

煤巷顶板稳定性 分类方法及其应用

MEIXIANG DINGBAN WENDINGXING
FENLEI FANGFA JIQI YINGYONG

朱永建 著



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

煤巷顶板稳定性 分类方法及其应用

朱永建 著



内 容 提 要

本书共分五章,采用现场调研、巷道测试、现场观测、理论分析、计算机数值模拟等研究手段,系统地研究了浅埋薄基岩以及厚积沙覆岩条件下煤层开采时产生的动压对煤巷顶板稳定性的影响,对不同岩层组合类型煤巷顶板、单层岩层稳定性及其他因素对神东矿区煤巷顶板稳定性的影响进行了深入的分析与讨论。本书主要内容包括:煤系地层结构特征及力学参数,锚杆支护煤巷顶板稳定性影响因素分析,锚杆支护煤巷顶板稳定性分类指标、评价因子、分类方法及预测模型研究和绘制锚杆支护煤巷顶板稳定性等值线图。

本书可供从事采矿工程和地下工程等相关工作的高等学校教师及研究生、科研院所的研究人员和设计部门的设计人员参考,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤巷顶板稳定性分类方法及其应用/朱永建著. —天津:天津大学出版社, 2014. 8

ISBN 978 - 7 - 5618 - 5168 - 5

I. ①煤… II. ①朱… III. ①煤巷支护 - 顶板 - 稳定性 - 研究 IV. ①TD353

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 197525 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647
网 址 publish.tju.edu.cn
印 刷 北京京华虎彩印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 148mm × 210mm
印 张 7.25
字 数 209 千
版 次 2014 年 9 月第 1 版
印 次 2014 年 9 月第 1 次
定 价 28.00 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

自 1956 年锚杆在我国煤矿中应用开始,煤巷锚杆支护至今已有近 60 年的历史,与传统支护方式相比,锚杆支护技术在控制煤巷围岩变形方面具有显著的效果技术经济优越性。但是随着煤矿开采深度的不断增加,煤巷地质条件变得越来越复杂,锚杆支护煤巷顶板事故时有发生,使得锚杆支护技术在煤巷中大范围地推广和应用受到严重制约。

众所周知,锚杆支护煤巷顶板的稳定性受到诸多因素的影响,从煤巷自身条件来看,主要受采动及煤巷顶板岩体结构类型及强度、巷道埋深、护巷煤柱稳定性、地下水等的影响;从支护方面来看,主要受锚杆支护设计方法是否正确、支护参数是否合理、锚杆材料及配套机具是否匹配、质量是否合格等的影响。这些因素组合影响是造成锚杆支护煤巷顶板支护失效的主要原因,也是制约煤矿高产、高效,并向深部发展的重要原因,严重影响了矿山经济的持续发展。

因此,根据煤巷顶板围岩变化的不确定性特点以及锚杆支护技术本身的工程特性,进行以控制锚杆支护煤巷冒顶事故为目的的锚杆支护煤巷顶板稳定性分类研究,对于预防煤

巷冒顶事故的发生具有重要意义。本书采用现场调研、巷道测试、现场观测、理论分析、计算机数值模拟等研究手段,系统地研究了浅埋薄基岩以及厚积沙覆岩条件下煤层开采时产生的动压对煤巷顶板稳定性的影响,对不同岩层组合类型煤巷顶板及单层岩层稳定性进行了深入的分析和讨论。确定了神东矿区锚杆支护煤巷顶板稳定性的主要影响因素,提出了矿区顶板稳定性分类指标,建立了矿区锚杆支护煤巷顶板稳定性 BP 神经网络预测模型,并在已建立的 BP 神经网络预测模型的基础上,开发了神东矿区锚杆支护煤巷顶板稳定性分类软件系统,利用开发的软件系统对该矿区分矿井、分煤层、分区域进行了煤巷顶板稳定性分类,根据分类结果绘制了矿区不同矿井、不同煤层、不同区域锚杆支护煤巷顶板稳定性等值线图。

书中的很多研究成果出自神华神东矿区的第一手资料,在此衷心地感谢神华集团公司的有关管理与工程技术人员;本书是在中国矿业大学(北京)马念杰教授倾注大量心血指导本人所写的博士学位论文基础上完成的,在此特别感谢马念杰教授。本书的出版得到了国家自然科学基金重点资助项目(51374006)、国家自然科学基金面上资助项目(51374106)、湖南省教育厅科学研究重点项目(14A045)和湖南省“十二五”重点学科建设经费的资助,在此一并感谢。书中引用了

国内外诸多专家学者的文献资料,在此对这些专家和学者表示诚挚的谢意。

由于作者水平和学识有限,书中错误和疏漏之处在所难免,恳请专家、学者不吝批评和赐教。

作者

2014年6月

目 录

1 绪 论	1
1.1 问题的提出	1
1.2 煤巷顶板稳定性研究现状及存在的问题	7
1.2.1 国内外锚杆支护机理研究现状	7
1.2.2 煤巷锚杆支护设计方法研究	19
1.2.3 锚杆支护煤巷顶板稳定性研究	24
1.2.4 锚杆支护煤巷顶板事故分类及其原因分析	27
1.2.5 煤巷围岩稳定性分类研究综述	31
1.2.6 锚杆支护煤巷顶板稳定性分类存在的问题	35
2 神东矿区开采煤层顶板地质技术条件研究	38
2.1 煤系地层沉积体系理论研究	38
2.1.1 煤系地层沉积体系类型	39
2.1.2 岩性特征的形成机理及其对岩石物理力学性质的 影响	40
2.1.3 沉积环境及沉积构造对岩体稳定性的影响	41
2.2 神东矿区开采煤层地质概况	44
2.2.1 神府东胜煤田部分地质概况	44
2.2.2 保德煤矿地质概况	47

2.2.3	现场1地质调查	48
2.3	神东矿区开采煤层顶板赋存特征	51
2.3.1	保德煤矿8 [#] 煤层钻孔资料分析	52
2.3.2	榆家梁煤矿4 ⁻² 、5 ⁻² 煤层钻孔资料分析	53
2.3.3	哈拉沟煤矿2 ⁻² 煤层钻孔资料分析	55
2.3.4	补连塔煤矿2 ⁻² 煤层钻孔资料分析	56
2.3.5	上湾煤矿1 ⁻² 煤层钻孔资料分析	57
2.3.6	活鸡兔井1 ⁻² 煤层钻孔资料分析	58
2.4	岩芯分析	59
2.4.1	现场采取岩芯的基本情况	59
2.4.2	岩芯分析方法	60
2.4.3	煤巷顶板岩层结构类型划分	67
2.4.4	煤岩物理力学试验	70
2.5	地应力测量	74
2.5.1	测量方法及仪器	74
2.5.2	测量结果分析	77
2.6	小结	80
3	神东矿区锚杆支护煤巷顶板稳定性影响因素分析	82
3.1	松散载荷层活动特点及其对煤层顶板稳定性的影响	83
3.1.1	散体的抗剪强度	83
3.1.2	散体的变形特征	85
3.1.3	散体滞后弹性的动应力-应变关系	87
3.1.4	散体载荷层活动的动载荷效应	89

3.2 浅埋薄基岩煤层覆岩结构及其力学特征	90
3.2.1 典型浅埋薄基岩煤层上覆岩层组成	90
3.2.2 分层层面力学性质分析	91
3.3 浅埋薄基岩煤层覆岩力学模型建立及分析	92
3.3.1 弹性基础	93
3.3.2 梯度复合板	93
3.3.3 梯度复合板关键层确定	94
3.4 浅埋薄基岩煤层覆岩活动规律研究	95
3.4.1 薄基岩关键层的挠度	95
3.4.2 薄基岩关键层的初次破断距	97
3.4.3 薄基岩关键层的周期破断距	98
3.5 单层岩层稳定性分析	100
3.5.1 单层薄岩层稳定性分析	100
3.5.2 单层厚岩层稳定性分析	104
3.6 神东矿区煤层开采对煤巷顶板稳定性的影响	110
3.7 神东矿区护巷煤柱尺寸对煤巷顶板稳定性的影响	116
3.7.1 煤柱载荷计算	117
3.7.2 煤柱应力分布	117
3.7.3 煤柱支承压力测试	121
3.8 神东矿区巷道埋深与岩体强度对煤巷顶板稳定性的 影响	124
3.9 神东矿区地下水对煤巷顶板稳定性的影响	126
3.10 神东矿区其他影响煤巷顶板稳定性因素数值模拟	

分析	128
3.10.1 数值软件选择	128
3.10.2 数值模型建立	129
3.10.3 不同岩层结构对巷道顶板稳定性的影响	130
3.10.4 不同巷道跨度顶板稳定性的影响	136
3.10.5 不同水平应力对顶板稳定性的影响	138
3.11 小结	144
4 神东矿区锚杆支护煤巷顶板稳定性分类研究	148
4.1 国内外围岩稳定性分类研究	148
4.1.1 国外围岩稳定性分类研究	148
4.1.2 国内围岩稳定性分类研究	151
4.1.3 围岩稳定性分类存在的问题	152
4.2 神东矿区锚杆支护煤巷顶板稳定性分类指标研究	154
4.2.1 分类指标确定及其取值方法	154
4.2.2 原始数据处理	156
4.3 神东矿区煤巷顶板稳定性类型及其评价因子确定	157
4.3.1 顶板稳定性类型划分	157
4.3.2 评价因子确定	158
4.4 神东矿区煤巷顶板稳定性分类方法研究	163
4.4.1 神经网络基本原理	164
4.4.2 BP 神经网络模型及其算法	166
4.4.3 BP 神经网络算法改进	169
4.5 改进的 BP 算法在神东矿区煤巷顶板分类中的应用	172

4.5.1 顶板稳定性分类的 BP 模型设计	172
4.5.2 神经网络样本确定及训练	176
4.5.3 BP 神经网络的学习训练	180
4.5.4 BP 神经网络模型的检验	186
4.6 小结	191
5 神东矿区开采煤层巷道顶板稳定性分类结果	192
5.1 软件识别系统现场应用	192
5.2 神东矿区开采煤层巷道顶板稳定性分类结果	193
5.2.1 保德煤矿 8 [#] 煤层顶板稳定性分类结果	193
5.2.2 补连塔煤矿 2 ⁻² 煤层顶板稳定性分类结果	194
5.2.3 榆家梁煤矿 4 ⁻² 、5 ⁻² 煤层顶板稳定性分类结果	196
5.2.4 哈拉沟煤矿 2 ⁻² 煤层顶板稳定性分类结果	196
5.2.5 上湾煤矿 1 ⁻² 煤层顶板稳定性分类结果	198
5.2.6 活鸡兔井 1 ⁻² 煤层顶板稳定性分类结果	200
5.3 小结	202
参考文献	203

1 绪 论

1.1 问题的提出

煤矿巷道支护经历了从棚式支护到锚杆支护的发展过程,由于锚杆支护技术具有明显的技术经济优越性,因此国外发达国家,如美国、英国、澳大利亚等国家的煤巷锚杆支护率高达 90%。20 世纪 90 年代以来,尤其是 1996 年以来,我国在煤巷锚杆支护技术方面开展了大规模的引进、消化、吸收、研究和试验工作,锚杆支护设计方法不断得以完善,新的支护材料、支护机具、安全监测设备不断研制成功并投入生产应用,逐步形成了适合我国煤巷地质和技术条件的锚杆支护成套技术及设备,大大提高了我国煤巷施工速度和巷道围岩变形的控制质量,取得了显著的技术经济效益。20 世纪 90 年代初期我国国有重点煤矿煤巷锚杆支护比重仅占 3% ~ 5%,而目前我国很多矿区煤巷锚杆支护率已达到 60% 左右,有些甚至已超过 90%,说明锚杆支护技术正在成为我国煤矿巷道支护的主要发展方向。

然而,就地质角度而言,煤巷与岩巷及其他地下岩土工程相比有着突出的特殊性,主要表现为:受沉积环境的控制,煤巷顶板围岩多以层状结构赋存、顶板岩体节理裂隙等构造发育、强度低、顶板围岩的变

化情况复杂且其稳定性影响因素众多。从工程角度来看,煤巷与其他地下工程相比也存在较大的差别,主要表现为:①受生产条件的制约,煤矿回采巷道多采用矩形断面,理论研究和现场实践均表明,矩形巷道断面易产生较高的应力集中,而不利于巷道支护;②由于回采巷道都直接为工作面生产服务,因此必然要受到工作面采动影响,甚至有些回采巷道要经受两次采动影响,大量生产实践表明,采动引起的应力集中也是影响回采巷道顶板稳定性的重要因素之一。目前,为了满足大型现代化矿井高产、高效的要求,许多生产矿井回采巷道断面都不断增大,巷道长度也急剧增加,这些都对煤巷支护特别是锚杆支护提出了更为严格的要求,使得煤巷顶板锚杆支护技术凸现很多理论和应用问题,集中表现在:①大约 60% 以上的巷道锚杆支护参数设计存在盲目性,支护密度过大,支护材料浪费惊人,巷道的支护费用往往高达巷道工程总费用的 50% 以上;②极大地增加了掘进时的支护工作量,导致巷道掘进速度慢、采掘紧张,影响矿井的高产、高效,同时由于锚杆支护参数过于保守,采后有时需要强制放顶措施,给矿井安全生产带来新的隐患;③缺乏可靠的锚杆支护设计依据,支护形式及支护参数选择难以适应煤巷顶板随机变化的特点,导致煤巷冒顶事故不断发生,严重威胁井下人员的生命安全。

神华集团神府东胜煤炭有限责任公司建设经营的神府东胜矿区(后文简称神东矿区)所属生产矿井地跨晋、蒙、陕三省(区)区域,涉及开采煤层众多,并且在同一煤田或矿井内,可能赋存有多层不同开采煤层,这些不同开采煤层由于成煤年代和沉积环境不尽相同,尽管各煤层赋存条件好,多属于中厚、倾角小($3^{\circ} \sim 9^{\circ}$)煤层,但煤层上覆岩层及地表条件复杂。就

地质角度而言,神东矿区生产矿井开采煤层具有如下突出特征:

(1)煤层埋藏浅,目前及今后一段时期,矿区主干矿井开采煤层集中于浅部侏罗纪煤系地层,煤层埋藏深度为 80 ~ 150 m(除保德煤矿外);

(2)神东矿区骨干矿井的大部分开采区域的煤层顶板厚度较薄,一般为 30 ~ 40 m,有的煤层顶板只有 10 余米,最薄的顶板岩层厚度只有 5 m 左右且顶板岩层结构复杂,同一矿井不同煤层或同一矿井同一煤层甚至同一条巷道顶板岩层结构差异也很大;

(3)地表多为厚风积沙所覆盖,风积沙厚度变化较大,矿区开采规划区内的地表,大多为现代风积沙及第四系黄土所覆盖。

神东矿区各生产矿井作为世界一流的现代化煤矿,煤炭产量达 1.2 亿 t/a,占全国煤炭产量的 6% 左右,除具有上述特殊的地质条件外,为了满足现代化大型矿井高产、高效的要求,矿区各生产矿井均采用大型综采设备,这就要求有大的巷道断面来满足其运输、通风等生产要求。另外,矿区各生产矿井回采巷道都为全煤巷道且 95% 以上回采巷道都采用锚杆(索)支护。通过对矿区煤巷顶板维护状况的现场调研发现,神东矿区煤巷锚杆支护难易程度差别很大,有的巷道不支护或简单支护即可,而有些巷道采用多种方式联合支护后仍难以保证顶板稳定(见图 1.1 至图 1.4)。因此,与国内其他矿区一样,神东矿区煤巷锚杆支护设计也存在过于保守和顶板事故经常发生的突出矛盾,仅 2005 年 10 月到 2006 年 3 月期间矿区大柳塔煤矿和哈拉沟煤矿就分别发生过顶板伤亡事故;2006 年 7 月到 2006 年 9 月期间矿区保德煤矿和补连塔煤矿就分别发生了两次大型锚杆支护煤巷冒顶事故(见图 1.5 和图 1.6),虽然没有造成人员伤亡,但对矿井高产、高效生

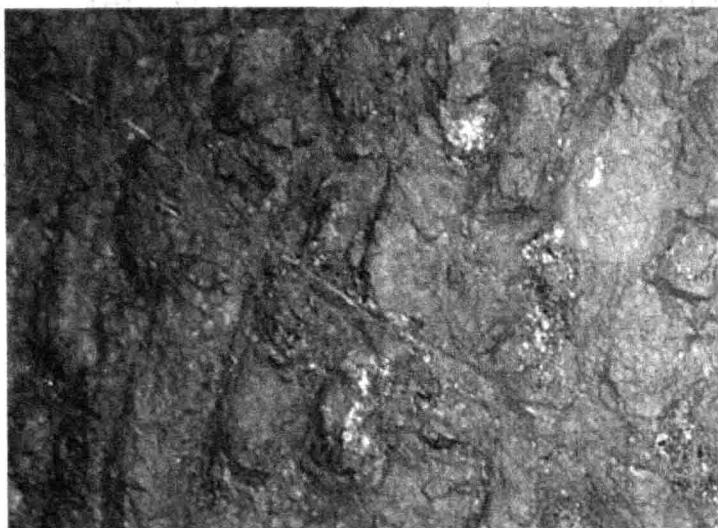


图 1.1 不支护或简单支护顶板



图 1.2 一般锚网支护顶板

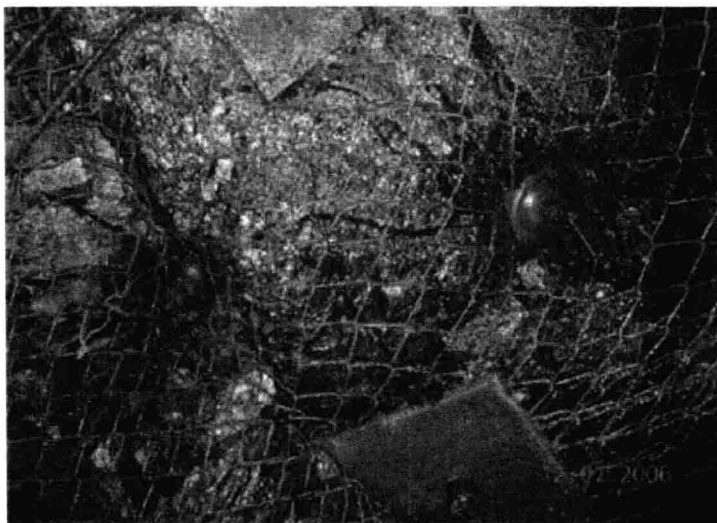


图 1.3 较难支护顶板

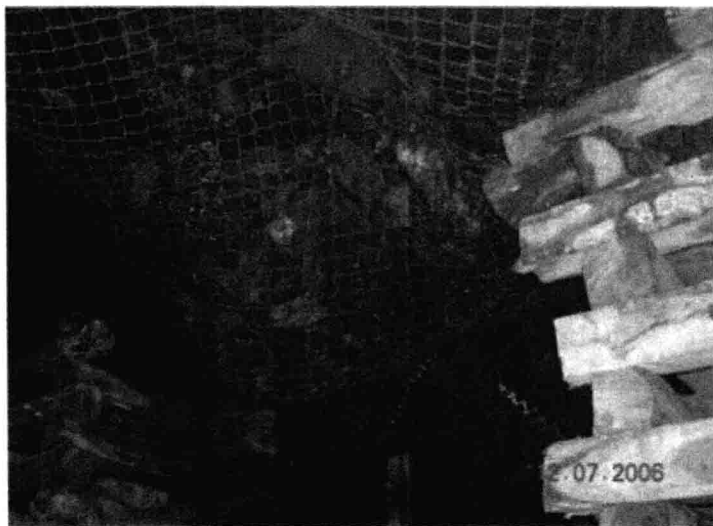


图 1.4 难支护顶板



图 1.5 保德煤矿 88303 回风巷冒顶实例



图 1.6 补连塔煤矿 33401 回风巷冒顶实例