

高等学校教学用书

采矿系统优化与模拟

王玉浚 主编

CAIKUANG

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书汇集了我国近年来在煤矿地下开采中应用系统最优化和计算机模拟的理论与方法,进行采矿系统合理选择的研究成果。全书共分三篇。第一篇着重介绍了设计优化的数学理论及其在解决采矿问题上的实际应用;第二篇比较详细地叙述了从回采工作面、采区、矿井到矿区的系统优化模型;第三篇系统地介绍了计算机模拟方法、矿井生产系统的模拟模型和应用软件。本书可以作为高等学校采矿工程专业本科生的必修或选修课教材,研究生学习的参考书,也可供煤矿采矿工程技术人员参考。

责任编辑:刘泽春

技术设计:杜锦芝

责任校对:周俊平

高等学校教学用书 采矿系统优化与模拟

王玉淩 主编

中国矿业大学出版社出版发行
江苏省新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷
开本 787×1092 毫米1/16 印张22 字数 523 千字
1989年12月第一版 1989年12月第一次印刷
印数: 1—1500册

ISBN 7-81021-223-0

TD·56

定价: 4.35元



前 言

随着运筹学、系统工程学和电子计算机技术的发展,近十年来我国煤矿开采中的许多生产技术问题,采用了系统优化和系统模拟的方法,以论证采矿系统的合理性和改进方向;进行采区、矿井设计方案和主要参数的最优选择;安排保证正常生产的工作面和采区长期的短期的接替计划;确定适宜的矿井和矿区长远发展规划等。这为采矿工程中的技术决策提供了新的理论依据和强有力的现代化手段,提高了决策的准确性和可靠性,蕴含着巨大的经济效益和社会效益,受到有关人员的极大关注,有着广阔的发展前景。

在煤矿高等院校的教学计划中,已经陆续地安排了《采矿设计优化理论基础》、《采矿设计优化》、《采矿系统模拟与分析》等课程。为适应这一教学计划的需要和便于有关的工程技术人员、科研人员参考,结合我国近年来理论研究和实际应用成果,参照近年来教学中所用的讲义,编写成这本教材。考虑到这类课程的设置仍属初期探索阶段,各院校的安排不完全一致,为便于使用计,本书分作三篇,各篇可以单独作为一门课程的教材使用,也可以合在一起讲授。

本书由王玉浚主编,执笔人第一至四章徐永圻,第十章蒋国安,第十一、十二、十七章唐祖章,其余各章王玉浚。尽管作者与兄弟院校的同行具有广泛联系,但尚未针对本书内容进行详细探讨和磋商,肯定有缺陷和不足之处有待修正,恳请读者批评指正。

编者 1988年11月

目 录

绪 论	(1)
-----------	-------

第一篇 矿井系统优化的基本理论和方法

第一章 矿井系统特征及优化 准 则	(4)
第一节 矿井—复杂系统	(4)
第二节 矿井系统的动态变化及预测	(5)
第三节 矿井系统最优化准则	(11)
第四节 矿井系统模型结构及优化步骤	(13)
第二章 矿井系统优化的数学规划方法	(15)
第一节 线性规划	(15)
第二节 0—1 整数规划	(30)
第三节 非线性规划	(36)
第四节 动态规划	(45)
第三章 矿井系统优化的其他数学方法	(49)
第一节 多目标决策	(49)
第二节 对策论	(56)
第三节 系统可靠性	(60)
第四节 图论与网络分析	(68)
第四章 主要费用参数确定及数据加工整理	(91)
第一节 主要费用参数确定及数据的统计分析	(91)
第二节 数据文件	(104)
第三节 数据的随机分布规律	(108)

第二篇 采矿系统优化模型

第五章 长壁采煤法回采工艺及其主要参数选择	(119)
第一节 回采工艺方式选择	(119)
第二节 回采工作面合理长度的选择	(126)
第三节 整层开采与分层开采的对比选优	(134)
第六章 采区设计综合优化	(138)
第一节 优化内容、步骤和方案初选	(138)
第二节 数学模型的编制	(141)
第三节 计算机程序编制	(151)
第四节 应用示例	(157)
第五节 采区划分方案选择	(160)
第七章 生产矿井上下山开采和开拓 延深方案 选择	(164)

第一节	缓倾斜煤层上下山开采的合理选择	(164)
第二节	生产矿井开拓延深与技术改造方案选择专用模型编制	(172)
第三节	矿井延深改造方案优选的通用模型结构	(178)
第八章	矿井设计方案优化	(183)
第一节	矿井开拓方案优化模型概述	(183)
第二节	近水平煤层矿井设计方案优化	(186)
第三节	缓斜煤层矿井设计方案优化	(195)
第九章	矿区最优规划方案的选择	(201)
第一节	矿区类别和方案选择的依据	(201)
第二节	选择矿区发展方案的0—1规划	(203)
第三节	矿区规划中改扩建和新建矿井合理安排的目标规划	(206)
第四节	用层次分析法选择矿区规划方案	(216)
第十章	系统优化的决策方法	(225)
第一节	优化和满意的决策方法	(225)
第二节	动态决策	(227)
第三节	优化结果的验证和评价	(236)

第三篇 采矿系统模拟与分析

第十一章	计算机模拟及模拟的基本方法	(240)
第一节	计算机模拟	(240)
第二节	静态模拟模型的构造	(242)
第三节	计算机动态模拟的基本方法	(248)
第四节	蒙特卡洛方法	(256)
第十二章	均匀随机数和随机变量的产生方法	(259)
第一节	均匀随机数的产生及其检验方法	(259)
第二节	随机变量的产生方法	(266)
第十三章	煤矿生产系统单项模拟模型	(275)
第一节	采煤工作面生产状况模拟	(275)
第二节	采区生产系统模拟	(281)
第三节	大巷矿车轨道运输系统模拟	(286)
第四节	大巷胶带连续运输系统模拟	(291)
第五节	立井箕斗提升系统模拟	(295)
第十四章	矿井主生产系统模拟模型	(297)
第一节	模拟程序的功能和软件开发	(297)
第二节	M102程序	(298)
第三节	SSP01程序集	(302)
第四节	模块组合式模拟程序	(306)
第十五章	矿井工作面接替和采掘接替计划的模拟	(309)
第一节	回采工作面接替模拟模型	(309)
第二节	生产矿井年度采掘接替计划编制软件	(315)
第十六章	矿区规划中的系统动态模拟	(320)

第一节	系统动态学的基本原理	(320)
第二节	矿区规划的 SD 模型	(324)
第十七章	模拟结果的分析	(331)
第一节	终态模拟结果分析	(331)
第二节	稳态模拟结果	(339)
主要参考文献		(340)

绪 论

采矿系统优化与模拟或称采矿系统工程，是近年来开设的新课，是系统工程与采矿工程两个学科的交叉结合。本书所论述的主要内容是采用系统最优化和计算机模拟的理论与方法进行采矿系统的合理选择，是系统工程在采矿中应用的两个重要方面，所作的研究和软件开发工作比较充分。本书是针对煤矿矿床地下开采编写的，尽管其中的一些解决问题的思路和方法，对其他矿床开采不无借鉴之处，但毕竟不能反映它的具体特点。

煤矿地下开采采矿系统的合理选择，主要是选取井田开采的技术方案和确定各项开采参数，如选择井田开拓方式、生产系统、新水平开拓延深方案、采区巷道布置、采煤方法，确定矿井生产能力、水平阶段高度、采区划分及其走向长度、回采工作面长度及其生产能力等。这些问题是煤矿矿井设计和生产矿井技术管理或进行技术改造的核心内容，对矿井整体面貌和生产过程中长期的技术经济效益起着举足轻重的作用。因此，历来受到设计部门、生产单位以及科学研究工作者的极大关心和重视，并在不断地积极探索更适于解决这类问题的理论、方法和途径，力求使采矿系统的合理选择建立在更为可靠的科学分析与论证的基础之上，用以促进煤矿建设和生产的发展。

对评价和选择采矿系统的原则所作的最高概括，通常为“技术上优越，经济上合理”。所谓技术上优越，即选用的方案生产环节简单、可靠、安全，便于采用适合于该矿具体条件的新技术、新工艺，有利于实现生产过程的机械化、综合机械化及自动化，有利于生产的集中化，有利于提高资源回收率，有利于生产技术管理。衡量经济上合理标准，主要是所选方案吨煤生产能力的基建投资、特别是初期投资少，劳动生产率高，吨煤生产费用低，建设时间短，投资效果好（投资回收期短），利润高。

选择采矿系统多年来惯用的方法有方案比较法、统计分析法、数学分析法、标准定额法，并在应用过程中不断地完善和有所改进、发展。

方案比较法的实质是对不同的具体技术方案进行技术经济分析对比。从中选出最好方案，通常的概念是在数目不多的方案中进行筛选。评价方法由静态分析的返本期法、折算费用法和总算法，发展为动态分析的年成本比较法、现值比较法和投资收益率比较法（贴现法）。

统计分析法是根据现有矿井生产建设的实际情况，针对需要解决的问题进行调查，利用统计资料分析某些参数之间的关系，得出相应的平均合理值或可取值的范围。其数理统计方法是一元回归、多元回归分析。

数学分析法常以吨煤费用最低作为准则，列出吨煤费用与欲求参量之间的函数关系，用求函数极值的方法得出开采设计方案中某项参数的合理取值或合理的取值范围。多用于对单个参数的求解，少量的用到对2~3个参数的求解。

标准定额法是以有关主管部门制定或批准的规程、规范为依据，对采矿系统中某些技术参数值进行选取，也可以通过技术上的论证分析自行规定一项标准，然后依此作为

某些参数选择的依据。

近年来随着系统工程和电子计算机技术的发展，系统优化的理论和方法已经成为对采矿系统进行对比、分析和选择的现代化手段，正在发挥着越来越大的作用。

系统工程是以研制大系统为对象的一门跨学科的边缘学科。它是把自然科学和社会科学中的某些思想、理论、方法、策略和手段等根据总体协调的需要，有机地联系起来，把人们的生产、科研或经济活动有效地组织起来，应用数学方法和电子计算机等工具，对系统的构成要素、组织结构、信息交换和反馈控制等功能进行分析、设计、制造和服务，从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目标，以便最充分地发挥人力、物力的潜力，通过各种组织管理技术，使局部和整体之间的关系协调配合，以实现系统（方案和参数）的综合最优化。

对系统的分析、综合、模拟、最优化等常称为狭义的系统工程。为了合理地进行系统的研制、设计、运用等工作所采用的思想、程序、组织、方法等内容称为广义的系统工程。

系统工程学的思考与过去的工程学设想相比，可以说具有完全不同的思想。因为过去的工程学设想是想通过重视各个单元的方法来确保整个系统性能。而系统工程学则往往是首先断定总体的功能和需要，然后决定各个单元所必需的功能。如果说过去的工程学是用单元的良好程度来保证整体的良好状态的话，那么系统工程学的考虑方法是利用各单元间的巧妙联系和各个系统间的巧妙联系，这比提高每个单元的良好程度更能提高整个系统的水平。

系统工程的主要理论基础是运筹学，以及其它数学分支，通常有：概率论和数理统计；线性规划、非线性规划、动态规划；排队论（随机服务理论）；对策论、决策论；图论、网络分析；存贮论；统筹方法；系统可靠性；控制论；信息论等。

总之，系统工程学就是应用系统的观点，信息的理论，控制的基础，现代数学的方法和电子计算机的技术，溶合渗透而成的一门综合性的管理科学。因此，系统工程学是解决系统的最优设计、最优控制和最优管理的一门科学。

国外系统工程在煤矿开采中的应用，以苏联和美国为例，大体上有两种类型（或称途径）。

苏联在研究和解决煤矿开采问题中，过去采用的传统方法是方案比较法和数学分析法，六十年代开始采用系统工程学的观点方法和电子计算机技术，主要是在传统方法的基础上发展成为综合优化的方法，对有关问题编制经济数学模型，考虑多方案、多参数的综合影响，从中选择最优方案和参数。其特点是以吨煤费用（或折算费用）最低、或效率最高、或几个指标最优作为目标函数，以技术可能作为约束条件，用电子计算机求解。

应用的具体问题有：

- 1) 采煤方法中的工艺和参数选择，例如综采设备选型，合理工作面长度的确定等；
- 2) 采区巷道布置系统方案及参数优化；
- 3) 巷道网断面优化和通风系统选择；
- 4) 井巷施工工期的网络分析和计划管理；
- 5) 地面生产系统和布置的优化；

6) 矿井系统及参数优化, 包括新水平开拓和准备的优化设计。

其中, 在矿井系统优化方面所作的工作最多, 系统也最大。1964年开始已经编制了单一煤层矿井、分区开拓矿井、水采矿井等几十个优化设计的经济数学模型, 并在实际矿井设计、特别是典型的矿井设计中得到应用。而且将要建立煤矿企业自动化设计系统, 计划编制60个能自动输出成果的实用程序, 用以解决100多个设计问题。

美国(包括美洲国家)采用系统工程解决采矿问题也是从六十年开始, 其中大量的模型和程序是用于金属矿和露天矿。用以研究和解决煤矿地下开采最早的是宾西法尼亚州立大学的C·B·曼纽拉和R·V·罗迈尼, 他们所编制的地下开采运输系统模拟模型, 包括有十个子系统。子系统的名称为外部环境、内部环境、地质储量、采矿方法、岩石控制、物料运输、支护、其它(安全、卫生)等。这样的模型是有一定代表性的, 它反映了美国系统工程在煤矿中应用的基本状况。

我国煤炭工业部门对系统工程应用的研究起步较晚, 七十年代末才开始, 但是发展速度很快, 特别是高等院校和设计部门作了大量的研究和软件开发工作, 各矿区和多数矿井都配备了电子计算机, 并且在生产管理上得到广泛应用, 国外已有的系统工程和电子计算机在采矿的各方面的应用, 国内在不同程度上都结合我国的具体情况作了研究工作, 有的达到了相当的深度。目前, 我国在矿井设计方案优化、采区设计优化、矿井生产系统模拟等方面, 已经编制了通用的模型, 开发了计算机软件; 对回采工艺方式及其主要参数选择、矿井技术改造方案选择、矿区规划方案选择等方面也作了一些研究工作, 并正在向应用的广度和深度上发展。

汇集我国近年来在采矿系统优化与模拟进行研究和实际应用成果, 编写成书, 既是为了适应教学的需要, 也是期望对这一学科分支的发展起一点促进作用。编写时的立足点是已经掌握了采矿工程的基本知识, 所以对涉及采矿工程中的有关问题未加探讨。

第一篇 矿井系统优化的基本理论和方法

第一章 矿井系统特征及优化准则

第一节 矿井——复杂系统

一、矿井系统特征

在研究、设计及管理象矿井这一工程项目或生产活动时，人们习惯地称它为大系统。它的重要特征是：

1. 包含许多组成部分，它们联结成一个有次序的结构。这些组成部分就是回采和准备工作面；运输、提升、通风、供电等系统；巷道支护和维修、地面生产系统等。系统的工作取决于工艺、材料、动力和信息上的联系，这些联系有时具有双向的特点（正反联系的渠道）。某个工艺环节的状态会影响到其它环节，从而影响全矿的正常生产。

2. 矿井各组成部分的形式与特性尽管各种各样，但其功能的目标是统一的。无论是回采、运输、准备、通风等环节，其统一目的是在技术指标最好的情况下保证煤炭产量最高（或成本最低）。同时，系统各部分工作的共同（总的）目的并不排斥它们各自的（局部的）工作目的。例如，准备工作是为了高速和经济地保证回采工作面的接替；回采的目的是要有效、安全而经济地采煤；通风是为了保证工作面有足够的风量，创造安全和良好的矿井工作条件等。

3. 系统工作效率和质量的多维性和参数的多约束性。矿井的状态和工作要通过许多指标来评价，而且有时这些指标还是相互矛盾的。

4. 系统结构的等级性。等级性表现在矿井设计和矿井工作的不同方面。例如，矿井一级的参数设计，分区一级的参数设计，采区一级的参数设计，回采工作面一级的参数设计；矿井一级的运输工作，井底车场和主要巷道一级的运输工作，采区一级的运输工作，回采（准备）工作面一级的运输工作；等等。

二、矿井系统中的子系统

把矿井生产系统作为一个大系统进行分析研究时，经常需要把与之有关的各部分分解为子系统。子系统的划分，根据所要进行分析的问题和研究的内容，可以有各种不同的划分方法。每个子系统应具有独立的功能，即所要解决和回答的问题，并且与大系统形成有机配合，满足大系统的某项或某几项要求。还需要考虑大系统所划分的若干个子系统之间便于协调和联系。

一般情况，在预测深度为开采期限10~15a的《矿井》系统中，可以分解为以下相互联系的一些子系统：

《采煤（采区）工艺》子系统 它直接决定着矿井的煤炭产量，并主要由它决定着矿

井生产工艺的特征；它决定于采煤方法及采区巷道布置方式，采区的主要参数；

《掘进工艺》子系统 它主要是保证新采区能及时的接替，使给定的矿井生产指标保持稳定，从而决定采掘接替计划，掘进头数目；

《井田开拓》子系统 它决定着矿井主要计划决策，并在空间上使企业的全部工艺过程和其它子系统相互协调，它决定于开拓方式及矿井的主要参数；

《运输和提升工艺》子系统 用于保证把回采和掘进采出的煤炭从采区运到地面，并沿井筒和矿井干线输送人员、材料和设备；它决定于大巷运输及井筒提升的方式；

《矿井地面工艺》子系统 用于把从矿井中提出的煤转送到洗煤厂去，或将煤运给用户。把矸石运送到指定地点。为正常进行地下开采，为工人的生活创造条件；

此外，还有《通风》、《排水》等子系统。

除上述一些子系统外，当技术上需要时，还可以分解出《充填作业工艺》等子系统。

由此可见，在《矿井》系统中，《采煤工艺》子系统是主要的子系统，其它子系统对采煤工艺子系统起保证作用。换句话说主要子系统的效果取决于其它子系统的效果。

对每一个子系统，均以煤层的地质条件作为输入。因为《矿井》系统中的一些子系统是相互有联系的，所以应一起求解。一些子系统的输出可以是另一些子系统的输入。

应该指出，矿井各子系统有时也可以作为一个独立系统进行优化。

第二节 矿井系统的动态变化及预测

一、矿井系统的构成

矿井系统是用一套定性和定量参数（特征）来表示的。定性参数表示的是生产工艺的结构、组织和技术等方面的特征。应把开拓方式、准备方式、通风和运输系统、采煤方法和生产过程的机械化手段、煤层和采区的回采顺序等称为定性参数。离散型的（不连续的）确定性是矿井定性参数的特点。由一个定性参数向另一个定性参数的转移是离散型的而且是整体性的。

定性参数没有计量单位。对它们的选择具有必择其一和相互排斥的特点。在开采工艺系统方案中采用或者不采用某个定性参数，可用赋给它相应的值1和0的办法来表示。矿井定性参数的组合可以归结成一个离散集 $\{X_k\}$ 。

矿井定量参数是从数量方面来说明矿井、矿井生产过程和工艺系统的特点，即它们的变化具有数量尺度。如，矿井能力、回采工作面产量、盘区、区段及水平的尺寸、工作面长度、在一个盘区和一层煤或井田一翼内同时生产的工作面数、井田内的盘区和分区数等。某些定量参数可呈连续型变化（工作面长度、回采工作面开采能力，盘区、采区及水平的尺寸等），而有些定量参数的变化则是离散型的（井田内采区数，同时生产的水平数和工作面数）。连续型变化的定量参数可归结成一个 $\{X_{koh}\}$ 集，而离散变化的定量参数可归结成一个 $\{X_{kod}\}$ 集。

把矿井这些变化的定性和定量参数集加以结合（矿井定性和定量参数框图见图 1-1），可得出一个矿井工艺和工艺系统的可能方案集：

$$\{R\} = \{X_k\} \vee \{X_{koh}\} \vee \{X_{kod}\}$$

式中 $\vee$ ——逻辑加符号, 表示各元素可以一起、也可以单独确定方案集。

二、矿井系统的动态变化与有效使用期

随着煤矿生产和开采技术的发展, 新设备、新工艺的研究及其机械化程度不断提高, 生产日益集中, 致使矿井系统的定性与定量参数不断阶段性的发生变化, 以适应矿井系统合理化的发展趋势。

矿井定量参数的变化是显而易见的。就具体矿井而言, 许多矿井工作面加长, 提高了工作面单产, 增加了同采的工作面数目, 相应提高了矿井年产量。

回采工作面参数的变化促进了采区和开采水平定量参数的改变。五十年代我国煤矿的采区走向长度一般不超过600m, 开采水平垂高一般为100m左右(斜长250~450m), 而到七十年代末, 大中型矿井的采区长度在1000m左右, 水平垂高一般为150~200m, 这种情况也反映在有关的设计规范和技术方面上(参看表1-1)。五十年代制订的煤矿矿井设计技术方向, 主要是参考国外的数据, 尚缺乏我国实际的经验, 自六十年代起, 历次制订“规范”、“技术方向”和“技术政策”时, 都经过实际的调查研究, 基本上反映了当时较为合理的状况, 也反映了该时期我们煤矿设计参数选取的实际情况。从中也可大体上看出这些参数变化的趋势。

表 1-1 各时期对一些开采参数的规定(建议)

时期及规定	工作面长度, m	工作面年进度, m/a	水平高度, m	采区走向长度, m
1956 “第一个五年计划期间 煤矿矿井设计技术方向”(部颁)	80~100($m \leq 0.7$) 120($m = 0.7 \sim 0.8$) 150($m = 0.8 \sim 2.5$) 80~100(分层开采) 80~120(急斜 $m \leq 2.5$)	480($m \leq 3.5$ 后退式) 420($m \leq 3.5$ 前进式)	250~450(斜长, 缓斜、 倾斜煤层) ≥ 100 (斜长, 急倾斜煤层)	
1963 “煤矿设计规范” (二次稿修正本)	≤ 60 ($m < 0.6$) 60~100($m = 0.6 \sim 1.3$) 80~100($m = 1.3 \sim 3.0$) 70~100(分层开采)	360~420 (新区) 420~480 (老区)	100~130(缓斜) 100~150(倾斜) 100~120(急斜) ≤ 1000 (近水平、斜长)	600~800(双翼) 300~400(单翼)
1973 “煤矿矿区总体和矿井 设计规范”(送审稿)	120~180(普机采) 80~160(刨煤机采) 70~150(炮采)	480~600(普机采) 480~600(刨机采) 360~540(炮采)	100~200(缓斜) 100~200(倾斜) 100~150(急斜) 60~100(缓斜) 80~120(倾斜) 80~120(急斜)	600~1000(双翼) 大中型井 小型井
1978 “煤炭工业设计规范” (部颁)	≥ 150 (综采) 120~150(普通机采) 80~150(炮采)	900~1200(综采) ≥ 600 (普通机采) 420~540(炮采)	150~250(缓斜、倾斜) 100~150(急斜) ≤ 1500 (盘区上山) < 1000 (盘区下山)	1500~2000(综采, 不 跨上山回采) 1000~1200(综采) 800~1000(一般)

矿井定量参数是在一定的定性参数(技术条件)下发生发展的。矿井定性参数的改

变必将引起定量参数的改变。例如,采用普通机采和综采,促进了工作面长度和年推进度的增加,提高了工作面的单产水平。而定量参数的变化,也将推动定性参数的改变。例如,矿井生产能力增大,促进了分区式开拓的发展;强力胶带输送机和钢绳牵引胶带输送机的巨大运输能力,促成了发展主斜井开拓的趋势;采区同采工作面数目的增多和生产能力的提高,促使了采区联合布置,而采区联合布置、采区服务年限的加长,又促进了岩石共用巷道(采区上山、区段集中巷)的使用。可以预计,随着综采的发展,工作面推进速度的加快和巷道支护的改进,将使综采采区的巷道布置进一步发展,有可能废弃一些岩石巷道,而改用煤层巷道。

矿井系统各参数变化的速度各不相同,一般说来,定量参数变化较快,定性参数变化较慢;局部性的参数变化快,全局性的参数变化慢;开采方面的参数变化快,运输、提升、通风等辅助环节的参数变化慢。要实现回采工艺方式的改变,哪怕只是推广一种新工艺,也要较长的时间;至于要改变采区巷道布置,且不说研究与设计,仅只是掘进和准备,就至少需2~3a以上的时间;有关全矿性的矿井开拓主要参数,一般没有十年以上的时间,是更改不了的。在我国当前的技术条件下,作为直接与生产有关的开采方面的主要参数,如工作面长度和单产、回采工作面个数、采区生产能力和回采采区数、矿井开采能力等,有可能经常改变,而运输、提升、通风等环节的参数,一经决定与实施,就较难更改,而且改造提升、通风环节,需要耗费大量资金和时间。

分析矿井系统参数变化的速度,是为了确定它们的有效使用期和合理的更新周期。既然矿井系统的参数值是不断变化的,则在一定时刻认定的合理参数值,经过一段时间后,就可能不再被认为是合理的了。即是说:参数合理值的使用,不能超过其有效使用期。

据国外研究,变动较快的采掘机械化方法和设备、采区要素等合理值,其有效使用期为5~7a;而矿井开拓、准备、通风方式及地面总布置等参数的有效使用期更长,一般为15~20a。我国尚未专门进行各项参数有效使用期的研究;但经过阶段性地讨论,在制订技术政策、技术方向及设计规范中,不断地对参数取值进行了更新。从实际数据和不同时期的规定看,可以认为工作面参数的有效使用期也为5~7a,矿井开拓方面的参数,六十年代和七十年代变化较快,其有效使用期也在10a以上,与国外的研究有相近之处。

三、矿井系统的分阶段设计方法

分阶段设计的重要起步点是要确定一个时间区间,在这个时间区间里,矿井的定性和定量参数可以保持不变和有经济效益。这个时间区间可用做设计的分阶段时间 T_0 。决定这段时间的因素:一方面应认为是主要设计决策在生产矿井中的有效作用时间(矿井参数的变化动态);另方面应认为是现有设计资料可以连续生效的时间,即矿井发展至预测深度的时间 T_0 。

设计时所考虑的分阶段时间应接近于对原始信息及主要设计决策进行有论据预测的可能深度,而且不得超过这个深度(即 $T \leq T_0$)。反之,设计决策将不可靠。

为了论证设计的分阶段时间,还应考虑另一个重要方面,即矿井设计要根据费用参数对设计备择方案进行最优化和经济评价。这里要考虑的有井巷和建筑工程的、各生产过程的、以及保证生产用的动力,材料和装备的费用参数等。实践证明,制定的费用参

数也只能在10~15a内是准确、可靠的,超过这个年限就需要对它们修改或重新制定。

因此,设计分阶段时间应理解为采完规定的相当大一部分井田的时间,这部分井田在空间上有天然的或人为确定的界限:如煤层群,独立煤层,分区、翼、水平或盘区。

确定了矿井发展第一阶段所要开采的储量后,才能够确定具体赋存条件下的煤层开采工作。用同样方法可以确定出矿井发展第二、第三阶段的井田开采部分。当然这里的假定程度将比第一阶段大。

矿井发展阶段可理解为采掘工程和整个生产工艺状态变换时的接替顺序,这个顺序要在技术设计时,在制定和优选矿井所有各环节设计决策的过程中加以确定。

所以,分阶段设计的方法是要把矿井的工艺当作一个在矿井整个服务年限内在最优控制下有发展的系统来设计。

四、预测

(一) 预测分类

对矿井优化设计来说,应当对矿井开采技术工艺和参数及与其有关的原始信息进行预测,主要的有以下几类:

1. 井田、采区矿井地质特征的预测。原始地质资料不准确,常常导致设计决定的多次修改和原设计指标不能实现,如开采条件较原设计恶劣,达不到设计产量,不得不降低井型;新发现断层增多,不得不改变采区和工作面布置等等。因此,应对设计有关的地质特征作出较为准确的推断和预测。在这方面,要依据地质勘探资料,相邻矿井(矿区)开采的经验,以及同一井田已开采区的资料,研讨规律和预测。

2. 开采技术工艺定性参数的预测。主要是指对井田开拓、准备、运输、通风方式和地面布置等的技术工艺方式发展趋势进行探讨和预测。这方面的参数变化较为缓慢,但对于构造模型(方式、方案)时的参数选择与组合、其后矿井生产的技术经济效果有重要意义。进行这方面预测的依据是生产矿井定性参数使用的经验总结和有关的设计研究成果。例如,主井用胶带输送机装备的斜井已被证明具有突出的优点,就可预测在大型斜井设计和生产矿井新水平延深设计中这种定性决策将有更广泛的应用前途。

3. 采煤机械化方法和设备的预测。预测采煤、支护、掘进、运输、提升、通风等设备发展的前景,为编制先进的设计提供依据,如新型采煤机、输送机能力的预测等。预测的依据是现阶段或近期的研究工作。

4. 矿井定量参数和经济费用指标的预测。属于这部分的有工作面长度和单产水平,矿井生产能力,采区和开采水平的尺寸、效率、成本和各项费用指标等。这方面的参数和指标一般变化较快,预见到它们变化的速度并促其实现,对提高矿井开采的技术经济效果有重要意义。这部分的预测要以生产矿井的实际资料为依据,我国生产矿井根据历年计划与实际产量数据,用数理统计方法分析其间的关系,预测未来矿井生产能力的利用与预期产量的增长即是一例。

(二) 预测分级

由于所预测的各项参数有效使用期不同,因而此后预测时期的长短也不同。针对矿井开采的特点,按预测区时间的长短(也称预测深度)和可信程度的高低,国外将矿井开采不同阶段的预测分为三级。

1. 第一级预测。预测区间为15~20a,对矿山地质条件,开采技术工艺和经济因

素的预测可信度最高；

2. 第二级预测。预测有效使用期超过一第级预测深度的那些参数，如矿井生产能力，开采深度、地面总布置、全矿通风系统等。第二级预测区间可达40a，其可信度较第一级预测为低，但如在优化有效使用期长的参数时考虑了预测因素，则可以提高决策的正确性和可靠性；

3. 第三级预测。预测深度超过40a，可信度低，只具有定性的性质，对初期进行优化没有多大影响。

(三) 预测方法

对矿井开采参数预测的依据是：有关矿井开采和采煤技术工艺发展的规律及趋向，未来发展的规划和研究；科学技术试验及促进这些发展的因素。预测的方法主要有以下几种。

1. 规划估算法。根据对未来发展需要与可能的研究，通过计算与规划，提出欲达到的目标，如产量增长、能力增加和效率提高的数字等。这种方法用于矿井、矿务局和上级部门的长期规划，带有指导性质。

2. 直观和经验统计的外推法。这种方法是建立在数理统计方法的基础上的，它所依据的基本假设是：将来是现在的直接继续，并且在复杂系统中没有跳跃式的突变。通常采用相关分析和回归分析的方法来研究实际的参数变化规律。例如，根据某矿区若干年的实际数据得出工作面单产逐年提高的趋势，找出其相关关系，建立回归方程，从而推断今后若干年工作面单产可能达到的数值。这种外推法常用于确定矿井及其子系统的定量参数和技术经济指标，如矿井生产能力、工作面单产、开采吨煤费用、效率等。外推的范围（即预测深度），按所预测的参数的动态性而定，对变化较慢、涉及因素较多的参数和指标，外推的时间可以长一些，反之，就应短一些。

3. 专家判定法。通过向对需预测的问题有真知灼见的专家征询意见，汇集解答，系统整理，然后据以作出发展方向和预期水平的推断。通常煤矿生产建设的远景规划、开采技术发展方向的制订等均是采用此类方法。这种方法依据的是专家在其所专长领域内的经验和知识，他们所进行的研究和试验成果，在一定程度上反映了开采技术工艺发展的趋势。由于专家提出的意见要经过相当长时间才能实际施行，故用此类方法预测15~20a开采技术工艺发展的途径是有效的。

4. 试验与反馈。实际的试验，如新设备样机试验，新工艺方法试验等，根据试验进展与信息反馈，预测若干年后可能成功及达到的水平。

5. 数学和技术工艺模拟法。根据所研究的对象发展过程和逻辑关系，构造相应的数学模型，而建立与实际对象或发展过程相符合的多种前景设想。例如，分析工作面生产过程各工序的逻辑关系、故障频率与时间、工时有效利用系数等参数，构造出工作面生产的模拟模型，提出降低故障频率、故障时间以及改变参数的设想；通过模拟模型试验，预测有效工时提高后可能达到的单产、以及单产提高对采区参数的影响等。这方面的工作国内已开始进行研究。国外研究“未来”矿井，通过构造技术工艺模型、经济数学模型，得出“未来”矿井的合理参值，也是此法的应用。从方法学上讲，这类方法是最完善的，值得研究和推广。

应当指出，上述预测方法是互为补充的。为了提高预测的可信度，应该综合应用上

述方法，相互配合和验证。

第三节 矿井系统最优化准则

从理论上要求最优性准则应具有：广阔度——完善地反映技术经济效果；灵敏性——能反映方案的多种差别；适应性——可用来评价多种性质问题。

准则指标主要有：生产费用，吨煤成本，基建投资，初期投资，折算费用，利润，地面建筑费用，劳动生产率，劳动消耗量，资源回收率，矿井生产能力，建井工期，达到设计能力时间，服务年限，初期和后期基建工程量，巷道维护长度，掘进率，采掘关系，巷道维护的有效性，开采系统变动的可能性（适应性），技术装备的先进性，生产系统的可靠性，生产集中化程度，开采强度，通风和运输的难易程度，生产施工的繁重程度，技术操作的安全性等。

属于经济指标的准则，一般比较容易用定量数值表达，属于技术指标的准则，有些可以用数值表示，有些则难以用数值表示。如何从中选取某一项或几项主要的准则有各种不同观点，长期以来没有一致的看法。目前作为主要准则用于编制经济学模型进行矿井最优化设计的，基本上有三种——折算费用、劳动生产率和多目标决策。

一、以折算费用最低为准则

比较多的文献作者采用或推荐以折算费用 S_{np} 最小作为矿井设计最优性准则。

$$S_{np} = C + E_0 K$$

式中 C ——全部或计算项目的年度生产费用总和（或吨煤生产费用）；

K ——全部或计算项目的基建投资费用总和（或单位投资费用）；

E_0 ——标准投资效果系数，一般为0.10~0.12。

折算费用表明它既考虑生产费用（成本），又按规定的优化期考虑基本建设投资的利用，是一项综合性指标，以此作为经济上合理性的主要标志。具体运用时多采取单位折算费用指标，即取单位为吨煤生产费用和吨煤投资进行计算。引入矿井储量 Z 和年生产能力 A 后的计算式为：

$$S_{np} = \frac{C}{Z} + E_0 \frac{K}{A} \quad (1-1)$$

为了用于对比建井工期不同，即投资期限不同的方案，有的作者还增加了考虑投资时间 t （a）的影响，乘以系数 $\frac{1}{(1+E)^t}$ ，即

$$S_{np} = \frac{C}{Z} + E_0 \frac{K}{A(1+E)^t} \quad (1-2)$$

式中 E ——考虑时间因素的标准折算系数，一般取0.08。

更为全面地考虑时间因素的影响，折算费用计算时对整个矿井服务优化期 τ 年内的生产费用和基建费用都乘以系数，即分年度计算

$$K = K_0 + \frac{K_1}{1+E} + \frac{K_2}{(1+E)^2} + \dots + \frac{K_t}{(1+E)^t}$$
$$C = \frac{C_0}{(1+E)^0} + \frac{C_1}{(1+E)^{0+1}} + \dots + \frac{C_t}{(1+E)^{0+t}}$$