



农村水电站 安全风险评价

蔡新 郭兴文 徐锦才 著



科学出版社

农村水电站安全风险评价

蔡 新 郭兴文 徐锦才 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书介绍农村水电站概况, 阐述农村水电站安全风险评价理论方法, 着重研究农村水电站安全风险评价, 农村水电站金属结构、电气设备、水工建筑物安全风险评价, 农村水电站致灾后果评价及除险加固, 农村水电站安全风险评估系统的开发, 并应用于解决多个工程实际问题。

本书可作为高等学校土木水利类专业的本科生与研究生的教材或教学参考书, 也可供土木水利领域, 特别是农村水电站从事设计、施工、建设及运行管理的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

农村水电站安全风险评价 / 蔡新, 郭兴文, 徐锦才著. —北京: 科学出版社, 2014.12

ISBN 978-7-03-042942-1

I. ①农… II. ①蔡… ②郭… ③徐… III. ①农村-水力发电站-安全评价-中国 IV. ①TV737

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 309833 号

责任编辑: 陈岭啸 李香叶 胡 凯 / 责任校对: 赵桂芬
责任印制: 李 利 / 封面设计: 许 瑞

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

三河骏志印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 1 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2015 年 1 月第一次印刷 印张: 13 3/4

字数: 323 000

定价: 79.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

由蔡新教授等著的《农村水电站安全风险评价》一书，即将由科学出版社出版，我很高兴能阅读该书，并欣然为该书写序。

农村水电是农村重要的基础设施和公共设施。我国现有农村水电站 4.5 万余座，装机容量 5900 多万千瓦，全国 1/2 的地域、1/3 的县、3 亿多人口的用电依靠农村水电。然而，这些小型水电站大多修建于新中国成立初期至 20 世纪 70 年代，多是边勘察、边设计、边施工的“三边”工程，有的水电站甚至缺乏足够的水文、地质等基础资料，当时的技术标准和规范也不够完善，施工设备简陋，资金投入不足。上述因素致使这些水电站的建设从设计到施工都难以保证质量，大部分工程先天不足，留下了防洪标准低、工程建设不配套、工程质量差、抗震不达标、泄洪设施不健全等隐患。经过几十年的运行，各种设备不断老化，造成其自身发电效率降低，影响节能减排，原先存在的安全隐患亦有不同程度增加，严重威胁工程安全和公共安全。

针对我国农村水电安全生产工作中存在的突出问题，我们要清醒认识安全监管工作的重要性和必要性，加强农村水电安全风险评价研究，做到有的放矢，才能切实落实各项安全监管责任。蔡新教授的研究团队主要结合水利部公益性行业科研专项经费项目“农村水电站安全保障关键技术研究”，在对我国农村水电站安全现状进行大规模调查和检测资料分析研究基础上，提出我国农村水电站安全风险评价和灾后评价分析方法，为建立科学的安全评价标准、风险控制方法和措施、水电站除险加固提供科学依据。研究成果的应用将有力地促进减少或避免农村水电站重大安全事故的发生。

该书介绍了农村水电站概况，阐述了农村水电站安全风险评价理论和方法，着重研究了农村水电站水工建筑物及整体安全风险评价、金属结构安全风险评价、电气设备安全风险评价、灾后评价及除险加固技术。该书既有详细的理论方法内

容，也有丰富的工程应用实例，具有较高的学术水平和重要的参考应用价值。希望该书的出版对我国农村水电工程的设计、建设和运行管理起到重要的参考和指导作用。

中国工程院院士
南京水利科学研究所所长
水利部大坝安全管理中心主任



2014年4月

前 言

农村水电站面广量大，是农村的重要基础设施。随着使用时间的增长，农村水电站大量存在着老化病害的问题，给工程和社会公共安全带来威胁，所以迫切需要对其进行健康普查及安全评估，并在此基础上进行除险加固。本书基于对我国农村水电站安全现状调查和检测资料分析，开展农村水电站工程结构和机电设备安全保障关键技术研究，着重进行农村水电站工程结构和机电设备的安全风险评估，旨在为农村水电站安全运行及除险加固提供参考依据。

本书共 9 章，主要介绍农村水电站安全风险评价理论方法，着重研究农村站安全风险评价，农村水电站金属结构、电气设备、水工建筑物安全风险评价，农村水电站致灾后果评价及除险加固，以及农村水电站安全评估系统的开发等内容。

本书由蔡新、郭兴文、徐锦才合著，蔡新负责统稿定稿。江泉、袁越、杨光明、易剑刚、戴双喜、李益、舒静、蔡尊、顾水涛等参加了研究及部分编写。参加研究工作的还有董大富、金华频、周丽娜、杨杰、严伟、朱杰、潘盼、明宇、邱勇、刘庆辉等，在此一并表示感谢。

本书研究工作受水利部水利公益性行业科研专项“农村水电站安全保障关键技术研究”（200801019）及“十二五”国家科技支撑计划项目“农村小水电节能增效关键技术”（2012BAD10B00）资助，特此致谢。

本书承蒙中国工程院院士、南京水利科学研究院院长、水利部大坝安全管理中心主任张建云教授审阅并作序，本书由河海大学水利水电学院院长、博士生导师顾冲时教授和水利部大坝安全管理中心副总工程师、南京水利科学研究院大坝安全管理研究所所长、博士生导师盛金保教授担任主审。他们对本书进行了详细的审阅，提出了宝贵的修改意见，作者在此表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

蔡 新

2014 年 5 月于南京

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 农村水电站概况	1
1.1.1 农村水电站普遍存在的问题.....	2
1.1.2 农村水电站存在问题的原因分析.....	4
1.2 安全风险评价研究现状.....	6
1.2.1 安全风险评价及其发展现状.....	6
1.2.2 农村水电站安全风险评价现状.....	8
1.3 本书内容与技术路线.....	9
1.3.1 本书内容	9
1.3.2 技术路线	12
第 2 章 安全风险评价理论方法	14
2.1 安全风险评价内容与目的.....	14
2.1.1 安全风险评价内容.....	14
2.1.2 安全风险评价目的.....	15
2.2 安全风险评价原理	16
2.2.1 安全风险评价系统基本特征.....	16
2.2.2 安全风险评价原理概述.....	16
2.3 安全评价整体目标	17
2.4 安全风险评价方法	18
2.4.1 安全风险评价分类.....	18
2.4.2 安全评价方法.....	20
2.4.3 安全风险评价方法的选择.....	24
2.5 安全风险控制	25
2.5.1 安全风险控制原则.....	25
2.5.2 安全风险控制标准.....	26
第 3 章 农村水电站安全风险评价	27
3.1 农村水电站安全评价指标体系.....	27

3.1.1	安全评价指标体系的构建原则	27
3.1.2	农村水电站安全评价指标体系设计	29
3.2	指标权重确定	31
3.2.1	指标权重确定方法	31
3.2.2	基于层次分析法的指标主观权重	32
3.2.3	改进层次分析法的指标主观权重	37
3.2.4	基于熵值法的专家自身权重	38
3.2.5	基于评价指标的加权融合权重	40
3.3	安全评价指标的度量	41
3.3.1	常见水工结构安全评价等级的划分	41
3.3.2	农村水电站结构安全评价等级的划分	44
3.3.3	中间指标评价赋值	44
3.3.4	基础指标评价赋值	45
3.4	模糊综合评价	51
3.4.1	模糊综合评价原理	51
3.4.2	模糊综合评价中的几个重要问题	53
3.4.3	模糊综合评判基本步骤	57
第4章	农村水电站金属结构安全风险评价	58
4.1	金属结构安全评价研究体系设计	58
4.1.1	概述	58
4.1.2	研究体系设计	59
4.2	金属结构安全风险评价指标体系与综合评判	60
4.2.1	金属结构安全风险影响因素	60
4.2.2	评价指标体系的构建	61
4.2.3	评价指标权重分配	62
4.2.4	指标可靠度等级划分	64
4.2.5	金属结构模糊综合评价	68
4.3	金属结构安全风险预测分析模型	69
4.3.1	安全风险计算模型	69
4.3.2	评价标准	70
4.3.3	时变效应风险预测模型	70
4.4	白盆珠水库金属结构安全评价	73
4.4.1	工程概况	73
4.4.2	闸门安全评价	74

4.4.3 启闭机安全风险评价	82
4.4.4 压力钢管安全风险评价	85
第5章 农村水电站电气设备安全风险评价	88
5.1 电气设备安全评价概述	88
5.2 农村水电站电气设备概率安全评价	89
5.2.1 故障树定义	89
5.2.2 故障树的基本单元和符号	90
5.2.3 故障树分析的基本内容和步骤	92
5.2.4 故障树最小割集计算	94
5.2.5 故障树建立	95
5.3 雅溪一级水电站电气设备安全评价实例分析	104
5.3.1 雅溪一级水电站系统组成	104
5.3.2 雅溪一级水电站电气系统故障树的构建	105
5.3.3 雅溪一级水电站电气设备评价	118
第6章 农村水电站水工建筑物安全风险评价	119
6.1 水工建筑物分类及安全评价指标体系	119
6.1.1 水工建筑物分类	119
6.1.2 水工建筑物安全影响因素及评价指标体系	119
6.2 水工建筑物安全评价指标的判定标准	127
6.3 水工建筑物模糊安全评价模型	139
6.3.1 建筑物安全模糊综合评价流程设计	139
6.3.2 分层评价指标权重	140
6.3.3 水工建筑物模糊安全评价其他因素	148
6.4 水电站单个建筑物安全评价	149
6.5 水电站整体安全评价	150
6.6 水电站整体安全评价实例分析	151
6.6.1 石郭电站安全评价	151
6.6.2 瑞垌一级电站安全评价	157
6.6.3 贵岙电站安全评价	163
第7章 农村水电站致灾后果评价及除险加固	170
7.1 农村水电站致灾后果的影响因素	170
7.2 农村水电站致灾后果评价模型	171
7.3 农村水电站致灾后果生命损失评价	172
7.3.1 水电站致灾生命损失考虑的影响因素	172

7.3.2	水电站致灾生命损失计算及严重程度评价	173
7.4	农村水电站致灾后果经济损失评价	174
7.4.1	水电站致灾的直接经济损失	174
7.4.2	水电站致灾的间接经济损失	175
7.4.3	水电站致灾的直接经济损失严重程度评价	176
7.5	农村水电站致灾后果社会及环境影响评价	176
7.6	农村水电站致灾后果综合评价	177
7.7	农村水电站除险加固排序	178
7.7.1	农村水电站除险加固排序模型及实施步骤	178
7.7.2	农村水电站除险加固排序算例	180
7.8	农村水电站除险加固	182
7.8.1	水工建筑物除险加固	182
7.8.2	金属结构物除险加固	184
7.8.3	电气设备除险	185
第 8 章	农村水电站安全评估系统的开发	186
8.1	开发目标和开发环境	186
8.2	农村水电站安全评估数据库的设计	186
8.2.1	数据库设计	186
8.2.2	农村水电站安全评估数据库的信息	187
8.2.3	系统的主要功能	188
8.3	系统的工作流程	188
8.4	程序流程演示	190
第 9 章	总结与展望	202
	参考文献	205

第 1 章 绪 论

水是清洁可再生资源，农村水电站在解决山区农村供电、促进区域经济发展、改善农民生活条件与生态环境、调整当地产业结构，以及保障应急供电等方面具有重要作用，是农村重要基础设施和公共设施。由于多种原因，许多农村水电站存在各种安全遗留问题，使其成为水利生产行业的事故多发领域，科学地对农村水电站进行安全风险评价，提出合理的技术措施消除安全隐患或减小安全风险，有着非常重要的意义。

本章首先介绍我国农村水电站普遍存在的问题，并初步分析了相关问题出现的原因；其次概述国内外安全风险评价的发展和我国农村水电站安全风险评价现状；最后给出本书研究内容的技术路线。

1.1 农村水电站概况

我国幅员辽阔，河流众多，蕴藏着丰富的水能资源。根据《农村水能资源调查评价成果 2008》，我国单站装机容量 5 万 kW 及以下的农村水能资源十分丰富，技术可开发装机容量 1.28 亿 kW，年发电量 5350 亿 kW·h，居世界第一位，广泛分布在全国 30 个省（自治区、直辖市）的 1715 个山区县。其中东部地区技术可开发量 2284 万 kW，占全国的 18%；中部地区 2567 万 kW，占全国的 20%；西部地区最丰富，达 7953 万 kW，占全国的 62%。

长期以来，我国出台许多相关的政策，积极扶持农村水电站的开发。依据 2010—2012 年开展的《全国第一次水利普查公报》，截至 2011 年 12 月 31 日，全国共建成农村水电站 46139 座，总装机容量 7562.97 万 kW。目前全国农村水电站现有装机容量相当于 3.36 个三峡水电站的容量，约为世界其他国家农村水电站装机容量的总和。全国有 557 个县长期主要依靠农村水电站供电，3 亿多农民就近用到了清洁可再生能源。通过开发农村水电站，解决了全国近 1/2 地域、1/3 县市、1/4 人口的用电问题。云南、四川、广东、福建、湖南、浙江、广西、湖北、江西、贵州等 10 个农村水电站大省，开发装机容量均已超过 200 万 kW。

农村水电站在解决山区农村供电、促进区域经济发展、改善农民生产生活条件与生态环境，帮助贫困地区调整当地产业结构，以及保证应急供电等方面都做

出了巨大的贡献。可是，进入 21 世纪以来，尤其是“十一五”期间，农村水电站新的特点、新的问题日渐突出。

由于历史原因和经济、技术等条件的限制，大多数农村水电站兴建年代较早，施工质量不高，运用管理水平低，工程运行管理经费不足，目前存在着较多安全隐患，特别是 20 世纪 90 年代以前建设的 2 万多座小水电站，使得农村水电站成为水利生产行业的事故多发领域。中华人民共和国水利部办公厅关于水利生产安全事故情况的通报文件表明，2010 年农村水电建设与运行发生事故 8 起，死亡 12 人；2011 年农村水电建设与运行共发生事故 3 起，死亡 6 人；2012 年农村水电建设与运行共发生事故 3 起，死亡 5 人；2013 年农村水电建设与运行共发生事故 4 起，死亡 13 人。农村水电站的安全问题越来越被人们所关注。

1.1.1 农村水电站普遍存在的问题

通过开展农村水电站安全现状问卷调查和对农村水电重点地区福建省、浙江省、陕西省、四川省、湖南省及贵州省等六省进行的农村水电安全保障信息调研、分析，发现农村水电站普遍存在如下九个问题。

1) 安全主体责任不清，管理力量薄弱

农村水电安全生产监管主体和职责需要进一步明确，特别是要处理好水行政主管部门与电监办、发改委、纪委、安监局职能交叉问题。由于职能不明、分工不清，所以在一定程度上削弱了政府对小水电的宏观调控和行业管理。目前，各级水利部门、农村水电安全机构、人员设置、经费、办公条件较差，管理力量薄弱，远远达不到上级对安全工作的要求。主要存在的薄弱环节体现在：安全生产检查工作力度不够，存在安全管理缺位或不到位现象；安全生产投入需要进一步加大；安全监管经费不足，各级水行政主管部门针对电站安全提出的整改措施和布置的任务往往难以真正落实到电站，究其根源在于水行政主管部门缺乏强有力的制约手段，对水电站安全好坏没有否决权和处罚权，安全监管执行自然大打折扣，加之没有专门的安全经费，监管经费不足，影响了安全生产的效益。

2) 制度不健全，执行不落实

一方面，有些水电企业虽然制定了部分安全生产制度，但还很不健全，对安全隐患的排查治理没有约束力，力度也不大；另一方面，有些水电企业有健全的管理制度，但未真正按制度执行和落实，体现在一些水电站发生了责任事故，或存在安全隐患，不能及时向上级汇报和处理安全隐患，造成经济效益损失。

3) 管理水平和技术水平参差不齐

我国小水电站中有很大大一部分是由集体、私人业主独资或合资建成的，水电站安全生产重视不够；病险水电站数目多，渡汛风险大。对于我国南方的农村小水电站，有许多水电站现有防洪标准低，也有水电站建设时施工质量差、遗留问题多；老电站人员严重超编，资金紧缺，设备改造力度小，勉强维持运行；部分职工队伍素质跟不上水电站安全生产发展要求。一些水电站职工对技术、规程、操作不够熟练，少数水电站存在无证上岗情况，部分水电站技术力量缺乏，对职工培训重视不够，私人水电站在这方面显得尤其突出，水电站安全运行缺乏足够的人才和技术支撑。

4) 水能资源利用不尽合理

一是设计时水文资料缺乏，导致水电站装机规模不合理；二是当时机电设备型号不全，机组性能参数与水电站实际运行参数不匹配；三是受当时经济发展水平和负荷的限制，水电站装机容量普遍偏小，弃水过多；四是外部环境变化，如上游已建成龙头水库，或下游水库水位顶托，原来的开发方案相对不合理；五是一些引水式电站未设基流放流设施，无法保障下游河道生态基流。

5) 工程标准低，安全隐患多

受当时技术和管理水平的制约，工程设计标准偏低，施工质量不高，加之多年运行积累了较多的安全隐患。虽然“除险加固”工程的实施，使大批病险水库拦水、泄水设施的安全隐患得以消除，但引水渠失修、压力管道老化锈蚀、厂房及附属设施防洪标准偏低等问题的安全隐患依然存在，直接威胁着人民群众的生命财产安全。例如，近几年嵊州狮子岩、文成小九溪、黄岩富山等水电站都发生压力管爆裂、隧洞漏水、引水堤岸坍塌等安全事故，造成较大财产损失，对人民生命构成严重威胁。

6) 设备落后、老化、效率低

这些运行多年的小水电站设备陈旧，老化严重，绝缘性差，控制保护方式落后，机组振动及噪声大，整体故障率高，能量转换效率低，甚至存在严重安全隐患，机组多年运行出力逐年下降，综合效率多在70%以下，有的电站出力仅为设计出力的50%，近半数机组设备已达到或超过报废年限。机电设备自动化程度低、能耗高、故障多，部分设备属于国家明令淘汰的产品，备品备件已无从购买，每年仅因设备故障损失的电量就达8%。

7) 电站数量多、规模小、管理水平低下、运行成本高

以浙江省为例，全省1990年前投产的小型水电站1410座，总装机66.01万kW，

平均每座水电站装机容量只有 460kW, 其中 500kW 以上的水电站有 269 座, 100kW 以下的水电站有 365 座。约一半的水电站年发电量只有 20 万~40 万 kW·h, 而且大都是独立的经济实体, 单位电能的运行成本很高。

8) 水电站经营困难, 更新改造的能力差

由于集体和国有水电站的效益差, 许多水电站还承担着防洪、抗旱、灌溉等公益性任务, 人员负担重, 运营成本高, 每年水电站的收入用于职工的工资等支出已经捉襟见肘, 固定资产折旧困难, 绝大多数水电站不提折旧, 没有足够的资金对水电站安全隐患进行治理。根本无力筹资用于电站的更新改造, 这也导致集体和国有资产隐性流失严重。

9) 老电站报废和出售影响农村经济发展和社会稳定

1996 年以来, 由于缺乏资金, 已有部分老电站报废, 还有部分濒临报废或被迫出售给私营业主。这些电站绝大多数是当地乡、村集体经济组织和农民投资投劳修建的, 其收益是当地农民和农村集体经济组织收入的重要来源。电站报废或被迫出售给私营业主后, 山区农村集体经济失去主要来源, 严重影响农村公益事业和经济社会发展。同时, 早期建设的小水电站, 大部分担负着农田灌溉和村民用水的任务, 电站的运行人员同时担负着电站供水和灌溉设施的管理。由于缺乏资金, 大部分供水和灌溉设施年久失修, 电站一旦报废, 供水和灌溉设施就没人管理, 村民生活和农业生产将受到较大影响。

1.1.2 农村水电站存在问题的原因分析

我国农村水电站目前存在设施老化、安全隐患多、管理水平低、管理条件差等特点, 究其原因主要有以下五个方面。

1) 工程建造年代早

对于那些出现险情的水工建筑物, 它们几乎都存在一个共同点, 大多兴建于 20 世纪 60~70 年代, 且多为“三边”与“三无”工程, 建设标准低, 多为群众投工投劳修建, 施工质量差。加上经过几十年的运行, 老化问题日益突出, 因此出现目前的局面并非偶然。

2) 资金不足是导致农村水电站病险突出的根本原因, 也是制约农村水电站发展的瓶颈

面对农村水电站诸多的安全隐患, 业主并非没有察觉, 他们也认识到了问题的

严重性,迫切想对水电站进行更新改造,以求效益的最大化。由于大部分农村水电站水轮机组老化、水能转换效率低,以及上网电价低,导致大部分业主资金并不充足,无力自行完成更新改造。例如,江西省新干县左湖二级电站改造过程,由于原有的钢筋混凝土压力管道老化漏水严重,极大地影响了发电效益,2007年该水电站对其进行了一次更新改造,将原压力管道改换成球墨铸铁管道后,发电效益大增。即便如此,左湖二级水电站水工建筑物依然存在其他安全隐患,如压力前池和引水渠道老化、漏水、淤塞问题严重。在更换过压力管道之后,业主已无力对其他部分继续投资进行加固,只能“头痛医头、脚痛医脚”地做应急性修补,彻底改造很难实现。不仅如此,运行管理经费短缺会导致农村水电站维护保养工作困难,农村水电站老化失修,长期带“病”运行,往往发生“小病”不治最终酿成大祸的后果。

3) 业主往往只注重眼前利益,不愿投巨资对病险农村水电站进行彻底加固

大部分病险农村水电站至今从未进行过彻底的更新改造。农村水电站业主不愿意在更新改造项目上投资,除有些确实资金短缺外,还有很多业主是惧怕不能收回成本,或嫌收回成本周期太长。这些业主只看到了当前利益,只要农村水电站依然能够盈利,他们宁可少创收和反复进行修补,也不会考虑进行彻底的更新改造。病险农村水电站的引水渠道较好地反映了这一现状,尽管渠道冲刷、渗漏、淤塞问题很突出,但业主一般只对受冲刷最严重渠面进行简单衬砌,有些渠道甚至任何面均无衬砌。

4) 农村水电站管理水平低下使农村水电站病险问题更加突出

农村水电站业主为节省成本,常聘请当地农民帮助管理。这些农民大多数对发电运行业务一无所知,更是缺乏安全意识和很强的责任心,在水电站上班往往只是他们田间劳作之余的兼职,因此对运行设备的检查质量就会大打折扣,给安全生产带来很大隐患。同时大部分农村水电站也缺乏科学管理手段,忽视对职工技术培训和安全教育,这些管理人员没有经过系统的上岗培训,业务知识极其缺乏。人才已成为农村水电站效益提升的瓶颈。

5) 农村水电站上网电价偏低抑制了投资者的积极性

目前农村水电站上网电价低于大中型水电站上网电价,更是低于火电上网电价。而新建农村水电站单位千瓦投资由2004年之前的5000元增加至8000元以上。电价不涨而成本却大幅度抬升,更使得农村水电站企业雪上加霜,难以为继,有些农村水电站已濒临破产。

纵观导致农村水电站现状的各种原因,有些是客观存在的,如建筑物的老化,通过采取相应的工程措施可以得到改善。有些则是受社会环境制约,如业主的急

功近利与农村水电站上网电价偏低等。要改变目前局面需政府扶持和出台相应的政策,为农村水电站走上可持续发展道路营造良好的氛围。通过对农村水电站工程安全风险的调研分析与评价,可以更加全面清晰地认识我国农村水电站目前所面临的问题,为日后更好地制订风险控制措施提供参考意见。

1.2 安全风险评价研究现状

安全评价广泛存在于各个行业中,随着时代的发展而越来越突显其在保证安全生产、创造社会效益中的重要作用。目前水利工程安全评价的主要研究成果集中在大坝安全综合评价,因此有必要对工程系统安全评价的概念、起源及在水利界应用的演变情况进行简要介绍。

1.2.1 安全风险评价及其发展现状

安全评价又称风险评价、危险评价,在 20 世纪 30 年代最初出现于美国的保险行业。人类自产业革命以来,特别是第二次世界大战后,工业化过程加快,工业生产系统日趋大型化和复杂化,尤其是化学工业,在生产规模和产品种类迅速发展的同时,生产过程中的火灾、爆炸、有毒有害气体泄漏和扩散等重大事故不断发生,促进了对企业、装置、设施和环境等安全评价工作的开展。

20 世纪 60 年代开始了企业、装置和设施的安全评价原理和方法的研究。1964 年美国道(DOW)化学公司开创了化工生产危险度量安全评价的历史,该公司根据化学工业特点,以火灾、爆炸指数形式定量地评价化工生产系统的危险程度,形成了经典的道火灾爆炸指数评价法。之后,各国积极研究和开发,推动了该技术的迅猛发展,并在此基础上提出了一些独具特色的评价方法。例如,英国帝国化学公司蒙德分公司,在道火灾爆炸指数评价法的基础上扩充了毒物危险因素,并对系统中影响安全状态的其他危险因素,如有关安全设施等防护措施予以考虑,以补偿系数的形式引入到评价模型的结构中,于 1976 年提出了蒙德指数评价法。日本劳动省参照道火灾爆炸指数评价法、蒙德指数评价法的思想,也在 1976 年开发出了“化学工厂六步骤安全评价法”。苏联也提出了化工过程危险性评价法。上述方法均为指数法,仍然遵循了道化学公司以及系统危险和危险能量为评价对象的原则,在评价原理上无质的变化,这些方法仍然在不断发展和完善之中。

随着航天、航空和核工业等技术迅速发展,20 世纪 60 年代后期,以概率风险评价为代表的系统安全评价技术得到了研究和开发。英国于 20 世纪 60 年代中期建立了故障数据库和可靠性服务咨询机构对企业开展概率风险评价工作。1974 年美国原子能委员会完成了商用核电站危险状况的全面评价,并于 1975 年由麻省理工学院 N.Rasmussen 领导的研究小组发表了《Wash 1400: 反应堆安全

研究》。1979年英国伦敦 Cremer & Wamer 公司和德国法兰克福 Battle 公司对荷兰 Rijnmuncel 地区工业设施进行了评价。此后，这类评价方法在工业发达的许多项目中得到广泛的应用。1984年设在印度博帕尔市的美国联合碳化物公司开办的一家农药厂发生的毒气泄漏事故（死亡 2500 人，中毒 125000 人）、1986年美国发生的“挑战者”号航天飞机爆炸和苏联切尔诺贝利核电站爆炸事故，使得人们对安全问题有了更加深入的认识，各国政府和研究机构更加重视安全评价的研究。例如，英国的 Technica 有限公司、荷兰的应用科学研究院、欧洲的欧共体 Lspra 联合研究中心、意大利的 STA 公司等都对安全评价进行了深入且广泛的研究，并开发了相关软件，作为独立的产业形式出现的国外发达国家的安全评价发展方兴未艾。

1981年，我国原劳动人事部首次组织有关的科研机构和大专院校的研究人员，开展了安全评价的研究工作。原冶金工业部开发并颁布了“冶金工厂危险程度分级方法”。化工、机电、航空以及交通等部门和行业同时开始了企业中实行安全评价的试点工作。1988年，机械电子工业部颁布了《机械工厂安全评价标准》。1992年，广东劳动保护研究所主持完成了工厂危险程度分级方法。1995年，劳动部、北京理工大学合作完成了《易燃、易爆、有毒重大危险源的安全评价技术》课题。同时一些高等院校、研究单位和企业相继开展了安全评价技术的研究和开发工作。特别是在 1994 年，我国相继发生了多起特大火灾事故后，安全评价受到了政府部门和社会的重视，1994 年、1995 年分别在太原、成都召开了全国各行业协会安全评价研究研讨会，安全评价技术及应用在各行业系统内逐步推广和展开。

在借鉴国际职业安全健康管理体系模式的基础上，我国 1997 年颁布了石油工业行业标准 SY/T 6276—1997《石油天然气职业安全卫生管理体系》。同时国家经贸委于 1999 年颁布了《职业安全卫生管理体系试行标准》，下发了关于开展职业安全健康管理体系认证工作的通知。2001 年国家安全生产监督管理局发布了《职业安全健康管理体系规范》。2002 年《中华人民共和国安全生产法》颁布实施，其中对生产经营单位保障安全生产的相关条款中提出了安全生产评价，这促进了我国安全管理水平的提高。2003 年国家安全生产监督管理局先后发布了《安全评价通则》《安全预评价导则》《安全验收评价导则》及《安全现状评价导则》等，并对安全评价单位资质进行了重新审核登记。2007 年国家安全生产监督管理局对《安全评价通则》及相关评价导则进行了修订。为加强安全评价机构的管理，规范安全评价行为，建立公正、公平、竞争、有序的安全评价技术服务体系，中华人民共和国国家安全生产监督管理总局于 2009 年 10 月发布了《安全评价机构管理规定》。为贯彻落实“安全第一、预防为主、综合治理”的方针，加强水利水电建设项目的安全生产工作，规范水利水电建设项目的安全评价管理，2012 年 3 月水利部制定并发布了《水利水电建设项目安全评价管理办法（试行）》。