

磨万铁路会富莱隧道软岩大变形段支护措施研究

蒋海华

中国铁路国际有限公司, 北京 100032

[摘要] 文章结合磨万铁路会富莱隧道工程实践, 在了解了碳质板岩地层发生大变形的原因和机理的基础上, 对高地应力条件下软岩大变形的控制技术进行了分析研究, 选择科学合理的开挖方法、施工工序和支护方式、控制围岩的大变形, 实现软岩大变形条件下的安全、快速施工。

[关键词] 隧道; 软岩; 大变形; 支护; 变形控制

DOI: 10.33142/ec.v3i7.2323

中图分类号: U455.7

文献标识码: A

Study on Supporting Measures for Large Deformation Section of Soft Rock in Huifulai Tunnel of Boten-Vientiane Railway

JIANG Haihua

China Railway International Co., Ltd., Beijing, 100032, China

Abstract: Based on the practice of Huifulai Tunnel Engineering of Boten-Vientiane Railway, the article analyzes and studies the control technology of large deformation of soft rock under high ground stress based on the understanding of the cause and mechanism of large deformation of carbonaceous slate formation. Choose scientific and reasonable excavation methods, construction procedures and support methods, control the large deformation of surrounding rock, and realize safe and rapid construction under the condition of large deformation of soft rock.

Keywords: tunnel; soft rock; large deformation; support; deformation control

绪论

岩体本身具有一定的复杂性, 而且其会在一定程度上受到各种地质条件影响, 从目前来看, 我国相关人员并未针对在不同地质情况下高地应力对隧道工程产生的影响形成一个统一的标准。在未来, 有必要针对在复杂地质条件下所开展隧道工程的施工方法、支护变形控制以及地应力影响特性展开更加深层次的探索。磨万铁路全线 80% 地段为山地与高原, 75 座隧道总长 197.83km。地质条件复杂多变, 施工环境艰险, 原始地勘资料匮乏, 给隧道掘进带来巨大挑战。会富莱隧道地处老挝琅勃拉邦地质缝合带, 穿越了大小断层破碎带共 4 处, 最大断层破碎带宽度达 300m, 岩体节理裂隙发育, 地质条件极其复杂。

1 会富莱隧道概况

会富莱隧道为磨万铁路重要组成之一, 位于老挝乌多姆塞省孟阿县境内, 全长 6969m, 设计为单线隧道, 分进口、横洞、新增斜井、斜井及出口共 5 个工区组织施工, 设计为 I 级风险隧道。该隧道最大埋深 635m, 为全线控制工程之一。根据隧址区地应力的相关测试结果来看, 其最大水平主应力在埋深 530 米的情况下可以达到 20.41MPa, 而其竖向应力可以达到 13.81MPa, 侧压力系数可以达到 1.47, 水平构造应力场特征极其明显。在该区域内, 围岩主要包含两种类型, 其一是炭质板岩, 其二是泥质粉砂岩, 岩体有着较低的抗压强度, 实际上可以归为软岩范畴, 由于构造应力场对其有着较大影响, 所以时常会产生高地应力软岩变大变形问题。泥质粉砂岩以及炭质板岩等围岩在遇到水分的时候极易产生软化显性, 其在受到地质构造以及地应力的影响下, 在实际开展施工的过程中很有可能会造成其挤压性大变形, 这对于隧道本身的安全性有着较大的威胁, 而且还会拖慢原有的施工进度, 对于隧道施工的正常开展有着一定的制约作用, 所以在该隧道建设中, 对于软岩大变形问题的控制是较大的技术问题, 有必要展开深入探索。

2 现场情况

由于会富莱隧道所处围岩极差, 尤其是隧道穿越地段多为炭质板岩, 属膨胀性软岩, 随着隧道施工的逐步深入, 软岩大变形现象日益凸显。截止 2019 年 11 月 22 日, 先后在 DK130+230~+667 段出现不同程度的大变形, 多数大变形主要体现在水平收敛变形, 且具有变形快、变形量较大的特点。

DK130+230~+300 段原设计为IVa 变更为Vc 加强, DK130+300~+330 原设计为Va 变更为Vc 加强, DK130+330~+370 原设计为Va 变更为试验段。

设计支护参数:

- (1) 超前为 $\phi 42$ 小导管, 环向间距 40cm, 纵向间距 2.4m, 每根长 4.5m;
- (2) 型钢支护: 分别采用 I18/I20/H175 型钢拱架, 间距 60cm, 纵向连接筋 $\phi 22$ 环向间距 1.0m, 采用 $\phi 8@20\text{cm}\times 20\text{cm}$ 的钢筋网;
- (3) 锁脚: 两台阶, 每个台阶处设置 1 道锁脚锚管, $\phi 42\times 3.5\text{mm}$ 锚管长 4.0m;
- (4) 系统锚杆: 边墙设置 $\phi 22$ 组合中空锚杆、边墙设置 $\phi 22$ 砂浆锚杆, 长 3.0m, 环向间距 1.2m*纵向间距 1.0m;
- (5) 喷射混凝土为 C25, 厚度 (钢架厚度+7cm)。

2.1 DK130+335 典型断面施工情况

(1) 地质情况

在围岩开挖之后主要呈现出的是炭质泥岩以及板岩夹炭质板岩, 颜色大多为灰黑色和深灰色。其有着岩层产状扭曲变形的特点, 若是对岩体进行挤压, 便会出现严重的破碎现象, 岩体主要呈现出碎石状以及板状的结构, 由于炭质板岩在材质方面有着比较软的特性, 所以用手便可以将其掰断, 其层面比较光滑, 若是遇到水分极易软化。该围岩在自稳性以及整体性方面都比较差, 所以在实际开展开挖工作时很容易会出现局部小溜坍以及拱部易掉快等问题。

(2) 试验测试情况

围岩强度: 经过大量的试验, 人工切割岩样, 岩石天然单轴抗压强度分别为 2.25MPa, 属于极软岩类;

松动圈: 试验段仰拱封闭后的松动圈范围基本在 5.5~6.5m 内。

(3) 开挖工法

采用三台阶法开挖。

(4) 支护参数及监测情况

DK130+330~+360 段在预留变形量方面, 其上下台阶分别为 65 厘米和 60 厘米, 使用的是 H175 型钢支护。埋深约 140m, 拱顶 (GD) 累计沉降 339.7mm, 上台阶 (SL-1) 累计收敛 554.4mm, 下台阶 (SL-2) 累计收敛 1486.26mm。

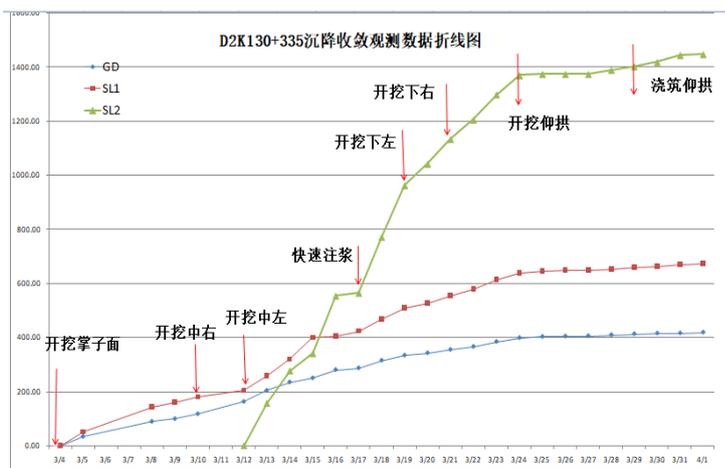


图 1 施工工况及监测折线图

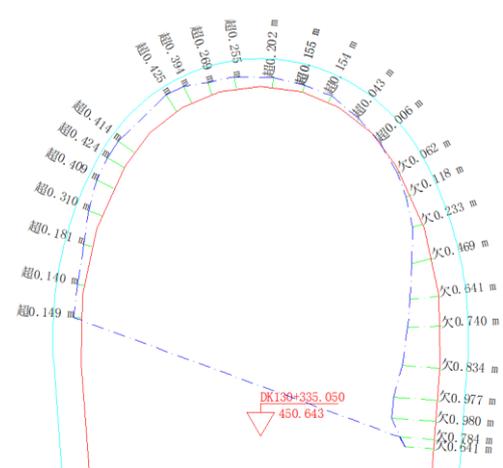


图 2 断面扫描图

2.2 优化后施工情况

优化施工段落为 DK130+390~+667。

- (1) 严格执行超前地质预报。
- (2) 做好监控量测。
- (3) 要对参数以及强支护展开优化设计。

主要可以从以下几方面内容入手进行设计:

其一是要对开挖轮廓线进行优化调整, 同时还要针对初期支护边墙和仰拱曲率进行加大, 同时还要在原有受力结

构的基础上进行改善，工作人员应当从现场的各方面实际情况出发，保障二衬内轮廓不会发生变化。

其二便是针对性地采用加强型钢支护，将原本的 I18 钢架支护升级为 HW175 型钢，间距则设置为 0.6 米。

其三，在钢架的内侧与外侧应该都完成对于纵向连接钢筋的设置，同时还要加设工 14 工字钢设置于上台阶的拱脚位置，使其发挥着连接型钢的作用。

其四，系统锚杆采用长短结合主动强支护。短锚杆 L=4m，采用 $\phi 22$ 速凝药包锚杆；长锚杆 L=8m，采用 $\phi 32$ 自进式锚杆，采用快凝早强浆液。

其五，小导管超前支护，拱部 140° 范围内设 $\phi 42$ 小导管超前支护，环向间距 0.4m，每环 27 根，每根长 4.5m，纵向每 2.4m 一环。

其六，提高喷射混凝土强度，由 C25 喷射混凝土调整为 C30 混凝土。

其七，加强钢架连接板接头连接质量，由原设计 4 颗 M20*65 高强螺栓调整为 6 颗，且在钢架连接板采用三面满焊增强钢架整体性。

其八，采用双排锁脚。

(4) 新工法、新工艺

①快速封闭：采用三台阶快速封闭施工方法，做到上、中、下台阶同时掘进，各台阶长度不超过 6m，仰拱初支不超过 6m 封闭成环后再次回填，达到仰拱初支 7-8 天封闭成环，初支封闭成环距掌子面不超过 15m，仰拱初支成环 18m 后及时施作仰拱衬砌。

②采用快速注浆工艺，在打钻和立架工序时施作径向注浆及锁脚锚管注浆，以提高施工效率，减少工序用时。

(5) D2K130+445 典型断面施工情况

D2K130+437~+452 段预留变形量为 40cm，采用 H175 型钢支护。变形典型断面为 D2K130+445，拱顶 (GD) 累计沉降 147.7mm，上台阶 (SL-1) 累计收敛 210.34mm，下台阶 (SL-2) 累计收敛 269.47mm。封闭成环时间一般 8~12 天。

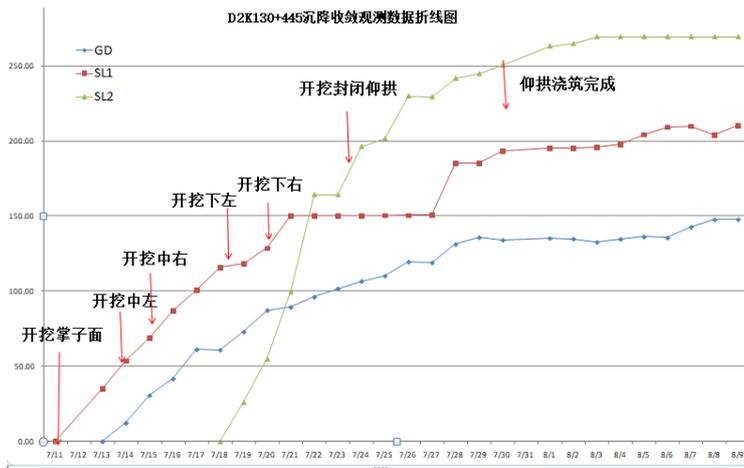


图 3 施工工况及监测折线图

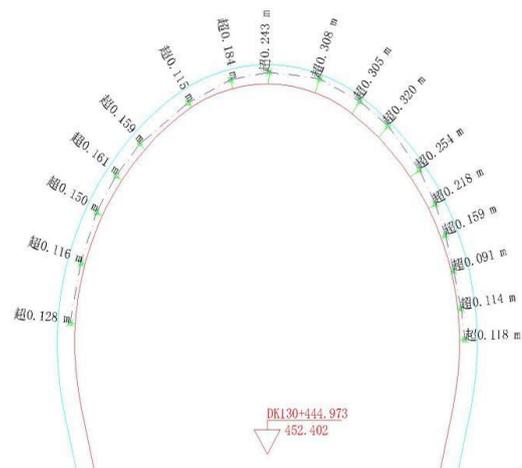


图 4 扫描断面图

通过采取优化措施后，取得了较好的效果。

3 地质分析

在研究相关地质资料之后发现，会富莱隧道中主要还是炭质板岩，其本身作为变质岩有着一定的膨胀性，在受到风化以及水蚀的情况下很容易出现崩解问题，经过分析相关现场地质素描以及地质调查之后发现，现如今，绝大部分有较大变形问题的隧道所揭示的围岩基本上全部都是炭质板岩，隧道轴线同岩层走向逐渐的夹角在 20° - 40° 之间。所以，在充分考虑该隧道工程实际的地质情况和变形规律之后得出结论，之所以会出现变形问题，其最大的地质原因便是炭质板岩，与此同时，对于其后期的变形发展来说，隧道轴线同岩层走向之间夹角的大小也有着直接影响，若是其夹角比较小，那么岩层在膨胀之后便会出现比较大的侧压，这样一来便会造成侧向水平大变形，而在岩层产装差距较小的时候，节理便会发育越快，使得隧道收敛变形出现增加。

4 会富莱隧道软岩段支护参数优化

从上文所述的地质特点以及设计原则来看，在实际开展会富莱隧道施工的过程中，为了能够有效降低由于现场大变形而产生的大范围拱顶拱侧问题，针对隧道通过软岩段的支护参数采取了相应的调整与优化措施。

4.1 调整断面形状

若想实现对于会富莱隧道软岩段支护参数的优化调整，应当先改善其断面形状，使其转变成为圆形，或者工作人员可以通过改变断面弧度的方式处理大变形部分，以此实现高效开展对于变形问题的控制，切实提升隧道承载能力。

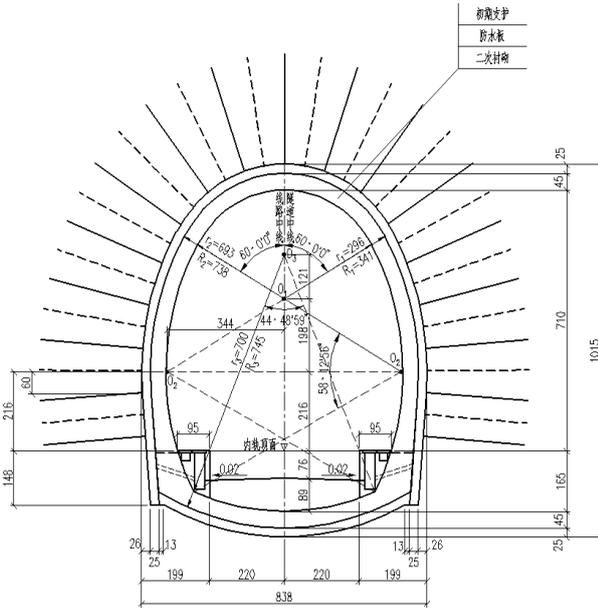


图5 原设计断面图

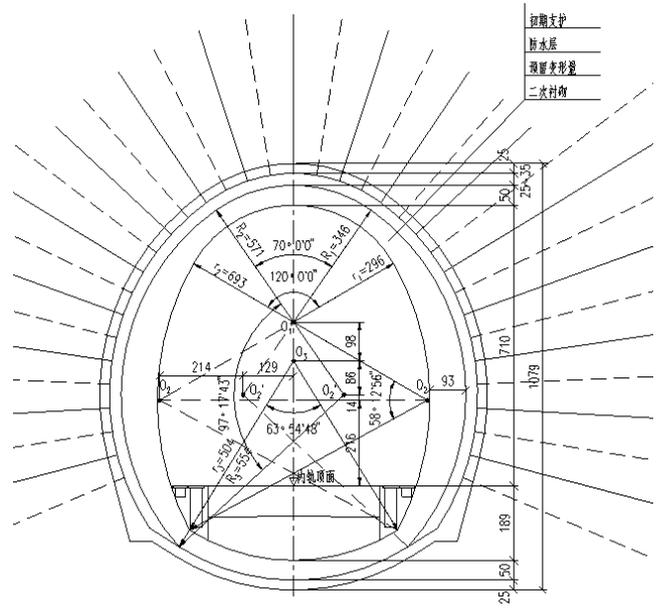


图6 优化后设计断面图

4.2 拱架加强

在初期，隧道地支护体系，主要是要依靠拱架进行受力的，其承担着绝大部分的围岩荷载，其本身所具有的刚度以及强度对于其初期支护所能够抵抗变形的能力有着直接影响。因为地质情况和软岩高地应力因素是处于不断变化的状态中，所以工作人员在实际施工中会结合相应的地质以及变形等情况逐渐加强初期的支护拱架，实现了从 I18 型钢到 H175 型钢的升级。最后，在综合考虑其变形问题以及进行效果评价之后，在正洞软岩段的初期支护参数方面主要采用了 H175 型钢拱架。

4.3 辅助加强措施

在优化软岩变形段支护参数的过程中，工作人员不仅仅要完成断面调整以及拱架加强工作，同时还需要充分运用相应的辅助加强措施，包括深孔锚杆、早高强喷混凝土、注浆以及锁脚锚管等，综合应用上述措施，以切实强化初期支护结构的实际强度与刚度，进而形成整体支护体系，共同抵制大变形的发生。

4.4 支护参数效果评价

通过对 DK130+335 与 DK130+445 典型大变形地段的变形数据对比进行支护参数效果评价。

(1) 变形数据分析

通过对两个断面监控量测变形曲线分析，采用加强支护参数后具有以下特点：

- ① 累计变形同比减小；
- ② 总体变形可控。

当完成初期支护结构封闭，并且逐步落实增设锚杆以及注浆等变形控制措施之后，便会有效实现变形速率的减少，并使其逐渐呈现出平稳状态，进而得到高效的控制。

(2) 二次支护分析

逐渐完善支护参数之后,在后续的施工过程中便会明显减少二次支护段落,特别是对于套拱以及拆换段落来说,这代表着在变形控制方面调整支护参数有着一定的应用价值。在接下来的施工过程中主要应选用 H175 型钢拱架的支护参数。

5 软岩大变形隧道施工原则

在开展软岩大变形隧道施工时,工作人员应当严格遵循以下几方面原则。

其一,需要对围岩进行加固,并强化控制变形问题,对于隧道来说,其出现大变形最为内在的原因便包含着软弱围岩以及深埋高地应力。尽管无法通过人为来改变地应力的存在,但却能够采取适当的加固措施对围岩进行加固,其中长锚杆的应用便能够有效实现对于软弱围岩大变形的主动控制。基于此,工作人员务必要强化加固软弱围岩的力度,严格遵循着相关原则对锚杆的实际长度进行确定,进而形成有一定厚度的围岩加固圈,并对围岩松弛变形的实际范围展开有效控制,有目的地降低围压对于支护衬砌结构所产生的作用力。

其二,其需要在原有的基础上对洞型进行改善,并采取优化断面的措施。边墙曲率越大,受力条件越好,特别是单纯断面,调整边墙曲率受力效果改善特别明显。

其三,工作人员应当严格遵循先柔后刚以及先放后抗的原则。其中先柔后刚主要指的是支护结构,初期支护诸如可缩钢架、钢筋网喷混凝土以及长锚杆便属于柔性结构,然而,后是做的二次支护,注入模注钢筋混凝土便是刚性的,以达到高效承受残余地层荷载的作用。而“先放后抗”这一条原则主要是要求工作人员在完成初期支护操作之后应当允许其产生一定程度的变形,等到其满足预计变形量之后再开展模注混凝土衬砌的施作。

其四,工作人员需要落实好预留足够变形以及防侵净空的原则。通常情况下挤压性软弱围岩坑道会在高地应力条件下产生大变形问题,所以在实际对开挖轮廓进行确定的过程中务必要事先留出足够的变形量,以免出现变形后初期支护侵入二次模注混凝土衬砌净空的现象。

6 结语

综上所述,经过相关调查研究发现,之所以会出现大变形问题,主要的原因是隧道地质条件较差,包括岩石产状、岩性以及断层等。大变形最主要的表现便在于其本身存在较大的突变性,在出现变形问题之后,可以通过使用优化断面、加设套拱以及拆换拱架等手段来有效遏制变形现象。基于此,在施工过程中采用相应的支护措施能够对当前普遍存在的大变形起到缓解作用,与此同时,此举还可以尽可能降低对于变形处理问题上的过度投入,减少其对于施工安全与施工进度所产生的负面影响。

在该隧道的工程实践中,其对于大变形所采取的控制措施主要包含以下几方面内容:

首先,在加大支护强度方面,通常情况下会选用对钢架的刚度进行加大,在运用 H175 钢架的同时实现纵向连接的加强。其次,需要对原有的预留变形量进行增加,并且要预留出二次支护空间。再次,工作人员要优化断面的形式。最后要针对变形段开展适时的注浆工作,以实现对于围岩的改善与优化。除此以外,在开展后续施工的过程中务必要强化开展对于应力控制技术的深入探索,并着重研究各种加强措施的施作实际和在可控状态下的应力释放技术。进而高效将支护加强和应力释放结合起来,形成一种新型控制技术,以此实现经济、快速以及安全的目标。

[参考文献]

[1] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

[2] 关宝树. 隧道力学(下册)[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1982.

[3] 肖广智. 不良、特殊地质条件下隧道施工技术及其实例[M]. 北京: 人民交通出版社, 2015.

作者简介: 蒋海华(1985-), 男, 湖北仙桃人, 从事铁路工程施工, 单位: 中国铁路国际有限公司, 工程师。