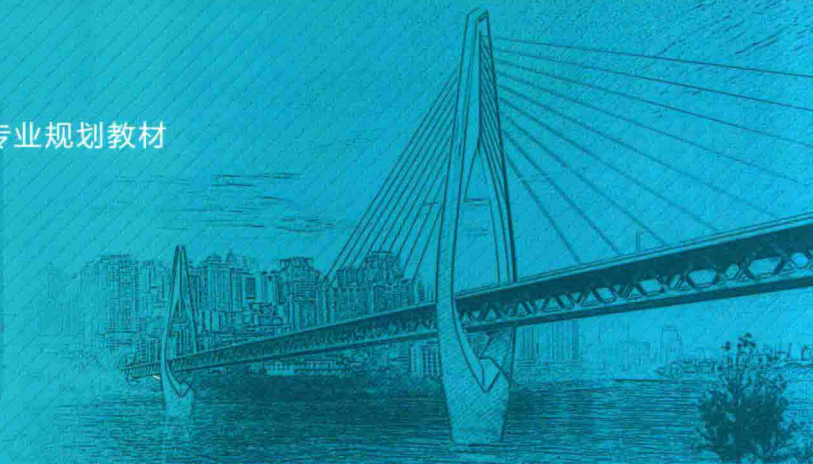


高等学校交通运输与工程类专业规划教材



Engineering Load

工程荷载

任青阳
刘浪 主编
周建庭



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

工 程 荷 载

任青阳 刘 浪 周建庭 主 编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为高等院校土木工程类专业的本科教材,具有较强的交通土建特色,主要讲述了工程荷载的分类,各类工程荷载的性质和计算方法以及工程结构可靠度设计原理与分析方法。

本书共分为9章,包括荷载与作用、结构自重、主要活荷载、地震作用、岩土侧向力、轨道荷载、其他作用、荷载的统计与组合、结构可靠度概念及设计指标。

本书可作为土木工程专业教材,也可供土木工程设计、施工、科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程荷载 / 任青阳, 刘浪, 周建庭主编. — 北京 :
人民交通出版社股份有限公司, 2018.9

ISBN 978-7-114-14803-3

I. ①工… II. ①任… ②刘… ③周… III. ①工程结
构—结构荷载—高等学校—教材②工程结构—结构可靠性
—高等学校—教材 IV. ①TU312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 191730 号

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

书 名: 工程荷载

著 者: 任青阳 刘 浪 周建庭

责任编辑: 卢俊丽

责任校对: 刘 芹

责任印制: 张 凯

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京印匠彩色印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 11.5

字 数: 273 千

版 次: 2018 年 9 月 第 1 版

印 次: 2018 年 9 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14803-3

定 价: 39.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

高等学校交通运输与工程(道路、桥梁、隧道 与交通工程)教材建设委员会

主任委员: 沙爱民 (长安大学)

副主任委员: 梁乃兴 (重庆交通大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐岳 (长安大学)

黄晓明 (东南大学)

韩敏 (人民交通出版社股份有限公司)

委员: (按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王云鹏 (北京航空航天大学)

石京 (清华大学)

申爱琴 (长安大学)

朱合华 (同济大学)

任伟新 (合肥工业大学)

向中富 (重庆交通大学)

刘扬 (长沙理工大学)

刘朝晖 (长沙理工大学)

刘寒冰 (吉林大学)

关宏志 (北京工业大学)

李亚东 (西南交通大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

何民 (昆明理工大学)

何东坡 (东北林业大学)

张顶立 (北京交通大学)

张金喜 (北京工业大学)

陈红 (长安大学)

陈峻 (东南大学)

陈宝春 (福州大学)

陈静云 (大连理工大学)

邵旭东 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

胡志坚 (武汉理工大学)

郭忠印 (同济大学)

黄侨 (东南大学)

黄立葵 (湖南大学)

黄亚新 (解放军理工大学)

符锌砂 (华南理工大学)

葛耀君 (同济大学)

裴玉龙 (东北林业大学)

戴公连 (中南大学)

秘书长: 孙玺 (人民交通出版社股份有限公司)

前言

土木工程涵盖了建筑、桥梁、隧道、道路、铁路、岩土、港口等各类工程。这些工程结构正常服役的首要前提是能够承受建设和使用过程中施加于其上的各种作用。进行工程结构设计时,首先要确定施加于结构上的荷载与作用,其次通过计算分析来保证结构在生命周期内有足够的承受能力来承受这些荷载与作用,并将结构的变形、裂缝等控制在允许范围之内,以满足适用性要求。

在人才培养方面,为响应“加强基础,淡化专业,因材施教,分流培养”的16字教学改革方针,培养“厚基础,宽口径”的复合型人才,大学教育应注重专业基础的教育教学。“工程荷载”是土木工程专业一门非常重要的专业基础课程,本书即为大类招生的土木工程专业而编写。

为了更好地理解各类荷载及其计算方法,本书对土木工程结构中经常需要考虑的荷载类型进行了介绍,对其产生的背景和在工程中的计算方法做出了详尽阐述。影响荷载取值和荷载组合的因素诸多,荷载与抗力的计算带有不确定性,本书通过结构可靠性设计的概念,介绍了工程结构可靠度设计原理与分析方法,以便读者更好地理解和掌握现行结构设计规范的理念和方法。

全书共9章,包括荷载与作用、结构自重、主要活荷载、地震作用、岩土的侧向力、轨道荷载、其他作用、荷载的统计与组合、结构可靠度概念及设计指标。

本书主要由任青阳、刘浪、周建庭等共同编写完成。在本书的编写过程中引用了同行专家论著中的成果,在此表示感谢。参与本书编写的还有张一帆,任林春,韩振雷,刘洋,杨益铭,张乐显。

由于编者水平有限,本书难免存在不妥之处,欢迎广大读者予以批评、指正。

编者

2018年3月

目录

第 1 章 荷载与作用	1
1.1 工程结构荷载与作用	1
1.2 作用分类	2
1.3 作用代表值	3
本章小结	3
思考题	4
第 2 章 结构自重	5
2.1 建筑结构自重	5
2.2 桥梁结构自重	6
2.3 土的自重应力	7
本章小结	8
思考题	8
第 3 章 主要活荷载	9
3.1 风荷载	9
3.2 雪荷载	26
3.3 汽车荷载	28
3.4 人群荷载	30
3.5 楼面及屋面荷载	31
3.6 吊车荷载	39
3.7 波浪荷载	42
本章小结	47
思考题	47
第 4 章 地震作用	49
4.1 地震基础知识	49
4.2 工程抗震设防	53
4.3 地震作用计算基本理论	54

4.4	地震反应谱与设计谱	57
4.5	底部剪力法与振型分解反应谱法	61
4.6	竖向地震作用	64
4.7	桥梁地震作用	66
	本章小结	72
	思考题	74
第5章	岩土侧向力	75
5.1	概述	75
5.2	概念和分类	76
5.3	静止土压力	77
5.4	朗肯土压力理论	77
5.5	库伦土压力理论	85
5.6	朗肯理论与库伦理论的比较	92
5.7	岩体侧压力计算	92
	本章小结	94
	思考题	94
第6章	轨道荷载	96
6.1	概述	96
6.2	轨道结构竖向受力的静力计算	97
6.3	轨道动力响应的准静态计算	103
6.4	轨道结构横向受力分析	105
	本章小结	110
	思考题	110
第7章	其他作用	111
7.1	温度作用	111
7.2	爆炸作用	113
7.3	浮力作用	117
7.4	车行动态作用	118
	本章小结	121
	思考题	121
第8章	荷载的统计与组合	122
8.1	荷载的概率模型	122
8.2	荷载代表值	126
8.3	荷载效应组合	128
	本章小结	131
	思考题	132
第9章	结构可靠度概念及设计指标	133
9.1	结构功能及其设计状态	133
9.2	结构的可靠度与可靠指标	136

9.3 结构可靠度的常用计算方法	139
9.4 结构目标可靠指标的设定	146
9.5 结构概率可靠度设计的规范设计方法	150
本章小结	157
思考题	157
附表	158
参考文献	170

荷载与作用

1.1 工程结构荷载与作用

工程结构是指采用土木工程材料建造的、能够承受不同作用的房屋、道路、桥梁、隧道、堤坝等工程设施。工程结构的根本目的是服务于人类和社会,例如,建造房屋为人类遮风避雨,架桥铺路为人群和车辆提供通道。在使用期间,工程结构最重要的一项功能是承受各种环境作用。如房屋结构要承受自身重量、人群和家具重量、风与雪的作用等;道路桥梁结构要承受车辆的重量、车辆的制动力与冲击力、水压力与土压力等作用;在地震地区的工程结构还要承受地震作用。工程结构设计的目的就是要保证结构具有足够的承载力来抵抗自然界的各种作用,将结构的变形、振动等控制在满足正常使用范围内。为使结构在规定的使用年限内具有足够的可靠度,首先要了解对结构造成不利影响的各种作用。

工程结构上的作用是使结构产生效应(结构的内力、变形、振动等)的各种原因的总称。结构上的作用包括直接作用和间接作用两种。直接作用指的是施加用于结构上的集中力或分布力,如重力、车辆制动力、人群荷载、土压力等。间接作用是指引起结构外加变形或约束变形的原因,如地震、温度变化、基础不均匀沉降、焊接等。严格意义上,可将直接作用称之为荷载。2004年我国《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)修订时,统一采用“作用”。确定结构上的作用的类型、大小、分布及引起结构效应的特征是结构设计的重要内容之一。

1.2 作用分类

结构上的作用类型各种各样,作用的特征、统计和取值方法及其对结构产生的影响都存在区别。为了便于结构设计取值,可根据不同作用对结构产生的不同影响进行合理的分类,考虑到不同作用产生的效应的性质和重要性的不同,可按照随时间的变异性、随空间位置的变异性 and 结构的反应特点对作用进行分类。

1) 按随时间的变异性分类

(1) 永久作用。永久作用是指在设计所考虑的时期内始终存在,其量值变化与平均值相比不可忽略不计的作用。例如,结构自重、土压力、预应力、地基变形作用、混凝土的收缩与徐变、钢材焊接变形作用等。

(2) 可变作用。可变作用是指在设计使用年限内其量值随时间变化,且其变化与平均值相比不可忽略的作用。例如,安装荷载、人员和设备荷载、汽车荷载、吊车荷载、风荷载、雪荷载、冰荷载、流水压力、温度变化等。

(3) 偶然作用。偶然作用是指在设计使用年限内不一定出现,而一旦出现其量值很大且持续时间很短的作用。例如,撞击、爆炸、罕遇地震、火灾等。

一般情况下,作用的取值与其持续的时间长短有关。由于可变作用的变异性比永久作用的变异性大,因此可变作用的相对取值(与平均值之比)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。在结构上具有固定空间分布的作用。当固定作用在结构某一点上的大小和方向确定后,该作用在整个结构上的作用即得以确定。例如,结构自重、结构上的固定设备荷载等。

(2) 自由作用。在结构上给定的范围内具有任意空间分布的作用。例如,房屋中的人员、家具荷载、桥梁上的车辆荷载等。

由于自由作用可以任意分布,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。使结构产生的加速度可以忽略不计的作用。例如,结构自重、土压力、温度变化等。

(2) 动态作用。使结构产生的加速度不可忽略不计的作用。例如,地震、风的脉动、设备振动、冲击和爆炸作用等。

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

4) 按有无限值分类

(1) 有界作用。具有不能被超越的且可确切或近似掌握其界限值的作用。

(2) 无界作用。没有明确界限值的作用。

1.3 作用代表值

作用代表值指的是极限状态设计所采用的作用值。在工程结构或结构构件设计时,针对不同设计目的所采用的各种作用代表值包括作用标准值、频遇值、组合值和准永久值。

(1)作用标准值。作用的主要代表值,可根据对观测数据的统计、作用的自然界限或工程经验确定。

(2)设计基准期。为确定可变作用等的取值而选用的时间参数。

(3)可变作用组合值。使组合后的作用效应的超越概率与该作用单独出现时其标准值作用效应的超越概率趋于一致的作用值;或组合后使结构具有规定可靠指标的作用值。可通过组合值系数($\psi_c \leq 1$)对作用标准值的折减来表示。

(4)可变作用准永久值。在设计基准期内被超越的总时间占设计基准期的比率较大的作用值。可通过准永久值系数($\psi_q \leq 1$)对作用标准值的折减来表示。

(5)可变作用频遇值。在设计基准期内被超越概率的总时间占设计基准期的比率较小的作用值;或被超越的频率限制在规定频率内的作用值。可通过频遇值系数($\psi_f \leq 1$)对作用标准值的折减来表示。

永久作用采用其标准值作为代表值,对结构自重,可按结构构件的设计尺寸与材料单位体积的自重(重力密度)计算确定;可变作用根据工程设计要求采用标准值、组合值、频遇值或准永久值作为代表值。

本章小结

(1)引起结构产生效应的原因包含两个方面,一方面是直接施加于结构上的集中力或分布力,另一方面是间接引起结构外加变形和约束变形的原因。作用通常指使结构产生效应的所有原因,包括直接作用和间接作用。严格意义上,可将直接作用称之为荷载。2004年我国《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)修订时,统一采用“作用”。确定结构上的作用的类型、大小、分布及引起结构效应的特征是结构设计的重要内容之一。

(2)作用按随时间的变异性可分为永久作用、可变作用和偶然作用;按随空间位置的变异性可分为固定作用和自由作用;按结构的反应分类可分为静态作用和动态作用;按有无限值分类可分为有界作用和无界作用。

(3)作用代表值指的是极限状态设计所采用的作用值。针对不同设计目的所采用的各种作用代表值包括作用标准值、组合值、准永久值和频遇值。永久作用采用其标准值作为代表值;可变作用根据工程设计要求采用标准值、组合值、频遇值或准永久值作为代表值。

思考题

- 1-1 什么是工程结构作用?
- 1-2 作用有哪些分类?
- 1-3 作用代表值的定义? 作用的代表值有哪些?
- 1-4 根据不同的作用类型,其作用的代表值如何确定?

结构自重

地球上一定高度范围内的物体均会受到地球引力的作用而产生重力,称为重力荷载,例如自重、人群荷载、汽车荷载等。

结构自重是由地球引力产生的组成结构的材料重力,其中包括结构构件、面层、固定设备等所组成的材料自重,属于永久荷载。

2.1 建筑结构自重

建筑结构是指建筑物中由承重构件基础,墙体,柱,梁,楼板,屋架等组成的体系,其中各个构件自重可根据结构材料重度与结构体积确定。

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重度,就可以算出构件的自重:

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

式中: G ——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。

本书在附表 1 中给出了建筑结构中常用的材料和构件单位体积的自重,但必须注意的是土木工程中结构各构件的材料重度可能不同,计算结构总自重时应将结构划分为多个容易计算的基本构件,首先计算基本构件的重度,然后再进行叠加得出结构的总自重,其计算公式为:

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

式中: G ——结构总自重, kN;

n ——组成结构的基本构件数;

γ_i ——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,为了方便工程上应用,有时经常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 1.98 ~ 2.48kN/m²;对钢筋混凝土建筑,其值在 4.95 ~ 7.43kN/m² 之间;对于钢结构建筑,其值为 2.48 ~ 3.96kN/m²;而对预应力混凝土建筑,建议取普通钢筋混凝土建筑恒载的 70% ~ 80%。

2.2 桥梁结构自重

桥梁由五个“大部件”与五个“小部件”组成。所谓五大部件是指桥梁承受汽车荷载或其他运输车辆荷载的桥跨上部结构与下部结构,其中包括桥跨结构、支座结构、桥墩、桥台、基础。五小部件都是直接与桥梁服务功能有关的部件,包括桥面铺装、排水防水系统、栏杆、伸缩缝、灯光照明。

结构重力包括结构自重及桥面铺装、附属设备等附加重力。结构重力标准值可按照常用的材料的重度(表 2-1)根据式(2-1)和式(2-2)进行计算。

常见的材料重度表

表 2-1

材料种类	重度(kN/m ³)	材料种类	重度(kN/m ³)
钢、铸钢	78.5	浆砌片石	23.0
铸铁	72.5	干砌块石或片石	21.0
锌	70.5	沥青混凝土	23.0 ~ 24.0
铅	114.0	沥青碎石	22.0
黄铜	81.1	碎(砾)石	21.0
青铜	87.4	填土	17.0 ~ 18.0
钢筋混凝土或 预应力混凝土	25.0 ~ 26.0	填石	19.0 ~ 20.0
混凝土或片石混凝土	24.0	石灰三合土、石灰土	17.5
浆砌块石或料石	24.0 ~ 25.0	—	—

2.3 土的自重应力

土是岩石风化产物经各种地质作用搬运、沉积造成的,由固态的土颗粒、液态的水分和气态的物质组成的三相体系。天然土的性质和分布受地域的影响较大,即使在较小范围内也可能有很大变化,是不连续的、不均匀的。

土中任意截面上都包括土颗粒骨架和孔隙,通过土粒接触点传递的粒间应力能够使土颗粒彼此挤紧,从而引起土体的变形。粒间应力是影响土体强度的重要因素,又称有效应力。在计算土应力时,通常不考虑土的非均质性,而是把土体简化为均质连续体,采用连续介质力学理论计算土中应力的分布,土中应力取为单位面积(包括空隙面积在内)上的平均应力。

土体的自重应力为土自身有效重力在土体中所引起的应力。计算时,假设天然地面是一个无限大的水平面,同时土体在水平方向的分布是均匀的,竖向的各层土在本层内的分布也是均匀的。因而土体在有效应力作用下只产生竖向变形,而无侧向变形和剪切变形,在任意竖直面和水平面上均无剪应力存在。

2.3.1 均质土的自重应力

如果地面下土质均匀,土层的天然重度为 γ ,则在天然地面以下任意深度 z 处 α - α 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} 沿水平方向均匀分布,且与 z 成正比,即随深度按直线规律分布,如图2-1所示。

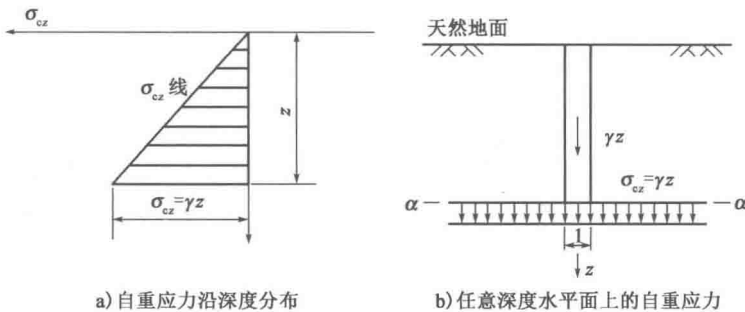


图2-1 均质土中竖向自重应力

2.3.2 成层土的自重应力

一般情况下,地基土由不同重度的土层组成。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 层的天然重度, kN/m^3 。

2.3.3 地下水对土体自重应力的影响

若土层位于地下水位以下,由于受到水的浮力作用,单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,是土的有效密度与重力加速度的乘积,这时计算土的自重应力应取土的有效重度代替天然重度。

在计算自重应力时,地下水位面也应作为分层的界面。地下水位以下,若隐藏有不透水的岩层或不透水的坚硬黏土层,因为不透水层中不存在水的浮力,所以不透水层界面以下的自重应力应按上覆土层的水土总重计算。

本章小结

(1)结构自重是由组成结构的材料产生的重力。计算结构总自重时可将结构划分为一些基本构件,然后叠加各基本构件的重量即可得到结构总自重。

(2)计算建筑结构自重、桥梁结构自重时,可将结构常用组成构件的体积及材料重度等代入结构自重计算公式,然后叠加即可。

(3)当地面以下为均质土层时,地面下任意深度处土的竖向自重应力可以按照作用于该深度水平面上任意单位面积的土柱体自重计算。地基土由不同重度的多层土组成。天然地面下某深度处土的竖直自重应力应为该深度以上各层土自重应力之和。当存在的地下水水位位于某一层土体中时,可以将该土层划分为两层土:位于地下水位以下的土层,土的自应力应考虑用有效重度计算。

思考题

- 2-1 什么是结构自重?
- 2-2 结构自重如何计算?
- 2-3 成层土的自重应力如何计算?
- 2-4 地下水位对土中自重应力有何影响?
- 2-5 什么是土的有效重度?