

文章编号: 0451-0712(2007)02-0064-05

中图分类号: U443.22

文献标识码: B

# 西藏努格沙大桥柔性桥墩的分析与计算

李进洲

(西藏交通公路勘察设计院 拉萨市 850001)

摘 要: 本文就西藏努格沙大桥柔性桥墩的受力进行了分析, 以供同行设计参考。

关键词: 公路桥梁; 柔性桥墩; 分析与计算

## 1 柔性墩设计概况

桥墩一般可以分为 3 个部分: 支座、墩身以及桩和桩基。支座是连接墩身和上部结构的主要构件, 按连接方式可分为固定支座和活动支座, 按材料性质又分为橡胶支座、钢支座等。无论是固定支座还是活动支座, 它们之间不存在弯矩, 唯一的区别只是顺桥向的位移约束问题。因此, 在工程分析和计算中, 常常将支座比拟成弹簧。

桩是桥梁结构的基础, 桩分为柱桩和摩擦桩。柱桩受力主要由桩端承担, 而摩擦桩则主要由桩和土壤的接触面来承受, 在弯矩和剪力作用下, 桩受土壤的挤压力作用。正是由于以上原因使墩身在承台处产生了偏移(包括角位移和线位移), 以至于墩身下部不是完全固结, 这就会影响桥墩的受力。桩和土的作用基本上都是将它等效为弹簧约束。

对于单桩和群桩桥墩边界条件的确定有不同的处理方法。按照工程上常用的分析方法, 将桩基桥墩的下端完全固结, 而上端用弹簧来约束。

柔性墩桥是把几孔简支梁及其墩台, 用适当的措施连接起来, 形成多跨的门式结构, 以共同承受桥上传来的水平力(主要是制动力), 此水平力按桥墩的剪力刚度分配, 因此可以显著地减少柔性墩所承受的水平力, 而使大部分水平力传往刚性墩, 从而使柔性墩的截面尺寸减小。

为使桥上的纵向水平力较多地传往刚性墩台, 应减少柔性墩的纵向剪力刚度。所以在墩身较高处设置柔性墩。但桥墩的横向应有足够的刚度, 以保证结构的稳定和安全。由于这些要求, 柔性墩的型式

一般有构架式、板壁式和上柔下刚式 3 种, 见图 1 所示。

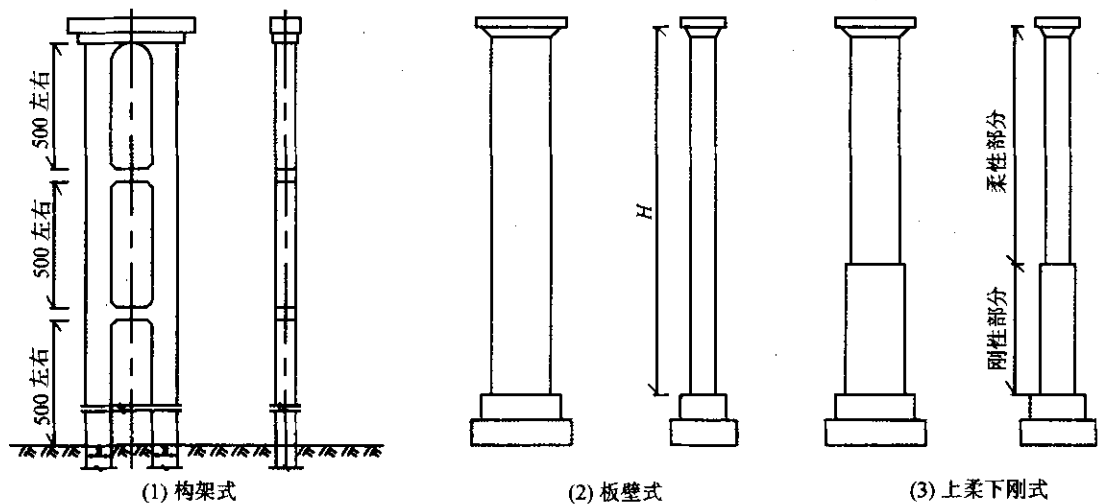
构架式柔性墩一般由 2 根立柱加上一些横撑组成。这种桥墩混凝土用量最少, 但施工立模较麻烦。如将 2 根立柱设计成斜柱, 则桥墩的横向刚度会更大, 适用于跨径较大的曲线桥。板壁式柔性墩构造简单, 我国已建成的柔性墩大多采用这种形式。实践证明, 这种桥墩能承受较大的外力, 设计中可对 2 个方向的尺寸进行调整, 使之符合要求。板壁式柔性墩采用等截面、直坡, 外观简洁, 施工方便。柔性墩高度超过 20 m 时, 已经具有足够的柔度, 达到了减少水平力的目的。而柔性墩过高, 柔度过大, 对施工、架梁都可能存在一些问题。故桥墩很高时, 可采用上柔下刚式桥墩。刚性部分承受柔性部分传来的内力, 截面较大, 结构与实体墩相同。

实践证明, 全柔的柔性墩墩高或上柔下刚桥墩的柔性部分, 高度不宜超过 24 m, 柔性墩的总高度不宜高过 40 m。另外, 在水位较低而水流湍急的河流上, 或在有漂流物的河流上, 宜采用上柔下刚式桥墩。

## 2 西藏努格沙大桥设计概况

近几年来, 西藏地区修建了许多跨越山谷、河滩的柔性墩公路桥梁。在西藏中尼公路上跨越雅鲁藏布江的努格沙大桥就是一座柔性墩公路桥梁。

当地平均气温  $4.5 \sim 8.5^{\circ}\text{C}$ , 最热月份平均气温  $12 \sim 16^{\circ}\text{C}$ , 极端最高气温  $26 \sim 29^{\circ}\text{C}$ , 月均低于  $0^{\circ}\text{C}$  的月份为 2 月~4 月。简支梁安装、桥面连续、伸缩装置



单位:cm

图 1 柔性墩的一般型式

安装等的施工温度为  $15^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 。

2.1 设计标准

- (1) 桥梁宽度:桥梁净宽 8 m,全宽 9 m。
- (2) 设计荷载:汽车—超 20 级,挂车—120。
- (3) 地震动加速度系数:0.30 g,地震基本烈度 8 度,按 9 度设防。

2.2 上部结构

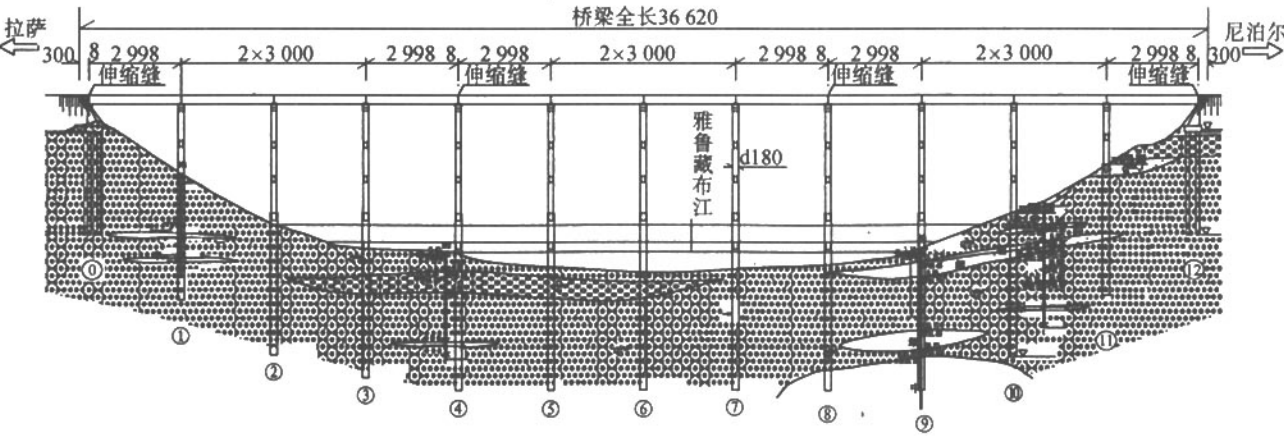
努格沙大桥上部结构设计为 12 孔跨径为 30 m 的桥面连续简支梁,4 孔一联。梁体为预应力混凝土简支 T 梁。桥梁位于直线(1~7 孔)和半径为 196.95 m 的缓和曲线上(8~12 孔),T 梁采用长短梁按折线方式来进行桥跨布设,利用调整边梁悬臂

形成桥面曲线,从而保证桥面线形的美观、顺畅。每跨横向布置 4 片 T 梁。0 号台及 12 号台为聚四氟乙烯滑板支座,其余各墩为板式橡胶支座。板式橡胶支座规格为  $300\text{ mm} \times 350\text{ mm} \times 78\text{ mm}$ 。桥台上设橡胶伸缩装置。

2.3 下部结构

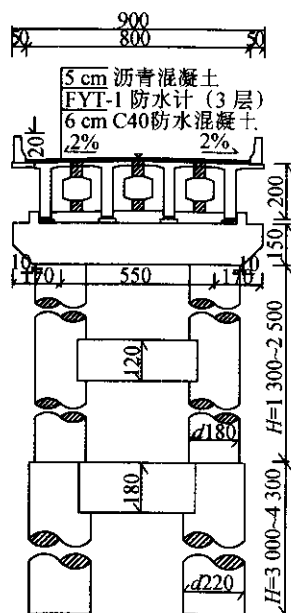
该桥下部结构设计为双柱式圆柱墩,墩柱直径为 1.8 m;基础为直径为 2.2 m 的钻孔灌注桩,桩长 30~43 m。墩柱与桩均为 C30 混凝土,两柱中距为 5.50 m。

桥梁立面及横断面布置见图 2 和图 3 所示。



单位:cm

图 2 西藏奴格沙大桥桥型立面布置



单位: cm

图 3 横断面布置

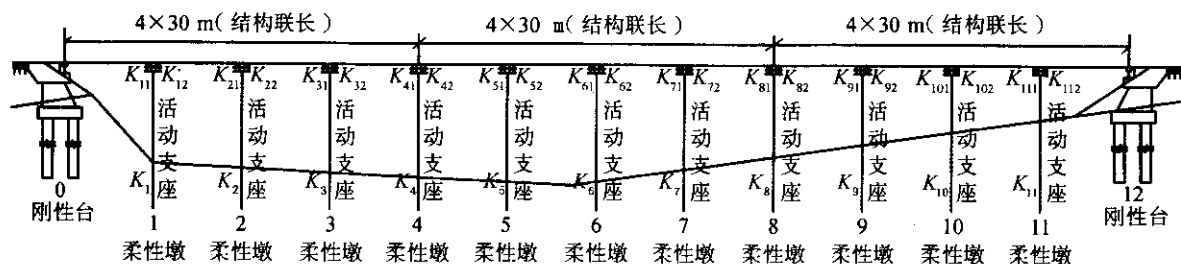


图 4 西藏双格沙大桥柔性墩计算图式

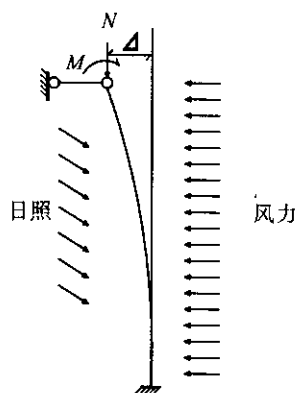


图 5 柔性墩(单墩)计算图式

### 3 计算与分析

努格沙大桥为柔性墩桥,桥梁在 0 号台及 12 号台用聚四氟乙烯滑板支座,而在 1~11 号墩的活动支座隔断了顺桥向水平力的联系,其计算图式如图 4 所示。以结构联为一组作整体计算。此结构联实为以多铰连续排架,柔性墩的个数即为超静定的次数。

在同一结构联内,当刚性墩(台)顺桥向的抗推刚度为柔性墩刚度的 50 倍以上时,可将柔性墩按单墩作简化计算。此时柔性墩假定为顶端铰支并具有一定的水平位移  $\Delta$ ,而下端为刚性固定的偏心受压杆件,见图 5 所示。

就柔性墩的结构尺寸而言,在设计荷载作用下,柔性墩仍然属于小变形结构,假设荷载与变形呈线性变化。因此,分析计算可采用叠加原理。

#### 3.1 顺桥向墩顶位移计算

柔性墩计算图式表明,顺桥向墩顶水平位移值需在墩身检算之前拟定,这是柔性墩设计的一个特

性台的抗推刚度(kN/cm),  $K_r = 3EI/l^3$ ,  $E$  为混凝土的弹性模量(MPa);  $I$  为桥墩台的截面惯性矩( $m^4$ );  $l$  为桥墩台高度(m)。

(2) 梁体温度变化产生墩顶位移  $\Delta_2$  的计算。

$$\Delta_2 = n \cdot m \cdot \alpha \cdot l \cdot t$$

式中:  $n$  为所计算柔性墩的孔数;  $m$  为对墩内应力效应系数,取 0.6;  $\alpha$  为梁体混凝土的线膨胀系数;  $l$  为梁的跨径;  $t$  为梁体温度变化幅度。

(3) 梁体混凝土收缩、徐变产生的墩顶位移  $\Delta_3$  的计算。

由于努格沙大桥上部结构采用预应力混凝土预制 T 梁,利用架桥机架梁安装就位,因此梁体混凝土收缩、徐变产生的墩顶位移采用下式计算。

$$\Delta_3 = n \cdot r \cdot \alpha \cdot l \cdot t_s$$

式中:  $r$  为相应于梁混凝土的收缩、徐变,柔性墩亦发生徐变的应力效应系数;  $t_s$  为相应的温度变化幅度,采用 5~10℃;其他符号同前。

点。产生墩顶位移的原因包括制动力、温度变化及混凝土的收缩、徐变等。

(1) 制动力产生墩顶位移  $\Delta_1$  的计算。

$$\Delta_1 = \frac{P}{K_r}$$

式中:  $P$  为结构联内全部制动力, kN;  $K_r$  为刚

(4)架梁时的残留墩顶位移,按每个柔性墩单独考虑, $\Delta_4=0.3\text{ cm}$ 。

因此,墩顶位移 $\Delta=\Delta_1+\Delta_2+\Delta_3+\Delta_4$ 。在墩顶位移拟定后,即可计算墩身内力,计算图式如图6,按结构力学求得墩顶水平反力 $P$ 及墩底弯矩 $M$ 。

$$P=-\frac{3EI}{l^3}\Delta$$
$$M=\frac{3EI}{l^2}\Delta$$

3.2 墩顶垂直力、活载偏心矩及顺桥向风力的计算

柔性墩受活载偏心力矩及顺桥向风力时,虽然可能产生墩顶水平位移,但是因结构联(包括刚性墩台)的整体刚度很大,所以上述这种位移是很微小的。为了简化计算,计算时按墩顶为不移动的铰,墩

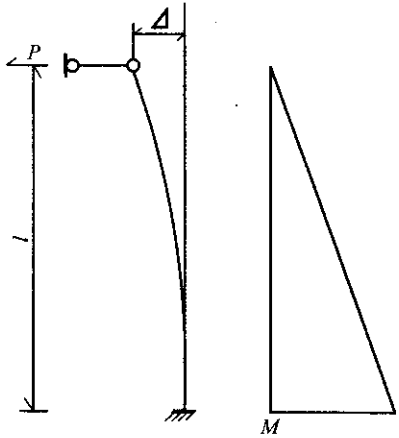


图6 墩身内力计算图式

底为固定的结构计算图式进行,见图7所示。

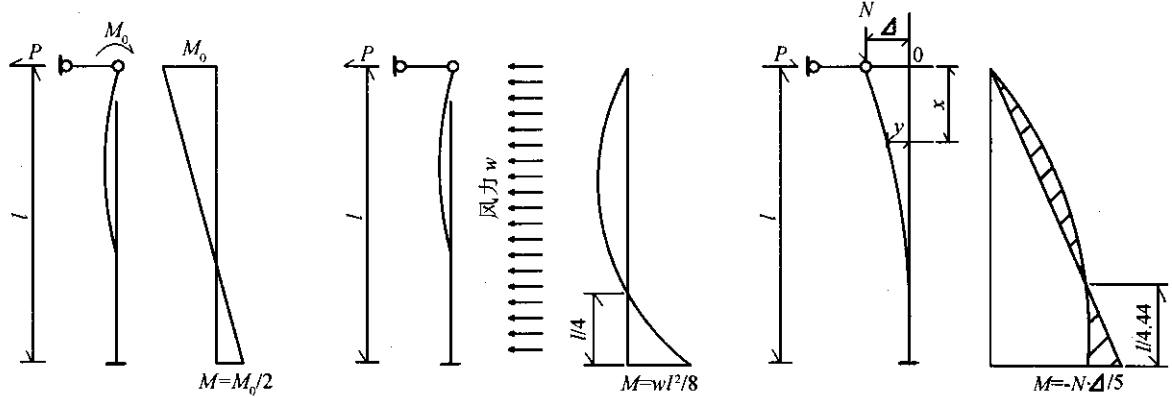


图7 墩身活载计算图式

(1)墩顶偏心弯矩的计算。

设墩顶偏心弯矩为 $M_0$ ,墩顶水平反力 $P$ 及墩底弯矩 $M$ 为:

$$P=\frac{3M_0}{2l}$$
$$M=\frac{M_0}{2}$$

(2)顺桥向风力计算。

设风力强度为 $w$ ,则每单位墩宽的墩顶水平反力 $P$ 及弯矩 $M$ 为:

$$P=\frac{3}{8}w \cdot l$$
$$M=\frac{1}{8}w \cdot l^2$$

(3)墩顶垂直力计算。

墩顶垂直力 $N$ 直接作用于全墩,为墩身计算的主要力素。因计算图式中,墩顶有侧向约束且具有一定的水平位移 $\Delta$ ,故 $N$ 力在垂直作用之外,还会产生相应的侧向水平力,使墩身产生弯矩。设墩顶位移

后,墩身挠度曲线为:

$$y=\frac{1}{2l^3}(2l^3-3l^2x+x^3)\Delta$$

可求得墩顶水平反力 $P$ 及弯矩 $M$ 为:

$$P=-\frac{6 \cdot N \cdot \Delta}{5l}$$
$$M=-\frac{1}{5}N \cdot \Delta$$

3.3 温度应力计算

柔性墩的周围均暴露在大气中,且墩身截面尺寸较小。当气温变化时,墩身各部分温差甚小,由此引起的温度应力也很小,可以略去不计。当日照时,一侧向阳,另侧背阳,此时在墩身混凝土内,两侧因温差引起的温度应力较大,应予计算。

墩顶水平反力 $P$ 及弯矩 $M$ 为:

$$P=\frac{3EI}{H^3}\Delta_s$$
$$M=PH=\frac{3EI}{H^2}\Delta_s$$

式中: $H$ 为柔性墩的高度; $\Delta_s$ 为假设墩顶自由

时的日照位移;其余符号同前。

### 3.4 顺桥向墩身内力计算

计算中以4孔为1联,计算图式见图4。计算墩为6号墩(墩高25 m,桩长43 m),尺寸见图2和图3所示。0号台和12号为刚性台。

根据前面的分析与计算方法,按照恒载、桥墩刚度、活载、墩顶位移、日照外约束作用力、墩身底截面各项弯矩及墩身底截面外力组合等的计算结果,可以得到6号柔性墩外力计算结果。

(1) 支座顶纵向水平力。

温降、混凝土收缩徐变、制动力:35.7 kN。

温升、制动力:-30.8 kN。

(2) 纵向水平力对墩柱底弯矩。

温降、混凝土收缩徐变、制动力:1 595.8 kN·m。

温升、制动力:-1 376.8 kN·m。

(3) 横向风力及弯矩。

横向风力:187.7 kN。

横向风力对墩柱底弯矩:4 742.4 kN·m。

(4) 竖直力及弯矩。

墩柱底恒载:7 093.3 kN。

墩柱底活载:1 355.7 kN。

墩柱底活载偏心弯矩:

纵向偏心弯矩,490.7 kN·m;

横向偏心弯矩,2 892.5 kN·m。

根据得到的各组 $N$ 和 $M$ 值,按照柔性墩身为钢筋混凝土偏心受压杆件,进行钢筋布置。最终确定的每个墩身截面主钢筋为36  $\phi 32$ (HRB335)。对墩身的其他截面也做了必要的验算。另外,根据西藏奴格沙大桥墩身较高的特点,而且又位于强震区,还应对墩身进行了整体稳定性和地震等方面的计算和分析。

### 3.5 横桥向计算

柔性墩横桥向计算和普通桥墩计算相同。但对于曲线上的桥墩,因每孔梁之间有偏角,梁轴线与墩中心线不垂直,当梁的长度发生变化时,伸长或缩短都会引起墩身位移。另外,当制动力沿梁的轴线传递时,在墩顶处需要改变方向,这样也将使桥墩受到相应的横向水平力。

努格沙大桥尽管位于缓和曲线上,但由于偏角很小,梁轴线与墩中心线几乎垂直,因此,没有进行柔性墩横桥向的计算。

### 3.6 整体稳定性计算

桥墩为受压构件,其截面设计除满足强度要求

外,还应检算桥墩的整体稳定性。柔性墩顺桥向和横桥向的整体稳定性应分别进行验算。由于努格沙大桥柔性墩采用的是双柱式圆形墩,所以只需要验算顺桥向的整体稳定性。

按照文献[3]中给出的计算分析方法,通过一系列的计算,6号墩柱、桩可换算为两端铰接的轴心受压等截面直杆,计算图式如图8所示。核算后,直杆的直径为2.065 m,长度为37.20 m。

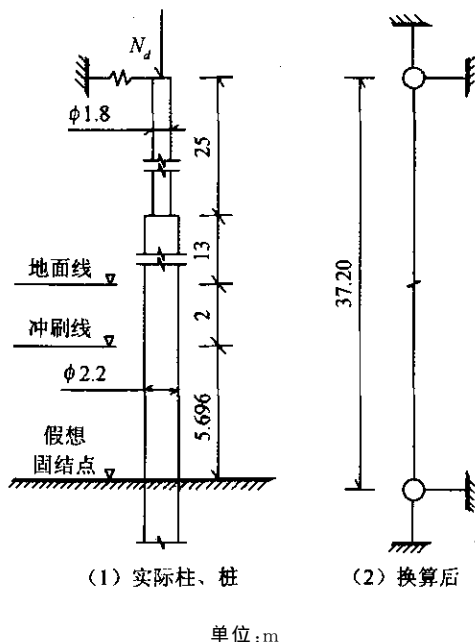


图8 墩身整体稳定计算图式

现将柱、桩以轴心受压构件按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ D62—2004)中的公式(5.3.1),验算式为:

$$\gamma_0 N_d \leq 0.9\phi(f_{cd}A + f'_{sd}A'_s)$$

式中:符号意义参见《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ D62—2004)。

根根长细比  $37.20/2.065 = 18.0$ ,查规范表得到  $\phi = 0.81$ ,由桩身混凝土(C30混凝土)和钢筋(36 $\phi 32$  mm)可以计算公式右边项,即

$$0.9\phi(f_{cd}A + f'_{sd}A'_s) = 39\,601 \text{ kN}$$

而

$\gamma_0 N_d = 14\,148 \text{ kN}$ (桩身摩阻力为负号,未计入)。

故大桥桥墩稳定性满足规范要求。

### 3.7 抗震计算

根据《公路工程抗震设计规范》(JTJ004—89)第4.2.5条,梁桥桥墩为柔性墩,顺桥向的水平地震荷载可采用下列简化公式计算:



文章编号: 0451-0712(2007)02-0069-03

中图分类号: U445.471

文献标识码: B

# 后张法预应力混凝土梁板 施工常见病害与防治

任继仓<sup>1</sup>, 孙西运<sup>1</sup>, 陈昌盛<sup>2</sup>

(1. 山东省菏泽市公路局 菏泽市 274000; 2. 山东省菏泽市交通局 菏泽市 274000)

**摘 要:** 结合施工经验, 对公路桥梁施工中后张法预应力混凝土梁板出现的常见病害进行了归纳分类和产生原因分析, 并逐一提出了相应的防治措施。

**关键词:** 后张法预应力; 混凝土梁板; 病害防治

后张法预应力混凝土梁板以其跨径大、自重轻、承载力高、设计经济合理、施工简单易行、临时设施投入较少等优点, 在公路工程建设中越来越得到广泛应用。但在施工中, 由于种种客观原因, 往往会出现一些病害, 影响了该结构的正常使用和工程质量, 更甚者造成桥梁垮塌。本文结合笔者多年的施工实践, 对后张法预应力混凝土梁板施工中的常见病害进行了原因分析和总结, 并提出了相对应的防治措施。

## 1 常见病害与防治

### 1.1 锚具碎裂

锚具破碎, 是指预应力张拉时或张拉后, 锚板、锚垫板或夹片锚的夹片出现碎裂。

产生原因: (1) 锚具(锚板、锚垫板、夹片)热处理不当, 硬度偏大, 导致钢筋延性下降太多, 在高应力下发生脆性断裂; (2) 锚具钢材本身存有裂纹、沙眼、夹杂等隐患, 或因火处理淬火、锻压等原因产生裂缝源, 在受到高应力的集中作用下裂缝发展碎裂。

防治措施: (1) 加强对锚夹具的出厂前和工地检查, 锚夹具的技术要求应符合国家标准《预应力筋用锚夹具和连接器》(GB/T14370-2000) 类锚具的要求, 有缺陷、隐患或热处理后质量不稳定的产品一律不得使用; (2) 发现锚具出现裂缝后, 应立即更换有

收稿日期: 2006-08-30

$$E_{hp} = C_i C_z K_h \beta_1 G_t = 1.3 \times 0.35 \times 0.4 \times 0.0659 \times 20379.3 = 244 \text{ kN}$$

式中符号意义参见《公路工程抗震设计规范》(JTJ004-89) 第 4.2.5 条。

按照规范要求, 用地震荷载组合对努格沙大桥 6 号桥墩进行验算后, 截面满足规范要求。

## 6 结语

目前西藏努格沙大桥已经建成通车。实践证明, 柔性墩协调变形的特点能够节省工程造价, 也能为结构的抗震带来好处。随着桥梁技术的发展, 桥梁由原来的笨重结构逐步向柔性发展, 从当前以及将来的技术、经济、美观等角度看, 柔性桥梁具有广阔的发展前景。

## 参考文献:

- [1] 郝文化, 叶裕明, 刘春山, 等. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [2] 邵旭东, 顾安邦, 等. 桥梁工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [3] 袁伦一. 连续桥面简支梁桥墩台计算实例[M]. 北京: 人民交通出版社, 1995.
- [4] 龙驭球, 包世华, 等. 结构力学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [5] 李国豪. 桥梁结构稳定与振动[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.
- [6] JTG D60-2004, 公路桥涵设计通用规范[S].
- [7] JTG D62-2004, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [8] JTJ024-85, 公路桥涵地基与基础设计规范[S].
- [9] JTJ004-89, 公路工程抗震设计规范[S].
- [10] JTJ021-89, 公路桥涵设计通用规范[S].