

碎石注浆钢管桩在隧道地基加固中的应用

柯文柱

宁安铁路有限责任公司

摘要: 随着我国高铁建设的不断发展, 高铁已经成为人们出行最便捷的交通方式之一。隧道作为高铁构筑物的一部分, 施工质量影响着高速铁路在后期的运营质量及运营安全。因此做好隧道内软弱地基的处理, 保证隧道工后沉降, 确保高速铁路线路的平顺性, 进而保证高速铁路的运营安全显得尤为重要。本文通过工程实例探讨碎石注浆钢管桩在隧道软弱地基处理中的应用, 较好的处理隧道洞内软弱地基, 为隧道软弱地基的处理提供参考和借鉴。

关键词: 高速铁路; 碎石; 注浆; 钢管桩; 地基加固

一、工程概况

安庆至九江高速铁路横山隧道位于石灰岩地段, 其中DK241+322-DK241+354段基底覆有粉质黏土层, 粉质黏土厚度0~12米不等, 粉质黏土地基承载力150kpa, 下层基岩承载力2000kpa。为提高地基承载力确保基底工后沉降满足要求, 需对该范围内软弱地基进行加固处理。

二、方案比选

鉴于洞内施工空间有限, 大型机械不能施作等原因, 业主组织设计、施工多次对设计施工方案进行研究。通过试验对比及设计计算, 鉴于软弱层厚度较薄, 下层基岩承载力满足要求, 同时考虑施工过程中的安全, 对软弱层地基处理试验了钢管桩注浆、碎石注浆钢管桩及换填处理方案, 最终确定隧底粉质黏土层不超过1m时采取C25混凝土换填至基岩顶面, 超过1米时采用碎石注浆钢管桩进行加固。

(一) 钢管桩注浆方案

在试验过程中发现, 由于本段软弱层地基为粉质黏土, 孔隙率较小, 注浆量较小, 不能有效渗透到土体周围, 土体加固效果不理想。注浆压力过大, 注浆“跑”“帽”“漏”现象较为严重, 同时由于土体较为致密, 浆液无法渗透至周边土体, 只能填充钢管桩内部及钢管桩周边, 达不到注浆加固土体效果。钢管桩内部填充的水泥浆, 无粗骨料, 钢管内部的水泥浆凝固后脆性较大。

(二) 碎石注浆钢管桩方案

本段底层为石灰岩, 承载力较高, 通过试验及设计计算, 桩基支撑满足承载力要求。在钢管桩注浆方案的基础上, 通过钢管桩内加入碎石, 然后注浆的方式, 作为桩基支撑, 有效提高了钢管桩的强度及刚度, 达到地基加固效果。

三、施工方案及施工步骤

(一) 施工方案

碎石注浆钢管桩加固即按照一定参数向隧道基底打入一定长

度的注浆钢管, 钢管内填充5~16mm碎石, 通过带压注浆对隧底注入水泥浆液, 挤密桩间土体, 固化围岩, 钢管内加入碎石, 形成混凝土结构, 提高钢管桩承载能力, 以提高基底承载力和控制地基沉降。

钢管桩采用 $\Phi 108\text{mm}$, $t=6\text{mm}$ 热轧无缝钢管; 碎石采用直径5~16mm; 注浆材料采用普通水泥砂浆, 水灰比为1:1, 注浆压力为0.3~0.6MPa。通过试桩试验调整注浆工艺和注浆压力、单孔注浆量、注浆方式及浆液配比等相关参数。钢管桩采用梅花形布置, 桩间距 $0.5 \times 0.5\text{m}$, 入岩深度1米。

钢管桩钻孔选用改进型GY-100型工程地质钻机, 该钻机适合大孔径、深孔的钻孔施工, 钻进速度快、成孔精度高。施工用风采用1台JCD-900型高压柴动螺杆式24m³空压机供风, 以便于将岩土渣吹出孔外。灌浆采用3SNS-A高压灌浆泵。

(二) 施工步骤

1) 原方案施工步骤

隧道开挖至下台阶底部, 并在下台阶左右侧墙角处增设2根 $\Phi 42$ 锚杆→场地平整→钢管桩钻孔施工, 钻至设计标高→钢管桩安装, 钢管桩内灌注碎石→钢管桩孔口封闭, 钢管桩注浆→挖除隧底土方切割钢管桩至设计标高→施作隧底钢拱架封闭成环→施作仰拱。

在施作过程中发现, 由于隧道初期支护未封闭成环, 隧道在钢管桩施工过程中由于地质条件较差, 且在施工中扰动隧底, 隧道变形较大, 为解决隧道沉降变形及保证施工过程中的安全, 对原方案的施工步骤进行了调整。

2) 调整后施工步骤

隧道开挖至下台阶底部, 并在下台阶左右侧墙角处增设2根 $\Phi 42$ 锚杆→施作隧底钢拱架封闭成环→场地平整回填作业平台→钢管桩钻孔施工, 钻至设计标高→钢管桩安装, 钢管桩内灌注碎石→钢管桩孔口封闭, 钢管桩注浆→挖除隧底土方切割钢管桩至设计标高→施作仰拱。

调整施工步骤后, 在施工钢管桩前隧道初支已经封闭成环, 然后在隧道初支上回填作业平台再进行碎石钢管桩的施工, 有效的利用初期支护控制了隧道的在施工钢管桩施工过程中的变形, 同时初期支护充当止浆层。

四、碎石注浆钢管桩施工工艺

(一) 施工工艺

场地平整→测量放线→孔位布置→钻机就位→钻机校核→钻孔→安装钢管桩→钻孔清洗→孔内回填碎石→孔内注浆→下一个孔施工。

(二) 测量放样

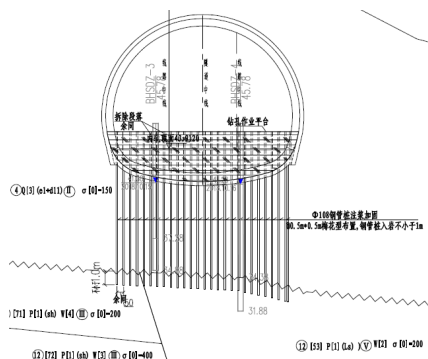
测量仪器采用TS02型全站仪放样孔位点, 在现场用木桩标注红油漆标出钻孔位置, 并说明孔口高程, 开孔前需监理工程师现场确认, 严格控制钻孔位置在同一轴线上。

(三) 钻机就位、校核

施工前把钻机架移到放样点位上, 对机架基础用方木垫平, 并用不少于4个地锚分别在机架的四周加固, 以确保钻机在钻进运行过程中钻机稳定, 机架不下沉、不发生移位; 调整机架上钻机铅直, 钻头中心对应放样孔位标记点, 采用水平尺调整钻机到铅直状态, 固定钻机与机架, 严格控制开孔位偏差不大于 $\pm 10\text{mm}$, 钻孔轴线偏差不大于1%, 确认准确无误后, 方能进行开孔钻进。

(四) 钻孔

采用GY-100型工程地质钻机进行钻孔施工, 钻孔直径 $\Phi 108\text{mm}$ 。钻孔深度满足设计要求入岩深度不小于1米。钻孔过程



钢管桩布置图

中保证钻机垂直度，及时校核，确保后期钢管桩安装过程的顺利。

(五) 钻孔清洗

钻孔完毕后，连续不断的用不小于 1.4MPa 高压风彻底冲洗钻孔，直至孔口返出之风手感无尘屑，延续 5min，孔内沉渣不大于 5cm。

(六) 钢管桩安装

清孔完毕后，将制作好的钢管桩安装至孔底，钢管桩采用丝扣连接。下管过程中严格控制下管底面标高，避免钢管桩下管不到位现象。

下管过程中如遇到下管障碍或卡管现象，主要是钻孔缩孔或者塌孔引起的。在遇到下管障碍或者卡管现象时，可利用 GY-100 工程地质钻机吊重锤锤击下管，使钢管桩下至孔底标高。如锤击下管仍不能下至孔底时，需利用钻机拔出钢管桩，然后重新扩孔或者重新钻孔。

(七) 回填碎石、注浆

在钢管桩下管完成后，在钢管内放置 2 根 50PE 灌浆管，1 根灌浆管伸入到孔底，另 1 根灌浆管加工成花管伸入距孔底 2m 处，用 5~16mm 的碎石充填满钢管，充填前用漏斗形状的导向器放置在钢管孔口，使碎石顺利进入孔内，充填至设计高程。在孔口用孔口器密封钢管，孔口密封器连接孔内、外灌浆管，灌浆泵采用 3SNS-A 高压灌浆泵，全孔分两次灌浆。灌浆浆液采用 ZJ-400D 高速搅拌机集中拌制，输浆管输送至双层储浆桶浆液，灌浆材料为 P.042.5 水泥，浆液水灰比 1: 1~0.5: 1，灌浆压力 0.3~0.6MPa，灌浆过程中，压力逐渐慢升，在孔口返浆（冒浆）后继续灌注 10min 可结束。

五、施工工种存在的问题及对策

(一) 施钻位置位于隧道内，施工空间环境差

隧道内空间有限，大型钻孔机械无法使用，小型机械动力不能满足要求，需选择动力较大，高度较低的新型地质钻机进行作

业。

(二) 吹孔时孔内渗水裹带大量石渣和泥浆，造成孔壁形成局部脱空，给成孔带来施工困难

清孔完成后及时安装钢管桩，减少孔内缩颈、坍塌造成的钢管桩不能安装到位。安装钢管桩时可利用钻机加压辅助安装，确因塌孔、缩颈无法安装到位是，需拔出钢管桩，重新在原位钻孔。

(三) 灌浆时灌浆压力过大时，出现“跑”“冒”“漏”等现象，造成很大浪费，带来一定的经济损失

注浆前采用水泥水玻璃双液浆对孔口周围进行预注浆封闭。水泥水玻璃双液浆孔口封闭效果不佳时，可重复多次注浆封闭孔口，以保证达到注浆效果。必要时可增设 15cm 厚混凝土止浆层。

(四) 由于钻孔缩孔或者塌孔导致下管障碍或者卡管现象

遇到下管障碍或卡管现象，可利用 GY-100 工程地质钻机吊重锤锤击下管，使钢管桩下至孔底标高。如锤击下管人不能下至孔底时，需利用钻机拔出已下钢管桩，然后重新扩孔或者重新钻孔。

六、结语

隧道内由于地质勘测不到位、地质变化较大等原因，洞内软基及岩溶较为常见。做好洞内软基处理，确保高铁隧道的地基承载力，进而保障高铁的安全运营至关重要。本文通过工程实例，介绍了碎石注浆钢管桩在隧道软基处理中的应用，有效的解决了隧道内地基承载力不足问题。希望能为今后的类似工程提供帮助和借鉴，为我国高铁发展贡献一份力量。

参考文献

[1] 李开军. 钢管桩注浆加固隧道地基技术[J]. 四川建材, 2010, 36(03): 68-69.
 [2] 金强国, 张民庆. 圆梁山隧道淤泥质黏土充填溶洞底板钢管桩注浆加固技术[J]. 隧道建设, 2003(06): 35-37+40.

(上接第 90 页)

浆，而且当内部的屈服应力达到 0 时，对减水剂的需求量也大大提升，甚至能够达到后者的两倍。还有专家研究表明，石灰岩和石英岩粉和减水剂之间存在较好的适配性，而相比之下，玄武岩和减水剂的适配性较差。从内部开裂的角度来看，加入片麻岩、玄武岩、石灰岩等成分的混凝土总体开裂面积较大，对混凝土的整体性能有较大的影响，而加入石英岩粉粉的混凝土，开裂程度较轻，不仅能提高混凝土结构的整体稳定性，还能提高其抗冻性。

(十) 石粉中含泥量对混凝土性能的影响

相关领域专家 Yoo1 经过研究发现，含泥量的提高会显著提高同样环境条件下混凝土的用水量和对减水剂的需求量。还有一些专家经过研究，得出石粉中亚甲蓝值和含泥量成正比关系，不过具体关系趋势受到泥粉液限指数的影响。亚甲蓝值还会增加开裂和收缩的程度，对混凝土的抗冻性造成一定影响，通过研究发现，要想将亚甲蓝值对混凝土性能的影响降到最低，要将其控制在 1.4g/kg 以下的区间内。

结束语

随着我国建筑工程领域的发展，建筑材料也呈现多元化的趋势。为了提高产量，节约成本，机制砂应运而生，逐渐取代了传统工程施工中使用的天然砂。不过，机制砂因其物理特性的限制，还不能像天然砂那样确保建筑的质量。尤其我国机制砂生产企业众多，机制砂质量参差不齐，市场还没有形成统一的标准，这些都对我国建筑行业的健康发展产生了负面的影响。为了解决机制砂在施工中的各种问题，企业要提高机制砂生产水平，建筑

工程相关人员也要对机制砂的使用有足够的认知，对机制砂中各种成分对混凝土性能的影响有清晰的认识，在使用机制砂的过程中，科学控制成分的配比，以便让混凝土结构达到预期的效果。本文就从试验入手，分析了机制砂中石粉掺量对混凝土性能的影响，并简单分析了其中杂质或含泥量对混凝土性能的影响，供广大建筑工程专业人员参考。

参考文献

[1] 范德科, 马强, 周宗辉, 单立福, 孔凡胜, 王忠浩. 石粉对机制砂混凝土性能的影响[J]. 硅酸盐通报, 2016, 35(03): 913-917.
 [2] 蔡基伟, 李北星, 周明凯, 胡晓曼. 石粉对低强度机制砂混凝土性能的影响[J]. 武汉理工大学学报, 2006(04): 27-30.
 [3] 李北星, 周明凯, 田建平, 胡晓曼. 石粉与粉煤灰对 C60 机制砂高性能混凝土性能的影响[J]. 建筑材料学报, 2006(04): 381-387.
 [4] 王稷良, 牛开民, 刘英, 李北星, 周明凯. 机制砂中石粉对混凝土性能影响的研究现状[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2008, 4(S1): 302-307+322.
 [5] 李北星, 周明凯, 蔡基伟, 王稷良. 机制砂中石粉对不同强度等级混凝土性能的影响研究[J]. 混凝土, 2008(07): 51-54+57.
 [6] 刘战整, 周明凯, 李北星. 石粉对机制砂混凝土性能影响的研究进展[J]. 材料导报, 2014, 28(19): 100-103.