

地道桥

设计与施工

李家稳/编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

地道桥设计与施工

李家稳 编著

中国铁道出版社

2011年·北京

内 容 简 介

本书分地道桥设计与施工两部分,从地道桥结构设计概述、设计荷载、结构有限元分析、影响线、包络图、施工方法、施工工艺、顶进设备、引道设计以及典型案例和工程问题及处理方法等方面对地道桥设计与施工做了全面论述。

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

地道桥设计与施工/李家稳编著. —北京:中国铁道出版社,2011. 12

ISBN 978-7-113-13544-7

I. ①地… II. ①李… III. ①地道桥—桥梁设计②地道桥—桥梁施工
IV. ①U448. 19

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 190585 号

书 名:地道桥设计与施工

作 者:李家稳 编著

责任编辑:张 婕 电 话:(010)51873141 电子信箱:crph_zj@163.com
封面设计:崔 欣
责任校对:孙 玫
责任印制:郭向伟

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:三河市华丰印刷厂

版 次:2011年12月第1版 2011年12月第1次印刷

开 本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:17.25 字数:408千

书 号:ISBN 978-7-113-13544-7

定 价:36.00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

随着城市及乡村建设的发展和既有铁路提速的要求,需要将大量的铁路与公路的平交道口改为立交道口。立交道口主要有两种形式:一是高架公路桥,二是公铁立交桥。前者由于需要修筑高而长的公路桥,受城市规划和用地限制,采用较少;后者是在既有线下采用顶进法修建立交桥,具有占地拆迁少、交通干扰小、投资小等特点,而被大量采用。

随着地道桥的规模与投资不断的加大,其方案设计及顶进施工技术的重要性越来越受到重视。合理而全面的设计方案、施工方案能够保证在设计后续阶段和工程实施中做到技术可靠、投资经济、进度可控。

本书全面、系统、详细地介绍了地道桥设计与施工技术。在以往顶进施工设计、施工经验的基础上,对有限元设计原理和施工方法进行了阐述。主要突出在以下几个方面:一是遵循铁道部颁发的《铁路桥涵设计基本规范》(TB 10002.1—2005)(以下简称《桥规》)中的规定,使一些新的设计要求得到体现;二是在结构分析中采用计算机的有限单元法和新的软件编程工具(C++软件开发语言),使结构计算快捷精确,更能贴近实际;三是设计和开发出地道桥设计、计算及绘图软件,并系统地介绍地道桥软件的使用方法;四是反映地道桥施工的新方法、新设备和新工艺并结合实际施工,对地道桥盾构法顶进施工和管幕加固顶进施工进行分析和介绍;五是结合工程实例介绍近几年在地道桥设计与施工中常见的工程问题和相应的解决方法与措施。

本书编写过程中,得到北京中科智邦软件设计院的张海燕博士、北京科宝华软件开发有限公司的李邦德副研究员、北京筑通建筑设计院有限公司的温贵琼、韩威和北方工业大学的研究生陈旭、刘翰林、马中建、张丽君等的大力支持。同时文中还引用了有关地道桥设计及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

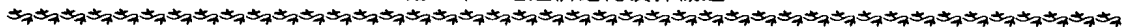
2011 年 2 月

目 录

第一章 地道桥结构设计概述	1
第一节 概述.....	1
第二节 设计准备.....	2
第三节 结构形式的选择.....	3
第四节 截面尺寸的拟定.....	4
第五节 传统结构内力分析基本原理.....	5
第六节 结构内力分析步骤.....	8
第七节 框架构件各断面的配筋计算.....	8
第二章 设计荷载	11
第一节 恒载	11
第二节 活载	15
第三节 附加力	22
第三章 地道桥结构有限元分析	24
第一节 引言	24
第二节 厚板有限元理论	25
第三节 厚板有限元程序设计	39
第四章 影响线及包络图	44
第一节 影响线的绘制	44
第二节 影响线加载	46
第三节 内力组合	53
第四节 包络图	55
第五章 地道桥 CAD 系统软件应用概述	57
第一节 地道桥 CAD 系统软件简介	57
第二节 地道桥 CAD 系统软件数据处理	57
第三节 地道桥 CAD 系统软件设计计算	63
第四节 地道桥 CAD 系统软件配筋计算	67
第五节 地道桥 CAD 系统软件数据输出及其他	76

第六章 桥涵顶进施工方法	80
第一节 概述	80
第二节 一次顶入法	84
第三节 多箱分次顶入法	85
第四节 对顶法	86
第五节 顶进框架桥与顶梁结合法	87
第六节 开槽顶入法	87
第七节 中继间法	88
第八节 顶拉法	90
第九节 牵引法	91
第十节 管幕—箱涵顶进法	92
第十一节 桥式盾构法	101
第七章 顶进施工工艺	111
第一节 现场调查	111
第二节 设计、施工降排水	112
第三节 工作坑设置	127
第四节 基坑围护	129
第五节 滑板制作、箱涵预制	147
第六节 顶力计算及后背设计	162
第七节 线路加固	174
第八节 顶进作业	183
第九节 软土地基基底加固	189
第八章 顶进设备	198
第一节 千斤顶	198
第二节 高压油泵	199
第三节 液压回路	200
第四节 传力设备	202
第九章 引道设计	204
第一节 概述	204
第二节 控制要素	205
第三节 平面设计	210
第四节 纵断面设计	218
第五节 横断面设计	221
第六节 路面设计	230
第七节 排水设计	239

第八节 挡墙设计.....	243
第九节 U形槽设计.....	249
第十节 附属设施.....	251
第十一节 注意事项.....	256
第十章 顶进施工常见问题及处理措施.....	258
第一节 箱身裂纹.....	258
第二节 箱身与滑板粘连防治.....	259
第三节 防止线路横移.....	260
第四节 顶进偏差控制.....	261
第五节 后背变形与开裂.....	266
第六节 工作坑路基边坡坍塌.....	266
参考文献.....	268



第一章 地道桥结构设计概述

第一节 概 述

路桥方案的选择及下穿方案的优势大部分城市都是以铁路线为依托发展并体现出来的,随着城市的发展和功能扩展,原来对城市发展起推动作用的铁路线,在城市的发展中逐渐表现出了一定的负面影响,主要表现在以下几个方面。

1. 从空间上分析,在城市平面布局中,铁路线将其两侧的城市功能区隔断,造成城区之间的联系不畅。

2. 从平面交通各交通形式占用道路的时间角度来分析,城市交通流量的上升和铁路提速后矛盾突出,原有平交道口根本不能适应上述两种交通的发展,各种恶性事故在城市公铁平交道口时有发生,成为舆论关注的焦点。

3. 道路、铁路的交叉点多位于城市中心或经济比较发达的街区,从城市总体规划和环境保护角度考虑,应选择比较合理的交通方案,降低噪声,提高城市环境品质。

在新建公路、铁路立体交通方案中,公路采用地道桥下穿铁路较之于上跨方案有明显的优势。以下为其主要优势。

1. 下穿方案引道长度仅有上跨方案引桥长度的 $1/3$ 左右,且道路投资比桥梁投资低,下穿方案投资较大的项目为铁路防护的费用。综合考虑总体路桥投资,下穿方案仅为上跨方案的 $1/3$ 左右。

2. 从对铁路行车安全的影响考虑,下穿方案的控制因素比较明确,易于先期采取防护措施。顶进式地道桥从工法创立至今 30 余年,已经形成了一整套完备可靠的技术措施;而上跨方案由于桥式的变化、工程控制因素不同等原因,往往各工程的实际情况中不可控因素较多,从工程控制角度考虑,存在一定的灰度。

3. 能够节约市政道路占地,提高城市中土地资源的利用效率,符合城市发展长远利益,同时也降低了征地和拆迁的费用。

4. 下穿方案有利于控制噪声污染。与上跨方案中道路、铁路的噪声叠加并向相邻城市区域扩散相比,下穿方案将大部分道路交通噪声控制在引道路槽内,噪声污染的范围、强度都得到了有效控制和大幅降低。

5. 下穿方案有利于城市景观的设计,避免了上跨方案中引桥阻隔观者视觉的弊端,道路两侧可以配合梯级绿化、街头小品、夜景照明等,形成具有一定观赏性的城市景观作品。

6. 下穿方案可采取主辅分离,设置不同的引道坡度,以适应不同需求,从而减少引道长度,并可以利用边孔埋设部分市政管线。

另外,需要指出的是,下穿方案较上跨方案的不足之处是需要设置泵站对引道路段进行排水,增加了一定的后期管理工作,但由于泵站及排水系统的修建费用占整个工程费用的比

例很小,故对整个工程的投资影响不大。随着机电设备的发展,后期管理费用也大幅度降低,尤其在城市中泵站的管理已经不形成任何负担。从以上分析可看出,采用下穿地道桥实现城市道路、铁路的立体交叉具有工程上的诸多优势,能够发挥市政工程良好的社会效益和经济效益,也符合我国的国情。

第二节 设计准备

在方案阶段影响地道桥设计的最关键控制因素是总体路桥方案和地质条件。前者影响桥位和平纵断面,如果考虑不周,会引起路桥的关键控制参数发生变化;后者影响工法的可实施性,同时对投资估算和控制影响较大。以上是方案阶段必须深入研究的主要问题,需由设计人员深入配合,部分内容需要达到施工图阶段,以便稳定设计方案,为后续阶段设计创造有利条件。

在设计阶段应考虑以下几点。

1. 路桥总体方案对地道桥设计的影响

出于地方对铁路的管理权限,建筑物产权及维护运营安全的实际情况,目前一般的设计分工是:道路由地方设计院设计,而铁路地道桥的设计由铁路设计院进行设计。在方案设计阶段,道路和主桥的设计应加强配合,地道桥及其临近路段的道路平纵断面应达到施工图设计阶段的深度。道路平面设计方案除满足道路功能及其相关规范的要求外,尚应考虑铁路设备的现状,尽量避让既有道岔及其转辙设备、接触网杆、既有桥涵构筑物。同时,应尽量避免道路与铁路小角度斜交,以降低工程造价和施工难度。

2. 地质条件对地道桥的影响

在方案阶段,由于地质勘察工作的深度不够,一般地质条件不确定的因素较多,但是在有的工程中又要求对地质条件进行必要的评价,以确定工程的可实施性和框算工程造价。在此推荐以下方法,作为方案阶段地质评价,辅助确定方案的主要手段。

(1)通过地形、地貌判识,了解施工场地所在的地貌单元,进而推断不良地质状况存在的可能性。

(2)了解周边既有建筑物、构筑物施工时的地质状况,必要时可依据临近钻孔进行有依据的类比。

(3)通过地表植被的分布,以及沟渠、河道的走向判断地下水的情况。

(4)在桥位的确定中应尽量避免有明显不均匀地基条件的情况,也应尽量避免临近高大、敏感建筑物设置基坑的情况。

(5)了解铁路路基的构筑材料,这点对于高路基条件下修筑地道桥的工程尤其必要。

(6)了解该地区的地震设防烈度。

(7)要特别关注并了解所在地区的典型地质特征,对敏感地质条件进行分析。例如:黄土地区具有湿陷性的 Q_3 、 Q_4 地层,山区条件下冲沟地貌单元下的沟口地基状况,沿海地区高含水软土地层等。

3. 其他因素的影响

(1)了解业主的工程意图,帮助道路设计单位分析、评估新建道路在城市路网中的合理性,评估道路横断面设置标准及其与铁路地道桥的匹配关系。通过以上工作优化道路走向、

车道划分、道路平纵断面,进而提高工程的品质,提高交通效率,便于维修养护。

(2)了解道路、桥梁施工的总体规划,便于提供优化的施工组织和施工安排,降低工程造价,这对于可以避免让冬季施工的工程尤有必要。

(3)详细了解铁路线现状,主要包括:线名、线间距、线路高差、轨重、线路坡度、线路设备、相邻构筑物的状况、通讯及信号电缆的状况、供电设备的状况、行车密度、近期维修改造计划等。

(4)工程所在地的气候状况,尤其是降水,这关系到地道桥基坑的安全和设置。

(5)既有、规划市政管线的埋设方式和位置。

(6)铁路、道路挡墙的连接方式。

(7)可能影响设计的其他技术因素,包括:市政道路排水体系、建筑材料的产地、是否设置绿化及广告设施。

(8)其他非技术因素,但可能影响工程实施的内容:拆迁及征地问题、影响工程形象的人文地理因素、政治需求等。

第三节 结构形式的选择

目前,我国地道桥主体结构主要采用三种形式:单孔、双孔、三孔(图 1—1)。其孔径(净宽度)的大小和净高应与原平交道口的公路交通状况相适应,并应从全局出发,适当考虑远景发展,根据公路的使用任务、性质和交通量综合考虑。其中三孔式地道桥较为常用,它的中孔为快车道,行驶机动车;边孔为慢车道,行驶非机动车并设置人行道。双孔式地道桥是将上、下行分开,但机动车和非机动车只能混行。

地道桥孔径的具体尺寸,在一般情况下划分见表 1—1。

表 1—1 框架式地道桥标准跨度系列

孔 数	净 宽
单 孔	4 m, 5 m, 6 m, 8 m, 8.5 m, 12 m, 17 m
双 孔	8.5 m—8.5 m, 9 m—9 m, 12.5 m—12.5 m, 16.5 m—16.5 m, 17 m—17 m
三 孔	6 m—9 m—6 m, 6 m—12 m—6 m, 8 m—17 m—8 m, 9 m—17 m—9 m
四 孔	6 m—12.5 m—12.5 m—6 m, 8 m—12.5 m—12.5 m—8 m, 8 m—16.5 m—16.5 m—8 m, 9 m—16.5 m—16.5 m—9 m

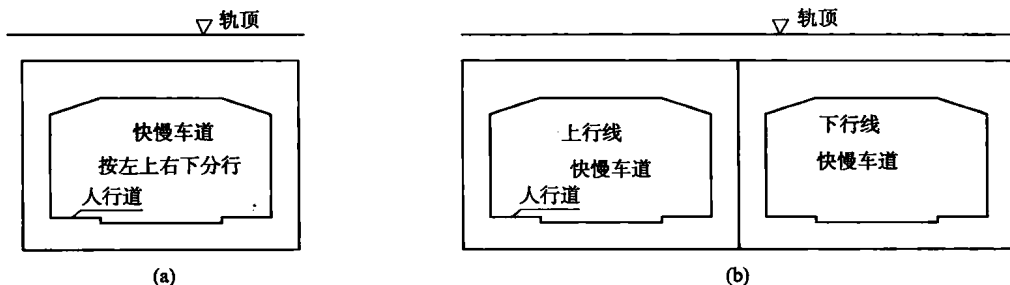


图 1—1

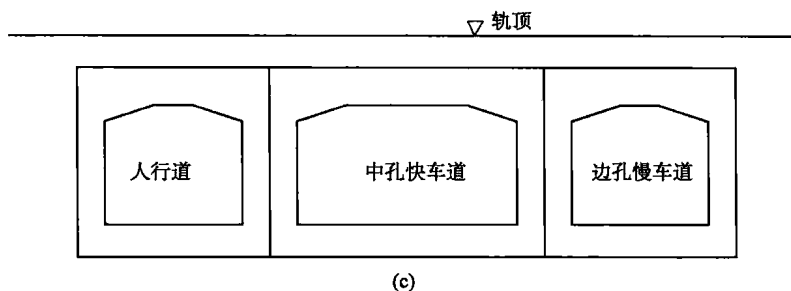


图 1—1 地道桥结构形式

地道桥的净高应符合现行《公路工程技术标准》的规定,即机动车通行的桥孔,建成后应保证净高不小于 5 m。同时考虑施工误差及公路路面厚度的要求,必要时应与使用部门协商确定桥下净宽和净高。三孔地道桥的边孔可按非机动车及行人的要求确定其净高,当特殊时期边孔也需要通过汽车时,其净高以不小于 3.5 m 为宜。

双孔、三孔、四孔地道桥一般设计宜为连续框架结构,整体顶进,有时为了适应顶进机具不足或局部增孔时,也可以用一个双孔、两边各一个单孔框架结构分别顶进拼接而成。

第四节 截面尺寸的拟定

地道桥的形式及孔径尺寸确定之后,需要进一步拟定结构各构件的截面尺寸,因为框架式地道桥是一个超静定结构,在分析它的内力时,必须在假定的构件截面的基础上进行计算。如截面尺寸假定不当,就会产生强度不足或者截面尺寸过大的现象。假定构件截面尺寸的主要因素是:结构物的高度和宽度,荷载状况,钢筋和混凝土的强度,主钢筋的保护层和水平间距的规定等。在初步拟定构件截面尺寸时,应参考已建成的同类型结构,以类比方式给出。根据我国已建成的地道桥情况,其主体结构的截面尺寸在初步设计时,可按如下办法拟定。

1. 顶板厚度

跨度在 5.0 ~ 6.0 m 时,顶板厚度取 0.5 ~ 0.6 m;跨度在 8.0 ~ 10.0 m 时,顶板厚度取 0.7 ~ 0.8 m;跨度在 12.0 ~ 16.0 m 时,顶板厚度取 0.9 ~ 1.2 m。

2. 底板厚度

底板厚度可比顶板厚度略大一些,一般大 0.1 ~ 0.2 m。

3. 边、中墙厚度

边墙和中墙可选用相同的厚度,一般为顶板厚度的 0.7 ~ 0.8 倍,并要考虑施工时绑扎钢筋和捣固混凝土的方便。

总之,合理的构件截面比例,应使混凝土和钢筋用量同时为最省并便于施工。框架结构的构件可做成等截面的。但是跨度较大的结构,宜设计成变截面的。当采用梁端局部加厚的变截面构件(又称加腋梁)时,其加腋的高度约为 $0.5B \sim B$ (B 为边墙厚度),斜面与水平线成 $30^\circ \sim 45^\circ$ 的倾角,这样使跨中弯矩比相应的简支梁结构小很多。因此地道桥的顶板厚

度可以用得较薄,这样既能减小建筑高度缩短引道,又能减轻自重便于顶进。另外,选截面尺寸时还要考虑到整个桥跨的建筑造型。但梁腋对抵抗弯矩来说,它的有效斜度最大规定为 1:3(图 1—2)。这种支点加高方式不仅能使跨中弯矩减小,还可使顶板在支点附近不必设抗剪斜钢筋。

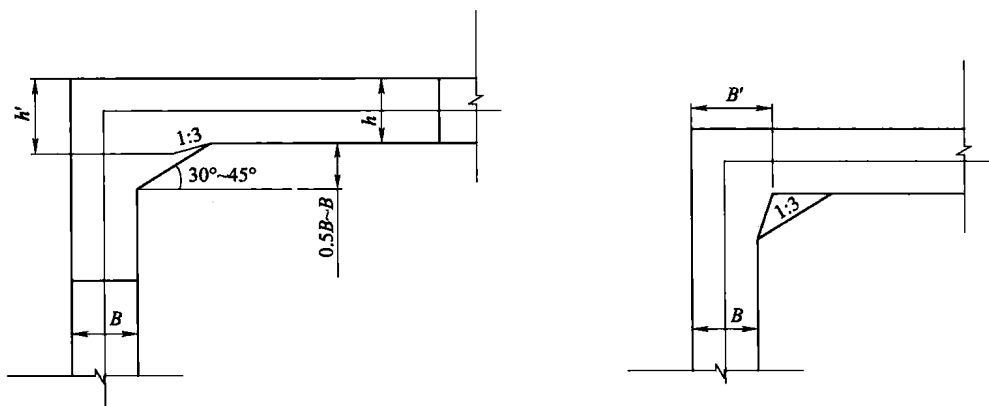


图 1—2 加腋构造

在拟定地道桥的主要尺寸(跨度与高度)时,必须考虑到道路网的远景规划,为以后的扩建提供更多的便利。

有时为了减小引道长度及坡度,框架桥结构顶标高与铁路轨底间的距离宜尽量取得小些,通常按铁路线路加固的要求,一般取 0.8 ~ 1.2 m。在桥梁顶进后,用碎石道砟填充密实。

第五节 传统结构内力分析基本原理

框架式地道桥,可以看作支承在半无限弹性体(弹性地基)上的空间结构。但为了简化计算,以往做地道桥结构分析时,大多以截取单位长度($b = 1\text{ m}$)作为平面变形结构来考虑,《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》(TB 10002.3—2005)第 8.2.1 条第 1 款也是这么规定的。对于这种结构,传统上有很多计算方法。现以三孔框架地道桥为例,说明其中之一的基本原理。

弹性地基上的框架结构,在外荷载或其他原因(如温度变化、混凝土收缩等)作用下,结构和地基将一起发生变形,而且框架的底板在受力过程中,始终和地基保持着紧密的接触,如图 1—3 所示。显然,因地基变形的影响,使框架的墙脚 A、H、G、F 各点都发生了垂直下沉和转动,它们分别记为 $\delta_A, \delta_H, \delta_G, \delta_F$ 和 $\varphi_A, \varphi_H, \varphi_G, \varphi_F$ 。但从框架式地道桥的形式来看,有相当数量的结构是对称的,故这里将结构按对称的来考虑。为了利用结构的这种对称性,简化计算工作,一般是将任意分布的荷载分解为对称的和反对称的。因此,结构的变形也有对称和反对称两种情况。

当荷载为对称时,其变形情况如图 1—3(a)所示。

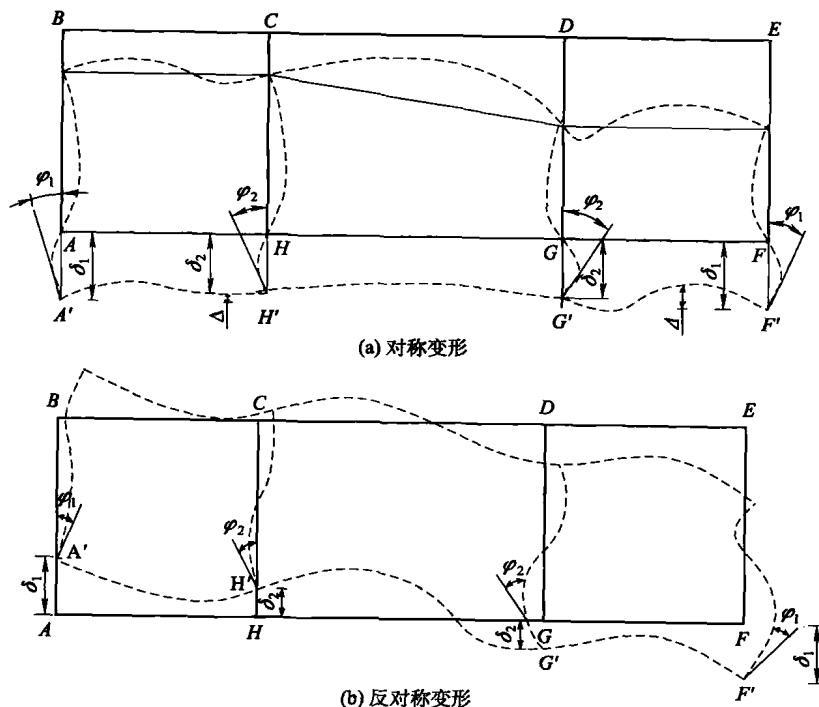


图 1—3 框架结构变形情况

$$\delta_F = \delta_A = \delta_1 \quad \delta_G = \delta_H = \delta_2$$

$$\varphi_F = -\varphi_A = \varphi_1 \quad \varphi_G = -\varphi_H = \varphi_2$$

当荷载为反对称时,其变形情况如图 1—3(b)所示。

$$\delta_F = -\delta_A = \delta_1 \quad \delta_G = -\delta_H = \delta_2$$

$$\varphi_F = \varphi_A = \varphi_1 \quad \varphi_G = \varphi_H = -\varphi_2$$

计算中规定,转角以顺时针为正,下沉以向下为正。

因此,由于外荷载或其他原因(如温度变化、混凝土收缩等)作用在弹性地基上的框架时所产生的内力,可按下列几种情况分别来考虑,然后再叠加。为了利用结构的对称性,这里仍然将荷载分解为对称的和反对称的两种情况分别来考虑。

1. 假定框架边、中墙的墙脚处固定(即墙脚处没有变位),框架在外荷载或其他原因作用下所产生的内力为 M_q (弯矩)、 N_q (轴力)、 V_q (剪力)。当外荷载已知时,这种情况下框架的内力是可以求出的。

2. 假定框架其他墙脚不动,只有 A、F 同时下沉 δ_1 时(若为反对称荷载,则其中有一为 $-\delta_1$),框架中产生的内力为 $M_{\delta_1}, N_{\delta_1}, V_{\delta_1}$ 。

3. 假定框架其他墙脚不动,只有 H、G 同时下沉 δ_2 时(若为反对称荷载,则其中有一为 $-\delta_2$),框架中产生的内力为 $M_{\delta_2}, N_{\delta_2}, V_{\delta_2}$ 。

4. 假定框架其他墙脚不动,只有 A 转动 $-\varphi_1$, F 转动 φ_1 时(若为反对称荷载, A、F 都转动 φ_1),框架中产生的内力为 $M_{\varphi_1}, N_{\varphi_1}, V_{\varphi_1}$ 。

5. 假定框架其他墙脚不动,只有 H 转动 $-\varphi_2$, G 转动 φ_2 时(若为反对称荷载, H、G 都转

动 $-\varphi_2$), 框架中产生的内力为 $M_{\varphi_2}, N_{\varphi_2}, V_{\varphi_2}$ 。

如若求框架构件某截面 x 处的弯矩 M_x , 剪力 V_x 和轴力 N_x 时其值为

$$\left. \begin{aligned} M_x &= M_{x,q} + M_{x,\delta_1} + M_{x,\delta_2} + M_{x,\varphi_1} + M_{x,\varphi_2} \\ N_x &= N_{x,q} + N_{x,\delta_1} + N_{x,\delta_2} + N_{x,\varphi_1} + N_{x,\varphi_2} \\ V_x &= V_{x,q} + V_{x,\delta_1} + V_{x,\delta_2} + V_{x,\varphi_1} + V_{x,\varphi_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式(1-1)中的后四项都是和框架墙脚的垂直下沉 δ 和转角 φ 有关的。因此必须首先求得墙脚的变位 δ 和 φ 后, 上述问题才能最终得到解决。

关于框架墙脚变位 δ 和 φ 的求法, 可以这样来考虑, 即把框架在墙脚处切开, 上部为一个在墙脚处固结的刚架, 下部为一个搁置在弹性地基上的底板, 相应的基本结构如图 1-4 所示。为了使这样的基本结构仍然和原结构的作用一样, 则刚架和底板在切开处必须保持静力平衡和变形谐调, 所谓静力平衡, 就是刚架墙脚处的反力及反力矩和作用在底板上的外力和外力矩必须大小相等而方向相反。所谓变形谐调, 就是刚架和底板在墙角切开处的最终的变形必须保持一致。

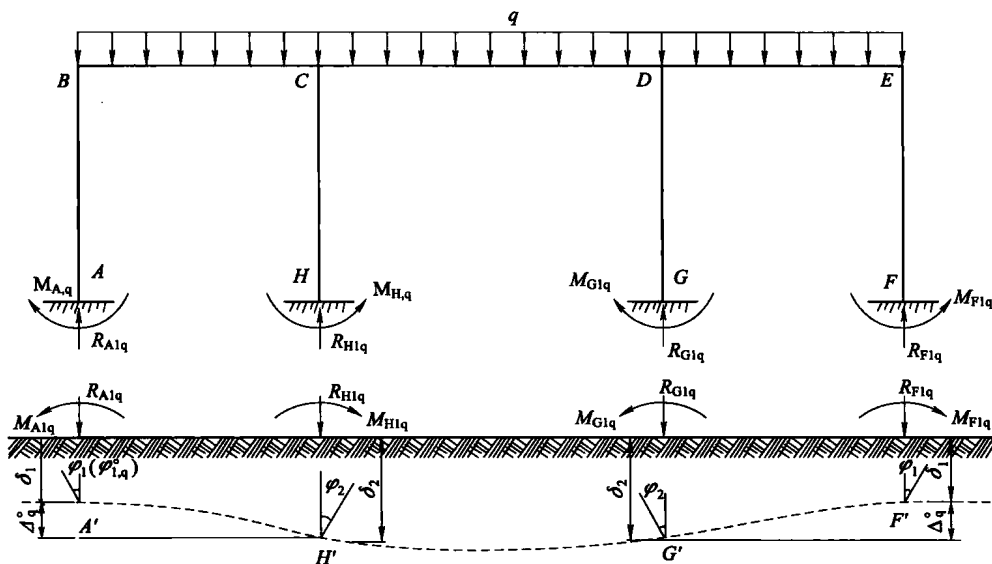


图 1-4 基本结构

因此, 当上部固端刚架承受外荷载, 或者由于墙脚发生变位时, 它们在刚架墙脚处所引起的反力和反力矩, 根据静力平衡条件, 必须大小相等而方向相反地作用到弹性地基上的底板上。而底板在这些外力和外力矩作用下, 其 A, H, G, F 各点所产生的总沉陷和总转角 (包括荷载和墙脚变位所引起的), 根据变形谐调条件, 又必须与刚架墙脚 A, H, G, F 处的沉陷和转角相一致。这样一来, 就可以建立起一组变形谐调的方程式。解之, 即可得到刚架墙脚的变位 $\delta_1, \delta_2, \varphi_1, \varphi_2$ 。

图 1-4 所示基本结构中的上半部分为多跨单层刚架, 其内力和墙脚处的反力可由结构力学知识求得; 下半部分为弹性地基上的底板 (即视为弹性地基上的梁或截条), 可应用弹性地基梁知识进行求解。

第六节 结构内力分析步骤

根据上节所述的基本原理,就可以计算出在各种荷载作用下,框架的内力以及列车活载作用时的影响线。

综上所述,箱型框架地道桥的结构计算可以按以下步骤进行。

1. 拟定框架的孔径尺寸及各个杆件(顶板、边墙、中墙、底板和各孔加腋)的截面尺寸,力求既能满足行车的需要,又使受力状态最为合理。习惯上,孔径尺寸是按交通情况和《铁路桥涵设计规范》来决定的,框架各个杆件的截面尺寸则是根据已建成的地道桥进行类比,并予以调整拟定得到的。

2. 计算刚架各个杆件的各项常数,其中包括变截面杆件的形常数和载常数。一般可以从图表中查得。

3. 求出当采用不均衡力矩传播法时所需要的传播系数 λ 和分配系数 $\bar{\mu}$ 。

4. 计算在单位沉陷或单位转角的各个作用情况下,刚架各杆的杆端弯矩。其中,要按正对称和反对称两种不同变位情况分别计算。同时,也算出各墙脚的反力和反力矩。

5. 求算由单位沉陷或单位转角所引起的刚架反力和反力矩(大小相等、方向相反)作用下,弹性地基上底板各墙脚点的变位。

6. 把以上的结果,代入变形协调方程式,求得正对称和反对称的统一解。

7. 按各种不同的荷载,先求各杆件的固端弯矩,再按不均衡力矩传播法求杆端弯矩和墙脚的反力,然后把反力方向相反地作用在弹性地基底板上,求得底板的荷载变位值代入统一解中,即可求得最终变位值,并从而求得墙脚的实际变位值。

8. 从得到的实际变位值,求算最终杆端弯矩以及杆件各个位置上截面的内力 M 、 Q 、 N 。

9. 列车活载,按单位力作用在各个不同位置时所产生的内力,作出影响线。

10. 按规范规定的加载办法,把列车活载加到影响线上,求得实际的杆件内力。

11. 按各种荷载的最不利组合,求出最大和最小的内力值,并把按主力计算和按主力加附加力计算且提高材料的容许应力的两种情况进行比较。最后,选择最大者作为设计内力。

12. 把设计内力汇总,画成内力包络图。这就是结构内力分析的最后结果。

13. 按结构内力包络图,配置各个部位需要的钢筋,并按照规范中有关钢筋混凝土结构部分,配置各种构造筋及温度筋,并画出钢筋详图和列出钢筋表。

第七节 框架构件各断面的配筋计算

经内力计算求得各控制截面上的弯矩、轴力和剪力值,即可进行截面的配筋计算。在地道桥的框架构件配筋计算中,为了提高构件的抗冲击动力性能和从经济方面考虑,均采用双筋断面,计算时可作为附加压筋考虑。

由于作用到构件断面上的内力,除弯矩外同时还有轴力,所以这些构件属于压弯构件。各截面的配筋计算,主要是按偏心受压确定其纵向钢筋,而抗剪仍按受弯构件斜截面确定箍筋及弯起钢筋。

结构在外荷载作用下的内力计算及配筋方法,是地道桥结构设计中要解决的主要问题。

对于在计算中不易考虑而与结构设计密切关系的一些问题,需通过构造措施加以解决。

一、钢筋保护层

关于地下铁道结构保护层,因地下施工条件差和结构被包围在水土之中的具体条件,要求地道桥结构必须具有足够的保护层厚度,以防止钢筋直接受水土等的腐蚀,影响结构的正常使用。墙板的受力钢筋净保护层厚度采用 40 ~ 50 mm。构造钢筋保护层净厚度不应小于 20 mm。

二、钢筋直径

钢筋和预制钢筋骨架的形状尺寸,应考虑到加工、运输和基坑内施工的安全和方便,选用的主力钢筋直径一般不宜大于 32 mm,受弯构件中不宜小于 14 mm,受压构件中不宜小于 16 mm。一般构造钢筋直径不小于 12 mm,箍筋直径不小于 8 mm。

一般直径在 14 mm 以下的钢筋因易于弯曲,在施工场地容易变形,所以应避免使用于主筋;32 mm 以上的钢筋在施工场地调整比较困难,在选用时应加以考虑。

三、最小配筋率

框架结构的墙、板中,受拉钢筋的最小配筋率为 0.15%。根据计算,如不需要配置受压钢筋时,仍需配置钢筋,其最小配筋率为 0.2%,亦不少于同一断面受拉钢筋的 30%。

四、钢筋间距

框架墙、板构件中,受力钢筋间距不大于 250 mm。梁内受力钢筋的水平净距不得小于钢筋直径或 30 mm,多于两排钢筋时,应增加一倍。

框架结构的梁和板中的横向钢筋间距应满足以下要求。

1. 配有计算的受压钢筋的梁和板,其间距在绑扎骨架中,应不大于 $15d$,在点焊片架中,应不大于 $20d$ (d 为受压钢筋最小直径)。
2. 在搭接而不加焊的接头长度内,受拉钢筋全部利用时,横向钢筋间距不应大于 $5d$ (d 为受拉钢筋最小直径)。框架各构件的跨末,横向钢筋需要适当加强,一般方法将箍筋间距缩小为 20 cm。

五、钢筋的弯起

一般弯起钢筋与结构轴线的倾角采用 45° (深梁中弯筋的倾角采用 60°),其末端的直线长度不少于 $20d$ (d 为钢筋直径)。

在受拉区中,弯起钢筋的弯起点,应设在该钢筋的强度全部被发挥的截面(依弯矩计算)以外、距离不少于 $h_0/2$ 处,同时弯起钢筋与构造轴线的交点应位于按计算不需要该钢筋的截面以外。

六、构造钢筋

在钢筋混凝土设计中,往往有很多影响强度的因素考虑不到,也无法具体计算。因此必须配置一定数量的钢筋以承担这些因素的影响,这种不能由计算决定而又必须配备的钢筋

称为构造钢筋。例如纵向分布钢筋就是其中之一。

纵向分布钢筋的截面面积一般应不小于钢筋截面面积(在 1 m 长度内)的 10%, 其配筋率通常不宜小于 0.15%。

纵向分布钢筋应在框架周边各构件之内、外侧和内墙两侧布置,其间距可采用 10 ~ 30 cm, 选用的间距应便于施工。周边分布钢筋直径不得小于 12 mm, 内墙不得小于 10 mm, 在框架节点区域内布置的分布筋应适当加密。

七、钢筋的锚固

受力钢筋必须具有足够的锚固长度,框架结构中,墙、板的主筋至少有总数量的 1/3 或不少于每米 3 根伸入支座,其伸入支座内的锚固长度不应小于 $30d$ 。承受负弯矩的受拉钢筋若在跨中截断时,则必须伸出理论截断点外大于 $30d$ 处;受压钢筋若在跨中截断,则必须伸出理论截断点以外 $15d$ 处。

八、钢筋的搭接

受拉钢筋的接头的设置应该尽量的避免,不得已设置接头时,接头的相互位置不要集中在一个截面处,并在应力大的地方不要设置接头。

在绑扎骨架中,钢筋接头的搭接最小长度在受拉区为 $35d$,在受压区为 $25d$;在点焊片架中为 $30d$ 。16Mn 钢筋时,钢筋直径大于 25 mm 时,不允许搭接。

受拉钢筋的接头应互相错开,每处接头面积不得大于全部受拉钢筋面积的 1/2。