

不易成孔土层中小吨位预应力锚杆技术研究与应用

蒋鑫 蒋国清 靳宝 张有为

湖南省地质地理信息所 湖南 长沙 421000

【摘要】：针对饱水杂填土、粉砂、流砂、圆砾、泥炭质土、草莓土等不易成孔土层中传统预应力锚杆施工困难的问题，本文提出了一种采用薄壁焊管作为护壁的小吨位预应力锚杆技术。该技术通过冲击器将带有扩大头的薄壁焊管直接击入土层，然后在钢管内插入钢筋杆体，解决了成孔和孔壁塌陷的难题。此外，利用焊管上的注浆孔进行压力注浆，加固焊管周边土体，提高锚固力。本文详细阐述了该技术的原理、适用范围、工艺流程和操作要点，并结合工程实例分析了其应用效果。研究结果表明，该技术具有成孔快捷、施工简便、锚固力可靠等优点，可在类似地质条件下推广使用。

【关键词】：不易成孔土层；小吨位预应力锚杆；薄壁焊管；钢筋杆体；注浆加固

DOI:10.12417/2811-0528.26.08.037

预应力锚杆作为一种重要的支护结构，广泛应用于边坡加固、基坑支护、隧道工程等领域。然而，在饱水杂填土、粉砂、流砂、圆砾、泥炭质土、草莓土等不易成孔的特殊土层中，传统预应力锚杆施工面临诸多挑战，如成孔困难、孔壁易塌陷、注浆效果差等，严重影响了工程进度和安全。传统的施工方法通常包括采用套管跟进钻孔、泥浆护壁等措施，但这些方法存在操作复杂、效率低下、成本高等问题。近年来，随着工程技术的不断发展，一些新型预应力锚杆施工技术应运而生。其中，小吨位预应力锚杆因其施工灵活、适应性强、成本较低等优点，在岩土工程领域得到了越来越多的应用。针对不易成孔土层，本文提出了一种采用薄壁焊管作为护壁的小吨位预应力锚杆技术，旨在解决传统锚杆施工的难题，提高施工效率和工程质量。

1 技术原理

该技术的核心在于利用带有扩大头的薄壁焊管作为锚孔的护壁，该技术通过冲击器将带有扩大头的薄壁焊管直接击入土层，然后在钢管内插入钢筋杆体，解决了成孔和孔壁塌陷的难题，并通过管壁上的注浆孔进行压力注浆，从而实现锚孔的稳定和锚固力的提高。其主要原理包括以下几个方面：

(1) 成孔原理：在不易成孔土层中，采用以压缩空气为动力的冲击器，将带有扩大头的薄壁焊管（ $\Phi 48 \sim \Phi 60$ ， $\delta = 3 \text{ mm} \sim 4 \text{ mm}$ ）直接击入土层。薄壁焊管前端的扩大头可以减少击入土层时的阻力，提高成孔效率。同时，薄壁焊管作为锚孔的护壁，可以有效防止孔壁塌陷，为后续的注浆和锚固提供保障。

(2) 注浆加固稳定土层原理：在薄壁焊管的管壁上设置注浆孔，注浆孔段长度通常为薄壁焊管总长的 $2/3 \sim 3/4$ 。通过这些注浆孔对土层进行压力注浆，可以将水泥浆液注入土层中，与土颗粒结合形成水泥胶结体，从而提高土体的强度和稳

定性。注浆还可以填充土层中的孔隙，减少土体的渗透性，防止地下水对锚杆的侵蚀。

(3) 锚固支护原理：通过对薄壁焊管进行压力注浆，水泥浆液在焊管端部 $2/3 \sim 3/4$ 范围内形成较大扩散区和固结水泥胶结石区，该区域与内插钢筋杆体非自由段成为预应力锚杆的锚固段（内锚段）。在水泥浆液固结一定龄期后，通过张拉内插钢筋杆体即可对由薄壁焊管、钢筋和水泥浆液固结区所组成的锚杆施加小吨位预应力。预应力可以提高土体的抗剪强度，增强边坡或基坑的稳定性。

2 技术特点

与传统预应力锚杆技术相比，该技术具有以下显著特点：

(1) 成孔设备轻便、快捷：采用以压缩空气为动力的冲击器，设备体积小、重量轻，便于在复杂施工场地中移动和操作，成孔速度快，效率高。(2) 有效解决成孔难题：薄壁焊管作为护壁，能有效解决不易成孔土层中小吨位预应力锚杆成孔难、成孔后孔壁塌陷等难题。(3) 注浆效果好：通过设置在焊管周边的出浆孔对不易成孔的土层进行注浆，解决预应力锚杆注浆难的问题并起到进一步稳定焊管周边土层的作用。

(4) 锚固力可调：可通过调整薄壁焊管长度、管径，注浆压力、浆液配比等注浆参数，以及预应力锚杆杆体直径和焊管扩大头直径等来调整预应力锚杆的锚固力。(5) 可进行二次注浆：在对薄壁焊管进行初次注浆后，可通过灌浆参数反馈分析结果，对焊管周边土层进行二次注浆，以确保预应力锚杆的锚固效果。(6) 经济性好：与传统的套管跟进钻孔、泥浆护壁等方法相比，该技术可以显著降低施工成本，缩短工期。

3 技术适用范围

不易成孔土层中小吨位预应力锚杆技术适用于饱水杂填土、粉砂、流砂、圆砾、泥炭质土、草莓土等不易成孔的湖湘

沉积土层但需采用小吨位预应力锚杆进行支护的土木工程边坡加固和城市深基坑支护工程中。

4 技术工艺流程

(1) 施工准备: 详细的地质勘察资料, 清理施工场地, 确保场地平整、坚实。(2) 测量、定位小吨位预应力锚杆孔位: 根据设计图纸, 确定锚杆的位置、倾角和深度。(3) 采用冲击器将带有扩大头的薄壁焊管($\Phi 48 \sim \Phi 60$, $\delta = 3 \text{ mm} \sim 4 \text{ mm}$)直接击入不易成孔的土层中, 击入时控制击入方向和深度。(4) 高压水冲洗锚孔(洗孔): 清除焊管内的杂物, 保证注浆孔畅通。(5) 内插钢筋杆体: 管内杂物清除完毕后植入按设计要求加工好的钢筋杆体。(6) 锚孔常压灌浆: 填充焊管与土体之间的空隙, 为后续加压注浆提供基础。(7) 在薄壁焊管中植入自由段用黄油和聚乙烯塑料套管保护的钢筋: 确保钢筋的位置和保护层的厚度符合设计要求。(8) 对锚孔封口并进行加压二次注浆: 进一步加固土体, 提高锚固力。(9) 浆体养护: 保证浆液充分凝固, 达到设计强度。(10) 锚梁施工: 在锚杆端头施工锚梁, 为锚杆施加预应力及锚固提供支点。(11) 张拉外锚头端部焊接螺杆的钢筋并锁定: 对内插钢筋杆体施加预应力, 提高支护效果。

5 技术操作要点

(1) 操作准备: 建立质量保证体系, 按照设计图纸、文件要求编制施工细则, 并报监理单位审批。做好场地以及人员、设备、材料进场准备, 并做好施工用水、电、交通、通信等施工前的准备工作。完善基坑内抽排水系统、施工废水和废浆等污水处理系统, 确保施工排水顺畅。

加工锚杆杆体(钢筋), 将钢筋自由段用黄油和聚乙烯塑料套管保护—钢筋按图纸设计长度下料, 端头采用切割机切割平整, 切割时应注意钢筋端头不得有机械损伤与弯曲变形。钢筋接头采用冷作滚压成型工艺加工成螺丝状, 并将两根钢筋采用直螺纹套筒拧紧连接。钢筋自由段采用聚乙烯塑料套管包裹隔离。

加工薄壁焊管, 薄壁焊管构造如图1所示。

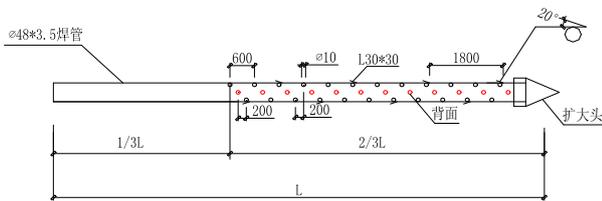


图1 薄壁焊管构造图

薄壁焊管前端扩大头制作成封闭尖锥状, 利于减少薄壁焊管击入土层时的阻力并迅速击进土层。薄壁焊管注浆孔段上管

身每隔 50cm 设注浆花眼, 注浆花眼采用台式钻机成孔, 孔径 $\Phi 10$ 。薄壁焊管外壁上焊接 L30×30 角钢, 角钢与管体中心成 20 度夹角。薄壁焊管连接采用 3 $\Phi 16$ 二级钢筋, 单面焊接长度为 160mm, 施工时现场焊接。此外, 通过增大薄壁焊管封闭尖端方式制作焊管扩大头实现增大锚孔孔径的功能。

(2) 测量、定位锚杆孔位: 不易成孔土层中小吨位预应力锚杆的埋设深度应遵循最上层锚杆的覆土厚度不使锚杆向上垂直分力引起地面隆起的原则。根据锚杆设计标高, 采用全站仪在现场测设一条通长水平线, 然后在基坑坑壁采用全站仪按设计图纸、锚杆设计间距准确测放、定位小吨位预应力锚杆孔位, 并用红油漆标记锚孔孔位, 调整、校核孔位, 并将孔位偏差控制在 +100mm 之内。根据锚杆位置与水平倾角架设锚杆钻机, 将气动锚杆冲击钻机架设于坚实地面, 对于软弱地面, 在锚杆钻机底部铺垫板。

(3) 击入薄壁焊管: 施工前认真调查周边地下基础、管网等障碍情况, 施工时适当调整锚杆位置、间距与倾角, 以绕过地下障碍物。安装、调整、稳固冲击器(锚杆钻机)。在采用锚杆钻机将薄壁焊管直接击入土层过程中, 当以压缩空气为动力时, 压缩空气的工作压力为 0.4~0.6MPa, 工作风量为 4~6m³/min, 空压机采用 12m³/min 以上电动空压机。

按设计要求的角度用冲击器将薄壁焊管直接击入土层, 掌握薄壁焊管中心度, 防止薄壁焊管偏斜; 并要保证置入薄壁焊管的长度达到设计要求, 将焊管置入土层的长度与设计深度值的偏差控制在 -30mm~+100mm。在将薄壁焊管击入土层后, 验收焊管施工质量, 检查焊管置入土层的长度、焊管偏斜度。若置入土层的焊管长度、偏斜度不符合要求, 需重新选取锚孔孔位、补充击入薄壁焊管, 并对已施工的不合格焊管进行注浆封堵加固处理。

将薄壁焊管直接击入土层时, 当置入土层的焊管长度较长时, 可采用分段击入方式, 即在击入第一段焊管(常为 6m)后, 可采用焊接连接加长的方式, 在第一段焊管尾部加长焊管并用冲击器将焊缝冷却后的加长段击入土层。焊接时应保持加长焊管的倾角。在将薄壁焊管击入土层的过程中, 操作手应密切关注土层力学性能状态, 准确辨认土层, 当发现与地质勘察报告严重不相符情况时, 应及时报告相关单位和人员, 及时采取调整击入土层的焊管长度或采取其他处理措施。

(4) 洗孔: 高压水冲洗锚孔(洗孔)的目的是排出薄壁焊管内饱水杂填土、粉砂、流砂、圆砾、泥碳质土、草蓐土等物质, 并保证薄壁焊管注浆孔畅通, 便于注浆。在将薄壁焊管直接击入不易成孔的土层后, 采用高压水冲洗薄壁焊管, 高压水压力控制在 1.0MPa 左右。高压水冲洗薄壁焊管的结束标准, 以回水总体澄清为止。

(5) 薄壁焊管内植入钢筋杆体:在完成锚孔常压灌浆后,将自由段用黄油和聚乙烯塑料套管保护的钢筋插入(植入)薄壁焊管内。为保证植入焊管内的锚杆杆体(钢筋)质量,要确保钢筋植入至焊管端部,同时要控制好钢筋与焊管内壁的间隙。在焊管内植入锚杆杆体(钢筋)的同时,要测量植入焊管内锚杆杆体(钢筋)的长度。

钢筋锚杆杆体构造如图2所示。



图1 钢筋锚杆杆体构造图

(6) 常压灌浆:将注浆管插入焊管底部,采用灌浆泵通过注浆管对焊管进行常压灌浆,在浆液充填锚孔(当焊管没有扩大头时,锚孔孔径与焊管管径相同;当焊管有扩大头时,锚孔孔径大于焊管管径)同时,使焊管内渣土和泥浆在浆液作用下进一步排出。

注浆材料采用 P.O42.5 普通硅酸盐水泥浆液;水泥浆采用二次搅拌机搅拌均匀。水灰比 1: 0.5, 水泥浆体强度 M30, 注浆压力 0.2~0.4MPa,可注性差时取大值,水泥浆通过注浆管注入锚孔内,排出焊管内渣土泥浆,水泥纯浆流出焊管管口,达到设计注浆量或达到设计压力保持 20min 时方可停止注浆。

灌浆时应作好灌浆记录。记录内容包括锚孔位置编号、注浆量、注浆压力、注浆配合比以及施工日期。为提高浆体的早期强度,可加入适量的外加剂,起到早强及膨胀的作用。

(7) 二次加压注浆:将钢筋植入薄壁焊管后,立即采用止浆袋封闭锚孔(焊管)孔口,并采用灌浆泵通过注浆管对锚孔进行加压二次注浆。采用注浆管直接对已植入钢筋的焊管进行加压二次注浆。

(8) 注浆工艺控制:严格按照浆液配比称量水泥等制浆材料,并保证称量误差不大于 5%。采用灰浆搅拌机搅拌浆液,浆液要搅拌均匀,浆液搅拌时间不少于 3min。

(9) 锚梁施工并安装锚垫板:锚梁采用钢筋混凝土梁或型钢梁。钢筋混凝土梁施工时必须注意采取混凝土与锚杆杆体钢筋的隔离措施。将螺杆穿过锚梁、锚垫板,并将锚垫板安装在锚梁上。在锚梁施工、安装锚垫板、端头螺杆与螺帽后,对螺杆进行预紧。

(10) 张拉钢筋杆体并锁定:采用分级加载方式对钢筋锚杆进行张拉,分级荷载为设计极限承载力的 10%,其中第一级可取分级荷载的两倍,后几级荷载逐级等量。

加载时要注意采用慢速维持荷载,加载时应使荷载传递均匀、连续、无冲击,每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过分级荷载的+10%。

在张拉过程中要记录每级张拉力下锚杆杆体的位移值。

安装千斤顶时要确保锚杆杆体与锚板端面垂直,按要求安装千斤顶的工具锚板,并用专用工具顶紧夹片。

锚杆杆体的张拉力以油压表读数为主,并可通过锚杆杆体的伸长值来验证。

在锚杆杆体张拉到位后即可通过螺杆上的螺帽锁定杆体,并采用冷切割工艺切除张拉锁定段外多余的杆体。在切割多余杆体时,严禁使用热切割工艺,避免锚杆应力松弛。

6 结论与展望

本文提出了一种采用薄壁焊管作为护壁的小吨位预应力锚杆技术,该技术具有成孔快捷、施工简便、锚固力可靠等优点,适用于饱水杂填土、粉砂、流砂、圆砾、泥碳质土、草莓土等不易成孔土层中的边坡加固和基坑支护工程。随着城市建设的不断发展,类似地质条件的工程项目将会越来越多。该技术具有广阔的应用前景,值得进一步推广和应用。

在未来的研究中,可以进一步优化薄壁焊管的结构设计,提高其抗变形能力和注浆效果。同时,可以研究新型注浆材料,提高土体的强度和稳定性。此外,可以结合数值模拟技术,对锚杆的锚固性能进行深入分析,为工程设计提供理论依据。

参考文献:

- [1] 罗仲亚.碎石土层全套筒钢筋锚杆钢管可回收施工技术研究[J].广东土木与建筑,2020,27(02):84-86.
- [2] 于永超.钢筋锚杆在基坑支护中的具体应用探讨[J].现代装饰(理论),2013,(04):248+250.
- [3] 叶帅华,赵壮福,吴强,等.西北黄土地层中可回收钢筋锚杆的锚固性能研究[J].地基处理,2020,2(03):196-202.
- [4] 叶帅华,可回收带纵肋月牙肋钢筋锚杆及其回收方法.甘肃省,兰州理工大学,2017-10-22.