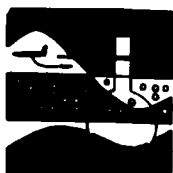


## 磁电阻率法的地质效果

张书成

(核工业部北京铀矿地质研究所)

介绍了近年来磁电阻率法在我国某些矿床上的应用情况,举例说明该方法用于找矿和找断裂构造的效果。在有强磁干扰的地区、低阻覆盖区及松土层地带或一般电阻率法未能见效的地区,磁电阻率法也是有效的找矿手段。还介绍了方法的野外技术和特点。



物探与化探

磁电阻率法(MMR)是新发展起来的一种地球物理方法。目前只有澳大利亚、美国、加拿大、苏联和南非等几个国家和地区,研究和应用了这种方法。据报道,MMR法除在澳大利亚西部的高导电率覆盖区用于寻找铜、镍、金、铀等矿产取得巨大成功外,其他国家应用的结果还很少报道。我国从70年代末开始,几个研究单位和院校对该法进行了研究,先后在斑岩铜矿、含铜磁铁矿等矿床上进行了试验,并取得了良好的结果,但在生产部门尚未推广应用。

近年来有关单位的研究、试验和应用结果证明,MMR法在低阻覆盖区、接地条件困难、极化不稳,以及一般电法难以取得成效的地区,用以寻找与围岩有明显导电率差异的深部盲矿体,圈定断裂构造,探查与矿体有关的岩体接触带等,是一种有效的方法。

该法具有以下特点:

1. 用高灵敏度的磁力仪观测介质中一次电流产生的磁场,而不是测量地面上两点间的电位差。
2. 由于磁场是用磁探头或线圈在地面上点测,不需接地,因而可避免接地不良造成的干扰;在沼泽、水稻田、沙漠、松土层、岩石出露地区

仍能正常工作。

3. 该方法的物理基础是岩石与矿石间的导电性和导磁性差异,因此既可寻找与围岩有导电性差异的矿体,又能寻找与围岩有磁性差异的矿体。

4. 测量磁场是整个体积电流的积分,不受局部不均匀导电性的影响。

5. 磁场不受低阻覆盖层和高阻或低阻中间屏蔽层的影响。

6. 磁场随深度的衰减比电场慢一个级次,因而有利于发现深部矿体。

工作中,结合当地的地质地球物理条件,合理选择供电、测量方式,在矿体上通常会观测到MMR异常。用一台发射机供电,多台仪器测量,可大大提高工作效率,是一种快速的普查方法。

本文着重介绍MMR法在铀矿、铜镍矿、金矿等矿床上,以及未知区的应用效果。

### 工作方法和技术

MMR法可单独作为一种方法使用,但为了节省费用,提高工作效率,通常与磁激发极化法(MIP)同时进行,用同一台仪器即可得到两种方法的结果。当前生产的大部分专用仪器都能做到。

MMR法同一般电法一样,可用直流电工作,也可用交流电工作。在交流MMR法中,通

常用一种频率观测总磁场的振幅, 频率为 $0.1 \sim 10$ 赫兹。

野外常采用半方框供电装置和梯度排列测量(图1a), 半方框范围为长 $L \times$ 宽 $L/2$ 。供电电极距 $L(=AB)$ 的选择, 视探测对象和工作任务而定, 一般为600~1000米。供电电极 $AB$ 沿推测矿体和构造的走向布置, 测线垂直于 $AB$ 连线, 在框内布置数条, 线长的选择应以供电电缆的干扰最小为原则, 同时供电线应尽可能与测线保持在同一平面内, 以减小供电电缆中电流产生的磁场影响。

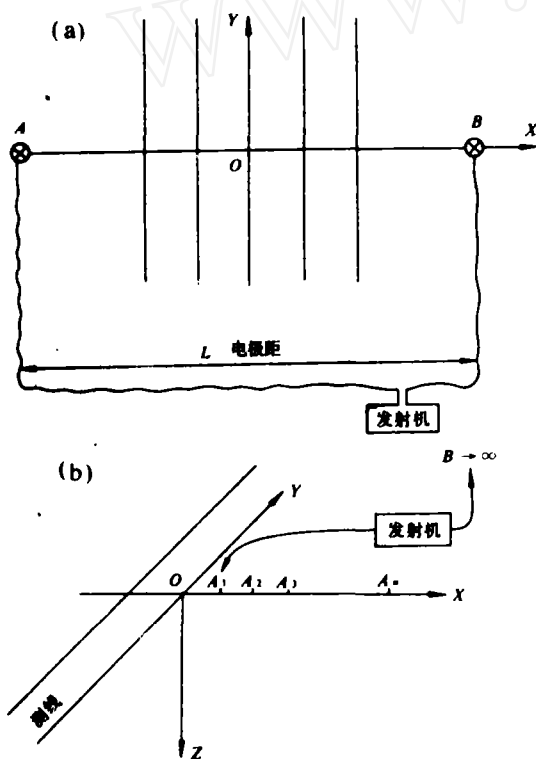


图1 供电装置与梯度排列 (a)  
及多源排列布置图 (b)

为了了解异常体的延深情况, 在异常地段往往采用多源排列测量, 其电极排列形式如图1(b)所示。 $AB$ 供电电极沿异常体走向布置, 移动电极 $A_n$ 按一定距离布置在基线上, 另一电极 $B$ 布置在无穷远处。垂直于基线在移动电极的一端布置1~3条测线, 在每个测点上测量不同极距的磁场, 根据绘制的拟断面图, 即可分析和推断异常体的深部情况。

所用仪器为加拿大Scintrex公司生产的

TSQ-3型时间域和频率域激发极化发射机, 输出功率3kVA; 接收仪器用IPR-2型频率域激发极化接收机与MFM-3型磁力仪配合, 测量一次电流产生的磁场 $H_p$ (伽马)。测量时, 将磁力仪探头水平置于地面, 长轴方向与测线方向一致。因篇幅所限, 这里只介绍频域MMR法的工作方法。

MMR法的最终结果用磁电阻率(MMR)表示, 其表示形式因测量方式不同而异。用梯度测量时, MMR的表示式为

$$MMR = \frac{H_p^c - H_n}{\frac{200I}{l}} 100\% \quad (1)$$

当采用多源排列时, 则表示式为

$$MMR = \frac{H_p^c - H_n}{100I \left( \frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right)} 100\% \quad (2)$$

(1)、(2)式中,  $H_n$ 为均匀介质中正常磁场理论值(伽马),  $H_p^c$ 为改正(基点、地形)后的磁场观测值(伽马),  $I$ 为供电电流强度(安培),  $l$ 为半极距(米),  $x_1$ 、 $x_2$ 分别为 $AB$ 供电电极至测线中点的垂直距离(米)。

根据MMR结果分别绘制剖面图、平面等值图和拟断面图。

在野外工作中, 应注意以下几方面的问题:

1. 测量前后应进行早、晚基点观测, 以便对测量结果进行基点改正。

2. 当地形坡度大于 $10^\circ$ 时, 测量结果须进行地形改正。

3. 工作中应避免或减少电磁干扰的影响, 如遇磁暴、大风和天气突变, 应停止工作; 在矿山及工业电源(如钻机、高压线等)较多的地区, 应避开这些干扰。

4. 发现异常后, 应做适当的检查并采取措施(如改变供电频率、对称于基线再布置一半方框等)查明异常的真实性。

5. 在强磁区工作, 应注意磁性的影响。

顺便提出, 供电电极可用铝箔纸代替铁电极。因为铝箔纸用量少、重量轻、接触面积大, 可减轻劳动强度, 减小接地电阻。具体做法是: 分别

在供电电极 $AB$ 处,挖1~4个长约60厘米、宽40厘米、深30厘米的坑,将铝箔平铺在坑底,并盖土踩紧。

### 应用实例

1. 图2是河北某钼—铀矿床外围频域MMR法的实际应用结果。在测区西部探明了一个钼—铀矿床。矿床赋存于火山岩中,矿体受岩体和构造控制。主要含矿岩石为流纹质熔结凝灰岩和次流纹斑岩。金属矿物以辉钼矿、闪锌矿、硫钼矿、黄铁矿为主。矿床周围被第四系覆盖,厚达数十米至百米,无法追索控矿岩体与断裂带,影响了矿床的扩大。为此,在该矿床外围先后进行了多种物探方法测量(其中包括一般电法),效果均不明显。尔后开展了MMR法梯度测量,供电电极距为800米,线距100米,点距25米,供电电流3.5安培,工作频率1.0赫芝。其中一方框的MMR结果见图2。由图可见,控矿岩体为高阻体,由西向东延伸,在0~I线之间转为北东向延伸。岩体边界被-30%的MMR等值线所圈定,在其中部被两条近南北向断层错断,形成一个低阻带,即岩体由西向东延伸变为向北东方向延伸的转折部位。岩体由西到东埋深逐渐加大。根据MMR结果,结合MIP极化异常,推断岩体及边缘,同时有构造通过的交叉部位是赋矿有利地段。后经钻孔验证,在I、III线之间的南段,岩体与推断断层交叉部位附近200多米深处见到了几米厚的工业矿体。

2. 西北某铜—镍矿床赋存于前震旦纪超基性岩内及岩体顶底盘的接触部位。矿体隐伏于第四系之下,长数百米,埋深从数十米到数百米,向下延深最大达600多米,倾向南西,倾角60~70°。主要含矿岩性为二辉橄橄榄岩、含辉石橄橄榄岩。围岩为混合岩、大理岩、片麻岩和花岗岩等。金属矿物以黄铜矿、镍黄铁矿、硫镍铁矿为主。含矿岩体具强磁性,磁化率为 $5000 \sim 7000 \times 10^{-6} \text{ CGSM}$ 。矿体与围岩具有明显的电性差异,矿体电阻率达300~500 $\Omega \text{ M}$ 或更大,比围岩电阻率高几倍。该区曾做过磁法、电阻率法等物探工作,磁法只能圈定磁性岩体,而电阻率法未取得任何效果。由

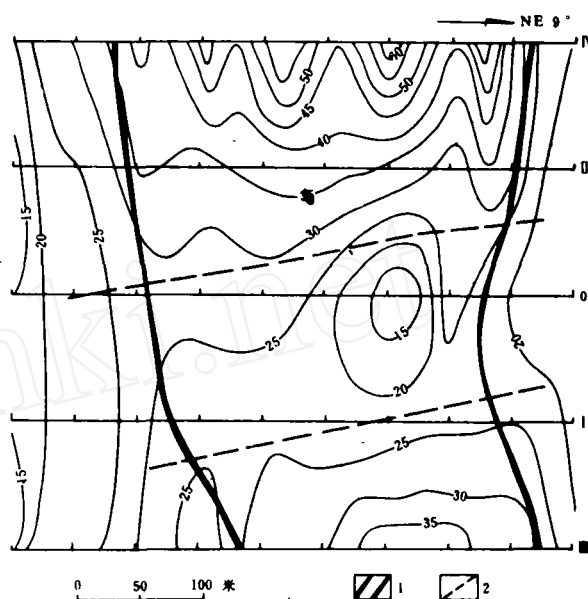


图2 河北某钼—铀矿床MMR等值线图  
1—推断岩体界线; 2—推断断层(图中数字均为负值)

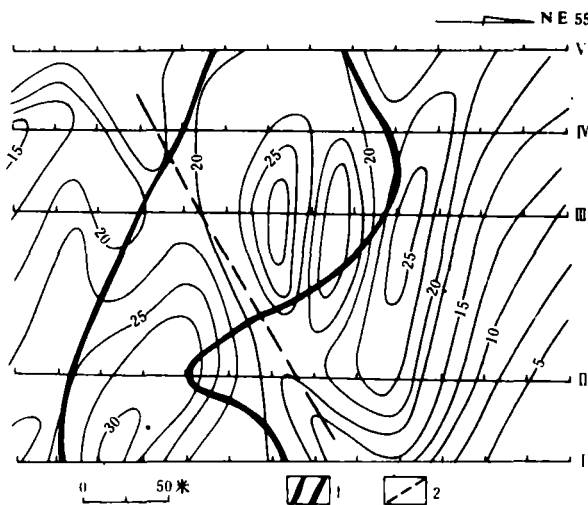


图3 某铜—镍矿上的MMR等值线图

于该区紧靠戈壁覆盖盆地边缘,地表风化强烈,接地电阻较大,为了考查MMR法的应用效果,进行了频域MMR法测量。工作频率采用1.0赫芝,供电电极距800米,供电电流5~6安培,取得了较好的结果。由图3可见,-25%的MMR异常与矿体边界基本吻合,而且北东方向异常梯度大、南西方向的小,这与矿体南西方向陡倾斜是一致的。在图的中部还可看出一条北西向低阻

带,推断为一断裂带或其内有充填物的反映,矿体在此附近出现弯曲,可能是受其影响的缘故。

另外由图4可见,MMR在矿体中心附近为负的极小,极值达 $-30\%$ ,比正常背景值低两倍多;矿体两侧正常背景值低(大于 $-10\%$ ),在矿体倾斜一侧,由于受深部矿体影响,MMR变化缓慢。负异常的反映,表明矿体为高阻体,排斥电流流入其内,使一次激励电流从矿体外围流走。

为了考查矿体在深部的延伸情况,在II线做了多源排列测量,结果见图5。由图可见,MMR清楚地反映出了含矿岩体两侧的接触带。

尽管该区矿体磁性较高,但由于其导电性差异很明显,MMR仍获得了较好的异常。

3. 甘肃某铀矿床产在斑状花岗岩内和震旦纪浅变质岩的接触带附近,主要受构造控制,铀矿化与胶黄铁矿化和硅化有密切关系,矿体埋深为数十米至数百米。矿区濒临沙漠地带,气候干旱。据岩矿标本参数测定,区内大理岩电阻率最高,一般为 $8000\Omega M$ 左右,少数高达 $10000\Omega M$ 以上。花岗岩次之,一般为 $5000\Omega M$ ,角闪岩、角砾岩电阻率一般在 $1000\Omega M$ 以下。由图6可见,在埋深70米的矿体(主要是在角闪岩、角砾岩和辉绿玢岩内)上方,有明显的MMR异常。矿体表现为低阻体,具有良好的导电性。虽然视电阻率 $\rho_s$ 在矿体上方也有异常显示,但两者比较,MMR异常更明显,异常幅度大而集中。

4. 甘肃红砂岗测区位于一戈壁覆盖下的沉积盆地边缘,基底为花岗岩,其上为白垩系(K),第三系(N)砂岩,最上部为第四纪松散砂砾层。基底埋深约百米,电阻率一般为 $100\sim 200\Omega M$ ,局部可达 $200\Omega M$ 。盖层电阻率平均在 $100\Omega M$ 以下。区内暗色脉岩有较强的磁性。地面磁测在这一地区发现一异常。为了追索与评价该磁异常,并寻找铀矿化的有利地段,进行了频域MMR法的梯度和多源排列测量。梯度测量采用供电电极距800米、频率1.0赫芝、供电电流3安培,结果见图7。由图7可见,MMR在剖面上和断面内均有正异常显

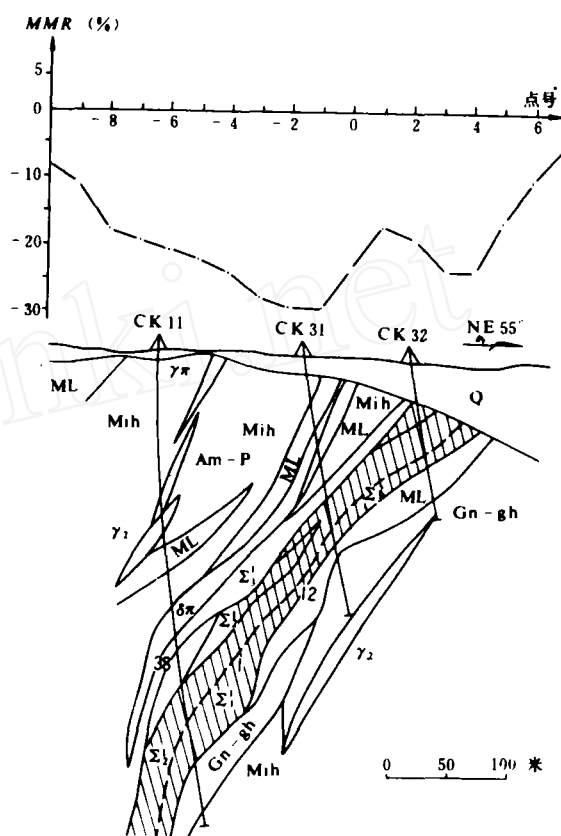


图4 II线的地质物探综合剖面图

1—第四系砂砾岩及砂质泥岩; 2—大理岩; 3—均质混合岩; 4—黑云母石英片麻岩; 5—闪长斑岩; 6—花岗斑岩; 7—斜长角闪岩; 8—肉红色花岗岩; 9—中细粒含辉橄玢岩; 10—中细粒二辉橄玢岩; 11—中粗粒二辉橄玢岩; 12—矿体及编号;

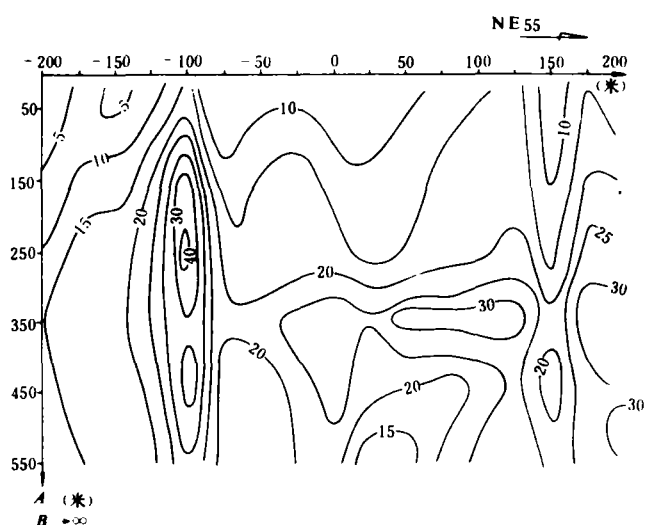


图5 II线MMR拟断面图

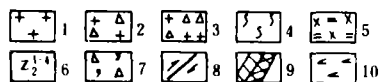
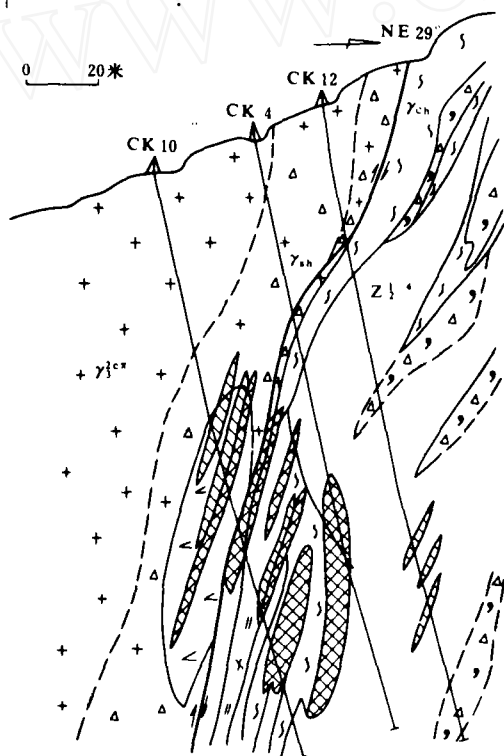
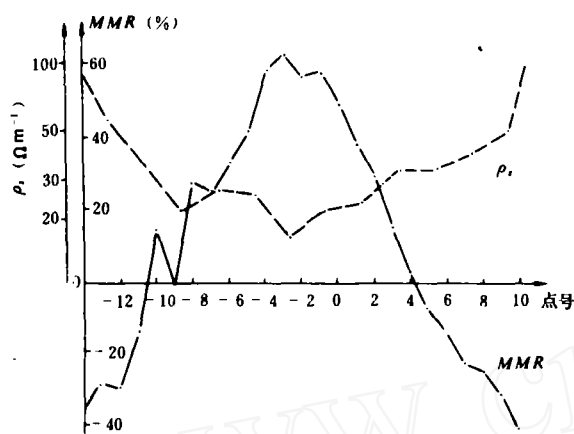


图6 某铀矿床84线综合剖面图

1— $\gamma_3^{2c}$ 粗粒斑状花岗岩; 2— $\gamma_{sh}$ 碎裂花岗岩; 3— $\gamma_{ch}$ 花岗岩碎裂岩; 4—角砾岩; 5—辉绿玢岩; 6— $Z_1$ 大理岩; 7—硅质角砾岩; 8—断层; 9—铀矿体; 10—角闪岩

示, 表现为低阻体的反映, MMR异常与 $\Delta Z$ 异常在剖面上的位置基本重合, 从而确定了异常体的存在。由MMR异常平面等值图大致圈定了异常体的边界。推测该异常是具有强磁性而导电性较好的构造破碎带的反映, 钻孔证实了这一推断,

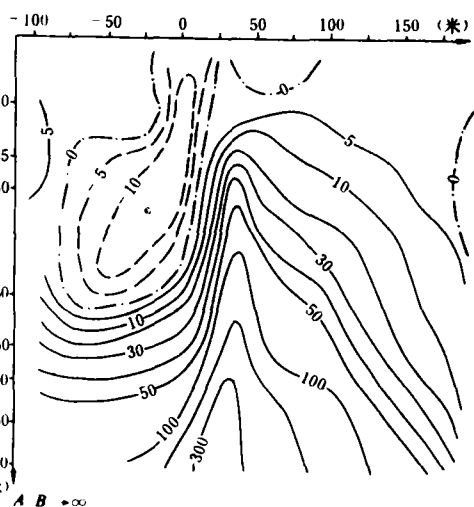
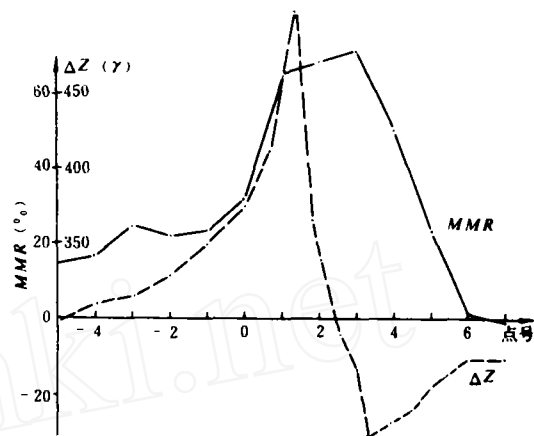


图7 甘肃红砂岗I线MMR剖面图和拟断面图

并在200多米深处发现了铀矿化。

## 体会和建议

通过近几年对MMR法的应用研究, 得出如下几点初浅体会:

1. MMR法是一种生产效率高、抗干扰能力强、探测深度大的有效方法, 可用于地质普查和勘探。

2. 由于MMR法测量时不需接地, 故可用于接地条件困难的地区(如冻土带、干燥的沙漠、沼泽地带、水稻田广泛分布地区), 扩大其应用范围。在地形平坦、交通方便的地区, 可用车载, 所以是一种快速普查方法。

3. 在良导覆盖区, 一般电法往往难以得到较好的效果, 而MMR法则具有较高的找矿效能。

4. MMR异常较一般电阻率法异常清晰, 正常背景值低, 形态完整, 易于识别。

5. MMR法可用于检查和评价磁异常和一般电阻率法异常。

试验和应用证明, MMR法用于探测金属矿床、构造和控矿岩体边界等是可行的, 而且是有成效的。但由于观测磁场信号弱(观测值一般为 $0.1\mu\text{T}$ ), 干扰因素多, 这就要求观测仪器灵敏度

高, 抗干扰能力强, 而国内这类高灵敏度的仪器目前还很少, 也不完善。这可能是这一方法未获推广的原因之一。随着找富矿、找盲矿的需求, 建议有关部门对此应予重视, 使MMR法尽快在生产中得到推广应用, 在地质找矿中发挥其作用。

对参加野外工作的同志(因人数多, 恕不一列出), 以及成文过程中给予帮助的崔焕敏、瞿维珍同志, 在此表示感谢。

## Geological Results Achieved by Magnetic Resistivity Surveys

Zhang Shucheng

(Beijing Research Institute of Uranium Geology)

### Abstract

Magnetic Resistivity Method (MMR) has been tested in recent years over some Mo-U, Cu-Ni and U-deposits in our country and good results were achieved. Four examples of mineral exploration and fracture structure study by this method are cited in this paper, and illustrate that, even in an area covered by a thick conductive overburden or a loose soil bed and in the presence of magnetic disturbance, conventional resistivity method fails to achieve any significant result, but MMR can yet be considered as an effective mineral exploration means. In addition, a brief account of field techniques and advantages of the MMR (over-galvanic methods) is summarized.

(上接封三)

和 $Z$ 值时, 不同的流体, 所用公式是不同的, 而同一流体, 管内流与环形空间流的计算公式也不同。 $R_e$ 和 $Z$ 值的各计算式列于表3。

由表3可知, 对于不同流型的泥浆, 应该用各自的 $R_e$ 和 $Z$ 计算公式。特别需要注意的是, 判别泥浆流态的雷诺数和稳定性参数, 只能用表3中所列公式。例如宾汉流体, 只能用表3中所列的(5)式和(6)式计算雷诺数, 去判别流态。否则

将会导致判别上的错误。

### 参考文献

- [1] 张春光等:《聚丙烯酰胺泥浆的成分和性能的研究》, 地质出版社, 1981年
- [2] 武汉地质学院等:《钻探工艺学》中册, 地质出版社, 1981年
- [3] 修宪民: 地质与勘探, 1985, 第3期, 第62~66页

## Spout Drilling Mud: Performance Requirements and Flow Pattern Judgement

Xiu Xianmin

(Changchun School of Geology)

### Abstract

In present paper the author points out that the mud must be capable to reduce the pressure loss of the circulating system (passage), to raise the carrying power, and to keep a good rheological behaviour and a good shear dilution ability. Furthermore, good lubricating property, lower specific gravity and lower solid content are also necessary. For the fluids, of different kinds and situated at different positions along the passage, their  $R_e$  and  $Z$  values are calculated by respective formula. The flow characteristics for muds transiting from laminar to turbulent flow, decided by the  $Z$  value, is much better in conformity with the real condition.