

AMT 技术在黔中水田坝地区铝土矿勘查中的应用^{*1}

陈正山¹ 曹正端¹ 向通² 张贵发²

(1 贵州大学资源与环境工程学院, 贵州贵阳 550025;

2 贵州省地质矿产勘查开发局 117 地质大队, 贵州贵阳 550018)

【摘要】:贵州铝土矿露头及浅覆盖区勘查工作已近乎完成, 目前铝土矿多为隐伏矿, 本次黔中水田坝地区铝土矿勘查主要寻找中深部隐伏矿体。黔中水田坝地区铝土矿位于黔中铝土矿之南东, 赋矿层位为石炭系九架炉组(C1jj), 其底板为寒武系娄山关组地层(Є2-3ls), 二者为假整合接触。铝土矿的品位、厚度严格受到不整合面上岩溶洼地、岩溶漏斗的影响, 平面上变化较大。根据矿区含铝岩系与顶底板的物性差异, 本次在黔中水田坝地区铝土矿的勘查中, 选用音频大的电磁测深法(AMT)进行勘查, 划分含铝岩系与顶底板的界线及含铝岩系厚度, 结合地质测量及探矿工程资料综合分析, 圈出含矿有利部位, 进而钻探验证, 取得了较好的效果。

【关键词】:贵州铝土矿, AMT, 隐伏矿, 地层界线, 铝土矿勘查, 物性差异

【中图分类号】:P631.3 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1003-6563(2017)03-0031-06

0 引言

铝土矿是贵州省的优势矿产之一, 不仅资源储量丰厚, 而且分布比较广, 南起贵阳、清镇, 经息烽、开阳、遵义、正安、道真直至四川南川、武隆等地, 位于贵州之中部, 呈北北东向展布, 构成长约 370 公里的黔中—渝南铝土成矿带, 至 2011 年底, 全省累计探明矿产地 85 处, 拥有铝土矿资源储量约 5.91 亿吨^[1-2]。贵州铝土矿露头和浅层区勘查工作已近乎完成, 目前铝土矿主要为隐伏矿^[3], 多数埋深处于 200m~500m 之间, 因此今后铝土矿的勘查主要为寻找中深部隐伏矿。传统的铝土矿勘查方法主要是通过含铝岩系露头线的观测及地质填图, 结合槽探、钻探等工程, 大致了解含铝岩系分布、产状、厚度变化、岩性组合变化规律及含矿性等特征, 很少应用地球物理勘查的方法。根据贵州省地调院应用音频大地电磁测深法(AMT)在黔西一大方铝土矿调查评价中勘查含铝岩系顶、底界面的成功试验^[4], 并结合矿区含铝岩系与顶底板的物性差异, 本次在黔中水田坝地区铝土矿的勘查中, 选用音频大地电磁测深法(AMT)进行勘查, 划分含铝岩系与顶底板的界线及含铝岩系厚度, 结合地质测量及探矿工程资料综合分析, 圈出含矿有利部位, 进而钻探验证, 达到间接找矿的效果。

1 矿区地质及地球物理特征

1.1 地质特征

¹ 收稿日期:2016-12-17; 修回日期:2016-12-25

***基金项目:**贵州省重大应用基础研究项目(黔科合 JZ 字[2014] 2005)资助。

作者简介:陈正山(1985-), 男, 布依族, 贵州关岭人, 贵州大学硕士研究生, 专业:矿物学、岩石学、矿床学。

黔中水田坝地区铝土矿大地构造位置位于扬子准地台南部被动边缘褶皱冲带(三级构造单元)的贵阳复杂构造变形区的东部,黔中—渝南铝土成矿带南西段内,加里东运动,地壳抬升,形成黔中古陆,由于长期的风化剥蚀作用,在黔中古陆边缘形成较多低洼地带,堆积大量古红土,控制铝铁建造的形成和分布^[5-6]。区域构造线以南北向为主体,主体构造表现为褶皱、断裂组合^[5-6]。工作区位于水田坝背斜北西翼,岩层为单斜地层,总体倾向西,倾向 $215^{\circ}\sim 295^{\circ}$,倾角 $10^{\circ}\sim 25^{\circ}$,断层以北北东向、北东向及近东西向构造为主^[6](图1)。

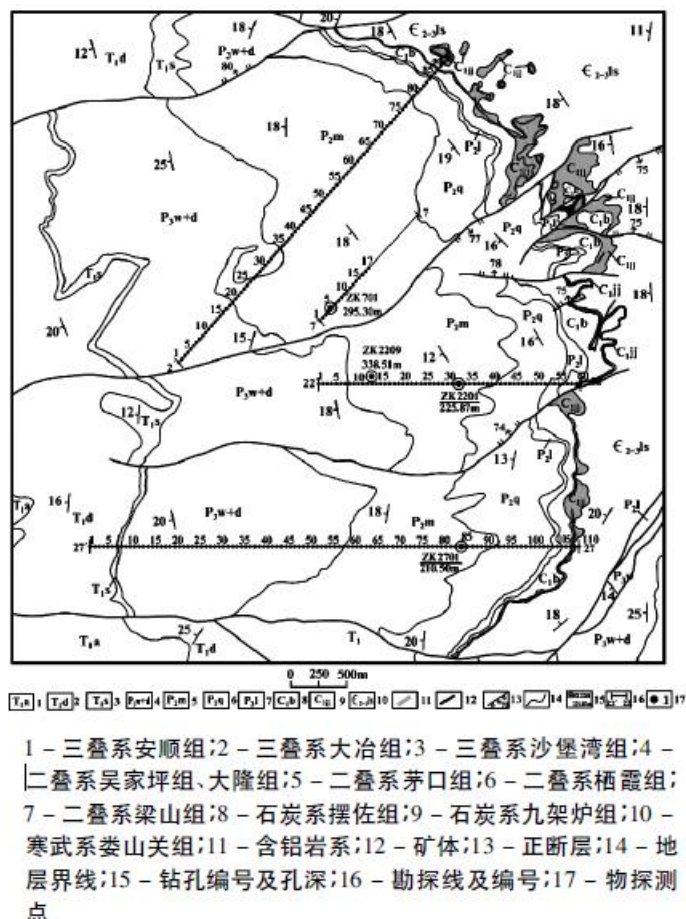


图1 工作区地质简略及物探测线布置
Fig.1 Geological survey of the working area and the layout of geophysical prospecting

勘查区地层由老至新分别为:①寒武系娄山关组($\epsilon_{2-3}ls$),岩性为细晶白云岩夹泥质白云岩、鲕粒白云岩及砾屑白云岩,厚度大于200m。②石炭系九架炉组(C_{1jj}),为铝土矿赋矿层位,本次勘查的目标地层,岩性自下而上为铝土页岩、含铁铝土页岩;片状和块状铝土岩;鲕状、豆状、半土状、土状和块状铝土矿;片状和块状铝土岩;铝土页岩、炭质页岩或无烟煤。与下伏地层假整合接触,厚度0.39m~12.9m。③石炭系摆佐组(C_{1b}),岩性为细晶白云岩。与下伏地层整合接触,厚度57m~61m。④二叠系梁山组(P_{2l}),岩性为劣质煤、炭质粘土岩及石英砂岩。与下伏地层假整合接触,厚度6m~17m。⑤二叠系栖霞组(P_{2q}),岩性为含生物碎屑泥晶灰岩。与下伏地层整合接触,厚度87m~99m。⑥二叠系茅口组(P_{2m}),岩性为含生物碎屑泥晶灰岩。与下伏地层整合接触,厚度89m~316m。⑦二叠系吴家坪组、大隆组(P_{3w+d}),岩性为砂岩、泥岩、碳质页岩夹燧石灰岩^[6](图1)。

矿体位于石炭系九架炉组中上部,其形态主要为似层状、透镜状及小包体状,近南北向分布,长150m~950m,宽50m~400m,厚0.3m~5m之间。矿体品位: A_2O_3 , 55.29%~76.01%,平均64.90%; SiO_2 , 4.43%~20.35%,平均11.64%。铝硅比值:2.6~17,

平均 5.5。无矿带通常为 20m~350m，局部可达 750m，与矿体轴向近于平行。矿体的形态和规模严格受古地貌的限制。若古地貌低洼，则铝土矿体增厚；反之则变薄，以至出现无矿天窗。含铝岩段的上、下部为致密铝土岩、铝土质粘土岩，厚 0~2.50m，可作耐火材料，与矿体之间无明显界线，均系渐变过渡^[6]。

1.2 地球物理特征

根据矿区地质矿产情况，使用双频激电仪，对本区出露的 10 组岩(矿)石进行了对称小四极实地测定。其电性地球物理特征测定结果如表 1。

表 1 黔中水田坝地区地层岩(矿)石物性参数^[6-7]
Tab. 1 Physical parameters of ores in Shuitianba, Central Guizhou

地层	岩性	采集组数	范围 $\rho/(\Omega \cdot m)$	平均 $\rho/(\Omega \cdot m)$
Q	覆土	10	89.52 ~ 185.27	118.79
P ₃ w	砂质泥岩	15	38.92 ~ 178.32	79.76
P ₃ w	炭质页岩	14	21.83 ~ 126.98	66.75
P ₂ m	灰岩	18	1 036.83 ~ 6 305.37	3 617.72
P ₂ q	灰岩	16	897.92 ~ 5 485.26	2 876.8
P ₂ l	泥质砂岩	11	26.72 ~ 145.72	82.91
C ₁ b	白云岩	15	582.63 ~ 1 362.85	896.74
C ₁ jj	铝土矿化	18	119.79 ~ 883.53	294.39
C ₁ jj	硫铁矿化	15	46.32 ~ 198.03	146.32
Є ₂₋₃ ls	白云岩	17	1 089.53 ~ 3 692.28	2 675.66

由上表可知，勘查区地层岩(矿)石电阻率按炭质页岩→砂质泥岩→泥质砂岩→覆土→硫铁矿化→铝土矿化→白云岩→灰岩依次升高；灰岩电阻率值最高，可达 3617.72 $\Omega \cdot m$ ；炭质页岩电阻率值最低，约 66.75 $\Omega \cdot m$ 。根据本次在勘查区内所测物性参数及以往工作经验，寒武系娄山关组(Є₂₋₃ls)白云岩地层与二叠系茅口组(P₂m)和栖霞组(P₂q)灰岩地层具有高电阻率，石炭系摆佐组白云岩地层为中电阻率，吴家坪组、大隆组砂岩、泥岩、炭质页岩为低电阻率，二叠系梁山组(P₂l)泥质砂岩和石炭系九架炉组(C₁jj)铝土页岩、铝土岩和铝土矿具有相对低的电阻率，各组岩(矿)石电性差异明显。故本区具备音频大地电磁法勘查隐伏区含铝岩系顶底板界面、厚度及喀斯特隐伏岩溶洼地、岩溶漏斗分布的地球物理前提^[6-7]。

2 AMT 工作方法技术

根据矿区地质及地球物理特征，结合 AMT 法勘查其它铝土矿区的成功试验^[4, 8]，以及相近地质条件铝土矿区采用的物探勘查手段^[8-12]，本次黔中水田坝地区铝土矿的勘查，在地质测量的基础上选用 AMT 法测量。

野外物性参数的测定使用美国 EMI 公司和 Geo-metrics 公司共同开发的 EH-4 电导率测量仪。本次测量采用天然电磁场与人工电磁场相结合的混合场源，当工作区没信号或信号较弱(1000Hz—100Hz 频段)时采用人工电磁场补充。

工作电道使用“十”字交叉布极，单边电极距离为 20m，使用森林罗盘测量布极方位，误差小于 1°，使用测绳测量电极间

距，电极距离误差小于 1m；探头布设与电道方位是一致的，均使用“十”字交叉布置，方位角误差小于 1° ；呈水平状态埋藏，埋藏深度超过 30mm，倾角误差要求小于 3° ；探头离采集器距离大于 5m，探头之间大于 3m^[6-7]。

基于测量的 AMT 数据，使用随机配置的软件完成预处理，获取频率视电阻率值，然后对其滤波、TE 模式、TM 模式识别和静校正^[9-11]，最后进行波斯迪克一维反演，具体处理流程见图 2。

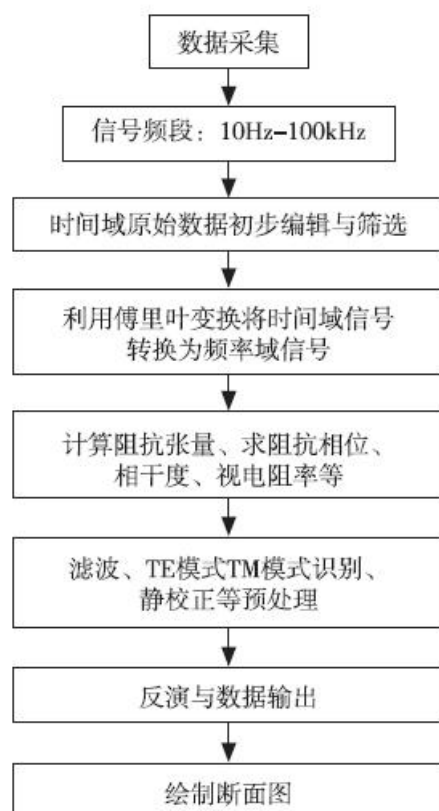


图 2 AMT 数据处理流程图

Fig. 2 AMT data processing flow chart

3 AMT 资料分析与解释

3.1 推断解释原则

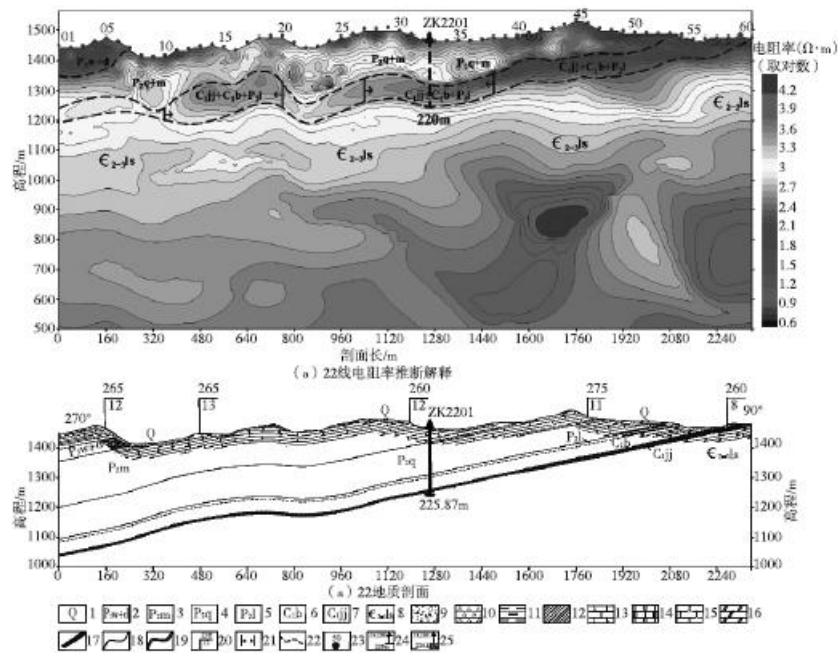
推断解释原则通常是以地质—物性规律为依据^[13]，遵循物探与地质相结合的原则，用成矿地质规律指导物探异常解释，分析物探异常特征，从而提高物探异常解释的准确性。通常考虑以下几个方面的因素：异常强度特征、尺度大小、异常的连续性、异常的基本形态特征和埋深等^[13]。通过综合要素叠加从而提高定性解释的精度和深度，为圈定矿（化）体提供地球物理依据。

3.2 推断解释结果

根据工作区的地质物性参数分析，结合以往的地质资料，寒武系娄山关组、二叠系栖霞组和茅口组地层为高电阻率，石炭系摆佐组地层为中电阻率，二叠系吴家坪组、大隆组及梁山组地层为低电阻率，石炭系九架炉组含铝岩系为相对低电阻率。与

围岩相比，因构造活动破碎的岩石具有相对较低的电阻率，而浅层覆土、喀斯特裂隙、岩溶和风化的岩石均呈低电阻率。根据表层的情况和深部的地球物理勘探异常规律来划分深部各地层界线^[6-7]。

本次工作区共布置了4条电磁剖面，4条电阻率剖面高、中、低阻异常界线明显，根据物探异常特征，共施工4个钻孔验证(图1)，对比钻孔资料与物探推断成果，两者地层厚度、分界线与见矿部位比较吻合，均能达到勘查目的。现以22线为例(图3)，对其剖面电阻率断面异常进行推断解释。



1 - 第四系; 2 - 二叠系吴家坪组、大隆组; 3 - 二叠系茅口组; 4 - 二叠系栖霞组; 5 - 二叠系梁山组; 6 - 石炭系摆佐组; 7 - 石炭系九架炉组; 8 - 寒武系娄山关组; 9 - 第四系覆土; 10 - 石英砂岩; 11 - 粘土岩; 12 - 铝土岩; 13 - 灰岩; 14 - 白云质灰岩; 15 - 含燧石结核灰岩; 16 - 白云岩; 17 - 实、推测含矿岩系; 18 - 实测整合地层界线; 19 - 实测平行不整合地层界线; 20 - 产状; 21 - 物探推断含矿有利地段; 22 - 物探电性层分界线; 23 - 物探测点; 24 设计钻孔位置及孔深; 25 - 终孔钻孔编号及孔深

图3 22线综合推断解释

Fig. 3 22-line comprehensive inference

1) 电阻率推断解释图上部绿色、黄色和红色部分为相对高阻、高阻异常区，推测为栖霞组和茅口组灰岩所致，局部低阻异常带(如19至20号测点、39至42号测点间)推测为破碎岩层、喀斯特凹陷和漏斗等所引起，浅层低阻异常区推测为第四系覆土层所致。二叠系栖霞组灰岩层出露地表于该剖面53号测点附近(剖面长2080m)，覆于梁山组地层之上。

2) 电阻率推断解释图中部绿色部分为相对低阻、低阻异常区(带)，呈“w”型形态，“w”型形态通常为喀斯特凹陷和漏斗等引起，与含矿体关系较为密切，推测为含铝岩系(石炭系九架炉组)和二叠系梁山组、石炭系摆佐组综合体引起，厚度20m~100m不等，假整合于寒武系娄山关组之上。

根据成矿地质条件，在“W”型异常区(带)上，“W”型形态低洼并且有较大厚度的区域通常为喀斯特凹陷和漏斗等引起，含矿可能性相对较大，综合铝土矿成矿地质规律、地球物理勘探异常规律，结合地质资料，推测含矿有利地段为测点 12 至 15、27 至 38 之间，本次在测点 27 至 38 之间布设钻孔(编号 ZK2201)，设计孔深 220m，其中栖霞组与茅口组(P_2m+P_2q)地层厚 147m，梁山组、摆佐组及含矿层九架炉组($C_1jj+C_1b+P_2l$)地层厚 69m。

3) 电阻率推断解释图下部黄色、红色部分为相对高阻、高阻常区，推测为寒武系娄山关组白云岩所致。

4) 在测点 1 至 7 之间(剖面长 0~240m)，海拔标高 1300m~1450m 间存在低阻异常区，推测为吴家坪组、大隆组地层引起。

4 钻孔验证情况

为进一步验证 AMT 异常特征对工作区铝土矿的指导价值，根据物探异常推断解释结果，于 27 与 38 号测点之间施工 ZK2201。如图 4 所示，ZK2201 孔深 225.87m。

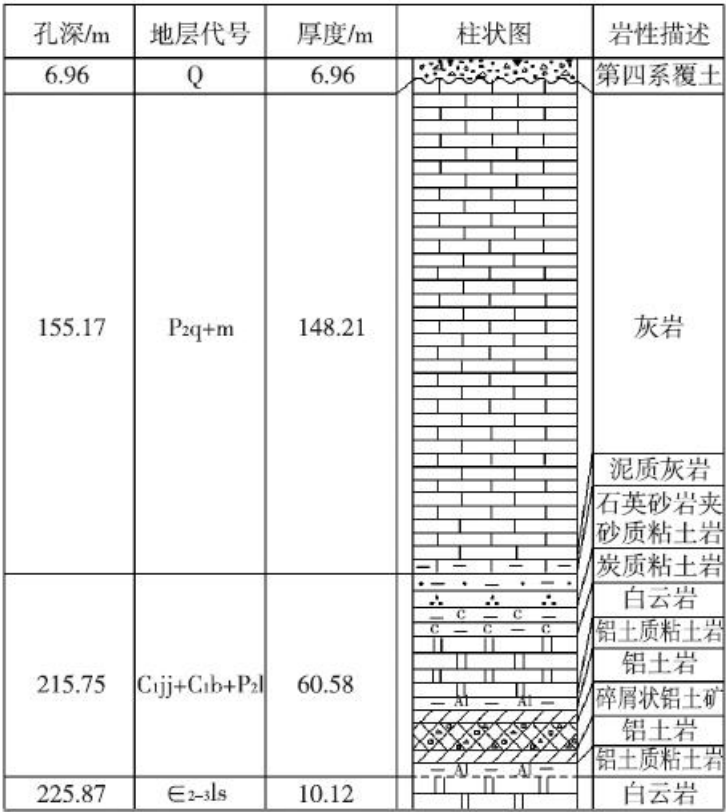


图 4 ZK2201 钻孔柱状图
Fig. 4 Log of ZK2201

其中 0~6.96m 为第四系(Q)覆土，厚 6.96m；6.96m~155.17m 为二叠系茅口组(P_2m)和栖霞组(P_2q)地层，厚 148.21m；155.17m~215.75m 为二叠系梁山组(P_2l)、石炭系摆佐组(C_1b)和九架炉组(C_1jj)地层“综合体”，厚 60.58m；215.75~225.87m 为寒武系娄山关组(ϵ_{2-3ls})地层。对比地球物理勘探推断成果与钻孔验证数据，二者地层厚度、分界线和见矿部位比较吻合(表 2)。

表 2 ZK2201 设计与验证情况对比

Tab. 2 Comparison between the design and verification of ZK2201

地层代号	设 计		钻孔验证情况	
	孔深/m	厚度/m	孔深/m	厚度/m
Q	4	4	6.69	6.69
P ₂ m + P ₂ q	151	147	155.17	148.21
C ₁ jj + C ₁ b + P ₂ l	216	65	215.75	60.58
∈ ₂₋₃ ls	220	4	225.87	10.12

5 结论与建议

本次 AMT 技术在黔中水田坝地区铝土矿勘查中的应用取得了良好的效果，能很好地划分含矿“综合体”（二叠系梁山组、石炭系摆佐组与赋矿层位九架炉组）顶、底界面，综合物探异常规律、铝土矿成矿条件及地质资料，圈出含矿有利部位，为铝土矿勘查提供物探依据。

根据钻孔验证结果，音频大地电磁测深(AMT)技术在黔中水田坝地区铝土矿勘查中能有效地反应含矿“综合体”厚度变化及埋深，建议下一步在勘查类似隐伏铝土矿时，在配合地质测量的基础上选用音频大地电磁测深(AMT)法。

参考文献【REFERENCES】

[1] 冉文瑞. 贵州铝土矿资源现状与供需形势分析 [J]. 贵州地质, 2012, 29(4) : 318-320.

RAN W R. Current condition and supply-demand situation of bauxite in Guizhou [J]. Geology of Guizhou, 2012, 29(4) : 318-320.

[2] 刘平. 初论贵州之铝土矿 [J]. 贵州地质, 1987, 4(1) : 1-12.

LIU P. An initial discussion on Guizhou bauxite [J]. Geology of Guizhou, 1987, 4(1) : 1-12.

[3] 刘平. 六论贵州铝土矿：铝土矿矿床成因类型划分意见 [J]. 贵州地质, 1996, 13(1) : 45-60.

LIU P. Bauxite ore deposits in Guizhou: part VI. an opinion on their genesis-type classification [J]. Geology of Guizhou, 1996, 13(1) : 45-60.

[4] 张西君, 王永泰. 贵州省乌蒙山区优势矿产资源综合调查评价黔西-大方铝土矿调查评价区物探报告 [R]. 贵阳: 贵州省地质调查院, 2013.

[5] 陶平, 曾昭光, 等. 贵州省铝土矿资源潜力评价报告 [R]. 贵阳: 贵州省地质调查院, 2011.

[6] 张华, 冯运富, 陈正山, 等. 贵州省贵阳市水田坝背斜铝土矿找矿战略选区项目报告 [R]. 贵阳: 贵州省地质矿产

勘查开发局 117 地质大队, 2014.

[7] 张西君, 王永泰, 黄海滢, 等. AMT 在贵州某铝土矿勘查中的应用 [J]. 工程地球物理学报, 2015, 12(3) : 311-314.

ZHANG X J, WANG Y T, HUANG H Y, et al. The application of audio magnetotelluric method to prospect bauxite mine in Guizhou [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2015, 12(3) : 311-314.

[8] 张西君, 王永泰, 陈坡. AMT 法勘查贵州铝土矿 [J]. 物探与化探, 2015, 39(2) : 283-287.

ZHANG X J, WANG Y T, CHEN P. An analysis of the effect of the audio magnetotelluric method (AMT) in the exploration of Bauxite deposits in Guizhou [J]. Geophysical Geochemical Exploration, 2015, 39(2): 283-287.

[9] 金旺林, 李士祥. 用 EH-4 寻找铝土矿的效果研究 [J]. 矿产地质, 2012, 3(1) : 82-85.

JIN W L, LI S X. The effect of EH-4 method in Bauxite deposit prospecting [J]. Mineral Exploration, 2012, 3(1) : 82-85.

[10] 李华, 艾斯卡尔, 吾守艾力, 等. 渝东南地区隐伏铝土矿物探勘查技术试验研究——以车盘矿区试验结果为例 [J]. 地质学报, 2013, 87(3) : 384-391.

LI H, AXKAR, WUXURALY, et al. Examination study of geophysical method in exploring buried Bauxite deposit in southeast of Chongqing city: an example from the chean mining area [J]. Acta Geophysical sinica, 2013, 87(3) : 384-391.

[11] 徐新学, 李世斌, 袁航, 等. 山西沁源隐伏铝土矿综合物探调查应用效果 [J]. 物探与化探, 2014, 38(1) : 41-45.

XU X X, LI S B, YUAN H, et al. The application of integrated geophysical exploration to concealed Bauxite deposits in qinyuan of Shanxi province [J]. Geophysical Geochemical Exploration, 2014, 38(1) : 41-45.

[12] 马振波, 燕长海, 李中明, 等. CSAMT 在河南郁山大型隐伏铝土矿勘查中的应用 [J]. 物探与化探, 2012, 36(4) : 688-691.

MA Z B, YAN C H, LI Z M, et al. The role of csamt in the exploration of the Yushan large-size Bauxite deposit in Henan province [J]. Geophysical Geochemical Exploration, 2012, 36(4) : 688-691.

[13] 李大心. 地球物理方法综合应用与解释 [M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2003.