

文章编号:1005-0523(2009)06-0016-05

管棚法施工中格栅支护机理分析

赵 佳

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室,上海 201804)

摘要:以杭州机场路人行过街地道为背景,为研究管棚荷载传递规律,建立双参数弹性地基梁模型,选取受力最危险的一根格栅,通过有限元软件建立荷载-结构模型分析开挖对该根格栅内力的影响。研究表明:紧邻开挖面的第一根格栅所承担的荷载能占到开挖荷载的 70%左右,是开挖荷载的主要承受构件;相对格栅拱架底部和横向支撑,拱架顶部和竖向支撑承受了相当大的应力为主要的受力部分,以便控制掌子面向内部净空的挤压变形。
关键词:浅埋暗挖;管棚法;格栅;应力
中图分类号:TU91 **文献标识码:**A

随着城市用地的紧缺,对于商业区、住宅区等人口密集的地方,人们采用地下过街通道的形式来解决交通拥挤问题。管棚以其及时、有效地防止掌子面坍塌及地层过量变形的优势被广泛使用在浅埋暗挖法中。

文献[1]提出棚架原理,将管棚、格栅和注浆体作为完整体系,围岩压力通过管棚扩散到格栅拱架之上,管棚和格栅以鱼骨刺形式共同支撑着围岩,以形成谷筛效应。文献[2,3]立足于棚架体系视角,建立了用来分析管棚荷载传递规律的双参数弹性地基梁模型,通过在支护段和未开挖来段选取不同的基床弹性系数来考虑支护结构、土体与管棚的相互作用,同时,用增量法考虑了施工开挖过程。文献[4]以北京地铁 4 号线西单站为例,建立管棚受力的双参数弹性地基梁模型,推导出管棚的挠度及转角、弯矩微分方程并进行求解,根据管棚两侧支撑条件分析其变形和内力特征。文献[5]在前面基础上,建立了棚架的空间分析模型。该模型考虑了施工过程、管棚与支护之间相互作用以及网喷混凝土早期弹性模量随时间逐渐变化特性。

本文基于以前的理论基础建立双参数弹性地基梁模型,求得各根格栅所承担的荷载分担比从而选取受力最危险的一根格栅,再利用有限元软件建立荷载-结构模型进一步分析开挖对该根格栅内力的影响,从而为管棚法施工提供一些新的方法和依据。

1 工程背景

1.1 工程简介

杭州机场路人行过街地道位于机场路与闸弄口横路交叉口北侧,东边为闸弄口农副产品综合市场及闸弄口新村,西边为京惠花园及江干区消防大队艮山中队,地道呈“T”字型布置,设置 4 个出入口,总长 171.39 m,其中浅埋暗挖段长 46.7 m,如图 1 所示。

地道埋深 3 m 左右,主通道净宽 6.0 m,净高 2.9 m,通道横断面采用直墙有仰拱的马蹄形内轮廓形式。采用在拱部纵向打入 $\phi 108$ 钢管并注浆加固。地道初期支护为 2 根/m 格栅钢架+30 cm 厚 C20 双层网

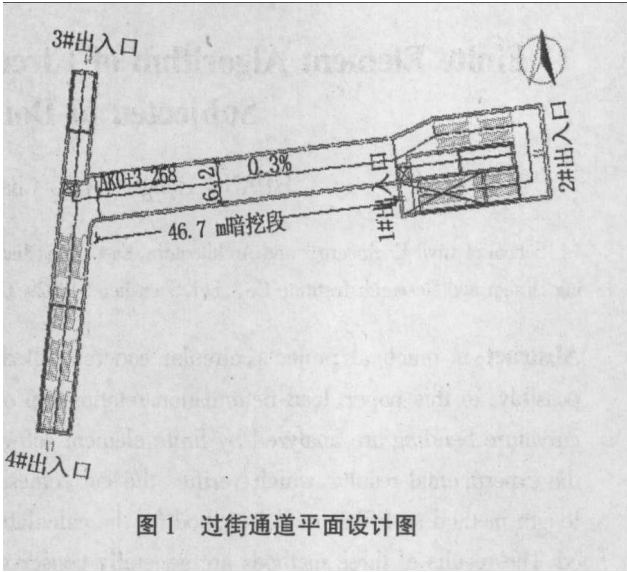


图 1 过街通道平面设计图

收稿日期:2009-09-11
作者简介:赵 佳(1985-),女,汉族,河南洛阳人,硕士研究生,研究方向为地基处理与地下工程。

喷砼进行联合支护;临时支护采用2榀/m工字钢+20 cm厚C20双层网喷砼进行联合支护。管棚采用 $\phi 108 \times 8$ mm无缝钢管,总长50.7 m,沿主通道拱顶环状布置,纵向通长,环状间距40 cm,共20道,如图2所示。

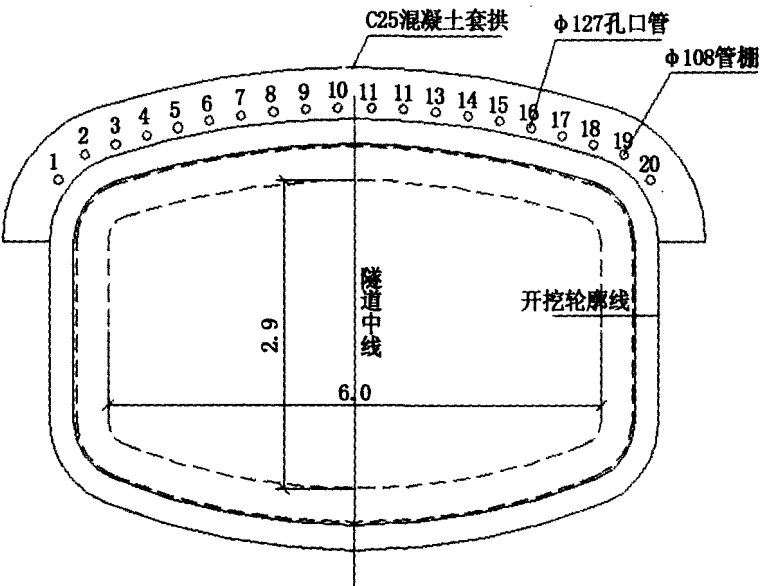


图2 过街通道横断面图

1.2 地质资料

本场地位于钱塘江第四纪冲海积沉积平原区。场地地形简单,地貌单一。地面标高为3.78~6.35 m。该范围内自上而下土层分别为粘质粉土、砂质粉土、淤泥质粉质粘土,土层主要物理力学性质见表1。

表1 土层主要物理力学性质表

土层名称	土层厚度 /m	压缩模量 /MPa	天然容重 /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	粘聚力 C /kPa	摩擦角 ϕ /($^{\circ}$)	竖向基床 比例系数 /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	静止侧 压力系数	泊松比
砂质粘土	4.6	10.0	19.4	3.0	29.5	11 000	0.33	0.25
粉砂	4.0	11.7	19.6	2.8	30.0	12 000	0.31	0.24
淤泥质粉 质粘土	11.0	2.5	18.1	15.0	9.5	5 500	0.59	0.31

2 数值计算

2.1 格栅荷载分配

该人行地道的覆土平均厚度为3 m,土层容重为 $19.4 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$,因此管棚上部的覆土荷载为 $58.2 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ 。假设每根承受相同的上部荷载,当管棚间距0.4 m时一根管棚所承担的线荷载为 $23.28 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

由于传递荷载的影响范围有限,先选取8榀格栅进行分析,对其进行编号,如图3所示。管棚采用梁模拟,未开挖段和支护段对管棚作用用Winkler弹簧模拟,管棚两端固定约束以考虑套拱作用,未开挖段的弹簧系数 k_1 根据地下过街通道所在的土层参数取值,取为 $11\,000 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$,对于支护段的弹簧系数 k_2 需按照荷载结构模型进行计算取值。根据双参数弹性梁模型求出支护段各榀格栅在开挖步长为0.5 m、0.75 m、1.0 m时所承受的荷载。管棚在荷载作用会发生向下的弯曲变形,而在向下弯曲变形附近会产生向上的突起变形,对于起荷载传递作用的弹簧在向上突起的地方是处于受拉状态,这样管棚就会受到向下的作用力。随着格栅间距的变化,管棚变形存在着略微的差异,各榀格栅所承担的荷载也会存在着差异,结果如表2所示。

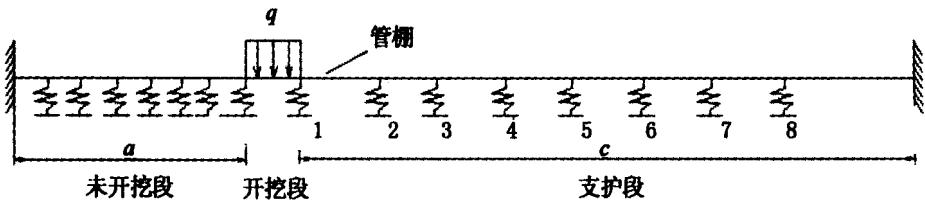


图 3 格栅编号图

表 2 格栅荷载表

号数	荷载/kN		
	间距 0.5 m	间距 0.75 m	间距 1.0 m
1	8.80	13.01	16.40
2	-0.14	-1.51	-2.36
3	-0.35	0.09	0.54
4	0.08	0.18	0.15
5	0.12	0.15	0.20
6	0.10	0.14	0.19
7	0.10	0.13	0.15
8	0.07	0.08	0.10

注：+ 表示力的方向朝上；- 表示力的方向朝下。

将间距为 0.5 m、0.75 m、1.0 m 时各榀格栅承受荷载比列图,如图 4 所示。从图中可以看到紧邻开挖面的第一榀格栅所承担的荷载占到开挖荷载的 70%左右,之后的其他榀格栅所承担的荷载分担比均较小不到 0.1,并且当间距为 0.75 m、1.0 m 时格栅荷载分担比基本重合。由此可见,当开挖单位步长时,通过管棚传递到格栅的开挖荷载主要是由紧邻开挖面的第一榀格栅承担,并且当步长为 0.75 m、1.0 m 时,荷载分担状况基本一致。

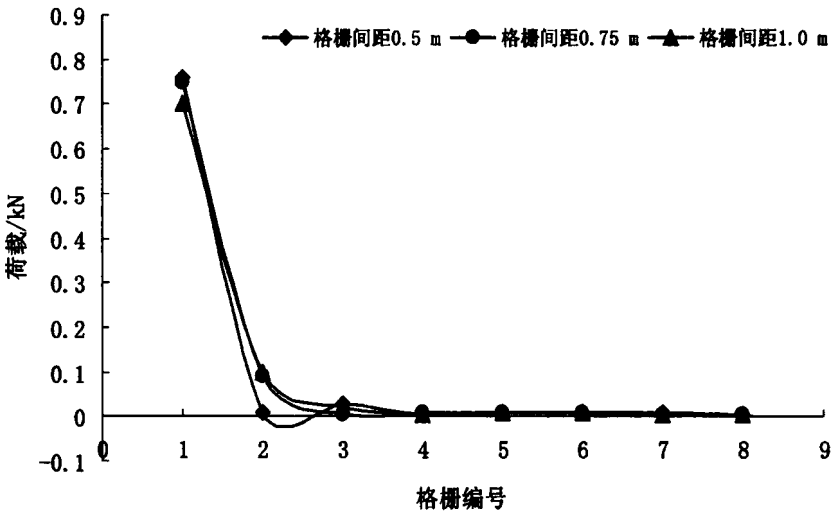


图 4 各号格栅荷载所占比例图

2.2 格栅内力

根据管棚所传递的荷载分担比可以知道开挖后紧靠开挖面的格栅最危险,因此取出该榀进行内力分析。利用有限元软件建立格栅模型,如图 5 所示。在模型中管棚采用 $\phi 108 \times 8$ mm 钢管模拟,以 0.4 m 间距在格栅顶部分布。由于管棚两端有套拱作用,管棚两端则采用固定端约束。格栅采用 I22 工字钢模拟,分为 6 个导洞。未开挖段对管棚的作用采用弹簧系数为 $11\,000\text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ 的弹簧模拟,支护段管棚与格栅的相互作用采用刚度为 $100\,000\text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ 的二力杆件模拟。格栅底部两端采用固定铰约束,其余部分采用弹簧模拟格栅与土层的接触。

每榀格栅受力按荷载－结构模型计算,模型如图 6 所示。对于每榀格栅的受力,上部荷载取支护结构上方土柱自重,水平压力取静止土压力,静止土压力系数取 0.3。通道顶部荷载 q 为 58.2 kPa,通道边墙上部水平荷载 e_1 为 17.46 kPa,下部荷载为 e_2 为 36.18 kPa。

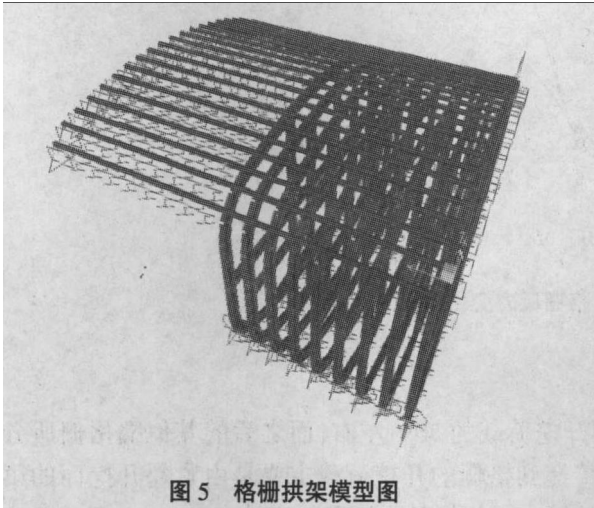


图 5 格栅拱架模型图

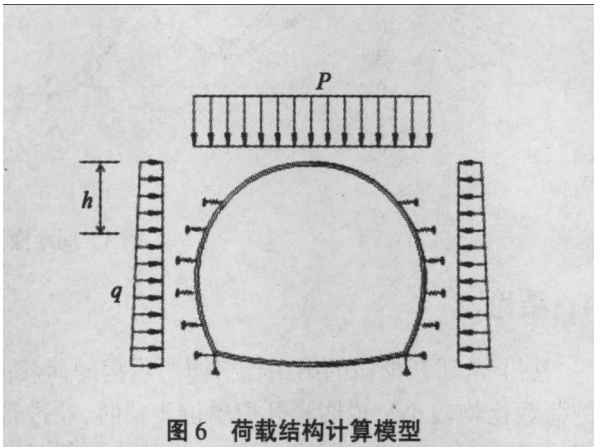


图 6 荷载结构计算模型

图中, P 为竖向压力; q 为水平土压力; h 为拱顶到边墙计算点的距离。

3 数值模拟结果分析

采取上述格栅荷载－结构模型计算开挖步长分别为 0.5 m、0.75 m、1.0 m 时紧邻开挖面的第一榀格栅的内力,在格栅拱架上选取 11 个点,点位布置如图 7 所示。

将格栅间距分别为 0.5 m、0.75 m、1.0 m 时计算求得的格栅内力列表,其结果如表 3 所示。通过数值模拟结果首先可以看到除了格栅底部存在受拉段,其余部分都处于受压状态。相对格栅拱架底部和横向支撑,拱架顶部以及竖向支撑承受了相当大的应力,是格栅拱架的主要承力部分,用来阻止格栅拱架在荷载作用下发生向内部净空挤压变形。

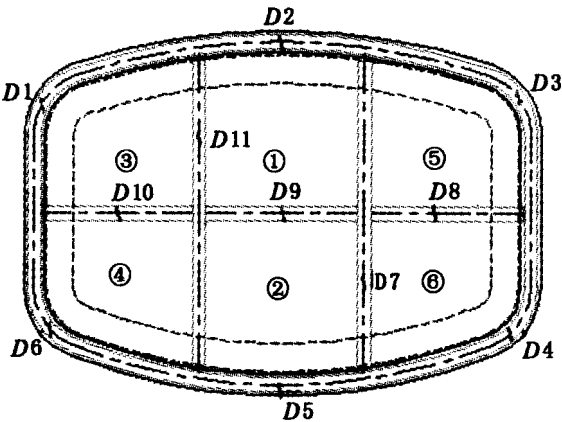


图 7 格栅内力点位布置图

表 3 格栅内力表

格栅间距 /m	测点应力/MPa										
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11
0.50	10.5	4.5	10.5	3.0	-4.0	3.0	15.1	4.2	4.2	4.2	15.1
0.75	16.8	6.8	16.8	1.0	-1.0	1.0	30.9	1.2	1.2	1.2	30.9
1.00	18.9	7.6	18.9	1.0	-1.0	1.0	36.0	1.0	1.0	1.0	36.0

注: + 表示受压 - 表示受拉, D 表示取点。

为了进一步地说明在格栅间距变化时格栅拱架各点的变化趋势,将其结果列图说明,如图 8 所示。

当格栅间距从 0.5 m 变化到 0.75 m 时,拱架顶部尤其是顶部的弯曲部分以及竖向支撑上的应力增加了 50%,而拱底和横向支撑上的应力却减小到接近于坐标轴;当格栅间距接着从 0.75 m 变化到 1.0 m 时,格栅拱架上各点应力未发生明显的变化。这说明在格栅间距从 0.5 m 变化到 0.75 m 时,为了阻止掌子面发生向内部净空挤压变形,格栅拱架的承力部分向拱架顶部和竖向支撑转移,成为了主要的受力部分。因此,在架立格栅时需要选择合理的格栅间距,使之既满足了格栅拱架本身的稳定,又兼顾了施工的效率 and 便利。

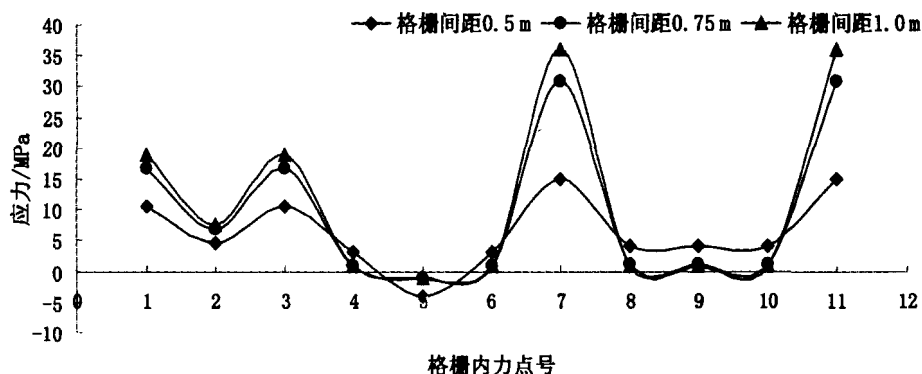


图8 间距变化时格栅应力变化图

4 结论

(1) 紧邻开挖面的第一榀格栅所承担的荷载占到开挖荷载的70%左右,而之后的其他榀格栅所分担的荷载均较小。说明当开挖单位步长时,通过管棚传递到格栅的开挖荷载主要是由紧邻开挖面的第一榀格栅承担。这就需要确保施工、设计中紧邻开挖面的第一榀格栅的强度和稳定性。

(2) 在格栅间距一定时,相对格栅拱架底部和横向支撑,拱架顶部和竖向支撑承受了相当大的应力。随着格栅间距从0.5 m变化到0.75 m,格栅拱架的承力部分向拱架顶部和竖向支撑转移,来阻止掌子面向内部净空发生的挤压变形。因此,在架立格栅时需要选择合理的格栅间距。

参考文献:

- [1] 周顺华. 软弱地层浅埋暗挖施工中管棚法的棚架原理[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(14): 2 565 - 2 570.
- [2] 董新平, 周顺华. 软弱地层管棚荷载传递作用分析[J]. 现代隧道技术, 2005, 42(6): 24 - 29.
- [3] 董新平, 周顺华, 胡新朋. 软弱地层管棚法施工中管棚作用空间分析[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(7): 841 - 846.
- [4] 张明聚, 江一帆, 潘庆明, 吴定燕. 采用双参数地基模型分析管棚变形及内力特征[J]. 北京工业大学学报, 2008, 34(9): 938 - 943.
- [5] 董新平, 胡新朋, 周顺华. 软弱地层作用特性判断和分析[J]. 地下工程空间与工程学报, 2006, 2(4): 631 - 634.
- [6] 常艸东. 管棚法超前预支护作用机理的研究[D]. 峨眉山: 西南交通大学, 1999.
- [7] 李 力. 粉细砂地层注浆管棚作用机理及在暗挖隧道施工中的应用[D]. 2006. 10.

An Analysis of Support Mechanism of Grating in Pipe-roof Reinforcement

ZHAO Jia

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Based on underground passage of Hangzhou Airport Road, the double-parameter elastic foundation beam model is established to study the laws of the load redistribution of pipe-roofing. Choosing the load-bearing grating that is the most dangerous, the finite element model is established to analyze the influence on the internal forces of grating. The results indicate that the first grating adjacent to the excavation surface accounts for about 70% of excavation loads, which is the main load-bearing component for the bottom grating and lateral support. The top and vertical supports withstand considerable stress in order to control the compressive deformation of the internal clearance.

Key words: shallow-buried excavation; pipe roof; the support reinforcement; stress

(责任编辑: 王建华)