

STEEL STRUCTURAL DESIGN AND EXAMPLES TO  
EUROPEAN STANDARD

欧洲规范钢结构  
设计方法及实例

姜宇 孙晓彦 主编

中国建筑工业出版社

# 欧洲规范钢结构设计 方法及实例

娄宇 孙晓彦 主编

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

欧洲规范钢结构设计方法及实例/姜宇, 孙晓彦主编. —北京:  
中国建筑工业出版社, 2019.3  
ISBN 978-7-112-23227-7

I. ①欧… II. ①姜… ②孙… III. ①建筑结构-钢结构-设计  
规范-欧洲 IV. ①TU391.04-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 018409 号

目前的海外建设工程越来越多, 很多工程项目使用欧洲规范, 据此, 中国钢结构协会钢结构设计分会于 2016 年组织了第一次中欧钢结构设计标准对比研讨会, 得到广大从业者的热情响应。会后组织业内专家编写此书, 给出可以借鉴参考的案例, 以期帮助钢结构从业者了解和掌握欧洲规范。全书共分六章, 主要内容包括欧洲结构设计规范基本规定; 欧洲规范抗震设计; 钢结构设计流程及管理; 工业建筑设计实例; 民用建筑设计实例; 钢结构深化设计和施工实例。

本书可供钢结构设计人员、研究者和高校师生等学习参考。

责任编辑: 刘瑞霞 赵梦梅 辛海丽

责任校对: 党 蕾

## 欧洲规范钢结构设计方法及实例

姜 宇 孙晓彦 主编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

天津翔远印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22 $\frac{3}{4}$  字数: 563 千字

2019 年 5 月第一版 2019 年 6 月第二次印刷

定价: 70.00 元

ISBN 978-7-112-23227-7  
(33518)

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)

# 《欧洲规范钢结构设计方法及实例》 编委会

主 编： 娄 宇 孙晓彦

副 主 编： 石永久 王立军 王昌兴

编 委： (以姓氏拼音为序)

陈国栋 陈振明 陈 矛 崔学宇 戴夫聪 戴连双  
樊兴林 郭艳军 李毅男 刘博文 路文辉 舒 涛  
舒亚俐 孙洪鹏 王 煦 魏 亮 温凌燕 吴耀华  
武笑平 徐晓明 张凤保 张作运

主编单位： 中国钢结构协会钢结构设计分会

参编单位： (以章节为序)

北京清华同衡规划设计研究院有限公司

中石化广州工程有限公司

北京巴布科克·威尔科克斯有限公司

航天建筑设计研究院有限公司

国核电力规划设计研究院有限公司

中国京冶工程技术有限公司

中国中元国际工程有限公司

中国新兴建筑工程有限责任公司

中建钢构有限公司

精工国际钢结构有限公司

中国电子工程设计院

北京世纪旗云软件技术有限公司

# 前 言

中国经济正从“找缺口发展”的“科兹纳型套利经济”转化为以创新进取为主导的“熊比特型创新经济”，所谓转型，包括从找商机，到创新业。随着我国国际化进程的不断加快和深入发展，建筑行业逐渐扩大了对外交流，开始大量承担涉外工程，“走出去”的大潮已经开始汹涌，步伐也越来越快。“一带一路”成为重要的国家倡议，成为我国经济发展的重要支撑之一，“一带一路”建设涉及海外诸多国家，机遇和挑战并存，我们应做到“按照市场经济规律和标准驾驭社会”，创海外市场的新业。

各设计企业要创好海外市场这个新业，建立良性和务实创新的海外工程进入机制和体系，就必须对海外标准有深入的认知和科学合理的应用。欧洲规范作为一套通用性、系统性、理论性较强的设计规范，已成为一套广泛应用的国际标准，在业界具有较强的权威性和指导性。同时，海外工程项目大面积涉及欧洲规范执行的相关问题，因此很有必要及时推出相应的技术指导书籍，满足设计、建设单位以及设计工程师等的需求。

2016年11月“中欧钢结构设计标准对比研讨会”在北京召开，这次以引领为导向、学术为准绳、实践为目标的高端学术培训研讨会反响很热烈，同时会议也强烈反映出对欧洲钢结构设计规范实际操作和合理使用的广泛需求，以及对典型海外工程案例分享的迫切需要。以此为基础，编辑出版这本欧洲规范操作和实践应用书籍。

欧洲标准规范是个庞大体系，覆盖土木工程的方方面面。例如欧洲标准8之抗震结构计算下面分为5个类别，每个类别都有好几个分册，分别针对钢结构设计规范的材料、设计、节点、抗震等规定。目前，我国此方面较完整的专业书籍较为匮乏，亟需有针对性的技术书籍问世。

本书共六章，着重于钢结构设计的理论基础和案例分享，理论联系实际，概括了设计与施工的主要理论和流程，详细分享和论述了15个案例的各个重要方面，对建筑设计和设计、管理、咨询、高校等领域的业内人士均具有较强的参考价值和指导性。

本书孙晓彦为执行主编，石永久、王立军、王昌兴为副主编，石永久负责统稿。参与本书的主创人员均是从业多年、理论根基厚实、实践经验丰富的专家和总工，能够全方位、各层次保障书籍的质量和技术水准。

希望本书的出版，能为推动我国钢结构设计技术与国际市场的接轨，为国内设计单位承接国外工程项目、执行欧洲标准夯实基础而奉献一方之力，同时为我国工程建设企业在勘察设计和咨询等方面的国际竞争中提供标准指引，并可达到完善设计师知识结构、使之掌握和使用好欧洲钢结构设计规范、增强对海外标准的认知和实施能力，以及提高海外工程执业水准的目的。

目前，从全球来看，产业战略发展的丛林中，海外基础设施工程的建设战略是重要一枝，契合转型创新和供给侧结构性改革，能够带动国内建设企业多层面的强劲增长，创造新的发展动能。因此，抓住外展机遇，时不我待；抓好技术先行，别无他择。

由于欧洲规范较为复杂，且编者理解和编制时间有限，书中难免出现各种问题，恳请广大读者批评指正，不吝赐教。

最后，谨向作者和帮助、支持、鼓励完成本书撰写的各相关单位、机构和人员，以及参与本书撰写各环节的人员、出版社单位领导和编辑致以深深的敬意和真挚的感谢！



全国工程勘察设计大师  
中国钢结构协会 副会长  
中国钢结构协会钢结构设计分会 理事长  
2019年3月8日

# 目 录

<b>第 1 章 欧洲结构设计规范基本规定</b> .....	1
1.1 欧洲结构设计规范体系简介 .....	1
1.2 基本要求和主要设计指标 .....	3
1.3 设计状况 .....	6
1.4 极限状态 .....	7
1.5 作用及作用效应 .....	8
1.6 分项系数法 .....	15
1.7 可靠性要求 .....	20
1.8 钢结构材料性能 .....	22
1.9 防火和防腐 .....	28
<b>第 2 章 欧洲规范抗震设计</b> .....	30
2.1 前言 .....	30
2.2 欧洲抗震规范适用范围 .....	30
2.3 术语 .....	31
2.4 结构抗震基本要求和性能设计 .....	31
2.5 场地条件 .....	33
2.6 地震作用 .....	34
2.7 建筑抗震设计的基本原则 .....	40
2.8 结构抗震分析 .....	44
2.9 抗震设计验算——主要控制指标 .....	52
2.10 钢结构抗震设计的基本规定 .....	55
<b>第 3 章 钢结构设计流程及管理</b> .....	68
3.1 欧洲钢结构设计流程 .....	68
3.2 欧洲钢结构设计管理 .....	76
<b>第 4 章 工业建筑设计实例</b> .....	80
4.1 欧洲某电厂锅炉钢结构设计 .....	80
4.2 东欧某多层工业厂房钢结构设计 .....	93
4.3 土耳其火力发电厂钢结构主厂房设计 .....	113
4.4 中东地区某石油化工典型承重钢框架设计 .....	142
4.5 阿尔及利亚水泥厂机修工程车间设计 .....	163
4.6 中东地区某压缩机厂房设计 .....	180
4.7 北非某 70m 跨钢铁厂冷 DRI 堆场厂房设计 .....	198

---

<b>第 5 章 民用建筑设计实例</b> .....	212
5.1 毛里求斯机场 .....	212
5.2 马其顿某学校体育健身馆 .....	229
5.3 西非某钢框架瞭望塔工程 .....	242
<b>第 6 章 钢结构深化设计和施工实例</b> .....	257
6.1 阿布扎比国际机场 .....	257
6.2 阿尔及尔国际机场新航站楼 .....	278
6.3 阿尔及利亚巴哈吉体育场钢结构的制作和安装技术 .....	299
6.4 港珠澳大桥香港旅检大楼钢结构实施标准及模块化设计技术实现 .....	314
6.5 沙特麦加高铁站高强度螺栓端板连接节点构造及设计 .....	333
<b>参考文献</b> .....	344

# 第 1 章 欧洲结构设计规范基本规定

(作者: 崔学宇)

## 1.1 欧洲结构设计规范体系简介

### 1.1.1 欧洲结构设计规范的主要内容

改革开放以来,我国的重大工程和基础设施建设取得了举世瞩目的成就,特别是建筑和桥梁结构体系的科学研究和工程应用,更是向着深度和广度方面不断发展提高。随着国家“走出去”战略的推进,越来越多的设计和施工企业走出国门,承揽国际工程建设项目。相继进入了东南亚、中亚、西亚、东欧乃至俄罗斯、南美洲、非洲等地区的建筑市场。随着欧盟一体化的进程,欧洲建筑行业结构设计规范的正式发行,其影响力在世界范围内逐步扩大,越来越多的国家借鉴或直接采用欧洲标准规范,其使用范围越来越广。随着中华民族伟大复兴的“中国梦”的提出,国家正在稳步推进“一带一路”倡议,中国的建筑设计和施工企业会掀起一波走向世界的高潮。更加渴望能了解和掌握国际通行的标准规范,为尽快“走出去”而铺平道路。

很多发展中国家,比如在非洲、东南亚、拉美等地区,由于历史上受到欧美国家殖民教育的影响,在建筑结构设计规范体系的建设上,往往借鉴 ISO 国际标准和西方发达国家的规范,或者选择直接采用前宗主国的规范。我国的设计规范也广泛受到欧美规范的影响,大量借鉴了其中的先进技术和成熟经验。通过对欧洲等结构设计规范的分析研究,发现各自的优势和不足,借鉴吸收国外规范的长处,能让我们的规范尽快走出国门,走向世界,得到更多国家和地区的认可和应用。

现行的欧洲结构设计规范由 CEN/TC250“结构欧洲规范”技术委员会所编写。通过同等规格的出版和认可,已从 2002 年开始陆续发布,替代欧盟各成员国家原有的结构规范。与之相冲突的各成员国的结构规范在 2010 年 3 月前被废止。

欧洲规范体系中与结构设计相关包括的主要规范详见表 1.1.1。

主要欧洲结构设计规范

表 1.1.1

欧洲规范编号	欧洲规范名称
EN 1990	结构设计基础
EN 1991	结构作用
EN 1992	混凝土结构设计
EN 1993	钢结构设计
EN 1994	钢-混凝土组合结构设计
EN 1995	木结构设计
EN 1996	砌体结构设计
EN 1997	岩土工程设计
EN 1998	抗震结构设计
EN 1999	铝结构设计

上述的主要设计规范中，很多还包含了多个分册，比如《钢结构设计规范》EN 1993中包含的分册详见表 1.1.2。

钢结构规范 EN 1993 中的分册

表 1.1.2

欧洲规范编号	欧洲规范名称
EN 1993-1	钢结构设计：一般规定和建筑规定
EN 1993-2	钢结构设计：钢桥
EN 1993-3	钢结构设计：塔架、桅杆和烟囱
EN 1993-4	钢结构设计：筒仓、储罐和管道
EN 1993-5	钢结构设计：桩基
EN 1993-6	钢结构设计：起重机支承结构

《钢结构设计规范》中最重要的 EN 1993-1 “一般规定和建筑规定”中又分成 12 个子册，详见表 1.1.3。

钢结构规范 EN 1993-1 中的分册

表 1.1.3

欧洲规范编号	欧洲规范名称
EN 1993-1-1	钢结构设计：一般规定和建筑规定
EN 1993-1-2	钢结构设计：结构防火设计
EN 1993-1-3	钢结构设计：冷成型薄壁构件和薄板
EN 1993-1-4	钢结构设计：不锈钢的补充规定
EN 1993-1-5	钢结构设计：板式构件
EN 1993-1-6	钢结构设计：壳体结构的强度和稳定性
EN 1993-1-7	钢结构设计：承受面外荷载的板式结构
EN 1993-1-8	钢结构设计：节点设计
EN 1993-1-9	钢结构设计：钢结构的疲劳强度
EN 1993-1-10	钢结构设计：断裂韧度与厚度方向特性
EN 1993-1-11	钢结构设计：抗拉部件的结构设计
EN 1993-1-12	钢结构设计：高强度钢的补充规定

《抗震结构设计规范》EN 1998 也同样包括了 6 个分册，详见表 1.1.4。

《抗震设计规范》EN 1998 的分册

表 1.1.4

欧洲规范编号	欧洲规范名称
EN 1998-1	抗震设计：一般规定、地震作用和建筑规定
EN 1998-2	抗震设计：桥梁
EN 1998-3	抗震设计：地震评估及现有建筑加固改造
EN 1998-4	抗震设计：筒仓、储罐及管线
EN 1998-5	抗震设计：地基基础、支护结构及岩土工程
EN 1998-6	抗震设计：塔架、桅杆与烟囱

本书是按照上述欧洲规范编写的关于钢结构方面的设计原则、基本方法及工程实例。除了主要参考 EN 1990、EN 1991、EN 1993、EN 1998 外，还涉及了钢结构材料、焊接、防腐等方面的相关规范。

## 1.1.2 执行欧洲规范的主要国家

现行欧洲规范主要用于欧盟成员国和其他欧洲国家。在非洲、亚洲和美洲的一些国

家，也直接采用或大量借鉴了欧洲规范。

欧洲规范规定了常规结构和相关构件进行传统与创新性设计的一般结构设计准则，是证明房屋和土木工程达到了安全性、耐久性、抗火性能等方面基本要求的主要文件，是签订建设工程和与之相关的工程服务合同的基础，也是起草结构设计及相关文件的基本技术资料。

### 1.1.3 欧洲结构设计规范的应用范围

《结构设计基础》EN 1990 是整套欧洲结构设计规范的总则，阐明了结构在安全性、适用性和耐久性方面的基本设计原理和设计要求。作为结构设计和验算工作的基础，给出了结构在设计方法、设计流程、可靠度等方面的原则规定。为统一规范体系，EN 1990 明确了基本概念，定义了欧洲结构设计的主要参数。

EN 1990 作为欧洲结构设计规范的龙头，在建筑结构设计中与 EN 1991~EN 1999 联合使用，可用于岩土工程、地基基础、抗火、抗震、施工及临时结构等方面。同时还用于对既有建筑结构因年久失修、功能改变等原因而进行的鉴定评估，以及相应的加固改造设计。

### 1.1.4 应用欧洲规范的基本要求

为保证结构满足使用和安全可靠要求，采用欧洲规范进行结构设计时，EN 1990 对结构设计和施工提出如下要求：

- (1) 应由具备一定经验的合格的工程师进行设计。
- (2) 应由具备相应技能和经验的专业人员进行施工。
- (3) 在工程实施的全过程进行充分可靠的监理和质量控制。包括设计、制作加工、运输及现场施工安装。
- (4) 使用的结构材料和产品应满足对应规范中有关的结构性能、规格及施工方面的要求。
- (5) 结构在施工和使用阶段应进行适当的检测及维护。
- (6) 结构应在设计条件所允许的范围内正常使用。

## 1.2 基本要求和主要设计指标

### 1.2.1 结构承载能力的基本要求

在结构设计阶段的基本要求有：

- (1) 在设计使用年限内，采用适当的可靠度等级和经济合理的方法，能够保证结构承受可能出现的各种作用和影响，并且依然满足正常使用的要求。
- (2) 按规范要求设计的结构应具备抵抗外力的能力、适用性和耐久性。
- (3) 结构应具备足够长的抗火时间，满足其对应建筑功能的安全性要求。
- (4) 应保证结构在发生爆炸、撞击、人为失误等意外情况下，不出现危及安全的重大损害或产生更为严重的连锁反应。

### 1.2.2 满足结构承载能力的主要措施

EN 1990 要求适当选择下列方法来避免或控制潜在的问题和危险：

(1) 避免、消除或减少结构可能遭受的危害。比如在选择建设场地时，应远离地震断裂带，以及可能发生洪水、泥石流、滑坡的危险区。

(2) 应选择有利于提高受力性能的结构形式。比如在抗震地区，应采用具有抗侧力构件（支撑、剪力墙）的结构体系，设置多道抗震的防线。

(3) 在设计中，应考虑当某个独立构件或结构的一部分突然失效，或发生一定程度的局部损坏时，该结构仍能保证基本完好，不发生连续倒塌。

(4) 应采用具有一定延性的结构体系，避免采用倒塌时没有预兆的结构体系。

(5) 结构应采用超静定体系，构件要具备足够的冗余度。构件间的连接要安全、可靠，连接节点的安全性应不低于与其相连的构件。

为了能达到以上要求，在设计、制作、施工安装的过程中，应选择合适的材料，采取合理的设计方法和设计手段，对整个工程的各个阶段确定专业的质量管理措施，并保证能可靠实施。

### 1.2.3 主要设计指标

#### 1. 设计使用年限

EN 1990 定义的结构的设计使用年限是指按照建筑设计所规定的用途，在不需要进行大规模维修就能满足使用要求的时间区间。设计使用年限与结构的用途和重要性有关，设计中会影响到活荷载的取值和对结构耐久性方面的要求。常规结构的设计使用年限详见表 1.2.1。

结构设计使用年限

表 1.2.1

设计使用年限的类别	设计使用年限 (年)	范例说明
1	10	临时结构 <sup>(1)</sup>
2	10~25	可替换的结构部分，例如：钢架横梁、支座
3	15~30	农用及类似结构
4	50	房屋结构和其他普通结构
5	100	标志性建筑结构、桥梁和其他土木工程结构

<sup>(1)</sup> 可被拆卸并将重新使用的结构或部分构件，不能视为临时结构。

为了保证能够达到设计使用年限，根据影响结构寿命的作用条件，钢结构设计时应采取如下措施：

- (1) 采取可靠的表面保护措施（详见 EN ISO 12944）。
- (2) 采用耐候钢或不锈钢（详见 EN 1993-1-4）。
- (3) 针对足够的疲劳寿命进行详细设计（详见 EN 1993-1-9）。
- (4) 进行耐磨损方面的设计。
- (5) 针对偶然作用进行设计（详见 EN 1991-1-7）。
- (6) 定期进行检查与维护。

#### 2. 设计基准期

设计基准期是进行结构可靠性分析时，考虑各项基本随机变量与时间关系所取用的基准时间。它是在对可变作用效应进行概率模型转换时所采用的一个参考时间，本质上属于可靠性分析范畴的一个时间概念。

设计基准期可用于定义荷载的特征值, 根据荷载特性和设计需要可采用不同的值。基准期一旦选定, 应是一个固定的值, 基准期的长短决定了可变荷载特征值的大小。

### 3. 重现期

从统计上讲, 重现期是指某一量值的事件出现或发生的平均时间间隔。在结构设计中, 用来定义可变荷载的特征值。根据重现期  $T$  的定义, 荷载超越特征值  $Q_k$  的概率详见公式 (1.2.1):

$$F_{Q_{\max}}(Q_k) = 1 - \frac{1}{T} \quad (1.2.1)$$

重现期  $T$  与基准期  $\tau$  都是根据作用的概率分布确定作用特征值的时间参数, 但表达方式不同, 并具有如下关系:  $T = -\frac{\tau}{\ln(1-p)}$  (1.2.2)

例如, 当可变荷载的超越概率  $p=0.63$ , 基准期  $\tau=50$  年时, 代入公式 (1.2.2), 则可变荷载特征值的重现期为:  $T = -\frac{50}{\ln(1-0.63)} = 50$  年。

当可变荷载的超越概率  $p=0.10$ , 基准期  $\tau=50$  年时, 代入公式 (1.2.2), 则可变荷载特征值的重现期为:  $T = -\frac{50}{\ln(1-0.10)} = 475$  年。

## 1.2.4 耐久性设计

结构耐久性问题是由于外部环境的影响, 以及物理、化学、生物作用或结构材料内部产生的作用, 导致结构材料的性能逐年缓慢退化, 进而影响结构的安全性和可靠性, 并对使用功能产生不利影响。结构性能随时间变化的示意详见图 1.2.1。

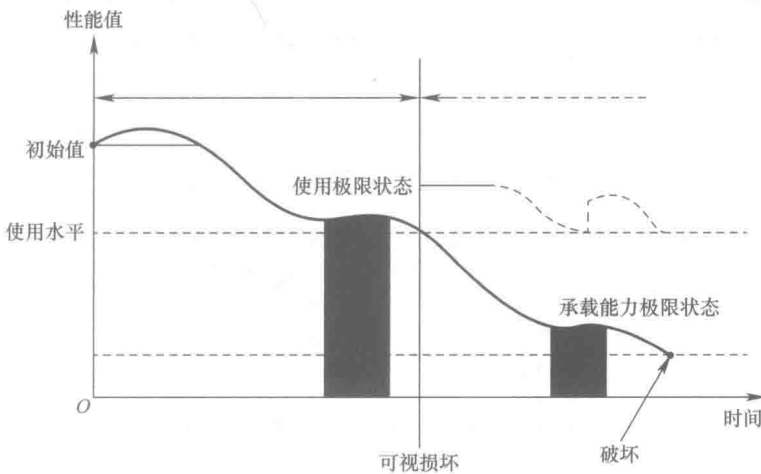


图 1.2.1 结构性能随时间变化示意图

对于钢结构而言, 耐久性导致的结构问题主要有: 锈蚀、变形、疲劳。

欧洲规范要求结构应在考虑了周围环境的影响, 以及定期维护保养的情况下, 结构在设计使用年限内能够保证结构的安全性, 并满足预期的使用功能。即便是超过设计使用年限, 结构性能的退化也不应明显地减弱结构的安全性。

为了保证结构具有足够耐久性，在设计中应重点考虑如下因素的影响：

- (1) 结构的预期设计用途。
- (2) 结构要求的设计标准。
- (3) 结构所处的环境条件。
- (4) 结构材料和产品的组成、特点和性能。
- (5) 地基中水、土的主要特性。
- (6) 结构体系的选择。
- (7) 构件的选型及承载能力。
- (8) 构件的加工质量和控制水平。
- (9) 结构的附加保护措施。
- (10) 在结构使用期间的定期检查维修。

在设计阶段应预先设定环境条件，采取计算分析、试验研究等手段，并借鉴以往的经验，综合考虑多方面因素的影响，选用适当的结构材料，采取相应的保护措施来减慢结构耐久能力的退化速度。

### 1.3 设计状况

EN 1990 中结构设计状况的具体定义见表 1.3.1，示意简图见图 1.3.1。设计状况的选择应严格和全面，应全面考虑结构所处环境的情况，覆盖所有可以合理预期的、在施工和使用阶段可能出现的各种情况，并保证在这些情况下能够满足结构功能的要求。

结构设计状况定义

表 1.3.1

设计状况	定义
长期设计状况	一般条件下的正常使用情况
短暂设计状况	结构所处的临时情况，例如在施工期间或维修改造期间
偶然设计状况	结构内部或其外部环境发生的意外情况，例如火灾、爆炸、撞击或局部破损
地震设计状况	结构遭受地震作用的情况

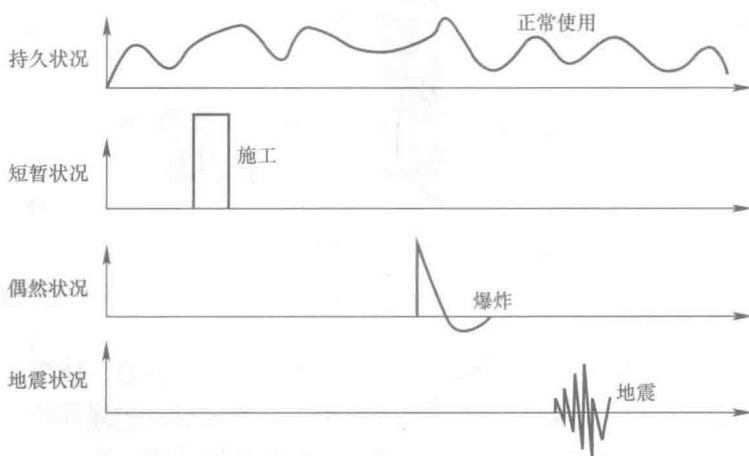


图 1.3.1 结构设计状况分类示意简图

## 1.4 极限状态

极限状态就是指结构可能出现的一种临界状态。当一个结构或其中的构件超过了某一特定状态,无法满足设计规定的某一功能要求时,此特定状态即为该功能对应的极限状态,极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态。

若上述两种极限状态中的一种极限状态足可证明另一种极限状态能够满足要求,则可以不必再验算另一种极限状态。极限状态与设计状况有关,与时间相关的极限状态(如疲劳)验算还应与结构的设计使用年限相关联。

### 1.4.1 承载能力极限状态

EN 1990 定义的承载能力极限状态是指结构或构件达到极限承载力时的状态,主要包括以下几种典型状态:

- (1) 与人员安全及结构安全密切相关的极限状态。
- (2) 在某些特定情况下,对重要部位或部件进行保护的极限状态。
- (3) 结构自身遭受破坏,转变为机构而倒塌前的极限状态。

当出现下列情况时,应进行承载能力极限状态的相关验算:

- (1) 整个结构或结构的任一部分作为刚体失去了平衡。
- (2) 由于过度变形、结构或其中某些部位的体系转化、断裂,结构或部分构件(包括支座和基础)丧失稳定性而引起的破坏。
- (3) 由于疲劳或其他与时间相关效应引起的破坏。

### 1.4.2 正常使用极限状态

EN 1990 定义的正常使用极限状态是结构或构件不能满足设计规定的使用要求的状态,分为可逆和不可逆的两种情况,主要包括以下几种典型状态:

- (1) 结构或构件在正常使用情况下的功能。
- (2) 使用者的舒适度。
- (3) 建筑物的外观(不出现过大的变形和裂缝)。

当出现下列情况时,EN 1990 要求进行正常使用极限状态的相关验算:

- (1) 影响外观、使用者的舒适度或设计预期的功能(包括使用功能和机械设备的运转),或导致表面装饰层,以及非结构性构件(如门窗、隔墙)破坏的变形。
- (2) 使用者感到不舒适,或影响使用功能的明显振动。
- (3) 对外观、耐久性或使用功能产生不利影响的损坏。

### 1.4.3 极限状态设计

极限状态的设计应基于相关极限状态下结构和荷载的模型。在这些模型中使用下列相关设计值时,应验算其不得超过极限状态的限值:

- (1) 作用。
- (2) 材料属性。

(3) 产品特性。

(4) 几何参数。

极限状态的设计需要对所有相关的设计状况和荷载组合进行验算，一般采用分项系数法进行设计，也可以采用直接基于概率的方法进行设计。应选择适当的设计状况，并确定最不利的荷载组合，应考虑作用与设计时所假定的方向或位置可能存在的偏差。

对于特殊情况，在选择荷载组合时，应全面考虑参与荷载组合的各个荷载的分布，以及可变作用和永久作用同时考虑的各种初始变形、偏差和缺陷。

## 1.5 作用及作用效应

作用是指施加在结构上的一组荷载，或是由于温度变化、湿度变化、不均匀沉降及地震等引起的位移或加速度。作用效应是指作用在结构构件上产生的效应（例如：内力、力矩、应力、应变等），或作用在整个结构上产生的效应（例如：挠度、裂缝、扭转等）。

### 1.5.1 作用的分类

作用的分类标准很多，常见的分类详见表 1.5.1。

作用的分类定义及说明

表 1.5.1

分类原则	分类名称	定义及说明
按时间段变化分类	永久作用	作用在整个基准期内，其大小随时间的变化量可以忽略或总在同一方向上变化（单调递增或递减）直至达到极限值。 例如：结构自重、固定设备和路面铺装以及由收缩和不均匀沉降产生的直接作用
	可变作用	作用大小随时间的变化量既不可忽略也不是单调变化。 例如：施加于建筑楼层、梁和屋顶的荷载，风作用或雪荷载
	偶然作用	通常是持续时间很短但数值很大的作用。在结构设计使用年限内，在给定的结构上不一定出现的作用。 例如：爆炸或车辆撞击
按作用的来源分类	直接作用	施加在结构上的荷载
	间接作用	由温度变化、湿度变化、不均匀沉降或地震等引起的被动位移或加速度
按作用的空间位置变化分类	固定作用	作用在结构或构件上，具有固定的分布和位置。若在结构或结构构件上某一点的大小和方向能确定，则在整个结构或构件上都能确定其大小和方向
	可动作用	在结构上可能存在多种空间分布情况的作用
按作用的性质或结构反应分类	静力作用	不会对结构或结构构件产生明显加速度的作用
	动力作用	会对结构或结构构件产生明显加速度的作用
特殊情况	地震作用	即可作为偶然作用，也可作为可变作用，需要根据工程实际情况确定
	雪荷载	
	水流作用	即可作为永久作用，也可作为可变作用，需要根据其随时间的变化量来确定

## 1.5.2 作用标准值

作用标准值  $F_k$  是作用的主要代表值，主要包括：平均值，上限值或下限值，名义值（与已知统计分布无关），以及工程项目文件中给定的相关值（确定数值时应按照 EN 1991 给定的方法）。对于多种情况构成的作用，其标准值应由一组值表示，每个值在计算中都要单独考虑。采用如下方法确定：

### 1. 永久作用标准值 ( $G_k$ )

(1) 如果永久作用  $G$  的变化较小，则采用单个  $G_k$  值。

(2) 如果永久作用  $G$  的变化较大，则采用两个值：上限值  $G_{k,sup}$  和下限值  $G_{k,inf}$ 。

(3) 在结构设计使用年限内，如果永久作用  $G$  没有明显变化且其变异系数较小时（在 0.05~0.10 之间）， $G$  的变化量可以忽略。因此  $G_k$  应取平均值。

(4) 当结构对于永久作用  $G$  的变化很敏感时，即使其变异系数较小，也要采用两个值。 $G_{k,inf}$  取高斯分布分位值的 5%， $G_{k,sup}$  取高斯分布分位值的 95%，详见图 1.5.1。

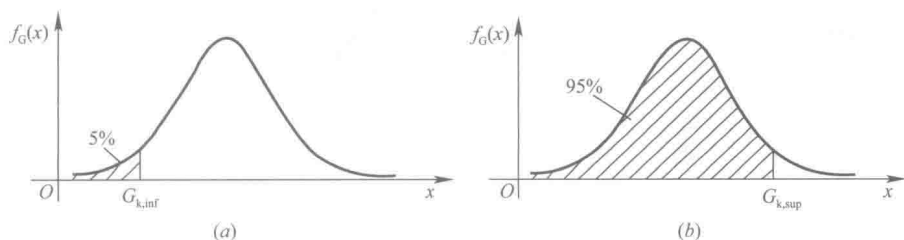


图 1.5.1 永久作用标准值的高斯分布曲线

(a) 下限值  $G_{k,inf}$ ; (b) 上限值  $G_{k,sup}$

(5) 结构自重可由单个标准值表示，其计算可基于构件的名义尺寸和材料的平均密度。若自重会随时间而变化，特别是永久作用对结构有利时（例如考虑自重的抗浮设计），则应通过上下限值来考虑（详见上述第 4 条）。

(6) 预应力 ( $P$ ) 应归类为施加于结构上的强制力和强制变形引起的永久作用。这种类型的预应力应与其他预应力区分开考虑。

### 2. 可变作用标准值 ( $Q_k$ )

(1) 在指定的设计基准期内，与不超越的期望概率对应的上限值或与达到的期望概率对应的下限值。

(2) 在不知道统计概率分布情况下确定的名义值。

风、雪等气候作用的标准值是根据 1 年基准期内超越的时间变化部分的概率为 0.02 确定的，相当于 50 年的重现期。即： $T = -\frac{-1}{\ln(1-0.02)} = 49.5$  年。然而在某些情况下，作用的特点及工程需要的设计状况使得采取其他分位值或重现期更为合适。

偶然作用的设计值  $A_d$  应针对特定工程项目单独确定。具体工程在防范意外时需要达到的安全目标决定了设计中所考虑的偶然作用，一般是由业主和相关主管机构协商确定的。偶然作用分为已识别偶然作用（比如，内部爆炸和冲击）和未识别偶然作用。基于未识别偶然作用的设计方法涵盖了多种可能的突发事件，并和限制局部破坏程度的要求相关。