

喀麦隆北部比扎尔大理岩尾矿特性及土木工程潜力

David Ikome Lyonga^{1, 2, *}, Christopher Fuanya³, Frederic Mounsi¹, Gazissou Zoulla Flaubert⁴,
Aboubakar Abdoul¹, Tchatchoua Fils Thomas Roger¹, Setchokbe Hinfene Venceslas², Ngalla
Ndi⁵, Andrew Molonga Lyonga^{5, 6}, Sidney Tamasang Asangbeh⁵, Beri Sirnsai Fabian⁷, Jean
Paul Sep Nlomngan¹

- 1 喀麦隆 加鲁瓦 矿业和地质研究所地质和采矿研究中心
- 2 喀麦隆 梅干加 恩温德尔大学地质与采矿工程学院采矿地质系
- 3 喀麦隆 布埃亚 布埃亚大学西南区地质系
- 4 喀麦隆 加鲁瓦 拉泽尔岩土工程实验室
- 5 喀麦隆 菲吉 喀麦隆城
- 6 喀麦隆 布埃亚蒂科 里昂加科学技术研究所
- 7 喀麦隆 雅温得 岩土实验室 喀麦隆技术协会(ECTA BTP)

摘要:尾矿堆积是世界上大多数矿山普遍存在的现象, 虽然这些尾矿可以得到更好的开发利用, 但却很少受到重视。比扎尔-巴塔尔地区以该次区域的大理石浓度高而闻名, 建立水泥厂将增加大理石尾矿库存。本研究着重于喀麦隆北部地区比扎尔大理岩破碎尾矿的表征。从采矿现场采集的抢样中共制备了 4 个样品。对比扎尔大理岩尾矿进行了地质力学性能测试, 并与用于土木工程和其他类似研究的集料进行了比较。在本研究中, 用他们的方法研究的性质是:粒度分析(NF EN 933-1), 比重(NF P 94-054), Los Angeles (NF EN 1097-2), Micro Deval (NF EN 1097-1)和片状指数(NF EN 933-3)。结果表明:该尾矿分级较差, 但分级均匀, 均匀系数(C_u)为 2.42, 曲率系数(C_c)为 1.02;此外, 10/14 级颗粒的平均 Los angeles 值为 20.18%, 平均 Micro Deval 值为 16.9%, 适合于建筑。尾矿平均比重为 2.71 g/cm³, 平均片状指数为 19.63%, 具有较好的土木骨料应用潜力。粒度为 10/14 mm 的尾砂, 在 Los Angeles 和 Micro Deval 上均取得了较好的比重试验结果。因此, 比扎尔大理岩尾砂可作为常规骨料, 并可用于建筑。

关键词:比扎尔; 大理岩; 尾矿; 岩土力学; 土木工程; 集料

Bidzar Marble Tailing Characterization and Potential for Civil Engineering Works Northern Cameroon

David Ikome Lyonga^{1, 2, *}, Christopher Fuanya³, Frederic Mounsi¹, Gazissou Zoulla Flaubert⁴, Aboubakar Abdoul¹, Tchatchoua
Fils Thomas Roger¹, Setchokbe Hinfene Venceslas², Ngalla Ndi⁵, Andrew Molonga Lyonga^{5, 6}, Sidney Tamasang Asangbeh⁵,
Beri Sirnsai Fabian⁷, Jean Paul Sep Nlomngan¹

1Centre for Geological and Mining Research, Institute of Mining and Geological Research, Garoua, Cameroon

2Department of Mining Geology, School of Geology and Mining Engineering, University of Ngaoundere, Meiganga, Cameroon

3Department of Geology, University of Buea, South West Region, Buea, Cameroon

4Geotechnical Laboratory, Razel, Garoua, Cameroon

5Cimenteries du Cameroun, Figuil, Cameroon

6Department of Engineering, Lyonga Institute of Science and Technology, Buea-Tiko, Cameroon

7Geotechnical Laboratory, Etablissement Camerounais des Techniciens Associés (ECTA BTP), Yaounde, Cameroon

Abstract: Stockpiling of tailings is a common phenomenon in most mines around the world, though these tailings can be exploited for better usage, little is been done as this is concern. The Bidzar-Bataol area is known for high marble concentration within the sub region and the setting up of cement factories will see an increase in marble tailings stockpile. This study focuses on the characterization of tailings collected from the crushing of marble in Bidzar, North Region of Cameroon. A total of four samples were prepared from a grab sample collected at the mining site. The Bidzar marble tailings were tested on their geomechanical properties and compared to that of aggregates used in civil engineering works and other similar study. The investigated properties with their methods in this study are:

grain size analysis (NF EN 933-1), specific gravity (NF P 94-054), Los Angeles (NF EN 1097-2), Micro Deval (NF EN 1097-1) and Flakiness Index (NF EN 933-3). The results obtained shows that the tailings are poor but uniformly graded with a Coefficient of Uniformity (C_u) 2.42 and Coefficient of Curvature (C_c) 1.02. Also, aggregate of granular class 10/14 shows average Los Angeles value of 20.18 % and average Micro Deval 16.9 %, making them good for constructions. Similarly, with average specific gravity of 2.71 g/cm³ and average Flakiness Index of 19.63 %, the tailings present good potentials for aggregate used in civil engineering. The tailings of granular class 10/14 mm present excellent results for specific gravity, and a satisfactory result were obtained on the Los Angeles and Micro Deval. It can therefore be concluded that Bidzar marble tailing can potentially serve as conventional aggregate and can be used in construction.

Keywords: Bidzar; Marble; Tailings; Geo-Mechanics; Civil engineering; Aggregate

1. 简介

在过去的几十年里, 喀麦隆的土木工程工程迅速增加。大多数公共和商业采石场利用花岗岩、玄武岩和片麻岩作为骨料, 这取决于该地区的地质条件。Figuil、比扎尔和 Guider 地区的建筑工程使用了来自比扎尔大理石采石场的大理石废料(尾矿)。此外, 当地议会在二级公路的开放和维护中利用了尾矿。迄今为止, 人们对大理石废料(骨料和粉末)在混凝土生产中的应用进行了大量的研究。Gescoglu^[1]指出, 几个世纪以来, 大理石一直被用作重要的建筑材料, 特别是用于装饰用途, 在锯切、成型和抛光等过程中, 大约 25% 的加工大理石变成灰尘或粉末形式, 用于混凝土制造。Belachia & Hebhoub^[2]进行了用再生骨料(大理石尾矿)替代天然骨料的试验, 在替代率为 25% 的情况下获得了混凝土强度较高的满意结果, 在替代率为 50% 的情况下获得了混凝土的最大密度。此外, 大理石废料还可以改善混凝土的吸水渗透性、抗氯化物渗透和硫酸盐侵蚀^[3]等性能。Gonfa^[4]的结论是, 当在施工现场附近和材料丰富的地方发现大理石废骨料时, 建议使用重量达 80% 的大理石废骨料作为道路基层。同时, 对比扎尔采石场白大理石进行了地质物理学特征研究。物理学特征是在白色大理石上进行的, 它呈现出一种不那么耐腐蚀性, 令人满意但有限的岩石的特征。

比扎尔-巴塔尔地区以大理石浓度高而闻名, 这将在未来吸引许多加工厂。到目前为止, 一个主要的波特兰水泥生产库存每年约 54000 吨的大理石尾矿, 只有少数不到 1% 被当地议会和人口用于发展。与该区域内发现的其他集料相比, 它对用户来说可能相对负担得起, 但似乎存在问题, 因为它从未被定性为这些目的, 可能是开发不足的原因。政府最近与一家道路建设公司签订了合同, 在喀麦隆北部地区的 Mayo Louti 地区建造 Carrefour 比扎尔和 Guider 之间的道路, 并进行其他道路维护工作。此外, Garoua 和 Maroua 等邻近城镇正在快速发展, 急需建筑材料。这项研究正在提高人们

对比扎尔大理石尾矿在土木工程中的使用意识, 尽管它也可以用作水泥生产中的添加剂和油漆生产中的填料。研究了大理石尾矿的岩土力学特性, 并与土木工程用骨料进行了比较。在此背景下, 对其地质力学性能包括: 比重、洛氏度、MicroDeval 和片状指数进行了研究。

2. 地质背景

比扎尔位于喀麦隆北部的 Mayo Louti 地区。该地区有苏达诺-萨赫勒气候, 有两个主要季节, 旱季(11 月至 5 月)和雨季(结束于 5 月至 10 月)。该地区是喀麦隆中非泛非范围的北段的一部分(图 1)该区具有 5 个主要地质单元的特征: 火山-火山沉积成因的 neo-proterozoic 页岩单元^[6-8], 与页岩相一致的 neo-proterozoic 片麻岩单元。页岩变质程度是绿页岩到角闪岩的相域之一, 片麻岩变质程度以高温角闪岩为特征^[8-11]。

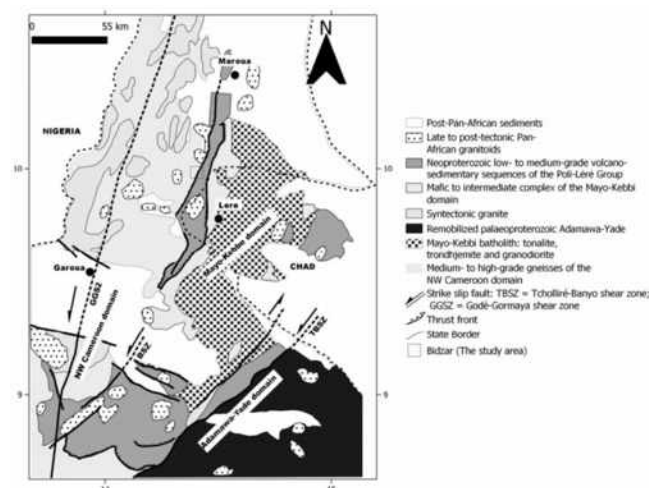


图 1. 中非喀麦隆泛非洲带北部区域地质图中比扎尔在岩石构造单元中的位置修正自^[6,7]。

3. 材料与方法

根据 NF EN 932-2 程序规范, 从比扎尔大理石采石场收集大理石尾矿(废物)集料的抓取样品。对于每个测试, 四分之一, 膛线分离器, 和加权用于采样处理。每项测试都收集

了四个样本。

3.1. 粒度分析

根据 NF en933 -1 规范进行了分析, 该规范将振动筛按直径递减顺序排列。使用的筛网有 25 毫米、20 毫米、16 毫米、12.5 毫米、10 毫米、8 毫米、6.5 毫米、5 毫米、4 毫米、3.15 毫米和 2.5 毫米。每筛上积累的残渣质量以百分数表示, 计算公式如下:

$$\% \text{ Residue} = \frac{R_i}{M_i} \times 100 \quad (1)$$

在这里;R_i:筛子残渣(g);M_i:原物料干燥质量(g)。

3.2. 比重

比重或重力测试是根据(NF P 94-054)规范进行的, 目的是确定材料的真实密度。固体颗粒的质量是通过称量得到的, 体积是用比重计测量的。固体颗粒的实密度 P_S 定义为:

$$P_S = P_w \frac{(m_2 - m_1)}{(m_4 + m_2 - m_1 - m_3)} \quad (2)$$

式中, P_w 为水的密度(1000kg / m³), m₁ 为空容积计的质量, m₂ 为容积计和骨料的质量, m₃ 为容积计、骨料和水的质量, m₄ 为容积计水的质量, 单位为克。

3.3. 微德瓦尔

本测试采用 NF EN 1097-1 标准, 目的是测量骨料样品的耐磨性。本标准适用于用于房屋和土木工程领域的天然或人工来源的骨料。该测试包括测定微德瓦尔系数, 这是原始样品在圆柱体中每次旋转减少到小于 1.6 毫米的百分比。

微德瓦尔系数(M_{DE})定义为:

$$M_{DS} = \frac{M - M_r}{5} = \frac{M_r}{5} \quad (3)$$

在这里;M 为质量样本(500g), 对应于 10 - 14mm 骨料等级, M_r 为从 1.6 mm 筛中筛出的废渣质量(克)。

3.4. Los Angeles

该测试采用 NF EN 1097-2 标准, 旨在测量集料样品元素的抗冲击破碎性。本标准适用于用于房屋和土木工程领域的天然或人工来源的骨料。该测试包括在 Los Angeles 机器中用标准球测量材料撞击后产生的小于 1.6 毫米的元素数量。Los Angeles(LA)的定义是:

$$L_A = \frac{100 \times m}{5000} \quad (4)$$

在这里;M 为通过 1.6 mm 筛的质量, 5000 g 为对应于 10 - 14 mm 集料级的试样质量。

3.5. 片状指数

采用 NF EN 933 标准制备, 该标准的目的是测定尺寸为 4 和 31.1 mm 的骨料样品的片状指数。该标准适用于来自自然或人工来源的颗粒, 用于房屋和土木工程领域。

样本的整体片状指数 A 等于组成样本的不同聚合类的片状指数 d/d 的加权和

$$A = \frac{\sum M_e}{M} \times 100 \quad (5)$$

式中, M_e 为每种颗粒级 d/d 的质量, 单位为克; M 是 M_g 和 M_e 的总和, 即通过相应网格的每个颗粒级 d/D 中元素的质量。

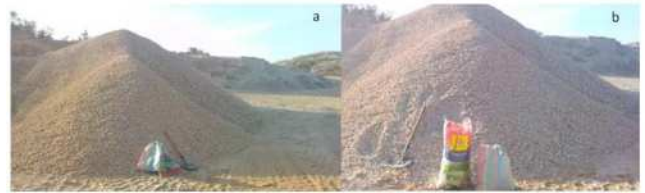


图 2.采石场的大理石尾矿(a)采集前, (b)采集后。



图 3.大理石尾矿被当地居民用作建筑骨料。

4. 结果与讨论

对比扎尔大理岩尾砂集料(MTA)的物理力学性能进行了比重、洛杉矶指数、微德瓦尔指数和片状指数测试。(表 1)。

Parameters	Standard	Granular class (mm)	Sample				Average
			MTA1	MTA2	MTA3	MTA4	
Specific gravity (kN/m ³)	NF P 94-064	525	2.7	2.73	2.7	2.71	2.71
Los Angeles LA (%)	NF EN 1097-2	10/14	20.5	20	20.4	19.8	20.18
Micro Deval MDE (%)	NF EN 1097-1	10/14	17	16.5	16.8	17.3	16.9
Flakiness Index FI (%)	NF EN 933-3	525	19.8	20.2	19.5	19	19.63

表 1.比扎尔大理岩尾矿的岩土力学特性。

为了解释我们的力学结果, 我们使用了评估材料质量和耐久性的指南标准, 如表 2^[12,5]所示。

Criteria	Standard	Excellent	Satisfactory	Limited	Mediocre
Specific Gravity/g/cm ³	EN 13363-2	>2.7	2.5-2.7	2.3-2.5	<2.3
Micro Deval %	EN 1097-1	<10	10-20	20-30	>30
Los Angeles %	EN 1097-2	<15	15-25	25-35	>35

表 2.材料质量和耐久性评价指南。

4.1. 粒径分布

根据 NF EN 933-1, 比扎尔大理石尾矿集料在 13.25 mm 筛上的保留量超过 50%, 远远高于 USCS 要求的 4.75 mm。骨料分级较差, 均匀系数 C_u 小于 4, 均匀系数 C_c 接近 1。根据 ASTM D 2487 的 USCS 分类, 尾矿是纯的、均匀级配的砾石。比扎尔大理岩尾矿集料粒度分布如图 4 所示。该结果与 Gonfa^[4]的结果不同, 但与^[13-15]的结果相似(表 3)。

Aggregate Type	Coefficient of Uniformity C_u	Coefficient of Curvature C_c	Ref.
Marble Millings Aggregate (MTA)	2.12	1.02	This Study
Fine Marble aggregate (FMA)	3.06	1.09	[13]
Coarse Marble aggregate (CMW)	2.8	1.41	[13]
Marble Waste Aggregate (MWA)	68.33	1.13	[6]
Conventional Aggregate (CA)	25.64	1.58	[6]
Gravel	3.86	1.74	[14]
Grassite	1.44	0.7	[14]
Coarse gravel	2.1	1	[15]
Limestone	2.8	1.16	[15]

表 3.比扎尔大理岩骨料分类与其他研究相比较。

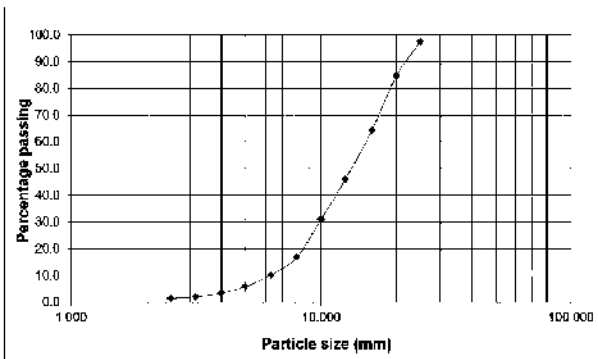


图 4.比扎尔大理岩尾矿粒度分布。

Benjeddou 和 Mashaan^[12]基于粒径分布的研究结果表明, 在不同的道路层施工中, 大理石集料是首选。结果表明, 毕扎尔大理岩尾砂骨料是一种潜在的用于道路建设和混凝土生产的常规骨料。将^[12]中的粗大理石废料 CMW 与毕扎尔大理岩尾砂集料 MTA 进行了对比研究。

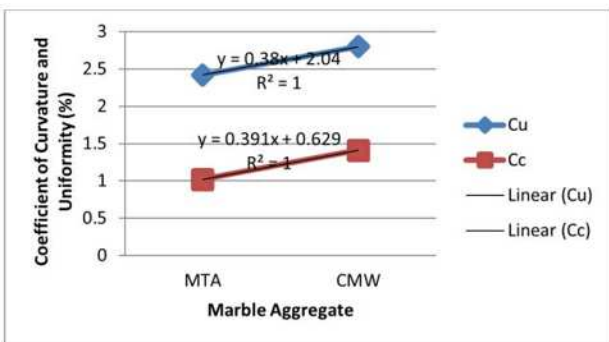


图 5.Benjeddou 和 Mashaan^[13]对 MTA 和 CMW 的比较。

4.2. 比重

大理石集料物理性质的结果如表 1 所示, 比扎尔大理石尾砂集料的平均比重为 2.71 g/cm³。根据 NF P 94-054, 通常用于建筑的骨料的比重范围约为 2.5 至 3.0 g/cm³, 平均值约

为 2.68 g/cm³。在^[4,13,16]中, 粗大理石骨料也得到了类似的结果。Aboubakar^[12]的比重为 2.62 ~ 2.77 g/cm³, Gonfa^[4]的比重为 2.83 g/cm³。由于集料的比重被认为是强度的一个指标, 比扎尔大理岩尾砂不仅在这一范围内, 而且与其他在土木工程中使用的著名岩石类型具有相同的价值。因此, 比扎尔大理岩尾矿集料具有较高的强度, 有利于施工。

4.3. 洛杉矶

根据表 1 的结果, 比扎尔大理岩尾砂的平均洛杉矶值为 20.18%, 与 Benjeddou 和 Mashaan^[13]的 22%相似。根据材料质量和耐久性评价指南进行的解释表明, 比扎尔大理石尾砂骨料作为常规骨料使用是令人满意的(表 2)。根据^[17], 比扎尔大理岩尾砂骨料的 Los angeles 值在石灰石范围内。以^[18]为基础, 将尾矿分类为优质混凝土尾矿、a 型沥青混凝土尾矿、高性能表面选矿尾矿和底基层尾矿。同时, 机械破碎强度与 10/14 mm 颗粒级的沃通^[5]有差异。这可能是由于在粉碎过程中, 不仅白色大理石被粉碎, 而且与该地区发现的其他大理石类型混合在一起。

4.4. 微型 Deval (MDE)

由表 1 可知, 比扎尔大理岩尾矿集料的微观 Deval (MDE) 系数平均值为 16.9%。该数值表明所测大理石骨料具有良好的耐磨性。MDE 表明, 尾矿具有抗磨损作用, 并能承受由重型交通车轮载荷和建筑荷载引起的高应力。由此可见, 比扎尔大理岩尾矿骨料具有可接受的耐磨性, 适合作为建筑骨料。相似的结果在文献^[12,13]中也有记录。

4.5. 片状指数(FI)

由表 1 可知, 比扎尔大理岩尾矿集料的平均片状指数(FI)为 19.63%。^[4]试验结果表明, 大理石尾矿废骨料和常规骨料的 FI 分别为 26.48%和 14.44, 符合 ERA 标准的标准要求, 适合作为基础粗料。BS 标准推荐 FI 的最大值为 30%;说明比扎尔大理岩尾矿骨料适合作为建筑工程骨料。

这项研究的目的是提高人们对比扎尔大理岩尾矿作为建筑工程骨料的潜在和可能使用的认识。结果表明, 该尾矿具有良好的应用前景, 公司利用后每年可留下 80%的尾矿, 可进行盈利预测。结果由 statista 2022^[19]表示, 矿业公司的利润占总收入的 15%。矛盾的是, 尾矿所需要的唯一工作将是筛分, 并将其堆积成不同的颗粒级, 因此利润率可能会增加四倍。尽管如此, 从比扎尔大理岩尾矿中产生的颗粒级为 10/14 的集料作为土木工程的对流集料提供了可接受的结果。然而, 为了潜在和可持续的开发, 在该地区将比扎尔大理石

尾矿与标准花岗岩骨料混合也可能提高结果。

Annual production (ton)	80 % of tailings (ton)	Unit Cost of aggregate (PCFA)	Total (PCFA)	15% Profit (after 15%) (PCFA)
54000	43200	800	345,600,000	51,840,000

表 4.尾矿集料产业化前景预测。

5. 结论

这项研究的主要目的是通过调查从大理石尾矿中获得的骨料作为建筑工程常规骨料的适用性来提高人们的认识。结果是,如果将尾矿分类为颗粒级,则有可能用作常规骨料。因此,与其将这种宝贵的尾矿堆积起来,不如建立一种机制,

将其用于建筑行业。现在正是建立这种机制的时候,因为该地区的大理石潜力将有利于许多其他公司,这种尾矿可能会成为一个问题。来自矿山和采石场的尾矿可能被认为是废物,但政府通过她的研究中心需要对它们进行表征,以便更好地了解它们的用途。对这些尾矿进行测绘,可以在土木工程中降低每公里道路的成本,并可用于提取其他有价值的矿物。在这项研究中,需要进行详细的环境工作来估计危险水平,还需要对不同颗粒级进行完整的岩土研究,并可能结合标准花岗岩集料。