

## 第一节 公路桥梁超重车过桥加固

随着国民经济的发展，越来越多的大型超重构件需要通过公路运输来实现。过去数年，由于缺乏必要的规范、管理及相关技术，超重车通过桥梁后，给公路桥梁带来了巨大损失。因此对超重车过桥引起的相关问题，应该引起重视。

### 一、相关规定

根据中华人民共和国交通部 2000 年第 2 号通令规定，在公路上行驶的、有下列情形之一的运输车辆称为超限运输车辆：

1) 车货总高度从地面算起 4m 以上（集装箱车货总高度从地面算起 4.2m 以上）。

2) 车货总长 18m 以上。

3) 车货总宽度 2.5m 以上。

4) 单车,半挂列车,全挂列车车货总质量 40000kg 以上。

集装箱半挂列车车货总质量 46000kg 以上；

5) 车辆轴载质量在下列规定值以上：

(1)单轴（每侧单轮胎）载质量 6000kg；

(2)单轴（每侧双轮胎）载质量 10000kg；

(3)双联轴（每侧单轮胎）载质量 10000kg；

(4)双联轴（每侧各一单轮胎、双轮胎）载质量 14000kg；

(5)双联轴（每侧双轮胎）载质量 18000kg；

(6)三联轴（每侧单轮胎）载质量 12000kg；

(7)三联轴（每侧双轮胎）载质量 22000kg。

超重车辆上路出行前，其承运人应按规定首先向公路部门提出书面申请，同时还应提供下列资料和证件：

1) 货物名称、重量、外轮廓尺寸及必要的总体轮廓图；

2) 运输车辆的厂牌型号、自载质量、轴载质量、轴距、轮数、轮胎单位压力、载货时总的外廓尺寸等有关资料；

3) 货物运输的起讫点、拟经过的路线和运输时间；

4) 车辆行驶证。

公路管理机构审批超限运输时，应根据实际情况，对需经过的路线进行勘测，选定运输路线，计算公路、桥梁承载能力，制定通行与加固方案，并与承运人签

订有关协议。公路管理机构负责对通过线路的桥梁进行检查和加固，完工验收后发给可以通行的意见书，最后由公路管理机构发给通行证或组织通行。

必须防止因行驶超重车辆引起桥梁损坏，甚至发生安全事故。对超重车辆过桥应采取技术及管理措施，组织超重车辆安全通过。

超重车过桥前，应收集、查找桥梁技术档案资料，对于无资料的或资料不全的应采用科学手段来确定承载力。

对于通过检查尚不能对其技术状况及承载力进行判定或者有特殊要求的桥梁，应进行荷载试验，为承载力的确定提供依据。

超重车过桥，应选用多轴多轮的运载车辆，以改善重车过桥时桥梁构件的受力，并选取桥梁技术状况好，加固工程费用较低的路线通过。

超重车通过主要干线公路桥梁时，应专门组织人员指挥交通。必要时应事先发布通告。

超重车通过时，公路管理机构应派技术人员随同检查，观察是否有位移、变形、裂缝发展等，并予以记录。同时应选择不同桥型进行挠度、应变、反力等的观测，以积累资料。技术人员在重车过桥时应保护自身及观测仪器的安全。为保证通行安全，应对超重车辆采取如下的管理措施：

1) 使车辆装载的货物尽量减少，尽可能分车装运，并使重量尽量分布在较长的范围内，以减小单位长度的压力。

2) 使车上货物安置平稳、适中，避免发生偏载。

超重车过桥时，必须遵循以下规定：

1) 超重车一般应沿桥梁的中心线行驶。

2) 车辆以不大于 5km / h 速度匀速行驶。

3) 不得在桥上制动、变速、停留。

4) 对大跨径桥梁，超重车与拖车应考虑桥梁结构的受力特征行驶，以改善桥梁受力；当跨径较小时，可考虑牵引车与平板挂车分别过桥，为此可于桥头设牵引或另行设置卷扬机，将平板车牵引过桥。

5) 超重车通过时应临时禁止其他车辆及行人通过。

## 二、验算要点

对超重车所需通过的桥梁均应进行必要的计算，以确定需要进行加固方可通过的桥梁及需加固的部位及构件。

计算时,荷载组合可按组合III考虑。对于砖石混凝土结构和钢筋混凝土结构,可只进行承载能力极限状态的计算;对于预应力混凝土结构,按使用阶段计算的各种限值可适当放宽。

对现有桥梁结构进行计算时,可只计算超重车在控制截面产生的最不利内力与应力,并与设计荷载内力与应力进行比较,若前者小于等于后者即表明车辆可安全通过;若前者大于后者,应做进一步计算。

对于计算所需的桥梁技术资料有以下要求:

(1) 有经批准的正式设计文件或竣工文件,施工质量良好,使用时间不长时可直接采用设计文件或竣工文件。

(2) 无设计(竣工)资料或虽有设计(竣工)资料,但施工质量不好,已经出现破损的,应以桥梁实际状况为计算依据。

无论是加固前还是加固后,结构计算图示应以结构实际受力为依据。如果桥梁结构内力(应力)对计算图式很敏感时,应取偏安全的计算图式。

对加固部分的构件应按设计规范进行设计、验算。

对于有荷载试验资料的桥梁,其计算应以实测资料为依据。

### 三、计算方法

超重车辆能否安全通过桥梁,应对桥梁通过能力进行判断,以便为桥梁的加固处理提供可行的方案。一般来说,当对桥梁承载能力作出评价后,可用式(10-1)来进行其通过能力的判别:

$$\frac{M_{\text{超}}}{M_{\text{标}}} \leq \mu \quad (10-1)$$

式中:  $M_{\text{超}}$ ——超重车产生的截面内力(或超重车等代荷载);

$M_{\text{标}}$ ——标准荷载产生的截面内力(或标准荷载等代荷载)。

其判别标准为:

当  $\mu \leq 0$  时,超重车具有通过桥梁权;

当  $0 < \mu \leq 5\%$  时,超重车具有容许通过权;

当  $\mu > 5\%$  时,超重车丧失通过权。

超重车辆过桥时桥梁承载能力的验算一般采用如下二种计算方法。

#### 1、等待荷载法

采用等代荷载可比较迅速地判别超重车辆过桥的可能性，是一种比较实用的方法。这一方法就是在同一跨径（或荷载长度）用同一种影响线分别计算出超重车和标准车的等代荷载，将两者进行比较，以判别超重车辆能否安全通过桥梁或桥梁是否需要进行加固。在超重车运输要求时间紧、计算量大的情况下，可采用此法进行粗略判断。这要求在检算时应对桥梁的实际载重能力作切合实际的评价，并对其承载能力用一定的标准荷载等级表示。

对不同形式的荷载以及各种类型的桥梁，虽然其结构体系（静定或超静定）影响线形状、结构评定的荷载标准均不相同，但只要按照相同跨径（或荷载长度）和相同影响线线形转化成均布荷载，就可直接进行比较。

三角形影响线是最简单的影响线线形，当加载长度和三角形顶点位置相同时，不论最大纵坐标的数值大小，两个三角形的性质彼此相同。而利用三角形影响线的等代荷载来计算其他线形影响线的等代荷载时，其换算系数在同一荷载长度是不变的，所以，比较同一荷载长度的两个其他线形影响线等代荷载的大小时，只要直接比较同一荷载长度的两个三角形等代荷载的大小就可以判别。

## 2、实际荷载检算法

实际荷载检算法就是利用超重车辆产生的构件最不利内力组合与标准荷载作用下的最不利内力组合进行比较判别的方法。在此方法检算中，应考虑超重车过桥时的各种管制措施，主要考虑行驶的横向位置及不允许其他活载同时作用。由于超重车过桥时不变速、不制动及限速  $5\text{km/h}$  的要求，因此，在计算时可不计入冲击力影响。

综上所述，要验算判定桥梁能否通过超重车辆，须按超重车辆的纵向最不利位置算出结构的最不利内力值，并考虑横向分布的影响，然后再与桥梁标准荷载产生的内力进行比较判别。

## 四、加固方法

这里主要介绍几种超重车辆过桥时的临时加固方法，具体参见见表 10-1。

超重车辆过桥临时加固对策

表 10-1

对策	简图	说明
全桥跨越加固		<p>该方法适用于小跨径梁式桥和拱式桥。在下部结构和地基受力许可时，可在桥面上临时设钢板梁或钢桁架梁，以供重车直接行驶通过。</p> <p>注：左上图符号含义如下： 1.临时梁 2.临时支左 3.搭板</p>
部分跨越加固		<p>该方法适用于桥梁较长而无法采用全桥跨越法时。</p> <p>上图：简支梁部分跨越加固 下图：悬臂梁部分跨越加固</p>
竖向支撑加固		<p>该方法适用于下部结构承载能力不足，且跨径较大的梁式桥。(还可采取八字支撑加固方法)</p>
拉杆加固		<p>该方法适用于桥下净空许可且基础良好的拱式桥。如左图所示：该对策可消除拱脚水平推力，并使中孔按固定拱计算。</p>

## 第二节 公路桥梁抗震加固

强烈地震时，公路桥梁往往遭到严重的破坏，不但直接影响交通，而且经常引起次生灾害（由于地震而引起的水、火等灾害），加剧地震危害的严重性，修

建在人口稠密地区和重要交通干线上的桥梁更是如此。为了减轻地震造成的损失，要求地震区的桥梁在抗震、防震方面贯彻预防为主方针。对新建的桥梁要从设计上采取措施，并应进行抗震强度和稳定性的验算，以适应抗震的要求。同时对现有桥梁，特别是高地震烈度区的既有桥梁也应做好抗震加固工作。

## 一、抗震概论

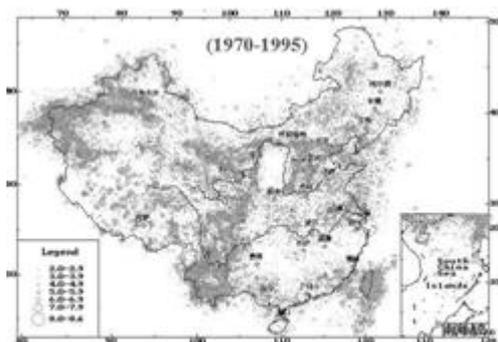


图 10-1 中国地震震中分布图

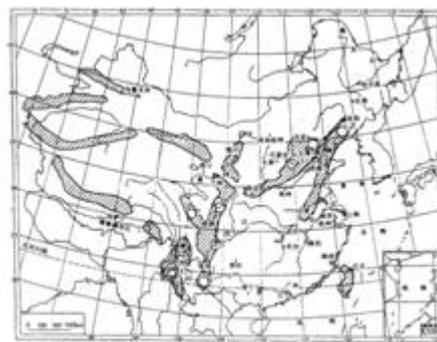


图 10-2 中国地震活动带分布图

我国是世界上的多地震国家之一。图 10-1 所示为我国地震震中分布示意图。图 10-2 所示为我国地震活动带分布示意图(包括 1966—1976 年八大地震位置)，其大致可划分为六个地震活动区：台湾及其附近海域；喜马拉雅山脉地震活动区；南北地震带；天山地震活动区；华北地震活动区；东南沿海地震活动区。从 1966 年~1976 年，我国大陆发生的八大地震均具有强度大、频度高、震源浅的特点。从地质构造上看，都是断裂剧烈活动的地区。1976 年 7 月 28 日北京时间凌晨 3 点 42 分，我国发生唐山地震，震级里氏 7.8 级，震中位置在市区东南部，震源深约 11km，有明显的地震断裂带贯通全市。图 5-24-3 所示为唐山 7.8 级地震烈度分布。从图中可见市区大部分陷入地震烈度高达 XI 度的极震区，结构物普遍倒塌，所剩无几，震害极为严重，为世界地震史上所罕见。此次地震中，唐山人民死亡约 24 万，伤约 16 万，损失极为惨重。这次灾难的重要内因是唐山市对地震没有设防，结构物都未经过抗震设计，以致在强烈地震作用下酿成大灾，这是一个极其惨重的教训。震后有调查显示：

(1) 在 XI 度及 X 度区内，公路、铁路桥梁普遍倒塌或严重破坏；在 X 度区，桥梁破坏较重；在 VIII 度区，多数桥梁受到不同程度的损坏，少数破坏，个别倒塌；在 VII 度区，少数桥梁遭到严重破坏，部分桥梁中等破坏或轻微损坏。

(2) 在 VII 至 XI 度区内的 130 座大、中型钢筋混凝土梁式桥的震害，据统计倒塌 18 座，占 13.6%；严重破坏 20 座，占 15.36%；中等破坏 34 座，占 26.15%；轻微损坏 25 座，占 19.23%；完好或基本完好 33 座，占 25.38%。在倒塌的 18 座桥中，有 15 座主要是由于不同程度的岸坡滑坡、地基失效等原因造成的。其余三座主要是由于桥墩断裂、支座破坏、梁体碰撞、相邻墩发生过大相对位移所造成的。

(3) 位于 VIII 度区的许多单孔石拱桥和双曲拱桥，在地基良好的条件下，即使是延性很差的圬工拱桥，也都具有良好的抗震能力，大多基本完好或仅有轻微损伤。但地基较差条件下的单孔拱桥和采用柔性桩墩的多孔连拱桥，震害较严重，主要表现为拱上建筑腹拱破坏，拱圈在拱脚、拱顶产生破损裂缝，拱圈整个隆起变形，甚至倒塌。

(4)所调查32座拱桥的震害,其中倒塌六座,占18.75%;严重破坏两座,占6.25%;中等破坏八座,占25%;轻微损伤六座,占18.75%;基本完好十座,占31.25%。震后需要重建或修复的拱桥占50%。(梁桥的震害调查结果,需重建及修复的占55.59%)

(5)唐山地震中,遭受震害的铁路桥梁占总数的39.3%,其中严重破坏的占45%,致使京山铁路中断;公路桥梁遭受不同程度破坏的总长占唐山地区桥长总数的62%;天津地区遭到中等以上破坏程度的桥梁占该地区桥梁总数的21%。如津榆公路上的芦台蓟运河大桥和滦河大桥的倒毁,切断了唐山与天津、沈阳之间的公路交通,给救灾带来了极大困难。

唐山地震中桥梁的巨大病害推动了桥梁抗震研究工作的迅速开展。20年来,我国桥梁抗震研究工作得到了充分重视并取得了丰硕的成果:1989年颁布了新的铁路工程抗震设计规范(国标),1990年颁布了公路工程抗震设计规范(部标)。

世界城市化的进程使城市防灾问题显得更为突出。上世纪90年代开展“国际减灾十年”活动以来,世界各国对防震减灾问题更加重视。桥梁抗震加固作为抗震减灾的一个重要部分,意义十分重大。



图 10-3 唐山 7.8 级地震烈度分布

## 二、桥梁震害

### (一) 常见的桥梁震害

强烈地震时,公路桥梁往往遭到严重的破坏,常见震害如表 10-2 所示。

地震区桥梁的常见震害现象

表 10-2

板、梁桥中	板、梁的纵、横向移位、撞击造成梁端损坏、落梁
桁梁桥中	桁梁扭曲、位移
拱桥中	拱上建筑局部挤坏,腹拱与立柱联结处开裂或脱落,拱圈变形、开裂,拱脚移位、开裂等
木桥中	联结螺栓松动、脱落
支座处	底板砂浆开裂破坏,底板附近下部结构混凝土破损,锚固螺栓拔出或剪断,支座倾覆、销钉损坏、滚轴脱离。
墩、台基础	墩、台基础产生下沉、滑移、倾斜、断裂,桥台胸墙开裂;剪断,墩(台)帽拉裂,地基土液化,承载力降低

### (二) 桥梁震害的机理

由于地震传播到地基，使桥基受到因地震而引起的水平和竖直振动，这种振动还将导致桥梁本身也产生水平和竖直振动，从而产生了水平和竖直惯性荷载（或称地震荷载），使桥梁各部受力和变形。在惯性荷载中以水平惯性荷载对桥梁的影响较大，而且顺桥向的水平惯性荷载在结构中产生的地震应力远比横桥向的水平惯性荷载产生的地震应力为大。竖直惯性荷载只对某些不对称的或双悬、单悬臂结构的桥梁产生较大的地震应力，因此在《公路工程抗震设计规范》中规定对框架桥、大跨径悬臂梁桥、T型刚构等桥型才计入竖向地震荷载的影响。

在砂性土和软粘土地区，地震将使土的剪力大幅度降低，从而降低土的承载能力，使墩台下沉和倾斜，特别是砂性土地区地下水极易从桩周夹带细砂从底层冒出地面；导致墩台大幅度下沉。构造地裂缝使墩台产生水平、竖直、倾斜变形。这些变形均属大幅度变形（墩台变形有时可达110cm），其将导致桥梁产生严重破坏。

由于砂土液化、地基失效和岸坡滑移，亦将导致桥梁大幅度破坏乃至倒塌。

岸坡在地震力作用下出现滑移，滑移土体对桥墩、桥台都产生了动土压力（台背在地震中产生的土压力，称为动土压力），这种移动动土压力不仅在台背地面以上的土体中存在，而且在台背地面以下的土体中也存在，不是突变临空面的桥墩土体也会出现这种移动动土压力，并将沿着岸坡滑移方向移动。对出现岸坡滑移的桥梁，其震害能力较重，而且震害主要是由这种移动动土压力所造成。因此，对出现岸坡滑移的桥梁，移动动土压力是造成桥梁震害的主要原因。

地震对工程结构的破坏情况，随结构类型的不同、抗震措施的多少而有差别，即便是在等烈度区内的同类结构，其破坏程度也不尽相同。对桥梁而言，若强烈地震时桥梁被震毁而中断交通，则将影响抗震救灾工作的进行。同时桥梁落梁往往还会打断墩身，出现全桥被震毁的严重震害。

### （三）桥梁震害基本规律

大量调查资料表明，无论是梁式桥或拱桥，震害都有它的规律性，这些规律阐明了震害与烈度高低和地基地质的关系，以及顺桥向和横桥向震害的区别。

#### 1) 高烈度震害比低烈度震害严重

惯性荷载、岸坡滑移产生的移动动土压力、地基失效产生的墩台变位、土的动土压力都是随烈度的增加而增加的。因此，烈度高则震害严重，烈度低则震害较轻。一般地说，在稳定地基上烈度为8度时，才使桥梁产生震害，但岸坡滑移和地基失效的桥梁，烈度为7度（有时6度）时就使桥梁产生震害。

#### 2) 岸坡滑移和地基失效的桥梁比稳定地基上的桥梁震害严重

岸坡滑移对墩台将产生很大的水平压力，使桥梁产生严重破坏；地基失效产生大幅度的变位，导致桥梁产生严重震害。有岸坡滑移的桥梁，当烈度7时就会倒塌，而在稳定的地基上的桥梁，则往往要在9度或9度以上时才倒塌。

#### 3) 顺桥向震害比横桥向震害严重

在大量调查的桥梁震害实例中，所有梁桥和拱桥的倒塌或严重破坏都出现在顺桥的方向，而

横桥方向仅出现中等程度的破坏，极个别桥梁发生边梁落梁现象，主要原因是：

(1)墩台在顺桥向的刚度远比横桥向为小，亦即墩台顺桥向的抗弯能力远比横桥向

(2)墩台在顺桥向搭接长度远比墩台横桥向富余宽度小，从而易在顺桥向造成落梁。

(3)各梁各墩在顺桥向为串连结构，而横桥向为并连结构，从而使地震荷载和相对位移在顺桥向出现较大的传递和不均匀分配。

#### (四) 梁式桥的震害

##### 1、刚性地基上梁式桥的震害

凡是在地震中基础不出现位移、倾斜，岸坡不出现滑移的地基，称为刚性地基。这种地基在地震过程中可近似地视为绝对刚性，即任意两点之间在地震过程中将不出现大幅度的相对位移。将地震分为刚性地基和失稳地基是因为在这两种地基中桥梁的动力图式和基本受力有着本质的不同，而且形成明显的两种类型的震害，在刚性地基上桥梁只受到桥梁结构本身自重产生的惯性荷载和台背动土压力两种作用力的影响。

##### 1) 顺桥向的震害

(1) 活动支座的失稳、倾倒、脱落。活动支座是梁式桥抗震中一个最薄弱的环节，调查表明烈度 $\geq 7$ 度时，摆柱式支座、滚动支座普遍出现失稳、倾倒、脱落现象，几乎无一例外。因活动支座本身就是一个机动结构，加上桥梁在地震作用下将产生较大的水平地震荷载和大幅度的水平相对位移，对柔性墩墩身还将产生较大的转角。因此，活动支座失稳的并不仅仅是强度不足，顺桥向位移过大和墩身顺桥向与横桥向的角度过大也会引起失稳。事实上活动支座的破坏及桥梁的危险震害——落梁等都是由于位移和变形过大而产生的。因此对结构在地震中的位移和变形必须予以特别重视。

(2) 固定支座的破坏。固定支座在地震中出现的震害有两种情况，一是顺桥向的纯剪切破坏，二是横桥向的弯扭破坏。实际震害表明：当烈度大于或等于 8 度时，固定支座才出现破坏，顺桥向的破坏性质为纯剪切所致。对一端固定一端活动的梁式结构，当 $\Delta > \delta$ 时（ $\Delta$ 为相对位移； $\delta$ 为梁端伸缩缝宽），各墩顶的剪力大小与梁的自重、烈度成正比。当面 $\Delta < \delta$ 时，与高墩相邻的低墩或桥台的固定支座将首先破坏或破坏严重，因为它除了受到来自它本身的水平地震荷载外，还将受到邻孔梁的冲击力。对墩顶铰接的梁式结构，抗推刚度大的墩顶受到的剪力也大，因而它将首先破坏（当支座系按等强度设计时）。

(3) 梁墩的相对位移将引起固定支座销钉剪断，摆柱式支座倾斜甚至倾倒，桥台胸墙及梁端撞裂，每孔缩短或延长成不规律的交替变化等震害。上述情况一般在烈度大于或等于 8 度时才会出现。

当墩身首先破坏时，对一端固定一端活动的梁桥，除台上的固定支座将被剪断出现相对位移外，其墩上的固定支座完好而不出现相对位移，仅在活动支座端出现相对位移，因而其相对位移曲线在全桥为锯齿状。对两端均为平板滑动支座，油毡支座的桥梁，除两台上的支座出现相对位移外，其余墩顶上的支座将不出现相对位移。

当墩身强度较大，在地震中不被破坏时，则不论是活动支座或固定支座均不能被剪断而出现相对位移，因而其位移曲线在全桥呈同方向，只有在桥梁总长大于半个地震波长的情况下才有部分支座呈反方向。在刚性地基上，梁墩相对位移值不应大于地面在地震中出现的最大位移值。因而它远比在非刚性地基上的梁墩相对位移为小，根据已有调查资料，其值在 5cm 之间，它和烈度的大致关系如表 10-3 所示。

相对位移与烈度的大致关系

表 10-3

烈度 (度)	VIII (8)	IX (9)	X (10)
相对位移 (cm)	5~20	10~40	20~80

(4) 胸墙及梁端破坏。烈度等于或大于 9 度时, 当墩身开裂或固定支座被剪断后, 则梁将撞击胸墙或梁端出现互相撞击。对于高度较大的胸墙, 如果梁端的冲击力作用在胸墙的较高部位时, 则胸墙将出现弯剪破坏, 当作用力的作用点较低、且胸墙刚度较大时, 将出现剪断破坏。

梁端与梁端或梁端与胸墙撞击时的作力点, 有时在梁高的下部, 有时在梁高的中部, 但也有可能撞击梁高的上部而将桥面系撞碎。

胸墙在正常使用情况下, 由于多为竖向荷载, 受力不大, 故一般按构造决定尺寸, 截面尺寸和程度都较小, 不足以承受地震时产生的水平荷载。同时, 由于胸墙并非主要承重结构, 故常被忽视。但在地震中胸墙却成了要害部位, 因受力很大使许多胸墙被剪断, 特别在岸坡滑移时, 几乎所有桥梁的胸墙均被剪断; 在高烈度区刚性地基上的桥梁几乎有一半桥梁的胸墙被剪断。

胸墙对防止梁端的过大位移和短桥的落梁起关键作用。在刚性地基上, 当全桥上部结构伸缩缝的总长度小于梁墩的搭接长度时, 如能保证胸墙在地震中的刚度和强度, 则落梁是不可能发生的。为此, 在地震区的桥梁, 对胸墙应予以高度重视。

(5) 墩身破坏。由于墩身断折会造成落梁震害, 因此墩身应有足够的强度以抵抗地震力的破坏。调查表明, 当烈度等于或大于 9 度时会出现墩身裂缝和断折。墩身在顺桥向的破坏主要是由弯应力引起的, 因此系属弯曲破坏性质。

墩身破坏大都发生在墩身抗震能力薄弱之处, 如: 地面附近; 承台顶部; 截面突变处; 盖梁与桩柱联结处; 对混凝土桥墩则在混凝土的工作缝处。

对全桥而言, 由于跨径突变、墩高突变、结构形式突变、抗推刚度突变, 使墩台受到的地震水平推力最大而首先开裂或产生较严重的破坏。为此, 当设计新桥时应尽可能地减小这种突变, 使每一单墩单梁的自振频率尽可能地接近, 以协调全桥各墩的振动, 从而减小地震力在各墩的不均匀分布。

(6) 落梁。一般情况下, 在刚性地基上当烈度在 9 度或大于 9 度时会出落梁震害。落梁是桥梁震害中的危险震害, 它使交通中断且难于在短时期内修复通车。落梁主要是由于梁墩相对位移过大而造成的, 落梁时可能打断桥墩, 使下部结构造破损甚至引起全桥倒塌; 墩台在地震作用下也可能首先被破坏、折断而引起落梁。此外, 在地震作用下台背主动土压力和梁与胸墙的撞击力, 可能使强度不够的台身遭到破坏, 从而造成落梁。

## 2) 横桥向的震害

桥梁在地震中横桥向震害远较顺桥向的震害为轻。在横桥向的震害中, 除出现支座横移、扭转, 梁墩相对横移以及墩身弯曲、扭转裂缝, 边梁倾覆失稳等震害外, 尚未有过上部结构整孔横向落梁和墩身横桥向折断等危险震害。横桥向震害是桥梁在地震中出现横桥向的振动, 从而产生横向水平地震荷载引起的, 在此不作详述。

## 2、非刚性地基上梁式桥的震害

非刚性地基是指地震中地表以下土层出现液化和岸坡出现滑动的地基, 或者墩台出现位移、沉降的地基。这类地基上的桥梁除受到结构本身产生的地震荷载和台背的动土压力外, 还受

到岸坡土体产生的移动动土压力和基础变位的影响。因此在相同烈度情况下，非刚性地基上桥梁震害要比在刚性地基上的震害为重，一般在 7 度或 6 度时也会出现严重震害或落梁。在非刚性地基上桥梁震害，可分为两类，即由于岸坡滑移造成的震害；由于地基液化而产生的震害。

## （五）拱式桥的震害

### 1、刚性地基上拱桥的震害

#### 1) 单孔拱桥的震害

《公路工程抗震设计规范》中规定：凡设计烈度低于 9 度，基础位于基岩或一般稳定土上的跨径不大于 30m 的单孔板拱桥，可不进行抗震强度和稳定性验算。这是因为在刚性地基上单孔板拱桥，当其承载能力满足设计要求时，具有较高的抗震能力且一般要在 9 度和大于 9 度时才开始出现震害。

调查表明：烈度为 9 度以下的单孔拱桥震后均属完好，9 度时仅在拱脚出现轻微损坏且主拱完好；烈度为 10 度主拱的震害有拱脚开裂、端腹孔与立柱产生裂缝及胸墙产生剪切破坏等。

由于在刚性地基上的拱桥只承受惯性荷载和台背的动土压力，在地面运动作用下，拱在拱平面内的基本振型为反对称的两个波的振动形式，因而拱脚和拱 1/4 处产生的弯矩最大，所以拱脚与拱 1/4 处是抗震薄弱的环节之一；特别是拱脚处于形状突出部位，既可能出现弯曲开裂，又可能形成剪切位移。但总的来讲，在刚性地基上单孔拱桥的塌桥震害尚属罕见，并且由于板拱横桥向刚度远大于顺桥向刚度。因此，即使烈度高达 10 度时主拱在横桥向也尚未出现重大震害。

#### 2) 连孔拱桥的震害

连拱的抗震能力比单孔为低，出现震害的起点烈度也较低。这是因为连杆在地面运动作用下产生的地震内力等于单拱的地震内力加墩顶变位产生的内力。墩顶在地面水平运动作用下产生的变位大小与墩的抗推刚度和连拱跨数有关；墩愈柔，跨数愈多，墩顶变位愈大，则其地震内力也愈大。

当墩的刚度足以承受恒载的单向推力时，其抗震能力与震害性质将与单拱相同。当墩的刚度不足以承受恒载的单向推力时，墩愈柔，跨数愈多，墩顶变位愈大，则其地震内力也愈大。当墩的刚度足以承受恒载的单向推力时，其抗震能力与震害性质将与单拱相同。当墩的刚度不足以承受恒载的单向推力时，墩愈柔，跨数愈多，则抗震能力愈差，将会出现墩身开裂、折断、落拱等震害。从表 10-4 可见震害随着孔数、墩高的增加而加重。

连孔拱桥的震害与梁桥震害相同，主要出现于顺桥方向，但横桥向的震害则比梁桥为轻，原因是连孔拱桥横桥向刚度远大于顺桥向刚度。同时上下部分的联结也比梁桥牢固，因此，在横桥向除出现弯曲、剪切、拉伸裂缝等震害外，并未出现横向相对位移和上部结构横桥向

桥名代号	烈度(度)	跨径(m)	矢跨比	孔数	墩台型式	最大墩高(m)	震害与震害程度
1	9	17	1/7	3	2× φ90 双柱式	3	轻微破坏
2	9	22	1/7	6		4	中等程度破坏
3	9	22	1/7	8		6	第4孔跨径缩短80cm, 矢高加大147cm, 严重破坏
4	9	22	1/7	10		9	全部落拱*孔严重破坏, 全桥用毁

## 2、非刚性地基上拱桥的震害

非刚性地基上拱桥的震害主要由岸坡滑移和地基沉降引起。岸坡滑移会使桥台产生大幅度的倾斜并向河心位移, 使拱桥产生严重震害。地基沉降包括由于液化引起的承载能力的下降和其它原因产生的沉降, 例如基础承载能力不足等原因。

# 三、桥梁抗震

## 1、桥梁抗震构造要求

为了适应桥梁对抗震的要求, 针对震害实例和所出现的各种薄弱环节, 加强桥梁构造以提高桥梁抗震能力, 显然是具有重要意义的。桥梁抗震的构造要求如下:

1) 对简支梁、连续梁、系杆拱等梁式体系, 必须设置阻止梁墩横桥向相对位移的构造, 以阻止梁墩间在地震力作用下产生相对横桥向位移。对悬臂梁和 T 型刚结构除采取上述措施, 还应采取阻止上部结构与上部结构之间横桥向相对位移的构造措施。

2) 对活动支座, 均就采取限制其位移、防止其歪斜的措施。

3) 对简支梁应采取如下措施防止地震中出现落梁。

(1) 位于烈度为 8 度和 8 度以上地震区的刚性地基上的简支梁, 可采用挡块、螺栓连接、钢夹板连接等防止落梁的措施, 或在保证胸墙和台顶抗剪强度的前提下, 使梁墩的搭接长度  $\beta \geq 1.5(n+1)\delta$  (式中  $n$  为全桥孔数,  $\delta$  为梁端间的伸缩缝值)。

(2) 位于烈度为 7 度和 7 度以上地震区的非刚性地基上的简支梁, 当岸坡在地震中会出现滑动时, 应采取深基础, 并将其设置于稳定土层以下一定深度, 同时加大墩台强度的前提下采取梁墩措施; 或全桥设置底撑, 或在全桥范围内铺砌河床。当地基为可液化土层时, 应采取深基础, 并应将基础设置于可液化层以下一定深度。

4) 对于桩式墩和柱式墩, 桩(柱)与盖梁、承台联系处的配筋不应少于桩或柱身的最大配筋, 以加固地震中易于出现震害的薄弱部位之一。

5) 对于砖石混凝土墩台, 应考虑提高墩台帽与墩台本身以及墩台本身基础联接处、截面突变处和施工缝处的抗剪强度。

6) 桥台胸墙应加强, 在胸墙与梁的端部之间, 宜填充缓冲材料, 如沥青、油毛毡等。

7) 砖石、混凝土墩台和拱圈的最低砂浆标量应按现行设计规范要求提高一级使用。

8) 不论为梁式桥、拱桥都应尽量避免在不稳定的河岸修建, 只能在不稳定河

岸上修建大、中桥时，应合理布置桥孔，避免将墩台布设于在地震时可能滑动的岸坡突变处。

9) 大跨径拱桥的主拱圈宜采用抗扭刚度较大、整体性较好的断面型式，如箱形拱、板拱等。当主拱采用组合式断面时，应加强组合截面间的连接强度，对双曲拱桥应加强肋板间的连接。

10) 大跨径拱桥不宜采用二铰和三铰拱。当小跨径拱桥采用二铰板拱时，应采取防止落拱构造措施，如在加长拱座斜面设置防落牛脚等。

11) 砖石、混凝土空腹拱的拱上建筑、除靠近墩台的腹拱采用三铰或二铰外，其余腹拱宜采用连续结构。

12) 拱桥宜尽量减轻拱上建筑的重量。

13) 刚性地基烈度为 9 度时，或非刚性地基烈度为 7 度时单孔及连孔拱桥与端腹孔均应采取防止落拱构造，包括加长拱座斜面、设置防落牛脚及将主拱钢筋伸入墩台帽内。

14) 除上述有关抗震构造要求外，应特别强调施工质量的保证措施。

## 2、桥梁抗震加固原则

1) 地震基本烈度为 7 度或 7 度以上地区的桥梁，应按现行《公路工程抗震设计规范》(JTJ004) 的要求进行验算，采取相应的挡、联、固等抗震加固措施。基本烈度小于 7 度地区的桥梁，除特殊规定外，可采取简易设防。

2) 加固后的桥梁必须满足桥梁正常营运和正常情况下使用的要求。

3) 桥梁抗震加固的重点为桥梁的顺桥方向。

4) 加固处理时桥梁引道要尽量与邻近公路连通，确保震后的交通不致中断。对重点桥梁应作好震后抢修准备，争取震后尽快恢复交通。

5) 《公路养护技术规范》对桥梁抗震加固作了如下规定：在烈度为 8 度及 8 度以上的地震区的公路桥均应局部加强其抗震薄弱的部位，以提高桥梁抗震能力或减小惯性力。对现有桥梁或被震坏的桥梁，要根据其不同结构型式，针对薄弱环节，进行加固处理。局部加固的重点是上、下部结构抗震薄弱部位。上部结构的薄弱部位：梁式桥是跨中、横梁、支座；拱桥的重点部位是拱顶、拱圈 1/4 跨径处、拱脚及腹拱与立柱联结处；其他形式桥梁，除跨中和支座部位外，还包括设计部门提出的抗震薄弱部位。下部结构的薄弱部位：墩帽与墩身联结处、盖梁与立柱（排回桩）联结处、承台与基桩联结处；墩、台身或基桩断面突变处；基础局部冲刷严重的部位；水中墩（桩）干湿交替风化严重的部位；钢筋混凝土桥墩混凝土工作缝处。

6) 桥梁抗震加固应根据桥梁的重要性、烈度的高低、修复的难易程度、地基土的情况分别对待，一般说对重要的、修复困难的、烈度高的、跨径大的桥梁应重点对待，全面加固。对于一般桥梁可作一般性加固。对小桥仅对活动支座作必要处理。

7) 桥梁抗震加固应充分考虑到桥梁正常营运和使用情况下的要求，使加固后的桥梁满足要求（如桥梁因温度伸缩必须满足的变形要求等）

8) 桥梁抗震加固时，应结合震害实例的破坏情况加以分析，针对薄弱环部位，采取切合实际而有效的抗震加固措施。

## 3、桥梁抗震加固方法的选择

引起公路桥梁地震破坏有 16 种因素，针对不同震害。有的加固对策可以立即实施，有的在改建桥梁时方能用上，具体见表 10-5。所有可供选择的对策如表 10-6 所示。

影响公路桥梁地震易损性 16 种因素的抗震加固措施

表 10-5

序号	项 目	抗震加固可行性	对策原则
1	设计因素	×	——
2	上部结构形式	×	——
3	上部结构外形	×	——
4	上部结构材料	×	——
5	桥轴线坡度	×	——
6	防止落梁设备	√	设备安装
7	基础形式	√	基础加固
8	桥墩高度	×	——
9	场地条件	×	——
10	地基上液化的影响	√	地基加固或周围土加固
11	持力层的不均匀性	×	——
12	杂质的影响	√	防止杂质或基础加固
13	基础材料	√	基础加固
14	地基形式	√	地基加固
15	地面运动的强度	×	——
16	在中部主筋截断处的影响	√	基础加固

其中：√表示可行的抗震加固措施 ×表示不可行的抗震加固措施

公路桥梁抗震加固方法的选择

表 10-6

防止落梁设备		连接上下部结构
		限位器（挡块）
		延长支承长度
基础加固	地基土液化的影响	更换土壤
		增大基础
		增加桥墩数量
	杂质的影响	土壤表面覆盖混凝土面层
		保护基础的钢板或钢桩
	基础形式	增大基础
增加桥墩数量		
设置侧梁		
加固下部结构	下部结构形式	在旧截面周围设置混凝土
		钢套管
		设置墙体

			增加桥墩数量
		下部结构材料	在旧截面周围设置混凝土 钢套管
		中间主筋截断处的影响	在旧截面周围设置混凝土 钢套管

#### 4、梁式桥的抗震加固

在梁式桥的抗震加固对策中，就上部结构而言，主要是防止顺桥向和横桥向的落梁、防止支座的破坏以及梁墩相对位移等方面。先将有关抗震加固措施列述如下：

(1) 防止顺桥向（纵向）落梁的抗震对策。如表 10-7 所示的各类方法。

(2) 防止横桥向落梁的抗震对策。如表 10-8 所示的各类方法。

事实上防止纵向落梁的一些抗震对策（如挡块的设置等）也对防止横向落梁有一定作用。此外，短钢、角钢、槽钢等也可用于防止横桥向落梁。

(3) 防止支座破坏的抗震对策。梁式桥的支座在地震中是关键部位之一，震时往往支座倾倒，锚栓剪断滑落，造成严重后果，因此必须进行加固。可根据不同的情况采用各类方法，见表 10-9。

#### 5、拱式桥的抗震加固

在基础条件许可的情况下，地震区也可以建造拱桥。大跨径和高墩台的拱桥往往比小跨径和低墩台拱桥的震害严重，而多孔的连孔拱桥则又比单孔拱桥易于出现震害。因此，对跨径大于 20m 的双曲拱桥及跨径大于 15m 的坦肋拱桥和桁架拱桥，当裂缝宽度超过 0.2mm、长度超过 1/2 拱圈厚度时都应予以加固。

对双曲拱来说，其连接部位较多，如拱肋和拱波的连接，拱肋和桥墩（台）连接，拱上建筑和拱圈的连接，这些常成为双曲拱桥抗震的薄弱环节，亦应予以加固。

拱桥加固，主要以整体加固为主，其各部分的抗震加固措施见表 10-10 所示。

#### 6、墩台和基础的抗震加固

地震区的桥梁在修建时应根据烈度的大小，对下部构造的设计提出相应的抗震要求。在修建时未考虑地震因素的墩台基础，应验算在地震作用下的倾覆及抗滑的稳定性。若不能满足要求时，应采取抗震加固措施，其方法见表 10-11。

## 四、加固方法

公路桥梁抗震加固方法见表 10-7～表 10-11。

公路桥梁防止纵向落梁抗震加固方法

表 10-7

对策	简图	说明
<p>增设挡块加强墩墙</p>		<p>将原桥台胸陆拆除，重做钢筋混凝土胸墙，在梁端和胸墙间填充缓冲材料（如沥青油毡或橡胶垫），并在台帽外线加做挡块，卡住横隔板</p>
<p>桥台加固挡板</p>		<p>挡块及胸墙的尺寸，应按《公路工程抗震设计规范（试行）》进行计算决定。挡块锚栓的截面积可按下式计算：  <math>A=2KW/\sigma</math>          式中 <math>A</math>—锚栓截面积 (<math>\text{cm}^2</math>)  <math>K</math>—水平地震系数；          烈度为：          7 度时，<math>K=0.1</math>          8 度时，<math>K=0.2</math>          9 度时，<math>K=0.4</math>  <math>W</math>—梁或板或一孔自重 (<math>\text{kg}</math>)  <math>\sigma</math>—锚栓钢筋容许剪应力 (<math>9.8\text{kN}/\text{cm}^2</math>)；可按基本容许剪应力提高 50%</p>
<p>H型卡梁加固</p>		<p>石砌重力式桥墩与跨径较小的梁式桥，可在两根梁的端横板（梁）缝中钻孔，用槽钢及螺栓作成 H 型架，将主梁固定于桥墩上。          在限制主梁移动、防止落梁震害的前提下，必须保证主梁正常情况下的少量伸缩余裕，特别在活动支座一端。因此软木垫或橡胶垫要按规定尺寸施工</p>

公路桥梁防止纵向落梁抗震加固方法 (续)

表 10-7

对策	简图	说明
三角形 支架 加固		桩式桥墩与一般桥跨, 当为端横隔板(梁)底面与盖梁面有缝隙可以穿过钢板的梁式桥时, 可不用钻孔, 而用钢板焊接成正反面的三角形支架, 把梁固定在桥墩上。软木垫块或橡胶垫同上所述, 要按规定尺寸施工, 限制主梁在约束范围内得以自由活动。
墩帽 上设 置于 活动 支座 端的 挡块		在墩帽上设置梁活动端支座的挡块, 有利于防止纵向、横向的落梁震害。挡块位置应考虑温度变化影响和荷载挠度位移等而留有余裕。
板 梁 与 墩 台 间 的 螺 栓 连 接 加 固		用螺栓加固板梁与墩(台)之间的固定连接, 把梁或板固定于桥墩上以防止落梁。板梁采用油毛毡支座的, 可把每片梁板钻孔深入至墩台用内, 然后将根据本表第二栏的说明中所列公式计算所需尺寸的螺栓放入, 填以环氧砂浆, 上紧螺帽, 固定端钻孔填砂浆, 活动端应扩孔并填以弹性材料, 以适应温差伸缩为纵向加固, 在梁端隔板之间中性轴线上钻孔, 用螺栓连接。

公路桥梁防止纵向落梁抗震加固方法 (续)

表 10-7

对策	简图	说明
梁端横隔板之间用螺栓连接		为纵向加固，在梁端隔板之间中性轴线上钻孔，用螺栓连接
悬臂挂梁侧钻孔加固		对于悬臂梁桥的挂梁可以采用纵梁侧钻孔并用钢板螺栓连接的固定措施，活动支座端则扩大螺孔，以适应温度变化伸缩等影响
连接螺栓用于悬臂梁挂梁之间的加固		对悬臂梁除采用上述抗震加固措施外，也可用螺栓竖向连接或以钢板于梁顶面钻孔连接二梁（悬臂和挂梁）端部的办法
钢板连接悬臂梁与挂梁		用钢板将悬臂梁与挂梁连接加固
梁间连接		利用梁端钢板铰接的连接法在梁侧钻孔安装
连接梁与台帽胸墙		情况同上述由钢板螺栓连接，但直接与桥台胸墙上的埋设件连接起来防止落梁

公路桥梁防止横向落梁抗震加固方法

表 10-8

对策	简图	说明
钢丝绳横向连接		<p>当边主梁外侧盖梁较短，无条件钻孔设置横向挡块时，可用钢丝绳将主梁和边桩横向连接在一起，要注意钢丝绳与绳夹的规格大小及连接方法应符合要求，桩顶的合窠内应衬橡胶垫，并用螺栓将合窠拧紧。</p>
边主梁外侧设挡块		<p>当边主梁外侧盖梁上有条件钻孔时，可设钢筋混凝土横向抗震挡块（纵向挡块对防止横向落梁也有一定作用）。</p>
主边梁外侧设挡杆		<p>在主边梁外侧桥台盖梁或台帽上埋设短角钢或钢轨、槽钢作用挡杆，外露部分涂红丹一度，灰铅漆二度。</p>
主边梁外侧设置钢支架		<p>在主边梁外侧墩（台）帽上埋设钢锚栓，固定三角形钢支架作为防止边梁震落的抗震措施，同上所述外露部分涂布红丹一度，灰铅漆二度。</p>
主梁两侧埋设角钢钢轨		<p>用角钢或短钢轨代替钢筋混凝土挡块，埋设项相对位移过大，和防止核向地震力作用下发生校向落梁，角钢外露部分按上述用红丹、灰铅漆涂布。</p>

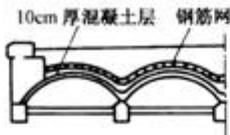
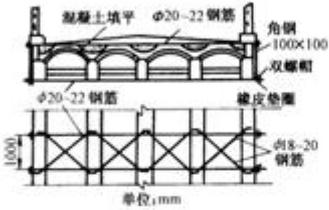
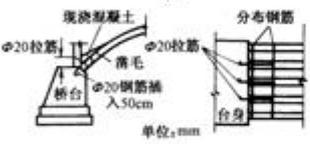
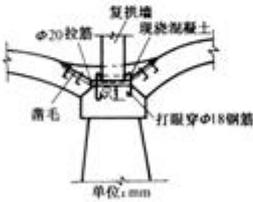
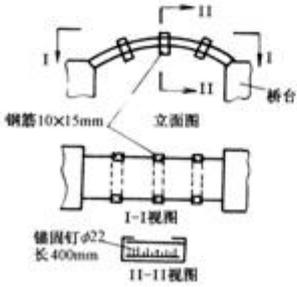
公路桥梁各种支座破坏的加固方法

表 10-9

对策	简图	说明
盖梁较宽时的支座挡块		<p>对于采用平板式滑动支座、切线式滑动支座或油毛毡支座上的薄腹 T 型梁，在墩台较宽情况下，可采用和钢筋混凝土挡块进行加固。每梁用 4 块，即两端两侧各 1 块。钢筋混凝土挡块的尺寸，一般可为长 40cm、宽 30cm、高 30cm，但其高度必须保证比 T 型梁和横梁底面高出 20cm 以上。挡块中的锚固钢筋埋入盖梁墩幅中 30 ~ 50cm。</p>
U 字型承托的支座加固		<p>对于摆动、滚动式支座，其墩（台）帽或盖梁一般较宽，除采用一般钢筋混凝土挡块外，也可将梁两侧的挡块同下部构造联接起来，使之成为 U 字形的承托。</p>
一字型承托的支座加固		<p>对于摆动、滚动式支座，其墩（台）帽或盖梁一般较宽，除采用一般钢筋混凝土挡块外，也可将梁两侧的挡块同下部构造联接起来，使之成为一字形的承托。</p>
两支座用钢筋纵向连接加固		<p>将相邻两支座用钢筋纵向连接加固。</p>

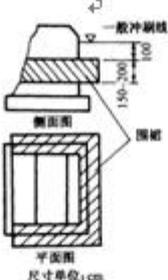
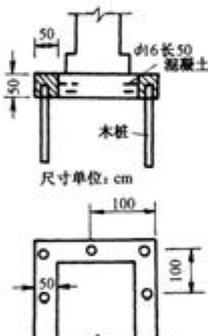
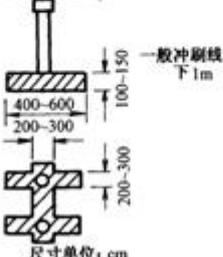
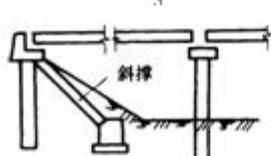
公路桥梁拱桥的抗震加固方法

表 10-10

对策	简图	说明
拱肋拱波间裂缝补强		拱肋和拱波之间出现裂缝,可压注环氧树脂砂浆补强
拱桥上部加固——钢筋网混凝土法		拱板上增设钢筋网一层,并铺筑混凝土封填厚 10cm,钢筋网顺桥长至少 2m(跨径为 20~30cm 时)或更长(跨径为 30m 以上时),以加强整体性和抗扭刚度
拱桥上部加固——加筋钢筋及剪刀撑加固		设 2 道相距 1m 的加筋钢筋,两筋间用剪刀撑联接(所有钢材均需作防锈处理),每根钢筋下波谷间用混凝土浇筑沿桥长方向宽 10cm 的填平层进行加固
桥台拱脚加固		在拱座凿孔,深度大于 50cm,埋设 $\phi 20$ 钢筋,另一端长在伸入拱背和埋设在拱肋波谷上的锚栓相连,并同横向的两边分布钢筋彼此焊接,然后浇筑混凝土
桥墩拱脚加固		构造和桥台相同,墩顶如有腹拱墙,需在墙脚凿孔,使拉筋通过连为一体
石拱桥的加固——拱圈钻孔锚固法		石拱桥可在拱的跨中和 $1/4$ 处加设三道钢板箍,用螺栓在拱底及拱侧钻孔锚固,应注意拱侧锚固点设在拱圈厚度的 $1/3$ 处。锚固孔用膨胀水砂浆填充塞实
拱上建筑加固	<p>立柱高度 <math>&gt; 5m</math>, 未设中横系者应加设连接构件;</p> <p>腹拱构造如系梁式结构, 加固对策与梁桥同</p>	

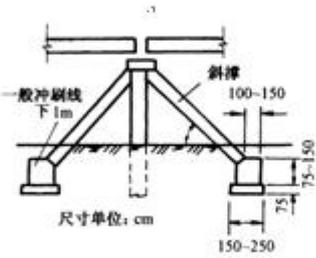
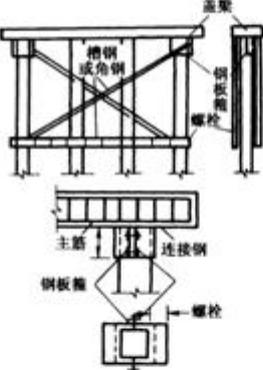
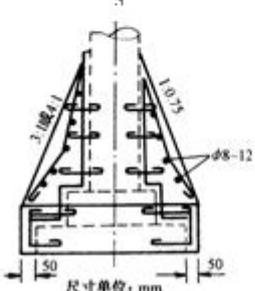
公路墩台与基础的抗震加固方法

表 10-11

对策	简图	说明
外加围裙法加固		<p>对于扩大基础,可采用外加围裙的方法进行抗震加固。围裙顶面埋置深度宜在一般冲刷线下 1m, 砌筑深度为 1.5~2m。由混凝土(标号不低于 15 号)或不低于 5 号水泥砂浆砌片石筑成。</p>
加打木桩浇筑混凝土增大基础底面积		<p>在扩大基础的周围打入桩, 凿去原基础外围光面, 并凿孔埋置锚筋, 然后再浇混凝土增大基础底面积。</p>
加筑围裙式条形基础法		<p>对于钻孔灌注桩, 可在一般冲刷线以下 1m, 用浆砌片石加设围裙式条形基础。</p>
桥台前端加设斜撑		<p>台前加设抗震斜撑, 抗震墩设于一般冲刷线以下, 斜撑尺寸可参照下一栏表中所示。</p>

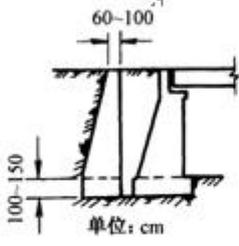
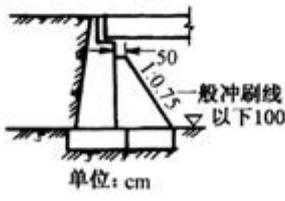
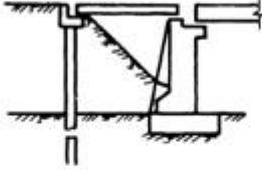
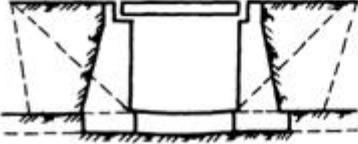
公路墩台与基础的抗震加固方法(续)

表 10-11

对策	简图	说明																		
桩墩两侧加设斜撑		<p>多孔长桥可设抗震墩,在原桥墩两边加设钢筋混凝土斜撑,可参照下表:</p> <table border="1" data-bbox="1034 450 1391 712"> <thead> <tr> <th>斜撑长 m</th> <th>斜撑断面 cm<sup>2</sup></th> <th>混凝土 标号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>&lt;5</td> <td>20×20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>5~8</td> <td>25×25</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>8~12</td> <td>30×30</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>12~16</td> <td>35×35</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>16~25</td> <td>40×40</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>	斜撑长 m	斜撑断面 cm <sup>2</sup>	混凝土 标号	<5	20×20	20	5~8	25×25	20	8~12	30×30	25	12~16	35×35	25	16~25	40×40	30
斜撑长 m	斜撑断面 cm <sup>2</sup>	混凝土 标号																		
<5	20×20	20																		
5~8	25×25	20																		
8~12	30×30	25																		
12~16	35×35	25																		
16~25	40×40	30																		
排架桩的横斜撑加固		<p>对于单排、双排方形桩,墩高在4m及4m以上者,应设横、斜撑联结,以加强桩式或柱式墩的整体性和稳定性。斜撑上端与钢板箍焊接,上端与横夹板以螺栓拧紧</p>																		
扩大桥墩断面加固		<p>如桥墩截面偏小,强度不足以抵御地震对桥墩的损坏,则可用加大桥墩断面的方法来加强。此时,须将原混凝土墩身及基础凿毛并使钢筋插入原桥墩的长度不小于30d(钢筋直径),外层加设钢筋网(网眼为2cm×2cm)浇筑15~20号混凝土</p>																		

公路墩台与基础的抗震加固对策（续）

表 10-11

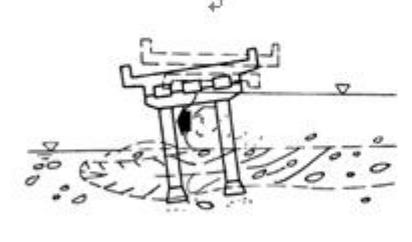
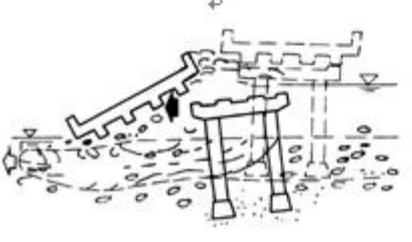
对策	简图	说明
桥台用挡墙加固		用桥不足以抵御台背土压力时，可在台后加建挡墙，用以减轻台后主动土压力的影响
台前增设扶壁加固		为加强台原桥抵御地震作用力的能力。于台前增设扶壁以稳定桥台，其基础一般宜在冲刷线以下 1m
后台增设桥孔		地震中往往台后陷落，使桥头接坡困难，或为防止主动土压力过大而影响桥台稳定，均可在桥台后增设桥孔
改建为 U 型桥台		当桥台背后、两侧出现坍塌时，可改建为 U 型桥台，从而加固台身以稳定土坡

### 第三节 公路桥梁汛期防护加固

桥墩遭受洪水冲击时很容易造成破坏，有些是受到暴洪携带的巨石冲击后遭到破坏，有些是受到强大的洪水冲刷之后遭到破坏的，还有的在洪水来临尚未受到巨大冲击就倒塌了，但被冲毁的过程是基本一致的，表 10-12 总结了桥梁桥墩在洪水中被冲毁的过程。

桥梁墩台在洪水中毁坏的过程

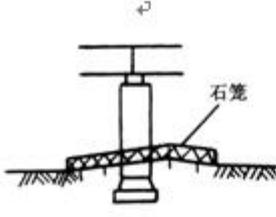
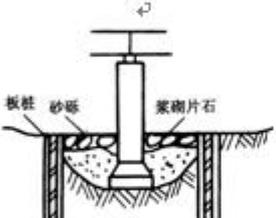
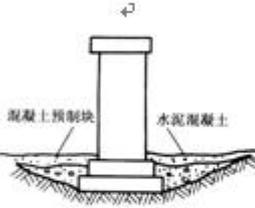
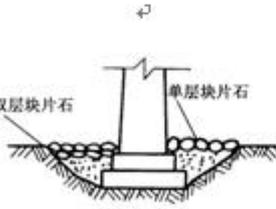
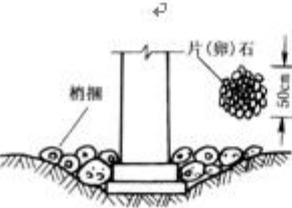
表 10-12

次序	破坏示意图	次序	破坏示意图
1		2	
3		4	
5		6	

当河床受到水流冲刷而危及桥梁墩台基础时，必须采取防护措施。根据河床地质情况及冲刷范围的不同，所采取的防护措施也不尽相同，各种不同的防护、加固方法如表 10-13 所示。

桥梁基础常用防护、加固方法

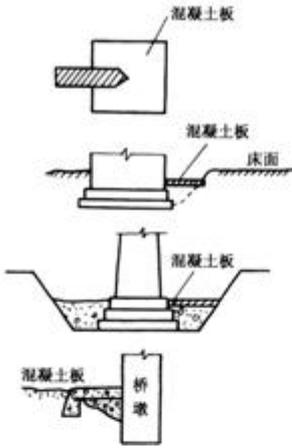
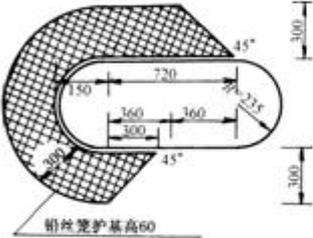
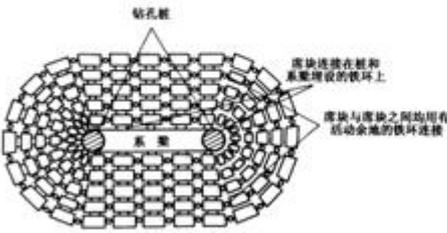
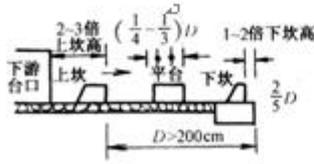
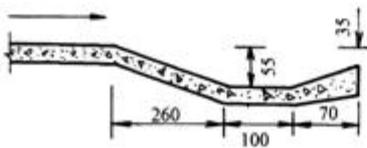
表 10-13

方法	简图	说明
石笼防护		<p>水流冲刷危及基础时，须采取防护措施：用竹子、铅丝或钢筋制成石笼护基，并将石笼间以钢筋或铅丝相互连结下沉；</p>
板桩防护		<p>水流冲刷危及基础时，须采取防护措施：在土质或细砂砾河床，可筑板桩围堰堰内填砂砾、石。注意板桩顶面标高不应高于河床</p>
水混泥凝混凝土凝预土制板块防护		<p>当河床不稳定，基础埋置深度浅，冲刷范围较大时，宜取平面防护，其范围视具体情况而定。在水流中不可部分施工时宜采用铺置混凝土块的办法防护。采用铺筑水泥混凝土防护时，需在河床整个宽度内进行，不能部分地施工</p>
块石片石防护		<p>同上情况，亦可采取双层或单层块、片石作平面防护，但当河床面有淤泥杂物时，须加以清除，填以砂砾夯实后再行砌石，方能稳固</p>
梢捆防护		<p>用长约 15m 鲜柳枝、荆条编成梢捆，内装片石或卵石，成捆置放于基础四周防护，具有较好的防冲效果。当冲刷力较大，可在梢捆上加压石块稳定</p>



桥梁基础常用防护、加固方法（续）

表 10-13

方法	简 图	说 明
混凝土板防护	 <p>The diagram illustrates the concrete slab protection method. It shows a cross-section of a bridge pier and its foundation. A concrete slab is placed below the water level, covering the foundation. Labels include '混凝土板' (concrete slab) and '床面' (bed surface). The slab is shown in three different views: a side view showing its placement relative to the pier, a top-down view showing its shape around the pier, and a perspective view showing its integration with the pier structure.</p>	<p>混凝土板属于局部冲刷平面防护，混凝土板应置于一般冲刷线以下，并应盖住所在位置的冲刷坑范围。混凝土板整体性强，抗冲耐磨，施工较方便，是一种防护桥墩局部冲刷的有效措施。对于新建桥梁，下深基有困难时，可用混凝土板局部冲刷来提高基础埋置深度，一般在基础施工时，可利用开挖基坑，在基坑内浇筑混凝土板。混凝土板埋置较深，要求盖住所在位置冲刷坑的范围较小，可增加桥墩安全。</p>
马蹄形铅丝笼填石护墩	 <p>The diagram shows a horseshoe-shaped wire mesh cage. The cage is filled with stones. Dimensions are provided: the width is 3.0m, the height is 0.6m, and the cage is 60cm high. The cage is made of 8mm diameter steel bars. The diagram also shows the cage being placed on a pier. Labels include '马蹄形铅丝笼' (horseshoe-shaped wire mesh cage), '铅丝笼护基高60' (wire mesh cage protection height 60), and '钢筋骨架' (steel skeleton).</p>	<p>马蹄形大型铅丝笼，可用<math>\Phi 8\text{mm}</math>钢筋作骨架，用8号铅丝编成网眼作外框，大铅丝笼宽3.0m，高0.6m，大铅丝笼在岸上编成后，用船运到桥墩处下沉就位，内填毛石，最后再加铅丝网盖。</p>
钢筋混凝土席块的防护	 <p>The diagram illustrates the reinforced concrete mat block protection. It shows a cross-section of a pier and its foundation. A mat block is placed around the pier. The mat block is made of reinforced concrete. Labels include '钢筋骨架' (steel skeleton), '席块连接在桩和系梁埋设的铁环上' (mat block connection to pile and cross-beam), and '席块与席块之间用有活动余地的铁环连接' (mat block connection with activity margin).</p>	<p>钢筋混凝土灌注桩和打桩基础受水刷侵蚀时，为避免冲刷，可填抛钢筋混凝土席块防护。将席块连接在桩和系梁埋设的铁环上，席块与席块之间用有活动余地的铁环连接。</p>
三级跳坎防护	 <p>The diagram shows a three-stage drop structure. It consists of three drops arranged in a row. The first drop is 2-3 times the height of the second drop, and the second drop is 1-2 times the height of the third drop. The diameter of the pier is labeled as <math>D &gt; 200\text{cm}</math>. Labels include '下游台口' (downstream outlet), '上坎' (upper drop), '平台' (platform), '下坎' (lower drop), and 'D &gt; 200cm'.</p>	<p>当下游冲刷严重，为缓冲水流冲刷影响，可用浆砌块、片石或预制混凝土块筑成三级消力坎（或称三级跳坎）。</p>
海曼防护	 <p>The diagram illustrates the Heiman protection method. It shows a cross-section of a pier and its foundation. A sloped structure is placed around the pier. The structure is made of masonry or concrete. Dimensions are provided: the width is 260, the height is 55, and the length is 70. Labels include '海曼防护' (Heiman protection), '260', '55', and '70'.</p>	<p>同上目的，亦可采用海曼式缓冲水流。海曼式防护可用砌石或铺筑混凝土。</p>