

文章编号:1674-2869(2011)03-0069-03

磷块岩地下开采受力破坏机理分析研究

张电吉,周春梅,梅婷婷,梅启双

(武汉工程大学环境与城市建设学院,湖北 武汉 430074)

摘 要:介绍了磷块岩的物理力学性质,结合地下开采的工程实例,分析了磷块岩在地压作用下开裂破坏规律.研究表明,磷块岩中的微节理裂隙面的存在,是导致磷块岩在地应力作用下宏观裂纹产生扩展的重要因素.并提出了维护地下开采安全稳定性的措施.

关键词:磷块岩;地下开采;应力强度因子;裂纹扩展

中图分类号:TD235 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2011.03.020

0 引 言

磷块岩矿床是我国磷矿主体,磷块岩按矿物成分主要可分为两大类,即硅质磷块岩与白云质含生物碎屑磷块岩.研究表明^[1-2],我国磷矿大部分属于硅钙质类型,陡山沱组磷块岩中占 77%,梅树村组磷块岩中占 83%,其中宜昌磷矿、胡集磷矿、滇池原生矿、瓮福磷矿多为含硅相对较高的硅钙质磷矿石, P_2O_5 品位一般在 15%~25%.磷块岩矿石中主要磷酸盐矿物为胶磷矿,主要脉石矿物为白云石、石英.

在磷块岩矿的地下开采中,采场顶板、巷道顶板及边帮、矿柱等部位常出现开裂破坏,给地下矿开采带来很多安全隐患.深部高应力巷道工程开挖以后,会在巷道浅部首先出现了一些初始裂缝,且这些初始裂缝处于压剪状态,或拉剪状态,并随着应力场的重新分布过程进一步扩展和贯通.结构围岩裂纹的不稳定扩展常导致灾难性事故,如地下采场及巷道的岩爆,开采中的冲击矿压等等,它们的发生与地下结构围岩壁附近的裂纹、应力集中、自由表面影响密切相关,而裂纹的成核以及贯通后扩展方式是引起磷块岩变形破坏的关键.研究磷块岩开裂破坏机理,可为磷块岩地下开采中的灾害防治提出更科学的理论支撑,以指导磷块岩开采的设计与现场施工.

1 磷块岩的物理力学性质

按磷的工业品位将岩石中 P_2O_5 含量 $>18\%$ 的称为磷块岩; $<8\%$ 的称含磷岩; $8\% \sim 18\%$ 者称

为磷质岩.根据磷块岩的成因将沉积成因的磷质岩称为磷块岩,而把岩浆成因或变质成因的结晶磷质岩称为磷灰岩.

硅钙质磷块岩矿石的主要有用组分是胶磷矿,另有少量细晶碳氟磷灰石以及银星石,主要脉石矿物是白云石、石英、玉髓、绢云母、伊利石与褐铁矿,另外还含有少量白云母、高岭石、蒙脱石、长石、海绿石等铝硅酸盐矿物以及锆石等重矿物.海口磷矿中低品位磷块岩的自然类型包括砂质磷块岩、条带状磷块岩、假鲕状磷块岩与生物碎屑磷块岩,全层样的化学成分总体上属于硅钙质,矿石工艺类型定为硅钙质磷块岩.

湖北省宜昌地区有丰富的磷矿资源,其大部分是难选的中低品位沉积磷块岩,湖北省宜昌地区中低品位沉积磷块岩矿石中主要磷酸盐矿物为泥晶磷灰石,主要脉石矿物为白云石、石英、玉髓,少量矿物是方解石、粘土矿物、正长石、重晶石、黄铁矿和褐铁矿等.中低品位硅钙质磷块岩的主要矿物成分是胶磷矿、白云石、石英、铝硅酸盐矿物和褐铁矿.宜昌某磷矿磷块岩的物理力学性质见表 1.

表 1 磷块岩物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of phosphorite

矿岩名称	变形模量/ GPa	泊松比	密度/ (g/cm^3)	内摩擦角/ ($^\circ$)	内聚力/ MPa	抗拉强度/ MPa
磷块岩	1.0	0.28	2.92	30	1.2	0.5

研究表明^[1,3-4],磷块岩由于其中含有大量形状极不规则的孔隙、裂纹等内部缺陷,使得岩石物质结构从本质上由宏观到微观都成为极其复杂的非连续和非均质体,岩体的强度、刚度和稳定性大

收稿日期:2010-12-05

基金项目:国家自然科学基金专项基金资助项目(51054005);湖北省教育厅重点项目(Q20101509)

作者简介:张电吉(1963-),男,教授,博士.研究方向:采矿工程及岩土工程的教学及科研工作.

受影响,岩体的力学性质主要取决于这些弱面的性质.这些节理裂隙的劣化作用对岩体的宏观性质产生很大的影响,使得岩体的变形模量降低,并呈各向异性.

2 地下开采中磷块岩受力宏观破坏情况

地下磷块岩采场及巷道开挖以后,磷块岩体内积聚的大量变形能瞬间释放,首先在围岩的表面产生损伤和破裂,并在应力重分布过程中,岩体积聚的应变能可以使裂隙持续扩展,这时裂隙的发展有几种不同形式.

第一种,表面裂隙不断发展、贯通,以劈裂剥落的形式向里发展,顶板在重力作用下易发生松脱塌落;

第二种,在切向应力的压剪和径向的张拉作用下,表面裂隙以一定的角度向深部发展,发展到一定程度时弯曲折断,形成新的自由面,应力峰值内移,产生新一轮的破坏.如果施加支护,围岩弯曲折断会受到一定限制,裂隙会继续向深部发展,形成大块状或板状岩块;

第三种,深部原生裂隙在压剪状态下,形成剪切滑移,这种形式发生在及时支护后的围岩内部.

湖北某磷矿基本为一平缓的单斜构造,倾角 $5^{\circ}\sim 8^{\circ}$,矿层距离地表平均埋藏深在 100 m 以上,磷矿区内山高坡陡、沟谷纵横, pH_3^+ 及其上岩层具软弱夹层,断裂构造发育,岩石裂隙较发育,矿区各类岩(矿)层岩(矿)石的机械物理性能,大部分具硬脆性,多属坚固岩类.在正常情况下,普氏系数为 9~20,抗拉强度 $50\sim 400\text{ kg/cm}^2$,抗压强度在 $414\sim 3400\text{ kg/cm}^2$,岩石风干容量 2.8 kg/cm^3 ,矿石体重为 $2.86\sim 2.97\text{ g/cm}^3$,矿石松散系数 $1.40\sim 1.60$,矿石块度一般在 0.3 m 以下,松散矿石安息角 $38^{\circ}\sim 40^{\circ}$.采用房柱法进行地下开采,回采后空区的矿柱在顶板应力的作用下,大都出现不同程度的破坏.某磷块岩矿地下开采中,现场调查发现,在顶板来压作用下,采空区的许多矿柱出现了大范围的劈裂破坏,空区磷块岩矿柱的开裂破坏情况见图 1^[5].

现场调研发现,大量矿柱破坏的原因除地压外,与矿柱本身存在构造缺陷有直接的关系.在压力作用下,磷块岩矿柱的开裂破坏面往往受矿柱中原生的节理裂隙控制.

3 磷块岩中微裂纹扩展机理分析

磷块岩体破坏的过程实质上是内部微裂纹在



图 1 磷块岩矿柱沿节理受压剪切破坏

Fig. 1 Shear destruction of phosphorite pillar

拉应力或剪应力作用下的发生和发展过程,包括微裂纹的扩展、贯通、归并的连接并最终形成宏观裂隙.磷块岩的微观结构状态决定了磷块岩的原始损伤状态也决定着在荷载作用下这些原始损伤的演化发展方向与扩展分布范围.

磷块岩石是含有微裂纹、微孔隙、夹杂、第二相等微细观缺陷的材料,故当磷块岩石承受载荷以后会在其中产生大量的细观裂纹,并随着载荷的增大而逐步扩展,这种细观裂纹的扩展总是随着拉应力的局部集中而产生,从而增加岩石的损伤程度,影响岩石的宏观力学性质. Mohr-Coulomb 准则和 Griffith 准则均说明,决定材料的变形破坏最直接的因素是主应力差值的大小(而不是主应力的值)和材料的自身强度,低围压环境比高围压环境更有利于宏观裂隙的发生和发展.磷块岩石中被激活的细观裂纹一般具有随机性和定向性,因此可以根据微细裂纹的分布密度和动态变化来描述磷块岩的损伤及其演化.

断裂力学研究表明,处于压剪状态下的岩石,裂纹扩展的方式主要有翼裂纹与次生裂纹两种,其中翼裂纹为张拉裂纹,次生裂纹为压剪裂纹.巷道开挖瞬间,首先在浅部围岩出现了翼裂纹,翼裂纹扩展到一定长度后,会在原裂纹尖端附近形成次生裂纹或分枝裂纹,如图 2 所示.

地下开采的磷块岩中初始斜裂纹处于压剪应力状态,在一定的载荷作用下裂纹扩展,形成翼型张裂纹,裂纹总是以转折的方式发生 I 型断裂.其翼型裂纹尖端的应力强度因子为 K_I ,磷块岩受力后是否开裂破坏,可从以下三个方面讨论:

a. 当 $K_I \geq K_{Ic}$ 时,裂纹就会以接近声速的速度扩展,磷块岩在很短时间或一开始就发生失稳,即瞬时失稳;

b. 当 $K_I \leq K_{Ic}$ 时,裂纹不扩展,磷块岩在相当长的时间内不发生破坏,即不失稳;

c. 而当 $K_{II} < K_I < K_{Ic}$ 时,裂纹仍会以一定

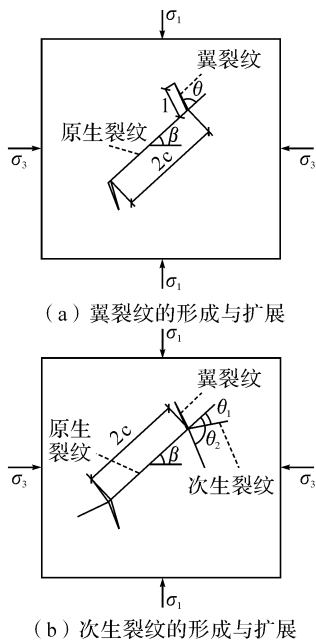


图 2 裂纹的形成与扩展过程
Fig. 2 Propagation of crack

的速度向前扩展,其时间相关变形与裂纹的扩展、相互作用和联合有关,在一定载荷水平 P 的作用下,经历一段时间后磷块岩可出现延迟性失稳,这是考虑岩体裂纹亚临界扩展特性时所特有的。

深部巷道开挖过程中,围岩内部各点的不仅主应力大小发生改变,主应力方向也发生了明显的偏转,甚至出现主应力轴轮换的现象,这种复杂的改变直接导致了巷道围岩的细观裂纹的多次扩展和扩展方向的改变。

4 采场及矿柱稳定性维护措施

根据地下开采中磷块岩的开裂破坏规律,对于房柱法地下开采,为了保证地下开采中采场及矿柱稳定性,地下开采中应注意采取如下几方面

的技术措施:

房柱采矿法中,矿房和矿柱的结构尺寸是控制顶板的关键,应根据实际情况对采场顶板进行分级管理,应该确保矿柱的数量及尺寸。

对于二次回采的工作面,由于处于采空区之中,应力较为集中,危险因素增多,危险系数下降,为保证安全,顶柱、底柱、点柱及矿块间的连续矿柱一般不予回收。

对采空区顶板下沉量和下沉速度以及顶、底、间柱、采场内点柱等矿柱的变形、开裂、片落、破坏情况进行监测,并对顶板垮落和矿柱崩塌进行危险预报,以保证回采工作的顺利进行。一旦发现矿柱出现劈裂、碎裂、大量掉渣、滑移甚至岩爆等情况,必须及时采取相应安全措施(如人员撤离、增加临时支护、收缩开采范围直至关闭采场),并对相邻采场相关矿柱的位置和尺寸进行有针对性的调整。

对于有条件的矿山,可以采用充填采矿法,或用人工混凝土矿柱代替磷块岩矿柱,以增加地下开采的安全性。

参考文献:

[1] 石和彬,王树林,梁永忠,等. 云南中低品位硅钙质磷块岩工艺矿物学研究[J]. 武汉工程大学学报,2008,30(2):46-48.
[2] 韦明华. 磷块岩矿石类型分析及选矿特征研究[J]. 中国水运,2009,9(1):186-187.
[3] 左颖,王明华,张电吉. 果树磷矿分层开采安全性分析[J]. 采矿技术,2008,8(2):77-79.
[4] 金波,张电吉. 岩体可爆性分析及测试[J]. 武汉工程大学学报,2009,31(3):46-48.
[5] 张电吉,周麟,陈清运,等. 人工矿柱在缓倾斜地下矿开采中的应用研究[J]. 金属矿山,2009,11(增刊):223-226,229.

Destruction mechanism study of phosphorite in underground mining

ZHANG Dian-ji, ZHOU Chun-mei, MEI Ting-ting, MEI Qi-shuang

(School of Environmental and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The physical and mechanical properties of the phosphorite are introduced in this paper. The destruction mechanism of phosphorite is studied in the underground mining. The result shows that the main reason of causing macro-crack propagation is the micro-crack in phosphorite. The measures of keeping the underground mine safety are given.

Key words: phosphorite; underground mining; the stress intensity factors; crack propagation

本文编辑:龚晓宁