

文章编号:1003-1995(2004)11-0037-03

# 聚丙烯纤维网湿喷混凝土施工方法

童建军

(西南交通大学 峨眉校区土木系,四川 峨眉山 614202)

**摘要:**介绍采用聚丙烯纤维网湿喷混凝土作为铁路隧道永久性衬砌的施工方法,并与整体式、复合式衬砌作了经济效益比较,以宝兰二线宝天段东巨寺沟隧道Ⅲ级围岩地段的试验为例说明此工法的使用效果。

**关键词:**隧道衬砌 聚丙烯纤维网 湿喷混凝土 施工工法

**中图分类号:**U455.91 **文献标识码:**B

## 0 前言

我国铁路隧道衬砌有整体式、复合式、喷锚式等几种形式。整体式衬砌和复合式衬砌因受施工环境和模筑混凝土施工工艺的限制,很难使衬砌背后特别是拱顶部位的衬砌密实,而背后存在的空隙常常是引起围岩松动、衬砌受力不均并导致衬砌开裂或破损的主要原因,也是衬砌背后滞水、降低衬砌防水效果的主要原因。喷锚衬砌因受传统干喷混凝土施工工艺的限制,喷射混凝土设计强度、质量离散性比模筑混凝土大,表面粗糙度高,因而铁路隧道设计规范规定仅在Ⅰ~Ⅱ级完整、稳定的围岩中采用喷锚衬砌。

随着喷射混凝土施工工艺的改进,如湿喷工艺的出现,以及各类纤维混凝土新材料的出现,喷射混凝土的性能已得到较好改善,尤其是采用聚丙烯纤维网湿喷混凝土,可很好地解决上述矛盾,消除质量隐患,确保行车安全。

## 1 聚丙烯纤维网湿喷混凝土工法特点

(1)湿喷混凝土回弹率低,粉尘少,可节约材料,降低成本,且有利于劳动保护。

(2)所需施工设备较少,技术工艺简单,造价较低,与隧道围岩密贴,混凝土各种性能均有明显提高,衬砌质量稳定可靠。

(3)与传统喷锚衬砌相比,湿喷混凝土料中参加的粗细骨料先期已进行了强制搅拌,混凝土和易性好,又因其回弹率低,可大大提高喷射混凝土强度,最大限度地避免纯粹的“喷浆”。

(4)与干喷相比,还可增加一次喷层的厚度,减化施工工序,减少各工序的相互干扰,提高施工进度。

(5)适用于铁路、公路、矿山等Ⅲ级以上围岩的地下工程。

## 2 聚丙烯纤维网湿喷混凝土施工工艺

### 2.1 机械设备

(1)湿喷机。选择河南焦作工程机械厂生产的ESP-6型混凝土湿喷机,生产能力 $6\text{ m}^3/\text{h}$ ,耗风量 $8\sim 10\text{ m}^3$ ,适用配量比 $1:4\sim 1:5$ ,工作风压 $0.3\sim 0.6\text{ MPa}$ ,适用混凝土水灰比 $0.55\sim 0.65$ 。

(2)搅拌机。采用自落式或双轴卧式强制式搅拌机,搅拌容量 $500\sim 1\ 000\text{ L}$ 。

### 2.2 对原材料的要求

(1)水泥。采用硅酸盐水泥(P.Ⅱ)或普通硅酸盐水泥(P.O)作为胶凝材料,强度等级 $< 32.5\text{ MPa}$ ,实测活性 $> 36.0\text{ MPa}$ 。为保证湿喷混凝土的质量和回弹率,水泥要现拌。其它指标要符合现行国家标准。

(2)细骨料(砂)。采用细度模数 $\mu_f > 2.5$ 的坚固耐久中、粗河砂,其中粒径 $< 0.075\text{ mm}$ 的颗粒应 $< 15\%$ ,其颗粒级配和质量要求见表1。无潜在碱骨料反应的危险,其他技术指标应符合JGT52—97的规定。

(3)粗骨料(石子)。选择最大粒径 $D_{\max} > 15\text{ mm}$ 的连续级配卵石,也可采用同粒径连续级配的碎石。石子中的杂质、硫化物按质量计(折算成 $\text{SO}_3$ ) $> 1\%$ ,针、片状颗粒含量 $> 15\%$ 。如采用速凝剂,石子中不得含有活性 $\text{SiO}_2$ 、活性 $\text{CaCO}_3$ 或活性白云石 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ 。其他技术指标应符合JGT53—97的要求。

(4)速凝剂。应注意速凝剂与水泥的相容性,通过测定水泥净浆和混凝土凝结时间,确定速凝剂的最佳掺量。在进行水泥净浆凝结试验时,初凝时间 $> 5\text{ min}$ ,以 $3\text{ min}$ 左右为佳;终凝时间 $> 10\text{ min}$ ,以 $6\sim 7\text{ min}$ 为佳。所用液体速凝剂宜为无碱型或pH值 $< 10$ 的弱碱型,品质均匀,受气候影响较小。当环境平均气温 $< 5\text{ }^\circ\text{C}$ 时,应注意液体速凝剂的保温,使用前应复检其速凝效果。

(5)减水剂。减水剂的减水率应 $\geq 18\%$ ,品质均匀(均质性),引气率应 $< 2.0\%$ ,添加减水剂后,对混凝土拌和物凝结时间的影响应符合现行国家标准。应考虑减水剂对速凝剂速凝效果可能带来的影响。

(6)聚丙烯纤维网。抗拉强度 $\geq 400$  MPa,熔点 $< 170$  °C,断裂伸长率 $> 8\%$ ,抗拉弹性模量 $> 37$  GPa,耐酸、耐碱。纤维长10 mm左右,单丝长径比 $\geq 2\ 200$ 。

(7)拌和用水采用洁净的饮用水。

### 2.3 投料、搅拌工艺

先投入石子、水泥、纤维、砂子搅拌30~60 s,再加入减水剂和水搅拌60~90 s,并在出料口测量纤维网混凝土拌合物的坍落度,观察纤维分散和分布情况,做好纪录。随机抽取约5 L混凝土拌合物,用水洗法检验其分散和分布状况,若聚丙烯纤维在混凝土中分散和分布不均时,应均匀投料、加强搅拌。

### 2.4 喷射工艺

(1)开机前充分做好检查、准备工作。

(2)施喷前先空载运转,检查管路是否畅通、湿喷机是否处于正常状态,进料口防超径钢质栅网是否安设妥当。喷射前用高压风将受喷面上的粉尘吹除并清除已松动围岩,用喷射机在工作面上洒适量水,保持一定湿度,提高岩面粘附力。量测受喷围岩的基本尺寸,要求隧洞外轮廓较光滑。

(3)遵循先进料后湿喷的原则,并使受料口处混凝土拌合物始终高于搅拌翅。

(4)用硬质聚乙烯管替代原钢质喷嘴,以增强喷嘴对拌合物的聚焦能力并减轻喷射手的负重,提高操作的灵活性。

(5)分两层喷射。第一层喷厚50 mm左右,待混凝土硬化且强度达到5~8 MPa后(一般目测混凝土不脱落掉块即可),在设计确定的断面位置埋设量测组件;第二层喷100 mm左右(达到设计厚度)。

(6)喷射。喷嘴至工作面的距离一般为0.8~1.0 m,喷射角度控制在 $80^\circ \sim 90^\circ$ (若受喷面被格栅和钢筋网覆盖时,可将喷嘴稍加倾斜,但 $< 70^\circ$ ,以免形成混凝土骨料在受喷面上的滚动而产生凹凸不平的波形喷面,增加回弹量,影响喷混凝土的质量)。喷嘴处的风压一般控制在0.3~0.5 MPa;喷嘴应按螺旋形轨迹移动,每2 000~3 000 mm为一喷射区,采用由下向上的喷射方式施喷;喷嘴与岩面的间距700~1 200 mm,视聚焦和回弹情况进行适当调整。第一层喷射以扫描式为主,并对突出岩石的根部进行填充式喷射;第二层喷射以划圈喷射为主,即自下而上以300 mm直径划圈喷射,一次喷够所需厚度。

(7)风压的确定。根据拌合料聚焦情况及回弹率、

围岩的渗漏水情况、喷射机喷射能力的大小,调整喷射风压(一般控制在0.3~0.5 MPa)。风压过大则粗骨料碰围岩后会回弹,风压过小则喷射动能小,粗骨料冲不进砂浆层而脱落。要求按混凝土回弹量小、表面湿润有光泽、易粘着为度来掌握风压大小。

(8)为提高工效和保证质量,喷射作业应分片进行,一般2 m长、1.5 m宽为一片。

## 3 质量控制措施

(1)喷射厚度及线形控制。在围岩具有代表性的部位,用速凝剂和水泥配成速凝水泥浆埋设带座钢筋棍,长200 mm左右,间距1.0 m $\times$ 1.0 m。在喷射区域内用铁丝挂线,以铁丝线为标准进行喷射,这样既可控制厚度,又可控制喷射混凝土表面平整度。

(2)喷射混凝土质量试验。抗压强度和抗弯(折)强度试件采用脱底钢模直喷法,经捣实抹平后,在标养室中进行标准养护。其中抗压强度每一纤维掺量制作 $6 \times 3 = 18$ 块(6组中3组作抗压,3组作劈裂抗拉),制作3组抗弯(折)强度试件。

(3)通过对回弹量的测量,调整喷射工艺参数。

(4)遇渗漏水严重地段时,将水集中引于一处,预埋软式透水管将水引至边墙侧沟排出,确保喷混凝土表面不渗不漏。

## 4 安全生产措施

(1)开工前编制安全保障措施时,必须同时提出强腐蚀性物品的采购、保管和加工等注意事项及劳保用品计划,条件不具备时不得开工。

(2)操作人员须经过培训后方能上岗,要保持相对稳定,中途不得任意更换或调换。

(3)各种机械、管路、线路的装设、检查和维修必须由专职机电人员负责,并设必要的防护装置。

(4)所有机械、管路安装后和每次使用前都必须以额定最大工作压力试车,调整安全阀,排除漏电、漏水、漏风、漏浆等现象。当试风、试水和试喷时,应注意喷嘴对墙,以防伤人。

(5)工作人员必须戴口罩、乳胶手套、安全帽和防护眼镜,防止强腐蚀性添加剂烧伤。

(6)所有施工人员必须严格按照操作要求施工。

## 5 经济效益分析

Ⅲ级围岩单线隧道直线段(重型轨道)三种衬砌的支护衬砌单价如表1。

另外,喷锚式还可节省模板费、模板安装工费等。因此,采用聚丙烯纤维网湿喷混凝土作为隧道衬砌,具有良好的经济效益。

文章编号:1003-1995(2004)11-0039-03

# 成昆线百家岭隧道病害整治施工技术

石有才

(中铁十二局集团 三公司,太原 030024)

**摘要:**结合成昆线百家岭隧道病害整治工程实例,介绍既有运营隧道在不中断运营的条件下进行大面积快速更换衬砌及整体道床的施工技术。

**关键词:**运营隧道 病害整治 更换衬砌 施工技术

**中图分类号:**U455.91 **文献标识码:**B

## 1 工程概况

成昆线百家岭隧道位于成昆铁路刘沟车站与轿溪车站之间,为单线铁路隧道,全长2 046.52 m。隧道范围内进口段基岩为三迭系下统嘉陵江组(T<sub>1j</sub>)灰白、灰色灰岩、泥灰岩、白云质灰岩夹页岩及硬石膏层,岩溶发育,其中硬石膏层易溶于水,在地下水流经该层时,硬石膏层在水中离解成 Ca<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>离子,其中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>离子对混凝土具有侵蚀性。

百家岭隧道病害情况主要为膨胀地层及地下水侵蚀混凝土衬砌,导致拱部、边墙部严重开裂、掉块,条石衬砌灰缝失效,整体道床开裂、翻浆。

主要工程为全断面更换衬砌 325 m,既有道床改建、增设仰拱 147 m,环氧砂浆嵌缝、衬砌后注浆 748 m。新建衬砌为复合式全断面耐腐蚀钢筋混凝土衬砌,初期支护为 P 43 钢轨拱架,间距 1.0 m,网喷混凝土厚 24 cm。

## 2 主要施工方案

### 2.1 更换拱部施工方案

施工工艺流程:压浆固结既有衬砌背后松散围岩→控制爆破拆除既有拱圈圻工及扩挖岩石→开挖 1 m 并及时施作初期支护→成型 6 m 即铺设减能层、土工格栅、防水板→绑扎钢筋→立模灌注 5 m 长混凝土。

(1)防护台车及衬砌台车拼装。在规定封锁时间内现场组织台车拼装,在移动台车进行下道工序作业时,应细致检查其外形尺寸及在线路上的位置是否正确,尤其应注意台车轨道与两边的稳定性检查,以保证台车净空不侵入限界。

(2)松散围岩固结压浆。压浆孔环向间距边墙 150 cm、拱部 100 cm、纵向间距 120 cm;注浆钢管采用 φ32 无缝钢管,长 3.5 m;钢管钻注浆孔孔径 6~8 mm,孔间距 10~20 cm,梅花形布置,前端加工成锥形,如尾部长 < 50 cm 不钻注浆孔;水泥浆终压 1.0~2.0 MPa,压力稳定时间 < 5 min。因单液注浆不能完全固结既有衬砌背后松散围岩,采用 WTD 锚杆作超前支护。

(3)既有拱部混凝土的拆除及岩石扩挖。为减轻对围岩的扰动,保证运营安全,在封锁时间内,用防护台车进行严密防护,采用微振动控制爆破拆除既有圻工,扩挖岩石应优先采用风镐。

(4)控制爆破设计及施工工艺。根据设计图及有

表 1 三种衬砌的支护衬砌单价 元/m

衬砌类型	喷素混凝土	喷纤维混凝土	钢筋网	锚杆	模筑混凝土	超挖回填	合计
复合式	275.08		59.19	335.7	959.40	599.88	2 229.3
整体式	232.00				1 535.05	599.88	2 366.9
喷锚式	722.40	1 023.29		335.7			2 081.4

## 6 聚丙烯纤维网湿喷混凝土应用实例

宝兰二线宝天段东巨寺沟隧道Ⅲ级围岩地段 DK1335+510~DK1335+570 段进行聚丙烯纤维网湿

喷混凝土试验,喷射混凝土既作为隧道开挖后的支护,又作为隧道的永久衬砌,喷射厚度均匀,均达到设计规定厚度,表面平整、圆顺,粗糙度相对较低。混凝土强度高、离散性小。施作完的衬砌段经 3 个月的实测观察,未出现任何混凝土开裂或破损现象,围岩压力分布均匀,混凝土应力较小,洞室稳定。工程竣工一年来,经过几个雨季的考验,该段混凝土也未出现渗漏水现象,工程质量良好。

收稿日期:2004-04-20

(责任编辑 李从熹)