

文章编号: 1009-6248(2004)02-0001-06

青藏高原可可西里风火山盆地白垩纪砂岩粒度特征与沉积环境

宋忠宝^{1,3}, 李文明^{1,3}, 李长安¹, 李注苍³, 刘志勇²,
刘永成², 李洪普², 薛万文²

(1. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054; 2. 青海省地质调查院,
青海 西宁 830000; 3. 长安大学, 陕西 西安 710054)

摘 要: 通过对风火山盆地白垩系砂岩薄片的粒度统计分析, 划分出 3 种概率累计曲线, 代表 3 种沉积相, 分别为三角洲、河流和湖泊; 并对研究区的沉积环境进行了划分, 确定了该区为一套陆相沉积环境。这对于研究风火山盆地有重要的地质意义。而且对于该区找矿有重要的现实意义。

关键词: 白垩纪砂岩; 粒度分析特征; 沉积环境; 青藏高原; 风火山盆地

中图分类号: P534.53, P588.21⁺2.3 **文献标识码:** A

1 研究概况

青藏高原以其强烈的隆升、独特的自然环境、丰富的自然资源和对周边地区气候与环境的深刻影响, 一直为科学界瞩目。风火山盆地位于青藏高原可可西里山地区, 出露一套白垩系砂岩, 是研究该区沉积环境的理想地。粒度分析是研究沉积岩的成因及沉积环境的基本方法之一。本文是作者在风火山盆地进行粒度分析研究的部分成果。

可可西里盆地白垩纪沉积地层的时代问题目前仍有争论。可可西里盆地白垩纪沉积主要为风火山群, 风火山群由张文佑、赵宗溥等 (1957) 创名于格尔木市唐古拉乡风火山二道沟, 时代定为三叠纪, 后经全国地层会议 (1959) 厘定为白垩纪^[1]。青海省区域综合地质大队 (1987) 曾将其划入早白垩世, 分出砾岩组和砂岩组。之后, 根据古生物成果划为晚白垩系, 细分为砂岩夹灰岩组、砂岩组和砂砾岩组。

中英青藏高原综合地质考察队根据所获轮藻、介形虫及孢粉等化石, 将时代调为早第三纪或始新世^[2]。青海可可西里综合科学考察认为, 早白垩世到晚白垩世都有沉积, 再次将该地层时代厘定为未分白垩纪, 划分出两个岩组和若干岩性段^[1]。刘志飞等 (2000) 对风火山群及其上覆的雅西措群沉积开展了详细的磁性年代地层学研究^[3], 野外采集 5 条连续剖面的 335 个采样点共 1 269 个定向岩心样品, 经过美国加利福尼亚大学圣克鲁斯分校古地磁实验室 2G 低温磁力仪渐近热退磁实验, 测试出 28 个正常极性间隔, 这些极性间隔变化频率较高, 具有早第三纪的分布样式。同时, 考虑到风火山中下部灰岩标志层中所产轮藻、介形虫和孢粉化石^[2]而将该层位限定为始新世等。同现在普遍采用的标准极性年代表^[4]进行对比, 识别出从 C11n 到 C24n 共 13 个完整的极性时单元, 跨时约 36 Ma。结果显示风火山群沉积时代为早始新世—早渐新世, 年代为距今

收稿日期: 2003-06-18; 修回日期: 2004-02-17

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“青海省可可西里山风火地区铜矿评价”(编号: 200110200071) 资助。

作者简介: 宋忠宝 (1963-), 男, 陕西澄城人, 副研究员, 长安大学在读矿床专业硕士, 主要从事岩石矿产及同位素地质年代学研究, 发表论文 20 余篇, E-mail: xaszhongbao@cgs.gov.cn

56.0~32.0 Ma。作者 2002 年在风火山群中采集了 5 个灰岩样品, 经过西安地质矿产研究所张子福副研究员微古鉴定, 遗憾的是未能找见化石。因此, 本次研究作者仍采用沱沱河幅等 4 幅《1:20 万图幅》将风火山群 (K_2fn) 依据岩性及组合等划分为砂岩夹灰岩组 (K_2fn^a), 砂岩组 (K_2fn^b) 和砂砾岩组 (K_2fn^c) 3 个岩组, 时代属晚白垩世。本次对风火山群沉积环境的分析主要是通过开展野外实测剖面和路线地质调查, 主要通过粒度分析讨论了其形成的环境特征。

2 地质背景

可可西里盆地位于巴颜喀拉地体西段和羌塘地体的北部, 覆盖了金沙江缝合带。北部以昆仑南缘缝合带为界, 南部以坎巴塔软断裂为界, 青藏公路从工作区中部穿过。盆地基底由三叠系、二叠—三叠系汉台山群、石炭—二叠系西金乌兰群组成, 这 3 套岩系的总厚度达 23 000 m, 它们之间均存在角度不整合^[1,5]。盆地的白垩纪盖层为前述的风火山群, 由灰紫色砂岩、泥岩和砾岩组成, 夹灰绿色含铜砂岩、灰黑色生物碎屑灰岩和灰白色薄层状石膏岩, 总厚度为 4 782.8 m。

可可西里盆地的盖层和基底岩系之间为断层接

触, 即一系列的走向北西西的逆冲断层, 说明白垩系已经历过强烈地变形作用。前人已经观察到风火山群的强烈地褶皱和断裂作用^[6,7], 在二道沟地区计算的风火山群南北短缩量约为 40%^[7], 在二道沟—五道梁地区计算的风火山群和雅西措群南北短缩量为 42.8% (约 53.1 km)^[6]。据刘志飞等 (2001) 野外观察, 不整合上覆五道梁群发育很弱的后期变形作用, 呈现角度一般小于 30° 的倾斜, 这表明风火山群强烈的后期变形作用主要是发生在五道梁群沉积的早中新世之前。因此, 研究风火山群的沉积环境对于我们深入了解青藏高原的早期隆升和地壳短缩及其对白垩纪本地区的古气候环境变迁的影响具有一定意义。并能为在本区开展资源勘查提供有益的资料。

风火山盆地位于唐古拉山北坡, 金沙江缝合带呈近东西向沿风火山盆地中心地带通过。其基底大地构造单元在金沙江缝合带以北属松潘-甘孜地块, 以南属羌塘地块。风火山盆地处在两大块之间的近东西向狭长地带中。研究的工作区位于风火山盆地中部扎西尔日—二道沟一带。

3 粒度参数特征

29 个样品的粒度分析的概率累计曲线读取的相应数值见表 1。由表 1 可知粒度参数特征如下:

表 1 粒度分析参数特征

Tab. 1 The granulometric analysis parameter feature

样品编号	均值	均方差	分选程度	偏度		尖度		萨胡环境判别公式值
				数值	程度	数值	形态	
I - Ib1	4.187	0.591 2	较好	- 0.109 4	负偏态	2.451	很尖锐	15.392 31
I - Ib2	3.115	0.578 5	较好	0.636 8	很正偏态	4.121	非常尖锐	28.416 48
I - Ib4	3.075	0.623 2	较好	0.688 2	很正偏态	3.760	非常尖锐	26.798 7
I - Ib5	3.494	0.698 1	较好	- 0.417 4	很负偏态	3.668	非常尖锐	19.158 73
III - IIIb4	3.130	0.710 8	较好	- 0.124 9	负偏态	2.482	很尖锐	14.556 89
III - IIIb5	3.130	0.578 3	较好	0.164 1	正偏态	2.983	很尖锐	19.222 98
IV - IVb1	3.362	0.595 5	较好	0.590 4	很正偏态	3.578	非常尖锐	25.416 63
IV - IVb2	2.637	0.648 7	较好	0.646 6	很正偏态	3.008	非常尖锐	22.180 53
IV - IVb3	3.666	0.652 5	较好	2.114 0	很正偏态	2.954	很尖锐	32.581 9
IV - IVb5	3.632	0.527 7	较好	0.179 5	正偏态	2.664	很尖锐	18.056 16
D042b1	2.874	0.685 9	较好	0.515 2	很正偏态	3.143	非常尖锐	22.177 07
D121b2	4.118	0.672 6	较好	0.184 4	正偏态	2.480	很尖锐	17.427 93
EZK001B2b1	2.109	0.610 9	较好	0.484 4	很正偏态	3.198	非常尖锐	21.697 57
EZK001B22b1	2.860	0.645 0	较好	0.438 5	很正偏态	3.052	非常尖锐	21.189 98
EZK001B36b1	2.687	0.727 1	较好	0.351 4	很正偏态	2.741	很尖锐	18.775 94

续表 1

样品编号	均值	均方差	分选程度	偏度		尖度		萨胡环境判 别公式值
				数值	程度	数值	形态	
V- Vb1	2.932	0.620 0	较好	0.398 2	很正偏态	3.700	非常尖锐	24.417 79
VI- VIb2	4.174	0.562 7	较好	9.399 0	很正偏态	2.664	很尖锐	80.535 12
VI- VIb3	3.835	0.673 5	较好	0.158 4	正偏态	2.694	很尖锐	18.162 18
VII- VIIb1	3.057	0.774 9	较好	- 0.127 8	负偏态	2.713	很尖锐	15.664 12
VII- VIIb2	3.390	0.548 4	较好	0.417 5	很正偏态	3.161	非常尖锐	22.089 34
A- Ab1	2.601	0.774 7	较好	0.341 2	很正偏态	2.310	很尖锐	16.329 59
A- Ab2	3.385	0.590 8	较好	0.523 0	很正偏态	3.423	非常尖锐	24.162 88
A- Ab3	4.262	0.687 7	较好	- 5.681 0	很负偏态	2.990	很尖锐	- 19.254 7
A- Ab4	3.344	0.615 8	较好	0.140 7	正偏态	2.899	很尖锐	18.771 34
A- Ab5	4.141	0.513 9	较好	0.233 3	正偏态	2.752	很尖锐	19.290 74
A- Ab8	2.000	0.610 4	较好	0.315 1	很正偏态	4.086	非常尖锐	25.172 14
A- Ab9	4.067	0.676 4	较好	- 0.1633	负偏态	3.331	非常尖锐	19.549 00
A- Ab17	4.342	0.509 8	较好	0.223 3	正偏态	2.904	很尖锐	20.187 89
A- Ab19	3.077	0.842 8	中等	- 0.221 8	负偏态	2.171	很尖锐	12.134 13

3.1 均值

分布在 2.0~ 4.342, 主要集中在 2.6~ 3.6, 平均在 3.33, 说明主要粒度为细砂级。

3.2 均方差

分布在 0.509 8~ 0.842 8, 主要集中在 0.55~ 0.70, 均方差的平均值为 0.64。

根据弗里德曼 (1962) (转引刘宝珺, 1991) 的标准偏差值与分选性等级的关系 (表 2), 可知白垩系下岩组 (K_2fn^a) 砂岩分选性等级属于分选较好级。沉积环境为河流砂最多, 很多海滨砂等, 结合其他野外工作, 可判别工作区砂岩主要为河湖砂。

表 2 标准偏差值与分选性等级的关系 (弗里德曼, 1962) (转引刘宝珺, 1991)

Tab.2 Relationship of standard deviation with degree of sorting

分选性等级	标准偏差 (单位)
分选极好	< 0.35
分选好	0.35~ 0.50
分选较好	0.50~ 0.80
分选中等	0.80~ 1.40
分选差	1.40~ 2.00
分选很差	2.00~ 2.60
分选极差	> 2.60

3.3 偏度

主要分布在- 0.4178~ 0.6882, 均值为 0.42。根据福克 (转引自刘宝珺, 1991) 对偏度的分级, 既

有正偏, 也有负偏。说明沉积物粒度分布较广, 既有沙丘砂, 又有海滩砂。

3.4 尖度 (峰度)

峰度是衡量分布曲线峰凸程度的。利用矩值态公式, 正态曲线的峰度等于零; 峰态态值为正值时, 是窄态峰; 为负值时, 是宽态峰。白垩系下岩组 (K_2fn^a) 砂岩峰度值为 2.171~ 4.212, 均值为 3.04, 为尖锐。

据 Folk (1968) 等的划分类型:

$$Kc = (\Phi_5 - \Phi_3) / 2.44 (\Phi_5 - \Phi_{25})$$

$Kc < 0.67$, 很平坦; Kc 在 0.67~ 0.90, 平坦; Kc 在 0.90~ 1.11, 中等; Kc 在 1.11~ 1.56, 尖锐; Kc 在 1.56~ 3.00, 很尖锐; $Kc > 3.00$, 非常尖锐 (表 1)。

4 概率累计曲线特征

白垩系下岩组 (K_2fn^a) 粒度分析结果表明, 概率累计曲线可分为 3 种典型类型 (图 1、图 2、图 3)。

4.1 三段 A 型

如图 1 示, 包含有牵引、跳跃和悬浮 3 个总体, 缺乏明显的跳跃总体, 粒度分布为双众数的形态, 牵引总体含量 15%~ 20%, 斜率平均为 50°; 分选中等, 跳跃总体含量 15%~ 30%, 斜率平均为 20°; 牵引总体与跳跃总体截点在 2.0 附近, 悬浮总体含量 50%~ 60%, 斜率平均为 45°; 悬浮总体与跳跃总体

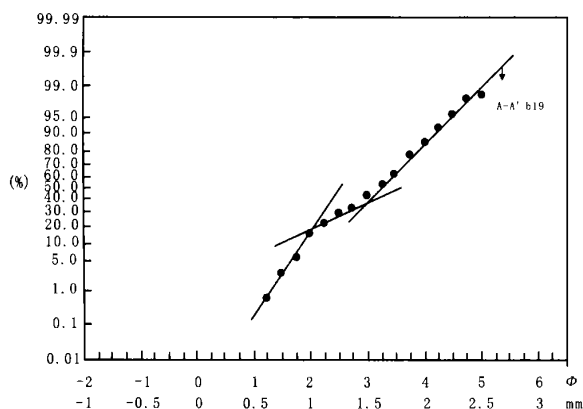


图1 三段A型三角洲相(矿体)粒度概率累计曲线

Fig. 1 The grain size accumulation curve of three section A type of delta

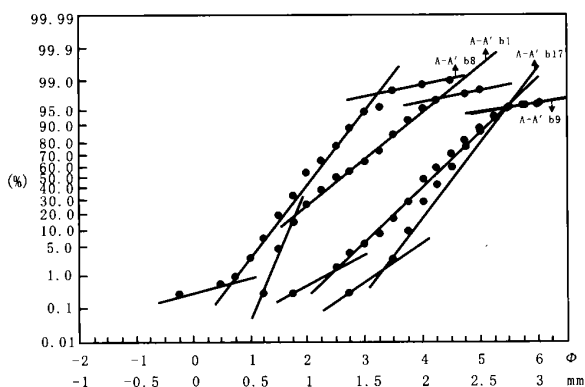


图2 三段B型河流相粒度概率累计曲线

Fig. 2 The grain size accumulation curve of three section B type of river facies

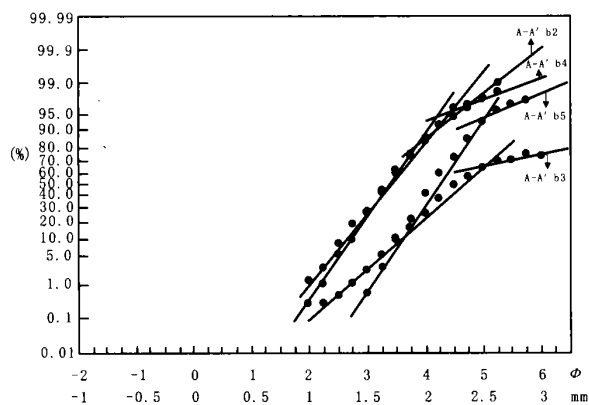


图3 二段湖泊相粒度概率累计曲线

Fig. 3 The grain size accumulation curve of two section lake facies

截点在 3.0 附近; S、T 截点都是突变,而这种概率累计曲线特征代表河口三角洲相,正是二道沟VI号矿体所在部位。

4.2 三段B型

如图2示,包含有牵引、跳跃和悬浮3个总体,牵引总体含量1%~5%,斜率平均为36°;跳跃总体含量95%~98%,斜率平均为40°~50°;牵引总体与跳跃总体截点在2.0附近,悬浮总体含量2%~5%,斜率平均为10°;悬浮总体与跳跃总体截点在4.5附近。这种概率累计曲线特征代表河流相。

4.3 二段型

如图3示,包含有跳跃和悬浮两个总体,跳跃总体含量95%附近,斜率平均为50°;悬浮总体含量5%附近,斜率平均为30°;两者截点在4.5左右。无牵引总体。这种概率累计曲线特征代表湖泊相。

由概率累计曲线特征可以看出,白垩系下岩组($K_2f n^a$)砂岩含有少量粗的推移总体,分选性较差,跳跃总体一般分选性较好,粒度区间2.0~4.5,通过分析认为白垩系砂岩为滨湖带沉积环境,有强烈的波浪作用,因此跳跃总体分选性较好,粒度区间较窄,因缺乏强水流,保留了粗粒的推移总体,分选差,悬浮物质与物质来源有一定关系。

5 沉积环境判别

据萨胡成因环境判别公式计算的判别值(转引刘宝珺, 1991),其中28个大于9.8433,一个小于9.8433。萨胡的各环境判别值,当 $Y > 9.8433$ 时为河流或三角洲沉积,当 $Y < 9.8433$ 时为浊流沉积。由此判断,白垩系下岩组($K_2f n^a$)主要为河流或三角洲沉积环境。

弗里德曼(1967)(转引刘宝珺, 1991)通过对现代海洋、湖滩和河流的255个样品的粒度分析,编制了各种参数之间的关系图。利用弗里德曼(1979)(转引刘宝珺, 1991)的标准偏差与偏度离散图对工作区的沉积环境进行了判别。本区的29个样品的标准偏差与偏度离散图如图4示。在图4中,大部分点落在河流区,少量点落在海、湖滩区,而有近一半的点落在河湖过渡区。由此可知,工作区主要为河湖相沉积,是一套陆相沉积地层。结合野外观察可知本区沉积环境为一套陆相沉积环境。

由此可见,风火山盆地的沉积环境经历了3个

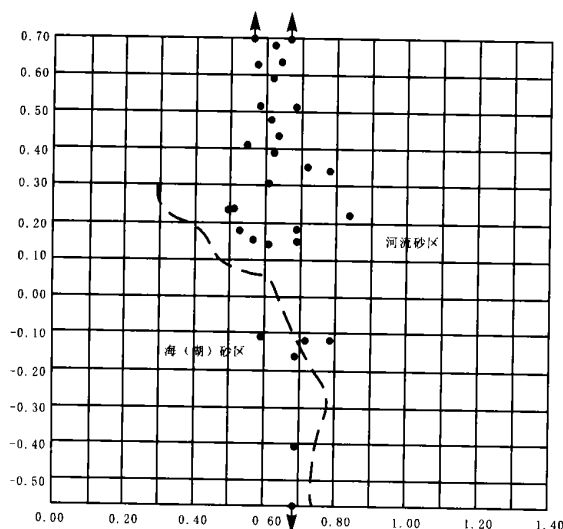


图 4 标准偏差与偏度离散图

Fig. 4 Divergence map of standard deviation
with departure
(底图据弗里德曼, 1979; 转引刘宝珺, 1991)

阶段的变化, 同时古水流方向也发生了转变。最早期的砂泥岩夹石膏层段沉积时, 以河流环境为主, 古水流方向以北东为主(刘志飞等, 2001), 并含短期的盐湖环境, 反映当时的气候比较干燥。在砂砾岩段沉积时, 沉积环境转变为河流, 并向上逐步变成三角洲环境, 古水流方向转为以南东为主。在风火山群三角洲砾岩最发育的时期, 沉积环境和物源区发生的明显变化表明沉积盆地的格局在此期有重大改变。同时, 青藏高原东部大约 40 Ma 也开始发育反映东西向扩张的钾质熔岩, 并被认为是青藏高原早期快速隆升的开始^[11]。因此, 风火山群沉积环境的这种变化可能是受青藏高原的早期隆升影响。在最晚期的砂泥岩段沉积期间, 沉积环境又转变为以河流为主, 含短期湖泊环境, 古水流又转变为以北向为主, 表明南缘边界断层的持续控制作用。因此, 整个风火山群沉积时期的盆地沉积中心逐渐向东向北迁移, 反应盆地演化主要受到来自西部和南部的构造作用控制, 并与青藏高原的早期隆升直接有关。

6 结论

(1) 通过对风火山盆地白垩系砂岩的粒度分析, 划分出 3 种概率累计曲线, 代表 3 种沉积相, 分别

为三角洲、河流和湖泊; 并对本区的沉积环境进行了划分, 确定了该区为一套陆相沉积环境。

(2) 粒度的变化直接反应了气候及沉积环境演变; 我们可知, 本区的 3 种粒度代表 3 种沉积环境演变; 即从河流—三角洲—湖泊。这对于研究青藏高原的隆升和对周边地区气候与环境的影响有重要的地质意义。

(3) 矿体产于特定的层位, 即河湖交替三角洲相和湖泊相(另文发表), 因此在该区找矿应在河湖交替三角洲相和湖泊相中寻找。这对于该区找矿有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 张以弗, 郑健康. 青海可可西里及邻区地质概论 [M]. 北京: 地震出版社, 1994. 40-44, 177.
- [2] Liu Z F, Zhao X, Wang C S, et al. Magnetostratigraphy of Tertiary sediments from the Hoh Xil basin: Implications for the Cenozoic tectonic history of the Tibet plateau [J]. *Geophys J Int*, 2000 (in revision)
- [3] 尹集祥, 徐均涛, 刘成杰, 等. 拉萨至格尔木的区域地层 [A]. 中英青藏高原综合地质考察队. 青藏高原地质演化 [C]. 北京: 科学出版社, 1990. 1-48.
- [4] Harland W B, Armstrong R L, Cox A V, et al. A geological time scale 1989 [R]. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1990. 263.
- [5] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1991. 662.
- [6] Wang C S, Liu Zhao X, et al. Sedimentology of the Fenghuoshan Group in the Hoh Xil basin, northern Qinghai-Tibet plateau: Implication for the plateau uplift history. In: Universities of Potsdam, Tübingen and Würzburg. *Terra Nostra*, 1999. 166-167.
- [7] Coward W P, Kidd W S F, 潘耘, 等. 拉萨至格尔木的构造 [A]. 中英青藏高原综合地质考察队. 青藏高原地质演化 [C]. 北京: 科学出版社, 1990. 321-347.
- [8] Miall A D. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary [A]. In: Miall A D. *Fluvial Sedimentology* [C]. *Can Soc Petro Geol Mem* 5, 1978. 597-604.
- [9] Miall A D. Principles of sedimentary basin analysis [M]. New York: Springer-Verlag, 1984. 668.
- [10] 刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法 [M]. 北京: 地质出版社, 1991.

- [11] Chung S, Lo C, Lee T, *et al.* Diachronous uplift of the Tibetan plateau starting 40 Myr ago [J]. *Nature*, 1998, 394: 769-773.
- [12] 中国地质调查局. 国内外砂页岩型铜矿床研究进展 [M]. 北京: 地质出版社, 2002. 5-11.
- [13] 刘志飞, 等. 青藏高原北部可可西里盆地第三纪风火山群沉积环境分析 [J]. *沉积学报*, 2001, 19 (1): 20-27.
- [14] [英] H. G. 里丁主编, 周明鉴, 等译. 沉积环境和相 [M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [15] Wang C S, Liu Zhao X, *et al.* Sedimentology of the Fenghuoshan Group in the Hoh Xil basin, northern Qinghai-Tibet plateau: Implication for the plateau uplift history. In: Universities of Potsdam, Tübingen and Würzburg. *Terra Nostra*, 1999. 166-167.
- [16] 张春生, 刘忠保. 现代河湖沉积与模拟实验 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 102-103.
- [17] 胡刚, 王乃昂, 罗建育, 等. 花海湖泊古风成砂的粒度特征及其环境意义 [J]. *沉积学报*, 2001, 19 (4): 642-647.
- [18] Folk R L. Petrology of sedimentary rocks [M]. Austin, Texas, Hemphill, 1968.

Granulometric feature and depositional environment of Cretaceous period sandstone of Fenghuoshan basin in the Hoh Xil, Qinghai-Tibet plateau

SONG Zhong-bao^{1,3}, LI Wen-ming^{1,3}, LI Chang-an¹, LI Zhu-cang³,
LIU Zhi-yong², LIU Yong-cheng², LI Hong-pu², XU E Wan-wen²

(1. *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, China;*

2. *Geological Survey of Qinghai Province, Xining, 830000, China;*

3. *Changan University, Xi'an 710054, China)*

Abstract: By the granulometric analysis of Cretaceous period sandstone of Fenghuoshan basin, three probability cumulative curve, that delegated three sedimentary facies, eg delta, river and lake have been divided. Not only have important geologic significance for research Fenghuoshan basin, but also have important actuality significance.

Key words: Cretaceous period sandstone; granulometric analysis feature; depositional environment; Tibet plateau; Fenghuoshan basin