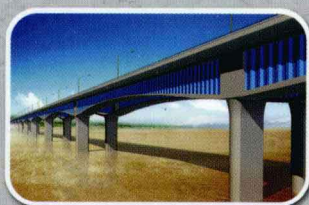


公路桥梁设计丛书

# 连续梁桥

Prestressed Concrete Continuous Beam Bridges Design



徐 岳 邹存俊  
张丽芳 郑小燕 编著



人民交通出版社  
China Communications Press

公路桥梁设计丛书

# 连续梁桥

Prestressed Concrete Continuous Beam Bridges Design

徐 岳 邹存俊 编著  
张丽芳 郑小燕

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书在介绍预应力混凝土连续梁桥设计基本理论的基础上,以实例为主线,详细阐述了整体式支架现浇施工连续梁桥、悬臂施工连续梁桥、简支—连续施工连续梁桥、移动支架逐孔现浇施工连续梁桥及顶推施工连续梁桥的具体设计计算方法和步骤,并给出了与各施工方法相应的预应力混凝土连续梁桥设计图绘制的一般方法。对于各种施工方法,按2004年和1985年《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》进行设计计算,并对结果进行了对比分析,为新桥设计及旧桥加固改造提供有效借鉴。

本书可作为高等院校桥梁工程专业课程设计及毕业设计等教学环节的参考用书,亦可供从事桥梁工程建设的工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

连续梁桥 / 徐岳等编著. —北京:人民交通出版社,2012.5  
(公路桥梁设计丛书)  
ISBN 978-7-114-09732-4

I. ①连… II. ①徐… III. ①连续梁桥:公路桥—设计 IV. ①U448.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 056141 号

### 公路桥梁设计丛书

书 名:连续梁桥

著 作 者:徐 岳 邹存俊 张丽芳 郑小燕

责任编辑:曲 乐 王文华

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.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:29.5

字 数:712千

版 次:2012年5月 第1版

印 次:2012年5月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-09732-4

定 价:58.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

# 前 言

《公路桥梁设计丛书 预应力混凝土连续梁桥设计》(2000 年版)自出版发行以来,桥梁工程技术人员及全国高等院校相关专业师生广泛使用,在加深预应力混凝土连续梁桥设计基本理论的理解、设计计算结果向设计图纸转变等方面发挥了积极作用,为初次从事桥梁设计工作的技术人员及桥梁专业毕业生提供了帮助。本书出版多年,不断收到读者的反馈信息,这使作者深感欣慰,说明本书的出版达到了期望的效果。近年来,我国公路桥梁工程建设技术与研究水平有了很大提高,为适应桥梁工程新技术的发展,准确、可靠地应用现行行业技术标准和设计规范,积极响应读者要求再版的呼声,在人民交通出版社的大力支持下,作者对本书 2000 年版进行了修订。

本次修订根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)及《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)进行,并将书名改为《公路桥梁设计丛书 连续梁桥》。在内容体系安排上仍以预应力混凝土连续梁桥设计基本理论为基础,以我国目前常用的连续梁桥施工方法为主导,以实例为主线,详细介绍不同施工方法所对应连续梁桥的设计计算方法和步骤。本次修订的内容主要体现在以下几个方面:①按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)及《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)规定对实例重新进行了计算和验算;②认真吸纳了读者反馈的问题,完善了相应内容;③对于各设计实例,增加了按 2004 年和 1985 年《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》进行设计计算结果的对比分析;④对顶推施工连续梁桥实例,尝试了施工过程不设临时束的设计方法;⑤针对设计实例,重点介绍了使用成熟商业软件完成桥梁设计全过程的有限元分析方法。

本书共分六章。第一章第一、二、三节由长安大学徐岳编写,第四、五、六节由长安大学邹存俊编写,第七、八、九节由长安大学许智编写;第二章第一、二、三节由合肥工业大学郑小燕编写,第四、五节由中交第一公路勘察设计研究院有限公司展丙来编写,第六、七、八节由长安大学李磊编写,第九、十节由长安大学刘梦莹编写,第十一节由长安大学徐岳编写;第三章第一、二、三、四、五节由中交第一公路勘察设计研究院有限公司展丙来编写,第六、七、八、九、十节由长安大学杨志军编写,第十一节由长安大学梁鹏编写;第四章第一、二、三、四、五、十节由长安大学刘育新编写,第六、七、八、九节由长安大学吴向男编写,第十一节由长安大学王春生编写;第五章第一、二、三、四、五、十节由长安大学苗建宝编写,第六、七、八、九节由长安大学邹正浩编写,第十一节由东莞市新远高速公路发展有限公司王红平编写;第六章第一、二、十一节由南京航空航天大学张丽芳编写,第三、四、五、六、十节由长安大学董峰辉编写,第七、八、九节

由长安大学谷振编写。全书由徐岳、邹存俊、张丽芳、郑小燕主编，徐岳教授统稿、定稿。

本书在修订出版过程中，得到了人民交通出版社韩敏总编辑、沈鸿雁编审、曲乐副主任的大力支持和热情帮助；王文华编辑以严谨认真的工作责任心、一丝不苟的学术风格，提出了许多宝贵意见；全体编校、印刷人员付出了辛勤劳动，在此一并表示诚挚的感谢！

限于作者水平，书中谬误难免，敬请读者指正，来函请寄长安大学（地址：西安市南二环中段，邮编：710064，电子信箱：GL03@chd.edu.cn）。

作 者

2012年3月1日

# 目 录

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第一章 设计基本理论与方法</b> .....      | 1   |
| 第一节 概述.....                     | 1   |
| 第二节 施工方法.....                   | 8   |
| 第三节 结构设计与计算 .....               | 16  |
| 第四节 结构作用效应计算 .....              | 18  |
| 第五节 次内力计算 .....                 | 23  |
| 第六节 作用效应组合 .....                | 49  |
| 第七节 预应力筋束的计算及布置 .....           | 53  |
| 第八节 预应力损失及有效预应力计算 .....         | 60  |
| 第九节 截面验算 .....                  | 64  |
| <b>第二章 满堂支架现浇施工连续梁桥设计</b> ..... | 77  |
| 第一节 概述 .....                    | 77  |
| 第二节 结构有限元建模 .....               | 82  |
| 第三节 作用效应计算 .....                | 88  |
| 第四节 预应力钢束估算及布置.....             | 100 |
| 第五节 预应力损失及有效预应力计算.....          | 107 |
| 第六节 钢束布置后作用效应计算及组合.....         | 109 |
| 第七节 持久状况承载能力极限状态计算与验算.....      | 115 |
| 第八节 持久状况正常使用极限状态计算与验算.....      | 118 |
| 第九节 持久状况和短暂状况构件应力计算与验算.....     | 120 |
| 第十节 对比分析.....                   | 123 |
| 第十一节 设计图绘制.....                 | 133 |
| <b>第三章 悬臂施工连续梁桥设计</b> .....     | 171 |
| 第一节 概述.....                     | 171 |
| 第二节 结构有限元建模.....                | 173 |
| 第三节 作用效应计算.....                 | 180 |
| 第四节 预应力钢束估算及布置.....             | 193 |
| 第五节 预应力损失及有效预应力计算.....          | 199 |
| 第六节 钢束布置后作用效应计算及组合.....         | 200 |
| 第七节 持久状况承载能力极限状态计算与验算.....      | 207 |
| 第八节 持久状况正常使用极限状态计算与验算.....      | 210 |
| 第九节 持久状况和短暂状况构件应力计算与验算.....     | 213 |
| 第十节 对比分析.....                   | 217 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第十一节 设计图绘制                  | 223 |
| <b>第四章 简支—连续施工连续梁桥设计</b>    | 230 |
| 第一节 概述                      | 230 |
| 第二节 结构有限元建模                 | 234 |
| 第三节 作用效应计算                  | 246 |
| 第四节 预应力钢束估算及布置              | 255 |
| 第五节 预应力损失及有效预应力计算           | 258 |
| 第六节 钢束布置后内力计算及组合            | 263 |
| 第七节 持久状态承载能力极限状态计算与验算       | 273 |
| 第八节 持久状况正常使用极限状态计算与验算       | 276 |
| 第九节 持久状况和短暂状况构件应力计算与验算      | 280 |
| 第十节 对比分析                    | 284 |
| 第十一节 设计图绘制                  | 294 |
| <b>第五章 移动支架逐孔现浇施工连续梁桥设计</b> | 305 |
| 第一节 概述                      | 305 |
| 第二节 结构有限元建模                 | 308 |
| 第三节 作用效应计算                  | 313 |
| 第四节 预应力钢束估算及布置              | 323 |
| 第五节 预应力损失及有效预应力计算           | 327 |
| 第六节 钢束布置后作用效应计算及组合          | 330 |
| 第七节 持久状况承载能力极限状态计算与验算       | 339 |
| 第八节 持久状况正常使用极限状态计算与验算       | 345 |
| 第九节 持久状况和短暂状况构件应力计算与验算      | 352 |
| 第十节 对比分析                    | 356 |
| 第十一节 设计图绘制                  | 364 |
| <b>第六章 顶推施工连续梁桥设计</b>       | 376 |
| 第一节 概述                      | 376 |
| 第二节 结构有限元建模                 | 380 |
| 第三节 作用效应计算                  | 387 |
| 第四节 预应力钢束估算及布置              | 405 |
| 第五节 预应力损失及有效预应力计算           | 413 |
| 第六节 钢束布置后作用效应计算及组合          | 415 |
| 第七节 持久状况承载能力极限状态计算与验算       | 425 |
| 第八节 持久状况正常使用极限状态计算与验算       | 428 |
| 第九节 持久状况和短暂状况构件应力计算与验算      | 432 |
| 第十节 对比分析                    | 438 |
| 第十一节 设计图绘制                  | 448 |
| <b>参考文献</b>                 | 465 |



# 第一章 设计基本理论与方法

预应力混凝土连续梁桥以结构受力性能好、变形小、伸缩缝少、行车平顺舒适、造型简洁美观、养护工程量小、抗震能力强等特点而成为最富有竞争力的主要桥型之一。随着预应力技术的发展和不断完善,尤其是悬臂、顶推等施工方法的出现,预应力混凝土连续梁桥如虎添翼,无论是城市桥梁、高架道路、山区高架栈桥,还是跨越江河湖海的大桥,预应力混凝土连续梁桥都以独特的魅力而取代其他桥型,成为优选方案。另外,从国内外已建成的钢桥、钢筋混凝土及预应力混凝土连续梁桥的数量来看,预应力混凝土连续梁桥已远远超过半数,充分表现出预应力混凝土连续梁桥的强大生命力。

## 第一节 概 述

设计任何一种形式的桥梁,除了解桥位处的地质、地形及水力水文情况外,还应对拟设计桥型的构造特点、建桥材料及相应的施工方法形成整体认识,以便做到心中有数,灵活选用,达到满足各种极限状态可施工性、安全性、可使用性(包括耐久性、易检查养护维修性、行驶舒适性及变形性能)的要求,并适当兼顾经济与美学诸方面的指标。

### 一、桥型布置与构造设计

预应力混凝土连续梁桥的总体布置和结构构造形式的确定是整个设计工作的第一步,也是关键环节。

#### 1. 桥型布置

桥型布置包括立面布置和平面布置。

预应力混凝土连续梁桥的立面布置在初步设计和施工图设计中均占有十分重要的地位,直接影响桥梁的适用、安全、经济、美观。立面布置包括体系安排、桥跨布置、梁高选择、下部构造和基础形式选择等。简单且典型的立面布置如图 1-1a)所示。

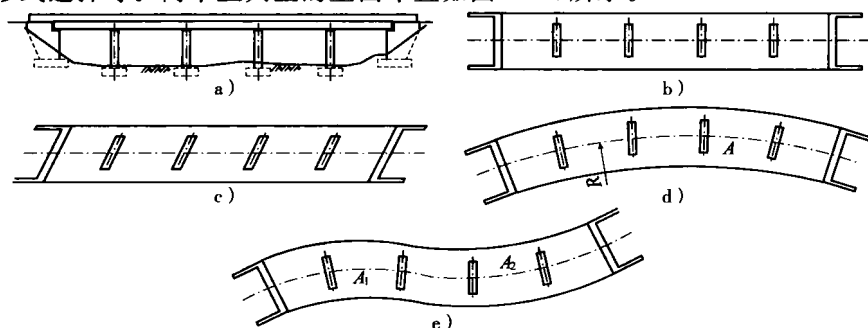


图 1-1 连续梁桥常用的几种布置形式



桥梁平面布置取决于路线的方向及与河流或相交线路的夹角,并受桥位地质、地形的制约,通常有正交、斜交、单向曲线和反向曲线等方式,如图 1-1b)~e)所示。其中,正交桥梁的构造最为简单,其伸缩缝、墩台等均与主梁中线垂直;斜交桥梁的伸缩缝及墩台可与主梁中线垂直(斜桥正作),也可与主梁中线斜交,但均应满足桥梁上、下行车和桥下宣泄洪水的要求;曲线桥伸缩缝及墩台通常采用径向布置,以方便内力分析。

以受力体系来分,有等截面连续梁桥、变截面连续梁桥、桁架连续梁桥、刚构—连续梁桥及 V 形墩连续梁桥等。其中等截面连续梁桥及变截面连续梁桥是目前我国预应力混凝土连续梁桥采用最多的截面形式。

等截面连续梁一般适应以下情况:

- (1)跨径为 40~60m(国外也有达到 80m 跨径者),构造简单,施工快捷。
- (2)立面以等跨径布置为宜,也可以不等跨布置,边跨与中跨之比不应小于 0.6,高跨比一般为  $1/15 \sim 1/25$ 。
- (3)适应于支架施工、逐跨架设施工、移动模架施工及顶推施工。

变截面连续梁主要适用于大跨径预应力混凝土连续梁桥,梁底立面曲线可采用圆弧线、二次抛物线及折线等。除外形高度变化外,为满足梁内各截面受力要求,还可将主梁截面的底板、顶板和腹板改变厚度,具体内容将在横截面构造中介绍。与变截面连续梁最为匹配的施工方法为悬臂施工。在孔径布置方面,边跨与中跨跨径之比一般为 0.5~0.8,当边跨与中跨之比小于 0.3 时,边跨桥台支座要做成拉压式,以承受负反力。变截面梁的梁高与最大跨径之比,跨中截面一般为  $1/30 \sim 1/50$ ,支点截面可选用  $1/15 \sim 1/20$ 。

2. 构造设计

1) 截面构造

预应力混凝土连续梁桥的截面形式很多,一般应根据桥梁的跨径、宽度、梁高、支承形式和施工方法等综合确定。合理地选择主梁截面形式对减轻桥梁自重、节约材料、简化施工和改善截面受力性能十分重要。

目前预应力连续梁桥横截面形式主要有板式、肋梁式和箱形截面。其中,板式、肋梁式截面构造简单、施工方便;箱形截面具有良好的抗弯和抗扭性能,是预应力混凝土连续梁桥的主要截面形式。图 1-2 为常用的板式、肋梁式截面,图 1-3 为常用的箱形截面形式。

板式截面分实体截面和空心截面,分别如图 1-2a)、b)和图 1-2c)、d)所示。矩形实体截面使用较少,曲线形整体截面近年使用相对较多,实体截面多用于中小跨径,且多采用支架现浇施工方法,此时跨中板厚为跨径的  $1/22 \sim 1/28$ ,支点板厚为跨中的 1.2~1.5 倍;空心截面常用于跨径 15~30m 的连续梁桥,板厚一般为 0.8~1.2m,以支架现浇为主,亦可采用预制安装。

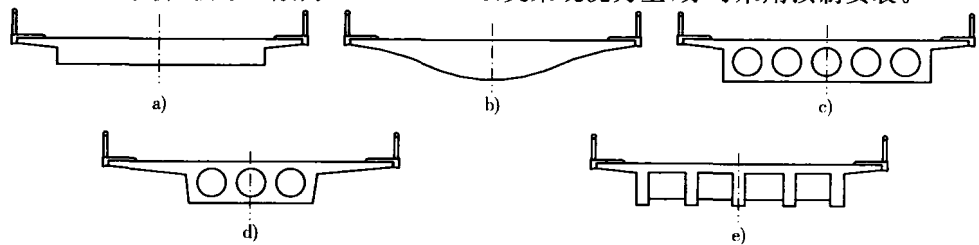


图 1-2 板式、肋梁式截面

图 1-2e)为肋梁式截面,其预制方便,常用于预制架设施工,并在梁段安装后经体系转换为连续梁桥。常用跨径为 25~50m,梁高取 1.5~2.5m。

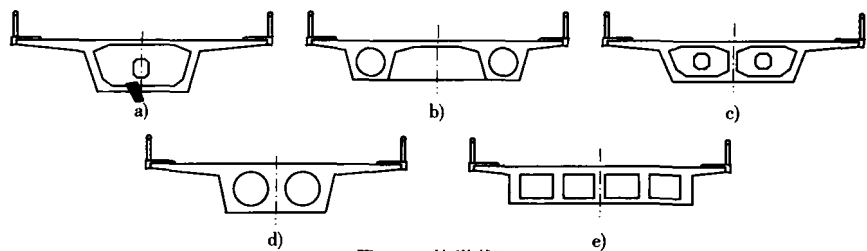


图 1-3 箱形截面

箱形截面构造灵活,适用于支架现浇、逐孔施工、悬臂施工等多种施工方式。其中单箱单室桥宽宜小于 18m,双箱单室桥宽为 20m 左右,单箱双室桥宽为 25m 左右。一般等高度箱梁可采用直腹板或斜腹板,变高度箱梁宜采用直腹板。

为便于以后各章应用,这里以箱形截面为例,给出底板、顶板及腹板等相应的细部构造尺寸确定方法。

在连续梁桥中,箱梁底板厚度随负弯矩的增大而逐渐加厚至根部,根部底板厚度一般为根部梁高的 1/10~1/12,以符合施工和运营阶段的受压要求,并在破坏阶段使中性轴尽量保持在底板以内;跨中底板厚度一般为 200~250mm,以满足跨中正负弯矩变化及板内配置预应力钢筋与普通钢筋的要求。

确定箱形截面顶板厚度一般考虑两个因素:满足桥面承受横向弯矩的要求;满足布置纵横向预应力钢筋的要求。在配筋混凝土桥面板中,顶板厚度与腹板间距有关,如表 1-1 所示。

腹板和顶板参考尺寸 表 1-1

|          |         |         |         |
|----------|---------|---------|---------|
| 腹板间距(m)  | 3.5     | 5.0     | 7.0     |
| 顶板厚度(mm) | 180~200 | 200~250 | 280~300 |

箱形截面顶板两侧挑出的悬臂板(翼板)长度也是调节顶板内弯矩的重要因素,一般可取悬臂板长度为腹板间距的一半。当配置横向预应力筋时,悬臂应尽量外伸。箱梁腹板主要承受截面剪力和主拉应力。在预应力连续梁桥中,弯束对荷载剪力的抵消使得梁内剪应力和主拉应力较小。在变高度连续梁桥中,截面高度变化也可减少主应力值。因此,除上述受力因素外,考虑预应力钢筋布置及混凝土浇筑后的箱梁腹板最小厚度一般为:腹板内无预应力束管道布置时可采用 200mm;腹板内有预应力管道布置时可采用 250~300mm;腹板内有预应力束锚固时采用 350mm。在大跨径预应力混凝土连续箱梁中,腹板宽度宜从跨中向支点逐渐加宽,以承受支点处较大的剪力,一般采用 300~800mm,也有达到 1m 左右者。

梗腋(承托)的形式和尺寸也是箱梁细部构造的内容之一。梗腋提高了截面的抗扭刚度和抗弯刚度,减少了扭转剪应力和畸变应力。桥面板支点刚度加大后,可以吸收负弯矩,从而减少了桥面板的跨中正弯矩。此外,梗腋使力线过渡比较平缓,减小了次应力。从构造上考虑,利用梗腋所提供的空间便于布置纵向预应力筋和横向预应力筋,同时也为适当减薄底板和顶板的厚度提供了构造上的保证。

梗腋有竖加腋和水平加腋两种。在顶板和腹板交接处若设置竖向加腋,可加大腹板的刚度,对腹板受力有利,使腹板剪应力控制截面下移,错开了横向弯曲应力高峰,并有利于竖弯束

的布置,但使预应力钢束的合力位置降低。反之,水平加腋对纵向束布置有利,加大了预应力合力偏心,但对腹板受力和竖弯束布置不利。一般地,顶板的梗腋采用图 1-4a)~e)的形式,并可用于斜腹板箱梁顶板加腋;图 1-4f)~h)用于底板加腋。为便于模板的制作和拆模,各种加腋的最小尺寸不宜小于 100mm。

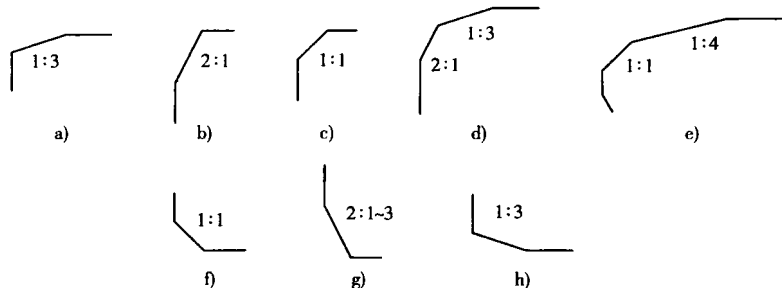


图 1-4 梗腋形式

值得指出的是,为了合理确定箱梁截面的细部尺寸,除按上述一般规律选取外,还应参考国内外已建成桥梁有关统计资料,并注意建桥材料、施工技术等方面的差异。

2)横隔梁(板)设置

采用 T 形和 I 形截面的连续梁桥,因抗扭刚度较小,为增加桥梁的整体性,改善横向分布,宜设置中横隔梁和端横隔梁。中横隔梁的数目及位置依主梁的构造和桥梁的跨径确定,常用横隔梁肋宽度为 150~250mm。

箱形截面梁的抗弯及抗扭刚度较大,除在支点处设置横隔板以满足支座布置及承受支座反力需要外,可设置少量中横隔板。箱梁横隔板的主要作用是增加截面的横向刚度,限制畸变应力。对于单箱单室截面,目前的趋势为不设中横隔板,对于多箱截面,为加强桥面板和各箱间的联系,可在箱间设置数道横隔板。采用顶推法施工的箱梁,为了便于预制构件和张拉预应力筋,在施工期间可设置临时横向联系,待施工完成后再浇筑支点横隔板。

箱梁支点处横隔板的尺寸和配筋形式与箱梁的支承方式有关。当支承位于主梁腹板之下时,横隔板中只需配置一定数量普通钢筋,如图 1-5 所示,且横隔板肋宽为 300~500mm,具体视箱梁跨径而定。当支承不通过主梁腹板轴线,而是通过箱梁轴线支承在底板上时,如采用普通钢筋混凝土结构,则横隔板内的抗剪、抗弯及抗裂钢筋交错密布,导致混凝土浇筑困难且不易振捣密实,同时横隔板肋宽一般大于 500mm;而如果采用预应力混凝土,即在横隔板中设置曲线形的预应力筋,如图 1-6 所示,则可避免钢筋混凝土横隔板所产生的弊病,相应的横隔板肋宽一般小于 800mm。

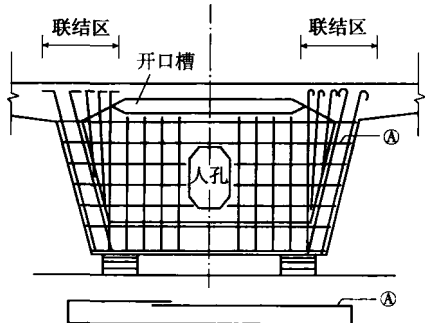


图 1-5 箱梁中的横隔梁配筋示意图

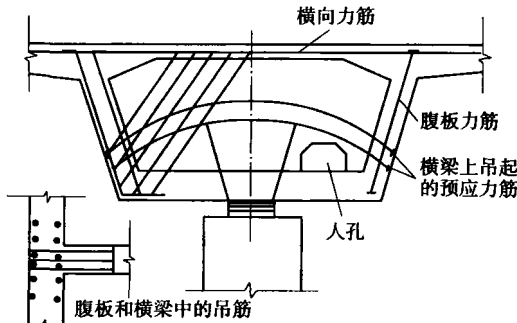


图 1-6 箱梁中横隔梁的预应力筋布置示意图

## 二、建桥材料及预应力工艺

预应力混凝土连续梁桥所用的建桥材料包括混凝土和钢材两大类,其中钢材可分为非预应力钢材和预应力钢材。高强混凝土和预应力钢材是成功设计、建造预应力混凝土连续梁桥的又一重要因素。

### 1. 混凝土

#### 1) 基本要求

预应力混凝土连续梁桥对混凝土的基本要求为:高强度、低收缩徐变、缓凝早强、高弹性模量等。

高强度、低收缩徐变及高弹性模量一般通过采用高性能混凝土来实现。我国《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)(以下简称《桥规》)规定:公路桥梁预应力混凝土构件的混凝土强度等级不宜低于 C40。目前国内预应力混凝土连续梁桥的混凝土一般为 C40~C60,取用 C55 者居多;国外大都用 C50 以上混凝土。采用高强度混凝土的主要原因是为了减少结构混凝土用量、减轻自重,并有效地减少预应力损失,建立理想、可靠的预应力状态。

混凝土的缓凝早强、高强一般通过混凝土改性来实现。

#### 2) 混凝土改性

混凝土改性是指改善混凝土的性能。

提高混凝土强度的常规作法是选用高品质的硬集料和高强度等级的水泥,并尽量降低水灰比。这种常规作法给混凝土的浇筑振捣带来了很大困难,甚至限制了高效施工工艺(如泵送混凝土)的应用,通过混凝土改性可有效地解决这个问题。目前国内结构混凝土改性的方法比较简单,即通过采用减水剂来实现改性。

减水剂大多是一些分散性很强的表面活性剂,拌入混凝土后产生以下主要影响:

(1)一般减水剂的减水率在 5%~25%之间,高效减水剂可使减水率达 30%。如某种高效减水剂采用 0.33 水灰比,混凝土坍落度可达 170mm,有利于采用泵送等新技术、新工艺。

(2)新型高效减水剂能使混凝土缓凝(即延长初凝时间),同时能提高混凝土 5d 和 28d 的强度,有利于混凝土浇筑振捣,尽可能早地施加预应力以缩短施工周期(如某悬臂施工连续梁桥一块段施工周期为 7d)。

(3)减水剂可使混凝土的弹性模量有所提高,而收缩徐变略微减小。

新拌混凝土加入减水剂后改性显著提高,在高强混凝土中使用广泛,但减水剂种类较多,质量参差不齐,一定要经试验后选定品种,并在使用过程中加强检验,以免减水剂使用不当,对混凝土的质量产生不良影响。

### 2. 钢材

预应力连续梁桥中的非预应力钢材与钢筋混凝土桥梁使用的钢材相同,不再赘述。这里只简单给出预应力钢材的基本要求、种类及作用。

#### 1) 基本要求

在预应力混凝土桥梁中,对预应力钢材的基本要求是高强度、大直径、低松弛和耐锈蚀。

#### 2) 种类及作用

预应力钢材的作用是通过张拉、锚固进而靠钢材的回缩对结构施加预应力来承受广义荷载应力。

目前在预应力混凝土连续梁桥中使用的预应力钢材主要有钢绞线、高强度钢丝和精轧螺纹钢三大类。

#### (1) 钢绞线

钢绞线是由 2、3 或 7 根高强钢丝扭结而成并经消除应力后的盘卷状钢丝束。最常用的是由 6 根钢丝围绕一根芯丝顺一个方向扭结而成的 7 股钢绞线。芯丝直径通常比外围钢丝直径大 5%~7%，以使各根钢丝紧密接触，钢丝扭距一般为钢绞线公称直径的 12~16 倍。

《桥规》根据国家标准《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T 5224—2003)选用的钢绞线有 2 股钢绞线、3 股钢绞线和 7 股钢绞线三种规格，其抗拉强度标准值为 1 470~1 860MPa，并依松弛性能不同分成普通钢绞线和低松弛钢绞线两种。普通钢绞线工艺较简单，由钢绞线绞捻而成后，仅需在 400℃左右的熔铅中进行回火处理；而低松弛钢绞线则需进行稳定化处理，即在 350~400℃的温度下进行热处理的同时，还给钢绞线施加一定的拉力，使其达到兼有热处理与预拉处理的效果，不仅可以消除内应力，而且可以提高其强度，使结构紧密，切断后断头不松散，可使应力松弛损失率大大降低，伸直性好。

钢绞线具有截面集中、比较柔软、盘弯运输方便、与混凝土黏结性能良好等特点，可大大简化现场成束的工序，是一种较理想的预应力钢筋。目前，使用高强度、低松弛钢绞线已经成为主流。

#### (2) 高强度钢丝

预应力混凝土结构常用的高强钢丝是用优质碳素钢轧制成盘圆，经温铅浴淬火处理后，再经冷拉加工而成的钢丝。对于采用冷拔工艺生产的高强钢丝，冷拔后还需经过回火矫直处理，以消除钢丝在冷拔中所存在的内部应力，提高钢丝的比例极限、屈服强度和弹性模量。《桥规》中采用的消除应力高强钢丝有光面钢丝、螺旋肋钢丝和刻痕钢丝。

#### (3) 精轧螺纹钢

精轧螺纹钢在轧制时沿钢筋纵向全部轧有规律性的螺纹肋条，可用螺丝套筒连接和螺母锚固，因此不需要再加工螺钉，也不需要焊接。目前，这种高强钢筋仅用于中、小型预应力混凝土构件或作为箱梁的竖向、横向预应力钢筋。

#### (4) 无黏结预应力筋

无黏结预应力筋主要用作桥面横向预应力筋，目前国内大多采用带聚乙烯套管的钢绞线，极限强度为 1 860MPa 左右。主要特点是无需预埋孔道、穿束及张拉后压浆，因而施工方便。但在使用过程中由于钢绞线与混凝土没有任何黏结，且与聚乙烯套管反复摩擦致使套管在弯道处减薄，进而引起钢绞线永存预应力有所减少，存在一定的安全隐患。鉴于此，日本研制了后期黏结的预应力钢绞线作为桥面板中的横向张拉力筋，并在松帆高架桥工程中成功应用。所谓后期黏结预应力钢绞线，是指将常温凝固的环氧树脂在未固化的油脂状态时涂抹在钢绞线的表面，然后再用聚乙烯套管覆盖，这种树脂可通过添加促凝剂来调整控制固化时间，将凝固时间控制在预应力筋张拉之后，这样就可以用与一般无黏结预应力筋同样的方法来施工，待树脂固化后，通过聚乙烯套管来保证预应力钢绞线和混凝土之间的黏结，该黏结强度与传统的波纹管压浆的黏结强度相同，甚至有所超过，这种材料和工艺值得我国借鉴，以开发出更好的预应力钢材。

### 3. 锚具

由于自身结构和构造特征的制约,预应力混凝土连续梁桥绝大多数采用后张法施工。而对于后张法,锚具在施工和使用过程中都起着举足轻重的作用,是结构建立永存预应力的关键。

#### 1) 基本要求

锚固可靠,预应力损失小,施工方便,成本低廉,机具简单,且与预应力混凝土连续梁桥施工工艺相适应。

#### 2) 种类及用途

按所锚预应力筋的不同,共有钢丝束锚具、钢绞线锚具及粗钢筋锚具三大类。

##### (1) 钢丝束锚具

桥梁工程中用于锚固钢丝束的锚具主要有锥形锚(又称弗式锚)和镦头锚(又称 BBRV 锚)。其中,锥形锚有锚固  $18\phi^S5\text{mm}$  和  $24\phi^S5\text{mm}$  的钢丝束两种,分别配以 600kN 双作用千斤顶和 YZ85 型三作用千斤顶;镦头锚所锚钢丝的根数依设计张拉力的大小选定,目前有锚固  $12\sim133$  根  $\phi^S5\text{mm}$  和  $12\sim84$  根  $\phi^S7\text{mm}$  两种锚具系列,配套的镦头机具有 LD-10 型和 LD-20 型,相应的千斤顶为 YC100 型或 YC200 型。

##### (2) 钢绞线锚具

锚固钢绞线的锚具为夹片锚具系列。国内生产的该类锚具有 XM 锚、QM 锚、YM 锚、BM 锚及 OVM 锚等;国外生产的有 VSL 锚(瑞士)、Tesi-N 锚(意大利)等。各种型号的锚具规格都大同小异,但由于生产厂家不同,需选配相应的张拉千斤顶型号。

##### (3) 粗钢筋锚具

粗钢筋锚具主要有轧丝锚和 Dywidag 锚。其中轧丝锚有两种规格,分别锚固  $\phi25\text{mm}$  和  $\phi32\text{mm}$  圆钢筋;Dywidag 锚有三种规格,分别锚固  $\phi26\text{mm}$ 、 $\phi32\text{mm}$  和  $\phi36\text{mm}$  高强精轧螺纹钢,请读者根据产品说明书选配相应的千斤顶。

其他锚具包括固定端锚具和连接器,这两种锚具主要用于一端锚固或接长预应力钢绞线或钢丝束。

当钢绞线采用一端张拉时,其固定端锚具除可采用与张拉端相同的夹片锚具外,还可采用挤压锚具或压花锚具。其中,挤压锚具是利用压头机,将套在钢绞线端头的 45 号优质钢套筒通过模具与钢绞线一起强行挤压而成(图 1-7),挤成的锚头与垫板一起即可形成固端承压型锚具。压花锚具是用压花机将钢绞线端头制成梨花形花头的一种黏结型锚具(图 1-8),张拉前预先埋入构件混凝土中即形成固端锚具。

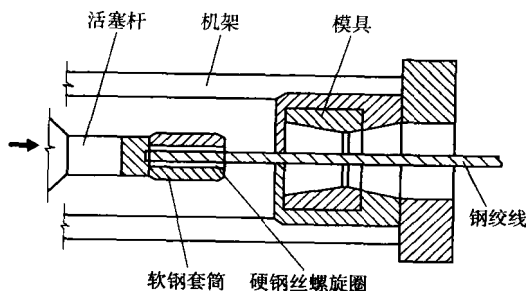


图 1-7 压头机的工作原理示意

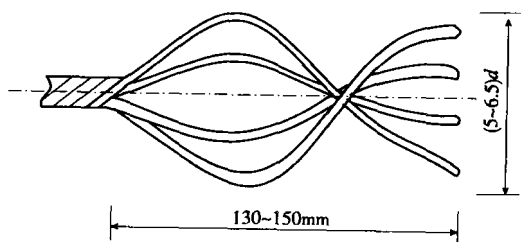


图 1-8 压花锚具

连接器主要用于顶推及逐孔施工的预应力混凝土连续梁桥。连接器共有两种,即锚头连接器和接长连接器。图 1-9a)所示为锚头连接器,用于钢绞线锚固后再接长;图 1-9b)所示为接长连接器,用于两端张拉钢绞线的接长。

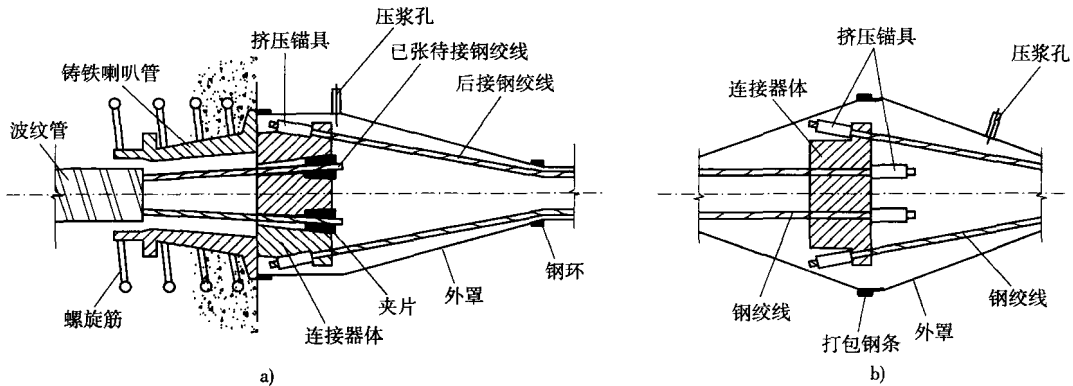


图 1-9 连接器构造

a) 锚头连接器; b) 接长连接器

上述各种锚具的设计参数和锚具、垫板、波纹管及螺旋筋等的配套尺寸,可参阅相应生产厂家的产品说明。

#### 4. 其他预应力设备

连续梁桥设计与施工中需要的其他预应力设备有制孔器、穿索机及压浆机等。

后张预应力制孔器主要有两种:抽拔橡胶管和金属波纹管。现在国内连续梁桥施工中大多采用波纹管制孔。

穿束机用来代替人工穿预应力钢束,最大水平传送距离为 150m。

水泥浆用以灌注筋束张拉锚固后的孔道,主要作用是防止钢束锈蚀,并使筋束和梁体混凝土形成整体。水泥浆的水灰比为 0.4~0.45,如加入适量减水剂可降低水灰比 10%~15%,另外宜在水泥浆中加入适当的微膨胀剂,膨胀率应不大于 5%,水泥强度等级不应低于 42.5 级,水泥浆强度等级最好与梁体混凝土强度等级相同。

压浆机是孔道灌浆的主要设备,可压送的最大水平距离为 150m,最大竖直高度为 40m。

## 第二节 施工方法

预应力混凝土连续梁桥在施工过程中常常会出现体系转换,因此施工阶段的应力与变形必须在结构设计中予以考虑。不同的施工方法,在施工各阶段的作用效应也不同,有时结构的控制内力出现在施工阶段。所以,对连续梁桥,设计与施工是不能也无法截然分开的,结构设计必须考虑施工方法、施工内力与变形,而施工方法的选择应与设计要求相匹配,形成设计与施工互相制约、相互配合的关系。

我国建造预应力混凝土连续梁桥的方法很多,常用的施工方法有:支架就地浇筑施工、悬臂施工、逐孔施工和顶推施工。其中悬臂施工通常分为悬臂浇筑和悬臂拼装,而悬臂浇筑按施工受力图式又有挂篮悬臂浇筑和桁式吊悬臂浇筑之分;逐孔施工通常分为预制梁逐孔安装、支



架组拼预制节段逐孔施工和支架逐孔现浇施工,而逐孔安装施工按施工受力图式又有简支—连续施工和悬臂连续施工之分。为配合以后各章设计实例,下面简要给出满堂支架浇筑施工、挂篮悬臂浇筑施工、预制简支—连续施工、支架逐孔现浇施工及顶推施工的一般方法和主要特点。

## 一、满堂支架浇筑施工

满堂支架浇筑施工为在支架上安装模板,绑扎、安装钢筋骨架,预留孔道,现场浇筑混凝土,并施加预应力的方法。预应力混凝土连续梁桥采用满堂支架浇筑施工,需要在连续梁桥的一联各跨均设支架,一联施工完成后,整联卸落支架。因此,结构在施工中不存在体系转换,不产生恒载徐变二次力。采用该法施工的适宜跨径为 20~60m,最大可达 150m。

就地浇筑施工,支架是关键。国内连续梁桥施工常用的支架形式有立柱式、梁式和梁柱式,如图 1-10 所示。支架均可采用钢制标准杆件。支架虽为临时结构,但要承受桥梁的大部分恒载,因此必须有足够的强度和刚度,同时,支架的基础要可靠,构件结合要牢固,要有足够的纵、横、斜连接杆件,使支架成为整体。位于河道中的支架,应充分考虑洪水和漂流物的影响。另外,支架受荷载后有变形和挠度,安装前要经过计算设置预拱度,使桥梁结构的外形尺寸和高程符合设计要求。同时,要设置落架设施,确保落架对称、均匀,不使主梁产生局部受力。

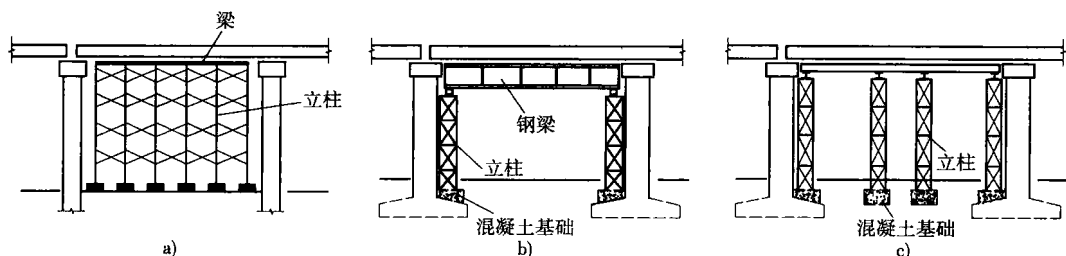


图 1-10 支架构造

a) 立柱式; b) 梁式; c) 梁柱式

混凝土浇筑方式是支架施工的另一关键所在。以大跨径预应力混凝土箱形截面连续梁桥为例,混凝土浇筑可分多种方式进行。一种是水平分层浇筑,即先浇筑底板,待达到一定强度后浇筑腹板,最后浇筑顶板。水平分层浇筑法用于工程规模较大时,各部位还可分数次浇筑。另一种是分段施工法,即根据施工能力,每隔 20~45m 设置连接缝,一般设在梁的弯矩较小区域,连接缝宽 1m 左右,待各段混凝土浇筑后在接缝处合龙。需要强调,无论采用何种浇筑方式,均需在浇筑混凝土前预压支架,预压重量为梁重的 1.2 倍,预压至少需稳定 15d 左右,且在预压支架及浇筑混凝土期间,应做好对支架基础及地基的保护,使基础和地基免遭雨淋水泡发生不均匀沉降。

满堂支架浇筑施工具有以下特点:

- (1) 施工平稳可靠,不需大型起重设备。
- (2) 桥梁整体性好,施工时无体系转换,不产生恒载徐变二次力,施工方便。
- (3) 需要大量施工支架,跨河搭设影响通航与泄洪,跨路搭设影响交通。

(4)施工期长,施工费用高,施工场地占用大,施工管理复杂。

## 二、悬臂施工

悬臂施工包括悬臂浇筑和悬臂拼装。

挂篮悬臂浇筑是在桥墩两侧对称逐段浇筑混凝土、张拉预应力筋、移动挂篮、立模绑扎钢筋等循环连续施工,直至合龙形成连续梁桥。常用跨径为 40~120m,国内目前最大已达 270m。悬臂施工是国内外大跨径连续梁桥的主要施工方法之一。

### 1. 悬臂浇筑施工程序

预应力混凝土连续梁桥按施工程序不同,有下列三种情况。

#### 1) 逐跨连续悬臂施工

逐跨连续悬臂施工程序如图 1-11 所示。

第一步:首先从 B 墩开始进行悬臂施工。

第二步:岸跨边段合龙, B 墩临时固结释放后形成单悬臂梁。

第三步:从 C 墩开始进行悬臂施工。

第四步:BC 跨中间合龙,释放 C 墩临时固结,形成带悬臂的两跨连续梁。

第五步:从 D 墩开始进行悬臂施工。

第六步:CD 跨中间合龙,释放 D 墩临时固结,形成带悬臂的三跨连续梁。

第七步:岸跨边段合龙,完成四跨一联的连续梁施工。

对于多跨连续梁仍可按上述程序,从一端开始向另一端进行。逐跨连续悬臂施工经历了悬臂施工阶段,施工过程中需要有体系转换,这就是悬臂施工法的基本要点。逐跨连续悬臂施工可以利用已建结构在桥面上运输,故机具设备、材料、预制节段的运输简捷。此外,每完成一个新的悬臂并在跨中合龙后,结构的稳定性和刚度不断加强。因此常在多跨连续梁或较长的大跨桥上使用。

#### 2) T 构—单悬臂—连续施工

T 构—单悬臂—连续施工程序如图 1-12 所示。

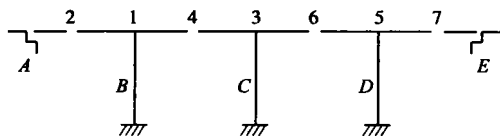


图 1-11 逐跨连续悬臂施工程序

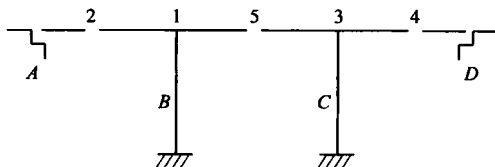


图 1-12 T 构—单悬臂—连续施工程序

第一步:首先从 B 墩开始进行悬臂施工。

第二步:岸跨边段合龙,释放 B 墩临时固结,形成单悬臂梁。

第三步:C 墩进行悬臂施工。

第四步:岸跨边段合龙,释放 C 墩临时固结,形成单悬臂梁。

第五步:BC 跨中段合龙,形成三跨连续梁结构。

多跨连续梁的中段合龙可以 2~3 个合龙段同时施工,也可以逐个进行。按这一程序施工可使结构稳定,受力对称,并便于结构内力调整,但需注意当边段合龙, B 墩临时固结尚未释放