

## 第 1 篇

# 安全评价总论



# 1 概 论

## 1.1 安全评价概述

安全评价是利用系统工程方法对拟建或已有工程、系统可能存在的危险性及其可能产生的后果进行综合评价和预测，并根据可能导致事故风险的大小，提出相应的安全对策措施，以达到工程、系统安全的过程。安全评价应贯穿于工程、系统的设计、建设、运行和退役整个生命周期的各个阶段。对工程、系统进行安全评价既是企业、生产经营单位搞好安全生产的重要保证，也是政府安全监督管理的需要。

### 1.1.1 安全评价的基本概念

#### 1) 安全和危险

安全和危险是一对互为存在前提的术语，在安全评价中，主要是指人和物的安全和危险。

危险，常指危害或危害因素。

安全，是指免遭不可接受危险的伤害。安全的实质就是防止事故，消除导致死亡、伤害、急性职业危害及各种财产损失发生的条件。例如，在生产过程中导致灾害性事故的原因有人的误判断、误操作、违章作业，设备缺陷、安全装置失效、防护器具故障，作业方法不当及作业环境不良等。所有这些又涉及设计、施工、操作、维修、贮存、运输以及经营管理等许多方面，因此必须从系统的角度观察、分析，并采取综合方法消除危险，才能达到安全的目的。

#### 2) 事故

事故是指造成人员死亡、伤害、职业病、财产损失或其他损失的意外事件。事件的发生可能造成事故，也可能并未造成任何损失。对于没有造成职业病、死亡、伤害、财产损失或其他损失的事件可称之为“未遂事件”或“未遂过失”。因此，事件包括事故事件，也包括未遂事件。

事故是由危险因素导致的，危险因素导致的人员死亡、伤害、职业危害及各种财产损失都属于事故。

#### 3) 风险

风险是危险、危害事故发生的可能性与危险、危害事故严重程度的综合度量。衡量风险大小的指标是风险率（ $R$ ），它等于事故发生的概率（ $P$ ）与事故损失严重程度（ $S$ ）的乘积：

$$R = PS$$

由于概率值难于取得，常用频率代替概率，这时上式可表示为：

$$\text{风险率} = \frac{\text{事故次数}}{\text{单位时间}} \times \frac{\text{事故损失}}{\text{事故次数}} = \frac{\text{事故损失}}{\text{单位时间}}$$

式中，单位时间可以是系统的运行周期，也可以是一年或几年；事故损失可以表示为死亡人数、事故次数、损失工作日数或经济损失等；风险率是二者之商，可以定量表示为百万工时死亡事故率、百万工时总事故率等，对于财产损失可以表示为千人经济损失率等。

#### 4 系统和系统安全

系统是指由若干相互联系的、为了达到一定目标而具有独立功能的要素所构成的有机整体。对生产系统而言，系统构成包括人员、物资、设备、资金、任务指标和信息六个要素。

系统安全是指在系统寿命期间内应用系统安全工程和管理方法，识别系统中的危险源，定性或定量表征其危险性，并采取控制措施使其危险性最小化，从而使系统在规定的性能、时间和成本范围内达到最佳的可接受安全程度。因此，在生产中为了确保系统安全，需要按系统工程的方法，对系统进行深入分析和评价，及时发现固有的和潜在的各种危险和危害，提出应采取的解决方案和途径。

#### 5 安全系统工程

安全系统工程是以预测和防止事故为中心，以识别、分析评价和控制安全风险为重点，开发、研究出来的安全理论和方法体系。它将工程、系统中的安全作为一个整体系统，应用科学的方法对构成系统的各个要素进行全面的分析，判明各种状况下危险因素的特点及其可能导致的灾害性事故，通过定性和定量分析对系统的安全性作出预测和评价，将系统事故降至最低的可接受限度。危险识别、风险评价、风险控制是安全系统工程方法的基本内容，其中危险识别是风险评价和风险控制的基础。

##### 1.1.2 安全评价的定义

安全评价是以实现工程、系统安全为目的，应用安全系统工程原理和方法，对工程、系统中存在的危险、有害因素进行识别与分析，判断工程、系统发生事故和急性职业危害的可能性及其严重程度，提出安全对策建议，从而为工程、系统制定防范措施和管理决策提供科学依据。

安全评价，国外也称为风险评价或危险评价，它既需要安全评价理论的支撑，又需要理论与实际经验的结合，二者缺一不可。（目前国内安全评价和国外的略有不同，国内尚未建立风险的基准的标准，量化的 QRA 计算目前尚无法进行，因此更多的是为政府和管理者提供安全防范措施。）

安全评价可在同一工程、系统中用来比较风险的大小，但不能用来证明当必要的安全设备未投入使用时工程、系统的状态是安全的，这样的证明既是方法的滥用，也会得出不符合逻辑的结果。

## 1.2 安全评价的目的、意义

### 1.2.1 安全评价的目的

安全评价的目的是查找、分析和预测工程、系统存在的危险、有害因素及可能导致的危险、危害后果和程度，提出合理可行的安全对策措施，指导危险源监控和事故预防，以达到最低事故率、最少损失和最优的安全投资效益。安全评价要达到的目的包括以下 4 个方面。

#### 1) 促进实现本质安全化生产

通过安全评价、系统地从工程、系统设计、建设、运行等过程对事故和事故隐患进行

科学分析，针对事故和事故隐患发生的各种可能原因事件和条件，提出消除危险的最佳技术措施方案，特别是从设计上采取相应措施，实现生产过程的本质安全化，做到即使发生误操作或设备故障，系统存在的危险因素也不会因此导致重大事故发生。

#### 2) 实现全过程安全控制

在设计之前进行安全评价，可避免选用不安全的工艺流程和危险的原材料以及不合适的设备、设施，或当必须采用时，提出降低或消除危险的有效方法。设计之后进行的评价，可查出设计中的缺陷和不足，及早采取改进和预防措施。系统建成以后运行阶段进行的系统安全评价，可了解系统的现实危险性，为进一步采取降低危险性的措施提供依据。

#### 3) 建立系统安全的最优方案，为决策者提供依据

通过安全评价，分析系统存在的危险源及其分布部位、数目，预测事故的概率，事故严重程度，提出应采取的安全对策措施等，决策者可以根据评价结果选择系统安全最优方案和管理决策。

#### 4) 为实现安全技术、安全管理的标准化和科学化创造条件

通过对设备、设施或系统在生产过程中的安全性是否符合有关技术标准、规范、相关规定的评估，对照技术标准、规范找出存在的问题和不足，以实现安全技术和安全管理的标准化、科学化。

### 1.2.2 安全评价的意义

安全评价的意义在于可有效地预防事故发生，减少财产损失和人员伤亡和伤害。安全评价与日常安全管理和安全监督监察工作不同，安全评价是从技术带来的负效应出发，分析、论证和评估由此产生的损失和伤害的可能性、影响范围、严重程度及应采取的对策措施等。

#### 1) 安全评价是安全生产管理的一个必要组成部分

“安全第一，预防为主”是我国安全生产的基本方针，作为预测、预防事故重要手段的安全评价，在贯彻安全生产方针中有着十分重要的作用，通过安全评价可确认生产经营单位是否具备了安全生产条件。

#### 2) 有助于政府安全监督管理部门对生产经营单位的安全生产实行宏观控制

安全评价工作，特别是安全预评价，将有效地提高工程安全设计的质量和投产后的安全可靠程度；投产时的安全验收评价，是根据国家有关技术标准、规范对设备、设施和系统进行符合性评价，提高安全达标水平；系统运转阶段的安全技术、安全管理、安全教育等方面的安全现状评价，可客观地对生产经营单位安全水平作出结论，使生产经营单位不仅了解可能存在的危险性，而且明确如何改进安全状况，同时也为安全监督管理部门了解生产经营单位安全生产现状、实施宏观控制提供基础资料。

#### 3) 有助于安全投资的合理选择

安全评价不仅能确认系统的危险性，而且还能进一步考虑危险性发展为事故的可能性及事故造成损失的严重程度，进而计算事故造成的危害，即风险率，并以此说明系统危险可能造成负效益的大小，以便合理地选择控制、消除事故发生的措施，确定安全措施投资的多少，从而使安全投入和可能减少的负效益达到合理的平衡。

#### 4) 有助于提高生产经营单位的安全管理水平

安全评价可以使生产经营单位的安全管理变事后处理为事先预测、预防。传统安全管

理方法的特点是凭经验进行管理，多为事故发生后再进行处理的“事后过程”。通过安全评价，可以预先识别系统的危险性，分析生产经营单位的安全状况，全面地评价系统及各部分的危险程度和安全管理状况，促使生产经营单位达到规定的安全要求。

安全评价可以使生产经营单位的安全管理变纵向单一管理为全面系统管理。安全评价使生产经营单位所有部门都能按照要求认真评价本系统的安全状况，将安全管理范围扩大到生产经营单位各个部门、各个环节，使生产经营单位的安全管理实现全员、全面、全过程、全时空的系统化管理。

系统安全评价可以使生产经营单位的安全管理变经验管理为目标管理。仅凭经验、主观意志和思想意识进行安全管理，没有统一的标准、目标；而安全评价可以使各部门、全体职工明确各自的安全指标要求，在明确的目标下，统一步调，分头进行，从而使安全管理工作做到科学化、统一化、标准化。

#### 5) 有助于生产经营单位提高经济效益

安全预评价，可减少项目建成后由于达不到安全的要求而引起的调整和返工建设；安全验收评价，可将一些潜在事故隐患在设施开工运行阶段消除；安全现综合评价，可使生产经营单位较好地了解可能存在的危险并为安全管理提供依据。生产经营单位的安全生产水平的提高无疑可带来经济效益的提高。

## 1.3 安全评价的内容和分类

### 1.3.1 安全评价内容

安全评价是一个利用安全系统工程原理和方法识别和评价系统、工程存在的风险的过程，这一过程包括危险、有害因素识别及危险和危害程度评价两部分。危险、有害因素识别的目的在于识别危险来源；危险和危害程度评价的目的在于确定来自危险源的危险性、危险程度，应采取的控制措施，以及采取控制措施后仍然存在的危险性是否可以被接受。在实际的安全评价过程中，这两个方面是不能截然分开、孤立进行的，而是相互交叉、相互重叠于整个评价工作中。安全评价的基本内容如图 1-1 所示。

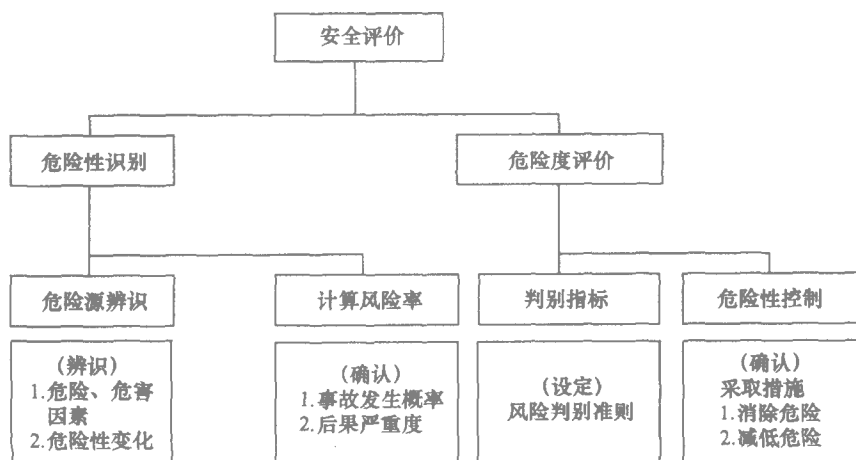


图 1-1 安全评价的基本内容

随着现代科学技术的发展，在安全技术领域里，已由以往主要研究、处理那些已经发生和必然发生的事件，发展为主要研究、处理那些还没有发生，但有可能发生的事件，并把这种事件发生的可能性具体化为一个数量指标，计算事故发生的概率，划分危险等级，制定安全标准和对策措施，并对其进行综合比较和评价，从中选择最佳的方案，预防事故的发生。

安全评价通过危险性识别及危险度评价，客观地描述系统的危险程度，指导人们预先采取相应措施，来降低系统的危险性。

### 1.3.2 安全评价分类

目前国内将安全评价通常根据工程、系统生命周期和评价的目的分为安全预评价、安全验收评价、安全现状评价和专项安全评价 4 类（实际它是 3 大类，即安全预评价、安全验收评价、安全现状评价，专项评价应属现状评价的一种，属于政府在特定的时期内进行专项整治时开展的评价。）

#### 1) 安全预评价

安全预评价是根据建设项目可行性研究报告的内容，分析和预测该建设项目可能存在的危险、有害因素的种类和程度，提出合理可行的安全对策措施及建议。

安全预评价实际上就是在项目建设前应用安全评价的原理和方法对系统（工程、项目）的危险性、危害性进行预测性评价。

安全预评价以拟建建设项目作为研究对象，根据建设项目可行性研究报告提供的生产工艺过程、使用和产出的物质、主要设备和操作条件等，研究系统固有的危险及有害因素，应用系统安全工程的方法，对系统的危险性和危害性进行定性、定量分析，确定系统的危险、有害因素及其危险、危害程度；针对主要危险、有害因素及其可能产生的危险、危害后果提出消除、预防和降低的对策措施；评价采取措施后的系统是否能满足规定的安全要求，从而得出建设项目应如何设计、管理才能达到安全指标要求的结论。总之，对安全预评价可概括为以下 4 点。

(1) 安全预评价是一种有目的的行为，它是在研究事故和危害为什么会发生、是怎样发生的和如何防止发生等问题的基础上，回答建设项目依据设计方案建成后的安全性如何、是否能达到安全标准的要求及如何达到安全标准、安全保障体系的可靠性如何等至关重要的问题。

(2) 安全预评价的核心是对系统存在的危险、有害因素进行定性、定量分析，即针对特定的系统范围，对发生事故、危害的可能性及其危险、危害的严重程度进行评价。

(3) 安全预评价用有关标准（安全评价标准）对系统进行衡量，分析、说明系统的安全性。

(4) 安全预评价的最终目的是确定采取哪些优化的技术、管理措施，使各子系统及建设项目整体达到安全标准的要求。

经过安全预评价形成的安全预评价报告，将作为项目报批的文件之一，同时也是项目最终设计的重要依据文件之一。（具体地说，安全预评价报告主要提供给建设单位、设计单位、业主、政府管理部门。在设计阶段，必须落实安全预评价所提出的各项措施，切实做到建设项目在设计中的“三同时”。）

#### 2) 安全验收评价

安全验收评价是在建设项目竣工验收之前、试生产运行正常之后，通过对建设项目的设施、设备、装置实际运行状况及管理状况的安全评价，查找该建设项目投产后存在的危险、有害因素，确定其程度，提出合理可行的安全对策措施及建议。

安全验收评价是运用系统安全工程原理和方法，在项目建成试生产正常运行后，在正式投产前进行的一种检查性安全评价。它通过对系统存在的危险和有害因素进行定性和定量的评价，判断系统在安全上的符合性和配套安全设施的有效性，从而作出评价结论并提出补救或补偿措施，以促进项目实现系统安全。

安全验收评价是为安全验收进行的技术准备，最终形成的安全验收评价报告将作为建设单位向政府安全生产监督管理机构申请建设项目安全验收审批的依据。另外，通过安全验收，还可检查生产经营单位的安全生产保障，确认《安全生产法》的落实。

（在安全验收评价中，要查看安全预评价在初步设计中的落实，初步设计中的各项安全措施落实的情况，施工过程中的安全监理记录，安全设施调试、运行和检测情况等，以及隐蔽工程等安全落实情况，同时落实各项安全管理制度措施等。）

### 3) 安全现状评价

安全现状评价是针对系统、工程的（某一个生产经营单位总体或局部的生产经营活动的）安全现状进行的安全评价，通过评价查找其存在的危险、有害因素，确定其程度，提出合理可行的安全对策措施及建议。

这种对在用生产装置、设备、设施、贮存、运输及安全管理状况进行的全面综合安全评价，是根据政府有关法规的规定或是根据生产经营单位职业安全、健康、环境保护的管理要求进行的，主要包括以下内容。

（1）全面收集评价所需的信息资料，采用合适的安全评价方法进行危险识别，给出量化的安全状态参数值。

（2）对于可能造成重大后果的事故隐患，采用相应的数学模型，进行事故模拟，预测极端情况下的影响范围，分析事故的最大损失，以及发生事故的概率。

（3）对发现的隐患，根据量化的安全状态参数值、整改的优先度进行排序。

（4）提出整改措施与建议。

评价形成的现状综合评价报告的内容应纳入生产经营单位安全隐患整改和安全管理计划，并按计划加以实施和检查。

### 4) 安全专项评价

安全专项评价是根据政府有关管理部门的要求进行的，是对专项安全问题进行的专题安全分析评价，如危险化学品专项安全评价，非煤矿山专项安全评价等。

安全专项评价一般是针对某一项活动或场所，如一个特定的行业、产品、生产方式、生产工艺或生产装置等，存在的危险、有害因素进行的安全评价，目的是查找其存在的危险、有害因素，确定其程度，提出合理可行的安全对策措施及建议。

如果生产经营单位是生产或储存、销售剧毒化学品的企业，评价所形成的安全专项评价报告则是上级主管部门批准其获得或保持生产经营营业执照所要求的文件之一。

## 1.4 安全评价程序

安全评价程序主要包括：准备阶段，危险、有害因素识别与分析，定性定量评价，

出安全对策措施，形成安全评价结论及建议，编制安全评价报告，如图 1-2 所示。

### 1) 准备阶段

明确被评价对象和范围，收集国内外相关法律法规、技术标准及工程、系统的技术资料。

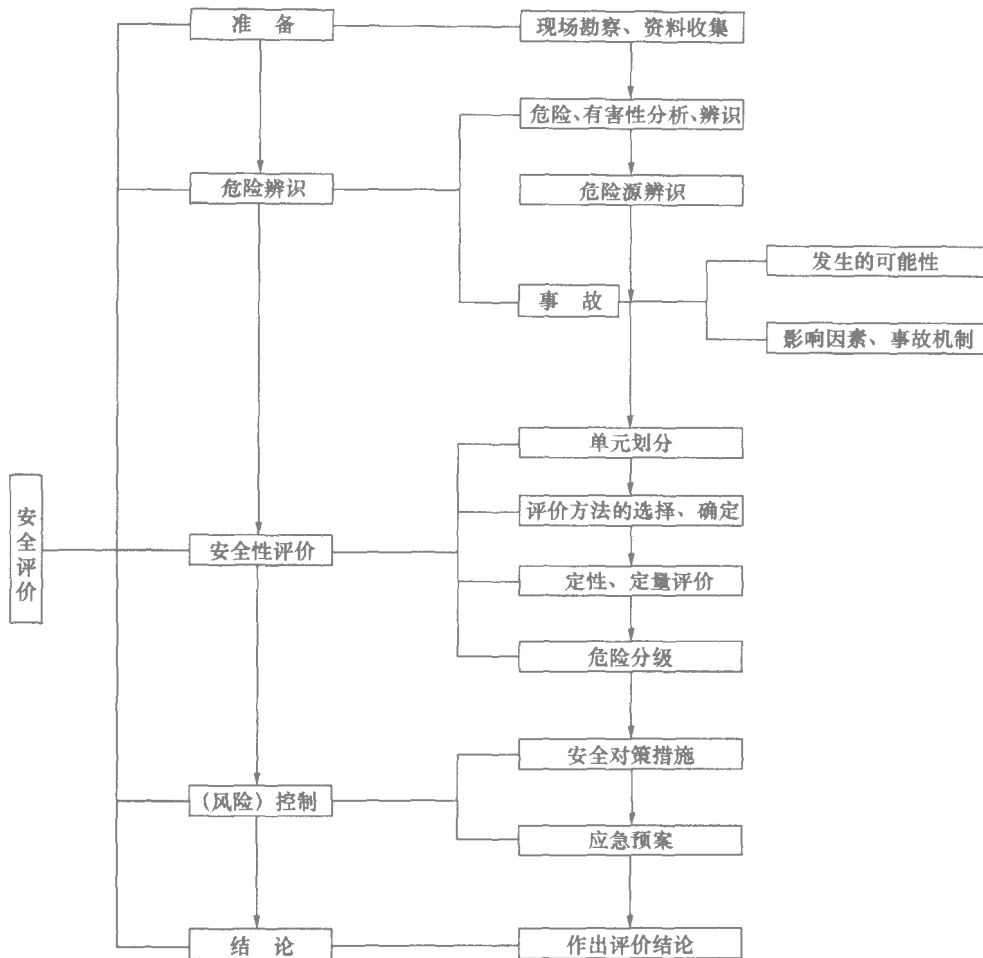


图1-2 安全评价的基本程序

### 2 危险、有害因素识别与分析

根据被评价的工程、系统的情况，识别和分析危险、有害因素，确定危险、有害因素存在的部位、存在的方式、事故发生的途径及其变化的规律。

### 3) 定性、定量评价

在危险、有害因素识别和分析的基础上，划分评价单元，选择合理的评价方法，对工程、系统发生事故的可能性和严重程度进行定性、定量评价。

### 4) 安全对策措施

根据定性、定量评价结果，提出消除或减弱危险、有害因素的技术和管理措施及建

议。

#### 5) 评价结论及建议

简要地列出主要危险、有害因素的评价结果，指出工程、系统应重点防范的重大危险因素，明确生产经营者应重视的重要安全措施。

#### 6) 安全评价报告的编制

依据安全评价的结果编制相应的安全评价报告。

## 1.5 安全评价的依据

安全评价是政策性很强的一项工作，必须依据我国现行的法律、法规和技术标准，以保障被评价项目的安全运行，保障劳动者在劳动过程中的安全与健康。安全评价涉及的现行主要法规、标准见附录 1，这些法规、标准等可随法规、标准条文的修改或新法规、标准的出台而变动。

### 1.5.1 法律、法规

#### 1) 安全法规的规范性文件

安全法规的规范性文件主要有以下 6 种。

(1) 宪法。宪法的许多条文直接涉及安全生产和劳动保护问题，这些规定既是安全法规制定的最高法律依据，又是安全法律、法规的一种表现形式。

(2) 法律。法律是由国家立法机构以法律形式颁布实施的，例如《中华人民共和国劳动法》、《中华人民共和国安全生产法》、《中华人民共和国矿山安全法》等。

(3) 行政法规。它是由国务院制定的安全生产行政法规。例如国务院发布的《危险化学品管理条例》、《女职工保护规定》等。

(4) 部门规章。它是由国务院有关部门制定的专项安全规章，是安全法规各种形式中数量最多的。例如国家安全生产监督管理局发布的《安全评价通则》及各类安全评价导则，（原）劳动部发布的《建设项目（工程）劳动安全卫生监察规定》、《建设项目（工程）职业安全卫生设施和技术措施验收办法》等。

(5) 地方性法规和地方规章。地方法规是由各省、自治区、直辖市人大及其常务委员会制定的有关安全生产的规范性文件；地方规章是由各省、自治区、直辖市政府，其首府所在地的市和经国务院批准的较大的市政府制定的有关安全生产的专项文件。

(6) 国际法律文件。国际法律文件主要是我国政府批准加入的国际劳工公约（目前共 22 个）。

#### 2) 安全评价目前所依据的主要法规

这些主要法律、法规包括：

(1) 《中华人民共和国劳动法》。该法设立了劳动安全专章，对以下方面提出了明确要求：劳动安全卫生设施必须符合国家规定的标准；劳动安全卫生设施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入生产和使用的“三同时”原则；从事特种作业的劳动者，必须经过专门培训并取得特种作业资格。

(2) 《中华人民共和国安全生产法》。该法涉及安全评价的规定有：依法设立的为安全生产提供服务的中介机构，依照法律、行政法规和执业准则，接受生产经营单位的委托为其安全生产工作提供技术服务；矿山建设项目和用于生产、贮存危险物品的建设项目，应

当分别按照国家有关规定进行安全条件论证和安全评价；生产经营单位对重大危险源，应当登记建档，进行定期检测、评估、监控，并制定应急预案，告知从业人员和相关人员在紧急情况下应采取的应急措施；承担安全评价、认证、检测、检验工作的机构违规的处罚原则。

(3) 《中华人民共和国矿山安全法》。该法对矿山建设的安全保障、矿山开采的安全保障、矿山生产经营单位的安全管理、矿山事故处理、矿山安全的行政管理及法律责任等做了明确规定。

(4) 国家安全生产监督管理局、国家煤矿安全监督局（安监管技装字〔2002〕45号）《关于加强安全评价机构管理的意见》。该文件首次明确规定安全评价的主要内容为：安全评价是指运用定量或定性的方法，对建设项目或生产经营单位存在的职业危险因素和有害因素进行识别、分析和评估；安全评价包括安全预评价、安全验收评价、安全现状评价和专项安全评价。

(5) 国家安全生产监督管理局《安全评价通则》。该通则规定了系统、工程的安全评价的基本原则和要求、评价工作程序、评价报告书的内容及要求、评价方法的选择原则、评价报告书的格式等，是具体进行评价工作的操作依据。

## 1.5.2 标准

### 1) 标准分类

安全评价相关标准可按来源、法律效力、对象特征等分类。

(1) 按标准来源可分为4类：①由国家主管标准化工作的部门颁布的国家标准，例如《生产设备安全卫生设计总则》、《生产过程安全卫生要求总则》等；②国务院各部委发布的行业标准，例如原冶金部的《冶金生产经营单位安全设计卫生设计规定》等；③地方政府制定发布的地方标准，例如《不同行业同类工种职工个人劳动防护用品发放标准》（〔91〕鲁劳安字第582号）；④国际标准和外国标准。

(2) 按标准法律效率可分为两类：①强制性标准，例如《建筑设计防火规范》（GBJ 16—1987）、《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》（GB 50058—2001）等；②推荐性标准，例如《汽车危险货物运输、装卸作业规程》（JT/T 3145—1991）等。

(3) 按标准对象特征可分为管理标准和技术标准。其中技术标准又可分为基础标准、产品标准和方法标准3类。

### 2) 安全评价所依据的标准

安全评价依据的标准众多，不同行业会涉及不同的标准，难以一一列出。

一些常用标准、规范将在下一章作简单介绍。应该注意的是，标准有可能更新，应注意使用最新版本的标准。

## 1.5.3 风险判别指标

风险判别指标（以下简称指标）或判别准则的目标值，是用来衡量系统风险大小以及危险、危害性是否可接受的尺度。无论是定性评价还是定量评价，若没有指标，评价者将无法判定系统的危险和危害性是高还是低，是否达到了可接受的程度，以及改善到什么程度系统的安全水平才可以接受，定性、定量评价也就失去了意义。

常用的指标有安全系数、安全指标或失效概率等。例如，人们熟悉的安全指标有事故频率、财产损失率和死亡概率等。

在判别指标中，特别值得说明的是风险的可接受指标。世界上没有绝对的安全，所谓安全就是事故风险达到了合理可行并尽可能低的程度。减少风险是要付出代价的，无论减少危险发生的概率还是采取防范措施使可能造成的损失降到最小，都要投入资金、技术和劳务。通常的做法是将风险限定在一个合理的、可接受的水平上。因此，在安全评价中不是以危险性、危害性为零作为可接受标准，而是以合理的、可接受的指标作为可接受标准。指标不是随意规定的，而是根据具体的经济、技术情况和对危险、危害后果，危险、危害发生的可能性（概率、频率）和安全投资水平进行综合分析、归纳和优化，通常依据统计数据，有时也依据相关标准，制定出的一系列有针对性的危险危害等级、指数，以此作为要实现的目标值，即可接受风险。

可接受风险是指在规定的性能、时间和成本范围内达到的最佳可接受风险程度。显然，可接受风险指标不是一成不变的，它将随着人们对危险根源的深入了解、随着技术的进步和经济综合实力的提高而变化。另外需要指出，风险可接受并非说我们就放弃对这类风险的管理，因为低风险随时间和环境条件的变化有可能升级为重大风险，所以应不断对其进行控制，使风险始终处于可接受范围内。

随着与国际并轨的需要，在安全评价中经常采用一些国外的定量评价方法，其指标反映了评价方法制定国（或公司）的经济、技术和安全水平，一般是比较先进的。采用这类指标时必须考虑我国国情，对国外评价指标进行必要的修正，否则会得出不符合实际情况的评价结果。

## 1.6 安全评价的现状与发展

### 1.6.1 国外安全评价概况

安全评价技术起源于 20 世纪 30 年代，是随着保险业的发展需要而发展起来的。保险公司为客户承担各种风险，必然要收取一定的费用，而收取的费用多少是由所承担的风险大小决定的。因此，就产生了一个衡量风险程度的问题，这个衡量风险程度的过程就是当时的美国保险协会所从事的风险评价。

安全评价技术在 20 世纪 60 年代得到了很大的发展，首先使用于美国军事工业。1962 年 4 月美国公布了第一个有关系统安全的说明书“空军弹道导弹系统安全工程”，以此作为对民兵式导弹计划有关的承包商提出了系统安全的要求，这是系统安全理论的首次实际应用。1969 年美国国防部批准颁布了最具有代表性的系统安全军事标准《系统安全大纲要点》（MIL—STD—822），对完成系统在安全方面的目标、计划和手段，包括设计、措施和评价，提出了具体要求和程序，此项标准于 1977 年修订为 MIL—STD—822A，1984 年又修订为 MIL—STD—822B 该标准对系统整个寿命周期中的安全要求、安全工作项目都作了具体规定。我国于 1990 年 10 月由国防科学技术工业委员会批准发布了类似美国军用标准 MIL—STD—822B 的军用标准《系统安全性通用大纲》（GJB 900—1990）。MIL—STD—822 系统安全标准从一开始实施，对世界安全和防火领域产生了巨大影响，迅速为日本、英国和欧洲其他国家引进使用。此后，系统安全工程方法陆续推广到航空、航天、核工业、石油、化工等领域，并不断发展、完善，成为现代系统安全工程的一种新的理论、方法体系，在当今安全科学中占有非常重要的地位。

系统安全工程的发展和应用，为预测、预防事故的系统安全评价奠定了可靠的基础。

安全评价的现实作用又促使许多国家政府、生产经营单位集团加强对安全评价的研究，开发自己的评价方法，对系统进行事先、事后的评价，分析、预测系统的安全可靠性，努力避免不必要的损失。

1964 年美国道 (DOW) 化学公司根据化工生产的特点，首先开发出“火灾、爆炸危险指数评价法”，用于对化工装置进行安全评价，该法已修订 6 次，1993 年已发展到第七版，它是以单元重要危险物质在标准状态下的火灾、爆炸或释放出危险性潜在能量大小为基础，同时考虑工艺过程的危险性，计算单元火灾爆炸指数 (F&EI)，确定危险等级，并提出安全对策措施，使危险降低到人们可以接受的程度。由于该评价方法日趋科学、合理、切合实际，在世界工业界得到一定程度的应用，引起各国的广泛研究、探讨，推动了评价方法的发展。1974 年英国帝国化学公司 (ICI) 蒙德 (Mond) 部在道化学公司评价方法的基础上引进了毒性概念，并发展了某些补偿系数，提出了“蒙德火灾、爆炸、毒性指标评价法”。1974 年美国原子能委员会在没有核电站事故先例的情况下，应用系统安全工程分析方法，提出了著名的《核电站风险报告》(WASH-1400)，并被以后发生的核电站事故所证实。1976 年日本劳动省颁布了“化工厂安全评价六阶段法”，该法采用了一整套系统安全工程的综合分析和评价方法，使化工厂的安全性在规划、设计阶段就能得到充分的保证，并陆续开发了匹田法等评价方法。由于安全评价技术的发展，安全评价已在现代生产经营单位管理中占有优先的地位。

由于安全评价在减少事故，特别是重大恶性事故方面取得的巨大效益，许多国家政府和生产经营单位愿意投入巨额资金进行安全评价。美国原子能委员会 1974 年发表的《核电站风险报告》就用了 70 人·a 的工作量，耗资 300 万美元，相当于建造一座 1 000 MW 核电站投资的百分之一。据统计美国各公司共雇佣了 3 000 名左右的风险专业评价和管理人员，美国、加拿大等国就有 50 余家专门进行安全评价的“安全评价咨询公司”，且业务繁忙。当前，大多数工业发达国家已将安全评价作为工厂设计和选址、系统设计、工艺过程、事故预防措施及制订应急计划的重要依据。近年来，为了适应安全评价的需要，世界各国开发了包括危险辨识、事故后果模型、事故频率分析、综合危险定量分析等内容的商用化安全评价计算机软件包。随着信息处理技术和事故预防技术的进步，新的实用安全评价软件不断地进入市场。计算机安全评价软件包可以帮助人们找出导致事故发生的主要原因，认识潜在事故的严重程度，并确定降低危险的方法。

另一方面，20 世纪 70 年代以后，世界范围内发生了许多震惊世界的火灾、爆炸、有毒物质的泄漏事故。例如：1974 年英国夫利克斯保罗化工厂发生的环己烷蒸气爆炸事故，死亡 29 人、受伤 109 人，直接经济损失达 700 万美元；1975 年荷兰国营矿业公司 10 万 t 乙烯装置中的烃类气体逸出，发生蒸气爆炸，死亡 14 人，受伤 106 人，毁坏大部分设备；1978 年西班牙巴塞罗那市和巴来西亚市之间的通道上，一辆满载丙烷槽车因充装过量发生爆炸，当时正有 800 多人在风景区度假，烈火浓烟造成 150 人被烧死、120 多人烧伤、100 多辆汽车和 14 幢建筑物被烧毁的惨剧；1984 年墨西哥城液化石油气供应中心站发生爆炸，事故中约有 490 人死亡、4 000 多人受伤、另有 900 多人失踪，供应站内所有设施毁损殆尽；1988 年英国北海石油平台因天然气压缩间发生大量泄漏而大爆炸，在平台上工作的 230 余名工作人员只有 67 人幸免于难，使英国北海油田减产 12%；1984 年 12 月 3 日凌晨印度博帕尔农药厂发生一起甲基异氰酸酯泄漏的恶性中毒事故，有 2 500 多人中毒

死亡，20 余万人中毒，深受其害，是世界上绝无仅有的大惨案。我国近年也曾发生过火灾、爆炸、毒物泄漏等重大事故。

恶性事故造成的人员严重伤亡和巨大的财产损失，促使各国政府、议会立法或颁布规定，规定工程项目、技术开发项目都必须进行安全评价，并对安全设计提出明确的要求。日本《劳动安全卫生法》规定由劳动基准监督署对建设项目实行事先审查和许可证制度；美国对重要工程项目的竣工、投产都要求进行安全评价；英国政府规定，凡未进行安全评价的新建生产经营单位不准开工；欧共体 1982 年颁布《关于工业活动中重大危险源的指令》，欧共体成员国陆续制定了相应的法律；国际劳工组织（ILO）也先后公布了 1988 年的《重大事故控制指南》、1990 年的《重大工业事故预防实用规程》和 1992 年的《工作中安全使用化学品实用规程》，对安全评价提出了要求。2002 年欧盟未来化学品白皮书中，明确危险化学品的登记注册及风险评价，作为政府的强制性的指令。

### 1.6.2 我国安全评价现状

20 世纪 80 年代初期，安全系统工程引入我国，受到许多大中型生产经营单位和行业管理部门的高度重视。通过吸收、消化国外安全检查表和安全分析方法，机械、冶金、化工、航空、航天等行业的有关生产经营单位开始应用安全分析评价方法，如安全检查表（SCL）、事故树分析（FTA）、故障类型及影响分析（FMFA）、事件树分析（ETA）、预先危险性分析（PHA）、危险与可操作性研究（HAZOP）、作业条件危险性评价（LEC）等，有许多生产经营单位将安全检查表和事故树分析法应用到生产班组和操作岗位。此外，一些石油、化工等易燃、易爆危险性较大的生产经营单位，应用道化学公司火灾、爆炸危险指数评价方法进行了安全评价，许多行业和地方政府有关部门制定了安全检查表和安全评价标准。

为推动和促进安全评价方法在我国生产经营单位安全管理中的实践和应用，1986 年原劳动人事部分别向有关科研单位下达了机械工厂危险程度分级、化工厂危险程度分级、冶金工厂危险程度分级等科研项目。

1987 年原机械电子部首先提出了在机械行业内开展机械工厂安全评价，并于 1988 年 1 月 1 日颁布了第一个部颁安全评价标准《机械工厂安全性评价标准》，1997 年进行了修订，颁布了修订版。该标准的颁布执行，标志着我国机械工业安全管理工作进入了一个新的阶段，修订版则更贴近国家最新安全技术标准，覆盖面更宽，指导性和可操作性更强，计分更趋合理。机械工厂安全性评价标准分为两部分，一是危险程度分级，通过对机械行业 1 000 多家重点生产经营单位 30 余年事故统计分析结果，用 18 种设备（设施）及物品的拥有量来衡量生产经营单位固有的危险程度并作为划分危险等级的基础；二是机械工厂安全性评价，包括综合管理评价、危险性评价、作业环境评价 3 个方面，主要评价生产经营单位安全管理绩效，方法是采用了以安全检查表为基础、打分赋值的评价方法。

由原化工部劳动保护研究所提出的化工厂危险程度分级方法，是在吸收道化学公司火灾、爆炸危险指数评价方法的基础上，通过计算物质指数、物量指数和工艺参数、设备系数、厂房系数、安全系数、环境系数等，得出工厂的固有危险指数，进行固有危险性分级，用工厂安全管理的等级修正工厂固有危险等级后，得出工厂的危险等级。

《机械工厂安全性评价标准》已应用于我国 1000 多家生产经营单位，化工厂危险程度分级方法和冶金工厂危险程度分级方法等也在相应行业的几十家生产经营单位进行了实

践。此外，我国有关部门还颁布了《石化生产经营单位安全性综合评价办法》、《电子生产经营单位安全性评价标准》、《航空航天工业工厂安全评价规程》、《兵器工业机械工厂安全性评价方法和标准》、《医药工业生产单位安全性评价通则》等。

1991 年国家“八五”科技攻关课题中，将安全评价方法研究列为重点攻关项目。由原劳动部劳动保护科学研究所等单位完成的“易燃、易爆、有毒重大危险源识别、评价技术研究”，将重大危险源评价分为固有危险性评价和现实危险性评价。后者是在前者的基础上考虑各种控制因素，反映了人对控制事故发生和事故后果扩大的主观能动作用。固有危险性评价主要反映物质的固有特性、危险物质生产过程的特点和危险单元内、外部环境状况，分为事故易发性评价和事故严重度评价。事故易发性取决于危险物质事故易发性与工艺过程危险性的耦合。易燃、易爆、有毒重大危险源识别、评价方法，填补了我国跨行业重大危险源评价方法的空白，在事故严重度评价中建立了伤害模型库，采用了定量的计算方法，使我国工业安全评价方法的研究初步从定性评价进入定量评价阶段。

与此同时，安全预评价工作在建设项目“三同时”工作向纵深发展的过程中开展起来。1988 年国内一些较早实施建设项目“三同时”的省、市，根据原劳动部 [1988] 48 号文的有关规定，在借鉴国外安全性分析、评价方法的基础上，开始了建设项目安全预评价实践。经过几年的实践，在初步取得经验的基础上，1996 年 10 月原劳动部颁发了第 3 号令，规定六类建设项目必须进行劳动安全卫生预评价。预评价是根据建设项目的可行性研究报告内容，运用科学的评价方法，分析和预测该建设项目存在的职业危险、有害因素的种类和危险、危害程度，提出合理可行的安全技术和对策，作为该建设项目初步设计中安全技术设计和安全管理、监察的主要依据。与之配套的规章、标准还有原劳动部第 10 号令、第 11 号令和部颁标准《建设项目（工程）劳动安全卫生预评价导则》（LD/T 106-1998）。这些法规和标准对进行预评价的阶段、预评价承担单位的资质、预评价程序、预评价大纲和报告的主要内容等方面作了详细的规定，规范和促进了建设项目安全预评价工作的开展。我国加入世界贸易组织以后，我国制定的标准与国际标准趋向同一性，建立在高技术含量基础上的政府决策、越来越大的社会评价需求，将对安全评价和安全中介组织的发展提出更新、更高的要求。

2002 年 6 月 29 日中华人民共和国第 70 号主席令颁布了《中华人民共和国安全生产法》，规定生产经营单位的建设项目必须实施“三同时”，同时还规定矿山建设项目和用于生产、储存危险物品的建设项目应进行安全条件论证和安全评价。2002 年 1 月 9 日中华人民共和国国务院令第 344 号发布了《危险化学品管理条例》，在规定的对危险化学品各环节管理和监督办法等的同时，提出了“生产、储存、使用剧毒化学品的单位，应当对本单位的生产、储存装置每年进行一次安全评价；生产、储存、使用其他危险化学品的单位，应当对本单位的生产、储存装置每两年进行一次安全评价”的要求。《中华人民共和国安全生产法》和《危险化学品管理条例》的颁布，必将进一步推动安全评价工作向更广、更深的方向发展。

国务院机构改革后，国家安全生产监督管理局重申要继续做好建设项目安全预评价、安全验收评价、安全现状评价及专项安全评价。国家安全生产监督管理局陆续发布了《安全评价通则》及各类安全评价导则，对安全评价单位资质重新进行了审核登记，并通过安全评价人员培训班和专项安全评价培训班，对全国安全评价从业人员进行培训和资格认

定,使得安全评价更加有章可依,从业人员素质大大提高,为新形势下的安全评价工作提供了技术和质量保证。

尽管国内外已研究开发出几十种安全评价方法和商业化的安全评价软件包,但由于安全评价不仅涉及自然科学,而且涉及管理学、逻辑学、心理学等社会科学的相关知识,另外,安全评价指标及其权值的选取与生产技术水平、安全管理水平、生产者和管理者素质以及社会和文化背景等因素密切相关,因此,每种评价方法都有一定的适用范围和限度。定性评价方法主要依靠经验判断,不同类型评价对象的评价结果没有可比性。美国道化学公司开发的火灾、爆炸危险指数评价法,主要用于评价规划和运行的石油、化工生产经营单位生产、贮存装置的火灾、爆炸危险性,该方法在指标选取和参数确定等方面还存在缺陷。概率风险评价方法以人机系统可靠性分析为基础,要求具备评价对象的元部件和子系统以及人的可靠性数据库和相关事故后果伤害模型。定量安全评价方法的完善,还需进一步研究各类事故后果模型、事故经济损失评价方法、事故对生态环境影响评价方法、人的行为安全性评价方法,以及不同行业可接受的风险标准等。

目前,国外现有的安全评价方法,适用于评价危险装置或单元发生事故的可能性和事故后果的严重程度;国内研究开发的机械工厂安全性评价方法标准、化工厂危险程度分级、冶金工厂危险程度分级等方法,主要用于同行业生产经营单位的安全评价。

## 1.7 安全评价的原理和原则

### 1.7.1 安全评价原理

虽然安全评价的领域、种类、方法、手段种类繁多,而且评价系统的属性、特征及事件的随机性千变万化,各不相同,究其思维方式却是一致的,可归纳为以下四个基本原理,即:相关性原理,类推原理,惯性原理和量变到质变原理。

#### 1.7.1.1 相关性原理

一个系统,其属性、特征与事故和职业危害存在着因果的相关性,这是系统因果评价方法的理论基础。

##### 1) 系统的基本特征

安全评价把研究的所有对象都视为系统。系统是指为实现一定的目标,由多种彼此有机联系的要素组成的整体。系统有大有小,千差万别,但所有的系统都具有以下普遍的基本特征。

(1) 目的性:任何系统都具有目的性,要实现一定的目标(功能)。

(2) 集合性:指一个系统是由若干个元素组成的一个有机联系的整体,或是由各层次的要素(子系统、单元、元素集)集合组成的一个有机联系的整体。

(3) 相关性:一个系统内部各要素(或元素)之间存在着相互影响、相互作用、相互依赖的有机联系,通过综合协调,实现系统的整体功能。在相关关系中,二元关系是基本关系,其他复杂的相关关系是在二元关系基础上发展起来的。

(4) 阶层性:在大多数系统中,存在着多阶层性,通过彼此作用,互相影响、制约,形成一个系统整体。

(5) 整体性:系统的要素集、相关关系集、各阶层构成了系统的整体。

(6) 适应性:系统对外部环境的变化有着一定的适应性。

每个系统都有着自身的总目标，而构成系统的所有子系统、单元都为实现这一总目标而实现各自的分目标。如何使这些目标达到最佳，这就是系统工程要研究解决的问题。

系统的整体目标（功能）是由组成系统的各子系统、单元综合发挥作用的结果。因此，不仅系统与子系统，子系统与单元有着密切的关系，而且各子系统之间、各单元之间、各元素之间也都存在着密切的相关关系。所以，在评价过程中只有找出这种相关关系，并建立相关模型，才能正确地对系统的安全性作出评价。

系统的结构可用下列公式表达：

$$E = \max f(X, R, C)$$

式中  $E$  ——最优结合效果；

$X$  ——系统组成的要素集，即组成系统的所有元素；

$R$  ——系统组成要素的相关关系集，即系统各元素之间的所有相关关系；

$C$  ——系统组成的要素及其相关关系在各阶层上可能的分布形式；

$f(X, R, C)$  —— $X, R, C$  的结合效果函数。

对系统的要素集（ $X$ ）、关系集（ $R$ ）和层次分布形式（ $C$ ）的分析，可阐明系统整体的性质。要使系统目标达到最佳程度，只有使上述三者达到最优结合，才能产生最优的结合效果  $E$ 。

对系统进行安全评价，就是要寻求  $X, R$  和  $C$  的最合理的结合形式，即具有最优结合效果  $E$  的系统结构形式在对应系统目标集和环境因素约束集的条件，给出最安全的系统结合方式。例如，一个生产系统一般是由若干生产装置、物料、人员（ $X$  集）集合组成的，其工艺过程是在人、机、物料、作业环境结合过程（人控制的物理、化学过程）中进行的（ $R$  集），生产设备的可靠性、人的行为的安全性、安全管理的有效性等因素层次上存在各种分布关系（ $C$  集）。安全评价的目的，就是寻求系统在最佳生产（运行）状态下的最安全的有机结合。

因此，在评价之前要研究与系统安全有关的系统组成要素，要素之间的相关关系，以及它们在系统各层次的分布情况。例如，要调查、研究构成工厂的所有要素（人、机、物料、环境等），明确它们之间存在的相互影响、相互作用、相互制约的关系和这些关系在系统的不同层次中的不同表现形式等。

要对系统作出准确的安全评价，必须对要素之间及要素与系统之间的相关形式和相关程度给出量的概念。这就需要明确哪个要素对系统有影响，是直接还是间接影响；哪个要素对系统影响大，大到什么程度，彼此是线性相关，还是指数相关等等。要做到这一点，就要求在分析大量生产运行、事故统计资料的基础上，得出相关的数学模型，以便建立合理的安全评价数学模型。例如，用加权平均法进行生产经营单位安全评价，确定各子系统安全评价的权重系数，实际上就是确定生产经营单位整体与各子系统之间的相关系数。这种权重系数代表了各子系统的安全状况对生产经营单位整体安全状况的影响大小，也代表了各子系统的危险性在生产经营单位整体危险性中的比重。一般地说，权重系数都是通过对大量事故统计资料的分析，权衡事故发生的可能性大小和事故损失的严重程度而确定下来的。

## 2) 因果关系

有因才有果，这是事物发展变化的规律。事物的原因和结果之间存在着类似函数一样