

〔日〕前澤正禮 著

# 安全工程学

化学工业出版社

# 安全工程学

〔日〕前澤正禮 著

化学工业出版社

## 内 容 提 要

本书全面论述了安全工程学的基础知识。全书分为安全工程学序论、产业灾害、爆炸、火灾、公害、环境有害物质、安全和人机学等章。本书对掌握产业灾害危险性的分析、合理评价方法,预防以及排除这种危险性的技术,提供了可靠的技术基础。从而学习本书对减少事故,消除危害,实现安全生产以及进一步研究和开发产业安全可靠的更高超技术可起到有力的推进作用。

本书内容丰富而广博,言简意明,图文并茂,是安全技术工作者的必修课本。也可作为院校化工(学)系在校学生学习的教材。还可供从事化工设计、研究、生产的干部和工程技术人员学习参考。

前 泽 正 禮

### 概説安全工学

共立出版株式会社, 1981

### 安 全 工 程 学

魏殿柱 董裕 译

责任编辑: 林展虹

封面设计: 季玉芳

\*

化学工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

\*

开本  $787 \times 1092^{1/32}$  印张 125/8 字数 278千字

1989年1月北京第1版 1989年1月北京第1次印刷

印数 1—2,070

ISBN7-6025-0240-8/TQ·193

定价3.95元

## 译 序

我们之所以决心翻译此书,是感到该书内容全面而丰富,既有详尽的理论阐述又有大量的数据和具体的防止灾害的措施。特别是对火灾、爆炸、公害、劳动环境有害物等从物性变化入手,观察并得出现场试验的实测数据,列出图表和公式并推导预测事故、采取防范事故的措施。对于深入学习工业安全技术和工业卫生,提高我国的安全管理水平,具有一定的参考价值。

安全技术时常被人们认为是简单的技术,只要原材料能被应用,生产过程又不出大事故,就是好工艺、好设备,没有把安全当作一门学科对待。本书作者提出“无灾害、无公害的工业技术才是真正的工业技术”,而达到这一水平还需要我们做很大的努力。翻译本书的目的就是要唤起同行们的责任感,努力向安全工程学的领域进军,把我国化学工业的生产事故降低到最低限度。

安全工程学是一门跨学科的科学。安全工程学虽不是直接追求经济效益,但是运用它的理论基础和提供的预防事故的措施,提高了工艺和设备的可靠性,抑制灾害和公害的反效果,使企业顺利的发展,实际上就是产生了经济效益。反之,即使是先进的装置、现代化的设备,若发生火灾或爆炸,生产就会停滞,任何高效率的企业也会因事故而造成巨大损失,甚至毁于一旦,这样的事实对我们的教训还少吗?

该书1973年出版至1982年已是第六次印刷。本书虽对石

油、化工论述得详尽一些，但对冶金、矿业、造纸、交通、船舶等各行各业凡是接触化学原料的单位和部门，都有着重要的参考意义。特别对于从事安全技术的工作人员、院校化工系的师生、企业工作多年的工程技术人员都很有必要一读。如果通过学习《安全工程学》，能够减少或避免事故，我们能够对从事化工的同志做一点贡献，将感到莫大欣慰。

本书在翻译过程中曾得到宁佩英、许鸿义、程文礼、韩文华等同志的具体帮助；刘彦文、李长武同志修改译文。全稿最终由何乃斌同志审校。在此向为本书出版而出力的同志们深表谢意。

由于译者水平有限，不妥之处敬请广大读者不吝指正。

# 前 言

从事社会活动的人们，在促进富裕社会健全发展的过程中，都希望能益寿延年。而这种愿望却恰恰被灾害否定了。阻碍社会活动的正是这种灾害。

在这些灾害中，如果我们能科学地研究一下在产业中发生灾害的实际情况和产业公害的现状，就会了解到这些灾害的发生是可以防患于未然的。

无事故、无公害的产业技术才是真正的产业技术。为了研究开发这种产业技术，并且进一步促进其发展，从事这项工作的年轻技术人员、研究人员以及每个学生，都要重视现存各种工程学与人之间的相互关系，即学会从安全工程学的观点出发考虑问题的方法，这是至关重要和有益的。

出于这样的考虑，本人利用1969年开始在德岛大学工学部给化学系的同学讲授安全工程学的机会，以当时的讲义内容为基础，又增加了在神户大学、京都大学的各工学部以及大阪大学基础工学部讲授安全工程学和环境化学的讲义内容，汇总成为本书。

笔者才疏学浅，无论如何也不能对内容广泛的安全工程学进行全面的论述。如果能为化学（工）系的年轻技术员、研究人员以及各位学生提供有关各领域存在灾害危险性的合理评价，使他们学会排除这种危险性的技术，从而有助于他们研究开发安全可靠的高超技术，则本人甚感荣幸。

作 者

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| <b>第一章 安全工程学序论</b> ..... | 1  |
| 1.1 安全的意义 .....          | 1  |
| 1.2 安全观念 .....           | 2  |
| 1.3 安全工程学 .....          | 3  |
| <b>第二章 产业灾害</b> .....    | 5  |
| 2.1 产业灾害的分析和研究 .....     | 5  |
| A. 最近产业灾害发生的情况 .....     | 5  |
| B. 灾害率 .....             | 5  |
| C. 产业灾害的种类 .....         | 9  |
| D. 灾害分析 .....            | 12 |
| 2.2 防止事故的几个基本观点 .....    | 17 |
| A. 产业灾害一定能预防 .....       | 18 |
| B. 不要轻视失误或忽视事故 .....     | 18 |
| C. 不要把事故原因归结为一点 .....    | 19 |
| D. 正确选定措施并迅速实施 .....     | 20 |
| 2.3 安全性的评价 .....         | 24 |
| <b>第三章 爆炸</b> .....      | 26 |
| 3.1 燃烧和爆炸 .....          | 26 |
| A. 燃烧形式 .....            | 27 |
| B. 爆炸的分类 .....           | 30 |
| C. 爆炸(燃烧)极限 .....        | 30 |
| D. 引燃 .....              | 38 |
| E. 着火 .....              | 45 |
| 3.2 爆炸性物质 .....          | 47 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 3.3 点火源(着火源) .....      | 58  |
| A. 最小点火能(最小着火能) .....   | 58  |
| B. 由高温物体引起着火 .....      | 66  |
| C. 绝热压缩 .....           | 71  |
| D. 静电 .....             | 73  |
| E. 自然发热, 自然着火 .....     | 80  |
| 3.4 高压气体 .....          | 85  |
| 3.5 分解爆炸 .....          | 93  |
| 3.6 粉尘爆炸 .....          | 97  |
| A. 粉尘爆炸的危险性 .....       | 98  |
| B. 影响粉尘爆炸的因素 .....      | 100 |
| C. 粉尘爆炸的难易 .....        | 107 |
| D. 粉尘爆炸的传播速度和爆炸压力 ..... | 112 |
| E. 粉尘爆炸的预防措施 .....      | 114 |
| 3.7 蒸气爆炸 .....          | 119 |
| A. 锅炉破裂 .....           | 119 |
| B. 水蒸气爆炸 .....          | 120 |
| 3.8 混合危险 .....          | 122 |
| A. 混合危险的分类 .....        | 122 |
| B. 影响混合危险的因素 .....      | 124 |
| 3.9 爆炸事故的防止和消除 .....    | 128 |
| A. 对危险物质的研究 .....       | 129 |
| B. 对点火源的控制 .....        | 131 |
| C. 防止爆炸危害扩大化 .....      | 139 |
| <b>第四章 火灾</b> .....     | 156 |
| 4.1 研究火灾的意义 .....       | 156 |
| 4.2 木结构火灾 .....         | 156 |
| A. 火灾的发展状态 .....        | 156 |
| B. 火灾中的温度 .....         | 158 |



|                       |            |
|-----------------------|------------|
| C. 火灾中空气成分的变化 .....   | 159        |
| D. 木材的可燃性 .....       | 160        |
| 4.3 耐火建筑物的火灾 .....    | 161        |
| A. 火灾进行状态 .....       | 161        |
| B. 火灾中的温度和燃烧速度 .....  | 162        |
| C. 内部装修材料对火灾的影响 ..... | 164        |
| D. 火灾中空气成分的变化 .....   | 165        |
| 4.4 塑料的热分解 .....      | 165        |
| 4.5 烟的危险性 .....       | 170        |
| 4.6 灭火 .....          | 174        |
| A. 灭火的原则 .....        | 174        |
| B. 灭火方法的分类 .....      | 175        |
| C. 冷却灭火 .....         | 175        |
| D. 稀释灭火 .....         | 175        |
| E. 火焰不稳定化灭火 .....     | 176        |
| F. 抑制燃烧灭火 .....       | 177        |
| G. 隔离灭火 .....         | 178        |
| 4.7 灭火剂 .....         | 179        |
| A. 水 .....            | 181        |
| B. 泡沫 .....           | 184        |
| C. 不燃气体 .....         | 188        |
| D. 挥发性液体 .....        | 191        |
| E. 干粉灭火剂 .....        | 194        |
| F. 特殊灭火剂 .....        | 196        |
| G. 关于灭火剂的应用 .....     | 198        |
| 4.8 灭火设备 .....        | 200        |
| 4.9 火灾的检测 .....       | 204        |
| <b>第五章 公害</b> .....   | <b>210</b> |
| 5.1 大气污染 .....        | <b>212</b> |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| A. 大气污染的含义 .....                      | 212 |
| B. 大气污染的种类 .....                      | 213 |
| C. 大气污染最近的发展趋势 .....                  | 217 |
| D. 大气污染与气象条件 .....                    | 219 |
| E. 石油中的硫 .....                        | 224 |
| F. 重油脱硫 .....                         | 229 |
| G. 排烟脱硫 .....                         | 235 |
| H. 控制氮氧化物的产生 .....                    | 255 |
| I. 烟的扩散稀释 .....                       | 258 |
| J. 烟扩散的推导方法 .....                     | 260 |
| K. 烟囱高度与形式 .....                      | 270 |
| 5.2 水质污染 .....                        | 273 |
| A. 水质污染和产业排水 .....                    | 275 |
| B. 产业废水处理的方法 .....                    | 281 |
| C. 由化工厂排水中回收有用物质 .....                | 301 |
| 5.3 噪声 .....                          | 301 |
| A. 声音的性质 .....                        | 302 |
| B. 声音的响度 .....                        | 305 |
| C. 噪声控制 .....                         | 309 |
| D. 消声装置 .....                         | 311 |
| E. 隔声, 其他 .....                       | 313 |
| 5.4 恶臭 .....                          | 315 |
| <b>第六章 环境有害物</b> .....                | 329 |
| 6.1 有害危险性的主要原因 .....                  | 330 |
| 6.2 容许浓度 (允许限量) .....                 | 334 |
| 6.3 气体中毒 .....                        | 340 |
| A. 二氧化硫 ( $\text{SO}_2$ ) .....       | 342 |
| B. 硫化氢 ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ..... | 343 |
| C. 一氧化碳 ( $\text{CO}$ ) .....         | 344 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| D. 氮及其氧化物 .....           | 346        |
| 6.4 缺氧 .....              | 347        |
| 6.5 有机溶剂中毒 .....          | 350        |
| A. 有机溶剂的一般毒性 .....        | 350        |
| B. 芳香烃类的毒性 .....          | 351        |
| C. 脂肪烃的毒性 .....           | 352        |
| D. 卤化烃的毒性 .....           | 354        |
| E. 醇类的毒性 .....            | 356        |
| F. 酯类的毒性 .....            | 356        |
| G. 醚类的毒性 .....            | 357        |
| H. 酮类的毒性 .....            | 358        |
| I. 醛类的毒性 .....            | 358        |
| J. 其他 .....               | 358        |
| K. 有机溶剂的毒性表示法 .....       | 359        |
| 6.6 金属中毒 .....            | 360        |
| A. 铅中毒 .....              | 361        |
| B. 砷中毒 .....              | 362        |
| C. 汞中毒 .....              | 362        |
| 6.7 粉尘的危害 .....           | 363        |
| 6.8 污染环境的改善 .....         | 365        |
| A. 通风方法的分类 .....          | 365        |
| B. 全面通风 (一般通风) .....      | 367        |
| C. 局部排气装置 .....           | 367        |
| <b>第七章 安全与人机学</b> .....   | <b>372</b> |
| 7.1 在设计阶段为安全所需的必要信息 ..... | <b>373</b> |
| 7.2 非视觉信息 .....           | <b>376</b> |
| 7.3 视觉信息 .....            | <b>378</b> |
| 7.4 仪表盘型式的选择 .....        | <b>379</b> |
| 7.5 仪表盘的设计 .....          | <b>380</b> |

|     |                          |     |
|-----|--------------------------|-----|
| 7.6 | 控制器的设计和选择 .....          | 385 |
| 7.7 | 工厂的楼梯和坡路 .....           | 388 |
| 终章  | 安全工程学在产业发展过程中肩负的任务 ..... | 391 |

# 第一章 安全工程学序论

## 1.1 安全的意义

人类的生活，经过以游牧、农耕为主的时代，逐渐向社会生产的分工过渡。在高效生产为生活所需的物质时，除依靠人的体力劳动以外，最初使用畜力，然后掌握使用水力、风力等自然能源，不久，小规模生产技术逐渐发展，从而使工业得以发展。由于十八世纪中叶的产业革命，将机械力大规模引进生产过程，以工业为主的各种产业的大规模化，为提高人民的生活作出了很大贡献。

在准备将原材料加工制成产品的过程中，原则上必须要有人的智慧的交流和能源的转移，但在能源转移的过程中，往往会发生事故。在产业振兴较早的欧美各国，随着能源利用的多样化和用量的增大，灾害的质和量也同时恶化，造成了令人脑火的痛苦经验\*。于是人们从苦难的教训中科学地追溯事故发生的原因，产生了防患于未然的想法。在重视人的生命的精神指导下积累起有关这方面的研究经验和成就，再加上近代随着事故的发生使生产下降，经济的发展受到阻碍。基于这样的认识，终于使防止工业灾害的技术得到了发展和普及。当然，工业的发展与一国的政治、经济有密切的

---

\* “在发展生产的同时也或多或少地发生过多起恶性重大事故，使许多工人部分或完全丧失劳动能力，……在曼彻斯特医院，1943年接受了962起由于机械事故造成人身伤害的治疗。另外，在该院负责地段内的灾害事故达2426起”（恩格斯著：“英国工人阶级的状况”，这可以使人了解当时的情况）。

关系，对此不能忽视，但考虑到日本的工业灾害的实际状况及其预防措施的现状，欧美各国在产业、特别是在工业发展的过程中经历了众多问题，自从明治维新以来日本在极短的期间内取得现代化的成功，得以与欧美各国并驾齐驱，因而在现代化的日本工业界呈现出极其复杂的状态。日本工业灾害问题的解决需要依靠全产业中的从业人员共同坚持安全的观念，树立普遍重视安全的思想，然后立足于科学，建立安全技术，发扬安全精神，以此作为产业健全发展的基础。

## 1.2 安全观念

随着以工业为主各种产业的高度发展，发生灾害\*的几率有增加的可能，所以必然会强烈要求提供防止灾害的措施。在此情况下，从重视人的生命的精神出发，以人道主义为根本，形成安全理想，这是理所当然的事，再加上由于产业灾害引起人的伤亡、物的损失以及社会信用的丧失等等，造成的经济损失非常之大，因此，由于产业的发展带来了许多社会利益的损失，进而大大阻碍了社会经济的发展。既然有这样的想法，如果再没有安全观念，就会给社会生活带来很大影响，并且仍然不能够消灭直接或间接威胁我们生活的灾害。换言之，只是站在人道主义的立场上是不可能指望预防灾害所不可缺少的具体措施能有什么发展的。为此，应该建立这样的安全观念：灾害的发生确实大大阻碍了产业经济的发展，但因灾害是由于能源失控而产生的现象，这就促使人

---

\* 所谓灾害的概念是由“事故”和“损失”两部分组成。灾害是“将人类社会和该社会中的某一部分作为一个系统看待，当该系统中由于某种原因产生不协调（事故），因而使正常的工作和生活发生障碍的现象（损失）”。

们通过发展科学技术建立正常控制能源的方法，以防止灾害于未然。

### 1.3 安全工程学

安全工程学 (Safety engineering) 主要是查明产业灾害发生的原因和经过以及关于防止灾害所需的科学技术知识体系。以此为目标,对于各种灾害的原因进行科学调查分析,找出科学的防止方法。主要是从产业的设施及设备规划、设计阶段之时起,同时考虑一切防止事故的相应措施,力求生产过程的健全化,高效率化,使生产活动顺利地走上正常轨道。这样才可以达到产业职工以及产业所在地的社会共同生存共同繁荣的目的。过去各种传统的工程学都是关于正常生产过程中的科学,是以能源和物质的动态为中心的科学。安全工程学则是针对伴随生产过程发生的灾害所做的科学调查研究,再结合人的关系,探讨如何健全生产过程的一门学科,它与物理学、化学,以及化学工程学、机械工程学、电工学、仪表工程学等密切相关,而且还涉及到药理学、卫生学、心理学、医学、经济学、法学以及经营管理学等,内容范围十分广泛。然而在对灾害进行调查研究的这一点上是与防灾工程学有共同之处,只不过防灾工程学是以天灾(自然灾害)为对象的,而安全工程学却是以人灾(人为灾害)为对象罢了。然而现代的科学技术不可能预先防止或改变地震、海啸、暴风雨、洪水、异常气象(大雨、异常干旱、积雪、气压变动等)等的各种现象,因而防灾工程学的重要课题就在于设法做好准确的预测和预报,借以减少受灾程度,但是由于这些天灾往往也是造成产业设备损坏的重要原因,所以根据预测预报,预先设法对产业设备采取各种适当的防护措施,就有

可能防止由此而引起的产业灾害<sup>1)</sup>。

针对如何消除随着工业的发展造成的公害问题，安全工程学就应该从保护人类健康和重视人的生命的角度出发，以消除妨碍生产因素，提高生产能力，进而促进产业发展、提高人类福利为目标，探讨如何追求安全的问题。在安全工程学中，还应该考虑研究人机学方面的一些问题，也就是以改善工作人员的工作条件，保护工作人员的健康，减轻疲劳，提高工作效率和生产效率为目的的各种问题，以及研究由于操作环境的不完备而引起的职业病的防止技术等重视人的因素的一些问题<sup>2)</sup>。

一般情况下，防止灾害的关键问题是建立安全学科，掌握安全技术，加强安全教育以及为了维护安全管理制定适当的规章制度三者的结合。但如果过分强调根据法规制定的规章制度，往往容易忽视为了防止灾害而建立安全学科掌握安全技术以及忽视加强安全教育的倾向。本来，法规制度只是规定必需的最低限度，所以不能说由于完全遵守了法规，就可免除一切灾害，所以认为只要加强法规就能确保安全的想法是不恰当的。

在技术革新时代当研究与开发新技术之际，各种危险性也增加了；由于这种危险性容易被人们忽视，所以更必须对安全工程学高度重视，并且致力于基础研究和应用，利用从中取得的知识，预测上述的危险性，从而采取措施，防治灾害于未然，努力促进工业的发展和社会福利的提高。

## 文 献

- 1) 井上：化学工学，35，1065（1971）
- 2) 井上：燃協誌，50，199（1971）



## 第二章 产业灾害

### 2.1 产业灾害的分析和研究

#### A. 最近产业灾害发生的情况

近来,日本的产业和经济的发展确实惊人,这是由于日本的产业工作人员的自觉和技术革新而取得生产技术的进步以及生产方式现代化的结果。实际上,截至1961年以前日本的产业扩大与职工人数的增加有很大的依存关系,因而产业灾害的伤亡人数也随之增加。自从1961年以来,由于日本全国对安全认识的提高和作业方式的机械化以及从科学的观点出发,一步一步地实施安全措施的结果,最近的死亡人数已经降至1961年的一半。图2.1所示为各类产业的重大灾害(指一次出现三人以上死伤者的灾害)的发生情况,其中以建筑业为最多,占全部灾害的一半以上。

在包括化学工业在内的制造业中,发生灾害的次数与设备大型化、高度化盛行的1970年相比减少了一半,对此应该高度评价。

对于灾害损失中最为沉痛的是死亡人数达到3000人以上的重大灾害的发生次数一年间竟有250次之多,对此现状不能不给予极大的关注。这些数字的减低说明立足于安全工程学、采取防止灾害措施的必要性。

#### B. 灾害率

灾害率是指对于产业灾害的发生频率和发生灾害的大小进行统计分析研究时所用的数值,其中包括频度率和强度率