

大桥桩基纠偏与加固的施工方法

雷少全

(湖南省核工业地质局,湖南长沙410011)

摘要:四川雅泸高速公路高山庙大桥在施工完毕后,发现2-4跨桥位横向偏移,造成桩基发生裂纹甚至断裂,需要在不拆除大桥的前提下完成桥位桩基的纠偏与加固。通过对多个桥梁纠偏与桩基加固的方案进行反复探索与论证,总结出一套便捷、实用、经济的施工方法,成功地达到该桥梁纠偏与加固的目的。详细介绍了加固方案、施工技术措施以及纠偏效果。

关键词:桥基;偏移;纠偏;加固;反力墙;地锚

中图分类号:U445.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)12-0065-04

Construction Method of Rectification and Consolidation for Pile Foundation of Bridge/LEI Shao-quan (Hunan Nuclear Geology, Changsha Hunan 410011, China)

Abstract: The lateral shift was found in the 2-4 spans of a bridge position with cracks even fracture after a bridge construction and rectification and consolidation must be made without demolishing the bridge. By research and demonstration on schemes of bridge rectification and consolidation, a group of convenient, practical and economic construction method was summed up. The paper introduced the consolidation scheme, construction technical measures and rectification effect.

Key words: bridge foundation; shift; rectification; consolidation; back strength wall; ground anchor

1 工程概况

1.1 大桥施工情况

四川雅泸高速公路高山庙大桥设计方案:上部左桥4~25 m 预应力砼简支T型梁,共一联,右桥16~25 m 预应力砼简支T型梁,共3联;下部结构采用半幅桥宽双柱桥墩(120 mm),桥墩基础为钻孔桩基础,桩基均嵌入弱风化泥岩或砂岩层内,该桥墩右幅1~5墩墩台桩基设计均为嵌岩桩,桩长16~24 m,墩柱高5.27~9.25 m。

该桥T梁安装、横隔板及湿接缝施工完毕后,发现右幅桥面的2-4跨向外偏移,最大偏移量达到447 mm。为此,项目部就该桥的偏移原因进行了分析,并反复论证在不破坏原桥的基础上实施纠偏复位的可行性。

1.2 施工场地

该桥位于高山陡坡地段,坡度在 $45^{\circ} \sim 50^{\circ}$,弃土填至盖梁底部。桥梁外侧(右侧)为沿山河流,距水面高差约30 m,山坡陡峭,堆放陡坡岸的弃土松软,桥两端呈陡坡状,车辆无法进入施工现场,仅允许挖掘机通行。因此,在桥下进行开挖基坑作业时,大量的弃土无法外运,堆放场地十分有限,向沿河一侧弃土,又担心堵塞河道。为顺利开挖基坑至设计

位置,只能分层分段降低地面标高,利用挖掘机结合推土机把弃土向桥的另一端逐段逐层堆放。施工场地地质剖面图见图1。

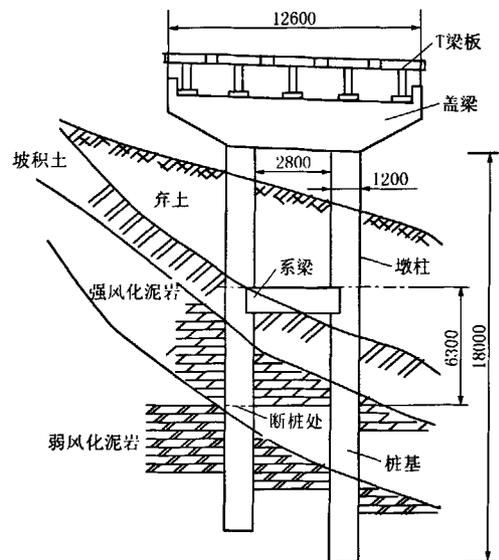


图1 施工场地地质剖面图(3号墩)

注:(1)强风化泥岩:岩体完整性较差,碎石状、质软;
(2)弱风化泥岩:岩体完整性较好,大块石状、质硬、裂隙较发育。

收稿日期:2011-06-07;修回日期:2011-10-17

作者简介:雷少全(1960-),男(壮族),广西百色人,湖南省核工业地质局高级工程师,探矿工程专业,从事钻探科研与生产试验、公路桥梁施工等工作,湖南省长沙市韶山北路256号,664569366@qq.com。

2 偏移原因分析

该桥桩柱置于坡地,表层覆盖层为较厚粘土(4~6 m),地下水丰富,土含水率高,呈饱和状态,加之桥下坡面上又堆放2~6 m厚的弃土,经测量,桥右幅的偏移量为:0-1跨向右侧发生0~75 mm;1-2跨75~473 mm;2-3跨473~447 mm;3-4跨447~64 mm;4-5跨64~39 mm;5-6跨39~6 mm。桥的偏移与右幅弃土堆放位置和弃土的滑移方向一致,在采取了清方卸载、停止桥面车辆通行后,桥梁偏移基本停止,这进一步证明了桥下土荷载的挤压是桥梁偏移的主要原因。在挖开原桩基时,3号墩桩基在深度5~6 m处发现多条裂纹,间隔30~40 mm,局部有砼块崩落,钢筋外露,显然,3号墩桩基已在弱风化层界面处发生断裂(竖向钢筋未断,但已发生局部变形)。强风化层和土体的共同滑移和挤压,对桩、柱产生侧压力和剪切力,将桩体剪裂,使断桩桩基上部向外偏移,致使墩柱与桥面同步发生偏移。另外,由于桥面重力及其横向约束产生的反力、各墩不均匀偏移,导致右幅1-2,2-3,3-4的6根墩柱外侧产生环向裂纹。

3 处理方案

3.1 原则

在充分考虑桥梁结构安全的前提下,以最少的投入和最短的时间纠正T梁、桩、柱错位,修复、加固桩基,保证桥梁结构稳定,线形顺滑,满足设计要求。

3.2 施工方案

在不破坏原桥的前提下,采用锚索牵引结合千斤顶多点顶推的纠偏方案,首先清方卸载,深挖基坑至桩基裂纹处以下1 m左右,然后分别利用地锚和反力墙做承力点,由手动葫芦和千斤顶共同施力,多点联动作用,实现纠偏目的,最后按设计要求施工新增桩基和承台,并使之与原桩基、系梁、反力墙结为一体,从而达到加固目的。

3.3 施工顺序

基坑开挖、护壁→地锚施工→浇筑挡土墙→浇筑反力墙→安装施力系统(千斤顶、手动葫芦)→梁板顶升→安装四氟板→桩基裂纹清洗→桩基墩柱纠偏、植筋→更换支座→梁板复位→新增桩、承台施工→基坑回填→地面硬化。

3.4 投入的机具及材料

20 t手动葫芦4个,200 t液压千斤顶3台,压力灌浆设备1台,打磨机具2件,锚杆钻机1台,1.2

m³挖掘机1台,200 t PLC顶升系统1台,混凝土喷射机1台,0.35 m³凿岩机2台,千斤顶底座16个,Ø32 mm钢丝绳100 m,Ø15.2 mm钢绞线240 m,钢抱箍2个,40号工字钢60 m,脚手架20 t,电锤4个,植筋胶300 kg,环氧胶300 kg,碳纤维布。

3.5 最大加载力的确定

根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2002),按圆形截面偏心受压构件考虑,计算截面最大抵抗弯矩为1828 kN·m,因此,可考虑每个千斤顶最大加载为250 kN(25 t),合计千斤顶最大加载为1200 kN(120 t)。

4 施工方法

4.1 清方卸载

为减少土对桥梁桩基、墩柱的侧压力,桥位处要求全部清理堆土至原地面标高,保持地面基本水平并密实隔水,排水通畅,桥位外侧靠河一方弃土分层压实。在2,3,4墩桩基周围挖孔至6 m左右,减少土体对桩基的侧压力,以提高纠偏效果。另外,对存在裂纹的桩基,采用高压水枪清洗裂纹,除掉裂隙中的岩屑,便于原桩基最大限度纠偏复位。

4.2 基坑护壁

(1)在2,3墩外侧灌注反力墙,规格6 m×3 m×1.5 m,C25砼。为防止施力时反力墙外移,在浇筑砼前,在反力墙基底打入5根45号工字钢,插入深度4 m,外露2 m,从而进一步加固反力墙,防止反力墙向外移动,确保纠偏时施力效果。

(2)在桩基靠坡一侧浇筑阶梯式挡土墙,防止边坡岩土向基坑内坍塌(如图2所示)。桩基基坑内侧靠坡,由于坡度较大,深挖基坑时,边坡容易失稳,造成岩土坍塌,遇雨水渗透、冲蚀时,坍塌更为严重,无法开挖6 m以深深度,为此,我们曾试图采用圆木桩支撑护壁,但木桩无法打入风化层,且支撑力不足,容易截断,事倍功半。后来我们因地制宜,决定采用阶梯式挡土墙对靠坡坑壁进行围挡,施工程序:①先在基坑靠坡一侧的最外边浇筑第一道挡土墙(C25),规格8 m×2 m×0.75 m;②第一道挡土墙达到设计强度的70%时,继续向下开挖,并浇筑第二道挡土墙(C25),规格10 m×2 m×0.75 m,使第一、第二挡土墙连为一体;③在挡土墙的两端,浇筑砼八字墙,最终组成U形挡土墙,八字墙端面埋入土层中,确保整个挡土墙的支撑稳定性,为继续往下深挖基坑创造条件。最后在受地形地貌条件严重限制的情况下顺利把基坑挖至6 m,实现了纠偏程序

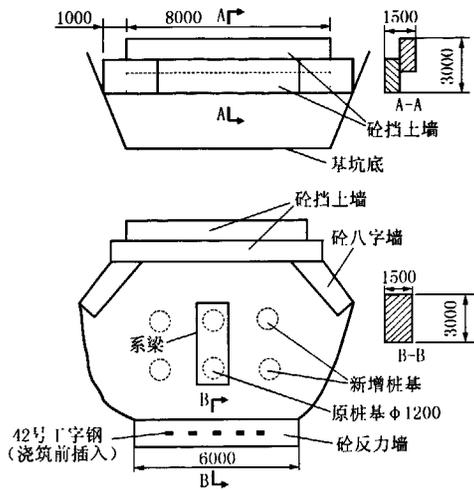


图2 基坑支护示意图

的第一步。

(3)完成挡土墙和反力墙浇筑后,继续采用挖掘机深挖基坑至原桩基7 m深度(弱风化层,裂纹位置),开始凿除桩基裂纹周边的砼碎块,清洗桩基裂纹石渣、泥屑,以消除纠偏时的阻力。

4.3 施力系统的布置

一是纠正桩基位置,根据桩基位移方向,在桩基顶部与系梁结合处施加反力;二是纠正墩柱的倾斜,保证墩柱的垂直受力;三是纠正盖梁的不均匀受力;四是纠正桥面系,保证盖梁均匀受力和桥形顺滑。为此,我们采用锚索牵引结合多点顶推的纠偏方案(如图3所示)。

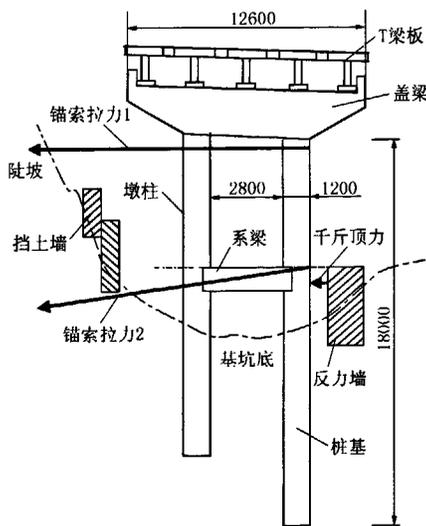


图3 纠偏施力示意图

(1)在桥位偏移较大的2、3、4号墩柱的桩系梁上安装半圆钢抱箍,每墩柱两侧各设2组锚索,锚索孔径130 mm,每组锚索由3根 $\phi 15.2$ mm高强度、低松弛、强度级别为1860 MPa的钢绞线组成,锚索

向下倾角 25° 。

(2)锚索全段需进行除锈、防腐处理。锚固段钢绞线只需清污除锈,自由段钢绞线还需涂抹防腐剂(如黄油)。

(3)锚固段架线环与紧箍环间隔89 mm设置,紧箍环系16号铅丝绕制,不少于2圈,自由段每隔2 m设置一道架线环以保证钢绞线顺直。

(4)采用无水钻进,高压风清孔,注浆材料为纯水泥浆,水灰比0.45~0.5,加入早强剂和减水剂,注浆压力 <0.6 MPa,锚固端为弱风化砂岩,入弱风化层深度 <8 m,保证每组锚索抗拔力 <400 kN。

(5)向孔内注浆应符合下列规定:

①注浆管的出浆口应插入距孔底300~500 mm处,浆液自下而上连续灌注,且确保从孔内顺利排水排气;

②注浆设备应有足够的浆液生产能力和所需的额定压力,采用的注浆管应能在1 h内完成单根锚索的连续灌注。

(6)锚索施工完毕后,锚索通过锚具盘与手动葫芦(拉力200 kN)连接,手动葫芦与 $\phi 30$ mm钢丝绳连接,共同构成锚索施力系。

(7)同样,在每个墩柱的柱子顶端位置的水平位置布设2组锚索,锚索孔径130 mm,每组锚索为3根 $\phi 15.2$ mm钢绞线,向下倾角 25° ,设计抗拔力为每组400 kN,锚索通过锚盘与钢丝绳连接(钢丝绳直径30 mm)。

(8)浇筑的反力墙距桩外侧0.8 m,在桩顶靠河一侧,安装半圆钢箍,然后反力墙与桩之间装设千斤顶(最大顶升力1500 kN)及底座。

4.4 实施纠偏

(1)封闭交通现场,设置警戒线,桥面禁止车辆通行,作业范围内严禁非工作人员和设备在现场;

(2)设位移观测点,专人密切监测桥梁位移和竖向沉降;

(3)通过同步顶升系统,多点、同步、分次上顶,在2、3号桥墩盖梁与T梁之间,更换原有橡胶支座,重新安装四氟滑板支座,以减少纠偏时梁与板之间的摩擦力;

(4)在2、3号墩纠偏过程中,每个墩布设2个受力点,即分别设在桩顶与系梁连接处(此处安设千斤顶与锚索共同施力)和柱子顶端(2组锚索施力);

(5)纠偏前,在桩基断裂处清除石屑、碎石块,并在受压一侧凿开一个缺口,以利桩基顺利复位;

(6) 桩顶处千斤顶最大施力控制在 1000 ~ 1200 kN 之间, 柱顶处通过 2 组手动葫芦最大施力 400 kN, 实施纠偏时, 严格按照分级、合力、联动的方式进行, 并及时观测、记录桥梁纠偏复位情况;

(7) 纠偏到位后, 纠偏作用力不释放, 以防止反弹, 在新增桩基和承台施工完毕且基坑回填压实后, 再分步释放作用力。

4.5 观测记录分析

为确保桥梁在纠偏过程中万无一失, 定时观测十分必要, 表 1 反映了桥梁在侧向加载情况下纠偏复位的变化情况。通过每天观测 2 次, 间隔时间基本一致, 从而更真实地掌握桥梁复位的动态变化, 为随时调整荷载大小和加荷方向提供参考数据, 观测的数据有较真实的可比性, 由表 1 看出, 观测时间历时 20 天, 即加载时间持续 20 天, 加载是按分级联动、自下而上的方式进行的, 在加载的上半段(9月5~13日), 纠偏效果不太明显, 主要原因是施力不足以及桥梁桩墩柱发生弹性变形, 致使复位相对滞后, 随着荷载的逐步加大, 中间阶段(9月13~22日)桥梁纠偏效果明显, 基本上达到了复位目的, 继续持荷, 阻力相应增大, 桥梁纠偏效果又变得不明显, 至此, 桥梁纠偏复位已进入稳定阶段, 纠偏基本到位, 继续持荷一段时间, 至观测数据无显著变化后, 开始进入加固施工阶段。

表 1 大桥右幅与左幅梁板间距观测记录表 /mm

时间	1-2 跨		2-3 跨		3-4 跨	
	小里程端	大里程端	小里程端	大里程端	小里程端	大里程端
9月5日 11: 50	318	631	590	714	595	405
9月7日 12: 10	318	630	585	712	595	405
9月9日 11: 10	305	630	586	710	595	403
9月11日 10: 10	304	632	583	708	592	403
9月13日 9: 00	304	630	580	707	590	402
9月14日 16: 40	304	607	555	659	544	400
9月16日 9: 00	302	570	510	624	511	393
9月17日 18: 30	299	515	455	575	459	389
9月19日 9: 00	299	515	450	525	410	384
9月20日 18: 10	295	490	415	485	374	380
9月22日 8: 00	296	484	415	476	361	380
9月23日 12: 00	295	439	355	451	341	376
9月24日 19: 00	289	368	329	438	329	376
差值	29	263	285	276	266	29

4.6 桩基加固

主要针对桩基和墩柱。实施纠偏前, 挖开受损桩基, 检查桩基受损情况, 根据受损情况, 采取加桩加承台的方法完成受力置换。对墩柱裂缝采用碳纤维包裹, 再用砼胶素材密封, 确保碳纤维不受阳光照

射。施工程序如下。

(1) 设计考虑对 2、3 墩采用新增桩基、承台的方法加固(见图 4), 在右幅 2、3 号桥墩的桩基纵桥前后各 2.25 m 处每个桥墩新增 4 根桩基, 桩径 1.20 m, 设计桩长 10 m, C25 砼, 将新增的 4 根桩基及原桩用工字型承台连成一体。

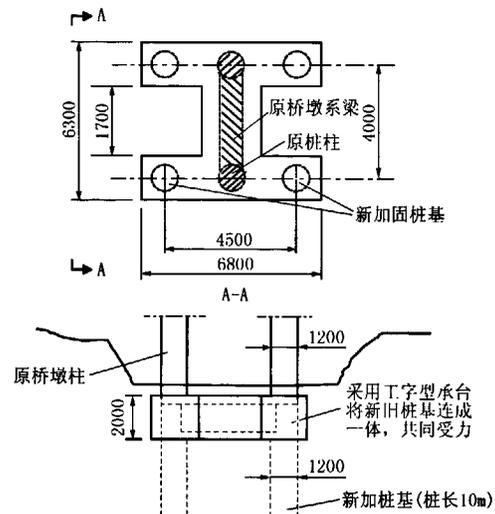


图 4 桩基加固图

(2) 承台的钢筋砼将原系梁包裹, 承台范围内原桩柱及系梁表面砼均需凿毛, 并按设计图植筋, 露出石子, 确保承台与原墩柱、系梁连接可靠。

(3) 植筋补强。植入钢筋材料为 HRB335 螺纹钢, 植筋胶为改性环氧树脂胶粘剂或乙烯基脂类胶粘剂。施工顺序: ①按设计进行钻孔位置放样; ②探明结构钢筋位置, 使钻孔位置错开原结构钢筋; ③钻孔必须用专用植筋钻机, 不得使用冲击钻机, 确保钻孔周边砼结构不受损害; ④钻孔清洗, 采用高压气吹洗孔内粉尘; ⑤用胶液注射器由孔底向孔口注射植筋胶, 胶量要保证钢筋插入后能充满整个钻孔深度; ⑥当砼标号 > C30 时植筋抗拔力可用平均破坏力的 0.75 倍(即 87.5 kN)控制, 满足此值即认为植筋合格。

(4) 植筋胶固化反应时间如表 2 所示。

表 2 植筋胶固化时间表

基材温度 /°C	胶凝时间 /min	硬化时间 /min	基材温度 /°C	胶凝时间 /min	硬化时间 /min
0	15 ~ 25	180	20	4 ~ 6	30 ~ 45
5	13 ~ 20	90 ~ 120	30	4	20 ~ 30
10	8 ~ 10	45 ~ 65	40	2	15 ~ 25

(5) 桩基施工。①新增桩基的施工放样必须用导线点坐标和水准点高程作为基准; ②新增桩基嵌

(下转第 73 页)

合实际情况的。

(1) 基坑沉降位移受开挖的影响比较大, 基坑大幅度开挖时, 沉降位移会很明显, 而小幅度分层开挖则对其沉降位移不会造成太大影响, 开挖完成后, 基坑沉降位移会出现明显的稳定阶段。开挖后期, 基坑周围的土压力在基坑底部以上变化较小, 而基坑底部随深度增加呈现线性分布, 不断变大; 从整个开挖过程来看, 不同深度处土压力随着开挖的进行, 都是不断减小的。

(2) 基坑短边的桩身弯矩明显小于其长边的弯矩, 桩身弯矩也存在空间效应: 相同基坑边上的桩身在基坑底部以上部分弯矩变化大体一致, 而基坑底部以下的部分, 弯矩变化相差较大。

(3) 在基坑支护中, 桩和锚杆共同工作时, 如果锚杆位置适当, 可以很明显的提高基坑安全系数达 50%; 而如果布置不当, 效果就会很小。

(4) 监测结果的累计位移值和沉降均不大于监测控制标准, 基坑 6 段的累计位移均小于 12 mm, 基坑开挖过程中对周围地下管线和建筑物未发现不良影响。从基坑支护后的实时监测中得知, AB + CD 段和 EF 段桩锚支护在变形控制方面取得了良好的

效果。

参考文献:

- [1] 陈进. 深基坑的土钉与桩锚组合式支护结构研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- [2] 隆威, 郑克清, 王雅琼, 等. 土钉和桩锚在长沙华韵城市海岸基坑支护中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 36(2): 36-39.
- [3] 杜常春, 周喜锋, 焦德智, 等. 某大型软土深基坑围护中多种支护技术的优化组合[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(5): 59-62.
- [4] 刘建航, 侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [5] GB 50330-2002, 建筑边坡工程技术规范[S].
- [6] 王绍亮. 杭州中冠现代印象广场深基坑支护设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(8): 57-59.
- [7] 江政炎, 陈飞. 喷锚与桩锚支护在中南花园酒店深基坑工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(12): 51-53.
- [8] CEC S22:90, 土层锚杆设计规范[S].
- [9] 陈希哲. 土力学地基基础(第4版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [10] 余志成, 施文华. 深基坑支护设计与施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [11] JGJ 120-99, 建筑基坑支护技术规程[S].

(上接第 68 页)

入弱风化基岩深度 ≤ 4 m, 否则需调整桩长和基底设计标高; ③新增桩基采用人工挖孔桩, 坑底以上孔口段采用砌砖围护。

(6) 墩柱加固。对右幅 2、3 号墩柱体裂缝用封闭胶进行封闭或灌注, 然后对墩柱用一层进口碳纤维粘结加固, 再进行表面防紫外线处理。

(7) 回填。采用级配砂砾石回填桩、承台、系梁周边至承台顶, 靠河一侧土体设盲水沟, 再用粘土覆盖 1 m, 向河道方向放坡 2% 并压实, 在桥左侧沿山坡脚作截水沟, 防止地表雨水渗入桥下土层。

5 结语

通过 3 个多月的努力, 在不破坏原桥的情况下成功地完成了大桥的纠偏与桩基加固施工任务, 使大桥的质量、安全达到了设计要求。在施工过程中,

面对以前没有遇到过的纠偏与加固问题, 没有可借鉴的经验, 但通过在施工实践中反复摸索, 总结出一套行之有效、简易便捷、经济实用的桥位纠偏技术方法, 成功地解决了桥梁断桩、偏位重大技术难题, 这对以后处理类似质量问题具有独特借鉴意义。

参考文献:

- [1] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] 腾宝国. 深孔多锚索安装和注浆工艺的研制与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(5).
- [3] 郝峰. 地面水平拉锚桩在基坑工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(1).
- [4] 张义强. 小型深基坑支护结构的设计与监测[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(11).
- [5] 蒋国盛. 基坑工程[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 2000.
- [6] JGJ 94-94, 建筑桩基技术规范[S].