

煤矿深井开采 的 矿压显现及控制

杜计平 苏景春 著

MEIKUANG SHENJING KAICAI DE
KUANGYA XIANXIAN JI KONGZHI

中国矿业大学出版社

TD32
D-427

煤矿深井开采的矿压显现及控制

杜计平 苏景春 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

采用理论分析与实践经验相结合、现场实测与模拟实验相结合、采矿原理与计算机技术相结合的方法,对我国煤矿深井开采的巷道矿压、冲击地压和采场矿压随采深增加的显现规律及其控制技术进行了系统研究。用解析法分析了岩性、采深、开采影响、时间和支架对巷道变形的影响;得出不同掘进和布置方式的回采巷道随采深增加的变形统计公式;提出涉及岩性、采深、开采影响的有效载荷系数,并与开拓和准备巷道在原岩应力和固定支承压力作用下的变形速度和移动支承压力作用下的变形量建立相关关系;得出巷道维护费与采深的关系;提出以改革巷道布置和开采部署为主的深井巷道矿压控制技术。研究了深井重力型冲击地压与支承压力的关系,提出深部防范冲击地压的综合措施。分析了采场矿压显现参数与采深的关系并通过实测验证,分析了深部采场可能出现的冒顶类型并提出对策。

本书可供煤炭高等院校、煤炭企业、科研和设计部门的采矿工程技术人员参考。

责任编辑 朱明华

图书在版编目(CIP)数据

煤矿深井开采的矿压显现及控制/杜计平,苏景春著.

—徐州:中国矿业大学出版社,2000.4

ISBN 7-81070-147-9

I. 煤… II. ①杜…②苏… III. 深井-煤矿开采-矿山压力-研究 IV. TD32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 11298 号

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

出版人 解京选

中国矿业大学印刷厂印刷 新华书店经销

开本 850×1168 1/32 印张 4 字数 104 千字

2000 年 4 月第 1 版 2000 年 4 月第 1 次印刷

印数 1~1000 册 定价 15.00 元

前 言

我国煤矿已有的深矿井采深不断增加,还有更多的中深矿井将发展为深矿井。另一方面,国内针对煤矿深井矿压显现及其控制技术的专门研究较少,与我国煤矿深井开采的现状不适应,一些矿井进入深部开采后在巷道布置和开采部署上仍沿用浅部的方法和理论。国外原西德和前苏联的煤矿较早地进入了深部开采,在深井矿压显现及其控制技术方面率先遇到了相同的问题,也积累了大量的经验。由于国情、综合国力和煤炭工业技术政策的差异,在矿压控制技术方面国外的一些成功经验并不能全部适合于我国煤矿深井开采的实际情况,如长壁工作面前进式开采,石膏巷旁充填,全部采用重型可缩性支架加壁后充填支护或重型可缩性支架加壁后充填再加锚网支护,综采机械化程度达到100%。在巷道支护方面,我国较快地发展了可缩性U型钢支架和锚喷类支护技术,但在U型钢和连结件材质、壁后充填技术和配套设备、锚杆材质和长度方面以及相应的配套设备与发达国家仍有较大的差距。

对于煤矿深井矿压控制技术来说,研制支架是必要的,但仅靠支护手段解决深井矿压控制的问题是不够的,甚至是不可能的。实践已经证明,不同的巷道布置和开采部署对深井巷道矿压显现和冲击地压的影响截然不同,在这些方面国外的研究也是较弱的。为解决我国煤矿深井矿压控制问题,在发展我国煤矿支护技术的同时,从国情出发,研究深井巷道布置和开采部署尤其重要。

20世纪80年代末以来,新汶矿区内主要矿井的采深已达800~1000 m,1000 m以下的开采技术问题亟待解决。90年代新汶矿区相继提出《深部开采井巷矿压及布置的研究》和《新汶煤田东部

深井开采技术与开发战略》等研究课题。1996年原煤炭工业部把《矿区深部开采技术与合理开采深度》列为重点研究课题。作者承担了这些课题中有关深井开采矿压显现及其控制的内容。课题组的主要成员还有钱鸣高、张先尘、姜学云、王玉浚、徐永圻、李嗣均、郭炳正、张元功、侯子和、陈传海、卢喜庸、张少宇、余永雄、孙春江、翟新献、左秀峰、罗新荣、张东升。在相关内容研究和完成本书时，作者得到这些学者和工程技术人员的帮助，在此表示感谢。

并感谢孙村矿提供资料，参加井下实测和拍照的技术科、地质科、宣传科及矿压组的同志。在市场经济条件下，我国煤矿深井面临着严峻的考验，深井矿压控制任重道远，恳请读者对本书的内容多加关注。深井矿压问题错综复杂，因作者水平有限，书中错误和疏漏之处难免，殷切希望得到同行们的指正和帮助。

作者

2000年1月

目 录

第一章 煤矿深井矿压显现及其控制概述.....	(1)
第一节 国内外煤矿深井开采现状及存在的问题.....	(1)
第二节 深井矿压显现及其控制技术的研究现状.....	(6)
第二章 煤矿深井巷道矿压显现及其控制	(10)
第一节 深井巷道围岩变形破坏和采深关系 的分析方法	(11)
第二节 深井围岩流变性对巷道变形破坏 的理论分析	(14)
第三节 深井回采巷道矿压显现	(36)
第四节 深井回采巷道矿压控制	(48)
第五节 深井开拓和准备巷道矿压显现	(51)
第六节 开拓和准备巷道维护费与采深的关系	(70)
第七节 深井开拓和准备巷道矿压控制	(74)
第三章 煤矿深井冲击地压及其防治	(79)
第一节 深井重力型冲击地压与支承压力的关系	(81)
第二节 厚层难冒坚硬顶板条件下冲击地压与 采深的关系	(89)
第三节 构造型冲击地压与采深的关系	(91)
第四节 柱式体系采煤法条件下冲击地压与 采深的关系	(92)
第五节 防范深井冲击地压的开采技术措施	(95)

第四章 煤矿深井采场矿压显现及其控制	(101)
第一节 采场矿压显现与采深关系的理论分析.....	(101)
第二节 采场矿压显现与采深关系的现场实测.....	(107)
第三节 深井采场矿压控制特点.....	(110)
主要结论	(113)
参考文献	(118)

第一章 煤矿深井矿压显现及其控制概述

第一节 国内外煤矿深井开采现状及存在的问题

一、国内外煤矿深井开采现状

煤炭资源从浅部开始开采,随着煤炭采出,开采煤层的埋藏深度必然要增加,开采规模扩大和机械化水平提高又加速了生产矿井向深部发展。煤矿深井开采是世界上大多数主要采煤国家目前和将来要面临的问题,只要人类要生产和生活,就离不开对资源的依赖,即使目前没有进入煤矿深部开采的国家或迟或早要进入深部开采。

由于不同的产煤国家在煤层赋存的自然条件、技术装备水平和开采技术上的差异,以及在深部开采中出现问题的程度不同,因此国际上尚无统一和公认的根据采深划分深井的定量标准。根据本国国情,一些采煤国家的学者对深井的界定提出了一些见解和论述。前苏联的一部分学者^[1]将采深超过 600 m 的矿井归于深井,而另一部分学者把采深 800 m 作为统计深井的标准。原西德学者^[2]把采深 800~1200 m 定为深部开采,把 1200 m 以下称为超深开采。英国与波兰把煤矿深部开采的起点定为 750 m,日本定为 600 m。

我国对深井的界定无明确规定,中国煤矿开拓系统^[3]一书提

出按开采深度将矿井划分为4类,各类的深度范围如表1.1.1。

表 1.1.1 中国煤矿开拓系统按开采深度对矿井分类

矿井类别	浅矿井	中深矿井	深矿井	特深矿井
采深 H/m	<400	$400 \leq H < 800$	$800 \leq H < 1200$	≥ 1200

1982年我国煤田依据地质探测在埋深2000 m内预测的总储量为4 492 708 Mt,按深度分布如表1.1.2^[4]。

表 1.1.2 我国煤炭资源按深度预测的储量

埋深/m	<600	$600 \sim 1000$	$1000 \sim 1500$	$1500 \sim 2000$
储量/Mt	1 204 384	899 597	1 127 593	1 260 951
比例/%	26.81	20.02	25.10	28.07

由表1.1.2可知,我国大部分的煤炭储量赋存在深部,埋深大于600 m和1000 m的储量分别占73.19%和53.17%。

1980年我国煤矿平均开采深度为288 m,1995年为428.83 m,年平均增加9.39 m。根据原煤炭工业部生产协调司1995年初对599处国有重点煤矿进行调查的结果,我国煤矿1995年调查时的采深和最终采深分布如表1.1.3^[5]。

表 1.1.3 国有重点煤矿1995年调查时的采深和最终采深

采深 H/m	1995年调查时		最终采深	
	矿井数	百分比/%	矿井数	百分比/%
<600	478	79.80	296	49.41
$600 \sim 699$	71	11.85	70	11.69
$700 \sim 799$	25	4.17	62	10.35
$800 \sim 1899$	11	1.84	53	8.85

续表

采深 H/m	1995 年调查时		最终采深	
	矿井数	百分比/%	矿井数	百分比/%
900~999	8	1.34	41	6.84
1000~1099	4	0.67	33	5.51
1100~1199	2	0.33	14	2.34
1200~1299			20	3.34
1300~399			6	1.00
1400~1499			4	0.67

国有重点煤矿生产矿井中,采深大于 700 m 的有 50 处,占总数的 8.35%,采深已超过 800 m 的矿井有 25 处,分布在开滦、北京、鸡西、沈阳、抚顺、新汶、徐州和长广等开采历史较长的老矿区,特别是东部矿区。在采深超过 1000 m 的矿井中,有沈阳彩屯矿(1199 m),开滦赵各庄矿(1160 m),新汶孙村矿(1055 m),北票冠山矿(1059 m)和北京门头沟矿(1008 m)。开滦唐山矿、马家沟矿和林西矿,北票台吉矿,新汶华丰矿,长广牛头山矿和阜新王家营矿等矿井的开采深度接近 1000 m。若干年后,还会有更多的矿井陆续进入深部开采,按照《中国煤矿开拓系统》一书的分类标准,我国今后总的发展趋势是浅矿井的数目将大为减少,中深矿井的数目将明显增加,深矿井的数目将成倍增加,并且要出现更多的特深矿井。预计今后 10~20 年内,采深超过 700 m 的矿井有可能要达到 70~80 处。

国际上,平均采深最大的采煤国家是原西德^[2],1991 年平均采深为 900 m,最大采深在 1500 m 左右,煤矿采深超过 1000 m 的国家还有前苏联、英国、波兰、日本和比利时。

二、煤矿深井开采的基本问题

随着向深部发展,矿井逐渐出现矿压显现强烈,巷道维护困难,冲击地压危险加大,瓦斯涌出量增加,地温升高,通风、提升和勘探困难,开采条件恶化,生产技术效果和经济效益下降等问题。

由于煤层地质条件的差异,不同矿区或矿井在向深部发展过程中所遇到的深井开采问题与开采深度的关系有一定的差异。瓦斯涌出多数情况下随采深增加而增加,而我国新汶和徐州矿区则不明显。开滦矿区在采深 900~1000 m 时仍无热害问题,而兖州东滩矿(710 m)和淮南潘三矿(674 m)在矿井投产初期就出现了热害问题。

矿压显现强烈,巷道维护困难,冲击地压危险加大和经济效益下降等问题仍然是深矿井开采的普遍问题。

徐州权台矿开采的 3 煤层厚度在 4.5~5 m 左右,在埋深 600 m 以下,长壁工作面上分层回风平巷总卧底量能达到 3 m,服务期间内由于反复卧底,部分上分层巷道能卧到下分层的底板。

开滦林西矿 0793 工作面切眼埋深大于 700 m,开掘在 7 煤层 10 m 宽的煤柱下方,掘出 5 天后切眼净高不足 1.4 m,顶底板平均闭合速度达 40 mm/d。

长广一矿—850 m 水平埋深 920 m^[6],马头门施工时采用锚喷支护,再架设 11" 工字钢棚,一个月后浇注厚 0.6~0.8 m 的双层钢筋混凝土碇,随着马头门变形破坏后又加间距为 0.6 m 的 24" 工字钢排撑和 $\phi 159 \times 6$ 的钢管。在这样的支护形式下,马头门仍出现边墙内移、混凝土碇体拱顶片落、墙脚压碎、排撑和钢管压弯、11" 号工字钢被折外露。

孙村矿—600 m 水平埋深 800 m^[7],井底车场保护煤柱宽度为 350~420 m,其下方的主要井巷和硐室变形破坏十分严重。—600 m 水平水泵房于 1979 年投入使用,成巷时先采用锚喷支护后再砌碇,到 1996 年已大修 5 次,平均 3 年半大修一次。大修时使

用了除锚索以外所有的支护形式。该水泵房拱顶用于提升水泵和电机的工字钢梁(4500 mm×120 mm×250 mm)在两帮挤压下严重扭曲,1996年观测时的情况如图 1.1.1 所示,图中两根钢梁安装时中心距为 2.3 m,目前中部之间的间距只剩下 0.85 m。

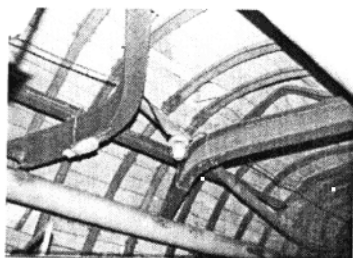


图 1.1.1 孙村矿—600 m 水平水泵房顶部起重钢梁变形
(1996 年 9 月观测)

随着采深增加和开采范围扩大,虽然采取了一些相应的措施,但我国发生冲击地压的矿井数和总的冲击次数仍呈增加的趋势,我国煤矿发生冲击地压的矿井数如表 1.1.4。

表 1.1.4 我国煤矿发生冲击地压的矿井数

时间	50 年代	60 年代	70 年代	1986 年	1987 年	1992 年
矿井数	7	12	22	32	35	>50

据 1995 年以前的粗略统计^[8],我国共发生破坏性冲击地压 1900 余次,破坏生产巷道 200 多千米,累计被迫停产 1300 天。

原西德和前苏联的煤矿较早地进入深部开采,率先遇到深井开采的问题。

原西德的伊本比伦矿—1450 m 水平开拓和开采时,极端情况下累计的巷道顶底板闭合量超过了巷道原始高度^[9]。

前苏联认为:由于深度增加,井巷费用增加了 1.4 倍,成本提高了 1.3 倍,井巷工作量增加了 1.5 倍^[10]。深度每增加 100 m,采煤工作面产量降低 4%~5%,采煤工效下降 6%~8%,吨煤生产成本提高 3%~4%^[11]。

随着采深增加和经济效益下降,德国、前苏联、英国和日本等国逐渐关闭了一些亏损严重的矿井。德国 70 年代有 72 座矿井,1994 年仅剩下 20 座^[12];俄罗斯拟定在本世纪末关闭 38 座煤矿^[13]。

深矿井开采给生产和经营带来的困难不断增加。并需要采取一系列相应的技术措施,由此提出和形成的深矿井开采技术,既是国内外当前一部分矿区和矿井面临的问题,也是煤炭工业在长远发展中需要十分重视和研究的问题。

矿压控制技术是煤矿深井开采的主要技术之一,深井矿压显现规律及其控制技术是我国煤矿深井开采迫切需要解决的课题,该课题的研究对我国煤炭工业的持续发展,特别是对我国东部矿区的发展有重要意义。

第二节 深井矿压显现及其控制技术的研究现状

一、国内研究现状

为确定国内煤矿深井开采技术研究现状和查找已有的研究成果,1999 年 6 月,以煤矿 AND(开采 OR 采掘 OR 采矿)AND(深井 OR 深部 OR 深度)为检索词和检索方式,在中国科学技术信息研究所对 21 个中文科技文献和成果数据库进行国内联机检索,检索到文献和成果共 17 篇,其中在矿压显现及其控制技术方面 9 篇,安全技术方面 4 篇,其他方面(涉及国外深井情况介绍和建筑物下开采)4 篇。

在深井巷道矿压显现及其控制技术方面有文献 6 篇,成果一篇,主要涉及围岩松动圈、回采巷道围岩稳定性分类、地压测试和跨采等内容,其中一篇的内容来自地方煤矿,题目虽为深部,但该矿绝对深度并不很大。在深井冲击地压显现及防治技术方面查到文献和成果 2 篇,涉及厚层坚硬顶板条件下的冲击地压。

尽管国内专门针对煤矿深井矿压显现规律及其控制技术方面进行系统的研究较少,但在软岩巷道变形机理及控制技术、无煤柱护巷技术、巷道卸压技术、锚杆支护及围岩松动圈测试技术、U 型钢支护及壁后充填技术、高水巷旁充填材料及注浆技术、回采巷道围岩稳定性分类研究、采场顶板控制及监测研究、冲击地压发生机理研究及监测仪器研制、厚层坚硬顶板条件下冲击地压的防治等方面都取得了许多成果,为深井矿压显现及其控制技术的研究奠定了基础。

二、国外研究现状

原西德和前苏联在深井巷道矿压显现及其控制研究方面居国际领先地位。前苏联在深井巷道矿压理论方面研究较多,原西德采用现场实测、模型实验和数值模拟等方法,侧重于深井巷道矿压控制实用技术的研究。

1. 深井开采的巷道矿压显现及其控制技术方面

前苏联采用 $\frac{\gamma H}{\sigma}$ 或 $\frac{\gamma H}{f_m \sigma}$ 为指标的方法对巷道的稳定性和变形进行评价和预测, γ 为岩层的平均体积力; H 为埋深; σ 为岩石的单向抗压强度; f 为地质构造特性系数; m 为强度系数(1~0.7),评价方法一^[1]和评价方法二^[14]分别将巷道分为 3 类和 5 类。

原西德学者^[15]认为:当岩石压力超过一定极限值后,巷道掘进时就会产生掘进移近量,开始产生掘进移近量的压力值表达式为: $p = 3.46 \sqrt{\sigma}$,即 $\gamma H = 3.46 \sqrt{\sigma}$,式中 σ 为底板岩层强度。从而推出在不受开采影响的岩体中巷道失稳的极限深度表达式:

$H=138\sqrt{\sigma}$, 通过变换不同底板岩石强度, 可以得出底板岩性不同的巷道失稳的极限深度。

影响巷道掘进过程中移近率 K (移近量与巷道原高度之比) 的主要因素有岩石压力、巷道底板岩层强度 σ , 其经验公式如 (1.1.1) 式。

$$K = -46 + 13.3 \frac{\gamma H}{\sqrt{\sigma}} \quad (1.1.1)$$

对于前进式开采采用不同巷旁支护形式沿空留巷的回采巷道, 其顶底板移近率如 (1.1.2) 式^[16]:

$$K_0 = -78 + 0.066H + 4.3MS_v + 2.43\sqrt{G_L} \pm 3\% \quad (1.1.2)$$

式中 K_0 ——巷道无上下分层开采影响, 超前掘进, 单侧采煤情况下的围岩移近率;

M ——煤层厚度, 单位为 m;

S_v ——巷旁充填指数 (刚性巷旁带为 1, 木垛为 2, 无巷旁充填为 3);

G_L ——底板指数 (砂岩为 1, 砂质页岩为 2, 泥质页岩为 3, 根土岩为 4, 煤为 5, 层厚小于 20 cm 的泥页岩、根土岩和煤的互层为 6)。

原西德较早就采用大型三维有限元数值模拟程序, 模拟采场周围应力分布规律和开采对巷道的影响, 并采用了以下技术措施对深井巷道围岩进行控制:

大断面巷道 (20~24 m² 以上); 重型 U 型钢支架 (34 kg/m~40 kg/m) 加壁后充填 (充填厚度 0.3~0.5 m) 支护或 U 型钢支架加壁后充填和锚杆组合支护^[17]。

伊本比伦煤炭公司^[18]采深 1500 m, 巷道掘进断面 27.4 m², 净断面 21.2 m², 采用 44 kg/m 的四节 U 型钢可缩性支架支护, 间

距 0.8 m, 壁后充填, 并布置锚杆和喷射混凝土, 锚杆长 3 m。

另外, 原西德注重巷道合理布置, 回采巷道实行石膏巷旁支护沿空留巷, 一部分工作面采用前进式开采。前苏联、原西德、日本、比利时、英国和荷兰等国对巷道卸压技术和注浆加固技术进行了大量的理论和实验研究, 也取得了一定效果。

2. 深井开采的采场矿压显现及其控制方面

原西德学者^[19]认为: 工作面中冒落高度与采深和支架的支撑力有关, 工作面岩层的高压增加了冒落频度, 减少顶板难管理的途径是加大支架支撑力和缩小端面距。

原西德发展了掩护式支架, 为缩短顶梁到煤壁的控顶距离, 采取了在支架顶梁前增加滑动梁或可折合前探梁和护帮装置, 减少了冒落、冒高及煤壁片帮问题。

国外综采机械化程度普遍提高。原西德和英国综合机械化程度在 1989 年就达到 100%。

3. 深井开采的冲击地压及其防治方面

煤矿冲击地压最严重而且防范工作最有效的国家是前苏联、波兰和原西德。前苏联采用实验室相似模拟法、光弹法、层析成像技术和地质动力区划分对冲击地压进行理论研究, 在仪器和仪表方面有较大进展。1955~1977 年冲击危险矿井数由 8 个增至 36 个, 而年冲击次数由 83 次降至 7 次, 1980 年以后又降至 5~6 次^[20]。

由德国发展起来的钻屑法、钻孔卸压法在国际上享有盛誉, 并且不断完善了一整套防治措施和预测预报方法, 在采深不断增加和开采范围不断扩大的情况下, 冲击地压次数和危害程度仍大幅度减少。

煤的冲击倾向实验室测定和井下测定是波兰学者首先倡导并大力发展的, 将岩体声学以及地震法用于矿山冲击危险探测和监测方面居于世界领先地位。

第二章 煤矿深井巷道矿压显现及其控制

巷道变形破坏严重,维护困难是煤矿深井开采主要和共同的问题之一。巷道矿压显现随采深增加而增加,一般在采深超过 600~700 m 后,软岩条件下采深在 500 m 左右,井下巷道开始出现深井开采的巷道矿压显现特征。随着开采深度增加,以下这些深井巷道矿压显现特征愈加明显。

(1) 巷道围岩变形速度快,变形量大,巷道周边变形范围大。

(2) 岩性对深井巷道围岩变形有明显的影响,到了深部后,由于岩性的差异引起的巷道围岩变形的差异强烈地表现出来,采深对软岩巷道、煤层巷道,尤其是“三软”煤层巷道影响强烈。

(3) 巷道从使用期间维护困难已发展到掘进期间就维护困难,掘出后就不得不废弃的巷道增多,采煤工作面的回风平巷、上下山、甚至大巷都有废弃的记录。

(4) 巷道持续变形、流变已成为深井巷道变形的主要特征。随着时间延续,深部煤柱下方的多数巷道围岩变形不止,没有降低的趋势,流变速率与边界条件和岩性有关。

(5) 采煤工作面开采加剧了巷道围岩变形,采深愈大,开采影响范围愈大,影响程度愈强烈。

(6) 多数留设的巷道保护煤柱达不到保护巷道的目的,反而对巷道维护不利。

(7) 巷道对支架的工作特性要求高,初撑力、工作阻力和可缩