

岩溶强烈发育地区桥梁桩摩擦桩基承载力不足处治方案探究

赵腾辉

宁夏公路勘察设计院有限责任公司 宁夏 银川 750000

摘要:对溶洞进行专项处理后,对该区域摩擦桩进行加桩处理,即原设计单桩单墩,变更为框架承台+群桩或者实体式承台+群桩基础方案,同时考虑溶洞处理对侧摩阻力的增强系数。增加摩擦桩承载能力,保证桥梁结构安全。通过以上两种处理方案,经计算桩基承载力富裕的提高约40%,作为先进经验可推广。

关键词:岩溶强烈发育地区;溶洞;摩擦桩;承载力不足

Exploration of Treatment Plan for Insufficient Bearing Capacity of Bridge Pile and Friction Pile Foundation in Strong Karst Development Areas

Zhao Tenghui

Ningxia Highway Survey and Design Institute Co., Ltd., Ningxia Yinchuan 750000

Abstract: After the special treatment of karst caves, the friction piles in this area will be added with piles, that is, the original design of single pile and single pier will be changed to a frame pile cap+pile group or a solid pile cap+pile group foundation scheme, while taking into account the enhancement factor of karst cave treatment on lateral friction resistance. Increase the bearing capacity of friction piles to ensure the safety of bridge structures. Through the above two treatment schemes, the bearing capacity of pile foundation has been calculated to increase by about 40%, which can be promoted as advanced experience.

Key words: Strong Karst Development Area; karst cave; Friction pile; insufficient bearing capacity

1 工程概况

广西灌阳至平乐高速公路(G59呼和浩特-北海)公路K123+322.0沙子特大桥为顺茶江西岸布置的顺江特大桥,设计为75×30钢筋混凝土T梁桥,桥梁全长2257m。桥位处为岩溶强烈发育,地下溶洞分布范围广,根据详勘钻孔揭示,桩基遇洞率64%,最大溶洞单洞高度达20m。整座桥梁桩基设计过程中,ZZ10、Z30、Z44、Z50、Y44和Y55号桥墩桩基全部设计为摩擦桩。

2 岩溶发育区桥梁基础针对性设计

根据中华人民共和国行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 3363—2019),桥梁桩基础一般有摩擦桩和端承桩。摩擦桩承载主要机理为充分利用桩侧摩阻力作为抗力,同时考虑桩端容许承载力作为辅助;端承桩承载主要机理为充分利用桩端容许承载力,同时考虑桩侧摩阻力作为辅助。一般情况下,岩溶发育区主要地质结构组成为上层覆盖5-10m左右黏土、卵砾石层,下面为单轴饱和抗压强度很高的灰岩层,但其内部长期在地下水作用下,发生溶蚀作用,从而形成溶洞、暗河等不良地质,对桥梁桩基础承载力及入岩产生不良影响。为此,针对沙子特大桥桩基础提出针对性

设计^[1]。

规范规定,岩溶发育区桥梁桩基设计时,如遇岩层单轴饱和抗压强度 $\geq 2\text{MPa}$,完整的中风化或者微风化岩层,优先选用端承桩,且满足如下要求:

桩端应进入可靠的微风化岩层,且微风化岩层厚度不小于5m;但桩端岩层较破碎,且区域岩溶强烈发育时,应采用注浆加固处理地层方式,改良岩层完整性。当微风化岩层埋置较深,且桩基深度范围内岩溶发育,出现“糖葫芦”式串珠溶洞,桩端无可靠持力层,可以选择采用群桩。沙子特大桥共设计12根摩擦桩,在实施过程中发现桩基遇洞率更高,原设计摩擦桩承载力不足或无安全储备,需要进一步处理。针对此类情况,首先应针对性专项要对岩溶区溶洞做专项处理,其次要进行摩擦桩加桩处理。

3 溶洞处治措施

3.1 溶洞的定义

溶洞是以岩溶水的溶蚀作用为主,长时间潜蚀和机械塌陷造成的地下空洞^[2]。

3.2 溶洞的分类

(1) 小型溶洞:单个高度 $H \leq 3\text{m}$ 以内的溶洞;

(2) 中型溶洞;

1) 单个溶洞高度 $3m < H < 10m$;

2) 串珠状溶洞, 虽单个小于 $3m$, 但属无充填溶洞;

(3) 大型溶洞: 单个溶洞高度 $\geq 10m$ 。

3.3 溶洞处理方法分类

为了保证岩溶区桥梁桩基施工质量, 保证桥梁结构安全, 设计过程中应充分利用地质勘察资料, 如钻探资料不能

满足设计需求, 还需要结合物探、超前探测、地质雷达等更为先进的手段, 进一步探明岩溶区地质情况。通过以上地质勘察手段, 目的是更清楚的掌握桩位处岩溶发育情况, 溶洞的大小、填充情况、是否漏水等。针对性的选择不同的处治方案, 根据岩溶发育的程度不同、溶洞的规模等可选择的溶洞处治方案主要有: 地层预处理、注浆填充法、片石粘土回填法、混凝土灌入法、钢护筒跟进法等。

表-1 桩基施工溶洞的处理方法汇总表

序号	处治方法分类	具体方法	主要适用范围	
1	预处理	灌浆填充法	单液	
2			双液	
3			水泥浆填充	
4		桩侧加固	高压旋喷桩	对于高度超过 $10m$ 的全填充溶洞, 需要对溶洞内填充物进行固化。
5				
6				
7	回填	片石、粘土回填	该方法最为常见, 漏浆立即回填	
8		注入素混凝土	对于中大型溶洞, 漏浆严重, 片石粘土回填效果不佳时采用	
9	跟进钢护筒	钢护筒跟进方案: 钢护筒跟进至易塌层以下 $2.5m$	小型溶洞, 且覆盖层存在易塌土层(砂层或淤泥层)	
10		钢护筒穿过空洞入岩 $1m$	土洞	
11		钢护筒跟进至微风化岩层底面	小溶洞 (2) 全填充或已进行过预处理的中型溶洞	
12		单层钢护跟进溶洞底部	(1) 单个半填充或未填充的中型溶洞, 且溶洞顶岩层厚度小于 $1m$ 的情况; (2) 溶洞顶岩层厚度小于 $1m$ 的单个大型溶洞; (3) 溶洞顶岩层厚度小于 $1m$ 的全填充中型溶洞。	
13		双层钢护跟进至溶洞底部	(1) 溶洞顶岩层厚度小于 $1m$ 的单个半填充或无填充中型溶洞; (2) 溶洞顶岩层厚度大于 $1m$ 单个大型溶洞; (3) 溶洞顶岩层厚度大于 $1m$ 全填充中型溶洞。	
14		双层钢护跟进至溶洞底部	中型串珠状溶洞(单个溶洞高度 $3m < H < 10m$), 分布多个, 且间距大于 $3m$ 。	
15	综合法	以上几种方法综合使用, 主要组合方法如下: (1) 预处理法+回填法; (2) 预处理法+钢护筒跟进法; (3) 钢护筒跟进法+回填法	以上方法单一措施处理效果不佳时采用	

3.4 溶洞处理方法选择

对于岩溶强烈发育地区, 应考虑技术的可实施性和工程投资经济性等因素, 同一桩基可能采用综合几种单一方式进行溶洞处治, 以达到即经济又安全的目的^[3]。常见溶洞处治方法选择原则主要有以下几类:

(1) 预处理: 当溶洞内有填充物填满或有流砂的, 填充物不满(水洞)且深度在 $4 \sim 10m$ 的, 或为多层溶洞的, 在钻孔桩施工前先进行预处理。主要采用灌浆填充法填满溶洞, 在固结体达到一定强度后再钻孔施工, 灌浆法可用喷射灌浆法, 促进填充物强度的加强。

(2) 回填法(片石粘土回填法): 本项目回填方主要采用片石粘土回填, 一般配合钢护筒跟进法使用, 在钻孔过程

中, 孔内漏浆时采用此法处理; 对于大型的半填充或无填充溶洞, 也需要先进行回填, 再进行桩周高压旋喷加固处理。

(3) 钢护筒跟进法: 钢护筒跟进法施工技术是处理桩基多层溶洞和高大溶洞的重要施工手段之一, 关系到桩基施工的顺利安全进行, 通过钢护筒对孔壁形成预支护, 使孔洞几乎不可能发生塌孔, 即使塌孔, 也被钢护筒支撑住, 确保桩基的正常施工。

(4) 综合法: 以上三类方法结合使用的, 有效处理溶洞, 此方法为工程设计及施工中最为常见得方法。沙子特大桥摩擦桩桩位处溶洞处理也采用综合法有效改善了岩层的完整性和稳定性。

4 原设计摩擦桩承载力复核^[4]

本次对12根原设计摩擦桩验算时,计算原则为:

- 不考虑钢护筒、溶洞范围桩侧摩阻力,不考虑注浆增强效应;

- 按照仅考虑桩侧摩阻力计算桩基承载力,并进行第一次安全性判断;

根据《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363—2019)以下公式对12根摩擦桩进行复核计算。

$$R_a = \frac{1}{2}u \sum_{i=1}^n q_{ik} l_i + A_p q_r \quad (6.3.3-1)$$

$$q_r = m_0 \lambda [f_{a0} + k_2 \gamma_2 (h-3)] \quad (6.3.3-2)$$

经计算发现:

原设计6个桥墩摩擦桩承载力不足,但通过增加承台桩基后再进行计算,在保证新增桩基施工不设置钢护筒的前提下,考虑新增桩基完整侧摩阻力,并且由于实体承台下所有桩基及已有钢护筒组成整体受力,故原桩基钢护筒范围可考虑一半摩阻力,计算结果如下所示。

(1) Z50和Y44号墩新增桩基需增加桩长,仅考虑桩侧摩阻力计算时竖向承载力富余度较高;

(2) Z30号墩已按增加2根1.4m桩基方案完成了一根桩基施工,按该方案计算,仅考虑桩侧摩阻力,桩基竖向承载力富余度提高至28.84%,承载力足够;

(3) 其余墩位处按原桩长新增桩基后,仅考虑桩侧摩阻力计算时竖向承载力富余度较高。

5 溶洞处理后对于桩基承载力的影响

5.1 桩基承载力计算

根据中华人民共和国行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363—2019)第6.3.3条之规定:

摩擦桩受压承载力特征值根据公式6.3.3-1计算

$$R_a = \frac{1}{2}u \sum_{i=1}^n q_{ik} l_i + A_p q_r \quad (6.3.3-1)$$

《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363—2019)附录K规定的后压浆灌注桩受压承载力特征值按照公式6.3.4计算:

$$R_a = \frac{1}{2}u \sum_{i=1}^n \beta_{si} q_{ik} l_i + \beta_p A_p q_r \quad (6.3.4)$$

其他符号同本规范式(6.3.3-1)。表 6.3.4 后压浆侧阻力增强系数 β_s 、端阻力增强系数 β_p

土层名称	淤泥质土	黏土 粉质黏土	粉土	粉砂	细砂	中砂	粗砂 砾砂	角砾 圆砾	碎石 卵石	全风化岩 强风化岩
β_s	1.2~1.3	1.3~1.4	1.4~1.5	1.5~1.6	1.6~1.7	1.7~1.9	1.8~2.0	1.6~1.8	1.8~2.0	1.2~1.4
β_p	-	1.6~1.8	1.8~2.1	1.9~2.2	2.0~2.3	2.0~2.3	2.2~2.4	2.2~2.5	2.3~2.5	1.3~1.6

注:对稍密和松散状态的砂、碎石土可取较高值,对密实状态的砂、碎石土可取较低值。

通过对溶洞进行专项处理后,将沙子特大桥原设计12根摩擦桩进行加桩处理,即原设计单桩单墩,变更为框架承台+群桩或者实体式承台+群桩基础方案,同时考虑溶洞处理对侧摩阻力的增强系数。增加摩擦桩承载能力,保证桥梁结构安全。通过以上两种处理方案,经计算桩基承载力富裕的提高约40%,作为先进经验可推广^[5]。

参考文献

[1] 高歌今 岩溶地区桥梁桩基础设计及施工技术措施[B]. 铁道标准设计, 1004—2954 (2004) 12—0058—03

[2] 邱斌 岩溶地区桥梁桩基设计[B]. 铁道建筑, 文章编号:1003—1995(2004) 05—0013—02

[3] 王中文、汪华斌、刘志峰、孙向东等 岩溶地区公路桥梁桩基设计与施工技术9787030450449.

[4] 李聪林. 桥梁岩溶地基的处理方法[J]. 铁道标准设计, 2003, (1):17.

[5] 郑永红. 岩溶地区桥梁基础设计[J]. 铁道标准设计, 2006, (10) :41.