

第二批国家级一流本科课程申报书
(虚拟仿真实验教学课程)

课程名称: 地球物理学重力.磁法.电法综合虚拟仿真实验

专业类代码: 0708

负责人: 任战利

联系电话: 18717335572

申报学校: 西北大学

填表日期: 2021-07-05

推荐单位: 陕西省教育厅

中华人民共和国教育部制

二〇二一年四月

填报说明

- 1.专业类代码指《普通高等学校本科专业目录（2020）》中的专业类代码（四位数字）。
- 2.文中○为单选；□可多选。
- 3.团队主要成员一般为近5年内讲授该课程教师。
- 4.文本中的中外文名词第一次出现时，要写清全称和缩写，再次出现时可以使用缩写。
- 5.具有防伪标识的申报书及申报材料由推荐单位打印留存备查，国家级评审以网络提交的电子版为准。
- 6.涉密课程或不能公开个人信息的涉密人员不得参与申报。

1.基本情况

实验名称	地球物理学重力.磁法.电法综合虚拟仿真实验	是否曾被推荐	○是●否
实验所属课程(可填多个)	地球物理学; 地球物理勘探; 数字信号处理		
性质	○独立实验课 ●课程实验		
实验对应专业	地球物理学		
实验类型	○基础练习型 ●综合设计型 ○研究探索型 ○其他		
虚拟仿真必要性	<input checked="" type="checkbox"/> 高危或极端环境 <input checked="" type="checkbox"/> 高成本、高消耗 <input type="checkbox"/> 不可逆操作 <input checked="" type="checkbox"/> 大型综合训练		
实验语言	●中文 ○中文+外文字幕(语种) ○外文(语种)		
实验已开设期次	共 2 次: 1. 2020-09-15 ~ 2020-10-15、85 人 2. 2020-12-01 ~ 2020-12-31、155 人		
有效链接网址	(要求填写标准 URL 格式的实验室入口网页, 不允许仅为文件下载链接) http://ggme.cloud.vseclass.cn/		

2.教学服务团队情况

2-1 团队主要成员 (含负责人, 总人数限 5 人以内)								
序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	手机号码	电子邮箱	承担任务
1	任战利	1961-05-19	西北大学	副所长	研究员(Z)	18717335572	renzhanl@nwu.edu.cn	项目整体设计, 在线服务教学
2	王兆国	1982-03-23	西北大学地质学系	教师	讲师	18717335572	wangzg@nwu.edu.cn	课程责任教师, 交互性设计, 在线教学服务
3	马劲风	1965-03-22	西北大学地质学系	教师	教授	13649202368	jinfengma@sohu.com	数据严谨性验证, 在线教学服务
4	张小莉	1968-09-10	西北大学地质学系	教师	教授	13072991276	zhangxl@nwu.edu.cn	教学点设计, 在线教学服务
5	封从军	1981-12-07	西北大学地质学系	副主任	副教授	18729221068	fengcj@nwu.edu.cn	教学效果监测, 对外推广应用, 技术支持
2-2 团队其他成员								
序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	承担任务		
1	程斌	1984-07-15	西北大学地质学系	教师	副教授	线上辅导答疑		
2	程鑫	1982-11-07	西北大学地质学系	教师	副教授	线上辅导答疑		
3	王震亮	1966-04-03	西北大学地质学系	教师	教授	面向校外行业指导		
4	王建强	1981-06-30	西北大学地质学系	教研室副主任	副教授	教学效果反馈		
5	黄雷	1982-07-20	西北大学地质学系	教师	教授	面向校外行业指导		
6	于红岩	1986-02-24	西北大学地质学系	教研室副主任	副教授	实验资料更新		
团队总人数: 11 人 其中高校人员数量: 11 人 企业人员数量: 0 人								
2-3 团队主要成员教学情况 (限 500 字以内)								
(近 5 年来承担该实验教学任务情况, 以及负责人开展教学研究、学术研究、获得教学奖励的情况)								
<p>团队主要成员主持国家级、省级部等课题共计 150 余项, 发表科研论文共计 300 余篇、发明专利 10 余项。近 5 年主持科研课题 20 余项, 主持教学课题 10 项。课题负责人任战利承担现代勘探新技术与新方法课程, 由课题组成员</p>								

共同承担授课任务，统筹安排地球物理学相关内容授课任务；团队成员王兆国承担地球物理学、工程物探等课程的教学和实验任务；团队成员马劲风承担地球物理勘探、数字信号处理等课程的教学和实验任务；团队成员张小莉负责地球物理测井相关教学和实验任务；团队成员封从军承担地质-地球物理油藏精细描述相关课程的教学和实验任务，团队成员遵循以科研反哺教学的理念，把科研成果应用于课堂和实验教学。

项目负责人：任战利

研究员（二级教授），博士生导师，西北大学含油气盆地研究所副所长、西北大学学术委员会委员，陕西省决策咨询委员会委员。主持国家级、省部级等课题共计 60 余项。先后获国家、省部级科技奖励 10 项，获全国百篇优秀博士论文，发表学术论文 200 余篇，出版专著 3 部。近 5 年主持教学项目 3 项，获得教学奖励 1 项。

注：必要的技术支持人员可作为团队主要成员；“承担任务”中除填写任务分工内容外，请说明属于在线教学服务人员还是技术支持人员。

3.实验描述

3-1 实验简介（实验的必要性及实用性，教学设计的合理性，实验系统的先进性）

西北大学地质学系被誉为“中华石油英才之母”、“中国石油战线的黄埔军校”，老一辈地质人为祖国石油工业的进步和发展立下汗马功劳，新时代一方面我们要传承“铁人”精神与爱国情感，另一方面更要强化专业能力，地球物理学作为探知地下矿产的主要支撑学科，由于地球物理场单点“不可见”其变化特征，决定了地球物理勘探工作必然是区域性的工作，是大型的综合性的野外工作，进而受到时间、空间、人力、物力的限制，形成了教学瓶颈，通过虚拟仿真技术，设计了以地球物理学重力、磁法、电法勘探原理为核心、以“数据采集-数据处理-资料解释”三阶段工作为流程、以知识应用为目标，为能力培养为目的的综合虚拟仿真实验，很好的解决了实际野外实训中的问题(图 3.1.1)。

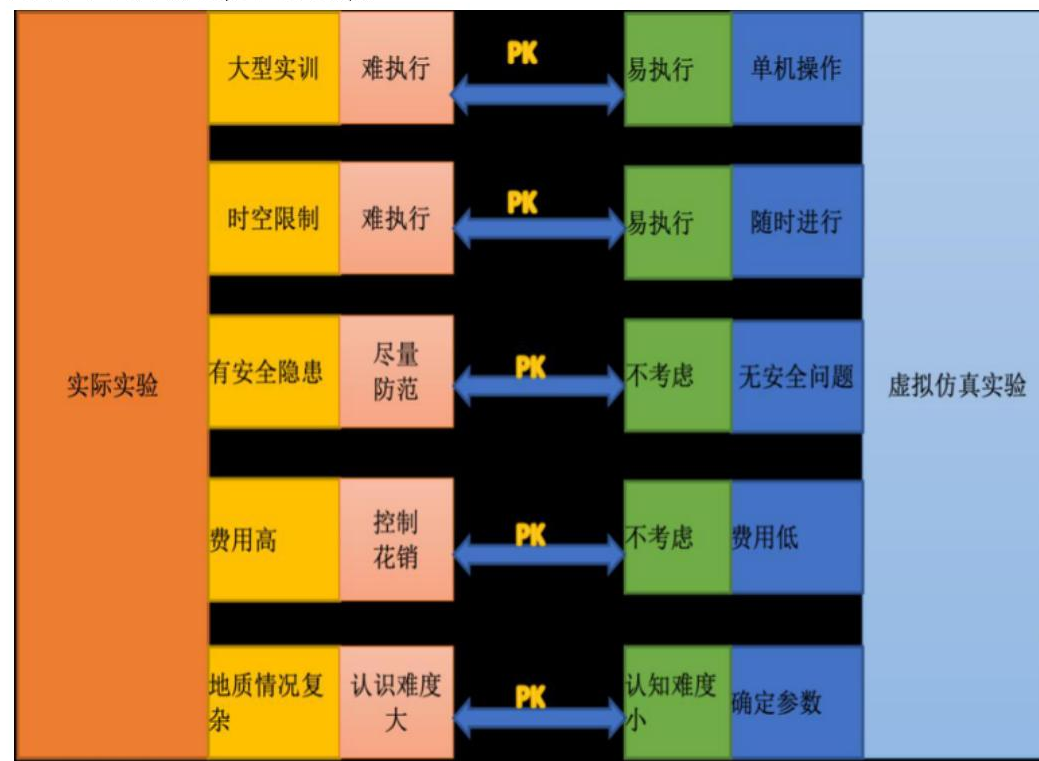


图 3.1.1 实际实验与虚拟仿真实验对比图

（一）虚拟仿真实验建设必要性：

1. 重力、磁法和大地电磁测深工作都是大型综合性训练，需分组分工多人协调合作的工作，此种工作方式使学生不能全面了解工作内容，而虚拟仿真实验使一个实验者单机虚拟实验取代一个团队野外大型综合性训练，使学生能够全面了解勘探过程和掌握相关知识内容（图 3.1.1）。

2. 虚拟仿真形象化设计，突破地球物理场“肉眼不可见”、“伸手不可触”的现实，增强地球物理场的具象化，加强学生专业理解和掌握。

3. 重力、磁法和大地电磁测深工作野外时间长达数周，作为教学实验，并没有这么长时间允许出野外进行实验，虚拟仿真实验虚拟数周工作于4课时，又可以避开多雨、地质灾害频发的暑期的野外工作，突破时间和空间限制的同时，提高了实验的安全性（图 3.1.1）。

4. 按中国地质调查局《地质调查项目预算标准（2010年试用）》标准，1:50000 区域重力测量 II 级地形为 730 元/km²，大地电磁测量点距小于 1000m，预算标准 2999 元/点，1:50000 区域磁力测量 I 级地形为 777 元/km²，因实践教学测量预算可省，但人员的住宿、野外通行费用还是很高的，通过虚拟仿真实验，完全不需要支出这些费用，节省大量的经费开支（图 3.1.1）。

5. 现实中的勘探工作，地下地质情况往往是复杂的，地球物理场与异常体的对应也复杂，不利于学生的认识过程。通过虚拟仿真，建设确定地质模型参数，同时获得相应地球物理场的对应关系，通过对比分析，增强学生专业理解和掌握（图 3.1.1）。

（二）虚拟仿真实验实用性

野外实训是大型的综合性的训练，许多环节是由带队老师决定的，采用分工合作方式，学生是执行者，因预防危险会可舍弃一些实验内容，学生缺乏对实际工作流体了解，欠缺对知识的全面掌握，缺乏实验过程中必要思考、分析、逻辑能力训练，而虚拟仿真实验，以学生为中心，学生全程参与，全程决策，能更好的熟悉实验流程，掌握相应的专业知识，思考、分析、逻辑思维能力达成度高。

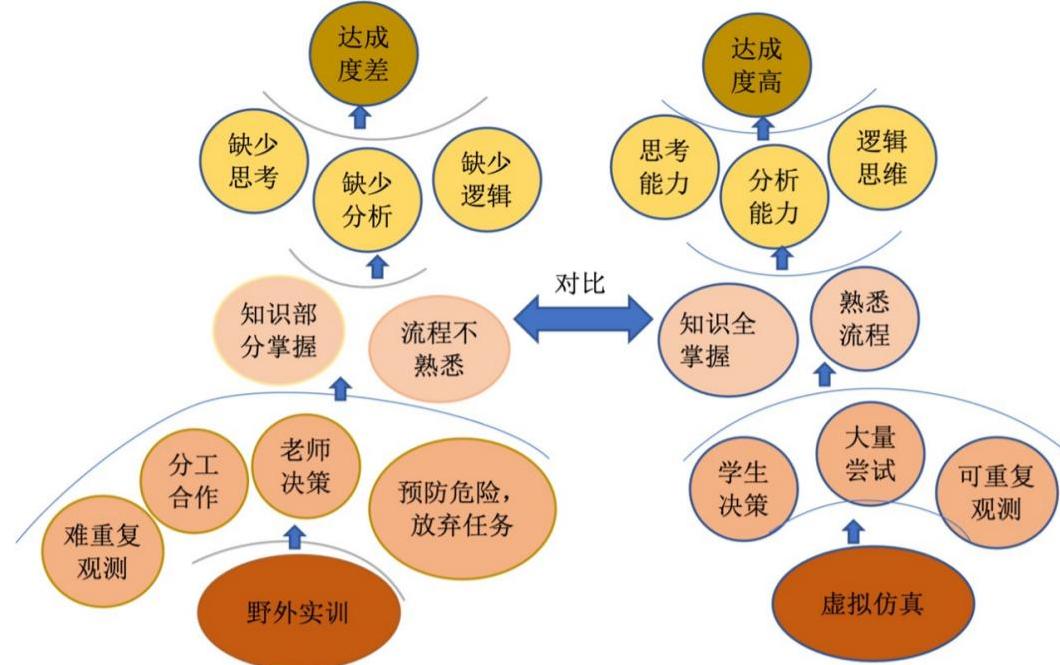


图 3.1.2 野外实践和虚拟实验对能力培养的对比

(三) 虚拟仿真实验教学设计合理性

实验教学设计以重、磁、电勘探原理为核心，以“数据采集—数据处理—资料解释”三流程为实验过程，把实验流程与知识点相结合，知识点与培养目标相结合，目标以能力落实进行检验，达到相应的教学目标，同时培养相关的专业知识能力（图 3.1.3）。

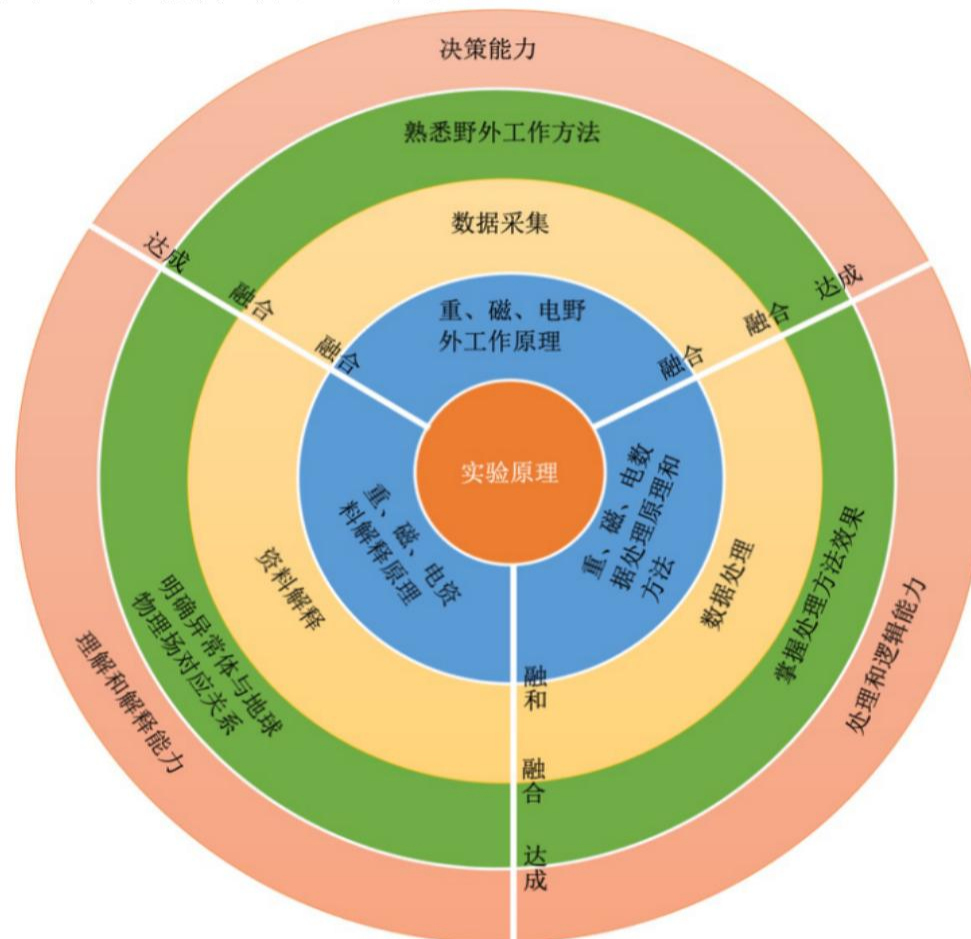


图 3.1.3 实验设计合理性

(四) 虚拟仿真实验系统先进性

1. 系数模型参数多样性，分层次，对学生知识水平具有明显阶梯要求，激发学生实验挑战兴趣。

分别设置了孤立模型，不同深度模型，相邻模型和复杂模型参数，且预设了学生自主设置模型参数端口(图 3.1.4)。



图 3.1.4 重力模型

几种不同模型参数对学生的能力要求不同（表 3.1-1），适应不同水平的学生的实验要求，达到能力训练的目的，同时学生明显感知实验的难度，激发学生实验挑战的兴趣。

表 3.1-1 不同模型参数的知识能力要求

层次	模型参数	知识水平要求	实验要求	挑战性
----	------	--------	------	-----

第一层次	孤立异常体参数	基本要求	全体学生	中等
	相邻异常体参数			
	不同深度异常体参数			
第二层次	复杂异常体参数	中等要求	全体学生	高等
第三层次	自定义异常体参数	高等要求	探索性实验, 针对高水平学生	极高

2.把地球物理正反演研究的成果融入虚拟仿真建设, 学生自主决策实验步骤参数和选择实验处理方法, 注重前后处理逻辑, 学生自主决策、自主反馈, 不断思考和反思, 联系专业知识, 获得最终实验结果。图 3.1.5 以重力虚拟仿真实验说明实验实施过程, 学生只有对专业知识有较高的掌握, 反复决策-反馈, 从原理思考, 指导实验, 才能获得实验结果。

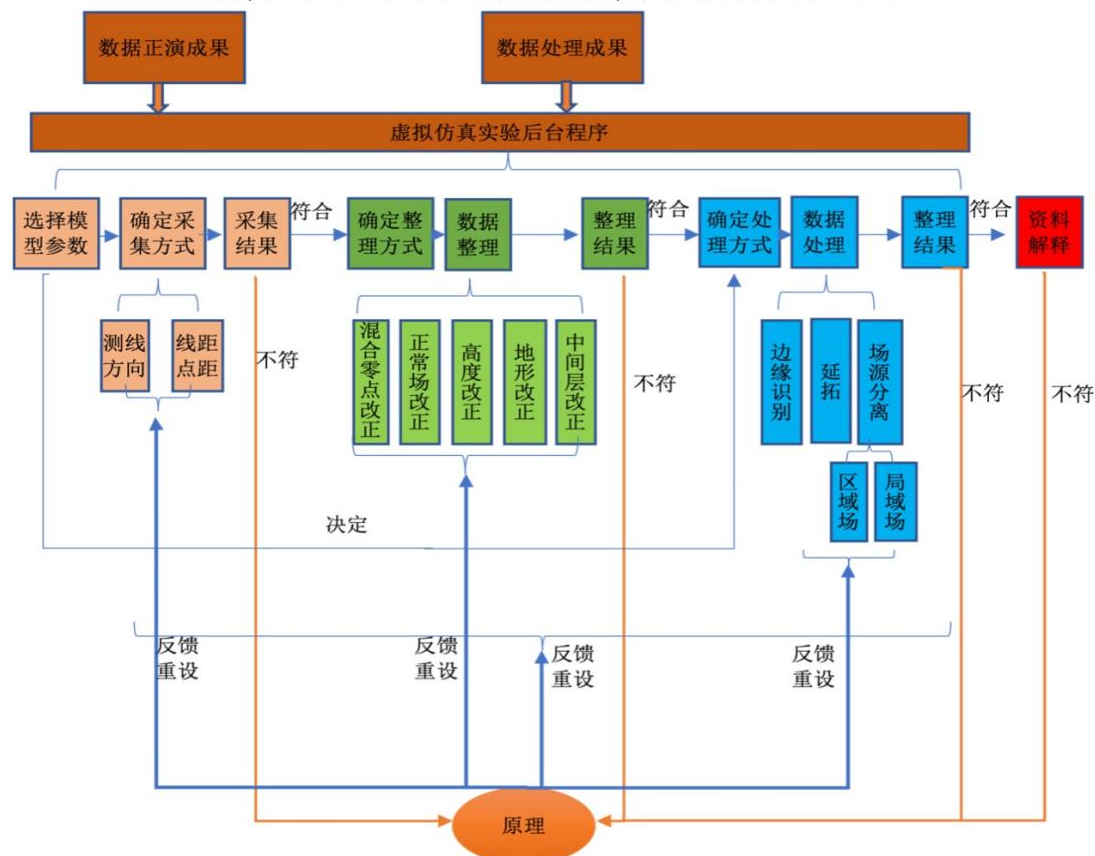


图 3.1.5 重力虚拟仿真实施过程

3.虚拟仿真实验是地质学、地球物理学和计算机科学的交叉, 体现知识纵向延伸, 横向联合, 体现知识的融合性, 是对学生知识结构的梳理和整合, 强化知识体系的内在联系。

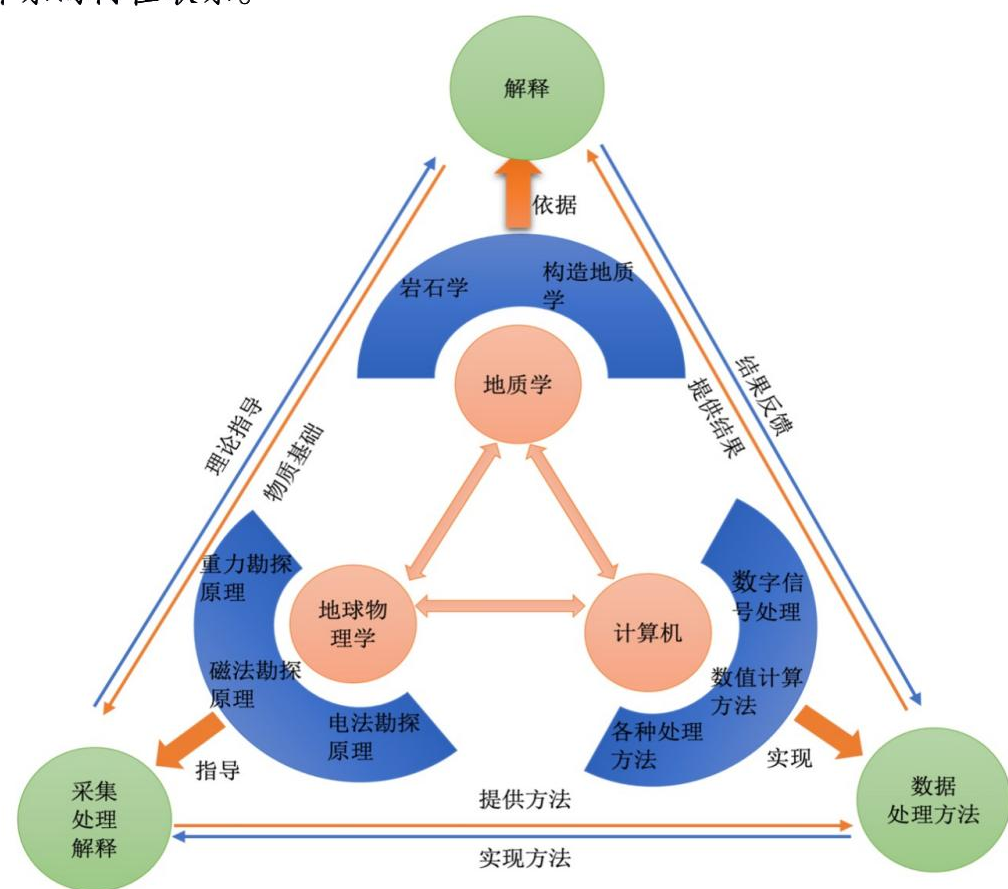


图 3.1.6 虚拟仿真学科交叉示意图

综上所述, 虚拟了重、磁、电勘探实验, 解决了实际大型野外实训中的问题, 建立了融合新理论和新方法、不同学科相交叉的、具有挑战性的分层次的虚拟仿真实验, 利于学生目标培养、思维方式和专业能力的达成。

3-2 实验教学目标 (实验后应该达到的知识、能力水平)

地球物理勘探作为资源勘查工程专业的核心课程, 是学生掌握资源勘查工程专业知识的重要组成部分, 图 3.2.1 体现了课程在专业培养体系中所处的位置和关系。本实验项目在教学方法上采用虚拟仿真教学和理论教学相结

合的方式，在项目中建立典型的地质模型，通过重力勘探，磁法勘探，电法勘探方法，分析地质体的赋存与地球物理场特征对应关系，增强学生对相关理论的深入理解，和对地球物理相应勘探方法的掌握。

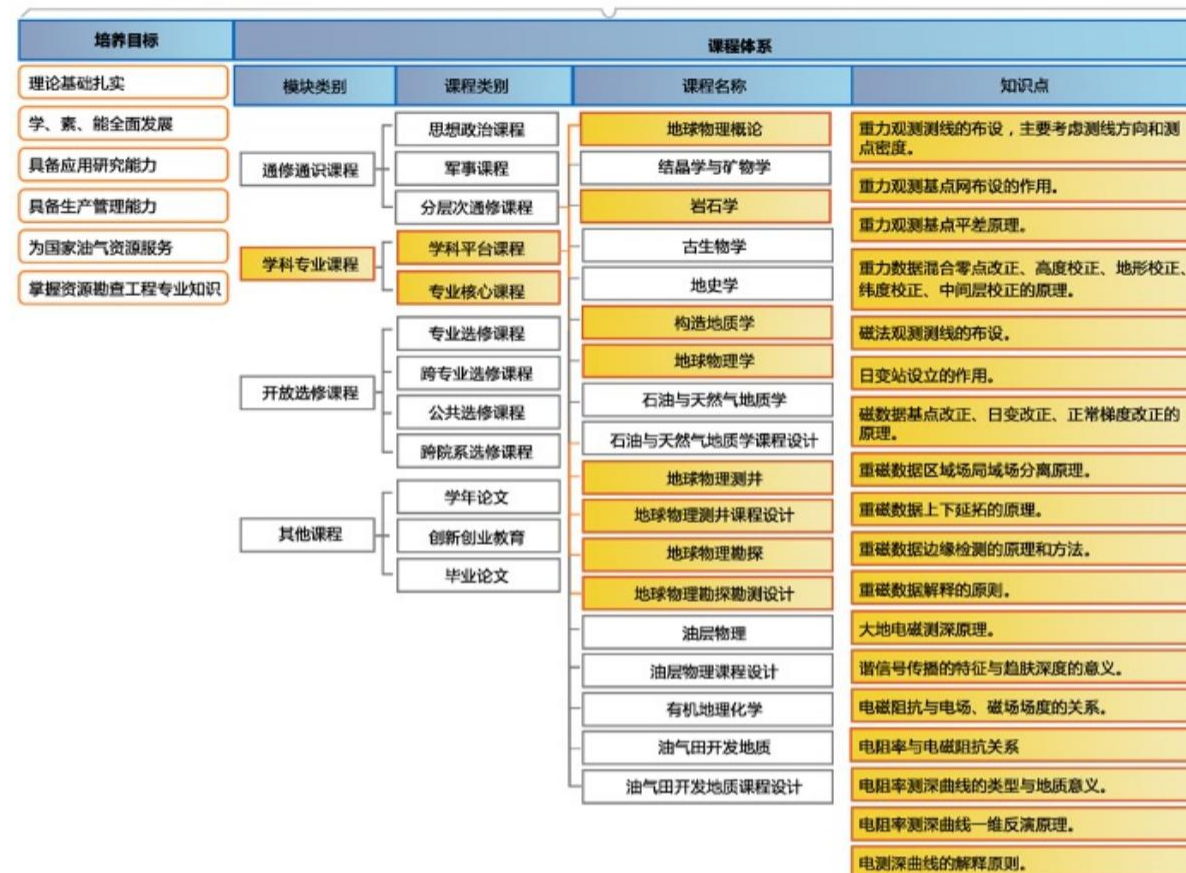


图 3.2.1 专业培养体系

实验后达到知识水平

因实验群体知识结构的不同，实验后达到知识水平是不同的，大体可以分为四类人群，第一类正在进行理论学习的人群，第二类早已进行过理论学习，且有更加深入学习或有实际从业经历的人群，第三类未进行理论学习，将来进行理论学习的人群，第四类未进行理论学习且不会进行理论学习的人群。具体见表 3.2-1。

表 3.2-1 不同人群的实验后知识水平

	对象	理论学习	达到知识水平
第一类人群	大三学生	正在进行	a.熟悉重力、磁法、电法勘探的工作方法 b.掌握重力、磁法、电法数据处理方法的作用 c.掌握异常体赋存状态与重、磁、电物理场的对应关系 d.通过重、磁、电的虚拟实验过程，深入理解重、磁、电的原理
第二类人群	大四、研究生、社会从业者	已经学习且有深入理解	a.进一步理解数据处理方法，能够对数据处理过程有新的思考。 b.深化理解重、磁、电原理，能够思考重、磁、电法方法的适用性，和专业研究方向进行创新思考。
第三类人群	大一、大二学生	未学习，将来会学习	a.了解重、磁、电勘探工作方法 b.了解地下异常体可以通过重、磁、电工作方法进行勘探，激发学习兴趣。
第四类人群	社会非从业者	未学习，将来也不会学习	了解重、磁、电工作方法可以对地下异常体进行勘探，达到科普的知识水准

实验后达到的能力水平

1.训练学生野外数据采集参数选择决策能力，为实际野外重、磁、电实施进行预训练。

因重、磁、电虚拟仿真实验过程和实际野外观测过程是基本吻合的，数据采集过程中的参数决定，会促使学生进行参数选择标准的思考，去进行重、磁、电勘探方法野外施工事项的进一步深入学习和思考。

2.处理目标达成的逻辑思考和处理能力，为重、磁、电大型复杂商业软件的应用做好坚实基础。

因重、磁、电数据处理方法的原理和作用确定的，不因为软件的不同而不同，差异在于实验方式和具体算法的差异，因此处理效果的关键是处理方法的选择，在此过程中训练处理目标达成的逻辑处理能力。

3.加强数据处理过程中的分析和解释能力，为实际工作中复杂地区的地球物理场资料地质解读进行知识储备

因异常体的物理场特征与异常体具有确定的对应关系，掌握这些知识对于将来复杂工作区的数据地质解释做了很好的知识储备。例如边缘识别时，对于x方向的导数计算识别的是在x方向有明显变化的异常体，其展布方向大体应与y方向近科一致，边缘处导数值是高值；再比如总水平导数，不论x方向还是y方向变化的异常体都是可识别，异常体边缘处的总水平导数总是高值等等，这些知识是地球物理场资料地质解释的关键。

综上所述，通过重、磁、电虚拟仿真实验，对不同知识结构的人群达到不同的知识水平掌握程度，同时训练学生的决策能力、逻辑和处理能力、分析和解释能力。

3-3 实验课时

(1) 实验所属课程课时：72 学时

(2) 该实验所占课时：4 学时

3-4 实验原理

(1) 实验原理(限 1000 字以内)

重力勘探是以岩矿石的密度差异为基础，通过观察重力场的时空变化，达到反演获取地下密度分布状态，以解决相应地质、能源和工程问题。重力值主要受时间、纬度、高度、地形和地下物质密度不均匀性的影响，要获取地下物质密度的不均匀性，需要进行一系列的校正，获取布格异常（图 3.4.1）。要确定异常体的空间分布进行边缘检测(图 3.4.2),明显圈定出异常在平面投影位置；为获取深源场源特征进行延拓(图 3.4.3),浅部异常被压制；以及区分深源与浅源信息的区域场与局域场分离（图 3.4.4），获得了区域与局域异常的特征，等。

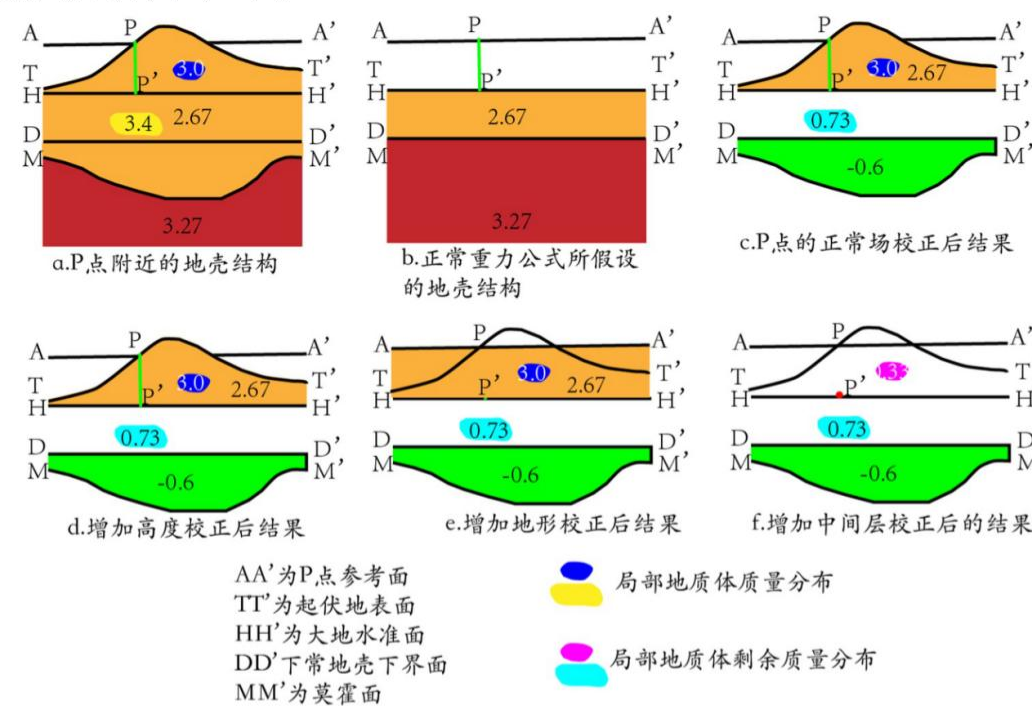


图 3.4.1 重力数据校正的图示

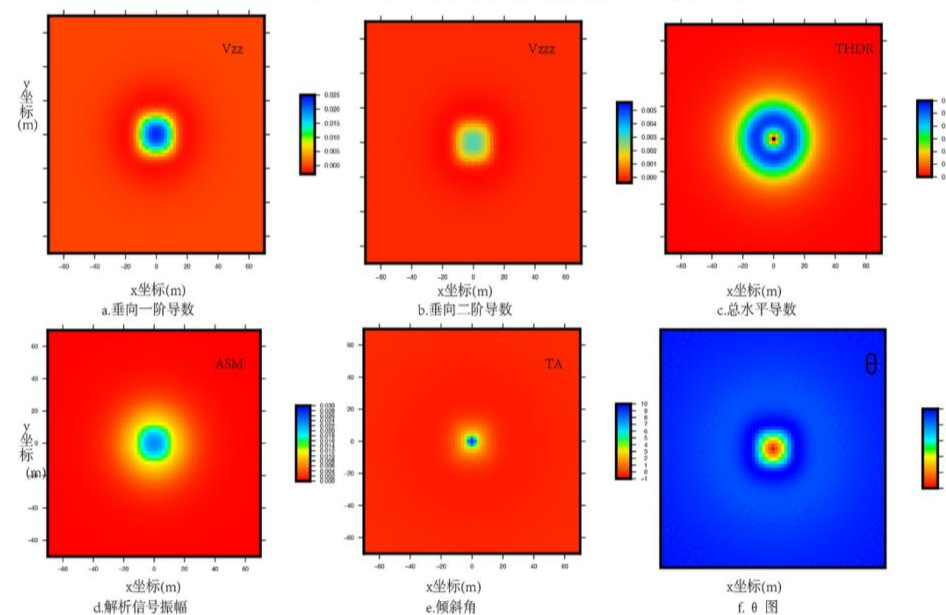
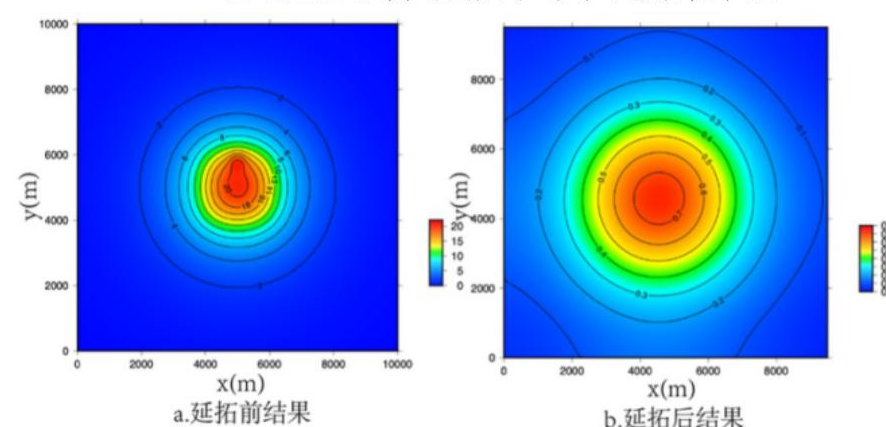


图 3.4.2 重力数据的边缘识别结果图



a.延拓前结果

b.延拓后结果

图 3.4.3 重力数据的延拓结果图

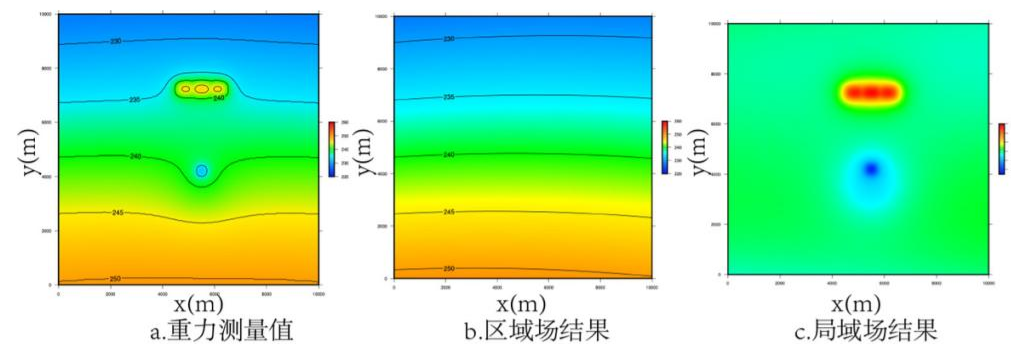


图 3.4.4 重力数据的区域场与局域场分离结果图

磁法勘探是以岩矿石的磁性差异为基础，通过观察磁场的时空变化，达到反演获取地下磁性分布状态，以解决相应地质、能源和工程的问题。磁力值主要受时间、偶极子场、非偶极子场、星际磁场和地下磁性不均匀性的影响，进行日变改正、基点改正、正常梯度改正去除影响因素，获取磁异常（图 3.4.5），为准备获取磁异常体位置进行化极处理（图 3.4.6），同重力数据相同，也会进行边缘检测、延拓、区域场和局域场分离。

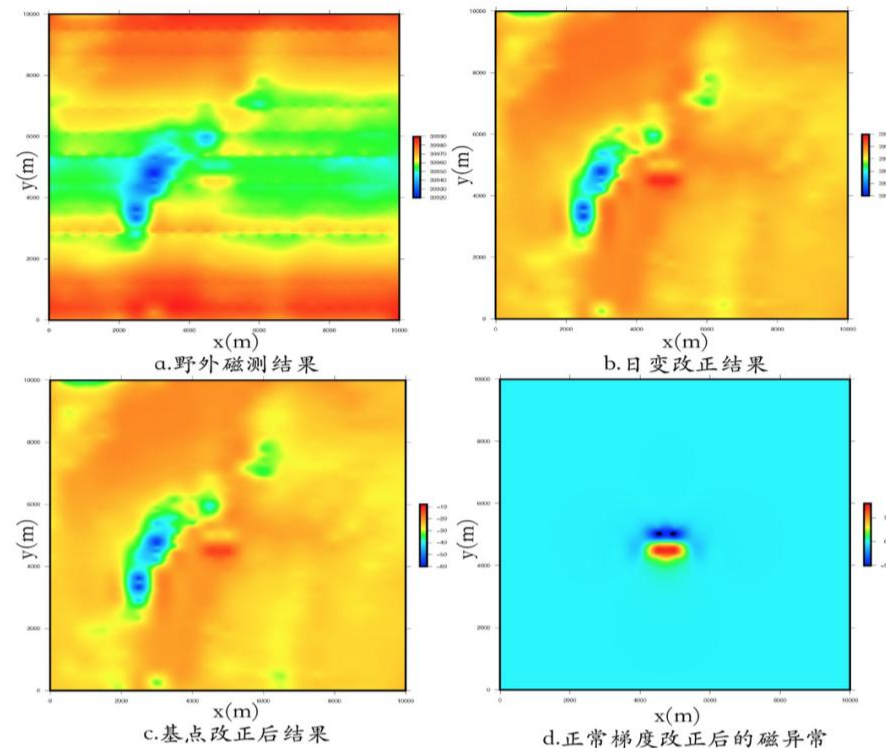


图 3.4.5 磁异常改正图

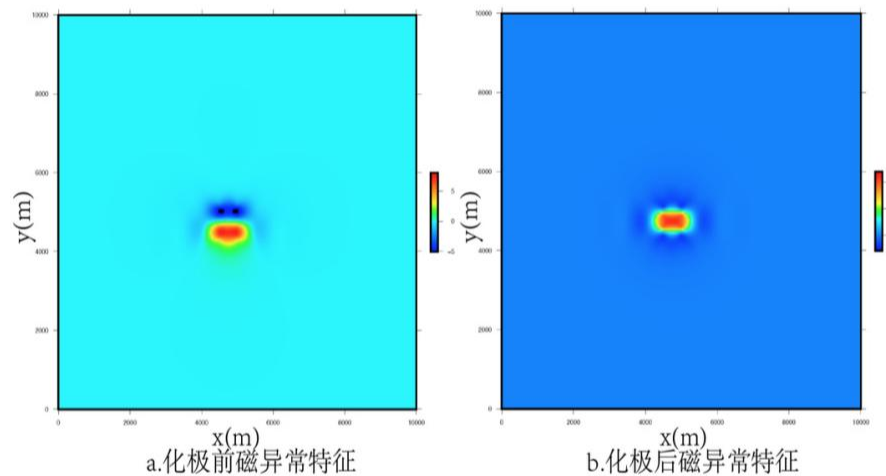


图 3.4.6 磁异常的化极处理对比图

电法勘探以岩矿石的电性差异为基础，通过观察人工或天然电磁场的时间和空间上的变化，解决相应地质、能源和工程问题的学科。来源于磁层和电离层的电磁波，到达地表的电磁波将继续向地下传播，电磁波的传播满足麦克斯维方程。谐信号电场和磁场以指数衰减向地下传播，高频信号传播深度浅，低频信号传播深度深，不同频率成份的电磁场代表不同深度电性特征（公式(1)）。野外观察到相应磁场和电场，获取相应频率的电场和磁场振幅，就可计算获取相应深度的电阻率(公式(2))。

谐信号向地下传播解：

$$\begin{cases} H_y = H_{y0}e^{-kz} = H_{y0}e^{-bz}e^{-i(\omega t+az)} \\ E_x = E_{x0}e^{-kz} = E_{x0}e^{-bz}e^{-i(\omega t+az)} \end{cases} \quad (1)$$

其中：

$$\begin{cases} k = b + ia \\ a = \omega\sqrt{\epsilon\mu} \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} + 1 \right) \\ b = \omega\sqrt{\epsilon\mu} \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} - 1 \right) \end{cases}$$

电阻率计算公式：

$$\rho = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad (2)$$

知识点：共 17 个

1. 勘探原理：重力勘探原理
2. 勘探原理：磁法勘探原理

3. 勘探原理：谐信号传播的特征与趋肤深度的意义。
4. 勘探原理：电阻率、电磁阻抗与电场、磁场场度的关系。
5. 数据采集：重力、磁法观测测线的布设原则。
6. 数据采集：重力观测基点网布设原则、作用以及平差原理。
7. 数据采集：磁法日变站设立原则和作用。
8. 数据采集：大地电磁测线和测点的布设原则和方法。
9. 数据处理：重力数据混合零点改正、高度校正、地形校正、纬度校正、中间层校正的原理。
10. 数据处理：磁数据基点改正、日变改正、正常梯度改正的原理。
11. 数据处理：重磁数据区域场与局域场分离原理。
12. 数据处理：重磁数据上下延拓的原理。
13. 数据处理：重磁数据边缘检测的原理和方法。
14. 数据处理：电阻率测深曲线求取方法、类型和地质意义。
15. 数据处理：电阻率测深曲线一维反演原理。
16. 数据解释：重磁数据解释的原则。
17. 数据解释：电测深曲线的解释原则

(2) 核心要素仿真设计（对系统或对象的仿真模型体现的客观结构、功能及其运动规律的实验场景进行如实描述，限 500 字以内）

1) 实验原理仿真度

在虚拟仿真实验中，以动画的方式阐述文字、公式内容，真实、形象的描述了重力、磁法、电法原理，突破了文字、公式的抽象描述，以生动形象的过程让实验人员理解、巩固并掌握重力、磁法、电法勘探原理（见虚拟仿真实验）。

2) 实验流程仿真度

重力、磁法、电法勘探工作均包括数据采集、数据处理和数据解释三阶段工作，可以根据实际地质情况选择测线方位、线距、点距、基点布设、日变点布设、各种相应的数据整理和处理，把一个团队数周至数月内工作浓缩到虚拟仿真 4 课时的时间内。

3) 计算结果仿真度

重力、磁法、电法地质模型均采用节点模型去数字化，把抽象的计算公式进行程序化，计算结果真实可靠，重力、磁法、电法的各项校正、数据处理过程也均已程序化，计算结果真实可靠。

4) 互动过程仿真度

充分利用人工智能技术，借助高度仿真的实验环境和实验过程，打破传统实验教学受时间、空间、经费等的限制，教师在线答疑，虚拟仿真软件分步骤提示，加深学生对知识点的记忆，明显提高学生知识掌握程度，实现了在教学中边学边体验的高效互动。

3-5 实验教学过程与实验方法

本实验构建了知识交叉、科研融和、分层次的虚拟仿真实验，虚拟仿真实验以重力、磁法、电法原理为核心，以数据采集-数据处理-资料解释三阶段工作为流程，采用线上与线下相结合教学方式，实验教学强化以学生为中心的教学模式，实验过程以“情景启发—自主决策—自主反馈”进行推进，以知识掌握为目标，以能力培养为目的，实验教学实施过程如图 3.5.1。

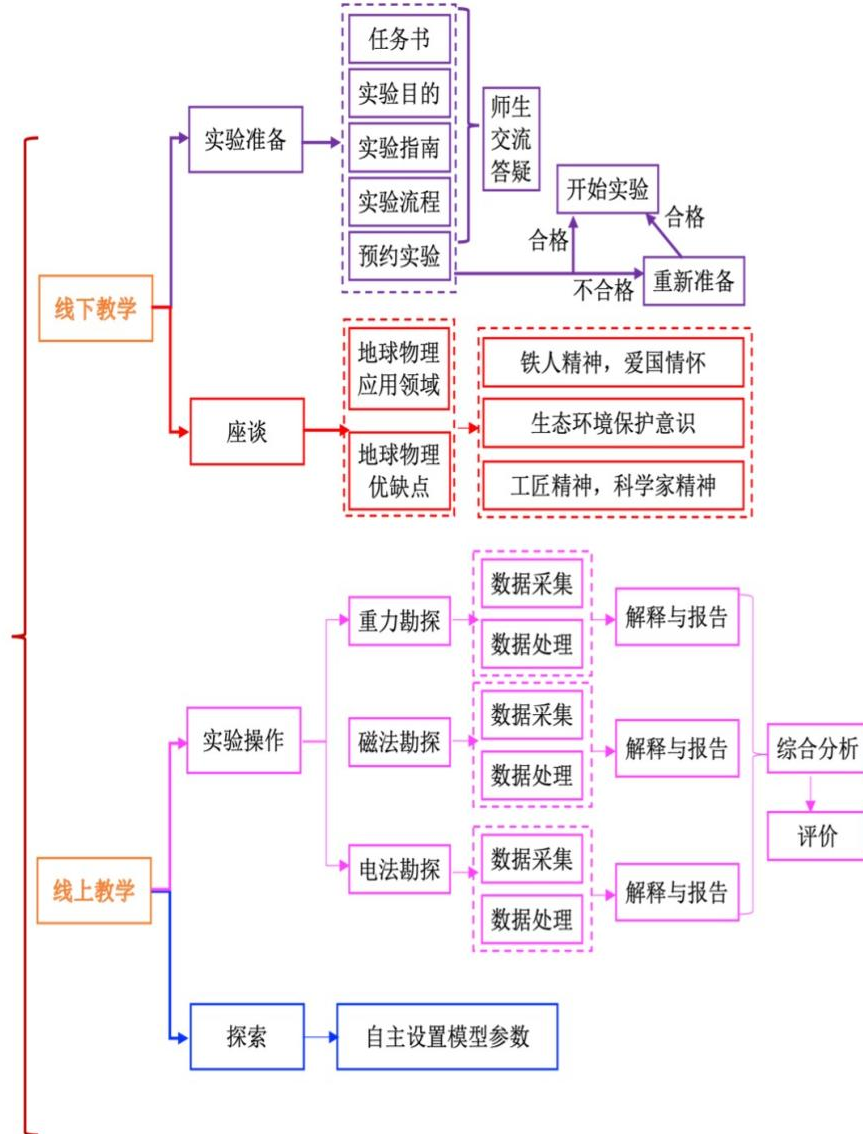


图 3.5.1 实验教学的实施过程

一、实验教学过程

1) 线下主要完成如下工作：

①知识准备：以学习小组为单位，查阅重、磁、电勘探相关文献。通过查阅相关资料，根据实验要求进行相关理论知识的学习，掌握实验相关知识，明确实验目的，掌握重、磁、电勘探原理；

②讨论学习。组内讨论学习实验中的问题，并将讨论结果与问题记录。讨论不能解决的问题以学习小组为单位提交老师。讨论并分享重、磁、电勘探相关的文献。

③师生交流。教师此次过程中全程辅导，答疑解惑。

④座谈。在实验过程中，设置拓展练习环节包括：重、磁、电勘探的应用领域，重、磁、电方法的优缺点。邀请行业人员进行座谈，讲述地质前辈的铁人精神，爱国情怀，讲述生态环境保护事例，讲述优秀从业者的故事，学习工匠精神和科学家精神。

2) 线上主要工作为：

① 预约实验，预约后线上回答老师提问，正确率达到 60%则实验预约成功，实验预约不成功则重复上述实验准备工作。

②实验操作。按照流程进行虚拟仿真实验。此过程中学生完成设置的任

务，逐步完成实验操作，软件记录操作过程。

③评价。教师结合实验准备情况、知识准备情况以及学生在整个实验过程中

的表现进行评价。

④自主设置模型参数，进行探索性实验

二、实验方法

实验采用的实验方法主要有以下几种：

1.采用对比分析法，深度分析与理解重力数据的影响因素与改正方法，深度理解磁法数据影响因素与改正方法，图 3.5.2 为磁法数据日变改正前后对比图，通过图中可见，由于时间影响的条带状异常消失。

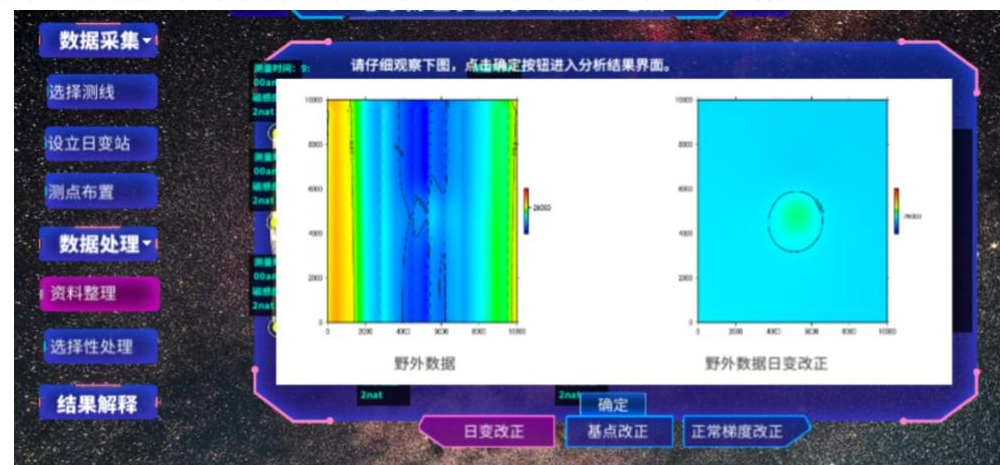


图 3.5.2 磁法日变改正前后对比图

2.通过参数控制法，实现重、磁采集方式不同，实验电法测线与测点控制，理解重、磁、电数据采集原理和方式，图 3.5.3 为磁法采用不同采集方向获取的磁法数据，图 3.5.4 为通过参数控制确定的电法剖面 and 测点。

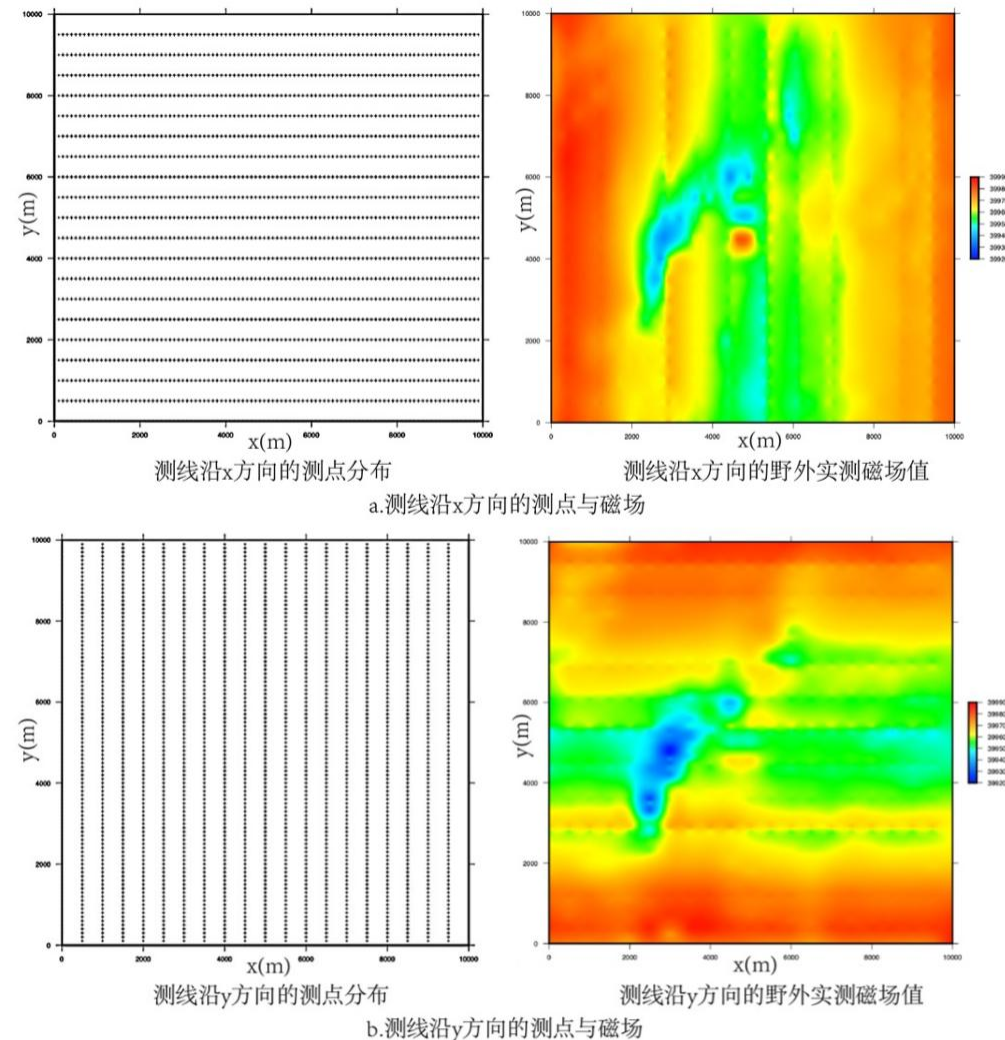
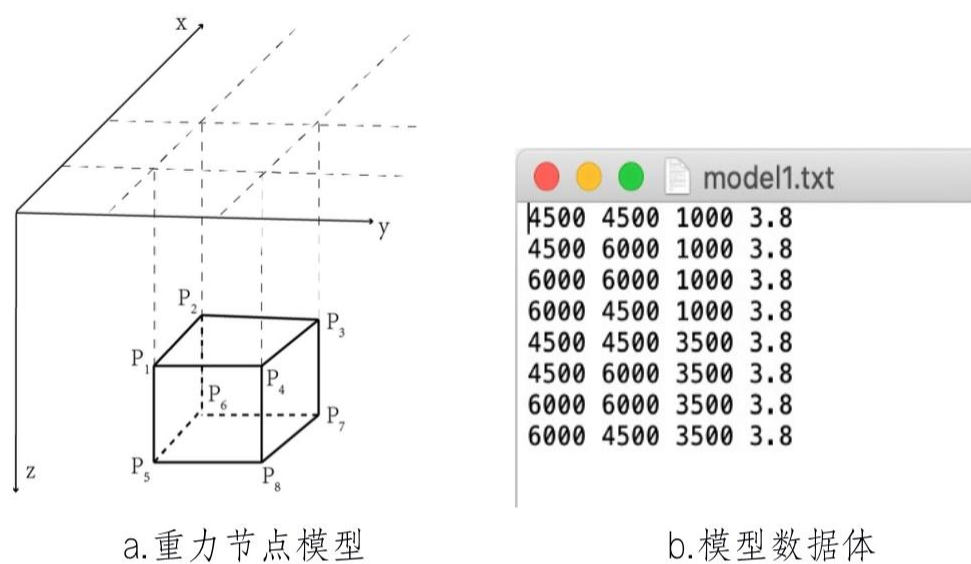


图 3.5.3 不同采集方向获取的重力数据



图 3.5.4 电法剖面 and 测点

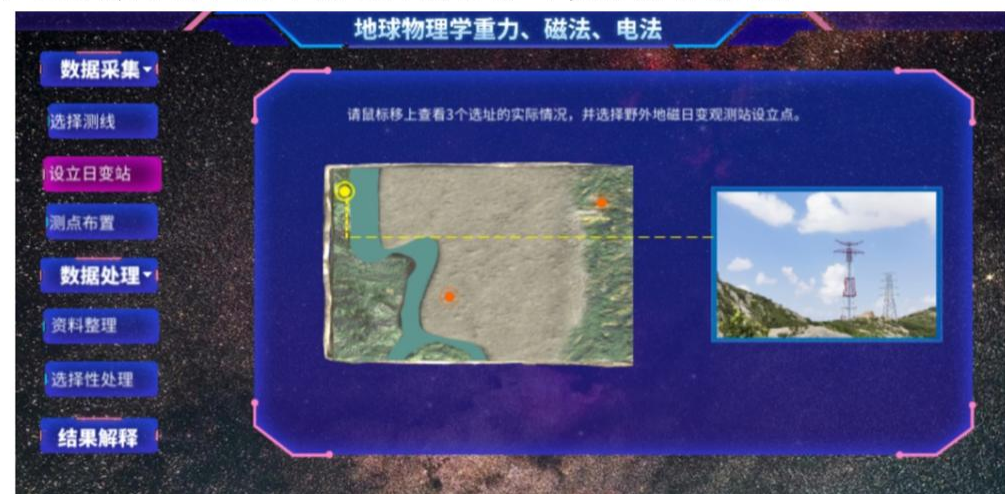
3.通过模型法,学会地质模型的数字化方法,如图 3.5.5 为重磁异常体的节点模型,一个长方体可以通过 8 个顶点值确定其异常体参数,表 3.5-1 为根据模型法方法,确定的一个异常体,异常分布范围为 x 轴范围为(4500, 6000)m, y 轴范围为(4500,6000)m,深度范围(z 轴)范围为(1000,3500)m,异常体剩余密度为 $3.8 \times 10^3 \text{ km/m}^3$,为自主设置模型,进行自由探索实验做好铺垫。



a.重力节点模型 b.模型数据体

图 3.5.5 孤立异常体的节点模型及数据体

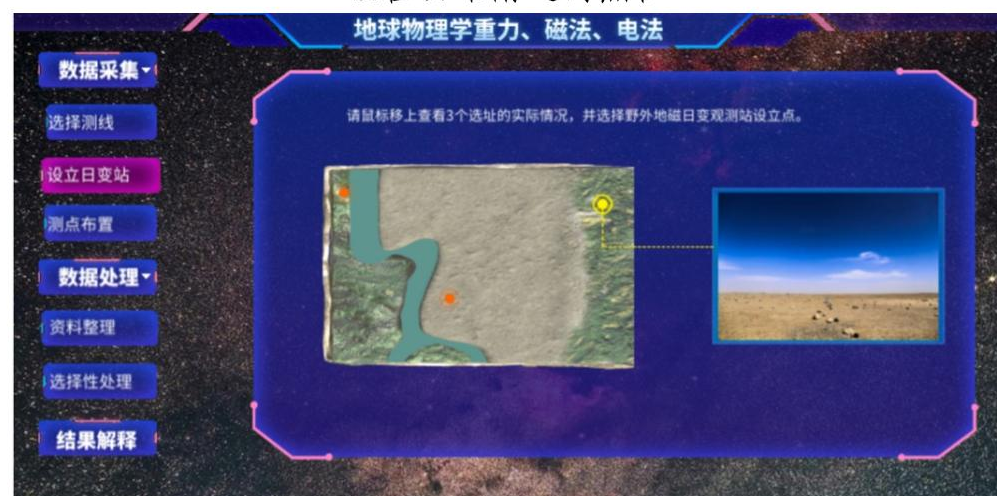
4.通过观察法确定磁法勘探日变站的位置,明确磁法野外日变站的确定原则,理解磁法野外勘察的注意事项,图 3.5.6 通过三个点对的对比,选择了一个远离高压线、无车辆通行的安静环境作为日变站。



a.在高压线附近的点位



b.在公路附近的点位



c.安静无影响的点位

图 3.5.6 不同环境的磁法日变站的选择图

5.通过科学推理法,可根据重力布格异常,初步明确异常体的分布和密度定性结果,深度理解剩余质量与布格异常的关系,图 3.5.7 为数据改正后的重力布格异常,可以初步判定地下异常体存在质量盈余部分的正异常和质量亏损部分的负异常。

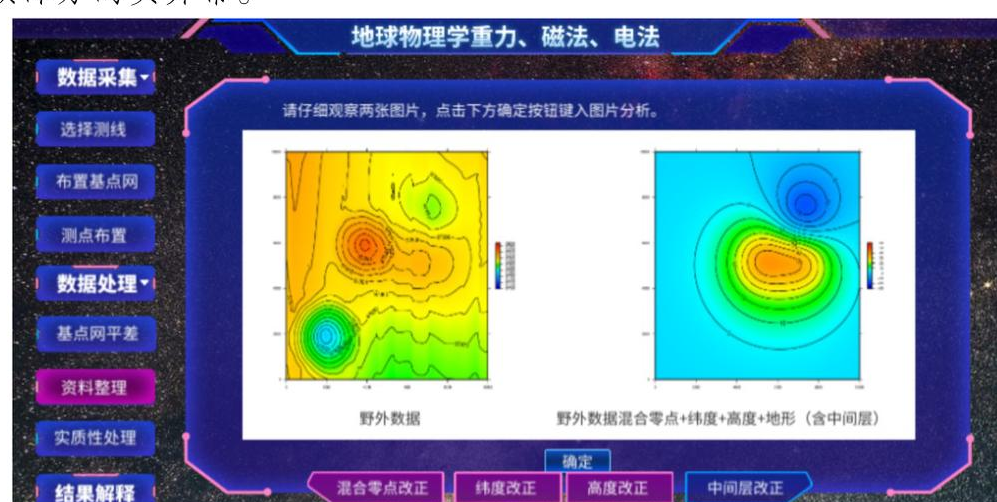
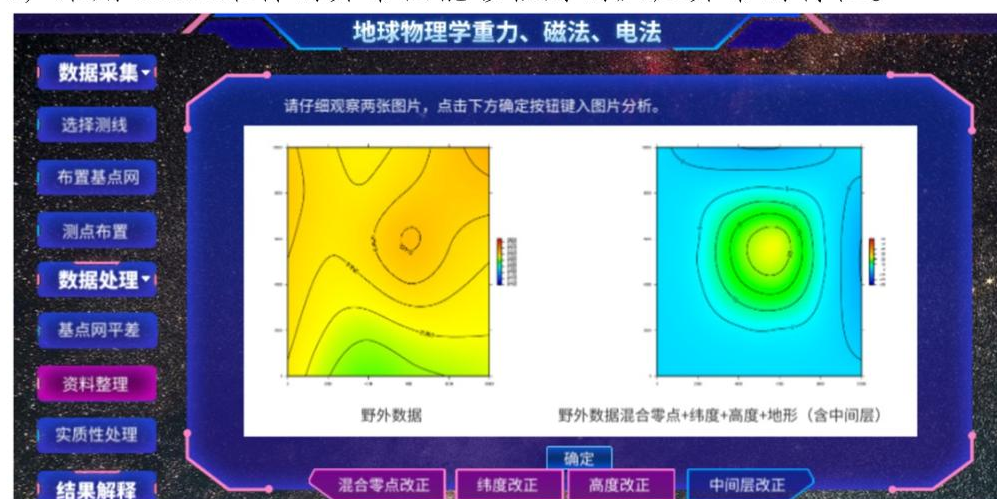
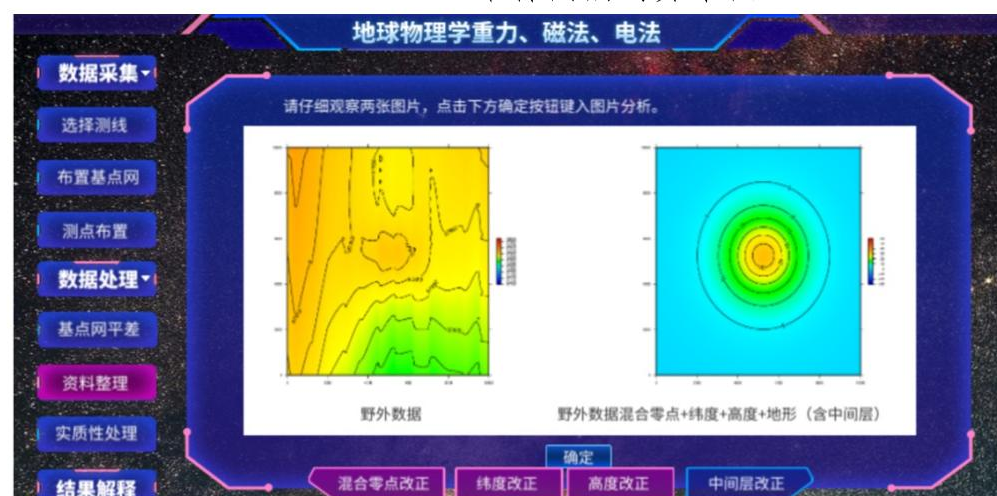


图 3.5.7 相邻异常体数据改正的结果图

6.整个实验过程中大量运用反馈纠错法,如采集线距与点距过大,异常体数据采集过稀,可通过异常图的反饋,重新进行采样。图 3.5.8 为分别为 2000m,500m 采样的异常图,2000m 异常图明显不能反应异常的特征,采样间隔过大,采用 500m 采样的异常图能够很好的反应异常的特征。



a.2000m 采样间隔的异常图



b.500m 采样间隔的异常图

图 3.5.8 不同采样间隔的重力异常图

综上所述,虚拟仿真实验采用以学生为中心的设计理念,运

用线下与线下相结合的方式，实验过程中采用多种实验方法，尤其是学生自主决策-自主反馈的反馈纠错方法的运用，更能强化对专业知识的理解和掌握，训练学生全面的思维逻辑能力

3-6 步骤要求（不少于 10 步的学生交互性操作步骤。操作步骤应反映实质性实验交互，系统加载之类的步骤不计入在内）

（1）学生交互性操作步骤，共 17 步

步骤序号	步骤目标要求	步骤合理用时	目标达成度赋分模型	步骤满分	成绩类型
1	测线方向要与构造成向方向尽量垂直。若无明显走向方向，可任意选择测线方向	3	操作分：1分 精准度：2分 若步骤3采用长方形网格，学生主观认为构造有一定走向，此时测线应与构走向垂直，若测线方向无误只给基本操作分；若步骤3采用正方形网格，说明学生主观认为构造走向不明显或不具体走向，此时测线方向可不与系统设计的测线方向相同。	3	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
2	基点网基点选择要考虑步骤1测线方向，应尽量选择测线两端测点，便于早起于基点，晚终于基点，利于混合零点改正。	3	操作分：1分 精准度：2分 兼顾步骤1,基点若全选择在测线两端，精准度给2分，此步骤3分；若只选测线一端，因测线10km，不利于晚操作回归基点，精准度给1分,此步部2分；若除了测点端点，还选择了内部位置，精准度不给分,此步骤为1分；若没有测线端点，全部是测线内部点，操作分也予以扣除，此步骤为0分。	3	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
3	1.间距适中，兼顾异常和成本。过大不能反映异常特征，过小成本剧增。 2.步骤1的测线选择时，有明显构造方向，此时可采用长方形网	3	操作分:1分 精准度:2分 兼顾步骤1和步骤4。1.学生主观认为的走向方向与系统给定的走向方向一致时，此时应为长方形网格，若不符，扣1分；若学生主观认为没有构造走	3	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

	格，线距大于点距；若无明显构造走向方向，此时应采用正方形网格，线距等于点距		向方向，此时应为正方形网格，若不符扣1分；2.线距应保证至少3-5点在异常体上方，过少扣1分，学生可通过步骤4进行反馈，可重新做上一步实验；若测点过多，扣1分；3.若1和2项均扣分，则此步骤的操作分也予以扣除，此步骤为0分。		
4	1.混合零点改正，高度改正、正常场改正、地形和中间层改正缺一不可，每减少一个扣1分。2.合理解释每一个改正的影响。3.根据处理结果反馈步骤1~步骤3的合理性	10	1.此步骤共5项改正，缺失一项扣1分；若缺失2项，扣3分，说明知识理解欠缺；若缺失3项及以上，此操作不给分，说明尚未掌握知识点；2.依据本操作，对步骤1-步骤3有进行反馈进行重操作，可额外加1分。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
5	1.要根据选择的模型，选择合适的处理方法，若选择不合适的方法，进行扣分处理。2.根据结果分析反馈数据处理方法选择的合理性	10	操作分：1分 精准度：4分 依据所选地质模型，选择了合适了处理方法，精准度给2分；进行了异常体的正常分析精准度给2分；若多进行一项无效方法的选择，精准度扣1分；若有对处理结果进行反馈，重新进行方法选择，可加1分。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
6	1.要确定出异常的空间位置 2.分析体现异常体的地球物理场的识别标志 3.根据结果反馈步骤1-步骤5的整体合理性	10	结果分析分：4分 方法分析分：1分 1.分析的异常体位置与系统预设位置偏差在5%以内，给4分；偏差5%~10以内给3分；偏差10%~15%以内给2分；偏差15%~20%以内给1分；大于20%，不给分；2.方法分	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告

			析分,对步骤1-步骤5有一个反馈,有独立的思考和反思,给1分。		
7	测线方向要与构造走向方向尽量垂直。若无明显走向方向,可任意选择测线方向。	3	操作分:1分 精准度:2分 若步骤9采用长方形网格,学生主观认为构造有一定走向,此时测线应与系统设定的构造走向垂直,若测线方向无误只给基本操作分;若步骤9采用正方形网格,说明学生主观认为构造走向不明显或不具体走向,此时测线方向可不与系统设计的测线方向相同。	3	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
8	日变站要选择原则:远离高压线、车辆行人的安静无干扰地区	3	操作分:1分 精准度:2分 若选择的日变站位置与系统设定位置相符,给预3分;若不符,只给操作分1分。	3	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
9	1.采样间距适中,兼顾异常和成本。过大不能反映异常特征,过小成本剧增。 2.步骤1的测线选择时,有明显构造方向,可采用长方形网格,线距大于点距;若无明显构造走向方向,此时应采用正方形网格,线距等于点距	3	操作分:1分 精准度:2分 兼顾步骤7和步骤10。1.学生主观认为的走向方向与系统给定的走向方向一致时,此时应为长方形网格,若不符,扣1分;若学生主观认为没有构造走向方向,此时应为正方形网格,若不符扣1分;2.线距应保证至少3-5点在异常体上方,过少扣1分,学生可通过步骤10进行反馈,可重新做上一步实验;若测点过多,扣1分;3.若1和2项均扣分,则此步骤的操作分也予以扣除,此步骤为0分。	3	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
10	1.日变改	10	1.此步骤共3	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩

	正、基点改正、正常梯度改正缺一不可。2.合理分析每一个改正的影响。3.根据结果反馈步骤1-步骤3的合理性		项改正，缺失一项扣1分;若缺失2项，扣3分，说明尚未掌握知识点；2.依据本操作，对步骤7-步骤9有进行反馈进行重操作，可额外加1分。		<input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
11	1.同重力资料处理要求一致，要根据选择的模型，选择合适的方法，不是处理方法越多越好，要合适，若选择不合适的方法，进行扣分处理。2.根据结果分析反馈数据处理方法选择的合理性	10	操作分：1分 精准度：4分 依据所选地质模型，选择了合适了处理方法，精准度给2分；进行了异常体的正常分析精准度给2分；若多进行一项无效方法的选择，精准度扣1分；若有对处理结果进行反馈，重新进行方法选择，可加1分。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
12	1.要确定出异常的空间位置 2.分析体现异常体的地球物理场的识别标志 3.根据结果反馈步骤1-步骤5的整体合理性。	10	结果分析分：4分 方法分析分：1分 1.分析的异常体位置与系统预设位置偏差在5%以内，给4分；偏差5%~10%以内给3分；偏差10%~15%以内给2分；偏差15%~20%以内给1分；大于20%，不给分；2.方法分析分，对步骤7-步骤11有一个反馈，有独立的思考和反思，给1分。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
13	1.根据前面的重力与磁法异常图，确定合适的电测深剖面起点与终点。2.测点数量要适当	10	操作分：1分 精准度：4分 基本操作分1分，进行相应操作可得；根据步骤6和步骤12所确定的异常位置，进行了起点与终点选择，使测线通过异常体上方，精准度给2分,否则不给分；测点数依据大地电磁设计原理即与设计设置测点数偏差30%	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

			以内且同一数量级,精准度再给2分,否则不给分。		
14	<p>1.能够进行至少三条测线曲深的求取工作。</p> <p>2.一条测深曲线至少进行3个频率的电阻率求取。3.反馈步骤13的参数设计的合理性</p>	10	<p>操作分:1分</p> <p>精准分:4分</p> <p>按大地电磁电阻率计算公式进行了电阻率的求取,至少进行了3点3频率的电阻率求取,至少进行了9次。若进行了9次求取,操作分得1分;9次计算结果偏差均在5%以内,精准分给4分;若计算结果偏差在5%-10%之间,给3分;偏差在10%-15%之间给2分;偏差在15%-20%之间给1分;偏差超过20%,且多于5点,不给精准分。</p>	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
15	<p>1.能够根据测深区线进行一维反演初始模型的赋值。至少要完成3个测点的初始模型赋值</p> <p>2.初始模型要符合测深曲线类型。初始模型电阻率值合适。</p>	10	<p>操作分:1分</p> <p>精准分:4分</p> <p>进行了3点测点的初始模型赋值,可得操作分1分;若初始模型与一维电阻率测深曲线的按系统设定标准的吻合度在90%,精准度可得4分;吻合度80%-90%,可得3分;吻合度80-70%,可得2分;吻合度70-60%,可得1分。</p>	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
16	<p>1.能分析所有测点的测深曲线类型。2.能确定出异常体的深度和水平位置</p>	10	<p>结果分析分:4分</p> <p>方法分析分:1分</p> <p>1.分析的异常体深度与水平位置与系统预设位置偏差在5%以内,给4分;偏差5%-10%以内给3分;偏差10%-15%以内给2分;偏差15%-20%以内给1分;大于20%,不给分;</p> <p>2.方法分析分,对步骤13-步骤15有</p>	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告

			一个反馈，有独立的思考和反思，给1分。		
17	1.能明确重、磁、电节点模型的意义。2.能够用节点模型对重、磁、电异常体进行数值赋值。	30	重力、磁法、电法每一种方法可以节点模型进行正确设置，每一项可得3分，3项均正确，可得10分。	10	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告

(2) 交互性步骤详细说明

该实验的实验总体步骤如下(图 3.6.1)：

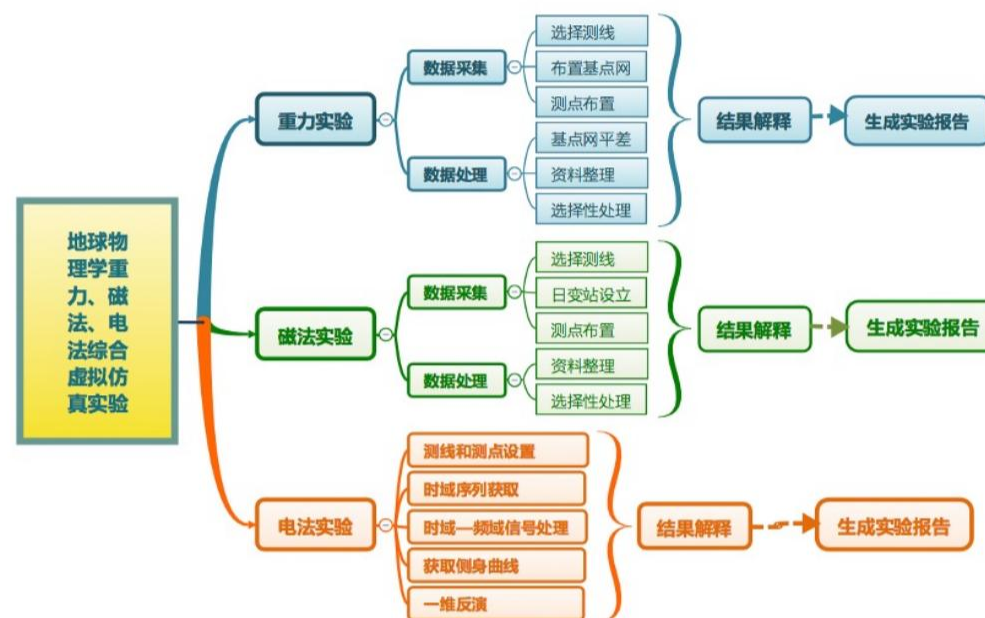


图 3.6.1 实验步骤总体流程图

重力勘探流程如图 3.6.2

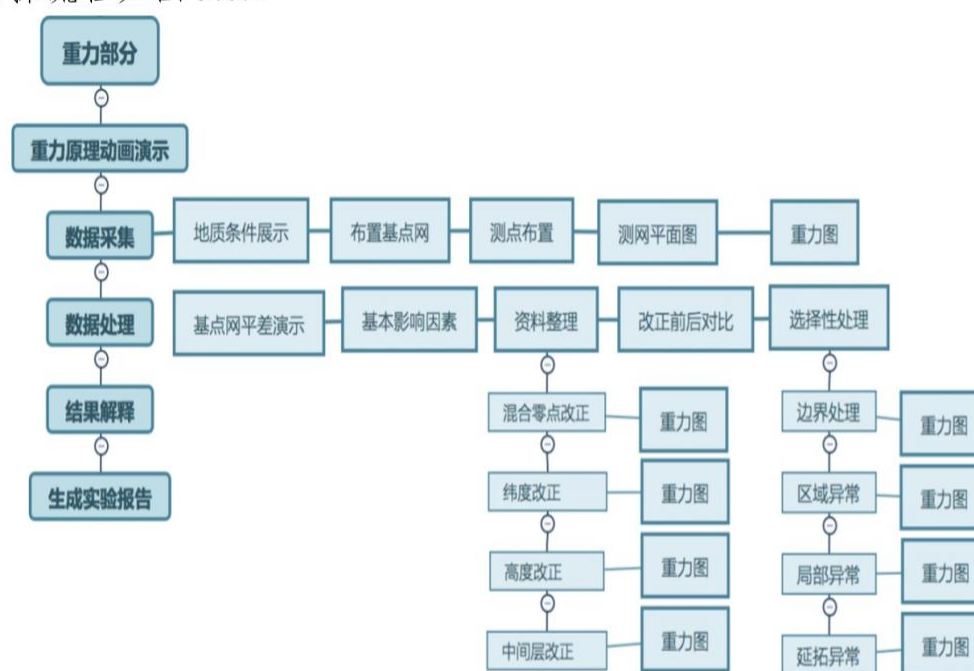
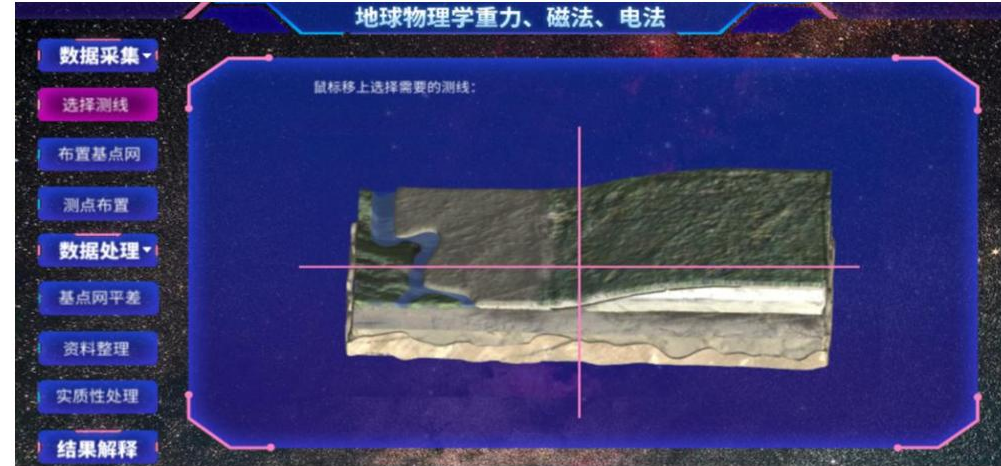


图 3.6.2 重力实验步骤流程

交互步骤 1: 重力数据采集,包括模型选择、确定测线方向(图 3.6.3)



a.模型选择



b.测线方向选择

图 3.6.3 重力数据采集确定测线方向

交互性步骤 2.重力数据采集：确定基点(图 3.6.4)。

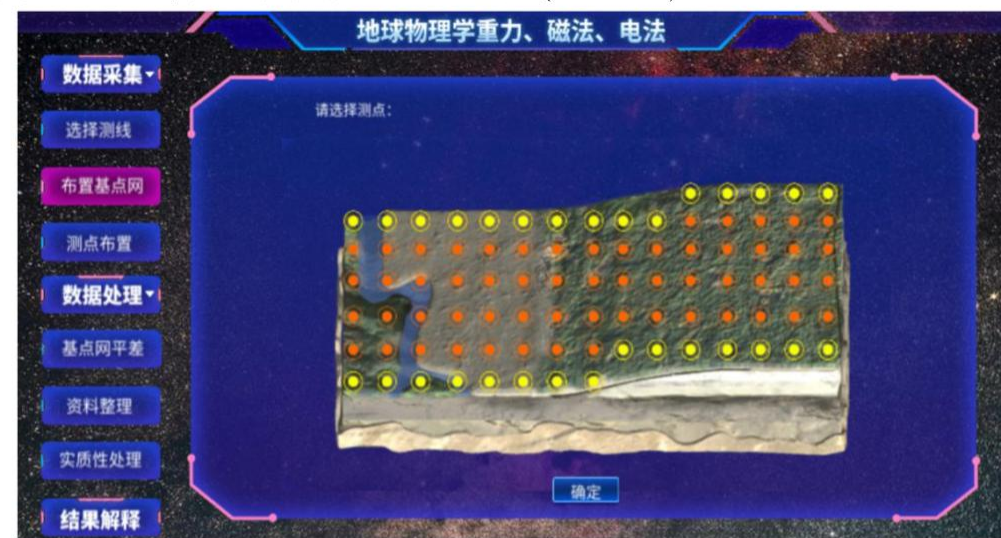


图 3.6.4 重力数据采集确定基点网基点

交互步骤 3.重力数据采集：确定采集线距与点距(图 3.6.5)。

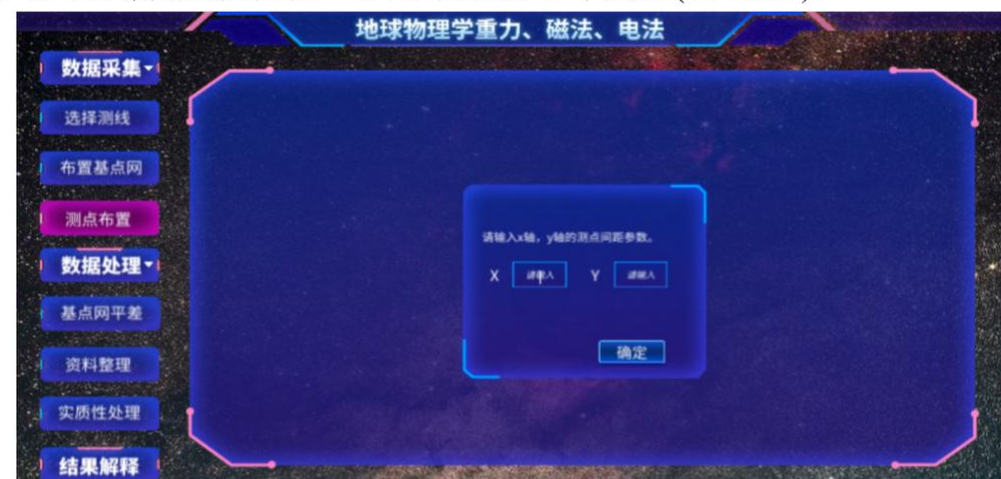
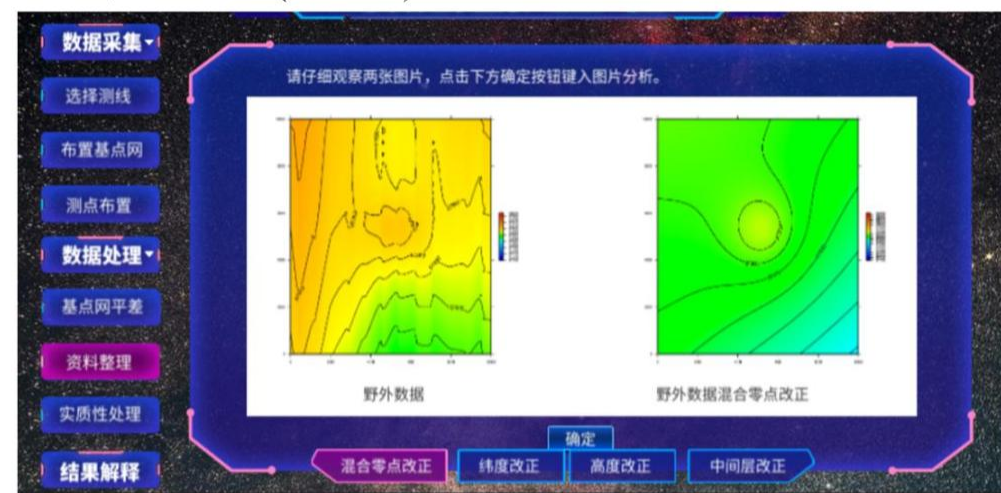
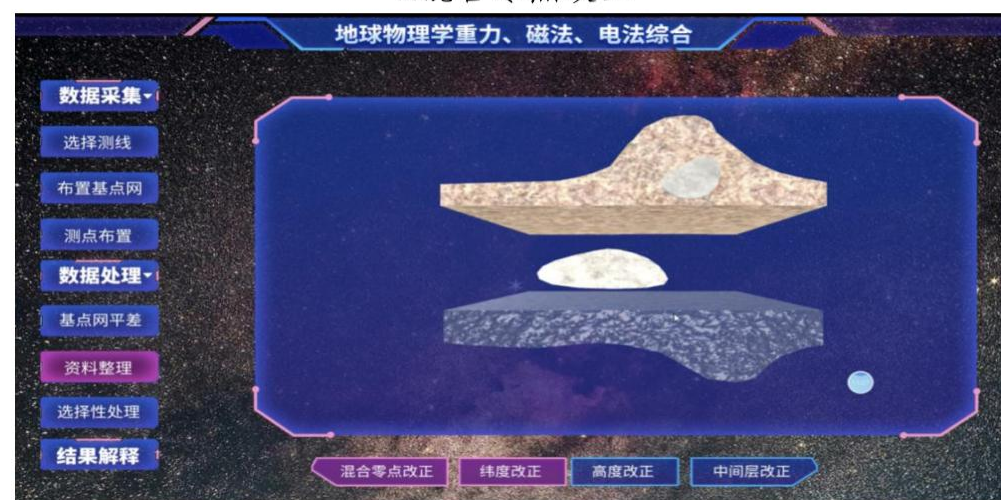


图 3.6.5 重力数据据采集确定线距与点距

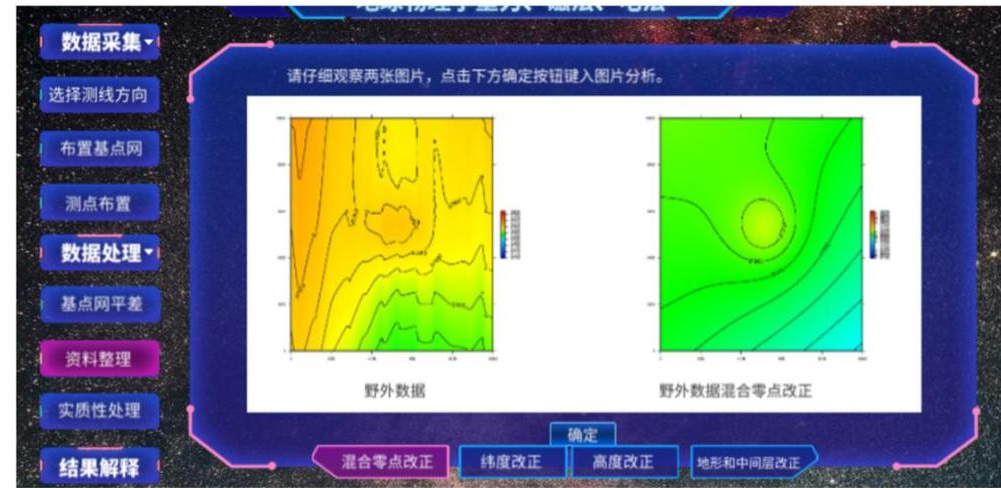
交互步骤 4:重力数据整理，包括混合零点改正、正常场(纬度)改正、高度改正、地形和中间层改正(图 3.6.6)。



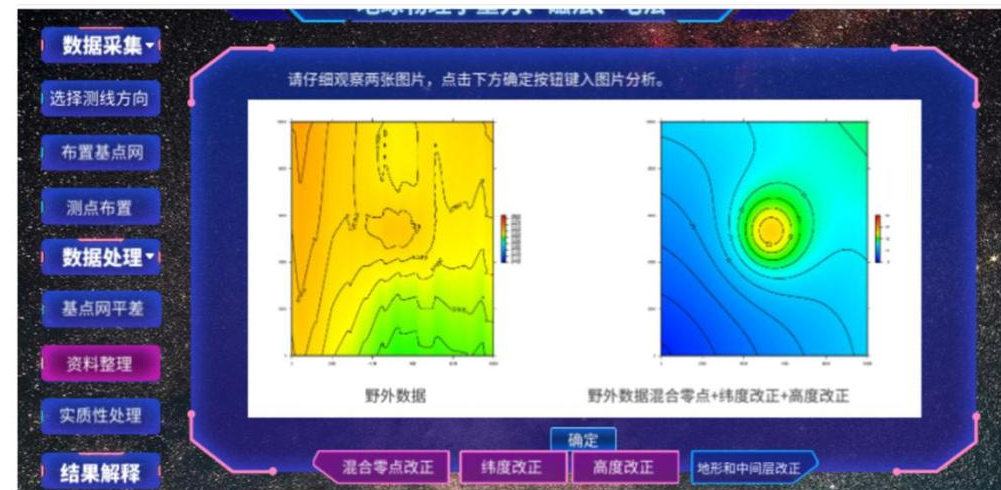
a.混合零点改正



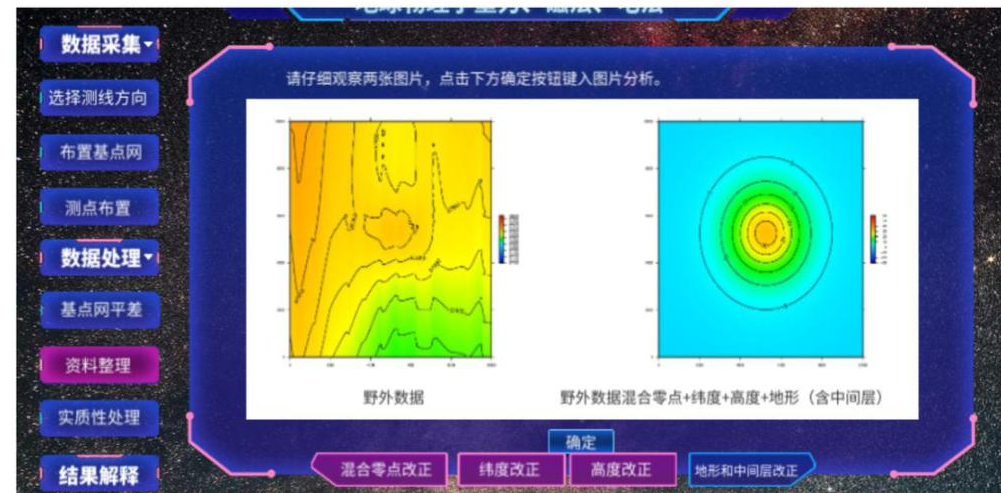
b.纬度改正密度改正演示



c. 纬度改正校正后结果



d. 高度改正校正后结果



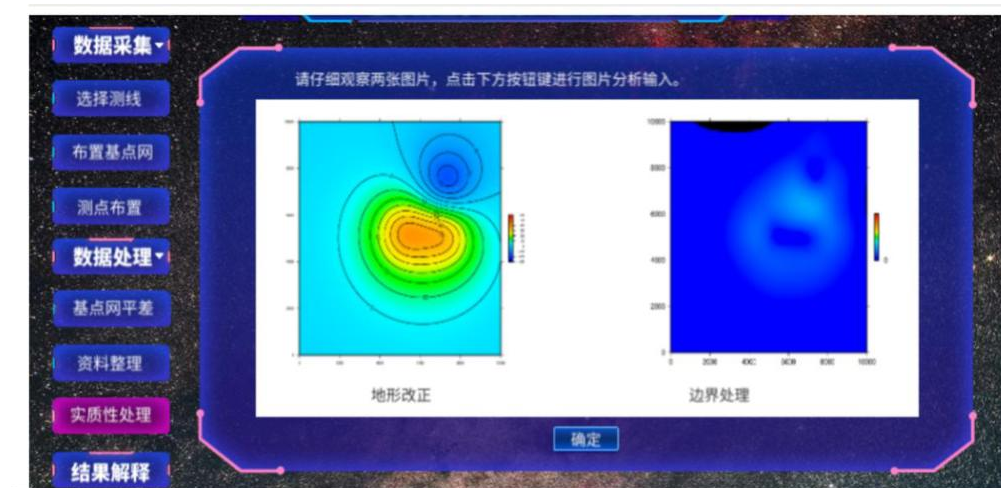
e. 地形与中间层校正后结果

图 3.6.6 重力资料整理

交互步骤 5: 重力数据处理, 包括边缘识别、延拓、区域场与局域场分离(图 3.6.7)。



a. 数据处理方法选择



b. 边界处理水平总导数结果

图 3.6.7 重力数据处理图

交互步骤 6: 重力资料解释, 如图 3.6.8, 可以通过右侧滑动条, 查看所有处理结果图, 进行对比解读, 在下方块内进行解释说明, 充分发挥学生观察力, 体现学生对知识的掌握。

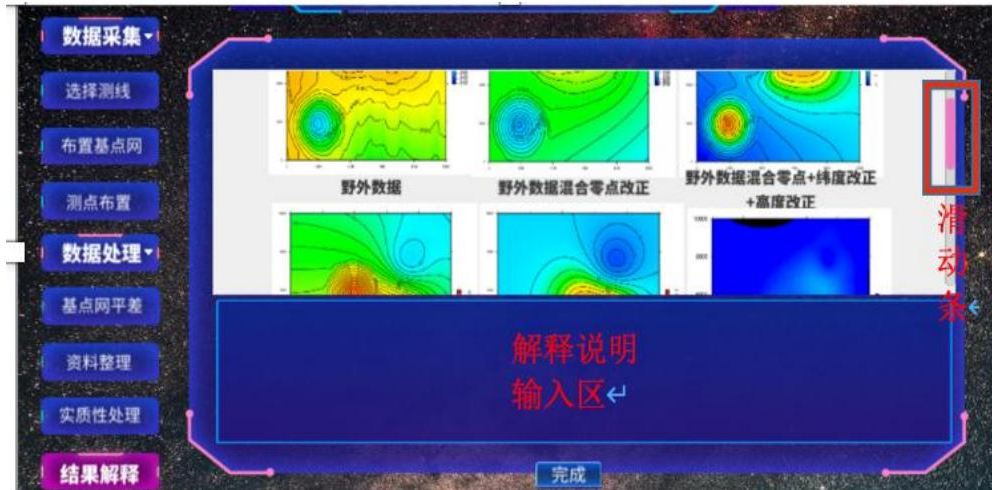


图 3.6.8 重力资料解释

磁法实验的流程图 3.6.9。

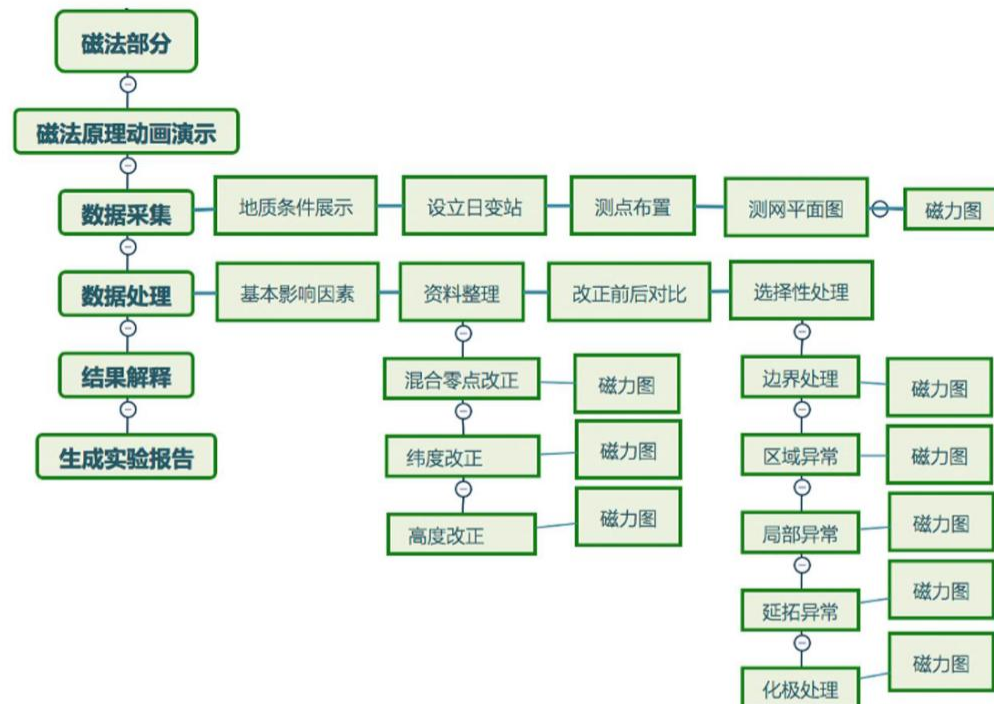
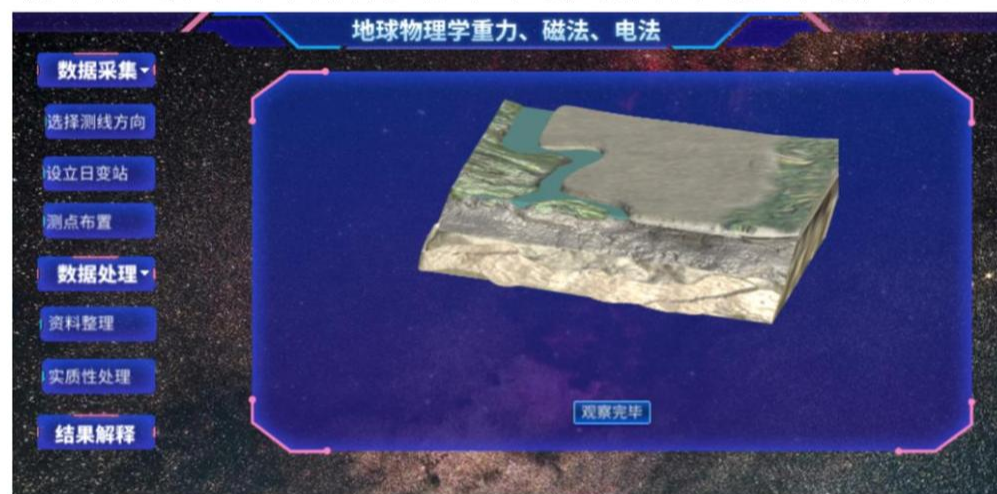
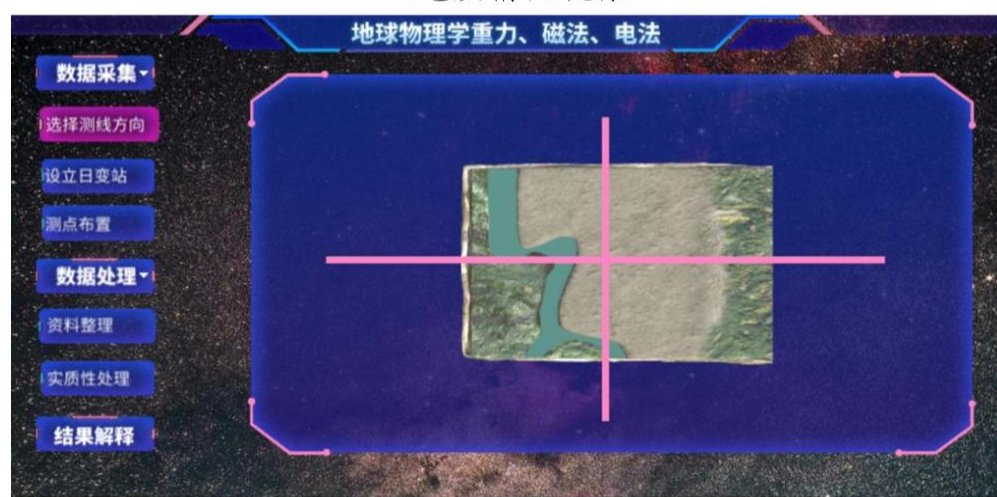


图 3.6.9 磁法实验流程图

交互步骤 7: 磁法数据采集, 包括模型选择, 选择与重力实验同一模型进行实验, 便于同一异常源不同物理场的对比, 确定测线方向选择 (图 3.6.10)



a.地质情况观察



b.确定测线方向

图 3.6.10 磁法数据采集, 确定测线方向

交互步骤 8: 磁法数据采集, 确定日变选择 (图 3.6.11)。

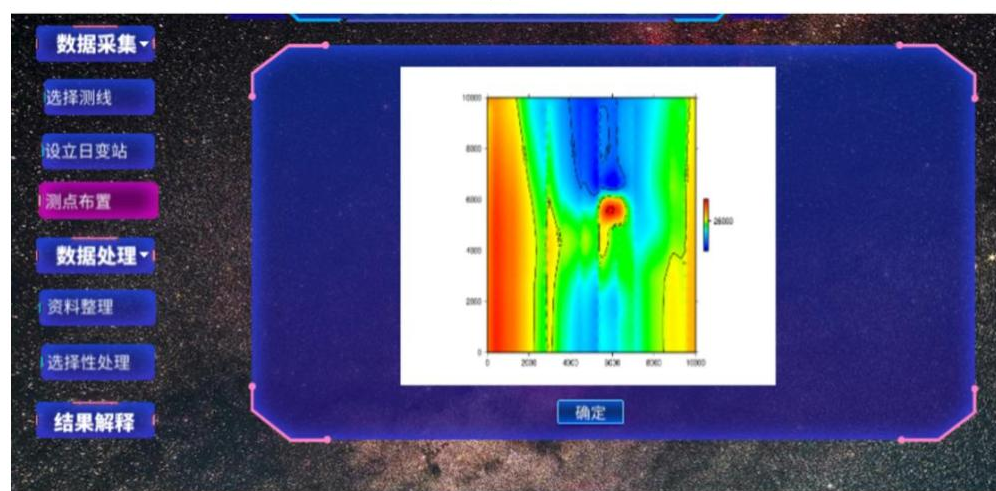


图 3.6.11 磁法数据采集确定日变站

交互步骤 9: 磁法数据采集, 确定线距与点距 (3.6.12)。



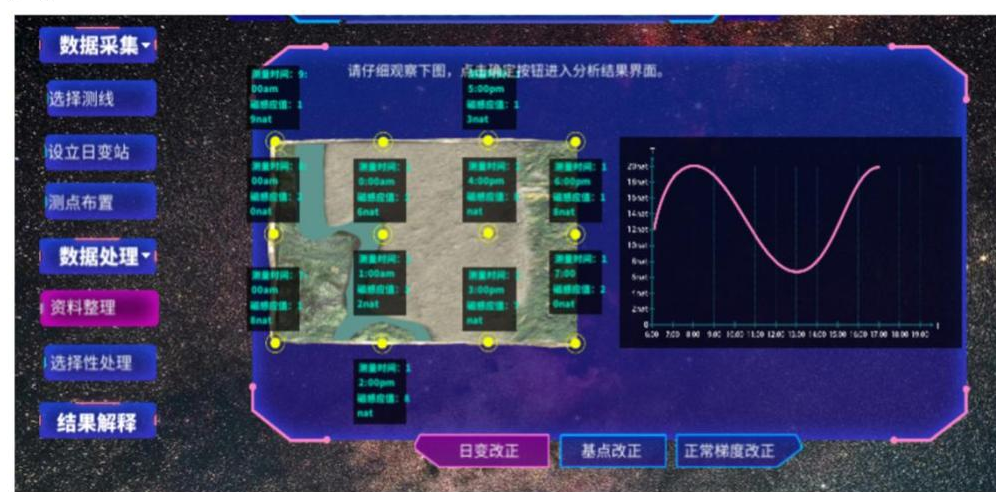
a. 线距与点距确定



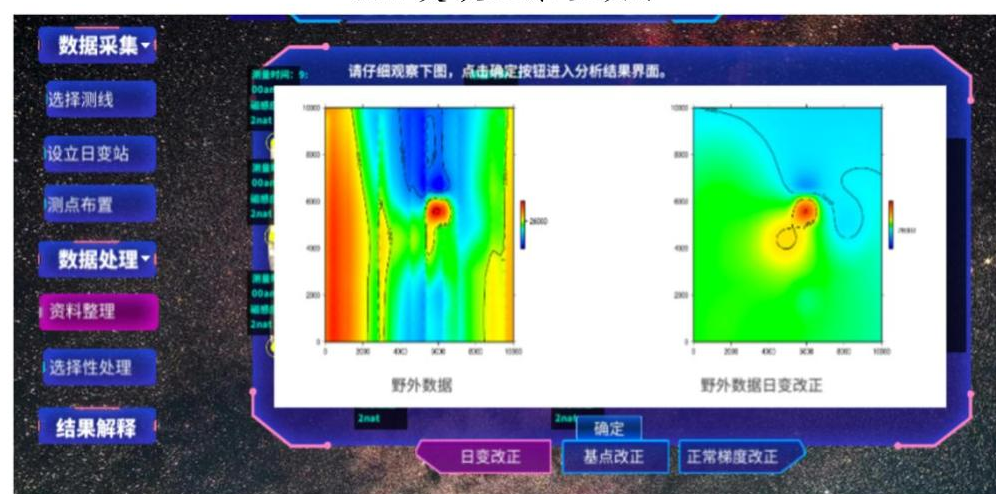
b. 数据采集结果图

图 3.6.12 磁法数据确定线距与点距

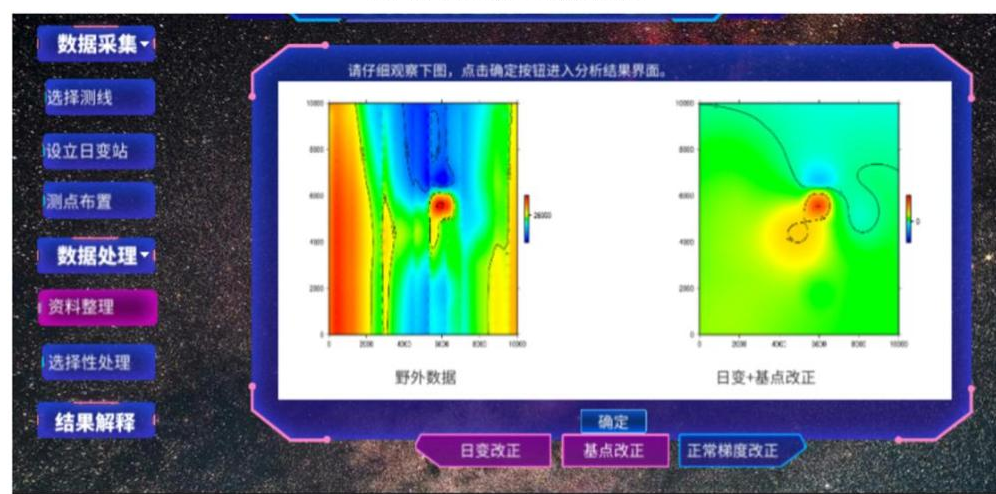
交互步骤 10: 磁法数据整理, 包括日变改正、基点改正和正常梯度改正 (图 3.6.13)。



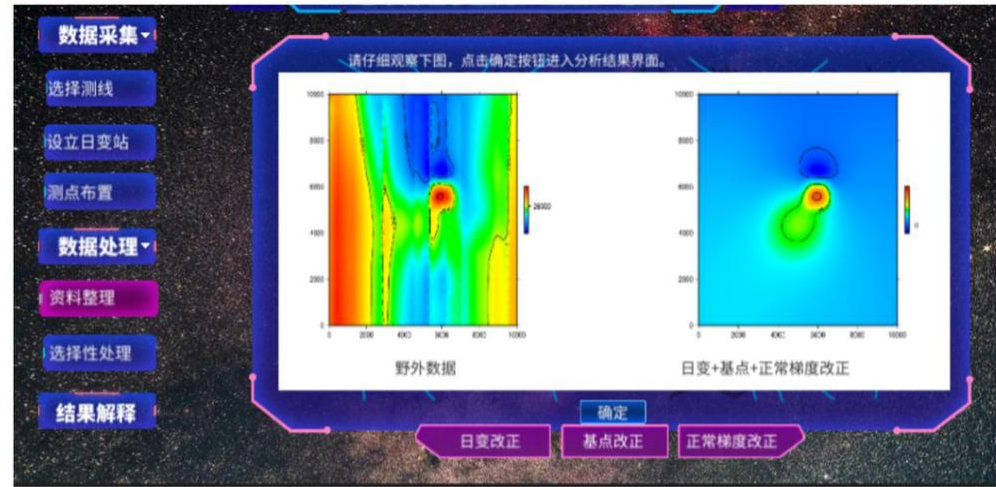
a. 日变改正原理演示



b. 日变改正结果图



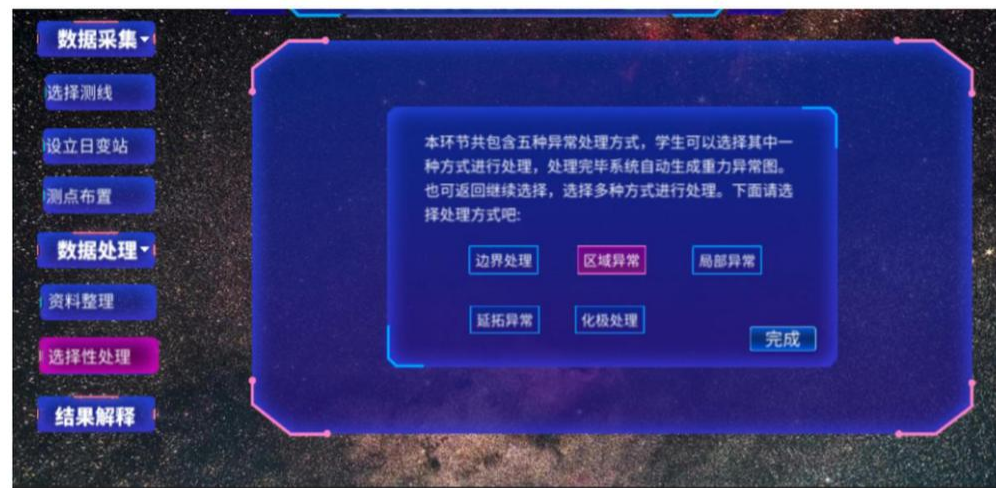
c. 基点改正结果图



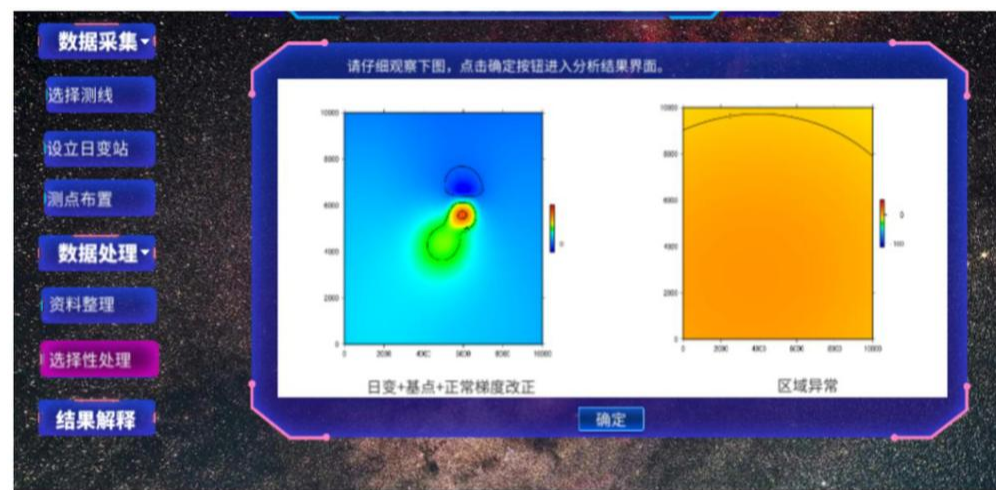
d. 正常梯度改正结果图

图 3.6.13 磁法数据整理

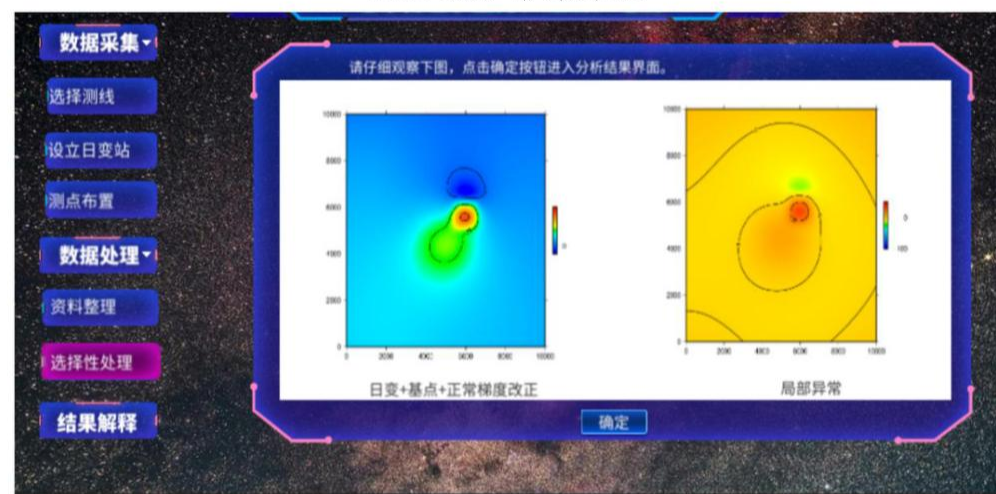
交互步骤 11: 磁法数据处理, 包括化到地磁极 (化极)、边缘检测、延拓、区域场与局域场分离 (图 3.6.14)。



a. 磁法数据处理方法选择



b. 区域异常结果图



c. 局域场异常结果图

图 3.6.14 磁法数据处理图

交互步骤 12: 磁法数据解释 (图 3.6.15), 同样可以通过右侧滑动条观察所有处理过程中的每一步图件, 在下方块内进行解释说明, 充分发挥学生观察力, 体现学生对知识的掌握。

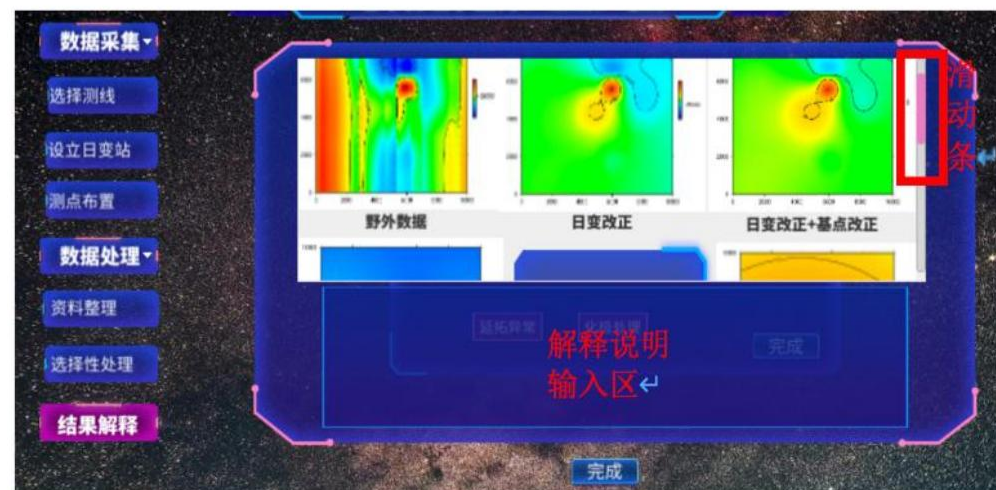


图 3.6.15 磁法数据解释界面图

电法实验流程如图 3.6.16。

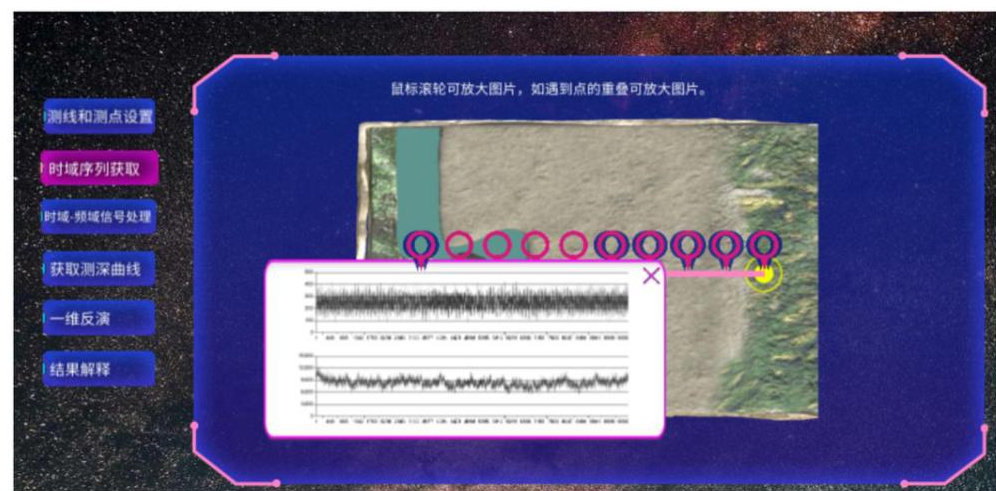


图 3.6.16 电法实验流程图

交互步骤 13: 电法数据采集, 选择同重力、磁法相同的模型, 便于相同模型, 不同地球物理方法的对比, 包括测线起止点选择, 测点数量设定, 获取各测点电场和磁场时间序列 (图 3.6.17)。



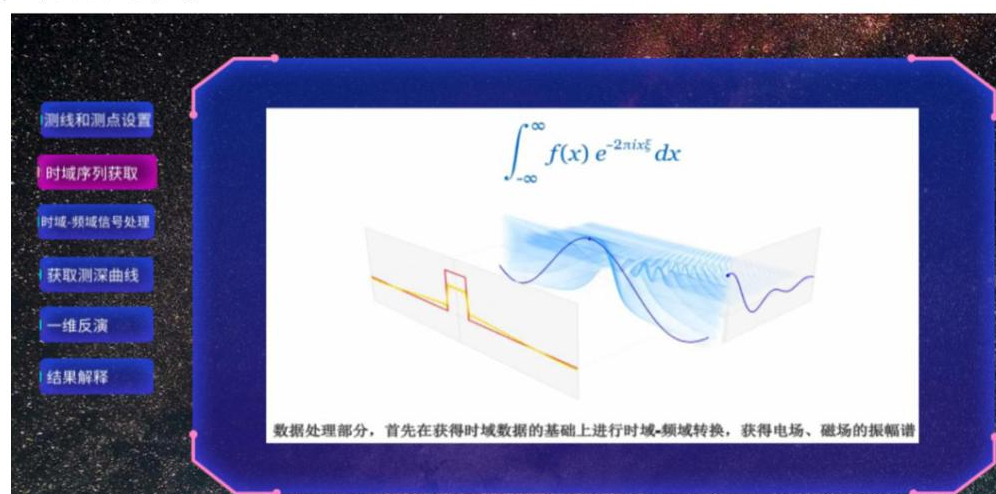
a. 测线起止点与测点数量设定



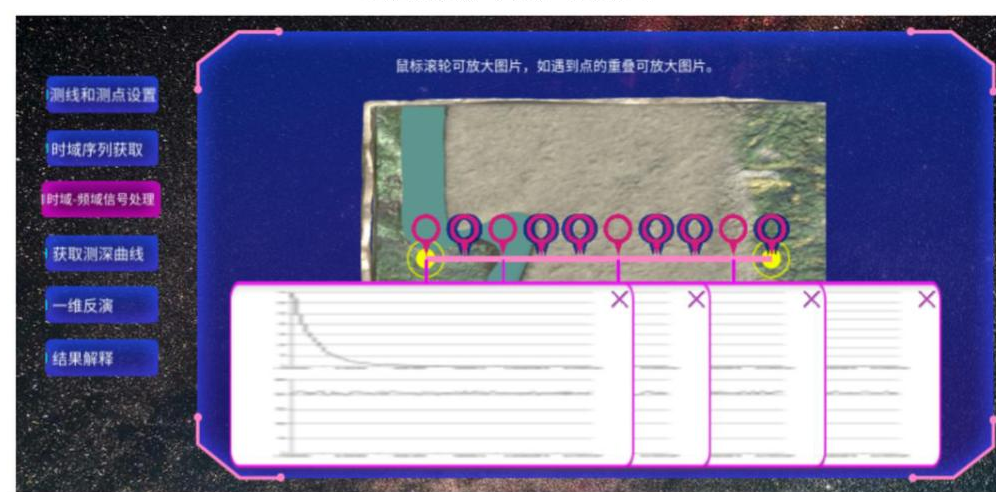
b. 获取各测点磁场与电场时间序列

图 3.6.17 大地电磁数据采集

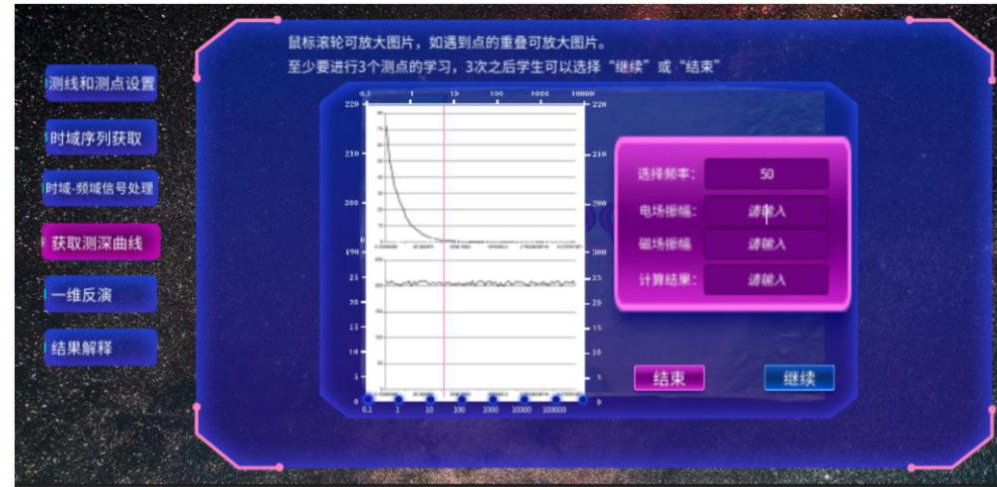
交互步骤 14: 电法测深曲线求取, 包括各点磁法与电法数据频谱分析和电阻率计算 (3.6.18)。



a. 频谱分析原理展示



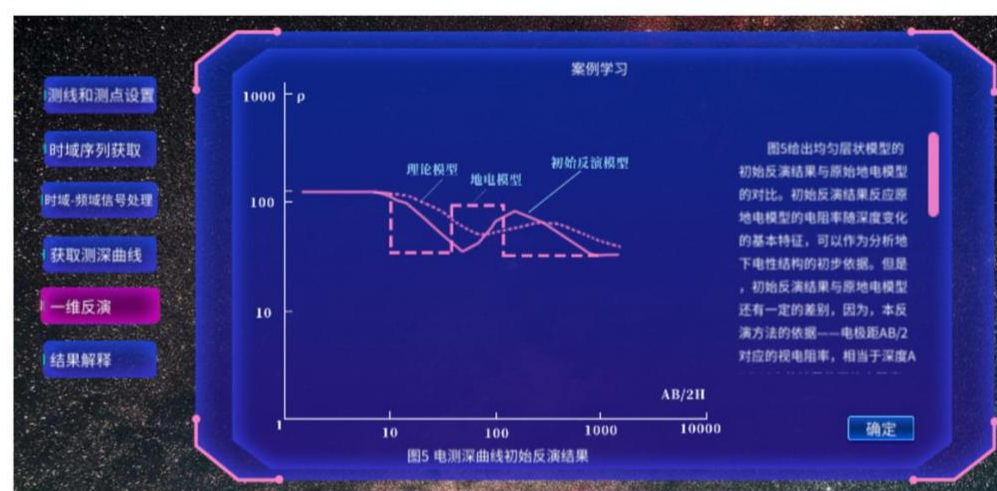
b. 获取各点电场和磁场振幅谱



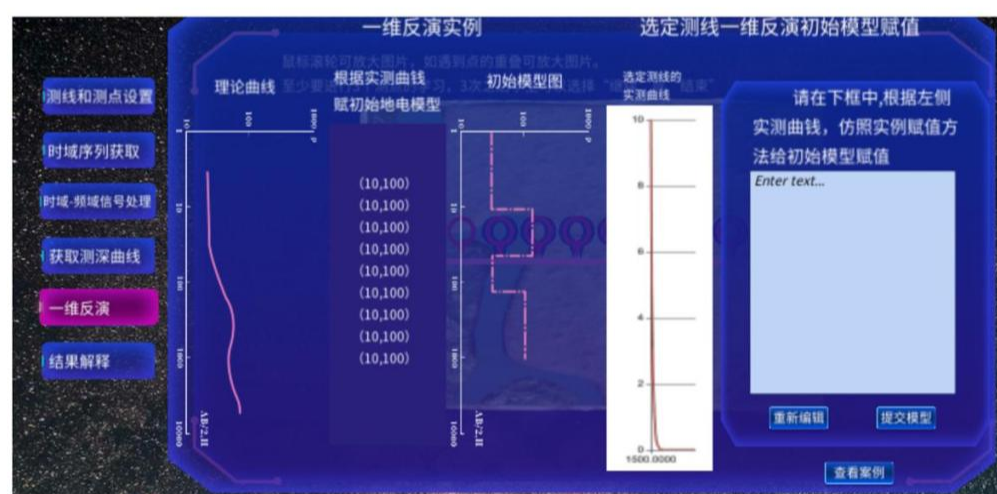
c. 计算获取测深曲线

图 3.6.18 求取电阻率测深曲线

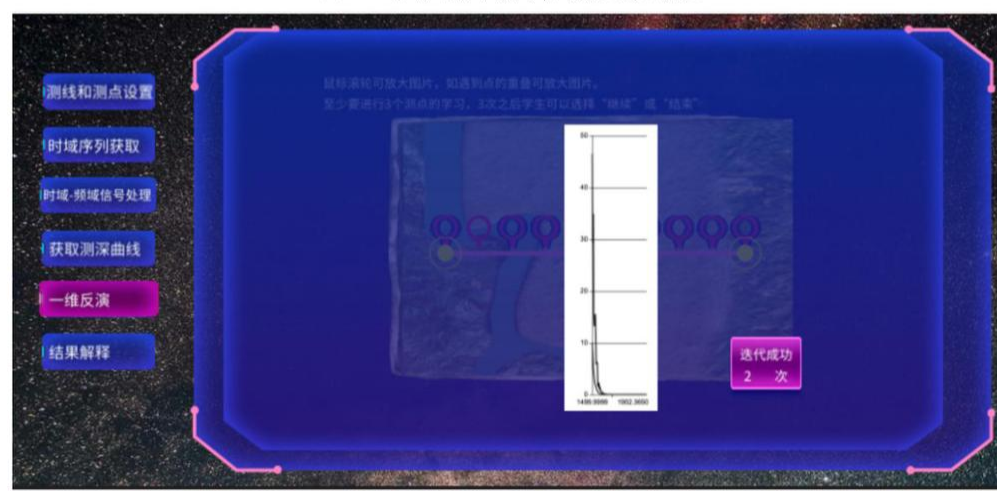
交互步骤 15: 电阻测深曲线一维反演, 包括初模型赋值和迭代反演结果 (图 3.6.19)。



a. 电测线曲线一维反演原理展示



b. 一维反演初始模型赋值



c. 迭代反演计算

图 3.6.19 电测深曲线一维反演

交互步骤 16: 电法资料解释, 同样也可以拖动右侧滑动条进行查看 (图 3.6.20), 下方块内进行解释说明, 充分发挥学生观察力, 体现学生对知识的掌握。

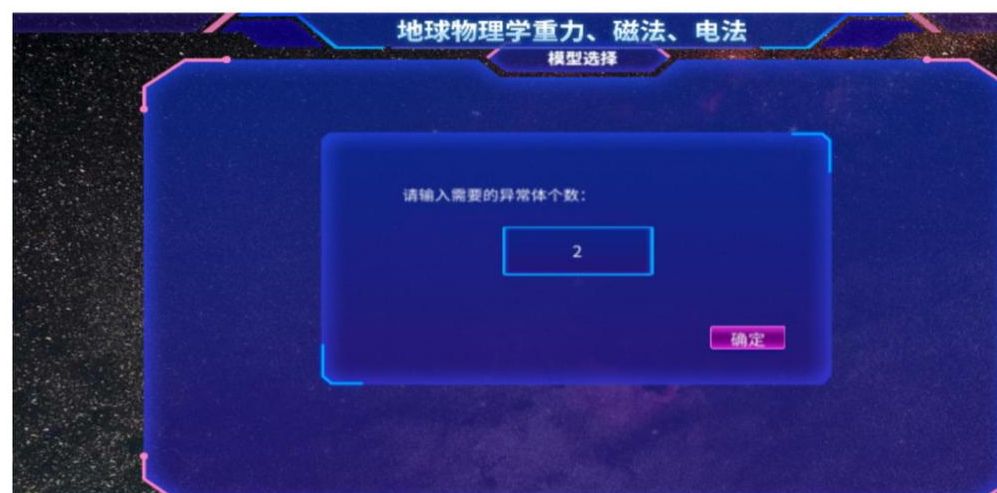


图 3.6.20 电法资料解释图

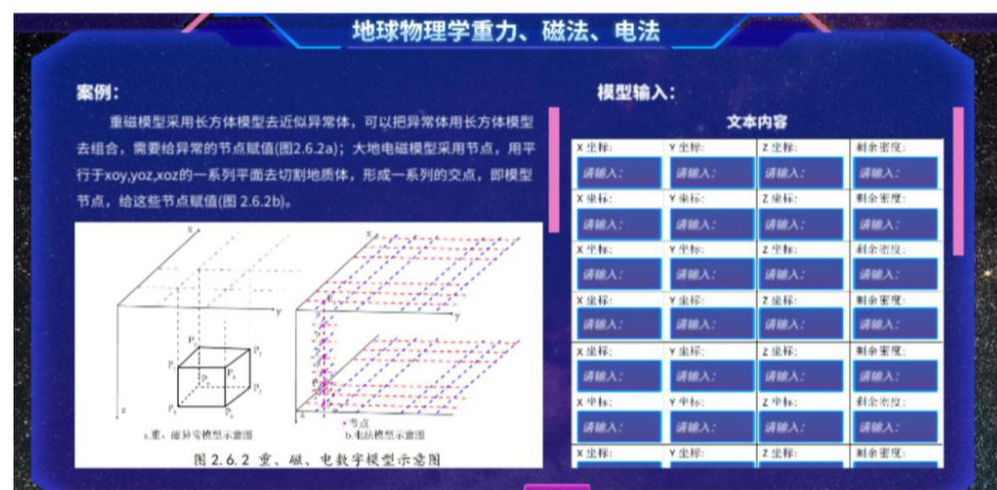
交互步骤 17: 自主设置模型, 在重力、磁法、电法实验部分均有自主设置模型参数, 图 3.6.21 是重力自主设置模型展示, 按文件格式输入数据, 然后就可以进行实验, 这部分内容是学生探索部分, 对学生能力要求较高。



a.选择重力自定义数据模型



b.输入异常体数量



c.按数据格式输入数据

图 3.6.21 自定义模型数据输入

3-7 实验结果与结论（说明在不同的实验条件和操作下可能产生的实验结果与结论）

一、实验预设参数：

1.初始地质模型参数

重磁模型采用长方体模型去近似异常体，可以把异常体用长方体模型去组合，需要给异常的节点赋值（图 3.7.1a）；大地电磁模型采用节点，用平行于 xoy,yoz,xoz 的一系列平面去切割地质体，形成一系列的交点，即模型节点，给这些节点赋值(图 3.7.1b)。

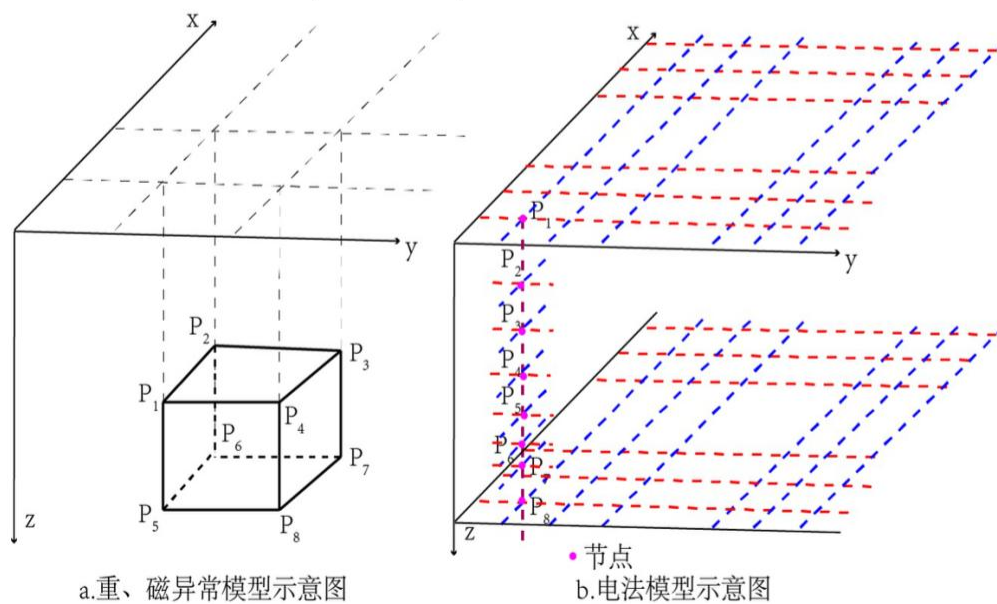


图 3.7.1 重、磁、电数字模型示意图

重力异常体预设参数因不同的地质模型，其长方体近似数量不同，其文件数不同，但格式一致（表 3.7-1）：

表 3.7-1 重力异常体数字化模型预设参数格式

异常体序号	文件内容
1	P1, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 剩余密度
	P2, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 剩余密度
	P3, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 剩余密度

	P4, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 剩余密度
	P5, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 剩余密度
	P6, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 剩余密度
	P7, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 剩余密度
	P8, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 剩余密度
2	...
...	...
n	...
	... 代表省略 8 个节点的文件内容

磁性异常体预设参数和重力预设参数具有相同的特点, 不同地质体其近似数量不同, 但其文件格式一致(表 3.7-2):

表 3.7-2 磁法异常体数字化模型预设参数格式

异常体序号	文件内容
1	P1, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 磁化强度,s, s, s
	P2, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 磁化强度,s, s, s
	P3, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 磁化强度,s, s, s
	P4, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 磁化强度,s, s, s
	P5, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 磁化强度,s, s, s
	P6, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 磁化强度,s, s, s
	P7, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 磁化强度,s, s, s
	P8, X 坐标, y 坐标, z 坐标, 磁化强度,s, s, s
2	...
...	...
n	...
	... 代表省略 8 个节点的文件内容

电性结构预设参数,若平行于 xoy 的面为 k, 平行于 xoz 的面为 n, 平行于 yoz 的面为 m, 则总节点数为总数= $m*n*k$, 数据文件中这些点需要全部给出, 具体格式如表 3.7-3:

表 3.7-3 电磁数字化模型预设参数格式

节点序号	文件内容
1	X_1, Y_1, Z_1 , 电阻率
2	X_1, Y_1, Z_2 , 电阻率
...	...
k	X_1, Y_1, Z_k , 电阻率
k+1	X_1, Y_2, Z_1 , 电阻率
k+2	X_1, Y_2, Z_2 , 电阻率
...	...
$n*k$	X_1, Y_n, Z_k , 电阻率
$n*k+1$	X_2, Y_1, Z_1 , 电阻率
...	...
$m*n*k$	X_m, Y_n, Z_k , 电阻率

2.其他实验过程参数

测线方向、测线线距、测线点距等测量参数, 实验不进行预设, 学生可根据情况进行布设, 可考察学生对知识的掌握程度。

二、实验结果:

因实验过程中除了初始地质模型参数已设置, 其它实验过程中的实验参数均由实验者自主决定, 且实验过程中数据处理方法均由学生自主选择, 因此实验流程和获取的实验结果资料可能不同, 但若是合理的, 均给分, 所以实验记录每步实验结果, 以模型选择、数据采集、数据处理和资料解释的

合理性、目的性和逻辑性评断实验结果，以重力实验进行简单说明。

1.参数不同：重力采集时，线距和点距可能的学生选择的大，有的选择的小，会造成野外重力数据的不同，如图 3.5.8。

2.数据整理，方法选择不同：获取布格异常需要进行混合零点改正、高度改正、正常场改正、地形改正和中间层改正，缺少一个最终结果均不是布格异常，若有同学选择时，有些校正没有选择，都有最终结果，但有的同学的结果就不是布格异常，要进行扣分处理。

3.数据处理，方法选择不同：比如重力实验时，选择孤立异常体模型，数据处理时有边缘检测、延拓、区域场与局域场分离处理，此时只需要选择边缘检测处理确定异常体边缘即可，若有同学选择了区域场与局域场分离，虽然也可以获得图件，但此时异常实际并不存在区域场与局域场，这种方法选择是不合适的，不仅不给分，还会扣分。

三、实验结论：

(1) 实验结果与结论要求：实验报告 心得体会

(2) 描述：

实验报告主要包括两部分：

1.记录学生在实验中提示问题答案、实验操作参数选取和实验处理效果等。具体得分标准如图 3.7.2 所示。

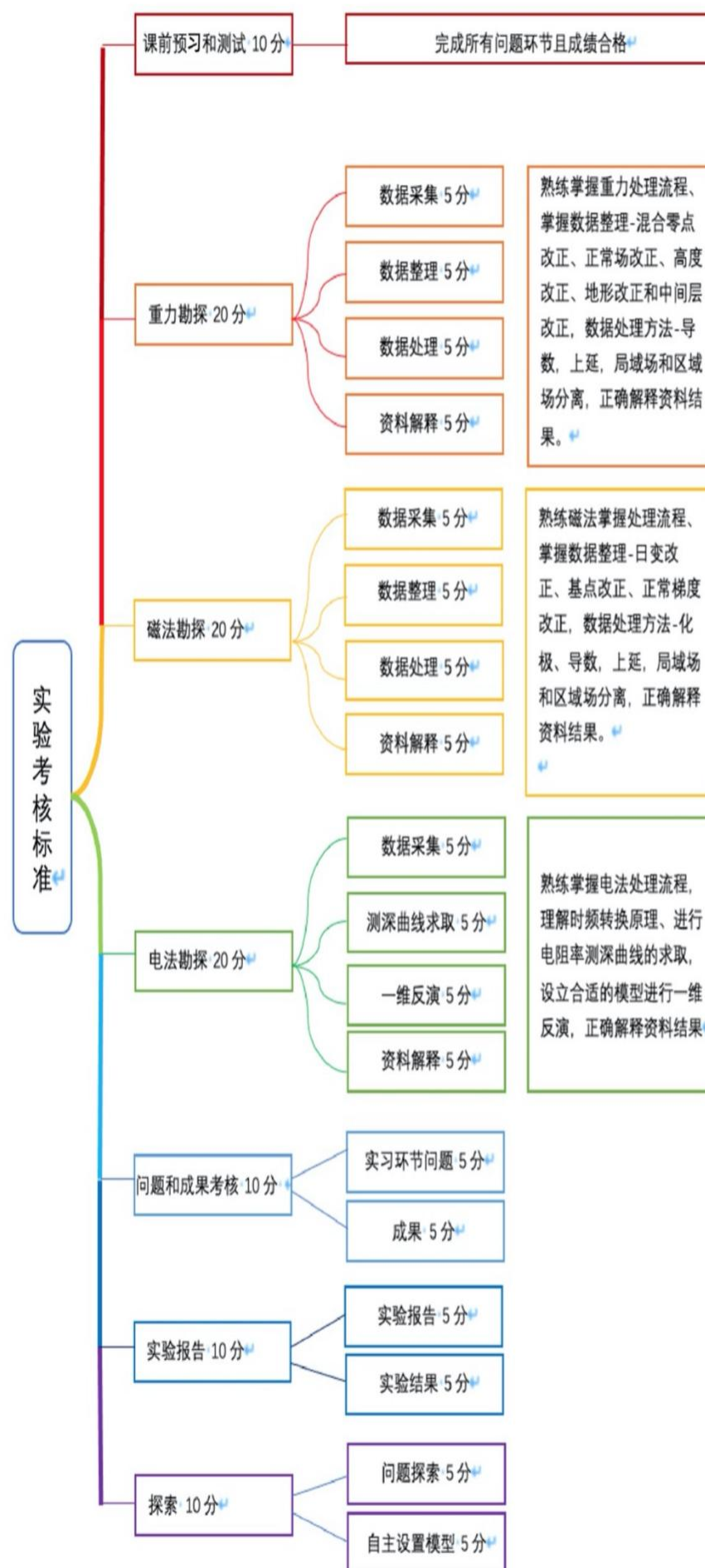


图 3.7.2 实验考核标准

2.学生/学员填写心得体会、整理实验过程、记录思考过程，评分标准见表 3.7-4。

表 3.7.4 心得体会评分标准

评价格次及相应分数	评分标准
优秀 [9,10) 分	学生对职业道德素养和爱岗敬业精神理解透彻，对理论和实践之间的联系认识深刻，能对虚拟仿真项目提出有意义的建议或见解。

良好 [8,9) 分	学生对职业道德素养和爱岗敬业精神有理解，对理论和实践之间的联系有一定认识，能对虚拟仿真项目提出建议或见解。
中等 [7,8) 分	学生对职业道德素养和爱岗敬业有基本理解，对理论和实践之间的联系有基本认识。
及格 [6,7) 分	有价值内容欠缺，语句通顺。
不及格 [0,6) 分	内容空洞，语句不通顺或未提交

实验考核成绩，主要从实验预习、实验操作、实验成果以及线下讨论多方位考察学生是否熟练掌握各操作环节，是否保质保量达到实验目的要求。通过实验预习，储备相关理论知识并进行操作练习；在进行正式线上实验前，需进行实验预约，完成并通过老师的问题考核，且原理要点类题目正确率 60% 以上方可进入实验。实验考核标准如图 3.7.2。

根据以上考核标准对学生在虚拟仿真实验中的整体表现进行量化打分，通过得分情况及成绩分析反映学生对各知识点的掌握程度。如果得分高于 90 分，说明学生基本掌握重、磁、电法勘探的操作原理和流程，并能使用各软件完成符合要求的实验成果；如果得分在 70-89 之间，说明知识点仍存在一定的漏洞，建议学生对照相应课程查漏补缺，再通过反复实验练习，提升知识的掌握程度，达到实验目的；如果得分低于 70 分，说明学生对该重、磁、电勘探方法在理解和使用上均存在较大差距，建议系统学习相关专业课程及软件应用，熟悉各项工作的操作流程、技术要求和实验质量，通过线下巩固和线上练习，提高实验的整体水平。

3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

针对大三年级资源勘查工程、地质学、地质工程专业的地球物理学、地球物理学原理、地球物理学勘探课程

(2) 基本知识和能力要求

大一、大二学生已经学了地球科学概论、构造地质学等地质课程，采用自学进行实验，可以拓宽学习认识；

大三学生已经纳入课堂教学，进行了相关地球物理学理论课程学习，具有专业知识理论体系，可以按教学要求进行相关实验才考核；

大四和研究生学生已具备相关理论知识体系，并且进行了相关专业训练，可进行实验，巩固所学知识，加强专业课程之间的认识和联系，进一步引发专业思考。

社会人士，对于具有地矿、石油、地质勘查等相关行业的专业技术人员，拥有相应的专业工作经验，掌握深厚的专业实践知识，可直接进行实验；对于非专业人士，建议可自学地质学和地球物理学相关专业知识，再进行实验。

3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2020年9月24日（上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校240人，外校70人

(3) 附所属课程教学计划或授课提纲并填写：

纳入教学计划的专业数：3，具体专业：资源勘查工程、地质学基地、地质工程，

教学周期：2，学习人数：240

(4) 是否面向社会提供服务：是 否

(5) 社会开放时间：2020年12月20日

(6) 已服务过的社会学习者人数：35人

4. 实验教学特色

（该虚拟仿真实验教学课程的实验设计、教学方法、评价体系等方面的特色，限800字以内）

虚拟仿真实验以实验设计为基础，以教学方法和评价体系为动力，以学习效果为检验实验的标准，具体概括为“一个基础，两个动力，一个标准”。

一、具有纵向延伸和横向融合的高阶性的实验设计

实验设计的模型参数是分层次的,适应于各个水平层次的学生。实验设计的方法进行了重力勘探、磁法勘探和电法勘探方法的横向融和，融入了正反演新技术与新方法，是虚拟仿真实验后台计算程序，确保了结果的正确性，是实验认知的保障；实验设计的解释进行了地质学、地球物理学和计算机科学的纵向延伸，以地质学作为地球物理学的物性基础和解释依据，以地球物理学作为勘探的指导原则，以计算机科学作为方法实现的纽带，以培养学生解释复杂地质问题的能力为目标。

二、多阶段富有创新性的“自主决策-自主反馈”的教学方法

教学方法采用线下与线上相结合的方法，学生以铁人精神、爱国情怀、工匠精神、科学家精神、生态和环境问题为主题分享行业故事，开展讨论；线上部分以学生为中心，融入了对比分析法、反馈纠错法等多种方法，实验过程学生自主决策—自主反馈，步骤的顺利进行，并不能确保实验结果的正确，需要反馈修正，强化学生知识理解和运用，突出能力的培养。

三、“逐步考核和整体考量相结合”的具有挑战度的评价体系

评价体系遵循逐步操作考量法和全局操作考量法，逐层操作考量法是指逐步记录考核，全局操作考量法是指在逐步考核法的基础，注重全局合理性，适度增减分数，评价体系对学生提出更高专业要求，不仅要考虑分步的正确性，而且要考量整体的严谨性，突出学生知识体系融合和逻辑思维能力培养。

综上所述，在拥有高阶性的实验设计，富有创新性的教学方法，具有挑战度的评价体系保障下，实验激发了学生的学习兴趣，达到解决复杂地质问题能力培养的要求。

5. 实验教学在线支持与服务

(1) 教学指导资源：教学指导书 教学视频 电子教材 课程教案

(申报系统上传) 课件(演示文稿) 其他

(2) 实验指导资源：实验指导书 操作视频 知识点课件库 习题库

(申报系统上传) 测试卷 考试系统 其他

(3) 在线教学支持方式：热线电话 实验系统即时通讯工具 论坛

支持与服务群 其他

(4) 3名提供在线教学服务的团队成员；2名提供在线技术支持的技术人

员；教学团队保证工作日期间提供 4 小时/日的在线服务

6. 实验教学相关网络及安全要求描述

6-1 网络条件要求

(1) 说明客户端到服务器的带宽要求 (需提供测试带宽服务)

5Mbps 及以上

(2) 说明能够支持的同时在线人数 (需提供在线排队提示服务)

200

6-2 用户操作系统要求 (如 Windows、Unix、IOS、Android 等)

(1) 计算机操作系统和版本要求

Windows 7 及以上, 系统类型为 64 位。

Mac OS 10 及以上。

Linux 桌面版并且浏览器支持 Web GL。

IOS 部分功能支持。

Android 部分功能支持。

(2) 其他计算终端操作系统和版本要求

无

(3) 支持移动端: 是 否

6-3 用户非操作系统软件配置要求 (兼容至少 2 种及以上主流浏览器)

(1) 非操作系统软件要求 (支持 2 种及以上主流浏览器)

谷歌浏览器 IE 浏览器 360 浏览器 火狐浏览器 其他

(2) 需要特定插件 是 否

如勾选“是”, 请填写:

插件名称: (插件全称)

插件容量: M

下载链接:

(3) 其他计算终端非操作系统软件配置要求 (需说明是否可提供相关软件下载服务)

无

6-4 用户硬件配置要求 (如主频、内存、显存、存储容量等)

(1) 计算机硬件配置要求

操作系统: 64 位, CPU 主频 2.40GHz, 内存容量: 8GB, 磁盘容量: 128 GB, 显存 2 GB。

(2) 其他计算终端硬件配置要求

无

6-5 用户特殊外置硬件要求 (如可穿戴设备等)

(1) 计算机特殊外置硬件要求

无

(2) 其他计算终端特殊外置硬件要求: 无 有

如勾选“有”, 请填写其他计算终端特殊外置硬件要求:

6-6 网络安全 (实验系统要求完成国家信息安全等级二级认证)

(1) 证书编号:

11010243893-21001

(2) 请附信息系统安全等级保护备案证明

7. 实验教学技术架构及主要研发技术

指标		内容
系统架构图及简要说明		<p>实验平台基于 B/S 架构开发,用户使用浏览器打开实验。服务器端使用 java 语言开发,使用 spring boot 相关框架。数据存储使用 mysql 数据库。</p> <p>实验教学使用三维建模,三维动画, unity 编程开发。实验可以编译为 web GL 版和本地 EXE 版。</p>
实验教学	开发技术	<input checked="" type="checkbox"/> VR <input type="checkbox"/> AR <input type="checkbox"/> MR <input checked="" type="checkbox"/> 3D 仿真 <input type="checkbox"/> 二维动画 <input checked="" type="checkbox"/> HTML5 <input type="checkbox"/> 其他
	开发工具	<input checked="" type="checkbox"/> Unity3D <input checked="" type="checkbox"/> 3D Studio Max <input checked="" type="checkbox"/> Maya <input checked="" type="checkbox"/> ZBrush <input type="checkbox"/> SketchUp <input type="checkbox"/> AdobeFlash <input type="checkbox"/> UnrealDevelopment Kit <input checked="" type="checkbox"/> Animate CC <input type="checkbox"/> Blender <input checked="" type="checkbox"/> Visual Studio <input type="checkbox"/> 其他
	运行环境	<p>服务器</p> <p>CPU 8 核、内存 16 GB、磁盘 500 GB、显存 4 GB、GPU 型号 NVIDIA Quadro P1000</p> <p>操作系统</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>Windows Server <input type="checkbox"/>Linux <input type="checkbox"/>其他 具体版本: 2019</p> <p>数据库</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>Mysql <input type="checkbox"/>SQL Server <input type="checkbox"/>Oracle <input type="checkbox"/>其他</p> <p>备注说明 (需要其他硬件设备或服务器数量多于 1 台时请说明) 需要其他硬件设备或服务器数量多于 1 台时请说明</p> <p>是否支持云渲染: <input type="radio"/>是 <input checked="" type="radio"/>否</p>

实验品质（如：单场景模型总面数、贴图分辨率、每帧渲染次数、动作反馈时间、显示刷新率、分辨率等）	单场景模型面数：15 万到 30 万个； 贴图分辨率：1024px * 1024px； 每帧渲染次数：不少于 30calls； 动作反馈时间：不大于 30ms； 显示刷新率：60FPS； 分辨率：1920ppi * 1090ppi 其他：
---	---

8. 实验教学课程持续建设服务计划

（本实验教学课程今后 5 年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数）

（1）课程持续建设

日期	描述
第一年	对实验模型和相关算法进行优化升级, 扩展新实验场景, 以实现更复杂地质情况的虚拟仿真。
第二年	进行云环境建设, 增加新实验模块功能;
第三年	持续把重、磁、电新的勘探研究新技术与新方法融入虚拟仿真实验, 以科研反哺教学。
第四年	进行重、磁、电虚拟仿真平台的移动客户端开发, 使虚拟仿真应用平台得到扩展, 使学生更方便进行实验。
第五年	升级、扩展重、磁, 电虚拟仿真移动客户端功能模块。

其他描述:

依托地质学国家级实验教学示范中心, 陕西省地质学虚拟仿真实验教学中心平台, 一流学科, 一流专业, 国际工科教育认证建设相关经费, 持续完善虚拟仿真实验建设。

（2）面向高校、社会的教学推广应用计划

日期	推广高校数	应用人数	推广行业数	应用人数
第一年	1	100	1	150
第二年	2	200	1	200
第三年	4	400	2	300
第四年	6	700	3	400
第五年	8	1000	3	500

其他描述:

虚拟仿真实验将在拥有地质学、资源勘查工程、地球物理学等专业院校进行推广, 并同时在地矿、石油、物探行业进行推广与应用。

1. 每年举办虚拟仿真实验教学培训, 请各高校使用本实验教学项目的教师、学生参与培训交流, 更好地促进项目的使用和交流。
2. 每年不定期举办论坛、讲座, 使项目能够被更多高校和行业了解。
3. 每年利用校博物馆对参观人员进行虚拟仿真材料发放, 扩大虚拟仿真实验的社会了解和影响, 进行科普宣传。
4. 建立微信、QQ 群和公众号, 与其他高校师生和社会学员之间的进行交流, 提供虚拟仿真实验教学项目介绍和其它教学服务。

9. 知识产权

软件著作权登记情况	
以下填写内容须与软件著作权登记一致	
软件名称	地球物理学重力.磁法.电法综合虚拟仿真实验软件 V1.0
是否与课程名称一致	<input checked="" type="radio"/> 是 <input type="radio"/> 否

每栏只填写一个著作权人，并勾选该著作权人类型。如勾选“其他”需填写具体内容；如存在多个著作权人，可自行增加著作人填写栏进行填报。

著作权人	著作权人类型
西北大学	<input checked="" type="radio"/> 课程所属学校 <input type="radio"/> 企业 <input type="radio"/> 课程负责人 <input type="radio"/> 学校团队成员 <input type="radio"/> 企业人员 <input type="radio"/> 其他
权利范围	全部权利
软件著作登记号	2020SR1663674
如软件著作权正在申请过程中，尚未获得证书，请填写受理流水号。	
受理流水号	

10.诚信承诺

本团队承诺：申报课程的实验教学设计具有一定的原创性，课程所属学校对本实验课程内容（包括但不限于实验软件、操作系统、教学视频、教学课件、辅助参考资料、实验操作手册、实验案例、测验试题、实验报告、答疑、网页宣传图片文字等组成本实验课程的一切资源）享有著作权，保证所申报的课程或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。

实验教学课程负责人（签字）：
年 月 日

11.附件材料清单

1.课程团队成员和课程内容政治审查意见（必须提供）
（申报课程高校党委负责对本校课程团队成员以及申报课程的内容进行政审，出具政审意见并加盖党委印章；团队成员涉及多校时，各校党委分别对本校人员出具意见；非高校成员由其所在单位党组织出具意见。团队成员政审意见内容包括政治表现、是否存在违法违纪记录、师德师风、学术不端、五年内是否出现过重大教学事故等问题；课程内容审查包括价值取向是否正确，对于我国政治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述是否准确无误，对于国家主权、领土表述及标注是否准确，等等。）

2.课程内容学术性评价意见（必须提供）
[由学校学术性组织（校教指委或学术委员会等），或相关部门组织的相应学科专业领域专家（不少于3名）组成的学术审查小组，经一定程序评价后出具。须由学术性组织盖章或学术审查小组全部专家签字。无统一格式要求。]

3.校外评价意见（可选提供）
（评价意见作为课程有关学术水平、课程质量、应用效果等某一方面的佐证性材料或补充材料，可由课程应用高校或社会应用机构等出具。评价意见须经相关单位盖章，以1份为宜，不得超过2份。无统一格式要求。）