



第十二届会议

2006 年 8 月 7 日至 18 日

牙买加金斯敦

应用于富钴铁锰结壳和多金属硫化物区块选择的勘探和矿址模型

第二部分：多金属硫化物

秘书处编写*

一. 引言

1. 洋底有 300 多处已知的海底热液喷发并伴随矿化地点。其中大约 100 个地点藏有多金属硫化物(图 1 和表 1)。¹ 达 350°C 的高温、冒黑烟的喷口是这些地点最易识别的特点，但也发现了多种不同形式的矿化。这些已知地点中大约有 40% 位于“区域”内。由于一些原因，包括法律和技术方面的原因，最近对海底多金属硫化物的商业勘探一直限于已设立的专属经济区内的矿点(图 2)。本文审议了供“区域”内勘探使用的租用区块的分配标准和可能模型。本文提供了选择探矿区域以及在勘探阶段放弃租用区块的时间表的科学理由。

2. 文中提供了实例，说明如何采用“毗连区块”和“毗连区块组”来分配已知有硫化物矿点地区的租用区块。从一系列可能的选择标准和程序的角度，比较了在 32 个至少有一处已知的多金属硫化物矿点的不同区域内分配勘探许可的两种模型，其中包括“区域”内的 12 个区域(图 3)。在全球、区域和具体地点的范围内，审查了勘探模型在选定已知多金属硫化物区域(和放弃不含多金属硫化物

* 本文是加拿大渥太华大学的 Mark Hannington 和 Thomas Monecke 作为顾问编写的一份更详细研究报告的摘要。附有地图和附录的报告全文，将在管理局网站上提供给理事会成员。

¹ 为方便复制，本摘要文件中略去了图表。

区域)的效率方面的运作情况,从探矿阶段开始到勘探结束选定予以保留的最看好区块时结束。这些模型考虑到:

(a) 远景区域的地质局限性;

(b) 多金属硫化物的已知分布情况;

(c) 每个硫化物矿点的特点。也可以用本文列出的数据测试其他可能更合适的模型。

3. 就其地质环境、分布和连续性而言,多金属硫化物有一些与结壳和结核显著不同的重要特性,在选择区域时必须对这些特性加以考虑。具体矿点的大小可能不超过几十米到几百米,而结壳会覆盖海床更大的区域,有更大的形体连续性(如按公里计的规模:Hein 等,1999 年)。这些差异要求采取根本不同的勘探方法。

4. 本文所作分析的基础是目前对多金属硫化物矿点的规模和分布情况的了解。没有对在所讨论的地点进行多金属硫化物勘探的可能经济局限或技术局限作出假设。本文所建议的模型仅考虑勘探阶段,除了估计多年开采可能需要的最小面积区块外,没有考虑实际采矿问题。本文所使用的可能租用区块的例子并不代表对具体的矿点或海底区域的经济评估。也许会提到满足可能的商业标准的硫化物矿点,但没有考虑或推断经济估值。所有列举的例子严格限于说明目的,绝不意味着任何特定区域可能实际存在适于进行商业开采的资源。本文所提供的信息,包括毗连硫化物体的面积 X 厚度、体积密度、金属品级或其他矿物和冶金特点,除了作为假设例子外,不能用来推断一种资源,也不暗示着存在此类资源,而且这些信息仅为可用来说明这些示例的信息。任何对参与海底多金属硫化物勘探的商业企业的提及也仅限于说明之目的,并不意味着赞成这些公司的活动或方案或建议将它们作为在“区域”内予以执行的可能模式。除了在勘探模型的设计方面外,没有论及是否符合《公约》或拟议的《区域内多金属硫化物及富钴铁锰结壳探矿和勘探规章草案》(ISBA/10/C/WP.1/Rev.1*)的问题。

二. 术语

5. 在本文和下面所介绍的模型中,使用了下列术语:

(a) 探矿区域——可能含有海底多金属硫化物的初步区域或硫化物成矿可行区域,其中的一部分可按《规章草案》的规定分配供勘探之用。在本文所讨论的 32 个例子中,探矿区域被任意界定为小于 5 度乘 5 度的一个区域,其中至少有一处已知的硫化物矿点或其他矿苗。在现实中,在缺乏任何矿化迹象的情况下,会仅根据可行地质情况找出一个探矿区域。

(b) 勘探区域——一个探矿区域内,保留给深度勘探使用的、由多个毗连或非毗连区块组成的“许可”地或租用地。这一区域的面积一般不超过经度一度乘纬度一度,并至少含有一处已知的硫化物矿点或其他矿苗。在本文介绍的模型

中，勘探区域的面积相当于《规章草案》所规定的 100 个面积为 10 公里×10 公里的区块。

(c) 租用区块——勘探区域的一部分，按照《规章草案》的界定，其面积约 10 公里×10 公里，但不超过 100 平方公里。

(d) 可行区域——探矿区域的一部分，拥有被认为对形成多金属硫化物必不可少的一些地质特性。在界定可行区域的界限时，通常使用的两个重要指标是显示地壳构造活动和海底火山活动的证据。通常，需要这些活动来驱动热液循环，将热液流体聚集在海底，从而可能产生金属矿床。可行区域有可能包括多金属硫化物矿点或其他矿苗，但这不是必要条件。

(e) 最具远景区域——被选定进行深度勘探的区域，通常至少有一处硫化物矿点。在本文所介绍的模型中，最具远景区域一般是那些有一处以上硫化物矿点的区块。

(f) 硫化物矿点——多金属块状硫化物的独立体(如烟囱体或丘体)或在一个界定区域内的一组此类物体(如烟囱区)，通常但不一定与活跃的热液喷发相关联。如矿点由一个以上硫化物物体组成，就意味着某种程度的连续性或成组性(如在面积小于与最近一个群组的距离的区域内，有一批烟囱体或丘体)。勘探许可所涵盖的最具远景区域至少有一处这样的矿点。

6. 本文没有对按照《规章草案》的界定通常不享有专属权利的“探矿”与享有专属权利的“勘探”作出任何法律或技术上的区分。如下文模型所示，探矿可在多个区域内进行，其中一组区域可根据工作计划加以分配，供勘探之用。本文中，除了提到已在陆地上进行经济性开采的块状硫化物矿床之外，没有使用“矿床”一词。这是为了避免在有关何为海底矿床方面的混淆。在科学文献中，“矿床”一词有变化地用于各种实体，包括单个的硫化物丘体、整个喷口地或整个地理区域。

7. 本文使用的其他术语从《区域内多金属硫化物及富钴铁锰结壳探矿和勘探规章草案》内的定义。

三. 数据库

8. 本文中被选来进行分析的区域选自海底多金属硫化物和相关热液系统全球数据库(Hannington 等，2002 年、2004 年)。该数据库由 2002 年和 2004 年分别为国际海底管理局中央数据库编写的两个部分组成。第一部分是关于 300 多处海底多金属硫化物矿点及相关热液活动的地点和说明材料的数字数据库。第二部分是已经出版的对 2 600 多个海底多金属硫化物样本的地质化学分析汇编(61 000 个记录)。从这些数据中，选择了 32 个可行区域来测试分配勘探许可的模型，其中包括“区域”内的 12 个区域。

9. 用来界定初步探矿区域的水深数据取自世界大洋深度图 1 分网格海底数字地图集(世界大洋深度图, 英国海洋数据中心, 2003 年)。尽管标准的世界大洋深度图等深距为 500 米, 但为了绘图方便, 此处用了 1 000 米的等深距。用史密斯和桑德韦尔的全球预测水深数据(1997 年)也可制成类似的区域地图。以卫星重力测量为基础的这个 2 分网格数据, 具有能够涵盖海底更为偏远和难以进入的区域的优势。

10. 多金属硫化物的可行区域选自 5 度 X5 度地图。这些地图见附录 3。用这一比×例尺说明勘探模型的应用情况的地图, 见附录 4。每份地图上, 在那些被认为可能形成多金属硫化物矿点和可能进行探矿的区域, 上面标有间隔 0.1 度的网格。这一网格中每个区块的面积大约为十公里 X 十公里(0.1×60 海里 $\times 1.852$ 公里 $=11.11$ 公里网格间隔)。为方便绘制硫化物地点, 使用了十进制的度。在每一情况下, 网格的放置依据附录 2 中讨论的一些不同标准。

11. 几个 30 分乘 30 分地图(100 米等深距)的实例说明了有更详细测深资料的选定区域的硫化物矿点分布情况。这些地图见附录 5。可以用这种更详细的水深测量可用来大大减少可行区域的初始面积, 但并不是海洋的所有部分都有这些数据。

四. 租用区块选择模型

12. 在 32 个 5 度 X5 度地图区域内, 根据附录 2 概述的每个区域的总体地质特征(如包含山脊、轴外海山、火山弧、弧后盆地等的区域)选出多金属硫化物成矿可行区域。考察了海底多金属硫化物的各项物理特点, 包括矿床间隔和可能探明储量。关于更多信息, 请读者参阅附录 2 以及 Hannington 等人(1995 年、2005 年)和 Herzig 和 Hannington(1995 年、1999 年、2000 年)有关本专题的概览文件。也可从国际海底管理局出版的第 2 号技术研究报告《多金属块状硫化物和富钴铁锰结壳——现状与前景》一文中了解更多信息。该选择过程某种程度上受到所绘地图中测深数据详细情况的制约。利用世界大洋深度图的 1 000 米等深数据, 在区域初选过程中, 具有潜在地质特征的边缘(如脊翼)的大片区块被包括在内原因是对海底地质特征不够确定。可以利用更高分辨率测深术, 帮助减少所选择的可行区域数量, 这一点将在下文进一步讨论(见“五”)。

13. 附录 4 介绍一些模型, 说明如何按照《规章草案》中提议的放弃时间表, 将这些区域减少到勘探租用区块的最低数量(5 年后放弃所分配面积的 50%, 10 年后放弃所分配面积的 75%, 15 年后最多保留 25 个区块)。在一次成功的勘探活动中, 预计最后分配的 25 个区块将包含足够的可支持多年开采的多金属硫化物, 多年开采在此定义为按商业上的合理速度开采超过 1 年期限。为多年开采提出了各种模型(例如, 从每年 100 万到 200 万吨不等), 但没有具体规定品位、生产

率和其他技术方面。提出的开采模型是基于同陆上商业采矿业务的比较。这种办法是合理的，因为必须假定将来任何海底开采活动将必须与陆上采矿竞争。

14. 一处大型矿点（例如 TAG、Middle Valley）或者更有可能是一个较大区域内的多处矿点也许有超过 100 万吨的储量。也许含有这么多块状硫化物的区域的面积有多大还不知道。也许相当于每个含有 5 万吨矿藏的 20 个区块，每个含有 50 万吨矿藏的两个区块，或者含有 100 万吨以上矿藏的 1 个区块。不过，根据与化石矿床所做的比较，我们估计最具潜力的 10 公里 X10 公里区块中矿藏的中值吨数不超过 50 万吨（见附录 2）。预计这么大小的区块很少含有 100 万吨以上矿藏，并且预计大多数所含矿藏不超过 5 万吨。本次研究考察了 100 处矿点，除 Atlantis II Deep 以外，只有两处矿点通过钻探查明储藏超过 100 万吨块状硫化物。另有不到五处矿点的大小与吨数超过 100 万吨的矿点一致。其中，只有两个位于“区域”内（TAG 和北纬 13 度东太平洋海隆）。

15. 对海底硫化物矿点的测绘表明，单个而言，它们覆盖的面积不大于直径一公里，对任何特定硫化物矿点的开采预计不会超出这么大的区域。预计单个矿点的面积决不会超过最低限的 10 公里 X10 公里区块。多数情况下，可能进行开采的区块不会毗连排列，不会同属于单个初始勘探区域。可能需要从几个非毗连勘探区域中选出考虑开采的区块，并在两个或更多租用地间分配。下面的示例说明如何在勘探阶段分配毗连区块和非毗连区块。

A. 勘探模型 1（毗连区块）

16. 在本模型中，在每个 5 度 X5 度的区域内选出地质条件可能区域，这些可能区域以海脊部分或类似规模的其他地质特征为有形界限，至少含有一个多金属硫化物矿点或其他表明成矿的矿苗（见附录 3）。每个可行区域对应于每个面积为 10 公里 X10 公里的大约 500 个毗连区块（50 000 平方公里）。这是《规章草案》所界定的最后分配开采面积的大约 20 倍（20X25 个区块=500 个区块）。

17. 选出单个勘探区域供深入勘探，这个勘探区域由每个面积为 10 公里 X10 公里的 100 个毗连区块（10 000 平方公里）组成，可在工作计划中对此加以界定。在本模型中，在 5 度 X5 度的区域内选出至少含有一个已知硫化物矿点的勘探区域（例如图 4），它不超过初始探矿区的 20%。在每种情况下，选择最具潜力的 100 个区块（布局为 25 个正方形区块一组）时应包括尽可能多的已知硫化物矿点。这个过程模仿勘探第一阶段预计在可行区域进行的选择过程。5 年后这个区域缩减到 50 个毗连区块，10 年后缩减到 25 个毗连区块（图 4）。

18. 在勘探区域内选出由每个面积 10 公里 X10 公里的 25 个毗连区块组成的单个区域作为最后租用区（2 500 平方公里），每个区块至少包含一个已知硫化物矿点。在本模型中，在一个不超过初始勘探区域 25% 的区域内选出最后租用区块，这些区块包含的已知硫化物矿点最多（图 4）。

B. 勘探模型 2（非毗连区块）

19. 在第二个模型中，勘探区域被分成 4 个群组，每个群组由 25 个区块组成，每个群组都有一个已知的硫化物矿点或其他有热液活动的矿苗，总面积 10 000 平方公里（例如，图 5）。在勘探阶段，分多个阶段将每组毗连区块的一些部分放弃，最终留下 25 个非毗连区块，每个区块面积为 10 公里 X10 公里，它们包含原有 10 000 平方公里区域内所有已知的硫化物矿点。在某些区域，最佳租用区块需要从不只一个面积为 10 000 平方公里的勘探区域内选择，尽管本文对此未加论述。并不保证在勘探阶段可以正确地找出最具远景的区块，但可以合理地预期勘探者将能够应用适当的标准，尽量多地选出含有硫化物的区块群组。

五. 结果

A. 选择可行区域和勘探区域

20. 在本研究考查的 32 个 5 度 X5 度区域中，具有容许生成多金属硫化物的地质特点的区域平均面积是 55 000 平方公里（表 2）。在 20 个国家专属经济区示例和 12 个选自“区域”的示例中选出面积大致相等的区域。有些专属经济区的可能区域面积较小，因为其靠近陆地和大量岛屿。有些专属经济区的可能区域面积较大，因为同时选择了弧后区和弧前火山。选自“区域”示例的可能区域面积的差异小于许多专属经济区，因为“区域”内洋中脊扩张中心的地质情况往往没有那么复杂。在所有情况下，选作多金属硫化物生成可行区域的面积远大于仅由 100 个面积各为 10 公里 X10 公里的区块组成的单个勘探区域所包括的 10 000 平方公里。

21. 通过世界大洋深度图数据进行对等深距 500 米和间隔 1 分的内插和网格化处理，可以得到更多的海底详细情况，这些对于选择较小的可行区域是有益的，有可能将第一轮选出的区域减少达 50%。可以东北太平洋为例说明这一点，这里根据世界大洋深度图数据选出的可行区域是 55 000 平方公里，而如果按 100 米等深距，选出的可行区域面积约为 25 000 平方公里（附录 5）。即使采用较高分辨率测深术，也并不总是建议将海脊侧翼的深凹或平坦区域排除在外。关于这个问题，一个例子是 Middle Valley 矿点，由于其位置是在扩展中心的轴外，即使最初按 100 米等深距选择可行区域时也可能没有将其包括在内。这样，将 5 度 X5 度范围内的测深分辨率提高 10 倍，不一定导致选择的多金属硫化物生成可行区域面积缩小 10 倍。由于尚未明确的技术原因而将勘探活动限制在水深较浅的地方（例如小于 2 500 米），这也会将极可能含有多金属硫化物的许多区域、包括“区域”的大部分地方排除在外。虽然国家专属经济区内已知多金属硫化物有很大部分出现在水深不到 2 500 米处，但“区域”内许多矿点的深度可达 4 000 米（图 6 和表 1）。

22. 每个面积 55 000 平方公里的可行区域内平均硫化物矿点数为 3.4 个（表 2）。选自“区域”的示例平均数量略高（3.7 个），这反映出快速扩张海脊所特有的小型硫化物矿点的数量。根据附录 3 中对所有 106 个硫化物矿点进行的分析，每个 5 度 X 5 度区域内矿点平均间距是 98 公里（表 2）。在“区域”内，平均间距是 95 公里（n=43）。尽管慢速扩张海脊的矿点间距（167 公里）大于快速扩张海脊（46 公里），但平均而言慢速扩张海脊的单个硫化物矿点规模较大。这些数据表明，面积只有 10 000 平方公里的勘探许可可能只包括一个区域内已知矿点的一部分。考虑到喷口分布广泛，可能需要租用位于相互分散并可能彼此独立的可行区域内若干不同地点的区块。尽管可以系统地放弃不利区域，以保持被保留区块的毗连布局，但更大的可能是勘探者将迅速查明最有利的矿址，并确定几个非毗连的远景区块。

B. 模型 1 和模型 2 的比较

23. 在模型 1 中，在 100 个最具远景的区块即 10 000 平方公里的区域内，硫化物矿点的平均数量是 2.5 个。选自“区域”的示例中发现的矿点平均数量（2.7 个）略高。平均而言，由 100 个毗连区块组成的勘探区域包含可行区域内已知硫化物矿点的 73%。在图 4 所示例子中，有两个矿点被留在初始勘探区域之外，而第三个矿点不得不放弃，以便保留最后选择的区块的毗连布局。在本例中，最后的 25 个毗连区块只包括初始可能区域中 4 个硫化物矿点中的两个。平均而言，可行区域的已知硫化物矿点只有 53% 包括在最后的 25 个区块中（表 2）。

24. 在模型 2 中，勘探区域被分成 4 个子区域，每个子区域包括 25 个最具远景区块（总面积也是 10 000 平方公里）。在本例中，有可能将 100 个最具远景区块中 97% 的已知硫化物矿点囊括在内。在硫化物矿点没有包括在 100 个最具远景区块之内的少数情况中，矿点总量多于 4 个子区域内可能包含的矿点数量。在多数 5 度 X 5 度区域内，需使用非毗连区块，才能将可能区域内所有已知硫化物矿点包括在内。

六. 结论和建议

25. 探矿和勘探规章草案很可能无法同等适用于结壳和多金属硫化物。多金属硫化物的可行区域较大，但矿点更为集中，与结壳相比，可能考虑开采的区域较小。结壳多见于通过测深就可找到的海山，而多金属硫化物探矿在初始阶段可选取大片区域。这些区域可在头 5 至 10 年内迅速缩减到最具远景的地点，但为了确保最终找到充足的可开采资源，可能需要勘探更多的区域。在大多数情况下，一个 1 万平方公里的勘探区域不足以包含 5 度见方远景区域内可能存在的所有多金属硫化物。对于更大的区域，拟议的放弃时间表会导致无法足够详尽地充分评估所有区域，而使远景区块被过早地放弃。

26. 考虑到“区域”内多金属硫化物的已知分布情况，或许需要有几组分隔的毗连区块，以包含勘探许可中所有已知的硫化物矿点。使用《规章草案》定义的毗连区块，很可能会导致承包者无法获得充足的多年开采机会，而为了包含容许的地质情况，几乎肯定要申请多个 100 个区块的许可。鉴于一个区域中各处矿点的间距，勘探工作计划中的 100 个毗连区块很有可能不足以发现多年资源。为确保最终区块组能够分布在一个足以包含这类资源的较大区域，须将勘探区域划分为非毗连区块组。最终选取用于开采的 25 个区块可以不出自一个勘探许可最初分配的 100 个区块。在模型 1 的大多数应用中，至少有一处矿点被留在初始勘探区域之外，另有一处矿点为保全最终 25 个区块的毗连安排而不得不放弃。规章应允许发放足以包含合理数量矿点的较大勘探区域的许可，或在探矿阶段提供其他权利，以确保找到足够的可能含有可开采资源的远景区域。应准许在整个勘探和开采阶段申请获得包含非毗连区块的许可。

参考资料

- Hannington, M.D., de Ronde, C.E.J., and Petersen, S., 2005, Sea-floor tectonics and submarine hydrothermal systems: *in 100th Anniversary Volume, Review of Economic Geology*, pp. 111-142.
- Hannington, M.D., Jonasson, I.R., Herzig, P.M., and Petersen, S., 1995, Physical and chemical processes of seafloor mineralization, in Humphris, S., Fornari, D., and Zierenberg, R., eds., Physical, Chemical, Biological and Geological Interactions within Hydrothermal Systems: AGU Monograph 91, pp. 115-157.
- Hannington, M.D., Petersen, S., Herzig, P.M., and Jonasson, I.R., 2004, A global database of seafloor hydrothermal systems, including a digital database of geochemical analyses of seafloor polymetallic sulphides: Geological Survey of Canada Open File 4598, 1 CD-ROM.
- Hannington, M.D., Petersen, S., Herzig, P.M., and Jonasson, I.R., 2002, Global database of seafloor hydrothermal systems, including a geochemical database of polymetallic sulphides. Prepared for the International Seabed Authority of the United Nations, Central Data Repository, Ver.1.0, 2002.
- Herzig, P.M., and Hannington, M.D., 1999, Recent advances in the study of polymetallic massive sulphides and gold mineralization at the

modern seafloor, in Cronan, D.S., ed., CRC Handbook of Marine Mineral Deposits: CRC Press Inc., pp. 347-368.

Herzig, P.M., and Hannington, M.D., 1995, Polymetallic massive sulphides at the modern seafloor: *Ore Geology Reviews*, vol. 10, pp. 95-115.

Herzig, P.M., Petersen, S., and Hannington, M.D., 2002, Polymetallic massive sulphide deposits at the modern seafloor and their resource potential, in Polymetallic Massive Sulphides and Cobalt-rich Ferromanganese Crusts – Status and Prospects: U.N. International Seabed Authority, Technical Study No. 2, pp. 7-35.

Herzig, P.M., Petersen, S., and Hannington, 2002, Technical requirements for exploration and mining of seafloor massive sulphide deposits and cobalt-rich ferromanganese crusts, in Polymetallic Massive Sulphides and Cobalt-rich Ferromanganese Crusts – Status and Prospects: U.N. International Seabed Authority, Technical Study No. 2, pp. 90-100.

Hein, J.R., Kochinsky, A., Bau, M., Manheim, T., Kang, J.-K., and Roberts, L., 1999, Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific, in Cronan, D.S., ed., *Handbook of Marine Mineral Deposits*: CRC Press Inc., pp. 347-368.

Smith, W.H.F. and Sandwell, D.T., 1997, Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings: *Science*, vol. 277, No. 5334, pp. 1956-1962.

表

1. 表 1. 高温热液喷口和海底多金属硫化物矿点 (Hannington 等, 2005 年)。
2. 表 2. 可行区域、硫化物矿点数目、以及 32 个 (5 度见方) 区域的矿点间距。

图

1. 图 1. 海底热液喷口和海底多金属硫化物矿点的分布情况 (Hannington 等, 2005 年)。数目指表 1 所列矿点。其他低温热液喷口和铁锰结壳或金属沉积物用圆圈标示。主要扩张海脊和俯冲区 (火山弧和弧后) 也作了标示。
2. 图 2. 国家专属经济区的位置 (阴影部分约等于 200 海里界限)。“区域”内洋中脊分布情况也作了标示。

3. 图 3. 本报告所述 32 个 5 度见方区域的位置。

4. 图 4. 中印度洋海脊的模型 1 应用, 显示勘探租用的 100 个 10 公里见方毗连区块, 在这个 10 000 平方公里区域内至少包含一处已知的硫化物矿点或其他矿苗。初始勘探阶段(5 年)放弃 50% 的勘探区域, 留下 50 个 10 公里见方的毗连区块, 在 5 000 平方公里区域内包含 5 处已知硫化物矿点中的 3 处。最终勘探阶段保留 25 个 10 公里见方的毗连区块, 在 2 500 平方公里区域内包含已知硫化物矿点中的 2 处。在这个模型中, 有两处矿点被留在初始勘探区域之外, 另有一处矿点为只保留最终选定的 25 个毗连区块而只好放弃。

5. 图 5. 与图 4 相同区域的模型 2 应用, 显示 100 个 10 公里见方的非毗连区块, 分为 4 组各 25 个毗连区块, 每组 2 500 平方公里, 包含在总共 10 000 平方公里区域内所有已知的硫化物矿点。不能保证在勘探阶段准确找到最具远景的区块, 但合理的预期是, 勘探者将能够采用适当的标准, 尽最大可能地选择含有硫化物的区块组。为了在最终勘探阶段找到所有硫化物矿点, 初始勘探区域或许需要大大超过 10 000 平方公里。

6. 图 6. 不同火山和地壳构造环境的海底热液喷口深度分布情况 (摘自 Hannington 等, 2005 年, 修订自 Massoth 等, 2003 年)。

附录 1: 规章草案的相关条款

第 12 条

申请书包括的总区域

1. 每一份请求核准勘探工作计划的申请书所包括的区域以最多 100 个区块构成。
2. 就多金属硫化物或钴结壳而言, 勘探区应以毗连区块组成。为本规章的目的, 在任何一点相接触的两个区块视为毗连区块。
3. 虽有上文第 1 款的规定, 如果一个承包者选择依照第 17 条的规定提供一个保留区域, 以根据《公约》附件三第九条开展活动, 则申请书包括的总区域不应超过 200 个区块。

第 17 条

在指定保留区域以前应提交的数据和资料

1. 申请者如果选择提供一个保留区域, 申请书所包括的区域应当足够大, 并有足够的估计商业价值, 可供从事两起采矿作业。申请者应将申请书所包括的区块分为两组, 每组具有相等估计商业价值, 并由毗连区块组成。分配给申请者的区域受第 27 条的规定限制。

第 27 条

区域面积和放弃

1. 承包者应依照本条第 2、3 和 4 款的规定放弃已获分配的区块。
2. 在合同签订之日起第五年结束时，承包者应当已经放弃：
 - (a) 至少 50% 已获分配区块数；或
 - (b) 如果该区块数的 50% 是一个整数和一个分数，则取下一个较大的区块整数。
3. 在合同签订之日起第十年结束时，承包者应当已经放弃：
 - (a) 至少 75% 已获分配区块数；或
 - (b) 如果该区块数的 75% 是一个整数和一个分数，则取下一个较大的区块整数。
4. 在合同签订之日起第十五年结束时，或在承包者申请开发权时（以较早者为准），承包者应在剩余的已获分配区块数中指定最多 25 个区块，由承包者保留。
5. 放弃的区块恢复为“区域”。
6. 理事会经承包者请求，可根据委员会的建议，在特殊情况下，将放弃时间表延迟。这种特殊情况应由理事会断定，除其他外，包括考虑当时的经济情况或在承包者的作业活动中出现的其他突发特殊情况。

附录 2：模型参数

1. 本文将海底多金属硫化物及其所处地质环境的一系列物理特征作为选择探矿区的指导因素加以研究。下文将简述在洋中脊探矿中采用的主要参数。在本报告范围内无法对表 1 所列其他地质环境进行彻底论述，但在对海底多金属硫化物全球勘探问题的任何进一步审议中，都应将此作为主题。读者若需了解更多信息，可参看 Hannington 等(1995 年, 2005 年)以及 Herzig 和 Hannington(1995 年, 1999 年, 2000 年)就此专题发表的概述论文。还可参看国际海底管理局发表的《关于“多金属块状硫化物和富钴铁锰结壳——现状和前景” 的第 2 号技术研究报告》。

1. 地质上的考虑因素

2. 多金属块状硫化物是由于深海洋中脊、沉积海脊、中间板块海山、弧形火山、弧后裂谷环境中活跃或近期活跃海底火山区域内的高温（摄氏 350 度）黑烟喷口形成的。热液沉淀物形成块状金属矿物，主要包括热液喷口四周海床及海床下的黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿。块状硫化物大多伴有持续的热液喷发，但其中大约 20% 的地点已不再活跃。

3. 约 65% 的探明硫化物矿点位于洋中脊；其余分别位于弧后盆地(22%)、海底火山弧(12%)和板内火山(1%)。热液喷口的分布数量基本同海脊和海弧的长度成正比；洋中脊的总长度为 55 000 公里，而岛弧及毗邻弧后盆地的总长度为 22 000 公里。硫化物的基质有多种，包括洋中脊玄武岩、超基性侵入岩、火山弧伴生的演化程度更高的熔岩、以及洋壳和大陆壳上的沉积物覆盖层。多金属硫化物生成可行区域包括强烈断层区和海床喷发地段，一般可通过地区测深加以分辨。黑烟口最集中于快速扩张的洋中脊，反映了这一环境中的高温流以及大量海底火山活动。然而，最丰富的硫化物并非总伴随着最高的扩张速度；储量最大的硫化物矿点位于中速和低速扩张中心、脊轴火山、深海弧后盆地、以及毗邻大陆边的沉积裂谷。各大洋的某些部分(如两极地区和南大洋)当中缺乏探明的硫化物矿点，其主要原因是，在这些高纬度地区进行海洋研究困难较多。而最近在北极高纬度区和南极区内发现了热液羽流和块状硫化物，这再次证明海洋偏远区域的海底热液活动同在其他地段所见的热液活动情况大同小异。

4. 在“区域”内，洋中脊和板内火山是聚集多金属硫化物的最主要的火山地形(如东太平洋隆起区南部、大西洋中脊、印度洋中脊：图 1)。不同类型洋中脊的扩张速度和形态因地区构造应力和岩浆供应速率而有不同。快速扩张海脊(全扩张速度为 6-10 厘米/年)位于洋壳较薄地段，并伴有大量火山喷发活动；中速(4-6 厘米/年)和低速(1-4 厘米/年)扩张海脊位于洋壳较厚地段，并伴有间歇较长的火山喷发活动，间隙期内主要发生非岩浆性的、构造扩展和/或侵入活动。快速扩张海脊约占海脊总长度的 25%，中速扩张海脊占 15%，低速扩张海脊占 60%。超快速扩张中心，如东太平洋隆起区南部(最快达 17 厘米/年)，以及超慢速扩张中心，如北极和西南印度洋海脊(<1 厘米/年)，也得到了确认。岩浆供应速率、轴下岩浆的深度、以及岩浆扩展与构造扩展的程度之比都会影响海脊热液对流的大小和强度。一般而言，热液喷发的发生率同海脊扩张的速度之间存在相关性；然而正如上文所述，最大的硫化物矿点往往见于火山偶尔喷发并间以长期强烈构造活动的地段。

5. 海脊(以及弧后盆地)被各种隔离断地形分割成数十至数百公里不等的块段，这些隔断的地形包括转换断层、重叠扩张中心以及其他非转换断错带。这些地形会影响岩浆热量的分配以及构造热液的环流，从而形成可能被选为多金属硫化物勘探区的自然边界。在主要海脊块段当中，高温喷发通常发生于块段中央的海脊最薄处，而块段两端通常缺少岩浆和热量。

6. 在快速扩张海脊中，如在东太平洋隆起区南部，熔岩喷出流至海床的速度快于构造延伸速度，这样熔岩流便会就地聚集为高出周围海床达 100 米的火山高地。喷发裂谷通常占据一条狭窄的轴地堑(约 1 公里宽)，这是热液喷口最常见的地段。热液喷发与最近期火山喷发地段的关联较为密切。然而，频繁的火山喷发会扰乱热液的流动，并掩埋喷发裂谷两边的硫化物矿点。因此，快速扩张海脊上的热液

喷口混合物体积一般较小(干重小于数千吨),而且由于高速扩张,硫化物矿点可能被迅速推离热源。

7. 与快速扩张海脊相比,低速和中速扩张中心,如大西洋中脊和印度洋中脊,其岩浆供应速率通常较低,热液上流所受的结构控制力较大。特别是低速海脊,通常伴有又宽(至 15 公里)又深(至 2 公里)、四周有断层的轴谷。在这样的地段,火山喷发活动极少发生,或者间隔数百至数千年才喷发一次。在最低速扩张海脊中,喷发的间隔可长达数万年。1984 年以前,人们普遍认为,低速扩张海脊中的热液活动有限,因为缺少近海床岩浆热量。但在发现大西洋中脊上的 TAG 热液区后,人们开始认识到,低速扩张海脊中也可能有一些最大的海床热液系统。这些热液系统有可能位于远离轴线的地段,这些地段的基质稳固,足以支持硫化物丘体数百年的生长过程,而新火山区附近的喷口区则年龄较短,没有足够的时间聚集块状硫化物。低速扩张海脊中的热液喷发通常集中于裂谷壁两侧。由于作用于热液的巨大浮力,因此高温喷发发生于距裂谷中央许多公里之外的构造隆起区之上的情况并不少见。因此,对低速扩张海脊的勘探必须包括对与裂谷毗邻的大面积地区的勘探。

8. 离轴火山也可能是热液活动的发生地点。此类火山通常位于距海脊 5 至 10 公里处。其大小不等,有的直径仅数公里,有的则是直径达数十公里的火山体。在若干位于海脊附近的此类火山中,也发现一些较大的硫化物矿点(如,东太平洋隆起区北纬 13 度)。然而,大多数离轴火山通常仅伴有低温铁锰氧化物的沉淀。这可能是由于其伴有的岩浆体体积较小,或者缺少离轴火山活动所伴有的深入断层。

9. 大多数洋中脊喷口出现于水深 2 000 米至 3 000 米处,但在水深直至 4 000 米处也发现不少喷口(图 6 和表 1)。最深的喷口出现于低速或超低速扩张中心,这些地段缺少大量轴下岩浆体伴有的海壳浮力。然而,从全地区范围看,大多数热液喷发集中于火山体的峰顶区(洋中脊扩张中心的最薄处;离轴海山的峰顶区)。从具体部位来看,硫化物矿点可见于叠加在火山高地之上的火山或构造凹陷区(如海脊块段峰顶处的裂谷地堑;弧火山峰口)内。而在海脊或火山较深的外翼,这些地段不大可能有热液活动,存在大量多金属硫化物的可能性较小,除非那里有重要的地质结构,可导致热液上流的集中。

10. 与结壳可开采地区不同,沉淀物覆盖层不应阻碍对多金属硫化物的勘探,除非覆盖层过厚而阻挡热液,使其无法流至海床。不过,可将一些多沉淀环境,如沉积海脊和裂谷边缘作为具体对象,勘探沉积层中的多金属硫化物,特别是在发现其他矿化迹象(如高温流、海床下热液活动迹象或沉积物变化)的地方。最大的探明多金属硫化物矿点之一(胡安·德富卡海脊上的中央海谷)便处于一个几乎 100% 的沉积物覆盖层地区,但那里的热液活动迹象明显,表明海床下近处发生了矿化。本文提出的模型未将沉积物覆盖层作为选择可行地质环境的考虑因素。

在最初勘探阶段结束后，将从租用地中释放一些火山活动有限的区块。勘探者在选择这些区块时，将可能把上述因素以及热液迹象的存在与否，用作选择标准。

11. 许多近期火山和构造活动地区的等深线往往起伏较大，令人望而却步。这可能表示这些地方发生过岩浆和热液活动过程，因而可能聚集多金属硫化物，但是地形过于凹凸不平或者地面稳定性过差也可能成为阻碍日后开采的因素之一。近期活跃火山体的裂谷地堑或火山峰口的峭壁部位本来就不稳定且崎岖不平，尽管裂谷和峰口的底部可能会有局部平坦地段，多金属硫化物可能在那里汇集。快速扩张中心的常见等深变化为 1 公里距离内数十米至数百米；低速扩张中心的常见等深变化为 1 公里横向距离内数百米至 1 公里。在一些地方，持续的火山喷发活动可能会成为阻碍硫化物勘探或开采的一个因素。由于存在火山活动导致的危险，有些弧火山则成为航行禁区。

2. 其他考虑

12. 与活跃热液喷发相联的生物群通常分布于多金属硫化物矿点，或其近旁。规则可能会禁止对这种生物群的任何干扰，从而有可能将相当大一部分的已知硫化物矿点排除在任何早期商业勘探之外。非活跃硫化物烟囱体和丘体通常与活生物群无关，因此是潜在的勘探候选对象，但它们通常出现在非常接近活跃喷口的地方（1-2 公里范围内），而且几乎总是与同样的地质特征相关联。对活跃部位附近的非活跃硫化物聚集物的干扰有可能对附近的活跃系统及其相关的生物群产生未知的影响。

13. 在一些地点，遗弃的器材（电缆、捞网、渔具和科研仪器）有可能造成缠绕危害。例如 TAG 丘体，由于在丘体上小于 250 米区域内的 17 个不同位置钻眼，留下无数废孔，包括钻杆。

3. 勘探区域的大小

14. 中洋脊高温热液喷口的预期数量和分布将限制勘探区域的最佳大小。总的来说，喷口间距不得而知，但各种地球物理测量则揭示了海脊喷口的可能数量。例如，全球洋中脊轴部的热损失大约为 $1.8+0.3 \times 10^{12}$ W (Mottl, 2003 年)。该热量的约 10% 以黑烟喷口结构的温度排放出来。假定单个黑烟喷口的热通量为 2 至 5 MW（例如排放速率为 1 至 2 kg/s: Converse 等, 1984 年），释放到海底的高温热液的估计流量（10% 的 $1.8+0.3 \times 10^{12}$ W）相当于 5 万至 10 万个黑烟喷口（即每 1 公里海脊至少一个黑烟喷口）。但是，已知黑烟喷口的数量相对而言是非常少的，且分布很不均衡。单个的大型喷口区可能包含多达 100 个黑烟喷口，热输出总量 200 至 500 MW（例如，Becker 和 Von Herzen, 1996 年）。因此，每 50 至 100 公里一个喷口区有可能说明中洋脊的估计高温释放量。虽然这一估计数并没有考虑按扩展速率和其他系数计算出的热通量的大幅变化，但对沿着脊顶的某一区段选择一个勘探区域的大小来说，已是颇有助益的一阶指导。

15. 根据已知喷口部位实际分布情况得出的独立估计数显示,从区域范围看,沿洋中脊块段的硫化物矿点间距可能会非常规则。对本项研究所考虑的 32 个五度×五度区域的 100 个已知硫化物矿点的分析表明,矿点之间的平均间距为 98 公里(表 2)。在“区域”内的这些矿点中($n=43$),平均间距是 95 公里。虽然慢速扩张脊上的这一间距(167 公里)大于快速扩张脊上的这一间距(46 公里),但慢速扩张脊上的单个硫化物矿点的平均规模更大。

16. 鉴于喷口分布广泛,可在需要开展广泛评估的非连续且可能彼此独立的许可区域内的若干单独位置申请租用区块。虽然在规章草案规定的 15 年期间可以有计划地放弃那些不利区块,但更有可能的是,勘探者将迅速找出最有利的地点,并迅速确立最少数量的非毗连远景区块。这种可能性在非毗区块的模型中得到考虑。

4. 勘探目标的规模

17. 勘探区域的最小规模是由预期发现的规模和控制其位置的地质特征所决定的。大规模集群硫化物矿点主要由通过水深测量即可很容易识别的地质特征(最大范围为数十公里的断裂地堑或破火山口)所控制。更为局部的控制特征可能包括断层、岩脉群、熔岩湖或其他喷发特征,范围从数百米至数公里不等。个别硫化物矿点可由单个丘体或成群的烟囱体和丘体组成覆盖直径为数十米至数百米不等的海底区域。这些矿点之间可能有数百米至数公里的间隔,通常是无矿沉积区或熔岩区。在胡安·德富卡洋脊的安德维尔块段(图 A1),30 个不同的硫化物复合体分布在 10 公里轴谷地带沿线的 8 个喷口区。主要喷口区间隔均匀,为 2 至 3 公里(图 A2)。在 TAG 热液区,三个主要的块状硫化物丘体(TAG、MIR、Alvin)分布在一个约 25 平方公里的区域内(图 A3)。根据这些观测,有可能考虑进行最尖端勘探(可能包括高分辨率水深测绘、水底摄影或其他海底观测和取样)的海底区域预计不超过 100 平方公里。

18. 在本文中考虑的 100 多处高温热液喷口和多金属硫化物矿点中,仅有约三分之一积聚了直径为数十米至数百米的多金属硫化物(Hannington 等,1995 年;Fouquet,1997 年)。大多数勘测不完整,已报告的区域范围通常包括大面积的非连续硫化物露头或烟囱体和丘体之间的无矿基质。硫化物体的连续性难以评估,即使进行最详细的勘测也是如此。许多示例表明,对这种矿点的表面区域的初步估计不能用于可靠地确定海床上或海床附近硫化物的数量。惟有钻探才能提供这种信息,尽管地球物理学的未来发展可能提供为这一目的服务的补充手段。

19. 当人们首次在东北太平洋的探索者海脊发现多金属硫化物时(图 A1),最大的硫化物丘体的尺寸估计为 250 米×200 米,这是通过水下观测取得的。近来的高分辨率观测显示,这一区域主要由熔岩组成,其上覆盖着非连续的铁斑沉积物,只有四个直径 50 米的烟囱体群组,覆盖面积不足原以为是块状硫化物区域的 25% (<http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations>)。对日出矿点进

行了类似测量，它位于伊豆-小笠原弧的明神海丘海底火山上。其中对一块方圆 400 米×400 米的硫化物成矿区域提出报告（图 A4）。根据起伏 30 米和体积密度 1.9 克/立方厘米计算，共聚积了 900 万吨块状硫化物（Iizasa 等，1999 年）。这一计算隐含三个重要假设：（一）硫化物露头覆盖着 100% 的界定区域（即包括掩埋在沉积物之下的硫化物海脊和丘体之间的区域）；（二）观测到的起伏完全是由于块状硫化物累积在平坦的海床上，而不是由于断层或被掩埋的火山地形（例如，熔岩穹丘）；（三）体积密度是一致的，可代表计算中所使用的总容量。在图 A4 中，不超过 5 测线公里的测量覆盖了 400 米×400 米的界定区域，提供的视觉覆盖范围不超过 30%（例如基于水下观察或拖曳摄影的测量通常拥有的最大视界不超过测线 10 米）。可视觉识别的硫化物露头，例如活跃或非活跃硫化物烟囱体，经显示仅占该区域面积的 25%。鉴于视觉测量的局限性和计算中固有的不确定性，人们对以这种方法估算总吨位的价值存有疑问。

20. 钻探则为深化表面观察和判断硫化物露头的连续性提供了所需的信心。关于沉积层中的硫化物矿点的两个示例说明了钻探的重要性。在胡安·德富卡海脊的中谷和戈尔达海脊的埃斯卡巴纳海槽，海床上有许多抬起的沉积区块，其直径长达数百米，高达 50 米。钻探和其他详细的测量显示，大多数丘体主要是被埋藏的火山槛。但是，在钻探海谷中部的一个丘体（本特山，表面露出部分为 90 米×60 米）时，切到了海床下 95 米块状硫化物，而对 300 米之外的第二个较小的沉积物覆盖丘体（ODP（钻矿方案）丘体）进行的钻探也显示该丘体主要由块状硫化物构成（Davis 等，1992 年）。形成对照的是，对埃斯卡巴纳海槽（270 米×100 米）类似于丘体的地形进行的钻探表明，块状硫化物限于仅有 5 至 15 米深的很小区域（Zierenberg 和 Miller，2000 年）。

21. 只有在可以获得钻探资料的几个个案中，才有可能对硫化物贮积的规模进行可靠估算。在大西洋中脊上的 TAG 丘体（200 米×45 米）上，最大钻深达 125 米的 17 个井眼表明，块状硫化物的总吨位达 270 万吨，平均铜重量百分比为 2，网状脉成矿的吨位为 120 万吨，铜重量百分比为 1（Hannington 等，1998 年）。在中谷的本特山和 ODP 丘体，4 个深钻井眼显示了 1 000 万至 1 500 万吨的组合总吨位（Fouquet 等，1998 年；Zierenberg 等，1998 年）。根据视表面积情况，洋中脊上第二大矿点可能为 10 万至 100 万吨，但没有钻探资料。然而，绝大多数已知的硫化物矿点都要小得多。单个硫化物结构和丘体的直径很少大于数十米，每个的总吨位不超过数千吨。在安得维尔海脊，沿 10 公里海脊的 30 个硫化物构造总吨位不超过约 5 万吨。就大多数情况而言，弧后裂隙和西太平洋火山弧上的硫化物矿点与洋中脊上的硫化物矿点在规模上相似。

22. 估算总吨位的精确性还受制于对硫化物丘体和烟囱体的物理性质不甚了解（Hannington 等 1998 年）。在计算 TAG 丘体吨位时，根据对钻探岩心密度的船上测量，采用了 3.5 至 4 的堆密度。然而，其他矿点的硫化物烟囱体、结壳和沉积物的干体积密度要低得多。东太平洋海隆上的硫化物烟囱体的干密度仅为

1-2 克/立方厘米，原位水含量为 25-50% (Crawford 等)。由于硫化物压缩、孔隙充填和热液重结晶，丘体内部的密度预期较高，但显而易见的是，这些效应并非到处一样。

5. 与陆上采矿的比较

23. 虽然对海底硫化物贮积数量的估计有相当的不确定性，其大致储量预计近似于陆上开采的某些硫化矿床。有两种可能的相关模式。所谓塞浦路斯型块状硫化物矿床一直被认为是洋中脊和成熟的弧后盆地环境中的多金属硫化物的最佳古类似物（如 Hannington 等，1998 年，及其参考书目）。日本的黑矿型矿床是火山弧环境中出现的多金属硫化物的类似物。使用古类似物进行预测的假设是，成矿条件在各地质期保持不变，因为化石记录包括了各年代的矿藏。然而，在今天的海底不太可能找到什么与这些陆地矿床的已知情况有显著不同的东西。因此，现代的海底多金属硫化物很可能不需要独特的品级和吨位模型。

24. 塞浦路斯型矿床数据显示了 160 万吨的中值规模（图 A 5）。这些数据偏向于较大的矿藏，因为只有那些有足够的规模、具备开采效益的矿藏，其吨位和品级才会为人所知或上报。绝大多数硫化物矿点都太小或品位太低，不适合开采，大量小型矿藏都未被列入公布储备。在塞浦路斯型矿床中，有 90 多座单个储量小于 10 万吨的尚未开采矿点，很可能还有很多小得多的矿点从未被视为远景区（Hannington 等，1998 年及参考书目）。这种情况类似洋中脊的活跃部分上有许多孤立的小烟囪体和丘体。当把未开发矿点也包含在内之后，曲线向低得多的吨位倾斜（图 A 5）。在塞浦路斯型矿床中，包括低开采效益矿点在内的中值规模预计低于 50 万吨。

25. 在开采日本黑矿矿床的过程中，对所开采矿体的物理尺寸进行了详细记录。在北鹿盆地开采的 44 个矿床中，矿体平均表面积约为 200 乘 200 米（Tanimura 等，1983 年）。矿群占地一般不足 100 平方公里，包含最多 10 个矿体。Sangster（1980 年）展示了加拿大块状硫化物矿区类似的矿体分布模式，在 84 平方公里的面积上平均有 12 个矿。在这些地区，最大的一个矿一般占总金属储量的 60-70%；第二大矿可能仅占 10-20%。拥有另一个大矿的最近地区可能在几十到几百公里之外。这些比较可能有助于确定勘探海底多金属硫化物的目标规模，但必须指出的是，古矿区中的区域一般包含暴露在许多不同地层的矿床（也就是说，在侵蚀的陆地表面暴露的矿床可能比平坦的海底要多得多）。

26. 海底大部分区域的硫化物矿点分布规模表明，如果按照与陆地矿址相仿的采矿速度计算，每年将采完 2 500 平方公里面积内的资源。除极个别情况外，需要到其他区域寻找更多的资源以供维持多年开采。

6. 与专属经济区海底商业勘探的比较

27. 颁发给两家公司（在巴布亚新几内亚东玛纳斯海盆作业的鸚鵡螺矿物公司和新西兰汤加-克马德克弧区域作业的海王星矿物公司）的商业勘探许可很好地例证了不同开采模式和租用区块选择的限制。海王星公司在新西兰的探矿许可从1999年的最初3.3万平方公里减少到2003年的7 790平方公里（24%）。鸚鵡螺公司在巴布亚新几内亚的勘探许可在1996年时的总面积为15 000平方公里。在东玛纳斯海盆正在勘探的两个最有远景的地点分布在2 500平方公里（17%）的区域内。在海王星和鸚鵡螺公司的租地中，包含100个毗连区块的一个勘探许可不可能囊括已知的硫化物矿点（图A6）。

附录 2：图

1. 图 A1。太平洋东北部一个 5 度乘 5 度区域的例子（1 000 米等深距），与胡安德富卡海脊和位于 Southern Explorer 海脊、中谷和 Endeavour 海脊的已知多金属硫化物矿点重叠。
2. 图 A2。Endeavour 海脊 30 分乘 30 分地图（100 米等深距）显示相距大约 2-3 公里的不连续硫化物矿点。
3. 图 A3。硫化物矿点在大西洋中脊 TAG 热液区的分布（Humphris 等，1995 年）。三个主要的块状硫化物丘体（TAG, MIR, Alvin）位于大约 25 平方公里的区域内。
4. 图 A4。地图显示 Izu-Bonin 弧上的 Myojin Knoll 海底火山上的 Sunrise 矿点水下测量图（Iizasa 等，1999 年）。所示的硫化物矿化区面积为 400 米×400 米。按照 30 米的地形起伏和每立方厘米 1.9 克的体积密度计算，块状硫化物的贮积量总计 900 万吨。不过，基于水下观测或照相机拖带拍摄的测量，其最大视野一般在测量轨迹的 10 米之内。在显示的地图上，不超过 5 线——公里的测量覆盖了 400×400 米的轮廓区域，提供的视觉覆盖范围不超过 30%。可目视识别的硫化物露头（即活跃或不活跃的硫化物烟囱体）显示仅覆盖约 25% 的区域。由于视觉测量存在局限性，又缺乏任何钻控资料，再加上硫化物并非分布在平坦的海底，因此，所计算的吨位并不确定。
5. 图 A5。49 个“塞浦路斯型”块状硫化物矿床吨位模型，显示了各种规模的矿床。中值吨位（50 百分点）为 160 万吨。绘图数据来自 Singer 和 Mosier（1986 年），仅包括规模足以进行效益开采或已报告储量的硫化物矿床。绝大多数硫化物矿点太小或品位太低，不适于开采。大批小矿未列入公布储备，其中包括 90 多个单矿储量低于 10 万吨的未开发远景区（Hannington 等，1998 年，及参考书目）。很可能还包括更多规模更小的矿点，这些矿点从未被视为远景区。如图所示，把未开发远景区计算在内之后，曲线向大幅降低的吨位倾斜对塞浦路斯型矿床而言，包括未开发远景区在内的中值规模矿床预计少于 50 万吨。

6. 图 A6。在巴布亚新几内亚和新西兰的商业勘探许可的例子。海王星矿物公司在新西兰的原探矿许可(A)在 1999 年是 3.3 万平方公里, 2003 年减少到 7 790 平方公里 (24%) (www.neptuneminerals.com)。鹦鹉螺公司在巴布亚新几内亚的许可(B)在 1996 年总计 15 000 平方公里, 其中 2 500 平方公里 (17%) 现已确定包含东玛纳斯海盆中储量前景最大的两个区域 (www.nautilusminerals.com)。在这些例子中, 基于 100 个毗连区块的勘探许可不可能允许所有的已知硫化物矿点被包含在单一租用地之内 (参见附录 3)。

附录 3: 32 个多金属硫化物成矿可行区域图

1. 在 32 个 5 度乘 5 度地图区域中选出多金属硫化物成矿可行区域。探矿区域被人为确定为小于五度乘五度, 包含至少一个已知硫化物矿点或其它矿苗。在每张图中被视为具备多金属硫化物成矿条件、可进行勘探的区域上覆以 0.1 度的网格, 这一网络大约相当于每块面积为 10 公里乘 10 公里的区块 ($0.1 \times 60 \text{ 海里} \times 1.852 \text{ 公里} = 11.11 \text{ 公里网格间距}$)。为方便绘制硫化物位置, 使用十进制的度数。在任何情况下, 基于本文中讨论的每张地图区域的一般地质特征, 网格应覆盖所有成矿可行区域。在本文介绍的模型中, 成矿可行区域的面积大约等于 15 年勘探周期结束时最终分配区块面积的 20 倍 (20×25 个区块)。

附录 4: 12 个模型勘探区域图

1. 使用 5 度乘 5 度地图以及 1 000 米等深距测量了模型勘探区域, 以用于“区域”内的 12 个案例研究。介绍了一些模型, 以说明如何根据规章草案中提出的放弃时间表将这些区域减少到最小数量的勘探租用区块 (第 5 年后 50% 的分配面积, 10 年后 75%, 15 年后最多不超过 25 个区块)。

附录 5: 选定区域的 100 米等深距详图

1. 在可以获得更详细的深测数据时, 使用一系列 30 秒 $\times$ 30 秒的地图 (100 米等深距) 描绘所选定的成矿可行区域。这里显示的数据来自国家地球物理数据中心的 *多波束测深目录* (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/multibeam.html>)。这些地图可以用来大大减少最初的成矿可行区域的面积, 但只有一部分洋区有这些数据。