61

## 四川底苏沉积改造层控型 铅锌矿床地球化学初步研究

朱赖民 袁海华

**提 要** 本文对底苏铅锌矿床微量元素地球化学、稀土元素地球化学、成矿热液地球化学性质及稳定同位素地球化学等进行了研究,并提供了首批研究数据,同时首次对该类型矿床的成因提出了一定认识。

关键词 地球化学 沉积改造层控矿床

底苏铅锌矿床位于四川省金阳县境内。该矿床是1991年新发现的矿床,矿区工作程度较低,在地球化学及矿床成因研究方面尚属空白。因此,研究该矿床地球化学及成因实属必要。

## 1 矿床地质概况

底苏铅锌矿床位于扬子地台西南缘,康滇地轴东缘金阳一会东拗陷盆地中。区域地层除下中三叠统、石炭系、泥盆系下部、下志留统缺失外,前震旦系至第四系均有出露。区域地层岩石铅锌成矿元素含量普遍较高,[1]① 与地壳同类岩石平均丰度相比,铅元素丰度系数通常为 2~7,锌元素为 1~5(表 1)。

底苏铅锌矿床层控性明显,矿体呈层板状赋存于震旦系上统灯影组上段白云岩中(图 1)。矿区地层从震旦系上统灯影组上段至寒武系下统沧浪铺组均有出露(图 1)。震旦系上统灯影组主要为一套白云岩。寒武系下统筇竹寺组( $\leftarrow_1 q$ )。沧浪铺组( $\leftarrow_1 c$ )主要为一套砂页岩。

矿区构造简单,矿体展布于近南北向的  $F_4$  层间破碎带中(图 1),矿区东侧的  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  断 裂为成矿后压扭性断裂,与成矿关系不大。

① 王小春.康滇地轴中段东缘震旦系灯影组层控铅锌矿床成矿机理.成都理工学院硕士论文,1988 收稿日期 1994.12.5 改回日期 1995.3.6

## 表 1 区域地层铅锌含量(×10<sup>-6</sup>)①

Table 1 Contents of Pb and Zn in regional strata

H 0.	11. UL	平均	丰度	同类岩石	5平均值	丰度	系数
层 位	岩性	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn
会理群 P <sub>ttn</sub>	千枚岩、板岩	100	200	15	60	6. 67	3. 33
下震旦统 Z。	火山岩及碎屑岩	68	100	9	60	7.56	1.67
灯影组 Zbd	白云岩、白云质灰岩	44	100	9	20	4.94	5.0
寒武系(	砂页岩、碳酸盐岩	48	106	12	43	3. 98	2.46
奥陶系 ()	碎屑岩、泥岩、碳酸盐岩	40	77	12	43	3. 34	1.79
志留系S	碎屑岩、泥岩、碳酸盐岩	28	97	12	43	2.33	2. 26
泥盆系D	细砂岩、粘土岩、灰岩	21	50	12	15	1. 75	1.0
	碳酸盐岩夹少量泥质岩、碎屑岩	19	72	12	40	1.56	1.81
上二叠统 P <sub>2</sub> β	峨嵋山玄武岩	35	135	6	105	5.83	1.29
上二叠统白果湾组 T <sub>3</sub> bg	含煤碎屑岩、泥质岩	47	166	10	50	4.7	3. 32
<b>侏罗系</b> J	红色砂泥岩	54	87	10	50	5.4	1.74
白垩系 K	砂岩、页岩、泥岩	33	54	15	60	2.2	0.9
第三系 R	砂岩、页岩、泥岩	40	121	15	60	2. 67	2.02

#### 表 2 矿区地层岩石铅锌含量(×10<sup>-6</sup>)

Table 2 Contents of Pb and Zn in strata of ore district

 层位	岩性	样数	Pb	Zn
Pttn	千枚岩	1	9.5	79
<del></del>	粉砂岩、泥质白云岩	2	13. 1	60
Zbd	白云岩、白云质灰岩	2	1951	4432

矿床围岩蚀变较弱,以硅化、碳酸盐化、黄铁矿化为主。矿石矿物主要有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿。脉石矿物以石英、方解石为主。矿床形成可分三个成矿阶段:

- (1)沉积成岩成矿阶段(I) 主要形成石英、闪锌矿、黄铁矿等矿物组合。矿石以同生沉积 斑点状矿石为代表。
- (2)热液改造主成矿阶段(I) 主要矿物共生组合为闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿、石英、方解石。该阶段为矿床主要富集矿化阶段,代表矿石类型为热液改造型致密块状矿石。

① 王小春、康滇地轴中段东缘震旦系灯影组层控铅锌矿床成矿机理、成都理工学院硕士论文、1988

6

9

F3

第十卷 第二期

58 **⊀** 

€ı'n

1. 上震旦统灯影组中段 2. 上震旦统灯影组上段 3. 下寒武统筇竹寺组 轭现象可以作出这样的解释:在 4. 下寒武统沧浪铺组 5. 正断层 6. 逆断层 7. 推测(虚线),实测(实线) 热液改造成矿作用过程中,一方地质界线 8. 地层产状 9. 矿体 面矿区外围地层岩石中的铅锌成

#### 图 1 底苏矿床地质简图(据攀西地质大队资料)

Fig. 1 Geological sketh map of Dishu ore deposit

(3)热液改造晚成矿阶段 (I) 主要矿物共生组合为闪锌 矿、石英、方解石、方铅矿。

## 2 矿床中微量元素 地球化学

矿区外围地层岩石及赋矿蚀 变矿化围岩铅锌成矿元素分析结 果见表 2。分析结果表明,与区域 同类地层岩石(表 1)相比,矿区 外围地层岩石如寒武系粉砂岩、 泥质白云岩,会理群千枚岩中铅 锌成矿元素含量降低(表 2),即 矿区外围地层岩石中成矿元素发 生"亏损",而赋矿蚀变矿化围岩 (震旦系灯影组白云岩)中铅锌成 矿元素含量大幅度升高,即发生 明显富集。这种"亏损"与富集共 轭现象可以作出这样的解释:在 面矿区外围地层岩石中的铅锌成 矿元素,随热液发生活化迁移,致 使其中成矿元素含量降低,发生

亏损;另一方面,由于矿区外围地层岩石中铅锌成矿元素的加入,使改造热液成为富含成矿元素的含矿热液,当这种含矿热液对赋矿围岩发生矿化蚀变作用时,必然使成矿元素在赋矿围岩中含量大幅度升高。因此,从地层岩石中成矿元素分布来看,成矿作用与地层有着密切关系,地层可能成为铅锌成矿元素的重要物质来源。

底苏矿床中闪锌矿的 Zn、Fe、Cd、In、Ga、Ge 含量及 Ga/In、Ge/In 特征比值与沉积改造层 控型铅锌矿床<sup>[2]</sup>较为相似(表 3)。此外,矿床中方铅矿的 Ag、Sb、Bi 含量也与沉积改造层控矿床<sup>[3]</sup>类似(表 4)。

## 3 矿床中稀土元素分布

矿区地层岩石和矿石的稀土元素含量及配分曲线如表 5 和图 2。由图表可知,地层岩石的稀土元素含量、稀土元素特征比值 La/Sm、Sm/Nd、Eu/Sm、La/Yb 及配分曲线形状比较一致,

与一般沉积岩[4]相近。热液改造型致密块状矿石稀土配分曲线虽与地层岩石有相似之处,但已表现出明显差异。这种差异突出表现在矿石稀土元素总量低于地层岩石,矿石富集重稀土且具较明显的负铕异常。有以下证据表明热液改造型致密块状矿石稀土元素所具有的这种差异应与沉积改造成因有关如:(1)在热液改造成矿作用中,矿石趋于变富,势必造成矿石中含有较多金属硫化物。金属硫化物贫稀土元素。显然热液改造型矿石稀土元素总量应当较低。经检查这类矿石金属硫化物含量高达 60%以上。(2)热液改造型矿石相对富集重稀土元素,可能与热液改造成矿阶段中,地层岩石的重稀土元素迁移进入改造成矿热液有关。据研究[4],重稀土易溶解于含  $HCO_3$ 一水使岩石中的重稀土发生迁移,这与底苏矿床改造热液含有较高  $HCO_3$ 一(表6)相吻合。(3)热液改造型矿石稀土配分曲线具较明显负铕异常,与  $P \cdot M$ öller 等(1979)研究德国西哈尔茨铅锌矿床所确定的 I 类方解石相似[5]。据  $P \cdot M$ öller 研究,这类方解石稀土组分来源于矿床外围受热液改造作用的围岩。矿石中铕负异常可能是改造成矿热液在进入相对还原环境中时,在低氧逸度( $fo_2$ )条件下(表 8),矿石沉淀之前,发生  $Eu^3 - \to Eu^2 +$  还原作用所致。

表 3 不同类型铅锌矿床闪锌矿微量元素对比(×10<sup>-6</sup>)<sup>(2)</sup>

Table 3 Comparison of trace elements of sphalerite in different Pb-Zn deposits

矿床类型	Zn(wt%)	Fe(wt%)	Cd	In	Ga	Ge	Ga/In	Ge/In
底苏矿床	62.41	1. 22	2028	2.13	92	116	43.19	54.46
碳酸盐地层中沉积改造型矿床	63. 92	2. 53	2500	4	4	299	1.00	74.75
海相火山热泉沉积矿床	57.81	8.06	3200	411	38	2	0.092	4.87×10 <sup>-3</sup>
陆相火山热液矿床	63.17	3. 36	2600	109	40	4	0.37	0.037
矽卡岩矿床	55.84	9. 56	3600	100	28	4	0. 28	0.04
碳酸盐岩层中岩浆期后热液矿床	60.36	5.76	6700	53	23	5	0.43	0.094

## 表 4 不同类型铅锌矿床方铅矿微量元素对比(×10<sup>-6</sup>)<sup>(3)</sup>

Table 4 Comparison of trace elements of galena in different Pb-Zn deposits

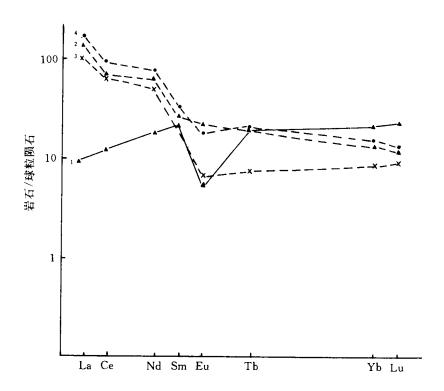
成因类型	岩浆热液 型矿床	火山岩型 矿 床	沉积改造 型矿床	沉积变质 混合岩化矿床	底苏 矿床	
Ag	1628	461	436	1948	493	
Sb	1047	300	1163	551	157	
Bi	2126	20.60	4.30	2966	<0.5	
样品数	13	5	12	4	3	

## 表 5 地层岩石及矿石稀土元素含量(×10<sup>-6</sup>)

Table 5 Contents of REE in ore and wall-rock

地层	样号	岩性	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	La/Sm	Sm/Nd	Eu/Sm	La/Yb
	1	致密块状矿石	2.73	8.95	9. 2	3.49	0.31	0.81	3. 55	0.58	0. 78	0.38	0.09	0.77
Pttn	2	千枚岩	45.8	80. 52	39. 05	8. 22	1. 575	1.02	3.815	0.545	5. 57	0. 21	0.19	12.0
Zbd	3	含磷白云岩	26. 87	48.05	23. 7	1.98	0.39	0. 28	1.48	0.26	13-6	0.084	0. 2	18.16
<b>←</b> 1c	4	泥质白云岩	47.16	75. 24	35.88	5.64	1.1	0. 9	2.58	0.39	8.36	0.16	0. 2	18. 28

成都理工学院三系核分析实验室测定



## 图 2 地层岩石与矿石稀土配分曲线

(序号同表 5)

Fig. 2 Chondrite-normalized REE distribution of wall-rock and ore

## 4 成矿溶液地球化学性质

矿床热液改造主成矿阶段及晚成矿阶段闪锌矿包体成分测定结果见表 6。由表可知,闪锌矿包体成份反映了成矿溶液以重碳酸盐溶质为主的成份特征。

大量包体成分资料研究表明,包体溶液中特征离子比值能够反映成矿热液的性质。与岩浆作用无关的沉积型或层控型矿床成矿溶液 Na/K > 1,Na/(Ca+Mg) < 4,F/Cl < 1 。底苏矿床成矿热液 Na/K 比值为 13. 97~80. 61,Na/(Ca+Mg) 比值为 0. 21~1. 40,F/Cl 比值为 0. 197~0. 306,根据表 6 包体成分分析结合特征离子比值说明该矿床为沉积改造层控矿床之成因。

表 6 流体包体成分分析结果

Table 6 Analytic result of composition of fluid inclusions

IV EIL					液	相 成 化				
阶段	1 1 7	K+	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F-	Cl-	HCO <sub>3</sub> -	SO <sub>4</sub> 2-	H₂O
I	PR01	0.099	1.433	4.41	4.52	3.086	28.656	245.1	4.40	1433
I	<b>Q</b> 031	0.097	4. 611	3.754	1.18	4. 29	40.751	247. 2	6. 44	1502
1	P016	0. 204	1.681	4. 202	1.12	7.08	43. 224	208. 68	8.765	2702
r∧ eπ	#¥ P.		气相成份	·(×10 <sup>-6</sup> )			盐度			
阶段	样号	$CO_2$	СО	CH₊	N <sub>2</sub>	Na/K	Ca/Mg	Na/(Ca+Mg)	F/Cl	(wt%)
I	PR01	9.814		2. 587	1.148	24.54	0. 59	0. 21	0.20	16. 7
I	<b>Q</b> 031	9. 918	0.525	2. 892	1. 325	80.61	1. 91	1.40	0.197	16.7
I	P016	10.917	0.363	2.606	1. 175	13.97	2. 26	0.48	0.306	8.96

<sup>\*</sup> 成都理工学院测试中心测定。液相成份由原子吸收光谱法测定,气相成份由气相色谱法测定

表 7 不同成矿阶段硫同位素组成

Table 7 S-isotopic composion in different metallogenic stage

矿物	矿化阶段	矿物个数	δ³4S(%ε)范围	δ³4S(‰)均值
闪锌矿	I	1	12. 4	12. 4
方铅矿	I	4	9.6~12.8	8. 70
闪锌矿	I	3	12.5~13.6	13.17
闪锌矿	11	2	10.5~13.3	11.90
方铅矿	I	2	5.5~14.2	9.85

成都理工学院测试中心测定

## 5 稳定同位素地球化学

#### 5.1 硫同位素

硫同位素分析结果见表 7。利用程伟基等了改进了的热液全硫同位素计算公式,将改造热液的有关物理化学参数①代入该式,可计算出改造热液全硫同位素组成  $\delta^{34}$ S<sub>28</sub>(表 8)。计算结果表明,含硫原子团氧化态与还原态比率 R′ ≪1,说明改造热液中含硫原子团以 H₂S 为主。改造主成矿阶段由闪锌矿计算的改造热液全硫同位素值(13.7%)与由方铅矿计算的全硫同位素值(13.50%)相近,说明改造主成矿阶段硫同位素已达到平衡。热液改造晚成矿阶段由闪锌矿计算所得的全硫同位素值为 13.03%,由方铅矿计算所得全硫同位素值为 15.70%,二者相差不超过 5%,说明改造晚成矿阶段硫同位素也已基本达到平衡。区域赋矿灯影组白云岩中同生成岩黄铁矿结核硫同位素值为 13.95%②,同生沉积成岩成矿阶段 1 件闪锌矿硫同位素值为 12.4% (表 7),二者与改造热液全硫同位素值比较接近。因此,改造热液中硫可能来源于同生沉积成岩成矿阶段矿石或赋矿震旦系灯影组白云岩。

表 8 改造热液全硫同位素计算结果

Table 8 Total sulfur isotopic composition of transformed hydrothermal solution

矿化阶段	T (C)	рН	$fo_2$ (×10 <sup>5</sup> Pa)	R'	矿物	矿物 δ³4S‰	由矿物计算的成 矿溶液 δ³4ΣS‰
— 热液改造主成	180	4. 42	2.54×10 <sup>-45</sup>	2. 80×10 <sup>-6</sup>	闪锌矿	12.50	13.70
矿阶段(Ⅱ)	100	4.42	2.34×10	2.80×10 "	方铅矿	8.70	13. 50
热液改造晚成	150	1 15	9.16×10 <sup>-49</sup>	9.79×10 <sup>-6</sup>	闪锌矿	12.13	13. 03
矿阶段(Ⅲ)	150	4. 45	9, 10 × 10	9.79×10	方铅矿	10.60	15. 70

## 5.2 铅同位素

该矿床铅同位素变化较小,在<sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb-<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 和<sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb-<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 坐标图<sup>[8]</sup>中,矿床铅同位素值全部落入含少量放射性成因铅的正常铅范围内,表明样品中的铅接近普通铅,适合地球中铅同位素演化简单历史。地层全岩铅同位素参数值与矿石全岩铅和方铅矿铅相近。在铅同位素构造环境图解中,地层岩石、矿石及方铅矿铅同位素数据全部落入上地壳线与造山带线之间的狭小范围内(图 3),且方铅矿、矿石投点与地层岩石比较接近,这就说明矿石中铅可能主要来自地层,地层与矿石可能有密切成因联系。

① 朱赖民,等,论底苏铅锌矿床成矿物理化学条件,成都理工学院学报,(待发表)

② 余跃心,四川大梁子铅锌矿床地质特征及其成因探讨学研究,成都理工学院硕士论文,1988

矿床铅同位素模式年龄跨度大(表 9),其范围为 367~1172Ma。这个年龄范围包括了元古界会理群至古生代地层,可见矿床中铅并非来自单一地层,是各种地层中铅的混合。

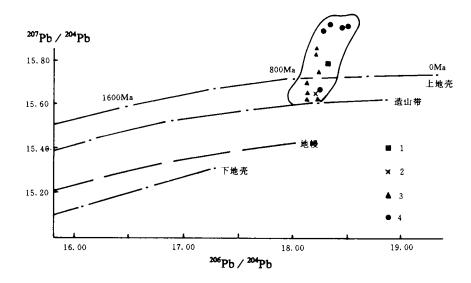
矿床铅源区参数值普遍较高,且较均一(表 9),其平均值与上部地壳及造山带相应源区特征值相近<sup>[9]</sup>(表 10),表明矿床铅来源较浅,主要来自上部地壳或造山带源区。

表 9 矿床铅同位素组成

Table 9 Lead isotopic composition of deposit

			铅同位素组	且成及源区特征	正值			Н—Н
样号	矿石与岩石	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	μ	ω	κ	模式年龄 (Ma)
Q012	方铅矿	18. 446	16.021	39. 347	9.88	44.56	4.36	626
Q014	方铅矿	18. 466	16.053	39. 394	9.94	44.98	4. 37	646
<b>Q</b> 013	方铅矿	18.330	15.888	38.920	9.64	42.03	4. 21	560
P015	方铅矿	18. 344	15.954	39. 082	9.76	43.33	4.30	623
P017	方铅矿	18. 326	15.914	38. 985	9.67	42.60	4.26	592
I—I′ 45	硅质白云岩	18. 336	15. 738	38. 671				
<b>Q</b> 011	细脉浸染状矿石	18. 259	15.852	38- 725	9.58	41. 23	4.16	569
X021	块状矿石	18. 261	15.829	38. 716	9.54	40.94	4.15	542
YD <sub>2C</sub> D04	角砾状矿石	18. 371	15.740	38. 619	9.37	39. 31	4.06	400
YD <sub>20</sub> D05	角砾状矿石	18. 125	15.626	38. 070	9.17	36.96	3. 90	404
II' B	千枚岩	18. 242	15.597	38. 228				
P011	细脉状矿石	18. 151	15. 612	38.110	9.14	36.85	3.90	367
Q012	细脉状矿石	18. 145	15.641	38. 145	9.20	37. 32	3. 93	407
YD08	斑点状矿石	18.150	15.693	38. 297	9. 29	38. 44	4.07	465
YD07	层块状矿石	18. 121	15.655	38. 240	9. 22	37.99	3. 99	441
P014	闪锌矿	18. 102	15.680	38. 145	9. 27	37.92	3. 96	484
<b>Q</b> 032	闪锌矿	18. 352	16.532	39. 121	10.87	49.68	4.41	1172
<b>Q</b> 031	闪锌矿	18. 684	16. 133	39. 360	10.07	44.23	4. 25	585
X002	闪锌矿	18. 121	15.652	38. 174	9. 22	37.67	3. 95	437
PR01	闪锌矿	18.146	15. 641	38. 210	9. 20	37.58	3. 95	406

成都理工学院测试中心测定



1. 白云岩 2. 千枚岩 3. 铅锌矿石 4. 方铅矿

## 图 3 铅同位素构造环境图解

Fig. 3 Diagram showing structural environment of lead isotope

## 表 10 矿床铅源区参数对比

Table 10 Contrast of Parameter of lead source

参 <b>数</b> 环境	<b>ά</b> μ	κ	ω	资料来源
上部地壳	12. 29	3. 42	41.8	Doe, Zartman 1979 <sup>(9)</sup>
下部地壳	5. 89	5. 98	35. 2	Doe Zartman 1979 <sup>(9)</sup>
造山带	10.87	3. 64		Doe, Zartman 1979 <sup>(9)</sup>
地 幔	8. 92	3. 57	31.8	Doe, Zartman 1979 <sup>(9)</sup>
底苏矿床	9. 56	4. 12	40.76	本文

## 5.3 氢氧同位素

选择矿床热液改造主成矿阶段与闪锌矿共生之 1 件石英在宜昌地矿所做了氧及包体氢同位素分析。石英  $\delta^{18}$ O 值为 17.02‰,包体水氢同位素  $\delta D_{\text{H}_2\text{O}}$ 为-96.3‰,应用张理刚(1985)石英 -水氧同位素平衡交换经验方程:1000ln $\alpha_{\text{A}\cancel{e}\cdot \text{A}}$ =3.42×10 $^6$ T<sup>-2</sup>-2.86,取热液改造主成矿阶段 温度为 180 C,即可计算出包体水  $\delta^{18}$ O<sub>H2</sub>0为 3.19‰。将  $\delta^{18}$ O<sub>H2</sub>0及  $\delta D_{\text{H}_2\text{O}}$ 投入  $\delta^{18}$ O- $\delta D$  坐标图中,

结合区域同类矿床同位素研究结果,可以认为改造热液属大气降水含矿热液[10]。

## 6 结论

- (1)矿区外围地层岩石中的成矿元素因活化转移而使其含量降低,地层可能为矿床提供成矿物质来源。
- (2)矿石与地层岩石在稀土元素、同位素特征上表现出明显的相似性,反映成矿与地层有着密切的联系。
- (3)改造热液可能属大气降水成矿溶液,其地球化学特征与沉积型或层控型矿床成矿热液相似。

本文是四川地矿局"八五"科研项目的部分研究成果。研究工作中自始至终得到了导师栾世伟教授的悉心指导。野外工作中得到攀西地质大队曾忻耕高工、马关兴工程师、仁恒工程师大力支持和帮助。作者在此深表谢意。

## 参考文献

- 1 地质矿产部成都地质矿产研究所,西昌一滇中地区主要矿产成矿规律及找矿方向,重庆出版社,1988
- 2 叶庆桐,闪锌矿的化学成分及其地质意义,中国地质科学院矿床地质研究所所刊,1985,5(2):27~43
- 3 张乾.利用方铅矿、闪锌矿的微量元素图解法区分铅锌矿床的成因类型.地质地球化学,1987,163(9):64~66
- 4 王中刚,等.稀土元素地球化学.北京:科学出版社,1989
- 5 Moller P, etc. The Origin of the Ore—Bearing Solution in the Pb—Zn Vein of the western Harz, Germany: As Deduced. from Rare—Earth Element and Isotope Distributions in Calcites: Chemical Geology, 1979, 26:197~215
- 6 卢焕章,等.包裹体地球化学.北京:地质出版社,1990
- 7 程伟基,等. 热液系统的物理化学性质和硫同位素演化. 地质与勘探,1983,9(3);21~29。
- 8 宜昌地质矿产研究所、铅同位素地质研究的基本问题、北京:地质出版社,1979
- 9 Doe B R and Zartman R E. plumbotectonics, the phanerozoic, In: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, 1979
- 10 朱赖民,等.底苏大梁子铅锌矿床同位素地质特征及成矿物质来源探讨.矿物岩石,1995,15(1):72~79

# GEOCHEMISTRY OF SEDIMENTARY—TRANSFORMED STRATABOUND DEPOSIT OF DISHU SICHUAN PROVINCE

Zhu Laimin Yuan Haihua (Chengdu Institute of Technology)

#### Abstract

Based on the geochemical research of trace elements, REE, geochemical features of mineralizing fluid and stable isotope in Dishu Pb—Zn cleposit, the genesis of the deposit is studied first in this paper.