

深凹露天矿逆温层形成规律与通风优化

赵顺荣

永兴特种材料科技股份有限公司 浙江湖州

【摘要】深凹露天矿独特的地形结构易导致逆温层频繁出现，限制空气对流并加剧有害气体聚集，严重影响矿区作业安全与生产效率。研究表明，逆温层的形成受气象条件、地形特征及矿坑深度的综合作用，其稳定性和持续时间直接决定空气交换效率。通过对逆温层形成规律的分析，可识别主要控制因子，并为通风优化提供理论依据。在通风系统设计与运行中，需结合逆温层时空分布特征，合理调整风机布置与风量分配，从而削弱不利气候效应，提升空气循环能力。该思路不仅改善矿区作业环境，也对安全生产具有现实意义。

【关键词】深凹露天矿；逆温层；形成规律；通风优化

【收稿日期】2025年8月15日 **【出刊日期】**2025年9月19日 **【DOI】**10.12208/j.jccr.20250057

Formation law and ventilation optimization of temperature inversion layer in deep open pit mine

Shunrong Zhao

Yongxing Special Materials Technology Co., Ltd, Huzhou, Zhejiang

【Abstract】 The unique terrain structure of deep depression open-pit mines frequently leads to the formation of temperature inversion layers, which restrict air convection and exacerbate the accumulation of harmful gases, significantly impacting mining safety and production efficiency. Research indicates that the formation of these inversion layers is influenced by a combination of meteorological conditions, topographic features, and pit depth, with their stability and duration directly determining air exchange efficiency. By analyzing the formation patterns of temperature inversion layers, key controlling factors can be identified to provide theoretical foundations for ventilation optimization. In ventilation system design and operation, adjustments to fan placement and airflow distribution based on the spatiotemporal characteristics of inversion layers can mitigate adverse climatic effects and enhance air circulation capacity. This approach not only improves working conditions in mining areas but also holds practical significance for production safety.

【Keywords】 Deep depression open-pit mines; Temperature inversion layers; Formation patterns; Ventilation optimization

引言

深凹露天矿开采过程中，大气环境与地形因素交互作用，常引发逆温层现象。逆温层的存在会使污染物扩散受阻，形成空气滞留区，导致作业空间通风不畅和有害气体浓度升高。随着矿坑深度不断增加，逆温层的出现频率和稳定性呈现增强趋势，通风问题日益突出。针对这一复杂环境，深入揭示逆温层的形成机制，并探索高效的通风优化途径，已成为保障矿区安全与生产可持续发展的关键切入点。

1 深凹露天矿逆温层形成的环境问题

深凹露天矿由于其特殊的地形和开采方式，在生产过程中极易出现逆温层现象。逆温层指的是气温随

高度升高而反常增加的状态，这一大气层结特征使空气对流减弱甚至停止，导致污染物和有害气体在矿坑底部聚集。深凹露天矿往往地势封闭，四周边坡阻挡空气流动，形成“盆地效应”，加剧了气流交换受限的状况。当气象条件如夜间辐射冷却或弱风稳定存在时，逆温层的形成概率大大提高，空气污染物无法及时稀释与扩散，直接造成作业区环境恶化^[1]。矿坑内部氧气供应不足、二氧化碳和一氧化硫等有害气体浓度升高，严重时会威胁作业人员生命安全并降低机械设备运行效率。

随着矿坑深度不断加大，逆温层的形成表现出更为显著的稳定性和持久性。深凹地形使得冷空气在坑

底沉降，热空气停留在上部空间，形成明显的温度倒置结构。这种结构削弱了垂直混合作用，使得通风系统的自然通风效果几乎丧失。若逆温层长期存在，污染物浓度持续升高，氮氧化物和粉尘等颗粒物在空气中滞留，极易超过安全标准。逆温层还会导致空气湿度异常变化，引发局部凝结和雾化效应，进一步削弱能见度和空气流通。对于矿区运输、爆破和钻采等作业环节而言，这种环境问题不仅带来生产风险，还增加了事故发生概率。

在深凹露天矿的日常管理与安全生产中，逆温层造成的环境问题具有长期性与复杂性。由于逆温层多发生在静稳天气条件下，常常难以依靠自然风力消散，导致矿坑空气质量波动剧烈。尤其在冬季和早春，昼夜温差明显，逆温层持续时间更长，给作业安全带来持续隐患^[2]。若通风措施与逆温层特征不匹配，矿坑通风阻力增大，空气交换率降低，矿区可能形成局部缺氧和高污染的“死角区”。这一环境问题不仅限制了开采效率，还对矿区生态环境造成叠加压力。深凹露天矿逆温层的形成规律与其对环境的影响，已成为亟需系统研究与工程对策的重要课题。

2 深凹露天矿逆温层形成规律与影响因素

深凹露天矿逆温层的形成规律与气象条件、地形特征以及矿坑自身的深度结构密切相关。逆温层的出现往往伴随着大气稳定度的增强，当夜间辐射冷却或弱风条件主导时，地表温度快速下降，而高空气团保持较高温度，形成垂直温度梯度的异常分布。在深凹露天矿中，这种现象因“坑谷效应”被进一步放大，冷空气沉降至坑底，热空气滞留于上部空间，形成稳定的热力分层^[3]。随着逆温层的建立，空气垂直混合受阻，大气扩散能力显著降低，矿坑空间逐渐转变为封闭状态，污染物和粉尘无法向上扩散。形成规律表现为在晴朗无风的早晚时段最为频繁，持续时间可从数小时延长至一整昼夜，对矿区空气质量构成长期影响。

在影响因素方面，矿坑的几何形态是重要控制条件之一。深凹露天矿往往具有较大的深宽比和陡峭边坡，这种空间格局阻碍了外界风场的进入，导致气体交换以弱对流为主。矿坑深度越大，冷空气越容易沉积在底部，逆温层的强度和厚度也随之增加。气象条件中的风速与气温梯度则是决定逆温层是否形成的关键因子，当风速低于一定阈值时，逆温层能够迅速建立并维持稳定。地表热平衡的变化同样起到显著作用，强烈的昼夜温差和持续的辐射冷却会加快冷空气在矿坑底部的聚集过程，从而导致逆温层的形成频率和强度增加。

逆温层形成的规律还表现出明显的季节性与区域性差异。冬季与早春时段，由于地表辐射冷却效应显著，逆温层更易发生并保持较长时间。而在夏季，尽管气温较高，但矿坑局部受高压系统或稳定天气控制时，同样可能形成逆温层现象。此外，矿区周边的地貌特征、植被覆盖率以及空气湿度也对逆温层的稳定性具有一定调节作用。矿区位置若处于山谷或丘陵环抱区域，外部风能输入不足，更容易强化温度倒置层的稳定性。空气湿度的增加则会促进逆温层内的雾化与气溶胶生成，使得大气扩散条件进一步恶化^[4]。深凹露天矿逆温层的形成是多因子耦合作用的结果，其规律性不仅体现为时间和空间的变化，还与地形、大气稳定度以及矿坑结构特征紧密相连。

3 深凹露天矿通风困境的机理分析

深凹露天矿在通风过程中面临的困境源于逆温层对气体交换机制的破坏。逆温层的存在导致矿坑内部空气垂直混合受限，冷空气在低洼区域沉降而无法与上部空气形成有效对流，使自然通风路径被切断。由于深凹矿坑边坡高耸，空气动力条件受限，常见的风压通风作用显著减弱^[5]。当外部风速不足以克服温度倒置带来的稳定层结时，矿坑内部污染物逐渐累积，尤其是二氧化硫、氮氧化物和粉尘颗粒物的浓度显著上升。通风困境在夜间和冬季最为突出，这种情况下空气流动近乎停滞，局部缺氧和高浓度污染气团在作业区域长期存在，严重制约安全生产。

通风效率受多重因素制约，其中矿坑几何形态与大气边界层结构的耦合作用是关键机理。深凹露天矿大多呈现漏斗状空间，气流进入后受限于边坡反射与阻挡，难以形成稳定的循环通道。当逆温层建立后，温度梯度在空间上分布不均，形成强烈的热力抑制效应，进一步加剧空气交换困难。风力通风原理在这种条件下往往失效，外界空气难以深入坑底，内部风量不足导致通风盲区大量存在。局部区域空气滞留时间延长，污染物扩散路径变得复杂而低效，空气动力学上的通风阻力不断增加。由此形成的困境不仅体现为空气交换不足，还表现为风量分配不均和流场紊乱，导致矿区通风系统难以维持预期的稀释与输送功能。

在实际生产中，深凹露天矿的通风困境还受到气候条件和开采方式的叠加影响。矿坑深度增加后，温差分布更加明显，逆温层的稳定性更强，通风系统需克服的阻力随之升高。当采场范围扩大、爆破与运输作业频繁进行时，大量粉尘和尾气释放加剧了空气负荷，使有限的通风能力更加紧张。气象条件如弱风、静风及高湿

度天气进一步降低空气扩散系数,促使污染物在矿坑低处蓄积^[6]。机械通风虽能一定程度缓解问题,但在逆温层主导的气象背景下,风机提供的动能难以完全突破温度倒置层的约束,通风困境仍然难以根本解决。这种复杂的机理说明,深凹露天矿的通风问题不仅是工程技术层面的挑战,更是大气物理过程与采矿环境相互作用的结果。

4 深凹露天矿逆温层条件下的通风优化途径

在深凹露天矿逆温层条件下,通风优化的核心在于突破温度倒置所形成的稳定层结,重建空气流动通道。由于自然风力在逆温层存在时作用有限,通风系统必须引入主动调控方式,通过机械通风与合理风量分配提高空气交换效率。风机的布置位置对通风效果具有决定性作用,当风机能够沿矿坑深度和主要污染物积聚区进行有针对性设置时,气体流场能够得到有效改善^[7]。采用可变频风机技术,根据逆温层强度和污染物浓度实时调整风量,也能够降低能耗并提升空气稀释效率,从而实现矿区空气动力学结构的动态调控。

在通风设计中,必须充分考虑逆温层的时空分布特征。通过建立数值模拟模型,对不同气象条件下的温度梯度、风速变化及污染物扩散轨迹进行预测,可以为通风优化提供可靠依据。研究表明,在逆温层强度较高时,单一通风方式难以达到理想效果,联合通风成为重要策略。例如,利用上送下排的通风组织方式,可以加速污染物向上层空气转移,减弱温度倒置的阻隔作用。同时,设置导风道和调节挡风设施,改善局部气流组织,也能显著提升通风效率。这些方法在与实时监测系统结合时,能够形成动态响应机制,使通风策略随逆温层变化而调整。

在实际应用中,通风优化不仅需要技术手段,还要与生产组织相结合。合理安排作业时间,避免在逆温层最为稳定的时段进行高污染工序,可减少污染物在矿坑底部的累积。结合喷雾降尘与空气加湿等措施,可以在一定程度上削弱逆温层的稳定性,促进空气流动^[8]。矿区应建立完善的气象与空气质量监测系统,实时掌握逆温层发展过程,并将监测数据与通风控制系统联动,实现科学决策。通过这种多层次的优化思路,能够在逆温层条件下有效改善深凹露天矿的通风困境,提升空气质量并保障作业安全。

5 结语

深凹露天矿逆温层的存在使通风环境复杂化,空气对流受阻和污染物滞留成为制约安全生产的重要因素。逆温层的形成规律与气象条件、矿坑结构及地形特征密切相关,其稳定性和持续性直接决定了通风效率。在深入分析逆温层机理的基础上,结合机械通风、风量调控与作业时间优化等措施,能够有效缓解空气交换受限的困境。针对逆温层条件开展的通风优化,不仅改善了作业区空气质量,也为深凹露天矿安全高效开采提供了坚实保障。

参考文献

- [1] 何成普,张薇. 绿色建筑中自然通风系统的优化设计与节能效果[J].中国科技信息,2025,(16):50-52.
- [2] 刘会超,王光生,郭歧强. 极寒地区地下洞室通风供暖系统节能优化与温控关键技术研究[J/OL].红水河,2025,(04): 1-8[2025-08-19].
- [3] 陈靖琪,侯耀华,李思成,等. 圆形煤仓甲烷浓度特性及其自然通风效果优化研究[J].中国安全生产科学技术,2025,21(07):70-77.
- [4] 刁逸菲,毛裕定,吴利红,等. 基于逆温层基差风险的浙江茶叶低温气象指数保险[J].中国农业气象,2025,46(01):71-79.
- [5] 梁源贵,周宗红,侯廷凯,等. 某深凹露天矿复杂边坡稳定性数值模拟及加固措施研究[J].有色金属(矿山部分),2025,77(01):65-71+81.
- [6] 周昌菊. 深凹露天矿山边坡地质灾害监测与防治技术研究[J].西部探矿工程,2024,36(06):24-26+30.
- [7] 周红平. 波状挡边带式输送机在某深凹露天矿山连续输送中的应用[J].中国锰业,2023,41(06):87-92.
- [8] 王麒,蒋蔚,段文权,等. 深凹露天矿山排水泵并联排水系统问题分析与改进[J].水泵技术,2022,(06):46-50.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS