

Analysis of Rock Burst in Circular Tunnel Based on Elastic Mechanics

Xujiang Luo

Department of Structural Engineering, Tongji University, Shanghai
Email: qq1594027867@163.com

Received: Apr. 23rd, 2017; accepted: May 12th, 2017; published: May 16th, 2017

Abstract

Rock burst is a common geological disaster under high stress condition. During the excavation of underground chamber, the stress of excavation surface is released to zero, and the redistribution of internal force and stress concentration appear in the surrounding rock. In a certain condition, the strain energy accumulation in hard brittle rock mass will be violently released and it will cause rock burst and ejection, which is a serious threat to the construction site personnel and equipment safety. In this paper, I will use the basic principle of elastic mechanic to analyze oblong tunnel.

Keywords

Rock Burst, Elastic Mechanics, Stress Analysis

基于弹性力学的圆形隧道岩爆分析

罗序江

同济大学建筑工程系, 上海
Email: qq1594027867@163.com

收稿日期: 2017年4月23日; 录用日期: 2017年5月12日; 发布日期: 2017年5月16日

摘要

岩爆是高应力条件下一种常见的地质灾害。在地下硐室开挖过程中, 开挖面应力释放为零, 硐室围岩产生内力重分布和应力集中。聚积在硬脆性岩体中的应变能, 在一定条件下会猛烈释放, 导致岩石爆裂并弹射出来, 严重威胁着现场施工人员、机械设备的安全。本文将采用弹性力学的基本原理对长圆形隧道进行分析。

关键词

岩爆, 弹性力学, 应力分析

Copyright © 2017 by author 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. 前言

岩爆是高应力条件下一种常见的地质灾害, 严重威胁着现场施工人员、机械设备的安全。圆形洞室岩爆由于具有典型性而得到广泛的研究[1]。目前, 已有许多岩爆理论研究[2], 主要包括冲击倾向理论、强度理论、能量理论、刚度理论和失稳理论。这些方法给岩爆预测提供了新的思路和途径。此外这些方法计算过程往往太过于复杂, 工程师们在实际操作中不太容易掌握。长圆形隧道符合经典的弹性力学假定, 本文将采用弹性力学的基本原理分析对长圆形隧道进行分析[3]。

2. 简化模型与边界条件

圆形隧道是工程中常见的一种隧道形式, 将选取圆形隧道作为研究对象。实际工程中, 隧道区的围岩处于三向应力场的作用之下, 且往往水平应力大于垂直应力。隧道长度方向的尺寸较其横截面尺寸大很多, 在数学上可以抽象地认为无限长的。因此长圆形隧道可以按照平面应变问题来考虑[4] [5]。如图1所示为长圆形隧道的受力状态, 隧道顶部受上部岩石压力和地面堆载作用, 底部受基底反力作用, 两个侧面受到岩石的侧压力作用, 由侧压力公式可知, 应力随深度呈线性分布而非均匀分布。

为了简化模型, 根据岩石力学的分析结果, 当隧道高度远远小于其埋深时, 可以忽略隧道高度范围内的应力变化, 认为侧面压力为均匀分布。如果不考虑地面堆载, 当隧道埋深超过隧道直径三倍时, 可以认为隧道上、下岩体中的竖向应力均为 $P = \gamma Z$ 。根据以上假定, 计算隧道围岩应力时, 将复杂初始应力状态转化为轴对称状态问题, 可以直接采用弹性力学分析开孔板在外荷载作用下的应力公式, 计算简图如图2所示。

3. 应力求解

由弹性力学知识我们知道这是一个圆孔应力集中问题, 由于上下边界和左右边界应力大小不相等, 所以可以将该问题可以等效为图3中(a)和(b)问题的叠加[6]。

在本问题中, 为了避免负号的出现, 因此假设应力以压为正, 得到问题的解答为:

$$\sigma_r = \frac{q_1 + q_2}{2} \left(1 - \frac{a^2}{\rho^2} \right) + \frac{q_1 - q_2}{2} \left(1 - \frac{a^2}{\rho^2} \right) \left(1 - 3 \frac{a^2}{\rho^2} \right) \cos 2\theta \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \frac{q_1 + q_2}{2} \left(1 + \frac{a^2}{\rho^2} \right) - \frac{q_1 - q_2}{2} \left(1 + 3 \frac{a^4}{\rho^4} \right) \cos 2\theta \quad (2)$$

$$\tau_{\rho\theta} = \frac{q_1 - q_2}{2} \left(1 - \frac{a^2}{\rho^2} \right) \left(1 + 3 \frac{a^2}{\rho^2} \right) \sin 2\theta \quad (3)$$

$$\sigma_z = \mu (\sigma_\rho + \sigma_\theta) \quad (4)$$

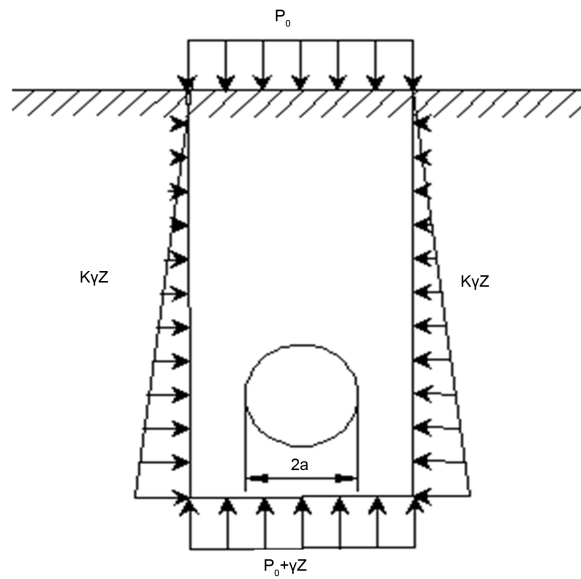


Figure 1. Actual stress diagram of surrounding rock
图 1. 围岩实际受力简图

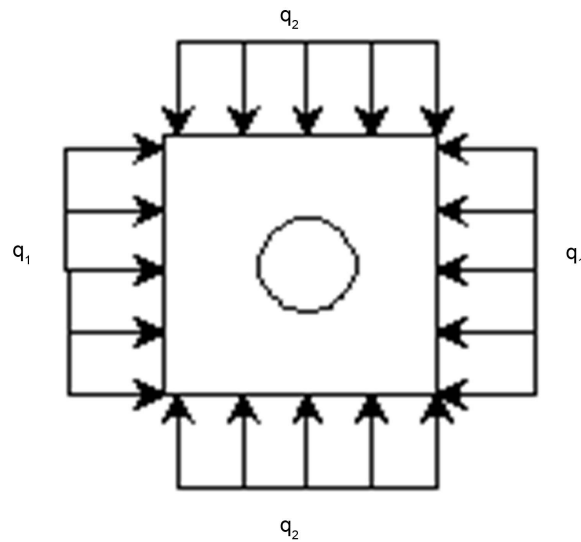


Figure 2. Simplified stress state of surrounding rock
图 2. 围岩简化后的应力状态

q_1 为侧向压力, q_2 为竖向压力, ρ 为围岩距离洞室圆心的距离, a 为洞室的半径。

从(2)中我们可以看到, 在 $\theta = \frac{\pi}{2}$ 处环向应力达到最大值, 此时最大环向应力为:

$$\sigma_{\theta} = \frac{q_1 + q_2}{2} \left(1 + \frac{a^2}{\rho^2} \right) + \frac{q_1 - q_2}{2} \left(1 + 3 \frac{a^4}{\rho^4} \right) \quad (5)$$

4. 岩爆的临界力

为了判断洞室是否会发生岩爆, 国内外许多学者都进行了相关的研究, 并提出了相应的岩爆判据。

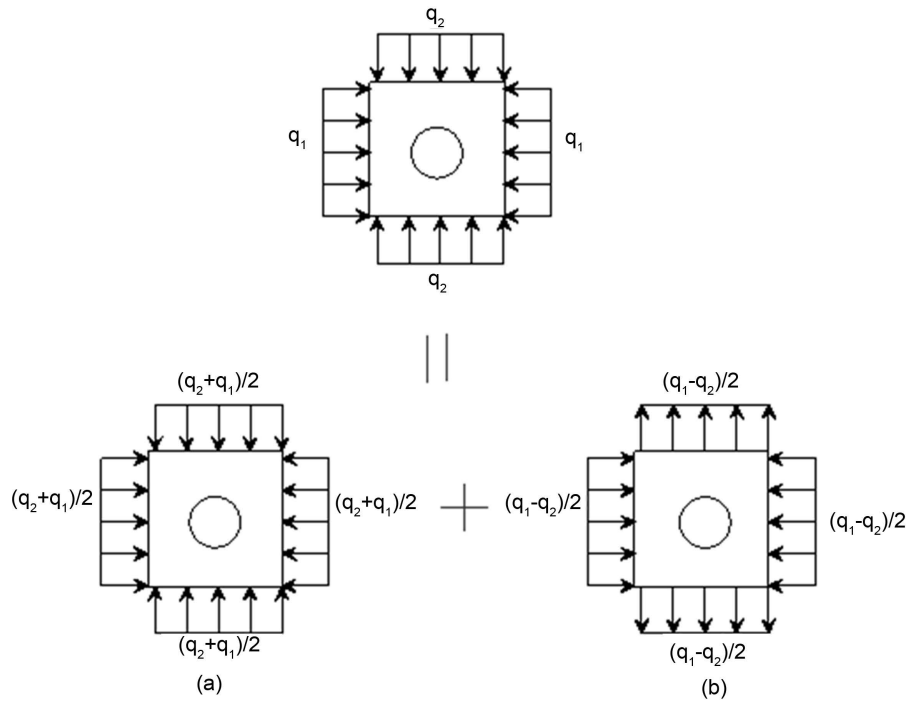


Figure 3. Equivalent stress state diagram
图 3. 应力状态等效图

1994 年，南非学者 Ortlepp [7]提出的代表性的岩爆倾向性判据，其中岩爆临界应力可以表示如下：

$$\sigma_{cr} = K\sigma_c \tag{6}$$

σ_{cr} ：岩爆临界应力，

σ_c ：岩石单轴抗压强度。

其中 K 值得确定是研究的难点所在，目前尚无完善的理论解释，只能根据实际工程数据进行统计得到经验值。后续许多学者，将最大切向应力 σ_θ 或最大主应力 σ_1 与临界应力进行比较来判定岩爆是否发生。得到了不同的判定方法。其中挪威专家 Russense [8]根据陆山隧道的研究结果，提出 Russenes 岩爆判别法，其判别关系式如下：

$\sigma_\theta/\sigma_c < 0.20$ 无岩爆

$0.20 \leq \sigma_\theta/\sigma_c < 0.30$ 弱岩爆

$0.30 \leq \sigma_\theta/\sigma_c < 0.50$ 中岩爆

$\sigma_\theta/\sigma_c \geq 0.55$ 强岩爆

σ_θ ：最大切向应力(可按(5)式计算)；

σ_c ：岩石单轴抗压强度。

此外也有学者提出基于岩体的抗拉强度 σ_t 来表征临界应力，根据格里菲斯强度理论其表达式如下[9]：

$$\sigma_{cr} = 8\sigma_t \tag{7}$$

5. 实际工程中的应用

在实际工程,当我们知道地质条件等参数时,可以利用上述的弹性力学公式,计算得到最大切向应力 σ_θ 或最大主应力 σ_1 ，并选取相应的判别公式，从而预测是否会发生岩爆。

在此对锦屏二级水电站施工排水洞进行分析[10][11]。工程概况如下：锦屏二级水电站位于四川省凉山彝族自治州盐源、冕宁和木里三县交界处的锦屏大河湾上。在 B 线辅助洞与 4 号引水隧洞之间增设了一条全长约 16.73 km 的施工排水洞，各隧洞上覆岩体一般埋深为 1500 - 2000 m，最大埋深约为 2525 m。对 SK11 + 0-SK17 + 0 之间的隧洞进行数据分析，该处对应的外荷载为 $\sigma_x = 35.67 - 43.11$ MPa， $\sigma_y = 41.32 - 45.88$ MPa， $\sigma_z = 37.29 - 51.43$ MPa。该处岩体的单轴抗压强度为 120MPa，单轴抗拉强度 5.1MPa。将数据代入(5)中可以得到最大环向应力 $\sigma_z = 37.29 - 51.43$ MPa， $\sigma_\theta = 88.01 - 101.97$ MPa。

利用抗拉强度进行判断可以得到 $\sigma_\theta \geq 8\sigma_t = 40.8$ MPa，会发生岩爆。利用抗压强度进行判断可以得到 $\sigma_\theta/\sigma_c = 0.73 - 0.85 > 0.55$ 属于强岩爆，结果与现场岩爆结果相吻合。我们可以看到利用弹性力学的解析解，便于工程师们在实际工程中操作，可以对岩爆进行初步判断。

6. 结论

(1) 基于弹性理论分析，无限长圆形隧道在 $\theta = \frac{\pi}{2}$ 处环向应力达到最大值，最大值为

$$\sigma_\theta = \frac{q_1 + q_2}{2} \left(1 + \frac{a^2}{\rho^2} \right) + \frac{q_1 - q_2}{2} \left(1 + 3 \frac{a^4}{\rho^4} \right)$$

(2) 实际工程中可以利用弹性力学的解析对岩爆发生条件进行初步判断。

参考文献 (References)

- [1] 李地元. 高应力硬岩脆性板裂破坏和应变型岩爆机理研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [2] 张镜剑, 傅冰骏. 岩爆及其判据和防治[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(10): 2034-2042.
- [3] 张金明, 章青, 李彦彬. 岩爆应力状态分析[J]. 安徽建筑大学学报, 2002, 10(4): 17-19.
- [4] 许东俊, 章光, 李廷芥. 岩爆应力状态研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(2): 169-172.
- [5] 冯夏庭, 陈炳瑞. 深埋隧洞岩爆孕育规律与机制: 即时型岩爆[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(3): 434-444.
- [6] 李遇春. 弹性力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 38-53.
- [7] Ortlepp, W.D. (1977) Rock Fracture and Rockbursts. SAIMM, Johannesburg.
- [8] Russnes, B.F. (1994) Analyses of Rockburst in Tunnels in Valley Sides (In-Norwegian). M.Sc. Thesis, Norwegian Inst. of Technology, Trondhe-IM, 247.
- [9] 彭祝, 王元汉, 李廷芥. Griffith 理论与岩爆的判别准则[J]. 岩石力学与工程学报, 1996, 15(s1): 491-495.
- [10] 徐奴文, 唐春安, 周济芳, 等. 锦屏二级水电站施工排水洞岩爆数值模拟[J]. 山东大学学报工学版, 2009, 39(4): 134-139.
- [11] 刘立鹏, 汪小刚, 贾志欣, 等. 锦屏二级水电站施工排水洞岩爆机理及特征分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2011, 42(10): 3150-3156.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱：hjce@hanspub.org