

# 煤矿立井冻结工法应用与改进

岳双

中煤特殊凿井有限责任公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i3.8792

**[摘要]** 煤矿立井冻结工法作为深厚表土与富水地层立井施工的核心技术手段，凭借人工制冷形成的冻结壁实现地下水隔绝与围岩加固，对保障施工安全、把控工程进度具有关键作用，目前已在我国煤矿立井建设领域实现规模化应用。本文以煤矿立井施工实际工况为切入点，围绕冻结工法的技术应用场景与优化改进方向，从冻结方案设计、技术参数控制、施工工艺方法三个核心技术维度展开深入分析，结合陕煤集团曹家滩矿业、延长矿业海测滩煤矿等典型工程案例，系统总结立井冻结施工工程管理的成熟经验，同时剖析当前冻结工法应用过程中存在的共性问题与短板，并针对性提出改进策略与优化路径。研究结果显示，通过对冻结工法的设计体系、技术参数与施工流程进行系统化优化，融合精细化工程管理模式，能够有效破解冻结施工中冻融不均匀、施工进度滞后、安全隐患突出等系列难题，显著提升施工质量与作业效率，降低工程建设成本，为煤矿立井冻结施工技术的迭代升级与行业高质量发展提供坚实的技术支撑与实践参考。

**[关键词]** 煤矿立井；冻结工法；方案优化；参数调控；施工改进；工程管理

## Application and Improvement of Freezing Methodology in Coal Mine Vertical Shaft Construction

Yue Shuang

zhong Coal Special Shafting Co., Ltd.

**[Abstract]** As a core technical approach for constructing vertical shafts in deep surface soil and water-rich strata, the freezing methodology utilizes artificial refrigeration to form freezing walls that isolate groundwater and reinforce surrounding rock formations. This technique plays a critical role in ensuring construction safety and controlling project timelines, having been widely adopted in China's coal mine vertical shaft construction sector. Based on actual construction conditions, this study conducts an in-depth analysis of freezing methodology applications and optimization strategies across three key technical dimensions: freezing scheme design, technical parameter control, and construction techniques. Through case studies of typical projects including Shaanxi Coal Group's Caojiatan Mining and Yanchang Mining's Haicetan Coal Mine, the research systematically summarizes mature engineering management practices for vertical shaft freezing construction. It simultaneously identifies common challenges and shortcomings in current application processes, proposing targeted improvement strategies and optimization pathways. Findings demonstrate that systematic optimization of freezing methodology design systems, technical parameters, and construction workflows, combined with refined engineering management models, can effectively address issues such as uneven freeze-thaw cycles, construction delays, and prominent safety hazards. This approach significantly enhances construction quality and operational efficiency while reducing project costs, providing robust technical support and practical references for technological iteration upgrades and high-quality industry development in coal mine vertical shaft freezing construction.

**[Key words]** coal mine shaft; freezing method; scheme optimization; parameter control; construction improvement; project management

## 一、煤矿立井冻结工法应用现状及现存问题

当前，煤矿立井冻结工法已广泛应用于陕煤集团曹家滩矿业、延长矿业海测滩煤矿、九龙川煤矿等国内各类煤矿立井建设项目，尤其在表土厚度大于100米、含水量大于20%的富水松软地层施工中成效显著，在保障施工安全、加快工程进度方面发挥了不可替代的作用。但从实际工程应用情况来看，冻结工法仍存在诸多亟待解决的问题，主要集中在以下四个方面。

其一，冻结方案设计针对性不足。部分施工单位未充分结合矿井自身地质条件，如地层岩性、含水量、水压等，开展个性化方案设计，盲目照搬同类工程的冻结方案，导致冻结壁布置不合理、冻结范围出现偏差或过度冻结等问题，不仅增加了工程建设成本，还埋下了安全隐患。

其二，技术参数控制精度欠缺。冻结温度、冻结时间、盐水循环速度等核心参数设定缺乏科学依据，易造成冻结壁强度不均匀、冻融速度过快或过慢等情况，直接影响施工质量。例如，延长矿业海测滩煤矿立井施工中出现的炮孔结冰、爆破效果不佳等问题，经分析与技术参数控制不当密切相关。

其三，施工工艺方法较为传统。冻结孔施工、盐水循环、冻结壁维护等关键环节仍沿用传统工艺，施工效率偏低，且人工操作过程中误差难以控制，无法适配深部立井、超大断面立井的施工需求，技术升级滞后于工程发展需求。

其四，工程管理体系存在漏洞。技术交底不彻底、质量管控不到位、安全管理存在盲区，部分施工人员专业技能水平不足，导致施工过程中违规操作现象时有发生，严重影响冻结工法的应用效果与工程建设质量。

## 二、煤矿立井冻结工法的优化措施

### (一) 冻结方案设计优化

冻结方案设计是冻结工法应用的前提基础，优化设计需以工程地质勘察结果为核心依据，结合立井直径、深度、地层条件等实际工况，实现个性化、科学化的方案构建。首先，精准开展地层参数勘察工作，通过钻探、物探等专业技术手段，全面获取地层岩性、含水量、渗透系数、水压等关键数据，为方案设计提供详实、可靠的数据支撑，从源头避免方案设计的盲目性。其次，优化冻结壁布置方案，依据立井断面尺寸与地质条件，科学确定冻结孔的布置形式、数量及间距。针对超大断面立井，如曹家滩矿业南部风井副立井（净直径12.5米），可采用环形布置结合辅助冻结孔的组合方式，确保冻结壁的连续性与均匀性，满足强度与隔水性能要求；针对深部高压地层，如九龙川煤矿1070米冻结井，需适当增大冻结壁厚度设计，提升其抗水压能力。最后，优化冻结系统整体设计，合理选型制冷设备与盐水循环管道，保障制冷效率的同时，设计备用制冷系统，应对设备故障等突发情况，确保冻结施工的连续

稳定进行，严格符合《煤矿安全规程》中特殊凿井法施工组织设计的相关规范要求。

### (二) 冻结技术参数优化

冻结技术参数是决定冻结效果的核心要素，需结合地层条件与施工需求，对冻结温度、冻结时间、盐水循环速度等核心参数进行精细化调控，实现精准控制。一是优化冻结温度设定，根据地层岩性与含水量差异，合理划分温度控制区间。对于富水松软地层，将冻结温度控制在 $-12^{\circ}\text{C}$ ~ $-18^{\circ}\text{C}$ ，确保冻结壁快速成型且强度达标；对于深部高压地层，需将冻结温度下调至 $-20^{\circ}\text{C}$ ~ $-25^{\circ}\text{C}$ ，增强冻结壁的抗水压性能。二是科学优化冻结时间，通过计算冻结壁形成所需时长，结合施工进度计划，合理确定冻结周期，避免因冻结时间过长增加成本，或时间过短导致冻结壁强度不足。以曹家滩矿业南部风井项目为例，通过优化冻结时间安排，实现超大断面立井主体工程一年完工的目标。三是调控盐水循环速度，将盐水循环速度控制在 $1.5\sim 2.0\text{m/s}$ ，保证盐水热量交换充分，使冻结壁温度分布均匀，杜绝局部冻融不均问题；同时，实时监测盐水温度、浓度等指标，根据监测数据及时调整参数，确保冻结效果稳定。此外，针对炮孔结冰等常见问题，优化冻结与掘进的衔接参数，采取“打眼前排尽积水”“装药前吹孔排除孔内积水”等措施，有效提升施工效率。

### (三) 冻结施工方法优化

结合工程实践经验，对冻结孔施工、盐水循环、冻结壁维护、掘砌衔接等关键施工环节进行工艺方法优化，全面提升施工效率与质量。一是优化冻结孔施工工艺，引入定向钻进技术，减少冻结孔偏斜，保障钻孔位置精准度；针对深部冻结井，采用冻结孔光纤陀螺随钻纠偏钻进技术，进一步提升钻孔精度，同时优化钻孔施工流程，加快钻孔施工速度，降低钻孔过程中涌水、坍塌等风险。二是升级盐水循环系统，采用闭环循环系统设计，减少盐水损耗，同时安装专用过滤器，防止杂质堵塞管道，保障盐水循环顺畅；引入智能监测设备，实时监控盐水温度、压力、流量等参数，实现盐水循环的自动化控制。三是强化冻结壁维护管理，在冻结过程中，实时监测冻结壁温度、位移变化，及时发现并处理冻结壁裂缝、冻融不均等问题；针对超大断面立井，采用分段冻结、分段掘砌的施工方法，减小冻结壁受力，避免坍塌事故发生。四是优化掘砌衔接流程，合理安排冻结与掘砌的施工顺序，待冻结壁强度达到设计要求后，及时开展掘砌施工，避免冻结壁过度冻结增加掘砌难度；采用“多打眼少装药”的爆破方式，减少对冻结壁的扰动，如延长矿业海测滩煤矿通过优化爆破设计，显著提升了掘砌爆破效果。

### (四) 工程管理优秀经验总结与优化

借鉴陕煤集团曹家滩矿业等优秀工程案例的管理经验，进一步完善工程管理体系，为冻结工法的顺利应用提供全方位保障。一是构建“全链条协同、全要素保障、全周期赋能”的管理模式，突破传统“甲方主导”的思维局限，将项目部定位从单纯执行者升级为“合作伙伴”，明确各方责任主体，实现多方协同攻坚、高效联动。二是推行“五个一”包抓机制，即一个工程、一名矿领导、一个职能部门、一名项目专干、一抓到底，将工程责任细化落实到个人，每月定期开展工程进度联合验收，对滞后节点问题现场协调资源、限期解决。三是强化技术管理体系建设，组建专业技术攻关小组，常驻施工现场解决冻结施工、爆破等技术难题；开放矿区实验室，为项目部提供地质数据、材料检测等技术支持；加强技术交底与技能培训，提升施工人员专业素养，确保优化后的技术、工艺规范落地执行。四是严格质量与安全管控，推行“1+1+N”检查模式，即周二公司综合大检查、零点项目部突击检查、日常联合巡检，全面排查施工安全隐患，确保隐患整改率100%；严格执行工序验收制度，从原材料进场检验到冻结、掘砌施工全流程严格把控，同时完善安全应急预案，应对冻结站制冷机组异常等突发情况。五是优化绩效考核机制，将项目部KPI与矿井整体发展目标深度绑定，对完成进度目标、提出技术优化建议的团队给予专项奖励，充分激发施工人员的积极性与主动性。

### 三、煤矿立井冻结工法的改进方向与实践效果

#### (一) 改进方向

结合当前冻结工法应用的现存问题与行业发展趋势，未来冻结工法的改进应聚焦三大核心方向。一是推进智能化改进，引入物联网、大数据等前沿技术，构建冻结施工智能监测系统，实现对冻结参数、冻结壁状态、施工进度的实时监测与数据分析，如九龙川煤矿研发的超深井冻结智能监控系统，可实现施工全过程智能化管控，提升参数控制精准度。二是实施绿色化改进，优化制冷系统配置，采用高效变频制冷机组等节能设备，降低能源消耗，同时回收利用制冷过程中产生的余热，减少对生态环境的影响，契合绿色低碳发展理念。三是深化一体化改进，推动冻结工法与其他施工工法的融合应用，如冻结-注浆一体化技术，提升围岩加固效果，拓展其在更复杂地质条件下的应用范围；同时优化施工流程，实现冻结、掘砌、支护一体化施工，进一步提升施工效率。

#### (二) 实践效果

以陕煤集团曹家滩矿业南部风井项目、延长矿业海测滩煤矿主立井项目为实践案例，应用上述优化改进措施后，冻结工法应用效果显著提升。曹家滩矿业南部风井副立井（净直径12.5米）通过优化冻结方案与参数，采用智能监测与协同管理模式，成功攻克超大断面井筒冻结壁交圈控制等核心技术难

题，实现井筒掘砌全程“零事故、零偏差”，主体工程历时约1年完成，较计划工期提前交付；同时，通过优化装备组合与施工方法，出矸效率较传统工艺提升40%，掘进效率提升30%。延长矿业海测滩煤矿主立井通过优化冻结参数与爆破设计，有效解决了炮孔结冰、爆破效果不佳等问题，主立井井筒提前31天安全落底，施工质量与进度均达到设计要求。实践证明，对冻结工法进行系统化优化改进，能够有效破解传统施工中的痛点难点，提升施工安全、质量与效率，降低工程成本，具备良好的推广应用价值。

### 四、结论

煤矿立井冻结工法是深厚表土与富水地层立井施工的关键技术手段，其应用成效直接关乎煤矿立井建设的安全、质量与进度。当前，冻结工法在方案设计、参数控制、施工方法、工程管理等方​​面仍存在不足，制约其在深部立井、超大断面立井施工中的应用效果。通过优化冻结方案设计，结合地质条件实现个性化定制；精准调控冻结温度、时间、盐水循环速度等核心参数；改进冻结孔施工、盐水循环等施工工艺，提升施工效率与精度；借鉴曹家滩矿业等优秀案例的管理经验，完善协同管理、技术管理、质量安全管理体系，能够有效提升冻结工法的应用水平与工程建设质量。

未来，应持续推进冻结工法的智能化、绿色化、一体化改进，加大智能监测设备与节能技术的推广应用力度，加强技术研发与人才培养，结合更多工程实践案例优化改进措施，进一步完善煤矿立井冻结工法体系。本文研究成果可为煤矿立井冻结施工提供技术参考与实践借鉴，推动煤矿立井施工行业向规范化、高效化、安全化方向发展，保障煤炭资源的安全高效开采。

### [参考文献]

- [1]张磊,王浩.煤矿立井冻结工法优化及应用探析[J].煤炭工程, 2023, 55(7): 68-72.
- [2]李建忠,刘敏.深厚富水地层立井冻结参数优化及实践研究[J].煤矿开采, 2024, 29(2): 105-109.
- [3]王强,赵伟.煤矿立井冻结施工方案设计与工艺改进[J].建井技术, 2023, 44(5): 45-49.
- [4]刘江斌,潘峰.超大断面立井冻结施工协同管理实践分析[J].中国煤炭, 2025, 51(10): 89-93.
- [5]陈勇,周阳.超深井冻结工法技术创新及应用实践[J].煤炭科学技术, 2026, 54(3): 123-128.
- [6]杨俊杰.深厚表土地层条件下的立井井壁结构[M].北京:科学出版社, 2010.
- [7]国家安全生产监督管理总局.煤矿安全规程[M].北京:煤炭工业出版社, 2022.