

水平产状砂质板岩洞室失稳破坏机理研究

Study on Instability Failure Mechanism of Horizontally Produced Sandy Slate Caverns

张迅 贺雄飞

Xun Zhang Xiongfei He

中铁隧道局集团有限公司, 中国·广东 广州 511458

China Railway Tunnel Stock Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 511458, China

【摘要】论文研究了同马山隧道水平产状砂质板岩失稳破坏机理,分析了水平层状岩围岩稳定性影响因素和水平层状砂质板岩隧道破坏位置,指出了拱顶、拱腰和边墙处的破坏条件和破坏程度。

【Abstract】The paper studies the failure mechanism of horizontal shale in the horizontal formation of Tongmashan tunnel, analyzes the factors affecting the stability of horizontal stratified rock surrounding rock and the failure location of horizontal layered sandy slate tunnel and points out the damage conditions and extent of damage at the vaults, arches and side walls.

【关键词】砂质板岩;爆破;稳定性

【Keywords】sandy slate; blasting; stability

【DOI】<https://doi.org/10.26549/gcjsygl.v3i1.1401>

1 工程概况

同马山隧道位于中国贵州省黔南州三都县境内,隧道全长约 13.931km,是贵广铁路全线重难点工程,围岩呈中厚水平层状结构,与非层状岩结构相比层状岩稳定性较差,稳定性较差。水平岩层隧道钻爆法施工时,复杂的受力特性使得拱顶极容易出现大面积平顶、落石、塌顶等现象,给施工带来严峻的考验。

当隧道穿越水平层状岩体时,复杂的受力特性使隧道工作者面临着严峻的挑战。水平岩层隧道钻爆法施工,处理不好隧道拱顶极容易出现大面积平顶、落石、塌顶等现象,直接影响毛洞的围岩稳定性、光面爆破成形质量,增加工程投资。在以往施工中,因为水平岩层引发安全事故、增加工程造价的事例也很多。

2 爆破动载作用下水平层状岩围岩稳定性影响因素

同马山隧道采用钻爆法施工,药包爆炸时在岩石中产生爆破应力波,峰值荷载极大,其强度随着传播距离的增加而迅

速衰减,因此在距离爆破中心点不同距离处的岩石所受作用力也有差别。在爆破中心附近,炸药爆炸产生爆轰压力能迅速达到数千至数万兆帕,对岩石的冲击力大于岩石抗压强度,将周围围岩冲击破碎,使得岩石强度急剧降低。而在距爆破中心一定距离处,由于阻尼作用爆破应力波得到削弱,虽然其强度已低于岩石的动态抗压强度,不能将岩石压碎。但可使岩石发生强烈的径向压缩,产生径向位移,因而导致外围岩层中产生径向扩张和切向拉伸应变而破坏产生裂隙。爆破应力波结束后,由于炮眼附近岩体遭受爆破冲击作用,强度降低,岩体在重力荷载作用下这些部位将发生进一步破坏而塌落^[1]。

以同马山隧道 III 级围岩段为例,取薄-中厚层、层间结合程度一般情况,分析静、动载条件对水平产状围岩失稳破坏模式的影响差异。

使用单体离散元方法分析产状岩层破坏模式及机理,研究采用 3DEC 软件,该软件是一款适用于分析多节理岩体中开挖、构筑工程结构的力学响应的三维离散元软件。本次计算采用的模型横向宽度为 93.86m,模型竖向高度为 51.68m,纵向

取1m,隧道埋深为20m。

根据统计资料显示同马山隧道地区Ⅲ级围岩占84.9%,因此本次数值模拟选取Ⅲ级围岩区段来进行分析,周边眼单孔装药为0.6kg,采用间隔装药,总装药量为33kg,单孔装药量为0.6kg。

2.1 层厚对围岩稳定性影响

根据本工程的勘测设计报告,本工程围岩为水平薄厚~中厚层状(厚度0.1~0.5m)砂岩,故在计算时实际取岩层面倾角为0°,为了研究不同层理面间距对围岩稳定性的影响,层理面间距取为0.1m、0.2m、0.4m、0.8m、1.6m五组值。

表1 不同层厚围岩破坏情况表

序号	层厚	破坏状态
1	0.1m	剪切破坏,拱顶坍塌
2	0.2m	弯折破坏,拱顶离层
3	0.4m	受拉破坏,压应力较大
4	0.8m	稳定性较好,轻微破坏
5	1.6m	稳定性较好,轻微破坏

根据试验结果可得出,围岩层厚越大,稳定性越好,破坏程度越低,成形较容易,围岩层厚越小,坍塌越严重。

2.2 岩层结合度对成形的影响

为了验证在爆破动载作用下结构面结合程度对洞室成形的影响,本次数值模拟对于结构面设置了三组参数,选取层厚为0.4m。

根据试验结果得出,当岩层的结合度较完整时,一般在矮边墙位置产生较小破坏;当结合度适中时,边墙及顶部产生部分坍塌,范围适中;当结合度非常差时,产生较大面积坍塌,严重超挖,隧道很难成形,经济指标严重下降,且安全系数大大降低。

2.3 岩层坚硬对成形的影响

同马山隧道地区以硬岩为主,分别取该地段砂质板岩抗压强度的150%、50%做数值模拟,即52.5MPa、17.5MPa。根据试验结果得出,当岩层强度较高、坚硬指数较大时,一般只有矮边墙产生较小破坏;当岩层强度一般、坚硬指数适中时,边墙及顶部产生部分坍塌,范围适中;当岩层强度较低、坚硬指数较小时,围岩产生大范围变形,爆破开挖困难,隧道有坍塌的危险。

3 水平产状砂质板岩隧道破坏位置分析

水平产状岩层破坏机理为:当爆破开挖时,围岩整体性受到破坏,发生向内的位移形变,在支护措施没有及时跟上的情况下,层与层之间节理发生错位,随着时间的推移,变形愈来愈大,最终导致围岩剪应力过大,失稳坍塌。水平产状岩层主

要有沿层面滑移破坏和发生弯折破坏。

产状岩层的弯折变形和滑移是由隧道开挖产生的临空面引起的,因而这些变形模式与岩层产状及其与洞轴走向之间的空间配置关系密切相关^[9]。此外,即使在岩层产状与隧道洞轴走向空间配置关系相同的情况下,由于开挖时产生的隧道临空面正方向不同(这里定义临空面上指向隧道内的法线方向为正方向),隧道围岩岩层倾向与隧道临空面正方向之间的关系也各不相同,主要包括以下几种:

- ①岩层倾向与隧道临空面正方向近平行;
- ②岩层倾向与隧道临空面正方向近垂直;
- ③岩层倾向与隧道临空面正方向斜交。将上述三种关系与隧道拱顶、拱肩、侧壁、掌子面、隧道底面等不同部位相结合,便可以预测隧道不同部位潜在的变形或失稳模式。

层状围岩各部位变形失稳模式大致可以归纳如下:

①对于拱顶部位:无论洞轴向与岩层产状关系如何,其倾向与隧道临空面正方向之间的关系都可以归纳为两种,即向隧道临空面正方向顺倾,与隧道临空面正方向近垂直(近水平岩层),因而前者易发生向下顺层滑移变形、后者易发生拱顶弯折下沉。

②对于隧道底部:倾斜岩层一般较稳定,个别隧道出现不均匀变形;而近水平岩层则易出现底部岩层弯折隆起变形。

③对于两侧壁部位:根据岩层倾向与临空面正方向的关系,主要变形失稳模式有一侧顺层滑移或两侧向洞内弯折、溃曲变形等。

④对于两拱肩部位:近水平岩层则较稳定,倾斜岩层易出现一侧弯折、一侧滑移,而近垂直岩层则易出现顺层滑移变形。

根据现场试验统计,对贵广铁路同马山隧道130余处掌子面数据分析,通过模拟分析可得出如下结论:

表2

序号	破坏位置	破坏占比(%)	结论分析
1	矮边墙	32	岩体压力为次、震动荷载为主,破坏适中
2	拱腰	28	岩体压力和震动荷载均适中,破坏较小
3	拱部	40	震动荷载为次,岩体压力为主,破坏严重

(1)边墙部位

在边墙位置处,爆破冲击波对爆破周边位置处岩石造成粉碎性破坏。由于层理面间抗拉强度极低,在爆破应力波作用下易受拉而产生裂缝,随着爆生气体的灌入裂缝不断扩

张。在岩石层厚较薄的情况下,岩层抗弯强度低,爆破应力波同时使其发生弯折而破坏。

(2)拱顶部位

拱顶部位在爆破开挖后隧道轮廓线周围形成裂隙区和压碎区,压碎区在岩石自重与上部荷载作用下掉落。而在裂隙区,本身裂隙之间相互并无贯通,但在层理面的作用下,裂隙与层理面相交,使得岩石破碎程度增加,稳定性差,裂隙与层面相连接,形成独立块。同压缩区岩石一样,在荷载作用下发生脱落,造成超挖。

(3)拱腰部位

拱腰部位由于爆破作用使得周边产生裂缝,层理面的削弱作用使得岩石稳定性变差,同时层厚较薄的岩层在爆破应力波作用下发生弯折,在周围岩石的挤压作用与自重影响下发生脱落形成不光滑面,造成超挖。

4 结语

(1)层理面对隧道洞室成型最大影响在破碎带和裂隙带。压碎带内岩体粉碎,发生流动并在外力作用下“二次成岩”,压碎带外围为破碎带,主要为径向和环向裂隙,裂隙密度越往外越稀,下部压碎带挖出后,破碎带会靠自重塌落。层状岩层里面之间抗拉强度极小,在理论计算中可近似等效为0。由于层里面的存在导致破碎带裂隙更加密集,裂隙带破碎程

度增加,导致成型困难。

(2)围岩层厚越大,稳定性越好,破坏度越低,成形较容易,围岩层厚越小,坍塌越严重。层厚0.1m时,围岩产生剪切破坏,顶部大面积坍落;层厚0.2m时,顶部围岩产生弯折破坏,拱顶离层,一定范围内坍落;层厚0.4m时,围岩受拉破坏,压应力较大;层厚0.8m和1.6m时,岩体稳定性较好,破坏较小。

(3)当岩层的结合度较完整时,一般在矮边墙位置产生较小破坏;当结合度适中时,边墙及顶部产生部分坍落,范围适中;当结合度非常差时,产生较大面积坍落,严重超挖,隧道很难成形,经济指标严重下降,且安全系数大大降低。

(4)当岩层强度一般、坚硬指数适中时,边墙及顶部产生部分坍落,范围适中;当岩层强度较低、坚硬指数较小时,围岩产生大范围变形,爆破开挖困难,隧道有坍塌的危险。

(5)岩体压力和震动荷载共同导致了隧道围岩破坏坍塌,矮边墙处是岩体压力为次、震动荷载为主,破坏适中;拱腰处是岩体压力和震动荷载均适中,破坏较小;拱部是震动荷载为次,岩体压力为主,破坏严重。

参考文献

- [1]邓祥辉,陈建勋,罗彦斌,李旭东.水平层状围岩隧道爆破控制技术[J].长安大学学报,2017,37(2):73-80.
- [2]杨雄.大断面隧道水平岩层光面爆破及超欠挖控制[J].建筑工程技术与设计.