

# 高速铁路地基处理施工技术

王明学

(中铁六局北京铁建公司,北京 100036)

**摘要:**为了满足高速列车高速、平顺、舒适运行的需要,在高速铁路施工过程中对构筑物的变形要求远远高于普通铁路,大量实践表明,路基工后沉降的有效控制不仅取决于地质勘察精度、设计方案,还与路堤填筑速率、地基处理的施工机具配置、质量控制等密切相关。本文旨在通过不同的地基处理方案的施工,提出所采用方案的施工机具配置、施工过程质量控制方法,规范施工工艺流程及关键控制参数;通过质量检验方法的分析,提出所采用方案的质量检验方法及频率;并从施工和质量检验的角度,评价处理方法的适宜性,为提高高速铁路路基的设计与施工提供依据。

**关键词:**高速铁路;地基处理;施工

**中图分类号:**U213.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-6921(2007)17-0103-03

高速铁路要求路基强度高、刚度大、纵向刚度变化均匀且长久稳定,以确保轨道的高平顺性。路基施工中涉及两个技术关键:一个是路基工后沉降问题,另一个是路基动力平顺性与长期稳定性问题。京津城际轨道交通工程,属我国高速无砟铁路中的一条,对路基的沉降要求相当严格,因此,地基处理显得尤为重要。中铁六局北京铁建公司在京津城际轨道交通工程路基施工中,对路基基底施工中采取了几项行之有效的地基处理方法,并进行了大量的试验,为施工提供了可靠、准确的施工参数和工艺参数,为以后高速铁路路基地基处理施工提供依据。本地基处理方法适用于地质条件相对较差,中软土、液化土、杂填土分布的地基,而且要求路基基础沉降小,相对承载力高。

## 1 工程及工艺原理

由中铁六局京津项目部北京铁建分部承建的京津轨道交通工程一标段,京津线路基起点里程为DK0+900,终点为DK3+808.4,全长为2 908.4m。沿线通过地区均在素填土、杂填土和地震可液化层等不良地质和特殊地质,采用CFG桩和碎石挤密桩,复合地基进行加固的地基处理方法。

沿线通过地区均在杂填土、素填土和地震可液化层等不良地质和特殊地质,采用CFG桩和碎石挤密桩复合地基进行加固,靠近既有线(DK0+900~DK2+040)采用高压旋喷桩,为京津正线大面积开挖对既有线进行防护,整体施工顺序为,京津正线路基地基处理主要施工顺序:①先施工靠近既有京山线侧第一排夯实碎石桩;②施工靠近既有线侧的一排旋喷桩;③挖出桩顶设计高程0.5m以上地表土;④施工剩余夯实碎石桩;⑤施工剩余旋喷桩;⑥清除桩头至桩顶设计标高。本工程主要采用的是一种桩网结构地基处理方式,在不同的地质条件下,采用不同的地基处理方式。主要有:①CFG桩+碎石垫层+土工格栅。②碎石桩+CFG桩+碎石垫层+土

工格栅。③旋喷桩+CFG桩+碎石垫层+土工格栅。④碎石桩+旋喷桩+CFG桩+碎石垫层+土工格栅。

## 2 级配碎石桩主要施工方法

用洛阳铲或长螺旋钻机成符合设计要求的孔,再将重锤提高到一定高度使其自由落下,并不断夯击孔内回填的级配碎石料,使起形成密实的墩体的地基处理方法。

### 2.1 设计概况

采用矩形布置,与CFG桩成梅花型布置,桩径保证不小于500mm,桩长按地质条件不等长。级配碎石桩施工前,施工地段地下管线改移处理后,在原地面用挖掘机或推土机等机械平整场地,用全站仪按设计图纸、桩位布置图,准确放出桩位。

### 2.2 施工设备

50KW 洛阳铲锤击桩机 40 台,150KW 长螺旋钻机 5 台,150 型铲车 2 台,自卸东风汽车 10 台,200KW 发电机 20 台。

### 2.3 施工技术参数

所用原材料石料、石粉等,均需按规定进行复检,合格后方可使用。据设计强度及施工配比按1:2.0:4.0:3.0(粒径为30mm:20mm:石屑:石粉)的要求,搅拌料的颗粒分配均匀。每根桩每延米用级配碎石为(孔径按450mm,桩径500mm)0.196m<sup>3</sup>,充盈系数1.1;每层填筑虚高控制在700~1 000mm之间,锤重大于200kg,落距大于2m,每层夯击数不小于6击,记录表明,当钻孔直径为450mm时,锤击击实后桩径为500mm,为确保击实后桩径不小于设计桩径,将钻孔直径控制在450~460mm之间。

### 2.4 检测

级配碎石桩身桩施工完毕,一般24小时后对级配碎石桩和复合地基进行检测。对夯实碎石桩的成桩质量进行抽样检验,抽样检验数量不应少于总数的2%,判断桩身质量,进行重力触探检测,N<sub>63.5</sub>≥

10, 检验数量可取总桩数的 0.5%。桩检测开挖桩径 500~510mm, 桩身标准贯入锤击试验 N63.5 为 15~25 击, 桩周土检测土中夹有碎石, 标准贯入锤击试验 N63.5 为 12~15 击。

### 3 高压旋喷桩施工方法

高压旋喷桩是利用钻机把带有特殊喷嘴的注浆管钻进至土层的预定位置, 边钻进边高压泵送水切割土体成孔, 到达预定位置后用高压脉冲泵将水泥浆通过钻机下端的喷射装置变成旋转的高速射流向四周喷入土体, 利用射流的强大动能将土体破碎, 与此同时钻杆一面以一定的速度旋转, 一面低速徐徐提升, 使土体与水泥浆充分搅拌混合, 胶结硬化后即在地基中形成圆柱状水泥土固结体的地基处理方法。

#### 3.1 设计概况

桩径 600mm, 桩间距纵向 0.6m (临近既有线, 并插入“22a 工”字钢), 远离既有线纵向 1.5m, 横向间距 1.5m, 施工时高压水泥浆压力应不小于 30MPa, 可采用 32.5 级及以上水泥, 水泥浆液水灰比 1.0, 每米桩长水泥用量不小于 320kg, 成桩 28 天后方可进行检测, 取芯检测比例 1%, 无侧限抗压强度不小于 3.0MPa, 复合地基荷载试验选取 0.5%, 复合地基承载力不应小于 150KPa。

#### 3.2 施工设备

首先要配备良好的施工机具, 包括高压发生装置 (>30MPa 的空气压缩机和高压泵)、注浆系统 (钻机, 钻杆, 注浆管, 喷管和喷嘴等) 和高压管路系统 (制浆机泥浆泵和输送管等) 三部分共 6 套设备。150 型铲车 2 台, 水泥运输车 5 辆 (10t 以上), 挖掘机一辆, 200KW 发电机 3 台。

#### 3.3 参数选择

高压旋喷桩正式施工前, 先确定钻杆提升速度、旋转速度、注浆压力等参数做试桩, 然后开挖检验桩径、桩身质量, 调整旋喷桩参数直到桩径符合设计要求, 桩身均匀, 无断裂等。

①钻杆成孔过程中提升速度: 40cm/min; ②钻杆高压注浆过程中提升速度: 12.5cm/min; ③钻机钻杆注浆过程中旋转速度 14n~20n/min; ④喷嘴直径:  $\Phi 2.6$ mm; ⑤高压切割土体压力: 25MPa; ⑥高压注浆压力: 30MPa; ⑦水灰比: 1.0; ⑧每米水泥用量为 320kg; ⑨成桩垂直度要求 <1%。

#### 3.4 检测

高压旋喷桩施工完毕, 一般 28 天后对高压旋喷桩进行检测, 试验项目满足设计要求。开挖量测旋喷桩桩径 600mm~610mm, 复核地基承载力 160~190KPa, 旋喷桩取芯无侧限单轴抗压强度 15~45MPa, 桩周土混入水泥标准贯入锤击试验 N63.5 为 10~12 击大于未处理前 6~8 击。

### 4 CFG 桩主要施工方法

采用长螺旋钻孔、管内泵压混合料灌注成桩工艺, CFG 桩成孔到设计标高后, 停止钻进, 开始泵送混合料, 当钻杆芯管充满混合料后开始拔管, 到达设计标高以上 500mm 后停止泵送。CFG 桩原名水泥粉煤灰碎石桩, 是由水泥、粉煤灰、碎石、石屑或砂等混合料加水拌和形成高粘结强度桩, 并由桩、桩间土

和褥垫层一起组成复合地基的地基处理方法。

#### 4.1 设计概况

桩径 400mm, 因地质条件不同, 桩间无碎石桩的桩间距为 1.2m 和桩间有碎石桩的桩间距为 1.5m。

#### 4.2 机械设备

150KW 长螺旋钻机 4 台, 100KW 混凝土泵 4 台, 200KW 发电机 6 台, 商砼运输车 12 辆。

#### 4.3 施工参数

钻孔直径 395~400mm, 桩径 400mm, 垂直度 <1%, C20 商砼, 混合料坍落度宜为 160~200mm, 成桩工程中提拔速度宜控制在每分钟 2~3m, 成桩过程应连续进行。

#### 4.4 检测

CFG 桩身施工完毕, 一般 28 天后对 CFG 桩进行检测, 检测包括低应变对桩身质量的检测和静荷载实验对承载力的检测, 单桩承载力不小于 350KN。静荷载实验数量取桩总根数的 2%, 且不小于 3 点; 低应变检测取总桩数的 10%。开挖量测 CFG 桩桩径 395mm~410mm, 单桩承载力 360~370KN, 复核地基承载力 200~230KPa, 桩间土标准贯入锤击试验 N63.5 原状土均小于 8 击, CFG 桩处理后均在 12 击以上。

### 5 碎石垫层及土工格栅施工方法

级配碎石桩及 CFG 桩施工完成并验收合格后, 施工碎石垫层, 铺设垫层前应挖除地表土至垫层底面设计高程, 并平整。碎石垫层应由未风化的干净砾石或轧制碎石制成, 粒径宜为 20~50mm, 含泥量不能 >5%。垫层内铺设两层带凸点土工格栅, 施工时先用自卸汽车在施工区域铺设两条 0.6m 厚的碎石路, 以防车辆行走将桩体压坏, 再以碎石路为中心向两边, 先人工摊铺一层厚 0.1m 碎石垫层, 碾压密实后, 其上铺设一层土工格栅, 再铺设 0.2m 碎石垫层, 碾压密实后其上铺设第二层土工格栅, 填筑其上碎石, 碾压密实后填筑路堤。土工格栅铺设时于边缘位置回折 2.0m。

### 6 不同地基处理方法适宜性分析

#### 6.1 各种桩适用范围

6.1.1 碎石桩。碎石桩是一种柔性地基处理方式, 处理杂填土、软土、液化土, 改善土质状况, 提高承载力, 起到了很好的效果, 造价比较低, 施工方便, 很容易控制, 但碎石桩桩长不宜过长, 一般 10m 以内。

6.1.2 CFG 桩。CFG 桩是一种刚性地基处理方式, 处理填土、软土、液化土, 改善土质状况, 提高承载力、减少沉降, 起到了很好的效果, 造价比较低, 施工较快且方便。

6.1.3 高压旋喷桩。高压旋喷桩是一种素混凝土桩, 处理软土, 改善土质状况, 提高承载力、减少沉降, 起到了很好的效果, 造价比较高, 施工比较慢且方便。

#### 6.2 各桩及土工格栅的作用

6.2.1 碎石桩。碎石桩桩体贯穿杂填土层后, 落在密实土层上, 碎石桩与周围土体形成复合地基, 从而提高地基的承载力, 减少了沉降量, 缩短了沉降时间, 降低土层的压缩性, 而且提高了地基的抗震能

力,增强了稳定性。具有置换、排水、垫层、预振效应、挤密作用。

6.2.2 高压旋喷桩。高压旋喷桩的主要作用起到支护作用,提高路基的承载力;大减小路基的沉降量,与土体共同作用控制了路基地基土变形问题。

6.2.3 CFG桩的作用。CFG桩的主要作用提高路基的承载力;其次,大大减小路基的沉降量,特别是解决过渡段纵向变形协调问题。

6.2.4 土工格栅。土工格栅加筋的作用,①提高路堤的稳定性,减少路堤土体对桥台的水平土压力;②土工格栅加筋改善了CFG桩和桩间土之间的应力分担比,同时加筋也使路堤的不均匀沉降减小。由以上各种地基处理方法的选择受地质条件、设计要求、工程造价、施工工艺、工期环境等因素影响。合理的选择一种或两种以上的地基处理方式是加固工程的关键。

### 6.3 处理效果

其中在DK3+230-DK3+380地基处理方式CFG桩(桩间距1.5m)+碎石桩+换填+碎石垫层+土工格栅,本段已施工完成并上了3个月预压土,沉降值为6mm;其中在DK3+380-DK3+538地基处理方式CFG桩(桩间距1.5m)+碎石桩+换填+碎石垫层+土工格栅,本段已施工完成并上了2个月预压土,沉降值为5mm;其中在DK3+646-DK3+808.4地基处理方式CFG桩(桩间距1.2m)+碎石垫层,本段已施工完成未上预压土,4个月沉降值为8mm。

### 6.4 经济分析

利用上述桩网结构的地基处理方式,可得到明显的效益:

6.4.1 CFG桩+碎石垫层+土工格栅,可提高复合地基承载力60%,减少地基变形70%,每 $m^3$ 节约

15元。

6.4.2 CFG桩+碎石桩+碎石垫层+土工格栅,可提高复合地基承载力70%,减少地基变形80%,每 $m^3$ 节约12元。

6.4.3 CFG桩+旋喷桩+碎石垫层+土工格栅,可提高复合地基承载力60%,减少地基变形70%,每 $m^3$ 节约10元。

6.4.4 碎石桩+CFG桩+旋喷桩+碎石垫层+土工格栅,可提高复合地基承载力60%,减少地基变形70%,每 $m^3$ 节约8元。

### 7 结束语

高速铁路是一项技术含量很高的系统工程,我国还没有建设高速铁路的实践经验,只能借鉴国外技术。作为我国第一条高速铁路,为保证高起点、高标准、高速度和高舒适度。通过此工程实例,可以得出结论,根据不同的地质条件采取相应复合地基处理方式,特别是几种地基处理共同作用,不但能提高承载力,还能减少地基变形,可以很好的达到预期的效果,既能满足规范、验标、设计的要求,又能满足工程正常运转的需要。我们不仅要思想上高度重视路基地基处理施工质量,将其纳入与桥梁等构造物同等的重要位置,而且要从实际行动上将我们的路基施工水平提高一个档次。

#### [参考文献]

- [1] 高速铁路路基工程施工及验收暂行规定。
- [2] 高速铁路路基工程质量检验评定暂行标准。
- [3] 客运专线铁路路基施工技术指南(TZ212-2005)。
- [4] 客运专线铁路路基施工质量验收暂行标准(铁建设[2005]160号)。
- [5] 建筑地基处理技术规范(JGJ79-2002 J220-2002)。

(上接第102页)伤损害,具有十分重要的意义。

### 2.6 封盒

封盒是接续工作的收尾工作,讲究“严密”二字,操作时应兼顾里外两个方面。里:指封盒前检查光纤有无外露,预留盘整体是否牢固,在盒内摆放是否到位,填充胶是否均匀,特别是光缆根部缠胶要恰到好处,盒体合拢部位是否吻合,既要密封又不会使困难。外:指盒体封固应讲究方法,对螺钉式,要采用循环递进加力法,使盒体受力均匀,谨防断裂。对卡接式,冬季施工必须要时应预热烘烤卡接环。

### 3 接续盒的固定和余留缆的处理

分人井、杆头,钢线悬挂几种情况,对于前者,应先在地面,以盒体为基准点,将光缆盘成圈状,再拖入井中,靠井壁分上下左右四个方位,用防锈扎线固定,勿用细铁丝吊挂。杆头立式接续盒,要注意两点:防止盒体式余缆根部的转动;要注意盒体的水平转向,使出入分支、光缆自然无扭绞并控制光缆弯曲弧度。钢线悬挂式,防止对盒体的拖动和余缆自身的扭绞。

### 4 光缆接续中的几个问题

纤序是接续过程中一个非常重要的概念,类似电缆色谱排序法,正对光缆端面,使其中的松套管按填充芯颜色:红、绿——顺时针(或逆时针)同意排列编号。松套管中的光纤按淡蓝色谱:蓝、桔、绿、棕、灰、白、红、黑、黄、紫顺排,光纤接续时应按光纤排列顺序,一一队应接续,并贴好光纤序号标签。

接续后的光纤收容全长,单端引入、引出不应小于0.8m,两端引出不应小于1.2m,收容时最小弯曲半径不小于4mm。

操作中的三方交叉监控法:即光纤端面制备人员全过程总负责、总监控,熔监人员的辅助监控,OTDR终端测试人员的实时单芯检测。

### 5 结束语

本文为今后我们进行光缆施工、抢险时提供了许多值得参考的经验,经过大量的工程实践后,还应不断学习和总结,从而使接续方法和操作技能日趋完善和科学。