

浅论建筑石料用灰岩矿伴生品的综合利用

赵兴剑, 赵俊杰, 高浪飞

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

摘要:为满足建筑石料开采、加工等全过程质量控制要求,建筑石料用灰岩矿在其开发利用过程中难免会产生大量的伴生品。这些伴生品若未得到妥善处置,一方面可能会造成严重的环境风险,另一方面可能会使矿山企业背负起沉重的经济负担。以重庆市铜梁区独立工矿区转型升级产城融合 PPP 项目 B 包矿山(简称“该项目”)为例,对建筑石料用灰岩矿开采、加工过程中产生的伴生品种类进行了梳理,对其综合利用的方向进行了探讨,以期对其他建筑石料用灰岩矿伴生品的综合利用参考。

关键词:建筑石料用灰岩矿;伴生品;综合利用

中图分类号:TU5;TU7;TD98;TD985;TD87

文献标志码:B

文章编号:1001-2184(2024)04-0032-05

Comprehensive Utilization of By-products of Limestone Mines for Building Stones

ZHAO Xingjian, ZHAO Junjie, GAO Langfei

(Sinohydro Bureau 5 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610066)

Abstract: In order to meet the requirements of quality control in the whole process of mining and processing, a large amount of by-products will inevitably be produced during the development and utilization of limestone mines used for building stone. These by-products, if not properly handled, may cause serious environmental risks on the one hand, and on the other hand, may make the mining enterprises bear a heavy economic burden. This paper takes Chongqing Tongliang District Independent Industrial Mining Area Transformation and upgrading Industry-City Integration PPP Project B package mine (hereinafter referred to as "the project") as an example, the types of by-products produced during mining and processing process of limestone mines for building stones are sorted out, and the direction of their comprehensive utilization direction is discussed, so as to provide reference for the comprehensive utilization of by-products of other limestone mines for building stones.

Keywords: Limestone mines for building stones; By-product; Comprehensive Utilization

1 概述

灰岩全称石灰岩,主要成分为方解石(天然碳酸钙的常见形态之一),是地壳中分布最广泛的沉积岩之一。灰岩的硬度系数一般在 2~4 之间,相比花岗岩、玄武岩、石英岩等相对较低,便于加工,具有良好的磨光性、吸水性、隔音性和胶结性,是生产砂石、水泥等建筑材料的主要原材料之一。中国砂石协会发布的《中国砂石行业运行报告》显示,2022~2023 年全国新设砂石矿权 1 634 宗,其中灰岩矿权 465 宗,占比为 28.50%,说明灰岩已经成为我国砂石骨料行业的核心矿种之一。随着砂石骨料行业规模化发展趋势的不断增强,新设

建筑石料用灰岩矿权中超大型、大型矿权的占比明显提升,其地质情况亦随着矿区面积或开挖深度的加大更加复杂,在其毛料开采过程中除涉及表土、风化层剥离外,还可能涉及夹层剥离,加之砂石骨料加工过程中可能产生的含泥石屑、泥饼、石粉等伴生品,给矿山企业造成了巨大的处置压力^[1]。因此,如何对这些伴生品进行综合利用、在提高矿产资源综合利用水平的同时提升矿山的经济效益,已成为矿山企业面临的重大课题之一。笔者以该项目为例,对建筑石料用灰岩矿伴生品的综合利用进行了分析研究。

该项目位于重庆市铜梁区蒲吕街道新联村、沙坝村,矿区面积约 2.17 km²,资源总量约 3 亿 t

收稿日期:2024-03-14

(不含覆盖层及夹层),主要矿种为三叠系下统嘉陵江组一段灰岩(T_{1j}^1)和三叠系下统嘉陵江组三段灰岩(T_{1j}^3),平均饱和抗压强度 ≥ 60 MPa,是渝西地区最优质的砂石骨料母岩之一。但从地质调查情况看,该区域出露地层由新到老依次为第四系全新统素填土层(Q_4^{ml})、第四系全新统坡残积层(Q_4^{el+dl})、三叠系下统嘉陵江组三段(T_{1j}^3 可进一步细分为 T_{1j}^{3-1} 、 T_{1j}^{3-2} 、 T_{1j}^{3-3})、三叠系下统嘉陵江组二段(T_{1j}^2)、三叠系下统嘉陵江组一段(T_{1j}^1),其中: T_{1j}^1 和 T_{1j}^{3-1} 、 T_{1j}^{3-3} 为可利用矿层,其饱和抗压强度高,能够满足砂石骨料生产要求; Q_4^{ml} 和 Q_4^{el+dl} 为表土和风化层; T_{1j}^2 和 T_{1j}^{3-2} 为夹层,其饱和抗压强度低,含泥量较重,不适宜生产砂石骨料,需要进行剥离处理。根据该区域整体剥采比为 $0.25:1\sim 0.30:1$ 进行估算得,总剥离量为 0.30 亿 m^3 左右。

该项目设计产能为 $1\,500$ 万 t/a ,毛料采用露天开采方式,成品料采用两级破碎、两级筛分并辅以制砂楼制砂的干法生产工艺,其中粗碎采用锤式破碎,细碎采用反击式破碎,主要产品包括 $D4.75\sim 10$ mm、 $D10\sim 26.50$ mm、 $D26.50\sim 31.50$ mm三种粒级的碎石和 $D0\sim 4.75$ mm的机制砂。为妥善控制成品料质量,该项目在粗碎工序后设置了预筛分工序,可以根据毛料中的含泥情况对其中 $D\leq 10$ mm的细颗粒(含泥石屑)进行筛除,并将其在配套弃料仓中堆存。同时,为满足环保及绿色矿山建设要求,该项目在各生产车间、转运站、料仓及制砂楼设置了除尘器,对成品料破碎、输送过程中产生的 $D\leq 75\,\mu m$ 的细颗粒(石粉)进行收集,并分别在配套灰罐(破碎、输送过程中产生的石粉)、粉罐(制砂过程中产生的石粉)中堆存。从阶段运行情况看,该项目含泥石屑和石粉(包括灰和粉)的产出率均为 3% 左右。据此估算,含泥石屑和石粉的总产量均为 800 万 t 左右。

2 伴生品的种类及其具有的特性

2.1 表土

第四系全新统素填土层(Q_4^{ml})位于矿区最上层,由原始表土、原有矿山剥离的残坡积土层、复绿客土及弃土等组成,其中原始表土和复绿客土中的植物根系密集,有机物和微生物丰富,能够为植物生长提供必要的营养元素,弃土主要为黏土、砂黏土、砂砾层等,其营养物质相对匮乏,不利于

植物生长;而表土则在砂石毛料开采前需要进行剥离处理。

2.2 风化层

第四系全新统坡残积层(Q_4^{el+dl})位于表土和下伏岩层之间,通常与下伏岩层呈角度不整合接触关系,其系由岩层经过长期风化、水蚀作用形成,稳定性结构已被破坏,矿物成分已发生显著变化,节理裂隙发育,岩体破碎,含泥量较重,不能用于砂石骨料生产,因此,在砂石毛料开采前需对其进行剥离处理。该部分剥离料通常称为山皮料。

2.3 夹层

三叠系下统嘉陵江组一段(T_{1j}^1)与三叠系下统嘉陵江组三段一亚段(T_{1j}^{3-1})、三叠系下统嘉陵江组三段二亚段(T_{1j}^{3-2})矿层之间存在三叠系下统嘉陵江组二段(T_{1j}^2)和三叠系下统嘉陵江组三段二亚段(T_{1j}^{3-2})夹层,两个夹层的岩性存在明显差异:

(1)三叠系下统嘉陵江组二段(T_{1j}^2)。 T_{1j}^2 为灰白色或灰黑色中厚层状微晶至细晶白云岩、岩溶角砾岩,其饱和抗压强度极低,松散岩体遇水出现软化,完整性相对较好的岩体可测得饱和抗压强度介于 $10\sim 25$ MPa之间,氧化钙(CaO)含量介于 $20\%\sim 40\%$ 之间且含泥量较重。

(2)三叠系下统嘉陵江组三段二亚段(T_{1j}^{3-2})。 T_{1j}^{3-2} 为灰色、浅灰色中厚至厚层状白云岩、白云质灰岩,局部夹杂一层黄灰色岩溶角砾岩,其饱和抗压强度最高可达 45 MPa左右,氧化钙(CaO)含量最高可达 50% 左右,氧化镁(MgO)含量最高不超过 2% ,但 T_{1j}^{3-2} 位于中峰寺背斜与沥鼻峡背斜之间的破碎带节理裂隙、溶蚀裂隙发育,岩体破碎,含泥量较重,不能用于砂石骨料生产。

此外,从现场开挖情况看,整个 T_{1j}^3 岩层(包括 T_{1j}^{3-1} 、 T_{1j}^{3-2} 、 T_{1j}^{3-3})均位于中峰寺背斜与沥鼻峡背斜之间的破碎带,虽然其饱和抗压强度较高,但其节理裂隙、溶蚀裂隙发育,岩体破碎,含泥量较重,不能用于砂石骨料生产,需要作为夹层进行剥离处理。

2.4 含泥石屑

成品料生产过程中的预筛分除泥工序可以根据毛料的含泥情况选择性使用,预筛出的含泥石屑通常其 $D\leq 10$ mm,且其含泥量与含水率密切

相关。当含水率 $\leq 1\%$ 时,含泥石屑中的含泥量最低可控制在 5% 以内;当含水率 $\geq 5\%$ 时,含泥石屑中的含泥量最高可达 20% 以上。因该毛料主要为 T_{1j}^1 ,经粗碎产生的含泥石屑中的石屑主要为 T_{1j}^1 ,系灰色至深灰色、薄至中厚层状微至细晶灰岩,其平均饱和抗压强度可达 60 MPa 以上,平均氧化钙(CaO)含量为 48% 左右。

2.5 石粉

(1)破碎与输送过程收取的尘粉(灰)。在成品料破碎、输送过程中收集到的石粉(灰)通常为灰白色细颗粒,整体产出率约为 1.25% ,其 $D\leq 75\text{ }\mu\text{m}$,通常含水率 $\leq 1\%$,含泥量 $\leq 1\%$,氧化钙(CaO)含量通常为 48% 左右, $D\geq 45\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒占比一般介于 $10\%\sim 15\%$ 之间。

(2)制砂过程收取的尘粉(粉)。利用石屑、碎石生产机制砂过程中产生的石粉(粉)通常为灰白色细颗粒,整体产出率约为 1.75% ,其 $D\leq 75\text{ }\mu\text{m}$,含水率和含泥量随原材料情况波动较大,含水率和含泥量最高可达 3% 以上,氧化钙(CaO)含量通常为 48% 左右, $D\geq 45\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒占比一般介于 $25\%\sim 30\%$ 之间。

3 伴生品处置的必要性

3.1 政策管控要求

国土资源部等六部(委)于2017年3月印发的《关于加快建设绿色矿山的实施意见》(国土资规〔2017〕4号)明确提出:矿山开采应选择资源节约型开发方式,实现资源分级利用、优质优用、综合利用。明确提出对石灰岩等露天开采矿山应做到资源分级利用。自然资源部于2018年10月发布的《砂石行业绿色矿山建设规范》(DZ/T 0316—2018)明确提出:砂石行业应按照减量化、再利用、资源化的原则对砂石生产工艺进行合理优化设计以提高成品率,充分利用石粉、泥粉等加工副产品,提高资源的综合利用水平。重庆市规划和自然资源局等于2021年10月印发的《重庆市绿色矿山建设标准(2021年版)》(渝规资〔2021〕745号)明确提出:砂石土矿资源开发利用“三率”应达到国家及重庆市的相关规定要求。重庆市规划和自然资源局于2019年9月印发的《关于主要矿产资源合理开发利用“三率”最低指标要求的通知》(渝规资规范〔2019〕22号)明确提出:建筑石料用灰岩露天开采的回采率应不低于 90% ,且一般不

进行选矿作业(不设置选矿回收率指标),并鼓励对矿山开采废石进行综合利用,将其用作建筑材料或矿山采空区回填复垦,其综合利用率应不低于 60% 。

3.2 企业发展的需要

建筑石料用灰岩矿开采、加工过程中产生的伴生品若不能得到妥善处置,短期内可能会影响到矿山企业生产运营工作的正常开展,长期则必将影响到矿山企业的经济效益。以重庆市铜梁区独立工矿区转型升级产城融合PPP项目B包矿山为例,其表土、风化层、夹层的总剥离量达到 0.30 亿 m^3 左右,如不及时进行剥离则可能会压覆矿层,进而导致毛料开采进度不能得到保证,且其风化层、夹层开采进度滞后,可能会导致与矿层之间形成的高差过大而存在安全隐患,需要重新开展安全预评价、安全设施设计及对应的审查、验收等工作,轻则影响矿山的生产进度,重则可能导致矿山全面停工停产。此外,剥离出的表土、风化层(山皮料)、夹层料若没有妥善的消纳渠道,而仅仅依靠排土场进行堆存,一方面将产生大量的钻爆、装车、倒运、堆存及用地成本;另一方面则极有可能因排土场规模过大而引发安全、环保、水保等环境风险。另外,成品料生产过程中产生的含泥石屑、石粉(包括灰和粉)等伴生品因其扩散性更强(需进行密封存储),且其储存空间更加有限,如不进行及时、妥善的处置或消纳,同样可能会导致矿山面临停工停产及环境污染的风险。

4 伴生品综合利用的方向

4.1 表土

表土特别是其中适合耕种的耕植土是保障农业发展的最基础、最宝贵的资源之一。《中华人民共和国土地管理法》规定:县级以上地方人民政府可以要求占用耕地的单位将所占用耕地耕作层的土壤用于新开垦耕地、劣质地或者其他耕地的土壤改良。《土地复垦条例》规定:土地复垦义务人应当首先对拟损毁的耕地、林地、牧草地进行表土剥离,并将剥离的表土用于被损毁土地的复垦。因此,矿山企业在取得建筑石料用灰岩采矿权后,应自行或委托第三方单位编制《矿产资源开发利用方案》和《矿山地质环境保护与土地复垦方案》(简称“二合一方案”)报地方政府规划和自然资源

管理部门审查、审批后作为后续矿产资源开发利用的纲领性、指导性文件,同时在后续矿山开采过程中对剥离出的表土进行单独分区堆存和妥善保管,并将其作为矿山“边开采、边治理”及开采完毕边坡、底盆复垦复绿的用土^[2]。

4.2 山皮料

山皮料节理裂隙发育,岩体破碎,含泥量较重,不能用于生产砂石骨料。但其部分岩体埋深相对较深,风化、水蚀作用相对较弱,经挑选后其可以作为水泥稳定材料的原材料。水泥稳定材料系指在松散的土、砂砾或其他集料中加入适量的水泥和水经搅拌均匀后形成的混合物,根据被稳定材料的构成不同,可将其细分为水泥稳定级配碎石、水泥稳定级配砾石、水泥稳定石屑、水泥稳定土、水泥稳定砂等。水泥稳定材料经摊铺、碾压和养护后可以作为公路、市政道路路面的基层或底基层。其用于高速公路、一级公路基层集料的粒径一般不应大于 31.50 mm,压碎值一般不应大于 22%(最高不应大于 26%),软石含量一般不应大于 3%(最高不应大于 5%)。用于二级、二级以下公路的基层集料的粒径一般不应大于 37.50 mm,压碎值一般不应大于 30%(最高不应大于 35%)。

4.3 夹层料

(1)三叠系下统嘉陵江组二段(T_{1j}^2)。 T_{1j}^2 为灰白色或灰黑色白云岩、岩溶角砾岩与黏土混合物,其中部分岩体的完整性相对较好,饱和抗压强度相对较高,能够提供较好的承载能力和稳定性,经挑选后其可以作为水泥稳定材料的原材料,其间夹杂低强度的岩块和黏土,排水性能好,不易结块,过筛后可以作为土石路堤的回填材料,有助于提升道路的稳定性和抗冲刷能力。 T_{1j}^2 作为天然土石混合填料时,其中硬、硬质石料的最大粒径不得大于压实层厚的 2/3,强风化石料或软质石料的最大粒径不得大于压实层厚。

(2)三叠系下统嘉陵江组三段(T_{1j}^3)。 T_{1j}^3 灰岩因位于中峰寺背斜与沥鼻峡背斜之间的破碎带中,其节理裂隙、溶蚀裂隙发育,岩体破碎,含泥量较重,不能用于生产砂石骨料(不排除采用湿法工艺生产砂石骨料的可行性),但其具有两项突出特征:一是饱和抗压强度高,其既可以直接作为土石路堤回填材料使用,也可以经土石分离后作为

水泥稳定材料的原材料使用,或者经土石分离及破碎后用于生产各类建筑物基础回填材料的定制化产品;二是氧化钙(CaO)含量高(可达 50%左右),且氧化镁(MgO)、氧化钾(K_2O)、氧化钠(Na_2O)等有害成分低,能够满足《冶金、化工石灰岩及白云岩、水泥原材料矿产地地质勘查规范》DZ/T 0213—2002 中的水泥用石灰质原料 I 级品要求,可用于生产高品质水泥。

4.4 含泥石屑

含泥石屑为经过破碎的、 $D\leq 10\text{ mm}$ 的含泥细颗粒,主要成分为 T_{1j}^1 ,其质地坚硬,完整性好,饱和抗压强度高(平均饱和抗压强度达 60 MPa 以上)。在毛料取料点地质条件稳定、天气晴朗的情况下,其含水率可以控制在 1%以内,含泥量亦可控制在 5%以内,可直接掺入水泥稳定材料使用。在毛料取料点地质条件变化大、连续阴雨、含水率和含泥量大幅度提升的情况下,可以考虑通过二次筛分或水洗等措施进行除泥,除泥后既可以将其直接掺入水泥稳定材料使用^[3],也可以用于生产普通机制砂、水洗机制砂或砂浆砂^[4]等,能够显著提高其利用效益。

4.5 石粉

(1)破碎、输送过程中收集到的尘粉(灰)。成品料破碎、输送过程中收集到的石粉(灰),其含水率和含泥量均不超过 1%,氧化钙(CaO)含量稳定(一般为 48%左右),且其中 $D\geq 45\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒占比一般介于 10%~15%之间。根据《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164—2017 中的明确划分标准,该类石粉为 LⅡ A 级石粉,其既可作为预拌混凝土、预拌砂浆的掺合物^[5],也可用于生产水泥。

(2)制砂过程收集到的尘粉(粉)。机制砂生产过程中产生的石粉(粉)其含水率、含泥量的波动较大,且其中 $D\geq 45\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒占比一般介于 25%~30%之间。根据《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164—2017 中的明确划分标准,该类石粉通常为 LⅢ B 级石粉,按照《石灰石粉在混凝土中应用技术规程》JGJ/T 318—2014 的约定,其不能满足预拌混凝土要求,只能用于生产水泥。

现阶段,重庆市铜梁区独立工矿区转型升级产城融合 PPP 项目 B 包矿山生产的砂石骨料主

要以 T_{1j}^1 为原材料,在其生产过程中收集到的石粉氧化钙(CaO)一般为 48%左右,后续将根据矿层的完整性情况可能使用 T_{1j}^3 为原材料生产砂石骨料,届时生产过程中收集到的石粉的氧化钙(CaO)含量可能提高到 50%以上。高钙石粉除可以用于预拌混凝土、预拌砂浆及生产水泥外,还可以经研磨、煅烧等工序后生产碳酸钙或作为溶剂用石粉、脱硫用石粉等,在材料制造、金属冶炼、火力发电等领域具有广泛用途。

5 结 语

建筑石料用灰岩矿作为典型的资源开发类项目,提高其包括各类伴生品在内的资源综合利用水平既是政府管控政策的要求,也是企业提升经济效益的要求。因此,在建筑石料用灰岩矿项目开发过程中,一定要通过地质调查等手段全面掌握各类岩体的物理、化学属性,提前编制矿产资源综合利用方案,并高度关注周边水泥厂、水稳站等上下游关联产业的发展情况,通过外销或自主深

加工等方式尽可能地对矿山开采、加工过程中产生的伴生品进行资源化利用。

参考文献:

[1] 李牟,李萍军,唐小萍,等.我国矿山尾矿(砂)综合利用研究现状[J].山东工业技术,2013.32(14):141-158.

[2] 李君剑,刘峰,周小梅.矿区植被恢复方式对土壤微生物和酶活性的影响[J].环境科学,2015.36(5):1836-1841.

[3] 王银波,谢时雳.石屑在路面基层和垫层中的应用研究初探[J].黑龙江交通科技,2010.33(2):43.

[4] 彭建谋.宝丰县边庄水泥灰岩矿资源综合利用探讨[J].矿产保护与利用,2013,33(1):43-45.

[5] 颜锦凯,付海波,徐亮.灰岩砂石矿山尾矿综合利用研究[J].采矿技术,2019,19(6):174-176.

作者简介:

赵兴剑(1987-),男,河南南阳人,项目副经理,经济师,双学士,从事投资管理、市场营销等工作;

赵俊杰(1990-),男,四川广元人,项目市场营销部经理,助理工程师,从事矿山运营管理与市场营销工作;

高浪飞(1976-),男,四川成都人,项目工程管理部主任,副高级工程师,从事矿山建设与运营管理工作. (编辑:李燕辉)

(上接第 12 页)

表 2 岩壁吊车梁锚杆无损检测成果表

工程部位	锚杆类型	检测根数 /根	注浆饱满度评价		
			≥90%	86%~89%	≤85%
主厂房第三层系统 岩壁梁下游第 1 单元	长 12 m,外露 2.5 m	109	105	4	0
	长 9 m,外露 1.5 m				
	长 9 m,外露 1.2 m				
主厂房第三层系统 岩壁梁下游第 4 单元	长 12 m,外露 2.5 m	111	109	2	0
	长 9 m,外露 1.5 m				
	长 9 m,外露 1.2 m				
主厂房第三层系统 岩壁梁下游第 9 单元	长 12 m,外露 2.5 m	117	114	3	0
	长 9 m,外露 1.5 m				
	长 9 m,外露 1.2 m				

参考文献:

[1] 水电水利工程锚杆无损检测规程:DL/T 5424-2009[S].

[2] 水电水利工程岩壁梁施工规程:DL/T 5198-2013[S].

[3] 水电水利地下工程锚喷支护施工规范:DL/T 5181-2017 [S].

[4] 马洪琪.中国水利水电地下工程施工[M].北京:中国水利水电出版社,2011.

[5] 中国电力企业联合会.工程建设标准强制性条文[M].北京:中国电力出版社,2008.

作者简介:

郝利军(1982-),男,山西浑源人,三公司副总工程师,副高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工

郭建军(1982-),男,甘肃渭源人,副高级工程师,从事试验检测与安全监测工作;

高 强(1986-),男,山西忻州人,项目总工程师,副高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工

(编辑:李燕辉)