

化工厂道路设计研究

姚 娟（科思创聚合物（中国）有限公司，上海 201210）

摘 要：本文通过化工厂道路的实例设计过程的阐述，说明了石油化工企业内道路设计的重要性。在设计思路上指出了道路设计的重点考虑问题，在控制投资的情况下，保证了工程设计质量。

关键词：厂矿道路；混凝土；计算

1 概述

随着我国石油化工行业的蓬勃发展，化工企业逐渐向着大型化，集中化，模型化发展，这就对厂区的道路提出了更高的要求，在以往的化工设计中，因道路的投资占比非常小，往往得不到重视，随着道路的等级提高，道路建筑材料的价格提高，业主对这部分的投资也愈发重视起来。工厂道路再也不是以前凭借经验选取标准图的时代了，计算量化设计已经成为了主流，好的工厂道路设计不仅仅降低建设成本，在后期的工厂运用维护中也是至关重要。

2 工程案例

本文以上海化工园某化工厂为例，通过对厂内道路的设计过程的分析，阐述了厂区道路的设计特点和要点，说明了科学设计厂区道路的重要性。

2.1 道路的平面设计

道路是厂区各功能分区的骨架，也是联系各个装置的重要组成部分，在装置或设施各区块之间用道路分隔，厂区内道路呈网格状。布局厂区道路的布置不仅应满足生产运输、检修的要求，还应满足人流和消防要求，并使厂区运输线路最短，最方便。

道路布置应尽量减少无使用价值的道路以节约用地，降低造价。首先需要根据厂区布局和功能分区布局整个厂区的路网，厂区道路按需要分为主要运输道路（原料和成品运输通道）、主干道（人员和公务车辆的通道）、次干道（装置间的消防通道，装置内的检维修通道）三级设置^[1]，道路宽度分别为9m、7m和6m，装置内主要道路路面宽度6m。厂区道路交叉口道路内缘转弯半径不小于12m，装置内消防道路转弯半径不小于6m。按照石油化工企业设计防火标准的要求，管架跨越路面时，厂内主干道净空高度不应低于5.0m，装置区内道路净空高度不低于4.5m。跟以往不同的是，在模块化设计越来越多的时代，需要考虑到主要工艺装置的模块大小及运输线路，在厂区内需要设计出一条大件运输通道，路宽和净空均需要满足大型设备和模块的运输要求。

2.2 道路的竖向设计

在化工厂区道路的设计中，原料、产品、危险品运输道路的纵坡不大于6%；主干道最大纵坡不大于4%；次干道纵坡不大于6%。人行道纵坡不大于4.0%。

为了满足生产、运输对高程的需求，为其创造良好

的场地条件，本项目采用平坡式布置，整个厂区道路纵坡为0%，横坡为2%，为避免厂区出现内涝的风险，厂区的道路标高高于厂外道路，平顺衔接，使得整个厂区设计标高与周围的道路标高相适应，尽量减少了厂区土方工程量。场地及路面的清净水采用路面雨水口收集、暗管排水方式。

2.3 道路的断面设计

厂区道路分为公路型和城市型，公路型道路断面较为简单，一块板或两块板为主，等级较高的公路往往设置硬路肩，供紧急停车使用，公路管线较少，往往没有路灯，路面雨水排入路边雨水沟；城市道路的横断面型式比较丰富，一般是结合各类需求具体确定，有一块板、两块板、三块板、四块板等，有独立的人行道，而且一般有路灯照明，路边有高出路面的路沿石，周围雨水排入路面旁的雨水口汇入雨水系统。

根据本项目情况，采用城市型道路，局部区域根据需要增设人行道，路缘石采用C30混凝土预制块，一般高出地面15~20cm。

石油化工厂区中的地下管线相对于其他类型的工厂还是比较多的，大多需要沿着道路敷设，这就需要在设计道路断面的同时考虑这些管道的设计空间，管线一般按照埋深的深度自建构物向道路又深到浅来布置。工程管线结合人流车流量，合理布置厂区通道的宽度，对于道路工程量的投资和整个厂区土地的利用率有着决定性作用。本项目的厂区通道为35~40m，厂区通道面积占厂区面积的40%，还是比较经济合理的，厂区通道的断面图如下：

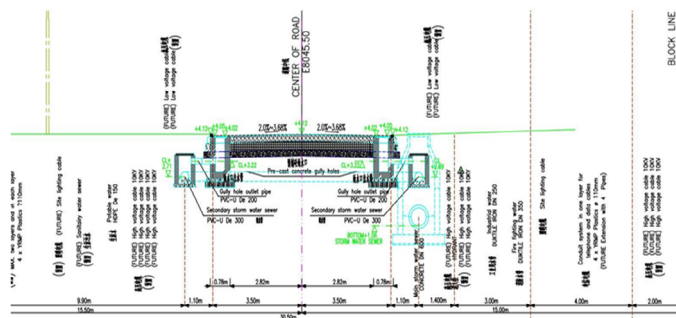


图1 厂区道路断面图

2.4 道路的结构设计

路面结构做法设计时应结合项目情况及所在地的

气象、材料、地质等情况专门设计。同时应遵照“厂矿道路设计规范 GBJ22^[2]”、“公路路基设计规范 JTG D30”、“公路水泥混凝土路面设计规范 JTG-D40^[3]”、国家建筑标准设计图集 J007 中的标准设计等相关规范和标准,结合所行驶车辆的荷载及交通量情况进行路面结构的选用和验算。根据以往项目经验,本项目拟采用道路及地坪结构做法(自上而下):

①重载道路: C35 钢筋混凝土面层 220mm(单层双向钢筋 $\phi 10@200$); 级配碎石基层 400mm; 碎石底基层 300mm; 素土夯实, 重型压实度 95%; ②轻载道路及一般铺砌场地: C30 钢筋混凝土面层 150mm(单层双向钢筋 $\phi 8@200$); 级配碎石基层 300mm; 碎石底基层 200mm; 素土夯实, 重型压实度 93%。

根据《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40-2011)中的条文说明附录 B.7“混凝土板厚度计算实例”方法对选用的混凝土板进行核算。

初始资料: 设计轴载 $P_s=100\text{kN}$, 最重轴载 $P_m=150\text{kN}$, 设计车道使用初期设计轴载的日作用次数为 120 次。设计基准期为 30 年。普通混凝土面层的弯拉强度标准值为 4.5MPa, 相应弯拉弹性模量与泊松比为 29GPa、0.15, 混凝土线膨胀系数为 $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, 路床顶综合回弹模量为 $E_0=60\text{MPa}$, 级配碎石基层回弹模量为 $E_1=300\text{MPa}$, 未筛分碎石底基层回弹模量为 $E_2=200\text{MPa}$ 。

2.4.1 计算荷载疲劳应力

临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数取 0.54, 设计基准期内设计车道设计轴载累计作用次数:

$$N_e = \frac{N_s \times [(1+\gamma)^t - 1] \times 365}{\gamma} \eta = 120 \times 365 \times 0.54 \times 30 = 709560 \text{ 次}$$

取 $N_e=710000$ 次

经由查表可知, 本厂区属中等交通荷载等级。

新建道路基层顶面当量回弹模量和基层当量厚度计算如下:

$$E_x = h_1^2 \times E_1 + h_2^2 \times E_2 / h_1^2 + h_2^2 = 264\text{MPa}$$

$$h_x = h_1 + h_2 = 300 + 400 = 700\text{mm} = 0.7\text{m}$$

$$\alpha = 0.86 + 0.26 \ln h_x = 0.26 \times \ln(0.7) + 0.86 = 0.767$$

$$E_t = (E_x / E_0)^\alpha \times E_0 = (264/60)^{0.767} \times 60 = 187.0\text{MPa}$$

普通混凝土面层的弯曲刚度 D_c 和相对刚度半径 r :

$$D_c = E_c h_c^3 / (12(1-\nu_c^2)) = 29000 \times 0.22^3 / (12 \times (1-0.15^2)) = 26.325\text{MN}\cdot\text{m}$$

$$r = 1.21 (D_c / E_t)^{1/3} = 1.21 \times (26.325/187.0)^{1/3} = 0.629\text{m}$$

设计轴载和最重荷载在临界荷位处产生的荷载应力:

$$\sigma_{ps} = 1.47 \times 10^{-3} \times 0.629^{0.7} \times 0.22^{-2} \times 100^{0.94} = 1.665\text{MPa}$$

$$\sigma_{pm} = 1.47 \times 10^{-3} \times 0.629^{0.7} \times 0.22^{-2} \times 150^{0.94} = 2.439\text{MPa}$$

计算荷载疲劳应力和最大荷载应力(考虑接缝传荷能力的应力折减系数 $kr=0.9$, 综合系数 $kc=1.05$, 疲劳应力系数 $kf=710000^{0.057}=2.155$):

$$\sigma_{pr} = kr \cdot kf \cdot kc \cdot \sigma_{ps} = 3.394\text{MPa}$$

$$\sigma_{p, \max} = kr \cdot kc \cdot \sigma_{pm} = 2.305\text{MPa}$$

2.4.2 计算温度疲劳应力

上海区最大温度梯度取为 $88^\circ\text{C}/\text{m}$, 道路板长 L 为 6m, 计算综合温度翘曲应力和内应力的温度应力系数 BL :

$$t = L/3r = 6 / (3 \times 0.629) = 3.180$$

$$CL = 1 - (\sinh(t) \times \cos(t) + \cosh(t) \times \sin(t)) / (\cos(t) \times \sin(t) + \sinh(t) \times \cosh(t)) = 1.086$$

$$BL = 1.77e^{-4.48hc} CL - 0.131(1-CL) = 1.77e^{(-4.48 \times 0.22)} \times 1.086 - 0.131 \times (1-1.086) = 0.729$$

最大温度应力:

$$\sigma_{t, \max} = 10^{-5} \times 29000 \times 0.22 \times 88/2 \times 0.729 = 2.046\text{MPa}$$

温度疲劳应力系数 kt :

$$kt = 4.5/2.046 \times (0.841 \times (2.046/4.5)^{1.323} - 0.058) = 0.524$$

计算温度疲劳应力:

$$\sigma_{tr} = kt \times \sigma_{t, \max} = 0.524 \times 2.046 = 1.072\text{MPa}$$

2.4.3 结构极限状态校核

取可靠度系数 $\gamma_r=1.13$ 按式 $\gamma_r(\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) \leq f_r$ 校核路面结构极限状态是否满足要求:

$$1.13 \times (3.394 + 1.072) = 5.05\text{MPa} > f_r = 4.5\text{MPa}$$

$$1.13 \times (2.305 + 2.046) = 4.92\text{MPa} > f_r = 4.5\text{MPa}$$

显然, 该路面结构不能满足要求。

经验算, 混凝土厚度增至 0.25m 可满足:

$$\sigma_{pr} = 2.874\text{MPa}$$

$$\sigma_{tr} = 1.04\text{MPa}$$

$$\sigma_{p\max} = 1.952\text{MPa}$$

$$\sigma_{t, \max} = 2.008\text{MPa}$$

$$1.13 \times (2.874 + 1.04) = 4.42\text{MPa} < f_r = 4.5\text{MPa}$$

$$1.13 \times (1.952 + 2.008) = 4.47\text{MPa} < f_r = 4.5\text{MPa}$$

当普通混凝土面层的厚度为 0.25m 时, 可以承受设计基准期内设计轴载和温度梯度的综合疲劳作用, 以及最重轴载在最大温度梯度时的一次极限作用, 最终取设计厚度为 0.25m。

3 结论

本文结合实例, 根据厂区功能分区划分路网, 对厂区道路进行平纵横的设计, 并且由车辆的荷载及交通量对道路的断面做法进行了核算。在最大限度节约投资的情况下, 保证了厂区道路良好的稳定性和强度, 也为日后工厂物料的运输和企业的正常运行提供了数据支持。

参考文献:

- [1] 雷明. 工业企业总平面设计 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1998.
- [2] 中华人民共和国交通部. 厂矿道路设计规范 [M]. 北京: 中国计划出版社, 1989.
- [3] 中交公路规划设计院有限公司. 公路水泥混凝土路面设计规范: JTG D40-2011 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.