

Analysis on Surrounding Rock Pressure of Tencent Seven Star Data Center Tunnel Group

Xiaojun Li¹, Dong Li², Zimao Wang¹, Yuanpeng Liu¹

¹China Railway Tunnel Group Erchu Co., Ltd., Langfang Hebei

²State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control, Chongqing University, Chongqing
Email: jiangyd1015@163.com

Received: Jul. 25th, 2019; accepted: Aug. 13th, 2019; published: Aug. 20th, 2019

Abstract

Taking Guiyang Tencent Seven Star Data Center Tunnel Project as the research background, the project belongs to the construction of five closely spaced parallel, shallow, large-section tunnel group, which is the first case at home. The CD method is used in the place where the tunnel geological conditions are good, and the poor place is adjusted to the CD method and step method construction. The tunnel group adopts the method of synchronous propulsion and synchronous excavation. Due to the stress superposition and the surrounding rock stress concentration caused by the excavation of adjacent tunnels, by establishing the tunnel group pressure calculation model, and using the Rankine stress theory and the Bill Bowman theory to calculate the horizontal side pressure and vertical pressure of the tunnel excavation surrounding rock, the distribution characteristics of tunnel surrounding rock pressure and the subsidence of the dome are analyzed. The minimum support reaction force of the tunnel is calculated. The research results can provide reference for tunnel support design.

Keywords

Tunnel Group, Neighborhood Tunnel, Surrounding Rock Pressure, Calculation Model

腾讯七星数据中心隧道群围岩压力分析

李晓军¹, 李 栋², 王子茂¹, 刘远鹏¹

¹中铁隧道集团二处有限公司, 河北 廊坊

²重庆大学煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室, 重庆
Email: jiangyd1015@163.com

收稿日期：2019年7月25日；录用日期：2019年8月13日；发布日期：2019年8月20日

摘要

以贵阳腾讯七星数据中心隧道工程为研究背景，该工程属于五线并行小间距浅埋大断面隧道群，为国外首例。隧道地质条件较好处采用CD法施工，较差处调整为CD法 + 台阶法施工。隧道群采用同步推进、同步开挖的方法，由于相邻隧道开挖产生应力叠加、围岩应力集中，通过建立隧道群压力计算模型，应用朗肯土压力理论、比尔鲍曼理论，计算隧道开挖时围岩的水平侧压力，垂直压力，分析隧道围岩压力的分布特征和拱顶的下沉量，计算隧道的最小支护反力，研究结果可为隧道支护设计提供参考。

关键词

隧道群，小净距隧道，围岩压力，计算模型

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

铁路、公路、地铁隧道一般为两条并行隧道，煤矿开采设计了轨道、运输、通风三条上山、下山巷道，下山巷道，与以往修建的隧道、煤矿巷道相比，该工程为五线并行小间距浅埋大断面隧道洞库群工程，为国内首例，在隧道施工工法、施工顺序、隧道衬砌结构、支护参数、通风方式等方面要求更高。目前，隧道围岩压力计算依然是难题，多数以公路隧道设计规范为参考[1]，采用普氏理论、全土柱理论、泰沙基理论、比尔鲍曼理论等计算围岩压力[2] [3] [4] [5] [6]。随着隧道工程更加复杂，学者们深入研究了围岩压力，腾俊洋[7]推导了考虑地形以及施工工序的浅埋偏压小净距隧道围岩压力计算公式，但只是限于研究偏压双孔隧道的计算。陈章林[8]等研究了在不同理论模型下浅埋特大断面软岩隧道T型工法施工的围岩压力，但未考虑双洞开挖应力叠加的影响。龚建伍[9]通过工程监测实例对理论计算公式进行对比分析验证，得出计算公式和分析模型的合理性。马军秋[10]考虑三孔隧道开挖顺序相互作用对围岩压力重分布产生的影响，提出了三线并行大断面小净距隧道围岩压力与荷载的分析模式，并推导了浅埋非偏压下隧道围岩压力的计算公式。张军伟[11]等提出一种基于位移反分析法原理的浅埋隧道围岩压力计算方法，并在实际工程中验证了计算方法。

根据工程概况，查阅相关文献，目前国内较多是双孔和三孔隧道计算模型，对于五孔隧道压力的计算尚没有相关实例，本文通过建立五孔隧道计算模型，利用已知的双孔和三孔隧道计算公式，根据实际施工情况，将五孔隧道压力计算，简化为双孔和三孔的压力计算，并分析了围岩的压力分布特征、顶板的变形、最小支护反力，可为隧道支护设计提供借鉴和参考。

2. 工程概况

腾讯七星数据中心位于贵阳贵安新区金马大道与天府路交叉口西南侧，项目隧道土建部分为5条主体隧道(B1~B5) + 1条联络隧道(A1) + 11个排风井，图1所示。隧道沿栖霞山山体横向布置B1~B5隧道，隧道中心线间距为46 m。B1为柴动力设备隧道，长232.5 m；B2~B5为IT隧道，每条隧道长度均

为 276.4 m；隧道 IT 设备洞室净空宽度为 16.466 m、高度为 11.7 m，内轮廓净空断面为 182.4 m²。隧道动力设备洞室净空宽度为 13.964 m、高度为 11.35 m，内轮廓净空断面为 159.9 m²。

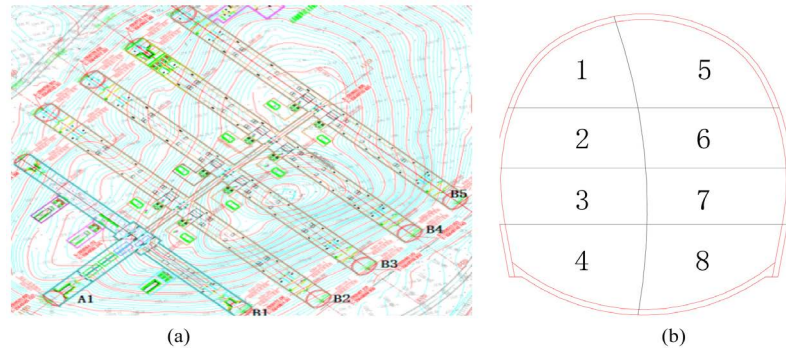


Figure 1. Overview of tunnel engineering. (a) Tunnel group plan, (b) Tunnel CD construction

图 1. 隧道工程概况。(a) 隧道群平面图；(b) 隧道 CD 法施工

3. 围岩压力分析

取某一断面进行压力分析，参考现行铁路隧道设计规范中隧道荷载计算方法，浅埋小净距大断面隧道群假定滑动破坏模式及计算荷载。隧道 B1~B5 高为 H ，净距为 D ，洞宽均为 B ，隧洞两侧产生最大推力时破裂面与水平方向夹角为分别为 β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 、 β_5 ， W 、 W' 、 W'' 分别为岩(土)体分别为 EFGH，ABE，FKOI 的重力 W_1 、 W_2' 、 W_3' 、 W_1'' 、 W_2'' 、 W_3'' 、.....同理， T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 分别为隧道两侧土体对拱顶下沉土柱施加的阻力， F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 隧道两侧假定破裂面的阻力， ϕ_c 为计算内摩擦角， θ 为顶板土柱两侧摩擦角，其值参照规范选用，隧道 B1~B5 压力计算模型为图 2 所示，计算时假设岩(土)体为连续介质，各向同性。

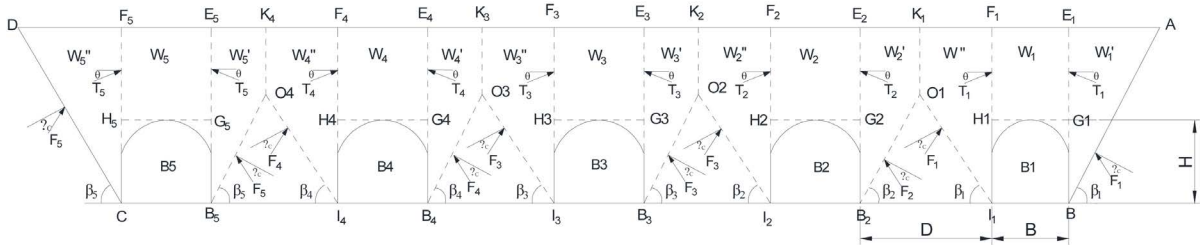


Figure 2. B1~B5 load calculation diagram

图 2. B1~B5 荷载计算简图

3.1. 隧道 B1、B5 围岩压力计算方法

隧道 B1、B5 一侧有相邻隧道，隧道 B1 围岩压力受自身开挖的压力和隧道 B2 的压力叠加。隧道 B5 围岩压力受自身开挖的压力和隧道 B4 的压力叠加，围岩压力分布图 3 所示，由朗肯土压力公式可计算隧道内外侧侧压力系数。

隧道外侧侧压力系数为 λ_1

$$\lambda_1 = \frac{\tan \beta - \tan \varphi_0}{\tan \beta [1 + \tan \beta (\tan \varphi_0 - \tan \theta) + \tan \varphi_0 \tan \theta]} \quad (1)$$

隧道内侧侧压力系数为 λ_2

$$\lambda_2 = \frac{\frac{D}{h} \left(1 - \frac{D}{4h} \tan \beta \right) (\tan \beta - \tan \varphi_0)}{1 + \tan \beta (\tan \varphi_0 - \tan \theta) + \tan \varphi_0 \tan \theta} \quad (2)$$

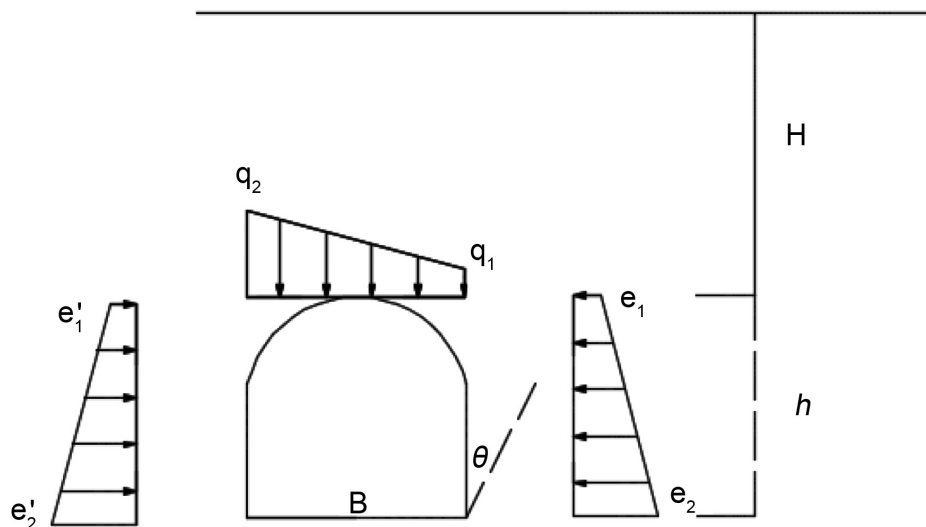


Figure 3. Calculation of surrounding rock pressure calculation of tunnels B1 and B5
图3. 隧道 B1、B5 围岩压力计算简图

β 为产生最大推力时外侧破裂角

$$\tan \beta = \tan \varphi_0 + \sqrt{\frac{(\tan^2 \varphi_0 + 1) \tan \varphi_0}{\tan \varphi_0 - \tan \theta}} \quad (3)$$

隧道顶部外侧垂直压力 q_1 和内侧垂直压力 q_2 分别为:

$$q_1 = \gamma H \left(1 - \frac{H}{B} \lambda_1 \tan \theta \right) \quad (4)$$

$$q_2 = \gamma H \left(1 - \frac{H}{B} \lambda_2 \tan \theta \right) \quad (5)$$

式中: IV 级围岩中 $\theta = (0.7 - 0.9) \varphi_0$; D ——中间岩柱宽度, m; h ——隧道洞高, m。

隧道外侧顶部侧压力为 e_1 腰肢侧压力为 e_2

$$e_1 = q_1 \lambda_1 \quad (6)$$

$$e_2 = q_1 \lambda_1 + h \gamma \lambda_1 \quad (7)$$

隧道内侧顶部侧压力为 e_1' 腰肢侧压力为 e_2'

$$e_1' = q_2 \lambda_2 \quad (8)$$

$$e_2' = q_2 \lambda_2 + h \gamma \lambda_2 \quad (9)$$

隧道岩体力学参数表 1 所示, 根据以上公式, 则隧道 B1、B5 开挖不同埋深围岩压力表 2 所示。

3.2. 隧道 B2、B3、B4 围岩压力计算方法

隧道 B2、B3、B4 两侧都有相邻隧道, 隧道围岩压力受自身开挖的压力和两侧隧道的压力叠加。现以 B3 围岩压力为例, 围岩压力分布图 4 所示。

Table 1. Rock mass mechanical parameters
表 1. 岩体力学参数

岩体参数	容重(kN/m ³)	单轴抗压强度(MPa)	内摩擦角 φ (°)	内聚力 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	弹性模量(GPa)	泊松比 μ	侧压力系数 λ
泥质白云岩	24	16	48	4.4	3.75	12	0.38	0.18

Table 2. B1、B5 tunnel excavation surrounding rock pressure
表 2. B1、B5 隧道开挖围岩压力

埋深(m)	垂直压力 q_1 (kPa)	垂直压力 q_2 (kPa)	水平压力 e_1 (kPa)	水平压力 e_2 (kPa)
20	422.1	428.7	81.0	173.2
25	509.5	519.9	97.8	213.0
30	589.7	604.6	113.2	251.5
36	676.3	697.8	129.9	295.7

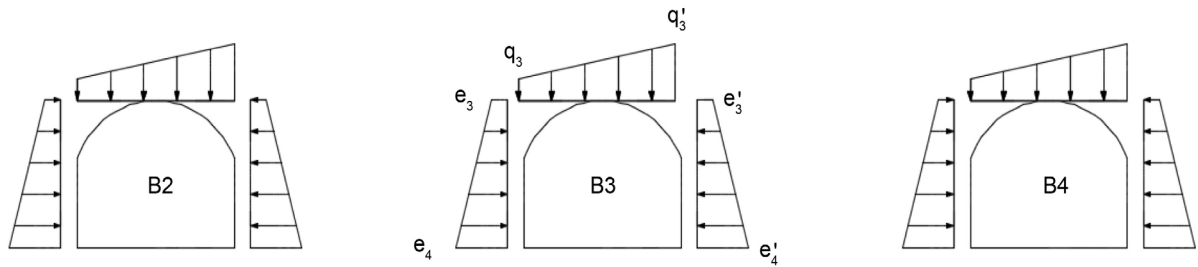


Figure 4. Pressure distribution of surrounding rock in tunnels B2, B3 and B4
图 4. 隧道 B2、B3、B4 围岩压力分布

对于 B3 外侧

$$W'_3 = \frac{D_3(2h_3 - D_2 \tan \beta_3 - D_3 \tan \alpha)}{2} \gamma \quad (10)$$

$$T_3 = \frac{\sin(\beta_3 - \varphi_c)}{\sin[90^\circ - (\beta_3 - \varphi_c + \theta)]} W'_3 \quad (11)$$

B3 拱顶垂直压力

$$q_3 = \frac{\gamma}{2} \left[(H + h_3) - \frac{(\lambda_3 H_3^2 + \lambda_3^2 h_3^2) \tan \theta}{B} \right] \quad (12)$$

$$q'_3 = \frac{\gamma}{2} \left[(H + h_3) - \frac{(\lambda_3 H_3^2 - \lambda_3^2 h_3^2) \tan \theta}{B} \right] \quad (13)$$

对于 B3 内侧与上述计算过程类似，可得：

$$\lambda_3 = \frac{\frac{D}{h_3} \left(1 - \frac{D}{3h_3} \tan \beta_3 \right) (\tan \beta_3 - \tan \varphi_c)}{1 + \tan \beta_3 (\tan \varphi_c - \tan \theta) + \tan \varphi_c \tan \theta} \quad (14)$$

$$\tan \beta_3 = -\frac{1}{\tan(\varphi_c - \theta)} + \sqrt{\frac{\tan \varphi_c^2 + 1}{\tan \varphi_c - \tan \theta} \left[\frac{1}{\tan(\varphi_c - \theta)} + \frac{3h_3}{D} \right]} \quad (15)$$

$$e_3 = \lambda_3 q_3 \quad (16)$$

$$e_4 = \lambda_3 q_3 + h\gamma\lambda_3 \quad (17)$$

隧道岩体力学参数表 1 所示, 根据以上公式, 则隧道 B2、B3、B4 开挖不同埋深围岩压力表 3 所示。

Table 3. B2, B3, B4 tunnel excavation surrounding rock pressure

表 3. B2、B3、B4 隧道开挖围岩压力

埋深(m)	垂直压力 q_3 (kPa)	垂直压力 q'_3 (kPa)	水平压力 e_3 (kPa)	水平压力 e_4 (kPa)	水平压力 e'_3 (kPa)	水平压力 e'_4 (kPa)
30	603.0	610.3	109.9	125.8	111.9	131.5
40	752.0	756.0	137.7	161.4	141.5	178.5
50	875.1	895.4	161.2	178.0	172.3	190.6
56	936.4	961.9	173.1	199.8	183.2	201.5

3.3. 隧道顶板下沉量及支护反力计算

考虑地质勘探资料以及计算的准确度简化为:

- 1) 顶板为弹性均质白云岩;
- 2) 顶板节理的存在对其稳定性有极其重要的影响, 因此, 考虑隧洞理论力学模型为简支梁模型。

全断面形成后, 顶板塌落拱高度 4.8 m, 考虑顶板垂直应力为均布载荷, 均布荷载作用下顶板最大拉应力

$$\sigma_{\max} = \frac{3qs^2}{4b_0^2} \quad (18)$$

式中: q ——顶板所受均布荷载, kPa; s ——隧道跨距, m; b_0 ——普氏拱拱高, m。

顶板最大挠度位于梁的中部, 最大挠度为

$$f_{\max} = \frac{5qs^4}{384EJ} \quad (19)$$

式中: J ——梁的极惯性矩 $J = \frac{b_0^3}{12}$; E ——岩体弹性模量, MPa。

隧道开挖全断面形成后, 根据以上围岩压力理论模型计算结果, 得到了隧道全断面形成后顶板最大拉应力和最大挠度。实验得出岩体的抗拉强度为 3.75 MPa, 表 4 中最大拉应力均大于岩体的抗拉强度, 因此得出隧道在在不支护情况下, 在上覆岩体自重应力的作用下, 顶板围岩易发生冒落。

Table 4. Maximum bending stress and maximum deflection of the tunnel roof

表 4. 隧道顶板最大弯曲应力和最大挠度

隧道埋深(m)	最大拉应力(kPa)	最大挠度(mm)
30	5673	5.93
40	7074	7.39
50	8233	8.61
56	8809	9.21

顶板垮落不离层，其安全支护反力 P 的计算公式为

$$k \frac{3(q-p)s^2}{4b_0^2} = \sigma_t \quad (20)$$

式中： σ_t ——岩体抗拉强度，kPa； k ——安全性系数，取 1.5。

计算得出隧道全断面形成后，埋深 20 m、30 m、40 m、56 m 时安全支护反力分别为 427 kPa、602 kPa、670 kPa、751 kPa。

4. 结论

- 1) 在双孔、三孔隧道压力计算模型的基础上，建立了五孔并行隧道群压力计算模型。
- 2) 采用朗肯土压力、比尔鲍曼理论计算隧道围岩水平侧压力和垂直压力，为隧道群围岩压力设计提供参考。
- 3) 分析了隧道施工顶板的下沉量，产生不垮落的最小安全支护反力，为隧道支护结构设计提供参考。

参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准编写组. 公路隧道设计规范(JTG D70-2004) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [2] 奚家米, 王明明, 徐锋, 等. 超大断面浅埋隧道施工方法的数值模拟[J]. 西安科技大学学报, 2015, 35(5): 602-610.
- [3] 蔺港, 孔令刚, 詹良通, 等. 基于太沙基土拱效应考虑基质吸力影响的松动土压力计算模型[J]. 岩土力学, 2015, 36(7): 2095-2104.
- [4] 李鹏飞, 王帆, 聂雄, 张成平. 深埋非对称连拱隧道围岩压力计算方法研究[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(9): 1625-1629.
- [5] 朱正国. 连拱隧道围岩压力计算方法与动态施工力学行为研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(8): 17-29.
- [6] 丁文礼, 陈蒙, 姜宁. 基于现场监测的隧道围岩压力分布规律与特征[J]. 山西建筑, 2016, 42(8): 194-196.
- [7] 腾俊洋, 唐建新, 张闯, 张宇宁. 浅埋偏压小净距隧道围岩压力分布与围岩控制[J]. 地下空间与工程学报, 2018, 14(3): 761-769.
- [8] 陈章林, 王心毅, 刘辉, 等. 重庆轨道交通四号线头塘地铁站围岩压力分析[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13(S1): 34-39.
- [9] 龚建伍, 夏才初, 雷学文. 浅埋小净距隧道围岩压力计算与监测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(a2): 4139.
- [10] 马军秋. 平行三孔大断面小净距隧道施工技术与其力学特性研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [11] 张军伟, 曹祥渊, 陈拓, 等. 浅埋隧道围岩压力计算方法[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13(S1): 28-33+134.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询; 或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/> 顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org