

文章编号:0258-2724(2002)02-0195-04

## 部分预应力混凝土梁塑性铰区长度的研究

蒲黔辉, 杨永清

(西南交通大学土木工程学院, 四川 成都 610031)

**摘要:**为了研究部分预应力混凝土梁塑性铰区长度,进行了简支梁和连续梁模型试验。试验结果表明,部分预应力比率  $R_{\text{PPC}}$  愈大,跨中处和中间支座处的塑性铰出现愈晚,净配筋指标对  $M-\varphi$  曲线的形状有很大的影响。给出了适用于变截面和不同配筋情况的 PPC 连续梁铰区长度计算公式,计算验证表明本计算公式简易可行。

**关键词:**预应力混凝土梁;塑性铰;延性;长度

**中图分类号:** TU378 **文献标识码:** A

## Research on the Length of Plastic Hinge of Partially Prestressed Beams

PU Qian-hui, YANG Yong-qing

(School of Civil Eng., Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** In order to study the length of the plastic zone in a PPC beam, a series of simply supported beam and continuous beam models were tested. The test results showed that the occurrence of the plastic hinge is postponed by the increase in  $R_{\text{PPC}}$  at the middle span and between the intermediate supports, and that the reinforcement ratio had significant influence on the shape of  $M-\varphi$  curve. A formula proposed to calculate the length of the plastic hinge zone in PPC continuous beams with varied sections and different  $R_{\text{PPC}}$ . The simplicity and practicability of the formula was validated with the test results.

**Key words:** prestressed concrete beams; plastic hinges; ductility; length

延性是指结构或构件在承载能力没有显著下降的情况下承受变形的能力。脆性破坏就是指结构或构件到达最大承载能力后,突然破坏,其后期变形能力小,缺乏足够的预兆。因此各国的结构设计规范对于脆性破坏的构件均要求有较高的安全度指标,以保证必要的延性。要求结构构件具有一定的延性,其重要作用还在于它能使结构适应偶然的超载,荷载的反复、基础沉降和体积变化(温度、收缩作用)而产生的内力和变形,而这些因素在通常的设计中一般是未经考虑的,延性构件后期变形能力可以作为出现上述意外情况时的安全储备。度量延性的一个重要指标就是塑性铰长度。由于构件延性最主要的取决于达到极限时压区边缘混凝土的极限应变,而混凝土的后期变形受到很多因素的影响,极限应变值很难测定,其实测值具有很大的离散性,此外还有荷载,危险截面附近粘结力的破坏程度以及钢筋等因素的影响,使得塑性铰长度的计算主要根据半经验半理论的方法求得。近年来这方面的研究主要是针对钢筋混凝土结构进行的,对部分预应力混凝土结构的研究尚不多见<sup>[1-5]</sup>。现根据所做的部分预应力简支梁和连续梁模型试验对于塑性铰区的长度进行了研究。

### 1 钢筋混凝土的塑性铰

钢筋混凝土简支梁在集中荷载  $P$  的作用范围  $l_0$  内由于存在着许多弯剪裂缝<sup>[1]</sup>,致使该范围内的钢筋

应力、应变基本相同。这表明在  $l_{p0}$  区段内均具有最大弯矩截面的曲率。超越  $l_{p0}$  区段, 曲率就逐渐下降到屈服曲率  $\varphi_y$ , 因此  $l_{p0}$  两侧曲率为  $\varphi_y$  的截面之间的距离  $l_p$  就是塑性铰区长度, 见图 1。

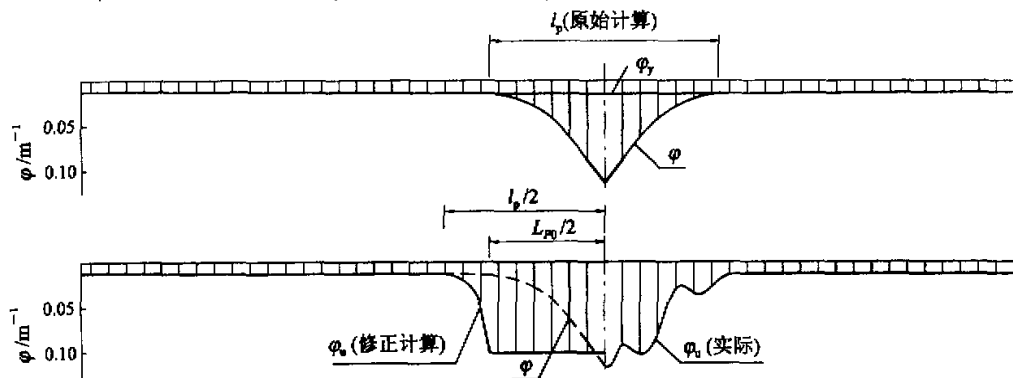


图 1 在集中荷载  $P$  作用下钢筋混凝土简支梁的曲率随梁长的变化

通过试验<sup>[2]</sup>, 对于承受纯弯矩和有弯矩梯度的两种梁, 就梁的局部转动能力而言, 前者较后者小。因为沿着铰区域的非弹性曲率的相当一部分是与弯矩变化联系在一起的。而且相当一部分非弹性变形是在加载处的截面受压区发生的, 塑性沿着梁发展的程度与构件的几何特征有很大的关系。因此, 塑性铰区长度的计算公式往往采用两个主要参数, 即截面的有效高度  $d$  和最大弯矩到零弯矩的距离  $Z_m$ 。这方面的公式较多<sup>[3-5]</sup>, 如 Scholz H 提出的<sup>[4]</sup>:

对均匀荷载下支座截面

$$l_p = 0.25d + 0.075Z_m \quad (1)$$

对均匀荷载下跨中截面

$$l_p = 0.25d + 0.19Z_m \quad (2)$$

## 2 部分预应力混凝土塑性铰区长度的模型试验

### 2.1 简支梁模型

主要设计参数为:

- (1) 模型梁的配筋率为混凝土受拉区面积的 9.5‰;
- (2) 型梁控制截面的预应力度  $\lambda = 0.9$ ;
- (3) 混凝土强度等级为 C50;
- (4) 在设计荷载作用下, 模型梁控制截面的最大拉应力为 1 MPa。

### 2.2 两跨连续梁模型

10 片两跨矩形截面连续模型主要设计参数见表 1。

表 1 试验梁设计参数

梁号	部分预应力比率 $R_{prc}$	净配筋指标 $\alpha$	宽高比 $b/h$
B1	0.0	0.06	1:1.6
B2, B3	0.4	0.06	1:1.6
B4, B5	0.5	0.06	1:1.6
B6, B7	0.6	0.06	1:1.6
B8, B9	0.8	0.06	1:1.6
B10	1.0	0.06	1:1.6

### 2.3 试验结果分析

试验表明, 具有不同  $R_{prc}$  值的连续梁, 它们的  $M-\varphi$  关系曲线是基本类似的。从图 2 中可以看出, B1 梁的  $M-\varphi$  关系曲线在荷载增加到一定程度(基本对应于普通纵筋达到流限)时就有一明显转折点。越过此

点,若弯矩略有增加,曲率即迅速增大,这表明塑性铰开始形成。

模型试验表明,各梁均在跨中处先出现塑性铰,直到邻近破坏荷载时,中间支座处方能形成塑性铰。跨中处和中间支座处出现塑性铰时其对应荷载随  $R_{\text{PPC}}$  值的变化情况见图3和图4。由此可以看出使用荷载下不同  $R_{\text{PPC}}$  值的各梁其跨中处及中间支座处均出现塑性铰。部分预应力比率  $R_{\text{PPC}}$  值愈大,跨中处和中间支座处的塑性铰也出现的愈晚。净配筋指标对  $M-\varphi$  关系曲线的形状有很大的影响。在相等弯矩作用下,净配筋指标较大的梁其曲率较小,并且其  $M-\varphi$  关系曲线出现转折时的荷载和其与极限荷载的比值均较净配筋指标小的梁稍有增大。

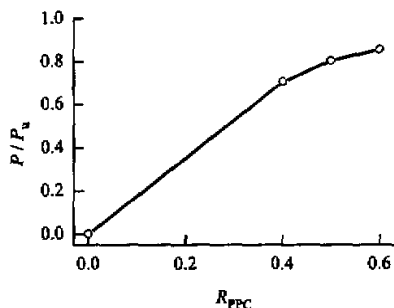


图3 跨中处出现塑性铰时对应的荷载随  $R_{\text{PPC}}$  的变化情况

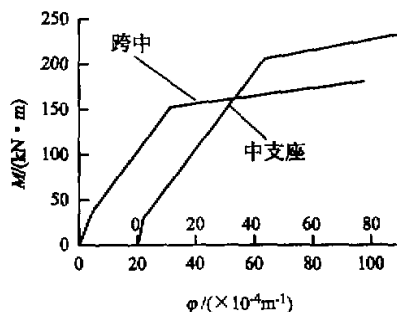


图2 B1梁  $M-\varphi$  关系曲线

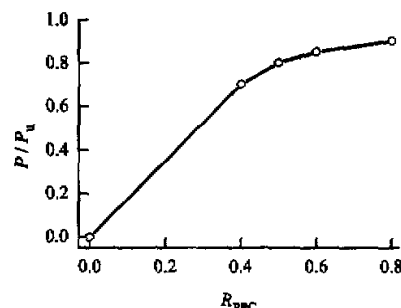


图4 中支座处出现塑性铰时对应的荷载随  $R_{\text{PPC}}$  的变化情况

由于本次试验梁采用通长配筋,因此在承受相同符号弯矩的区段内梁的各截面具有相同的抗弯强度。可以认为塑性铰区的长度是临近极限荷载时临界截面左右两侧普通钢筋达到流限的截面间的距离。换言之,也就是临界截面左右两侧  $M-\varphi$  关系曲线出现转折点的两截面间的距离。为此,作者针对此试验在文献[6]提出了一个计算塑性铰区长度的简单公式。设在极限荷载作用下连续梁弯矩沿梁长分布如图5所示,跨中截面的峰值弯矩为  $M_{\text{max}}$ ,在跨中截面左右两侧各有一截面其弯矩达到对应于跨中处  $M-\varphi$  关系曲线出现转折时的弯矩  $M_y$ 。设两截面距边支座的距离分别为  $L_1, L_2$ 。达到极限荷载时梁的边支座反力为  $R_u$ ,最大外荷载值为  $P_u$ ,加载点到边支座的距离为  $L$ (本次试验为1.525 m),则

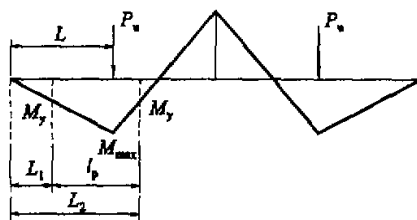


图5 PPC连续梁塑性铰区长度的计算简图

$$L_1 = \frac{M_y}{R_u}$$

$$L_2 = \frac{M_y - P_u L}{R_u - P_u}$$

则塑性铰区的长度为

$$l_p = L_2 - L_1 \quad (3)$$

根据实测的边支座反力及弯矩用以上方法分别计算了  $R_{\text{PPC}}=0.0, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8$  的 B1, B3, B5, B6, B8 各梁跨中处的塑性铰区长度,见表2。从表2可以看出,跨中处塑性铰区长度随  $R_{\text{PPC}}$  值的增大而减小。

由于过去的一些试验资料和公式基本上都是针对普通钢筋混凝土或通长配筋的等截面 PPC 连续梁而言的,为此,提出下列适用于变截面和不同配筋情况的 PPC 连续梁塑性铰区长度的计算公式。

$$l_p = 2 \left[ 1 - \frac{0.5(\omega f_s + \omega' f'_s - 0.5\omega_p f_{ps})}{f_c} \right] h_0 \quad (4)$$

式中:  $\omega_s, \omega'_s, \omega_p$  分别为受拉钢筋、受压钢筋和预应力筋的配筋率;

$f_s, f'_s, f_{ps}$  分别为受拉钢筋、受压钢筋屈服强度和预应力筋的抗拉极限强度;

$f_c$  为混凝土的轴心抗压强度;

$h_0$  为截面的有效高度。

为了验证文中建议的计算塑性铰区长度方法的正确性,用清华大学王传志等<sup>[5]</sup>建议的经验半理论公式对其进行了验算。该公式以弯矩直线分布为基础,和本次试验梁的弯矩分布相似。

$$l_p = \left( 1 - \frac{M_c}{M_u} \right) (Z_R + Z_L) \quad (5)$$

式中  $Z_R$  和  $Z_L$  分别为临界截面到两侧零弯矩截面的距离。

通过两种计算方法所得结果的对比见表 2。从表 2 可以看出,两者吻合性相当好,这表明本文建议的推算塑性铰区长度的方法对通长配筋连续梁而言,是简易可行的。

表 2 本文建议方法与式(5)方法计算结果的比较

$l_p$ 计算公式	$R_{PPC}$				
	0.0	0.4	0.5	0.6	0.8
式(3)	0.390	0.295	0.250	0.206	0.115
式(4)	0.351	0.270	0.220	0.180	0.100
式(5)	0.387	0.295	0.249	0.201	0.114

### 3 结 论

- (1)  $R_{PPC}$  值愈大,跨中处和中间支座处的塑性铰出现愈晚。
- (2) 净配筋指标对  $M-\varphi$  关系曲线的形状有很大的影响。
- (3) 提出了适用于变截面和不同配筋情况的 PPC 连续梁塑性铰区长度的计算公式。

#### 参考文献:

- [1] 朱伯龙,吴明舜.混凝土受弯构件延性系数的研究[J]. 同济大学学报,1978;(1): 21-25.
- [2] Mattock A H. Rotational capacity of hinging region in reinforced concrete beams[A]. Proceedings of International Symposium on Flexural Mechanics of Reinforced Concrete[C]. Miami, Florida, 1964: 143-181.
- [3] Domingo J C, Chu K H. The Moment-curvature relationship of concrete members[J]. ACI Structural Journal, 1986; 84(2): 191-198.
- [4] Scholz H. Ductility, redistribution, and hyperstatic moment in partially prestressed members[J]. ACI Structural Journal, 1990; 87(3): 341-349.
- [5] 王传志,滕智明.钢筋混凝土结构理论[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1985: 368-372.
- [6] 何广汉,蒲黔辉,王海良.论 PPC 连续梁桥的塑性行为[A]. 全国桥梁结构学术大会论文集[C]. 上海:同济大学出版社,1992: 631-636.

# 部分预应力混凝土梁塑性铰区长度的研究

作者：[蒲黔辉](#)，[杨永清](#)  
作者单位：[西南交通大学土木工程学院, 四川, 成都, 610031](#)  
刊名：[西南交通大学学报](#) [ISTIC](#) [EI](#) [PKU](#)  
英文刊名：[JOURNAL OF SOUTHWEST JIAOTONG UNIVERSITY](#)  
年，卷(期)：2002，37(2)  
引用次数：0次

## 参考文献(6条)

1. [朱伯龙](#), [吴明舜](#) [混凝土受弯构件延性系数的研究](#) 1978(1)
2. [Mattock A H](#) [Rotational capacity of hinging region in reinforced concrete beams](#) 1964
3. [Domingo J C](#), [Chu K H](#) [The Moment-curvature relationship of concrete members](#) 1986(2)
4. [Scholz H](#) [Ductility, redistribution, and hyperstatic moment in partially prestressed members](#) 1990(3)
5. [王传志](#), [滕智明](#) [钢筋混凝土结构理论](#) 1985
6. [何广汉](#), [蒲黔辉](#), [王海良](#) [论PPC连续梁桥的塑性行为](#) 1992

## 相似文献(9条)

1. 学位论文 [胡德虎](#) [预应力混凝土框架梁弹塑性性能的分析模型及程序研制](#) 2009

预应力混凝土结构在地震区的广泛使用,使得预应力混凝土结构的抗震性能研究显得格外重要。本文在总结前人研究成果的基础上,结合江苏省留学回国人员基金项目《预应力混凝土框架抗震优化程序》,以地震区应用广泛的预应力混凝土框架为研究对象,结合课题组前期所做预应力混凝土构件低周反复荷载试验成果,对预应力混凝土框架梁在循环荷载作用下的弹塑性变形特性进行深入研究,建立相应的力学分析模型和计算机分析程序。主要研究工作如下:

- 1、根据应变协调理论和力的平衡原理,考虑配箍率对混凝土应力-应变曲线的影响以及截面受压区应力-应变图形简化特征,提出预应力混凝土梁截面弯矩-曲率骨架全曲线的分段计算方法;参考预应力混凝土梁的试验数据,合理确定模型参数,编制构件截面的弯矩-曲率骨架全曲线分析程序FMPHIP。
- 2、在归纳国内外普通钢筋混凝土梁和预应力钢筋混凝土梁塑性铰区长度研究成果基础上,结合本课题组前期试验成果,利用计算机程序FMPHIP进行分析模拟,研究预应力混凝土梁在极限状态下塑性铰区长度与预应力度、配箍率及构件截面有效高度之间的关系,提出预应力混凝土梁等效塑性铰区长度计算简化公式,为结构的延性设计以及构件试验的塑性铰区设置提供了有效的分析参考。
- 3、在本课题组前期预应力混凝土梁低周反复荷载试验的基础上,研究构件弯矩-曲率( $M-O$ )滞回曲线和荷载-位移( $P-\Delta$ )滞回曲线之间的相关性,提出了利用已知的荷载-位移滞回曲线整理和完善弯矩-曲率滞回曲线的实用方法,为建立以弯矩-曲率滞回曲线为基本参数的、预应力混凝土构件损伤特征分析模型奠定了数据基础。
- 4、利用整理分析得到的预应力混凝土梁弯矩-曲率滞回曲线,对构件在循环荷载作用下刚度退化规律进行数学归纳,考虑构件刚度退化与预应力度、荷载历程的关系,根据试验成果进行拟合分析,得到预应力混凝土构件在不同荷载历程下刚度退化分析模型。在此基础上,参考SARCF (Seismic Analysis of Reinforced Concrete Frame)的编程理念,编制了预应力混凝土框架梁滞回特性分析程序SLOPE,为进一步研制预应力混凝土框架抗震分析程序SAPCE (Seismic Analysis of Prestressed Concrete Frame)做出了贡献。

关键词:预应力混凝土框架梁, 骨架曲线, 塑性铰, 恢复力模型, 分析程序

2. 期刊论文 [杨春峰](#), [朱浮声](#), [郑文忠](#), [YANG Chun-feng](#), [ZHU Fu-sheng](#), [ZHENG Wen-zhong](#) [无粘结预应力混凝土梁塑性铰的研究 -低温建筑技术](#)2005(5)

在总结钢筋混凝土受弯构件等效塑性铰研究现状的基础上,通过对无粘结预应力混凝土梁的仿真模拟试验和理论分析,建立了适于无粘结预应力混凝土受弯构件的等效塑性铰长度计算公式,为无粘结预应力混凝土结构的塑性设计方法研究提供了参考依据。

3. 期刊论文 [李传习](#), [曾永革](#), [戴亚军](#), [LI Chuan-xi](#), [ZENG Yong-ge](#), [DAI Ya-jun](#) [基于塑性铰体外预应力混凝土梁的简化计算 -长沙交通学院学报](#)2007, 23(1)

在承载能力极限状态下,可把简支梁的跨中区段视为1个等曲率塑性铰(塑性区段),其余梁段可视为直线并处于绕塑性铰刚性转动的位置。利用这一概念,建立了直接通过塑性铰区长度和曲率半径求体外预应力筋应力和梁极限弯矩的简化公式,用简化公式对外有关6片体外预应力梁进行了计算,并与试验结果进行对比,证明本研究中的简化公式具有较好的精度,值得推广。

4. 期刊论文 [吴吉亭](#), [徐振明](#) [预应力混凝土梁弯矩调幅值研究 -低温建筑技术](#)2009, 31(8)

从延性理论出发,得到了满足塑性铰转动能力的截面延性条件,结合结构在承载能力极限状态所需的转角,导出了满足承载力要求的弯矩调幅值公式,具有一定的工程使用价值。

5. 学位论文 [曾永革](#) [体外预应力混凝土桥梁的抗弯性能分析](#) 2007

体外预应力混凝土结构有着体内预应力结构无法比拟的优点。节段施工的体外预应力混凝土结构能够把悬臂施工和体外预应力技术很好地结合起来,并能实现工厂化预制和工业化施工。目前,无论是加固维修工程,还是新建工程,体外预应力均得到了越来越广泛的应用。本文在前人工作的基础上,编写了能够对整体施工和节段施工的体外预应力混凝土梁的抗弯承载力进行全过程分析的平面杆系有限元程序。该程序具有以下特点:

- 1、建立了能够模拟节段施工体外预应力混凝土梁的接缝力学性能的单元模型,指出了接缝位置处的单元与普通梁段的单元并没有本质的不同,所不同的只是决定梁单元刚度亦即参与工作的材料有所不同,而节段施工的体外预应力梁所表现出来的与整体施工梁不同的力学行为皆缘于此。
- 2、考虑了结构的几何非线性和材料非线性,考虑了体外预应力结构特有的二次效应的影响和节段施工体外预应力混凝土梁特有的接缝所带来的非线性。
- 3、在考虑几何非线性时采用CR列式法和增量迭代混合法,在考虑材料非线性求单元截面刚度时采用条带法分层积分,截面的应变在正常情况下采用Craston方法求得,对于用Craston方法不受效的情况,提出用加速搜索区间法和二分法相结合求得相应的截面应变。

结合编程实践,本文讨论了编写考虑几何非线性和材料非线性的平面杆系有限元程序应该注意的一些问题,并应用所编的程序,对体外预应力混凝土梁的抗弯性能进行了普通钢筋混凝土梁、体外索的初始张拉力、体外索的配筋形式、转向块的布置和节段的数目等五个影响因素的分析,得出了一些有益的结论。最后,基于抗弯承载力极限状态下的简支梁可视为梁体绕跨中等曲率塑性铰发生刚性转动的假设,推导了在各种转向块布置情况下求体外预应力筋的变形和梁的跨

2001, 24(5)

针对无粘结预应力梁的特点,对集中荷载作用下抛物线布筋的无粘结部分预应力混凝土简支梁和连续梁进行对比试验,分析了它们的受弯性能。结果表明,合理配筋的两跨同时对称加载的连续梁能在形成充分塑性较后而破坏,无粘筋极限应力增量有所提高,而连续梁的极限承载力有较大提高。

7. 学位论文 王鹏 CFRP筋束在体外预应力桥梁中的应用研究 2008

CFRP筋是非金属复合材料,具有强度高、重量轻、耐腐蚀等多项优点,将其作为加强筋材替代钢筋与混凝土结合配置,既可满足混凝土桥梁的设计要求、提高桥梁跨越能力,又可提高其抗腐蚀性。二十世纪八十年代,美国、日本、德国等国家就已着手将CFRP筋作为桥梁结构加强的应用研究。

为推进CFRP材料在我国桥梁工程中的应用,解决钢筋锈蚀及大跨度桥梁的建设等问题,本文结合国内首座CFRP筋束体外预应力混凝土公路桥梁的设计与建造,进行了理论与设计计算等多方面探索和创新研究。主要内容如下。

1. 采用CFRP筋作体外预应力束的分析CFRP筋可用作桥梁体外预应力束,但其材料特殊,存在高应力状态下的蠕变破坏、温度线膨胀系数较混凝土小、弯折设置影响抗拉强度等问题,文中做了简明的分析;并就CFRP筋用作体外束时的各项预应力损失的计算方法、设计参数及设计中应注意的问题等做了研究,给出了各项预应力损失的实用计算方法或公式。探讨了CFRP筋作为桥梁体外预应力束的适用环境温度及预防破坏措施。

2. CFRP筋束体外预应力混凝土梁桥正常使用极限状态分析分析总结了CFRP筋束体外预应力混凝土梁桥的结构特点,提出采用能量法分析CFRP筋束体外预应力梁桥。在参照前人研究的基础上,提出了可直接计入“二次效应”影响的体外束应变与梁体变形之间的关系表达式。进而就正常使用状态下,不同转向块布置等情况推导了CFRP筋束体外预应力桥梁的荷载一变形基本方程,给出了荷载作用下体外CFRP筋束应力增量及梁的挠度计算公式。

3. CFRP筋束体外预应力混凝土梁桥正常使用极限状态影响因素分析分析总结了梁体内采用有粘结CFRP筋束的布筋方式及有效截面积惯性矩的计算方法。根据由能量法推导得出的CFRP筋束体外预应力梁桥的荷载、变形基本方程,分析了包括体外束布置形式(含偏心距、顺桥向转向块间距)、体外束截面积和弹性模量、梁的截面几何特性、荷载作用形式、二次效应、跨高比等多项参数的影响。

4. CFRP筋束体外预应力混凝土梁桥受弯承载力极限状态分析方法研究总结了国外CFRP筋预应力混凝土梁的受弯承载力试验研究,分析其所表现的特点,并结合我国的钢筋混凝土及预应力混凝土桥梁设计规范给出了CFRP筋预应力混凝土梁破坏形态的界定方法;建立CFRP筋束体外预应力混凝土梁的截面平衡方程及受弯承载力计算公式。

将能量法扩展应用到CFRP筋束体外预应力混凝土梁桥受弯承载力极限状态分析中,提出了考虑能量耗散的能量法,并推导了多种设计形式下梁的荷载、变形基本方程,用以分析CFRP筋束体外预应力混凝土梁桥的体外束极限应力、极限挠度、二次效应影响和极限荷载。

5. CFRP筋束体外预应力混凝土梁桥受弯承载力极限状态影响因素分析首先采用扩展的能量法就梁体内配置钢筋和梁体内配置CFRP筋两种情况进行分析,确定CFRP筋束体外预应力梁在承载力极限状态下的等效塑性铰区长度的主要影响因素;继而研究搜集国内外39片体外预应力梁的试验数据,通过回归分析得到梁内设置通钢筋及梁内设置CFRP筋两种情况下的体外预应力混凝土梁体的等效塑性铰区长度计算公式。

在此基础上,分析了CFRP筋束体外预应力梁桥的承载力极限状态影响因素,包括荷载作用形式、体内有粘结筋的配筋率、体内有粘结筋的有效预应力、体外束弹性模量、体外束截面积、体外束的初始有效预应力、混凝土强度、转向块间距、跨高比等。提出了CFRP筋束体外预应力混凝土桥梁在受弯承载力极限状态下的体外束极限应力实用计算公式、梁体跨中极限挠度实用计算公式。

6. CFRP筋束预应力锚具研究分析总结了碳筒夹片式锚具主要的影响参数及合理的设计形式;研究了直筒粘结式碳筒锚具。分析了环氧树脂胶剂的粘附和破坏机理,给出了环氧树脂胶体的简化应力-应变关系曲线,以粘结介质与碳筒交界面的剪应力为主要参数,通过非线性有限元方法分析了剪应力分布特点及其与荷载的关系、锚具长度、粘结介质厚度、弹性模量的影响和设锚端的影响;还讨论了环氧树脂的改良方法。给出了界面剪应力简化分布模式及直筒粘结式锚具承载力的简化计算公式。

7. CFRP筋束体外预应力混凝土梁桥的设计与施工设计了国内首座采用碳筒线作体外预应力束的公路桥梁。阐述了该桥的结构特点及设计中的分析要点;同时分析了该桥的施工过程中碳筒线体外预应力张拉施工的施工要点。进而总结了CFRP筋束体外预应力梁桥设计及施工建议。

8. CFRP筋束体外预应力混凝土梁桥试验进行了2片CFRP筋束体外预应力模型梁受弯承载力试验,进一步验证了能量法分析梁受弯承载力的可靠性。在碳筒线体外预应力混凝土桥梁建设过程中进行了相关试验。试验包括碳筒线材料力学性能试验;张拉施工阶段预应力各项损失监测;预应力张拉过程及嗣后各施工阶段中,混凝土梁的挠度、应力以及体外束拉力变化的观测,为文中有关分析方法提供了验证依据。

8. 学位论文 刘丰 无粘结部分预应力混凝土简支梁及连续梁的试验研究 1995

通过对无粘结梁受弯性能的试验研究与理论分析,得到结论:①曲线布筋的无粘结部分预应力混凝土简支梁承受跨中荷载作用下具有良好的抗弯性能,与直线布筋梁相比,塑性区域范围极限应力增量 $\Delta f' < \rho m$ 。大致在直线布筋简支梁受跨中一点加载和三分点加载之间;② $q, \rho$ 对无粘结梁的弯曲性能有较大影响,当预应力筋配筋不变, $q, \rho$ 值较大的梁的塑性区域长,裂缝数量多,开裂弹性阶段(第II阶段)长,梁的承载能力强;③该次试验中,连续梁为中先开裂、跨中混凝土压碎的破坏。由于内力重分布,破坏时另一跨跨中和中间支座的普通钢筋屈服,主裂缝发展很快,形成塑性铰;④参照有粘结梁的截面状态,运用粘结折减系数 $\Omega$ ,进行了无粘结梁的截面分析。讨论了影响粘结折减系数的主要因素。以此为基础的计算公式可以较好地估算极限应力增量 $\Delta f' < \rho m$ 。

9. 学位论文 张雪梅 体外预应力加固钢筋混凝土桥梁的静动力性能研究 2006

体外预应力技术作为后张预应力体系的重要分支之一,近年来成为预应力技术的热点。体外预应力是指预应力筋布置在混凝土梁体以外的预应力,与之相对的即为传统的预应力筋布置在构件截面内的有粘结或无粘结预应力。目前体外预应力技术正广泛地应用于预应力混凝土桥梁结构、大跨度结构,同时对旧有混凝土桥梁等结构的加固也是其应用的重要方面。我国体外预应力技术的研究工作开展相对较少,对体外预应力结构的力学性能的研究还非常有限,工程实践不多,缺乏相应的设计、施工规范和规程,不能充分体现这种结构体系的优越性。在体外预应力结构在世界各国广泛运用和不断发展的今天,迫切需要在理论和实践方面的积极探索,简化方便工程应用的实用设计方法,从而推动体外预应力结构的应用和发展。

结构设计的一个重要环节就是极限承载力计算,而计算体外预应力混凝土梁的极限承载力就必须求得梁在破坏时的体外预应力增量。本文首先从梁极限状态下的变形入手,将塑性铰区看作纯弯段,将塑性铰以外的区域看作刚体,按照体外预应力筋的形状不同,分工程中最常见的三种体外结构形式,即无转向块的直线型体外筋混凝土梁、具有一个转向块的单折线型梁和具有两个转向块的双折线型梁,研究体外预应力筋变形和梁体的变形间的关系,推导出以极限状态下塑性铰区之半对应的转角为参数的计算体外预应力混凝土简支梁以及连续梁的体外筋应力增量计算公式,并进一步求得梁的极限承载力。将采用此方法的计算结果与按照《无粘结预应力混凝土结构技术规程》中的公式及其它文献建议的方法进行了对比,表明本文推荐的方法具有简单适用且误差小的特点。

在公式推导的基础上,结合相关试验资料,研究了体外筋的形状、等弯矩区长度、梁跨高比、有效张拉预应力、体内受拉筋配筋率、混凝土强度、锚固点到梁上边缘在垂直方向上的距离、体外预应力筋水平段长度(双折线型体外筋的情况)以及荷载类型等对体外预应力混凝土简支梁受弯性能的影响。结果表明,等弯矩区长度对于直线型梁和单折线型梁极限状态下的转角、体外筋应力增量及极限弯矩的影响较大,对于两个转向块的双折线型梁的应力增量和极限弯矩影响很小。锚固点到梁上边缘距离对于单折线型梁的影响很小,对另外两种型式的梁影响较大。对于梁的正截面承载力而言,等弯矩区长度、锚固点到梁上边缘在垂直方向上的距离、混凝土强度的影响较大。对于体外预应力筋的应力增量而言,除单折线型梁外,锚固点到梁上边缘距离的影响最大,其它因素影响程度相对较小。

此外,文中探讨了预应力加固梁自振频率的计算方法,分析了频率影响因素,采用有限元方法进行了梁的频率、振型研究,并与相关的试验研究结果进行了比较探讨。研究表明,通过改变体外索约束长度以改变加固梁的自振频率,是避免结构产生共振的有效措施。采用体外预应力技术,可以明显改善结构受力状态,较大程度地提高结构的刚度、强度和承载力,是一种较好的加固方法。最后,本文分析了一座体外预应力加固的T型刚构桥的静动力性能。