

# 大水矿山截水帷幕注浆工程施工关键技术

黄才启<sup>1</sup>, 孙健<sup>2</sup>

(1. 安徽省地矿局 321 地质队, 安徽 铜陵 244033; 2. 安徽省地矿局, 安徽 合肥 230001)

**摘要:** 大水矿山开采的难点之一是防治水, 如何进行有效治理乃是困扰这些矿山开采的重要课题, 也是一项系统性工程。通过对新桥硫铁矿二期扩建防治水工程的实践, 重点讨论了新型粘土改性固化浆液帷幕注浆工程成功应用的经验, 对富水矿山的治理工程进行了有益探索, 具有探索性的意义。

**关键词:** 大水矿山; 帷幕注浆; 改性粘土; 粉煤灰

**中图分类号:** TD74 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)12-0074-05

**Key Technology of Water-proof Curtain Grouting Construction in Undation Mine/HUANG Cai-qi<sup>1</sup>, SUN Jian<sup>2</sup>**

(1. 321 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Tongling Anhui 244033, China;

2. Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Hefei Anhui 230001, China)

**Abstract:** Water control is one of the difficulties for mining in undation mine. How to effectively control the water is a bothering problem and is a system project. By the practice of water control extension engineering, the successful application experience of curtain grouting with new hardening slurry of modified clay is discussed, which is a beneficial exploration for water control project in undation mine

**Key words:** undation mine; curtain grouting; modified clay; fly ash

## 0 引言

大水矿山水患因其地质结构和水文地质条件复杂而成因不同, 既有共性又有异点, 因而有效治理水患既要借鉴常规成功的技术, 又必须具有具体针对性。新桥硫铁矿是一个大水水患、多种水文地质成因的矿山, 1997 年作为安徽省重点工程项目批准进行二期扩建, 其中防治水工程是该扩建工程的重要组成部分。设计采用了帷幕防渗挡水墙, 并于 2007 年 5 月建成, 取得了显著的截流效果: 当幕内外最高水位差达 40.6 m 时, 堵水率达到 78%, 远远超过 59.3% 的设计指标。而采用普通粘土改性固化浆和粉煤灰固化浆及其组合使用是该治水工程独有的特点, 实现了最为经济而截水效果良好的目标, 新型浆液注浆系统的创新和注浆工艺控制成为成功实施这一项目的关键技术。

## 1 水文地质条件与帷幕设计

新桥硫铁矿是一个坑、露联合开采的大型多金属硫化矿床, 矿区因中部闪长岩株将矿区分割为东西两翼 2 个相对独立的水文地质单元, 二者水力联系不密切(参见图 1)。西翼水文地质条件较好, 采用坑下开采。东翼目前露天开采, 其后将转入井下

开采。东翼水文地质条件复杂, 矿体顶板为岩溶发育的栖霞灰岩, 属岩溶充水矿山, 采区外西部有圣冲河、东部有新西河、北部有河漫滩的地表水体入渗及地下水体迳流补给, 多次发生大的突水事故, 致使采区及周边地区出现地面塌陷、开裂, 河流断流、河水倒灌矿坑, 矿区公路、铁路、农舍等建筑物被毁, 矿山安全生产受到严重威胁。为解决东翼地下水害问题, 保护区域地质环境和水资源, 制定了堵、排结合的防治水方案, 即建立东翼采区外防渗帷幕, 拦截地下水补给; 帷幕内疏干排水。

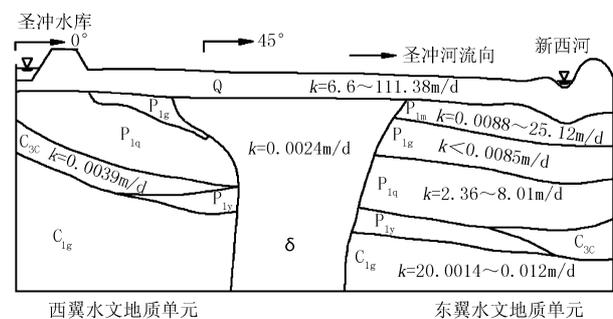


图 1 新桥硫铁矿水文地质纵剖面示意图

根据涌水量大小划分, 新桥矿属大水型矿山。为优化防渗帷幕工程设计, 在进行帷幕注浆工程前, 先期进行了专门水文地质补充勘探和小规模的帷幕

收稿日期: 2011-07-12; 修回日期: 2011-11-09

作者简介: 黄才启(1964-), 男(汉族), 安徽怀宁人, 安徽省地矿局 321 地质队副总工程师、钻探工程公司经理、高级工程师, 探矿工程专业, 从事特种钻探工程技术、矿山治水研究、开发、应用与管理工, 安徽省铜陵市狮子山区, hz321ahdk@126.com。

注浆研究性试验工作,然后依据区域水文地质条件、帷幕注浆研究性试验成果及国内成熟工程的经验确定方案,优化设计参数(帷幕形式、幕线位置、帷幕深度、浆液类型、注浆工艺、注浆标准、隔水边界、堵水效果等),封堵来自采区外西部的圣冲河、东部新西河及北部河漫滩的地表水体入渗及地下水体迳流补给。帷幕工程布置参见图2,幕线总长度720 m

左右,分为4段,其中Ⅲ~Ⅳ为主段;注浆孔深度一般控制在-150 m以内,Ⅲ~Ⅳ段局部控制到-230 m左右;设计孔间距7.5~15 m,扩散半径10~20 m(由先期试验成果确定)。实际钻孔67个,总进尺10892 m,注浆44127 m<sup>3</sup>,粘土浆与粉煤灰浆用量约11:1。

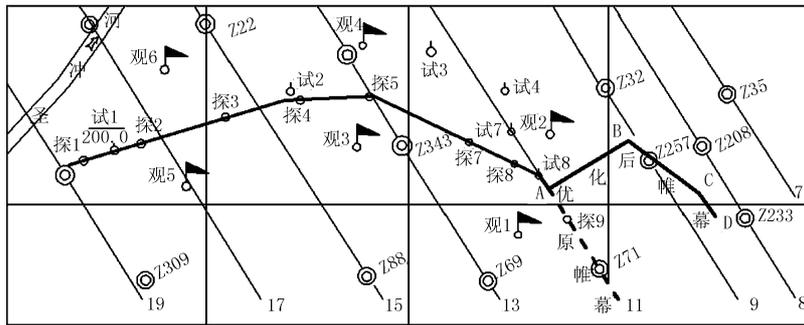


图2 新桥硫铁矿截水帷幕平面布置图

区内地质资料表明,该区导水带属大开度~较小开度兼备型,沿帷幕线由东向西,由于地质构造不同,导水成因和程度差异较大。钻孔揭露的导水带有:溶洞溶隙、裂隙、破碎带、不整合接触带,岩溶率达到8.0%,东部岩溶呈无~半充填,西部岩溶呈半~全充填(淤砂),东西部岩溶特性存在显著差异,浆液的可注性(渗透扩散性)差异十分悬殊,需合理选用浆液类型和配比,以期达到孔间覆盖而形成连续堵水幕墙。本工程经过研究,浆液以粘土固化浆(即改性粘土浆)为主,粉煤灰固化浆为辅,配比多样,灵活选用,两种类型浆液的混合选用取得了良好的截水堵漏效果,材料成本较纯水泥浆大幅下降(降低60%)。

粘土固化浆液采用普通粘土,具有价廉源丰、流变性良好、结石强度较高、渗透率低、抗剪切抗冲刷侵蚀能力强、析水率低、稳定性高等特点,综合性能优于水泥浆液,多用于大开度充填注浆;粉煤灰固化浆液(粉煤灰-水泥浆)具有早期强度高、浆液稳定性好、结石强度高、成本较水泥低廉、析水较水泥低、可注性好(小开度注浆扩散性能好)等特点,是常用的地基加固和治水堵漏材料,多用于小开度渗透性注浆。

粘土固化浆是本工程的一大亮点和施工核心,使用普通粘土制备浆液是该项目施工技术难点所在,实践中不断优化改进粘土原浆制备工艺,研制出高效高速粘土粉碎搅拌制浆系统,属国内首创。

## 2 钻孔与注浆设备选择

钻孔分别采用XY-1、XY-4型钻机,注浆采用BW-250、TTB180/10型注浆泵(压力6 MPa以上),自制高效高速粘土粉碎制浆机(粘土原浆制浆机)、原浆涡叶搅拌机、混浆搅拌机,以及粉煤灰初浆搅拌机,3PNL、2PNL型泥浆泵,灵活拆卸式黑铁管(耐压4 MPa以上)。

## 3 钻孔施工工艺要点

### 3.1 测量放线

测量放线是保证幕线位置准确最基本的工作,用高精度全站仪测定基准点、端点、拐点或其他控制点,钻孔放点切忌目估或简易丈量,孔位偏差必须小于设计允许值(500 mm)。中间进行复测核对,项目完工后系统总复测。

### 3.2 钻探技术方案与工艺措施

本矿区地质构造复杂,为保证帷幕注浆工程质量,要求采取取心钻进方法,以掌握水文地质资料,为注浆提供决策依据。帷幕注浆区域地层条件一般都较为复杂,甚至极端复杂,如松散砂砾层、岩溶发育层、充填泥砂层、构造破碎带、蚀变风化带等。这样的层段多为帷幕注浆的主要对象层,为使注浆有效,要求钻进中不得使用泥浆和套管隔离,因此钻进中几乎全孔漏失,坍塌严重,易发生卡埋钻事故。为此采取“加大开孔直径、多级套管封隔”的钻进方案,采用“强行突破,捞排结合,即钻即注,快穿快护”的工艺措施快速穿越复杂地层。

钻孔直径的选择,不仅是要保证能钻达目标深度,而且要良好地导通水带、提供良好的注浆通道,较大直径钻孔具有较大揭露度,利于注浆。本项目要求钻孔终孔一般不小于 $\varnothing 91$  mm(-150 m以深段可 $\varnothing 75$  mm终孔),因不同幕线段复杂类型和程度差异较大,开孔 $\varnothing 130 \sim 150$  mm,下入完整基岩套管需固定、封底止水、筑实孔口,为注浆和注水试验创造密封条件。特别复杂层段可下套管护壁,但需先按注浆要求做好注水试验和注浆工作,必要时钻孔完工拔除套管后再进行注水试验和补注浆工作。

设计要求取心率 $\leq 70\%$ (松散破碎 $50\%$ ),取心困难时采用特殊钻具、少打勤提、专捞等措施。钻进中要求测量消耗量,记录溶洞、裂隙、坍塌、掉钻现象。进行水文地质编录,初步掌握水文地质资料。

钻孔垂直度是控制截流帷幕的必要条件之一,由于钻孔布设较稀,孔间距较大,如若两孔偏斜互为正负过大,则可能导致覆盖“缝隙”,设计要求偏斜率 $> 1.5\%$ 。为保证控制好钻孔垂直度,首先要求钻机安装稳固,天车、立轴和孔口三点成一线;其次选择钻具级配要合理,减小孔壁与钻具之间的环状间隙;三是合理选择钻进参数,钻压、转速与冲洗液量要适中;四是换径时采用导向扶正结构;五是要及时测斜,及时纠差。

### 3.3 钻孔施工顺序

钻孔分单双两序,间隔施工,交错进行,最后根据工程需要施工增补孔或检查孔。跳孔施工是保证首序孔有较大扩散范围,且理论上可形成形态稳定的幕墙结构,可避免毗邻施工时对低强度浆结石体的干扰破坏。同时后序孔也是对前序孔注浆效果(扩散半径、浆石体强度)的检查。大量工程实践证明,分序跳孔施工效果良好,后序孔注浆量大幅下降、钻孔复杂程度大为降低。本项目幕线较长,为避免场内长距离搬迁,采取梯次施工,整体推进策略,但两序孔施工时间间隔 $\leq 15$ 天。

幕内外观测孔要先于注浆孔施工完毕,便于观测掌握帷幕注浆施工过程中堵水截流效果的变化情况及最终效果。

## 4 注浆施工要点

### 4.1 注浆方式与钻孔分段

采用下行式分段孔口闷盖注浆法。原则上分段高度 $5 \sim 30$  m,施工中依据钻孔揭露地层水文地质特征确定,遇钻孔漏失、溶洞和孔壁不稳定(掉块、

坍塌)必须注浆。如 $30$  m无漏失现象,停钻进行注(压)水试验,决定是否注浆。这种下行式分段孔口闷盖注浆工艺决定了:下段注浆也是对上部诸段修补注浆和增压注浆,是对上部孔段注浆的保障,最后段注浆及透孔再次封孔注浆是对全孔最终保障。

### 4.2 注(压)水试验

注(压)水试验是决定注浆和检验效果必做工作。除钻探揭露岩溶洞穴和宽大强透水层(明显漏失)外,每个注浆段注浆前与扫透后都要进行注(压)水试验,计算单位吸水量 $\omega$ 值 $[L/(min \cdot m \cdot m)]$ 。注水试验 $\omega$ 值非常小时必须做压水试验,压水试验压力为注浆段对应的注浆压力。 $\omega$ 值综合反映了岩层的渗透能力和吸浆能力,是决策注浆工作的依据(见表1)。必须认真按照设计要求、工序程序及规程做好注(压)水试验,准确测量水位、注(压)水量、时间、压水压力,每次重复做3遍,注(压)水工作需有监理和设计共同现场监督。

表1 浆液类型及浓度选择表

单位吸水量 $\omega$ /[ $L \cdot (min \cdot m \cdot m)^{-1}$ ]	浆液	初始水固比
$< 0.05$	不注浆	
$0.05 \sim 0.2$	粘土固化浆	(1.2 ~ 1.5): 1
$0.1 \sim 1.0$	粘土固化浆、粉煤灰固化浆	1: 1
$> 1.0$	粘土固化浆、粉煤灰固化浆	0.8: 1

### 4.3 注浆压力

注浆压力既是控制注浆效果的技术指标,也是控制浆液扩散半径间接参考依据。注浆压力(终压)设计为静水压力的 $1.5 \sim 2$ 倍(参照表2),依据钻探揭露地层资料和前段注浆情况可适当调整,一般不大于 $2.5$ 倍水压,但在有充填物的溶洞及细小裂隙段的注浆终压可稍大于 $2.5$  MPa。

表2 注浆压力参照表

注浆段埋深 /m	孔口表压 $P$ /MPa	注浆段埋深 /m	孔口表压 $P$ /MPa
100	1	100 ~ 150	1.5
150 ~ 200	2	$> 200$	2.5

### 4.4 终注标准(结束标准)

每次注浆均按各段注浆结束标准执行,即压力均匀持续上升达到设计终压标准,并开路循环稳压注浆,直到吸浆量持续 $20 \sim 30$  min 小于 $5$  L/min 为止。

全孔终注:最后注浆段按要求注浆结束候凝后,透孔做注水试验, $\omega \leq 0.05$  L/( $min \cdot m \cdot m$ )即封孔注浆(按终压要求),否则再注、再透、再试验,直到

$\omega \leq 0.05 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$ 。

### 4.5 注浆控制

注浆压力是注浆控制的直观依据。始注可大流量进行,起压后适当放慢注浆速度,延长持续注浆时间,维持自然升压,尽可能使浆液扩散,不人为升压。如地层吸浆量过大(强岩溶带或大裂隙),注  $50 \text{ m}^3$  不起压即停注,间歇 8 h 以上(参照浆液初凝时间),调用较稠配比浆液间歇注浆,尽可能使其较快起压,起压后注浆压力采用下限标准,最后用稀浆弥补浆液凝结出现的收缩残余缝隙。

由于受注地层岩石裂隙性状、渗流速度、以及封堵对象的空间容积、连通性千差万别,认真科学地控制注浆过程,注重每次注浆效果十分必要。浆液类型与配比(浓度或密度)选择由设计人员现场确定,一般根据地层导水性、前期注浆情况、新近钻探水文表现现象、注水水试验成果选定,通常每次注只采用一种配比,也可根据表头压力中途调整配比。对于强连通性溶洞、张开型裂隙使用浓稠粘土浆为主,充填型溶洞、闭合型裂隙则多用粉煤灰浆或稀粘土浆。

按指定的浆液配比进行配浆,检测配制浆液质量指标(密度),掌控注浆全过程中压力、注浆速度、维压时间,解决注浆中出现的问题,如冒浆、串浆,则首先予以封堵续注,无效时则停注停钻,间歇等待;如起压过快,则改稀浆或粉煤灰浆,慢速压注,扫通重注。每个注浆周期都要达到该区段结束标准。

## 5 浆液制备要点

### 5.1 注浆系统

注浆系统是帷幕工程决定工程质量、施工效率的关键。大型注浆工程多采用集中制浆站(见图3)制浆配浆,利用管道远程输送注浆的方式,浆液制备及灌注工艺流程见图4。集中制浆站是整个注浆系统的核心,要求其生产能力必须满足注浆速度,其中粘土原浆的制备是该项目整个系统的咽喉。整个系统要简捷、实用、可靠,各环节必须相互协调,避免物流、人流、序流交错,有应急措施。

#### 5.1.1 材料贮存

保证足够的物料存储场(粘土、水泥、粉煤灰、生石灰、水玻璃),同时按照工艺流程,合理布置,场位要满足原材料运输和便于制浆、注浆的上料、拌制、输送、应急处理等工作。

#### 5.1.2 原浆制备与贮存

粘土原浆制备是注浆重要工序,需预备存贮,根据总进度和整体注浆量测算制浆效率和贮备量,建

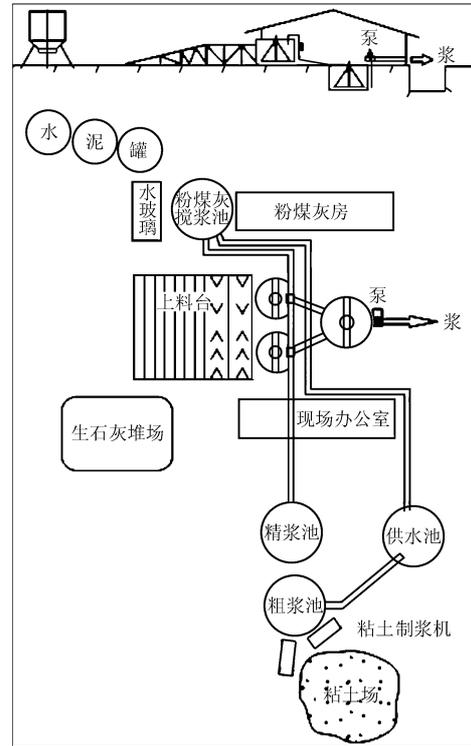


图3 集中制浆站

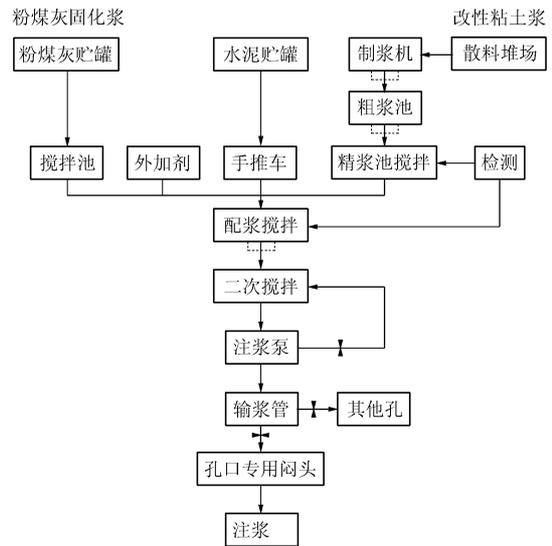


图4 注浆工艺流程

造足够大容量的贮浆池。本项目采用自行研制的高效高速粉碎制浆机,制浆效率  $8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,配置各  $90 \text{ m}^3$  的粗/精浆贮池(需足够大容量)基本满足供浆要求。贮浆池必须保证浆液搅动不离析,设立过滤、抽排、清渣装置。

原浆制备要求尽可能浓稠,密度控制在  $1.4 \sim 1.5 \text{ g}/\text{cm}^3$  为好;粉煤灰原浆即用即制,密度在  $1.45 \text{ g}/\text{cm}^3$  左右,使用一般的搅拌机,制浆效率  $6 \text{ m}^3/\text{h}$  即可满足要求。

原浆密度控制是提高注浆效率、控制质量的第

一步,为成品浆配制“标准化”操作提供方便,所以制浆时必须准确把握原材料上料量和用水量。

### 5.1.3 成品浆配制

注入孔内的成品浆(粘土固化浆和粉煤灰固化浆)均通过配浆机拌和搅制,再到成品浆池二次搅拌,实现搅拌充分、防止离析。成品浆液密度需进行测试,必须达到设计要求。

### 5.1.4 浆液过滤

为保证浆液悬浮颗粒细度,减少堵管损泵,从原浆制备到成品浆配制,每道抽排环节均设置过滤网筛,原始初浆过筛、粗浆过筛、精浆过筛、成品浆过筛,网目由粗到细,其中最主要最关键的一环是粗浆过筛,需要基本全部滤除粘土粒块、植物根茎等杂物。筛具要便于清洗和更换。

### 5.1.5 浆液输送

输浆管道布设科学与否与注浆效率至关密切,三通和闸阀设置位置要合理(否则容易堵管),冬季要防冻(否则容易堵管或爆裂),尽可能减少系统性拆装。根据钻孔序次梯次分段推进布设,输浆管道主线一次性铺设到位,各孔设分接点,中间设立拆卸活节,保证全线管路畅通。钻孔机场使用耐压软胶管和专用闷头与孔口管连接。专用闷头设有压力表、排气阀。

## 5.2 应急措施

注浆过程出现问题,按可行、可靠、经济原则,采用应急措施:备用电源、备用注浆泵、备用水源池、钻机泥浆泵反向清管、管路设置活节拆卸点等。

## 6 施工资料记录与整理

(1)逐日跟踪钻孔水文地质编录。随钻探工作进展,全面系统掌控地质、水文特征。

(2)严格认真逐孔逐次记录注(压)水试验结果。

(3)钻探、地质、制浆、注浆记录及时认真详细填写,记录浆液检测结果。

(4)归整注浆资料,分析原浆性能、成品浆性能之间关系,分析浆液性能与地层可注性关系,不断总结分析相关规律,指导后续注浆工作。

## 7 施工组织管理

(1)实行项目经理负责制,按注浆、钻孔、技术质量定岗定责,分级责任制,明确各自的任务、职责、权限,并互相协调、互相监督;

(2)实行质量否决制,进度为质量让行,将质量

与责任和利益挂钩;

(3)系统进行项目技术交底,明确生产与质量的关键环节、主要措施、质量指标和质量检查点,对各级管理人员进行培训指导,着眼于把握每一单孔钻探和注浆质量。

(4)钻孔与注浆工作统一组织,统一部署,统一调度。

(5)制定详细《制浆注浆操作规程》,并严格遵守,定时检测原浆、成品浆质量(密度),首要控制粘土原浆质量。

(6)注浆中统一指挥,通讯畅通,信号明确,专人专岗,密切监视注浆压力。

(7)注浆前系统检查注浆泵、输浆管路,注中巡查管路,注后认真清洗注浆系统(包括配浆机、供贮浆池、注浆泵、流量计、管道等)。

(8)定期检查、擦清、保养制浆机、泥浆泵、输料机。

(9)严格认真做好终孔透孔检查注压水试验和封孔补注工作。

## 8 结语

大水矿山帷幕注浆一般都是大注浆量工程,采用普通粘土改性固化浆则是有效而经济的方案,不仅达到大高差水头压力堵水效果,而且大幅降低投资费用。但由于采用普通粘土作为地下水大通道截水材料,其强度相对水泥大幅降低,其对浆液质量、注浆工艺、注浆质量要求相对较高,尤其是粘土原浆制备(系统)、浆液质量、注浆控制、浆液选择等技术要求明显提高,所以施工组织与技术各环节要求需更加严谨,尤其是开发性的普通粘土固化浆的使用全新工艺全过程的关键技术,值得更加深入研究。新桥矿治水成功创新,为低廉新型浆液的开发应用和相应注浆技术的提高提供了良好的借鉴。

## 参考文献:

- [1] 黄德发,王宗敏,杨彬,等. 地层注浆堵水加固施工技术[M]. 江苏徐州:中国矿业大学出版社,2003.
- [2] 王军,王泽群. 岩溶大水矿山改性粘土帷幕注浆水害控制技术研究[R]. 长沙矿山研究院,新桥矿业有限公司,2007.
- [3] 胡国信. 新桥硫铁矿注浆帷幕截流方案的可行性研究[J]. 矿业研究与开发,2001,21(5):27-50.
- [4] 吴秀美. 改性粘土浆的试验研究[J]. 矿业研究与开发,2002,22(4):36-45.
- [5] 周兴旺. CL-C型粘土水泥浆及其注浆工艺[J]. 中国煤炭,1995,(7).
- [6] 杨全,等. 矿山帷幕注浆特殊地层施工工艺研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11).