

文章编号: 1006—2106(2004)01- 0080- 07

大跨度桥顶进施工技术

雷为民*

(中铁三局集团公司第六工程有限公司, 山西 晋中 030600)

提 要: 本文详细叙述了大跨度桥的顶进施工方案, 着重强调了线路加固技术, 制定了切实可行的安全保证措施, 对框构顶力进行了计算, 对前后背工程和线路加固进行了检算。

关键词: 大跨度桥; 顶进; 技术

中图分类号: U 442 **文献标识码:** A

1 工程概况

本桥位于新日线荷日段内, 桥中心里程为DK203+146, 主体结构为5.29 m+9.5 m+5.29 m 钢筋混凝土框构, 桥与线路斜交, 交角为19°; 桥址处地势平坦, 地层结构自地表以下分为砂粘土 $\sigma_c = 130$ kPa, 其下为粘土 $\sigma_c = 120$ kPa; 砂粘土 $\sigma_c = 180$ kPa, 地下水位约在地面以下1 m左右, 地下水蕴藏丰富, 本桥位于直线上, 双线(现有一股正线拟增二线)线路纵坡-0.9‰, 线间距5 m, 两线均为钢筋混凝土枕线路, 所处地区地震裂度7°; 最大冻结深度0.35 m。

2 施工方案

箱身采用整体预制, 待养生到整个框架混凝土强度达到100%并加固线路后, 方开始顶进箱身至就位。

2.1 滑板制作

2.1.1 为增加滑板稳定性, 防止发生不均匀沉降或沉降量超限, 滑板基底 $\sigma_c = 120$ kPa 粘土层需要换填砂类碎石, 且分层夯实, 拟换填厚度为0.25 m。

2.1.2 滑板采用200#钢筋混凝土滑板, 为增强滑板与地基间摩擦力, 下设地锚梁, 地锚梁及滑板中设置构造钢筋(如图1)。

滑板浇筑混凝土时, 应连续浇筑成型, 滑板厚度为20 cm, 表面用100#砂浆抹面找平并设置5‰的上坡, 以利于框构顶进过程中的高程控制。找平抹面砂浆厚度不大于2 cm, 平整度力求最佳。为控制顶进方向滑板两侧设导向支墩, 于底板制作前用200#钢筋混凝土浇注而成。

2.1.3 滑板润滑层: 表面砂浆干燥后, 在滑板表面喷

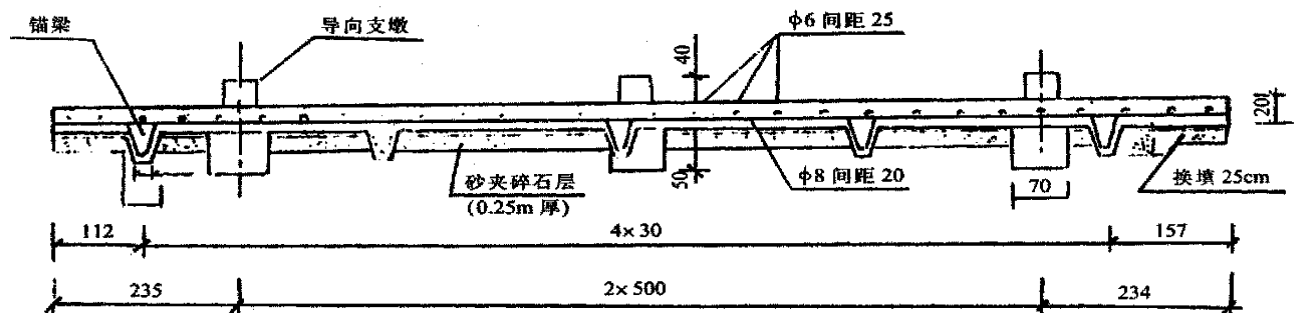


图1 滑板示意图

注: 1、本图采用单位除注明外, 均为 cm。2、滑板、支墩、锚梁采用 C20 钢筋混凝土。

一层 3 mm 的石蜡, 石蜡喷洒时在沿滑板长度方向每米挂 8[#] 铁丝一道, 以控制石蜡厚度, 喷石蜡凝固后拆除铁线用喷灯烤平铁线压痕, 然后在石蜡上撒滑石粉一层, 然后再在其上铺一层塑料薄膜, 接缝处压茬 0.2 m, 茬口顺顶进方向。

2.2 框构主体钢筋混凝土

- (1) 框架主体钢筋混凝土采用 300[#] 钢筋混凝土, 其抗渗标号不小于 B₆。
- (2) 钢筋骨架: 结构中钢筋骨架均为焊接, 严禁用铁线绑扎。
- (3) 模板: 以钢模为主, 角隅处以木模或订制钢模调整, 模板加固以脚手杆配合拉筋及木支撑加固。
- (4) 施工顺序: 整个框架分三次浇筑成型, 首先浇注底板与墙梗肋, 以方便墙身立模, 墙身一次灌注, 每次立模时支相邻两墙体模板, 以便两墙身模板之间设置支撑。
- (5) 框构顶板及墙体灌注时混凝土的提升: 用脚手杆搭设提升平台, 选用适当位置埋设地龙利用电动卷扬机提升。
- (6) 各边墙接茬缝不宜在同一水平面上, 以免降低墙体抗剪能力, 接茬缝处按施工缝要求办理。
- (7) 人行道悬臂板面应注意比框构顶面低 3 cm,

以避免与横抬梁接触, 待框构顶进就位后, 再用 100[#] 浆找平。

(8) 框构各部分预埋件较多, 浇灌前应详加检查, 防止出现遗漏现象。

(9) 框构底板前端底部设船头坡, 备调整扎头用。

2.3 框构主体钢筋混凝土为确保达到不小于 B₆ 抗渗标号, 施工应注意以下事项

- (1) 箱身钢筋混凝土配合比必须按防水混凝土要求重新选定, 不许使用其它工程已有配合比。
- (2) 施工时混凝土必须搅拌均匀, 有良好和易性。
- (3) 调整工地施工配合比注意水灰比不得大于 0.6, 是否掺外加剂及其用量, 必须通过试验确定。
- (4) 水泥用量在任何情况下不得小于 280 kg/m³。
- (5) 砂率应较普通混凝土稍高, 选择配合比时, 可根据实际情况确定, 但不得小于 35%。
- (6) 防水混凝土拌制及振捣必须采用机械进行。
- (7) 防水混凝土的养护工作必须加强, 混凝土终凝后立即开始洒水养护, 养护时普通水泥不得少于 14 d, 火山灰水泥不得少于 21 d。
- (8) 施工用水泥必须采用同一牌号, 有条件时最好使用同批号水泥以保证水泥具有稳定性(所用水泥必须是选定配合比所用水泥)。

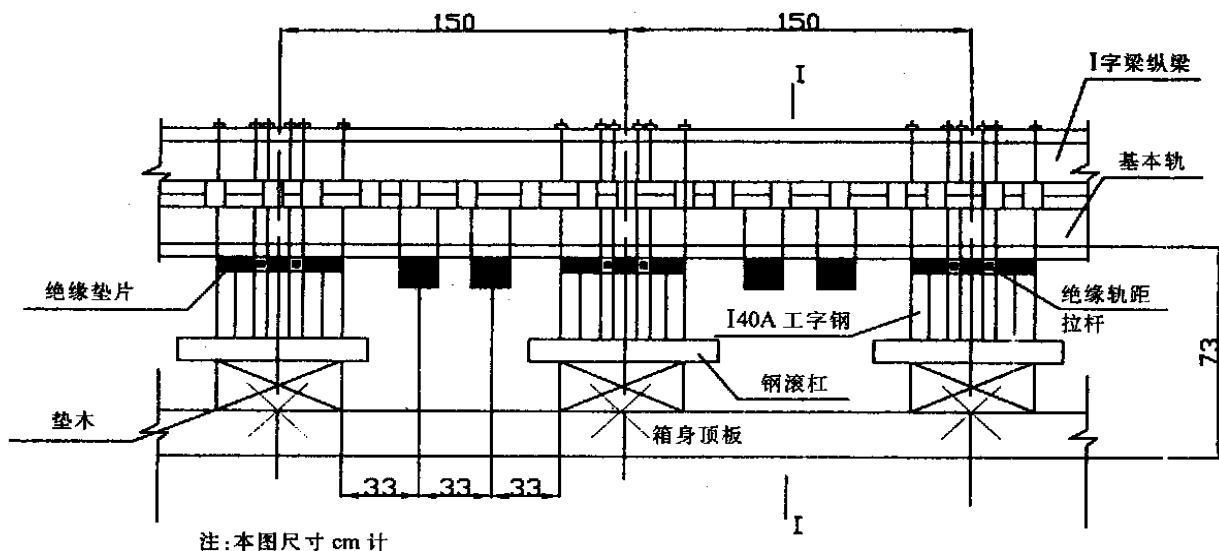


图2 线路加固示意图之一

注: 本图尺寸以 cm 计

2.4 后背工程

后背采用钢筋混凝土后背梁与钢轨桩形成组合后背, 并在钢筋混凝土后背梁与钢轨桩之间垫两层油毛毡, 以利顶进就位后拔桩。钢轨桩钢轨 14 根/m, 正倒摆放, 钢轨桩采用埋入法, 挡土桩 4 根/m, 均采用

43 kg/m 旧轨(长度至少 7.0 m), 钢轨桩后采用三灰土夯填。填土高度桩顶以上再夯填 2.0 m, 填土长度 15.33 m。(详细检算资料见附件)

2.7 线路加固及技术要求

根据以往施工经验, 框构孔径较大, 顶上无覆土

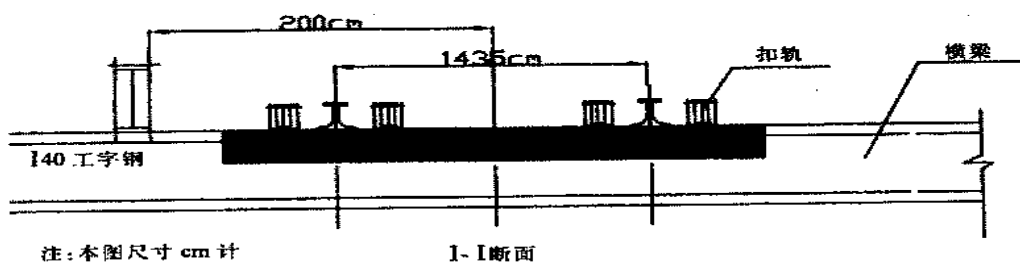


图3 线路加固示意图之二

注: 本图尺寸以 cm 计

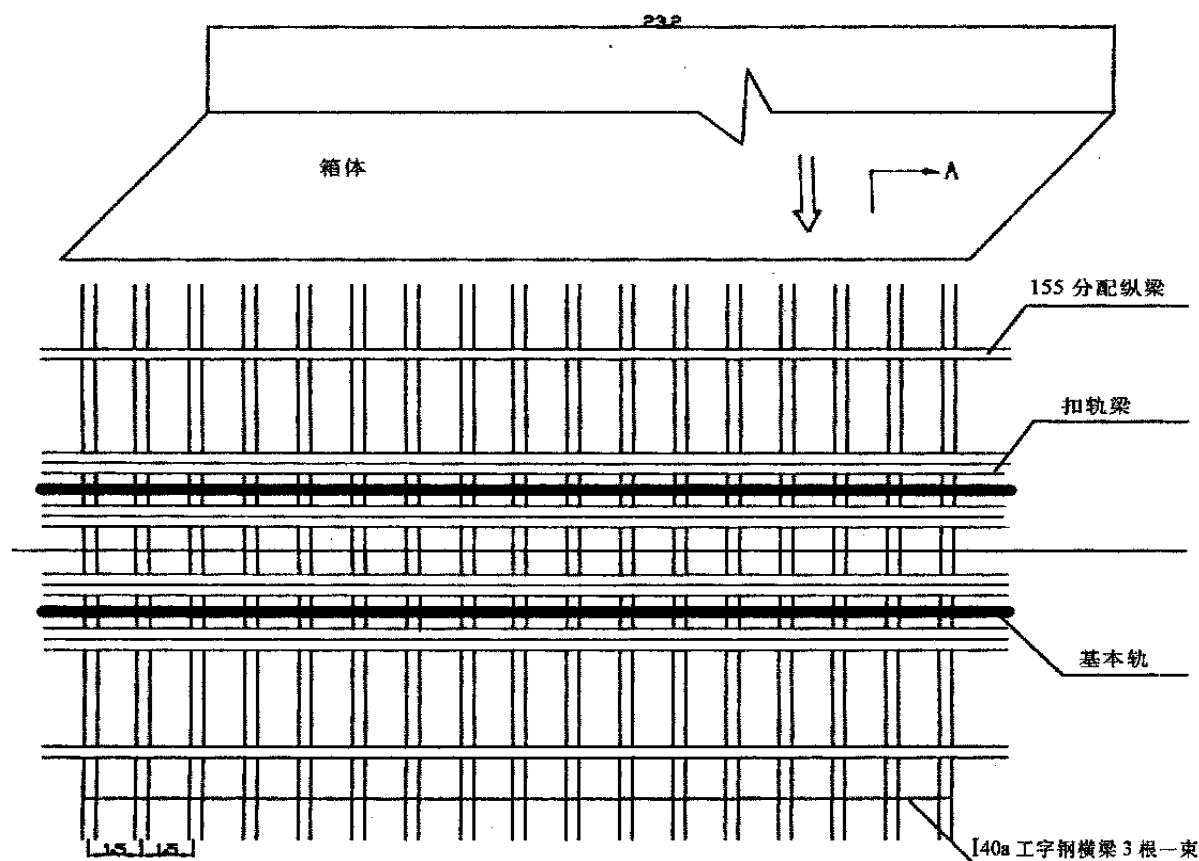


图4 线路加固示意图之三

注: 1. 本图尺寸以 cm 计。

2 钢横梁间距 1.5 m。

时,一般采用吊轨配合纵横抬梁加固线路,线路加固示意图如图2、图3、图4、图5所示)。

2.5.1 线路加固设计(线路加固检算见附件)

2.5.1.1 吊轨梁: 吊轨梁组装形式按3-3-3-3扣设吊轨,两端延伸出箱身边墙以外尺寸为:箱身高度×土体稳定坡度,吊轨与其下枕木用 $\phi 20$ 型螺栓和扣板联结在一起以增加线路整体刚度。

2.5.1.2 横梁: 横梁铺设间距一般按中活载布置1.5 m,当检算需1.5 m范围多根布置时,可以缩小横梁间距布置,也可按1.5 m间距集中成束布置,本线路加固方案拟采用后一种,其优点是横梁整体工作性能好,缺点是横梁间隔内枕木根数往往受限制,给保持线路轨距带来困难,可通过加设轨距拉杆的方式来解

决。横梁相对于线路中心的布置为:在预制箱身的一侧横梁顶部距线路中心距离应根据箱体高度及土体稳定坡度制定,本加固方案拟采用9.5 m(如图5)。为减少箱身顶入时阻力及顶进过程中保持桥上线路方向,每组横梁凡桥上支点均垫以 $\phi 30$ 圆钢滚杠,滚杠与支点间垫设钢板,采用该措施可以避免列车来临时不但需停止顶进,还需配属劳力起横梁抄加楔工作量,从而间接起到加快顶进速度的目的。

2.5.1.3 纵梁: 采用I55工字梁,通过U型螺栓和扣板与横梁连接成一体,以起到增加整体受力刚度。

2.5.2 框构加固顶进分成三个阶段(缘于工字钢模梁长度有限,定型长度12.5 m);

第一阶段:采用吊轨配合横梁加固,为增加刚度和

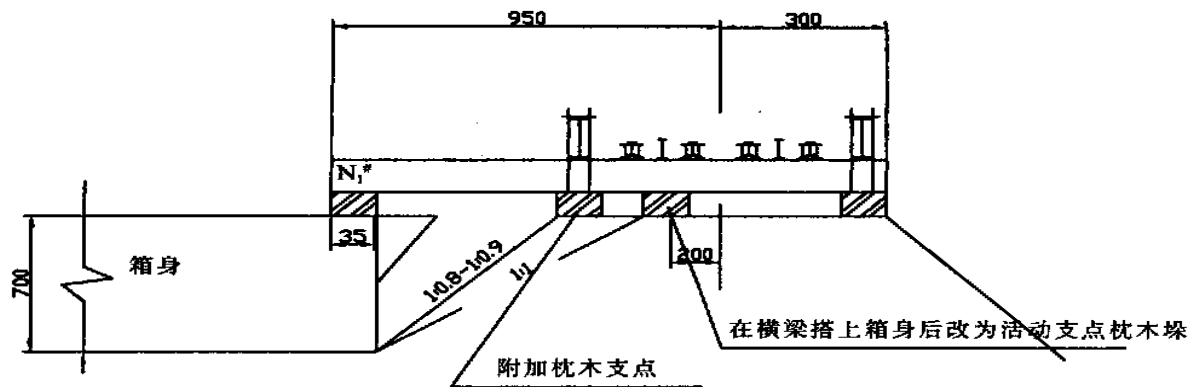


图5 线路加固示意图之四

注:本图尺寸以 cm 计。

整体性,应设 I55 纵梁,第一阶段箱身前端顶至距既有线路中心线 4.8 m 处停止顶进。

可开始加固。

(2) 线路扣轨长度 43 m, 相对桥位对称布置。线路扣轨梁接头必须相错 1.5 m 以上, 且扣轨面不得高于基本轨面 25 mm。

(3) 工字钢横梁窜移必须坚持如下程度: 工字钢横梁只允许间隔(如第一批窜移 1[#]、3[#]、5[#]、7[#]、9[#]、11[#]、13[#]、15[#]、17[#] 梁) 分束窜移, 每次一束。窜称前先解开横梁与纵梁、吊轨梁的联结, 联结窜移横梁就位; 横梁就位后, 立即将横梁与纵梁、吊轨梁联结, 联结完成后, 按图示要求支垫枕木垛支点。至此方可进行下一束横梁窜移。

(4) 线路加固时应注意各种构件不要侵限。

(5) 穿入横梁时注意不要搭接钢轨轨道电路, 以免影响列车运行。

(6) 工字梁纵梁 I55 加固长度按 45 m 办理。

(7) 线路加固时应注意基本轨底与横梁顶面不得有空隙(有轨道电路时应加设橡胶垫)。

(8) 横梁活动支点枕木垛与地面的最小接触面积以地面抗压强度进行, 顶进中要特别注意活动支点失稳问题。

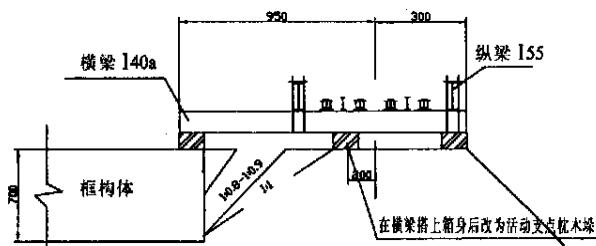


图6 框构加固顶进第一阶段示意图(以 cm 计)

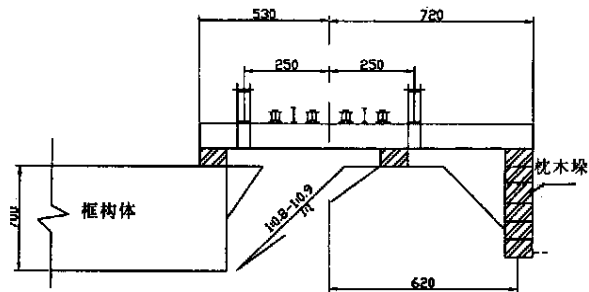


图7 框构加固顶进第二阶段示意图(以 cm 计)

第二阶段: 横梁工字钢向前窜 4.2 m, 在保留吊轨基础上, 在既有线路中心外侧 2.5 m 处设 I55 工字钢纵梁, 形成第二阶段加固。第二阶段顶进至箱身前端距既有线路中心线 0.5 m 处停止顶进。进入第三阶段工作。

第三阶段: 横梁工字钢向前窜 2.3 m, 在保留吊轨基础上在既有线路中心外 2.5 m 外侧设 I55 工字钢纵梁, 形成第三阶段加固。顶到距 2[#] 枕木垛 7 m 以内时, 撤掉 1[#] 枕木垛(如图 8)直至顶至设计顶进位置。

线路加固是顶进成败的关键, 所以线路加固除按上述方案实施外, 特别强调如下:

(1) 线路加固前必须做好准备工作, 调整线路, 加足道碴, 撤混凝土枕换为木枕, 完成一切准备工作方

2.6 顶进施工

2.6.1 顶进前准备工作

(1) 顶进环节工作人员如油泵司机、线路防护、维修等均要求配备专职人员。

(2) 顶进设备各种机具如顶镐、顶铁、油泵、横梁等必须配齐, 现场安装完毕。

(3) 检查框构主体是否达到设计强度 100%。

(4) 顶进前应对线路加固全面检查, 并测量框构高程, 复核框构中心线。对既有线路高程检查并做好记录。

2.6.2 设备安装试顶

因本桥箱身非正向顶进, 故千斤顶按中心线不对称布置, 油路、线路布置应合理, 设备安装前对各部件做单项检查, 合格后方可安装使用, 试顶时开动所有千

斤顶, 逐渐加大油压, 直至顶动箱身。同时检查后背、滑板、箱身是否正常, 箱身顶动后再对设备进行一次全面检查。

2.6.3 箱身顶进

箱身顶进设备采用 18 台 200 t 千斤顶, 其中备用 4 台, 使用 14 台(详细计算资料见附件)。顶镐必须行程一致, 保持同一种顶力, 顶镐及其施顶方向必须与桥轴线一致布置, 为使顶镐作用力均匀传至后背, 在后背和顶镐、箱尾与顶铁之间各设分配梁。分配梁采用旧钢轨焊接而成, 顶铁的安设更换均由人工进行, 为保证顶铁的稳定, 沿顶铁纵向每 5 m 左右设一道横顶梁, 以增加顶铁的整体工作性能。由于斜向顶进箱身, 两侧土

压力对框构尾端水平线构成力臂差, 在顶进过程中, 有可能使框构产生逆时针向转动入土, 愈深转动愈大, 为保证正确就位, 需将千斤顶不对称布置成一反力矩(详细计算资料见附件)。防止框构方向偏斜的辅助措施是: 顶进开挖时将先入土的锐角侧土墙外平行侧墙有意超挖 5~10 cm, 以便于发生偏转时纠正, 同时达到减少锐角墙侧土压力的目的。

顶进过程中如发生框构转动、扎头、抬头, 应根据情况及时纠正。当顶程较大时, 要注意顶铁稳定, 必要时在其上加重压力, 顶进就位时左右偏差允许 20 cm, 上、下偏差为顶程 1%, 但偏离不得超过 15 cm, 偏低不得超过 20 cm。

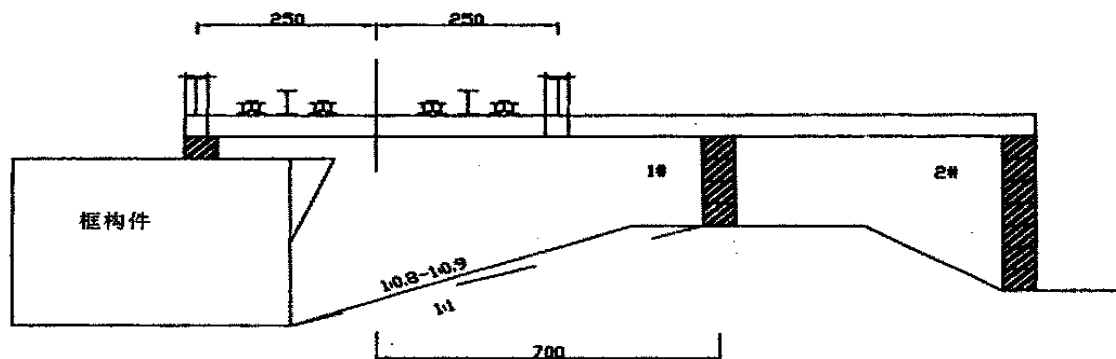


图 8 框构加固顶进第三阶段示意图(以 cm 计)

2.6.4 顶进挖土

顶进挖土施工中除严格执行现行《铁路桥涵施工规范》外, 特别强调如下“正面开挖坡度应控制在 1:0.8~1:0.9 之间, 两侧直立部分宜先开成弧面, 开顶前再切除弧形部分。每一顶程循环, 其正面开挖进尺上下必须保持一致, 同步前移以保持坡度不变, 每次开挖前及顶进进度严格按《铁路桥涵顶进施工规范》执行, 不得超挖、超顶。”

2.6.5 发生下列情况应停止顶进、挖土作业, 处理后方可重新开始。

- (1) 顶进设备控制失灵;
- (2) 千斤顶、油管漏油严重, 使油压力不稳;
- (3) 路基坍塌, 危及既有线路;
- (4) 线路横移;
- (5) 夜间施工照明中断;
- (6) 后背破坏无法持力;
- (7) 车辆通过时不挖土、不顶进;
- (8) 交接班时;

2.7 八字墙及其基坑开挖

基坑开挖时, 靠路基一侧以钢板桩加木板支护, 以

保证既有线路基在开挖施工过程中绝对安全。

2.8 恢复线路

线路恢复从回填箱身与路基之间空隙开始, 回填土要夯实, 然后拆除线路加固构件, 桥上恢复混凝土枕线路。撤换枕木及横梁时, 应撤一束工字钢横梁或木枕, 换一根钢筋混凝土枕, 随即补充道碴并捣固, 不应成段撤换。

3 安全保证措施

施工中除按《铁路桥涵施工规范》《铁路桥涵施工技术安全规则》及《铁路技术管理规程》和有关规范相应条款执行外, 还应注意以下几点:

- (1) 施工前做好防洪准备, 认真实施防洪措施
- (2) 顶进设备, 千斤顶应由专人操作, 非操作人员不得擅自操作。

顶进过程中, 千斤顶上方不得站人, 以防油管破裂伤人, 顶进中如设备出现故障, 回油降压后方可进行检修, 严禁带压检修。

- (3) 派专人值班, 及时与车站联系, 掌握列车通过

情况

顶进中线路防护人员及时通报车辆通过情况,密切注意既有线路稳定。一旦发现异常情况,马上报告现场指挥人员,停止顶进,进行处理。

(4)指派专人,每通过一次列车,应对线路轨距、水平方向检查一次,发现问题及时整治。

(5)框构内挖土作业人员在车辆通过时,停止挖土,撤到框构以内1m远,车辆过后重新作业。

(6)配备足够数量道碴、方木,组织好人力、工具当线路发生变形时,立即进行抢修和加固。

(7)线路加固及顶进作业期间应设置限速标志及作业防护。

(8)框构主体制作过程中,支立模板有高空作业、多层交叉作业时,所有工作人员必须戴安全帽,高空作业人员应佩戴安全带,并注意高空坠物伤人。

4 框构顶力计算

$$P = K [N_1 f_1 + (N_1 + N_2) f_2 + 2E f_3 + RA]$$

式中

P ——最大顶力(t);

K ——系数一般采用1.2;

N_1 ——框构顶上总荷重;

f_1 ——框构顶上表面与顶重摩阻系数涂机油调治的滑石粉浆取0.2;

N_2 ——框构自重(t);

F_2 ——箱底与基底土摩阻系数取0.8;

E ——箱两侧土压力(t);

R ——钢刃脚正面阻力取55 t/m²;

A ——钢刃角正面面积。

4.1 框构顶上总荷重

桥上无覆土,总荷重即为线路加固重,计算宽度为22.50m。

A、I55工字钢纵梁 $22.50 \times 2 \times 106.3 = 4.78$ t

B、140a工字钢横梁 $(22.50/1.5) \times 3 \times 71.341 = 3.21$ t

C、P43-3-3吊轨 $0.043 \times 12 \times 22.50 = 11.61$ t

D、线中其它材料 取0.6 t/m $0.6 \times 22.5 = 13.5$ t

$$N_1 = 33.1 \text{ t}$$

N_2 框构自重

混凝土 $(525.6 + 28.4) \times 2.3 = 1274.2$ t

钢筋 $81.5 + 2.23 = 83.73$ t

钢刃角 2.44 t

$$N_2 = 1360.3 \text{ t}$$

E、箱两侧土压力

$$\text{箱侧面积 } 7 \times 13.76 = 96.32 \text{ m}^2$$

侧压力系数

$$\mu = \tan^2(45^\circ - \phi/2) \tan^2(45^\circ - 35^\circ/2) = 0.266$$

主动土压力

$$E_a = E_a A = 134.85 \text{ t}$$

F、钢刃角正面面积

$$2\{0.11 + [3.6 - 0.11]^2 + 1.49^2\}^{1/2} \times 0.02 \times 22.5 \times 0.02 = 0.15 \text{ m}^2 + 0.45 \text{ m}^2 + 0.45 \text{ m}^2 = 0.6 \text{ m}^2$$

$$P = 1.2[33.1 \times 0.2 + (33.1 + 1360.37) \times 0.8 + 2 \times 134.85 \times 0.8 + 0.6 \times 55] = 1.2(6.62 + 114.78 + 215.76 + 33) = 1644.19 \text{ t} < P_{\text{设}} = 1710 \text{ t}$$

4.2 千斤顶设备

拟配备DQ-200型盾构式双作用液压顶镐,顶镐最大顶力以型号的70%计 $n = P_{\text{设}}/(200 \times 0.7) = 1710/(200 \times 0.7) = 12.21$ 取14

考虑到每侧有两台血用顶镐,故需准备顶镐18台。

4.2.1 千斤顶的摆放

箱侧顶进过程中受到主动土压力

$$\text{侧面面积 } A = 7 \times 13.76 = 96.32 \text{ m}^2$$

$$\text{侧压力系数 } \mu = \tan^2(45^\circ - \phi/2) = 0.266$$

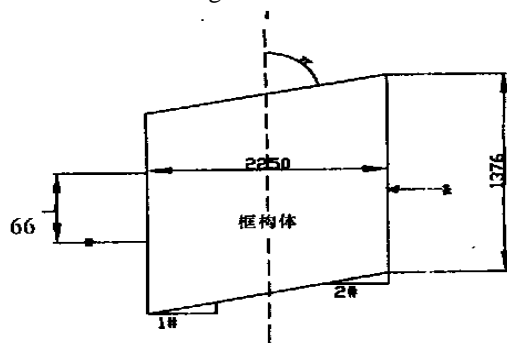


图9 单位: cm

主动土压力强度

$$E_a = [H^2 \mu / (H \times 1.0)] / 2 = (1.5 \times 7.0 \times 0.266) / 2 = 1.41 \text{ t/m}^2$$

$$\text{主动土压力 } E = E_a A = 134.85 \text{ t}$$

主动土压力作用在距基底1/3位置,作用点可假设在H/3高度侧面中心线上。

$$\text{侧面主动土压力产生力矩} = E_e = 134.85 \times 22.50 / \tan 71^\circ = 1044.73 \text{ t} \cdot \text{m}$$

按照顶进过程中力矩平衡的原则 $M_{\text{顶}} = M_{\pm}$

$$P_{\text{设}e} = 1044.73e = 1044.73/1644.19 = 0.635 \text{ m}$$

假定按如下方案布置千斤顶, 假定后背 8 m 宽

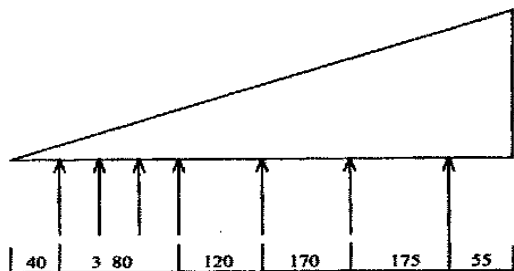


图 10 单位: cm

计算最大顶力 $P = 1644.19$ 按 14 台千斤顶, 则每台顶力 $1644.19/14 = 117.44$ t

面力对中线取力矩 $M_{中} = 117.44 \times (11.25 - 0.4) + 117.44 \times (11.25 - 1.2) + 117.44 \times (11.25 - 2.0) + 117.44 \times (11.25 - 2.8) + 117.44 \times (11.25 - 4.0) + 117.44 \times (11.25 - 5.7) + 117.44 \times (11.25 -$

$$7.45) - [117.44 \times (3.25 + 0.4) + 117.44 \times (3.25 + 1.2) + 117.44 \times (3.25 + 2.0) + 117.44 \times (3.25 + 2.8) + 117.44 \times (3.25 + 4.0) + 117.44 \times (3.25 + 5.7) + 117.44 \times (3.25 + 7.45)] = 117.44 \times 7 \times 11.25 - 117.44 \times 3.25 \times 7 - 117.44 \times (0.4 + 1.2 + 2.0 + 2.8 + 4.0 + 5.7 + 7.45)^2 = 9248.4 - 2671.76 - 5531.42$$

$$= 1045.22 \text{ t} \cdot \text{m} \quad M_{\pm\text{压}} \text{顶进过程中不会扭转。}$$

上述千斤顶布置通过检算。

7 结束语

本桥由于各级领导重视, 施工组织严密, 施工方案可行, 加固措施得力, 最终安全、优质、提前完成了施工任务, 被业主评为优质样板工程, 并取得了很好的效果, 希望本文能对类似的工程提供理论和实践的参考。

CONSTRUCTION TECHNOLOGY FOR JACKING WORKS OF LARGE SPAN BRIDGE

LEI Wei-min

The Sixth Engineering Co., Ltd. of the Third Engineering Group of China Railway

Abstract The introduction is given in details in this text about the jacking work method of large span bridge, it emphasizes the consolidation technology of the railway line, the practical guarantee measures for safety assurance is worked out, the calculation is made for the jacking force of the framed structure, and the inspection and calculation is also made for the front and rear works and the railway line consolidation works

Key words large span bridge; jacking; technology