

# Discussion on Safety Factor of Coal Mine Equipment

Qiang Qin<sup>1</sup>, Yuge Dong<sup>2</sup>, Kerong Jiang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Advanced Manufacturing Engineering, Hefei University, Hefei Anhui

<sup>2</sup>School of Mechanical Engineering, Hefei University of Technology, Hefei Anhui

Email: qinqianghf@163.com

Received: Dec. 10<sup>th</sup>, 2019; accepted: Dec. 30<sup>th</sup>, 2019; published: Jan. 6<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

This paper analyzes the following problems in the regulation of safety factor of coal mine equipment: Some safety factor regulations are high, some of the products with large specifications are limited, there is a technical conflict with the safety factor of foreign equipment, and some new product development and application have safety factor technology blind areas. The technical background of safety factor is analyzed, and the experience of safety factor management in related industries is studied. Suggestions for the revised management of coal mine equipment safety factors were put forward: The industry association took the lead in industrial, academic and research cooperation to carry out the revision work, and did a good job in the pilot work and transitional management work.

## Keywords

Coal Mining Equipment, Safety Factor, Standards, Revise

---

# 煤矿设备安全系数的探讨

秦 强<sup>1</sup>, 董玉革<sup>2</sup>, 蒋克荣<sup>1</sup>

<sup>1</sup>合肥学院先进制造工程学院, 安徽 合肥

<sup>2</sup>合肥工业大学机械工程学院, 安徽 合肥

Email: qinqianghf@163.com

收稿日期: 2019年12月10日; 录用日期: 2019年12月30日; 发布日期: 2020年1月6日

---

## 摘 要

论文分析了煤矿设备安全系数的规定存在的以下问题: 部分安全系数规定偏高、部分大规格的产品使用

文章引用: 秦强, 董玉革, 蒋克荣. 煤矿设备安全系数的探讨[J]. 矿山工程, 2020, 8(1): 17-23.

DOI: 10.12677/me.2020.81003

受限、和国外设备安全系数有一点的技术冲突、部分新产品开发应用存在安全系数技术盲区等；分析了安全系数的技术背景，研究了相关行业的安全系数管理经验；提出煤矿设备安全系数修订管理建议：行业协会牵头产学研合作开展修订工作，做好试点工作和过渡期管理工作。

## 关键词

煤矿设备，安全系数，标准，修订

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

安全系数是进行土木、机械等工程设计时，为了防止因材料的缺点、工作的偏差、外力的突增等因素所引起的后果，工程的受力部分理论上能够担负的力必须大于其实际上担负的力，即极限应力与许用应力之比，二者之比叫做安全系数。

我国煤矿设计领域通常采用安全系数法设计重要设备，并对其进行了明确规定，应用于设备即煤矿设备安全系数。如《煤矿安全规程》[1]第 374 条、第 408、第 416 条分别规定了带式输送机、钢丝绳、立斜井连接装置的安全系数要求；《MT355-2005 矿用防坠器技术条件》规定[2]，主拉杆的强度应按最大终端载荷和材料的抗拉强度计算，安全系数不应小于 13。对于相关设备，多数采用类比方法，如罐笼的计算，其关键构件均采用不小于 13 或 10 倍安全系数的设计原则进行设计或校核[3]。

长期以来，安全系数法成为煤矿设计、设备制造单位、用户单位专业人员的共识，并严格执行，在我国煤矿安全生产过程中发挥了重要作用。然而，随着采矿业的发展，井筒深度和载荷要求越来越大，新产品的出现，关键部件受力性质复杂化。以上问题的出现形成了一些新的矛盾：1) 和国外相比，部分安全系数明显偏高，其结果是设备体型大、成本高、能耗高，出口产品缺乏竞争力，内需产品投资高。2) 部分关键部件型号需要升级，受空间限制，有时难以布置设备，使用受到一定限制；3) 部分新型设备受力情况复杂，较大规格的产品难以实现传统安全系数的规定，产品的使用受到限制；4) 部分进口产品，是否需要采用我国的安全系数，在行业内有时候还存在一定的意见分歧。

基于此，我国部分专家学者积极探索，探讨解决工程领域的以上实际问题的方法。李玉瑾[4]对立井提升系统钢丝绳安全系数进行了深入研究，提出了全新的立井提升钢丝绳安全系数计算方法，基于实例，发现提升钢丝绳的安全系数明显富裕，和国外钢丝绳安全系数的最小值基本一致。王秀云[5]针对国内外带式输送机安全系数进行了对比分析，从技术上论证了我国现有的输送带安全系数规定比较保守，建议有条件地降低安全系数，并建议国外厂商对我国提供的设计及设备，不应强制按照我国标准规定执行。以上表明，我国的有关安全系数规程、标准在技术上存在一定的滞后现象。

然而，规程和标准是具有法律效应的，只要生效，就需要严格执行。规程和标准是一把双面刃，一方面，对生产过程中的安全保障发挥了重要作用，另一方面，在一定程度上限制了技术的发展。未来是否需要学习国外经验适度修改安全系数的规定，如何修改和执行，将是摆在我国煤炭领域专家、学者、行业管理部门非常现实的问题。

## 2. 煤矿设备安全系数的解读

在机械设计过程中，可以采用传统的机械设计安全系数法和可靠性安全系数法，安全系数是强度和

应力的比值,可运用于一般机械设计。煤矿设备安全系数延伸了以上概念,有时需要部件的安全系数,即部件极限荷载与最大工作载荷的比值,具有一定的特殊性。以下分别说明。

## 2.1. 机械设计安全系数与可靠性安全系数

传统的机械设计安全系数  $n$ ,综合载荷确定的准确程度、材料性能数据的可靠性、所用计算方法的合理性、加工精度以及所设计的零部件重要性来确定[6][7],是通用的方法。各行各业都有一些凭经验的安全系数,但都偏保守。工程中也常采用部分系数法,即将各个对安全系数有影响的因素分别用一个分系数表示,这些分系数的乘积即为安全系数:

$$n = n_1 n_2 n_3 n_4 \cdots \quad (1)$$

压力容器相关规程[8]对安全系数进行了更为详细的规定,区分了常温下抗拉强度和设计温度下屈服强度,抗拉强度  $\sigma_b$  屈服强度  $\sigma_s$  对应的安全系数分别为  $n_b$  和  $n_s$ , 以此获得不同需求的许用应力。

可靠性安全系数将可靠性理论引入到机械设计中,安全系数有了新的含义。该方法可以计算出可靠度与安全系数对应的关系,预测零件寿命和失效概率,因而更加科学。文献[9]研究了可靠度和平均安全系数的关系,当强度  $r$  和应力  $s$  均服从不同的概率分布时,安全系数有着不同的表达形式。 $r$  和  $s$  均服从正态分布时,安全系数可表达为:

$$n = \frac{1 + Z_R \sqrt{C_r^2 + C_s^2} - Z_R^2 C_r^2 C_s^2}{1 - Z_R^2 C_r^2} \quad (2)$$

式中:  $Z_R$  称为可靠度系数,  $C_s$  为应力变差系数,  $C_r$  为强度变差系数。

## 2.2. 煤矿设备安全系数

本文所指煤矿设备一是煤矿或矿山特有的设备,如立斜井连接装置、矿用防坠器等,二是应用于煤矿和其它相关行业,如输送带、钢丝绳等。和通用性机械设计安全系数相比,煤矿设备安全系数具有一定的特殊性、多样性,相对更加复杂。主要有以下几种类型:

### 1) 对零件安全系数进行规定

例如,针对关键零件矿用防坠器技术条件规定的“主拉杆的强度应按最大终端载荷和材料的抗拉强度计算,安全系数不应小于 13”,安全系数等于主要受力部件的破断力与其所承受的最大静载荷之比,机械设计安全系数方法同样适用,相对比较直观。

### 2) 对复合型零件整体受力安全系数进行规定

典型的例子是输送带和钢丝绳。输送带有多种形式,如钢丝绳芯输送带,是由钢丝绳和橡胶组成的一种复合型的零件,很难用应力强度理论分析其可靠性。工程中关心的是输送带可提供的极限承载能力,根据安全系数要求,确定其工作工程中最大承受能力。煤矿带式输送机工程设计规范[10]规定了不同类型输送带的安全系数。钢丝绳形式多样,一般由多股组成,安全系数是钢丝绳最小破断拉力和全部工作载荷之比。

### 3) 对复杂部件受力安全系数进行规定

例如,立斜井连接装置是一个部件,安全系数是指该装置极限承受力和最大工作载荷的比值。由于是一个部件,其各个组成零件必须在其承担的极限承受力和最大工作载荷的比值满足安全系数的要求;此外,在实验上,需要验证其安全系数。由于零件的复杂性,需要验证其各种形式的受力,且满足试验后确保所有零件不发生塑性变形。

### 2.3. 煤矿设备安全系数主要影响因素

煤矿设备的安全系数，是在制定标准或规范时，根据当时国内材料、机械制造、管理、设计水平和手段以及其它未知因素，并结合用户单位实际情况，综合形成的经验系数。早期的安全系数规定，很多参考国外标准，经过一段时间实践进行修订。一般涵盖以下因素：

#### 1) 动载荷因素及其突发意外载荷

很多煤矿设备工作时处在动载荷之下，动载荷往往取决于随机的恶劣环境，有些是已知的，有些是未知但需要考虑并预估的。此外，很多煤矿设备还存在突发意外载荷的可能，如提升容器运行时卡罐、过卷事故等，反应到煤矿设备上，立井连接装置、罐笼、箕斗、钢丝绳等，均需要通过足够的安全系数应对这些载荷。

#### 2) 计算误差因素

计算误差包括 2 个方面，一是力学模型建立误差，也即方法的准确性与可靠性；二是计算手段，早期的工程计算很多是人工进行的，手段相对落后，随着计算机技术的发展，软件的发展，计算准确性比早期的工程计算更加科学。

#### 3) 材料因素

对于制造煤矿设备的材料，生产厂家和批次不同，其性能的偏差与质量的稳定性也存在差异，需要在安全系数中体现出来。

#### 4) 加工因素

不同企业，加工工艺、手段和方法存在着一定差异，工艺操作条件的波动对产品质量都形成影响。

#### 5) 结构因素

某些复杂部件还存在一些结构差异，也需要通过安全系数体现出来。

#### 6) 使用场合的重要性和造成事故后的危害性

煤矿设备使用场合的重要性是有区别的，以提升为例，提人的罐笼设备安全系数 13，而提物的箕斗安全系数是 10。

#### 7) 未认识的其他因素

## 3. 煤矿安全系数局限性分析与探讨

长期以来，煤矿安全系数的规定对保障煤矿安全生产发挥了重大作用。然而，围绕安全系数出现的各类矛盾，也不断呈现，如何解决该问题，值得深入研究。

### 3.1. 存在的问题分析

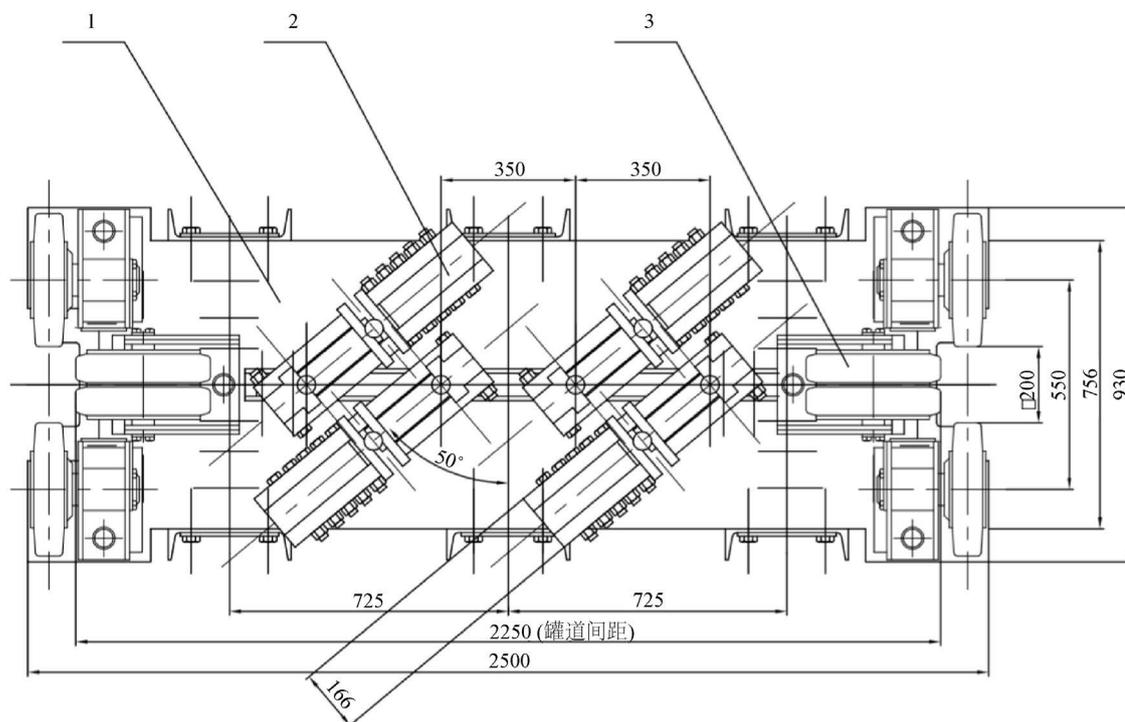
#### 1) 部分安全系数的规定明显偏高

我国煤矿设备安全系数规定，很多是延续很多年的规程规范和标准，一直没有改变。早期的煤矿设备安全系数确定，是我国相关学者、专家、行业管理部门，根据当时的国外相关资料，结合我国当时的科学技术水平和管理水平，制定的经验数据，并以规程规范、标准的形式，进行规定并强制性执行。由于数十年前的整体技术水平相对落后，安全系数相对比较保守。随着时间的推移，计算方法和手段、材料及制造工艺、关联设备的技术等，各项技术都得到了发展，部分安全系数的规定已经明显偏大。此外，和国外的一些技术标准相比，也明显偏大。

#### 2) 部分关键部件型号需要升级，安全系数成制约因素之一

例如图，某系列首绳悬挂装置，按照“升降人员和物料的提升容器连接装置”提人安全系数不小于 13 倍安全系数的规定。某矿井平衡锤设计最大质量 40.5 t(含配重)，4 绳提升，首绳间距 350，选用 2500

规格首绳悬挂装置，以下为平衡锤顶部布置图，从图 1 可以看出，首绳悬挂装置空间布置相当紧张，必须侧转一定的角度布置，以避免悬挂装置最突出部分超出平衡锤宽度尺寸，其尺寸大的原因一是钢丝绳直径的要求，二是安全系数的要求。然而，更大规格的平衡锤，将选用更大规格的首绳悬挂装置，这样，平衡锤宽度方向尺寸增加，并突破标准尺寸。其结果是增加井筒断面尺寸，是工程设计中所不希望的。



1—平衡锤本体；2—首绳悬挂装置；3—滚轮罐耳。

Figure 1. Schematic diagram of Balancing Hammer head rope hanging device in a mine  
图 1. 某矿平衡锤首绳悬挂装置布置示意图

### 3) 进口同类产品安全系数的

在行业内有时候还存在一些进口同类产品设备安全系数选用的争议，如带式输送机的输送带选型，如果完全进口的设备，或主要设备部件为进口设备，按照国外的标准，输送带的选型设计理论上是可以采用较小的国外安全系数要求，而按照我国的相关要求，采用我国相关标准规定的安全系数，设备选型明显增大。

### 4) 部分对安全系数理解差异引出的歧义

煤矿设备零件安全系数多数定义为抗拉强度  $\sigma_b$  和最大工作强度  $\sigma$  的比值，相对比较明确，鲜有意见分歧。而对于复杂部件的安全系数，情况将复杂化。

(1) 安全系数如果是内部所有零件不发生塑性变形为标志，即试验时最薄弱零件刚刚发生塑性变形时的部件承受力与额定工作载荷的比值，相当于零件的屈服强度  $\sigma_s$  和最大工作强度  $\sigma$  的比值，那么，安全系数是实质性的提升了。

(2) 而如果安全系数是部件试验破断载荷与最大工作载荷的比值，且允许内部零件发生塑性变形，则存在最初塑性变形发生在几倍工作载荷时的讨论：

$$\text{设 } n_1 = \frac{\text{最初发生零件塑性变形时的试验载荷}}{\text{额定工作载荷}} \quad (3)$$

a) 若  $n_1 \approx n\sigma_s/\sigma_b$ ，类比零件安全系数方法( $n = \sigma_b/\sigma$ )，可以认为是安全的。

b) 若  $n_1 \leq n\sigma_s/\sigma_b$ ，例如  $n_1 = 2$ ，设备运行时，各类动载荷可能已超过额定载荷的  $n_1$  倍，即设备在工作过程中某些零件即开始发生塑性变形，提前失效。即使该部件在试验时，破断载荷与工作载荷比值能够达到安全系数的数值要求，该设备因为失效在先，也是不安全的。该现象在新型设备开发过程中，有时因为结构完全不同，也可能发生[11]。

以上表明，单一安全系数规定存在技术盲区，复杂部件的安全系数的规定应该更加细化：要么以不出现塑性变形为标准，适度降低原先规定的安全系数值；要么增加更加细化的量化指标，如首次出现塑性变形的安全数值指标。

### 3.2. 国内外修订安全系数标准的经验借鉴

修订标准时，调整安全系数，在国内外部分行业均有发生。ASME-BPVC-VIII 系统总结了过去几十年来分析设计方法[12]，以及基本思想和基本方法方面的重大进展，全面整理并改写了旧版规范，把最大许用应力值中对材料抗拉强度限所用的安全系数  $n_b$  由 3.0 降低至 2.4。

借鉴国外经验，2009 年，中国将原 1999 版《压力容器安全技术监察规程》改为 TSGR0004-2009《固定式压力容器安全技术监察规程》，另行制定《移动式压力容器安全技术监察规程》，将安全系数也做了较大的调整，对常规设计材料抗拉强度限所用的安全系数  $n_b$  由 3.0 降低至 2.7、屈服强度限所用的安全系数  $n_s$  由 1.6 降低至 1.5。以上修订是在大量研究工作基础上进行的，在生产实践中发挥了重要作用[13]。

### 3.3. 推进安全系数科学修订的策略探讨

部分煤矿设备安全系数的规定明显偏高，或需要增加参数指标规定。如果不加以修订，在一定程度上将阻碍技术的发展。正确的做法是在行业协会的领导下，产学研合作，利用现代技术，深入安全系数的理论、实践和应用研究，在保证安全的前提下，科学修订。建议如下：

#### 1) 修订管理

本项工作宜由行业协会领导、组织实施，以科研立项方式，组织高校、科研院所、安全管理部门、设计院、矿山企业、设备制造企业等多方专家共同深入研究。针对煤矿设备安全系数的多样性、复杂性、多出处的特点，分门别类，分别研究。深入调研我国工程领域的实际情况、地区差异，研究国外同行、国内相关行业的成功经验，利用先进的计算机软件、方法和计算机技术，广泛征求涉及煤矿的全国企事业单位意见，制定科学修订方案。

#### 2) 修订工作

修订工作应基于理论研究、科学实验和工程领域的实际需求展开，并兼顾已有的工作基础，以及中西部相对落后地区的实际情况。涉及多行业共同遵守的标准，需突出煤炭行业特点，必要时增设相关的煤炭行业标准。复杂部件受力安全系数应是修订工作重点，应增加出现首次有害损伤的安全系数指标以及其它辅助指标。

#### 3) 执行管理

应做好试点和过渡性工作。对修订方案在部分地区进行试点工作，待一定的使用经验积累、技术相对稳定后，进行全面推广应用。新的标准规定如果能够成功被各界接收，还存在过渡期的技术衔接、新旧工程技术衔接问题，需要妥善处理解决。

## 4. 结语

我国的煤矿设备有关安全系数规程、标准在技术上存在一定的滞后现象。本文对安全系数概念进行了解读与分析，对我国现有的煤矿设备有关安全系数局限性进行了分析，存在部分安全系数规定偏高、

部分大规格的产品使用受限、和国外设备安全系数有一点的技术冲突、部分新产品开发应用存在安全系数技术盲区等问题。提出煤矿设备安全系数修订管理建议：行业协会牵头产学研合作，组织高校、科研院所、安全管理部门、设计院、矿山企业、设备制造企业等多方专家开展修订工作，并做好试点工作和过渡期管理工作。

## 基金项目

国家重点研发计划项目(2018YFC0808100)；合肥学院科学研究发展基金项目(18ZR20ZDA)。

## 参考文献

- [1] 国家安全生产监督管理总局. 煤矿安全规程[S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2016.
- [2] 国家安全产品质量监督检验中心. MT355-2005 矿用防坠器技术条件[S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.
- [3] 王志勇, 等. 煤矿专用设备设计计算[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1984.
- [4] 李玉瑾, 寇子明. 立井提升系统钢丝绳安全系数研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(3): 96-99.
- [5] 王秀云. 带式输送机输送带安全系数的探讨[J]. 露天采矿技术, 2017, 32(1): 49-51.
- [6] 秦大同, 谢里阳. 现代机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [7] Norton, R.L. (2000) Machine Design: An Integrated Approach. 2nd Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. TSG21-2016 固定式压力容器安全技术监察规程[S]. 北京: 新华出版社, 2016.
- [9] 吴海淼, 等. 基于平均安全系数的可靠性设计方法研究[J]. 机械设计与研究, 2009, 25(8): 14-16.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50431-2008 带式输送机工程设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [11] 秦强. 直线平面斜楔形联接装置安全性分析[J]. 煤矿机械, 2016, 37(7): 124-125.
- [12] ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section VIII, Rules for Construction of Pressure Vessels, Division 2, Alternative Rules, 2007.
- [13] 高永建, 姚伟达. 对中美压力容器分析设计规范中关于安全系数调整的讨论[J]. 压力容器, 2011, 28(7): 45-50+58.