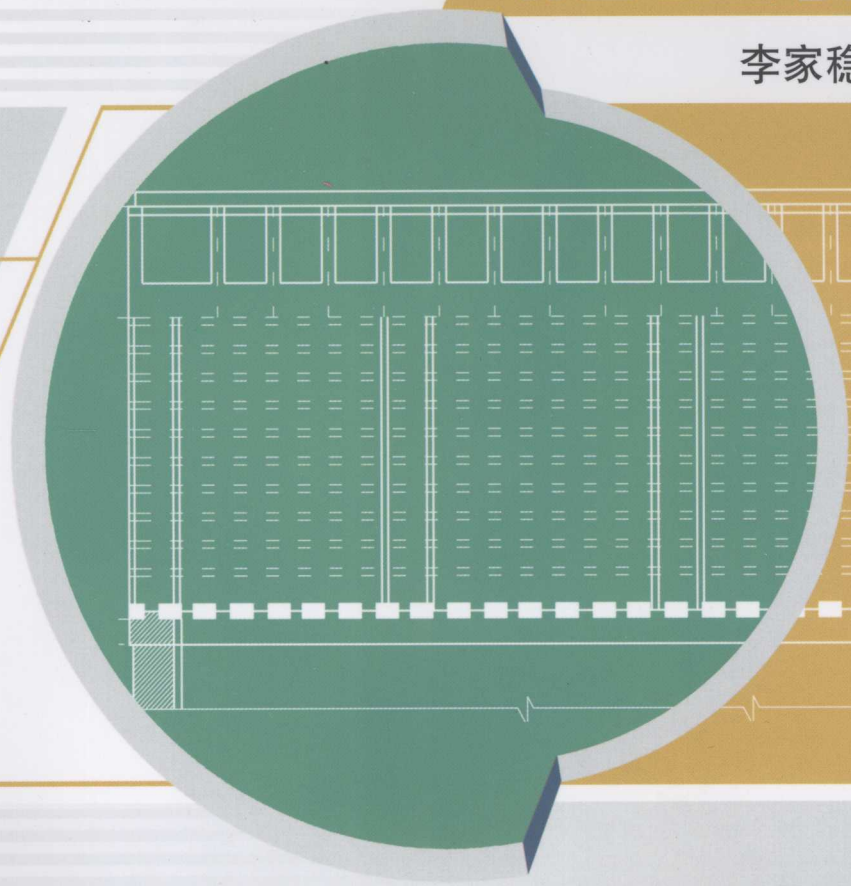


KUANGJIAQIAO
DUNGOUFÀ
SHIGONG JISHU

框架桥盾构法

施工技术

李家稳 编著 ■



框架桥盾构法施工技术

李家稳 编著



中国铁道出版社

2012年·北京

内 容 简 介

本书介绍了框架桥盾构法施工的概念,系统地分析了框架桥盾构法结构的设计方法,对框架桥盾构法施工的技术及施工中特殊处理技术和监测技术等进行了全面论述。

本书可供铁路和公路工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

框架桥盾构法施工技术/李家稳编著. —北京:
中国铁道出版社, 2012. 11
ISBN 978-7-113-15388-5

I. ①框… II. ①李… III. ①刚构桥—盾构法—桥梁
施工 IV. ①U448.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 234519 号

书 名:框架桥盾构法施工技术
作 者:李家稳 编著

策 划:张 婕
责任编辑:张 婕 编辑部电话:(010)51873141 电子信箱:crph_zj@163.com
编辑助理:邱金帅
封面设计:崔丽芳
责任校对:胡明锋
责任印制:陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)
网 址:<http://www.tdpress.com>
印 刷:三河市华业印装厂
版 次:2012年11月第1版 2012年11月第1次印刷
开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:11.5 字数:264千
书 号:ISBN 978-7-113-15388-5
定 价:35.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

联系电话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

前 言



近 10 年来,我国经济建设的发展对交通业的需求日益高涨,新建的公路、城市道路日趋增多,不可避免地出现与既有公路、铁路形成交叉通行的状况。由于上跨结构受到用地范围、城市规划及工程造价等因素的制约,促进了下穿框架桥顶进工程的飞速发展。

下穿的框架桥结构,在顶进施工时,框架桥上的既有铁路或公路运行将受到一定的限速影响,这对铁路或公路的运行是十分不利的,既影响行车速度,又带来不安全因素,而采用框架桥盾构法施工技术能有效地避免这些问题。框架桥盾构法施工技术的特点是在框架桥顶进施工前,先在框架桥前端制作好与框架桥结构类似的盾构体,将盾构体上面的子盾构分次顶进路基内,然后再顶框架桥并推动前端的盾构体一起顶进路基内,这种顶进过程循环往复直至将整个框架桥顶进到位。在顶进过程中框架桥盾构体起到保证路基稳定、提高线路安全的作用。

本书全面、系统、详细地介绍框架桥盾构法施工的概念及框架桥盾构体的设计方法和施工过程中需要解决的一系列问题。主要突出在以下几个方面:一是结合最新规范,讨论多种工况下盾构的受力情况,来对盾构进行设计;二是详细讲解框架桥盾构各组成部分在施工中的施工工艺和注意要点;三是介绍了盾构体的一些特殊施工技术是如何保证工程顺利完成的,以及实际工程的监测方法;四是结合多个工程实例介绍了近几年在框架桥盾构体设计与施工中常见的工程问题和相应的解决方法与措施。

本书在编写过程中,得到北京中科智邦软件设计院的张海燕博士及北京科宝华软件开发有限公司的李邦德,北京交大建筑勘察设计院有限公司的王雅菲、温贵琼、李达、齐会珍、曾晓敏、田启明,北京方达工程管理公司总监李家道,以及研究生郭建波、陈旭、马中建、刘翰林、张丽君、郑海龙、李仁涛等的大力支持。同时文中还引用了有关框架桥盾构体顶进施工方面的专著和论文,在此谨向原作者致谢。由于作者水平有限,书中难免有错误、不当之处,敬请读者批评指正。

编 者
2011 年 5 月

目 录

④ ④ ④ ④ ④

| | |
|----------------------------------|-----|
| 第一章 概 述 | 1 |
| 第一节 框架桥顶进法施工的发展过程 | 1 |
| 第二节 框架桥盾构法施工过程 | 3 |
| 第三节 框架桥盾构法设计原则 | 5 |
| 第二章 框架桥盾构法设计技术 | 6 |
| 第一节 主盾构设计 | 6 |
| 第二节 子盾构设计 | 21 |
| 第三节 反拉系统设计 | 23 |
| 第三章 框架桥盾构法施工技术 | 27 |
| 第一节 框架桥盾构法施工简介 | 27 |
| 第二节 框架桥盾构法顶力计算 | 29 |
| 第三节 工作坑设计 | 31 |
| 第四节 工作坑支护设计 | 33 |
| 第五节 滑板制作 | 51 |
| 第六节 后背设计 | 54 |
| 第七节 桥身预制技术 | 64 |
| 第八节 盾构组拼 | 72 |
| 第九节 盾构顶进 | 73 |
| 第十节 盾构拆解 | 77 |
| 第十一节 线路加固 | 80 |
| 第四章 框架桥盾构法施工的一些特殊技术 | 89 |
| 第一节 管棚支护法 | 89 |
| 第二节 地基加固处理技术 | 91 |
| 第三节 施工过程中的降水、排水技术 | 99 |
| 第四节 顶进纠偏技术 | 114 |
| 第五节 顶进过程中“扎头”的处理 | 114 |

| | |
|--|-----|
| 第五章 拼装式盾构桥技术 ····· | 119 |
| 第一节 拼装式盾构桥概念····· | 119 |
| 第二节 盾构桥构件的标准设计技术····· | 120 |
| 第三节 盾构体总体尺寸标准化设计技术····· | 123 |
| 第六章 框架桥盾构法施工监测与检测技术 ····· | 125 |
| 第一节 概 述····· | 125 |
| 第二节 框架桥的监测····· | 127 |
| 第三节 墩柱与横梁应力监测····· | 129 |
| 第四节 墩柱与横梁变形监测····· | 133 |
| 第五节 线路沉降和横移监测····· | 136 |
| 第六节 铁路路基边坡····· | 137 |
| 第七节 工作坑围护结构····· | 138 |
| 第七章 框架桥盾构法施工应用案例 ····· | 141 |
| 第一节 郑州市文化北路下穿连霍高速公路立交桥(下穿公路)····· | 141 |
| 第二节 长沙市人民东路延长线下穿京珠高速公路盾构法施工(下穿公路)····· | 149 |
| 第三节 新余市人民北路下穿沪昆铁路盾构法施工(下穿铁路)····· | 152 |
| 第四节 南昌市丰和北大道下穿京九铁路框架桥施工(下穿铁路)····· | 156 |
| 第五节 九江市周访路下穿京九铁路盾构法施工(下穿铁路)····· | 161 |
| 第六节 乌鲁木齐市中亚北路下穿乌准铁路盾构法施工(下穿铁路)····· | 165 |
| 第七节 萍乡市滨河路下穿沪昆铁路盾构法施工(下穿铁路)····· | 170 |
| 第八章 展 望 ····· | 173 |
| 参考文献 ····· | 177 |

第一章 概 述

第一节 框架桥顶进法施工的发展过程

随着经济发展,城市化发展越来越快,城市人口逐渐密集,只有城市交通运输的现代化,才能确保城市道路畅通无阻,这是衡量一个城市是否现代化的尺度之一。近代城市的发展,是伴随着铁路运输而兴起的,但是铁路发展也随之成为城市交通的障碍。因为当铁路线纵贯城市时,多数城市干道需要与铁路交叉,这些交叉道大多采用平面形式,既对城市交通的干扰很大,也影响城市交通安全,更不利用应急和战备的需要。因此,如何在运营车次频繁的铁路线上修建立交桥,则是迫切需要解决的问题。

我国在 20 世纪 60 年代发展起来的既有铁路线下修建框架桥采用顶入法施工,解决了我国多年来铁路与城市道路在交通运输上难以解决的矛盾。框架桥采用顶入法施工,既可以避免修建便线、便桥,又能够最大限度地避免对行车的干扰,从而达到保证铁路运输,节省工程造价的目的。其优越性已广泛地被人们所认同,此种施工工艺也越来越多地在线路上得到应用。

根据道路与被交路面位置的不同,立交的方式可以分为两大类:道路在被交路的路面结构以上通过的方式称为上跨立交方式;道路在被交路的路面结构下部穿过的方式称为下穿式立交方式,或者更通俗的称之为地道桥,其结构形式一般采用框架桥的方式。修建时,需拆迁地下管线,附属工程量大,且设计时应注意净空、通风、照明、排水和防冰(严寒地带)等要求。

一、顶进施工技术

随着技术的发展,框架桥顶进工艺不断地改进和完善,顶进框架桥的尺寸由小到大,孔数由单孔、双孔、三孔到四孔连续框架,由横向分节顶进到四孔整体顶进,顶部覆土逐渐由厚到薄,甚至到完全可以架空顶进;框架桥与铁路的交角由正交发展到斜交,顶进方法也由顶入法发展到对顶法、顶拉法、牵拉法、中继间法等。

一次顶入法也称整体顶入法,它是指桥体整体预制,纵向不分节、横向不分体,从桥体顶进到桥体就位一气呵成。一次顶入法不论桥涵位置正交、斜交,还是覆土厚薄,一般都能一次顶入就位。铁路一侧一次整体顶入法是按公路的规划位置和铁路线路平面位置,在线路一侧设置工作坑,坑底做滑板,按穿越铁路股道的多少、净宽、净高要求,在滑板上预制一个单孔或多孔钢筋混凝土框架桥,框架桥的前端做成突出的刃角,再在离框架桥尾部不远处修筑后背,然后在后背梁与框架桥底板之间安设千斤顶(或称顶镐),同时对铁路进行加固,最后顶镐借后背的反力将框架桥顶入路基。顶进时,框架桥前端刃角处不断挖土,随顶随挖,直至框架桥全部顶入路基为止。

对顶法是在铁路两侧各挖一工作坑,将框架桥分成两半,分别在两侧工作坑内预制,并修筑后背,同样凭借后背反力将框架桥顶入路基。桥身接口(对扣)的位置应选择在铁路两股道之间,以利列车运行和逐次拆卸钢刃角以顶进另侧桥身就位,并便于设置沉降缝。拆除钢刃角时,应注意避免发生塌方,最好将刃角分块安装,拆除时即可分块进行。小型框架桥,若路基土质较好,可以不设刃角。

顶拉法是根据中继间的原理,将后节桥体与前节桥体以钢筋拉杆相连,使前后节桥体互为后背,交替顶进,即以后节桥体为后背顶进前节桥体,继而以前节桥体为拉杆锚固点拉进后节桥体,如此将分节的桥体拉入路基的方法。当框架桥穿越股道较多,桥身较长,顶部无覆盖土或土层不厚,在顶进时能将线路架空时,采用顶拉法较为合适。一般中、小型框架桥采用顶拉法施工效果较好,对于后背修筑困难的情况,顶拉法更显示出其优越性。

牵引法是将顶进施工的千斤顶安置在要顶入的结构物前方,通过钢绞线将置于对面的结构物拉入路基中的方法。为此,牵引法也称“前置千斤顶法”或“拉入法”。牵引法的特点:不必专门建筑后背,可利用下一步待牵引的结构物或原路基等当后背,由于不必设专门的后背,因而,能在无法修筑后背的地段或环境比较狭窄的地带施工;方向性较好;覆土极薄的地方也能施工;采用分段牵引法时,可用较小的牵引力进行大型结构物的施工。

当穿越多股线路时,因框架桥轴向长度较长,顶进时所需顶力较大,后背设备增多,此时宜将框架桥分节预制,在节间设置中继间,将框架桥接力顶进。

将桥身轴向分节预制,在工作坑后端修建小型后背,各节桥身间设中继间,各节桥身之间和末节桥身与后背之间均安设千斤顶,然后由前至后依次逐节驱动千斤顶,逐节推动桥身。后背处的千斤顶回收后,安放顶铁,再开始第二次顶进,依次往复循环顶进,直至桥身顶进就位。由于逐节顶进桥身,故后背的最大反力仅为最后一节桥身的顶力,使后背工程大为简化。此法的优点是后背小,顶进设备用量少,不需要拉锚设备,桥身预制简单,而且桥身的分节顶进比顶拉法自由,还可以克服因桥身过长而纵向配筋增多的问题。当受地形限制,不能沿桥身轴线分节预制时,还可以沿线路横向排列分节预制。例如桥体分3节预制,将中间沿顶进轴线排列的第1节先顶入路基,然后将第2节横移至顶进的轴线位置上,安装第1个中继间,待第2节顶入路基后再横移第3节就位,安装第2个中继间,再继续顶入路基,直至全部桥身就位。由于具有上述优点,故在桥身长、顶力过大,或受场地限制无法修建大型后背的情况下中继间法被广泛采用。

二、框架桥盾构法的发展过程

用顶进法修建框架桥,起源于施工地点无法开槽施工,是地下工程穿越地面障碍的一种施工方法,所以,也称作不开槽施工法。自20世纪50年代以来,不开槽施工法先是用于修建圆形管线,而在修建城市框架桥中的广泛应用,则是近十几年的事。

我国采用顶进法来修建穿越铁路的框架桥开始于1964年,该年哈尔滨市在某一工程中顶进了宽2.4 m、高1.8 m、长35.5 m的排水框架桥。1965年天津市用牵引法在铁路下顶入了一个宽1.6 m、长16 m的框架桥;同年,郑州铁路局在京广线上顶进了宽2 m、长20 m的框架桥;石家庄市在德太铁路线下用架梁的办法,推进了一座宽3.2 m、长11.7 m的框架桥作人行道;北京市在某一立交桥扩建中也推入了一个宽4 m的框架桥作为人行道。第一

座能通行机动车的框架桥则是 1966 年在天津市建成的,该工程用顶墩拉梁法建成了一个具有两个 2 m 宽的人行道和两个 5.5 m 宽的车行道,净高为 4.2 m 的地道桥,使顶入法进而推广应用到框架桥的施工。1967 年天津市直接以单个箱形框架作为框架桥的主体结构,分次顶入了具有两个 5 m 人行道(包括非机动车道)及两个 7 m 车行道的适合城市道路规模的框架桥。1968 年在地形狭窄的地区,将一个 5.5 m—9 m—5.5 m 三孔连续的箱形框架结构一次顶入铁路。自此,采用顶入法修建框架桥日益广泛。

20 世纪 60 年代后期到现在,可称为用顶进法修建框架桥蓬勃发展的时期,1966 年闻名的东风框架桥在天津市建成。北京地区顶进了一连串的框架桥,其中包括我国最大跨度的西大望框架桥(8.15 m-16.3 m-8.15 m,1973 年)以及广渠门(6 m-14.5 m-6 m,1971 年)、城子镇(6 m-14.5 m-6 m,1971 年)等大型框架桥,上海市也建成了军工路框架桥(4.5 m-14 m-4.5 m,1975 年)。20 世纪 80 年代开始,框架桥技术有了更大的发展。仅 1980 年就顶进完成我国最大一级跨度的天津红旗路框架桥(8 m-16 m-8 m)、沈阳南八街框架桥(8 m-16 m-8 m)、呼和浩特呼仑路框架桥(8.15 m-16.3 m-8.15 m)以及北京三环路纪家庙框架桥(9 m-11.75 m-9 m)共四座。事实证明,用顶进法修建立交框架桥具有强大生命力,框架桥技术达到了新的水平,顶进法的优越性已为人们所认识。

框架桥顶进法的施工越来越被人们所认识,适合中国国情的发展。

“框架桥盾构法”施工是一种较为先进的顶涵施工方法,是在保留传统顶涵施工,即桥涵结构路侧预制工艺的基础上,对结构顶进支护方法进行了重大改革。它将明挖开槽改为地下暗挖盾构支护,使用暗挖推进,减低了施工对行车的影响。

我国从 2000 年施工的广深线 K68+399.12 石龙站 1-4 m 人行地道接长工程使用的钢棚箱出现框架桥盾构的雏形开始,到 2004 年成功施工长沙市人民路东延长线一期穿越京珠高速公路框架桥工程,2006 年新余市成功施工人民北路下穿沪昆铁路框架桥工程、南昌市施工阳明路下穿京九线框架桥工程、漯河市施工河南省常付公路 K323+090.24 顶进涵,到最近的 2008 年施工的萍乡市滨河路下穿框架桥、2009 年施工的南昌市丰和北大道下穿框架桥等,都取得了比较明显的经济和技术效益,其施工工艺已经随着工程实施的不断深入而得到了逐步的完善,许多科技工作者也从不同的侧面展开了对该种新方法的研究,使其技术日臻成熟。

第二节 框架桥盾构法施工过程

框架桥盾构法施工中前端的组合钢结构部分我们称为“盾构体”,盾构体由钢柱、钢梁、盾壳、子盾构、液压推进系统、辅助机构六大部分组成。装配在第一节框架桥前端的盾构,作为带土顶进时掘进面与路基的施工支护,同时也担负顶推导向。根据不同地质情况设计盾构长度以确保中心土天然支护作用是框架桥盾构法施工的关键。

盾构法顶进框架桥施工时,施工前期工作与普通施工方法相同,主要为以下几个方面:施工准备、基坑开挖及滑板制作、框架桥身预制、后座制作等。

框架桥工程采用框架桥盾构法施工,掘进时,每组子盾构由 1 名工人配合修整掘进面、出土以及盾构母体推进时对子盾构套入桥体状态的监视。子盾构作业为人工配合机械,视挖掘面土体的自稳能力而定,有先顶后挖、边顶边挖、先挖后顶三种掘进方式。

盾构墩柱设计为多层,每层土体由1名工人完成掘进,每组墩柱由4人担负出土、顶推监视工作。大断面中心土采用挖机掘进与装车,自卸汽车外运弃土。

图1—1所示为框架桥盾构法使用设备框架桥盾构机的横断面示意图。因为横向断面呈桥梁形,所以取名为框架桥盾构机。

框架桥盾构机的施工工序如下:

(1)小断面矩形子盾构分别掘进至设计深度;

(2)内部土砂的掘削(普通掘削机械切削内部土砂);

(3)框架桥盾构机整体向前推进;

(4)轮廓躯体的构筑(预制件拼装或框架顶进);

(5)(1)~(4)工序循环,至掘进完成;

(6)内部构筑(二次衬砌)。

框架桥盾构具体的施工过程如下:

1. 开挖工作坑

工作坑是预制和顶进框架桥的工作基地。工作坑内设有滑板,其上铺设润滑隔离层,框架桥在工作坑内预制。框架桥顶进工作能否顺利进行与工作坑的布局有很大的关系。

2. 修筑滑板、设置润滑隔离层

滑板是顶进工艺极为重要的设施,除了要求具有一定的强度和刚度外,还要求有较高的平整度,以便在润滑隔离层的作用下,使框架桥易于启动,并脱离滑板而滑进。当浇筑框架桥底板时,过大的启动力会使滑板拉断并被框架桥带走,造成严重的工程事故。

3. 预制框架桥和组拼盾构

按设计要求及施工规范,在滑板油毛毡隔离层上绑扎钢筋以预制钢筋混凝土框架桥,并对盾构体进行组拼安装。

4. 修筑后备墙

后备墙是顶进的依托,应该做到牢固可靠,以保证顶进的顺利进行。

5. 安设顶进设备和反拉系统

顶进设备分液压系统和传力设备两部分。液压系统由高压油泵、控制阀、调节阀、千斤顶、油箱、油管压力表等组成。千斤顶规格和数量由桥身计算顶力和桥体底板宽度决定,通常选用双作用、卧式、起重力为150~200t、顶程1.0m的千斤顶为宜,其顶力可按额定顶力的70%计算,还有适当的储备。千斤顶的布置应以框架桥中心线为轴,对称布置。传力设备由顶铁、顶柱、横梁组成。

6. 线路加固

框架桥顶进施工中,必须对铁路线路进行加固,实时对线路变化进行观测,做到有变即调,确保线路行车安全。

线路加固必须根据铁路线路、桥尺寸、材料设备、施工环境等因素来确定加固形式。常见的有三种:吊梁、扣轨梁加固;纵挑横抬加固;低高度便梁加固。框架桥盾构法线路加固一般采用第一种。



图1—1 框架桥盾构横断面图

7. 试顶

8. 启动顶进

启动时,需逐渐加压,并对设备及滑板、后备墙等进行检查。启动后要掌握好框架桥顶进方向,用全站仪实时观测框架桥的方向及高程变化,并注意及时纠偏,以保证顺利地把框架桥按设计要求的位置顶入路基。

9. 盾构拆解

框架桥顶进到位后,进行盾构体的拆解。

第三节 框架桥盾构法设计原则

盾构法设计原则一般为在高速公路项目中以保障安全通行为目的,对支承框架桥顶部的恒载、行车动载以及保护掘进面路基土体稳定性至关重要,采用网格法原理,把高速公路路堤化整为“零”。其含义为:设置多个墩柱将掘进面分隔开,且每个墩柱又分隔为多层的网格形状;盾构上部最前端设置若干子盾构、相互之间独立作业,将掘进面的整体开挖化解为单一开挖。掘进面的开挖分为三个部分:子盾构箱内土体开挖;墩柱内土体开挖;中心土开挖。通过盾构钢结构部分的受力分析,进行钢结构的设计、制作;通过盾构部分荷载计算,确定千斤顶外形尺寸及规格。

框架桥盾构法施工技术的关键就是利用中心土作为架空支撑载体,以实现路基架空加固的作用。其作用一是承受上部荷载(恒载+动载),就是利用公路夯实的路基土承载力较高的特性作为支撑,以实现路基架空加固的作用;二是平衡侧向土压力。通过上述技术成功解决了公路路堤架空加固的技术难题。

框架桥盾构法的原理为:盾构体中的子盾构由液压系统控制,单台组错开推进,相邻子盾构不得同步推进,同时人工等截面挖除盾构桥体、立柱前端部分土体(每次约0.4~0.5 m长度)、挖掘机刷中心土坡面及清除框架底板前方部分土体。在推进框架桥前应对减阻板实施预反拉,当盾构体随框架桥同步推进时,应对减阻板施加足够反拉力,使减阻板处于相对静止状态,控制减阻板上的路基、道床不产生横向位移,此时子盾构原推出部分被掘进面土体阻挡,子盾构与子盾构桥体作相对运动,退回桥体内,即完成盾构掘进一个工作循环。为确保行车安全,采用本盾构法顶进施工,必须严格遵循顶进不行车、行车不顶进原则。

盾构法在框架桥等结构物的顶进工程中,经实践证明,其效果是显著的。盾构法具有不间断通行、不限跨径、施工安全、地质条件受限制小以及缩短施工周期等优点。而任何一项先进技术都有一定的局限性:盾构全部由钢材经现场切割焊接而成,因重量大在运输、吊装中易产生形变;现场制作易造成较大误差,对技术工人的技能水平要求较高,安装不当易造成较多的返工工作;盾构全部为钢结构,重复利用次数少,一次性投入大(盾构本身的制作成本较高)。

针对其缺点可以进一步提出改进措施,盾构可由现场制作、焊接连接的方式改进为半成品构件拼装连接,组装构件能够在工厂集中制作,同一构件制作多种尺寸以适应不同的顶进结构,而改进方向及内容须在设计、验算的基础上经过实践检验。

第二章 框架桥盾构法设计技术

第一节 主盾构设计

一、主盾构构成

框架桥盾构主体由主梁、钢支柱、主盾构侧板和盖板及其连接件组成。它设置于框架桥前端,形成盾构体的主体围护和支撑体系。设置于盾构中部的格构式钢支柱连同其顶部和底部的纵向托梁是盾构体的竖向支撑体系,将顶部横梁的竖向荷载传递至路基土体;设置于盾构两侧的格构式钢支柱连同其顶部和底部的纵向托梁不仅承受盾构体的竖向荷载,而且承受侧面盾壳传递来的土体侧压力;主梁支撑于钢支柱上部,沿盾构横向设置,承受上部盾壳传递的土体压力,并传递给钢支柱;在主梁间沿盾构纵向设置中间纵向支撑,不仅提高主梁的横向稳定性,而且承受盾构顶进时的顶进力。图 2—1 为盾构体的立面和剖面图。

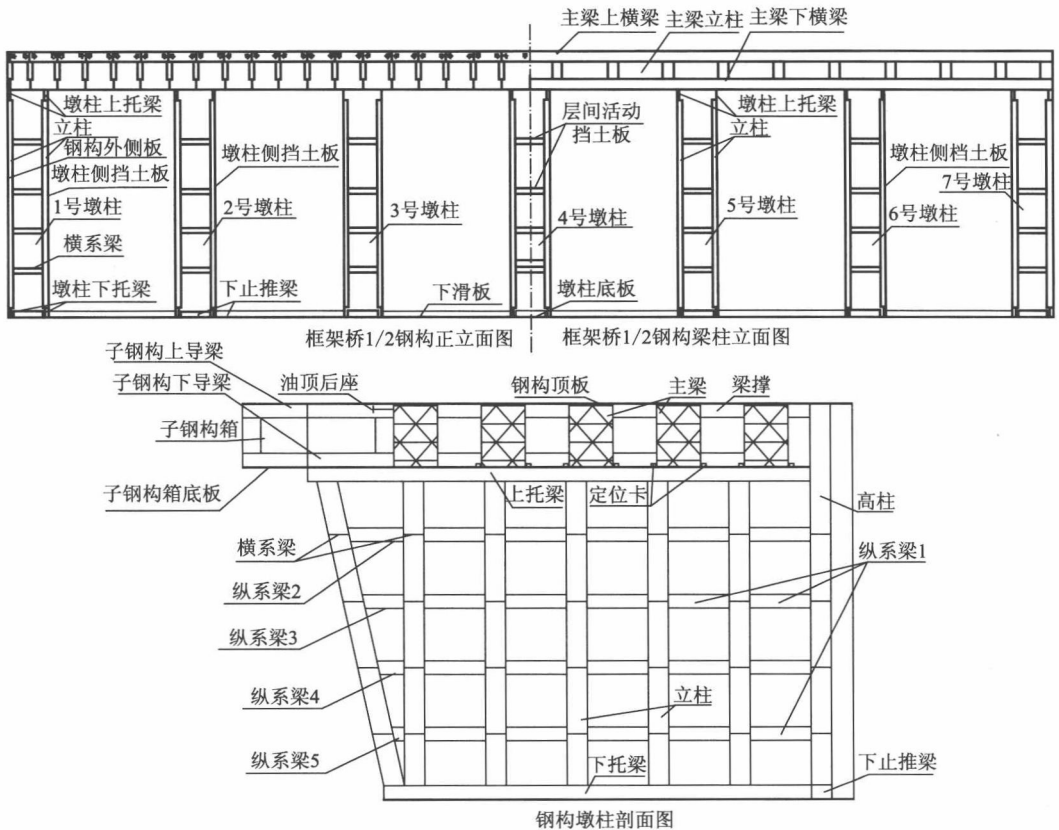


图 2—1 主盾构体

二、主盾构设计原理

(一) 设计荷载

根据《铁路桥涵设计基本规范》(TB 10002.1—2005,以下简称《桥规》)中的规定,应考虑表 2—1 所列荷载,并按其可能的最不利组合情况进行计算。

当比较后,如果用主力和附加力的组合作为设计荷载时,应将材料基本容许应力和地基容许承载力乘以不同的提高系数。

列车活载按“中—活载”考虑,公路活载按交通部现行的《公路工程技术标准》规定的全部活载的 75% 计算,但对仅承受公路活载的构件,应按全部公路活载考虑。

1. 恒载

(1) 结构自重

结构物重力及桥面铺装、附属设备等外加重力均属结构重力密度,当缺乏实际资料时,常用材料重力密度可按表 2—2 选用。

表 2—1 荷载类型

| 荷载分类 | 荷载 |
|------|---------------------------------|
| 恒载 | 结构构件及附属设备自重 土压力 |
| 活载 | 列车竖向静活载 公路活载(需要时考虑) 活载土压力 |
| 附加力 | 制动力或牵引力 温度变化的影响 |

表 2—2 材料容重表

| 材料种类 | 容重(kN/m ³) | 材料种类 | 容重(kN/m ³) |
|-------------------|------------------------|-----------|------------------------|
| 钢 | 78.5 | 铸铁 | 72.5 |
| 钢筋混凝土(配筋率在 3% 以内) | 25.0 | 混凝土和片石混凝土 | 23.0 |
| 浆砌粗料石 | 25.0 | 浆砌块石 | 23.0 |
| 浆砌片石 | 22.0 | 干砌片石 | 20.2 |
| 填土 | 17.0 | 填石(利用弃砷) | 19.0 |
| 碎石道砟 | 21.0 | 浇注的沥青 | 15.0 |
| 压实的沥青 | 20.0 | 不注油的木材 | 7.5 |
| 注油的木材 | 9.0 | | |

注:(1)钢筋混凝土中配筋率大于 3% 时,其容重为单位体积中混凝土(扣除所含钢筋体积)自重加钢筋自重。

(2)直线上双侧人行道铺设木步行板时容重采用 8 kN/m,铺设钢筋混凝土或钢步行板时采用 10 kN/m。

(3)当全跨度上的竖向恒载不均匀,但实际的不均匀值与平均值相差不大于平均值的 10% 时,可按均匀计算。

(2) 土的侧压力

作用在盾构体两侧的土体侧压力,按库伦理论(楔体极限平衡理论)推导的主动土压力计算公式进行计算。

$$q = \gamma \cdot h \cdot \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (2-1)$$

式中 q ——单位面积上的主动土压力(kN/m²);

γ ——土体的容重(kN/m³);

φ ——土体的内摩擦角(°);

h ——计算主动土压力点以上的土体高度(m),如果上面不是土壤而是其他介质,还需按其不同容重予以折算。

由上式可知,土的侧向压力是按梯形分布的,浅处小,深处大,作用方向沿水平分布。因盾构两侧均有相等的土体侧压力,所以这种荷载是对称的。

2. 活载

(1) 列车活载

《桥规》第 4.3.1 条规定:铁路列车竖向活载必须采用中华人民共和国铁路标准活载,即“中—活载”。其计算图式如图 2—2 所示。

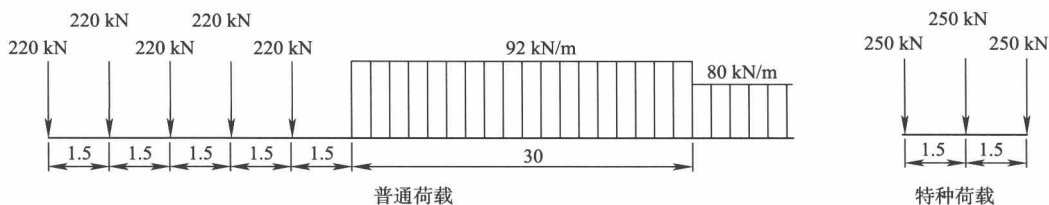


图 2—2 “中—活载”图式(距离以 m 计)

加载时,可由计算图式中任意截取,或采用特种活载。

《桥规》附录 C 中规定:对单符号影响线和多符号影响线的单独加载区段,不论影响线的形状如何,如影响线加载长度小于 3 m 而最大纵坐标位置在中间者,以及长度小于 1.5 m 而最大纵坐标位置在端部者,均按一个特种活载 250 kN 计算,但应符合《桥规》附录 C 表 C.0.1“中—活载的换算均布活载”中注 2 的规定(桥面上道砟及填料厚度大于 1 m 时可采用表列数值,但不得大于每线 165 kN/m)。

按《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》第 8.2.1 条规定:活载横向分布宽度 B 为:

①在轨枕底面上,由轨枕两端向下分布至结构顶板底,其坡线在道砟及顶板内为 1:1,如有覆土,在土层内为 1:0.5,如图 2—3 所示。

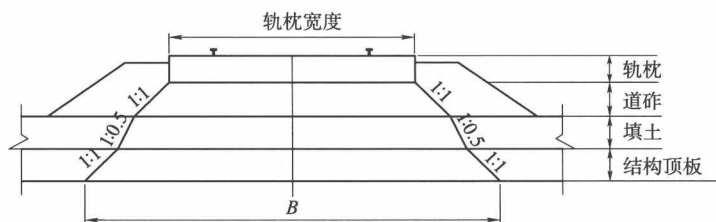


图 2—3 单线顶桥活载分布

②对双线及多线,如中间分布线无重叠,按单线处理,有重叠时,如图 2—4 所示。

③《桥规》第 4.3.9 条规定:同时承受多线荷载的桥跨结构,其列车竖向活载,双线时应为两线活载总和的 90%,三线及三线以上时应为各线活载总和的 80%,各线均假定按同样情况的最不利活载取值。

为了计算上的方便,上述的标准轴重荷载可以换算为均布荷载。《桥规》附录 C 列有铁路标准活载换算均布荷载表。它是加载长度 l 和影响线最大纵坐标位置 α 来决定的。以三角形影响线为例, $\alpha = \frac{\alpha l}{l}$,见图 2—5 所示。

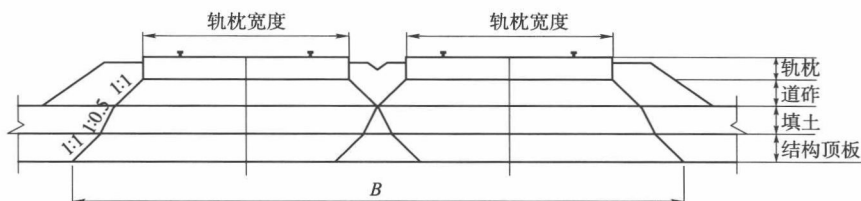


图 2—4 双线或多线顶桥活载分布

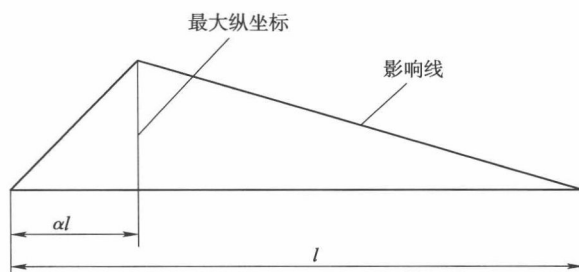


图 2—5 影响线

如果影响线是凹三角形和歪曲系数 γ 大于 1 的双向曲率的曲线,如图 2—6 所示,还要增加修改值 $E(\gamma - 1)\%$, 其中, $\gamma = \frac{A_0}{A}$, E 为系数:

$$E = \frac{1\,500}{30 + \lambda} - \frac{1\,500}{30 + \lambda^2} \quad (2-2)$$

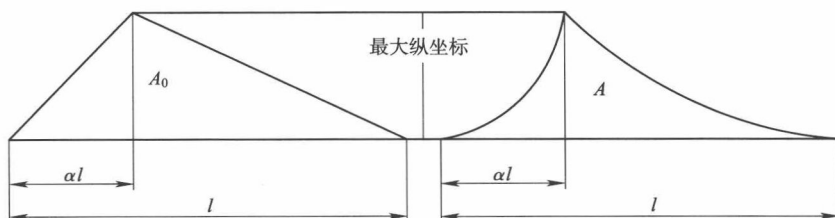


图 2—6 凹三角形影响线

式中 λ ——影响线加载长度(m)。

前面曾经说过,在计算中常常是把一定长度的框架结构切割出 1 延米的一条作为计算单元来考虑。这是为了计算简化,把一个原属空间结构的问题当作平面问题来处理。这样,对于列车活载就要按全桥线路数求出总的荷载,然后再按横向分布宽度求出每延米计算单元上的列车均布活载。

但是,在一个多线桥上,有时可能只有一线行车,有时也可能多线同时行车,由于每一种行车情况下列车活载分布宽度都不同,故当截取 1.0 m 宽作为计算单元时,就需要选取最不利的行车情况下,所产生的每延米的列车均布活载作为计算列车活载。

例如,按照三角形影响线加载长度及最大纵坐标位置 α , 从《桥规》附录 C 的表格中查得换算均布活载 K , 然后再分别按一线、二线和三线的线路数 N 、折减系数 η 和横向分布宽度 B , 计算出相应的每延米的列车均布荷载:

$$q_{\text{活}} = \frac{K \cdot N \cdot \eta}{B} \quad (2-3)$$

选取最大者作为计算值。由于三线以上一律按三线考虑,故只需比较一、二、三线三种情况即可。

(2) 冲击力

列车活载包括冲击力时,其值应按静活载所产生的力乘以冲击系数 $(1 + \mu)$ 来确定。《桥规》第4.3.5条中规定:刚架桥,其顶上填土厚度 $h \geq 1$ m(从轨底算起)时不计冲击力;当 $h < 1$ m时:

$$1 + \mu = 1 + \alpha \left(\frac{6}{30 + L} \right) \quad (2-4)$$

式中 $\alpha = 4(1 - h) \leq 2$;

L ——桥跨长度(m)。

(3) 列车活载所引起的水平土压力

列车活载作用于主体框架边墙上的侧向水平土压力 p 按下式计算:

$$p = \xi \cdot q_h \quad (2-5)$$

$$q_h = \frac{165}{2.5 + h} \quad (2-6)$$

式中 q_h ——在轨底以下深度 h (m)处,活载的竖向压力强度(kN/m^2);

ξ ——系数,填土时采用0.25~0.35,视设计的控制情况选用。

应当指出:列车可能从这一侧开来,也可能从那一侧开来,甚至是两列车从不同的侧面在两条线上对向开来。所以,列车活载所引起的土侧压力,可能是一侧的,也就是不对称的;也可能是双侧的,也就是对称的。因此,在进行荷载组合时要取其最不利的情况。

当进行内力分析时,只需按某一侧来车所引起的土侧压力计算。对双侧来车的情况,只需将两侧分别有土侧压力的内力叠加起来即可。

3. 附加力

(1) 制动力或牵引力

按《桥规》第4.3.7条的规定,制动力应按竖向静活载的10%计算。若制动力与冲击力同时考虑时,制动力可按静活载的7%计算。双线桥应采用一线的制动力;三线或三线以上的桥应采用两线的制动力。根据计算列车活载时的同样道理,制动力亦应按一线、两线折算为每延米的列车制动力,并取其大者。

制动力为水平力,其作用点在轨顶以上2 m。计算刚架时,移至顶板中线处,不计移动作用点所产生的力矩。

采用特种活载时,不计算制动力或牵引力。

(2) 温度变化的影响

按《桥规》第4.4.4条规定,桥涵各部件受温度变化而引起结构内力的影响,应根据当地情况与建造条件按相应的线膨胀系数计算。

钢筋混凝土的线膨胀系数 $\alpha = 0.000\ 010$,钢材的线膨胀系数为 $(12.1 \sim 13.5) \times 10^{-8}/\text{℃}$ 。

温度变化的幅度,可按当地气候条件决定。当地最高和最低月平均气温一般取7月份和1月份的平均值。

(二)设计工况

根据框架桥盾构体的工作情况,可以将盾构体的设计工况分为四个,以最不利工况对盾构体进行设计。

工况1:当列车接近框架桥时,停止顶进,受力如图2—7所示。在此工况下,盾构体主要承受竖向的土层荷载、铁路线路设备及道砟荷载、侧面的土压力荷载及上部车辆荷载传递至侧面造成的侧面土压力增大荷载。

上部主梁在竖向主要承受铁路线路设备、道砟等引起的荷载,纵向则承受由边立柱传递来的线路道砟设备、列车荷载引起的横向土压力,横向弯矩为最小,而纵向轴压力则接近最大值,有可能形成较大轴力、较小弯矩的不利工况。

盾构边立柱在横向主要承受线路设备及列车荷载所引起的侧向土压力,竖向则承受由主梁传递来的线路道砟设备重量,此时,立柱的轴向力最小,而其横向弯矩值接近其最大值,有可能形成较小轴力、较大弯矩的不利的受力工况。

中立柱主要承受上部道砟线路传递来的荷载,受力形式为轴向受压,压力值为其所受力的最小值。

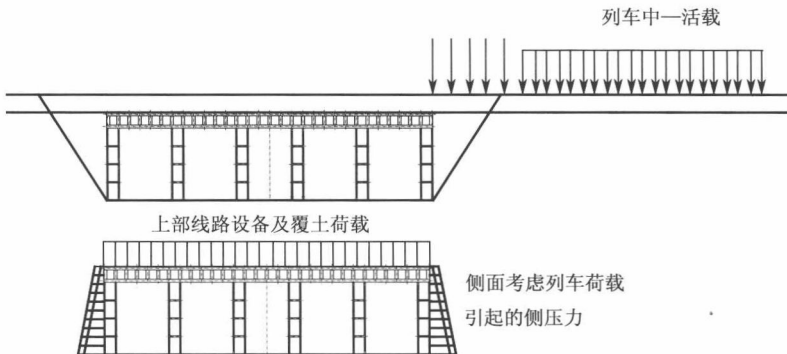


图2—7 工况1荷载布置图

工况2:框架桥上部有车辆荷载通过,停止顶进及取土的工况,如图2—8所示。

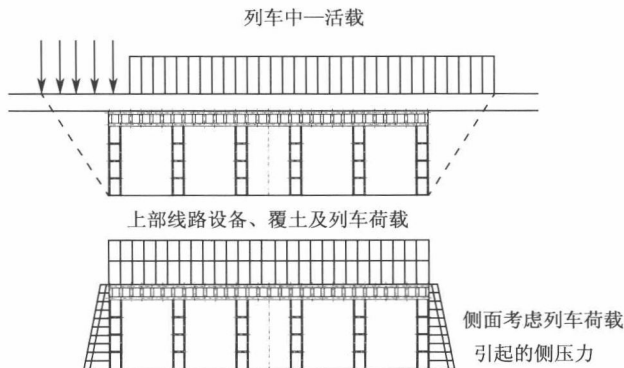


图2—8 工况2荷载布置图