

雄商铁路枣强南站 CFG 桩头前截法与圆台型桩帽土模成型综合施工关键技术

文 / 鲍胜利 中铁十一局集团有限公司

摘要：雄商铁路枣强南站路基主要为填方路基，路堤基底主加固区采用 CFG 桩 + 桩帽加固，存在 CFG 桩 + 桩帽数量多，施工工序多且复杂，控制性工程工期紧等诸多难题。以该项目路基施工工作为切入点，展开了雄商铁路枣强南站 CFG 桩头前截法与圆台型桩帽土模成型综合施工关键技术的研究，形成了 CFG 出土一体化清运施工技术，CFG 桩头前截法施工技术，CFG 桩桩帽土模法施工技术，拔管速度监测施工技术，该技术在雄商铁路枣强南站路基成功应用，顺利完成了 CFG 桩与圆台型桩帽施工，为将来类似的高速铁路、公路路基 CFG 桩等刚性桩复合地基桩施工中提供了宝贵经验。

关键词：CFG 桩；桩帽土模法施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.08.043

引言

随着高速铁路站场路基逐年增加，CFG 桩 + 桩帽作为经典地基处理设计方案越来越常见，但 CFG 桩复合地基传统施工工序为桩身混凝土强度满足要求后开挖并截除桩头，桩身无损检测合格后安装模板浇筑桩帽，最后回填桩间土，施做褥垫层。

一、工程概况

新建北京至雄安新区至商丘高速铁路雄安新区至商丘段站前六标项目。主要工程包括“两桥（枣强特大桥、枣清特大桥）、一站场（枣强南站）、一路（区间路基）”，桥梁全长 25.877km，占比 94.23%，路基全长 1.586km，枣强南站主要为填方路基，路堤基底主加固区采用 CFG 桩 + 桩帽加固，路基 CFG 桩共 17157 根，共 448962m。

二、技术难点分析

CFG 桩复合地基传统施工技术在灌注桩成桩过程中混凝土超耗较多，在桩间土机械开挖及桩头截除过程中易造成浅层断桩，且需要制作安装桩帽钢筋和模板，工序多、工效低、成本高。

（一）CFG 桩 + 桩帽数量多

枣强南站 CFG 桩 + 桩帽作为经典地基处理设计方案，数量较多，且高速铁路对地基处理要求严格。

（二）施工工序多且复杂

桩身混凝土强度满足要求后开挖并截除桩头，桩身无损检测合格后安装模板浇筑桩帽，最后回填桩间土，施做褥垫层。

（三）控制性工程工期紧

CFG 桩 + 桩帽作为枣强南站构筑物及路基填筑前置性工序，属于车站关键线路，单根工效对车站工期影响巨大。

三、施工方案选择

为提高 CFG 桩基施工质量和效率，对 CFG 桩施工技术进行创新，在新建北京至雄安新区至商丘高速铁路雄安新区至商丘段站前六标枣强南站 DK314+900-

DK315+070 路基对该技术进行了创新，主要做法为：将桩帽形状由方形优化为碗状圆台型，去掉钢筋，利用桩帽底的斜面分解竖向力，对桩间土形成挤压力。施工时先在钻孔前将原地面整平至碗状圆台型桩帽顶高程，并碾压密实；灌注桩身时控制实际桩顶标高略高于设计桩顶标高并振捣密实，然后挖除高于桩顶的混凝土并收面，实现提前截桩；桩身检测合格后采用专用桩帽成型器旋挖形成桩帽土模，在土模中灌注桩帽混凝土。

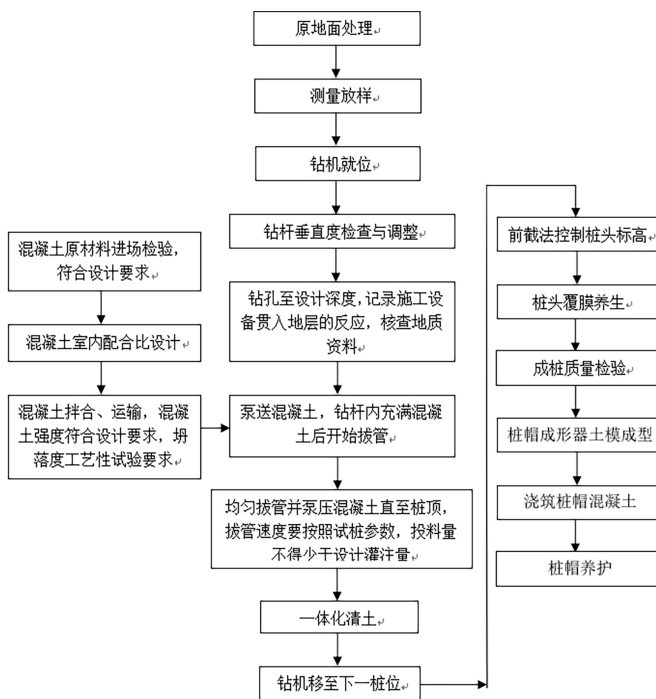


图 1 施工工艺流程图

四、关键技术及创新点

（一）CFG 桩头前截法施工技术

研发了一种 CFG 桩头前截法施工技术，该技术在施工中较常规工艺，前截法施工技术减少了桩间土开挖、截桩头、桩帽钢筋制安、模板安拆、桩间土碎石回填等

诸多工序，节约了桩帽间碎石、桩帽钢筋，大幅提高了施工效率，保证了桩基质量和桩间土填筑质量。

1. 施工准备

现场准备：清表工作完成后，由测量人员进行地面高程复核，采用压路机静压+振动方式进行碾压，先静压1遍，然后弱振1遍，再静压4遍，最后静压收光，压实系数 $K \geq 0.90$ ，验收合格后方可进行下道工序施工。



图2 原地面压实



图3 压实度检测

信息化准备：CFG桩信息化系统能够实现施工放样引导、施工过程记录、施工数据网络上报功能。记录参数包括：经纬度、高程、桩长、钻进速度、提钻速度、垂直度、钻杆电流、累计灌入量、平均灌入量等。在钻杆、电路上安装传感器和定位系统移动站，驾驶室内安装车载平板，将信号引入钻机驾驶室，与桩基施工控制系统平台联网。同时安装卫星定位系统基站，与工程测量控制网联网，输入CFG桩位坐标。整个系统安装完成后进行调试和试钻。

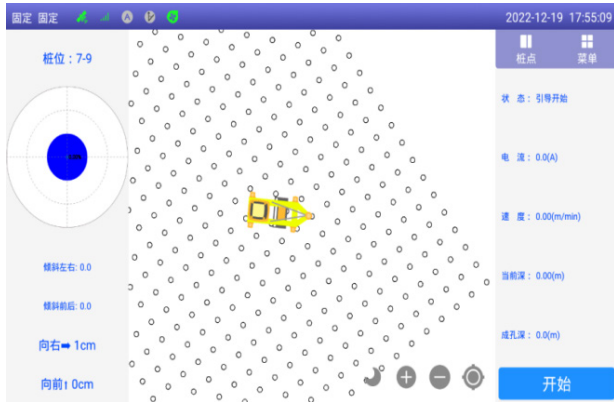


图4 CFG桩位布设及定位图

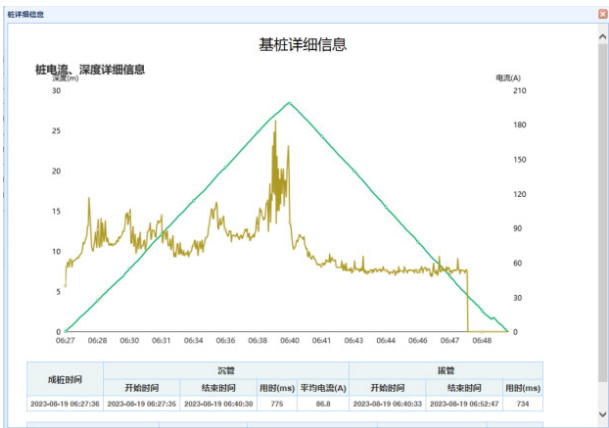


图5 CFG桩施工参数监控

2. 测量定位

施工前应先出土一体化的搅笼护筒中心放置于设计桩位中心，确保在施工中不发生倾斜、移动。传送带进料口安放于搅笼出料口正下方，防止钻渣侧漏。传送带出料口角度位置根据施工场地情况进行微调，使自卸车方便在下方通行及接送钻渣。

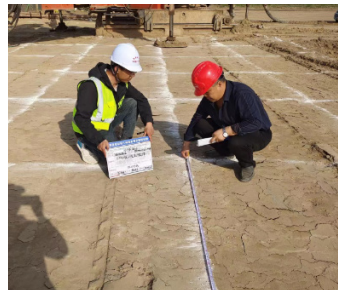


图6 桩位测量定位

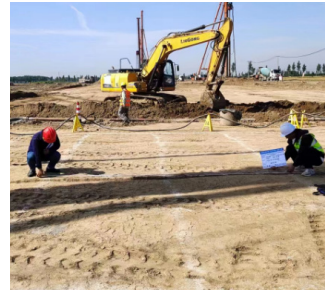


图7 桩位测量验收

3. 钻机就位

钻机就位须平整、稳固，确保在施工中不发生倾斜、移动。钻机就位后将钻杆伸入已经放置完成的搅笼护筒内，通过信息化检测系统进行微调，调整桩身垂直度、桩位偏差等参数满足设计要求后，方可开钻施工。



图8 钻机信息化系统定位



图9 钻机就位

4. 钻进成孔及出土一体化设备

在开钻前对长螺旋钻机进行标尺、刻度复核，消除误差。每次钻机就位前都要根据钻机上的自动化检测系统平板显示的各项施工参数和桩基本身自带垂球或指针校核导向架垂直度。

根据钻机塔身上的进尺标记以及自动化检测系统平板显示的施工参数，确定钻进深度。开钻前进行检查搅笼、传送带运转情况，钻进时同步开启钻渣传送设备，通过搅笼将钻进中产生的钻渣进行收集，由两侧螺旋杆传送至传送带进料口，后由传送设备将钻渣运送至运输车料斗内，并运至指定临时存土场堆放。



图10 钻机钻进



图11 钻至设计标高



图 12 搅笼与传送带连接处



图 13 钻至设计标高

5. 灌注成桩

钻孔至设计高程后，停止钻进。混凝土性能检查合格后，开始泵送混凝土，每根桩的投料量应不少于设计量。钻杆芯管充满混凝土后开始拔管，严禁先提管后泵料，提拔速度控制在试桩工艺确定的参数值范围内，拔管应均匀连续进行。混凝土灌注至设计桩顶以上 10cm ~ 20cm 时即停止灌注。



图 14 投料提钻



图 15 灌注完成

6. 钻机移位

钻机移位时，利用北斗卫星定位系统引导钻机就位，避免钻机支撑时支撑脚压在施工完成的桩基上。

7. 出土一体化设备移位

搅笼移位时，随钻机同步移动，利用长螺旋钻机自带卷扬机吊装起落，吊装时钻杆需升入至搅笼护筒内。施工下一根桩时，根据北斗定位系统进行自动对点，将钻杆对准设计桩中心后，钻杆下落至地面，开启卷扬机将搅笼落于地面上进行位置微调，依然采用卷扬机或人工将传送带托运至搅笼附近，传送带设计轻巧，利用人工即可完成位置调整。

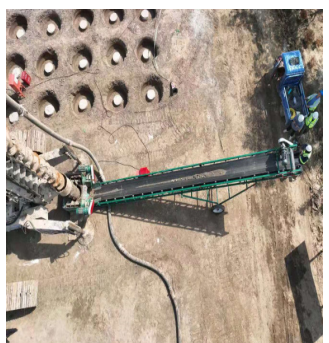


图 16 CFG 桩传送带出土



图 17 自卸车清运

8. 桩头前截法施工

在 CFG 桩浇筑过程中通过钻渣及时清理，控制桩顶高程。当桩身灌注至桩顶高程以上 10 ~ 20cm 时，混凝土灌注完成后用小型挖掘机对钻渣及超灌混凝土进行清理，使用振捣棒对桩顶 2m 范围内的混凝土进行振捣，振捣完成后，采用水准仪校核控制桩顶的设计高程，将高出桩顶混凝土挖除，人工对桩顶抹面压光后覆盖养护。

在桩基浇筑过程中通过钻渣及时清理，控制桩顶高程。当桩身灌注至桩顶高程以上 10 ~ 20cm 时，混凝土灌注完成后用小型挖掘机对钻渣及超灌混凝土进行清理，使用振捣棒对桩顶 2m 范围内的混凝土进行振捣，振捣棒应快插、慢拔，每一振点的振捣持续时间以混凝土不再沉落，桩顶混凝土面泛浆，无气泡冒出为止，防止过振、漏振。



图 18 桩头振捣

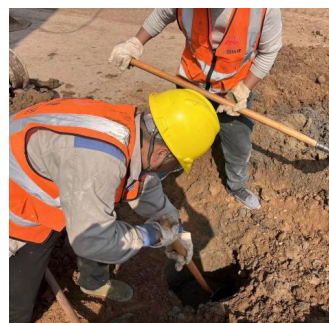


图 19 超灌混凝土清理

振捣完成后，采用水准仪校核控制桩顶的设计高程，将高出桩顶混凝土挖除，人工对桩顶面抹平，抹面压光后用塑料膜覆盖桩头，达到保湿养护条件，并盖好孔口，严防泥土掉入孔中。根据桩基直径设计制作一种比桩基直径小 1cm 的圆形的人工手持收面装置，采用 3mm 厚的圆形钢板制作平板，采用直径 14mm 的钢筋制作把手，便于操作，提高桩顶面的收光压面效果和质量。



图 20 混凝土养护



图 21 覆盖竹胶板防护

9. 桩基检测

成桩 7 天后采用低应变检查桩身完整性，抽样检验桩总数的 20%，且每个工点不小于 3 根。有疑问时，可采用钻孔取芯进行验证，钻芯后的孔洞采用水泥砂浆灌注封闭；成桩 28 天后，应进行单桩承载力检测，第三方检测单位抽样检验总数的 2%，且每个工点不少于 3 根。



图 22 预压块堆载



图 23 反力静载

(二) CFG 桩桩帽土模法施工技术

研发了一种 CFG 桩桩帽土模法施工技术, 该技术主要优化桩帽设计, 形状由方形优化为碗状圆台形, 取消桩帽内钢筋, 并由立模浇筑改为土模满灌浇筑, 使用桩帽成型器开挖完成后无需立模、无需安装钢筋, 修整土模后即可浇筑混凝土, 减少了桩帽间碎石垫层、钢筋和钢模板投入, 同时减少了桩间土回填工序; 圆台型桩帽改变受力特性, 桩帽承受的压力可以通过底部的斜面对桩间土形成挤压力, 有利于桩与土一体受力, 提高复合地基处理效果, 同时桩帽在桩间土内不易被扰动。

1. 桩帽施工

桩帽土模旋挖前先将桩顶进行放样, 将桩帽成型器对准桩头, 开启液压传动装置带动叶片旋进开挖下钻至设计标高, 当叶片顶面与地面平齐时停止钻进, 提出桩帽成型器倾倒渣土, 桩帽土模挤密成形。



图 24 桩帽成型器



图 25 桩帽土模成型



图 26 桩帽成型器开挖



图 27 桩帽土模修边模板

人工清理桩帽多余渣土并修整, 将提前准备好的桩帽修边小模板安装在桩帽顶面, 然后开始灌注混凝土至

设计桩帽标高, 振捣并抹平。桩帽浇筑完成后进行桩帽覆膜养护。开挖过程中, 桩帽成型器挖除的土采用小型运输设备及时清运。



图 28 土模成型桩帽浇筑

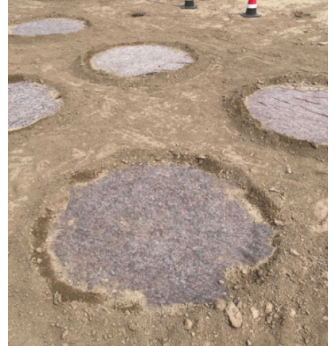


图 29 土模成型桩帽养护

结语

2023 年 6 月到 2023 年 8 月, 该施工技术在新建北京至雄安新区至商丘高速铁路雄安新区至商丘段站前六标枣强南站路基 DK314+900-DK315+070 段成功应用, 顺利完成了 CFG 桩与圆台型桩帽施工, 提高了桩帽施工效率, 加快了清运作业速度, 降低了安全措施成本, 减少对生态环境的影响; 并产生了良好的经济、社会效益; 同时高效、安全、快捷地完成了路基地基处理的施工, 具有极为广阔的推广应用价值和空间; 目前, 已推广至雄忻高铁、津潍高铁等工程建设中应用。

参考文献

[1] 芮瑞. 刚性桩加固软土地基的路堤荷载传递机理与优化研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学博士学位论文, 2007.

[2] 郑也平: 公路地基处理 CFG 桩桩帽作用效应试验研究与设计计算方法 [J]. 福建技术, 2007(11): 60-62.

[3] 李国维, 杨涛. 柔性基础下复合地基桩土应力比现场试验研究 [J]. 岩土力学, 2005, 26(2): 65-69.

[4] 涂永明, 张继文, 曾俊铨, 高速铁路 CFG 桩复合地基新型预制圆板桩帽试验研究 [J]. 工业建筑, 2008, 38(12): 80-83.

[5] 邓福香. CFG 桩复合地基在西城快线公路工程软地基处理中的试验研究 [J]. 西部探矿工程, 2019(01): 5-7+10.

[6] 魏玉印. 陶美祥. CFG 桩免桩间土开挖截桩施工工艺及经济分析 [J]. 施工技术, 2018(18): 140-141.

[7] 陈昌仁, 侯新宇, 郭洪涛. CFG 桩复合地基承载力经验公式的修正及应用 [J], 河海大学学报, 2006.

[8] 佟建兴, 胡志坚, 闫明礼, 王明山. CFG 桩复合地基承载力确定 [J]. 土术工程学报, 2005.

[9] 闫明礼, 申计春, 刘伟, 闫学峰. CFG 复合地基承载力及施工检测 [J]. 工程技术, 2004.

[10] 李春灵. 边载作用下 CFG 桩复合地基性状研究 [D]. 中国建筑科学设计院硕士学位论文, 1999.