

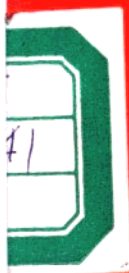


中国煤炭学会第六届青年科技学术研讨会

论文集

中国煤炭学会青年工作委员会编

煤炭工业出版社



中国煤炭学会第六届青年科技学术研讨会

论 文 集

主办单位:中国煤炭学会青年工作委员会

承办单位:淮南工业学院 淮南矿业集团

煤炭工业出版社

二〇〇〇年十一月

论 文 集

——中国煤炭学会第六届青年科技学术研讨会

责任编辑:廖永平 黄朝阳 王铁根

陈 钊 李振祥 郑发科

*

煤炭工业出版社 出版发行

(北京朝阳区霞光里8号) 100016

淮南工业学院印刷厂 印刷

*

开本 787×1092mm^{1/16} 印张 25^{1/2}

字数 590 千字 印数 1—400

2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 次印刷

ISBN:7-5020-1949-9/TD82-53

书号:4720

定价:38.25 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

中国煤炭学会第六届青年学术研讨会

指导委员会名单

(按姓氏笔划为序)

主任委员: 范维唐

委员: 王 君 王金庄 宋振骐 陈清如
尚海涛 胡省三 洪泊潜 钱鸣高
韩德馨 解景全 谢和平 潘惠正

执行委员会名单

主任委员: 谢和平 张文祥 唐正凯

副主任委员: 张玉卓 袁 亮 程 桦 彭苏萍

委 员: (以下按姓氏笔划为序)

伊 烈 李 伟 吴立新 张平远
陆守香 赵国栋 郑高升 徐精彩
殷作如 梁 星 葛世荣 颜世龙
谭永杰

秘 书 组

组 长: 祝经康 梁 星

成 员: (以下按姓氏笔划为序)

田扬群 沙 云 何学华 汪正俊
李毅华 祝经康 梁 星

序 言

世纪之交,党的十五届五中全会描绘了我国新世纪第一个五年发展蓝图。全会号召全党和全国人民,高举邓小平理论的伟大旗帜,坚持党的基本路线,为建设富强、民主、文明的社会主义现代化国家而努力奋斗。新的世纪,希望与困难同在,机遇与挑战并存。

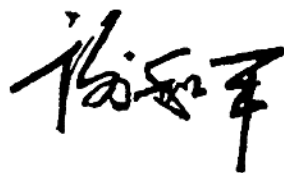
我国的社会主义现代化建设正处于承前启后、继往开来的重要历史时期。新旧体制的变化和我国加入世贸组织的临近,同样使我国煤炭行业面临机遇和挑战。我国能源结构中70%以上一次能源来自煤炭的状况在相当长的时期内不会发生大的变化。据预测,到2010年煤炭在我国一次能源中所占的比例大约为65%。进入21世纪,煤炭仍将是我国的主要能源,煤炭工业的发展关系到整个国民经济的发展。

科学技术是第一生产力,科技发展是经济发展的决定因素。近20年来,我国煤炭工业依靠科技进步,取得了迅猛的发展。我国已建立起较为完善的煤炭科研与技术创新体系,涌现出一批高水平的科研成果,某些领域已达到世界先进水平。但是,应当清醒地看到,我国煤炭科技的整体水平还比较低,与发达国家相比还有较大差距。

煤炭工业“十五”规划中提出,到2005年,全国煤炭入洗率达到60%以上,炼焦洗精煤产量7000万吨,煤层气产量30亿~40亿立方米,水煤浆产量达到1000万吨,煤炭液化油200万吨。大型煤矿机械化程度达到90%以上,中型煤矿达到60%以上,建成140处现代化高效矿井,大中型煤矿科技贡献率达到40%以上。实现上述目标需要我们进行长期的艰苦努力,加大技术改造力度,提高技术创新水平,促进产业升级和利用信息技术改造传统产业。

科技增强国力,青年开创未来。在新世纪之初,为振兴煤炭工业,需要煤炭系统广大青年科技工作者共同努力。中国煤炭学会青年工作委员会组织召开这次以“依靠科技创新振兴煤炭工业”为主题的青年学术会,共收到来自全国煤炭高校、科研院所、厂矿企业青年科技人员的学术论文134篇,经专家审查筛选录用93篇,涵盖了采矿工程、矿山安全、机电一体化、洁净煤技术及煤矿城市生态环境控制等多学科领域。我们希望这次会议能增进了解、加强全作、启迪思想、鼓励创新,并为推进研究解决煤炭工业现代化建设中的重大与关键问题,以及为促进煤炭工业的科技进步,起到应有的作用。

中国煤炭学会青年工作委员会主任:



2000年11月24日

目 录

岩土力学与煤矿支护技术

特殊地层井筒破裂修复治理的工程实践·····	程 桦 孙文若 杨俊杰 姚直书(1)
冻结壁承载能力的分析·····	陈湘生(6)
煤的动态破坏时间测定——点载荷法 ·····	赵国栋 王淑坤(10)
受采动影响厚煤层沿顶巷道围岩稳定性模拟 ·····	谭云亮 王春秋(14)
圆形硐室遇水作用下的湿度应力场理论解 ·····	徐思朋 缪协兴 陈占清(18)
建筑物下特厚煤层综放面覆岩离层注浆的工程实践 ·····	高延法 牛学良 谢兴华 钟亚平 殷作如 李复(23)
高围压下不饱和冻土三轴强度特征的试验研究 ·····	汪崇鲜(27)
减小三下开采中煤层覆岩沉降的探讨 ·····	郝立强(31)
特殊地层条件下冻结外壁破坏的防治技术 ·····	陈启富(35)
五家煤矿三井回采巷道锚网支护的可行性 ·····	韩志明 茹彩金 韩兴(38)
软岩巷道破坏原因分析支护对策 ·····	韩 兴 丁海强 毛永刚 韩志明(44)
开滦东欢坨井田软岩巷道破坏机理探讨 ·····	张 宏(48)
深部巷道强力支护探讨 ·····	邹光华(49)
急倾斜岩层中反井钻机施工经验及教训 ·····	吴长城 夏云平(52)
综放沿空掘巷锚杆支护技术研究 ·····	郭金刚(57)
覆岩离层带多层次注浆时的浆体分布与注浆量预计方法 ·····	高延法 张庆松 牛学良 张瑞玺 杨中东 李文成(62)
“多”字型构造体系在刘桥一矿应用 ·····	徐冰寒(65)
水对煤岩力学性质的影响试验研究 ·····	闫立宏(69)

煤矿安全与通风技术

爆炸成雾效果影响因素的研究 ·····	陆守香(73)
定向长钻孔抽放瓦斯技术研究 ·····	赵旭生 孙东玲(77)
应用密切值法综合评价矿井通风系统安全性 ·····	王 飞(81)

一种新的落煤残存瓦斯量确定方法	撒占友(86)
开采特厚煤层防治自然发火经验	岳超胜 马玉忠(91)
西马煤矿瓦斯治理和综合防突措施探索与研究	王英汉(94)
矿井通风安全管理决策研究.....	张 涛 肖全兴(102)
瓦斯爆炸参数的理论计算及机理探讨.....	魏引尚 常心坦(105)
矿井火灾区域性防灾研究与实践.....	谷梦平 李俊利(109)
高瓦期回采工作面上隅角瓦斯积聚治理方法.....	赵传浩(112)
综合运用井下密闭技术防灾确保矿井安全.....	王 浩(115)
淮北矿区矿井瓦斯灾害的预测及防治.....	范景坤(118)
煤巷掘进过程中的瓦斯治理技术探讨.....	柏发松(121)
浅谈高位巷在高瓦斯采煤工作面的应用.....	夏国宏(125)

煤炭开采技术

淮南矿区突出煤层顺层长钻孔施工技术的初步试验.....	袁亮 孙东玲(129)
煤巷锚杆支护技术创新分析.....	陈立武 赵森林(133)
高突、易燃、三软、特厚煤层铰接顶梁简易放顶煤工艺实践	李 伟 孙贤斌(138)
深部条带放顶煤开采保护地面设施的试验研究.....	徐乃忠 张玉卓(141)
淮北复杂条件下特厚煤层轻放开采的实践.....	陈 贵 王云东(145)
悬移支架放顶煤在兴山矿试用体会.....	马玉忠 岳超胜 高福明(150)
潘三矿 1241(3)大倾角综采工作面采实践综述	方恩才 何向荣 张立顺(153)
组合钢梁放顶煤在大倾角复杂构造煤层中的开采试验.....	郭之宝 汪孝生(157)
特厚松软煤层工作面沿底巷道施工的实践.....	黄华山 徐基根(162)

电气自动化与信息处理

智能电机控制器在工业自动控制中的应用研究.....	郭晓东 王玉光 张继业(167)
地质灾害信息管理系统及其应用研究.....	申 力 祖国林 刘晶辉(172)
瓦斯抽放管路束管自动取样装置研制.....	王 理 张洪福 李 锐(175)
矿井发电机——电动机组拖动提升电控系统的现代化改造.....	潘正云 石 强(177)
液压支架电液控制及初撑力监测保证.....	梁卫国(181)
矿井煤与瓦斯突出的连续预测技术及系统.....	石显新(185)

三相五柱式电压互感器二次接线的探讨·····	郑朝勇	(191)
矿机车弯道、道岔车内报警系统的研究与试验·····	李军霞 寇子明 吴俊峰	(193)
TT—MGIS 数据组织与矿山专题属性建库研究·····	杨可明 吴立新 齐安文	(195)
无线电波坑道透视法在潘三矿的应用与效果分析·····	汪云龙 刘振山 李文峰	(200)
三维勘探成果资料在我矿的验证与应用·····	方良才 汪云龙	(207)
矿井音频电透视技术的应用·····	何 峰 蒋维庆	(212)
通风安全工程中计算机模拟技术应用及发展·····	刘泽功	(218)
WD—400 型电铲回转电机被烧分析——对 4 m ³ 电铲电器维护检修的探讨 ·····	彭树梁	(224)

煤矿城市生态环境控制

西北矿区的环境治理及煤炭工业可持续发展问题·····	李树刚 王 军 张正林	(227)
采空区胶结充填与矿山可持续发展·····	杨宝贵 孙恒虎 崔希民 孔祥义	(232)
煤矿城市可持续发展与空间信息技术的应用·····	杜培军 郭达志 盛业平	(235)
西部煤炭开发引起的主要生态问题及防治对策·····	李树志	(242)
淮南矿产资源可持续发展的战略思考·····	丰 年 崔龙鹏	(247)
深大露天矿闭坑城市环境地质灾害研究·····	祖国林	(252)
西部地区矿业安全与环境现状及其可持续发展策略·····	张俭让 李学文 常心坦	(257)
露天煤矿的开要与生态重建·····	田新禾	(262)
煤矿废弃物资源化与可持续发展的探讨·····	高廷明	(264)
煤矿区景观规划若干问题探讨·····	贺日兴 胡振琪 魏忠义 姜 晶	(266)
浅谈下峪口煤矿矸石山的污染现状及治理对策·····	李仙芳	(273)
倒置式防水屋面的热工计算·····	赵廷奎	(275)

煤矿地质与测量

淮南矿区水文地质勘探工作及水害防治技术介绍

·····	袁 亮 李佩全 程功林 刘登宪	(279)
煤矿塌陷区埋地管道破坏的判断方法研究·····	崔希民 方志海	(284)
对平庄煤田五家一井的构造认识·····	韩 兴 田文明 韩志明	(288)
谢一矿矿井水害状况及防治技术方法的研究·····	高 兵 李 杰	(291)

高承压含水层中安全钻探的技术方法·····	唐永志 王子龙 苏平泉(296)
合理调整矿界 利用现有设施 发挥系统潜力·····	张 平 复仕方(300)
极薄覆岩下综放开采的水文地质条件分析·····	陈富勇 宋三胜(304)
刘桥一矿岩溶陷落柱的发育规律分析·····	黄大兴(308)

矿山机械

跳汰机全自动化技术的工业应用·····	刘 旌(311)
C62 货车脱轨安全性研究·····	吕玉琢 王庆海(314)
自翻车倾翻稳定性分析及保证措施·····	王庆海 吕玉琢(319)
斜井甩车场保护提升绞车减速机的措施·····	韩志明 代亚萍 茹彩金(323)
一种新型倾斜井巷运输防跑车装置的研究与实验·····	武通海 寇子明 申明东(325)
NXB—500/60 型斜板式浓缩机 ·····	刘 晰 白宵(328)
SJ—80 双向运输可伸缩带式输送机的研制 ·····	潘雪荣 伊茂海 张 锰(331)
新型跳汰机自动控制系统的的设计及应用·····	郭光利(334)

洁净煤技术与化学工程

中国洁净煤技术发展现状和前景·····	俞珠峰 陈贵峰 秦俊杰 余 洁(337)
乳化液膜结晶提纯精制 2,6—二甲基萘的研究 ·····	李文博 舒歌平 陈 鹏 杜淑凤(344)
洁净型焦生产技术·····	王长秀 张玉君(350)
MHS 系列固硫添加剂提高燃煤高温固硫效果的机理初探 ·····	刘随芹 王德水 王明建(353)
论死腔气体对化学氧自救器吸气中 CO ₂ 浓度的影响 ·····	聂雅玲(357)
煤泥浆技术在安太堡矿选煤厂干燥车间的应用·····	张世红 张占栋(359)
劣质煤的型煤化及其应用·····	朱世明(362)
强粘结性煤与生物质共热解过程中相互作用的研究 ·····	周仕学 郭俊利 赵长青 任鹏 刘文涛(366)
江苏省洁净煤技术发展现状与对策·····	张显清 张 涛(370)
振荡浮选原理及其应用效果·····	程宏志(378)

特殊地层井筒破裂修复治理的工程实践

淮南工业学院 程桦 孙文若 杨俊杰 姚直书

1 概述

自1987年7月淮北临涣矿区副井井壁发生破坏以来,迄今,淮北、徐州、大屯和兖州等矿区已有40多个井筒发生了破坏,对矿井安全生产构成了极大威胁,并造成了重大经济损失。十几年来,淮南工业学院对井筒的破裂机理、修复治理方法进行了系统的理论分析、试验,并参加了淮北临涣矿区井筒治理和修复,取得了一系列的研究成果和工程经验。1996年以来,淮南工业学院在对兖州矿区大量井筒破损现状,和该矿区井筒修复治理进行系统研究的基础之上,成功主持设计与施工了鲍店矿南、北风井,横河主、副井等四个井筒的抢险修复治理工程。目前,正在进行山东鹿洼矿主、副井及河南永城煤电公司陈四楼矿主井的修复治理。本文主要介绍我院对兖州矿区四个破裂井筒修复治理的新技术和工程实践经验。

2 矿井地质与水文条件

鲍店矿南、北风井与横河矿工业广场分别相距3 km和5 km左右,同属石炭二叠系煤层,地质条件极为相近。井田煤系地层上复盖有冲积层,厚144.13~202.56 m,由粘土、砂质土和砂层组成。其上部以粘土为主,下部以砂为主,含水丰富,水力联系发育。因受矿井开采的影响,含水层的水通过岩层裂隙进入矿井,再从矿井排往地面。加之工业广场附近抽取地下水,使含水层失水严重,造成工业广场地面下沉。

3 井壁破裂现象

表1为鲍店矿南、北风井和横河矿主、副井井壁破损简况一览表。由该表可见,四个井筒的破裂现象具有以下相似性:

- 1) 破坏位置均在第四纪表土与基岩交接面附近;
- 2) 均出现环向破裂带,内缘混凝土呈片状剥落,破坏深度100 mm~350 mm不等,破坏带内钢筋外露,纵向钢筋内井内弯曲,明显呈纵向压剪破坏;
- 3) 井筒出现明显纵向变形,井内罐道管路受纵向压缩弯曲;
- 4) 除横河主井外,井筒首次破坏均发生在6月~7月之间。

4 井壁破裂机理

自淮北临涣副井发生井筒破裂以来,国内有关单位的专家进行了大量研究,虽变井筒破损原因,提出了不少理论,但目前纵向附加力理论已基本得到共识。即表土层底部含水

层因采矿疏水水位下降,含水层固结压缩,引起土覆土体沉降,导致表土与井壁接触面产生相对滑动,给井壁外表面施加了一个向下的竖向附加力,这是井壁发生破裂的主因;因季节性气温变化,在井壁内产生竖向压应力是井壁破坏的诱因。从上节所述 4 个井筒破裂现象,以及矿井地质水文条件来看,显然井壁破裂由纵向附加力所致。

表 1 鲍店矿南、北风井和横河矿主、副井井壁破损情况一览表

序号	井筒名称	破坏时间	投产日期	井筒内径(m)	井壁厚度(mm)内/外	第四纪表土层厚度(m)	井筒破坏部位(m)	井筒破坏情况
1	横河煤矿主井	1993.6 1994.12 1996.6	1993.4	4.5	350/ 350	149.61	125.2 122.1~ 139.1 124.8~ 131.4	西北部和北部,井壁全部脱落,涌水量达 14 m ³ /h。第二次破坏在原加固段下约 5 m 左右,涌水量达 40~50 m ³ /h,第三次破坏在 127 m 以上,形成一个完整的环向破坏,涌水量达 10m ³ /h 左右。
2	横河煤矿副井	1995.3 1996.6	1993.4	4.5	350/ 350	144.13	136~ 138 140~ 141	破坏带高 1.5~2 m,混凝土剥落深度 100~200 mm,竖向钢筋弯曲变形。第二次破坏在 140~141 m 处。
3	鲍店矿北风井	1995 7.~8	1998 6.10	5.0	400/ 400	202.56	186.0	破坏裂缝呈水平环向分布,东南方向严重,破坏带高约 1.5 m,破坏深度 70~100 mm,外露钢筋。1997 年 6 月发展到 168 m、180 m、200 m 三处井壁混凝土严重破坏。
4	鲍店矿南风井	1996.7	1986 6.10	5.0	400/ 400	158.0	158.0	破坏裂缝呈水平分布,破坏带高约 1.5 m,破坏深度 50~70 mm,在该处有微渗水现象。

5 井壁修复治理设计

5.1 设计原则

根据井壁破坏主要由纵向附加力引起这一机理,目前,对破裂井壁的修复治理有以下两种技术路线:

- 1)改进井壁结构,以能适应地层沉降抵抗纵向附加力;
- 2)加固井筒周围的含水层,防止或减缓含水层的压缩和地表的沉降。

根据我们的研究成果和工程实践,以及对上述两种治理技术路线优缺点的分析,我院主持设计与施工的七个破裂井筒修复治理工程(包括陈四楼矿主井、鹿洼矿主、副井)均采用了“纵让横抗”的设计原则。

5.2 卸压槽设计

卸压槽设计包括尺寸、个数、位置及充填材料。

卸压槽尺寸设计主要是其高度。卸压槽的高度取决于井壁自身竖向变形量 B 和卸压槽内充填可缩材料的可缩量 A ,即应满足:

$$A+B \geq U \quad (1)$$

(1)式中, U 是根据预计的地层沉降量换算得到的井壁被压缩量。

为保证修复井壁的安全,卸压槽设计高度均控制在小于 300 mm,当卸压槽计算高度小于 300 mm 时,则采用双卸压槽设计。

卸压槽的设置位置对纵向附加力的衰减效果有较大的影响。根据我们的研究成果,当只有一个卸压槽时,设置在风化基岩段效果最好,底含次之。采用双卸压槽设计时,则在风化基岩段及其井壁破坏段上段粘土层部位设置效果最好。

卸压槽深度以开穿内层井壁为止,外层井壁保留不动以作为防水层。

卸压槽充填材料均采用有一定强度,且变形性能良好的沥青浸渍松木。

5.3 内层井壁修复加固设计

内层井壁修复加固的目的是恢复提升安全间隙(提升井),挖补已破裂井壁,确保加固后井壁具有足够抗侧向水土地压的能力。对提升井采用密集槽钢井圈加固结构,对风井则根据井筒破裂情况,采用密集槽钢井圈加固或混凝土套壁加固结构。

加固结构设计外荷载按一个水压取值,强度安全系数 $K=1.7$ 计算。

5.4 破壁注浆设计

破壁注浆的主要目的确保井壁挖补和开切卸压槽施工时的安全。通过壁后注浆形成的注浆帷幕,可有效地封堵破坏段井壁出水点,增强开切卸压槽时井壁的封水性和井壁抵抗能力。为保证注浆效果,尽可能多采用水泥单液浆,而水泥—水玻璃主要用于封孔和控制浆液扩散半径。设计注浆帷幕厚 2.0~3.0 m,注浆压力以保证井壁不受破坏为原则,壁间注浆一般为静水压力的 1.2~1.5 倍;破壁注浆时,注浆终压控制在 2.5 倍静水压力以内;工作压力在 1.5 倍静水压力左右。

表 2 井筒修复治理方案一览表

序号	井筒名称	治 理 方 案
1	横河矿主井	槽钢密集井圈加固,破壁注浆,设双卸压槽(第三次修复)。
2	横河矿副井	同上(第二次修复)
3	鲍店矿北风井	破壁注浆,挂设井圈加固,最后套壁补强,原内壁设两道卸压槽,内套混凝土井壁,并设一道卸压槽。
4	鲍店矿南风井	同上。

注:横河矿主井前两次,以及该矿副井第一次井筒修复,均为另一单位设计施工。

6 修复治理施工

6.1 提升井不停产施工

为保证矿井正常生产,我们对横河矿井、副井,正在施工的陈四楼主井和鹿洼矿主副井的修复治理,采用了不停产施工技术。即利用检修时间进行破裂井壁的修复治理施工。治理施工在提升容器顶部搭设的工作平台上进行。该工作平台采用 10 号槽钢和角铁加工成折叠式,施工时放下,铺上木板并加以固定。

为安全起见,在工作平台至井口设置专用信号和电话,原正常提升信号暂停使用。

6.2 破壁注浆关键技术

为确保井筒施工安全,我们对破壁注浆(特别在表上段)采取了切实可靠的技术措施。为在破壁注浆造孔时能有效地控制肖水、喷砂等险情。施工时,首先采用42 mm一字形钎头垂直于井壁造孔,孔深以穿入外层井壁100~150 mm为宜,然后安装注浆孔口管、高压球阀、泄压三通阀及防喷钢板。再用26 mm一字型钻头沿注浆孔管内钻孔破壁。若出现喷砂涌水,则立即关闭二道阀门,接管注浆。

壁后注浆以低压渗透为主,严格控制终压不超过设计值,以防止注浆压力超限,使井壁破裂。

开切卸压槽之前,一定要破壁检查注浆效果,以确保开切卸压槽时的安全。

6.3 开切卸压槽

由于卸压槽自由面小,采用切割爆破效果不理想且不安全。我们在鲍店矿南、北风井曾采用风镐开切,虽效果较好,但工期较长。后在横河主井采用了静力爆破辅以风镐将卸压槽找平刷齐。实践证明,该方法安全可靠,槽口平整,且提高了劳动效率。

7 治理效果评价

目前,四个已修复井筒运营良好。

图1为鲍店北风井卸压槽竖向压缩量与时间关系曲线。该图表明,在卸压槽施工完毕后,随着时间的延长,卸压槽压缩量逐渐增大。但由于三个卸压槽所处垂深不同,它们的增加量和速率

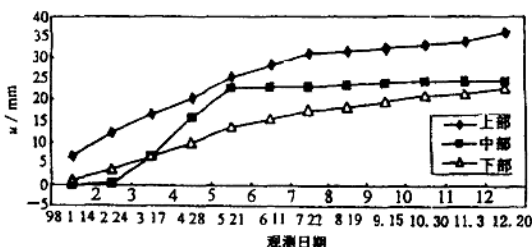


图1 鲍店北风井卸压槽竖向压缩量与时间关系曲线

存在差别,其中上部卸压槽变形较大,套壁上的卸压槽变形量次之,而下部卸压槽变形量较小。这主要是由于竖向附加力是由上而下逐步衰减传递所致。这说明,无论是在原井壁中开切卸压槽,还是在内套井壁中预留卸压槽,都起到了释放井壁中竖向附加力的作用,从而有效地避免了井壁因地层沉陷而引起的破坏。

图2为鲍店北风井内套井壁水平侧向压力与时间关系曲线。由该图可见,内套井壁所受的壁间水平压力很小,这表明了原井壁经修复加固处理后,井壁的破裂没有继续发展,收到了预期的治理效果。

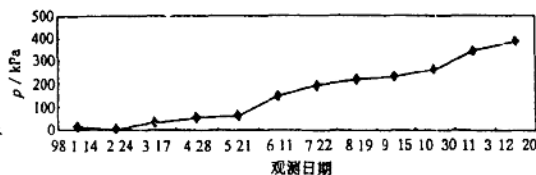


图2 鲍店北风井内套井壁水平侧向压力与时间关系曲线

8 结语

1)在不停产的情况下修复治理井筒,对矿井生产影响小,经济效益显著。

2)采用双卸压槽新技术,克服了过去单卸压槽竖向变形量小,后期卸压不明显的弊端,确保了井筒修复治理的一劳永逸。

3)在表土层中开切卸压槽施工技术为国内首创,卸压效果好,是根治井壁破裂的关键。

4)采用“横抗纵让”设计原则修复破裂井壁,其破壁注浆的主要目的是确保开切卸压槽和挖除坏井壁的安全,因而与过去加固地层的破壁注浆相比,具有注浆段高小,注入水泥量少,可节约大量工程费用等优点。

5)采用静力爆破技术开切卸压槽,开出的卸压槽槽口规整,并可大大提高劳动效率,节省工时。

参考文献

- [1] 淮北矿业集团,淮南工业学院等. 淮北许疃矿提升井、风井可缩性钻井井壁研究(鉴定材料). 1999年5月
- [2] 程桦等. 立井井壁结构设计的问题及对策[M]. 中国煤炭,1997. 6
- [3] 程桦等. 横河煤矿主井破裂井壁的修复治理[J]. 煤炭科学技术,1999. 10

冻结壁承载能力的分析

煤炭科学研究总院 陈湘生

1 引言

人工地层冻结法原理应用到凿井工程中以来已有 110 多年的历史。我国 1955 年首次应用该方法开凿开滦森西风井以来也有 40 多年的历史。其中,冻结壁的承载能力(稳定性)问题一直是工程界最关心的难题之一。回顾冻结法在国内外的应用发展史,冻结深度经历了由浅到深、应用范围由矿山凿井工程发展到其他岩土工程的过程。其中,作为临时支护结构冻结壁的稳定性问题是决定冻结法加固地层成败的关键之一。而仅以强度为判断设计的冻结壁(圆形)的承载能力(稳定性)问题在深表土(第四系)冻结法凿井中更为突出。它也是近 20 年国内外冻结法凿井在深厚粘土层中造成许多重大事故的主要原因之一。众所周知,冻结粘土强度远低于冻砂强度,而且比起冻砂来蠕变特性更显著。而过去的设计理论很少考虑这些关键因素。如图 1 所示冻结壁作为设计对象,其上已是浇灌好的混凝土井壁和钢横板。下部是开挖工作面。在此,不但要考虑冻结壁的强度,还必须把其显著特征——蠕变考虑过去,同时还需考察上下端约束条件、段高。

在冻结法凿井早期,因冻结深度较浅,人们设计圆形冻结壁时,把冻结壁看成弹性体,采用 lame 和 Clapeyron (1833)^[1]无限长厚壁圆筒设计公式。对于较深冻结井,这种假设的计算公式已不适应。德国的多姆克教授(Domke 1915)^[2]把冻结壁看成弹塑性体,提出了无限长厚壁圆筒的弹塑设计公式。随着冻结壁深度的进一步增加,出现了不少事故。人们对冻结壁进行了再认识,发现上述公式没能考虑冻土具有流变特性这一显著特征,也即也时间有关这一特征,是导致这些事故的根本原因之一。根据这一分析,前苏联土力学专家 C. C. 等学者^[3]提出了小段高冻结壁(有限长厚壁圆筒)设计公式。在分析了有内支护的冻结壁变形后德国 Klein 博士(1980)^[4]得出了无限长(高)冻结壁内侧蠕变位移计算式。

从以上冻结壁设计理论的发展历史可见,lame 和 Domke 的是基于与时间无关的弹性或弹塑性理论的,可称之为“静空观”或静态理论;C. C. B 已考虑了冻土流变和掘砌工艺(段高上下约束,段高和限定变形值),但没能把时间和温度直观表达出来,可称之为“准时空观”或准动态理论;Klein 博士把时间和温度分离成开,得出了有内支撑的冻结壁蠕变变形(与时间相关)公式,称之为“时空观”或动态理论。在 C. C. B 和 Kldin 博士假设理论的

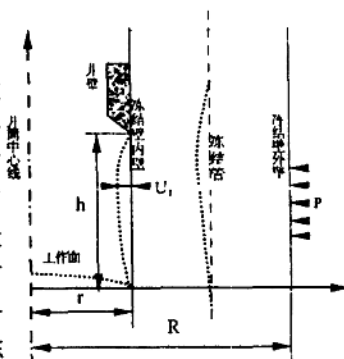


图 1 小段高冻结壁

基础上,作者结合人工冻结粘土时间和温度变量分离的蠕变数学模型,对 C. C. B 进行了改进(5,6):

$$R=r\left\{\frac{(1-\frac{1}{B})(1-\zeta)P}{(|T|+1)^{\frac{K}{B}}}\left(\frac{h}{U_r}\right)^{\frac{1}{B}}\frac{h}{r}A_0^{\frac{1}{B}}t^{\frac{C}{B}}+1\right\}^{\frac{B}{B-1}} \quad (1)$$

式中: R ——冻结壁外半径, m;

r ——冻结壁内半径, m;

P ——计算处的地层中水平地压值, MPa;

U_r ——冻结壁内侧允许最大径向位移, m;

h ——掘进段高(见图 1), m;

A_0, B, C 和 K 冻结粘土三轴剪切蠕变模型实验参数^[7];

t ——空邦时间, h;

ζ ——工作面处约束参数, $0 \sim 0.5$ 。

2 深冻结壁承载能力的分析研究

从图 1 可见,冻结壁的承载能力与冻土的物理力学性质密切相关外,更重要的是与冻结管材、冻结壁的平均温度 T 、未支护段高 h 和掘砌时间 t 直接相关。考察冻结壁的承载能力时,冻土本身的力学参数 A_0, B, C 和 K 在施工中是很难改变的。冻结管的允许变形 U_r 在一旦选定管材和接头后,再改变只有通过冻结壁平均温度的降低和未支护高度的协调改变来改变。而在施工中可人为较容易控制的参数是冻结壁的平均温度 T 、未支护段高 h 和掘砌时间 t 。因而考察这些可控变量对冻结壁承载能力的影响程度和方式,不但可了解这些变量的作用,更重要的是在施工中可根据当时当地的情况进行变量的调整。以期达到使冻结壁稳定安全的目的。下面将详细分析这些参数对冻结壁承载能力的影响规律。现将(1)式改写如下:

$$P=\frac{r\left[\left(\frac{R}{r}\right)^{1-\frac{1}{B}}-1\right](|T|+1)^{\frac{K}{B}}U_r^{\frac{1}{B}}}{A_0^{\frac{1}{B}}\left(1-\frac{1}{B}\right)(1-\zeta)h^{1+\frac{1}{B}}t^{\frac{C}{B}}} \quad (2)$$

将任一种冻结粘土的蠕变参数代入上式,如 CS314: $A_2=3.31 \text{ C (MPa)}^{-B}h^{-C}$, $K=1.9$, $B=3.06$, $C=0.39$ 代入上式得^[8]:

$$P=\frac{r\left[\left(\frac{R}{r}\right)^{0.6732}-1\right](|T|+1)^{0.6209}U_r^{0.3268}}{0.9955(1-\zeta)h^{1.3268}t^{0.1275}} \quad (3)$$

为了便于考察冻结壁的平均温度 T 、未支护段高 h 和掘砌时间 t 这三个变量的影响,分别以其做变量而将上式右边其它作常量替代处理。从而可进一步明确看出每一个变量在其独立变化时的影响。

考察温度变量 T 的作单位 P' 替代后公式为:

$$P = \frac{r \left[\left(\frac{R}{r} \right)^{0.6732} - 1 \right] (|T| + 1)^{0.6209} U_r^{0.3268}}{0.9955(1-\zeta)h^{1.3268}t^{0.1275}} = P'(|T| + 1)^{0.6209} \quad (4)$$

考察段高变量 h 的作单位 P'' 替代后公式为:

$$P = \frac{r \left[\left(\frac{R}{r} \right)^{0.6732} - 1 \right] (|T| + 1)^{0.6209} U_r^{0.3268}}{0.9955(1-\zeta)h^{1.3268}t^{0.1275}} = P'' \frac{1}{h^{1.3268}} \quad (5)$$

考察时间变量 t 的作单位 P''' 替代后公式为:

$$P = \frac{r \left[\left(\frac{R}{r} \right)^{0.6732} - 1 \right] (|T| + 1)^{0.6209} U_r^{0.3268}}{0.9955(1-\zeta)h^{1.3268}t^{0.1275}} = P''' \frac{1}{t^{0.1275}} \quad (6)$$

将公式(4)、(5)和(6)分别绘成曲线,以便更清楚进行分析,如图2、图3和图4所示。每个图中纵坐标的单位为 P' 、 P'' 和 P''' 。 P' 、 P'' 和 P''' 的意义如上述公式(4)、(5)和(6)所表示。

图2清楚地显示了承载能力 P 与负温 T 这种关系。随着冻结壁平均负温的降低,冻结壁承载能力不断增加。如冻结壁平均温度为 -10°C 降到 -15°C 时,其承载力比在 -10°C 时增加约 26%。越往下降,增加比例变小。因为温度影响系数(0.6209)小于 1。冻结壁平均温度降低(实际提高了强度和弹性模量,同时也增厚了冻结壁)成本也会增大。

图3中冻结壁承载能力 P 同段高 h 的关系表明,未支护段高 h 短,冻结壁的承载能力越大。未支护段高 h 在 2 m 以内降低时,承载能力增幅极大。从 2 m 降到 1 m 时,冻结壁承载能力的提高是从 3 m 降到 2 m 的 1.8 倍。未支护段高 h 在小于 1 m 后降低,效果当然很好,但在实际施工中实施很难。因为工序和立模板高度都会有问题。在该冻结粘土层中将段高控制在 1.8 m 后,施工安全通过了这层厚达 15.6 m 的粘土层。说明了上述分析的正确性。

图4冻结壁承载能力 P 同掘砌时间 t 的关系说明,掘砌时间越短,冻结壁承载能力越高。掘砌时间在 20 小时以内缩短对承载能力 P 提高最快,尤其在 10 小时以内效果更显著。但在深部地层中要在 10 小时以内完成段高 1 m~3 m 冻结井的掘砌工作量是非常困难有时甚至是不可能的。

从以上分析可见,降低段高 h 是提高深部冻结

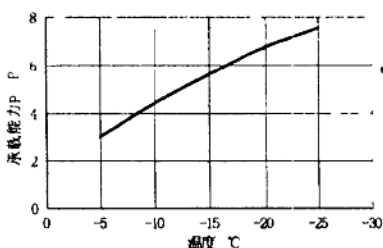


图2 冻结壁承载能力 P 与负温 T 的关系

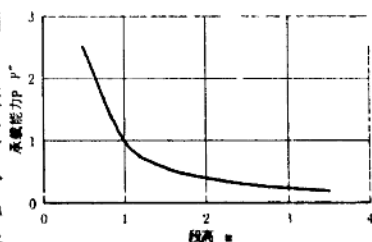


图3 冻结壁承载能力 P
同段高 h 的关系

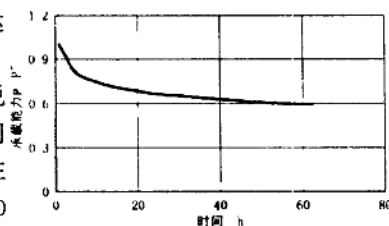


图4 冻结壁承载能力 P 同
掘砌时间 t 的关系