



矿山建设与岩土工程 的理论与实践

熊仁钦 主编

中国矿业大学出版社

《矿山建设与岩土工程的理论与实践》
编审委员会

顾问：王文祥 周仁涛 崔云龙 孙 林

主 编：熊仁钦

副主编：吕力行 胡 伟 邹声华 王卫军

编 委：（按姓氏笔画为序）

王卫军 邓新文 吕力行 刘晓春

李赤波 李世昌 李海深 邹声华

胡 伟 熊仁钦

4B=36/2

序 言

随着国民经济和生产建设的发展,新中国煤炭工业的科学技术在不断进步。经过40多年的艰苦努力,已经从根本上改变了旧中国煤矿的技术落后面貌,创造和研制了一批具有中国特色的适合中国国情的技术和装备,与世界先进产煤国家相比虽仍有一定差距,但在若干技术领域已跻身于世界先进行列。

新中国煤炭工业的科学研究是“一五”期间起步的。1953年建立了抚顺煤矿安全研究所,从事煤矿安全技术的研究工作;1956年建立了唐山煤矿研究所,从事选煤、水采、矿山测量等的研究工作;1957年建立了北京煤炭科学研究院及建井、开采、煤化学等研究所,从事矿井建设、井工开采、煤田地质、煤化学的研究工作。广大科技工作者在学习、引进前苏联技术的基础上,成功地研制了井工开采应用的多种机电设备,提供了一批应用于生产建设的科研成果。

“大跃进”使煤炭工业的科技工作受到严重挫折。在贯彻“调整、巩固、充实、提高”八字方针期间,调整和新建了一批专业研究机构。1963年组建了北京煤炭科学研究院经济研究所,从事煤炭工业经济的研究工作;1964年组建了太原煤炭研究所,从事矿井机械化、自动化和采煤方法的研究工作;1965年组建了重庆煤炭研究所和西安煤炭研究所,分别从事开采、安全、机器设备等的研究工作和煤田地质方面的研究工作;1966年开滦范各庄煤矿开始筹建煤矿自动化研究所。

在经过调整煤炭科学技术工作刚刚出现良好的发展势头的时候,又遭到“文化大革命”的摧残,艰苦创立起来的专业研究体系被冲毁,必要的管理体制和现实制度被废除,科技工作和研究工作基本处于停滞状态。1970年以后,广大科技工作者在“抓革命,促生产”的号召中才陆续重新从事科技工作。1972年,确定了把采煤综合机械化作为煤炭科研的主攻方向,各专业研究机构在生产、建设、制造单位及科技人员的配合下,奋战三年取得了重大突破。与此同时,普通凿井、特殊凿井、井下供电、地质勘探、煤矿安全等关键技术的研究也取得了明显成果。

1975年,在邓小平同志主持中共中央和国务院工作期间,科技工作重新得到重视和关怀。煤炭工业部提出了煤炭科研工作的一、二、三线纵深布局。一线是重点矿务局、矿、厂成立科研机构,重点研究解决本企业生产建设中的科技问题;二线是主要产煤省(区)建立科研机构,重点研究解决本地区煤炭工业的关键技术问题;三线是建立面向全国煤炭企业的科研机构,重点研究解决全行业中的重大技术关键和战略性技术问题。这一决策不仅自下而上极大地调动了科技人员进行调查研究、技术攻关、改造革新的积极性,而且有力地促进了科技工作、研究工作与生产建设实际的紧密结合,加快了煤炭科技工作的发展。

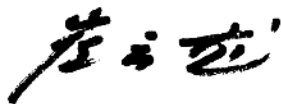
党的十一届三中全会召开以后,根据十一届三中全会确定的路线、方针、政策和第一次全国科学大会的精神,遵照振兴经济必须依靠科学技术、科学技术必须面向经济建设的总要求,煤炭工业部在科技工作中进行了拨乱反正、体制改革、开放搞活等一系列工作,进一步完善了一、二、三线科研纵深布局,调整了原有一些专业研究所的专业方向,重建了煤炭经济研究所,增建了爆破技术、煤矿自动化、煤矿环境保护、井筒普通施工、矿井施工组织等专业研究机构,新建了煤炭高校教研室(所),充实了科研力量,增添了科研设备,初步形成了从煤炭工业部到重点煤炭企业的科研体系。这些工作措施充分调动了广大科技工作者的积极性和创造性,并不断取得新的研究成果,对推动煤炭工业的科技进步、促进生产建设的发展,发挥了巨大的作用。

实践证明,要加快我国煤炭科学技术的发展,关键在于各级领导对科学技术是第一生产力的认识;在于广大科技人员的执著追求、不懈努力和坚持科学技术面向生产建设的方针;在于加强科技管理,有计划地组织重大关键技术的攻关,重视把科研成果和新技术转化为生产力;在于坚持对外开放,引进、消化、吸收国外先进科学技术,积极探索适合中国国情和煤炭工业实际的科学技术和成功经验。事实上,我国煤炭工业已经初步形成了一个比较完整的协调发展的科学技术体系,并在煤田地质勘探、矿井建设、井下开采、露天开采、采掘机械、矿山电气化与自动化、矿山爆破、煤矿安全、矿山测量、煤炭洗选和综合利用等的理论与技术方面取得了一系列重大成果。

在煤炭工业科学技术发展的过程中,全国高校矿山建设学术会适应形势的要求,从1978年由西安矿业学院筹办第一届会议开始,迄今已经历了20个年头,共举办了18届学术年会。在各级领导和各单位的大力支持下,在广大师生和生产、建设、设计、科研人员的共同努力下,先后发表各类学术论文近2000篇,总结了许多行之有效的施工经验,阐述了矿山建设的相关理论与技术,提出了许多有价值的意见与建议,对促进煤炭工业科学技术的发展和矿山建设技术的提高,发挥了不可估量的积极作用。

为办好第十八届全国高校矿山建设学术会,湖南省煤炭厅给予了亲切关怀和大力支持,湘潭工学院的领导和资源工程系的全体师生进行了大量卓有成效的工作,付出了辛勤的劳动,特致谢意!

全国高等学校矿山建设学术会秘书长



1998年5月25日

目 录

一、矿山建设

01 软岩工程系统的优化	王同良	范秋雁 (1)
02 “三软”煤层巷道锚梁网及小锚索支护技术应用	刘庆法	(8)
03 采准巷道锚杆支护的分析研究	熊仁钦	(13)
04 立井机械化配套快速施工	杨伟光	(19)
05 强膨胀极易泥化软岩巷道支护研究	宋建芳	张恩强 (23)
06 软岩支护及工程实践	吴波	彭立敏 (26)
07 加权残值法在金属拱形可缩支架极限承载力分析中的 应用	钟新谷	柴进 (29)
08 困难条件下煤巷锚杆支护技术的研究	邹喜正	李华祥 (33)
	王元龙	郑承华
09 建井时期通风质量的评价方法	施式亮	(41)
10 东矿斜井开拓延深技术分析	刘腾章	(45)
11 锚杆支护技术在煤巷中的应用	王节祥	(49)
12 井巷交岔点断面形式的选择与比较	崔安邦	(51)
13 软岩离壁支护理论与实践	唐江友	(56)
14 倾斜岩层巷道围岩变形机理的数值模拟研究	景海河	张俊杰 谭平 (59)
15 南寨煤矿冻结井筒井壁结构设计	鲍涛	尚丽娟 (62)
16 煤矿立井揭穿岩石与油气突出岩层施工技术	朱全生	周强 (65)
17 红星铁矿特殊层段注浆施工	杨伟光	(74)
18 矿井煤仓容量设计的SD模型	冯锡文	(77)
19 车集煤矿井底车场软岩巷道支护	夏学红	宣始青 李淑棠 (82)
20 耗散论在矿山生态学中的应用	刘立民	吴戈 洪学民 (86)
21 巷道放顶煤法放煤巷道的设计	赵伏军	陈良棚 (88)
22 浅谈安源煤矿提升系统的技术改造	毛光和	(91)
23 窄轨工矿电机车发展方向的探讨与建议	张四胜	(94)
24 软岩支护技术在安源煤矿煤顶板回采巷道中应用的可行性分析	刘富生	(98)
25 矿山工程网络决策支持系统的研究与开发	冯锡文	(101)
26 冻结管整体抗弯试验与接头形式的分析研究	顾孟寒	周更廷 (105)
27 提高建井科技含量 实现优质快速施工	梁庚宸	(110)
28 软岩巷道锚喷层环向收敛控制	吕力行	(114)
29 矿井设备的可靠性研究	朱川曲	(118)
30 缓斜薄煤层工作面采煤方式的模糊优选	王卫军	(124)
31 煤中水分与自燃倾向性的分析与实验研究	肖国清	伍新民 (128)
32 开区均压调风预防煤炭自燃方法的探讨	伍新民	(131)

33 煤矿井底车场软岩支护	袁人江	(134)
34 浅谈建新煤矿综采工作面管理	章坚强	(137)
35 缓斜煤层上行开采技术的探讨	余学云	(141)
36 固一流两相介质耦合问题的数值解法	丁继辉 郭大群	(147)
	赵国景 陆文	
37 本煤层上行式开采运输平巷稳定性研究	侯长享	(154)
38 斜井机械化掘进工艺系统的计算机模拟	宁掌玄 樊少武	(157)
	穆连生 马继英	
39 丰山铜矿1号矿体采场上盘注浆加固试验研究	喻长智	(161)
40 溯河煤矿14采区巷道布置的研究	梁杰	(164)

二、岩土工程

41 土压力盒在测试试桩端承载力中的应用	徐松林 吴文	(169)
42 粘土非线性流变特性分析与归一化模型研究	王祥秋 王文星	(174)
43 微型顶管技术及其设计要素	徐迎伍 朱合华	(180)
44 软土地基加固中排水板通水量的合理选择	高长胜 汪肇京	(185)
45 地表锚杆预加固技术用于公路隧道的设计方法与 实例	彭立敏 吴波 韩玉华	(189)
46 钢纤维喷射混凝土的发展与应用前景	陈恢翰	(195)
47 间隔桩加网喷砂墙的深基坑支护技术	朱本祥	(201)
48 深基坑工程中锚固技术的应用研究	刘联伟	(206)
49 地基处理方案的灰色决策	马军平 郑家俊	(211)
50 静压桩沉桩压力测试和分析	双鹰	(216)
51 一个特大塌方的处理实践	杨春来	(220)
52 凌津滩水电站右岸坝基固结灌浆施工	涂建湘	(224)
53 关于填土地基的勘察、处理和利用的研究	胡铁钢	(227)
54 达万铁路隧道快速施工技术	赛云秀 路庆忠 刘其兴	(231)
55 浅谈深基坑开挖与支护中的几个问题	邓修甫 刘先明	(235)
56 水泥石桩复合地基的原位测试和极限荷载推测试法	李海深 邹声华	(241)

三、爆破工程

57 狭区内多层框架无后坐定向爆破拆除	高荫桐 田会礼 王汉军	(245)
58 立井硬岩低抛掷深孔减冲爆破施工	张馨 周文泽 张庆	(247)
	刘蒸蒸 张禄基 孙守仁	
	张梦彪 周玖功	
59 公路路堑一次成型硐室控制爆破	罗新华 刘晓春	(252)
60 7层办公楼的爆破拆除	刘晓春 罗新华	(255)
61 保护楼板的切槽爆破技术	赵兴杰	(258)
62 广西防城港硐室大爆破起爆网路研究	许永胜 李红杰 魏伴云	(261)

63 内壁钻孔法定向爆破拆除水塔	林大能 (266)
64 对巴关河石灰石矿台阶中深孔爆破技术的探讨	刘本志 (269)
65 放炮引爆甲烷—空气混合可燃气体机理及其防止 新技术研究	邓新文 (274)

四、管理工程及其他

66 从工程非结构抗震角度谈设计监控制要点	辛立民 凌 瑶 (279)
67 蒸汽管道直埋技术应加强科研力度	何 彦 穆树方 (281)
68 混沌控制器设计的进化计算方法	魏敏洁 刘健勤 (286)
69 建立现代企业制度必须从体制上确立劳动者的 主人翁地位	杨智勇 吴晓东 陈 毓 (291)
70 岩土工程外文资料翻译技巧	李云政 (294)
71 优化监督体系 把好施工质量关	韩素敏 (299)
72 严寒地区住宅工程构造柱部位结露原因分析	吴晓东 (302)
73 泵送混凝土集中搅拌站的推广应用	吴晓东 夏景仁 (305)
74 混凝土的强度评定方法及应用	王 敏 (307)

软岩工程系统的优化

王同良

范秋雁

(广西煤炭工业厅)

(广西大学)

摘要 软岩工程是当今岩石力学与工程界非常关注的难题。要想真正解决软岩工程的大变形、长时效、难稳定的问题,较有效的方法是进行软岩工程系统的优化。本文根据若干工程实践总结而成。

1 引言

本世纪以来,世界各地出现了大量的软岩工程问题。范围涉及矿山、公路、铁路、桥梁、隧道、城市地下建筑等许多行业。发生了许多因软弱岩石的膨胀、流变、扩容、失稳而造成的工程损失。软岩工程问题成为岩石力学领域里工程界、理论界及学术界十分关注的热点问题^[1]。

自70年代以来,世界各国在软岩工程领域开展了大量的研究及实践工作,主要集中在软岩工程支护结构的设计和补强,施工工艺与方法的优选,岩石物理力学特性的测试分析,软岩本构关系的建立和软岩工程量测等方面。软岩工程问题是一个复杂的系统工程,包括软岩的分类与分级、软岩特性的判定、工程设计及施工等许多子系统。只有对总系统进行整体优化,才能达到技术上可行、工程造价低廉、工程稳定、满足使用要求的综合目标要求^[2],使软岩工程的问题得到较好地解决。

2 软岩及软岩工程力学基本特性

软岩是非均质、非连续的岩体。其强度偏低,单轴抗压强度一般小于30 MPa。其中有的具有程度不等的遇水膨胀性。有的裂隙较发育,容易产生扩容。还有一些较硬的岩石在埋深大或地应力场较强的工程环境内,发生了软岩的大变形、蠕变等现象。大多数专家们都认为软岩有松散、膨胀、碎裂、低强度及硬岩软化等不同特性。现实的软岩多是兼容二种以上特性的复合类型软岩^[3],其特性表现程度,可以分为比较、一般及特别3个级别^[2]。软岩自身强度低,对应力场敏感,工程开挖后迅速产生变形,变形速度快,时间效应长,软岩的节理、裂隙发生张开、位移和扩容,甚至失稳。在水的作用下,软岩自身内含有的膨胀性矿物发生体积膨胀,使开挖后的工程发生收敛变形,若长时间流变且量值大,将导致围岩损伤破坏。软岩工程力学特征表现呈多样性和相异性,很难用数学公式表达,这是解决软岩工程技术问题的难度所在^[4]。

3 软岩工程系统及优化

由于软岩工程易产生大变形,所以工程维护非常困难。围岩的膨胀、扩容和失稳多造成工程支护结构的严重损坏。若仅用强力支护来控制围岩的变形,工程造价昂贵,且延长工期。所以,软岩工程必须从整体系统进行优化,进行综合治理,方能达到容易施工、技术有效和降低造价的效果。

软岩工程的两大重要环节是设计与施工。可靠的工程设计和正确的施工工艺都是在充分认识工程环境条件的基础上,充分利用各种有利因素,排除各种组合的不利因素,进行

分而治之，以达到综合治理的目的。具体而言，就是全面掌握软岩的物理力学性质，认清其种属与分级级别；认清工程环境内各种应力场的分布、水文地质和工程地质特征；结合邻近或相似工程实践资料，按照岩石力学理论整体构思工程设计方案，包括工程整体布置、工程方向布置、开挖层位选择、支护结构与施工方法和工艺。在此基础上选定施工设备和机具，构思施工组织与工序。在施工过程中，还要进行动态管理，通过量测掌握各种信息，及时反馈，对设计与施工方法进行监控，如果脱离了预定目标，则进行必要的修改和完善。这就是说，正确的软岩工程系统的建立应是从实践中来，充分掌握各项基础资料，在正确的理论指导下再用于实践，不断检验和完善，最终达到预期目标⁽⁵⁾(见图1)。

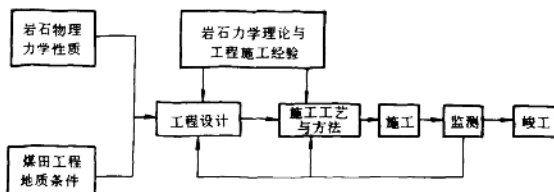


图1 软岩工程系统图

软岩工程优化的目标是使围岩与工程支护结构互相配合而达到工程稳定。主要技术对策是避开强应力场，提高围岩自支撑能力。采取的措施有：降低外部荷载、优化工程尺寸、改善工程平面及立体布置、选择好的岩层、选定方向等。优化技术原理见图2。

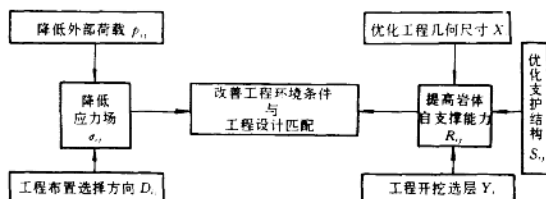


图2 优化技术原理图

根据上述思路，软岩工程优化主要是做好矿井开发系统的整体优化，塑造一个最佳的采掘工程总布局，化解各种不利因素，用简单的施工方法处理复杂又困难的软岩问题。具体的做法是：根据已掌握的矿井煤田地质及工程地质资料、煤层顶底板岩石的物理力学试验资料，包括地质构造、开采技术条件以及岩石的单轴抗压强度、膨胀性、完整性、松散性等基础资料，参考邻近矿井类似工程的实测数据，按照工程类比设计方法构思矿井的初步设计方案。此优化的第一部分内容有：①矿井开拓方式选择，水平标高的确定，主要巷道层位选定。②井底车场及硐室群在平面及空间的合理布置，务求减少互相干扰而产生的工程偏应力。选择巷道开掘方向时，尽力避免垂直主应力方向和与断裂小角度交叉。③优

化开采巷道布置,减少因开采引发的动压对巷道支护的破坏。通过以上三大部分的优化,设计出合理的矿井开拓方式、准备方式及开采方式。然后进一步优化确定巷道断面几何形状及尺寸大小,设计支护结构,选定施工方法及施工工艺。再通过施工现场量测监控,反馈信息,如有偏离,及时采取措施处理。煤矿软岩矿井系统优化框图见图3。

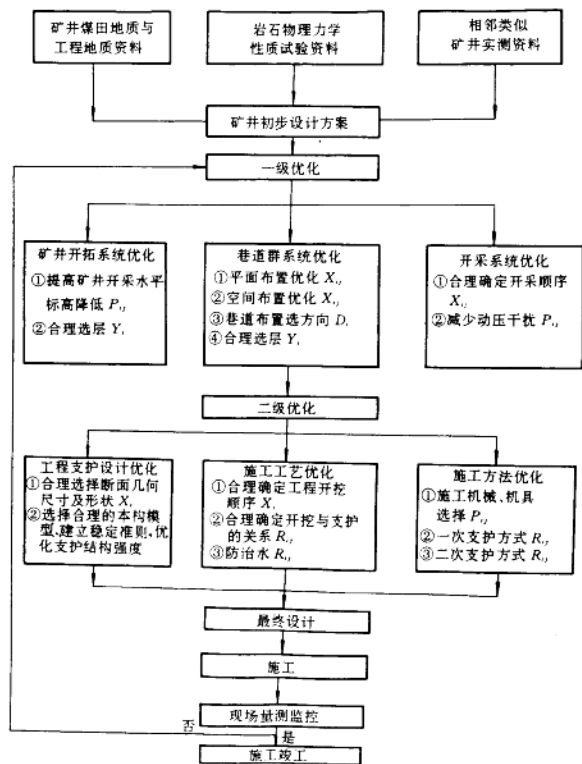


图3 煤矿软岩矿井系统优化框图

4 工程实例

4.1 右江矿务局五号矿井

该矿井位于广西壮族自治区西部的百色煤田东端,煤系地层为第三系地层,井田位于向斜盆地南部边缘。有3层煤,平均每层厚度1~2 m,煤层顶底板都是泥岩。岩石内含伊利石和蒙脱石混层矿物,含量5%~8%,伊利石占7%~20%。岩块单轴抗压强度4~5

MPa, 平均强度 4.8 MPa。岩体有不规则节理, 但分布无规律, 岩体完整系数 0.55。裂隙多不连续, 无滑移性物质充填, 围岩属膨胀、低强度、较破碎软岩。煤田走向 NEE, 煤层倾角 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$, 井田走向长 6 km, 倾斜长 1 km, 井田面积 6 km^2 , 含可采煤炭储量 443 万 t。邻近的四号矿井实测主地应力方向 NNE—SSW, 近似煤层倾斜方向。垂直此方向的巷道收敛值为 $70 \sim 100 \text{ mm}$, 巷道支护损坏率为 51%。平行主地应力方向的巷道收敛值为 $20 \sim 40 \text{ mm}$, 支护损坏率为 12%。全矿井平均支护损坏率为 40%。

矿井设计用一对斜井开拓。井口标高 +110 m, 主要开采水平标高定为 -120 m, 用走向长壁法开采, 上下山采区布置见图 4。

第一个优化措施是: 减弱应力场对矿井巷道围岩产生的应变影响, 巷道布置尽量与主地应力方向 (即近似倾斜方向) 减小夹角。将走向长壁采煤法改成倾斜长壁采煤法。利用下山采区倾斜开采, 主要开采水平上提 20 m, 节省巷道 1 131 m, 节约井巷及设备费用 276 万元, 折合 33.66 万美元 (见图 5)。

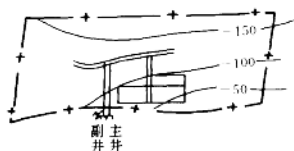


图 4 右江矿务局五号矿井原设计开拓系统图

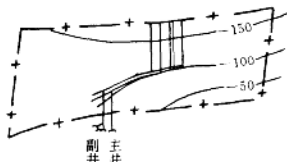


图 5 右江矿务局五号矿井优化设计后开拓系统图

第二个优化措施是: 将井底车场和硐室群的布置也尽量改成平行于主地应力方向。原设计巷道总长度 1 481 m, 其中有 30.11% 的巷道布置成垂直主地应力方向。优化后, 设计巷道总长度 1 191 m (减少 290 m), 且仅有 24.69% 的巷道布置垂直于主地应力方向, 巷道易于维护 (见图 6 和图 7)。

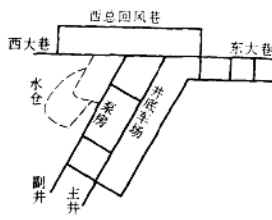


图 6 右江矿务局五号矿井原设计井底车场及硐室布置图

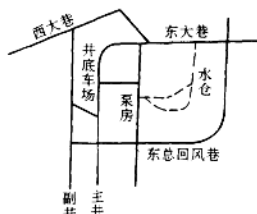


图 7 右江矿务局五号矿井优化设计后井底车场及硐室布置图

第三个优化措施是: 将巷道断面开挖成圆形, 使其受力性能良好。为了提高围岩自支撑能力, 当巷道开挖后, 打锚杆作为一次支护。考虑围岩有膨胀性, 不采用喷浆法支护。二

次支护采用砌混凝土预制块。在砌体和围岩间充填石灰粉及砂等掺拌的柔性填层。一方面在软岩变形时,起让压缓冲作用;另一方面可有效预防软岩吸水膨胀。支护结构见图 8。

第四个优化措施是:简化硐室布置,减少巷道。将泵房、变电所 3 条通道减少 1 条,将直角相连通的巷道交岔点 14 个减少 9 个,使巷道承受的工程应力减少。

第五个优化措施是:根据巷道穿过的岩层岩性不同,穿过的岩体完整、裂隙较少时,将巷道改成直墙半圆顶拱、弧形底拱及直墙马蹄形拱等不同结构,节省支护费用。

施工时,做好防排水工作,严防巷道底板积水而引发底板岩石膨胀。施工硐室群时,安排好施工顺序,留有足够岩柱,不搞短掘短砌施工方法,避免互相干扰。

采取以上优化措施后,巷道完好率达到 95.5%,比相邻的四号矿井提高了 55.5%。节省井巷工作费用 370 万元(折合 45 万美元),节约巷道维修费用 300 万元(折合 36 万美元),合计 670 万元(折合 81 万美元)。移交生产后,当年就达到了矿井设计生产能力,加上投产后节约的巷道维护费,总计节约 870 万元(折合 105 万美元),经济效益显著。

4.2 稳子坪煤矿

该矿位于广西壮族自治区南部钦州煤田,新第三系地层,向斜煤盆地构造。有 2 层煤,主要煤层厚 12~15 m。煤层顶底板均为砂质泥岩,颜色灰白,主要矿物为石英及高岭石。岩石单轴抗压强度 10~15 MPa,岩体较完整,偶有裂隙,属于弱膨胀、低强度、较破碎软岩。井田四周有断层,盆地长 8 km,宽约 1.5 km。坡度不一,边缘角度 25°~40°,底部平缓。受 NW-SE 方向构造力影响,南部有一逆断层。矿井建成投产后,沿走向开挖—250 m 水平大巷,用上下山采区开采。受地应力作用,大巷多已破裂,砌体挤出,支护破碎,巷道支护完好率不到 40%,严重影响了大巷通车和通风安全。矿井投产后 10 年,达不到核定生产能力,经济效益很差。

经现场观测,煤田受构造应力场作用,软岩变形严重。构造应力场比垂直应力场大 1 倍左右。技术改造措施如下:

第一,延深矿井并筒,废弃沿走向开挖的大巷,改为沿向斜盆短轴方向底板盘区石门,使其平行于主地应力方向。在其上部布置采煤工作面,石门受力较小,容易维护(见图 9)。

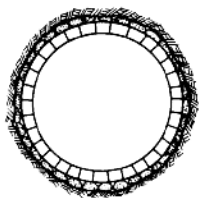


图 8 右江矿务局五号矿井主要大巷支护结构优化设计图

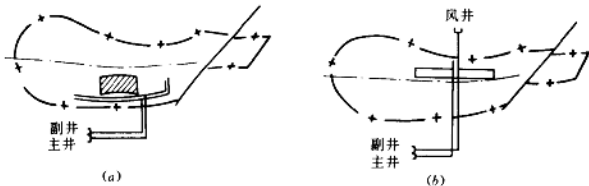


图 9 稳子坪煤矿开拓系统优化前后对比图
a—优化前;b—优化后

第二、选择较好的层位布置石门，放在灰色砂质泥岩内，单轴抗压强度 15 MPa，容易维护。利用普通开挖方法施工，用花岗岩块砌体支护。

矿井施工后，石门维护状态良好，巷道完好率提高到 85% 以上，比优化改造前提高 45%。矿井运输、通风状况都大有好转，保证了生产正常进行。该煤矿的煤炭产量已超过了设计生产能力，企业也实现了扭亏为盈。

4.3 那龙煤矿二号井

该矿位于广西壮族自治区中部，南宁市西部，也是第三系煤田，井田位于向斜盆地边缘。有 2 层煤，煤层 1~2 m。煤层顶底板都是泥岩，有灰色、杂色两种。其中，灰色泥岩单轴抗压强度只有 0.87 MPa，杂色泥岩抗压强度 1.37 MPa。岩石内富含蒙脱石，占 9%~14%。岩体多为不规则裂隙和滑面切割。完整系数只有 0.36。围岩属于极软、强膨胀、碎裂软岩。井田受 NNE 及 NWW 两个方向构造力影响，不论何种方向开挖的巷道，破坏率差异不大。从现场观测可知，沿 N50°E 方向开挖的巷道损坏率为 56.25%，沿 S40°E 开挖的巷道损坏率为 61.53%。矿井井底车场及大巷施工后，返修过 3 次，一直不能稳定下来。曾经用过锚喷、砌混凝土块、U 形钢支护，都发生失稳和破坏。水泵房设计时，应考虑避免再遭破坏，要求进行优化。3 台水泵有 3 个吸水井和 1 条连通巷，巷道总工程量为 98 m（见图 10）。

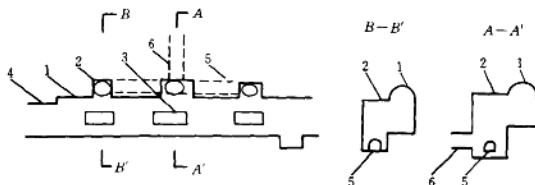


图 10 那龙煤矿二号井原设计井下水泵房平面图

1—泵房；2—吸水井；3—水泵；4—管子道；5—连通巷；6—水仓

第一个优化措施是：针对软岩易膨胀和碎裂扩容的特点，尽量选择软岩中条件较好的层位，避开灰白色泥岩，将巷道布置在杂色泥岩内。

第二个优化措施是：减少巷道，避免过多的巷道交叉，避免一处开挖引起另一处收敛变形。特别是开挖泵房、吸水井和连通巷，3 个巷道造成的围岩塑性松弛区互相重叠，互相干扰，难以稳定。鉴于该矿井涌水量不大，小时排水量仅 100 多立方米，决定将 3 个水泵各自独立的吸水井布置方式改为共用一个较大的吸水井。其内分格，取消下部连通巷。除吸水井处还存在巷道空间干扰外，其余 2 台泵处则受力状态良好（见图 11）。

第三个优化措施是：为降低巷道开挖后膨胀变

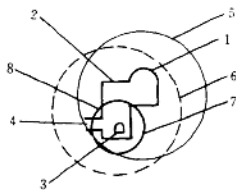


图 11 那龙煤矿二号井井下水泵房开挖引发围岩变形实测图

1—泵房；2—壁角；3—连通巷；4—水仓；

5—水泵房施工时引发的塑性松弛区；

6—吸水井施工时引发的塑性松弛区；

7—连通巷施工时引发的塑性松弛区（推测）；

8—吸水井

形,先掘小断面导洞,用支护控制其释压流变,待趋于稳定后,再手工修整成形,避免放炮震动。临时支护采用锚杆支护,增加围岩自支撑能力。待稳定后,用砌钢筋混凝土支护,防止地下水浸泡围岩。

工程优化后,减少了49 m巷道,节省了48.5万元(折合6万美元)。巷道基本稳定。除大吸水井上部起重梁有些变形外,其余各处良好^[1]。

4 结论

软岩工程是一个复杂多因素的系统工程,尚不能完全用数值计算方法指导设计,多是在现场观测后进行反演分析。因此,进行系统分解,单项优化再综合成总体优化。这一思路在多次实践中,得到了较好的效果,这是解决软岩工程治本的策略,标本兼治定会得出满意的结果。

参 考 文 献

- 1 王同良.论软岩工程的技术发展.见:面向21世纪的岩石力学与工程.北京:中国科学技术出版社,1996.66~71
- 2 晏玉书.中国煤矿软岩巷道控制技术现状与发展趋势.见:中国煤矿软岩巷道支护理论与实践.徐州:中国矿业大学出版社,1996.
- 3 何满潮.软岩工程力学的理论与实践.见:中国煤矿软岩巷道支护理论与实践.徐州:中国矿业大学出版社,1996.
- 4 范秋雁.软岩流变地压控制原理.见:中国煤矿软岩巷道支护理论与实践.徐州:中国矿业大学出版社,1996.
- 5 王同良.软岩矿井设计优化.见:中国煤矿软岩巷道支护理论与实践.徐州:中国矿业大学出版社,1996.
- 6 王同良.广西那龙矿区软岩巷道支护研究与实践.见:中国煤矿软岩巷道支护理论与实践.徐州:中国矿业大学出版社,1996.256~278

“三软”煤层巷道 锚梁网及小锚索支护技术应用

刘庆法

(邢台矿业集团公司)

摘要 本文以显德汪煤矿“三软”煤层巷道锚杆支护实践为例,论述了锚梁网和小直径锚索在煤巷支护中的设计及施工方法,并与棚式支护进行了经济效益比较。

1 引言

邢台矿业集团公司显德汪煤矿位于河北省沙河市境内,是年产130万t的矿井。煤矿主采煤层有3层(1号、2号、9号),为低瓦斯矿井。煤质为无烟煤,主要用于发电和民用。矿井目前开采上组煤的1号、2号煤层。其中2号煤层属“三软”煤层,地质条件复杂,巷道围岩松软破碎、巷道维护困难。为改善矿井巷道支护状况,煤巷支护历经多次改革,从木支护、工字钢支护、U型钢支护、端锚锚杆支护到现在的全长锚杆支护,尤其是从1991年开始在不同条件下的煤巷中进行了锚网支护试验。经过几年来的使用和探索,结合地质条件和支护技术改革的发展,设计了适应该矿井的各种锚网支护形式,累计进尺达16000m,取得了显著的技术和经济效益。

2 巷道地质条件

目前矿井开采的上组煤1号、2号煤层均为石炭二叠系煤层,1号煤层平均厚度1.53m, $f=0.44$ 。直接顶为粉砂岩,中厚层状,平均厚度4.01m, $f=2\sim6$,在其顶部发育有一层不稳定的薄煤层。

2号煤层平均厚度2.2m, $f=0.15\sim0.2$ 。顶板为细砂岩和粉砂岩互层,中厚层状,平均厚度15.75m, $f=2\sim6$,岩性变化大,复合顶板普遍发育。底板为砂质泥岩,遇水易膨胀。煤层具有典型的“三软”特性,即顶板松软破碎,煤层软,底板软。岩性柱状见图1。

1	3.24~5.39 4.01	粉砂岩,顶部一层不稳定薄煤
2	0.75~2.15 1.53	1号煤,粉末状,局部松散块状
3	1.53~17.80 5.59	顶部含泥,下部夹细砂岩条带
4	3.29~26.16 15.75	粉细砂岩互层,下部夹煤线及泥岩弱层
5	0.79~5.20 2.20	2号煤,极软,粉末状
6	1.50~4.84 3.56	砂质泥岩,遇水膨胀,下部2号煤

图1 岩性柱状图

矿井从投产至今,在巷道支护形式上经历了梯形木支护、11号矿用工字钢梯形刚性支架和25 U型钢拱形可缩性支架等多种形式。各种棚式支架支护巷道时,支架弯曲变形,扭曲折断,返修严重,维护极其困难。木支护巷道普遍存在支架断梁折腿现象,工字钢支护巷道常发生梁腿弯曲,梯形巷道变形为矩形或倒梯形。U型钢支护巷道通常出现收缩量过大、支架顶梁变形损坏、卡缆拉断现象,巷道断面成为“马蹄”状。1721综采切眼采用工字钢支护时,施工当天支架就发生变形弯曲折断,造成“前掘后翻”的局面。1327下顺槽U型钢支护,巷道在一个月时间内发生1.8 m的底鼓量,一般巷道使用期间顶底板移近量为1.0~1.8 m,两帮移近量为0.8~1.5 m。在掘进施工的同时,需进行2~3次卧底整修,回采时仍需进行1~2次维修。

3 巷道锚网支护主要参数

锚网支护推广的过程也是各种参数不断完善和优化的过程,顶板锚杆由 $\phi 16$ mm圆钢锚杆树脂端锚发展为 $\phi 22$ mm高强螺纹钢锚杆树脂全长锚固,帮锚杆由 $\phi 16$ mm圆钢锚杆端锚发展为加长锚固。

3.1 树脂端锚锚杆支护参数

回采巷道锚网支护切眼断面为矩形,顺槽断面为斜顶梯形。

顶板支护:采用锚梁联合支护,锚杆为L1 800 mm、 $\phi 16$ mm圆钢,锚固端加工成反麻花状,用2335树脂药卷锚固,每孔一卷。钢梁为 $\phi 14$ mm圆钢焊接的梯子梁,长3.2 m或0.8 m。锚杆方形布置,间排距均为700 mm,每排两端锚杆向煤壁倾斜 $60^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。锚杆孔径28 mm。

两帮支护:锚杆为L1 800 mm、 $\phi 16$ mm圆钢,锚固端加工成反麻花状,每孔一卷2835树脂药卷锚固。由于煤层松软,因此配合使用双抗塑料网和梯子钢梁。3.2 m长钢梁横向使用,0.8 m钢梁竖向使用,防止煤层片帮。锚杆孔径42 mm。巷道断面如图2所示。

3.2 树脂全长锚固锚杆支护参数

邢台矿务局承担的煤炭工业部重点科学技术项目“煤巷锚网支护成套技术”的陆续完成,使显德汪煤矿锚网支护技术得到进一步发展。针对矿井的地质条件进行了“极软煤层复合顶板回采巷道锚杆支护研究”,从1996年开始试验推广全长锚固锚杆支护,已应用近3 000 m。

全长锚固锚杆支护参数是以地应力测试为基础,应用有限差分FLAC软件进行数值模拟,并结合锚杆、树脂药卷、钻孔“三径”匹配的研究成果而科学地确定的。

顶板支护:顶板锚杆为 $\phi 22$ mm左旋螺纹钢高强锚杆。根据矿井1号、2号煤层厚度,1号煤层巷道锚杆长2.0 m,使用CK 2333和Z 2366树脂药卷各一卷全长锚固;2号煤层巷道锚杆长2.4 m,使用CK 2333和Z 2388树脂药卷各一卷全长锚固。使用W钢带梁,金属网满护。锚杆孔径为28 mm。

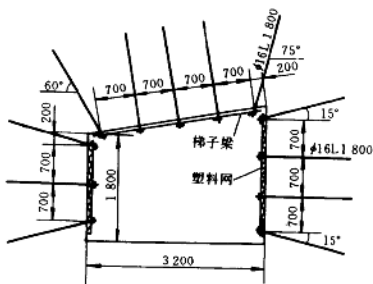


图2 端锚支护巷道断面图

两帮支护：两帮支护锚杆为 $\phi 16$ mm、L1 800 mm 圆钢锚杆，使用 Z 2366 树脂药卷加长锚固，并用双抗塑料网和梯子梁护帮。锚杆孔径 28 mm。

1 号、2 号煤层全锚支护巷道断面见图 3、图 4。



图 3 1 号煤层全锚支护巷道断面图

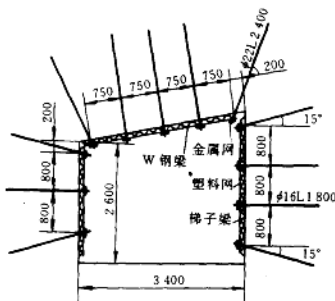


图 4 2 号煤层全锚支护巷道断面图

全长锚固支护系统由于支护效果好，对巷道两帮、顶板和底板进行了很好地控制，已在全矿井回采巷道中全面推广。两帮由于煤层极为松软，全长锚固时锚固力不会有很大提高，因而采用加长锚固的方式适当提高锚固力。

4 辅助支护措施

根据矿井实际地质条件，针对煤层极软、顶板破碎、复合顶板发育的情况，在推广锚网支护中应用了必要的辅助支护手段，提高了锚网支护系统的可靠程度，保证了巷道支护的安全。

4.1 快速承载预应力小孔径锚索

全长锚固锚杆限制了顶板离层现象的发生，能有效地保持顶板岩层的稳定性。然而在复合顶板较厚，超过锚杆锚固范围后，锚杆将主要起组合作用，因而在锚网支护巷道滞后迎头加打快速承载锚索，锚索直径 $\phi 15.24$ mm，长度 9.0 m，间距 3~5 m，锚固在较完整的老顶内，对下部直接顶起悬吊作用，很好地保证了支护系统的安全性。当巷道顶板完整时，采用点式单根锚索；当顶板裂隙发育时，采用锚索槽钢组合支护。施工中，若顶板岩性变化处不及时使用锚索，常出现较大的下沉，甚至造成局部冒顶，使用锚索段巷道变形量可满足设计要求。

4.2 预注浆加固

在顶板松软破碎、裂隙发育时，通过超前预注浆加固较软的直接顶板，保证在空顶距 1 m 时顶板不自行冒落，为锚杆支护创造条件。注浆孔深 4.5 m，孔径 43 mm，注浆压力 2~4 MPa，注浆量每孔 30~60 kg。

在极软煤层情况下，采用煤体注浆的方法，提高煤体的整体强度和承载能力，同时提高煤体锚杆的锚固力，控制片帮和底鼓，两帮注浆压力为 0.1~0.15 MPa，两底角注浆压力为 0.2~0.3 MPa。注浆材料可为聚氨酯或高水速凝材料。其中，聚氨酯性能好，但价格