

黄庆享 著

浅埋煤层长壁开采 岩层控制



科学出版社

浅埋煤层长壁开采岩层控制

黄庆享 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以神府东胜煤田为背景,系统阐述了浅埋煤层矿压规律,提出了浅埋煤层的科学定义,建立了浅埋煤层顶板结构模型,给出了支架工作阻力的计算方法,形成了浅埋煤层顶板控制基本理论,并提出了“等效直接顶”的概念,建立了大采高采场顶板结构理论。本书还揭示了覆岩“上行裂隙”和“下行裂隙”发育规律,建立了隔水层稳定性判据,提出了保水开采的分类和方法,建立了浅埋煤层保水开采岩层控制基本理论。此外,本书提出了浅埋近距离煤层群分类,建立了煤层群顶板结构理论,提出了浅埋煤层群开采煤柱应力和地表裂缝耦合控制方法。

本书系统地建立了浅埋煤层开采的岩层控制基本理论,可供采矿工程、环境工程、岩土工程、地质工程等学科研究人员、专业技术人员和生产管理者参考。

图书在版编目(CIP)数据

浅埋煤层长壁开采岩层控制 / 黄庆享著. —北京: 科学出版社, 2018.5

ISBN 978-7-03-056873-1

I. ①浅… II. ①黄… III. ①薄煤层采煤法—长壁采煤法 IV. ①TD823.25
②TD823.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 048941 号

责任编辑: 祝 洁 徐世钊 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 5 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2018 年 5 月第一次印刷 印张: 14 彩插: 3

字数: 286 000

定价: 110.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

中国学者黄庆享教授自 1993 年开始从事浅埋煤层岩层控制的研究,开展了大量开创性工作,在 5 项中国国家自然科学基金项目连续资助下,历经 20 多年的研究,总结成果形成了该书。他在 2005 年至 2006 年曾在美国西弗吉尼亚大学采矿系做访问学者,我为合作导师,开展保水开采岩层控制研究。近年来,我开始关注中国在浅埋煤层的研究工作,查阅了黄庆享教授在该领域的大量文献,对中国在浅埋煤层岩层控制领域的研究有了较系统的了解。该书是他对 20 多年浅埋煤层长壁开采岩层控制研究的系统总结,也是填补国际浅埋煤层长壁开采岩层控制领域空白的代表性著作。该书的创新性和贡献主要体现在:

(1) 创立了浅埋煤层岩层控制的基本理论。揭示了浅埋煤层顶板台阶下沉机理,基于单一关键层和双关键层结构,提出了浅埋煤层的定义。建立了采场初次来压的“非对称三铰拱”结构模型和周期来压的“台阶岩梁”结构模型,阐明了浅埋煤层工作面“埋藏浅,压力大”的机理;提出了地表厚沙土层载荷传递因子,测定了顶板结构端角挤压和端角摩擦系数,基于支架“给定失稳载荷”工作状态,提出了合理支护阻力定量计算方法。这些研究构成了浅埋煤层岩层控制的基本理论,被编入《矿山压力与岩层控制》和《煤矿总工程师技术手册》,填补了浅埋煤层岩层控制知识空白,得到了广泛传播和应用。

(2) 建立了浅埋煤层保水开采岩层控制理论。浅埋煤层开采对地表破坏显著,矿区环境保护是世界性难题。通过发明的固液耦合实验系统,揭示了采动覆岩隔水层“上行裂隙”和“下行裂隙”发育规律,建立了隔水层稳定性基本判据,为浅埋煤层保水开采分类提供了科学依据。发明了柔性条带充填保水开采方法,建立了隔水层连续梁力学模型,提出了条带充填隔水层稳定性判据,奠定了浅埋煤层保水开采岩层控制理论基础。

(3) 发展了浅埋煤层大采高岩层控制理论。通过大量实测和实验,基于顶板垮落后的充填作用和铰接结构形态,提出了大采高工作面“等效直接顶”的概念,建立了“高位台阶岩梁”结构模型和煤壁片帮的“柱条模型”,揭示了大采高工作面持续高压和片帮机理,提出了支架工作阻力计算公式,为大采高工作面岩层控制提供了依据,丰富和发展了浅埋煤层长壁开采岩层控制理论。

(4) 开辟了浅埋近距离煤层群岩层控制新领域。浅埋近距离煤层群开采主要涉及两大岩层控制问题:其一,上煤层采空区下近距离煤层开采的顶板控制问题;

其二，浅埋煤层重复采动地裂缝发育规律及其控制问题。该书针对这两个问题，基于现场实测和物理模拟，揭示了浅埋煤层群开采的覆岩垮落规律和结构特征，提出了以间隔层关键层和间采比为指标的浅埋近距离煤层群的分类，建立了“浅埋极近距离煤层”“浅埋单关键层近距离煤层”和“浅埋双关键层近距离煤层”顶板结构模型，为采场顶板支护和控制提供了理论依据。揭示了重复采动覆岩裂隙发育规律，发现了煤柱群结构对应力场与裂缝场的耦合影响，通过“煤柱群”的合理布置，提出了减缓煤柱应力集中和地裂缝发育程度的岩层控制方法，为环境友好的浅埋煤层群开采提供了理论基础。上述两个方面的研究，形成了浅埋煤层群岩层控制基本理论，并正在成为浅埋煤层岩层控制研究的新热点。

《浅埋煤层长壁开采岩层控制》包含作者二十多年的研究成果，研究系统，内容丰富，形成了浅埋煤层岩层控制的理论体系。正如中国《科技日报》2017年7月7日所报道的“创立浅埋煤层岩层控制理论，支撑大煤田安全绿色开采”，国际上这样具有开创性的岩层控制专著并不多见，我很乐意将此书推荐给世界采矿岩层控制界同行和广大的采矿科技工作者。

是为序。

Syd S. Peng

美国工程院院士、西弗吉尼亚大学教授

2017年11月8日

前 言

神府东胜煤田是我国探明储量最大的煤田，也是世界七大煤田之一。该煤田煤层埋藏浅，可采煤层多，属于浅埋煤层群。实践表明，浅埋煤层工作面矿压显现剧烈，地表生态环境破坏严重。随着大采高的普及和近距离煤层群的开采，浅埋煤层岩层控制理论需要不断发展和完善。

1993 年，作者开展了大柳塔煤矿首采工作面采前模拟研究，发现了浅埋煤层顶板“台阶下沉”现象。1994~1998 年，开展了浅埋煤层岩层控制的博士学位论文研究工作。2000 年出版了《浅埋煤层长壁开采顶板结构与岩层控制研究》，提出了浅埋煤层的定义，建立了浅埋煤层采场初次来压“非对称三铰拱”结构模型、周期来压“短砌体梁”和“台阶岩梁”结构模型，测定了顶板结构端角挤压和端角摩擦系数，提出了合理的支护阻力计算方法，形成了浅埋煤层岩层控制基本理论。

2001 年，在国家自然科学基金资助下，开展了“浅埋煤层顶板沙土层载荷传递与关键层动态结构理论”研究，揭示了地表松散层载荷传递规律，提出了载荷传递因子，建立了顶板动态结构理论。2002 年，提出了以单一关键层结构为标志的典型浅埋煤层概念和以双关键层为标志的近浅埋煤层概念，完善了浅埋煤层的科学定义。2003 年，“浅埋煤层开采岩层控制”以独立章节编入国家级规划教材《矿山压力与岩层控制》，2010 年编入《煤矿总工程师技术手册》，得到了普遍的传播和广泛采用。

随着浅埋煤层的大规模开采，地表水位下降明显，采煤与环境保护的矛盾日益凸显。2004 年起，在教育部新世纪优秀人才支持计划和国家自然科学基金资助下，开展了“浅埋煤层地表隔水层的采动隔水性研究”，揭示了采动覆岩“上行裂隙”和“下行裂隙”发育规律，建立了隔水层稳定性判据，提出了浅埋煤层“自然保水开采”“限高保水开采”和“特殊保水开采”这一基本分类，出版了《生态脆弱区煤炭开发与生态水位保护》。2012 年，在国家自然科学基金资助下，针对浅埋煤层特殊保水开采条件，开展了“浅埋煤层局部柔性充填隔水岩组稳定性研究”，提出了柔性条带充填保水开采方法，建立了隔水层连续梁力学模型，给出了条带充填隔水层稳定性判据，确定了上行裂隙发育高度和下行裂隙发育深度，出版了《浅埋煤层条带充填保水开采岩层控制》，奠定了浅埋煤层保水开采岩层控

制理论基础。

2012年后,针对浅埋煤层大采高岩层控制问题,在国家自然科学基金资助下,开展了“浅埋煤层大采高顶板结构及其稳定性研究”,提出了大采高工作面“等效直接顶”的概念和分类,建立了“高位台阶岩梁”结构模型和煤壁片帮的“柱条模型”,揭示了大采高工作面来压机理和煤壁片帮机理,分析了“大采高支架-围岩”关系,提出了工作面支架阻力的计算公式,发展了浅埋煤层大采高工作面岩层控制理论。

2015年以来,在国家自然科学基金的资助下,开展了浅埋近距离煤层群开采的岩层控制研究。该研究主要包括两大问题:其一,受上煤层开采的影响,下煤层开采的采场支护问题;其二,浅埋多煤层开采的地裂缝发育规律及其控制问题。基于现场实测和物理相似模拟,揭示了浅埋煤层群开采的覆岩垮落规律和结构特征,以间隔层关键层为特征,以间采比为主要指标,提出了浅埋近距离煤层群的分类,建立了“浅埋极近距离煤层”“浅埋单关键层近距离煤层”和“浅埋双关键层近距离煤层”的顶板结构模型,提出了采场支护阻力的确定方法。揭示了采动覆岩裂隙发育规律和应力场与裂缝场存在的耦合关系,通过“煤柱群”合理布置,提出了减缓煤柱应力集中和地裂缝发育程度的岩层控制方法,为环境友好的浅埋煤层群开采提供了理论基础。上述两个方向的研究,形成了浅埋煤层群岩层控制基本理论与方法。

本书包括作者“浅埋煤层长壁开采岩层控制理论”二十多年的研究成果,内容包括:浅埋煤层岩层控制基本理论,浅埋煤层大采高岩层控制理论,浅埋煤层保水开采岩层控制理论,浅埋近距离煤层群开采岩层控制理论和地裂缝控制方法。这些理论和方法一起构成了浅埋煤层岩层控制理论的基本体系。

多年来,作者的研究生刘文岗、张沛、张文忠、蔚保宁、刘腾飞、黄克军、李亮、马龙涛、刘建浩、刘寅超、杜君武、李雄峰、曹健、周金龙、贺雁鹏等参加了相关研究工作,陈杰教授主持了充填材料的研究,博士生曹健参加了书稿的整理与排版。本书的出版得到国家自然科学基金项目“浅埋煤层大采高顶板结构及其稳定性研究”(51174278)和“浅埋煤层群开采煤柱群结构效应及其应力场与裂缝场耦合控制”(51674190)的资助,还得到陕西省科技统筹创新工程计划项目“陕北生态脆弱矿区浅埋煤层条带充填保水开采技术研究”(2011KTCQ01-41)和陕西省社会发展科技攻关项目“陕北生态脆弱区保水开采高沙基充填材料制备关键技术”(2016SF-421)及西安科技大学工科A类第一层次创新团队项目“浅部煤层开采与环境保护”的资助,特此一并致谢。

感谢导师钱鸣高院士对我的培养和鼓励,本书的主要理论都受到钱老师学术

思想的影响。特别感谢美国西弗吉尼亚大学 Syd S. Peng 院士对本书提出的宝贵意见，并在百忙中为本书作序。

浅埋煤层岩层控制理论将随着开采实践的深入而不断丰富和发展，许多细致的研究还有待开展。限于作者水平，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。



2017年11月10日

目 录

序 前言

第 1 章 浅埋煤层岩层控制基本理论	1
1.1 研究背景	1
1.2 浅埋煤层岩层控制理论进展	2
1.3 浅埋煤层覆岩垮落结构特征与浅埋煤层定义	4
1.3.1 浅埋煤层覆岩垮落规律与顶板结构特征	4
1.3.2 覆岩运动特征与浅埋煤层定义	10
1.4 老顶岩块端角摩擦系数和挤压系数	11
1.5 浅埋煤层采场顶板结构基本理论	14
1.5.1 浅埋煤层采场老顶初次来压的结构理论	14
1.5.2 浅埋煤层采场老顶周期来压的结构理论	16
1.5.3 顶板载荷传递与支架工作阻力的确定	19
1.6 本章小结	20
第 2 章 浅埋煤层厚松散层动态载荷传递规律	22
2.1 动态载荷智能数据实时采集系统开发	22
2.2 浅埋煤层厚松散层破坏特征	26
2.2.1 载荷传递模拟实验设计	26
2.2.2 沙土层破坏特征	27
2.3 采动厚沙土层动态载荷传递规律	29
2.3.1 采动顶板关键层动态载荷总体分布规律	30
2.3.2 采场顶板关键块结构的动态载荷分布规律	31
2.4 厚松散层载荷传递因子确定	33
2.4.1 载荷传递因子的提出	33
2.4.2 载荷传递的岩性因子	33
2.4.3 卸荷拱的高度	34
2.4.4 载荷传递的时间因子	36
2.4.5 B 关键块上的载荷确定	37

2.5	本章小结	37
第3章	浅埋煤层大采高工作面矿压显现规律	39
3.1	浅埋煤层普通采高工作面矿压显现规律	39
3.1.1	采高 2.2m 的普采工作面矿压显现规律	39
3.1.2	浅埋煤层 3.5m 采高综采工作面矿压显现规律	42
3.2	采高 4~5m 工作面矿压显现规律	46
3.2.1	浅埋煤层 4m 采高工作面矿压显现规律	47
3.2.2	浅埋煤层 4.3m 采高快速推进工作面矿压显现规律	50
3.2.3	采高 4.5m 综采工作面矿压显现规律	51
3.3	采高 5~6m 工作面矿压显现规律	52
3.3.1	采高 5.5m 工作面矿压显现规律	52
3.3.2	采高 6m 工作面矿压显现规律	56
3.4	采高 6~7m 工作面矿压显现规律	59
3.4.1	采高 6.3m 工作面矿压显现规律	59
3.4.2	采高 6.9m 工作面矿压显现规律	61
3.4.3	采高 7m 工作面矿压显现规律	62
3.5	大采高综采工作面矿压规律分析	65
3.5.1	浅埋煤层大采高工作面矿压显现一般规律	66
3.5.2	典型浅埋煤层与近浅埋煤层大采高工作面矿压对比	68
3.6	本章小结	69
第4章	大采高工作面等效直接顶与覆岩结构形态模拟	70
4.1	浅埋煤层大采高工作面覆岩破坏规律	70
4.1.1	物理模拟实验设计	70
4.1.2	浅埋煤层 5m 大采高工作面覆岩破坏规律	72
4.2	大采高工作面等效直接顶的定义与分类	78
4.2.1	等效直接顶的定义	78
4.2.2	等效直接顶的分类	78
4.3	等效直接顶的应力分布	81
4.4	等效直接顶与支架初撑力	82
4.5	浅埋煤层大采高工作面老顶结构数值模拟	85
4.5.1	数值计算模型	85
4.5.2	典型浅埋煤层顶板结构特征	88
4.5.3	近浅埋煤层模拟结果分析	90
4.6	本章小结	93

第5章 大采高工作面顶板结构及支护阻力的确定	95
5.1 典型浅埋煤层大采高工作面顶板结构及支护阻力分析	95
5.1.1 大采高工作面顶板“高位台阶岩梁”结构模型	95
5.1.2 “高位台阶岩梁”结构力学分析	96
5.1.3 大采高工作面支架额定工作阻力的确定	98
5.1.4 大采高工作面支架工作阻力的实例分析	100
5.1.5 大采高工作面支架工作阻力影响因素分析	101
5.2 近浅埋煤层大采高工作面双关键层结构分析	103
5.2.1 近浅埋大采高工作面支架载荷特征	103
5.2.2 近浅埋大采高工作面顶板结构形态	105
5.2.3 近浅埋顶板“双关键层”结构稳定性分析	108
5.2.4 支架合理支护阻力的确定	111
5.3 本章小结	112
第6章 大采高工作面煤壁片帮控制	114
6.1 煤壁片帮基本特征	114
6.2 煤壁应力场及片帮过程分析	117
6.3 煤壁稳定性的柱条模型分析	118
6.4 支护阻力对煤壁稳定性的影响	120
6.5 片帮的控制原则	123
6.6 本章小结	125
第7章 浅埋近距离煤层群顶板结构与岩层控制	126
7.1 浅埋近距离煤层群分类及其结构特征	126
7.1.1 浅埋近距离煤层群分类	126
7.1.2 浅埋极近距离煤层覆岩垮落规律与结构特征	128
7.1.3 浅埋近距离煤层覆岩垮落规律与结构特征	134
7.2 浅埋极近距离煤层顶板结构分析	143
7.2.1 顶板活化结构模型	144
7.2.2 工作面支护阻力的确定	144
7.2.3 实例分析	146
7.3 浅埋单关键层近距离煤层顶板结构分析	146
7.3.1 单关键层顶板结构模型	147
7.3.2 工作面支护阻力的确定	147
7.3.3 实例分析	148
7.4 浅埋双关键层近距离煤层顶板结构分析	148

7.4.1	双关键层顶板结构模型	148
7.4.2	工作面支护阻力的确定	149
7.4.3	实例分析	150
7.5	本章小结	151
第8章	浅埋煤层保水开采岩层控制	152
8.1	概述	152
8.2	固液耦合相似模拟技术	153
8.2.1	高精度固液气三相介质实验装置	153
8.2.2	隔水层物理性质及应力应变全程曲线测定	155
8.2.3	隔水层的水理性和应力应变全程相似条件的建立	158
8.2.4	隔水层相似材料及其配比的研制	160
8.2.5	隔水黏土层相似材料配比性能	161
8.3	采动覆岩裂隙发育规律与隔水性	165
8.3.1	隔水岩组采动导水裂隙规律与隔水性	166
8.3.2	上行裂隙带发育高度	167
8.3.3	下行裂隙带发育深度	168
8.4	隔水性判据与保水开采分类	171
8.4.1	隔水岩组的隔水性判据	172
8.4.2	保水开采分类	172
8.4.3	浅埋煤层保水开采岩层控制理论	173
8.5	浅埋煤层条带充填保水开采岩层控制	174
8.5.1	充填开采方法与技术	174
8.5.2	充填材料及其力学特性	178
8.5.3	条带充填隔水岩组稳定性分析	181
8.5.4	上行裂隙发育高度的确定	184
8.5.5	下行裂隙发育深度及位置	187
8.5.6	条带充填开采隔水岩组稳定性判据	189
8.6	本章小结	192
第9章	浅埋煤层群开采集中应力与地裂缝控制	194
9.1	浅埋煤层群的煤柱群结构效应物理模拟	194
9.1.1	不同煤柱错距的覆岩垮落与煤柱应力	194
9.1.2	不同煤柱错距的覆岩裂隙演化规律	197
9.2	避开煤柱集中应力的区段煤柱错距计算模型	201
9.2.1	不同错距煤柱垂直应力分布规律	201

9.2.2 避开煤柱集中应力的区段煤柱错距·····	203
9.3 减轻地表损害的区段煤柱错距计算模型·····	204
9.4 兼顾应力和裂隙耦合控制的煤柱错距确定·····	206
9.5 本章小结·····	207
参考文献·····	208
彩图	

第 1 章 浅埋煤层岩层控制基本理论

本章介绍浅埋煤层岩层控制理论研究的背景，浅埋煤层岩层控制理论的进展及其体系，浅埋煤层矿压的基本特征与浅埋煤层的定义，重点阐述浅埋煤层岩层控制的基本理论。

1.1 研究背景

煤炭是我国的主要能源，在我国一次能源消费构成中占 65%~70%，是国民经济可持续发展和国家能源安全的重要支柱。我国西部毛乌素大沙漠边缘的神府东胜煤田（简称神东煤田）煤炭探明储量 2236 亿 t，是我国目前探明储量最大的煤田，与美国阿巴拉契亚煤田、德国鲁尔煤田等并称为世界七大煤田^[1]。该煤田主要赋存于浅埋煤层，20 世纪 90 年代初国家开始开发神东煤田，目前已经建成两个亿吨级现代化特大型矿区，是国家的重要能源基地。

神东煤田的典型特点是储量大，煤层多，煤质好；埋藏浅，基岩薄，松散层厚，地表生态环境脆弱。类似于这样的浅埋大煤田，世界罕见。浅埋煤层开采主要存在两大难题。其一，矿山压力明显：工作面动载明显，顶板呈现台阶下沉，造成顶板压力灾害。其二，环境破坏严重：煤层埋藏浅，高强度开采对地表环境造成严重破坏（图 1.1）。



(a)来压强烈，支架被压毁



(b)地裂缝发育，水土流失严重

图 1.1 浅埋煤层开采灾害严重

经典的采场岩层控制理论主要有 20 世纪 70 年代钱鸣高院士提出的“砌体梁”结构理论和宋振骐院士提出的“传递岩梁”结构理论^[2, 3]，这两项著名的顶板结构学说奠定了采场岩层控制的理论基础。由于经典理论主要是基于埋深较大的煤层提

出的,煤层顶板具有多组(3组以上)关键层,可以形成稳定的铰接结构,工作面来压并不迅猛。大柳塔煤矿首采面按照传统理论选用3500kN/架的液压支架,初次来压期间,工作面91m范围内的支架全部被压毁,造成巨大的经济损失。国外大型浅埋煤田很少,俄罗斯、澳大利亚、印度等国仅开展了一些矿压观测^[4-6],没有开展系统的理论研究。浅埋煤层长壁开采顶板岩层控制理论尚属空白,需要创新。

我国榆神府矿区浅埋厚煤层储量丰富,大采高综采具有产量大、掘进率低、采出率高及吨煤成本低等优点,是近年浅埋厚煤层开采的主要方法。然而,随着采高的增大,支架额定支护阻力不断提高,支护费用直线上升。研究浅埋煤层大采高工作面顶板结构理论,揭示来压机理,确定合理的支架阻力,成为浅埋煤层安全高效开采的重要课题。

我国西部地表生态环境脆弱,浅埋煤层的开采对地表水和生态环境构成了严重的威胁。特别是榆神府矿区,其大多为浅埋近距离煤层群开采,煤层的多次采动,不仅导致地下工作面压力的集中,也造成地裂缝发育。浅埋煤层保水开采岩层控制理论、浅埋煤层群开采顶板结构理论,以及浅埋煤层群开采的矿山压力与地裂缝控制理论亟待研究,以期形成环境友好的浅埋煤层岩层控制理论,支撑浅埋煤层安全、高效、绿色开采。

1.2 浅埋煤层岩层控制理论进展

自20世纪90年代至今,作者先后主持5项国家自然科学基金项目及十多项省部级和企业项目,系统地研究了浅埋煤层顶板结构和岩层控制基本理论、浅埋煤层保水开采岩层控制基本理论、浅埋煤层大采高岩层控制理论,以及浅埋煤层群顶板结构与岩层控制理论。从总体上建立了浅埋煤层岩层控制理论体系,支撑了浅埋煤层安全、高效及绿色开采(图1.2)。

1. 浅埋煤层顶板结构和岩层控制基本理论

1993年,作者对大柳塔煤矿1203首采工作面进行采前模拟研究。研究发现,厚松散层浅埋煤层顶板破断为全厚式“切落”,顶板破坏呈“两带”特征,顶板存在明显的台阶下沉现象,并被开采实践所证实,从而提出了浅埋煤层采场岩层控制新课题。1994年,作者开始从事浅埋煤层顶板结构与岩层控制方面的理论研究,2000年出版了《浅埋煤层长壁开采顶板结构与岩层控制研究》,建立了浅埋煤层采场初次来压的“非对称三铰拱”结构模型、周期来压的“短砌体梁”和“台阶岩梁”结构模型,测定了顶板结构端角挤压和端角摩擦系数,提出了支架的“给定失稳载荷”工作状态和合理支护阻力的计算方法,形成了浅埋煤层岩层控制基本理论。

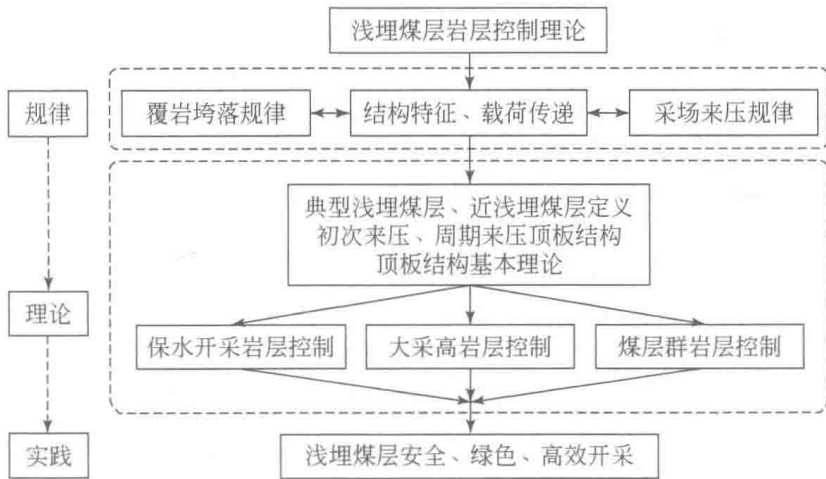


图 1.2 浅埋煤层岩层控制理论体系

2001年后，提出了以单一关键层结构为标志的典型浅埋煤层概念和以双关键层为标志的近浅埋煤层概念，完善了浅埋煤层科学定义；基于浅埋煤层覆岩厚松散层载荷传递规律，提出了“载荷传递因子”，建立了浅埋煤层顶板动态结构理论，丰富和完善了浅埋煤层开采岩层控制理论。2003年“浅埋煤层开采岩层控制”编入国家级规划教材《矿山压力与岩层控制》，2010年编入《煤矿总工程师技术手册》，标志着浅埋煤层岩层控制理论的成熟和普及。

2. 浅埋煤层保水开采岩层控制基本理论

2010年，通过物理模拟实验，揭示了采动覆岩“上行裂隙”和“下行裂隙”发育规律，据此建立了隔水层稳定性判据，提出了浅埋煤层保水开采的“自然保水开采”“限高保水开采”和“特殊保水开采”分类方法，奠定了浅埋煤层保水开采的岩层控制理论基础，出版了《生态脆弱区煤炭开发与生态水位保护》。2011年后，针对浅埋煤层特殊保水开采条件，提出了柔性条带充填保水开采方法，建立了隔水层连续梁力学模型，给出了条带充填隔水层稳定性判据，确定了上行裂隙发育高度和下行裂隙发育深度。2014年，出版了《浅埋煤层条带充填保水开采岩层控制》，丰富和完善了浅埋煤层保水开采岩层控制理论。

3. 浅埋煤层大采高岩层控制理论

2012~2016年，针对浅埋煤层大采高工作面岩层控制理论开展了研究。通过大量实测分析，掌握了浅埋煤层大采高工作面的矿压显现基本规律，提出了大采高工作面“等效直接顶”的概念和分类，建立了“高位台阶岩梁”结构模型和煤壁片帮的“柱条模型”，揭示了大采高工作面来压机理和煤壁片帮机理，分析了

“大采高支架-围岩”关系,提出了工作面支架阻力计算公式,为浅埋煤层大采高工作面支架选型和顶板控制提供了科学依据。研究成果“浅埋煤层开采岩层控制理论及其应用”获得2016年度陕西省科学技术一等奖。

4. 浅埋煤层群顶板结构与岩层控制理论

2015年以来,针对陕北侏罗纪煤田浅埋近距离煤层群开采的岩层控制开展了研究,包括以下两个研究内容。

(1) 浅埋近距离煤层群开采的顶板结构理论。基于现场实测和物理模拟,揭示了浅埋煤层群开采的覆岩垮落规律。以间隔层关键层和间采比为主要指标,提出了浅埋近距离煤层群的分类,分别提出了“浅埋极近距离煤层”“浅埋单关键层近距离煤层”和“浅埋双关键层近距离煤层”的顶板结构模型和采场支护阻力确定方法。

(2) 浅埋煤层群开采的煤柱群结构和地裂缝控制。基于浅埋煤层群开采的地表裂缝观测和物理模拟,揭示了浅埋煤层群开采的“煤柱群”结构效应,发现了采动应力场与裂缝场存在耦合控制关系。研究表明,通过合理的煤柱布置避免地层不均匀沉降,可有效减小煤柱应力和地裂缝发育,为环境友好的浅埋煤层群开采提供了理论依据。

1.3 浅埋煤层覆岩垮落结构特征与浅埋煤层定义

我国赋存大量埋深在150m以内的浅部煤田,如神府东胜煤田、灵武煤田和黄陵煤田等。其中,最典型的是神府东胜煤田。神东矿区开采区域大部分集中于埋深在100~150m的浅部,煤层的典型赋存特点是埋深浅、顶板基岩薄、表土覆盖层比较厚。实践表明,浅埋煤层采场具有强来压特点,大柳塔煤矿浅埋煤层首采工作面初次来压时,工作面中部91m范围内的支架被压毁。为了区别于其他煤层,通常将具有浅埋深、基岩薄、上覆厚松散层赋存特征的煤层称为浅埋煤层。实践表明,在同样的埋深条件下,由于基岩厚度的不同,矿山压力具有明显的区别。为了便于顶板岩层控制,必须从岩层控制的意义上,结合浅埋煤层覆岩结构特点,对浅埋煤层进行科学定义。

1.3.1 浅埋煤层覆岩垮落规律与顶板结构特征

1. 薄基岩浅埋煤层工作面矿压显现规律

大柳塔煤矿1203工作面是神东矿区第一个机械化工作面,开采 1^2 煤层,地质构造简单。煤层平均倾角 3° ,平均厚度6m,埋藏深度50~65m。地表风积沙松散