

下古生界朱砂洞组石灰岩综合开采利用 ——以汝州 - 登封一带为例

邢 昊*, 刘增政, 张青松

中化地质矿山总局河南地质局, 河南 郑州

收稿日期: 2021年12月8日; 录用日期: 2022年1月7日; 发布日期: 2022年1月14日

摘 要

下古生界寒武系朱砂洞组(ϵ_{1z})主要赋矿岩石用途为水泥用灰岩、黑色冶金熔剂用灰岩、建筑石料用灰岩。水泥用灰岩矿石的化学成分主要为CaO、MgO, 有害元素SiO₂均小于4%, Al₂O₃含量均小于0.5%, TFe₂O₃含量均小于0.25%, K₂O + Na₂O均小于0.2%, SO₃、Cl、Mn₃O₄、P₂O₅含量均小于0.1%; 黑色冶金熔剂用灰岩矿石的化学成分主要为CaO、MgO, 有害成分: SiO₂含量均小于4%, Al₂O₃含量均小于0.5%, TFe₂O₃含量均小于0.35%, K₂O + Na₂O均小于0.3%, SO₃、Cl、Mn₃O₄、P₂O₅含量均小于0.1%。水泥用灰岩(III)矿体位于上部, 黑色冶金熔剂用灰岩(VIII)位于水泥用灰岩(III)体下部, 并含有不能满足工业品位的夹石。单独矿种露天开采, 矿石量较少, 并不满足剥采比不大于0.5:1的要求。两种矿体综合利用共同开采, 满足剥采比不大于0.5:1的要求, 具有开采经济性。

关键词

朱砂洞组, 水泥用灰岩, 黑色冶金熔剂用灰岩, CaO MgO剥采比

Comprehensive Exploitation and Utilization of Limestone in Zhushadong Formation of Lower-Paleozoic —A Case Study of Ruzhou-Dengfeng Area

Hao Xing*, Zengzheng Liu, Qingsong Zhang

Henan Geology Bureau of CCGMB, Zhengzhou Henan

Received: Dec. 8th, 2021; accepted: Jan. 7th, 2022; published: Jan. 14th, 2022

*第一作者。

Abstract

The lower-Paleozoic Cambrian Zhushadong Formation (ϵ_{1z}) is mainly used as the host rock for cement limestone, black metallurgical flux limestone and construction stone limestone. The chemical composition of limestone ores used for cement is mainly CaO and MgO, with harmful elements SiO_2 less than 4%, Al_2O_3 content less than 0.5%, TFe_2O_3 content less than 0.25%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ content less than 0.2%, SO_3 , Cl, Mn_3O_4 , P_2O_5 content less than 0.1%. The chemical composition of limestone ores used for black metallurgical flux is mainly CaO and MgO, and the harmful components are SiO_2 content less than 4%, Al_2O_3 content less than 0.5%, TFe_2O_3 content less than 0.35%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ content less than 0.3%, SO_3 , Cl, Mn_3O_4 , P_2O_5 content less than 0.1%. The cement limestone (III) orebody is located in the upper part, and the black metallurgical flux limestone (VIII) is located in the lower part of the cement limestone (III) orebody, and contains the inclusion stone which cannot meet the industrial grade. Single ore open-pit mining, ore quantity is less, does not meet the stripping ratio of less than 0.5:1 requirements. The two ore bodies can be exploited together by comprehensive utilization, which meets the requirement of stripping ratio not more than 0.5:1 and has economic exploitation.

Keywords

Zhushadong Formation, Limestone for Cement, Limestone for Ferrous Metallurgical Flux, CaO MgO Stripping Ratio

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

石灰岩用途广泛，是冶金、建材、化工、建筑、农业、环保等重要工业原料，然因其化学成分、有害物质的含量以及矿石的物理性质的不同，就以不同的矿产名称应用于不同的工业中。汝州 - 登封交界地区分布着较多石灰岩，目前国家与企业在该地区对石灰岩的开采主要集中在张夏组(ϵ_{2z})地层中，用途以水泥用灰岩为主。对朱砂洞组(ϵ_{1z})地层而言石灰岩中镁含量略高[1]，水泥用灰岩厚度不大[2]，缺乏合理的利用，用途主要是做建筑石料，造成了国家矿产资源财产的损失。本文根据河南省汝州市陵头镇马窑水泥用石灰岩矿勘探报告成果[3]，结合在工作中遇到的问题[4]和前人在石灰岩综合利用中的研究[5] [6] [7]，将从地质特征，地球化学特征，尤其资源储量估算的角度对石灰岩的综合利用开采进行分析探讨，为该区朱砂洞组(ϵ_{1z})地层石灰岩矿床综合利用开采提供借鉴。

2. 研究区地质概况

2.1. 区域地质背景

研究区位于华北地台南缘、嵩箕台隆东南缘、箕山背斜北翼东端部。地层分区属华北地层区豫西地层分区嵩箕小区。区域内地层出露较全，构造复杂，沉积矿产主要有灰岩[4]。灰岩赋存于寒武系地层中。

区域出露地层为太古代登封岩群(Ar_2df)、下元古界嵩山群(Pt_2s)、中元古界五佛山群(Jxwf)、上元古界震旦系(z)、下古生界寒武系(ϵ)、上古生界石炭系(C)及二叠系(P)、中生界三叠系(T)、新生界新近系(N)、第四系(Q)。地层构造多为宽缓的背斜、单斜，地层总体走向呈东西向[8] [9] [10] [11]。

2.2. 研究区赋矿地层

下古生界寒武系朱砂洞组(ϵ_1z)主要赋矿岩石用途为水泥用灰岩、黑色冶金熔剂用灰岩、建筑石料用灰岩。

3. 矿床地质特征

3.1. 矿体特征

1) 水泥用灰岩(III)从西部 11 勘探线至东部 3 勘探线均有出露,位于朱砂洞组地层上部,由 3 个探槽和 7 个钻孔控制,为总体呈东西向带状展布的单斜矿层,倾向 $0^{\circ}\sim 38^{\circ}$, 倾角 $13^{\circ}\sim 28^{\circ}$, 一般在 20° 左右,产状稳定,矿体长度约 568 m,出露宽度约 20 m,矿体平均厚度约 10 m,厚度变化系数 44.17%,厚度变化稳定,矿体赋存标高 407 m~478 m,地表埋深为 0 m~58 m,控制斜深 70 m~190 m。如图 1。

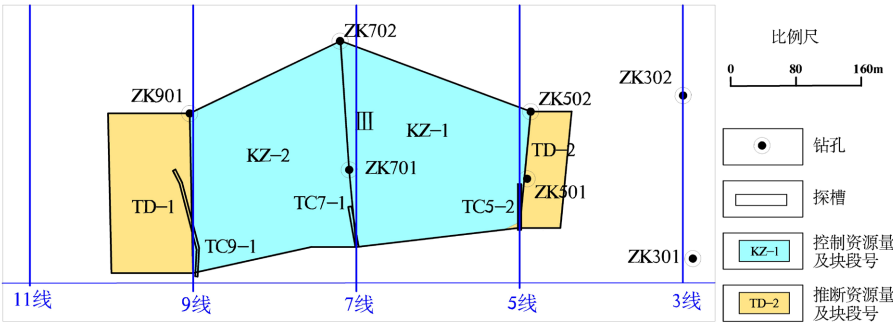


Figure 1. Distribution plan of block of limestone (III) resource estimation for cement
图 1. 水泥用灰岩(III)资源量估算块段分布平面图

2) 黑色冶金熔剂用灰岩(VIII), 赋矿层位为朱砂洞组二段, 分布在 3~11 勘探线间, 由 3 条探槽和 7 个钻孔控制, 呈东西向带状展布的单斜矿层, 长度约 582 m, 矿体倾向 0° , 倾角 $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$, 矿体厚度为 3.05 m~54.87 m, 平均 19.85 m, 厚度变化系数 72.53%, 属较稳定型, 矿体出露标高 395 m~483 m, 矿体最小埋深 0 m, 最大埋深 124 m。如图 2。

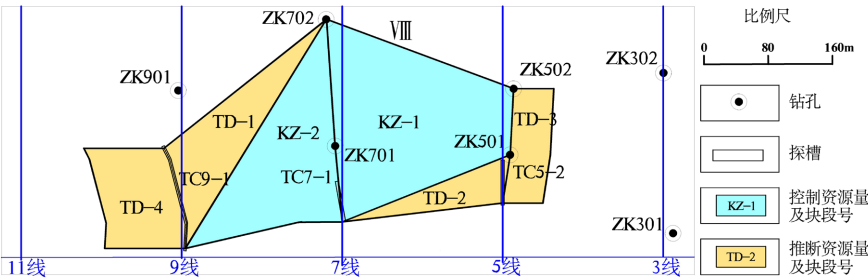


Figure 2. Block distribution plan of limestone (VIII) resource estimation for black metallurgical flux
图 2. 黑色冶金熔剂用灰岩(VIII)资源量估算块段分布平面图

3.2. 矿石特征

3.2.1. 矿物成分

1) 水泥用灰岩(III)矿物成分: 主要矿物由方解石组成以泥晶、亮晶形式出现, 含量 80%~94%, 粒度

0.005 mm~1.0 mm。矿石次要矿物：白云石含量 1.5%~10%，微量矿物为石英、粘土、粉砂等。

2) 黑色冶金熔剂用灰岩(VIII)矿物成分：主要矿物为方解石，含量 90%左右，次为白云石，含量 8%~10%，微量矿物为石英等，方解石，泥晶状，粒度一般小于 0.004 mm，白云石，显微半自形粒状，粒度 0.01 mm~0.06 mm。

3.2.2. 化学组分

在研究区内分别选取具有代表性的样品 6 件，水泥用灰岩(III)矿体岩石为泥晶灰岩，3 件；黑色冶金熔剂用灰岩(VIII)矿体岩石为豹皮状灰岩，3 件。

1) 水泥用灰岩(III)：根据基本分析及组合分析，矿体化学成分含量见表 1。

水泥用石灰岩矿石的化学成分主要为 CaO、MgO，有害元素 SiO₂ 均小于 4%，Al₂O₃ 含量均小于 0.5%，TFe₂O₃ 含量均小于 0.25%，K₂O + Na₂O 均小于 0.2%，SO₃、Cl、Mn₃O₄、P₂O₅ 含量均小于 0.1%。详见化学全分析结果表(表 1)。

Table 1. Chemical analysis results of limestone used in cement

表 1. 水泥用石灰岩化学全分析结果表

送样编号	检测项目及结果 ω_B (%)												
	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Mn ₃ O ₄	Cl	LOSS
CK1-H1	3.13	50.81	2.74	0.422	0.216	0.148	0.028	0.075	0	0	0.014	0.075	43.05
CK1-H2	2.88	51.12	2.98	0.398	0.199	0.138	0.033	0.062	0	0	0.013	0.059	43.07
D1128-H1	2.88	51.12	2.98	0.398	0.199	0.138	0.033	0.062	0	0	0.013	0.059	43.07

注：测试单位为中化地质矿山总局河南地质局岩矿测试中心。

2) 黑色冶金熔剂用灰岩(VIII)：根据基本分析及组合分析，矿体化学成分含量见表 2。

黑色冶金熔剂用石灰岩矿石的化学成分主要为 CaO、MgO，有害成分：SiO₂ 含量均小于 4%，Al₂O₃ 含量均小于 0.5%，TFe₂O₃ 含量均小于 0.35%，K₂O + Na₂O 均小于 0.3%，SO₃、Cl、Mn₃O₄、P₂O₅ 含量均小于 0.1%。详见化学全分析结果表(表 2)。

Table 2. Chemical analysis results of limestone for black metallurgical flux

表 2. 黑色冶金熔剂用石灰岩化学全分析结果表

送样编号	检测项目及结果 ω_B (%)												
	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Mn ₃ O ₄	Cl	LOSS
D181-H1	3.13	49.81	3.74	0.422	0.216	0.148	0.028	0.075	0	0	0.014	0.075	43.05
D501-H1	3.81	44.5	7.9	0.031	0.31	0.25	0.03	0.07	0	0.019	0.01	0.099	43.17
D513-H1	3.64	50.54	2.72	0.1	0.3	0.054	0.024	0.048	0	0.04	0.017	0.056	43.39

注：测试单位为中化地质矿山总局河南地质局岩矿测试中心。

3.2.3. 结构和构造

1) 水泥用灰岩(III)矿石结构主要为微晶结构、鲕粒结构、和不等晶结构；矿石构造主要为条带状构造、块状构造和缝合线构造。

2) 黑色冶金熔剂用灰岩(VIII)矿石结构主要为生物屑泥晶结构；矿石构造主要为微层状构造、豹皮状构造。

4. 矿床地球化学特征

为了研究朱砂洞组灰岩的矿石品级，在汝州马窑水泥用灰岩采矿权区域内，选择具有代表性的 5 号勘探线工程(附加 2 个钻孔，1 个探槽)作为本次研究的主要工作手段，并采取泥晶灰岩、豹皮状灰岩、白云质灰岩样品 41 件，进行了化学基本分析(表 3)，同时绘制 5 号线勘探线及资源量估算剖面图(图 3)。

从数据结果和资源量估算图可知：水泥用灰岩(III)矿体位于上部，黑色冶金熔剂用灰岩(VIII)位于水泥用灰岩(III)矿体下部，并含有不能满足工业品位的夹石。

Table 3. Basic analysis results of micritic limestone, Leopard skin limestone and dolomitic limestone in the study area (%)
表 3. 研究区泥晶灰岩、豹皮灰岩、白云质灰岩基本分析结果表(%)

顺序号	工程 编号	样品 编号	采样位置(m)			岩心长/真 厚度 m	岩矿石 名称	分析结果(%)				
			自	至	样长			CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂
1		H3	12.9	14.9	2	1.74	泥晶灰岩	28.39	8.69			
2		H4	14.9	17.39	2.49	2.21	泥晶灰岩	30.28	11.83			
3		H5	17.39	21.39	4	3.53	泥晶灰岩	45.63	2.94			
4		H6	21.39	25.39	4	3.48	泥晶灰岩	45.16	2.64			
5		H7	25.39	29.39	4	3.56	泥晶灰岩	45.60	2.62			
6		H8	29.39	33.39	4	3.55	泥晶灰岩	45.46	3.24			
7		H9	33.39	37.39	4	3.45	泥晶灰岩	49.55	3.22			
8	ZK501	H10	37.39	41.39	4	3.56	豹皮灰岩	43.08	8.38			2.21
9		H11	41.39	45.39	4	3.43	豹皮灰岩	42.98	9.32			2.78
10		H12	45.39	49.39	4	3.4	豹皮灰岩	42.64	7.71			3.67
11		H13	49.39	53.39	4	3.4	豹皮灰岩	46.42	5.59			3.67
12		H14	53.39	57.39	4	3.45	豹皮灰岩	43.40	8.05			3.45
13		H15	57.39	61.55	4.16	3.48	豹皮灰岩	47.19	5.52			3.21
14		H16	61.55	65.55	4	3.27	豹皮灰岩	32.00	14.39			
15		H17	65.55	69.33	3.78	2.78	豹皮灰岩	29.67	13.37			
16		H3	65.13	69.13	4	3.62	泥晶灰岩	31.89	12.64			
17		H4	69.13	73.13	4	3.61	泥晶灰岩	33.75	12.13			
18		H5	73.13	77.13	4	3.62	泥晶灰岩	45.08	3.26			
19		H6	77.13	81.13	4	3.63	泥晶灰岩	45.77	2.82			
20		H7	81.13	85.13	4	3.6	泥晶灰岩	46.13	3.26			
21	ZK502	H8	85.13	89.13	4	3.62	豹皮灰岩	42.57	7.66			3.89
22		H9	89.13	93.13	4	3.22	豹皮灰岩	46.70	5.78			3.70
23		H10	93.13	97.13	4	3.48	豹皮灰岩	46.63	4.67			3.45
24		H11	97.13	101.13	4	3.49	豹皮灰岩	45.71	6.03			2.45
25		H12	101.13	105.13	4	3.41	豹皮灰岩	44.46	5.76			2.65
26		H13	105.13	109.13	4	3.49	豹皮灰岩	30.48	15.31			3.49
27		H14	109.13	113.13	4	3.57	泥晶灰岩	44.58	7.02			3.67

Continued

28	H15	113.13	117.13	4	3.52	泥晶灰岩	46.25	5.87			3.56	
29	H16	117.13	121.13	4	3.61	豹皮灰岩	42.53	7.01			3.89	
30	H17	121.13	125.13	4	3.21	豹皮灰岩	45.50	7.77			3.05	
31	H18	125.13	129.13	4	3.22	豹皮灰岩	47.09	5.21			2.78	
32	H19	129.13	133.13	4	2.91	泥晶灰岩	43.30	8.12				
33	H20	133.13	135.95	2.82	2.26	白云质灰岩	42.43	4.44				
34	H21	135.95	137.95	2	1.32	白云质灰岩	23.28	5.80				
35	H1	2.00	10.00	8.00	7.87	泥灰岩	39.33	11.75	0.28	0.01		
36	H2	10.00	16.00	6.00	2.29	豹皮灰岩	43.15	10.08	0.27	0.02	2.79	
37	H3	0.00	8.00	8.00	3.05	泥晶灰岩	49.36	8.11	0.16	0.02	2.59	
38	TC5-2	H4	8.00	16.00	8.00	3.05	泥晶灰岩	50.13	3.17	0.13	0.01	7.89
39	H5	16.00	24.00	8.00	3.05	泥晶灰岩	54.63	1.12	0.08	0.02	2.10	
40	H6	24.00	32.00	8.00	3.05	泥晶灰岩	49.62	3.84	0.21	0.01	1.21	
41	H7	32.00	36.00	4.00	1.89	白云质灰岩	36.09	13.27	0.54	0.04	1.41	

注：测试单位为中化地质矿山总局河南地质局岩矿测试中心。

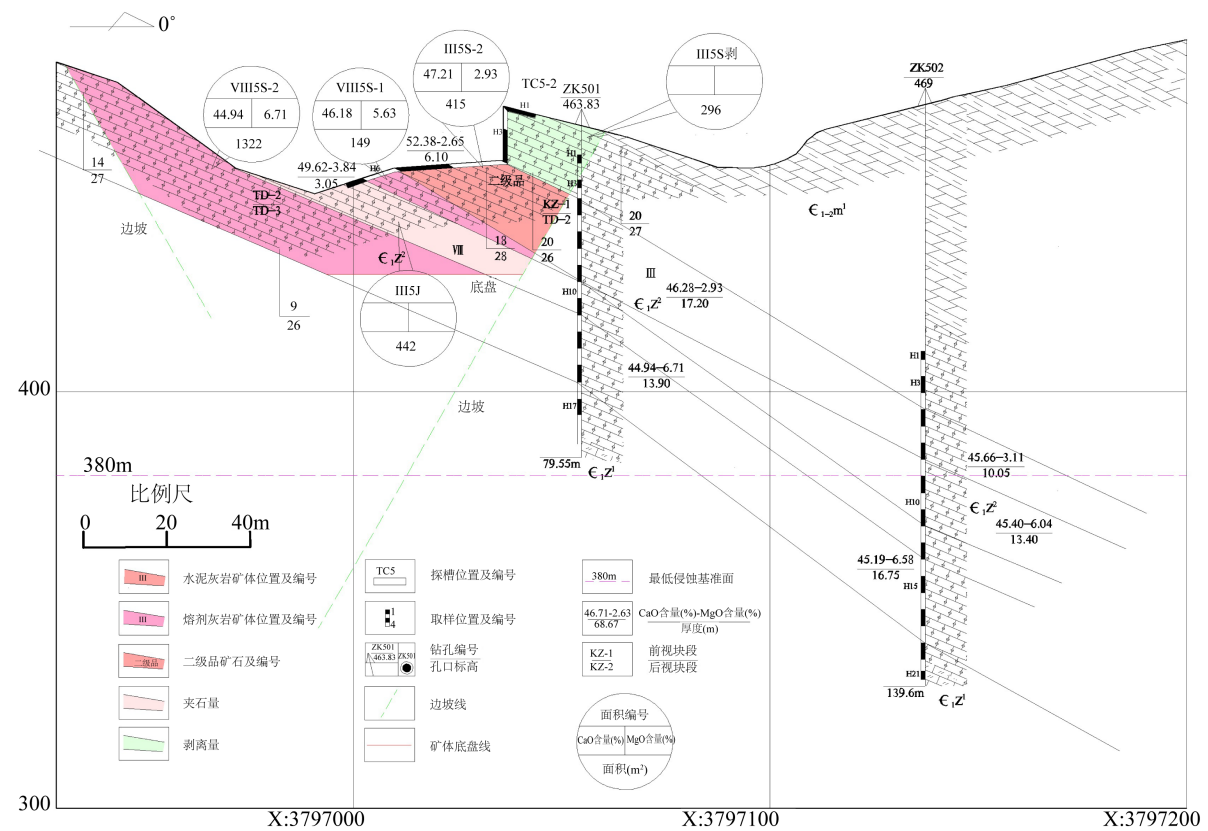


Figure 3. No. 5 exploration line and section of resource estimation
图 3. 第 5 号勘探线及资源量估算剖面图

5. 矿床资源量估算

5.1. 资源量估算方法的选择

矿床为沉积矿产，矿体形态为层状，产状稳定，倾角平缓，10°~30°，平均 20°左右；矿体厚度稳定，品位变化不大。矿区主矿体露头地形由东向西为山头山沟展布，探矿工程按一定间距系统地布置在勘探线上，钻孔为直孔，勘探线剖面方向与矿体倾向一致或基本一致，且勘探线间互相平行，选用垂直平行断面法进行资源量估算[12]。

5.2. 资源量估算的工业指标

按中华人民共和国地质矿产行业标准《矿产地质勘查规范石灰岩、水泥配料类》(DZ/T0213-2020) [13] 中有关水泥原料的一般工业指标执行(表 4、表 5)。

Table 4. General requirements for chemical composition of calcareous raw materials for cement ores
表 4. 水泥用石灰质原料矿石化学成分一般要求

类别	化学成分质量分数(%)						fSiO ₂	
	CaO	MgO	K ₂ O + Na ₂ O	Cl ⁻	P ₂ O ₅	SO ₃	石英质	燧石质
I 级品	≥48	≤3	≤0.6	≤0.020	≤0.80	0.5	≤6	≤4
II 级品	≥45	≤3.5	≤0.6	≤0.030	≤0.80	0.5	≤8	≤4

Table 5. General requirements for chemical composition of limestone (dolomitic limestone) ores used in black metallurgical flux
表 5. 黑色冶金熔剂用石灰岩(白云质灰岩)矿石化学成分一般要求

类别	化学成分质量分数(%)				
	CaO + MgO	MgO	SiO ₂	P	S
边界品位	≥49	≤8	≤4	≤0.03	≤0.12
工业品位	≥51	≤8	≤4	≤0.03	≤0.12

5.3. 矿山开采技术条件要求

水泥用石灰岩和黑色冶金熔剂用石灰岩均采用以下指标：
① 最低可采标高：不低于矿区附近的最低地平面标高 380 m；② 剥采比：不大于 0.5:1 (m³/m³)；③ 可采厚度：8 m；④ 夹石剔除厚度：2 m；⑤ 采场最终边坡角：60°；⑥ 采场最终底盘最小宽度：60 m。

5.4. 块段剖面面积平均组分

水泥用灰岩块段面(III5S-2)数据：CaO 含量 47.21%，MgO 含量 2.93%，块段面积 415 m²；黑色冶金熔剂用灰岩块段面(VIII5S-1)数据：CaO 含量 46.18%，MgO 含量 5.63%，块段面积 149 m²；(VIII5S-2)数据：CaO 含量 44.94%，MgO 含量 6.71%，块段面积 1322 m²。详见表 6，见图 3。

5.5. 剥离量明细统计

以 5 号勘探线及资源量估算剖面图为代表性典型剖面，可知剥离量(III 号矿体上部至地表建筑石料和 VIII 号矿体内夹石)块段面面积 738 m²，水泥用灰岩块段面面积(III5S-2) 415 m²，黑色冶金熔剂用灰岩块

段面面积(VIII5S-1)、(VIII5S-2) 1471 m²。剥采比为 0.39:1, 满足剥采比不大于 0.5:1。

Table 6. Calculation table of average component in section area of block

表 6. 块段剖面面积平均组分计算表

矿石 品级	面积 编号	工程编号	矿体厚度	平均组分(%)		加权值(%)		加权值和(%)		厚度和 (m)	面积平均组分(%)	
			m	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO	MgO		CaO	MgO
二级品	III5s-2	ZK501	17.2	46.28	2.93	796.02	50.4					
		ZK502	10.1	45.66	3.11	458.88	31.26	1574.4	97.8	33.35	47.21	2.93
		TC5-2	6.1	52.38	2.65	319.52	16.17					
工业 品位	VIII5s-1	TC5-2	3.1	49.62	3.84	151.34	11.71	759.7	92.7	16.45	46.18	5.63
		ZK502	13.4	45.4	6.04	608.36	80.94					
	VIII 5s-2	ZK501	13.9	44.94	6.71	624.67	93.27	624.7	93.3	13.9	44.94	6.71

6. 讨论

6.1. 单独矿种露天开采的可行性

1) 单独水泥用灰岩开采: 如果按该资源量剖面图计算, 剥离量块段面面积 738 m², 水泥用灰岩块段面面积(III5S-2) 415 m², 剥采比为 1.78:1, 不满足剥采比不大于 0.5:1 得要求[13] [14] [15]。如果严格按照水泥用灰岩的工业指标技术开采, 水泥用灰岩矿石量会更小, 剥离量远远大于矿石量, 不具有开采价值。

2) 单独黑色冶金熔剂用灰岩开采: 同样按该资源量剖面图计算, 剥离量块段面面积 738 m², 黑色冶金熔剂用灰岩块段面面积(VIII5S-1)、(VIII5S-2) 1471 m²。剥采比为 0.5017:1, 不满足剥采比不大于 0.5:1 得要求。如果严格按照黑色冶金熔剂用灰岩的工业指标技术开采, 黑色冶金熔剂用灰岩矿石量会很少, 不具有开采经济性。

6.2. 两种矿体综合利用共同开采的可行性

剥采比为 0.39:1, 满足剥采比不大于 0.5:1 的要求, 具有开采经济性。

7. 结论

1) 汝州 - 登峰一带下古生界寒武系朱砂洞组(ϵ_1z)岩性为粉晶云灰岩、含燧石团块白云岩、豹皮灰岩、砂屑灰岩、粉晶灰质白云岩、含燧石团块泥晶白云岩。具有多种可利用价值, 主要赋矿岩石用途为水泥用灰岩、黑色冶金熔剂用灰岩、建筑石料用灰岩。

2) 汝州 - 登峰一带下古生界寒武系朱砂洞组(ϵ_1z)灰岩的露天开采, 需要根灰岩的化学成分建立多种矿种综合利用模式、共同开采的情况下进行, 可提高该地层石灰岩的经济价值。

参考文献

- [1] 庆国帅, 齐永安, 杨文涛, 代明月, 白万备, 樊钰超, 等. 豫西登封地区寒武系第二统朱砂洞组生物扰动构造及其地球化学特征[J]. 地球科学, 2020, 45(4): 1103-1114.
- [2] 张秉贤. 豫西南下寒武统朱砂洞组沉积环境与源区特征[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2018.
- [3] 刘增政, 张青松. 河南省汝州市陵头镇马窑水泥用石灰岩矿勘探报告[R]. 郑州: 中化地质矿山总局河南地质局, 2020.
- [4] 李树聪, 张林锋. 关于水泥用灰岩矿勘查中的若干问题[J]. 中国金属通报, 2020(1): 185-186.

-
- [5] 刘亮, 陈娜, 许涛, 戴元. 川西北地区天井山组灰岩综合利用模式[J]. 矿产勘查, 2019, 10(12): 3074-3075.
 - [6] 张志文. 新时期水泥用灰岩矿山资源综合利用浅析[J]. 建材发展导向(上), 2019, 17(2): 21.
 - [7] 王爽, 彭智博, 杨扬. 浅析矿山地质环境恢复治理及综合利用——以河南省新安县万基控股集团有限公司山碧水泥灰岩及溶剂灰岩矿山为例[J]. 中华民居, 2013(12): 251-252.
 - [8] 冯景兰, 张伯声. 豫西地质矿产调查报告[R]. 开封: 中国地质调查所开封分所, 1952.
 - [9] 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
 - [10] 张道尔. 河南前寒武纪地层[J]. 地质学报, 1954, 34(2): 197-208.
 - [11] 裴放, 巴燕, 王朝栋, 雷正化. 河南平顶山地区下寒武统朱砂洞组地质特征及成因[A]//河南地球科学通报 2009 年卷(上册). 北京: 中国大地出版社, 2009: 34-44.
 - [12] 夏士钧, 陈正光. 储量计算方法的探讨[J]. 贵州地质, 1990(3): 252-254.
 - [13] 尤关进, 陈正国, 谢建强, 等. DZ/T 0213-2020 矿产地质勘查规范石灰岩、水泥配料类[S]. 北京: 中华人民共和国自然资源部, 2020.
 - [14] 邓善德, 杨强, 万会, 雍卫华, 汪汉字, 白冶, 等. GB/T 33444-2016 固体矿产勘查工作规范[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2016.
 - [15] 李涛, 管辉, 缪拥正. 露天矿经济合理剥采比的确定[J]. 山东煤炭科技, 2010(1): 94-96.