

# 呼吸器防护工程学

Protective Engineering for  
Self-Contained Breathing Apparatus

李 谦 主编

Edited by Li Qian

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

# 呼吸器防护工程学

Protective Engineering for Self-Contained Breathing Apparatus

李 谦 主编

Edited by Li Qian

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

## 图书在版编目(CIP)数据

呼吸器防护工程学/李谦主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2009. 11

ISBN 978-7-5646-0397-7

I. 呼… II. 李… III. 呼吸器—防护工程 IV. TH78

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 120291 号

书 名 呼吸器防护工程学

主 编 李 谦

责任编辑 李士峰 刘社育

责任校对 朱晓雪 何晓惠

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市解放南路 邮编:221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 北京兆成印刷有限责任公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16

印 张 25.5

字 数 430 千字

版次印次 2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

印 数 1~3100 册

定 价 96.00 元

(若图书出现印装质量问题,本社负责调换)

## 内容提要

本书简要介绍了呼吸器的起源与发展,深入探讨了呼吸器防护工程学的研究对象与内容、人体呼吸的生理规律、有害气体及其对人体呼吸的影响、呼吸器分类及防护原理、呼吸环境与呼吸防护规律、呼吸器防护工程设计与计算、正压氧气呼吸器的应用与性能检测,介绍了世界各国典型的自给闭路式压缩氧气呼吸器。书中系统总结了正压氧气呼吸器的基本概念、基本理论、应用技术和设计原理,填补了呼吸器防护工程学科的系统理论空白。

本书可供从事呼吸器防护工程学和自给闭路式压缩氧气呼吸器工程装备的研究人员、设计人员、高等院校的师生、公安消防部队指战员和应急救援人员学习参考。

## Summary

The origin and its development of the breathing apparatus is briefly introduced in this book, and the research objectives and contents of the protective engineering for the breathing apparatus, the physiological rules of the human respiration, the harmful gases and its effects to human respiration, the classification of the breathing apparatus and its protective theories, the respiratory environments and the rules of the respiratory protection, the protective engineering design and the calculation of the breathing apparatus, the application and tests of the positive pressure compressed oxygen breathing apparatus are discussed in detail, and the self-contained close-circuit compressed oxygen or compressed oxygen-nitrogen type breathing apparatus home and abroad are also representatively introduced. The basic concepts, the basic theories, the application technologies and the design principles are systematically summarized, and the subject of the breathing apparatus protective engineering is set up.

The book can be taken as a reference for the researchers, the designers, the teachers and the students of the universities and colleges, the firefighters, and the emergency rescuers who engaged in the study and application of the breathing apparatus protection engineering and the self-contained close-circuit compressed oxygen or compressed oxygen-nitrogen type breathing apparatus.

# 编 委 会

主 编 李 谦

编 者 李新年 李小银 李新文

李新浩 侯昱瑾 毕 赢

## 主 编 简 介



李谦,男,1946年4月生,河南省洛阳市人。1966年河南省开封师范大学毕业,2006年到加拿大维多利亚大学进修。现任山西虹安科技股份有限公司董事长、教授级高级工程师。

2005年被中国经济发展研究中心授予“中国最具影响力企业家”称号。1984年至1997年任山西省运城市煤矿机械厂厂长。1993年因成绩突出被运城市劳动竞赛委员会评为三等功。

1995年10月引进美国当时先进的正压氧气呼吸器技术,并进行消化、吸收和再创新,自主研究开发出中国创造的第一台虹安牌自给闭路式压缩氧气呼吸器,为中国矿山应急救援队提供了安全可靠的呼吸防护装备,使中国矿山氧气呼吸器得以更新换代。后来主持设计的全面罩正压氧气呼吸器被评为山西省新产品一等奖,荣获“国家级新产品”称号。先后主持重点科研课题和项目十余项,共获科学技术进步奖五项,其中:小型截煤机获山西省科技进步三等奖;全面罩正压氧气呼吸器项目获山西省科技进步二等奖;自给闭路式压缩氧气呼吸器获公安部消防局科技进步三等奖;HAY-120正压氧气呼吸器获国家安全生产监督管理局安全生产科技成果三等奖;全面罩正压氧气呼吸器推广项目荣获太原市优秀成果转化奖。

主编《呼吸器应用技术》著作一部,在国内外刊物和会议上发表论文二十多篇。

## About the Author



Liqian, male, born in 1946 at Luoyang, Henan province, graduated from Kaifeng Normal University in 1966. He studied at Victoria University of Canada in 2006. He now is a professor class senior engineer, and the board chairman of Shangxi Hong'an Technology Limited Company.

Liqian was awarded one of the most influential entrepreneurs by the China Economic Development Research Center in 2005. He was the director of the Coal Mine Machine Mill at Yuncheng city, Shanxi province during 1984~1997. And due to his outstanding achievements, he gained the third-class merit from the Labor Contest Committee of Yuncheng, Shanxi province in 1993.

He introduced the advanced technique of positive pressure oxygen respirators from America to China, and then developed the first self-contained close-circuit compressed oxygen respirator of Hong'an brand that provided to mine emergency rescuer crew as safety breathing apparatus protection equipment and the situation was got rid of that oxygen respirator of our mine only depended on the import products. He organized and designed the full facepiece mask positive pressure oxygen respirator which obtained the first prize as new product in Shanxi province and national new product. He also took charge more than ten major research projects and subjects, obtained five science and technology innovation prizes, as follows: the minitype coal cutter obtained the third class prize of scientific and technical innovation in Shanxi province; the full facepiece mask positive pressure oxygen respirator obtained the second class prize of scientific and technical innovation in Shanxi province; the self-contained close-circuit compressed oxygen respirator obtained the third class prize of scientific and technical advance in Fire-fighting Bureau, Ministry of Public Security, HAY-120 positive pressure oxygen respirator gained the third class prize of science and technical fruits in the State Administration of Work Safety, the full facepiece mask positive pressure oxygen respirator also obtained the fruit conversion prize.

As editor in chief, he wrote a book named "Application Technology for Respirators", and published more than twenty papers in national and international journals.

# 序



呼吸器防护工程学,是人类防护工程装备理论研究的新学科,是社会科学研究领域的新课题,是应用人体呼吸生理学、心理学、卫生学、呼吸力学、物理化学、燃烧学、气象学、水文学、环境学、热力学、材料工程学、机械电子学、人机工程学、安全工程学等多学科知识融合起来的综合性学科。

呼吸器防护工程学是一门新学科,需要进行全面深入的研究。随着人类的进步、社会的发展,人类活动的空间越来越广阔,呼吸器的使用领域也越来越广泛,太空、地面特殊密闭场所、地下、水中都可能存在有毒有害气体,属特殊的缺氧无氧环境。自给闭路式压缩氧气呼吸器,是保证在这些环境中的作业人员的安全及身体健康的个人呼吸保护装备,是航天航空、国防、公安消防队和矿山应急救援队员必备的个人防护装备之一。然而,国内外目前还没有呼吸器防护装备特别是呼吸器防护工程学方面的完整的学科体系和系统理论,严重制约了呼吸器防护工程学学科、呼吸器防护工程技术和呼吸器防护装备的发展。

本人进行人体防护工程装备——自给闭路式压缩氧气呼吸器研究设计生产实践十六年,经历了我国自给闭路式压缩氧气呼吸器快速发展的各个历史阶段。通过对呼吸器防护工程学多年的研究,特别是通过编著《呼吸器应用技术》一书,对呼吸器防护工程学进行了较为系统的探索,提出了呼吸器防护工程学这一学科体系的基本概念、基本理论和基本方法,以期为人类呼吸器防护工程学学科的发展做些基础性工作。

呼吸器防护工程学是一门多种学科相互交叉与结合的学科,还需要进行



全面深入的研究,还有待后人孜孜不倦地探索。长江后浪推前浪,我深信:科学的春天,一定会垂青那些懂得怎样追求她的人,那些善于独立思考的人,那些具有锲而不舍精神的人。今天抛出一块砖,明天一定能引来一捧玉,迎来呼吸器防护工程学发展的春天!

世上无难事,只要肯攀登。

未来,我们一定会构筑起一道人类呼吸保护的铁壁铜墙,为全人类做出更大的贡献!

李 谦

二〇〇九年十月十八日

# | Preface |

Respirator Protection Engineering, as a new subject of theoretical and practical research on individual protective equipment, is synthetic subject that involves physiology of human respiration, psychology, hygienic, breathing mechanic, physical chemistry, combustion science, meteorology, hydrology, environics, thermodynamics, material engineering, mechanical electronics, human engineering, and safety engineering etc.

I have fortunately engaged in the design, research and production on self-contained close-circuit compressed oxygen respirator, one of human protection engineering equipments, and have experienced every history stage of self-contained close-circuit compressed oxygen respirator in China. Through studying respirator protection engineering with fellow workers, especially writing the book named “Application Technology for Respirators”, I have systemically studied on respirator protection engineering and have put forward some basal concept, theory and method about respirator protection engineering subject for making the foundation on the development of respirator protection engineering subject.

Respirator protection engineering is a rising subject. With the development of our society, the space of human activity is more and more expansive; at the same time, the application fields of respirator are more and more extensive, such as outer space, special location on the ground, location under ground, location in the water, which belong to oxygen lack environment or oxygen free environment. The self-contained close-circuit compressed oxygen

respirator can offer protection for the safety and health for the workers under these environments as individual breathing protective equipment and it is one of necessary individual protection equipments for aerospace staff, national defense staff, and mine emergency rescuers. However, the lack of complete science system and systemic theory on the respirator protection equipments, especially the respirator protection engineering, seriously restrict the development of respirator protection engineering subject, respirator protection engineering technology and the respirator protection equipments.

This book explores the synthetic interdisciplinary subject of respirator protection engineering through the application of my and my fellow workers' research and practice results in the recent years, and I expect that the book, as a ladder of respirator researching for the later generation, is useful to the development of this new subject. Because of the time and level limited, I may have some oversight and insufficiency, so I am willing to ask the reader and the expert to criticize and points out mistakes.

Respirator protection engineering involves many research fields. Time makes it inevitable that in every profession, and young men replace the old. I believe: the great discovery belongs to the people who know how to find her, who like independence thought and who work with perseverance. Today I throw this book as a sprat and hope to catch more research results as a whale.

Nothing is difficult if you put your heart into it. I believe we will build a strong breathing defense system to make a contribution for human being all over the world in the future!

Li Qian

18—Oct—2009

# 目次

<b>第一章 呼吸器的起源及发展</b>	(1)
<b>第一节 呼吸器的起源</b>	(1)
一、“呼吸器”的辞源	(1)
二、呼吸器的起源	(1)
三、世界科学技术发展	(5)
四、呼吸器产生的推动力	(7)
<b>第二节 呼吸器的发展史</b>	(9)
一、法国呼吸器发展简介	(9)
二、英国呼吸器发展简介	(10)
三、德国呼吸器发展简介	(11)
四、美国呼吸器发展简介	(13)
五、俄罗斯(前苏联)呼吸器发展简介	(15)
六、波兰呼吸器发展简介	(17)
七、日本呼吸器发展简介	(17)
八、中国呼吸器发展简介	(18)
<b>第三节 呼吸器防护工程装备的发展趋势</b>	(22)
一、呼吸器的基本设计思想趋向	(23)
二、呼吸器防护系统的设计趋向	(23)
三、人体防护装备及其技术发展趋势	(24)
四、应急救援防护新技术	(26)
<b>第二章 呼吸器防护工程学的基本概念及研究内容</b>	(33)
<b>第一节 呼吸器防护工程学的基本概念</b>	(33)
<b>第二节 呼吸器防护工程学的研究对象与内容</b>	(33)

一、呼吸器防护工程学的研究对象 .....	(33)
二、呼吸器防护工程学的研究内容 .....	(34)
<b>第三章 人体呼吸的生理规律 .....</b>	<b>(47)</b>
第一节 人体呼吸生理学概述 .....	(47)
第二节 呼吸道结构与功能 .....	(48)
一、呼吸运动 .....	(48)
二、胸膜腔内压 .....	(51)
三、肺通气的阻力 .....	(52)
四、基本肺容积 .....	(53)
五、肺泡通气量 .....	(55)
第三节 人体呼吸机能 .....	(56)
一、人体呼吸 .....	(56)
二、气体交换 .....	(57)
三、血液运输气体的原因 .....	(58)
四、呼吸系数 .....	(60)
第四节 气体的基础理论 .....	(60)
一、气体的物理属性 .....	(60)
二、气体的扩散 .....	(63)
三、气体的爆炸范围与可燃性 .....	(64)
四、气体的溶解性 .....	(64)
五、大气 .....	(65)
六、大气压力及其作用 .....	(65)
七、空气中的主要成分 .....	(69)
第五节 人体外呼吸的数学模型 .....	(79)
一、数学模型的建立 .....	(79)
二、肺通气量 .....	(81)
三、正压氧气呼吸器内气体成分的调节 .....	(82)
四、氧气浓度分析 .....	(83)
第六节 缺氧对人体呼吸的影响 .....	(84)
第七节 氧气含量降低或提高时人体的反应规律 .....	(88)
一、氧气浓度降低时的人体反应规律 .....	(88)
二、氧气浓度提高时的人体反应规律 .....	(89)

<b>第四章 有害气体及其对人体呼吸的影响</b>	(91)
第一节 人与环境的辩证关系	(91)
第二节 毒物与化学品	(93)
一、有害气体的分类	(93)
二、有害气体侵入人体的途径	(94)
三、人体中毒的因素	(94)
四、有害气体的允许浓度	(95)
第三节 有害气体的性状与危害	(95)
一、二氧化碳	(95)
二、甲烷	(96)
三、一氧化碳	(97)
四、光气	(100)
五、二氧化硫	(100)
六、硫化氢	(101)
七、氨气	(102)
八、氮氧化物	(103)
九、氯气	(105)
十、氰化氢	(106)
十一、醛类	(107)
十二、汽油	(108)
十三、重碳氢化合物	(109)
十四、颗粒物	(109)
第四节 有害气体环境分类评价标准	(110)
一、规定使用有害气体允许浓度的原则和注意事项	(110)
二、混合有害气体允许浓度的制定	(111)
第五节 各种因素对于气体代谢引起的影响	(113)
第六节 二氧化碳浓度超标对呼吸的影响	(114)
第七节 氮氧化物对人体呼吸的影响	(116)
第八节 环境与人体健康保护	(119)
<b>第五章 呼吸器分类及防护原理</b>	(123)
第一节 呼吸器的分类及适用范围	(123)
一、按外界特性和外界压力分类	(123)

二、按对外界气体成分的呼吸防护程度分类 .....	(123)
三、按保护的自主性分类 .....	(123)
四、按呼吸器用途分类 .....	(124)
五、按产生人工大气的气源分类 .....	(124)
<b>第二节 氧气呼吸器及防护原理 .....</b>	<b>(125)</b>
一、压缩氧气呼吸器的组成 .....	(125)
二、压缩氧气呼吸器的工作原理 .....	(125)
三、正压氧气呼吸器 .....	(126)
四、负压氧气呼吸器 .....	(128)
<b>第三节 空气呼吸器及防护原理 .....</b>	<b>(129)</b>
一、空气呼吸器的工作原理 .....	(130)
二、空气呼吸器的结构 .....	(130)
<b>第四节 防毒面具及防护原理 .....</b>	<b>(135)</b>
一、面罩的防护原理 .....	(136)
二、滤毒罐的防毒原理 .....	(136)
三、吸附剂层的防毒原理 .....	(137)
四、过滤层的防毒原理 .....	(138)
<b>第五节 逃生自救型呼吸器及防护原理 .....</b>	<b>(139)</b>
<b>第六节 潜水呼吸器及防护原理 .....</b>	<b>(140)</b>
一、潜水呼吸器的技术参数 .....	(140)
二、潜水呼吸器的结构及原理 .....	(140)
三、潜水呼吸器的使用注意事项 .....	(142)
<b>第六章 呼吸环境与呼吸防护规律 .....</b>	<b>(143)</b>
<b>第一节 密闭空间环境与呼吸防护 .....</b>	<b>(143)</b>
一、按照空间特点分类 .....	(143)
二、按照管理分类 .....	(143)
三、准入密闭的空间特征 .....	(144)
四、密闭空间存在危害的来源 .....	(144)
<b>第二节 火灾烟雾特殊环境与呼吸防护 .....</b>	<b>(145)</b>
一、纤维物质燃烧时产生的有害气体 .....	(145)
二、橡胶燃烧时产生的有害气体 .....	(146)
三、火灾时对有害气体的防护 .....	(146)

第三节 自然发火区特殊环境与呼吸防护 .....	(147)
一、煤自然发火期的特点 .....	(147)
二、煤加热产生的气体及其性状 .....	(147)
三、早期发现自然发火的检测方法 .....	(150)
四、自然发火区的呼吸道防护 .....	(150)
第四节 炮烟特殊环境与呼吸防护 .....	(151)
一、煤矿和其他领域几种常用炸药爆炸后产生的气体 .....	(151)
二、炮烟环境下的呼吸道防护 .....	(151)
第五节 可燃易爆气体爆炸环境与呼吸防护 .....	(151)
一、燃烧的分类 .....	(152)
二、燃烧的特点 .....	(152)
三、可燃性气体爆炸的条件与爆炸危险度的评估方法 .....	(155)
四、CH <sub>4</sub> 爆炸后所产生的气体 .....	(156)
五、可燃易爆气体爆炸环境下呼吸道防护 .....	(158)
第六节 气溶胶对呼吸的影响与呼吸防护 .....	(158)
一、气溶胶微粒的分类 .....	(158)
二、气溶胶微粒的特性和对人体的影响 .....	(158)
三、对气溶胶危害的防护 .....	(160)
第七节 其他因素的影响与呼吸防护 .....	(160)
一、O <sub>2</sub> 在新陈代谢过程中的作用 .....	(160)
二、影响呼吸的各种因素 .....	(162)
三、空气中 O <sub>2</sub> 的含量 .....	(162)
四、氧气呼吸器中 CO <sub>2</sub> 的浓度 .....	(163)
五、氧气呼吸器的无效空间 .....	(163)
六、氧气呼吸器中有毒气体蓄积的危险性 .....	(164)
七、呼吸空气的温度和湿度的影响 .....	(166)
八、呼吸阻力的影响 .....	(167)
第七章 呼吸器防护工程设计与计算 .....	(169)
第一节 个人防护工程装备新课题 .....	(169)
第二节 正压氧气呼吸器的原理与结构 .....	(170)
一、正压氧气呼吸器的工作原理 .....	(170)
二、正压氧气呼吸器的结构 .....	(170)



第三节 正压性能的实现 .....	(171)
第四节 人机工程学在设计中的应用 .....	(174)
一、人机匹配性问题 .....	(175)
二、生理负荷问题 .....	(176)
第五节 技术参数的设计确定 .....	(177)
一、适用环境 .....	(177)
二、基本技术参数 .....	(177)
三、性能参数 .....	(177)
四、正压氧气呼吸器重要参数的确定 .....	(178)
第六节 理论研究与工程设计分析 .....	(180)
一、供氧系统 .....	(180)
二、压力容器(高压氧气瓶)设计与工程计算 .....	(181)
第七节 气动装置的设计与工程计算 .....	(184)
一、减压器(阀) .....	(184)
二、定量孔 .....	(190)
三、报警器 .....	(193)
四、自动补给阀 .....	(196)
第八节 低压储气装置设计计算 .....	(199)
一、正压弹簧的设计 .....	(199)
二、呼吸舱/气囊设计与计算 .....	(201)
三、呼吸阻力的产生 .....	(201)
四、呼吸阻力对人体的影响 .....	(202)
第九节 热力学在冷却降温除湿器设计中的应用 .....	(203)
一、人体排除热量的方法 .....	(204)
二、过热对人体的生理影响 .....	(210)
三、正压氧气呼吸器的热平衡 .....	(213)
四、二氧化碳吸收剂器皿装置的科学计算 .....	(217)
第十节 人性化的背具着装系统设计 .....	(224)
一、着装背负原理 .....	(224)
二、着装的结构 .....	(225)
第十一节 全面罩设计 .....	(226)
一、面罩的结构 .....	(226)