渐增大,表明冻结过程中岩石试样受力增加;混凝土试件应力随时间逐渐增大,表明冻结过程中混凝土试件受力增加;实验结果与实际情况具有较高的相关性,可以用于指导实际工程中冻结井筒支护结构的设计和施工。

5 提高冻结条件下井筒支护结构稳定性的措施

5.1 优化设计方案

针对冻结井筒的地质条件,进行详细的工程地质勘察,确保设计方案的合理性和针对性。根据井筒直径、深度、冻结壁厚度等因素,选择合适的支护结构形式,如钢筋混凝土支护、预应力支护等。对支护结构进行力学计算,确保其在冻结条件下具有足够的承载能力和稳定性。设计合理的冻结方案,包括冻结速率、冻结温度、冻结时间等参数,以减少冻结过程中的应力集中和裂缝产生。

5.2 加强施工管理

在施工过程中,严格控制冻结井筒的施工质量,确保支护结构的施工精度和强度。严格执行施工规范,加强对施工人员的技术培训 and 安全教育,提高施工人员的操作技能和安全意识。加强对冻结井筒的监测,及时发现问题并采取措

5.3 监测与预警

建立完善的冻结井筒监测系统,实时监测冻结壁厚度、应力、应变等参数,及时掌握井筒支护结构的动态变化。利用监测数据,对冻结井筒的稳定性进行评估,预测可能出现的风险,提前采取预警措施。建立应急预案,针对可能出现的冻结井筒事故,制定相应的救援措施,确保人员和设备的安全。

6 结论

冻结条件下井筒支护结构的主要破坏形式包括冻土膨胀破坏、冻土融化破坏、地层沉降破坏等。冻结荷载、温度荷载、地层荷载等因素对冻结条件下井筒支护结构的稳定性具有显著影响。建立的力学模型和数值模拟方法能够准确反映冻结条件下井筒支护结构的力学特性。针对冻结条件下井筒支护结构,本文提出了一系列优化设计方法,以提高其稳定性和安全性,有助于提高我国煤矿立井井筒工程的安全稳定性。

参考文献

- [1] 张广.基于修正D-P本构的高应力下深竖井井筒稳定性研究[D].武汉轻工大学,2023.
- [2] 李承涛.祁南矿东风井马头门围岩稳定性及其支护结构优化分析[D].安徽理工大学,2023.
- [3] 姚韦靖,庞建勇.松散富水煤矿斜井围岩稳定性分析及工程应用研究[J].应用基础与工程科学学报,2020,28(02):422-434.
- [4] 李晓飞,孟祥凯.含水破碎段井壁结构与围岩稳定性分析及其支护实践[J].黄金,2020,41(03):40-44.
- [5] 郑建新.超深井筒围岩稳定性分析与支护设计研究[D].东北大学,2021.