

工程结构可靠性

中国土木工程学会桥梁及结构工程学会
结构可靠度委员会

全国第二届学术交流会议论文集

1983—11—15/19

重 庆

中国土木工程学会桥梁及结构工程学会
结构可靠度委员会

工程结构可靠性

中国土木工程学会桥梁及结构工程学会
结构可靠度委员会

全国第二届学术交流会议论文集

1989—11—15/19

重 庆

中国土木工程学会桥梁及结构工程学会
结构可靠度委员会

中国土木工程学会桥梁及结构工程学会

结构可靠度委员会

第一届委员名单

主任委员：李继华

副主任委员：姚明初、吴世伟、胡德忻

学术秘书：陈基发、马坤贞

委员：（以姓名笔划为序）

马坤贞、刘汉民、邹天一、吴世伟

邵卓民、李继华、陈星、陈基发

林志伸、林忠民、周孝贤、姚明初

赵国藩、胡德忻、秦权、浦聿修

盛崇文、储彭年、滕征本、魏珽

瞿伟康

前 言

鉴于可靠性方法及其它概率方法对结构工程显出日益重要的作用，中国土木工程学会桥梁及结构工程学会于1986年正式成立结构可靠度委员会，其目的在于推动可靠性及其它概率方法在结构工程中的应用，以求在结构工程的实践活动中，使工程人员对客观工程在事前能作出更为合理的判断和决策，包括对各类工程的实践规范的修订。

1987年10月在北京怀柔召开了由中国土木工程学会桥梁及结构工程学会主持的第七届学术会议，也即结构可靠度委员会第一届全国学术会议，应征论文64篇，内容涉及结构可靠性的一般理论、结构动力与疲劳可靠性方法、可靠性理论在桥梁、水工、港工结构工程以及质量控制中的应用等。在这次会议上，到会代表一致要求今后每二年召开一次《工程结构可靠性》的全国学术交流会议，以促进这门学科在我国早日茁壮成长，丰结硕果，为工程建设事业作出应有的贡献。本委员会为此做了相应的准备工作。

这次会议共征集论文74篇，与上次会议相比，在内容上突出了有关结构体系可靠性方法和随机有限元方法的讨论，并在与岩土性能有关的，尤其是桩基的结构可靠性方面提出了很多与实际工程相结合的论文。

考虑到国内的实际情况，在结构可靠性研究方面，目前主要还是以吸收与消化国外的研究成果为主，而且上次会议曾已组织过三个邀请报告。因此，这次会议不再专门组织有关专家在会上做专题性的研究进展报告。但本委员会已决定将国际材料与结构试验研究所联合会RILEM于1986年4月在美国洛杉矶召开的第五届结构安全性和可靠性国际会议(ICOSSAR'89)上的总报告和主题报告组织翻译出版，供结构可靠性研究领域的同行们参考和借鉴。

目前为了提高工程建设标准化工作的水平，让各类工程建设的实践规范的编制和修订能建立在坚实的科学基础上，各编制部门对结构可靠性方法这门学科发生了很大的兴趣，在实践经验的基础上，他们结合各自的工程特点，不断探索各类不同性质的事件的概率模型，并改进可靠度计算的方法，使在规范的定量判断中取得较好的效果。我们的会议主要也是得到他们的支持。这次会议除由中国建筑科学研究院和重庆建工学院负责筹办外，还得到交通部水运规划设计院及公路规划设计院的资助，特此谨表谢意。

中国土木工程学会
桥梁及结构工程学会
可靠度委员会

1989年10月

目 录

(一) 一般理论

框架的可靠度分析	1
王玉起、许朝劲、钱璐璐、鲍瑞卿、王春瑞(天津大学)	
结构体系可靠度的近似计算方法	9
李云贵、赵国藩(大连理工大学)	
结构体系可靠度的一种计算方法	20
何健丽(纺织工业部设计院)	
结构系统可靠性分析与设计方法的改革	29
曹起凤(铁道部专业设计院)	
结构体系可靠性与可靠度	43
陈瑞金、刘西拉(清华大学)	
结构可靠度数值算法	48
王天庆、吴世伟、张思俊(河海大学)	
用混合优化法求解结构的可靠指标	58
张思俊、沈海尧(河海大学)	
用Gram-Schmidt正交化方法求变量相关时的结构可靠指标	63
李同春(河海大学)	
线性极限状态方程 β 值的简易计算	72
许朝劲(天津大学)	
结构可靠度分析中随机变量分布类型的模糊判别	76
解伟、程学文(华北水利水电学院)	
按四阶矩计算结构功能函数统计特征的 Ω 法	84
汪长风(山西省建设厅)	
重力坝可靠度分析的随机有限元法	94
武清玺、吴世伟、吕泰仁(河海大学)	
无穷元在重力坝可靠度分析中的应用	106
武清玺、吴世伟、(河海大学)	
基于三维随机有限元的拱坝可靠度分析	114
李同春、吴世伟(河海大学)	
用随机有限元法分析重力坝的失效模式及系统可靠度	126
吴世伟、李同春(河海大学)	
结构分析的随机网络法	138
张新培(中国建筑西南设计院)	

齐次随机场在地基土的物理力学性能统计中的应用	144
彭大鹏(天津大学)	
蠕变的随机模型及其在蠕变失稳分析中的应用	157
陈 星(中国福建国际经济技术合作公司)	
可靠度的数值解法	166
郭怀志、张社荣(天津大学)	
黄东军(水电部华东勘测设计院)	
确定分项系数的新方法	174
程学文、解 伟(华北水利水电学院)	
黄振兴(水电部西北水电设计院)	
桥梁结构可靠度计算的混合法	186
李铁夫(铁道部第三勘测设计院)	
论工程结构不定性及其度量	192
张宽海(西南财经大学)	
张宽权(四川省建筑科学研究院)	

(二) 结构荷载

工程结构荷载最大值概率分布研究的某些进展	201
林忠民(福建师范大学)	
天津新港码头堆货荷载统计分析	208
王正心、李 哲(交通部第一航务工程勘察设计院)	
公路桥面铺装自重的统计分析	216
郭修武(西安公路学院)	
静水荷载统计参数的研究	224
程学文、解 伟、李彦军(华北水利水电学院)	
关于波浪力的概率分布型式问题	242
谢世楞、孙毓华、刘颖、吕江华(交通部水运规划设计院)	
从可靠度理论看我国铁路桥梁设计风荷载的一些问题	252
陈英俊、王 立(北方交通大学)	
铁路混凝土桥梁上制动力试验资料的统计分析	260
刘清松(铁道部第三勘测设计院)	
铁路混凝土桥梁在列车荷载下可靠度计算	265
陈夏新(铁道部科学研究院)	
铁路混凝土梁实测应力谱分析	275
陈夏新(铁道部科学研究院)	

(三) 结构动力及疲劳可靠性

- 对建筑结构地震破坏机制的一点探讨 281
瞿伟廉, 李柱青(武汉工业大学)
- 多层框架基于承载能力和抗倒塌能力的抗震可靠度分析 286
瞿伟廉, 李柱青(武汉工业大学)
- 在概率意义下弹性结构地震反应的振型叠加原理 296
李国强(同济大学)
- 基于动态极限位移的桥梁首超失效机制 304
李瑞霖(深圳国际工程公司)
- 随机地震反应谱的统计分析 311
李文华(工程力学研究所)
- 潘家口重力坝抗震动力可靠性分析 321
李振富, 王日宣(天津大学)
- 一座已加固的单层混凝土厂房的抗震可靠度 328
秦 权, 王 筠(冶金建研院)
- 用可靠度方法预测钢筋混凝土框架房屋的震害 334
高小旺, 钟益村, 陈德彬(中国建筑科学研究院)
- 高层建筑满足人舒适要求的二维抗风可靠性 342
瞿伟廉, 李柱青(武汉工业大学)
梁祖果(武汉水电学院)
- 水流脉动荷载作用下多级孔板泄洪洞的结构动力可靠性研究 350
王日宣, 吴霖云, 邵晓方, 毕 静(天津大学)
- 利用荷载谱计算构件的疲劳可靠度 359
徐道远, 张林兵, 符晓陵(河海大学)

(四) 材性、几何尺寸和构件

- 钢筋混凝土构件正常使用极限状态可靠度计算分析 368
张士铎, 张启伟(同济大学)
- 自应力灰砂混凝土梁安全度分析 375
张宽权(四川建筑科学研究院)
- 钢筋混凝土板可靠度分析方法 382
吴世伟, 张庆华(河海大学)
- 按承载能力极限状态的构件可靠度分析—《港工钢筋混凝土规范(设计部分)》构件可靠指标的校准 395
李清雷, 丁自强(郑州工学院)

海冰抗压极限状态的可靠性分析	405
李洪升、张小鹏、沈 梧(大连理工大学)	
高层钢结构可靠性研究和评价(一)	410
戴国欣、李继华、夏正中(重庆建筑工程学院)	
重力式码头构件尺寸不定性的统计分析	418
刘锡岭、王浩芬(天津大学)	
构件尺寸变异性及其对可靠度的影响	425
陈继建(天津大学)	
(五) 结构质量控制和维护	
评定现有建筑物可靠性的专家系统	430
秦 权(冶金建研院)	
工业建筑可靠性鉴定标准的编制及其可靠性尺度问题	439
林志仲(冶金部建筑研究总院)	
结构质量合格控制的优化问题	447
陈基发(中国建筑科学研究院)	
香港桥梁工程的质量保证及质量控制	452
刘正光(香港路政署)	
关于海港工程结构设计基准期问题的研究	460
童保全(上海交大)	
海南地区的大面积现浇钢筋混凝土屋盖—兼论预制钢筋混凝土排架厂房的可靠性	469
谢征勋(海口市第二建筑公司)	
(六) 可靠性理论在工程结构中的应用	
柔性墩可靠度校核方法的探讨	474
宁玉芳(铁道部第三勘测设计院)	
墩柱建筑物抗滑稳定的可靠度分析	482
孙毓华(水运规划设计院)	
烟台港深水码头地基承载力和水平滑动可靠性分析	493
盛崇文、张维秀(南京水利科学研究院)	
可靠性理论在重力式码头稳定性分析上的应用	503
王浩芬、刘锡岭(天津大学)	
重力坝稳定安全度标准的探讨	520
吴振玲、姚耀武(清华大学)	

蒙特卡罗边界法及重力坝体系可靠度分析	527
董耀星、周鸿钧(郑州工学院)	
水工结构可靠度分析中的几个问题	536
张思俊、沈海尧(河海大学)	
港口工程地基稳定可靠性分析	543
孙万禾、黄传志(交通部第一航务工程局科研所)	
挡土墙可靠度分析	557
周铁军(南京航务工程专科学校)	
桩的可靠度计算	564
夏琪利(交通部水运规划设计院)	
桩的垂直承载力的可靠性分析	576
李乐铭、唐顺娟(交通部长三航务工程局科研所)	
按可靠度要求港工钢筋混凝土高桩设计	587
杨松泉(交通部水运规划设计院)	
预应力混凝土桩可靠度分析	592
张静月(上海交大)	
抗拔单桩的可靠度分析	600
杨克己、王福元、李启新、熊国伟(河海大学)	
华东地区沉桩时桩结构可靠度的分析与研究	612
吴佳多、朱天益(交通部第三航务工程局科研所)	
天津地区沉桩时桩结构可靠度	620
方光麟(交通部第一航务工程局科研所)	
桩极限承载力的统计分析	631
李镜培、高大钊(同济大学)	
桩基竖向承载力的分项系数研究	639
高大钊、曹秉家(同济大学)	

框架体系的可靠度

王玉起 许朝劲 钱曙珊 鲍瑞卿 王春瑞
(天津大学)

〔提要〕 本文提出直接确定框架体系主要失效机构的分块组合法。同时，在框架体系可靠度计算方面，对PNET方法进行了简化，提出一个改进的PNET方法。经验算，本文方法计算简便，结果可靠，计算精度满足工程设计要求。

一、引言

框架体系的可靠度分析可归结为两个主要问题：一是寻找主要失效机构。所谓主要失效机构是指失效概率大，对框架体系的可靠度起控制作用的那些随机失效机构。通过这些主要失效机构就能够足够精确地评价框架体系的可靠度，其它失效机构的影响很小，可忽略不计；二是框架体系的可靠度计算。对这两方面的问题，国内外学者进行了很多研究工作。在确定主要失效机构方面，有Muratsu、Moses、Bennett和Ang等人提出的十余种方法^[1-10]；在体系可靠度计算方面有多重积分法、Monte Carlo模拟法、点估计法及可靠边界法^[11-21]等。上述各种方法各有特色，拟另撰文评述。

任一结构体系可能出现的机构都可分为基本机构和由基本机构迭合而成的组合机构。基本机构的数目就等于体系独立平衡方程式的数目。一般框架体系的基本机构用观察法很容易确定，也可用Watwood方法^[22]自动产生。以简单的两层两跨框架为例，其基本机构应是四个梁机构、两个侧移机构和四个结点机构。按通常的机构组合法，由这十种基本机构总共可组合成5183个随机失效机构。框架体系的可能失效机构数随其层数和跨数的增多将急剧增大^[23]。对高层多跨的大型框架体系，虽可借助计算机寻求主要失效机构，但由于占用内存、机时较多，往往难于实现。

为此，本文以机构组合法为基础，从实用角度出发，提出寻求框架体系主要失效机构的分块组合法。同时，在框架体系可靠度计算方面，对PNET方法进行了简化，提出一个改进的PNET方法。

二、框架体系的主要失效机构

(一) 确定框架体系主要失效机构的基本假设和原则

- 1、 框架体系应符合强柱弱梁的设计原则；
- 2、 任一结点，在没有外力矩作用时，与其相连的诸杆中至少有一根杆不形成铰，结点是否转动至少取决于某一根杆，故结点机构并不是独立机构；
- 3、 将几个基本机构进行迭合时，外力功总是保持不变，而内力功却因在迭合时有塑性铰消

失而减小，这样迭合而成的组合机构具有较高的失效概率，故进行机构组合时应使尽量多的塑性铰消失，这是寻求主要失效机构的基本原则：

4、由概率论可知，多于一个自由度的失效机构不是主要失效机构。

(二) 分块组合法

框架体系的失效机构可分为有侧移和无侧移两类。根据强柱弱梁假定，在无侧移的失效机构中，柱上不出铰，故结点不发生转动，因而只能形成基本梁机构及由它们迭合而成的组合梁机构。梁机构与梁机构组合时，没有铰消失，可称之为消极组合，并且自由度大于1，其失效概率比基本梁机构要小几个数量级，所以在无侧移的失效机构中，只有几个基本梁机构可成为主要失效机构。

有侧移机构一般都是由侧移、结点转动和梁机构组成，数量多，要从中找出主要失效机构，一般比较复杂，为此提出简化的分块组合法。

1、划分侧移块

m 层框架有 m 个基本侧移机构，暂不考虑梁机构参与组合，则由 m 个基本侧移机构 λ_i 可组成 $2^m - 1$ 个侧移机构，其中包括许多消极组合机构，自由度大于1，例如不相邻的两个层间侧移基本机构迭合成的组合机构就属此类。排除这些机构后，可得到的主要失效机构为 $\sum_{r=1}^m (m - r + 1)$ ，其中 r 表示侧移机构中有相邻的 r 层一起产生侧移，并称之为 r 层侧移块。如图1所示三层框架结构可划分为 $\sum_{r=1}^3 (3 - r + 1) =$

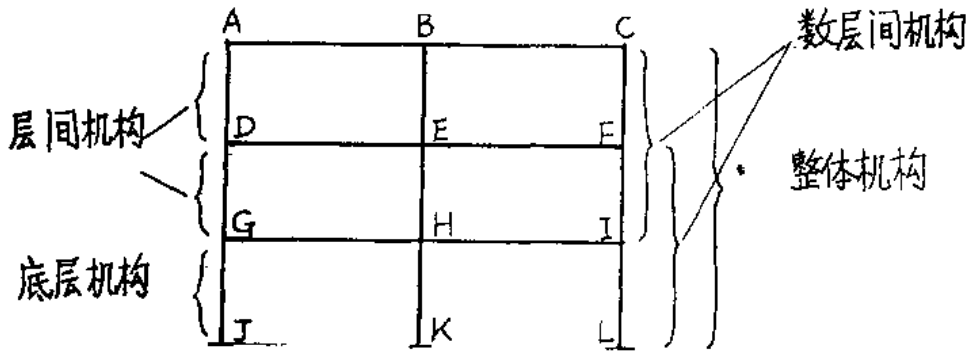


图 1

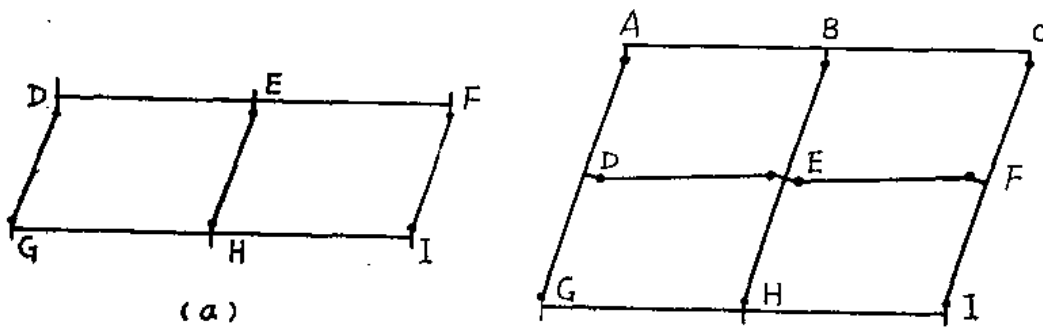


图 2

$3 + 2 + 1 = 6$ 个侧移块，即3个1层侧移块，2个2层侧移块和1个整体侧移块。图2所示为2个典型侧移块。

如果框架是强梁弱柱，则图2(b)中B结点的两个铰将发生在柱上，如图3所示。根据强柱弱梁假定，在机构组合时不考虑这种情况。

2. 分块组合

所谓分块组合就是分别将各侧移块与其本块范围内的基本梁机构进行组合，例如，图2(a)所示的侧移块只考虑与DE、EF、GH和HI四个梁机构组合，图2(b)所示侧移块只考虑与AB、BC、DE、EF、GH和HI六个梁机构组合，只有这样所得的组合机构才可能是主要失效机构。各侧移块与其本身范围外的梁机构组合将得到多余1个自由度的机构，这些都不可能是主要失效机构。

对于承受竖向荷载和自左向右的水平荷载作用的框架体系，为寻求其主要失效机构，在分块组合中结点机构参与组合将符合以下规律：(1)任一侧移块中间层上的梁柱结点，不论与其相连的梁是否形成机构，总是跟随柱子一起顺时针转动，如图2(b)中的结点D、E和F，柱上均无铰产生；(2)任一侧移块中最右边柱的最上和最下层结点，不论与其相连的梁形成机构与否，均不产生转动，如图2(a)中的结点F、I及(b)中的结点C、I；(3)其它结点的转动情况始终与梁的左端保持一致，即梁不形成机构时，结点不转动，梁形成机构时，其左端结点产生顺时针转动。

由上述可知，在有侧移的主要失效机构中，有的结点不发生转动，有的与柱子一起顺时针转动，又有的结点转动情况始终与梁的左端保持一致，故有侧移的主要失效机构数目与结点数无关，只取决于各侧移块中的梁数。每根梁分形成与不形成机构两种情况，令某一侧移块中含L根梁，则该块主要有侧移机构的数目为 2^L 种，如图2(a)和(b)所示的块，其主要失效机构分别有 $2^4 = 16$ 和 $2^6 = 64$ 个。又如如图1所示两跨三层框架体系，其底层和整体侧移块分别有主要失效机构 $2^2 = 4$ 和 $2^6 = 64$ 个。

对于m层n跨等高规则框架体系，包括无侧移和有侧移的主要失效机构的数目为

$$C = m \times n + \sum_{r=1}^m [(m-r) 2^{(r+1)n} + 2^{rn}] \quad (1)$$

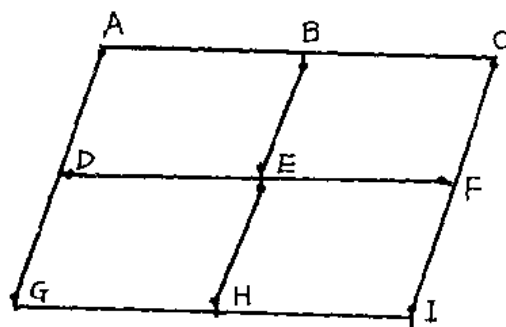


图 3

上式中第一项为主要梁机构数，其余均为有侧移的主要失效机构数目。

对图 1 所示框架。

$C_1 = 3 \times 2 + [(3-1)2^{2 \times 2} + 2^2] + [1 \times 2^{3 \times 2} + 2^{2 \times 2}] + 2^{3 \times 2} = 186$ 种；对本文中的两层两跨框架。

$C = 2 \times 2 + [(2-1)2^{2 \times 2} + 2^2] + 2^{2 \times 2} = 40$ 种，这40个主要失效机构如图 4 所示。

三、用改进的PNET方法求框架体系的可靠度

在找出主要失效机构以后，本文尝试用改进的PNET方法求框架体系的可靠度。

PNET方法的思路是：

(1) 假定一个 β_0 值作为判别各机构间相关程度的依据；

(2) 计算各主要失效模式的失效概率，并将其按由大到小的次序排列；

(3) 计算第一个主要失效模式的功能函数与其它主要失效模式功能函数间的相关系数 $\rho_{12}, \rho_{13}, \dots, \rho_{1n}$ 。将 $\rho_{1j} > \beta_0$ 的那些主要失效模式用第一个主要失效模式代表；

(4) 把那些 $\rho_{1j} < \beta_0$ 的主要失效模式再以失效概率减小的次序重新排列，计算新的第一个主要失效模式的功能函数与其后的主要失效模式功能函数间的相关系数 $\rho_{23}, \rho_{24}, \dots, \rho_{2n}$ 。将那些 $\rho_{2j} > \beta_0$ 的主要失效模式又用新的第一个主要失效模式来代表。而对那些 $\rho_{2j} < \beta_0$ 的主要失效模式重复上述过程，直到 ρ_{1j} 都大于 β_0 为止；

(5) 找出所有代表机构，假定这些代表机构间是统计独立的，求出框架体系的可靠度。

PNET法把具有较高相关系数的失效机构假定为完全相关，而将相关系数较小的失效机构看作是统计独立的，显然该法的精确性取决于 β_0 的合理选取。经验和研究表明，单个机构的失效概率如在 10^{-1} 的数量级上，可取 $\beta_0 = 0.5$ ；若在 10^{-3} 的数量级上，可取 $\beta_0 = 0.7$ ；在 10^{-4} 的数量级上，则可取 $\beta_0 = 0.8$ 。

用PNET法需计算失效概率大的第一个、第二个、……和其后所有失效机构功能函数间的相关系数工作量较大。本文提出的改进PNET方法，其计算步骤如下：

(1) 为简化计算，将前节找出的主要失效机构中失效概率小于某一给定界限值的失效机构删去不计；

(2) 用PNET方法对各块进行计算；

(3) 考虑各块余下的失效机构间可能还有相关系数较大的情况，因此，对各块余下的失效机构再用一次PNET方法；

(4) 假定最后余下的代表机构间相互独立，由此求解框架体系的可靠度。

四、算例

如图 5 所示框架，取 $H=L=4^m$ ，并设各截面的弯矩值服从相同分布， $M_p \sim N(20, 2.6^2)$ ，荷载 P, Q 服从同一分布 $P, Q \sim N(18, 5.274^2)$ ，荷载 T 服从同一

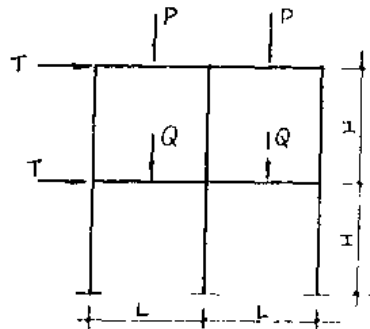


图 5

分布 $T-N(9.5, 1.8335^2)$ 。各变量间相互独立。单位为(KN·m, KN)。

按本文分块组合法, 可得40个主要失效机构(图4), 图中还给出了它们的可靠指标。分别取可靠指标界限值 $\beta_0 = 5.0, 4.5$ 和 4.0 及相关系数界限值 $\rho_0 = 0.8, 0.7, 0.6, 0.5$ 。该框架体系可靠指标及失效概率的计算结果列于表1。

表1

$\beta_0 \backslash \rho_0$		0.8	0.7	0.6	0.5
5.0	β	3.034	3.054	3.064	3.064
	P_f	0.00121	0.00113	0.00109	0.00109
4.5	β	3.034	3.054	3.064	3.064
	P_f	0.00121	0.00113	0.00109	0.00109
4.0	β	3.054	3.054	3.064	3.064
	P_f	0.00113	0.00113	0.00109	0.00109

一般是 β_0 和 ρ_0 取值越高, 计算的 β_f 值越偏低。但本例的计算结果表明, β_0 和 ρ_0 的取值对框架的 β 值并无明显影响。其原因是, 相应于所选取的各组 β_0 和 ρ_0 值, 按改进的FNET法挑选的代表机构如表2所列。其中〔1〕—〔4〕、〔34〕和〔5〕是选取各组 (β_0, ρ_0) 值时所选出的公共代表机构, 它们

表2

$\beta_0 \backslash \rho_0$	0.8	0.7	0.6	0.5	注: 各组 (β_0, ρ_0) 值均有公共的代表机构〔1〕—〔5〕和〔34〕
5.0	〔30〕、〔29〕、〔6〕、〔26〕、〔27〕	〔6〕、〔28〕	〔27〕		
4.5	〔6〕、〔26〕、〔29〕、〔30〕	〔6〕、〔28〕			
4.0	〔6〕	〔6〕			

的 β 值均较小, 对应的可靠概率分别为0.99982, 0.99978和0.99985。而其余的代表机构的 β 值都在4以上, 相应的可靠概率大于0.99997, 它们的可靠概率比6个公共代表机构大一个数量级, 故对体系可靠度无明显影响。

仍以图4的40个主要失效机构为基础, 用上、下限法对本例的计算结果为:

(1) 一般边界法〔9〕

$$\max_i P_{f1} \leq P_f \leq 1 - \frac{n}{i} (1 - P_{f1})$$

$$0.000222 \leq P_f \leq 0.00155;$$

(2) Ditlevsen方法〔17〕

$$P(E_1) + \sum_{i=2}^n \max \left\{ \left[P(E_1) - \sum_{j=1}^{i-1} P(E_1, E_j) \right], 0 \right\} < P_f < \sum_{i=1}^n P(E_i) - \sum_{i=2}^n \max_{1-2 \leq j < i}$$

$$P(E_i, E_j)$$

$$0.000987 < P_f < 0.0043$$

验算结果表明, 本文方法计算结果包括在两种上、下法计算的限度之内。

另外, 本算例曾按通常的机构组合法进行过计算。删去消极组合机构, 再删去 $\beta > \beta_0$ 的机构, 然后用FNET法删去相关系数大于 ρ_0 的机构, 剩下的代表机构与本文提出的分块组合法得到的结果是完全一样的。因此说明: 用分块组合法并没有漏掉主要的失效机构, 是切实可行的。

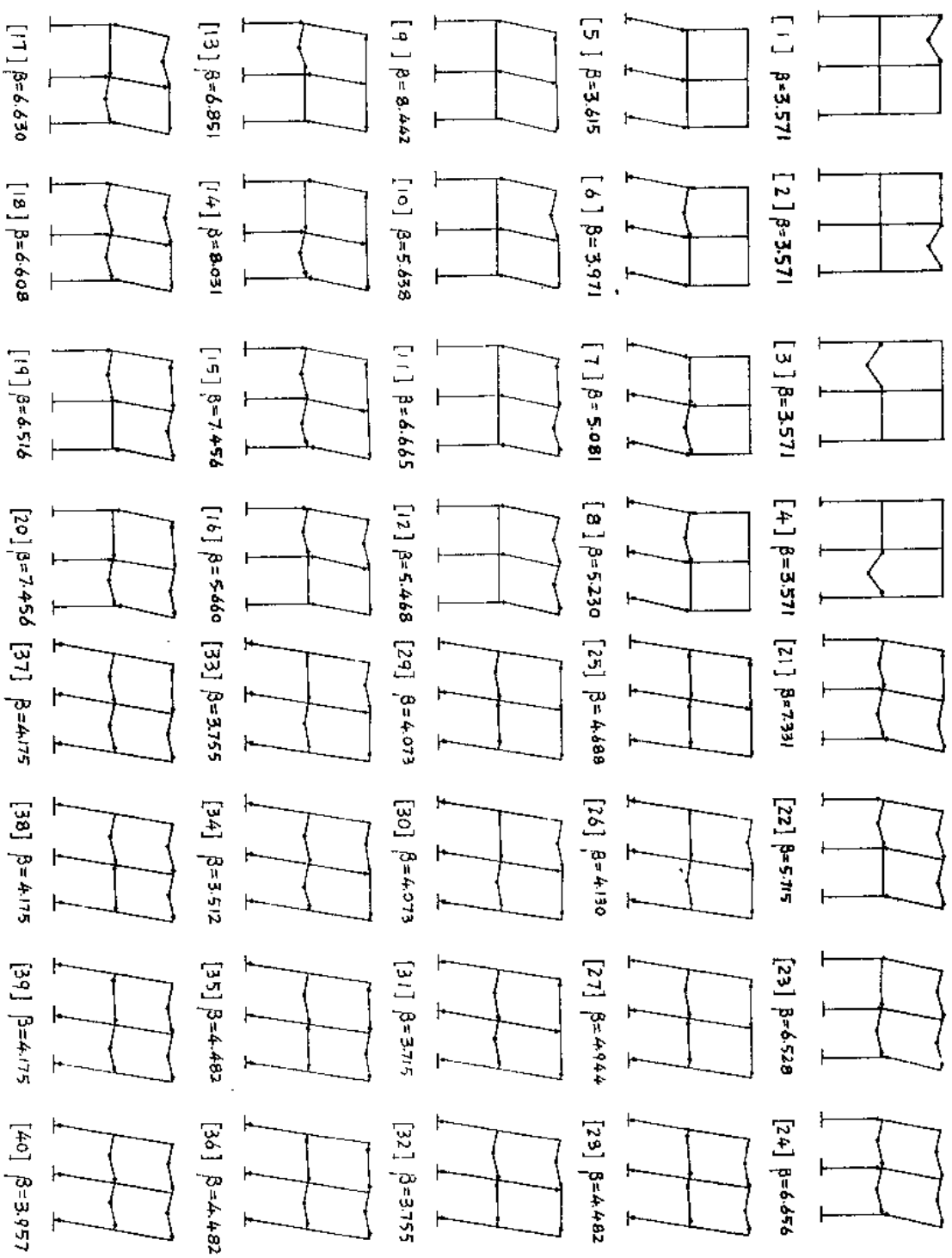


图 4

五、结语

本文提出的分块组合法和改进的PNET法大大地简化了框架体系主要失效机构的寻找和可靠度计算。例如，对两层两跨框架，按通常的机构组合法可得到 5.183 个失效机构，而按本文方法则直接确定出40个主要失效机构；对8层两跨框架，按通常的机构组合法可得到 7.0368744×10^{13} 个机构，而按本文方法只有203860个主要失效机构。经验算，本文方法概念明确，经验算其计算结果可靠，精度满足工程要求。

参 考 文 献

1. V.Murotsu etc. "Reliability Assessment of Redundant Structure", Structural Safety and Reliability, 3rd ICOSAR, 1981, P315-330.
2. Y.Murotsu: "Reliability Analysis of Frame Structure through Automatic Generation of Failure Modes", Reliability Theory and Its Application in Structural and Soil Mechanics, P.Thoft-Christensen, 1982, P525-540.
3. Y.Murotsu, H.Okada, K.Taguchi, M.Grimmelt, M.Yonezawa; "Automatic Generation of Stochastically Dominant Failure Modes of Frame Structures", Structural Safety, 2(1984), P17-25.
4. P.Thoft-Christensen & Y.Murotsu: "Application of Structural Systems Reliability Theory", Springer Verlag, 1986.
5. F.Moses: "System Reliability Development in Structural Engineering", Structural Safety, 1(1982), P3-13.
6. R.M.Bennett & A.H-S.Ang "Investigation of Methods For Structural System Reliability", Civil Engineering Studies, Structural Research Series No.510, Univ. of Illi. 11(1983).
7. R.E.Melchers & L.K.Tang "Dominant Failure Modes in Stochastic Structural System", Structural Safety, 2(1984), P127-143.
8. R.Ranganathan & A.G."Generation of Dominant Modes and Reliability Analysis of Frames" Structural Safety, 4(1987) P217-228.
9. H-F. Ma & A.H-S.Ang: "Reliability Analysis of Redundant Ductile Structural Systems", Civil Engineering Studies, Structural Research Series No.494, Univ. of Illi. 8(1981).
10. M.N.Aviyanash & B.C.Ross & L.C.Jared: "Failure Mode Identification For Structural Frames" J. of Struct. Engi., Vol.113, No.7, 7(1987). P1415-1432.
11. P.Thoft-Christensen & M.J.Baker: "Structural Reliability Theory and Its Application" Springer Verlag, 1982.
12. A.H-S. Ang & W.H.Tang: "Probability Concepts in Engineering Planning and Design", Vol.II, John Wiley & Sons, 1984.
13. 徐钟济, "蒙特卡罗方法", 上海科学技术出版社, 1985.
14. R.F.Warner & A.P.Kabaila: "Monte Carlo Study of Structural Safety", J. of the Struct. Div. ASCE, Vol.94, No.ST12, 12(1968). P2847-2859.
15. S.Kounias & J.Marin: Best Linear Bonferroni Bounds", J. Apply Maths, Vol.30, No.2, 3(1976), P307-323.

16. D.Hunter: "An Upper Bound for the Probability of a Union", J.Apply Prob. 13(1976), P597-603.
17. O.Ditlevsen: "Narrow Reliability Bounds for Structural Systems", J.Struct. Mech., 7(4)(1979), P453-472.
18. O.Ditlevsen: "Systems Reliability Bounding by Conditioning", J.Engr. Mech., ASCE, Vol.108, NO.EM5, 10(1982), P708-718.
19. K.Ramaohandran & M.J.Baker: "New Reliability Bounds for Series" 4th ICOSAR, 1985, PI-157-I-169.
20. K.M.Mjelde:"Reliability Bounds for Serial Systems", J.Struct. Mech. 12(1) (1984), P79-85.
21. C.A.Cornell: "Bounds on the Reliability of Structural Systems", J.Struct. Div., ASCE, Vol, 93, ST1, 2(1967), P171-200.
22. V.B. Watwood: "Mechanism Generation for Limit Analysis of Frames", J.Struct. Div., ASCE, Vol. 109, NO.ST1, 1(1979), P1-14.
23. 吉金标, 王春瑞: "框架的极限荷载计算", 天津大学学报, 2(1984), P15-24
24. 何健丽, 林忠民: "框架结构体系的可靠度分析", 中国土木工程学会桥梁及结构工程学会第七届学术会议论文集, "工程结构可靠性", 10(1987).

THE RELIABILITY ANALYSIS OF FRAME STRUCTURES

Wang Yuqi Xu Chaojin Shushan Bo Ruiqing Wang Chunrui
(Tianjin University)

ABSTRACT. A Block combination Method to determine directly the main failure mechanism of frame structures is presented in this paper. And an advanced PNET method to calculate the reliability of frame structures is put forward. The method presented is simple and convenient, the result obtained is reliable and the precision is up to engineering design requirements.