

FANGZHEN JIANZAI K

ONGSHU



防震减灾科普丛书

地震预防与抗震

DIZHEN YUFANG YU KANGZHEN

第 ⑤ 册

白建方◎编著

中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

防震减灾科普丛书

地震预防与抗震

白建方 编著

中国铁道出版社

2010年·北京

内 容 简 介

地震造成大量人员伤亡的主要原因是房屋倒塌,在目前地震短期预报尚无法令人满意的情况下,人们自然寄希望于将居住的房屋建造得足够结实,以减少地震发生时房屋的倒塌伤人。本书为《防震减灾科普丛书》的第3册,主要介绍了建筑抗震的基本知识,共含6章内容:建筑抗震的概念设计、建筑场地的选择、各类房屋结构的抗震措施、生命线工程的抗震措施,最后给出了房屋建筑的抗震鉴定与加固方面的基本知识与原理。

本书可作为防灾减灾工程及防护工程专业的学生及教学人员的参考用书,也可作为从事土木工程施工和设计人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

地震预防与抗震/白建方编著. —北京:中国铁道出版社,
2010.4

(防震减灾科普丛书)

ISBN 978-7-113-11277-6

I. ①地… II. ①白… III. ①房屋结构:抗震结构—加固
IV. ①TU352.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 061039 号

书 名: 防震减灾科普丛书
地震预防与抗震
作 者: 白建方 编著

策划编辑: 江新锡

责任编辑: 徐 艳

电话: 010-63549495

电子信箱: xy810@eyou.com

编辑助理: 陈小刚

封面设计: 崔 欣

责任校对: 张玉华

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京市兴顺印刷厂

版 次: 2010年4月第1版 2010年4月第1次印刷

开 本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 4.25 字数: 107千

书 号: ISBN 978-7-113-11277-6

定 价: 11.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话: 市电(010)51873170, 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010)63549504, 路电(021)73187

前 言

我国属于多地震国家，占全球约 $1/4$ 的人口承受了约 $1/3$ 的大陆地震和约 $1/2$ 的地震死亡人数。地震灾害不仅导致了大量人员伤亡，而且导致人类赖以生存的环境的破坏。2008 年 5 月 12 日，四川省汶川县发生了 8 级特大地震。地震波及 16 个省、自治区、直辖市，造成近 7 万人遇难，4 万人受伤，累计受灾人数约 4 555 万人，破坏特别严重的地区超过 10 万平方千米。

救灾的首要任务是救人，要最大限度地减轻地震灾害，必须增强人们的防震减灾意识。如果掌握了一定的防震减灾知识，人们便有可能保护自己。在此背景下，本套丛书的推出希望能帮助人们认识地震发生的成因，了解一些实用的防震减灾知识，掌握简单易行的紧急避险和震后自救互救方法，增强对地震灾害的应对和心理承受能力，努力做到防患于未然，把地震可能造成的损失减少到最低程度。

本套丛书主要包括四部分内容：《认识地震》、《地震预测预报》、《地震预防与抗震》、《地震应急与对策》。《认识地震》通俗易懂地介绍了一些有关地震的基础知识，包括地球的构造、地震的成因与类型、地震带的分布等，并解释了地震中一些基本术语，让人们们对地震有个初步的了解。在此基础上，《地震预测预报》介绍了目前地震预报的现状及常用方法，并结合实际案例介绍了地震预报背后相关工作人员艰辛的心路历程和地震预报中的两难选择。由于地震预报尚属世界性难题，短期内无法取得突破，因此人们自然想到的是通过将房屋结构设计的坚固耐用来提高其抗震能力，《地震预防与抗震》中就介绍了村镇和城市中常见房屋的抗震设防知识，包括场地的选择、结构选型、抗震概念设计以及震后房屋鉴定与加固等内容，让人们知道什么样的房屋

对抗震是有利的，什么位置的房屋对抗震是不利的。地震属自然现象，它的发生不以人的意志为转移，一旦发生地震，那么在地震中采用怎样的应急与对策就直接决定了人们逃生的希望与财产损失的大小，《地震应急与对策》提供了一些实用的地震避险方法和自救、互救对策。

最后在本丛书出版之际，感谢中国铁道出版社给予的积极配合，感谢石家庄铁道学院提供的宽松而愉悦的工作环境，衷心地希望本丛书的推出能为我国的防震减灾事业贡献一份绵薄之力。

白建方

2010年1月

目 录

第 1 章 建筑抗震的概念设计	1
1.1 地震作用下房屋破坏的机理	1
1.2 结构震害规律	5
1.3 抗震概念设计	8
第 2 章 建筑场地的选择	15
2.1 场地对建筑震害的影响规律.....	15
2.2 选择地基时应避免的情况.....	21
2.3 地基处理方法.....	23
第 3 章 各类房屋结构的抗震措施	35
3.1 农村民居.....	35
3.2 多层砖房.....	38
3.3 内框架房屋.....	48
3.4 底层框架砖房.....	58
3.5 框架房屋.....	63
3.6 附属设备的抗震.....	67
3.7 建筑隔震技术.....	67
第 4 章 生命线工程的抗震措施	71
4.1 桥梁的抗震措施.....	72
4.2 公路的抗震措施.....	76
4.3 管线的抗震措施.....	77

第 5 章 房屋建筑的抗震鉴定	80
5.1 房屋建筑抗震鉴定概述	80
5.2 多层混合结构房屋抗震鉴定	81
5.3 钢筋混凝土框架结构房屋抗震鉴定	95
5.4 村镇房屋的抗震鉴定	105
5.5 古建筑的抗震鉴定	107
第 6 章 房屋抗震加固与维修	113
6.1 房屋抗震加固与维修概述	113
6.2 房屋抗震加固与维修程序	119
6.3 房屋抗震加固与维修策略	120
6.4 房屋抗震加固与维修措施	121
6.5 房屋抗震加固与维修新技术	125
附录 混合结构房屋第一级抗震鉴定的 抗震横墙间距和房屋宽度限值(m)	127
参考文献	130

第 1 章 建筑抗震的概念设计

1.1 地震作用下房屋破坏的机理

地震对房屋的破坏作用是多种多样的。强烈的地表振动,可以直接破坏房屋及构筑物;地表振动有时会使饱和含水的砂土液化,导致地面下降、开裂、喷水、冒砂等,造成地基失效或承载力降低,损坏房屋的基础和上部结构;地震引发的山崩、滑坡、泥石流等自然灾害以及火灾、水灾等次生灾害也会对房屋建筑物造成极大的危害。

1.1.1 房屋的动力特性

房屋都有其动力特性,而由于动力特性的不同,房屋的抗震能力也有其各自不同的特点。

1. 刚度和周期

房屋都有其一定的刚度,以抵抗外力作用引起的变形。当受外力冲击或者偏离原来的平衡位置时,弹性力使它向反方向运动,如此往复,形成振动。往返运动一次后回到原来位置所需的时间,称为周期。房屋的自振周期由其高度、质量、刚度等因素决定。周期随高度和质量的增加而增加,而与刚度成反比,所以通常称周期较小的结构为刚性结构,周期较长的结构为柔性结构。

2. 振型

房屋在共振时的振动形状叫做振型。房屋受力时,不仅以其基本周期作第一振型(自振周期最长的为基本振型)的振动,还有第二、第三等高振型的叠加作用。

3. 地震时房屋的振动

刚性房屋的顶部和基础的运动与附近地表一致,但房屋对周期小于 0.1 s 的地震振动反应较小。中等刚度房屋顶部振动的周

期、相位和波形与基础或地下室几乎一致,但振幅随运动性质有20%~70%的增加。柔性房屋的地下室或基础的振动很不规则,大致与地面的振动相似,但顶部运动以该房屋低阶固有周期分量为为主,其最大振幅为地下室的2~3倍。

研究认为,在地震中,刚性房屋的运动与周围地面相同或接近,柔性房屋以其固有周期振动,中等刚度的房屋介于两者之间。

4. 阻尼

房屋在振动时,由于材料的内摩擦、构件节点的摩擦以及外界阻力的作用,能量将有损耗,另一部分能量也会由地基逸散,所有这些能量损耗的原因,统称为房屋的阻尼。在抗震设防工作中,通常选用周期和阻尼这两个最为关键且易于计算或实测的动力参数来表述。房屋的各个振型都分别有其一定的周期和阻尼。

1.1.2 房屋破坏的机理

1. 振动破坏

地震波引起的地面振动,通过基础传给建筑物,引起建筑物本身的振动。通常的建筑物都是按静力设计建造的,没有考虑或者很少考虑动力影响。当振动强度超过建筑物本身的形变能力时,就会造成破坏。

由于地震波的频谱组成和延续时间以及建筑物的材料性质、动力特性、地基条件和地形等因素的影响,地震振动对建筑物的破坏作用由许多因素综合决定。

(1) 地震波的周期

根据有关研究显示,周期在0.1~2.0 s之间的振动对一般建筑物危害最大。例如,周期1 s、振幅2.5 cm、加速度约0.1 g的振动,只需几秒钟就能破坏质量较差的房屋,若持续10 s以上,则可对普通房屋造成重大破坏。

高频振动,如小型爆炸引起的周期为1/300 s、振幅为0.002 5 cm、加速度达1g左右的振动,一般对建筑物不能构成直接的威胁。而特别强烈的地震,在数百甚至上千千米的距离外,能

引起周期约 20 s、振幅在 1 cm 左右的振动,人们不易察觉,但有时可以引起高层建筑的共振,使上层的最大位移达到 20 cm 以上,这样也很容易造成破坏。

(2)共振作用

在小振幅的短周期地面振动作用下,建筑物的上部可认为基本保持不动。当地面振动和房屋建筑物的固有周期相同时,就产生共振,此时房屋上部位移可能超过地面运动很多倍。在长周期的地面振动作用下,顶层的加速度大于地面的加速度,地面周期越大,这个差别以及房屋的变形就越小。

(3)断层影响

活断层是产生震害的主要因素之一,位于断层边缘部位的震害程度与其规模大小关系可表示为

$$I_{(D)} = f\{\Delta, h, g, \sigma\}$$

式中, $I_{(D)}$ 为震害指数,它与震中距 Δ 、深度 h 、地面加速度 g 、建筑物刚度 σ 呈函数关系。

(4)地基影响

房屋建筑场所的地基土质、下卧岩层的结构和深度、基础的类型和深度,以及包括附近房屋在内的地表地形特征等,都对多数房屋的受震破坏有影响。一般来说,坚实地基上的大多数房屋受破坏最轻,软弱地基上的破坏最严重。

但是,从另一方面来说,在某种条件下,软弱地基也有其有利的一面。坚实地基是促使地震波剧烈扩散的媒介,地面振动引起房屋的振动,因而产生施加于房屋上的惯性力,这是刚性建筑物破坏的主要原因。而一个在振动台上的用砖石房屋模型进行的试验表明,坚实地基上的模型的上部水平振动加速度值比松软地基上的大 56%。这是因为较软弱的地基的变形能力更强,有着“耗能”的作用,也就是减轻了地震波对地基的冲量。软弱地基的压陷性使得其上部的砖石结构在强震时破坏较轻。

(5)竖向和旋转地震力的作用

震源产生的地震波(体波)分为横波和纵波,分别引起地面的水平运动和竖向运动。通常竖向运动比水平运动小,而一般的房屋建筑物的竖向稳定性又比较好,因此我们在房屋工程建设中通常只考虑水平地震力的作用。

而某些高耸的建(构)筑物(如高层建筑、发射塔架等)易受围绕水平轴或竖向轴旋转的扭转力的影响,在研究这些房屋工程的抗震问题时,需要加以特殊考虑。

(6)多次振动的效应

振动引起的房屋破坏程度和规模,与震前房屋本身的结构完整性有关。如果房屋曾遭受过地震损伤或者其他损坏,而没有及时进行修复和抗震加固,那么它的抗震能力必然会降低,若再遭受地震袭击,破坏必然更重。

2. 房屋地基失效引起的破坏

当加速度较小或地基坚实时,地表层具有弹性性质,反之则地表层或下垫层可能达到屈服点。达到屈服点后,岩石、土层将产生塑性变形,导致地基承载力下降、丧失以致发生位移。地基的破坏将会消耗部分能量,减小振动对房屋建筑物的直接破坏,但是由于地基失效,同样会造成建筑物的破坏。地基承载力降低将导致房屋下沉;地基的不均匀下沉和水平位移将破坏房屋建筑物的基础,上部结构随之破坏。

在强烈振动下,饱和含水的松散粉土、细砂土层会产生液化,失去承载能力。这是因为砂土和粉土的土颗粒结构受到地震作用时将趋于密实,当土颗粒处于饱和状态时,这种趋势将使孔隙水压力急剧上升,而在地震作用的短暂时间内,这种急剧上升的水压力来不及消散,使原先由土颗粒通过其接触点传递的压力(亦称有效压力)减小;当有效压力完全消失时,砂土和粉土就处于悬浮状态。

3. 次生灾害引起的房屋破坏

陡峭的山区或丘陵地带,发生次生灾害的可能性最大也最为严重。一旦发生地震,破碎的岩石和松散的表土,往往与下卧岩石

土层脱离,引起崩塌、滑坡或泥石流。若地震前长时间降雨,表层含水饱和,则更容易发生这类灾害。

1.2 结构震害规律

在历次震害调查中发现了许多有规律的破坏现象,下面结合汶川地震中的震害调查情况分类表述如下。

1.2.1 边角效应

震害调查中发现:震损严重或倒塌部分大多发生在房屋结构的端部或角隅。造成这种现象的原因是:在以重力荷载为主的通常结构分析中,这些边、角区域的内力较小。但在地震的水平惯性力作用下,这些区域的构件缺乏横向的支撑,往往容易失去侧向扶持、约束而被甩出,造成局部破坏,甚至倒塌。

住宅的尽端单元往往具有较好采光和通风条件而受到住户青睐,但在地震调查中发现,成排住宅中倒塌的多是尽端单元。因此抗震设计中应加强尽端和角隅的构件,防止其发生倒塌破坏。

1.2.2 鞭梢效应

震害调查还发现:任何突出于建筑轮廓以外的凸起部分,由于失去周边结构的扶持,也都容易遭受震损,因为在这些部位,不但受到弯矩、剪力的作用,而且还遭受明显的扭矩作用。在这些复杂的受力状态下就很容易造成位于该处房屋构件或局部结构的坍塌破坏。比如屋顶上的小阁楼或是突出于楼侧的悬挑阳台等处。

因此得到的教训是:建筑设计时结构的外轮廓应简单、方正,尽量避免凹凸不平和里进外出。近年来时尚的建筑师为追求视觉冲击而往往将房屋设计得奇形怪状,而这正是结构抗震最忌讳的事情。

1.2.3 蜂腰效应

在震害调查中还能看到:在结构平面的薄弱区域——蜂腰、瓶颈部位,由于刚度突变和应力集中,往往在地震中遭受重创,成为裂缝密布、混凝土破碎和结构震损最集中的部分。比如设置在平

面中间处的楼梯间或两单元间的连梁等处。均属于薄弱的蜂腰部分。因此,建筑设计时结构的外形应该不仅在立面上,而且在平面布置上也简单、方正,尽量避免里进外出、形状不规则。建筑与结构两方面的设计人员应该很好地配合:既要满足建筑功能的需要,又必须保证结构的安全。

1.2.4 底层效应

在灾区的震害调查中还能看到:结构的破坏往往集中于房屋的底部,多表现为底层竖向构件——承重墙或立柱的破坏,而且往往因此而引起倒塌,造成伤亡。水平构件——梁、板及楼盖很少单独破坏,多半是由于墙、柱倒塌后,跟随下坠而发生的次生破坏。

底层效应说明:竖向构件,尤其是结构底部的竖向构件墙和柱,在安全上具有更大的重要性。因此在设计中对底层竖向结构予以加强(底部加强区)是最有效的,也是完全必要的。

1.2.5 方向效应

在震害调查中还能看到:结构类型相同的房屋,由于朝向不同,遭受的震害往往有明显的差别。显然,这和房屋结构方向与震中的相对位置及地震波的传播方向有关。横波造成的水平位移及晃动,对于垂直于波传播方向的房屋就会造成较大的震害;而对于顺波方向的房屋,由于纵向抗力较大,震害就会小得多。在地震区规划和建造房屋时,宜考虑这一因素。

1.2.6 楼梯效应

楼梯间在楼盖平面中不连续而处于比较薄弱的缺口部位,楼梯板的结构布置又有斜置、错层等特殊情况。在地震作用水平方向的受力形态更为复杂。汶川地震中不少框架结构中的现浇楼梯遭受重创。很多楼梯段由于框架剪切变形而遭受反复拉、压作用。因此就会出现板中的受拉横向贯通裂缝,板底受力钢筋也往往受压、屈曲。另外,地震时楼梯板还会随同两端楼梯梁上下错动而遭受剪切作用,这种连拉压带剪切的作用破坏力非常巨大,往往造成

楼梯板受力钢筋的断裂。

楼梯间在建筑结构中只占极小的部分,故在传统设计中并未受到足够的重视。特别是对其在地震作用下的内力分析,尚无结论和比较准确的方法。鉴于其属于比较重要的疏散、逃生通道,以及楼梯对框架柱内力的影响,吸取历次地震的经验教训,今后应加强对楼梯设计的重视程度。除应尽快开展有关的研究以外,在尚未搞清其内力及破坏机理以前,应在设计中适当加大其安全储备,改用延性好的热轧钢筋,并确保施工质量。

1.2.7 地震位移及防震缝

地震作用实际上是一种强迫位移,相邻建筑物由于地震位移反应不同就可能发生相互碰撞,从而造成局部破损。因此,设计、施工中就应该按抗震规范的要求设置防震缝,保证其应有的宽度,并不得在缝内填塞刚硬物体。以避免在地震时结构变形、位移而造成缝侧挤压、碰撞的破坏。在地震调查中经常发现防震缝由于距离不够而导致相邻建筑相互碰撞的情况。

为避免上述破坏发生,抗震设计规范有防震缝设置(位置、宽度)的要求时,必须遵守。即使在使用期间,也应保持、维护。不得出于装修、观感的要求而随意取消或填塞,以免影响防震缝功能的发挥。

1.2.8 非承重构件的倒塌

在汶川地震中,有相当多的伤亡是由于女儿墙、栏杆板、填充墙、隔断墙等非承重构件倒塌、下坠而引起的。

这些非承重构件在设计、施工中往往得不到技术人员的足够重视。在灾区,甚至连砖加筋及用胡子筋拉结砌体这样的简单构造措施都多半未能执行,以致地震时发生了危及人员生命的后果,而比这种情况不利而且构造要困难得多的高层建筑幕墙结构,在本次地震中却无一倒塌,也未引起伤亡,仅发生了少量局部破坏。这说明只要设计、施工重视,认真执行有关的标准、规范,上述的安全隐患都不难解决。

1.3 抗震概念设计

1.3.1 概念设计的含义与内容

由于地震作用的不确定性和复杂性,以及结构计算模型的基本假定与实际情况的差异,使仅靠计算分析得出的数据进行的抗震设计,即计算设计(或称为数值设计)很难有效地控制结构的抗震性能。因此,经过总结历次大地震灾害的经验教训,人们发现,对结构抗震设计来说,概念设计比计算设计更为重要。《抗震规范》(GB 50011—2001)条文说明中明确提出“结构抗震性能的决定因素是良好的概念设计”。

概念设计是结构工程师展现先进设计思想的重要环节。结构工程师对特定的建筑空间应能用整体的概念来完成结构总体方案的设计,并处理好结构与结构、结构与构件以及构件与构件之间的关系,确定好细部构造的做法。

概念设计是一种设计的思路,可以认为是定性的设计。概念设计不以精确的力学分析、生搬硬套的规范条文为依据,而是对工程进行概括的分析,制定设计目标,采取相应的措施。概念设计的概念包括安全度的概念、力学的概念、材料的概念、荷载的概念、抗震的概念、施工的概念、使用的概念等。概念设计要求我们融合这些概念,并贯穿到结构方案设计、结构构件布置、计算简图抽象、计算结果分析处理中。概念设计具体体现在以下几个方面:

1. 场地选择方面

选择对建筑抗震有利的场地,宜避开对建筑抗震不利的地段,不应在危险地段建造重要建筑。对于不利地段,结构工程师应提出避开要求,当无法避开时,应采取有效措施,这时需考虑地震因场地条件间接引起结构破坏的原因,诸如地基土的不均匀沉陷、地震引起的地表错动与地裂等。

2. 建筑平立面布置方面

建筑的平立面布置应符合概念设计的要求,不应采用严重不

规则的方案。不规则的建筑,在结构设计时要进行水平地震作用计算和内力调整,并应对薄弱部位采取有效的抗震构造措施。

3. 结构材料选择方面

结构材料选择与结构体系的确定应符合抗震结构的要求。采用哪一种结构材料、什么样的结构体系,需要经过对其技术、经济条件比较后综合确定。同时力求结构的延性、刚度、强度完美匹配,尽量降低房屋重心,充分发挥材料的强度,并使结构在两个主轴方向的动力特性(周期和振型)尽可能相近。

4. 结构应具有多道抗震防线

尽可能设置多道抗震防线。地震有一定的持续时间,而且可能多次往复作用,根据地震后倒塌的建筑物分析研究,地震的往复作用使结构遭到严重破坏,而最后倒塌则是结构因破坏而丧失了承受重力荷载的能力。适当处理构件的强弱关系,使其形成多道防线,是增强结构抗震能力的重要措施之一。如框架结构,框架就成为唯一的抗侧力构件,那么采用“强柱弱梁”型延性框架,在水平地震作用下,梁的屈服先于柱的屈服,就可以利用梁的变形消耗地震能量,使框架柱退居到第二道防线的位置;框架-剪力墙结构,剪力墙作为第一道防线,框架作为第二道防线等。

5. 选择合理的刚度和承载力分布以及与之匹配的延性

提高结构的抗侧移刚度,往往是以提高工程造价及降低结构延性指标为代价的。要使建筑物在遭受强烈地震时具有很强的抗倒塌能力,最理想的是使结构中的所有构件及构件中的所有杆件都具有较高的延性,然而实际工程中很难做到。这就要求在做设计时要有选择地提高结构中的重要构件以及关键杆件的延性,这是一种比较经济、有效的办法。如对于上刚下柔的框支墙结构,应重点提高转换层以下的各层构件延性;对于框架和框架筒体结构,应优先提高柱的延性。在工程设计中另一种提高结构延性的办法是在结构承载力无明显降低的前提下,控制构件的破坏形态,减小受压构件的轴压比(同时还应注意适当降低剪压比),提高柱的

延性。

6. 确保结构的整体性

各构件之间的连接必须可靠,且应符合下列基本的要求:

(1)构件节点的承载力不应低于其连接构件的承载力。当构件屈服、刚度退化时,节点应保持承载力和刚度不变。

(2)预埋件的锚固承载力不应低于连接件的承载力。

(3)装配式的连接应保证结构的整体性,各抗侧力构件必须有可靠的措施以确保空间协同工作。

(4)结构应具有连续性,注重施工质量,避免施工不当使结构的连续性遭到削弱甚至破坏。

1.3.2 概念设计的来源与依据

概念设计的主要依据和来源有:①深刻理解各种结构的工作原理和力学性质;②熟悉各类结构的设计原则;③掌握各种计算机程序的适用范围、力学模型、处理原则和开关使用等;④丰富的工程经验,包括积累的直接经验和间接吸收的间接经验。通过概念设计可以做到:①保证正确的设计方向,即方向要对头;②符合外部条件,使设计经济合理;③发现并解决设计中的问题;④判断设计结果的正确性;⑤促进创新,提高设计质量。

1.3.3 应用概念设计应注意的问题

1. 结构工程师在使用程序时应注重一些概念设计

(1)在建筑方案设计阶段,一般是很难借助于计算机来实现的,这就需要结构工程师综合运用自己掌握的结构概念,根据成熟的工程经验形成的设计原则、设计思想,创造性地、灵活地运用它们,选择经济合理的结构方案。

(2)结构工程师应能比较客观、真实地理解结构的工作性能。因为,现行的结构设计理论与计算理论还存在许多的缺陷或不可计算性,如基于弹性理论的内力计算方法与基于塑性理论的极限状态设计方法之间的矛盾,使计算结果与实际结构的受力状态有时相差甚远,要弥补计算理论的缺陷,实现对工程中大量无法计算