

# 地下工程的可靠性与风险决策

白峰青 卢兰萍 姜兴阁

(河北建筑科技学院 邯郸 056038) (邢台矿业集团 邢台矿)

**摘 要** 利用可靠度理论和风险理论对地下工程的可靠性和风险进行了评价,将可信因子应用到风险决策中,结合实例探讨了风险决策的方法和步骤。

**关键词** 可靠度;可信因子;风险决策

**中图分类号** TU 45; O 224

## 0 引 言

地下工程的可靠性就是指在经济条件允许的前提下、在规定的实用期间内,确保工程的安全可靠。实际上任何工程系统总会存在一定的风险,正确对待可靠性与风险就是要做到经济合理性和可靠性的辩证统一。

## 1 地下工程的可靠性

工程的可靠性往往采用安全系数以及在设计中采用比较保守的假定来实现,即确定一个“最差的”供给使之适应一个“最坏的”或“最大的”需要。然而,什么因素构成最小的供给条件和最大的需要条件往往受到人为因素的影响。地下工程设计和建造都是一次性的,因此,结构的可靠性不能用多次重复的方法进行估计。可靠度设计方法是基于概率方法,将影响工程可靠性的因素视为随机变量,充分考虑了各随机变量的随机性和变异性,使结果更接近实际情况。

### 1.1 地下工程的失效模式

地下工程问题往往涉及到多种失效模式,任何一种模式的失效,都将构成整个系统或部分失效<sup>[1]</sup>,失效模式可分为串联和并联或二者组合的模式。对于串联模式,一个或多个子系统的失效将构成整个系统的失效;对于并联模式,整个系统的失效必须是所有子系统的都失效。

### 1.2 地下结构可靠度的确定

结构的可靠度是指在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的概率。可靠度大小可以用安全概率或失效概率来描述,可靠度的确定可采用 JC 法或 Monte-Corlor 法<sup>[2]</sup>。

## 2 地下工程的风险分析

### 2.1 风险与风险测度准则

风险存在的形式多种多样,从不同的角度、不同的目的出发,风险就具有不同的含义。但无论如何它们都具有相同的本质,即风险是人们事先能预计采取某种行动可能产生某种后果的概率。

严格来讲,仅以设计结果的概率来进行风险决策是不够科学的。实际上工程风险的大小,还与可能结果的概率分布密集程度和工程的重要程度以及决策者的态度有关。决策准则主要有期望收入与变异系数准则和效用准则,前者反映了可能结果的概率密集程度的决策准则,后者反映了决策者对工程的重要程度和决策者的态度。根据决策者的态度,可将决策者分为三类:可靠性敏感型、可靠性容忍型和可靠性不敏感型。对于可靠性敏感型,最大的可靠性是主要决策准则;对于可靠性不敏感型(冒险型),最大的期望收益是主要的决策准则。

### 2.2 风险分析与决策

#### 2.2.1 风险分析

风险分析与决策是密切相关的,风险分析是风险决策的基础和依据。风险分析就是对风险辨识、估计和评价作出全面的、综合的全面的分析,主要包括下列内容:1)风险辨识:工程存在哪些风险?会产生哪些后果?参数如何变化等;2)风险估计:风险概率大小?后果怎样(严重后果还是较严重后果?);3)风险评价:风险一效益综合评价,如何对待风险等。

### 2.2.2 风险分析的可靠性决策树模型

决策树是一种常用的分析工具,它可以用来某一行为的最佳方案或行动序列。决策树将所有决策分析中有关部分组合成一种系统的方式,使之适合于优化方案的分析评价。决策树由方形节点开始,对于每一种方案有几种可能的结果以园形节点表示。当决策树上所有的期望收益都估算出来后,如何选择决策准则是风险决策的关键。然而,工程系统的可靠性分析结果可能因各种因素而降低,如:随机变量的变异性的差异可能使系统失效概率增大;随着时间的推移,岩石、结构面、混凝土、钢筋等因风化、老化,强度将降低,系统可靠性将降低。而这些影响很难给出定量分析,只能相对比较而定,可靠性风险决策将可信因子(CF)引入到决策准则中,用半定量的方法来描述系统可靠性的变异性。所谓可信因子可理解为关于某一判断的确定性程度的数量测度(正确、准确、可能)。将可信因子规定为 0~100 的实数,0 代表最小的确定性,100 代表最大的确定性,即绝对的确定性。

将可信因子引入到决策树上,效用值(U)就引深为可信效用值(CUV),它表示对结果的信息或信心的度量。CUV 是效用值与可信因子的乘积,即  $CUV = CF \times U$ 。可信因子 CF 的分配应遵循以下原则:1)相同的概率分布,应具有相同的可信因子值,即应对整个概率方法分配 CF 值,而不是对单独的为每个概率值分配 CF 值;2)CF 值的分配应满足一致性,即可靠度大的 CF 值大,反之则 CF 值小。可靠性决策树模型的分析步骤包括:1)问题结构化,确定各个决策点以及各供选方案;2)认定各个方案可能面临的各种不确定事件;3)确定各方案结果的概率确定方法并进行概率估计;4)确定各节点的可信因子、费用(效用值)和可靠性费用值;5)可靠性风险决策。

### 2.2.3 备选方案的效用(投资费用)、可信因子和可靠度的确定

#### (1) 备选方案效用(投资费用)的确定

直接费用:主要包括劳动力工资、材料费(水泥、锚杆、钢材费用等)、施工费用(机械费用、电费或油耗、水费等),这些费用可直接用金钱来衡量。

间接费用:主要由施工事故等人为或自然因素造成的直接或间接损失。如误工费(前期误工和工程运营期间造成的损失)、生命财产损失、声誉和社会影响等费用。这些费用一般很难准确地用金钱来衡量。不同的决策者和不同的企业具有各自的衡量尺度,工程的性质不同决定处理的方式也不同。因此,如何处理好间接费用问题是一个关键问题,也是一个困难的问题。

处理风险造成的间接损失费用可采用两种方式,一种是业主自行承担全部风险形成后所需投入的费用,如果风险没有产生,将节省有关投资。如果风险形成,则需一笔可观的投入。另一种方式是分散风险损失,将间接费用的估算中施工事故费用平均费用投保形式支出。

其他间接费用考虑的原则是无论何种方案被采纳,一旦施工过程中出现事故,就要采用认为最安全的方案,增加的间接费用则为该方案的费用。工程收益以拟选方案为准,少于拟选方案的费用则为风险收益。

#### (2) 可信因子的确定

可信因子的确定分为施工期间和运营期间分别确定,采用与可靠度相一致的原则。

#### (3) 可靠度的确定

据 CIRIA(英国建筑与研究学会)认为,按理论计算所得的失效概率仅为实际概率的 10~25%,据此失效概率按下限调整,决策树模型的失效概率按理论值的 10 倍考虑。

## 3 实例分析

某地铁隧道工程,围岩为花岗岩和流纹岩的块状岩体,岩石中等至未风化,岩石单轴抗压强度  $R_c=80\sim 150\text{MPa}$ ,围岩发育 2~3 组结构面。一般情况下,隧道单跨小于 25m 稳定,25~35m 基本稳定。本文以随机块体理论为基础,利用可靠度分析方法确定不同方案的可靠度,分析结果基本符合实际情况<sup>[3]</sup>,分析结果参见表 1。

### 3.1 可靠性风险决策模型

根据实际情况备选方案有:A:拟选方案(全衬砌);B:全喷混凝土;C<sub>1</sub>:顶面锚喷,密度 1.4m

表1 计算结果与实际情况对比表

Tab.1 the comparative chart between the caculating resulis and the fact

方案	喷混凝土 (厚度 10cm)	锚喷支护 (锚杆密度 1m×1m)	锚喷支护 (锚杆密度 1.4m×1.4m)
实际状态	基本稳定	稳定	稳定
计算结果(失效概率)	$2.31 \times 10^{-3}$	$2.92 \times 10^{-5}$	$6.67 \times 10^{-5}$

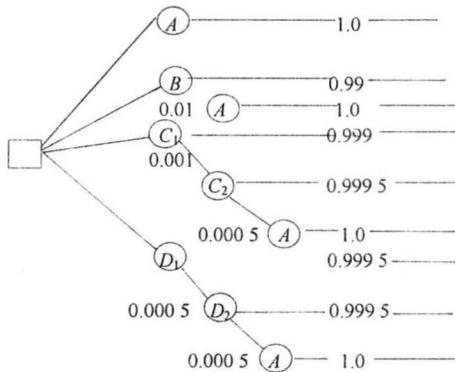
×1.4m 侧面喷混凝土; C<sub>2</sub>: 锚杆密度加密成 1m×1m; D<sub>1</sub>: 顶侧面锚喷, 密度 1.4m×1.4m; D<sub>2</sub>: 锚杆密度加密为 1m×1m, 估价以 200m 隧道为准, 决策树模型如图 1 所示。

3.2 隧道工程可靠性风险决策

CF 值的确定: 由计算结果可知, 六种支护方案均接近于实际状态, 最大收益概率为  $7.42 \times 10^{-2}$ , 可以认为计算结果对于施工期间是可靠的, 取可信因子  $CF = 100$ ; 在地铁运营期间, 考虑自然因素和人为因素的影响, 可信因子  $CF$  小于 100, 其中  $CF_A > CF_{D2} > CF_{D1} > CF_{C2} > CF_{C1} > CF_B$ 。

可靠性风险决策: 根据地铁隧道的实际情况, 考虑到地铁的重要性, 隧道的支护方案建议如下:

(1) 非车站段宜采用 C<sub>2</sub>~C<sub>1</sub> 方案, 即顶面采用锚喷支护, 锚杆密度 1.4m×1.4m~1m×1m, 长度 2m~3m; 侧面采用喷 C<sub>20</sub> 混凝土, 厚度不小于 10cm。(2) 车站段是地铁工程建筑的表现重点, 砌衬应服从其需要, 建议仍采用拟选方案。但是如果从车站建筑体现地下特点(挪威地铁有这方面的成功实例), 也可以采用锚喷衬砌, 所比较的方案都有收益, 且具有极好的安全性。



费用 U(万元)	可靠费用 CUW(万元)
86.7	$CF_A \times 86.7$
19.6	$CF_B \times 19.6$
86.7+间接费用	$CF_C \times (86.7 + \text{间接费用})$
26.2	$CF_C \times 26.2$
28.2	$CF_C \times 28.2$
86.7+间接费用	$CF_C \times (86.7 + \text{间接费用})$
36.0	$CF_D \times 36.0$
39.8	$CF_D \times (86.7 + \text{间接费用})$
86.7+间接费用	$CF_D \times (86.7 + \text{间接费用})$

图1 某地铁隧道可靠性决策树模型  
Fig.1 the tree Modle of the decision of risks in the project of a tunnel

4 结束语

地下工程的可靠性与风险决策, 考虑了影响结构可靠度因素的随机性和不确定性, 分析结果符合实际, 是市场经济条件下的经济技术可行的决策方法。现场数据的可靠性、预测模型的合理性、可信因子的确定是提高风险决策可靠性的根本。本文仅探讨了工程设计中的经济、技术方面的风险, 而工程施工质量和施工管理是构成工程风险不可忽视的人为因素, 因此, 在工程实施过程中只有严把质

量关、加强管理, 才能把风险降低到最小。

参考文献

- 1 陆述远主编. 水工建筑物专题. 北京: 水利电力出版社, 1995. 74~135.
- 2 [美] 洪华生, 邓汉中著. 工程规划与设计中的概率概念. 北京: 冶金工业出版社, 1991. 426~647.
- 3 白峰青. 隧洞工程的风险设计及决策. [学位论文]. 天津大学, 1996.
- 4 张金才, 张玉卓, 刘天泉著. 岩体渗流与底板突水. 北京: 地质出版社, 1997. 89~98.

The Decision of the Reliabilities and Risks for Underground Project

Bai Fengqing Lu Lanping Jiang Xingge

(Hebei Institute of Architectural Science and Technology, Shijiazhuang, China)

**Abstract** Using the theory of reliability and the theory of risk, this paper evaluates the reliabilities and risks for the underground project. Furthermore, it uses the reliability elements to decision of risks. The practical example shows that the evaluatinoneg tally with the facts

**Key words** reliability; reliability elements; decision of risks