



# 南非维特沃特斯兰德德里霍特恩(Driefontein) 超大型金(铀)矿床\*

王杰,任军平\*\* 刘晓阳,许康康,何胜飞,贺福清

(天津地质矿产研究所,天津 300170)

德里霍特恩(Driefontein)金(铀)矿床位于南非豪登省西南部的卡勒顿维累(Carletonville)附近,北东距首都约翰内斯堡70 km,中心地理坐标为南纬26°24',东经27°30',是世界上超大型砾岩型金矿床的典型代表,曾经被认为是世界上最富的金矿床(图1)。该矿床由南非三大金矿生产商之一的金田公司开采和管理,该公司已经建立了完善的由浅至超深的金矿采矿系统,地面以下600~3300 m(第50个工作面)是主要采矿区域。2006年以来,矿山正在向深部拓展巷道,2009年的金矿石储量(Mineral Reserves)为75.2 Mt,以目前的开采速度预计该矿山开采年限可延续至2040年。其中的西德里霍特恩金矿于1945年3月登记,1952年投产,东德里霍特恩金矿于1968年3月登记,1972年投产,直到1999年9月,东、西德里霍特恩金矿进行资源整合形成德里霍特恩金矿,并且进一步扩充了资源储量。矿区内竖井主要有13个(图2),其中5号和9号竖井是矿区开采最深的区域。该矿床矿石平均品位8.4 g/t,其中最高达43 g/t,尾矿为0.3 g/t。至2005年8月,累计生产达到1亿盎司的金锭。德里霍特恩金(铀)矿床是卡勒顿维累金矿田中最重要的矿床,为南非的经济和社会发展发挥了重要作用。

## 1 成矿环境

在大地构造位置上,德里霍特恩金(铀)矿床地处南非卡普瓦拉克拉通南部边缘,太古宙火山沉积岩系和花岗岩穹窿之间的兰德断陷盆地北部的西兰

德莱恩(West Wits Line)金矿田(图1)中,矿石产于太古宙维特沃特斯兰德系地层中,并且矿化与砾岩具有密切的时空分布关系,形成于2718~3060 Ma。该地层主要由云母片岩、石英岩、长石石英岩及砾岩组成,不整合于太古宙片麻岩和花岗岩之上。含矿岩石以砾岩为主,少量为石英岩,其中矿化砾岩按伴生的金属矿物可分2类:含黄铁矿和磁黄铁矿的砾岩,含赤铁矿和钛铁矿的砾岩。含矿砾岩由70%的砾石和30%的胶结物所组成,金(铀)富集在胶结物中。含矿砾岩层中含有大量有用矿物,可回收利用的金属及矿物有金、银、铀、钼、钨、铀矿和黄铁矿等。主要铀矿物为晶质铀矿及铀钍碳氢矿,其次为沥青铀矿、钛铀矿,含铀矿物为锆石和独居石。矿床类型为石英卵石砾岩型,金、铀共生,以金为主,铀作为回收的副产品。

## 2 矿床地质

德里霍特恩金(铀)矿床东西长15 km,南北宽12 km。矿区内不出露基底太古宙花岗岩,仅局部见西兰德群,矿化主要赋存于中兰德超群中,矿体呈层状,局部呈不连续透镜状,其主要矿层从下到上依次包括:① Carbon Leader Reef (CL);② Middolvei Reef (MR);③ Ventersdorp Contact Reef (VCR),其中CL是金品位最高的一个矿层(图2)。VCR和CL在有侵蚀沟(erosion channel)的地方呈角度不整合。目前,在整个矿床的资源储量中,CL占81%,VCR占17%,MR占2%。

\* 本文得到地质调查项目“非洲中南部重要矿床地质背景、成矿作用和找矿潜力研究(编号:1212011220910)”资助

第一作者简介 王杰,男,1964年生,高级工程师,从事地质矿产勘查工作。Email: wangjie513046@163.com

\*\* 通讯作者 任军平,男,1980年生,助理研究员,从事地质矿产勘查工作。Email: rjp2333@126.com

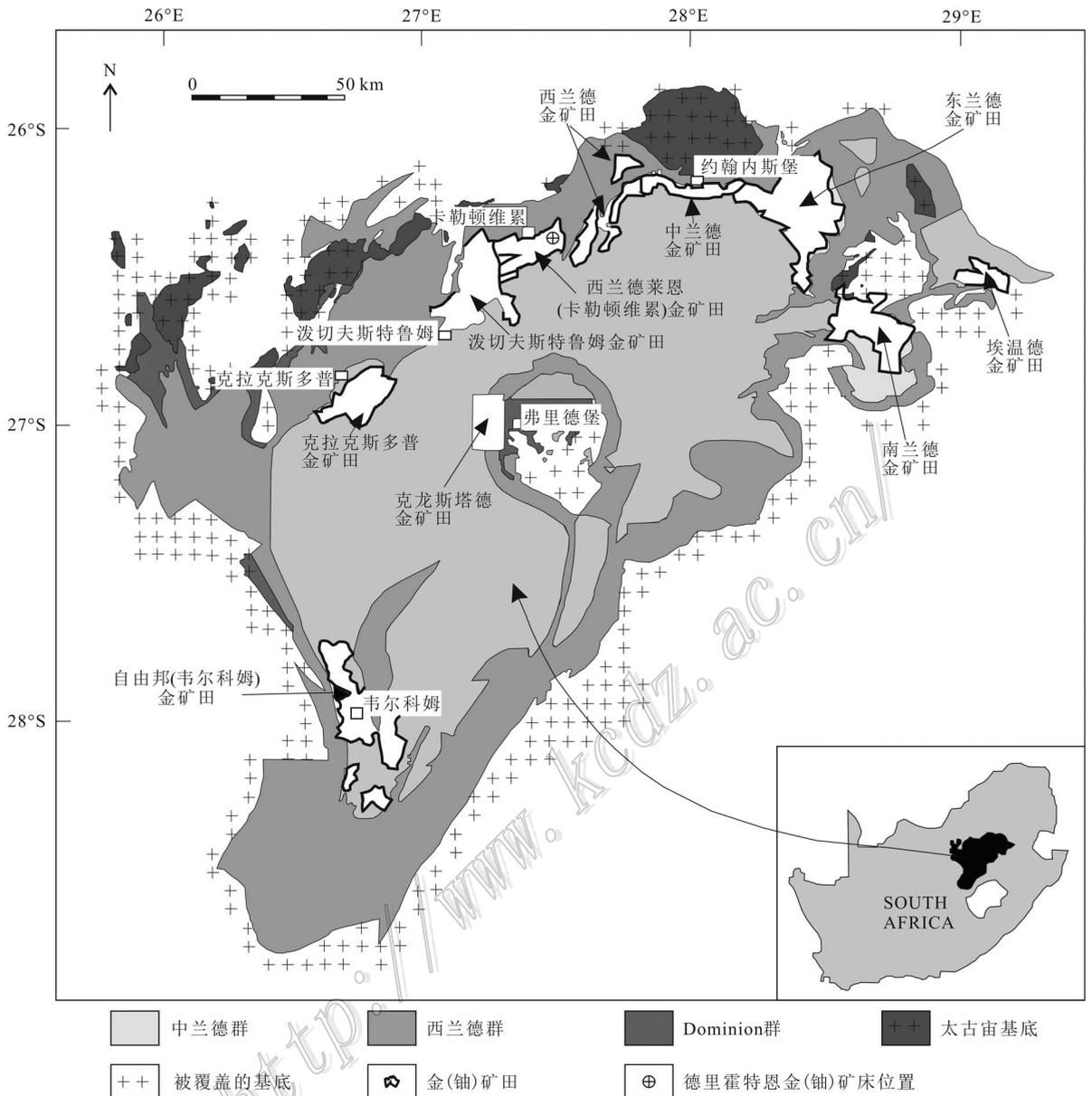


图 1 维特沃特斯兰德盆地内金矿田分布图(Bjinse et al., 2010)

**Carbon Leader Reef:** 该矿层广泛分布于矿区西部,其特征可与中兰德群的 Main Reef 矿层进行对比,主要包括石英岩、粗砂岩和砾岩等,整体可见富含碳质的条纹。在富含碳质石英岩中可见磁黄铁矿和黄铁矿。在局部富含碳质的卵石层中,卵石为直径小于 3 cm 的滚圆状石英。矿层厚度变化大,从单一条纹到含碳条带(厚 7 cm),直到含多条带的厚度达 200 cm 的中等卵石的砾岩层。CL 是含矿最深的层位,在矿区内分布广泛,但在 VCR 底部侵蚀面和北部侵蚀沟区域缺失。CL 在矿床中呈现 4 种类型:

西部的碳层相 (CSCLR) 和单一条带状砾岩相 (SCLR),中部的多条带相 (MCLR) 和底部的单一条带砾岩相,东部和西部单一条带相的不同在于它们的含金量和沉积水道的宽度。据统计,MCLR 的金品位一般低于 SCLR 的金品位,同时 SCLR 含金量低于 CSCLR 的含金量。该矿层内碳层越多,金(铂)含量越高,局部碳质线上可见明金,品位达 100 g/t,平均 10 g/t。

**Middolvei Reef:** 该矿层主要分布于矿区中部,西部也见少量出露,其特征可与中兰德群 South Reef

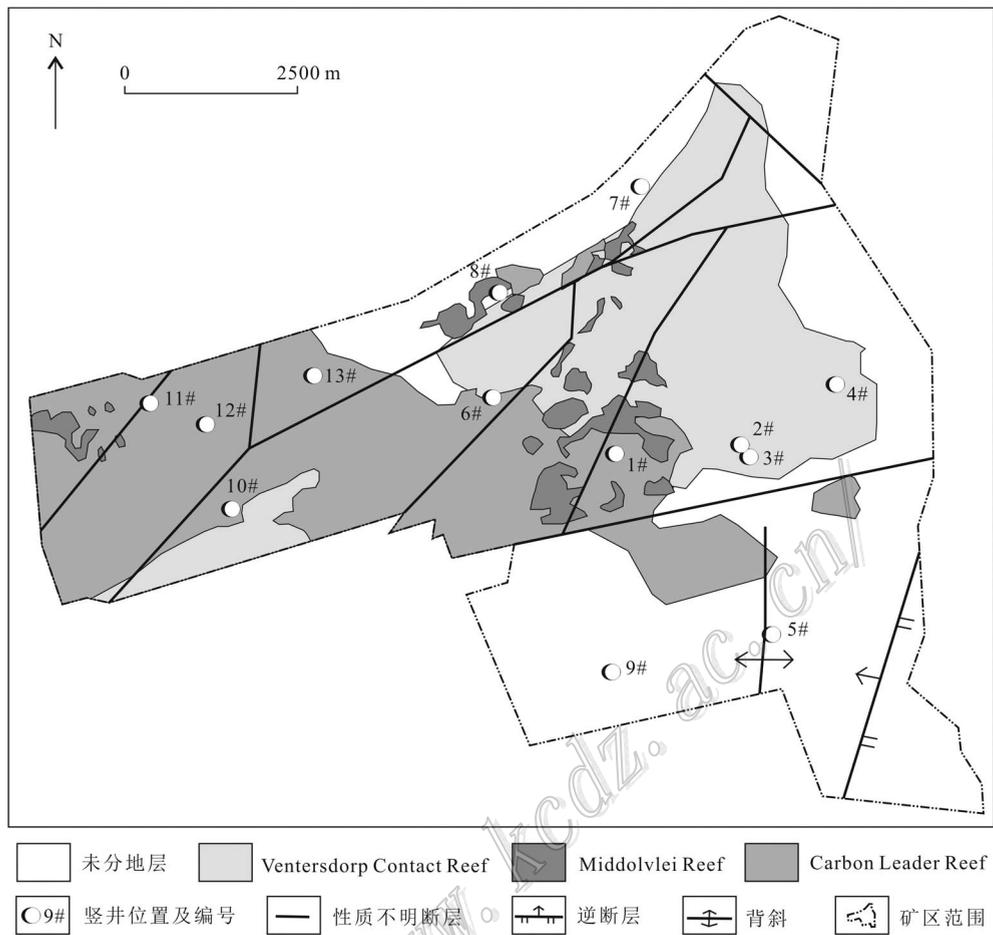


图2 德里霍特恩金(铀)矿床地质简图(据 Bijnse et al., 2010 修改)

进行对比,出露厚约 50 m,局部厚达 6 m,其中卵石磨圆度较好,一般直径 30 mm,偶见直径达 60 mm。含大卵石的砾岩局部被石英岩夹层分离为上、中、下 3 个条带,一般为脉石英卵石。MR 矿层底部条带最具经济价值,品位达 5~6 g/t。

**Ventersdorp Contact Reef:** 该矿层广泛分布于矿区东部,位于中兰德超群顶部(?),从西至东的 VCR 逐步覆盖老地层,且与上部 Klipriviersberg 群熔岩呈不整合接触,它代表沉积的最后阶段,沉积物分为 5 个主要的岩相,包括一系列厚度和金品位不同的单成分和多成分砾岩。该层是由冲积扇沉积形成,按其形成条件可分为近源型和远源型 2 类,其中在矿区西部主要是近源型。

矿石中主要有用矿物是自然金、沥青铀矿、碳铀钍矿、黄铁矿,主要容矿岩石是富石英砾岩、砂屑岩,而页岩和粉砂质白云岩也常有矿化。自然金的粒度多数在 5~100  $\mu\text{m}$ ,明金少见。沥青铀矿颗粒一般

都较小,在 0.1 mm 左右,岩石中铀的含量较均匀(陈毓川等,1995)。矿石构造主要为浸染状、细脉状和网脉状等。矿区构造主要是由于盆地边缘重力滑动作用形成,后期对矿体起到破坏作用。矿区内构造走向主要有北东向、近南北向和近东西向。

### 3 矿床成因

关于兰德砾岩型金(铀)矿床的成因主要有 2 种:一是热液交代成因说,认为金(铀)是在砾岩沉积以后由岩浆热液带来的;二是沉积成因说(Ram-dohr, 1958),认为金是以碎屑颗粒的形式和砾岩中的其他碎屑成分一起沉积的。后者在争论中不断完善成矿理论和模式,并被多数矿床学家所接受(Pretorius, 1975; Schaefer et al., 2010)。沉积成因观点的主要依据是:①金(铀)砾岩都是产在太古宙地壳形成以后,大陆上升的第一旋回,主要富集在每个旋回

的底部或者靠近底部,受地层控制明显;②金(铀)矿化主要赋存于石英砾岩及与其有关的石英岩沉积岩内;③含矿砾岩一般产在古河床和三角洲;④没有重结晶的金、沥青铀矿和黄铁矿呈滚圆状碎屑颗粒;⑤金、沥青铀矿、黄铁矿和其他的碎屑重矿物独居石、锡石和铬铁矿等共生;⑥金(铀)矿物一般富集在岩层底部灰色岩石(富碳质)中。

## 4 找矿模型

德里霍特恩超大型金(铀)矿床的矿体严格受层状、似层状的砾岩地层的控制,主要矿化标志可归纳如下:

- (1)金(铀)搬运沉积距离短,多产于盆地边缘冲积扇或者扇形三角洲地区;
- (2)容矿岩石主要为太古宙砾岩;
- (3)金(铀)产于不同沉积旋回之间砂层中的不整合面上砾岩的胶结物中;
- (4)金(铀)产在碳质层中或泥层上的不整合面上。

## 5 初步认识

- (1)德里霍特恩金(铀)矿床在盆地边缘的冲积扇中产出,金(铀)矿化主要在太古宙砾岩内产出;
- (2)尽管金(铀)矿床受到砾岩地层的控制,但是含矿砾岩在金(铀)矿床形成过程中,大量的花岗

岩——绿岩带基底物质参与其中,故认为其可能是金和铀的主要来源;

(3)无论从成矿环境和地质特征上,还是从矿物成分、矿床成因及获得的资源量上来看,德里霍特恩金(铀)矿床都是南非兰德砾岩型金(铀)矿床的典型代表;

(4)中国的华北克拉通和南非的卡普瓦拉克拉通在地质特征等方面具有相似性,希望借鉴该矿床的成功经验,以促进华北克拉通内部砾岩型金(铀)矿的找矿突破。

## 参考文献/References

- 陈毓川,沈保丰,蔡文彦,等. 1995. 南非矿山考察简况[J]. 国外前寒武纪地质, 2: 1-18.
- Bjinse T, Dankert K A and Hein A. 2010. Evaluating the structural character and tectonic history of the Witwatersrand Basin[J]. Precambrian Research, 177: 1-22.
- Pretorius D A. 1975. The depositional environment of the Witwatersrand Goldfields: A chronological review of speculations and observations[J]. Minerals Science and Engineering, 7: 18-47.
- Ramdohr P. 1958. New observations on the ores of the Witwatersrand in South Africa and their genetic significance[J]. Transactions of the Geological Society of South Africa, 61: 1-50.
- Schaefer B F, Pearson D G, Rogers N W, et al. 2010. Re-Os isotope and PGE constraints on the timing and origin of gold mineralisation in the Witwatersrand Basin[J]. Chemical Geology, 276: 88-94.