

SHENJING HANGDAO KUANGSHAN YALI KONGZHI

SHENJING HANGDAO KUANGSHAN YALI KONGZHI

付国彬 姜志方 编著

深井巷道矿山压力控制

中国矿业大学出版社

SHENJING HANGDAO KUANGSHAN YALI KONGZHI

TD322

F-342

深井巷道矿山压力控制

付国彬 姜志方 编著



中国矿业大学出版社

前 言

深井巷道矿山压力控制是深部开采面临的亟待解决的重大技术课题之一。

随着人类对矿产需求量的日益增加,开采规模不断扩大,浅部易采的矿产资源日趋枯竭,开采向深部发展是地下矿山的必然趋势。我国开滦、新汶、北票、沈阳、鸡西、抚顺、长广、徐州、平顶山和淮南等矿区的部分矿井已经进入深部开采的范畴,开采深度最大的沈阳彩屯矿和开滦赵各庄矿的采深已达到或接近 1 200 m。目前,我国多数煤矿的开采深度超过了 500~600 m,并且正以每年约 10 m 的速度递增。因此可以预计,从现在起到 21 世纪初的约 10 a 内,现有的矿井大部分都将进入深部开采。

巷道普遍难维护是深部开采面临的重大课题之一,这一问题已经引起了世界各国采矿界的高度重视。有关国际学术组织已多次召开了以深部开采为专题的国际会议,如 1986-06 国际岩石协会在前苏联 Novosibirsk 召开了题为“深部矿井地层控制”(Strata Control in Deep Mines)的国际学术会议和 1989-08 国际岩石力学学会在法国波城(PAV)召开的题为“深部岩石—岩石力学及岩石物理学”(Deep Rocks—Rock Mechanics and Physics)的国际学术讨论会等。近年来,深部开采常常是有关采矿、岩石力学和岩层控制的全国性学术会议

和国际会议的议题或内容之一,原西德还举行了多次“深部岩层控制理论与实践”的专题讨论会。这一切都说明,深部开采的巷道矿压控制作为矿山压力与岩层控制的一个新的研究领域已经引起了人们越来越广泛的关注。

较早进入深部采煤的国家,如原西德、前苏联等对深部开采的巷道矿压问题进行了大量研究,已初步形成了一套比较完整的巷道矿压控制体系。我国在这方面的研究起步较晚,常常是凭浅部的开采经验来处理深井巷道矿压问题,并且实践中还存在诸如留煤柱维护底板岩石巷道、用多层料石碴抵抗深井高压等错误做法,具有很大的盲目性。因此,系统论述深部开采的巷道矿压控制理论和方法十分必要。

本书是作者近几年来所从事的深井巷道矿压的理论研究和现场实践的总结,并吸收了国内外的成功经验和先进技术。书中系统论述了深井巷道的矿山压力特点、巷道变形与围岩破裂范围及二者之间的关系,在此基础上分析、论述了深井巷道矿压的主要影响因素和相应的控制原则,详细介绍了深井巷道矿压控制技术——深井巷道支护、围岩卸压和围岩加固。

深部开采的巷道矿压控制是一个非常复杂的问题,本书只是系统研究这一课题的开始,若能为进一步的研究起到抛砖引玉的作用,作者将不胜荣幸。由于我们水平有限,时间仓促,书中不妥之处难免,恳请读者批评指正。

借此机会谨向中国矿业大学出版社和为本书的编写、出版提供过帮助的同志表示深切的谢意。

作者

1996年9月

目 录

前言

第一章 绪言	1
第一节 深部开采的深度标准.....	1
第二节 深部开采概况.....	2
第三节 深井巷道矿压研究现状.....	5
第二章 深井巷道矿山压力特点	15
第一节 深井巷道压力特点	15
第二节 深井巷道围岩状态特点	18
第三节 深井巷道矿压显现特点	24
第三章 深井巷道围岩破裂范围	32
第一节 概述	32
第二节 巷道围岩破裂范围	34
第三节 影响巷道围岩破裂范围的因素	45
第四节 深井底板岩巷围岩破裂范围 的模拟试验和现场实测	54
第四章 深井巷道围岩位移	63
第一节 概述	63
第二节 深井巷道围岩位移	64

第三节	深井巷道变形与围岩破裂范围的关系	75
第五章	深井巷道矿压控制原则	78
第一节	深井巷道矿压控制基础	78
第二节	深井巷道矿压控制原则	80
第六章	深井巷道支护与围岩加固	93
第一节	概述	93
第二节	深井巷道支护	93
第三节	深井巷道围岩加固	112
第七章	深井巷道围岩卸压	120
第一节	在巷道围岩中钻孔卸压	122
第二节	钻孔松动爆破卸压	128
第三节	开槽(缝)卸压	136
第四节	两阶段施工——导巷卸压	143
第五节	用卸压巷道(硐室)卸压	146
第六节	跨巷回采和掘前预采	151
第八章	深井巷道矿压控制实践	158
第一节	赵各庄矿的基本情况	158
第二节	赵各庄矿 13 水平半煤岩与全煤 巷锚喷网支护	162
第三节	赵各庄矿受采动影响的深井底板 岩石巷道加固	170
第四节	赵各庄矿深井煤巷支护与卸压	176
参考文献		178

第一章 绪 言

第一节 深部开采的深度标准

深部开采(Deep Mining)作为采矿学科的一个新的技术术语已经为世界各国采矿界普遍采纳,但各国关于深部开采的标准并不统一,见表 1-1。

表 1-1 部分国家的深部开采标准

国 家	德 国	前苏联	波 兰	英 国	日 本
开采深度/m	800~1 200	800	750	750	600

岩层压力大、围岩变形量大、巷道普遍难维护是深部开采巷道矿压显现的特点之一。在深部开采条件下,不仅刚性支架,而且缩量小的可缩性支架也常常难以获得成功,一些原本并不难维护的巷道仅仅由于开采深度增大(到某一值)而变得普遍难维护,人们对深部开采的认识首先源于此。深部开采不仅压力大,而且地温高、矿山压力动力现象加剧,人们关于深部开采的概念和对于深部开采的认识正是建立在这些由于开采深度增大而带来的新问题的基础上的。因此,各国的地质条件(岩性、地温梯度)不同、开采技术(支护技术、装备)水平不同,深部开采的标准自然也不同。

目前,我国煤矿尚无明确的深部开采的标准,有的专家认

为开采深度 800 m 为深部开采^[1],有的认为 700~1 000 m 为深部开采^[2]。而我国金属矿山将开采深度 600~2 000 m 作为深部开采的标准。事实上,如果只从矿山压力的角度考虑,地层条件不同的矿区或矿井,深部开采的标准也不应相同。但为了讨论问题方便起见,根据我国煤矿的支护技术水平、地层条件 and 生产实践,一般可将开采深度 800 m 作为深部开采的标准;部分软岩矿井深部开采的标准可定为 600 m。

尽管不同矿井、不同矿区、不同国家的深部开采标准可能不同,但深部开采面临的新问题却完全相同。在这些新的问题中,岩层压力大带来的深井巷道维护就是深部开采面临的亟待解决的课题之一。

第二节 深部开采概况

世界上率先进入深部开采的是非煤矿山,确切地说是金属矿山。早在本世纪初,南非金矿的开采深度就已经超过 2 000 m。目前,南非已有 40 多座矿井的开采深度超过 1 000 m,其中一半多已达 2 000~3 000 m,如埃兰兹兰(Elandsrand)金矿、斯坦总统(President Steyn)金矿和博克斯堡(Boksburg)金矿等的开采深度均已超过 3 000 m,而全世界开采深度最大的地下矿山——卡里顿维尔(Carletonville)金矿(南非第三大金矿)——的开采深度已超过 4 000 m。除南非以外,加拿大、美国、前苏联和印度等国非煤地下矿山的开采深度最大的也达到了 2 000~3 000 m,如美国的加利纳(Galeana)银铅矿、加拿大的克赖顿(Creighton)镍矿和印度的钱皮恩里夫(Champion Reef)金矿等。然而,与煤矿不完全相同,金属

矿进入深部开采遇到的主要是地温和冲击地压问题,巷道维护问题一般并不突出,即使是开采深度达三、四千米的南非金矿,巷道情况仍然正常。这是由金属矿床的围岩条件决定的。

煤矿以原西德和前苏联较早进入深部开采。早在 60 年代初,埃森北部煤田中的巴尔巴拉矿的开采深度就已经超过 1 000 m,达到 1 200 m。从 1960~1990 年,原西德煤矿的平均开采深度从 730 m 增大到 900 m 以上,最大开采深度从 1 200 m 增大到近 1 500 m,并且分别以每年约 10 m 的速度递增(图 1-1)。预计到 2000 年,德国煤矿的平均开采深度将超过 1 000 m。

前苏联在解体前的 20 a 中,煤矿的开采深度以每年 10~

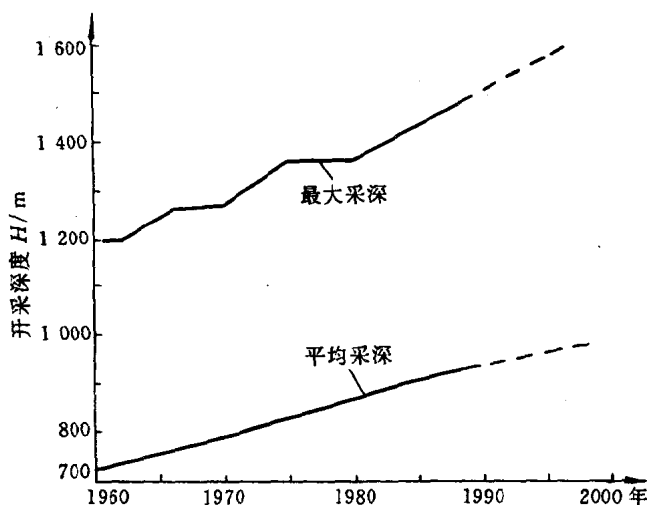


图 1-1 原西德煤矿开采深度的变化^[3]

12 m 左右的速度递增,现平均开采深度约 600 m,其中顿涅茨克煤田的平均开采深度已达到 800 m,最深的矿井已超过 1 400 m。前苏联开采深度最大的顿巴斯煤田,预计到 2000 年将有 30 座煤矿的开采深度达到 1 200~1 350 m。

除原西德、前苏联以外,波兰、英国和日本等国部分煤矿的开采深度也已超过 1 000 m,表 1-2 为 90 年代初部分采煤国煤矿的最大开采深度。

表 1-2 90 年代初煤矿最大开采深度^[4]

国 家	西德	苏联	英国	波兰	比利时	日本
开采深度/m	1 450	1 400	1 220	1 100	1 415	1 125

目前,我国统配煤矿的平均开采深度达 450 m 左右,最大开采深度已接近 1 200 m(沈阳矿务局彩屯矿为 1 197 m)。据不完全统计,目前我国已有平顶山、淮南和峰峰等 43 个矿区的 120 座矿井的开采深度超过 600 m,开滦、北票、新汶、沈阳、长广、鸡西、抚顺、阜新和徐州等 13 个矿区的 25 座矿井的开采深度超过 800 m。其中,开采深度超过 1 000 m 的除沈阳彩屯矿以外,还有开滦赵各庄矿(1 159 m)、新汶孙村矿(1 055 m)和北票冠山矿(1 059 m)等。此外,开滦唐山矿及马家沟矿和林西矿、北票台吉矿、新汶华丰矿、长广牛头山七矿、阜新王家营矿和广旺旺苍矿等的开采深度已接近 1 000 m。并且,我国煤矿的开采深度正以每年 8~12 m 的速度递增。

据有关资料,我国预测煤炭总储量的 70% 以上埋藏在 600 m 以下,西部虽然有丰富的煤炭资源,但大规模开发受到交通运输和水资源条件的限制,因此,今后煤炭开发只能是一

方面向西部转移,另一方面向深部发展。可以预计,在未来的10~20 a内,我国东部老矿区的大部分矿井将进入深部开采,都要面临深井巷道矿压控制问题。

第三节 深井巷道矿压研究现状

进入深部开采以后,由于岩层压力大,巷道围岩变形量显著增大,支架损坏严重,巷道翻修量剧增,巷道维护变得异常困难。深井巷道的矿压控制已经成为深部开采能否顺利进行的制约因素之一。为此,进入深部开采的世界各采煤国都做了大量研究,取得了可喜的成果。

一、国外的研究

原西德、前苏联、波兰、英国、比利时、荷兰和日本等国都对深部开采的巷道矿压及其控制措施进行了大量研究,而尤以较早进入深部开采的原西德和前苏联的研究最为突出。同时,前者也是侧重深井巷道矿压控制实用技术研究的代表,而后者是侧重深井巷道矿压控制理论研究的代表。早在60年代,原西德就已经开始研究800~1 200 m的深部开采问题,70年代开始研究1 200~1 500 m、80年代开始研究1 600 m的深部开采问题(原西德将开采深度超过1 200 m称为超深开采或大深度开采),并且建立起了集现场实测、模型实验和理论计算于一体的“岩层控制系统”。前苏联紧随其后,已着手研究1 000~1 400 m的深部开采问题。

从总体上看,国外的研究一方面是将已有的岩石力学与矿山压力成果应用于深部开采,但同时还结合深部开采的特殊性和本国国情对深井巷道矿压控制进行了专门研究。通过

现场观测、相似材料模拟实验、计算机数值模拟计算和理论分析等多种手段对深部开采的应力、巷道矿压显现规律和深井巷道矿压控制技术等进行了大量研究,获得了下列主要成果。

1. 深部开采的应力及分布规律

原西德学者 G. 埃佛林(G. Everling)通过数值模拟计算,得出 1 000 m 深度处的铅直应力为 23~25 MPa,1 200 m 深度处为 30 MPa,预计 1 600 m 深度处达 40 MPa,即原岩(铅直)应力与开采深度基本呈线性关系。原西德埃森采矿研究中心还对深部开采在采场周围及底板岩层中的应力分布规律进行了数值模拟计算,结果分别如图 1-2 和图 1-3 所示。

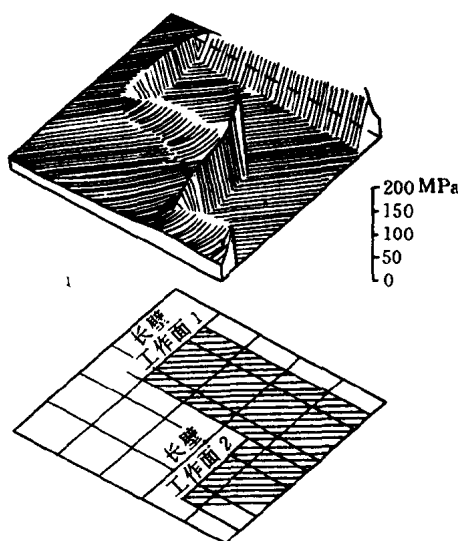


图 1-2 深部开采采场周围的应力分布^[5]

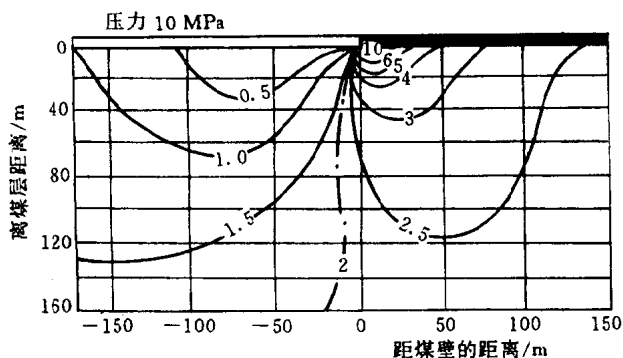


图 1-3 深部开采底板岩层中的应力分布^[5]

图 1-2 的计算条件为开采深度 $H=1\ 000\text{ m}$; 图 1-3 中 $H=800\text{ m}$, 图中曲线(等应力线)上数字的单位为 10 MPa , 曲线 2 的应力即相当于原岩应力。

2. 深井巷道围岩稳定性评价

前苏联采用 $\gamma H/\sigma_c$ (其中 σ_c 为岩石单向抗压强度, γ 为上覆岩层平均容重) 作指标来评价深井巷道的稳定性(表 1-3)。

表 1-3 前苏联深井巷道稳定性评价^[6]

$\gamma H/\sigma_c$	巷道稳定性
<0.25	稳 定
$0.25\sim0.4$	中等稳定
$0.4\sim0.65$	不 稳 定

英国提出了巷道失稳的极限深度^[7]:

$$H_{\max} > k_v \eta \sigma_c / (2\gamma) \quad (1-1)$$

式中 $H_{\max}$ ——巷道失稳的极限深度, m;

η ——长时载荷影响系数, $\eta=0.8$;

2——掘巷引起的巷道周边应力集中系数;

γ ——上覆岩层平均容重, MN/m^3 ;

σ_c ——岩石单向抗压强度, MPa;

k_v ——裂隙影响系数, $k_v = (v/v_0)^2$, 其中 v 、 v_0 分别为声波在岩体和岩块中的传播速度。

岩石强度不同、岩体完整性不同的巷道失稳的极限深度如图 1-4。从图 1-4 可见, 岩石单向抗压强度为 40~60 MPa (通常为砂页岩、页岩或粉砂岩) 时, 若岩体较完整 ($k_v=0.8$), 巷道失稳的极限深度为 600~800 m; 若岩体完整性较差 (k_v

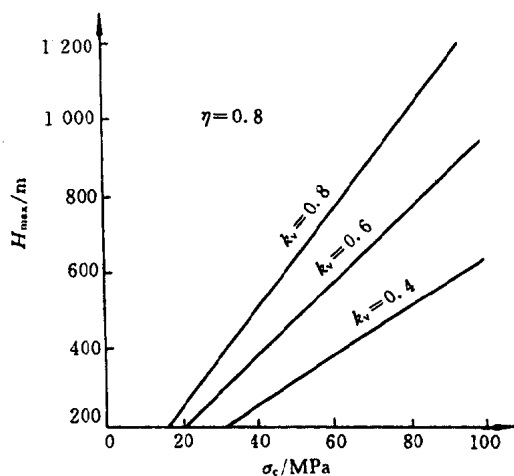


图 1-4 $H_{\max}$ 与 σ_c 、 k_v 的关系

=0.6),巷道失稳的极限深度为450~650 m。

原西德认为巷道的稳定性主要决定于底板岩石的力学性质,从而用底板岩性指数来评价其稳定性。对于不受采动影响的巷道,原西德给出了巷道失稳极限深度的经验公式^[7]:

$$H_{\max} = 138 \sqrt{\sigma_c'} \quad (1-2)$$

式中 σ_c' ——底板岩石的单向抗压强度,MPa。

由式(1-2),可得不同岩性的巷道围岩失稳的极限深度,见表1-4。不过,根据已有的实践,可以认为由式(1-2)确定的巷道失稳的极限深度偏大。

表 1-4 不同岩性巷道围岩失稳的极限深度^[7]

岩 性	底板岩石强度 σ_c' /MPa	巷道失稳的极限深度 $H_{\max}$ /m
砂 岩	97	1 360
砂页岩	68	1 140
泥页岩	45	930
泥 岩	28	730

3. 深井巷道变形量预测

许多国家都将巷道变形量作为深井巷道支护设计(确定支护方式、支护参数和预留变形量等)的重要依据。原西德通过大量现场实测,建立了巷道变形量与开采深度(原岩应力)和岩石强度的关系^[8]:

$$K_A = -46 + 13.3 p_0 / \sqrt{\sigma_c'} \quad (1-3)$$

式中 K_A ——掘巷引起的巷道变形量占巷道原始尺寸的百分数,%;

p_0 ——巷道处的原岩应力,MPa。

由式(1-3),可绘制不同岩性巷道围岩的变形量与开采深度的关系曲线如图 1-5。

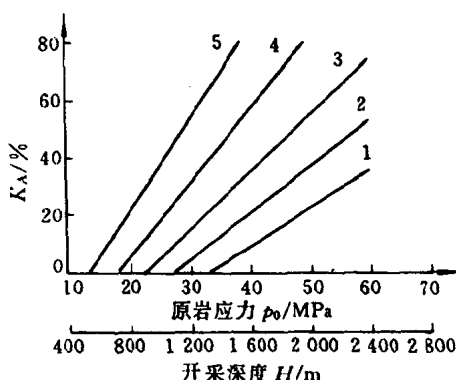


图 1-5 K_A 与 p_0 (开采深度 H)和 σ'_c 的关系曲线

1——砂岩($\sigma'_c=97$ MPa); 2——砂页岩($\sigma'_c=68$ MPa);
3——页岩($\sigma'_c=45$ MPa); 4——泥岩($\sigma'_c=28$ MPa); 5——煤($\sigma'_c=14$ MPa)

前苏联通过在顿巴斯矿区的大量现场实测,得出了深井巷道掘进初期顶板及两帮位移量的经验公式^[9]:

$$u_{dt} = 0.01 \sqrt{t} \left[\exp \frac{\gamma H - 10(\sigma_c/\sigma_0)^2 q_d}{\sigma_c} - 1 \right] b \quad (1-4)$$

$$u_{ct} = 0.0056 \sqrt{t} \left[\exp \frac{0.85\gamma H - 15(\sigma_c/\sigma_0)^2 q_c}{\sigma_c} - 1 \right] h$$

式中 u_{dt}, u_{ct} ——分别为顶板和两帮在巷道掘进后时间 t 内的位移量,cm;

q_d, q_c ——顶板与两帮作用在支架上的压力,kPa;