

丛树民 著

掘进工程设备 与方案的最优配置

JUEJINGONGCHENGSHIBEI
YUFANGANDEZUIYOUPEIZHI

煤炭工业出版社

掘进工程设备与方案的最优配置

丛树民 著

煤炭工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

掘进工程设备与方案的最优配置/丛树民著. —北京:
煤炭工业出版社, 2008. 10

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3376 - 7

I. 掘… II. 丛… III. 巷道掘进 - 最佳化 - 研究
IV. TD263. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 123519 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: [www. cciph. com. cn](http://www.cciph.com.cn)
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 $850\text{mm} \times 1168\text{mm}^{1/32}$ 印张 $3\frac{1}{2}$
字数 78 千字 印数 1—800
2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷
社内编号 6181 定价 12.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

前 言

《掘进工程设备与方案的最优配置》是在完成辽宁省自然科学基金项目的基础上，通过和俄罗斯有关专家进行国际交流后撰写而成。

本书应用系统工程方法，建立了一整套优化模型，同时应用专家系统成功地解决了掘进作业线设备与方案的最优配置问题，并通过实际检验证明了模型的可行性和正确性，具有较强的实用价值，对促进地面、地下、隧道、港口、机场等工程的建设有着重要的作用。

本书创造性地提出了图论技术与网络技术相结合的图—网矩阵算法，具有求解掘进作业线设备优化配置简便、易于编程、计算速度快、不受网络节点多少限制、结果可靠等优点。在此基础上，笔者于2001年9月至2003年9月同俄罗斯进行了合作与交流，并完成国家外国专家局的项目——《岩土掘进设备优化配套》（项目号：T002100009）。该项目在俄罗斯得到了应用，取得了良好的效果，通过这一国际交流，使该项目的成果由国内推广到国外。

本书是在上述项目研究成果的基础上撰写的，目的是将得到的一些成果介绍给国内各研究机构、大专院校、工程设计等部门，期望该成果在推广和应用中取得很好的经济效益和社会效益。

本书在出版过程中得到了沈阳大学、阜新矿业集团、铁法矿业集团的大力帮助，在此一并表示衷心的感谢！

丛树民

二零零八年五月于沈阳

目 次

0 绪论	1
0.1 问题的提出	1
0.2 国内外研究现状及以往值得借鉴的经验	3
1 斜井掘进机械化配套最优方案的确定方法	4
1.1 机械化配套原则	4
1.2 最优配套数学模型的确定	5
2 图—网矩阵算法与编程	26
2.1 距离矩阵及其矩阵间的二元运算	26
2.2 最短距离矩阵的证明	28
2.3 算法步骤与程序框图	30
2.4 算法特点	31
2.5 示例	33
2.6 高级语言类型选择及程序设计	39
3 斜井掘进装岩运输机械系统可靠性分析	41
3.1 系统分析	41
3.2 可靠性分析	43
3.3 定量分析斜井掘进装岩运输机械系统可靠度的 意义	51

3.4 小结	54
4 数学模型的正确性和实用性检验	55
4.1 排水	55
4.2 初步确定配套方案范围	55
4.3 选定各工序所用设备	56
4.4 构造机械化配套网络图	57
4.5 计算时间参数及确定可行方案	59
4.6 确定最优方案	88
4.7 对数学模型及优化方法的初步结论	94
5 其他情况下的最优方案的确定方法	95
5.1 工期提前且节省费用情况下最优方案的确定	95
5.2 经济效益最优方案的确定方法	96
5.3 已有设备条件下的最优配套方案	97
6 结论	100
参考文献	102

0 绪 论

0.1 问题的提出

随着国内外对地下矿物资源需求量的逐渐增大,生产的集中化和现代开采技术得到迅速发展,大型或特大型的矿井(包括新建和扩建)日益增多。其中斜井开拓占有一定的比重。例如,美国的迪尔威兹矿、日本的夕张新矿、太平洋钼路矿、前苏联的多尔森矿都采用大型斜井开拓,年产量均在 $200 \times 10^4 \text{t} \sim 400 \times 10^4 \text{t}$ 之间,斜井长度可达 $3500 \sim 5000 \text{m}$,最大开采深度达 950m ,全为钢丝绳带式输送机运输。德国的萨尔矿区将几个相近的矿井在井下贯通,由一个斜长为 5500m 的斜井集中出运。英国也在把分散的矿井集中起来,由带式输送斜井集中运出,斜井提升高度可达 700m 左右。我国山东省的新城子金矿采用大斜井的开拓方式,用大型运输汽车将矿石从井下运到地面。在现代开采技术条件下,采用斜井开拓可最大限度地发挥带式输送机和大型矿用汽车运输的优点,加之施工设备的改进,斜井掘进速度的提高,斜井开拓方式越来越被人们所重视。

随着斜井开拓方式的广泛采用,近年来我国斜井施工技术也得到了飞速的发展。20 世纪五六十年代,由于斜井施工过程中装岩、提升、支护及排水等工艺技术未能获得很好的解决,施工速度一直很低,并且长期徘徊不前。自从 1970 年 5 月南京钟山煤矿副斜井取得月进 252.2m 的好成绩后,我国斜井施工才有了较大发展。

湖南一些建井单位相继在石坝、花萼里等主斜井施工突破了月进 300m 的大关，其中煤炭四处 在湖坪斜井中达到了月进 361.8m 的可喜战果。1972 年 5 月，湖南省煤炭三处在利民三号斜井成功地采用了耙斗装岩机和喷射混凝土配套经验，首创月成井 364.5m 的新纪录，使我国斜井施工速度进入了世界先进行列。

1973 年，在学习湖南经验的基础上，陕西铜川基建公司四处在陈家山二采区主斜井和行人斜井分别创造了月进 452.1m 和 605.2m 的成绩，铜川基建公司二处创月进 504.5m 和 705m 的成绩，从而使我国斜井施工技术和速度达到了世界先进水平。

总结我国斜井施工技术的经验，影响斜井掘进速度的主要因素是技术装备、机械化配套、操作技术及管理 水平。为了适应我国今后对矿物资源需求大幅度增长的要求，进一步提高斜井施工机械化程度甚为必要。我国斜井成井速度虽然较高，但工效还比较低，斜井施工还必须大力推广机械化和充分发挥机械设备的效率。

我国曾经引进和自行设计了许多斜井掘进设备，在实际施工中平均月进度并没有显著提高，究其原因，除施工管理水平没上去外，其主要原因是施工设备不配套所致。例如，机械化作业线上各工序施工设备有的设备能力偏小，有的设备能力偏大，这样会导致设备超负荷运转而经常出现故障或设备能力得不到充分发挥，都将影响施工速度。另外，由于斜井掘进机械设备类型较多，而且厂家在设计斜井掘进设备时很少考虑各工序间设备的配套。因此，在实际施工中，对各工序施工设备进行科学的选择并进行合理的配套，就是一个必须进行研究和解决的课题。本书运用系统工程方法并结合计算机技术解决斜井掘进机械化设备最优配套问题。

0.2 国内外研究现状及以往值得借鉴的经验

斜井掘进包括破岩、出岩、固岩 3 项内容。从国内外发展情况看,斜井岩石掘进机是个发展方向。但机械掘进与钻爆法掘进法相比,存在驱动功率大、刀具消耗大的缺点。炸药破岩仍然是迄今为止生产效率最大、做功最快的方式。使用钻爆法掘进,仍将是斜井施工的主要方法。

根据目前国产设备及不同施工条件,斜井主要施工机械的配套方案有以下几种:

- (1) 多台凿岩机→耙斗机→箕斗。
- (2) 耙斗装载机→箕斗。
- (3) 凿岩台车→侧卸式装岩机→转载机→仓式矿车。
- (4) 凿岩台车→铲运机→自卸式卡车。
- (5) 扒爪式装载机→转载机→输送机。

机械化设备配套方案的选择受到井筒所穿过岩层的岩性、涌水量、井筒宽度、断面大小、井筒斜角、设备外形尺寸、单井筒掘进或双井筒同时掘进等条件的限制。因此,本书对优化配套方案的确定可分两步进行:

第一步,借鉴以往的施工经验(或用专家系统)确定初始方案。

第二步,在第一步基础上,用优化方法确定最优方案。

1 斜井掘进机械化配套最优方案的确定方法

若把斜井掘进机械化作业线作为一个系统，则凿岩爆破、装岩运输、支护这3项内容是构成该系统的3个子系统。在一个掘进循环内，3个子系统的运转好坏直接影响系统的运行。因此，在确定配套设备时，必须从整个系统的要求出发来进行选择。

1.1 机械化配套原则

机械化配套应遵循如下原则：

(1) 掘进机械必须适应岩石特性、巷道规格及施工工艺的要求；

(2) 实现凿、装、运全部机械化，尽量减轻工人的劳动强度；

(3) 各工序的施工设备要相互协调，以获得最高的综合生产效率，避免有的配套设备的生产能力不够而影响整个机械化作业线生产能力的发挥或有的生产能力过大而发挥不出应有的生产能力；

(4) 测量、定向、布孔、通风、排水、供电、地面设矸石仓等辅助工序的设备要满足掘进机械化作业线的需要并相应配套；

(5) 各工序的施工设备配套要满足平均月进度的要求；

(6) 用较少的资金获得较高的综合生产能力，以获得最佳的技术经济效益。

1.2 最优配套数学模型的确定

为进行机械化配套选择,首先需要确定提升一次时间和装、提平均生产率。

1.2.1 提升一次时间的确定

1.2.1.1 确定提升一次时间的因素

斜井提升的上提和下放均采用三阶段速度图。

以提升加速至最大速度 $v_{\max}$ (或由 $v_{\max}$ 减至 0) 时所经过的距离为 L_0 , 则

$$L_0 = \frac{1}{2}at_a^2 = \frac{1}{2} \times \frac{v_{\max}^2}{a}$$

式中 a ——提升加速度 (或减速度), m/s^2 ;

t_a ——提升加速度的持续时间, s ;

$v_{\max}$ ——最大提升速度, $v_{\max} = at_a$, m/s 。

1. 单钩提升运行一次时间 (不摘钩)

$$t'_1 = 2 \left(\frac{L}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{a} \right) \quad (1-1)$$

式中 L ——提升距离, m 。

2. 双钩提升运行一次时间 (不摘钩)

$$t'_2 = \frac{L}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{a} \quad (1-2)$$

式中 L ——提升距离, m 。

1.2.1.2 提升一次时间的计算

1. 单钩提升一次时间 (不摘钩)

$$t_1 = 2 \left(\frac{L}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{a} \right) + t_c + Vt_z + t_d \quad (1-3)$$

式中 t_c ——地面卸矸时间, s ;

V ——提升容器的容积, m^3 ;

t_z ——装满 1m^3 提升容器所需时间, s;

t_d ——调车时间, s。

2. 双钩提升一次时间

$$t_2 = \left(\frac{L}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{a} \right) + t_c + Vt_z + t_d \quad (1-4)$$

式中符号含义同前。

1.2.2 确定装岩、提升的生产率

1.2.2.1 循环中装岩提升的生产率

每循环爆下的松散岩石量为

$$Q = Sl\eta k_1 k_2 \quad (1-5)$$

式中 S ——斜井掘进断面积, m^2 ;

l ——炮眼深度, m;

η ——炮眼利用率;

k_1 ——爆下岩石松散系数;

k_2 ——超挖系数。

每小时装岩提升平均次数为

$$n = \frac{3600}{t} \times k_3 \quad (1-6)$$

式中 t ——提升一次时间, s;

k_3 ——装岩提升次数的不均匀系数, $k_3 < 1$ 。

单钩提升一次时间, $t = t_1$;

双钩提升一次时间, $t = t_2$ 。

每循环装岩提升平均生产率为

$$P_z = nVk_4 \quad (1-7)$$

式中 V ——提升容器的容积, m^3 ;

k_4 ——提升容器的装满系数。

1. 单钩提升时装岩提升的生产率

将式 (1-3) 与式 (1-6) 代入式 (1-7) 得

$$P_{z1} = nVk_4 = \frac{3600k_3}{t} \times Vk_4 = \frac{3600k_3Vk_4}{2\left(\frac{L}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{a}\right) + t_c + Vt_z + t_d}, (\text{m}^3/\text{h}) \quad (1-8)$$

2. 双钩提升时装岩提升的生产率

将式 (1-4) 与式 (1-6) 代入式 (1-7) 得

$$P_{z2} = nVk_4 = \frac{3600k_3}{t} \times Vk_4 = \frac{3600k_3Vk_4}{\left(\frac{L}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{a}\right) + t_c + Vt_z + t_d}, (\text{m}^3/\text{h}) \quad (1-9)$$

在井筒所穿过的岩石、涌水等条件不变的情况下, P_z 将随 L 的变化而变化, 即 P_{zi} ($i=1, 2$) 是 L 的函数。

一个循环内装岩时间为

$$T_z = \frac{Q}{P_z}, (\text{h}) \quad (1-10)$$

单钩提升时, 将式 (1-5) 与式 (1-8) 代入式 (1-10) 得

$$T_{z1} = \frac{Q}{P_{z1}} = \frac{Sl\eta k_1 k_2}{3600k_3Vk_4} = \frac{2\left(\frac{L}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{a}\right) + t_c + Vt_z + t_d}{(Sl\eta k_1 k_2) \times \left[2\left(\frac{L}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{a}\right) + t_c + Vt_z + t_d\right]}, (\text{h}) \quad (1-11)$$

双钩提升时, 将式 (1-5) 与式 (1-9) 代入式 (1-10) 得

$$T_{z2} = \frac{Q}{P_{z2}} = \frac{Sl\eta k_1 k_2}{3600 k_3 V k_4} = \frac{\left(\frac{L}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{a} \right) + t_c + V t_z + t_d}{(Sl\eta k_1 k_2) \times \left[\left(\frac{L}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{a} \right) + t_c + V t_z + t_d \right]} \cdot (h) \quad (1-12)$$

1.2.2.2 装岩提升平均生产率的计算

设 T_{z1} 为提升斜长 L_1 到 L_2 时装岩所需总时间, $\bar{P}_z$ 为由 L_1 到 L_2 一段井筒的装岩提升平均生产率, 则得

$$T_{z1} = \frac{(L_2 - L_1) \times Sk_1 k_2}{\bar{P}_z} \quad (1-13)$$

$$\Delta T_{z1} = \frac{Sk_1 k_2 \Delta l}{\bar{P}_z} \quad (1-14)$$

$$T_{z1} = \int dT_{z1} = \int_{L_1}^{L_2} \frac{Sk_1 k_2}{\bar{P}_z} dl \quad (1-15)$$

由式 (1-13) 与式 (1-15) 可得

$$T_{z1} = T_{z1}$$

故

$$\begin{aligned} \frac{L_2 - L_1}{\bar{P}_z} &= \int_{L_1}^{L_2} \frac{1}{\bar{P}_z} dl \\ \frac{L_2 - L_1}{\bar{P}_z} &= \int_{L_1}^{L_2} \frac{dl}{\bar{P}_z} \end{aligned} \quad (1-16)$$

1. 单钩提升时装岩提升平均生产率

将式 (1-8) 代入式 (1-16) 得

$$\frac{L_2 - L_1}{\bar{P}_{z1}} = \int_{L_1}^{L_2} \frac{dl}{P_{z1}}$$

$$\text{右端} = \int_{L_1}^{L_2} \frac{dl}{P_{z1}} = \int_{L_1}^{L_2} \frac{dl}{\frac{3600k_3 V k_4}{2\left(\frac{L}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{a}\right) + t_c + V t_z + t_d}}$$

为便于积分, 设

$$3600k_3 V k_4 = C_1$$

$$\frac{v_{\max}}{a} = C_2$$

$$t_c + V t_z + t_d = C_3$$

则

原右端 =

$$\begin{aligned} & \int_{L_1}^{L_2} \frac{dl}{\frac{C_1}{2\left(\frac{L}{v_{\max}} + C_2\right) + C_3}} = \\ & \int_{L_1}^{L_2} \frac{2\left(\frac{L}{v_{\max}} + C_2\right) + C_3}{C_1} \times dl = \\ & \frac{2}{C_1} \int_{L_1}^{L_2} \left[\left(\frac{L}{v_{\max}} + C_2 \right) + \frac{1}{2} C_3 \right] dl = \\ & \frac{2}{C_1} \left(\frac{1}{v_{\max}} \times \frac{1}{2} l^2 \Big|_{L_1}^{L_2} + C_2 l \Big|_{L_1}^{L_2} + C_3 l \Big|_{L_1}^{L_2} \right) = \\ & \frac{2}{C_1} \times \left[\frac{1}{2} \times \frac{L_2 + L_1}{v_{\max}} \times (L_2 - L_1) + C_2 (L_2 - L_1) + \frac{1}{2} C_3 (L_2 - L_1) \right] \end{aligned}$$

所以

$$\begin{aligned} \frac{1}{\bar{P}_{z1}} &= \frac{2}{C_1} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{L_2 - L_1}{v_{\max}} + C_2 + \frac{1}{2} C_3 \right) \\ \bar{P}_{z1} &= \frac{C_1}{\frac{L_2 + L_1}{v_{\max}} + 2C_2 + C_3} \end{aligned}$$

故

$$\bar{P}_{z1} = \frac{3600k_3 V k_4}{\frac{L_2 + L_1}{v_{\max}} + \frac{2v_{\max}}{a} + t_c + V t_z + t_d}, \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (1-17)$$

2. 双钩提升时装岩提升的平均生产率

将式 (1-9) 代入式 (1-16) 得

$$\begin{aligned} \frac{L_2 - L_1}{\bar{P}_{z2}} &= \int_{L_1}^{L_2} \frac{dl}{P_{z2}} \\ \text{右端} &= \int_{L_1}^{L_2} \frac{dl}{\frac{3600k_3 V k_4}{\left(\frac{L}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{a}\right) + t_c + V t_z + t_d}} \end{aligned}$$

设

$$C_1 = 3600k_3 V k_4$$

$$C_2 = \frac{v_{\max}}{a}$$

$$C_3 = t_c + V t_z + t_d$$

则

$$\begin{aligned} \text{原右端} &= \int_{L_1}^{L_2} \frac{dl}{\frac{C_1}{\frac{L}{v_{\max}} + C_2 + C_3}} = \\ &= \frac{1}{C_1} \int_{L_1}^{L_2} \left(\frac{1}{v_{\max}} + C_2 + C_3 \right) dl = \\ &= \frac{L_2 - L_1}{C_1} \times \left[\frac{1}{2v_{\max}} \times (L_2 + L_1) + C_2 + C_3 \right] \end{aligned}$$

故

$$\frac{1}{\bar{P}_{z2}} = \frac{1}{C_1} \times \left(\frac{L_2 + L_1}{2v_{\max}} + C_2 + C_3 \right)$$