

公路桥梁和隧道工程 施工安全风险评估制度及指南解析

GONGLU QIAOLIANG HE SUIDAO GONGCHENG
SHIGONG ANQUAN FENGXIAN PINGGU ZHIDU
JI ZHINAN JIEXI

交通运输部工程质量监督局 编著



人民交通出版社
China Communications Press

Gonglu Qiaoliang he Suidao Gongcheng Shigong Anquan
Fengxian Pinggu Zhidu ji Zhinan Jiexi

公路桥梁和隧道工程施工安全 风险评估制度及指南解析

交通运输部工程质量监督局 编著

人民交通出版社

《公路桥梁和隧道工程施工安全 风险评估制度及指南解析》

编 委 会

主 任：李彦武

副 主 任：黄 勇

委 员：陈 萍 罗海峰 桂志敬 肖殿良

陈济丁 周荣贵 李 伟

主 编：李 伟 肖殿良

编写成员：陈 磊 王宏旭 李志强 赵海涛

李杰男 刘琳琳 郭 鹏 廖雅杰

张 宇 田 建 娄 峰

统 稿：肖殿良 李 伟

审 稿：钱寅泉 黄宏伟 彭建华

序

交通运输业是国民经济和社会发展基础性、先导性产业,在繁荣经济、提高人民生活质量方面起着至关重要的作用。随着交通运输业的快速发展,人民群众对交通运输科学发展、安全发展的呼声也越来越高。树立安全发展的理念,是交通运输科学发展的根本要求,是加快转变交通发展方式、推进现代交通运输业发展的内在要求,是践行“三个服务”的必然要求,是提高公共服务和社会管理能力的客观要求。对交通运输行业来说,离开安全这个前提,各项工作都失去了意义。

交通建设工程因建设环境复杂、施工条件差、不安全因素动态变化快、安全事故诱因复杂和主体从业人员(农民工)流动性大等原因,多年来安全事故呈现“易发、频发、多发”等特点,尤以公路桥梁和隧道工程(以下简称桥隧工程)最为突出,已成为交通建设的高风险工程。“十一五”期间,我国桥隧工程生产安全事故起数和死亡人数占事故总量的60%以上,且许多重特大事故基本都发生在桥隧工程上,社会影响极大。因此,控制好桥隧工程安全事故是改善交通建设领域安全形势的关键。

安全生产重在预防。风险评估作为行之有效的风险预防措施,已被各行业广泛采用。交通运输部高度重视桥隧工程安全风险评估工作,不断加强桥隧工程风险预控,先后出台了桥隧工程设计和施工阶段的风险评估制度和指南,倡导和大力推行风险评估制度的实施,促进安全生产形势长期稳定。交通运输行业的做法得到了社会各界的充分肯定,公路桥隧工程设计、施工安全风险评估已被国务院列为《安全生产“十二五”规划》的主要内容。

风险评估需要你我的关注和行动。部工程质量监督局组织编写的《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估制度及指南解析》一书,是交通建设领域风险评估工作的一次有益尝试和探索,希望这本书能够成为公路桥隧工程建设人员在安全生产工作中的好帮手。

交通运输部工程质量监督局局长



2011年11月

前 言

风险的概念最早出现在 19 世纪末的西方经济领域中。工程风险评估是在运用经济学、结构系统可靠性原理、管理学、行为科学、运筹学、概率统计、计算机科学、系统论、控制论、信息论等多种学科和现代工程技术的基础上,结合现代工程建设项目的实际,逐步形成的边缘性学科。

风险评估是现代安全管理模式,体现了以人为本和预防为主的理念。在欧美国家,风险评估已被广泛应用到核工业、航天、国防、海洋工程、石油化工、大型工程建设等重要领域和高科技开发项目中。在我国,风险评估在安全生产领域也得到了一定应用,特别是煤矿、非煤矿山、危险化学品等行业,对于推进安全生产工作发挥了重要作用。风险评估在交通建设领域还处于起步阶段,2002 年,上海市政工程局在崇明越江隧道工程可行性研究中,尝试开展了工程风险评估专项研究,对包括全桥、全隧、桥隧结合等方案进行风险评估。2007 年,交通运输部为加强公路桥梁和隧道工程的安全管理,决定在公路桥梁和隧道工程设计、施工阶段开展风险评估工作。

从 2008 年至 2011 年近 3 年的时间里,依靠交通运输部科学研究院、交通运输部公路科学研究院等科研单位和基层质监、施工单位的技术力量,我们尝试开展了对公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估的制度体系、理论方法、工程应用等系统的研究,历经大纲、初稿、征求意见稿等多个阶段,并深入工程现场进行调研与试用,不断完善评估制度,优化评估方法,于 2011 年 5 月出台了公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估制度和指南。

《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估制度及指南解析》是这 3 年研究的一个总结,尝试提出了公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估的基本理论体系,针对公路桥梁和隧道工程重大风险源研究制定了一套数学模式化的评估指标体系,实现了定量评估,达到了评估方法简单、易懂的目标。针对重特大事故的特点,突出抓重大风险源的预案预警预控,强化施工安全监控手段,提倡走本质安全型的行业安全监管之路。

本书是在交通运输部科技项目“桥隧工程施工安全风险评估管理制度与试点研究”、“大型公路桥梁工程安全生产重大危险源及事故隐患防治技术研究”等研

究成果的基础上编写而成的,在编写过程中也得到了辽宁省交通工程质量与安全监督局、贵州省交通建设工程质量监督局、福建省交通建设质量安全监督局、湖南省交通建设质量安全监督管理局、安徽省交通工程基本建设质量监督站、重庆市交通委员会基本建设工程质量和安全监督站、北京市交通委员会路政局门头沟公路分局、辽宁庄盖高速公路建设指挥部、福建厦漳大桥有限公司等单位的支持,使得研究成果能够在具体工程中得以应用,特此致谢。

施工安全风险评估是一门新兴学科,公路桥梁和隧道工程施工的致险因素复杂,本书提出的风险评估理论与方法尚需随着交通建设行业对风险评估概念的认识的深入、对风险评估理念的逐渐认可,以及对风险评估方法研究的开展不断充实和完善,敬请各位专家、读者惠予指正。

编 者

2011 年 11 月 11 日

目 录

第一部分 安全评估基本知识

第1章 概论	3
1.1 基本概念和术语	3
1.2 安全评估的沿革	4
1.3 安全评估的目的、意义及原则	6
1.4 安全评估的内容及种类	8
1.5 安全评估的基本程序	10
1.6 安全评估的基本原理	12
第2章 事故致因理论	15
2.1 事故致因理论的产生与发展	15
2.2 事故因果连锁理论	17
2.3 扰动起源论	19
2.4 能量意外释放论	21
2.5 轨迹交叉论	24
2.6 系统观点的人失误主因论	27
2.7 综合原因论	28
第3章 危险辨识与评估单元划分	30
3.1 危险、有害因素概述	30
3.2 危险、有害因素的分类	32
3.3 危险、有害因素的辨识	36
3.4 评价单元的划分	38
3.5 建设工程施工中危险辨识	40
第4章 主要安全评估方法	45
4.1 安全评估方法分类	45
4.2 安全检查表法	46
4.3 预先危险性分析	50
4.4 故障树分析法	52
4.5 事件树分析法	56
4.6 作业条件危险性评价法	59

4.7 风险矩阵法	60
4.8 常用安全评估方法的比较	62
第5章 安全对策措施	64
5.1 概述	64
5.2 安全技术对策措施	65
5.3 安全管理对策措施	65

**第二部分 《关于开展公路桥梁和隧道工程施工安全
风险评估试行工作的通知》解读**

第1章 编制说明	69
1.1 背景与目的	69
1.2 主要依据	70
1.3 工作过程	71
1.4 主要内容和特点	71
第2章 内容解读	72
2.1 评估目的	72
2.2 适用范围	72
2.3 评估定义	72
2.4 评估内容	72
2.5 评估原则	73
2.6 评估范围	73
2.7 评估程序	73
2.8 评估小组	75
2.9 评估方法	75
2.10 资料收集	76
2.11 评估报告	76
2.12 评估费用	77
2.13 实施要求	77
第3章 实施及展望	79

第三部分 《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》解析

第1章 总则	83
1.1 《指南》的适用范围	83

1.2 《指南》推荐的评估方法	83
第2章 术语	84
第3章 总体风险评估	85
3.1 一般要求	85
3.2 桥梁工程	85
3.3 隧道工程	88
第4章 专项风险评估	91
4.1 一般要求	91
4.2 风险源辨识	93
4.3 风险分析	96
4.4 风险估测	98
第5章 重大风险源风险估测	99
5.1 一般要求	99
5.2 桥梁工程	101
5.3 隧道工程	108
第6章 风险控制	113
6.1 一般要求	113
6.2 一般风险源控制	114
6.3 重大风险源控制	115
第7章 风险评估报告编制	116
附录 3-1 常用评估方法特点	118
附录 3-2 公路桥梁工程主要施工作业活动与典型事故类型对照表	122
附录 3-3 公路隧道工程钻爆法施工作业活动与典型事故类型对照表	123
附录 3-4 公路桥梁典型的重大风险源风险控制建议(供参考)	126
附录 3-5 公路隧道典型的重大风险源风险控制建议	133
附录 3-6 施工安全风险评估报告格式	138

第四部分 公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估案例

第1章 桥梁工程	143
1.1 概述	143
1.2 工程概况	144
1.3 总体风险评估	149
1.4 专项风险评估	152
1.5 重大风险源风险估测	157
1.6 风险控制措施	164

第2章 隧道工程..... 175

2.1 概述 175

2.2 工程概况 176

2.3 总体风险评估 183

2.4 专项风险评估 185

2.5 重大风险源评估 190

2.6 风险控制措施 199

附 录

附录 关于开展公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估试行工作的通知..... 209

附件 公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南(试行) 215

参考文献..... 268

第一部分 安全评估基本知识

第1章 概 论

现代安全理论认为,安全是相对的,危险是绝对的。尽管我们在生产生活中采取了有效的预防控制措施,但事故还是有可能发生,并且可能造成人和物的损失,其原因是生产系统中客观上存在危险性。在一定条件下,若危险性失去控制或者防范不周,便会导致事故的发生。为了准确识别和有效地控制危险、有害因素,保障人们的安全和健康,减少事故损失,人们在不断总结事故预防的成功经验和失败教训的基础上,开发了安全风险评估技术。通过安全风险评估,可以找出生产过程中潜在的危险有害因素,特别是可以查出未曾预料到而被忽视的危险因素和职业危害,识别系统中存在的薄弱环节与可能导致事故和职业危害的发生条件,针对这些环节和条件,提出相应的对策措施,预防、控制事故和职业危害的发生。在安全风险评估中还可以进一步对一些后果比较严重的主要危险因素和职业危害采用定量分析方法,预测事故和职业危害发生的严重性,并制定减少和控制事故后果蔓延的对策措施,从而达到全过程、全方位地对安全生产进行控制的目的。

1.1 基本概念和术语

1) 安全与危险

“安”字指不受威胁、没有危险、太平、安全、稳定等,可谓无危则安;“全”字指完满、完整或没有伤害、无残缺等,可谓无损则全。工程上的安全性,是用概率表示近似客观量,用以衡量安全的程度。

危险是指系统处于容易受到损害或伤害的状态。从危险的概念来看,危险是人们对事物的具体认识,必须明确对象,如危险环境、危险条件、危险物质、危险因素等。

安全和危险是一对互为存在前提的术语。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事件发生的条件。

2) 事故

事故的含义可以用意外事件对行动过程的影响或对人员财产的影响后果来定义,即:事故是人们在实现目的的行动过程中,突然发生的、迫使其有目的的行动暂时或永远终止的一种意外事件。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。

3) 风险

风险是危险、危害事故发生的可能性与危险、危害事故所造成损失的严重程度的综合度量。

风险的大小可以用风险率 R 来衡量。风险率等于事故发生的概率 P 与事故损失严重程度 S 的乘积:

$$R = P \times S \tag{1-1-1}$$

由于概率值难以取得,常用事故频率代替事故概率,这时上式可表示为:

$$\text{风险率} = \frac{\text{事故次数}}{\text{单位时间}} \times \frac{\text{事故损失}}{\text{事故次数}} = \frac{\text{事故损失}}{\text{单位时间}} \tag{1-1-2}$$

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、损失工作日数或经济损失等;风险率是两者之商,可以定量表示为百万工时事故死亡率、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) 事故隐患与危险源

事故隐患是指作业场所、设备及设施的不安全状态,人的不安全行为和管理上的缺陷,是引发安全事故的直接因素。

从安全生产角度来看,危险源是指可能造成人员伤亡、疾病、财产损失、作业环境破坏或其他损失的根源或状态。它的实质是具有潜在危险的源点或部位,是爆发事故的源头,是能量、危险物质集中的核心,是能量传递出来或爆发的地方。

危险源存在于确定的系统中,不同的系统范围,危险源的区域也不同。例如:从全国范围来说,危险行业(如石油、化工等)的一个具体企业(如炼油厂)就是一个危险源;而从一个企业系统来说,可能某个车间、仓库就是危险源;一个车间系统中可能某台设备是危险源。因此,分析危险源应按系统的不同层次来进行。

事故隐患与危险源不是等同的概念,事故隐患是指作业场所、设备以及设施的不安全状态、人的不安全行为和管理上的缺陷。它实质是有危险的、不安全的、有缺陷的“状态”,这种状态可表现在人或物上,如人走路不稳、路面太滑都是导致摔倒致伤的隐患;也可以表现在管理的程序、内容或方式上,如检查不到位、制度不健全、人员培训不到位等。

1.2 安全评估的沿革

1.2.1 安全评估的起源

安全评估在欧美各国被称为“风险评估”或“风险评价”(Risk Assessment)。安全评估是以保障安全为目的,按照科学的程序和方法,从系统的角度出发对工程项目或工业生产中潜在危险进行预先的识别、分析和评估,为制订基本防灾措施和管理决策提供依据。

安全评估技术起源于 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,而收取费用的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估。

1.2.2 安全评估的发展

安全评估技术在 20 世纪 60 年代得到了很大的发展,首先应用于美国军事工业。国外在

安全评估方面作了大量的工作,提出了许多实用的安全评估方法。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、爆炸危险指数评估法”,用于对化工装置进行安全评估,该法已修订 6 次,1993 年已出版第七版。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。由于该评估方法日趋科学、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,推动了评估方法的发展。

1974 年英国帝国化学公司(ICI)蒙德(Mond)分公司在道化学公司评估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、毒性指标评估法”。

1976 年日本劳动省颁布了“化工厂安全评估六阶段法”,该法采用了一整套系统安全工程的综合分析和评估方法,使化工厂的安全性在规划、设计阶段就能得到充分的保证。由于安全评估技术的发展,安全评估已在现代生产经营单位管理中占有优先的地位。

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《重大事故控制指南》(1988)、《重大工业事故预防实用规程》(1990)和《工作中安全使用化学品实用规程》(1992),对安全评估提出了要求。2002 年出版的《欧盟未来化学品政策战略白皮书》中,明确了危险化学品的登记及风险评估,并作为政府的强制性的指令。

1.2.3 我国安全评估的现状

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估方法,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)、作业条件危险性评估(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。这一期间的主要特点是安全系统分析方法的应用,解决的问题基本上是系统局部的安全问题。

1984 年后,我国开始研究安全评估理论和方法,在小范围内进行安全系统评估的尝试。

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估,于 1988 年 1 月 1 日颁布了第一个部颁安全评估标准《机械工厂安全性评估标准》,并于 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。

与此同时,安全预评估工作随着建设项目“三同时”工作向纵深开展起来。1988 年国内一些较早实施建设项目“三同时”的省、市,开始了建设项目安全预评估实践。经过几年的实践,在取得初步经验的基础上,1996 年 10 月原劳动部颁发了第 3 号令《建设项目(工程)劳动安全卫生监察规定》,规定六类建设项目必须进行劳动安全卫生预评估。预评价是根据建设项目的可行性研究报告内容,运用科学的评估方法,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管理对策,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。

2002年6月29日中华人民共和国主席令第70号颁布了《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估。2002年1月9日中华人民共和国国务院令第344号发布了《危险化学品安全管理条例》,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估;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估”的要求。《中华人民共和国安全生产法》和《危险化学品安全管理条例》的颁布,进一步推动安全评估工作向更广、更深的方向发展。

2003年3月国家安全生产监督管理局陆续发布了《安全评价通则》、《安全预评价导则》、《安全验收评价导则》、《安全现状评价导则》、《煤矿安全评价导则》、《非煤矿山安全评价导则》、《陆上石油和天然气开采业安全评价导则》、《民用爆破器材安全评价导则》、《烟花爆竹生产企业安全评价导则(试行)》和《危险化学品包装物、容器定点企业生产条件导则(试行)》等各类安全评价导则。

总的来说,我国安全评估工作开展较晚,无论是安全评估方法,还是安全评估的基础数据,与一些工业化国家还有很大的差距。例如,因为我国还没有建立系统的风险标准和基础数据库,所以在欧美等地区普遍采用量化的风险评估法的时候,我国还很少使用。我国目前的安全评估还停留在对生产过程的危险、有害因素的识别和分析,查找生产过程中的事故隐患,按照安全生产法律、法规和标准提出安全对策措施的阶段。

1.3 安全评估的目的、意义及原则

安全评估的领域包括工程、系统、生产经营行为和社会活动等。一般来说,生产经营活动的安全评估是安全评估的主要领域。生产经营过程中的安全评估是以实现工程、系统安全为目的,应用系统安全工程原理和方法,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、系统发生事故和职业危害的可能性及其严重程度,从而为工程、系统的设计、生产经营活动制订防范对策措施,为安全管理决策提供科学依据。

1.3.1 安全评估的目的

安全评估的目的是查找、分析和预测工程、系统中存在的危险有害因素及可能导致的事故的严重程度,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,达到最低事故率、最少损失和最优的安全投资效益。安全评估要达到的目的包括以下四个方面:

- (1)促进实现本质安全化生产;
- (2)实现全过程安全控制;
- (3)建立系统安全的最优方案,为决策者提供依据;
- (4)为实现安全技术、安全管理的标准化和科学化创造条件。

1.3.2 安全评估的意义

安全评估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。安全评估与日常安全管理和安全监督监察工作不同,安全评估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。

在现代生产系统中,安全评估作为企业管理的重要组成部分,无论是在降低企业的经济损失、提高企业的生产效率,还是在提高企业的诚信度和全体员工的素质等方面,都具有十分重要的意义,可以概括为以下五个方面:

- (1)安全评估是安全生产管理的一个必要组成部分;
- (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;
- (3)有助于安全投资的合理选择;
- (4)有助于提高生产经营单位的安全管理水平;
- (5)有助于生产经营单位提高经济效益。

1.3.3 安全评估的原则

安全评估是关系到被评估项目是否符合国家规定的安全标准,能否保障劳动者安全与健康的关键性工作。由于这项工作不但具有较复杂的技术性,而且还有很强的政策性,因此,要做好这项工作,必须以被评估项目的具体情况为基础,以国家安全法规及有关技术标准为依据,用严肃的科学态度,认真负责的精神,强烈的责任感和事业心,全面、仔细、深入地开展和完成评估任务。安全评估应遵循科学性、公正性、合法性和针对性原则。

1) 科学性

安全评估涉及学科范围广,影响因素复杂多变。安全预评估从时间上讲有预测性、预防性;安全现状综合评估在整个项目上具有全面的现实性;专项安全评估在技术上具有较高的针对性;验收安全评估在项目的可行性上具有较强的客观性。为保证安全评估能准确地反映被评估项目的客观实际和结论的正确性,在开展安全评估的全过程中,必须依据科学的方法、程序,以严谨的科学态度全面、准确、客观地进行工作,提出科学的对策措施,作出科学的结论。

2) 公正性

评估结论是被评估项目的决策依据、设计依据、能否安全运行的依据,也是国家安全生产监督管理部门进行安全监督管理的执法依据。因此,对于安全评估的每一项工作,评估单位和评估人员必须严肃、认真、实事求是地进行,都要做到客观和公正。既要防止受评估人员主观因素的影响,又要排除外界因素的干扰,避免出现不合理、不公正。

3) 合法性

安全评估机构和评估人员必须由国家安全生产监督管理部门予以资质核准和资格注册,只有取得资质的机构才能依法进行安全评估工作。

4) 针对性

进行安全评估时,首先要针对被评估项目的实际情况和特征,收集有关资料对系统进行全