

文章编号: 1006—2106(2009)06—0034—03

# S245公路下立交船坞式结构设计研究<sup>\*</sup>

魏国安<sup>\*\*</sup>

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

摘要: 研究目的: 介绍 S245公路下立交工程船坞式结构在水文地质、工程地质条件很复杂的状况下, 公路断面结构形式、土压力、抗浮力的计算及设计。

研究结论: 当地下工程必须修建在工程地质、水文地质条件比较复杂的地区时, 其边界条件(包括地下水的浮力、渗漏、土压力等)对工程的设计、施工造成很大的影响, 设计过程中不仅要考虑各种因素对工程的影响, 而且还要保证安全施工及以后的工程运营安全。实践证明, 在工程地质、水文地质条件比较复杂的地区, 下穿公路采用船坞式结构设计是可行的, 合理安全的。

关键词: 船坞式结构; 地下水; 上浮力; 土压力

中图分类号: U211.9 文献标识码: A

## Research on the Design of Dock Structure for Underpass of S245 Highway

WEI Guo-an

(China Railway First Survey and Design Institute Group Ltd, Xi'an Shanxi 710043 China)

Abstract: Research purposes: In this paper, the introduction is given to the researches on the calculations of the structural style of road cross-section, soil pressure and buoyancy force resistance for design of the dock structure for the underpass of S245 Highway under the complicated engineering geological and hydrological conditions.

Research conclusions: It is proved that the border conditions, such as buoyant force of underground water, leakage, soil pressure have a great influence on the design and construction of the underground engineering in the area of complicated engineering geological and hydrological conditions, so all the influence factors should be taken into account in the design to ensure the safety of construction and operation in future. It is feasible, reasonable and safe to adopt dock structure for underpass of highway under complicated engineering geological and hydrological conditions.

Key words: dock structure; underground water; buoyant force; soil pressure

## 1 工程概况

### 1.1 地质概况

S245公路下立交工程位于江苏省沐阳市境内, 起讫里程为: GK 69+560~GK 70+050 长 490 m。由于受新长铁路的影响, 改移 S245 公路采用下穿铁路方案。

该工程处于沐北冲积平原上, 出露地层主要为第四系全新统黏质砂土及细砂。

地下水水位埋深 2~4 m, 主要受大气降水补给, 水量丰富, 丰水期地下水溢出地表。

地震动峰值加速度为 0.15 g(相当于地震基本烈度 VII)。最大季节冻土深度 30 cm。

### 1.2 技术标准

公路等级为一级公路, 设计行车速度为 80 km/h 四车道, 路基宽度: 机动车路基宽度 25.2 m, 中央隔离带 2.0 m, 非机动车路基宽度 5.0 m, 隔离带 1.6 m, 路基总宽度 40.4 m。

\* 收稿日期: 2009—04—09

\*\* 作者简介: 魏国安, 1962年出生, 男, 高级工程师。

公路开挖的最大深度为 8.80 m, 边墙最大高度 6.0 m, 地下水距原地面 0.6 m, 地下水水位高出公路

路面 2~5.5 m。

下穿公路路堑结构的断面形式如图 1 所示。

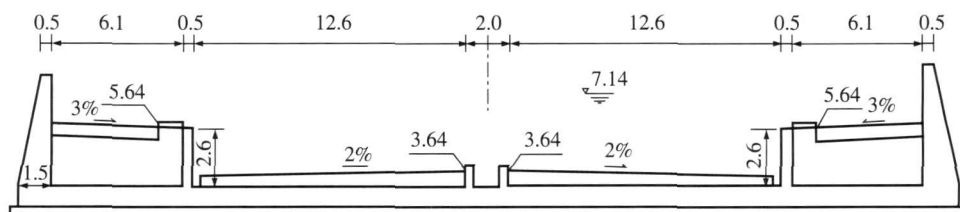


图 1 下穿公路路堑结构断面 (单位: m)

## 2 结构形式的比选

### 2.1 放坡方案

S245 公路采用下穿方案, 绝大部分地段位于地下水位以下, 公路两侧的边坡稳定就是设计中首先要考虑的问题。如果采用放坡方案, 地下水渗透的问题无法解决, 两侧的边坡在地下水的作用下, 造成边坡不稳定, 还需要防护, 显然不可行。

### 2.2 两侧挡土墙支撑防护方案

采用两侧挡墙支撑防护, 长时期挡墙与公路路面连接处的地下水的渗透则又是一个无法解决的难题, 另外, 公路路面重量及动活载重量比较小, 无法抵抗地下水的浮力, 还需在公路路面下加设抗浮锚杆, 因此这个方案也不成立。

### 2.3 船坞式结构方案

根据以上几种情况, 综合考虑最后采用整体性较好的船坞式结构, 船坞式结构是一个整体, 既能防止地下水渗漏, 本身重量又大, 能抵抗地下水产生的浮力, 是一个比较可行的方案。船坞式结构图见图 1, 拟定的尺寸为两侧边墙墙顶宽 0.5 m, 外墙外侧边墙坡率 0.2, 外墙内侧直立, 机动车道与非机动车道之间的墙采用直墙, 顶宽 0.5 m, 船坞式结构内侧路面宽度为 40.4 m。

## 3 水土压力、上浮力、地震液化的计算

在一般边坡防护设计中, 边坡土压力的计算用朗肯理论或库仑理论公式计算主动土压力。本工程中, 由于船坞式结构是一个整体, 受力比较复杂, 主要力系有边墙自重、墙背土压力及水压力、底板自重、地下水浮力、地震力、地基反力、汽车荷载、人群荷载, 因此, 为了计算方便, 对船坞式结构进行简化, 分别对边墙、直墙、底板进行单独计算。

### 3.1 边墙、直墙设计计算

边墙和底板是连成一体的, 边墙的防护采用的是钢筋混凝土, 支护结构的刚度很大, 不允许顶部产生水

平位移, 土体处于弹性平衡状态, 这时支护结构所受的土压力为静止土压力, 因此, 边坡的土压力按朗肯理论静止土压力计算。

由于地下水水位埋深比较浅, 工程所处的地层为黏质砂土, 渗透性较好, 侧向压力为侧向土压力和侧向水压力之和。渗透性较好的地层, 地下水有稳定的渗流, 受渗流的影响, 作用于支护结构上的水压力为该处的静水压力减去该处水压力的修正值, 但为了计算方便, 安全考虑, 可近似地按最高水位有荷载条件下的静水压力计算。

$$\text{水压力: } E_s = h_w \cdot \gamma_w \quad (1)$$

式中  $h_w$ ——水头高度, 即地下水位到计算点的垂直距离 (m);

$\gamma_w$ ——水的重度 (10 kN/m<sup>3</sup>)。

$$\text{土压力: } E_0 = 1/2 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot (1 - \sin^2 \phi') \quad (2)$$

式中  $\gamma$ ——墙后土的重度 (kN/m<sup>3</sup>), 地下水水位以下土的重度采用浮重度;

$H$ ——墙高 (m);

$\phi'$ ——墙后土的内摩擦角 (°), 地下水水位以下土的内摩擦角采用有效摩擦角。

$$\text{侧向压力: } P = E_s + E_0 \quad (3)$$

边墙、直墙的弯矩计算其主要作用力为墙体所受的侧向压力、墙体的重力、边墙上覆的土体自重。设计计算时, 拟定的墙高 7 m, 浸水水位高 5.0 m, 经计算, 边墙的土压力为 299 kN/m, 弯矩为 582 kN·m。

边墙、直墙为受弯构件, 按极限承载力状态进行内力及截面配筋计算并验算其抗裂度及斜截面抗剪强度。

### 3.2 底板的设计计算

#### 3.2.1 机动车荷载

汽车荷载按汽车—20级, 挂车荷载按挂车—100, 汽车按最不利轴重 60 kN—120 kN—120 kN作为控制计算荷载, 双车道, 按 4 个均等集中力计算, 宽度按 10 m 计算, 每一集中力为 15 kN, 挂车荷载按挂车—100 按轴重 250 kN—250 kN—250 kN—250 kN作为控制荷载, 每一集中力为 25 kN。

### 3.2.2 非机动车荷载

非机动车荷载按 60 kN 分布在 10 m 范围内, 每一集中力为 6 kN。另外再加非机动车道上填土的重量、路面的重量。

### 3.2.3 人行道荷载

人行道宽度 1.5 m, 人群活荷载取 3.5 kN/m。人行道混凝土板重量取 7.0 kN/m, 人行道荷载 =  $1.5 \times 3.5 + 7 = 12.25$  kN, 取 13 kN/m。

### 3.2.4 底板厚度的计算

计算底板厚度按船坞式结构抗浮力要求确定,

抗浮力安全系数:  $K = w / 0.9 \geq 1.1$  (4)

浮力折减系数为 0.9, 浮力  $F = w_d \cdot \gamma_w$  (5)

式中  $w_d$ ——底板的重量;

$w$ ——船坞式结构的总重及非机动车上的填土重量、边墙重量及边墙上覆的土体自重、直墙与边墙之间的非机动车道上的填土重量、人行道的重量、直墙的重量、底板的重量、边墙与土间的摩擦力, 根据 (4) 式和 (5) 式可计算出底板的厚度。

根据拟定的尺寸经计算确定底板的最小厚度为 0.9 m, 设计取底板厚度 1.0 m。

### 3.2.5 底板的弯矩计算

底板的计算采用弹性地基梁理论 (梁与地基共同作用), 用理正软件进行计算, 计算将底板全长 40.4 m 分为 4 个跨度单元进行计算, 根据具体情况, 划分确定计算模式的边界条件, 其简化的计算模式如图 2 所示。

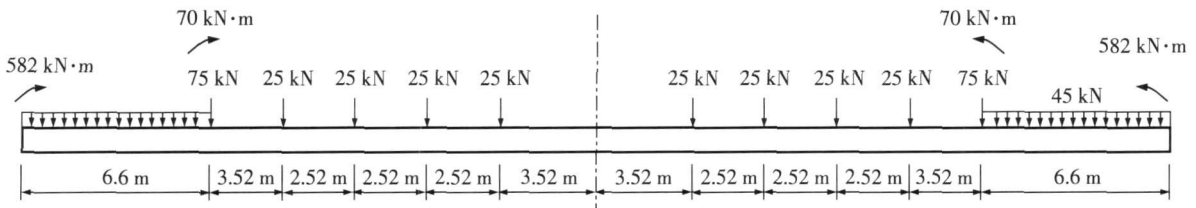


图 2 弹性的基梁计算模式

计算参数: C30 钢筋混凝土弹性模量: 30 000 MPa, 地基土的基床系数 1 500 kN/m<sup>3</sup>, 底板厚度 1.0 m, 底板长度 40.4 m, 梁的容重 25 kN/m<sup>3</sup>, 按弹性地基梁理论计算底板内力 ( $M_{max}$ ,  $Q_{max}$ ) 取其最大值按极限承载力状态进行内力计算及截面配筋计算, 计算的弯矩图如图 3 所示。

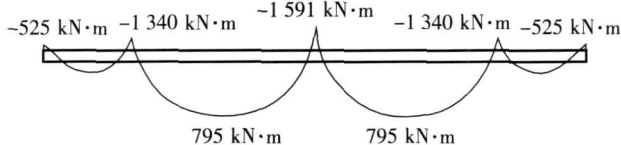


图 3 弹性地基梁弯矩图

## 4 材料

船坞式结构置于地下水位以下的黏质砂土中, 地下水水位高, 水量丰富, 渗透系数大, 为保证该结构安全运营, 不发生渗漏, 耐久性好, 需配制防水混凝土, 水泥标号不应低于 P 042.5 号。此外, 坞式结构断面尺寸大, 结构厚实, 混凝土量大, 工程条件复杂, 施工技术要求高, 水泥水化热引起混凝土结构内产生的最高温度与外界气温之差使结构产生温度和收缩变形, 故需采取相应的措施, 尽可能减少温度引起的开裂, 故在设计中水泥采用水化热较低的矿渣硅酸盐水泥, 并尽可能减少水泥用量, 但不得少于 280 kg/m<sup>3</sup>, 抗渗等级 S<sub>8</sub>。

### 4.1 材料

4.1.1 边墙、直墙、底板均采用 C30 防水混凝土, 水泥标号 P 042.5, 水泥采用水化热较低的矿渣硅酸盐水泥, 主筋采用 HRB335 钢筋, 构造筋和箍筋采用 HPB235 钢筋。

4.1.2 细骨料采用中砂; 粗骨料采用 10~30 mm 连续级配石子, 以减少混凝土收缩变形; 中砂、碎石应水洗以保证碎石中的含泥量控制在 1% 以内, 砂中的含泥量控制在 2% 以内。硫化物和硫酸盐含量不得大于 1%。

4.1.3 水灰比不得大于 0.55, 灰砂比宜为 1:1.5~1:2.5, 具体的比例应在现场作试验确定, 拌制混凝土所用水应符合《混凝土拌合用水标准》(JG 63-89)。

### 4.1.4 外加剂

4.1.4.1 微膨胀剂 (UEA): 掺入掺量不大于水泥用量的 10%;

4.1.4.2 粉煤灰: 采用一级, 掺量不大于 20%;

4.1.4.3 减水剂: 采用多环芳香族磺酸钠 (N), 掺入掺量不大于水泥用量的 0.5%。

## 5 结论

船坞式结构挡土墙在地下水位较高的公路立交、公铁立交等地段应用前景较广, 设计中需注意:

(下转第 62 页)

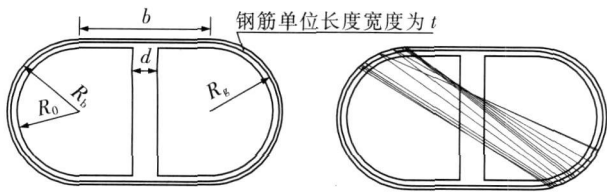


图 4 圆端形双空心截面双向受力不同隔板厚度的零应力线变化图

表 5 不同厚度隔板计算结果对比

d	k	p	$\sigma_{h\max}/\text{MPa}$	$\sigma_{g\min}/\text{MPa}$
0	-0.60	-0.31	15.056 2	-105.198 5
0.01	-0.60	-0.30	15.029 9	-106.413 4
0.05	-0.61	-0.26	14.929 6	-110.910 9
0.10	-0.62	-0.21	14.814 0	-115.834 9
0.4	-0.69	-0.03	14.269 4	-135.320 2
0.8	-0.75	0.12	13.683 7	-147.747 8
1.6	-0.77	0.27	12.170 0	-151.480 1
1.8	-0.76	0.30	11.671 6	-149.340 7
2.0	-0.75	0.33	11.131 6	-146.150 9
2.4	-0.70	0.36	9.966 2	-136.792 7
2.8	-0.64	0.38	8.825 4	-125.257 6
3.2	-0.56	0.38	7.880 0	-114.677 9
4.0	-0.44	0.38	6.932 7	-105.657 1
实体	-0.43	0.38	6.912 7	-105.734 3
混凝土实体	-0.41	0.63	9.665 3	—

注:  $k_p$ ——零应力线参数。

4 结 论

- (1) AFPA 基于 AutoCAD 二次开发技术首次解决了任意钢筋混凝土截面(允许应力法)配筋计算的问题。
- (2) AFPA 对任意钢筋混凝土截面进行配筋计算(允许应力法)是可行和可靠的。
- (3) AFPA 对任意混凝土截面进行应力重分布计算(允许应力法)是可行和可靠的。
- (4) 双向受力的空心截面中间设置隔板对控制截面钢筋拉应力和裂缝宽度作用不大。

参考文献:

[1] 余琪. 矩形截面双向大偏心受压配筋计算的直接迭代法[J]. 铁道建筑, 1993(9): 1—5

[2] 童森林. 圆端形截面配筋计算[J]. 铁道工程学报, 1994(1): 69—82

[3] 童森林. 桥梁设计算法新解[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2000

[4] 孙训方, 等. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005

[5] 李长勋. AutoCAD ObjectARX 程序开发技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005

[6] 李世国. AutoCAD 高级开发技术: ARX 编程及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999

[7] 同济大学数学教研室. 高等数学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994

(编辑 赵立兰)

(上接第 36 页)

- (1) 船坞式结构力学分析需按边墙及底板分别检算: 边墙根据边界条件选用朗肯或库伦土压力理论进行力学计算设计, 底板采用弹性地基梁理论计算底板受力并进行相关设计;
  - (2) 船坞式结构对水泥材料要求严格, 需选用 P 042.5 及以上标号水泥, 同时要求低热, 抗渗, 建议采用矿渣水泥, 同时根据实验配比控制水泥用量。
- S245 公路下立交工程 2004 年 12 月施工图设计完成, 2006 年年初工程完工, 经过几年的运营, 该工程未出现渗水、漏水现象, 显然, 该工程的船坞式结构设

计是合理的, 这对类似的工程设计提供了宝贵的经验。

参考文献:

[1] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006

[2] TB 10025—2006 铁路路基支挡结构设计规范[S].

[3] 顾晓鲁, 等. 地基与基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993

(编辑 吕 洁)