

地铁出入口结构内力理论解析

廖雷

深圳市地铁集团有限公司 深圳广东 518000

摘要: 在地铁车站设计中, 虽然出入口结构形式简单, 截止今日未有出入口部分的结构内力理论解析式, 非人力计算建模复杂且极难明确荷载传递的具体方式, 以至于地下结构设计没有地上结构设计透明化。本文基于对框架结构的力学解析, 得出了出入口结构内力解析式。并通过对比分析, 明确了荷载传递方式为上部荷载传递至侧墙, 然后部分传递给底板, 部分传递给地基, 同时地基产生压缩变形, 反作用到底板结构, 最终达到力平衡与变形协调。最后指出正确评价底板荷载对于理论解析至关重要, 在无水或少水地区, 底板荷载若采用与上部荷载大小相等、方向相反的原则确定, 则结果偏于保守; 在富水地区, 底板荷载即为底板所受水浮力, 水浮力越大, 则理论解析越接近实际。本文分析对地铁出入口结构设计具有重要的参考意义。

关键词: 出入口; 理论解析; 荷载传递; 底板荷载

Theoretical Analysis of structural internal force in Metro passageway

Lei Liao

Shenzhen Metro Group Co., LTD., Shenzhen, Guangdong, 518000

Abstract: In the design of metro station, it's simple of the passageway structural form, however, so far there are not any theoretical analytical solutions about the structural internal force of the passageway. In addition, the complex process of the modeling and the faint load transfer method by using the numerical calculation make the design of underground structure difficult. In this paper, based on the mechanical analysis of frame structure, an analytic formula about the passageway structural internal force is established, and the load transfer method is solved by using contrastive analysis. Finally, this paper points out it's crucial for theoretical analysis to evaluate the bottom load, it indicates the result tends to be conservative in no water and less water area, but in rich water area, the buoyancy that acts on the bottom of structure is bigger, the theoretical analytical solution is more accurate. This paper provides vital reference for the design of metro station.

Keywords: passageway; theoretical analysis; load transfer; load on bottom

1 引言

在地铁车站设计中, 虽然出入口结构形式简单, 但目前尚未有关于车入口结构内力的理论解析式, 通常是采用 ANSYS、SAP、MIDAS 等软件进行结构计算分析^[1-7], 非人力计算建模复杂且极难明确荷载传递的具体方式, 以至于地下结构设计没有地上结构设计透明化。本文基于对框架结构的力学解析, 得出了出入口结构内力解析式。并通过对比分析, 明确了荷载传递方式为上部荷载传递至侧墙, 然后部分传递给底板, 部分传递给地基, 同时地基产生压缩变形, 反作用到底板结构, 最终达到力平衡与变形协调。最后指出正确评价底板荷载对于理论解析至关重要, 在无水或少水地区, 底板荷载若采用与上部荷载大小相等、方向相反的原则确定, 则结果偏于保守; 在富水地区, 底板荷载即为底板所受水浮力, 水浮力越大, 则理论解析越接近实际。

2 计算模型及内力解析

地铁出入口结构相对简单, 为矩形框架结构, 其受力模式如下图 1 所示。

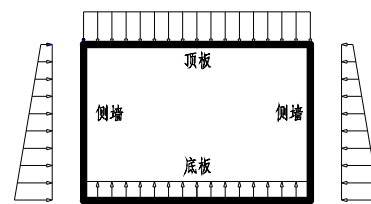


图 1 地铁车站结构受力示意图

Fig.1 Force diagram of metro station structure

由于出入口结构为正对称结构, 根据对称性, 按照垂直于纸面方向距离 1m, 将结构简化为下图 2 所示计算模型。

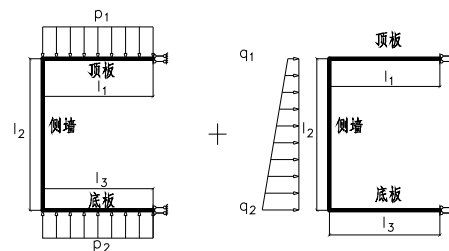


图 2 出入口结构计算模型图

Fig.2 Calculation model diagram of entrance

注: 图中 p_1 为顶板荷载值, p_2 为底板荷载值, q_1 、 q_2 为侧压力值, l_j ($j=1, 2, 3$) 为相应构件长度并且 $l_1=l_3=L$ 。

假设顶板与侧墙连接的地方转角为 Δ_1 , 底板与侧墙连接的地方转角为 Δ_2 , 根据结构力学位移法原理则有

$$\begin{cases} r_{11}\Delta_1 + r_{12}\Delta_2 + R_{1p} = 0 \\ r_{21}\Delta_1 + r_{22}\Delta_2 + R_{2p} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中 $r_{11} = i_1 + 4i_2$;

$r_{12} = r_{21} = 2i_2$;

$r_{22} = i_3 + 4i_2$;

$i_j = \frac{EI_j}{l_j}$, $j=1, 2, 3, 4$;

E—材料弹性模量;

I_j —相应构件惯性矩;

如图 3 所示, 将作用在出入口结构上的荷载分为竖向荷载和侧向荷载。在竖向荷载作用下:

$$R_{1p} = -\frac{p_1 l_1^2}{3};$$

$$R_{2p} = \frac{p_2 l_3^2}{3};$$

则, 公式 (1) 变为

$$\begin{cases} (i_1 + 4i_2)\Delta_1 + 2i_2\Delta_2 - \frac{p_1 l_1^2}{3} = 0 \\ 2i_2\Delta_1 + (i_3 + 4i_2)\Delta_2 + \frac{p_2 l_3^2}{3} = 0 \end{cases}$$

解得:

$$\begin{cases} \Delta_1 = \frac{p_1 l_1^2 (i_3 + 4i_2) + 2i_2 p_2 l_3^2}{3[(i_1 + 4i_2)(i_3 + 4i_2) - 4i_2^2]} \\ \Delta_2 = -\frac{p_2 l_3^2 (i_1 + 4i_2) + 2i_2 p_1 l_1^2}{3[(i_1 + 4i_2)(i_3 + 4i_2) - 4i_2^2]} \end{cases} \quad (2)$$

在侧向荷载作用下:

$$R_{1p} = \frac{q_1 l_2^2}{12} + \frac{(q_2 - q_1) l_2^2}{30}$$

$$R_{2p} = -[\frac{q_1 l_2^2}{12} + \frac{(q_2 - q_1) l_2^2}{20}]$$

则, 公式 (1) 变为

$$\begin{cases} (i_1 + 4i_2)\Delta_1 + 2i_2\Delta_2 + [\frac{q_1 l_2^2}{12} + \frac{(q_2 - q_1) l_2^2}{30}] = 0 \\ 2i_2\Delta_1 + (i_3 + 4i_2)\Delta_2 - [\frac{q_1 l_2^2}{12} + \frac{(q_2 - q_1) l_2^2}{20}] = 0 \end{cases}$$

解得:

$$\begin{cases} \Delta_1 = -\frac{[\frac{q_1 l_2^2}{12} + \frac{(q_2 - q_1) l_2^2}{30}](i_3 + 4i_2)}{(i_1 + 4i_2)(i_3 + 4i_2) - 4i_2^2} - \frac{2i_2[\frac{q_1 l_2^2}{12} + \frac{(q_2 - q_1) l_2^2}{20}]}{(i_1 + 4i_2)(i_3 + 4i_2) - 4i_2^2} \\ \Delta_2 = \frac{[\frac{q_1 l_2^2}{12} + \frac{(q_2 - q_1) l_2^2}{20}](i_1 + 4i_2)}{(i_1 + 4i_2)(i_3 + 4i_2) - 4i_2^2} + \frac{2i_2[\frac{q_1 l_2^2}{12} + \frac{(q_2 - q_1) l_2^2}{30}]}{(i_1 + 4i_2)(i_3 + 4i_2) - 4i_2^2} \end{cases} \quad (3)$$

最终将竖向力和侧向力结果叠加, 即式 (2) 与式 (3) 结果相加即可得到转角位移。

根据节点位移计算结果, 可以求得顶板支座处弯矩 $M_{顶支}$ 、顶板跨中弯矩 $M_{顶中}$ 、侧墙顶支座弯矩 $M_{侧顶}$ 、侧墙底支座弯矩 $M_{侧底}$ 为:

$$M_{顶支} = i_1 \Delta_1 - \frac{p_1 l_1^2}{3} \quad M_{顶中} = i_1 \Delta_1 + \frac{p_1 l_1^2}{6}$$

$$M_{底支} = i_3 \Delta_2 + \frac{p_2 l_3^2}{3} \quad M_{底中} = i_3 \Delta_2 - \frac{p_2 l_3^2}{6}$$

$$M_{侧顶} = -\left| i_1 \Delta_1 - \frac{p_1 l_1^2}{3} \right| \quad M_{侧底} = -\left| i_3 \Delta_2 + \frac{p_2 l_3^2}{3} \right|$$

注: 顶板下侧受拉为正、底板下侧受拉为正、侧墙内侧受拉为正。

则顶板任意一点弯矩为:

$$M_{顶} = i_1 \Delta_1 - \frac{p_1 l_1^2}{3} + p_1 l_1 x - \frac{p_1 x^2}{2}$$

底板任意一点弯矩为:

$$M_{底} = i_3 \Delta_2 + \frac{p_2 l_3^2}{3} - p_2 l_3 x + \frac{p_2 x^2}{2}$$

侧墙任意一点弯矩为:

$$M_{侧} = -\frac{y \cdot \left| i_3 \Delta_2 + \frac{p_2 l_3^2}{3} \right| + (l_2 - y) \left| i_1 \Delta_1 - \frac{p_1 l_1^2}{3} \right|}{l_2} + \frac{q_1 l_2 y}{2} - \frac{q_1 y^2}{2} + \frac{(q_2 - q_1) l_2 y}{6} - \frac{(q_2 - q_1) y^3}{6 l_2}$$

3 荷载传递讨论

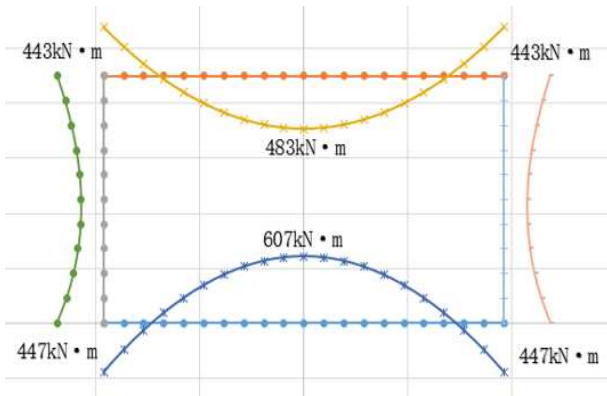
通常设计中采用地基弹簧来模拟结构与土体的相互作用。而本文所采用理论解析的方法, 需要采用底板荷载 P_2 代替地基弹簧提供的反力。荷载传递方式为地面超载、上覆水土荷载、顶板自重荷载等上部荷载通过侧墙直接或通过底板传递给地基。本文理论解析中采用的 P_2 为均布荷载, 根据力平衡原理, P_2 与上部荷载大小相等、方向相反。那么所产生的问题是, 上述假设能否成立, 也即采用均布荷载 P_2 能否反应荷载传递的实际情况。

4 案例计算分析

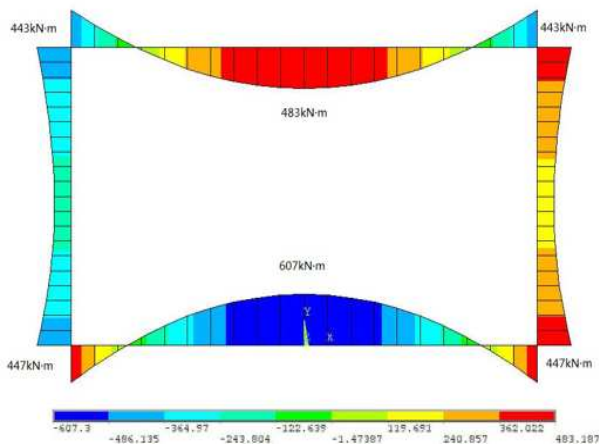
针对上节问题设想, 本节做以下对比验证: 工况一, 采用理论解析, 地基反力采用 P_2 模拟; 工况二, 采用 ANSYS 软件解析, 地基反力采用 P_2 模拟; 工况三, 采用 ANSYS 软件解析, 地基反力由地基弹簧模拟。

各工况内力对比如下图所示。工况一与工况二内力计算结果相同, 此点证明理论解析的正确性。对比工况一、工况二与工况三发现, 工况三底板内力明显较小, 也即荷载传递方式为上部荷载传递至侧墙, 然后部分传递给底板, 部分传递给地基, 同时地基产生压缩变形, 反作用到底板结构, 最终达到力平衡与变形协调。

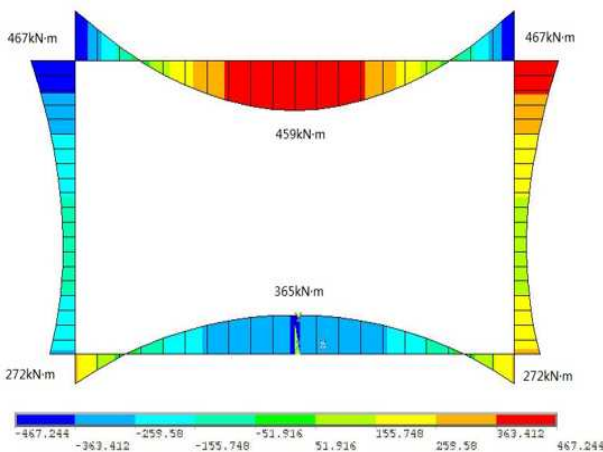
该项对比也表明,正确评价底部荷载 P_2 值对于理论解析至关重要。在无或少水地区,底板荷载 P_2 若采用与上部荷载大小相等、方向相反的原则确定,则结果偏于保守;在富水地区,底板荷载 P_2 即为底板所受水浮力,水浮力越大,则理论解析越接近实际。



a) 工况一



b) 工况二



c) 工况三

图3 不同工况内力图

Fig.3 Internal force of different case

5 结论

本文基于对框架结构的力学解析,分析了出入口结构的内力,并从荷载传递的角度出发,对比分析了下部荷载 P_2 对内力的影响,得出以下结论:

(1) 解析出入口结构的内力及其分布。

(2) 荷载传递方式为上部荷载传递至侧墙,然后部分传递给底板,部分传递给地基,同时地基产生压缩变形,反作用到底板结构,最终达到力平衡与变形协调。

(3) 正确评价底部荷载 P_2 值对于理论解析至关重要。在无或少水地区,底板荷载 P_2 若采用与上部荷载大小相等、方向相反的原则确定,则结果偏于保守;在富水地区,底板荷载 P_2 即为底板所受水浮力,水浮力越大,则理论解析越接近实际。

参考文献:

- [1]齐锋,陈晓宝.谈复合式地铁车站的有限元数值仿真[J].地下空间与工程学报,2006,2(8):1465-1469.
 - [2]郑建国,刘涛,王秀海.盖挖逆筑车站竖向受力与变形协调分析[J].地下空间与工程学报,2011,7(增2):1598-1602.
 - [3]杨超,杨林德,季倩倩.软土地铁车站地震响应数值计算方法的研究[J].地下空间与工程学报,2006,2(1):87-91.
 - [4]王博.明挖地铁车站整体建模结构受力分析[J].铁道标准设计,2012,(11):75-78.
 - [5]李明涛.关于地铁车站中板结构计算模型选择的分析[J].铁道建筑技术,2012,(5):96-100.
 - [6]乔海超,李晓昭,赵晓豹.浅埋地铁车站结构内力影响因素分析[J].城市轨道交通研究,2008,(4):18-22.
 - [7]代坤.明挖地铁车站空间计算模型与平面计算模型的对比分析[J].隧道建设,2010,30(增1):254-257.
 - [8]徐光苗.抗拔桩与主体结构相互作用的三维有限元分析[J].地下空间与工程学报,2009,5(3):604-607.
 - [9]李兴高,张弥.地铁车站结构内力计算中的问题[J].都市轨道交通,2005,18(5):26-30.
 - [10]罗旭.地铁车站各设计状况的结构分析[J].都市轨道交通,2012,25(2):69-72.
 - [11]王喜刚,郭凤龙,金俐伶.反拱底板在地铁车站抗浮中的应用研究[J].现代隧道技术,2010,47(3):51-55.
 - [12]辛红芳.地铁车站工程抗浮措施的技术经济比较[J].都市轨道交通,2008,21(3):67-69.
- 作者简介:学士,工程师,研究方向:城市轨道交通及地下空间