

公路旧桥检测评定与加固技术丛书

公路旧桥 加固成套技术 及工程实例

张劲泉 魏洪昌 徐 岳 张建仁 叶见曙 等编著

Gonglu
Jiuqiao Jiance
Pingding yu
Jiagu Jishu
Congshu



人民交通出版社

China Communications Press

公路旧桥检测评定与加固技术丛书

Gonglu Jiuqiao Jiagu Chengtao Jishu ji Gongcheng Shili

公路旧桥加固成套技术 及工程实例

张劲泉 魏洪昌 徐 岳 张建仁 叶见曙 等编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为《公路旧桥检测评定与加固技术丛书》之一,全书分为两篇。第一篇主要针对我国公路旧桥常用加固方法,在加固原则、加固方案比选、技术经济评价、工序质量控制等方面进行阐述;第二篇列举了一些实体工程加固实例。本书建立了一套较完整的旧桥加固理论体系,使得公路旧桥加固技术规范化、系统化,对从事旧桥加固工作的技术人员有所裨益。

本书可供从事公路桥梁加固技术人员与管理人员工作参考,亦可供高等院校师生及研究人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路旧桥加固成套技术及工程实例 / 张劲泉等编著. —北京:人民交通出版社, 2007.7
ISBN 978-7-114-06445-6

I. 公… II. 张… III. 公路桥-加固 IV. U448.145.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 033815 号

书 名: 公路旧桥检测评定与加固技术丛书
公路旧桥加固成套技术及工程实例
著 者: 张劲泉 魏洪昌 徐 岳 张建仁 叶见曙 等
责任编辑: 沈鸿雁 王文华 邓 莉
出版发行: 人民交通出版社
地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>
销售电话: (010) 85285838, 85285995
总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司
经 销: 各地新华书店
印 刷: 三河市吉祥印务有限公司
开 本: 787 × 1092 1/16
印 张: 23
字 数: 578 千
版 次: 2007 年 7 月 第 1 版
印 次: 2007 年 7 月 第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-06445-6
印 数: 0001 - 4000 册
定 价: 48.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

公路旧桥检测评定与加固技术丛书

《公路旧桥加固成套技术及工程实例》

编审委员会

主 编：张劲泉 魏洪昌 徐 岳 张建仁 叶见曙
参 编：苏纪开 谢来发 沈仁忠 邱 波 郭留红
朱建平 李 明 郑晓华 王国亮 马 晔
王来永 程寿山 陈万春 钱培舒 李传习
于天才 王泳道 高建明 温胜强 韩忠奎
徐玉春 李 健 廖 军 张小江
主 审：任红伟 李万恒 胡钊芳

前 言

本书系根据交通部西部交通建设科技项目(项目编号:2001 318 223 58):“公路旧桥检测评定与加固技术研究及推广应用”的研究成果报告编写而成。全书分为两篇。第一篇主要针对我国公路旧桥常用加固方法,在加固原则、加固方案比选、加固方案技术经济评价、工序质量控制以及加固效果评价等方面进行了深入的研究,以指南形式系统阐述了每一种加固方法的特点及适用条件、附加影响、材料要求、力学特点、设计计算、施工工序、构造措施、工序质量控制与加固工程质量检验评定方法。第二篇列举了一些实体工程加固实例。本书建立了一套较完整的旧桥加固理论体系,使得公路旧桥加固技术规范化、系统化,以期对从事旧桥加固工作的技术人员有所裨益。

本书由交通部公路科学研究院张劲泉、魏洪昌、长安大学徐岳、长沙理工大学张建仁、东南大学叶见曙牵头编写,其中第一篇第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第七章第一节、第二节、第四节、第八章第四节及第二篇实例1、实例2、实例3、实例4、实例8、实例12、实例13、实例15、实例16由交通部公路科学研究所魏洪昌、郑晓华、马晔、王国亮、王来永编写;第一篇第六章、第七章第七节、第八节、第八章第一节、第三节及第二篇实例5、实例6、实例7、实例10、实例11、实例14、实例17由长安大学徐岳、郝宪武、张敬珍编写;第一篇第七章第五节、第六节及第二篇实例9由长沙理工大学张建仁、李传习编写;第一篇第七章第三节、第八章第二节由东南大学叶见曙、钱培舒编写。全书由交通部公路科学研究院张劲泉负责组织并统稿,由任红伟、李万恒、胡钊芳主审。

在本书的编写过程中,得到了西部交通科技项目:“公路旧桥检测评定与加固技术研究及推广应用”项目承担单位和参加单位的大力支持与帮助,人民交通出版社的领导和编辑们为本书的出版付出了辛勤的劳动,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者学识水平有限,书中不当或错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2006年12月于北京

目 录

第一篇 公路旧桥加固成套技术

1 总则	3
2 主要符号	4
3 加固的基本原则与加固工作程序	9
3.1 加固的基本原则	9
3.2 加固工作程序	9
4 加固设计方案的比选原则与要求	12
4.1 比选原则	12
4.2 比选要求	12
5 桥梁加固技术经济指标论证分析方法与确定原则	13
5.1 引言	13
5.2 桥梁改造的宏观经济分析	13
5.3 桥梁改造的微观经济分析	15
5.4 桥梁加固技术经济确定原则	16
6 桥梁加固后评价方法	17
7 桥跨结构加固	18
7.1 粘贴钢板加固法	18
7.2 外包钢加固法	23
7.3 粘贴碳纤维片加固法	26
7.4 桥面补强层加固法	40
7.5 增大截面和配筋加固法	45
7.6 预应力加固法	49
7.7 增加构件加固法	55
7.8 改变结构受力体系加固法	62
8 墩台与基础加固	76
8.1 扩大基础加固法	76
8.2 增补桩基加固法	78
8.3 高压旋喷注浆加固法	84
8.4 顶推法调整拱桥拱脚水平位移加固法	90
附录 A 公路旧桥加固工程可行性研究报告文本格式及内容要求	96
附录 B 公路旧桥加固工程竣工验收办法(草案)	101
附录 C 桥梁加固后评价方法	107

第二篇 工程实例

一、混凝土梁式桥

实例 1 变截面钢筋混凝土连续多室箱梁桥维修加固	
[桥面补强层、增大截面与配筋(锚喷混凝土)加固法]	165
1.1 桥梁概况	165
1.2 原结构复算	165
1.3 箱梁裂缝成因分析	170
1.4 加固设计方案	170
1.5 锚喷混凝土的施工工艺要点和要求	175
1.6 加固效果评价	176
实例 2 预应力混凝土连续梁桥维修加固	
[粘贴钢板、粘贴碳纤维片、增大截面与配筋、增加构件、预应力加固法]	177
2.1 桥梁概况	177
2.2 原结构复算	178
2.3 箱梁裂缝成因分析	181
2.4 基于检测结果的桥梁现状评价	190
2.5 加固设计方案	191
2.6 施工工艺要点和要求	196
2.7 加固完成后的养护要点	201
实例 3 预应力混凝土连续-刚构组合体系桥维修加固	
[粘贴钢板、粘贴碳纤维片、增大截面与配筋、预应力加固法]	202
3.1 桥梁概况	202
3.2 原结构复算	203
3.3 基于检测结果的桥梁现状评价	206
3.4 加固工程规模与技术标准	207
3.5 加固设计方案	207
3.6 施工工艺要点和要求	213
3.7 加固效果评价	215
实例 4 预应力混凝土 T 构 + 挂梁桥维修加固	
[预应力加固法、粘贴钢板法、桥面铺装层补强法]	217
4.1 桥梁概况	217
4.2 病害成因分析	219
4.3 加固设计方案	219
4.4 施工工序	221
4.5 施工工艺要点和要求	221
4.6 施工观测	222
4.7 加固效果评价	222
实例 5 预应力混凝土简支箱梁桥维修加固	

[简支梁桥改变为连续梁加固法]	224
5.1 桥梁概况	224
5.2 原结构复算	225
5.3 基于检测结果的桥梁现状评价	228
5.4 加固设计方案	228
5.5 施工工艺要点和要求	233
5.6 加固完成后的养护要点	234
实例6 预应力混凝土简支 T 梁维修加固	
[增设辅助桥墩加固法]	235
6.1 桥梁概况	235
6.2 原结构复算	235
6.3 基于检测结果的桥梁现状评价	238
6.4 加固设计方案	238
6.5 施工工艺要点和要求	239
实例7 钢筋混凝土简支 T 梁维修加固	
[增设边梁拓宽加固法]	240
7.1 桥梁概况	240
7.2 原结构复算	241
7.3 加固设计方案	245
7.4 加固后结构复算	246
7.5 加固效果分析与评价	250
7.6 施工工艺要点和要求	251

二、混凝土及圬工拱桥

实例8 单箱多室肋拱桥、双曲拱桥维修加固	
[增大截面与配筋、粘贴玻璃丝布、预应力加固法]	252
8.1 桥梁概况	252
8.2 主桥原结构复算	254
8.3 主桥基于检测结果的桥梁现状评价	259
8.4 引桥原结构复算	262
8.5 引桥基于检测结果的桥梁现状评价	265
8.6 交通量预测	267
8.7 加固设计标准	269
8.8 加固设计方案	269
8.9 桥梁加固技术经济评价	277
8.10 施工工艺要点和要求	279
8.11 加固完成后的养护要点	280
8.12 加固后效果评价	281
实例9 双曲拱桥维修加固	
[体外预应力加固法]	282

9.1	桥梁概况	282
9.2	加固方案的选定	282
9.3	方案的优点	284
9.4	施工工艺要点和要求	285
9.5	加固效果评价	285
实例 10	双曲拱桥维修加固	
	[拓宽加固法]	287
10.1	桥梁概况	287
10.2	加固拓宽设计方案	287
10.3	原结构复算与新结构计算	288
10.4	施工工艺要点和要求	291
10.5	加固效果评价	292
实例 11	等截面悬链线板肋式圬工拱桥维修加固	
	[变换拱上建筑体系加固法]	295
11.1	桥梁概况	295
11.2	原结构复算	296
11.3	桥梁现状评价	297
11.4	加固设计方案	298
实例 12	钢筋混凝土坦肋拱桥维修加固	
	[粘贴钢板、增大截面与配筋、预应力加固法]	300
12.1	桥梁概况	300
12.2	病害成因分析	301
12.3	加固改造方案	301
12.4	计算要点	304
12.5	施工工艺要点和要求	304
12.6	加固效果评价	305
实例 13	刚架拱桥维修加固设计	
	[外包混凝土增大截面与配筋、基础新增桩基加固法]	306
13.1	桥梁概况	306
13.2	原结构复算	307
13.3	主桥基于检测结果的桥梁现状评价	310
13.4	加固设计标准	317
13.5	加固设计方案	317
13.6	施工工艺要点和要求	328

三、墩台与基础

实例 14	钢筋混凝土 T 形梁桥桥台维修加固	
	[扩大基础加固法]	329
14.1	桥梁概况	329
14.2	原结构复算	330

14.3	基于检测结果的桥梁现状评价	331
14.4	加固设计方案	331
14.5	施工工艺要点和要求	333
实例 15	预应力连续梁与 T 梁交界墩基础维修加固	
	[增补桩基、十字梁预应力加固法]	334
15.1	桥墩概况	334
15.2	存在的主要问题	334
15.3	病害成因分析	336
15.4	加固设计方案	336
15.5	施工顺序	336
15.6	施工工艺要点和要求	338
15.7	施工观测	339
15.8	加固效果评价	339
实例 16	预应力 T 构桥基础维修加固	
	[增补桩基、预应力加固法]	340
16.1	桥梁概况	340
16.2	存在的主要问题	340
16.3	病害成因分析	341
16.4	加固设计方案	341
16.5	纠偏施工要点	344
16.6	加固效果评价	345
实例 17	某跨线桥北桥台基础维修加固	
	[高压旋喷注浆加固法]	347
17.1	桥梁概况	347
17.2	原结构复算	348
17.3	基于检测结果的桥梁现状评价	348
17.4	加固设计方案	348
17.5	施工工艺要点和要求	350
	参考文献	352

第一篇

公路旧桥加固成套技术

1 总 则

1.1 本书旨在为公路养护管理部门、设计人员和施工人员提供桥梁加固决策、设计和施工的基本要求与准则。现行的桥梁设计与施工规范,主要是考虑新建桥梁在荷载作用下的安全性与适用性,没有考虑桥梁损伤对桥梁性能的长期影响,而在旧桥加固设计和施工中必须考虑桥梁损伤的影响,并应在设计文件中单独列入基于检测结果的加固设计承载能力评定的内容。

1.2 本书主要适用于普通钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土桥梁,对于其他类型桥梁的加固设计和施工,可以参考本书。

1.3 旧桥的加固设计和施工,除本书已规定的以外,在桥梁设计和施工上尚应参照现行国家标准和行业标准的其他有关规定。

1.4 由于桥梁加固的复杂性,本书所提供的只是一种基于现有认识的判断和估计,适用于通常情况下为满足桥梁结构的安全性、适用性和可加固性的最低要求,设计人员应结合具体加固工程及其所处环境的具体特点,必要时提出更为严格的要求。

1.5 说明:考虑此书中旧桥为已有桥梁,因而仍沿用旧规范、标准,如《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)、《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022—85)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)(以上三个规范简称《公桥规》),以及《公路工程质量检验评定标准》(JTJ 071—99),现以上标准规范已修订,分别为《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)、《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)、《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80—2004)。望使用本书时逐渐过渡。

2 主要符号

- A_c ——混凝土面积；
- A_g, A_g ——原构件纵向受拉钢筋截面面积；
- A_0, I_0 ——换算截面面积和惯性矩；
- B ——开裂构件等效截面的抗弯刚度；
- B_{cr} ——开裂截面的抗弯刚度, $B_{cr} = E_c I_{cr}$ ；
- B_0 ——全截面的抗弯刚度, $B_0 = 0.95 E_c I_0$ ；
- b_{cf} ——CFRP 片材的宽度, 对于板取 1 000mm 板宽内粘贴的 CFRP 片材的总宽度；
- b_u ——箍板宽度；
- C_{hc} ——桥梁施工时的货物运输成本(元/千吨公里)；
- C_{hx}, C_{kx} ——原来附近相关公路货、客运输的单位成本(元/千吨公里、元/千人公里)；
- C_{hxc}, C_{kxc} ——桥梁加固施工期间附近相关公路货、客运输的单位成本(元/千吨公里、元/千人公里)；
- C_{hy} ——桥梁没有施工时的货物运输成本(元/千吨公里)；
- C_{kc} ——桥梁施工时的旅客运输成本(元/千人公里)；
- C_{ky} ——桥梁没有施工时的旅客运输成本(元/千人公里)；
- C_1 ——考虑构件受力特征的系数, 对于受弯构件取 1.0；
- C_2 ——考虑钢筋表面形状的系数；
- C_3 ——考虑荷载作用的系数, 短期静力荷载作用时取 1.0, 荷载长期作用或多次重复作用时取 1.5；
- D ——有效直径(m)；
- D_E ——控制截面处的体外预应力筋有效偏心距；
- d ——桩的直径(m)；
- d_b ——桩底直径(m)；
- d_c ——非预应力钢筋与预应力钢筋的换算直径, 当原结构钢筋有锈蚀；
- d_1, d_2 ——预应力钢筋的直径和非预应力钢筋的直径; 当加固结构为钢筋混凝土梁时, 为普通钢筋直径；
- E_a ——加固型钢弹性模量；
- E_c ——混凝土的弹性模量；
- E_{c0} ——原有构件混凝土弹性模量；
- E_{cf}, A_{cf} ——CFRP 片材的弹性模量和截面面积；
- E_g ——钢筋或预应力钢筋的弹性模量；
- E_H ——材料的弹性模量；
- E_r ——桩底岩土变形模量；
- E_s ——沉渣变形模量；
- $E_{s,t}$ ——第 t 层土在自重应力至自重应力加附加应力作用时的压缩模量；

- f_c ——混凝土的设计强度；
 f_s ——钢箍扁钢设计强度；
 f_{sk} ——普通钢筋的抗拉标准强度；
 f_{tk} ——混凝土的抗拉标准强度；
 H_w, H_y ——加固施工和未施工的货损率(%)；
 h ——桩底的埋置深度；
 h, h_1 ——混凝土截面加大后、加大前的梁高；
 h_{cf} ——CFRP片材在梁侧面的粘贴长度；
 h_s ——沉渣厚度；
 h_0 ——受拉钢筋重心至混凝土梁上缘的距离；
 h_{01} ——粘贴钢板重心至混凝土梁上缘的距离；
 I ——社会折现率；
 I_c ——计算年度每一旅客的国民收入份额(元/人)；
 I_{c0} ——原有构件截面惯性矩；
 I_{cr} ——开裂截面换算截面的惯性矩；
 $I_{p,i}, I_{s,i}$ ——第*i*根桩的桩端阻力和桩侧摩阻力对计算点的应力影响系数,它与桩侧摩阻力沿桩身分布形式有关；
 I_0, I_{01} ——截面开裂前和开裂后的换算截面惯性矩；
 J_c, J_y ——加固施工和未施工的事故率(次/万车公里)；
 K ——安全系数,可取1.5；
 K_1 ——桩柱的安全系数；
 K_2 ——地基承载安全系数；
 K_3 ——加强固结体的安全系数,建议 $K_3 = 2.0$ ；
 L ——简支梁跨径；
 L_u ——箍板单肢的梁侧混凝土的黏结长度；
 l ——桩长；
 M ——控制截面最大设计弯矩；
 M_{cr} ——开裂弯矩；
 M_f ——梁体截面的开裂弯矩；
 M_g, M_{2s} ——混凝土截面加大前自重弯矩、加大后包括后期恒载和短期荷载下的弯矩；
 M'_g ——不计人群和冲击影响的汽车或挂车引起的跨中活载弯矩；
 M_i ——加固前计算截面作用的初始弯矩值；
 M_s ——加固前控制截面的抗弯承载能力；
 M_{sh} ——按无铰拱图式,混凝土收缩引起的拱顶弯矩；
 M_0 ——按无铰拱图式,桥台相对转角引起的拱顶弯矩；
 M_{1Cd}, V_{1Cd} ——原结构和补强层自重产生的弯矩和剪力设计值；
 M_{2Cd}, V_{2Cd} ——补强层施工完成后的二期桥面系自重产生的弯矩和剪力设计值；
 M_{3Cd}, V_{3Cd} ——可变荷载产生的弯矩、剪力组合设计值；
 m ——群桩中桩列的数目；
 N, M ——计算的轴向力和弯矩；

- N_k ——单梁的设计张力；
 n_1, n_2 ——预应力钢筋和非预应力钢筋的根数，当加固结构为钢筋混凝土梁时，为不同直径的普通钢筋根数；
 n —— t 层土的单向压缩计算分层总数；
 n_{cf} ——CFRP片材的粘贴层数；
 n_g ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比值；
 P_{jsh} ——公路交通事故平均损失费(万元/次)；
 P_r ——计算年度在途货物平均价格(元/t)；
 Q_h ——原梁斜截面上由混凝土提供的抗剪强度；
 $Q_h K$ ——施工期间货物周转量(千万吨公里)；
 $Q_{hc} K, Q_{kc} K$ ——施工期间绕行的货、客周转量(千万吨公里、千万人公里)；
 Q_i, L_i ——第 i 根桩的沉降计算荷载和桩长；
 Q_j ——斜截面受承载剪力设计值；
 Q_{jmax} ——被加固梁体外索斜筋长度内的最大计算剪力；
 Q_k ——原梁斜截面上由箍筋提供的抗剪强度；
 $Q_k K$ ——施工期间旅客周转量(千万人公里)；
 Q_w ——原梁与斜截面相交的弯起钢筋提供的抗剪强度；
 Q_y ——由体外索斜筋产生的预剪力；
 Q_0 ——原构件斜截面受剪承载力设计值；
 R_n ——原构件混凝土弯曲抗压强度设计值；
 R_g ——原构件纵向钢筋抗拉强度设计值；
 R'_g ——原构件纵向钢筋抗压强度设计值；
 R_{gb} ——加固钢板抗拉强度设计值；
 R_{gv} ——钢与钢黏结抗剪设计值；
 R_1^b ——混凝土抗拉强度标准值；
 R_v ——被黏混凝土抗剪强度设计值；
 r ——计算点离桩身轴线的水平距离；
 S_{hd} ——桥梁加固施工使车辆绕行增长里程增加的货物运输成本(万元)；
 S_{hj} ——桥梁加固施工导致货物运输成本提高的金额(万元)；
 S_{hs} ——货物延长在途时间的价值(万元)；
 S_{hy} ——桥梁加固施工使附近相关公路增加拥挤的货物运输成本提高的损失(万元)；
 S_{jsh} ——增加交通事故增加的费用(万元)；
 S_{kd} ——桥梁加固施工使车辆绕行增长里程增加的旅客运输成本(万元)；
 S_{kj} ——桥梁加固施工导致旅客运输成本提高的损失(万元)；
 S_{ks} ——旅客延长在途时间的价值(万元)；
 S_{ky} ——桥梁加固施工使附近相关公路增加拥挤的旅客运输成本提高的损失(万元)；
 S_{ssh} ——增加货损事故增加的费用(万元)；
 S_{cf} ——CFRP片材条带的净间距；
 T ——沉降计算的土层压缩总数，沉降计算范围包括自桩顶平面向下整个地层中的附加应力不小于土层自重应力10%的区段内；

- t_a ——受拉加固钢板厚度；
 t_{cf} ——单层 CFRP 片材的计算厚度；
 U ——桩身周长；
 V ——加固构件最大剪力组合设计值；
 w_{cf} ——CFRP 片材条带宽度；
 x ——混凝土受压区高度；
 γ_b ——构件工作条件系数，按《公桥规》(JTJ 023—85)取 0.95；
 γ_s ——钢筋材料安全系数，取 1.25；
 γ'_f ——受压翼缘加强系数；
 γ_2 ——桩底以上土的重度；
 α ——受拉与受压两侧型钢截面形心间的距离；
 α_i, α ——分别为振动下沉对各土层桩侧摩阻力和桩底抵抗力的影响系数；
 $[\sigma_0]$ ——桩底处土容许承载力；
 σ_R ——桩底处土的极限承载力；
 σ_{ff} ——固结体的抗压极限强度，按配方试验或现场承载力试验确定；
 σ_k ——水平力筋中的张拉控制应力；
 $\sigma_{\gamma 1}^c$ ——体外索斜筋中的应力；
 $\Delta\sigma$ ——结构原有预应力筋的应力增量，当加固结构为钢筋混凝土结构时为受拉钢筋的应力增量；
 α ——体外索斜筋与梁轴线的夹角；
 α_y, α_h ——预应力钢筋与混凝土的线膨胀系数；
 $\alpha_i, (1 - \alpha_i)$ ——第 i 根桩的端阻力和侧摩阻力占沉降计算荷载比， α_i 可近似按单桩的端阻比取值；
 δ_u ——拱脚已发生的相对水平位移，其符号以跨径增大为正；
 δ_θ ——拱脚已发生的相对转角当量位移；
 δ_{sh} ——混凝土收缩当量位移；
 δ_M ——恒载弯矩当量位移(拱顶弯矩)；
 ε_i ——初始弯矩作用下混凝土受压边缘的压应变；
 $\varepsilon_{gi}, \sigma_{gi}$ ——初始弯矩作用下受拉钢筋的应变和应力；
 ε_{cfv} ——达到抗剪承载力状态时 CFRP 片材的应变；
 ε_{cf} ——CFRP 片材充分利用截面处 CFRP 片材的应变；
 ρ ——受拉钢筋配筋率， $\rho = A_g / (bh_0)$ ；
 ρ_{te} ——按有效受拉混凝土截面面积计算的配筋率；
 η ——考虑混凝土徐变及开裂对拱脚变位的综合折减系数，可取 $\eta = 0.25 \sim 0.45$ ；
 μ_i ——第 i 片梁的超张拉系数；
 μ ——截面配筋率；
 φ ——CFRP 抗剪加固形式系数，对于封闭粘贴取 1.0，对于 U 形粘贴取 0.85，对于侧面粘贴取 0.7；
 ζ ——受压边缘混凝土压应变综合系数；
 τ_{cf} ——CFRP 片材与混凝土之间的黏结强度，近似取 0.5MPa；