

单成林 著

# 旧桥加固设计原理 及计算示例

Jiuqiao Jiagu Sheji  
Yuanli Ji Jisuan Shili



人民交通出版社

China Communications Press

单成林 著

---

# 旧桥加固设计原理 及计算示例

---



人民交通出版社

China Communications Press

## 内 容 提 要

本书根据钢筋混凝土及预应力混凝土结构理论,结合最新的相关规范、规程,推导出大量计算公式,提出和采用了许多新的设计思想和计算方法,详细论述了旧桥加固设计原理及步骤。加固对象涉及钢筋混凝土和预应力混凝土各类型桥梁,加固计算方法涉及粘贴附加物加固法、增大截面加固法和预应力加固法,每一种类型的设计均配有计算示例,共20个算例,完全具有可操作性。本书还介绍了混凝土桥梁常见病害、成因、可选的加固方法及加固实例分析,使读者对旧桥加固设计能从基本概念到具体计算方法再到实际感受有完整的认识。

本书可为桥梁加固设计、科研、施工及运营管理的人员提供参考,也可作为桥梁加固技术培训班或高等院校交通土建专业选修课的教材使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

旧桥加固设计原理及计算示例 / 单成林编著. —北京:人民交通出版社, 2007.1

ISBN 978-7-114-06223-0

I .旧… II .单… III .①桥—加固—结构设计  
②桥—加固—结构计算 IV .U445.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第126845号

书 名: 旧桥加固设计原理及计算示例

著 者: 单成林

责任编辑: 王利恒

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: 北京宝莲鸿图科技有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 21

字 数: 525 千

版 次: 2007年2月 第1版

印 次: 2007年2月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06223-0

印 数: 0001~4000 册

定 价: 40.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

# 前 言

本书针对混凝土桥梁结构,根据钢筋混凝土及预应力混凝土结构理论,结合相关规范、规程推导出大量的计算公式,论述了混凝土桥梁加固设计原理和方法。作者从事桥梁工程工作24年,分别从事过桥梁的施工、设计、监理、科研和教学工作多年,这其中负责和参与过45座大、中桥梁的设计,近些年来独立完成了25座各种类型的大、中桥梁从加固方案、施工图设计及预算、设计服务全过程的工作,也参与过大量旧桥加固评审、科研及培训授课等相关工作,积累了本专业丰富的工程实践和理论研究经验,谨以此书介绍桥梁加固设计及计算方面的研究成果。而对于桥梁的检测、病害分析、评定、加固设计方法、施工工艺等已有较多书籍介绍,在此不再赘述。

目前我国的交通建设事业正如火如荼,总的来看,在未来10~20年内,新建工程将逐渐减少,桥梁的养护、维修、加固及改造工程将逐渐成为主流。从我国的实际建设及运营情况看,未来将有大量的桥梁或多或少地出现不同的病害,而只要社会效益、经济效益上有价值,都值得加固。实际上,尽管这些年来桥梁加固工程已经越来越多,而有关桥梁加固设计与计算方面的研究还相对滞后,至今没有相应的加固设计规范,有些方面甚至连公认的算法都没有,使设计者感到难于动手。作者认为旧桥加固设计者除了应有扎实的专业知识外,最好既有相当的设计经验,又有相当的施工经验。这样,所完成的设计施工图才较合理、可靠、现实,施工质量也容易保证,修改更少,造价更合理,加固效果更好。否则,如果只有设计经验,所出加固方案可能有的施工不便实现,难于做到或做好,也影响加固效果和成本。施工图中有些细节问题不明确,理论上能做但施工时做不到或质量难于保证,造成修改或变更多,也影响加固效果和加固成本。如果只有施工经验,所出加固方案及施工图,可能缺乏对结构系统的受力分析、病害成因及病害趋势的分析,往往该加固的部位加固不够或太多,不需要加固的地方也加固,造成即使多花了钱加固效果还不好的结果。

作者从参与的众多旧桥加固评审会上看到很多设计者在加固材料的用量上比较随意,凭经验、凭感觉用材料的人不少,是否浪费材料,是否达到最好的加固效果,设计者自己不清楚,业主更不知道。加固设计大多没有作加固计算,有的高资质设计单位也只对加固前的结构作些复核性计算,最多作加固后的承载力计算。实际上,大家知道,构件的病害往往在正常使用阶段中表现出来,承载能力主要说明构件是否安全。能安全使用的构件并非就没有病害,因此还要作截面上各材料的应力强度计算,才能反映出构件是否有病害,其程度如何,发展趋势如何。当然有时有的构件受力分配很难算清楚或算清楚的意义也不大时,那是另外回事。作者认为“应力强度计算是反映构件病害的必要依据,承载能力计算是构件安全使用的最后保障”,两者均不可缺少。现实加固计算中,常出现承载能力极限状态满足要求,但构件确实存在许多受力性病害,于是一种做法是加大车辆设计荷载使承载力不满足要求,但

这时又缺乏可靠的超载资料；另一种做法是根据各种病害及程度通过一些算法得出各种折减系数，对承载力进行折减，以说明构件不满足承载力要求，构件加固后又补足大于等于被折减的承载力，这种做法虽有一定科学依据，但也有不少人为评判因素在内，同样不能反映控制截面上各种材料的工作状况。

本书中桥梁加固设计计算的中心思想是既作截面上各材料的应力强度计算，也作承载力计算。材料的应力强度往往优先控制设计，再加上承载力计算中有时要用到应力计算的结果，故先作应力强度计算，后作承载力计算，两者均应符合要求。

本书共分为四章。第一、第二章讲述混凝土旧桥上、下部结构常见的病害、成因及加固方法，并非本书主要内容。这两章主要让读者对桥梁加固有一个基本概念。有了“药方”并非就不要“医生”看病，只有专业知识扎实和“临床”经验丰富的“医生”才能正确判断病情的起因、程度和危害趋势。对“症”采用一种或多种“配方”，按一定的顺序和“剂量”用“药”，才能做到安全、经济并尽量减少“毒副作用”的效果，从而达到消除病根的治病目的。

第三章为本书的重点，详细论述粘贴附加物加固法、增大截面加固法、预应力加固法的设计与计算原理。对钢筋混凝土和预应力混凝土各种类型桥梁的受弯构件、偏心受压构件的加固计算进行了介绍，每一种类构件的加固计算均配有示例，可操作性强。当然有些算法及参数取值还值得进一步探讨。

对于其他加固方法，如改变结构体系法、增加构件法等，加固计算方法本质上与常规的方法没有区别，只不过改善了构件的受力分布及受力状况。

第四章主要讲解作者近些年来独立完成的众多旧桥加固工程中有代表性意义的部分实例，对于其中很多内容加以拓展论述。该部分也非本书主要内容，目的是让读者对旧桥加固有实际感受。

希望本书能为桥梁加固设计人员、桥梁管理人员和施工人员有较大参考价值。

由于书中很多设计观点、计算方法及参数取值（特别是加固预应力构件部分）首次提出和采用，公式繁多，限于作者水平，可能有不适当或疏漏之处，恳请广大同行批评指正或交流，联系方式：手机 13922799477，邮箱：shanchenglin@163.com

另感谢研究生谢宝健、杨彩虹对此书打字、绘图所做的工作。

单 成 林

2006年8月于广州华南理工大学交通学院

# 目 录

<b>第 1 章 桥梁上部结构常见病害、成因及可选的加固方法</b> .....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 钢筋混凝土及预应力混凝土简支板桥 .....	1
1.3 钢筋混凝土及预应力混凝土连续板桥 .....	3
1.4 钢筋混凝土及预应力混凝土简支梁桥 .....	3
1.5 钢筋混凝土及预应力混凝土连续梁及悬臂梁桥 .....	5
1.6 预应力混凝土 T 形刚构桥 .....	9
1.7 钢筋混凝土板拱、肋拱及箱形拱桥.....	10
1.8 中、下承式拱桥.....	13
1.9 钢筋混凝土刚架拱桥.....	14
1.10 钢筋混凝土及预应力混凝土桁架拱或桁式组合拱桥 .....	17
1.11 圬工拱桥 .....	18
1.12 钢—混凝土组合梁桥 .....	20
1.13 斜拉桥 .....	20
1.14 悬索桥 .....	20
<b>第 2 章 桥梁下部结构常见病害、成因及可选的加固方法</b> .....	22
2.1 桥台.....	22
2.1.1 重力式桥台.....	22
2.1.2 轻型桥台.....	24
2.2 桥墩.....	25
2.2.1 重力式桥墩.....	25
2.2.2 轻型桥墩.....	26
2.3 基础.....	27
2.3.1 扩大基础.....	27
2.3.2 桩基础.....	30
2.3.3 沉井基础.....	31
<b>第 3 章 各种加固方法的计算原理及算例</b> .....	33
3.1 粘贴钢板、钢筋加固法.....	33
3.1.1 受力特点及使用条件.....	33
3.1.2 钢筋混凝土受弯构件加固计算原理及方法.....	35
3.1.3 钢筋混凝土受弯构件加固计算示例.....	43

3.1.3.1	粘贴钢板加固矩形截面受弯构件计算示例	43
3.1.3.2	粘贴钢板加固 T 形截面受弯构件计算示例	46
3.1.4	钢筋混凝土大偏心受压构件加固计算原理及方法	53
3.1.4.1	矩形截面大偏心受压构件加固计算原理及方法	53
3.1.4.2	I 形或 T 形截面大偏心受压构件加固计算原理及方法	60
3.1.5	钢筋混凝土大偏心受压构件加固计算示例	64
3.1.5.1	矩形截面大偏心受压构件加固计算示例	64
3.1.5.2	I 形或 T 形截面大偏心受压构件加固计算示例	70
3.1.6	预应力混凝土受弯构件加固计算原理及方法	76
3.1.6.1	应力计算	76
3.1.6.2	承载力计算	83
3.1.7	预应力混凝土受弯构件加固计算示例	86
3.1.7.1	粘贴钢板加固 T 形截面受弯构件计算示例	86
3.1.8	预应力混凝土大偏心受压构件加固计算原理及方法	93
3.1.8.1	应力计算	93
3.1.8.2	承载力计算	95
3.1.9	预应力混凝土大偏心受压构件加固计算示例	98
3.1.9.1	矩形截面大偏心受压构件计算示例	98
3.2	粘贴纤维复合材料加固法	105
3.2.1	受力特点及使用条件	105
3.2.2	钢筋混凝土受弯构件加固计算原理及方法	106
3.2.3	钢筋混凝土受弯构件加固计算示例	111
3.2.3.1	粘贴碳纤维布加固矩形截面受弯构件计算示例	111
3.2.3.2	粘贴碳纤维布加固 T 形截面受弯构件计算示例	114
3.2.4	钢筋混凝土大偏心受压构件加固计算原理及方法	120
3.2.4.1	矩形截面大偏心受压构件加固计算原理及方法	120
3.2.4.2	I 形、T 形截面大偏心受压构件加固计算原理及方法	123
3.2.5	钢筋混凝土大偏心受压构件加固计算示例	125
3.2.5.1	矩形截面大偏心受压构件加固计算示例	125
3.2.5.2	I 形或 T 形截面大偏心受压构件加固计算示例	129
3.2.6	预应力混凝土受弯构件加固计算原理及方法	133
3.2.6.1	应力计算	134
3.2.6.2	承载力计算	135
3.2.7	预应力混凝土受弯构件加固计算示例	136
3.2.7.1	粘贴碳纤维布加固 T 形截面受弯构件计算示例	136
3.2.8	预应力混凝土大偏心受压构件加固计算原理及方法	142
3.2.8.1	应力计算	143
3.2.8.2	承载力计算	143

3.2.9 预应力混凝土大偏心受压构件加固计算示例 .....	145
3.2.9.1 粘贴碳纤维布加固矩形截面大偏心受压构件计算示例 .....	145
3.3 增大截面加固法 .....	150
3.3.1 受力特点及使用条件 .....	150
3.3.2 钢筋混凝土受弯构件加固计算原理及方法 .....	151
3.3.3 钢筋混凝土受弯构件加固计算示例 .....	160
3.3.3.1 矩形截面受弯构件计算示例 .....	160
3.3.3.2 T形截面受弯构件计算示例 .....	164
3.3.4 钢筋混凝土偏心受压构件加固计算原理及方法 .....	168
3.3.4.1 矩形截面偏心受压构件应力计算 .....	169
3.3.4.2 矩形截面偏心受压构件承载力计算 .....	177
3.3.4.3 矩形截面偏心受压构件加固计算示例 .....	181
3.3.4.4 I形或T形截面偏心受压构件应力计算 .....	189
3.3.4.5 I形或T形截面偏心受压构件承载力计算 .....	195
3.3.4.6 I形或T形截面偏心受压构件计算示例 .....	198
3.3.4.7 增大截面法加固偏心受压构件设计计算步骤 .....	205
3.3.5 预应力混凝土受弯构件加固计算原理及方法 .....	205
3.3.5.1 应力计算 .....	206
3.3.5.2 承载力计算 .....	211
3.3.6 预应力混凝土受弯构件加固计算示例 .....	215
3.3.6.1 T形截面受弯构件计算示例 .....	215
3.3.7 预应力混凝土大偏心受压构件加固计算原理及方法 .....	221
3.3.7.1 应力计算 .....	221
3.3.7.2 承载力计算 .....	223
3.3.8 预应力混凝土大偏心受压构件加固计算示例 .....	226
3.3.8.1 矩形截面大偏心受压构件计算示例 .....	226
3.4 预应力加固法 .....	233
3.4.1 受力特点及使用条件 .....	233
3.4.2 体外预应力的加固方法及特点 .....	234
3.4.2.1 体外预应力加固简支梁 .....	234
3.4.2.2 体外预应力加固悬臂梁桥及T型刚架桥 .....	237
3.4.2.3 体外预应力加固连续体系桥梁 .....	238
3.4.3 体外预应力筋的应力设计值及应力损失值 .....	242
3.4.4 转向装置的设计原理 .....	245
3.4.5 预应力加固桥梁的计算原理及方法 .....	249
3.4.5.1 体外预应力体系设计及计算 .....	249
3.4.5.2 预应力对各控制截面的内力计算 .....	250
3.4.5.3 持久状况正常使用极限状态计算 .....	250



3.4.5.4 持久状况构件的应力计算 .....	254
3.4.5.5 持久状况承载能力极限状态计算 .....	258
3.4.6 体外预应力加固钢筋混凝土简支 T 梁桥计算示例 .....	260
3.4.7 体外预应力加固预应力混凝土连续梁桥计算示例 .....	278
<b>第 4 章 主要加固方法工程实例分析</b> .....	<b>302</b>
4.1 桥梁上部结构加固实例分析 .....	302
4.1.1 粘贴钢板加固钢筋混凝土简支 T 梁桥 .....	302
4.1.2 体外预应力加固预应力混凝土 T 形刚构桥 .....	304
4.1.3 体外预应力加固钢筋混凝土连续梁桥 .....	308
4.1.4 增大截面加固板拱桥 .....	310
4.1.5 刚架拱桥加固 .....	312
4.1.6 中承式拱桥更换吊杆 .....	314
4.2 桥梁下部结构加固实例分析 .....	318
4.2.1 通车条件下高填土桥台倾斜综合整治对策 .....	318
4.2.2 采用基础置换方法加固沉井基础 .....	322
4.2.3 采用高压旋喷桩加固桩基础 .....	324
4.2.4 采用静压灌浆加固桥墩地基 .....	326
<b>参考文献</b> .....	<b>328</b>

# 第 1 章 桥梁上部结构常见病害、成因及可选的加固方法

## 1.1 概 述

以钢筋混凝土或预应力混凝土材料修建的各类桥梁占我国现役桥梁的绝大多数。由于各种原因,使用多年后,或多或少都出现一些病害,特别是近些年来许多地区交通流量增大及重车增多,桥梁出现的病害较多,相当一部分桥梁已到了不得不加固或者是不加固不让人放心的地步。对于前者,需限制交通或者中断交通,拨专项资金抢修;而对于后者,虽不必限制交通,但其数量甚多,管养单位也要设法筹集资金,以尽快动工加固。以下所述的桥梁常见病害,主要指直接影响到结构承载能力的情况,由结构受力引起并需要加固的各种病害,而对于只需要作正常养护维修的非结构受力性缺陷或病害则较少涉及。对于裂缝宽度的限制值,采用《公路桥涵养护规范》(JTG H11—2004)的表 3.5.2-4 及《城市桥梁养护技术规范》(CJJ 99—2003)的表 5.4.2 所规定的恒载裂缝宽度限制值。缝宽小于规范要求的,采用涂刷环氧树脂封闭;缝宽大于规范要求的,若是非结构受力裂缝,则采用压力灌缝处理,若是结构受力裂缝,则不仅要治标,还要治本,采用各种加固方法来消除或部分消除裂缝产生的原因。

## 1.2 钢筋混凝土及预应力混凝土简支板桥

简支板桥是小跨径桥梁常用的结构形式,钢筋混凝土板桥的跨径通常为 5~13m,有空心板和实心板,施工方法有预制装配和整体现浇。预应力板桥的跨径通常为 10~20m,一般为空心板,预制装配的较多。

### (1) 钢筋混凝土整体现浇简支板桥

常见的病害有:

1) 跨中附近板底由下而上的竖向裂缝,一般有多条,静态裂缝宽度有可能超过规范限制值,见图 1-1,有时还伴随着跨中下挠,表明抗弯能力已不足;

2) 跨中附近板底纵向裂缝,一般也可能有多条,有的静态裂缝宽度也会超过规范要求,如图 1-2 所示。产生这种裂缝可能是由于设计图采用了预制装配的标准图配筋,施工时却改用现浇,将单向板变成整体式双向板,改变了板的受力方式,导致板底横向配筋严重不足,在横向弯矩作用下,引起板底产生纵向裂缝。

### (2) 钢筋混凝土及预应力混凝土预制装配简支板桥

常见病害有:

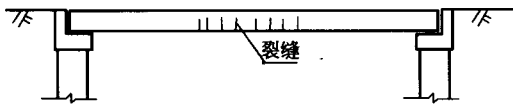


图 1-1 整体式板桥跨中竖向裂缝

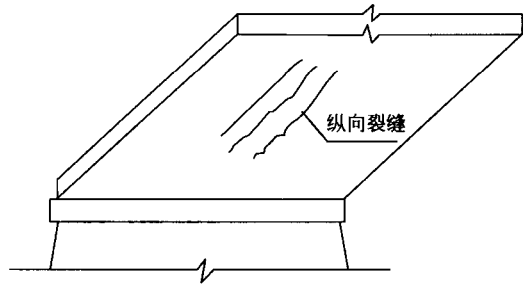


图 1-2 整体式板桥跨中段板底纵向裂缝

1) 装配式简支板可能在桥面铰接缝处出现纵向裂缝，这主要是由于铰接缝施工质量差，造成各板块的整体性连接差；

2) 也可能有支座脱空现象产生，由于每块板的两端各有 2 个支座，每跨桥都有较多支座，如果施工时支座垫石标高有误差，或预制安装时板有翘曲，或墩台有不均匀沉降都会导致部分支座脱空；

3) 钢筋混凝土的简支板跨中附近板底有由下而上的竖向裂缝，缝宽有可能超过规定要求，或有跨中下挠，抗弯能力不足的情况，见图 1-1；

4) 板底出现纵向裂缝，预应力混凝土装配式简支板桥大多采用先张法施工，如果由于施工原因造成底板太薄，使得预应力筋周围混凝土局部应力过大，或者由于混凝土中的氯盐添加剂或者混凝土碳化造成钢筋生锈，均可能产生沿着钢筋的板底纵向裂缝；

5) 一般的空心板在支承端附近不会出现剪切斜裂缝，但近几年来，有的桥梁采用了单块宽度达 1.5m 甚至更大的大空心板，其实相当于小箱梁，腹板厚度不大时，边板的腹板上有可能发现斜裂缝。

对上述各种病害可选的加固方法有：

①对板底产生的纵、横向裂缝，当缝宽超过规范的限制时，均可采用粘贴钢板法或粘贴纤维复合材料法加固，但该方法对解决跨中下挠的效果不好；

②预应力加固法，在板底锚固多根平行的预应力细钢丝，张拉后覆盖特制混凝土，见图 1-3，或者设转向托架后折线形布钢束张拉，预应力钢索穿过两端板中斜孔锚固于铺装层下，见图 1-4，详见第三章；

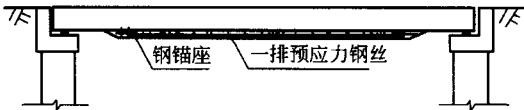


图 1-3 板底锚固多根预应力钢丝

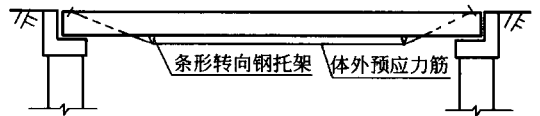


图 1-4 折线形布置体外预应力索

③改变结构体系法，如简支板变连续板，小跨径板桥可在跨中或跨中附近增设桥墩或斜撑，见图 1-5，但应注意在中支点负弯矩区，应结合桥面改造，增设足够的受拉钢筋，以上两种方法对解决跨中下挠效果较好；



图 1-5 跨中增加支撑变简支为连续

④锚喷混凝土加固法，在板底锚固钢筋网

后,喷射混凝土覆盖,其实质是增加板底配筋,类似于图 1-3,只不过板底增加的是普通钢筋网;

⑤对桥面铰缝处的纵向裂缝,只有通过桥面改造来解决,如增加桥面横向钢筋布置,加厚铺装层等;

⑥对板桥支座脱空现象,可采用更换、加钢垫板、楔紧等方法解决。

### 1.3 钢筋混凝土及预应力混凝土连续板桥

钢筋混凝土及预应力混凝土连续板桥一般采用实心板截面或空心板截面,大多采用现浇施工。跨径在 20m 以下,预应力混凝土连续板跨径偏大些,一般采用后张法,有等高度的,也有变高度的。城市桥梁中的跨线桥、人行桥应用多一些。钢筋混凝土连续板的应用更多。

常见病害有:

(1) 钢筋混凝土连续板桥各跨中附近板底由下而上的多条竖向裂缝,横向有可能贯通,属弯曲裂缝,表明抗弯能力不够;

(2) 钢筋混凝土连续板桥各墩顶处桥面开裂,桥下渗水,一般都横向贯通,裂缝可能有一条到多条,可能由活荷载引起,也可能由墩台不均匀沉降引起,见图 1-6,说明负弯矩较大,支点截面抗弯能力不足;

(3) 各跨中附近板底出现纵向裂缝,类似于图 1-2,要么是钢筋混凝土板底横向钢筋配置不足,要么是混凝土保护层太薄,预应力筋周围混凝土局部应力过大,或是混凝土中的添加剂等原因使钢筋生锈,导致沿钢筋产生裂缝;

(4) 跨中下挠,要么是施加的预应力不足,要么是跨中钢筋混凝土板底竖向裂缝过多、过宽导致刚度降低,挠度增大。

上述病害可选的加固方法有:

(1) 对板底裂缝,当缝宽超过规范要求时,可采用粘贴钢板或粘贴纤维复合材料法加固;

(2) 对墩顶处桥面开裂,可采用在负弯矩区的混凝土铺装层内增设受拉普通钢筋或局部预应力钢筋,提高支点截面抗弯能力;

(3) 预应力加固法,在板底设转向托架,按折线形布束张拉,此法对各种原因受力产生的病害均有利,见图 1-7,详见第三章;

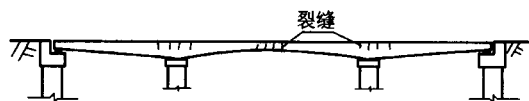


图 1-6 连续板支点顶面和跨中底面竖向裂缝

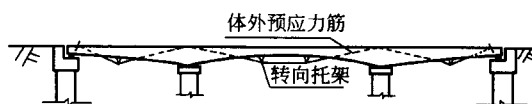


图 1-7 折线形体外预应力索加固连续板桥

(4) 改变结构体系法,如在跨中或跨中附近增设斜支撑,解决跨中下挠过大,或预应力不足,类似于图 1-5,但应增强支撑截面负弯矩区的受拉钢筋。

### 1.4 钢筋混凝土及预应力混凝土简支梁桥

钢筋混凝土及预应力混凝土简支梁是所有运营中桥梁数量最多的梁桥,其断面形式常有 T 形、I 字形、箱形和各种形式的组合。钢筋混凝土简支梁的跨径一般在 10~20m,预应力

混凝土简支梁跨径一般在 16~50m, 少量有更大的跨径。施工方式大多采用预制装配, 少量采用现浇施工。由于呈肋板形截面, 自重轻抗弯能力及跨径比板桥大, 病害种类也要多些。

(1) 钢筋混凝土简支梁桥

常见病害有:

1) 跨中附近梁底由下而上的竖向弯曲裂缝, 数量随跨径增大而增多, 恒载裂缝宽度有可能超过规范限制值, 有的还伴有跨中下挠过大。

2) 两支承端附近腹板上的斜向裂缝系主拉应力过大或腹板抗剪不足等引起的剪切病害, 见图 1-8。

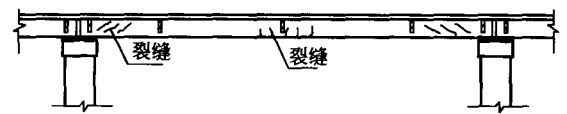


图 1-8 简支梁跨中梁底竖向裂缝及支承端附近腹板斜裂缝

3) 梁腹板上的竖向裂缝, 多位于薄腹板的中部, 中间宽两头细, 未向上、向下延伸, 多系混凝土养护差、或温度变化、或腹板上的水平筋太少等原因所致的收缩裂缝, 主要影响结构的耐久性。

4) 桥面上沿翼缘板接缝处的纵向裂缝, 较多发生在预制装配 T 梁桥翼缘采用铰接或横向联系受损较大的装配式简支梁桥。此种病害会造成恶性循环, 加重单片梁的其他病害程度。

5) 其他施工原因产生的裂缝, 这些裂缝在工程竣工前就能发现。

(2) 预应力混凝土简支梁桥

如果是按部分预应力混凝土 B 类构件设计的简支梁, 钢筋混凝土简支梁有的病害它都可能有, 只是程度不同而已, 不再复述。但也与全预应力混凝土简支梁有一些共同的病害出现。对于全预应力及部分预应力混凝土 A 类构件, 正常使用条件下不允许出现裂缝, 如果出现, 不论缝宽大小都应找出原因进行处理或加固。

预应力混凝土简支梁不同于钢筋混凝土简支梁的其他常见病害:

1) 张拉锚具的锚下纵向裂缝, 长度一般不超过梁高, 主要为锚下局部应力集中产生的劈裂拉力所致;

2) 沿预应力钢束的纵向裂缝, 主要为预应力钢束保护层过薄, 钢束处局部应力过大产生劈裂或是混凝土保护层碳化后预应力筋生锈所致;

3) 跨中下挠过大, 超过规范容许值, 跨中截面不一定开裂。主要为施加预应力不足或预应力损失过大所致。

上述各种病害可选的加固方法有:

①对梁底弯曲裂缝和沿预应力筋的纵向裂缝, 可采用粘贴钢板、粘贴纤维复合材料的方法加固, 也可采用增大截面法加固。增加铺装层厚度, 加大截面受压区面积对提高抗弯强度和刚度有利, 但增加高度有限, 同时也增加自重, 如果增加梁底截面高度, 实际上是增加配筋。

②对于腹板上的斜裂缝, 可在与裂缝反向并近似与水平线成 45°, 即大致正交于斜裂缝的方向粘贴钢板或纤维复合材料; 对梁高度矮, 钢板或纤维锚固长度不足时, 可粘贴成 U 形箍和加压条的形式, 见图 1-9。

③对于腹板上的收缩裂缝和锚固区的裂缝, 视缝宽大小采用环氧树脂封闭或灌缝处理。

④对桥面纵向裂缝，可结合铺装层改造增加厚度和横向配筋，或者增加、加大横隔板。

⑤上述各种因受力引起的病害，均可采用体外预应力加固法，具体的做法有多种，如图 1-10 示意，详见第三章。此法的设计、施工复杂，但效果较好。

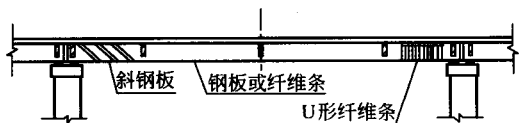


图 1-9 粘贴钢板或纤维复合材料进行抗弯及抗剪加固

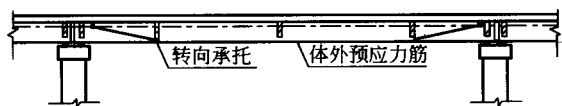


图 1-10 体外预应力索加固简支梁

⑥对病害较多、较重的某一单片梁，条件许可时，可割开横向联系更换增大刚度后的新梁，同时减少其他梁的荷载分布。多数情况下边梁病害较重，如图 1-11 所示。

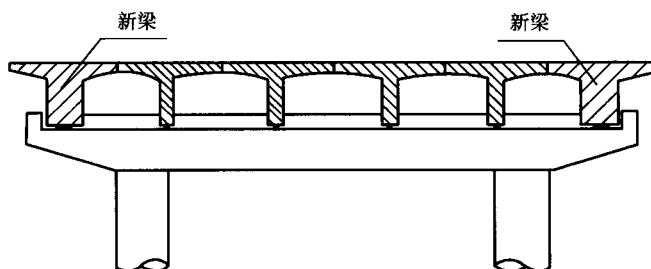


图 1-11 更换新梁并改善荷载横向分布

## 1.5 钢筋混凝土及预应力混凝土连续梁及悬臂梁桥

连续梁桥及悬臂梁桥的截面形式常有 T 形、I 形和箱形，跨径 30m 以上的大多采用箱形，并采用变高度的不等跨梁，等高度的钢筋混凝土连续梁一般跨径在 30m 以下，变高度的钢筋混凝土连续梁或悬臂梁一般跨径在 50m 以下，跨径偏大仍采用钢筋混凝土材料的此类桥梁比较费材料，而且桥面负弯矩区易出现横向裂缝。等高度的预应力混凝土连续梁一般跨径在 60m 以下，而变高度的预应力混凝土悬臂梁跨径大多 100m 以下，但 100m 以上也是常有的，变高度预应力混凝土连续梁跨径大多在 200m 以下，但 200m 以上也是有的。这类桥梁在跨越障碍物或城市立交桥中较多采用，不论跨径大小均容易出现各种病害。

常见病害有：

(1) 钢筋混凝土及预应力混凝土悬臂梁

1) 悬臂梁牛腿端下挠过大，常有墩顶桥面开裂。主要是悬臂部分刚度不够，尺寸偏小，超重车影响，或者是纵向预应力损失较大，施工质量差等造成。

2) 悬臂梁牛腿处局部裂缝，见图 1-12，

原因主要是配筋不足，高度偏小，温度影响或者是挂梁与牛腿连接不顺，形成跳车，局部冲击过大等所致。

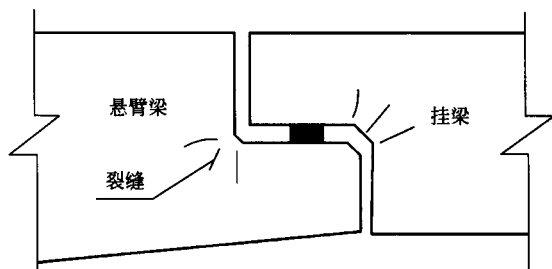


图 1-12 牛腿处局部裂缝

3) 如果悬臂梁的锚固孔跨径过大, 在尺寸偏小或配筋不足时, 很有可能出现跨中下挠或跨中梁底竖向裂缝。

4) 预应力筋锚固齿板后的斜向裂缝, 这是所有预应力箱梁可能出现的病害, 见图1-13, 主要是齿板附近应力集中过大, 普通钢筋配置偏少、预应力束锚固过于集中等引起。

5) 箱梁顶、底板纵向裂缝, 见图 1-14, 主要是顶、底板横向弯矩过大, 无横向预应力、箱梁横向弯曲空间效应、板厚偏小, 横向配筋不足, 箱梁内外温差过大产生温度应力等原因所致。

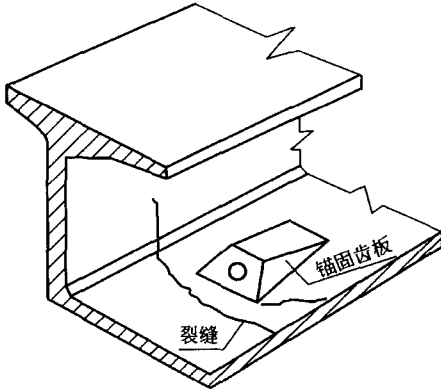


图 1-13 锚固齿板后开裂

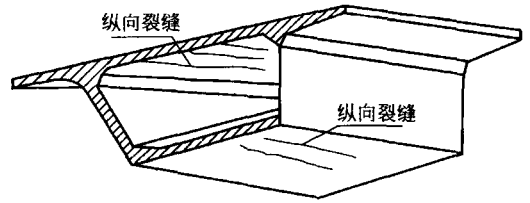


图 1-14 箱梁顶、底板纵向裂缝

6) 箱梁顶、底板梗腋处的纵向裂缝, 顶板梗腋处主要是该处有大量预应力纵向钢束通过, 局部应力过大, 或者是箱梁的正剪力滞效应考虑不足, 或者是偏心荷载下箱梁畸变扭转引起腹板上下端局部应力过大等所致。

7) 箱梁腹板中部的竖向裂缝, 常发生在脱模 2~3 天内, 上下没有延伸, 施加预应力后大多会闭合, 这主要与混凝土收缩或箱梁内外温差或腹板水平筋不足, 或混凝土混合料质量有关。

8) 箱梁腹板上的斜裂缝, 如图 1-15 所示, 一般发生在墩台支承点至反弯点间的梁段上, 属剪切裂缝。裂缝产生原因比较复杂, 主要有纵向或竖向预应力不足, 或损失过大, 箱梁内外温差过大, 箱梁的抗弯或抗扭刚度不足, 偏心荷载下箱梁畸变应力过大, 腹板厚度偏小, 剪力滞效应影响, 非预应力钢筋配置不足, 混凝土混合料及添加剂影响, 施工不当, 纵向预应力束直线形布置, 跨径布置不合理等原因引起。

9) 箱梁腹板上的水平裂缝, 见图 1-16, 主要由箱梁横向弯曲空间效应与内外温差应力使腹板内侧或外侧产生较大的竖向应力、箱梁横向刚度不足, 畸变应力影响, 竖向预应力不足等原因引起。

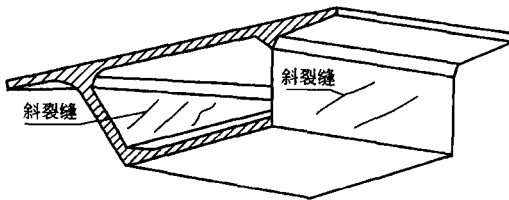


图 1-15 箱梁腹板上斜向开裂

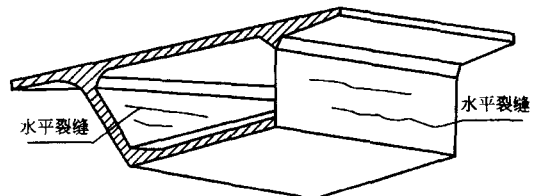


图 1-16 箱梁腹板上水平裂缝

10) 悬臂施工时各分段接缝或合拢段接缝出现裂缝, 多由于施工接头处理不好, 成为薄弱截面, 在纵向弯矩、混凝土收缩或较大温差应力等作用下开裂, 或者由于预制拼装接缝不密实, 桥面开裂后, 接缝渗水、钢筋锈蚀等原因造成。

11) 在箱梁较宽时, 也容易出现横隔板或横梁跨中产生竖向裂缝, 见图 1-17。这主要是横隔板或横梁中施加的横向预应力不足或损失过大, 或箱梁抗扭能力差等引起。



图 1-17 横隔板局部裂缝

(2) 钢筋混凝土及预应力混凝土连续梁

1) 跨中下挠过大, 往往伴随着跨中梁底横向开裂, 墩顶处桥面开裂或腹板斜裂缝, 主要原因是抗弯刚度不够, 如梁高偏矮, 腹板偏薄, 纵向预应力不足或损失过大等原因造成。

其他病害与钢筋混凝土及预应力混凝土悬臂梁的 4) ~11) 相同。

上述各种病害可选的加固方法有:

①对于悬臂梁牛腿端下挠过大, 最有效的方法是补加预应力, 利用变高度梁的特点, 在铺装层中布置通长无粘结预应力索, 锚固在牛腿上, 铺装层与箱梁顶板间应通过植入大量锚筋传递桥面预应力, 见图 1-18; 单箱多室截面并有足够箱高时, 可在中腹板顶部两侧布置通长体外束, 锚固在腹板上, 见图 1-19。但是, 两种情况下均要注意对锚固孔的影响, 详见第三章第四节。

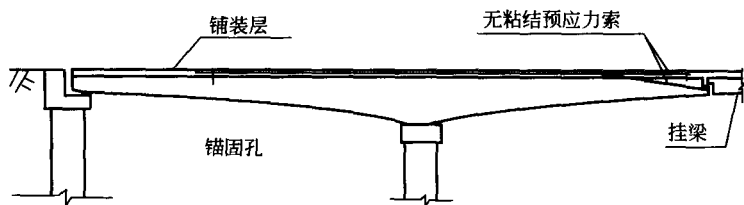


图 1-18 悬臂梁负弯矩区铺装层中布置预应力索

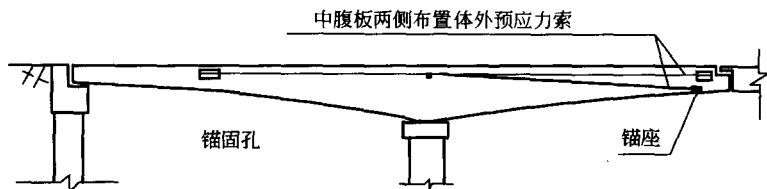


图 1-19 悬臂梁负弯矩区中腹板两侧布置体外预应力索

②对于牛腿处裂缝, 常在两侧粘贴块形钢板或钢板条, 见图 1-20。如果箱内牛腿处能进入操作, 可考虑从外面钻斜孔后穿预应力筋张拉锚固, 见图 1-21。

③对连续梁跨中和悬臂梁锚固孔跨中下挠过大, 最有效的方法是体外预应力加固, 利用变高度梁的特点, 在箱内腹板两侧布置直线形或折线形体外预应力束加固, 见图 1-22 和图 1-23。对等高度连续梁宜采用折线形布束加固, 见图 1-24, 详见第三章第四节。



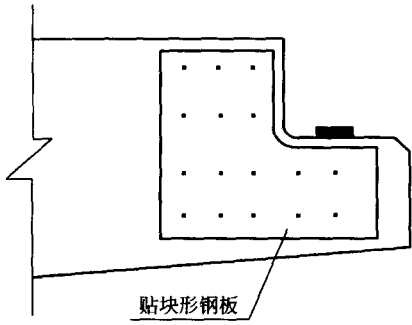


图 1-20 牛腿两侧贴块形钢板

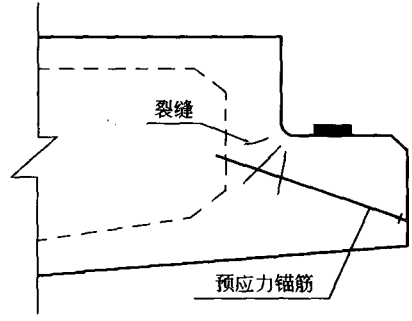


图 1-21 牛腿处钻孔设预应力锚筋

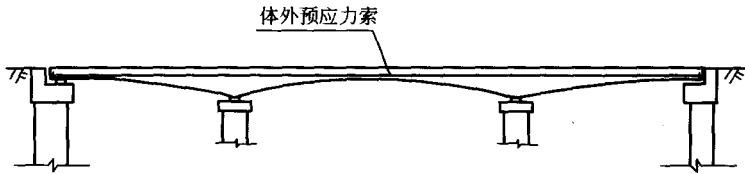


图 1-22 变高度连续梁箱内布置直线形体外预应力索

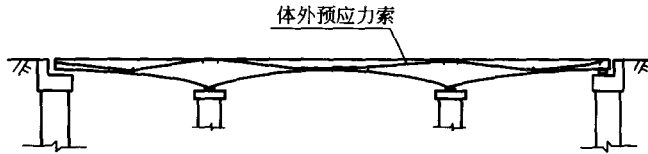


图 1-23 变高度连续箱梁内布置折线形体外预应力索

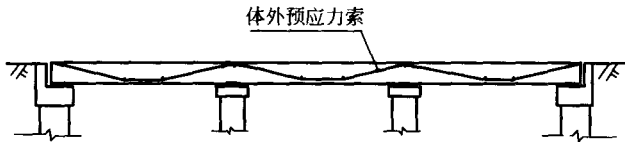


图 1-24 等高度连续箱梁内布置折线形体外预应力索

④对预应力锚固齿板附近的裂缝一般采用灌缝后粘贴薄钢板或碳纤维等复合材料加固。

⑤墩顶处桥面横向裂缝，可采用凿除铺装层混凝土，在顶板面增设纵向普通受拉钢筋或无粘结预应力筋，预应力钢束锚固在现浇层中，类似于图 1-18。或在箱内腹板两侧的截面重心轴以上设体外预应力索加固，类似于图 1-19。

⑥对连续梁跨中梁底横向裂缝及分段接头横向裂缝，常采用纵向粘贴钢板或碳纤维等复合材料加固；或采用体外预应力索加固。对于分段拼装接头裂缝，若属于非受力引起，只需灌胶封闭即可。

⑦对箱梁顶、底板纵向裂缝，常采用横向粘贴钢板或其他纤维复合材料或增设横向联系等方法加固。如果顶板底面纵向开裂，主要是因顶板横向跨度过大，又未设横向预应力所致，可考虑在顶板上面的铺装层中增设横向预应力筋，如图 1-25 所示，并在铺装层与顶板