维普资讯 http://www.cqvip.com

岩浆，硫化物矿床，成矿机制

第70卷 第3期
1996年8月

地 质 学 报
ACTA GEOLOGICA SINICA

Vol. 70 No. 3
Aug. 1996

237－243

中国岩浆硫化物矿床的主要成矿机制

汤中立
（甘肃省地质矿产局，兰州）

P611

A



深部熔离-贯入成矿机制，即指母岩浆侵入现存空间之前，在深部就发生了熔离作用和部分结晶作用，使母岩浆分离为不含矿岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆、矿浆几部分，然后对现存空间一次或多次上侵贯入成矿。一般来说，经过深部熔离后的不含矿岩浆的体积，比含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆的体积要大得多，在上侵过程中，不含矿岩浆大部分都侵入到不同的空间或喷溢出地表，形成岩群或岩流，剩余的岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆可以多次贯入同一空间成岩、成矿（金川），也可以分别贯入不同的空间成岩、成矿（红旗岭）。比照就地熔离的矿床，这种深部熔离-贯入矿床的岩体体积就小得多，含矿率和矿石品位也高得多，所以这种成矿作用导致形成小岩体，大矿床。

关键词 深部熔离 贯入 小岩体 大矿床

关于深部熔离-贯入成矿作用，从70年代前期以来，笔者等曾先后在多种期刊和著作中论述过[1-5]。最近十年，我们通过对中国镍矿床和金川矿床的进一步研究，更加明确认识到：正是这种成矿机制，导致了“小岩体成大矿”。目前中国镍矿工业的资源保证，主要来源于这类“小岩体·大矿床”。

本文对深部熔离-贯入成矿机制以及由于这种机制引发的小岩体成大矿、矿床组合成矿模式、矿床类型等诸多问题，作一概括论述。目的是想说明：按照“小岩体成大矿”的观点，不仅镍矿仍有很大勘查潜力，对于铂矿，也可能是一个取得突破的途径，值得进行探索。

1 深部熔离-贯入成矿作用，是小岩体成大矿的理论基础

早在上个世纪，人们发现了世界第一大硫化镍矿，即加拿大萨德贝里（Sudbury）矿床，该矿产于一椭圆形岩盆中。岩盆长>50km，宽>20km，面积约1000km^{2}以上；岩盆由上而下发育花斑岩（granophyre）、石英辉长岩、苏长岩、镁铁质苏长岩；铜镍硫化物矿主要产于底部苏长岩（sublayer）和底盘角砾岩中[6]。弗吉特（J. H. L. Vogt，1923）极力主张以熔离作用解释这一矿床的成因，直到本世纪50—60年代，世界上仍然流行着：侵入体必须巨大但产出要浅，这样才能构成硫化物熔融体适宜聚积的底层；玄武岩质、辉长岩质、苏长岩质的岩浆演化有利于矿质的析离[7]。

---

① 甘肃省地质局第六地质队．某硫化铜镍矿床成矿特征及找矿方向．地质科技，1975，(4)．

本文1995年9月收到，1996年3月改回，季国容编辑。

维普资讯 http://www.cqvip.com

50 年代末期，中国发现并勘探了金川镍矿，金川岩体的面积只有 1.34km²，但却容有世界第二大硫化镍矿，岩体 47.8%的体积都是矿体，这么巨大的储量，怎么能从这样小的岩(浆)体中熔离出来呢？后来在中国吉林又发现了红旗七矿床，这个岩体 96%的体积都是由海绵陨铁状富矿石组成的。所有这些事实，使人们认识到这些矿床都不是就地熔离作用形成的，因此提出了"深部熔离-贯入成矿作用"，这种成矿作用简要表述于下："母岩浆侵入现存空间之前，在深部就发生了熔离作用和部分结晶作用，使母岩浆分离为不含矿岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆、矿浆几部分，然后对现存空间一次或多次上侵贯入成矿"。

一般来说，经过深部熔离后的不含矿岩浆的体积，比含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆的体积要大得多，在上侵过程中，不含矿岩浆大部分都侵入到不同的空间或喷溢出地表，形成岩群或岩流，剩余的岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆可以多次贯入同一空间成岩、成矿(金川)，也可以分别贯入不同的空间成岩、成矿(红旗岭)。比照就地熔离的矿床，这种深部熔离-贯入矿床的岩体体积就小得多，含矿率和矿石品位也高得多。所以这种成矿作用导致形成小岩体、大矿床。

2 深部熔离-贯入矿床的组合成矿模式

选择了金川、红旗七、喀拉通克和铜硐子四个矿床作为此类矿床不同型式的代表，它们的地质和矿床情况见表 1、2，成矿过程见图 1。补作以下几点说明：

表 1 深部熔离-贯入矿床岩体地质对比

Table 1 Comparison of intrusions related to deep-seated liquation-injection type deposits

岩体名称	金 川	红旗七	喀拉通克	铜硐子
构造背景	华北古地块西南边缘裂谷	华北古地块东北边缘与张广才岭褶皱带接壤的褶皱带一侧	阿尔泰褶皱带与准噶尔褶皱带接壤的准噶尔褶皱带一侧	华北古地块燕山沉降带南缘
分布型式	沿推覆大断裂上盘成带分布	沿北西向次级断裂成群分布	沿加善萨尔背斜北翼成带分布	沿撮崖子口断裂成带分布
岩体规模形态	1.34km²，岩墙状	约 0.02km²，岩墙状	<0.2km²，透镜状	<0.03km²，脉状
岩石组合	中细粒二辉橄榄岩-橄榄二辉岩、中粗粒含辉橄榄岩-二辉橄榄岩-斜长二辉橄榄岩-橄榄二辉岩-二辉岩、中粒纯橄榄岩，以上三相为三期侵入形成，中细粒相--中粗粒相—中粒相呈依次侵入的顺序	顽火辉石岩-苏长岩、橄榄岩(脉)，顽火辉石岩占岩体体积 96%，边缘少量苏长岩，后期为橄榄岩脉	闪长岩(边缘)-辉长苏长岩-橄榄苏长岩-辉长辉绿岩(下部边缘)，各岩相为岩浆侵入分异、同化作用形成	辉长辉绿岩岩脉边缘粒度变细
围岩	顶板：花岗片麻岩、混合岩、斜长角闪岩、大理岩；底板：大理岩、黑云母片麻岩等	顶板：角闪片岩、黑云母片麻岩；底板：黑云母片麻岩	顶板：沉凝灰岩、泥板岩；底板：沉凝灰岩	顶底板：变粒岩、混合岩、斜长角闪岩
成岩时代	1508±31Ma	华力西期	291±27.3Ma	燕山期?

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 2　深部熔离-贯入矿床地质对比

Table 2　Geological comparison of deep-seated liquation injection type deposits

矿床名称	金　　川	红旗七	喀拉通克	铜硐子
分布型式	在区域岩带中呈点状单独产出	在一个岩群中，出现两个以上矿床，如红旗七、红旗一	在岩带中呈点状产出	岩群中呈多个矿化点产出
矿体类型	①就地熔离矿体（以星点状矿石为主）； ②深熔贯入矿体（以海绵状矿石为主）； ③晚期贯入矿体（以块状矿石为主）； ④接触交代矿体（以浸染状、稠密浸染状矿石为主）； ⑤热液叠加矿体（以变海绵状矿石为主）	①深熔贯入矿体（占岩体 96% 以上，为海绵状矿石）； ②晚期贯入矿体（为块状矿石）	①就地熔离矿体（浸染状，稠密浸染状矿石）； ②晚期贯入矿体（块状、稠密浸染状矿石）	①深熔贯入矿体（浸染状矿石）； ②晚期贯入矿体（块状矿石）
主要矿石类型	海绵陨铁状矿石	海绵陨铁状矿石	稠密浸染状矿石，块状矿石	块状矿石
主要金属矿物	磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、方黄铜矿、马基诺矿、墨铜矿、紫硫镍铁矿、褐硫钾镍铁矿等；铂族矿物：砷铂矿、金铂钯矿、锡铂钯矿、碲铂矿、自然铂等	磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铁矿、紫硫镍铁矿、白铁矿、黄铁矿、针镍矿、磁铁矿等	磁黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿、白铁矿、紫硫镍铁矿、方黄铜矿，斑铜矿、马基诺矿、方钴矿等	磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、微量紫硫镍铁矿等
$\frac{Cu}{Ni+Cu}$	0.39	0.24	稠密浸染状矿石 0.57，块状（细脉）浸染状矿石 0.54	
$\frac{Pt}{Pt+Pd}$	0.49		稠密浸染状矿石 0.50，块状矿石 0.51	
$\frac{Pt+Pd}{Ru+Ir+Os}$	7.54			

2.1　岩体和矿床的产出特征

这类岩体多产于古大陆边缘裂谷或褶皱带、沉降带边缘，一般都成带、成群分布，这些成带、成群的岩体，往往全部或一部分具有同源的性质；在这种岩带或岩群中，成矿的岩体可以呈点状单独产出，也可以呈两个或多个矿床、矿化点产出，但成矿的岩体规模都很小，一般岩体面积 0.0n—0.nkm^2 之间，最大不超过几平方公里。

2.2　组合成矿模式

金川成矿模式　是这类矿床成矿机制最完整的体现，由图 1 可见：岩石圈下部局部熔融的母岩浆，因地幔岩密度差上浮到达地幔上部，由于地壳拉张或深断裂作用而进入地壳下部岩浆房。地壳拉张与应力释放往往是间歇性的，致使岩浆的上侵也应是脉动性的。应力释放时岩浆上侵，相对停止时岩浆就停留下来，这样岩浆就遵循了上侵—停留—再上侵……这种脉动式规律，直到侵入地壳浅部 10—15km 深度，达到应力平衡，温度逐渐下降，固结成岩成矿。

岩浆上侵过程中每次停留，就是一个中途岩浆房，每次再上侵，由于滞后作用，就会在岩浆

维普资讯 http://www.cqvip.com

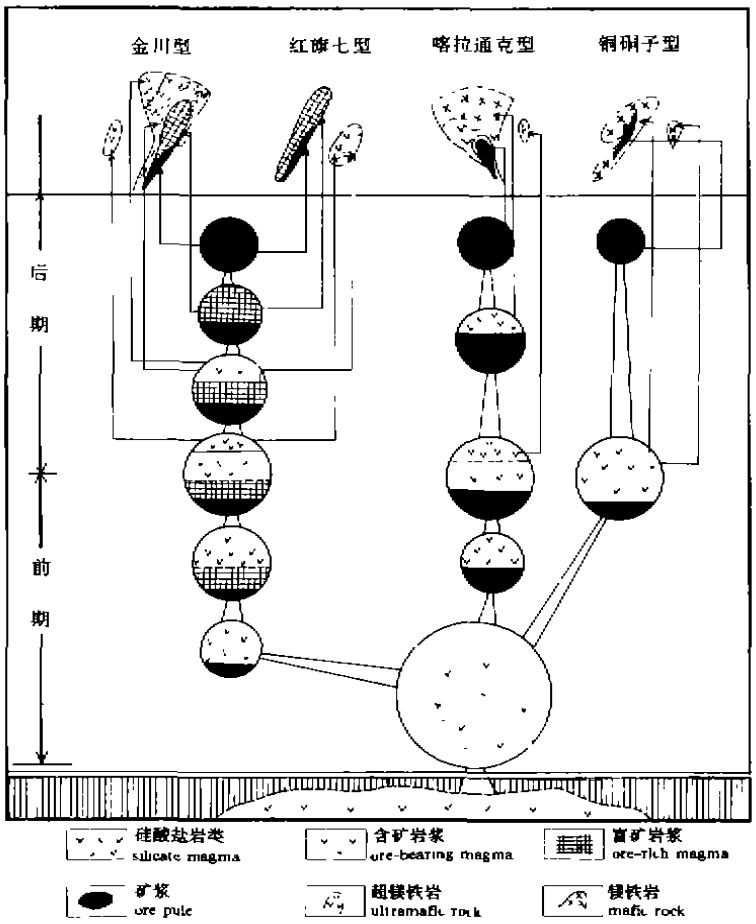


图 1 组合成矿模式示意图

Fig. 1 Assemblage metallogenic model diagram

的头部、中部和尾部分布着轻的、中等的和重的岩浆。所谓岩浆的轻重，主要取决于它携带熔离硫化物熔融体的多少，携带多则重，少则轻，以纯硫化物熔融体为主组成的矿浆最重，往往分布于上侵岩浆的尾部。当上侵岩浆每进入一个中途岩浆房，就会按照进入的先后和岩浆的轻重由上而下依次分布，逐渐形成了岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆这种四层结构的岩浆房，然后再由上而下依次侵入到地壳浅部的现存空间成岩、成矿。对金川矿床来说，上层岩浆的大部分都侵入到矿床外围的不同空间，形成侵入岩体群，只有少量岩浆和下部的含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆，分次侵入到同一现存空间，固结形成了金川矿床。

实验证明[8]，岩浆在 1400—1500℃的高温状态下，就开始发生熔离作用，由此说明，在岩浆上侵过程中，熔离作用是连续的，较早熔离出来的液态硫化物主要聚集于底部矿浆中，较晚的液态硫化物则依次聚集于富矿岩浆和含矿岩浆中。此外，还发生了部分结晶作用，早期结晶的橄榄石和少量辉石，主要聚集于富矿岩浆中，与液态硫化物形成海绵陨铁构造。

红旗七模式 和金川模式具有类似的深部熔离和岩浆上侵过程，亦形成了四层结构岩浆房。但是上部的岩浆和含矿岩浆全部贯入了其它现存空间，形成了红旗岭岩群和红旗一矿床，只有下部的富矿岩浆一次贯入现存空间成矿，因此几乎全部空间都由这类矿体占据。还应指出，晚期矿浆贯入作用是存在的，但量甚微，是次要的。

喀拉通克模式 与前述两种模式不同，母岩浆是辉长苏长质基性岩浆，从深部上侵过程中，除熔离作用外，结晶作用并不发育，或者虽有部分结晶作用，但因岩浆粘度相对较大，不利于结晶矿物与液态硫化物聚集形成"富矿岩浆"层，因此只形成了岩浆、含矿岩浆和矿浆三层结构岩浆房，然后大部分岩浆上侵形成岩带上的侵入体，少量岩浆和含矿岩浆及矿浆依次贯入现

维普资讯 http://www.cqvip.com

存空间形成矿床。

铜硐子模式　比较简单，当早期熔离的液态硫化物聚集于底部之后，由于矿质近乎枯竭或者由于其它原因，致使熔离作用比较微弱，因此只形成了岩浆（含微量硫化物熔体）和矿浆两层结构岩浆房，然后岩浆上侵到达不同空间成岩，矿浆再沿现存岩体内的构造裂隙贯入成矿。在围岩裂隙十分发育的情况下，矿浆亦可贯入岩体之外的围岩裂隙中成矿，如青海拉水峡矿床。

3　深部熔离-贯入矿床分类

我们曾提出过一个中国硫化镍矿床分类[2]，多年的勘查实践证明，这个分类是基本符合实际的（表 3）。但需说明：

表 3　中国硫化镍矿床类型

Table 3　Classification of nickel sulfide diposits in China

类　　别	成矿作用和方式	成　矿　特　征	实　　例
一、岩浆原地熔离矿床（Ⅰ）	在岩浆侵入现存空间后，发生岩浆熔离和结晶分异作用，使硫化物从岩浆中分离富集形成矿床	矿体多赋存于含矿岩体的底部或中下部，与基性程度较高的岩相关系密切，产状一致，与围岩一般呈渐变过渡关系	宝坛矿床
二、岩浆深部熔离-贯入矿床	在岩浆侵入现存空间前，在地壳深部就发生了岩浆熔离作用，把岩浆分离为非含矿、含矿、富矿岩浆和矿浆等不同部分，然后一次或多次上侵贯入成矿	由于岩浆深部熔离程度、上侵贯入的期次、时间间隔、贯入方式等不同，所形成的矿床特征亦不尽相同	
1. 单式贯入矿床（Ⅱ）	熔离形成的含矿或富矿岩浆一次贯入形成矿床	含矿岩体本身几乎全部构成矿体	红旗七矿床
2. 复式贯入矿床（Ⅲ）	熔离形成的非含矿岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆、矿浆两次或两次以上上侵贯入形成矿床	一般岩石形成在前，矿体形成在后，其间界限清楚，有的见穿插关系。矿体所在部位和形态与成矿时的围岩条件等有关	金川矿床 喀拉能克矿床 赤柏松矿床 力马河矿床
3. 脉冲式贯入矿床（Ⅳ）	熔离形成的非含矿岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆、矿浆等分别依次以脉冲式上侵贯入成矿	岩相和矿体的分布类似于热液脉冲形成不同成分的脉的分布，一般先成岩相在外，后成岩相和矿体在内，有时穿插外部岩相	白马寨矿床
4. 晚期贯入矿床	岩浆侵入岩体现存空间之前所形成的矿浆在岩体形成后的晚期阶段贯入成矿	一般为脉状或不规则矿体	
(1)岩内贯入矿床（Ⅴ）	深部熔离形成的矿浆，贯入到同源岩浆形成的侵入体中成矿	矿床往往穿切早期形成的各种岩相界限，形态受岩体原生构造或其它构造裂隙的控制	铜硐子矿床
(2)岩外贯入矿床（Ⅵ）	深部熔离形成的矿浆，直接贯入到侵入体附近地层中成矿	矿体受地层层面或其它构造裂隙的控制	拉水峡矿床

(1)关于宝坛矿床，我们曾提出属科马提岩的顺层侵入岩床原地熔离矿床[2]。后来毛景文

维普资讯 http://www.cqvip.com

等提出属科马提岩喷发岩流熔离矿床[9]，究竟是岩床还是岩流？还有待进一步研究。

(2)本文重新发表这张表曾作了纯文字的修改；在复式贯入矿床的实例中，除金川矿床之外，补充了喀拉通克矿床、赤柏松矿床和力马河矿床。岩内贯入矿床的实例，杏山矿床又名铜硐子矿床，现统一称为"铜硐子"矿床。

4 岩浆硫化物矿床的主要类型及实用意义

从上述分类和矿床实例便可以确定，岩浆深部熔离-贯入矿床，是中国岩浆硫化物矿床的主要类型。这类矿床的镍、铜储量可达数十万吨(红旗七、喀拉通克)至近千万吨(金川)的大型、超大型规模；矿石品位较富，一般镍>1%；含矿岩体规模小，一般只有 0.0n—0.nkm^2，最大不超过几平方公里。

如果运用深部熔离-贯入作用的观点以及小岩体成大矿的观点、对与大陆边缘裂陷和造山带晚期作用有关的镁铁-超镁铁岩带或岩群进行或重新进行研究和勘查，预计会有新的、重大的发现。

本篇得以成文，特别感谢程裕淇院士的热情支持。

参 考 文 献

1 甘肃省地质局第六地质队. 白家咀子硫化铜镍矿床地质. 北京：地质出版社，1984. 202—207 页.

2 汤中立、任端进. 中国硫化镍矿床类型及成矿模式. 地质学报，1987，61(4)：350—360.

3 Tang Zhongli and Ren Duanjin. Types and metallogenic models of nickel sulfide deposits of China, Acta Geol. Sin. 1988, 1 (2): 193—206.

4 Tang Zhongli et al. Nickel deposits of China. Mineral Deposits of China. Geological Publishing House, 1992, 2. 60—88.

5 Tang Zhongli. Genetic model of the Jinchuan nickel-copper deposit, in Kirkham R V, Sinclair W D, Thorpe R I and Duke J M. eds., Mineral Deposit Modeling: Geological Association of Canada, Special Paper 40, 1993. 389—401.

6 Peredery W V. Geology and ore deposites of the sudbury structure, Ontario, 8Th lagod Symposium [Field Trip 7]. 1990. 9—22.

7 戈尔德施密特 V M. 地球化学. 北京：科学出版社，1959. 406—407 页.

8 戈德列夫斯基 M H. 含矿超基性岩浆的形成条件及演化. 古 方译. 地质科技情报，1981，62—67.

9 毛景文等. 桂北地区火成岩系列和锡多金属矿床成矿系列. 北京：科学技术出版社，1988. 8—18 页.

THE MAIN MINERALIZATION MECHANISM OF MAGMA SULFIDE DEPOSITS IN CHINA

Tang Zhongli

(Gansu Bureau of Geology and Mineral Resource, Lanzhou, Gansu)

Abstract

The meaning of "the deep-seated magmatic liquation-injection mineralization" is as follows. Before intruding, parent magma has undergone liquation and partial crystallization at depth, so that the parent magma is partitioned into barren magma, ore-bearing magma, ore-rich magma and ore pulp, which then ascend and inject into the present locations once or multiple times, thus forming deposits. The volume of the barren magma is generally much larger than those of the

维普资讯 http://www.cqvip.com

ore-bearing magma, ore-rich magma and ore pulp. In the ascending process, the barren magma mostly intrudes into different spaces or outpours onto the surface, forming rock bodies or rock flows. The rest barren magma, ore-bearing magma, ore-rich magma and ore pulp may multiple times inject into the same space where lithogenesis and mineralization take place (e. g. Jinchuan), or may separately inject into different spaces where lithogenesis and mineralization happen (e. g. Hongqiling). Compared with in-situ magmatic liquation deposits, deep-seated magmatic liquation-injection deposits have a much smaller volume, higher ore yield and higher ore grade. Consequently, this mineralizing process results in the formation of small rock masses and large deposits.

Key words: deep-seated liquation, injection, small rock body, large mineral deposit

作 者 简 介

汤中立，我国著名的镍矿专家，1934 年 10 月生。籍贯安徽省安庆市。1956 年毕业于北京地质学院，现为中国工程院院士，曾任地质矿产部甘肃省地质矿产局总工程师，长期从事铜、镍等矿床的地质与勘探工作和岩浆岩岩石学与矿床地质研究。通讯处：甘肃兰州红星巷 168 号，邮政编码：730000。

《中国科学引文索引》公布中国科技期刊 500 名排行表
《地质学报》《地质论评》位居前列

中国科学院文献情报中心《中国科学引文数据库》课题组对 1994 年度内我国科技期刊"被引用情况"进行了统计分析，近日以印刷版和光盘版的形式出版了《中国科学引文索引》一书，公布了他们的最新研究成果，《地质学报》《地质论评》是其收录的主要期刊之一，在被引用次数最高的 500 名科技期刊排行表中名列前列。

地学期刊 1994 年"一年之内被引用次数排名情况"如下：

原名次	并列名次	刊名	被引次数	原名次	并列名次	刊名	被引次数	原名次	并列名次	刊名	被引次数
1	1	科学通报	1147	166	100	中国地震	84	387	149	新疆地质	32
3	3	中国科学 B 辑	676	167	101	海洋地质与第四纪地质	83	397	150	现代地质	31
25	23	古生物学报	228	170	103	沉积学报	81	398	150	岩石力学与工程学报	31
26	24	地球物理学报	221	191	110	石油学报	72	423	151	矿物岩石	29
32	**28**	**地质学报**	211	217	118	微体古生物学报	63	434	152	煤炭学报	28
66	**51**	**地质论评**	141	223	120	第四纪研究	61	436	152	中国区域地质	28
67	51	地质科学	141	232	123	矿物学报	58	445	153	地球学报	27
71	53	地层学杂志	139	249	127	石油与天然气地质	54	457	154	石油实验地质	26
104	70	地震学报	119	255	129	长春地质学院学报	52	458	154	石油物探	26
107	71	岩石学报	118	271	132	矿床地质	49	461	154	西北地震学报	26
126	79	地球化学	109	326	141	岩矿测试	40	469	155	煤田地质与勘探	25
130	81	地球科学	106	364	146	中科院南古所所刊	35	475	156	成都地质学院学报	24
133	83	地震地质	104	370	147	中南矿冶学院学报	34	476	156	地震	24
153	95	石油地球物理勘探	91	381	149	地质科技情报	32	496	156	岩石矿物学杂志	24
161	99	冰川冰土	87	382	149	地质与勘探	32	494	157	桂林冶金地院学报	23

注：中国科学院文献情报中心的地址：北京中关村科学院南路 8 号，邮编：100080；电话：62564354；传真：62566846