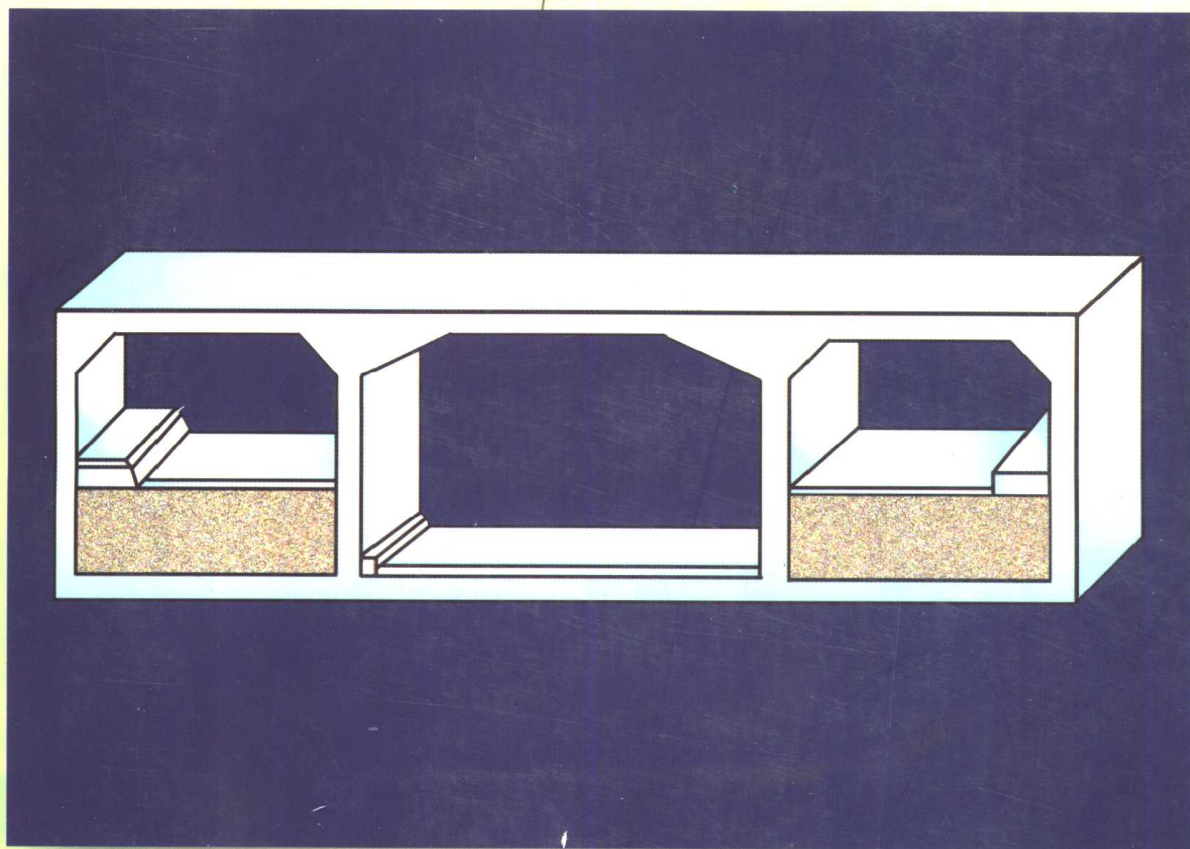


// DIDAOQIAO SHEJI YU SHIGONG

地道桥设计与施工

冯卫星 王克丽 编著



河北科学技术出版社

U448.13

1

地道桥设计与施工

冯卫星 王克丽 编著

河北科学技术出版社

内 容 提 要

本书主要介绍地道桥设计与施工,由上、下两篇组成。上篇介绍地道桥结构设计,内容包括结构设计概述、设计荷载、结构有限元分析以及影响线和包络图。下篇介绍地道桥顶进施工,内容包括施工方法、施工设计、顶进设备、顶进施工中的网络计划技术、引道设计概要以及典型工程实例和工程问题。在途述过程中,尽量做到通俗易懂,使读者在阅读本书之后基本上可从事地道桥的设计与施工。

本书既可作为本科生专业课教材,也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/冯卫星,王克丽编著. —石家庄:
河北科学技术出版社, 2000
ISBN 7-5375-1982-X

I. 地… I. ①冯… ②王… III. ①铁路桥-建筑设计
②铁路桥-工程施工 N. U448.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 03604 号

地道桥设计与施工

冯卫星 王克丽 编著

河北科学技术出版社出版发行(石家庄市和平西路新文里8号)

河北新华印刷一厂印刷 新华书店经销

787×1092 1/16 23 印张 531000 字 2000 年 2 月第 1 版
2000 年 2 月第 1 次印刷 印数:1—3000 定价:32.00 元

前 言

随着我国现代化建设的飞速发展,城市建设也得到了极大的发展,但是,由于城市交通建设发展的滞后,交通不畅已成为严重影响和制约城市经济发展的一个重要问题。而导致交通不畅的一个重要原因,即是大量的铁路与公路的平交道口,成为一个个“瓶颈”,造成了大量的堵车问题。而列车提速后行车密度的大幅度提高,一方面使原本日益严重的城市堵车问题雪上加霜,另一方面道口交通安全问题变得十分突出。因此,把大量的公路与铁路的平交道口改为立交道口,已成为改善城市交通状况和确保交通安全的一项紧迫而又繁重的任务。

公路与铁路平交道口改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;后者由于用地少,投资小,工程易行,而被大量采用。

本书全面、系统、详细地介绍了地道桥(即公铁立交桥)的设计与施工。主要突出了以下几个方面:一是遵循1996年铁道部新颁发的《铁路桥涵设计规范》(局部修订版 TBJ2-96),使一些新的设计要求得到体现;二是在结构分析中采用了借助计算机的有限单元法,使结构计算快捷精确,更能贴近实际;三是反映了地道桥施工的新方法、新设备和新工艺;四是结合工程实例介绍了近年来在地道桥设计与施工中常见的一些工程问题和相应的解决方法与措施。

本书是作者在多年从事“地道桥设计与施工”的教学、科研和工程实践,以及指导本科生毕业设计的基础上编写而成的。在编写过程中参照了有关“地道桥”的专著和论文,在此谨向有关作者表示感谢。景诗庭教授在百忙中抽出宝贵时间审阅了本书,在此一并致谢。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

1999年10月

于石家庄铁道学院

目 录

上篇 地道桥结构设计

第一章 地道桥结构设计概述	(3)
第一节 结构形式的选择.....	(3)
第二节 截面尺寸的拟定.....	(4)
第三节 传统结构内力分析基本原理.....	(5)
第二章 设计荷载	(8)
第一节 恒载.....	(8)
第二节 活载.....	(12)
第三节 附加力.....	(20)
第三章 地道桥结构有限元分析	(23)
第一节 引言.....	(23)
第二节 厚板有限元理论.....	(24)
第三节 厚板有限元程序设计.....	(39)
第四节 程序使用说明.....	(42)
第五节 SAP5 程序分析框架结构	(45)
第四章 影响线及包络图	(109)
第一节 影响线的绘制.....	(109)
第二节 影响线加载.....	(111)
第三节 内力组合.....	(118)
第四节 包络图.....	(120)

下篇 地道桥顶进施工

第五章 地道桥顶进施工方法	(125)
----------------------------	---------

第一节	顶进法概论	(125)
第二节	顶入法	(132)
第三节	对顶法	(140)
第四节	对拉法	(143)
第五节	中继间法	(143)
第六节	顶拉法	(145)
第七节	牵引法	(157)
第八节	多箱分次顶入法	(163)
第九节	斜交框架顶进	(164)
第六章	顶进施工设计	(174)
第一节	基坑支护	(174)
第二节	滑板与箱涵制作	(194)
第三节	顶力计算及后背设计	(205)
第四节	线路加固	(217)
第五节	顶进方向与高程控制	(226)
第六节	减少顶进阻力的措施	(231)
第七节	施工排水与降水	(246)
第八节	造价估算	(258)
第七章	顶进设备	(264)
第一节	千斤顶	(264)
第二节	高压油泵	(266)
第三节	液压回路	(268)
第四节	电气集中控制台	(270)
第五节	传力设备	(270)
第八章	顶进施工中的网络计划技术	(274)
第一节	网络图与横道图的比较	(274)
第二节	顶桥施工网络计划的编制	(275)
第三节	网络计划的修改	(284)
第九章	引道设计概要	(286)
第一节	引道平面和纵断面设计	(286)
第二节	分离式引道	(294)
第三节	封闭式引道	(297)
第四节	引道排水设计的一般原则	(299)

第五节	引道地表排水设计·····	(299)
第六节	盲沟设计·····	(304)
第七节	泵站设计·····	(307)
第八节	设计资料的收集·····	(311)
第九节	设计示例·····	(311)
第十章	常见工程问题及解决措施	(320)
第一节	变形与裂缝·····	(320)
第二节	线路加固·····	(332)
第三节	“扎头”防治·····	(340)
第四节	纠偏技术·····	(348)
第五节	接缝处理及防水·····	(350)
第六节	箱涵与滑板粘连防治·····	(356)
参考文献		(358)

上 篇

地道桥结构设计

第一章 地道桥结构设计概述

第一节 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(如图1-1所示)。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,行驶非机动车和设置人行道。双孔式地道桥是将上、下行分开,但机动车和非机动车就得混行。

地道桥孔径的具体尺寸,在一般情况下划分如下:

单孔——4m, 5.5m, 6m, 6.5m, 7m, 8m, 9m, 10m, 12m, 16m;

双孔——6m-6m, 8m-8m, 12m-12m, 16m-16m;

三孔——4m-7m-4m, 5.5m-9m-5.5m, 6m-9m-6m, 6.5m-9m-6.5m, 8m-12m-8m, 8m-16m-8m;

四孔——9m-12m-12m-9m。

特殊情况下孔径突破上述指标也是有的,如北京丰台地道桥的孔径达14.90m-17.50m-17.50m-14.90m,为国内已修建的最大的地道桥;杭州市江城路地道桥为三

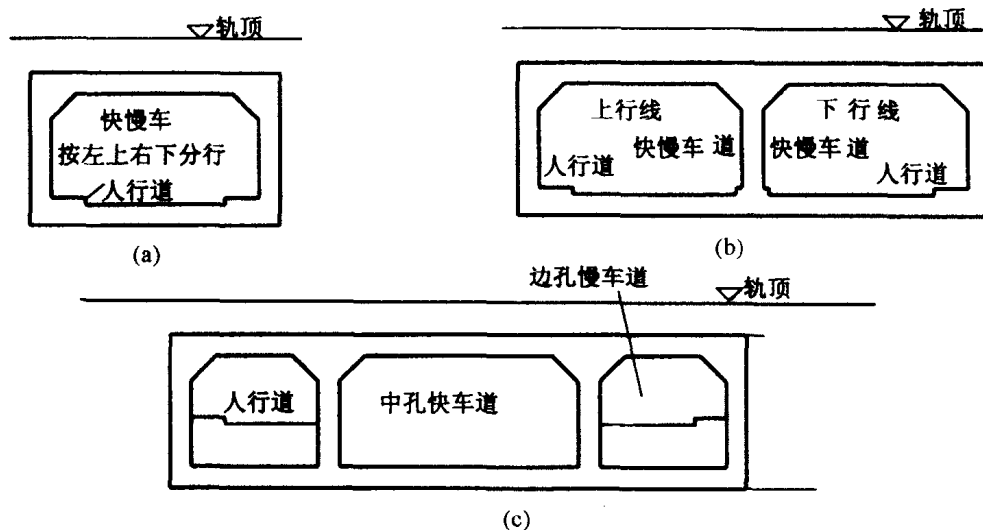


图 1-1 地道桥结构形式

孔连续斜交箱涵，斜向净跨为 $10.15\text{m} - 22.60\text{m} - 10.15\text{m}$ ；石家庄市和平路地道桥也是三孔连续斜交框架结构，斜向净跨为 $15\text{m} - 21\text{m} - 15\text{m}$ ；石家庄市二环路党家庄地道桥为双孔连续斜交框架结构，斜向净跨为 $23.52\text{m} - 23.52\text{m}$ 。

地道桥的净高应按《公路工程技术标准》的规定考虑，即机动车通行的桥孔，建成后应保证净高不小于 5m 。考虑施工误差及公路路面厚度的要求，建筑高度宜按 5.3m 设计。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 3.5m 为宜。

双孔、三孔、四孔地道桥一般宜设计为连续框架结构，整体顶进，有时为了适应顶进机具不足或局部增孔时，也可以用几个单孔框架结构分别顶进拼接而成。

第二节 截面尺寸的拟定

地道桥的形式及孔径大小确定之后，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。如截面假定得不当，就会产生强度不足，或者截面过大的现象。假定构件截面的主要因素是：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 $5.0 \sim 6.0\text{m}$ 时，顶板厚度取 $0.5 \sim 0.6\text{m}$ ；跨度在 $8.0 \sim 10.0\text{m}$ 时，顶板厚度取 $0.7 \sim 0.8\text{m}$ ；跨度在 $12.0 \sim 16.0\text{m}$ 时，顶板厚度取 $0.9 \sim 1.2\text{m}$ 。

2. 底板厚度

底板厚度可比顶板厚度略大一些，一般大 $0.1 \sim 0.2\text{m}$ 。

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 $0.7 \sim 0.8$ 倍，并要考虑施工时架主钢筋和捣固混凝土的方便。

总之，合理的构件截面比例，应该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，但跨度较大的结构，宜设计成变截面的。当采用

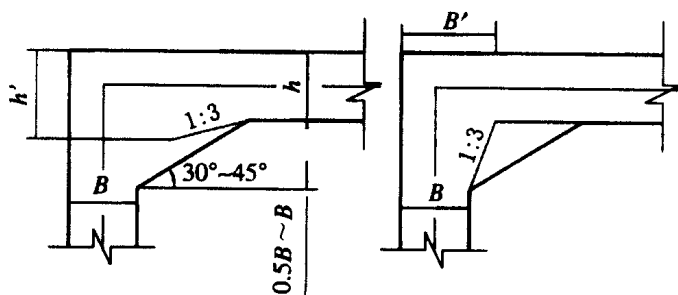


图 1-2 加腋构造

梁端局部加厚的变截面构件（又叫加腋梁）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。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 $1:3$ （如图 1-2 所示）。

第三节 传统结构内力分析基本原理

框架式地道桥，可以看作为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，以往作地道桥结构分析时，大多以截取单位长度（ $b=1\text{m}$ ）作为平面变形结构来考虑，《铁路桥涵设计规范》（TBJ2-96）（以下简称《桥规》）第11.2.1条第一款也是这么规定的。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，它们分别为 $\delta_A, \delta_H, \delta_G, \delta_F$ 和 $\varphi_A, \varphi_H, \varphi_G, \varphi_F$ 。不过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的和反对称的两种情况。

当荷载为对称时，其变形情况如图1-3a所示。

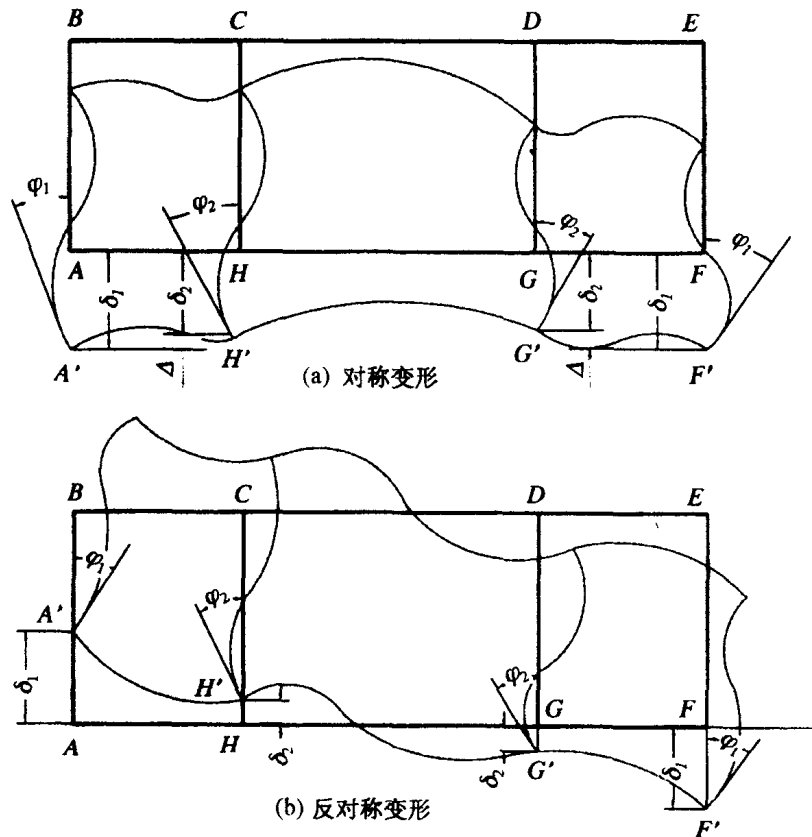


图1-3 框架结构变形情况

$$\begin{aligned}\delta_F &= \delta_A = \delta_1; & \delta_G &= \delta_H = \delta_2; \\ \varphi_F &= -\varphi_A = \varphi_1; & \varphi_G &= -\varphi_H = \varphi_2;\end{aligned}$$

当荷载为反对称时，其变形情况如图 1-3b 所示。

$$\begin{aligned}\delta_F &= -\delta_A = \delta_1; & \delta_G &= -\delta_H = \delta_2; \\ \varphi_F &= \varphi_A = \varphi_1; & \varphi_G &= \varphi_H = -\varphi_2;\end{aligned}$$

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_{δ_1} 、 N_{δ_1} 、 V_{δ_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_{δ_2} 、 N_{δ_2} 、 V_{δ_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_{φ_1} 、 N_{φ_1} 、 V_{φ_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_{φ_2} 、 N_{φ_2} 、 V_{φ_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：

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

上式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脚切开处的最终的变形必须保持一致。

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去。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

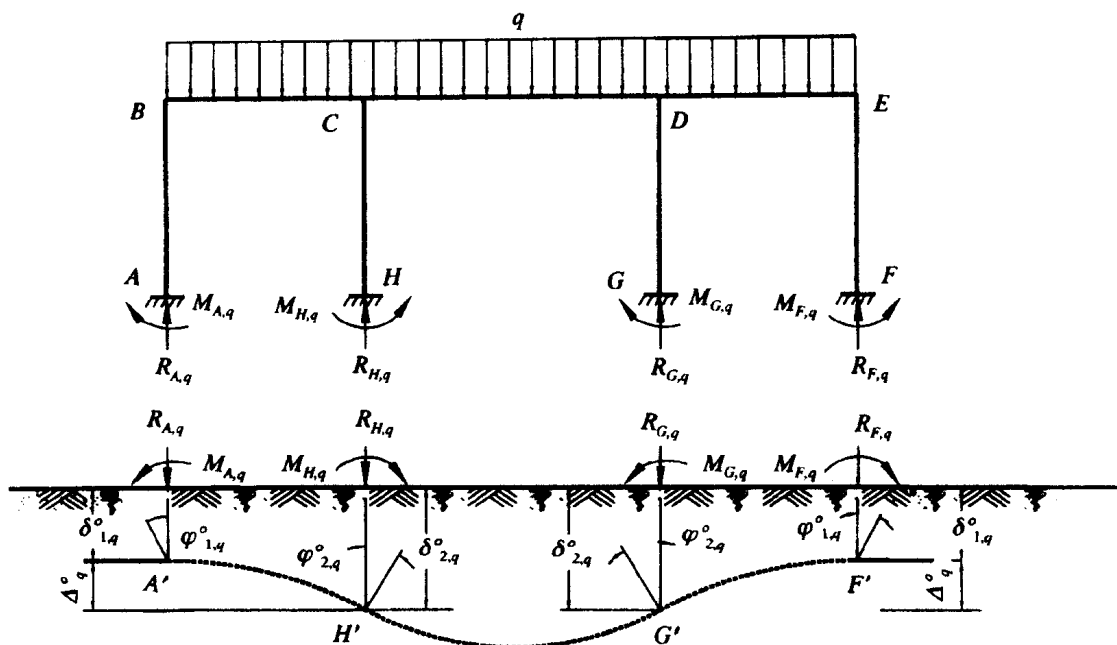


图 1-4 基本结构

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 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。

第二章 设计荷载

设计框架式铁路公路地道桥时，根据 1996 年颁布的《桥规》中的规定，应考虑表 2-1 所列各种荷载，并按可能的最不利组合情况进行计算。

表 2-1 荷载类型

荷载分类		荷载名称
主 力	恒 载	结构自重 土压力 混凝土收缩和徐变的影响
	活 载	列车活载 公路活载 列车活载所产生的土压力 人行道荷载
附加力		制动力 温度变化的影响

当比较后，如采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。

对于整座框架式铁路公路地道桥，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% 考虑，但对仅承受公路活载的构件，应按全部公路活载考虑。

最后还应检算顶力的作用。

第一节 恒 载

一、结构自重

结构材料的自重是一种永久存在的荷载。这里所谓“结构自重”不单单地指结构本身而言，还包括了覆盖在结构物上面的铁路线路上部建筑的重量。

《桥规》第 3.2.1 条给出了桥涵结构恒载计算值：

碎石道碴（包括线路材料）： 20kN/m^3 ；

钢筋混凝土（配筋率在 3% 以内）：25kN/m³；

混凝土：23kN/m³。

另外，框架结构上的防水层可按 20kN/m³ 计算，沥青混凝土路面可按 23kN/m³ 计算。

【例 2-1】 设三孔框架地道桥主体结构尺寸如图 2-1 所示，线路上部建筑的厚度尺寸如图 2-2 所示。求其结构自重。

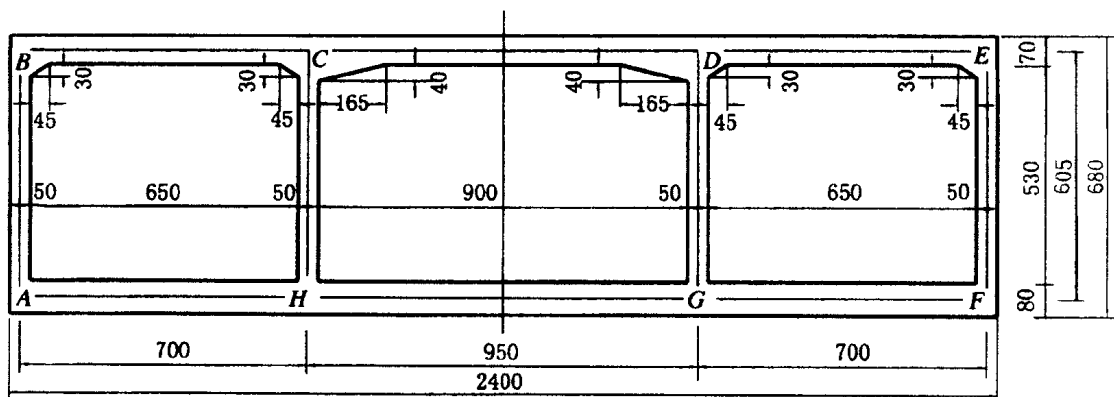


图 2-1 6.5m—9.0m—6.5m 三孔框架式地道桥截面尺寸

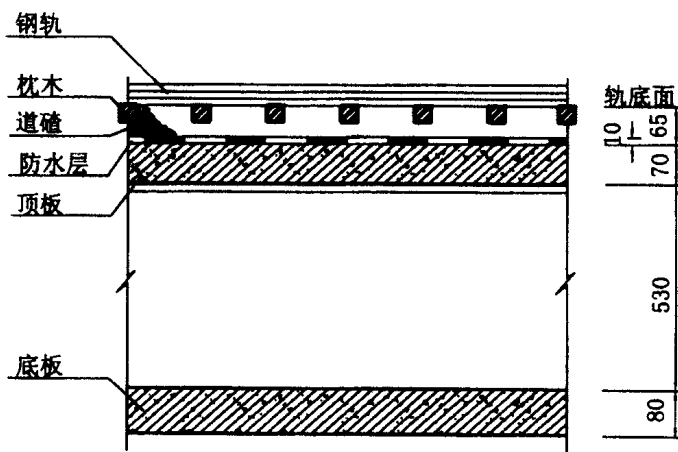


图 2-2 线路上部建筑

根据《桥规》第 11.2.1 条的规定，地道桥的主体结构可取 1m 为计算单元。作为例子，现计算 1m 单元中结构的自重。

1. 顶板自重均布恒载

碎石道床（包括线路材料）

$$W_1 = 0.55\text{m} \times 1.0\text{m} \times 20\text{kN/m}^3 = 11.0\text{kN/m}$$

防水层重

$$W_2 = 0.1\text{m} \times 1.0\text{m} \times 20\text{kN/m}^3 = 2.0\text{kN/m}$$

顶板混凝土重

$$W_3 = 0.7\text{m} \times 1.0\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 17.5\text{kN/m}$$

顶板的计算均布荷载

$$W_{\text{顶}} = W_1 + W_2 + W_3 = 11.0 + 2.0 + 17.5 = 30.5\text{kN/m}$$

2. 顶板加腋重

顶板加腋重视为三角形的分布荷载，并作用在顶板各跨的端部。

边跨：三角形分布荷载的最大值为

$$\begin{aligned} W_1 &= h_{\text{腋}} \times 1.0\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 \\ &= 0.3\text{m} \times 1.0\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 7.5\text{kN/m} \end{aligned}$$

中跨：三角形分布荷载的最大值为

$$W_2 = 0.4\text{m} \times 1.0\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 10\text{kN/m}$$

3. 底板自重均布荷载

底板混凝土自重（包括混凝土路面）

$$\begin{aligned} W_{\text{底}} &= h_{\text{板}} \times 1.0\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 + h_{\text{路面}} \times 1.0\text{m} \times 23\text{kN/m}^3 \\ &\approx (h_{\text{板}} + h_{\text{路面}}) \times 1.0\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 \\ &= (0.8\text{m} + 0.2\text{m}) \times 1.0\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 25\text{kN/m} \end{aligned}$$

4. 中墙及边墙自重为集中力荷载

$$\begin{aligned} W_{AB} &= W_{HC} = W_{GD} = W_{FE} \\ &= 0.5\text{m} \times 5.3\text{m} \times 1.0\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 66.25\text{kN} \end{aligned}$$

二、土的侧压力

作用在框架两侧的土体侧压力，按库伦理论（楔体极限平衡理论）所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/m^2);

γ ——土体的容重 (kN/m^3);

φ ——土体的内摩擦角 ($^\circ$);

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，还需按它的不同容重予以折算。

在本算例中，取相应的数值为：土体容重 $\gamma = 19\text{kN/m}^3$ ；土体内摩擦角 $\varphi = 35^\circ$ ；框架顶板以上的路基高度 $h_2 = 0.65\text{m}$ 。其中，枕木、石碴的容重 $\gamma_1 = 20\text{kN/m}^3$ ；防水层的容重 $\gamma_2 = 20\text{kN/m}^3$ 。于是，折合填土高度

$$h_1 = h_2 \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma} = 0.65 \times \frac{20}{19} = 0.68\text{m}$$

$$h'_B = h_1 + \frac{1}{2} \text{顶板厚} = 0.68 + \frac{1}{2} \times 0.70 = 1.03\text{m}$$