

Gong lu Gangjin hunningtu Jianzhiliang
qiao de Tiwai Yuyingli Jiagu Jishu

公路钢筋混凝土简支梁桥的 体外预应力加固技术

黄 侨 编著
张树仁 审定

人 民 交 通 出 版 社

前 言

近年来,我国公路交通事业有了长足的发展。在兴建高等级公路的同时,大量低等级的既有公路亟待进行技术改造。桥梁是道路的咽喉,大量中小跨径的钢筋混凝土简支梁桥,由于设计荷载等级低已成为公路改造中的重点。体外预应力加固是80年代应运而生的一种新技术,利用这一技术已挽救了许多旧桥,同时提高了许多桥梁的承载能力。因此,该项技术具有很好的应用前景。

本书作者在导师张树仁教授的指导下,自80年代中期开始进行体外预应力加固设计理论的系统研究,先后取得了一些可喜成果,并在此基础上完成了这本处女之作。

书中内容共分八章。第一章对国内公路系统采用体外预应力加固桥梁的工程实践进行了综述和总结;第二章介绍了公路桥梁采用体外索加固时的构造措施和施工技术;第三章从理论研究入手对体外索加固体系进行了力学分析,同时考虑了预应力损失的计算特点;第四章给出加固体系在正常使用阶段的应力、挠度和裂缝等问题的计算方法;第五章从试验研究入手对加固体系的受力特点,尤其是极限状态下的力学特性进行了探讨;第六章给出了加固体系的极限强度计算方法;第七章给出了加固体系的设计方法,同时提出了用预应力度设计体外索的概念;第八章给出了计算示例和实用计算程序。

在体外索加固技术的研究过程中,一直得到张树仁教授的悉心指导。此外苗栓明、李鸿威、付金科和孙向东等同志分别在理论研究、试验研究以及计算机程序设计方面做了许多有益工作,在此一并致谢。

由于本书是作者的处女作,加之水平所限,难免有误,亟盼读者给予指教。

编著者

1997年3月

内 容 提 要

本书系统地介绍了公路简支梁桥的体外预应力加固技术,其中包括体外预应力加固设计理论、施工技术,实用计算方法和程序,同时还给出了计算示例。

本书可供公路桥梁的设计、养护及施工方面的工程技术人员参考,亦可作为交通土建专业的本科生、研究生的选修课教材,并提供学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路钢筋混凝土简支梁桥的体外预应力加固技术/
黄侨编著. -北京:人民交通出版社,1998

ISBN 7-114-02927-6

I. 公… II. 黄… III. 钢筋混凝土桥:简支梁桥:公路桥-预应力-加固,体外 IV. U448.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 04248 号

公路钢筋混凝土简支梁桥的体外预应力加固技术

黄 侨 编 著

张树仁 审定

版式设计:刘晓方 责任校对:张 捷 责任印制:张 凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

北京京东印刷厂印刷

开本:850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张:4.875 字数:131 千

1998 年 5 月 第 1 版

1998 年 5 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—3500 册 定价:16.00 元

ISBN 7-114-02927-6

U · 02092

目 录

第一章	公路桥梁体外预应力加固方法概述	1
§ 1-1	桥梁体外索加固问题的提出	1
§ 1-2	我国公路系统桥梁体外索加固实践	3
第二章	体外预应力加固的构造与施工	10
§ 2-1	桥梁体外索加固的构造措施	10
§ 2-2	体外索加固施工技术	16
第三章	桥梁体外索加固体系的力学分析	27
§ 3-1	加固体系综述	27
§ 3-2	加固体系的受力分析	28
§ 3-3	力法求解加固体系内力	33
§ 3-4	虚功法求解加固体系内力	36
§ 3-5	体外索加固体系的预应力损失	41
第四章	加固体系正常使用阶段计算	47
§ 4-1	加固体系的应力验算	47
§ 4-2	加固体系的裂缝验算	52
§ 4-3	加固体系的挠度验算	54
§ 4-4	加固体系的其它计算问题	57
第五章	加固体系的试验研究	61
§ 5-1	试验研究概述	61
§ 5-2	正常使用阶段计算理论的试验验证	67
§ 5-3	加固体系的极限强度试验	71
§ 5-4	体外索水平筋极限应力试验	74
§ 5-5	体外索斜筋的极限应力试验	77
第六章	加固体系的极限强度计算	80

§ 6-1	体外索水平钢筋极限应力的理论分析	80
§ 6-2	体外索钢筋极限应力的近似计算	90
§ 6-3	加固体系的正截面强度	93
§ 6-4	加固体系的斜截面强度	95
§ 6-5	加固体系的极限强度计算示例	98
第七章	体外索配筋设计及其预应力度问题	109
§ 7-1	体外索配筋设计的极限状态法	109
§ 7-2	体外索配筋设计的预应力度方法	111
§ 7-3	预应力度及其限值问题	117
§ 7-4	公路桥梁标准图分析及预应力度建议值	120
第八章	加固设计实例及电算程序	124
§ 8-1	体外索加固设计实例	124
§ 8-2	体外索加固计算程序(EPBP)简介	141
参考文献		148

第一章 公路桥梁体外预应力 加固方法概述

§ 1-1 桥梁体外索加固问题的提出

随着我国社会主义建设事业的发展,交通运输业也在发生巨大的变化。公路交通在国民经济中的作用和地位正日益受到国家和各级人民政府的重视,一个以国道、省道干线公路为主骨架,沟通全国城乡的公路网络系统已基本形成。现代高速公路及各种等级的汽车专用公路的建成,已标志着我国公路建设事业进入了一个新的历史时期。

在大规模高等级公路建设的同时,大量的旧有公路的改造工作也摆在了我们面前。桥梁是公路的咽喉,桥断路不通。由于原有公路的技术标准低、通行能力差,加之目前交通量的增加和汽车载重的增加,原设计标准较低的桥梁已严重地影响了公路运输事业的发展。我国的公路桥梁设计标准也是随着国民经济的发展而不断提高的。在标准、规范的新旧交替过程中,公路桥梁的设计荷载已由汽车-6级、汽车-8级、汽车-10级、汽车-13级发展到汽车-15级、汽车-20级及汽车-超20级。验算荷载也由过去的拖-30、拖-60、拖-80发展到今天的挂车-100和挂车-120。而且公路上实际行驶的汽车荷载还有继续增大的趋势。

据调查分析,全国的国道、省道和县级公路的永久性大、中型桥梁中,设计荷载达到汽车-20级、挂车-100标准的仅占大、中型桥梁总数的6.53%。汽车-10级、履带-50及其以下荷载标准的桥梁占9.17%。其余的84.3%的桥梁基本上是汽车-13级和汽车-15

级荷载标准[2]。随着公路等级的提高,上述桥梁是不能满足承载力要求的。受资金和材料资源的限制,上述桥梁不可能全部拆除并新建,只能采用投资较少且能增加承载力的各种桥梁加固技术予以改造。

我国公路桥梁界的广大工程技术人员对旧桥加固技术进行了大量的研究工作,并提出了许多切实可行的加固方法,例如加厚桥面铺装层,加焊主筋,增设主梁以及改变桥梁结构体系等等。这些方法各有千秋,且各自适用于一定的条件。但就钢筋混凝土简支 T 梁和微弯板组合梁这两种最常用的桥型而言,采用体外预应力钢筋(以下简称体外索)加固技术,确为一种简单易行且行之有效的方法。尤其对 70 年代二级路上大量修建的汽车-13 级、拖-60 和汽车-15 级、挂车-80 荷载等级的中、小跨径的简支梁桥,若提高到汽车-20 级、挂车-100,或汽车-超 20 级、挂车-120 荷载等级采用体外索加固是极为有效的。

体外索加固方法 40 年代出自前苏联,主要用于工业厂房的加固补强[3]。利用这种方法延长了许多工业厂房的使用寿命。进入 80 年代后,这种加固技术开始用于我国的公路桥梁加固补强中,并收到了良好的使用效果。

体外索加固方法的实质是以粗钢筋、钢绞线或高强钢丝等钢材作为施力工具,对桥梁上部结构施加体外预应力,以预加力产生的反弯矩抵消部分外荷载产生的内力,从而达到改善旧桥使用性能并提高其极限承载能力之目的。

工程实践表明,桥梁体外索加固技术具有如下优点:

1. 能够较大幅度地提高旧桥承载能力。加固后所能达到的荷载等级与原桥设计标准及安全储备有关,一般情况下可将原桥承载力提高 30%~40%。
2. 体外索加固技术所需设备简单,人力投入少,施工工期短,经济效益明显。
3. 在加固过程中,可以实现不中断交通或短时限限制交通。
4. 对原桥结构损伤较小,可以做到不影响桥下净空,且不增加

路面标高。

§ 1-2 我国公路系统桥梁体外索加固 实践〔4〕〔5〕

70 年代末和 80 年代初,随着我国公路桥梁荷载吨位的增加,开始将体外预应力技术用于公路桥梁的加固,收到了很好的经济效益和社会效益。这些工程实践也为体外预应力加固设计理论的建立和完善奠定了基础。下面对这些加固工程实践进行简要介绍。

1. 福建省南平电机厂专用桥加固工程

该桥为 $3 \times 16.8\text{m}$ 三梁式钢筋混凝土 T 梁桥,桥面宽为净 $4\text{m} + 2 \times 0.75\text{m}$ 。设计荷载为汽车-10 级、拖-30,重力式墩台奠基于岩层之上,1965 年建成。1973 年为通过 43t 的重型工件,采用了临时加固措施。此后在梁底发现有 $0.2 \sim 0.5\text{mm}$ 的裂缝。为保证行车安全并将荷载等级提高到汽车-15 级、挂车-80,采用体外预应力技术进行了加固。

在加固中斜拉杆采用 [14A 型槽钢,滑块设在梁的两个三分点处。水平拉杆采用 $\phi 22\text{mm}$ 钢筋,距梁底面 4cm 。通过两水平筋单点横向并索的方式施加预应力。两端斜拉杆自梁跨三分点处斜向紧贴于梁腹板两侧,并在梁端固定于支座锚固钢板上。水平拉杆在跨中安装有由两副钢夹板及 4 根旋紧螺杆组成的拉紧装置,通过旋紧螺杆,将两肢拉杆互相拉近,从而对拉杆施加预应力。当水平拉杆拉紧到设计位置后,用电焊连接的由 4 块钢板组成的钢板箍将其固定。钢板箍设在梁跨中部,拉紧装置在其两侧,见图 1-1。

锚固钢板设在梁端截面的重心轴以下,距梁底 60cm 处,因此在安装拉杆时仅需开凿梁端横隔板,而无需中断桥面交通。

该桥加固后进行了静载试验。用 625kN 铸铁,按 400kN 重件运输车实际轴压在桥跨最不利位置加载,实测跨中挠度 1.5mm ,小于计算挠度 6.5mm 。

2. 广东省肇庆大沙桥加固工程

大沙桥为 6 孔五梁式钢筋混凝土微弯板组合梁,1968 年建成。该桥分孔为 $15\text{m} + 4 \times 22\text{m} + 15\text{m}$,桥面净空为 $7\text{m} + 2 \times 1.75\text{m}$ 。设计荷载为汽车-13 级、拖-60。通车后发现桥主梁跨中部位开裂严重,最大裂缝宽度已达 $0.4 \sim 0.5\text{mm}$ 。且主梁挠度较大,加固前实测跨中挠度值为:20m 桥跨, $4.4 \sim 5.4\text{cm}$;15m 桥跨, $1.5 \sim 2.8\text{cm}$ 。1979 年对该桥实施加固处理。

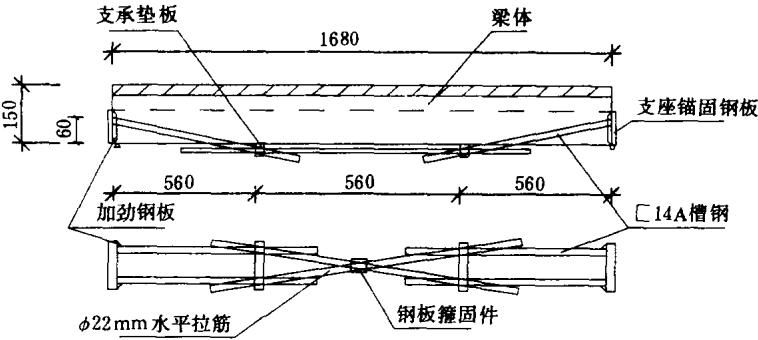


图 1-1 南平电机厂专用桥体外索构造形式

尺寸单位:cm

该桥上部结构加固采用体外索技术,用钢拉杆横向收紧的方法施加体外预应力。在梁的底面以下设置 $4\Phi 25\text{mm}$ 的 16 锰钢筋,分两排布置。拉杆在距梁端约 $L/6$ 处用撑棍将拉杆在平面上撑开,在纵向沿梁的外侧弯起,并通过支点锚固于梁端。水平段拉杆用水平撑棍分为 4 段,在每段中点用拉紧螺栓将两排拉杆收紧。收紧过程中拉杆伸长即产生预应力。加固后原桥恒载挠度基本消除,且略有反拱。加固后的静载试验表明,在原设计荷载作用下,挠度和裂缝宽度均有减小。该桥加固图式见图 1-2。

3. 吉林省青山桥

青山桥为 $4 \times 14.1\text{m}$ 少筋微弯板组合梁,桥面净空为 $7\text{m} + 2 \times 0.25\text{m}$ 。设计荷载为汽车-13 级、挂车-60。下部结构为双柱式桥墩和钻孔灌注桩基础,重力式桥台。该桥于 1968 年建成。

该桥加固之前主梁底面、侧面开裂严重,且多数裂缝宽度已超

过 0.2mm。微弯板的纵向裂缝更为严重,其宽度已达 1~3mm,并贯通全跨梁长。在加固之前按拖车-60 超载 10% 进行加载试验,跨中活载挠度并未超标。但卸载后的残余变形很大,超过总变形的 25%~42%。由于在活载作用下裂缝宽度变化很小,仍有利用价值,因此于 1986 年对该桥进行了加固处理。

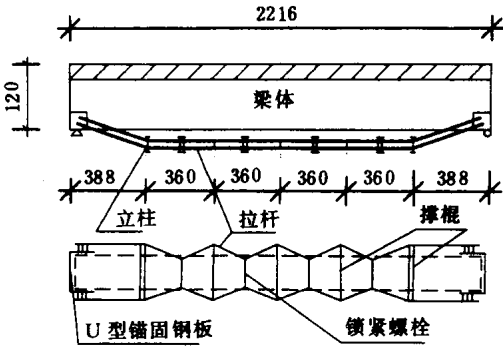


图 1-2 大沙桥加固构造图
尺寸单位:cm

该桥采用体外预应力技术进行加固,每片梁底设 2 Φ 34mm 的 45 号钢制作的钢拉杆。拉杆在梁底距支点 $L/6$ 处转折并于梁体外侧斜穿端横梁,锚固于粘贴在梁端上部的钢垫板上。加固后的设计荷载为汽车-20 级、挂车-100,其加固构造形式见图 1-3。

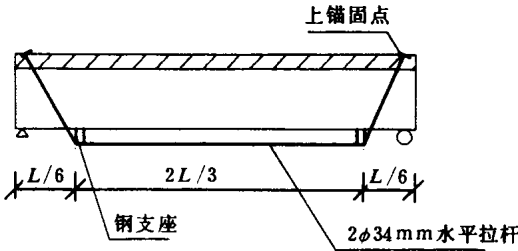


图 1-3 青山桥加固构造图

加固过程中,进行了挂车-100 的静载试验,荷载试验前测得的水平拉杆的预拉力为 67.6kN。实测结果表明,梁的实测挠度小于理论计算值,但残余变形仍然很大。原裂缝宽度略有减小且无新裂缝出现。

考虑到预应力损失的影响,水平杆预拉力最终控制在 103kN,桥梁已处于上拱状态。实践证明,该桥经加固后使用效果良好。

4. 陕西省周至渭河桥

周至渭河桥为 $52 \times 20\text{m}$ 装配式钢筋混凝土 T 型组合截面简支梁桥,桥面净空为 $7\text{m} + 2 \times 1.0\text{m}$,设计荷载为汽车-13 级、拖-60,双柱墩及钻孔灌注桩基础,1971 年建成。

由于该桥施工质量较差,通车仅半年后就发现主梁跨中下挠且逐渐发展。至 1981 年 4 月,检查发现全桥各孔主梁均产生不同程度的下挠,最大下挠可达 $4.8 \sim 10.5\text{cm}$,且混凝土开裂比较严重。多数裂缝长度大于 40cm ,裂缝宽度为 $0.05 \sim 0.3\text{mm}$,个别达到 0.5mm ,大多为通缝。检查中还发现,梁肋与桥面板的连接部位已发生相互错动。这表明梁体和桥面板连接失效,未能共同工作。加固前的静载试验表明,该桥的实际承载力仅能达到汽车-10 级的荷载标准。

1982 年对该桥进行了加固处理。由于桥面板与梁肋已不能共同工作,因此加固分两阶段进行。首先对梁体施加竖向预应力,使桥面板和梁肋有效结合,共同工作。然后再利用体外预应力技术对梁体施加纵向预应力。该桥加固后的荷载按汽车-15 级和挂车-80 考虑。

加固后进行的汽车动、静载试验表明,挠度值减小 5% 左右;原梁裂缝宽度略有增加(最大 0.11mm),但卸载后基本恢复至原有宽度,且无新裂缝出现。综合分析,加固后刚度提高约 37%,承载力比加固前提高 50%~64%。在汽车-15 级作用下的跨中挠度为 7.2mm ,小于计算挠度 7.49mm ,收到了良好的加固效果和经济效益。

5. 浙江省奉化桥

奉化桥位于浙江省宁波地区,上部结构为 $5 \times 11.2\text{m}$ 四梁式钢筋混凝土 T 梁,下部为双柱式混凝土桥墩,1935 年建成。

该桥长期运行,年久失修,破损严重。主梁混凝土保护层开裂剥落,20 片梁中有 4 片梁体的混凝土空洞深入梁内 $3 \sim 4\text{cm}$,主筋

外露,锈蚀严重。第一至三孔边梁已有 3 根主筋锈断,部分钢筋断面只剩一半。桥面变形很大,恒载下挠度已达 5.7cm。

1981 年底采用高强钢丝束对该桥进行了体外预应力加固,同时将桥面铺装层厚度增加了 8.5cm。根据加固前、后的静载试验判断,加固效果明显。在两辆黄河牌载重汽车作用下,跨中挠度 6.24mm,小于容许值。通车一年后的复检表明,桥面挠度无明显增加,梁底无裂缝,钢丝束亦无松动和拉断现象。奉化桥加固构造参见图 1-4。

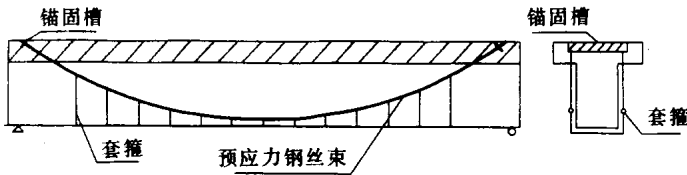


图 1-4 奉化桥加固图式

6. 上海市曹安路三座桥的加固实践[6][7]

曹安路 8 号、12 号及 14 号三座桥梁均为钢筋混凝土 T 梁桥,其跨径分别为 14.06m、16.76m 及 14.06m。这三座桥均为 50 年代至 60 年代初期按原苏联标准图建造的,其设计荷载为当时采用的最高标准即汽车-18 级、拖-80。80 年代中期,由于上海电力事业的发展,要求在这些桥上通过 3 200kN 的平板车(含车重)。位于公路干线上的这些桥梁不可能在封闭交通的情况下实施加固工程,上海市公路处经过大量的研究和分析,在对从旧桥上拆下来的两根 14.06m 钢筋混凝土 T 梁进行加固对比试验的基础上,采用体外预应力技术,在不中断交通的情况下完成了三座桥的加固工作。该工程中采用了两种新的加固工艺。在 12 号桥的加固中首次采用钢丝绳作为预应力筋,用手动葫芦施加预拉力,用电子称测定索力(见图 1-5)。在 14 号桥加固中,采用槽钢作为斜杆,用高强粗钢筋作为水平拉杆(见图 1-6)。在张拉技术上采用了 yc-60 拉伸机张拉和电热张拉两种不同的工艺技术。

7. 河北省瀛龙河桥加固工程[8][9]

潞龙河桥位于河北省高阳县,主孔上部结构为 14.06m 微弯

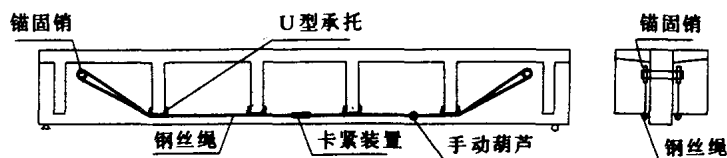


图 1-5 钢丝绳加固体系

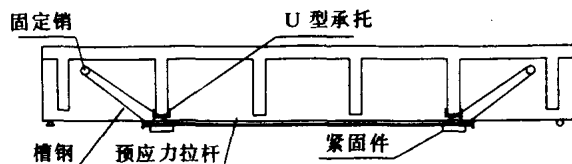


图 1-6 槽钢及水平粗钢筋加固体系

板组合梁,该桥设计荷载为汽车-15级、拖车-60,1970年建成。根据交通发展情况决定将该桥的设计荷载提高到汽车-20级、挂车-100。1986年9月采用体外预应力技术对该桥进行了加固处理。在该桥加固中首次采用了摩擦—粘结型锚固装置,斜拉杆的顶端通过高强螺栓锚固板,锚固在工型组合梁的腹板上。水平筋及斜筋均采用冷拉Ⅳ级高强螺纹精轧粗钢筋,直径为25mm。该桥加固后大梁跨中挠度平均回升了9mm,加固前桥上通过重车时,主梁跨中的上下震动幅度达4~5mm,而加固后变为1mm左右。这说明经体外预应力加固后,主梁的刚度大幅度提高,收到了良好的效果。该桥采用的加固图式见图1-7。

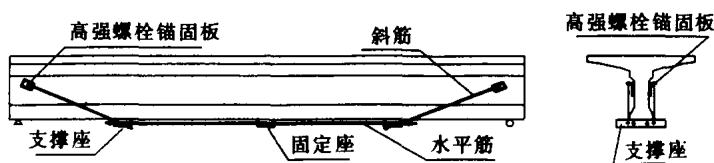


图 1-7 采用摩擦—粘结型锚固装置的加固体系

8. 黑龙江省二抚线洪河2号桥加固加宽工程[10]

洪河2号桥为单跨13m的钢筋混凝土微弯板组合梁,下部为

扩大基础、柱式桥台。原桥桥面宽为净-7,设计荷载为汽车-15级、挂车-80。由于路线等级提高,改建后的桥宽为净-9,设计荷载提高到汽车-20级、挂车-100。该桥采用单侧加宽方案,在上游侧增设一片宽度为1.8m的T形大边梁,通过桥面板及横梁与原桥连为一体。原有主梁均采用体外预应力进行加固处理。水平筋和斜筋分别采用 $2\Phi^1 28\text{mm}$ 和 $2\Phi^1 32\text{mm}$ 的高强精轧螺纹钢筋,两者通过钢制滑块相连接,斜筋的上端锚固在梁顶。该桥采用的加固图式见图1-8。

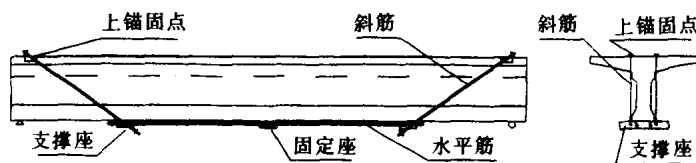


图1-8 洪河2号桥桥体外索加固图式

该桥加固后进行了外观检查及静载试验。加固后,原梁裂缝宽度明显减小。桥面平整,新、旧主梁间联结良好,刚度明显提高。全桥整体工作性能好,实测各梁挠度值均小于规范容许值。实测结果表明,在设计荷载作用下,体外索水平筋中的实测应力增量与理论值吻合良好。

上述八个示例均为国内在80年代和90年代初完成的体外索加固的典型工程。加固的结构均为中、小跨径的钢筋混凝土简支梁体系。由此亦可看出,体外预应力加固技术对于改善中、小跨径桥梁的运营状况,提高荷载等级均是十分有效的。

在国外,体外预应力技术还被用于加固非简支体系的大、中跨径桥梁结构。例如日本曾用该项技术加固了一座两跨($2 \times 105.27\text{m}$)的预应力混凝土连续梁桥[11]。香港亦在80年代初采用体外预应力技术加固了青衣大桥,该桥为 $61\text{m} + 4 \times 122\text{m} + 61\text{m}$ 的预应力混凝土T型刚构。加固之后该桥由混凝土收缩、徐变引起的悬臂端挠度明显减小,从而有效地改善了桥梁的使用性能[12]。

第二章 体外预应力加固的构造与施工

§ 2-1 桥梁体外索加固的构造措施

从第一章所述的工程实例中可以发现,桥梁体外预应力加固体系的形式是多种多样的。从加固所用的主要材料来看,有高强螺纹钢筋、预应力高强钢丝束、钢丝绳及型钢等等。从构造形式上看,则主要有以下几个组成部分(参见图 1-1 至图 1-8):

一、水 平 筋

水平筋亦称水平拉杆,多由高强螺纹粗钢筋、钢丝束或钢丝绳组成。其作用是在梁底部位施加纵向预应力,从而对梁体产生反向弯矩,以抵消部分自重及活载产生的正弯矩,提高梁的承载能力。

当水平筋采用高强粗钢筋时,一般为冷拉 III、IV 级钢筋,亦可用 45 号圆钢制作。在钢筋(杆)的两端做粗制螺纹,配以螺母加以锚固。当采用高强钢丝束时(通常不设斜筋),用锚头将其两端锚固在梁顶的端部。钢丝束的纵向线型由设在梁底两侧的箍筋加以固定(见图 1-4)。当采用钢丝绳时,可直接用锚固锁将两端固定在主梁的腹板上,张拉后用钢丝夹头锁住(见图 1-5)。亦可将钢丝绳的两端锚固在梁底的滑块上(见图 1-6)。

二、斜 筋

斜筋亦称为斜杆,多由高强粗钢筋或槽钢做成。斜杆的下端通过设置在梁底的滑块与水平筋连接,上端锚固于梁端顶部或梁端

腹板处。斜杆的作用是提供梁端部位的负弯矩和预剪力,从而提高梁的承载能力。当采用钢丝束或钢丝绳时,可以不单独设斜筋,而将斜筋和水平筋一体相连。

三、上 锚 固 点

斜筋提供的预剪力和负弯矩的大小,与上锚固点的位置有关,上锚固点的位置可根据主梁的特点及施工的具体情况做如下选择。

1. 梁顶锚固

对交通量较小的桥梁,有可能短期限制交通或当桥下作业难度较大时,可将斜筋的上端锚固在桥面板顶面或梁端顶面上角处。对于锚固在桥面板顶面的情况,首先在桥面板和端横隔梁上开凿与斜筋倾斜方向相同的斜孔,穿进斜筋后,在斜孔周围,按钢垫板尺寸将桥面板凿成凹槽,用环氧砂浆将钢垫板粘牢。斜筋张拉后,通过楔形垫块,用螺母将斜筋锚固在桥面板上。最后将锚头用桥面铺装混凝土封闭,其构造细节见图 2-1。

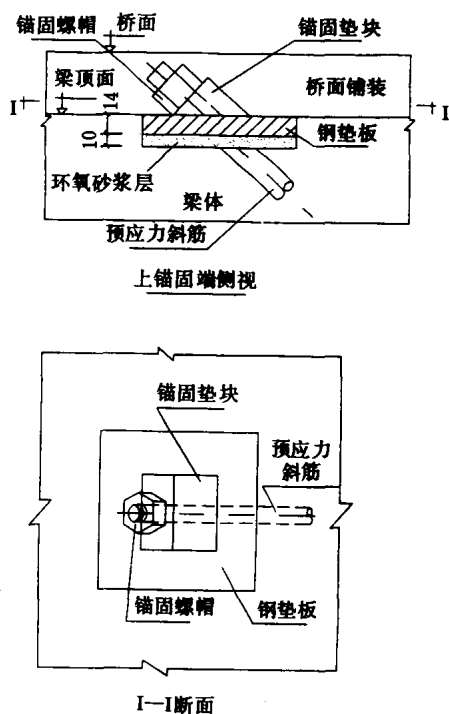


图 2-1 梁顶锚固端构造

对锚固在梁端顶面的情况,首先将梁端部分混凝土桥面板凿掉,将梁端顶面上角凿成与斜筋倾斜方向相垂直的斜面(需剪断架立钢筋和部分箍筋),在端横隔板上开凿与斜筋倾斜方向相同的斜孔,然后,将用角钢或槽钢

制作的支承垫座用环氧砂浆固定在已凿好的梁端斜面上。斜筋穿过横隔梁和支承垫座的斜孔,用千斤顶进行张拉并用螺母锚固在支承垫座上,最后用混凝土将锚头封闭,其构造细节见图 2-2。

2. 腹板锚固

当桥上交通量很大难以中断交通,且桥下便于施工作业时,可将斜筋的上端设在主梁的腹板上。具体做法又可分为以下两种:

(1) 钢销锚固

当斜筋采用钢丝绳或型钢时,采用钢销锚固是较方便的。钢销锚固是将钢丝绳(或型钢)端头做成扣环(或圆孔),套在穿过梁腹板的钢销的端头,通过钢销的抗剪、抗弯和承压作用来锚固斜筋。钢销的直径应根据钢销受力情况和材料强度,按计算确定。钢销两端伸出梁腹板的长度,应满足设置钢丝绳扣环和固定螺母的构造要求。为了穿过钢销,首先应在梁的腹板上穿孔,设置钢套管。钢套管的内径应比钢销直径大 1~2mm,钢套管壁厚为 5~10mm。腹板钻孔直径,应比钢管套管外径大 10~12mm。钢套管用环氧砂浆固定。在埋设钢套管时,一定要保证钢套管的轴线垂直于梁的腹板平面,以避免腹板两侧的体外索受力不均匀。钢销锚固的构造细节参见图 2-3。

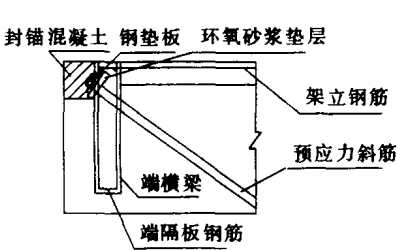


图 2-2 梁端顶锚固端构造

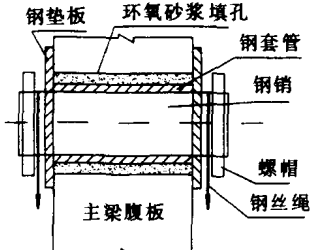


图 2-3 钢销锚固构造细节

(2) 摩擦—粘着锚固

摩擦—粘着锚固是通过用高强螺栓固定在梁腹板上的锚固装置来锚固斜筋,其锚固作用是通过高强螺栓的摩擦力和环氧砂浆的粘结力来保证的。