第 9 卷◆第 4 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

通过砂岩粒度特征判别砂岩沉积环境方法

李希璇[1] 赵文斌[1] 姚顺列[2] 尹春平[2]
1 云南省有色地质局三一三队
2 云南省有色地质局
DOI:10.32629/gmsm.v9i4.2517

[摘 要] 经过多年的学习与工作实践,对砂岩粒度分析资料的整理方法形成一些初步认识。砂岩粒度分析资料整理的主要内容是：①计算砂岩粒度的平均值(M_z)、标准偏差(σ_i)、偏度(SK_i)、峰态(K_G),②进行砂岩粒度的萨胡判别计算；③编绘砂岩粒度分布概率累积曲线图；④编绘砂岩粒度的C-M图。对砂岩粒度分析资料的整理与研究,有助于提高砂岩沉积环境的研究程度。
[关键词] 砂岩粒度分析；判别沉积环境；方法
中图分类号：P58 文献标识码：A

The Method Of Distinguishing Sedimentary Environment Based On Sandstone Grain Size Analysis Data

Xixuan Li[1] Wenbin Zhao[1] Shunlie Yao[2] Chunping Yin[2]
1 No. 313 Team of Yunnan Nonferrous Geological Bureau
2 Yunnan Nonferrous Geological Bureau

[Abstract] After years of study and work practice, Some preliminary understanding has been formed on the sorting method of sandstone grain size analysis data. The main contents of data processing of sand stone grain size analysis are as follows:①Calculate the average grain size of sandstone(M_z)、standard deviation(σ_i)、skewness(SK_i)、Kurtosis(K_G);②Sahu discriminant calculation of sandstone grain size is carried out;③Compiling probability cumulative curve of sandstone grain size distribution;④Compiling C-M diagram of sandstone grain size. The sorting and research of sandstone grain size analysis data is helpful to improve the research degree of sandstone sedimentary environment.
[Key words] Analysis of sandstone particle size; Distinguishing sedimentary environment; method

砂岩是沉积岩的主要岩石类型之一,广泛出现于沙漠、冰川、河流、三角洲、海岸、浅海及次深海环境。进行砂岩沉积环境的研究,是岩相古地理工作的主要内容之一。

对砂岩进行粒度分析,是研究砂岩沉积环境的主要方法之一,沉积岩的相关专著[1、2]与论文[3]进行过介绍与讨论。在以往研究中,主要侧重于原理与结果,工作程序与方法的叙述中不够简明扼要,由此明显地影响了砂岩粒度分析方法对判别沉积环境的应用。经过多年的学习与工作实践,总结了砂岩粒度分析资料的整理方法,现将其介绍如下。

砂岩的粒度分析有多种方法,较为简便、使用较广的是薄片测量法。每件样品统计碎屑颗粒大小的数量一般不得少于200粒。该方法分为3个步骤：①在野外采集大小为3 cm×6 cm×9 cm的岩石薄片样,进行薄片分析；②对薄片分析成果进行研究,确定能否进行粒度分析；③选择适宜的样品进行粒度分析。

在选择样品中,要尽量避开变质变形现象较为明显的样品。重结晶现象明显的样品,碎屑颗粒的大小已经不能代表沉积时的碎屑粒度,不宜进行粒度分析。在造山带,大多数岩石均已发生不同程度的变形变质。据相关资料,变质作用强度达低绿片岩相的浅变质砂岩,仍可进行粒度分析与沉积环境判别。

在同一研究单元(地层)中,一般要采集十件以上的样品。样品最好分布在不同类型(粒级、结构)的岩石中,以便从不同角度研究岩石的生成环境。

在资料整理中,可通过对数值、图像的观察,将特征相近的样品进行归类,划分为若干个组进行研究。这样做的目的是：既能够了解研究对象的细节,又不使问题太多导致研究复杂化。

目前,主要参数的计算与作图,已经使用计算机完成[3]。

1 粒度分布概率累积曲线图

粒度分布概率累积曲线图由Visher(1969)提出,在计算粒度参数、反映流体性质、分析搬运形式、判别沉积环境等

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

方面有广泛应用。该图以Φ值为横坐标的标度，以概率累积百分数为纵坐标的标度。不同粒级的投影点在图上排列成2～4个线段。

由于搬运形式不同，碎屑沉积物的粒度划分为牵引（或称“滚动”）、跳跃、悬浮3个总体。出现回流时，跳跃总体可以出现2个次总体（图1）。

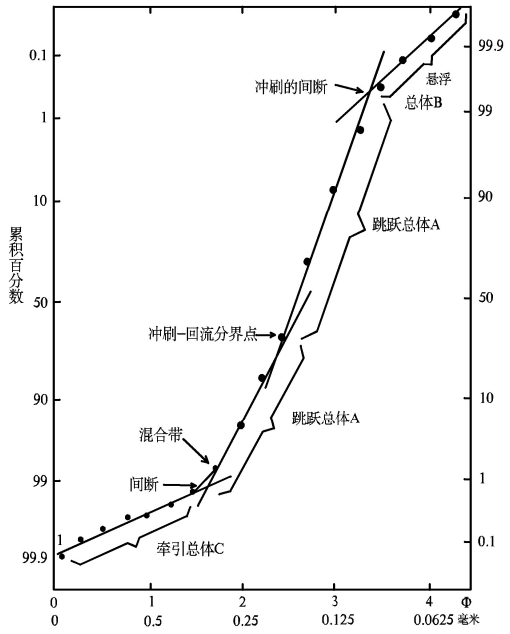


图1　砂岩的粒度分布概率累计曲线

（据Visher，1969；转引自刘宝王君，1985）

各种搬运形式的碎屑粒度都呈对数正态分布，分选性和平均粒度与其他搬运形式有明显差别。在概率坐标纸上，每个总体、次总体单独形成一条线段。各线段的斜率越陡，表示分选越好。线段之间的交点称为截点，悬浮线段与跳跃线段的交点称S截点，跳跃线段与滚动线段的交点称T截点。

各种砂岩中，牵引总体均较小。在海岸带的海滩砂、波浪带砂中＜1%，其余环境（河流、三角洲、浊流）中＜2%。

不同沉积环境中形成的砂岩，粒度概率累积曲线图的特点不同（表1）。在现有研究中，此方面的研究程度总体较差，在工作过程中还要不断进行总结。

粒度分布的概率累积曲线图能够分辨较多的沉积环境（表1）。因此，在粒度分析资料中应用较为普遍。

2 主要粒度参数

粒度分析参数主要有：平均值（Mz）、标准偏差（σ_I）、偏度（SK_I）、峰态（K_G）。

2.1数值计算

在求取粒度分析主要参数之前，需绘制概率累积曲线图。在图上通过量取求得Φ5、Φ16、Φ25、Φ50、Φ75、Φ84、Φ95分位值（或称分位数），即概率值（纵坐标）为5、16、25、50、75、84、95所对应的Φ值（横坐标）。利用下述公式，可算出粒度分析的主要参数。

表1　不同沉积环境中砂岩粒度概率累积曲线图特征对比

沉积环境		T截点位置（Φ）	S截点位置（Φ）	图像特征
河　流		0.50～1.25	3.00～3.50	跳跃总体为主分选性较好—中等。滚动总体、悬浮总体不发育，分选性较差。砂岩粒度较粗，Φ值>0
三角洲	滨线（前滨）	2.75～3.25	3.25～4.00	滚动、跳跃砂体的分选性良好，二者线段不易区分。砂体粒度较细，一般Φ值>2
	支流河砂坝	1.75～3.25	3.25～3.75	跳跃、滚动、悬浮总体均占一定比例，分选性较好。砂体粒度较细，一般Φ值>1
	天然堤	无	2.75～4.00	以跳跃总体为主，不易区分跳跃、滚动、悬浮总体。砂岩粒度较粗，Φ值>2
	支流河道	2.25～2.75	3.00～3.75	沉积环境包括主河道、邻近天然堤的浅水河道、小河道，图像特征差异明显。砂体粒度较细，一般Φ值>1
海岸带	海滩	1.50～2.00	2.75～3.50	滚动、跳跃线段不易区分，分选性较好。砂岩粒度较粗，Φ值≤0。海湾开阔冲刷带可出现2个跳跃次总体，粒度较上前滨、下前滨稍细
	波浪带	1.50～2.25	3.25～3.75	以跳跃总体为主，滚动、悬浮总体也占较大比例，3条线段斜率明显不同。滚动总体分选性很差，跳跃分选性较好。粒度较粗，Φ值<0
	海岸沙丘	1.50～2.25	2.75～3.25	以跳跃总体为主，滚动、悬浮总体较少。滚动、跳跃线段不易区分。粒度较细，3个总体的分选性较好
	碎浪带	0.75～2.00	3.00～3.75	T截点位置变化较大。跳跃总体分选性较好，可出现2个次总体。粒度较粗，Φ值<0。部分砂岩以滚动总体为主，分选性较差
浊流沉积		无	3.50～4.00	粒度较细的浊流沉积以跳跃总体为主，悬浮总体较少，无滚动总体。砂岩粒度较细，Φ值≥2粒度较粗的浊流沉积的跳跃、滚动、悬浮总体不易区分。砂岩粒度较粗，Φ值<0。砂粒分选性较差

$Mz=(\Phi16+\Phi50+\Phi84)/3$

$\sigma_I=(\Phi84-\Phi16)/4+(\Phi95-\Phi5)/6.6$

$SK_I=(\Phi84+\Phi16-2\Phi50)/2(\Phi84-\Phi16)+(\Phi95+\Phi5-2\Phi50)/2(\Phi95-\Phi5)$

$K_G=(\Phi95-\Phi5)/2.44(\Phi75-\Phi25)$

2.2平均值（Mz）

平均值（Mz）是砂岩以粒度为随机变量分布的平均数，是岩石分类命名的基础数据。根据平均值（Mz），可将砂岩划分为不同的岩石类型[5]（表2）。

表2　沉积岩碎屑大小与岩石分类

碎屑直径（mm）	>256	256～126	126～64	64～16	16～8	8～2
碎屑名称	漂砾	粗卵石	细卵石	粗砾	中砾	细砾
岩石名称	漂砾岩	粗卵石岩	细卵石岩	粗砾岩	中砾岩	细砾岩
碎屑直径（mm）	2～0.5	0.5～0.25	0.25～0.125	0.125～0.06250	0.06250～0.03125	0.03125～0.00390
碎屑名称	粗粒砂	中粒砂	细粒砂	微粒砂	粗粉砂	细粉砂
岩石名称	粗粒砂岩	中粒砂岩	细粒砂岩	微粒砂岩	粗粉砂岩	细粉砂岩

据GB958－89；转引自周瑞华等，2013。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

沉积岩碎屑大小与岩石分类的方案至今尚不统一。《沉积岩岩石分类和命名方案》(GB/T 17412.2—1998)[6]中,将微粒砂(微粒砂岩)并入细粒砂(细粒砂岩)中,《碎屑岩粒度分析方法》(SY/T5434—2009)[7]中,将微粒砂(微粒砂岩)改称极细砂(极细砂岩)。现将各种划分方案列表进行对比(表3)。

表3　碎屑岩粒度划分对比方案

SY/T5434—2009[7]		Φm	Φ值	GB/T 17412.2—1998[6]	
砾	中　砾				
	细　砾	＜4 000～2 000	＞-2～-1		
砂	巨　砂	＜2 000～1 000	＞-1～0	粗　砂	
	粗　砂	＜1 000～500	＞0～1		
	中　砂	＜500～250	＞1～2	中　砂	
	细　砂	＜250～1.25	＞2～3	细　砂	细　砂
	极细砂	＜125～62.50	＞3～4		微粒砂
粉砂	粗粉砂	＜62.50～31.25	＞4～5	粗粉砂	
	细粉砂	＜31.25～3.90	＞5～8	细粉砂	
泥	-	＜3.90	＞8	泥	

注：砾石的划分方案无明显对应关系。

不同的岩石类型,形成于不同的沉积环境中。在论述沉积环境的教材、专著中对此问题均进行过介绍,不再重述。

2.3标准偏差(σ_1)

标准偏差(σ_1)是数理统计中碎屑粒度的方差平方根,表示以粒度为随机变量的分散程度。

标准偏差(σ_1)可以定量地反映出分选程度,分选程度与沉积环境有一定联系(表4)。概括地说：海滩砂、风成砂、湖砂的分选性极好—好,河流砂的分选性较好—中等,冰川砂、密度流砂、浊流砂的分选性较差。

表4　标准偏差与沉积环境的关系

类型	分选性	标准偏差	沉　积　环　境
极细至中粒矿	极好	＜0.35	主要为浪基面以上的海滩砂、沙丘砂、湖砂、河口砂坝,部分泻湖砂
	好	0.35～0.50	主要为浪基面以上的海滩砂,部分湖砂、沙丘砂及部分河流砂
	较好	0.50～0.80	主要为河流砂,部分滨海砂、泻湖砂、陆棚砂、沙丘
	中等	0.80～1.40	主要为河流砂,部分泻湖砂、陆棚砂
	差	1.40～2.00	冰川砂
	很差	2.00～2.60	冰川砂
	极差	＞2.60	冰川砂
粗粒砂	较好	0.50～0.80	滨海砂
	中等	0.80～1.40	主要为河流砂,滨海砂、陆棚砂
	差	1.40～2.00	冰川砂
	很差	2.00～2.60	冰川砂
	极差	＞2.60	冰川砂

据弗里德曼(1962)简化。

砂岩碎屑的分选性可以用分选系数来度量。分选系数指在粒度分布的概率累积曲线图上,Φ75、Φ25所对应的颗粒直径的比值。即：So=P75/P25。当颗粒分选好时,P75与P25两数值相差不大,So≈1。反之,两数值相差甚远。

2.4偏度(SK_1)

碎屑粒度的频率分布曲线服从正态分布,正态分布的对称程度可以用偏度(SK_1)来定量描述。

福克和沃德(1957)的划分方案为：极负偏(-1.00～-0.30),负偏(-0.30～-0.10),近对称(-0.10～+0.10),正偏(+0.10～+0.30),极正偏(+0.30～+1.00)。

偏度(SK_1)的地质意义目前尚不十分明显。现有统计表明：海滩砂多为正偏,风成环境的砂多为负偏。

介绍粒度分析资料的教材或专著[1、2]中,都提到标准偏差(σ_1)为横坐标、偏度(SK_1)为纵坐标的直方图解,用于区分海(湖)滩砂与河流砂。在不同的典型地区(判别标准),分界线的位置形状都有较大差别,影响了推广使用。较为统一的是：河流砂的标准偏差(σ_1)大于海(湖)滩砂。

2.5峰态(K_G)

碎屑粒度的频率分布曲线服从正态分布,正态分布曲线的尖锐程度称为峰态(K_G),又称尖度,福克和沃德(1957)的划分方案为：很宽(＜0.67),宽(0.067～0.090),中等(0.090～1.11),窄(1.11～1.50),很窄(1.50～3.00),极窄(＞3.00)。

峰态(K_G)的地质意义需进一步总结。海滩、风成砂的峰态一般很宽—宽。

3 砂岩粒度的萨胡判别计算

萨胡(1964)根据福克的粒度参数,应用多元判别分析的判别公式,得出4个判别公式,用于区别沙丘、海滩、浅海、河流、浊流的沉积物。

(1)$Y_{风成砂与海滩砂}$=－3.5688 Mz+7.7016σ_1^2－2.0766 SK1+3.1135 K_G

Y＜－2.7411为风成砂,Y＞－2.7411为海滩环境。

(2)$Y_{海滩砂与浅海砂}$=15.6534 Mz+65.7091σ_1^2+18.1071 SK_1+18.5043 K_G

Y＜65.3650为海滩砂,Y＞65.3650浅海环境。

(3)$Y_{浅海砂与河流砂}$=0.2825 Mz－8.7604σ_1^2－4.8932 SK_1+0.0482 K_G

Y＜－7.4190河流或三角洲沉积,Y＞－7.4190浅海砂。

(4)$Y_{河流与浊流}$=0.7875 Mz－0.4030σ_1^2+6.3220 SK_1+5.2927 K_G

Y＜9.8433为浊流沉积,Y＞9.8433河流或三角洲沉积。

萨胡(1964)的判别公式能够定量地判别5种形成不同环境的砂,在粒度分析资料中有较为重要的地质意义。

4 砂岩粒度的C-M图

砂岩粒度的C-M图由帕塞加(1957)提出。每个样品中的2个粒度参数(C、M),在双对数坐标纸上投影后,能表明沉积作用的营力(图2)。C为概率累计值为1%的粒度值(粒度最粗的部分),M为概率累计值为50%的粒度值。二者均可在砂岩的粒度分布概率累积曲线图(图1)上求取。

帕塞加(1957)分析了一万多件样品,在C-M图(图2)上的投影点分为6个部分(表5)。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

表5　不同沉积环境中砂岩C-M图特征对比

序号	名称	沉积物方式搬运	C值	M值	其　他
1	NO段	滚动	一般>1 mm		为砂砾质沉积物
2	OP段	以滚动为主,极少量悬浮	变化不大	逐渐变小	
3	PQ段	以悬浮为主,极少量滚动	逐渐变小	变化不大	
4	QR段	递变粒序悬浮	逐渐变小	逐渐变小	C值与M值相关
5	RS段	均值悬浮	变化不大	逐渐变小	
6	T段	远洋悬浮	<34μ	<34μ	

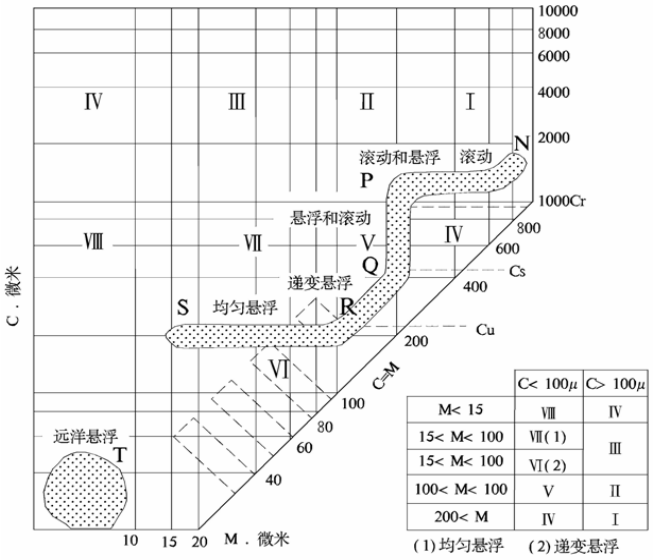


图2　牵引流的C-M图

(据帕塞加,1957；转引自刘宝王君,1985)

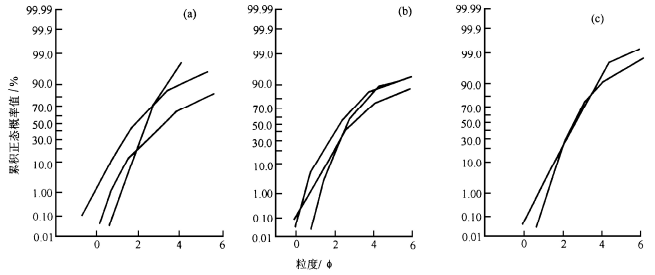
砂岩粒度的C-M图不能准确地区分不同环境的砂,但能够较好地说明砂体的搬运方式、流体性质,在粒度分析资料的研究中仍较为常见。

5 在滇西南段组中的应用

崔春龙等(1999)[4]在滇西昌宁-孟连带南段组(DC*n*)进行粒度分析并判别沉积环境,达到了预期的地质效果。

5.1南段组沉积特征

南段组是一套厚度巨大的砂岩与泥岩的互层沉积,厚度大约为5000m,以砂岩为主,砂岩与泥岩互层,砂岩单层厚度几厘米至近十米。沉积构造主要是块状层理、水平层理和少量的小型滑动变形构造、小型斜层理和粒序层理以及浪成波痕。



(a)南段组下段；(b)南段组中段；(c)南段组上段

图3 南段组砂岩的粒度概率累积曲线

(转引自崔春龙,1999)

南段组下段砂泥岩比率约为1.5:1～5:1,杂基含量平均为16%,砂岩粒度参数特征是粒度(平均值,下同)为Mz=2.92,C/M比值为4.66,标准差 σ_1=1.47,偏度SK_1=0.20,峰态K_G=1.29,分选较差。

南段组中段砂泥岩比率为1:1～3:1,砂岩以净砂岩为主,杂砂岩次之,杂基含量平均为11%,砂岩粒度参数特征是粒度为Mz=2.92,C/M比值为4.10,标准差 σ_1=1.28,偏度SK_1=0.26,峰态K_G=1.48,砂岩的分选中等。

南段组上段砂岩与泥岩比率约为5:1,砂岩所占比例明显高于中、下段,砂岩中石英含量很高,占90%-95%,杂基含量平均为5.9%,有的几乎不含杂基。砂岩粒度显示多众数特点,粒度为Mz=2.66,C/M比值为3.7,标准差 σ_1=1.01,偏度SK_1=0.13,峰态K_G=1.28,分选中等至较好。

1.据贾进华(1993)；2.据崔春龙(1999)

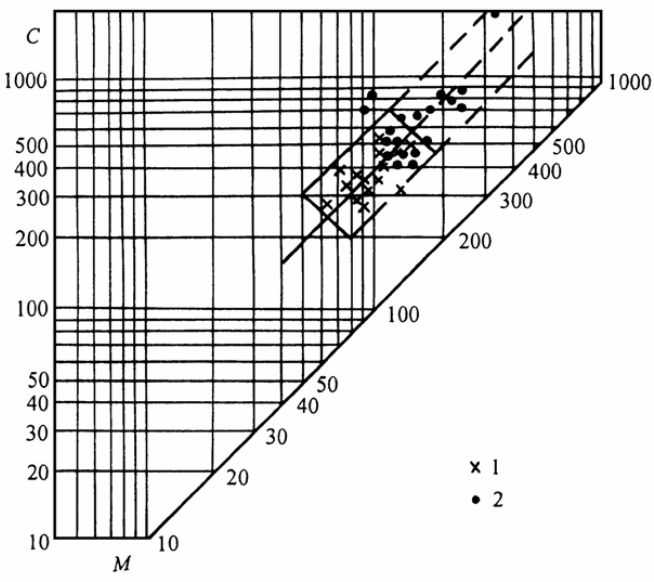


图4 南沙组砂岩的C-M图

(转引自崔春龙,1999)

5.2南段组沉积环境判别

从整个南段组的沉积特征可以看出,南段组中砂岩与泥岩比率的变化为上段和下段高、中段低,砂岩中杂基的含量从下段的16%变为上段的6.5%。砂岩粒度之C值向上减小,而M值和平均值总体向上增大,C/M比值向上减小,标准差 σ_1值也向上减小。砂岩粒度概率累积曲线显示牵引流与重力流的过渡特征,砂岩的C-M图显示重力流沉积特征。砂岩成分成熟度高(石英>90%),结构成熟度中等(杂质为0-16%),有时出现沉积石英岩。砂岩和泥岩的地球化学特征表明是被动大陆边缘背景下的沉积。

6 结论

综上所述,可得出如下结论。

(1)判别砂岩形成环境,使用较多的是平均值(Mz)、标准偏差(σ_1)、萨胡(1964)判别公式、粒度分布的概率累积曲线图。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

(2)在样品分组、流体性质、沉积环境的研究中,要同时考虑各种数值和图解结果,要对偏度(SK_1)、峰态(K_6)、砂岩粒度的C-M图进行讨论。

(3)该方法在滇西南段组中应用取得了较好的地质效果。

[参考文献]

[1]刘宝珺主编.沉积岩石学[M].北京:地质出版社,1980.

[2]刘宝珺,曾允孚主编.岩相古地理基础和工作方法[M].北京:地质出版社,1985.

[3]冯丹,苏桂芬,马丽红.砂岩粒度分析计算机方法研究与对比[J].华北科技学院学报,2015,12(1):78-83.

[4]崔春龙,曾允孚,黄志勋,等.滇西昌宁-孟连带南段组沉积特征及成因分析[J].地质科学,1999,34(1):40-48.

[5]周瑞华,刘传正.野外地质工作实用手册[M].长沙:中南大学出版社,2013.

[6]GB/T17412.2—1998.沉积岩岩石分类和命名方案[S].北京:中国标准出版社,1998.

[7]SY/T5434—2009.碎屑岩粒度分析方法.北京:中国标准出版社,2009.

作者简介：

李希璇(1997--),女,汉族,云南华宁人,地质助理工程师,长期从事地质矿产调查、矿产勘查工作。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.