

基于经典力学法的地铁门洞式支架可靠性应用研究

付 昆

昆明地铁建设管理有限公司, 云南 昆明

收稿日期: 2022年2月9日; 录用日期: 2022年3月17日; 发布日期: 2022年3月24日

摘 要

针对盾构掘进始发与地铁车站施工存在的冲突问题, 提出将门洞式支架应用于盾构机组装区, 以确保盾构机组的组装工作, 并确保车站主体结构与盾构始发能够同时交叉施工, 进而提高施工作业效率, 缩短工期。以昆明市轨道交通2号线二期工程某车站工程实践为例, 从支架设计、验算、施工工艺、搭设及拆除要求等方面, 通过采用经典力学计算方法, 对地铁门洞式支架结构进行了力学模型简化, 构建了均布荷载单跨筒支梁以及受压稳定杆件模型, 对支架的可靠性进行了计算研究。通过后续实际施工可见门洞式支架整体结构稳定, 能够满足地铁运营的要求, 证实了经典力学计算方法在地铁施工中的可行性。

关键词

地铁车站, 门洞式支架, 体系设计, 均布荷载单跨筒支梁, 受压稳定杆件模型, 受力验算

Reliability Application Research of Subway Door Opening Bracket Based on Classical Mechanics Method

Kun Fu

Kunming Metro Construction Management Co. Ltd., Kunming Yunnan

Received: Feb. 9th, 2022; accepted: Mar. 17th, 2022; published: Mar. 24th, 2022

Abstract

In view of the conflict between shield tunneling and subway station construction, it is proposed to apply the portal bracket to the shield machine assembly area, so as to ensure the assembly work

of the shield machine unit, and ensure that the main structure of the station and the shield starter can be cross-constructed at the same time, thereby improving the efficiency of construction work and shortening the construction period. Taking the engineering practice of a station of the second phase project of Kunming Rail Transit Line 2 as an example, from the aspects of bracket design, check calculation, construction technology, erection and dismantling requirements, etc., by using the classical mechanical calculation method, the subway door-type bracket structure is mechanically carried out. The model is simplified, the model of a single-span simply supported beam and a compressive stable member with uniform load is constructed, and the reliability of the support is calculated and studied. Through subsequent actual construction, it can be seen that the overall structure of the portal support is stable and can meet the requirements of subway operation, which proves the feasibility of the classical mechanical calculation method in subway construction.

Keywords

Subway Station, Portal Support, System Design, Single-Span Simply Supported Beam with Uniform Load, Compressive Stabilizing Member Model, Force Check Calculation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国城市轨道交通的发展,城市地铁线路的规划与建设成为经济发展的重要力量[1] [2] [3] [4]。地铁线路的里程增加的同时,地铁车站的修建也成为施工过程中的重要环节,作为线路的重要节点,车站承担着施工人员和材料进出口的作用,并控制着地铁线路施工的工期[5]。

地铁线路由盾构区间和连接不同区间的车站构成,在进行车站施工时,常用的支架为满堂支架,在支承的顶部的强度未达标时,其支架无法进行拆除,并影响着支架以下区域的施工进度[6]。由于盾构区间的始发区往往位于车站结构的最底层,采用满堂支架会严重影响盾构机的组装和始发进程,且影响盾构施工后的渣土的堆放和处理,进而严重影响盾构隧道的施工作业,并延长工期,增加工程成本。

目前,门洞式支架在桥梁工程建设中应用广泛,尤其在箱梁施工中发挥着重要作用,其支架的整体支承高度较高,且承载能力强,能够提供较大的下部空间,以供交通运行或其他施工操作[7] [8]。在实际的应用中,门洞式支架往往有两种主要类型,分别为群柱支架与钢管支架,前者常用碗扣式的钢支架,间距较小,后者采用承载力较大的钢管[9]。

由于门洞式支架体系存在的诸多优点[10],考虑将门洞式支架体系应用于地铁车站盾构始发区,为地铁车站结构最下部提供较大的作业空间,以确保盾构机的组装与始发能够进行,并实现车站主体结构与盾构始发的交叉施工,提高工作效率[11] [12]。但是,在进行门洞式支架设计时,存在着结构相对复杂、安装固定步骤严格、焊接与拆除困难等问题,需要对现有的门洞式支架结构进行改进,并使其更加适用于地铁车站盾构始发区段[13] [14]。

由于采用有限元或者数值算法存在计算量大、计算效率低等特点,因此本文以昆明市轨道交通2号线二期工程某车站工程实践为例,通过采用经典力学计算方法,对地铁门洞式支架结构进行了力学模型简化,构建了均布荷载单跨简支梁以及受压稳定杆件模型,并对支架的静力学可靠性进行了分析,以确保门洞式支架的强度与稳定性。

2. 工程概况

2.1. 地铁车站结构

昆明市轨道交通 2 号线二期某车站位于福保路主道路下方，沿南北向布置，采用地下两层岛式站台车站形式。车站主体总外包长度 185 m，标准段外包宽度 19.7 m，端头井外包宽度为 23.8 m，基坑深度约 16.5~18.2 m，覆土厚度约为 2.5~3.0 m，共设 4 个出入口，2 组风亭。

车站主体结构封顶后，需封闭盾构预留吊装孔，进而将交通导改主体上方，方可开展两侧附属结构施工。按照全线工筹，六甲站前一个区间盾构掘进出土统一从六甲站后一个站龚家村站出土，本站盾构孔封孔需与盾构区间出土过站交叉作业，故本站端头井封孔考虑将原方案的满堂式支架变更为门洞式支架。本站门洞尺寸 11.5 × 7.5 × 7.75 m (长 × 宽 × 高)，位于车站南北两个端头负二层地铁轨道上方，左右线各一个，共计 4 个。门洞总平面图如图 1 所示。

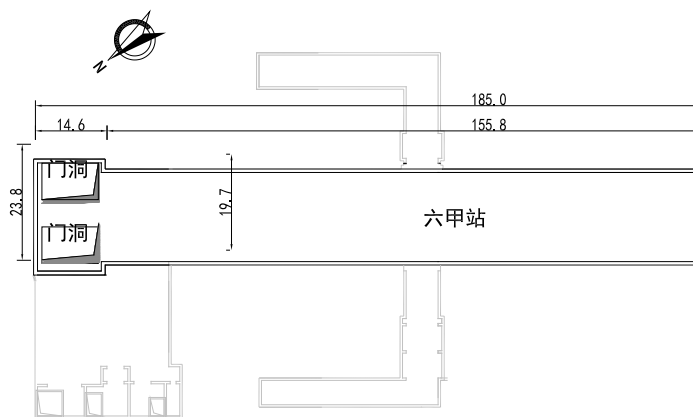
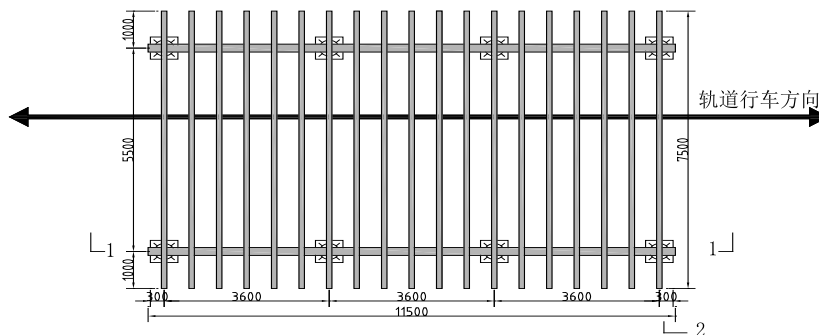


Figure 1. General plan of door opening
图 1. 门洞总平面图

2.2. 门洞式支架结构设计

车站门洞位于南北两个端头吊装孔下方，采用门式结构，门洞作为底部支撑在其上部搭设支架模板，浇筑混凝土封堵吊装孔。封堵吊装孔施工期间为减少对盾构施工的影响，保证盾构掘进土方正常外运，门洞内部保留足够的空间进出通道。整个门洞采用钢结构搭设，门洞结构两侧的钢立柱构成门形竖框，上部为纵横两个方向的工字钢构成门形横框，是吊装孔模板支架的底座。门洞结构形式平面图如图 2(a) 所示，纵剖面图如图 2(b) 所示，横剖面图如图 2(c) 所示。



(a) 门洞平面图

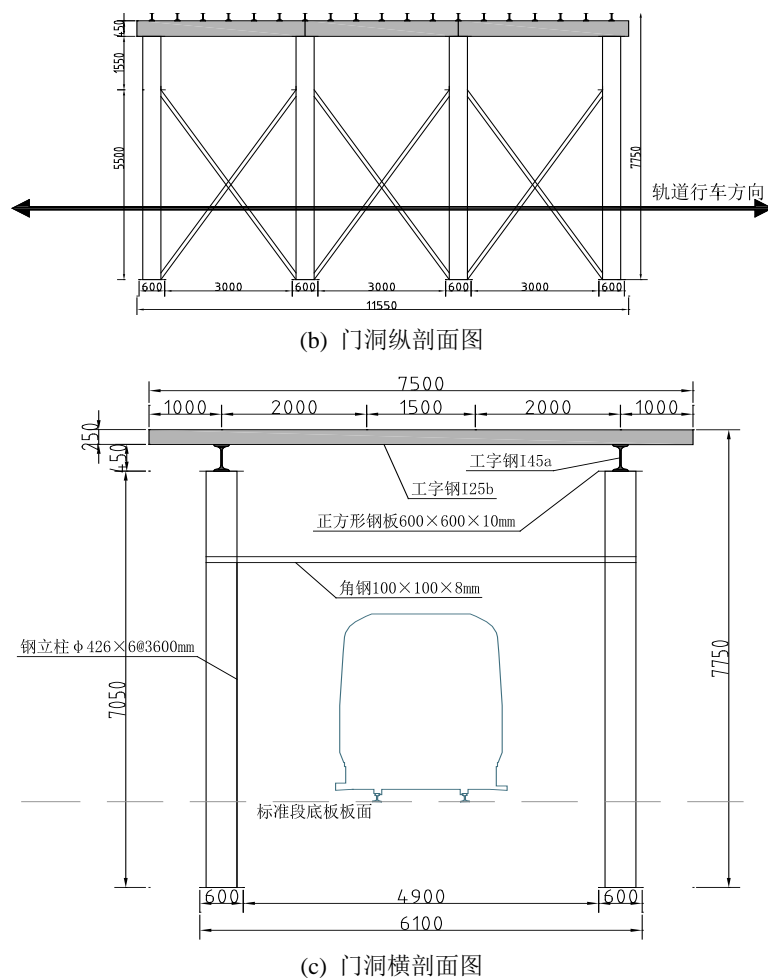


Figure 2. The structural design of the door-type bracket
图 2. 门洞式支架结构设计图

3. 施工步骤与研究方法

3.1. 施工步骤

1) 门洞的钢立柱底座采用尺寸为 $600 \times 600 \times 10 \text{ mm}$ 的正方形钢板，材质为 Q235，用 4 根 HRBC20 钢筋固定在底板上，钢筋腹部贴焊于底座钢板的四周，钢筋翼尖采用植筋的方式锚入结构底板上，形成一个“凳子形”构件，钢筋翼尖锚入底板深度 250 mm。底座构件示意图如图 3 所示。

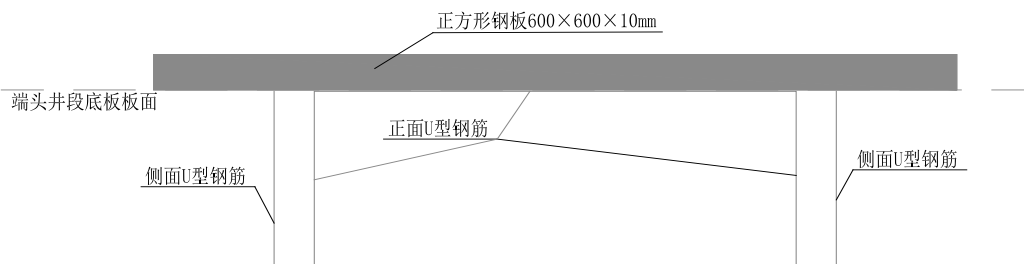


Figure 3. Schematic diagram of base components
图 3. 底座构件示意图

2) 底座钢板安装完成后,开始安装门洞立柱,立柱采用螺旋焊钢管 $\Phi 426 \times 6.0$ mm 钢立柱,高度 7.05 m,钢立柱设置 2 纵,纵间距 5.5 m,每纵 4 根,根间距 5.5 m。将钢立柱竖直放置于底座钢板中心位置,使钢立柱下端与底座钢板紧密贴合,并将结合部位焊接牢固。

3) 钢立柱与底座钢板焊接完成后,为保证竖直钢立柱的稳定性,在底座钢板的四个对角方向上设置 4 块三角形牛腿,牛腿采用尺寸为 $100 \times 100 \times 10$ mm 的三角形钢板,材质为 Q235。三角形牛腿竖直安装,两个直角边与钢板底座和钢立柱紧密贴合,并将结合部位焊接牢固。钢板底座与钢立柱节点详图如图 4 所示。

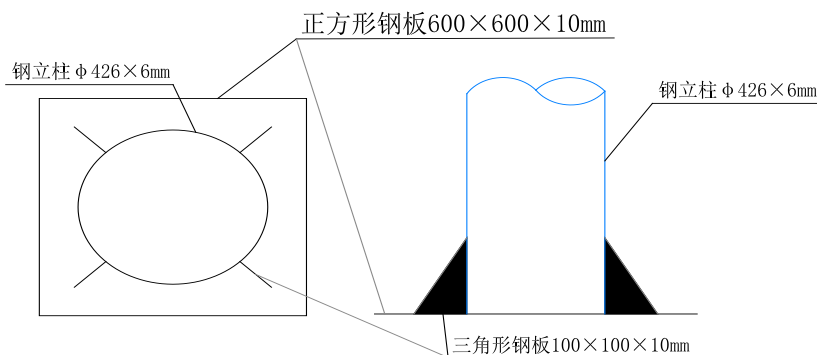


Figure 4. Details of the joint between the steel plate base and the steel column
图 4. 钢板底座与钢立柱节点详图

4) 钢立柱安装完成后,开始安装钢立柱顶部的顶座,顶座采用尺寸为 $600 \times 600 \times 10$ mm 的正方形钢板,材质为 Q235,顶座位于钢立柱的中心位置,将顶座与钢立柱的结合部位焊接牢固。

5) 门洞的 8 根钢立柱安装完成后,将 2 根长 11.5 m 的 I45a 工字钢纵向放置于钢立柱的顶座上,形成门洞结构的纵向主梁,将工字钢与顶座接触位置焊接牢固。

6) 2 根主梁安装完成后,在其上沿纵向放置 19 根长 7.5 m 的 I25b 工字钢,纵向间距 1000 mm,形成门洞结构的次梁。

7) 纵向钢立柱之间采用规格为 $100 \times 100 \times 8$ mm 的角钢设置剪刀撑,每根角钢长 7.7 m,一端焊接于底座钢板上,一端焊接于相邻钢立柱高度 5.5 m 处,两根剪刀撑角钢交点处紧密贴合,并将结合部位焊接牢固,加强门洞体系的纵向稳定性。

8) 横向钢立柱之间采用规格为 $100 \times 100 \times 8$ mm 的角钢设置加撑,位于钢立柱高度 5.5 m 处,每根角钢长 6.0 m,并将角钢与钢立柱结合部位焊接牢固,加强门洞体系的横向稳定性。

3.2. 工艺流程

1) 门洞搭设流程

门洞搭设时由下至上分步进行,两侧对称搭设,具体流程:准备工作→选择配料→放样定点→植筋钻孔→布置底部方形钢板→植入固定钢筋并与底部方形钢板焊接固定→布置钢立柱→焊接底部加固三角形钢板→焊接顶部方形钢板→铺设 I45a 工字钢→铺设 I25b 工字钢→焊接纵向剪刀撑→焊接横向加撑→整体验收。

2) 门洞拆除流程

门洞拆除是搭设时的逆过程,在门洞的上部结构拆除完成后,进行门洞拆除,门洞拆除由上至下分步进行,同样两侧对称拆除,具体流程: I25b 工字钢→I45a 工字钢→顶部方形钢板→纵向剪刀撑→横向加撑→底部加固三角形钢板→钢立柱→植筋钢筋→底部方形钢板→材料堆放整齐。

3.3. 研究内容与方法

通过采用经典力学计算方法,对地铁门洞式支架结构进行了力学模型简化,构建了均布荷载单跨简支梁以及受压稳定杆件模型,并对支架的静力学可靠性进行了分析,以确保门洞式支架的强度与稳定性。在进行分析时,需要根据门洞式支架存在的荷载,对支架的横向与纵向受力特点进行应力应变分析,并根据稳定性理论对支撑的可靠性进行研究。

因此,在进行门洞式支架可靠度分析时,首先对门洞以上荷载计算;然后为了确保底部方形钢板稳定,需要进行 I25b 工字钢(横向)受力计算;为了验证工字钢和顶部受力钢板接头的受力,需要设计 I45a 工字钢(纵向)受力计算;最后,为确保模板支撑系统的稳定,还需进行 $\Phi 426 \times 6.0 @ 3600$ 钢立柱受压稳定性计算。

4. 门洞支架经典力学可靠性分析

4.1. 门洞以上荷载计算

进行门洞搭设操作时,需要处理好门洞基础,底部方形钢板与车站底板紧密贴切,防止出现空包、大缝隙,确保门洞的搭设质量,因此需要对门洞以上荷载进行计算。

1) 计算参数

模板及木枋自重标准值 $G_{1k} = 0.3 \text{ kN/m}^2$

施工综合荷载标准值 $Q_k = 4 \text{ kN/m}^2$

新浇钢筋混凝土重度 $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$

结构重要性系数 $\gamma_o = 1.1$

2) 荷载计算

a) 新浇钢筋混凝土自重标准值

$$G_{2k} = \gamma_c \times H_b = 25 \times 0.4 = 10 \text{ kN/m}^2$$

横向工字钢上均布荷载标准值

$$g_{k1} = G_{1k} + G_{2k} = 0.3 + 10 = 10.3 \text{ kN/m}^2$$

横向工字钢上均布荷载设计值

$$\begin{aligned} p_1 &= \gamma_o \times [1.2 \times (G_{1k} + G_{2k}) + 1.4 \times Q_k] \\ &= 1.1 \times [1.2 \times (0.3 + 10) + 1.4 \times 4] \\ &= 19.8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

b) 横向工字钢自重标准值

$$G_{3k} = 7.5 \times 19 \times 42.01 \times 9.8 / (2 \times 11.5) = 2.6 \text{ kN/m}^2$$

纵向工字钢上均布荷载标准值

$$g_{k2} = G_{1k} + G_{2k} + G_{3k} = 0.3 + 10 + 2.6 = 12.9 \text{ kN/m}^2$$

纵向工字钢上均布荷载设计值

$$\begin{aligned} p_2 &= \gamma_o \times [1.2 \times (G_{1k} + G_{2k} + G_{3k}) + 1.4 \times Q_k] \\ &= 1.1 \times [1.2 \times (0.3 + 10 + 2.6) + 1.4 \times 4] \\ &= 23.2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

c) 纵向工字钢自重标准值

$$G_{4k} = 11.5 \times 80.38 \times 9.8 / (4 \times 11.5) = 0.2 \text{ kN/m}^2$$

钢立柱上均布荷载标准值

$$g_{k3} = G_{1k} + G_{2k} + G_{3k} + G_{4k} = 0.3 + 10 + 2.6 + 0.2 = 13.1 \text{ kN/m}^2$$

钢立柱上均布荷载设计值

$$\begin{aligned} p_3 &= \gamma_o \times [1.2 \times (G_{1k} + G_{2k} + G_{3k} + G_{4k}) + 1.4 \times Q_k] \\ &= 1.1 \times [1.2 \times (0.3 + 10 + 2.6 + 0.2) + 1.4 \times 4] \\ &= 23.5 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

4.2. I25b 工字钢(横向)受力计算

底部方形钢板安装前,必须先由测量员放线定点,保证结构部位位置正确。同时,严格按照规定的构造尺寸进行搭设,控制好钢立柱的垂直偏差、水平工字钢的水平偏差,并确保节点联接达到要求。其中,对于 I25b 工字钢(横向)受力计算如下:

- 1) 计算形式: 均布荷载单跨简支梁
- 2) 计算简图: 如图 5 所示

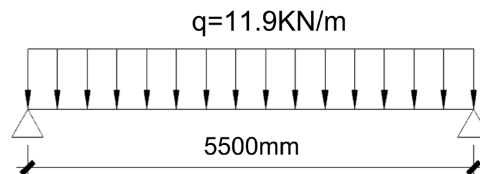


Figure 5. Schematic diagram of a single-span simply supported beam with uniform load
图 5. 均布荷载单跨简支梁示意图

- 3) 计算参数:

取计算宽度 $b = 0.6 \text{ m}$, 计算长度 $l = 5.5 \text{ m}$

I25b 工字钢截面面积 $A = 0.0054 \text{ m}^2$

I25b 工字钢的截面抗弯矩 $W = 4.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

I25b 工字钢的截面惯性矩 $I = 5.3 \times 10^{-5} \text{ m}^4$

弹性模量 $E_{\square} = 2.1 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$

工字钢抗弯强度容许值

$$[\sigma]_{\square} = 2.05 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$$

工字钢抗剪强度容许值

$$[\tau]_{\square} = 1.90 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$$

工字钢容许挠度

$$[f] = l/400 = 5.5/400 = 13.8 \text{ mm}$$

- 4) 正应力计算

均布线荷载设计值

$$q = p_1 \times 0.6 = 19.8 \times 0.6 = 11.9 \text{ kN/m}$$

则最大弯矩

$$M = q \times l^2 / 8 = 11.9 \times 5.5^2 / 8 = 45.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

最大正应力

$$\sigma = M/W = 45.0 / (4.2 \times 10^{-4}) = 1.07 \times 10^5 \text{ kN/m}^2 < [\sigma]_{\square} = 2.05 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$$

满足抗弯强度要求。

5) 剪应力计算

横截面剪力值

$$V = 0.6 \times q \times l = 0.6 \times 11.9 \times 5.5 = 39.3 \text{ kN/m}$$

最大剪力

$$\tau = 1.5 \times V/A = 1.5 \times 39.3 / 0.0054 = 1.09 \times 10^5 \text{ kN/m}^2 < [\tau]_{\square} = 1.90 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$$

满足抗剪强度要求。

6) 挠度计算

均布线荷载标准值

$$q_k = g_{k1} \times b = 10.3 \times 0.6 = 6.2 \text{ kN/m}$$

挠度

$$f = 0.667 \times q \times l^4 / (100 \times E \times I) = 0.667 \times 6.2 \times 5.5^4 / (100 \times 2.1 \times 10^5 \times 5.3 \times 10^{-5}) = 3.4 \text{ mm} < [f] = 13.8 \text{ mm}$$

满足刚度要求。

4.3. I45a 工字钢(纵向)受力计算

钢立柱和工字钢要求平直、无严重弯曲和损伤，工字钢和顶部受力钢板接头不能设在跨间，应接在各自的下部支撑构件上，间距应按施工图要求均匀布置，对于 I45a 工字钢(纵向)需要进行受力验算。

1) 计算形式：均布荷载单跨简支梁

2) 计算简图：如图 6 所示

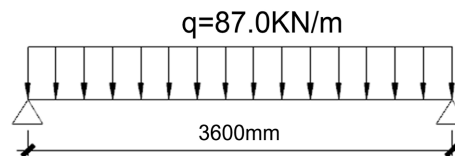


Figure 6. Schematic diagram of a single-span simply supported beam with uniform load

图 6. 均布荷载单跨简支梁示意图

3) 计算参数：

取计算宽度 $b = 3.75 \text{ m}$ ，计算长度 $l = 3.6 \text{ m}$

I45a 工字钢截面面积 $A = 0.01 \text{ m}^2$

I45a 工字钢的截面抗弯矩 $W = 1.43 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

I45a 工字钢的截面惯性矩 $I = 3.22 \times 10^{-4} \text{ m}^4$

弹性模量 $E_{\square} = 2.1 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$

工字钢抗弯强度容许值 $[\sigma]_{\square} = 2.05 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$

工字钢抗剪强度容许值 $[\tau]_{\square} = 1.90 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$

工字钢容许挠度 $[f] = l/400 = 3.6/400 = 9 \text{ mm}$

4) 正应力计算

均布线荷载设计值

$$q = p_2 \times b = 23.2 \times 3.75 = 87.0 \text{ kN/m}$$

最大弯矩

$$M = q \times l^2 / 8 = 87.0 \times 3.6^2 / 8 = 140.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

最大正应力

$$\sigma = M/W = 140.9 / (1.43 \times 10^{-3}) = 0.99 \times 10^5 \text{ kN/m}^2 < [\sigma]_{\square} = 2.05 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$$

满足抗弯强度要求。

5) 剪应力计算

横截面剪力值

$$V = 0.6 \times q \times l = 0.6 \times 87.0 \times 3.6 = 187.9 \text{ kN/m}$$

最大剪力

$$\tau = 1.5 \times V/A = 1.5 \times 187.9 / 0.01 = 0.28 \times 10^5 \text{ kN/m}^2 < [\tau]_{\square} = 1.90 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$$

满足抗剪强度要求。

6) 挠度计算

均布线荷载标准值

$$q_k = g_{k2} \times b = 12.9 \times 3.75 = 48.4 \text{ kN/m}$$

挠度

$$f = 0.667 \times q \times l^4 / (100 \times E \times I) = 0.667 \times 48.4 \times 3.6^4 / (100 \times 2.1 \times 10^5 \times 3.22 \times 10^{-4}) = 8 \text{ mm} < [f] = 9 \text{ mm}$$

满足刚度要求。

4.4. $\Phi 426 \times 6.0 @ 3600$ 钢立柱受压稳定性计算

模板支撑系统应为独立的系统，防止与施工脚手架、物料周转料平台、起重设备钢架体等不稳定的结构相连接，并对 $\Phi 426 \times 6.0 @ 3600$ 钢立柱进行受压稳定性计算。

1) 计算形式：受压稳定

2) 计算简图：如图 7 所示

$N=465.3\text{KN}$

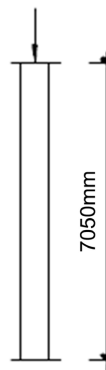


Figure 7. Schematic diagram of stability under pressure

图 7. 受压稳定示意图

3) 计算参数:

取计算宽度 $b = 5.5 \text{ m}$ ，计算长度 $l = 3.6 \text{ m}$ ；钢立柱高度 $L = 7050 \text{ mm}$

均布荷载设计值 $p = 23.5 \text{ kN/m}^2$

钢立柱回旋半径 $i = 148.5 \text{ mm}$ ，钢立柱截面积 $A = 7900 \text{ mm}^2$

钢立柱的截面抗弯矩 $W = 0.82 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

弹性模量 $E_{\square} = 2.1 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$

钢立柱抗压强度容许值 $f = 2.05 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$

4) 稳定性验算

$$N/(\psi \times A) \leq f$$

$$N = p \times b \times l = 23.5 \times 5.5 \times 3.6 = 465.3 \text{ kN}$$

$$\lambda = \mu \times L/i = 2 \times 7050/148.5 = 94.9 < [\lambda] = 150$$

满足长细比要求。

当 $\lambda = 94.9$ 时， $\psi = 0.684$ ，

校核稳定性

$$N/(\psi \times A) = 465.3 \times 10^3 / (0.684 \times 7900) = 0.86 \times 10^5 \text{ kN/m}^2 < f = 2.05 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$$

满足钢立柱受压稳定性要求。

5. 结论

目前该车站门洞式支架体系已使用结束并拆除完成，有效地解决了地铁车站、盾构及轨道交铺施工等交叉作业问题，并根据实践经验，得出了以下结论：

1) 门洞式支架体系在使用过程中，上部中板吊装孔、顶板吊装孔顺利浇筑混凝土，未出现门洞式支架体系失稳问题，下部预留空间满足盾构正常掘进、联络通道施工的出土，顺利实现车站、盾构的交叉施工，二者兼顾的目标，有效化解了“轨通”压力下，车站与盾构施工的作业面矛盾，安全、质量、工期及成本均达到预期要求。

2) 通过实际施工，前期对门洞体系各构件的抗弯强度、抗剪强度、挠度和受压稳定进行验算准确，各构件材料选取、布置方式切实可靠，说明了经典力学计算方法在进行门洞式支架设计可靠性研究中具有很好的可行性，能够对实验方案进行有效指导。

3) 地铁施工中普遍存在车站与盾构出土运输交叉施工的情况，经典力学算法在该车站门洞式支架体系的成功应用，可为解决类似工况问题提供借鉴。

参考文献

- [1] 张凯轩, 宫岛, 周劲松. 钢轨波磨对地铁车内噪声影响的试验研究[J]. 机械设计与制造工程, 2018, 47(5): 119-122.
- [2] 冯青松, 廖春明, 张凌, 等. 地铁振动对人体暴露于全身振动的舒适度影响评价[J]. 噪声与振动控制, 2021, 41(6): 237-243.
- [3] 张凯轩, 周劲松, 宫岛. 地铁车辆不同速度通过曲线段车内噪声研究[J]. 机械设计与制造工程, 2018, 47(3): 126-129.
- [4] 唐吉意, 林平. 宁波地铁1号线高架桥近远场噪声辐射研究[J]. 机械设计与制造工程, 2017, 46(8): 114-118.
- [5] 黄大维, 冯青松, 刘开富, 等. 基于弯矩最小化的地铁盾构隧道横断面优化设计分析[J]. 铁道学报, 2018, 40(9): 159-166.

- [6] 徐林有, 龚杰. 地铁车站满堂碗扣式脚手架门洞的设计与施工[J]. 建筑施工, 2018, 40(3): 377-379.
- [7] 何兰生. 净高 ≤ 15 m、孔跨(48 + 80 + 48) m 连续梁门洞式支架法施工方案的应用[J]. 安徽建筑, 2013, 20(2): 94+136.
- [8] 李细贵, 谷再忠, 王培桥, 等. 现浇箱梁跨主干路门洞支架设计及有限元分析[J]. 低碳世界, 2017(18): 219-220.
- [9] 王义盛. 门洞式支架系统在城市轨道交通车站及盾构交叉作业中的应用[J]. 工程技术研究, 2018(3): 118-119.
- [10] 王祥亮, 李家林, 向伟. 地铁车站门洞式支架的快速装配化方案[J]. 科技创新与应用, 2018(26): 117-119.
- [11] 郭永利, 宁行乐. 门洞支架体系在地铁施工中的应用研究[J]. 江苏科技信息, 2018, 35(18): 59-62.
- [12] 耿生春, 张杰, 扶杰. 门洞式支架在地铁轨顶风道施工中的应用[J]. 天津建设科技, 2021, 31(6): 22-24.
- [13] 梁朝安, 欧阳平文, 刘玉涛, 等. 大跨径门洞支架设计与施工技术[J]. 施工技术, 2014, 43(S2): 223-226.
- [14] 王宁. 桥梁大跨径门洞支架的设计及施工[J]. 铁道勘察, 2019, 45(3): 104-108.