

關於矿石中有益伴生組份的評價

王 介 甫

关于矿石中有益伴生組份的綜合利用問題，受到了愈来愈广泛的重視。这是現代科学技术飞跃发展的必然趋势。

大家知道，在工业矿床中除了形成工业富集的主要組份——例如銅矿床中的銅，鉛、鋅矿床中的鉛与鋅等——之外，还常常含有各种稀散元素和其他一些具有一定工业意义的元素，如In、Ga、Ge、Co、S等。由于这些元素具有各自的特殊物理化学性質，使得它們在发展現代工业的各有关部门中成为重要的原料。

矿石中有益伴生組份的最有价值的部分，是那些目前在自然界中还很少見到独立矿物的稀散元素，呈分散雜質存在于与其地球化学性質相近似的元素矿物中。

矿床中由于有益伴生組份的存在，矿床的工业价值就被相应的提高，特别是常常会使那些本来不具备工业价值的貧矿床变为工业矿床，并成主要組份而被开采利用。由此可見，对于地質勘探工作者來說，在进行矿床的勘探工作的同时，对矿石中有益伴生組份进行綜合研究并做出相应的評價，是一项具有很大实际意义的工作。

下面將着重談某些有色金属矿床中常見的有益伴生組份，以及对于这些有益伴生組份的一般工业回收情况，研究方法及其儲量計算問題，从而提供一些对矿石中的有益伴生組份进行評價的一般綫索。

一、矿石中有益伴生組份的矿床矿物特征

在附表1中，可以大致看到各种矿床中一般常見的有益伴生組份及矿床矿物特征。

1. 銅矿床:

銅矿床中普遍含鈷，在銅鎳型和砂卡岩型銅矿中的鈷尤其值得注意。除了鈷的独立矿物以外，在个别的砂卡岩型銅矿中的單矿物分析結果証明，鈷与黃鉄矿和磁黃鉄矿的关系較为密切。其分析結果为:

黃鉄矿中含鈷 0.08~0.09%

磁黃鉄矿中含鈷 0.03~0.12%

黃銅矿中含鈷 0.02%左右。

在元素周期表中，鈷是鉄最近的一个元素，它們的地球化学性質很相近似。这可能是鈷經常在黃鉄矿和磁黃鉄矿中呈鉄的类質同象混入物的一个原因。

当銅矿床中的黃鉄矿很多时，在选矿工艺过程中与处理銅精矿的同时，来附帶回收黃鉄矿中的硫以制取硫酸是很合算的，在开采黃鉄矿型銅矿时通常都是这样。此外在某些黃鉄矿化現象較强烈的砂卡岩型銅矿床中也應該注意回收硫。

具有工业价值銅矿床中的鉄，通常是与砂卡岩型銅矿中的含銅磁鉄矿有关，中等以上規模的矿床，鉄經常成为主要伴生組份在被利用着。露出地表的硫化矿物（黃鉄矿、黃銅矿）受氧化、淋漓而形成的鉄帽

附表 1

矿 种	矿 床 的 主 要 工 业 类 型	主 要 金 属 矿 物	常見的有益伴生組份
銅 矿	①細脉浸染型 ②含銅砂岩型 ③含銅黃鉄矿型 ④砂卡岩型 ⑤銅鎳型 ⑥含銅石英脉型	黃銅矿、黃鉄矿、輝銅矿、磁黃鉄矿、磁鉄矿、輝鉬矿	Co, Mo, Ga, Cd, Au, Ag, Se, Ni, Fe, S, Pb, Zn, Te
鉛鋅矿	①在火山岩系中的热液矿床 ②在石灰岩中的接触交代矿床 ③石灰岩中浸液体的层状矿床	方鉛矿、閃鋅矿、黃鉄矿、黃銅矿	In, Ge, Ga, Cd, Ag, Au, Te, Co, Mo, Bi, Se, Sn, Cu, Tl, As, S
鉬 矿	①含鉬石英网脉 ②含鉬石英脉 ③斑状銅—鉬矿床 ④含鉬—鉬石英脉 ⑤砂卡岩型鉬矿床	輝鉬矿、黃銅矿、黑鉬矿、白鉬矿、錫石、輝鉬矿、黃鉄矿	Re, Ga, Cu, W, Bi, Be, Sn, S, Au, Ag
錫 矿	I. 生根矿床: ①伟晶岩矿系 ②錫石—石英矿系 ③錫石硫化物矿系	錫石、黃鉄矿、黑鉬矿、白鉬矿、方鉛矿、閃鋅矿	W, In, Ge, Ga, Be...
	II. 砂矿床: ①残积砂矿 ②堆积砂矿 ③冲积砂矿 ④湖滨和海滨砂矿 ⑤掩蔽砂矿	錫石、黑鉬矿、白鉬矿、鉄鉄矿、鉛英石、磁鉄矿	W, Ti, Zr...
鎳 矿	I. 硫化鎳矿床: ①致密块状硫化矿床 ②浸染状硫化矿床 II. 磷酸鎳矿床(以风化壳矿床为主)	磁黃鉄矿、鎳黃鉄矿、黃鉄矿、黃銅矿	Cu, Co, Pt, Se, Au, Ag, S...
鉛土矿	①陆台型矿床 ②地槽型矿床		Ga, V...

(褐铁矿)也是回收铁的一种来源。生产硫酸的含铜黄铁矿型矿石,在残渣中亦可提出铁。

金和银在各种类型铜矿中均可能存在,而在黄铁矿型和含铜石英脉型铜矿中的含量常常比较显著。

在某些斑状铜矿和砂卡岩型铜矿中当钼的含量达0.02~0.03%以上时,钼也成为一种主要组份而过渡为铜钼矿床。此外,钼也可以在各种类型铜矿中出现,主要是在各种硫化矿物中呈分散状态存在。

硒和镉多存在于铜矿床的硫化物中,尤其是黄铁矿型铜矿床中。在某些矿床中硒可能与黄铜矿的关系比较密切。

在黄铁矿型铜矿中,有时铅和锌也能形成工业富集而使铜矿过渡为多金属矿床。

镍和铂(经常与钴伴生)在以铜为主的岩浆型铜矿床中常成为主要伴生组份。

2. 铅锌多金属矿床:

在铅锌多金属矿床中,当矿床中的主要组份——铅和锌的含量较低时(例如在1%左右或低于1%),矿石中的有益伴生组份便足以提高矿床的工业价值。

铅锌多金属矿床中常出现的有益伴生组份有In、Ge、Ga、Cd和Ag等,这些元素经常是存在于闪锌矿中,其次在方铅矿和黄铁矿中也可能存在。

钴、钼、铋、铊、硒也是铅锌矿中易见的元素,其中钴常含于黄铁矿和闪锌矿中,铊主要是含于方铅矿、闪锌矿特别是白铁矿中。

锡有时会成为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿及其他硫化矿物的混入物,但含量极微,只有在形成一个富集时,才可能被做为铅锌矿中的有益伴生组份而被利用。

当矿床中出现钒铅矿和钒铅锌矿时,钒也可能为一种有益伴生组份而需要加以研究。

3. 钼矿床:

钼矿床中的铋需要特别加以注意,铋是一种典型的稀散元素,常在辉钼矿中呈分散状态的混入物存在。经常是含量极微。有时在钼精矿中被富集之后,品位才只达到0.00002—0.0001%。因此在原始试样中对铋进行分析常不易被发现。为了不丢掉铋,最好是对辉钼矿进行单矿物分析或者在钼精矿中分析铋。

在以钼为主的铜钼矿床中(钼的工业可采品位一般为0.06%),当铜的品位达到0.2~0.3%时,就应该和钼一样的进行分析。如果矿床中铜的品位在0.2%甚至更低一些的情况下,就需要把它做为有益伴生组份加以研究。这种情况常出现于某些与大断裂有关的大型含铜石英网脉矿床中。这种类型的矿床,尽管铜的含量很低,但由于储量大,如能加以附带回收,仍具有很大的经济意义。

在某些以钼为主的钼—钨矿床中,铌和锡也是常

见的有益伴生组份,铋与辉钼矿或自然铋有关,锡则呈锡石状态存在。当然这种矿床中的钨也是重要的有益组份。

某些黄铁矿化现象较普遍的钼矿床,需要对黄铁矿中的硫加以注意。

金和银存在于部分钼矿床中,当大规模处理这类矿床的原矿石时就可能被富集于硫化物精矿中而被加以提取。

4. 锡矿床:

锡石是所有类型的锡矿中的主要工业矿物,锡石中经常含有较多的杂质元素。如Ta、Nb、W、In、Ge、Ga、Be、V、Ni、Sb、Se等。对其中的In、Ga、Ge、Be、Se等元素应特别注意。到达一定富集程度时,就可能被附带加以提取。

砂锡矿床除了锡石中所含有的上述杂质元素以外,还经常伴有钛铁矿、黑钨矿、锆英石及其他一些有用金属矿物。此时,钛、钨、锆等也常形成工业含量。

5. 镍矿床:

在镍的硫化矿床中,经常与镍伴生的金属是铜和钴,这种情况也是由于它们的地球化学性质所决定的。镍矿床中的铜和钴常常含量较高。有时铜和镍同样做为矿床中的主要组份。

有时在某些矿床中,镍和铜、钴之间存在一定的比例关系,如:

$$\text{Ni}:\text{Cu}=3:1-3:2.$$

$$\text{Ni}:\text{Co}=10:1-20:1.$$

这种关系不是绝对的,有时镍和铜的比例可以出现相反的情况,这就意味着是过渡以铜为主的铜镍矿床。而在某些矿床中镍与钴之比竟能达到1:1~3:1。

做为伴生组份的铜主要是取之于黄铜矿,而钴在磁黄铁矿、黄铁矿和黄铜矿中部可能有不同程度的含量。

此外,铂、金、银和硒等也是磁化镍矿中值得注意的有益伴生组份。

6. 铝土矿:

我国的铝土矿床中普遍含有镓,关于在铝土矿中提取镓的方法已被掌握,已经在顺利地提取含量为0.0068%的镓。我国铝土矿资源极其丰富,因此充分注意铝土矿中的综合研究与利用问题,有着重大的经济意义。

铝土矿中的钒的含量也较普遍。在铝土矿的加工过程中可以对钒附带加以回收。

二、矿石中有益伴生组份的一般工业回收情况

关于矿石中有益伴生组份的含量究竟达到多高才

能被附帶提取，是地質勘探工作者感到興趣的問題，但由於收集到的資料有限，因此這裡只能一般地介紹一下某些有益伴生組份的工業回收情況。

應該指出，上面列述的一些數據並不是絕對的，只能做為工作中的一般參考。由於各國的技術水平不斷提高，就能逐漸地掌握礦石中更低品位的有益伴生組份的綜合回收問題。

三、 礦石中有益伴生組份的研究方法

對礦石中有益伴生組份進行研究的目的是，主要是為了查清各種稀散元素在礦石中的含量、分布規律及其共生關係等，就可以在勘探時期對它們做出有根據的評價，並進行必要的儲量計算工作。這將便於在設計工作中正確地估計礦床的經濟價值，以及考慮在礦石加工過程中為了附帶提取這些有益伴生組份所需要採取的措施。

研究過程中，首先，在主要組份的工業礦體範圍內採取若干有代表性的礦石樣品（譬如3—5個，規

模較大的礦床還可以再多）。所謂代表性，就是在採集樣品時照顧到各種類型及各不同品級的礦石，有時氧化礦和原生礦還須分別採集。採取的地点在水平方向和垂直方向的分布應該尽可能的比較均勻，當然如果能夠充分照顧到各種類型及各不同品級的礦石，那麼取樣地点就會有相應的均勻性。通常將原始樣品經過破碎、攪拌和縮分，最後取得所需要的重量。在某些礦區，如果認為圍岩中可能含有某些重要的稀有元素，就需要同樣地對圍岩採取樣品。

樣品經過縮分後，應進行光譜半定量鑑定，此時可以對礦石中的伴生組份（包括有益和有害的）獲得較全面的了解，並能大致知道那些有益組份可能具有工業意義和那些有害組份可能超出規定的含量。然後，就剩下的副樣對這些可能具有工業意義和超出規定含量的有益和有害的元素進行多元素分析，得出這些元素的比較準確的含量數值。

當然詳細研究礦石中伴生組份的含量及分布規律，最好的方法是在普通分析樣品中與主要組份同時

附表 2

元素名稱	做為礦石中的有益伴生組份的一般工業回收情況
銦 (In)	原礦石中含 In 在 0.0002% 左右，即可附帶考慮回收，一般回收自鋅精礦及生產鎢的廢料中
鐳 (Ge)	原礦石中含 Ge 由 0.001—0.01% 不等，可從鉛鋅煉廠的廢爐渣中回收
鐳 (Ga)	原礦石中含 Ga 在 0.001% 時即可考慮附帶回收，在鋁土礦的加工過程中已能順利回收含量在 0.0068% 的 Ga
鉍 (Tl)	原礦石中含 Tl 在 10—20 克/噸時便有提取的價值，可從硫酸廠的廢泥中、鉛—鋅產品中及鉛鋅煉廠的煙塵中提取
硒 (Se)	原礦石中含 Se 有時含量達 0.004—0.006%，可自電解銅的陽極泥中、煉銅廠的煙塵中及硫酸廠的酸泥中提取 Se
鐳 (Re)	在鉛礦石中，即使含量極微也可能有提取的價值，鐳在鉛精礦中被富集後品位可達 0.00002—0.0001%
釩 (V)	當沉積鐵礦石含 V_2O_5 在 0.08% 時，即能被順利地回收。在世界上，做為單獨的釩礦床， V_2O_5 含量在 0.7% 以上時才有工業價值
鎘 (Cd)	原礦石中含量由 0.08—0.55% 或者更低，即應注意。在鋅精礦中及鉛鋅煉廠的粉塵中均可提取 Cd
鉑 (Pt)	在硫化銅鎢礦床中含量在萬分之幾就有提取的價值
鈷 (Co)	原礦石中含量在 0.01—0.02% 就有工業意義，在選礦過程中，Co 進入銅精礦和鋅精礦中，電解時聚集於電解液中而被加以提取
鉍 (Bi)	原礦石中含量在 0.001% 時即須注意。在硫化物精礦中及鉛廠的粉塵中可提取 Bi
鋯 (Zr)	Zr 含於鎢英石中，在砂礦床中一立方公尺的礦砂含有數百克的鎢英石即有被附帶開采的價值
銀 (Ag)	原礦石中一噸礦石含幾十克的銀，即須引起注意
鉬 (Mo)	做為伴生組份的 Mo，原礦石含量在 0.01% 或者更低一些時，即須引起注意
鎢 (W)	做為伴生組份的 W，原礦石含量在 0.01—0.05% 時，即須加以注意
錫 (Sn)	做為伴生組份的 Sn，原礦石含量在 0.01—0.1% 時，即須加以注意
銅 (Cu)	做為伴生組份的 Cu，原礦石含量在 0.1—0.2% 或者更低一些時即須加以注意，特別在某些大型的銅礦床，更應注意
鐵 (Fe)	在中等以上規模的銅礦床中，做為伴生組份的 Fe 平均含量在 15—20% 以上時，即須加以注意
硫 (S)	在某些硫化礦床中，做為伴生組份的 S，含量在 4% 以上時即須注意
鎳 (Ni)	做為伴生組份的鎳，含量在 0.1% 或更低一些的情況下，即須加以考慮

进行分析,但这对于研究矿石中的伴生组份来说没有太大的必要。因稀散元素的含量低,分析价格很高,同时做为矿石中的有益伴生组份,只要就主要组份的工业矿体范围内,一般地查清它们在某一地段或某一块段内的平均含量就能基本上达到要求(这当然不是说在所有的情况下都可以这样)。与此相适应的方法是组合分析法。

组合分析样品,一般是利用普通分析样品的副样,按一定数量进行组合。组合的方式有綫的方法、面积的方法,此外还应该提出一个体积的方法。綫的方法,即在鑽孔岩心或穿脉坑道中的刻槽溝,沿一定綫的长度进行组合,在地質探矿和生产探矿阶段均可采用;面积的方法一般是在采矿工作面上按一定方格网进行组合,主要应用于生产探矿期間;所谓体积的方法,是在某一块段或地段范围内的所有取样工程中按不同水平高度10—30公尺组合的样品,样品所控制的范围,也就是每个具体块段的范围。样品组合的个数不一定受着规定数量的限制,而是有灵活性的。

组合样品的分析結果,反映了参加组合地段的平均品位,同时可以有一定的影响范围。在组合分析中不仅要分析有益元素的含量,也要分析有害元素的含量(如果有害元素超过规定含量的話)。

一般的慣例,通常是以前分析样品副样的10—30个以綫的方法组合成一个组合样品(在地質勘探时期)。

对于某些有色金屬矿床,如果能够考虑用体积的方法采集组合样品,便能适当地减少组合样品数量。当然与此同时,也应该具体地考虑到这样做是否能达到預期要求。

由于组合样品的分析結果是反映了参加组合地段的平均品位,就平均品位这一点来说,按照上述做法,在组合样品的控制范围内应该说具备着一定的代表性的。

在采集组合样品时,对于氧化矿石和原生矿石同样地应该分別组合。

应该指出,在某些矿床中,矿石的有益伴生组份与重要组份之間可以寻求出某种規律。例如,当主要组份含量增高时,某些有益伴生组份亦随之增高或者降低。这种情况可用图表的形式表示出来(如图1,2)。

此外,为了查清矿石中稀散元素与那一种矿物有关,把某些可能有关的金屬矿物或非金屬矿物进行机械单体分离,做單矿物分析也是很有必要的。

凡是被组合分析結果証实的具有工业意义的元素,在进行矿石的技术加工試驗过程中都应该对它们的綜合回收情况加以研究。

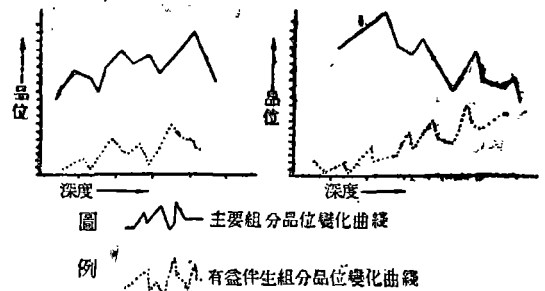


图1—2. 主要组份与有益伴生组份品位变化示意图

四、矿石中有益伴生组份的儲量計算問題

对于矿石中具有工业意义的有益伴生组份的儲量計算,却是一项重要的工作。由于儲量計算所得出的数值,就使得在设计工作中能够正确地估計矿石中各种稀散元素的经济价值。但这在某些矿区的儲量計算报告中却往往被忽略,这是不对的。

很明显,矿石中具有工业意义的稀散元素是做为主要组份的伴生组份存在的。因此,有益伴生组份的儲量計算,就是在主要组份的工业矿体范围内,按各个组合样品的分析結果,以綫、面积或体积的加权平均法求得矿区(或矿区某一块段)的各有伴生组份的平均品位。以平均品位乘該范围内主要组份的工业矿石儲量便得出各有伴生组份的金屬儲量。

$$P = Q \times C$$

P—有益伴生组份的金屬儲量
C—有益伴生组份的平均品位
Q—主要组份的工业矿石儲量

在正常情况下,有益伴生组份的儲量級別,可以按同一地段主要组份的儲量級別降一級处理。例如同一段的主要组份为B級儲量,有益伴生组份可为C級儲量,依次类推。如果组合分析样品采集的很不系統,对有益伴生组份的分布規律还掌握不够,此时,一般地只能把有益伴生组份称为C₂級儲量。

对于有益伴生组份的儲量計算需要考虑到各种具体情况。例如在某些矿床中矿石的有益伴生组份分布很不均匀,只在个别块段中由于局部富集才具有工业意义,那么在开采利用这部分有益元素时,就可能有以下几种情况:即(1)含有有益元素的矿石与不含或含微量有益元素的矿石分別开采,分別处理;(2)含有有益元素的矿石与不含或含微量有益元素的矿石混合开采,混合处理。由于分別开采,分別处理的技术程序比较复杂,而且有具体困难,同时在某些中小型矿床,这样做有时是不合算的。因此当混合开采后的有益伴生组份平均品位仍能达一定要求时,經常是采用第二种方法。但不論怎样,在这种情况下,对有益伴生组份的儲量計算就必须两种情况都考虑到。既要

計算局部富集地段的有益元素的平品位及金屬儲量；也要計算有益元素局部富集地段與不含或含微量有益元素地段混合後的平均品位及金屬儲量（有益伴生元素的）。

在另一些情況下，礦石中的兩種或兩種以上的組份，主與次（伴生）的關係可能交替出現。可以在某些多金屬礦床，銅鉛礦床中找到這種例子。例如某多金屬礦床，在礦區的這一地段鉛夠單獨開采時的工業可采品位，而鋅及其他組份的含量不夠品位要求，而在另一地段鋅夠單獨開采時的工業可采品位，鉛及其

他組份的含量又不够品位要求。此時，第一種情況應該以鉛為主要組份並以它的邊界品位圈定礦體，鋅與其他組份做為伴生組份處理；第二種情況，鉛以鋅代之，鉛與其他組份做為伴生組份處理。

也可能出現這種情況，即在同一礦區內，同時有兩種或兩種以上的組份含量達工業可采品位，這同樣可以在多金屬礦床銅鉛礦床及某些其他礦床中找到例子。在這種情況下，即需權衡一下各組份的經濟價值。而以分布廣、品位富和經濟價值高的金屬做為主要組份，其他金屬做為重要的伴生組份處理。

辽东半島沿海一帶鉛、鋅砂礦床 的初步認識及工作方法

莊 德 厚

目前稀有元素對發展我國尖端工業起着重要作用。其中的鈦主要用於冶金工業，而鉍、獨居石的用途更為廣泛，可用於製造各種高溫合金、特殊光學儀器、耐高溫和高压的絕緣材料以及防止原子射綫等。

在鉛砂礦中除鉛外，還可能富集鈦、鈷、鐵、獨居石、磷、金、紅石等稀有元素。因此應該注意綜合普查勘探和開采利用。

鉛砂礦多賦存於現代濱海相和古代海相或陸相砂質沉積層中。因此，鉛砂礦床的普查工作應著重在我國沿海（廣東、廣西、河北等省）以及大陸上的古海盆地，如雲南、廣東、四川等地去尋找。

一、辽东半島沿海含金、鉛、鋅、鈦砂礦床分布 與地貌及第四紀地質關係

由於鉍、獨居石、金、紅石等礦物都呈氧化物狀態出現，物理性質穩定。而鉛、鈦礦物成散漫狀、浸染狀於花崗岩、偉晶花崗岩、古老深變質花崗片麻岩及後期侵入的鹼性岩中，特別是鹼性花崗岩偉晶岩發育地區更有利於砂礦床的富集。最有意義的砂礦床是在大規模鹼性岩形成風化殼的地區。

當含浸染狀鉛、鈦母岩經過長期風化搬運作用，在不同的地段（古老階地、近代海岸帶）富集而形成砂礦床。

在辽东半島沿海第四紀沉積中普遍含有金、鉛、鈦、獨居石等有用礦物，在某礦區第二階地底部則富集成礦床。金、鉛、鈦砂礦床特點概述如下：

地 層：

本區系前震旦紀片麻岩系及後期侵入花崗岩類所

構成，經過長期風化侵蝕作用結果形成平坦地形，其上則為第四紀沉積物所復蓋。第四紀沉積物可以分作如下幾類：

（1）殘積物：

在山丘地段，直接復蓋老的基底岩系上與基底成漸變關係。成分為石英、長石、角閃石；

（2）海河交替沉積物：

砂礦主要是在近海地帶內的老海灣內，比較老的第四紀沉積物。在沉積層與基岩接觸基部分為鉍、獨居石、鈦、金的主要富集帶，含礦層1~2層不等。其物質成分變化從下到上有如下關係；

a. 變質片麻岩系及侵入花崗岩類；

b. 砂礫石層 礫石為大小不等，帶稜角。粗砂成分主要是角閃石、長石、石英，其次為柘榴石、磁鐵礦、鈦磁鐵礦，其中是金、鉛、鈦、獨居石主要的含礦層，分布面積廣，含礦層厚0.5~4公尺不等。

c. 粗砂層；

d. 細砂與粘泥層 主要是黃綠色黃泥與細砂構成。

b, c, d. 三層的總厚度在10~20公尺。

（3）近代海濱堆積：

主要分布於海岸地帶，是含金、鉛、鈦礦層之一，其岩性從下而上分述如下：

a. 姜黃到黑灰色的粗砂礫層 礫石成分為：石英、花崗岩、偉晶岩等，礫徑大小不等，本層富含金、鉛、鈦、獨居石。一般粗砂層顏色愈黑，則鉛、鈦、含量愈高。砂層顏色愈紅，則含柘榴石、金、紅石、獨居石就愈高。本層厚度不等0.5~3公尺。