

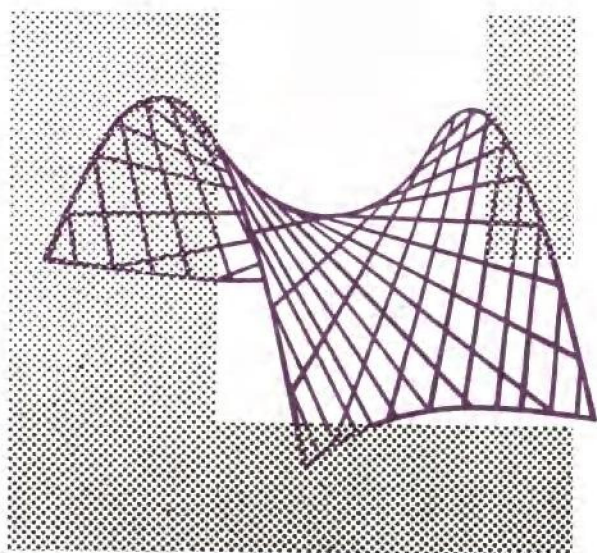
高等学校土木工程专业系列教材

上海市普通高校
“九五”重点教材

工程结构 荷载与可靠度 设计原理

李国强 黄宏伟 郑步全 编著

● 中国建筑工业出版社



上海市普通高校“九五”重点教材

高等学校土木工程专业系列教材

工程结构荷载与可靠度设计原理

世界银行贷款资助项目
上海市教育委员会组编
李国强 黄宏伟 郑步全 编著

ND15109

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程结构荷载与可靠度设计原理/李国强等编著.
北京: 中国建筑工业出版社, 1999
高等学校土木工程专业系列教材
ISBN 7-112-03879-0

I. 工… II. 李… III. ①工程结构-结构荷载
②工程结构-结构可靠性-结构设计 IV. TU312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (99) 第 32741 号

荷载是工程结构设计的一个重要方面,也是着手一项工程设计要解决的一个重要问题,而概率可靠度方法已成为各类工程结构(房屋、桥梁、地下建筑、道路等)设计的理论基础。本书全面、系统地介绍了工程结构各类荷载的基本概念及其确定方法,以及结构可靠度分析与设计理论。全书分十章,各章的主要内容为:第一章,荷载类型;第二章,重力;第三章,侧压力;第四章,风荷载;第五章,地震作用;第六章,其它作用;第七章,荷载的统计分析;第八章,结构抗力的统计分析;第九章,结构可靠度分析;第十章,结构概率可靠度设计法。

本书是根据国家教育部大学本科新专业目录规定的土木工程专业培养要求编写的,可作为土木工程专业的专业基础教材或参考书,也可供从事各类工程结构与施工的工程技术人员参考。

* * *

责任编辑 朱首明

上海市普通高校“九五”重点教材
高等学校土木工程专业系列教材

工程结构荷载与可靠度设计原理

世界银行贷款资助项目

上海市教育委员会组编

李国强 黄宏伟 郑步全 编著

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 10½ 插页: 2 字数: 254 千字

1999 年 12 月第一版 1999 年 12 月第一次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 22.00 元

ISBN 7-112-03879-0

TU·3017 (9244)

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

1998年,教育部颁布了新的大学本科专业目录,将原来500多个专业合并减少了一半,其中原建筑工程专业、交通土建专业等合并拓展成土木工程专业。这一举措,实际上是我国高等教育改革的一项重要内容,标志着我国高级人才培养模式向专业宽口径转变。为适应这一转变,建设部专门列出了面向21世纪的土木工程专业结构系列课程教学改革研究课题,该课题的研究结论之一,就是建议将工程结构荷载和可靠度设计原理列为土木工程专业学生的专业基础教学内容。

各类工程结构(如建筑、桥梁、输电塔等)的最重要功能,就是承受其生命全过程中可能出现的各种荷载。结构设计时,荷载取值的大小及应考虑哪些荷载,将直接影响结构工作时的安全性。因此,工程结构设计时,需考虑哪些荷载,这些荷载产生的背景,以及各种荷载的计算方法应是一名结构工程师所具备的基本专业知识,因而也是土木工程专业学生需掌握的结构工程基本内容。

工程结构的设计方法经历了经验定值设计法、半经验半概率定值设计法和概率定值设计法三个阶段,目前国际上关于工程结构设计,普遍采用概率定值设计法。所谓概率定值设计法,是以结构概率可靠度为基础,以确定性荷载和确定性结构抗力为形式的结构设计方法。这种设计方法既便于工程师直观地运用,又具有明确的概率可靠度意义,而为我国各种工程结构设计规范所采用。因此,要理解我国现行工程结构设计方法,就必须掌握工程结构可靠度设计原理。

结构设计包括三部分内容:一是荷载,二是结构抗力,三是结构设计方法。本书涉及荷载和结构设计方法两部分内容,而结构抗力则由有关“钢筋混凝土结构”、“钢结构”等书或教材介绍。本书分两篇,分别介绍了荷载的分类及重力、土压力、水压力、风荷载、地震作用、爆炸作用、温度作用、波浪荷载等重要荷载的概念、原理和计算方法,以及荷载与结构抗力的统计分析、结构可靠度分析、结构概率可靠度设计法等重要内容。本书大纲的拟定和统稿由李国强负责,其中第二章第一、二节、第三章、第六章第一、二、三、四节由黄宏伟执笔,第二章第四节、第六章第五、六、七节由郑步全执笔,其余各章节由李国强执笔。

本书作者感谢建设部土木工程专业结构系列课程教学改革课题组的陈以一、袁勇、朱合华、李国平等教授,他们对本书大纲的确定提出了许多建设性意见。另要特别感谢潘士劼教授、张庆智教授和陈忠延教授,他们仔细阅读了本书的手稿,对本书的内容提出了很多宝贵的意见和建议。我本人还要感谢香港Croucher基金会和香港理工大学土木及结构工程系,他们为我于1999年初在香港短期工作访问提供了很好的工作条件,使我在香港期间完成了本书的修改与定稿工作。最后,我要感谢我的硕士研究生段颖智同学,她花费了大量时间和精力打印了本书的手稿。

本书作为大学本科关于结构工程的一本专业基础教学参考书还是第一次，由于我们学识有限，书中不当或错误之处，敬望读者批评指正。

李国强

1999年5月

目 录

第一篇 工程结构荷载

第一章 荷载类型.....	1
第一节 荷载与作用	1
第二节 作用的分类	2
第二章 重力	3
第一节 结构自重	3
第二节 土的自重应力	3
第三节 雪荷载	5
第四节 车辆重力	9
第五节 楼面活荷载	12
第三章 侧压力	14
第一节 土的侧向压力	14
第二节 水压力及流水压力	18
第三节 波浪荷载	20
第四节 冻胀力	25
第五节 冰压力	28
第四章 风荷载	30
第一节 风的有关知识	30
第二节 风压	32
第三节 结构抗风计算的几个重要概念	38
第四节 顺风向结构风效应	42
第五节 横风向结构风效应	52
第五章 地震作用	60
第一节 地震基本知识	60
第二节 单质点体系地震作用	69
第三节 多质点体系地震作用	76
第六章 其他作用	85
第一节 温度作用	85
第二节 变形作用	87
第三节 爆炸作用	89
第四节 浮力作用	92
第五节 制动力与冲击力	92
第六节 离心力	93
第七节 预加力	94

第二篇 工程结构可靠度设计原理

第七章	荷载的统计分析	97
第一节	荷载的概率模型	97
第二节	荷载的各种代表值	101
第三节	荷载效应及荷载效应组合	103
第八章	结构抗力的统计分析	106
第一节	影响结构抗力的不定性	106
第二节	结构构件材料性能的不定性	106
第三节	结构构件几何参数的不定性	108
第四节	结构构件计算模式的不定性	110
第五节	结构构件抗力的统计特征	112
第九章	结构可靠度分析	115
第一节	结构可靠度基本概念	115
第二节	结构可靠度分析的实用方法	119
第三节	相关随机向量的结构可靠度计算	128
第四节	结构体系的可靠度	135
第十章	结构概率可靠度设计法	140
第一节	结构设计的目标	140
第二节	结构概率可靠度的直接设计法	141
第三节	结构概率可靠度设计的实用表达式	144
附录	常用工程结构材料密度	156
参考文献		160

第一篇 工程结构荷载

第一章 荷载类型

第一节 荷载与作用

工程结构（如房屋、桥梁、隧道等）最重要的一项功能是承受其使用过程中可能出现的各种环境作用。如房屋结构要承受自重、人群和家具重量以及风和地震作用等，桥梁结构要承受车辆重力、车辆制动力与冲击力、水流压力等，隧道结构要承受水土压力、爆炸作用等。将由各种环境因素产生的直接作用在结构上的各种力称为荷载。由地球引力产生的力为重力，任何结构都将受到重力的作用。由土、水、风等产生的作用在结构上的压力称为土压力、水压力、风压力（习惯称风荷载或风载）。由爆炸、运动物体的冲击、制动或离心作用等产生的作用在结构上的其它物体的惯性力也均称为荷载。

作用在结构上的荷载会使结构产生内力、变形等（称为效应）。结构设计的目标就是确保结构的承载能力足以抵抗内力，而变形控制在结构能正常使用的范围内。工程师发现，进行结构设计时，不仅要考虑上述直接作用在结构上的各种荷载作用，还应考虑引起结构内力、变形等效应的其它非直接作用因素。能够引起结构内力、变形等效应的非直接作用因素，如地震、温度变化、基础不均匀沉降、焊接等，称为间接作用。

为了统一，将能使结构产生效应（结构或构件的内力、应力、位移、应变、裂缝等）的各种因素总称为作用；而将可归结为作用在结构上的力的因素称为直接作用（图 1-1a）；将不是作用力但同样引起结构效应的因素称为间接作用（图 1-1b）。严格意义上，只有直接作用才可称为荷载，但习惯上（特别是工程中）也将间接作用称为荷载，此时荷载可理解为具有广义的意义。狭义的荷载（或严格意义的荷载）与直接作用等价，而广义的荷载（包括直接作用与间接作用）与作用等价。

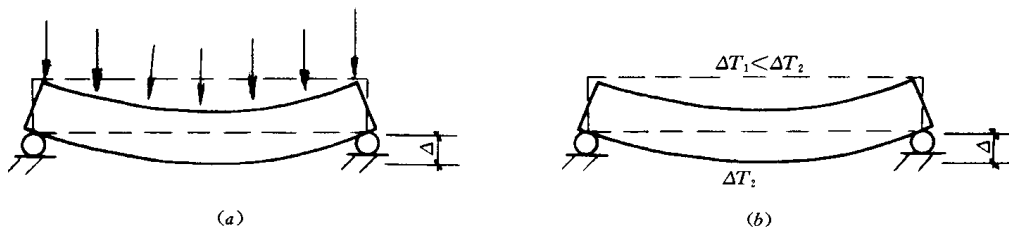


图 1-1 作用与效应

(a) 直接作用（重力）；(b) 间接作用（升温）

第二节 作用的分类

为便于工程结构设计，且利于考虑不同的作用所产生的效应的性质和重要性不同，对结构承受的各种环境作用，可按下列原则分类：

1. 按随时间的变异分类

(1) 永久作用：在结构设计基准期内其值不随时间变化，或其变化与平均值相比可以忽略不计。例如，结构自重、土压力、水压力、预加应力、基础沉降、焊接等。

(2) 可变作用：在结构设计基准期内其值随时间变化，且其变化与平均值相比不可忽略。例如，车辆重力、人员设备重力、风荷载、雪荷载、温度变化等。

(3) 偶然作用：在结构设计基准期内不一定出现，而一旦出现其量值很大且持续时间较短。例如，地震、爆炸等。

由于可变作用的变异性比永久作用的变异性大，可变作用的相对取值（与其平均值之比）应比永久作用的相对取值大。另外，由于偶然作用的出现概率较小，结构抵抗偶然作用的可靠度可比抵抗永久作用和可变作用的可靠度低。

2. 按随空间位置的变异性分类

(1) 固定作用：在结构空间位置上具有固定的分布。例如，结构自重、结构上的固定设备荷载等。

(2) 可动作用：在结构空间位置上的一定范围内可以任意分布。例如，房屋中的人员、家具荷载、桥梁上的车辆荷载等。

由于可动作用可以任意分布，结构设计时应考虑它在结构上引起最不利效应的分布情况。

3. 按结构的反应分类

(1) 静态作用：对结构或结构构件不产生加速度或其加速度可以忽略不计。例如，结构自重、土压力、温度变化等。

(2) 动态作用：对结构或结构构件产生不可忽略的加速度。例如，地震、风、冲击和爆炸等。

对于动态作用，必须考虑结构的动力效应，按动力学方法进行结构分析，或按动态作用转换成等效静态作用，再按静力学方法进行结构分析。

思 考 题

1. 荷载与作用在概念上有何不同？
2. 说明直接作用与间接作用的区别。
3. 作用（或荷载）有哪些类型？

第二章 重 力

第一节 结 构 自 重

结构的自重是由地球引力产生的组成结构的材料重力，一般而言，只要知道结构各部件或构件尺寸及所使用的材料资料，就可根据材料的重度，算出构件的重量：

$$G_b = \gamma V \quad (2-1)$$

式中 G_b ——构件的自重 (kN)；

γ ——构件材料的重度 (kN/m³)；

V ——构件的体积，一般按设计尺寸确定 (m³)。

本书附录列举了工程结构基本材料的质量密度，可予以参考。式 (2-1) 适用于一般建筑结构、桥梁结构以及地下结构等各构件自重计算，但必须注意土木工程中结构各构件的材料重度可能不同，计算结构总自重时可将结构人为地划分为许多容易计算的基本构件，先计算基本构件的重量，然后叠加即得到结构总自重，计算公式为：

$$G = \sum_{i=1}^n \gamma_i V_i \quad (2-2)$$

式中 G ——结构总自重 (kN)；

n ——组成结构的基本构件数；

γ ——第 i 个基本构件的重度 (kN/m³)；

V_i ——第 i 个基本构件的体积 (m³)。

在进行建筑结构设计时，为了工程上应用方便，有时把建筑物看成一个整体，将结构自重转化为平均楼面恒载。作为近似估算，对一般的木结构建筑，其平均楼面恒载可取为 1.98~2.48kN/m²；对钢结构建筑，平均恒载大约为 2.48~3.96kN/m²；对钢筋混凝土结构的建筑，其值在 4.95~7.43kN/m² 之间；而对预应力混凝土建筑，建议可取普通钢筋混凝土建筑恒载的 70%~80%。

在进行道路工程设计时，尤其在高速公路的设计中，应特别重视路堤的重力效应。路堤的自重计算可参照下一节土的自重计算，在此不再赘述。

第二节 土 的 自 重 应 力

土是由土颗粒、水和气所组成的三相非连续介质。若把土体简化为连续体，而应用连续介质力学（例如弹性力学）来研究土中应力的分布时，应注意到，土中任意截面上都包括有骨架和孔隙的面积在内，所以在地基应力计算时都只考虑土中某单位面积上的平均应力。必须指出，只有通过土粒接触点传递的粒间应力才能使土粒彼此挤紧，从而引起土体的变形，而且粒间应力又是影响土体强度的一个重要因素，所以粒间应力又称为有效应力。因此，土的自重应力即为土自身有效重力在土体中所引起的应力。

在计算土中自重应力时，假设天然地面是一个无限大的水平面，因此在任意竖直面和水平面上均无剪应力存在。如果地面下土质均匀，土层的天然重度为 γ ，则在天然地面下任意深度 z 处 $a-a$ 水平面上的竖直自重应力 σ_{cz} ，可取作用于该水平面上任一单位面积的土柱体自重 $\gamma z \times 1$ 计算，即：

$$\sigma_{cz} = \gamma z \quad (2-3)$$

σ_{cz} 沿水平面均匀分布，且与 z 成正比，即随深度按直线规律分布。如图 2-1 所示。一般

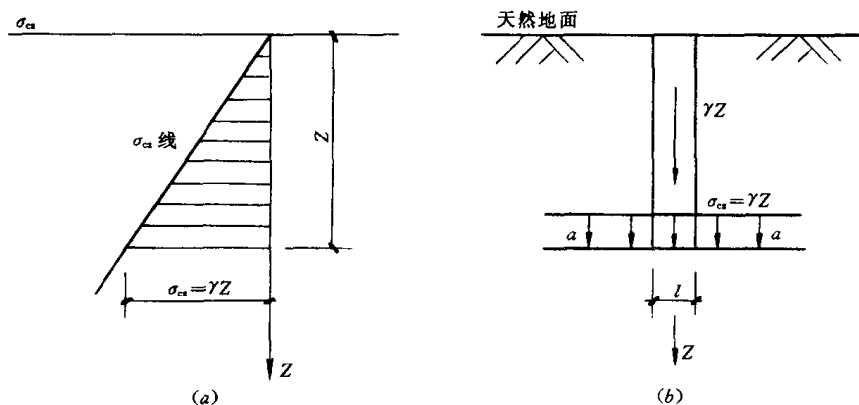


图 2-1 均质土中竖向自重应力

(a) 沿深度的分布；(b) 任意水平面的分布

情况下，地基土是由不同重度的土层所组成。如图 2-2 所示，天然地面下深度 z 范围内各层土的厚度自上而下分别为 h_1 、 h_2 、 \dots 、 h_i 、 \dots 、 h_n ，则成层土深度 z 处的竖直有效自重应力的计算公式为：

$$\sigma_{cz} = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \dots + \gamma_n h_n = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \quad (2-4)$$

式中 n ——从天然地面起到深度 z 处的土层数；

h_i ——第 i 层土的厚度 (m)；

γ_i ——第 i 层土的天然重度，若土层位于地下水位以下，由于受到水的浮力作用，单

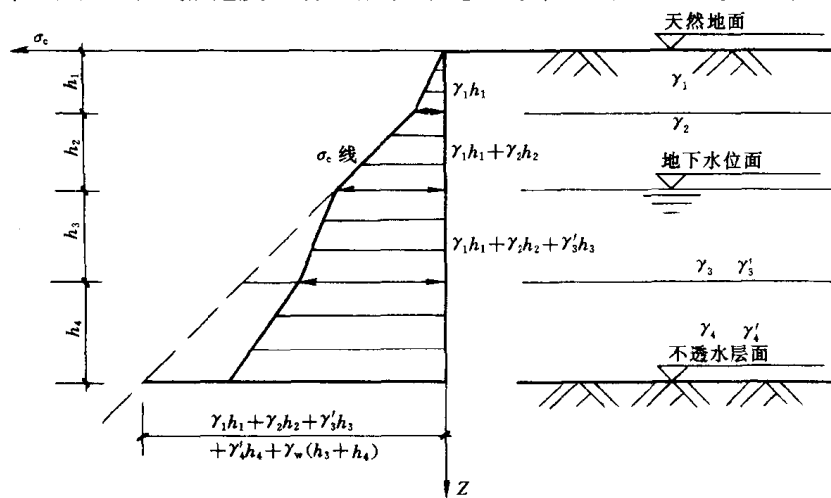


图 2-2 成层土中竖向自重应力沿深度的分布

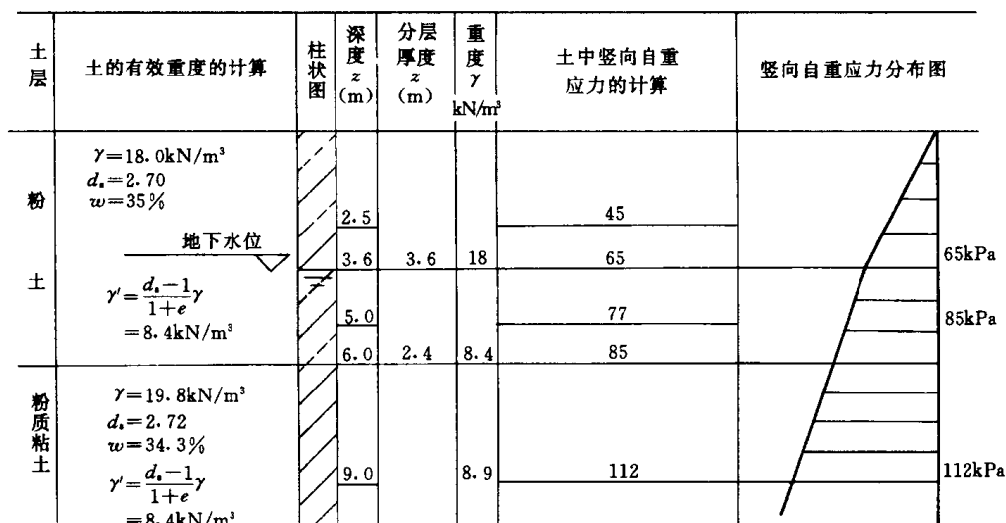
位体积中，土颗粒所受的重力扣除浮力后的重度称为土的有效重度 γ'_i ，即：

$$\gamma'_i = \gamma_i - \gamma_w \quad (2-5)$$

γ_w 为水的重度，一般取 10kN/m^3 ，这时计算土的自重应力应取土的有效重度 γ'_i 代替天然重度 γ_i 。

【例 2-1】 某建筑场地的地质柱状图和土的有关指标列于图 2-3 中。试计算地面下深度为 2.5m、5m 和 9m 处的自重应力，并绘制分布图。

【解】 按照计算公式 (2-4)、公式 (2-5)，计算的自重应力结果列于图中，将各点的自重应力值用直线连结，即为土的竖向自重应力分布曲线，如图 2-3 所示。



注： d_s —土粒相对密度，一般粘性土：2.70~2.76；砂土：2.65~2.69；
 e —孔隙比；
 w —含水量。

图 2-3 地质柱状图及自重应力分布图

第三节 雪 荷 载

雪荷载是房屋屋面的主要荷载之一。在我国寒冷地区及其它大雪地区，因雪荷载导致屋面结构以及整个结构破坏的事例时有发生。尤其是大跨度结构，对雪荷载更为敏感。因此在有雪地区，在结构设计中必须考虑雪荷载。

一、基本雪压

所谓雪压是指单位面积地面上积雪的自重，而基本雪压是指当地空旷平坦地面上根据气象记录资料经统计得到的在结构使用期间可能出现的最大雪压值。决定雪压值大小的是雪深和雪重度，即

$$S = \gamma d \quad (2-6)$$

式中 S ——雪压 (N/m^2)；
 γ ——雪重度 (N/m^3)；
 d ——雪深 (m)。

1. 雪重度

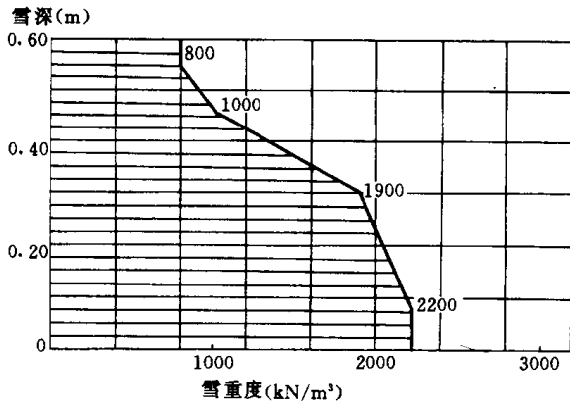


图 2-4 雪重度随雪深的变化

雪重度是一个随时间和空间变化的量，它随积雪厚度、积雪时间的长短即地理气候条件等因素的变化而有较大的差异。

新鲜下落的雪重度较小，大约为 500~1000kN/m³。当积雪达到一定的厚度时，积存在下层的雪由于受到上层雪的压缩其密度增加。越靠近地面，雪的重度越大，雪深越大，下层的重度越大。图 2-4 是在法国某地实测得到的雪重度随积雪深度的变化。

在寒冷地区，积雪时间一般较长甚至存在整个冬季，随着时间的延续，积雪由于受到压缩、融化、蒸发及人为搅动等，其重度

不断增加。从冬初到冬末，雪重度可差 1 倍。图 2-5 为某地雪重度随时间的变化。

不少国家对雪重度作了统计研究，得出一些有关雪重度 γ (N/m³) 的计算公式。例如：

(1) 前苏联建议的公式

$$\gamma = (90 + 130 \sqrt{d})(1.5 + 0.17 \sqrt[3]{T})(10 + \sqrt{v}) \quad (2-7)$$

式中 d ——雪深 (m)；

T ——整个积雪期间的平均温度 (°C)；

v ——整个积雪期间的平均风速 (m/s)。

(2) 瑞典建议的公式

$$\gamma = 1550 + 7t \quad (2-8)$$

式中 t ——11 月份以后的积雪存留天数。

(3) 匈牙利建议的公式

$$\gamma = 1530 + 495R \quad (2-9)$$

式中 R ——降雪次数。

(4) 国际结构安全联合委员会建议的公式

$$\gamma = 3000 - 2000e^{-1.5d} \quad (2-10)$$

式中 d ——雪深 (m)。

可见，雪重度是随雪深和时间变化的。然而为工程应用方便，常将雪重度定为常值，即以某地区的气象记录资料经统计后所得雪重度平均值或某分位值作为该地区得雪重度。例如，前苏联、罗马尼亚等国家取雪重度为 2.2kN/m³，加拿大取 2kN/m³，法国取 1.5 kN/m³。而我国由于幅员辽阔，气候条件差异较大，故对不同地区取不同的雪重度值，东北及新疆北部地区取 1.5 kN/m³；华北及西北地区取 1.3kN/m³，其中青海取 1.2kN/m³；淮河、秦岭以南地区一般取 1.5kN/m³，其中江西、浙江取 2.0kN/m³。

2. 基本雪压的统计

确定了雪重度以后，只要量测雪深，就可按式(2-6)计算雪压。基本雪压一般根据年最大雪压进行统计分析确定。图2-6是我国按30年一遇重现期确定的基本雪压分布图。

应当指出，最大雪深与最大雪重度两者并不一定同时出现。当年最大雪深出现时，对应的雪重度多数情况下不是本年度的最大值。因此采用平均雪重度来计算雪压有一定的合理性。当然最好的方法是像美国气象部门一样，直接记录地面雪压值，这样可避免最大雪深与最大雪重度不同时出现带来的问题，所以能准确确定真正的年最大雪压值。

3. 海拔高度对基本雪压的影响

一般山上的积雪比近平原地区的积雪要大，并且随山区地形海拔高度的增加而增大。其中主要原因是由于海拔较高地区的温度较低，从而使降雪的机会增多，且积雪的融化延缓。图2-7是欧洲一些国家给出的基本雪压随海拔高度的变化曲线。

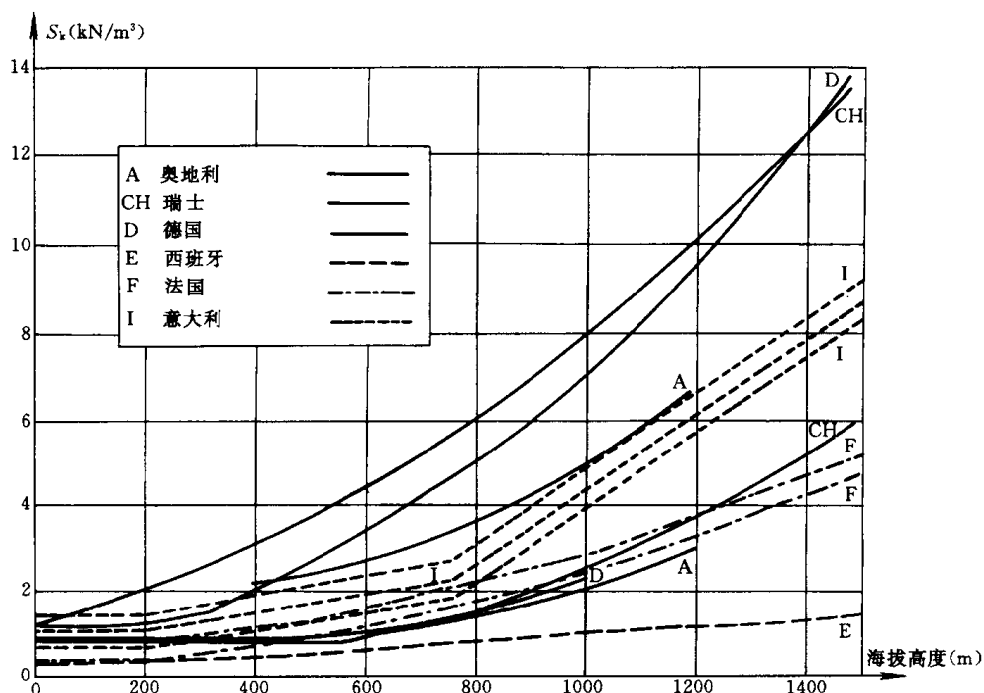


图 2-7 欧洲国家地面雪压随海拔高度的变化

二、屋面的雪压

基本雪压是针对地面上的积雪荷载定义的。屋面的雪荷载由于多种因素的影响，往往与地面雪荷载不同。造成屋面积雪与地面积雪不同的主要原因有：风、屋面形式、屋面散热等。

1. 风对屋面积雪的影响

在下雪过程中，风会把部分本将飘落在屋面上的雪吹积到附近的地面上或其它较低的物体上，这种影响称为风的漂积作用。当风速较大或房屋处于特别曝风位置时，部分已经积在屋面上的雪会被风吹走，从而导致平屋面或小坡度（坡度小于 10° ）屋面上的雪压普遍比邻近地面上的雪压要小。前苏联、加拿大等国家的调查表明，屋面雪荷载小于地面雪荷载。如果用平屋面上的雪压值与地面上雪压值之比 μ_e 来衡量风的漂积作用大小，则 μ_e 值的大小与房屋的曝风情况及风速的大小有关。风速越大，房屋周围挡风的障碍物越小，则 μ_e

越小（小于1）。加拿大的研究表明，对敞风较好的房屋 μ_e 取 0.9；对周围无挡风障碍物的房屋 μ_e 取 0.6；对完全曝风的房屋 μ_e 取 0.3。前苏联的研究表明， μ_e 可表达为冬季平均风速 \tilde{v}_w (m/s) 的函数，即

$$\mu_e = 1.24 - 0.13 \tilde{v}_w > 0.4 \quad (2-11)$$

在高低跨屋面的情况下，由于风对雪的漂积作用，会将较高屋面的雪吹落在较低屋面上，在低屋面上形成局部较大的漂积荷载。在某些场合这种积雪非常严重，最大可出现三倍于地面积雪的情况。低屋面上这种漂积雪的大小及其分布形状与高低屋面的高差有关。当高差不太大时，漂积雪将沿墙根在一定范围内呈三角形分布（图 2-8）；当高差较大时，靠近墙根的积雪一般不十分严重，漂积雪将分布在一个较大的范围内。

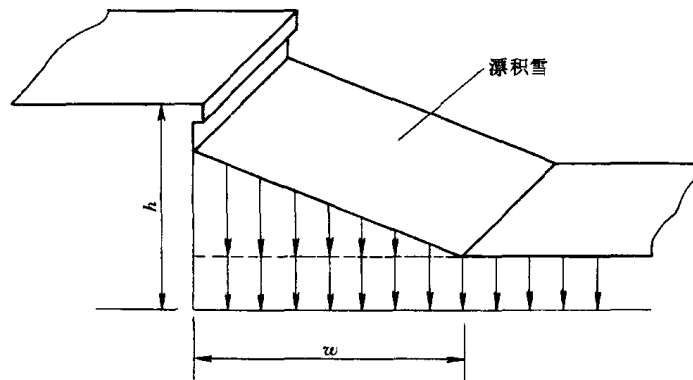


图 2-8 高低屋面上漂积雪的分布

对多跨坡屋面及曲线型屋面，屋谷附近区域的积雪比屋脊区大，其原因之一是风作用下的雪漂积，屋脊区的部分积雪被风吹积在屋谷区内。图 2-9 为在加拿大渥太华一多跨坡屋面测得的一次实际积雪分布情况。

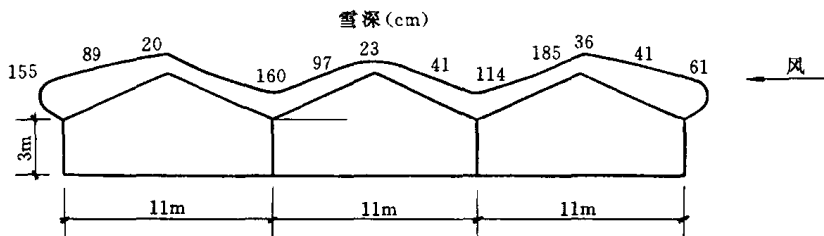


图 2-9 多跨屋面上的积雪分布

2. 屋面坡度对积雪的影响

屋面雪荷载与屋面坡度密切相关，一般随坡度的增加而减小，主要原因是风的作用和雪滑移所致。

当屋面坡度大到某一角度时，积雪就会在屋面上产生滑移或滑落，坡度越大滑落的雪越多。屋面表面的光滑程度对雪滑移的影响较大，对一些类似铁皮屋面、石板屋面这样的光滑表明，雪滑移更易发生，而且往往是屋面积雪全部滑落。根据加拿大对不同坡度屋面的雪滑移观测研究，当坡度大于 10° 时就有可能产生雪滑移。双坡屋面当一侧受太阳辐射而

使靠近屋面的积雪融化形成薄膜层时，由于摩擦力减小这一侧的积雪会发生滑落。这种情况可能形成一坡有雪另一坡完全滑落的不平衡雪荷载。

雪滑落带来的另一问题是滑落的雪堆积在与坡屋面邻接的较低屋面上。这种堆积可能出现很大的局部堆积雪荷载，结构设计时应加以考虑。

当风吹过屋脊时，在屋面的迎风一侧会因“爬坡风”效应风速增大，吹走部分积雪。坡度越陡这种效应越明显。在屋脊后的背风一侧风速下降，风中夹裹的雪和从迎风屋面吹过来的雪往往在背风一侧屋面上漂积。因而，对双坡屋面及曲线型屋面，风作用除了使总的屋面积雪减少外，还会引起屋面的不平衡积雪荷载。

因此，我国规范规定对双坡屋面需考虑均匀雪载分布和不均匀雪载分布两种情况，如图 2-10 所示。其中 μ_r 为屋面积雪分布系数（屋面雪载与地面雪载之比），其与屋面坡度的关系列于表 2-1。

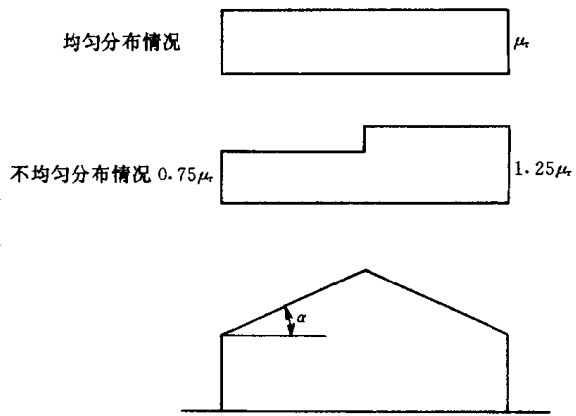


图 2-10 单跨双坡屋面雪载分布

因此，我国规范规定对双坡屋面需考虑均匀雪载分布和不均匀雪载分布两种情况，如图 2-10 所示。其中 μ_r 为屋面积雪分布系数（屋面雪载与地面雪载之比），其与屋面坡度的关系列于表 2-1。

屋面坡度对屋面积雪分布系数的影响

表 2-1

α	$\leq 25^\circ$	30°	35°	40°	45°	$\geq 50^\circ$
μ_r	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0

3. 屋面温度对积雪的影响

冬季采暖房屋的积雪一般比非采暖房屋小，这是因为屋面散发的热量使部分积雪融化，同时也使雪滑落更易发生。

不连续加热的屋面，加热期间融化的雪在不加热期间可能重新冻结。并且冻结的冰渣可能堵塞屋面排水，以致在屋面较低处结成较厚的冰层，产生附加荷载。重新冻结的冰雪还会减低坡屋面上的雪滑落能力。

对大部分采暖的坡屋面，在其檐口处通常是不加热的。因此融化后的雪水常常会在檐口处冻结为冰棱及冰坝。这一方面会堵塞屋面排水，出现渗漏；另一方面会对结构产生不利的荷载效应。

第四节 车 辆 重 力

桥梁结构的设计荷载之一是车辆荷载，在桥梁上通行的车辆有各种不同的型号和车辆重力等级，并且，随着交通运输业的不断发展，最高的荷载等级也将不断提高。因此，需要有一种既反映目前车辆重力情况又兼顾未来发展的，便于桥梁结构设计运用的车辆重力荷载标准。在世界范围内，车辆重力荷载标准有两种形式，一种为车列荷载，另一种为车道荷载。

我国在对现有车型、车辆行车规律等方面进行大量实地观测和调查研究的基础上，根

据汽车工业发展和国防建设的需要，制定了适用于公路桥涵和其它受车辆重力影响的构筑物设计的车辆重力荷载标准。标准中把大量经常出现的汽车荷载排列成车列形式作为设计荷载；把偶然出现的平板挂车或履带车作为验算荷载。汽车车列荷载分为四个等级：汽车-10级、汽车-15级、汽车-20级、汽车-超20级。车列的纵向排列及其横向尺寸以及主要技术指标规定如图 2-11 和图 2-12。荷载级别的数字表示一列车中标准车的重量，单位为 kN。图中所示的重力均为单个车轴重。除了辆数不限的标准车以一定的间距排列以外，每一车列中均规定有一辆加重车。通常加重车车重为高一等级车列标准中的一辆标准车的车重。验算荷载分为 800kN，1000kN 和 1200kN 的平板挂车（简称挂车-80，挂车-100 和挂车-120）以及 500kN 的履带车（简称履带-50），计算车辆重力引起的结构内力时，验算荷载在全桥只考虑一辆，其荷载图式及主要技术指标规定如图 2-13。用验算荷载验算时，不计冲击力、人群荷载和其他非经常作用在桥涵上的各种外力。

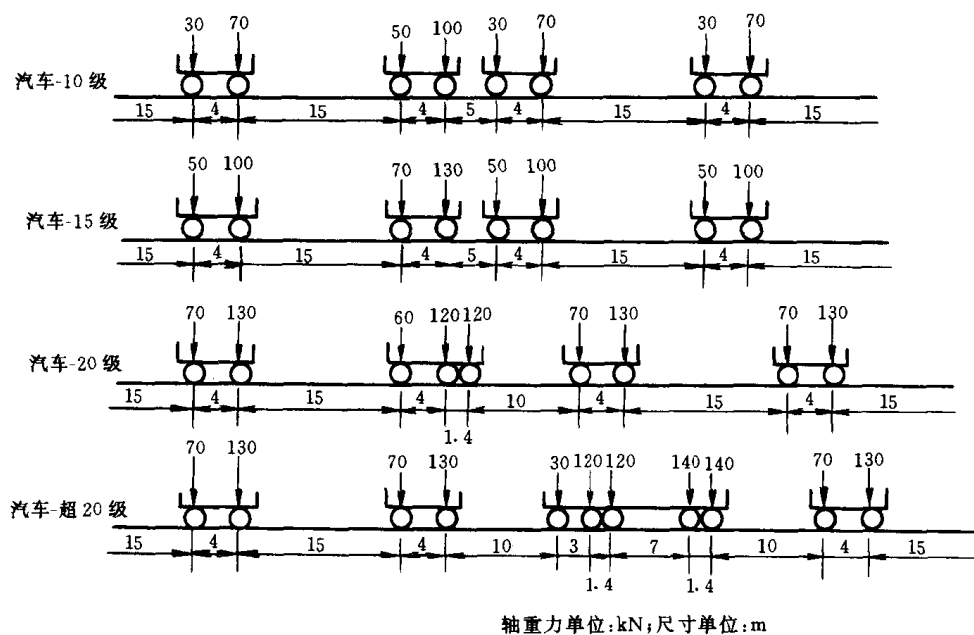


图 2-11 各级车辆荷载的纵向排列

另一种形式的汽车重力标准是车道荷载，即一集中力加一均布荷载的汽车重力荷载形式，车道荷载在结构构件上产生的内力与车列荷载在结构构件上产生的内力等效，它的优点是便于构件内力加载计算。图 2-14 所示为我国城市桥梁设计荷载标准规定的城-A 级。

车道荷载具有以下特点：

1. 对于求弯矩和剪力分别加不同的均布荷载。
2. 均布荷载和集中荷载随荷载等级而异。

3. 对于连续梁，求最大负弯矩时，除在最大影响线值所在跨上布置上述荷载外，在其他产生相同符号弯矩的各跨上还要布置量值相同的集中荷载；求最大正弯矩时，影响线最大值所在跨上布置上述荷载，并要在其他产生相同符号弯矩的跨上布置相同数值的均布荷载。

对于多车道桥涵，以上两种形式的车辆重力荷载标准都根据多个车道上同时出现最大