

文章编号: 0451-0712(2007)03-0195-07

中图分类号: U451.5

文献标识码: A

组合补强对缺陷病害隧道结构承载力影响的室内模型试验研究

何 川¹, 李祖伟^{1,2}, 余 健², 汪 波¹

(1. 西南交通大学地下工程系 成都市 610031; 2. 重庆高速公路有限公司 重庆市 400010)

摘 要: 以重庆市在建的笔架山隧道为现场原型, 室内采用几何比为1:25的大比例模型试验, 选取不同围岩类别、不同地应力场及不同缺陷形式条件下, 进行加载试验至结构产生病害后, 采取不同的组合补强措施, 再加载至结构破坏, 重点对各种不同条件下, 补强后结构的最终破坏形式、承载力状况进行研究, 得出对于无空洞缺陷或无衬砌减薄的病害隧道, 应根据结构是以受拉或是以受压产生的病害来决定内表面的补强形式, 然后再结合锚杆补强的组合补强方式; 对于有空洞或有衬砌减薄缺陷的隧道结构, 补强时首先是进行回填压注, 然后再与内衬·拱架+锚杆补强或与内表面补强+锚杆补强两种补强方式合用。而对于无仰拱病害隧道的补强, 对两个拱脚应做特别处理, 内表面采用内衬·拱架补强时应施作基础, 否则采用注浆和打锁脚锚杆的方式加固。

关键词: 缺陷隧道; 病害; 组合补强; 模型试验

随着我国国民经济实力的不断增强, 特别是西部开发的不断深入, 我国的公路、铁路等交通建设工程日益增多, 已经成为世界上隧道工程数量最多、最复杂、发展最快的国家。但是, 由于地质条件、地形条件、气候条件和设计、施工、运营过程中各种因素的影响, 隧道建成后在长期的使用过程中出现了各种各样的病害, 部分隧道甚至在使用的开始几年就出现了比较严重的隧道病害, 如衬砌裂损、隧道渗漏水、基底下沉和底鼓等等现象, 严重影响了行车的安全性, 为行车埋下了重大安全隐患。为了保证隧道良好的运营条件和结构物的使用功能, 不断地延长结构物的使用寿命, 现实中许多隧道都已进入高维修管理阶段, 但在隧道维护中“对症下药”, 采取合理、经济、最为实用的补强措施是非常关键的。基于上述目的, 利用自行研发的三维试验装置, 以现场在建隧道为原型, 采用室内间接相似模型试验对病害隧道在不同补强方式条件下的受力及破坏特征进行系列研究, 对于不同病害隧道条件下采用最佳的补强方式进行有益探索, 为今后的隧道维护管理提供指导。

1 模型试验

关于模型试验中模型材料、试验装置和具体的量测项目在文献[4]中已做详细叙述, 故本文仅做简单介绍。

1.1 试验原型

以在建的渝黔二期最具代表性的笔架山隧道为试验原型, 选取该隧道中最具代表性Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ三大类围岩作为主要研究对象, 围岩参数以地勘资料并结合《公路隧道设计规范》(JTJ D70-2004)表A.0.4-1及《铁路隧道新奥法指南》表2.3.2-2的选值范围, 以偏低数据取值。各材料原型力学参数见表1。

1.2 相似材料

试验以几何相似比 $C_L=25$ 和容重相似比 $C_\gamma=1$ 为基础相似比, 根据相似第一定理及相似第二定理推得其他物理力学参数的相似比, 选取围岩凝聚力 C 、内摩擦角 φ 、容重 γ 及弹性模量 E 为主要物理力学参数。

试验中Ⅳ类围岩的相似材料采用一定比例的重晶石粉、粉煤灰、河砂、粗石英砂、细石英砂、凡士林、

松香和机油的热融混合物模拟；Ⅰ、Ⅲ类围岩则在Ⅳ类围岩的基础上添加一定比例的粉煤灰和机油混合物模拟。超前小导管的模拟采用地层预加固的方法达到目的。系统锚杆和补强锚杆相似材料均采用直径为 2 mm 的铝丝($E=6.69\times10^9$ Pa),通过原型与模型的等效抗拉刚度 EA 完全相似的方法进行模拟。喷射混凝土相似材料试验中采用石膏比值为 1:1.16 的特种石膏,通过现浇灌注的方法模拟。格栅

拱架和补强钢拱架均采用直径为 4 mm 的铁丝($E=2.08\times10^{10}$ Pa),通过原型与模型的等效抗弯刚度 EI 完全相似的方法进行模拟;模筑混凝土采用石膏质量比为 1:1.05 的特种石膏材料,通过预制加工现场安装的方法模拟;补强内衬采用石膏质量比为 1:1.18 的特种石膏材料,通过现场涂抹的方法模拟。围岩及支护结构原型与模型的参数对比见表 1、表 2。

表 1 原型及模型围岩的物理力学参数

围岩类别	凝聚力 C /MPa		内摩擦角 φ /°		泊松比 μ		弹性模量 E /GPa		容重 γ /(kN/m ³)	
	原型	模型	原型	模型	原型	模型	原型	模型	原型	模型
Ⅰ	0.075	0.003	29.6	29.6	0.38	0.38	1.3	0.052	18	18
Ⅱ	0.6	0.023 6	33.4	33.4	0.28	0.28	5	0.2	19	19
Ⅳ	1.315	0.052 6	38.5	38.5	0.23	0.23	7.5	0.3	25	25

表 2 原型及模型支护参数

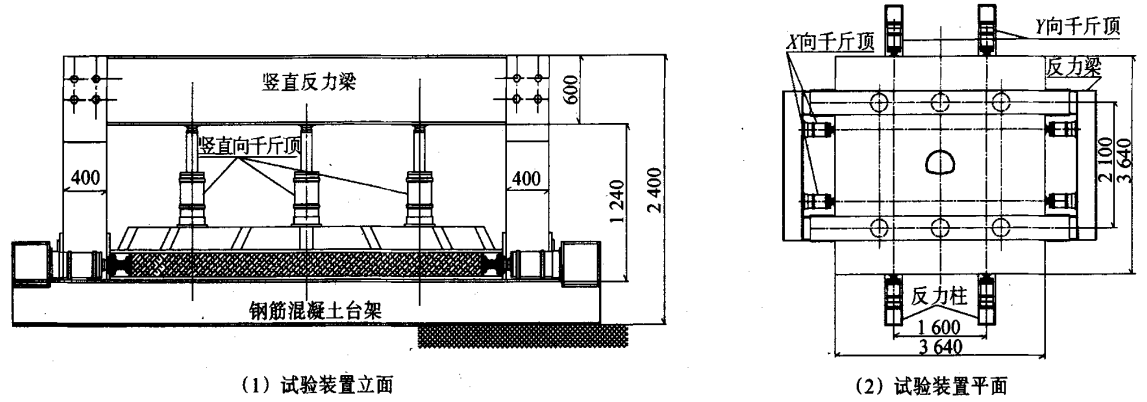
cm

围岩类别	二次衬砌厚		喷层厚		锚杆						钢支撑纵距	
					长度		环内距		纵距			
	原型	模型	原型	模型	原型	模型	原型	模型	原型	模型	原型	模型
I	50	2	24	0.96	350	14	80	3.2	80	3.2	80	3.2
II	40	1.6	12	0.48	300	12	100	4	100	4	100	4
IV	35	1.4	12	0.48	250	10	120	4.8	120	4.8	—	—

1.3 模型试验过程及量测项目

关于模型试验装置及量测项目在文献[4]中也有详细介绍,本文仅就试验过程简述如下:试验在如图 1 所示的专门制作的试验台架内以卧式方式对试体进行加载,试体置于 2 块 25 mm 厚的锰钢盖板之间,通过 2 组共计 6 台 60 t 级的高精度液压千斤顶对盖板做上下约束以实现平面应变。试验过程中的加

载通过 8 台 60 t 级高精度模型试验专用液压千斤顶及控制平台按预定值对千斤顶输出 2 组不同荷载来实现,试验过程中先加载至结构产生病害后采取补强措施,再加载至结构破坏,重点对不同围岩类别、不同地应力场及不同缺陷形式条件下采取不同的组合补强措施后,对隧道结构的最终破坏形式及承载力状况进行研究。



单位:mm
图 1 试验装置

根据试验的目的,分别对洞室周边径向位移、二次衬砌内力、锚杆轴力、围岩与支护间接触压力等进行

重点量测。各种量测元件布置见图 2 所示。

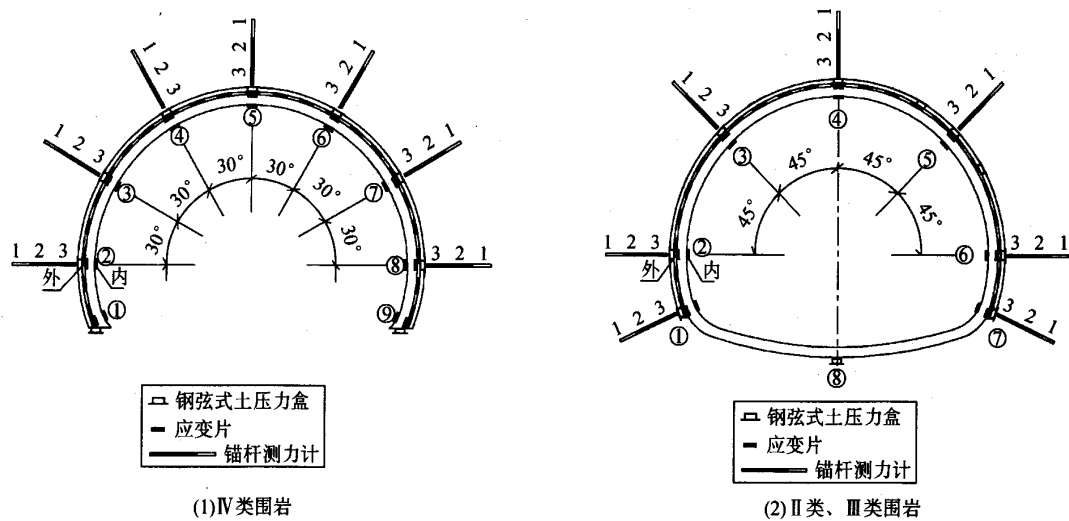


图 2 I~IV 类围岩测点布置

2 试验结果与分析

在不同围岩条件、不同的地应力场以及不同的缺陷隧道产生病害后的实际补强过程中,通常是几种补强形式的组合,一般来说组合补强有:内衬·拱架+锚杆补强、内表面+锚杆补强、回填压注+内衬·拱架+锚杆补强、回填压注+内表面+锚杆补强等 4 种形式。但各种组合补强方式的适应性如何,最终的效果怎么样,都是需要进一步研究的问题。基

于上述目的,通过具体的模型试验对不同的补强组合适宜的地应力场、围岩级别及缺陷形式进行研究,以期对今后的隧道维护管理起到一定的指导作用。

2.1 内衬·拱架与锚杆组合补强

内衬·拱架与锚杆补强主要用于无缺陷隧道的补强或是用于无空洞缺陷隧道的补强,模型试验中采用以下的试验序列分析,进行加载破坏性试验,见表 3。重点分析不同围岩级别、地应力场下的补强效果。

表 3 模型试验序列

序号	围岩级别	缺陷形式	补强方式	病害荷载	破坏荷载	病害荷载	破坏荷载
				油缸出力/MPa		主应力/MPa	
1	I	无	内衬·拱架 11+22 根拱墙锚杆	4	6	0.187 6	0.281 4
2	IV	无	内衬·拱架 8+22 根拱墙锚杆	13	20	0.609 7	0.938 0
3	II	先墙后拱	内衬·拱架 5(全周)+22 根拱墙锚杆+15 根仰拱锚杆	17	22	0.798	1.032 7
4	III	先墙后拱	内衬·拱架 5(全周)+22 根拱墙锚杆+15 根仰拱锚杆	20	24	0.938	1.126 6

注:(1)先墙后拱——在起拱线处(30°)水平由外向内削弱 1/3 二次衬砌厚度;
(2)试验序号 1、3 的加载方式, $\sigma_x:\sigma_y=2:1$;
(3)试验序号 2 竖直方向加载, $\sigma_x=0.046\ 9\text{ MPa}$ 保持不变;
(4)试验序号 2、4 的加载方式, $\sigma_x:\sigma_y=1:2$ 。

从试验 1 的补强效果看,采用内衬·拱架 11+22 根锚杆补强以后,承载力从 0.187 6 MPa 提高到 0.281 4 MPa,其承载力提高率为 50%,承载力提高值为 0.093 8 MPa。从试验 2 的试验数据看,采用内

衬·拱架 8+22 根锚杆补强以后,其承载力从 0.609 7 MPa 提高到 0.938 0 MPa,承载力提高率为 54%,提高值为 0.328 3 MPa。从承载力的提高值来说,IV 类围岩的补强效果远远高于 II 类围岩的补强

效果。因此可以说,围岩级别越高,且受竖直主应力作用时,采用内衬+拱架+锚杆补强的效果大大优于低围岩级别受水平主应力作用时的补强效果。从图3所示的补强前后两者的接触压力分布看,补强后分布形态没有改变,只是特征点的对应值增大而已。从补强以后的位移分布看,补强后仰拱底的位移明显增大,最后导致仰拱底或拱脚的破坏,这主要是

两者的仰拱都未采用补强措施造成的。故此,在采用内衬+拱架+锚杆补强无缺陷病害隧道时,对于有仰拱充填的隧道,进行拱墙、拱顶范围补强即可;而对于无仰拱的隧道补强时,采用以上补强方式应包括拱底土部分的补强,特别是两拱脚部位,这样可避免两拱脚或拱底土先于衬砌结构破坏而降低整体结构的最终承载力。

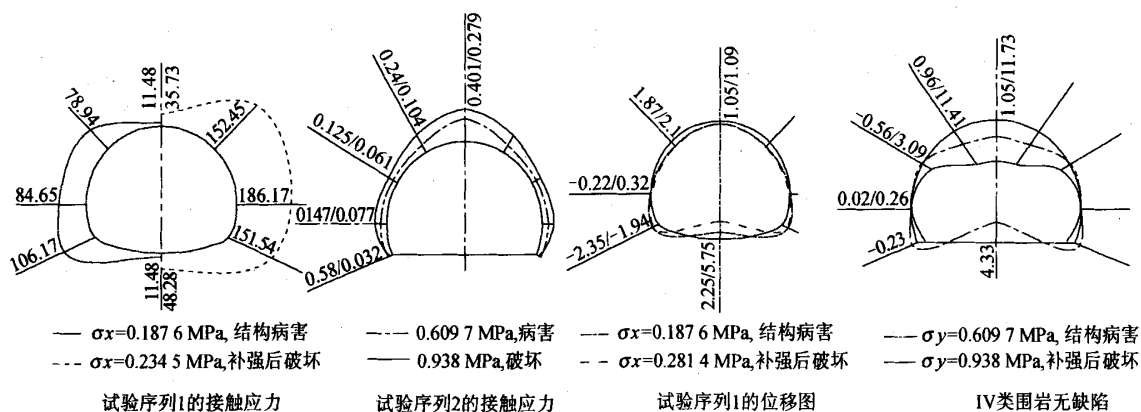


图3 试验1、2条件下接触应力及位移

对于试验条件3、4是采用同一种施工方法在不同应力场中的情况,从补强的效果看,水平主应力场中的提高量为 0.2347 MPa;竖直主应力场中的提高量为 0.1886 MPa。可见两者采用内衬+拱架+锚杆全周补强以后,其承载力的提高量差不多,水平

主应力场中的效果略好。从图4所示的两者补强前后的接触压力分布和位移分布看,其分布形态基本成相似放大,故可知此种补强并未改变结构的受力状态,而只是增强了结构的承载能力。

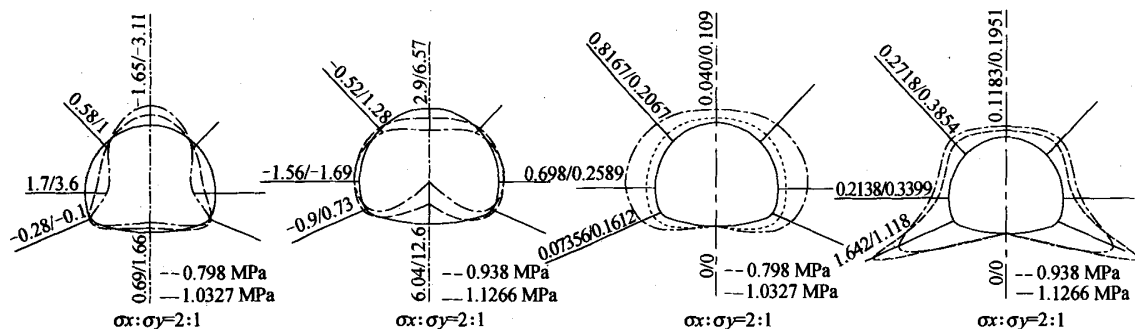


图4 试验3、4条件下位移及接触应力

由于内衬+拱架+锚杆补强的结构既能抗压又能抗弯拉,补强后使结构截面增大,在同级荷载作用下,产生的拉应力和压应力均减少,另外因抗弯刚度增大可有效地减小结构变形。故此在隧道净空有富裕的情况下,往往采用此法。但在隧道净空富裕量小时,此法不太适用,而多改用内表面+锚杆的补强方式。

2.2 回填压注、内衬+拱架与锚杆组合补强

在现今隧道施工中,因受施工技术的限制,拱顶空洞是常见的隧道缺陷之一,在净空条件许可时,回填压注、内衬+拱架与锚杆的组合补强是常选形式之一,该补强方式在不同的围岩和不同的地应力场其补强效果是不同的。以下分别就不同的围岩和地应力场条件对此种补强方法的效果进行讨论,见表4。

表 4 模型试验序列

序号	围岩级别	缺陷形式	补强方式	病害荷载	破坏荷载	病害荷载	破坏荷载
				油缸出力/MPa		σ_y /MPa	
1	Ⅳ	拱顶空洞(60°)	回填压注+内衬·拱架+12根拱墙锚杆	8	14	0.375 2	0.656 6
2	Ⅳ	拱顶空洞(60°)	回填压注+内衬·拱架+22根拱墙锚杆	8	16	0.375 2	0.750 4
3	Ⅱ	拱顶空洞(60°) +拱顶减薄1/3	回填压注+内衬·拱架+22根拱墙锚杆	9	19	0.422 1	0.891 1
4	Ⅰ	拱顶空洞(60°)	回填压注+内衬·拱架+15根拱墙锚杆	3	5	0.140 7	0.234 5
5	Ⅰ	拱顶空洞(60°)	回填压注+内衬·拱架+22根拱墙锚杆	3	5	0.140 7	0.234 5

注:(1)试验序号1、2中 $\sigma_x=0.0469$ MPa不变,竖直方向为主要加载方向;

(2)试验序号3~5的加载方式为 $\sigma_x:\sigma_y=2:1$ 。

从隧道产生病害补强后加载至破坏时的结构最终承载力来看,试验序号为1、2的效果两者分别提高了0.281 4 MPa和0.375 2 MPa。提高量有所不同是因补强锚杆增多,其结构的承载力会进一步提高。从图5所示的两者补强前后的接触压力分布可知,采用回填压注以后,结构的接触压力分布更趋于均匀;而内衬·拱架施作使结构的整体刚度增大,抗弯拉强度增大,同时也使结构所受的拉、压应力减少,

结构的承载力提高;另外,锚杆的施作将围岩连接成一体,防止了围岩强度的降低,锚杆对结构的约束力使结构处于三向受压状态,同时锚杆也保证了补强内衬·拱架与原衬砌的共同受力,故此结构的承载力得以较大的提高。从破坏的现象看应对两拱脚间土体进行同样补强,特别是两拱脚的土体。可采用施作拱脚基础的方式,或用注浆和打锚杆的方式补强。

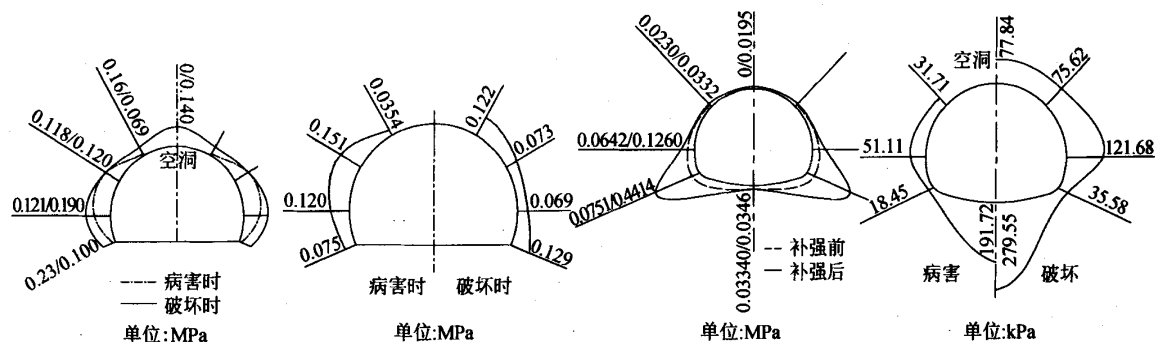


图5 试验序号1、2、3、5条件下的接触应力

对于水平主应力场作用的试验3,采用回填压注+内衬·拱架+锚杆补强以后,结构的承载力提高了0.469 MPa,近1倍有余,说明拱架和锚杆在结构补强中效果明显。结合图5所示的结构的接触压力分布图来看,补强后接触压力重新分布,拱顶空洞对应部位衬砌压力从无到有,两拱脚部位接触压力明显增大,其余部分则变化较小。模型试验中结构的最终破坏形式是仰拱底部的压溃,而在实际隧道中因仰拱部位均采用贫混凝土回填,因此,破坏不会发生在此处,结构的承载力应可进一步提高。

对水平主应力场作用下,Ⅱ类围岩的补强试验结果分析可知,接触压力分布更加均匀(见图5),结构的受力状态得到改善。但同时可以看出采用相同

的补强方式在低级别的围岩当中承载力提高不多,效果不甚明显,不管补强锚杆的数量是否增加,其承载力的提高都是相同的,说明了锚杆在软弱围岩中的补强作用不大。

通过以上分析可知,不同的围岩承载力提高的效果相差很大,围压级别越高,采用回填压注+内衬·拱架+锚杆补强的效果越好,反之亦然。

2.3 回填压注、内表面与锚杆组合补强

在实际的病害隧道补强中,往往由于隧道的净空受限,或者结构的病害以受拉开裂为主时,常采用回填压注+内表面补强+锚杆补强的组合补强方式。下面分别就不同的围岩进行讨论。

(1) Ⅱ类围岩中回填压注、内表面与锚杆组合

补强。

Ⅱ类围岩中不同应力场补强效果试验序列如表 5 所示。从试验结果来看,以上试验均是在最大主应力为 0.140 7 MPa 时产生病害,病害形式也基本相同。以上试验出现病害后,均采用回填压注+内表面补强+22 根拱墙锚杆+12 根仰拱锚杆的补强形式,对于采用加载方式为 $\sigma_x:\sigma_y=2:1$ 的 1、2、3 组试验,其承载力分别提高了 0.046 9 MPa、0.093 8 MPa和 0.140 7 MPa。该补强方式的补强效果较为明显,另外可以看出,衬砌厚度不足对补强的效果影响较大,结构厚度减薄越多,其补强后承载力提高越少,反之亦然。可见空洞的回填压注虽然可约束空洞向外的位移,提供被动抗力,使结构的接触压力分布趋于均匀。但回填压注不能弥补衬砌减薄产

生的应力集中现象,故采用相同的补强方式,最终的承载力也是有区别的。从结构最终破坏的细节看,补强结构都是以压溃的形式破坏,这说明内表面补强对于抵抗结构的受拉破坏是很有效的,而对于抵抗结构的受压破坏则效果甚微。另外,对于水平主应力场作用的情况,仰拱补强以后,对于衬砌厚度不足的结构,仰拱在结构产生病害时的裂缝,最终破坏时也未见裂缝有发展,说明仰拱内表面补强是有积极作用的。对于受竖直主应力场作用补强的试验 4,其缺陷形式和补强方式都与试验 2 相同,但补强后结构承载力的提高却只有试验 2 的 1/2,这说明回填压注+内表面补强+锚杆补强的补强方式更适合水平主应力场作用的情况。

表 5 Ⅱ类围岩组合补强效果试验

序号	缺陷形式	补强方式	病害荷载	破坏荷载	病害荷载	破坏荷载
			油缸出力/MPa		主应力/MPa	
1	拱顶空洞(60°)+拱顶减薄 1/2	回填压注+内表面补强+22 根拱墙锚杆+12 根仰拱锚杆	3	4	0.140 7	0.187 6
2	拱顶空洞(60°)+拱顶减薄 1/3	回填压注+内表面补强+22 根拱墙锚杆+12 根仰拱锚杆	3	5	0.140 7	0.234 5
3	拱顶空洞(60°)	回填压注+内表面补强+22 根拱墙锚杆+12 根仰拱锚杆	3	6	0.140 7	0.281 4
4	拱顶空洞(60°)+拱顶减薄 1/3	回填压注+内表面补强+22 根拱墙锚杆+12 根仰拱锚杆	3	4	0.140 7	0.187 6

注:(1)试验序号 1、2、3 加载比例, $\sigma_x:\sigma_y=2:1$;
(2)试验序号 4 加载比例, $\sigma_x:\sigma_y=1:2$;
(3)试验中内表面补强均采用单层铝皮全周补强。

(2)Ⅲ类围岩中回填压注和内表面与锚杆组合补强。
相同的补强方式对不同级别的围岩会有不同的

结果,此处对Ⅲ类围岩在不同应力场中采用回填压注+内表面补强+锚杆补强的效果进行研究,试验序列如表 6 所示。

表 6 Ⅳ级围岩组合补强效果试验

序号	缺陷形式	补强方式	病害荷载	破坏荷载	病害荷载	破坏荷载
			油缸出力/MPa		主应力/MPa	
1	拱顶空洞(60°)+拱顶减薄 1/3	回填压注+内表面补强+22 根拱墙锚杆	9	16	0.422 1	0.705 4
2	拱顶空洞(60°)+拱顶减薄 1/3	回填压注+内表面补强+22 根拱墙锚杆	14	22	0.656 6	1.031 8
3	拱顶空洞(60°)+拱顶减薄 1/3	回填压注+内表面补强+22 根拱墙锚杆	18	22	0.844 2	1.031 8

注:(1)试验序号 1 加载比例, $\sigma_x:\sigma_y=2:1$;
(2)试验序号 2 加载比例, $\sigma_x:\sigma_y=1:1$;
(3)试验序号 3 加载比例, $\sigma_x:\sigma_y=1:2$ 。

从表 6 试验过程结果可以看出,不同应力场中结构产生病害以后,采用回填压注+内表面补强+22 根拱墙锚杆的方式进行补强时,等值加载的均匀

应力场补强效果最好,结构承载力提高了 0.375 2 MPa,其次为水平主应力场中结构的补强效果,其承载力提高了 0.328 3 MPa,效果最差为竖

直主应力场中结构的补强,其承载力仅提高了0.187 6 MPa。这说明回填压注+内表面补强+锚杆补强的补强方式在均匀应力场中补强效果最好,水平主应力场次之,最差为竖直主应力场。

对比Ⅰ、Ⅱ类围岩相同应力场以及相同结构缺陷形式,采用回填压注+内表面补强+拱墙锚杆补强的效果不难发现,Ⅱ类围岩中的补强效果远高于Ⅰ类围岩,不同主应力方向,其提高的数值有所不同。研究表明,以上两类围岩中此补强效果在均匀应力场中补强效果最好,水平主应力场次之,最差的为竖直主应力场。

3 结论及建议

隧道的维护补强是针对隧道病害的成因而采取工程对策以提高隧道结构承载力。不同的病害成因,不同的应力场应采取相应的工程对策。在实际的病害隧道治理和补强中,仅采用单一的补强手段是难以消除结构缺陷,达不到调整结构受力,增强结构强度和刚度,提高结构承载力的目的。单一的补强方式各有特点,针对不同的病害情况和受力方式,所起的作用各不相同。对于隧道这种地下构筑物,往往地质水文条件复杂、应力场的分布不明、病害原因不清。在结构产生病害时,首先应消除结构缺陷,再根据病害情况以及隧道净空的富裕状况,采取多种补强措施相互结合的组合补强方式,以充分发挥各个补强方式的特点,达到治理病害、补强隧道的目的。对于无空洞缺陷或无衬砌减薄的病害隧道,先确定结构是以受拉还是以受压产生的病害后,再决定内表面的补强形式。如结构是以受拉形式产生病害时,一般采用内表面补强的方式,然后再结合锚杆补强的组合补强方式,充分发挥内表面补强材料弹性模量大,抗拉强度高的优势,同时施作锚杆,能提高围岩强

度,使结构处于良好的三向受压状态,起到最终提高结构承载力的目的。而当结构是以受压为主的形式产生病害时,且结构又有足够的富裕空间,则往往采用内衬+拱架补强内表面,再结合锚杆补强的组合补强方式,这样内衬+拱架既能承受较大的弯矩,同时也能减少同级荷载对结构产生的压应力和拉应力。另外因结构的刚度加大,其抵抗变形的能力也相应加大。锚杆作用与前相同,同时锚杆与补强拱架焊接,使之成为一个整体,使得补强内衬与原结构共同受力,故可提高结构承载力。此种补强往往用在结构病害等级较高的情况下采用。而对于有空洞或有衬砌减薄缺陷的隧道结构,补强时应与回填压注合用,这样回填压注可约束结构的变形,提供被动抗力,同时也可传递围岩应力,使结构处于良好的受力状态。因此对于空洞隧道或衬砌减薄隧道的补强,首先是进行回填压注,然后再与内衬+拱架+锚杆补强或与内表面补强+锚杆补强两种补强方式合用。另外对于无仰拱病害隧道的补强,对两个拱脚应做特别处理,内表面采用内衬+拱架补强时应施作基础,否则采用注浆和打锁脚锚杆的方式加固。采用内表面补强时,拱脚也采用注浆和打锁脚锚杆的方法加固。

参考文献:

- [1] 何川,等. 高速公路隧道长期安全性评价及维护加固研究立项报告(兼研究大纲)[R]. 西南交通大学, 2002.
- [2] 关宝树. 隧道维修管理要点集[M]. 北京:人民交通出版社, 2004.
- [3] 余健. 高速公路隧道长期安全性评价及维护加固对策研究[D]. 西南交通大学, 2005.
- [4] 何川,余健,兰宇. 高速公路隧道维护加固对策模型试验研究[A]. 2005年全国公路隧道学术会议论文集[C]. 北京:人民交通出版社, 2005.

Research on Indoor Model Test About Effect of Combined Reinforcing on Structure Bearing Capacity of Defect and Disease Tunnel

HE Chuan¹, LI Zu-wei^{1,2}, SHE Jian², WANG Bo¹

(1. Department of Tunnel and Underground Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Chongqing Expressway Development Co., Ltd., Chongqing 400010, China)

Abstract: Taking the Bijia Mountain Tunnel under construction in Chongqing City as in-situ sample and geometric similarity ratio of 1 : 25 is adopted in model test. The loads are applied to the structure till they produce the diseases, and then loads applied again while the structure is destroyed after taking

文章编号: 0451-0712(2007)03-0202-04

中图分类号: U459.5

文献标识码: B

水下隧道施工期风险分析

林志¹, 陈杨²

(1. 重庆交通科研设计院 重庆市 400067; 2. 重庆交通大学 重庆市 400074)

摘要: 在隧道及地下工程的建设中面临着大而多的风险, 尤其是越江隧道的建设更为突出, 因此隧道工程项目风险管理也越来越受到工程建设领域的关注。本文以规划中的重庆两江隧道为依托, 采用风险分析方法中常用的专家打分法, 对该工程采用钻爆法可能遇到的风险因素实施风险分析与评估, 并给出了相应的处置措施, 希望能对该工程以及类似工程的实施提供一些参考。

关键词: 两江隧道; 钻爆法; 风险分析与评估; 风险控制

1 项目概况

重庆两江隧道工程(见图1)以已经建成的江北、南岸和渝中半岛的滨江路为基础, 采用水下隧道方式穿越两江, 沟通“一岛两岸”(渝中半岛、江北及南岸)。工程拟采用城市主干道 I 级标准, 设计车速为 50 km/h, 两江隧道均按双洞双向 4 车道组成。

2 风险分析的必要性

重庆朝天门两江隧道工程是目前国内外技术最为复杂的隧道工程, 技术难度决定了它的知名度。实施中需穿越泥岩、砂岩以及泥岩夹砂岩层, 裂隙较发育, 局部透水性强, 隧道坑道施工中的透水、涌水、缓倾岩层的围岩稳定和衬砌承受静水压力是江底隧道施工中不可避免的工程地质问题; 隧道直径大, 两江隧道在朝天门嘴设地下互通式立交, 解决地下“丁”字交叉问题, 匝道与匝道(或主线)交叉 5 次, 分合流

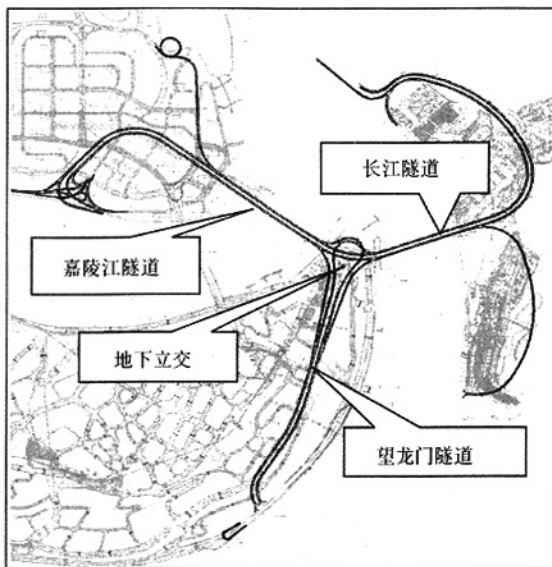


图1 朝天门两江隧道总体方案

收稿日期: 2006-08-24

different combined reinforce in different rock mass, crustal stress and defect tunnel, in order to research on the destroyed form and bearing capacity of structure in different conditions after reinforcing. And the concludes show that surface and bolts reinforce should be taken according to the structure are compress and tension in defect tunnel; when cavity and thinning exist, backfilling pressure casting should be the first selection, and then combined inner lining, arch centering and bolts reinforcing or inner surface and bolts reinforce; as to the tunnel without invert diseases the two springs should be strengthened while reinforcing, and foundation should be built when taking inner lining and arch centering reinforcing, otherwise grouting and locked bolts should be taken to reinforce.

Key words: defect tunnel; disease; combined reinforce; model test