

李俊平,王瑞瑶.近水平中厚磷矿高效开采参数设计及地压运移模拟[J].安全与环境学报,2026,26(6):2175-2184.

LI J P, WANG R Y. Parameter design and underground pressure migration simulation for efficient mining of near-horizontal medium-thick phosphate ore[J]. Journal of Safety and Environment, 2026, 26(6): 2175-2184.

近水平中厚磷矿高效开采参数设计及地压运移模拟^{*}

李俊平,王瑞瑶

(西安建筑科技大学资源工程学院,西安 710055)

摘 要:非煤矿山一般应用房柱法开采近水平薄及中厚矿体,不仅开采效率低、资源损失大,还常发生冒顶事故。为了提高资源利用率、开采效率及安全性,提出了基于切顶卸压理论的长壁后退采矿法,并探索切槽放顶位置等设计方法。借助结构力学,采用弹簧岩梁承载模型计算岩梁的极限破断跨度,进而推导出切槽放顶位置的设计方法;依据切顶卸压理论设计切槽放顶钻孔深度;利用数值模拟优选切槽放顶宽度,并分析切槽放顶前后顶板地压运移规律。结果表明:依据岩梁顶板破断跨度设计的切槽放顶位置有利于覆岩充分冒落并及时接顶;随切槽放顶宽度增大,松石接顶坝的承载能力增大,采空区高达3 m时优选的切槽放顶宽度为10 m;随着工作面沿走向推进,不切槽放顶时工作面的支承压力峰值、采空区覆岩受拉区最大厚度和最大拉应力均不断急剧增大,初次达到极限跨度,尤其切槽放顶后,工作面支承压力峰值、采空区覆岩最大拉应力不断变平缓,切槽放顶前后采空区覆岩受拉区最大厚度变化趋势不变;切槽放顶后除局部覆岩垂直下沉量比放顶前略微增大外,其余均小于放顶前,其中,初次切槽放顶时顶板上方78 m以上的覆岩最大位移小于放顶前,二次切槽放顶时顶板上方15.67 m以上的覆岩最大位移小于放顶前,且初次切槽放顶时80 m、二次切槽放顶时110 m以上覆岩下沉值都不足10 mm。

关键词:安全工程;矿山安全;切顶卸压;长壁后退采矿法;切槽放顶位置;切槽放顶宽度;数值模拟

中图分类号:X936;TD871

文献标志码:A

文章编号:1009-6094(2026)06-2175-10

DOI: 10.13637/j.issn.1009-6094.2025.1330

0 引言

随着全球磷矿资源的持续开发,浅部易采磷矿床日益枯竭,国内外正逐步转向深部磷矿开采。我国深部磷矿约75%呈近水平,大多为薄至中厚^[1]。目前开采此类矿体,除了条带开采式的两步骤充填法、底盘漏斗采矿法和电耙留矿法外,其余50%采纳房柱法^[2]。房柱法和电耙留矿法采场日出矿率仅为10~50 t/d,还需留设大量矿柱;条带开采式的两步骤充填法采场日出矿能力难超100 t,且充填成本达40~80元/t;底盘漏斗采矿法采场日出矿能力可超100 t,但不仅损失贫化率较高,还需要在底板下施工大量漏斗等出矿工程。另外,房柱法和电耙留矿法开采时,在高压扰动的悬空顶板下作业常发生顶板冒落事故^[3]。统计显示,顶板冒落事故约占采矿总事故的44.41%^[4]。可见,针对此类磷矿体,突破现有技术瓶颈,研发安全高效、低损失贫化、环境友好的新型开采方法已迫在眉睫。

为了提高开采效率,避免留矿柱损失资源,1960年,张正平^[5]首次引进苏联的长壁开采技术,其典型

形式包括单一长壁^[5-6]、分层长壁^[5,7]及预切顶长壁^[5,8]等方法。该方法采场日出矿能率可达200~700 t,但在硬岩矿山由于顶板不易自然垮落,每次液压支架移架前都需借助人工爆破^[9]或水力压裂^[10]强制放顶或预切顶,不仅增加了工序复杂性,降低了生产效率,还导致开采成本大幅上升。

李俊平^[11]提出了控制爆破局部切槽放顶技术,简称切槽放顶,之后又建立了原创性的切顶卸压理论。这是种融合岩层控制理论与精细爆破技术的岩层控制工艺,借助爆破冒落的碎胀松石就地堆筑成松石接顶坝支撑顶板覆岩。该方法通过切槽放顶宽度、深度、位置这三个参数的协同调控,能够实现切槽放顶位置与采场地压的动态平衡,释放并转移覆岩地压,从而有效解决传统顶板弱化的强扰动、低效率、高成本和不能彻底转移覆岩地压等问题,但基于梁理论和陕西东桐峪金矿的受力模型推导的切槽放顶位置不具有普适性,基于井下空气动力学推导的切槽放顶宽度对承载与传力效果不好。基于此,针对深部磷矿坚硬顶板的难垮落特性,以及近水平中厚矿体特有的矿压显现和开采工艺,结合松石接顶

^{*} 收稿日期:2025-07-28

作者简介:李俊平,教授,博士生导师,从事采空区处理与卸压开采、地压控制、极薄矿体机械化开采方法及边坡稳定性等研究,2980235085@qq.com。