

旋挖钻机成孔单双层钢护筒联合护壁施工工法在喀斯特地貌中的应用

谭 嵘

中国电建集团贵州工程有限公司 贵州贵阳 550002

摘 要：喀斯特地貌在我国西南地区广泛分布，其复杂的地质条件给大型工业项目的地基处理带来巨大挑战。以盘江普定 2×66 万kW燃煤发电项目为工程背景，针对该区域岩溶发育强烈、溶洞多且呈串珠状分布等问题，研发并应用了旋挖钻机成孔单双层钢护筒联合护壁施工工法。本文详细阐述了该工法的特点、适用范围、工艺原理、施工流程及操作要点，并从质量、安全、环保、经济等方面进行效益分析。工程实践表明，该工法有效解决了喀斯特地貌桩基施工中的塌孔问题，提高了施工效率与成桩质量，缩短了工期，为类似地质条件下的桩基工程提供了可靠的技术参考。

关键词：喀斯特地貌；旋挖钻机；单双层钢护筒；联合护壁；桩基施工

引言

我国西南地区尤其是贵州，喀斯特地貌占据主导地位，该地貌具有地表崎岖不平、地下岩石起伏变化剧烈、岩溶发育强烈等显著特征。在这类地质区域开展大型火电厂等工业集群建设时，桩基工程面临诸多难题。盘江普定 2×66 万kW燃煤发电项目位于贵州省安顺市普定县兔儿山，是贵州安顺新型综合能源基地的重要组成部分。现场勘测显示，项目区域地质为中到强岩溶发育区，下部溶洞数量多、高低起伏大，部分溶洞相互串联形成串珠状结构。

在最初采用常规施工方案时，施工过程中频繁出现严重塌孔现象，多根桩需多次复钻，且反复捞稀无法彻底清理，不仅成孔效果差，严重延误工期，还因塌孔导致沉渣、孔壁掉土夹泥等问题，难以保证桩基质量，甚至存在旋挖埋钻埋杆风险，可能造成原桩报废，极大地增加了工程桩施工难度。为解决上述问题，确保桩基工程质量与施工工期，针对超深溶洞桩及超深粘土层等地质条件复杂、成孔效率低下的工程桩，项目团队创新采用旋挖钻机钻孔单双层钢护筒联合护壁施工工法，取得了良好的施工效果。

1 工法特点

1.1 成桩质量好，承载力大

该工法所用钢护筒采用定制高强度钢材制作，具备优异的抗压能力与韧性。通过单双层钢护筒的联合应用，相较于其他护壁形式的钻孔灌注桩施工工艺，成桩过程中桩体受到下方桩外干扰显著减小，有效增强了桩的强度与稳定性，

使桩基能够承受更大的荷载，满足大型工业项目对地基承载力的严苛要求。

1.2 施工效率高

在施工过程中，可根据现场实际地质条件，灵活选择适配的钢护筒护壁形式，避免了因护壁形式不当导致的施工延误，大幅减少施工时间。同时，钢护筒护壁能有效降低塌孔发生率，减少捞渣清理作业的时间成本。实际施工数据显示，该工法的施工速度比传统工艺快一倍以上，为整体工程的顺利推进奠定了坚实基础。

1.3 绿色环保

采用旋挖机钻进成孔，施工过程中可对振动与噪音进行有效控制，降低了对周边环境的干扰。与传统膨润土或化学泥浆护壁方式不同，钢护筒护壁无需使用此类可能污染地下水的材料，从根本上避免了对地下水的污染，最大限度地减小了施工对周围环境、已建建筑物、居民及企业的影响，符合现代工程建设的绿色环保理念。

2 适用范围

单双层钢护筒护壁旋挖钻机成孔施工工法适用范围广泛，尤其适用于我国西南地区喀斯特地质条件下，存在大型溶洞、串珠状溶洞，且下部分布有软土、松散土等易发生塌孔地质的机械旋挖灌注桩施工。此外，该工法还可应用于市政建设、公路桥梁、高层建筑等大型综合性建筑集群的地基处理工程，为各类复杂地质条件下的桩基施工提供了有效的技术解决方案。

3 工艺原理

单双层钢护筒护壁旋挖机成孔灌注桩施工技术,核心是利用振动锤的作用力,使钢护筒克服各土层与护筒之间的摩擦力,穿越桩基钻孔施工中的不利地层。同时,借助钻孔设备掏空护筒内的渣土,随后灌注混凝土,最终形成连续完整的桩体。

在实际施工中,需先对项目区域的地质条件及桩孔深度进行全面分析,据此选择合适的护壁形式与施工方式,以确保护筒的稳定性和护壁效果。其中,护壁形式主要包括单护筒护壁和双护筒护壁两种:单护筒护壁即仅使用一个护筒进行护壁作业;双护筒护壁则采用大护筒套小护筒、短护筒套长护筒的嵌套方式开展护壁施工。

4 施工工艺流程及操作要点

4.1 施工工艺流程

该工法的施工工艺流程主要包括:测量定位放线→钻机就位→旋挖钻机引孔→护筒的制作与埋设→钻进成孔→清孔验孔→钢筋笼安装→灌注混凝土→钢护筒拔出。

4.2 操作要点

4.2.1 测量定位放线

依据现场建筑定位点和设计桩位图,遵循“从整体到局部”的原则,采用直角坐标法,使用全站仪精确测放桩位。在测定的桩位中心处打入钢筋头作为标志,桩位测量误差需严格控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内。桩位测放完成后,需邀请监理等相关人员对轴线、桩位进行测量复核,并做好详细的复核记录,确保桩位放样准确无误,避免因桩位放样错误引发桩位偏移问题。

4.2.2 钻机就位

钻机就位前,需提前检查钻机的性能状态,确保其各项功能正常,配套设备齐全。同时,对施工场地进行整平压实处理。钻机组装就位后,需保证钻机底座水平、稳定,钻架中心与钻机转盘中心的连线垂直于钻盘,且钻头、钻杆和桩位中心在同一铅垂线上,误差不超过 10mm ,以保障孔位正确、钻孔顺直。此外,钻机就位后需垫实机架保持稳固,对准护筒上标记的“十字”点,利用电子垂直度仪控制钻杆垂直度,使垂直度偏差不超过 $1/100$ (桩长),钻头直径需比设计桩径大 200mm ,经现场技术人员检查合格后方可开始钻孔。

4.2.3 旋挖钻机引孔

钻机引孔是在确保不塌孔的前提下进行的开孔钻进作业,需选择与桩径对应的钻头进行引孔,引孔深度需钻至最

下层溶洞下口向下 1m 处。钻机引孔主要具有三方面作用:一是克服浅层障碍物影响,若遇到无法钻穿的障碍物,需采用挖掘机挖出,防止其损坏护筒;二是实现精准定位,通过引孔引导护筒准确下放,避免护筒偏差导致桩位偏移过大;三是减小护筒下设阻力,引孔段可降低护筒下放过程中的摩擦力,保证护筒入孔的稳定性,缩短护筒下设时间,确保护筒顺利插入。

4.2.4 护筒的制作与埋设

护筒采用定制钢护筒,材料选用 12mm 厚的钢板,直径比桩身大 200mm 。护筒长度需根据桩位现场实际情况确定,护筒顶端高度应高于地面 300mm (若护筒处于低位时)。结合现场施工勘察获取的地质条件,根据溶洞大小、深度及下方沉积土质等因素,选用单双层钢护筒联合护壁旋挖成孔施工工艺,且护筒埋置方式需根据不同情况区别对待:对于孔深 20m 以上 35m 以下且存在多层或较大溶洞易塌孔的桩基,采用单层钢护筒护壁;对于孔深 35m 以上且存在多层或较大溶洞易塌孔的桩基,采用双层钢护筒护壁。

4.2.5 钻进成孔

旋挖钻机采用筒式钻头,作业时将钻头下降到预定深度后,旋转钻头并施加压力,使旋起的土挤入钻筒内。当钻头被钻渣充满后,反转钻头封闭钻头底部并提出孔外,自动开启钻头底部开关卸掉钻渣,之后通过手动操作将机器复位至钻孔作业位置,如此循环往复直至终孔。开始钻进时,钻机应轻压慢转,随着钻孔深度增加,适当增大压力与钻进速度。钻孔过程需连续进行,不得间断,并根据土质情况及钻进部位及时调整钻进速度。操作过程中,要注意放斗平稳、提斗缓慢,通过控制盘监控钻孔垂直度,若出现偏差需及时调整。

4.2.6 清孔验孔

旋挖钻进至设计桩底标高后,判断是否达到持力层,若达到则停止钻进并及时收桩。验孔前,利用掏渣筒对桩底进行掏渣处理,确保孔底沉渣厚度符合规范要求。待沉渣厚度达标后,通知相关参建方参与桩孔验收。

4.2.7 钢筋笼安装

钢筋笼安装前,需再次测量孔内沉渣厚度,若超出规范要求,需再次清渣,直至满足要求后方可下放钢筋笼。钢筋笼采用吊车起吊安装,安放标高根据孔口筒顶标高计算确定,安放时需保证桩顶设计标高,允许误差为 $\pm 100\text{mm}$ 。下放过程中,钢筋笼需对准孔位中心缓慢放下,若遇阻力,

可采用正、反旋转方式慢慢下沉，严禁强行提拔。钢筋笼放至设计标高后，立即将吊固筋焊固在孔口护筒上、机架地盘上，或用钢管悬挂固定在孔口，吊固筋采用两根 A18 螺纹钢对称设置。钢筋笼全部入孔后，检查并校正安放位置，做好记录，完成钢筋笼定位。

4.2.8 灌注混凝土

导管在孔口的连接处需牢固，并设置密封圈。吊放导管时，确保其位置居中、轴线顺直，稳定沉放，避免卡挂钢筋笼和刮撞孔壁。混凝土采用汽车泵结合水下灌注混凝土施工工艺进行灌注，灌注过程需紧凑、连续，严禁中途停工。混凝土浇筑完成拆管前，安排专人测量孔内混凝土高度并做好施工记录，浇筑至接近设计标高时，控制最后一次浇筑量，确保桩顶标高符合设计要求。

5 效益分析

5.1 质量效益

采用该工法施工，桩孔全程由钢护筒护壁，彻底杜绝了塌孔现象的发生，桩截面尺寸规则，有效避免了缩径等质量通病，孔壁稳定性良好，钻成孔孔底沉渣量少。工程实践表明，该工法确保了桩基施工的顺利完成，且桩基一类桩数量占比超过 90%，二类桩数量在 10% 以内，未出现三类桩；经桩基检测，桩基地基承载力分别达到设计要求的单桩竖向承载力特征值大于 5500KN、3500KN，完全满足工程设计标准。

5.2 社会、环境效益

该工法在喀斯特溶洞区域地质处理中的成功应用，显著提升了在喀斯特地貌区域修建大型工业建构筑物集群的可行性，提高了社会土地资源的有效利用率。同时，钢护筒护壁无需使用泥浆，避免了泥浆污染，保护了地下水环境，施工现场整洁文明，适用性强；此外，施工过程中对噪声进行有效控制，使噪声污染处于可控范围内，减少了对周边居民生活的影响，具有良好的社会效益与环境效益。

5.3 经济效益

施工过程中，根据不同地质情况采用经济合理的成孔控制方法，有效控制了地基基础处理费用，提升了项目经济性。由于护筒孔壁规则，无塌孔、扩径现象，避免了混凝土浪费，且无需投入造浆费用，大幅降低了施工成本。与采用全跟进护壁钻进相比，平均节省施工费用约 30%，经济效益显著。

5.4 工期效益

该工法以钢护筒作为护壁，大幅提高了成桩成功率，无需频繁根据地质条件调整钻进速度，可按照最快速度完成

钻孔作业。对比前期未采用该工法的施工情况，旋挖桩机施工效率提高约 50%，有效缩短了施工工期，为项目按时竣工交付提供了有力保障。

6 应用实例

6.1 盘江普定电厂项目 1、2# 机锅炉基础

该项目锅炉基础工程超过一半区域的地质为中到强岩溶发育区，下部溶洞发育数量多，遇洞率超过 30%，且存在溶洞高低起伏大、相互串联及部分溶洞呈串珠状等问题。工程设计采用钻孔混凝土灌注桩，桩径为 800mm，入岩深度分别不小于 3.5m、5m。针对总体桩基长度较长（大于 20 米）且下部需穿越双层 / 多层溶洞的情况，采用单双层钢护筒联合护壁旋挖钻机成孔工艺，有效确保了桩基成孔质量。

在 1、2# 机锅炉基础桩基施工过程中，项目团队与设计、地勘、监理及业主保持高效沟通，成功运用该工法，显著提高了锅炉基础的安全性、稳定性与可靠性，为整体工程的顺利施工创造了有利条件。

6.2 盘江普定电厂项目烟囱基础

该项目烟囱基础周边区域下部存在暗河，下部溶洞遇洞率超过 40%，岩溶发育丰富，部分溶洞呈串珠状分布。基于锅炉基础施工中积累的经验，针对下部溶洞较大、埋置较深的桩基，直接采用单双层钢护筒联合护壁旋挖钻机成孔工艺，确保了桩基成孔作业的顺利开展。

7 结论

旋挖钻机成孔单双层钢护筒联合护壁施工工法针对喀斯特地貌复杂地质条件，创新性地采用单双层钢护筒联合护壁方式，有效解决了传统施工工艺中存在的塌孔、成孔效率低、桩基质量难以保证等问题。该工法具有成桩质量好、施工效率高、绿色环保等优点。

参考文献：

- [1] 王杰玉, 张斌, 左朝晖, 等. 旋挖成孔灌注桩设计方法及施工工效研究 [J]. 建筑机械, 2025,(09):167-170+173.
- [2] 史光云. 贵阳市筑城广场大桥项目重载型水上钢平台旋挖钻成孔技术探讨 [J]. 交通科技与管理, 2025,6(15):61-63.
- [3] 欧阳鹏. 滑坡巨厚覆盖层下桥梁桩基旋挖成孔技术分析 [J]. 交通科技与管理, 2025,6(16):47-49.
- [4] 梁锐, 田野. 复杂地质层桩基旋挖钻机与冲击钻机施工技术研究 [J]. 建筑机械, 2025,(08):321-324.
- [5] 尹相春. 旋挖钻孔灌注桩施工技术在建筑工程施工中的应用研究 [J]. 建筑机械, 2025,(09):269-271.