

结构可靠性管理

「——预测、控制与评定」

彭立新 编著

中国建筑工业出版社

结构可靠性管理——预测、控制与评定

彭立新 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

结构可靠性管理——预测、控制与评定/彭立新编
著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 7
ISBN 978-7-112-14329-0

I. ①结… II. ①彭… III. ①工程结构-结构可靠性-
研究 IV. ①TU311. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 100809 号

本书为结构可靠性方面的专著。是作者在工程结构可靠性方面多年工作经验和思考心得的总结。

全书分为绪论、概率统计基础、测量误差与不确定度分析方法、回归分析方法、统计估值方法、抽样检验、结构可靠度分析等内容。

本书可供广大工程检测人员、工程结构人员以及相关专业的师生阅读使用。

* * *

责任编辑: 张伯熙
责任设计: 李志立
责任校对: 张 颖 陈晶晶

结构可靠性管理——预测、控制与评定 彭立新 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京红光制版公司制版
北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13 字数: 321 千字
2012 年 8 月第一版 2012 年 8 月第一次印刷
定价: 30.00 元

ISBN 978-7-112-14329-0
(22390)

版权所有 翻印必究
如有印装质量问题, 可寄本社退换
(邮政编码 100037)

前 言

结构是为了实现某种功能而存在的，建设领域中的所有活动，包括试验研究和工程实践，都是为了保证结构能够以安全、可靠且经济的方式实现预期的功能。

结构在规定的时间内和规定的条件下完成预定功能的能力就是结构可靠性。可靠性是一个定性的概念，只有在对其进行量化后，才能进行比较、设计和评定，结构可靠度或可靠指标是结构可靠性的量化指标。

结构可靠性管理的根本目的是保证结构实现预期的可靠指标，由于客观事物的随机性、概念定义的模糊性和对客观事物认识的不完善性，在结构设计、施工和使用过程中均存在一些影响到结构可靠性的不确定因素。结构可靠性管理就是对这些不确定因素进行控制，其中用数值进行定量描述是主要的工作内容。

结构可靠性管理本质上属于质量控制范畴，即通过一系列相关的过程控制来保证预期目标的实现。这些过程可分为设计过程、施工过程和使用过程，每个过程又可细分为若干个子过程。由此可见，结构可靠性管理涉及的学科广泛、内容多样、问题复杂。尽管如此，抽取各个过程形式和内容的具体性质，结构可靠性管理可以归结为对结构基本变量的控制，即对作用效应和结构抗力的控制，更为抽象地讲，结构可靠性管理是对随机变量的控制。

在编写本书过程中，作者深刻体会到把复杂的事简单化远比把简单的事复杂化困难，因此，深深叹服古时先贤惜字如金。道生一，一生二，二生三，三生万物，结构的形式、状态千差万别，正是作用效应、结构抗力以及它们之间相互关系的结果。

基于上述理解和思考，本书围绕结构基本变量这条主线，探寻结构可靠性的本质，理清各控制环节的内在联系，并以简洁通俗的方式呈现。

本书写作过程中，得到国家建筑工程质量监督检验中心同事们的大力支持，黄选明、杨旭东、姜殿成、张靖、张彬彬、滕东宇提供了大量的工程实例，中心总工邸小坛提供了大量的研究报告和丰富的课件，对此，深表感谢。

本书的编写还参阅了国内外公开出版的数据、论文，在此不能一一列举，敬请谅解。

由于作者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

本书是作者对多年来工作经验和思考心得的归纳和总结，如果对读者能有所帮助，将是作者最大的欣慰。

彭立新
2011年11月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 事物的评价方法	1
1.2 结构可靠度	2
1.3 结构可靠性管理	6
1.4 本书内容安排及编写说明.....	10
第 2 章 概率统计基础	12
2.1 概率基本概念.....	12
2.2 常用的概率分布类型.....	17
2.3 样本统计量及其分布.....	23
2.4 假设检验.....	28
第 3 章 测量误差与不确定度分析方法	37
3.1 误差的基本概念.....	37
3.2 异常数据检验与处理.....	39
3.3 测量不确定度及其应用.....	45
3.4 标准方法的精密度试验及其应用.....	58
第 4 章 回归分析方法	70
4.1 回归分析的基本概念和原理.....	70
4.2 一元线性回归.....	72
4.3 一元非线性回归.....	78
4.4 二元线性回归.....	81
第 5 章 统计估值方法	87
5.1 总体均值和标准差的估计.....	87
5.2 正态分布分位数的区间估计.....	98
5.3 其他估值方法	102
5.4 贝叶斯估值方法	103
第 6 章 抽样检验	108
6.1 抽样检验的基本概念	108
6.2 计数抽样方案	112
6.3 计量抽样检验	117
6.4 其他抽样检验	126
第 7 章 结构可靠度分析	130
7.1 结构可靠度基本概念	130
7.2 结构构件抗力的统计分析	133
7.3 作用的统计分析	141

7.4 结构可靠度实用分析方法 148

7.5 结构可靠度设计方法 156

7.6 既有结构可靠度鉴定 161

附录..... 196

 附表 1 格拉布斯检验法临界值表 196

 附表 2 0.05 分位数 K 值 (置信水平 0.95) 表 199

 附表 3 狄克逊检验临界值表 (双侧检验) 200

参考文献..... 201

第 1 章 绪 论

任何结构都是为了实现功能而存在的，结构在规定的时间内和规定的条件下完成预定功能的能力称为结构可靠性。设计、施工和使用过程中均存在着种种影响结构可靠性的不确定性因素，只有对这些因素进行有效的管理，才能保证结构满足规定的可靠度水平。结构可靠性管理的中心内容就是对结构可靠度进行预测、控制和评定，显而易见，它涉及大量的理论知识和实践经验，绝不是一本书就能论述清楚的。本书仅就结构可靠性管理中基本变量进行讨论，即便如此，为了便于读者阅读，首先也应就相关背景知识做一简单介绍。

1.1 事物的评价方法

1.1.1 数

数是人类最古老和最伟大的发明之一，已渗入生活中的方方面面。远古时代人们对数非常崇拜，甚至形成了“数即万物”的世界观，从定数、气数等日常用语可见一斑。数字化时代的今天，数更是无处不在、无所不能。尽管如此，数字构成的世界毕竟是虚拟世界，数学方法只是用于解决实际问题的工具，只有与实际问题结合并得到有效验证，数和数学方法才能体现其应用价值。

1.1.2 量及量值

自然界中的事物千变万化，究其原因是因为不同的事物具有不同的属性。可以用数来表达的事物属性称为量，一切自然现象、物体或物质只有用相应的量来表达后，才能进行分析、比较，从而发现它们的内在规律。

量的大小用量值来衡量，即由一个数乘以其计量单位表示。例如，抗压强度是描述混凝土属性的一个量，其大小可用 30MPa 表示；截面高度是描述构件属性的一个量，其大小可用 600mm 表示。

量分为常量和变量，在规定的空间和时间内，量值不变的量称为常量，量值可变的量称为变量。例如，在评定一批钢筋混凝土构件承载能力时，混凝土抗压强度和截面尺寸都是描述该批构件属性的量，由于构件的混凝土抗压强度和截面尺寸不可能完全相同，因此，这批构件的混凝土抗压强度和截面尺寸都是变量。结构可靠性管理中涉及的量绝大部分是变量，变量的值是不确定的，只有经过统计分析确定其代表值后才能进行分析、比较、设计和评定。

1.1.3 量值的来源及其确定方法

量是事物的固有属性，它是由事物形成过程中的物质条件和工艺条件决定的。例如混凝土抗压强度是由水泥、砂、石等原材料在一定的工艺条件下经过复杂的物理化学过程形成的，其量值的大小不仅取决于砂、石、水泥等原材料质量及其相对用量，还与拌合、振捣、养护等工艺条件密切相关。为保证混凝土获得预期的强度，除对原材料质量进行控制

外，还应对施工工艺进行控制。

为了用数来表示量，首先必须定义量及其单位，量及其单位一般由标准、规范统一定义。与给定的特定量的定义一致的值称为量的真值。由于测量误差的存在，一般情况下得不到量的真值，只能得到量的近似值。

量值的确定离不开测量， t 又是显示量值的手段。例如，钢筋的抗拉强度标准值为其总体分布中具有 95% 保证率的值，对于某一个特定批，必然有一个客观存在的值，针对该批抽样钢筋出现的不同检测结果只说明检测方法或检测过程存在不确定性，而不是说该批钢筋的抗拉强度标准值是个变量。再如，结构可靠度或可靠指标是结构基本变量概率运算的结果，从本质上看，结构可靠度或可靠指标是结构客观存在的属性，不同的评定结果也只说明评定方法或评定过程存在不确定性。

由此得出以下两点结论：

- (1) 量值的大小是靠实际工作干出来的，而不是靠检测或评定出来的；
- (2) 对同一个量的检测或评定结果应具有一致性。

1.1.4 定性和定量方法

除了量之外，事物还存在一些不能用数表述的属性，例如颜色、味道、观感等，因此，对一个事物的评价方法可分为定性评价方法和定量评价方法两种。在日常生活中人们习惯采用定性方法，例如：评价本领时用大、小；评价水平时用高、低；评价品质时用好、坏等。定性方法易于理解，但存在评价界限模糊的问题，对同一件事物，不同的人的评价结果可能不一致，评价结果相同的两个事物之间也难以进行比较。在结构可靠性管理中，为了便于统计、计算、分析、比较，广泛采用定量评价方法。即使采用定性评价方法，也是建立在定量评价的基础之上的；同时，一些定性的主观判断，也可以经过必要的数学处理转化为定量指标得到应用。

1.2 结构可靠度

1.2.1 基本变量与功能函数

结构都是具有实现功能而存在的，表征一种结构功能的函数称为功能函数，当一个结构需要同时实现多种功能时，就存在不同的功能函数。例如，结构中的钢筋混凝土梁不仅要满足极限承载能力状态的抗弯、抗剪要求，还应满足正常使用极限状态的挠度、裂缝宽度限值要求，因此，它至少有四种功能函数，设计时应分别进行抗弯、抗剪能力设计和挠度、裂缝宽度验算。

虽然功能函数的形式千变万化，但都可以表示为结构基本变量的函数。根据在结构中的作用，结构基本变量可分为两大类：一类表示作用和环境的影响，如重力作用、风荷载和地震作用等，由这些作用引起的结构或构件的内力、变形等称为作用效应，一般用 S 表示，如弯矩、剪力等；另一类是结构构件及其材料抵抗作用效应的能力，称为抗力，一般用 R 表示，如承载能力、抗变形能力等，抗力 R 又可以进一步表示为材料强度、几何尺寸的函数。

下面从两类基本变量中各选一个典型变量，来说明基本变量的一些共性的问题。

1. 风荷载

风是由于空气流动引起的,气候条件和地貌特征直接影响风速和风向。当风以一定速度向前运动遇到阻碍时,将对阻碍物产生压力,即风压。当阻碍物是结构时,就是风荷载,风荷载会在结构中产生作用效应。

什么时刻刮什么样的风,这不是人力所能控制的。即使知道刮什么样的风,由于空气流动受地面物体的阻碍,同一地点不同高度处的风速不同,不同地点的相同高度处的风速也不同。由此可见,某个结构承受的风荷载不仅随时间变化还随空间变化。

为了比较不同地区风压的大小,为结构设计和鉴定提供一个统一的参照平台,必须给风这种自然现象的属性人为地定义一些量,即通过规范对基本风压的取值作出规定。《建筑结构荷载规范(2006版)》GB 50009—2001中的基本风压是根据以下规定的条件确定的:

(1) 规定的高度。

同一地点离地面越近,风速越小,考虑到我国气象台风速仪高度一般在8~10m,为了比较不同地点风速的大小,统一规定测量风速的标准高度为10m。

(2) 规定的地貌。

同一高度的风速还与地貌特征或地面粗糙程度有关,考虑到我国气象台风速仪都位于郊区,规定的地貌为空旷平坦地貌。

(3) 固定的时距。

风速测量时采用的最基本数据是公称声速,即一定时间间隔(称为时距)内的平均风速,显然公称声速的大小与时距的长度有直接关系,风速记录表明,时距在10min和1h之间的平均风速基本上是一个稳定值,规定基本风速的时距为10min。

(4) 规定的样本空间。

在结构可靠性设计中,人们关心的是最大风速,即公称声速的最大值。样本空间越大,最大风速越大。如果样本空间为1h,最大风速为6个样本中的最大值;如果样本空间为1天,最大风速为144个样本中的最大值。由于风具有季节性,规定的样本空间为1年。

(5) 最大风速的重现期。

结构的服役期一般是50年,在结构设计时需要考虑整个服役期内最大的风速。如果基本风速的重现期为 T_k 年,由于每年实际风速超过基本风速的事件是相互独立的等概率事件,因此每年实际风速超过基本风速的概率为 $1/T_k$,不超过基本风速的概率为 $1-1/T_k$ 。

(6) 确定的风速与风压关系。

确定基本风速后,依据风速与风压的关系就可以确定基本风压值。

2. 混凝土强度

混凝土是由砂、石、水泥、水、外加剂和掺合料经混合、搅拌、振捣、养护硬化而成的复合材料,混凝土强度是主要的性能指标。混凝土强度不仅与原材料的质量有关,还与配合比(原材料的相对用量)、施工工艺条件等众多因素有关。由于受影响的因素众多,即使采用相同原材料和配合比配制的混凝土,在结构实体上不同部位的强度也是不一致的。

为了比较不同混凝土强度的大小,为结构设计和鉴定提供一个统一的参照平台,也必

须给混凝土强度人为地定义一些值，即通过标准对混凝土强度的取值作出规定。例如《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107—2010 中的混凝土强度标准值是根据规定的龄期、规定的试验方法所得到的抗压强度概率分布中具有 95% 保证率的值来确定的。严格意义上讲，混凝土强度也存在一个随时间变化的过程，其随时间变化的规律与混凝土强度还存在相关关系。

3. 基本变量的特点

从上述两个变量的分析可以看出，基本变量具有如下共同特点：

(1) 基本变量都是随机变量，不能用确定值进行表述，只能用其统计特征值进行表述。

(2) 从总体上来看基本变量的值是不确定的，但其个体的值可以通过测试确定。

(3) 基本变量总体分布规律和其统计特征值可以根据样本数据进行估计和推断。

(4) 无论是总体还是个体，基本变量的赋值方法和赋值过程都由标准规范进行规定。

(5) 基本变量的值是与规定的时间、规定的条件紧密联系的。

1.2.2 结构可靠度

结构可靠性是指结构完成预定功能的能力，可以理解为结构的一个量，因此它应该有一个用数表示的值。

当作用效应 S 和抗力 R 作为结构的基本变量时，用于描述结构状态的功能函数 Z 为：

$$Z = g(R, S) = R - S \quad (1-1)$$

结构状态用下式表示：

$$Z = g(R, S) = R - S \begin{cases} < 0 & \text{失效状态} \\ = 0 & \text{极限状态} \\ > 0 & \text{可靠状态} \end{cases} \quad (1-2)$$

结构的极限状态方程用下式表示：

$$Z = g(R, S) = R - S = 0 \quad (1-3)$$

如果作用效应 S 和抗力 R 具有确定值，通过求解式 (1-3)，根据式 (1-2) 可以简单地判断结构的状态，即抗力 R 大于作用效应 S 时，结构处于可靠状态；抗力 R 小于作用效应 S 时，结构处于失效状态；抗力 R 等于作用效应 S 时，结构处于极限状态。然而实际情况远非如此，由于作用效应 S 和抗力 R 都是随机变量，不可能取定值，功能函数 Z 只能按概率运算的方法进行处理，即用可靠度来度量结构可靠性。

结构可靠度定义为：在规定的时间内和规定的条件下结构完成预定功能的概率，用 p_s 表示。如果用 p_f 来表示结构不能完成预定功能的概率即失效概率，显然有：

$$p_s + p_f = 1 \quad (1-4)$$

当抗力 R 和作用效应 S 均为连续随机变量时，功能函数 $Z = R - S$ 也是一个随机变量，抗力、作用效应及功能函数的概率密度函数如图 1-1 所示。

失效概率可以通过下式进行计算：

$$p_f = P(R < S) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^S f_R(r) f_S(s) dr ds \quad (1-5)$$

只要知道 R 和 S 的概率分布密度函数 $f_R(r)$, $f_S(s)$ ，就可以得到结构的可靠度。

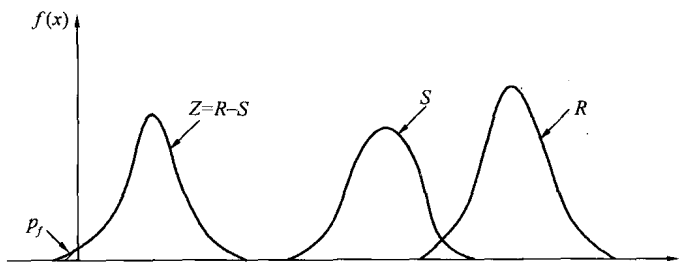


图 1-1 抗力、作用效应及功能函数的概率密度示意图

由此得出以下两点结论：

- (1) 结构可靠度不是一个测量量，而是一个计算量；
- (2) 结构可靠性管理可以通过对基本变量的控制得到实现。

1.2.3 目标可靠度、预期可靠度与实际可靠度

1. 目标可靠度

可靠度是结构在规定的时间内和规定的条件下结构完成预定功能的概率，功能函数中基本变量决定了结构可靠度的大小。由于作用一般都是自然存在的，除了趋利避害和通过优化设计减少其效应外，可做的工作不多。与之相反，人们可以通过体系选型、截面设计、材料选择等方法确定抗力的大小。也就是说，目标可靠度可根据各种结构的重要性、失效后果、破坏性质、经济指标等因素以优化方法分析确定。

什么样的可靠度才是最合理的可靠度呢？由于考虑问题的出发点不同，不同的人员必然有不同的理解。比如商品房的业主，肯定希望可靠度越高越好；而作为开发商，自然希望在一定可靠度前提下造价越低越好。为了解决上述问题，必须对结构的目标可靠度作出统一的规定。目标可靠度的确定应以达到结构可靠性与经济性最佳平衡为原则，一般需要考虑以下四个因素：①公众心理；②结构重要性；③结构破坏性质；④社会经济承受力。一般而言，万分之一的失效概率是普通公众可以接受的安全界限。我国规范规定的房屋建筑结构构件的目标可靠指标及其计算失效概率见表 1-1，港口工程结构的目标可靠指标及其计算失效概率见表 1-2。

房屋建筑结构构件的目标可靠指标其对应的失效概率运算值 表 1-1

破坏状态	安全等级					
	一 级		二 级		三 级	
	β	p_f	β	p_f	β	p_f
延性破坏	3.7	1.1×10^{-4}	3.2	8.9×10^{-4}	2.7	3.5×10^{-3}
脆性破坏	4.2	1.3×10^{-5}	3.7	1.1×10^{-5}	3.2	8.9×10^{-4}

港口工程结构的目标可靠指标其对应的失效概率运算值 表 1-2

结 构	安全等级					
	一 级		二 级		三 级	
	β	p_f	β	p_f	β	p_f
一般港口工程结构	4.0	3.1×10^{-5}	3.5	2.3×10^{-4}	3.0	1.4×10^{-3}

2. 预期可靠度

结构设计的目的是保证所设计的结构在规定的时间内和规定的条件下能够以安全、可靠且经济的方式实现预期的功能。对一个拟建结构而言，设计是一个“无中生有”的过程，设计者必须对结构基本变量预先赋予一个值，如几何尺寸、材料强度、风荷载、地震作用等，预期可靠度是在预期条件下的计算可靠度。

在正常设计的情况下，设计者都是根据相关标准、规范进行结构分析并对基本变量进行赋值的，因此，设计预期的可靠度能满足规范规定的目标可靠度要求。

3. 实际可靠度

预期可靠度是建立在一系列假设的基础上，只有这些条件都成立时，建成的结构才具有设计预期的可靠度。由于以下原因，任何一个既有结构都具有其独特性：

(1) 结构基本变量一般都是随机变量，标准规范规定的基本变量代表值是一个统计值，采用的概率分布模型是根据较大范围内实测数据经拟合优度检验后确定的。虽然具体结构中的基本变量仍是一个随机变量，但其分布规律可能明显偏离标准规范中假定的模型。

(2) 结构实体是通过施工形成的，具体结构的施工水平可能存在明显偏离标准规范假设的平均质量水平。

(3) 结构在服役期间，实际使用条件和使用环境可能明显偏离设计假设的使用条件。

(4) 结构在服役期间，结构性能会出现衰减，其衰减规律可能存在明显偏离标准规范假设的模型。

(5) 既有结构的后续使用年限与新建结构的设计基准期存在较大差别。

4. 目标可靠度、预期可靠度与实际可靠度的关系

在正常设计、正常施工和正常使用条件下，目标可靠度、预期可靠度与实际可靠度之间存在相等或相近的关系，这正是结构可靠性管理的目标。然而，设计、施工和使用过程中均存在不确定性因素，实际情况要复杂得多，实践证明，结构实际可靠度大于目标可靠度或小于目标可靠度的情况都大量存在，这正是结构可靠性评定的任务。

1.3 结构可靠性管理

1.3.1 结构可靠性管理

一个人要想健康生活 80 年，正常情况下取决于优生、优育和养生这三个条件。与此相似，结构要在目标使用期内完成预定功能，取决于良好的设计、精心的施工和正确的使用。为保证工程结构在整个服役期内具有规定的目标可靠度，除应进行必要的设计计算外，还应

对结构的材料性能、施工质量、使用和维护进行相应的控制，控制的具体措施包括：

1. 设计过程

结构的设计应符合国家现行的有关荷载、抗震、地基基础和各种材料结构设计规范的规定，并应对结构可能受到的偶然作用、环境影响等采取必要的防护措施。

2. 施工过程

在施工过程中对结构所采用的材料及施工、制作过程应进行质量控制，并按国家现行有关标准的规定进行竣工验收。

3. 使用过程

结构应按设计规定的用途使用，并应定期检查结构状况，进行必要的维护和维修；当需变更使用用途时，应进行设计复核和采取必要的措施。

由此可见，结构可靠性管理贯穿于结构设计、施工和使用的全过程，任何环节中出现的不确定性因素都会影响结构的可靠性。

1.3.2 结构可靠性管理的要素

结构可靠度是结构基本变量的函数，一个结构具有什么样的可靠度，归根到底是由结构基本变量决定的，因此，结构可靠性管理的要素是结构基本变量，只有与功能函数相关的变量都得到有效的控制，结构的目标可靠度才有可能得到实现。

对结构基本变量的控制本质上是对其量值的控制。对于风荷载、雪荷载、地震等作用类基本变量，其量值是自然形成的，因此，控制工作的重点是对其量值的变化规律及其与结构的作用机制进行研究。对于材料强度、截面尺寸等抗力类基本变量，其量值是通过一系列相关过程逐步形成的，因此，控制的重点在于过程控制。

过程是指将输入转化为输出的一组相关联的资源 and 活动，过程既包括简单的过程，例如对一个钢筋试件进行力学性能试验，也包括复杂的过程，例如结构的施工过程。一般而言，一个复杂的大过程是通过分解成若干个相对简单的小过程进行控制的，上一个子过程的输出可称为下一个或几个子过程的输入，过程框图如图 1-2 所示。

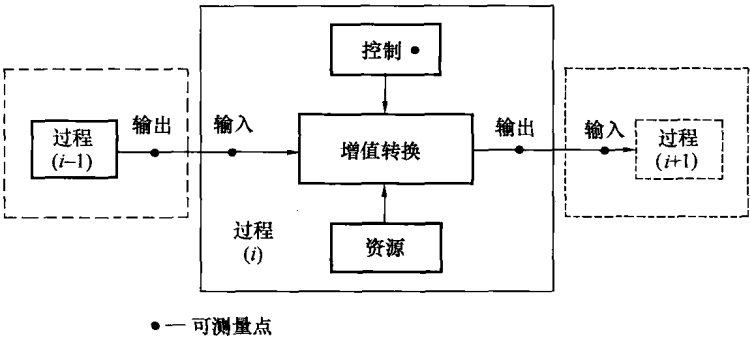


图 1-2 过程框图

无论过程的形式多么复杂，控制的关键就在于输入端、输出端和它们之间存在的可测量点。例如，设计过程的输入端包括委托方的要求、场地的环境和地质条件、建筑材料的供应、相关设计规范和必要的试验研究；输出端包括设计图纸和必要的文字说明，对施工、监测、使用和维护提出的具体要求；在输入端和输出端之间包括内部校对、审核、外部施工图审查和必要的试验验证。又如，施工过程的输入端包括委托方的要求、场地条件、设计文件、建筑和相关施工验收规范等；输出端包括竣工验收资料和必要的文字说明；在输入端和输出端之间包括原材料检验、施工工艺控制、内部检查、外部检验和竣工验收。

1.3.3 结构可靠性管理流程

结构可靠性管理的中心内容是结构基本变量的量值管理，对结构基本变量的控制一般都包括以下的流程：

1. 量及其代表值定义

量及其代表值一般由标准、规范进行统一定义，标准、规范的术语、符号章节中有相当多的内容涉及量的定义。例如，《工程结构设计基本术语和通用符号》GBJ 132—1990

中就对主要结构基本变量作出了具体的定义。

量及其代表值的定义非常重要，它是保证检测、评定结论一致性的基础，结构可靠性管理活动都是在这个统一的平台上进行的。例如，在设计、施工、验收、评定过程中，混凝土强度等级的概念都是统一的，即总体分布中具有 95% 保证率的值。

2. 目标量值确定

目标量值取决于目标需求，一般由设计者根据荷载设计规范和结构设计规范确定，例如，设计图纸中对构件尺寸、材料强度都有明确的要求。

3. 质量策划

目标量值的实现需要资源投入，因此应进行质量策划。策划的主要工作内容是预测，即根据输入来预测和控制输出或根据输出指标确定输入指标。质量策划运用的主要工具是回归公式，例如结构设计规范中的大量截面设计表达式，就是通过控制材料强度、截面尺寸来预测和控制截面的抗力。

4. 过程控制

过程控制是量值控制的重点，包括材料控制、工艺控制和过程中的检查。对于结构而言，由于存在大量的隐蔽工程，过程控制尤为重要。目前的结构工程验收都是建立在过程控制的基础之上。

5. 量值确认

目标量值是否实现必须通过检验进行确认，一般而言，产品质量标准和施工质量验收规范是进行量值确认的依据。

6. 量值应用

经过量值确认的量才能作为输入应用于另一个过程，例如，建筑材料在投入实际结构之前，都需要提供出厂合格检验和进场复检检验资料。

为了更好地阐述上述流程，就混凝土的质量控制进行说明，如图 1-3 所示。

1.3.4 结构可靠性管理中的标准

人之所以在大千世界中占有主导地位，是因为能够制造和使用工具。结构可靠性管理中常用的工具包括标准规范、分析软件和仪器设备，其中标准规范是最重要的工具。

1. 标准的作用

结构的全寿命历程包括设计、建筑材料及预制构件生产运输、施工、使用直至拆除等一系列过程，主要当事方有投资方、设计方、施工方和用户方。一方面，各方的利益有时是相互对立的。例如，用户方希望结构具有较好的使用功能和较低的维护成本，意味着结构的建造费用增加；而投资方希望利益最大化，意味着减少建造成本、缩短建造周期。另一方面，各方还需要相互协作。例如，施工方必须与设计方充分沟通后才能理解和落实设计方的意图、完成实体结构的建造。同时，目标可靠度是在正常设计、正常施工和正常使用的条件下定义的，结构可靠性管理的目的就是保证这些条件的实现。管理必然涉及目标、尺度、方法、手段以及管理效果的确认等内容，对上述内容进行统一的规定离不开标准。

2. 标准体系

结构可靠性是通过一系列相关的过程形成的，结构可靠性管理是建立在这些过程控制的基础之上的。经过几十年的发展，我国在结构可靠性管理方面已经形成了理论基础统一、表达方式基本一致、相互配套协调的标准体系。根据在体系中的作用，标准分为以下

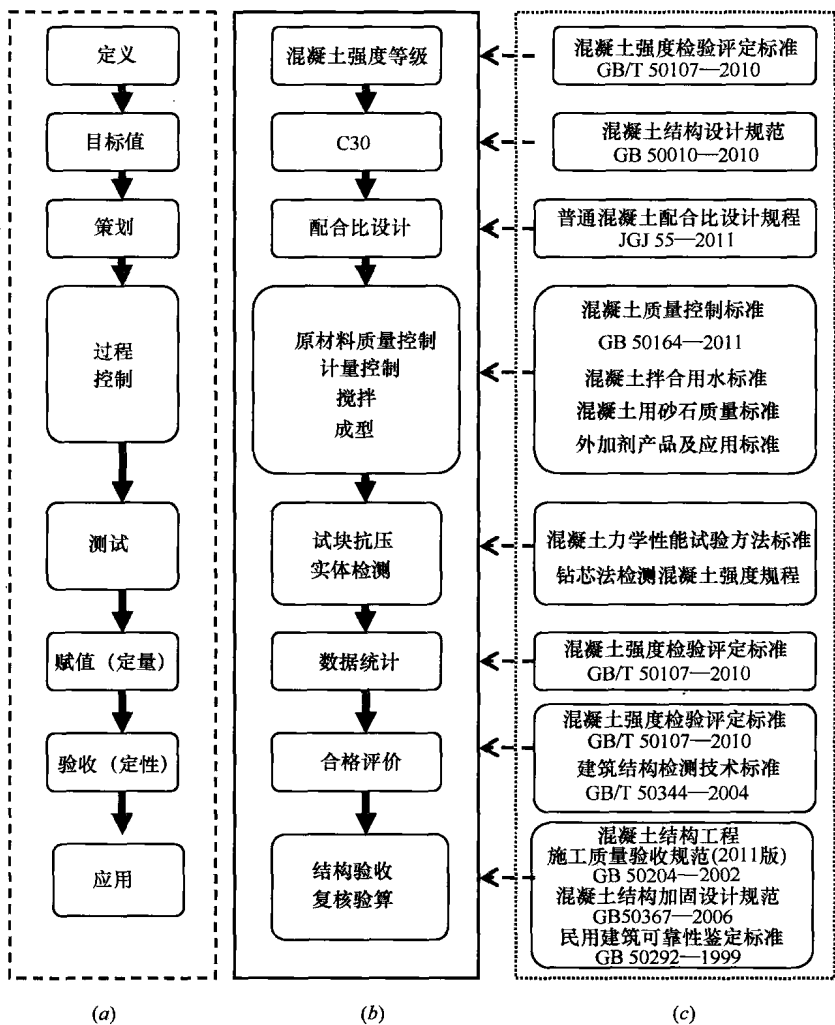


图 1-3 混凝土强度控制流程

(a) 质量管理流程；(b) 混凝土强度控制流程；(c) 标准、规范的应用

几个层次：

(1) 基础标准。

基础标准是第一层次标准，例如《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153—2008提出了以概率理论为基础、以分项系数表达的极限状态设计方法，对结构上的作用（荷载）、材料性能、几何参数等代表值的确定、结构构件设计表达式以及材料、构件的质量控制等作出了原则规定。各类工程结构设计标准和其他相关标准应遵守该标准规定的基本准则，并应制定相应的具体规定。

(2) 通用标准。

通用标准是第二层次标准，针对结构设计、施工质量和维护加固等专业领域作出具体规定。如《建筑结构荷载设计规范（2006 版）》GB 50009—2001、《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010、《混凝土结构工程施工质量验收规范（2011 版）》GB 50204—2002、《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344—2004、《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292—

1999 等。

(3) 专用标准。

专业标准是第三层次标准,以技术规程的形式对通用标准作出补充规定,如《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145—2004、《网架结构工程质量检验评定标准》JGJ 78—91 等。

3. 标准的内容

除了管理规范 and 个别基础标准外,大部分标准都是针对量的赋值,主要内容包括:量的定义、目标量值的确定、量的策划、过程控制和量值确认。

4. 对标准的认识

标准是对重复性的事物和概念所作的统一规定,它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础,经有关方面协商一致,由主管机构批准,以特定形式发布,作为共同遵守的准则和依据,标准中凝结了大量的研究成果和丰富的实践经验,一般情况下执行标准不会出现大的错误,而偏离标准则有可能出现问题。

尽管如此,标准毕竟是既有经验和知识的总结,必然存在一些不完善之处。为此,现行标准中对一些未确定的问题一般都留有出路,允许标准使用者根据实际情况进行判断和处理。另外,实际结构千差万别,每一个具体的结构都有其特殊性,有时可能偏离标准的使用条件。因此,在一定条件下,应允许开展超越标准的实践活动,为标准的修订积累经验。机械地执行标准条文和仅把标准作为规避责任的挡箭牌,都会阻碍技术进步,背离编制标准的初衷。

1.4 本书内容安排及编写说明

结构可靠性管理是由多个相关过程构成的完整体系,每个过程都是体系中不可或缺的环节。由于过程的相关性,对整个体系的了解有利于对过程控制的理解。但每个人从事的工作重点不同,为了便于读者选择阅读,将本书的内容安排说明如下:

第1章 绪论

作为本书的导言,简单介绍结构可靠性管理的背景知识。结构可靠性管理是一项复杂的系统工作,各个控制环节存在较大的相关性,建议读者阅读本章。

第2章 概率统计基础

本章简单介绍概率统计的基本概念和定理,这些概念和定理在后续章节中得到反复引用,熟悉相关内容的读者可以跳过本章,必要时可查阅本章相关内容。

第3章 测量误差与不确定度分析方法

可靠的测试数据是结构可靠性管理的关键,本章重点介绍了异常数据处理方法和测量不确定度的概念,从事检测工作和实验室管理的读者可选择阅读本章。

第4章 回归分析方法

回归分析是建立变量之间相关关系数学表达式的有效手段,通过回归曲线可以实现控制和预测的目的,从事试验研究的读者可选择阅读本章。

第5章 统计估值方法

根据样本数据对总体某项特征值进行估计是结构可靠性管理中常遇到的问题,结构可

靠度分析中基本变量的均值、标准差、各种分位数都需要通过统计估值进行确认。本章介绍了统计估值方法在结构可靠性管理中的应用，从事检测、鉴定工作的读者可选择阅读本章。

第6章 抽样检验

根据样本数据对总体某项性能是否符合要求进行判断是结构可靠性管理中最常见的问题，建筑材料的生产、施工中的过程控制以及结构竣工验收都离不开抽样检验。本章介绍了抽样检验的基本原理，从事检测、检验和质量监督工作的读者可选择阅读本章。

第7章 结构可靠度分析

结构可靠性管理的根本目的是为了保证结构具有规定的可靠度，本章介绍了结构可靠度直接计算方法、分项系数设计表达式和既有结构可靠性鉴定方法，从事设计、鉴定工作的读者可选择阅读本章。