

文章编号:1006 - 2106(2014)02 - 0088 - 08

隧道衬砌混凝土裂缝的辨认及处治措施探讨*

吴治家**

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要:研究目的:摘要:研究目的:随着我国基础建设的不断投入,铁路及公路建设蓬勃发展,隧道数量也越来越多,但由于地质、施工、建筑材料等方面的原因,导致一些隧道衬砌开裂,威胁到运营安全,需要采用合适的方法进行处治,确保工程的经济性及结构的安全性。

研究结论:本文从衬砌混凝土裂缝产生的机理来分析裂缝的受力状况及产生原因,并量化病害等级,通过研究得出如下结论:(1)应根据病害等级采取裂缝嵌补、衬砌锚固、套衬等进行处治;(2)衬砌混凝土裂缝可以通过强化地质勘察、加强施工工艺控制来进行事前防范;(3)出现裂缝后,应进行原因分析和病害等级判定,再来选择合适的整治措施,保证结构及运营安全;(4)研究成果可用于既有铁路、公路隧道衬砌裂损病害整治,也可用于新建铁路、公路隧道衬砌裂损缺陷的预防、控制与处治。

关键词:隧道;裂缝;辨认;措施

中图分类号:U25 **文献标识码:**A

Exploration on the Identification and Treatment Measures of Tunnel Lining Concrete Cracks

WU Zhi - jia

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd, Wuhan, Hubei 430063, China)

Abstract: Research purposes: The continuous input in infrastructure of China and the flourish of railway and highway development give rise to an increasing number of tunnels. However, due to the geology, construction, building materials and some other factors, cracks occur in tunnel lining, threatening the operation safety. Then it is necessary to take measures to treat the situation in order to ensure the safety and economy of engineering structure.

Research conclusions: On the basis of the generation mechanism of lining concrete cracks, the following article gives an analysis of the crack stress condition and quantifies the disease rating, according to which different measures are adopted. These measures include crack repairing, lining anchor, sleeve lining and so on. The research findings show that the prevention of concrete cracks can be realized by the enhancement of geological survey and construction process, besides, the structure and operation safety can be guaranteed by appropriate treatments which are decided by the analysis of cracks condition and disease rating. The findings on one hand can be used to cure the tunnel lining cracks of existing railways and highways and on the other hand to prevent, control and treat the tunnel lining cracks of new railways and highways.

Key words: tunnel; cracks; identification; measures

1 研究背景

据统计,到 2002 年底我国已拥有 8 600 多座铁路、公路隧道,总长度达到 4 370 多公里,居世界第一。

随着国家基础建设的不断投入及城镇化发展,高速铁路、公路建设蓬勃发展,隧道数量也越来越多,但由于受地质、施工、设计、建筑材料等各方面的原因,导致一些隧道建成后不久便出现衬砌开裂、龟裂现象,严重危

* 收稿日期:2013 - 09 - 24

** 作者简介:吴治家,1970 年出生,男,高级工程师。

及到行车安全。本文在详细分析衬砌混凝土裂缝产生的机理,并判定衬砌裂缝病害等级的基础上,提出了有针对性的处治措施,为类似病害及缺陷整治提供了工程借鉴。

2 裂缝的分类

2.1 按裂缝的受力情况进行分类

按裂缝的受力情况可分为:压裂性裂缝、拉裂性裂缝、剪裂性裂缝,如表 1 所示。

表 1 按裂缝受力情况分类	
类别	图例
压裂性裂缝:其边缘呈压碎状。严重者,受压区表面产生鱼鳞状碎片剥落、带状压劈掉块、酥化等现象。裂缝发展方向不规则,有封闭或不封闭的环形、斜向、横向及纵向等交错割裂	
拉裂性裂缝:其边缘较为整齐,大致沿隧道纵向发展,但也有斜向拉裂的。裂缝深度方向大致为径向,裂缝宽度随深度逐渐减小。严重受拉断裂者,常伴有错动	
剪裂性裂缝:其宽度在表面与深处多大致相同,边缘较为整齐,衬砌在裂缝两侧沿剪切方向有错动。剪裂与拉裂或压裂常有密切联系	

2.2 按裂缝的产生原因进行分类

按裂缝的产生原因可分为:与围岩压力无关的开裂;与围岩压力有关的开裂。与围岩压力无关的开裂又分为:与使用条件、环境条件有关的开裂,如表 2 所示;与材料性质有关的开裂,如表 3 所示;与施工有关的开裂,如表 4 所示。

表 2 与使用条件、环境条件有关的开裂	
类别	图例
冻融环境:受潮混凝土在负温条件下,由于水分结冰、融化反复作用造成混凝土受冻破坏。在拱脚、墙脚及接缝处出现斜向开裂和纵向开裂、剥落等	

续表 2 与使用条件、环境条件有关的开裂	
类别	图例
氯盐环境:侵入混凝土表面,多数在钢筋处出现开裂,部分混凝土剥落。露出的钢筋锈蚀发展很快,严重削弱了钢筋的承载力和延性	
化学腐蚀环境:硫酸盐和酸类物质等发生的腐蚀破坏,表现特征为表面发白,损害从棱角处开始,随后裂缝开展并造成混凝土表面剥落,最终使混凝土成为一种易碎,甚至松散的状态	
温度差:外部高温或高湿,内部低温或干燥的场合,开裂发生在低温或干燥侧。在初期阶段,开裂没有贯通,但在反复作用下,随时间而逐渐贯通	

表 3 与材料性质有关的开裂	
类别	图例
水泥的水化热:厚度大($t=80\text{ cm}$ 以上)的断面易发生	
碱性集料反应:混凝土原材料(主要是水泥、活性掺合料和外加剂)携带的可溶性碱在有水的作用下和骨料中含有的碱活性物质发生的反应,生成可吸水肿胀的凝胶或体积膨胀的晶体,使混凝土发生膨胀开裂	
水泥的异常凝结:早期出现短而不规则的开裂	

续表 3 与材料性质有关的开裂


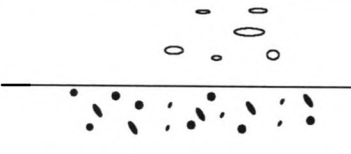
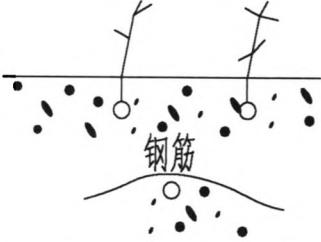
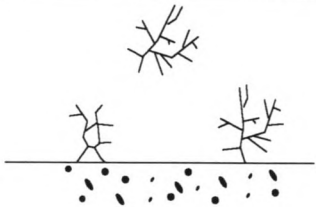
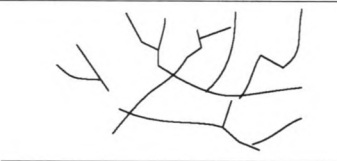
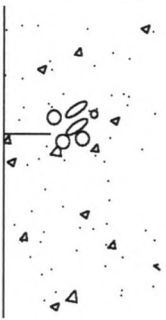
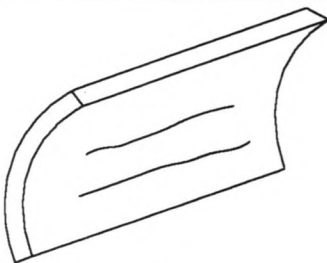
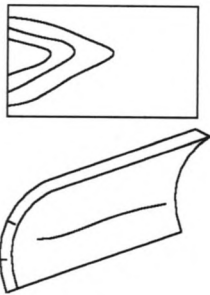
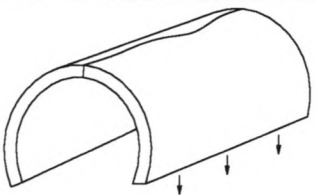
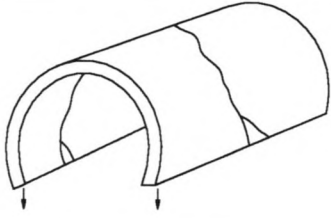
类别	图例
集料中的泥分:随混凝土的干燥出现不规则的网状开裂	
风化岩和低质量的集料:发生爆裂状开裂	
下沉开裂:发生在上部钢筋的上部,混凝土灌注后 1~2 h,沿钢筋出现	

表 4 与施工有关的开裂

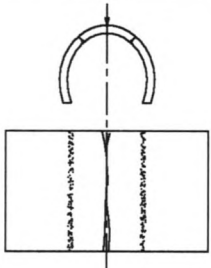
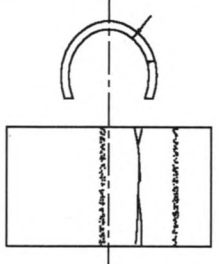
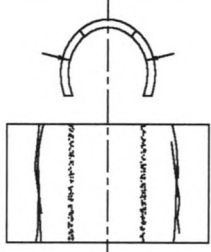
类别	图例
混合料分散不均匀:有膨胀性的和收缩性的材料,局部发生	
拌和时间过长:运输时间过长时发生,呈网状	
震捣不充分:震捣不充分,导致二次衬砌内混凝土脱空或不密实,或拱顶存在浮浆,在列车动载的长期作用下,二衬过薄处会发生开裂	
灌注过快:因混凝土沉降而出现	

续表 4 与施工有关的开裂

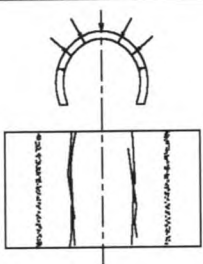
类别	图例
施工缝(接茬缝):由于停电、机械故障等原因迫使混凝土浇筑中断时间超过混凝土的初凝时间,继续在原混凝土表面浇筑混凝土,导致新旧混凝土接茬间出现裂缝,俗称“冷缝”	
支撑下沉:因隧底未清理干净或纵向不均匀沉降原因导致一侧脚底下沉	
拆模过早:过早拆模,混凝土强度未达到设计强度过早承受混凝土自重或围岩压力	

与围岩压力有关的开裂如表 5 所示。

表 5 与围岩压力有关的开裂

类别	图例
垂直方向线状荷载:在拱顶附近作用线状荷载,拱顶发生拉裂,拱腰内表面发生压溃。随变形的发展,拱顶拉裂的围岩侧产生压溃	
斜向线状荷载:拱腰附近作用有线状荷载,在荷载位置的衬砌内表面产生拉裂,在拉裂的两侧发生压溃。变形继续发展时,在荷载位置拉裂的围岩侧出现压溃	
水平方向线状荷载:在拱墙两侧(或一侧)有线状荷载作用时,在荷载位置的内侧产生拉裂。变形继续发展时,从拱脚到拱顶出现大范围的压溃。拱顶衬砌可能剥落	

续表 5 与围岩压力有关的开裂

类别	图例
垂直方向分布荷载: 在拱部作用分布荷载时,也就是隧道围岩压力很大时,拱腰发生拉裂	

3 裂缝的病害等级判定

通过对裂缝的性质及产生机理的认知,可以对裂缝产生的原因及受力状态进行定性;但是否需要整治,整治方案是否经济可靠,需要一个定量的评价。定量评价可以参照《铁路运营隧道衬砌安全等级评定暂行规定》(铁计函[2004]174号),该规定把衬砌结构的病害划分为轻微、较严重、严重、极严重四个等级,如表6所示,根据裂缝的分类并对照此表对衬砌裂缝进行分级,以确定处治的范围及措施。

表 6 衬砌结构病害判定标准

序号	等级		轻微	较严重	严重	极严重
	类别					
1	衬砌裂缝		衬砌有收缩裂纹或环向裂纹	裂纹多于三条、有交叉;裂纹长度小于5 m、宽度小于3 mm	裂纹为网状、有剥落掉块可能;裂纹长度5 ~ 10 m,宽度3 ~ 5 mm;裂纹错位长度小于5 m、宽度小于3 mm	裂纹为网状、有剥落掉块可能;裂纹长度大于10 m,宽度大于5 mm;裂纹错位长度大于5 m、宽度大于3 mm
2	衬砌位移或变形		-	$V < 3 \text{ mm/年}$	$3 \text{ mm/年} \leq V \leq 10 \text{ mm/年}$	$V > 10 \text{ mm/年}$
3	衬砌压溃或剥落		衬砌有局部风化剥落	拱部压溃范围小于1 m ² ,剥落掉块厚度小于30 mm	拱部压溃范围大于1 m ² 、小于3 m ² ,剥落掉块厚度30 ~ 50 mm	拱部压溃范围大于3 m ² ,剥落掉块厚度大于衬砌设计厚度的1/4
4	衬砌腐蚀		-	衬砌腐蚀厚度小于设计厚度的1/5	衬砌腐蚀厚度大于设计厚度的1/5,小于或等于2/5	衬砌腐蚀厚度大于设计厚度的2/5

- 注:1. 衬砌裂纹均指尚在发展中的裂纹。当裂纹已稳定,其病害程度应降低一级;当裂纹发展较快,其病害程度应提高一级。
2. 衬砌裂纹呈密集状态、平行裂纹多于三条或出现大量环向非施工缝裂纹时,其病害程度应提高一级。衬砌裂纹如以斜向受力裂纹为主,其病害等级应提高一级。
3. 发现衬砌有位移或变形时,用净空位移计量测其发展速度;当衬砌位移或变形发展趋势呈加速趋势时,其病害等级应提高一级。衬砌位移或变形速度 V 的变形值,是基于直边墙无仰拱的衬砌结构,当为曲边墙有仰拱衬砌结构时,其病害等级应提高一级。
4. 因滑坡或其他原因增加外力引起的衬砌裂纹、变形或轨道中线位移,其病害量化指标应另行确定。

4 裂缝的处治

根据裂缝的分类及病害等级判定标准进行整治,对非受力缝或轻微级裂缝可暂缓整治,对较严重、严重级应予以整治,对极严重级应立即整治。整治的主要方法有:表面修补法;灌浆、嵌缝封堵法;结构补强法;拆除重建法。

4.1 表面修补法

表面修补法是一种简单、常见的修补方法,它主要适用于稳定和对结构承载能力没有影响的衬砌表面微

裂缝处理。通常的处理措施是在裂缝的表面涂抹渗透结晶型水泥浆液、防水砂浆等材料。混凝土微裂缝修补图如图1所示。

4.2 灌浆、嵌缝封堵法

灌浆法主要适用于对结构整体性有影响或有防渗要求的混凝土裂缝的修补,它是利用压力设备将胶结材料压入混凝土的裂缝中,胶结材料硬化后与混凝土形成一个整体,从而起到封堵加固的目的。常用的胶结材料有水泥浆、环氧树脂、甲基丙烯酸酯、聚氨酯等化学材料。混凝土裂缝内注浆堵缝图如图2所示。

嵌缝法是裂缝封堵中最常用的一种方法,它通常是沿裂缝凿槽,在槽中嵌填塑性或刚性止水材料,以达到封闭裂缝的目的。常用的塑性材料有聚氯乙烯胶泥、塑料油膏、丁基橡胶等等;常用的刚性止水材料为聚合物水泥砂浆。混凝土裂缝凿槽嵌缝图如图3所示。

4.3 结构补强法

当裂缝影响到混凝土结构的性能时,就要考虑采取结构补强法对衬砌混凝土结构进行处理。结构补强的常用方法有:围岩注浆、素喷混凝土、网喷混凝土、锚杆加固、钢带加固、嵌钢拱架、增加套衬(套拱)等,根据病害情况采用单一或联合措施进行结构补强。

4.3.1 围岩注浆

通过衬砌背后围岩注浆来固结围岩,以提高围岩的承载力,并充填衬砌背后空洞,使衬砌均匀受力,从而达到阻止衬砌结构继续变形或破坏。同时,浆液通过充填岩体裂(孔)隙(洞),降低地层透水系数,起到修补衬砌混凝土结构裂缝和阻水双重目的。通常采用

的浆液有普通硅酸盐水泥(或特殊)单液浆、水泥水玻璃双组份浆液及化学浆液等。对遇到较高可溶性硫酸盐的地层或地下水地段应采用抗硫酸盐水泥。

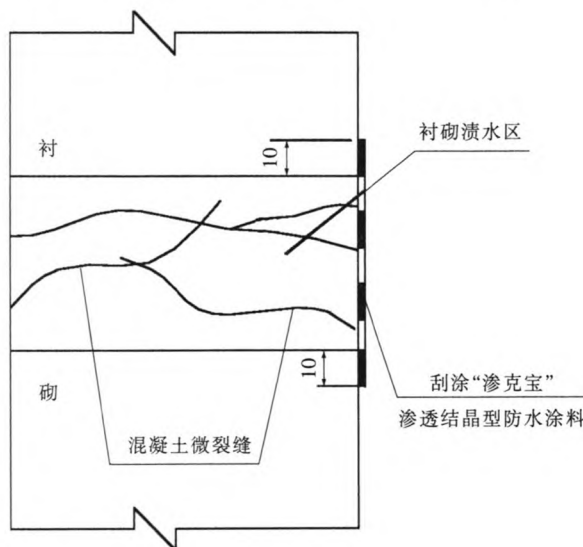


图1 混凝土微裂缝修补图(单位:cm)

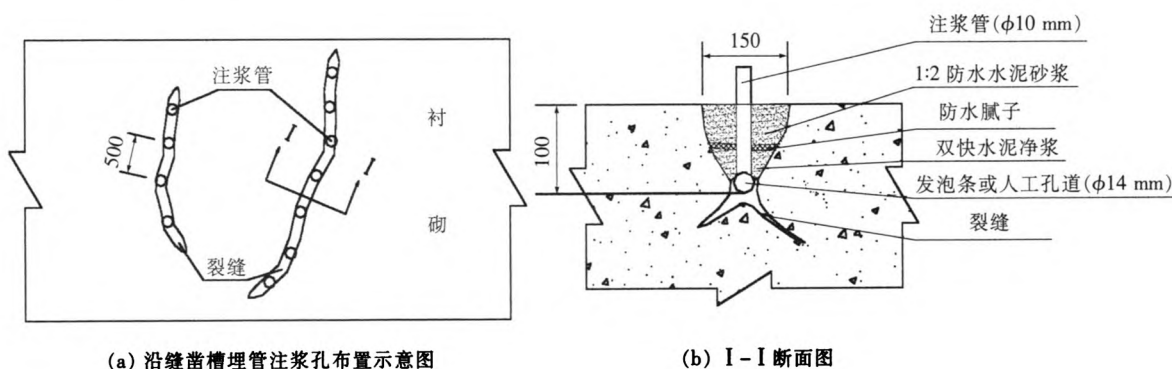


图2 混凝土裂缝内注浆堵缝图(单位:mm)

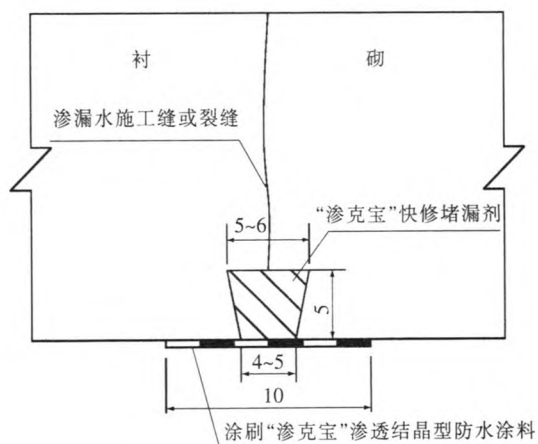


图3 混凝土裂缝凿槽嵌缝图(单位:cm)

裂较严重级,可采用素喷混凝土进行结构补强。为增强素喷混凝土的抗压、抗剪、抗冲击力,提高素喷混凝土的承载能力,可掺加混合料质量的1%~3%的钢纤维。喷射混凝土宜采用湿喷工艺,喷层厚度不小于5 cm。

4.3.3 网喷混凝土

对于衬砌压溃或开裂严重级,可采用网喷混凝土进行结构补强。网喷混凝土是在素喷混凝土中增加钢筋网,钢筋网一般采用 $\phi 6$ 或 $\phi 8$ HPB300钢筋,网格间距20~25 cm。

4.3.4 锚杆加固

锚杆加固衬砌,一般采用不小于 $\phi 25$ 的中空注浆锚杆。中空注浆锚杆一方面通过改变岩体的力学性能,提高衬砌背后围岩的粘聚力和内摩擦角,来提高岩体的强度和完整性,减轻围岩对衬砌的挤压,阻止混凝土

4.3.2 素喷混凝土

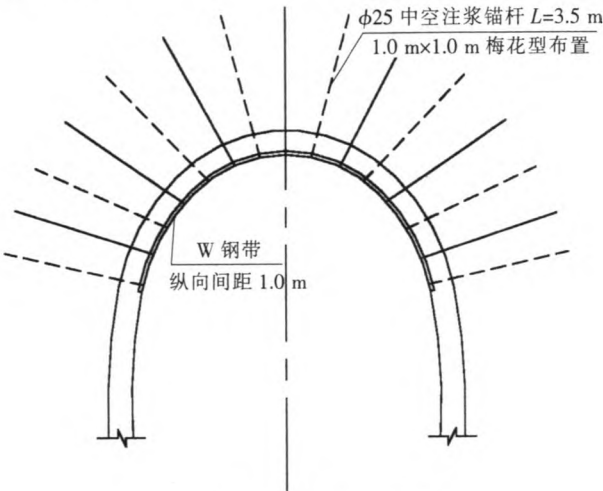
在隧道建筑限界允许的情况下,若衬砌压溃或开

土裂缝的进一步发展;另一方面,通过注浆封闭缝隙后阻止了裂隙水对衬砌的侵害,起到防渗补漏的效果。锚杆的有效长度应穿过衬砌背后回填材料到达围岩体内一定深度,常规情况下,锚杆为3~6 m长,间距不应大于锚杆长度的1/2,梅花型布置。

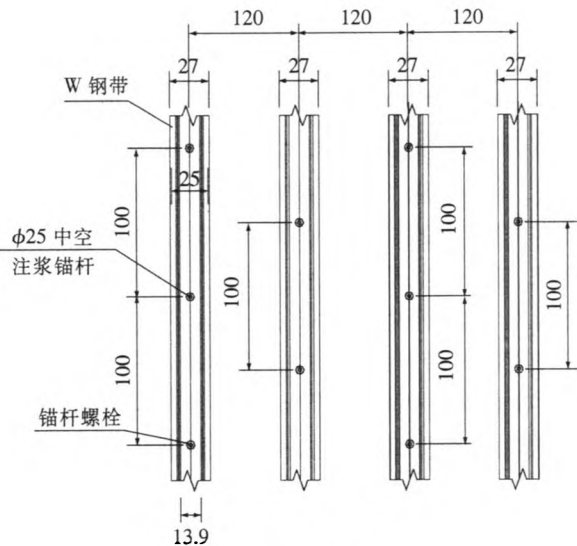
中空注浆锚杆一般联合网喷、钢带和嵌钢拱架等综合措施补强。对病害等级为较严重级的裂缝可以单独采用锚杆加固,加固后应对裂缝进行嵌补。

4.3.5 嵌钢带加固

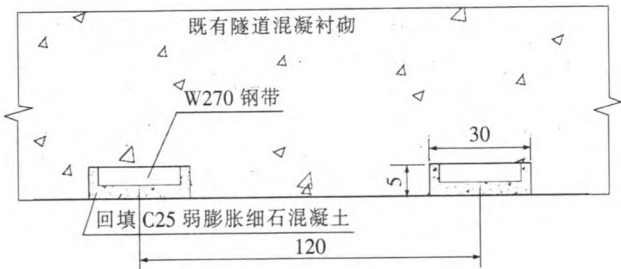
对衬砌压溃或开裂严重级,且隧道净空无富裕的情况下,可采用嵌W镀锌钢带加固方法。它的应用原理是:通过W钢带把分散的多根锚杆联结起来形成一个整体承载结构,显著地提高锚杆的整体效果,从而有效阻止混凝土裂缝的进一步发展。经实验,W钢带与平钢相比,W钢带抗弯截面模量提高37倍,刚度提高70倍左右,抗拉强度提高12%~15%。嵌钢带加固图如图4所示。



(a) 嵌钢带加固衬砌设计图



(b) W 钢带纵向布置图



(c) I-I 剖面图

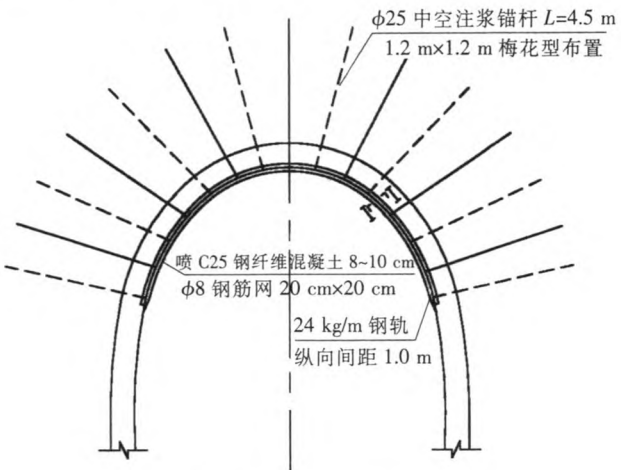
图4 嵌钢带加固图(单位:除标注者外均为 cm)

在隧道净空允许的情况下,嵌钢带后如联合网喷混凝土进行补强,效果更佳。

4.3.6 嵌钢拱架加固

对衬砌压溃或开裂极严重级,且隧道结构尚未失稳且受内净空限制的情况下,可采用嵌钢拱架加固方法。主要施工方法:对拟加固段采用 I18 钢拱架进行临时支撑(间距1 m 1 榀)一对拟加固段采用中空锚杆注浆加固一开槽一嵌钢拱架一对钢拱架与衬砌之间的空隙进行回填注浆一微膨胀混凝土封闭钢拱架一拆除临时支撑。钢拱架应根据衬砌厚度、内净空、病害程度等因素确定型号,一般采用 11~38 kg/m 轻型旧钢轨,也可以采用 I14~I20 工字钢、H12~H18 型钢。钢拱架间距不宜过小,以免凿槽过密影响衬砌的完整性,间距以 0.5~1.2 m 为宜,钢拱架应现场量测后制作。如衬砌内净空允许,钢拱架不必全部嵌入原衬砌圬工内,但外露部分应加做混凝土保护层,钢拱架之间应设纵向连接钢筋,使之形成一个整体,便于共同受力。

在隧道净空允许的情况下,嵌钢拱架后如联合网喷混凝土进行补强,效果更佳。嵌钢拱架+锚喷网加固图如图5所示。



(a) 嵌钢轨拱架+锚喷网加固图

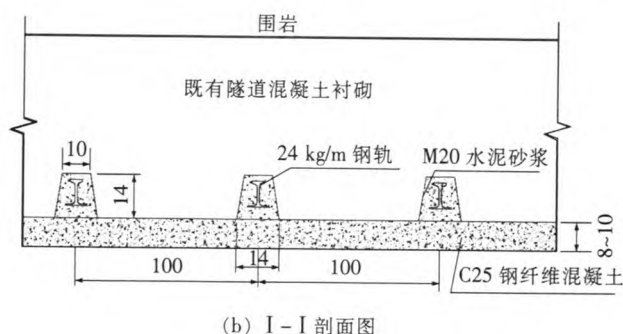


图5 嵌钢拱架+锚喷网加固图(单位:除标注者外均为 cm)

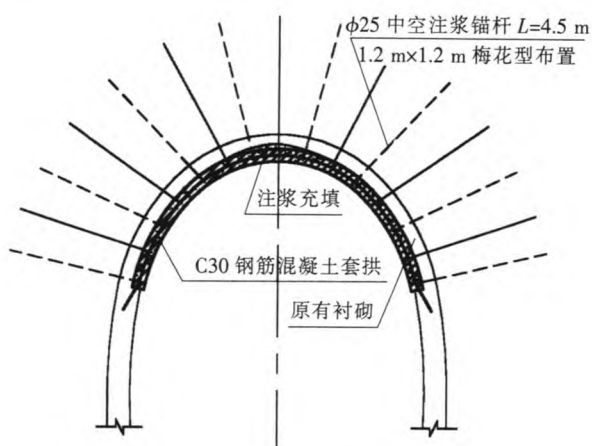
4.3.7 套衬(套拱)加固

对衬砌压溃或开裂极严重级,且隧道结构尚未完全丧失承载能力,且隧道内净空允许的情况下,可以通过在既有衬砌内表面增加套衬(套拱)来加强原衬砌,制止衬砌裂缝进一步发展。当原衬砌已接近丧失承载能力,但由于其他原因(如地质很差,或修建时发生过大量坍塌等)不宜或不允许拆除重建衬砌时,亦可考虑采用套衬(套拱)加固。套衬(套拱)的厚度一般采用 20~35 cm、双层钢筋。套衬(套拱)施工前,应先对原衬砌进行局部补强和防渗漏处理;如增设套衬应按新建衬砌的标准设置防排水系统,如只在拱部增设套拱,套拱与原衬砌之间应设置锚杆或钎钉连接;套衬(套拱)施工时,应预留回填注浆管,模筑完成后,要进行回填注浆,确保新旧衬砌密贴,不留空隙。套衬(套拱)加固图如图6所示。

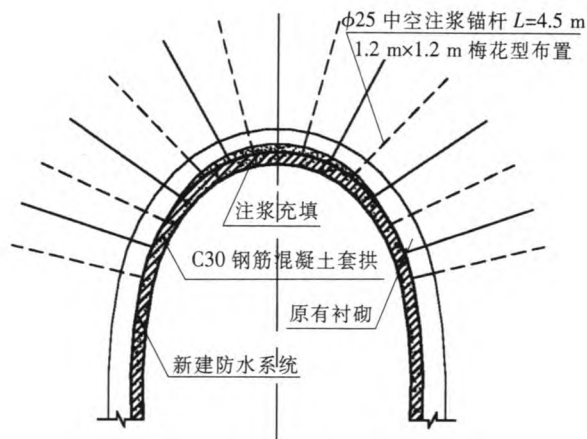
4.4 拆除重建法

对衬砌压溃或开裂极严重级,原有衬砌已基本丧失承载能力,已影响到行车安全的,则应考虑拆除旧衬砌,重新施作新衬砌。新建衬砌的型式和结构尺寸,可结合原衬砌病害产生原因和围岩压力具体情况,参照新建隧道衬砌的标准来拟定。新建衬砌采用钢筋(钢拱架)混凝土结构。新建衬砌一般采用“跳槽开挖、分段施工”的方法进行施工,施工前先对拟拆除段前后 5~10 m 范围内采用钢拱架进行临时支护,对拟拆除段衬砌背后围岩进行注浆固结,以防衬砌拆除后围岩坍塌。在全封闭封锁施工的条件下,跳槽间距可以按一模混凝土长度 8~12 m 进行拆除重建,可以采用静态破碎及控制爆破技术进行拆除,新建衬砌采用钢筋混凝土衬砌。如不能完全封锁,只有“天窗”点施工条件,跳槽间距应间隔 2~3 m 为宜,采用人工拆除,新建衬砌采用钢拱架混凝土衬砌为宜。

钢拱架混凝土衬砌施工方法:对拟拆除段前后 5~10 m 范围内采用钢拱架进行临时支护—对拟拆除段衬砌背后围岩进行注浆固结—在既有衬砌上开槽



(a) 套拱加固图



(b) 套拱加固图

图6 套衬(套拱)加固图

(切透衬砌)—嵌入钢拱架或钢花拱,顶在初支或围岩内表面—拆除两钢拱架之间剩余混凝土—用小模板灌注混凝土—养护—拆模—转入下一段施工。

5 结论

据日本和原铁道部 2000 年左右所做的相关统计资料,目前运营隧道失格率为 65% 左右,其中渗漏水最多,衬砌裂损病害次之。衬砌裂损相比渗漏水危害性更大,不仅降低了隧道的抗渗能力,影响了隧道的使用功能,更重要的是降低了隧道结构的承载能力,如任其发展,必将危及行车安全。因此对隧道衬砌病害在全面调查、检测评估的基础上,进行正确分析与辨认,确定合理的处治方案,做到彻底整治、不留后患,尤为必要。本研究结果已运用于京九、宜万等铁路隧道、十字垭、翠竹岭等公路隧道的衬砌裂损病害整治中,也可用于新建和在建铁路、公路隧道衬砌裂损缺陷的预防与控制。

参考文献:

[1] 关宝树. 隧道工程维修管理要点集[M]. 北京:人民交通出版社, 2004.
Guang Baoshu. Management of Tunnel Engineering Repair Set[M]. Beijing: China Communications Press, 2004.

[2] 铁道部第二勘测设计院. 铁路工程设计技术手册(隧道)[K]. 北京:1995.6
The Second Survey Design Institute Ministry of Railways. Technical Manual of Railway Engineering Design[K]. Beijing: 1995.6

[3] 铁计函[2004]174号, 铁路运营隧道衬砌安全等级评定暂行规定[S].
Iron Letter [2004], No. 174, Ministry of Railways. Provisional Rules of Railway Tunnel Lining Safety Rating[S].

[4] 吴江滨,张顶立,王梦恕. 铁路运营隧道病害现状及检测评估[J]. 中国安全科学学报,2003(6):49-52.
Wu Jiangbing, Zhang Dingli, Wang Mengshu. Present Situation and Evaluation of Railway Tunnel Lining[J]. China Safety Science Journal,2003(6):49-52.

[5] 陈建勋,罗彦斌,姜久纯. 运营公路隧道安全评估[J]. 现代隧道技术,2006(4):68-71.
Chen Jianxun, Luo Yanbing, Jiang Jiuchun. Safety Evaluation of Operating Highway Tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology,2006(4):68-71.

[6] 史利广. W型钢带在铁路隧道病害整理中的应用[J]. 科技情报开发与经济,2008(3):210-211.
Shi Liguang. The Application of W Steel Band in Railway Tunnel Diseases[J]. Sci-Tech Information Development &Economy[J]. 2008(3):210-211.

[7] 杨书江. 隧道衬砌混凝土裂缝的成因与防治[J]. 西部探矿工程,2002(S1):169-171.
Yang Shujiang. The Cause of Tunnel Lining Cracks and the Prevention and Control [J]. West-china Exploration Engineering,2002(S1):169-171.

[8] 赵国旗,朱鹏勇. 铁路隧道衬砌开裂病害整治方法初探[J]. 铁道工程学报,1997(3):85-91.
Zhao Guoqi, Zhu Pengyong . A Preliminary Study of Treatments on Railway Tunnel Lining Cracks Defects [J]. Journal of Railway Engineering Society,1997(3):85-91.

(编辑 梅志山)

(上接第 40 页 From P. 40)

参考文献:

[1] TB 10102—2010, 铁路工程土工试验规程[S].
TB 10102—2010, Code for Soil Test of Railway Engineering[S].

[2] 铁建设[2010]241号, 高速铁路路基工程施工技术指南[S].
Railway Engineering [2010] 241, Technical Guide for Construction of High-speed Railway Earth Structure Engineering[S].

[3] SL 237—1999, 土工试验规程[S].
SL 237—1999, Specification of Soil Test[S].

[4] GB/T 50123—1999, 土工试验方法标准[S].
GB/T 50123—1999, Standard for Soil Test Method[S].

[5] 王卉. 颗粒分析试验误差产生的原因[J]. 资源环境与工程,2011(5):21-23.
Wang Hui. The Causes of the Error in Grain Size Analysis Experiment, Resources Environment &Engineering, 2011(5):21-23.

[6] 李瑜霞. 颗粒分析试验研究[J]. 岩土工程技术,2010(4):35-38.
Li Yuxia. Experimental Study of Gradation Test[J]. Geotechnical Engineering Technique,2010(8):35-38.

[7] 吴全美. 颗粒分析试验密度计法的探讨[J]. 城市建设理论研究,2013(7):11-13.
Wu Quanmei. Study of Densimeter Method in Grain Analysis Test[J]. Theory Study of City Development, 2013(7):11-13.

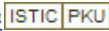
[8] 易南概,等. 颗粒分析试验中密度计法改进的探讨[J]. 山西建筑,2001(1):26-27.
Yi Nangai, etc. Study of the Improvement of Densimeter Method in Grain Analysis Test[J]. Shanxi Architecture,2001(1):26-27.

[9] 任丽元,等. 粘土中胶粒对密度计法颗粒分析试验的影响的探讨[J]. 山东水利,2008(10):7-10.
Ren Liyuan, etc. Study of the Impact of Particle in Clayey soil on Densimeter Method in Grain Analysis Test[J]. Shandong Water Resources,2008(10):7-10.

[10] 肖吉敏,等. 铁路工程岩土化学分析规程执行中应注意的问题[J]. 铁道工程学报,2009(8):37-40.
Xiao Jimin, etc. The Issues for Caution on Implement of Code for Rock and Soil Chemical Analyses for Railway Engineering [J]. Journal of Railway Engineering Society,2009(8):37-40.

(编辑 曹淑荣)

隧道衬砌混凝土裂缝的辨认及处治措施探讨

作者: 吴治家, WU Zhi-jia
作者单位: 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉, 430063
刊名: 铁道工程学报 
英文刊名: Journal of Railway Engineering Society
年, 卷(期): 2014(2)

参考文献(8条)

1. 关宝树 隧道工程维修管理要点集 2004
2. 铁道部第二勘测设计院 铁路工程设计技术手册(隧道) 1995
3. 铁路运营隧道衬砌安全等级评定暂行规定
4. 吴江滨;张顶立;王梦恕 铁路运营隧道病害现状及检测评估[期刊论文]-中国安全科学学报 2003(06)
5. 陈建勋;罗彦斌;姜久纯 运营公路隧道安全评估[期刊论文]-现代隧道技术 2006(04)
6. 史利广 W型钢带在铁路隧道病害整理中的应用 2008(03)
7. 杨书江 隧道衬砌混凝土裂缝的成因与防治[期刊论文]-西部探矿工程 2002(z1)
8. 赵国旗;朱鹏勇 铁路隧道衬砌开裂病害整治方法初探[期刊论文]-铁道工程学报 1997(03)

引用本文格式: 吴治家, WU Zhi-jia 隧道衬砌混凝土裂缝的辨认及处治措施探讨[期刊论文]-铁道工程学报 2014(2)