

土壤层	浅表杂土层				人工堆积层	
文化层	A	B	C	D	E	F
深度 (cm)	0-30	30-80	80-130	130-180	180-280	280-

表 3.2: 岩芯属性表

3.2 KFCM 聚类联合反演

在联合反演之前，我们需要确定目标函数的各项系数以及初始模型。结合中央古城的测线所在位置的地质情况和测线长度，最终将反演的模型深度设置为 5m，为了能够使最终的反演结果能够显示更精准的纵向层位信息，我们选择反演网格大小为 $0.2m \times 0.2m$ 。在进行 KFCM 联合反演时，我们结合该地区之前得到的钻孔数据和土壤层的层厚，最终将反演的物性类簇数选择为 2。在本实验中，我选择的初始模型是线性初始模型，该模型的数值与先验信息相吻合，一共有 25 层，其中第一层的物理性质（包括速度参数和电阻率等）都略小于杂填土观测到的聚类中心对应的物理性质的值；最后一层的物理性质则略大于人工堆积层所观测到的聚类中心对应的物理性质的值。

至于目标函数的系数，如 (2-9) 所表示，如果数据和先验信息完整，那么需要确定五组参数：速度数据和电法数据项的权重、震法和电法的正则化项权重和一组耦合系数。我以以下方法确定反演参数：

- 利用单独反演的 L-曲线法确定每种反演方法的正则化项权重
- 进行无耦合的联合反演。如果目标函数收敛，我们就可以选择两者下降速度基本一致的两组权重系数以作为数据项的权重。
- 利用 L-曲线法，即在保证其他项获取的权重系数比例固定的情况下，计算耦合项和所有数据项的 L 曲线图。

通过上面的步骤，我们可以得到联合反演目标函数的权重。我们首先绘制 L-曲线：我选择了从 5 到 500 之间不等的多组正则化系数进行单独反演，得到模型误差和数据误差的关系，以此确定一个最合适的正则化系数。本研究根据得到的 L-曲线（见图3.2）方法得到的速度项的正则化系数是 20，得到的电阻率项的正则化系数是 20。

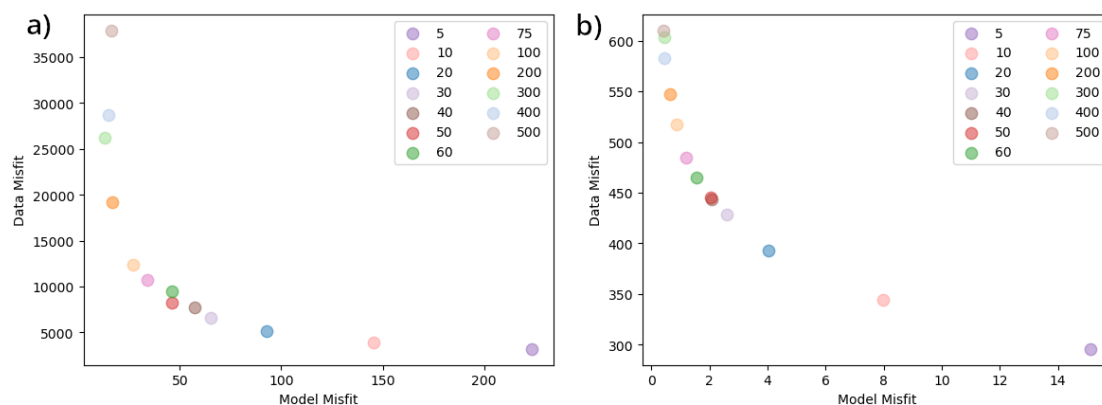


图 3.2: 联合反演权重系数决断图。(a) 良渚遗址的 ERT 和 (b) 良渚遗址的 SRT 数据 L-曲线图

接下来我确定数据项的系数，我利用确定好的正则化系数进行联合反演。在进行联合反演的过程中，我将耦合项系数设置为 1，保证它不会对数据项的选择造成影响；然后我对两组数据项分别使用了 0.1 至 200 不等间隔的数组数据项权重系数进行反演，观察它的 RMS 值随着迭代步数下降的趋势。如果有一组系数的 RMS 下降趋势类似，我就选择它来作为反演的数据项系数。根据（图3.3）与使用此数据项得到的反演结果，可以看到不同电阻率数据项的选取，对反演结果迭代速度有较大的影响；而不同的速度数据项则对反演的迭代速度有较小的影响。基于上述结果，我最终决定使用电阻率数据的数据项为 2.0，速度数据的数据项为 1.0 进行下一步的反演。

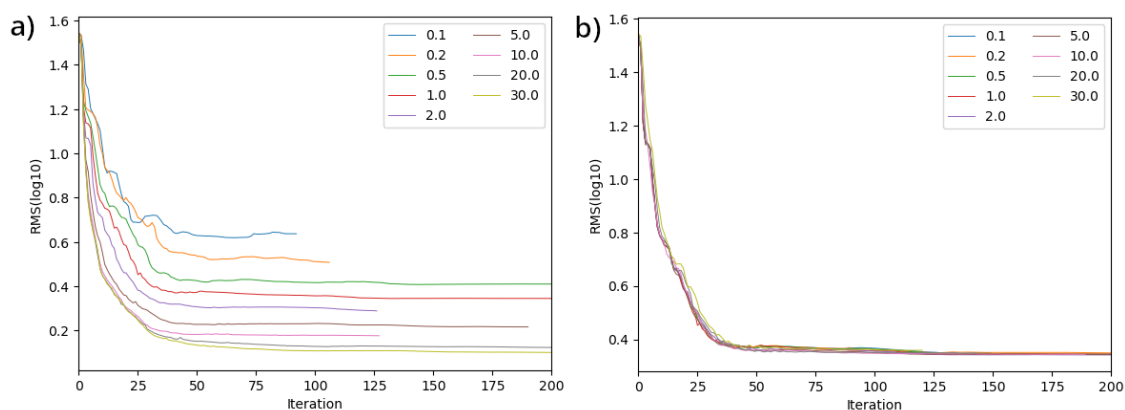


图 3.3: 联合反演权重系数决断图。无耦合项共同反演 (a)SRT、(b)ERT 的 RMS 与迭代次数演化图

最后一步是确定反演的耦合系数，我在 L-曲线法的基础上观察结果，挑选最适合的反演的耦合系数。我先以耦合系数项的失配项为 X 轴，以数据项的失配项为 Y 轴，得到了联合反演耦合系数决断图。这组 L-曲线是为了优化耦合系数项的失配项和数据项的失配项，

我们选择两组失配项都较小的对应的耦合系数作为反演的结果。最终综合最后反演结果和 L-曲线两者结果，我最终确定耦合系数为 1000 是最佳的结果。

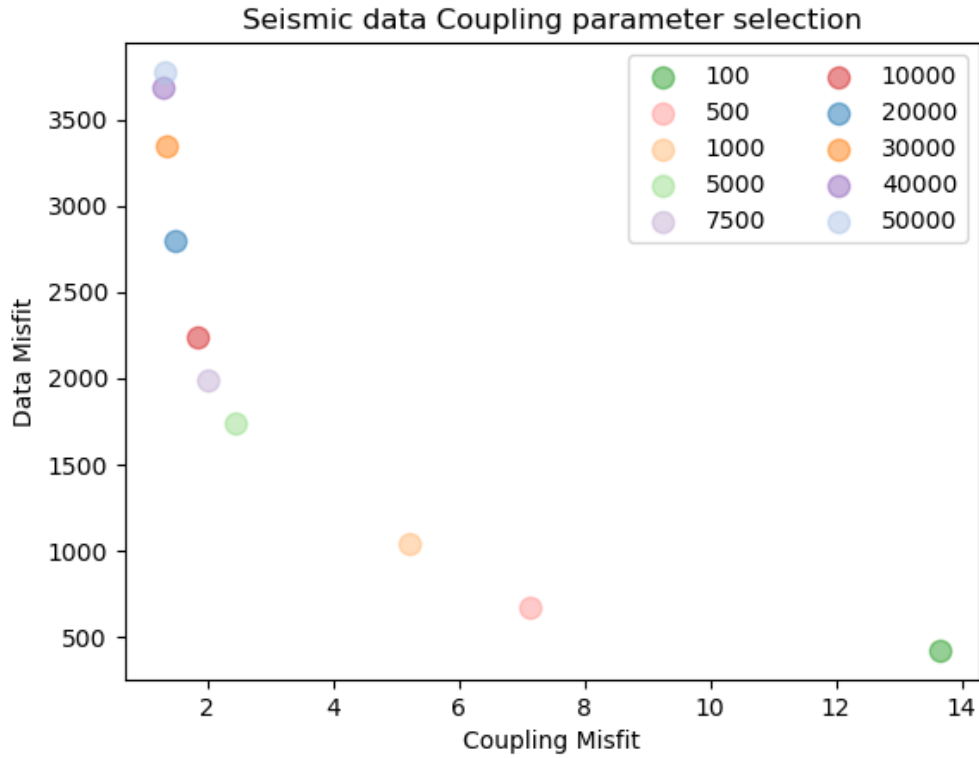


图 3.4: 联合反演权重系数决断图，良渚遗址进行联合反演的 L-曲线图