

南非 Postmasburg 地区锰矿床地质特征 及成因分析

常洪伦,孔繁辉,宋晓东,杜俊,赵晋,李建锋,王聪颖
华北有色工程勘察院有限公司,石家庄,050021

内容提要:以南非 Postmasburg 地区 Bishop、Paling 两个矿区为研究载体,将研究区的地层划分为 6 个岩性单元,自下而上分别为白云岩单元、铁锰矿体单元、铁质细砂岩/铁质砾岩单元、泥质粉砂岩单元、石英岩/Gamagara 页岩单元和 Paling 页岩单元。识别出了沉积受变质型、堆积型和锰质软泥或锰土型三类矿床,并讨论了其成因模型。根据地层序列特征,将研究区的发育与演化过程划分为 4 个阶段。分析表明:锰质软泥或锰土是富锰白云岩遭受溶蚀后的残余物。沉积序列各单元为渐变关系,而与白云岩单元之间为不整合接触关系。三种矿床类型都与白云岩的岩溶系统有关,锰质软泥或锰土中的锰来源于富锰白云岩,另外两种则可能来源于安山岩。两次岩溶系统之后分别形成了沉积受变质型矿床和堆积型矿床。成矿后期矿体受到 Marthaspoort 石英岩的保护而保存下来。

关键词:南非;锰矿床;铁锰建造;沉积变质;成矿模型

南非是世界上锰矿储量最多的国家,锰矿储量可达 37 亿吨,占世界总储量的 54.4%,储量基础为 40 亿吨,占全球高品位锰矿总量的 80% 以上(鲍荣华等,2011;董晓方,2012),均居世界第一位。在南非的北开普省和西北省发育了一些十分著名的大型锰矿田,如 Kalahari 锰矿田、Postmasburg 锰矿田等,此外还有 Transvaal 锰矿床等。20 世纪以来,随着全球锰矿需求量的增加,掀起了一股对锰矿床开发的热潮。与此同时,关于南非锰矿床(田)类型和成因的报导和研究成果不断涌现,其中就有大量对 Postmasburg 地区锰矿床的研究文献(高仙坪,1988; Nel, 1929; Boardman, 1940; Boardman, 1964; Truswell et al., 1973; Beukes, 1993; Eriksson et al., 1995; Plehwe-leisen et al., 1995),充分显示了这一地区锰矿床的重要性。本文从探索的角度,结合前人成果、钻孔数据等实际材料,以 Bishop 矿区和 Paling 矿区为载体,通过分析该地区的矿床类型,研究矿床成因,建立矿床发育模型,恢复该地区乃至整个锰矿田的锰矿床发育与演化过程,为地质找矿提供理论指导。

1 Postmasburg 锰矿田概况

Postmasburg 锰矿田位于南非北开普省东北部,北起 Sishen,南至 Postmasburg。北部与 Kalahari 锰矿田毗邻,这一地区因蕴育了全球最大的 Postmasburg—Kalahari 锰矿成矿带而著称。其中 Postmasburg 锰矿田是仅次于 Kalahari 锰矿田的全球第二大锰矿田(《矿产资源综合利用手册》编辑委员会,2000),东、西两个锰矿带的延伸长度可达 50 ~ 60km(广西壮族自治区地质局,1974; Gutzmer et al., 1996)。矿田内发育了多个大型锰矿床(Altermann et al., 1991),其中 Bishop、Paling 两个矿区就位于该矿田的西矿带上(图 1)。

2 区域地质背景

Postmasburg 锰矿田的地层为南非北开普省 Griqualand West 地层序列的一部分,该地层序列也是一直众多学者长期争论的问题(Nel, 1929; Visser, 1944; Beukes, 1986; Van Schalkwyk et al., 1986; Leisen, 1987; Altermann et al., 1991)。南非地层委员会(SACS)在 1980 年曾对 Griqualand West 的岩性地层进行了讨论,形成了南非地质调查官方认

收稿日期:2014-01-28;改回日期:2014-03-29;责任编辑:章雨旭。

作者简介:常洪伦,男,1984 年生。博士,地质工程师。主要从事地质找矿与研究工作。通讯地址:050021,河北省石家庄市裕华区汇通路 39 号华北有色工程勘察院有限公司;Email:changhonglun@126.com。

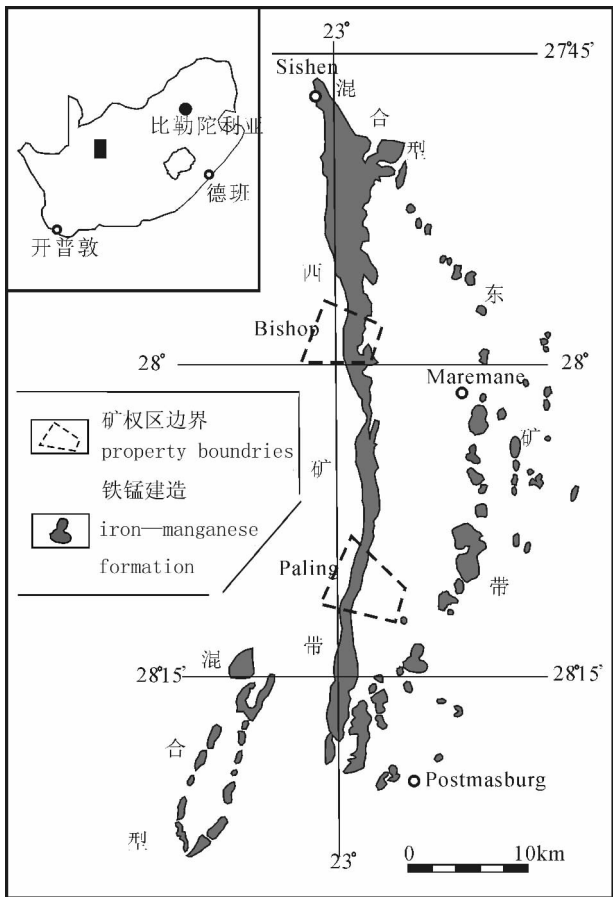


图 1 Postmasburg 锰矿田位置及矿带分布
(据 Leisen,1987,修改)

Fig. 1 Location and ore belt distribution of Postmasburg Manganese Field (Modified after Leisen, 1987)

夹于白云岩和 Asbesheuwels 亚群 Manganore 组铁质建造之间,这一铁质建造体中发育了 Sishen 型高品位的赤铁矿矿石。西矿带的锰矿石和 Campbellrand 亚群白云岩直接接触,它矿石的形成与 Gamagara 组的富铝质页岩密切相关,而分布则受下伏的 Campbellrand 亚群 Reivilo 组白云岩控制。Glosam、Lohatla 和 Bishop 的大型矿床都是直接覆盖在 Reivilo 组下部富锰白云岩上,且仅限于该种白云岩类型。

Maremane 隆起以上的地层较为复杂。在 Asbesheuwels 亚群的条带状铁质岩的沉积之前 (2.432 ± 0.031 Ga) (Nel,1929),Maremane 地区被抬升到海平面以上遭受侵蚀。Campbellrand 亚群的白云岩发生了强溶岩作用,溶蚀构造出现。Maremane 隆起以上发育的断裂系统导致岩溶作用主要沿着 10° 、 50° 和 150° 的方向进行 (Du Toit, 1933;James et al.,1988)。Maremane 隆起的北部、东部和南部继续遭受侵蚀,一直持续到 Asbesheuwels 期。此后,东部的铁锰建造开始沉积,而西部的白云岩继续被暴露侵蚀,碳酸盐的淋滤作用一直向下深入到较老的 Reivilo 组 Ulco 段。此段铁锰建造沉积缺失,沉积作用始于其后期的

可的版本,Beukes(1986)又对 Transvaal 超群的地层划分进行了重新调整,形成的地层序列如表 1 所示。

Postmasburg 锰矿田的形成与该地区前寒武纪的地质构造有关,这一构造被称为 Maremane 隆起,它由 Transvaal 超群 Ghaap 群 Campbellrand 亚群的白云岩和 Asbesheuwels 亚群的铁质建造组成 ($2.15 \sim 2.64$ Ga) (Holland et al.,1990)。Maremane 隆起东翼的地层呈弧状出露,在不同的部位分别倾向东、东北或东南方向,倾角一般小于 10° (James et al.,1988)。Transvaal 超群的顶部被新元古代 Olifantshoek 群 Gamagara 组的平缓红层不整合覆盖,因此 Maremane 隆起仅有东半部分出露,而西部的 Koegas 组铁质建造、Makganyene 组陆源混积岩和 Ongeluk 安山质熔岩则被沿着南北向的断裂推覆到 Gamagara 组之上,自西向东产生的位移至少 35km(Grobbelaar et al.,1986)。

Maremane 隆起之上发育了东、西条矿带,它们形成的地质背景有所差异。东矿带以 Wolhaarkop 燧石角砾岩为特征,其中含有大量的硅质富褐锰矿矿石。Wolhaarkop 燧石角砾岩

表 1 Postmasburg 锰矿田地层序列 (据 Beukes,1986,修改)

Table 1 Stratigraphic sequence of Postmasburg Manganese Field (Modified after Beukes, 1986)

		群	组
Griqualand West 序列	Transvaal 超群	Postmasburg/ Olifansheek 群	Gamagara/Mapedi
			Ongeluk
			Makganyene
		Koegas 亚群	Koegas
			Manganore
			Wolhaarkop
		Ghaap 群	Gamohaam
			Kogelbeen
			Klippan
			Kapkuil
			Klipfonteinheuwel
			Fairfield
			Reivilo
			Monteville

Gamagara 页岩组。整个 Maremane 区被 Gamagara 组 Marthaspoort 石英岩覆盖,在含矿区内至少叠加了两个构造期(图 2)(Beukes,1986)。

之后,东部沉积序列周围的白云岩被侵蚀,而锰质的填充物作为残余山体保留下来(Klipfontein 山)。锰矿石堆积在 Maremane 隆起的西侧,部分被上覆的石英岩覆盖保护,最近形成的小型溶坑也被碎屑矿石填充,分布广泛。

3 矿区地质

Bishop 矿区和 Paling 矿区均位于 Postmasburg 的北部,Postmasburg 锰矿田的中部。二者具有相似的地质特征,它们都是 Postmasburg 锰矿田内具有代表性的矿区。

3.1 地层

由于受到后期构造运动和变质作用的影响,矿区内地层岩性较为复杂。根据地层出露情况和前人研究成果(Visser,1944;Truswell et al.,1973;Van Schalkwyk et al.,1986;Leisen,1987),结合岩心钻探分析结果,可将矿区内的地层划分为以下几个单元(图 3),现将其岩性特征分述如下:

……………(未见顶)……………

- (1) Paling 页岩单元:由红褐色、紫红色页岩组成,风化严重,较为破碎,地表出露范围较小,局部绿泥石化,夹有黄绿色泥质粉砂岩、细砂岩薄层。厚度 >3m。
- (2) 石英岩/Gamagara 页岩单元:由紫红色、肉红色、白色中粗粒石英岩组成,中间夹有黄绿色、紫红色页岩,其中石英岩自下而上颜色逐渐变浅。厚度 10~15m。
- (3) 泥质粉砂岩单元:由灰白色、浅绿色、浅灰绿色泥质粉砂岩组成,局部因含铁质而呈褐色,有一定的千枚岩化或高岭土化,成层性良好,可见斑点状含铁石英粉砂岩、红褐色含铁锰粘土岩、斑点状绿帘绢云母板岩的夹层或透镜体。与上下单元均为过渡关系,顶部主要为石英含砂粉砂岩,底部则为含铁锰泥质粉砂岩。厚度 8~12m。
- (4) 铁质细砂岩/铁质砾岩单元:Bishop 矿区铁质细砂岩呈红棕色、红褐色,致密块状结构,层状构造,可见红褐色泥质粉砂岩夹层或透镜体。厚度 1.5~3m。Paling 矿区未见铁质细砂岩,同层位出现铁质砾岩,红棕色至黑褐色,致密块状结构,似层状构造,内部含红褐色碎屑状硅质铁锰矿石角砾或球粒状铁质细砂砾屑,直径 0.5~5cm,略呈定向排列。厚度 2~4m。
- (5) 铁锰矿体单元:为 Postmasburg 矿田锰矿的主要赋存层位,由钢灰色、黑色锰矿石组成,主要金

属矿物为方铁锰矿、褐锰矿和硬锰矿,致密块状结构,层状构造。与上部单元在成分上存在过渡关系,自底部向上锰质含量升高,铁质含量降低。厚度 3~15m,因赋存部位而异。

~~~~~不整合~~~~~

- (6) 白云岩单元:由灰黄色、浅黄绿色藻云岩及其下部的灰色、浅灰绿色、灰黑色富锰白云岩组成。其中藻云岩颗粒较粗大,可观察到白云石晶体,内部可见叠层状藻纹层,多分布于 Paling 矿区;富锰白云岩结晶不明显,层状构造发育,内部泥质含量较高,无藻类生物体出现,在 Bishop 矿区更为普遍。

……………(未见底)……………

前人工作成果及地质资料认为,Gampbelrand 白云岩构成了研究区内沉积序列的基底(Plehwe-leisen et al.,1995;Dowding et al.,2007)。在工作区内未发现矿化层与白云岩的接触界线,但局部可见原生锰矿石覆于白云岩之上(图 4a、4b),青灰色富锰白云岩与上覆的铁锰矿体之间夹有锰质软泥或锰土。这些锰质软泥或锰土呈似层状,多覆于富锰白云岩之上或包于表层(图 4c、4d),因此,笔者认为,沉积序列形成于白云岩遭受溶蚀之后,铁锰矿体和白云岩之间为不整合接触关系。

#### 3.2 构造

研究区内构造比较发育,主要表现为断层和褶皱两方面。褶皱作用较弱,矿田内常见 NE 或 NNE 向的宽缓背斜,局部可见较为强烈的小型褶曲。

Postmasburg 锰矿田处于一个断裂带上。成矿后期的断裂作用将研究区内的矿体切割成大小不等、形状各异的断块,自西向东的逆冲断层更是造成了局部地区矿体的重复,或使原有矿块产生位移,严重破坏了矿体的连续性。

#### 3.3 岩浆岩

研究区内有大面积的 Ongeluk 组的熔岩出露,但区内未见十分明显的火山活动。一些学者认为 Ongeluk 组的玄武质安山岩是海底喷发的,是在大陆架环境下喷出形成,其北部的 Kalahari 锰矿田的锰质即来源于海底火山喷气(李上森,1996;Cornell et al.,1995;Beukes et al.,1996)。

#### 3.4 变质作用

矿质沉积之后,研究区内的地层受到了非常浅程度的变质作用(Plehwe-leisen et al.,1995)。在长期的变质过程中,重结晶引起了矿物晶体的生长及形态的变化,形成了微结核,出现了方铁锰矿、褐锰矿和赤铁矿等金属矿物微晶共生的情况。从野外情况来看,各类粉、细砂岩均有一定程度的绿片岩化、

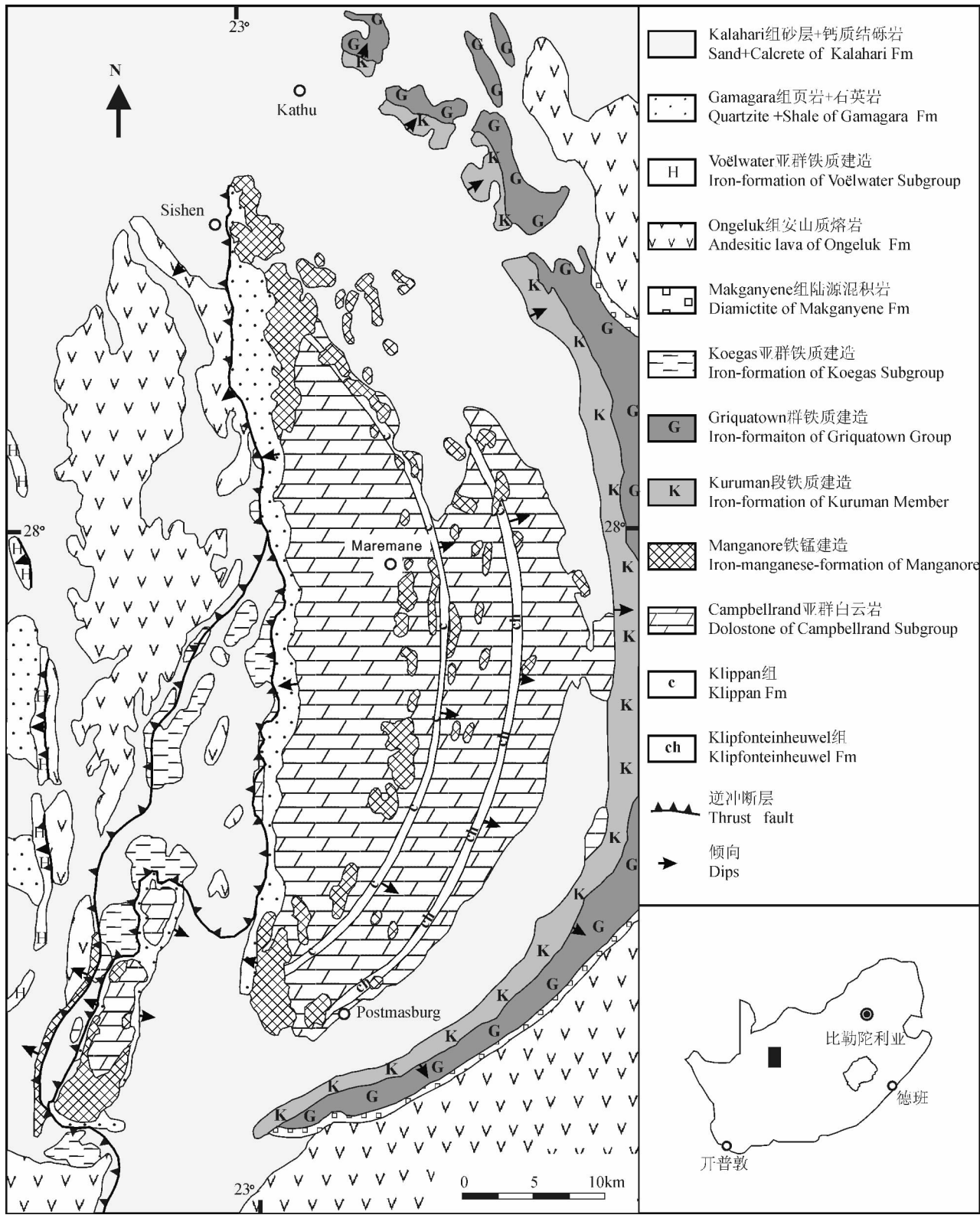


图 2 Postmasburg 锰矿田区域地质图(据 Beukes,1986,修改)

Fig. 2 Regional geological map of Postmasburg Manganese Field( Modified after Beukes, 1986)

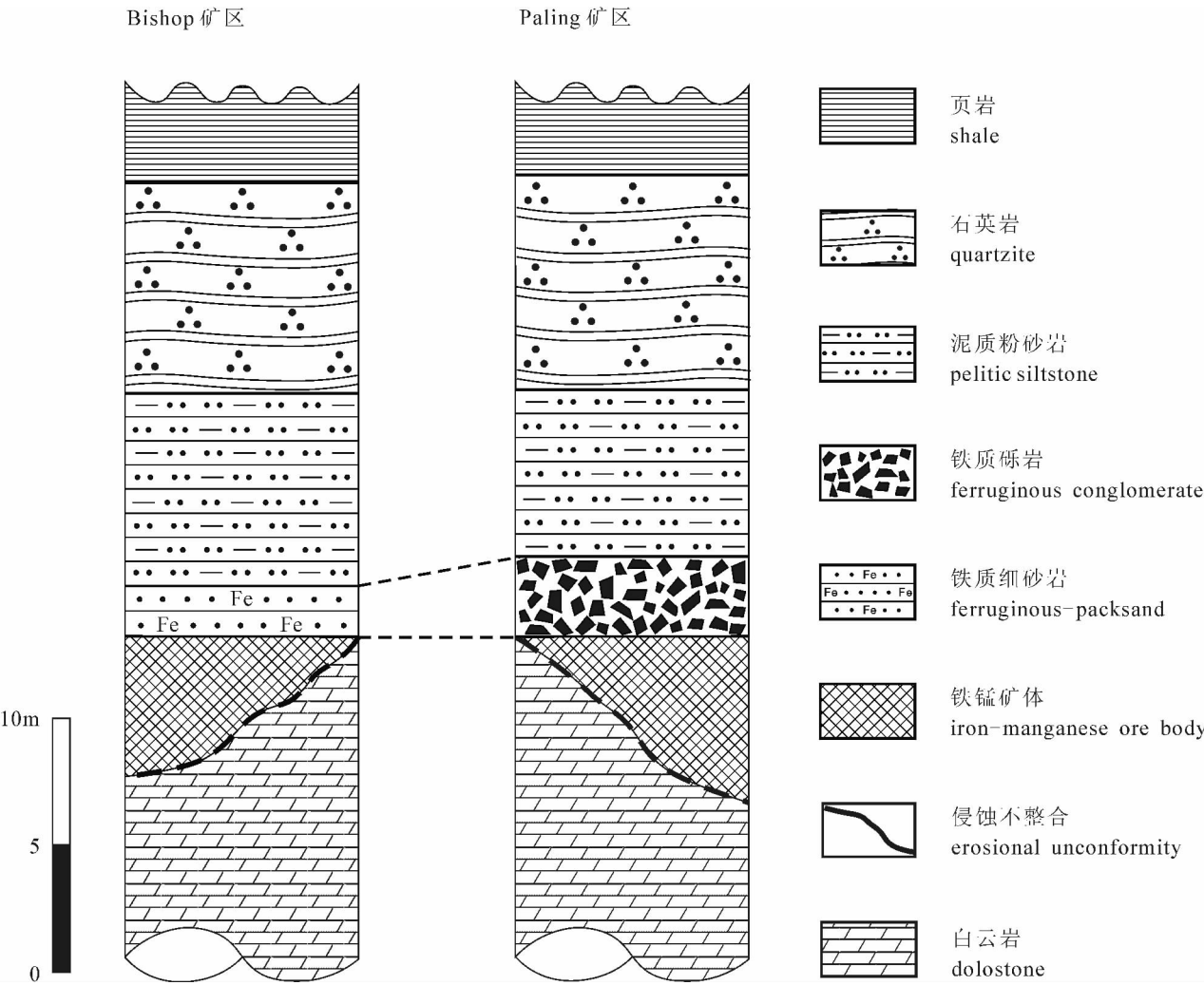


图 3 Postmasburg 锰矿田的岩性序列  
Fig. 3 Lithological sequence of Postmasburg Manganese Field

高岭土化或绢云母化。

4 矿床类型

Postmasburg 地区具有复杂多样的成矿条件,这也造就了该地区多种矿床类型,主要有沉积受变质型、堆积型、锰质软泥或锰土型,以下分别介绍。

4.1 沉积受变质型

沉积受变质型矿床在全球分布广泛,是 Postmasburg 地区最为主要的矿床类型。矿体赋存于铁锰矿体单元中,以层状形态保存,与顶、底板的围岩接触界线不明显。在东、西两矿带中,矿体中的矿石种类、矿物组合均不相同(Plehwe-leisen et al. , 1995),以方铁锰矿、褐锰矿为主的金属矿物均为从硬锰矿—锰土族分离出来的次生蚀变产物。矿体成因类似于我国的斗南锰矿、乐华锰矿等(邓燕华,

1983;苏俊华,1983)。Postmasburg 地区东、西两条矿带的矿床又有不同的特征。

东矿带的矿床属硅—锰矿类型,矿石的形成与 Wolhaarkop 角砾岩有关。由于 Wolhaarkop 角砾岩中 SiO<sub>2</sub>的含量较高,因此褐锰矿是最主要的金属矿物组分,方铁锰矿次之。矿体形成后经历了白云岩坍塌作用导致的角砾岩化,此后又经历了非常浅程度的变质作用。矿石中含有燧石及抗风化的硅质填充物,Maremane 背斜东翼的 Klipfontein 山即由这种矿体建造形成。

西矿带的矿床属铁—锰矿类型,矿石的形成与页岩、粉砂岩有关。在靠近底部白云岩溶蚀基面处锰质含量较高,向上由于铁质细砂岩或角砾岩的形成,锰质含量降低,而铁质含量则有升高的趋势。从铁锰建造继续向上,铁、锰的含量都降低,最终变为



图 4 白云岩与矿体、锰土的接触关系

Fig. 4 Contact of dolostone with orebody and wad

(a)、(b) 矿体与白云岩直接接触;(c) 锰土的似层状形态;(d) 锰土包裹富锰白云岩  
(a), (b) Direct contact of orebody with dolostone;(c) Lamellar morphology of wad;  
(d) Manganese-rich dolostone embedded in wad

铝土质页岩和粉砂岩、细砂岩等。在靠近白云岩溶蚀基面处,矿层中的主要金属矿物为褐锰矿,其次为方铁锰矿。向上则方铁锰矿占据优势,其次为褐锰矿,同时还有一些更高价的锰氧化物,如黑锰矿等。矿体形成后经历了浅程度的变质作用,铁锰建造中的页岩、粉砂岩夹层有高岭土化、绿片岩化等变质特征。在铁锰建造中铁、锰质的总含量基本稳定,铁和锰的含量呈互相消长的关系,锰、铁的总品位约 60%。Bishop 矿区、Paling 矿区的锰矿体属于此类型。

4.2 堆积型

该类型矿床由原生矿床受物理作用形成。原生矿石经风化破碎,受自身重力作用被搬运到低地势处堆积聚集形成的矿体,呈似层状产出,多被第四纪

红土层或褐土层覆盖。

研究区内堆积型锰矿体十分发育,其分布受原生锰矿体的控制,在原生锰矿体出露附近均有堆积型锰矿体的存在。Postmasburg 地区的堆积型锰矿床有以下特点:

(1)分布广泛:在 Postmasburg 锰矿田内,堆积型锰矿床多以填充物的形式分布于大面积的白云岩溶坑内,其他则被厚层的第四纪红土覆盖。研究区内的白云岩出露普遍,多数被后期风化作用侵蚀成溶坑或溶沟的形态,其溶蚀地貌为堆积型锰矿石提供了赋存空间。这两种类型的堆积型矿体基本遍布整个研究区,是原生锰矿体存在的标志。

(2)矿体厚度不均:由研究区内矿区山地工程揭露的堆积型矿体来看,堆积型矿体的厚度总体上

呈不均的状态。充填于白云岩溶坑或溶沟内的堆积型矿体厚度取决于溶坑或溶沟的深度,最小 1m 左右,最大可达 7~8m。而被红土覆盖的层状堆积矿厚度相对稳定,侧向连续性较好,但矿体的厚度因地而宜:距原生矿体较近者厚度较大,可达 8m 以上;远离原生矿体者,最小厚度仅为 0.5m 左右。

(3)矿石品位高:堆积矿的矿石都是由原生矿石破碎后近距离搬运堆积而成,因此在矿物成分上继承了原生矿石的特点,主要的金属矿物仍为方铁锰矿和褐锰矿。由于矿石在自然搬运过程中的重力分流作用,原生矿石中比重较小的贫矿石被分选出,使得堆积矿中的矿石品位较之原生矿石偏高,采样获得的平均品位可达 70%。

#### 4.3 锰质软泥或锰土型

该类型矿床的矿石在研究区内分布较为局限且规模很小,不具单独开采价值。矿体多发育于富锰白云岩之上,顶部被铁锰沉积层覆盖。矿体形态不规则,多呈盘状。内部常见白云岩或红土的大团块,或与红土混杂成泥状。矿石呈灰绿色至灰黑色,似土状,质软、轻,疏松多孔。金属矿物以软锰矿为主,易污手,采样测得软锰矿的品位达 80% 以上。

### 5 矿床成因

#### 5.1 成矿物质来源

关于 Postmasburg 地区沉积受变质型锰矿床的锰质来源,一直没有形成统一的认识。Kuleshov (2011) 认为,锰矿石的形成与区内大范围出露的玄武质安山岩有关。李上森(1996)、Cornell(1995)认为,锰质与该地区内的火山—喷气活动关系密切,来自于铁锰建造之下的玄武质安山岩。因此,笔者推测,Postmasburg 地区的锰质源于矿带附近的安山岩,有可能为上地幔物质通过火山作用或以热液的方式将锰质运移到浅海陆架形成。

锰质软泥或锰土型矿体中的锰质来源不同于沉积受变质型矿体。Beukes(1987)测得富锰白云岩样品中锰的含量达到 2%~3%,认为富锰白云岩是该类型锰矿体的锰质源。

#### 5.2 古构造条件

元古宙早期,Postmasburg 地区为广阔的 Campbellrand 亚群白云岩所覆盖,形成了一套富锰白云岩环境中的岩溶系统,这为锰矿石的形成提供了条件(Schulz,1982)。Maremane 抬升隆起后,强岩溶作用发生,溶洞构造形成。N—S 向为主的断裂带导致坍塌的溶洞逐渐成为 N—S 向的溶坑或溶沟。

随着 Transvaal 海侵的出现,整个 Maremane 隆起下降到海平面以下,这一岩溶地区处于一浅海海盆中(Maissonneuve,1982),溶坑或溶沟则成为沉积物质的接纳空间。

#### 5.3 矿床成因模型

##### 5.3.1 沉积受变质型

Postmasburg 地区沉积受变质型锰矿床的成因一直是争论的热点问题(Boardman,1964;Beukes,1983;Cannon et al.,1983;Frakes et al.,1984;Nel et al.,1986;Force et al.,1988;Varentsov et al.,1993;Gutzmer et al.,1997;Brusnitsyn et al.,2000),关于矿床成因也涌了多种模型,其中最为典型的有以下两种:

(1)海侵—海退模型:在海平面的升降波动中,锰质以氧化物的形式在陆架上沉积下来成矿。海盆中锰矿层具有一定的序列,反映了进积—退积的旋回性(Cannon et al.,1983;Frakes et al.,1984;Force et al.,1988;Varentsov et al.,1993;Brusnitsyn et al.,2000)。

(2)上升流模型:深海富锰水体在水流带动下上升至海盆陆架氧化区域富集,接受氧化沉积成矿(Frakes et al.,1984;Force et al.,1988),火山喷气成因的理论支持这一模型(李上森,1996)。

这两种模型都有各自的根据,同时模型本身也存在一定的缺陷。海侵—海退模型解释了 Postmasburg 地区岩性序列中岩性单元内部存在的局部夹层和旋回特征,但从整体来看,岩性单元并未出现重复。同时,岩性序列中并未出现浅水相沉积层,如黑色页岩、砂岩等(Force et al.,1988)。上升流模型解释了锰矿体乃至铁锰建造的连续性,但 Buekes(1996)认为,该模型并未消除自身的矛盾,如岩性序列与陆架沉积物岩相组合不符等。

Postmasburg 锰矿田与相邻的 Kalahari 锰矿田处于同一成矿带上,二者有着相似的成因机制。Kalahari 锰矿田是因受到底部基性安山质熔岩的作用而形成,而 Postmasburg 锰矿田内安山质熔岩亦是大范围出露,笔者认为,研究区也有可能在成矿过程中受到类似的作用。因此,笔者更支持上升流模型,该模型的成矿机制如图 5 所示。

##### 5.3.2 堆积型

堆积型矿体多发育于白云岩溶蚀严重的溶沟中,其规模取决于溶沟的形态和深度。沉积序列被抬升到海平面以上之后,白云岩形成了岩溶系统,对破碎锰矿石的搬运和堆积起到了控制作用。原有白

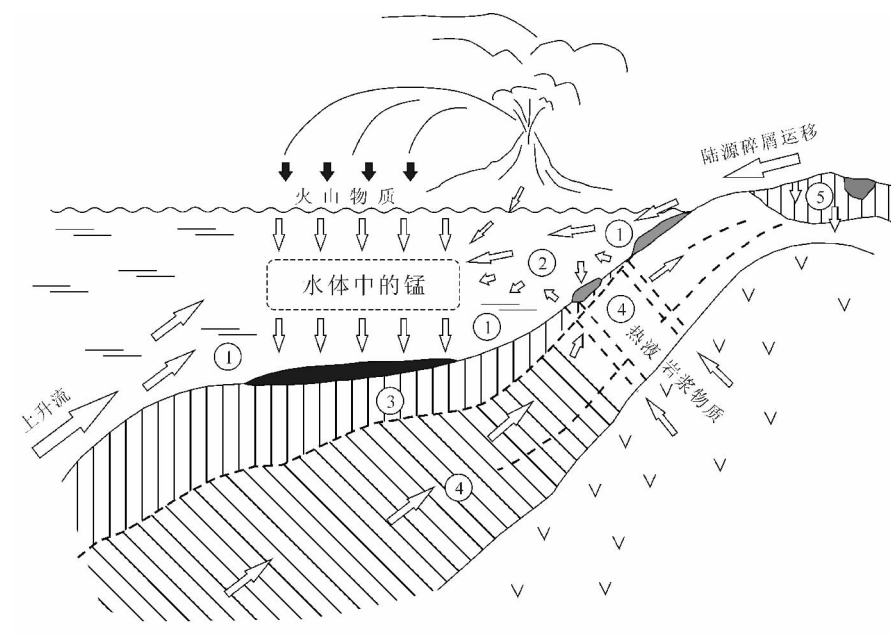


图 5 上升流模型示意图(据 Kuleshov,2011,修改)  
Fig. 5 The sketch of upwelling model (Modified from Kuleshov,2011)

- ① 沉积作用;② 热液物质沉积;③ 沉积—成岩作用;
- ④ 退化作用(交代);⑤ 表生作用(风化壳)
- ① sedimentary; ② hydrothermal (volcanogenic, exhalative)—sedimentary;
- ③ diagenetic (sedimentary—diagenetic); ④ catagenetic (metasomatic);
- ⑤ supergene (weathering crusts)

云岩溶坑侧壁由藻白云岩组成,易于溶蚀。随着溶蚀作用的进行,侧壁坍塌,溶坑中的沉积序列因受到上部岩层的保护而保存下来。近矿端溶蚀作用较弱,白云岩保留了较高的层位;而斜坡边缘则由于强烈的冲蚀和溶蚀,形成了溶沟十分发育的岩溶地貌和良好的接纳空间。原生矿体边部破碎后,在溶蚀斜坡上堆积,近矿源端形成了大粒径、薄堆积的矿层;白云岩溶蚀斜坡边缘的复杂地形有利于形成圆粒、中等粒度、厚度大的堆积型矿体;远矿源端则因矿石长距离搬运,普遍粒径较小,被白云岩的溶解物重新胶结、压实后形成薄层的钙质结砾岩。因此,无论是近矿源端,还是远矿源端的堆积型锰矿体矿石量均不大,具有一定规模的堆积型锰矿多见于斜坡边缘。

### 5.3.3 锰质软泥或锰土型

该类型矿体由富锰白云岩溶蚀的残余物在岩溶系统中化学沉淀形成,在形成时间上要早于上述两类矿体。白云岩台地抬升后,岩溶系统开始发育,溶蚀作用一直向下深入到 Reivilo 组 Ulco 段的富锰白云岩。可溶物质被淋滤,富锰的不溶物质沉积附于白云岩的表面,或被搬运至溶坑的底部富集成锰

土。溶洞坍塌后,台地表面的红土落入锰土中并与之混杂,形成锰质软泥,后被沉积序列覆盖压实成矿。因此,矿体形态极不规则,矿石品位不均。

### 5.4 矿床发育与演化

Postmasburg 地区的锰矿床与白云岩的岩溶系统密切相关,岩溶溶坑构造对锰矿床的形成和保存十分重要。由于白云岩遭受溶蚀的时间、强度以及位置的差异,导致每个溶坑所处的层位都不相同,因此,矿体发育的形态都不规则。但总体来看,无论是东矿带、西矿带还是混合带的矿床,它们的发育都受制于矿质供给、沉积速率、氧化环境等多方面的因素 (Schneiderh? hn, 1931; De Villiers, 1956; Bardossy, 1982; Nicholson, 1992)。根据 Postmasburg 地区锰矿床的岩性序列特征以及前人的认识,可将矿床的发育过程划分为以下

四个阶段。

(1)基底溶蚀阶段:该阶段进行于早 Gamagara 期 (Plehwe-leisen et al., 1995),Ghaap 组的白云岩台地在 Maremane 隆起作用下上升至海平面之上遭受侵蚀,形成富锰白云岩的岩溶系统。随着侵蚀作用的不断进行,在台地上出现大范围的溶蚀构造,锰质软泥或锰土作为白云岩风化侵蚀的残余物保存在溶洞的底部。此后,溶洞坍塌,台地表面沉积的红土与溶洞顶部的白云岩陷入溶坑底部的锰质软泥或锰土中(图 6a)。

(2)铁锰沉积阶段:至 Gamagara 期,海平面上升,出现大规模的 Transvaal 海侵 (Beukes et al., 1987; Leisen, 1987; Beukes, 1993; Plehwe-leisen et al., 1995; Gutzmer et al., 1996),海平面升至 Maremane 隆起之上,Postmasburg 地区处于浅海海盆环境中,开始接受 Gamagara 沉积序列的覆盖。深海水体中的铁、锰质在上升流的作用下被运移到浅海氧化区并富集 (Kuleshov, 2011),受到氧化作用后,铁、锰的胶体颗粒沉积到白云岩基底上 (Gutzmer et al., 1997)。由于铁、锰在沉积速率和沉积位置上的

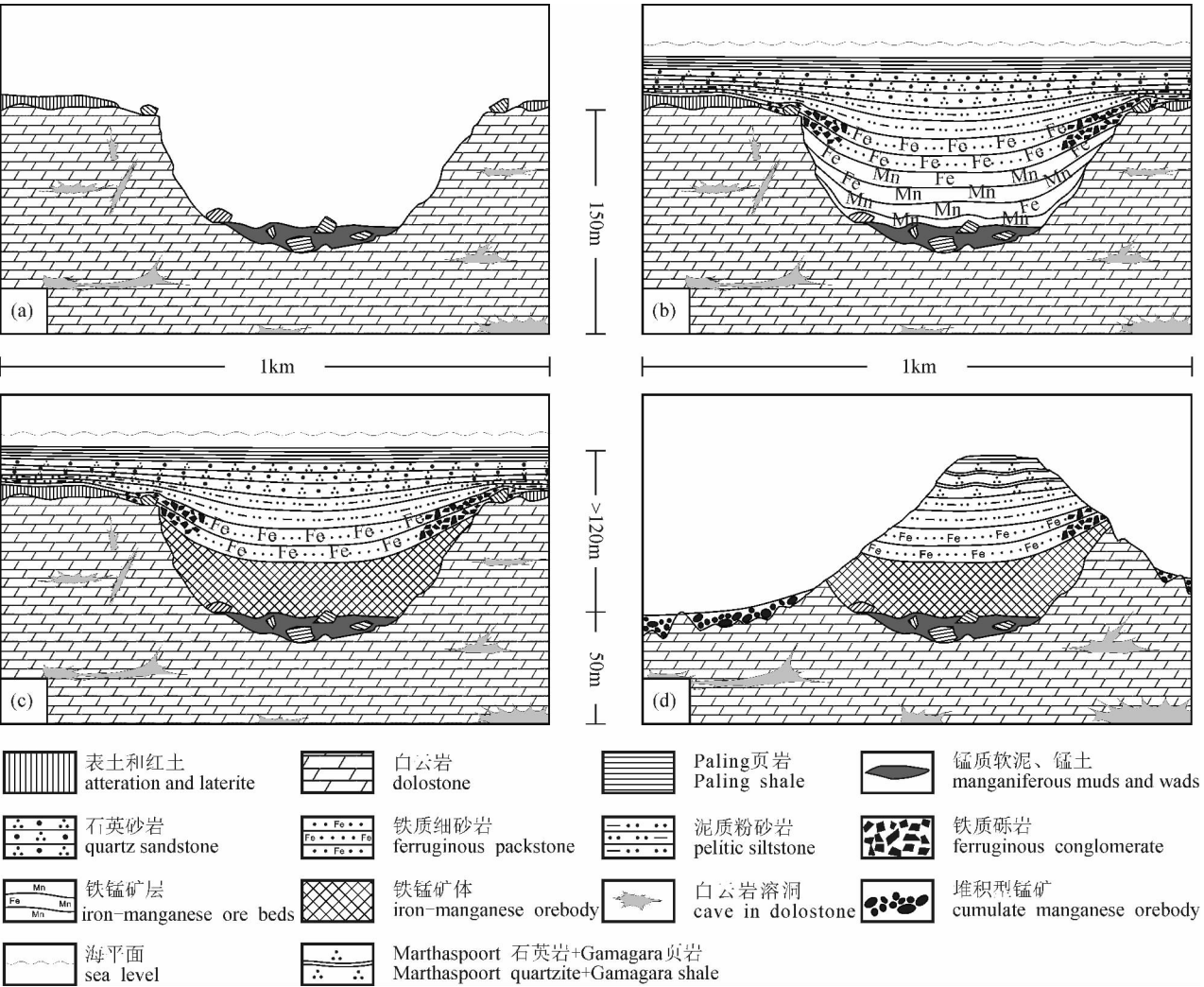


图 6 Postmasburg 地区锰矿床的发育与演化示意图

Fig. 6 Development and evolution of manganese deposits in Postmasburg

差异,致使锰的富集程度向上降低,而铁的富集程度有升高的趋势(Crerarand et al., 1974),但锰、铁的总含量基本保持稳定。此后,沉积物中铁质含量占据了绝对优势,在局部部位甚至形成了铁质砾岩。至该阶段后期,水体中的铁、锰质逐渐被泥质所替代,开始了漫长的 Gamagara 页岩组沉积期,直到泥质粉砂岩建造结束(图 6b)。这一阶段形成的铁锰沉积层与铁质层统称为铁锰建造,它是 Postmasburg 地区锰矿体的主要赋存体,因此,该阶段是矿床发育过程中最为关键的一个阶段。

(3)成矿结晶阶段:到了晚 Gamagara 期,海平面持续升高,Marthaspoort 石英砂岩和 Paling 页岩相继沉积形成,Gamagara 沉积期结束。在不间断的沉积过程中,铁锰建造中的锰质因受到上部岩层的不断压实而开始结晶,相继出现方铁锰矿和褐锰矿的

自形晶(Plehwe-leisen et al., 1995)。在靠近白云岩不整合面的部位,褐锰矿是主要的矿石矿物,方铁锰矿的含量则随着铁锰沉积序列的进行而升高(图 6c)。

(4)变质破碎阶段:Gamagara 期之后,海平面开始下降,Griqualand West 的沉积序列被抬升到海平面以上。沉积序列因受到压实作用而出现了浅程度的变质,Ghaap 组的白云岩则重新形成了岩溶系统。随着溶蚀作用的进行和溶洞的坍塌,沉积序列侧部崩解破碎,中间部位由于受到 Marthaspoort 石英岩的保护而保存下来,形成了现在的 Gamagara 低山脊。而侧部崩塌的矿体,则经过破碎、搬运后,沉积在新形成的白云岩溶坑中,形成了 Postmasburg 地区十分普遍的堆积型锰矿体(图 6d)。

# 6 结论与认识

Postmasburg 地区发育的锰矿床具有独特的地质结构和成矿机制,综合上述对该地区锰矿床地质特征、矿床类型和矿床成因的探讨,可以得到以下认识:

(1)该地区的锰矿床主要有沉积受变质型、堆积型和锰质软泥或锰土型三种类型,它们的形成都与白云岩的岩溶系统有关。锰质软泥或锰土中的锰质来源于富锰白云岩,另外两种则可能与安山岩有关。

(2)Postmasburg 地区锰矿床的沉积序列可识别出 6 个单元。其中白云岩单元构成了矿床的基底,它与上覆岩层为不整合接触关系,接触带上的锰质软泥或锰土或富锰白云岩的溶蚀残余物。其他 5 个单元界线不明显,为渐变过渡关系。

(3)由邻近矿田的形成机制推测,锰质可能来源于研究区内大范围出露的安山质熔岩,成矿过程遵从上升流模型,沉积型矿床为浅海海盆成因。

(4)矿床的发育和演化过程可以划分为 4 个阶段,其中两次出现了白云岩岩溶系统,分别为沉积受变质型矿床和堆积型矿床的发育奠定了基础。成矿后期 Marthaspoort 石英岩对层状矿体起到了保护作用,堆积型锰矿体的矿石来源于崩塌的矿层。

## 参 考 文 献 / References

鲍荣华,于艳蕊. 2011. 2010 年南非矿产资源及其开发利用. 国土资源情报, (11): 20 ~ 25.

邓燕华. 1983. 江西乐华锰矿花亭矿区一台阶矿石锰赋存状态研究. 矿冶工程, 8(8): 22 ~ 26.

董晓方. 2012. 南非矿产资源开发与利用. 现代矿业, (7): 1 ~ 6.

高仙坪. 1988. 南非卡拉哈里锰矿田早元古代 Hotazel 组游离石英氧化锰矿石建造的物理化学环境. 地质调查与研究, (1): 118.

广西壮族自治区地质局. 1974. 怎样找锰矿. 北京:地质出版社, 28.

《矿产资源综合利用手册》编辑委员会. 2000. 矿产资源综合利用手册. 北京:科学出版社, 252.

李上森. 1996. 卡拉哈里锰矿田的火山—喷气成因. 国外前寒武纪地质, (1): 53 ~ 54.

苏俊华. 1983. 一个沉积成因类型的褐锰矿——斗南锰矿. 中国地质科学院矿床地质研究所刊, (4) A: 33 ~ 49.

Altermann W, Hiiilbich L W. 1991. Structural history of the southwestern corner of the Kaapvaal Craton and the adjacent Namaqua realm. Precambrian Res. , 52: 133 ~ 166.

Bardossy G. 1982. Karst bauxites, bauxite deposits on carbonate rocks: Amsterdam, Elsevier, 441.

Beukes N J, Gutzmer J. 1996. A volcanic—exhalative origin for the world's largest( Kalahari) manganese field——A discussion of the paper by Cornell D H and Schiitte S S. Mineralium Deposita, 31: 242 ~ 245.

Beukes N J, Smit C A. 1987. New evidence for thrust faulting in

Griqualand West, South Africa: implications for stratigraphy and the age of red beds. South African Journal of Geology, 90(4): 378 ~ 394.

Beukes N J. 1983. Palaeoenvironmental setting of iron formations in the depositional basin of the Transvaal Supergroup, South Africa. In: Trendall A F and Morris R C. eds. Iron Formations: Facts and Problems, Amsterdam, Elsevier, 131 ~ 209.

Beukes N J. 1986. The Transvaal Sequence in Griqualand West. In: Anhaeusser C R and Maske S. eds. Mineral deposits of Southern Africa. The Geological Society of South Africa, Johannesburg, 819 ~ 828.

Beukes N J. 1993. A review manganese deposits associated with the Early Proterozoic Transvaal Supergroup in Northern Cape Province, South Africa. In: 16th Colloquium on African Geology, Ezulwini, Swaziland (abstract), 5.

Boardman L G. 1940. The geology of the manganese deposits on Aucampsrust, Postmasburg. Trans. The Geological Society of South Africa, 3: 27 ~ 36.

Boardman L G. 1964. Further geological data on the Postmasburg and Kuruman Manganese Ore Deposit, Northern Cape Province. In the geology of some ore deposits of Southern Africa, Johannesburg: The Geological Society of South Africa, 2: 415 ~ 440.

Brusnitsyn A I, Starikova E V, Zhukov I G. 2000. The Kyzyl—Tash manganese deposit ( Southern Ural, Russia ): A Devonian prototype of low-temperature hydrothermal buildups in the modern Ocean. Geology Miner. Deposits, 42(3): 231 ~ 247.

Cannon W F, Force E R. 1983. Potential for high-grade shallow-marine manganese deposits in North America. In: Sfranks W C III. eds. , Unconventional Mineral Deposits, New York: Mining Engineers, 175 ~ 190.

Cornell D H, Schiitte S S. 1995. A volcanic—exhalative origin for the world's largest( Kalahari) Manganese field. Mineralium Deposita, 30: 146 ~ 151.

Crerarand D A, Barnes J L. 1974. Deposition of deep-sea manganese nodules. Geochimica et Cosmochimica Acta, 38: 279 ~ 300.

De Villiers J. 1956. The manganese deposits of the Union of South Africa. International Geological Congress, 20th, Mexico City, Symposium del Manganeso, 40 ~ 52.

Dowling C E, Fey M V. 2007. Morphological, chemical and mineralogical properties of some manganese-rich oxisols derived from dolomite in Mpumalanga province, South Africa. Geoderma, 141: 23 ~ 33.

Du Toit A L. 1933. The manganese deposits of Postmasburg, South Africa: Economic Geology, 28: 95 ~ 122.

Eriksson P G, Hattingh P J, Altermann W. 1995. An overview of the geology of the Transvaal Sequence and Bushveld Complex, South Africa. Mineralium Deposita, 30: 98 ~ 111.

Force E R, Cannon W F. 1988. Depositional model for shallow-marine manganese deposits around Black Shale Basins. Economic Geology, 83(1): 93 ~ 117.

Frakes L A, Bolton B R. 1984. Origin of manganese giants: Sea level change and anoxic—oxic history. Geology, 12(1): 83 ~ 86.

Grobelaar W S, Beukes N J. 1986. The Bishop and Glosam manganese mines and Beeshoek iron ore mine of the Postmasburg area. In: Anhaeusser C R, Maske S. eds. Mineral deposits of southern Africa: Johannesburg, Geological Society of South Africa, 957 ~ 961.

Gutzmer J, Beukes N J, Yeh H W. 1997. Fault controlled metasomatic alteration of Early Proterozoic Sedimentary manganese ores at Mamatwan Mine, Kalahari Manganese Field, South Africa. South

African Journal of Geology,100(1):53~71.

Gutzmer J, Beukes N J. 1996. Karst-hosted fresh-water Paleoproterozoic manganese deposits, Postmasburg, South Africa. *Economic Geology*, 91:1435~1454.

Holland H D, Beukes N J. 1990. A palaeoweathering profile from Griqualand West, South Africa: Evidence for a dramatic rise in atmospheric oxygen between 2.2 and 1.9 BYBP. *American Journal of Science*,290A:1~34.

James N, Choquette P W. 1988. *Paleokarst*. New York: Springer Verlag, 1~416.

Kuleshov V N. 2011. Manganese Deposits: Communication 1. Genetic Models of Manganese Ore Formation. *Lithology and Mineral Resources*,46(5):473~493.

Leisen H. 1987. Geologisch—tektonische Kartierung der Griqualand West and Olifantshoek Sequenzen in der Nordlichen Kapprovinz, Südafrika, auf der Grundlage von Landsat—Mss—Daten und terrestrisch—photogrammetrischen Aufnahmen, Unpublished Ph. D. thesis, Ludwig—Maximilian—University, München, 118.

Maissonneuve J. 1982. The composition of the Precambrian ocean waters. *Sedimentary Geology*,31:1~11.

Nel C J, Beukes N J, De Villiers J P R. 1986. The Mamatwan Manganese Mine of the Kalahari Manganese Field. In: Anhaeusser C R, Maske S. eds. ,Johannesburg: The Geological Society of South Africa,963~978.

Nel L T. 1929. The geology of the Postmasburg manganese deposits and the surrounding country. *Geological Survey, Johannesburg*,109.

Nicholson K. 1992. Contrasting mineralogical—geochemical signatures of Manganese oxides; Guides to metallogenesis. *Economic Geology*,87: 1253~1264.

Plehwé-leisen E V, Klemm D D. 1995. Geology and ore genesis of the manganese ore deposits of the Postmasburg manganese-field, South Africa. *Mineralium Depoista*,30:257~267.

SACS(South African Committee for Stratigraphy). 1980. Stratigraphy of South Africa, Handbook 8, Part 1 of the Department of Mineral and Energy Affairs. Pretoria: Government Printer,1~690.

Schneiderh? hn H. 1931. Mineralbestand und gefüge der manganerze von Postmasburg, Griqualand West, Südafrika: Neues Jahrbuch Mineralogie. Beilagen Band,64A:701~726.

Schulz O. 1982. Karst or thermal mineralizations interpreted in the light of sedimentary ore fabrics. In: Amstutz C G, El Goresy A. eds. *Ore genesis—The State of the Art*. Berlin:Springer,108~117.

Truswell J F, Eriksson K A. 1973. Stromatolitic associations and their palaeoenvironmental significance: a reappraisal of a lower Proterozoic locality from the northern Cape Province, South Africa. *Sedimentary Geology*,10:1~23.

Van Schalkwyk J F, Beukes N J. 1986. The Sishen iron ore deposit, Griqualand West. In: Anhaeusser C R, Maske S. eds. *Mineral Deposits of Southern Africa*. Johannesburg: The Geological Society of South Africa,931~956.

Varentsov I M, Veinmarn A B, Rozhnov A A. 1993. Geochemical model of the formation of manganese ores in the Famennian Riftogenic Basin in Kazakhstan: Major components, rare earths, and trace elements. *Litol. Polezn. Iskop.*, (3):56~79.

Visser D J L. 1944. Stratigraphic features and tectonics of portions of Bechuanaland and Griqualand West, Transvaal. *The Geological Society of South Africa*,47:197~254.

# Geological Characteristics and Genesis Analysis of Deposits in Postmasburg Area, South Africa

CHANG Honglun, KONG Fanhui, SONG Xiaodong, DU Jun, ZHAO Jin, LI Jianfeng, WANG Congying  
*North China Engineering Investigation Institute Co., Ltd, Shijiazhuang, 050021*

**Abstract:** Bishop and Paling mining areas in Postmasburg district are taken as the target of research, and six lithological units are identified for the stratum, which are dolostone unit, iron—manganese ore unit, ferruginous fine sandstone/ferruginous conglomerate unit, politic siltstone unit, quartz/Gamagara shale unit and Paling shale unit. Three types of ores, sedimentary—metamorphism, cumulate type, and manganese mud or wad type, are identified and the genetic models are discussed. According to the depositional sequence, the development and evolution process of the study area is divided into four stages. The result shows that manganese mud or wad is the residues of the manganese-rich dolostone after corrosion. The units in the depositional sequence have a gradual transition relationship while the depositional sequence is unconformable with dolostone. All of the three types of ores are related to the karst system, and Mn in the manganese mud or wad origins from manganese-rich dolostone, while in the other two types probably origins from andesite. The sedimentary—metamorphism type and cumulate type of ores are formed after karst system respectively. The orebodies are preserved with the protection of Marthaspoort quartz after metallogenesis.

**Key words:** South Africa; manganese deposit; iron—manganese construction; sedimentary—metamorphism; genetic model