

Depositional Features and Grain Size Characteristics of Sandstone-Type Ore of Jinding Pb-Zn Deposit in Lanping Basin

Teng Liu, Zhenming He, Yuanchao Liu, Shulu Cao

College of Geosciences, East China Institute of Technology, Nanchang Jiangxi
Email: 1194734309@qq.com

Received: Nov. 11th, 2015; accepted: Nov. 25th, 2015; published: Nov. 30th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

Jinding super-large Pb-Zn deposit is mainly composed of breccias-type and sandstone-type ore body, but the genesis and ownership of ore-hosted rocks are still unclear. The utilization of grain-size data to analyze the structure characteristics of the sediment grains can effectively determine the transport mode of sediments, judge the hydrodynamic conditions, distinguish the sedimentary environments, and analyze the genetic mechanism of sediments. Based on the probability cumulative grain-size curves and C - M graph, the authors studied in detail the grain-size characteristics of sandstone-type ore, and defined its sedimentary hydrodynamic type, then combined with the tectonic background of the sandstone-type ore body and ore microscopic structure characteristics, the genesis of sandstone-type ore was discussed. The result shows that the sandstone-type ore belongs to the fine sandstone-siltstone, the average particle size of 1.526Φ, positive skewness or very positive skewness, and material source for river sand. From Sahu environment discriminant and C - M graph, it can be seen that the sandstone in the study area is given priority to gravity flow deposits. The result shows that the sandstone is formed by fragmentary material handling in gravity flow and mixed with the bottom material, resuspension and sedimentary under the action of rapidly water.

Keywords

Grain-Size Analysis, Depositional Environment, Gravity Flow Deposit, Jinding Pb-Zn Deposit

兰坪盆地金顶铅锌矿床砂岩型矿石的沉积特征与粒度特征

刘 腾, 何珍明, 刘远超, 曹姝璐

东华理工大学地球科学学院, 江西 南昌
Email: 1194734309@qq.com

收稿日期: 2015年11月11日; 录用日期: 2015年11月25日; 发布日期: 2015年11月30日

摘 要

金顶超大型铅锌矿床主要由角砾岩型和砂岩型两类矿体组成,但容矿岩石的成因及归属等问题尚不明确。利用粒度资料进行沉积物的粒度结构分析,可以有效地判定沉积物搬运方式、判别水动力条件、区分沉积环境类型,研究沉积物的成因机制。本文通过绘制粒度概率累计曲线图、C-M图等图件,详细研究了砂岩型矿石的粒度特征,确定了其沉积水动力类型,结合砂岩型矿体的构造背景、矿石显微构造等特征,探讨了砂岩型矿石的成因,研究表明砂岩型矿石属于细砂-粉砂岩,平均粒径为 1.526Φ ,正偏态或很正偏态,物质来源为河砂;从萨胡环境判别公式以及C-M图解中,可以看出研究区砂岩以重力流沉积为主;认为它是碎屑物质以重力流方式搬运并在快速水流作用下与底部物质混合、再悬浮、沉积而形成。

关键词

粒度分析, 沉积环境, 重力流沉积, 金顶铅锌矿床

1. 引言

粒度特征是沉积岩和碎屑沉积物重要的特征之一,通过对沉积物的粒度特征进行分析,可以区分沉积物所处的沉积环境,判定物质运动方式,判别水动力条件,确定沉积物的搬运方向,结合沉积相、物源等研究还可分析沉积物的沉积成因[1]。

滇西兰坪盆地金顶矿床是目前中国最大的铅锌矿床,也是世界上形成时代最新且唯一的陆相沉积岩容矿超大型铅锌矿床[2] [3],其铅锌金属量达 22 Mt,锌平均品位 6.08%,铅平均品位 1.29%,铅锌比值约 1:4.7 [4]。矿区内还存在大型(硬)石膏矿和天青石矿、中型硫铁矿等,另外相伴生的银(0.17 Mt)、铀(0.82 Mt)和镭(0.017 Mt)等金属矿产亦具有工业价值[4]-[6]。大量金属矿产的聚集,金顶超大型铅锌矿吸引了众多地质学者的关注,目前,从区域构造演化到矿床的成矿作用方面,已进行了大量的研究,研究发现金顶矿床是新生代陆陆碰撞造山背景下,在构造环境转换时期含矿热卤水垂向上升,在构造圈闭环境下沉积的产物[7];主要形成两种不同类型的矿体,即砂岩型与灰岩型。前者位于下白垩统砂岩中,呈板状或层状产出;后者赋存于上三叠统沥青质灰岩中,主要以矿柱或囊状出现[8]。然而,由于矿床地质构造演化极其复杂,容矿岩石的成因及归属等关键问题认识不清,在矿床成因等方面仍存在较大的争议[5]-[18]:同生沉积-后期改造矿床[5] [9]-[11]、后生热液或后生热液-层控矿床[6] [12]-[14]、喷流沉积(Sedex)矿床[15]-[17]和介于喷流-沉积型(Sedex)、密西西比河谷型(MVT)和砂岩型(SST)铅锌矿床之间的特殊类型的矿床[18]。对金顶矿床成因的诸多观点,与该矿床复杂的地质背景和构造环境有关。因此,对金顶矿床

容矿岩石的归属以及容矿岩石沉积环境等问题的研究显得尤为重要。近年来,随着矿床的大规模露天开采,深部矿体逐渐显露,为矿石组构研究提供了原生矿石样品,为理解矿区构造、矿石组构特点与深化矿床成因认识提供了契机。

本文在对矿区成矿构造背景研究的基础上,重点阐述了砂岩型矿石矿体的构造类型、矿石显微构造及矿石组构的特点,讨论了容矿岩石的归属与分类,并从容矿砂岩的粒度角度分析其成因,为探讨矿床成因提供了可靠的依据。

2. 区域地质概况

金顶超大型铅锌矿床位于“三江”褶皱系中段的兰坪中生代沉积盆地中部,是兰坪盆地内受新生代印度亚洲大陆强烈碰撞的影响而形成的超大型铅锌矿床[19][20]。受兰坪盆地构造演化的影响,金顶矿床经历了一系列复杂的東西向区域挤压和拉张构造运动,从而形成了逆冲推覆构造和穹隆构造,以及盐丘底辟构造。其中区域构造是以南北向构造为基本格架,褶皱是以开阔平缓、中段向东凸出呈弧形的高坪-老母井复式向斜为主体,断裂是以具有长期活动性的泌江断裂为主体。区内未见岩浆岩和火山岩。

金顶矿床地层系统由原地系统与外来系统两部分,以及一套与膏盐底辟有关的地层系统组成[21](图1)。金顶矿床大致经历了中-新生界沉积、推覆构造、局部穹隆、穹隆破裂等地质过程[22]。矿区地层受推覆构造影响,较老地层多被推覆到较新地层之上,形成多个推覆构造面;在局部穹隆化过程中推覆构造面和它上下的地层发生变形,形成金顶穹隆。穹隆核心由虎头寺组(K_2^h)和云龙组(E_1^y)正常层序(原地系统)组成,围绕穹隆核心向外围依次为景星组(K_1^j)、花开左组(J_2^h)、麦初箐组(T_3^m)和三合洞组(T_3^s)等倒转层序(外来系统)。由于地表剥蚀,围绕金顶穹隆核部,矿区呈不规则环状分布着架崖山、北厂、跑马坪、蜂子山、南厂等多个矿段,且北西两翼保存较好,东南两翼因剥蚀而残存不全。受推覆构造和穹隆-岩性圈闭构造控制,矿体呈板状、层状、似层状、脉状产在主推覆构造面上下的景星组和云龙组陆相碎屑岩中。景星组砂岩发生铅锌硫化物矿化形成“砂岩型”矿石,云龙组含砾粉砂细砂岩发生铅锌硫化物矿化形成“角砾岩型”矿石。

3. 样品采集与处理

金顶矿区内出露中、新生代地层,地层层序混乱,经过对金顶矿区实地踏勘,砂岩型矿石主要分布于北厂矿段的景星组石英砂岩中,因此,在北厂剖面采取砂岩样品30块,精选未受风化的原生样品12块进行测试。

通过图像法对样品进行粒度分析,薄片样品制备参照SY/T 5913.2004中3.1.2~3.1.7要求进行操作,由东华理工大学核资源与环境教育部重点实验室完成;粒度数据采集过程在东华理工大学核资源与环境教育部重点实验室完成,主要实验设备为Carl Zeiss偏光显微镜Axioskop 40。按照石油天然气行业标准SY/T 5434-2009《碎屑岩粒度分析方法》图像法步骤,每个样品至少统计300个粒径,获得 Φ 值($\Phi = -\log 2D$,其中D为颗粒直径),计算平均粒径(M_z)、标准偏差(σ)、偏度(SK_1)和峰度(K_G),并进行杂基处理和数据校正;运用图解法得出C值(粒度概率累积曲线上1%累积含量对应的粒度)、M值(粒度概率累积曲线上50%累积含量对应的粒度)对砂岩的粒度特征进行分析。

4. 砂岩型矿石的沉积学特征

4.1. 岩石学特征

金顶矿区由北厂、架崖山、跑马坪、蜂子山、西坡、南厂和白草坪七个矿段组成,而砂岩型矿石主要分布于凤凰山的北厂矿段。根据出露岩层的岩性、结构和构造等特征,前人将金顶矿区划分为两大岩

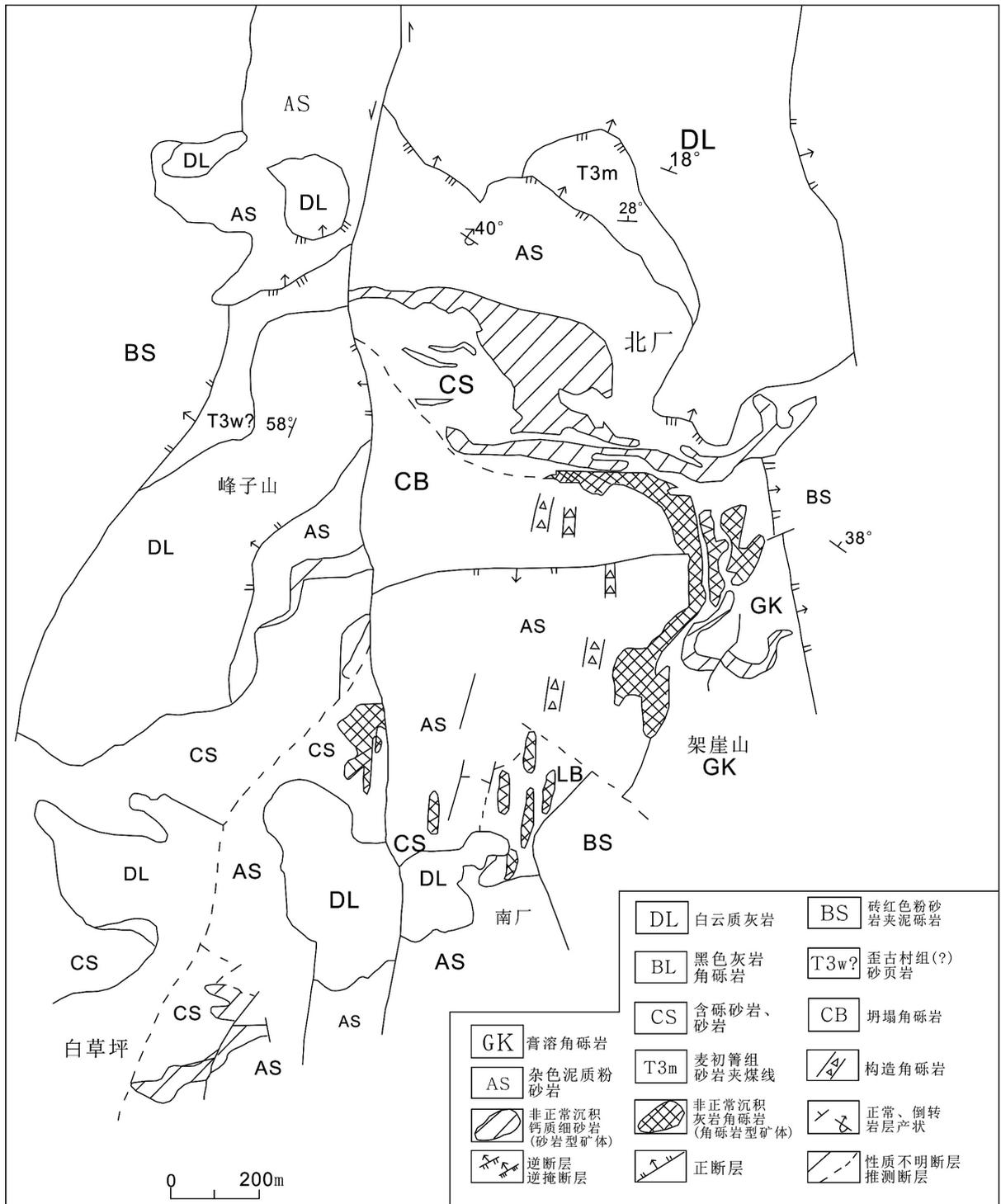


Figure 1. Geological map of lithology-structure of Jinding Pb-Zn mineral field (According to Gao Lan *et al.*, 2008)

图 1. 金顶铅锌矿矿区岩性-构造简图(据高兰等, 2008)

石系列、9种岩石类型[23]: 正常沉积岩系列包括灰白色白云质灰岩类、杂色泥质粉砂岩类、砖红色泥质粉砂岩类、青灰色泥灰岩类、黑色泥晶灰岩类和红色膏溶角砾岩类; 非正常沉积岩系列包括灰色钙质砂岩类、灰褐色灰岩角砾岩类和杂色垮塌角砾岩类。砂岩型矿体就主要分布于北厂矿段的景星组石英砂岩

中，是金顶矿区最主要的矿体类型，占金顶矿床储量的 40%。东部的矿化较均匀，矿化较强，向采场西部矿化减弱。而云龙组上段岩性的空间变化较大，因此，矿区东部多为角砾岩与块状砂砾岩，向西变为砾质-含砾石英砂岩和细砂岩。

砂岩集中分布于北厂矿段(图 1)，因砂岩全层发生矿化，砂岩层即砂岩型矿体，是矿区内规模最大的矿体。矿体走向近东西，倾向北北东；矿体上部产状平缓，为平卧透镜体，向下倾斜延伸变陡，与灰岩角砾岩矿体连成一体。砂岩型矿体一般以正常沉积的岩层为围岩，相伴灰岩角砾岩产出，与围岩呈断层接触，常见透镜状矿体。

镜下资料表明，砂岩样品主要为石英砂岩，又可分为矿化石英砂岩(001、002、008、010、B-002、B-012、B-013、B-022-2、B-026)以及未矿化石英砂岩(004、006、009)，详细描述如下：

含矿石英砂岩主要成灰色、黑灰色，以细粒砂状结构，块状构造为主。碳酸盐胶结，胶结物主要为方解石，亦有少量石膏。有黑色边界形态不明显的角砾，成零星状分布。闪锌矿、方铅矿成浸染状分布；黄铁矿成烟灰色的斑块、脉状、团块状分布。

含矿石英砂岩岩屑成分以石英为主，含量大于 55%，次为硅质岩屑，含少量变质岩屑。岩屑分选性一般，磨圆度低，以棱角状、次棱角状为主(图 2)。主要为不等粒砂状结构，基底胶结、嵌晶胶结和孔隙胶结，胶结物主要为碳酸盐，含量 30%~40%；部分含有沥青，局部有碳酸盐交代石膏，最后是闪锌矿交代碳酸盐和石膏。填隙物为高岭石，有绢云母水云母化，个别生长的白云母成扫把状，部分被沥青侵染，成黄褐色，且矿化与沥青有密切关系。矿石矿物为方铅矿、闪锌矿，以及少量黄铁矿，成浸染状、团块状分布。

未矿化石英砂岩主要成灰色、土黄色和灰白色，以细粒砂状结构、细粒含角砾砂状结构，块状构造为主。碳酸盐胶结，胶结物主要为方解石。岩屑主要为灰岩，零星分布。含 2~5 mm 黑色角砾，成次棱角状、次圆状。

未矿化石英砂岩岩屑多以硅质岩屑和变质岩岩屑为主，少量灰岩岩屑。岩屑分选性较差，磨圆度低，以棱角次棱角状为主，少量次圆状(图 3)。石英呈三角形钉状、丁字形、骨针形，含量 5%~45%。主要为砂状结构，嵌晶胶结、基底胶结和孔隙胶结。胶结物主要为方解石，含量 30%~45%，以及少量菱铁矿和石膏。方解石与石英形成嵌晶结构。填隙物为高岭石，有绢云母水云母化，及白云母黑云母生长。

4.2. 沉积构造特征

研究区砂岩，沉积构造不发育，不含化石，岩层时代尚不明确；研究区砂岩几乎全部矿化，矿化均匀，矿体结构简单，无分枝复合现象；砂岩层理不发育，呈不规则块状构造，并出现大量的黑色灰岩角砾(图 4)。

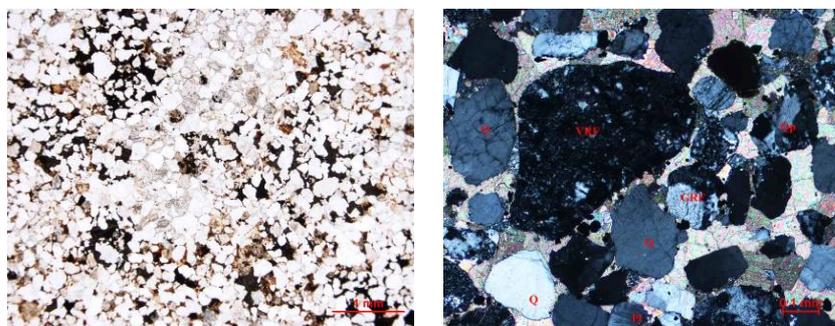


Figure 2. The microscopic structure characteristics of the mineralized quartz sandstone
图 2. 含矿石英砂岩镜下结构特征

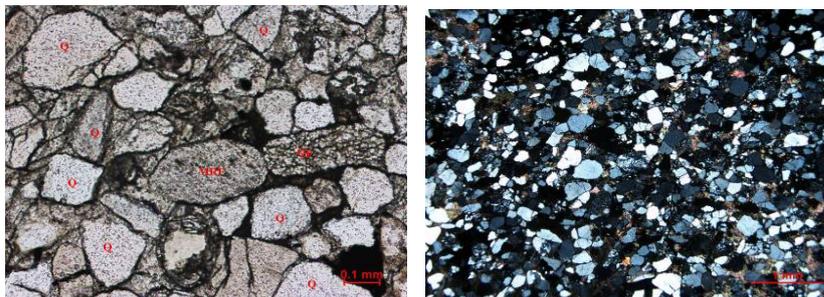


Figure 3. The microscopic structure characteristics of the unmineralized quartz sandstone

图 3. 未矿化石英砂岩镜下结构特征



Figure 4. The sedimentary characteristics of the sandstone-type ore

图 4. 砂岩型矿石沉积特征

砂岩型矿石结构较简单，以胶结结构为主，胶结物多为金属矿物胶结砂屑或取代钙质胶结物，可见溶蚀交代结构、鲕状结构。矿石构造以浸染状构造为主，可见斑点状、块状构造。矿石中普遍存在充填和交代现象，而不具有层状构造及沉积韵律等相关的沉积构造。

5. 砂岩型矿石的粒度特征

粒度是沉积岩的主要特征之一，可作为其分类的定量指标，也可反映沉积作用的流体力学性质和判断水动力条件的依据[1] [24] [25]。通过对金顶矿区砂岩型矿体样品粒度分析资料的图解及数值计算，得出 C 值、中值 M、平均粒径 M_z 、偏度 SK_1 、峰度 K_G 和分选系数(S_0)等粒度参数。部分样品粒度分析参数、粒度参数特征值见表 1。

5.1. 粒度参数特征

平均粒径(M_z): 平均粒径表示粒度分布集中的趋势，同时也反映了介质能量的大小。平均粒径主要受源区物质的粒度分布和搬运介质的平均动能两个因素的影响。金顶砂岩型矿石样品的平均粒径在 $0.773\sim 1.970\Phi$ 之间，平均为 1.526Φ ，属于细砂-粉砂砂岩。

偏度(SK_1): 偏度表示粒度分布的不对称程度，通常正偏多出现于河流环境中。金顶砂岩型矿石样品的偏度整体范围 $0.25\sim 0.58$ ，平均 0.35 ，属于正偏态或很正偏态，表明粒度主要分布在粗粒部分；而在粒度分布直方图上，多数样品具有双峰和一个较弱的细粒峰特征，可能为河砂[26]-[28]。

峰度(K_G): 峰度通常用来衡量粒度频率曲线的尖锐程度，即度量粒度分布的中部与两尾部的展形之比。金顶砂岩型矿石样品的峰度在 $1.030\sim 1.563$ 之间，平均 1.216 ，峰态尖锐。结合粒度分布的双峰特征，表明沉积物具有两个或两个以上物质的混合作用，且粗组分居多。该混合作用可能与快速水流引起的底质的再悬浮有关，而不是源区沉积物的直接混合[27] [28]。

Table 1. Grain-size statistical analysis parameters of sandstone type ores in Jinding Deposit
表 1. 金顶矿区砂岩型矿石粒度分析参数

| 样品编号 | 平均值 | 平均粒径 (M_z) | M 值 (mm) | C 值 (mm) | 偏度 (SK_1) | 峰度 (K_G) | 标准偏差 (σ_1) | 分选系数 (S_0) | 萨胡判别函数 |
|---------|------|----------------|----------|----------|---------------|--------------|---------------------|----------------|--------|
| 001 | 0.17 | 0.773 | 0.15 | 0.61 | 0.580 | 1.563 | 0.165 | 0.812 | 12.719 |
| 002 | 0.14 | 1.917 | 0.13 | 0.33 | 0.307 | 1.347 | 0.242 | 0.863 | 10.551 |
| 004 | 0.08 | 1.683 | 0.07 | 0.35 | 0.459 | 1.311 | 0.179 | 0.887 | 11.236 |
| 006 | 0.17 | 1.800 | 0.16 | 0.38 | 0.400 | 1.208 | 0.320 | 0.806 | 10.342 |
| 008 | 0.18 | 1.420 | 0.16 | 0.46 | 0.508 | 1.242 | 0.287 | 0.792 | 10.986 |
| 009 | 0.16 | 1.377 | 0.15 | 0.47 | 0.355 | 1.189 | 0.249 | 0.803 | 9.649 |
| 010 | 0.16 | 1.207 | 0.16 | 0.48 | 0.234 | 1.212 | 0.200 | 0.818 | 8.777 |
| B-002 | 0.10 | 1.970 | 0.10 | 0.30 | 0.285 | 1.060 | 0.226 | 0.862 | 8.930 |
| B-012 | 0.15 | 2.140 | 0.14 | 0.30 | 0.324 | 1.030 | 0.311 | 0.824 | 9.134 |
| B-013 | 0.15 | 1.683 | 0.14 | 0.39 | 0.245 | 1.069 | 0.223 | 0.846 | 8.499 |
| B-022-2 | 0.18 | 1.107 | 0.13 | 0.53 | 0.262 | 1.119 | 0.208 | 0.787 | 8.470 |
| B-026 | 0.17 | 1.230 | 0.16 | 0.47 | 0.257 | 1.248 | 0.187 | 0.835 | 9.208 |

注：砂岩样品粒度数据采集均在东华理工大学核资源与环境教育部重点实验室测试完成。

分选系数(S_0): 分选系数表示砂岩颗粒的分选性, S_0 小表示分选性好。金顶砂岩型矿石样品的分选系数在 0.787~0.887 之间, 分选程度较好。

标准偏差(σ_1): 标准偏差是表示分选程度的参数。它表示颗粒大小的均匀程度, 或者说是表现围绕集中趋势的离差。 σ_1 在 0~0.5 间, 表示分选性好; 在 0.5~1 时, 表示分选性中等; 在 1~2 时, 表示分选性差; 当大于 2 时, 表示分选性很差。研究区金顶砂岩型矿石样品的标准偏差(σ_1) 在 0.165~0.320 之间, 平均值 0.233, 表明分选程度较好。

5.2. 萨胡环境判别函数

据萨胡环境判别函数 $Y = 0.7215M_z - 0.4030\sigma_1^2 + 6.7322SK_1 + 5.2927K_G$ 计算的判别值, 其中 5 个大于 9.8433, 7 个小于 9.8433。根据萨胡环境判别值, 当 $Y < 9.8433$ 时为浊流沉积; 当 $Y > 9.8433$ 时为河流(三角洲)沉积。由此可知, 在金顶铅锌矿砂岩型矿石沉积时期, 以浊流沉积环境发育为主, 河流(三角洲)沉积环境也占有一定地位。

5.3. 概率累积曲线

不同沉积水动力作用下的沉积物具有不同的粒度概率累积曲线特征。即便是同一微相中, 由于水动力条件不同, 其特征也会存在差异, 应用粒度概率累积曲线能准确的区分沉积环境及沉积水动力条件: 沉积物的粒度成分按搬运方式不同可分为悬移、跳跃和推移 3 种粗细不同的组分。每一种组分的粒度分布特征都不相同, 因此反映在概率累积曲线图上则是互不相同的 3 组线段。其中, 粗粒段反映推移组分; 中粒段反映跳跃组分; 细粒段反映悬移组分。各个线段的斜率反映了相应组分的分选性, 而且斜率愈大, 分选性愈好。金顶矿区砂岩型矿石粒度分析结果表明, 粒度概率累积曲线可分为 3 种典型形态: 无滚动三段式、高悬浮三段式和两段式。

无滚动三段式：无滚动三段式(图 5(a))，无滚动组分，跳跃组分斜率较高，分选较好，跳跃组分含量很高，70%~85%，悬浮组分斜率较低，反映出水流作用不强，并有一定的波浪改造作用的沉积环境。

高悬浮三段式：高悬浮三段式(图 5(b))悬浮组分占大多数，斜率较低，跳跃组分含量较少，反映了能量较强的不稳定动荡水流环境。

两段式：两段式(图 5(c))跳跃与悬浮两次总体组成的两段式，概率累计曲线斜率较大，粒度分布范围较狭窄。其中跳跃组分占 65%~80%，悬浮组分占 20%~35%，表明其具有牵引流特征。

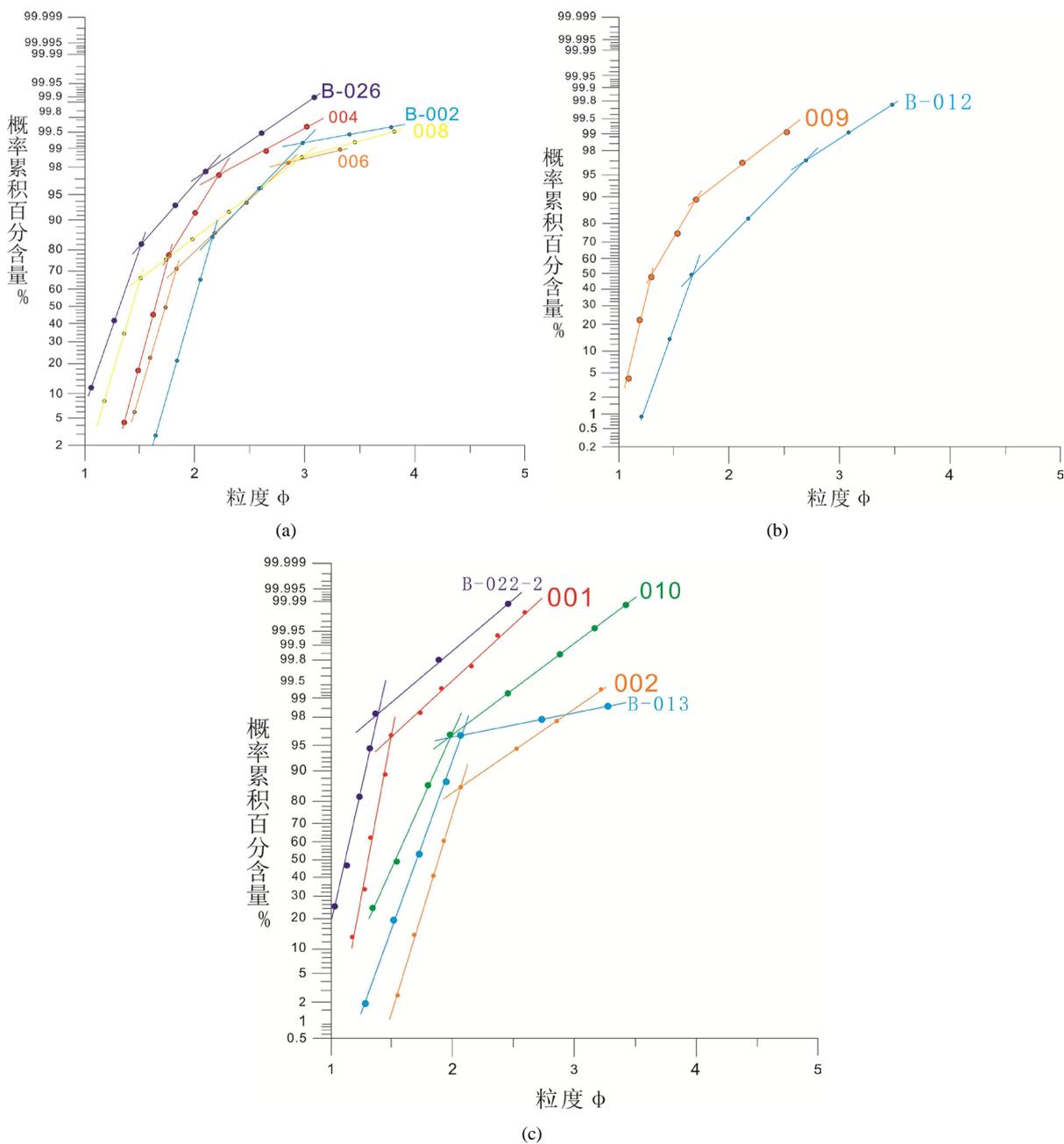


Figure 5. Probability cumulative frequency curve of the sandstone-type ore in Jinding mineral field. (a) unrolling three-segment type, (b) high suspended three-segment type, (c) two-segment type
图 5. 金顶矿区砂岩型矿石概率累积曲线图解。(a) 无滚动三段式, (b) 高悬浮三段式, (c) 两段式

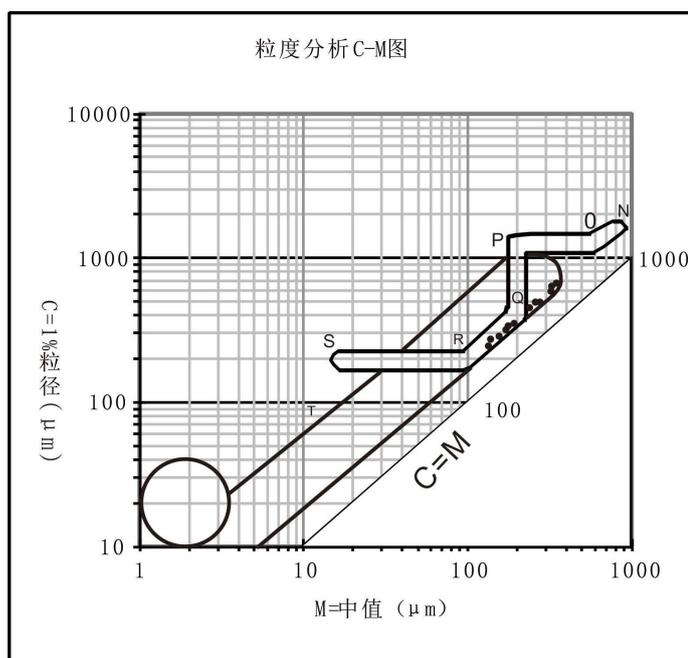


Figure 6. C-M diagram of the sandstone in Jinding mineral field
图 6. 金顶矿区砂岩型矿石 C-M 图解

5.4. C-M 图解

碎屑颗粒的粒度与分布受流水能量控制，与沉积物形成环境极为密切[24]-[33]。通过对金顶矿区砂岩的粒度分析，揭示粒度分布规律及粒度参数特征，可为恢复古沉积环境提供佐证。

C-M 图是应用每个样品的 C 值和 M 值绘成的图形，C 值是累积曲线上颗粒含量 1% 处对应的粒径，M 值是累积曲线上 50% 处对应的粒径。C 值与样品中最粗颗粒的粒径相当，代表了水动力搅动开始搬运的最大能量；M 值是中值，代表了水动力的平均能量。Passegga 将搬运沉积物的底流分为牵引流和浊流两种形式。牵引流是以滚动或悬浮两种方式搬运沉积物的，而浊流主要以悬浮方式搬运沉积物。

将砂岩样品的 C 值和 M 值投在 C-M 图解中，研究区砂岩基本上表现为一个平行于 C=M 基线的一个长条形区域(图 6)，粒度范围集中在粉砂级至细砂，具有典型的重力流线性分布特点，反映金顶铅锌矿砂体主要以重力流沉积为主的特征。

6. 结论

1) 金顶矿区砂岩型矿石层理不发育，在空间展布上呈“蘑菇”状和“岩墙”状产出；矿体结构简单，矿化均匀；矿石主要呈块状，分选差，磨圆差，具有典型的充填交代结构，胶结物以碳酸盐为主，含量高达 50%，基底式 - 接触式胶结；碎屑成分简单，以石英(和硅质岩屑)为主。

2) 将各种粒度参数进行综合分析表明，研究区砂岩颗粒较细，分选较好，具有典型的重力流线性分布特点；在沉积时期，以浊流沉积环境发育为主，河流(三角洲)沉积环境也占有一定地位；沉积物具有两个或两个以上以粗组分为主的物质的混合作用，且该混合作用可能与快速水流引起的底质的再悬浮有关，而不是源区沉积物的直接混合。

基金项目

国家自然科学基金项目(41362008、U0933605)和东华理工大学研究生创新项目(YC2014-S338)联合资助。

参考文献 (References)

- [1] 刘秀明, 罗伟. 粒度分析在沉积物研究中的应用[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(8): 20-23.
- [2] Xue, C.J., Chen, Y.C., Wang, D.H., Yang, J.M., Yang, W.G. and Zeng, R. (2003) Geology and Isotopic Composition of Helium, Neon, Xenon and Metallogenic Age of the Jinding and Baiyangping Ore Deposits, Northwest Yunnan, China. *Science in China Series D: Earth Sciences*, **46**, 789-800. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02879523>
- [3] Xue, C.J., Liu, S.W., Chen, Y.C., Zeng, R. and Zhao, S.H. (2004) Giant Mineral Deposits and Their Geodynamic Setting in the Laping Basin, Yunnan, China. *Acta Geologica Sinica*, **78**, 368-374.
- [4] Xue, C.J., Zeng, R., Liu, S.W., Chi, G.X., Qing, H.R., Chen, Y.C., *et al.* (2007) Geologic, Fluid Inclusion and Isotopic Characteristics of the Jinding Zn-Pb Deposit, Western Yunnan, China: A Review. *Ore Geology Reviews*, **31**, 337-359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.04.007>
- [5] 白嘉芬, 王长怀, 纳荣仙. 云南金顶铅锌矿床地质特征及成因初探[J]. 矿床地质, 1985, 4(1): 1-9.
- [6] 牟传龙, 余谦. 金顶铅锌矿床相关地质问题及成因探讨[J]. 矿物岩石, 2004, 24(1): 48-51.
- [7] 王安建, 曹殿华, 高兰, 等. 论云南兰坪金顶超大型铅锌矿床的成因[J]. 地质学报, 2009, 83(1): 43-54.
- [8] 刘俊来, 王安建, 翟云峰, 等. 云南金顶超大型铅锌矿区的构造格架与控矿构造问题讨论[J]. 地质学报, 2007, 83(10): 1376-1387.
- [9] 施加辛, 易风煌, 文其. 兰坪金顶铅锌矿的岩矿特征及成因[J]. 云南地质, 1983, 2(3): 179-195.
- [10] 吴淦国, 吴习东. 云南金顶铅锌矿床构造演化及矿化富集规律初探[J]. 地球科学, 1989, 14(5): 476-485.
- [11] 张乾. 云南金顶铅锌矿床成因研究[J]. 地质找矿论丛, 1991, 6(2): 47-58.
- [12] 覃功炯, 朱上庆. 金顶铅锌矿床模式及找矿预测[J]. 云南地质, 1991, 10(2): 145-190.
- [13] 温春齐, 蔡建明, 刘文周, 等. 金顶铅锌矿床流体包裹体地球化学特征[J]. 矿物岩石, 1995, 15(4): 78-84.
- [14] 薛春纪, 陈毓川. 滇西兰坪盆地构造体制和成矿背景分析[J]. 矿床地质, 2002, 21(1): 36-44.
- [15] 赵兴元. 云南金顶铅锌矿床稳定同位素地球化学特征[J]. 地球科学, 1989, 14(5): 495-502.
- [16] 王京彬, 李朝阳, 陈晓忠. 金顶超大型铅锌矿喷流沉积证据及成矿物质来源[M]/矿物岩石地球化学研究新进展. 兰州: 兰州大学出版社, 1990: 120-122.
- [17] 王江海, 颜文. 陆相热水沉积作用——以云南地区为例[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [18] Kyle, J.R., Li, N. and Jackson, K.G. (2002) Jinding: A Giant Tertiary Sandstone-Hosted Zn-Pb Deposit, Yunnan, China. *Society of Economic Geologists*, **50**, 9-16.
- [19] 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 等. 印度-亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 135-148.
- [20] 侯增谦, 潘桂棠, 王安建, 等. 青藏高原碰撞造山带: II. 晚碰撞转换成矿作用[J]. 矿床地质, 2006, 25(5): 521-533.
- [21] 庄天明. 兰坪盆地金顶超大型铅锌矿床角砾岩成因研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2013.
- [22] 薛春纪, 陈毓川, 杨建民. 金顶铅锌矿床地质-地球化学[J]. 矿床地质, 2002, 21(3): 270-277.
- [23] 高兰, 王安建, 刘俊来, 等. 滇西北兰坪地区金顶超大型铅锌矿床架崖山-北厂矿段岩石地层特征[J]. 地质通报, 2008, 27(6): 855-865.
- [24] 肖晨曦, 李志忠. 粒度分析及其在沉积学中应用研究[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2006, 25(3): 118-123.
- [25] 丁喜桂, 叶思源, 高宗军. 粒度分析理论技术进展及其应用[J]. 世界地质, 2005, 24(2): 203-207.
- [26] 钟文华. 碎屑沉积物的粒度分布与沉积水动力条件的关系[J]. 中南矿冶学院学报, 1983(8): 71-78.
- [27] 王慧中, 项立嵩, 张国栋. 运用粒度分析方法探讨古代砂体的沉积环境[J]. 同济大学学报(自然科学版), 1979(2): 35-49.
- [28] 袁静, 杜玉民, 李云南. 惠民凹陷古近系碎屑岩主要沉积环境粒度概率累积曲线特征[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 103-106.
- [29] 韩忠, 张泉, 刘晓煌, 等. 新疆哈拉奇地区柯坪塔格组砂岩粒度特征[J]. 西北地质, 2013, 46(4): 106-114.
- [30] 刘正伟, 李文厚, 张龙, 等. 安塞油田长 10 油层组砂岩粒度与沉积环境的关系[J]. 陕西科技大学学报, 2011, 29(1): 112-116.
- [31] 宋忠宝, 李文明, 李长安, 等. 青藏高原可可西里火山盆地白垩纪砂岩粒度特征与沉积环境[J]. 西北地质,

2004, 37(2): 1-6.

[32] 郝玺, 李双应. 山东东营博兴洼陷沙四段砂岩粒度分析与沉积环境[J]. 安徽地质, 2008, 18(4): 258-263.

[33] 郑荣才, 李云, 戴朝成, 等. 白云凹陷珠江组深水扇砂质碎屑流沉积学特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(6): 1581-1589.