

# 铜多金属矿帷幕注浆堵水方案研究

李万全, 夏焰光

(湖北地矿建设工程承包集团有限公司上海分公司, 上海 200063)

**摘要:**结合江西乐平市月形铜多金属矿帷幕注浆堵水工程, 主要阐述了矿山发生涌水灾害后治理的方法选择及治理工序, 并对注浆法的施工工艺加以研究和推广, 同时简单介绍了施工过程中一些常见问题及处理对策。根据该工程的工程地质条件、工程性质、预算等限制条件选择高压孔内循环式注浆; 下行式分段注浆方式方法。浆材为水泥粉煤灰和水泥粘土浆两种, 必要时加入适量水玻璃。最后, 通过钻心、压水对比和面波检测确定注浆是否达到工程要求。

**关键词:**岩溶裂隙水; 矿山涌水; 帷幕注浆; 堵水; 压水试验; 防渗

**中图分类号:**TD743 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)01-0068-05

**Scheme Study on Curtain Grouting for Water Blocking in Copper Polymetallic Deposit/Li Wan-quan, Xia Yan-guang** (Shanghai Branch, Hubei Geology & Mineral Resources Construction Engineering Group Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

**Abstract:** According to the engineering of curtain grouting for water control in Yuexing copper polymetallic deposit of Jiangxi, the paper described the selection of treatment methods and the treatment process, the grouting construction technology was studied and promoted; briefly introduced some common problems in construction process with countermeasures. Based on the restricting conditions such as engineering geological conditions, engineering properties and the budget, high-pressure hole with internal circulation grouting and downward stage grouting were selected. The grouting material were cement fly-ash and cement clay grout, water glass grout could be added while necessary. The engineering quality was determined by drilling coring, water pressure test and surface wave detection.

**Key words:** karst fractured groundwater; water surging in mine; curtain grouting; water control; water pressure test; seepage prevention

## 0 前言

矿山水害, 长期以来成为困扰着采矿安全工作的重大隐患。特别是随着国家基建工作迅猛发展, 对各种矿藏的需求量大幅度上升, 对矿业开采要求也随之提升, 矿山水害就成了摆在人们面前的一大难题。隐藏在地下岩溶裂隙水成了水害的主要源头, 在开采中发生涌水对生命财产造成了极大危害。对此, 研究治理矿床涌水成了矿藏开采的主要课题。

在矿井防治水中占有主导地位的是含水层预先疏干降压方法, 它已逐渐代替被动排水。由于矿井排水成本越来越高, 一些国家开始试用堵水截流的防治水措施。国外矿井防治水方法比较单一, 主要采用地面疏干降水, 堵水截流作为一种辅助措施。他们普遍认为, 在生产阶段, 注浆堵水不能代替排水。但在我国, 由于地质条件的限制, 如: 西北地区矿床基本不存在水害问题, 相反矿区供水水源短缺成为矿产资源开发的制约因素; 在南方和西南区, 由

于矿体与灰岩含水层直接接触, 使得该区金属矿床的水文地质条件十分复杂, 矿井涌水量很大, 喀斯特水一旦被揭露后直接溃入或通过地下暗河溶洞导入, 成为矿井突水的一大特点, 矿井涌水往往突发性强, 水量大。因此, 发展注浆堵水势在必行。

本次研究以江西省乐平市月形铜多金属矿帷幕注浆堵水整治工程为研究对象, 主要阐述矿山发生涌水灾害后治理的方法选择及治理工序, 并对注浆法的施工工艺加以研究和推广, 同时简单介绍了施工过程中一些常见问题及处理对策。

## 1 工程概况

### 1.1 地形地貌

乐平市月形铜多金属矿位于乐平市北东 26 km 的涌山乡境内。矿区为一构造侵蚀之喀斯特地形地貌, 总体地势呈北部高、南部略低而有起伏之势, 南北均被千枚岩组成的构造剥蚀丘陵所截, 形成东西

收稿日期: 2011-07-29

**作者简介:**李万全(1985-), 男(汉族), 吉林公主岭人, 湖北地矿建设工程承包集团有限公司项目经理、助理工程师, 岩土工程专业, 从事岩土工程科研及施工工作, 上海市曹杨路 1040 弄中友大厦 801 室, liwanquan05204310@163.com; 夏焰光(1967-), 男(汉族), 湖北人, 湖北地矿建设工程承包集团有限公司上海分公司总工程师, 探矿工程专业, 从事岩土工程科研及施工工作。

延长的狭长含水系统,最高点狗头山标高为 290.4 m,最低点为矿区的石峡河出口处,标高为 +47.0 m,中部为河谷冲洪积平原。冲洪积平原区相对高差小,坡度平缓;南北丘陵相对高差较大,地形坡度相对较大。

## 1.2 地质构造

矿床处于不对称倾伏向斜的南西端,向东北方向倾伏,组成向斜两翼的石炭系壶天群灰岩、大理岩和二叠系长兴组灰岩强溶蚀含水层,呈北东、南西向分布范围广、延伸长、含水层厚度大,受北东断裂构造影响,溶洞、裂隙发育,富水性强。

## 1.3 水文地质条件

区内主要地表水体为石峡河、月形河。石峡河发源于界首一带山区,由西流经矿区东部,洪水期流量为 34600 L/s,枯水期河上游自石峡村以北干枯,以下有流量较大的泉溢流,流量为 20 L/s。月形河主要发源于拟建的矿区,从矿区西南流过,于跑马道南注入石峡河,一般流量 20~200 L/s,枯水期无水。石峡河流出矿区的出口为当地侵蚀基准面,标高为 47.00 m 左右,月形河流出矿区的出口标高为 49 m 左右,最高洪水位标高为 50.77 m。

矿区水文地质条件复杂,已知矿体呈脉状产于壶天群强含水层中,即未来地下开采,岩体四周均为强含水层所包围,故建造帷幕堵水,其平面布置形

式,宜四周均匀布孔,形成阻截地下水的封闭系统。由于石炭系壶天群大理岩、白云岩岩溶含水层厚度 >500 m,帷幕的结构形式一般可为封底式和半封底式两种结构形式。

## 2 堵水方案设计

### 2.1 帷幕注浆堵水方案

注浆帷幕堵水是恢复开采最为有效的方法,帷幕幕址的选择首先由矿区水文地质条件、以及矿的开采深度、基岩错动边界、采矿方法及帷幕施工场地等条件综合确定。本次设计主要是针对 I 号矿体和 VII 号矿体 -50 m 标高以上部分。为了节约帷幕工程量,将帷幕设计成悬挂式,帷幕底线按 -55.00 m 标高控制,底板预留 5.0 m 厚的保安岩柱。采矿方法为浅孔留矿法回采,自上而下分层开采,设计中段高度为 30 m,分别在 +10、-20、-50 m 标高布置开拓工程。岩石移动边界线、开采设计方案根据矿床工程地质条件,同时参考类似矿山经验,选取上盘错动角  $\beta=60^\circ$ ,下盘错动角  $\gamma=65^\circ$ ,端部  $\delta=75^\circ$  圈定矿山岩石的移动界线。地表岩石移动带范围可参见恢复开发的可行性技术论证报告或矿区综合平面图(见图 1),帷幕线钻孔原则上位于岩石移动带外进行布孔。

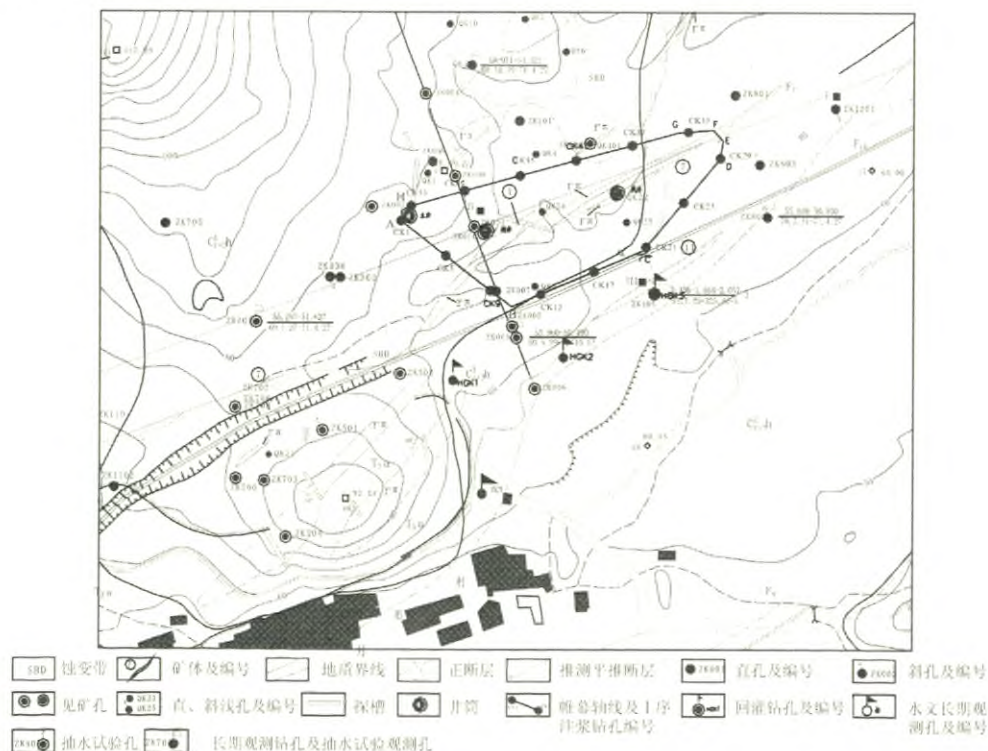


图1 工程所在区平面布置图

## 2.2 矿坑涌水面积

根据矿体赋存状态、赋存矿体为大理岩和白云岩、其岩溶发育最低标高为-453.57 m的特点,在未来的开采条件下,按潜水不完整大井考虑,计算石峡河在雨季有季节性补给的最大涌水量和无补给时的一般涌水量。计算方法分别按辐射流法、渠道法、达西公式法,计算结果:-50 m标高一般涌水量平均值为11720 m<sup>3</sup>/d,最大涌水量平均值为36368 m<sup>3</sup>/d。这与《地质灾害危险性评估报告》采用降水入渗法计算矿坑补给量(动储量)的计算结果十分接近<sup>[5]</sup>。其平均值为37000 m<sup>3</sup>/d。

## 2.3 帷幕注浆孔的布置

沿帷幕轴线注浆孔的布置,采用单排孔形式,注浆孔间距10 m,帷幕底线按-55 m标高控制,底板预留5.00 m厚的保安岩柱厚度,沿帷幕线共布置54个注浆孔(参见图1),累计钻孔工程量6710.92 m。

工点范围一周面积为0.315 km<sup>2</sup>。一期14个注浆孔,二期13个注浆孔为观测补注孔,三期27个注浆孔为检测孔和补漏洞孔。

## 2.4 帷幕的厚度确定

帷幕的厚度按帷幕幕体内的水力坡降的最大允许值与幕厚的关系来确定。

$$T = \delta / I_a \times H$$

式中: $T$ ——帷幕厚度,m; $I_a$ ——帷幕体内部帷幕前后的允许水力坡降; $\delta$ ——通过帷幕的水头衰减系数, $\delta$ =幕前压力头差/水头; $H$ ——水头,m;

矿区静止水位标高平均为+51.00 m,ZK705孔最深岩溶发育标高为-453.568 m,含水层为潜水,水头高度为504.568 m,经注浆后,幕体单位吸水量5 Lu,允许水力坡降 $I_a=10$ 。

经计算帷幕厚度 $T=10.09$  m,假定受灌介质为均匀岩层,浆液扩散范围呈圆形,孔间距10 m,其有效扩散半径 $R=7.10$  m。

## 2.5 帷幕注浆试验

为了节约资金,帷幕注浆试验选择第Ⅰ序注浆孔作为注浆试验孔。注浆试验的目的为:

(1)探索研究不同地质结构、不同地层所采用的注浆工艺的可行性和可靠性、所选择的注浆参数是否合理;

(2)探索研究不同地质构造、不同地层所采用的注浆材料、浆液配比、浆液的物理力学性能是否符合工程实际情况;

(3)为Ⅱ、Ⅲ序孔注浆提供符合月形铜多金属

矿实际情况的各项注浆参数及浆液材料的配比资料。

## 2.6 浆液注入量预估

注浆系隐蔽性工程,浆液注入量的精确计算尚有一定困难,故多采用经验公式计算,供预估注浆材料用量。本注浆帷幕厚度预计10.09 m,孔间距10 m,则浆液扩散半径 $R=7.10$ ,注浆量 $q$ 采用下式进行估算。

$$q = [\pi R^2 - R^2 \theta / 2 + (b/2) \sqrt{R^2 - (b/2)^2}] H n \quad (1)$$

式中: $R$ ——浆液扩散半径,m; $\theta$ ——帷幕厚度对应的圆周角, $\sin(\theta/2) = (b/2)/R$ ;  $b$ ——钻孔间距,m; $H$ ——注浆段高度,m; $n$ ——岩石的孔隙率。

按矿区平均岩溶率3.058%来计算,经计算注浆量为29589.62 m<sup>3</sup>。但由于计算时采用的平均岩溶率,在实际注浆时,预估注浆量可能偏低。

## 2.7 注浆材料预估

按水泥粉煤灰浆液进行注浆材料的预估,水固比取0.6:1,水泥:粉煤灰:水:水玻璃=1:1.5:1.5:0.05,经计算,每立方米水泥粉煤灰浆液的材料用量为:水泥384.95 kg;粉煤灰577.43 kg;水577.43 kg;水玻璃19.25 kg。注浆量29589.62 m<sup>3</sup>,加检查孔注浆量1013.91 m<sup>3</sup>,合计为30603.53 m<sup>3</sup>。浆液材料用量为:水泥11780.83 t;粉煤灰17671.40 t;水玻璃589.12 t。

## 3 注浆施工工艺设计

### 3.1 注浆方式与方法

为确保注浆安全和工程质量,拟采用孔口封闭孔内循环、下行式分段注浆方式方法。注浆段长通常按下述原则划分:(1)将裂隙相同的岩层划分在同一个段长内,力求使浆液均匀扩散;(2)裂隙发育程度相差较大的含水层,不宜划分在同一段长内,以保证注浆质量和减少不必要的浆液浪费;(3)涌水量大、裂隙较宽时,注浆段长度较小,反之较大;(4)注浆段长应与注浆泵的供浆能力(泵量)相适应,泵量小,注浆段长度应当缩小,以保证浆液有足够的扩散半径;(5)注浆段长一般应根据现场实际情况灵活掌握,但为了方便在均质岩层内注浆,一般按20 m一段进行控制。

### 3.2 注浆工艺

#### 3.2.1 注浆孔结构及技术要求

(1)注浆孔开孔孔径为130 mm,终孔孔径为91 mm,为保证注浆质量,宜采用高压孔内循环式注浆。

(2)注浆孔设计为直孔,允许偏斜率应控制在

1.5% 以内。为保证注浆孔的偏斜在允许范围之内,钻进过程中每 50 m 孔深测斜一次,发现孔斜应及时采取有效的纠偏处理措施。

(3) 注浆孔岩心采取率及地质编录:注浆孔要求全部采取岩心以观察岩溶裂隙的发育情况。地质编录内容符合相关规范要求,侧重于溶洞、裂隙及地下水活动痕迹,溶蚀现象及岩石破碎程度。了解溶洞裂隙充填程度及充填物。

### 3.2.2 压水试验

压水试验的目的是为了了解注浆孔各注浆段岩层的富水性、透水率,用以进行分段,确定浆液配比,预估浆液消耗量,预估材料用量。

第 I 序钻孔,即是注浆孔又是勘察孔,做正规压水试验,采用 3 个压力阶段;其余钻孔做简易压水试验,只做一个压力阶段。压水试验方法采用双塞止水法,压力表安装在孔口回水管路上,试验压力取注浆压力的 80%,或孔口压力为 1.00 MPa。试验时,每间隔 10 min 观测一次流量和压力,流量和压力保持相对稳定,流量连续 4 次读数,其最大值与最小值之差小于最终值的 10%,试验工作即可结束,以最终流量读数作为计算流量。压水试验管路安装见图 2。

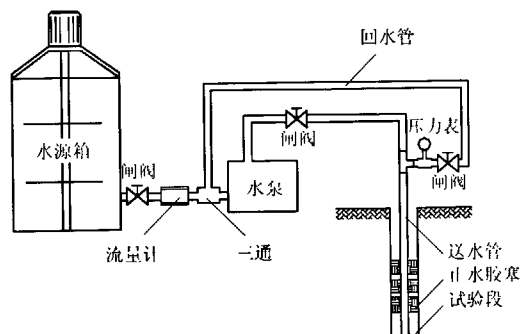


图 2 压水试验管路安装示意图

### 3.2.3 注浆材料及制浆

帷幕注浆的主要对象为裂隙岩溶含水层和构造破碎带裂隙含水层,为了节约水泥,降低成本,采用水泥粉煤灰和水泥粘土浆,浆液的配比及物理力学试验在现场通过试验确定。粘土要求塑性指数  $< 14$ ,粘粒含量  $< 25\%$ ,含砂量  $\geq 5\%$ ,有机物含量  $\geq 3\%$ 。粉煤灰应选用未经磨细原状粉煤灰,密度一般为  $2.03 \sim 1.81 \text{ g/cm}^3$ ,要求质纯,不含杂质。水玻璃模数为  $2.4 \sim 3.4$ ,浓度宜为  $30 \sim 45$  波美度。水泥采用 P. O 32.5 普通硅酸盐水泥,水泥的细度要求为通过  $80 \mu\text{m}$  方孔筛的筛余量  $\geq 5\%$ ,所用水泥必须新鲜,无结块。

浆液的制备在集中制浆站搅拌配置,用泵通过

输浆管道送到注浆钻孔的第二次搅拌桶内,再通过注浆泵向钻孔内注浆。

### 3.2.4 钻孔冲洗

帷幕注浆孔各注浆段在注浆之前均应进行钻孔冲洗。冲洗的目的是清除钻孔中残留岩粉、岩石裂隙中的充填物。具体做法是:

(1) 钻孔结束后,视孔内残留物多少,用钻具带取粉管进行捞粉,并用大水量进行冲洗,直至回水变清,孔内残留物沉淀厚度  $\geq 20 \text{ cm}$ 。

(2) 在压水试验和灌浆前,止水胶塞、射浆管路系统安装完毕后,用压力水进行冲洗,采用高压脉动冲洗法。冲洗直至回水洁净后再延续  $10 \sim 20 \text{ min}$ 。

### 3.2.5 注浆

岩石裂隙的发育情况、地下水的渗流速度、止水封堵的空间容积及其连通性的差异是千变万化的,要取得好的注浆效果,必须认真掌握好、控制好每一注浆段的注浆全过程,珍惜每一孔、每一注浆段的注浆机会,掌握好注浆的几个重要参数。

#### 3.2.5.1 注浆压力

注浆压力是浆液扩散的动力,是检测浆液在裂隙中充填扩散过程是否正常的主要依据。注浆压力系指注浆段所承受的全压力。施工过程中将压力表安装在孔口回浆管路上。为保证注浆质量、浆液扩散半径,注浆压力采用静水压力的 2 倍,循环式注浆采用下式计算:

$$P = P_1 + P_2 + P_f \quad (2)$$

式中:  $P$ ——注浆压力, MPa;  $P_1$ ——孔口压力表压力, MPa;  $P_2$ ——浆柱压力, MPa;  $P_f$ ——管路压力损失, MPa。

其中:管路压力的确定方法是当工作管内径一致,且内壁粗糙度变化不大时,管路压力损失为:

$$P_f = \lambda (L_p/d) \cdot V^2 / (2g) \quad (3)$$

式中:  $\lambda$ ——摩阻系数,  $\lambda = 2 \times 10^{-4} \text{ MPa/m}$ ;  $L_p$ ——工作管长度, m;  $d$ ——工作管内径, m;  $V$ ——管内流速, m/s;  $g$ ——重力加速度,  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

#### 3.2.5.2 浆液浓度的变化

一般采用先稀后浓,逐级加浓的原则进行浆液浓度的变换。初始浓度根据岩石单位吸水率确定。裂隙岩溶含水层溶洞发育,多采用水泥粉煤灰灌注,对于裂隙发育含水层则采用水泥粘土浆灌注。

浆液浓度的变换,一般在裂隙岩层中注浆连续灌注  $40 \text{ min}$  仍不起压,则改用浓一级的浆液,当加浓一级注浆压力上升很快,则应立即变稀回到原来的稀浆继续灌注。当采用最浓的水泥粉煤灰灌注仍



不起压时,则应采用间歇注浆,间歇时间为浆液初凝以后,终凝之前,必要时可采用其它的措施,如在浆液中加入速凝剂。

### 3.2.5.3 注浆结束标准

注浆结束标准对注浆质量起控制作用,掌握好注浆结束时机,既可以使注浆达到设计要求,取得比较好的堵水效果,又可以节省工程费用。在注浆过程正常的前提下,注浆过程中注浆压力均匀持续上升达到设计终压,同时注浆段单位时间吸浆量 $<10\text{ L/min}$ 时,稳压 $20\sim30\text{ min}$ ,即可结束注浆。

### 3.2.6 孔口套管的安置

按照正常设计,打到完整岩石 $2\text{ m}$ 钻进停止,准备安放孔口管,孔口管放到岩石底部,注水灰比 $0.6$ 的水泥浆固定,待 $48\text{ h}$ 水泥浆已固牢孔口管后,钻进注浆。

## 4 注浆效果监测

帷幕质量检查以打检查孔、取心观测、压水试验成果为主,结合注浆成果资料来综合评定,必要时可进行物探测试。

目前,按照压水试验、钻心检测,结合面波检测来进行。

帷幕注浆效果最直接的检验方法是通过抽(放)水试验,得出坑内水量变化数值,计算出堵水率;通过幕内外观测孔水位测量球的两侧水位差。堵水率越高,水位差值越大,说明注浆效果越好。除此之外还可以进行以下工作。

(1)提前打好帷幕内外水位观测孔,在注浆过程中,不断观测和研究水位流场变化,可以及时发现地下水主要通道,得以加速、加强该通道的注浆工作,提前得知注浆效果。在以往的注浆工程中均据此受益。

(2)打检查孔,通过压水试验检查帷幕体的渗透性能。通过岩心裂隙检查,有无水泥结合,综合分析浆液扩散范围和注浆质量。检查孔为注浆孔总数的

的 $10\%$ 。

(3)用地球物理勘探方法,检查帷幕注浆前和帷幕注浆后岩石弹性波速的变化。

## 5 结论

本文以江西省乐平市月形铜多金属矿帷幕注浆堵水工程为例,对矿床堵水工程做了深入的研究和探讨,得出以下结论:

(1)在矿区开采既有条件下,地下水突水量很高,强排费用明显高于治理费用时,选择注浆堵水,从适用性、可靠性和可行性3方面考虑都不失为一种整治矿区突水的好办法。

(2)该方法施工过程中采用3期作业,一边注浆一边检查注浆效果的探灌结合的手法,可以及时了解施工地质现状并可以据此优化设计和施工进度;当工程施工结束时也基本弄清了溶洞的分布情况和处理情况,为进一步研究工作提供了丰富的一手资料。

(3)工程实践表明,注浆堵水效果明显,矿区内排水量不到治理前的 $40\%$ ,该事实充分说明该矿区的堵水工程采用注浆法是行之有效的。

(4)本次研究中多次采用双液注浆,但由于施工工艺的限制,易造成浪费和工程质量不合格,建议可以研制一套完备的配置注浆设备,以进一步提高施工工艺。

## 参考文献:

- [1] 彭振斌. 注浆工程设计计算与施工[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,1997.
- [2] 李相然,赵春官,等. 地下与基础工程防渗透与加固技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [3] 程晓,张凤祥. 土建注浆施工与效果检测[M]. 上海:同济大学出版社,1998.
- [4] Donald P. Coduto. Geotechnical Engineering Principles and Practices[M]. Upper Saddle River, NJ, USA: prentice Hall, 1999.

## 重庆市铁矿铝土矿整装勘查取得了显著成果

《中国国土资源报》消息(2011-12-30) 从2011年12月26日在重庆召开的铁矿铝土矿整装勘查阶段成果总结会上了解到,重庆市铁矿铝土矿整装勘查工作实施一年多来取得了显著成果,新增资源储量铝土矿 $7650\text{ 万 t}$ 、铁矿 $2\text{ 亿 t}$ ,为提高重庆矿产资源综合利用水平奠定了基础。

重庆铁矿铝土矿整装勘查工作于2010年7月正式启动,分科研、基础地质调查、调查评价、矿区勘查、选矿试验等

方面开展,取得显著成果:新增资源储量铝土矿 $7650\text{ 万 t}$ 、铁矿 $2\text{ 亿 t}$ ,为打造重庆“千亿铁产业链”和“千亿铝产业链”提供了重要资源基础;综合评价了大佛岩、吴家湾、申基坪3个铝土矿区铝土矿共生“三稀”元素矿产,估算钽资源量 $3600\text{ t}$ 、镓资源量 $6800\text{ t}$ 、锂资源量 $5.9\text{ 万 t}$ ;进行了中低品位铝土矿铁矿可利用性研究。