



21世纪交通版高等学校教材

结构设计原理计算示例

The Computational Examples of Structural Design Principle

叶见曙 郝宪武 安琳 编著
白青侠 张娟秀



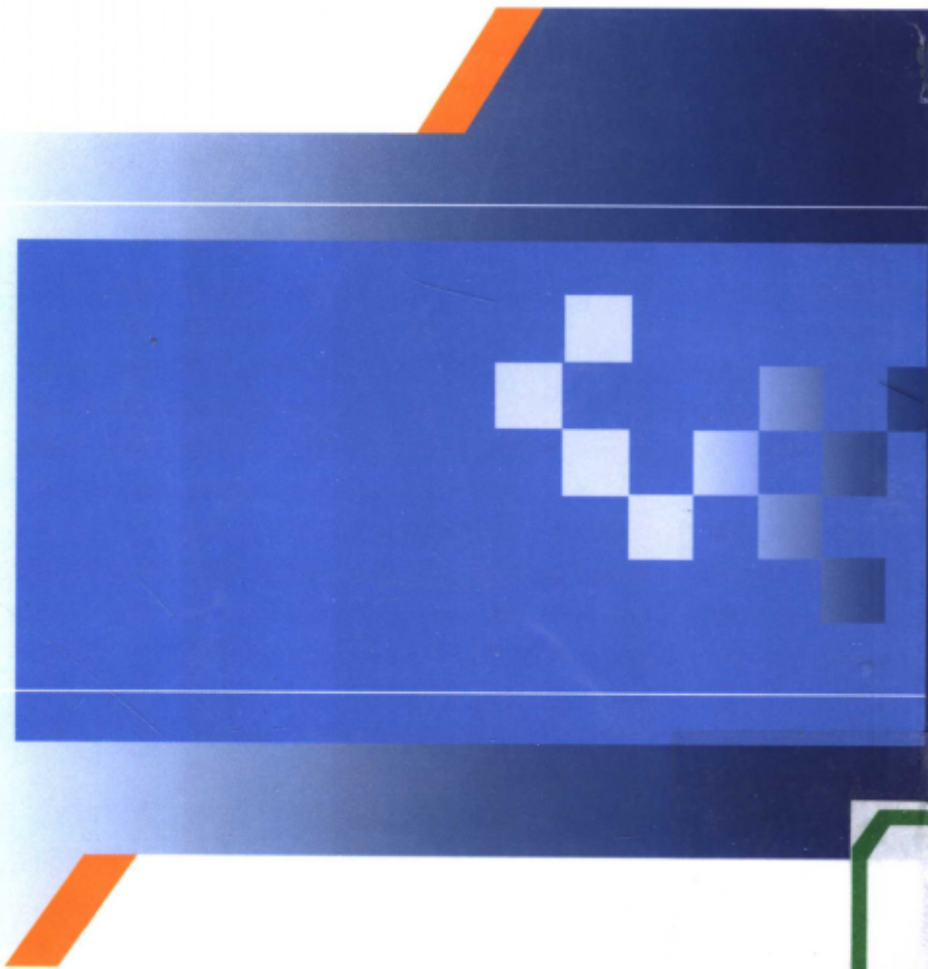
人民交通出版社
China Communications Press

责任编辑：沈鸿雁 毛 鹏

文字编辑：钱悦良

封面设计：黄金支点

<http://www.ccpres.com.cn>



2007

ISBN 978-7-114-06831-7



9 787114 068317 >

定价：40.00元

U448.142/2

2007

The Computational Examples of Structural Design Principle

结构设计原理计算示例

叶见曙 郝宪武
安琳 白青侠 编著
张娟秀

人民交通出版社

内 容 提 要

为配合结构设计原理课程的教学,本书通过具体的计算示例介绍了公路桥涵钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、圬工结构和钢结构基本构件设计计算的方法,给出了详细的计算步骤、计算参数选取方法以及计算图式。计算的原则、方法和基本公式均与现行公路桥涵设计规范一致。

本书可供土木工程专业、道路桥梁及渡河工程专业学生结构设计原理课程使用,也可供参加桥梁与隧道工程专业硕士研究生考试的考生,从事桥梁工程的设计、施工和技术管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

结构设计原理计算示例 / 叶见曙等编著. —北京:人民交通出版社,2007.9

ISBN 978-7-114-06831-7

I. 结… II. 叶… III. ①桥梁结构-结构设计-工程计算②涵洞-结构设计-工程计算 IV. U443 U449.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 144431 号

书 名: 21 世纪交通版高等学校教材

结构设计原理计算示例

著 者: 叶见曙 郝宪武 安 琳 白青侠 张娟秀

责任编辑: 沈鸿雁 毛 鹏

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.cccpress.com.cn>

销售电话: (010)85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 25.5

字 数: 634 千

版 次: 2007 年 9 月 第 1 版

印 次: 2007 年 9 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06831-7

印 数: 0001 ~ 4000 册

定 价: 40.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入 WTO,中国经济已融入到世界经济的发展进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在 1998 年 7 月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程,桥梁工程,隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养 21 世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套 21 世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000 年 6 月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的 12 所高校的专家学者组成 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着手组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约 130 种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近 20 所高校的百余名教授承担约 130 种教材的主编工作。2001 年 6 月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

21 世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才的需要。(2)注重学生基本素质、基本能力的

培养,为学生知识、能力、素质的综合协调发展创造条件。基于这样的考虑,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的开展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术发展与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套21世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

21世纪交通版
高等学校教材(公路类)编审委员会
人民交通出版社
2001年12月

前 言

为了配合土木工程专业、道路桥梁与渡河工程专业的结构设计原理课程教学和进行精品课程建设的需要,应 21 世纪交通版高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会的要求与人民交通出版社的建议,由东南大学和长安大学组织教师编写这本计算示例。

计算示例包括了公路桥梁钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、圬工结构和钢结构基本构件的计算内容。参照东南大学和长安大学专业课程计划与进度安排,以及课程使用的教材内容,合理地组织本书的各章节和计算示例,使学生能够更好地进行同步教学练习。

计算示例的计算原则与计算方法均依照现行的公路桥梁设计规范,即《公路桥涵设计通用规范》(JTJ D60—2004)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ D62—2004)、《公路圬工桥涵设计规范》(JTJ D61—2005)和《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ 025—86)。

所选用的计算示例是源于工程实际,但进行了简化和调整,以便更清楚介绍计算方法以及工程要求。在阅读这些计算示例时,重点是掌握解决问题的计算步骤、基本公式的转换使用,以及设计规范规定的构造要求。本书可作为在校学生学习的参考书,也供工程相关技术人员参考。

本书由叶见曙(主编)、郝宪武、安琳、白青侠和张娟秀编著,具体编写分工为:第 1、2 和 3 章由安琳、叶见曙(东南大学)编写;第 4、5、6 和 7 章由张娟秀(东南大学)编写;第 8、9 和 10 章由叶见曙(东南大学)编写;第 11 和 12 章由郝宪武(长安大学)编写;第 13 和 14 章由白青侠(长安大学)编写;第 15、16 和 17 章由叶见曙(东南大学)编写。

东南大学桥梁与隧道工程研究所研究生郭智刚、俞博、李海生、李青山和马莹,长安大学公路学院桥梁工程系研究生孙磊、栾娟、李睿、汤春林、陈圆圆、郭阔也参加了计算示例的部分计算与绘图工作。

本书在编写过程中得到了东南大学交通学院、长安大学公路学院和人民交通出版社公路图书出版中心的大力支持,在此表示衷心感谢。

本书力求做到计算示例解题正确、联系工程实际和便于学习参考,但由于编者水平有限,缺失和错误在所难免,恳请读者与同行专家批评指正。有关意见可寄东南大学交通学院桥梁与隧道工程研究所(江苏省南京市四牌楼 2 号,邮编 210096)。

编著者

2007 年 7 月

21 世纪交通版
高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

顾问:王秉纲 (长安大学)

主任委员:沙爱民 (长安大学)

副主任委员:(按姓氏笔画排序)

王 炜 (东南大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐 岳 (长安大学)

梁乃兴 (重庆交通大学)

韩 敏 (人民交通出版社)

委员:(按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王殿海 (吉林大学)

叶见曙 (东南大学)

石 京 (清华大学)

向中富 (重庆交通大学)

关宏志 (北京工业大学)

何东坡 (东北林业大学)

陈 红 (长安大学)

邵旭东 (湖南大学)

陈宝春 (福州大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

陈静云 (大连理工大学)

赵明华 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

郭忠印 (同济大学)

袁剑波 (长沙理工大学)

黄晓明 (东南大学)

符铎砂 (华南理工大学)

裴玉龙 (哈尔滨工业大学)

颜东煌 (长沙理工大学)

秘 书 长:沈鸿雁 (人民交通出版社)

目 录

第 1 章 结构的作用效应组合计算	1
1.1 基本公式	1
1.2 计算示例	2
习题	6
第 2 章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	8
2.1 单筋矩形截面	8
2.2 双筋矩形截面受弯构件.....	15
2.3 翼缘位于受压区的单筋 T 形截面	23
2.4 箱形截面.....	28
习题	32
第 3 章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	36
3.1 箍筋和弯起钢筋计算.....	36
3.2 斜截面承载力复核计算.....	47
习题	57
第 4 章 钢筋混凝土受扭构件承载力计算	58
4.1 矩形截面.....	58
4.2 T 形、I 形及箱形截面	71
习题	78
第 5 章 钢筋混凝土轴心受压构件	80
5.1 配有普通箍筋的轴心受压构件.....	80
5.2 配有螺旋式箍筋的轴心受压构件.....	83
习题	86
第 6 章 钢筋混凝土偏心受压构件的正截面承载力计算	89
6.1 矩形截面构件.....	89
6.2 工字形截面构件	112
6.3 圆形截面构件	121
习题.....	124
第 7 章 钢筋混凝土受拉构件的正截面承载力计算	130
7.1 轴心受拉构件	130
7.2 偏心受拉构件	131
习题.....	141
第 8 章 钢筋混凝土受弯构件的应力、裂缝及变形计算	145
8.1 换算截面的几何特性及应力计算	145

8.2	最大裂缝宽度验算	162
8.3	受弯构件的变形验算	165
	习题	171
第 9 章	局部承压	174
9.1	基本公式	174
9.2	计算示例	175
	习题	178
第 10 章	钢筋混凝土深受弯构件的承载力计算	179
10.1	深受弯构件的计算	179
10.2	悬臂深受弯构件的计算	184
	习题	187
第 11 章	预应力混凝土受弯构件的计算	189
11.1	截面几何特性计算	189
11.2	张拉控制应力和预应力损失	195
11.3	正截面和斜截面承载力计算	206
11.4	应力计算	215
11.5	预应力混凝土受弯构件抗裂性验算	230
11.6	变形计算	235
11.7	端部锚固区计算	238
11.8	部分预应力混凝土 A 类简支板计算示例	240
	习题	256
第 12 章	预应力混凝土轴向受力构件的承载力计算	261
12.1	轴心受拉构件	261
12.2	偏心受拉构件	268
	习题	277
第 13 章	部分预应力混凝土 B 类受弯构件计算	279
13.1	预应力钢筋与非预应力钢筋数量的初步确定	279
13.2	B 类构件截面的法向应力计算	282
13.3	B 类构件的裂缝宽度计算	290
13.4	B 类构件的变形计算	292
13.5	部分预应力混凝土 B 类构件简支 T 梁计算示例	294
	习题	307
第 14 章	圬工结构构件的承载力计算	308
14.1	受压构件的承载力计算	308
14.2	构件的受剪承载力计算	317
	习题	318
第 15 章	钢结构的连接	320
15.1	焊缝连接	320
15.2	普通螺栓连接	331
15.3	高强螺栓连接	335

习题	338
第 16 章 钢轴向受力构件及节点板	342
16.1 轴心受拉构件	342
16.2 实腹式轴心受压构件	345
16.3 格构式轴心受压构件	349
16.4 压弯及拉弯构件	354
16.5 钢桁架节点板	358
习题	363
第 17 章 钢板梁	366
17.1 钢板梁的强度计算	366
17.2 钢板梁的总体稳定计算	368
17.3 钢板梁的局部稳定计算与加劲肋设计	369
17.4 钢板梁的挠度验算	372
习题	373
附表	375
主要参考文献	396

第 1 章 结构的作用效应组合计算

公路桥涵结构设计上应当考虑到结构上可能出现的多种作用,例如桥涵结构构件上除构件永久作用(如自重等)外,可能同时出现汽车荷载、人群荷载等可变作用。《公路桥规》要求按承载能力极限状态和正常使用极限状态,结合相应的设计状况,进行作用效应组合,并取其最不利组合进行设计。

作用效应组合是结构上几种作用分别产生的效应的随机叠加,而作用效应最不利组合是指所有可能的作用效应组合中对结构或结构构件产生总效应最不利的一组作用效应组合。

1.1 基本公式

1) 承载能力极限状态计算时作用效应组合

基本组合是承载能力极限状态设计时,永久作用标准值效应与可变作用标准值效应的组合,基本表达式为

$$\gamma_0 S_d = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} S_{Gik} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} S_{Qjk} \right) \quad (1-1)$$

式中: γ_0 ——桥梁结构的重要性系数,按结构设计安全等级采用。对于公路桥梁,安全等级一级、二级和三级,分别为 1.1、1.0 和 0.9;

γ_{Gi} ——第 i 个永久作用效应的分项系数。当永久作用效应(结构重力和预应力作用)对结构承载力不利时, $\gamma_{Gi} = 1.2$;对结构的承载能力有利时,其分项系数 γ_{Gi} 的取值为 1.0。其他永久作用效应的分项系数详见表 1-1;

永久作用效应分项系数

表 1-1

编号	作用类别	永久作用效应分项系数	
		对结构的承载能力不利时	对结构的承载能力有利时
1	混凝土和圬工结构重力(包括结构附加重力)	1.2	1.0
	钢结构重力(包括结构附加重力)	1.1 或 1.2	
2	预加力	1.2	1.0
3	土的重力	1.2	1.0
4	混凝土的收缩及徐变作用	1.0	1.0
5	土侧压力	1.4	1.0
6	水的浮力	1.0	1.0
7	基础变位作用	混凝土和圬工结构	0.5
		钢结构	1.0

注:对于钢结构重力,当采用钢桥面板时永久作用效应分项系数取 1.1;当采用混凝土桥面板时,取 1.2。

S_{Gik} ——第 i 个永久作用效应的标准值；

γ_{Q1} ——汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)的分项系数, $\gamma_{Q1} = 1.4$ 。当某个可变作用在效应组合中超过汽车荷载效应时,则该作用取代汽车荷载,其分项系数应采用汽车荷载的分项系数;对于专为承受某作用而设置的结构或装置,设计时该作用的分项系数取与汽车荷载同值;

S_{Q1k} ——汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)的标准值;

γ_{Qj} ——在作用效应组合中除汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)、风荷载外的其他第 j 个可变作用效应的分项系数,取 $\gamma_{Qj} = 1.4$,但风荷载的分项系数取 $\gamma_{Qj} = 1.1$;

S_{Qjk} ——在作用效应组合中除汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)外的其他第 j 个可变作用效应的标准值;

ψ_c ——在作用效应组合中除汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)外的其他可变作用效应的组合系数。当永久作用与汽车荷载和人群荷载(或其他一种可变作用)组合时,人群荷载(或其他一种可变作用)的组合系数 $\psi_c = 0.80$;当其除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)外尚有二种可变作用参与组合时,其组合系数取 $\psi_c = 0.70$;尚有三种其他可变作用参与组合时, $\psi_c = 0.60$;尚有四种及多于四种的可变作用参与组合时, $\psi_c = 0.50$ 。

2) 正常使用极限状态计算时作用效应组合

(1) 作用短期效应组合基本表达式为

$$S_{sd} = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \sum_{j=1}^n \psi_{1j} S_{Qjk} \quad (1-2)$$

式中: S_{sd} ——作用短期效应组合设计值;

ψ_{1j} ——第 j 个可变作用效应的频遇值系数。汽车荷载(不计冲击力) $\psi_1 = 0.7$, 人群荷载 $\psi_1 = 1.0$, 风荷载 $\psi_1 = 0.75$, 梯度温度作用 $\psi_1 = 0.8$, 其他作用 $\psi_1 = 1.0$;

$\psi_{1j} S_{Qjk}$ ——第 j 个可变作用效应的频遇值;

其他符号意义同前。

(2) 作用长期效应组合基本表达式为

$$S_{ld} = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} S_{Qjk} \quad (1-3)$$

式中: S_{ld} ——作用长期效应组合设计值;

ψ_{2j} ——第 j 个可变作用效应的准永久值系数。汽车荷载(不计冲击力) $\psi_2 = 0.4$, 人群荷载 $\psi_2 = 0.4$, 风荷载 $\psi_2 = 0.75$, 梯度温度作用 $\psi_2 = 0.8$, 其他作用 $\psi_2 = 1.0$;

$\psi_{2j} S_{Qjk}$ ——第 j 个可变作用效应的准永久值;

其他符号意义同前。

1.2 计算示例

例 1-1 计算跨径 $l = 15.5\text{m}$ 的钢筋混凝土简支梁,其跨中截面的弯矩标准值为:梁自重作用产生的弯矩标准值 $M_{G1k} = 399.806\text{kN} \cdot \text{m}$;桥面铺装、栏杆、人行道等自重(二期恒载)作用产生的弯矩标准值 $M_{G2k} = 302.715\text{kN} \cdot \text{m}$;汽车荷载作用(计入冲击系数 $\mu = 0.352$)产生的弯矩标准值 $M_{Q1k} = 726.507 \times 1.352 = 982.237\text{kN} \cdot \text{m}$;人群荷载作用产生的弯矩标准值

$$M_{Q2k} = 21.014 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

试进行作用效应组合的计算。

解:本示例为针对钢筋混凝土简支梁的跨中截面进行弯矩组合设计值计算。

1) 承载能力极限状态设计时的作用效应基本组合

本例的钢筋混凝土简支梁的安全等级取二级,桥梁结构重要性系数为 $\gamma_0 = 1.0$ 。

因恒载作用效应对结构承载能力不利,故永久作用效应的分项系数取 $\gamma_{G1} = 1.2$;汽车荷载作用效应的分项系数为 $\gamma_{Q1} = 1.4$;人群荷载作用效应的分项系数 $\gamma_{Q2} = 1.4$ 。

本组合为永久作用与汽车荷载和人群荷载组合,故取人群荷载的组合系数为 $\psi_c = 0.80$ 。承载能力极限状态计算时,作用效应值基本组合的设计值按式(1-1)计算为

$$\begin{aligned} \gamma_0 M_d &= \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} S_{Gi} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} S_{Qjk} \right) \\ &= 1.0 \times (1.2 M_{Gk} + 1.4 M_{Q1k} + 0.8 \times 1.4 M_{Q2k}) \\ &= 1.0 \times [1.2 \times (399.806 + 302.715) + 1.4 \times 982.237 + 0.8 \times 1.4 \times 21.014] \\ &= 2241.693 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

2) 按正常使用极限状态设计时的作用效应组合

(1) 作用短期效应组合

根据《公路桥规》规定,这时汽车荷载作用效应不计入冲击系数。不计冲击系数的汽车荷载弯矩标准值为 $M_{Q1k} = 726.507 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。汽车荷载作用效应的频遇值系数 $\psi_{11} = 0.7$,人群荷载作用效应的频遇值系数 $\psi_{12} = 1.0$ 。

由式(1-2)可得到作用短期效应组合设计值为

$$\begin{aligned} M_{sd} &= M_{Gk} + \psi_{11} M_{Q1k} + \psi_{12} M_{Q2k} \\ &= (399.806 + 302.715) + 0.7 \times 726.507 + 1.0 \times 21.014 \\ &= 1232.089 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

(2) 作用长期效应组合

汽车荷载作用效应的准永久值系数 $\psi_{21} = 0.4$,人群荷载作用效应的准永久值系数 $\psi_{22} = 0.4$ 。

由式(1-3)可得到作用长期效应组合设计值为

$$\begin{aligned} M_{ld} &= M_{Gk} + \psi_{21} M_{Q1k} + \psi_{22} M_{Q2k} \\ &= (399.806 + 302.715) + 0.4 \times 726.507 + 0.4 \times 21.014 \\ &= 1001.529 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

例 1-2 计算跨径为 29.16m 的预应力钢筋混凝土简支 T 形截面梁,其支点截面的剪力标准值为:梁自重作用产生的剪力标准值 $V_{G1k} = 275.71 \text{ kN}$;桥面铺装、栏杆、人行道等自重作用(二期恒载)产生的剪力标准值 $V_{G2k} = 94.92 \text{ kN}$;汽车荷载作用(计入冲击系数 $\mu = 0.1188$)产生的剪力标准值 $V_{Q1k} = 374.65 \text{ kN}$;人群荷载作用产生的剪力标准值 $V_{Q2k} = 16.34 \text{ kN}$ 。

试进行作用效应组合计算。

解:在竖向荷载作用下,简支梁以支点处截面剪力值较大。本示例为预应力混凝土简支梁支点截面剪力组合值计算。

1)按承载能力极限状态设计时作用效应的基本组合

本例结构的安全等级取二级,桥梁结构重要性系数为 $\gamma_0=1.0$ 。

永久作用效应的分项系数,因恒载作用效应对结构承载能力不利,故取 $\gamma_{G1}=1.2$;汽车荷载作用效应的分项系数为 $\gamma_{Q1}=1.4$;人群荷载及其他可变作用效应的分项系数 $\gamma_{Q2}=1.4$ 。

本组合为永久作用与汽车荷载和人群荷载组合,故取人群荷载的组合系数为 $\psi_c=0.80$ 。承载能力极限状态计算时,作用效应值基本组合按式(1-1)计算为

$$\begin{aligned}\gamma_0 V_d &= \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} S_{Gi} + \gamma_{Q1} S_{Q1} + \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} S_{Qj} \right) \\ &= 1.0 \times (1.2V_{Gk} + 1.4V_{Q1k} + 0.8 \times 1.4V_{Q2k}) \\ &= 1.0 \times [1.2 \times (275.71 + 94.92) + 1.4 \times 374.65 + 0.8 \times 1.4 \times 16.34] \\ &= 987.57 \text{ kN}\end{aligned}$$

2)按正常使用极限状态设计时的作用效应组合

(1)作用短期效应组合

根据《公路桥规》规定,这时汽车荷载作用效应不计入冲击系数。不计冲击系数的汽车荷载剪力标准值为 $V_{Q1k} = 374.65 / (1 + 0.1188) = 334.87 \text{ kN}$ 。汽车荷载作用效应的频遇值系数 $\psi_{11} = 0.7$,人群荷载作用效应的频遇值系数 $\psi_{12} = 1.0$ 。

由式(1-2)可得到作用短期效应组合设计值为

$$\begin{aligned}V_{sd} &= V_{Gk} + \psi_{11} V_{Q1k} + \psi_{12} V_{Q2k} \\ &= (275.71 + 94.92) + 0.7 \times 334.87 + 1.0 \times 16.34 \\ &= 621.38 \text{ kN}\end{aligned}$$

(2)作用长期效应组合

不计冲击系数的汽车荷载作用剪力标准值 $V_{Q1} = 334.87 \text{ kN}$ 。汽车荷载作用效应的准永久值系数 $\psi_{21} = 0.4$,人群荷载作用效应的准永久值系数 $\psi_{22} = 0.4$ 。

由式(1-3)可得到作用长期效应组合设计值为

$$\begin{aligned}V_{ld} &= V_{Gk} + \psi_{21} V_{Q1k} + \psi_{22} V_{Q2k} \\ &= (275.71 + 94.92) + 0.4 \times 334.87 + 0.4 \times 16.34 \\ &= 511.11 \text{ kN}\end{aligned}$$

例 1-3 四孔预应力混凝土连续箱梁的跨径组成为 $(45 + 2 \times 60 + 45) \text{ m}$ 。已知 60m 跨径的箱梁跨中截面由恒载作用(包括箱梁自重和二期恒载)产生的弯矩标准值为 $M_{G1k} = 32\,245.17 \text{ kN} \cdot \text{m}$;由于基础变位作用产生的弯矩标准值为 $M_{G2k} = 47.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$;混凝土收缩和徐变作用产生的弯矩标准值为 $M_{G3k} = 6\,667.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$;预加力作用产生的弯矩标准值为 $M_{G4k} = -15\,293.01 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。由汽车荷载作用产生的弯矩标准值(已计入冲击系数 $\mu = 0.1557$)为 $M_{Q1k} = 14\,406.58 \text{ kN} \cdot \text{m}$;梯度温度作用产生的弯矩标准值为 $M_{Q2k} = 13\,234.77 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

试进行该跨箱梁跨中截面的作用效应组合计算。

解:1)按承载能力极限状态设计时的作用效应基本组合

按桥梁结构的安全等级为一级,取桥梁结构重要性系数为 $\gamma_0 = 1.1$ 。

永久作用效应的分项系数依表 1-1 取用。对箱梁跨中截面,恒载作用对结构承载力不利,故取分项系数 $\gamma_{G1}=1.2$;预应力混凝土结构因基础变位作用的效应分项系数 $\gamma_{G2}=0.5$;混凝土收缩和徐变作用的效应分项系数取 $\gamma_{G3}=1.0$;预加力作用产生的弯矩对跨中截面承载力有利,故取 $\gamma_{G4}=1.0$ 。

可变作用效应有汽车荷载作用效应和梯度温度作用效应。由已知条件可知,汽车荷载作用效应较大,故汽车荷载作用效应分项系数取 $\gamma_{Q1}=1.4$;同时,依式(1-1),取梯度温度作用效应分项系数 $\gamma_{Q2}=1.4$ 。

在作用效应组合中除汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)外的其他可变作用效应的组合系数,依式(1-1),可取梯度温度作用效应的组合系数 $\psi_c=0.80$ 。

箱梁跨中截面弯矩基本组合设计值为

$$\begin{aligned} \gamma_0 M_d &= \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} S_{Gik} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} S_{Qjk} \right) \\ &= 1.1 \times (1.2M_{G1k} + 0.5M_{G2k} + 1.0M_{G3k} + 1.0M_{G4k} + 1.4M_{Q1k} + 0.8 \times 1.4M_{Q2k}) \\ &= 1.1 \times [1.2 \times 32\,245.17 + 0.5 \times 47.9 + 1.0 \times 6\,667.6 + 1.0 \times (-15\,293.01) + \\ &\quad 1.4 \times 14\,406.58 + 0.8 \times 1.4 \times 13\,234.77] \\ &= 71\,593.39 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

2) 作用短期效应组合

不计冲击作用的汽车荷载作用的弯矩标准值为

$$M_{Q1k} = 14\,406.58 / (1 + 0.1557) = 12\,465.67 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

根据式(1-2),可变作用效应的频遇值系数分别取用为汽车荷载作用 $\psi_{11}=0.7$,梯度温度作用 $\psi_{12}=0.8$ 。则由式(1-2)得箱梁跨中截面作用短期效应组合设计值 M_{sd} 为

$$\begin{aligned} M_{sd} &= \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \sum_{j=1}^n \psi_{1j} S_{Qjk} \\ &= (M_{G1k} + M_{G2k} + M_{G3k} + M_{G4k}) + (0.7M_{Q1k} + 0.8M_{Q2k}) \\ &= (32\,245.17 + 47.9 + 6\,667.6 - 15\,293.01) + (0.7 \times 14\,406.58 + 0.8 \times 13\,234.77) \\ &= 44\,340.08 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

3) 作用长期效应组合设计值

不计冲击系数的汽车荷载作用的弯矩标准值 $M_{Q1} = 12\,465.67 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。根据式(1-3),可变作用效应的准永久值系数分别取用为汽车荷载作用 $\psi_{11}=0.4$,梯度温度作用 $\psi_{12}=0.8$ 。则由式(1-3)得箱梁跨中截面作用长期效应组合设计值 M_{ld} 为

$$\begin{aligned} M_{ld} &= \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} S_{Qjk} \\ &= (M_{G1k} + M_{G2k} + M_{G3k} + M_{G4k}) + (0.4M_{Q1k} + 0.8M_{Q2k}) \\ &= (32\,245.17 + 47.9 + 6\,667.6 - 15\,293.01) + (0.4 \times 14\,406.58 + 0.8 \times 13\,234.77) \\ &= 40\,018.108 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

例 1-4 主孔净跨径为 60m 的等截面悬链线空腹式无铰拱桥的拱圈为砂浆砌粗料石板拱,截面宽 9m,高 1.15m。在拱圈的拱顶截面上,由荷载作用在单位拱圈宽度上产生的效应标准值见表 1-2,在表 1-2 中,正值表示正弯矩和轴向压力;负值表示负弯矩和轴力。试求其基本组合设计值。

拱顶截面荷载作用效应标准值

表 1-2

荷载(作用)	最大弯矩(kN·m)	相应的轴向力(kN)
恒载	91.05	2430.72
人群	16.81	9.18
汽车	160.13	87.46
温度下降	34.37	-10.41

解:无铰拱桥的圬工结构主拱圈在荷载作用下,拱顶截面同时存在弯矩和轴向力这两种作用效应。本算例是拱顶截面以最大弯矩和相应轴向力进行基本组合设计值之一进行计算的示例。

1) 弯矩组合设计值

$$\begin{aligned}
 \gamma_0 M_d &= \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} S_{Gi} + \gamma_{Q1} S_{Q1} + \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} S_{Qj} \right) \\
 &= 1.0 \times [1.2M_{G1k} + 1.4M_{Q1k} + 0.7(1.4M_{Q2k} + 1.4M_{Q3k})] \\
 &= 1.0 \times [(1.2 \times 91.05) + (1.4 \times 160.13) + 0.7 \times (1.4 \times 16.81 + 1.4 \times 34.37)] \\
 &= 383.60 \text{ kN} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

计算中取结构安全等级为二级, $\gamma_0 = 1.0$ 。在作用中除汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)以外的其他可变作用效应的组合系数 ψ_c 的取值,因除汽车荷载外尚有人群荷载和温度作用这两种可变作用参与组合,故取 $\psi_c = 0.70$ 。

2) 相应的轴向力组合设计值

$$\begin{aligned}
 \gamma_0 N_d &= \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} S_{Gi} + \gamma_{Q1} S_{Q1} + \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} S_{Qj} \right) \\
 &= 1.0 \times [1.2N_{G1k} + 1.4N_{Q1k} + 0.7(1.4N_{Q2k} + 1.4N_{Q3k})] \\
 &= 1.0 \times \{(1.2 \times 2430.72) + (1.4 \times 9.18) + 0.7[1.4 \times 9.18 + 1.4 \times (-10.41)]\} \\
 &= 2928.51 \text{ kN} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

故对表 1-2 所列拱顶截面荷载作用效应标准值得到其基本组合设计值为 $\gamma_0 M_d = 383.60 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 相应的 $\gamma_0 N_d = 2928.51 \text{ kN}$ 。

习 题

题 1-1 钢筋混凝土梁的支点截面处,结构重力产生的剪力标准值 $V_{Gk} = 235.8 \text{ kN}$;汽车荷载产生的剪力标准值 $V_{Q1k} = 331.0 \text{ kN}$,冲击系数 $\mu = 0.191$;人群荷载产生的剪力标准值 $V_{Q2k} = 49.8 \text{ kN}$;梯度温度作用产生的剪力标准值 $V_{Q3k} = 33.4 \text{ kN}$ 。试计算正常使用极限状态设计时的作用效应组合。