

文章编号: 1674—8247(2020)05—0082—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.05.016

# 高地应力软岩大变形隧道内轨道工程接口设计探讨

刘喆丰 田春香 李粮余 黎旭

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**西南艰险山区铁路选线受地形限制,往往以隧道形式通过。山区隧道埋深大、区域构造强烈、地质条件复杂,高地应力、较强残余构造应力、断层破碎带、涌水等问题普遍存在。复杂的地质环境加上施工过程中的诸多干扰因素极易引起围岩大变形,大变形不仅增加施工难度,处置措施不当还将引起的隧底变形和无砟轨道上拱等问题。针对这一问题,本文以现有隧道软岩大变形的机理为讨论依据,着重分析了大变形对隧道和轨道工程的影响,指出了现行设计接口中的局限性,提出了相应的解决措施和建议。

**关键词:**软岩大变形;接口设计;沉降评估

**中图分类号:**U456.3 **文献标志码:**A

## Discussion on Interface Design of Track Construction in Soft Rock Large Deformation Tunnel

LIU Zhefeng TIAN Chunxiang LI Liangyu LI Xu

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Railway in southwest dangerous mountainous areas is limited by topography for location, and often passes through tunnels. For tunnels in mountainous areas, deep-buried depth, strong regional structures, complex geological conditions, high ground stress, strong residual tectonic stress, fault fracture zones, water gushing and other problems are common. Complicated geological environment and many interference factors during the construction can easily cause large deformation of surrounding rock, which not only increases the difficulty of construction, but also leads to deformation of the tunnel bottom and arch on ballastless track due to improper treatment measures. To solve this problem, based on the mechanism of large deformation of soft rock in existing tunnels, in the paper, the influence of large deformation on tunnel and track construction is emphatically analyzed, the limitations in the current design interface are described, and corresponding solutions and suggestions are proposed.

**Key words:** large deformation of soft rock; interface design; settlement assessment

山区隧道埋深大、区域构造强烈、地质条件复杂,在建设和运营期间,时常发生由不良地质引起的隧底变形和无砟轨道上拱等问题<sup>[1]</sup>。本文以隧道软岩大变形的机理为讨论依据,着重分析软岩大变形对隧道和轨道工程的影响,指出现行设计接口中存在的局限性,并提出相应的解决措施和建议。

### 1 软岩大变形的定义

软岩大变形是指在地应力软弱围岩条件下,围岩因缓慢释放应变能造成沉降破坏并最终失稳的现象。它的破坏形式与岩爆现象形成的脆性破坏相反,是围岩的柔性破坏。在地应力等同的条件下,若围

收稿日期:2019-12-21

作者简介:刘喆丰(1986-),男,高级工程师。

引文格式:刘喆丰,田春香,李粮余,等.高地应力软岩大变形隧道内轨道工程接口设计探讨[J].高速铁路技术,2020,11(5):82-86.

LIU Zhefeng, TIAN Chunxiang, LI Liangyu, et al. Discussion on Interface Design of Track Construction in Soft Rock Large Deformation Tunnel [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(5):82-86.

岩发生脆性破坏,则基本上会导致岩爆现象的发生;若围岩发生柔性破坏,则很大可能产生隧道大变形。一般情况下,岩爆对隧道工后变形影响较小,而发生柔性破坏的地段则可能出现工后持续变形的情况。

目前,国内外研究者对于软岩和大变形的定义已有十余种,但尚未形成一套完整的体系,也未有一致和明确的定义<sup>[2]</sup>。何满朝<sup>[3]</sup>教授认为大变形可分为弹性和塑性大变形,软岩大变形是塑性大变形,与过程紧密相关。卞国忠<sup>[4]</sup>则从围岩变形量上定义大变形,若隧道的围岩变形量超过通常规定的2倍(即 $\geq 40$  cm),则认为变形为大变形,若围岩变形量介于20~40 cm之间,可认为是正常变形至大变形的过渡阶段。姜云等人<sup>[5]</sup>根据围岩大变形产生的地质和环境条件变形的力学机制提出了围岩大变形的全新定义:隧道及地下工程中,由软弱岩体构成的围岩,在高地应力(或相对高应力)、地下水或自身膨胀性能的作用下,其自身承载能力丧失或部分丧失,产生具有累积性和明显时间效应的塑性变形且变形得不到有效约束的现象。它既区别于岩爆运动的脆性破坏,又区别于围岩松动圈中受限于一定结构面控制的坍塌、滑动等破坏。

## 2 软岩大变形对隧道和轨道工程的影响分析

### 2.1 软岩大变形对隧道工程的影响

(1) 软岩大变形地段隧道工后变形量难以量化

在大变形地质环境中往往存在高地应力、地下水、温度等多场耦合作用,隧道围岩不仅要承受自身的多场耦合作用,还要承受隧道开挖、支护过程中多次应力重分布的影响。在多种大变形影响因素的共同作用下,隧道开挖会引起软弱破碎围岩错动、滑移,形成松动圈,岩体塑性化或吸水膨胀,即产生软岩大变形。

根据现有施工经验,施工中软岩大变形地段局部具有地应力持续释放、岩体缓慢变形的“流变”特征,工程界对上述“流变”发生机理尚无明确说法,也较难准确地判定“流变”发生段落及工后变形具体量值。因此,软岩大变形的变形量在设计阶段难以通过单一因素的影响来判断和预测。

(2) 软岩大变形设计与施工揭示差异较大

设计阶段软岩大变形多采用地质调查法结合物探、钻探等综合手段进行预测,限于勘探手段和地质条件的复杂性,同时受施工中应力重分布的影响,设计阶段难以十分准确地预测大变形的具体分布位置和等级。从现有的工程经验分析,施工现场实际揭示的软岩大变形发生段落、等级及特征与设计阶段存在一定

差异。

以某深埋铁路隧道为例,该隧道在设计阶段预测各级别软岩大变形段落总长度为2.85 km,如表1所示;施工揭示软岩大变形段落总长度为2.199 km,如表2所示。

表1 某铁路隧道设计阶段变形情况统计表

工区	工区长度 /m	轻微 大变形 /m	中等 大变形 /m	严重 大变形 /m	大变形 长度合计 /m	占比 /%
1 横	1 597	0	0	0	0	0.00
2 横	2 667	140	300	0	440	16.50
3 横	2 876	260	500	0	760	26.43
4 横	3 982	0	840	0	840	21.09
5 横	3 963	0	230	0	230	5.80
6 横	4 819	0	320	0	320	6.64
7 横	3 019	0	260	0	260	8.61
合计	22 923	400	2 450	0	2 850	12.43

表2 某铁路隧道施工阶段变形情况统计表

工区	工区长度 /m	轻微 大变形 /m	中等 大变形 /m	严重 大变形 /m	大变形 长度合计 /m	占比 /%
1 横	1 597	0	0	0	0	0.00
2 横	2 667	0	0	0	0	0.00
3 横	2 876	280	393	0	673	23.40
4 横	3 982	282	414	418	1114	27.98
5 横	3 963	0	45	64	109	2.75
6 横	4 819	40	50	23	113	2.34
7 横	3 019	0	23	167	190	6.29
合计	22 923	602	925	672	2 199	9.59

从表1、表2中可以看出,轻微、中等和严重大变形的预测地段和施工揭示地段均存在一定差异。

### 2.2 软岩大变形对轨道结构选型的影响

与路基、桥梁、桩板等地面建筑基础不同,在目前的技术条件下,隧道软岩大变形的段落、等级、工后变形量都难以准确预判,轨道结构选型因此缺少了相应的前置条件和设计依据。一般情况下,在变形不易控制的地段宜采用有砟轨道,但对于一些特殊地区(如高原、高寒地区)的超长隧道,无砟轨道显然更有利于养护维修工作,但其调整能力有限<sup>[6]</sup>(一般为-4mm~+26mm),很难适应线下基础较大或持续的变形。

## 3 现行隧道与轨道接口设计存在的局限性

由于软岩大变形地段的不确定性因素较多,就目前实行的隧道、轨道接口设计方式而言,主要存在以下几方面的局限性。

### 3.1 隧底变形监测与沉降评估的局限性

(1) 隧道断面观测点不足

现行 Q/CR 9230 - 2016《铁路工程沉降变形观测与评估技术规程》(以下简称“《规程》”)规定,隧道变形监测点设置于水沟中心和隧道仰拱(底板)两侧<sup>[7]</sup>,如图1所示。

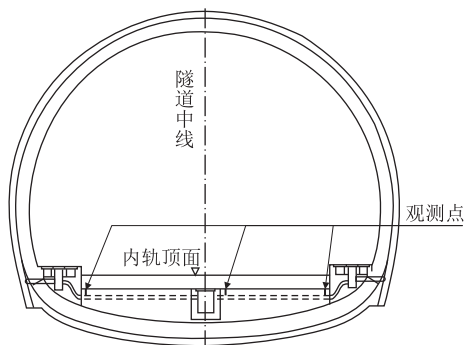


图1 隧道观测标施工期间埋设示意图

但通过对一些隧底变形病害的观测数据分析发现,一些隧道变形突出发生在轨行区,而仰拱或底板两侧的变形量很小,如图2所示。

由此可见,在施工观测期有必要增加轨行区的观测点,并纳入沉降评估工作中。

### (2) 监测点的布置密度不足

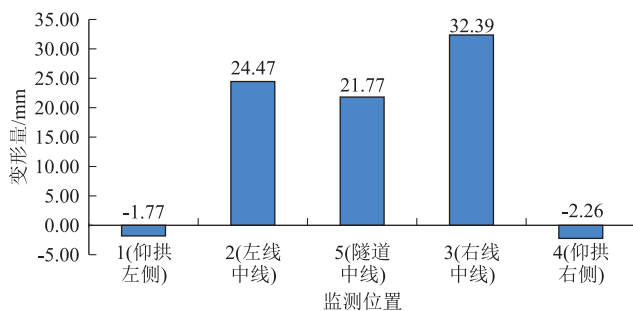


图2 某隧道底鼓病害横断面监测情况柱状图

《规程》规定,Ⅱ级围岩的监测点布置间距不大于600 m,Ⅲ级不大于400 m,Ⅳ级不大于300 m,Ⅴ级不大于200 m,不良地质和复杂地质地区(地应力较大、断裂破碎带、膨胀土、湿陷性黄土等)应当加密。近年来的隧道病害情况表明,单段病害工点长度范围一般在30~80 m不等<sup>[8]</sup>(如图3所示),因此,即便是Ⅴ级围岩的布设间距要求也无法满足,虽然《规程》要求在不良地质区域进行加密监测,但仅为定性要求,施工阶段难以有效执行。另外,根据一些在建项目的沉降评估情况,隧道监测点过于稀疏还会导致评估数据拟合困难,无法准确判断其趋势<sup>[9]</sup>。

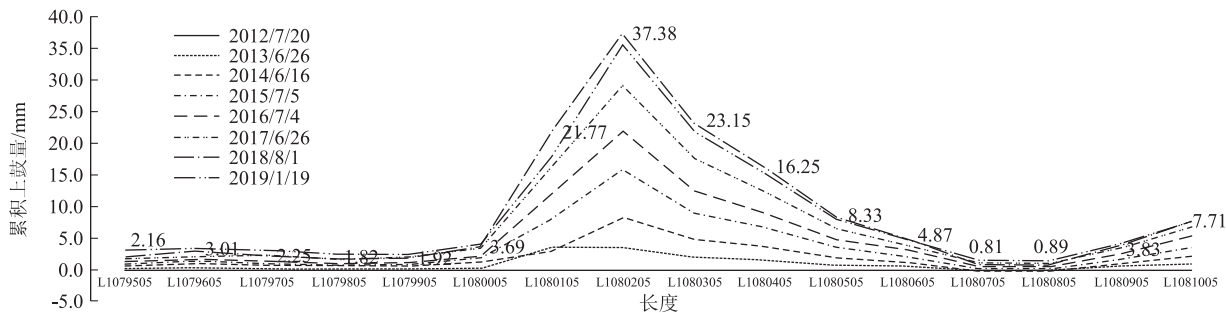


图3 某隧道隧底变形纵断面示意图(变形长度范围70 m)

### (3) 沉降评估的时间不足

《规程》要求隧道仰拱(底板)在铺轨前的沉降评估时间不少于3个月<sup>[10]</sup>,但从近年运营期间发生的隧底变形病害案例分析,病害发现时间多在开通后0.5~1 a左右,大部分变形速率约为0.5~1.5 mm/月,其中还存在部分月份无变化的情况。由此可见,3个月的沉降评估观测时间较难准确判定隧道是否存在变形,因为月平均速率1 mm以内的变形往往需要长时间的数据积累来判断趋势变化,否则会被误认为是测量误差而被忽略。《规程》同时规定在无砟轨道铺轨后应进行3个月的观测,但在实际操作中,反映在轨道上的一些不平顺问题常通过扣件调整、线路顺坡的方式进行改善,真实的原因易被忽视或掩盖。

### 3.2 隧道衬砌断面设计缺少兼容性

现行通用图中,有砟与无砟隧道衬砌断面存在一定差异,有砟衬砌断面仰拱曲率更大,圬工量更大;对于轨道的结构高度预留也有所不同,以有砟轨道与双块式无砟轨道为例,两者结构高度相差25 cm,有砟轨道预留的高度更大。

鉴于软岩大变形的特殊性,现行的一些设计原则在隧道断面缺少兼容性的条件下执行较为困难。

以某高原铁路项目中的一超长隧道情况为例,该隧道全长25 km,隧道洞口海拔高度约3 500 m。根据地质预测,该隧道内大变形段落占比约41%,且分布较为零散,如图4所示。单段长度100~1 720 m不等,各段之间间距100~1 900 m不等。若轨道结构按变

形不易控制的地段采用有砟轨道的原则,则会出现同一隧道内有砟、无砟反复过渡的问题,不利于隧道排水和轨道养护维修;若按同一种轨道结构型式成段集中

铺设的原则,该隧道势必以有砟轨道为主,则无法满足高原、高寒地区长大隧道宜减少养护维修工作的要求;若全隧采用无砟轨道,则存在潜在变形不可调的风险。

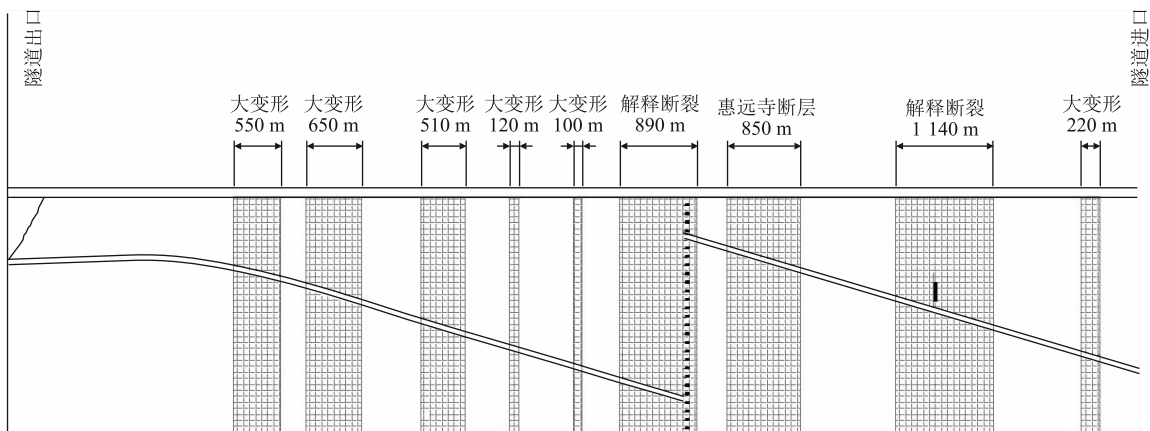


图4 某高原地区超长隧道内预测大变形段落分布情况图(填充段为大变形段落)

若隧道衬砌断面具备兼容有砟、无砟两种轨道结构的功能,则类似工况下的轨道可通过隧道施工期间的实际揭示和沉降评估结果来综合选取,以同一种轨道结构形式成段集中铺设的原则,有效避免隧道、轨道各自在有砟、无砟两种形式下反复过渡的问题。

## 4 隧轨接口优化设计的思路与建议

### 4.1 接口优化设计的思路

由于目前技术上无法在设计阶段准确预判软岩大变形段落的变形情况,因此建议隧道专业在设计阶段

可采用有砟衬砌断面作为兼容性断面,同时根据施工揭示情况和沉降评估结果动态设计,以综合手段降低大变形工况下带来的不确定风险。

设计阶段,在全线按无砟轨道要求设计时,应根据地质预测,对存在严重大变形风险的隧道全隧采用有砟衬砌断面。

施工阶段,铺轨前应根据隧底轨行区变形评估结论确定轨道类型。在不满足无砟轨道铺设要求的地段,应结合段落长度和养护维修需求确定有砟轨道铺设范围。接口设计思路如图5所示。

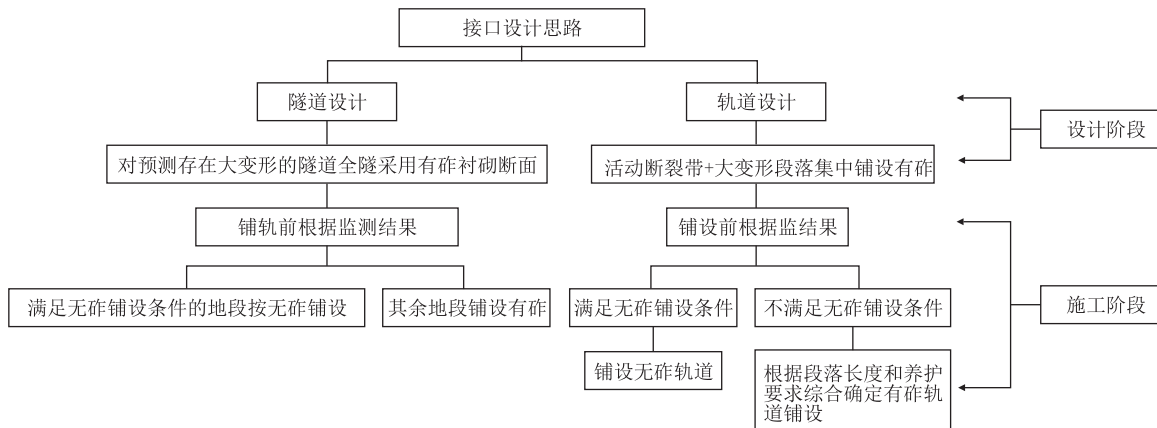


图5 接口设计思维导图

### 4.2 隧道与轨道接口优化设计的建议

针对上述隧道与轨道接口设计存在的问题,结合软岩大变形的特点,对隧道与轨道接口优化设计提出以下建议:

(1) 加强和完善隧道内沉降评估工作

近年来,一些铁路在运营后短期内即发现隧底变形病害,这与未加深沉降评估工作有着密切的关系,建议着重考虑以下几个方面:

① 增设隧道横断面上的观测点,主要针对轨行区进行布点,以便掌握轨行区的变形情况。

②增加同一隧道内的观测断面,对于一些特殊隧道,布点距离宜加密至20~30 m。

③延长变形观测的时间,有条件的线路可将观测期延长至1 a,以便观测变形受四季变化的影响。

(2)研究可兼容多种轨道结构形式的衬砌断面

采用兼容性的断面有利于隧道统一排水设计,同时也便于隧道与轨道专业实施动态设计,施工期间可根据隧道实际揭示情况、沉降评估指标等对应选择轨道结构形式,而不引起断面过渡和排水衔接等问题。

(3)加强特殊地质条件下的隧道仰拱设计

结合山区铁路病害工点的整治经验,建议在设计阶段加强对软岩大变形区段的隧道结构设计,选择适合的支护参数,关键段落仰拱应配结构钢筋,增加曲率,降低施工期间出现仰拱开裂等病害。

(4)研发不同调整量的新型轨道结构型式

针对软岩大变形地段,西南山区或高原、高寒地区等的超长隧道与轨道应进行系统设计,针对线下基础不同的变形量,应积极研发不同调整量的新型轨道结构型式,以满足铁路建设的需求。

## 5 结束语

虽然目前的理论研究和预测手段暂时无法准确预判软岩大变形的具体量值,但通过设计中加强隧道结构设计、合理优化接口方式、提升隧道断面的兼容性,施工中严格控制工程质量、高度重视并加深对软岩大变形地段的观测工作,铺轨前认真做好对隧底基础的变形评估工作,可有效降低和避免软岩大变形对无砟轨道的影响,通过隧道和轨道系统、动态的设计满足铁路建设的需求。

## 参考文献:

- [1] 张洋. 隧道工程软弱围岩大变形控制体系研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2006.  
ZHANG Yang. Research on large Deformation Control System of soft Surrounding Rock in tunnel Engineering [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2006.
- [2] 姜云. 隧道工程围岩大变形问题研究现状[J]. 西南公路, 2003(3): 50-55.
- JIANG Yun. Research Status of Large Deformation of Surrounding Rock in Tunnel Engineering [J]. Southwest Highway, 2003(3): 50-55.
- [3] 何满潮,吕晓俭,景海河. 深部工程围岩特性及非线性动态力学设计理念[J]. 岩石力学与工程学报, 2002(8): 1215-1224.  
HE Manchao, LV Xiaojian, JING Haihe. Characteristics of Surrounding Rockmass in Deep Engineering and Its Non-linear Dynamic-mechanical Design Concept [M]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002(8): 1215-1224.
- [4] 卞国忠. 浅谈隧道围岩大变形的判据及处理措施[J]. 科学技术通讯, 1998(2): 15-17.  
Bian Guozhong. Criterion of Large Deformation of Tunnel Surrounding Rock and Treatment Measures [J]. Science and Technology Communications, 1998(2): 15-17.
- [5] 姜云,李永林,李天斌,等. 隧道工程围岩大变形类型与机制研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2004, 15(4): 46-51.  
JIANG Yun, LI Yonglin, LI Tianbin, et al. Study of the Classified System of Types and Mechanism of Great Distortion in Tunnel and Underground Engineering [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2004, 15(4): 46-51.
- [6] TB/T 3395.4-2015 高速铁路扣件 第4部分:WJ-7型扣件[S].  
TB/T 3395.4-2015 Fastening Systems for High-speed Railway Part 4:WJ-7 Fastening System[S].
- [7] Q/CR 9230-2016 铁路工程沉降变形观测与评估技术规程[S].  
Q/CR 9230-2016 Observation and Evaluation Specification for Settlement Deformation of Railway Engineering [S].
- [8] 刘喆丰,李保友. 运营铁路维修天窗期无砟轨道拆换技术[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(1): 48-52.  
LIU Zhefeng, LI Baoyou. Replacement Technique of Ballastless Track of Operating Railway in Maintenance Time [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(1): 48-52.
- [9] 王喆. 大梁隧道高地应力软岩大变形预测系统研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.  
WANG Zhe. Research on large Deformation Prediction System of Soft Rock with High Ground Stress in Daliang Tunnel [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.
- [10] 高树峰. 郑西客运专线黄土隧道无砟轨道铺设前沉降评估浅析[J]. 铁道工程学报, 2009, 26(2): 44-46.  
GAO Shufeng. Analysis of the Assessment of Loess Tunnel Settlement before Laying Slab Track on Zhengzhou-Xi'an Passenger Dedicated Line [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009, 26(2): 44-46.