

文章编号:1006-2106(2008)07-0069-05

大断面黄土隧道洞口缓冲结构的设计及施工^{*}

刘旭全^{**}

(中铁一局集团郑西客运专线重点隧道项目经理部, 陕西 潼关 714300)

摘要:研究目的:为解决客运专线高速列车通过隧道空气动力学效应的不良影响,本文结合郑西铁路客运专线秦东大断面黄土隧道的工程实例,就该隧道进口缓冲结构设计、地基处理和混凝土施工技术措施进行详细介绍。

研究结论:水泥土挤密桩能够有效地消除黄土湿陷性,起到加固地基的作用;该隧道进口采用开孔等截面缓冲结构和帽檐式斜切洞门,充分结合了洞口环境要求,设计美观大方,和洞口地貌浑然一体,起到良好的缓冲作用;但考虑帽檐式洞门施工难度较大,模板台车投入大,周转次数极少,利用率低和工效低,建议设计单位考虑洞门取消帽檐式洞门,洞门和缓冲段设计统一断面多采用定型设计,以提高模板台车的利用效率。

关键词:客运专线;大断面;黄土隧道;地基处理;缓冲结构;设计;施工

中图分类号:U452.2 **文献标识码:**A

Design and Construction of Buffer Structure of Large Section Loess Tunnel Portal

LIU Xu-quan

(Main Tunnel Construction Headquarter of Zhengzhou - Xian Passenger Dedicated Line, China Railway First Group Co. Ltd, Tongguan, Shanxi 714300, China)

Abstract: Research purposes: Taking construction of large section loess tunnel in east Shanxi Province for example, the introduction is given in this paper to the design of buffer structure, treatment of foundation and concrete construction technology for tunnel portal for the purpose of doing research on the negative influence of aerodynamics when high-speed train passes through the tunnel on passenger dedicated line.

Research conclusions: Concrete compaction pile can effectively eliminate the moist and sinking of loess to reinforce the foundation. The buffer structure with open and cap brim type incline gate are adopted to the entry of the tunnel, which brings good buffering effect and meets the environmental requirement with good looking and integration of topographical features. But it is proposed to adopt typical design to the gate and buffering section so as to enhance the utilization coefficient of model loop wheel machine because there are lots of difficulties in construction of cap brim type incline gate with low working efficiency and high cost of model loop wheel machine.

Key words: passenger dedicated line; large section; loess tunnel; foundation treatment; buffer structure; design; construction

随着我国铁路事业的蓬勃发展,目前已有数条客 运专线进入施工建设阶段。客运专线速度目标值均在

* 收稿日期:2008-04-26

** 作者简介:刘旭全,1971年出生,男,高级工程师,中铁一局五公司副总工程师。

350 km/h 以上,列车运行过程中会产生空气动力学效应,从而对列车、旅客和周边环境产生不良影响。为了减缓此效应产生的影响,高速铁路隧道设计中多采用缓冲结构。本文结合郑西铁路客运专线秦东大断面黄土隧道进口端的施工实例,就缓冲结构设计、地基处理和混凝土施工技术措施等方面的具体做法进行详细阐述。

1 工程概况

郑西铁路客运专线秦东隧道全长 7 684 m,是全线隧道中 3 个重点控制工程之一,位于陕西省潼关县境内,设计为一座双线铁路大断面黄土隧道,开挖最大宽度为 15.2 m,最大高度为 13.2 m,最大开挖面积为 163.8 m²。其隧道进口位于豫陕两省交界处的杨家村坡地下,洞口附近建筑物主要有杨家村庄(距离洞口约 450 m)、连霍高速公路收费站(距离洞口约 350 m)及高速公路管理区。为了减缓高速列车通过隧道时产生空气动力学效应的不良影响,并为高速列车运营期间进行科研工作提供条件,郑西客运专线在秦东隧道进口唯一设计并施工了缓冲结构。缓冲结构效果和实体分别如图 1、图 2 所示。



图 1 缓冲结构效果图



图 2 缓冲结构实体图

2 缓冲结构设计

秦东隧道进口段隧道底部位于新黄土 Q₃ 地层中,具有自重湿陷性。为了消除湿陷性、提高地基承载力,采用水泥土挤密桩加固处理。其中 DK 333 + 312 ~ DK 333 + 362 段设缓冲构筑物,DK 333 + 362 ~ DK 333 + 370 段设过渡段,DK 333 + 370 ~ DK 333 + 390 段设

明洞,采用帽檐斜切式洞门。缓冲结构采用开孔等截面结构,长度为 50 m,截面有效面积为 145 m²,与隧道正常净空断面段在 8 m 范围内过渡顺接;两侧对称开孔,单孔尺寸 2.15 m × 1.45 m (高 × 宽),两孔中心距 4.0 m,单侧开孔 10 个,孔中心位于内净空高度的 1/2 处。缓冲结构设计如图 3、图 4 所示。

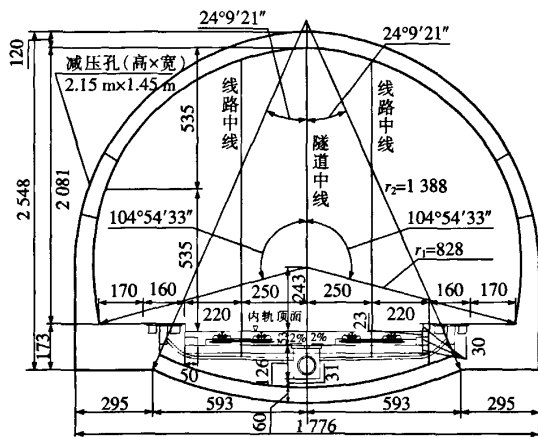


图 3 缓冲结构断面图(单位:mm)

3 缓冲结构施工技术

3.1 缓冲结构施工方案

秦东隧道进口缓冲结构采用 C35 防水钢筋混凝土,厚度为 60 cm。结构按照“先仰拱、后墙拱”的次序施工,仰拱浇筑利用栈桥维持洞内交通运输;衬砌钢筋由汽车运至洞口,利用作业平台焊接、安装;浇筑混凝土采用 6.0 m 液压模板台车整体浇筑;二次衬砌耐久性混凝土采用强制式搅拌机以及自动计量的拌和站、搅拌运输车运输、混凝土泵送入模的机械化流水作业线。

3.2 模板台车设计

综合考虑缓冲结构和帽檐斜切式洞门设计情况,通过多种方案比选,最终确定模板台车设计如下:加宽段采用 6.0 m 长整体液压模板台车,洞门斜切段继续利用 6.0 m 长整体液压模板台车配合异型模板衬砌,并在 6.0 m 整体液压模板台车上加长底纵梁和一组门架及面板结构。整体液压模板台车模板半径比净空半径设计大 5 cm,即为 8.33 m,模板台车外形尺寸(长 × 宽 × 高)为:6 000 mm × 13 400 mm × 11 630 mm,台车自重约为 78.6 t。台车行走速度为:6 ~ 7 m/min,轨距为 8 000 mm,最小净空为 3 300 mm × 4 500 mm。液压系统额定压力为 16 MPa,工作压力为 12 MPa,台车升降行程为 300 mm,边模油缸行程为 300 mm,横移行程为 ±150 mm。整体液压模板台车设计如图 5、图 6 所示。

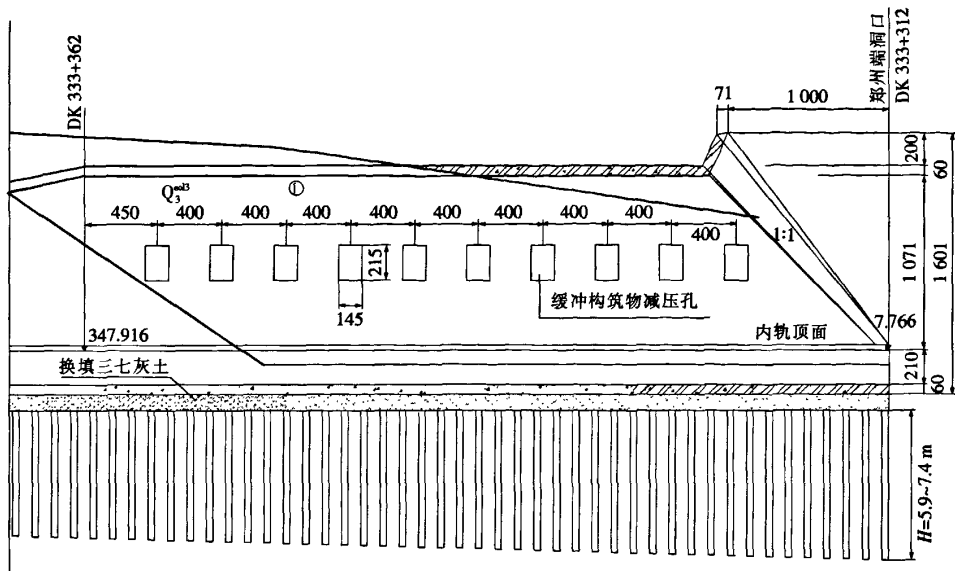


图 4 缓冲结构纵断面图(单位:mm)

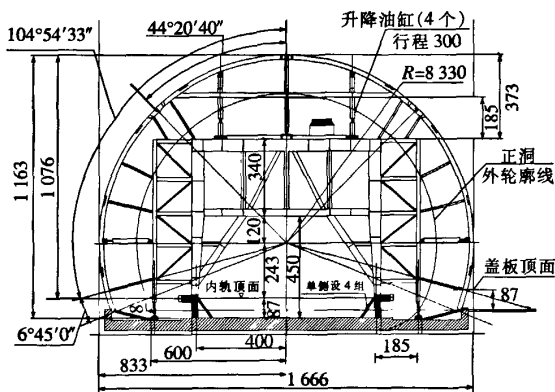


图 5 II 区域模板门架横断面图(单位:mm)

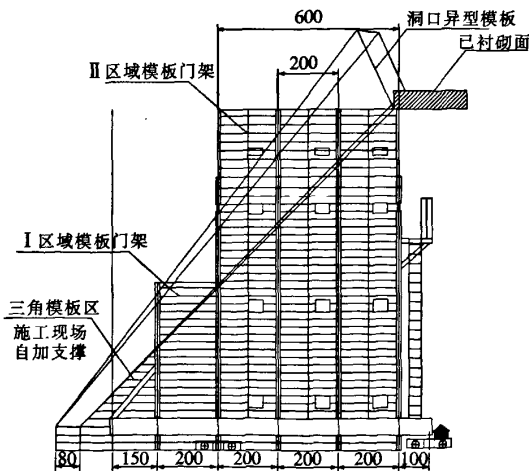


图 6 洞口斜切段纵断面图(单位:mm)

3.3 耐久性混凝土配合比设计

缓冲结构混凝土采用 C35 防水钢筋混凝土,厚度为 60 cm,要求满足 100 年使用寿命。该耐久性混凝土配合比设计为“水泥:河砂:碎石:水:减水剂:粉煤灰=1:1.96:3.21:0.47:0.016:0.33”,设计坍落度为 200~230 mm。水泥采用秦岭 P. 042. 5,用量为 330 kg;砂采用华阴中砂,用量为 648 kg;碎石采用潼关蒿岔峪,规格为 5~31.5 mm,用量 1 058 kg;水为饮用水,用量为 154 kg;外掺料采用山西黄腾产的高效减水剂,用量为 5.28 kg;I 级粉煤灰 108.9 kg。试验结果 7 d 强度为 26.4 MPa,28 d 强度为 40.0 MPa,56 d 强度为 43.8 MPa,抗渗标号达到 P8。56 d 电通量为 989C,满足设计要求。

3.4 地基处理施工措施

3.4.1 地基处理情况

DK 333+312~DK 333+390 里程段的水泥土挤密桩设计经优化后参数为:桩径 0.5 m,桩距 1.1 m,桩长 5.9~7.4 m,平面也呈等边三角形布置,水泥土挤密桩共计 612 根,总长 3 710 m。复合地基检查项目桩体平均压实系数不得小于 0.97,桩间土平均挤密系数不得小于 0.93,复合地基承载力不得小于 200 kPa。

3.4.2 地基处理施工

3.4.2.1 水泥土挤密桩施工工艺流程

水泥土挤密桩采用锤击打入桩管法成孔,其施工工艺流程为:平整场地→桩机定位→打入管桩

——拔出管桩——分层填料、夯实——质量检测。采用机械洛阳铲成孔,其施工工艺流程为:平整场地——洛阳铲就位——取土成孔——分层填料、夯实——质量检测。

3.4.2.2 主要施工技术

3.4.2.2.1 桩体成孔:结合该工程地质情况,并考虑到为了减少对隧道内施工干扰,成孔方法采用锤击打入桩管成孔法和机械洛阳铲成孔法2种。其中DK 333+312~DK 333+350里程段落内采用锤击打入桩管成孔法,成孔机械选用柴油打桩机,将钢管打入设计深度后,拔出桩管成孔。剩余DK 333+350~DK 333+370里程段内采用机械洛阳铲成孔,先成400 mm孔,后孔内夯扩成管成500 mm孔。成孔顺序均先外排后内排,内外排间隔跳孔施工。

3.4.2.2.2 填料筛分、拌和:填料由水泥、砂黏土、水3种材料组成,其中水泥采用P. O32.5普通硅酸盐水泥,掺量为土质量的8%。土的最佳含水量为10%,允许偏差不大于2%。土料选用砂质黄土,且要过筛,筛孔的大小控制在20 mm以内。水泥土拌和料最佳含水量为16%。水泥土拌和采用配料拌和机,该机械主要由装料斗配料、拌和机拌和。

3.4.2.2.3 填料夯实:成孔后分层在孔内投入水泥土,并用夯实机械把填料夯实。夯实机械为夹杆夯实机和线锤夯实机。线锤夯实机夯锤直径为320 mm,锤重480 kg,动力功率为7.5 kW;汽车夯机夯锤直径为325 mm,长度为2 m,重量为1 300 kg。填料量和夯击次数应通过试验确定,并严格控制以保证达到夯实要求。在采用锤击钢管成孔法施工过程中,7 m水泥土挤密桩成孔锤击次数为150~160次/孔,耗时约6 min;每次夯填7 kg用夹杆夯实机夯击2~3次,每孔夯填锤击总次数700~800次,夯填时间约20 min;每次夯填27 kg,采用线锤夯实机夯击4次,每孔夯填锤击总次数为200~240。在采用机械洛阳铲成孔法施工过程中,6.35 m水泥土挤密桩成孔耗时约70 min/孔,夯填时间约26 min。每孔夯填约2 kg,采用线锤夯实机夯击每孔夯填锤击总次数为120~140。

3.4.2.2.4 质量检测:桩孔质量检测包括桩位、桩径、桩距、桩长、桩垂直度,桩垂直度成孔夯实孔底后吊垂球测量,其余项目均采用经纬仪或钢卷尺现场量度。桩体和桩间土应检测压实系数,对桩间土进行湿陷性试验和压缩试验,检测挤密系数、湿陷系数和压缩模量,静载荷试验采用慢速维持荷载法。通过现场检测复桩体平均压实系数均大于0.97,桩间土平均挤密系

数均大于0.93,复合地基承载力大于200 kPa。

3.5 缓冲结构混凝土施工措施

3.5.1 模板台车就位

3.5.1.1 模板台车组装好后,严格检查前后断面尺寸、中线位置及两端是否在同一断面上,模板表面打磨是否光滑、有无铁锈,错台是否在允许范围内;模板台车就位时,严格控制拱顶标高、中线、起拱线尺寸、大腰中线尺寸和底面中线尺寸,中线偏差控制在10 mm以内,标高偏差控制在5 mm以内。

3.5.1.2 台车行走轨道枕木选用无开裂、腐烂的硬质木材,高度为15 cm,间距为0.5 m,行走轨道采用43 kg/m钢轨。严格控制轨顶标高,轨面高程误差不超过 ± 10 mm,中线误差不超过 ± 10 mm。

3.5.1.3 台车中线、水平等尺寸符合要求后,由技术人员、质检工程师、现场领工员检查模板支撑和搭接对位情况,要求支撑稳固、接缝密贴、各杆件受力均匀。

3.5.1.4 移动台车就位,润涂脱模剂后,操作工人、技术人员到场,边调试边检查,模板顶到位后,先紧上部螺旋顶,再紧下部螺旋顶,直到准确就位。

3.5.1.5 灌注混凝土之前,模板台车面板打磨光洁,无锈、无水泥浆痕迹、无污物、无浮土灰尘,采用纯净机油、柴油(配合比:一份机油、二份柴油)勾兑成脱模剂,均匀喷涂在模板上。

3.5.1.6 挡头板采用木板现场加工安设、加固,要求与模板台车弧形对应、密贴,所有板缝应严密不漏浆。为防止爆模,挡头板安装完毕应用方木或钢管打斜支撑加固。

3.5.2 施工缝及变形缝处理

3.5.2.1 施工缝及变形缝表面先用钢刷将疏松、起皮、浮土等清理干净,使表面基本平整、干燥无污物,涂刷界面剂。

3.5.2.2 施工缝及变形缝中设中埋式止水带和背贴式止水带。中埋式止水带采用橡胶止水带,止水带宽度30 cm,采用热熔对接法连接、钢筋夹固定。背贴式止水带应定位准确,要求止水带纵向轴线与施工缝对齐。背贴式止水带与防水板之间不透水焊接,焊接部位牢固可靠。背贴式止水带设置在隧道变形缝部位时,将止水带的两端不透水焊接防水板表面,焊接宽度不小于4 cm,采用手工焊接。

3.5.2.3 变形缝和施工缝附近的混凝土在振捣时应注意不得触及止水带。变形缝填塞沥青麻絮,外口用隔离纸和嵌缝胶进行封口处理。

3.5.3 钢筋加工及安装

3.5.3.1 钢筋进场必须有出厂质量证明和试验报告单,并按批抽取试样做屈服强度、抗拉强度、伸长率和冷弯等试验,其质量应符合设计及验标要求。

3.5.3.2 衬砌钢筋采用 Q235 钢,钢筋加工前表面应洁净,使用前应将表面油污、漆皮、鳞锈等清除干净。钢筋应直顺,无局部弯折,成盘的钢筋和弯曲的钢筋均应调直。

3.5.3.3 钢筋采用调直机调直,钢筋的弯制和末段的弯钩应符合设计要求。钢筋在洞外集中下料加工,汽车运至洞内人工利用多功能作业平台焊接、绑扎。钢筋下料长度应进行优化设计,以保证同一截面焊接接头数量不超过 50%,接头间距不小于 35 d。钢筋的规格、数量符合设计要求。钢筋的搭接长度和焊接质量满足设计要求,钢筋接头采用双面焊缝搭接焊时,焊缝长度不小于 5 d;当采用单面焊缝搭接焊时,焊缝长度不小于 10 d。

钢筋焊接应符合下列要求:接头有适当的镦粗部分,并呈均匀的毛刺外形;钢筋表面不能有明显的烧伤或裂纹;接头弯折不大于 4° ;接头轴线的偏移不大于 $0.1d$,并不大于 2 mm。钢筋加工应按设计图纸放大样,放样时应考虑焊接变形和预留拱度。纵向钢筋在施工缝处做成标准直弯钩,弯勾距挡头板 5 cm,使施工缝处钢筋断开。仰拱环向钢筋,在仰拱两端顶部相互错开一长一短伸出混凝土外,短钢筋伸出混凝土不小于 30 cm,长钢筋伸出混凝土不小于 90 cm。

3.5.3.4 为了确保钢筋混凝土保护层厚度不小于 50 mm,采取以下技术措施:在钢筋骨架内外侧采用专用保护层垫块和混凝土块支垫;利用钢筋制作用于支撑衬砌钢筋的骨架,骨架采用 3 根 $\phi 22$ 螺纹钢呈三角形分布,其间用钢筋连接,沿隧道纵向每 3 m 设一环,并作为主筋,避免衬砌钢筋下挠,保证混凝土保护层厚度。

3.5.4 耐久性混凝土施工

3.5.4.1 模板台车就位及模板固定:内模和支撑采用液压整体模板台车,外模采用木模,并与脚手架和钢筋固定。

3.5.4.2 混凝土的搅拌:在衬砌钢筋、模板、结构尺寸检查合格、签认,其它准备工作充分后,才能开始拌制混凝土。混凝土采用二次投料工艺进行拌制,集中在拌合站采用强制式搅拌机搅拌,搅拌次序为先将砂、石、水泥加入搅拌机拌和 0.5 ~ 1.0 min,再加水搅拌 1.5 ~ 2.5 min;外加剂最后加入,搅拌前外加剂先用拌

和水进行稀释均匀,搅拌时间延长至 3 min。

3.5.4.3 混凝土的运输:采用 8 m^3 混凝土运输罐车运送。在运输过程中,混凝土罐不得停止转动,确保入模混凝土的质量。

3.5.4.4 混凝土浇筑及振捣:混凝土施工分上下两部分进行,上下分界以两侧墙角处,设计轨面标高下 97 cm 为准,下部为仰拱及仰拱填充部分,上部为拱墙衬砌部分。仰拱及铺底混凝土采用栈桥配合仰拱模板整体浇筑,拱墙衬砌采用长度为 6.0 m 的模板台车浇筑。其混凝土均在洞口拌和站拌和,混凝土罐车运到现场,混凝土输送泵送入模,混凝土的振捣采用插入式捣固棒配合附着式振捣器进行。灌注混凝土时,先从台车模板最下排工作窗口开始两侧对称进行灌注混凝土,灌注混凝土至其快要平齐工作窗口时,关闭工作窗,然后从第二排工作窗口进行灌注混凝土,依次类推,最后于拱顶输料管处关闭阀门封顶。插入式捣固棒振捣时,按“快插慢拔”操作。捣固棒应等距离地插入,均匀捣实全部混凝土,插入点间距应小于振捣半径。前后两次捣固棒的作用范围应相互重叠,避免漏捣和过捣。振捣时严禁触及钢筋和模板。

3.5.5 耐久性混凝土质量检测

3.5.5.1 原材料检测:混凝土原材料进场后,对水泥、矿物掺和料、骨料、外加剂、水的品种、规格、数量以及质量证明书等进行核查,向水泥供应商索要水泥熟料的化学成分和矿物组成、矿物掺和料种类和数量等资料,并对水泥供应商提供的资料进行确认,进行取样复查。对于检验不合格产品清除出场。

3.5.5.2 混凝土拌和物性能检测:各种拌和物性能测定值与要求值之间的最大偏差宜控制为:坍落度 $\pm 20\text{ mm}$,水胶比 ± 0.02 。新建拌和站首次搅拌混凝土时,对混凝土拌和物的匀质性进行检验。检验时可在搅拌机的卸料过程中,从卸料斗的 $1/4 \sim 3/4$ 之间的部分取混凝土试样进行实验。

3.5.5.3 混凝土的力学性能和耐久性的检测:混凝土强度的检验评定应符合《铁路混凝土强度检验评定标准》(TBA10425)的有关规定,混凝土试件的实验龄期为 56 d。混凝土耐久性的检验评定应符合《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》(铁建设[2005]160 号)的规定,混凝土试件的实验龄期为 56 d。

4 结论

通过秦东大断面黄土隧道进口端缓冲结构的施工

(下转第 78 页)

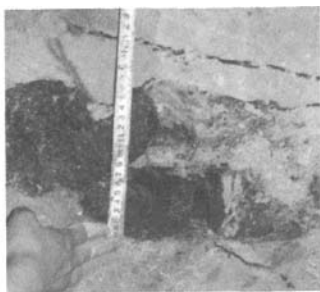


图6 注浆孔内浆液

这一阶段压力变化不大,持续时间较短。

4.2.2 第二阶段:挤密扩孔

浆液将钻杆和孔壁间的空隙充满后,开始挤压止浆塞和钻头之间的圆柱体浆液和钻头端部的土体,随着注浆量的增加,圆柱体向周围扩展,对周围土体产生挤密作用,这一阶段压力达到第一个峰值,进浆量减少。

4.2.3 第三阶段:劈裂流动

当挤密扩孔作用进行到一定程度后,浆液将劈裂开钻头或薄弱部位的土体开始流动,劈裂面发生在阻力最小的小主应力面上。当地层中存在已有的软弱破裂面或土层交界面时,首先沿着软弱面或土层交界面劈裂流动,形成片状注浆体。浆液在劈裂过程中始终是无孔不入的,总是先沿软弱处劈裂发展。这一阶段压力在突破启裂压力后很快下降,并维持在一低值左右摆动,注浆量呈增加趋势。

4.2.4 第四阶段:再次劈裂

浆液在劈裂过程中可能发生一次或多次劈裂现象,各劈裂现象的间隔时间不等,但后续劈裂压力总大于前次压力,劈裂面总发生在当时地层的最小主应力面上。

(上接第73页)

实践,体会到水泥土挤密桩能够有效地消除黄土湿陷性,起到加固地基的作用;同时该隧道进口采用开孔等截面缓冲结构和帽檐式斜切洞门,充分结合了洞口环境要求,起到了良好的缓冲作用,设计美观大方,和洞口地貌浑然一体,也为今后我国对运营过程中高速铁路隧道空气动力学效应研究提供了条件。但考虑到帽檐式洞门施工难度较大,模板台车投入大,周转次数极少,利用率低和工效低,建议设计单位考虑洞门取消帽檐式洞门,洞门和缓冲段设计统一断面多采用定型设计,以提高模板台车的利用效率。

5 结论

(1) 虽然采取钻杆水平后退式注浆可以提高注浆效果,但浆液主要以劈裂挤密方式扩散。浆脉分布的不均匀性和不规则性,导致开挖时薄弱部位仍会出现渗漏水。

(2) 为了防止注浆过程中浆液将钻杆抱住,在注浆过程中应保持钻杆不停转动,同时可采用膨润土和水泥组成的低强度泥浆料来充填钻孔和孔壁间的空隙,以减小抱钻几率。

(3) 采用普通水泥浆和普通水泥-水玻璃双液浆形成的浆脉主要以水平为主,采用较高注浆压力可以提高挤密和劈裂效果,但在施工中若掌子面未能及时封闭的话,仍会出现渗水,为了提高止水效果,可以部分采用超细水泥或溶液性浆液,与普通水泥间隔注入,以增强浆脉间土体的止水性。

(4) 在全强风化花岗岩中注浆,只能通过合适的注浆设计、注浆工艺、注浆材料以使浆脉在地层中尽可能多地分布并形成网架结构。

(5) 施工中应尽可能做好止浆系统,使浆液尽可能多地进入地层。同时缩小孔间距,使钻孔能贯穿更多的节理裂隙,浆液能够相互贯通。

参考文献:

- [1] 段光杰. 风化花岗岩的基本特征和工程分类研究[C]//中国工程地质委员会. 第4届全国工程地质大会论文集(二). 北京:海洋出版社,1992:561-565.
- [2] 草野一人[日]. 地基加固和防水药液注浆设计施工手册[M]. 北京:中国隧道出版社,1989.
- [3] 周书明,陈建军. 软流塑淤泥地层地铁区间隧道劈裂注浆加固[J]. 岩土工程学报,2002,24(2):222-224.
- [4] 葛家良,江涛. 巷道围岩劈裂注浆作用机理[J]. 矿山压力与顶板管理,1997(Z1):161-163.

参考文献:

- [1] TZ214-2005, 客运专线铁路隧道工程施工技术指南[S].
- [2] 铁建设(2005)160号, 客运专线铁路隧道工程施工质量暂行标准[S].
- [3] 铁道第一勘察设计院. 新建铁路郑州至西安客运专线秦东隧道设计资料[C]. 西安:铁道第一勘察设计院, 2006.
- [4] 铁建设[2005]160号, 铁路混凝土工程施工质量验收补充标准[S].

作者：[刘旭全](#)
作者单位：[中铁一局集团郑西客运专线重点隧道项目经理部, 陕西, 潼关, 714300](#)
刊名：[铁道工程学报](#) 
英文刊名：[JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期)：2008(7)
被引用次数：1次

参考文献(4条)

1. TZ 214-2005. 客运专线铁路隧道工程施工技术指南
2. 客运专线铁路隧道工程施工质量暂行标准
3. 铁道第一勘察设计院. 新建铁路郑州至西安客运专线秦东隧道设计资料 2006
4. 铁路混凝土工程施工质量验收补充标准

本文读者也读过(10条)

1. [范恒秀](#), [刘旭全](#) 郑西客运专线秦东大断面黄土隧道洞口缓冲结构设计及施工[会议论文]-2008
2. [翟学东](#) 从围岩的物理力学性质及量测数据出发指导大跨度湿陷性黄土隧道的施工[会议论文]-2001
3. [冯敏](#), [孙韶峰](#), [林安宁](#), [王勇](#), [FENG Min](#), [SUN Shaofeng](#), [LIN Anning](#), [WANG Yong](#) 浅埋湿陷性黄土隧道下穿民居施工技术[期刊论文]-隧道建设2010, 30(2)
4. [武长贵](#) 湿陷性黄土隧道浅埋段围岩变形治理[期刊论文]-青海交通科技2008(4)
5. [刘旭全](#), [王永玺](#), [雷向锋](#), [石新桥](#), [李本](#) 监控量测技术在客运专线大断面黄土隧道中的应用[期刊论文]-铁道标准设计2007(z1)
6. [王新东](#), [Wang Xindong](#) 郑西铁路客运专线湿陷性黄土隧道基底处理技术[期刊论文]-铁道标准设计2007(z1)
7. [胡平](#), [李晋德](#) 黄土隧道施工控制[会议论文]-2005
8. [杨建民](#), [Yang Jianmin](#) 郑西客运专线黄土隧道基础沉降问题研究[期刊论文]-铁道标准设计2007(z1)
9. [夏万云](#), [XIA Wan-yun](#) 郑(州)西(安)客运专线高桥隧道变形原因浅析[期刊论文]-铁道工程学报2007(z1)
10. [王晓州](#), [丁维利](#), [赵永明](#), [王庆林](#), [初厚永](#), [李雷](#), [WANG Xiao-zhou](#), [DING Wei-li](#), [ZHAO Yong-ming](#), [WANG Qing-lin](#), [CHU Hou-yong](#), [LI Lei](#) 大断面湿陷性黄土隧道施工技术[期刊论文]-铁道工程学报2007(z1)

引证文献(1条)

1. [胡永强](#), [豆小天](#) 拉法山隧道斜切式洞门施工技术[期刊论文]-隧道建设 2013(8)

引用本文格式：[刘旭全](#) 大断面黄土隧道洞口缓冲结构的设计及施工[期刊论文]-铁道工程学报 2008(7)