

高原地区某市政地通道结构的分析探讨

黄华东¹, 危保明¹, 李连超²

(1. 重庆市市政设计研究院, 重庆 400020;
2. 西藏自治区质量技术监督局, 拉萨 850000)

摘要:根据高原地区某地通道结构的受力特征,基于荷载结构法建立理正、MIDAS 两种数模工况,对高原地区独特地质条件下的地通道结构进行充分的数模分析,结果表明:不同计算软件、计算方法计算出来的最不利内力情况相差不大,证明数模有一定的可行性;通过最不利工况情形下的内力特征,对主通道结构进行配筋结构设计,结果符合国家相应规范对抗震、抗裂、安全稳定性的要求。另外,在高原地区独特的工程地质及水文地质条件下作业,特别注意地基承载力要符合要求,同时要加强防排水措施和周边环境的监控量测,防止因其他因素引起内力超限现象发生。

关键词:荷载结构法;理正结构工具箱;MIDAS GTS NX;最不利工况;内力分析

中图分类号:TU92 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2017)03-0069-05

近几十年来,随着我国城市建设的迅猛发展,城市规模不断扩大,城市道路人流量车流量不断增多。为了缓解城市道路的拥挤,方便行人的出行,并保证其人身安全,在城市道路上修建人行天桥和地通道,是较为理想的选择。由于地通道相关的文献资料还比较少^[1],而高原地区的地通道工程资料少之又少,更值得探讨和研究。本文在地下工程相关理论研究基础上^[2],采用不同的数值模拟计算方法^[3-4],对高原地区某市政地通道

主体结构的受力情况作了较为详细的分析与探讨,旨在通过可靠的数学模型为解决高原复杂环境下的地通道实际工程问题,在保证安全可靠的前提下,提出相关的设计、施工等建议。

1 数学模型

在本次人行地通道主体结构分析中,采用线弹性的结构模型^[2,4],其应力与应变之间的关系如下:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & & & \\ \nu & 1-\nu & \nu & & & \\ \nu & \nu & 1-\nu & & & \\ & & & \frac{1-2\nu}{2} & & \\ & & & & \frac{1-2\nu}{2} & \\ & & & & & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

式(1)针对二维分析时, $\tau_{yz} = \tau_{zx} = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0$;针对平面应变分析时, $\varepsilon_z = 0$ 。

线弹性模型参数包括弹性模量 E 、泊松比 ν 、

粘聚力 C 、内摩擦角 ϕ 、弹性模量增量和基准高度特征值,其中,粘聚力 C 、泊松比 ν 不参与实质性的计算分析,但在后处理中方便输入安全系数和屈

强比。

2 工况介绍

某人行地通道位于青藏公路沿线,地质构造属于东西向墨竹工卡复向斜面构造带。在强烈的构造作用下,地层褶皱强烈,断裂发育,破坏严重,在后期强烈的岩浆侵入作用下,岩体被切割得支离破碎,但拟建构筑物场地附近相对平整,标高起伏不大,相对高差 0.14 m。场地地貌单元属河流阶地地貌,场地地层主要由第四系全新统冲积物组成,包括杂填土、圆砾、卵石层(包括稍密卵石、中密卵石、密实卵石层)。地下水类型为第四系卵石层中的孔隙潜水,主要由大气降水、冰雪融水及上游地下水补给。根据试验结果,场地土和地下水对混凝土及混凝土中的钢筋具微腐蚀性。总的来说,拟建场地地质构造相对简单,地壳构造活动正常,形成大应力释放的可能性较小,因此场地稳定性良好,且拟建场地未见有岩溶、崩塌、地下空洞、滑坡及泥石流等地质灾害发生,适宜建筑。

3 数值模型

人行地通道主体结构主要采用箱型结构,横断面如图 1 所示。地通道由 C35 防水混凝土现浇,净跨径 $B = 5.0$ m,净高 $H = 3.5$ m,最大覆土厚度 $H_s \leq 3$ m;土的内摩擦角取 30° ,道路回填土天然重度 20.0 kN/m^3 (见表 1);顶板、底板的厚度 $h_1 = h_3 = 0.5$ m,侧墙厚度 $h_2 = 0.5$ m;计算所取活载 $q_{\text{车}} = 20$ kN/m^2 (见图 1、图 2)。抗震设防烈度按照Ⅷ度设防,抗渗等级设置为 P8。

对平面框架结构取纵向每延米采用“荷载-结构法”计算,并利用理正工具箱和 MIDAS GTS NX 有限元软件进行受力分析(MIDAS 软件选用非线性模型参与求解)。

为模拟地基对结构底板的竖向支撑,采用程序中只受压的弹簧支撑模型。对结构顶板、侧板和底板按纯弯构件考虑,各截面按照双筋矩形截面进行配筋,并对最不利截面进行正截面抗弯承载能力、斜截面抗剪承载能力及最大裂缝宽度验算。

依地勘数据为基础建立模型,模型坐标采用笛卡尔坐标系, X 轴垂直地通道中线水平方向向右, Y 轴垂直向上(重力的反方向)。框架结构采用梁单元模拟。计算模型底面采用曲面弹簧边界支撑,其余边界施加相应的地层荷载参数。梁单元网格划分尺寸间距为 0.1 m,总共 3 100 个单元。

表 1 梁和土的力学参数

Table 1 Computational mechanics parameter

材料名称	容重/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$)	泊松比	内摩擦角/ ($^\circ$)
梁	25	31 500 000	0.2	—
填土	20	—	0.3	30

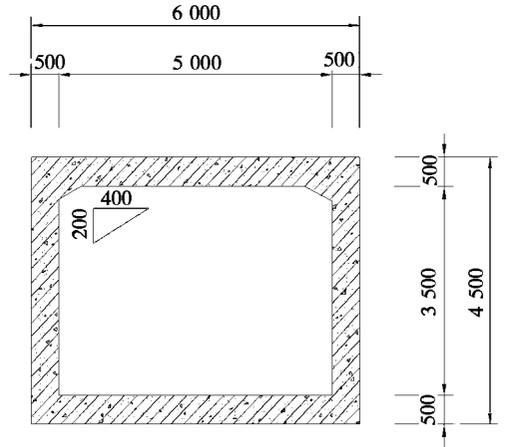


图 1 人行地通道主体结构横断面

Fig. 1 Cross section of the main structure for pedestrian underpass

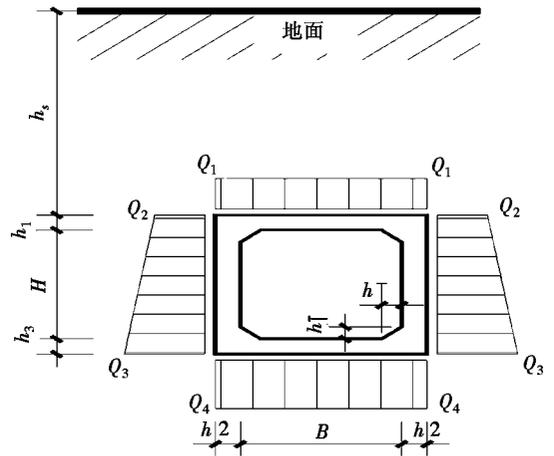


图 2 荷载结构法荷载示意图

Fig. 2 Load sketch map by load structure method

4 荷载施加

根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)^[5]和表 1 参数,本工地通道荷载分析如下:

- 1) 结构自重:钢筋混凝土容重按 25 kN/m^3 计算;MIDAS GTS 程序自动加载。
- 2) 覆土荷载 $q = \gamma \times H_s \times 1$ $\text{m} = 20H_s$ (kN/m) (H_s 为顶板距离地面的高度, m ; γ 为覆土容重,取 20 kN/m^3)。

3) 二次装修荷载:忽略不计

4) 土侧压力:按主动土压力计算。

$$q = K_0 \times \gamma \times H_s = K_0 \times 20 \times H_s = 20K_0H_s (\text{kN/m}^2)$$

式中: K_0 为土的侧压力系数, $K_0 = \tan^2(45^\circ - \Phi/2)$, 本文按 $\Phi = 30^\circ$ 考虑, 则 $K_0 = 0.33$; γ 为土的容重, 取 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$; H_s 为计算截面距离覆土顶面的高度, m 。

5) 车辆荷载: $q_{\text{车}} = 20 \text{ kN/m}^2$

6) 车辆荷载引起的侧向土压力。

荷载组合按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)^[5]进行。本实验只计算最不利工况情形下, 即承载能力达到极限状态时的基本组合。本文地通道荷载的各项系数如表2所示, 组合荷载计算如下:

$$\gamma_0 S_{ud} = \gamma_0 (\sum \gamma_{Gi} S_{Gik} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \psi_c \sum \gamma_{Qj} S_{Qjk}) \quad (2)$$

表2 作用效应的分项系数

Table 2 Partial factors of action effect

荷载分类	荷载名称	对结构承载力不利	对结构承载力有利
永久荷载	结构自重	1.35	1.0
	覆土荷载	1.35	1.0
	土侧压力	1.4	1.0
	车辆荷载	1.4	1.0
可变荷载	车辆荷载引起的侧向土压力	1.4	1.0

在最不利工况下, 组合荷载 $\gamma_0 S_{ud} = \gamma_0 (1.35 \times \text{结构自重} + 1.35 \times \text{覆土荷载} + 1.4 \times \text{土侧压力} + 1.4 \times \text{车辆荷载} + 1.4 \times \text{车辆荷载引起的侧向土压力})$

经计算得到 $Q_1 = 152.88 \text{ kN/m}^2$; $Q_2 = 38.59 \text{ kN/m}^2$; $Q_3 = 74.59 \text{ kN/m}^2$; $Q_4 = 169.75 \text{ kN/m}^2$ 。

5 分析与对比

5.1 理正结构工具箱计算结果

将计算所得到的荷载值带入理正结构工具箱进行计算分析, 得到地通道结构主通道部分顶板的最大弯矩为 $274.30 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 最大剪力为 346.20 kN , 最大轴力为 78.30 kN ; 侧墙结构最大弯矩为 $201.70 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 最大剪力为 78.30 kN , 最大轴力为 346.20 kN 。选取内力最不利状态的情形进行配筋计算, 得出顶板主筋最大配筋为 $22@100$, 侧墙主筋最大配筋为 $20@100$, 并且满足裂缝验算^[6](见下表3)。

表3 最不利工况下内力统计

Table 3 Internal force statistics under the most unfavorable conditions

位置	最不利内力			配筋	裂缝宽度/mm
	弯矩/ ($\text{kN} \cdot \text{m}$)	剪力/ kN	轴力/ kN		
顶板(底板)	274.30	346.20	78.30	22@100	0.102
侧墙	201.7	78.30	346.2	20@100	0.047

5.2 MIDAS GTS NX 计算结果

用岩土与隧道有限元软件 MIDAS GTS NX 对主通道框架结构进行迭代计算, 结果如图3、图4所示。由图3、图4可知: 地通道结构主通道的最大弯矩出现在顶板中部区域, 为 $270.30 \text{ kN} \cdot \text{m}$; 最大剪力出现在框架梁与侧墙交接部位, 为

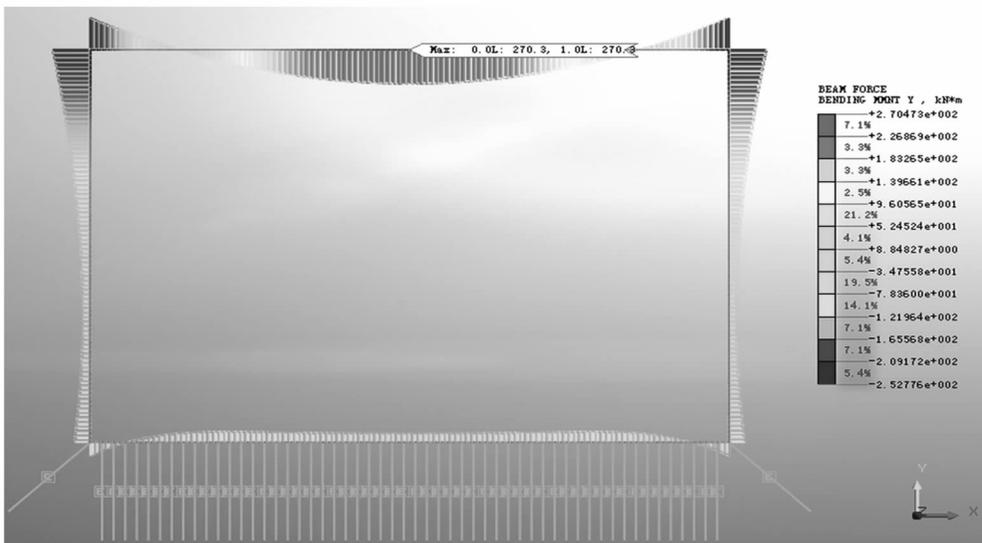


图3 主通道框架梁结构弯矩云图

Fig. 3 Bending moment nephogram of the frame beam structure for main channel

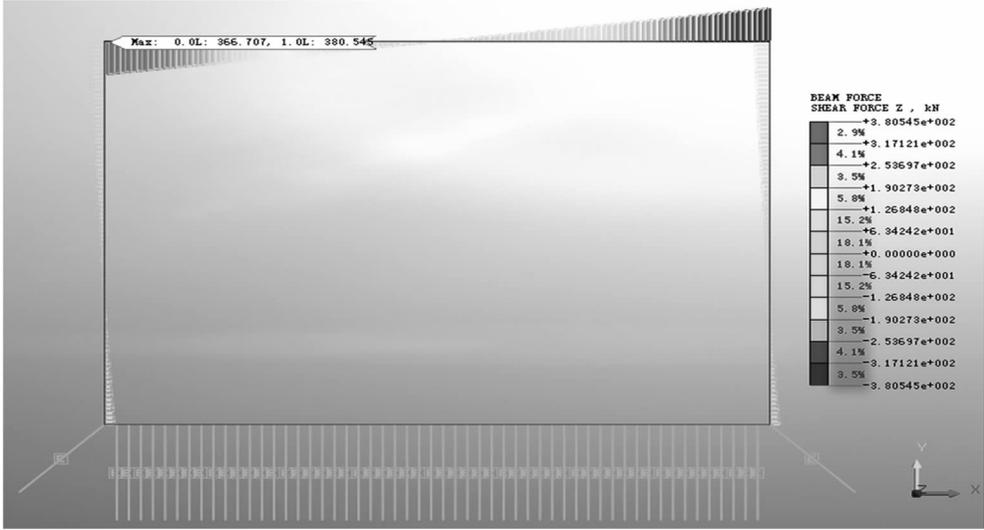


图 4 主通道框架梁结构剪力云图

Fig. 4 Shear force nephogram of the frame beam structure for main channel

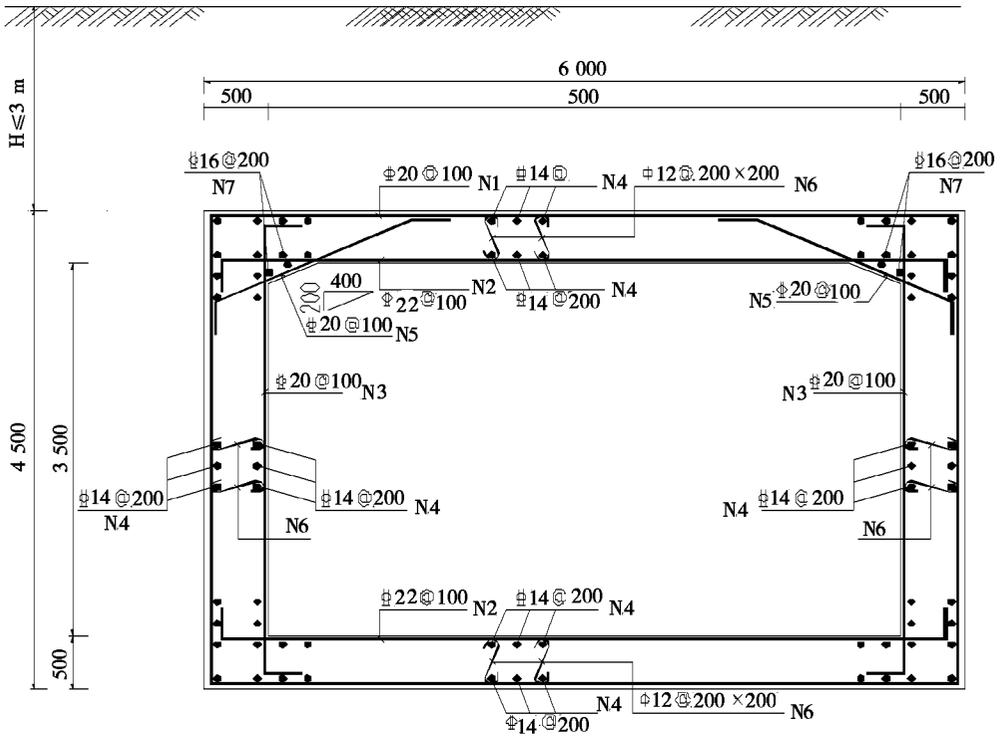


图 5 主通道框架梁结构配筋图

Fig. 5 Reinforcement diagram of the frame beam structure for main channel

表 4 最不利工况下内力验算

Table 4 Internal force checking under the most unfavorable conditions

位置	最不利内力			配筋	裂缝宽度/mm
	弯矩/ (kN * m)	剪力/ kN	轴力/ kN		
顶板(底板)	270.30	380.55	137.29	22@100	0.100
侧墙	252.78	137.29	381.79	20@100	0.056

366.71 kN。比较 MIDAS 有限元软件计算的结果与理正工具箱的计算结果,可以发现二者很相近,说明数模有一定的可行性。与理正工具箱的计算方法一样,也选取内力较大值,进行配筋设计,并根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)^[6]、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)^[7]、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—

2010)^[8],进行正截面、斜截面承载力验算,发现裂缝宽度及配筋情况均满足规范要求。最不利工况下内力验算结果见表4。

根据理正结构工具箱和 MIDAS GTS 两数值模型的计算结果,选取最不利内力状况下的结果进行配筋计算,得到主通道框架梁结构的最终配筋情况如图5所示,即:顶板上部纵筋为20@100,下部纵筋为22@100,构造筋为14@200,箍筋为12@200×200;底板上部纵筋为22@100,下部纵筋为20@100,构造筋为14@200,箍筋为12@200×200;侧墙主筋为20@100,构造筋为14@200,箍筋为12@200×200。除此之外,在腋角部位用20@100的纵筋加强。

根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)^[6]、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—

2012)^[7]、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)^[8],以上配筋情况均符合规范要求。

6 结论与建议

比较地道结构的内力计算结果,可以发现有限元 MIDAS GTS 的计算值要略微大于理正结构工具箱的计算值。根据最不利内力情形下的工况进行配筋计算,采用有限元的计算结果相比理正工具箱安全系数更大。有限元法顶板(底板)主筋采用22@100,侧墙采用22@100,满足规范规定的裂缝及安全标准要求;截面尺寸及配筋也同样满足强度及承载力的要求。此外,在高原地区独特的水文地质及工程地质条件下作业,要特别注意加强地基承载力试验及防排水工作,切实加强开挖支护,严格控制施工顺序及施工质量,保证结构发挥良好性能。

参考文献:

- [1] 熊茜. 高填方区地道基坑开挖支护设计[J]. 建筑工程技术与设计, 2015(3): 158.
- [2] 孙宝印, 古泉, 张沛洲, 等. 钢筋混凝土框架结构弹塑性数值子结构分析方法[J]. 工程力学, 2016, 33(5): 44-49.
- [3] 鲁得文, 丁冬冬. 基于荷载结构法的某隧道衬砌结构受力特性分析[J]. 四川水泥, 2016(9): 39.
- [4] 李治. Midas/GTS 在岩土工程中的应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [5] 中交公路规划设计院. 公路桥涵设计通用规范[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构设计规范: GB 50010—2010[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑结构荷载规范: GB 50009—2012[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [8] 中华人民共和国建设部. 建筑抗震设计规范 GB 50011—2010: GB 50011—2010[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

Analysis and Discussion on the Structure of a Municipal Underpass in a Plateau Area

HUANG Huadong¹, WEI Baoming¹, LI Lianchao²

(1. Chongqing Municipal Research Institute of Design, Chongqing 400020, China;)
(2. Tibetan Bureau of Quality and Technical Supervision, Lhasa Tibet 850008, China)

Abstract: According to the force characteristics of a certain underpass structure in plateau area, two digital-analog working conditions such as Lizheng and MIDAS are established based on load structure method. The numerical analysis of the underpass structure under the unique geological conditions of the plateau region is carried out. The results show that the most unfavorable internal forces calculated by different calculation software and calculation method have little difference, which proves that the digital-analog is feasible. Through the internal force characteristics of the most unfavorable conditions, the design of reinforcement structure on main channel structure is carried out. The results meet the requirements of the corresponding national norms for earthquake resistance, crack resistance, safety and stability. In addition, when the work is carried out under the unique engineering geological and hydrogeological conditions in the plateau area, special attention should be paid to the bearing capacity of the foundation to meet the requirements. At the same time, it is necessary to strengthen the monitoring and measurement of waterproof and water drainage measures and the surrounding environment to prevent the excessive internal force caused by other factors.

Keywords: Load structure method; Lizheng structure Toolbox; MIDAS GTS NX; The most unfavorable conditions; The internal force analysis
(责任编辑:张英健)