

# 西南山区基桩施工方法探讨

钟研

中铁二十三局集团有限公司华中区域指挥部

**摘要:**我国西南山区,地形起伏大,地质条件复杂,且因其为隐蔽工程,使得基桩工程施工成为西南山区桥梁施工的重点和难点。本文依据云南省墨江至临沧高速公路工程实践,从地形地貌、地质条件、地下水情况、安全因素、质量保障、施工进度、经济性等方面进行综合分析、比较,达到选定最优基桩施工方法的目的,供类似工程项目借鉴和参考。

**关键词:**西南山区;基桩;施工方法

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2023.10.242

## 一、引言

基桩,在将桥梁荷载传递给地基的过程中起到最主要作用。因其为隐蔽工程,使得选定其最优施工方法的难度较大。尤其我国西南山区地势起伏较大、地底岩溶发育、地下水丰富,桩基施工难度大。山区低洼处地下岩溶溶槽、溶腔频繁出现,桩基布置难以调整,桩身周边岩体软硬不均,且雨季地表水迅速汇聚于低洼处,积水上涨导致岩溶通道渗漏,进一步影响桩基施工质量。在地形地貌、地质条件、质量安全进度成本等多种因素的影响下,判定其最优施工方法的难度更大。过去的施工中,前人对其施工理论和实践进行了不断创新和更新,施工设备也是日新月异,但未有全面总结。本文依据工程实例,对影响我国西南山区基桩施工的因素进行系统分析,并进行全面总结,以供类似工程项目,根据具体施工条件借鉴和参考。

## 二、工程背景

国家高速公路网 G5615 墨江至临沧公路是云南省州市间高速公路连通的重点建设路段,将形成墨江市、普洱市~临沧市等地区间的主骨架通道。设计速度 80km/h,是滇西南地区主要的国防交通干线、经济干线、旅游干线。项目的建成将形成滇西南的主骨架布局,对完善国家高速公路网、云南省高速公路网,改善西部地区公路交通现状具有重大的意义。

其桥梁墩身高,跨度大,设计类型多,基桩设计直径分 1.5m、1.6m、1.9m、2.2m 四种。设计桩长 20m~46m。

## 三、影响基桩成孔方法的主要因素

目前常用成孔方法有旋挖钻(含正反循环钻)旋挖成孔、冲击钻成孔、人工挖孔成孔。

选择成孔方法时主要考虑的因素有:施工安全、地形条件、地质条件、地下水情况、施工质量、施工进度、施工成本。下面进行详细分析。

### 1. 地形因素

地势较为平缓的地形,一般选用机械成孔,旋挖钻

和冲击钻皆可。

根据经验,旋挖机一般要求道路宽度 $\geq 5\text{m}$ ,转弯半径 $\geq 15\text{m}$ ,坡度 $\leq 10\%$ 。对于陡峭的地形,若进场便道能同时满足上述条件,可选用旋挖机成孔。若不能满足,或者不能全部满足上述条件,则宜选用冲击钻成孔。

若地形更为陡峭,完全不能修建便道,或者修建的便道完全不能满足成孔机械进场需要,或者便道修建成本过高(与结构物造价相比的比例较大),则可考虑使用人工挖孔成孔。

### 2. 地质因素

对于围岩的单轴抗压强度 $\geq 50\text{MPa}$ 的硬岩,如花岗岩、玄武岩、辉岩等,若采用旋挖机成孔,速度慢,有时候甚至难以成孔,因此不宜选择。宜选择冲击钻成孔。

对于围岩的单轴抗压强度 $< 50\text{MPa}$ 的岩石,如部分中风化岩石、强风化岩、炭质泥岩、千枚岩、素土、淤泥等,宜选用旋挖钻成孔,速度快。也可选用冲击钻,但成孔速度旋挖机的慢。

对于淤泥质土、流沙层等极其软弱地质情况,建议采用旋挖机成孔,配套设备需汽车吊,甚至履带吊、振动锤。对整个软弱地层段,需埋设全护筒跟进。由于此时护筒长度在 5~20m,成孔前,需用振动锤将护筒压入地层形成护壁,避免塌孔。基桩混凝土灌注完毕后马上再用振动锤将护筒拔出,循环使用。此种方法设备配置高,机械化程度高,施工速度快,总体成本不高,对于地质条件极差,地下水位高的情况较为适用。

### 3. 地下水因素

若地下水位较高,若采用旋挖钻,一般地质情况下容易塌孔,成孔困难,宜选用冲击钻成孔。在不具备选用冲击钻的情况下,也可采用人工挖孔成孔。

若地下水位较低,则宜采用旋挖钻成孔。在不具备选用旋挖机的情况下,可考虑冲击钻或者人工挖孔成孔。

若地下水水量较大,则宜考虑冲击钻成孔,不应采

用人工挖孔成孔。否则，施工速度较慢，抽排水费用高，作业条件差，安全风险高。

### 4. 安全因素

机械成孔方法全在露天作业，安全隐患数量少，隐患消除措施简单，安全因素易控。

人工挖孔在地热、气温、通风措施、供氧措施、降低烟尘浓度措施、作业环境等各个方面因素影响下，使得安全隐患数量多，隐患消除措施相对复杂，安全因素控制难度大。一般在桩长 $<16\text{m}$ 的时候，可以考虑人工挖孔方法成孔。在桩长 $\geq 25\text{m}$ 的时候，地下作业风险太高，不应选用人工挖孔方法成孔。

总体对比，机械成孔方法的安全隐患远远小于人工挖孔成孔方法，因此在同等条件下，应选用机械成孔。

### 5. 质量保障因素

从成孔孔径、垂直度、成桩混凝土质量保障率三方面进行分别对比分析如下：

成孔孔径方面：由于旋挖机和冲击钻的成孔孔径由钻头直径决定，易于控制，易于检查，易于保证。人工挖孔桩的孔径受工人经验和责任心等人为因素方面影响多，孔径保障率较机械成孔的保障率低。

垂直度方面：冲击钻一直处于铅直下垂状态中，在现有的成孔方法中，对于垂直度的保障率最高。在均质岩体中，基本不存在偏差。旋挖机成孔方法中，受机身平整度、钻杆垂直度的影响，导致其垂直度较冲击钻的差。人工挖孔桩成孔的垂直度受工人经验及检测方法的限制，在几种方法中，其垂直度保障率最低。

成桩混凝土质量保障率方面：若采用水下灌注混凝土成桩方法，则3种成孔方法的混凝土质量保障率是一样的。若采用干作业成桩方法，则旋挖机成孔方法存在塌孔风险，造成成桩缩径或者断桩，影响成桩质量。而人工挖孔桩成孔方法中围岩在护壁的保护下，一般不存在塌孔风险，因此成桩质量保障率高于旋挖机干作业成桩方法的。

### 6. 施工进度要求因素

一般情况下，旋挖机的成孔速度最快，也是几种方法中施工进度最快的。其次是冲击钻成孔。人工挖孔成孔方法最慢。

旋挖机在钻进深度大于 $40\text{m}$ 之后，成孔速度明显降低，成桩效率明显降低。

人工挖孔在开挖深度大于 $20\text{m}$ 之后，成孔速度大大下降，成孔速度更慢，一般为开挖深度 $20\text{m}$ 以上部位施工速度的 $1/2\sim 2/3$ 。

冲击钻成孔速度受深度影响较小，甚至基本不受深度影响。

因此，3种成孔方法对比分析，综合施工进度方

面，旋挖机最快，其次为冲击钻，人工挖孔方法施工进度最慢。具体选用哪种成孔方法，需根据施工进度要求统筹考虑。

### 7. 经济性因素

影响成桩经济性的主要因素有地形条件、围岩条件、进出场费用摊销、设计桩长、辅助工艺等条件，具体分析如下：

地形条件：地形条件主要影响施工便道成本。旋挖机成孔、冲击钻成孔、人工挖孔成孔这3种方法对便道的要求等级依次降低。施工时，需分别分析3种方法所要求的不同等级的便道的修建及维护成本与结构物造价的比例后，选择经济性最优的成孔方法。

围岩条件：对于围岩的单轴抗压强度 $\geq 30\text{MPa}$ 的硬岩，旋挖机与冲击钻的成孔成本都较高。人工挖孔成本相对较低，具有经济优势。对于围岩的单轴抗压强度 $< 30\text{MPa}$ 的岩石，宜选用旋挖钻成孔，速度快，成本也不高，也可选用冲击钻，不宜选用人工挖孔成孔方法。

进出场费用摊销：单套旋挖机进出场费 $>$ 单套冲击钻进出场费 $>$ 单组人工挖孔进出场费，因此，若工程量较大，则宜首先选用旋挖机成孔方法，其次是冲击钻成孔方法。若工程量很小，则宜选用人工挖孔方法。

设计桩长：若桩长 $> 40\text{m}$ ，禁止采用人工挖孔方法成孔，旋挖机成孔机械效率低，因此宜选用冲击钻成孔。

辅助工艺：对成孔经济性方面影响较大辅助工艺主要有旋挖机造泥浆、人工挖孔护壁。需要根据泥浆成本摊销比例、护壁成本摊销比例等现场实际情况，比较详细成本，最后择优选择。

## 四、影响基桩砼灌注的因素

影响基桩砼灌注的主要因素为地下水和桩长，分别分析如下：

地下水：若孔内地下水情况为无水、浸润、稀疏滴水，则可采用干作业灌注混凝土成桩。用混凝土导管或者下料串筒。若孔内存在线状水，或者滴水密集，则应采用水下灌注混凝土成桩。

桩长：若桩长 $\leq 20\text{m}$ 时干作业灌注混凝土，可采用串筒下料灌注混凝土成桩，除此之外，应采用导管下料灌注混凝土成桩。

## 五、西南山区桩基施工流程

### 1. 地质勘查

公路桥梁地质勘察需确定构筑物位置，每个墩台需通过2次及以上勘探钻孔综合勘探，以物探配合钻探，掌握岩溶发育复杂的桥位。物探发现异常的区域需逐一进行钻孔勘查，尽量完整掌握地质信息，为后续的桩基设计、施工奠定数据基础。通过地质勘查，选定桩基

位置应为稳定的岩土层,必要时可穿过溶洞寻找稳定区域。所以,桩基勘探应尽量深入地层,勘查深度应不小于4m,不小于1~3倍桩径,端承桩的钻孔深度应不小于3~5倍桩径。考虑到山区地质条件不良,岩溶洞悉极发育且走向复杂,以现有的地质勘查技术很难完全掌握地址信息。且随着后续桩基施工环节陆续开展,地下岩溶状态会发生不可控变化,应加强动态勘察和设计,加强勘察人员和设计人员的互动,提升桩基施工的合理性。

## 2. 桩基设计

高速公路桥梁墩台施工位置应尽量选择岩溶弱发育、洞穴顶板稳固、岩溶水影响力小的位置进行桩基施工,必要时可灵活调整桥梁跨径,或调整桥梁墩台施工形式,提高桥梁墩台的稳定性,提高桩基施工的性价比。桩基设计需遵循以下原则:①以极限状态设计验算桩基承载力原则。为保证高速公路桥梁的稳定性,岩溶地区的桩基应按照极限状态进行设计和验算,保证桩基的稳定性和安全性。②因地制宜设计原则。桥梁墩台所选位置、桩型应根据地形地貌、地质、现场施工条件进行灵活调整,保证桥梁桩基施工的质量和效果。

一座桥梁的桩基尺寸、长度设计应尽量保持统一,直径不应超过3种。桩基桩径 $d$ 与顶板跨度 $L$ 、厚度 $h$ 、应力扩散角 $\theta$ 关系如下: $d \geq L - 2h \tan \theta$ 桩基长度需根据实际情况进行调整。端承桩设计多用于开孔后即进入弱风化岩层的桩位,桩基长度普遍在冲刷线下6m,具体长度以顶板厚度确定。若开孔后有单层或多层覆盖层,其后才是弱风化岩层,需先计算覆盖层的荷载能力。覆盖层满足上部荷载所需,采用摩擦桩设计;覆盖层不能满足上部荷载所需,采用端承桩设计,基础需深入岩层获得稳定性。若开孔后覆盖层厚度较高,能够满足上部荷载所需,可采用摩擦桩设计,无须深入岩层。

桩基嵌入岩层的深度和顶板厚度应遵循顶板安全优先原则,即嵌入岩层深度在保证顶板安全的基础上,尽量浅入,避免损伤顶板安全。但为保证桩基稳定,嵌入岩层深度又不能过浅。所以,桩基嵌入岩层深度和顶板安全厚度之间相互制约。通常情况下,顶板安全提供承载力,则桩基嵌入岩层深度一般不大于3倍桩径、不小于1倍桩径,根据实际顶板安全厚度、覆盖层情况、岩溶洞发育选择最优深度。有2种方法判断顶板安全厚度:①根据抗剪强度确定: $V \leq 0.07dhfc$ ,其中抗剪承载力 $V$ ,顶板单轴抗压强度 $f_c$ ,嵌入岩层桩径 $d$ ,溶洞顶板厚度为 $h$ 。②根据顶板抗弯承载力确定: $\sigma \geq 6KM / Bh^2$ ,其中岩石弯曲应力 $\sigma$ ,抗弯承载力安全系数 $K$ ,顶板弯矩 $M$ ,顶板宽度 $B$ 。

## 3. 溶洞处理

为保证桩基施工质量,避免桩基施工过程中出现安

全事故,需在确定桩基桩径、长度、嵌入岩层深度数据后,先进行岩溶洞处理,结合溶洞实际需求选择回填、压浆、护筒等法。若溶洞深度 $\leq 10m$ ,高度 $\leq 5m$ ,无填充或半填充,宜选用片石加黏土处理,或灌注C15混凝土处理;全填充,宜选用黏土、片石、水泥造浆后冲孔处理。若溶洞深度 $\leq 10m$ ,高度 $\geq 5m$ ,无填充或半填充,宜选用钢护筒跟进法;全填充,宜选用黏土、片石、水泥造浆后冲孔处理。若溶洞深度 $\geq 10m$ ,高度 $\leq 5m$ ,无填充或半填充,宜选用片石加黏土反复冲孔处理,或关注C15混凝土处理;全填充,宜选用片石加黏土反复冲孔处理。若溶洞深度 $\geq 10m$ ,高度 $\geq 5m$ ,无填充或半填充,宜采用片石填充,或灌注水泥砂浆、混凝土,处理后按照无溶洞地质进行后续桩基施工;全填充,需先判断填充物是石是土,填充石则用土回填处理,填充土则用叶石回填处理。

## 4. 桩基成孔

西南山区地质特殊复杂,容易出现桩基偏孔现象,旋挖钻成孔配合变截面钢护筒可有效降低偏孔可能性。变截面钢护筒吊装进入旋挖钻成的孔中,既能够避免偏孔,又能够避免塌孔。钢护筒吊装到位固定后,可拆除旋挖钻的钻头,用钻杆抵住筒内斜撑杆,促使钢护筒孔径扩张达到预设尺寸后卡住,发挥扩孔支护作用。然后提升钻杆,重新安装钻头,恢复钻进,提高桩基施工效率。

## 结束语

桩基施工,需结合工程项目实际情况,分析多种因素,全面考虑,综合比选,达到最优选取的目的,保障工程项目安全、合格、经济、快速完成。具体桩基施工流程,先进行地质勘查,后根据地质数据设计桩基尺寸、长度、嵌入岩层深度,根据岩溶洞情况处理,最后进行桩基施工,保证桩基施工质量和效率。

## 参考文献

- [1] 陈小军. 山区陡坡桥梁桩基的施工分析. 浙江: 磐安县, 2011. 10.
- [2] 杨有红, 秦波. 山区高速公路桥梁施工的特点与技术. 大科技(科技天地). 2011. 05.
- [3] 郭才荣. 旋挖钻配合变截面钢护筒跟进岩溶桩基成孔施工技术在西南山区低洼地段的应用[J]. 四川水泥, 2023, (04): 177-179.
- [4] 胡琪勇. 山区高速公路桥梁桩基及下部施工技术分析[J]. 工程技术研究, 2021, 6(21): 72-73.
- [5] 罗康. 人工挖孔水磨钻在山区高速公路桥梁桩基施工中的运用[J]. 黑龙江交通科技, 2021, 44(03): 134-135.