

文章编号: 1000-2472(2001)01-0088-05

# 施工方案评审的可靠性分析方法<sup>\*</sup>

邓铁军

(湖南大学土木工程学院, 湖南 长沙 410082)

**摘 要:** 根据工程施工可靠性概念, 对施工过程的可靠性确定方法及可靠性等级进行了探索, 分析了施工方案可靠性结构及其计算方法, 并示例其应用。

**关键词:** 施工方案; 评审; 可靠性; 方法

**中图分类号:** TU 723.3

**文献标识码:** A

## The Method of Analyzing Reliability About Appreciation on Constructing Project

DENG Tie-jun

(College of Civil Engineering, Hunan Univ, Changsha 410082, China)

**Abstract:** According to the concept of reliability on construction, the method of corroborating reliability and the scale of reliability is discussed. The program of reliability of constructing project is analyzed and the accounting method is discussed. It gives a demonstration lastly.

**Key words:** constructing project; appreciation; reliability; method

工程结构可靠性理论已成为结构极限状态设计方法的依据。结构生命的全过程包括: 施工期、服役期和超龄期 3 个阶段, 平均风险最大的是施工期和超龄期。而现行结构规范主要针对正常使用阶段, 对首尾两个阶段结构的可靠性研究得太少<sup>[1]</sup>, 即规范对施工阶段时变结构的可靠性仅是通过一系列规定和要求来体现。基于工程结构可靠性理论的极限状态设计理论的“切入点”, 是结构使用期间的可靠性, 其条件之一是施工期的“正常施工”<sup>[2]</sup>。因此, 不同于结构可靠性分析的施工可靠性分析, 基于评价工程是否处在“正常施工”状态的理论<sup>[3]</sup>, 既为施工方案的评价提供科学依据, 又为工程施工风险管理奠定基础 and 创造条件。本文在此研究思路的基础上, 就施工方案的评审, 提出可靠性分析的方法。

### 1 施工方案可靠性结构的分析

对于某项分部分项工程施工方案, 一般包括若干项施工, 每个施工过程采用一定的施

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2000-08-28

作者简介: 邓铁军(1960-), 男, 四川夹江人, 湖南大学副教授

工方法完成. 施工过程之间的工艺关系或组织关系构成的逻辑结构就是施工方案的可靠性系统结构. 根据施工过程之间的逻辑关系, 施工方案的可靠性系统结构一般为串联结构、并联结构和串关联混合结构, 如图 1 所示.

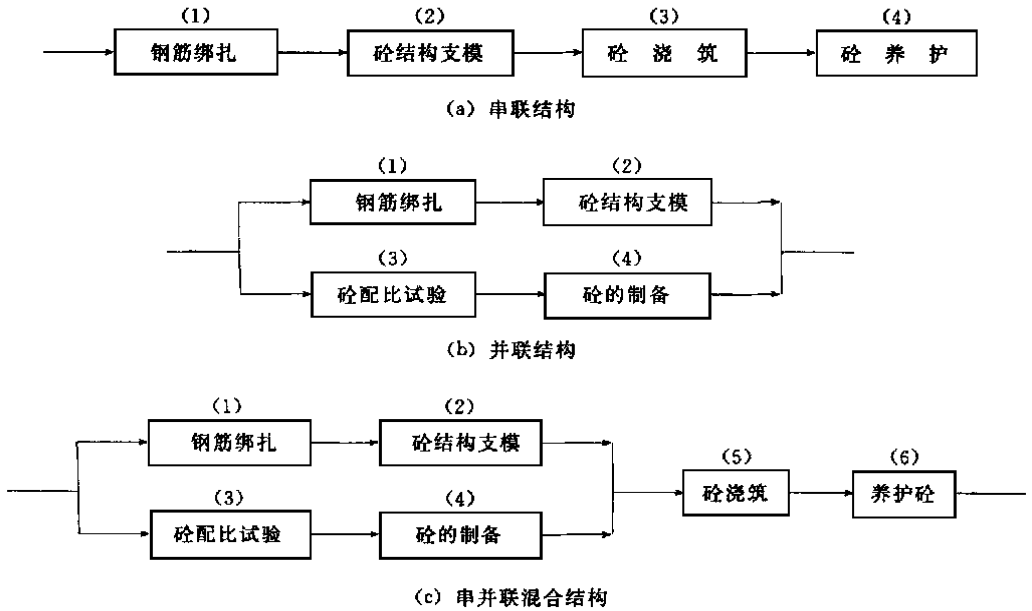


图1 施工方案可靠性系统结构图

## 2 施工过程可靠度

### 2.1 施工过程可靠性的度量

在一定的条件下, 保证工程施工可行、可能、可信及安全, 就是可靠<sup>[3]</sup>. 对于一项具体施工任务, 与其有关的各种因素一般都是随机变量. 因此, 把在一定条件下完成施工任务所预定的“正常施工”状态的概率( $P_i$ )称为施工的可靠度. 由此可见, 没有完成预定状态的概率( $P_f$ )则为失效概率, 由于两事件是对立事件, 则有

$$P_i + P_f = 1, \text{ 即 } P_i = 1 - P_f \quad (1)$$

也可由施工的失效概率去描述工程施工的可靠性, 即以失效概率是否小到工程上能够接受的程度作为施工可靠与否的判断标准.

### 2.2 施工过程整合目标可靠度等级

由于工程施工影响因素多, 可靠性目标为不同层次的多目标体系, 与结构可靠性相比, 其要求程度(表 1 所示是一种施工可靠度的等级划分)有所不同. 因此, 工程施工实际上是在伴随着一定风险状态下进行的.

但可靠性等级必须根据目标可靠度要求分别确定, 若目标向量为: {质量、进度、安全、文明施工、施工成本} =  $\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5\}$ . 则其可靠性概率等级向量为:  $P_i = \{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5\}$ , 那么, 施工过程的可靠度应满足  $P_i \geq P_i$ .

对于上述多目标的单个施工过程,其可靠性有时除了应满足单个目标可靠度的等级要求外,总体整合目标时常也有总的要求,这个等级要求可采用加权平均法确定.即若 $j$ 项施工过程的整合目标可靠度为 $P_j$ ,目标权数向量为 $W_j = \{W_{1j}, W_{2j}, W_{3j}, W_{4j}, W_{5j}\}^T$ ,则

$$P_{ij} = P_j \cdot W_j \quad (2)$$

$P_{ij}$ 为第 $j$ 个施工过程的可靠性概率等级向量.

表 1 施工可靠度等级划分

可靠度等级	可靠性概率	风险评级
极高	0.90~0.99	很低
很高	0.80~0.89	低
较高	0.70~0.79	一般
低	0.50~0.69	高
很低	0.25~0.49	很高
极低	0.01~0.24	极高

### 3 施工方案整体评价的可靠性计算

根据可靠性计算理论,串联系统的可靠度为各构成可靠性之积,即

$$P = \prod_{i=1}^n P_i \quad (3)$$

因此,图 1(a)所示之串联系统,其可靠度为 $P = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4$ .

由于关联系统各构成的工作直接影响到方案的可行性,为热联非冗余系统.因此,施工方案并联系统的可靠度为各支联可靠度的最小值,即

$$P = \min\{P_j | j = 1, 2, 3, \dots\} \quad (4)$$

式中, $P_j$ 为第 $j$ 支联的可靠度.

对于图 1(b)所示之并联系统,其可靠度为: $P = \min\{P_1 \times P_2, P_3 \times P_4\}$ ,因此,图 1(c)所示之串联系统的可靠度为

$$P = [\min\{P_1 \times P_2, P_3 \times P_4\}] \times P_5 \times P_6$$

### 4 施工可靠性的概率分布

概率分布是施工可靠性估计的基础.一般应根据统计资料确定.当没有足够的历史资料确定时,可以利用理论概率分布.样本个数越多,样本分布的规律越强.当样本个数达到一定数目时,样本分布的规律性就稳定下来.这种稳定的概率分布叫做理论分布.

有时由于工程施工活动是前所未有的,根本就没有可以利用的数据,则要根据自己的经验猜测可靠性的概率或概率分布.这样得到的概率称为主观概率.主观概率与客观概率的主要区别在于无法用试验或统计的方法来检验其正确性.因此,施工方案评价时,可利用常见的概率分布,确定出各种分布下的可靠度( $P_k$ )进而按保守原则,以最小概率为评价指标,即根据

$$P = \min\{P_k | k = 1, 2, 3, \dots\} \quad P_i \quad (5)$$

进行判别.

### 5 施工方案评审的可靠性分析法步骤

基于上述分析,施工方案评审的可靠性分析,可按图 2 所示步骤进行

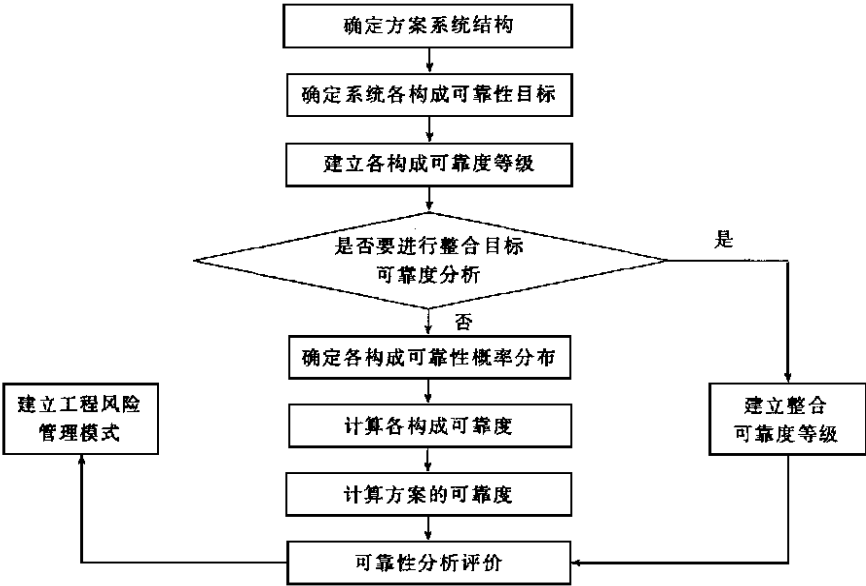


图2 施工可靠性分析的步骤

6 施工过程可靠性分析示例

6.1 示例背景

某大桥工程桥墩砼结构工程砼施工, 为大体积泵送施工, 设计强度等级 C40, 施工方案及砼配比设计如下:

1) 水泥: 采用 425 号水泥; 粉煤灰: 考虑到大体积砼及泵送砼技术, 掺入 17.7 % 的粉煤灰.

2) 配合比设计: 施工配比强度为:  $f_{cu,k} = f_{cu,0} + 1.645\sigma = 40 + 1.645 \times 6 = 49.9 \text{ (MPa)}$ , 设计配合比如表 2, 实测数据如表 3.

表 2 设计配合比

材 料	质量配合比例 /kg	试验配料 /kg	材料用量 / $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$
水	0.42	2.18	182
水泥	1	5.16	430
砂	1.89	8.59	716
石	2.61	11.86	988
外加剂	0.008	0.041	3.44
掺入料	0.17	0.91	76

表 3 实测强度

水灰比	砂率 /%	坍落度 /mm	抗压强度 /MPa		水泥实测标号 /MPa
			7d	28d	
0.42	42	20	36.1	52.4	58.6

3) 温控措施: 采用冷却管通冷水内部降温和外铺隔温层材料.

6.2 施工可靠性分析

本施工过程采用双控技术和双掺技术, 根据已有的工程经验, 如果操作工艺正常, 控制结构内外温差和泵送砼技术的可靠度 ( $P_i = 90\%$ ) 可以满足要求. 但是, 用 425 号水泥配制 C40 砼, 虽然规范未作硬性限制, 但与用 525 号水泥配制相比, 凭经验亦知其可靠程

度相对较低。特别是根据职权部门对该厂 425 号水泥实际标号的测定与统计, 实际标号为 52.6 ~ 62.4 MPa, 因此, 设计配合比水泥用量实际是在 52.6 ~ 62.4 MPa 下取定的, 该配比在实际使用中, 水泥实际标号具有不确定性, 存在有水泥标号达不到配比时所用水泥标号的失效概率, 有必要进行可靠性分析。

根据统计,  $\mu = 57.5$ ,  $\sigma = 6.0$ , 设定水泥实际标号服从正态分布, 即  $X \sim N(\mu, \sigma^2) = N(57.5, 36)$ , 则  $F(x) = \Phi(x_1 - \mu/\sigma)$ , 现已知  $x_1 = 58.6$  MPa, 故  $P\{x > x_1\} = 1 - \Phi(0.183) = 1 - 0.5714 = 0.4286 = 42.86\%$ 。

又凭经验估计, 该施工单位用 425 号水泥配制 C40 砼, 用水泥标号在 58.6 ~ 62.4 MPa 配制成功的概率为 95%, 用水泥标号在 52.6 ~ 58.6 MPa 配制成功的概率为 80%, 则制备 C40 砼成功的概率为:  $95\% \times 42.86\% + 80\% \times 57.14\% = 86.43\%$ 。

对于砼构件达到 C40 的施工过程为: 砼制备、砼浇筑、砼养护, 为一串联结构, 因此, 实现砼构件达到 C40 要求的可靠度是  $86.43\% \times 90\% \times 90\% = 70.00\%$ 。根据表 1 之可靠度等级划分, 为较高等级, 风险等级: 一般。应对各施工过程特别是砼制备加强风险管理的质量控制措施。

## 7 结 语

1) 本文根据文献[3]引入的工程施工可靠性概念, 对施工过程的可靠性结构进行了分析, 指出施工方案的可靠性结构为串联结构、并联结构、串并联混合结构 3 大类型。

2) 在对施工过程可靠度目标的确定及其等级划分的基础上, 提出了施工方案整体评价的可靠性计算方法和施工方案评审的可靠性分析步骤, 最后通过示例说明了施工方案可靠性分析方法的应用。

3) 应用可靠性理论进行施工方案的评价分析, 将方案评审的定性分析与指标分析上升为系统的评价, 更具有科学性, 且使施工方案更加经济合理。它为工程风险管理及其措施的制定奠定了基础, 有利于完善施工目标的控制措施和提高施工管理水平。

## 参考文献:

- [1] 刘西拉. 结构工程学科发展战略研究报告[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.
- [2] 刘楚中, 舒兴平. 建筑结构可靠度[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1996.
- [3] 邓铁军. 施工可靠性原理的建立及其应用初探[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2000, 27(4) 增: 13.