

# 软岩隧洞大变形防控技术措施研究

马 骋

新疆伊河开发建设管理局, 新疆 乌鲁木齐  
Email: mach2000@126.com

收稿日期: 2020年8月21日; 录用日期: 2020年9月3日; 发布日期: 2020年9月10日

---

## 摘 要

本文结合新疆某隧洞工程施工实例, 对软岩大变形如何控制隧洞变形进行了成因分析探讨, 并提出了有效的预留缓冲层防控措施, 达到了很好的效果, 以期对其它软岩隧洞施工的工程在设计、施工方面提供借鉴, 从而达到提高软岩隧洞施工质量的目的。

## 关键词

隧洞, 地质, 软岩大变形, 换拱, 预留缓冲

---

# Prevention and Control Techniques of Inordinate Deformation of Tunnel in Soft Rock

Cheng Ma

Development, Construction and Administration Bureaus for Yili River Basin, Urumqi Xinjiang  
Email: mach2000@126.com

Received: Aug. 21<sup>st</sup>, 2020; accepted: Sep. 3<sup>rd</sup>, 2020; published: Sep. 10<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Combining with the practice of one tunnel project in Xinjiang, this paper analyzes the cause of deformation of tunnel in soft rock, discusses how to control inordinate deformation, and puts forward prevention and control measures, providing reference for the design and construction of other soft rock tunnel construction projects, so as to improve the construction quality of soft rock tunnel.

## Keywords

Tunnel, Geology, Inordinate Deformation of Soft Rock, Arch Changing, Reserved Buffer

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 工程概述

新疆某隧洞工程洞长 42 km, 最大埋深约 2268 m; 隧洞为无压洞, 纵坡 1/564.8。隧洞共布置有 4 条施工支洞, 分别为位于主洞桩号 4 + 400 的 1#斜井、主洞桩号 5 + 700 的 2#斜井、主洞桩号 9 + 800 的 1#支洞、主洞桩号 30 + 260 的 2#支洞。隧洞断面为圆形, 洞径 5.3~5.9 m, 局部为马蹄形断面, 采用现浇钢筋混凝土衬砌。其中 1#斜井主洞控制段采用钻爆法施工, 分上、下两个台阶开挖。

## 2. 工程地质条件

该段地表为北天山低山丘陵区, 属台地地貌, 地面高程 1420~1560 m, 山势相对平缓; 大变形洞段埋深约 190 m, 隧洞轴线在沟底部斜穿布置[1]。隧洞主要工程地质, 为第三系(N1 + 2)泥岩、泥质砂岩、砂砾岩等为软岩, 强度低, 部分呈松散砂状、土状, 并具有弱~中等膨胀性, 另外, 断层带、古风化壳等部位, 岩石破碎。地下水属赋存砂砾岩层的孔隙潜水及裂隙水, 局部具有承压性; 开挖时围岩呈干燥状态, 经一段时间仰拱部位砂砾岩有地下水渗出。因此, 本洞段围岩类别为 V1 类, 具备形成严重 - 极严重挤压变形的条件。

## 3. 隧洞围岩大变形

大变形洞段发生在 1#斜井主洞控制段隧洞下游桩号 4 + 704~4 + 985 处, 自 2019 年 9 月中下旬隧洞开挖后开始出现边墙侵限、已衬仰拱上抬出现纵向裂缝、未衬仰拱推土上抬、喷混开裂、钢拱架扭曲等现象, 详见图 1。

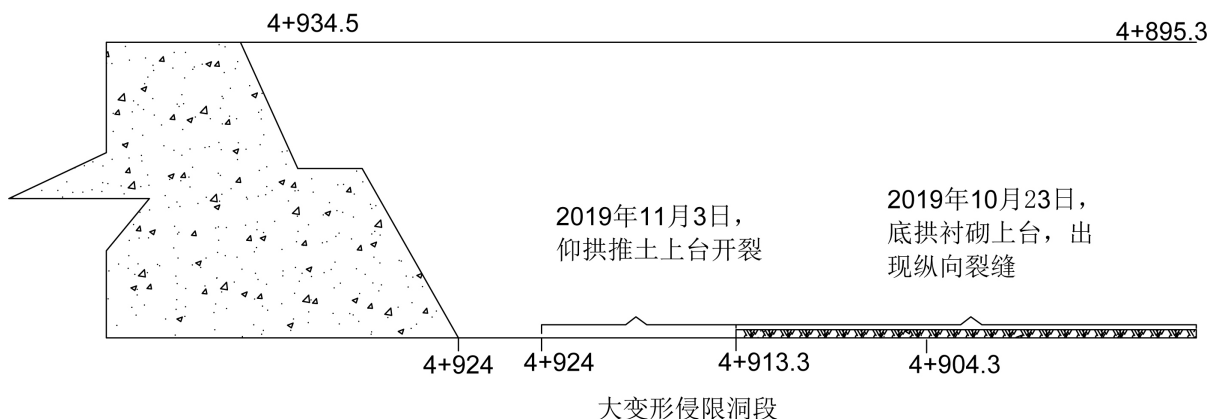


Figure 1. The location of the deformed tunnel

图 1. 大变形洞段位置

在开挖过程中预留变形量 400 mm 后, 仍出现在桩号 K4 + 915 断面, 水平位移 706.6 mm, 侵限 306.6

mm; 桩号 K4 + 923 断面, 出现水平位移 990.6 mm, 侵限 590.6 mm; 2019 年 10 月 23 日, 桩号 4 + 904.3~4 + 913.3, 已衬仰拱衬砌发现纵向裂纹, 右边墙钢拱架出现弯折扭曲现象, 详见图 2。2019 年 11 月 3 日, 桩号 4 + 913.3~4 + 924 (未施工仰拱衬砌), 仰拱推土上抬开裂, 详见图 3。



Figure 2. The buckling of the arch scaffolding on the right wall  
图 2. 右边墙拱架弯折扭曲



Figure 3. The bottom concrete cracks upward  
图 3. 仰拱推土上抬开裂

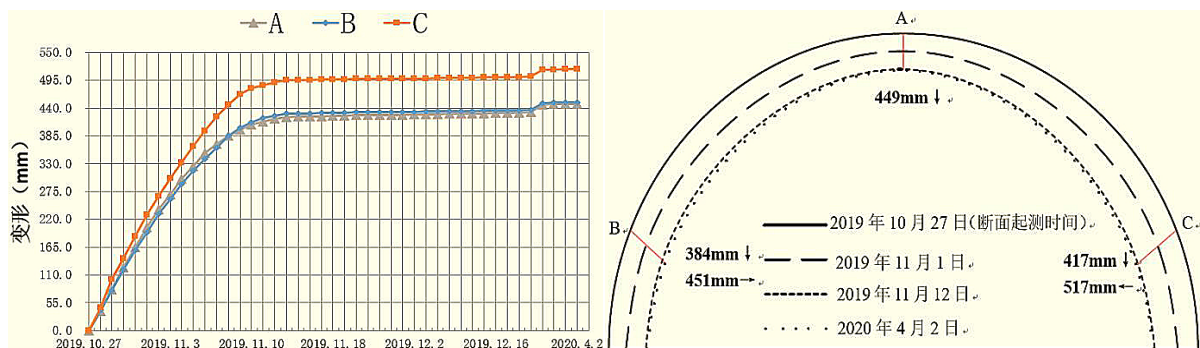


Figure 4. The deformation situation of the section K4 + 930  
图 4. K4 + 930 断面变形变化情况

## 4. 大变形成因分析

### 1) 监测资料分析

围岩大变形洞段及其附近区域共包含 4 个收敛变形监测断面: K4 + 915、K4 + 923、K4 + 895、K4 + 930, 详见图 4~6;

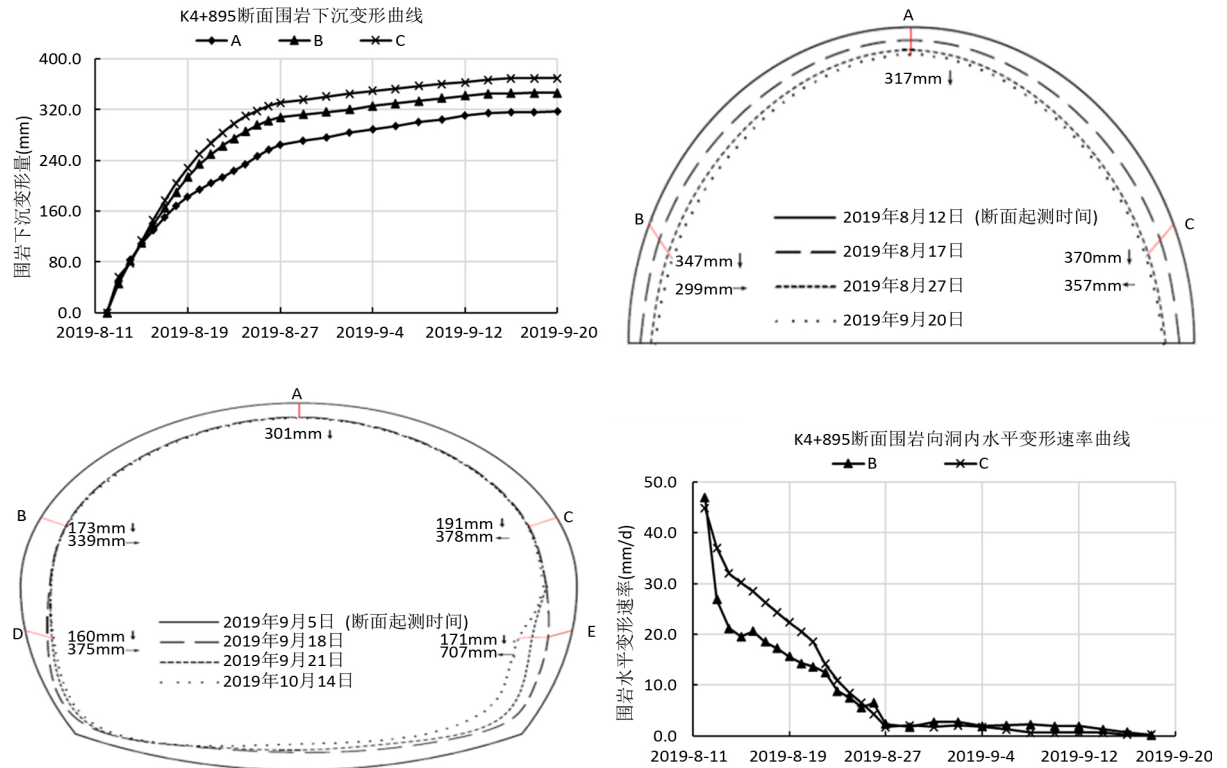


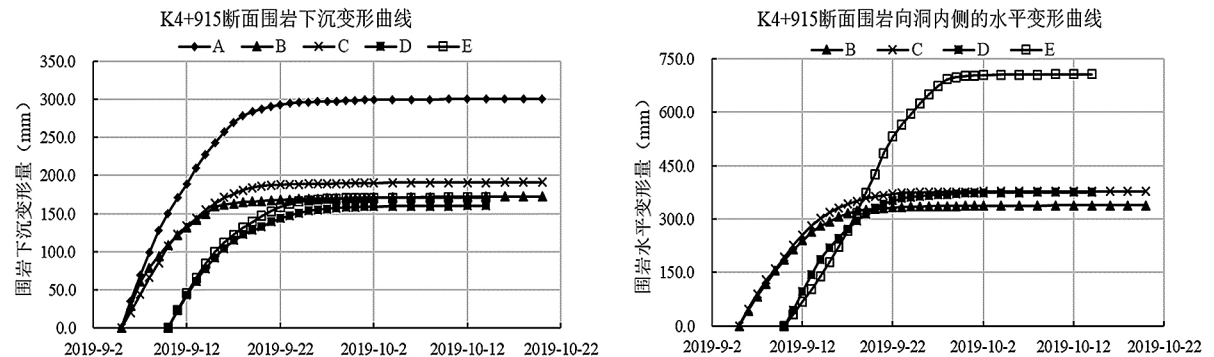
Figure 5. The deformation monitoring of the wall rock K4 + 895

图 5. K4 + 895 断面围岩变形监测

K4 + 895 断面变形速率峰值均出现在起测后的第 1 天, 随后收敛变形速率逐渐减小, 围岩变形在起测后第 15 天趋于收敛, 详见图 5。

### 2) 大变形成因

1、围岩岩性因素: 岩样中富含蒙脱石等黏土矿物(其矿物全分析成果详见表 1)。及有关的混层结构矿物, 黏土矿物的水化膨胀性和吸附性在岩样的物理试验过程中表现非常明显, 遇水明显软化膨胀、泥化及快速崩解。可见, 该洞段较差的围岩条件, 是导致大变形的主要地质基础。



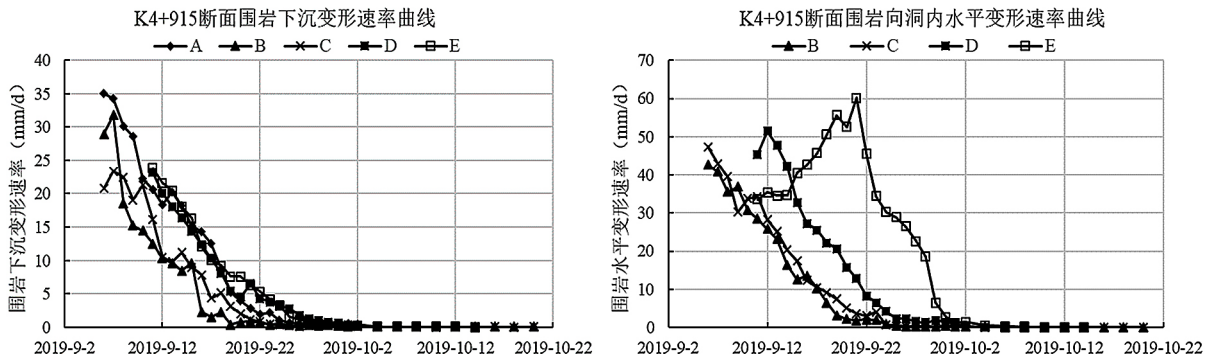


Figure 6. The monitoring of the section K4 + 915

图 6. K4 + 915 断面监测

Table 1. XRD mineral composition and clay mineral analysis results of mudstone, marl and sandy mudstone

表 1. 泥岩、泥灰岩、砂质泥岩 XRD 矿物成分以及粘土矿物全分析成果

编号	岩性	矿物相对含量(%)			粘土矿物主要矿物及相对质量百分比(%)	
		石英	斜长石	钾长石	粘土矿物	蒙脱石(s)
A-1	泥灰岩	32.8	1.4	-	65.8	100
A-2	泥岩	48.3	1.1	-	50.5	100
A-3	砂质泥岩	48	19.4	4.6	27.2	100

**2、地下水因素：**砂砾岩为含水层和导水层，为地下水与泥岩接触提供了通道；当围岩含水量较大时，开挖卸荷后围岩劣化效应显著，岩体强度和变形模量迅速降低，甚至膨胀、崩解，导致显著的围岩变形。因此地下水是导致围岩大变形的关键诱因。

**3、地应力因素：**大变形洞段隧洞埋深约 190 m，以上覆岩层平均密度 2.38 g/cm<sup>3</sup> 估算，该洞段的铅直向初始地应力约为 4.5 MPa。该洞段岩石饱和单轴抗压强度平均值  $f_r = 0.155$  MPa，围岩强度比  $f_r/\sigma = 0.034 \ll 4$ 。按照《岩土工程勘察规范 GB50021-94》中地应力的划分标准(采用岩石强度应力比来划分)，该洞段属极高应力区。因此，由开挖引起的围岩卸荷作用强烈，易诱发围岩大变形等失稳[2]。

围岩收敛变形数据规律可以看出：K4 + 915 和 K4 + 923 断面 2 个断面侵限部位均集中在下台阶右侧边墙及底拱中部和右侧部位。这是由于右侧围岩的含水率要高于左侧，相应的右侧的围岩强度要低于左侧。分析上述 4 个监测断面的围岩收敛变形监测数据特点，可知该洞段内的围岩收敛变形具有变形量值大。

该洞段围岩主要为泥岩、砂砾岩，属极软岩，围岩岩性差，承载能力低，隧洞开挖形成的重分布应力将显著超出围岩强度，使得围岩产生塑性屈服并发生较大的塑性变形[3]。

隧洞开挖后改变了地下水的渗流路径，隧洞中部透水性良好的砂砾岩层，成为地下水的运移通道，使得隧洞中下部围岩的含水率或渗透性明显增大。同时，隧洞开挖导致围岩产生卸荷松弛，围岩内裂隙萌生、扩展及贯通，进一步增大了岩体的渗透系数，使得隧洞围岩的含水状态发生了显著变化，围岩遇水泥化、软化，强度显著降低并呈现出一定的膨胀性，使得围岩产生较大的塑性变形，特别是隧洞中下部泥岩受砂砾岩含水层的影响其塑性变形将更加显著[4]。

在大变形侵限洞段，受岩性差异及地下水的影响，使得砂砾岩层下部泥岩夹泥灰岩的力学性能相较于砂砾岩层上部砂质泥岩其劣化将更为显著。砂砾岩层上下围岩力学性质的差异使得初期支护受力很不均匀(表现为边墙下部的变形要明显大于上部)，这也造成了钢拱架在砂砾岩层部位的局部屈曲[5]。

桩号 4 + 704~4 + 985 洞段围岩大变形的发生机理与该洞段的地层结构和岩性分布，以及附近的水源补给密切相关。

## 5. 大变形防控措施实施

1) 在隧洞施工过程中桩号 4 + 904~4 + 924 洞段收敛变形极为严重, 侵占设计断面, 现场对侵限部位拆除已实施钢拱架以及扩挖等措施, 然后重新开挖实施新钢拱架, 详见图 7~8; 效率较低, 后续二次衬砌有开裂风险。



Figure 7. The on-site treatment—the side arch changing  
图 7. 现场处理情况——换侧拱



Figure 8. The on-site treatment—the inverted arch changing  
图 8. 现场处理情况——换底拱

2) 为了尽可能减少换拱、扩挖以及避免二次衬砌因变形挤压应力过大出现裂缝, 采取的超前管棚加 U 型钢方案双层一次支护加预留缓冲层的方案有着较好的效果:

1、采用超前支护措施加固围岩。顶拱  $160^\circ\Phi 63$  自进式超前中管棚预注浆, 间距 0.3 m, 排距 3.5 m,  $L = 6$  m。

2、初期支护采用双层支护: 外层: 侧顶拱预应力中空注浆锚杆(50~100 KN,  $L = 5$  m, 间排距 1.25 m) 后, 全断面 HW125@0.5 m 钢拱架, 并在拱腰和拱脚长 6 m 的  $\Phi 63$  长注浆锚管, 全断面  $\Phi 8$  单层钢筋网 (20 cm \* 20 cm), 再喷 15 cm 厚纳米硅粉合成粗纤维混凝土。内层采用可伸缩 29U@1.0 m 型钢拱架, 对称设置 6 个可伸缩节点, 单节点最大环向伸缩量 30 cm; 拱架间填充可压缩聚乙烯材料。

3、初期支护与二衬间设置塑性缓冲层, 采用可压缩聚乙烯预制块, 层厚 10 cm, 现场裁成 1 m \* 2 m

规格便于环向紧贴岩面，详见图 9~10。



**Figure 9.** The inverted arch fixing on buffer layer in construction  
**图 9.** 施工中缓冲层底拱安装



**Figure 10.** The side arch fixing on buffer layer in construction  
**图 10.** 施工中缓冲层侧拱安装

4、洞周的排水点设置毛细透排水带进行引排水，缓解地下水对围岩的影响。

3) 二衬砼浇筑自 2020 年 4 月下旬隧洞对安装缓冲层段进行了二次砼浇筑、已衬仰拱未出现裂缝现象，详见图 11~12。



**Figure 11.** Secondary concrete in buffer layer section 1  
**图 11.** 缓冲层段二衬混凝土 1



Figure 12. Secondary concrete in buffer layer section 2  
图 12. 缓冲层段二衬混凝土 2

4) 在施工 K4 + 799.5 监测断面处左右两侧拱腰、左右拱肩、拱顶共埋设了钢筋计和应变计，监测情况如下：

1、混凝土应变

观测数据表明目前底拱受力较小，边顶拱处于受压趋势。混凝土应变监测过程线见图 13。

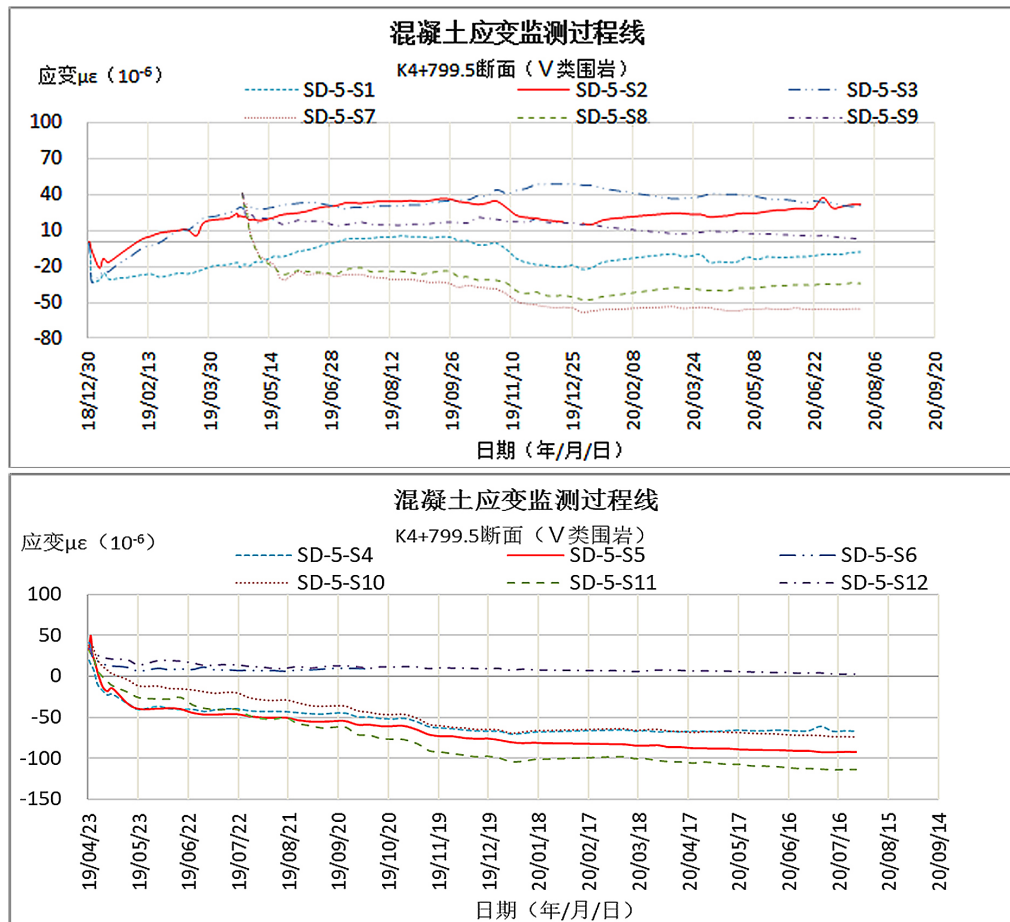


Figure13. Monitoring process line of concrete strain at monitoring section K4 + 799.5  
图 13. K4 + 799.5 监测断面混凝土应变监测过程线



## 2、钢筋应力

观测数据表明目前底拱钢筋受力较小，边顶拱钢筋受压增大趋势减缓。应力监测过程线见图 14。

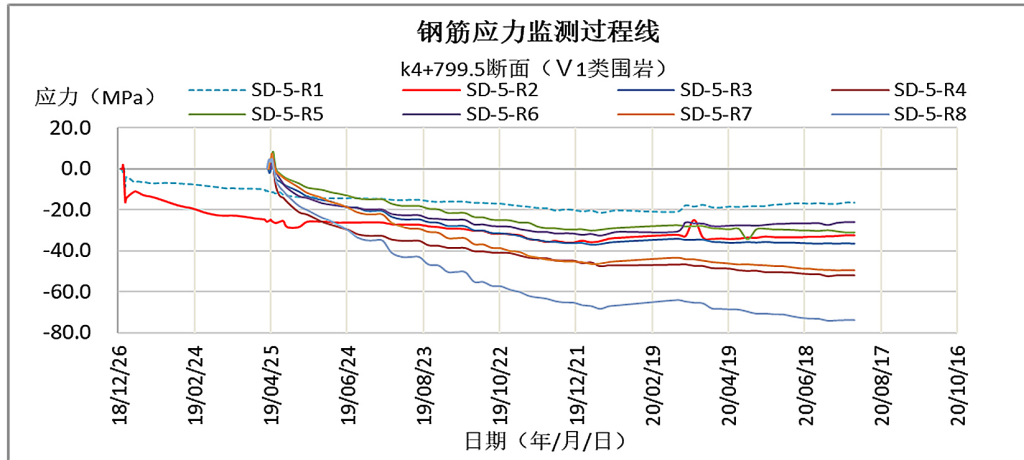


Figure 14. Monitoring process of steel bar line stress K4 + 799.5

图 14. K4 + 799.5 监测断面钢筋应力监测过程线

观测数据表明目前边顶拱及底拱受力较小，都处于受压趋势，都在允许范围值内。

## 6. 结论

软岩隧洞围岩变形破坏特征及其治理一直是贯穿隧洞设计与施工全过程关注和亟待解决的问题。而目前对软岩变形的研究较为贫乏，仅仅靠归纳、总结以及采取工程类比的方法是远远不够的，因此，软岩变形问题的研究对于围岩变形的预测研究和工程对策的合理制定具有重大意义。本工程的案例以期对其它软岩隧洞施工的工程在设计、施工方面提供借鉴，为岩土工程从强度破坏极限状态控制向着变形极限状态控制发展提供了可靠技术保障，从而达到提高软岩隧洞施工质量的目的。

## 参考文献

- [1] 新疆某隧洞工程初步设计报告[R]. 天津: 中水北方勘测设计研究有限责任公司, 2014.
- [2] 工程地质手册编制委员会. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 关宝树. 软弱围岩隧洞施工技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [4] 范秋雁. 膨胀岩与工程[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [5] 赵金良, 贾占军, 李荣伟. 浅埋粘土软岩隧洞整体失稳分析与处理技术[J]. 水科学与工程技术, 2010(4): 60-63.