

图3 不同泥浆重度槽壁水平位移对比

#### 4.2 地下水位影响分析

在模拟不同地下水位条件下(分别为-1.45m、-3.45m、-5.45m、-7.45m)的地连墙成槽过程中,泥浆的重度设定为 $12.5\text{kN/m}^3$ ,泥浆液面高度为2.5m。图4展示了地下水埋深对阳角处槽壁水平位移的影响规律。

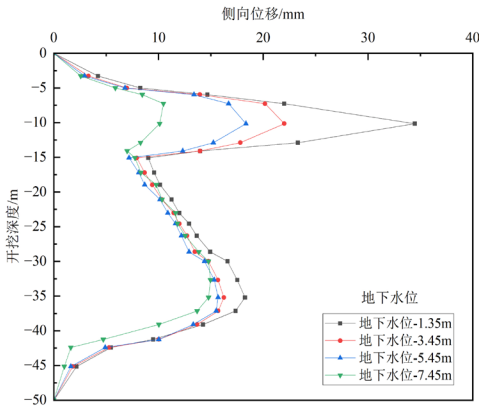


图4 不同水位高度槽壁水平位移对比

从图中可以看出,地下水位的变化对阳角处槽壁侧向位移产生了显著影响,尤其在砂土地层中,相较于其他土层侧向位移的变化更为明显。这是因为砂质土层的渗透系数<sup>[1]</sup>远高于其他土层,渗透系数较大的土层对地下水位变化尤为敏感。

具体分析可见,当地下水位为-1.45m时,槽壁的侧向位移达到了最大值。随着地下水位降至-3.45m,砂土层槽壁的最大侧向位移从32.5mm减少至23.5mm,下降幅度为9.5mm。而当地下水位进一步降低至-7.45m时,从-5.45m到-7.45m,槽壁的最大侧向位移仅发生了2.8mm的变化。

#### 4.3 内摩擦角对槽壁稳定性影响分析

4种不同内摩擦角对槽壁侧向位移的影响如图5所示。

从所呈现的图表中可以观察到,砂土层的内摩擦角发生变动时,其对相邻土层的侧向位移产生了尤为显著的影响效应<sup>[11]</sup>。具体而言,内摩擦角的变化程度与邻近土层侧向位移的幅度之间存在着密切的关联,这一发现对于深入理

解土层间相互作用机制以及评估土层稳定性具有重要意义<sup>[12]</sup>。而对远离区域的土层影响较小。当砂土地层内摩擦角为 $14.5^\circ$ 时,槽壁的侧向位移达到最大值,为34.8mm。

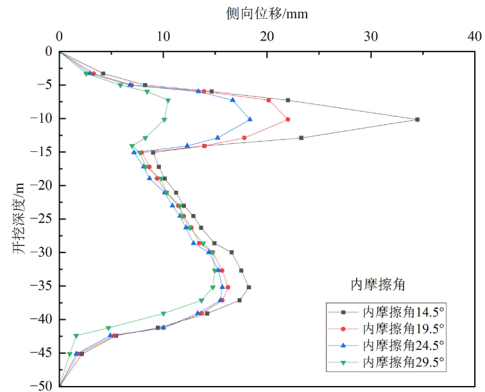


图5 不同内摩擦角槽壁水平位移对比

随着内摩擦角的增大,槽壁侧向位移逐渐减少,初期最大侧向位移的变化较为明显。然而,当槽段深度超过15m,且内摩擦角分别为 $19.5^\circ$ 、 $24.5^\circ$ 和 $29.5^\circ$ 时,槽壁侧向位移逐渐趋于一致。这表明,在一定范围内,内摩擦角的增加对侧向位移的变化影响减小。综上所述,内摩擦角对槽壁稳定性的影响较为显著,但随着其增大,对侧向变形的影响逐渐减弱。

故而,在分析和设计涉及砂土层的工程时,必须充分考虑承压水的影响,以及其对土体力学性质,特别是内摩擦角的潜在削弱作用。

### 5 结论

(1) 槽壁在阳角处由于两面裸露以及应力集中等因素,导致该区域的失稳风险相较于其他部分更高。因此,在施工过程中,应采取有效的措施来防止槽段阳角处出现失稳现象。

(2) 通过对土体抗剪强度指标、地下水高度的分析,土的土体抗剪强度力学指标对槽壁的侧向位移产生一定影响,但随着深度的增加,土体抗剪强度力学指标对侧向位移的影响逐渐减弱;地下水位高度变化对阳角处槽壁侧向位移的影响尤为明显。因此,在富水地区进行施工时,应综合采取降水措施,并对砂土层等软弱土层进行加固,以显著提升槽壁的稳定性。

#### 参考文献

[1] 安辰亮,吴文亮,赵小朋,等.跨软弱夹层地下连续墙槽壁局部稳定性分析[J].铁道工程学报,2022,39(03):7-12+39.  
 [2] 丁勇春,李光辉,程泽坤,等.地下连续墙成槽施工槽壁稳定机制分析[J].岩石力学与工程学报,2013,32(S1):2704-2709.  
 [3] 路乾.黄土地区地下连续墙成槽施工槽壁稳定性及地层变形研究[D].西安建筑科技大学,2021.DOI:10.27393/d.cnki.gxazu.2021.001454.

# Research on application of reinforcement technology for load-bearing foundation with cover layer

Zhijia Fu

SINOHYDRO BUREAU 7 CO., LTD.Chengdu, Sichuan, 611130, China

## Abstract

This study focuses on large slopes and load-bearing foundations in hydropower station construction, presenting a reinforced foundation technology that utilizes steel pipe-anchor composite piles. The design integrates steel pipes for rigid support with anchor bars to transfer deep-seated stresses, forming a synergistic load-bearing system. Particularly effective for enhancing the bearing capacity of engineering slopes, excavations, and foundation slabs, this approach effectively meets the heavy load-bearing requirements of upper structures while reducing settlement risks and shortening construction timelines under complex geological conditions. The research demonstrates significant engineering benefits and exemplary outcomes.

## Keywords

Reinforcement; Load-bearing; Steel pipe pile; Anchor bar; Grouting

## 覆盖层承重基础加固施工技术应用研究

付志华

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国 · 四川 成都 611130

## 摘 要

本次研究以水电站施工中涉及的大边坡、承重基础为例, 针对一种承重基础加固结构技术, 尤其涉及一种结合了钢管与锚筋的组合桩结构。该结构通过钢管提供刚性支撑、锚筋传递深层应力, 形成协同受力体系, 特别适用于工程边坡、基坑及基础底板的承载力提升, 能够有效满足上部建筑物的大负荷承载需求, 在复杂地质条件下可减少沉降风险, 缩短施工周期, 最终取得了良好的工程效益和示范效果。

## 关键词

加固; 承重; 钢管桩; 锚筋; 灌浆

## 1 引言

现有技术中, 钢管桩技术是指在小型钻孔中放置钢管, 然后通过压力注浆或者灌注混凝土进行封孔, 形成微型钻孔灌注桩, 然后在顶部设置现浇混凝土形成整体排桩, 该技术具有结构整体性强、工艺简单、造价低等优势, 目前成为地层加固中常用的处置技术, 但是该技术在钻孔内部仅设置一根钢管, 没有设置锚筋, 造成结构强度低, 地基承载力改变效果常常不够理想。锚筋桩技术一般采用多根钢筋焊接组成。施工时在岩石或土质边坡上钻孔, 将注浆管与锚筋桩绑扎后一起插入孔中, 利用注浆管全孔一次灌注纯水泥浆液或水泥砂浆。采用锚固技术可以减少开挖和混凝土工程量, 因此, 砂浆锚筋桩已被各类工程广泛应用。

单一的钢管桩或锚筋桩仅形成微型桩柱, 浆液扩散范围受限, 对破碎地层胶结效果有限, 难以显著提升地层整体

承载力。且单一钢管桩或锚筋桩与上部连接构件的联合受力性能不佳。针对目前的施工技术的不足, 提出一种新型钢管锚筋组合桩的地基加固结构。

## 2 项目概括与背景

巴拉水电站位于四川省阿坝藏族羌族自治州马尔康市境内脚木足河上, 系大渡河干流水电规划“3 库 28 级”自上而下的第 2 级水电站, 上接下尔呷“龙头”水库电站、下衔达维电站, 地处中、高山峡谷河段。坝址位于马尔康市日部乡色江吊桥下游约 2.2km, 经右岸引水至巴拉峡谷内约 2km 处修建地下厂房发电, 并采用长尾水洞退水至峡谷外。本次施工技术研究以本项目的开挖石料的大边坡的上, 不宜采取大体量的开挖, 形成作业施工的情形, 后者更多考量是为节约施工成本, 为建造骨料拌合系统的支架墩柱所进行的技术研究, 为达到目的, 在边坡上无法有效的展开大明挖的情形下, 完成一种承重基础加固结构, 从而满足施工要求。

【作者简介】付志华 (1986-), 男, 羌族, 中国四川绵阳人, 本科, 工程师, 从事水利水电施工及管理研究。

### 3 技术原理

与传统的钢管桩或锚筋桩方法相比,本技术研究的创造性在于采用钢管桩与锚筋桩相结合,通过灌注稳定水泥浆及无收缩砂浆与地层形成一个整体,同时与桩顶承台一体浇筑形成整体,达到共同发挥作用的目的。本技术研究与现有锚固技术相比能够产生有益的技术效果,因此具备实用新型专利所需的创造性的要求。本技术研究具有显著的实用性,其结构中的材料部件均为工程中常用的构件,结构简单明了,材料易得且易于制作,施工操作便捷,实用性强。

一种边坡承重基础加固结构,包括混凝土承台和沿混凝土承台相对设置的钢管锚筋组合桩,所述混凝土承台下方按照一定规则,等间距设置若干钢管锚筋组合桩,所述若干钢管锚筋组合桩与混凝土承台一体浇筑,形成承重基础加固结构。承重基础加固结构,所述的钢管锚筋组合桩其上部嵌入混凝土承台,钢管嵌入深度为承台厚度的 $1/3 \sim 1/2$ ,而锚筋嵌入深度为承台厚度的 $1/2 \sim 3/4$ ,以确保结构的稳定性和承载能力。钢管锚筋组合桩底部嵌入基岩的长度至少为2米或整个桩长的 $1/3$ 长度,以满足工程要求和提高结构的稳定性。所述的钢管锚筋组合桩,外壁钢管上按照梅花形间距 $300\text{mm}$ 开设直径 $20\text{mm}$ 的孔洞;锚筋束由3根钢筋电焊成整体,焊点间距按照 $1/3$ 桩长焊接一道布置,焊缝长 $10\text{mm}$ ,厚 $1\text{mm}$ ,钢筋束上部单根钢筋长度 $0.6\text{m}$ 处弯折成 $165^\circ$ 角呈展开状与混凝土承台钢筋连接固定。

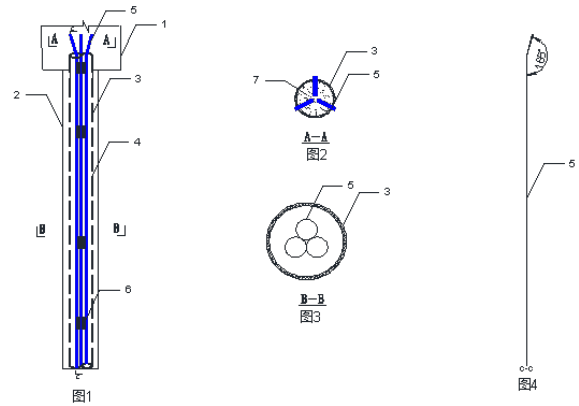
具体的操作流程:施工平台建立→测量放线→冲击钻就位→钻机就位→套管下设入岩两米→花管下设→锚筋束下设→灌浆→砂浆灌注→承台施工<sup>[1]</sup>。

### 4 具体实施的过程

该边坡承重基础加固结构采用高压钻机配合跟管钻进技术,形成直径为 $150\text{mm}$ 的钻孔,钻孔需嵌入基岩至少2米或达到钻孔深度的 $1/3$ 。钻孔完成后清洗钻孔,排除孔内沉渣。钻孔1清孔完成后下入外壁钢管3。

我们优选壁厚为 $4\text{mm}$ 、内径为 $108\text{mm}$ 的无缝钢管作为外壁钢管,其接长部分采用管箍进行可靠连接。外壁钢管3按照十字对打,间距 $300\text{mm}$ ,上下交错布设直径 $20\text{mm}$ 溢浆孔。钻孔1清孔完成后下入准备好的外壁钢管3,然后拔出钻孔护壁套管。外壁钢管3下设安装好后,采用稳定浆液 $0.5:1$ 水泥浓浆通过外壁钢管3对地层进行无压力灌注,改善边坡岩体整体承载力。稳定浆液灌注结束后,立即下入准备好的锚筋束5。锚筋束5采用3根直径为 $28$ 的螺纹钢电焊成整体,焊接加固面6间距按照 $1/3$ 桩长焊接一道布置,焊缝长 $10\text{mm}$ ,厚 $1\text{mm}$ ,钢筋束上部单根钢筋长度 $0.6\text{m}$ 处弯折成 $165^\circ$ 角呈展开状与混凝土承台钢筋连接固定。锚筋束5安装就位后,立即采用填充体7M40无收缩砂浆进行加压灌注至孔内饱满。锚筋束5安装就位后,随即采用7M40无收缩砂浆对填充体进行加压灌注,确保孔内填充饱满。外

壁钢管3和锚筋束5形成的密集加固结构与上部承台1整体浇筑在一起,形成对上部构筑物的承重基础。结构附图说明图如下:



#### 4.1 钻进操作平台的制作

操作平台的制作,采用钢管在开挖的施工旁,坡面上进行搭设,其外观尺寸为 $2.3\text{米} \times 3\text{米}$ ,高度为 $1\text{米}$ ,上部铺设了 $5\text{毫米}$ 厚的钢板作为盖面。考虑到边坡的稳定性和开挖量的大小,这里采用挖机在边坡上开挖一个小平台满足施工需求即可,这里涉及的是,根据施工场地的大小决定施工机具的选用,为满足施工要求并节约成本,我们选用了哈迈-A90冲击钻机来进行套管的打设工作<sup>[2]</sup>。

#### 4.2 哈迈-A90钻机的就位

保证钻机的垂直度和平整度,底部进行加固,防止钻机因受过大的旋转扭力和倾斜和起翘。

#### 4.3 146mm 套管的钻进

此处的 $146\text{mm}$ 套管为中空钢管,作用为覆盖层中的钢护筒的护壁的作用。这里的起吊采用 $25\text{t}$ 汽车吊进行配合。

#### 4.4 外壁钢管和锚筋束的下设

外壁钢管的下设采用管箍连接,汽车吊予以配合;锚筋束的下设,锚筋连接方式采用焊接,保证其稳固,同时,在锚筋的间隔一定的距离绑扎中间居中的橡胶棒条,保证其有一定的保护层厚度。

#### 4.5 稳定浆液的灌注

在无灌注压力的情况下,设定一个最大量的灌注定量,在下设钢筋束之前,固结一下覆盖层的底部基础,后下设钢筋束。

#### 4.6 砂浆的灌注

完成钢筋束的下设后,使用砂浆泵将M40无收缩砂浆灌注至外壁钢管中,形成填充体,并进行加压灌注,直至孔内充满<sup>[3]</sup>。

### 5 质量控制

#### 5.1 孔位的质量管控要点

采用全站仪放点并形成点位保护,后期下设外壁钢管时可采用其底部双排布置的底固扣及下设检测管过程使用