

# 化学地层划分在区域地质调查中的应用

石 和 王玉兰  
(成都理工学院)

[内容提要] 利用岩层中的地球化学差异对地层进行划分是地层学的研究方法之一。本文利用在区调工作中获得的较为系统的岩石光谱半定量全分析数据,采用有序样品最优分割法和对分移动窗口法,对新疆温都哈拉一带的古生代地层进行了化学地层划分,并与野外根据宏观岩性特征划分的岩石地层单位进行了比较。

关键词 新疆 温都哈拉 古生界 化学地层划分 最优分割法 对分移动窗口法

## 1 区域地质概况

温都哈拉位于新疆准噶尔盆地北东缘的乌伦古河中游,南距乌鲁木齐约392km,北距富蕴县城约83km,乌鲁木齐经卡姆斯特至富蕴县城的216国道从温都哈拉东侧通过,交通较为方便(图1)。在大地构造上,调查区位于准噶尔板块与西伯利亚板块的碰撞带上,除第四系及上新统昌吉河组外,主要发育奥陶系至二叠系地层,包括11个岩石地层单位,其中北塔山组分为上、下两段,并根据岩性各自分为两层:下段安山岩层( $D_2b'a$ )、硅质岩-杂砂岩层( $D_2b'sg$ );上段玄武安山岩层( $D_2b^2\beta a$ )、杂砂岩层( $D_2b^2g$ )。萨热铁热克杂砂岩( $OSsg$ )和阿克依特火山岩( $OSav$ )是区内两个非正式岩石地层单位。蕴都拉组上段( $Dy^3$ )在区内跨中、上泥盆统界线。区内古生界各岩石地层单位主要特征见表1。由于处于特殊的大地构造位置上,区内古生代地层强烈褶皱变形、断裂发育,以发育火山岩及火山碎屑岩为特征,岩性岩相变化大,并被各类侵入岩脉、岩体穿插侵蚀,地质构造较为复杂。

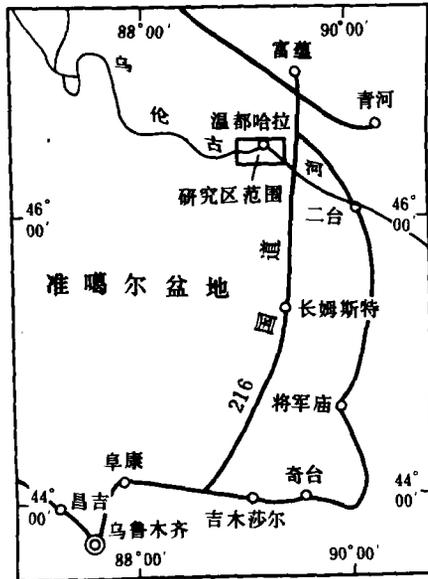


图1 研究区位置图  
Fig.1 Location map of the study area

① 本文1997年12月20日收修改稿。  
② 本文为1997年地层古生物学术研讨会论文。

表1 岩石地层单元及主要特征简表  
Table 1 Lithostratigraphic units and their characteristics

系	统	岩石地层单元及代号	岩性	化石及同位素年龄	
二叠系	上统	扎河坝组	P <sub>2z</sub> <sup>2</sup>	玄武岩夹玄武集块岩、流纹质凝灰岩、岩屑砂岩、砾岩	
			P <sub>2z</sub> <sup>1</sup>	岩屑砂岩夹泥质粉砂岩、碳质页岩、煤线	<i>calamites</i> sp.
	下统	三塘湖组	P <sub>1s</sub> <sup>7</sup>	斑状流纹岩夹沉凝灰岩	<i>Paracalamites</i> cf. <i>stenoco</i> status, <i>Cordaites</i> cf. <i>schenki</i> 287Ma/U-Pb
			P <sub>1s</sub> <sup>6</sup>	斑状玄武岩	
			P <sub>1s</sub> <sup>5</sup>	流纹岩夹石泡流纹岩	
			P <sub>1s</sub> <sup>4</sup>	斑状玄武岩夹杏仁状玄武岩、块状玄武岩	
			P <sub>1s</sub> <sup>3</sup>	流纹岩、流纹状流纹岩、斑状流纹岩夹流纹质火山岩碎屑岩、玄武岩	
P <sub>1s</sub> <sup>2</sup>	玄武岩、杏仁状玄武岩、斑状玄武岩				
P <sub>1s</sub> <sup>1</sup>	流纹质火山角砾岩夹凝灰岩、霏细岩、流纹岩				
石炭系	下统	姜巴斯套组	C <sub>1j</sub>	岩屑长石杂砂岩、粉砂岩、泥岩互层, 夹煤线	<i>Sublepidodendron</i> sp., <i>Calamites</i> sp., <i>Cordaites</i> sp.
		黑山头组	C <sub>1h</sub>	泥质粉砂岩、粉砂岩夹凝灰质砂岩、生物碎屑灰岩	<i>Fusella shaoyangensis</i> , <i>Spirifer subgrandis</i> , <i>Plicochonetes sinkiangensis</i>
泥盆系	上统	江孜尔库都克组	D <sub>3j</sub> <sup>2</sup>	凝灰岩、晶屑岩屑凝灰岩、(熔结)角砾凝灰岩、(熔结)凝灰角砾岩夹英安岩、安山岩、玄武岩	
			D <sub>3j</sub> <sup>1</sup>	安山岩、玄武安山岩、英安岩及其火山碎屑岩	
	卡希翁组	D <sub>3k</sub> <sup>4</sup>	泥岩夹粉砂质泥岩、(含砾)凝灰质杂砂岩、泥质灰岩透镜体	<i>Prelepidodendron baytikense</i> , <i>P.</i> cf. <i>kazachstanicum</i> , <i>Lepidodendropsis triticea</i> , <i>L. theodori</i> , <i>L. cf. hemeri</i> , <i>L. cf. rhombica</i> , <i>Lepidostrobus</i> sp.	
		D <sub>3k</sub> <sup>3</sup>	(斑状或杏仁状)玄武安山岩夹砂岩、粉砂岩、凝灰质角砾岩、凝灰岩		
		D <sub>3k</sub> <sup>2</sup>	泥质砂岩、泥质粉砂岩互层, 夹杂砂岩、页岩、灰岩透镜体	<i>Michelinoceras?</i> <i>subulatum</i> , <i>M. cf. pelops</i> , <i>Spyroceras</i> sp.	
		D <sub>3k</sub> <sup>1</sup>	凝灰质长石质砂岩与泥质砂岩、粉砂岩互层, 夹砾岩、凝灰质角砾岩、凝灰岩等	<i>Paracylas</i> cf. <i>curviusleata</i> , <i>Sanguinolites</i> sp.	
	中统	蕴都喀拉组	D <sub>2y</sub> <sup>2</sup>	凝灰质砾岩、含砾砂岩、凝灰质(长石质)砂岩、粉砂岩	
			D <sub>2y</sub> <sup>1</sup>	泥质粉砂岩、粉砂质泥岩互层, 夹凝灰质(长石质)砂岩、凝灰岩砾岩、玄武岩	
		北塔山组	D <sub>2b</sub> <sup>2g</sup>	凝灰杂砂岩、长石粉砂岩、安山质(凝灰)角砾岩夹玄武安山岩、安山岩、角砾熔岩等	
			D <sub>2b</sub> <sup>2βa</sup>	玄武安山岩夹凝灰角砾岩、玄武粗安岩、角砾熔岩、杂砂岩、泥晶灰岩等	
D <sub>2b</sub> <sup>1sg</sup>			杂砂岩、硅质岩、硅质粉砂岩、凝灰岩、凝灰角砾岩夹安山岩、安山质火山角砾岩		
D <sub>2b</sub> <sup>1a</sup>			以角闪安山岩为主, 其次有粉砂岩、砂岩、凝灰岩、凝灰角砾岩、集块熔岩、安山岩等		
下统	托让格库都克组	D <sub>1t</sub>	富钙质的长石石英砂岩、凝灰质砂岩、粉砂岩、结晶灰岩、页岩、凝灰岩, 中部多安山岩、玄武岩	<i>Leptaenopyxis intermedia</i> , <i>Lep- taenasitic</i> , <i>Leptostrophia heitaiensis</i> , <i>Gladiostrophia kondoi</i> , <i>Tus- taria aermantaiensis</i> , <i>Paraspirifer</i> sp. 等及 <i>Thumnopora xinjiangensis</i> , <i>Favosites tianshanensis</i> , <i>Squamofavosites acutulospinus</i> , <i>Pseudofavosites rarus</i> 等	
奥陶系—志留系	阿克依特火山岩	OSav <sup>4</sup>	安山岩、粗安岩、夹凝灰岩、凝灰砂岩、凝灰角砾岩、渣状熔岩、英安岩		
		OSav <sup>3</sup>	辉石安山岩、凝灰角砾岩, 夹凝灰砂岩、粉砂岩、英安岩、硅质岩		
		OSav <sup>2</sup>	玄武安山岩、安山岩、凝灰角砾岩夹凝灰砂岩、角砾凝灰岩、沉凝灰岩等		
		OSav <sup>1</sup>	角砾凝灰岩、凝灰角砾岩、角砾熔岩夹安山岩、沉凝灰岩等		
	萨热铁热克杂砂岩	OSsg	(沉)凝灰质长石质岩屑杂砂~粉砂岩、粉砂质沉凝灰岩或页岩呈韵律互层		

## 2 化学地层划分方法

根据地层中化学元素变化规律对地层进行划分是地层学研究的方法之一。本文利用区域地质调查中获得的较为系统的岩石光谱半定量全分析数据,采用了两种常用的定量地层划分的数学方法<sup>[3,4,5]</sup>:有序样品的最优分割法和对分移动窗口法,对区内古生代地层进行了化学地层划分的尝试。

### 2.1 最优分割法

该方法是对有序样品进行聚类分析,根据给定的分段数 $K$ ,将样品顺序划分成 $K$ 段。对给定的分段数,分段方案很多,而其中最佳的方案为所有段的段内样品差异最小,而段间区别最大。具体的做法是对样品 $i$ 到样品 $j$ 的第 $k$ 段求其段内离差平方和 $D_k(i, j)$ ,并求其总和 $D$ ,使 $D$ 达到最小。即求:

$$D_k(i, j) = \sum_{l=i}^j (X_l - \bar{X})(X_l - \bar{X})'$$

$$D = \sum_{k=1}^K D_k(i, j)$$

在 $D$ 最小的意义下寻找最佳分割点。在地层划分中,划分出的每一段地层都标志着一个相对连续的沉积过程,段内的成分变化比较小,因此最优分割法中的最佳分割点一般与地质界线相对应。

此方法的特点是在分割时考虑整段样品的总体变化,较适用于对岩石地球化学特征变化较小的地层进行划分。

### 2.2 对分移动窗口法

该方法是根据分界点两侧样品之间的“距离”大小来划分地层。这里的“距离”是对样品或样品组之间差异程度的一种数学表示,本文选用马氏距离来计算样品组之间差异。具体计算为用全部样品确定样品协方差阵 $V$ ,在有序样品 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 中顺序取 $2P$ 个样品,该 $2P$ 称为移动窗口。计算窗口两部分间的马氏距离 $D = (X_u - X_v)V^{-1}(X_u - X_v)'$ ,顺次移动窗口,便可得到一条距离曲线。根据距离曲线上局部最大值位置(即有序样品元素含量局部差异最大处)就可对地层进行划分。

该方法的特点是对地层的局部变化比较敏感,局部距离最大值与取样位置关系密切。

## 3 化学地层划分结果及其解释

利用上述两种方法对区内古生代地层进行了划分。

由于区内下石炭统黑山头组( $C_1h$ )仅在断层夹片中局部出露,没有剖面控制,下石炭统姜巴斯套组( $C_1j$ )也仅出露其顶部,因此,从地层的相对连续性考虑,在化学地层划分中将区内的古生代地层分成两部分处理:(1)奥陶系至泥盆系( $O-D$ );(2)石炭系(仅姜巴斯套组顶部)至二叠系( $C-P$ )。在野外地层剖面测制中,此两部分地层中共采有482个岩石光谱样品,一般按50m的间距采集,但视地层的出露情况及岩性变化的频度而有适当的放宽或加密,其中奥陶系至泥盆系部分采样370个,石炭系至二叠系部分为112个。此外,下二叠统三塘湖组( $P_3s$ )以角度不整合覆盖于姜巴斯套组( $C_1j$ )之上,其第一段( $P_3^1$ )在野外剖面上没有分布,因而没对这部分地层进行研究。用于化学地层划分的化学元素为Ba、Ca、Co、Cr、Cu、

Fe、Ga、Mn、Mg、Ni、Ti、V、Zr 共13个,主要考虑化学元素之间的相关关系密切程度以及它们在岩石光谱半定量分析数据表中出现率较高。另外为便于用数学方法进行分析,对光谱分析表中出现的不确切元素含量 $n$ 作了相应的处理:若为 $<n$ ,则取 $n/2$ ;若为 $\leq n$ ,则取 $3n/4$ ;若为 $\geq n$ ,则取 $n+n/2$ ;若为 $\geq n$ ,则取 $n+n/4$ 。

### 3.1 奥陶系至泥盆系(O-D)部分的化学地层划分

对此部分地层采用分段数为13的最优分割法(共获得16个最优分割点),及采用 $P=3$ 的对分移动窗口法进行地层划分的结果如图2所示。部分分割点与对分移动窗口法的局部最大值的对应关系及与实际情况对比分析如下。

(1)a号分割点,位于第299号和300号样品之间,与野外划分的江孜尔库都克组上段( $D_3j^2$ )与下段( $D_3j^1$ )界线完全吻合。b号分割点出现在两岩段界线下10m处。另外,在此界线附近对分窗口移动法也出现局部最大值。

(2)d号分割点,位于第276号和277号样品之间,即野外划分的岩石地层单位卡希翁组( $D_3k$ )和江孜尔库都克组( $D_3j$ )界线之下约30m,然而在此界线上,对分移动窗口法却取得了一个马氏距离局部最大值。

(3)f号分割点,位于第257号和258号样品之间,仅高出实际的蕴都喀拉组( $D_2y$ )和卡希翁组( $D_3k$ )界线约5m,对分窗口移动法在样品257号附近取得一马氏距离最大值,也仅低于上述两组实际界线约7m。综合考虑两种化学地层划分方法的结果,蕴都喀拉组( $D_2y$ )和卡希翁组( $D_3k$ )界线的划分是适宜的。

(4)在托让格库都克组( $D_1t$ )和阿克依特火山岩( $OSav$ )界线之上约47m第136号样品(结晶灰岩)处,对分窗口移动法获得一马氏距离局部最大值,似乎应将此界线上移47m,至结晶灰岩开始出现处更为合适。

(5)在野外剖面上,萨热铁热克杂砂岩( $OSsg$ )主要是一套安山质的岩屑杂砂岩、沉凝灰岩及粉砂岩、页岩,在化学成分上与上覆的阿克依特火山岩一段( $OSav^1$ )安山岩成分相近。而两者界线之上54m处的第20号(安山质角砾凝灰岩)和21号(砂岩、粉砂岩)样品之间对分窗口移动法获得的马氏距离局部最大值,似乎标志着二者之间化学成分差异更大,但从岩类上来看,原野外划分的两岩石地层单位的界线更为合理。

(6)蕴都喀拉组( $D_2y$ )和北塔山组( $D_2b$ )的界线低于g号最优分割点和对分窗口移动法获得局部最大值约140m。这是因为在北塔山组上部为杂砂岩层( $D_2b^2g$ ),岩性以安山质凝灰杂砂岩为主。其顶部为不显层理、近原地堆积的安山质细角砾岩,而上覆的蕴都喀拉组( $D_2y$ )主要为一套正常碎屑岩;其底部是一套安山质细砂岩夹安山凝灰质细砂岩、粉砂岩,发育水平层理、纱纹层理、交错层理等,属经较长距离搬运后的沉积。上述两岩石地层单位界线附近的物质成分、化学成分并无明显的差别,地层界线的划分在野外主要考虑岩石结构上的变化。g号最优分割点和其附近获得的马氏距离局部最大值的产生可能是由于第237号和238号样品都是采自安山玄武岩夹层,使得此处的地球化学特征与周围正常沉积岩化学成分有所差异所致。

(7)北塔山组( $D_2b$ )与托让格库都克组( $D_1t$ )的界线高于第170号和171号之间的k号最优分割点约117m,这可能是因为剖面上两组之间是由规模较大的断层分割,并引起岩浆活动造成。

### 3.2 石炭系至二叠系(C-P)部分的化学地层划分

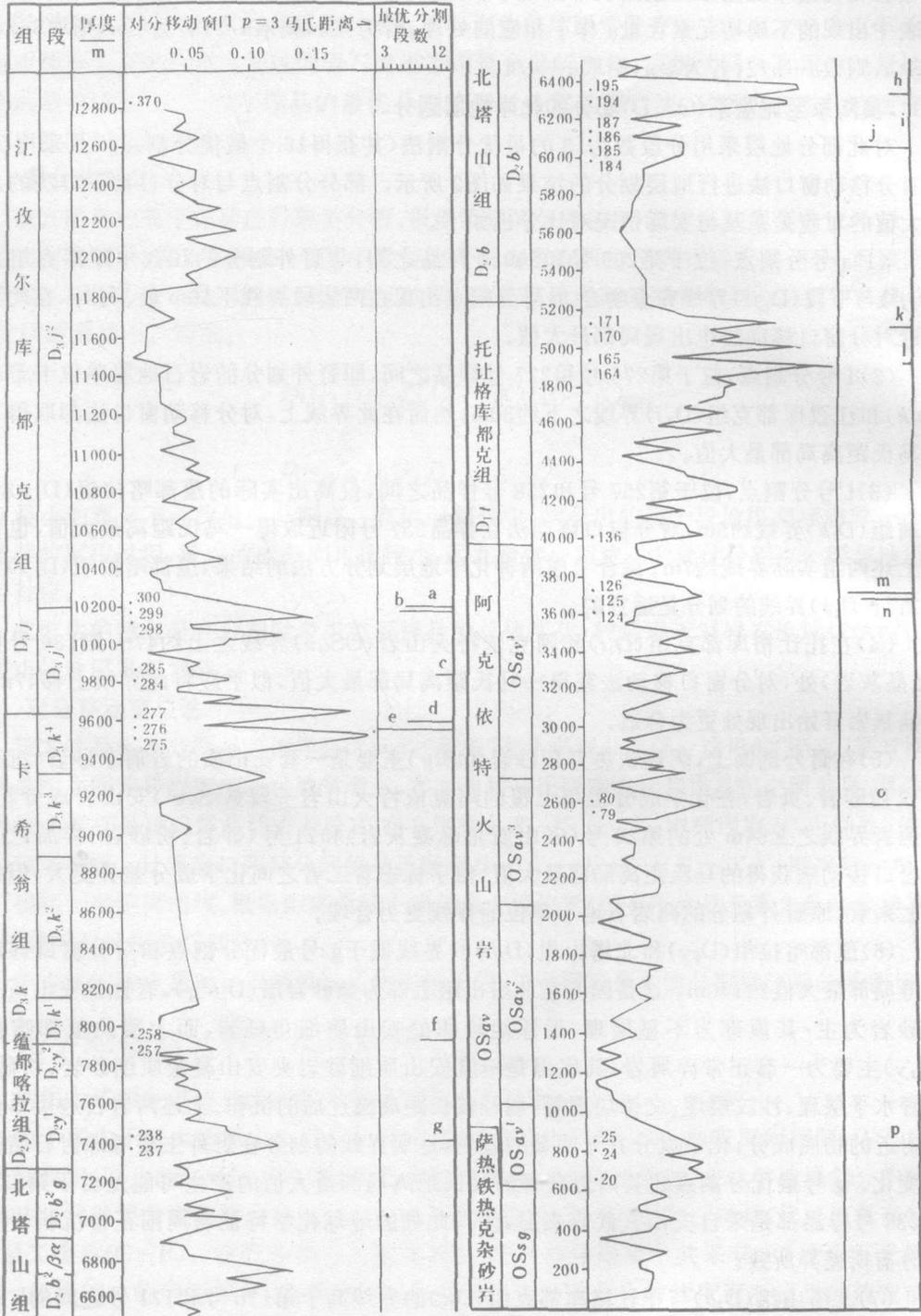


图2 奥陶-泥盆系化学地层划分图

Fig. 2 Chemostratigraphic division of the Ordovician-Devonian strata in the study area

对此部分地层采用分段数为9的最优分割法(共获得8个最优分割点)及采用 $P=3$ 的对分移动窗口法,进行地层划分的结果如图3所示。部分分割点与对分移动窗口法的局部最大值的对应关系及与实际情况对比分析如下。

(1)a号分割点高于三塘湖组( $P_1s$ )和扎河坝组( $P_2z$ )之间的界线约36m,在此界线之下约15m处对分移动窗口法获得一局部最大值。综合考虑两种化学地层划分结果,两组界线划分是合理的。

(2)b号分割点位于第91号和92号样品之间,与三塘湖组3、4段的界线完全吻合,且有一对分移动窗口法的局部最大值与之对应。

(3)e号分割点位于第52号和53号样品之间,对分移动窗口法在第53号和54号样品之间有一局部最大值。两种化学地层划分法的结果分别高于野外划分的二、三段界线28m和43m。造成化学地层划分界线偏高的原因可能是野外原划归三塘湖组三段( $P_1s^3$ )流纹岩的底部为来源于三塘湖组二段( $P_1s^2$ )玄武岩的含玄武质砾石的粗砂岩组成,代表二段( $P_1s^2$ )玄武岩喷发之后和三段( $P_1s^3$ )流纹岩喷发之前的一个岩浆活动间歇期,第52号样品取自该层位,考虑到地球化学特征的相近,把此可划上可划下的两种岩浆活动的间歇期的层位划归第二段( $P_1s^2$ )顶部应更为合理。

(4)h号分割点位于第3号和4号样品之间,低于实际的姜巴斯套组和三塘湖组界线约40m,但在第4号和5号样品之间获得一局部最大值,低于界线约18m,造成这样的界线划分的差异,可能由于在界线附近有较强的花岗质岩浆后期活动所致。

## 4 几点体会

综合上述化学地层划分结果,以及与野外根据岩石学宏观特征划分的填图单位对比,有以下初步体会:

(1)用有序样品的最优分割方法对地层进行划分主要考虑地层中地球化学特征的整体变化,而对分移动窗口法则反映局部地球化学特征,两种方法相结合,具有较好的效果。

(2)地层的地球化学性质与地层的岩性密切相关,一般说来,化学地层划分的界线应与野外岩石地层单位的界线吻合。从上述两种化学地层划分方法的计算结果来看,大多数组级地层单位间的界线上或其附近都有最优分割点或马氏距离局部最大值与之对应,说明本区岩石地层组级单位的界线是基本适宜的,或能根据化学地层划分结果判断或优化岩石地层单位界线。

(3)化学地层划分方法的部分计算结果与野外实际的岩石地层单位界线有一定出入,是由诸多因素造成的,如断层或掩盖较多造成剖面的不连续、海相火山岩地层岩性岩相变化频繁、野外的岩石地层单位划分是根据岩性综合特征而不仅局限于地球化学性质的变化、岩层中的地球化学特征受后期岩浆活动及变质作用的影响,以及岩石光谱半定量全分析数据的准确度等。

因此,岩石地层单位的最终确定应以野外岩石综合特征作为主要划分依据,但可应用化学地层划分方法等其它方法加以判断、优化。

参加野外工作的还有成都理工学院石绍清、茅燕石、邓江红、王道永等同志,岩石光谱半定量分析由成都理工学院测试中心邓春林、周世栋承担,陈源仁教授对本文提供了宝贵的修改意见,在此一并深表谢意!

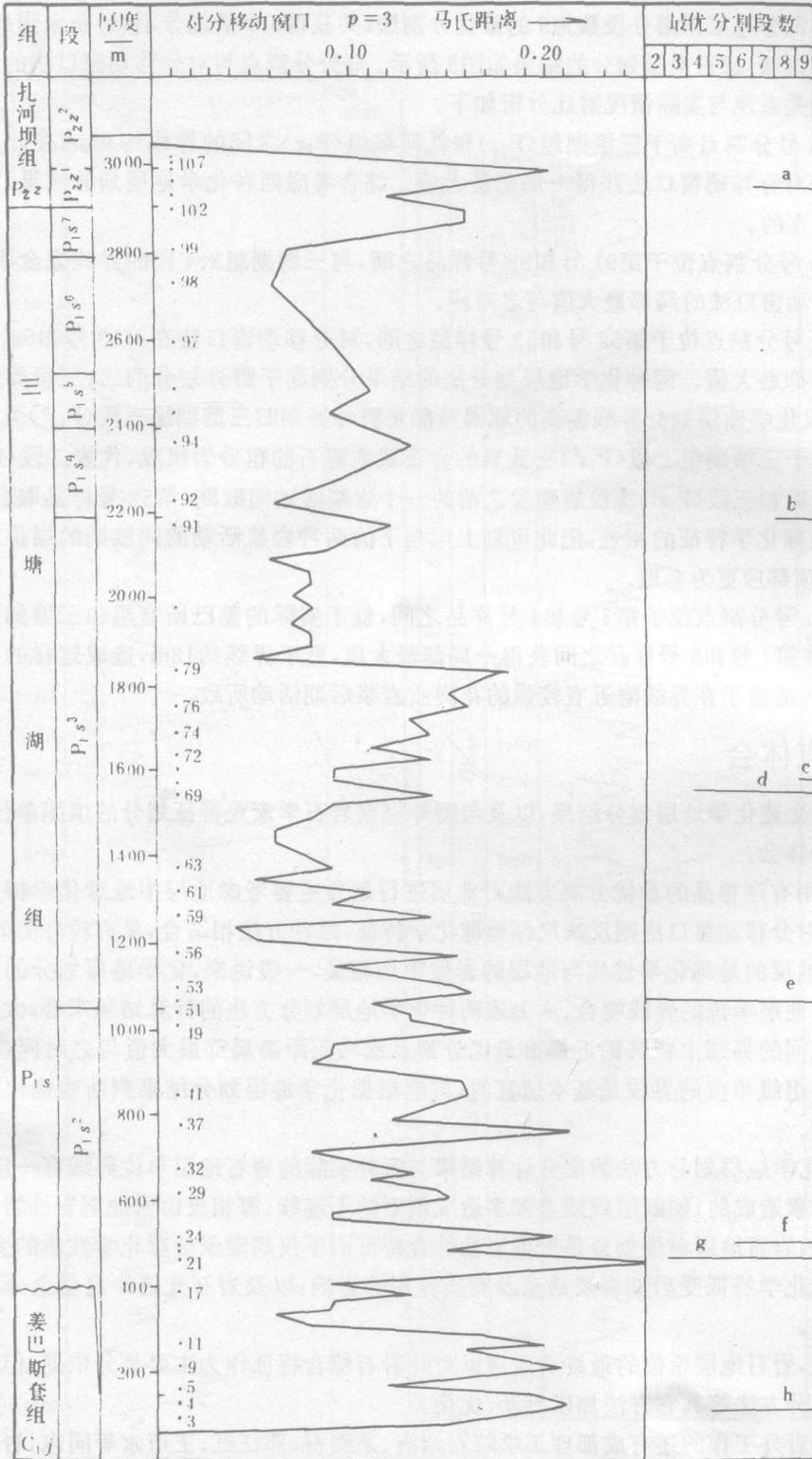


图3 石炭系—二叠系化学地层划分图

Fig. 3 Chemostratigraphic division of the Carboniferous—Permian strata in the study area

### 参 考 文 献

- 1 石和. 新疆温迪尔喀拉上泥盆统地层划分对比. 成都理工学院学报, 1995, 22(4): 60—65
- 2 新疆地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1993
- 3 於崇文. 数学地质的方法与应用. 北京: 冶金工业出版社, 1980
- 4 赵鹏大. 矿床统计预测. 北京: 地质出版社, 1983
- 5 湖南省地质矿产局区调队. 湖南省石门县杨家坪上寒武系剖面研究. 长沙: 湖南地质, 1984, 3(4): 1—96

## Chemostratigraphic division in regional geological survey

Shi He Wang Yulan

*Chengdu University of Technology*

### ABSTRACT

It is one of the stratigraphical methods using the geochemical differences in strata for stratigraphic division. In the present paper, the Palaeozoic strata in the Wenduhala region, Xinjiang are chemostratigraphically divided based on the systematic data of spectral semi-quantitative analysis obtained from the regional geological survey by means of the optimal partitioning method and the half moving window method for the ordered sample analysis. The results of the chemostratigraphic division are comparable with those of the lithostratigraphic division based on the macrolithologic characteristics.

**Key words:** Xinjiang, Wenduhala, Palaeozoic, chemostratigraphic division, optimal partitioning method, half moving window method