

文章编号: 1008—2786(2000)增—0094—04

影响深埋长隧道岩爆的主要因素分析

张 斌, 符文熹, 聂德新, 任光明
(地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 四川 成都 610059)

摘 要: 岩爆是深埋长隧道的主要工程地质问题之一。影响岩石发生岩爆的主要因素有围岩性质、埋深、区域构造应力、地形地貌、活断层和地震等。文中对上述因素对岩爆的影响进行了分析, 并指出精细的地面地质调查是合理评价深埋长隧道岩爆的基础。
关键词: 深埋长隧道; 岩爆; 围岩性质; 构造应力; 地形地貌; 活断层; 地震
中图分类号: P473. 066 U452. 11, P642 **文献标识码:** A

深埋长隧道以其延伸长、埋藏深、工期长、工程地质问题较多而成为众多工程建设中的控制性工程。虽如此, 由于长隧道缩短了巨大山岭两侧的交通里程, 成为高速公路、铁路交通的重要组成部分。而岩爆作为深埋长隧道的重大工程地质问题之一, 也越来越受到人们关注。

在初期勘测中, 如何通过一些切实可行的地面地质调查、圈定可能出现岩爆的部位, 对深埋长隧道的洞线布置、隧道设计、施工、支护具有重大的现实指导意义。国内外文献资料表明深埋长隧道发生岩爆主要与围岩性质、强度、埋深、区域构造应力、地形地貌、活断层、地震等有关。

1 围岩性质对岩爆的影响

深埋长隧道中岩爆主要发生于坚硬脆性岩石中, 岩石强度高, 且节理裂隙少, 围岩完整性好, 这些条件有利于岩石积蓄弹性应变能。国内外的深埋长隧道中很多岩爆均出现于坚硬脆性岩体中。在初期的勘探和隧道围岩分类中, 对围岩中的坚硬脆性岩石应仔细调查分析, 虽然围岩类型好, 但是必须注意是否有发生岩爆的可能。如瑞士的 SLA198 号岩体分类标准中, 第一类中有岩爆, 对应的指标: 单轴抗压强度 > 100 MPa, 内摩擦角 > 40°, 粘聚力 > 2 MPa。

2 地应力对岩爆的影响

对于深埋长隧道而言, 高地应力对岩爆的影响主要表现在: 大埋深带来的岩体自重应力再加上地质构造运动而产生的极高构造应力, 使得围岩的初始应力状态具有很高的量值, 势必会给深埋长隧道的坚硬围岩带来岩爆问题。

2.1 埋深对岩爆的影响

W. Ackermann 根据最大主应力、覆盖深度、抗压强度三者之间的关系^[1] 预测隧道稳定性而绘制的图中(图 1), 就表明, 当覆盖层深度达到一定深度时就可能出现岩爆。图 1 中的抗压强度的确定可按 Singh(1993) 提出的计算抗压强度经验公式^[1]

$$\sigma_{cm} = 0.7 rQ^{1/3} (\text{MPa})$$

式中 σ_{cm} 为岩体的抗压强度; r 为岩石密度 (KN/m^3); Q 为巴顿围岩分类指标值。

2.2 构造应力对岩爆的影响

实际上, 岩爆并非仅发生在隧道所处的最大埋深位置, 而可以发生在任意埋置深度的隧道中, 这就让我们很自然地想到自重应力并非总是地壳应力场中的最大主应力。因此, 确定区域构造应力, 弄清构造应力的方向是深埋长大隧道初期勘测阶段不可缺少的调查重点之一。

随着地下岩体不同点原位应力大小与方向的精密测量技术的发展, 揭示出: 由于地质构造运动, 至少在 1 000 m 深度以内原位水平应力 σ_H 是垂直应力 σ_v 的数倍。1981 年 Hoek 和 Brown 根据在不同地质区域由各类勘测获得的实测原位应力数据绘制出水平应力与垂直应力之比与埋深的关系^[2] (图 2) 也充分反映了区域构造应力的存在。

2.3 围岩类型与岩爆的关系

在巴顿的隧道围岩质量分类 Q 值的计算中, 代表岩石有效应力 (JW/SRF) 的应力折减系数已经明确地提到高地应力下 SRF 与岩石强度比值之间的关系^[3]。W. Ackermann 也曾结合隧道中岩体强度、原地应力、岩层动态与围岩岩体质量 Q 之间的关系式, 绘制出了岩体质量 Q 与稳定因素 σ_d/σ_{cm} 之间的关系图^[1] (图 3)。利用图 3 中的关系, 在判断隧道围岩质量较好的地段, 尚须结合其它指标来综合判断有无发生岩爆的可能性, 以保证隧道的正常施工和运营。

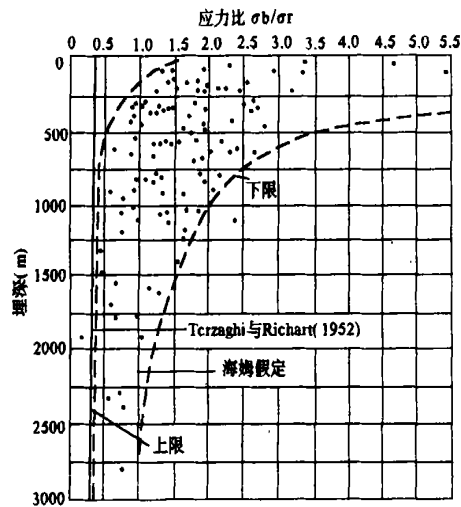


图 2 水平应力与垂直应力之比与埋深的关系
(据 Hoek—Brown, 1980)

Fig. 2 The curves of the ratio of horizontal stress with vertical stress versus depth (after Hoek and Brown, 1980)

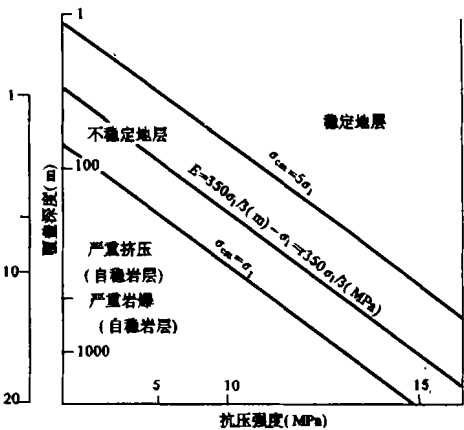


图 1 用于隧道稳定性预测的列线图
(据 W. Ackermann)
Fig. 1 Column line map for the stability prediction of tunnel (After W. Ackermann)

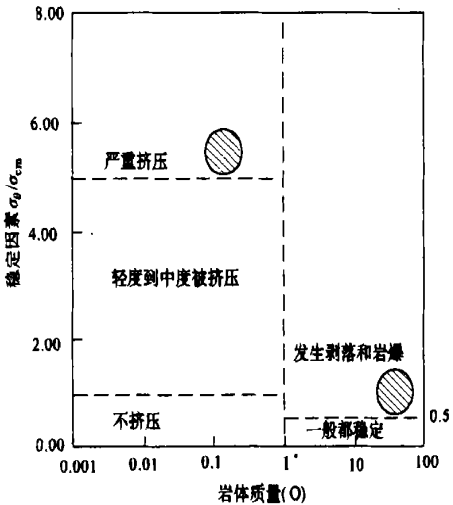


图 3 岩爆同岩体质量 Q 和稳定因素 σ_d/σ_{cm} 之间的关系 ($\sigma_{cm} = 0.77rQ^{1/3}$, r 是岩石密度) (据 W. Ackermann)

Fig. 3 The correlation of rockmass quality and stability effect (σ_d/σ_{cm}) in rock burst (After W. Ackermann)

2.4 围岩强度尺寸效应

岩石力学试验表明,岩石强度具有尺寸效应。因此,由于深埋长隧道本身的断面尺寸的差异,室内试验的单轴抗压强度并不能千篇一律地运用于所有隧道中。而由于隧道壁附近受应力集中影响的岩石范围随隧道尺寸增大,预计隧壁岩石的强度也将随隧道直径的增大而减小。根据几何考虑,可以假设围岩等效试件尺寸介于隧道直径 D 的 5 % ~ 10 % 间,据此引入霍克—布朗(Hock—Brown)的岩体尺寸效应方程^[3]中得到:

$$\sigma_{CRM} = \sigma_{c50} \left[\frac{1}{(1 \sim 2) D} \right]^{0.18}$$

式中 σ_{CME} 为岩体的等效强度; σ_{c50} 是直径 50 mm 标准岩芯试件的单轴抗压强度。

围岩强度尺寸效应表明,对于跨度 10 m 的隧道完整围岩,也必须假设其强度仅为室内试验测得强度的一半,这样或许更能反映隧道围岩实际强度。因此,即使岩石强度达到 200 MPa,在隧道埋深很大时,也可能发生岩爆破坏。

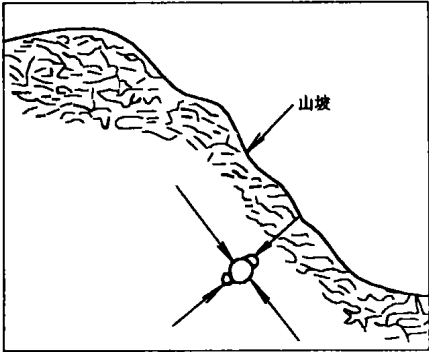


图 4 靠近山坡有很大应力集中,隧道开挖后会因偏压引起岩爆或岩石剥落

Fig. 4 Rock burst was formed by slope's differential pressure after the excavation of tunnel

3 地形地貌对岩爆的影响

地形地貌是深埋长隧道岩爆的一个重要因素,隧道发生岩爆的地段通常位于壮年期的山体中,山体一般陡峻呈浑圆状,这样的地形地貌通常也反映了山体岩体质量好,岩石坚硬且抗风化能力强,岩石易于积蓄弹性应变能。而地形变坡地带(平行隧道轴线方向表现为坡脚和最大覆盖深度处,垂直隧道轴线表现为坡脚)。一方面受山体岩体应力的传递,在地形变坡地带的应力集中程度就较高,一旦隧道开挖,隧道周边产生的应力进一步集中,同时在变坡地带还受到偏压^[4](图 4),这样,对于脆性坚硬岩石就易于发生岩爆。

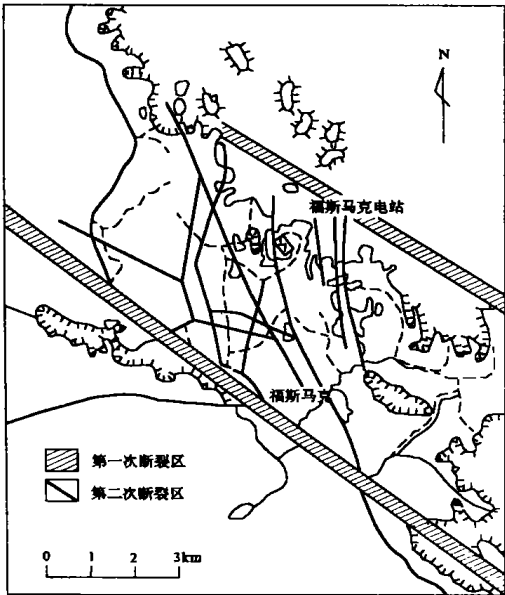


图 5 断层对岩爆的影响

Fig. 5 The effect of faults on rock burst

4 断层、地震对岩爆的影响

区域性大断裂(断层),尤其是活动断裂(断层),本身就反映了区域处于构造活动时期。一般而言,在大的活动断层地带,其区域构造应力会有较高的量级。另外,在隧道开挖接近断层带时,断层附近本身为一应力集中带,使断层附近的应力释放后叠加在隧道围岩之上,从而使得岩爆频繁、严重。最为突出的是瑞典中南部的福斯马克电站的导水隧洞,发生岩爆的隧道近于地表(5 m ~ 10 m 深)。从区域的构造情况看,该电站位于两个主要构造带之间(图 5),其走向为北西到南东,且具有陡倾角,表现出第二次构造运动,水平应力很大,一般超过 20 MPa,这是该水电站导水隧道发生岩爆的主要原因。

地震对岩爆的影响主要表现为地震波对洞室周边产生一个动力响应,加剧了隧道围岩应力的释放,使岩爆发生更严重。

5 结 语

岩爆作为深埋长隧道的主要工程地质问题之一, 尽管目前有关岩爆的理论和破坏准则在不断提出, 但它们却是在一定假设前提下提出。而工程中, 尤其是初期的勘测中, 通过一些切实可行的地面地质调查、圈定可能出现岩爆的部位, 对深埋长隧道的洞线布置、隧道设计、施工和支护具有重要的意义。文中对影响岩爆发生的围岩性质、埋深、区域构造应力、地形地貌、活断层、地震的分析, 无疑, 对深埋长隧道具有现实的指导意义, 而且为岩爆机理及破坏机制奠定了坚实的地质基础。

参考文献

- [1] Rajinder Bhasin, Eystein Grimstad. The Use of Stress-Strength Relationship in the Assessment of Tunnel Stability [J]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 11(1): 93~98, 1996.
- [2] 姜松湖. 高地应力地区隧洞几何形状的设计[J]. 隧道译丛, 1993, (5), 41~46.
- [3] 梅自荣. 根据霍克—布朗破坏准则估算莫尔库伦内聚力和摩擦角[J], 隧道译丛, 1991, (11), 19~22.
- [4] Roland pusch, Borehok. Sealing for Underground Waste Storage[J], *Journal of Geotechnical Engineering*, 109(1), 113119, 1983.

THE ANALYSIS OF THE MAIN FACTORS AFFECTING ON THE ROCK BURST OF DEEP—LYING LONG TUNNEL

ZHANG bin, FU Wen-xi, NIE De-xin, REN Guang-ming
(National Laboratory of Geological Hazard Prevention, Chengdu 610059)

Abstract: Rock Burst is one of the main engineering geology problems of deep-lying long tunnels. The main factors, which affect the rock burst of deep-lying long tunnel, include surrounding rockmass property, upper rockmass depth, regional tectonic stress, topography and geomorphology, active fault, and earthquake, etc. On the basis of the analysis of the above factors on rock burst, this paper point out that careful geology investigation is a key point for the rational assessment of rock burst of deep-lying long tunnels.

Keywords: Deep-lying long tunnel, Rock burst, Surrounding rockmass property, Tectonic stress, Topography and geomorphology, Active fault, Earthquake