

软弱页岩隧道施工围岩卸荷应力监测与分析

唐林¹ 李辉²

1. 济青高速铁路有限公司; 2. 山东大学土建与水利学院

摘要: 页岩隧道开挖支护由于其软岩特性极易产生严重大变形, 某隧道位于地形切割强烈、地势起伏强烈的区域, 且软弱围岩占比高达 98.7%, 围岩变形较大, 应针对性进行现场监测, 实时跟进围岩变形情况, 保证隧道施工安全。本文详细分析了该隧道现场施工监测数据, 结果表明: 页岩隧道拱部受力及变形最大, 且不稳定, 边墙次之, 在施工时, 加强隧道拱部的监测和支护能够得到较好的成洞效果; 在软弱围岩条件下, 隧道的支护结构设计应根据监控量测结果进行动态调整设计方案, 合理选取支护结构的强度和刚度。

关键词: 页岩隧道; 监控量测; 围岩压力; 初支钢架内力; 锚杆轴力

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.03.020

一、引言

自20世纪90年代以来, 我国的交通建设行业迅速发展, 随着我国进步技术的不断累积, 各种类型隧道接连涌现^[1]。隧道施工过程中, 软弱围岩是一种常见的地质类型, 如果处理不当, 会对施工质量造成较大的影响。为了顺利完成隧道施工, 须将隧道支护施工落实到位^[2-3]。

软弱围岩因其自身的一些地质特性, 其力学指标较低且岩石比较松散, 软弱围岩它的承载能力较小, 压缩性较高, 当有岩隙水出现时很容易引起较大的沉降变形, 一定程度上会造成安全隐患^[4-5], 页岩隧道则是最为典型的软岩隧道之一。所以, 在软弱页岩地段进行隧道施工时, 应严格按照要求进行监控量测, 要特别注意施工的方法及措施^[6]。在施工过程中, 开展监控量测掌握围岩和支护结构的变形情况, 进行动态施工管理, 有利于对支护结构的设计参数进行修正, 保证隧道结构安全

稳定^[7-8]。

本文以某页岩隧道为工程依托, 简要分析其工程围岩状态, 结合现场不同围岩等级开挖过程中初支完成后的支护结构应力监测数据, 详细分析开挖过程中的围岩卸荷情况, 并在过程中不断根据监测数据实时调整后期支护设计方案进行对比验证, 以期在今后类似工程提供借鉴。

二、工程概况

某隧道全长14574m, 最大埋深504m, 设计为单洞双线隧道, 隧道穿越6条断层, 软岩占比98.7%, 其中III级围岩占比36%, IV级围岩占比49%, V级围岩占比15%。

隧址区属构造侵蚀剥蚀中山地貌区, 地形切割强烈, 沟槽相间, 地势起伏较大。区内构造发育, 隧道南侧发育塘儿河-崔家冲断裂, 间距460~2400m; 隧道北侧发育黄家湾断层, 间距350~680m; 隧道出口西侧发育塘儿河断层, 间距约200m, 隧道走向与断层走向近垂直; 受构造影响, 岩体较破碎, 产状变化较大。地层为志留系下统新滩组页岩夹砂岩, 薄-中厚层状, 岩质较软。

地表水属汉江水系, 地表水体为塘儿河; 地下水以基岩裂隙水为主, 对混凝土结构无侵蚀性, 主要分布于砂岩层中, 以滴水~淋水为主, 相对不发育, 但断层破碎带易形成具微承压性的富水带。不良地质为顺层偏压。

掌子面开挖揭示地层岩性为页岩, 深灰色, 泥质结构, 薄层状构造, 岩质较软。受地质构造影响, 发育小褶曲, 节理发育, 结构面及层间结合差, 岩体破碎, 围岩呈碎块石状镶嵌结构, 如图1所示。围岩潮湿, 结构面有泥化现象。开挖后掌子面易产生掉块、坍塌, 围岩自稳性差。



图1 掌子面岩体结构

三、围岩变形监测方案

每个监测断面选取拱顶、左右拱腰、左右拱脚共计5个部位进行应力监测（如图2所示），断面各部位元件安装方案如表1所示。

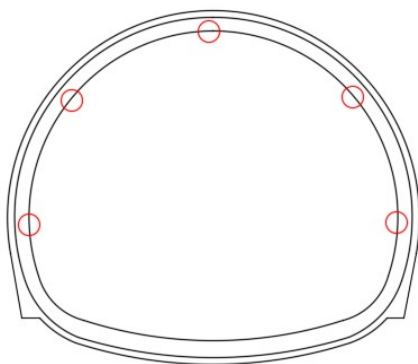


图2 断面测点布设图

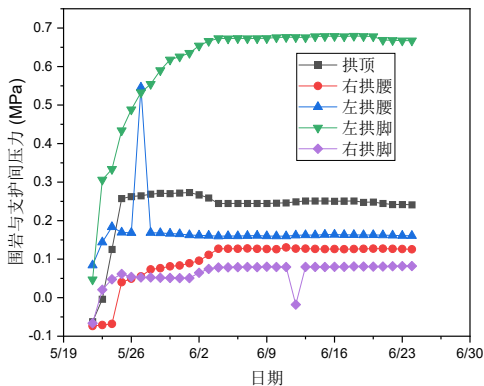
表1 单断面监测元件布设统计表

部位	元件	初期支护		
		压力盒	表面应变计	锚杆轴力计
拱顶		1	1	1
拱腰		2	2	2
拱脚		2	2	2
合计		5	5	5

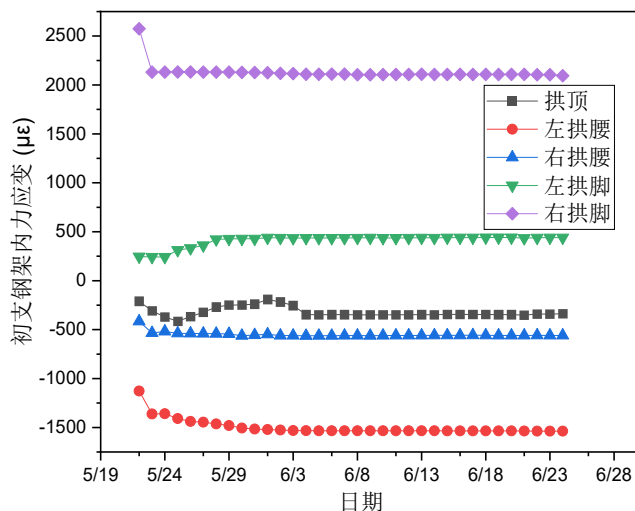
四、不同等级围岩变形监测分析

(一) III级围岩断面监测

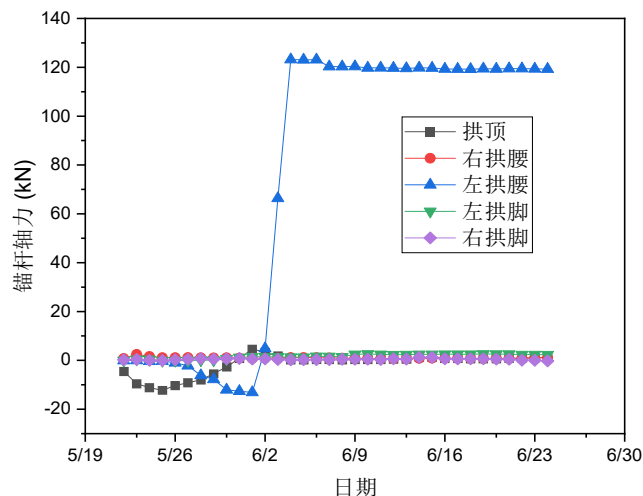
III级围岩断面围岩与支护间压力变化如图3(a)所示。施工初期因开挖施工对围岩的影响，围岩状态不稳定，初期支护架设后围岩对支护持续施加压力，支护压力值增大，后围岩状态稳定后对初支的压力随之稳定，围岩状态稳定后围岩与支护间压力趋于稳定。拱顶围岩、初支之间的接触压力随时间的变化先增大后减小再趋于稳定。左右拱腰及拱脚部位接触压力变化趋势为增大后趋于稳定。左拱腰第5天及右拱脚6月12日压力值突然变化初步判断为外界对该处支撑突然施加外力导致，外力消失后压力值随之恢复正常。五个部位中左拱脚围岩-初支接触应力最大，稳定后高达0.7MPa上下。



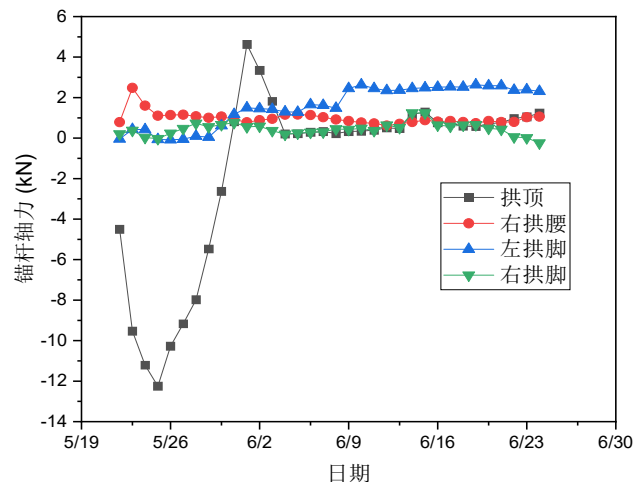
(a) 围岩与支护间压力



(b) 初支钢架内力应变



(c) 锚杆轴力



(d) 除左拱腰外其他部位锚杆轴力

图3 III级围岩断面监测数据

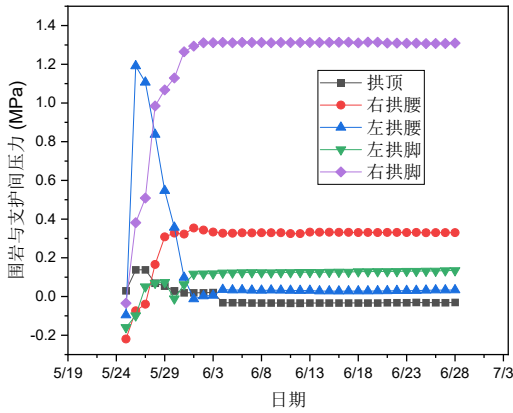
III级围岩断面初支钢架内力应变变化如图3(b)所示。由图可知，开挖施工初期围岩状态不稳定，围岩对

钢架持续施加压力，对钢架受力影响较大，应力值呈增大趋势，后围岩稳定后钢架受力随之趋于稳定。拱顶初支钢架内力应变值随时间的变化先增大后减小再增大又减小最后趋于稳定。左右拱腰及拱脚部位初支钢架内力应变值变化趋势为先增大后趋于稳定。五个部位中右拱脚及左拱腰应变值相对较大，方向相反。

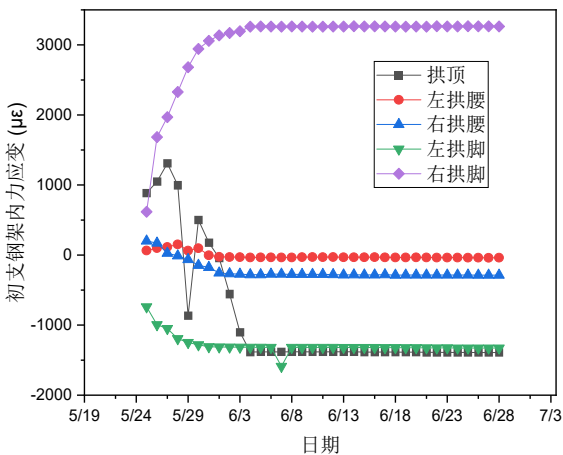
III级围岩断面锚杆轴力变化如图3(c)所示，因左拱腰数据变化范围较大，增加图3(d)说明。开挖施工初期围岩状态不稳定，围岩对锚杆施加压力不均匀，对锚杆受力影响较大，应力值呈波动变化，后围岩稳定后锚杆受力随之趋于稳定。左拱腰处第10天压力值突然增大，推测为后续开挖施工对该位置围岩造成影响，围岩稳定性被破坏，压力值随之增大。右拱脚因开挖施工对围岩的影响，围岩状态不稳定，围岩对锚杆施加压力不均匀，锚杆轴力值呈不规则变化，至数据采集结束锚杆轴力并未趋于稳定，该位置锚杆受力处于不稳定状态，对支护造成不利影响。

(二) IV级围岩断面监测

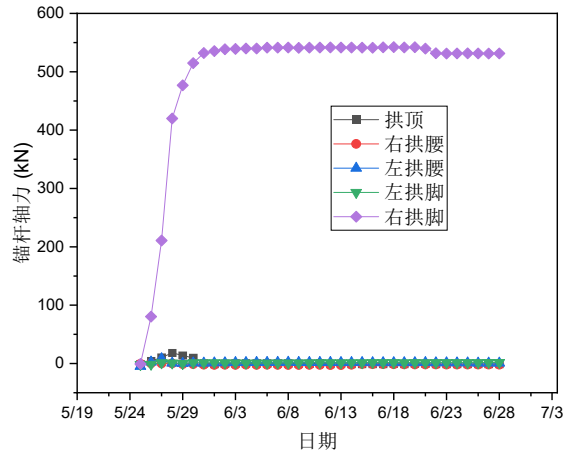
IV级围岩断面围岩与支护间压力变化如图4(a)所示。拱顶与左拱腰围岩、初支之间的接触压力随时间变化先增大后减小再趋于稳定。其余部位接触压力变化趋势为增大后趋于稳定。其中右拱脚围岩-初支接触应力最大，稳定后高达1.3MPa上下。



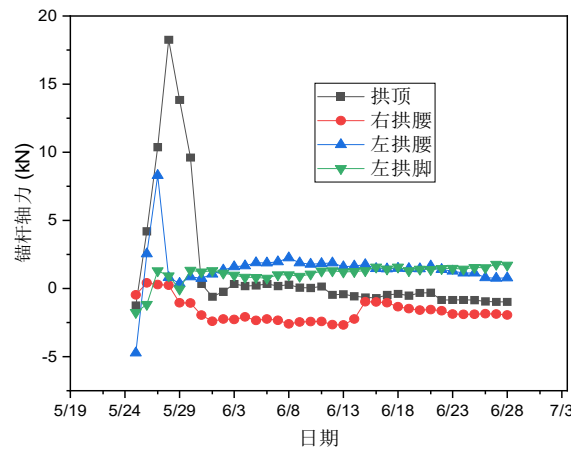
(a) 围岩与支护间压力



(b) 初支钢架内力应变



(c) 锚杆轴力



(d) 除左拱腰外其他部位锚杆轴力

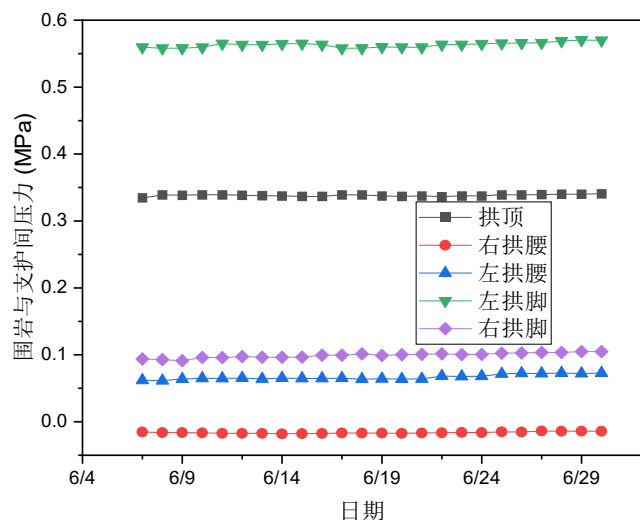
图4 IV级围岩断面监测数据

IV级围岩断面初支钢架内力应变变化如图4(b)所示。拱顶与左拱腰初支钢架内力应变值随时间的变化先不规则变化后减小再趋于稳定。右拱脚处为增大后趋于稳定，左拱脚与右拱腰处为减小后趋于稳定。其中右拱脚围岩-初支接触应力最大，稳定后高达1.3MPa上下。五个部位中右拱脚、左拱与拱顶应变值相对较大，以右拱脚应变最高。

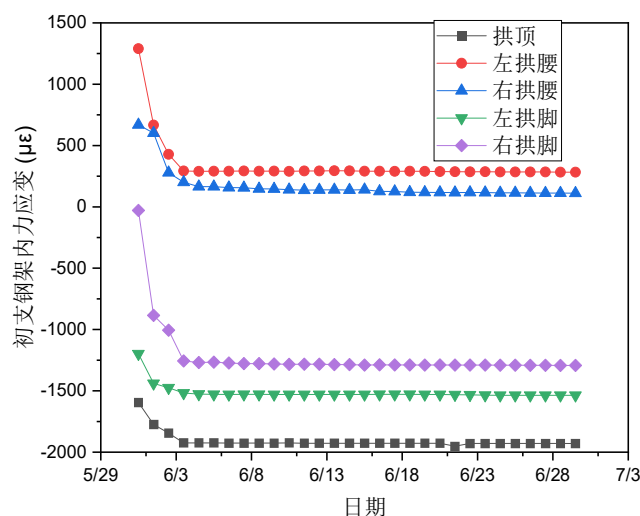
IV级围岩断面锚杆轴力变化如图4(c)所示，因右拱脚数据变化范围较大，增加图4(d)说明。右拱脚处锚杆轴力呈猛增后趋于稳定，其数值远高于其他部位，其余部位呈先增后减再趋于稳定，数值相对较小。

(三) V级围岩断面监测

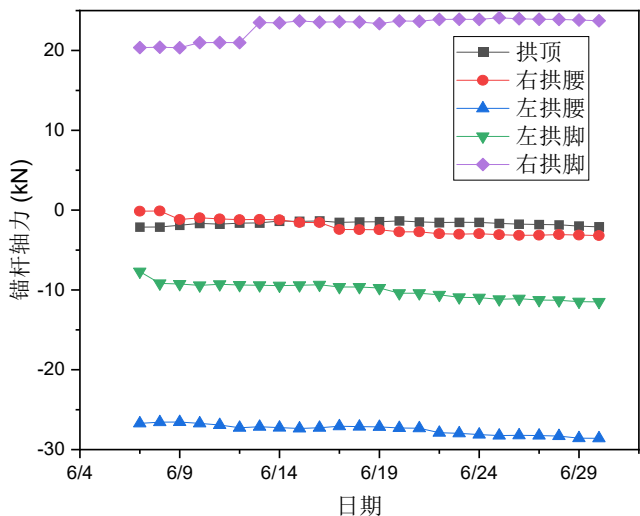
根据前期围岩变形及应力监测，在本断面所在隧道段加强了初支刚度、强度，即采用大型号钢架、加强锁脚锚杆数量及型号、缩小钢架间距、采用预应力锚索改善围岩拱脚加固情况、增加径向注浆小导管等措施。根据监测数据(图5)可明显看到变形及应力减小且总体趋于稳定。



(a) 围岩与支护间压力



(b) 初支钢架内力应变



(c) 锚杆轴力

图 5 V 级围岩断面监测数据

五、结论

本文以某页岩隧道为工程依托，对软岩隧道开挖过程中的围岩变形及应力监测数据进行了分析，该隧道全程围岩强度较低，由于渗水及爆破后风化影响，开挖完成后支护结构出现拱顶沉降、水平收敛变形持续时间长、变形量过大等安全隐患。研究结果表明：

(1) 页岩为软岩，应力释放需要时间段，变形是一个长时间的过程，本隧道节理发育过密，有渗水现象，造成围岩强度受影响，施工过程中支护结构极易产生破坏；

(2) 页岩隧道不仅拱部受力及变形值得引起注意，拱脚部位支护结构也多次出现受力过大等且不稳定等现象，必须引起足够重视，在施工时，加强隧道拱脚部的监测和支护是不可忽视的；

(3) 在软弱围岩条件下，隧道的支护结构设计应根据监控量测结果进行动态调整设计方案，合理选取支护结构的强度和刚度。

参考文献

[1] 巩江峰, 王伟, 周俊超. 截至2021年底中国铁路盾构及TBM隧道统计与分析[J]. 铁道标准设计, 2022, 66(03): 1-5.

[2] 陈晓亮. 大断面软岩隧道变形监测与分析研究[J]. 北方交通, 2019(06): 87-90.

[3] 黄志文. 软岩隧道塌方原因及处理措施分析[J]. 黑龙江交通科技, 2019, 42(06): 156-158+161.

[4] 姚正源. 软岩隧道中双层初期支护变形分析[J]. 建筑结构, 2018, 48(S2): 991-993.

[5] 廖疆平, 陈实, 黄和江, 等. 监控量测在软岩大变形隧道施工中的应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2018, 14(12): 157-159+166.

[6] 王小林, 黄彦波. 中外高地应力软岩隧道大变形工程技术措施对比分析——以兰渝铁路木寨岭隧道与瑞士圣哥达基线隧道为例[J]. 隧道建设(中英文), 2018, 38(10): 1621-1629.

[7] 李楠. 富水软岩隧道变形机理及控制措施研究[J]. 港工技术, 2018, 55(05): 88-90.

[8] 郑昌明. 高地应力条件下隧道软岩大变形段的施工控制[J]. 工程技术研究, 2018(08): 146-147.