

## 钒钛磁铁矿尾矿资源调查取样方法比较——以红格尾矿库为例

李潇雨<sup>1,2,3</sup>, 朱志敏<sup>1</sup>, 周家云<sup>1,2</sup>, 刘应冬<sup>1</sup>, 陈超<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041; 2. 中国地质调查局稀  
土资源应用技术创新中心, 四川 成都 610041; 3. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川  
成都 610000)

**摘要:** 根据尾矿库的资源特征分析, 结合红格老尾矿库的研究实例, 比较了尾矿资源调查 2 种取样方法的优缺点, 结果表明概查取样不能全面的反应尾矿库资源特征, 而详查取样可以兼顾到尾矿库的底部和中部, 可客观反应尾矿库整体资源特征, 建议在经费许可的前提下采用详查取样。

**关键词:** 钒钛磁铁矿; 尾矿; 资源调查; 取样方法

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.06.017

中图分类号: TD951 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2020) 060096-05

尾矿是采矿、选矿企业在矿产资源开发过程中, 在当时采选技术条件下, 对矿石中某一元素或若干元素组分进行分选、回收后, 而排放的固体“废弃料”<sup>[1]</sup>。由于技术条件的限制, 这些废弃物中还含有一定有价值组分, 称之为尾矿<sup>[2]</sup>。

截至 2018 年底, 我国尾矿累积堆存量约为 207 亿 t, 仅 2018 年铁尾矿产生量约为 4.76 亿 t, 占尾矿总产生量的 39.31%<sup>[3]</sup>。攀西地区是中国乃至世界矿产资源最富集的地区之一, 也是我国第二大铁矿区。攀西钒钛磁铁矿尾矿属于典型的多金属类铁尾矿, 其特点是矿物成分复杂, 伴生元素众多, 尾矿中除含有数量可观的钒、钛外, 还含有值得回收的钴、镍、稼、硫等共伴生元素, 从价值上看, 回收这类铁尾矿中的伴生元素, 已远远超过主体金属一铁的回收价值。此外, 钒钛磁铁矿尾矿对生态环境造成的影响及安全等方面的问题也引起了社会各界的高度关注, 要消除这些负面影响, 进一步推动钒钛磁铁矿尾矿的规模开发利用, 必须及时开展钒钛磁铁矿尾矿资源的调查工作, 估算出有价值矿物资源储量情况, 继而进行可行性研究和经济评价,

确定尾矿库资源是否具有开发利用价值。

## 1 尾矿库资源特征

尾矿库资源的特征是在空间上分布的不均一性, 尾矿库中尾矿沉积规律性差, 尾矿颗粒宏观上具有下粗上细、坝前粗库尾细的一般特征。

上游式尾矿库是我国目前普遍采用的方法, 据统计我国有色金属矿山的尾矿库 80% 是采用该方法筑坝<sup>[4]</sup>。上游式尾矿库 (红格尾矿库类型) 的整个沉积尾矿剖面可以分成粗、中、细若干个沉积区, 见下图<sup>[5]</sup>。并且由于尾矿粒度、矿浆成分、浓度、流量等变化, 使尾矿沉积层出现粗细相间的夹层、互层、交错、透镜体、千层饼等现象, 结构上表现为不均一性和各向异性。

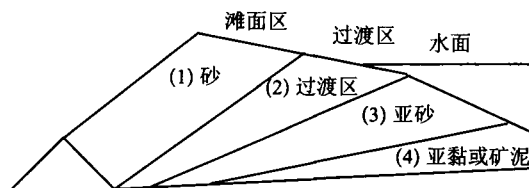


图 1 尾矿库沉积剖面

Fig. 1 Sediment profile of tailings pond

收稿日期: 2020-04-21

作者简介: 李潇雨 (1981-), 女, 工程师, 主要从事矿物学、岩石学、矿床学研究。

## 2 尾矿库调查和取样方式

尾矿库调查的目的主要是通过系列手段或措施调查可用的、待回收的资源量及不可回收的尾矿量，为后期尾矿资源的二次开发利用提供依据。尾矿库调查主要包含两方面内容，一方面调查尾矿库内堆存尾矿的容量；另一方面是调查尾矿库内有益组分的品位或其分布规律<sup>[6]</sup>，并且为了查明尾矿库内有益组分的品位和分布规律，还需要查清尾矿的矿物组成、化学成分、矿物粒度、赋存状态等信息<sup>[7]</sup>。

尾矿库调查可分为概查和详查2种方法。概查是指以人工开挖方式采集0~数米的表浅层尾矿样，或以洛阳铲在尾矿库合理布设勘探孔取样（品位需二次修正<sup>[6]</sup>）。详查则是指通过布设浅钻工程，获得尾矿库不同部位、不同深度（控制不同采矿期）尾矿样品的调查工作。

无论是尾矿库堆存量调查还是资源量调查，尾矿库取样都是他们的基础性和关键性的工作。由于尾矿库资源在空间上的不均一性，所以在尾矿资源调查中，必须要兼顾到尾矿库的中部和底部，选取适宜的尾矿库的取样方式对尾矿的资源特征分析和调查结果有着至关重要的作用。

## 3 红格尾矿库调查实例

红格矿区位于四川省攀枝花市盐边县新九乡、红格镇和凉山州会理县小黑箐乡交界一带，是红格含钒钛磁铁矿基性~超基性岩体的一部份。本次调查的是已经闭库的红格矿区乔地箐尾矿库（下称老尾矿库）。

### 3.1 取样点设计

#### 3.1.1 概查取样点设计

根据老尾矿库坝顶面的形状和几何尺寸，在坝顶面中间沿纵线方向布设1条取样线，按25 m的间距取样，共布设了4个采样点（点7~10）。取样孔孔深为0.5~1 m，同一取样孔的尾矿样搅拌均匀后采集一个符合化验要求的样品。

#### 3.1.2 详查取样点设计

鉴于尾矿元素和矿物组成与尾矿库类型和排砂口位置密切相关，排砂口一般位于坝体上。红格

老尾矿库属于比较典型的山谷型尾矿库，山谷型尾矿库为单面筑坝，不同时期排砂口位置及排砂方向较为一致，其元素在横向上有明显的分异现象。

根据老尾矿库的特点，布设了一条平行于尾矿坝的剖面以控制整座尾矿库组成的空间变化，在该平行剖面上的每一级子坝设置一个钻孔，共设置了3个浅钻孔（ZK01,ZK02,ZK03），钻孔点距30 m。

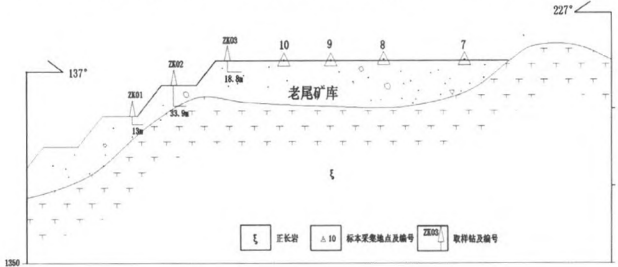


图2 红格老尾矿库取样位置

Fig. 2 Sampling location of Hongge old tailings pond

## 3.2 尾矿资源特征分析结果

### 3.2.1 概查样品资源特征分析结果

采用工艺矿物学分析手段，查明红格尾矿库内有益组分的品位和分布规律，概查样品的资源特征分析结果见表1。

表1 概查样品矿物组分和粒度变化情况

Table 1 Overview of the mineral composition and particle size variation of the samples

| 矿物名称                     | 主要矿物含量变化情况 /% |        |        |        |        |
|--------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|
|                          | 综合样           | 7号样    | 8号样    | 9号样    | 10号样   |
| 钛铁矿                      | 19.59         | 15.97  | 17.02  | 19.29  | 19.14  |
| 钛磁铁矿                     | 4.72          | 4.69   | 4.87   | 4.81   | 4.55   |
| 赤铁矿                      | 1.82          | 1.8    | 1.05   | 2.77   | 2.24   |
| 赤褐铁矿                     | 0.05          | 0.05   | 0.02   | 0.01   | 0.01   |
| 磁黄铁矿                     | 0.1           | 0.1    | 0.01   | 0.5    | 0.5    |
| 黄铁矿                      | 0.8           | 0.86   | 0.81   | 0.59   | 0.61   |
| 磷灰石                      | 2.12          | 2.09   | 2.06   | 1.42   | 1.38   |
| 辉石                       | 43.27         | 41.44  | 41.3   | 44.16  | 39.66  |
| 橄榄石                      | 5.34          | 5.32   | 5.21   | 4.51   | 6.08   |
| 长石                       | 10.31         | 11.97  | 12.31  | 8.21   | 10.55  |
| 绿泥石                      | 6.69          | 7.15   | 6.99   | 7.24   | 6.74   |
| 角闪石                      | 1.44          | 1.61   | 1.4    | 0.87   | 2.15   |
| 石英                       | 0.19          | 0.24   | 0.27   | 0.37   | 0.14   |
| 颗粒粒度变化情况 / $\mu\text{m}$ |               |        |        |        |        |
| P-50                     | 120.69        | 120.09 | 119.52 | 120.05 | 121.86 |

从表1可以看出，概查样品的矿物组分在横向上有一定的分异，近排砂口的7、8号样钛铁矿

含量较远端的 9、10 号样品少 2%~4%，而颗粒粒度在横向上则变化不大。

### 3.2.2 详查样品资源特征分析结果

钻孔详查样品的资源特征分析结果见表 2~4。

表 2 钻孔 ZK01 主要矿物含量和粒度变化情况

Table 2 Changes of main mineral content and particle size of ZK01

| 主要矿物含量变化情况 /%            |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 样品编号                     | H1-1  | H1-2  | H1-3  | H1-4  | H1-5  | H1-6  | H1-7  |
| 钛铁矿                      | 15.22 | 13.6  | 17.04 | 21.62 | 12.91 | 13.23 | 9.46  |
| 钛磁铁矿                     | 1.8   | 2.05  | 4.65  | 4.18  | 3.33  | 1.07  | 0.68  |
| 赤铁矿                      | 1.73  | 1.68  | 0.01  | 1.01  | 0.2   | 0.85  | 1.22  |
| 赤褐铁矿                     | 0.01  | 0     | 0.12  | 0     | 0.14  | 0     | 0     |
| 磁黄铁矿                     | 0.2   | 0.1   | 0.2   | 0.1   | 0.1   | 0.08  | 0.05  |
| 黄铁矿                      | 0.29  | 0.3   | 0.28  | 0.32  | 0.23  | 0.22  | 0.1   |
| 磷灰石                      | 1.22  | 1.31  | 2.35  | 3.28  | 1.93  | 1.57  | 0.78  |
| 辉石                       | 35.64 | 42.34 | 46.59 | 27.44 | 32.01 | 36.86 | 29.49 |
| 橄榄石                      | 3.5   | 3.58  | 1.1   | 2.2   | 2.78  | 5.4   | 5.72  |
| 长石                       | 12.8  | 10.51 | 16.63 | 12.3  | 19.25 | 13.17 | 16.77 |
| 绿泥石                      | 8.56  | 8.54  | 0.91  | 8.05  | 3.45  | 13.44 | 15.65 |
| 角闪石                      | 3.71  | 3.95  | 2.15  | 4.64  | 6.07  | 3.17  | 4.08  |
| 石英                       | 5.85  | 1.67  | 0.75  | 3.56  | 0.33  | 0.62  | 3.57  |
| 颗粒粒度变化情况 / $\mu\text{m}$ |       |       |       |       |       |       |       |
| P-50                     | 103.4 | 88.62 | 74.71 | 88.62 | 29.48 | 65.32 | 92.19 |

表 3 钻孔 ZK02 主要矿物含量和粒度变化情况

Table 4 Changes of main mineral content and particle size of ZK02

| 主要矿物含量变化情况 /%            |       |        |        |       |       |       |        |       |       |
|--------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 样品编号                     | H2-1  | H2-2   | H2-3   | H2-4  | H2-5  | H2-6  | H2-7   | H2-8  | H2-9  |
| 钛铁矿                      | 15.2  | 18.25  | 13.88  | 14.07 | 17.04 | 19    | 17.04  | 14.75 | 11.05 |
| 钛磁铁矿                     | 3.65  | 1.38   | 7.79   | 4.1   | 8.63  | 8.1   | 4.65   | 2.23  | 0.73  |
| 赤铁矿                      | 3.29  | 1.03   | 0.92   | 0.81  | 0.02  | 0.02  | 0.01   | 1.87  | 0.59  |
| 赤褐铁矿                     | 0     | 0      | 0.11   | 0.07  | 0.14  | 0.14  | 0.12   | 0     | 0     |
| 磁黄铁矿                     | 0.08  | 0.02   | 0.02   | 0.1   | 0.02  | 0.05  | 0.2    | 0     | 0.02  |
| 黄铁矿                      | 0.45  | 0.15   | 0.15   | 0.27  | 0.32  | 0.21  | 0.28   | 0.28  | 0.13  |
| 磷灰石                      | 0.91  | 0.88   | 0.59   | 0.92  | 1.63  | 2.11  | 2.35   | 3.05  | 1.8   |
| 辉石                       | 37.46 | 43.87  | 54.84  | 53    | 46.49 | 38.94 | 46.59  | 37.02 | 28.55 |
| 橄榄石                      | 5.35  | 5.86   | 1.9    | 1.76  | 1.69  | 1.8   | 1.1    | 3.05  | 2.55  |
| 长石                       | 9.53  | 8.5    | 9.59   | 13.13 | 15.49 | 18.3  | 16.63  | 12.36 | 10.63 |
| 绿泥石                      | 11.79 | 9.84   | 0.84   | 0.78  | 1.72  | 1.05  | 0.91   | 8.66  | 8.29  |
| 角闪石                      | 2.88  | 2.73   | 2.79   | 1.72  | 1.55  | 2.02  | 2.15   | 4.1   | 9.71  |
| 石英                       | 0.4   | 0.28   | 2.74   | 3.33  | 0.17  | 1.83  | 0.75   | 0.25  | 0.5   |
| 颗粒粒度变化情况 / $\mu\text{m}$ |       |        |        |       |       |       |        |       |       |
| P-50                     | 98.71 | 109.19 | 105.74 | 98.26 | 98.26 | 98.53 | 106.79 | 75.05 | 50.8  |

表 4 钻孔 ZK03 主要矿物含量和粒度变化情况

Table 4 Changes of main mineral content and particle size of ZK03

| 主要矿物含量变化情况 /%            |        |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 样品编号                     | H3-1   | H3-2   | H3-3   | H3-4   | H3-5  | H3-6  | H3-7  | H3-8  | H3-9  | H3-10 | H3-11 | H3-12 | H3-13 |
| 钛铁矿                      | 22.53  | 19.66  | 19.66  | 15.41  | 16.91 | 12.15 | 13.74 | 13.28 | 15.68 | 10.95 | 17.11 | 13.39 | 11.26 |
| 钛磁铁矿                     | 0.51   | 0.81   | 0.36   | 1.09   | 0.4   | 0.58  | 0.99  | 0.45  | 0.6   | 2.31  | 2.44  | 1.83  | 1.61  |
| 赤铁矿                      | 0.65   | 1.36   | 0.59   | 0.82   | 0.57  | 0.27  | 0.85  | 1.02  | 1.09  | 3.67  | 4.04  | 2.05  | 3.85  |
| 赤褐铁矿                     | 0.01   | 0      | 0.01   | 0.01   | 0.02  | 0     | 0     | 0     | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0     | 0     |
| 磁黄铁矿                     | 0.01   | 0.05   | 0.01   | 0.01   | 0.01  | 0.02  | 0.02  | 0.01  | 0.02  | 0.01  | 0.02  | 0.01  | 0.02  |
| 黄铁矿                      | 0.63   | 0.75   | 0.57   | 0.72   | 0.56  | 0.68  | 0.66  | 0.48  | 0.75  | 0.65  | 0.65  | 0.51  | 0.51  |
| 磷灰石                      | 3.14   | 3.96   | 1.79   | 3.92   | 3.53  | 1.83  | 1.32  | 1.85  | 1.73  | 2     | 1.81  | 1.77  | 1.92  |
| 辉石                       | 38.38  | 43.77  | 41.32  | 39.42  | 41.63 | 39.13 | 40.5  | 39.52 | 33.2  | 34.63 | 35.15 | 34.47 | 30.06 |
| 橄榄石                      | 4.07   | 4.39   | 4.61   | 1.27   | 2.94  | 1.86  | 4.94  | 5.95  | 4.79  | 3.91  | 3.15  | 3.1   | 2.93  |
| 长石                       | 11.4   | 11.43  | 13.72  | 11.08  | 14.94 | 13.09 | 11.86 | 13.42 | 16.97 | 16.17 | 13.88 | 14.63 | 18.72 |
| 绿泥石                      | 8.04   | 7      | 4.66   | 6.26   | 6.98  | 11.31 | 9.22  | 9.69  | 8.51  | 8.82  | 9.81  | 10.07 | 10.42 |
| 角闪石                      | 1.98   | 1.86   | 3.15   | 2.11   | 2.66  | 1.73  | 3.31  | 2.97  | 3.06  | 5.36  | 2.19  | 5.45  | 3.71  |
| 石英                       | 1.77   | 0.25   | 0.64   | 6.45   | 0.22  | 6.23  | 0.31  | 0.39  | 0.1   | 0.15  | 0.46  | 0.54  | 0.55  |
| 颗粒粒度变化情况 / $\mu\text{m}$ |        |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| P-50                     | 125.78 | 158.39 | 129.13 | 121.99 | 105.9 | 79.76 | 84.16 | 96.05 | 69.51 | 77.27 | 85.46 | 67.77 | 61.04 |

从3个钻孔的粒度分析结果可以看出,随钻井深度的变化,样品的粒度发生了几次规律性的变化,纵向上出现了粗细相间的互层,可能是由于尾矿粒度、矿浆成分、浓度、流量等变化,使尾矿沉积层在结构上表现出不均一性和各向异性。而矿物组分的变化也吻合这一特性,从矿物含量、粒度随钻井深度变化曲线图中可以看出,随粒度的变化,钛铁矿含量也发生相应的协变,两者呈正相关关系。

#### 4 结 语

从红格老尾矿库的采样分析结果来看,尾矿库的取样方式对尾矿的资源特征分析有着至关重要的作用。平面上概查取样虽然矿物成分和粒度变化均不大,但是在纵向上详查钻孔取样时,矿物成分和粒度却呈现多期次规律性变化—这是因为尾矿库中尾矿沉积规律性差,尾矿颗粒宏观上具有下粗上细、坝前粗库尾细的一般特征,但是,由于尾矿粒度、矿浆成分、浓度、流量等变化,使尾矿沉积层出现粗细相间的夹层、互层、交错、透镜体、千层饼等现象<sup>[8]</sup>,所以使得钻井样品在纵向上表现出不均一性和多期次性。

由于尾矿资源特征在空间分布的不均一性,因此不能在尾矿库中简单的取几个概查样品,而要兼顾到尾矿库中部和底部。鉴于此,在项目经费允许的前提下,尾矿取样方式适宜采取详查钻探取样,钻探点的间距根据尾矿库的大小设定。同一个钻孔,取样点的垂距依情况而定。取样点的数量要兼顾工作量,成本等因素,并遵循在不减少取样点的情况下能基本反映尾矿资源空间分布特征的原则。

#### 参考文献:

- [1] 张莲宝,管志炜. 21世纪的新型资源—尾矿资源的开发[J]. 江西地质,2000(3):176-179.
  - Zhang L B, Guan Zh W. In the 21st century, a new type of capital source - the development of tailings [J]. Geology of Jiangxi, 2000 (3) : 176-179.
  - [2] 颜学军. 矿山尾矿资源的综合利用和环境保护[J]. 稀有金属与硬质合金,2005(3):23-25.
  - Yan X J. Comprehensive utilization of mine tailings resources and environmental protection [J]. Rare Metals and Hard Alloys, 2005 (3) : 23-25.
  - [3] 王海军,等,全国矿产资源节约与综合利用报告(2019)[M]. 北京:地质出版社.
  - Wang H J, et al. Report on national conservation and comprehensive utilization of mineral resources (2019)[M]. Beijing: Geological Publishing House.
  - [4] 李凤霞. 浅析我国尾矿库与尾矿堆积坝的特点[J]. 企业导报,2014(8):121-122.
  - Li F X. Brief analysis of characteristics of tailings ponds and tailings stacking DAMS in China [J]. Enterprise Guide, 2014 (8): 121-122.
  - [5] 徐宏达. 上游式尾矿坝的沉积规律[J]. 有色矿山,2003(32):40-49.
  - Xu H D. Sedimentary law of upstream tailings DAMS [J]. Nonferrous Mines, 2003 (32) : 40-49.
  - [6] 王洛锋. 尾矿资源调查方法探讨与实践[J]. 中国钨业,2017(32):55-58.
  - Wang L F. Investigation method and practice of tailings resources [J]. China Tungsten Industry, 2017 (32) : 55-5.
  - [7] 张金青. 尾矿资源化综合利用面临的问题及今后工作建议[N]. 中国有色金属报,200-03-08(3).
  - Zhang J Q. Problems faced by comprehensive utilization of tailings resources and Suggestions for future work [N]. China Non-ferrous Metals, 200-03-08 (3).
  - [8] 成词峰,徐颖. 混合式堆坝尾矿料的基本性能及沉积规律分析[J]. 青岛理工大学学报,2018(2):36-40
  - Cheng C F, Xu Y. Analysis of the basic properties and sedimentary law of the tailings of the mixed reactor dam [J]. Journal of Qingdao University of Technology, 2018 (2) : 36-40.
- (下转 47 页)

Journal of Synthetic Crystals, 2010, 39(5): 1243-1248.

[16] 魏雨. 二氧化钛的制备、光催化性能及其形成机理研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2018.

WEI Y. Study on Preparation, Photocatalytic Properties and Formation Mechanism of  $\text{TiO}_2$  [D]. Changchun: Jilin University, 2018.

[17] 王宏, 李艺红, 陈金垒. 煅烧时间对多孔  $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  复合光催化材料的影响 [J]. 沈阳理工大学学报, 2012, 31(3): 50-54.

Wang H, Li Y H, Chen J L. Effects of Calcination Temperature on Properties of Porous  $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  Composite Photocatalyst [J]. Transactions of Shenyang Ligong University, 2012, 31(3): 50-54.

## Optimization of Photocatalytic Performance of Ammonium Metavanadate Doped High Titanium Blast Furnace Slag

Huo Hongying

(College of Vanadium and Titanium, Panzhihua University, State Key Laboratory for Vanadium & Titanium Testing, Panzhihua University, Panzhihua, Sichuan, China)

**Abstract:** In order to realize the comprehensive utilization of high titanium type blast furnace slag by non-extracting titanium method, the high titanium type blast furnace slag doped with ammonium metavanadate was used as raw materials for preparing photocatalyst. The effects of calcination temperature, doping amount and calcination time on the degradation rate of simulated pollutant Methylene blue solution were investigated under ultraviolet light, and the catalyst was characterized by XRD. The results showed that the degradation rate of the doped photocatalyst reached 83.5% at 800 °C, 45% of ammonium metavanadate- $\text{TiO}_2$  and 2 h, and the degradation rate was increased by 26.9% compared with that before doping.

**Keywords:** High Titanium blast furnace slag; Ammonium metavanadate; Photocatalyst; Degradation rate

////////////////////////////////////  
(上接 99 页)

## Comparison of Sampling Methods for Investigation of Vanadium-titanium Magnetite Tailings Resources -- Taking Hongge Tailings Pond as an Example

Li Xiaoyu<sup>1,2,3</sup>, Zhu Zhimin<sup>1</sup>, Zhou Jiayun<sup>1,2</sup>, Li Yingdong<sup>1</sup>, Chen Chao<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Comprehensive Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu, Sichuan, China; 2. Application Technology Innovation Center of Rare Earth Resources, China Geological Survey, Chengdu, Sichuan, China; 3. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, China)

**Abstract:** According to the analysis of characteristics of tailings resources, by combining with all the research samples about Hongge tailings and through the comparison of the tailings resource investigation and the advantages and disadvantages of the two sampling methods, the results show that generalized survey samplings cannot fully reflect the features of the tailing resources, but the detailed survey sampling can give arrive at the bottom of the tailings and central, which can objectively reflect the features of whole tailing resources. Therefore, Detailed survey sampling are suggested on the premise of funding permssion.

**Keywords:** Vanadium-titanium magnetite; Tailings; Resource survey; Sampling method