

## 印度奥里萨的库塔克地区用重力勘探铬铁矿

在库塔克地区的苏金达和苏克兰吉两地段（约1.25平方公里）于1965年11月到1966年6月进行了详细重力勘探（总共17,878个测点）。在前一地段十多年来做了许多地质勘探工作，1965~1966期间开采了约28,000吨铬铁矿。相对前者来讲在第二个地段除做了某些地质普查工作外，没有做过山地工作。

物探工作的目的是：寻找新的矿体；追索老矿体的延伸；找已知矿体下部的深部矿体；确定矿筒的向下延伸；在苏克兰吉地区圈出有利地带以便进一步布置槽井探工程。与滑石-蛇纹岩的密度（2.55克/厘米<sup>3</sup>）相比，铬铁矿的密度（4.0克/厘米<sup>3</sup>）要高，铬铁矿主要伴生在滑石-蛇纹岩中。该区某些其它基性和超基性岩具有比滑石-蛇纹岩还高的密度（表1），虽然它们的数值不大于4.0克/厘米<sup>3</sup>，但除铬铁矿外，也能引起异常。开始工作时曾做过磁法和自然电流法，由于没有效果，未继续进行。

### 地质情况

测区南面是马哈吉里山脉，北面是达塔里山脉，中间由达姆赛尔河谷隔开。河谷为冲积层与红土覆盖，有超基性岩侵入。河谷中的地层是：红土层、较新的粒玄岩、花岗

钻孔的东部。为了揭露预测的矿体，已经打了勘探钻。

在590号钻孔剖面160~200米深部（见图1）见到了工业矿体，硫化物矿化在该处沿弱片理化的次生石英岩发育。金属矿物为黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿。黄铁矿矿染较贫，均匀程度不同地分布在岩石中。黄铜矿与闪锌矿常为15~20厘米厚的细脉，与岩心轴平行排列。金属矿物的数量变化大，有时会形成黄铜矿与闪锌矿单矿物细脉。

岩、超基性岩（橄榄岩、橄榄辉长岩、橄榄粒玄岩、伴生铬铁矿的滑石-蛇纹岩）、铁矿系砂岩、石英岩、片岩、含铁砂质页岩（前寒武纪）。最古老的岩层属于铁矿系，走向大致呈北东-南西，并向南倾。就整体来讲，橄榄岩类的超基性岩整合侵入铁矿系，在超基性岩浆中的分异作用将铬铁矿分出，并分凝成层。此后由于热液变质和循环水的作用，橄榄岩普遍受蛇纹石化。铬铁矿沿橄榄岩和蛇纹岩的走向（北东-南西）伸长。后受花岗岩的侵入，再往后还有较新的粒玄岩侵入。可能是由于这些侵入所产生的应力使铬铁矿矿体被剪切破碎。

### 铬铁矿

可开采的铬铁矿矿床呈不规则的透镜状、囊状和筒状，产在超基性岩边部的叶片状滑石-蛇纹岩中。铬铁矿排成两条明显的带：一带是灰色矿，一带是棕色矿，沿大致北东-南西走向产在区域的主要断裂内。由于受大的剪切和挤压的结果，矿体很破碎，呈细窄条。灰色矿石带中的裂隙，被土壤或红土充填。灰色矿石一般是坚硬细粒的，但有些地方变成中粒，甚至粗粒的，或是具有致密的失去光泽的外表，颜色由浅灰变为灰白色。物探工作布置在灰色矿石带地段（因

与上述地球化学晕有关的工业矿体，目前已沿走向追索到100米，厚度始终没有很大的变化。本文作者认为，矿体的总长度可能在200米以上。已揭露的矿石推测是陡倾矿带的上部，矿带在深部与已知的第四层致密块状和细脉浸染状黄铁矿矿体相连。

龚昶行译自：《Разведка и охрана недр》，1973，№3，21-24

作者：M.Г.阿维里扬诺夫等

为棕色矿石带的矿石品位不属于耐火级，所以未布置物探）。

### 野外工作

铬铁矿与围岩之间密度差为1.55克/厘米<sup>3</sup>。位于经济上适合开采深度的铬铁矿，至少可以产生大于0.05毫伽的重力异常。纯橄岩、辉长岩等也具有足够大的密度差，也可以产生异常，其规模和强度与铬铁矿的异常相差无几。所以希望重力测量能够圈出地下密度大的物质的分布范围，以便用钻探或槽探来检查下面有无铬铁矿。

假定异常带的平均长度为L，布置测线间距为S（≤L）的一组剖面，其中一条剖面穿过异常的概率是：

$$\frac{2L}{\pi S} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{S^2}{L^2}} \right) + \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \frac{S}{L}$$

在该区L一般为100米，因已知矿体的长度为50~150米，所以取S=20米，上式给出找异常的效率为0.936。所定的测线间距是合适的。剖面上测点距用5米较好，因已知矿体的宽度为5~20米。一般是用这样的测网进行工作，根据所要求的详细程度以及为了节约费用，也采用过别种大小的测网（20×10米，10×5米）。

在与已知矿体走向大致平行的方向，以100米间距埋上一串永久性的水泥椿。测线和测点都从水泥椿开始打出去。水泥椿既用作重力测量的基点，也作为固定标记为后来布置槽井探用。但在苏克兰吉未埋上这种水泥椿，在地面只留下半永久性的标椿，便于确定槽井探的位置。测点的相对标高的测定精度要求达到6公分。

用渥登重力仪工作，标尺常数0.0966毫伽。在测量工作中利用标准的环路法建立基点网。各基点的重力值是根据5次观测取平均数确定的，相差不超过0.02毫伽。测点和基点的重力差是根据测网点上的单次观测与大约1小时时间间隔在一个基点上的观测来决定的。假定仪器的零点漂移与时间呈线性

各种岩石的密度 表1

岩石类型	样品数	密度范围 (克/厘米 <sup>3</sup> )	平均密度 (克/厘米 <sup>3</sup> )
燧石	3	3.30—3.40	3.35
铬铁矿	46	3.50—4.27	4.10
纯橄岩	22	2.85—3.23	3.10
粒玄岩	17	2.88—3.09	3.00
辉长岩	13	2.90—3.10	3.00
蛇纹岩	34	2.60—2.90	2.73
硅化超基性岩	8	2.24—2.60	2.42
滑石—蛇纹岩	40	2.33—2.78	2.55
石英岩	20	2.61—2.69	2.65

关系。对仪器的零点漂移改正以后，利用标准的方法对数据改正求得布格重力值。根据实验测得的岩石密度2.55克/厘米<sup>3</sup>（表1），进行每米0.20毫伽的高差改正，将所有观测数据化成同一基准面上的资料。

除苏克兰吉地段南部以外，地形相当好，故未作地形改正。在苏克兰吉南部有许多高差达25米的小山包，对地形必须进行改正，将实际地形近似地看成二度体进行了计算。

17,878个测点中有10%进行了重复观测。重复观测之间的平均差为0.03毫伽；其中有13.6%重复观测没有差别；有19.1%相差0.006~0.015毫伽；有35.7%相差0.016~0.035毫伽；有17.7%相差0.036~0.055毫伽；有13.9%相差大于0.055毫伽。从这些数字来看，测量所达到的总的精度还不够高。

### 结果的讨论

磁法没有效果，在已知铬铁矿矿体上或是矿体以外磁测曲线都极为零乱，无法判断矿体的存在。

在苏金达地段共发现七个重力异常带（编号I—VII）。

图1是I号异常带剩余重力异常带。异常长约250米，宽50米，峰值0.2毫伽。异常北部分走向南北，在粒玄岩出露的延长线上。异常南部分走向北东—南西，其位置与已知矿吻合。异常带北部走向南北的重力异

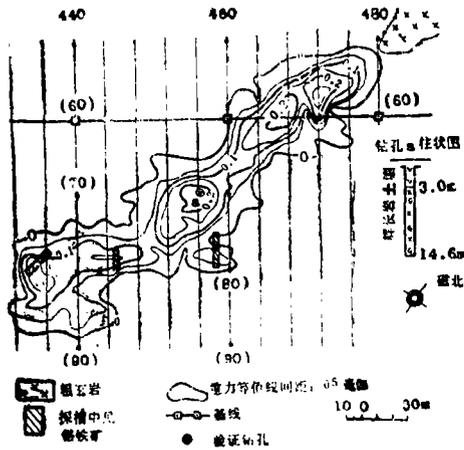


图1 I号异常带的剩余重力图

常是粒玄岩的向南延伸引起的，还是已知矿体向北分岔所引起的，难以判断。在距已知矿体最近的重力高处（图中a点）布置了一验证钻。假定异常体为球体和柱体，用两种密度差（1.55克/厘米<sup>3</sup>—铬铁矿，0.45克/厘米<sup>3</sup>—粒玄岩），对异常体的顶部埋深进行了定量计算。假设为球体，密度差为0.45克/厘米<sup>3</sup>，所求得异常体顶部埋深为3米。验证孔在3米处见到辉长岩。钻孔打到14.6米仍是辉长岩，未继续钻进。此辉长岩的密度为3克/厘米<sup>3</sup>。

Ⅱ号异常带 剩余重力图见图2。此带与已知矿的位置吻合，异常长2000米，宽50米，异常最大值0.35毫伽。在9G处的钻孔打到4层铬铁矿（见矿所在深度由上到下分别是：0~3.2米、15.2~15.5米、17.8~20.7米、21.3~22.1米）。矿层的厚度分别为3.2，0.3、2.9和0.8米。按物探的看法，四层矿可当成两层矿来处理。第一层深度0~3.2米，第二层深度为17.8~22.1米，另一层厚0.3米，太薄可以忽略不计。仔细研究异常带上的重力剖面图（其中有3条经复制，示于图3），可以将上述两层矿体区分开。图3中实线（a）是经过适当改正后的重力剖面，破折线（c）是区域重力场，点—破折线（b）

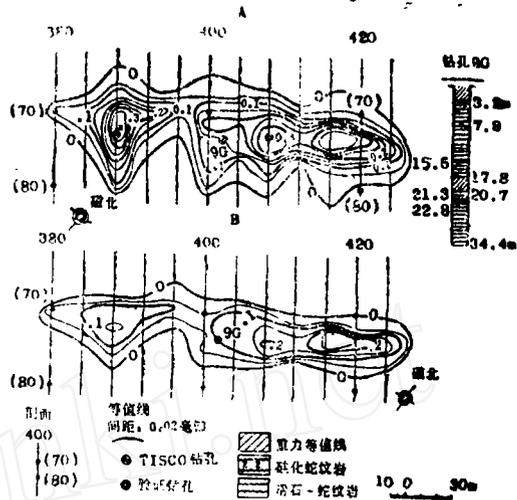


图2 II号异常带的剩余重力图

A—上部矿体和下部矿体的剩余重力图；  
B—上部矿体单独的剩余重力图

是叠加在区域重力场上的深部矿体的重力异常。三种异常（区域的、深部矿体的、浅部矿体的重力反应）于是可以大致地分开。图2B是按这样的方法分开的浅部矿体的剩余异常，在几个点上计算了上部矿体的埋深和厚度（假设矿体是二度的水平条状体），以检验所估计的区域重力场是否正确。计算结果与已知情况符合。根据图2B估算的上层矿体的储量为41500吨，而按钻探资料估计的是38000吨。400号测线离9G孔最近，假定矿体是一个矩形棱柱体，利用斯克爾士（1963）的方法计算了下部矿体的埋深和厚度。此剖面示于图4B，计算的结果：深度为19.8米，厚度为4.2米，与实际情况颇为接近。因为上层矿体的深度、厚度、质量的推算结果都与已知情况接近，所以用同样的方法在另外两条剖面上进行了定量解释。

在图2A中的“X”和“Y”两个点上打了验证钻，是经过用上述理论计算以后提出建议的。非常遗憾，两个孔打了30米都没有见到第二层铬铁矿。

Ⅲ号异常带 该带位于一个已知的筒状矿体的上方，由于该地段为水浸泡，不能详细地进行测量。此矿体的形状与这里的其它矿体的形状不同，呈圆筒状，而其它矿体则呈

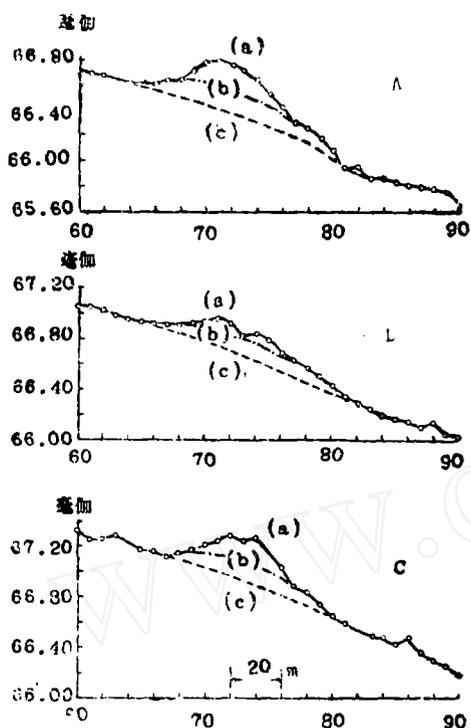


图3 布格重力剖面

A—388号剖面;  
B—400号剖面;  
C—408号剖面

水平透镜状。矿体上方12G孔从地表到26.2米连续见矿，而且还未打穿矿体的底部。在离开矿体露头不远处还打了几个直钻，但都未见矿，表明矿体确呈筒状。在水浸泡的地方搭了一座浮桥，只能做一条大致通过矿体中部的剖面。沿着桥以1米的点距进行了观测，测得的剖面示于图5。在矿体与围岩接触处重力值有明显的增大，然后渐渐下降接近在矿体中心部分所测数值。在矿体中部重力值降低是由于在露头中部有相当一部分的铬铁矿被采去，使得那一块地方为水浸泡。筒状矿体的直径似乎不是均匀的，愈往深处变得愈细，有两个原因：第一当从外向矿筒趋近，重力值的增大太陡。对于一个向下延伸至少达26.2米的直径均匀的筒状体，当从矿筒向外移，测得的重力值变小的趋势应比实际测得的要缓。第二，根据所观测的重力值用积分法①计算出矿筒的质量大约只有2,400吨，低估的原因可能是由于“消失”

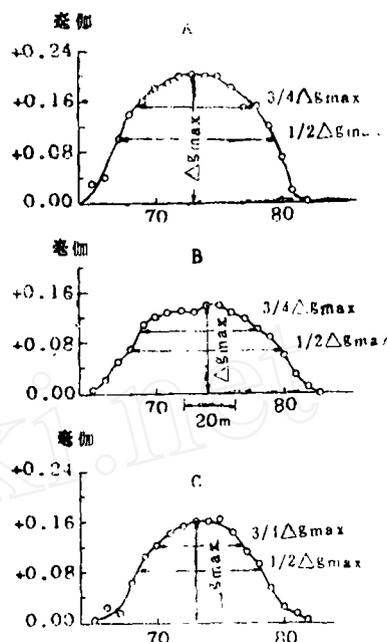


图4 剩余重力剖面

A—388号剖面;  
B—400号剖面;  
C—408号剖面

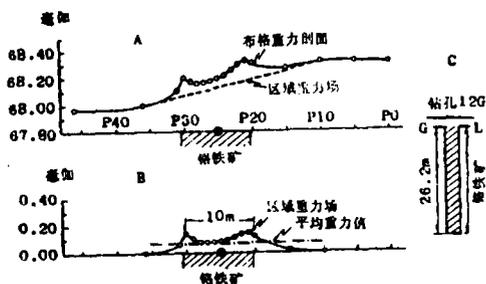


图5 筒状矿体上方的重力剖面

A—布格重力剖面;  
B—剩余重力剖面;  
C—12G孔柱状图

误差所引起。根据哈默，这种误差可以高达-50%，可以看出矿筒的总质量决不会大于3,600吨，这与直径均匀(10米)长26.2米的圆柱状铬铁矿矿体(8,200吨)相比，显然是太低的了。

IV、V、VI、VII号矿带经过验证，都未见到矿体。

苏克兰吉地区的重力测量结果在布格重力图上发现两个正异常带。

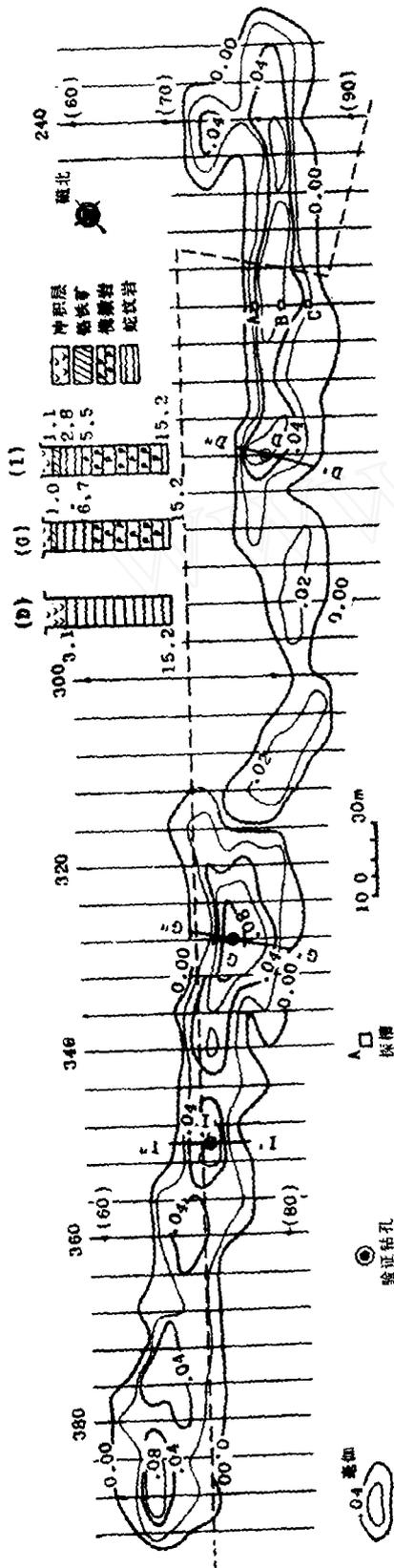


图6 苏克兰吉地区剩余重力图

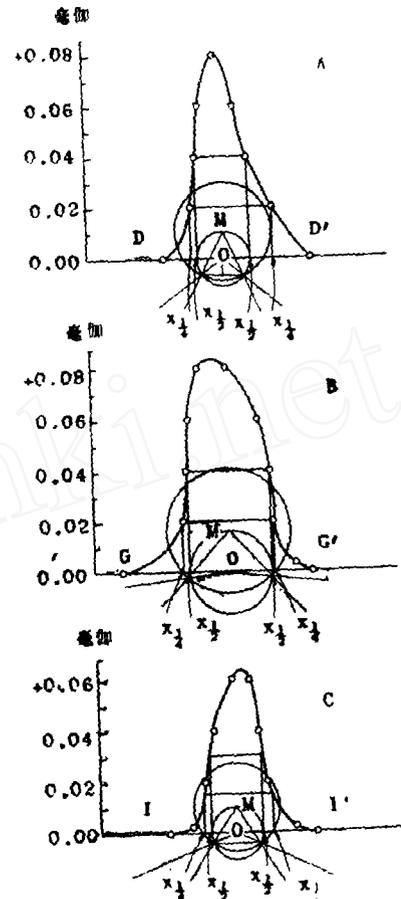


图7 SI异常带上的剩余重力图

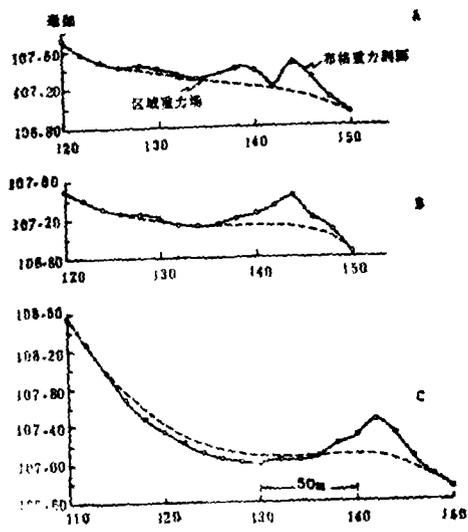


图8 SI异常带布格重力图

- A—256号剖面;
- B—260号剖面;
- C—264号剖面

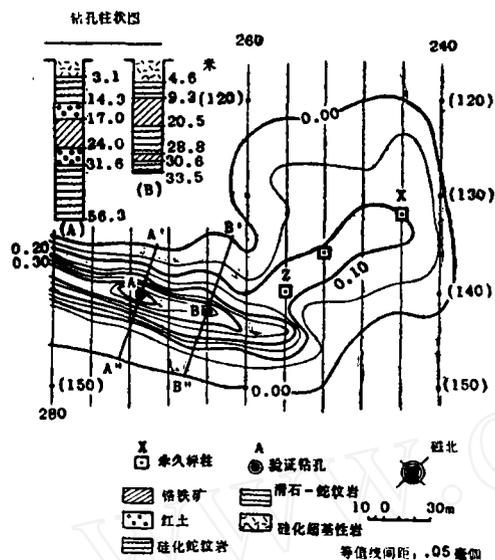


图9 SI号异常带剩余重力图

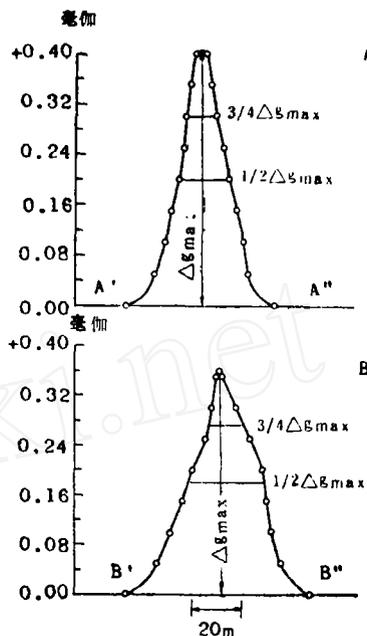


图10 SI号异常带剩余重力图

SI号异常带走向南东—北西，还伴随有两个重力低，此两个重力低值异常可能是由于平均密度为2.4克/厘米<sup>3</sup>的硅化超基性岩引起的。此异常带的剩余重力图示于图6。在A、B、C三点布置的钻孔在地表下2米范围内见到厚1米的铬铁矿。与剩余重力异常走向正交的三条剖面(DD'、GG'和II')示于图7，利用荣格对水平条带体的理论计算方法分别计算了矿体在D、G、I点处的深度和厚度。计算出的深度和厚度是：在D点为4.0米和3.3米，在G点为2.0米和1.3米，

在I点为3.5米和1.2米。在这三点探井验证结果与计算结果基本一致，但矿石不是层状矿石，而是与漂移矿石更相似。储量大致为60,000吨。

SI号异常带位于硅化超基性岩上，其西边侧翼有一重力低。图8和图9分别表示所估计的区域趋向和剩余重力剖面。对于沿AA'和BB'的两条剩余重力剖面(图9、10)，用斯克爾士计算矩形棱柱体的方法和罗伊的向下延拓方法，进行了定量计算。计算结果见下表。

点号	顶部埋深(米)			大致厚度(米)	
	斯克爾士法	罗伊法	钻孔结果	斯克爾士法	钻孔结果
A	2.0	12.5	17.0	20.0	7.4
B*	4.6-6.0	11.5	9.3	20.0	11.2
		28.8			

\*在B点下面有两层矿

①异常带直径约26米(见图5)，在剖面上在这段长度上重力平均值为0.072毫伽，所以铬铁矿的质量为：质量=π·6·10<sup>4</sup>·0.072·10<sup>-3</sup>·4.1/2π·G·155克，式中G为引力常数。

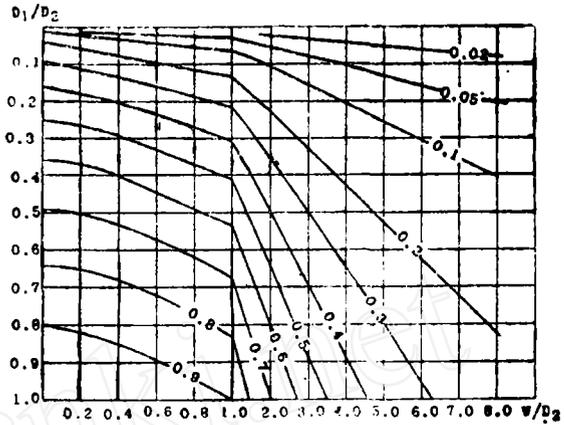
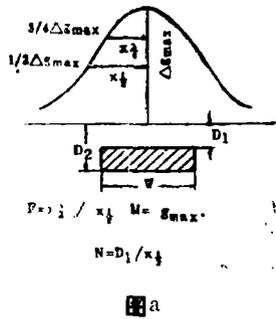
在A和B两处的钻孔均见到铬铁矿富矿。估计储量有99,000吨。

陈玲译自《Geoexploration》,  
1969, Vol.7, №4, P201-240  
作者: B.B.布哈塔恰里亚等

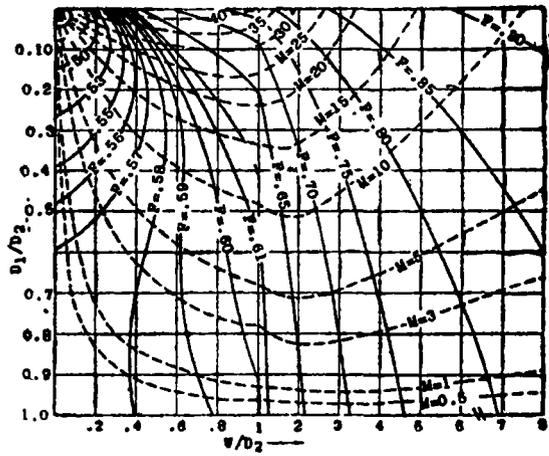
附录

斯基尔士对矩形棱柱体重力异常的推断解释法  
图a中的曲线是矩形棱柱体的重力异常曲线。异常的最大值以及它的3/4值和1/2值分别为  $\Delta g_{max}$ 、 $3/4\Delta g_{max}$  和  $1/2\Delta g_{max}$ ，其所在点的横坐标分别为  $0$ 、 $x^3/4$  和  $x^{1/2}$  (见图a)。以上储量均已知。为求棱柱体的上下底埋深  $D_1$  和  $D_2$  以及它的宽度  $W$ ，斯基尔士引入了下列参数(F、M和N)：

$F = x^3/4 / x^{1/2} \dots (1)$ ， $M = \Delta g_{max} \Delta \rho \dots (2)$ ， $N = D_1 / x^{1/2} \dots (3)$ ， $\Delta \rho$  为密差。(1)(2)两式中右边储量均已知，可计算出F和M。利用图b可查得比值  $D_1/D_2$  和  $W/D_2$ ，再利用图c可查得N。由(3)式可计算出  $D_1$ 。令前面查得的  $D_1/D_2$  值去除  $D_1$  即得  $D_2$ ，再令  $D_2$  与  $\frac{W}{D_2}$  相乘即可求得W。于是问题全部得到解释。



图b



图c