

试析高层建筑地基加固处理施工技术

唐赞

广东华工大建筑工程有限公司

摘要：本文以建筑地基加固作为切入点，简要叙述了地基加固处理在高层建筑施工建设活动中的重要性，探讨了高层建筑工程中几种常见的地基加固处理形式，详细阐述相关地基加固施工技术要点。旨在完现现有地基加固施工技术体系，帮助建筑企业选择合理地基加固形式，也为建筑地基加固施工作业开展提供技术指导。

关键词：高层建筑；地基加固处理；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.05.024

引言：高层建筑是城市主体建筑，在总体建筑中的占比呈现逐年稳步增加态势，这对加快城市化发展步伐有着重要的现实意义。与此同时，相比于普通建筑，高层建筑有着层数高、上部荷载大、结构体系复杂的特点，对地基性能提出更高要求，天然地基很难满足高层建筑施工需要。在这一工程背景下，对地基加固施工作业的开展，是保证现场作业安全与建筑结构稳定性的重要举措，本文就此开展研究。

一、高层建筑地基加固处理的重要性

（一）解决地基承载力问题

在高层建筑工程中，由于上部建筑结构有着层数多、自重大的特征，在一般情况下，上部荷载远超过天然地基的极限承载能力，无法在后续施工、建筑使用期间始终维持地基结构与上部结构的稳定性，存在安全隐患。因此，需要对现场天然地基采取强夯、土工带加筋垫层等方法进行加固处理，确保现场地基承载性能达到施工标准后，再开展高层建筑上部结构施工，以此来保证地基稳定性与建筑物使用安全。

（二）预防地基位移沉降

现阶段，在部分高层建筑工程中，现场地基中普遍分布软弱土层，这类土层有着高压缩性、抗剪强度低与触变性的特性，如果直接开展上部结构施工作业，地基受到施工扰动、上部结构动静荷载等多方面因素影响，有较高可能出现地基水平位移、过度沉降、不均匀沉降等现象，并产生较大的工后沉降量。对此，需要采取强夯法等加固处理方法，控制现场地基进行强制固结，排出地基土层中的孔隙水、空气与消除裂隙，确定地基沉降量、结构强度与土体压实度达标后，方可开展上部结构施工作业，避免在后续因地基水平位移量与沉降量超标而引发各类问题出现。

（三）解决地基渗透问题

在高层建筑施工期间，地基结构易受到地下水、地

面积水的侵蚀，如果地基含水率超标，将会出现地基土体膨胀变形、地基强度下降、地基管涌等一系列问题，必须在地基施工期间同步开展降排水施工，阻隔地下水与地面水侵蚀地基土层的通道，始终把地基含水率控制在合理范围内。同时，部分天然地基存在透水系数低的问题，土层中含有大量孔隙水，对地基强度与承载性能造成影响，这需要采取排水固结、换填砂土垫层等处理方法，起到降低地基含水率、提高地基渗透系数等多重作用^[1]。

二、高层建筑地基加固处理形式及施工技术要点

（一）高压旋喷桩

高压旋喷桩是在现场钻设若干孔洞，在孔内放入喷嘴，启动高压脉冲泵向孔内旋转喷射水泥浆，泥浆在压力作用下破坏土体原状结构，浆液与土体颗粒充分搅拌后进行一系列化学反应，最终固结成特定形状尺寸、具备一定强度的水泥桩，起到形成稳定地基结构、改善地基承载性能的作用。在高层建筑工程，高压旋喷桩多用于处理素填土、流塑土、黄土等类型地基，有着现场噪音低、施工占地面积小的优势，适用于位于城市中心区域的高层建筑，不会对周边环境造成明显影响，但地基加固施工成本较高。

在应用高压旋喷桩技术时，首先，做好水泥浆制备、钻机运输就位、桩位测放等前期准备工作，以水泥浆制备为例，一般情况下使用42.5标号普通硅酸盐水泥加水搅拌来制备水泥浆，对水泥浆的稠度进行检测，必要时可以在水泥浆中掺入适量早强剂、速凝剂和粉细砂等外加剂。其次，施工人员操纵钻机开展造孔作业，保持钻头与桩孔中心点重合状态，缓慢下放钻头钻杆，采取泥浆护壁回转钻进方法来保护孔壁不受破坏，使用 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 容重水泥浆即可。待造孔完毕后，垂直提出钻杆钻头，检查孔底标高、孔壁完好性与垂直度是否达标，在孔口盖设盖板。再次，在孔内下放喷射管，在高压脉冲泵附近设置喷头，提前在喷射管内淋水润湿与开展闭水试验。确定无误后，启动高压脉冲泵向喷射管内注入水泥浆，持续提高注浆压力，按照从下到上顺序开展旋喷注浆作业，严格控制注浆速度、喷头旋转上提速度，根据桩身形状要求来设定工艺参数，如在拟定固结成型长体板旋喷桩时，采取高压摆喷方式，放缓提升速度与摆动速度，增加喷射半径^[2]。最后，缓慢取出喷射管，清理孔口溢出泥浆，在孔内浆液出现析水沉淀现象时则向孔内充填回灌适量水泥浆，将孔内泥浆静置一段时间进行固结。固结成型后，检查旋喷桩的成桩质量是否达

标,将钻机与高压脉冲泵等设备运往下处桩位,重复上述操作完成旋喷桩加固作业,对地基承载性能进行检测,如检测沉降量、试验点均布压力和地基承载力。

(二) 土工带加筋垫层

土工带加筋垫层是在地基土层中预埋筋条,筋条与周边土层形成土工格栅,通过土工格栅把各区域地基相互联结成整体结构,起到增强地基结构稳定性、提高地基强度与承载能力、减小地基差异沉降量的作用。在高层建筑工程,土工带加筋垫层有着成本低廉、易于操作、工效高的优势,多用于连接主楼与裙楼地基,可与换填砂石垫层法搭配使用。

在应用土工带加筋垫层法时,提前准备垫层材料与土工筋带,一般情况下,准备中粗砂、32.5级矿渣水泥与卵石作为垫层砂石材料,将材料搅拌均匀,并准备聚丙烯土工筋带,对土工带的断裂拉力与延伸率进行检测,使用U形钢钉对土工筋带进行搭接连接,要求接头长度在1.0m及以上。其次,开展基底处理作业,在现场标记挖槽轴线与边线,开挖地基土层形成槽体,对槽体底部标高与平整度、槽壁垂直度进行检查,如果槽底存在孔洞、软弱土层等缺陷,则采取注浆加固、槽底土层开挖换填等处理方法。再次,在槽底铺设首层砂石垫层并开展碾压作业,检查垫层压实度是否达标。确定无误后,在垫层上标记各条筋带放置位置与相邻筋带间距,在槽内放置土工筋带,对筋带位置与标高进行测量校正。最后,重复上述操作,在槽内铺压剩余砂石垫层与铺设土工筋带,直到垫层数、土工筋带铺设层数达到设计值后,以坡道处为起始点,向内部延伸铺填砂石层,操纵推土机将垫层推平,重复开展多遍碾压作业,把碾压速度控制在3km/h左右,待到达设计碾压遍数、顶部垫层压实度达标后,即可完成土工带加筋垫层施工^[3]。

(三) 强夯法

强夯法属于动力固结技术的一种,在现场准备塔吊、夯锤、脱钩装置等设备,标记各处夯击点,控制塔吊把夯锤起吊至夯点上方,待夯锤到达设计标高、恢复平稳状态后,开启脱钩装置来放开夯锤,夯锤动力夯击下方地基,重复开展多遍夯击作业,使地基强制固结致密,起到改善地基土层结构、提高承载能力与强度、减小孔隙分布的作用。在高层建筑工程,强夯法多用于处理杂填土、黏性土等类型地基,有着工艺简单、易于操作、施工速度快的优势,但在夯锤夯击地基时产生较大噪音与振动,位于城市中心区域和周边密集分布建筑物的高层建筑工程不宜采取强夯法来加固地基。

在应用强夯法时,提前在现场选择一处代表性地基开展试夯作业,或是应用BIM软件等化工具开展模拟施工试验,以此来确定单点夯击次数、夯击遍数、夯锤落距、相邻夯击点间距等工艺参数的最佳值。随后,对施工场地进行整平处理,清理地表与有效夯击范围内

分布的大体积石块等障碍物,参照施工图纸在现场标记各处夯击点位,将起重机运输就位。待准备工作完成后,将夯锤起吊就位,检查锤顶高程是否达标,开启脱钩装置放开夯锤,再将夯锤起吊就位,重复上述操作,直至到达设计夯击次数、夯点下沉量达标后,将设备运往下处夯点,直至全部夯点的夯击次数与地基总体夯击遍数达标。最后,对地基加固效果进行检查,重点检查地基强度、地基承载力,判断地基加固效果是否达到设计要求,如果加固效果不达标,则采取增加夯击遍数、增加夯锤落距等措施来开展返工作业^[4]。

(四) 钻孔灌注桩

钻孔灌注桩是在地基土层中依靠机械或人力挖设若干桩孔,在孔内放入钢筋笼与浇灌混凝土,由混凝土凝结硬化后成型为具有一定强度的桩身,起到提高地基结构强度与承载能力的作用。在高层建筑工程中,钻孔灌注桩适用于加固以碎石层作为持力层、碎石含量不小于50%、碎石质地坚硬与分布均匀的地基,且此项技术有着施工噪声震动小、可处理多种地基的优势,常用于分布在城市中心区域的建筑工程。

在应用钻孔灌注桩技术时,一般情况下采取泥浆护壁做法即可,提前准备适当尺寸的钢护筒,要求护筒内径略大于桩径,将护筒起吊至桩位上方,保持护筒和桩位中心点重合状态,将护筒缓慢压入土层中,直到护筒底部到达设计标高,对护筒垂直度进行测量校正,使用黏土在护筒外侧分层回填、夯实。其次,在搅拌仓内投加膨润土、拌合水与添加剂来制备泥浆,对泥浆稠度进行检测。确定泥浆质量达标后,将钻机运输就位,保持钻机与地面垂直状态,控制钻头钻凿桩孔,严格控制钻进速度、钻杆垂直度,在钻孔期间同步注入泥浆,在孔壁上形成保护泥皮,并在钻头到达设计标高后停止钻进,缓慢取出钻头钻杆,检查孔底标高、孔壁垂直度与完好性是否达标。再次,开展清孔作业,采取循环注浆方式来清除孔内沉渣,待孔底沉渣层厚度小于5cm后,在孔内放入钢筋笼,保持钢筋笼与孔壁安全间距,待钢筋笼位置、标高调整完毕后,将钢筋笼固定在孔底避免后续上浮,开展二次清孔作业。最后,施工人员在孔内灌注混凝土,根据液面上升速度来调整灌注速度等工艺参数和同步上提导管,要求一次性完成混凝土灌注作业,待液面上升至桩顶设计标高后,即可结束灌注作业,清理孔口溢出浆液,养护一段时间等待桩身成型。

(五) 换填砂石垫层

换填砂石垫层法是挖除工程现场分布的天然地基或浅层软弱土层,在原位回填砂石等具备较高强度的回填料施作垫层,以此来解决不良地基问题,提高地基结构强度与承载性能。在高层建筑工程中,此项技术有着易于操作、工程量少、加固效果显著的优势,但对地基处理深度有着严格要求,如果处理深度超过2.0m,会明显

增加工程量与造价成本。

在应用换填砂石垫层技术时，重点关注分层回填、垫层质量检测两项问题。其中，对于分层回填问题，需把换填垫层划分为若干层级，单层厚度控制在0.3m以内，重复多次完成各层回填、夯实作业，待下层压实度、平整度与厚度达标后，再开展上层回填夯实作业。而对于垫层质量检测问题，采取环刀法、贯入测定法等多项方法对垫层质量加以检测，对比检测结果与设计标准，如果存在垫层表面标高不足、垫层压实度不足等问题，针对性开展返工作业。

三、高层建筑地基加固处理施工控制策略

(一) 材料质控

施工材料是建筑地基加固效果的重要影响因素，如果所使用施工材料性能质量不达标，或是材料状态未达到施工要求，将对地基承载性能、强度与结构稳定性造成直接影响，难以取得理想的地基加固效果。因此，在选用各项地基加固技术时，都需要对施工材料质量状态进行详尽检查，根据处理形式来明确施工材料质量检查方法与性能标准。

例如，在选用高压旋喷桩法时，提前对所准备水泥材料出厂日期与干燥状态进行检查，禁止使用潮湿结块、存放时间超标和标号等级有误的水泥。随后，对水泥与其他外加剂进行计量称重，把各类原材料的用量误差控制在1%以内，密度品控控制在 $\pm 0.1\text{g}/\text{cm}^3$ 以内，使用普通搅拌机对原料持续搅拌3min以上，或是使用高速搅拌机对原料持续搅拌1min以上。最后，对所制备水泥浆的密度和水灰比进行测定，选取三管法时要求泥浆密度在 $1.6\text{--}1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 以内，选取单管法和双管法时要求泥浆密度在 $1.35\text{--}1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以内，要求泥浆制备后存放时间不超过150min，如果存放时间超标，则对泥浆进行重复搅拌，并检查密度和浆液状态是否达标^[5]。

在选用换填砂石垫层法时，为改善地基振实加密效果，必须选用级配良好的碎石、中砂、粗砂等作为换填材料，要求粒径不超过2mm颗粒物占比在45%总重以内。而在选用粉细砂与石粉等粒径不超过0.075mm材料作为换填料时，需要掺入适量卵石或是碎石材料，要求掺入材料总重占比在30%及以上，且掺入料粒径不得超过50mm。随后，筛除换填料中夹杂的泥块、腐殖土、枯枝树叶等杂质，把换填料含泥量控制在3%以内。最后，在地基垫层回填前，对回填料含水率进行检测，如果填料含水率不足和超标，则分别采取填料洒水润湿、翻晒晾干的处理措施。

(二) 质量通病防治处理

在高层建筑地基加固施工期间，受到工艺技术、现场复杂地质条件等因素影响，偶尔出现各类质量通病，对地基加固效果造成影响，严重时还会危及到地基施工安全与建筑物使用安全。因此，在地基加固施工期间，

需要全面掌握所选加固技术常见质量通病的形成原因，在施工方案中针对性采取防治处理措施，做到对症下药。例如，在采取强夯法时，偶尔出现地基土层下沉量不达标问题，原因在于现场粉砂土地层在夯击能作用下出现液化流动现象，或是土层含水量超标，需要提前在含水量超标与特殊土层上铺设厚度在0.5-2m的砂石层，或是在周边布设井点来抽排地下水。而在采取钻孔灌注桩技术时，有可能出现断桩问题，成因在于混凝土灌注期间的导管上提速度过快、因泵送管堵管而中断浇筑，需要采取提前在导管内淋水润湿与清理混凝土浮浆、准确计算导管上提速度与埋深值的最佳值、中断浇筑时间过长时则挖除混凝土重新开展桩身灌注作业的防治措施。

(三) 降排水施工

在高层建筑施工期间，如果出现雨雪天气和地下水水位上涨问题，地面雨水和地下水会持续侵蚀地基土体，因土体含水量增加而降低地基强度、增加地基土层体积，严重时还会出现基底突涌水、地基位移变形等一系列问题。对此，必须在地基加固处理期间同步开展降排水施工作业，具体可采取明沟排水、井点降水、外围封管等降排水技术。例如，明沟排水是在地基周边一定距离处挖设排水明沟，保持各条排水沟相互贯通，以及在明沟交接部位设置集水井，地面雨水在坡度重力作用下流入明沟内，起到拦截地面雨水进入地基土层的作用。而井点降水是在地基周边钻设若干井点，在井内安装真空抽水泵等设备，在地下水水位升高时，启动水泵持续抽排地下水，以此来降低地下水位。

结语：综上所述，地基加固处理是高层建筑施工活动的重中之重，如果地基处理效果不达标，将对工程总体质量和建筑使用安全造成深远影响。建筑企业必须进一步提高对地基加固处理施工技术的应用力度和重视程度，根据工程现场情况、地基处理要求来选择恰当的加固处理形式，正确掌握工艺流程与技术操作要点，贯彻落实材料质控、质量通病防治处理、降排水施工三项应用策略，为地基加固处理效果提供技术保障。

参考文献

- [1] 许家传. 高层建筑地基加固处理施工探讨[J]. 建材与装饰, 2020(21): 35-37.
- [2] 王荣, 任刃, 朱金卫. 大直径素混凝土灌注桩复合地基在高层建筑地基加固中的应用[J]. 四川水力发电, 2015, 34(04): 98-100.
- [3] 马经纬. 高层建筑地基加固处理施工要点分析[J]. 科技创新与应用, 2017(33): 159-160.
- [4] 李彪奇. 基于高层建筑地基加固处理施工技术的研究[J]. 新型工业化, 2021, 11(04): 89-91+112.
- [5] 史丽英. 土工加筋技术在高层建筑地基处理中的应用[J]. 门窗, 2014(02): 185.