

Chengshi Qiaoliang
Kangzhen Sheji Suanli

城市桥梁 抗震设计算例

周 良 李建中 著



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

● Chengshi Qiaoliang
Kangzhen Sheji Suanli

● ● ● ●

城市桥梁 抗震设计算例

● ● ● ● 周 良 李建中 著



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

内 容 提 要

本书以我国《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)颁布为背景,介绍了典型规则桥梁、非规则桥梁、曲线桥梁、大跨径连续梁桥和减隔震桥梁抗震设计算例。

本书可供从事桥梁结构设计的工程技术人员参考使用,也可供大专院校土木工程专业的学生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市桥梁抗震设计算例 / 周良, 李建中著. — 北京:
人民交通出版社股份有限公司, 2017.9

ISBN 978-7-114-14071-6

I. ①城… II. ①周… ②李… III. ①城市桥—桥梁
设计—防震设计 IV. ①U448.15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 191335 号

书 名: 城市桥梁抗震设计算例

著 作 者: 周 良 李建中

责任编辑: 曲 乐 卢俊丽

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: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 720×960 1/16

印 张: 10.25

字 数: 179 千

版 次: 2017 年 9 月 第 1 版

印 次: 2017 年 9 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14071-6

定 价: 49.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前言

近三十余年,全球发生了许多次大地震,造成了非常惨重的生命财产损失。在这几次大地震中,由于桥梁工程遭到严重破坏,切断了震区交通生命线,给救灾工作造成巨大困难,使次生灾害加重,导致了巨大的经济损失。大地震一再显示了桥梁工程破坏的严重后果,反映出桥梁结构地震的易损性。

自1976年唐山地震以后,我国开始系统地开展桥梁抗震研究,在1989年颁布了《公路工程抗震设计规范》(JTJ 004—89),2008年颁布了《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01—2008),2010年颁布了《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)。与《公路工程抗震设计规范》(JTJ 004—89)相比较,《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)取消了综合影响系数,修订了相应的设防标准和设防目标,采用了两水平设防、两阶段设计的抗震设计思想;增加了抗震分析建模原则和抗震分析方法等有关规定,补充了桥梁延性抗震设计和能力保护原则的有关规定,增加了延性构造细节设计的有关规定。

为了使广大桥梁工程技术人员熟悉应用《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)进行抗震设计,上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司(简称上海城建总院)和同济大学作为该规范的编制单位,特编写城市桥梁抗震设计算例。

全书共有六章。第1章 城市桥梁抗震设计规范介绍,由上海城建总院的周良,闫兴非,朱敏负责撰写;第2章 规则桥梁抗震设计算例,由上海城建

总院的周良,闫兴非,张涛负责撰写;第3章 非规则桥梁抗震设计算例,由上海城建总院的周良,张涛,张凯龙负责撰写;第4章 曲线桥梁抗震设计算例,由同济大学的李建中,管仲国,项乃亮负责撰写;第5章 大跨径连续梁桥抗震设计算例,由同济大学的李建中,管仲国,项乃亮负责撰写;第6章 减隔震桥梁设计算例,由同济大学的李建中,管仲国,项乃亮负责撰写。

著 者

2017年4月

目 录

第 1 章 城市桥梁抗震设计规范介绍	1
1.1 概述	1
1.2 城市桥梁抗震设防标准与地震动输入	1
1.3 桥梁抗震设计的基本要求	5
1.4 抗震设计流程	9
第 2 章 规则桥梁抗震设计算例	13
2.1 概述	13
2.2 工程概况与地震动输入	13
2.3 计算模型与动力特性	16
2.4 E1 地震作用下地震反应分析与抗震验算	23
2.5 E2 地震作用下地震反应分析与抗震验算	28
第 3 章 非规则桥梁抗震设计算例	47
3.1 概述	47
3.2 工程概况与地震动输入	47
3.3 计算模型与动力特性	50
3.4 E1 地震作用下地震反应分析与抗震验算	55
3.5 E2 地震作用下延性构件地震位移反应与抗震验算	59
3.6 能力保护构件计算与验算	63
第 4 章 曲线桥梁抗震设计算例	75
4.1 概述	75

4.2	工程概况与地震动输入	75
4.3	计算模型与动力特性	82
4.4	E1 地震反应分析与抗震验算	88
4.5	E2 地震作用下地震反应与抗震验算	90
4.6	其他构件计算与验算	91
第5章	大跨径连续梁桥抗震设计算例	100
5.1	概述	100
5.2	工程概况与地震动输入	100
5.3	计算模型与动力特性	106
5.4	E1 地震作用下地震反应分析与抗震验算	112
5.5	E2 地震作用下延性构件地震位移反应与抗震验算	114
5.6	能力保护构件计算与验算	117
第6章	减隔震桥梁设计算例	125
6.1	概述	125
6.2	工程概况与地震动输入	125
6.3	计算模型及换算质量	130
6.4	基于反应谱方法的地震反应分析	134
6.5	E2 基于非线性时程的地震反应分析与抗震验算	146
	参考文献	156

第1章 城市桥梁抗震设计规范介绍

1.1 概述

近三十余年,全球发生了许多次大地震,造成了非常惨重的生命财产损失。在几次大地震中,由于桥梁工程遭到严重破坏,切断了震区交通生命线,给救灾工作造成巨大困难,使次生灾害加重,导致了巨大的经济损失。这几次大地震一再显示了桥梁工程破坏的严重后果,反映出桥梁结构地震的易损性。

自1976年唐山地震以后,我国开始系统地开展桥梁抗震研究,在1989年颁布了《公路工程抗震设计规范》(JTJ 004—1989),并于2008年颁布了《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01—2008),2010年颁布了《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)。与《公路工程抗震设计规范》(JTJ 004—1989)相比较,《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)取消了综合影响系数,修订了相应的设防标准和设防目标,采用了两水平设防、两阶段设计的抗震设计思想;增加了抗震分析建模原则和抗震分析方法等有关规定,补充了桥梁延性抗震设计和能力保护原则的有关规定,增加了延性构造细节设计的有关规定。本章主要对《城市桥梁抗震规范》(CJJ 166—2011)进行简单介绍。

1.2 城市桥梁抗震设防标准与地震动输入

最近十余年,地球上发生的多次地震对桥梁抗震设计理论产生了巨大的影响。历次大地震的震害教训使得各国政府越来越重视桥梁抗震问题,最近几年来,通过对桥梁震害的认识,国外桥梁抗震设计规范和设计方法一直在不断改进,多级抗震设防原则已被许多国家的桥梁抗震设计规范所采用。参考国内外最新研究成果,我国《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)在划分城市桥梁抗震设防分类的基础上,针对各类桥梁的特点,采用E1和E2地震作用,两水平地震设防、两阶段抗震设计,具体如下:

1.2.1 抗震设防分类与性能要求

考虑到城市桥梁的重要性和在抗震救灾中的作用,本着确保重点和节约投资的原则,首先根据桥梁结构在城市交通网络中位置的重要性、承担的交通量和

桥梁结构本身的重要性,将城市桥梁分为甲、乙、丙和丁四个抗震设防类别,见表 1.2-1。其中甲类桥梁定义为悬索桥、斜拉桥和大跨度拱桥(跨径大于 150m 的拱桥定义为大跨度拱桥),此类桥梁承担交通量大,投资很大,而且在政治、经济上具有非常重要的地位;乙类桥梁为交通网络上枢纽位置的桥梁、快速路上的城市桥梁;丙类为城市主干路,轨道交通桥梁;丁类为除甲、乙、丙三类桥梁以外的其他桥梁。

城市桥梁抗震设防分类 表 1.2-1

设 防 等 级	分 类
甲	悬索桥、斜拉桥以及大跨度拱桥
乙	除甲类桥梁以外的位于交通网络中枢纽位置的桥梁和城市快速路上的桥梁
丙	城市主干路和轨道交通桥梁
丁	除甲、乙和丙三类桥梁以外的其他桥梁

根据城市桥梁抗震设防分类,各类城市桥梁在 E1 和 E2 地震作用下的性能要求为:①要求各类桥梁在 E1 地震作用下,基本无损伤,结构在弹性范围内工作,正常的交通在地震后立刻得以恢复。②在 E2 地震作用下,甲类桥梁可发生混凝土裂缝开裂过大,少量截面部分钢筋进入屈服等轻微损坏,地震后不需修复或经简单修复可继续使用;乙类桥梁可发生混凝土保护层脱落、结构发生弹塑性变形等可修复破坏,地震后数天内可恢复部分交通(可能发生车道减少或小规模的紧急交通管制),永久性修复后可恢复正常运营功能,具体如表 1.2-2 所示。

E1 和 E2 地震作用下城市桥梁抗震性能要求 表 1.2-2

桥梁类别	E1 地震作用		E2 地震作用	
	震后使用要求	损伤状态	震后使用要求	损伤状态
甲	立即使用	结构总体反应在弹性范围,基本无损伤	不需修复或经简单修复可继续使用	局部可发生可修复的损伤
乙	立即使用	结构总体反应在弹性范围,基本无损伤	经抢修可恢复使用,永久性修复后恢复正常运营功能	有限损伤
丙	立即使用	结构总体反应在弹性范围,基本无损伤	经临时加固,可供紧急救援车辆使用	不产生严重的结构损伤
丁	立即使用	结构总体反应在弹性范围,基本无损伤	—	不致倒塌

《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)对各类桥梁分别规定了 E1 和 E2 两级地震影响;对于甲类桥梁,E1 和 E2 地震动参数应按地震安全性评价结果取值,其他各类桥梁所在地区遭受的 E1 和 E2 地震影响,应根据现行《中国地震动参数区划图》的地震动峰值加速度、地震动反应谱特征周期以及表 1.2-3 给出的 E1 和 E2 地震调整系数来表征。

各类桥梁 E1 和 E2 地震调整系数

表 1.2-3

桥梁分类	E1 地震作用				E2 地震作用			
	6 度	7 度	8 度	9 度	6 度	7 度	8 度	9 度
乙类	0.61	0.61	0.61	0.61	—	2.2(2.05)	2.0(1.7)	1.55
丙类	0.46	0.46	0.46	0.46	—	2.2(2.05)	2.0(1.7)	1.55
丁类	0.35	0.35	0.35	0.35	—	—	—	—

甲类桥梁的 E1 和 E2 地震相应的地震重现期分别为 475 年和 2 500 年,乙、丙和丁类桥梁的 E1 地震作用是在《建筑结构抗震设计规范》(GB 50011—2010)中多遇地震(重现期 50 年)参数的基础上,分别乘以 1.7、1.3 和 1.0 的重要性系数,而 E2 地震作用直接采用《建筑结构抗震设计规范》(GB 50011—2010)中的罕遇地震(重现期 2 000 ~ 2 450 年)。

1.2.2 地震动输入

地震动输入是进行结构地震反应分析的依据。结构的地震反应以及破坏与否,除和结构的动力特性、弹塑性变形性质、变形能力有关外,还和地震动的特性(幅值、频谱特性和持续时间)密切相关。

一般桥梁工程的地震动输入,可以基于《中国地震动参数区划图》,直接根据《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)确定;而甲类桥梁的地震动输入,则应做专门的场地地震安全性评价,然后根据地震安全性评价报告来确定。桥址处地震基本烈度数值可由现行《中国地震动参数区划图》查取地震动峰值加速度,按表 1.2-4 确定。

地震基本烈度和地震动峰值加速度的对应关系

表 1.2-4

地震基本烈度	6 度	7 度	8 度	9 度
地震动峰值加速度	0.05g	0.10(0.15)g	0.20(0.30)g	0.40g

注:g 为重力加速度。

在确定性地震反应分析中,一般采用两种地震动输入,即地震加速度反应谱和地震动加速度时程。采用反应谱方法进行地震反应分析时,一般采用地震加速度反应谱作为地震输入;而采用动态时程法进行地震反应分析时,一般采用地

震动加速度时程作为地震输入。

(1) 设计加速度反应谱

我国《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)则采用了《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)相同的反应谱形式,有效周期成分至 6s,分别在 $T_g \sim 5T_g$ 区段和 $5T_g \sim 6s$ 区段采用不同的下降段,其水平设计加速度反应谱值 S (图 1.2-1)由下式确定:

$$S = \begin{cases} 10(\eta_2 - 0.45)S_{\max}T + 0.45S_{\max} & (0 < T \leq 0.1s) \\ \eta_2 S_{\max} & (0.1s < T \leq T_g) \\ \eta_2 S_{\max} \left(\frac{T_g}{T}\right)^\gamma & (T_g < T \leq 5T_g) \\ [\eta_2 0.2^\gamma - \eta_1(T - 5T_g)]S_{\max} & (5T_g < T \leq 6s) \end{cases} \quad (1.2-1)$$

式中: T_g ——特征周期,根据《中国地震动参数区划图》选取,其中计算 8 度、9 度 E2 地震作用时,特征周期宜增加 0.05s,如表 1.2-5 所示;

η_2 ——结构的阻尼调整系数,阻尼比为 0.05 时取 1.0,阻尼比不等于 0.05 时按式(1.2-2)计算;

γ —— $T_g \sim 5T_g$ 区段曲线衰减指数,阻尼比为 0.05 时取 0.9,阻尼比不等于 0.05 时按式(1.2-3)计算;

η_1 —— $5T_g \sim 6s$ 区段直线下降段下降斜率调整系数,阻尼比为 0.05 时取 0.02,阻尼比不等于 0.05 时按式(1.2-4)计算;

T ——结构自振周期;

$S_{\max}$ ——水平设计加速度反应谱最大值,按式(1.2-5)计算。

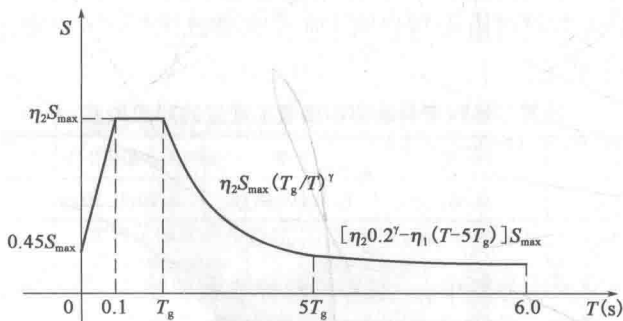


图 1.2-1 水平设计加速度反应谱

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.06 + 1.4\zeta} \quad (1.2-2)$$

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.5 + 5\zeta} \quad (1.2-3)$$

$$\eta_1 = 0.02 + (0.05 - \zeta)/8 \quad (1.2-4)$$

$$S_{\max} = 2.25A \quad (1.2-5)$$

式中: ζ ——结构实际阻尼比;

A ——E1 或 E2 地震作用下水平向地震动峰值加速度, 根据《中国地震动参数区划图》中桥址处的峰值加速度值乘以表 1.2-3 中各类桥梁 E1 和 E2 地震调整系数得到。

特 征 周 期 值 (s)

表 1.2-5

分 区	场 地 类 别			
	I	II	III	IV
1 区	0.25	0.35	0.45	0.65
2 区	0.30	0.40	0.55	0.75
3 区	0.35	0.45	0.65	0.90

竖向设计加速度反应谱可由水平向设计加速度反应谱乘以 0.65 得到。

(2) 设计地震动时程

已进行地震安全性评价的桥址, 设计地震动时程应根据地震安全性评价的结果确定, 未进行地震安全性评价的桥址, 可采用《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011) 中的加速度反应谱为目标拟合设计加速度时程; 也可选用与设定地震震级、距离、场地特性大体相近的实际地震动加速度记录, 通过时域方法调整, 使其加速度反应谱与《城市桥梁抗震规范》(CJJ 166—2011) 中设计加速度反应谱匹配。

在利用设计加速度时程进行时程分析时, 时程分析的最终结果, 当采用 3 组地震加速度时程计算时, 应取各组计算结果的最大值; 当采用 7 组及以上地震加速度时程计算时, 可取结果的平均值。

1.3 桥梁抗震设计的基本要求

1.3.1 抗震设计方法分类

为了更有效地进行城市桥梁抗震设计, 根据桥梁场地地震基本烈度和桥梁结构抗震设防分类, 对于乙、丙和丁类桥梁的抗震设计方法按表 1.3-1 分为 A、B

和 C 三类,其中:

(1) A 类:应进行 E1 和 E2 地震作用下的抗震分析和抗震验算,并应满足《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)3.4 节桥梁抗震体系以及相关构造和抗震措施的要求;

(2) B 类:应进行 E1 地震作用下的抗震分析和抗震验算;并应满足相关构造和抗震措施的要求;

(3) C 类:应满足相关构造和抗震措施的要求,不需进行抗震分析和抗震验算。

桥梁抗震设计方法类别

表 1.3-1

地震烈度	乙	丙	丁
6 度	B	C	C
7 度、8 度和 9 度地区	A	A	B

对于位于 6 度地区的普通桥梁,只需满足相关构造和抗震措施要求,不需进行抗震分析,称此类桥梁抗震设计方法为 C 类;对于位于 6 度地区的乙类桥梁,7 度、8 度和 9 度地区的丙类桥梁,仅要求进行 E1 地震作用下的抗震分析和抗震验算,并满足相关构造要求,这类抗震设计方法为 B 类;对于 7 度及 7 度以上的乙和丙类桥梁,要求进行 E1 和 E2 地震作用下的抗震分析和抗震验算,并满足结构抗震体系以及相关构造和抗震措施要求,此类抗震设计方法为 A 类。

1.3.2 桥梁抗震体系

合理的抗震结构体系有两个基本特征,一是传力路径不间断,二是桥梁保持整体性。为防止地震作用下桥梁结构整体倒塌破坏,切断震区交通生命线,要求桥梁结构抗震体系具有:①可靠和稳定地传递地震作用到地基的途径;②有效的位移约束,能可靠地控制结构地震位移,避免发生落梁破坏;③有明确、可靠、合理的地震能量耗散部位;④应避免因部分结构构件的破坏而导致整个结构丧失抗震能力或对重力荷载的承载能力。

桥梁结构的合理抗震体系一般有两种:一种是延性抗震体系,另一种是减隔震体系,如图 1.3-1 所示。本书对于延性抗震体系给出了详细的设计流程;对于减隔震体系,则采用单独的一个章节(第 6 章)对其设计原则进行相关阐述。在《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)中,对这两种体系则有明确的划分,分别定义为类型 I 和类型 II,分别对应延性抗震体系和减隔震体系。

对于延性抗震体系,主要通过选定合适的弹塑性变形、耗能部位,延长结构

周期、耗散地震能量,进而减小结构地震反应。弹塑性耗能部位一般位于桥墩上,既能方便地形成减震耗能机制,最大程度减小地震作用,同时还有利于对损伤部位进行检查和修复,如图 1.3-2 所示;其余部分,包括上部结构、上下部结构连接构件(支座)、盖梁、墩柱的抗剪以及桥梁基础等,则要求不受损伤,保持在弹性范围内。这些构件的设计内力值应按能力保护设计方法计算,根据墩柱塑性铰区域截面的超强弯矩确定。

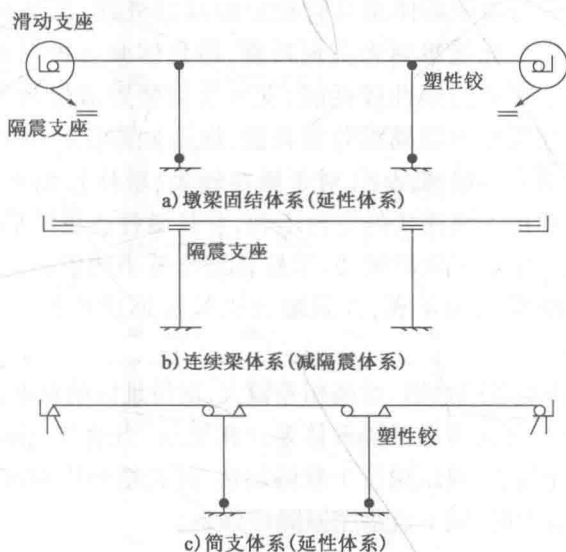


图 1.3-1 桥梁合理抗震结构体系

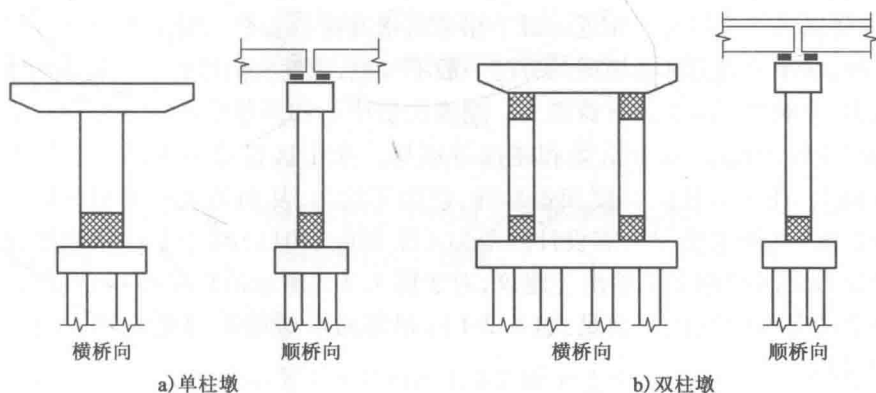


图 1.3-2 墩柱塑性铰区域

注:图中■代表塑性铰区域。

减隔震体系一般是通过在桥梁上、下部连接部位设置支座、耗能装置,控制结构的变形和耗能主要集中在这些装置上,以保护上部结构、桥墩和基础不受损伤,保持在弹性范围内。这种体系的突出优点是可以避免延性抗震体系中桥墩结构在进入塑性变形后的结构损伤,同时可以通过适当的参数选择与设计确保减隔震装置的变形性能,既能确保连接部位的可靠传力与支承作用,同时也可避免结构主体发生严重损伤。

延性抗震体系与减隔震体系具有相似的减震机理,都是通过延长结构周期以及提供附加阻尼耗能机制来实现减震,但具体减震机制不同。延性抗震体系是依靠墩柱上形成的塑性铰耗能,支座连接装置需保持弹性。减隔震体系是依靠上下部连接处的减隔震装置耗能,墩身则需保持弹性。因此两者各有不同的适用范围。一般情况下,对于墩高较大、墩柱长细比较大的桥梁,墩身截面地震反应相比支座连接处更为不利,并且墩柱也更易形成塑性铰,宜采用延性抗震体系。而对于墩高较矮、墩柱长细比较小的桥梁,支座连接处的地震反应一般相比墩身更为不利,并且墩柱也较难形成塑性铰,宜采用减隔震体系。

当桥墩为实体墩或刚性墩、墩高相差较大,而桥址区的预期地面运动主要能量集中在高频段时,优先考虑减隔震体系。相反地,当地基土层不稳定,或原有结构的固有周期比较长,或结构位于软弱场地、延长结构周期可能引起共振,以及支座中出现负反力时,则不宜采用减隔震体系。

1.3.3 抗震概念设计

刚度和质量平衡是桥梁抗震理念中最重要的一条。对于上部结构连续的桥梁,各桥墩高度宜尽可能相近。对于相邻桥墩高度相差较大导致刚度相差较大的情况,水平地震力在各墩间的分配一般不理想,刚度大的墩将承受较大的水平地震力,影响结构的整体抗震能力。刚度扭转中心和质量中心的偏离会在上部结构产生转动效应,加重落梁和碰撞等破坏。而山区桥梁由于山谷两侧山体坡度较大,往往墩柱的高度相差悬殊,跨距不均匀,从而造成刚度和质量不平衡的情况。《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)对于上部结构连续的桥梁桥墩之间的刚度比给出了建议,对于图 1.3-3 所示的桥梁结构,桥梁任意两个墩的等效刚度比应满足式(1.3-1);相邻两个墩的等效刚度比应满足式(1.3-2):

$$\frac{k_i^e}{k_j^e} \geq 0.5 \text{ (桥面等宽)} \quad \frac{k_i^e/m_i}{k_j^e/m_j} \geq 0.5 \text{ (桥面变宽)} \quad (1.3-1)$$

$$\frac{k_i^e}{k_j^e} \geq 0.75 (\text{桥面等宽}) \quad \frac{k_i^e/m_i}{k_j^e/m_j} \geq 0.75 (\text{桥面变宽}) \quad (1.3-2)$$

式中, k_i^e 、 k_j^e 是第 i 、 j 号墩的等效刚度; m_i 、 m_j 是第 i 、 j 号墩墩顶的集中质量。

《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011) 还建议相邻两联桥跨的基本震动周期比应大于 0.7, 即

$$\frac{T_i}{T_j} \geq 0.7 \quad (1.3-3)$$

式中, T_i 、 T_j 是第 i 、 j 联桥跨的基本周期。

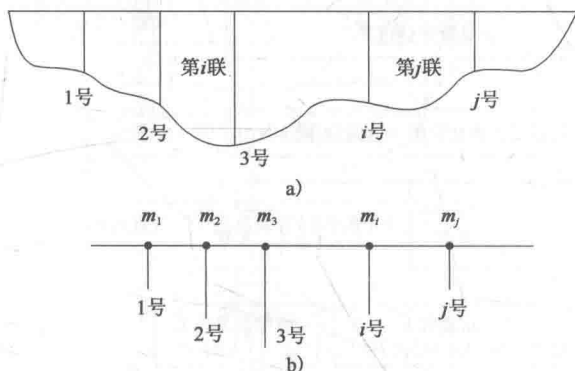


图 1.3-3 桥梁结构形式

为保证桥梁刚度和质量的平衡,设计时应优先考虑采用等跨径、等墩高、等桥面宽度的结构形式。如不能满足,也可通过调整墩的直径和支座等方法来改善桥的平衡情况。其中,调整支座可能是最简单易行的办法,效果也很显著。当采用橡胶支座后,由墩和支座构成的水平刚度串联体系的总水平刚度为:

$$k_t = \frac{k_z k_p}{k_z + k_p} \quad (1.3-4)$$

式中, k_t 是由墩和支座构成的水平刚度串联体系的总水平刚度; k_z 和 k_p 分别为橡胶支座的剪切刚度和桥墩的水平刚度。

1.4 抗震设计流程

桥梁抗震设计应采用图 1.4-1 和图 1.4-2 所示流程进行, E1 地震作用下抗震验算、E2 地震作用下抗震验算以及能力保护构件的抗震验算应采用图 1.4-3 和图 1.4-4 所示流程进行。

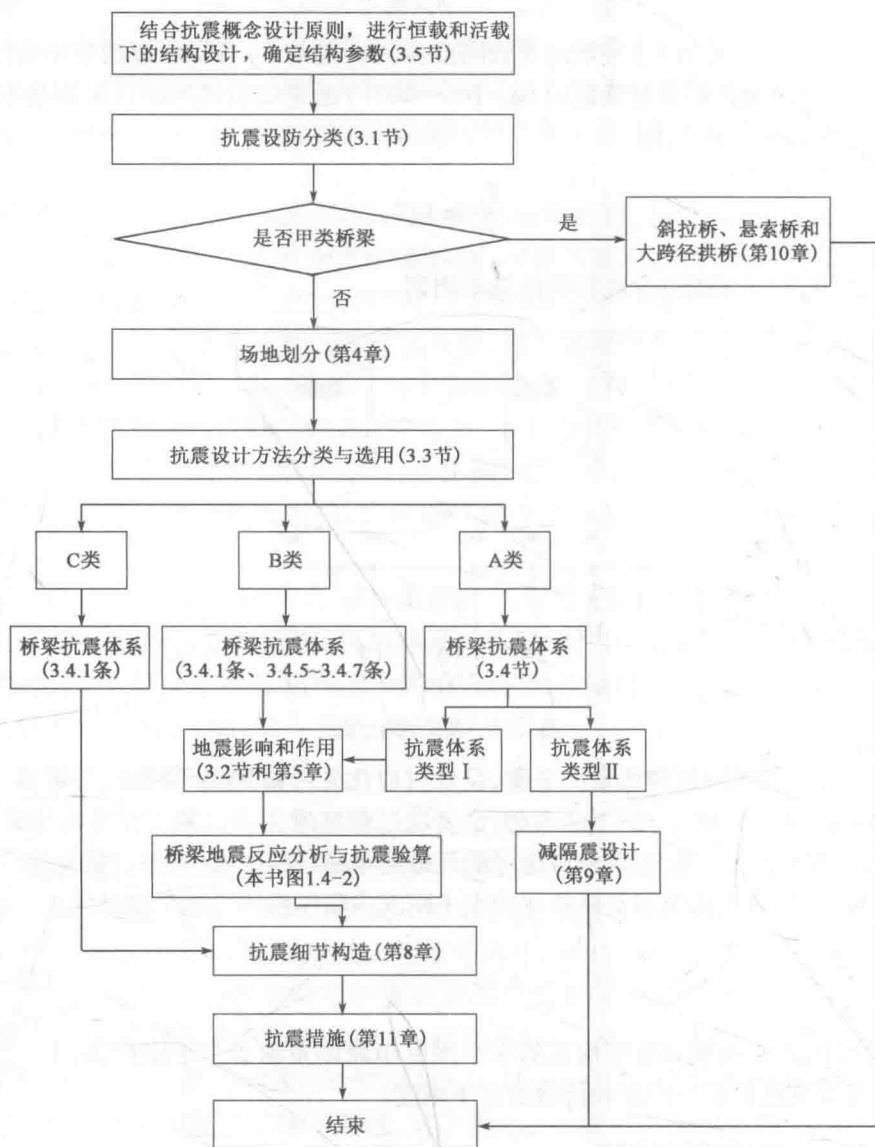


图 1.4-1 桥梁抗震设计流程

注:如无特殊说明,本图中的章节条编号均以《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)为准。