

千米竖井凿井提升系统设备选型及应用

谢晓雷

浙江鑫旺矿山工程有限公司, 浙江 温州 325800

DOI: 10.61369/ERA.12286

摘 要： 本文围绕千米竖井凿井提升系统设备选型及应用展开详细的研究，认真分析了设备选型的关键因素，介绍了凿井提升机、钢丝绳、提升容器等选型原则和方法，并结合实际案例探讨了设备选型的实际应用效果。研究表明，合理的设备选型能够显著提高千米竖井凿井施工的效率、安全性和经济性，为类似工程提供了有益的参考。

关 键 词： 千米竖井；凿井提升系统；设备选型；应用

Equipment Selection and Application of Hoisting System for Kilometer-Deep Shaft Drilling

Xie Xiaolei

Zhejiang Xinwang Mining Engineering Co., Ltd. Wenzhou, Zhejiang 325800

Abstract: This paper conducts detailed research on the equipment selection and application of the hoisting system for kilometer-deep shaft drilling. It carefully analyzes the key factors of equipment selection, introduces the principles and methods of selecting shaft drilling hoists, steel wire ropes, hoisting containers, etc. Additionally, it explores the practical application effects of equipment selection through actual cases. The research results indicate that reasonable equipment selection can significantly improve the efficiency, safety, and economy of kilometer-deep shaft drilling construction, providing valuable reference for similar projects.

Keywords: kilometer-deep shaft; shaft drilling hoisting system; equipment selection; application

随着深部矿产资源开发上升为国家发展战略，《“十四五”矿产资源发展规划》明确要求深井开采比例提升至35%以上。近年来国内新建金属矿山平均井深已达1120m（中国有色金属协会，2023）。凿井提升系统作为千米竖井施工核心组成部分，其性能直接影响到建井效率 and 安全性。传统的凿井提升系统在面对超深立井施工时，往往表现出生产能力不足、施工速度缓慢等问题，难以满足现代矿山建设的迫切需求^[1]。因此，研究千米竖井凿井提升系统设备选型及应用，进行科学合理配置，提高提升系统的安全性和经济性，具有十分重要的理论和实践意义^[2]。

一、千米竖井凿井提升系统组成

千米竖井凿井提升系统是一个高度复杂系统，涉及多个关键设备和技术，旨在确保深井施工的安全、高效与经济。该系统主要包括提升机、钢丝绳、提升容器以及其他辅助设备，这些组成部分在系统中发挥着极为重要的作用。

提升机作为提升系统的核心设备，不仅负责物料和人员的垂直运输，还直接影响到整个施工过程的安全性和生产效率。提升机的选择需考虑井筒直径、井深、提升能力等多种因素，以确保其不同施工阶段均能满足生产需要。

钢丝绳的选择直接影响到提升的安全性和稳定性。钢丝绳的选择标准通常包括强度、耐久性和成本等因素。在实际生产使用中，钢丝绳需具备足够的强度以承受重载，同时具有良好的耐腐蚀性和耐磨性，以延长使用寿命。

除了上述主要设备外，千米竖井凿井提升系统还包括一系列

辅助设备，如井架、天轮、吊盘、吊桶等。各组成部分之间的协同工作是千米竖井凿井提升系统高效运行的关键。通过优化提升系统，可以有效降低能耗，提高工作效率^[3]。

二、千米竖井凿井提升系统设备选型原则

（一）安全性分析

安全性分析在千米竖井凿井提升系统设备选型中处于至关重要的地位。不仅仅涉及设备本身的性能，另外还包括地质条件、环境因素等多个方面。在千米竖井施工过程中，提升设备大型化、荷载重等问题明显增加，特别是钢丝绳直径增大导致自重增加，进一步加大了井架的负荷^[4]。通过综合分析影响安全性的各种因素，选择合适的设备并采取有效的安全管理措施，可以显著提高系统的安全性和可靠性，为后续的经济性和技术先进性分析提供坚实的基础。

（二）经济性分析

经济性分析在千米竖井凿井提升系统的设备选型过程中也十分重要。通过科学的经济性分析，不仅可以评估不同设备选型方案的经济效益，还能为决策者提供可靠的参考依据，从而支持最优设备选型^[5]。成本构成分析是经济性分析的基础，包括初期投资、运行维护成本等。初期投资涉及设备购置费用、安装调试费用以及必要的基础设施建设费用；运行维护成本则包括日常运营费用、维修保养费用以及可能的更换费用^[6]。通过对这些成本的详细分析，可以明确各项成本对总成本的影响，为后续的效益评估奠定基础。还可以提高作业的安全性，减少事故发生的概率，从而间接提升经济效益^[7]。

（三）技术先进性

在千米竖井凿井提升系统的设备选型过程中，技术先进性是确保系统高效、安全运行的关键因素之一。技术创新点主要体现在提升机、钢丝绳、信号控制系统等核心部件的最新发展上。这些技术进步带来了显著的性能优势。通过技术创新和性能优化，不仅能够提高作业效率、减少故障率、降低运营成本，还能为系统的长期稳定运行提供坚实保障。

三、设备选型的关键因素

井筒参数：包括井筒净直径、井筒深度等，直接决定了提升设备的规格和性能。

提升能力：根据每小时出碴量、最大提升重量等，确定提升系统的合理提升能力。

设备性能：提升设备应具备良好的性能，并确保其可靠性，以减少故障和停机时间。

经济性：在满足提升能力需求和设备性能要求的前提下，考虑设备的购置成本、运行成本。

四、主要设备选型

（一）提升机选型

常用的选型方法包括性能参数对比、成本效益分析和技术指标评价等。性能参数对比主要是通过对不同型号提升机的提升能力、运行速度、最大载重量等参数进行比较，选择最符合项目需求的设备。成本效益分析则是在考虑初期投资的基础上，综合评估设备的运行成本、维护成本和使用寿命等因素，选择经济效益最优的型号^[8]。技术指标评价则是从技术角度出发，评估提升机的先进性和适用性，确保设备能够满足项目的特殊要求。相关国家标准和行业标准也为提升机选型提供了重要参考。

（二）钢丝绳选型

钢丝绳在千米竖井凿井提升系统中起着至关重要的作用，其性能直接影响到提升系统的安全性和可靠性。钢丝绳作为提升系统的核心部件之一，因此其选型至关重要^[9]。在选型过程中，安全性是钢丝绳选型的首要原则，钢丝绳的断裂或损坏可能导致严重的安全事故，因此必须选择具有足够强度和可靠性的钢

绳^[10]。经济性则是指在满足安全性的前提下，选择成本效益较高的钢丝绳，以降低整体运营成本。技术性能方面，需考虑钢丝绳的直径、强度、耐腐蚀性等具体技术指标，以确保其在特定工程条件下的适用性和长期稳定性^[11]。在具体选型时，需根据井深、载荷、环境因素等工程条件进行综合评估。对于千米深井，由于提升高度较大，钢丝绳的自重和载荷均较高，因此需选择直径较大、强度较高的钢丝绳^[8]。

（三）提升容器选型

提升容器的合理选型不仅能够确保竖井作业的安全，还能有效降低运营成本，提高生产效率。提升容器选型需要综合考虑竖井的生产能力、竖井深度、生产任务等因素^[12]。以确保提升系统的高效运行。安全性方面提升容器选型对竖井作业的安全极为重要。错误或不适当的选型可能导致事故频发，影响矿山生产的连续性和稳定性。经济性方面提升容器选型对经济效益具有重要影响。在选型时应通过对比不同方案的经济性，选择既能保证安全又经济合理的提升容器。效率性方面提升容器选型对提升运行效率起着决定性的作用。提升速度、载重量和系统稳定性是衡量提升效率的重要指标。提升容器合理选型可以提高提升速度和提升量，从而提高运行效率。

五、千米竖井凿井提升系统设备选型及应用实例分析

（一）工程概况

新疆某铜矿于2001年进行建设，分期开采，一期开采400m以上矿体，二期开采400m以下矿体。据矿山储量年报数据显示，400m以上保有资源量可采矿量较少，服务年限不长，鉴于此，该铜矿计划开始二期开采建设，将开采范围往深部延伸，开采400～0m之间的矿体，并且考虑扩大开采规模，提高经济效益，同时加强深部矿体探矿工作，为矿山提供更多远景资源量。千米主、副井均为新建工程，位于矿体下盘，两井相距60m。主井提升矿石，井筒净直径为Φ5.2m，井口标高910m，井底标高-332m，总深度1242m。副井提升人员和废石。副井井筒净直径为Φ6m，井口标高910m，井底标高-367m，总深度1277m。

（二）设备选型方案

1. 凿井井架选型

凿井井架的选型，根据井筒的直径和深度，以及悬吊设备、钢丝绳、井架荷重等，选用标准V型凿井井架，井架主要参数见表1。

表1 V型凿井井架参数表

序号	名称	单位	参数
1	天轮平台平面尺寸	m	7.5×7.5
2	井架底部跨距	m	16×16
3	由基础顶面至天轮平台顶面高度	m	26.364
4	由基础顶面至翻矸平台中线的高度	m	10
5	井架金属结构重量	t	71.097

2. 提升机选型

由于该矿山新建千米主、副井井筒直径不大，分别为Φ5.2m

和 $\phi 6\text{m}$ ，但井深很大，均超千米，因此，采用成熟的施工方案和施工技术可以满足施工要求，主要是选择合适的提升设备，既要能够满足千米井的施工要求，又能够尽量加快工程进度、缩短工期。

根据竖井直径、选用的提升容器大小、井筒深度、施工速度要求等，选择提升机设备。千米副井采用双钩提升：主提升机 JK-3.5 $\times$ 2.8/20E；副提升机 JK-3.0 $\times$ 2.5/20。千米主井采用单钩提升：提升机 JK-3.5 $\times$ 2.8/20E。提升机主要技术参数见表2。

表2 提升机技术参数表

应用部位	提升机型号	滚筒			最大静张力 kn	减速比	绳速 m/s	选用电动机		
		个数	直径	宽度				电机型号	功率 kw	转速 rpm
千米副井主提升机	JK-3.5 $\times$ 2.8/20E	1	3.5	2.8	180	20	5.4	YR1430-10	1250	590
千米副井副提升机	JK-3.0 $\times$ 2.5/20E	1	3.0	2.5	150	20	4.6	YR1430-10	1000	590
千米主井主提升机	JK-3.5 $\times$ 2.8/20E	1	3.5	2.8	180	20	5.4	YR1430-10	1250	590

3. 提升容器选型

千米副井主提升机和副提升机分别配4m³和3m³座钩式吊桶提升出碴，座钩式自动翻矸系统。2.4m³底卸式料桶下放矸，采用 MJY 型液压整体金属模板进行矸支护，段高4m。

千米主井提升机配4m³座钩式吊桶提升出碴，座钩式自动翻矸系统。2.4m³底卸式料桶下放矸，采用 MJY 型液压整体金属模板进行矸支护，段高4m。

4. 提升钢丝绳选型

(1) 提升钢丝绳长度计算

提升高度 $H_0=1277+26.364+1.5+1=1305.614\text{m}$ ，取1306m；

滚筒三圈摩擦圈： $3\times 3.14\times 3.5=32.97\text{m}$ ；

试验用的钢丝绳长度：30m；

提升机至提升中心玄长：65.7m；

合计1434.7m，钢丝绳长取1450m。

(2) 提升钢丝绳选型

千米主、副井选用18 $\times$ 7+FC-40-1870型钢丝绳作为主提升机配套钢丝绳，绳重 $P_s=6.24\text{kg/m}$ ，钢丝绳最小破断拉力为98100kg，配11T钩头。

千米副井设计选用18 $\times$ 7+FC-36-1870型钢丝绳作为副提升机配套钢丝绳，绳重 $P_s=5.05\text{kg/m}$ ，钢丝绳最小破断拉力为79400kg，配11T钩头，

(三) 提升设备布置

由于施工工业广场十分有限，必须布置千米主、副井两套提升系统，而且两个千米深井距离仅有60m，还必须要结合井下各中段的马头门方向，因此，需要打破传统的凿井提升布置方案，进行科学、合理地优化布置。提升设备布置详见图1。

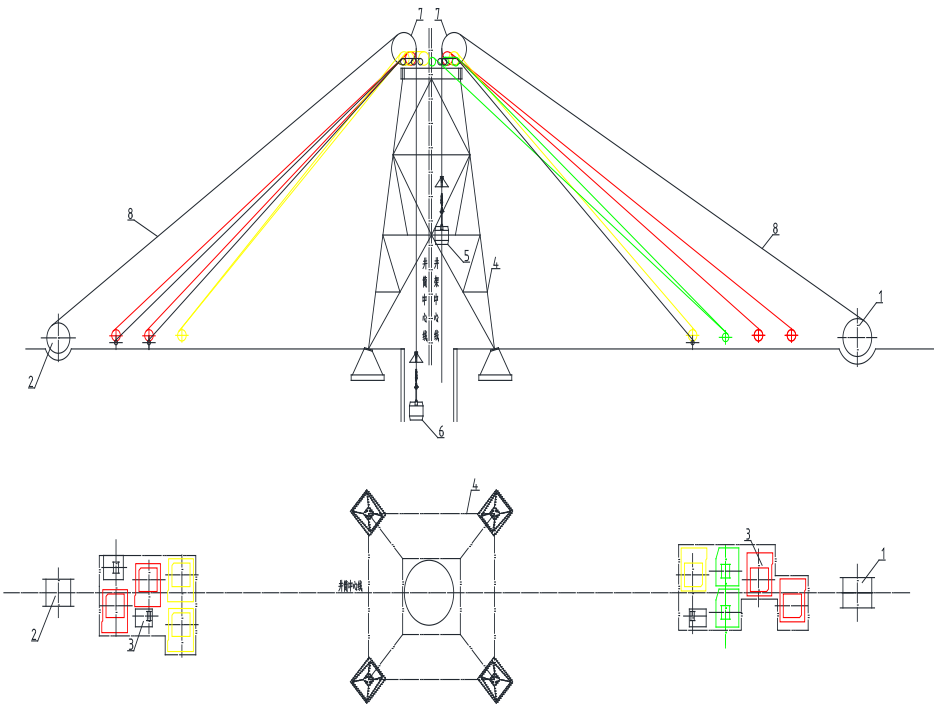


图1 千米竖井凿井提升系统布置图

(四) 设备应用效果

首先，安全性评估结果显示，千米竖井凿井提升系统在实施后，事故率显著下降，安全性良好。经过2年的实践，未发生安

全事故，月进尺达90m以上，显著提高了施工的安全性和生产效率^[5]，进一步保障生产安全。

其次，经济性评估方面，千米竖井凿井提升系统在运营成

本、维护费用、能耗水平等方面均表现出色。实现了提升系统的高效运行，显著降低了运营成本和维护费用^[14]。

技术先进性评估显示，千米竖井凿井提升系统在自动化程度、智能化水平和技术创新点方面达到了较高水平，有效提高了施工效率和管理水平。

综上所述，千米竖井凿井提升系统在实际应用中表现出色，虽然系统在运行中仍存在一些问題，但通过持续的技术改进和管理优化，可以进一步提升系统的综合性能，推动矿山企业的可持续发展。未来的发展方向应重点关注技术创新和管理提升，探索更加高效、安全和环保的施工方安。

六、结论

本文通过对千米竖井凿井提升系统的研究，系统总结了设备选型的原则及实际。在设备选型方面，本文强调了安全性、经济性和技术先进性的综合性研究，提出了适用于千米竖井的设备选型方案^[3]。通过具体的应用案例，验证了所提出的选型原则的有效性和适用性。为千米竖井凿井提升系统的优化提供了新的思路和方法^[15]。未来的研究方向将着重于技术改进，特别是在智能化、自动化方面的发展，以期更好地满足矿山开采的需求^[16]。本研究不仅为千米竖井凿井提升系统的设备选型提供了科学依据，也为相关领域的技术发展和应用推广奠定了坚实的基础。

参考文献

[1] 杨立云, 徐辉东, 张鲁鲁, 汪指南, 刘宁, 张宇菲. 新型凿井提升系统在煤矿井筒施工中的应用 [J]. 煤炭科学技术, 2016.

[2] 王会来, 于兆清. 矿山竖井提升系统技术改造方案研究 [J]. 有色设备, 2021.

[3] 李建朋, 徐永福, 熊健. JKZ 型凿井提升机的设计选型研究 [J]. 矿山机械, 2023.

[4] 赵兴东, 武桐, 李文光, 邓尧增. 2000 m 大直径超深竖井新型凿岩提升悬吊系统设计 [J]. 有色金属 (矿山部分), 2022.

[5] 秦利斌, 殷立勇. 大型地采矿山基建期多水平提升系统优化与应用 [J]. 《现代矿业》, 2020.

[6] 车德高, 朱长海, 姜晨. 切顶成巷技术在煤矿开采中的价值分析 [J]. 价值工程, 2024.

[7] 丁进甫. 永久兼凿井井架施工组织设计及评价研究. 2024

[8] 李东, 黄明杰, 刘建东, 卢坤俊, 曹亚楠. 竖井提升系统首绳断丝分析 [J]. 现代矿业, 2021.

[9] 陈晴晴. 千米深井提升系统钢丝绳的选型及应用 [J]. 科技风, 2020.

[10] 赵晶莹. 竖井单绳提升系统选型分析 [J]. 有色矿冶, 2020.

[11] 王悦. 超深主井提升设备选型分析 [J]. 有色矿冶, 2020.

[12] 王悦. 矿井提升容器选择分析 [J]. 有色矿冶, 2020.

[13] 杨仁树, 陈骏. 立井施工装备与技术发展现状和展望 [J]. 建井技术, 2015.

[14] 李浩宇, 徐长磊, 韩瑞军, 施士虎, 杜贵文, 徐广译. 千万吨级主井高速大载重提升技术研究与应用 [J]. 中国矿山工程, 2024.

[15] 孙宝杰. 敞开式与土压平衡双模式盾构适应性评价体系研究 [D]. 青岛理工大学, 2023.

[16] 李庆珍, 金献珠. 秋皮沟铁矿竖井提升系统设计计算 [J]. 民营科技, 2008.