

海船檢驗

专 辑

4

中华人民共和国船舶检验局
海船规范科学研究所

海船檢驗

专 辑

(4)

船舶和海洋工程结构可靠性译文集

中华人民共和国船舶检验局
海船规范科学研究所

1985.8.

说 明

随着可靠性原理及其在工程中的不断发展,近年来,国际上一些著名的船级社已经或正在应用可靠性概念来制订船舶和海洋工程结构物的规范。我规范所组织有关同志翻译出版这本译文集是为了使从事船舶与海洋工程专业的同志对这一发展有所了解,对研究结构可靠性方面课题的同志来说,它有一定的参考价值。

该译文集的翻译出版,得到了从事船舶结构可靠性研究多年的上海交通大学桑国光副教授的大力支持和热情指导。对此表示十分感谢。

为了节省篇幅,译文中略去了参考文献,请予谅解。由于编译者水平有限,时间仓促,译文集中定有不妥乃至错误之处,请读者批评指正。

船舶检验局

船舶规范科学研究所

1985年7月

序 言

自七十年代以来,可靠性原理及其在各个工程领域中的应用,得到了很大的发展,其中最重要的表现之一或许是为结构设计提供以可靠性原理为基础的设计规则(或规范),以期逐步取代长期沿用的传统设计规则和安全衡准,改造现有规范。促成这种演变的最根本原因,在于在传统设计或强度计算方法中所涉及到的基本参量,如载荷、材料机械性能以及构件尺寸等等,在本质上都不是传统设计法中所认为的确定性量。它们都带有某种程度的不确定性,本质上是随机变量。这样就必须引入概率分析法。对基本变量,作为基本变量的函数的结构效应、结构抗力及响应等等,都从概率的意义上加以阐明。而结构安全的衡准就是结构的安全度,它的含义是指一个结构系统在规定的条件下,于预定的使用寿命期内实现规定的功能的概率。可靠度的对立面,即不能实现规定功能的概率,就称为失效概率(破坏概率)。

把基本变量作为随机变量处理,并引用概率分析方法以后,就可以对基本变量客观存在的不确定量作定量处理。如果对于不属于基本变量但又影响结构真实强度的其他因素,如施工方法、建造公差的影响以及计算载荷、结构能力或响应的理论方法与实际情况的差异所反映的不确定性也尽可能地作类似的定量处理的话,那么就在设计中尽可能地减少了无知的领域,使得对结构的真实工作状况有了更确切的了解,对它的安全性的判断也就更切合实际了。这比传统方法中用一个总揽一切的安全系数要明确得多,而且事实上安全系数对上述的一些因素只能作出定性分析,并不能作出确切的定量估计来分析。从形式上看,安全系数意味着对结构所提供的安全裕度。的确从总体上看它是起了这个作用。但是,往往也引起错觉,认为安全系数越大,所提供的安全裕度也越大。实际上,并不就如此,它并不能对结构安全度提供统一的度量。因此,建立在结构可靠性原理上的设计,显然期望能比传统设计得到更合理的结果,何况可靠性分析考虑结构的多种失效模式。

就造船工程而言,在第五届至第六届国际船舶结构会议期间

(1973~1976年),就明确提出运用可靠性原理评价船舶结构安全的问题。在海洋工程平台中的应用还更早一些。事实上,在各国船舶建造规范中,从七十年代起,已经开始对船体纵强度的波浪载荷运用了概率分析方法。自那时以后,国际上的主要验船机构或者由它们支持的研究人员陆续发表了运用结构可靠性原理全面分析结构强度的原理和方法,以及运用可靠性原理制定结构强度标准和设计规则的文章(在本译文集中就进有几篇)。同时在国际上,包括造船及其他工程领域,以结构可靠性为中心的学术会议也频繁召开,有些国家的有关机构,还颁发了新设计规则。这些事实表明,结构可靠性原理的应用,已逐步向提供新设计规则(或规范)方面发展。可以预期,在不久之后,国际上的船舶及海洋平台建造规范,也将实现这种转变。

就结构可靠性原理而言,自1979年开始受到国内造船界的注意,可惜的是还未引起普遍的重视。这次的译文集是船舶检验局海船规范研究所的同志们发起和主持的,就这点而言是值得高兴的,因为它反映了我国船检机构对这个问题的关切。同时也希望这个译文集能引起更多部门和从事船舶与海洋工程的同志们的注意,因为从译文中可以看到,在可靠性原理应用中的一个关键问题,是各种不确定性因素的确定,它必须依赖于反映这种不确定的原始资料和数据,这些资料的收集,除研究设计部门而外,将涉及船厂、钢厂、用船部门,需要这些部门和它们的工作人员以及上级领导机关的支持和合作。希望在共同的努力下早日实现这种转变,为四化建设作出贡献。

应船检局海船规范研究所同志之邀,对全部译文进行了总校,写了这篇序言,其中一定有不妥或错误之处,欢迎同志们提出批评。

桑 国 光

1985年6月于上海交大

目 录

1. 可靠性方法在海上结构物中的实施.....	A.E. Mansour等	1
2. 船舶可靠性与安全性的合理评价.....	D.S. Aldwinckle等	71
3. 船舶结构的可靠性方法.....	S.G. Stiansen等	99
4. 关于研究船舶结构安全性日趋统一的方法.....	D. Faulkner等	143
5. 关于防止船舶破坏的几种考虑.....	Yoshio Akita	184
6. 可靠性理论在近海结构工程中的一些最新应用.....	E. Edwards	221
7. 可靠性分析作为近海固定平台设计的一个工具.....	M.J. Baker等	239
8. 导管架式近海结构随机疲劳可靠性分析.....	H. Karadeniz等	255
9. 美国钢结构学会载荷与抗力因子的设计准则.....	T.V. Galambos	274
10. 可靠性与造船.....	板垣浩	285

可靠性方法在海上结构物中的实施

A. H. Mansour (加利福尼亚大学伯克莱分校教授) 等

摘 要

本文阐述了制定船舶和海洋结构物设计中采用的强度标准的原理。讨论了可靠性方法和规则制定所包含的各方面情况。对作为制定强度标准基础的不同可靠性方法的适用性作了比较。根据现行的惯例和规范要求,确定了典型的可靠性指数和局部安全因子值。并且根据这些结果,推荐了校核格式、典型的目标可靠性值以及相关的局部安全因子。

引 言

至今,概率分析和可靠性方法已主要用来校验和比较现有设计的安全水准。而且,现在有些土木工程和近海工程结构业已采用可靠性概念来确定他们的规则要求,并已采用概率方法来估计设计变量的不确定性和选择相关的局部安全因子。

本文的直接目的在于确定各种不同可靠性方法的适用性,这些方法将作为制定船舶和海洋结构物强度标准的基础。最终的目标是采用最合适的方法来制定和校准以可靠性为基础的标准,因此,本文包括了所有与可靠性分析有关的范围很广的领域,以及圆满地实现此目的所需的输入资料。

通常,制订一个以可靠性为基础的强度标准的基本途径是首先确定以现行实践为基础的设计的相对可靠性。这种相对可靠性可以用破坏概率或者用安全指数表示,破坏概率通常在 10^{-2} 和 10^{-7} 之间变化,而安全指数的变化范围在2和6之间。对很多结构物作了这样的可靠性分析后,就可选择目标破坏概率或目标安全可靠性。根据这些值,就有可能再采用可靠性分析对载荷和强度选定局部安全因子,这些因子可作为制订设计要求的依据。所以,很明显这样的一种方法将在一组结构物中得出所期望的统一安全度,而不致于同现有的一般实

脱脱离很大。

一般说,约束设计的极限状态有几种。重要的是,设计者在设计过程中应明显地考虑与可能的结构性能特征不同模式有关的几种不同极限状态,通常提出两种极限状态,一种是判断结构业已破坏的最终极限状态,另一种是结构功能遭受损坏的营运极限状态。一般,这些可用极限状态或性能函数来表示,极限状态和性能函数在可靠性分析中很容易体现。

本文的第一节对可靠性方法在一些现有规则(作为它们的衡准要求的基础)中的实施程度作了评价。这种总的评价和评述对鉴别规则制定中采用的现行方法来说是很重要的。然而,任一可靠性方法的实施在很大程度上依赖于对与设计变量有关的不定性的定量。这个问题在本文的第二节作了说明,同时分析了载荷和强度不定性的资料。在此文章的第三节中,将不同的可靠性方法应用到18艘现有的船舶上,以确定不同方法的适用性,并有助于选择期望的目标可靠性。接着,在下一节中讨论了局部安全因子的格式,以及用18艘船确定的一些代表性值。而后,试图对现行ABS规范(对纵强度)中的相对目标可靠性和局部安全因子作出确定。同时,也讨论了在制定以可靠性为基础的张力腿平台设计衡准中所积累的最新经验。本文的最后一节是在前面几节的基础上,对方法和格式作了推荐,还包括了结束语。

符号释义

M = 安全裕度

P_f = 破坏概率

S = 代表船舶强度的随机变量

Z = 代表总弯矩的随机变量

$f_X(\cdot), F_X(\cdot)$ = 随机变量 X 的概率密度和分布函数

μ_X, σ_X = 随机变量 X 的均值和标准差

λ = 指数分布参数(等于波浪弯矩的均值)

$g(\cdot)$ = 极限状态函数或性能函数

l, k = Weibull分布中的参数

x_i^* = 在原始空间中最容易破坏点的座标

y_i^* = 在变换空间中 最容易破坏点的座标

v_x = 随机变量 x 的 变异系数

θ = 中心安全因子

m_0 = 静水弯矩

M_L, M_H = 分别为低频和高频波浪载荷

$\varphi()$, $\Phi()$ = 标准正态概率密度和分布函数

ρ_{ij} = 相关系数

α = 方向余弦

β = 从极值分布方法中求得的安全指数

γ = 从长期分布方法中求得的安全指数

γ_i, Δ_i = 与随机变量 x_i 相关, 分别相应于安全指数 β 和 γ 的局部安全因子

公制转换表

1 英尺 = 0.3048 米

1 英寸 = 25.4 毫米

1 磅/英寸² = 6.894 千帕

1000 磅/英寸² = 6.894 兆帕

1 磅-英寸 = 0.113 牛顿·米

1 吨-英寸 = 0.309 吨·米

第一节* 对最近制订的以可靠性为基础的 几种规则的评述

一些机构已经制订了以可靠性为基础的规则。还有更多的单位计划这样做。要把工作应力设计规则改变到以可靠性为基础的规则, 这不是件容易的事情。难就难在这样一个事实, 现在还没有一个固定的方法把可靠性引入到规则中去。可靠性理论在设计规则中的实施方法,

* “第×节”是为了阅读方便起见, 译文中另加的, 译者注。

各个机构是不同的。即使两个机构采用相同的以可靠性为基础的设计格式，由于不同的结构形式，其细节也是不同的。

本节的目的就在于评述和估价可靠性理论在某些设计规则中的实施方法和使用情况。特别是对美国石油学会 (API)，国家标准局 (NBS) 和欧洲—国际混凝土委员会 (CEB) 所属或赞助的一些工作进行了较详细的考察。其他几个机构的规则也有讨论，并作了比较。

§1.1 建议采用的美国石油学会 (API) 规则的格式

本小节所评述的是关于对美国石油学会 (API) 颁发的“海上固定平台规划、设计和建造——API 指导性文件” (RP 2A) 建议采用修正案。API 最近赞助一个研究项目，其目的在于把 RP 2A 的规则格式从工作应力设计 (WSD) 变成载荷和抗力因子设计 (LRFD)，预计在不久的将来可出版一种以载荷和抗力因子设计 (LRFD) 为基础的 RP 2A，供工业界评述和评论用。这里所评述的很多有关建议采用的 LRFD RP 2A 的资料是从参考文献 (2)，(3)，(4) 和 (2) 中获得的。

在现行采用的工作应力方法中，最大应力和屈服应力被一安全系数除后就许用应力。这样设计就受到约束，使得在极值作业载荷作用下的最大计算应力不超过这个许用应力。这个基本的安全性校核格式为：

$$R/SF \geq D + L + W + \text{其他载荷效应} \quad (1)$$

式中： R = 构件名义强度

SF = 安全系数

D = 构件上的名义重力载荷效应

L = 构件上的名义活动载荷效应

W = 构件上的名义环境载荷效应

目前，诸名义载荷都用因子 1.0 加以组合，并对作业载荷和极值载荷分别采用不变的安全系数 1.67 和 1.25。注意到在给定的安全

系数内隐含概率性，这是因为一般说极端事件是很稀少的，所以相关的安全系数可以减小。

以WSD格式为基础的设计给结构物提供了高可靠性，没有明显地考虑不定性和概率安全性。然而，WSD格式并不对结构物提供统一的可靠性。采用WSD的问题是：在式(1)中安全系数不可能计及所有变量中的不定性，包括所采用的理论和分析方法中出现的那些不定性。

在LRFD格式中，各个局部安全因子是按照不同构件强度和载荷不定性进行校准的。具有多重因子的LRFD法，其优点在于它恰当地估量了精度，借此可确定各种载荷和抗力，从而形成一个更加合理的方法和更具有有一致性（或具有更高的可靠性）。API RP 2A推荐采用的LRFD格式为：

$$\phi_{Ri} R_i > \gamma_D D + \gamma_L L + \gamma_W W + \dots \quad (2)$$

式中： R_i = 构件 i 的名义强度或抗力

ϕ_{Ri} = 构件 i 的局部抗力因子

D = 名义重力或固定载荷效应

γ_D = 固定载荷的载荷因子

L = 名义活动载荷效应

γ_L = 活动载荷的载荷因子

W = 规定周期内（通常100年）的名义环境载荷效应

γ_W = 环境载荷的载荷因子

每一抗力因子 ϕ_{Ri} 是由两项乘积算得，一项代表构件强度不定性(ϕ_i)，另一项代表系统后果(ϕ_s)，即

$$\phi_{Ri} = \phi_i \times \phi_s \quad (3)$$

构件抗力因子 ϕ_i 计及材料性能的变化，制造构件强度的变化，以及计算强度预估误差（由基本假设和近似性引起）中的误差。

系统后果因子反映了某一构件的破坏对整个结构的相对后果，这

本身也取决于构件是否冗余，是脆性还是韧性，是主要的还是次要的，等等。此外，系统后果因子也包括了平台破坏而带来的任何社会影响和经济后果。

载荷因子 γ 亦作为两项之积来计算。这两项分别相应于载荷强度的不定性(γ_i)和需要计算载荷效应分析中的不定性(γ_A)，因此有

$$\begin{aligned}\gamma \text{ 载荷效应} &= (\gamma \text{ 载荷强度}) \times (\gamma \text{ 分析}) \\ &= \gamma_i \times \gamma_A\end{aligned}\quad (4)$$

在实际设计中， ϕ 和 γ 值列成表格，设计方程将对所有规定的载荷组合情况进行校核。供API RP 2A建议采用的载荷和抗力因子的实际偏差在参考文献(20)和(21)中作了说明。

§1.2 欧洲——国际混凝土委员会(CEB)规则格式

本小节讨论的规则是欧洲——国际混凝土委员会(CEB)(有时也称欧洲混凝土委员会)和国际预应力联合会(FIP)共同努力的结果。这个设计规则称为“CEB-FIP混凝土模型规则”。在CEB模型规则中采用可靠性的详细资料可在参考文献(6)和(7)中找到。应该指出：CEB对结构可靠性已经研究了多年，为此CEB在制订这类规则的领域中认为是领先的。

CEB设计的校核方程的一般形式为

$$R_d \geq S_d \quad (5)$$

式中 R_d 是设计抗力， S_d 是设计载荷效应。

CEB规则是属于第一水平的规则，这就是说结构可靠性的恰当水准是靠规定一些局部安全因子来保证的。凡是有可能估价安全因子的恰当值(本规则采用的)时，本规则采用了第二水平法。该规则考虑了最终极限状态和营运极限状态。

按照CEB的符号，用来确定设计载荷效应的格式为：

$$S_d = S \{ \gamma_g G + \gamma_p P + \gamma_q Q \ell_k + \sum_{i \geq 1} (\phi_{0i} Q_{1k}) \} \quad (6)$$

式中: S_d = 设计 (因子化了的) 载荷效应;

$S\{\dots\}$ = 系指括号内的所有载荷引起的载荷效应 (它不是一个数值算子);

G = 名义固定载荷;

P = 预应力的一个代表值;

Q_{dk} = 主要变动载荷的特征值;

Q_{ik} = 其他较次要变动载荷的特征值;

$\gamma_g, \gamma_p, \gamma_q$ = 局部安全因子; Ψ_{01} = 载荷组合因子。

一般, CEB 采用两类局部安全因子 γ_m 和 γ_f , 分别与 (如式 (6) 中的) 强度和载荷有关。

γ_f 是这样的一个局部安全因子, 它乘上特征作用 (载荷) 值 F_k 后, 就获得设计载荷效应

$$\text{设计作用} = \gamma_f F_k \quad (7)$$

γ_f 是三个因子 γ_{f1}, γ_{f2} 和 γ_{f3} 的函数。

γ_{f1} : 考虑了偏离规定特征 (即名义) 值的变化, 它类似于 API 中所采用的 γ_1 因子。

γ_{f2} : 反映了所有作用在其各自特征值上的载荷组合后而减小的概率。 γ_{f2} 称为载荷组合因子。 (γ_{f2} 在式 (6) 中写成 Ψ_{01})。

γ_{f3} : 计及结构对载荷的响应以及载荷效应重新分配的可能性。 γ_{f3} 反映了在预估载荷效应中的不精确性, 它是建造材料, 设计和建造过程, 以及所论极限状态的函数。在式 (6) 中, γ_f 值写成了 γ_g, γ_p 和 γ_q , 因为对每一载荷, γ_f 值是不同的。在 CEB 的符号释义中, F 指一般载荷, 而 Q 是可变载荷。

γ_m 是第二类局部安全因子, 在结构分析中, 用 γ_m 来除某断面的特征强度 (f_k) 可得此断面的设计强度, 即

$$\text{设计强度} = f_k / \gamma_m \quad (8)$$

γ_m 计及用于结构建造材料的预估强度的任一不定性。特别是，它反映了材料强度偏离规定特征值的变化；材料强度偏离控制试件预估值的偏差；由于建造过程或材料本身引起的结构材料中的缺陷；材料尺度的不精确性；以及材料强度的不精确值对预估的结构抗力的影响。局部安全因子 γ_m 是抗力因子在 CEB 中的型式，类似于 API 采用的 ϕ_{R1} 。

CEB 规则有一附加因子——修正因子 γ_n 。这个因子考虑了某几部分结构的固有性态（它们可能无任何警告而破坏）以及相应于这类破坏的后果。 γ_n 分成两个因子：

γ_{n1} ：反映了破坏的型式（脆性或韧性）

γ_{n2} ：计及破坏后果

γ_n 不是明显地采用，而只是修正 γ_m 或 γ_f 值，在参加文献(20)和(21)中，介绍了这些因子的一些实际值。

§1.3 美国国家标准局 (NBS) 规则格式：

本小节所述的规则是美国国家标准 A 5 8，即由国家标准局 (NBS) 颁布的“建筑物和其他结构物的最小设计载荷的建筑规则要求”。关于这个规则应用可靠性的很多资料是从“针对美国国家标准 A 5 8 而制订的以可靠性为基础的载荷衡准”（参考文献 8）中获得的。

建议在 A 5 8 标准中采用的格式是前面所述的 CEB-FIP 格式和载荷及抗力因子设计格式 (LRFD) 的组合，后者是由 Ravindra 和 Galambos 建议的，因为 CEB 格式已在前面叙述过了，所以这里只解释 Ravindra 和 Galambos 的 LRFD 格式以及如何使这两种格式以最佳方式相结合的问题。有关 Ravindra 和 Galambos 的 LRFD 方法可查文献(9)（美国土木工程学会 (ASCE) 的 Journal of the Structural Division, 1978 年 9 月）。

LRFD 衡准可表示为：

*以下简称 R. 和 G., 译者注。

$$\phi R_n > \gamma_E (\gamma_D C_D D_m + \gamma_L C_L L_m + \gamma_W C_W W_m + \dots) \quad (9)$$

式中: ϕ = 抗力因子

R_n = 名义抗力

$\gamma_E, \gamma_D, \gamma_L, \gamma_W$ = 局部安全因子

C_D, C_L, C_W = 确定性因子

D_m, L_m, W_m = 平均的固定载荷、活动载荷、风载荷等。

表示载荷效应的各项 (即式(9)右侧的各项) 定义如下:

C_D, C_L, C_W : 将载荷强度转换成载荷效应的确定性影响系数。

γ_E : 表示结构分析中不定性的局部安全因子。它计及基本原理中的近似性和各种假设, 有些类似于 API 中所采用的载荷分析因子 γ_A 。

$\gamma_D, \gamma_L, \gamma_W$: 计及在确定载荷 D_m, L_m 和 W_m 中固有的不确定性程度。

在 C E B 及 R. 和 G. 载荷表达式之间的主要差别在于: 在式(9)中活动载荷同其本身的载荷因子是单独的情况, 而在式(6)中是一个最大载荷 $\phi_{oi} Q_{ik}$ 的多重状态。NBS 相信: 靠象(6)式中那样表达任意点准时载荷 (arbitrary-point-in-time load) 而实现的计算简化将会带来一定的好处, 因为有了(9)式中的单独载荷情况增加了精确度。

然而, 并不认为 C E B 格式在其他方面有优点。如果将 C E B 格式的方法应用到一种固定载荷、活动载荷、风和雪载荷组合的情况, 载荷组合的总数可能有 32 种。实际上, LRFD 方法只考虑了 4 种组合。因为很显然, 所希望的情况是: 为了简化设计只需少量的基本载荷组合, LRFD 方法在这方面是作了最佳的选择。

所以说 NBS 的载荷因子格式是两种方法中的最好特性的组合。但是, NBS 的载荷因子格式符合 LRFD 的程度要比它符合 C E B 格式的程度好得多。

当比较两种方法时，若为前面所述的那种因子化了的任意点准时载荷情况，就采用 C E B 方法。然而，载荷效应的设计方程却取 LRFD 形式，因为它在设计过程中用起来比较简单。同时，从现在起，N B S 格式将称为 LRFD。

对抗力因子 ϕ ，采用 LRFD 法，而不是采用材料部分安全因子 γ_m 的 C E B 概念。这个因子非常类似于 A P I 所采用的因子。抗力因子总是小于1，它考虑了：确定抗力方程中的假设所引起的构件强度的变化，材料性能的变化，尺度的变化，加工制造的不定性以及构件对结构的重要性。

总之，N B S 所推荐的格式为

$$\phi R_n \geq \sum_{i=1}^n \gamma_i Q_i \quad (10)$$

N B S 针对各种材料和载荷组合把很多 γ 值制成了表格，且已经概述了一种方法可用来确定符合某一机构要求的各种值。关于这些 γ 值和 ϕ 值的确定方法在参考文献(20)和(21)中讨论。

§1.4 其他机构的规则格式

美国钢结构学会 (AISC) 于1983年9月发表了一个建议采用的设计规则——“钢结构建筑物的 LRFD 规范”，供工业界试用和评述。这个规则直接根据 R. 和 G. 的 LRFD 法，它代表了新一代结构设计规则的原型。建议采用的 AISC 的 LRFD 新格式，将使其他机构感觉到好象用另一种方式在应用这个规则。美国石油学会就是这样的一个机构，因为现行的以工作应力为基础的 API RP 2A 采纳了其设计规定中的一部分内容，明文规定要参考 AISC 规则。

采用 LRFD 方法的另一个机构是美国混凝土学 (ACI)。事实上，早在1963年 ACI 就已把分离的载荷因子引进“北美设计规则”，在 ACI 规则中应用可靠性的历史，由 MacGregor 在参考文献(7)中作了介绍。在文献(20)中，讨论了推导局部安全因子的 ACI 方法。

加拿大的国家建筑规则对载荷效应采用了下列分离的载荷因子：

$$\text{载荷效应} = S \{ \gamma_D D + \phi (\gamma_L L + \gamma_W W + \gamma_T T) \} \quad (11)$$

式中: $S(\dots)$ = 由括号内的所有载荷引起的载荷效应 (它不是一个数值算子)

$\gamma_D, \gamma_L, \dots$ = 载荷因子

$D, L, \dots$ = 载荷 (固定, 活动, ……)

ϕ = 载荷组合概率因子, 等于 1.0, 0.7 或 0.6, 取决于括号内的载荷包括一种, 二种还是三种。

$\gamma_D = 1.25$, 当 D 的作用方式和括号内的载荷相同时;

0.85, 当 D 的作用方式和括号内的载荷相反时。

载荷因子考虑了由模型误差和结构分析中的不定性而引起的载荷效应的变化。 ϕ 项反映了最大的固定载荷, 活动载荷, 风载荷等同时作用下的概率会减少的因素。注意到: 若有活动载荷和风载荷两者存在, 则方程(11)将采用整个风效应 (当然, 取决于所选的载荷因子)。认为 LRFD 方法和 CEB 方法都比方程(11)的格式更加灵活。

在设计规则中采用分离的载荷和抗力因子的又一个机构是挪威船级社, 体现在他们的“平台设计, 建造和检验规范”中, 这个规则的局部因子不以可靠性为基础的。其格式有些相似于其他的欧洲规则, 例如 CEB。最终极限状态设计的一般格式为

$$\frac{R_k}{\gamma_m} \cdot \frac{1}{K} \geq S \{ \sum F_i \gamma_{fi} \} \quad (12)$$

式中: R_k = 特征抗力 (强度)

γ_m = 材料因子

R_k / γ_m = 设计抗力

K = 与抗力型式有关的因子

$S \{ \sum F_i \gamma_{fi} \}$ = 设计载荷效应

F_i = 特征载荷

γ_{fi} = 载荷因子

前面几小节中所介绍的内容对几个以可靠性为基础的主要规则格