钢筋混凝土结构

主编　章劲松

合肥工業大學出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

章劲松　主　编

钢筋混凝土结构

合肥工业大学出版社

内容提要

《钢筋混凝土结构》是依据交通土建高职高专《结构设计原理》课程的教学要求编写的。主要介绍了钢筋混凝土受弯构件、受压构件、预应力混凝土受弯构件、圬工结构构件的设计计算方法，包括截面尺寸的选择、配筋及构造。

本书可作为高职道路桥梁工程技术、土木检测工程技术、公路监理、地下工程与桥梁隧道工程技术、高等级公路维护与管理等专业教材，亦可供中职有关专业教学使用，同时可供从事公路与桥梁工程设计、施工人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢筋混凝土结构 / 章劲松主编．—合肥：合肥工业大学出版社，2012.8

ISBN 978-7-5650-0890-0

Ⅰ.①钢… Ⅱ.①章… Ⅲ.①钢筋混凝土—结构—设计 Ⅳ.①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 193067 号

钢筋混凝土结构

主　编　章劲松　　责任编辑　张择瑞

出　版	合肥工业大学出版社	版　次	2012 年 8 月第 1 版
地　址	合肥市屯溪路 193 号	印　次	2012 年 8 月第 1 次印刷
邮　编	230009	开　本	787 毫米×1092 毫米　1/16
电　话	综合图书编辑部：0551-2903204	印　张	13.5
	市场营销部：　0551-2903198	字　数	354 千字
网　址	www.hfutpress.com.cn	印　刷	合肥星光印务有限责任公司
E-mail	hfutpress@163.com	发　行	全国新华书店

主编热线　13855184668　　责编信箱/热线　zrsg2020@163.com　13965102038

ISBN 978-7-5650-0890-0　　定价：33.00 元

前　言

2010年，安徽交通职业技术学院被教育部财政部列为100所“国家示范性高等职业院校建设计划”骨干高职院校项目建设单位之一，课程改革与建设正逐步深入推进，本教材作为省级精品课程《钢筋混凝土结构》的配套成果进行了开发。

本教材依据交通运输部颁布的交通行业标准《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)、《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)和《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)等，以众多的《结构设计原理》教材为基础，以“工学结合”教学理念为指导，改变了原有教材的编写模式，将章节改为“项目—任务”的形式，针对任务的内容，指出了任务的知识点，同步列举了的计算示例，并附有学习实践进行强化训练，体现了“教、学、做”一体的特色。

本教材共分5个项目进行讲授。项目1为基础知识，主要介绍了课程学习内容、我国现行公路桥涵设计规范的设计原则、钢筋混凝土结构的基本概念及材料要求；项目2为钢筋混凝土受弯构件，主要介绍了受弯构件承载力计算、构造要求以及受弯构件的应力、裂缝与变形计算；项目3为钢筋混凝土受压构件，主要介绍了受压构件的承载力计算及构造要求；项目4为预应力混凝土结构，主要介绍了预应力混凝土结构的基本概念、受弯构件的设计计算方法及构造要求；项目5为圬工结构，主要介绍了圬工结构的基本概念及构件的承载力计算。

教师在使用此教材时，可根据具体情况选择教学内容。本教材配套开发了教学整体实施计划、单元实施计划，供教师在编写授课计划时参考。

项目1、2由章劲松、沈晓燕编写，项目3由韩彰、汪伟伟编写，项目4由吴跃梓编写，项目5由吴智慧编写；本教材由韩彰、吴智慧统稿。本教材特邀合肥工业大学王建国教授担任主审。王建国教授对本教材进行了认真、详细的审核，并提出了许多宝贵的修改意见，在此深表谢意。

对本教材尚存在的错误和缺点，恳请读者批评指正。

课程组

2012年8月

目　录

学习项目1　基础知识

任务1－1　课程介绍

【学习目标】

通过本任务的学习，要求学生熟悉以下内容：

1. 了解各种工程结构的特点和使用范围。

2. 了解学习本课程应注意的一些问题和方法。

【学习内容】

所谓结构，就是构造物的承重骨架组成部分的统称。构造物的结构是由若干基本构件连接而成的。如桥梁结构是由桥面板、主梁、横梁、墩台、拱、索等基本构件所组成。这些构件的形式虽然多种多样，但按其主要受力特点可分为受弯构件、受压构件、受拉构件和受扭构件等典型的基本构件。

在实际工程中，结构及基本构件都是由建筑材料制作成的。根据所使用的建筑材料不同，常用的结构一般可分为：混凝土结构（钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构）、砖石及混凝土砌体结构（又称圬工结构）、钢结构、木结构、钢-混凝土组合结构。

本课程主要介绍了钢筋混凝土、预应力混凝土、圬工砌体等结构基本构件的受力性能、截面设计、配筋计算及构造要求，是学习和掌握桥梁工程和其他道路人工构造物设计的基础。

一、各种工程结构的特点及使用范围

在学习本课程之前，有必要对本课程所涉及的各类结构有一个初步认识。

1. 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种材料组成的。钢筋是一种抗拉、抗压性能都很好的材料；混凝土材料具有较高的抗压强度，而抗拉强度很低。根据构件的受力情况，合理地配置钢筋可形成承载能力较强、刚度较大的结构构件。

钢筋混凝土结构的优点在于就地取材、耐久性较好、刚度大、可模性好等；其缺点在于，由于混凝土抗拉强度很低，构件抗裂性较差，同时由于构件尺寸大，造成自重大，跨越能力受到限制。

钢筋混凝土结构广泛用于房屋建筑、地下结构、桥梁、隧道、水利、港口等工程中。在公

路与城市道路工程、桥梁工程中，钢筋混凝土结构主要用于中小跨径桥梁、涵洞、挡土墙以及形状复杂的中、小型构件等。

2. 预应力混凝土结构

预应力混凝土结构由于在构件受荷之前预先对混凝土受拉区施加了适当的压应力，因而在正常使用条件下，可以人为地控制截面上的应力，从而延缓裂缝的产生和发展，且可利用高强度钢筋和高强度混凝土，因而可以减小构件截面尺寸，减轻构件自重，提高跨越能力。若预应力混凝土结构构件控制截面在使用阶段不出现拉应力，则在腐蚀性环境下可保护钢筋免受侵蚀，因此可用于海洋工程结构和有防渗透要求的结构。

预应力技术还可作为装配混凝土构件的一种可靠手段，能很好地将部件装配成整体结构，形成悬臂浇筑和悬臂拼装等不采用支架、不影响桥下通航的施工方法，在大跨经桥梁施工中获得广泛应用。

尽管预应力混凝土结构有上述优点，但由于高强度材料的单价高，施工的工序多，要求有经验、熟练的技术人员和技术工人施工，且要求较多严格的现场技术监督和检查，因此，不是在任何场合都可以用预应力混凝土来代替普通钢筋混凝土的，而是两者各有合理应用的范围。

3. 圬工结构

圬工结构是用胶结材料将砖、天然石料等块材按一定规则砌筑成整体的结构，其特点是材料易于就地取材。当块材采用天然石料时，则具有良好的耐久性。但是，圬工结构的自重一般较大，施工中机械化程度较低。

在公路与城市道路工程、桥梁工程中，圬工结构多用于中小跨径的拱桥、桥墩（台）、挡土墙、涵洞、道路护坡等工程中。

4. 钢结构

钢结构一般是由钢厂轧制的型钢或钢板通过焊接、铆钉或螺栓等连接而成的结构。钢结构由于钢材的强度很高，构件所需的截面积很小，故是自重较轻的结构；钢结构的可靠性高；其基本构件可在工厂中加工制作，机械化程度高；已预制的构件可在施工现场较快地装配连接，故施工效率较高。但相对于混凝土结构而言，钢结构造价较高，而且养护费用也高。

钢结构的应用范围很广，例如大跨径的钢桥、城市人行天桥、高层建筑、海洋钻井采油平台、钢屋架等。同时，钢结构还常用于钢支架、钢模板、钢围堰、钢挂篮等临时结构中。

此外，随着科学研究和生产的发展，在工程中还出现了多种组合结构和新型材料结构，例如，预应力混凝土组合梁、钢-混凝土组合梁、钢管混凝土结构、FRP-混凝土组合结构及FRP结构等。组合结构是利用具有各自材料特点的部件，通过可靠的措施使之形成整体受力的构件，从而获得更好的工程效果，因而日益得到广泛应用；FRP是纤维增强聚合物（Fiber Reinforced Polymer）的简称，具有轻质、高强、耐腐蚀等优良性能，近几年来在一些特殊环境条件下FRP结构日益得到应用。

二、学习本课程应注意的问题

通过本课程的学习，应掌握工程结构基本构件的力学性能、设计计算方法及构造要求。

为此，应从以下几个方面予以注意：

1. 逐步培养“工程思维”方式。

本课程是一门重要的专业技术基础课，是从基础课程如《材料力学》、《结构力学》和《建筑材料》等，到专业课程如《桥梁工程》、《桥涵施工技术》等的纽带，不能用以往学习数学、力学的方法来学习这门课程。在这门课程中，将遇到许多非纯理论性问题，比如某一计算公式，并非由理论推导而来，而可能是以经验、试验为基础得到的；对某一问题的解答，可能并无唯一性，而只存在合理性、经济性；构造方面可能比理论计算更加重要；设计过程往往是一个多次反复的过程等等。这就是说，专业课、技术基础课与基础课有各自的特点，不能照搬固有的思维模式。

2. 本课程的重要内容是桥涵结构构件设计。

桥涵结构设计应遵循技术先进、安全可靠、耐久适用和经济合理的原则。它涉及方案比较、材料选择、构件选型及合理布置等多方面，是一个多因素的综合性问题。设计结果是否满足要求，主要是看是否符合设计规范要求，并且满足经济性和施工可行性等。

3. 在学习本课程中要学会应用设计规范。

设计规范是国家颁布的关于设计计算和构造要求的技术规定和标准，是具有一定约束性和技术法规性的文件。目前我国交通运输部颁布使用的公路桥涵设计规范有：《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)、《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61 — 2005)和《公路桥涵钢结构和木结构设计规范》(JTJ 025—86)等。本书中关于基本构件的设计原则、计算公式、计算方法及构造要求均参照上述设计规范编写。为了表达方便，在本书中将上述设计规范统称为《公桥规》。

由于科学技术水平和工程实践经验是不断发展和积累的，设计规范也必然要不断进行修改和增订，才能适应指导设计工作的需要。因此，在学习本课程时，应掌握各种基本构件的受力性能、强度和变形的变化规律，从而能对目前设计规范的条文概念和实质有正确理解，对计算方法能正确应用，这样才能适应今后设计规范的发展，不断提高自身的设计水平。

【学习实践】

1. 请大家通过信息搜索，提交有关土木工程结构的介绍(PPT 制作)，内容包括：代表性照片、结构名称、结构建造年代、结构用途、结构受力性能、结构使用材料、施工技术、社会意义，等等。

2. 请大家查找与桥涵设计、施工等有关的规范及技术标准，初步了解其主要内容。

【学习心得】

通过本任务的学习，我的体会有……

……

……

……

……。

任务 1－2　结构按照极限状态设计的方法

【学习目标】

通过本任务的学习，要求学生熟悉以下内容：

1. 了解结构的功能性要求。

2. 掌握极限状态的定义、分类；掌握作用的定义、分类、代表值、作用效应的组合。

3. 掌握结构按照极限状态设计计算的基本原则。

【学习内容】

一、结构的功能要求

结构设计的目的，就是要使所设计的结构，在规定的时间内能够在具有足够可靠性的前提下，完成预定功能的要求。结构的功能是由其使用要求决定的，具体有如下三个方面：

(1)安全性：结构能承受正常施工和正常使用期间可能出现的各种荷载、外加变形、约束变形等的作用，以及在偶然荷载(如强风、地震)作用下或偶然事件(如爆炸)发生时和发生后，仍能保持整体稳定性，不会因为产生局部的损坏而导致发生连续倒塌。

(2)适用性：结构在正常使用条件下具有良好的工作性能，不出现过大的变形、振动或局部损坏等。

(3)耐久性：在正常使用和正常维护条件下，在规定的时间内，具有足够的耐久性能，不出现过大的裂缝宽度，不发生由于混凝土保护层碳化导致钢筋的锈蚀等。

二、结构的可靠性与可靠度

结构的安全性、适用性和耐久性总称为结构的可靠性。

结构可靠是指结构在规定时间内，在规定条件下，完成预定功能的能力。

结构的可靠度是结构可靠性的概率度量，即对结构可靠性的数量描述，其中安全性的数量描述称为安全度。因此，可靠度比安全度的含义更广泛，更能反映结构的可靠程度。

三、结构的极限状态

结构在使用期间的工作情况，称为结构的工作状态。

结构能够满足各项功能要求而良好地工作，称为结构“可靠”；反之则称结构“失效”。结构工作状态是处于可靠还是失效的标志用“极限状态”来衡量。

所有结构或构件中都存在两个对立的方面：作用效应 S 和结构抗力 R。因此，极限状态方程可写作：$Z=g(R,S)=R-S=0$。

当整个结构或结构的一部分超过某一特定状态而不能满足设计规定的某一功能要求时，则此特定状态称为该功能的极限状态。对于结构的各种极限状态，均应规定明确的标志和限值。

国际标准化组织(ISO)和我国各专业颁布的统一标准将结构的极限状态分为如下两大类:承载能力极限状态和正常使用极限状态。

1. 承载能力极限状态

针对安全性而言,如整个结构或结构的一部分作为刚体失去稳定;结构构件或连接因材料强度不够而破坏;结构转变为机动体系;构或结构构件丧失稳定等。

2. 正常使用极限状态

针对适用性和耐久性而言,如出现影响正常使用或外观的变形;影响正常使用或耐久性的局部损坏;影响正常使用的振动。

四、设计状况

以上两类极限状态作为设计的要求,应视结构所处状况灵活地对待。

设计状况是结构从施工到使用的全过程中,代表一定时段的一组物理条件,设计时必须做到使结构在该时段内不超越有关极限状态。按照《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283 — 1999)的要求并与国际标准衔接,《公桥规》根据桥涵在施工和使用过程中面临的不同情况,规定了结构设计的三种状况:持久状况、短暂状况和偶然状况。

1. 持久状况

指桥涵建成后承受自重、车辆荷载等作用持续时间很长的状况。该状况是指桥涵的使用阶段。这个阶段持续的时间很长,结构可能承受的作用(或荷载)在设计时均需考虑,需接受结构是否能完成其预定功能的考验,因而必须进行承载能力极限状态和正常使用极限状态计算。

2. 短暂状况

指桥涵施工过程中承受临时性作用(或荷载)的状况。短暂状况所对应的是桥涵的施工阶段。这个阶段的持续时间相对于使用阶段是短暂的,结构体系、结构所承受的荷载与使用阶段也不同,设计时要根据具体情况而定。因为这个阶段是短暂的,一般只进行承载能力极限状态计算,必要时才作正常使用极限状态计算。

3. 偶然状况

指桥涵使用过程中偶然出现的状况。偶然状况是指桥涵可能遇到的地震等作用的状况。这种状况出现的概率很小,且持续时间极短,结构在极短的时间内承受的作用以及结构可靠度水平在设计中都需要特殊考虑。显然,偶然状况只需要承载能力极限状态计算,不必考虑正常使用极限状态计算。

五、安全等级

按照《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283—1999)的规定,公路桥涵进行持久状况承载能力极限状态设计时为使桥涵具有足够的安全性,应根据桥涵结构破坏所产生后果的严重程度,按表 1 - 2 - 1 划分的三个安全等级进行设计,以体现不同情况的桥涵的可靠度差异。在计算上,不同安全等级是用结构重要性系数 γ_0 来体现的。γ_0 的取值如表1 - 2 - 1所示。

表 1-2-1　公路桥涵结构的安全等级

设计安全等级	破坏后果	桥涵结构	结构重要性系数 γ_0
一级	很严重	特大桥、重要大桥	1.1
二级	严重	大桥、中桥、重要小桥	1.0
三级	不严重	小桥、涵洞	0.9

上表所列特大、大、中桥等系按表 1-2-2 中的单孔跨径确定，对多跨不等跨桥梁，以其中最大跨径为准；表中冠以“重要”的大桥和小桥，系指高速公路上、国防公路上及城市附近交通繁忙的城郊公路上的桥梁。

表 1-2-2　桥梁涵洞分类

桥涵分类	多孔跨径总长 L(m)	单孔跨径 L_k(m)
特大桥	$L>1000$	$L_k>1000$
大桥	$100\leqslant L\leqslant 1000$	$40\leqslant L_k\leqslant 150$
中桥	$30<L<100$	$20\leqslant L_k<40$
小桥	$8\leqslant L\leqslant 30$	$5\leqslant L_k<20$
涵洞	—	$L_k<5$

在一般情况下，同一座桥梁的各种构件宜取一个设计安全等级，但对其中的个别构件，也允许在必要时做适当调整，但调整后的级差不应超过一个等级。

六、作用效应的计算

1. 作用的概念

施加在结构上的集中力或分布力，或引起结构外加变形或约束变形的原因，统称为作用。前者称直接作用，后者称间接作用。

直接作用习惯上又称荷载，它直接以力的不同集结形式作用于结构，如结构的自重、人群荷载、风荷载等。

间接作用不是直接以力的某种集结形式出现，而是引起结构外加变形、约束变形或振动，但也能对结构产生内力或变形等效应，如地震、基础沉降、温度变化等。

2. 作用的分类

(1)按时间的变异性和出现的可能性，可以分为三类。

①永久作用：在结构使用期间，其值不随时间变化，或其变化值与平均值相比可忽略不计的作用。

②可变作用：在结构使用期间，其值随时间变化，或其变化值与平均值相比不可以忽略的作用。

③偶然作用：在结构使用期间，出现的概率很小，但一旦出现，其值很大且持续时间很短的作用。

公路桥涵结构上的作用类型采用上述分类法，如表 1-2-3 所列。

(2)按空间位置的变异性，可以分为两类。

①固定作用：在结构空间位置上具有固定位置的作用。

②自由作用：在结构空间一定范围内可以改变位置的作用。

(3)按结构的反应，可以分为两类。

①静态作用：在结构上不产生加速度或产生加速度可忽略不计的作用。

②动态作用：在结构上产生不可忽略的加速度的作用。

表 1-2-3　作用分类

编号	作用分类	作用名称	编号	作用分类	作用名称
1	永久作用	结构重力(包括结构附加重力)	12	可变作用	人群荷载
2		预加力	13		汽车制动力
3		土的重力	14		风荷载
4		土侧压力	15		流水压力
5		混凝土收缩及徐变作用	16		冰压力
6		水的浮力	17		温度(均匀温度和梯度温度)作用
7		基础变位作用	18		支座摩阻力
8	可变作用	汽车荷载	19	偶然作用	地震作用
9		汽车冲击力	20		船舶或漂流物的撞击作用
10		汽车离心力	21		汽车撞击作用
11		汽车引起的土侧压力			

3. 作用的代表值

公路桥涵设计计算时，针对不同的设计目的所采用的各种作用规定值称为作用代表值。它包括作用的标准值、频遇值和准永久值。

(1)永久作用标准值

它是各种作用的基本代表值。按下列规定取用：

①永久作用的标准值，对于结构自重(包括结构附加重力)，可按结构构件尺寸与材料重力密度计算确定。

②可变作用的标准值应按《公桥规》中的有关规定采用。

③偶然作用的标准值应根据调查、试验资料，结合工程经验确定。

(2)可变作用标准值

在结构构件按正常使用极限状态短期效应组合设计时，可变作用采用的一种代表值。频遇值的大小为可变作用的标准值乘以频遇值系数 ψ_1。

(3)偶然作用标准值

在结构构件按正常使用极限状态长期效应组合设计时，可变作用采用的一种代表值。准永久值的大小为可变作用的标准值乘以准永久值系数 ψ_2。

4. 作用效应组合

上述的各种作用不会在同样条件下同时出现在桥涵结构上，发生的几率也不尽相同。

因此，公路桥涵结构在设计计算时应考虑可能同时出现的作用，按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行组合，取其最不利效应组合进行设计。

(1)承载能力极限状态计算时作用效应组合

《公桥规》规定按承载能力极限状态设计时，应根据各自的情况选用基本组合和偶然组合中的一种或两种作用效应组合。

①基本组合

永久作用设计值效应与可变作用设计值效应相组合，其效应组合表达式为

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

式中：S_d——作用效应基本组合设计值；

γ_0——结构重要性系数，按表 1-2-1 规定的结构设计安全等级采用，对应于设计安全等级一级、二级和三级分别取 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(结构重力和预加力作用)对结构承载力不利时，$\gamma_{Gi}=1.2$；对结构的承载力有利时，$\gamma_{Gi}=1.0$，其他永久作用效应的分项系数详见《公桥规》；

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，取 $\gamma_{Q1}=1.4$；当某个可变作用在效应组合中超过汽车荷载，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)的组合系数取 $\psi_c=0.80$；当除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)外尚有两种可变作用参与组合时，其组合系数取 $\psi_c=0.70$；尚有三种可变作用参与组合时，其组合系数取 $\psi_c=0.60$；尚有四种及多于四种的可变作用参与组合时，取$\psi_c=0.50$。

②偶然组合

永久作用标准值效应与可变作用某种代表值效应、一种偶然作用标准值效应相组合。偶然作用的效应分项系数取 1.0，与偶然作用同时出现的可变作用，可根据观测资料和工程经验取用适当的代表值，地震作用标准值及其表达式按《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/TB02—01—2008)规定采用。

(2)正常使用极限状态计算时作用效应组合

《公桥规》规定按正常使用极限状态设计时，应根据不同结构不同的设计要求，采用以下一种或两种效应组合。

①短期效应组合

永久作用标准值效应与可变作用频遇值效应相组合，其效应组合表达式为

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

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）$\psi_1=07$，人群荷载 $\psi_1=1.0$，风荷载 $\psi_1=0.75$，温度梯度作用 $\psi_1=0.8$，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。

②长期效应组合

永久作用标准值效应与可变作用准永久值效应相组合，其效应组合表达式为

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

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 $\psi_2=0.75$，温度梯度作用 $\psi_2=0.8$，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。

【计算示例】

【例 1-1】 钢筋混凝土简支梁桥主梁在结构重力、汽车荷载和人群荷载作用下，分别得到在跨中截面的弯矩标准值：结构重力产生的弯矩为 $M_{Gk}=552$ kN·m；汽车荷载弯矩（已经计入冲击系数 0.191）$M_{Q1k}=459.7$ kN·m；人群荷载弯矩 $M_{Q2k}=40.6$ kN·m，安全等级为二级。请进行作用效应组合计算。

【解题过程】

1. 承载能力极限状态设计时作用效应的基本组合

安全等级为二级，取结构重要性系数为 $\gamma_0=1.0$。永久作用效应对结构承载力不利，故取永久作用效应的分项系数 $\gamma_{G1}=1.2$。汽车荷载效应的分项系数 $\gamma_{Q1}=1.4$。对于人群荷载，其他可变作用的分项系数 $\gamma_{Q2}=1.4$。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 $\psi_c=0.80$。

$$\begin{aligned}\gamma_0M_d&=\gamma_0\left(\sum_{i=1}^{m}\gamma_{Gi}M_{Gik}+\gamma_{Q1}M_{Q1k}+\psi_c\sum_{j=2}^{n}\gamma_{Qj}M_{Qjk}\right)\\&=1.0\times(1.2\times552+1.4\times459.7+0.8\times1.4\times40.6)\\&=1351.45\ (\text{kN}\cdot\text{m})\end{aligned}$$

2. 正常使用极限状态设计时作用效应组合

(1)作用短期效应组合

根据《公桥规》规定，汽车荷载作用效应应不计入冲击系数，汽车荷载频遇值系数 $\psi_{11}=0.7$，人群荷载频遇值系数 $\psi_{12}=1.0$。

$$
\begin{aligned}
M_{sd} &= \sum_{i=1}^{m} M_{Gik} + \sum_{j=1}^{n} \psi_{1j} M_{Qjk} \\
&= 552 + 0.7 \times 459.7/1.191 + 1.0 \times 40.6 \\
&= 862.79\ (\mathrm{kN \cdot m})
\end{aligned}
$$

(2)作用长期效应组合

汽车荷载准永久值系数 $\psi_{21}=0.4$，人群荷载准永久值系数 $\psi_{22}=0.4$。

$$
\begin{aligned}
M_{ld} &= \sum_{i=1}^{m} M_{Gik} + \sum_{j=1}^{n} \psi_{2j} M_{Qjk} \\
&= 552 + 0.4 \times 459.7/1.191 + 0.4 \times 40.6 \\
&= 722.63\ (\mathrm{kN \cdot m})
\end{aligned}
$$

5. 极限状态设计计算原则

(1)承载能力极限状态计算原则

《公桥规》规定公路桥涵结构承载能力极限状态的计算，以塑性理论为基础，设计的原则是作用效应最不利组合(基本组合)的设计值必须小于或等于结构抗力的设计值。其基本表达式为

$$\gamma_0 S_d \leqslant R = R(f_d, a_d) \tag{1-2-4}$$

式中：γ_0——桥梁结构的重要性系数，按表 1-2-1 取用；

S_d——作用(或荷载)效应(其中汽车荷载应计入冲击系数)的基本组合设计值；

R——构件承载力设计值；

f_d——材料强度设计值；

a_d——几何参数设计值，当无可靠数据时，可采用几何参数标准值 a_k，即设计文件规定值。

(2)正常使用极限状态计算原则

《公桥规》规定公路桥涵结构正常使用极限状态的计算，以弹性理论或弹塑性理论为基础，采用作用(或荷载)的短期效应组合、长期效应组合或短期效应组合并考虑长期效应组合的影响，对构件的抗裂、裂缝宽度和挠度进行验算，并使各项计算值不超过《公桥规》规定的各相应限值。在上述各种组合中，汽车荷载效应不计冲击系数。

【学习实践】

1. 结构的功能包括哪几个方面的内容？何谓结构的可靠性？

2. 什么叫极限状态？我国《公桥规》规定了哪两类极限状态？

3. 试解释以下名词：作用、直接作用、作用效应、抗力。

4. 《公桥规》把作用分成几类？如何理解作用的代表值？

5. 何谓结构的耐久性？影响结构耐久性的因素有哪些？

6. 钢筋混凝土简支梁支点截面处，在结构重力、汽车荷载、人群荷载和温度梯度作用下，分别得到剪力标准值为：结构重力 $V_{Gk}=187.01$ kN；汽车荷载(未计入冲击系数 0.19) $V_{Q1k}=261.76$ kN；人群荷载 $V_{Q2k}=57.2$ kN，温度梯度作用 $V_{Q3k}=41.5$ kN。安全等级为二

级。试进行承载能力极限状态和正常使用极限状态时作用效应组合计算。

【实践过程】

【学习心得】

通过本任务的学习，我的体会有……。