

连采连充采煤技术的原理、优势与应用前景

赵建华

内蒙古利民煤焦有限责任公司，内蒙古 鄂尔多斯 016064

DOI: 10.61369/SSSD.2025070003

摘要：随着煤炭行业对绿色、高效开采的需求日益增长，连采连充采煤技术作为一种创新的开采方式，逐渐受到广泛关注。本文深入探讨了连采连充采煤技术，详细阐述其技术原理，分析与传统开采技术相比的优势，介绍在多个煤矿的应用实例及效果，同时对该技术未来在煤炭行业的应用前景和发展趋势进行展望，旨在为煤炭行业的可持续发展提供理论支持和实践参考。

关键词：连采连充；采煤技术；绿色开采；应用前景

The Principle, Advantages and Application Prospects of Continuous Coal Mining and Continuous Charging Technology

Zhao Jianhua

Inner Mongolia Limin Coal and Coke Co., LTD, Ordos, Inner Mongolia 016064

Abstract : With the increasing demand for green and efficient mining in the coal industry, the continuous mining and continuous charging coal mining technology, as an innovative mining method, has gradually attracted widespread attention. This article delves deeply into the continuous mining and continuous charging coal mining technology, elaborates on its technical principles in detail, analyzes its advantages over traditional mining techniques, introduces application examples and effects in multiple coal mines, and at the same time looks forward to the future application prospects and development trends of this technology in the coal industry, aiming to provide theoretical support and practical references for the sustainable development of the coal industry.

Keywords : continuous sampling and continuous charging; coal mining technology; green mining; application prospects

引言

煤炭作为我国重要的能源资源，在经济发展中占据着举足轻重的地位。然而，传统的采煤技术在开采过程中往往引发一系列问题，如地表沉陷、矸石排放导致的环境污染、水资源破坏等，这些问题不仅影响了生态环境，也对煤炭资源的可持续开采造成了阻碍。为了解决这些问题，连采连充采煤技术应运而生，该技术实现了采煤与充填的并行作业，在提高煤炭资源回收率的同时，有效减少了对环境的负面影响，为煤炭行业的绿色、可持续发展开辟了新的道路。

一、连采连充采煤技术原理

(一) 工艺概述

连采连充采煤技术的核心在于采充并行，其具体工艺是将采掘区域从低位向高位划分为若干开采条带并依次编号。从位于低位的条带开始，使用多台采掘机械（如综采机，采用综掘方式）同时采掘多条奇数条带，直至采掘完毕。然后将多台采掘机械转移至其后的奇数条带同时进行采掘，与此同时，在已采掘完毕的奇数条带的端头设置隔离墙，将填充材料通过输送管输送至该条带，充填采空的空间。重复此采掘、填充程序，直至将所有奇数条带采掘、填充完毕。之后，将多台采掘机械转移至位于低位的偶数条带同时进行采掘，依照相同的步骤完成偶数条带的采掘与

充填，直至整个采掘区域采掘、填充完毕^[1]。

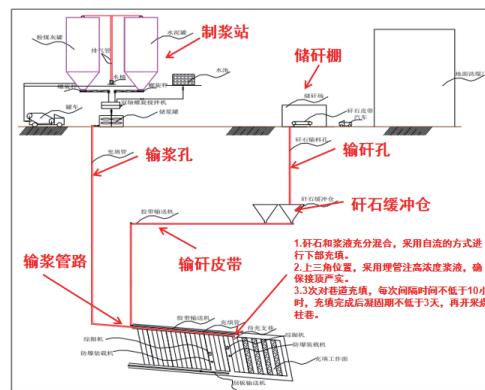


图1 工艺流程图

作者简介：赵建华，男，汉族，内蒙古丰镇人，本科，工程师，内蒙古利民煤焦有限责任公司，研究方向：采煤。

(二) 关键技术

1. 充填材料与输送：充填材料通常选用煤矸石、粉煤灰等固体废弃物与水泥等胶结材料混合而成，实现了废弃物的资源化利用，降低了充填成本，同时减少了矸石排放对环境的污染^[2]。输送系统采用地面制浆站将充填材料制成浆体，通过无缝钢管输浆管道及矸石输送系统将其从地面运输到巷口，确保了充填材料的稳定供应和高效输送。

2. 采场围岩控制：通过煤柱与充填体交替承载控顶，保证了稳定的充填空间^[3]。分步置换煤柱，使充填材料具有合理的胶结固化时间，实现采煤和充填互不干扰，工作面能够连续开采和连续充填，最大限度地实现采充平行作业。在开采过程中，还需对顶板进行实时监测监控，如遇到顶板破碎、煤壁片帮等问题，及时采取敲帮问顶、加强支护等措施，确保开采安全。

二、连采连充采煤技术优势

(一) 绿色环保

1. 减少矸石排放：传统采煤工艺会产生大量矸石，这些矸石的排放不仅占用大量土地资源，还会对周边环境造成污染。连采连充技术将矸石作为充填材料回填至采空区，实现了矸石的资源化利用，有效减少了矸石的排放^[4]。例如，乌海能源公司推广连采连充采煤工艺后，预计每年可减少矸石排弃量约550万吨，极大地缓解了矿区受矸石山围困的局面。

2. 降低地表沉陷：采空区的充填有效支撑了顶板，减少了上覆岩层的移动和变形，从而降低了地表沉陷的风险，保护了地表建筑物和生态环境^[5]。山东能源新矿集团孙村煤矿通过连采连充工艺，减少了地表的下沉，避免了房屋搬迁，实现了绿色开采。

(二) 高效经济

1. 提高煤炭资源回收率：连采连充技术能够有效回收“三下”（建筑物下、铁路下、水体下）压煤资源和边角残煤等呆滞资源，提高了煤炭资源的采出率^[6]。利民煤矿受G109公路、S216省道、公墓、居民区、气站等构筑物影响，压覆资源约2737.8万吨，通过实施连采连充工艺，预计可释放压覆煤炭资源2600万吨，截止目前已生产原煤30万吨。

2. 缩短开采周期：采充并行的作业方式减少了采煤与充填之间的相互等待时间，提高了开采效率，缩短了开采周期^[7]。义桥煤矿首个C5301充填工作面通过优化布局设计和作业模式，实现了短壁高效开采，达到月产0.8万吨的生产水平。

3. 降低成本：一方面，减少矸石提升和处理成本；另一方面，提高煤炭产量和资源回收率带来的经济效益弥补了充填开采初期投资较大的问题。

4. 享受政策支持：根据《国家能源局 财政部 国土资源部 环境保护部关于印发<煤矿充填开采工作指导意见>的通知》（国能煤炭〔2013〕19号）、《国家能源局关于印发<煤炭清洁高效利用行动计划（2024—2027年）>的通知》（国能发煤炭〔2024〕31号）等规定，连采连充可享受充填开采置换煤量折算产能指标以及资源税减半政策。

(三) 安全可靠

1. 稳定采场环境：在连采连充采煤技术的应用中，通过特定材料形成的充填体能够对采空区形成强有力的支撑作用，这种支撑不仅能平衡采场围岩的应力分布，更能从根本上改善采场周边岩体的受力状态，大幅降低因应力集中导致的顶板垮落、煤层片帮等安全事故的发生概率。这一技术优势为井下作业人员构建了更为安全、稳定的工作环境，从空间保障层面为煤矿安全生产筑牢了第一道防线^[8]。

2. 减少采空区灾害：采空区作为传统采煤模式中各类灾害的高发区域，连采连充技术通过及时充填消除了采空区的大量闲置空间，从源头上切断了瓦斯积聚的物理条件，同时避免了遗煤与空气长期接触引发的自燃风险，有效遏制了采空区瓦斯爆炸、煤层自燃等恶性灾害的发生。这一特性为矿井的持续、稳定、安全生产提供了坚实保障，显著提升了煤矿整体的灾害防控能力。

三、连采连充采煤技术应用实例

(一) 乌海能源公司

乌海能源利民公司为合理回收压覆资源，延长矿井服务年限，同时解决矸石外排问题，于2023年8月开始实施连采连充^[9]。

工作面采用长壁布置，短壁开采，划分为若干个支巷，巷宽5.4m，编号依次为1#、2#、3#...，分区段（15条巷）先开采奇数巷（支巷），再开采偶数巷（煤柱巷）。支巷开采及拉底采用EBZ160型综掘机回采支巷，采用防爆装载机+刮板输送机+胶带输送机出货。采用单体液压支柱+钢模板进行封堵上下巷口。采用输矸、输浆两套系统在支巷、煤柱巷上口处进行混合充填。充填与开采支巷同步作业，互不干扰，依次循环进行（采5#充1#，采9#充5#...）。

充填物矸石（5mm粒径）不低于85%；浆液由水泥、水及粉状添加剂等材料组成。配比为：水泥：水：添加剂=30:25:2，密度1.2~1.8g/cm³。浆液输送方式为利用重力进行管道自流，矸石输送方式为利用重力，在输矸孔下矸，矸石缓冲仓、输矸皮带运输。充填方式为矸石和浆液在工作面充填巷上口混合充填，自流方式进行充填，上三角位置无法充实结顶的位置，使用高浓度浆料充填。

通过实施连采连充有效释放了特殊地理环境下煤炭资源的回采利用压覆煤炭资源，延长矿井服务年限，减少矸石排放以及含水层保护问题，解决了地表下沉，消除了采空区灾害。

(二) 山东能源新矿集团孙村煤矿

该矿以延长矿井服务年限为出发点，创新应用全负压连采连充分步置换“三下”采煤法。通过将工作面按照4.5米的断面进行划分，先采1、3、5块段，充实之后，再采2、4、6块段；连充工艺实行煤矸分运，在支巷门口将矸石和水泥浆混合充填。该工艺实现了工作面全负压和两个安全出口，优化了开采布局，盘活了浅部资源40多万吨，成为该矿新的经济增长点和延长矿井服务年限的重要手段^[10]。

(三) 义桥煤矿

2022年11月份，义桥煤矿投用“矸石不升井循环利用连采连充”TDS绿色开采新工艺。该工艺利用TDS智能干选系统对煤与矸石进行数字化识别和分离，井下TDS智能干选设备无需水、无需介质、无煤泥水处理环节，减少了井下矸石的地面排放，降低了洗选成本，改善和稳定了原煤煤质。地面制浆站生产的浆体经输送管路将选出的矸石漫灌充填至开采支巷内，借助煤层倾角形成“泥石流”填充接顶，有效支撑控制顶板^[11]。实施后可解放建筑物下压覆的优质煤炭资源，具有减少矸石排放量、置换条带煤柱、减小地面沉降等多项优势。按照规划，该矿计划采取两条支巷交替作业模式，稳定月产0.8万吨水平，年产8万吨优质原煤，年可增加收入9000万余元。

(四) 晋能控股集团赵庄二号井

该矿深入贯彻集团公司职代会要求，在CT301-1支巷试行“连采连充”工艺。面对顶板破碎、煤壁片帮等问题，从各部室抽调技术人员与队干、班组长多次实地勘察，提出工作方案，研讨制定安全措施。通过无缝钢管输浆管道及矸石输送系统将粉煤灰浆料和经过研磨后的煤矸石颗粒从地面运输到巷口，对CT301-1支巷进行自然混合充填。此次充填工作圆满完成，共计充填煤矸石745吨，水泥+粉煤灰764吨。不仅提升了矿井煤炭资源回收率，还避免了因开采造成的井巷塌陷，降低了对地面及周边环境的影响，为后续连采连充项目的实施积累了宝贵经验^[12]。

四、连采连充采煤技术应用前景与发展趋势

(一) 应用前景

随着环保要求的日益严格和煤炭资源的逐渐稀缺，连采连充采煤技术作为一种绿色、高效、安全的开采方式，具有广阔的应用前景。在“三下”压煤地区、生态脆弱矿区以及对资源回收率要求较高的矿井，连采连充技术将得到更广泛的应用^[13]。同时，随着技术的不断成熟和完善，其应用范围还将进一步扩大，为煤炭行业的可持续发展提供有力支撑。

(二) 发展趋势

1. 智能化发展：借助大数据、云计算、人工智能、5G通信等先进技术，实现连采连充设备的智能化控制和远程操作。例如，实现连采机与梭车的遥控无人驾驶采煤，提高开采效率和安全性，减少人员投入。通过智能化系统对充填材料的配比、输送以及采场围岩的状态进行实时监测和精准调控，确保开采过程的稳定和高效。

2. 充填材料多元化与高性能化：研发更多种类、性能更优的充填材料，进一步提高充填体的强度和稳定性，降低充填成本。除了煤矸石、粉煤灰等常见材料外，探索利用其他工业废弃物或新型材料作为充填骨料，同时优化胶结材料的配方，提高充填材料的综合性能^[14]。

3. 与其他开采技术融合：连采连充技术将与其他先进的开采技术，如无煤柱开采技术、保水开采技术、智能选矸技术等相互融合，形成更加完善的绿色开采技术体系，实现煤炭资源的安

全、高效、绿色开采。例如，在连采连充过程中，结合沿空掘巷、沿空留巷等无煤柱开采技术，进一步提高资源回收率，减少巷道掘进量^[15]。与智能选矸相融合后，可以实现矸石不升井，进一步增强煤矸石处理，降低环境污染。

五、结论

连采连充采煤技术凭借其独特的采充并行工艺设计，在绿色环保、高效经济和安全可靠等多个关键维度上，均展现出了令人瞩目的显著优势。国内多个大型煤矿的实际应用实例充分证明，该技术能够从根源上有效解决传统采煤技术长期以来积累的一系列生态与安全问题——不仅能显著降低开采过程对地表生态的扰动，还能提升资源利用效率，真正实现煤炭资源的安全、绿色、高效开采目标。

随着技术研发的持续深入和工艺创新的不断突破，连采连充采煤技术在未来煤炭行业的智能化、低碳化发展进程中，无疑具有极为广阔的应用前景和良好的升级发展趋势。它不仅能满足新时代对能源开采的环保要求，还能为煤炭企业降本增效提供有力支撑，必将为煤炭行业的可持续发展发挥不可替代的重要作用。

基于此，煤炭企业应主动顺应行业转型趋势，积极引进和大力推广连采连充技术，持续加大在技术研发和创新方面的资金与人才投入，不断完善技术应用体系和配套设施建设。通过强化产学研合作，推动技术成果快速转化，以更好地适应新时代对煤炭开采在生态保护、安全保障和效率提升等方面的多元要求，最终实现煤炭行业与生态环境的协调共生、高质量发展。

参考文献

- [1] 林海. 连采连充式采煤充填体与煤柱协同控顶机理及应用研究 [D]. 北京科技大学, 2024.
- [2] 李明, 李起行, 吴相儒, 等. 粉煤灰膏体充填材料工作性能影响因素研究 [J]. 矿业研究与开发, 2024, 44(06):65-71.
- [3] 王玉成. 深部高地应力下工作面端面冒顶特征及采场围岩稳定性控制 [D]. 贵州大学, 2024.
- [4] 张文辉, 张建良, 王伟, 等. 神东烟煤中 CaO 在高炉喷吹中的作用及有价矸石排放减量化研究 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2021, (01): 78-80+84+5.
- [5] 郭文兵, 杨伟强, 吴东涛. 我国煤矿开采沉陷控制技术研究现状与进展 [J]. 采矿与岩层控制工程学报, 2024, 6(06): 5-20.
- [6] 张二棕. 连采连充采煤技术在煤矿中的应用研究 [J]. 能源与节能, 2024, (12): 181-183+186.
- [7] 马立强, 王炼康, 余伊河, 等. 壁式连采连充保水采煤技术及实践 [J]. 采矿与安全工程学报, 2021, 38(05): 902-910+987.
- [8] 陈启渐. 乌兰木伦煤矿浅埋煤层连采连充围岩稳定性控制研究 [D]. 江西理工大学, 2024.
- [9] 刘冰, 贾敏, 蒋晶. 国家能源集团乌海能源公司黄白茨煤矿一个薄煤层智能化综采工作面的诞生 [N]. 中国煤炭报, 2022-09-27(004).
- [10] 陈国, 魏光亮, 庄光鹏, 等. 孙村煤矿薄煤层智能化高效开采技术探讨 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (12): 16-18.
- [11] 刘海泉, 王中亮, 魏晓峰, 等. 义桥煤矿“矸石不升井”采选充一体化开采设计 [J]. 煤炭工程, 2023, 55(11): 12-16.
- [12] 崔严. 赵庄二号井覆岩离层区注浆开采技术研究与应用 [D]. 中国矿业大学, 2021.
- [13] 李永亮, 路彬, 杨仁树, 等. 煤矿连采连充式胶结充填采煤技术与典型工程案例 [J]. 煤炭学报, 2022, 47(03): 1055-1071.
- [14] 李嘉欣. 连采连充式逐巷充填开采采巷围岩控制技术研究 [D]. 中国矿业大学, 2024.
- [15] 鲁浪, 汪峰, 周景奎, 等. 三软地层下连采连充工作面巷道支护优化研究 [J]. 煤炭技术, 2024, 43(10): 12-17.