

尚 涛 顾正洪 才庆祥 高更君 著

现代化露天开采 若干问题的研究

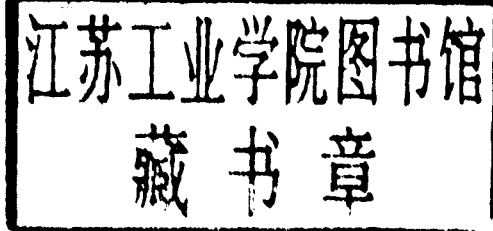
XIANDAIHUA
LUTIAN KAICAI
RUOGAN WENTI DE
YANJIU

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

现代化露天开采若干问题的研究

尚 涛 顾正洪 著
才 庄 祥 高 雨 君



中国矿业大学出版社

内 容 摘 要

本书对现代化大型露天矿有关开采工艺和开拓运输系统的若干问题进行了研究。内容主要包括:联合运输方式下矿岩转载站初始设置位置及其移设周期和步距的选择和确定,运输方式合理过渡时间的确定,露天矿端帮煤的回收方法及开采工艺系统布置,端帮采煤与露天采排工程的时空关系,露天矿采矿剥离与土地复垦一体化作业方法及作业参数等。

本书可供大中专院校师生及相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代化露天开采若干问题的研究/尚涛等著. — 徐州:
中国矿业大学出版社, 2004. 10

ISBN 7 - 81070 - 963 - 1

I. 现… II. 尚… III. 露天开采—研究
IV. TD804

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 108739 号

- 书 名 现代化露天开采若干问题的研究
著 者 尚 涛 顾正洪 才庆祥 高更君
责任编辑 张怡菲
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
排 版 中国矿业大学出版社排版中心
印 刷 徐州新华印刷厂
经 销 新华书店
开 本 850×1168 1/32 印张 6 字数 200 千字
版次印次 2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月第 1 次印刷
定 价 12.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

现代化露天开采的主要特点是大型化、集中化、高效率 and 注重环保。大型露天矿山无论是生产规模还是空间尺寸近年来一直呈增加趋势,一方面为矿山企业带来了越来越多的经济效益,满足了社会和经济的需求,另一方面也产生了负面的影响。后者主要体现在出现了一些新的问题,或原来存在的问题更加复杂化。为解决这些问题,各种传统的技术决策和优化方法在不同程度上无法满足问题本身的要求,新的决策和优化方法的引入势在必行。

本书结合实例对大型露天矿有关生产工艺和开拓运输系统等方面的若干新老问题进行了研究。基于运筹学的基本原理和有关优化方法,提出了新的寻优思路和途径,并建立了相应的数学模型和计算机程序。

本书在已完成的若干科研项目和有关学位论文的基础上编写。车兆学高级工程师、舒继森副教授、冯光明副教授等参加了部分课题的研究工作。书中涉及的问题在很大程度上决定着露天矿的经济和社会效益,主要包括:联合运输矿岩转载站设置位置的确定,露天矿端帮采煤系统的优化,露天矿采剥工程与土地复垦一体化作业等。

中国矿业大学出版社为本书的出版给予了大力支持,特此致谢!

作者恳请广大读者批评指正。

作 者

2004 年 9 月

目 录

第一章 联合运输时矿岩转载站的初置和移设.....	1
第一节 概述.....	1
第二节 优化方法及数学模型.....	4
第三节 矿床模型及采矿工艺过程技术经济指标 的计算	16
第四节 优化流程	49
第五节 实例研究及研究结论	55
第二章 露天矿端帮采煤	77
第一节 概述	77
第二节 工作面参数的计算与分析	78
第三节 端帮采煤方法及系统布置	86
第四节 端帮采煤的时空保证	97
第三章 采剥与土地复垦一体化.....	102
第一节 概述.....	102
第二节 露天采矿对土地破坏的机理研究及土地复垦 条件分析.....	109
第三节 采矿—复垦一体化作业.....	120
第四节 实例研究.....	157
参考文献.....	184

第一章 联合运输时矿岩转载站的初置和移设

第一节 概 述

目前在世界范围内由露天矿开采出的有用矿物约占全部有用矿物原料的 80%。随着工业和民用对各种有用矿物需求的增加,各行业露天矿山的开采规模日益扩大,露天矿的平面尺寸和开采深度也愈来愈大。其中露天矿的平面尺寸可达几平方公里至几十平方公里,而开采深度已越过 200~300 m 的界限,并有继续增加的趋势。

对于现代化的大型露天矿,单一的传统运输方式不论从生产规模还是从自身的技术及工艺可能性来讲,已难以保证有用矿物的综合开发。联合运输方式正逐渐取代单一运输方式而成为露天矿运输的主要发展方向。

图 1-1-1 所示的是世界主要采矿国露天铁矿各种运输方式所承担矿岩运输量的变化情况。从中可见,联合运输方式所承担的运输量明显高于单一运输方式所承担的运输量,并且逐年增加。国外一些大型露天矿深部联合运输方式见表 1-1-1。

联合运输方式可分为两大类:串联式和并联式。串联式联合运输的特点是有用矿物和剥离物从工作面至排卸点的移运依次由不同的单一运输方式来完成。视具体情况,串联式联合运输有两环节的、三环节的和多环节的。各环节间设有转载站,必要时转载站设有筛分破碎装置。并联式联合运输是指对于一个露天矿在平面上或沿延深方向同时使用几种不同的单一运输方式或串联式联合运

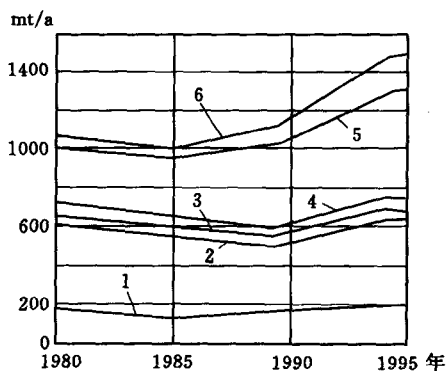


图 1-1-1 矿岩运输量分布

1——汽车运输；2——铁道运输；3——带式输送机运输；

4——水力运输；5——汽车—铁道联合运输；

6——汽车—带式输送机和铁道—带式输送机联合运输

表 1-1-1 国外大型露天矿深部的联合运输方式

露天矿名称	国家	设计开采深度 m	矿石产量 万 t/a	矿岩总量 万 t/a	联合运输方式
西雅里塔铜矿	美国	560	3 400	8 000	采场内矿岩用汽车运输，分别用井巷带式输送机提升
巴格塔得铜矿	美国	380	1 400	3 600	岩石用汽车直接外运，矿石用汽车—井巷带式输送机提升
卡纳尼亚铜矿	墨西哥	350	1 000	5 600	采场内矿岩用汽车运输，分别用井巷带式输送机提升
萨马尔科铁矿	巴西	420	1 100	2 700	岩石用汽车直接外运，矿石用汽车—破碎—带式输送机提升
英古列茨铁矿	乌克兰	650	3 600	5 000	汽车—带式输送机联合运输

续表 1-1-1

露天矿名称	国家	设计开采深度 m	矿石产量 万 t/a	矿岩总量 万 t/a	联合运输方式
新克里沃罗格 3 号	乌克兰	500	2 200	6 170	汽车—带式输送机联合运输
奥列涅戈尔	俄罗斯	435	1 400	4 000	汽车, 汽车—铁道联合运输
列别金斯基	俄罗斯	450	4 360	8 500	汽车—铁道联合运输
米哈伊洛夫斯基	俄罗斯	450	3 800	9 790	汽车—铁道联合运输

输方式,每一种运输方式负责移运某一区段的有用矿物和剥离物。

常见的串联式联合运输方式有:汽车—铁道联合运输,汽车—带式输送机联合运输,铁道—带式输送机联合运输等。

使用汽车—铁道联合运输的露天矿,年运输矿岩总量可达 4 000~5 000 万 t。在这种联合运输方式下,转载站的设置要比其他联合运输方式容易得多,不需要增加专门的设备。要做的只是为转载站留出一定面积的场地,当场地面积不足时,可以适当减小采矿平盘的宽度,或在另一侧进行削帮。随着矿山工程的进行,汽车的运距逐渐增加,技术经济指标恶化。改善这一状况的办法是将破碎站移设,而新转载站设置所引起的削帮工程量越来越大,有时达几千万立方米。如果这些工程量不能预先在一定时期内(有时需要若干年)完成,则转载站的移设将被耽搁,开采成本增加。

对于汽车—带式输送机联合运输,转载站一般需装备筛分或破碎设备、受料设施,这些设施基础的购置需要花费可观的费用。从许多采用汽车—带式输送机联合运输露天矿的情况看,汽车在与带式输送机配合时,往往被“越界”使用,多数情况下运距超出了其经济合理界限,原因是破碎转载站设置得不合理或未及时进行移设。

综上所述,对于采用联合运输的露天矿,转载站的设置位置将直接影响到工艺系统的技术经济指标和露天矿的经济效益。当然,转载站的经常移设会大大改善工作面运输设备和提升设备的运营指标,但这势必会导致提升设备停产时间和移设费用的增加。

第二节 优化方法及数学模型

一、优化方法

对于一个露天矿,开采初期一般都采用某种单一的运输方式,随着开采范围或开采深度的增加,根据需要改用联合运输方式。这样,单一运输方式向联合运输方式转换的合理时间就成为引用联合运输方式首先需要解决的问题。对有关文献的分析表明,这一合理时间确定的方法一般有两类。第一类方法是计算不同运输方式在一定开采年限或开采深度内的运输成本或开采成本,一般情况下,一些运输方式在开采初期成本较低,而另一些在开采后期经济效益较佳,认为不同运输方式下成本变化曲线的交点对应的开采时刻就是联合运输方式引入的最佳时间。第二类方法是把一定开采期限内的平均经济指标作为评判转换方案的准绳,认为经济指标好的方案为最优方案。这些指标包括平均折算费用、平均运输成本、平均开采成本等。

分析表明,上述确定联合运输方式引入时间的各种方法具有以下主要缺陷:

(1) 未考虑单一运输方式向联合运输方式转换的费用及其投入时间;

(2) 用某一开采时刻的经济指标或某一开采期限的平均经济指标进行方案比较,难以寻求到最佳方案。

正确的寻优思路应该遵循以下原则:

(1) 联合运输方式合理引入时间应采用动态方法确定;

(2) 无论是对新建矿山,还是改扩建矿山,引入时间的确定应以分析和对比所有方案整个开采期限内的技术经济指标为基础;

(3) 必须考虑单一运输方式向联合运输方式转换的费用,转换费用随开采的不同时刻而变化,与现有运输方式、转换时间、转载站形式等有关。

按照上述原则,现有单一运输方式向联合运输方式转换合理时间的确定应以下式作为目标函数:

$$C(In) = \sum_{i=1}^M C_i(In) \rightarrow \min \quad (1-2-1)$$

式中 In ——可能向联合运输转换的开采阶段号;

M ——整个优化期限内开采阶段数;

$C(In)$ ——在第 In 开采阶段进行运输方式转换时所有开采阶段全部开采费用贴现值之和,元;

$C_i(In)$ ——在第 In 开采阶段进行运输方式转换时第 i 开采阶段开采费用的贴现值,元。

优化期限内的开采阶段可以按时间或工程位置来划分,本书中取矿山工程每延伸一个水平作为一个开采阶段。

假设在第 I 开采阶段进行运输方式的转换,则可以将整个开采期限划分为三个时期,各时期内完成不同的矿山工程,具有以下特征:

第一个时期从第一阶段到转换工程的开始为止。在这一时期,矿岩的运输由现有运输方式担负,要完成因转载站设置必须增加的矿岩量的采运工程。

第二个时期从转换的开始到结束。因运输方式转换引起的追加费用应计入生产费用中,转换实现得越晚,因转换引起的追加费用就越大。这一时期持续时间的长短取决于现有运输方式的类型、转换的时间、转载站的形式等。如果现有运输方式为汽车运输,引入的联合运输为汽车—铁道运输,则转换时大量的费用和时间将

花费在上部水平铁道线路的铺设上,整个转换过程时间较长;如果在引入汽车—铁道联合运输方式之前采用的是铁道运输,则转换过程的持续时间不会太长,主要原因是此时转载站的构筑不需要太大的工程量;而汽车—带式输送机联合运输方式的转换要复杂得多,因带式输送机机道的设置而引起的追加费用和追加工程量数量可观,而转换过程一般要持续几年的时间。

第三个时期从转换完成到开采结束。这一时期由引入的联合运输完成矿岩的运输任务。

这样,式(1-2-1)就有另一种形式:

$$C(In) = \sum_{i=1}^{I_0-1} C_{gi}(In) + \sum_{i=I_0}^{In-1} [C_{gi}(In) + C_{zi}(In)] + \sum_{i=In}^M C_{ki}(In) \rightarrow \min \quad (1-2-2)$$

式中 $C_{gi}(In)$ ——现有运输方式下第 i 开采阶段开采费用的贴现值,元;

$C_{ki}(In)$ ——联合运输下第 i 开采阶段开采费用的贴现值,元;

$C_{zi}(In)$ ——第 i 开采阶段内因运输方式转换而引起的追加费用的贴现值,元;

I_0 ——开始进行运输方式转换的开采阶段号。

按照式(1-2-2),现有运输方式向联合运输方式转换的合理时间应满足:

$$C(In^*) = \min\{C(In)\} = \sum_{i=1}^M C_i(In^*) \quad (1-2-3)$$

式中 In^* ——运输方式合理转换时间对应的开采阶段。

为确定运输方式合理转换时间进行方案对比时,参与比较的联合运输方式应具有最优的系统布置参数和经济技术指标,包括整个开采期限内每一个开采阶段进行开采时转载站的设置位置及其移设步距。

开采倾斜矿床的露天矿在采用联合运输方式时,开采条件和技术经济指标随开采阶段变化,同时在很大程度上取决于转载站的设置位置。对于整个开采期限内的所有开采阶段,转载站合理位置的确定是一个多步骤的过程,合理的转载站设置方案应保证整个开采期限内的经济效益最佳。对于每一个开采阶段,转载站的设置有若干个方案,理论上讲可以设置于地表或任何一个被暴露的水平上。当考虑相邻开采时期转载站的位置时,可能的设置方案将更多。这样,对于一个服务年限数十年、采深达数百米的露天矿,从整个开采期限来讲,转载站的可能设置方案数将相当可观。举个例子,假如对于某一个开采阶段,转载站可以设置于该阶段内任何一个被暴露水平上而只需要在一个水平上设置转载站,则当开采阶段数为 10 个时,整个开采期限内转载站的可能设置方案为 17 000 个。当开采阶段数增至 15 个时,方案数将达到 1 000 万个。如何从这众多的方案中选出最佳方案,传统的方法是采取以下途径:首先选取一些设计者认为可行的方案,计算其主要技术经济指标,然后按照一定的评价标准选取其中的最优方案。这类方法的最大缺陷在于:由于设计者的人为因素和其他因素的影响,难以保证在所有情况下真正的最优方案一定落入被设计者初始选定的比较范围,多数情况下所选出的只是“相对最优方案”。造成这种结果的主要原因是所采用的寻优方法和途径无法完成在考虑所有可能方案时的巨大的计算量。为克服以上缺陷,应从基本原理上寻找突破口,探索新的寻优方法和途径。作者提出了一种新的基于动态规划法的优化方法,并结合实例给出了寻优途径。运用这种方法确定转载站合理设置位置时,所有的转载站设置方案将被考虑到,而参与比较的方案数大大减少。

动态规划法是一种特殊的优化方法,专门用于多阶段过程的决策寻优。运用动态规划法寻优时,需要优化问题的整个过程都可以划分成若干阶段或步,因此动态规划法又称多阶段寻优法。在每

个阶段结束时,可能且必须从若干可行方案中选出最佳方案。按照最佳方案确定的决策,优化过程将在下一阶段继续递推。递推方案的内容不仅包括不同的决策结果,而且包括为实现该方案引起的材料耗费、时间耗费及生产能力降低等。阶段的划分一般以时间或几何特征等为基础。需要多次决策是用动态规划法寻优的主要特点。

动态规划法的目标是在保证整个过程结果最优的前提下优化每一个阶段的结果。某一个阶段的最优策略与前面的阶段无关,只与本阶段和后面阶段的决策有关。

下面介绍一下动态规划法的有关概念。

假设某一个过程 Q 的效果可以用某一个指标 W 来表示,权且称它为“盈亏”。则整个过程的“盈亏”等于所有阶段“盈亏”之和,即

$$W = \sum_{i=1}^M w_i \quad (1-2-4)$$

式中 W ——整个过程的“盈亏”;

w_i ——第 i 阶段的“盈亏”;

M ——整个过程内的阶段数。

过程 Q 是一个可以控制的过程。也就是说,可以找到某些参数,这些参数影响着过程的进程和结局。在整个过程的每一个阶段,须做出一个决策,这个决策将影响到该阶段的“盈亏”和整个过程的“盈亏”,称为阶段策略。阶段策略采用后的结果称为阶段的状态。所有阶段策略的集合就是整个过程的策略,即过程策略

$$X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_M) \quad (1-2-5)$$

式中 X ——过程策略;

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_M$ ——阶段策略,通常情况下,不一定是数值,也可能是矢量、函数等。

最优过程策略应使整个过程的“盈亏”最大或最小

$$W = \sum_{i=1}^M w_i \rightarrow \max \text{ 或 } \min \quad (1-2-6)$$

最优过程策略由每一个阶段的最优阶段策略集合而成

$$X^* = (X_1^*, X_2^*, X_3^*, \dots, X_M^*) \quad (1-2-7)$$

式中 X^* —— 最优过程策略；

$X_1^*, X_2^*, X_3^*, \dots, X_M^*$ —— 最优阶段策略。

最优过程策略下整个过程的“盈亏”为过程的最优“盈亏”

$$W^* = \max \text{ 或 } \min \{W(X)\} = W(X^*) \quad (1-2-8)$$

式中 W^* —— 整个过程的最优“盈亏”；

$W(X)$ —— X 过程策略下整个过程的“盈亏”；

$W(X^*)$ —— X^* 过程策略下整个过程的“盈亏”。

联合运输方式下转载站合理位置的确定可以采用动态规划法,这是由动态规划法的基本原理和需要解决问题本身的特点决定的。与转载站设置位置有关的技术经济指标随开采阶段变化,在每个开采阶段结束时,须做出决策,确定下一开采阶段的转载站合理设置位置,即本阶段策略下一阶段的状态。所有开采阶段的阶段策略构成过程策略,即整个开采期限内转载站位置的合理设置方案。整个开采过程的开采费用等于所有开采阶段开采费用之和。整个开采过程内转载站合理设置位置的确定,就是要寻求一组开采水平号的集合,即最优过程策略,它能使整个开采过程的总开采费用最低。集合中的每一个水平号对应着某一个开采阶段开采时转载站的合理设置位置,即最优阶段策略。另外,转载站的移设费用,包括用于因转载站设置引起的矿岩工程量的费用,不仅与开采时间有关,许多情况下在很大程度上取决于本开采阶段和下一开采阶段内转载站的设置位置。因此,对于转载站的设置位置,需要在每个开采阶段做出选择,即多阶段寻优。在这种情况下,现有的传统寻优方法因巨大的计算工程量很难对所有可行方案进行对比并从中找到最佳方案。

利用动态规划法确定联合运输方式下转载站的合理设置位置时,多阶段寻优过程需要进行两次。第一次从后到前,即从被优化过程的最后一个阶段到第一个阶段,对于每个阶段的所有可能状态确定“过程尾”(即本阶段后的所有阶段)的相对最优过程策略和相对最优“盈亏”;第二次是从前到后,这一次可以直接“读取”第一次获得的优化结果并最终确定需解决问题的最优过程策略,当然,它是由所有阶段的最优阶段策略构成的。

二、数学模型

优化方法的确定为优化模型的建立奠定了基础,联合运输方式下转载站合理位置确定的数学模型建立如下:

“盈亏”即目标函数

$$C(Y) = \sum_{i=1}^M C_i(J_i) \rightarrow \min \quad (1-2-9)$$

式中 $C(Y)$ ——采用转载站设置方案 Y 时整个开采过程所有开采阶段开采费用贴现值总和,元;

M ——整个开采过程开采阶段数;

$C_i(J_i)$ ——转载站设于 J_i 水平时第 i 开采阶段开采费用的贴现值,元;

阶段策略

$$J_i = 1, 2, 3, \dots, N_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (1-2-10)$$

式中 J_i ——第 i 开采阶段开采时转载站设置水平号;

N_i ——第 i 开采阶段开采时可以设置转载站的水平数。

过程策略

$$Y = (J_1, J_2, J_3, \dots, J_i, \dots, J_M) \quad (1-2-11)$$

式中 Y ——整个开采过程内转载站设置方案。

最优过程策略

$$Y^* = (J_1^*, J_2^*, J_3^*, \dots, J_i^*, \dots, J_M^*) \quad (1-2-12)$$

式中 Y^* ——整个开采过程内转载站合理设置方案;

$J_1^*, J_2^*, J_3^*, \dots, J_i^*, \dots, J_M^*$ ——各开采阶段开采时转载站合理设置水平。

最优“盈亏”

$$C(Y^*) = \min\{C(Y)\} = \sum_{i=1}^M C_i(J_i^*) \quad (1-2-13)$$

式中 $C(Y^*)$ ——采用转载站设置方案 Y^* 时整个开采过程所有开采阶段开采费用贴现值总和, 元;

$C_i(J_i^*)$ ——转载站设于 J_i^* 水平时第 i 开采阶段开采费用的贴现值, 元。

本模型采用逆向寻优, 系统的状态为转载站设置位置, 即转载站设置水平。递推方程为

$$CC_{J_{i-1}}(i) = \min_{J_i^Y} \{C_{J_i J_{i-1}}(i) + CC_{J_i}(i+1)\} \quad (1-2-14)$$

式中 $CC_{J_{i-1}}(i)$ ——当第 $i-1$ 开采阶段转载站设于 J_{i-1} 水平时, 第 i 开采阶段至最后一个开采阶段所有开采费用贴现值总和的相对最小值, 元, 对应的第 i 开采阶段转载站设置水平 J_i^Y 就是此时该开采阶段转载站的合理设置水平, 即 $J_i(J_{i-1}) = J_i^Y$;

$C_{J_i J_{i-1}}(i)$ ——当第 $i-1$ 开采阶段转载站设于 J_{i-1} 水平、第 i 开采阶段转载站设于 J_i 水平时, 第 i 开采阶段开采费用的贴现值, 元;

$CC_{J_i}(i+1)$ ——当第 i 开采阶段转载站设于 J_i 水平时, 第 $i+1$ 开采阶段至最后一个开采阶段所有开采费用贴现值总和的相对最小值, 元。

对于第 2 至第 $M-1$ 开采阶段, 开采费用贴现值总和的最小值按式(1-2-14)计算, 第 1 和第 M 开采阶段的相应费用值按下面的公式计算:

$$CC(1) = \min_{J_1^Y} \{C_{J_1}(1) + CC_{J_1}(2)\} \quad (1-2-15)$$

$$CC_{J_{M-1}}(M) = \min_{J_M^Y} \{C_{J_M J_{M-1}}(M)\} \quad (1-2-16)$$

式中 $C_{J_1}(1)$ ——当转载站设于第 J_1 水平时第 1 开采阶段开采费用贴现值, 元;

$CC_{J_1}(2)$ ——当第 1 开采阶段转载站设于 J_1 水平时, 第 2 开采阶段至最后一个开采阶段所有开采费用贴现值总和的相对最小值, 元;

$CC(1)$ ——第 1 开采阶段至最后一个开采阶段所有开采费用贴现值总和的相对最小值, 元, 可以看出, 该最小值就是整个开采过程开采费用贴现值总和的最小值(最优“盈亏”), 即 $C(Y^*) = CC(1)$, 而对应的第 1 开采阶段转载站的设置水平 J_1^Y 就是本阶段转载站的合理设置水平, 即 $J_1^* = J_1^Y$;

$CC_{J_{M-1}}(M)$ ——当第 $M-1$ 开采阶段转载站设于 J_{M-1} 水平时, 第 M 开采阶段开采费用贴现值的相对最小值, 元;

$C_{J_M J_{M-1}}(M)$ ——当第 $M-1$ 开采阶段转载站设于 J_{M-1} 水平、第 M 开采阶段转载站设于 J_M 水平时, 第 M 开采阶段开采费用的贴现值, 元。

第一开采阶段转载站合理设置水平确定后, 就可以很容易地从优化结果中找到其他各开采阶段开采时转载站的合理设置水平, 它们的组合就是整个开采过程内转载站的合理设置方案

$$J_2^* = J_2(J_1^*), J_3^* = J_3(J_2^*), \dots, J_M = J_M(J_{M-1}^*) \quad (1-2-17)$$

$$Y^* = (J_1^*, J_2^*, J_3^*, \dots, J_M^*) \quad (1-2-18)$$

三、优化准则

进行技术决策时, 不同方案的经济效益是不一样的, 有时差别很大。最优的技术决策应使获取的经济效益最佳: 收益最大或花费