

文章编号: 1000-7598-(2007) 增刊-0490-03

棚洞结构洞形优化计算分析

刘元雪¹, 谢 锋², 蒋树屏², 周家伍¹, 陈 忱¹

(1. 后勤工程学院 建筑工程系, 重庆 400041; 2. 重庆交通科研设计院, 重庆 400067)

摘 要: 随着国民经济的发展和社会的进步, 公路隧道环保型建设技术日益受到重视。以南京—淮安高速公路南京江北段老山公路隧道为依托, 提出了一种环保型结构——新型棚洞。采用大型通用有限元软件 ANSYS 对 5 种不同棚洞结构型式进行了优化。从弯矩、轴力、剪力 3 个方面综合计算分析表明, 全拱式棚洞是最优方案。

关 键 词: 棚洞结构; 环保; 数值分析; 优化

中图分类号: TU 457

文献标识码: A

Numerical analysis of the shed-tunnel structure on the tunnel shape optimizing

LIU Yuan-xue^{1,2}, XIE Feng³, JIANG Shu-ping¹, ZHOU Jia-wu¹, CHEN Chen¹

(1. Department of Architecture and Civil Engineering, Logistical Engineering University, Chongqing 400041, China;

2. Chongqing Communications Research & Design Institute, Chongqing 400067, China)

Abstract: More and more attention has been focused on the study of the construction technology of highway tunnel considering environmental protection with the development of national economy and social progress. Based on the actual conditions of Lao-shan highway tunnel in Nanjing City, A new environment protection structure, called shed-tunnel structure, is developed. Synthesizing numerical analysis of five different structure style is made from three aspects, that is the bending moment, axial and shearing force, by finite element method software ANSYS. Finally we conclude that the shed-tunnel in the entirely arc style is the optimizing one.

Key words: shed-tunnel structure; environmental protection; numerical analysis; optimizing.

1 引 言

国外发达国家和地区在公路隧道的建设中也曾出现公路隧道与环境保护的矛盾, 但由于其公路隧道建设较早, 在公路隧道环保型建设方面积累了一些经验, 其研究分析手段也较为先进^[1]。在一些发达国家, 高速公路建设必须首先通过对环境保护和自然生态方面的可行性论证。对于建设过程中一些不可避免的破坏, 要求进行人工修复, 尽量恢复原来的生态环境, 将人类活动对自然环境的影响减小到最小程度。

随着国民经济的发展和社会的进步, 在山区的公路规划和建设中, 环境保护日益受到重视, 在减少深挖高填、注重公路景观和环境保护方面提出了更高的要求。在山岭重丘区和大城市附近建设高速公路时, 常常碰到地形高差大、地质复杂和需要重

点保护的原始森林、河流、水库及城市森林公园等情况, 路线有时以隧道穿越这些需要重点保护的资源及景观时, 不可避免地出现了浅埋、偏压等不良地质现象, 工程建设对环境景观的破坏、污染较为严重。公路隧道通过多年的发展, 在公路隧道设计、施工和运营中提倡了环保型建设, 取得了一些成果^[2-5], 如隧道洞口由以前的大挖深槽采用柱式洞门进步到现在采取小刷坡的削竹式洞门; 对于偏压洞口采取早进洞, 洞口部结构采取偏压结构形式, 但仍然避免不了山体内侧边坡过高的弊端。鉴于公路隧道环保型建设技术的整体水平有限, 开展公路隧道环保型建设技术研究, 提高公路隧道的环保性成为必然。

自然山体经过漫长的地质年代, 值得珍惜的不只是地表的植被等自然生态, 还有自然稳定的地质体。对自然状态的干扰不仅破坏了生态环境, 也导

收稿日期: 2005-04-27

基金项目: 重庆市科委资助。

作者简介: 刘元雪, 男, 1969 年生, 博士, 教授, 主要从事岩土本构关系与数值分析的教学与研究工作。E-mail: lyuanxue@vip.sina.com。

致了地质灾害。因此，隧道设计的一个合理的基本思想必然是：因地制宜、顺势而为。根据这一基本思想，本研究以南京—淮安高速公路南京江北段老山公路隧道为依托，结合交通部公路工程相关技术标准，对隧道出口傍山段结构型式问题开展专题研究，提出了一种环保型结构——棚洞结构。本文采用大型通用有限元软件 ANSYS 对棚洞结构进行了优化计算分析。

2 号隧道右线出洞傍山段长约 400 m，植被茂密，地势陡峭。为了保护这一带的自然环境，同时减少边坡侧的刷坡，经过经济技术论证，决定放弃边坡刷坡方案，采取锚喷支护与结构物支挡方式通过。设计中，对明洞、半隧道、棚洞等 3 种型式进行了分析，结合本工程具体地形地貌情况，决定采用棚洞结构形式。为了对棚洞结构进行优化，本文提出了 5 种棚洞结构（如图 1 所示），采用大型通用

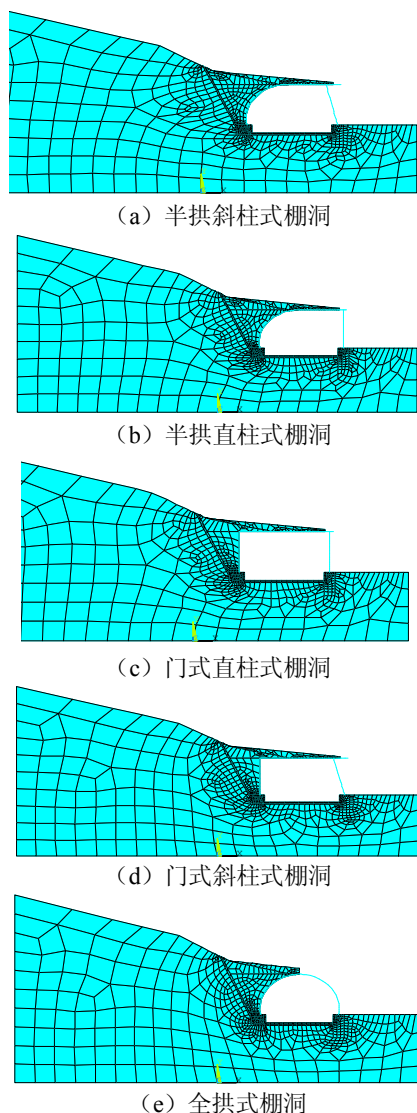


图 1 棚洞结构计算物理模型

Fig.1 The physics model of the shed-tunnel structure for numerical simulation

有限元软件 ANSYS 对棚洞结构进行了优化计算分析。

2 本构模型

材料力学参数见表 1。

表 1 材料力学参数
Table 1 Mechanical parameters of materials

材料	弹性模量 /MPa	泊松比	密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	凝聚力 /kPa	内摩擦角 / $^{\circ}$
钢筋混凝土	31 500	0.2	2.4	/	/
锚杆	210 000	0.3	/	/	/
干砌片石	5 650	0.25	2.2	/	/
土体	10	0.3	1.9	10	19.86
V 级围岩	1 000	0.45	2.0	50	40

在计算中，除喷射混凝土和棚洞结构采用梁单元模拟，其他均采用实体单元模拟。

根据以上建模方法可知，采用平面应变方式模拟分析，右侧柱子采用梁单元模拟。设计的棚洞柱子间隔为 12 m，而平面应变计算标准厚度为 1 m，柱子的有关力学参数需作适当的调整（纵向长度减小 1/12，弯矩、剪力、轴力等力学参数增大 12 倍）。

3 棚洞结构计算分析

为了分析各种洞形棚洞结构的受力特点和适用情况，采用 V 级围岩进行计算分析，根据其受力趋势和大小确定各种洞形棚洞的适用情况。

根据上述建模方法，可建立计算模型进行模拟分析。

3.1 棚洞结构弯矩分析

棚洞结构的弯矩计算结果如表 2 所示。

表 2 弯矩计算结果（单位：kN·m）
Table 2 Moment for various shed-tunnel(unit: kN·m)

棚洞结构类型	拱部最大 正弯矩	拱部最大 负弯矩	立柱最大 正弯矩	立柱最大 负弯矩
半拱斜柱式	258.4	-243.2	2 250.2	-1 104
半拱直柱式	237.9	-351.4	2 854.8	-2 023.2
门式直柱式棚洞	884.5	-590.9	4 449.6	-3 153.6
门式斜柱式	670.2	-462	3 406.8	-1 975.2
全拱式	56.6	-122.5	141.6	-2 545.2

根据以上分析可以看出，从结构产生的弯矩角度来看，各种洞形棚洞的优劣顺序为：全拱式棚洞>半拱斜柱式棚洞>半拱直柱式棚洞>门式斜柱式棚洞>门式直柱式棚洞。

3.2 棚洞结构轴力分析

棚洞结构的轴力计算结果如表 3 所示。

表 3 轴力计算结果 (单位: kN)
Table 3 Axial force for various shed-tunnel(unit: kN)

棚洞结构类型	拱部最大轴力	立柱最大轴力
半拱斜柱式	836.2	5 190
半拱直柱式	947.7	5 204.4
门式直柱式棚洞	669.9	5 847.6
门式斜柱式	560.7	6 728.4
全拱式	789.3	4 230

由上述分析可知, 从轴力角度看来, 对棚洞结构起控制作用的是右侧柱子的轴力。因此, 各种洞形棚洞的优劣顺序为: 全拱式棚洞>半拱斜柱式棚洞>半拱直柱式棚洞>门式斜柱式棚洞>门式直柱式棚洞。

3.3 棚洞结构剪力分析

棚洞结构的剪力计算结果如表 4 所示。

显然, 立柱的剪力的影响相对较大。因此, 根据剪力结果分析 (表 4), 其各种洞形棚洞的优劣顺序为: 半拱直柱式棚洞>门式直柱式棚洞>半拱斜柱式棚洞>门式斜柱式棚洞>全拱式棚洞。

表 4 剪力计算结果 (单位: kN)
Table 4 Axial force for various shed-tunnel(unit: kN)

棚洞结构类型	拱部最大剪力	立柱最大剪力
半拱斜柱式	173.2	-688.8
半拱直柱式	174.8	-370.8
门式直柱式	473.2	-578.4
门式斜柱式	370.5	-825.6
全拱式	-72.8	884.4

3.4 综合分析

从棚洞结构产生的弯矩角度看来, 各种洞形棚洞的优劣顺序为: 全拱式棚洞>半拱斜柱式棚洞>半拱直柱式棚洞>门式斜柱式棚洞>门式直柱式棚洞; 从轴力角度看来, 各种洞形棚洞的优劣顺序为: 全拱式棚洞>半拱斜柱式棚洞>半拱直柱式棚洞>门式斜柱式棚洞>门式直柱式棚洞; 根据剪力结果分析, 其各种洞形棚洞的优劣顺序为: 半拱直柱式棚洞>门式直柱式棚洞>半拱斜柱式棚洞>门式斜柱式棚洞>全拱式棚洞。

对于棚洞结构而言, 影响最大的为弯矩, 其次为轴力, 剪力影响相对较小。特别是剪力本身相对要小得多。因此 5 种棚洞结构的优劣顺序为: 全拱式棚洞>半拱斜柱式棚洞>半拱直柱式棚洞>门式斜柱式棚洞>门式直柱式棚洞。

4 结 语

采用大型通用有限元软件 ANSYS 对各种洞形的受力情况进行了模拟分析。从各种洞形棚洞结构的弯矩、轴力和剪力计算结果分析认为, 各种洞形棚洞的优劣顺序为: 全拱式棚洞>半拱斜柱式棚洞>半拱直柱式棚洞>门式斜柱式棚洞>门式直柱式棚洞, 即在围岩级别顺序下, 全拱式棚洞是最优的。

参 考 文 献

- [1] 祝况, 伍昌. 英吉利海峡海底隧道的工程技术和环境保护[J]. 全球科技经济瞭望, 1995, (5): 27—29.
ZHU Kuang, WU Chang. Engineering technology and environmental protection in tunnel of English channel[J]. *Expectation of Global Technological Economy*, 1995, (5): 27—29.
- [2] 高辛财, 刘维宁. 隧道施工期间的环境保护分析与对策[J]. 铁道建筑技术, 2003, (1): 38—48.
GAO Xin-cai, LIU Wei-ning. Analysis and countermeasure during construction of tunnel[J]. *Architectural Technology of Railway*, 2003, (1): 38—40.
- [3] 沈振武. 山区长大隧道的环境问题研究[J]. 华东交通大学学报, 2003, 20(5): 35—37.
SHEN Zhen-wu. Research on environment of long and large mountain tunnel[J]. *Journal of Eastern China University of Communications*, 2003, 20(5): 35—37.
- [4] 白李妍, 张弥. 隧道工程环境影响的动态优化控制[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(3): 393—397.
BAI Li-yan, ZHANG Mi. Dynamic optimized control of environmental influence in tunnel engineering[J]. *Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2002, 21(3): 393—397.
- [5] 赵尚毅, 郑颖人, 时卫民, 等. 用有限元强度折减法求边坡稳定安全系数[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(3): 343—346.
ZHAO Shang-yi, ZHENG Ying-ren, SHI Wei-min, et al. The determination of stability factor of slope by the strength reduction in FEM[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2002, 24(3): 343—346.