

铁路隧道衬砌开裂病害整治方法初探

赵国旗* 朱鹏勇

(铁道部第十六工程局)

提 要 分析了衬砌开裂的成因,归纳出衬砌开裂的性质和特点,提出整治衬砌开裂病害的原则、措施和施工方法。对铁路隧道衬砌病害整治有借鉴与指导作用。

主题词 铁路隧道 衬砌开裂病害 整治措施

铁路隧道衬砌是用来承受地层的压力,阻止坑道周围地层的变形和地下水的渗漏,防止岩石的风化和坍落,维护坑道轮廓不侵入建筑限界的范围,以保证行车安全。但由于工程地质条件、施工方法等诸多因素的影响,有时会导致部分衬砌开裂,甚至侵入建筑限界。因此,为保证铁路运营安全,需要对隧道衬砌开裂进行整治。

1 衬砌裂缝的成因及稳定性监测

1.1 衬砌裂缝的原因分析

隧道衬砌结构受力破坏产生的裂缝,是衬砌受力状态的综合反映。裂缝的部位和性质与衬砌结构形式、结构几何尺寸、围岩压力大小及分布、施工技术、工程质量及建筑材料等因素有密切关系。在施工中引起开裂的主要原因是:

- (1)拱、墙衬砌后,混凝土未达到规定强度拆除拱、墙架。
- (2)在先拱后墙法施工中马口开挖过长或使拱脚悬空时间过长,或边墙封口不严。
- (3)衬砌背后回填不密实或压浆不及时。
- (4)衬砌紧跟开挖,施工放炮距衬砌较近,或装药量较多。
- (5)衬砌厚度不够,施工质量不好。
- (6)偏压隧道和洞口地段,因山坡不稳定,偏压过大,刷方减载措施不力。

1.2 裂缝稳定性监测

隧道衬砌发现裂缝后,应及时进行监测并做好记录。常用的观测方法即在裂缝上每隔5~

* 本文收稿日期 1997-05-20 赵国旗 34岁 工程师 铁道部第十六工程局二处 天津 邮编:300162

10 m 做一组混凝土观察块,以观测裂缝发展变化的趋势。待其发展到稳定状态后,才能进行处理,否则不能获得满意的效果。

1.3 裂缝宽度和深度的调查

为了更好地掌握裂缝实际情况,在治理前,必须对裂缝进行全面调查,以决定处理方案。对裂缝的宽度,一般用读数显微镜进行量测或用裂缝宽度检验卡。对重要部位上的裂缝,必要时,进行钻孔取样和压水,以摸清其深度和走向,有条件时可用钻孔摄影、钻孔电视或超声波等方法检查。

2 衬砌裂缝的稳定性分析

2.1 裂缝的性质

压裂性裂缝。裂缝边缘呈压碎状。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,有封闭的环形、斜向、横向及纵向等交错割裂。

拉裂性裂缝。裂缝的边缘较为整齐。裂缝大致沿隧道纵向发展,但也有斜向拉裂的。裂缝深度方向为径向,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。裂缝的宽度,在表面与深处大致相同,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关系。

2.2 裂缝位置与结构形式、围岩压力的关系

对部分运营和新建铁路隧道所进行的衬砌裂缝调查表明,在中等强度岩层的隧道,衬砌拱部的开裂,以拱顶内缘压裂、拱腰内缘拉裂为较多,且在尖拱形衬砌较为明显。在边墙部位,则以边墙中部以上拉裂为较多。在傍山(偏压)隧道,以靠山侧拱腰拉裂较多,这与围岩压力的分布不均匀有关。

2.3 开裂衬砌结构的稳定性分析

2.3.1 仅拱圈部分出现一些宽度不大的受拉性裂缝,衬砌开裂断面受压区应力尚未达到抗压极限强度,截面形成塑性铰,拱圈尚有一定的强度储备,故衬砌的安全仍可保证。

2.3.2 拱圈截面内缘出现压裂性破碎;或内缘出现宽度较大的拉裂性裂缝,而外缘混凝土也可能已压碎。则衬砌截面的有效面积已大为减小,并产生较大的局部压缩变形,此时,若裂缝出现两条以上,或边墙也同时发生移动,就可能使衬砌丧失稳定。

2.3.3 衬砌出现剪切裂缝,并沿剪裂面发生错动,则衬砌截面已断裂,衬砌容易丧失稳定。

3 裂缝整治方法

隧道衬砌结构出现裂缝,有的破坏结构整体性,降低结构刚度,影响结构承载力;有的虽对承载能力无多大影响,但会引起钢筋锈蚀(复合衬砌结构),降低耐久性,或发生渗漏,影响铁路运营安全。因此,应根据裂缝性质、大小、结构受力情况和结构稳定性要求,区别情况,及时进行

治理。

3.1 裂缝整治原则

- (1)必须充分了解设计意图和技术要求,严格遵循设计和施工规范的有关规定。
- (2)应认真分析裂缝产生的原因和性质,根据不同受力情况和使用要求,分别采取不同的治理方法。
- (3)裂缝处理后应能保证结构原有的承载能力、整体性以及防水、抗渗性能。
- (4)防止进一步人为的损伤结构,尽量避免大动大补,并尽可能保持原结构的外观。
- (5)处理方法应从实际出发,在安全可靠的基础上,要考虑技术上的可能性,力求施工简单易行,以符合经济合理的原则。

3.2 隧道衬砌裂缝处理与结构加固

对于隧道衬砌裂缝来说,当裂缝未贯通混凝土衬砌断面时,裂缝处理采用嵌补的方法;当裂缝贯通衬砌断面时,裂缝处理采用化学灌浆或结构加固的方法。

3.2.1 裂缝嵌补

新建铁路隧道多为电气化隧道,因此对衬砌结构防渗有较高要求,裂缝嵌补多由环氧树脂嵌缝。因为环氧树脂灌浆材料的粘结力和内聚力均大于混凝土的内聚力,因此对于恢复结构的整体性,能起到很好的作用。

对于宽度在5 mm 以下的裂缝,可沿裂缝延伸范围凿出楔形槽(槽宽不小于5 cm,槽深接近裂缝深度,亦不小于5 cm)。冲洗干净后用环氧砂浆嵌补。环氧砂浆配方见表1。

表1 环氧树脂配合比表

编 号	环氧树脂 (g)	二丁脂 (g)	煤焦油 (g)	乙二胺 (g)	水泥 (g)	砂子 (g)	三天强度 kg/cm ²	
							抗压	抗拉
1	100	15		8	200	500	740	115
2	100		50	8	200	500	1 033	154
3	100		100	8	300	700	550	123

环氧砂浆拌合方法:先将环氧树脂加热,随后按比例加入二丁脂或含水量小于1%的煤焦油搅拌均匀,冷却后加入乙二胺,搅拌均匀倒入已混合均匀的水泥砂子中,再充分搅拌,即可使用。施工期限为30~40 min。

3.2.2 化学灌浆

- (1)灌浆材料的配方见表2
- (2)灌浆孔的设计和布置

在衬砌裂缝情况调查和分析的基础上,进行灌浆孔的设计和布孔。布孔有骑缝和斜孔两种形式。对裂缝不深的表面缝,一般可在缝面埋设灌浆嘴,也可采用骑缝钻孔。当裂缝较深时,由于缝的走向不规则,有时不易全部“骑缝”。因此,必须辅以斜孔。孔径以选用40~50 mm为宜。

表2 灌浆材料配合比表

编号	环氧树脂(g)	增塑料	硬化剂	稀 释 剂				抗压强度(kg/cm ²)	抗拉强度(kg/cm ²)
		二丁脂(g)	乙二胺(g)	环氧氢丙烷(g)	501#(g)	690#(g)	二甲苯(g)		
1	100	5	10	20			40	380	
2	100		10		20		30~40	366	45
3	100		10			20	30~40	305	90

灌浆孔间距2×2 m,梅花形布置。

(3) 灌浆工艺

钻孔冲洗。钻孔后,先将孔内粉尘和碎屑冲洗干净,疏通钻孔与裂缝形成的“通路”。

嵌缝止浆。嵌缝止浆的目的是防止浆液流失、确保浆液在灌浆压力下将裂缝充填密实。在要嵌缝的部位,沿缝凿成“V”型槽,宽约5 cm,深3~5 cm,并冲洗干净,然后沿裂缝间隔一定距离(2 m左右)埋设排气(水)管,最后向槽内回填水泥砂浆。

压水(气)。压水或压气的目的是了解灌浆孔与裂缝畅通情况,以确定是否可以灌浆或重新钻孔,检查嵌缝是否有效、有无漏水(气)现象;通过压水并可计算其吸水率和记录其开始压水至各排气孔出水的时间,以作为确定浆液胶凝时间和配浆量的参数。压水(气)所用压力不得超过设计灌浆压力。

灌浆。经压水(气)检查,认为嵌缝质量良好,无渗漏现象后,即可配制浆液,准备灌浆。根据裂缝情况选择灌浆方法。对细微裂缝,浆液需要较长胶凝时间,可采用单液法灌浆;对较宽的裂缝,浆液的胶凝时间要短些,这时就必须采用双液法灌注。灌浆过程中,为了使浆液扩散范围大些,在混凝土建筑物的安全允许范围内,以使用较大压力为好。压力要逐级升高,以免缝面骤然受力使裂缝扩大。达最高压力后,应注意保持压力稳定,一直到达结束标准为止。灌浆结束,关闭孔口阀门后,立即拆卸管路,并用丙酮冲洗管路和设备。并进行封孔。

(4) 灌浆设备见表3。

表3 灌浆设备表

设备名称	立式双缸化学灌浆泵	功 率	3 kW
型号	HGZO-12	转 速	3000转/分
最大压力	20 kg/cm ²	外形尺寸	750×430×700 mm
最大流量	12 t/min	重 量	120 kg

3.2.3 开裂衬砌结构加固

此种情况为原衬砌虽开裂严重,但结构变形不大(未侵入建筑限界),衬砌结构尚未完全丧

失承载能力和稳定性。治理方法采用先向衬砌背后施作控制压力注浆并辅以结构加固,以达到控制结构变形和保证结构安全的目的。结构加固方法有:锚杆加固、网喷混凝土、格栅钢架套拱加固和镶嵌钢轨拱架加固等。

3.2.3.1 控制压力注浆

向衬砌背后施作控制压力注浆,使衬砌混凝土与岩层有良好的粘结,改善衬砌受力条件,遏制裂缝继续发展。由于隧道围岩类别、节理发育不同,它的渗透系数、扩散半径也有所差异。综合考虑各种因素,注浆孔间距不宜大于2 m,注浆孔的排列宜为梅花形。注浆压力控制在0.3~0.5 MPa。防止压力过高,造成原裂缝扩大或产生新的裂损。浆液采用1:1水泥砂浆,水泥采用425#普通硅酸盐水泥,砂采用细砂。压浆顺序由下而上,浆液先稀后稠。

3.2.3.2 锚杆加固和喷射混凝土加固

锚杆加固应采用砂浆锚杆。锚杆的具体设计与施工工艺问题,可参阅《铁路隧道喷锚构筑法技术规则》有关要求。此外尚要注意以下几点:

(1)设计前应详细查明衬砌厚度及其背后超挖回填情况。锚杆有效长度一般应穿过回填材料到达围岩体内。

(2)设置锚杆前应先对衬砌背后超挖回填物进行低压注浆。

(3)锚杆的预拉力数值,应根据实地试验确定。

用喷射混凝土或加挂钢筋网的喷射混凝土对破损衬砌加固,可加强原衬砌,制止衬砌的变形进一步发展。喷射混凝土层的厚度较小(不超过15~20 cm),可减少原有衬砌的凿除量,同时施工不用拱架模板,对在不中断行车的条件下进行衬砌加固是很有利的。

3.2.3.3 钢筋混凝土套拱加固

套拱断面应尽量适应受力状态。一般多采用单心圆拱以适应不均匀的围岩压力。

(1)开裂衬砌结构尚未完全丧失承载能力。套拱承受部分荷载。对这种结构变形不大的原衬砌加建套拱的主要作用是加强原衬砌,制止衬砌变形进一步发展。

套拱的厚度一般为20~30 cm。为使套拱脚与原衬砌边墙顺接,需将原衬砌拱圈的内表面局部凿除相应的厚度。套拱与原衬砌之间用 $\varnothing 16\sim 18$ mm 钢筋锚接。套拱用C18混凝土,主筋可用单排钢筋沿衬砌内周边布置,钢筋直径不宜大于25 mm。

当原拱圈比较完整,套拱与原拱圈结合良好时,可将套拱与原拱圈看成一个整体来承担继续增长的围岩压力。因此可比照钢筋混凝土结构来进行检算。

(2)承受全部荷载的套拱

当原衬砌已接近丧失承载能力,但由于加固该处地质很差,或该处发生过较大塌方,不宜或不允许拆除重建衬砌,亦可在原拱圈处加建套拱,以承受围岩压力,此种情况计算时不考虑原拱圈的作用。

套拱的厚度采用20~35 cm,一般采用双层钢筋。

3.3 拆除旧衬砌,重建新衬砌

对开裂衬砌结构已接近丧失承载能力,且结构变形已侵入建筑限界的地段,应拆除原衬砌,重建新衬砌。衬砌的型式和各部分的尺寸,可结合原衬砌病害产生的原因和围岩压力具体

情况,参照新建隧道衬砌的标准图来拟定。

在拆除旧衬砌前,先向衬砌背后进行深孔注浆固结地层,固结厚度为3.0 m,使其周围形成“硬壳”起到护拱的作用,以确保拆除作业安全。注浆管长3.5~4.0 m,间距1.0×1.0 m,梅花形布置,注浆管采用 $\varnothing 40$ mm 钢管。注浆采用高压注浆泵压注425#普通硅酸盐水泥拌制的纯水泥浆。

拆除顺序:由里向外进行,每一节长度为2.5 m,灌注混凝土每节为2.0 m。

拆除方法:采用静态爆破(使用无损破碎剂)。首先凿通30 cm 宽的一个沟槽作为临空面,布置钻眼,间距30×30 cm。装药后将炮眼用干硬性砂浆堵塞严密,不得漏气,待6~12 h 后即可胀裂拆除,然后即可重建新衬砌。

3.3.1 钢筋混凝土或焊接骨架钢筋混凝土衬砌

重建的新衬砌采用钢筋混凝土结构,能提高衬砌的承载力,并能针对不同围岩压力分布情况配置钢筋。钢筋骨架在洞外预制,再运入洞内安装。

焊接骨架可用型钢或小钢轨,附加钢筋组成整拱骨架,每次灌注宽度为1~2 m。

在施工阶段,焊接骨架承受混凝土自重和模板等重量。可按临时性钢结构的原则进行检算。灌注混凝土后,可按劲性钢筋混凝土结构计算。

3.3.2 钢拱架(或钢花拱)混凝土衬砌

拆除旧衬砌,用钢拱架或钢花拱先作为临时支撑,随后将钢拱埋入拱圈混凝土内,形成钢筋混凝土结构。钢拱架或钢花拱能承受较大的围岩压力,更有利于保证施工安全。

(1)钢拱架支撑的构造。钢拱架用11~38 kg/m 钢轨弯制。全拱分成数段以便运输和安装。接头处焊上端板,用螺栓连接。钢拱架的间距,视围岩压力及所用钢轨断面而定,常用为0.5~1.0 m,最大不超过1.5 m。

(2)钢花拱支撑仅采用于严重破碎、围岩压力很大的不良地质地段,作为支撑和衬砌的加强措施。拱部一般分为2~3段,在洞内安装时拼接。常用间距为0.5~1.0 m。

钢拱架支撑的内力计算,可近似地用力多边形图解法进行。

4 结束语

4.1 本文提及的整治方法,在几座隧道处理裂缝中都取得了较好效果,隧道衬砌裂损地段得到了根治。但进行这项工作既费力又耗时。为此,笔者建议施工单位应严格按图施工,确保工程质量。特别是对于地质不良地段和塌方地段应严格按规范施工,切实达标。

4.2 隧道衬砌开裂整治是一项很繁琐的工作。因此,重视施工前地质调查的作用和做好施工中地质超前预报工作,对于确定合理的施工方法和支护类型,防止衬砌裂损,具有较大的现实意义。为此,建议有关部门在我国铁路大发展的形势下,也应将施工地质工作列入议事日程。

参考文献

- 1 铁路隧道喷锚构筑法技术规则. TBJ108—92. 北京:铁路部专业设计院,1992
- 2 铁路隧道施工规范. TBJ204—86. 北京:中国铁道出版社,1987

PRELIMINARY STUDY ON REMEDIAL MEASURES TO CREVICE DISEASE IN CONCRETE LINING WALL OF RAILWAY TUNNEL

Zha Guaqi Zhu Pengyong

Sixteenth Engineering Bureau of MOR

Abstract This article analyses the causes of crevice formation and expounds the character and the feature of the crevice in a concrete lining wall. The principle, measures and construction method to remedy the crevice disease are proposed. The article can be used for reference to remedy crevice disease in a concrete lining wall of the railway tunnel.

Keywords railway tunnel; crevice disease in concrete lining wall; remedial measures

既有线扩能改造与复线建设学术研讨会召开

甘肃、新疆、宁夏三省(区)铁道学会于1996年8月13~14日在兰州联合召开了“既有线扩能改造与复线建设学术研讨会”。会议围绕铁路扩能改造与兰新复线建设中的实际问题开展学术研讨,从学术、专业及施工技术、扩能提效、投资效益、复线会战等角度,以翔实的资料、数据,全面系统地对既有线铁路扩能改造与复线建设进行了研讨。探寻既有线扩能改造的经验,促进对兰新复线建设进行科学总结,是这次会议的核心内容。

专家们呼吁:在“九五”期间,西北铁路建设应本着“扩大东路、打通南北、强干(线)增支(线)、逐步成网”的指导思想,当务之急是应把宝鸡至武威南增建第二线放在首要位置,加快天水至阳平关及青藏铁路建设的规划、决策。

与会代表一致认为,兰新复线是我国第一条一次建成的长大干线复线工程,应从学术、技术、效益等不同角度,对兰新复线建设经验进行科学总结,使之形成指导我国复线建设的理论,尽快转化为生产力。专家们建议:成立兰新复线建设技术总结小组,组织力量开展这一有益工作,各设计、施工、建设、运营单位参加,协助解决必要的经费,做好兰新复线建设的经验及专业技术总结工作。

(蓝玉供稿)