

公路工程抗震设计规范

JTJ 044—89 1990 年 1 月 1 日起施行

基本符号

作用和作用效应

E_{hs} ——作用于路基计算土体重心处的水平地震荷载

E_{ihw} ——作用于第 i 截面以上墙身重心处的水平地震荷载

E_{ihq} ——作用于梁桥桥墩质点 i 的水平地震荷载

E_{htp} ——作用于梁桥柔性墩支座顶面处的水平地震荷载

E_{ihe} ——上部结构对第 i 号墩板式橡胶支座顶面处产生的水平地震荷载

E_{hp} ——墩身所产生的水平地震荷载

E_{hsp} ——上部结构对一个或几个板式橡胶支座顶面处产生的水平地震荷载之和。

E_{hau} ——作用于台身重心处的水平地震荷载

E_{ea} ——地震时作用于台背每延米长度上的主动土压力

E_{ihp} ——作用于墩顶的顺桥向水平集中力

q_{zhp} ——沿墩身分布的顺桥向水平地震荷载

E_{izp} ——作用于墩顶的横桥向水平集中力

S_{iza} ——等跨度连拱桥沿拱圈均布的横桥向水平地震荷载引起拱脚、拱顶和 $1/4$ 拱跨截面处弯矩、剪力或扭矩

E_{ih} ——作用于隧道衬砌和明洞上任一质点的水平地震荷载

G_s ——路基计算土体的重力

G_{iw} ——第 i 截面以上墙身圬工的重力

$G_{i=1\ 2\ 3\ \dots}$ ——桥墩墩身各分段的重力

G_t ——支座顶面处的换算质点重力

G_{ap} ——上部结构重力

G_{cp} ——盖梁重力

G_p ——墩身重力

G_{ip} ——桥墩对板式橡胶支座顶面处的换算质点重力

G_{au} ——基础顶面以上台身重力

G_{ma} ——包括拱上建筑在内沿拱圈单位弧长的平均重力

G_{it} ——第 i 号墩顶集中重力

G_a ——一孔拱桥上部结构总重力

G_{mp} ——墩身每延米重力

E_w ——地震时在水深 $1/2$ 高度处, 作用于桥墩的总动水压力

E_{hb} ——作用于固定支座上顺桥向的水平地震荷载

E_{sb} ——作用于固定支座和活动支座上横桥向的水平地震荷载

E_{hzb} ——作用于橡胶支座上顺桥向或横桥向的水平地震荷载

S_{va} ——单孔拱桥由顺桥向水平地震动所产生的竖向地震荷载引起拱脚、拱顶和 $1/4$ 拱跨截面处弯矩、剪力或轴力

S_{ha} ——单孔拱桥由顺桥向水平地震动所产生的水平地震荷载引起拱脚、拱顶和 $1/4$ 拱跨截面处变矩、剪力或轴力

S_{za} ——单孔拱桥由横桥向水平地震动所产生的水平地震荷载引起拱脚、拱顶和 $1/4$ 拱跨截面处弯矩、剪力或扭矩

S_a ——等跨度连拱桥拱圈的总地震内力

S_p ——等跨度连拱桥墩身的总地震内力

X_{ii} ——梁桥桥墩基本振型在第 i 分段重心处的相对水平位移

X_f ——考虑地基变形时, 顺桥向作用于支座顶面或横桥向作用于上部结构质量重心上的单位水平力在一般冲刷线或基础顶面引起的水平位移与交座顶面或上部结构质量重心处的水平位移之比值

$X_{f\frac{1}{2}}$ ——考虑地基变形时, 在顺桥向作用于支座顶面上的单位水平力在墩身计算高度 $H/2$ 处引起的水平位移与支座顶面处的水平位移之比值

$X_{i,i}$ ——连拱桥基本振型位移

X_{zp} ——连拱桥桥墩第二振型位移

X_e ——由水平地震作用引起的支座顶面相对于底面的水平位移

δ ——在顺桥向或横桥向作用于支座顶面或上部结构质量重心上单位水平力在该点引起的水平位移

δ_{iha} ——连拱桥作用于拱脚处相向水平集中力引起拱脚处相向水平位移

K_{itp} ——第 i 号墩组合抗推刚度

K_{ia} ——第 i 号墩板式橡胶支座抗推刚度

K_{ip} ——第 i 号墩墩顶抗推刚度

K_i ——相应于一联上部结构所对应的全部板式橡胶支座抗推刚度之和

K_2 ——相应于一联上部结构所对应的桥墩抗推刚度之和

K_{iz} ——第 i 号墩横向抗推刚度

K_a ——拱脚相向抗推刚度

R_i ——上部结构重力在第 i 号聚四氟乙烯滑板支座上产生的反力

R_{fre} ——上部结构重力在活动支座上产生的反力

R_b ——上部结构重力在板式橡胶支座上产生的反力

计算系数

C_i ——重要性修正系数

K_h ——水平地震系数

K_v ——竖向地震系数

K ——地基土抗震容许承载力提高系数

P_c ——粘粒含量百分率

ξ ——粘粒含量修正系数

C_v ——地震剪应力随深度的折减系数

C_n ——标准贯入锤击数的修正系数

C_e ——液化抵抗系数

α ——折减系数

C_z ——综合影响系数

K_c ——抗滑动稳定系数

K_o ——抗倾覆稳定系数

ψ_{iw} ——水平地震荷载沿墙高的分布系数

β_i ——相应于桥墩顺桥向或横桥向的基本周期的动力放大系数

γ_i ——桥墩基本振型参与系数

β ——相应于某一振型的自振周期的动力放大系数

η ——墩身重力换算系数

K_A ——非地震条件下作用于台背的主动土压力系数

ξ_h ——断面形状系数

γ_v ——与在拱平面基本振型的竖向分量有关的系数

γ_h ——与在拱平面基本振型的水平分量有关的系数

ψ_v ——顺桥向竖向地震荷载产生的内力系数

ψ_h ——顺桥向均布水平地震荷载产生的内力系数

ψ_z ——横桥向水平地震荷载产生的内力系数

ψ_{iz} ——横桥向单位均布水平地震荷载产生的内力系数

γ_m ——材料或砌体安全系数

- γ_c ——混凝土安全系数
 γ_s ——预应力钢筋或非预应力钢筋安全系数
 γ_b ——结构工作条件系数
 γ_g ——荷载安全系数
 γ_q ——地震荷载安全系数
 m ——截面弯矩系数
 t ——截面扭矩系数
 q ——截面剪力系数
 n ——截面轴力系数

几何特征

- d_u ——上覆非液化土层厚度
 d_w ——地下水位深度
 d_s ——标准贯入点深度
 H ——路基边坡、挡土墙、桥墩或台身的高度
 H_i ——一般冲刷线或基础顶面至墩身各段重心处的垂直距离
 H_w ——路堤浸水常水位的深度
 H_{iw} ——第 i 截面以上墙身重心至墙底的高度
 B ——顺桥向或横桥向的墩身最大宽度
 b ——与地震作用方向相垂直的桥墩宽度
 h ——从地面或一般冲刷线算起的水深
 θ_h ——曲梁桥轴线所对应的水平中心角
 R ——曲梁半径
 Σ_t ——板式橡胶支座橡胶层总厚度
 A_r ——板式橡胶支座面积
 A_f ——基底截面积
 A_p ——墩身截面积
 e ——砖石、混凝土构件截面或基底截面的合力偏心距
 ρ ——基底截面的核心半径
 W ——基底截面的抵抗矩
 α ——梁端至墩(台)帽或盖梁边缘的最小距离
 L ——梁的计算跨径
 d ——吊梁与悬臂之间的搭接长度
 I_e ——桥墩等效截面惯性矩
 I ——截面惯性矩
 S ——拱轴线的弧长

θ_a ——圆弧拱轴线全弧长所对应的中心角

材料指标

$[\sigma]$ ——地基土修正后的容许承载力或强度提高后的材料容许应力

$[\sigma_e]$ ——地基土抗震容许承载力

σ_0 ——标准贯入点处土的总上覆压力

σ_e ——标准贯入点处土的有效覆盖压力

$[\sigma_e]$ ——地基土容许承载力

γ_u ——地下水位以上土的容重

γ_d ——地下水位以下土的容重

γ ——土的容重

ϕ ——土的内摩擦角

θ ——地震角

δ_e ——墙背与填土之间的摩擦角

G_d ——板式橡胶支座动剪切模量

μ_d ——支座动摩阻系数

γ_w ——水的容重

γ_p ——墩身材料容重

R^i ——材料或砌体的极限强度

R_c ——混凝土设计强度

R_a ——预应力钢筋或非预应力钢筋设计强度

E ——材料弹性模量

G_m ——场地土平均剪切模量

其它

N_i ——土层实测的修正标准贯入锤击数

N_c ——土层计算的修正液化临界标准贯入锤击数

$N_{63.5}$ ——土层实测的标准贯入锤击数

G ——非地震荷载效应

Q_d ——地震荷载效应

ω_1 ——梁桥桥墩或连拱桥顺桥向基本圆频率

ω_{2p} ——连拱桥桥墩顺桥向第二圆频率

ω_{1z} ——连拱桥横桥向基本圆频率

T_{is} ——连拱桥横桥向基本周期

T_i ——梁桥桥墩、单孔拱桥或连拱桥顺桥向基本周期

T_{is} ——连拱桥桥墩顺桥向第二周期

- g ——重力加速度
- μ_1 ——场地的平均剪切模量对场地评定指数的贡献
- μ_2 ——覆盖土层厚度对场地评定指数的贡献

第一节 总 则

第 1.0.1 条 为贯彻抗震工作以预防为主方针 ,减轻公路工程的地震破坏 ,保障人民生命财产的安全和减少经济损失 ,更好地发挥公路运输及其在抗震救灾中的作用 ,特制定本规范。

第 1.0.2 条 本规范适用于中国地震烈度区划图所规定的基本烈度为 7、8、9 度地区的公路工程抗震设计。对于基本烈度大于 9 度的地区 ,公路工程的抗震设计应进行专门研究 ,基本烈度为 6 度地区的公路工程 ,除国家特别规定外 ,可采用简易设防。

对于做过地震小区划地区的公路工程 ,应经主管部门审批后进行抗震设计。

对于修建特别重要的特大桥的场址 ,宜进行烈度复核或地震危险性分析。

沿线公路用房的抗震设计 ,应按国家现行的工业与民用建筑抗震设计规范进行。

第 1.0.3 条 公路工程按本规范设计后 ,在发生与之相当的基本烈度地震影响时 ,位于一般地段的高速公路、一级公路工程 ,经一般整修即可正常使用 ;位于一般地段的二级公路工程及位于软弱粘性土层或液化土层上的高速公路、一级公路工程 ,经短期抢修即可恢复使用 ,三、四级公路工程和位于抗震危险地段、软弱粘性土层或液化土层上的二级公路以及位于抗震危险地段的高速公路、一级公路工程 ,保证桥梁、隧道及重要的构造物不发生严重破坏。

注 抗震危险地段系指发展断层及其邻近地段 ,地震时可能发生大规模滑坡、崩塌、岸坡滑移等地段。

第 1.0.4 条 对构造物的地震作用 ,应根据路线等级及构造物的重要性和修复(抢修)的难易程度 ,按表 1.0.4 进行修正。

表 1.0.4 重要性修正系数 C_i

| 路线等级及构造物 | 重要性修正系数 C_i |
|--|---------------|
| 高速公路和一级公路上的抗震工程 | 1.7 |
| 高速公路和一级公路的一般工程、二级公路上的抗震重点工程、二、三级公路上桥梁的梁端支座 | 1.3 |
| 二级公路的一般工程、三级公路上的抗震重点工程、四级公路上桥梁的梁端支座 | 1.0 |
| 三级公路的一般工程、四级公路上的抗震重点工程 | 0.6 |

注 (1) 位于基本烈度为 9 度地区的高速公路和一级公路上的抗震重点工程 ,其重要性修正系数也可采用 1.5。

(2) 抗震重点工程系指特大桥、大桥、隧道和破坏后修复(抢修)困难的路基、中桥和挡土墙等工程。一般工程系指非重点的路基、中小桥和挡土墙等工程。

对政治、经济或国防上具有重要意义的三、四级公路工程,按国家批准权限,报请批准后,其重要性修正系数可按表 1.0.4 调高一档采用。

第 1.0.5 条 构造物一般应按基本烈度采取抗震措施。对于高速公路和一级公路上的抗震重点工程,可比基本烈度提高一度采取抗震措施,但基本烈度为 9 度的地区,提高一度的抗震措施应专门研究;对于四级公路上的—般工程,可不考虑或采用简易抗震措施。

第 1.0.6 条 立体交叉的跨线工程,其抗震设计不应低于下线工程的要求。

第 1.0.7 条 验算构造物地震作用时,水平地震系数 K_h 应按表 1.0.7 采用。

竖向地震系数 K_v 取 $\frac{1}{2} K_h$ 值。

第 1.0.8 条 抗震设计应符合下列要求:

- 一、选择对抗震有利的地段布设路线和选定桥位。
- 二、避免或减轻在地震影响下因地基变形或地基失效对公路工程造成的破坏。

表 1.0.7 水平地震系数 K_h

| | | | |
|--------------|-----|-----|-----|
| 基本烈度(度) | 7 | 8 | 9 |
| 水平地震系数 K_h | 0.1 | 0.2 | 0.4 |

三、本着减轻震害和便于修复(抢修)的原则,确定合理的设计方案。

四、加强路基的稳定性和构造物的整体性。

五、适当降低路基和构造物的高度,合理减轻构造物的自重。

六、在设计中提出保证施工质量的要求和措施。

第 1.0.9 条 按本规范进行抗震设计时,还应符合公路现行的有关标准、规范的要求。

第二节 路线、桥位、隧址和地基

2.1 路线、桥位和隧址

第 2.1.1 条 选择路线、桥位和隧址时,应搜集基本烈度、地震活动情况和区域性地质构造等资料,并加强工程地质、水文地质和历史震害情况的现场调查和勘察工作,查明对公路工程抗震有利、不利和危险的地段。应充分利用对抗震有利的地段。

注 对抗震不利的地段系指软弱粘性土层、液化土层和地层严重不均的地段;地形陡峭、孤突、岩土松散、破碎的地段;地下水位埋藏较浅、地表排水条件不良的地段。

第 2.1.2 条 路线和桥位宜绕避下列地段：

- 一、地震时可能发生滑坡、崩塌地段。
- 二、地震时可能塌陷的暗河、溶洞等岩溶地段和已采空的矿穴地段。
- 三、河床内基岩具有倾向河槽的构造软弱面被深切河槽所切割的地段。
- 四、地震时可能坍塌而严重中断公路交通的各种构造物。

第 2.1.3 条 当路线必须通过发震断层时，宜布设在其破碎带较窄的部位；当路线必须平行于发震断层时，宜布设在断层的下盘上。路线设计宜采用低填浅挖的设计方案。

当桥位无法避开发震断层时，宜将全部墩台布置在断层的同一盘（最好是下盘）上。

第 2.1.4 条 对河谷两岸在地震时可能因发生滑坡、崩塌而造成堵河成湖的地段，应估计其淹没和堵塞体溃决的影响范围，合理确定路线的标高和选定桥位。当可能因发生滑坡、崩塌而改变河流流向、影响岸坡和桥梁墩台以及路基的安全时，应采取适当的防护措施。

第 2.1.5 条 路线设计应尽量减少对自然平衡条件的破坏，避免造成较多的高陡临空面，不宜采用高墩台、高挡墙、深长路堑以及在同一山坡上的连续回头弯道等对抗震不利的设计方案。在山岭区，可采用隧道、明洞等对抗震有利的设计方案。

在工程地质、水文地质条件不良地段，除应尽量减少对自然平衡条件的破坏外，尚应根据具体情况采取必要的路基防护措施和加强排水处理。在地质不良的峡谷地段，应尽量避免开挖山体，可利用谷底阶地和河滩修建路堤或顺河桥，并应加强防护措施。

第 2.1.6 条 路线难以避开不稳定的悬崖陡壁地段时，宜采用隧道。

隧道设在傍山地段时，应适当内移，隧道洞口不应设在地震时易产生崩塌、滑坡、错落等地质不良地段。

第 2.1.7 条 当路线无法避开因地震而可能严重中断交通的地段时，应具备有维护交通的方案。例如：尽量与邻近公路连通；当有旧路、老桥、渡口等可供利用时，宜养扩备用；当有特殊需要时，可考虑修建一段抗震备用的低标准辅道等。

2.2 地 基

第 2.2.1 条 验算地基的抗震强度时，地基土的抗震容许承载力应按下式计算：

$$[\sigma_e] = K[\sigma] \quad (2.2.1)$$

式中 $[\sigma_e]$ ——地基土抗震容许承载力(kPa)；

$[\sigma]$ ——地基土修正后的容许承载力(kPa)，应按现行的《公路桥涵地基与基础设计规范》计算确定；

K ——地基土抗震容许承载力提高系数，应按表 2.2.1 采用。

柱桩的抗震容许承载力提高系数可取 1.5，摩擦桩的抗震容许承载力提高系数，可根据地基土类别按表 2.2.1 取值。

第 2.2.2 条 当在地面以下 20m 范围内有饱和砂土或饱和亚砂土层时，可根据下列情况初步判定其是否有可能液化：

表 2.2.1 地基土抗震容许承载力提高系数^K

| 地 基 土 | K |
|--|-----|
| 岩石 ,密实的碎石土 ,密实的砾、粗、中砂 ,老粘性土 $[\sigma_e] \geq 300\text{kPa}$ 的一般粘性土 | 1.5 |
| 中密的碎石土 ,中密的砾、粗、中砂 , $200\text{kPa} \leq [\sigma_e] < 300\text{kPa}$ 的一般粘性土 | 1.3 |
| 密、中密的细砂、粉砂 , $100\text{kPa} \leq [\sigma_e] < 200\text{kPa}$ 的一般粘性土 | 1.1 |
| 新近沉积的粘性土 ,软土 ,松散的砂 ,填土 $[\sigma_e] < 100\text{kPa}$ 的一般粘性土 | 1.0 |

注 $[\sigma_e]$ 为地基土容许承载力 ,应符合现行的《公路桥涵地基与基础设计规范》JTJ024—85 的规定。

一、地质年代为第四纪晚更新世 (Q_3) 及其以前时 ,可判为不液化。

二、基本烈度为 7 度、8 度、9 度区 ,亚砂土的粘粒 (粒径 $< 0.005\text{mm}$ 的颗粒) 含量百分率 P_d (按重量计) 分别不小于 10、13、16 时 ,可判为不液化。

三、基础埋置深度不超过 2m 的天燃地基 ,可根据图 2.2.2 中规定的上覆非液化土层厚度 d_u 或地下水位深度 d_w ,判定土层是否考虑液化影响。

第 2.2.3 条 经初步判定有可能液化的土局 ,可通过标准贯入试验 (有成熟经验时 ,亦可采用其他方法) 进一步判定土层是否液化。当土层实测的修正标准贯入锤击数 N_1 小于按式 (2.2.3—2) 计算的修正液化临界标准贯入锤击数 N_o 时 ,则判为液化 ,否则为不液化。

$$N_1 = C_n N_{68.5} \tag{2.2.3—1}$$

$$N_o = [11.8 (1 + 13.06 \frac{\sigma_0}{\sigma_e} K_h C_v)^{1/2} - 8.09] \tag{2.2.3—2}$$

式中 C_n ——标准贯入锤击数的修正系数 ,应按表 2.2.3—1 采用 ;

$N_{68.5}$ ——实测的标准贯入锤击数 ;

K_h ——水平地震系数 ,应按表 1.0.7 采用 ;

σ_0 ——标准贯入点处土的总上覆压力 (kPa) ;

$$\sigma_0 = \gamma_u d_w + \gamma_d (d_s - d_w)$$

σ_e ——标准贯入点处土的有效覆益压力 (kPa) ;

$$\sigma_e = \gamma_u \gamma_w + (\gamma_d - 10) (d_s - d_w)$$

γ_u ——地下水位以上土容重。砂土 $\gamma_u = 18.0 (\text{kN}/\text{m}^3)$;

亚砂土 $\gamma_u = 18.5 (\text{kN}/\text{m}^3)$;

γ_d ——地下水位以下土容重。砂土 $\gamma_d = 20.0 (\text{kN}/\text{m}^3)$;

亚砂土 $\gamma_d = 20.5 (\text{kN}/\text{m}^3)$;

d_s ——标准贯入点深度 (m) ;

d_w ——地下水位深度 (m) ;

C_v ——地震剪应力随深度的折减系数 ,应按表 2.2.3—2 采用 ;

ξ ——粘粒含量修正系数 $\xi = 1 - 0.17(P_c)^{1/2}$;
 P_c ——粘粒含量百分率(%)

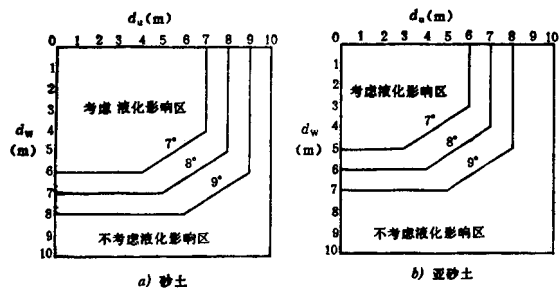


图 2.2.2 液化初判图

注 (1)上覆非液化土层厚度 d_u 不包括软土层。软土的定义参照现行的《公路土工试验规程》的有关规定。
(2)粘粒含量百分率 P_c 的测定 ,应采用六偏磷酸钠作分散剂。

表 2.2.3 - 1 标准贯入锤击数的修正系数 C_u

| | | | | | | | | | | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| σ_u (kPa) | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 |
| C_n | 2 | 1.70 | 1.46 | 1.29 | 1.16 | 1.05 | 0.97 | 0.89 | 0.83 | 0.78 |
| σ_c (kPa) | 200 | 220 | 240 | 260 | 280 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| C_n | 0.72 | 0.69 | 0.65 | 0.60 | 0.58 | 0.55 | 0.49 | 0.44 | 0.42 | 0.40 |

表 2.2.3 - 2 地震剪应力随深度的折减系数 C_e

| | | | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| d_s (m) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| C_v | 0.994 | 0.991 | 0.986 | 0.976 | 0.965 | 0.958 | 0.945 | 0.935 | 0.920 | 0.902 |
| d_s (m) | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| C_v | 0.884 | 0.866 | 0.844 | 0.822 | 0.794 | 0.741 | 0.691 | 0.647 | 0.631 | 0.612 |

第 2.2.4 条 当地基内有液化土层时 ,液化土层的承载力(包括桩侧摩阻力)土抗力 (地基系数)内摩擦角和内聚力等 ,可根据液化抵抗系数 C_e 予以折减。其折减系数 α 应按表 2.2.4 采用。液化土层以下地基承载力的极高系数 ,应符合本规范第 2.2.1 条的规定 ,液化土层以上地基承载力不宜提高。在计算液比土层以下地基承载力时 ,应考虑其重力。

$$C_e = \frac{N_1}{N_o}$$

(2.2.4)

表 2.2.4 折减系数 α

| C_e | $d_s(\text{ m })$ | α |
|----------------------|--------------------|----------|
| $C_e \leq 0.6$ | $d_s \leq 10$ | 0 |
| | $10 < d_s \leq 20$ | 1/3 |
| $0.6 < C_e \leq 0.8$ | $d_s \leq 10$ | 1/3 |
| | $10 < d_s \leq 20$ | 2/3 |
| $0.8 < C_e \leq 1.0$ | $d_s \leq 10$ | 2/3 |
| | $10 < d_s \leq 20$ | 1 |

式中 C_e ——液化抵抗系数；
 N_1 、 N_c 意义同前。

第 2.2.5 条 软弱粘性土层和液化土层不宜直接用做路基和构造物的地基。当难以避免时，应探明其埋藏和分布情况并按本规范第三、四章的有关规定采取抗震措施。

第三节 路基和挡土墙

3.1 抗震强度和稳定性验算

第 3.1.1 条 验算路基和挡土墙的抗震强度和稳定性，只考虑垂直路线走向的水平地震荷载。地震荷载应与结构重力、土的重力和水的浮力相组合，其它荷载均不考虑。

地震荷载采用静力法计算。

第 3.1.2 条 路基应按表 3.1.2 规定的范围和要求，验算其抗震稳定性。

第 3.1.3 条 路基的水平地震荷载，应按下式计算：

$$E_{hs} = C_i C_z K_h G_s$$

(3.1.3)

式中 C_i ——重要性修正系数，应按表 1.0.4 采用；
 C_z ——综合影响系数，取 $C_z = 0.25$ ；
 K_h ——水平地震系数，应按表 1.0.7 采用；
 G_s ——路基计算土体的重力(kN)；
 E_{hs} ——作用于路基计算土体重心处的水平地震荷载(kN)。

第 3.1.4 条 挡土墙应按表 3.1.4 规定的范围和要求以及本规范第 4.3.2 和第 4.3.4 条的规定，验算其抗震强度和稳定性。

第 3.1.5 条 挡土墙第 i 截面以上墙身重心处的水平地震荷载，应按下式计算：

$$E_{ihw} = C_i C_z K_h \phi_{iw} G_{iw}$$

(3.1.5)

式中 E_{ihw} ——第 i 截在以上墙身重心处的水平地震荷载(kN)；

C_i ——重要性修正系数 ,应按表 1.0.4 采用。

C_z ——综合影响系数 ,取 $C_z = 0.25$;

K_h ——水平地震系数 ,应按表 1.0.7 采用 ;

表 3.1.2 路基抗震稳定性验算范围和要求

| 公 路 等 量 | | | 高速公路及一、二级公路 | | | 三、四级公路 |
|-----------------|----------------|-------------------------|-------------|--------------|---------------|----------------------|
| 基本烈度(度) | | | 7 | 8 | 9 | 9 |
| 项目 | | | | | | |
| 岩石、非液化及软土地基上的路堤 | 非浸水 | 用岩块及细粒土(粉性土、有机质土除外)填筑 | 不验算 | $H > 20$ 验算 | $H > 15$ 验算 | $H > 20$ 验 算 |
| | | 用粗粒土(极细砂、细砂除外)填筑 | 不验算 | $H > 12$ 验算 | $H > 6$ 验 算 | $H > 12$ 验 算 |
| | 浸水 | 用渗水性土填筑 | 不验算 | $H_w > 3$ 验算 | $H_w > 2$ 验 算 | 水库地区 $H_w > 3$ 验算 |
| | 地面横坡大于 1:3 的路堤 | | 不验算 | 验 算 | 验 算 | 验 算 |
| 路堑 | 粘性土、黄土、碎石类土 | | 一般不验算 | $H > 20$ 验 算 | $H > 15$ 验 算 | $H > 20$ 验算 |
| 路基本边坡稳定系数 | $H \leq 20$ | | ≥ 1.10 | | | ≥ 1.05 |
| | $H > 20$ | | ≥ 1.15 | | | |

注 (1) H 为路基本坡高度(m)。

(2) H_w 为路堤浸水常水位的深度(m)。

表 3.1.4 挡土墙抗震强度和稳定性验算范围和要求

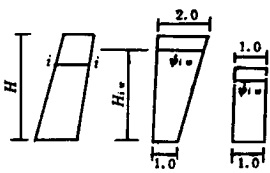
| 公 路 等 级 | | 高速公路及一、二级公路 | | | 三、四级公路 |
|---------------|-----|-------------|------------|-----|--------|
| 基本烈度(度) | | 7 | 8 | 9 | 9 |
| 项目 | | | | | |
| 岩石、非液化土及非软土地基 | 非浸水 | 不验算 | $H > 4$ 验算 | 验算 | 验算 |
| | 浸水 | 不验算 | 验 算 | 验 算 | 验算 |
| 液化土及软土地基 | | 验 算 | 验 算 | 验 算 | 验 算 |
| 抗滑动稳定系数 K_c | | ≥ 1.1 | | | |
| 抗倾覆稳定系数 K_0 | | ≥ 1.2 | | | |

注 : H 为挡土墙趾至墙顶面的高度(m)。

G_{iw} ——第 i 截面以上墙身圬工的重力(kN)；

ψ_{iw} ——水平地震荷载沿墙高的分布系数 ,应按表 3.1.5 采用。

表 3.1.5 水平地震荷载沿墙高的分布系数 ψ_{iw}

| 公路等级 墙 高 (m) | 高 速 公 路、一、 二 级 公 路 | 三、四级公路 | 重力式挡墙 ψ_{iw} 计算简图 |
|-------------------|------------------------------------|-----------------|--|
| $H \leq 12$ | $\psi_{iw} = 1$ | $\psi_{iw} = 1$ |  $\psi_{iw} = 1 + \frac{H_{iw}}{H}$ $\psi_{iw} = 1$ |
| $H > 12$ | $\psi_{iw} = 1 + \frac{H_{iw}}{H}$ | $\psi_{iw} = 1$ | |

注 (1) H 为挡土墙的高度(m)
(2) H_{iw} 为验算第 i 截面以上墙身重心至墙底的高度(m)

表 3.1.6 地 震 角

| 基本烈度(度) | | 7 | 8 | 9 |
|-----------|-----|----------------|-------------|--------------|
| 地 震 角 | | | | |
| θ | 非浸水 | $1^{\circ}30'$ | 3° | 6° |
| | 浸水 | $2^{\circ}30'$ | 5° | 10° |

第 3.1.6 条 作用于挡土墙上的地震主动土压力按库伦公式计算时 ,公式中土的容重 γ ,土的内摩擦角 ϕ 和墙背与填土间的摩擦角 δ_s 均应按表 3.1.6 所列的地震角 θ 分别修正为 $\frac{\gamma}{\cos\theta}$ 、 $\phi - \theta$ 和 $\delta_e + \theta$ 。

对于路肩墙可按(4.2.10 - 1)式计算 ,其中 C_z 取 0.25。

3.2 抗震措施

第 3.2.1 条 路基填方宜采用碎石土、一般粘性土、卵石土和不易风化的石块等材料填筑。压实度应符合现行的有关规范的要求。

当采用砂类土填筑路基时 ,应采取措施将其压实 ,并对边坡坡面适当加固。

第 3.2.2 条 高速公路和一级公路的路堤。边坡高度大于表 3.2.2 规定时 ,应放缓边坡坡度。

表 3.2.2 路堤边坡高度限值(m)

| 填 料 | 基 本 烈 度 | |
|----------------------|---------|----|
| | 8 | 9 |
| 岩块和细粒土(粉性土和有机质土除外) | 15 | 10 |
| 粗粒土(细砂、极细砂除外) | 6 | 3 |

第 3.2.3 条 在地面横坡陡于 1:3 的稳定斜坡上填筑路基时 ,除必须按《公路路基设计规范》JTJ013—86 的要求处理基底外 ,还应根据具体情况加强上侧山坡的排水处理和 在坡脚采取支挡措施。

第 3.2.4 条 在软弱粘性土层和液化土层上填筑路基时 ,可根据具体情况采取适当 措施 换土、反压护道、降低填土高度、取土坑和边沟浅挖宽取并远离路基、保护路基与取 土坑之间的地表植被和地基加固(砂桩、碎石桩、石灰桩、强夯等)等。

第 3.2.5 条 岩石路堑 ,当边坡高度超过 10m 时 ,边坡的坡度应按表 3.2.5 采用。 当石质破碎或有倾向路基的软弱面时 ,应视具体情况进行边坡设计。山坡岩体破碎或上 部覆盖层受震易坍塌时 ,应采取支挡加固措施。高速公路、一级公路宜用隧道或明洞通 过。

表 3.2.5 高度超过 10m 的岩石挖方边坡的高度

| 岩石种类 | 基本烈度 | |
|------|---------------|----------------|
| | 8 | 9 |
| 风化岩石 | 1:0.6 ~ 1:1.5 | 1:0.75 ~ 1:1.5 |
| 一般岩石 | 1:0.1 ~ 1:0.5 | 1:0.2 ~ 1:0.6 |
| 坚石 | 1:0.1 ~ 直立 | 1:0.1 ~ 直立 |

第 3.2.6 条 在岩体严重风化地段 ,当基本烈度为 9 度时 ,路基挖方不宜采用大爆破 施工。

第 3.2.7 条 高速公路、一级公路不应使用干砌片石挡土墙。其他等级公路的干砌 片(块)石挡土墙的高度 ,当基本烈度为 8 度时 ,不宜超过 5m ;当基本烈度为 9 度时 ,不宜 超过 3m。

浆砌片(块)石挡土墙的最低砂浆标号应按现行的《公路路基设计规范》JTJ013—86 的要求提高一级采用。

第 3.2.8 条 混凝土挡土墙的施工缝和衡重式挡土墙的变截面处 ,均应设置占截面 面积 20% 的榫头或用短钢筋加强。

第 3.2.9 条 在软弱粘性土层和液化土层上修建挡土墙时 ,应根据具体情况采取换 土、加大基底面积、采用桩基础等加强地基处理的措施 ,也可采用轻型支挡构造物。

第四节 桥 梁

4.1 一般规定

第 4.1.1 条 本章适用于跨径不超过 150m 的钢筋混凝土和预应力混凝土梁桥、圯

工或钢筋混凝土拱桥的抗震设计。

第 4.1.2 条 桥梁上部结构、墩台及基础型式,应考虑地形、地质条件、结构特点、规模、重要性以及震害经验等,选择适当桥型。

当必须在发震断层上修建桥梁时,宜采用跨径较小、墩台较低的简支梁桥。

第 4.1.3 条 下列构造物可不进行抗震强度和稳定性验算,但应采取抗震措施。

一、简支梁的上部构造。

二、基本烈度低于 9 度,基础位于 I、II 类场地土上的跨径不大于 30m 的单孔板拱拱圈。

三、基本烈度低于 8 度,二、三、四级公路上位于非液化土和非软弱粘性土地基上的实体墩台。

注 场地土分类应按本规范第 4.2.3 条执行。

第 4.1.4 条 验算桥梁的抗震强度和稳定性时,地震荷载应与结构重力、土的重力和水的浮力相组合,其它荷载可不考虑。

第 4.1.5 条 计算桥梁地震荷载时,应分别考虑顺桥和横桥两个方向的水平地震荷载。对于位于基本烈度为 9 度区的大跨径悬臂梁桥,还应考虑上、下两个方向竖向地震荷载和水平地震荷载的不利组合。

第 4.1.6 条 季节性河流上的桥梁,可不考虑水流影响;常年有水的河流上的桥梁,应按常水位计算水的浮力;位于常水位水深超过 5m 的实体桥墩、空心桥墩的抗震设计,应计入地震动水压力。

第 4.1.7 条 梁桥下部结构的抗震设计,应考虑上部结构的地震荷载。其作用点的位置,顺桥向为支座顶面,横桥向为上部结构质量重心。

第 4.1.8 条 位于非岩石地基上的梁桥桥墩抗震设计,应计入地基变形的影响。

4.2 地震荷载

第 4.2.1 条 地震荷载的计算方法,一般情况下桥墩应采用反应谱理论计算,桥台采用静力法。对于结构特别复杂、桥墩高度超过 30m 的特大桥梁,可采用时程反应分析法。

第 4.2.2 条 梁桥桥墩顺桥向和横桥向的水平地震荷载,一般情况下应按下列公式计算。其结构计算简图如图 4.2.2-1 所示。

$$E_{ihp} = C_i C_z K_h \beta_i \gamma_i X_{ii} G_i \quad (4.2.2)$$

式中 E_{ihp} ——作用于梁桥桥墩质点 i 的水平地震荷载(kN);

C_i ——重要性修正系数,按表 1.0.4 采用;

C_z ——综合影响系数,按表 4.2.4 采用;

K_h ——水平地震系数,按表 1.0.7 采用;

β_i ——相应于桥墩顺桥向或横桥向的基本周期的动力放大系数,按本规范第 4.2.3 条的规定确定;

γ_i ——桥墩顺桥向或横桥向的基本振型参与系数;

$$\gamma_i = \frac{\sum_{i=0}^a X_{ii} G_i}{\sum_{i=0}^a X_{ii}^2 G_i}$$

X_{ii} ——桥墩基本振型在第 i 分段重心处的相对水平位移。

对于实体桥墩,当 $H/B > 5$ 时, $X_{ii} = X_f + \frac{1 - X_f}{H} H_i$ (一般适用于顺桥向);当 $H/B < 5$

时, $X_{ii} = X_f + \left(\frac{H_i}{H} \right)^{1/3} (1 - X_f)$

(一般适用于横桥向);

X_f ——考虑地基变形时,顺桥向作用于支座顶面或横桥向作用于上部结构质量重心上的单位水平力在一般冲刷线或基础顶面引起的水平位移与支座顶面或上部结构质量重心处的水平位移之比值;

H_i ——一般冲刷线或基础顶面至墩身各分段重心处的垂直距离(m);

H ——桥墩计算高度,即一般冲刷线或基础顶面至支座顶面或上部结构质量重心的垂直距离(m);

B ——顺桥向或横桥向的墩身最大宽度(m)(见图 4.2.2-2);

$G_{i=0}$ ——梁桥上部结构重力(kN),对于简支梁桥,计算顺桥向地震荷载时为相应于墩顶固定支座的一孔梁的重力,计算横桥向地震荷载时为相邻两孔梁重力的一半;

$G_{i=1,2,3,\dots}$ ——桥墩墩身各分段的重力(kN)。

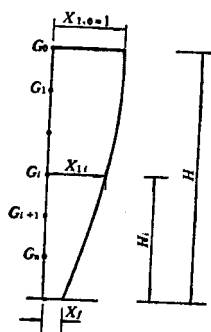


图 4.2.2-1 结构计算简图

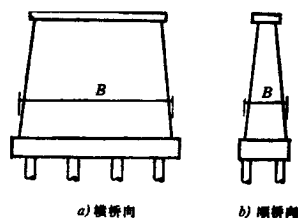


图 4.2.2-2 墩身最大宽度 B

第 4.2.3 条 计算拱桥和梁桥桥墩的地震荷载时,其动力放大系数 β 值可根据结构计算方向的自振周期或基本周期(按附录一~四确定)和场地土类别按图 4.2.3 确定。当具有场地土的平均剪切模量或场地土的剪切波速、质量密度和分层厚度实测资料时,可按附录六确定。

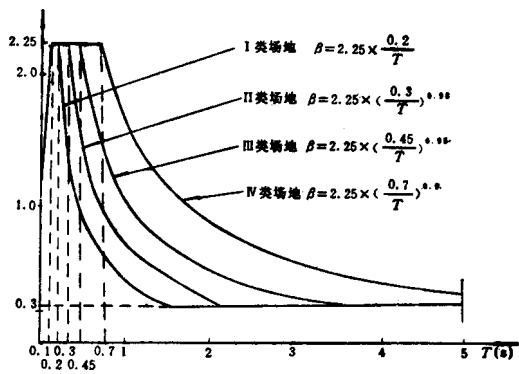


图 4.3.3 动力放大系数 β

注 场地土系指构造物所在地的土层。分为四类：

- I 类场地土 岩石 ,紧密的碎石土。
- II 类场地土 :中密、松散的碎石土 ,密实、中密的砾、粗、中砂 ,地基土容许承载力[σ_0]> 250kPa 的粘性土。
- III 类场地土 :松散的砾、粗、中砂 ,密实、中密的细、粉砂 ,地基土容许承载力[σ_0] \leq 250kPa 的粘性上和[σ_0] \geq 130kPa 的填土。
- IV 类场地土 淤泥质土 ,松散的细、粉砂 ,新近沉积的粘性土 ,地基土容许承载力[σ_0]< 130kPa 的填土。

对于多层土 ,当构造物位于 I 类土上时 ,即属于 I 类场地土 ；

位于 II、III、IV 类土上时 ,则按构造物所在地表以下 20m 范围内的土层综合评定为 II 类、III 类或 IV 类场地土(对于桩基础 ,可根据上部土层影响较大 ,下部土层影响较小 ,厚度大的土层影响较大 ,厚度小的土层影响较小的原则进行评定。对于其它基础 ,可着重考虑基础下的土层并按上述原则进行评定。对于深基础 ,考虑的深度应适当加深)。

第 4.2.4 条 综合影响系数 C_z 值 ,应按表 4.2.4 采用。

表 4.2.4 综合影响系数级 C_z

| 桥梁和墩、台类型 | | | 桥墩计算高度 H (m) | | |
|------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | $H < 10$ | $10 \leq H < 20$ | $20 \leq H < 30$ |
| 梁 桥 | 柔性墩 | 柱式桥墩、排架桩墩、薄壁桥墩 | 0.30 | 0.33 | 0.35 |
| | 实体墩 | 天然基础和沉井基础上的实体桥墩 | 0.20 | 0.25 | 0.30 |
| | 多排桩基础上的桥墩 | | 0.25 | 0.30 | 0.35 |
| | 桥 台 | | 0.35 | | |
| 拱 桥 | | | 0.35 | | |

$$K_{ip} = \frac{K_{is} K_{ip}}{K_{is} + K_{ip}}$$

K_{is} ——第 i 号墩板式橡胶支座抗推刚度(kN/m);

$$K_{is} = \sum_{i=1}^n \frac{G_d A_r}{\sum t}$$

G_d ——板式橡胶支座动剪切模量 ; $G_d = 1200\text{kN/m}^2$;

A_r ——板式橡胶支座面积(m^2);

$\sum t$ ——板式橡胶支座橡胶层总厚度(m);

n ——相应于一联上部结构的桥墩个数 ;

K_{ip} ——第 i 号墩墩顶抗推刚度(kN/m);

β_i ——相应于桥墩顺桥向的基本周期的动力放大系数 ,其基本周期按附录二确定 ;

G_{sp} ——一联上部结构的总重力(kN);

n_s ——第 i 号墩上板式橡胶支座数量。

2. 桥墩地震荷载

(1) 实体墩由墩身自重墩身质点 i 的水平地震荷载

$$E_{hp} = C_i C_z K_h \beta_i \gamma_i X_{ii} G_i \quad (4.2.6-2)$$

(2) 柔性墩由墩身自重板式支座顶面的水平地震荷载

$$E_{hp} = C_i C_z K_h \beta_i G_{tp} \quad (4.2.6-3)$$

式中 $G_{i=1,2,3,\dots}$ ——桥墩墩身各分段的重力(kN);

G_{tp} ——桥墩对板式橡胶支座顶面处的换算质点重力(kN);

$$G_{tp} = G_{cp} + \eta G_p$$

其余符号意义同前。

二、连续梁桥当一联中一个或几个墩采用板式橡胶支座 ,其余均为聚四氟乙烯滑板支座 ,板式橡胶支座的桥墩的水平地震作用一般应按式(4.2.6-2)或(4.2.6-3)计算。上部结构对支座顶面处产生的水平地震荷载可按式(4.2.6-1)的计算值 ,则应按式(4.2.6-1)计算。

$$E_{hsp} = C_i C_z (K_h \beta_i G_{sp} - \sum \mu_{id} R_i) \quad (4.2.6-4)$$

式中 E_{hsp} ——上部结构对一个或几个板式橡胶支座顶面处产生的水平地震荷载之和。当为几个板式橡胶支座时 ,应按相应的几个桥墩抗推刚度 ,以刚度分配的原则计算其每个板式橡胶支座顶面的水平地震荷载(kN);

β_i ——相应于桥墩顺桥向的基本周期的动力放大系数 ,对于几个桥墩为板式橡胶支座时 ,应按几个桥墩抗推刚度组合计算 ,其基本周期按附录二确定 ;

$\sum \mu_{id} R_i$ ——一联中所有聚四氟乙烯滑板支座的动摩阻力(kN);

μ_{id} ——第 i 号聚四氟乙烯滑板支座动摩阻系数 ,取 $\mu_{id} = 0.02$;

R_i ——上部结构重力在第 i 号聚四氟乙烯滑板支座上产生的反力(kN);其余符号意义同前。

三、采用板式橡胶支座的多跨简支梁桥,对刚性墩可按单墩单梁计算;对柔性墩应考虑支应与上下部的耦联作用(一般情况下可考虑 3—5 孔)按图 4.2.6 进行计算。

第 4.2.7 条 采用板式橡胶支座的简支梁桥和连续梁桥,当横桥向设置有限制横桥向位移的抗震措施(例如挡块)时,桥墩横桥向水平地震荷载可按式(4.2.2)计算。

第 4.2.8 条 当曲梁桥的轴线所对应的水平中心角 $\theta_h \leq 30^\circ$,且曲梁半径 $R \geq 20B$ (B 为桥宽)时,曲梁桥桥墩的地震荷载可按直梁桥计算。

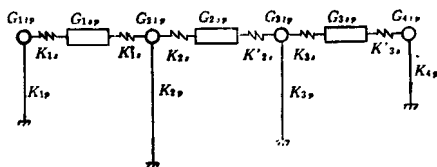


图 4.2.6 板式橡胶支座简支梁桥计算简图

图注: G_{1tp} 、 G_{2tp} 、 G_{3tp} 、 G_{4tp} ——桥墩对板式橡胶支座顶面处的换算质点重力(kN);

G_{1sp} 、 G_{2sp} 、 G_{3sv} ——上部结构重力(kN);

K_{1p} 、 K_{2p} 、 K_{3p} 、 K_{4p} ——墩顶抗推刚度(kN/m);

K_{1s} 、 K'_{1s} 、 K_{2s} 、 K'_{2s} 、 K_{3s} 、 K'_{3s} ——板式橡胶支座抗推刚度(kN/m)

第 4.2.9 条 桥台的水平地震荷载可按下式计算:

$$E_{\text{hau}} = C_1 C_z K_h G_{\text{au}} \quad (4.2.9)$$

式中 E_{au} ——作用于台身重心处的水平地震作用力(kN);

G_{au} ——基础顶面以上台身的重力(kN)。

注(1)对于修建在基岩上的桥台,其水平地震荷载可按式(4.2.9)计算值的 80% 采用。

(2)验算没有固定支座的梁桥桥台时,还应计入由上部结构所产生的水平地震荷载,其值按式(4.2.9)计算,但 G_{au} 取一孔梁的重力。

(3)对于拱桥,应计入上部结构所产生的地震荷载。

第 4.2.10 条 地震时作用于台背的主动土压力可按下式计算:

$$E_{\text{ea}} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A (1 + 3 C_1 C_2 k H \tan \phi) \quad (4.2.10-1)$$

式中 E_{ea} ——地震时作用于台背每延米长度上的主动土压力(kN/m),其作用点为距台底 $0.4H$ 处;

γ ——土的容重(kN/m³);

H ——台身高度(m);

K_A ——非地震条件下作用于台背的主动土压力系数,按下式计算:

$$K_A = \frac{\cos^2 \phi}{(1 + \sin \phi)^2}$$

ϕ ——台背土的内摩擦角($^\circ$);

C_z ——综合影响系数,取 $C_z = 0.35$ 。

当判定台址地表以下 10m 内,有液化土层或软土层时,桥台应穿过液化土层或软土层;当液化土层或软土层超过 10m 时,桥台应埋深至地表以下 10m 处。其作用于台背的主动土压力应按下列式计算:

$$E_{ea} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (K_A + 2 C_i C_z K_h) \quad (4.2.10-2)$$

式中 C_z ——综合影响系数,取 $C_z = 0.30$ 。

在基本烈度为 9 度地区的液化区设计桥台时,宜采用桩基。其作用于台背的主动土压力可按式(4.2.10-2)计算。

第 4.2.11 条 地震时作用于桥墩上的地震动水压力应分别按下列各式进行计算:

一、 $\frac{b}{h} \leq 2.0$ 时

$$E_w = 0.15 \left(1 - \frac{b}{4h}\right) C_i K_h \xi_h \gamma_w b^2 h \quad (4.2.11-1)$$

二、 $2.0 < \frac{b}{h} \leq 3.1$ 时

$$E_w = 0.075 C_i K_h \xi_h \gamma_w b^2 h \quad (4.2.11-2)$$

三、 $\frac{b}{h} > 3.1$ 时

$$E_w = 0.24 C_i K_h \gamma_w b h^2 \quad (4.2.11-3)$$

式中 E_w ——地震时在 $h/2$ 处作用于桥墩的总动水压力(kN);

ξ_h ——断面形状系数。对于矩形墩和方形墩,取 $\xi_h = 1$;对于圆形墩,取 $\xi_h = 0.8$;对于圆端形墩,顺桥向取 $\xi_h = 0.9 \sim 1.0$,横桥向取 $\xi_h = 0.8$;

γ_w ——水的容重(kN/m³);

b ——与地震荷载方向相垂直的桥墩宽度,可取 $h/2$ 处的截面宽度(m);对于矩形墩,横桥向时,取 $b = a$ (长边边长);对于圆形墩,两个方向均取 $b = D$ (墩的直径);

h ——从一般冲刷线算起的水深(m)。

第 4.2.12 条 支座的水平地震荷载应按下列情况分别计算:

一、验算支座部件、梁与支座之间的连接、墩台锚栓和支座支挡措施的抗震强度时,水平地震荷载应按下列式计算:

1. 顺桥向固定支座

$$E_{hb} = C_i K_h G_{sp} - \sum \mu_d R_{fre} \quad (4.2.12-1)$$

式中 E_{hb} ——作用于固定支座上顺桥向的水平地震荷载(kN);

G_{sp} ——上部结构重力(kN),对于简支梁,为一孔上部结构重力;对于连续梁,为一联上部结构重力;

$\sum \mu_d R_{fre}$ ——活动支座摩阻力之和(kN),并应符合

$$\sum \mu_d R_{fre} \leq 0.65 C_i K_h G_{sp}$$

μ_d ——活动支座动摩阻系数,对于聚四氟乙烯滑板支座, $\mu_d = 0.02$;弧形钢板支座, $\mu_d = 0.10$;平面钢板支座, $\mu_d = 0.15$;

R_{fre} ——上部结构重力在活动支座上产生的反力(kN)。

2. 横桥方向

横桥方向的水平地震荷载由活动支座和固定支座共同承受。

$$E_{zb} = C_i K_h G_{sp} \quad (4.2.12-2)$$

式中 E_{zb} ——作用于固定支座或活动支座上横桥向的水平地震荷载(kN)；

G_{sp} ——上部结构重力(kN)；对于连续梁为一联上部结构重力；对于简支梁为一孔上部结构重力的一半。

二、验算板式橡胶支座抗滑和板式橡胶支座厚度时，其作用于板式橡胶支座上的水平地震荷载按下式计算：

$$E_{hzb} = C_i C_z K \beta_i G_{sp} \quad (4.2.12-3)$$

式中 E_{hzb} ——作用于板式橡胶支座上，顺桥向或横桥向的水平地震荷载(kN)；

β_i ——按附录二确定的动力放大系数；

G_{sp} ——上部结构重力(kN)；对于连续梁为一联上部结构重力；对于简支梁，为一孔上部结构重力。

第 4.3.13 条 单孔拱桥的地震作用应按在拱平面和出拱平面两种情况分别进行计算。沿拱轴线分布的地震荷载引起的地震内力可按附录五计算：

一、在拱平面

顺桥向水平地震动所产生的竖向地震荷载，引起拱脚、拱顶和 1/4 拱跨截面处弯矩(kN·m)、剪力(kN)或轴力(kN)按下式计算：

$$S_{va} = C_i C_z K_h \beta \gamma_v \psi_v G_{ma} \quad (4.2.13-1)$$

顺桥向水平地震动所产生的水平地震荷载引起拱脚、拱顶和 1/4 拱跨截面处弯矩(kN·m)、剪力(kN)或轴力(kN)按下式计算：

$$S_{ha} = C_i C_z K_h \beta \gamma_h \psi_h G_{ma} \quad (4.2.13-2)$$

二、出拱平面

横桥向水平地震动所产生的水平地震作用力引起拱脚、拱顶和 1/4 拱跨截面处弯矩(kN·m)、剪力(kN)或扭矩(kN·m)按下式计算：

$$S_{za} = C_i C_z K_h \beta \psi_z G_{ma} \quad (4.2.13-3)$$

式中 C_i ——重要性修正系数，按表 1.0.4 采用；

C_z ——综合影响系数，取 $C_z = 0.35$ ；

K_h ——水平地震系数，按表 1.0.7 的规定确定；

β ——相应于在拱平面或出拱平面的基本周期(按附录三确定)的动力放大系数，按本规范第 4.2.3 条确定；

γ_v ——与在拱平面基本振型的竖向分量有关的系数，按表 4.2.13 采用；

γ_h ——与在拱平面基本振型的水平分量有关的系数，按表 4.2.13 采用；

ψ_v 、 ψ_h 、 ψ_z ——内力系数，按附录五采用；

G_{ma} ——包括拱上建筑在内沿拱圈单位弧长的平均重力(kN/m)。

表 4.2.13 系数 γ_v 与 γ_h 值

| 系数 | 矢 跨 比 | | | | | |
|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{6}$ | $\frac{1}{7}$ | $\frac{1}{8}$ | $\frac{1}{10}$ |
| γ_v | 0.70 | 0.67 | 0.63 | 0.58 | 0.53 | 0.5 |
| γ_h | 0.46 | 0.35 | 0.27 | 0.21 | 0.17 | 0.12 |

第 4.2.14 条 多孔连拱桥的桥墩与主拱圈的抗推刚度比大于 37 时 ,多孔连拱桥的地震荷载可按单孔拱桥计算。

第 4.2.15 条 等跨度连拱桥顺桥向水平地震动所产生的地震荷载引起的内力应分别按下列情况计算：

一、基本振型

1. 沿拱圈均布的顺桥向水平地震荷载引起拱脚、拱顶和 1/4 拱跨截面处的弯矩(kN·m) 剪力(kN)或轴力(kN)应按下式计算：

$$S_{iha} = C_i C_z K_h \beta \gamma_i \psi_h \frac{X_{1,i-1} + X_{1,i}}{2} G_{ma} \tag{4.2.15.1}$$

式中 β ——相应于某一振型的自振周期(按附录四确定)的动力放大系数 ,按本规范第 4.2.3 条确定；

γ_i ——计算方向的基本振型参与数；

$$\gamma_i = \lambda / \overline{M}_i$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \frac{G_{it}}{g} X_{1,i}$$

$$\overline{M}_i = \sum_{i=1}^n \frac{G_{it}}{g} X_{1,i}^s$$

$X_{1,i}$ ——连拱桥基本振型位移称 ,以河中墩顶为一单位 ,两岸桥台顶($i = 0 , n + 1$)为零 ,第 i ($i = 1 \sim n$)号墩墩顶取值按线性插入；

G_{it} ——第 i 号墩顶集中重力(kN)；

$$G_{it} = G_a + \frac{1}{4} G_p$$

G_a ——一孔拱桥上部结构总重力(kN)；

G_p —— i 号墩墩身重力(kN)。

ψ_h 、 G_{ma} 意义同本规范第 4.2.13 条。

2. 由于地震动所产生的拱脚相对水平位移引起拱脚、拱顶和 1/4 拱跨截面处的弯矩(kN·m) 剪力(kN)或轴力(kN)应按下式计算：

$$S_{eha} = \begin{bmatrix} M_\phi \\ N_\phi \\ Q_\phi \end{bmatrix} = \frac{\delta_{i-1,i}}{\delta_{22}} \begin{bmatrix} y - y_s \\ \cos\phi \\ \sin\phi \end{bmatrix} \tag{4.2.15 - 2}$$

$$\delta_{i-1,i} = C_i C_z K_h \beta \gamma_1 \frac{q}{\omega_1^2} (X_{i,i-1} - X_{i,i}) \quad (4.2.15-3)$$

$$\delta_{22} = \frac{R}{EI} \left[K_2 R^2 + K_1 \frac{I}{A} \right] \quad (4.2.15-4)$$

式中 y ——拱顶到计算截面的竖距(m);

y_s ——拱顶到弹性中心的竖距(m);

$$y_s = \left(1 - \frac{\sin \phi_0}{\phi_0} \right) R$$

ϕ ——拱顶截面到计算截面的中心角;

ϕ_0 ——圆弧拱的中心角;

$\delta_{i-1,i}$ ——第 i 孔拱圈两拱脚的相对水平位移(m);

δ_{22} ——在圆弧拱弹性中心施加单位水平力时沿单位力方向产生的相对水平位移(m);

R ——圆弧拱半径(m);

I ——拱圈截面惯性矩(m^4);

A ——拱圈截面面积(m^2);

$$K_1 = \phi_0 + \sin \phi_0 \cos \phi_0$$

$$K_2 = \phi_0 + \sin \phi_0 \cos \phi_0 - \frac{2 \sin^2 \phi_0}{\phi_0}$$

K_1 、 K_2 可按附录五的附表 5-5 查用;

ω_1 ——连拱桥顺桥向基本圆频率($1/s$),可按附录四计算。

3. 作用于墩顶的顺桥向水平集中力 E_{ihp} (kN) 应按下式计算:

$$E_{ihp} = C_i C_z K_h K_{ip} \beta \gamma_i \frac{g}{\omega_1^2} X_{1,i} \quad (4.2.15-5)$$

式中 K_{ip} ——第 i 号墩墩顶抗推刚度(kN/m);

墩身各截面处弯矩(kN·m)或剪力(kN),即 S_{hp} ,应按墩顶为自由端和悬臂杆计算。

二、第二振型

1. 沿拱圈分布的竖向和水平地震荷载引起拱脚、拱顶和 $1/4$ 拱跨截面处弯矩(kN·m)剪力(kN)或轴力(kN),即 S_{2va} 、 S_{2hs} ,可分别按式(4.2.13-1)(4.2.13-2)计算。

2. 沿墩身分布的顺桥向水平地震荷载 q_{rhp} (kN/m)按下式计算:

$$q_{rhp} = C_i C_z K_h \beta \gamma_{2p} X_{2p} G_{mp} \quad (4.2.15-6)$$

式中 γ_{2p} ——桥墩第二振型参与型数,取 $\gamma_{2p} = 1.3$;

G_{mp} ——墩身每延米重力(kN/m);

X_{2p} ——桥墩第二振型位移;

$$X_{2p} = 3.84 \left[\left(1 - \frac{Y}{H} \right) - 3 \left(1 - \frac{Y}{H} \right)^3 + 2 \left(1 - \frac{Y}{H} \right)^4 \right]$$

其中 Y ——沿墩高的纵坐标,从墩底起算(m);

H ——桥墩高度(m);

墩身各截面处弯矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)或剪力(kN),即 S_{2hp} ,应按墩顶为自由端的悬臂杆计算(见图 4.2.15)。

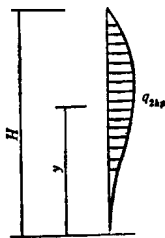


图 4.2.15 墩身地震荷载简图

第 4.2.16 条 等跨度连拱桥横桥向水平地震动所产生地震荷载引起的内力应分别按下列情况计算：

一、基本振型

1. 沿拱圈均布的横桥向水平地震荷载引起拱脚、拱顶和 $1/4$ 拱跨截面处的弯矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)、剪力(kN)或扭矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)应按下式计算：

$$S_{iza} = C_i C_z K_h \beta \psi_{1z} G_{ma} \quad (4.2.16-1)$$

式中 ψ_{1z} ——内力系数,按附录五确定；

其余符号意义同本规范第 4.2.15 条。

2. 作用于墩顶的横桥向水平集中力 E_{izp} (kN)应按下式计算：

$$E_{izp} = C_i C_z K_h \beta G_{lt} \quad (4.2.16-2)$$

其中 G_{lt} 意义同第 4.2.15 条。

墩身各截面处弯矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)或剪力(kN),即 S_{1zp} ,应按墩顶为自由端的悬臂杆计算。

二、第二振型

1. 沿拱圈分布的横桥向水平地震荷载引起拱脚、拱顶和 $1/4$ 拱跨截面处弯矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)、剪力(kN)或扭矩($\text{kN} \cdot \text{m}$),即 S_{2za} ,按式(4.2.13-3)计算。

2. 沿墩身分布的横桥向水平地震荷载 q_{2zp} 引起墩身各截面处弯矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)或剪力(kN),即 S_{2zp} ,计算方法与本规范第 4.2.15 条第二款第 2 项顺桥向情形相同。

第 4.2.17 条 连拱桥的总地震内力 S 应按下列各式计算：

一、顺桥向

1. 拱

$$S_a = [(S_{1ha} + S_{eha})^2 + (S_{2va} + S_{vha})^2]^{1/2} \quad (4.2.17-1)$$

2. 墩

$$S_p = [(S_{1hp})^2 + (S_{2hp})^2]^{1/2} \quad (4.2.17-2)$$

二、横桥向

拱

$$S_a = [(S_{1za}^2 + (S_{2za})^2)]^{1/2} \quad (4.2.17 - 3)$$

2. 墩

$$S_p = [(S_{1zp})^2 + (S_{2zp})^2]^{1/2} \quad (4.2.17 - 4)$$

4.3 抗震强度和稳定性验算

第 4.3.1 条 验算构造物抗震强度时,按现行的公路桥涵设计规范有关规范进行验算。

第 4.3.2 条 构造物的抗震验算,其计算表达式如下:

一、极限状态法

1. 砖石和混凝土结构

$$S_d(\psi\gamma_g\Sigma G_j, \psi\gamma_q\Sigma Q_d) \leq R_d\left(\frac{R_j}{\gamma_m}\right) \quad (4.3.2 - 1)$$

2. 钢筋混凝土和预应力混凝土结构

$$S_d(\gamma_e\Sigma G_j, \gamma_q\Sigma Q_d) \leq \gamma_b R_d\left(\frac{R_e}{\gamma_0}, \frac{R_a}{\gamma_a}\right) \quad (4.3.2 - 2)$$

式中 G ——非地震荷载效应;

Q_d ——地震荷载效应;

Ψ ——荷载组合系数,取 $\Psi = 0.67$;

γ_g ——荷载安全系数,对于砖石与混凝土结构,结构重力取 $\gamma_g = 1.2$,其余荷载取 $\gamma_g = 1.4$,对于钢筋混凝土与预应力混凝土结构取 $\gamma_g = 1.0$;

γ_q ——地震荷载安全系数,对于砖石与混凝土结构,结构重力产生的地震荷载取 $\gamma_q = 1.2$,其余地震荷载取 $\gamma_q = 1.4$,对于钢筋混凝土与预应力混凝土结构取 $\gamma_q = 1.0$;

S_d ——荷载效应函数;

R_d ——结构抗力效应函数;

R_i ——材料或砌体的极限制度;

R_e ——混凝土设计强度;

R_a ——预应力钢筋或非预应力钢筋设计强度;

γ_m ——材料或砌体安全系数;

γ_a ——混凝土安全系数;

γ_g ——预应力钢筋或非预应力钢筋安全系数;

γ_b ——结构工作条件系数。矩形截面取 $\gamma_b = 0.95$,圆形截面取 $\gamma_b = 0.68$ 。

式(4.3.2-1)右项计算表达式,应按现行的《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》JTJ022—85 有关规定计算。

二、容许应力法

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (4.3.2 - 3)$$

式中 σ ——计算应力(MPa);

$[\sigma]$ ——材料强度提高后容许应力(MPa)。对于支座销钉、锚栓等,其材料容许应

力按现行的《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》JTJ025—86 规定值提高 50% 采用 ;对于地基土的容许应力按第 2.2.1 条规定采用。

第 4.3.3 条 板式橡胶支座的抗震验算 ,可按下列规定进行 :

一、支座厚度验算

$$\Sigma t \geq \frac{X_e}{tg\gamma} = X_e \tag{4.3.3 - 1}$$

式中 Σt ——橡胶层总厚度(m);
 $tg\gamma$ ——橡胶片剪切角正切值 取 $tg\gamma = 1.0$;
 x_e 由水平地震荷载引起的支座顶面相对于度面的水平位移(m);

$$X_e = \frac{E_{hzb}\Sigma t}{nG_dA_r} \tag{4.3.3 - 2}$$

E_{hzb} ——水平地震作用力(kN) 按式(4.2.12 - 3)计算 ;
 n ——橡胶支座数量 ;
 G_d ——橡胶支座动剪切模量 取 $G_d = 1200kN/m^2$;
 A_r ——橡胶支座面积(m^2) ;

二、支座抗滑稳定性验算

$$\mu_d R_b \geq E_{hzb} \tag{4.3.3 - 3}$$

式中 μ_d ——支座动摩阻系数 橡胶支座与混凝土表面的动摩阻系数采用 0.15 ;与钢板的动摩阻系数采用 0.10 ;
 R_d ——上部结构重力在支座上产生的反力(kN) ;

第 4.3.4 条 砖石、混凝土构件截面和基础截面的合力偏心距 e ,应分别符合下列要求 :

一、对于中、小跨径拱圈和其它结构的截面偏心距 e' 应符合下式的规定。

$$e' \leq 2.4\rho' \tag{4.3.4}$$

式中 ρ' ——截面核心半径(m) ;

二、对于基底截面应符合表 4.3.4 的规定。

表 4.3.4 基底截面合力偏心距

| 地 基 土 | e |
|--|----------------|
| 岩石 ,密实的碎石土 ,密实的砾、粗、中砂 ,老粘性土 $[\sigma_0] \geq 300kPa$ 的一般粘性土 | $\leq 2.0\rho$ |
| 中密的碎石土 ,中密的砾、粗、中砂 , $200kPa \leq [\sigma_0] < 300kPa$ 的一般粘性土 | $\leq 1.5\rho$ |
| 密、中密的细砂、粉砂 , $100kPa \leq [\sigma_0] < 200kPa$ 的一般粘性土 | $\leq 1.2\rho$ |
| 新近沉积粘性土 ,软土 ,松散的砂、填土 $[\sigma_0] < 100kPa$ 的一般粘性土 | $\leq 1.0\rho$ |

注 ρ 为基底截面核心半径, 即 $\rho = \frac{W}{A_1}$, W 为基底边缘的截面抵抗矩; A_1 为基底截面积。

第 4.3.5 条 验算墩、台的抗震稳定性时, 抗滑动稳定系数 K 。不宜小于 1.1; 抗倾覆稳定系数 K 。不宜小于 1.2。

4.4 抗震措施

1 7 度 区

第 4.4.1 条 同一座桥梁不宜采用拱式和梁式混合的桥型。当需要采用时, 应将拱式与梁式衔接部位的墩做成实体桥墩。

第 4.4.2 条 拱桥基础宜置于地质条件一致、两岸地形相似的坚硬土层上。拱桥矢跨比宜取 $1/5 \sim 1/8$ 。空腹式拱桥宜减小拱上填料厚度, 并宜采用轻质填料, 填料必须逐层夯实。边腹拱宜采用静定结构。

第 4.4.3 条 简支梁梁端至墩、台帽或盖梁边缘应有一定的距离(图 4.4.3-1)。其最小值 a (cm)按下式计算:

$$a \geq 50 + L \quad (4.4.3)$$

式中 L ——梁的计算跨径, 以米为单位取值。吊梁与悬臂之间的搭接长度 d 不应小于 60cm(图 4.4.3-2)。

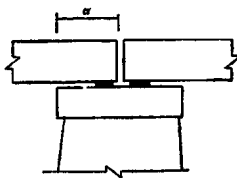


图 4.4.3-1 梁端至墩、台帽或盖梁边缘的最小距离 a

第 4.4.4 条 桥台胸墙应适当加强, 并在梁与梁之间和梁与桥台胸墙之间加装橡胶垫或其它弹性衬垫, 以缓和冲击作用和限制梁和位移。其构造示意图 4.4.4-1、图 4.4.4-2 所示。

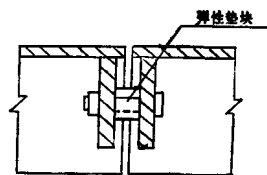
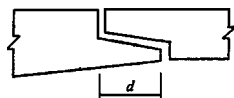


图 4.4.3-2 吊梁与悬臂的搭接长度 d

图 4.4.4-1 梁与梁之间的缓冲设施

第 4.4.5 条 桥面不连续的简支梁(板)桥和吊梁, 宜采用挡块、螺栓连接和钢夹板连接等防止纵横向落梁的措施。连续梁和桥面连续简支梁(板)桥, 应采取防止横向产生较大位移的措施。

第 4.4.6 条 在软弱粘性土层、液化土层和严重不均匀地层上, 不宜修建大跨度超静定桥梁。

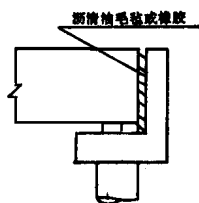


图 4.4.4-2 梁与台之间的缓冲设施

注:严重不均匀地层系指岩性、土质、层厚、界面等在水平方向变化很大的地层。

第 4.4.7 条 在软弱粘性土层、液化土层和不稳定的河岸处建桥时,对于大、中桥,可适当增加桥长,合理布置桥孔,使墩、台避开地震时可能发生滑动的岸坡或地形突变的不稳定地段。否则,应采取措施增强基础抗侧移的刚度和加大基础埋置深度;对于小桥,可在两桥台基础之间设置支撑梁或采用浆砌片(块)石满铺河床。

第 4.4.8 条 在软弱粘性土层、液化土层和严重不均匀地层上建桥时,应根据具体情况采取下列措施:

- 一、换土或采用砂桩。
- 二、减轻结构自重、加大基底面积、减少基底偏心。
- 三、增加基础埋置深度、穿过液化土层。
- 四、采用桩基础或沉井基础。

II 8 度 区

第 4.4.9 条 8 度区的抗震措施,除应符合本节第 I 部分的规定外,尚应符合本部分的规定。

第 4.4.10 条 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。当采用钢筋混凝土肋拱时,必须加强横向联系。

拱上建筑的立柱或立墙顶端宜设铰,允许这些部位有些变形。

第 4.4.11 条 双曲拱桥应采取措施加强拱圈的整体性,如减少接头的数量;适当增设横隔板;加强拱波与拱肋之间的连接强度;增设拱板横向钢筋网并与拱肋锚固钢筋联成整体;将主拱圈的纵向钢筋锚固于墩台拱座内;适当加强主拱圈与墩台的连接等。

第 4.4.12 条 桥墩、台高超过 3m 的多跨连拱,不应采用双柱式桥墩或排架桩墩;当多跨连拱桥跨数过多时,不宜超过 5 孔,且总长不宜超过 200m 设一个制动墩。

第 4.4.13 条 梁桥活动支座,不应采用摆柱支座。当采用辊轴支座时,应采取限制其位移的措施。

第 4.4.14 条 连续梁桥宜采取使上部构造所产生的水平地震荷载能由各个墩、台共同承担的措施,以免固定支座墩受力过大。

第 4.4.15 条 连续曲梁的边墩和上部构造之间宜采用锚栓连接,防止边墩与梁脱离。

第 4.4.16 条 高度大于 7m 的柱式桥墩和排架桩墩应设置横系梁。为了提高柱式桥墩和排架桩墩的纵向刚度,宜根据具体情况适当加大柱(桩)直径或采用双排的柱式桥

墩和排架桩墩。

第 4.4.17 条 柱式桥墩和排架桩墩的柱(桩)与盖梁、承台连接处的配筋不应少于柱(桩)身的最大配筋。

柱式桥墩和排架桩墩的截面变化部位,宜做成坡度为 2:1~3:1 的喇叭形渐变截面或在截面变化处适当增加配筋。

第 4.4.18 条 柱式桥墩和排架桩墩加密区段箍筋应按第 4.4.19 条规定的箍筋面积布设,其加密区段的位置和高度应符合下列要求:

一、扩大基础的柱式桥墩和排架桩墩应布置在柱(桩)的顶部和底部,其布置高度取柱(桩)的最大横截面尺寸成 $1/6$ 柱(桩)高,并不小于 50cm。

二、桩基础的柱式桥墩和排架桩墩应布置在柱(桩)的顶部(布置高度同上)和柱(桩)在地面或一般冲刷线以上 1 倍柱(桩)径处延伸到最大弯矩以下 3 倍柱(桩)径处,并不小于 50cm。

第 4.4.19 条 柱式桥墩和排架桩墩加密区段箍筋配置及箍筋接头应符合下列要求:

一、圆形截面应采用螺旋式箍筋,其间距不大于 10cm,箍筋直径不小于 8mm,矩形截面的最小含箍率 ρ_{smin} ,顺桥向和横桥向均为 0.3%。即:

$$\rho_{smin} = \frac{A_g}{S_k b} = 0.3\% \quad (4.4.19)$$

式中 S_k ——箍筋竖向间距(cm);

b ——垂直计算方向构件截面长度(cm);

A_g ——计算方向箍筋面积(cm^2)。

二、螺旋式箍筋的接头,必须采用焊接,矩形箍筋应有 135°弯钩,并伸入混凝土核心之内。

第 4.4.20 条 石砌或混凝土墩(台)的墩(台)帽与墩(台)身、墩(台)身与基础连接处、截面突变处、施工接缝处均应采取提高抗剪能力的措施。

第 4.4.21 条 桥台宜采用整体性强的结构型式。如 U 形桥台、箱形桥台和支撑式桥台等。对于桩、柱式桥台,宜采用埋置式。

第 4.4.22 条 石砌或混凝土墩、台和拱圈的最低砂浆标号,应按现行的《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》JTJ022—85 的要求提高一级采用。

第 4.4.23 条 下部为钢筋混凝土结构,其混凝土标号,中、小跨径桥梁不低于 20 号;大跨径桥梁不低于 25 号。

第 4.4.24 条 构造物的基础宜置于基岩或坚硬的土层上。基础底面一般采用平面型式。当基础置于基岩上时,方可采用阶梯型式。

第 4.4.25 条 梁桥桥墩高度超过 10m 时,应采用混凝土或钢筋混凝土结构,并宜在施工缝部位配置适量短钢筋。

Ⅲ 9 度区

第 4.4.26 条 9 度区的桥梁抗震措施,除应符合本节第 I、II 部分的规定外,尚应符合本部分的规定。

第 4.4.27 条 梁桥各片梁间必须加强横向连接,以提高上部结构的整体性。当采用

桁架体系时 ,必须加强横向稳定性。

第 4.4.28 条拱桥拱圈的宽跨比不应小于 1/20。

第 4.4.29 条混凝土或钢筋混凝土无铰拱 ,宜在拱脚的上、下缘配置或增加适当的钢筋 ,并按锚固长度的要求伸入墩(台)拱座内。

第 4.4.30 条拱桥墩、台上的拱座 ,混凝土标号不应低于 25 号 ,并应配置适量钢筋。

第 4.4.31 条桥梁墩、台采用多排桩基础时 ,宜设置斜桩。

第 4.4.32 条桥台台背和锥坡的填料不宜采用砂类土 ,填土应逐层夯实 ,并注意排水措施。

第 4.4.33 条梁桥活动支座应采用限制其竖向位移的措施。

第 4.4.34 条钢筋混凝土柱式桥墩或排架桩墩 ,当墩高大于 15m 时 ,宜控制墩顶在地震作用下产生的弹塑性位移。

第五节隧 道

5.1 一般规定

第 5.1.1 条本章适用于新建和改建各级公路的山岭隧道的抗震设计。

第 5.1.2 条隧道位置应选择在山坡稳定、地质条件较好、对抗震有利地段。洞口应避免设在滑坡、岩堆、泥石流等处。

5.2 抗震强度和稳定性验算

第 5.2.1 条隧道应按表 5.2.1 的规定范围 ,验算其抗震强度和稳定性。

表 5.2.1 隧道抗震强度和稳定性验算范围

| 公 路 等 级 | | | 高速公路及一、 二级公路 | | 三、四级公路 | |
|---------|-----------------------|-----------|-----------------|-----|--------|-----|
| 基 本 烈 度 | | | 7 | 8、9 | 7 | 8、9 |
| 工程项目 | 洞门墙及洞口挡土墙 | | 不验算 | 验算 | 不验算 | 验算 |
| | 洞口浅埋和偏 压地段隧道衬 砌 | 单车道Ⅰ～Ⅲ类围岩 | — | — | 不验算 | 验算 |
| | | 双车道Ⅰ、Ⅱ类围岩 | 验算 | 验算 | 验算 | 验算 |
| | | 双车道Ⅲ、Ⅳ类围岩 | 不验算 | 验算 | 不验算 | 验算 |
| | 明 洞 | 单车道 | — | — | 不验算 | 验算 |
| | | 双车道 | 验算 | 验算 | 验算 | 验算 |

注 :围岩分类按现行的《公路隧道勘测规程》JTJ061—85 的规定执行。

第 5.2.2 条隧道的地震作用应按静力法计算。验算隧道的结构抗震强度和稳定性时 ,地震荷载应只与结构重力和土的重力组合 ,并应符合下列规定：

一、隧道衬砌和明洞的结构强度 ,按现行的《公路隧道设计规范》验算。其安全系数应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 结构强度安全系数

| 材 料 种 类 受 力 特 征 | 钢盘混凝土 | 混凝土 | 石砌体 |
|----------------------|-------|-----|-----|
| 混凝土或石砌体达到抗压极限强度 | | 1.8 | 2.0 |
| 混凝土达到抗拉极限强度 | | 2.5 | |
| 钢筋达到设计强度或混凝土达到抗压极限强度 | 1.5 | | |
| 混凝土达到抗拉极限强度(主拉应力) | 1.8 | | |

二、洞门墙、洞口挡土墙、半路暂拱形明洞外墙和棚式明洞边墙的稳定系数、偏心距 ,应符合本规范第 3.1.4 条和第 4.3.4 条的规定。

三、地基土容许承载力的提高系数 ,应符合本规范第 2.2.1 条的规定。

第 5.2.3 条 隧道衬砌和明洞上任一计算质点的水平地震荷载 ,应按下式计算：

$$E_{ih} = C_i C_z K_h G_{is}$$

(5.2.3)

式中 E_{ih} ——水平地震荷载(kN)；

C_i ——重要性修正系数 ,按表 1.0.4 采用；

C_z ——综合影响系数 ,岩石地基的明洞来用 0.2 ;其它采用 0.25 ；

K_h ——水平地震系数 ,按表 1.0.7 采用；

G_{is} ——构造物计算点的重力或计算土柱的重力(kN)。

第 5.2.4 条 地震土压力应按本规范第 3.1.6 条的规定计算。

洞门墙和洞口挡土墙的水平地震荷载 ,应按本规范第 3.1.5 条的规定计算。

5.3 抗震措施

第 5.3.1 隧道洞口应采取控制路堑边坡和仰坡的开挖高度以及其它防止坍塌震害的措施。位于悬崖陡壁下的洞口 ,宜采取明洞与洞口相接或其它防止落石的措施。

第 5.3.2 条 隧道洞门形式宜采用翼墙式。洞门建筑材料可按表 5.3.2 采用。

表 5.3.2 洞门建筑材料

| 工程部位 \ 基本烈度 | | 8 | 9 |
|-------------|------------------|--------------|-----------|
| 洞门端墙 | 单车道 | 不低于 10 号浆砌片石 | 片石混凝土或混凝土 |
| | 双车道 | 片石混凝土 | 混凝土 |
| 洞口挡土墙或翼墙 | $H < 10\text{m}$ | 不低于 10 号浆砌片石 | |
| | $H > 10\text{m}$ | 片石混凝土或混凝土 | |

注： H 为挡土墙或翼墙的高度。

第 5.3.3 条 隧道的洞口浅埋和偏压地段 ,应为抗震设防地段。其设防长度可根据地形、地质条件确定。基本烈度 7 度区Ⅰ、Ⅱ类围岩的双车道隧道和基本烈度为 8 度和 9 度区Ⅰ~Ⅳ类围岩的双车隧道 ,其设防长度不宜小于 25m ;基本烈度为 8 度和 9 度区Ⅰ~Ⅲ类围岩的单车道隧道 ,设防长度不宜小于 15m。

抗震设防地段的隧道宜采用带仰拱的曲墙式衬砌。

第 5.3.4 条 抗震设防地段的隧道衬砌和明洞的建筑材料 ,可按表 5.3.4 采用。

第 5.3.5 条 基本烈度为 8 度或 9 度时 ,洞门端墙与衬砌环框间、端墙与洞口挡土墙或翼墙间的施工接缝处 ,应加设短钢筋或设置榫头等抗震连接措施。对耳墙式明洞的耳墙与拱部结构间的空隙 ,宜采用浆砌片石或混凝土回填密实。

第 5.3.6 条 棚式明洞应采取防止落架的措施。当基本烈度为 8 度或 9 度时 ,不宜采用悬臂式棚洞。

表 5.3.4 隧道衬砌和明洞建筑材料

| 工程项目 | 围岩类别 | 材 料 种 类 | |
|------|-------|-------------------|---|
| 隧道衬砌 | Ⅰ、Ⅱ | 钢筋混凝土或加筋混凝土 | |
| | Ⅲ | 混凝土或钢筋混凝土 | |
| | Ⅳ | 混凝土 | |
| 拱形明洞 | Ⅰ~Ⅲ | 拱圈用钢筋混 凝土 | 基本烈度 8 度区 ,单压明洞外边墙 用 10 号浆砌片石 ,其余边墙用片 石混凝土 ,混凝土或钢筋混凝土 |
| | Ⅳ类及以上 | 拱圈用混 凝土 或钢筋混凝土 | |
| 棚式明洞 | | 顶梁用钢 | 外支承结构用混凝土或钢筋混 凝土。内侧锚杆式边墙用混凝土。 衡重式边墙基本烈度 8 度区用 10 号浆砌片石 ,在 9 度区用片石混 凝土或混凝土 |

第 5.3.7 条 浅埋、偏压以及位于断层破碎等地质不良地段的隧道,其衬砌背后应压注水泥砂浆。

附录一 梁桥桥墩基本周期的近似公式

一、梁桥桥墩的基本周期可通过实测、试验或理论计算确定。一般情况可按下列近似公式计算各类桥墩的基本周期:

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{G_1 \delta}{g} \right)^{1/2} \quad (\text{附 1-1})$$

式中 T_1 ——各类梁桥桥墩的基本周期(s);

G_1 ——支座顶面或上部结构质量重心处的换算质点重力(kN),对于柔性墩, $G_1 =$

$G_{ap} + G_{cp} + \eta G_p$,对于实体墩顺桥向, $G_1 = G_{ap} = [X_f + \frac{1}{3}(1 - X_f)^2]G_p$,对

于实体墩横桥向或多排桩基础上的桥墩 $G_1 = \sum_{i=1}^n G_i X_{1i}^2$,其符号意义同本规范第 4.2.2、第 4.2.5 和第 4.2.6 条的有关规定;

δ ——在顺桥向或横桥向作用于支座顶面或上部结构质量重心上单位水平力在该点引起的水平位移(m/kN),顺桥和横桥方向应分别计算,对于实体墩,计算横桥方向的基本周期时,一般应考虑剪切变形的影响,对于变截面桥墩,可按本附录的第二款计算等效截面惯性矩,对于扩大基础、多排桩基础和沉井基础,当考虑地基变形时,可按现行的《公路桥涵地基与基础设计规范》的有关规定计算支座顶面或上部结构质量重心处的水平位移;

g ——重力加速度(m/s^2)。

二、变截面桥墩等效截面惯性矩可按下式计算:

$$I_e = \frac{H^3}{3 \int_0^H \frac{x^2}{K(x)} dx} \quad (\text{附 1-2})$$

式中 I_e ——桥墩等效截面惯性矩(m^4);

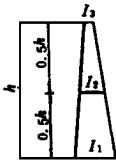
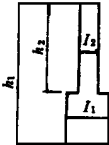
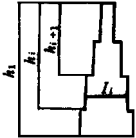
H ——桥墩计算高度(m);

x ——以墩顶为坐标原点的坐标变量(m);

$I_{(x)}$ ——坐标 x 处墩身惯性矩(m^4)。对有代表性的断面可按附表 1 采用。

附表 1

换算截面惯性矩

| $I_{(x)}$ 的变化形式 | $\frac{1}{I_x} = ax^2 + bx + c$  | $a = h_2/h_1$  | $a_1 = h_2/h_1$  |
|-----------------|--|--|---|
| I_e | $\frac{1}{I_e} = \frac{0.45}{I_1} + \frac{0.6}{I_2} - \frac{0.6}{I_3}$ | $\frac{1}{I_e} = \frac{1 - a^3}{I_1} + \frac{a^2}{I_2}$ | $\frac{1}{I_e} = \sum_i \frac{a_i^2 - a_{i-1}^2 + 1}{I^i}$ |

附录二 采用板式橡胶支座的梁
桥基本周期近似计算公式

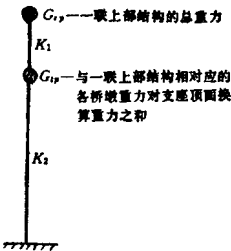
板式橡胶支座的梁桥,桥墩基本周期可按两个质点体系的公式计算,共计算简图如附图 2 所示。

$$\omega_1^2 = g \frac{G_{tp} K_1 + (K_1 + K_2) G_{sp} - \{ [G_{tp} K_1 + (K_1 + K_2) G_{sp}] - 4 G_{tp} G_{sp} K_1 K_2 \}^{1/2}}{2 G_{sp} G_{tp}} \quad (\text{附 2 - 1})$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} \quad (\text{附 2 - 2})$$

式中 ω_1 ——基本圆频率(1/s);
 K_1 ——相应于一联上部结构所对应的全部板式橡胶支座抗推刚度之和(kN/m);
 K_2 ——相应于一联上部结构所对应的桥墩抗推刚度之和(kN/m);
 T_1 ——基本周期(s);

其余符号意义同本规范第 4.2.6 条的规定。



附图 2 自振特性计算简图

附录三 单孔拱桥基本周期近似计算公式

一、等截面圆弧拱的基本周期 T_1 (s)可按式计算：

1. 在拱平面

$$T_1 = \zeta_T S^2 (\frac{G_{ma}}{EIg})^{1/2}$$

(附3)

式中 E ——拱圈材料的弹性模量(kN/m^2);
 I ——拱圈截面的惯性矩(m^4);
 g ——重力速度(m/s^2);
 G_{ma} ——包括拱上建筑在内洞拱圈单位弧长的平均重力(kN/m);
 S ——拱轴线的全弧长(m);
 ζ_T ——计算系数 ,可按下式计算 :

对于两铰拱 , $\zeta_T = (\frac{4\pi^2 + 3\theta_a}{4\pi^2 - \theta_a})^{1/2}$

对于无铰拱 ,

$$\zeta_T = 2\pi (\frac{1 + 0.0165\theta_a}{3827 - 91\theta_a + \theta_a})^{1/2}$$

相应于不同矢跨比的 ζ_T 值 亦可按表 3 采用 ;

附表 3

计算系数 ζ_T 值

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 矢跨比 | 1/4 | 1/5 | 1/6 | 1/7 | 1/8 |
| 两铰拱 | 0.196 | 0.184 | 0.176 | 0.172 | 0.169 |
| 无铰拱 | 0.117 | 0.112 | 0.109 | 0.107 | 0.106 |

θ_a ——圆弧拱轴线全弧长所应的中心角(rad)。

2. 出拱平面

当矢跨比为 1/4 ~ 1/8 时 ,等截面圆弧拱的基本周期可按式(附 3)进行计算 ,式中取 $\zeta_T = 0.288$ 。

二、等截面悬链线拱、抛物线拱等在拱平面、出拱平面的基本周期均可按相同矢跨比的等截面圆弧拱采用。

附录四 连拱桥自振周期近似计算公式

等跨度连拱桥的自振周期可按下列近似公式计算 :

一、顺桥向

1. 基本振型

计算连拱桥顺桥向基本振型荷载引起的 $S_{iha}、\delta_{i=1}$ 和 E_{ihp} 时 ,基本圆频率 ω_1 (1/8)可按下式计算 :

$$\omega_1 = (\frac{K_1}{M_1})^{1/2}$$

(附4-1)

$$\text{式中 } \overline{M}_1 = \sum_{i=1}^n \frac{G_{11}}{g} \{X_{i,1}\}^2$$

$$K_1 = K_2 \sum_{i=0}^n \{X_{i,1+1} - X_{i,1}\}^2 + \sum_{i=0}^n K_{ip} \{X_{i,1}\}^2$$

基本周期 T_1 (s)按下式计算：

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} \quad (\text{附 4-2})$$

式中 K_2 ——拱脚相向抗推刚度(kN/m)；

其余符号意义同本规范第 4.2.15 条的规定。

2. 第二振型

计算连拱桥顺桥向第二振型荷载 S_{2va} 、 S_{2ha} 时,第二周期可接单孔拱桥在拱平面情形采用。计算墩的第二振型荷载引起的 q_{2hp} 时,墩的第二圆频率 ω_{2p} (1/s)按下式计算：

$$\omega_{2p} = 15.42 \left(\frac{EI_g}{\gamma_p A_p H^4} \right)^{1/2} \quad (\text{附 4-3})$$

式中 H ——墩身高度(m)；

γ_p ——墩身材料容重(kN/m³)

A_p ——墩身截面积(m²)

E ——墩身材料的弹性模量(kN/m²)；

I ——墩身截面惯性矩(m⁴)；

g ——重力加速度(m/s²)。

墩的第二周期 T_{2p} (s)按下式计算：

$$T_{2p} = \frac{2\pi}{\omega_{2p}} \quad (\text{附 4-4})$$

二、横桥向

1. 基本振型

计算连拱桥横桥向基本振型荷载引起的 S_{iza} 、 E_{izp} 时,基本圆频率 ω_{iz} (1/s)按下式计算：

$$\omega_{iz} = \left(\frac{K_{iz}}{M_i} \right)^{1/2} \quad (\text{附 4-5})$$

式中 K_{iz} ——第 i 号墩墩顶横向抗推刚度(kN/m)；

M_i ——第 i 号墩墩顶集中质量, $M_i = \frac{G_{it}}{g} = \frac{1}{g} \left(G_a + \frac{1}{4} G_p \right)$ ；

G_a ——一孔拱桥总重力(kN)；

G_p ——墩身重力(kN)

基本周期 T_{iz} (s)按下式计算：

$$T_{iz} = \frac{2\pi}{\omega_{iz}} \quad (\text{附 4-6})$$

2. 第二振型

计算拱的横桥向第二振型荷载引起的 S_{2za} 时,第二周期可接单孔拱桥出拱平面情形

采用。计算墩的第二振型荷载引起的 $S_{2\varphi}$ 时,墩的第二圆频率和第二周期可按顺桥向公式计算,但墩身截面惯性矩应取横桥向。

附录五 拱桥地震内力系数表

附表 5-1 ψ_b 值

| f/L | 截面 | m | n | q |
|-------|-----|---------|---------|---------|
| 1/3 | 拱顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.09296 |
| | 1/4 | 0.0131 | 0.26484 | 0.02790 |
| | 拱脚 | 0.03018 | 0.37555 | 0.34228 |
| 1/4 | 拱顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.08044 |
| | 1/4 | 0.01145 | 0.26103 | 0.02302 |
| | 拱脚 | 0.0262 | 0.40563 | 0.3022 |
| 1/5 | 拱顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.06926 |
| | 1/4 | 0.00993 | 0.25791 | 0.01905 |
| | 拱脚 | 0.02261 | 0.42915 | 0.26417 |
| 1/6 | 拱顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0602 |
| | 1/4 | 0.00868 | 0.25556 | 0.01604 |
| | 拱脚 | 0.01967 | 0.44573 | 0.23201 |
| 1/7 | 拱顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.05296 |
| | 1/4 | 0.00766 | 0.25377 | 0.01377 |
| | 拱脚 | 0.01731 | 0.45728 | 0.20556 |
| 1/8 | 拱顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.04715 |
| | 1/4 | 0.00684 | 0.25235 | 0.01201 |
| | 拱脚 | 0.0154 | 0.46542 | 0.18386 |
| 1/9 | 拱顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.04242 |
| | 1/4 | 0.00616 | 0.25117 | 0.01061 |
| | 拱脚 | 0.01384 | 0.47124 | 0.16591 |
| 1/10 | 拱顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.03851 |
| | 1/4 | 0.0056 | 0.25016 | 0.00947 |
| | 拱脚 | 0.01255 | 0.47547 | 0.15091 |

附表 5－2

ϕ_b 值

| f/L | 截面 | m | n | q |
|-------|-----|---------|---------|---------|
| 1/3 | 拱 顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.09918 |
| | 1/4 | 0.01345 | 0.04712 | 0.05262 |
| | 拱 脚 | 0.01884 | 0.17265 | 0.13063 |
| 1/4 | 拱 顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.10180 |
| | 1/4 | 0.01412 | 0.04561 | 0.05162 |
| | 拱 脚 | 0.02013 | 0.15344 | 0.14902 |
| 1/5 | 拱 顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.10380 |
| | 1/4 | 0.01480 | 0.04542 | 0.05087 |
| | 拱 脚 | 0.02121 | 0.13482 | 0.16347 |
| 1/6 | 拱 顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.10519 |
| | 1/4 | 0.01522 | 0.04631 | 0.05030 |
| | 拱 脚 | 0.02194 | 0.11885 | 0.17373 |
| 1/7 | 拱 顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.10616 |
| | 1/4 | 0.01552 | 0.04788 | 0.04989 |
| | 拱 脚 | 0.02245 | 0.10562 | 0.18096 |
| 1/8 | 拱 顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.10685 |
| | 1/4 | 0.01573 | 0.04986 | 0.04959 |
| | 拱 脚 | 0.02281 | 0.09469 | 0.18614 |
| 1/9 | 拱顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.10735 |
| | 1/4 | 0.01589 | 0.05205 | 0.04937 |
| | 拱 脚 | 0.02307 | 0.08562 | 0.18993 |
| 1/10 | 拱 顶 | 0.0000 | 0.0000 | 0.10772 |
| | 1/4 | 0.01601 | 0.05433 | 0.04920 |
| | 拱 脚 | 0.02327 | 0.07803 | 0.19277 |

附表 5－3

ψ_z 值

| f/L | 截面 | m | q | t |
|-------|-----|---------|---------|---------|
| 1/3 | 拱 顶 | 0.3270 | 0.0000 | 0.0000 |
| | 1/4 | 0.00784 | 0.27190 | 0.00847 |
| | 拱 脚 | 0.08765 | 0.33333 | 0.01345 |
| 1/4 | 拱 顶 | 0.03346 | 0.0000 | 0.0000 |
| | 1/4 | 0.00649 | 0.27190 | 0.00773 |
| | 拱 脚 | 0.08650 | 0.33333 | 0.01067 |
| 1/5 | 拱 顶 | 0.03443 | 0.0000 | 0.0000 |
| | 1/4 | 0.00505 | 0.27190 | 0.00706 |
| | 拱 脚 | 0.08517 | 0.33333 | 0.00827 |
| 1/6 | 拱 顶 | 0.03546 | 0.0000 | 0.0000 |
| | 1/4 | 0.00367 | 0.27190 | 0.00649 |
| | 拱 脚 | 0.08382 | 0.33333 | 0.00640 |
| 1/7 | 拱 顶 | 0.03647 | 0.0000 | 0.0000 |
| | 1/4 | 0.00242 | 0.27190 | 0.00601 |
| | 拱 脚 | 0.08255 | 0.33333 | 0.00499 |
| 1/8 | 拱 顶 | 0.03740 | 0.0000 | 0.0000 |
| | 1/4 | 0.00129 | 0.21790 | 0.00559 |
| | 拱 脚 | 0.08319 | 0.33333 | 0.00393 |
| 1/9 | 拱 顶 | 0.03825 | 0.0000 | 0.0000 |
| | 1/4 | 0.00031 | 0.27190 | 0.00522 |
| | 拱 脚 | 0.08036 | 0.33333 | 0.00312 |
| 1/10 | 拱 顶 | 0.03900 | 0.0000 | 0.0000 |
| | 1/4 | 0.00055 | 0.27190 | 0.00489 |
| | 拱 脚 | 0.07946 | 0.33333 | 0.00251 |

附表 5－4

ψ_{iz} 值

| f/L | 截面 | m | q | t |
|-------|-----|---------|---------|---------|
| 1/3 | 拱 顶 | 0.02917 | 0.0000 | 0.0000 |
| | 1/4 | 0.00456 | 0.25000 | 0.00814 |
| | 拱 脚 | 0.09869 | 0.50000 | 0.01376 |
| 1/4 | 拱 顶 | 0.02999 | 0.0000 | 0.0000 |
| | 1/4 | 0.00320 | 0.2500 | 0.00748 |
| | 拱 脚 | 0.09752 | 0.50000 | 0.01092 |
| 1/5 | 拱 顶 | 0.03100 | 0.0000 | 0.00000 |
| | 1/4 | 0.00175 | 0.25000 | 0.00684 |
| | 拱 脚 | 0.09616 | 0.50000 | 0.00847 |
| 1/6 | 拱 顶 | 0.03208 | 0.0000 | 0.00000 |
| | 1/4 | 0.00036 | 0.25000 | 0.00631 |
| | 拱 脚 | 0.09478 | 0.50000 | 0.00656 |
| 1/7 | 拱 顶 | 0.03313 | 0.0000 | 0.00000 |
| | 1/4 | 0.00092 | 0.25000 | 0.00585 |
| | 拱 脚 | 0.09348 | 0.50000 | 0.00511 |
| 1/8 | 拱 顶 | 0.03410 | 0.0000 | 0.00000 |
| | 1/4 | 0.00206 | 0.25000 | 0.00546 |
| | 拱 脚 | 0.09230 | 0.50000 | 0.00403 |
| 1/9 | 拱 顶 | 0.03497 | 0.0000 | 0.00000 |
| | 1/4 | 0.00306 | 0.25000 | 0.00511 |
| | 拱 脚 | 0.09124 | 0.50000 | 0.00320 |
| 1/10 | 拱 顶 | 0.03574 | 0.0000 | 0.00000 |
| | 1/4 | 0.00394 | 0.25000 | 0.00479 |
| | 拱 脚 | 0.09032 | 0.50000 | 0.00257 |

附表 5－5

K_1 、 K_2 值

| f/L | 1/3 | 1/4 | 1/5 | 1/6 | 1/7 | 1/8 | 1/9 | 1/10 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| K_1 | 1.5310 | 1.4073 | 1.2604 | 1.1235 | 1.0052 | 0.9052 | 6.8210 | 0.7498 |
| K_2 | 0.0819 | 0.0269 | 0.0104 | 0.0046 | 0.0023 | 0.0012 | 0.0007 | 0.0004 |

说明： f/L ——矢跨比。

m ——截面弯矩系数，求弯矩值时应将表值乘以 L^2 。

t ——截面扭矩系数，求扭矩值时应将表值乘以 L^2 。

q ——截面剪力系数，求剪力值时应将表值乘以 L 。

R ——截面轴力系数，求轴力值时应将表值乘以 L 。

附录六 按场地评定指数 μ 确定

动力放大系数 β 的方法

当具有实测的场地土剪切波速、质量密度和分层厚度数据时，可按下式计算场地评定指数 μ ，然后按附图 6 确定动力放大系数 β 。

$$\mu = 0.6\mu_1 + 0.4\mu_2$$

(附 6)

式中 μ_1 、 μ_2 ——分别表示场地的平均剪切模量和覆盖土层厚度对场地评定指数的贡献；

$$\mu_1 = \begin{cases} l - e^{-0.6(G_m - 300) \cdot 10^{-4}} & G_m > 300\text{kN/m}^2 \\ 0 & G_m \leq 300\text{kN/m}^2 \end{cases}$$

G_m ——场地上的平均剪切模量(kN/m^2)；

$$G_m = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \rho_i V_i^2}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

n ——覆盖土层的分层数；

h_i 、 ρ_i 、 V_i ——分别为第 i 层土的厚度(m)、质量密度($\text{kN} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)和剪切波速度(m/s)；

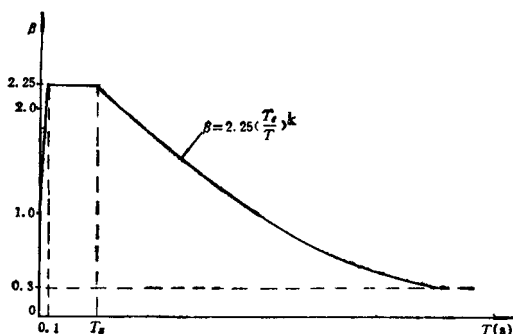
$$\mu_2 = \begin{cases} 6^{-0.01(h-5)^2} \cdot 10^{-8} & h > 5\text{m} \\ 1 & h \leq 5\text{m} \end{cases}$$

h ——覆盖土层厚度(m)。

当覆盖土层厚度超过 20m 时，取自地表起 20m 范围内土层的平均剪切模量，当覆盖土层厚度小于 20m 时，取实际厚度范围内土层的平均剪切模量。

图中参数 T_g 和 k 的取值如下：

$$T_g = 0.7 - 0.5\mu$$

附图 6 动力放大系数 β

$$k = 0.9 + 0.1\mu$$

附录七 本规范专用术语解释

基本烈度 一个地区的基本烈度是指该地区今后百年内,在一般场地条件下可能遭遇的最大地震裂度,即现行的全国地震烈度区划图规定的烈度。

地震系数 计算地震荷载时采用的反映地震动强度和特性的系数。它表示不同地震烈度的地面量大加速度的统计平均值与重力加速度的比值。

动力放大系数 采用反应谱理论计算地震荷载时,用以反映单质点弹性结构的动力特性的系数。它表示单质点弹性结构在地震作用下的量大水平加速度反应与地面最大水平加速度的统计平均值的比值。

综合影响系数 计算地震荷载时,用以反映实际构造物的地震反应与现行地震载荷计算理论之间的差异的协调值。

振型 地震时构造物各质点位移的相对比例或振动形状。

可能液化的土 在一定深度内,一定条件下有可能发生液化的土。

液化土 可能液化的土经过试验判定,当遭受基本烈度的地震时会发生液化的土。

软弱粘性土 地基的主要持力层范围内有软塑和极软状态的粘性土层或淤泥层且其容许承载力在基本烈度为 7 度时小于 80kPa,8 度时小于 100kPa,9 度时小于 120kPa 的土。

附录八 本规范用词说明

一、执行本规范条文时,要求严格程度的用词:

1. 表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

2. 表示严格,在正常情况下均应这样的用词:

正面词采用“应”;

反面词采用“不应”或“不得”。

3. 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”或“可”;

反面词采用“不宜”。

二、条文中必须按指定的标准、规范或其他有关规定执行的写法为“应按。...·执行”或“应符合。...·要求”。非必要按所指的标准规范或其他规定执行的写法为“参照.....”。