

# 浅析实物地质资料取样的技术要求

张广玉, 邓 晃, 郭跃梅, 张明翠, 李朝晖  
(国土资源实物地质资料中心, 河北 三河 065201)

**摘 要:** 随着国家实物地质资料馆取样任务地不断增加, 现有取样方式很难满足服务需求, 因此, 建立一整套取样规定就显得十分必要。实物地质资料取样工作, 从技术方面来讲包括确定取样量、取样位置、取样方式, 遵循取样的一般原则, 符合要求的取样场地设施、取样设备、取样人员等方面的内容。本文在归纳、总结国内外相关行业取样方法的基础上, 结合当前取样工作实践, 较为详细的总结出实物地质资料取样技术要求。通过这次研究, 完善了实际取样工作的技术指标, 提高了取样工作的服务水平, 解决了标本保护与取样服务之间的矛盾, 并使之成为实物资料取样规定的重要组成部分。

**关键词:** 实物地质资料; 取样量; 取样方法; 技术要求

**中图分类号:** P621 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4051(2017)S2-0395-06

## A brief analysis of the technical requirements of physical geological materials sampling

ZHANG Guangyu, DENG Huang, GUO Yuemei, ZHANG Mingcui, LI Chaohui  
(The Cores and Samples Center, China Geological Survey, Sanhe 065201, China)

**Abstract:** With the continuous increase of sampling tasks in the geological cores and samples library, existing sampling methods are difficult to meet the service requirements. Therefore, it is necessary to establish a complete set of sampling rules. In terms of technology, the sampling of physical geological materials includes: to determine sample size, sampling location and sampling method; to follow the general principles of sampling; to meet the requirements of sampling facilities, sampling equipment, sampling personnel, etc. On the basis of summarizing and analyzing the sampling methods of relevant industries at home and abroad, combined with the current sampling practice, the paper summarizes the requirements of sampling technology of physical geological materials in detail. Through this research, the technical index of the actual sampling work was improved, and the service level of the sampling was improved, and the contradiction between the specimen protection and sampling service was solved. And make it an important part of the sampling rules of physical geological materials.

**Keywords:** physical geological materials; sampling quantities; sampling methods; technical requirements

取样要求一般包括样品的取样范围、样品数量和重量、矿物品位等, 一般由地质勘查部门根据矿床地质特征及评价要求来确定<sup>[1]</sup>。取样的关键之一是保证样品具有代表性, 也就是取样误差符合规定的要求<sup>[2]</sup>。实物地质资料取样是我中心重要的对外服务项目, 整个过程牵扯到许多部门之间的合作与协调。因此, 建立一套切实可行的规范、制度也是当务

之急。为提高实物地质资料合理利用水平, 避免无章可循、各行其是、重复取样测试给珍贵的实物地质资料造成浪费和缺失<sup>[3]</sup>, 提出实物地质资料取样技术要求, 其主要内容包括取样方法、取样的一般原则、取样场地设施、取样设备、取样人员等方面。

实物地质资料的稀缺性决定了取样量必须加以限制, 标本中标志性矿物、关键层位与采样时的标记同样限制了取样位置; 样品的分析测试方法, 决定了所取样品的规格, 这也就限制了取样方式, 同时样品的属性也对取样方式有一定的要求; 选择好了取样方式, 就需要有相应的取样设备; 使用什么样的取样设备, 就要有与之相配套取样厂房环境。本文将上述限制、要求加以明确和梳理, 通过调研胜利油田岩

收稿日期: 2017-08-28 责任编辑: 刘硕

基金项目: 中国地质调查局项目“全国实物地质资料汇聚整理与服务”资助(编号: 121201013000150002)

第一作者简介: 张广玉, 工学学士, 工程师, 研究方向为实验测试、实物地质资料取样研究, E-mail: yu\_q10172@sina.com。

芯库,了解实物资料的取样流程,阅读研究《岩芯观察管理办法》等技术和文件,参观了解厂地建设与取样设备;召开专家咨询研讨会,探讨了国内外实物资料取样的相关规定,倾听了专家对为中心取样工作的意见、建议;查阅研究了取样的相关资料,如《多目标区域地球化学调查规定》、《地质矿产采样要求与方法》等;参与“松科2井”等取样工作实践,总结出实物地质资料取样的一般要求、取样量、取样方式及取样位置等相关技术元素,探讨了实物地质资料取样的相关要求,为建立一整套取样规定提供了技术支持,并使之成为取样规定的重要组成部分。

### 1 实物地质资料取样分析

1) 实物地质资料样品分类。实物地质资料以存在的形态分类,可以分为固体、液体及气体实物地质资料。国家实物地质资料馆主要收藏是固体标本,因此,以下讨论的均为固体样品。①样品按标本用途可分为地质科研、地质勘探等用途的岩芯样品;以勘查采矿为目的的分析测试样品;大标本、手标本、珍惜标本等(科研、教学、陈列等用途的)样品。②样品按取样申请评估要素可分为岩芯、岩石标本样品;资料等级要素可分为Ⅰ类、Ⅱ类等实物地质资料样品;样品量等级要素可分为大样品、小样品等。

③样品按取样分析项目可分为地质年代样品、古地磁样品、化石样品、光薄片样品等特定位置的取样样品;化学分析、矿物分析等有代表性要求的取样样品。

2) 实物资料取样现状及问题。目前,大部分国外实物地质资料的收集是“捐献制”,并开放实物资料的研究。国外实物地质资料取样也是在逐渐发展阶段,对取样量、取样位置、取样方式的要求没有一个统一的规范,基本上按取样人研究要求而定。综合各国对岩芯取样规定来看,基本上采取的是最大量否定原则,即在某种条件下,不可超过的最大取样量。如“国外实物地质资料取样测试服务”研究报告所述。卡尔加里岩芯库,从岩芯库岩芯样品上采取部分样品的条件,取决于岩芯状况及所申请的化学分析要求,所允许的最多可采取的数量:每一英尺岩芯最多可取1立方英寸的岩芯样品,也就是说每30 cm长的岩芯最多可取 $16\text{ cm}^3$ ( $\approx 2.54^3\text{ cm}^3$ )岩芯,而且不得切穿任何一段岩芯。每个样品间断,最多可采取20 g。国家馆实物地质资料的取样工作,基本上按用户的需要协商取样技术要求。如:松科2井首次单样取样量,见表1;取样数量、取样位置、取样方式由各组专家协商决定。

表1 松科2井首次单样取样量要求

分析项目	叶肢介	孢粉	火山灰年代学	古地磁	古生物介形学	岩屑地球化学	泥岩非常规油气	磁化率分析	岩性剖面火山岩岩石学
预计取样量/g	10	400	10	2 000	580	100	300	12 000	60

现有取样工作也存在一些问题。①实物地质资料取样没有一个量化的技术指标,对取样量、取样位置没有明确的规定。实物资料的取样量比较含糊,取样量基本上按取样人的要求取样,没有技术规范可以提供参考标准。②由于实物资料取样没有现行的规范,给取样监督人员带来很大困扰,使得取样服务工作很难达到保护实物资料稀缺资源的目的。③目前,国家馆取样设备出现短缺,尤其是干切、干钻设备。没有适合的厂地和相应的除尘设备。取样厂房设计布局不合理,不能适应规模较大的取样工作。

### 2 取样技术要求

经过实地调研、咨询专家、查阅研究取样相关资料并结合取样实践,总结出实物地质资料的取样技术要求,其主要内容包括:取样方法、取样的一般原则、取样场地设施、取样设备、取样人员等方面。

#### 2.1 取样方法

取样方法主要包括:取样方式、取样位置、取样

量等。第一,测试分析使用的样品规格、使用量、均匀性要求等决定了实物地质资料的取样方式和要求。较好的取样方式,可以在同等取样量时,取样过程对样品的损坏较小。第二,在取样位置方面,由于绝大部分实物地质资料是典型矿床,关键层位、标志性矿物等关键部分是各种科研的重点,需求量相对较大,因此,必须对取样位置加以限制。第三,在取样量方面,由于实物地质资料资源稀缺,取样时,在满足使用人分析测试需求的条件下取样量最小,对实物地质资料的破坏性最小。第四,保证取样有较大的代表性,研究实物资料的矿物成分、元素的定量分析才有意义<sup>[4]</sup>。

#### 2.1.1 取样方式

由于实物地质资料测试需求及存在形态的不同,取样的方式可以分为:捡块法、地质锤选块法、切取法、钻取法等。

1) 捡块法一般用于碎屑状岩芯、标本,捡块法

同样遵守取样的一般原则, 捡取块状样品的一半并插入取样标签。

2) 地质锤选块法一般应用于有小块形状的岩芯、标本取样, 同时取样量比较小, 样品规格没有特定的几何形状要求。取块状样品时, 不可超过原有样品的一半, 并插入取样标签。

3) 切取法一般适用于较大形状的岩芯、标本的取样, 同时取样量稍大, 样品有特定的几何形状要求。切取法又包括干取法和湿取法。

4) 钻取法一般适用于柱状岩芯及大块岩石标本, 钻头内径一般在 25~30 mm, 钻取法同样包括干取法和湿取法, 钻取法的优点是取样量大、破坏性相对较小。

## 2.1.2 取样位置

大部分研究项目的取样位置和岩芯(标本)的岩性、层位有关, 因此, 在不违反取样一般原则的前提下, 取样位置要与样品使用人员(申请人)共同商议确定取样位置。化学分析取样位置参考“无损测试技术在实物地质资料预研究中的应用”实验结论。

## 2.1.3 取样量

1) 根据“分析项目采样要求表”及“分析方法样品规格、使用量表”, 见表 2 和表 3<sup>[6]</sup>, 结合样品特殊属性(关键层位、标志性矿物等)、取样位置、取样方式, 决定样品取样量, 分析项目的取样量必须小于表 2 规定的量, 为了取样代表性的考虑, 取样量必须大于表 3 规定的量。

表 2 分析项目采样要求表

测试项目或测试方法	送检测试规格、最小量	取样位置
岩石薄片	测定透明矿物, 直径 2.5 cm×2.5 cm; 粗大晶体矿物 5 cm×5 cm	有地层、岩性变化时取样。
岩石光片	测不透明矿物, 直径 2 cm×3 cm	有地层、岩性变化时取样。
微体化石	取几个 10 cm <sup>3</sup> 的沉积物, 聚合成一个样品。花粉、孢子鉴定样要求重量较小, 一般为 200 g	有微体化石层时取样。
古地磁	垂直于地心(岩芯)直径 2.5 cm, 高 2.5 cm 或切取 3 cm×3 cm×3 cm	4 个/m(松科 2 井岩芯)
电子探针 X-射线显微分析激光光谱分析样	光片、薄片、手标本都可进行分析。试样座的内径一般直径为 10 mm	
岩矿全分析、岩石微量元素分析、化学全分析等	制作有代表性的样品, 过筛 40~60 目 100 g, (金、汞、铂大于 200 g)	按申请批复取样范围和数量样。
光谱分析	制备后 100 g, 实际使用 10 g	
测年 K-Ar(钾-氩法)年龄样	按推测年龄(从太古代-新生代), 单矿物样重从 5 g 至 100 g 不等, 粒径>0.25 mm; 全样 250 g; 粒径 0.3~1 mm	有地层年龄变化时取样, 取样视测年方法“尺度”而定。
中子活化法( <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar)	辉石、角闪石、斜长石、石榴石、绿帘石取样质量 2 g; 云母、钾长石取样质量 0.5 g; 黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、辉钼矿取样质量 5 g	
Rb-Sr(铷-锶)法	单矿物样重 6 g, 纯度 98%; 全岩样 20 g, 200 目	
Sm-Nd(钐-钕法)	全样 50 g, 200 目	
C <sup>14</sup> (碳法)年龄样	样品重量 0.5 g	
U-TH-Pb(铀-钍-铅)年龄样、硫同位素样、铅同位素法	样品重 1~2 g, 纯度>98%, 粒度 0.2~0.4 mm; 火成岩全样 10 kg 选取单矿物	

数据来源: 文献[7-11]。

表 3 中的参数全部引用《岩石矿物分析》一书, 样品规格为仪器实际测试使用规格, 样品使用量为仪器实际测试 1~2 次的使用量。

2) 根据分析测试行业的技术规范、在研项目组提供的技术规范确定取样量。规范的内容主要包括: 本次采样的分析项目、采样密度、单个取样量、总取样量、取样点的选择方式等与取样相关的

技术规范<sup>[5]</sup>。

3) 岩芯取样量的限制, I 类实物资料少于原样品的三分之一、II 类实物资料少于原样的四分之一, 不予取样。直径大于 3.8 cm 的岩芯圆柱样品和规格大于 3 cm×3 cm×3 cm 或重量大于 100 g 的不规则岩芯样品规定为大样品, 小于上述规格的规定为小样品, 小样品不得分取。

表3 分析方法样品规格、使用量表

仪器、方法	检测范围	样品规格	样品使用量/g
等离子体原子发射光谱	原则上除惰性气体外,自然界存在的元素	160目	<1
原子荧光光谱	砷、锑、铋、汞、硒、锆等元素	160目	<1
分子荧光光谱	60余种无兀元素;芳香烃化合物具有共轭不饱和结构,多环芳烃的定性、定量	160目	<1
原子吸收光谱	碱金属、碱土金属、有色金属、贵金属、部分稀散元素等30余种	160目	<1
紫外可见光谱	44种无机元素、稀土总量、脱色力、脱色率;水样中:氨氮、硫化物、硝酸盐、亚硝酸盐、硫酸盐、氰化物、酚类、合成洗涤剂、氟化物、溴化物、碘化物等	160目	<1
激光拉曼光谱	气相:氮气、二氧化碳、一氧化碳、氧气、二氧化硫、硫化氢、甲烷、乙烷、丁烷、乙烯、丙烯、丁二烯、乙炔、苯、氢气、氯气、氟气、氨气、氯化氢、氟化氢;液相:氢氧根、硫酸根、硫氢酸根、碳酸根、碳酸氢根、硝酸根;固态:矿石结构分析	微区矿物、薄片等	
红外光谱	有机基团、矿物鉴定、宝石鉴定	单一组分的物质 纯度98%	1~2
X射线荧光光谱	Na~Nb范围内的元素(有些可定量,有些半定量)	160目压片 原样	5~10 >2 cm×2 cm
中子活化分析	80多种元素	200目	<1
X射线衍射	物相鉴定、物相分析	200目;硬质< 10 mm×10 mm× 10 mm	0.2~0.3 厚<5 mm
电子探针显微分析仪	各种材料的成分、结构解析、纳米材料粒度、造岩矿物和温压矿物分析、矿物包裹体或类质同象矿物、微生物形态分析等	微区矿物、薄片等	
γ能谱分析	放射性核素的γ能谱测量分析、空气中氡浓度	实地环境、样品等	
热电离质谱 TIMS	富铀矿铀-铅同位素比值;全-单矿物钍-钷、钷-铷同位素比值;硫化矿物铀-钷同位素比值;单矿物中的铅同位素组成;环境试样硫的同位素组成		
二次电离子谱 SIMS	高分辨率高灵敏度离子探针	锆石(数十微米至数百微米)	
加速器质谱 AMS	<sup>10</sup> Be、 <sup>14</sup> C、 <sup>26</sup> Al、 <sup>36</sup> Cl、 <sup>41</sup> Ca、 <sup>129</sup> I、等放射核素测试; 对 <sup>7</sup> Be、 <sup>22</sup> Na、 <sup>32</sup> Si、 <sup>53</sup> Mn、 <sup>59</sup> Ni、 <sup>60</sup> Fe、 <sup>126</sup> Sn探索工作	200目	>0.5g
有机质谱	有机化合物结构鉴定、化合物相对分子质量、元素组成、官能团结构	10 <sup>-6</sup> ~10 <sup>-9</sup> g以内	
气相色谱 GC	气相色谱适合于沸点500℃以下,分子量200以下的物质分离;分离性质极为相似的组分,如同位素、异构体;合成聚合物的定性和定量分析、微生物的分类鉴定		
高效液相色谱 HPLC	高压液相色谱适用于热稳定性差,分子量200以上及生理活性物质分离;液-固吸附、液-液分配、离子交换色谱适于分子量2000以下的化合物,分子量大于2000的宜用凝胶色谱		
离子色谱	碱金属、碱土金属、重金属、过度金属离子;盐酸、硝酸、磷酸、硫酸、连二硫酸、连三硫酸、连四硫酸、连五硫酸、氢溴酸、氢氟酸、亚硝酸、正磷酸、硼酸、过二硼酸、碳酸、硫代硫酸、氰酸、次氯酸、醋酸、次溴酸、草酸、硫氢酸、钼酸、钨酸、铬酸、硒酸、亚硒酸(硒脲酸)、硫氰酸等酸根,碳酸氢根、磷酸二氢根;糖类、氨基酸、DNA、RNA等		10 μL~1 mL
极谱分析	铜、铅、镉等	160目	<1
离子选择性电极	固体膜型电极 H <sup>+</sup> 、Na <sup>+</sup> 、K <sup>+</sup> 、Ag <sup>+</sup> 、Cu <sup>2+</sup> 、Cd <sup>2+</sup> 、Pb <sup>2+</sup> 、CN <sup>-</sup> 、S <sup>2-</sup> 、卤素离子;液膜型电极 2价阳离子、Cl <sup>-</sup> 、ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> 、NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 、BF <sub>4</sub> <sup>-</sup> 、NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ;复膜离子电极 NH <sub>3</sub> 、NO <sub>2</sub> 、SO <sub>2</sub> 、尿素、氨基酸等	160目	<1
电导分析	水质纯度的测定		

续表 3

仪器、方法	检测范围	样品规格	样品使用量/g
扫描电子显微镜	对有孔虫、硅藻、介形虫、孢粉、古植物等微体化石的微细结构; 石英颗粒的来源极其经历的地址作用; 岩石的微孔隙与微裂隙的研究	<10 mm×10 mm×5 mm	
透射电子显微镜	矿物的晶体形态、表面结构、晶格缺陷、位错、岩石的变形、长石的成分、古生物等	面积:<3 mm×3 mm 厚度:100~200 nm	2 mm×2 mm 3 mm×3 mm
U-Pb 法测年	颗粒锆石采 1 kg 样品; 微量锆石, 如果在岩石薄片中能见到一粒锆石, 采 10 kg 样品		
Rb-Sr 法测年	新鲜未蚀变的岩石样品	200 目	10 g
K-Ar、 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar 法测年	单矿物 1 g, 无法分出单矿物的全样破碎 10 g	200 目	10 g
Re-Os 法测年	辉钼单矿物矿直径小于 0.1 mm, 质量大于 1g; 其他的 Re-Os 法测年, 质量大于 5 g	直径小于 0.1 mm	5 g

#### 2.1.4 取样后标本清理

干法切取、钻取的岩芯, 用高压吹风机或空气除尘枪, 清洁标本; 湿法切取、钻取的岩芯, 清水清理干净、干布吸干水分、用高压吹风机(不加热)吹干净样品, 20℃左右静止 4 h 以上; 如果有必要还要进行抛光处理。

#### 2.2 实物地质资料取样的一般原则

实物地质资料取样的一般原则, 是根据胜利油田调研及专家研讨意见制定的, 其中大量参考了胜利油田岩芯库的取样规定, 《岩芯采样原则》、《岩芯观察及采样管理规定》, 结合实物地质资料的特点, 并咨询、采纳了专家建议。

1) 标记线不破坏原则。已剖切的岩芯, 要在采样部分取样, 未剖切的岩芯在无方向线和标记的一侧取样; 岩石、矿物标本, 要在无标记的一侧取样。

2) 标志物不破坏原则。标准层、标志层、化石层、典型矿物或对区域地层对比有代表意义的岩芯、岩石、矿物标本, 不允许完全根据用户要求取样。如果确实有必要取样, 必须经实验室采样技术人员确认、主管部门领导批准, 取样量必须严格控制和分析项目的需求量。岩芯、岩石、矿物标本, 必须在保存的采样样品上取样。

3) 岩芯不间断原则。岩芯取样结束后剩余岩芯仍然保持连续, 即用于采样部分的岩芯, 原则上全部取样不能超过其一半。

4) 样品充分使用原则。同一样品的分析测试、研究, 应遵循先无损测试, 再微区分析, 最后进行粉碎的样品处理。原则是要求样品完整性的测试项目优先进行。

5) 取样可持续性原则。首先, 取样必须考虑下次再取样时工作方便, 最大效率的利用样品, 使剩余的采样岩芯、标本可以最大限度的保留原有的

物化特性, 也就是说, 取样要保证样品有较强的代表性。其次, 在取样时, 样品多余的部分应尽量提高回收价值。

6) 取样时对标本产生破坏性最小原则。尽量在样品首次利用前, 剖切采样岩芯、标本, 如果不能剖切取样岩芯、标本的, 取样时应做好样品保护措施; 取样应遵循最小取样量原则。

7) 取样成本。在满足取样服务要求的前提下, 操作尽量简单, 尽量降低取样成本。

#### 2.3 取样场地设施

由于测试分析需求不同, 取样方式各有不同, 使用的取样设备也各异。取样方式既有“干取”也有“湿取”, 干取时粉尘很大, 除尘设备要求很高; 湿取时水路复杂, 水循环系统要求很高; 再者取样规模也对厂房要求很高。合理的厂房布局, 配套的环境设施是实物地质资料取样的必要条件。其具体要求包括: 电力配置合理并符合安全要求、光线照度适中、有冬季供暖; 厂房内消防设备实用、方便, 人、车道路分离; 除尘设施齐备、建筑物符合降噪要求、配套设备符合环保要求、建筑物高度符合加工车间要求等<sup>[12]</sup>。

#### 2.4 预研仪器及取样设备

实物地质资料取样工作, 本着先观察后取样的原则, 在取样之前应充分做好预研究, 预研究的主要仪器有: 手持式 X 荧光探矿仪、双目光学显微镜等。

取样设备是取样工作的硬件要求之一, 既要满足各种实物地质资料取样规格需求, 还要满足使用安全, 并符合工作生产的环保要求。如: 大直径岩芯偏切设备, 液氮冷冻切钻设备等。

#### 2.5 取样人员

取样过程要有专人负责, 对取样操作人员的总体要求为: 熟练操作取样设备及取样辅助设备; 对

取样位置、取样量等技术问题有比较准确的把握;具备安全用电知识、了解各种个人安全防护手段、能够单独处理较小的意外伤口等(如擦伤、磕碰伤、划伤等)。

3 结 语

实物地质资料取样技术要求,对取样过程中的技术问题加以梳理、整合。明确了取样量、取样位置、取样方式等之间的关系,总结了取样的一般原则,对取样场地设施、取样设备、取样人员等方面提出了具体的技术要求。解决了标本保护与取样服务之间的矛盾,并使之成为实物资料取样规定的重要组成部分。

参考文献

[ 1 ] 曾式中. 采样设计要求浅析[J]. 冶金矿山与建设,1994(2): 10-13.

[ 2 ] 张文平. 环境监测采样的误差来源及其质量保证[J]. 中国环境监测,1991(4):13-16.

[ 3 ] 李小杰,关晓琳,郑继天,等. 地下水采样技术及《地下水采样技术规程》的编制[J]. 探矿工程,2016,43(12):90-94.

[ 4 ] 卿得成. 浅谈我国某金红石采样设计[J]. 国土资源导刊.

\*\*\*\*\*

(上接第 394 页)

3 结 论

1) 通过实际工程实例探测结果分析认为,非煤矿井隧道超前预报中不良地质体的地质雷达异常特征在煤矿井隧道中大体上是同样适用的,二者探测解释结果基本相同。

2) 在煤矿井隧道超前预报中使用这些不良地质体地质雷达异常特征,可以指导煤矿井隧道超前预报中地质雷达探测数据的计算、分析和总结工作,对各个不良地质异常特征的规模及地质展布形态进行估计,能得到较为可靠的矿井隧道基岩基本地质预报参数,可以为类似地质环境的煤矿井隧道地质超前预报工作提供参考依据,加强煤矿井隧道超前预报数据判读效果。

3) 从实际工程案例探测结果可以看出,非煤矿井与煤矿井隧道之间关于施工过程超前预报中不良地质体的地质雷达异常特征还是存在一定差别,这种差别主要是由于煤矿井隧道煤体介质本

2016,13(4):80-83.

[ 5 ] 杜霞飞,宗良纲,张琪惠,等. 基于空间差异的有机茶园环境适宜性评价的土壤采样方法[J]. 农业环境科学学报,2017,36(1):150-157.

[ 6 ] 尹明,李家熙. 岩石矿物分析[M]. 第四版. 北京:地质出版社,2011.

[ 7 ] 中国地质调查局. 多目标区域地球化学调查规范:DD2005-01[S/OL]. [http://www.cgs.gov.cn/xxfw/jsbz/dzdcjs/201603/t20160309\\_297762.html](http://www.cgs.gov.cn/xxfw/jsbz/dzdcjs/201603/t20160309_297762.html).

[ 8 ] 中国地质调查局. 固体矿产勘查原始地质编录规程(试行):DD2006-01[S/OL]. [http://www.cgs.gov.cn/xxfw/jsbz/dzdcjs/201603/t20160309\\_298909.html](http://www.cgs.gov.cn/xxfw/jsbz/dzdcjs/201603/t20160309_298909.html).

[ 9 ] 中国地质调查局. 生态地球化学评价样品分析技术要求(试行):DD2005-03[S/OL]. [http://www.cgs.gov.cn/xxfw/jsbz/dzdcjs/201603/t20160309\\_296997.html](http://www.cgs.gov.cn/xxfw/jsbz/dzdcjs/201603/t20160309_296997.html).

[10] 中华人民共和国国土资源部. 地质勘查钻探岩矿心管理通则:DZ/T0032—92[S/OL]. [http://www.mlr.gov.cn/zwgk/gfbz/201004/t20100408\\_714291.htm](http://www.mlr.gov.cn/zwgk/gfbz/201004/t20100408_714291.htm).

[11] 国家地质总局书刊编辑部. 金属非金属矿产地质普查勘探采样规定及方法[M]. 北京:地质出版社,1983.

[12] 中华人民共和国国土资源部. 地质矿产实验室测试质量管理规范:第一部分:总则:DZ/T0130-2006[S/OL]. <http://www.docin.com/p-97701476.html>.

身和非煤矿山基岩介质之间的介电常数及电导率差异引起的。

参考文献

[ 1 ] 杨峰,彭苏萍. 地质雷达探测原理与方法研究[M]. 北京:科学出版社,2010:44-97.

[ 2 ] 王齐仁. 隧道地质灾害超前探测方法研究[D]. 长沙:中南大学,2008:23-27.

[ 3 ] 吴锦超. 沪昆高速铁路贵州段岩溶隧道超前地质预报研究[D]. 成都:西南交通大学,2013:16-21.

[ 4 ] 李贵炳,郭玉刚,杨永杰. 地质雷达技术在探测煤矿井下突水通道中的应用[J]. 煤炭工程,2009,41(6):54-56.

[ 5 ] 谢建林,许家林,李晓林. 顶板离层检测的二维地质雷达正演数值模拟[J]. 煤炭工程,2011,43(10):68-71.

[ 6 ] 李海滨. 地质雷达检测在煤矿坑道地质病害超前预报中的应用[J]. 煤炭技术,2013,32(3):156-158.

[ 7 ] 屈施展,张金松,张恒亮,等. 地质雷达测试技术在煤矿的应用[J]. 煤矿安全,2014,45(2):60-62.

[ 8 ] 韩晓冰,李守杰,杨静雅. 探地雷达接收机系统在煤矿中的应用设计[J]. 煤炭工程,2015,45(10):26-29.

[ 9 ] 雷利伟,杨峰. 井下雷达波走时层析成像技术的实验研究[J]. 煤炭技术,2017,36(4):234-236.