

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

湖南长沙岳麓山上泥盆統岳麓 砂岩組的香腸构造

刘 如 琦

香腸构造 (Boudinage structure, Boudin 意即香腸) 这一术语, 是比利时人 M. 劳海斯特^[6]于 1909 年所创, 当时系指比利时之巴斯托奈 (Bastogne, Belgium) 地区夹于頁岩中的石英砂岩的一种现象, 其特点是: 石英砂岩被切成一节节的块段, 每个块段的横切面都是中間厚, 两端稍薄, 形若酒桶状 (Barrel-shaped), 从岩层面上看, 又如无数的圆柱体或香腸排列着。其后, 很多学者在不同地区均发现与此相似的现象, 特別在变质岩分布区更为常见, 其形态的种类也很多, 而限于酒桶状的一种, 不同的形态似乎表明不同的变形阶段, 有时其間也有比較明显的转变关系, 对这些现象的描述, 大多采用了劳海斯特的术语, 也有人称之为构造透鏡体^[13]。湖南长沙岳麓山的上泥盆統岳麓砂岩組中, 石英砂岩的层內折断现象相当普遍, 在本組下部的一部分石英砂岩中, 还发育着比較显著而典型的香腸构造, 这一部分岩石的成层特点是石英砂岩夹有灰白色頁岩。

在目前, 比較流行的論点, 认为香腸构造是强硬层 (如石灰岩、石英岩、砂岩和一些脉岩等) 受相邻的軟弱层 (各种泥質岩石) 柔性变形的影响, 或直接受拉伸, 导致其内部的张应力使其产生引张的结果。但因軟弱层柔性变形的原因不一, 故香腸构造在成因上有原生与次生的区别。近来, 有不少学者注意到并記述了一些沉积岩分布地区属于原生成因的香腸构造。按照 R. 麦克魯山^[7]、N. 紐威尔^[9]、M. 納兰德和 Ph. 貴宁^[8]等人的意見, 在这种情况下, 强硬层的被拉伸和被分开, 与包围它的軟弱层在成岩过程中的紧縮作用和差异負荷下层內物質流动有关, 这种成因的块段, 一般都不很規則, 排列也比較凌乱, 并与其他原生构造伴生。香腸构造的次生成因, 与构造力的作用和岩石处于变质条件下进一步发生物質流动有关, 根据对本区岳麓砂岩組的香腸构造的研究, 初步认为, 本区的这种构造是在褶曲形成过程中产生的, 是褶皱作用的结果。

一、岳麓砂岩組概述

岳麓山地区的岩层, 主要为上泥盆統余田桥組和岳麓砂岩組 (图 1), 前者系由一套黄綠色和灰白色的頁岩和深色泥質灰岩組成, 总厚度約达百余米; 后者分布較为广泛, 自上而下分为^[2]:

- | | |
|--|-------|
| 6. 砂岩夹頁岩 | 150 米 |
| 5. 杂色頁岩和砂質頁岩, 中夹薄层砂岩 | 150 米 |
| 4. 浅黃色砂岩夹砂質頁岩及硬質粘土頁岩, 并有厚达数十厘米的豆状赤鉄矿 | 80 米 |
| 3. 黑色炭質頁岩 | 20 米 |
| 2. 白色厚层石英砂岩, 中夹薄层砂質頁岩, 并有数层层間礫岩, 頂部有一层鋪状 | |

赤铁矿

1. 石英砂岩与灰白色頁岩、砂质頁岩的互层

200 米

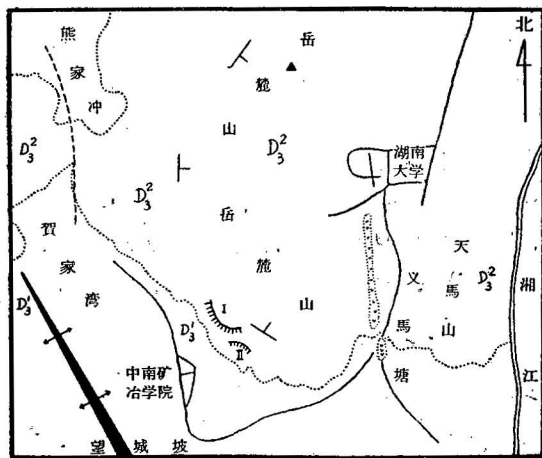
100 米 $\pm$ 

图 1 湖南长沙岳麓山地質略图(比例 1:50,000)

1. 公路; 2. 上采石場(I)和下采石場(II); 3. 地質界綫;
4. 推测的断层綫; 5. 背斜軸; 6. 石英斑岩。

D_3^1 . 上泥盆統余田桥組 D_3^2 . 上泥盆統岳麓砂岩組

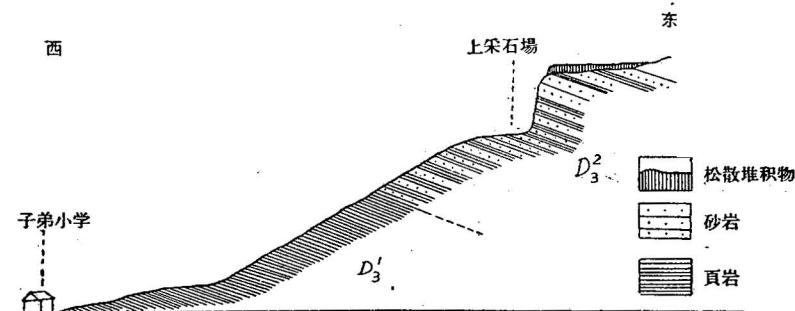


图 2 矿院子弟小学至上采石場示意剖面图

D_3^1 . 上泥盆統余田桥組 D_3^2 . 上泥盆統岳麓砂岩組
(岩性說明見正文)

香肠构造发现于中南矿冶学院东面采石場石英砂岩与灰白色頁岩、砂质頁岩的互层中(图 1 及图 2)。該层岩性自下而上为:

(1) 浅黄浅灰的砂质頁岩, 夹有薄层砂岩。砂岩約占 10—15%, 裂隙密集, 褐鉄矿充填其中, 在岩层面上呈网络状脊。

(2) 灰白色頁岩砂质頁岩与石英砂岩互层。石英砂岩約占 45—50%, 单层厚度 4—8 厘米, 个别达 10 厘米以上。

(3) 石英砂岩夹灰白色頁岩。前者約占 70—75%, 单层厚度从小于 1 厘米到大于 1 米不等。香肠构造则发育于这一部分。

(4) 石英砂岩夹有极少的頁岩和砂质頁岩。

二、香肠构造描述

(一) 形 态

按块段的横切面(即 ac 切面)¹⁾的形态划分,有矩状、不规则状和透镜状三种。矩状和不规则状两者比较近似,并且有明显的转变关系,所以放在一起叙述。

矩状块段和不规则状块段:块段横切面大致呈矩状,典型的矩状块段,中部和两端的厚度相等,具有尖锐的或稍圆滑的稜(图 3 A、B),与 H. 兰伯格^[10]曾描述的矩状块段(Rectangular boudin)相似。不规则状块段的轮廓也近于矩状,其所以称做不规则状,系与矩状块段比较而言,表现有二:其一是中部厚,向两端有些变薄,稜很明显(图 3 C);其二是

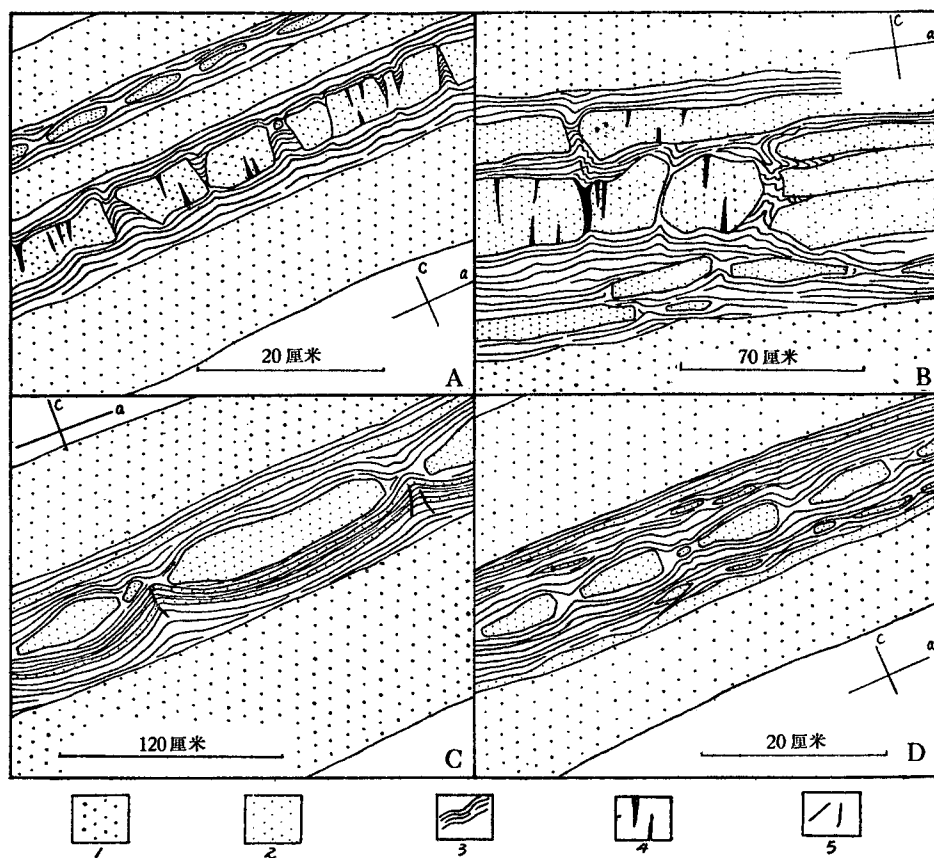


图 3 矩状块段和不规则状块段断面素描图

A, B. 矩状块段 C, D. 不规则状块段

1. 较厚层的石英砂岩。 2. 发育着香肠构造的石英砂岩。

3. 灰白色条带页岩。 4. 石英脉。 5. 裂隙线。

a. 岩层面倾斜线。 c. 岩层面法线。

1) 对构造面上 a 、 b 、 c 三轴的定義系按照桑德爾。

偏于一端較厚,在两端或只在較薄的一端有明显的稜,厚端常指向岩层面傾斜綫的揚起方向(图 3D)。矩状块段和不規則状块段常在同一层位出現。

透鏡状块段: 块段橫切面具一般的透鏡体的形状(图 4), 大部分典型的透鏡状块段的厚度都較小,約在 8 厘米以下,在同一层位中常与肿縮构造伴生。

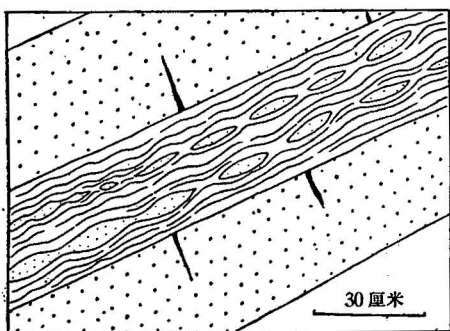


图 4 透鏡状块段和肿縮构造断面素描图
(图例見图 3)

由于石英砂岩的厚度不同, 所以不同层位的块段的厚度也有些差別。一般在 30 厘米以下, 1 厘米以上者居絕大多数, 厚达 70 厘米以上及薄于 1 厘米以下者均很少。块段橫切面长度(即沿 a 軸所測长度)的变化似乎比厚度的变化大, 但随厚度的增大而增大。根据一部分不同层位的块段統計, 两者比值为 3.7—5 (表 1)。

表 1

統計号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
厚度(厘米)	73	23	20	18	11	4	2	2.8	11	7
橫切面长度(厘米)	270	110	101	91	42	9	8	10	46	31
比值(长/厚)	3.7	4.8	5	5	3.8	2.2	4	3.6	4.2	4.4

块段最长軸的延伸方向很稳定, 約为北西 295° —南东 115° 。与岩层面的走向(岩层面的 b 軸方向)大致平行, 与本区向北西傾伏的主褶曲的褶軸斜交, 交角很小, 是本区主要的綫状构造(图 1, 图 5)。根据一些被剥下来的块段推测, 最长軸的长度至少为块段橫切面长度的三倍以上。

块段表面也有不同程度的变形, 除一部分矩状块段的表面尚能保持岩层面的原始特征, 大多数表面上都呈波状起伏。甚而有些块段, 其表面自中部就开始变弯, 靠頁岩較厚的一个面的弯曲較大(图 6)。

块段上分布着石英脉, 脉呈楔形, 自上下两面延向中央(图 3A、B), 其走向均与岩层面走向平行。

各层位块段的排列, 基本上呈規則的直綫型, 仅一小部分块段有不太显著的旋轉現象。块段間距(在橫切面上为同层位相邻

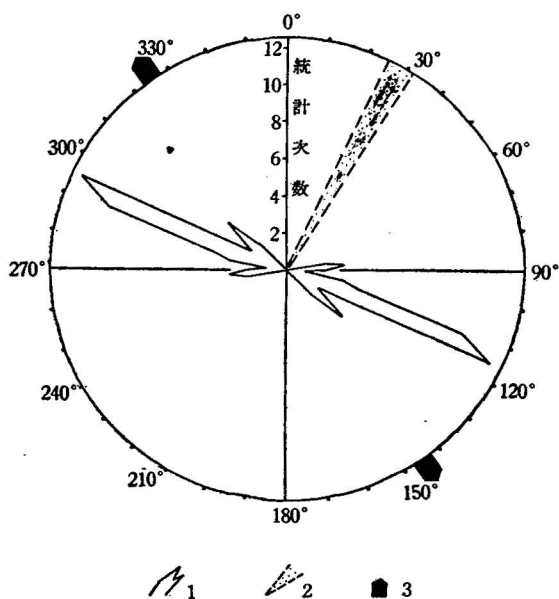


图 5 香腸构造的块段最长軸(b)玫瑰图
(統計次数: 45 次)

1. 块段最长軸(b); 2. 子弟小学至上采石場岩层面傾向变化范围; 3. 背斜軸向。

块段间的距离,实际上则为一个空间)从一厘米到数十厘米不等,约相当于块段横切面长度的1/10—1/50。同一层位的块段间距相差不大。矩状块段和不规则状块段,具有较小的间距,并以前者的更小,甚或为一条石英脉所隔开(见图3B)。透镜状块段的间距最大,个别的超过块段的横切面长度。间距的大小,与块段上下頁岩的厚度有关,頁岩越厚,块段间距越大。矩状块段两个壁很完整,其间距有时构成楔形,与石英脉的形态颇相似,其中为頁岩或部分为石英脉充填。

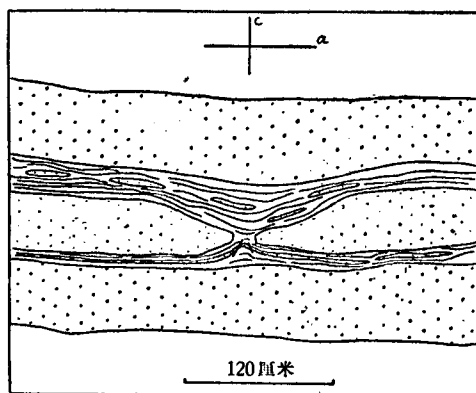


图6 块段表面的弯曲与相邻的灰白色頁岩的厚度的关系
断面素描图(图例见图3)

(二) 灰 白 色 頁 岩

此頁岩和香肠构造的发育有密切的关系,而在砂质頁岩与石英砂岩互层地段,由于两者的性质比较相近,变形程度几乎没有什么差别。石英砂岩本身,仅发育到张裂隙的程度,其他变形现象则不明显。香肠构造则发育于夹有灰白色頁岩的石英砂岩中,在这些地段,两种岩石都受到强烈的变形。

根据这种构造发育较好表现清楚的层位的统计材料(表2),这两种岩石的厚度比值(石英砂岩/灰白色頁岩)很不一致。若从形态上区分,一般以矩状和不规则状两种块段的分布层位,比值较大,在透镜状块段比较集中的地段,比值较小。从表2中也可以看出,当比值达到3.5(即石英砂岩等于其上下的灰白色頁岩厚度3.5倍)时,尚能发育此种构造。

表 2

观 测 点	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
石英砂岩厚度(厘米)	2.8	6	40	27	21	10	7	7	60
灰白色頁岩厚度(厘米)*	6	2.7	15.5	12	12	4	3	2	23
比值 $\left(\frac{\text{石英砂岩}}{\text{灰白色頁岩}}\right)$	0.47	2.2	2.6	2.3	1.8	2.5	2.3	3.5	2.6

* 此值为块段上下相邻之灰白色頁岩厚度之和

从物理性质上看,灰白色頁岩的含泥量很高,是典型的软弱层,所以比砂质頁岩的柔

性大,易于发生柔性变形^[11,12],构造特征清楚地表明这个差异,灰白色頁岩普遍受輕微的絹云母化,并有相当明晰的流动构造,这些在砂質頁岩中則根本沒有。

灰白色頁岩所經歷的比較強烈的柔性流动,同样表現在其厚度的显著而有規律的变化上,在每个块段上下,其厚度减小,甚或局部消失,相应地在块段間距,厚度加大。其中肉眼可辨的条带,显示着柔性流动的特点。条带沿着岩层面延伸,形成各种小型褶皱,特別在块段的稜角附近,形成很多完美的牵引褶皱(图 3B 中部),这与兰伯格的模型实验中的一些現象很类似。在块段間距內,則一致折向間距中央,成为較大的褶曲。褶曲形状依赖于块段間距的形状,例如:若間距的一头閉合,則条带的褶曲是一致的,愈向閉合处,褶曲轉折端愈尖銳。在两头开口間距中,条带形成上下兩組反向褶曲,其分界綫不在中央,而偏于頁岩較薄的一边(見图 3A)。所有这些褶皱,其褶軸均与块段的最長軸或岩层面的走向平行。夹于灰白色頁岩之中而厚度小于 2 厘米的石英砂岩,或者本身既形成透鏡状块段,而这些块段又随頁岩一起移入相邻的較大的块段間距,或者本身虽未发育这种构造,但随頁岩一起在間距內形成比較圓滑的褶曲,頂部又为断裂切割(見图 3C),褶軸方向和頂部断裂的走向也与岩层面走向平行。由于頁岩的柔性流动在局部地段相当剧烈,足以使已經形成的块段发生褶皱(图 7)。

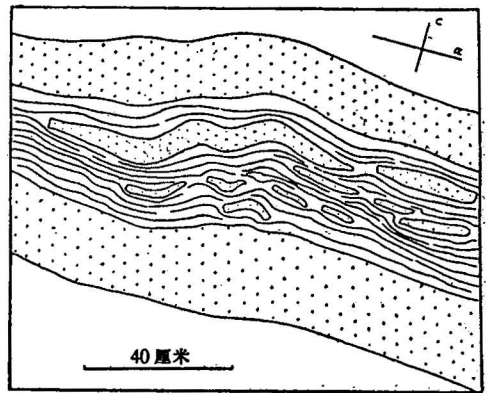


图 7 块段的褶皱断面素描图(图例見图 3)

(三) 較厚层的石英砂岩

在香肠构造发育地段,另一个很显著的現象是:在灰白色頁岩上下,各有一层較厚而延伸又十分稳定的石英砂岩,也就是說,每层发育香肠构造的石英砂岩和有关的頁岩,都被两个較厚层的石英砂岩所局限,这是毫无例外的。較厚层石英砂岩分布有稀疏的石英脉(見图 4),与頁岩接触面一般都是很平整的,仅于局部出現类似波痕的起伏現象,对称和不对称的两种相交并存。在上采石場一个岩层面上測定,“脊”的延长方向为北西 298° —南东 118° ,即大致与岩层面走向平行。初步認為,这是受相邻的頁岩变形的影响所产生的表面的变形。

三、成因的探討

文献中一般認為,香肠构造的形成条件,必須是強硬层位于軟弱层間,由于軟弱层的柔性流动或因直接受拉伸,使強硬层內部产生张应力,促成其在岩层面內的引张作用^[10,1,5],从而形成香肠构造。作者認為,这基本上是正确的。在这里应強調指出,兰伯格和 B. B. 別洛烏索夫的研究成果,非常重要,他們在重塑香肠构造的模型实验中所注意到的許多細节現象,对我们探討自然界的香肠构造的发育过程有很大帮助。

在垂直于岩层面的压力作用下,軟弱层必定首先发生柔性变形,其流动面也必与岩层面一致,通过接触面的摩擦作用,导致強硬层的张应力,使之在垂直于压力的平面內发生

引张。张应力的数值主要决定于:压力的大小、软弱层的流动速度、岩石粘性系数、接触面摩擦阻力或其结合强度、接触面积、强硬层和软弱层的厚度等因素。其最大值即为该强硬层的极限抗张强度^[10],如果其他因素不变,岩石性质又无显著差异,则张应力的数值将因强硬层厚度的加大而减小,前面所述的块段厚度与其横切面长度的关系(见表1),主要由于这个原因。

软弱层所受压力,系直接来自位于它上下的强硬层,即本区所见的较厚层的石英砂岩。如果与兰伯格或别洛烏索夫的模型实验装置比较,较厚层的石英砂岩相当于垫托和上复的直接承受压力的木板,不同的是,在实际上,较厚层的石英砂岩除施于頁岩以压力而外,还有因其相对滑动所产生的剪切作用。

根据实验证明,如对本标不加任何限制,因“软弱层”可以在垂直于压力的各个方向发生柔性流动,所以“强硬层”也就在相应的方向受到引张作用,结果产生 a 和 b 两轴方向近乎等长的块段(见参考文献[10]之图版6C; [1]之图70),原生成因的香肠构造,往往具有这种特点。若在实验时对本标加以限制,使“软弱层”在某一方向发生最大的柔性流动,于是所夹的“强硬层”也必定就在这个方向发生最大的引张,所产生的块段,在 ab 面内各向不等长,其最长轴必与最大引张方向垂直,并且有着比较规则的排列,这就是本区岳麓砂岩组的香肠构造的特点。灰白色頁岩中各种褶曲的褶轴、块段最长轴、楔形石英脉走向、和较厚层的石英砂岩表面的“脊”等等的延伸方向的一致性,充分表明这个方向位于岩层面内而与岩层面倾斜綫平行,但与本区主褶曲的褶轴呈大角度相交,因为研究地点很接近于褶曲倾伏处。

我們知道,上述的模型实验,都是在单向压力下进行的,软弱层的最大的柔性流动方向,可以人为控制,但是在自然界则不可能。同样的结果,系取决于某些因素,这些因素又必然与褶曲构造的发育过程密切联系。上面已说过,在褶曲构造发育过程中,较厚层的石英砂岩除施于相邻頁岩以垂直于岩层面的压力外,还有层间滑动的剪切力,頁岩的柔性流动,正是这两种力联合作用的结果,并且以前者为主,因为从整个看来,块段旋转现象,还是不显著的。层间滑动(相对年青岩层滑向背斜轴部,相对年老岩层滑离背斜轴部)的剪切力作用的意义在于:当頁岩受压力作用而进行柔性流动时,它直接决定着顺着岩层面的倾斜綫为阻力最小方向,于是就把最大的流动量局限于这个方向。

E. 克魯士^[5]所描述的位于韦撒奇康片岩(Wissachickon Schist)中的石英岩的香肠构造,与本区所见者颇有类同之处,特别是其最长轴亦平行于岩层面走向。克魯士认为其形成是由于岩层面倾斜綫方向的引张作用,他并且将这种引张作用的产生,归之于层间滑动。他还认为,块段在这种作用下的旋转程度,与其横切面形态有关,正方形块段比长方形块段易于旋转^[5]。作者认为,在不同的情况下,层间滑动作用的影响也不相同,这应当从块段的排列形式(直线型或斜列型)、规则程度和其他有关现象等方面来判断它所占的地位,在那些层间滑动进行得很强烈的褶曲构造中,不论块段的形态如何,均能发生显著的旋转,实际上,这也绝不是普遍的。

强硬层在张应力作用下,可以通过两种方式发育香肠构造,一种方式是取决于起初的断裂,另一种方式是取决于局部细頸化。

矩状块段的形成取决于起初的断裂,它代表这个过程的最初阶段。每个矩状块段实

际是由密度较大的 bc 组裂隙和密度较小的 ac 组裂隙的交割所构成, 所以块段最长轴平行于岩层面走向, 垂直于最大张应力作用方向。从特征比较可以看出, 块段间距和楔形石英脉, 都是由 bc 组张裂隙发展而成, 楔形张裂隙的分布, 又表明张应力在强硬层中自接触面向中心递减。已经生成的裂隙受到页岩移入和二氧化硅物质在其中结晶时的结晶力的楔裂作用, 使它逐渐扩大, 最后成为一个间距(实际是一个空间)。同时, 页岩的柔性流动又在块段中导致张应力, 使它被新的张裂隙所截割, 从而不断地把较长的块段, 变成数目更多的较短的块段。其整个发展过程, 即如图 8 所示。矩状块段生成后, 由于受页岩的柔

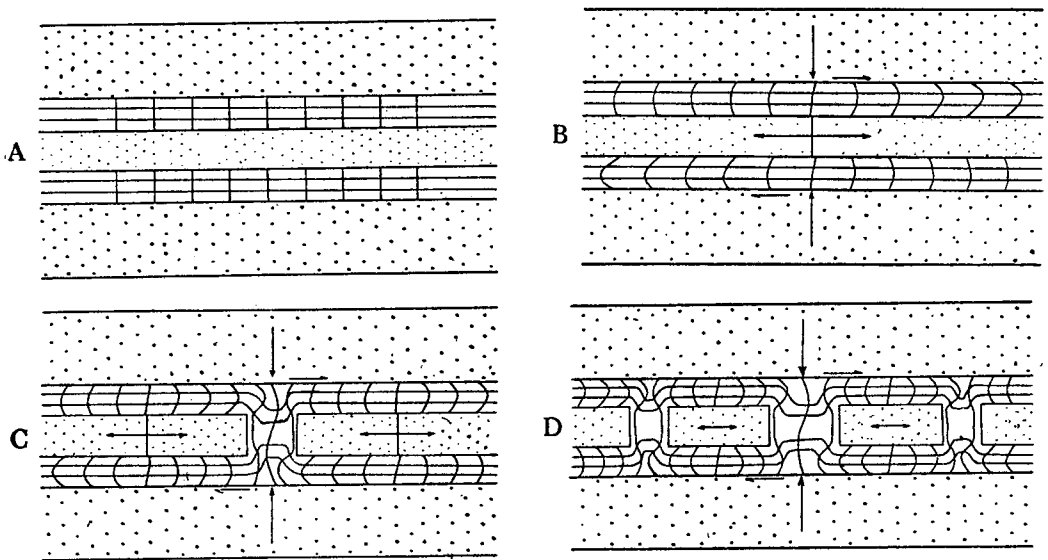


图 8 取决于断裂发育的香肠构造形成过程(根据兰伯格的图改编)

- A. 起始状态, 大点示较厚层的石英砂岩, 小点示发育香肠构造的石英砂岩, 水平直线示页岩及其条带, 铅直线用以指示页岩中柔性变形的情况。
- B. 褶皱时期(假设背斜轴部在右方), 页岩首先在垂直于岩层面的压力(铅直方向箭头)作用下发生柔性变形, 较厚层的石英砂岩的层间滑动(水平之半箭头)又使柔性流动以在与层间滑动平行的方向最强烈。页岩中之铅直线应变成弧线其曲度指示了柔性流动的程度。右上和左下两个部分的页岩受压力而流动时, 因与层间滑动箭头方向一致, 所以进行得强烈, 即如弧线弯曲所示。右下和左上两个部分的页岩受压力所决定的柔性流动方向与层间滑动箭头方向相反, 虽以前者作用为主, 但因部分地为后者的作用所抵消, 故柔性流动进行得不很强烈。两组方向相反的流动, 在接触面上的摩擦作用, 导致中间的石英砂岩的张应力, 形成引张中心(如水平箭头和铅直线所示), 张裂隙即发生于引张中心部位(即铅直线部位)。
- C. 张应力和楔裂作用使张裂隙扩大成为块段间距, 页岩充填其中并形成褶曲。页岩的柔性流动的持续, 又导致了两个已分开的块段中的张应力, 使之形成引张中心, 每个块段上下的应力状态与 B 相似。
- D. 引张中心所决定的新的张裂隙的扩大, 使较长的块段又被分割开来, 每个短一些的块段仍处于相同的应力状态, 故如页岩再继续变形时, 这些块段就继续遭到分割。每个块段的上下的弧线, 表明右行的牵引作用比左行的显著, 故部分块段可能产生顺时针向的旋转, 但因以垂直于岩层面的压力的作用为主, 所以使旋转现象不显著。

性流动的影响, 而使其边棱部分受到不同程度的“磨损”, 从而改造成为许多种不规则的形态, 即为不规则状块段。再进一步变形, 也可成为透镜状块段。但对本区绝大部分透镜状

块段來說,其形成則系取决于另一种方式,即強硬层的局部細頸化,发育过程,如图 9 所示,一部分沒有被完全分开的块段成为肿縮构造 (Pinch-and-Swell structure)。

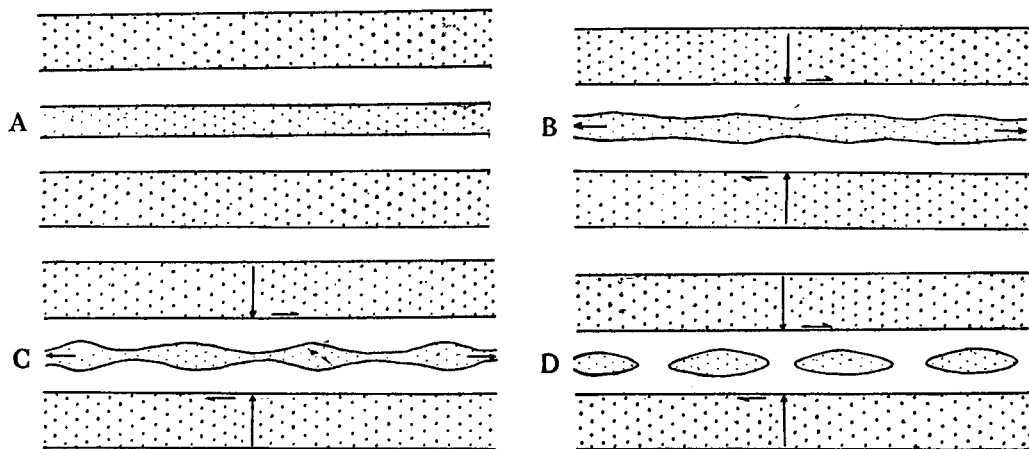


图 9 取决于局部細頸化发育的香肠构造形成过程

- A. 起始状态,大点示較厚层的石英砂岩,小点示发育香肠构造的石英砂岩,空白地带示頁岩的位置。
- B. 褶皱时期(假设背斜軸部在右方),垂直于岩层面的压力和层間滑动作用,首先使頁岩产生柔性流动,并以平行于层間滑动方向最强烈,从而导致中間的石英砂岩中的张应力,水平箭头示其引张状况,张应力达一定数值,即使石英砂岩也产生柔性变形,出現局部細頸化。
- C. 細頸逐渐变細,呈明显的肿縮构造。
- D. 細頸消失,形成彼此分开的透鏡状块段。

強硬层究竟选取何种方式发育香肠构造,这是由許多因素所决定的,但主要的是其物理性质的差异和受力状况。兰伯格在实验中証实,比較“脆”的強硬层以前一种方式发育矩状块段,比較“柔”的強硬层則选后一种方式发育肿縮构造和透鏡状块段。从本区情况来看,石英砂岩在物理性质上尚无显著差异。方式的选择可能主要与受力状况有关,材料力学实验証明,岩石在急速引张情况下,易于产生破裂,在緩慢引张时,則易于細頸化。从本区岩石厚度比值(見表 2)来看,矩状块段发育地段,比值較大,表明頁岩厚度小;透鏡状块段发育地段,比值較小,表明頁岩厚度大。頁岩厚度小时,受力时易于产生很急剧的柔性流动,相应地,使強硬层受到急剧的引张作用,故有利于发育裂隙;但如頁岩厚度很大,因其对力的传递能力很差,受力时,虽外部产生比較急剧的变形,向内部則減弱,加之其本身的变形又抵消了一部分作用力,故使夹于其中的強硬层,受到較小、較緩慢的引张作用,所以有利于发生局部細頸化。

結 語

对本区岳麓砂岩組的香肠构造的研究,初步得出如下的結論:

1. 香肠构造仅发育于石英砂岩夹有灰白色頁岩的地段,与砂質頁岩則无关系,足見岩石物理性质的差别是个很重要的条件,証明了克魯士的說法是正确的,即其发育与岩石成分无关,仅决定于物理性质的差异^[5]。

2. 本区的香肠构造在成因上是次生的,是在本区主要褶曲的形成过程中,垂直于岩层

面的压力和沿层間滑动的剪切力联合作用下所产生的, 并以前者为主。香肠构造的形成方式有二: 其一, 取决于初期的断裂; 其二, 取决于局部細頸化。至于选取那一种方式, 影响因素很多, 但主要的则为物理性质差别和受力状况。对本区而論, 则为后一个因素。

3. 香肠构造的类别, 可以根据其大部分的块段的特点来划分和命名。例如, 凡主要以矩状和不規則状块段为其特征的香肠构造, 可命为矩状香肠构造。凡主要以透鏡状块段为其特征的香肠构造, 则可命为透鏡状香肠构造。

4. 次生成因的香肠构造, 往往构成一个地区的主要綫状构造(綫理)。这对指示該地区主褶曲的延伸情况很重要, 一般來說, 在褶曲正常部分, 这种綫状构造平行于褶軸, 在褶曲傾伏部分, 則与褶軸呈不同角度相交。

5. 研究沉积岩的次生成因的香肠构造, 对进一步探討 1) 引起岩石变形的应力分布情况及其性质、2) 組成地壳的岩石在一定的地質剖面中的物理性质对比及其变形特点、3) 褶曲构造在不同方向的变形程度等問題, 均有很大帮助^[10, 11]。

本文所附插图, 大部分是由陈月兰同志清繪的, 在此謹表謝忱。

(收稿日期: 1962 年 9 月 24 日)

主 要 参 考 文 献

- [1] 別洛烏索夫 B. B. 1952 断裂构造及其类型与形成构式。科学出版社。
- [2] 徐熊飞 1960 論湖南长沙岳麓山地层的地質时代。地質学报 第 40 卷 第 2 期, 第 217—222 頁。
- [3] Beloussow, V. V., 1960, Tectonophysical Investigations. Am. Geol. Soc. Bull. V. 71, N. 8, pp. 1255—1270.
- [4] ———— 1946, Lineation. Am. Geol. Soc. Mem. 18.
- [5] Closs, E. 1947, Boudinage. Trans. Am. Geophy. Union, V. 21. N. 4, pp. 626—632.
- [6] Lohest, M. 1909, De l'origine des veines et des géodes des terrains primaires de Belgique. Soc. Geol. Belgique Annales, V. 36, B, pp. 275—282.
- [7] McCrossan, R. G., 1958, Sedimentary 'boudinage' Structures in the Upper Devonian Ireton formation of Alberta. Jour. Sedi. Petrology V. 28, N. 3.
- [8] Natland, M. L. and Kuenen PH. H., 1951, Sedimentary history of the Ventura basin, California, and action of turbidity currents. Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists Special Publ. N. 2, pp. 76—107.
- [9] Newell, N. D. and Others 1953, The Permian Reef Complex of the Guadalupe Mountains region, Texas and New Mexico. W. H. Freeman and Co. San Francisco, 236.
- [10] Ramberg, H., 1955, Natural and experimental boudinage and pinch-and-Swell Structures. Jour. Geol. V. 63, N. 6, pp. 512—526.
- [11] Skempton, A. W., 1945, Notes on the Compressibility of Clays. Geol. Soc. London Quart. Jour. V. 100, pp. 119—135.
- [12] ———— 1953, Soil mechanics in relation to Geology. Yorkshire Geol. Soc. Proc. V. 29, pt. 1, pp. 33—62.
- [13] Сорский, А. А. 1950 О механизме тектонического разлинзования горных пород. Докл. АН СССР, т. LXXII, И. 5, стр. 937—939.

BOUDINAGE STRUCTURES IN THE UPPER DEVONIAN YAOLU SANDSTONE GROUP OF THE YAOLUSHAN, CHANGSHA, HUNAN

LIU JU-CHI

(Abstract)

Boudinage structures in the Upper Devonian Yaolu Sandstone Group of Yaolushan, Changsha, Hunan are described and classified. The Upper Devonian Yaolu Sandstone Group in this area consists largely of white and whitish-grey fine-grained quartzitic sandstone and variable amounts of inter-bedded sandy shale and whitish-grey shale, occasionally with beds of hematite and high-alumina shale. Stratigraphically, boudins of quartzitic sandstone beds occur only in the lower part of this Group, and is, without exception, surrounded by whitish-grey shale.

Boudinages of this area, according to the shapes of the ac sections, fall into three main kinds: i.e. the rectangular, the irregular and the lenticular, the main character of each being outlined.

In the boudins these occur numerous wedge-shaped quartz veins, which initiate from the upper and lower surfaces of individual boudin, and extend and gradually taper off towards its centre. The most obvious feature about these veins is their virtually constant strike paralleling to the longest dimension (i.e. b-axis) of the boudin in which they occur, or in broad sense, parallel to the strike of the bedding plane.

In order to illustrate and to compare the mechanism of development of these structures, separate diagram for each kind of process is proposed (see Figs. 8, 9). These structures are thought to be the results of extension of the competent quartzitic sandstone beds, which reached its maximum in the direction lying in the bedding plane and approximately perpendicular to the strike of the beds, or in other words, made a large angle with the axis of the plunging regional fold (see Figs. 1, 5). The tensile stress, to which the extension is due, and therefore, these structures owe their origin, is created by the plastic flowage of the incompetent whitish-grey shale layers because of the external friction during deformation.

All available facts suggest that the plastic flowage of the incompetent whitish-grey shale layers might have been the result of a combination of compression perpendicular to the bedding plane, and shearing due to relative slipping of two thick-bedded quartzitic sandstone beds binding incompetent layers above and below the boudin layer respectively, these two processes went on *pari passu* during development of the regional fold of this area, and the former (i.e. the compression perpendicular to the bedding plane) should be the predominant.

The significance of studying these structures is noteworthy *per se*, and is also referred in the present paper.