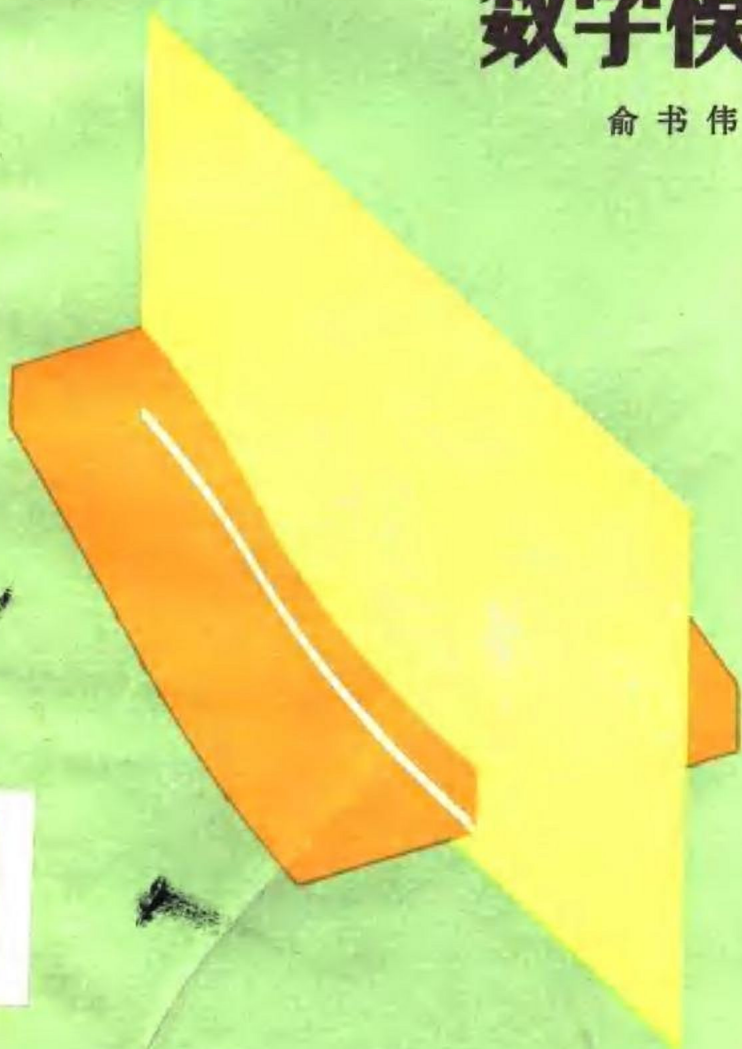


谈谈矿井设计 数学模型

俞书伟 编著



TD263.

8

3

谈谈矿井设计数学模型

俞书伟 编著

B720.1/17

煤炭工业出版社



B 188963

内 容 提 要

这是一本科普读物。书中主要谈了三个方面的问题。(一)什么叫数学模型。着重谈它的型式、作用与特点。这一部分内容让读者对数学模型有概括的认识。(二)怎样塑造数学模型。这部分内容比较丰富,结合矿井设计实例,深入浅出地谈到如何运用概率统计、数学分析、线性规划、综合评价和坐标几何的理论来塑造数学模型。着重于塑模的思路与方法。

(三)矿井设计中数学模型的作用与分类。这部分内容让读者对矿井设计中数学模型的本质、作用、分类有一个全面的了解。

本书供具有中等文化程度的矿山企业技术人员与管理干部阅读,也可作为设计人员或矿业院校师生深入研究近代矿井设计理论专门文献的准备。

责任编辑:王 振 铎

谈谈矿井设计数学模型

俞 书 伟 编 著

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

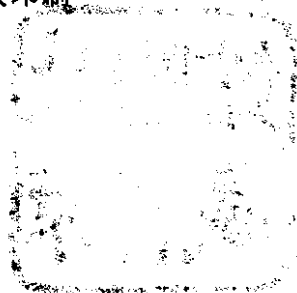
*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $7^{7/8}$

字数 170千字 印数1—4,620

1984年11月第1版 1984年11月第1次印刷

书号15035·2648 定价1.25元



序

煤炭工业是工业的主导部门之一。随着煤炭工业的发展，煤矿矿井的井型越来越大，机械化程度越来越高，生产工艺系统越来越复杂，因此对矿井设计工作的要求也越来越高。过去设计人员主要是靠自己的经验和直觉对设计工作进行一些决策。现在，矿井设计中要考虑的因素太多，单凭经验和直觉，很难找到最优的决策，也就是很难做出最优的矿井设计。因此现在已广泛应用系统工程理论和大量数学方法来进行矿井设计。

所谓数学方法，不仅仅是计量与运算的问题，还要通过塑造（即构造编制）数学模型，来研究系统的动态从而获得必要的信息。矿井设计数学模型就是矿井设计系统到数学符号系统的对应关系。

俞书伟同志在所写的科普读物《谈谈矿井设计数学模型》中列举了矿井的具体例子，对矿井设计数学模型的作用与分类、研究设计要素相互作用的方法、变量选取对模型的影响、多目标优化模型塑造的方法、几何信息的提取等内容，提出了不少见解。这些内容值得一读。

我相信这本书的出版，会引起从事矿井系统工程与优化设计工作的同志们的兴趣，对我们正在进行的矿井设计的改革工作，会起到一定的推动作用。

沈季良

一九八四年一月二日

前 言

数学模型是近代设计理论中的一个基本概念。我第一次接触到它，感到很新奇。数学是一门研究数量关系与空间形式的学科，它的特点是高度的抽象性与严密的逻辑性、数学怎么和形象直观的模型联系起来呢？后来看的书与文献多了，也就习以为常，很少再去作进一步的思索。

一九七八年初，我尝试用线性规划来初选主井井筒位置^[16]。做起来才发现我对数学模型的认识还很肤浅。看来，已经习惯了的东西，不一定真正了解它。就象从我们懂事的时候起，就天天同数打交道，但是“数”究竟是什么，不一定讲得清楚。那么数学模型到底是什么？它的种类、作用和用途又是什么？这是我给自己出的一些题目。

工程技术发展史告诉我们，在工程技术中引入一个科学名词，绝对不是少数几个人在做文字游戏，而是有着深刻的实际内容的。那么，为什么要在矿井设计中引入数学模型这一名词？它在矿井设计中到底起什么作用？如何塑造具体设计问题的数学模型？这是我给自己出的又一些题目。

带着这些问题，我有针对性地进行了一些工作，比如矿井井巷系统解析^{[9][10]}、可采煤层的样条网格^{[11][20]}、采区生产能力的统计试验^{[2][19]}等等。还查阅了不少有关文献。一有心得体会，我就写下来。这本小册子就是根据这些学习笔记整理而成的。

书中第一章是引子，第二章是综述。第三章到第七章，将分别从纵横两个方面，谈谈矿井设计数学模型的塑模方

法。所谓纵的方面，指的是以所运用数学工具为线索；所谓横的方面，指的是以具体问题为线索。第八章总的谈谈矿井设计数学模型的本质、作用与分类、作为全书的结束。

通过这本小书，我想说明这样一个道理，数学模型这一名词在矿井设计中的引入，是顺应着矿井设计方法的变革，逐步由经验走向科学的需要应运而生的。

通过这本小书，我还想交待更深一层的意思。矿井设计是一个分析可变多因素的过程，也是一个决策的过程。设计中每一具体事物的特征与属性、事物发展变化的过程与规律、设计要素的相互作用以及设计人员决策最优方案的思维活动，组成了一个具体的系统——矿井设计系统。另一方面，人类的智慧还创造了一种抽象的系统——数学符号系统。可以在以描述为主的基础上，分析具体事物的特征与属性、事物发展变化的过程与规律、设计要素的相互作用以及决策最优方案。这就是传统的设计方法。以描述为主的传统设计方法，在矿井基本建设中发挥着重要的作用。然而它的缺点在于处理信息难于数字化，决策最优方案难于定量化。

近几十年来，人们不断地探索着新的矿井设计理论与方法，尽管大家的思路与所运用的数学工具有所不同，但是大家所追求的目标，归根结蒂都是建立矿井设计系统与数学符号系统的对应关系。矿井设计数学模型，正是由矿井设计系统通向数学符号系统的桥梁。通过数学模型，我们可以将设计系统中的各种状态对应到数学符号系统中去，最终使得矿井设计在数量关系上，而不是在设计人员的主观感觉上，达到和谐与完美。

几年来从事数学模型的学习与研究过程中，在煤矿专业知识方面，我得到不少同志的帮助。特别是兖州煤炭指挥部

设计室陈国琦同志。谨此向这些同志致以深切的谢忱。

限于自己的水平，不当与错误之处一定不少，希望读者批评指正。

作者

一九八二年新春

目 录

第一章 从例子谈起	1
§ 1 例子的启示	1
§ 2 设计人员的素养	9
第二章 数 学 模 型	16
§ 1 模型与实体	16
§ 2 数学模型	20
第三章 概 率 统 计	38
§ 1 引子	38
§ 2 基本概念	41
§ 3 工作面生产能力的波动规律	57
§ 4 上山胶带输送机运煤量的统计试验	64
§ 5 运输设备的故障分析	73
§ 6 采区煤仓的合理容量	81
§ 7 研究设计要素相互作用的方法	86
第四章 数 学 分 析	90
§ 1 引子	90
§ 2 基本概念	91
§ 3 巷道基建费 F_j	102
§ 4 巷道维护费 F_m	107
§ 5 巷道通风电费 F_D	107
§ 6 基建费 F_j 转换为年成本费 F_j'	110
§ 7 巷道的合理断面	112
§ 8 其它	115
第五章 线 性 规 划	118
§ 1 引子	118

§ 2	基本概念	120
§ 3	主井井筒位置的初选	136
§ 4	煤层的年产量	147
§ 5	采区的日产量	150
§ 6	变量选取对模型的影响	153
第六章	综合评价	159
§ 1	引子	159
§ 2	基本概念	161
§ 3	主井井筒位置的优选	173
§ 4	采区设计的优化	177
§ 5	塑造多目标优化模型的基本方法	184
第七章	坐标几何	186
§ 1	引子	186
§ 2	基本概念	187
§ 3	井巷系统的解体	194
§ 4	基本构件	200
§ 5	基本构件的拼装	204
§ 6	煤层底板标高与储量	207
§ 7	几何信息的提取	216
第八章	矿井设计中的数学模型	220
§ 1	对应关系	220
§ 2	模型的改进与完善	223
§ 3	分类	230
参考文献		241

§ 1 例子的启示

概括地说，设计工作就是设计人员在融会贯通了矿井的自然条件、现有的技术装备水平、国家的方针政策等因素后，拟定一些技术上可行的方案，通过各方案的技术分析与经济比较，最后决策出一个技术上先进可靠、安全适用，经济效益又好的最优方案。但是说起来容易，要真正做到却很难。不妨举个最简单的例子。

某矿年设计能力60万吨，低沼气矿井。主要运输大巷布置在煤层底板($f = 4 \sim 6$)。大巷采用7吨架线式电机车，600轨距1吨固定式矿车运输。井下最大涌水量为400米³/时，其中布置一趟直径为194毫米的压风管，一趟直径为50毫米的洒水管。设计该运输大巷直线段的断面，习惯上的做法如下：

1. 选择巷道断面的形状 由于该运输大巷服务年限较长（45年），再结合围岩条件，断面形状选为半圆拱形，采用锚喷支护。

2. 确定巷道断面尺寸 根据电机车外形尺寸与《煤矿安全规程》的有关规定，可分别确定巷道的净宽度、拱高、巷道的壁高等尺寸。经计算，巷道的净断面积 $S_n = 9.8$ 米²。

3. 用通风来校核巷道断面 矿井的风量按下式计算：

$$Q = \frac{T \cdot q \cdot K}{60}$$

式中 T ——沿巷道每日运煤量, 吨/日;
 q ——平均日产一吨煤, 每分钟所需的风量, 米³·日/吨·分;
 K ——风量备用系数, 1.15~1.45;
 60 ——每分钟的秒数, 秒/分。

该矿 $T = 2000$ 吨/日。根据《煤矿安全规程》, 低沼气矿井, 取 $q = 1$ 米³·日/吨·分。则

$$Q = \frac{2000 \times 1 \times 1.45}{60} \text{ 米}^3/\text{秒} = 48.3 \text{ 米}^3/\text{秒}$$

考虑到炸药库、绞车房等峒室需要的风量, 矿井的总风量 $Q_{\text{总}} = 54$ 米³/秒。通过巷道的风流速度 v 为

$$v = \frac{Q_{\text{总}}}{S_{\text{巷}}} = \frac{54}{9.8} \text{ 米/秒} = 5.51 \text{ 米/秒}$$

《煤矿安全规程》规定, 主要进、回风道, 允许的最高风速为 8 米/秒。因此设计采用 9.8 米²的断面, 风速不超过规定, 可以使用。

不过, 细想一下, 能满足电机车外形尺寸的需要, 满足通风风量与风速需要的断面何止一个! 在施工技术条件许可的情况下, 大于 9.8 米²的断面, 不是都能满足上述要求, 因而都能作为该运输大巷的断面吗? 这里就有一个经济效果的问题。影响巷道断面经济效果的主要因素有三个: 巷道的基建费、巷道维护费和巷道通风电耗费。第四章分析表明、前两项费用随断面增大而增大, 第三项费用却随断面的增大而减小。巷道断面小, 巷道的基建费、维护费低, 但是通风电耗费却高, 从长远考虑未必是经济的。那么如何在技术分析的同时, 综合这些因素, 使得巷道断面的设计, 既符合《煤矿安全规程》的有关规定, 又能取得尽可能好的经济效果?

再深入一步，基建费用是国家以投资形式集中支付的，而巷道通风电耗费是逐年从生产中付出的。由于它们动用时间先后不同，随时间的推移，基建投资要按复利形式产生利息。在分析巷道断面经济效果时，如何进一步考虑时间因素，即运用动态经济评价方法，将基建投资分摊到年成本中去？

看来，即使对于象巷道断面这样的标准设计，要真正做到在技术上安全可靠，经济效果又好，还是有很多工作要做呢！

又如，某采区移交时共四个工作面，其中三个生产，一个备用。采区生产能力60万吨/年。工作面配备 MLQ₁-80 型采煤机，工作面、顺槽以可弯曲链板运输机运煤，岩石集中巷采用吊挂胶带运输机，采区上山装备钢绳胶带运输机。大巷采用 10 吨架线式电机车，600 轨距 3 吨矿车运输，一列车 20 辆。采区上山口设有煤仓，煤仓的容量是煤仓设计的主要依据，习惯上确定煤仓容量的常用方法有三种。

一种做法的依据是，一列车的装煤量。即

$$Q = n \cdot p \cdot k \quad (1.1)$$

式中 n ——一列车的矿车数，个；

p ——每个矿车的装载量，吨/个；

k ——煤仓的容量系数，一般为 1.2。

则该采区煤仓容量 Q 为

$$Q = 20 \times 3 \times 1.2 \text{ 吨} = 72 \text{ 吨}$$

另外二种做法的依据是，采区高峰出煤能力与大巷间歇运输能力之差，乘以高峰出煤的延续时间。即

$$Q = (q_2 - q_1) \cdot t \cdot k \quad (1.2)$$

式中 q_2 ——采区高峰出煤能力，吨/小时；

q_1 ——装车站的装运能力, 吨/小时;

t ——采区高峰出煤延续时间, 小时;

k ——煤仓容量系数, 一般为1.2。

由机车运行图表, 可确定该采区装车站的装运能力 $q_1 = 120$ 吨。由于对采区高峰出煤能力与延续时间理解的不同, q_2 与 t 习惯上有二种算法。

1. 采区年生产能力为60万吨, 如果工作日按300天计, 则采区平均日产量为2000吨。二班生产, 一班检修, 一班平均日产量为1000吨。每班实际出煤按4小时计, 其余时间用于准备, 那么

$$q_2 = 1000 \div 4 \text{吨/小时} = 250 \text{吨/小时}$$

$$t = 4 \text{小时}$$

则该采区煤仓容量 Q 为

$$Q = (250 - 120) \times 4 \times 1.2 \text{吨} = 624 \text{吨} \quad (1.3)$$

2. 从第三章图3.10可以看出, 工作面采煤机在156分钟内出煤332吨。高峰出煤能力为 $\frac{332}{156} \times 60 \text{吨/小时} = 127.7$ 吨/小时。三个工作面高峰出煤能力迭加结果, 就是采区高峰出煤能力。即 $q_2 = 127.7 \times 3 \text{吨/小时} = 383.07 \text{吨/小时}$, 于是

$$Q = (383.07 - 120) \times 1.5 \times 1.2 \text{吨} = 473.54 \text{吨} \quad (1.4)$$

同一采区煤仓, 设计人员根据各自经验, 用三种方法计算它的容量, 最大值与最小值竟相差 $\frac{624}{72} = 8.66$ 倍。

我们知道, 随着矿井生产集中化与机械化程度不断提高, 采区煤仓对于保证采区正常生产的作用越来越大。它的

一个重要作用是，协调采区输送机运输与大巷电机车运输。当大巷不装车时，采区上山输送机仍可继续运煤；当采区上山停止运煤时，由于采区煤仓贮存有煤炭，大巷仍可继续装车。尤其当采区出煤能力达到高峰，而大巷间歇式运输方式不能适应这一高峰来煤量，采区煤仓可以贮存一定数量的煤炭，保证采区的正常生产。用(1.1)式确定煤仓容量，只能保证当大巷电机车来到时，及时装满一列车。但当采区出煤能力达到高峰时，由于容量过小，经常满仓。第三章分析表明，一年内满仓次数达76次，严重影响采区的正常生产。用

(1.3)式计算，该采区煤仓容量为624吨，第三章分析告诉我们，由于容量大，一年中几乎没有满仓的时候，能充分发挥采区煤仓在生产中的作用。但是由于工作面采煤机的间断割煤和三个工作面的产煤量要经由工作面顺槽、岩石集中巷，汇合在上山皮带机上，因此采区出煤能力呈现很大的波动性。(1.3)式完全撇开了这一波动性，按实际出煤时间作算术平均，这种静态的观点，算术平均的结果，使煤仓容量过大，增加开掘工程量与煤仓建造与维护费用，经济效果不好。(1.4)式进了一步，从工作面出煤能力波动性入手，并将三个工作面的高峰能力的和作为采区的高峰生产能力。有没有三个工作面的高峰出煤量恰恰同时汇合在上山皮带机上，进入采区煤仓的情况呢？会发生这种情况。不过，第三章分析说明，这种情况发生的可能性较小，或者说出现的概率较小。(1.4)式按这种概率较小的不利情况来计算采区高峰生产能力，由此得到的煤仓容量往往偏大。

采区煤仓另一个重要的作用是，当大巷运输设备发生故障时，它可以贮存一部分煤炭，在一定的时间内，能保证采区继续生产。合理的容量应能保证煤仓在生产中发挥这一作

用。这就需要我们揭示大巷电机车因故障造成停运的规律，找出电机车不同停运时间出现的概率。无论 (1.1)、(1.3) 还是 (1.4) 式都未考虑到这些因素。

那么，在设计采区煤仓时，如何选择它的容量，真正做到既充分发挥煤仓在生产中的二个重要作用，又能取得尽可能好的经济效益？

再举一个例子。某采区有可采煤层二层，平均厚度分别为 5.35 米和 3.24 米，煤层平均倾角 5° 。低沼气矿井，有煤尘爆炸危险与自然发火倾向。地质构造简单，煤层赋存比较稳定，断层不发育，为宽缓褶皱区。采区的地质储量 1217 万吨，可采储量 915.7 万吨。

根据该采区的储量与煤层的赋存条件，采区的生产能力定为 60 万吨/年，服务年限 15.2 年。采区上部以 -175 米水平，下部以 -250 米水平为界，走向长度 1400 米。

采区巷道布置系统比较以下二个方案。

1. 采区石门加上山 运煤上山布置在底板岩石内，倾角与煤层相同。辅助上山于底板岩石内按 20° 布置，与采区石门相通。各岩石集中巷与上山间以小石门相连。岩石集中巷与各分层巷道之间以溜煤眼及斜巷联系，见图 1.1(a)。

2. 采区石门加暗井 于采区中央置一暗井直通 -350 水平采区石门，解决上料，提人等需要。暗井附近设溜矸井，解决矸石溜放。取消运煤上山，于 -225 米水平及 -270 米水平建立运输石门。各岩石集中巷分别与运输石门平接，岩石集中巷与各分层巷道之间以小暗井、溜煤眼及斜巷进行联系，见图 1.1(b)。

设计采用第 1 方案。工作面配备 MLQ₁-80 型采煤机，采用走向长壁倾斜分层采煤法。移交时共三个工作面，工作面

长度180米，年进度540米，平均年产量21万吨。

采区设计除了巷道布置系统以及主要参数选择外，还应包括采区机械设备选型，这里从略。

采区设计是矿井设计的重要环节，对矿井技术面貌与经济效果有较大的影响。采区巷道布置与主要参数的选择是否合理，关系到采区的正常生产，也关系到各种费用大小。因此，选择最优的采区设计方案，具有重大意义。能不能说，该采区采用第1方案的巷道布置系统，选择生产能力60万吨/年、同采工作面3个、采区走向长度1400米、工作面长度180米等主要参数是最优的？很难下这个断言，因为：

1) 在确定采区生产能力、同采工作面个数、采区走向长度、工作面长度等主要参数时，都是单独进行的，没有将它们与采区的巷道布置系统联系起来。

2) 在确定采区巷道布置系统时，比较的方案太少。仅仅比较二个方案，充其量只能从二个方案中选一个好的，不一定是客观上最优的。

3) 方案1与方案2在技术上、经济上备有利弊。方案1简单易行，初期投资省；方案2运转灵活，生产费用低，后期工程量少。但是仅仅停留在定性分析与优缺点的文字对比上，很难断定这二个方案到底那个比较好。

在采区设计中，如何对采区巷道布置系统及主要参数进行综合分析？如何保证最终决策的方案，确实是客观上最优的？

类似这样的例子，在一部矿井设计中比比皆是，例如划分开采水平、确定主井井筒的位置、确定风井井筒的位置与风井的个数；选择井底车场的布置形式，选择采煤方法与备用工作面的个数、选择运输大巷的位置与大巷运输方式；提

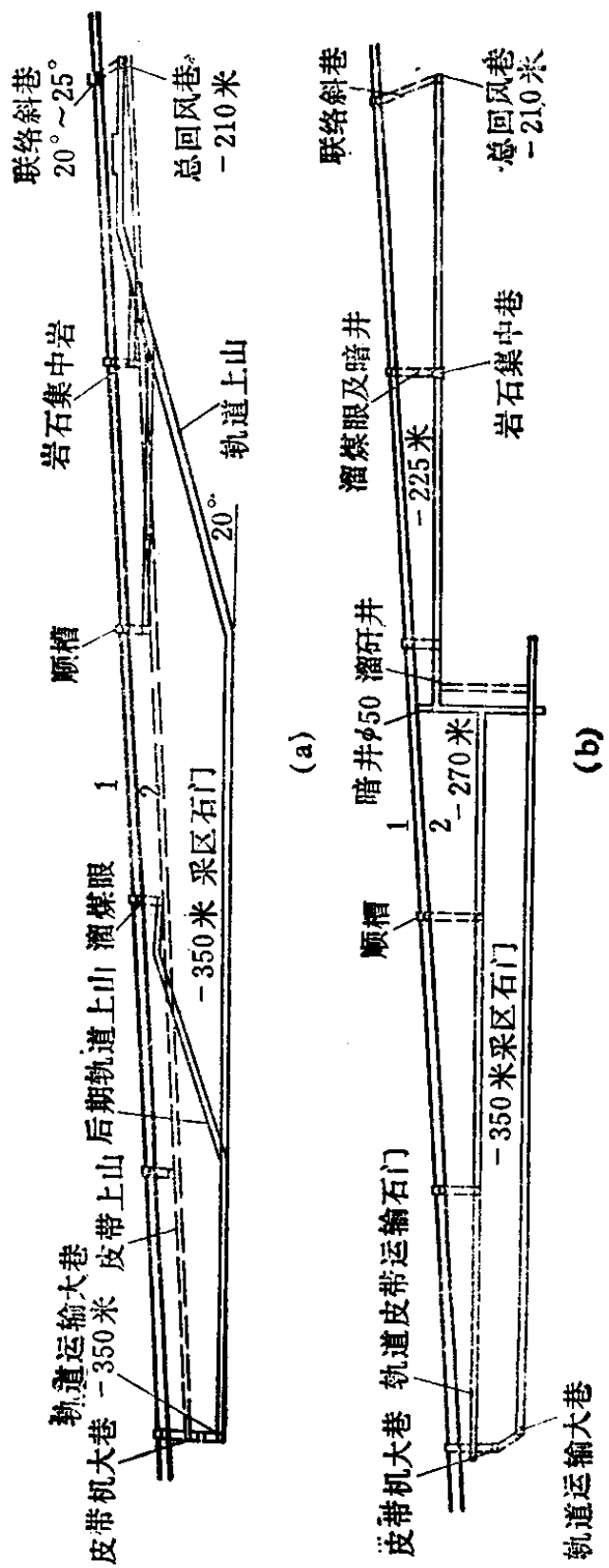


图 1.1
a—第 1 方案, b—第 2 方案