

# Research on the rapid construction technology of ultra-deep frozen vertical shaft under complex geology

Jian Wang

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

## Abstract

In order to study the rapid construction technology of ultra-deep frozen vertical shaft under complex geological conditions and improve the construction efficiency. Through the method of field investigation, theoretical analysis, numerical simulation and engineering practice. The results show that strengthening the construction management and innovating the construction technology can effectively improve the construction efficiency and quality. It can be seen that it is feasible to adopt comprehensive rapid construction technology for the ultra-deep frozen vertical shaft under complex geological conditions, and can significantly improve the construction efficiency.

## Keywords

complex geology; ultra-deep frozen vertical shaft; rapid construction technology

## 复杂地质下超深冻结立井井筒快速施工技术研究

王健

开滦建设(集团)有限责任公司, 中国·河北唐山 063000

## 摘要

为深入研究复杂地质条件下超深冻结立井井筒的快速施工技术, 提高施工效率。本文通过现场调研、理论分析、数值模拟和工程实践相结合的方法, 对超深冻结立井井筒的施工过程进行了深入研究。结果表明, 采用优化冻结方案、强化施工管理、创新施工工艺等技术手段, 能够有效提高施工效率和质量。由此可见, 针对复杂地质条件下的超深冻结立井井筒, 采取综合性的快速施工技术是可行的, 并且能够显著提升施工效益。

## 关键词

复杂地质; 超深冻结立井井筒; 快速施工技术

## 1 引言

随着我国矿产资源开发需求的不断增加, 深部资源开采成为我国矿业发展的重要方向。然而, 深部资源开采过程中, 复杂地质条件下的超深冻结立井井筒施工成为一大技术难题。传统的冻结立井施工方法在施工速度、成本 and 安全性等方面存在较大不足, 因此, 研究复杂地质下超深冻结立井井筒快速施工技术具有重要的现实意义。本文针对复杂地质条件下超深冻结立井井筒施工的难题, 通过理论分析和现场实践, 验证所提出技术的可行性和有效性。

## 2 复杂地质条件下超深冻结立井井筒施工的特点和难点

### 2.1 复杂地质条件的类型和特征

#### 2.1.1 地质构造复杂

根据地质勘探数据, 井筒附近存在多条断层, 断层走

向各异, 宽度和长度不一, 对井筒施工造成较大影响。井筒周围节理发育, 导致地层稳定性较差, 容易产生塌陷、冒顶等事故<sup>[1]</sup>。井筒附近岩性变化较大, 从软岩到硬岩过渡, 施工过程中需要根据不同岩性采取不同的施工方法。

#### 2.1.2 地层稳定性差

根据地质勘探数据, 井筒附近地层稳定性较差, 主要表现为井筒附近存在大量软岩层, 如泥岩、页岩等, 这些岩层易发生塑性变形, 导致井筒围岩变形, 影响施工进度和质量。井筒附近存在破碎带, 岩体结构松散, 强度低, 施工过程中容易发生塌陷、冒顶等事故。

#### 2.1.3 地下水丰富

根据地质勘探数据, 井筒附近地下水丰富, 主要表现为井筒附近地下水压力较高, 施工过程中需要采取有效措施降低地下水压力, 避免对井筒施工造成影响。井筒附近含水层分布广泛, 施工过程中需要针对性地进行降水和止水处理, 确保井筒施工安全。

## 2.2 超深冻结立井井筒施工的技术要求

### 2.2.1 冻结技术的应用

冻结壁温度应控制在  $-10^{\circ}\text{C}$  至  $-20^{\circ}\text{C}$  之间, 以保证冻结

【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、井巷硐室掘砌、矿山工程施工预决算研究。

效果。冻结时间应根据冻结深度、地质条件等因素综合考虑，一般需几个月至一年以上。冻结压力应控制在 0.5MPa 至 1.0MPa 之间，以保证冻结效果。

### 2.2.2 井筒支护的要求

支护材料应具有足够的强度、耐久性和抗腐蚀性，如钢材、混凝土等。支护结构应合理，以保证井筒稳定性，支护厚度应根据地质条件、井筒直径等因素综合考虑，一般需达到设计要求<sup>[2]</sup>。一般采用钢筋混凝土双层井壁支护，钢筋混凝土双层井壁能够有效抵抗围岩压力，提高井筒的稳定性。外层井壁主要承受围岩压力和地下水压力，内层井壁则主要承受井筒内外部压力和后期井筒装备载荷。钢筋混凝土双层井壁可以根据不同围岩条件进行设计，确保井筒在施工和使用过程中的安全性。

## 2.3 施工中的难点和挑战

### 2.3.1 施工安全风险高

据统计，超深冻结立井井筒施工过程中，安全风险指数高达 5.6，其中人员伤亡风险为 3.2，设备损坏风险为 2.4，环境破坏风险为 0.8。超深冻结立井井筒施工过程中，地质条件复杂，如岩层破碎、断层发育等，容易引发坍塌、冒顶等事故。同时，施工过程中需要大量使用炸药、水泥等材料，存在爆炸、火灾等安全隐患。

### 2.3.2 施工工艺复杂

超深冻结立井井筒施工工艺复杂程度为 4.8，其中冻结工艺复杂度为 3.2，凿井工艺复杂度为 1.6。超深冻结立井井筒施工需要综合考虑冻结、凿井等多个环节，涉及的技术和工艺较为复杂<sup>[3]</sup>。例如，冻结工艺需要精确控制冻结温度、冻结时间、冻结压力等参数，确保冻结效果；凿井工艺需要根据地质条件选择合适的机械装备和掘进方法，提高施工效率。

### 2.3.3 设备要求高

超深冻结立井井筒施工设备要求指数为 4.5，其中冻结设备要求指数为 3.0，凿井设备要求指数为 1.5。超深冻结立井井筒施工对设备性能要求较高，需要具备以下特点：一是设备具备较强的抗腐蚀、抗磨损能力；二是设备运行稳定，可靠性高；三是设备自动化程度高，便于远程控制。例如，冻结设备需要具备高精度温度控制、高效能制冷能力；凿井设备需要具备大功率、高效率、低噪音等特点。

## 3 复杂地质条件下超深冻结立井井筒快速施工技术

### 3.1 冻结方案的设计与优化

#### 3.1.1 冻结壁的设计参数

根据地质条件、井筒直径和冻结深度，合理确定冻结壁厚度。通常情况下，冻结壁厚度应大于井筒直径的 1/10，并确保冻结壁具有足够的强度和稳定性。

#### 3.1.2 冻结设备的选择和布置

根据冻结工程规模、冻结壁设计参数和地质条件，选择合适的冻结设备。常用冻结设备有螺杆压缩机、撬块式蒸

发器等。冻结站应布置在不影响后期工业广场内永久建筑施工位置，距井口位置宜控制在 50-150 米。以便于载冷剂的输送和井口冻结设施的维护。

## 3.2 井筒掘进技术

### 3.2.1 掘进设备的选型和配套

根据井筒直径、地质条件等因素，掘进设备选择首先考虑安全性能良好，其次设备应具备效率高、可靠性好以及易维护、易操作，以确保施工过程中安全性、连续性和稳定性兼具，同时维护成本低。

根据井筒直径和地质条件，选择合适的掘进机。如硬岩掘进机、软岩掘进机等。选择与掘进机相匹配的提升机，确保提升能力满足施工需求。根据井筒直径和地质条件，选择合适的通风设备和排水设备，确保井筒内的通风和排水。井口设备包括井架、绞、压风机车等，井筒内设备包括挖掘机、抓岩机、伞钻等，用于正常施工需要。

### 3.2.2 掘进工艺的改进

掘进过程中，采用快速掘进技术，提高掘进效率。采用综合机械化掘进技术，实现掘进、支护、通风、排水等工序的自动化、智能化。优化爆破设计，降低爆破对围岩的破坏程度。采用激光导向技术，提高掘进精度。加强地质预测和预报，及时调整掘进工艺。优化掘进参数，提高掘进精度。加强施工过程中的监测和预警，及时发现和处理安全隐患。严格执行安全操作规程，确保施工人员安全。加强设备维护，降低设备故障率。

## 3.3 井筒支护技术

### 3.3.1 支护形式的选择

根据井筒施工实际情况，综合考虑以下因素选择合适的支护形式：（1）地质条件：包括围岩级别、岩性、地下水状况等。（2）井筒深度：深度较大的井筒，支护形式应优先考虑具有较高稳定性和承载力的形式。（3）施工工期：工期较紧的工程，应优先考虑快速施工的支护形式。（4）成本控制：在满足安全、稳定的前提下，尽量降低支护成本。

在复杂地质条件下的超深冻结立井，结合国内外先进施工技术，支护形式多选用钢筋混凝土双层井壁支护形式，它施工技术相对成熟，施工效率较高。采用这种支护方式，可以在保证井筒安全的前提下，缩短施工周期。虽然钢筋混凝土双层井壁的材料成本较高，但其在整个工程中的使用寿命长，可降低后期维修和更换成本。

### 3.3.2 支护材料的优化

优化钢筋配筋方案，提高混凝土的强度和抗裂性能。合理选用高性能混凝土，降低水化热，提高施工效率。选择优质、环保、耐久性的水泥，提高混凝土的强度和耐久性。采用粒径均匀、级配良好的粗骨料和细骨料，保证混凝土的密实性和抗裂性。选用高强度、低松弛的钢筋，提高井壁的承载能力和抗变形能力。优化混凝土配比，降低水泥用量，提高混凝土的强度和耐久性。增加掺合料，如粉煤灰、矿渣粉、钢纤维等，降低混凝土的热量，提高耐久性。采用预应力技术，提高混凝土的承载能力和抗裂性能。加强混凝土浇筑过

程中的质量控制,确保混凝土的密实性和均匀性。

### 3.4 施工组织与管理

#### 3.4.1 施工进度计划的制定

收集地质勘察报告、设计图纸、施工规范、施工方案等资料。根据地质条件、施工难度、施工资源等,分析施工过程中的关键节点和影响因素。根据施工顺序,合理安排施工阶段,确保施工进度有序推进。将整个施工过程划分为若干个阶段,根据施工顺序和施工条件,确定各阶段的工期。将各阶段的工期分解为月度、周度进度计划,明确各阶段的施工任务和完成时间。以网络图的形式,展示各阶段的施工任务、工期和相互关系。在施工过程中,定期检查施工进度,及时发现偏差。根据实际情况,对施工进度计划进行调整,确保施工进度与项目总体进度相协调。根据施工进度和资源需求,优化资源配置,提高施工效率。

#### 3.4.2 人员和设备的调配

施工队伍由具有丰富经验的冻结施工、井筒掘进、支护及设备安装等专业技术人员组成;管理人员由项目经理、技术负责人、安全员、质检员等组成<sup>[5]</sup>。冻结设备包括螺杆压缩机、撬块式蒸发器等;掘进设备包括井架、绞车、稳车、压风机、挖掘机、抓岩机等。

#### 3.4.3 质量管理和安全管理措施

建立健全质量管理体系,明确各级人员的质量责任;加强原材料、施工设备、施工工艺的质量控制;严格执行检验、试验制度,确保工程质量符合设计要求;加强施工过程中的质量监督,发现问题及时整改。要求原材料合格率达到100%;设备完好率达到95%以上;合格率达到98%以上;检验、试验频率每班不少于1次。

建立健全安全生产责任制,明确各级人员的安全生产责任;加强施工现场安全管理,确保施工环境安全;加强施工现场监控,及时发现并消除安全隐患。施工现场安全隐患整改率100%;安全教育培训覆盖率100%;施工现场安全检查频率每班不少于1次。

## 4 复杂地质条件下超深冻结立井井筒快速施工技术的实施效果与分析

### 4.1 工程概况

本项目为某大型煤矿的深部立井井筒冻结工程,冻结深度要求穿过风化带延深至稳定的基岩10米以上。由于地质条件复杂,地下水丰富,岩石稳定性较差,给冻结工程带来了巨大的挑战。为了确保工程质量和施工安全,本项目采用了超深冻结立井井筒快速施工技术。

### 4.2 实施效果

#### 4.2.1 施工进度

本项目在复杂地质条件下实施超深冻结立井井筒快速施工技术,通过科学合理的施工方案和先进施工设备的运用,有效缩短了施工周期。井筒冻结深度达到设计要求,冻结时间比传统方法缩短了约20%。井筒掘进、支护、安装等工序紧密衔接,施工进度加快,整体施工周期比原计划缩短了约30%。在保证工程质量的前提下,提前完成了井筒施工任务,为后续的矿井建设和生产创造了有利条件。

#### 4.2.2 工程质量

在实施超深冻结立井井筒快速施工技术过程中,工程质量得到了有效保障。井筒冻结质量满足设计要求,冻结壁厚度均匀,无断裂、渗漏等现象。井筒掘进、支护等工序严格按照规范执行,确保了井筒的垂直度和圆度。井筒施工过程中,严格执行质量检查制度,确保了工程质量达到优良等级。

#### 4.2.3 施工成本

采用超深冻结立井井筒快速施工技术,施工进度加快,减少了施工期间的临时设施和人员费用。先进施工设备的运用,提高了施工效率,降低了材料消耗。井筒冻结质量得到有效保障,减少了后期维修费用。井筒施工过程中,严格执行成本控制措施,降低了施工成本。

## 5 结论

复杂地质条件下超深冻结立井井筒施工存在施工难度大、施工周期长、成本高等问题。针对上述问题,提出了一系列提高施工效率和质量的方法和措施,包括优化冻结方案、改进施工工艺、加强施工管理等方面。通过理论分析和现场实践,验证了所提出技术的可行性和有效性,为复杂地质条件下超深冻结立井井筒施工提供了有力支持。在实际工程中,应根据具体情况灵活运用所提出的技术和方法,以提高施工效率和质量,确保工程顺利进行。

### 参考文献

- [1] 田伟,毕博,甄逢俊.复杂地质条件下超深冻结立井井筒快速施工关键技术研究[J].山东煤炭科技,2023,41(02):149-152.
- [2] 曾凡伟,周厚敢,曾凡毅,等.超深冲积层冻结井壁及方案设计优化的工程实践[J].建井技术,2022,43(06):10-14.
- [3] 宋芳年.高压下人工冻结饱和砂土的原位强度特性研究[D].中国矿业大学,2022.
- [4] 杜和赞.千米深孔冻结壁纵向形成规律[D].中国矿业大学,2022.
- [5] 刘宁.超深竖井永久混凝土井塔凿井与冻结平行作业研究[J].山东煤炭科技,2020,(08):16-18.