

矿井通风系统优化原理 与设计计算方法

徐竹云 编著



冶金工业出版社

TD724

X-997

国家教委博士点基金资助

· 矿井通风系统优化原理 与设计计算方法

徐竹云 编著

冶金工业出版社

内容提要

本书结合实例系统地论述了矿井通风系统优化原理,介绍了优化设计计算方法。主要内容包括:矿井通风系统的类型及专家咨询系统;矿山井巷断面优化;矿井通风网络及自然分风解算;各种类型通风网络的优化调节及扇风机的优化选型等。

本书可作为采矿工程、安全工程专业的研究生和大学本科生的教学参考书,也可供从事采矿工程设计、科研和生产部门的工程技术人员阅读。

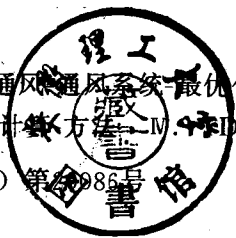
图书在版编目(CIP)数据

矿井通风系统优化原理与设计计算方法/徐竹云编著. 北京:冶金工业出版社, 1996. 3

ISBN 7-5024-1803-2

I. 矿… I. 徐… III. ①矿山通风-通风系统-最优化-理论
②矿山通风-通风系统-设计, 最优化-计算方法—M. 471.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 0986 号



出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷39号, 邮编100009)

河北省固安印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1996年3月第1版, 1996年3月第1次印刷

850mm×1168mm 1/32; 7.125印张; 185千字; 216页; 1-600册

11 元

作者简介

徐竹云，浙江省建德县人，1957年生。1982年毕业于南方冶金学院，同年9月考入东北大学（原东北工学院）攻读硕士学位，毕业后留校任教。于1990年获博士学位，1992年破格晋升为副教授。从事矿山通风、除尘、系统安全工程的教学与科研工作。参加编写《系统安全工程》、《防火与防爆》、《科技英语阅读》等教材。先后承担国家教委博士点基金项目、省部委及国家“八·五”攻关子课题的研究，曾获辽宁省百名青年先进（科技）工作者及沈阳市优秀教师等称号。发表论文20余篇。

ABF 38/05

序

矿井通风系统是由通风网路、通风动力和通风控制设施有机构成。矿井通风系统与井下各作业地点相联系,通风系统好坏对全矿井的通风安全状况具有全局性影响。建立和维护完好的通风系统是搞好井下通风安全工作的基础。

近年来,矿井通风系统优化理论的研究取得了重大进展。矿井通风系统优化应达到两个目标,一是改善作业环境,提高系统的有效性和可靠性;另一是节省通风费用,提高经济效益,两者必须同时兼顾。矿井通风系统优化包括两类问题,一类问题是通风系统优化布局;另一类是通风网路中风流的优化调控。通风系统布局,目前主要依靠人工决策,但这部分内容在整个系统优化中起着举足轻重的作用。东北大学徐竹云博士在本书中应用“人工智能”科技成果,采用专家系统建立起一个适合我国金属矿山确定井筒布置方式和通风方式的专家咨询系统,为通风系统决策选型提供了新的方法和工具。

在通风系统优化布局方面,进排风井的个数和断面的确定十分重要。多井排风可降低通风能耗,但增加开凿和维护费用。对于一定开采深度和走向长度的矿井,究竟采用几个排风井,每一个排风井多大断面面积在技术经济上最合理?作者针对这一问题,运用东北大学矿井通风研究室的集体研究成果,介绍了一个分层优化计算模型,给出了在经济断面条件下确定井筒数目的计算方法与程序。

在网路优化调控方面,第一个值得注意的问题是合理分风原则。多风路排风的通风网,各风路的排风量应与该风路的风阻相适应,以减少因人工分风不合理而产生的附加能量损失。另一个值得重视的问题是复杂通风网路中的风量优化调节。一般而言,对于既包括自然分风又包括控制分风的复杂通风网,为达到既定的优化

目标所进行的调节计算是一个非线性规划问题。本书作者引用“容量”模型建立起一个全局优化非线性规划模型，介绍了解算方法，编制了计算机程序，可供生产和设计部门进行通风网路全局优化调节计算。这一计算方法的提出，把网路优化问题的研究引向深入。

本书是作者在综合国内外矿井通风理论与技术发展的最新研究成果的基础上，结合他本人多年的研究成果，而编写的一部专著。其特点是理论严谨，理论联系实际。作者在书中公开发表了多年来精心编制的若干实用计算程序，并给出了计算实例，为生产和设计部门实际应用提供了手段和工具。本书的出版对矿井通风理论与技术研究，特别是计算机的应用，必将起到巨大的推动作用，是我国矿井通风与安全技术发展中一项重要贡献。

王英敏于东北大学

1995年9月

前 言

矿井通风系统是矿山生产系统的重要组成部分。合理的矿井通风系统是矿山安全生产的可靠保证。

矿井通风系统优化内容很多,本书主要讨论合理系统的确定、风道断面优化和通风网络优化等三个方面的内容。

一个合理的通风系统的确定在矿井通风优化工作中至关重要。经过几十年的发展,冶金矿山通风积累了丰富的经验,在入、排风井筒的布置和通风方式方面出现了多种多样的形式。专家系统在通风系统确定中的应用,推动了矿井通风系统优化的发展。

风道断面优化研究在国内开展得较为热烈。基于不同的数学模型获得了一系列研究成果,其中大部分研究是以定风量为前提的。对变风量、变断面问题给出的分层优化双优模型,为探索合理井筒断面和个数提供了一种新的思路。

矿井通风网络优化是系统优化的核心内容。通风网络研究已持续了一个多世纪,风网解算已跃进到一个新的高度。控制型分风网络的优化相对成熟,已经有了很多卓有成效的计算方法。对一般型通风网络,比较流行的做法是,先用分解法将其转化为控制型分风网络,再进行优化。无论如何,这种转化是有一定前提的,可分解条件的导出澄清了一些似是而非的问题。用非线性规划直接实现全局优化,是一般型通风网络优化中有效的新手段。

本书是在综合国内外通风研究新发展的基础上,结合作者近几年对该专题的研究成果编撰而成。在研究工作中,一直得到东北大学王英敏教授的悉心指导和安全工程教研室老师们的热情帮助,在此表示衷心的感谢。同时,感谢书中所引用的参考文献的作者们。

谨以此书献给从事采矿工程设计、科研和生产部门的工程技术人员及冶金院校的采矿、安全专业的师生。

来自读者的任何批评和商榷,将受到作者的衷心欢迎和感谢。

作者

1995年8月于沈阳

目 录

1 矿井通风系统

1.1 矿井通风系统类型及构成要素.....	(1)
1.1.1 拟定矿井通风系统的一般原则.....	(1)
1.1.2 统一通风与分区通风.....	(3)
1.1.3 进风井与排风井的布置.....	(5)
1.1.4 主扇工作方式及安装地点.....	(6)
1.1.5 通风网络.....	(8)
1.2 矿井通风系统的评价.....	(12)
1.2.1 定性评价.....	(13)
1.2.2 定量评价.....	(13)
1.3 通风系统优化选择的专家咨询系统.....	(15)
1.3.1 专家系统概述.....	(16)
1.3.2 矿井通风系统选择的专家系统知识库.....	(18)
1.3.3 专家系统的推理机制.....	(20)
1.3.4 人机接口.....	(22)
1.3.5 系统应用.....	(23)

2 矿井风道断面优化

2.1 井巷费用计算.....	(27)
2.1.1 井巷基建费.....	(27)
2.1.2 维护费(经营费).....	(30)
2.1.3 通风动力费.....	(30)
2.2 风道断面优化.....	(31)
2.2.1 风道最优断面.....	(31)
2.2.2 风道合理断面.....	(34)

2.3 多排风井系统井筒最优断面及个数	(38)
2.3.1 数学模型	(39)
2.3.2 过渡限值计算分析	(42)

3 矿井通风网络

3.1 基本概念及特性	(46)
3.1.1 分支和节点	(46)
3.1.2 网络及类型	(48)
3.1.3 回路、通路、树与割集	(48)
3.2 通风网络拓扑关系的数学表达	(52)
3.2.1 通风网络图	(53)
3.2.2 邻接矩阵 D	(53)
3.2.3 基本关联矩阵 A	(54)
3.2.4 树及其棵数	(55)
3.2.5 独立回路矩阵 B	(56)
3.2.6 独立割集矩阵 C	(58)
3.2.7 通路矩阵 P	(60)
3.2.8 通风网络中各矩阵之间的关系	(62)
3.3 网络参量及基本方程	(65)
3.3.1 网络基本参量	(65)
3.3.2 网络基本方程	(66)
3.4 通风网络平衡图	(70)
3.4.1 平衡图的基本性质	(70)
3.4.2 平衡图与网络图的关系	(73)

4 矿井通风网络风量自然分配

4.1 回路风量法	(75)
4.1.1 数学模型	(76)
4.1.2 牛顿法	(77)
4.1.3 Scott-Hinsley 法	(81)

4.1.4	线性代换逼近法	(82)
4.1.5	回路圈划与风机特性曲线拟合	(86)
4.2	割集风压法	(88)
4.2.1	数学模型	(89)
4.2.2	牛顿法	(91)
4.2.3	PSH 法	(94)
4.3	节点风压法	(96)
4.3.1	牛顿法	(96)
4.3.2	JSH 法 (主节点风压偏微分近似法)	(99)
4.3.3	线性代换法	(102)
4.4	风网解算方法的比较分析	(104)

5 矿井通风网络优化

5.1	自然分风网络	(107)
5.2	控制型分风网络	(110)
5.2.1	关键路径法 (Critical Path Method)	(111)
5.2.2	通路法	(120)
5.2.3	回路法	(123)
5.2.4	平衡图调节法	(125)
5.2.5	典型调控方案比较	(128)
5.3	一般型通风网络	(130)
5.3.1	简单角联网络的调节分析	(131)
5.3.2	一般型通风网络的可分解条件	(137)
5.3.3	用非线性规划技术进行全局优化	(150)

6 扇风机优选

6.1	机站最优工况的确定	(164)
6.1.1	通路风压的分配	(164)
6.1.2	机站的局部阻力	(166)
6.2	风机优选	(168)

6.2.1 扇风机数据库	(168)
6.2.2 风机筛选	(171)
附录1: 矿山井巷立体图消隐计算源程序及说明	(174)
附录2: 非线性规划全局优化源程序及说明	(201)

1 矿井通风系统

矿井通风系统是由向井下各作业地点供给新鲜空气并排出污浊空气的通风网络、通风动力和通风控制设施构成的通风体系。矿井通风系统包括通风方式、主要通风机工作方法和通风网络形式。矿井通风方式包括进风井（或平硐）和排风井的布置方式。主要通风机（主扇）工作方法因其机站的地点和数目的不同而有多种形式。通风网络是指井下各风路按各种形式连接而成的网络，按其规模分采场通风网络、中段通风网络 and 全矿通风网络。建立和完善矿井通风系统是矿井安全生产的基本保证。

1.1 矿井通风系统类型及构成要素

1.1.1 拟定矿井通风系统的一般原则

(1) 拟定矿井通风系统应与矿山生产发展和安全卫生标准的要求相适应。良好的通风系统应能快速地将生产过程中产生的大量烟尘及时排走，保证井下各作业地点有良好的空气质量，舒适的作业条件，促进生产发展，保护矿工安全、健康。

(2) 拟定矿井通风系统，应在保证安全生产的前提下，力求经济合理。既要根据需要开凿一定数量的专用通风井巷，又要充分利用已有的生产井巷兼作通风井巷，以减少通风工程量。既要供给井下足够数量的新鲜空气，又要尽量减少漏风，提高有效风量率，以节省通风能耗。总之，要在保证良好通风效果的前提下，尽量降低通风费用。

(3) 拟定矿井通风系统应从矿山具体条件出发，因地制宜，不拘一格，建立起最切合实际情况的通风系统。要根据矿山地形地貌、矿床赋存状况，矿体产状形态，矿井开拓方式、开采方法特点以及矿井生产规模、开采强度等客观条件，确定合理的通风系统。

(4) 矿井通风系统不是一成不变的。一个矿山，在不同生产阶段，随着矿体自然条件、开采规模和开采方法的变化，矿井通风系统也应随着有不同程度的变化。在矿井生产的不同时期，可能会采用两种完全不同的通风系统。例如，由浅部开采过渡到深部开采；由单翼开采过渡到两翼开采；由单一矿脉开采过渡到多层矿脉同时开采以及由小规模生产扩大为高产量大规模生产等情况下，对矿井通风系统及时进行调整是完全必要的，合理的。至于局部性调整，更是经常的。

(5) 矿山生产虽有一定计划性，但由于地质条件多变，生产计划的变动较大。因此，拟定矿井通风系统时，应考虑具有较大的适应性和一定的备用能力。

(6) 矿井通风系统设计方案应结合开拓方案一并提出，以便全面分析比较有关的技术因素及其间的相互制约关系。对多个通风系统设计方案，应进行技术经济比较，通过优化方法对其进行筛选，最后确定出最优方案。

拟定矿井通风系统还应遵守下述有关规定：

1) 进风井巷与采掘工作面的风源含尘量不得大于 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。对于粉尘中游离二氧化硅含量大于10%的新建矿山，禁止用箕斗井或混合井作进风井。除非采取了可靠的防尘（净化）措施，使风源含尘量达到上述要求。

2) 主要回风井巷不得作为人行道，井口进风不得受矿尘和有毒气体污染，井口排风不得造成公害。

3) 矿井有效风量率应在60%以上。

4) 采矿场，二次破碎巷道应尽可能利用贯穿风流通风，电耙司机应位于上风侧。

5) 井下破碎硐室和火药库，必须有独立的回风线路。

6) 废弃的井巷和采空区必须及时封闭，未经安全防尘部门允许不得打开。

7) 禁止串联通风，否则必须采取空气净化措施或沿途掺新风的办法，保证入风风质合格。

8) 密闭、风门、风桥、风硐等通风构筑物, 必须建立验收和维修制度, 保持严密完好。

9) 主扇应有反风功能(或装有反风装置), 保证能在 10min 内改变风向。每年至少要进行一次反风试验。主扇反风必须经矿总工程师批准。

1.1.2 统一通风与分区通风

一个矿井构成一个整体的通风系统称为统一通风。一个矿井划分成若干个相对独立的通风系统称为分区通风。拟定矿井通风系统时, 首先应考虑采用统一通风还是分区通风。

我国金属矿山过去采用统一通风较多。统一通风, 全矿一个系统, 入、排风比较集中, 使用通风设备较少, 便于集中管理。对于开采范围不太大的矿井, 特别是深矿井, 采用统一通风比较合理。

近年来, 不少金属矿山, 在调整通风系统过程中, 根据各矿条件, 将一个矿井划分成若干个独立的通风区域, 实行分区通风, 收到较好的通风效果。分区通风具有风路短、阻力小、漏风少、网络简单及易于控制等优点。因此, 在一些矿体埋藏较浅且分散的矿山得到了广泛的应用。但是, 由于分区通风需要具备较多的人、排风井, 它的使用就受到一定的限制。是否适合采用分区通风, 主要看开凿通达地表的通风井巷工程量大小或有无现成的井巷可供利用。一般来说, 在下述条件下, 采用分区通风比较有利。

(1) 矿体埋藏较浅且分散, 开凿通达地表的通风井巷工程量较小, 或有现成的井巷可供利用。

(2) 矿体埋藏浅, 走向长, 产量大, 若构成一个通风系统, 风路长, 漏风大, 网络复杂, 管理困难。

(3) 开采矿石或围岩有自然发火危险的规模较大的矿井。

分区通风不同于在一个矿区内, 因划分成几个井田开拓, 而构成的几个独立的通风系统。分区通风的各通风区域, 同处于一个开拓系统中, 相互间存在着生产上的一定联系。分区通风也不同于多台扇风机在一个通风系统中作并联通风。分区通风的各通

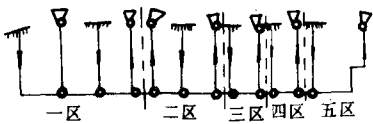
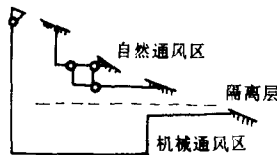
风区域分别有各自的人风系统、回风系统和扇风机，各区的通风系统是相对独立的。

实行分区通风，首先要合理地划分通风区域，以防各系统间风流互相干扰。划分通风区域，应从矿体赋存条件和开采条件出发，将矿量比较集中、生产上密切相关的地段，划在一个通风区内。表 1-1 为几种主要的分区类型及示例。

表 1-1 典型分区通风系统类型及适用条件

序 号	类 型	适用 条件	实 例
1	按矿体分区	矿井具有相对集中分布的几个大矿体或矿体群，将最靠近的矿体（群）划为一个通风区，将全矿划分为若干个通风区	1. 专用入风井；2. 提升井；3. 主扇 柴河铅矿按矿体分区通风示意
2	按中段分区	开采沿山坡分布的平行密集脉状矿床，矿体及各中段巷道距地表较近，经常有旧巷或采空区与地表贯通，上下中段之间联系较少	594 538 483 431 378 324 270 西华山鸽矿水平分区通风示意

续表 1-1

序 号	类 型	适用 条件	实 例
3	按采区分区	矿体走向特别长，开采范围很广的矿井。	 龙烟庞家堡铁矿分区通风示意
4	按通风方法分区	浅部矿体基本采完，剩余残矿开采作业量小，且有大量空区通地表，纳入深部主扇通风系统时难于管理，将此部分独立隔离出来，实行自然通风	 自然通风与机械通风分区图

分区通风时，各分区通风系统之间的联络巷道应予以隔离，使风流互不串通。但是，当两通风系统之间的联络巷道只有在入风系统之间，不进行隔离也不至于造成危害时，将两个人风系统联合在一起，在技术上也是可行的。当然，从严格意义上讲，这种情况已不属于分区通风，而成为多风路、多扇风机并联通风系统。

1.1.3 进风井与排风井的布置

每个通风系统至少要有有一个可靠的进风井和一个可靠的排风井。在一般情况下，均以罐笼提升井兼作进风井，而箕斗井和箕斗、罐笼混合井则不作进风井。这是因为箕斗装卸矿时所产生的大量粉尘能造成入风流污染的缘故。排风井一般是专用的，因为风流中含有大量有毒气体和粉尘。有些矿山，箕斗井专作提升矿岩之用，无人员通行，则可兼作排风井。

按进、排风井的相对位置，可把井筒布置方式分为三类九种，表 1-2 列出了各种布置方式及简例。