

浅埋人防隧洞围岩加固处理技术及分析

贾剑青^{1,2}, 王宏图², 李晓红², 牛惠民¹, 胡国忠², 李慧民²

(1. 兰州交通大学 交通运输学院, 兰州 730070; 2. 重庆大学 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400044)

摘 要: 根据埋深为 6~13 m 的某浅埋人防隧洞的前期稳定性分析, 提出了对该人防隧洞选取灌浆加固处理方法。在工程的具体实施中, 进行了两种浆液的配比实验, 并分别确定了该人防隧洞在积水段和无积水段的加固材料及其配比。依据工程实际制定了灌浆施工工序, 确立了浆液扩散半径以及 3 套灌浆终止条件。由灌浆扩散半径及岩芯强度测试的工程灌浆效果检验得知, 此次加固措施完全达到了预期的效果和目的。

关 键 词: 人防隧洞; 灌浆; 围岩加固

中图分类号: TU 761.4

文献标识码: A

Analysis of technology for treating and strengthening surrounding rock masses of a shallow-buried air-raid shelter

JIA Jian-qing^{1,2}, WANG Hong-tu¹, LI Xiao-hong¹, NIU Hui-ming², HU Guo-zhong¹, LI Hui-min¹

(1. Key Lab for the Exploitation of Southwestern Resources & the Environmental Hazard Control Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. School of Traffic and Transportation, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: According to the stability analysis of one shallow-buried air-raid shelter of which buried-depth is about 6m to 13 m, a grouting strengthening method for the air-raid shelter is proposed. During the construction, the mixture ratio experiments of two kinds of mortars are made. According to the mixture ratio, it is determined the strengthening materials and their mixture ratio of seepage area and no-seepage area; and according to the real construction, it is determined the grouting process, the spread-radius of the mortars and three kinds terminating-plan of the grouting. It can be concluded that this strengthening measures attain the expecting effects and purposes, according to the testing effect of the spread-radius of the mortars and the compressive strength of drill cores.

Key words: air-raid shelter; grouting; strengthening surrounding rock masses

1 引 言

上世纪中后期, 全国开挖了大量的人防隧洞。但在部分人防隧洞的开挖中, 由于各种原因, 隧洞从设计到施工, 都缺少统一规划, 对隧洞的极限承载能力及其长期稳定性没有进行定量计算, 加之各隧洞施工单位众多, 各单位间缺乏有机的合作与协调, 使得隧洞的开挖断面大小不一, 隧洞走向也比较随机, 对隧洞的支护措施也不是很合理, 隧洞局部坍塌比较严重。目前, 要在此类人防隧洞上部地表进行修建时, 首先应该解决的问题就是对该人防隧洞进行加固处理。为此, 本文以新疆广汇某人防隧洞为研究对象, 探讨此类人防隧洞围岩的加固处

理措施, 对处理相同或相似工程问题有一定的借鉴意义。

2 工程概况

新疆广汇某人防隧洞修建于上世纪 60 年代, 该隧洞年久失修, 洞内多处大面积积水, 局部坍塌也比较严重; 隧洞入口处几乎被坍塌物封堵, 已废弃多年。隧洞埋深 6~13 m, 跨度 2~3 m。由于缺少统一的规划和设计, 隧洞断面忽大忽小, 形状各异; 隧洞的走向也比较随机; 隧洞围岩主要以卵石层和泥岩为主; 隧洞中多处地段未施作支护或支护不力, 顶板岩层坍塌、掉块现象比较严重。

根据该人防隧洞围岩稳定性分析, 顶板位于卵

石层中的人防隧洞, 由于其自身的稳定性极差, 无需施加外力, 顶板也会出现塌落、向下剪切错动现象; 而顶板位于泥岩中的人防隧洞, 由于其洞体形状变化大, 隧洞顶板在穿越泥岩与卵石层交接处比较软弱的地方, 由于处理措施不当, 坍塌比较严重, 加之该人防隧洞内长期积水, 泥岩经水浸泡后强度也大大降低。因此, 针对该隧洞围岩的实际情况, 选取经济合理地加固处理方法和措施对该人防隧洞的稳定性至关重要。

3 隧洞加固处理措施及灌浆试验

3.1 加固措施的选取

在处理相关工程时通常使用的方法有: 洞内回填法、梁板跨越法以及灌浆法。由于该人防隧洞多处塌陷, 巷道内大面积积水, 填料运输困难, 施工难度较大, 而且, 如果该人防隧洞进行回填处理时, 对于许多巷壁不稳定的地段, 施工安全无法保障, 回填料无法夯实、压密, 塌陷灾害治理不彻底, 易留下工程隐患; 如果把拟建建筑基础采用筏板基础或采用梁板跨越人防隧洞, 或调整桩长使桩端持力点位于人防隧洞底面以下, 在不处理人防地道空区的情况下使拟建建筑主体工程免受地道塌陷引起的危害, 但是此法无法保证配套设施(如给排水、采暖、供电、管道等)以及商住小区公共设施(道路、花园、草坪等)不受地道塌陷的危害。综合考虑这些原因, 本工程选择灌浆加固措施。

3.2 灌浆试验

为了解地层的灌浆指标, 取得必要的灌浆经济、技术数据, 确定和修正灌浆方案, 使设计、施工更符合实际情况, 布置更为合理, 应进行现场灌浆试验。灌浆试验的具体目标有: (1) 确定终止灌浆的压力条件与持续时间条件; (2) 检验按特定施工工艺灌浆后浆液在隧洞中的填充及固结效果; (3) 明确在具体施工过程中影响施工进度和质量控制的几个重要因素, 并以此试验成果作为灌浆设计和施工组织的主要依据。

3.2.1 灌浆试验位置选择及试验孔布置

灌浆试验位置一般应选在具有代表性的、地质条件比较复杂的地段。一般情况下, 灌浆试验位置应根据试验的目的、技术方案以及地质条件的差异, 选择若干个地段进行现场试验^[1]。

灌浆试验孔的形式和数量主要由试验目的和地质条件决定; 孔距依巷道的大小而定。通常情况下, 加固灌浆试验孔眼多采用方格形式或梅花形。如图 1 所示。

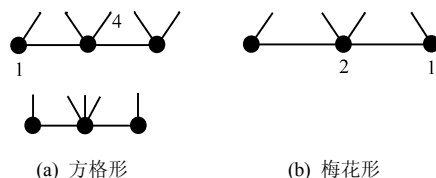


图 1 常用的灌浆孔的布置形式

Fig.1 The common arranging forms of grouting holes

本次灌浆试验处隧洞跨距 2~3 m, 高 2 m 左右, 位于风化泥岩中; 试验处巷道内积水比较严重。在实际施工过程中选择沿隧洞中心线布置一排灌浆孔, 孔间距为 5 m。灌浆孔眼的布置如图 2 所示(注: 7, 8, 9 号孔为观测及质量检查孔)。

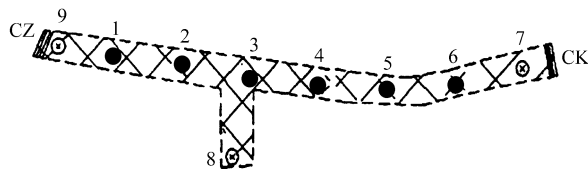


图 2 灌浆试验孔布置图

Fig.2 Layout of grouting test holes

3.2.2 浆液配合比试验

(1) 配合比计算

浆液主要由水泥、砂、黄土及水组成, 浆液中各材料的分配根据下列公式[2]计算:

$$Mc = nc\rho_w V / (nc/Gc + nd/Gd + ne/Ge + nw) \quad (1)$$

$$Md = nd\rho_w V / (nc/Gc + nd/Gd + ne/Ge + nw) \quad (2)$$

$$Me = ne\rho_w V / (nc/Gc + nd/Gd + ne/Ge + nw) \quad (3)$$

$$Mw = nw\rho_w V / (nc/Gc + nd/Gd + ne/Ge + nw) \quad (4)$$

式中 V 为浆液体积; ρ_w 为水的比重; Mc 、 Md 、 Me 、 Mw 分别为水泥、黏土、砂、水的重量; nc 、 nd 、 ne 、 nw 分别为浆液中各材料占的份数; Gc 、 Gd 、 Ge 、 Gw 为水泥、黄土、砂的相对密度, 其中, Gc 、 Gd 、 Ge 、及 Gw 的取值分别为 3.0, 2.7, 2.8 及 1.0。当 $V = 1 \text{ m}^3$ 时, 浆液的比重 $\rho_v = Mc + Md + Me + Mw$ 。

(2) 固结强度分析

不同配比的浆液固结后其工程力学指标也不相同^[3,4]。浆液配比试验中, 对不同配比浆液固结后做抗压试验, 浆液配比试验如表 1 和表 2 所示。由表 1 可知, 水固比越低, 抗压强度越高; 灰土比越高, 抗压强度越高。

表 1 浆液配比试验结果

Table 1 The results of mixture ratios of mortars

浆液材料配合比(重量比) 水泥:黄土:砂:水	水固比 水:干料	抗压强度/MPa	
		7 d	28 d
1:2:2:1	0.2	8.7	13.9
1:1:3:0.8		6.5	21.4
1:2:1:0.8		8.2	13.3
1:1:1:0.6		8.4	20.9
1:2:2:1.25	0.25	3.5	5.4
1:1:2:1		3.4	8.2
1:2:1:1		4.9	8.8
1:1:1:0.75		3.4	15.8
1:2:2:1.5	0.3	4.0	8.2
1:2:1:1.2		5.7	7.9
1:1:2:1.2		3.9	7.4
1:1:1:0.9		4.5	8.4
1:2:2:2.5	0.5	5.5	2.1
1:2:1:2		5.7	2.4
1:1:2:2		1.7	3.7
1:1:1:1.5		2.0	5.0

表 2 浆液配比试验结果

Table 2 The results of mixture ratios of mortars

浆液配合比(重量比) 水泥:砂:水	水固比 水:干料	抗压强度/MPa	
		7 d	28 d
1:2:0.6	0.2	7.8	32.8
1:3:0.8		7.1	26.9
1:4:1		5.0	17.4
1:2:0.75	0.25	5.2	22.2
1:3:1		11.1	15.4
1:4:1.25		10.7	8.7
1:2:0.9	0.3	8.7	12.6
1:3:1.2		7.5	9.5
1:4:1.5		8.3	8.6
1:2:1.5	0.5	5.8	7.4
1:3:2		5.3	5.5
1:4:2.5		6.2	3.5

(3) 浆液配比确定

根据表 1 和表 2 的浆液配比试验, 综合考虑该人防隧洞的实际情况, 最后确定该人防隧洞浆液性质如表 3 所示。

表 3 浆液性质

Table 3 The properties of mortars

路段	加固材料 及配比	水固比	浆液密度 $\rho_v/t \cdot m^{-3}$	1 m ³ 浆液中水泥、砂、 黄土及水的重量/t
含水段	水泥: 砂: 黄土 =1: 2: 2	0.2	2.15	0.36, 0.72, 0.72, 0.36
不含水段	水泥: 砂: 黄土 =1: 2: 2	0.3	1.98	0.30, 0.61, 0.61, 0.46

3.2.3 灌浆施工工序

灌浆过程中, 首先对 CZ 及 CK 位置(如图 2 所示)采用浆砌片石封堵, 构筑灌浆帷幕, 然后对 1~6 号孔间隔、交替实施敞口式自流灌浆, 并在孔口随浆液充填粗骨料, 粗骨料以粒径小于 5 mm 的碎石及中、粗砾砂岩为主。间隔灌浆的主要目的是为了验证浆液及粗骨料的有效扩散半径。当灌浆填料在空区距离隧洞拱顶约 0.5 m 处时, 终止粗骨料的充填, 在 1~6 号孔间隔实施加压灌浆, 按拟定终止条件结束第 1 次灌浆, 孔中及隧洞中的浆液会在自重压力下逐渐向隧洞壁四周空隙渗透、扩散, 等隧洞中浆液逐渐析水固结后(7~10 d 后), 实施第 2 次封闭式压力灌浆^[5], 并将水固比提高到 0.3, 其目的是为了在不影响固结效果的情况下, 降低浆液的黏稠度, 增强浆液的流动性, 便于浆液充分填充空洞区的空隙, 提高填充效果。

3.2.4 浆液扩散半径的测定

浆液的扩散半径与灌浆空洞区的规模、浆液的配合比、水固比、灌浆材料、灌浆压力及灌浆压力持续时间等因素密切相关^[5, 6], 它是确定灌浆布孔方式的重要参数。在二次封闭式加压灌浆过程中, 压力是控制灌浆质量的重要因素。使用较高压力的优点在于使浆液能更好地压入空洞, 并有利于水泥黄土浆液中水的排出; 而且浆液固结充分、饱满、密实, 扩散半径也比较大。本次试验中, 配合比为 1:2:2(水泥:砂:黄土)、水固比为 0.2 的浆液在灌浆压力为 200 kPa 时的扩散半径为 4~6 m, 当灌浆压力为 500 kPa 时, 扩散半径增加到 8~10 m。

3.2.5 灌浆终止条件

为了充分达到灌浆加固的目的, 本次灌浆试验分别在 7, 8, 9 号观测孔处(图 2 所示)拟定了 3 种终止灌浆的条件。

(1) 封闭 5, 7 号孔, 6 号孔灌浆压力维持在 200 kPa, 持续时间 30 min 后终止灌浆。在实际灌浆过程中满足终止条件后浆液沿 7 号孔上升至高出 7 号孔人防隧洞洞顶 1 m 左右。

(2) 封闭 2, 4, 8 号孔, 3 号孔灌浆压力维持在 500 kPa, 持续时间 10 min 后终止灌浆。在具体实施过程中, 当灌浆压力上升到 400 kPa 以上时, 观测到 5 号孔浆液从孔口溢出, 灌浆即行终止。

(3) 1 号孔实施封闭式加压灌浆, 不考虑灌浆压力和持续时间, 当灌浆量小于 1L/30 min 后终止。

4 工程灌浆效果检验及分析

(1) 填充效果

灌浆结束 14 d 后实施灌浆充填效果检验, 其中 7 号和 9 号观测孔固结填充饱满, 8 号孔浆液固结面距离洞顶 5 cm。经注水试验, 7, 8 及 9 号孔单孔累计注水时间 20 h, 总注水量 20 L。因此, 按拟定的灌浆工艺技术施工, 浆液对空区的填充效果良好。

(2) 固结强度

灌浆结束 14 d 后, 分别在 7, 8 及 9 号孔采取岩芯试件^[6]。经观察, 该人防地道中填料岩芯均呈长柱状, 柱面光滑完整, 填料颗粒间胶结密实, 显示浆液固结效果良好, 试件抗压强度统计表 4。

表 4 灌浆后岩芯抗压强度
Table 4 The compressive strength of
drill cores after grouting

孔号	取样深度 / m	浆液配合比(重量比) (水泥: 黄土: 砂: 水)	抗压强度 / MPa
7	11~11.5	1: 2: 2: 1.5	8.1
8	11~11.5	1: 2: 2: 1.5	7.9
9	11~11.5	1: 2: 2: 1.5	7.6

5 结 论

(1) 根据不同配比材料的抗压强度试验并结合工程实际, 分别制定了该人防隧洞含水地段和不含水地段的加固措施。工程实践表明, 此加固治理措施是可行的。

(2) 依据工程实际制定了 3 套灌浆终止方案, 工程实践表明这 3 套灌浆方案完全满足工程要求。

(3) 灌浆后岩芯的抗压强度表明, 按该工艺技术对隧洞围岩进行灌浆处理后, 完全达到的预期的效果和目的。

参 考 文 献

- [1] 苏枢, 成保才, 孙文安. 隧洞豆砾石灌浆软模止浆梗初步设计. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(2): 208—211.
SU Shu, CHENG Bao-cai, SUN Wen-an. Preliminary

- design for peagravel grouting in TBM tunneling[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2001, 20(2): 208—211.
- [2] 陈义斌, 高鸣安, 陈明祥. 江垭口工程孔口封闭帷幕灌浆高压灌浆材料性能试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(增): 1 809—1 813.
CHEN Yi-bing, GAO Ming-an, CHEN Ming-xiang. Study on the properties of grouting materials under high pressure in the curtain grouting with hole-top enclosure of the Jiangya project[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2001, 20(Supp.): 1 809—1 813.
- [3] 郭其青. 灌浆技术在斜槽地基加固工程中的应用[J]. 金属矿山, 2001, (6): 50—53.
GUO Qi-qing. Application of grouting technology in the chute ground base consolidation engineering[J]. **Metal Mine**, 2001, (6): 50—53.
- [4] 周和清, 欧阳崇云. 葛洲坝基础灌浆和排水设计关键问题及评价[J]. 人民长江, 2002, 23(2): 12—15.
ZHOU He-qing, OU YANG Chong-yun. Several key technical issues in foundation grouting and drainage design for Gezhouba Project[J]. **Yangtze River**, 2002, 23(2): 12—15.
- [5] 罗长军, 李伟, 卢冰. 灌浆技术在紫山灰场粉煤灰地层中的应用[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(3): 332—335.
LUO Chang-jun, LI Wei, LU Bing. Application of grouting technology to the layer of pulverized coal ash on ground of Zishan[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2002, 24(3): 332—335.
- [6] 王旭, 赵善锐, 丁小军. 砾卵石层中桩底灌浆钻孔灌注桩承载性质研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(增 2): 2 903—2 907.
WANG Xu, ZHAO Shan-rui, DING Xiao-jun. Study on behavior of bored piles with grouted-base on gravel stratum[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2003, 22 (Supp.2): 2 903—2 907.