

# 矿井优化设计的 解耦理论及应用

王新华

蒋国安 著

骆中洲



中南工业大学出版社

封面设计：易红卫

ISBN 7-81020-758-X



ISBN 7-81020-758-X/TD · 037

定价：8.00 元

9 787810 207584 >

# 矿井优化设计的 解耦理论及应用

王新华 蒋国安 骆中洲 著

中南工业大学出版社

【湘】新登字 010 号

矿井优化设计的解耦理论及应用

王新华 蒋国安 骆中洲 著

责任编辑:谭平

\*

中南工业大学出版社出版发行

中南工业大学出版社印装

湖南省新华书店经销

\*

开本:787×1092 1/32 印张:7.5 字数:162千字

1995年7月第1版 1995年7月第1次印刷

印数:001—200

\*

ISBN 7-81020-758-X/TD·037

定价:8.00元

# 前 言

矿井优化设计方法研究是矿井设计方法的最主要分支，系统工程理论和计算机科学的发展，为矿井优化设计方法的研究提供了先进的理论和现代化的计算手段。经过多年的发展，矿井优化设计理论和方法研究取得了比较大的进展，如在定量参数的分析计算和局部问题的优化等诸多方面都取得了良好的效果。

但是，矿井设计系统是一个内部条件和外部环境都非常复杂、且是多个具有特定功能子系统组合而成的组合式复杂大系统，各子系统之间既有一定的独立性，又相互联系、相互制约，矿井设计系统的局部理想解，未必就是全局理想解，这是许多局部优化模型难以在实践中应用的重要原因之一。因此，矿井设计系统的整体优化方法研究，近几年越来越受到人们的重视。本书较为详细地介绍了作者在这方面的的工作，提出了矿井优化设计的解耦理论与方法。

所谓解耦理论就是从系统的内部结构出发，研究各子系统之间的相互关系和求解方法，通过这种关系和子系统的解来求出系统的全局理想解。矿井优化设计的解耦理论包含系统的可分性、分形系统的求解模式和分形解的合成三部分内容。本书还介绍了用这种理论建立的用于生产矿井采区设计的计算机模型MDDSS。

在本课题的研究过程中，得到了山东七五煤矿矿长庞发

扬高级工程师、兖州设计院王保银高级工程师，以及山东矿业学院资源开发研究所全体老师的支持和帮助；同时中南工业大学的潘长良教授和王文星教授等为本书的出版也给予了极大的关怀，在此谨表谢意。

由于整体优化方法研究和组合式复杂大系统优化的解耦理论与方法是一个崭新的课题，加之作者水平所限，书中定有一些不足之处，恳请读者批评指正。

一九九五年二月

(110)	.....	.....	2.1
(111)	.....	.....	2.2
(112)	.....	.....	2.3
(113)	.....	.....	2.4
(114)	.....	.....	2.5
(115)	.....	.....	2.6
(116)	.....	.....	2.7
(117)	.....	.....	2.8
(118)	.....	.....	2.9
(119)	.....	.....	2.10
(120)	.....	.....	2.11
(121)	.....	.....	2.12
(122)	.....	.....	2.13
(123)	.....	.....	2.14
(124)	.....	.....	2.15
(125)	.....	.....	2.16
(126)	.....	.....	2.17
(127)	.....	.....	2.18
(128)	.....	.....	2.19
(129)	.....	.....	2.20
(130)	.....	.....	2.21
(131)	.....	.....	2.22
(132)	.....	.....	2.23
(133)	.....	.....	2.24
(134)	.....	.....	2.25
(135)	.....	.....	2.26
(136)	.....	.....	2.27
(137)	.....	.....	2.28
(138)	.....	.....	2.29
(139)	.....	.....	2.30
(140)	.....	.....	2.31
(141)	.....	.....	2.32
(142)	.....	.....	2.33
(143)	.....	.....	2.34
(144)	.....	.....	2.35
(145)	.....	.....	2.36
(146)	.....	.....	2.37
(147)	.....	.....	2.38
(148)	.....	.....	2.39
(149)	.....	.....	2.40
(150)	.....	.....	2.41
(151)	.....	.....	2.42
(152)	.....	.....	2.43
(153)	.....	.....	2.44
(154)	.....	.....	2.45
(155)	.....	.....	2.46
(156)	.....	.....	2.47
(157)	.....	.....	2.48
(158)	.....	.....	2.49
(159)	.....	.....	2.50
(160)	.....	.....	2.51
(161)	.....	.....	2.52
(162)	.....	.....	2.53
(163)	.....	.....	2.54
(164)	.....	.....	2.55
(165)	.....	.....	2.56
(166)	.....	.....	2.57
(167)	.....	.....	2.58
(168)	.....	.....	2.59
(169)	.....	.....	2.60
(170)	.....	.....	2.61
(171)	.....	.....	2.62
(172)	.....	.....	2.63
(173)	.....	.....	2.64
(174)	.....	.....	2.65
(175)	.....	.....	2.66
(176)	.....	.....	2.67
(177)	.....	.....	2.68
(178)	.....	.....	2.69
(179)	.....	.....	2.70
(180)	.....	.....	2.71
(181)	.....	.....	2.72
(182)	.....	.....	2.73
(183)	.....	.....	2.74
(184)	.....	.....	2.75
(185)	.....	.....	2.76
(186)	.....	.....	2.77
(187)	.....	.....	2.78
(188)	.....	.....	2.79
(189)	.....	.....	2.80
(190)	.....	.....	2.81
(191)	.....	.....	2.82
(192)	.....	.....	2.83
(193)	.....	.....	2.84
(194)	.....	.....	2.85
(195)	.....	.....	2.86
(196)	.....	.....	2.87
(197)	.....	.....	2.88
(198)	.....	.....	2.89
(199)	.....	.....	2.90
(200)	.....	.....	2.91
(201)	.....	.....	2.92
(202)	.....	.....	2.93
(203)	.....	.....	2.94
(204)	.....	.....	2.95
(205)	.....	.....	2.96
(206)	.....	.....	2.97
(207)	.....	.....	2.98
(208)	.....	.....	2.99
(209)	.....	.....	3.00
(210)	.....	.....	3.01
(211)	.....	.....	3.02
(212)	.....	.....	3.03
(213)	.....	.....	3.04
(214)	.....	.....	3.05
(215)	.....	.....	3.06
(216)	.....	.....	3.07
(217)	.....	.....	3.08
(218)	.....	.....	3.09
(219)	.....	.....	3.10
(220)	.....	.....	3.11
(221)	.....	.....	3.12
(222)	.....	.....	3.13
(223)	.....	.....	3.14
(224)	.....	.....	3.15
(225)	.....	.....	3.16
(226)	.....	.....	3.17
(227)	.....	.....	3.18
(228)	.....	.....	3.19
(229)	.....	.....	3.20
(230)	.....	.....	3.21
(231)	.....	.....	3.22
(232)	.....	.....	3.23
(233)	.....	.....	3.24
(234)	.....	.....	3.25
(235)	.....	.....	3.26
(236)	.....	.....	3.27
(237)	.....	.....	3.28
(238)	.....	.....	3.29
(239)	.....	.....	3.30
(240)	.....	.....	3.31
(241)	.....	.....	3.32
(242)	.....	.....	3.33
(243)	.....	.....	3.34
(244)	.....	.....	3.35
(245)	.....	.....	3.36
(246)	.....	.....	3.37
(247)	.....	.....	3.38
(248)	.....	.....	3.39
(249)	.....	.....	3.40
(250)	.....	.....	3.41
(251)	.....	.....	3.42
(252)	.....	.....	3.43
(253)	.....	.....	3.44
(254)	.....	.....	3.45
(255)	.....	.....	3.46
(256)	.....	.....	3.47
(257)	.....	.....	3.48
(258)	.....	.....	3.49
(259)	.....	.....	3.50
(260)	.....	.....	3.51
(261)	.....	.....	3.52
(262)	.....	.....	3.53
(263)	.....	.....	3.54
(264)	.....	.....	3.55
(265)	.....	.....	3.56
(266)	.....	.....	3.57
(267)	.....	.....	3.58
(268)	.....	.....	3.59
(269)	.....	.....	3.60
(270)	.....	.....	3.61
(271)	.....	.....	3.62
(272)	.....	.....	3.63
(273)	.....	.....	3.64
(274)	.....	.....	3.65
(275)	.....	.....	3.66
(276)	.....	.....	3.67
(277)	.....	.....	3.68
(278)	.....	.....	3.69
(279)	.....	.....	3.70
(280)	.....	.....	3.71
(281)	.....	.....	3.72
(282)	.....	.....	3.73
(283)	.....	.....	3.74
(284)	.....	.....	3.75
(285)	.....	.....	3.76
(286)	.....	.....	3.77
(287)	.....	.....	3.78
(288)	.....	.....	3.79
(289)	.....	.....	3.80
(290)	.....	.....	3.81
(291)	.....	.....	3.82
(292)	.....	.....	3.83
(293)	.....	.....	3.84
(294)	.....	.....	3.85
(295)	.....	.....	3.86
(296)	.....	.....	3.87
(297)	.....	.....	3.88
(298)	.....	.....	3.89
(299)	.....	.....	3.90
(300)	.....	.....	3.91
(301)	.....	.....	3.92
(302)	.....	.....	3.93
(303)	.....	.....	3.94
(304)	.....	.....	3.95
(305)	.....	.....	3.96
(306)	.....	.....	3.97
(307)	.....	.....	3.98
(308)	.....	.....	3.99
(309)	.....	.....	4.00
(310)	.....	.....	4.01
(311)	.....	.....	4.02
(312)	.....	.....	4.03
(313)	.....	.....	4.04
(314)	.....	.....	4.05
(315)	.....	.....	4.06
(316)	.....	.....	4.07
(317)	.....	.....	4.08
(318)	.....	.....	4.09
(319)	.....	.....	4.10
(320)	.....	.....	4.11
(321)	.....	.....	4.12
(322)	.....	.....	4.13
(323)	.....	.....	4.14
(324)	.....	.....	4.15
(325)	.....	.....	4.16
(326)	.....	.....	4.17
(327)	.....	.....	4.18
(328)	.....	.....	4.19
(329)	.....	.....	4.20
(330)	.....	.....	4.21
(331)	.....	.....	4.22
(332)	.....	.....	4.23
(333)	.....	.....	4.24
(334)	.....	.....	4.25
(335)	.....	.....	4.26
(336)	.....	.....	4.27
(337)	.....	.....	4.28
(338)	.....	.....	4.29
(339)	.....	.....	4.30
(340)	.....	.....	4.31
(341)	.....	.....	4.32
(342)	.....	.....	4.33
(343)	.....	.....	4.34
(344)	.....	.....	4.35
(345)	.....	.....	4.36
(346)	.....	.....	4.37
(347)	.....	.....	4.38
(348)	.....	.....	4.39
(349)	.....	.....	4.40
(350)	.....	.....	4.41
(351)	.....	.....	4.42
(352)	.....	.....	4.43
(353)	.....	.....	4.44
(354)	.....	.....	4.45
(355)	.....	.....	4.46
(356)	.....	.....	4.47
(357)	.....	.....	4.48
(358)	.....	.....	4.49
(359)	.....	.....	4.50
(360)	.....	.....	4.51
(361)	.....	.....	4.52
(362)	.....	.....	4.53
(363)	.....	.....	4.54
(364)	.....	.....	4.55
(365)	.....	.....	4.56
(366)	.....	.....	4.57
(367)	.....	.....	4.58
(368)	.....	.....	4.59
(369)	.....	.....	4.60
(370)	.....	.....	4.61
(371)	.....	.....	4.62
(372)	.....	.....	4.63
(373)	.....	.....	4.64
(374)	.....	.....	4.65
(375)	.....	.....	4.66
(376)	.....	.....	4.67
(377)	.....	.....	4.68
(378)	.....	.....	4.69
(379)	.....	.....	4.70
(380)	.....	.....	4.71
(381)	.....	.....	4.72
(382)	.....	.....	4.73
(383)	.....	.....	4.74
(384)	.....	.....	4.75
(385)	.....	.....	4.76
(386)	.....	.....	4.77
(387)	.....	.....	4.78
(388)	.....	.....	4.79
(389)	.....	.....	4.80
(390)	.....	.....	4.81
(391)	.....	.....	4.82
(392)	.....	.....	4.83
(393)	.....	.....	4.84
(394)	.....	.....	4.85
(395)	.....	.....	4.86
(396)	.....	.....	4.87
(397)	.....	.....	4.88
(398)	.....	.....	4.89
(399)	.....	.....	4.90
(400)	.....	.....	4.91
(401)	.....	.....	4.92
(402)	.....	.....	4.93
(403)	.....	.....	4.94
(404)	.....	.....	4.95
(405)	.....	.....	4.96
(406)	.....	.....	4.97
(407)	.....	.....	4.98
(408)	.....	.....	4.99
(409)	.....	.....	5.00
(410)	.....	.....	5.01
(411)	.....	.....	5.02
(412)	.....	.....	5.03
(413)	.....	.....	5.04
(414)	.....	.....	5.05
(415)	.....	.....	5.06
(416)	.....	.....	5.07
(417)	.....	.....	5.08
(418)	.....	.....	5.09

4.5	块段储量的计算 .....	(110)
<b>第5章</b>	<b>分形系统的模式识别求解法</b> .....	(115)
5.1	模式识别技术的理论与应用 .....	(115)
5.2	分形系统模式识别的文法 .....	(118)
5.3	分形系统基本模式元的选择与提取 .....	(127)
5.4	基本模式元的识别方法 .....	(136)
<b>第6章</b>	<b>分形系统解的合成技术</b> .....	(147)
6.1	分形系统解的性质 .....	(147)
6.2	多目标多层次模糊综合决策合成法 .....	(150)
6.3	动态交互协调迭代合成法 .....	(159)
<b>第7章</b>	<b>采区设计支持系统的研制及今后的工作</b> .....	(170)
7.1	研制设计支持系统的意义 .....	(170)
7.2	采区设计支持系统的基本结构 .....	(175)
7.3	人机接口的设计 .....	(179)
7.4	案例库的设计 .....	(182)
7.5	案例分析检索系统的设计 .....	(192)
7.6	案例调整器的设计 .....	(205)
7.7	采区设计支持系统的应用实例 .....	(211)
7.8	今后的工作 .....	(221)
<b>参考文献</b>	.....	(224)

# 第 1 章 矿井优化设计理论与方法的回顾

## 1.1 矿井设计系统的特点与解的性质

所有设计的目的都是为了选择一组相互关联、相互制约的设计变量(这些设计变量或是定性的或是定量的),并要求这组设计变量在给定的设计环境(外部及内部条件)下,满足功能上、安全上、经济上、技术上、环境保护上和先进性等方面的要求。因此,设计问题的一般数学模型为:

$$\begin{cases} \text{Optimize: } & Z=f(D) \\ \text{Subject to: } & F_i(D,E) \end{cases} \quad (1-1)$$

其中; $D=(d_1, d_2, \dots, d_n)$ 是一组设计变量,它是需要确定的一个人工系统, $f(D)$ 是设计系统的目标函数,它可以是投资、利润等经济指标,也可以是可靠度等技术指标,同样可以是综合各种因素的综合评判指标; $E$ 是设计环境, $F_i(D, E)(i=1, 2, \dots, m)$ 表示在客观环境  $E$  下,所求得的一组设计变量  $D$  必须满足的某些定性或定量的要求。

现在人们已清楚地认识到从系统科学的角度出发,矿井设计系统具有以下特点:

(1) 设计过程在数学上的不可描述性。就是说设计过程不能抽象为具有一定意义的数学模型,这是大型工程设计问题所具有的共同特点,它充分体现了设计过程的复杂性。

(2) 设计的方法往往是基于知识的逻辑产生而非严格的数学归纳或演绎。在矿井设计过程中有许多方案是由设计者依据自己的知识和经验结合过去成功的或失败的案例来产生的。数学归纳可以用来对过去的知识进行分析、提炼和演绎推理,它主要用于对已产生出来的设计方案进行证明和评估。

(3) 设计过程中的处理对象,往往是图形或用数学方法难以描述的知识或经验。而且这些处理对象有时往往成为确定设计方案的关键内容,因此,处理这类对象的方法已成为目前有关领域的研究重点。

(4) 整体相异与局部相似性。这一性质是说在矿井设计系统中,从整体上讲很难找到两个以上条件完全相同或相近的矿井,但是,如果将矿井设计系统划分成若干个功能相对独立、环境影响又相对单一的子系统,会发现每个子系统或多或少地存在着条件相同或相似的其它子系统。正是由于这种局部相似性,才使设计系统中某些子系统具备了与已有同类子系统相类比的条件。

(5) 设计环境的复杂多变性。矿井设计系统与其它工程设计(如桥梁、工厂、机械、建筑等)系统的明显不同在于它的设计环境的复杂多变性。不同的地区受区域经济与政策的影响;同一地区因煤层赋存条件的不同,矿井之间的设计参数也会有很大的差异,这一性质决定了建立计算机自动设计系统的困难性。

依据上述特点和钱学森等人对系统的分类理论<sup>[1~4]</sup>,矿井设计(主要指开拓开采设计)系统虽不是一个开放的复杂巨系统,也是一个开放的复杂大系统。因此,要将这一系统的所有因素融在一个模型中求其最优解的困难程度是显而易见

的,这是目前所建立的矿井优化设计模型始终没有摆脱局部优化且难以在实际设计中应用的关键所在。

在以往的某些设计模型中,研究者总想试图通过某种定量运算求得矿井系统的“最优解”或“最优设计方案”。实际上,所谓“最优设计方案”或“最优解”只具有数学意义,在考虑多种因素的工程设计问题中并不存在“最优设计方案”或“最优解”,这是因为大型工程设计问题往往都是多目标、多因素的,这种多目标问题一般不存在使各目标同时达到最优的所谓“最优设计方案”或“最优解”,更何况矿井设计问题还存在着各目标确定方法的局限性和设计者的主观性,加之目标、约束和设计环境的不确定性及图形、专家知识和经验处理技术的不完备性等诸多因素的影响,更无法求其“最优设计方案”或“最优解”,这一点已为广大的从事设计方法研究的科学工作者所普遍接受<sup>[5~7]</sup>。因此,早在1982年美国著名学者H. Simon就指出<sup>[10]</sup>:从实际出发追求的应该是“满意解”,而不是“最优解”。这个观点具有极为重要的实践意义,在这种思想指导下所建立的优化设计理论与方法更为现实、合理,并使问题的求解过程得到了相应的简化。

矿井设计系统具有大型工程设计系统所具有的一般特征,同时它还具有设计环境复杂多变及设计系统可分性等独特的特点,在这一系统中,不但多个目标间存在矛盾,而且系统总目标与子系统目标间及各子系统目标间也存在着矛盾,可以说工程设计就是在这些矛盾中寻求一个相对平衡点的过程,所以各子系统单独优化后所得结果一般说来并不意味着整个系统本身的优化,也就是说各部分单独优化后凑在一起并不一定是最优的(只有在各部分相互独立的情况下才是最

优的)。这样,工程设计必须从系统的全局出发进行协调优化才能真正达到优化的目的。

因此,如何进行协调优化是目前优化设计领域中的重点研究内容。本书在分析了优化设计研究现状的前提下,介绍了作者多年来在这一领域中的一些成果,试图借此推动我国矿井整体优化设计方法的研究。

## 1.2 基于案例的求解模式

矿井设计的主要目的就是在可用资源等条件的限制下,按一定的评价准则寻找一个经济合理、技术可行、安全可靠和环保有力的最满意方案,在确定这一人工系统时有各种各样的方案可供选择,在选择过程中就存在着一个对各方案进行优化的问题,即所说的优化设计。

同优化设计的研究与系统工程的研究有密切关系一样,矿井优化设计的研究与矿业系统工程的研究也是密不可分的,同时,它的发展具有明显的时代色彩。特别是进入80年代以后,系统工程领域中的主要研究方法(如运筹学、计算机模拟,可靠性理论等)都在优化设计的研究中得到了应用,为矿井优化设计理论与方法的发展起了积极的推动作用,如果将过去对这一系统的研究方法进行归纳,可以将其分为基于案例的求解模式、基于数学模型的求解模式和基于计算机技术的求解模式三大类。

基于案例求解模式的基本思想是根据问题的客观环境,结合以往成功或失败的实例及设计者的知识和经验,从已有的模式中选择一个合理的或对已有的模式进行适当的修改作

为合理的方案,它是我国目前实际设计的主流方法。在各煤矿设计研究院和生产单位中采用的方案比较法就是这类模式的典型代表。

通过几十年的研究和应用,人们发现基于案例的求解模式具有以下特点:

(1) 本质上是一种基于定性分析的模式识别。设计的内核是根据设计的环境从已有的模式中选择一个合理的模式(包括对模式进行适当的修正),设计的大部分过程是在定性分析的基础上产生识别参数。特别是在方案比较中,定性分析几乎成了产生设计方案的主导过程,而定量的经济比较只起辅助作用。

(2) 在设计细节上是粗糙的。这主要表现在两个方面,一是在方案选择过程中没有进行详尽的经济比较和综合分析;二是决策的论证范围有限。

(3) 设计变量是高层次的。在设计过程中只注重类似于井筒形式与位置、水平划分等高层次设计参数的选择,不注重象断面优化、工作面长度优化等低层次设计参数的优化计算,而这些参数的优化对方案的经济效果往往有比较大的影响。

(4) 设计手段是低层次的。大部分设计单位仍采用尺子、圆规加计算器的手段进行设计,这也是没有对各种设计变量进行优化及参加比较的方案数目较少的主要原因之一。

(5) 学习是困难的。这主要是指在设计过后,没有及时总结设计过程中的经验和知识,也无法为所有设计者提供参考,造成这种现象的原因主要是这种求解模式没有一个理想的学习工具和模型。

### 1.3 基于数学模型的求解模式

这种求解模式运用运筹学、模糊数学及计算机模拟等系统工程的方法和计算机技术,将设计过程中的诸多问题简化为一种数学模型,并求其最优解或理想解,这种求解模式的建模过程往往要反复多次,直到有一个比较合理的、令人满意的解为止。

从 80 年代初开始,国内外对这种求解模式进行了广泛而深入的研究,建立了许多模型,如果对这些模型进行归纳大致可分为穷举法模型、可靠性理论模型、数学规划模型、多目标决策模型、技术经济评价模型和计算机模拟模型等六种。由于这些模型的理论与方法已有许多文献进行过详细的论述,在此不再赘述。

如果对目前的这些模型进行分析,不能发现,基于数学模型的求解模式具有以下特点:

(1) 本质上是定量的。各类模型的运算过程是在定量分析的基础上进行的,所要确定的设计参数也是一系列定量参数的集合体,并且在建模过程中将定性参数采用模糊数学或专家打分的方法定量化后进行处理,最显著的模型如专家评议法、模糊综合评判法等。

(2) 设计的主要变量是低层次的。这一点与基于案例的求解模式正好相反,由于许多定性问题的处理过程及定量化过程是一个复杂的过程,许多系统工程的方法对处理这类问题有许多不便,这是造成目前这种求解模式不能很好地处理高层次设计变量的原因。

(3) 寻优的空间是庞大的。这一点穷举法尤为突出。

(4) 高层次变量的求解是粗糙的。这主要是由于这种求解模式对定性问题的分析与处理能力不足而造成的。

(5) 学习也是困难的。不管这种求解模式中的哪种求解方法,所建立的模型及模型中的某些参数的取值都是固定的,无法动态地根据设计环境的需要而改变,最新的设计思想和经验也无法随时反映在模型中。

虽然基于数学模型的求解模式存在着一大批高层次设计变量无法用数学模型来描述的问题,但定量分析仍然是矿井设计过程中的重要内容之一,因此有些模型仍是矿井优化设计理论中的重要组成部分,如断面和工作面长度优化模型等。

## 1.4 基于计算机技术的求解模式

目前计算机技术已成为系统分析和系统管理领域中必不可少的手段和工具,矿井设计也不例外。随着计算机技术的发展,以计算机为主体的矿井优化设计方法也得到了较为广泛的研究和应用。其中人工智能和 CAD 技术的应用最为突出。

### 1.4.1 人工智能技术的应用

在矿井设计过程中有许多专家知识和经验需要处理,矿井设计系统的一些定性参数仅采用定量方法是不能圆满解决的,因此以知识推理为手段的优化设计方法近几年来受到了人们的普遍重视,目前实现这一功能的主要是专家系统和智能型决策支持系统。

专家系统和智能型决策支持系统是 AI 领域中最活跃的

分支。自 70 年代末以来无论在理论方面还是在应用方面都取得了巨大的成绩,所建立的系统不胜枚举。矿业系统中也不例外,从矿井设计到生产管理,国内外都建立了许多模型<sup>[24~26]</sup>。这些模型主要应用于设备选型及企业管理等设计和管理的局部领域,有些系统已具备了商用的条件<sup>[26]</sup>。随着这一领域的研究和发展,矿井开拓开采系统的研究也取得了较大的进步,特别是文献[25]的工作为人工智能在矿井设计方面的应用提供了良好的借鉴。此模型将专家系统、模糊数学、CAD 技术、多目标决策及技术经济分析融为一体,建立了一个适应于地下矿井开拓的智能型决策支持系统。

## 2. 矿山设计的 CAD 技术

计算机辅助设计(Computer Aided Design;CAD)技术使计算机在工程设计领域中的应用达到了一个新的水平。目前国内外建立了许多矿山 CAD 模型。在国外,特别是西方发达国家,CAD 技术在矿山设计方面得到了广泛的发展和应用。如英国的 Nottingham 大学采矿工程系开发的用于露天矿设备和采矿方法选择的专家系统 MIDER (Mine Design Using Expert Reasoning) 系统,该系统采用 Xi-Plus 外壳,可生成一个多级专家系统,且能够访问和操作商品采矿软件及自行开发的应用软件,这样就大大增加了系统的应用范围。同时随着计算机软硬件水平的提高及 CAD 技术的发展,大型矿井设计软件包也随之出现,如美国宾州大学的 C·B·曼纽拉和 R·V·罗迈尼编制了解决地下开采和运输系统等的计算机软件包,这一模型共有外部环境、内部条件、地质储量、采矿方法和岩层控制等十个子系统,它较好地解决了地下矿井从开采设计到生产管理的许多问题。再如,早在 1985 年加拿

大的化工矿山系统就建立了用于化工矿山地下采矿的计算机工作站,该工作站主要解决数据库管理、数据显示、数据分析、地质构造的模拟和采矿设计等问题。同时,由于大型软件包的研制是一项工作量非常大、耗资较多的工作,所以一些发达的西方国家采取共同行动,在统一的思想指导下开展研究工作,最突出的实例是在欧洲共同体的赞助下,由英国帝国大学皇家矿业学院、德国柏林工业大学和柏林自由大学数学地质研究组,根据 MALM-0026-D 原始资料研究开发的“地下金属矿山计算机辅助设计研究”,该系统包含了矿床与井下巷道的几何造型(三维模型)、地质统计模型(三维块段模型)、采矿方法优化选择及主要参数的确定模型、矿石产量与回采顺序规划模型、岩石力学评价模型等内容。

在国内,人们一开始的 CAD 观点是设计的图形处理,为此开发了一些 CAD 软件包,如矿体几何造型软件<sup>[46]</sup>及煤矿各设计院联合开发的车场软件包。但近几年来国内在综合软件包的研制与开发方面也取得了较大的成绩,最典型的是化工矿山设计院研制的“化工矿山预可行性研究计算机辅助设计系统”<sup>[39]</sup>,该系统是我国目前在矿山设计领域中开发最完善的系统之一。本系统的总体功能是:首先根据矿区地质勘探报告和矿山建设条件,建立决策支持数据库、图形库和矿床地质模型,进行资源评价和产品方案研究;然后采用系统工程和人工智能技术,对矿山采选工艺进行决策、配置公用工程、提出环境治理方案,进行投资、成本估算和财务分析;最后自动生成矿山预可行性研究报告。本系统按功能划分为决策支持、评价与决策、报告生成三大部分。

综合分析目前国内外计算机技术在矿山设计中的应用及