

预应力混凝土 连续梁式桥养护技术

YUYINGLI HUNNINGTU LIANXU LIANGSHIQIAO YANGHU JISHU

黄增彦 孙西运 刘铁锁 牛树河 梅清稳 刘 勇 主编

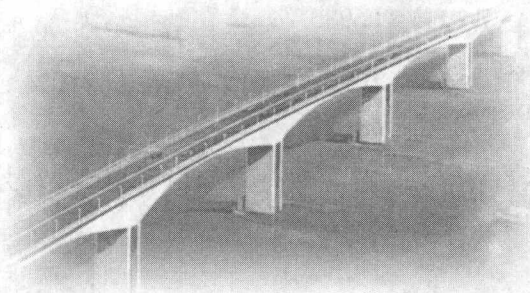


人民交通出版社

China Communications Press

预应力混凝土 连续梁式桥养护技术

黄增彦 孙西运 刘铁锁 牛树河 梅清稳 刘 勇 主编



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书是依据山东东明黄河大桥管理处 15 年来对东明黄河大桥(主桥为预应力混凝土刚构—连续梁组合体系)进行的观察、养护、检测、维修加固、健康监测系统等所积累的实践经验,通过精心组织、系统总结和理论提升而编写的。

本书共五章,介绍了预应力混凝土梁式桥的病害、养护技术、质量检测、维护与加固,健全安全监测等内容。

本书可供公路桥梁科研、教学、设计、施工、监理、检测等工程人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

预应力混凝土连续梁式桥养护技术/黄增彦等主编.
北京:人民交通出版社,2008.3
ISBN 978-7-114-06986-4

I. 预… II. 黄… III. 预应力混凝土桥:连续梁
式桥—养护 IV.U448.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 013247 号

书 名:预应力混凝土连续梁式桥养护技术

著 作 者:黄增彦 孙西运 刘铁锁 牛树河 梅清稳 刘 勇

责任编辑:赵瑞琴

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:18

字 数:455 千

版 次:2008 年 3 月 第 1 版

印 次:2008 年 3 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-06986-4

定 价:36.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《预应力混凝土连续梁式桥养护技术》 编审委员会

主 编:黄增彦 孙西运 刘铁锁 牛树河 梅清稳 刘 勇

副主编:张凤先 蔡忠河 王均刚 郝贤成 牛进民 袁万山

主 审:李怀堂 马华月 贾西法 刘建民 姚元强

前言

QIANYAN

随着国民经济的高速发展和科学技术的不断进步,交通运输工具不断更新,人们对行车的舒适度和安全性提出了更高的要求。然而,随着公路桥梁使用年限的延长,桥梁结构也在发生损伤和病害,影响承载能力、使用功能和耐久性。从技术角度分析:存在着基层养护、管理和设计部门桥梁病害诊断技术力量薄弱,桥梁检测手段落后;考虑结构损伤影响的承载力评估方法还不够完善;桥梁改造加固方案设计思路比较狭窄,应用技术单一,设计深度不够;个别桥梁加固设计生搬硬套国内外或其他行业一般结构的设计方法,忽略了桥梁带载加固分阶段受力的特点等问题。因此,如何确保现有桥梁的承载能力、改善行车条件、延长剩余使用年限,科学的桥梁养护技术将是一个永久性的技术课题,是桥梁建设可持续发展的重要组成部分。

20世纪80年代开始,我国进入了大规模桥梁建设高潮,其中预应力混凝土连续梁式桥(包括连续梁、连续刚构、刚构—连续组合体系等),特别是作为公路桥梁主力的大跨度连续梁式桥承载着更多的期望,本应为国人效力百年的桥梁,却在建设试运营期间及使用不足十年就出现了许多病害或中途惨遭多次大修,严重的已成危桥,实令人茫然,发人深思。许多预应力连续梁式桥存在着较严重的设计问题及施工缺陷,以致使我国提前进入桥梁维修加固的高潮,这给桥梁养护部门带来了十分艰巨的任务,构成了巨大的压力和技术上的难度。这就要求桥梁养护工程师们提升预防性养护理念、选用先进的检测技术手段、最佳的养护加固材料和先进的维修工艺技术。

桥梁养护技术是比新建桥梁更为复杂的系统工程,它涉及桥梁病害诊断、维修加固决策分析、养护维修加固总体方案设计、维修加固材料与方法的选择、维修加固构件设计计算和养护管理与施工等多学科问题。本书从预应力混凝土连续梁式桥的设计、施工及养护管理的实际需要出发,对预应力混凝土连续梁式桥养护管理及其深层次涉及设计、施工中的关键技术问题作了较为系统的介绍。

本书依托山东东明黄河公路大桥管理处长期积累的观测及养护维修技术资料,以及近十五年来该桥在观察、养护、检测、维修加固、及结构建立健康与安全监测系统等方面积累的实践经验,通过精心组织、系统总结和技术提升撰写成书。本书将理论分析和实桥养护技术的实例紧密结合在一起,既有一定深度的理论性,又有实践可操作性。因而,为从事桥梁养护的工程技术人员和管理人员提供一部实用的工具书,也为从事公路桥梁科研、教学、设计、施工、监理、

检测等部门的工程技术人员提供一本极好的参考书。

本书共分五章二十七节,各章既能独立成篇,又相互关联,形成一个整体。第一章介绍了预应力混凝土连续梁式桥的病害和运营状况评价;第二章介绍了预应力混凝土连续梁式桥的养护技术和观测实例;第三章介绍了预应力混凝土连续梁式桥的质量检测与评定技术;第四章介绍了预应力混凝土连续梁式桥的维修与加固技术;第五章介绍了预应力混凝土连续梁式桥的结构健康与安全监测技术应用。

本书由黄增彦、孙西运、刘铁锁、牛树河、梅清稳、张凤先、刘勇、牛进民、王均刚、蔡忠河、郝贤成、许和文、付兆启、葛保才、郭新军、马利纪、袁万山、张建功、冯启军、刘明江、殷奉军、宋运华、穆兴房、孙玉存、许玉滨、张唯、董倩、赵未未、卢传伦等编写。吕令红、杨振、周卫华、王保锋、朱雷、杨学锋、尹素霞、李金仙、史东雷、张国林、李之恒等参与文稿录入、绘图、编制工作。本书编写中得到了张劲泉、王文涛等专家、学者的指教并统稿。

在本书编写过程中得到了山东省交通厅、交通部公路科学研究院、同济大学桥梁系、长安大学公路学院、山东省交通厅公路局、菏泽市公路管理局的指导与关怀,人民交通出版社领导和编辑们为本书的出版付出了辛勤的劳动,在此一并表示衷心感谢。限于作者水平,书中疏漏及不足在所难免,恳请读者和同行们批评指正。

编 者

2008年1月于山东菏泽

目 录

MULU

第一章 综述	1
§ 1-1 运营中预应力混凝土梁式桥的缺陷	1
§ 1-2 由设计和施工不当造成的连续梁式桥结构的损伤和耐久性降低	9
§ 1-3 预应力混凝土连续梁式桥箱梁裂缝病害	25
§ 1-4 预应力混凝土连续梁式桥的运营状况评价	51
第二章 预应力混凝土连续梁式桥的日常养护技术	75
§ 2-1 预应力混凝土连续梁式桥的日常性养护内容	75
§ 2-2 东明黄河公路大桥的养护观测	80
§ 2-3 预应力混凝土连续梁式桥的定期检查	89
§ 2-4 预应力混凝土连续梁式桥的特殊检查	94
§ 2-5 预应力混凝土连续梁式桥定期检查结果的评定	97
第三章 预应力混凝土连续梁式桥的质量检测与评定技术	
——东明黄河公路大桥检测评定工程实例	107
§ 3-1 预应力混凝土连续梁式桥运营质量检测与评价	107
§ 3-2 预应力混凝土连续梁式桥的维修加固工程试验检测	142
第四章 预应力混凝土连续梁式桥的维修加固技术	
——东明黄河公路大桥加固工程实例	197
§ 4-1 桥梁使用现状及存在的问题	197
§ 4-2 结构检算	198
§ 4-3 基于检测结果的使用功能及承载能力评价	205
§ 4-4 维修加固方案选择	209
§ 4-5 新增横隔板(转向板)对箱梁的影响分析	216
§ 4-6 维修加固设计要点	220
§ 4-7 维修加固方法	220
§ 4-8 预应力混凝土连续刚构桥维修加固典型设计图	226
第五章 预应力混凝土连续梁式桥结构健康监测技术	237

§ 5-1	预应力混凝土梁式桥健康监测应用现状	237
§ 5-2	东明黄河公路大桥健康监测系统设计概要	239
§ 5-3	东明黄河公路大桥健康监测硬件系统	243
§ 5-4	东明黄河公路大桥健康监测系统硬件的安装与防护	250
§ 5-5	东明黄河公路大桥健康监测软件系统	253
§ 5-6	东明黄河公路大桥软件系统安装与卸载	268
§ 5-7	东明黄河公路大桥健康监测系统的运行	270
参考文献		279

1	.....	第一章
1	.....	1-1
9	.....	1-2
22	.....	1-3
27	.....	1-4
27	.....	第二章
27	.....	2-1
28	.....	2-2
28	.....	2-3
28	.....	2-4
28	.....	2-5
28	.....	第三章
28	.....	3-1
28	.....	3-2
28	.....	第四章
28	.....	4-1
28	.....	4-2
28	.....	4-3
28	.....	4-4
28	.....	4-5
28	.....	4-6
28	.....	4-7
28	.....	4-8
28	.....	第五章
28	.....	5-1

第一章

综述



§ 1-1 运营中预应力混凝土梁式桥的缺陷

预应力混凝土梁式桥是公路桥梁中最常用的桥型。其跨径大小是技术水平的重要指标,一定程度上反映一个国家的工业、交通、桥梁设计和施工各方面的成就。随着我国建桥技术的发展,建造大跨径梁式桥已成必然趋势。但是,这些大跨径的梁式桥建成之后,不免会出现挠度,包括弹性挠度、徐变挠度,以及预应力徐变引起的下挠。一旦挠度过大,特别是下挠与开裂同时出现时,病害就产生了。跨度越大,病害就越多。跨径 80~100m 以下梁桥,病害较少;跨径 100~160m 的梁桥,病害多些;跨径 160m 以上的梁桥,病害严重。

预应力混凝土梁式桥,主要是指连续梁、连续刚构和刚构—连续组合体系梁桥。自 20 世纪 80 年代末以来,我国梁式桥的发展迅速,形势喜人。虎门大桥辅航道桥主跨 270m,于 1997 年 5 月建成,曾居世界首位达一年半之久。我国已建成 240m 及以上连续刚构 11 座,已经步入了世界先进行列。

在肯定成绩的同时,也应当看到有一部分梁式桥存在一些缺陷,甚至可以说问题不少,在建成后不长时间即损坏,甚至成为危桥。

当前运营中预应力混凝土梁式桥存在的两大缺陷:一是跨中下挠;二是梁上裂缝。对于后者,主要为斜裂缝和纵向裂缝,也涉及垂直裂缝和底板保护层劈裂。

一、主跨跨中的下挠

主跨跨中下挠已成了一种普遍的现象。主跨 270m 的虎门大桥辅航道桥,至 2002 年 10 月,已下挠了 17cm。该桥悬浇立模高程的确定,没有逐节段地计入混凝土收缩徐变的影响,而是参照了洛溪大桥建成后 3 年下挠 6cm 的实测数据,预留了 10cm 的徐变预拱度。现在看来是留少了,已被突破。

主跨 245m 的黄石长江大桥,跨中严重下挠,最大达 32cm,并伴随出现大量斜裂缝。其他桥梁也有类似现象。

交通部公路科学研究院楼庄鸿研究分析认为下挠的原因是:

(一)对混凝土收缩徐变的影响程度及长期性严重估计不足

现在大跨径预应力混凝土梁式桥绝大多数采用悬浇法施工,随着混凝土强度等级的提高,

截面越来越轻型,板件越来越薄。这些因素,必然使徐变系数越来越大。而且荷载大且是经常性的因此,不仅恒载,而且活载也会产生一定的徐变挠度。

在施工方面,往往片面强调梁段的施工周期要短。而设计图纸上,往往仅规定混凝土强度达到设计强度的某一百分比(例如80%)时,即可施加预应力。但混凝土特性之一是早期弹性模量的增长滞后于强度的增长,强度达到要求时,弹性模量较低。过早施加预应力,不仅梁段在施加预应力时常常达不到设计上挠值,使施工控制出现一些困难,而且使徐变影响也变大。因此,除了规定混凝土强度外,还需保证有一定的时间,例如至少5天,才能进行张拉。

通常桥梁的轴线有三条:

第一条是桥梁的设计轴线;

第二条是桥梁建成时的桥梁轴线。这条轴线一定比设计梁轴线要高些,预留出收缩徐变引起梁的下挠值;

第三条是收缩徐变基本完成后的桥梁轴线,一定比第二条低,并最好与第一条相吻合。

现在实际情况是第三条低于第一条,甚至收缩徐变尚未完成时,梁轴线已较设计轴线低了。

为此,对徐变收缩影响估计要充分,预留的预拱度宁高毋低。甘肃某桥,主跨140m,建成后徐变预留了14cm的预拱度,达 $L/1\ 000$,就是一较好的实例。

为此,建议多收集一些现有大跨径梁桥的实测下挠数据值,按不开裂或开裂较严重两种不同情况,加以归纳分析,从中得到一些有益的启示和可供参照的经验数据。

(二) 结构出现裂缝

结构跨中下挠是一个普遍现象,但只要注意分析就可知道,开裂严重的结构其下挠值要大得多。上述主跨245m黄石长江大桥,裂缝有几百条,其下挠值达32cm。而其他裂缝较少的桥,其下挠值远较该桥为小。

跨中下挠与结构开裂是一对互相影响并促进恶化的孪生缺陷。裂缝越多,跨中下挠也越大;反之,跨中下挠越大,开裂也越严重。

(三) 施工的问题

某桥检查时在预应力管道上钻孔,竟流出了不少水,可以认为,钢束已有锈蚀,有效预应力降低。这也是梁顶下挠原因之一。

这种现象有可能较普遍地存在,过去由于没有采用真空压浆技术,管道压浆不饱满;再加上砂浆配制没有充分考虑泌水性的要求,对于变截面梁上凸的底板束,一旦砂浆离析,管道顶部必然存水。为此应大力提倡采用真空压浆技术,使砂浆满足泌水性指标。

二、裂 缝

裂缝中出现最多的是斜裂缝,即主拉应力裂缝,其次是顺桥向的纵向裂缝,也涉及垂直裂缝与保护层劈裂。

(一) 斜裂缝

斜裂缝(图1-1)往往首先发生在剪应力最大的支座附近,与梁轴线呈 $25^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 。斜裂缝

随时间的推移,不断向受压区发展;裂缝数也会增加,裂缝区逐渐向跨中方向发展。

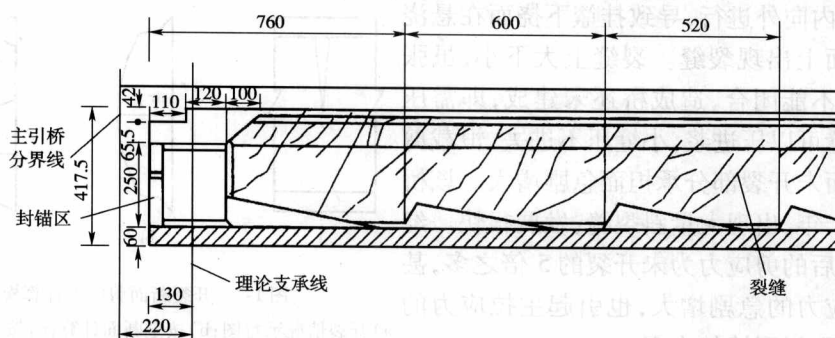


图 1-1 斜裂缝(尺寸单位:cm)

如果斜裂缝限制在受拉区,且已趋于稳定不再发展,则可容忍,暂不加固,注意观测。如果裂缝长度延伸到受压区,或裂缝区逐渐向跨中发展,则应认为是严重的,必须加固处理。

出现斜裂缝的主要原因有设计方法和施工因素。

1. 设计方法

现在较普遍采用的设计方法,多数是边跨梁端设弯起钢束(有不设弯起钢束,只靠竖向预应力,却引发大量裂缝,这是惨痛教训),而在主墩处主梁不设弯起束与连续束,借顺桥向预应力束及竖向预应力束来克服主拉应力。这种方法方便施工,深受施工单位的欢迎。

不设主墩弯起束,从现象上来看斜裂缝的出现及其严重程度大大增加了。因而,对这样的设计存在两种截然不同的认识。

1) 采用这种设计方法

这是目前少数人的看法。他们认为,要充分估计竖向预应力的损失,宁可多估,不要少估。随着设计规范的修订,混凝土的容许主拉应力值也在大大降低,为避免斜裂缝创造了有利的条件。施工上应该认真对待竖向预应力的张拉,要和张拉纵向预应力一样的重视,必要时进行两次张拉。如果能做到这几点,主墩处不设弯起束仍可避免出现斜裂缝。

2) 应该在主墩处的梁中设弯起束

这是目前多数人的看法。因为主墩处梁高小,竖向预应力束短,预应力损失大,有效预应力难以控制,这是出现斜裂缝的最重要原因之一。但至今还没有人实测过永存的竖向预应力有多大,竖向预应力的徐变收缩损失,是否估计够;后张拉的竖向束,是否会对已张拉的竖向束产生附加的预应力损失。

已往的设计仅从二维角度分析主拉应力,这是不够的。正确的做法应从三维进行分析,考虑恒活载的横向应力及温度梯度的应力。随着规范温度梯度的增大,使主拉应力有较大的增加。因此必须主墩处的梁中设弯起束,还要认真地张拉竖向预应力。只有两者同时设置,才可能避免斜裂缝。

2. 施工原因

有的施工单位对张拉纵向预应力非常重视,知道张拉不足会引起开裂甚至破坏,但对张拉竖向预应力认识不足,以致出现吨位不足,甚至漏掉未张拉,或张拉后不压浆,导致出现斜裂缝。

某 106m 跨径的连续刚构,采用悬臂浇筑的施工方法。由于盲目抢工期,悬浇时对挂篮既 不压重,又由内向外进行,导致挂篮下挠而在悬浇 节段的交界面上出现裂缝。裂缝上大下小,虽张 拉预应力,也不能闭合,造成桥还未建成,即需压 浆处理。宽缝可以压进浆,小缝压不进去,恒载剪 应力仅由断面未开裂部分承担而急剧增大。该桥 在建成后仅半年,出现大量斜裂缝,发展很快。经 过核算,开裂后的剪应力为未开裂的 5 倍之多,甚 至 8 倍。剪应力的急剧增大,也引起主拉应力的 成倍增加,导致斜裂缝的出现。

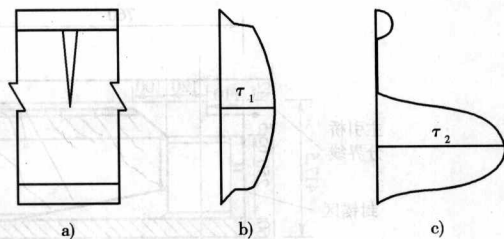


图 1-2 开裂断面剪应力计算模式
a) 开裂情况示意图;b) 按全断面计算;c) 按开裂断面计算

开裂断面剪应力计算模式如图 1-2 所示。

(二) 纵向裂缝

纵向裂缝较多地出现在顶底板顺桥向。除因未设横向预应力而在顶板下缘出现规范允许 宽度的纵向裂缝外,还存在下列原因。

1. 超载

在大跨径桥梁中,超载特别是超重车轴荷载的作用,对横向的影响比纵向更大,这是因为 纵向弯矩中,自重占绝大部分;而横向弯矩,主要受活载的影响,轴重超过规范时,容易出现顶 板下缘的纵向裂缝。

2. 施加过大的纵向预应力

全预应力结构设计中,留有一定的压应力储备是必要的,以克服简化图式与实际的不一 致,以及局部应力的影响等,一般可留 2 ~ 3MPa。但有的设计人员误认为压应力储备留得越大 就越安全。某跨径 154m 连续梁桥,所施加的预应力在克服恒载以后,压应力竟达 15MPa。这 样既浪费了钢束,又会导致纵向裂缝的产生。

构件在承受轴向力时,轴向长度因弹性压缩而缩短,其垂直方向将因材料的泊松比而产生 拉应变(图 1-3)。

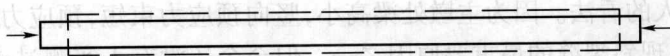


图 1-3 受压构件轴向压应变与垂直方向拉应变

如果正应力储备过大,会在其重力方向发展较大的拉应变,在最薄弱的截面,往往在沿预 应力管道的截面出现纵向裂缝。这种裂缝沿顺桥向的预应力管道发展,下渗的水沿管流动,造 成锈蚀的危害比垂直裂缝还大。

3. 温差应力估计过小

我国原桥梁设计规范(JTJ023-85)中,温差应力仅规定了翼缘与梁体的其他部位有 5℃ 的 温差(图 1-4)。这样的温差偏小,不安全。根据国外的研究,对于箱梁,温差应力可以接近甚 至达到活载的应力,这也是出现纵向裂缝的原因之一。

曾在云南六库怒江大桥上,实测了温度变化和顶底板的应变,顶板应变比底板大,相差 3.09 倍,如图 1-5 所示。

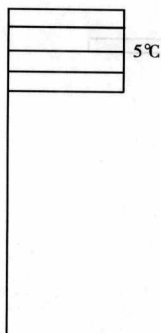


图 1-4 温度梯度

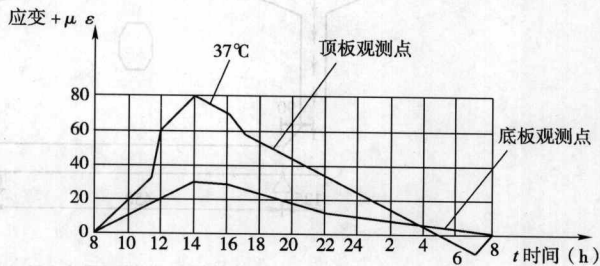
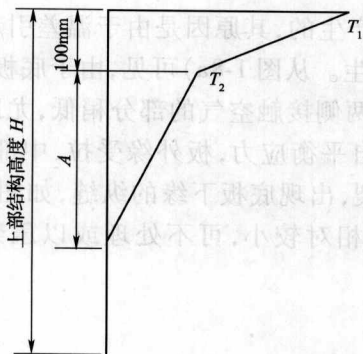


图 1-5 实测箱梁温差应变

《公路桥涵通用设计规范》(JTG D60—2004) 中规定了大得多的温度梯度, 见图 1-6。



$H < 400\text{mm}$ 时, $A = H - 100\text{mm}$
 $H \geq 400\text{mm}$ 时, $A = 300\text{mm}$

铺装层类型	T_1 (°C)	T_2 (°C)
混凝土铺装	25	6.7
50mm 沥青混凝土铺装层	20	6.7
100mm 沥青混凝土铺装层	14	5.5

图 1-6 修订后的温度梯度

4. 收缩引起的裂缝

甘肃某桥, 双壁墩身建成后相当长时间, 才浇墩上 0 号块。由于墩身横向收缩已大部分完成, 而 0 号块横向收缩受到墩身约束, 导致底板中部出现裂缝。

在 0 号块建成后相当长时间, 再建 1 号块, 也会因收缩差而出现纵向裂缝。

5. 支座布置的影响

大跨径连续梁, 支座中心与腹板中心有一定的横向间距。支座反力由腹板传到墩顶。某 150m 连续梁桥, 支座中心距箱梁外缘 1.25m, 每个支座最大反力 34 000kN, 支座与腹板中线相距 90cm。采用空间分析, 顶板中部上缘 A 点会出现 4.9MPa 拉应力(图 1-7)。

于是采取了措施, 在墩上 0 号块箱梁上端施加横向预应力, 此力比一般的横向预应力要大, 并根据各施工阶段反力的大小, 分级施加。如不采取此措施, 顶板上缘肯定出现裂缝。

6. 支座形式

墩上横向支座布置, 正确的应该是一个固定、一个滑动(如图 1-7 所示), 才可避免因温度或活载作用时出现纵向裂缝。现在有的设计, 很注意纵向支座的固定或滑动类型, 但却不注意横向, 往往把横向两个支座都布置成固定的, 在荷载、温度、收缩的作用下很容易导致开裂。

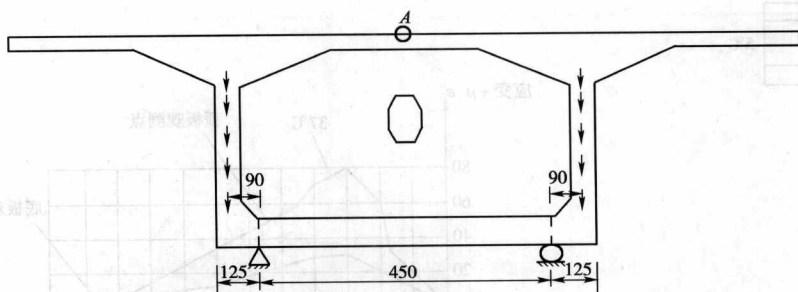


图 1-7 连续箱梁支点断面受力(尺寸单位:cm)

7. 水化热导致开裂

这种现象往往出现在悬浇施工底板较厚的梁根部,尤其在天气较冷时,拆模后即发现底板下缘存在纵向裂缝。

这种裂缝是在结构上没有作用任何荷载的情况下产生的,其原因是由于温差引起的应力(自平衡应力)高于缓慢提高的混凝土抗拉强度而产生。从图 1-8a)可见,由于底板较厚,混凝土硬化期间产生水化热,在板厚中部温度最高,而两侧接触空气的部分稍低,尤以接触外界空气的板底温度最低。由于平面变形,就产生了自平衡应力,板外缘受拉,中部受压,当拉应力大于该时的混凝土抗拉强度,就可能引起开裂,出现底板下缘的纵缝,如图 1-8b)所示。但这种裂缝,往往限于混凝土表面,有害影响相对较小,可不处理或以压浆封闭即可。

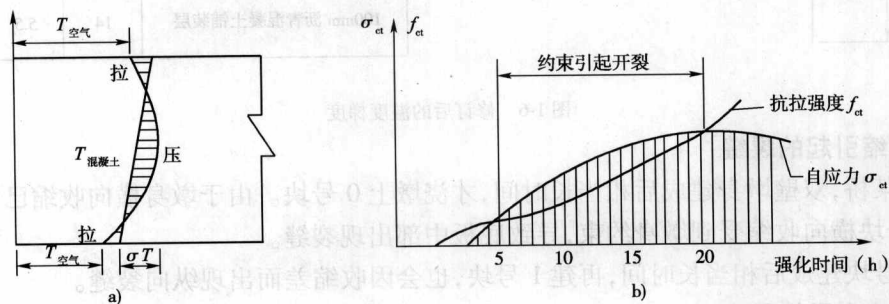


图 1-8 由于水化热和冷却而引起的纵缝

8. 畸变

箱梁约束扭转时发生畸变,腹板变弯,配筋不足时腹板上会出现纵向裂缝。尤其是弯箱梁,预应力束也会产生畸变。

(三) 垂直裂缝

在预应力混凝土桥梁中,出现受弯的垂直裂缝相对来说是较少的,但有时也能见到,如图 1-9 所示。产生垂直裂缝的原因有设计的和施工的。

1. 设计原因

设计中对于梁式桥的正截面强度和应力,一般都是很注意的,但有时也会出现疏忽,导致实际有效预应力不足而出现垂直裂缝。

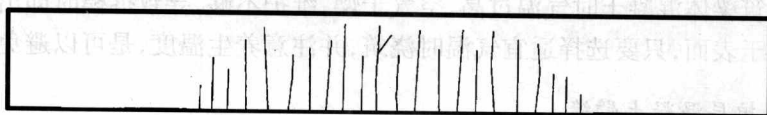


图 1-9 垂直裂缝

某桥为跨径 35m 的预应力混凝土空心板,每板宽 1.5m,双室,简支安装,最终成为一连续板。按部分预应力 A 类构件设计,预应力体系采用扁锚,中腹板上布 5 束,竖向放置并弯起。为了节省预应力束,致使梁自重挠度比施加预应力后的上拱度还大 7mm,即施加预应力后梁不会上拱,设计中梁体跨中设向上 1.5cm 的预拱度,与一般采用的设向下预拱度不同。

这个设计在两个工地上采用,一个工地施工较粗糙,出现超重及内模走动、腹板厚度变动的情况;其台座是一次性的,台座两端有贯通裂缝;未架设的边梁存在垂直裂缝,其中有一片较严重,缝宽有 0.2mm;梁也存在下挠,最大 4cm。

另一个工地施工工艺较细致,断面尺寸正确,表面光滑,其台座是多次重复使用的,处理较好,未出现裂缝。板已架设,且已封铰及浇筑连续段混凝土。在拟浇防撞栏时,发现梁体下挠,最大到 4cm。检查两片边梁,发现有垂直裂缝 40~50 条,缝宽最大已达 0.3mm 以上,缝间距 20~50mm,其中 2/3 的裂缝长度已超过梁高一半。

分析其原因,设计原因是主要的,实际是有效预应力严重不足。首先将扁锚竖向布置用作弯起束是错误的,各束在同一管道中互相挤紧扭结,不仅仅是沿管道及弯起的摩阻损失,预应力损失也很大,远远超过计算,张拉时延伸量也难以达到,这是主要原因;其次,设计中预应力配置不足,梁体不上拱,使预应力损失增大很多,梁体与台座黏结而不脱离。在施加梁体预应力时,梁体要压缩,而台座与梁底出现了摩阻力(图 1-10),这一项预应力损失是在设计中未予考虑的。

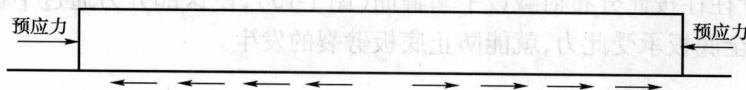


图 1-10 台座与梁度的摩阻力

由于预应力损失加大,因此尽管设计计算时,认为梁在自重和预应力作用下,下缘混凝土是受压的,但实际产生很大的拉应力,导致开裂。后来的验算也表明,就连受弯承载能力极限状态也通不过。故在设计中不能用扁锚竖向布置作为弯起钢束。不要因过分节省预应力束而形成施加预应力后梁体不上拱,这会导致跨中有效预应力的严重不足而出现垂直裂缝,以及因混凝土徐变而引起梁体下挠。

2. 施工原因

某连续刚构因盲目抢工期,5 天一个周期,工艺粗糙,在梁的悬臂浇筑中,既不预压重,又不调整挂篮挂索,浇筑顺序由里向外,由于挂篮下挠,致使与上一梁段连接的工作缝处出现垂直裂缝并有斜裂缝出现。最大的裂缝甚至宽达 3mm,不得不进行压浆处理。

变截面梁底板预应力索孔道跨中上凸,一旦压浆发生离析,形成上层有水,索会发生锈蚀,有效预应力降低而产生垂直裂缝。

有的工地浇筑梁体混凝土时气温过高,空气干燥,维护不够,导致拆模时即出现垂直裂缝。这种裂缝大多限于表面,只要选择适宜气温时浇筑,并注意养生温度,是可以避免的。

(四)底板保护层混凝土劈缝

这种现象表现为底板预应力束下的混凝土保护层劈裂,有时可达相当宽的范围,如图 1-11 所示。

1. 设计原因

(1) 保护层过薄

有的设计人员往往片面从充分发挥预应力束的作用出发,盲目减少其保护层。这种情况下,容易产生底板劈裂,尤其在变截面梁底板顺桥向呈弯曲的情况下。

(2) 未采取抗径向力措施

在变截面梁底板为弯曲的抛物线形,底板束张拉时,会产生向下的径向分布荷载,如图 1-12 所示。

$$q = \frac{T}{R}$$

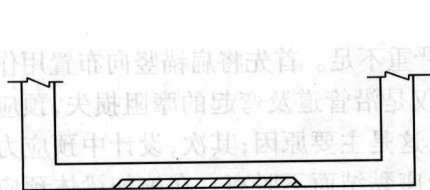


图 1-11 底板混凝土保护层劈裂

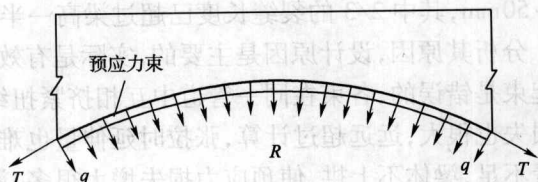


图 1-12 弯曲钢束引起的径向分布荷载

如果底板保护层过薄,又未采取抗径向应力的措施,容易引起混凝土的劈裂。

正确的设计往往按此分布荷载设平衡箍筋(图 1-13),使这部分力通过平衡箍筋传递于上层钢筋,进而使全底板承受此力,就能防止底板劈裂的发生。

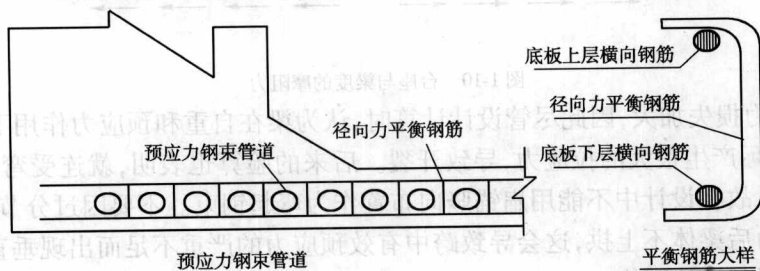


图 1-13 抗径向力的平衡箍筋

2. 施工原因

对已设置的波纹管保护不够,受到局部重载,形成折曲,张拉时引起向下的分力,尤其是过早张拉在混凝土强度还未足够时,均能使底板产生劈裂。

这种缺陷必须加以处理。因为波纹管暴露在空气中,易引起锈蚀,进而影响预应力束的锈蚀,同时也是为了保证预应力束与混凝土有足够的握裹力。

§1-2 由设计和施工不当造成的连续梁式桥结构的损伤和耐久性降低

我国疆域辽阔,南北气候悬殊,东西地势多变,地质、水文、气候、温度等多重因素的影响,使得每一座大桥在建成之后都要经受不同环境的考验,而设计标准、选材、施工工艺以及建成后的交通和养护状况等人为因素较之自然环境,则更能左右一个大桥病害的成因。

据不完全统计,目前在美国,公路桥梁大约有 57 万座,其中约 13 万座有缺陷。我国由于各种原因造成的损伤桥梁也在不断的增加。截止到 2003 年,各种桥型总和约 31 万座,其中存在安全隐患和耐久性问题的桥梁占总数的 50%,个别地方甚至超过了 70%,在这些桥中危桥又占 2%~3%,约有 9597 余座。

近年来,随着经济的发展,交通流量和车载吨位的增加,公路以及城市桥梁带病工作越来越普遍,由此而造成的事故时有发生,多座连续刚构桥严重开裂、跨中下挠等。特别是近几年,我国连续发生了多起桥梁事故,如辽宁盘锦桥挂梁塌落、深圳龙岗横坪公路年丰矮江桥桥面板断裂等。这一切都表明我国在过于追求桥梁建设速度的同时,也埋下了无穷的质量隐患。许多桥梁存在较严重的设计、施工缺陷,使我国提前进入一个维修的高潮,这是经济建设高速发展不该引发的结果。

一、连续刚构桥设计中的问题

为满足现代化公路桥梁建设需要,连续梁式桥修建的越来越多。其中,连续梁式桥由于自身受力特性和经济性要求确定了其跨径不宜太大(目前一般在 160m 以上),同时,连续梁式桥在施工时通常需采取墩梁临时固结措施(因为一般采用悬臂施工),体系转换较复杂,所以对于 100m 以上的连续梁式桥越来越多的被连续刚构桥替代。连续刚构桥由于墩梁固结,施工方便,跨越能力大(国内已达到 270m),经济性较好,使用效果好,特别适合于西部山区桥梁建设需要,目前已被广泛采用。仅重庆市,目前已建成的连续刚构桥在 10 座以上,且跨径大多超过 200m,还有多座在建设中。

但连续刚构桥属于较新的桥型,其设计、施工技术还处于不断研究、改进中。重庆交通学院向中富对连续刚构桥的设计问题作如下论述。

1. 桥型的选择应用要慎重

从结构简单、施工方便、节省造价、使用效果好等方面考虑,连续刚构桥确实具有优势,得到广泛运用理所当然。但连续刚构桥也具有特定的适用条件。

(1) 虽为墩梁固结的高次超静定刚架结构,但设计目标是使其结构行为接近连续梁,所以跨度不宜太小、连续桥孔不宜太多、桥墩不宜太矮、总桥长不宜太长。否则,将使桥梁刚性过大,从而产生太大的附加内力(包括温度内力、收缩徐变内力等),一般跨径应在 100m 以上,连续桥孔不多于 5 跨(如果再多,可考虑连续刚构桥与连续梁组合),桥墩在 20m 以上(除高度以外,还需在保证悬臂施工要求情况下尽可能降低抗推刚度),总桥长不超过 1300m。

(2) 大跨径混凝土梁式桥主要缺点是自重太大,其承载力绝大部分用以克服自重,跨径越大,情况越严重。所以不宜采用过大的跨径,270~300m 应算是该种桥梁的特大跨径,通过采用高强轻质混凝土或降低二期自重恒载可使其跨径再增大,但也非常有限,否则将对预应力建立等施工带来极大困难。