

岩溶地区钻孔灌注桩孔斜处理施工技术研究

杨小军, 龙波, 王勇, 赵志勇

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川成都 610037)

摘要:中老铁路磨丁至万象段 V 标 I 分部岩溶区桥梁桩基施工在穿越斜面岩层、溶洞发育地层时频繁出现钻孔偏斜、孔斜纠正困难等问题, 导致施工进度缓慢。阐述了对岩溶地区铁路桥梁桩基施工中遇到的钻孔偏斜处理过程, 对钻孔偏斜的形成机理、影响因素、处理措施及预防等方面进行了详细分析, 旨在为今后类似工程桩基施工孔斜处理提供参考与借鉴。

关键词:中老铁路; 钻孔灌注桩; 岩溶地区; 钻孔偏斜; 孔斜处理; 施工技术

中图分类号: U21; U215.7; U215.6

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2022)05-0049-05

Research on Drilling Deviation Treatment of Bored Cast-in-place Pile in Karst Area

YANG Xiaojun, LONG Bo, WANG Yong, ZHAO Zhiyong

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD., Chengdu, Sichuan, 610037)

Abstract: During the construction of the bridge pile foundation in the karst area of the V bid I division of the Boten to Vientiane section of the China-Laos Railway, in the place that the slanted strata and the karst cave are developed, the drilling deviation frequently occurs, the drilling deviation correction is difficult, and the construction progress is retarded. Based on the drilling deviation treatment in the construction of railway bridge pile foundation in karst area, this paper made a detailed analysis of the formation mechanism, influence factors, treatment and prevention measures of drilling deviation. In the construction of similar pile foundation projects, the achievements in this paper could be used as reference.

Key words: China-Laos Railway; Bored cast-in-place pile; Karst area; Drilling deviation; drilling deviation treatment

1 概述

中老铁路磨万段北起中老边境口岸磨丁,南至老挝首都万象,线路全长 414.332 km,是第一个以中方为主投资建设并运营、与中国铁路网直接连通的境外铁路项目,全线采用中国技术标准,使用中国设备,设计时速为 160 km/h。中老铁路磨万段 V 标 I 分部桥址区遍布岩溶(喀斯特地貌)、砂土液化、松软土等不良地质及特殊岩土;多座桥梁地勘钻孔见洞率达 70%~96%,平均见洞率为 57%,最大洞高约为 13 m,岩溶呈中等~强烈发育,潜伏性岩溶发育,多为串珠状及贯通型溶洞,地质情况极为复杂;同时其下伏二叠系(P)灰岩强度高,斜面岩密布,基桩嵌岩深度大,钻孔偏斜处理难度极大。

鉴于钻孔灌注桩属隐蔽性工程,施工工序多,导致质量影响因素很多。而钻孔作为其第一道关

键工序,钻孔的偏斜对后续钢筋笼、导管能否顺利下设计与起拔有很大作用,直接影响到混凝土浇筑、桩基承载力以及上部结构的整体稳定。结合工程实例,对岩溶地区钻孔灌注桩出现的不同形态的钻孔偏斜采取的不同处理措施进行了研究与总结,以期进一步丰富岩溶地区钻孔灌注桩孔斜处理施工技术。

2 钻孔偏斜的机理及影响因素

2.1 钻孔偏斜的机理

钻孔偏斜或钻孔弯曲是指钻进(井)过程由于地质因素、技术因素和工艺因素的影响,导致实际的钻孔轨迹偏离设计钻孔轨迹的现象。钻孔偏斜的根本原因是钻具轴线和钻头碎岩中心偏离设计钻孔轴线^[1]。钻孔产生偏斜的条件为:①空间上,钻头钻具与孔壁之间存在间隙,使钻头钻具有倾斜的空间,例如局部超径;②钻进时存在偏离轴线方向的力,其为钻头钻具轴线偏离钻孔轴线提供

收稿日期:2022-07-10

动力,例如轴压的水平分力;③倾斜方向稳定,使钻头钻具保持偏斜和力的方向稳定,例如斜面岩、钻头的自转。

2.2 影响钻孔偏斜的因素

钻孔偏斜是岩溶地区钻孔灌注桩施工常见的现象,其处理时间长,严重影响施工进度。影响钻孔偏斜的因素很多,大致可分为地质因素、技术因素和工艺因素三类。

2.2.1 地质因素

地质因素是客观存在的,其可以通过施工工艺和技术措施减弱促斜作用,主要体现为岩石的各向异性和软硬互层。

岩石的各向异性系指在不同方向外荷载作用下,岩石所表现出的物理力学性质差异^[2]。在具有层理、片理的岩层中钻进时,垂直于岩层方向钻进的破岩效率最高;平行于层理方向的钻进效率最低;倾斜方向的破岩效率居中。因此,在倾斜岩层、岩溶发育地层中钻进,极易产生钻孔偏斜现象。

软硬互层主要表现为:①钻头从软岩进入硬岩,钻孔弯曲垂直于层面方向;②钻头从硬岩进入软岩时,钻孔基本保持原来的方向;③钻孔以锐角穿过软硬互层时,最终表现为顶层进。但是,钻孔

轴线与软硬互层界面的遇层角存在着临界值。超过此值时,钻孔顶层进;低于此值时,钻孔将沿硬岩的层面下滑(俗称顺层跑)^[3]。

该工程岩溶桥址区内地质情况十分复杂,大部分桩基下部穿越多层溶洞,甚至是串珠状溶洞。根据调查了解及现场实际情况,地质因素对钻孔偏斜的主要影响表现为以下几种地质类型:①上部土层与岩层分界面的斜面岩,其倾角大小、走向各不相同,钻进至岩土分界面处极易发生钻孔偏斜且纠偏处理困难;②下部灰岩地层中发育着各类大中小型溶洞、串通型溶洞、填充~半填充溶洞等,其构造无规律,产状、大小变化十分复杂^[4],钻进过程中极易遇到溶沟、溶槽、溶洞充填物中的孤石、石笋、半边岩、溶洞底部倾斜岩面等,桩孔内斜面岩、半边岩、溶沟(槽)、石笋情况见图1。这些情况均会导致钻孔倾斜,致使桩基承载力降低;同时伴随着孔内岩溶漏浆等,极大程度增加了处理难度。因而,在钻进至倾斜岩层、软硬互层、孤石、通过溶洞发育段时应合理控制冲程与冲击频率,减小钻孔倾斜的机率,发生偏斜时应积极采取有针对性的措施进行处理。

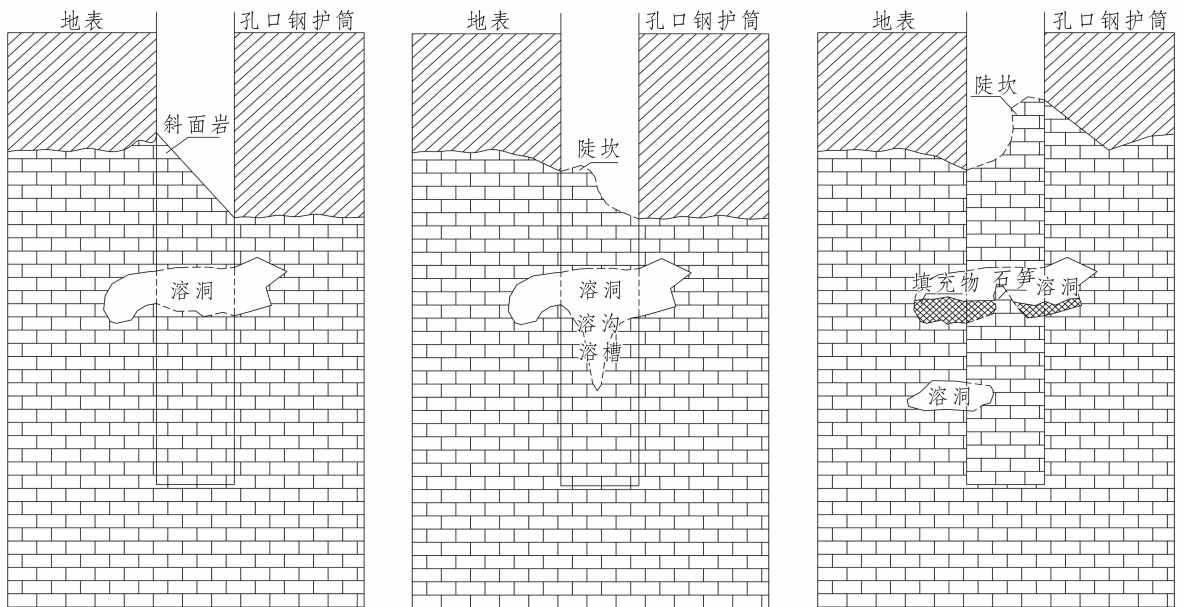


图1 桩孔内斜面岩、半边岩、溶沟(槽)、石笋示意图

2.2.2 技术因素

(1) 开孔阶段:钻机基础不平、钻机安装不正确、未下孔口钢护筒或孔口钢护筒安装不符合要

求以及钻进参数不合理等因素均会导致钻孔偏斜。开孔阶段的钻孔偏斜会影响到整个桩孔的垂直度,因此,在开孔钻进前,必须正确进行场地平

整、孔口钢护筒埋设和钻机就位,使场地平整坚实、护筒倾斜度和钻机调平符合要求,且钻机立柱(转盘)、钻头中心和桩位三点在同一直线上方可进行开孔钻进;同时,开孔阶段应保持小冲程钻进,直至钻孔深度超过冲击钻头高度。

(2) 钻进阶段:在冲击式钻机施工时,应合理控制冲程和提钻速度,防止冲程过大使钻头摆动厉害进而加大孔径,导致钻头与孔壁间存在偏斜的空间。同时,在岩溶发育地层冲击钻进过程中,一定要防止因频繁发生孔内漏浆、钻进震动使孔内塌孔,钻机前部土体沉陷,产生不均匀沉降,导致钻机倾斜造成斜孔。

2.2.3 工艺因素

采用冲击式钻机进行灌注桩施工在工艺方面导致钻孔倾斜的原因主要受冲程、提钻速度、泥浆质量及泥浆循环速度的制约。冲程过大、提钻速度过快导致冲击时钻头横向振动大,进而加大了孔径,使钻头与孔壁之间偏斜的空间增大;泥浆循环速度过快将冲刷、破坏孔壁,导致其对孔壁的保护作用减小,特别是在岩土分界线和溶洞段施工时,将使孔壁间隙剧增,为钻孔偏斜提供条件。

3 针对孔斜采取的处理措施

3.1 纠偏器处理

钻进过程中,当发现钻孔有偏斜倾向时,可先采用纠偏器进行钻孔倾斜的纠偏。具体做法:将纠偏器下至孔内偏离钻孔轨迹侧,再下放钻头,将纠偏器置于钻头与孔壁之间,通过小冲程、低频率的方式冲击破坏斜面岩石,从而使钻孔轨迹垂直。

采用纠偏器进行钻孔偏斜的纠正主要通过以下三种途径:①增加了钻头的重量,降低了钻头重心,增加了钻头冲击时的稳定性;②在孔径扩大部位,充填在钻头与孔壁之间,减小了孔斜处钻头与孔壁之间的间隙,限制了钻头偏斜的空间和钻头的侧向运动;③纠偏器的使用减小了钻头对孔壁的侧向切削冲击破坏。通过上述三种作用方式,使钻头对桩孔轴向岩层的冲击破碎程度大于横向,从而使钻孔沿设计轨迹进行钻进以达到钻孔纠偏的目的。使用纠偏器进行钻孔纠偏存在的缺点:①钻头、纠偏器尺寸不同,起下钻操作不便;②在易塌地层容易导致卡钻。

3.2 回填高强度块石进行处理

在成孔过程中应加强观察与测量。当发现钻孔有倾斜的现象采用纠偏器纠偏效果不佳时,可采用在孔内回填高强度石块的方法进行孔斜纠偏。回填高强度石块纠偏示意图见图 2。回填高强度石块的目的是替代斜面岩处的土层或软弱岩层以提高其强度,平衡冲击锤对桩底各个部分的冲击力,防止冲击锤偏心、受力过大而造成桩孔偏位^[5]。

回填石块的强度应比孔内岩石强度稍高,应选用各种粒径石块搭配、级配良好、间隙小,回填后密实度高,以使石块更容易被挤压进孔位外面的土层,对冲击锤产生更好的阻挡作用,使冲击锤不再发生偏斜。同时,回填石块时,应回填一定量的黏土,以增强回填石块之间的粘结力并提高石块的整体强度,进而提高冲击钻头传递至岩层的力度。石块回填的高度一般超过倾斜岩面 1~2 m。回填后,通过小冲程冲击并反复几次,回填冲击复钻破碎斜面岩石,使钻孔沿设计轴线穿过倾斜岩面区进行钻进,从而达到纠偏的目的。回填高强度石块进行纠偏的方法具有的优点是操作程序简单,成本低;缺点是工期稍长。

采用回填石块进行钻孔偏斜处理时,若岩层偏斜严重将导致纠偏时间长,同时,由于该部位处于岩溶发育地层,漏浆现象频发,桩孔上部土体存在坍塌的风险。因此,在这种情况下,应根据地勘资料结合实际情况在桩孔上部土层段下设护壁钢护筒,以增加孔壁的稳定性,防止塌孔。

3.3 灌注高强度早强混凝土的处理方法

针对钻孔倾斜严重或斜面岩倾斜角度偏大的情况,采用纠偏器或回填高强度石块处理效果不佳时,可采用灌注高强度早强混凝土(C35 及以上)的方法进行纠偏处理。在孔斜钻孔部位灌注混凝土可以消除斜面岩的导斜作用^[6]。采用灌注高强度混凝土进行纠偏处理方法时,为增加处理效果,可先探明孔底斜面岩层的走向,然后配合制作安装与岩层倾斜程度相契合的钢筋笼后再灌注混凝土,混凝土的灌注高度一般超过倾斜面 1~2 m,待凝 2 d,待混凝土强度达到一定强度后,方可进行冲击钻进修孔纠偏。同时,为减小纠偏时和后期成桩混凝土充盈系数,降低施工成本,可以在孔径扩大部分下钢护筒。

灌注高强度早强混凝土进行孔斜纠偏的作用是:通过提升偏斜处孔壁岩层的强度,使钻头冲击

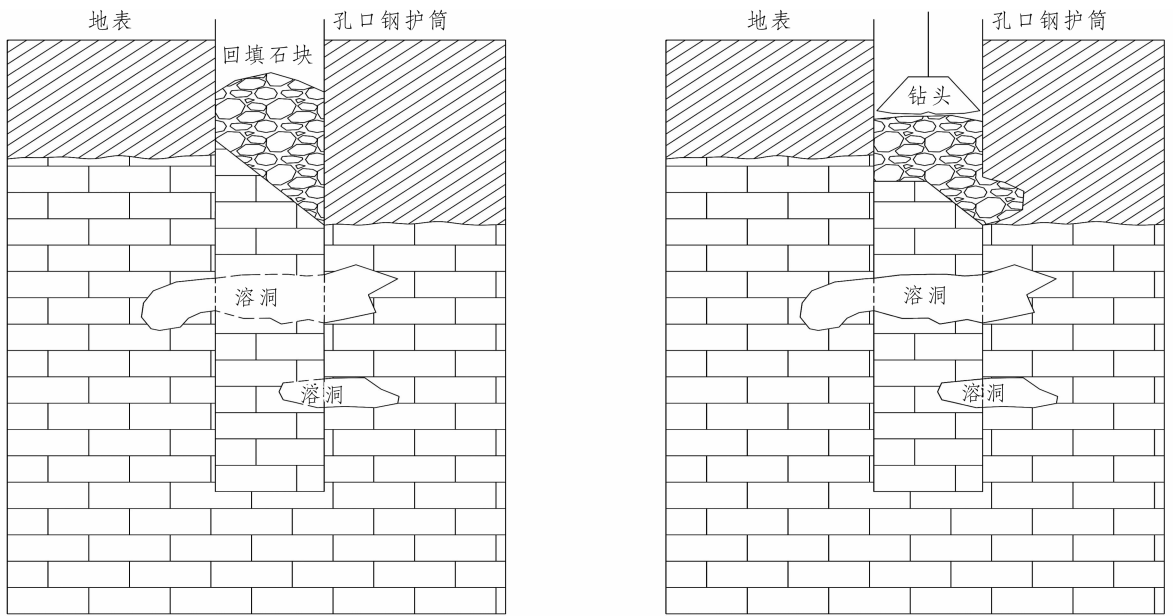


图2 回填高强度石块纠偏示意图



图3 浅部开挖爆破纠偏处理现场图

力均衡地作用到桩底斜面岩上,从而达到减小桩孔倾斜、实现纠偏的目的。该方法的优点是处理效果好;缺点是操作程序复杂,工期长。

3.4 采用爆破的方法进行处理

采用爆破法进行孔斜处理时,多为以下2种情形:

(1)当倾斜岩面在浅部、离地面深度在2~3 m范围内时,为快速进行斜面岩的破碎处理,可以采用开挖的方法暴露出斜面岩,即采用钻孔爆破的方法进行处理。浅部开挖爆破纠偏处理现场见图3。该方法操作简单快捷,工期短,成本低。

(2)针对于斜面岩强度过大或偏孔严重的桩孔,当采用纠偏器、回填高强度石块处理效果不明显或不能纠偏且不能继续进行开挖时,可以采用地质钻机在斜面岩处钻孔,采用水下控制爆破的方法

破碎或松动斜面岩。爆破时,钻孔位置和数量应根据现场实际地质情况决定且装药量不能过大,以免冲击力过大而造成孔壁坍塌。爆破后,用冲击钻冲砸斜面岩岩面,可以实现快速纠正偏孔的目的,不用多次回填和重复冲孔。该方法处理效果好,工期短,但程序稍显繁琐。

4 结语

综上所述,在岩溶发育地质条件下进行钻孔灌注桩基础施工时,引起钻孔灌注桩钻孔偏斜的主要因素是钻孔过程中岩体构造变化。该工程依据地质勘查资料,结合实际情况,对成孔过程中的钻孔偏斜采取纠偏器、回填高强度石块、灌注高强度早强混凝土、孔底爆破等措施进行有针对性、综合性的处理,顺利完成了岩溶发育地质条件下铁路桥梁桩基工程的施工,取得了良好的施工效果,

所取得的经验具有一定的借鉴参考价值。

为了最大程度地防止钻孔偏斜、降低成孔的施工难度,施工过程中应做好以下几点:①钻孔前做好场地平整、钻机就位和技术资料准备等工作;②钻进过程中做好钻机防振防斜、冲程控制和孔内情况观测等;③钻进过程中,如发现钻头摆动不正常、钢绳偏离桩孔中心位置、冲击钻头磨损不均匀及偏磨严重等情况时,应采取相应的措施解决问题后方可继续施工。

参考文献:

- [1] 鄢泰宁. 岩土钻掘工程学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2001.
- [2] 杨坤光, 袁晏明. 地质学基础[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2016.
- [3] 姚爱国, 马明, 吴翔, 段隆臣. 岩土工程钻进原理[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2000.

(上接第 43 页)

软岩的开挖施工按照“先放后抗”的理念适当加大预留变形量。在变形初期,支护结构在保证安全、不出现坍塌的前提下具有一定的柔性,能适应一定的变形,适当的变形释放了部分围岩应力,之后,由于支护结构具有足够的刚度与强度,在围岩应力得到一定程度的释放后,能在 5~7 个月左右的时间内抵抗剩余的围岩应力。在南俄 4 工程碳质板岩段开挖过程中,根据《水工建筑物地下开挖工程施工规范》(SL378—2018)^[5]及现场施工监测数据,在保证永久衬砌结构设计尺寸的前提下,边墙及顶拱的预留变形量为 20 cm。

4 结 语

软岩隧洞施工遵照“短进尺、少扰动、强支护、早封闭成环、勤量测”^[6]的原则,采取综合治理措施,即加强超前支护、初期支护措施,增加对洞身围岩的注浆以加固改良围岩强度,有效抑制洞身围岩的大变形。同时,增加衬砌厚度,加大衬砌钢筋的型号,加强二次衬砌用以抵抗围岩残余变形能力,保证隧洞的施工安全和后期运营安全。

前期隧洞围岩等级为Ⅳ级、Ⅴ级(非软岩)时,采用的监测方法为传统方法:沉降为高程测量,收敛为相对水平位移,监控数据初始值从点位布置开始记录。但因点位布置存在间隔期,导致点位布置前初支已发生沉降收敛的数据未计入累计变形值,不能提供与设计断面进行对

- [4] 陈优天. 岩溶特别发育地区钻孔灌注桩施工技术研究[J]. 江西建材, 2016, 36(12):146-147.
- [5] 潘荣联. 基于斜面岩钻孔灌注桩施工工艺对比应用[J]. 华东公路, 2016, 39(5):34-36.
- [6] 陆祖安, 龙立民. 岩溶地层大口径钻孔的防斜治斜实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2002, 46(1):30-31.

作者简介:

- 杨小军(1991-),男,贵州遵义人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;
- 龙波(1970-),男,重庆秀山人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
- 王勇(1990-),男,河南安阳人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;
- 赵志勇(1982-),男,四川成都人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

比的数据,导致施工人员不能及时掌握初支断面到侵限的剩余空间。针对软岩大变形段采用传统监控量测方法存在的漏洞,项目部采用坐标法监测,动态测量,采用初始量测与设计断面对比的方法修正初始值,将累计变形值与设计断面进行比较,进而为现场施工提供指导。

参考文献:

- [1] 水利水电工程施工组织设计规范, SL303-2004[S].
- [2] 李新, 杨兴国, 等. 复杂地质条件下引水隧洞围岩稳定性分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2010, 20(6):113-116.
- [3] 张朝亮. 碳质板岩富水段极软弱围岩变形控制施工技术[J]. 中国建筑科学, 2015, 31(1):237-240.
- [4] 杨静安, 张锦堂, 等. 功果桥导流隧洞围岩稳定与支护结构分析[J]. 水利水电技术, 2009, 40(2):27-30.
- [5] 水工建筑物地下工程开挖施工规范, SL378-2016[S].
- [6] 杨新房. 碳质板岩隧道变形加固方案及施工工艺探讨[J]. 交通建设与管理, 2015, 52(2):255-258.

作者简介:

- 黄炜(1985-),男,湖北宜昌人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;
- 苟仕文(1968-),男,四川都江堰人,高级工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;
- 杨建明(1985-),男,四川遂宁人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;
- 刘建伟(1994-),男,山东烟台人,助理工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;
- 王阳(1992-),男,四川成都人,经济师,从事建设工程施工技术与工程管理工作。

(责任编辑:李燕辉)