

建筑结构 荷载设计手册

陈基发 沙志国 编

中国建筑工业出版社

TU318

C-417

建筑结构荷载设计手册

陈基发 沙志国 编

中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构荷载设计手册/陈基发, 沙志国编. —北京: 中国建筑工业出版社, 1997

ISBN 7-112-03362-4

I. 建… I. ①陈…②沙… III. 建筑结构-结构荷载-结构设计-手册 N. TU318-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 14378 号

本手册以《建筑结构荷载规范》(GBJ9—87) 及《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89) 中有关条文为依据, 并参考相应规范修订稿及有关资料编写而成。全书共有荷载分类、荷载效应组合、永久荷载、楼面和屋面活荷载、吊车荷载、雪荷载、风荷载、地震力及结构内力计算例题等 8 章, 还列有可供直接查阅的 6 个附录。本手册简明实用, 资料翔实, 数据正确, 是设计人员必备的工具书。本书可供建筑结构设计、施工人员和大专院校师生参考使用。

*

责任编辑: 蒋协炳
责任设计: 杨凤荣
责任校对: 王 莉

建筑结构荷载设计手册

陈基发 沙志国 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 31 $\frac{3}{4}$ 插页: 1 字数: 773 千字

1997 年 12 月第一版 1997 年 12 月第一次印刷

印数: 1—5000 册 定价: 75.00 元

ISBN 7-112-03362-4

TU·2601 (8506)

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

80年代后期,我国工业及民用建筑的结构设计规范相继进行了修订,采用了以概率理论为基础的极限状态设计方法,将建筑结构荷载规范与各类结构设计规范的内容有机结合,互相配套,形成完整的新设计方法体系,因而各规范的内容变动较大。为了介绍和推广使用新修订的结构设计规范,已出版了不少书籍和手册,但有关建筑结构荷载方面的很少。编写这本手册的目的就在于弥补这方面的空白。针对建筑结构设计中常遇到的有关荷载的问题,以《建筑结构荷载规范》(GBJ9—87)及《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89)中有关条文内容为核心,并参考相应规范修订稿及有关资料编写这本设计手册,还通过例题形式来说明规范条文的正确应用。本手册以实用为目的,有关规范条文的背景资料和编制说明不在本手册中涉及。

本手册共分八章及六个附录,其内容包括荷载分类、荷载效应组合、永久荷载、楼面和屋面活荷载、吊车荷载、雪荷载、风荷载以及地震力等。

考虑到使用上的方便,将有关地震作用下的地震力设计参数也纳入本手册。这样可在结构设计初期汇集设计荷载时,有利于设计人员的查阅。

本手册除规范的内容外,尽量选编一些与荷载有直接关系的基础资料供设计人员查阅,例如在附录中列出的各类吊车、车辆和自动扶梯的技术数据;对在规范中不明确而在设计中又经常遇到的问题,作适当的介绍,提供一些可作参考的资料和方法,例如山区基本风压、吊车工作制与工作级别的关系、双向板楼面的等效均布活荷载等问题。手册中还增加了一些规范中未规定的荷载设计值。

必须说明,本手册虽然是在规范条文的基础上编写的,但由于手册的编写受制约的条件较少,有可能增加一些目前虽不成熟,但可供实际参考使用的内容,它对今后规范的修订有潜在的影响力,但目前还不能作为技术的法定依据。因此,设计人员在使用本手册时,仍应与规范内容区别对待。

限于编者水平,本手册中难免有不当和疏漏之处,希望广大设计人员将意见反馈给中国建筑科学研究院《建筑结构荷载规范》管理组,以便在今后改进。

本手册由《建筑结构荷载规范》管理组负责人陈基发研究员和北京首都工程有限公司设计部沙志国总工程师共同编写,其中第七章地震力还邀请了中国建筑科学研究院金新阳高级工程师参加编写;此外,在手册的编写过程中还得到北京起重机运输机械研究所,上海、天津、大连等起重运输机械厂等单位的帮助,提供了吊车的技术资料,在此一并表示感谢。

编者

1997.6

术 语

永久荷载（恒荷载）——在结构使用期间，其量值不随时间变化，或其变化与平均值相比可以忽略不计的荷载。

可变荷载（活荷载）——在结构使用期间，其量值随时间变化且其变化与平均值相比不可忽略的荷载。

偶然荷载——在结构使用期间不一定出现，但一旦出现，其值很大且持续时间很短的荷载。

荷载代表值——结构或构件设计时采用的各种荷载取值，它包括标准值、准永久值和组合值等。

永久荷载标准值——一般按永久荷载的平均值确定；对结构自重，其标准值是指结构材料或构件的名义体积与其单位体积自重平均值的乘积。

可变荷载标准值——在正常使用的条件下，按结构设计基准期内出现的最大荷载概率分布的某一指定的分位值来确定，它是可变荷载的基本代表值。

可变荷载组合值——当结构或构件承受两种或两种以上可变荷载时，设计中考虑各可变荷载同时以标准值出现的概率折减因素而采用的一种可变荷载代表值。

可变荷载准永久值——结构或构件按正常使用极限状态长期效应组合设计时，采用的一种可变荷载代表值，其值可在规定的荷载总持续期内根据作用在结构上的荷载水平来确定。

荷载效应——由荷载引起或产生的结构或构件内力、应力、位移、应变、裂缝等效应的总称。

荷载效应基本组合——结构或构件按承载能力极限状态计算时，考虑永久荷载与可变荷载效应的不利组合。

荷载效应偶然组合——结构或构件按承载能力极限状态计算时，考虑永久荷载、可变荷载与一种偶然荷载效应的不利组合。

荷载短期效应组合——结构或构件按正常使用极限状态计算时，考虑永久荷载与可变荷载效应在短期内的不利组合。

荷载长期效应组合——结构或构件按正常使用极限状态计算时，考虑永久荷载与可变荷载效应在长期内的不利组合。

荷载效应系数——结构或构件的荷载效应与产生该效应的荷载的比值。

荷载分项系数——设计结构或构件时，为了使结构或构件具有规定的可靠度，在荷载效应中所采用的能反映荷载不定性并与结构或构件可靠度相关联的分项安全系数，如永久荷载分项系数、可变荷载分项系数。

荷载组合值系数——在设计计算中当有两种或两种以上的可变荷载效应参与组合时，除一种主导可变荷载外，对其他伴随可变荷载采用的一种折减系数。

结构构件的抗力设计值——结构构件承受荷载效应能力的设计值。

楼面梁从属面积——楼面梁从梁向两侧各延伸 1/2 梁间距的范围内实际楼面面积。

基本雪压——根据当地一般空旷平坦地面上统计所得 30 年一遇最大积雪自重确定的地面雪压。

屋面积雪分布系数——考虑积雪在屋面上不利分布情况的系数。

基本风压——根据当地比较空旷平坦地面上，离地面 10m 高度处统计所得 30 年一遇 10 分钟平均最大风速 v_0 (m/s) 确定的速度风压 $w_0 = \frac{v_0^2}{1600}$ 。

风荷载体型系数——风在建筑物表面引起的实际压力或吸力与速度风压的比值。

风压高度变化系数——反映风压沿高度变化规律的系数。

风振系数——计算结构风荷载时，结构在某一高度处考虑风压脉动影响和结构动力响应特性的增大系数。

阵风系数——计算围护构件的风荷载时，考虑风压脉动影响的增大系数。

建筑物抗震类别——根据建筑物遭受地震破坏后的损失及影响大小，并按建筑物的重要性所作的分类，对不同类别的建筑物有不同的抗震设计要求。

地震基本烈度——现行《中国地震烈度区划图》所规定的烈度，系指今后一定时期内在一般场地条件下可能遭遇的最大的地震烈度，采用概率定义，系指 50 年设计基准期内超越概率为 10% 的地震烈度。

罕遇地震烈度——出现可能性比基本烈度更低的最大的地震烈度，其概率定义指 50 年设计基准期内超越概率为 2%~3% 的地震烈度。

抗震设防烈度——按国家批准的权限审定作为一个地区抗震设防依据的地震烈度。一般情况下，可采用现行《中国地震烈度区划图》所标明的地震烈度。

设计近震和远震——在抗震烈度相同的情况下，按震源远近划分的设计地震。当建筑物所在地区遭受的地震影响来自本设防烈度地区或比该地区设防烈度大一度的地区时，按设计近震考虑；当地震影响来自设防烈度比该地区大二度或二度以上的地区时，按设计远震考虑。

场地——大体相当于厂区、居民点和自然村的区域范围的建筑物所在地，应具有相近的地震反应谱特征。

场地类别——抗震设计时，为选取地震设计反应谱和抗震措施的要求，将建筑场地按场地土软硬和覆盖层厚度等因素所作的类别划分。

场地土——在建筑场地范围内，距地面深 15m 且不深于覆盖层厚度范围内的土层。

场地土类型——为确定场地类别，对场地土的软硬程度所作的分类，一般可通过场地土平均剪切波速给以区分。

场地土覆盖层厚度——由地面至剪切波速大于 500m/s 的土层或坚硬土顶面的厚度。

地震影响系数——反映地震地面运动强弱和谱特性的地震设计参数，与设防烈度、场地类别、近震远震以及结构基本自振周期等因素有关。

重力荷载代表值——抗震设计中在计算地震力和恒、活荷载效应时的重力荷载取值，指恒荷载和活荷载组合值之和。

底部剪力法——根据地震设计反应谱、按基本振型由结构等效总重力荷载代表值确定结构底部总地震剪力，然后以一定规则将底部总地震剪力在结构高度上进行分配，确定各质点地震力的计算方法。

振型分解反应谱法——根据地震反应谱和结构各个振型的周期和相对位移求得各振型各质点的地震力和相应的地震作用效应，再用平方和平方根（SRSS）法或其他方法求得总地震作用效应的计算方法。

时程分析法——将地震时记录到的或人工模拟的地面运动时程曲线，经离散后作为输入，用数值积分的方法求解运动方程，由此求得整个地震作用过程的结构位移、速度和加速度的计算方法。

主要符号

- G_k ——永久荷载（恒荷载）标准值；
 Q_k ——可变荷载（活荷载）标准值；
 γ_G ——永久荷载分项系数，地震重力荷载分项系数；
 γ_Q ——可变荷载分项系数；
 γ_0 ——结构重要系数；
 C ——荷载效应系数；
 ψ_c ——可变荷载组合值系数；
 ψ ——荷载组合系数；
 ψ_q ——可变荷载准永久值系数；
 S ——荷载效应组合的设计值；
 S_s ——荷载短期效应组合的设计值；
 S_l ——荷载长期效应组合的设计值；
 s_k ——雪荷载标准值；
 s_0 ——基本雪压；
 μ_r ——屋面积雪分布系数；
 w_k ——风荷载标准值；
 w_0 ——基本风压；
 μ_z ——风压高度变化系数；
 μ_s ——风荷载体型系数；
 ν ——脉动影响系数；
 ξ ——脉动增大系数；
 φ ——振型系数；
 β_z ——风振系数；
 β_g ——阵风系数；
 l_0 ——构件的计算跨度；
 l_c ——构件支座中心至另一支座中心的距离；
 l_n ——构件支座内边缘间的距离（即净跨）；
 A ——面积；
 I ——惯性矩；
 E ——弹性模量；
 M ——弯矩设计值；
 N ——轴向力设计值；
 V ——剪力设计值；

R ——支座反力；
 T_1 ——建筑结构的基本自振周期；
 α ——地震影响系数；
 T_g ——特征周期；
 H_i ——计算地震力时第 i 质点计算高度；
 F_i ——第 i 质点地震力；
 γ_j —— j 振型的参与系数；
 X_{ji} —— j 振型 i 质点的相对位移；
 ρ_{jk} —— j 振型与 k 振型的耦连系数。

目 录

前言	
术语	
主要符号	
第一章 荷载分类和荷载效应组合	1
第一节 荷载分类和荷载代表值	1
一、荷载分类	1
二、荷载代表值	1
第二节 荷载效应组合	1
一、承载能力极限状态的荷载效应组合	2
二、正常使用极限状态的荷载效应组合	4
第二章 永久荷载	8
第一节 永久荷载标准值的取值	8
第二节 常用材料和构件自重的标准值	8
第三节 土压力标准值	19
一、库仑土压力公式	19
二、朗金土压力公式	21
三、特殊情况的处理	22
四、按规范计算主动土压力	23
第三章 楼面和屋面活荷载	26
第一节 楼面和屋面活荷载的取值原则	26
一、楼面活荷载标准值的取值原则	26
二、楼面活荷载准永久值的取值原则	26
第二节 民用建筑楼面均布活荷载	26
一、常用民用建筑楼面均布活荷载标准值及准永久值	26
二、民用建筑楼面活荷载标准值的折减	26
第三节 工业建筑楼面活荷载	31
一、一些工业建筑的楼面等效均布活荷载	31
二、操作荷载及楼梯荷载	34
三、楼面等效均布活荷载的确定方法	34
第四节 屋面活荷载和积灰荷载	53
一、屋面均布活荷载	53
二、直升机停机坪屋面活荷载	54
三、积灰荷载	54
第五节 施工、检修荷载和栏杆水平荷载	56

一、施工和检修荷载标准值	56
二、栏杆水平荷载标准值	56
第六节 动力系数	58
第四章 吊车荷载	59
第一节 吊车竖向荷载和水平荷载	59
一、吊车竖向荷载标准值和准永久值	59
二、吊车竖向荷载的动力系数	59
三、吊车纵向水平荷载	59
四、吊车横向水平荷载	60
五、悬挂吊车、手动吊车及电动葫芦的水平荷载	60
第二节 多台吊车的组合	60
一、吊车竖向荷载组合	60
二、吊车水平荷载组合	60
三、多台吊车荷载的折减	60
第三节 吊车工作制的确定	60
第五章 雪荷载	70
第一节 基本雪压的取值原则	70
一、基本雪压定义	70
二、基本雪压的确定	70
三、山区基本雪压	70
第二节 雪荷载标准值和准永久值系数	70
一、雪荷载标准值	70
二、雪荷载准永久值	70
第三节 屋面积雪分布系数	71
一、屋面积雪分布系数	71
二、结构设计考虑积雪分布的原则	73
第六章 风荷载	77
第一节 基本风压	77
一、基本风压的取值原则	77
二、全国基本风压分布图中未给出当地基本风压时的处理方法	77
三、特殊条件下的基本风压	79
第二节 风荷载标准值	83
一、风荷载标准值	83
二、风压高度变化系数	83
三、风荷载体型系数	85
四、风振系数	104
附录 6-1 结构基本自振周期计算公式（用于风振计算）	116
第七章 地震力	120
第一节 地震力计算一般规定	120
一、建筑物抗震分类及设防依据	120

二、建筑物场地类别	127
三、地震力计算方法及适用范围	128
四、重力荷载代表值	128
第二节 地震影响系数	128
一、地震影响系数最大值	128
二、特征周期	129
三、地震影响系数曲线及计算公式	129
四、截面抗震验算的地震影响系数表	129
第三节 水平地震力计算	134
一、底部剪力法	134
二、振型分解反应谱法 (串联质点体系)	138
三、考虑扭转影响的振型分解反应谱法 (串联刚片体系)	141
四、时程分析法	146
第四节 竖向地震力	146
一、高耸结构及高层建筑竖向地震力	146
二、平板型网架屋盖及跨度大于 24m 屋架的竖向地震力	147
三、长悬臂和其他大跨度结构的竖向地震力	147
第八章 结构内力计算例题	149
例题 8-1 钢筋混凝土屋面梁	149
例题 8-2 钢檩条	151
例题 8-3 单层单跨钢筋混凝土框架民用房屋	153
例题 8-4 单层双跨等高钢筋混凝土排架工业房屋	158
例题 8-5 地震区砖混结构	184
例题 8-6 地震区钢筋混凝土框架结构	187
附录一 自动扶梯荷载参数	192
附录二 专用仓库荷载	211
附录三 车辆荷载	213
附录四 双向板楼面等效均布荷载计算表	222
附录五 国内吊车的技术规格	445
附录六 国内外民用直升机技术数据	494
主要参考文献	496

第一章 荷载分类和荷载效应组合

第一节 荷载分类和荷载代表值

一、荷载分类

建筑结构上的荷载可分为下列三类：

(一) 永久荷载 (恒荷载)：例如结构自重、土压力、预应力等；

(二) 可变荷载 (活荷载)：例如屋面活荷载、楼面活荷载、屋面积灰荷载、吊车荷载、风荷载、雪荷载等，地震作用在设计中一般也按可变作用考虑，本手册包括由地震作用引起的地震力；

(三) 偶然荷载：例如爆炸力、撞击力等，地震作用有时应按偶然作用考虑。

二、荷载代表值

设计建筑结构时，无论是按承载能力极限状态还是按正常使用极限状态进行设计，在各种极限状态设计表达式中，总是要涉及到荷载或其他作用。任何荷载在实际情况中，都具有明显的随机性，而在设计表达式中直接采用的荷载值称为荷载代表值。

对不同类别的荷载，在不同的极限状态设计中，应采用不同的代表值，其中最基本的代表值是荷载的标准值。标准值是指荷载在结构预期寿命期内的荷载最大值，它可以通过对同类荷载的长期观测和普遍调查，在取得其统计规律的基础上加以确定，也可以根据长期设计实践的工程经验，经判断后给以估计。

对可变荷载，除标准值外，有时还采用组合值和准永久值，作为荷载代表值。

当作用在结构上的可变荷载有两种或两种以上时，荷载不可能同时以其最大值，即其标准值出现，此时的荷载代表值可采用荷载组合值。组合值可在标准值的基准上乘以组合值系数 ψ_c (小于 1) 折减后得出。

当在结构设计中需要考虑荷载持久性对结构的影响时，例如计算结构构件的长期挠度或裂缝，对可变荷载要采用准永久值作为荷载代表值。准永久值也可在标准值的基准上乘以准永久值系数 ψ_q (小于 1) 折减后得出。

对偶然荷载或偶然作用，其代表值可根据观测和试验数据或工程经验，经综合分析判断确定，并由有关标准专门规定。

地震作用时，将结构全部自重及部分可变荷载合并为重力荷载，设计时以结构和构件自重标准值和部分可变荷载组合值之和为重力荷载的设计代表值，地震力应在重力荷载代表值的基准上确定。

第二节 荷载效应组合

当整个结构或结构的一部分进入某一特定状态，而不能满足设计规定的某种功能要求时，则称此特定状态为结构对该功能的极限状态。结构的极限状态往往以结构的某种荷载效应，如

内力、应力、变形等超过规定的标志值为依据。根据设计中要考虑的结构功能，结构的极限状态在原则上可分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两类。对承载能力极限状态，一般是以结构内力超过其承载能力为依据；对正常使用极限状态，一般是以结构的变形、裂缝超过设计允许的限值为依据，有时在设计中也经常采用结构内的应力控制来保证结构满足正常使用要求。

对所考虑的极限状态确定其荷载效应时，应对所有可能同时出现的诸荷载作用加以组合，求得组合后在结构中的总效应。由于荷载的变异性质，组合可以多种多样，因此还必须在所有可能的组合中，取其中最不利的一组作为该极限状态的设计依据。

一、承载能力极限状态的荷载效应组合

对承载能力极限状态的荷载效应组合，可分为两类：基本组合和偶然组合，并按下述设计表达式进行结构设计：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (1-1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数，对安全等级（表 1-1）为一级、二级、三级的结构或构件可分别取 1.1、1.0、0.9；

S ——荷载效应组合的设计值；

R ——结构或构件抗力设计值，应按有关建筑结构设计规范的规定确定。

建筑结构的安全等级

表 1-1

安全等级	破坏后果	建筑物类型
一级	很严重	重要的工业与民用建筑物
二级	严重	一般的工业与民用建筑物
三级	不严重	次要的建筑物

注：①对于特殊建筑物，其安全等级可根据具体情况另行确定；

②建筑物中各类结构构件的安全等级，宜与整个结构的安全等级相同，对其中部分结构构件的安全等级可进行调整，但不得低于三级；

③建筑物按抗震设计时，应按其重要性分甲、乙、丙、丁四类建筑（表 7-1），分别赋以不同安全等级并采取不同抗震措施，同时式（1-1）中的 γ_0 取 1，抗力设计值 R 应除以承载力调整系数 γ_R ；

④高耸结构设计时，其安全等级不得低于二级。

（一）基本组合

基本组合设计时的荷载效应组合设计值应按下述公式确定：

$$S = \gamma_G C_G G_K + \gamma_{Q1} C_{Q1} Q_{1K} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} C_{Qi} \psi_{ci} Q_{iK} \quad (1-2)$$

式中 γ_G ——永久荷载的分项系数，按表 1-2 取值；

γ_{Q1} 、 γ_{Qi} ——分别为第一个和第 i 个可变荷载的分项系数，按表 1-3 取值；

G_K ——永久荷载的标准值；

Q_{1K} ——第一个可变荷载的标准值，该荷载的效应 $\gamma_{Q1} C_{Q1} Q_{1K}$ 大于其他任意第 i 个可变荷载标准值的效应 $\gamma_{Qi} C_{Qi} Q_{iK}$ ；

Q_{iK} ——其他第 i 个可变荷载的标准值；

C_G 、 C_{Q1} 、 C_{Qi} ——分别为永久荷载、第一个可变荷载和其他第 i 个可变荷载的荷载效应系数；

ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合值系数，按表 1-4 取值。

永久荷载分项系数 γ_G 表 1-2

设计条件	γ_G
当永久荷载效应对结构不利时	1.2
当永久荷载效应对结构有利时	1.0
当验算倾覆和滑移时, 对抗倾覆有利的永久荷载	0.9

注: ①对砌体结构, 当验算倾覆、滑移、漂浮时, 对结构有利的永久荷载, 其分项系数取 0.8;
②当计算挡土墙的土压力、地基稳定及滑坡推力时, 永久荷载分项系数取 1.0, 并按《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89) 要求对结构和土体进行稳定性验算。

可变荷载分项系数 γ_Q 表 1-3

设计条件	γ_Q
一般情况	1.4
对楼面活荷载不小于 4kN/m^2 时	1.3

可变荷载组合值系数 ψ_c 表 1-4

设计条件	ψ_c
当有风荷载参与组合时	0.6
当没有风荷载参与组合时	1.0

为了照顾设计人员以往的设计习惯, 《建筑结构荷载规范》规定, 对于一般排架、框架结构的荷载效应基本组合, 允许采用下述简化公式:

$$S = \gamma_G C_G G_k + \psi \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} C_{Qi} Q_{ik} \quad (1-3)$$

式中, ψ 为荷载组合系数, 当有两个或两个以上的可变荷载参与组合且其中包括风荷载时, 荷载组合系数均取 0.85, 在其他情况下, 荷载组合系数取 1.0。

在常用的可变荷载标准值效应比值范围内, 采用简化式偏于安全, 但当两种可变荷载标准值效应相差很大时, 就会偏于不安全, 因此当仅考虑一个可变荷载效应比考虑多个可变荷载效应为不利时, 仍应按正规的效应组合设计值公式 (1-2) 计算。

分别以多高层建筑结构和单层厂房结构为例, 说明荷载效应基本组合中可能对结构不利的诸组合式。

1. 多高层建筑结构

需要考虑的荷载一般有恒载 G 、屋面荷载 R (屋面活荷载或雪荷载)、楼面活荷载 L 、风荷载 W , 可能对结构不利的组合式有:

- (1) $\gamma_G S_{Gk}$
- (2) $\gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{Rk}$
- (3) $\gamma_G S_{Gk} + 1.4$ (或 1.3) S_{Lk}
- (4) $\gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{wk}$
- (5) $\gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{Rk} + 1.4$ (或 1.3) S_{Lk}
- (6) $\gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{Rk} + 0.84 S_{wk}$
- (7) $\gamma_G S_{Gk} + 1.4$ (或 1.3) $S_{Lk} + 0.84 S_{wk}$
- (8) $\gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{wk} + 0.84 S_{Rk}$
- (9) $\gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{wk} + 0.84$ (或 0.78) S_{Lk}
- (10) $\gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{Rk} + 0.84$ (或 0.78) $S_{Lk} + 0.84 S_{wk}$
- (11) $\gamma_G S_{Gk} + 1.4$ (或 1.3) $S_{Lk} + 0.84 S_{Rk} + 0.84 S_{wk}$
- (12) $\gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{wk} + 0.84 S_{Rk} + 0.84$ (或 0.78) S_{Lk}

对地震区还要考虑地震力 (水平力或竖向力)、重力荷载和风荷载的最不利组合式:

- (13) $\gamma_G S_{GE} + 1.3 S_{Ehk} + 0.28 S_{wk}$ ①

① 风荷载的设计组合值, 仅在高层建筑中考虑。

$$(14) \gamma_G S_{GE} + 1.3 S_{EVk}$$

$$(15) \gamma_G S_{GE} + 1.3 S_{Ehk} + 0.5 S_{EVk} + 0.28 S_{wk} \textcircled{1}$$

式中, S 表示荷载效应, 下标是该荷载的标准值。下标 GE、Ehk 和 EVk 分别指重力荷载代表值、水平地震力和竖向地震力的标准值。

实际上再考虑恒载效应对结构有利或不利 γ_G 取 1.2 或 1.0 的两种情况, 风荷载、地震水平力各有左向或右向两种情况, 地震竖向力有向上或向下的两种情况, 楼面活荷载按各跨度考虑最不利的分布, 对结构不利的组合式还将成倍增加。

2. 单层厂房结构

需要考虑的荷载有恒载 G 、屋面荷载 R (屋面活荷载或雪荷载和积灰荷载)、吊车荷载 C (吊车水平力和竖向力)、风荷载 W , 可能对结构不利的组合式有:

$$(1) \gamma_G S_{Gk}$$

$$(2) \gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{Rk}$$

$$(3) \gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{ck}$$

$$(4) \gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{wk}$$

$$(5) \gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{Rk} + 1.4 S_{ck}$$

$$(6) \gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{Rk} + 0.84 S_{wk}$$

$$(7) \gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{ck} + 0.84 S_{wk}$$

$$(8) \gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{wk} + 0.84 S_{Rk}$$

$$(9) \gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{wk} + 0.84 S_{ck}$$

$$(10) \gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{Rk} + 0.84 S_{ck} + 0.84 S_{wk}$$

$$(11) \gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{ck} + 0.84 S_{Rk} + 0.84 S_{wk}$$

$$(12) \gamma_G S_{Gk} + 1.4 S_{wk} + 0.84 S_{Rk} + 0.84 S_{ck}$$

对地震区还要考虑地震力 (水平力或竖向力) 和重力荷载的最不利组合式:

$$(13) \gamma_G S_{GE} + 1.3 S_{Ehk}$$

$$(14) \gamma_G S_{GE} + 1.3 S_{EVk}$$

$$(15) \gamma_G S_{GE} + 1.3 S_{Ehk} + 0.5 S_{EVk}$$

同样, 还要考虑恒载效应对结构有利或不利 γ_G 取 1.2 或 1.0 的两种情况, 风荷载、吊车水平荷载和地震水平力各有左向或右向的两种情况, 地震竖向力有向上或向下的两种情况, 对结构不利的组合式也将大大增加。

(二) 偶然组合

偶然组合设计时的荷载效应组合设计值可按下述公式确定:

$$S = \gamma_G C_G G_k + C_A A_k + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} C_{Qi} \psi_{ci} Q_{ik} \quad (1-4)$$

式中 A_k ——偶然荷载的代表值, 可根据工程经验采用;

C_A ——偶然荷载的荷载效应系数。

与偶然荷载同时出现的可变荷载, 其荷载分项系数和组合值系数, 一般可按基本组合中的规定采用。

二、正常使用极限状态的荷载效应组合

$\textcircled{1}$ 风荷载的设计组合值, 仅在高层建筑中考虑。

建筑结构中的正常使用极限状态是指建筑物由于结构部件出现局部损伤(包括表面出现裂缝),或由于结构上的动态作用导致人体不舒适,或由于其他各种原因使结构丧失其应有功能的各种不利状态。与承载能力极限状态不同,它不存在任何对生命财产的直接危害性,因此在结构设计中是处于第二位要考虑的问题,但在个别结构设计实例中,也可能上升到主导地位。

在国内的设计规范中有关正常使用要求的规定,主要限于混凝土构件的裂缝控制和各种结构构件的位移或挠度控制。

关于裂缝控制,在《混凝土结构设计规范》GBJ10-89中,根据耐久性要求划分三种控制等级:

- 一级——严格要求不出现裂缝的构件;
- 二级——一般要求不出现裂缝的构件;
- 三级——允许出现裂缝的构件。

对一级和二级构件,分别在不同程度上控制构件混凝土不出现拉应力或限制拉应力,对三级构件根据钢筋的品种和环境条件控制裂缝的宽度。

关于位移控制,在各结构设计规范中对受弯构件的挠度和柱构件的水平位移的限值都有规定,见表1-5至表1-7。

受弯构件允许挠度

表1-5

项次	构件类别	允许挠度
1	吊车梁和吊车桁架	
	(1) 手动吊车和单梁吊车(包括悬挂吊车)	$l/500$
	(2) 轻级工作制和起重量 $Q < 50t$ 的中级工作制桥式吊车	$l/600$
	(3) 重级工作制和起重量 $Q \geq 50t$ 的中级工作制桥式吊车	$l/750$
2	设有悬挂电动梁式吊车的屋面梁或屋架(仅考虑可变荷载)	$l/500$
3	手动式电动葫芦的轨道梁	$l/400$
4	有重轨(重量 $\geq 38kg/m$) 轨道的工作平台梁	$l/600$
	有轻轨(重量 $\leq 24kg/m$) 轨道的工作平台梁	$l/400$
5	钢结构楼盖和平台(第4项除外)	
	(1) 主梁(包括设有悬挂起重设备的梁)	$l/400$
	(2) 抹灰顶棚的梁(仅考虑可变荷载)	$l/350$
	(3) 其他梁(包括楼梯梁)	$l/250$
	(4) 平台板	$l/150$
6	钢筋混凝土楼盖、屋盖及楼梯	
	(1) $l < 7m$	$l/200 - l/250$
	(2) $7m \leq l \leq 9m$	$l/250 - l/300$
	(3) $l > 9m$	$l/300 - l/400$
7	钢结构屋盖檩条	
	(1) 无积灰的瓦楞铁和石棉瓦屋面	$l/150$
	(2) 压型钢板、有积灰的瓦楞铁和石棉瓦屋面	$l/200$
	(3) 其他屋面	$l/200$
8	钢结构墙架构件	
	(1) 支柱	$l/400$
	(2) 抗风桁架(作为连续支柱的支承时)	$l/1000$
	(3) 砌体墙的横梁(水平方向)	$l/300$
	(4) 压型钢板、瓦楞铁和石棉瓦墙面的横梁(水平方向)	$l/200$
	(5) 带有玻璃窗的横梁(垂直和水平方向)	$l/200$
9	木结构受弯构件	
	(1) 檩条	$l/200 \sim l/250$
	(2) 椽条	$l/150$
	(3) 抹灰吊顶中的受弯构件, 楼板梁和搁栅	$l/250$

注: l 为受弯构件的计算跨度(对悬臂构件为悬臂长度的2倍)。