

# 宁波××大桥

## 横向体外索更换及梁体裂纹修补施工方案

筑龙网 WWW.ZHULONG.COM

二 00 四年九月二十二日

# 目 录

## 一、概述

## 二、33 号横向体外索更换

### 1、33 号索应力失效事宜主要经过

### 2、原因分析说明

### 3、施工方案说明

### 4、工艺流程框图

### 5、组织机构设置及人员组成

### 6、主要材料及机具设备

### 7、施工操作技术要点

## 三、梁体裂缝修补

### 1、裂缝状况简述

### 2、裂缝的修补原则及工艺方法

### 3、主要人员计划与工期安排

### 4、主要需用材料与设备

## 四、安全防护措施及其它

## 五、附件

附件一：横向体外预应力索总体布置示意图

附件二：33 号索更换施工步骤示意图

附件三：《×××大桥主梁有限元计算分析报告书》（××××勘测设计有限公司）

## 一、概述

### 1、49.5m 跨主梁原结构设计简介

××××大桥位于宁波市甬江入海口，主桥为带有协作体系的双索面预应力混凝土独塔斜拉桥，跨度布置自×××至××××为：74.5m+258.0m+102.0m+83.0m+49.5m。

原结构设计 24 号墩~25 号墩间主梁全长 49.835m，支座中心间梁长 48.985m。梁上有 3 道斜拉索，其工作点分别在 24 号墩中心线及向东侧 3m 和 6m 处，本跨东侧 42.535m 为无索区。本跨主梁为等截面箱梁，桥面宽 29.5m，桥上防撞栏杆外侧间距为 27.5m，主梁横截面为双箱双室截面，中间两室为矩形截面，外侧两室为带斜腹板的五边形截面。中间开口箱间距 4.9m，主梁顶板厚度 22cm，底板厚度 18cm，斜腹板厚度 18cm，中间直腹板厚度 40cm。

主梁在 24 号墩附近有 3 道横隔梁，间距为 3m，横隔梁厚 0.25m。24 号和 25 号墩处设支座横梁，横梁厚度为 2m 和 1.5m，主跨跨中 39.335m 范围无横隔梁。

顶板顶层横向钢筋为  $\Phi 12$  和  $\Phi 14$  两类，其中  $\Phi 12$  钢筋通长布置，间距 20cm， $\Phi 14$  钢筋仅在实体处和中间两道直胶板顶层布置，间距 20cm，顶板底层横向钢筋亦为  $\Phi 12$  和  $\Phi 14$  两类，其中  $\Phi 12$  钢筋通长布置，间距 20cm， $\Phi 14$  钢筋仅在顶板板中设置，间距 20cm。

顶板顶层纵向钢筋为  $\Phi 16$ ，在 24 号墩、25 号墩附近 12m 范围内间距为 10cm，其它位置纵筋间距约 20cm。

底板顶层纵向钢筋为  $\Phi 12$ ，间距 20cm，底板底层纵向钢筋为  $\Phi 14$ ，跨

中 20m 范围内纵筋间距 10cm，两端各 15m 范围内间距 20cm。

本跨主梁原设计仅在纵向设置预应力筋，横向与竖向均没有布置预应力筋。

## 2、原结构加固情况

1999 年 10 月 21 日至 11 月 15 日业主组织有关人员对主梁裂缝及破损情况进行了一次全面外观检查。检查中发现 24 号~25 号墩之间的 49.5m 跨主梁出现两类裂缝，裂缝特征为“上、下游边箱顶板顶面靠直腹板附近，各发现一条长 30m，宽约 0.2mm 的沿桥纵向裂缝，上、下游边箱顶板底面靠实体肋附近发现数条几乎平行的沿桥纵向裂缝，断断续续长约 20~40m，宽度在 0.05~0.10mm 之间”，“靠 25 号墩附近底板底面及斜腹板底面发现一定数量的斜向裂缝，长度在 1.0~4.0m 之间，宽度在 0.15~0.20mm 范围内”。1999 年 12 月 26~27 日，业主主持召开了“招宝山大桥保留结构专家评审会”，与会专家认为：“24 号墩~25 号墩现浇段主梁出现的裂缝是严重的，必须采取结构性补强措施，以满足使用期结构承载力和耐久性的要求。”从改善主梁受力状态、增加主梁整体刚度、满足使用阶段结构承载能力和提高主梁耐久性的要求出发，采取了以下各项措施：①桥面板卸载、②增设 2 道加固纵梁并在加固纵梁内布设竖向预应力、③增设 4 道加固横梁并在加固横梁内布设竖向预应力、④在顶板增设钢筋、⑤对底板裂缝进行补强加固、⑥设置 40 束横向体外预应力，并在中间开口箱设置钢横撑措施。

### 2.1、桥面板卸载

将无索区梁段箱梁两侧多余实体块切除。切除宽 80cm，切除范围从离

24 号墩 10m 处开始到 25 号墩梁端，切割总长 39.835m。

## 2.2、 增设纵梁、设置加固纵梁竖向预应力

在主梁边室斜腹板与底板交界点增设一道纵梁。跨中 37.5m 段纵梁腹板厚度 25cm，两端厚度增大至 40cm。纵梁下端底宽 61cm，上端顶宽 85cm，采用微膨胀砼浇筑。

加固纵梁的竖向预应力采用冷拉Ⅳ级粗钢筋，直径  $\Phi 25$ ，间距 50cm，轧丝锚固体系统锚固。加固纵梁的竖向预应力筋位置处桥面板钻  $\Phi 32\text{mm}$  孔，粗钢筋锚固在底板底面和顶板顶面，采用无粘结预应力。

## 2.3、 增设横梁，设置加固横梁竖向预应力

在本跨主梁无横隔梁区段（长 39.335m）增设 4 道横隔梁。横隔梁厚度为 20cm。与顶板相接处设  $15\text{cm} \times 15\text{cm}$  梗肋。加固横梁为钢筋砼结构，采用 C50 微膨胀砼浇筑。

采用冷拉Ⅳ级  $\Phi 25$  粗钢筋，轧丝锚固体系统锚固。加固横梁的竖向预应力筋位置处仅在桥面板上钻  $\Phi 32\text{mm}$  孔，竖向预应力筋端埋在加固横梁内，另一端锚在桥面板上，露出梁体外侧的粗钢筋进行封锚处理。采用无粘结预应力。

## 2.4、 底板补强加固

在 24 号墩附近主梁底板新浇一层底板砼，厚 18cm，采用 C50 砼。为保证底板的传力中心线不变，在加固区域原底板底面粘贴加固锚栓钢板条。

## 2.5、 设置横向预应力及开口箱下缘钢横撑

横向预应力采用有 PE 套的  $3\Phi^{j}15$  钢绞线体外预应力 40 束，每束长 29.5m。横向预应力束锚固在两侧的实体块上。（横向预应力布置见附件一）

横向预应力穿过实体块及直腹板处钻约  $\Phi 70\text{mm}$  的孔，待横向预应力束张拉完毕后，孔内灌注环氧砂浆封孔，实体块外侧采用水泥砂浆封锚。

为了防止开口箱桥面板产生过大的局部弯矩，在开口箱下缘布置钢撑杆，钢撑杆两端与直腹板密贴，连接牢靠。

49.5m 跨主梁加固工作于 2000 年 10 月开始施工，于 2000 年 11 月施工完成，全桥于 2001 年 6 月 18 日建成通车。

## 二、33 号横向体外索更换

### 1、33 号索应力失效事宜主要经过

2004 年 3 月 26 日下午，浙江大学交通研究所对  $\times\times\times$  大桥进行箱梁混凝土应力检测时发现大桥 24 号墩~25 号墩间 49.5m 边跨主梁横向体外预应力索有一根（33 号索）出现明显下挠变形，用手摇动该索，感觉已经松弛，初步断定其应力已经失效。

2004 年 3 月 31 日， $\times\times\times\times$  公司有关人员于现场割開箱梁下游钢箱顶板，并凿除封锚混凝土，取出锚具，发现夹片未滑脱，也未发现滑丝的痕迹，但明显看见索的钢绞线在夹片锥端断裂。

### 2、原因分析说明

该桥于 2001 年建成通车，历时已三年有余，因事隔久远，引发 33 号索断裂失效的原因当是多方面的，涉及的因素也是错综复杂的；单纯从现场取出的断索实物分析判断，我们认为：导致 33 号索断裂的主要原因当属以下两个方面：（1）、钢绞线在张拉锚固过程中，钢绞线被夹片咬伤，造成钢绞线应力集中引起索体断裂；（2）、索体处于高应力工作状态，在

动荷载的反复作用下，因疲劳引起索体断裂。

鉴于横向预应力索主要为消除和控制该跨主梁顶板纵向裂缝，改善主梁横向受力状况而设置的，且索与索之间具有相对独立性，因此，该索的断裂不会造成连锁反应，对主梁结构以及行车安全也没有实质性的影响。

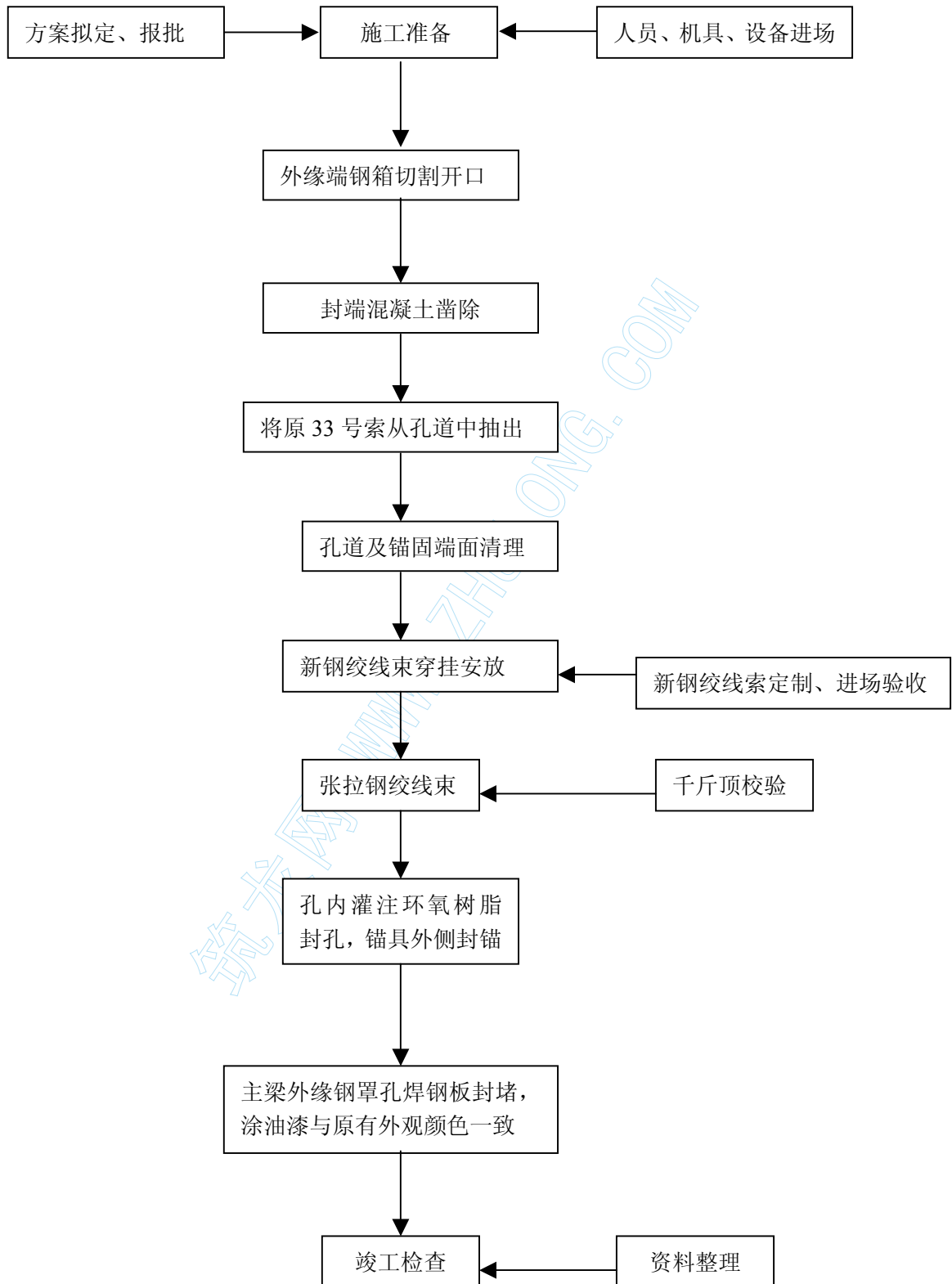
### 3、施工方案说明

鉴于该桥特有的社会敏感性和技术复杂性，各方对其处理都十分谨慎，经我集团公司有关领导和专家与有关各方慎重考虑和认真研究，拟定仅对已断裂的 33 号索在不中断交通的情况下立即进行更换，对其它 39 根索仍采用加强观测和检查，暂时维持现状的施工方案。

将预应力已经失效的原 33 号索（从 25 号墩起第 33 根）抽出，清理孔道和锚固端面，新制一束带 PE 套的钢绞线束重新在原孔位穿入进行张拉锚固。该新制钢绞线束中钢绞线标准强度  $R_y^b=1860\text{MPa}$ ，弹性模量  $E_y=1.9\times 10^5\text{MPa}$ ，张拉力为 546.8KN。新制钢绞线外侧 PE 套外径改为  $\phi 44\text{mm}$ ，较原来钢绞线外侧 PE 套外径小 4mm，以便于在原孔径中穿入。待横向预应力张拉完毕后，孔内灌注环氧树脂封孔，锚具外侧用水泥砂浆封锚。

具体换索施工仍由××××公司实施，时间安排初步定于 10 月底进行。

#### 4、工艺流程框图





## 5、组织机构设置及人员组成

为了加强 33 号索换索的组织和管理，确保换索施工安全顺利地进行，我集团公司责成一公司成立专门项目部，并指定专人负责，抽调得力技术人员负责换索施工，具体人员安排如下：

项目负责人： ×××

技术负责人： ××××

质检（安全）人员： ××××

试验人员： ××××

装吊工： ××××      ××××

电工： ××××

钳工： ××××

电焊工： ××××

测量人员： 1 名

其他作业人员： 根据实际需要由现场确定

## 6、主要材料及机具设备

6.1、 带 PE 套的钢绞线索一根， PE 套外径为  $\phi 48\text{mm}$ ；

6.2、 锚具： 2 套，另外考虑备用数量；

6.3、 工具锚： 1 套（带夹片）；

6.4、 限位板 1 块；

6.5、 100t 穿心式千斤顶 1 台（含配套油泵、油表）

6.6、 氧气、乙炔各 1 瓶，割刀 1 把

6.7、 电焊机 1 台

6.8、 砂轮切割机 1 台（配砂轮片若干）

6.9、 1t、3t 倒链各 2 个

6.10、 环氧树脂，水泥砂浆麻绳若干。

## 7、主要施工操作技术要点

7.1、对已失效的钢绞线采用砂轮锯切割后，用穿心式千斤顶横向逐步拉出孔外，应将钢绞线与外包的 PE 套整体拔出。新制外带 PE 套的钢绞线束，长度与原钢绞线束下料长度相同。

7.2、穿入张拉钢绞线束的步骤如下（详见附件二）：（1）将桥下检修吊车移至待穿束位置，将待穿钢绞线位置处主梁外缘钢罩局部割孔，以便于穿钢绞线束和进行张拉作业。（2）将新制钢绞线束由桥上一侧移到检修吊车上（钢绞线前端到达桥下中箱位置）。（3）将钢绞线前端由中箱开始向一侧穿孔，穿引出主梁边缘后继续拉出约 10 米。（4）将钢绞线的另一端仍在中箱向主梁另一侧孔道内穿引，直至穿出主梁外边缘。（5）两端安装锚具。一端作为锚固端，一端作为张拉端。（6）在张拉端安装穿心式千斤顶，进行张拉作业。

7.3、张拉前应对千斤顶及油表进行校核，张拉作业应选在一天中温度较低的时间进行。

7.4、新换钢绞线束控制张拉力为  $T_k=546.8\text{KN}$ 。采用 100t 穿心式千斤顶单端张拉。张拉程序： $0 \rightarrow 10\%T_k \rightarrow T_k$ （持荷 2min 锚固）

7.5、在顶夹片时应仔细，防止钢绞线在夹片处受到损伤。

7.6、张拉时以张拉力控制为主，伸长量校核，实际伸长量与理论伸长量偏差控制在  $\pm 6\%$  以内。

7.7、张拉完毕并检查无误后，在孔道内灌注环氧树脂密封，要求孔道内灌注密实。锚具前的孔道内要求采用压注水泥砂浆方法进行，特别注意压浆密实。

7.8、锚具外钢绞线切割位置为锚具外 5cm 处。采用砂轮切割机切割，严禁氧气切割或电焊切割。切割完毕后及时用与主梁同标号水泥砂浆封锚。

7.9、主梁外缘钢罩开孔处应补焊同厚度钢板，涂油漆与原有外观颜色一致。

7.10、施工过程中应做好记录，施工完后将资料交有关单位统一保存。

### 三、梁体裂缝修补

#### 1、裂缝状况简述

×××大桥通车近三年以后，应业主要求，×××集团公司于 2004 年 4 月、5 月先后两次派出专门人员，对该桥裂纹分布和发展情况进行检查。从整个观测情况看，裂纹的类型基本与原来一样。在裂纹观测过程中主要是对主桥保留结构 0#~4#(4#') 块、A 现浇段、C 现浇段、21#墩悬臂现浇段和合拢段箱内进行裂纹观测，此部分结构上裂纹相对较多，而重建结构上裂纹相对较少。在观测范围内主桥共发现 331 条裂纹，24#墩~25#墩共发现 254 条裂纹，21#墩~20#墩之间也发现有少量裂纹。

原因分析：根据裂纹的观测资料可知，裂纹所在部位主要分布在箱梁内横隔墙、截面变化处及桥跨支点附近（24#、25#墩），且大多裂纹宽度在 0.15mm 以下的特征，再综合考虑桥梁运营近三年等因素，我们认为原保留结构板厚太薄，构造细节不合理，虽经局部加固处理，但多次结构性

处治，使新旧结构受力非常复杂，在收缩徐变、温度应力以及活载等综合作用下，较易产生裂纹。也不排除原来已发生裂纹未能被全部发现和处治的可能。

根据设计单位计算分析报告及以上原因分析，裂纹的出现并非结构安全性不足所致。但为保证大桥结构的耐久性，仍需对裂纹进行必要的处理。

## 2、裂缝的修补原则及工艺方法

针对本工程的裂缝观测结果，裂缝修补原则上按照 1999 年本桥加固时的裂缝修补原则进行，即将裂缝分为三类进行处理：对小于 0.08mm 的裂缝不予处理； $0.08\text{mm} \leq \text{裂缝宽度} < 0.15\text{mm}$  的裂缝，进行表面封闭；对大于 0.15mm 的裂缝，进行灌浆修补。对于个别修补后影响梁体外观的裂缝，进行外观处理。

### 2.1、表面封闭

对于缝宽大于 0.08mm，小于 0.15mm 的裂缝，清理裂缝表面，配制环氧树脂胶液，直接进行表面封闭。其施工步骤如下：

2.1.1、打磨：将待修裂缝沿裂缝长度方向宽 8.0~10.0cm 范围内的混凝土表面用砂轮磨光机打磨平整；

2.1.2、表面清洗：将打磨后的混凝土表面用丙酮擦洗干净后凉干。

2.1.3、按设计配方配制环氧树脂胶液，胶液应混合均匀、颜色一致。

2.1.4、用软毛刷子由上至下涂抹环氧树脂胶液，注意涂抹均匀、密实，保持表面光滑；

2.1.5、涂抹环氧树脂胶液时，应注意涂层过厚或不均匀而发生流淌；涂抹

好后应加以养护，严防水淋和污染。

## 2.2、压力灌浆封闭

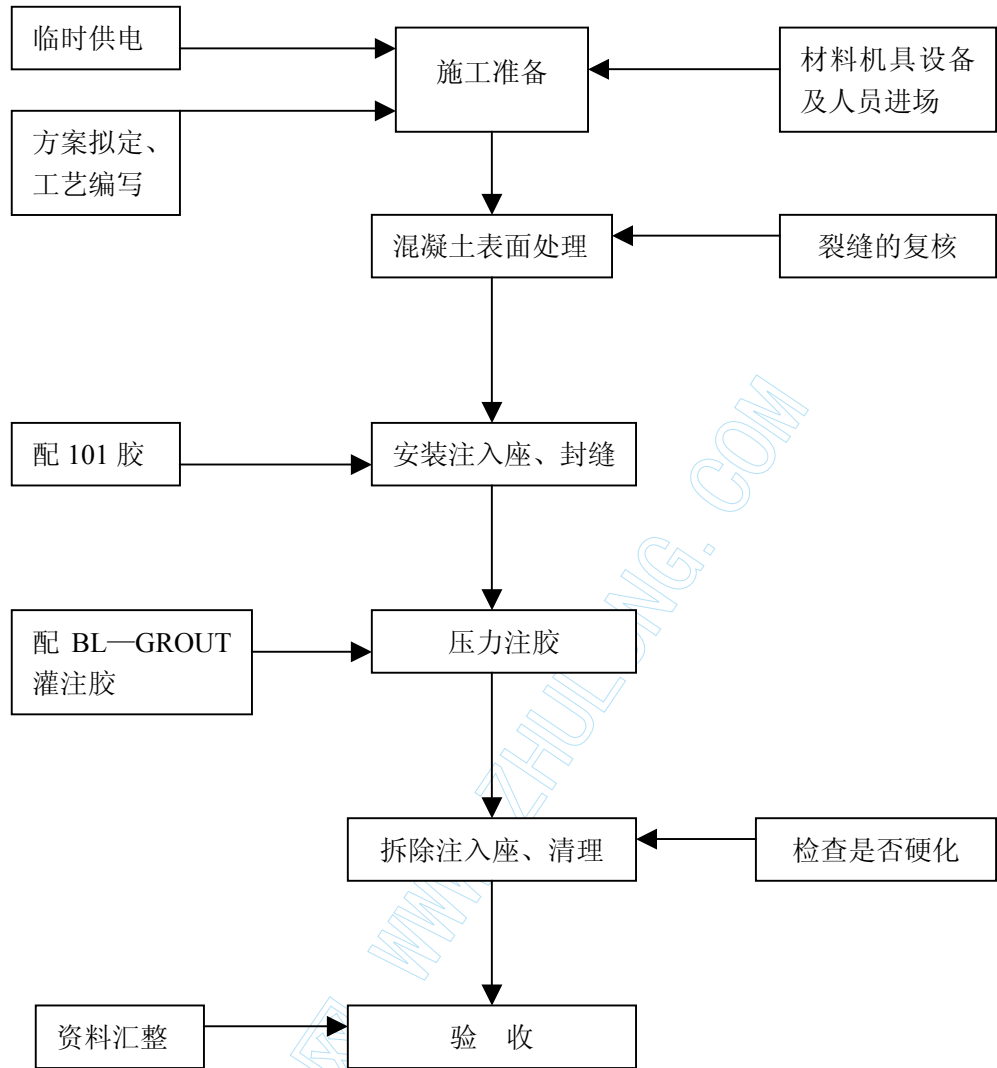
对大于 0.15mm 的裂缝，进行灌浆封闭。灌浆封闭采用“壁可法”，“壁可法”系日本 SHO—BOND 公司开发的修补混凝土结构裂缝方法。它通过橡胶管自动完成修补材料的注入。注入过程中始终保持约 0.3Mpa 的压力，能将修补材料注入宽仅 0.02mm 的裂缝末端。同时，缓慢均匀的压力可以将微细裂缝中的空气压入混凝土的毛细孔中，并通过混凝土的自然“呼吸”作用排除，有效避免了气阻的产生，从而可确保修补质量。该方法有注入效果可靠，压力控制均匀，操作简便且投入人员少，不受行车干扰等优点。

### 2.2.1、“壁可”法使用材料：

(1)、101 号粘结材料（又称粘结剂），用来粘贴固定座和密封裂缝表面，使之成为一个表面封闭的“空腔”。该材料为双组分、高分子树脂系粘结剂，具有极强的结合力、良好的耐磨性和耐腐蚀性。它由主剂和硬化剂组成，按主剂：硬化剂=7：3（重量比）混合配制，混合物呈腻子状，类同于塑性状态混凝土，便于粘贴和涂抹。

(2)、注入材料，采用 BL—GROUT 型，用于填充裂缝空隙。由主剂和硬化剂组成，按主剂：硬化剂=2：1（重量比）配制

2.2.2、主要施工步骤工艺流程框图



2.2.3、施工操作技术要点

- (1)、做好各项施工准备，材料进场时应注意验收并分开存放于避光处；
- (2)、将待修裂缝沿长度方向宽 5.0cm 范围内的混凝土面自上而下打磨平整，去除表面松散混凝土及杂物与污物，并用丙酮将表面清洗干净，凉干或烘干。

(3)、将 101 号主剂与硬化剂按 7: 3 配好, 用扁铲在注入座底板四周涂抹少量胶液, 将注入座的注入孔正对裂缝中心安放, 再用力压注入座底板四周, 使其与混凝土面粘贴牢固。依次沿裂缝方向每隔 30~40cm 安装一个注入座, 注意粘贴时不要堵塞注入座的注入孔。

(4)、注入座粘贴后, 沿裂缝表面长度方向 5.0cm 宽区域用 101 号密封胶密封。密封时胶体厚度应大于 1.5mm, 并应一次完成, 避免反复涂抹。密封时应力求精确, 确保注胶时 95% 无渗漏。

(5)、安装注入座并涂抹 101 号密封胶后可待其自行硬化, 在不同温度条件下, 其硬化时间需 4~10h。

(6)、根据需用数量, 事先将 BL—GROUT 材料主剂与硬化剂按主剂: 硬化剂=2: 1 配好, 倒入铁桶中搅拌均匀, 将注入器的连接端与已粘结的注入座套接牢固, 随后用黄油枪盛装调成的 BL—GROUT 材料, 通过过滤头连接注入器的连接端, 开始注入。当注入器橡胶管膨胀充满限制套时停止注入。如注入膨胀后收缩较快, 说明缝内空隙大, 应继续补灌。注浆完毕后用丙酮清洗注入工具。

(7)、注浆工作完成后, 可让注入材料自行固化。确认固化后便可敲去注入器和注入座, 用砂轮机把裂缝表面打磨平整。

### 2.3、外观处理

个别裂缝位于梁体表面或是贯通性裂缝, 进行封闭或灌浆处理后, 梁体表面将留下处理痕迹, 影响梁体外观。为保持梁体外观的色泽一致, 需要对处理痕迹进行外观处理, 可用的方法有局部涂刷调配好的水泥浆或涂料。



## 2.4、劳动保护和安全措施

2.4.1、化学浆液多属易燃品，应密封储存于阴凉干燥处，并远离火源。

2.4.2、配制及使用现场，须通风良好，严禁烟火。操作人员应采取一定的防护措施，如戴胶手套、口罩等。

2.4.3、在检修吊车上操作时，要有防护设施（如安全网、护栏等），以防坠落；同时作业人员应穿防滑鞋。

## 3、主要人员计划与工期安排

裂缝封闭与灌浆处理暂按 10 人考虑，设项目负责人 1 人、技术负责人 1 人、有经验的技术人员和技工 8-9 人，2-3 人一组，分为 3-4 个小组。

具体人员安排及分工同前，在此从略。

施工前应进行详细的技术交底，确保操作人员准确掌握作业方法，以保证施工质量。

根据裂缝的数量和工作条件及效率，预计工期需 1 个月左右。

## 4、主要需用材料与设备

4.1、材料：

4.1.1、灌注胶(BL-GROUT)

每延米裂缝用量= $(0.0115 \times \text{缝宽mm} \times \text{缝深cm} + 0.13)$ kg，按缝长 1500 延米（估算值，以实际缝长为准）、缝宽 0.15mm，缝深 0.2m 计算，约需 200 公斤。

4.1.2、封口胶（#101）：

每延米用量为 0.2 kg，按 2000 延米计算（贯通缝两面均须封闭），需 400 公斤。



#### 4.1.3、其他材料：

丙酮、稀释料、橡胶管、固定座、注入座、水泥、涂料等若干。

#### 4.2、工具设备：

4.2.1、砂轮磨光机、黄油枪、过滤器、手提压风机、手提电焊机、切割机。

4.2.2、钢丝刷、喷灯、典钨灯、毛刷、扁铲、撬棍、塑料桶、脸盆、胶手套、口罩、棉纱、烧杯、量筒、玻璃棒、读数显微镜、钢卷尺等。

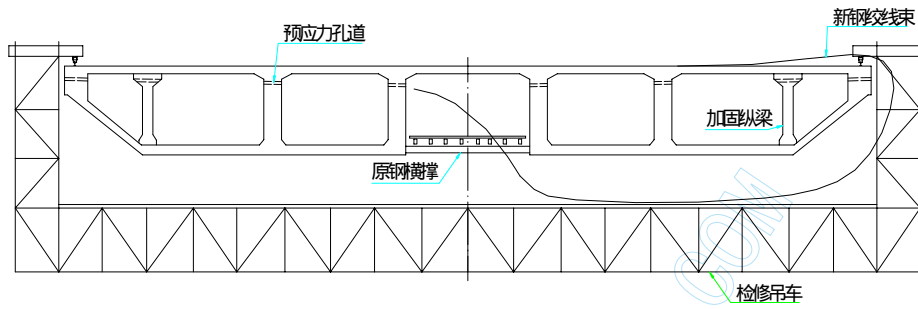
以上材料数量均以现场实施时需用数量为准。

### 四、安全防护措施及其它

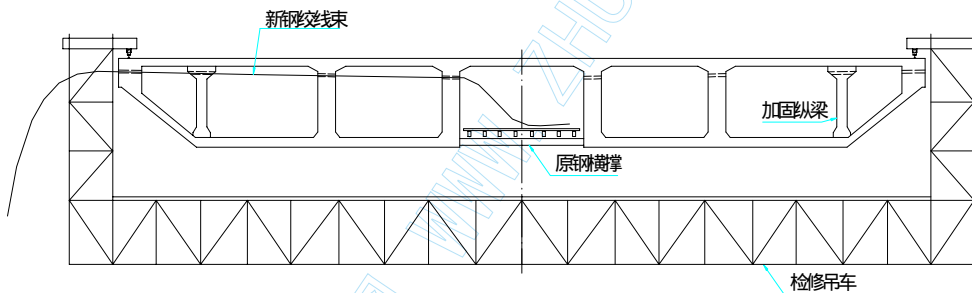
- 1、高空作业，必须按高空作业要求进行，必须戴安全帽，系安全带。
- 2、在穿束前应在主梁中箱搭设牢固脚手平台。
- 3、整个作业宜在白天进行，确需晚上作业时，照明应充分。
- 4、张拉预应力时千斤顶前方严禁站人。
- 5、检修吊车在移动和换索作业时，应加强移动及吊挂系统的安全检查，确保检修吊车及施工人员安全。
- 6、施工时注意天气情况，大风或雷雨天气禁止施工并采取措施保证施工机具及设备安全。
- 7、换索施工时，换索区两端应设车辆慢行标志。施工人员上下桥面或横穿桥面时，应注意交通安全。

## 附件二：33 号索更换施工步骤示意图

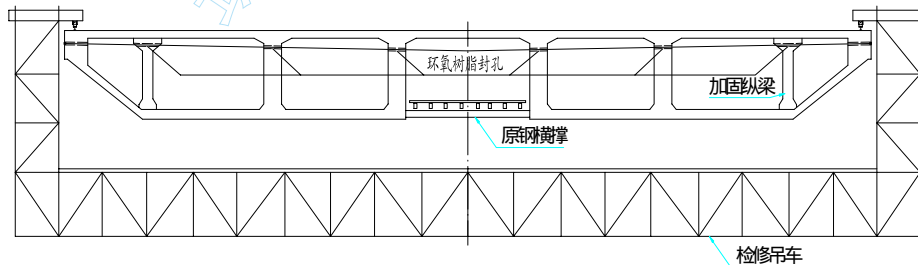
### 钢绞线换束步骤示意



步骤一：利用检修吊车，拆卸原钢绞线束，清理预应力孔道，并将新钢绞线束从图示箱梁右侧拖至箱梁底。

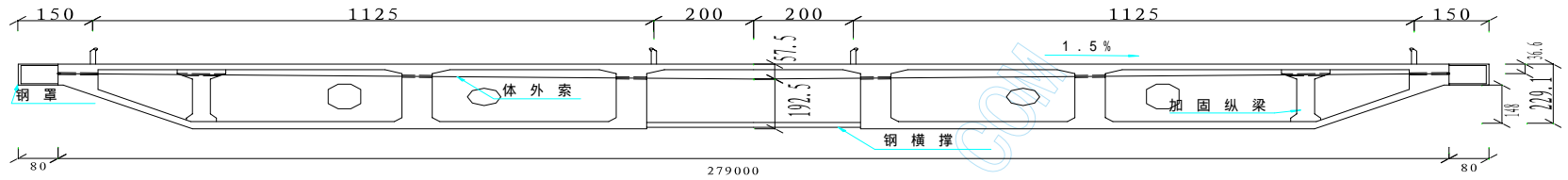


步骤二：将新钢绞线束的一端从桥中线穿至箱梁左侧（多穿10米左右）。

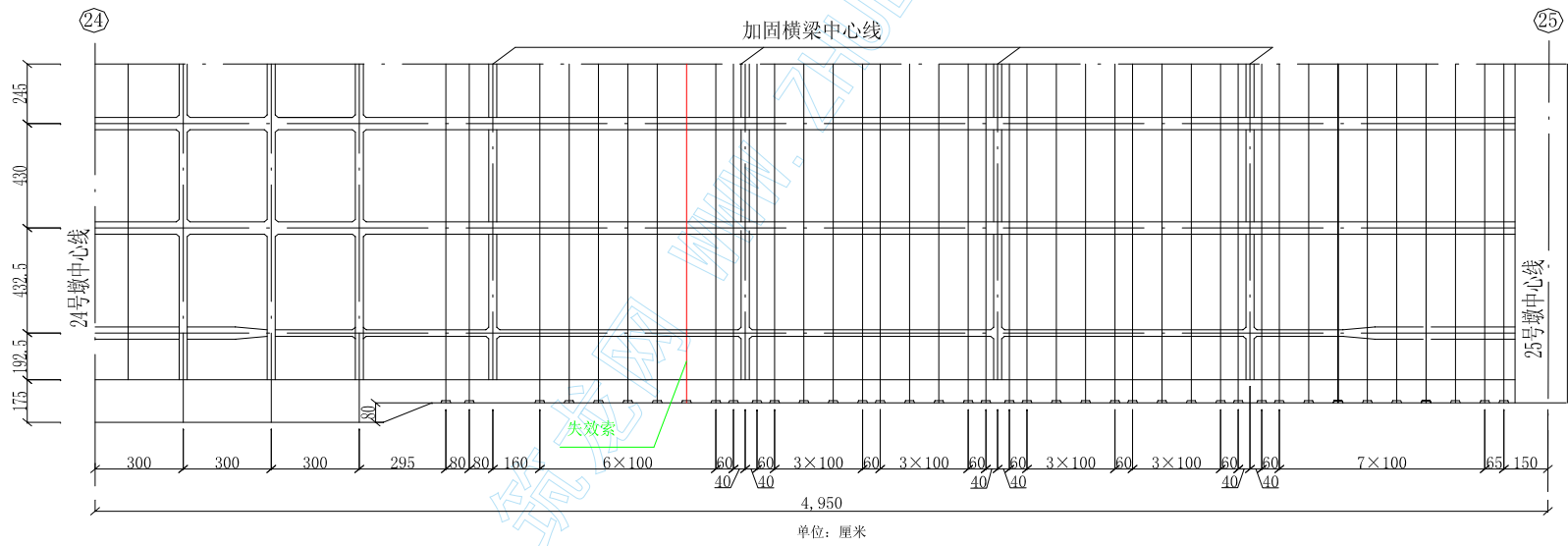


步骤三：再将新钢绞线束的另一端从桥中线回穿至箱梁右侧，安装锚具，张拉，灌浆，封锚。

附件一：横向体外预应力索总体布置示意图



横断面图



横向预应力索平面布置图