

Rouxing Duntai Liangshiqiao Sheji

柔性墩台梁式桥设计

王伯惠

徐风云 编著

人 民 交 通 出 版 社

前 言

利用墩台的柔性，通过上部构造传递桥梁及墩台承受的各种水平力(包括温度力)，是实现桥梁下部构造轻型化的主要措施之一。我国在五十年代末期即曾修建了许多柔性排架墩式桥梁，以后发展成实体式的以及空心式的柔性墩台。七十年代以来又修建了许多设有弹性橡胶支座的柔性墩台桥梁，取得了很大的经济效益。关于柔性墩台桥梁的计算，国内外桥梁工作者都曾作了不少的工作，发表了一些文章，提出了一些有价值的见解。为了探索更合理的计算方法以利于柔性墩台桥梁的推广，本书系统地分析了柔性墩台的各种实际情况和受力特点，提出了更为切合实际的柔性墩台的柔度(或刚度)计算方法和整个桥跨结构的新的静力和动力计算方法，这些方法都是最新的研究成果，得出的结果与实桥试验或室内试验的结果基本符合。书中各章节皆附有详细的算例和各种不同情况下的计算结果，可供具体计算时参考。

为了使设计和施工人员了解和掌握近年来发展起来并广泛使用的弹性橡胶支座的性能，在本书最后的第八章中特地介绍了国内生产的各式橡胶支座的情况和铁路、市政、公路等部门在这方面的许多试验研究成果。

本书第七章、第八章第五节和附录三由徐风云撰写、王伯惠校订。其余由王伯惠撰写，徐风云校订。限于作者水平，如有不当之处，欢迎批评指正。

内 容 提 要

本书系统地分析了柔性墩台的各种实际情况和受力特点，提出了更为切合实际的柔性墩台的柔度（刚度）计算方法和整个桥跨结构的新的静力和动力计算方法。还介绍了国内生产的各式橡胶支座及许多试验研究成果。书中各章节还附有详细的算例和各种不同情况下的计算结果，可供具体计算时参考。

柔性墩台梁式桥设计

王伯惠 编著
徐风云

责任编辑：张征宇

插图设计：高静芳 正文设计：乔文平

人民交通出版社出版发行

（北京和平里东街10号）

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：12.625 字数：278千

1991年2月 第1版

1991年2月 第1版 第1次印刷

印数：0001—3500册 定价：8.00元

ISBN7-114-00861-9

U·00534

目 录

前 言

第一章 绪 论	1
1.1 柔性墩台桥梁发展概况	1
1.2 计算的一般原理	8
1.2.1 柔性墩台的范围	8
1.2.2 柔度和刚度	10
1.2.3 结构分析的基本平衡方程	11
1.2.4 荷载类型	14
第二章 水平力作用下桩基计算的基本公式	18
2.1 地面处抗力为零的情况	18
2.1.1 地面以下的位移和内力	18
2.1.2 桩身荷载引起的桩顶位移	20
2.2 地面处抗力不为零的情况	27
2.2.1 地面以下的位移和内力	27
2.2.2 桩身荷载引起的桩顶位移	30
算例一.....	32
算例二.....	34
第三章 桩柱式墩台的柔度和刚度	36
3.1 桩式墩台刚度计算方法的发展	36
3.2 单排桩式中墩的柔度	38
算例三.....	44

3.3	单排桩式岸墩的柔度	47
3.3.1	岸墩的一般构造	47
3.3.2	向路堤方向位移时— <i>R</i> 情况	49
	算例三 (续一)	56
3.3.3	向河心方向位移时— <i>C</i> 情况	62
	算例三 (续二)	66
3.4	小 结	67
第四章	具有固定支座的简支梁桥	70
4.1	恒载情况下墩身的内力	70
4.1.1	情况一: 多年老路堤	70
4.1.2	情况二: 0 情况, 结构对称	71
	算例三 (续三)	73
4.1.3	情况三: 结构不对称	79
	算例四	81
4.1.4	情况四	86
	算例五	86
4.1.5	情况五	87
	算例六	88
4.2	活载情况下墩身的内力	88
	算例三 (续四)	90
4.3	以上计算方法的验证	101
4.4	温度变化情况下墩身的内力	108
4.4.1	概 述	108
4.4.2	年温差引起的墩身内力	109
4.4.3	弹性模量的取值和温度内力折减	112
	算例三 (续五)	116
4.5	小 结	124

第五章 具有柔性支座的梁桥	128
5.1 概 述	128
5.2 简支梁桥的计算	129
5.2.1 三推力方程法	129
算例七.....	134
算例七(续一)	139
5.2.2 一次迭代法	140
算例八.....	142
5.2.3 集成刚度法	144
算例九.....	150
5.2.4 柔度传递法	154
算例十.....	161
5.3 连续梁桥的计算	169
5.3.1 集成刚度法	169
5.3.2 柔度传递法	174
算例十一.....	180
算例十二.....	188
第六章 具有滑动支座的梁桥	193
6.1 简支梁桥	194
6.1.1 三推力方程式法和一次迭代法	194
算例十三.....	194
6.1.2 集成刚度法和柔度传递法	196
6.2 连续梁桥	197
算例十四.....	198
第七章 地震力计算	204
7.1 顺桥向地震力计算	204
7.1.1 概 述	204

7.1.2	具有弹性支座联系的简支梁桥	205
	算例十五	226
7.1.3	具有固定支座联系的简支梁桥	228
	算例十六	229
7.1.4	具有滑动—自由支座联系的简支梁桥	231
	算例十七	234
7.1.5	多跨连续梁桥	236
7.1.6	小 结	241
7.2	横桥向地震力计算	243
7.2.1	概 述	243
7.2.2	计算简图及参数	246
7.2.3	横桥向自由振动分析	250
7.2.4	横桥向地震力计算	254
7.2.5	横桥向抗震验算	255
	算例十八	256
第八章	柔性支座——橡胶支座	267
8.1	概 述	267
8.2	板式橡胶支座	274
8.2.1	一般构造	274
8.2.2	物理力学性能	276
8.2.3	计算方法	284
	算例十九	291
8.2.4	施工和养护注意事项	297
8.3	滑板支座	301
8.4	盆式橡胶支座	308
8.5	公路桥梁减震支座	311
附录一	桩基计算用表（地面处抗力为零）	318

附录二	桩基计算用表（地面处抗力不为零）	370
附录三	计算顺桥向水平地震力的 BASCP 程序	382
参考文献	392

第一章 绪 论

1.1 柔性墩台桥梁发展概况

桥梁墩台历来都修建得甚为庞大。罗马时代的拱桥,跨径虽只十多米,而桥墩宽度常常达到 8m。即使到了近代,科学技术已经相当发达,而桥梁的一个 U 形桥台或重力式桥墩,还会耗用成百上千立方米的圬工工程量。因此,桥梁墩台轻型化就成为国内外桥梁工作者的研究课题。柔性墩台就是在这样的情况下被提出来的。柔性墩台打破了旧有的桥梁下部构造越大才越稳重安全的概念,提出压缩墩台截面,使其具有充分的柔性,在水平力作用下能产生相当的位移,从而能通过上部构造的传递使全桥各墩共同承担水平力,同时减轻了温度力的有害作用,这不但减少了圬工数量,可以加快施工进度,降低桥梁造价,同时还减少墩台阻水面积,提高桥孔排水能力,减轻墩台冲刷。此外,还改善了桥梁的造型和外观,使之更显得挺拔秀丽。近年来具有剪切变形能力的橡胶支座的采用,使得柔性墩台更加发展和推广起来,国外许多大桥都纷纷采用。例如我国河南省 1981 年参与施工的科威特布比延大桥,为 59 孔跨径 40.16m, 5 ~ 6 孔一联的连续空间预应力混凝土桁架桥,全长 2382.65m,下部为两根直径 1.792m、间距 6.872m 的钻孔桩,高四十余米不等,由法国设计,桥墩就是用弹簧模拟,按位移或刚度分配水平力计算的〔34〕。

柔性墩台在我国的采用和发展也很快，公路上首先是从小跨径排架桩式墩桥开始的。用钢筋混凝土方桩作成排架墩，上铺简支梁桥面，在我国西北地区解放前就修建了不少，其中最长的为陕西省宝鸡的渭河桥，总长达 600m。又如某桥，计 28 孔，每孔 10.95m，全长 306.6m，全为单排架桩式墩，墩高岸墩 3.6m，边滩 5 ~ 6 m，主槽达 8.5m，都采用 35 × 35cm 截面的钢筋混凝土方桩，每桩配筋 8 根 19mm，至今已使用 52 年。交通部第一公路勘察设计院于六十年代中期曾对二十余座这样的桥梁进行了调查，排架桩墩上的上部构造除了简支梁外，还有连续梁板刚构、悬臂梁等几种不同型式。图 1.1 示陕南汉中地区一座较长的排架桩墩式桥，图 1.2 示高排架墩加设了两根横系梁的情况。

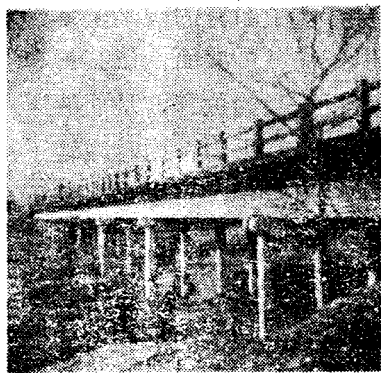


图 1.1 多跨排架桩墩桥（陕西）

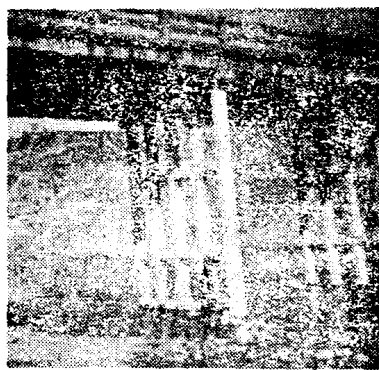


图 1.2 高排架桩墩加设横系梁（陕西）

五十年代中期，辽宁省在营口沿海软土地区采用旋制钢筋混凝土电柱代替木桩打入地下作成排架桩，每排 5 根，上部用高 30m 工字钢上铺混凝土作成联合梁桥面，形成了一个十分轻型的结构，造价也很低廉，而且特别适宜于土质不良地带。图 1.3 示海城国道的一座电柱桩墩桥，建于 1965 年，

由于载重标准要求高，采用了 2×8 根电柱，靠地面附近为防冻蚀破坏，外包了混凝土系梁。这些桥梁至今使用良好。



图1.3 电柱桩墩桥（辽宁）



图1.4 单排桩墩（河北）

1956年，苏联排架桩墩式桥标准图介绍到了我国，国内各地参照这个图纸修建了一些排架桩墩式桥。

这份图纸在设计方法上未尽合理（见后），用筋量超出国内已建同类桥梁一倍还多，为了克服温度内力还提出了分段的作法，分段墩须作成双排桩。图1.4和1.5



图1.5 双排分段桩墩（河北）

示河北省一座这样桥梁的单排桩墩和分段双排桩墩，后来这份图纸逐渐在实践中被淘汰。1978年我国出版了自己的排架桩墩标准图，在构造细

节、设计方法上都作了许多改进。在这期间，国内各地都作了一些理论上和实践上的探索，设计了一些本地区使用的图纸，如辽宁省对辽河油田沿海开发区道路就专门设计了排架桩桥的定型图纸（1977年）。沈阳市也提出了计算上的改进，修建了一些新的排架桩墩桥梁〔24〕〔25〕。

国外的排架桩桥有一些不同的作法。图 1.6 示美国的一座排架桩墩桥，每个墩都有 5 对 X 形斜桩，两边各加一根单桩。X 形斜桩不能提供有效的水平位移，因而这种作法不能发挥柔性排架桩墩的优点。

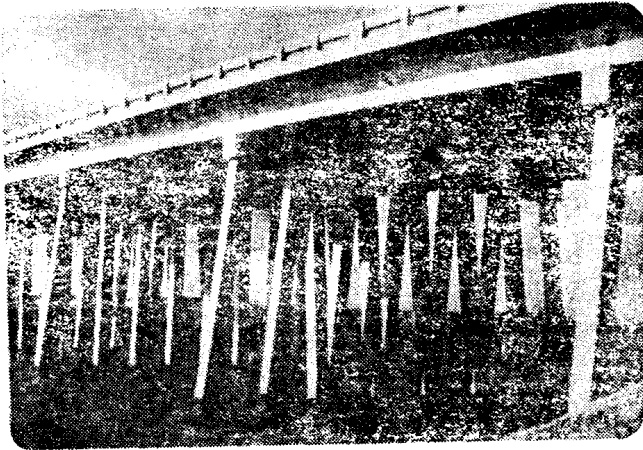


图1.6 X形斜桩排架桩墩（美国）

1965年以后，钻孔灌注桩在我国开始大量推广，直径由初期的手工推大锅锥施工的70~90cm发展到机械钻孔施工的1.0~1.5m，目前最大作到2.5m。一般双车道桥跨径20m左右时，多用两根 $\phi 1.0\text{m}$ 的钻孔桩上接同直径或略小直径的柱式墩身，个别用单柱式墩（图1.7和1.8）。当跨径达30m

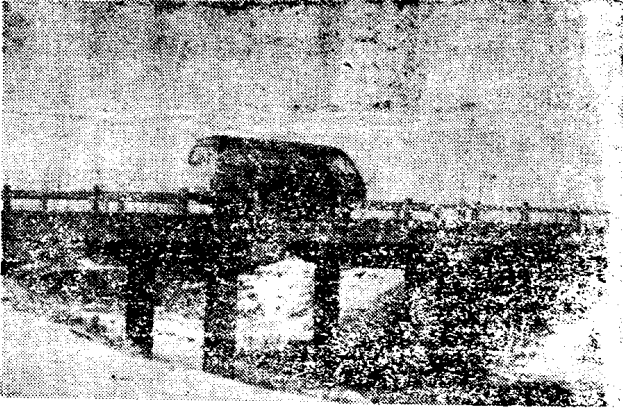
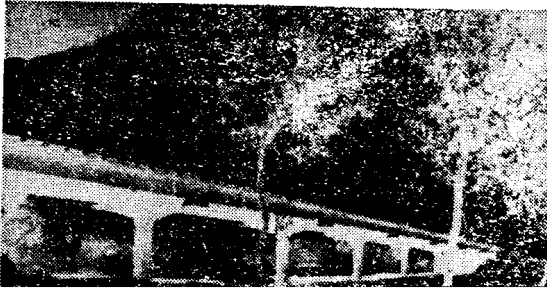


图1.7 双柱式灌注桩式墩桥



力，这无疑会造成浪费。只是在近几年，有关柔性墩的概念及其优点越来越得到人们的认识，橡胶支座逐渐得到广泛的采用，才在设计中开始推广按柔性墩的理论来计算柱式墩台。例如1983年河南省在设计全长达5549.86m的郑州黄河大桥时，南侧4联每联7孔跨径20m简支连续桥面梁桥，用 $2\phi 1.5\text{m}$ 双柱式钻孔桩墩；河槽多联4~5孔跨径50m的连续桥面梁桥和北侧多联5~6孔跨径40m的连续桥面梁桥，用 $2\phi 2.2\text{m}$ 钻孔桩双柱式墩，上设橡胶支座，按柔性桩计算，并提出了一套计算方法^[32]。

除了桩、柱式墩台外，各地还设计和修建了一些实体的、空心的、薄壁的和框架式的柔性墩台。图1.9示广东省广珠公路沙口大桥引桥的X形薄壁柔性墩，壁厚仅50cm。



图1.9 X薄壁桥墩（广东）

国内铁路部门在柔性墩桥梁的设计施工和

试验研究方面也作了大量的工作。第一座铁路柔性墩桥是1966年成昆线的金口河桥，上部为跨径16m钢筋混凝土梁，桥墩为三个并列的钢筋混凝土刚架，以适应三线之用，墩高17m，如图1.10a所示。七十年代以后在汉葛线建成24座柔性墩桥，以板式（薄壁式）为多，最高24m，如图1.10b。另外还修建了一些柱式墩和实体式墩，如图1.11a。通过实验发现：主梁在荷载下受弯使下翼缘伸长，会给两端支座施加很大推力，因而应引入计算。对高墩在一面日照下的变形

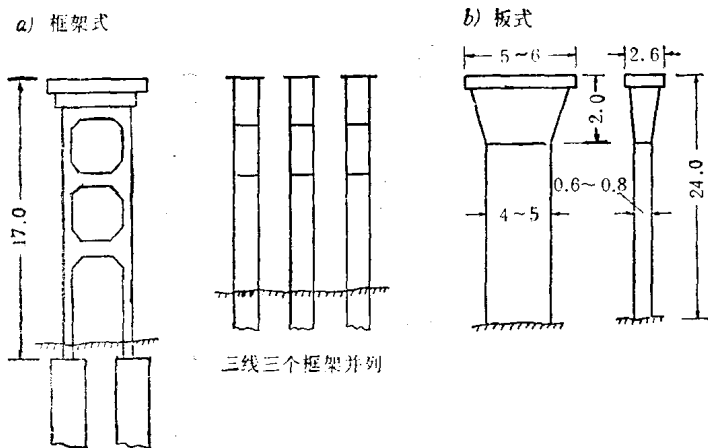


图1.10 铁路柔性墩示意(一)
尺寸单位: m

和温度应力也作了许多观测研究工作。包头铁路局对北方地区使用橡胶支座的效果作了长期的观测研究。根据铁路部门的计算,一般重力式墩台改成钢筋混凝土轻型柔性墩台时,平均使用1t钢筋可少用50~60t混凝土,经济效益是十分显著的。

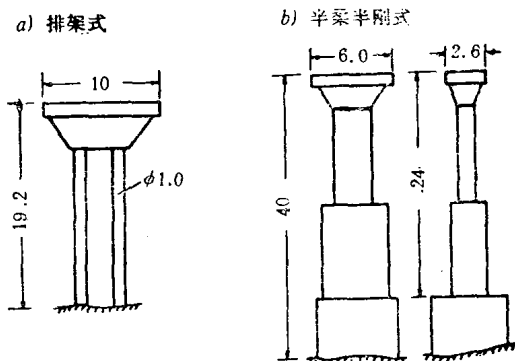


图1.11 铁路柔性墩示意(二)
尺寸单位: m

在桥墩很高的情况下还发展了一种半柔半刚墩（图1.11 b），即加大下半段墩身的截面，这样可以控制墩顶位移在要求范围以内，或加强墩身下部承受冲撞的能力。

总的说来，柔性墩台桥梁还处于发展阶段，其技术经济效益并不是所有桥梁工作者都已经充分了解的，而其计算方法，不少的人都在探索，还有待于总结和改进。目前常见一些多孔跨径20~30m的长桥，墩台支座都已改用橡胶支座，但只是为了代用钢支座以节约钢材，还没有按柔性墩台（支座）的理论来设计下部以取得更大的经济效益，这是很可惜的。本书的目的就是在柔性墩台桥梁的计算方法方面作一些工作，以利于这种先进的、轻型的墩台型式的推广。

1.2 计算的一般原理

1.2.1 柔性墩台的范围

墩台在外力作用下能产生一定的水平位移，并能借上部构造传递水平力者，都可认为是柔性墩台，都应按柔性墩台桥梁的原理进行计算，以发挥其能传递并分配水平力的有利之处，从而节约下部构造的材料和造价。

墩台的柔度 δ 是墩台体本身的柔度 $\delta_{\text{身}}$ 与支座的柔度 $\delta_{\text{座}}$ 之和：

$$\delta = \delta_{\text{身}} + \delta_{\text{座}} \quad (1-1)$$

因此，下述的情况都应属于柔性墩台的范围：

一、在刚性的、重力式的墩台上加设柔性支座，例如在U形桥台上加设橡胶支座，这时 $\delta_{\text{身}} = 0$ ， $\delta = \delta_{\text{座}}$ 。由于橡胶支座的弹性（剪切变形能力），不但有利于水平力的传递，还能吸收和阻滞由于温度等原因引起的墩台的受力，减轻地震

力等的有害作用。旧桥加固或提高载重标准时，如果认为墩台断面不足，可以在上面加设弹性支座^①来改善其受力状况。

二、在柔性墩台上设置刚性的固定支座，例如一联连续梁通常要设置一个固定支座，这时 $\delta_{\text{座}} = 0$ ， $\delta = \delta_{\text{身}}$ 。有人认为连续梁温度变化的位移零点就是固定支座点，这是不正确的，因为墩台本身还会发生位移。

三、在柔性墩台上设置柔性支座，这就是按柔性墩理论新设计的一般的柔性墩台了，这时 $\delta = \delta_{\text{身}} + \delta_{\text{座}}$ ，如式(1-1)所示。有些时候，墩身截面受到结构、构造、外观以及其他客观条件的约束，没有多少变化余地的时候，可以通过调整 $\delta_{\text{座}}$ （如增减橡胶支座的高度等）来获得需要的墩台总柔度，同样可以通过调整 $\delta_{\text{座}}$ 来调整各个墩台的受力，这比调整 $\delta_{\text{身}}$ 要方便得多。

由上可见，只有在刚性的，或一般所谓重力式墩台身上设置有刚性的或固定式的支座时，才是刚性的或固定式的墩台。当然，刚性是相对的，刚性或“固定”式墩台在水平力作用下也会发生一定的位移，只是这个位移数量很小，这种变形能力对整个桥跨结构水平力的分配起不到什么显著的、有价值的作用时就认为它是刚性的或“固定”的。因此，原则上墩台身的刚度（其倒数就是柔度）应当有一个数量的界限，当刚度大于（或柔度小于）这个界限时就当成是刚性的或固定式的墩台，反之就是柔性墩台，设计时应当充分考虑和利用其柔性。这个界限值不但与下部结构有关，而且与上部结构（梁桥、拱桥等）、材料（圬工、钢材等）等有关，

^① 柔性支座又可称为弹性支座，本书两词通用。