

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2016.S2.014

同进隧道二次衬砌开裂原因分析及治理

吴发展

(中铁隧道集团有限公司, 河南 洛阳 471009)

摘要:衬砌裂纹是隧道衬砌承受力超出其强度的反映,二次衬砌开裂是隧道工程常见的病害,针对同进隧道二次衬砌开裂段局部侵入净空进行了分析,围岩分级、地下水和施工因素是导致衬砌开裂的主要原因,对失效衬砌采取拆除重建进行整治,首先加固周围的围岩,加强对衬砌裂纹的监控量测,拆除旧衬砌时,及时进行初期支护,确保施工安全。提出了预防裂缝开裂的措施,设计方面正确判断围岩级别,选择支护和衬砌参数;施工方面规范操作,确保支护到位和衬砌强度,防患于未然。

关键词:铁路隧道;二次衬砌;裂缝;治理;预防措施

中图分类号:TU94;U25 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2016)S2-0070-04

The Tongjin tunnel two lining cracking reason analysis and treatment

WU Fazhan

(China Railway Tunnel Group Co. Ltd., Luoyang 471009, Henan, P. R. China)

Abstract: Lining crack is a reflection of tunnel lining bearing force beyond its strength, the two lining cracking is the common tunnel disease, according to the Tongjin tunnel lining crack section two local incursion clearance, has carried on the analysis, classification of surrounding rock, groundwater and construction factors is the main reason leading to the lining cracking, take the demolition and reconstruction on the regulation failure lining first, strengthening the surrounding rock, to strengthen the monitoring of lining crack volume measurement, the removal of old lining, timely initial support, to ensure the construction safety. Put forward to prevent cracking measures, design a correct judgment of the rock level, the choice of support and lining parameters; construction standardized operation, to ensure the support in place and the strength of lining, nip in the bud.

Key words: railway tunnel; two lining; crack; control; prevention measures

隧道二次衬砌开裂影响结构稳定性和运营安全,隧道二次衬砌开裂的原因众多,工程中有“无隧不裂”的说法,杜晓玲等^[1]对湖底隧道大体积混凝土温度测试,分析隧道混凝土在升温阶段开裂的原因,可通过降温、加密和减细钢筋来对抗。武建广等^[2]从围岩分级方面探讨了隧道稳定性,隧道围岩分级是隧道支护参数设计和施工工艺确定的主要依据,直接影响着隧道施工和运营安全。叶飞等^[3]进行隧

道现场裂缝调查统计,数值模拟分析,地质因素、设计因素、施工因素等是导致隧道衬砌裂缝的主要原因,衬砌裂缝是隧道施工及运营中常见病害。同进隧道二次衬砌开裂段局部侵入净空,进行了原因分析,并提出相应对策。

1 工程概况

同进隧道位于西秦岭高中山区,大地构造属青

藏歹字形构造体系,褶皱断裂发育,隧道进口 DK248+171~DK248+191 原设计为Ⅲ级围岩,浅灰色板岩微晶结构,节理不发育,初期支护拱墙喷射 12 cm 厚 C25 混凝土,拱部 3 m 长 $\varphi 22$ 锚杆间距 1.2 m \times 1.5 m,拱部设 $\Phi 6$ 钢筋网片,网格尺寸 25 cm \times 25 cm,二次衬砌 C30 混凝土拱墙厚 40 cm,仰拱厚 45 cm。

开挖揭示围岩为竖向薄层板岩,节理裂隙发育,地下水呈股状-线状,经建设、监理、设计、施工单位四方会勘将围岩级别调整为Ⅳ级,预留变形量 30 cm,初期支护增设全环 I20b 钢架,间距 80 cm/榀,锁脚锚杆长 4.5 m,拱墙设 $\Phi 8$ 钢筋网片,网格尺寸 20 cm \times 20 cm,拱墙喷射混凝土 27 cm,径向固结注浆小导管长 4 m,间距 1.5 m \times 1.5 m,二次衬砌 C35 混凝土拱墙厚 45 cm,仰拱厚 50 cm,衬砌钢筋环向主筋 $\Phi 20$ 螺纹钢,间距 20 cm/根,纵向设 $\Phi 14$ 螺纹钢,间距 20 cm/根,设 $\Phi 8$ 箍筋。

2 衬砌开裂情况

DK248+176~DK248+188 段监控量测最大拱顶下沉 388 mm,最大水平收敛值 398 mm。2010 年 7 月 19 日按Ⅳ级围岩施做二次衬砌,8 d 后发现 DK248+188 左侧拱腰处出现裂纹,长 5.2 m,宽 20~40 cm,使用回弹法测试二次衬砌混凝土强度为 23.6 MPa;根据未衬砌段监控量测数据分析,围岩变形发生突变,当天拱顶下沉日最大下沉量为 54 mm(里程 DK248+210),日最大收敛量达 153 mm(里程 DK248+230)。DK248+184.5~DK248+188 左侧拱腰衬砌混凝土出现崩落,衬砌钢筋外露,裂缝长 8 m,宽 40~80 cm,防水结构破坏,衬砌面出现渗水,量测拱顶下沉 3 mm,拱腰处侵入衬砌净空 62 mm(图 1),以上情况表明 DK248+180~DK248+188 衬砌失效。



图 1 DK248+180~188 段裂缝

3 原因分析

衬砌裂缝是隧道破损的直接表现形式,反映了其承受应力超出强度的位置,包含了结构受力自较低状态发展至破裂的衬砌变形特征,是衬砌受力变化的具体指针^[4]。

3.1 围岩分级

隧道施工根据设计围岩级别给定的支护参数和衬砌型式,符合实际的围岩分级考虑地层岩性、构造、水文等工程地质,还遵循《铁路隧道设计规范》基本围岩分级和围岩修正分级。该隧道揭示的薄层板岩主要成份是砂质、钙质、碳质等,在节理裂隙的切割作用下被分成小块,围岩强度低,地下水侵蚀软化并减弱岩层间粘结力,施工期间多次出现大变形,导致初期支护喷混凝土表面开裂、甚至支护局部侵限。由于设计阶段未能对可能产生的围岩大变形充分预判,分级因素考虑不全,常规支护参数无法控制软岩大变形的发生。现场会勘通过调整围岩级别和支护措施加强等,控制大变形的发生,变更设计修正占施工地段的 95.8%(1865/1947)(表 1)。

表 1 变更设计修正统计

原设计		变更修正	
围岩级别	长度/m	调整内容	长度/m
Ⅲ	1 467	Ⅲ级变为Ⅳ级	1 390
		围岩级别未变, 支护措施加强	75
Ⅳ	430	围岩级别未变, 支护措施加强	400
V	50	未变更调整	0
合计	1 947		1 865

变更修正隧道设计对控制软岩大变形、保证施工和运营安全是必要的,按照以往惯例,上级对隧道Ⅰ类变更要求围岩连续变更达 300 万元以上,面临变更设计上报和审批难的困局,设计单位在变更量核算及上级批复过程中,对现场根据变更纪要施做的工程量进行大幅削减,如削减补强注浆、锁脚锚杆、拆换拱等控制围岩变形的措施,造成施工单位投入与产出严重失衡,更带来了初期支护无法到位的恶果。

3.2 地下水

爆破产生的裂隙为地下水进入隧道提供了必要的通道,隧道开挖改变了地下水渗流通道,向隧道汇

集,增加了隧道衬砌的外压力,静水压力作为附加荷载作用在衬砌上,动水压力对裂隙、结构面产生冲刷,通过岩体的破坏影响衬砌^[5];裂隙水流动带走岩体间的充填物,降低岩体稳定性,加速了岩体的崩解,迅速降低了岩体的承载力,造成岩体坍塌,衬砌开裂。

3.3 施工因素

由于大变形具有累积效应,持续时间长,如果等初期支护稳定后施做二次衬砌,则围岩变形不易控制,还易产生坍塌,适当提前施作二次衬砌,让二次衬砌分担部分荷载,承受后期围岩流变产生的荷载,对控制围岩变形,保证施工安全有利^[6],未来存在衬砌开裂的风险,可能使得二次衬砌承载过大,在围岩变形突变的情况下造成开裂。

4 失效衬砌治理

治理原则:分析裂缝产生的原因和性质,采取针对性的治理措施,裂缝处理后能保证衬砌原有承载力及防水、抗渗性能。“一次根治、不留后患”^[7]。对隧道衬砌严重开裂地段的治理采用拆除重建法进行整治^[8],拆除隧道既有的二次衬砌结构,施做新的钢筋混凝土结构。DK248+180~DK248+188 衬砌侵入净空限界,失去使用功能,进行结构抽换,拆除旧的Ⅳ级衬砌结构,按Ⅳ级加强段的参数重新施作新的衬砌。

现场加强对失效衬砌裂缝变形监控量测力度,随时掌握裂缝变形发展情况。对 DK248+171~191 段按照 1.5 m×1.5 m(纵×横)的间距,打设 4 m 长小导管注浆,采用高压注浆泵压注 425 号普通硅酸盐水泥配制的纯水泥浆,对衬砌背后该段围岩进行加固,深孔注浆固结地层,使其周围形成拱作用作用的“硬壳”,增强围岩稳定性。在裂缝的监控量测数据稳定,裂缝不再变化,且前后 2 组衬砌达到设计强度时,对该二次衬砌开裂失效段进行拆换。

为减少爆破振动对既有隧道围岩和支护结构的损伤,采用松动爆破技术方案。使用风镐在 DK248+188 环向开凿一条宽度 20 cm 深至围岩的环向通缝,起到阻断爆破震动波向保留混凝土方向延伸的作用。每次拆除长度为原支护的 2 榀钢架间距,爆破将衬砌混凝土剥离后,利用手持风镐将侵限初期支护的拱架按照分节长度剥离,对侵限部分完成拆除后,及时初喷混凝土,架立 I20b 钢架(间距 0.8 m/榀),完成初期支护拆换,抑制结构变形发展。

拆除的衬砌与保留的衬砌间防水层要能正常搭接,形成防水系统,防水板用热熔垫圈固定,铺挂时留足松弛度,防水板之间搭接宽度不小于 15 cm,采用充气法对防水板焊接质量进行检查。

采用整体式模板台车重新浇筑的衬砌混凝土,按照四方会勘确定的Ⅳ级加强参数施做,新绑扎的钢筋与保留的衬砌钢筋要正常搭接。混凝土的配合比、浇筑温度和振捣、衬砌养护各工序操作规范,衬砌混凝土达到设计强度后,对拱顶做注浆回填密实,使二次衬砌与初期支护密贴,共同受力。

5 预防措施

5.1 围岩分级标准

针对围岩分级缺陷和变更设计修正的弊端,软岩大变形隧道应在分析变形发生因素的前提下,对围岩进行合理分级。隧道产生大变形的因素主要有岩体结构因素:薄层竖向板岩节理发育,开挖后收敛变形一般较大;地层岩性因素:碳质板岩的抗剪强度、变形模量、弹性模量等参数较低;地下水因素:地下水加速了岩体的崩解,迅速降低了岩体的承载力;工程因素:隧道断面、支护措施、施工工艺等。根据围岩变形规律,以岩体特征为标准进行围岩分级,确定支护参数。

R-I 级岩体特征:层厚 >5 cm,钙质结构,石质较坚硬,岩石饱和单轴抗压强度 $R_c > 15$ MPa,受地质构造影响轻微,层间结合紧密,节理裂隙较发育,岩体较完整或较破碎,揉皱现象及泥化夹层不发育,含少量基岩裂隙水,岩层走向对隧道稳定性影响较小。

R-II 级岩体特征:层厚 <5 cm,泥质、钙质结构,岩层走向与洞轴线夹角 $>35^\circ$ 或平缓岩层,石质较软(5 MPa $<R_c \leq 15$ MPa),有泥化夹层及局部挤压破碎带,节理裂隙较发育,岩体较破碎-破碎,含少量基岩裂隙水。

R-III 级岩体特征:层厚 <5 cm,以泥质结构为主,岩层走向与洞轴线夹角 $<35^\circ$,石质较软(5 MPa $<R_c \leq 15$ MPa),受地质构造影响严重,有泥化夹层及局部挤压破碎带,揉皱小构造节理裂隙较发育,岩体较破碎-破碎,基岩裂隙水发育。

R-IV 级岩体特征:极软岩($R_c \leq 5$ MPa),包括构造挤压破碎带、产状紊乱或薄片状石质极软岩层,构造裂隙,基岩裂隙水发育。

根据施工阶段揭示的地质情况,通过适宜的围

岩分级标准,设计人员准确判断隧道的围岩级别,选用与之相对应的支护参数,控制围岩变形,有利于减少二次衬砌的承载,降低衬砌开裂风险。

5.2 地下水

针对地下水对衬砌的破坏作用,可利用地质雷达、红外探水,结合地质分析、超前钻探,查明地下水区域和路径,对水量不大的地下水,用钻孔疏导排出;对水量较大的地下水,采用注浆切断地下水的补给路径。地下水对围岩的软化、崩解可导致围岩蠕变,开挖后尽快施做初期支护,控制围岩变形。

5.3 设计与施工

软岩隧道变形较大,变形无收敛趋势,在注浆等措施控制变形效果不明显时,增加预留变形量可保证二次衬砌厚度和隧道净空,但软岩变形的持续性所产生的压力仍可导致二次衬砌开裂。设计方面要充分做好地质勘探,正确判断围岩类别,选择衬砌结构断面类型,加强初期支护和二次衬砌强度。施工方面加强施工中地质复查核实工作,开挖后的围岩情况与设计不符时,及时与设计单位沟通,做好设计变更^[9]。初期支护施做到位,根据对围岩位移收敛的监测情况确定施做二次衬砌的时机,合理地分配围岩、初期支护、二次衬砌所承担的应力,使围岩和衬砌在设计条件下共同作用,避免二次衬砌承载过大。增加二次衬砌脱模时间,使二次衬砌混凝土的承载能力提高速率高于围岩荷载的增加速率^[10],避免拆模过早,保证二次衬砌早期强度。

5.4 裂缝监测

隧道衬砌裂缝是多因素作用的结果,加强对既有裂缝的观测,对裂缝做出定位标记,并编号,调制稠度适中的浆体,在裂缝处设置灰饼,标出头部和尾部,定期检查灰饼是否开裂,以确定裂缝发展情况,了解隧道结构的健康状况,以便有针对性地提出治理措施。

6 结论

衬砌开裂处理必须依据实际情况,分析具体原

因,因地制宜地采取相应的措施加以整治,一次根治、不留后患。

对失效衬砌进行拆除重建时,首先加固周围的围岩,加强对衬砌裂纹的监控量测,掌握裂纹发展情况。

拆除旧衬砌时,要及时进行初期支护,抑制围岩和结构变形,确保施工安全。

设计方面正确判断围岩级别,选择支护和衬砌参数;施工方面规范操作,确保支护到位和衬砌强度,防患于未然。

参考文献:

- [1] 杜晓玲,赵世忠.大体积混凝土隧道裂缝分析及软件开发[J].施工技术,2010(5):22-25.
- [2] 武建广,朱洪莹.软岩大变形隧道围岩分级及支护参数适宜性探讨[J].现代隧道技术,2012,49(4):10-16.
- [3] 叶飞,何川,夏永旭.公路隧道衬砌裂缝的跟踪监测与分析研究[J].土木工程学报,2010,43(7):97-104.
- [4] 王泰典,林信宏,李佳翰,等.营运中隧道衬砌裂缝影像判释暨特征化与数字技术[J].隧道建设,2010,30(Supp1):100-108.
- [5] 李皓晖,虞晓卫,张旺兴,等.软岩隧道衬砌开裂机理分析及预防措施[J].施工技术,2014,43(18):74-77.
- [6] 刘国庆.高地应力软岩大变形隧道二次衬砌施做时机研究[J].现代隧道技术,2013,50(2):84-101.
- [7] 刘均红.既有铁路隧道衬砌开裂病害整治技术探讨[J].北方交通,2011(6):129-131.
- [8] 冯晓燕.隧道病害分级和衬砌裂损整治技术研究[D].北京:北方交通大学,2002.
- [9] 苏生.公路隧道二次衬砌开裂机理与抗裂性试验研究[D].杭州:浙江大学,2008.
- [10] 卢智强.绢云母片岩隧道大变形控制技术[J].隧道建设,2012(10):9-16.

(编辑 薛婧媛)