



普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

矿山压力与岩层控制

主 编 谭云亮
副主编 吴士良 尹增德 宁建国

煤炭工业出版社

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

矿山压力与岩层控制

Ground Pressure and Strata Control

主 编 谭云亮

副主编 吴士良 尹增德 宁建国

煤炭工业出版社

·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿山压力与岩层控制/谭云亮主编. —北京: 煤炭工业出版社, 2008. 2

ISBN 978-7-5020-3249-4

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

I. 矿… II. 谭… III. ①煤矿开采-矿山压力②煤矿开采-岩层移动-控制 IV. TD32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 001614 号

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×960mm¹/₁₆ 印张 20³/₄

字数 412 千字 印数 1—3,000

2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷

社内编号 6050 定价 45.00 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

前 言

矿山压力与岩层控制作为煤炭行业采矿工程专业必修的重要课程，为培养我国煤炭行业高素质人才，作出了重要贡献。20多年来，我国煤炭行业采矿工程专业大都以中国矿业大学钱鸣高院士主编的《矿山压力及其控制》和山东科技大学宋振骐院士主编的《实用矿山压力控制》为主要教材。2004年，山东科技大学根据教育部21世纪初高等学校教育教学改革项目（128B05012）“矿业类专业课程体系整体优化与实践”的需要，吸收了近20年来采矿学科最新进展，又出版了《矿山压力与岩层控制》教科书。这些，为我国采矿工程专业本科生的培养作出了重要贡献。

本教材是在对上述教材研究的基础上，充分吸收上述教材的精彩内容，针对48学时左右的《矿山压力与岩层控制》采矿专业本科授课内容，组织为采矿工程专业本科生讲授过课程且具有经验教师而改编的。本书在内容上有以下特点：

(1) 系统性。本书从矿山压力与矿山压力显现入手，在重点介绍岩层运动规律及其矿山压力分布和矿压显现规律之间关系基础上，讨论单体支柱工作面和综采、综放工作面顶板控制设计方法，进而研究矿柱支护机理及巷道围岩控制和冲击地压防治机理，讨论矿压监测技术和实验室研究方法。

(2) 精练性。充分体现了教材所应具有的特点，力求要点明确，语言精练，便于学生阅读和理解。

(3) 完整性。本书每章开始都给出摘要和需要掌握的重点内容，每章后面都附有一定数量的习题，便于学生扎实掌握所学内容。

本书绪论及第1, 7章由谭云亮主笔，第2, 3, 5章由吴士良主笔，第4, 9章由尹增德主笔，第6, 8章由宁建国主笔，第10章由吴士良、宁建国主笔。本书由谭云亮负责统稿、定稿，宁建国负责校对和插图处理。

本书是以宋振骥院士等创立的“以上覆岩层为中心的理论体系”为主线来编写的，谨此向宋振骥院士等老一辈专家致以崇高的敬意。

由于水平有限，定有许多不当或错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

2007年7月于青岛

内 容 提 要

本书系统介绍了上覆岩层破坏演化变化规律、矿山压力分布及变化规律、回采工作面及巷道支护设计、矿压试验及监测技术等方面内容。

本书为煤炭院校采矿工程专业本科生 40~50 学时矿山压力与控制专业课教材,也可供从事冶金、铁路、地下工程等相关科技工作者、现场工程技术人员和高等院校师生参考使用。

目 次

0 绪论	1
0.1 与矿山压力有关的安全事故	1
0.2 矿山压力与岩层控制研究的主要任务	4
0.3 矿山压力与岩层控制研究的回顾	5
0.4 本书的主要研究内容与学习方法	16
习题	18
1 矿山压力与矿山压力显现	19
1.1 矿山压力及其在围岩中的分布	19
1.2 矿山压力显现	36
1.3 矿山压力与矿山压力显现间的关系	47
习题	48
2 回采工作面上覆岩层运动和发展的基本规律	50
2.1 上覆岩层运动和破坏的基本形式	50
2.2 上覆岩层纵向运动发展的基本规律	58
2.3 上覆岩层在回采工作面推进方向上的运动发展规律	65
2.4 上覆岩层运动参数的确定	79
习题	90
3 回采工作面围岩支承压力及矿压显现与上覆岩层运动间的关系	91
3.1 回采工作面围岩支承压力分布形态	91
3.2 回采工作面支承压力分布与上覆岩层运动间的关系	99
3.3 回采工作面支承压力分布与矿山压力显现间的关系	107
3.4 回采工作面矿山压力显现与上覆岩层运动间的关系	108
3.5 回采工作面支承压力分布监测方法	116

习题	122
4 回采工作面顶板控制设计	123
4.1 回采工作面支架与围岩关系	123
4.2 合理支护强度的确定	126
4.3 支架工作特性及实际支撑能力的确定	129
4.4 控制设计	145
4.5 常见顶板事故的控制	159
习题	178
5 综采放顶煤回采工作面矿压控制	179
5.1 综采放顶煤开采技术及特点	179
5.2 综采放顶煤回采工作面顶板结构及“支架-围岩”关系	181
5.3 综采放顶煤工作面顶板事故案例	186
习题	189
6 矿柱支护采矿法的岩体控制	191
6.1 矿柱支护结构组成	191
6.2 矿柱支护能力分析	194
6.3 矿房-矿柱布置设计	198
6.4 矿柱支护条件下顶底板稳定性分析	204
习题	205
7 回采巷道矿压理论	206
7.1 煤层巷道开掘的位置和时间	206
7.2 回采巷道围岩变形量预计方法	217
7.3 回采巷道围岩稳定性分类方法	222
7.4 回采巷道支护设计	230
习题	248
8 冲击地压及其监测	249
8.1 概述	249
8.2 冲击地压的特征及其分类	250

8.3	冲击地压发生的机理	253
8.4	冲击地压的监测方法	257
8.5	冲击地压的预防	267
	习题	273
9	矿山压力监测技术基础	275
9.1	概述	275
9.2	回采工作面矿压监测的常用仪器	278
9.3	单体支柱回采工作面矿压监测	284
9.4	综采工作面矿山压力监测	290
9.5	回采工作面附近巷道矿山压力监测方法	294
	习题	309
10	矿山压力相似材料研究方法	310
10.1	相似模拟试验原理	310
10.2	相似模拟试验方法	312
10.3	裂隙梁失稳相似模型试验	314
10.4	巷道支护的相似模拟试验	315
	习题	320
	参考文献	321

矿山压力与岩层控制是高等院校采矿工程专业四年制本科的必修专业基础课。当我们开始学习这门课程时,不免思考:为什么要学习这门课程;倘若这门课学不好,将会对煤矿安全生产带来怎样的后果;本课程有什么特点以及如何学好该门课程等问题。

通过对本章的学习,了解当前与矿山压力有关的安全事故以明确矿山压力与岩层控制的主要研究任务;并通过对目前矿山压力与岩层控制研究理论的回顾,明确本课程主要研究内容及学习方法。

0 绪 论

0.1 与矿山压力有关的安全事故

“十五”时期,工矿商贸企业共发生事故 68 805 起、死亡 77 158 人,其中,煤矿共发生事故 18 516 起、死亡 31 064 人,分别占工矿商贸企业事故总数和死亡人数的 26.91% 和 40.26%。在此期间,全国煤矿共发生重大事故(一次死亡 3~9 人) 1 398 起,平均 280 起/a,占全国各类重大事故总数的 11%;发生特大事故(一次死亡 10~29 人) 214 起,平均 43 起/a,占全国各类特大事故总数的 36%;发生特别重大事故(一次死亡 30 人以上) 42 起,平均 8 起/a,占全国各类特别重大事故总数的 58%。在整个煤矿安全事故中,煤矿顶板事故所占比重超过 50% 以上(图 0-1),死亡人数所占比重超过 30% 以上(图 0-2),每年顶板事故影响的产量约占总产量的 5%,达到 30~40 Mt 的巨大数字。

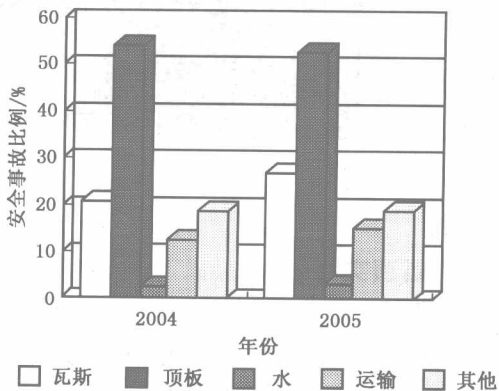


图 0-1 中国煤矿安全事故比例

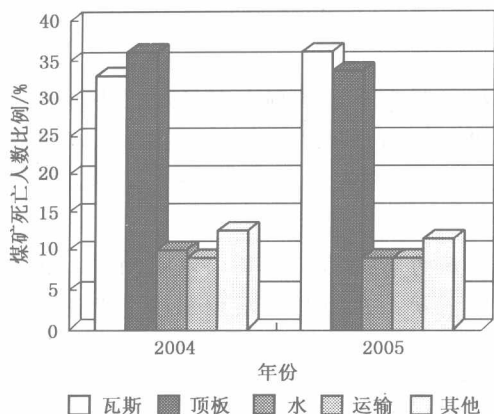


图 0-2 中国煤矿死亡人数比例

板控制和巷道维护上的人力和财力非常巨大。因此，结合我国煤矿特点进行矿山压力及岩层运动控制的研究，是关系到煤矿安全生产及提高经济效益的大事。

大量实践也表明：煤矿重大事故的发生及其有效控制，几乎都同时与岩层运动和应力场应力的大小和分布条件有机地联系在一起。其中与顶板运动破坏直接关联的冒顶事故、顶板透水事故，以及与其相关的岩层运动破坏的范围都与采动后应力场重新分布联系在一起；与应力条件直接相关的事故，包括瓦斯突出、冲击地压和底板突水等，其应力条件的实现都是在一定采动条件下岩层运动和破坏的结果（图 0-3）。

由于矿山压力及岩层运动情况不清，控制方法不相适应，每年浪费在回采工作面顶

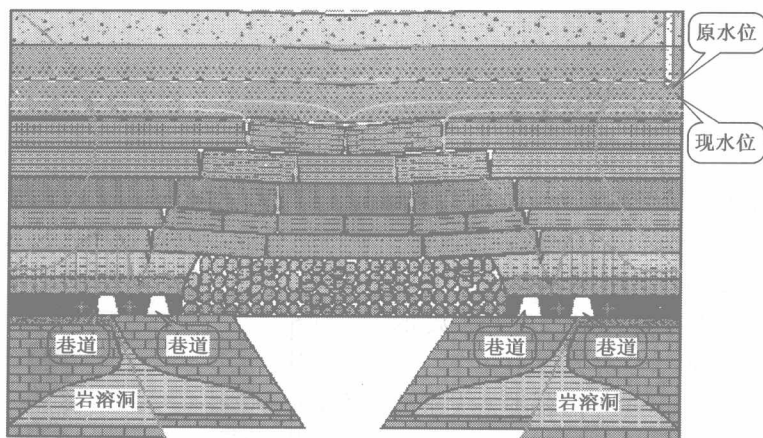


图 0-3 与岩层运动相关事故机理

0.1.1 冒顶实例

福建省龙岩市新罗矿区 1993—2002 年各种伤亡汇总，见表 0-1。

由表 0-1 可知：矿山事故的分类严重程度排列依次为冒顶、中毒、机电、水害等，1993—2002 年，因冒顶事故伤亡的人数为 138 人，占各类事故伤亡人数总数的 47.91%。由此可见，矿井冒顶事故是影响矿山安全生产和健康发展的主要原因之一。

表 0-1 福建省龙岩市新罗矿区 1993—2002 年各种伤亡汇总表

年份	伤亡 总起 数	伤亡 总人 数	原 因											
			冒顶		运输		机电		爆破		中毒(透水)		其他	
			起数	人数	起数	人数	起数	人数	起数	人数	起数	人数	起数	人数
1993	25	30	17	20	1	1	1	1	1	1	4	6	1	1
1994	29	40	14	23	2	2	3	3	2	2	3	5	5	5
1995	32	36	19	20	1	1	2	2	1	1	4	7	5	5
1996	28	35	17	22	1	1	1	1	1	1	6	7	2	3
1997	21	31	9	13	1	1	1	1	1	1	5	11	4	4
1998	17	20	9	9	1	1	2	2	1	1	2	3	2	4
1999	23	25	11	11	1	1	1	1	2	2	4	4	4	6
2000	15	18	3	5			2	2	1	1	3	4	6	6
2001	17	25	5	8			1	1	1	3	5	8	5	5
2002	22	28	6	7					1	1	2	5	13	15
合计	229	288	110	138	8	8	14	14	12	14	38	60	47	54

注：其他类别含窒息和非矿山类。

0.1.2 冲击地压

随着我国对煤炭等资源需求量的不断增大，井下煤矿的开采深度不断增大，承受巨大地压的顶板突然断裂所造成的破坏岩石位能转变为动能而带来的冲击地压危害日益显现，如图 0-4 所示。

0.1.3 透水事故

因矿井顶、底板压力过大，致使煤矿在开采过程中地表水、老空水或者是相邻煤矿报废矿井中的水沿断层破碎带流入井田造成透水事故。这也是影响矿山安全生产和健康发展的主要原因之一。例如：广东兴宁市罗岗镇福胜煤矿发生特大透水事故，103 人被困井下，其中 16 人死亡，如图 0-5 所示。四川省广安市龙滩煤矿发生矿井透水事故，10 人遇难，18 人下落不明，如图 0-6 所示。

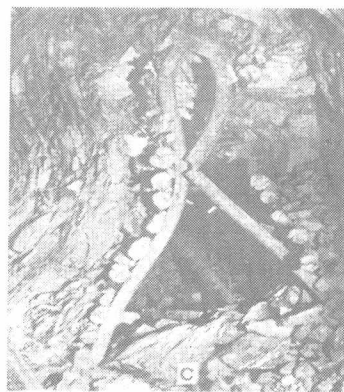


图 0-4 冲击地压破坏图

广东兴宁一煤矿发生透水事故103人被困井下



图 0-5 广东兴宁一煤矿发生透水事故示意图

四川广安发生矿井透水10人遇难18人下落不明

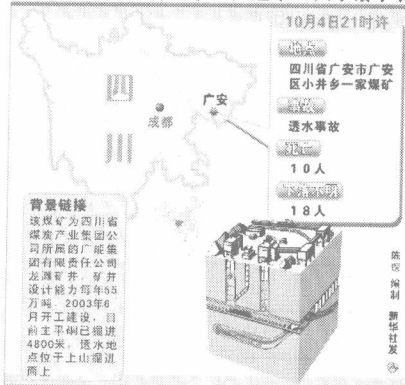


图 0-6 四川广安矿井透水事故示意图

实践证明,顶板事故频繁发生的基本原因是:

(1) 没有很好地研究和掌握各个具体煤层需要控制的岩层范围及其运动规律(包括运动发生的时间和条件等),顶板控制设计缺少基础。

(2) 没有深入地研究和掌握各种类型支架的特性,特别是在生产现场所能达到的实际支撑能力。没有解决好针对具体煤层条件选好和用好支护手段方面的问题。

(3) 没有更好地揭示支架与顶板运动间的关系,达到正确合理地选择控制方案。

研究证明,煤矿冲击地压、煤与瓦斯突出和岩层突水等事故的发生与回采工作面矿山压力分布及岩层运动直接相关。如果能够比较科学地预测预报出回采工作面周围支承压力分布状况(包括压力高峰位置和巷道的低应力区范围等),并在此基础上正确设计开采程序(开采的时空关系),避免在高应力区或岩层运动未稳定的部位开掘和维护巷道,则相应的冲击地压、煤与瓦斯突出等重大事故也就可以减免。

0.2 矿山压力与岩层控制研究的主要任务

根据国内外采矿工作者长期的理论和实践探索,特别是近 50 年来长壁开采的实践表明,矿山压力与岩层控制研究的主要任务为:

(1) 研究随回采工作面推进在其周围煤层、岩层中重新分布的应力(包括应力大小及方向等)及其发展变化规律。该应力的存在和变化是煤及岩层变形、破坏和位移的根源,也是回采工作面及周围巷道支架上压力显现的条件。

搞清分布在煤层及各个岩层上的应力状况,揭示它们随回采工作面推进及岩层运动而变化的规律,是回采工作面矿山压力研究的重点。

(2) 研究回采工作面支架上显现的压力及其控制方法。包括压力来源、压力大小及与上覆岩层运动之间的关系、正确的控制设计方法等。

(3) 研究在回采工作面周围不同部位开掘和维护的巷道的矿山压力显现及其控制办法。包括不同时间开掘的巷道压力的来源,巷道支架上显现的压力大小及其影响因素,以及支架与围岩运动之间的关系等。

(4) 控制采动岩层活动的主要因素分析。从十分复杂的采动岩层活动中建立采动岩层的结构力学模型,从而展开对回采工作面顶板矿压、回采工作面突水、岩层移动及地表沉降规律等进行系统描述。

(5) 深部开采时回采工作面支承压力的分布、岩层结构及运动特点和围岩大变形的控制机制等。

在上述任务中,确定采掘空间的支护形式及所需的支护参数,是矿山压力研究的主要目标;而研究造成已采空间周围岩层运动,特别是产生破坏的力,则是实现上述目标的基础和关键。围绕着上述两个方面问题,国内外采矿工作者,特别是在生产现场进行工程实践的专家,经历了长期的奋斗,已经取得许多重要的成果。

0.3 矿山压力与岩层控制研究的回顾

为了更深刻的认识矿山压力理论的发展现状,找到适应我国煤矿的研究方向,简单地回顾一下有代表性的矿山压力假设是十分必要的。

很早以前,人们已经发现在煤和岩层中开出的巷道,支架上承受的压力远远小于采动空间上覆岩层的自然重量。即使长壁开采,回采工作面支架上的压力显现也仅有上覆岩层重量的1%~5%。因此,人们很自然地联想到已采空间是在某种结构的掩护之下。于是,人们根据自己在不同煤层条件下的开采经验,提出了相应的掩护结构模型,用以解释开采过程中出现的矿山压力现象,设计和选择采掘空间的支护形式及所需的反力,从而形成了各种假说。其中,适应于一般的煤层条件,具有一定历史地位和具有代表性的,大致归纳为5类。

0.3.1 掩护“拱”假说

掩护拱假说的基本观点是:①采动形成的工作空间是在一种“拱”的结构掩护之下;②“拱”结构承担上覆岩层的重量,通过拱脚传递到煤层及岩体上的压力及由此在煤及岩体中形成的应力,是煤及岩层破坏的原因,也是“拱”结构本身向外扩展的条件;③回采工作面空间的支护仅承受拱内已破坏岩层的岩重,支架是在由“拱”的结构尺寸所圈定的

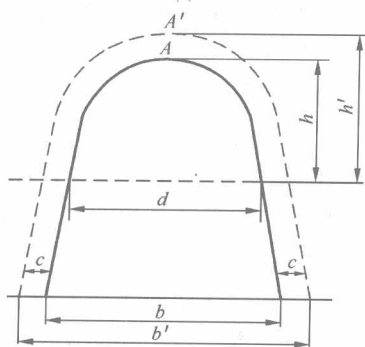


图 0-7 自然平衡拱

破碎岩石荷重下工作——即在一定的载荷条件下工作，支架上显现的压力大小与支架本身的力学特性无关。

根据对拱的性质及形成条件的不同解释，其又可分为自然平衡拱假说和压力拱假说。

0.3.1.1 自然平衡拱假说

自然平衡拱假说是由俄国学者 M. M. 普罗托吉亚阔诺夫在对大量巷道顶板破坏情况观察的基础上提出来的。该假说认为，巷道开掘后，已采空间上部岩层将逐步垮落，如图 0-7 所示。这个拱是自然形成的，拱的高度 h 是岩层的岩石强度和巷道宽度 b 的函数，其关系式为

$$h = k \frac{b}{f} \quad (0-1)$$

$$f = \frac{R}{10} \quad (0-2)$$

式中 k ——常数；

f ——普氏系数；

R ——岩石的单向抗压强度。

显然，当 R 和 b 已知，即可按式 (0-1) 及式 (0-2) 计算出掩护拱的高度 h ，从而可以推算出拱所包围的破碎岩石的面积 A 及相应的岩石重量，据此即可确定巷道支护所需的反力。

实践证明，普氏拱假说适用于确定强度不高 ($f=5\sim6$)，开采深度不是很大的巷道支护反力。当开采深度超过一定限度后，通过拱体结构传递至巷道两帮边缘岩体上的压力及由此在岩体内形成的应力将达到该岩石的强度极限，导致两帮边缘的破坏，实际的拱宽和拱高将分别扩展至 b' 和 h' 的位置 (图 0-7)。巷道支护所必需的反力应按照已经扩大了拱面积 A' 进行计算。为此，必须确定出扩展后的平衡拱位置，即图 0-7 中的 c 值。由于普氏理论没有以岩石破坏和应力重新分布的角度来揭示自然平衡拱形成的机理，没有深入研究围岩中应力分布和稳定的条件，因此不可能正确回答上述问题。这正是普氏理论广泛应用受到限制的原因。

曾经有不少人企图用普氏自然平衡拱的理论来解释回采工作面推进过程中周围岩层中的应力和支架上的压力显现，其力学模型如图 0-8 所示。利用该模型可以说明回采工作面初次来压阶段煤壁前方支承压力及回采工作面支架上显现的压力随回采工作面推进而增加的现象，但不能解释回采工作面矿压显现的周期性变化规律。

从图 0-8 可以看出, 如果工作面继续推进, 拱高 h 将通达地表。显然, 这是违背客观实际情况的。鉴于这种假说所描绘的岩石运动和破坏规律与客观实际不符, 所以不能用以解释回采工作面产生的矿山压力问题。

0.3.1.2 压力拱假说

压力拱假说在 20 世纪 50 年代前后, 曾经得到很多人拥护。比较有影响的是由前苏联学者、工程师 Ф. 许普鲁特提出的假说模型, 如图 0-9 所示。图 0-9 中曲线 1 是压力拱的边界线。该压力拱跨越整个回采工作面 (工作空间), 前后拱脚分别坐落在未采动的煤层和采空区的矸石上。该曲线将推进方向的岩层压力分为三个部分: 即压力拱脚作用的高压区 S_1 及 S_2 , 由工作空间上部边界和压力拱边界线所包围的“无应力” (即已破坏) 岩石作用的低压区 L_K , 以及曲线进入水平状态的原始压力区域。

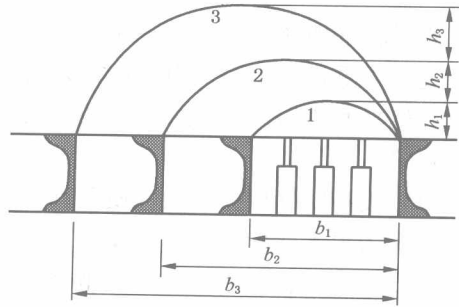
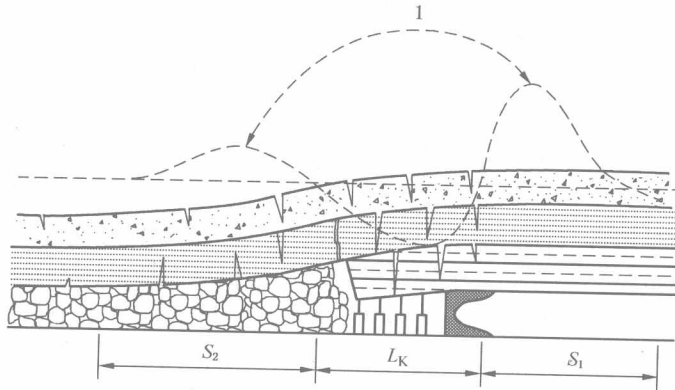


图 0-8 工作面推进中的自然平衡拱



1—压力拱

图 0-9 Ф. 许普鲁特压力拱假说模型

压力拱假说的主要假设如下所述:

(1) 压力拱切断了拱内外岩石力的联系, 承担了上部岩层的重量, 并将其传递至拱脚, 从而形成支承压力。

(2) 回采工作面支架仅承担拱内 (即控顶区以上至拱边界处) 岩石的重量, 支架在一定的载荷条件下工作。因此, 支架上显现的压力大小与本身的承载能力及其力学特性无

关。

假说较好地解释了回采工作面周围支承压力的存在，较好地说明了支架上的压力远小于上覆岩层重量的原因。由于假说认为“压力拱”是随回采工作面推进而前移，因而避免了原自然平衡拱假说认为平衡拱随回采工作面推进不断扩大的错误。但是假说同样存在着下列缺陷：

(1) 没有明确压力拱的性质及其与岩层运动发展情况间的关系。因此，这个压力拱始终是一个边界无法确定的模糊概念，无法解释回采工作面周期来压等现象，无法找到回采工作面支架需要控制的具体岩层范围。

(2) 假说没有正确地揭示回采工作面支架与围岩间的力学关系，不能说明支架有可能在“一定变形”条件下工作的事实，无法解释回采工作面支架上显现的压力往往与支架本身力学特性有关的现象。

上述缺陷是该假说至今无法直接用以进行回采工作面支架定量计算的主要原因。

0.3.2 掩护“梁”假说

掩护“梁”的有关假说可归纳如下：

(1) 回采工作面是在一系列“梁”的掩护之下。这些梁在垮落前能将自身的重量传递至前后两端支承岩体之上，从而形成支承压力的。

(2) “梁”的破坏（垮落）和沉降是回采工作面支架上压力显现的根源。

(3) 支架可能在由已破坏的岩石重力所“给定”的“一定载荷条件下”工作，也可能在由岩梁沉降所决定的“一定变形条件下”工作，即支架存在着“给定载荷”和“给定变形”两种工作状态。其中，在“给定变形”条件下工作的支架，其压力显现的大小仅只取决于支架自身的力学特性（即自身的变形量与产生的阻抗力间的关系）。因此，当顶板的移动量（顶底板移近量）和支架力学特性已知时，顶板压力即可以事先确定。

(4) 支架的阻抗力（支架反力）相对于岩层压力来说是微不足道的，因此不可能对顶板下沉移动量产生影响。也就是说，支架在改变回采工作面顶板下沉移动量方面是无能为力的。为此，支架作用在于防止已碎岩体垮落和保持各种属性结构梁的连续性，不必要也不可能改变顶板下沉量方面发挥作用。基于这种认识，有些学者（如前苏联的 K. B. 鲁宾涅特）把研究和确定回采工作面上覆岩层的整体下沉曲线及由此所决定的顶板下沉量作为回采工作面矿压控制研究的关键。

从上述所列共同点可以看到，与“拱”说相比，“梁”的假说在解释回采工作面支架上压力显现的规律方面（包括压力来源、压力大小、支架的力学特性及围岩运动间关系等），有了重要的发展。下面引述几种有代表性的掩护“梁”的假说。

0.3.2.1 “悬臂梁”假说

悬臂梁（或板）的假说早在 1867 年就提出来了。该假说认为回采工作面是在一系列