

同 点 激 电 法

傅良魁

本文介绍作者近年来试验研究同点激电法中的两个分支方法（同极激电法和共极激电法）所取得的某些结果。

同极激电法的供电电极 A （或 B ）与测量电极 M （或 N ）分别共用不极化电极中的同一根铜棒；供电电线（ AB ）与测量电线（ MN ）也共用同一条导线；共极激电法不共用一条电线和一根电极，但供电电极 A （或 B ）与测量电极 M （或 N ）仍装在同一个不极化电极（或极罐）中，这两种装置均较目前常用的一般激电法简便。用现有激电仪即可观测。

同 极 激 电 法

（一）装置特点

本法的装置线路如图 1 所示。 A 与 M 和 B 与 N 均共用同一个电离子易穿透的不极化电极，电极中硫酸铜溶液经常保持饱和状态（其电阻率 $\rho_0 \approx 0$ ，近于良导体）。当 B （或 N ）极固定时，观测移动电极的电位（总电位 U 和二次极化电位 U_2 ），称为单同点装置，固定极作为“无穷远”极；当 A （或 M ）和 B （或 N ）保持一定间距沿测线同时移动并逐点观测电位差（总电位差 ΔU 和二次电位差 ΔU_2 ）时，称为双同点装置。

当进行物性勘探和岩、矿物性测定时，电源用 1.5 伏的手电电池一节或两节均可，供电电流可小至微安级；当进行较深地质目标的探测时，电源电压宜适当增高，供电电流也相应增大。

为了测量和控制（或改变）供电线路中的电流强度（ I ），用电流表（量程为微安和毫安级）和变阻器与电源串连。供电时， A 、 B （或 M 、 N ）两点间的总电位差小于或接近（当变阻器电阻值很小时）电源电压。断电时，可观测 M 、 N （或 A 、 B ）极间的二次电位差。

观测电位和电位差用的电位计，通过开关 K_1 （双向同步）和 K_2 与供电线路并连。

（二）观测步骤

1. 测自然电位：接好电路后，将开关 K_1 搬向下，电位计的指示数便为 M 、 N （或 A 、 B ）两点间的自然电位值 U_{sp} 或自然电位差 ΔU_{sp} （其中包括不极化电极的极化电位值，为克服其影响，应尽可能选用极差为零或很小的一对极罐）；

2. 极化补偿：打开仪器极化补偿器开关，补掉 U_{sp} 或 ΔU_{sp} ，使电位计指示数为零；

3. 供电、测电流和总电位差：将开关 K_2 搬向“通”位置，开关 K_1 搬向上（接通），在供电时间为 T 秒时，由电流表读出供电电流强度 I ，仪器所指数值为 M 、 N （或 A 、 B ）极间的总和电位差 $\Delta U_s(T)$ 它为大地一次电位差 ΔU_1 和二次电位差 $\Delta U_2(T)$ 以及电极内阻上的电位 ΔU_r 和电极电位 $\Delta U_0(T)$ 等四者的叠加和，即

$$\Delta U_s(T) = \Delta U_1 + \Delta U_2(T) + \Delta U_r + \Delta U_0(T) \quad (1)$$

4. 断电、测极化电位差：断开 K_2 ，将仪器由大档变小档（准备测极化电位差），将 K_1 搬向下（断开），在断电后 t 秒时仪器的读数为 M 、 N （或 A 、 B ）极间总的极化电位差 $\Delta U_{2s}(T)$ ，它为电极极化电位差 $\Delta U_0(T, t)$ 和岩矿二次极化电位差 $\Delta U_2(T, t)$ 之和，即：

$$\Delta U_{2s}(T, t) = \Delta U_0(T, t) + \Delta U_2(T, t) \quad (2)$$

（三）资料整理

1. 作极化电位校正：在室内饱和硫酸铜溶液盘中，测出所使用的一对不极化电极 M 、 N 间极化电

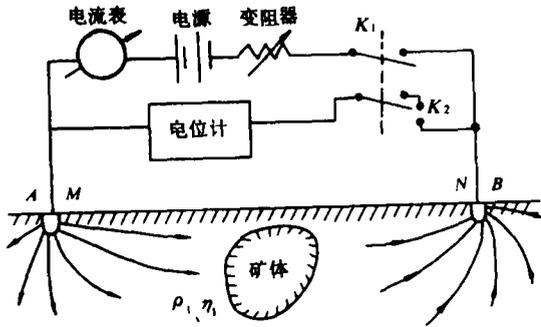


图1 两极激电法装置线路

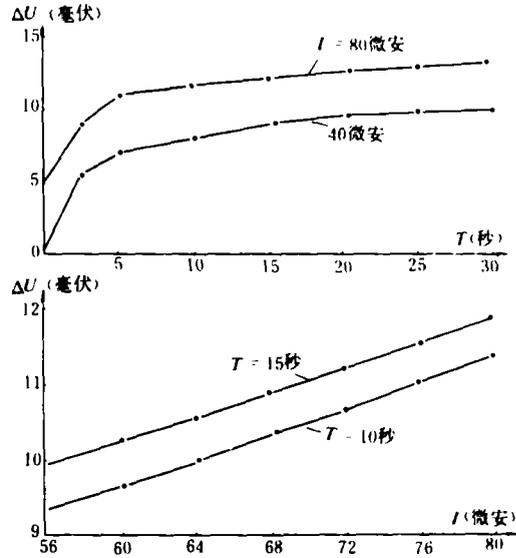


图3 不极化电极过电位的实验关系曲线

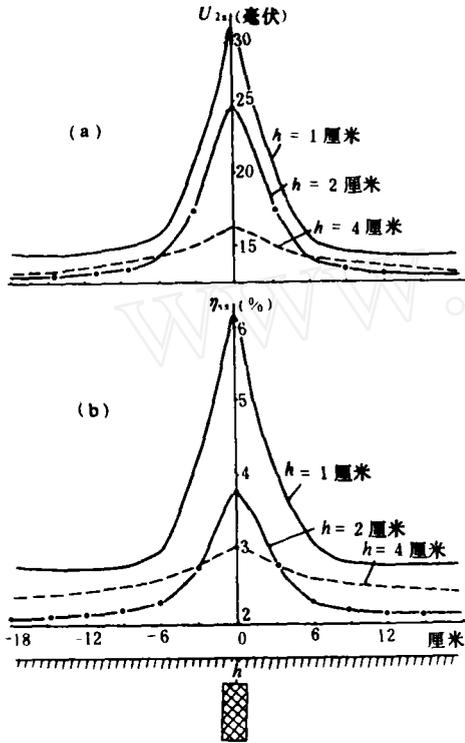


图2 两极激电法的模型实验结果

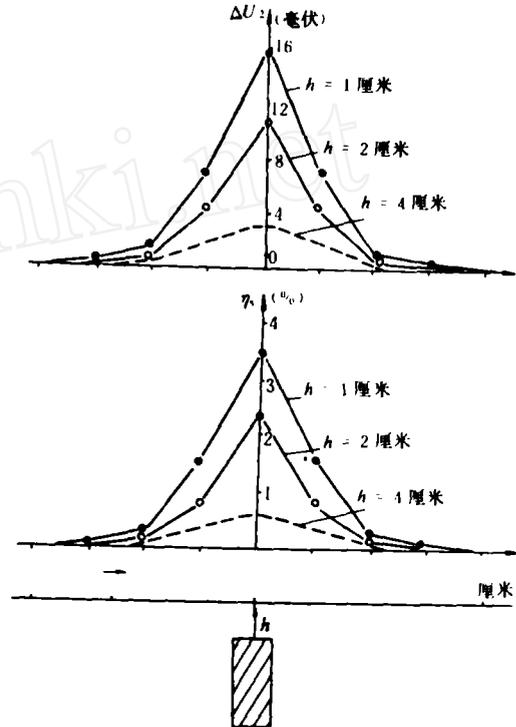


图4 经校正的两极激电法异常曲线

位差 $\Delta U_0(T, t)$ 与供电电流强度 (I) 和供电时间 (T) 以及断电时间 (t) 的关系, 并将其绘成曲线, 以便校正时作内插求值。根据这种已知的 $\Delta U_0(T, t)$ 与 I, T, t 间实验关系曲线, 便可按下式求得由岩矿激电效应产生的二次极化电位差:

$$\Delta U_2(T, t) = \Delta U_{2s}(T, t) - \Delta U_0(T, t) \quad (3)$$

2. 计算二次极化电阻: 将已知的 $\Delta U_2(T, t)$ 值对 I 归一化, 便得岩矿的二次极化电阻值:

$$R_2 = \frac{\Delta U_2(T, t)}{I} \quad (3)'$$

若从 $\Delta U_2(T, t)$ 值中减去围岩背景值部份, 乃得剩余的矿体异常或剩余二次极化电阻 ΔR_2 , 以此绘制剖面曲线, 反映矿体作用最明显。

3. 计算视极化率: 在实际工作中, 用 I 、 T 、 t 及 $\Delta U_0(T, t)$ 均为已知, 而电极内阻 r 可预先测出, 即由已知的 I 、 r 便知 ΔU_r , 并且 $\Delta U_0(T)$ 也测出, 故由公式 (1) 得由岩矿导电作用和激电效应引起的总场电位差为 (取 t 足够小, 使 $\Delta U_0(T) \approx \Delta U_0(T, t)$):

$$\Delta U(T) = \Delta U_1 + \Delta U_2(T) = \Delta U_s(T) - \Delta U_0(T) - \Delta U_r \quad (4)$$

由公式 (3) 和 (4) 便得供电时间为 T 和断电时间为 t 时所对应的视极化率

$$\eta_s(T, t) = \frac{\Delta U_2(T, t)}{\Delta U(T)} \quad (5)$$

另外, 因 $t = 0$ 时测得的二次极化电位差与供电时间 T 时相同, 即

$$\Delta U_2(T, 0) = \Delta U_2(T) \quad (6)$$

故将关系 (6) 代入 (1) 乃得由大地导电作用引起的一次电位差

$$\Delta U_1 = \Delta U_s(T) - \Delta U_0(T) - \Delta U_2(T, 0) - U_r \quad (7)$$

用 ΔU_1 代替 (5) 式中的 $\Delta U(T)$ 便可算得 T 、 t 所对应的初始视极化率值:

$$\eta_s^0 = \frac{\Delta U_2(T, t)}{\Delta U_1} \quad (8)$$

4. 计算大地电阻率: 由于饱和硫酸铜溶液的电阻率值极低, 可视为良导体, 故当一对电极的形状、大小、内阻和接地条件均相同时, 便可根据两不极化电极接地情况和供电电流 I 以及一次电位差 ΔU_1 等值求得大地电阻率 (ρ) 值。如当两不极化电极接地部分为半球形时, 若其半径为 a , 则当电极间距 MN (或 AB) 较 a 大得多时, 有关系:

$$\rho = \pi a \frac{\Delta U_1}{I} \quad (9)$$

再将已知的 I 、 ΔU_1 值代入上式, 便得到大地电阻率 ρ 值。

(四) 实验基础

为了检验同极激电法反映异常的能力, 在大水槽中进行了模型实验观测, 用盛满饱和硫酸铜溶液的眼药水瓶作为不极化电极 (其中插入一根铜丝当作 A 、 B 或 M 、 N), 以自来水为“围岩”, 其电阻率 $\rho_1 \approx 23$ 欧姆米; 极化率 $\eta_1 \approx 0.33\%$ (很小); 用直立的致密石墨块 ($20 \times 9.7 \times 4.5 \text{cm}^3$) 为“矿体” (其电阻率 $\rho_2 \approx 0$, 呈面极化), 采用单同点装置观测, “无穷远”极 B (N) 固定于测线一端, 供电时间 $T = 10$ 秒; 供电电流 $I < 100$ 微安, 断电后 $t = 0.25$ 秒时测 ΔU_2 对于矿顶深度 $h = 1, 2, 4$ 厘米三种情况, 测得极化电位 U_2 , 剖面异常曲线和由 U_2 计算的 η_2 曲线, 如图 2 所示。都清楚地反映出了电化学异常源 (石墨块) 的存在。

但是, 从图 2 可见, U_2 和 η_2 均有较明显的正常背景值。在当前 η_1 很小的条件下, 这背景值乃为不极化电极过电位 U_0 (或电极极化电位) 的显示。为了消除其作用, 应用图 3 所示的对该不极化电极所做的实验关系曲线进行校正。校正后的激电异常如图 4 所示。背景值均近于零, 反映极化体存在的能力更强了。因此, 在同极激电法中, 过电位的校正是很必要的。而且, 这种校正应作得准确。为此目的, 在为校正进行的实验观测和实际观测中, 均必须将时间 (T 、 t) 控制得准确可靠。

(五) 理论基础

1. 球体异常 设 $\eta_1 = 0$, 当球体中心埋深 (h_0) 较半径大许多时, 沿主剖面的二次极化电位有如下一级近似形式

$$U_2 = \frac{M_2}{h^4} \cdot \frac{1}{[1 + (x/h_0)^2]^2} \quad (10)$$

式中 M_2 为球体等效激发极化（面极化或体极化）偶极矩； x 为测点坐标位置（原点取在球心）。异常曲线半极值点间的弦长（ q ）和拐点弦切距（ m ）分别与埋深（ h_0 ）有如下的关系：

$$q = 2\sqrt{\sqrt{2}-1} h_0, \quad (h_0 = 0.78q); \quad m = h_0.$$

利用上面的近似关系，可确定球心深度（ h_0 ）。

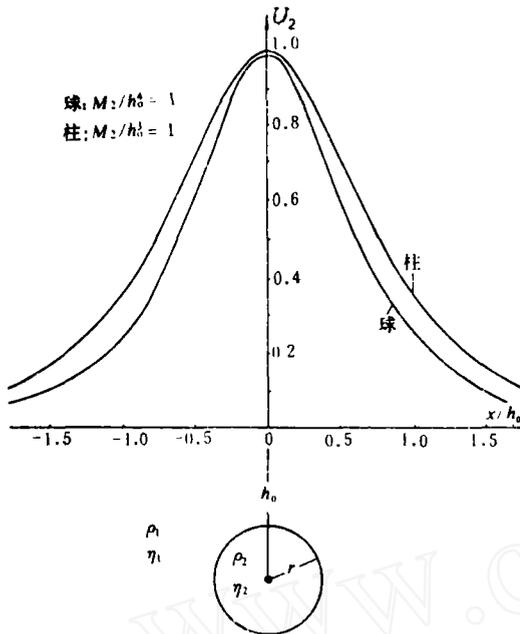


图5 同极激电法在球体和水平圆柱体上的二次极化电位异常曲线

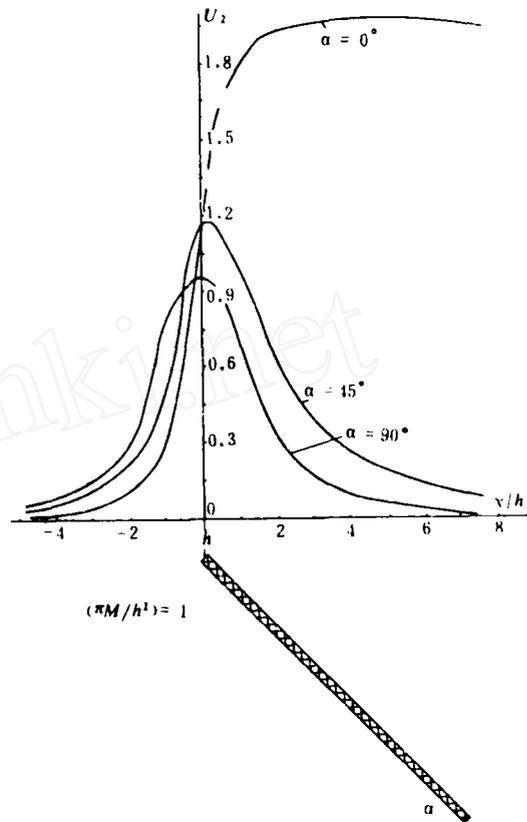


图6 薄板状体上同极激电法剖面异常曲线

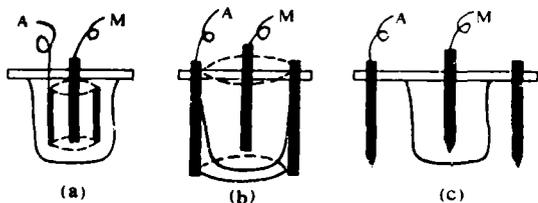


图7 共极激电法中三种共极装置图

2. 水平圆柱体异常 设水平圆柱体走向很长，柱心深度也较其半径大许多，则在 $\eta_1 = 0$ 的条件下，主剖面上的二次极化电位有如下一级近似形式：

$$U_2 = \frac{M'_2}{h_0^3} \cdot \frac{1}{[1 + (x/h)^2]^{3/2}} \quad (14)$$

式中 M'_2 为水平圆柱体单位走向长度的等效激发极化偶极矩。异常曲线示如图5。利用曲线半极值点间弦长和拐点弦切距与柱心埋深关系，可求 h_0 的值： $h_0 = 0.65q$ ， $h_0 = 0.85m$ 。

3. 薄板状体异常 设薄板状体走向很长，顶深为 h ，倾角为 α ，坐标原点取在脉顶，则沿主剖面的二次极化电位的公式如下（ $\eta_1 = 0$ ）：

$$U_2 = \frac{\pi M}{h^2 + x^2 - (h \cdot \sin \alpha - x \cdot \cos \alpha)^2} \left[\frac{d + h \cdot \sin \alpha - x \cdot \cos \alpha}{\sqrt{d^2 + 2d(h \cdot \sin \alpha - x \cdot \cos \alpha) + h^2 + x^2}} - \frac{h \cdot \sin \alpha - x \cdot \cos \alpha}{h^2 + x^2} \right]$$

式中 M 为薄板单位面积上的电偶极矩; d 为薄板下延长度。将 $\alpha = 0$ 或 90° 分别代入上式即得水平板或直立板的二次极化电位公式。

上式中 U_2 与 d 、 α 、 h 和 x 的关系较复杂。但计算结果表明 (图 6), 薄板状极化体异常曲线有以下特征:

- (1) 无论 α 为何值, U_2 均为正值异常;
- (2) 异常随倾角的变小而增大;
- (3) 在板的倾向一侧, 异常衰减较慢, 在反倾向的一侧, 异常下降较快, 据此可大致判断板状体的倾斜。

为保证工作质量, 必须注意: 供电电流尽可能地小, 最好保持几到几十微安; 要求准确控制 T 和 t_1 ; 不极化电极罐的容积要足够大。以上条件如不能满足, 随着观测时间过长, 误差将逐渐增大, 影响工作质量。这时应采用共极激电装置。

共极激电法

(一) 基本原理

在上述的同极激电法中, 应准确地对原始观测数据作电极电位差 (ΔU_0) 校正, 为了避免此种校正, 则不能用供电电极作测量电极, 即应将 A 与 M (或 B 与 N) 极分开, 并用两根金属棒及与其相连的两条导线。但为轻便起见, 仍将 A 、 M 及 B 、 N 分别装在同一个不极化电极中, 即 A 与 M 共用一个极罐, B 与 N 共用一个极罐, 故称共极激电法。

在极罐中的供电电极 (A 或 B) 的形状, 可为棒状或片状。但在供一定电流时, 为了减弱电极表面的极化效应, 以采用圆筒状为宜 (图 7a)。

为了增大供电电流, 应使不极化电极有一定尺度, 并埋入土壤内适当深度。而且, 宜使极罐有较好的离子穿透性 (内阻小), 以便在整理资料时不作电极内阻校正 (若 r 较大, 仍应作此项校正)。

在极罐电离子穿透性不好的情况下, 不仅要作电极内阻校正, 而且限制了供电电流强度 I 的大小。为克服此种不利条件, 可将作为供电电极的金属棒 (片或圆筒) 装在极罐之外, 并与不极化电极固定在一起, 形成一个整体 (图 7b, 7c)。供电电极与极罐间可以有一定距离 (几~几十厘米), 也可以紧靠在一起。

当供电电极装在极罐内时, 以采用与测量电极相同的铜质材料为宜 (不极化电极中的导电溶液为硫酸铜); 当供电电极装在极罐外时, 采用铜质或其他较硬的金属 (铁、钢等) 均可。

由于供电电极与测量电极组成一个同一的电极系, 构成一个整体的电极装置。其供电电极 (A 或 B) 与测量电极 (M 或 N) 仍可看成是位于同一点上。在理论上与同极激电法的数理基础相同。由于供电电极 A (B) 与测量电极 M (N) 是分开的, 其观测方法与中梯激电法相似。

(二) 实验基础

为了验证共极激电法的效能, 用铜球、石墨圆柱体和石墨板做模型, 在大小槽中进行了一系列模型实验。实验结果与理论曲线的异常特征完全相同。根据实验曲线的 q 和 m 值求得异常体的埋深与实际埋深也比较相近。限于篇幅, 实验结果就不一一介绍了。值得提请注意的是, 实验结果表明, 视极化率 η_s 的异常特征与 U_2 相似, 但 η_s 的异常极大值较小。这是由于总场电位差值较大所造成的。并不影响反映极化体存在的能力。另一方面, 供电电流强度虽不大, 而二次极化电位的异常值却很大。例

如在水平圆柱体上（图8）， I 只有30微安， U_2 却达到2毫伏。这比在中梯激电法的异常信息要大100倍以上。因此，共极激电法具有用不太大的电流寻找深部矿体的可能。实验还证明了，无论供电电极 A 、 B 是装在极罐内还是极罐外，其激电异常强度和异常分布特征都基本上相同。

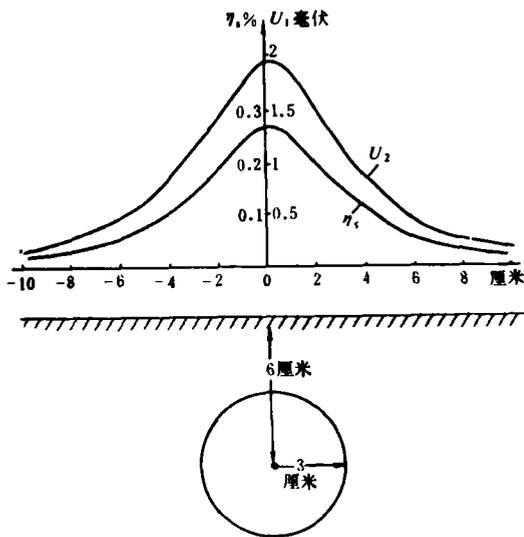


图8 共极激电法在水平石墨圆柱体上的实验结果
($T = 10$ 秒, $t = 0.25$ 秒, $I = 30$ 微安)

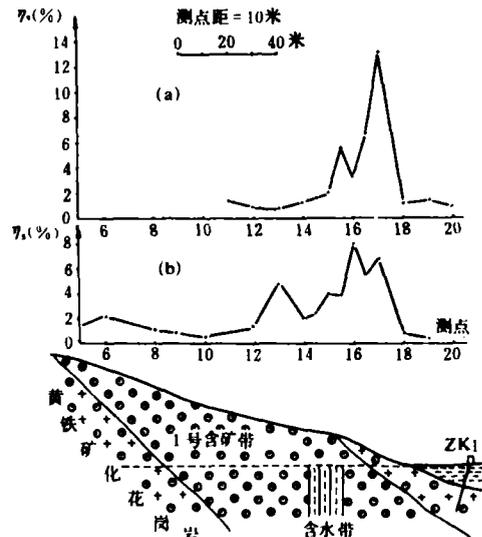


图9 在某金矿上的实际观测结果

(三) 野外试验结果

图9是在山东省一个金矿上用共极激电法的实际观测结果。工作中采用 $AB = MN = 1$ 米， A 、 M 与 B 、 N 分别共用一个不极化电极 (A 、 B 装在极罐内)。 $T = 10$ 秒, $t = 0.25$ 秒, $I = 8 \sim 230$ 微安, 测线垂直金矿脉走向, 测点距为10米。图9a为 A 、 M 和 B 、 N 分别装在一个极罐中; 图9b是用圆筒片状铜电极作为供电电极 A 和 B , 并紧包在极罐之外观测的。在金矿带上均有明显异常。而且在与金矿有共生关系的黄铁矿化浸染带上, 异常更明显。表明了共极激电法在本区条件下寻找金矿的有效性。即使探查深度不很大, 但作为一种轻便、快速的利用岩矿电学参数 (η) 进行普查找矿和地质填图的物性勘探法是可行的。

结 论

1. 共极激电法在 $\eta_1 = 0$ 地区可用较大电流来探查深部盲矿; 在 η_1 值较明显并与矿产有联系地区, 可作为一种物性勘探手段。
2. 该法具有轻便、快速特点, 能节约人力、降低成本。特别适用于在交通不便的山区开展大面积的普查工作。
3. 该法应用范围广。寻找能源、地热以及金属和非金属矿, 均可试用。

最后说明, 在工作完成的过程中, 曾得到李金铭、史元盛、刘凝、邓明等同志的协助, 在此一并致谢。