

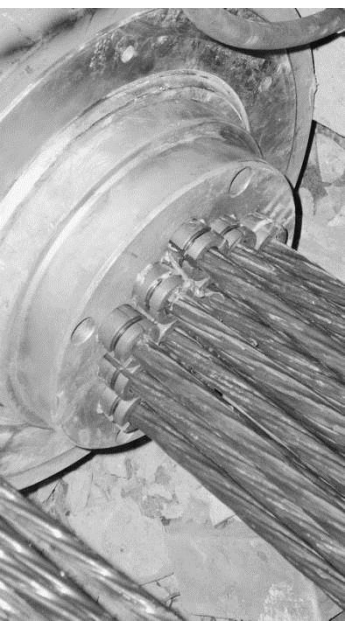
桥梁结构典型病害成因分析与加固



湖北省交通规划设计院
2013年10月 荆州

目录

- 湖北桥梁建设
- 常用桥梁结构与病害
- 混凝土梁桥常见病害成因
- 拱桥常见病害成因
- 下构及基础常见病害成因
- 桥梁灾害
- 工作特点
- 桥梁加固



一、湖北桥梁建设

- 地理特征
- 桥梁历史
- 在全国的地位
- 建设硕果
- 我们设计的桥梁



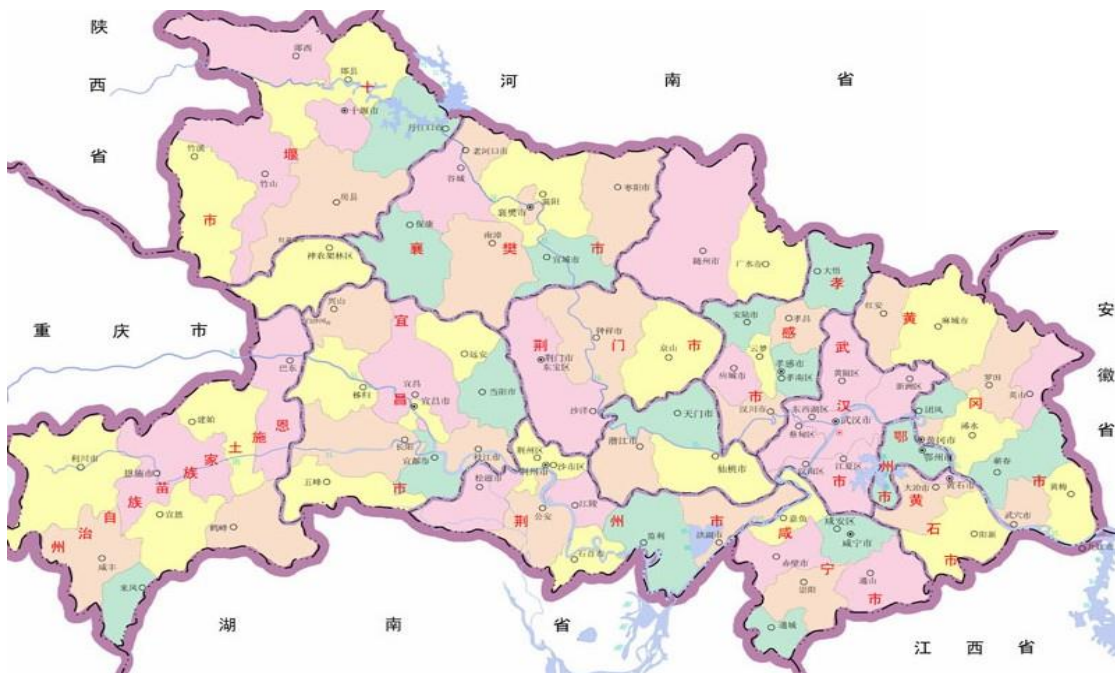
湖北桥梁建设

地理特征

- 1061km的长江横贯东西。
- 800km汉水蜿蜒南北。
- 鄂西多崇山峻岭、深山峡谷，423km清江。
- 东南部为江汉平原，纵横交错的河流和星罗棋布的湖泊。

独特的地理条件决定了湖

北省跨越江河山川的大跨径桥梁多、技术复杂的特点，使湖北成为享誉世界的桥梁“博物馆”。



湖北桥梁建设

桥梁历史

- 约3000年以前西周昭王时期，周人曾在汉江上架设过一座浮桥。
- 现存的古代桥梁有数百处之多，以砖石、砖木桥为主。
- 1949年前，湖北省共有桥梁1940座。

但绝大部分系临时砖木桥或石木桥，跨度小、宽度窄、荷载标准低，且多年失修、岌岌可危。

湖北桥梁建设

桥梁历史

- 改革前30年，建成一些简支梁、T型刚构和拱桥等跨径不大、道路等级较低的桥梁，同时集全国之力在长江上修建了2座公铁两用桥梁、汉江上修建了4座公路桥梁。
- 改革后30年，交通基础设施建设前所未有的高潮，造形各异的大桥，越长江、跨汉水、穿峡谷，将路桥、山水融为一体，构成纵横交错的现代交通网。仅长江就建起了20座特大桥，另外还有3座正在建设；与此同时，在千里汉江上建成了30座特大桥梁，全省仅建成的公路桥梁就多达24000余座。

湖北桥梁建设

在全国的地位

- 桥梁建设强省

“十二五”期间我省共规划建设**13**座长江大桥。伴随一座座大桥的成功建设。其建造能力在能力不断增强，一步步从桥梁大省走向桥梁强省。

- 完整的产业链

有特大桥自主设计、科研、检测、建设、管理等一流的桥梁建设队伍，形成了完整的产业链。经过**50**多年的发展，湖北桥梁产业产值已超过千亿，并逐渐成为湖北经济的支柱产业，使得武汉成为全国知名的建桥之都。

湖北桥梁建设

建设硕果

- 1954年修建中国长江上第一座大桥-武汉长江大桥。
- 1956年修建主跨87m的拱式钢桁架-江汉一桥。
- 1959年修建第一座钢筋混凝土大桥-黄陂城关大桥。
- 1964年修建钢筋混凝土悬臂梁桥-岱家山3号桥。
- 1978年修建预应力钢筋混凝土梁桥-江汉二桥。➤
- 1995年修建交通部门自主建造的第一座长江大桥-黄石长江大桥。➤

湖北桥梁建设

我们设计的桥梁

- 宜昌长江公路大桥 ➤

主跨960米的是当时国内第三大跨度钢箱梁悬桥。

- 荆州长江公路大桥 ➤

由PC斜拉桥主桥、两个姊妹塔PC斜拉桥以及预应力砼箱形连续梁桥三个桥段组成。主跨500米梁板式断面PC斜拉桥位居同类型桥梁国内第一、世界第二。

- 巴东长江公路大桥 ➤

斜拉桥，当时同类桥梁亚洲第一高塔，世界并列第二的纪录。

湖北桥梁建设

我们设计的桥梁

- 军山长江公路大桥 

斜拉桥，为G4和G50共用桥，桥面宽33.5米，是当时国内最宽的长江大桥。

- 阳逻长江公路大桥 

悬索桥，主跨1280米，是世界目前第八大悬索桥。

- 郧阳汉江公路大桥 

斜拉桥，是我国首座主跨突破400米的PC斜拉桥（主跨414米）。

湖北桥梁建设

我们设计的桥梁

- 荆岳长江公路大桥



斜拉桥，主跨816米，是世界第一大跨度高、低塔不对称混合梁斜拉桥。

- 鄂东长江公路大桥



斜拉桥，926米一跨过江，是世界第二大跨混合梁斜拉桥。



二、常用桥梁结构与病害

- 简支梁桥
- 连续梁桥
- 拱桥
- 悬索体系桥
- 弯桥



简支梁桥梁

特点

- 适用范围广，广泛采用。
- 施工简单快捷。
- 便于养护维修。
- 养护成本低。

- RC、PC空心板桥 ➤
- RC、PC T形、I形梁桥 ➤
- PC小箱梁桥 ➤



简支梁桥梁

常见病害

- 支座容易脱空。（空心板、小箱梁）
- 保护层厚度不均，容易引起露筋。（空心板、小箱梁）
- 容易导致梁下缘纵缝（PC T梁、小箱梁）
- 腹板、肋板容易产生竖向及斜向裂缝。
- 底板、马蹄（肋板）底面容易产生横向裂缝。
- 预应力封锚端混凝土容易脱落。
- 梁体支撑处局部混凝土容易劈裂。
- 露筋及混凝土常见病害。

连续梁桥梁

特点

- 适用范围广，广泛采用。
- 施工技术成熟。
- 便于养护维修。
- 养护维修成本较低。

- PC T形（先简支后连续）梁桥
- RC、PC现浇箱梁桥
- PC顶推箱梁桥
- PC悬浇箱梁桥
- PC大节段支架现浇箱梁



连续梁桥梁

常见病害

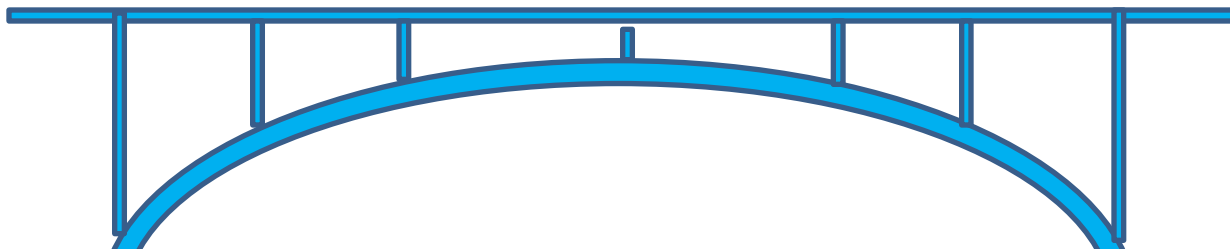
- 露筋及混凝土常见病害。
- 扁锚灌浆难以密实。（先简支后连续PC T）
- 预应力灌浆难以密实。
- 预应力容易损失。
- 梁体容易下挠。
- 节段缝容易张开。
- 底板容易产生纵横裂缝。
- 腹板容易产生竖缝及斜裂缝。
- 顶板容易产生纵向裂缝。
- 0号节段、合拢段混凝土质量病害。

拱桥

特点

- 适用大跨度。
- 施工技术成熟。
- 对地基有一定的要求。
- 钢管拱养护维修较困难。
- 养护维修成本较高。

- 钢管拱桥 ➤
- 桁架拱桥 ➤
- 刚架拱桥 ➤
- 箱形拱桥 ➤



拱桥

常见病害

- 露筋及混凝土常见病害。
- 钢筋混凝土桁架、刚架结构接头处容易产生裂缝。
- 钢管拱管内混凝土容易产生裂缝、断裂。
- 吊索及锚头容易锈蚀。（下承式、中承式）
- 横向联系偏薄弱，刚度储备不大，整体性较差。（桁架拱、刚架拱）
- 桥面系容易损坏。
- 横梁容易裂缝。（钢管拱桥）
- 钢材容易锈蚀。（钢管拱桥）

悬索体系桥梁

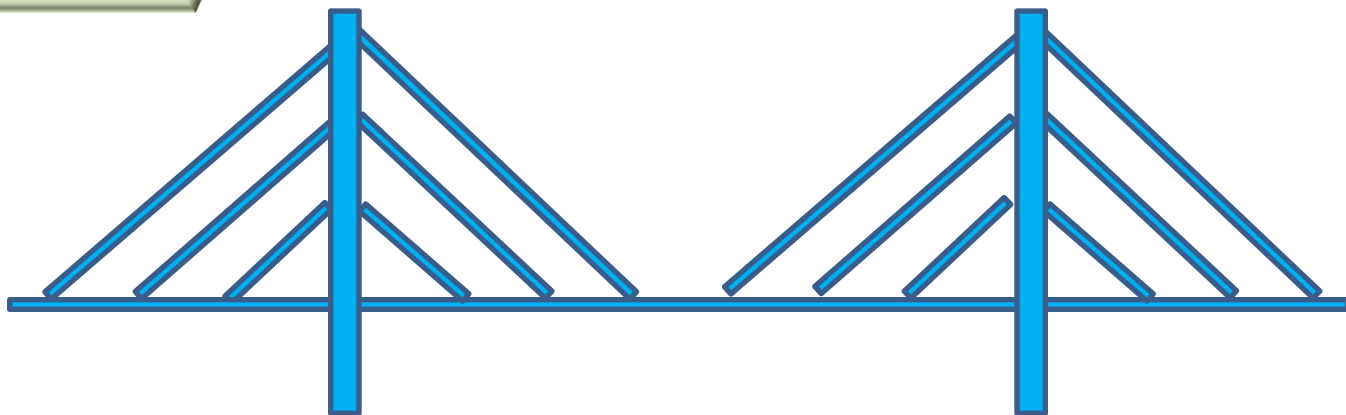
特点

- 适用超大跨度。
- 施工技术复杂。
- 基础庞大。
- 养护维修较困难。
- 养护维修成本高。

• 斜拉桥 ↷

• 悬索桥 ↷

• 斜拉与悬索的组合桥



悬索体系桥梁

常见病害

- 露筋及混凝土常见病害。
- 吊索、斜拉索及锚头容易锈蚀。
- 伸缩缝容易卡死、损坏。
- 横梁容易裂缝。（边主梁斜拉桥）
- 钢材容易锈蚀。（钢梁）
- 桥面系容易损坏。
- 塔身容易产生裂缝。
- 吊索、斜拉索索力大小稳定性较差，索力容易超载。

弯桥

特点

- 适用互通区的匝道桥、跨线桥。
- 一般为满堂支架预制。
- 曲率超高较大。
- 视距有时难以保证
- 养护维修成本较高。

- 钢弯桥
- 混凝土弯桥

弯桥

常见病害

- 伸缩缝容易卡死、失效。
- 支座设置不当。
- 支座的不均匀沉降。
- 梁体容易向外侧滑落。
- 梁体结构容易产生裂缝裂缝。
- 弯道内侧行车道积水。
- 弯道内侧视距不良。
- 弯桥上的设置不当广告。
- 弯桥侧翻。



三、混凝土梁桥常见病害成因

- 温度导致的桥梁病害
- 支座及伸缩缝失效导致的桥梁病害
- 弯桥病因
- 预应力失效导致的桥梁病害
- 工期不足导致的桥梁病害



温度导致的桥梁病害

某高速公路主线桥

- 桥长：190m。
- 上部结构：三跨一联预应力混凝土变截面连续箱梁。
- 桥孔：55+80+55m。
- 病害：2009年7月，发现梁体裂缝较多。



温度导致的桥梁病害

主要病害

- 底板
 - 斜裂缝以桥梁行车方向中心线为中心呈倒“八”字形分布。
 - 中心线附近区域纵向裂缝较多。
- 腹板
 - 斜裂缝则以桥梁跨中为中心线为中心呈“八”字形分布。
- 通风不畅
 - 梁体未设置通气孔。

温度导致的桥梁病害

病因分析

底板斜向裂缝比较少见，主要原因：

- 箱梁扭转

由箱梁扭转所引发，虽然箱梁强大的抗扭刚度，单独发生扭转的可能性小，但可能由于未能考虑弯剪扭共同作用而出现裂缝，其形态贯穿整个底板，有些还和腹板斜裂缝连通，形成空间螺旋形态。

- 应力集中

由底板齿板局部集中受力所至，其形态多在底板两侧，从单跨底板来看就是由两端支座向跨中形成两组倒八字。

腹板L/4区域斜裂缝在工程上较为常见，主要原因：

- 剪力过大

支座附近剪力过大，腹板厚度偏薄，抗剪能力不足。

- 竖向预应力损失

竖向预应力损失过大，造成腹板大量斜裂缝。

- 施工不当

悬臂施工中混凝土浇注顺序不当，由里向外浇注，造成弯曲裂缝的产生，使受剪面减小，剪应力急剧增大，主拉应力超过材料抗拉强度。

温度导致的桥梁病害

有限元模拟

- 模型：选取跨中共32m长度的梁进行仿真分析。
- 目的：验证箱室内外温差效应对结构的影响。
- 参数选取

热传导系数：0.00174W/mmK

线膨胀系数：0.00001

弹性模量：34500MPa

泊松比：0.2

- 计算工况

工况一：箱内比箱外温度高10度。

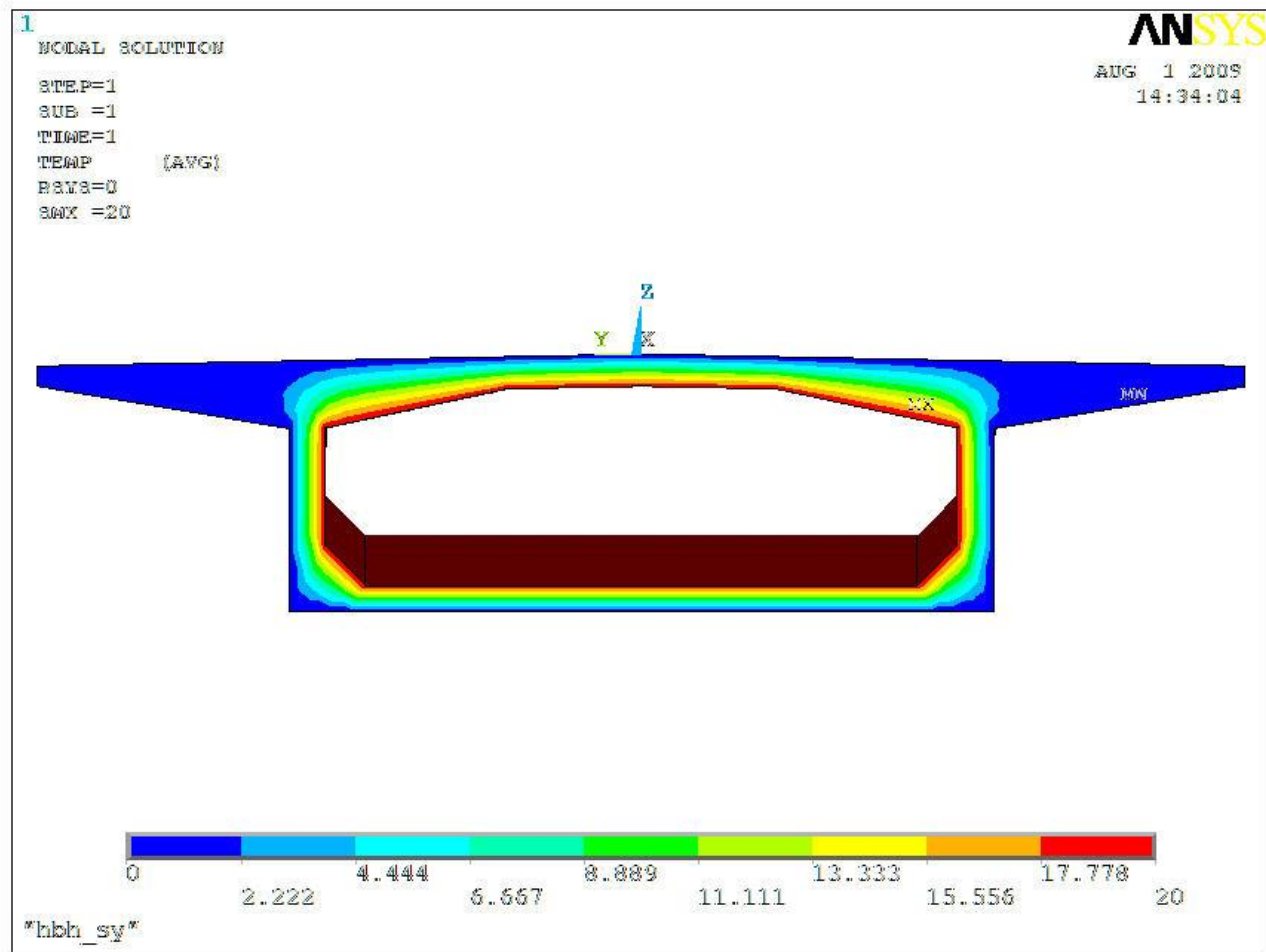
工况二：箱内比箱外温度高20度。

工况三：箱内比箱外温度低10度。



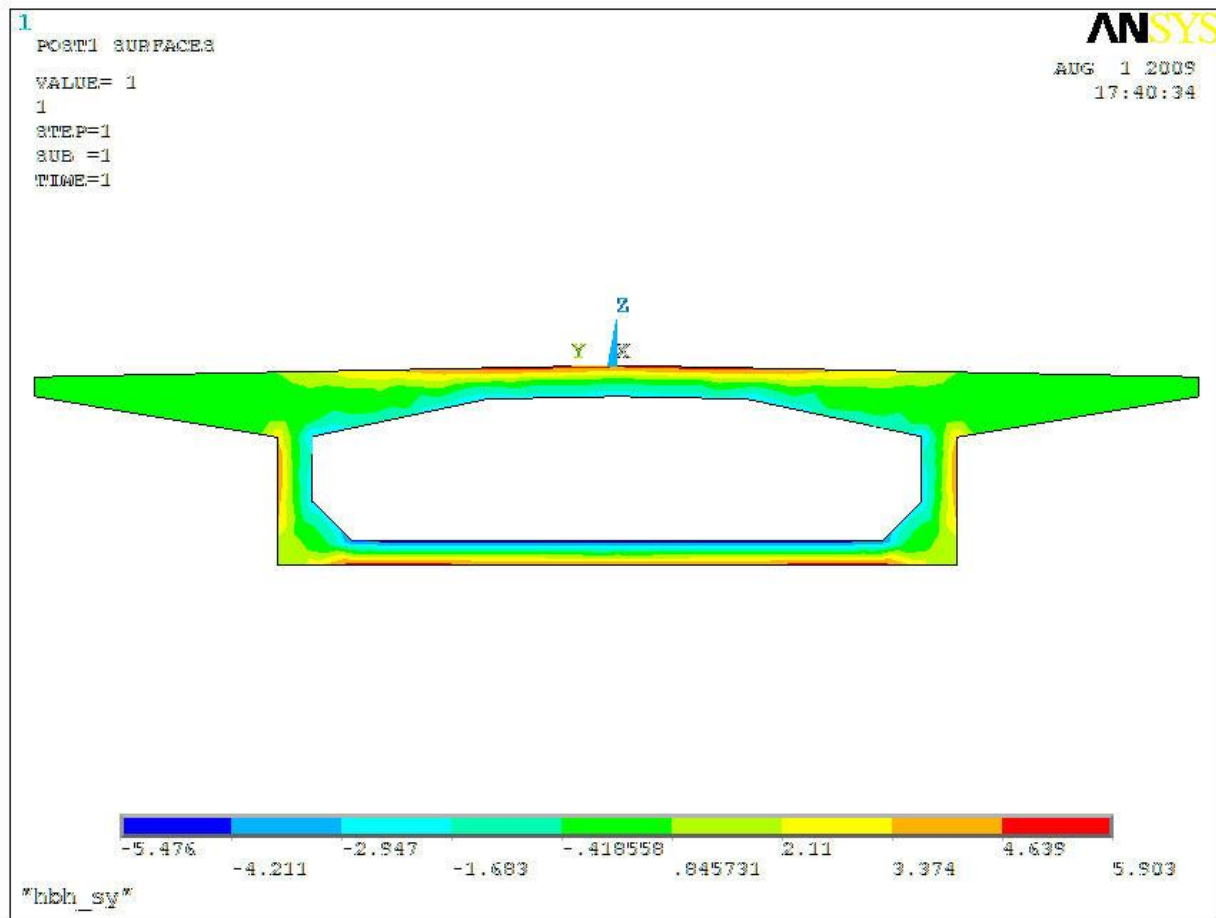
有限元模型

温度导致的桥梁病害



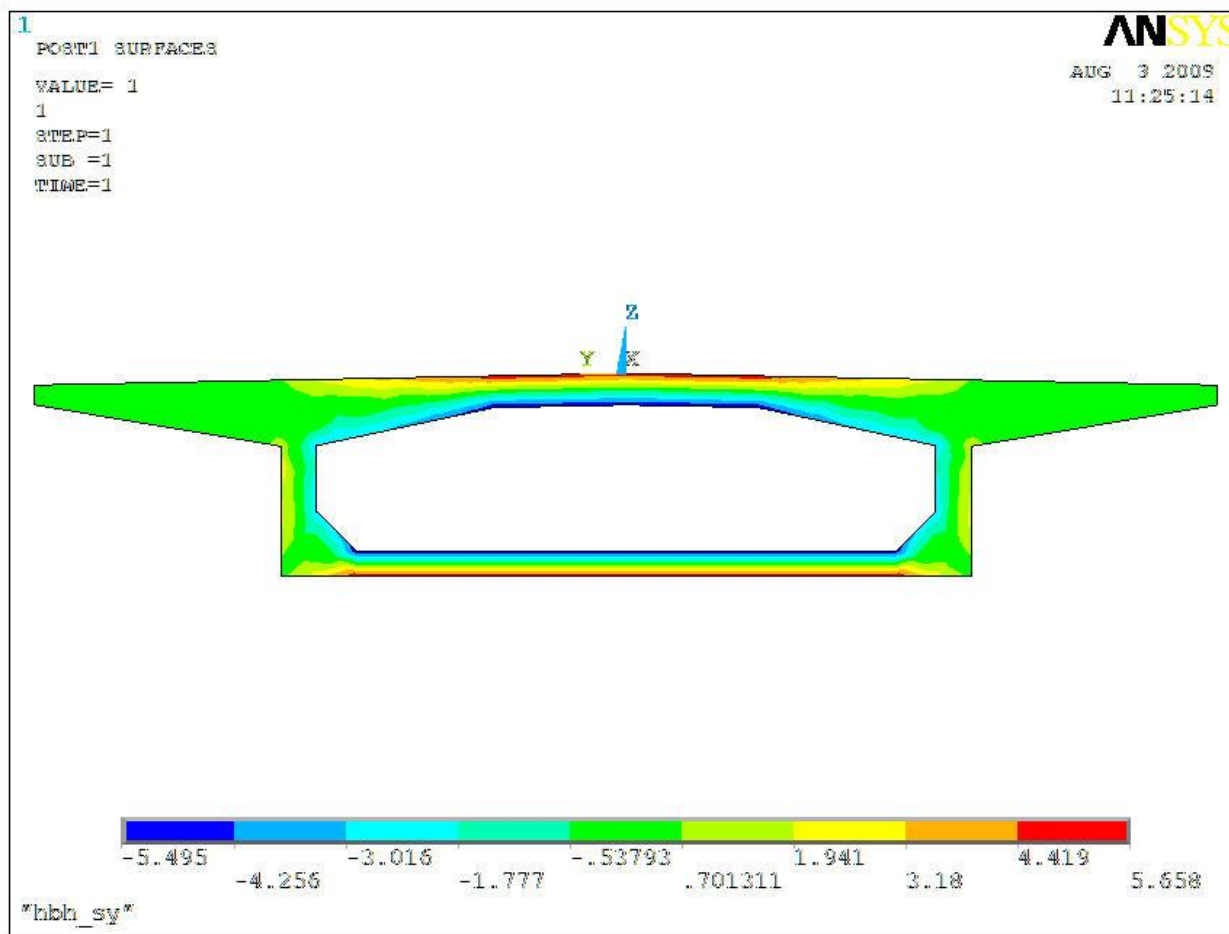
工况二温度场分布图

温度导致的桥梁病害



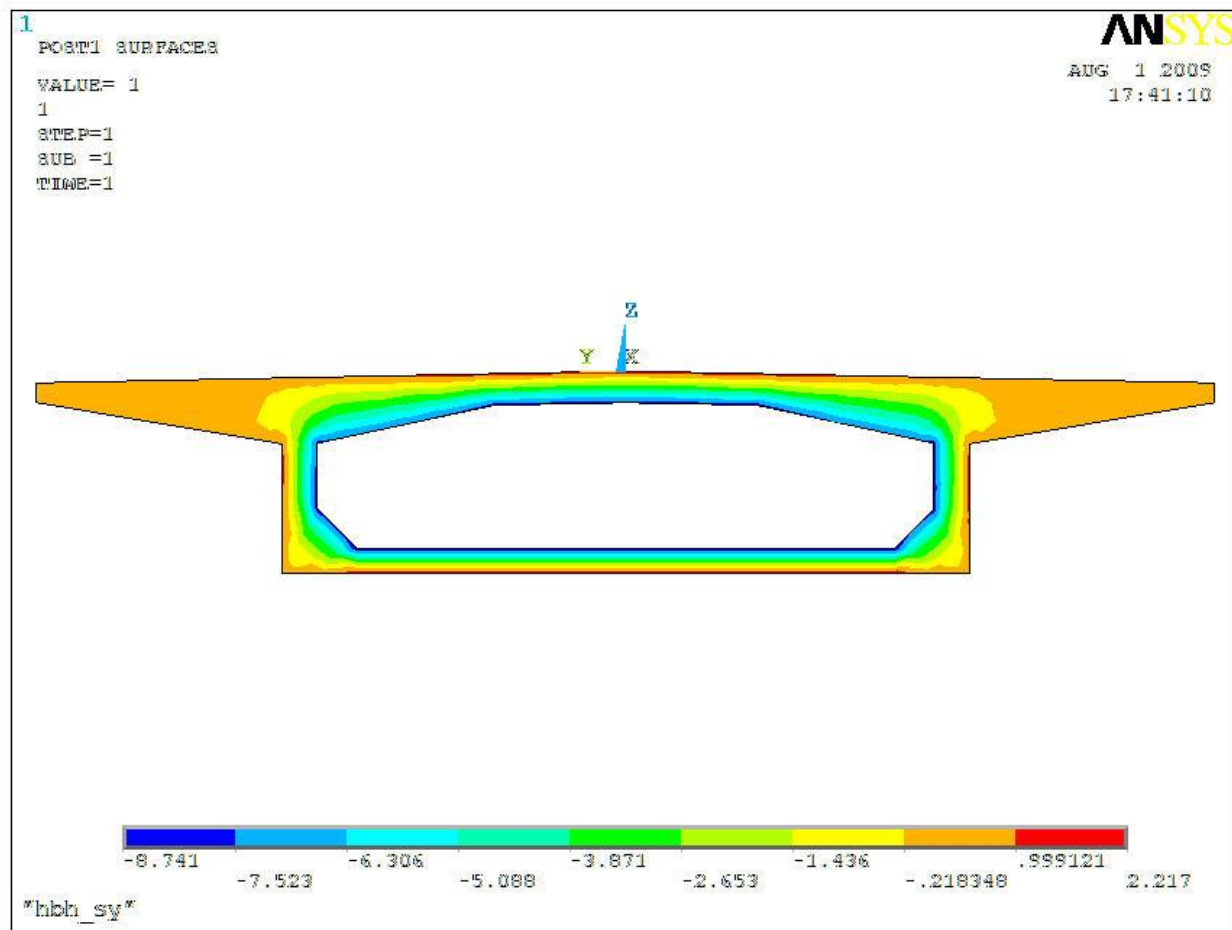
工况二分析

温度导致的桥梁病害



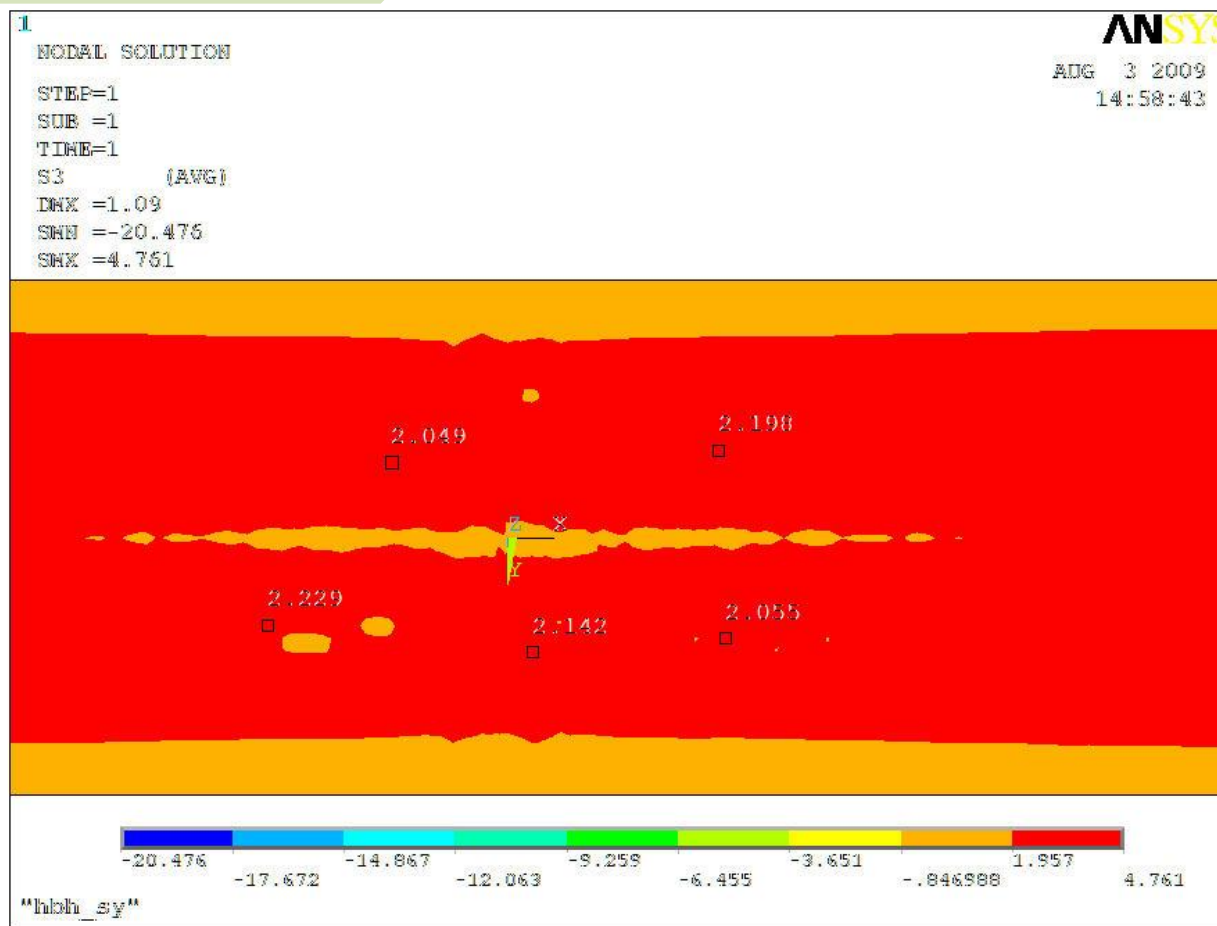
跨中截面Y向正应力云图（横桥向）

温度导致的桥梁病害



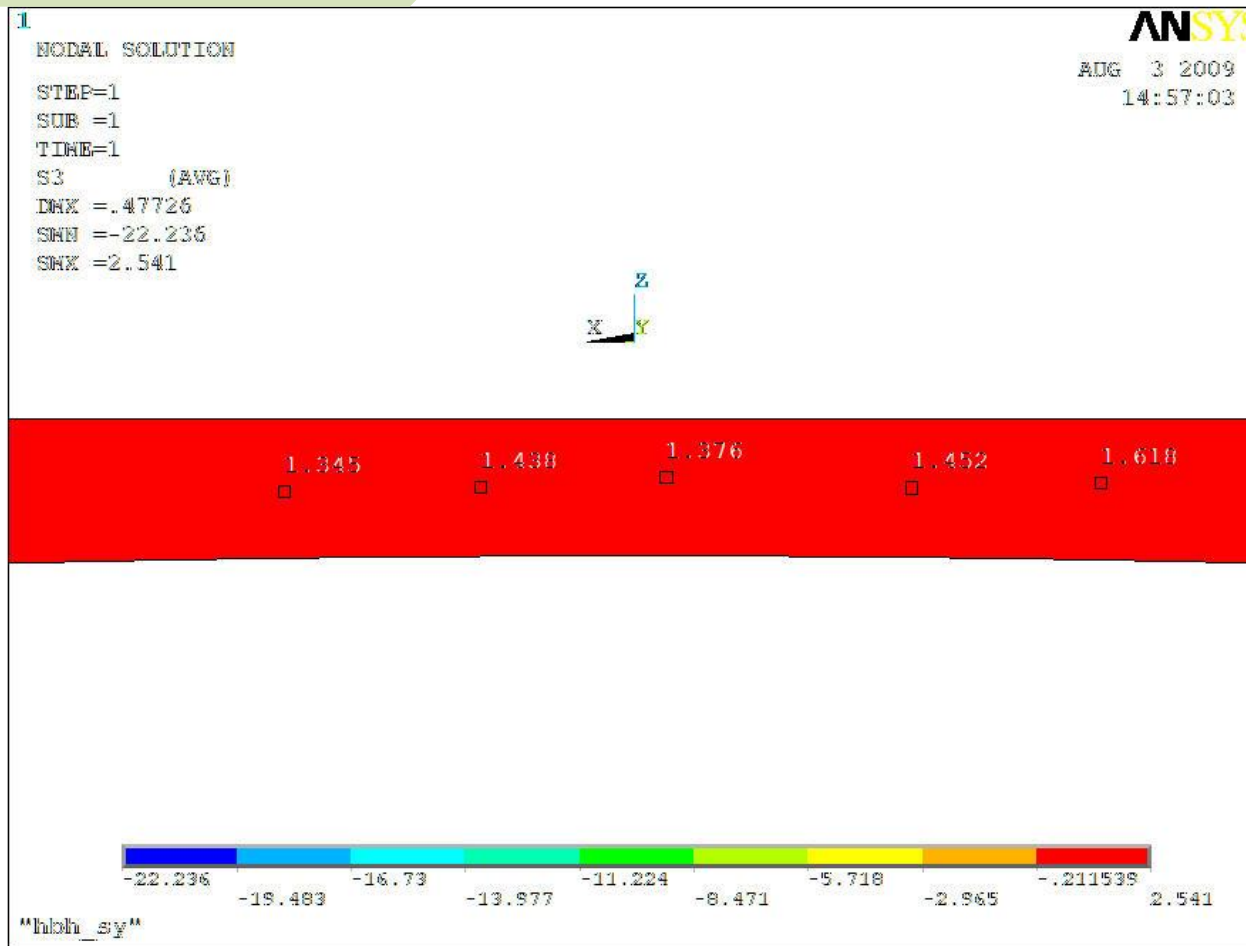
跨中截面主拉应力云图

温度导致的桥梁病害



底板外侧主拉应力云图

温度导致的桥梁病害



腹板外侧主拉应力云图

温度导致的桥梁病害

结论

- 在箱梁内温度高于箱梁外温度时，箱梁内侧受压，外侧受拉。
- 在腹板外侧有约1.7MPa的主拉应力，在底板外侧有约2.3MPa的主拉应力。
- 如果再加上恒载、活载、预应力对箱梁局部影响、砼收缩徐变、施工因素等综合作用，底板很容易产生纵向、斜向裂缝。
- 在L/4附近，加上砼箱室内外温差的效应，箱梁腹板也很容易产生斜裂缝。

温度导致的桥梁病害

箱梁开裂的原因

- 梁体未设置通气孔，箱梁内腔室完全封闭，箱梁内外表面温差应力较大。
- 节段悬浇施工周期相对较短，预应力损失及砼收缩徐变作用加大。据调查，当时节段预应力张拉前，箱梁砼的弹性模量未达标。
- 两幅桥裂缝数量差异较大，应与当时的各方面的施工因素有关。
- 有可能竖向预应力损失较多。
- 原规范对结构应力控制相对较松，设计对此方面观念的认识最近几年才逐步加强，对主拉应力还应控制的更严格一些，富裕度还不够大。

支座及伸缩缝失效导致的桥梁病害

某高速公路匝道桥

- 桥长：246m。
- 上部结构：三联等截面钢筋混凝土连续箱梁桥。
- 桥孔： $4 \times 20 + 4 \times 20 + 4 \times 20\text{m}$ 。
- 病害：2011年，梁体向弯道外侧偏移，最大偏移量12cm。



支座及伸缩缝失效导致的桥梁病害

桥梁病害

- 箱梁滑移

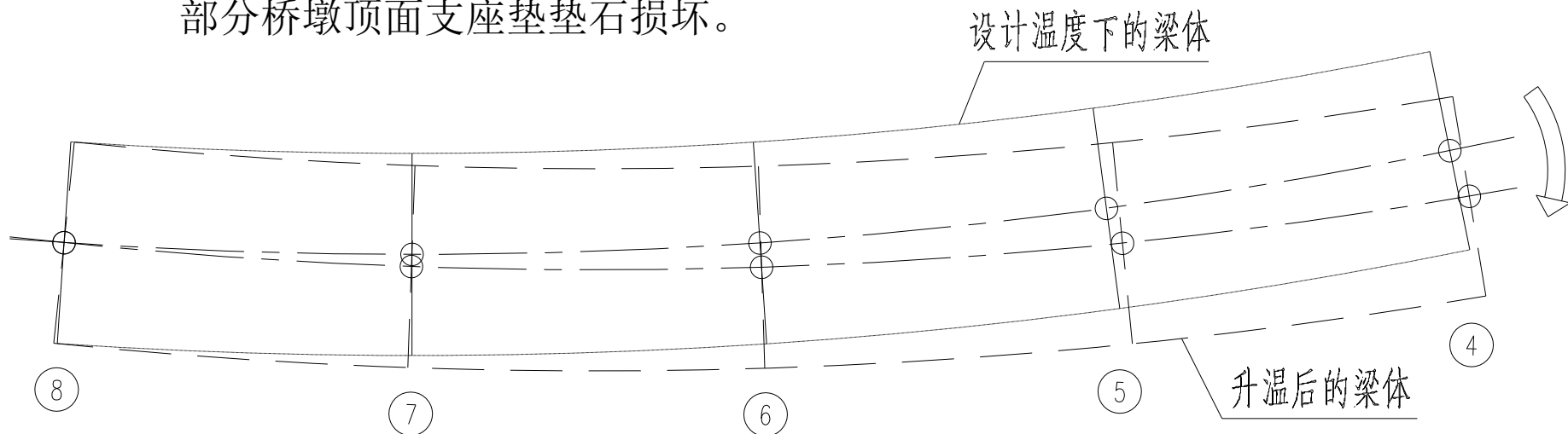
第二联箱梁出现梁墩横桥向不同程度的相对滑移，最大偏移量12cm。

- 限位装置、档块破裂

部分桥墩顶面砟位挡块和限位装置损坏。

- 垫石破坏

部分桥墩顶面支座垫垫石损坏。



支座及伸缩缝失效导致的桥梁病害

病害分析

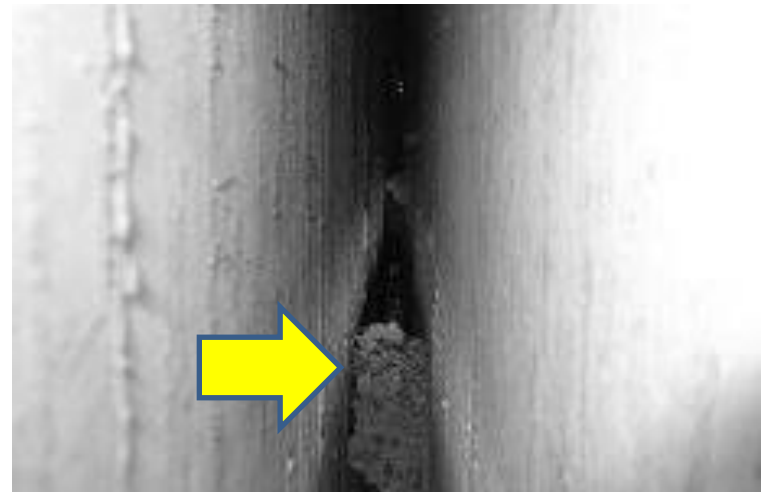
•梁端固结约束

4、8号墩设计为两联之间的活动墩，墩顶支座为GJZF₄400×600×81mm活动支座，梁端设计为自由伸缩状态；但现场检查发现，梁、墩之间存在锚固螺栓（每个支座四根），本来设计为自由伸缩的梁端被无故固结约束，完全不符合设计的梁体支承体系。

4号墩伸缩缝处夹杂混凝土



8号墩伸缩缝处夹杂混凝土



支座及伸缩缝失效导致的桥梁病害

病害分析

•温度影响

在升温影响下，曲线梁梁端既存在顺桥向伸长变形，又存在指向曲线外侧的横向膨胀变形（一般在板式支座剪切变形范围内）。

第二联由于以上两种水平变形趋势受到了4、8号墩的锚固螺栓约束，螺栓承受着巨大水平剪力，当锚固螺栓抗剪能力达到极限而率先与支座垫石剥离时（即梁墩固结约束突然解除）。

4号墩梁端顺桥向和横向两种水平变形趋势突然释放，因此第二联梁体只能向4号墩一侧伸长，导致该墩伸缩缝因伸缩量不足而损坏。

与此同时梁体以8号墩固结约束点为转点发生指向曲线外侧的转动位移，导致“从8号墩至4号墩，梁墩相对滑移量逐渐增大，且部分桥墩处梁体水平位移超限”的现象发生。

支座及伸缩缝失效导致的桥梁病害

4号墩的锚固螺栓变形



弯桥病因分析

病因分析

- 施工时残留的垃圾、砂浆、混凝土掉落在伸缩缝中，后期没有及时清除。
- 支座安装方向不对。
- 支座类型不对。
- 桥面泄水管堵死，排水不畅。
- 弯道内侧植物遮挡。
- 超载。
- 支座布置不合理，导致抗侧翻能力差。

预应力失效导致的桥梁病害

某高速公路主线桥（2007年）

- 桥长：778.74m。
- 上部结构：四孔一联变截面截面预应力砼连续箱梁桥。
- 桥孔：40+2×60+40m。
- 病害：腹板斜向裂缝，最大裂缝宽度为1.8mm；底板横向裂缝，最大裂缝宽度为0.4mm；节段缝张开；预应力损失严重，竖向预应力失效较多；刚度不足，主梁下挠5.3cm。



预应力失效导致的桥梁病害

病因分析

为了准确查找上述病因，首先对原设计进行复核计算。复核计算时所选用规范及标准与原设计保持一致。复核计算结果表明，箱梁截面正应力、主应力及活载挠度均在规范容许范围内。

根据检测报告及现场踏勘调查，发现该桥虽然运营时间不长，但外观缺陷较多。

- 灌浆不密实

箱梁部分节段间存在错台现象，箱梁内部部分预应力管道存在灌浆不密实的情况。

- 龄期不够

箱梁顶板上齿板裂缝较为普遍，表明在悬臂浇筑施工时混凝土的龄期不够，混凝土的质量不能满足技术要求。

- 预应力损失

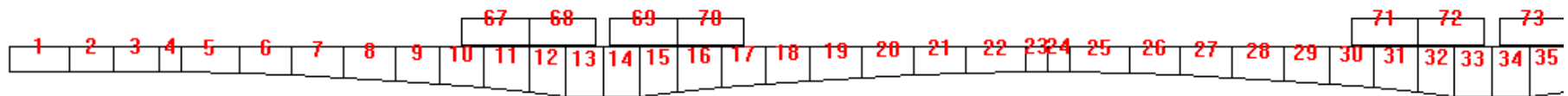
由于施工质量的原因，造成箱梁的预应力损失较大。竖向预应力损失偏大。

预应力失效导致的桥梁病害

有限元模拟

在原设计基础上，根据箱梁下挠及混凝土开裂情况，综合考虑箱梁实际运营状况检测报告结果，模拟顶板束和腹板束、底板束不同的纵向预应力损失比例，并对不同的损失比例进行组合计算分析，确定钢束在损失比例的工况下，结构响应最接近于箱梁实际运营的真实情况。

经计算，确定按顶板束预应力失效5%，腹板和底板束预应力各失效20%，竖向预应力失效50%组合来考虑。



有限元模型

预应力失效导致的桥梁病害

分析计算结果

- 跨中下缘拉应力达 -2.40MPa ，未达到全预应力构件要求。
- 主拉应力达 -2.40MPa ，接近于规范规定的主拉应力限值（ -2.70MPa ）。



预应力失效导致的桥梁病害

加固措施

- 施加体外预应力

采用箱内体外束（腹板体外束和底板体外束）对箱梁腹板、底板进行加固，以恢复结构由于病害而损失掉的预应力储备。

- 粘贴钢板及碳纤维

箱梁腹板及底板开裂，表明开裂区段由于纵向预应力失效等原因，产生超过混凝土容许的拉应力，仅对现有裂缝进行封闭不能提高该区段混凝土的抗拉能力，也不能阻止出现新的裂缝，必须对开裂区段进行补强。通过在构件受拉表面粘贴碳纤维或钢板提高混凝土抗拉能力。

预应力失效导致的桥梁病害

加固效果

- 应力状况

跨中下缘不再出现拉应力，并有1.20MPa储备。

主拉应力为0.0MPa，小于规范规定的主拉应力限值（-2.70MPa）。

混凝土最大压应力10.60MPa（限值21.00MPa）。

最大主压应力为13.80MPa（限值22.80MPa）。

以上加固效果均不超过50号混凝土的容许值，且有一定的安全储备，加固后箱梁应力状况良好。

预应力失效导致的桥梁病害



体外索张拉



体外索锚固

工期不足导致的桥梁病害

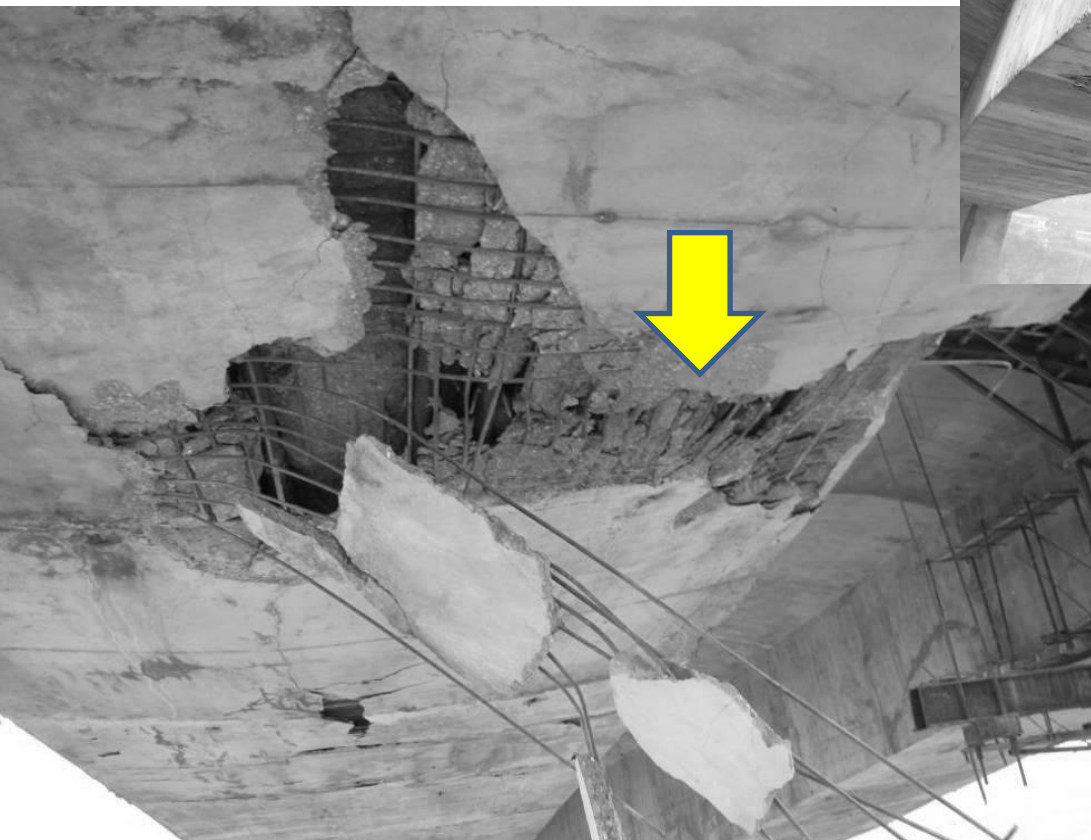
某高速公路主线桥（2007年）

- 桥长：841.00m。
- 上部结构：五孔一联变截面截面预应力砼连续箱梁桥。
- 桥孔：85+3×150+85m。
- 病害：底板下缘大面积露筋，预应力波纹管无定位钢筋，脱落，底板孔洞、空洞；腹板露筋、裂缝。



工期不足导致的桥梁病害

底板中心拉裂



底板边缘拉裂

工期不足导致的桥梁病害

节段缝拉裂

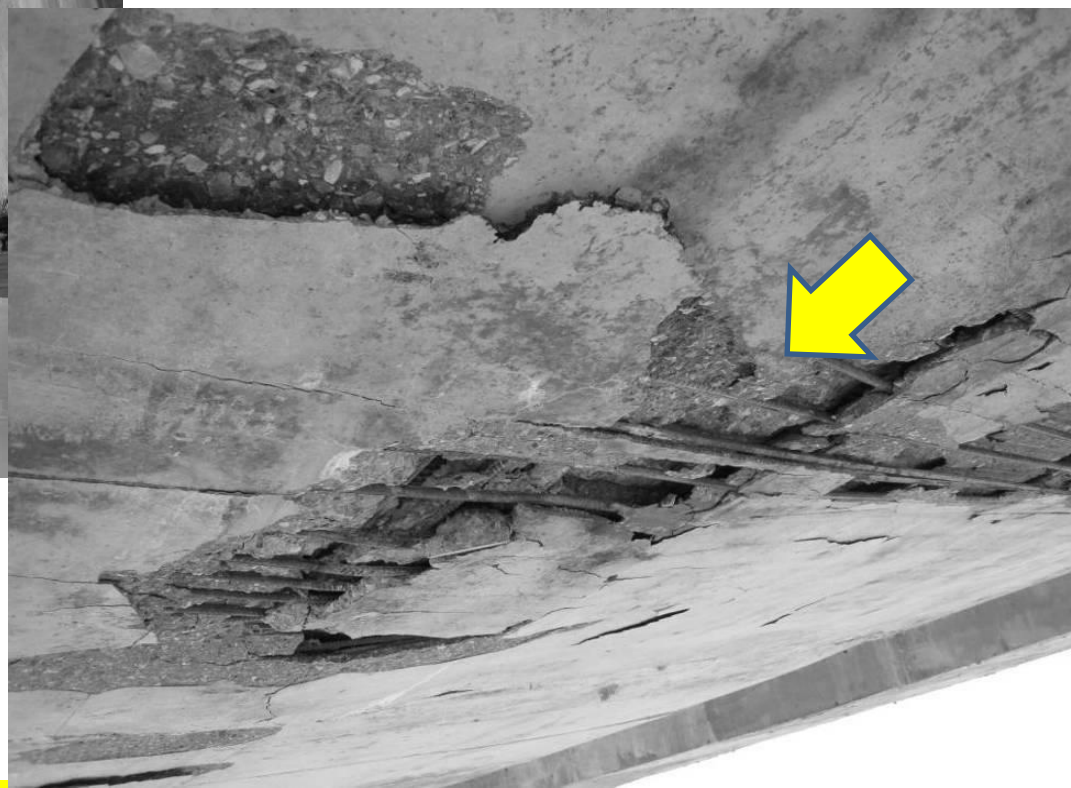


节段边缘拉裂

工期不足导致的桥梁病害



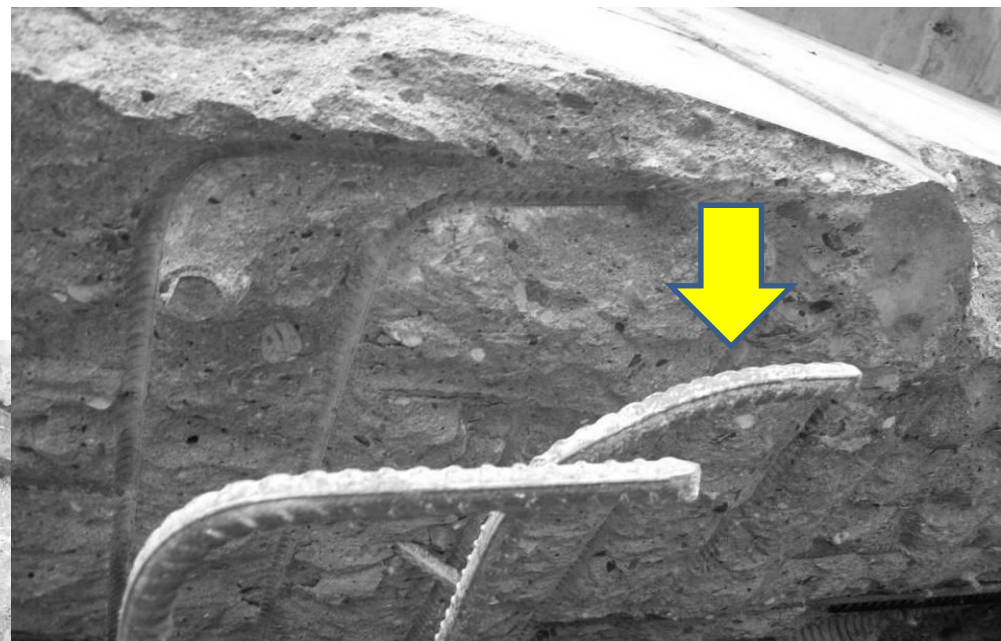
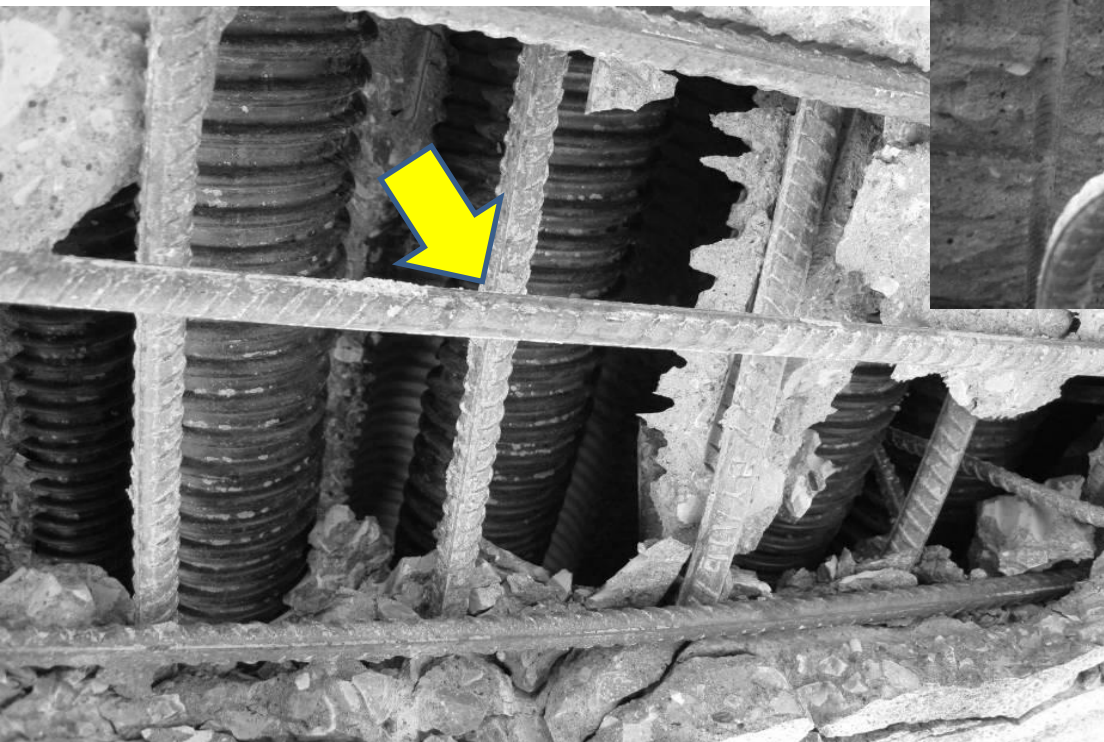
节段边缘拉裂



底板中心拉裂

工期不足导致的桥梁病害

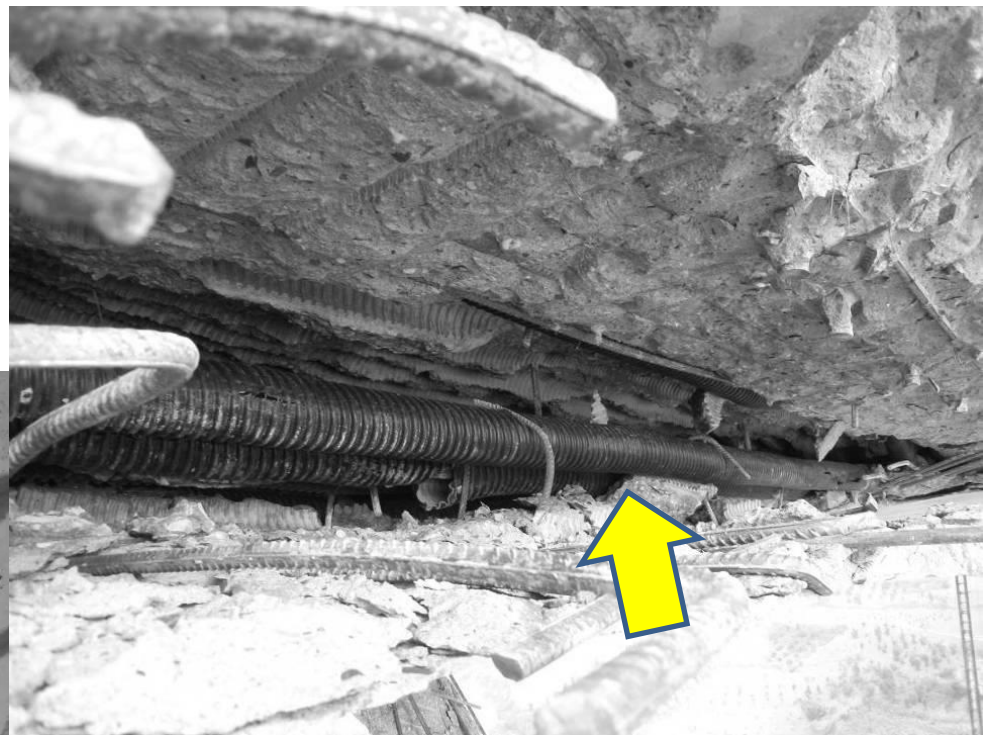
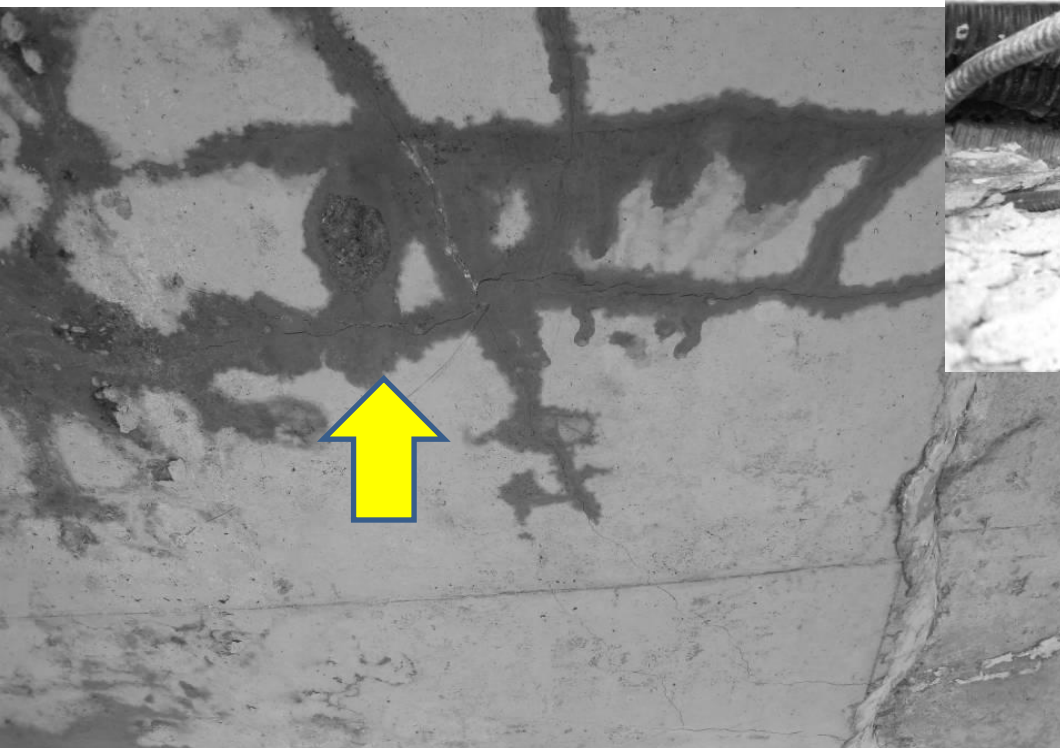
底层钢筋未绑扎



底板钢筋未与腹板钢筋焊接

工期不足导致的桥梁病害

底板裂缝渗水



底板波纹管脱落

工期不足导致的桥梁病害

病因分析

- 底板内未设置弯钩钢筋

底板内基本上无弯钩钢筋，底板内上下层钢筋网未形成整体。

- 底板内未设置波纹管定位钢筋

底板内未设置定位钢筋，致使波纹管线形未达到设计要求。

- 腹板底板钢筋未形成有效连接

底板上下层钢筋未要求弯起深入腹板内，与腹板钢筋焊接。

- 合拢张拉预应力索未按设计要求进行

对于连续刚构的施工，必须严格按照设计的施工顺序进行施工，否则，就不可能达到设计效果。

工期不足导致的桥梁病害

病因分析

- 施工工期不足

由于种种原因赶工，过早的通行施工车辆。

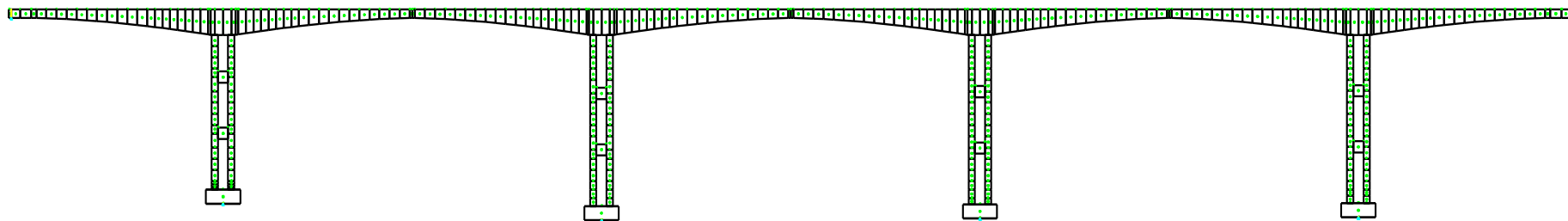
- 合拢温度偏差

合拢温度和设计的合拢温度不同，在施工中也没有采取相应的处理措施。

施工时的合拢温度为**28度**，而设计的合拢温度为**16度**。

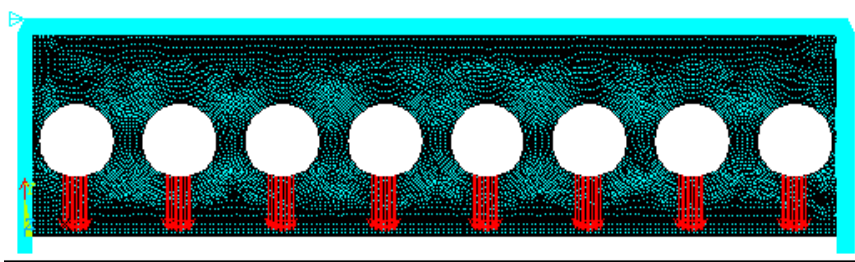
- 预应力径向拉力效应

跨中底板内未设置竖向的勾筋。

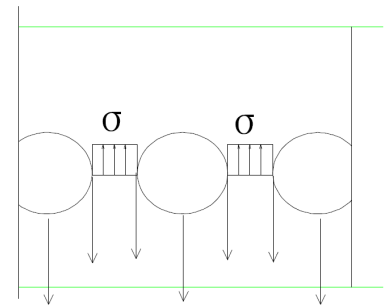
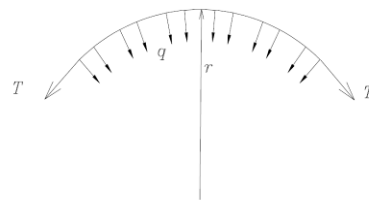
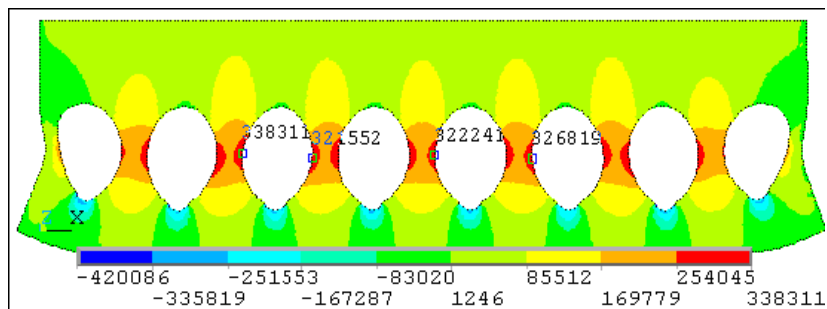


工期不足导致的桥梁病害

根据经典力学公式： $q=T/r$ $\sigma=T/(r*b)$ 考虑管道圆孔应力集中



计算模型



四、拱桥常见病害成因

- 刚架拱桥常见病害
- 钢管拱桥常见病害



刚架拱桥常见病害

某高速公路跨线桥（2011年）

- 桥长：55.72m。
- 上部结构：刚架拱桥（单孔三拱片）。
- 桥孔：40m。
- 病害：拱片跨中湿接头出现竖向裂缝，拱片底面出现横向裂缝，并与竖向裂缝相连呈两侧U形对称分布。部分结构钢筋外露锈蚀。



刚架拱桥常见病害

病因分析

- 焊接钢板锈蚀

实腹段跨中是焊接拼装处，对接的钢板锈蚀。

- 跨中构造相对薄弱

实腹段高度较小，拱片较薄，难以配置更多的钢筋。横向联系薄弱。

- 超载严重

最大弯矩出现在跨中，年限增长，车辆荷载增大，混凝土受拉形成结构裂缝。



刚架拱桥常见病害

桥梁附着广告



焊接钢板锈蚀

刚架拱桥常见病害

加固措施

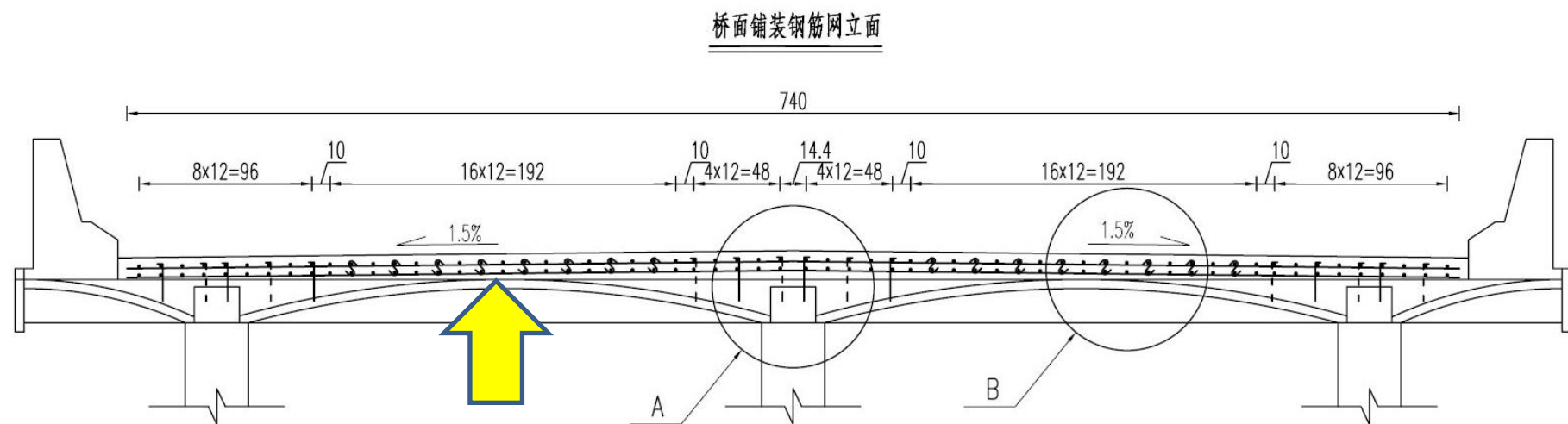
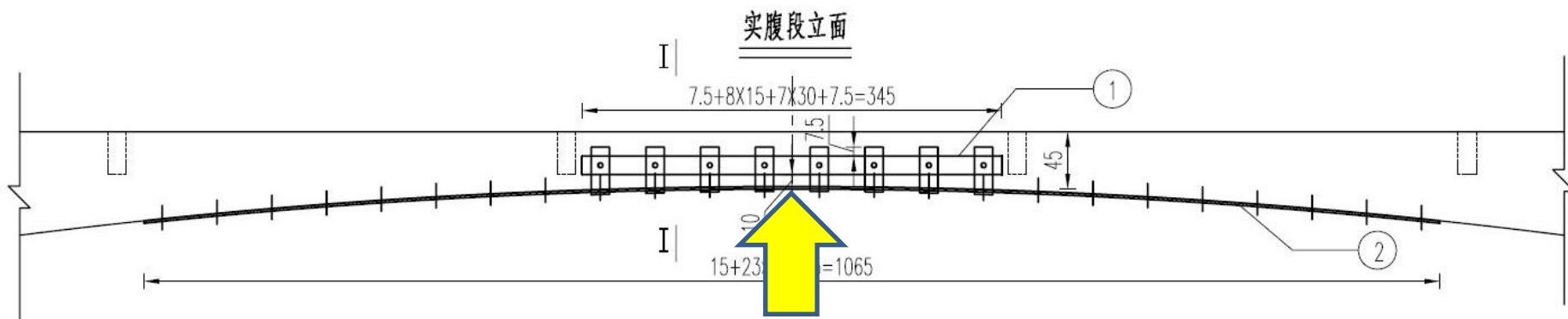
- 粘贴钢板

针对刚架拱结构受力特点及拱片U形裂缝分布情况，采用粘贴钢板（U形钢板）进行维修加固。

- 更换桥面铺装

考虑拱片横向联系薄弱，在刨铣掉原桥面铺装层混凝土之后，采用LC40陶粒混凝土新铺桥面铺装层（植筋及两层钢筋网）。

刚架拱桥常见病害



加固措施

钢管拱桥常见病害



某专用公路主线桥（2008年）

- 桥长：329.0m。
- 上部结构：中承式钢管拱桥。
- 桥孔：
48.3+114.0+48.3m。
- 病害：钢管拱混凝土收缩裂缝。吊杆锈蚀，锚头锈蚀。

钢管拱桥常见病害

病因分析

- 防护层老化

吊索是钢管拱桥的重要受力构件，由高强抗拉材料和耐腐蚀防护材料组成，平行高强钢丝是高强抗拉材料的一种。吊索使用了17年，已经超过了其使用寿命。

- 吊索疲劳

在车辆荷载作用，吊索随机振动。在恒载与车辆共同作用下，吊索的处在高应力状况，极易容易导致钢材（吊索）疲劳。

- 吊索锈蚀

一旦防护失效，空气中的氧气、二氧化碳及二氧化硫等物质不断溶解到水膜中去，促进了微电池反应，加快钢材（吊索）腐蚀速度。

钢管拱桥常见病害



钢管拱桥常见病害

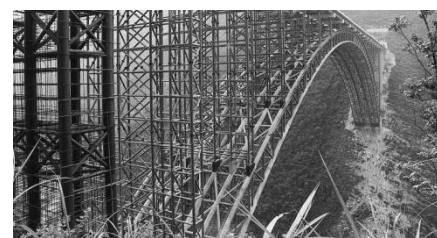
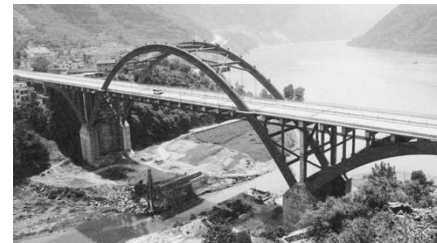
钢管拱的优势

钢管混凝土是一种承载能力高的三向应力混凝土，其结构性能优异，是具有良好的技术经济指标的复合结构材料，钢管混凝土是通过将微膨胀混凝土灌入钢管内振捣密实，并使两者共同受力工作的一种复合结构材料。混凝土在承受压力作用后，钢管径向约束混凝土横向变形，使混凝土处在三向压应力状态下工作，从而延缓了混凝土受压后内部微裂缝发展，大幅度提高了混凝土轴向抗压能力和变形性能。因此，钢管混凝土拱桥在大跨度拱桥上时有应用。

钢管拱桥常见病害

相关工程

- 1、莲沱大桥（中承式，三峡专用公路，主跨114m）
- 2、黄柏河特大桥（上承式，三峡专用公路，主跨160m）
- 3、下牢溪特大桥（中承式，三峡专用公路，主跨160m）
- 4、支井河大桥（上承式，G50，主跨430m）
- 5、小河大桥（上承式，G50，主跨338m）
- 6、晴川汉江大桥（下承式，城市道路，主跨303m）
- 7、长丰汉江大桥（中承式，城市快速路，主跨252m）



钢管拱桥常见病害

病因分析

- 内部构造的原因

由于拱圈采用悬拼连接施工，节段间的内法兰圈、加劲肋是拼接的关键部位，也是应力集中的地方。正是由于内法兰圈、加劲肋的存在，它们多少对钢管内灌注混凝土起到阻隔作用，易导致空洞、气泡、断裂等病害。

- 钢材料特性的原因

钢管混凝土由两种材料组成，由于钢材与混凝土的温度敏感性（线膨胀系数）相差较大，两种材料在温度变化较大时难以同步伸缩，易导致材料间的结合面脱离。

- 混凝土收缩

收缩、徐变是混凝土特性，完成大部分收缩、徐变至少需要十年的时间。在完成这些特性的过程中，容易导致钢管与混凝土的脱离。

五、下构及基础常见病害成因

- 桥梁下构常见病害
- 桥梁基础常见病害



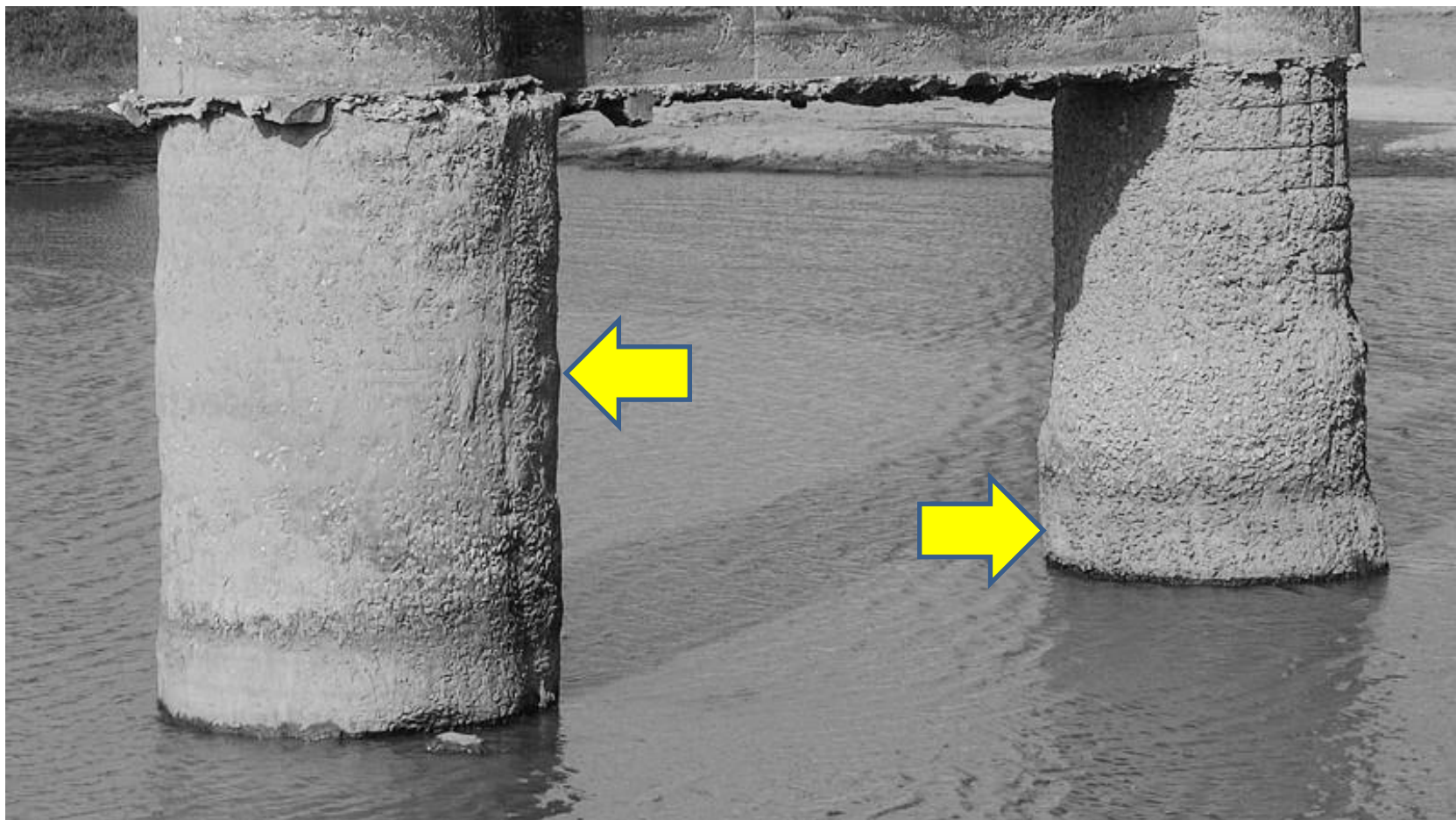
桥梁下构常见病害

某省道桥梁基础被掏空



桥梁下构常见病害

桥梁基础被掏空



桥梁下构常见病害

桥墩与基础接头处病害



桥梁下构常见病害

临近的铁路桥基础已经被加固



桥梁下构常见病害

病因分析

- 无序的挖取砂石料

随着域经济发展的需求，大量的无序的挖取砂石料，致使分叉段主河床较建桥时已下降了2至4米，导致原河槽的地下基桩外露，混凝土水蚀剥落及钢筋锈蚀严重。

- 后建的桥梁对已建的桥梁的影响

该桥通车已20年，由于铁路的发展，后建的铁路桥与该桥桥位太近，改变了该桥原有的天然河床的水力条件。

桥梁下构常见病害

加固方法

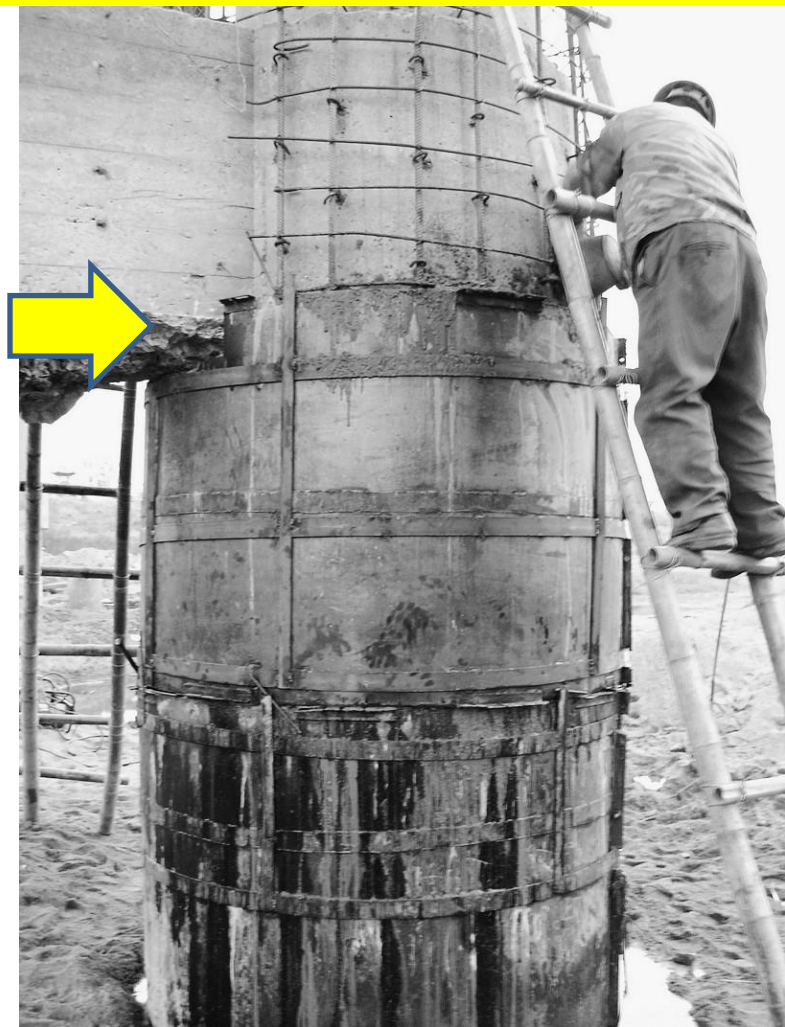
- 桥墩加固

在桩基与墩身的连接（桥墩横系梁上下）处新增钢筋混凝土护套，加强墩柱与桩基的连接。

- 基础加固

对于冲刷较深的几个桥墩桩基，利用环形布置的钢筋混凝土小型桩（ $D=50$ 厘米）挤压稳定桩基基础；在环形布置的钢筋混凝土小型桩内侧铺砌浆砌片，填充砂砾。从而形成由小型桩、砌浆砌片与砂砾共同组成的桥墩基础防护结构，抵抗河床的进一步冲刷下切。

桥梁下构常见病害



桥墩加固

桥梁下构常见病害

某高速公路桥梁基础被掏空



桥梁下构常见病害

墩身与桩基接头病害



桥梁下构常见病害

病因分析

- 河流冲淤不平衡

季节性河流，枯水季节基本无水，洪水季节泄洪。由于气候变化，改变了原有的规律，河流冲淤不平衡，冲刷得多，淤积得少。

- 人工活动

枯水季节围堰养鱼，改变了原有的河床条件。

- 无序的挖取砂石料

大量的无序的挖取砂石料，致使主河床高程下降，导致桥梁桩基外露，混凝土水蚀剥落及钢筋锈蚀严重。

桥梁下构常见病害

某国道桥梁地基与基础被掏空



桥梁下构常见病害

桥梁地基与基础被掏空



桥梁下构常见病害

病因分析

- 非法挖沙的影响

上河床非法挖砂，改变了原有河床高程。

- 上游水库的影响

上游水库人工干预蓄水、泄洪，改变了天然季节性条件。

- 实验坝的影响

上游水库人工实验坝的水力环境的模拟，破坏了下游的天然条件。

- 临近桥梁的影响

临近的高铁桥梁基础的影响。

致使桥墩桩基被不同程度淘空，最大河床掏空下切6.00米。

桥梁下构常见病害

加固措施

- 抛石护基

在桥墩周边抛石及石笼，形成一定范围的围堰，有一定的级配石料、砂石填充其内，形成一个具有一定高度的台状体，达到护基的目的。

- 墩身基础接合处加固

用植筋技术，设置钢筋混凝土箍梁，以此加强墩身基础接合处。

桥梁下构常见病害

某城市桥桥台倾斜、台身断裂及桥墩基础外露



桥梁下构常见病害

桥台前墙与侧墙断裂、前墙前倾基础下陷，桥墩基础外露



桥梁下构常见病害

桥台前墙与侧墙断裂、前墙前倾基础下陷



桥梁下构常见病害

病因分析

- 下游河床变化

桥址处下游20米就是河道的出口，下游河床下切较深，导致该桥河床下切。

- 人工渠化破坏

该桥跨越人工渠道，原渠道地的防护因多年失修，导致渠道破坏，改变了原设计状况。

- 高路堤土压力过大

桥头路堤高8米，土压力很大，重车作用时更是产生不利影响，导致桥台前墙与侧墙断裂，前墙基础下陷、前倾。

桥梁下构常见病害

加固措施

- 砂袋护基

抛砂袋护基，稳定桥墩基础。

- 增加人工调治物

新增挡水墙，模拟原设计的水力条件，减少河床冲刷。

- 新增钢筋混凝土套箍

新增钢筋混凝土套箍恢复与加强桩基及桥墩的连接。

- 新增钢筋混凝土U形横梁

新增钢筋混凝土U形横梁恢复与加强桥台台身的整体性。

桥梁下构常见病害

加固措施

- 台身圬工灌浆

台身圬工灌浆，填充裂缝，防止台后水土流失。

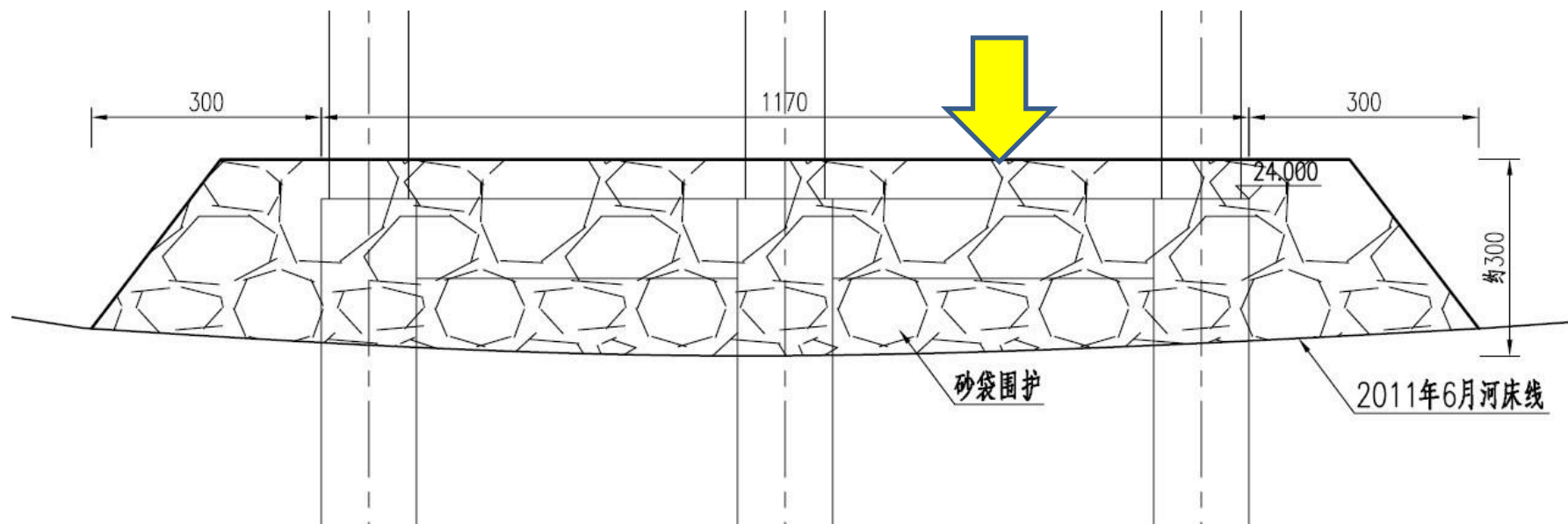
- 桥台基础灌浆

对掏空的桥台基础进行灌浆，密实地基，稳定基础。

- 台后填土灌浆

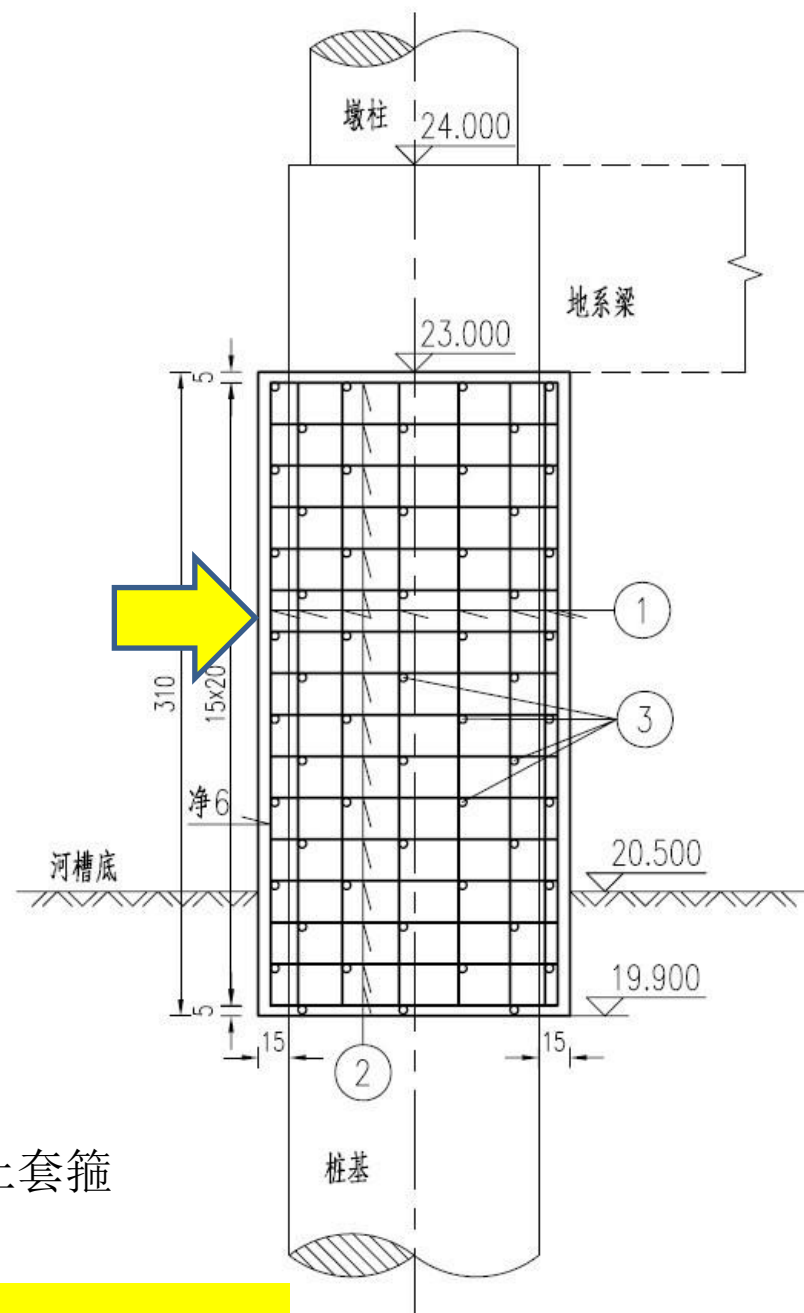
台后填土灌浆，密实其填土，减少土压力，减少后水土流失。

桥梁下构常见病害



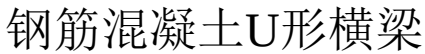
砂袋护基

桥梁下构常见病害



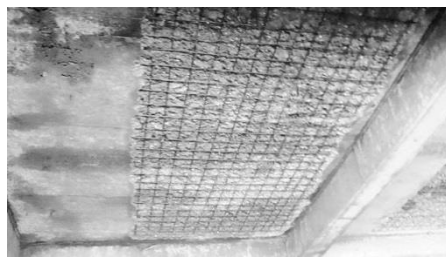
钢筋混凝土套箍

桥梁下构常见病害



六、桥梁灾害

- 船舶撞击
- 桥梁火灾
- 车辆撞击
- 教训



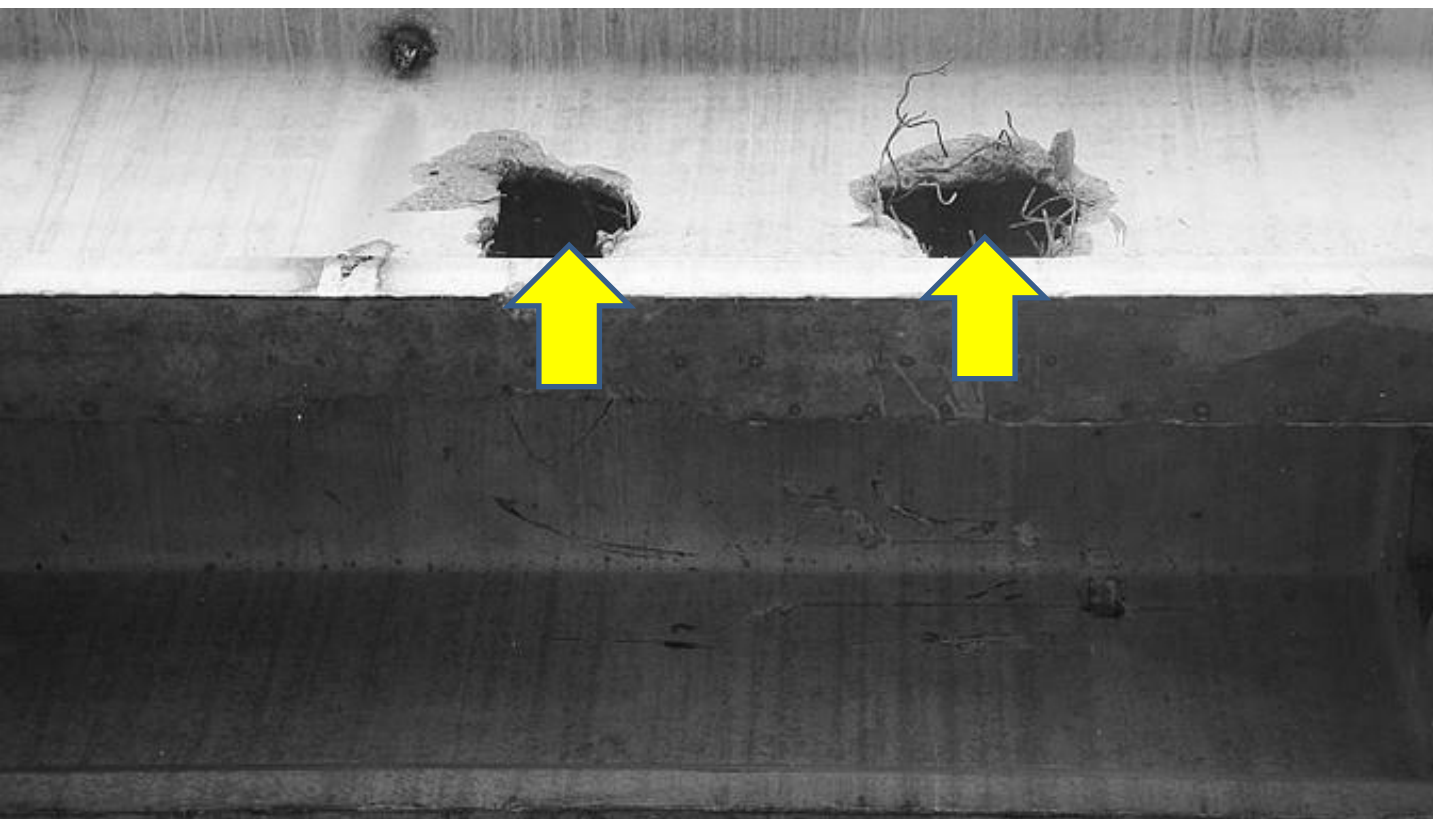
船舶撞击



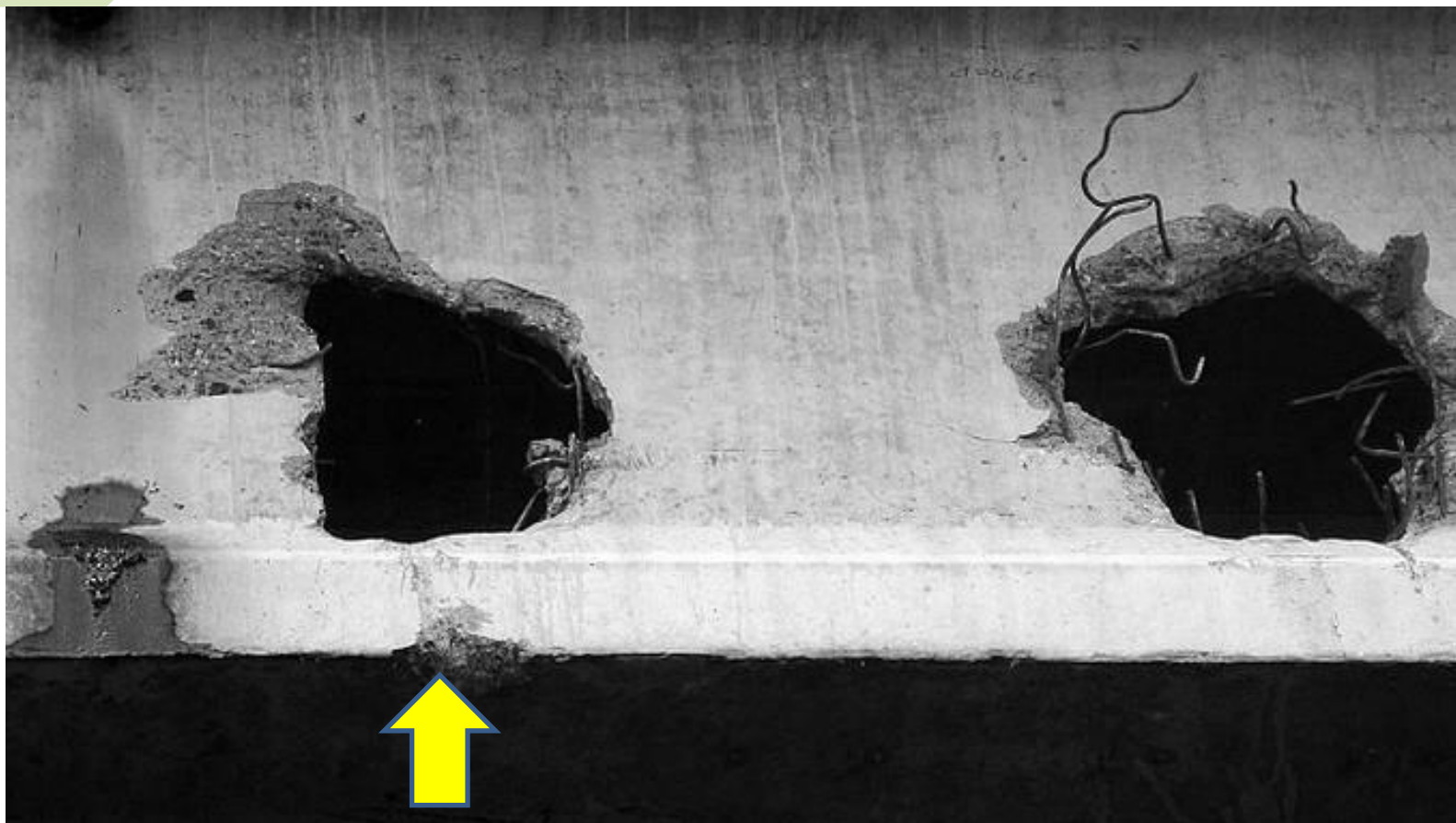
- 桥名：某省道高速公路桥梁
- 时间：2010年
- 灾害：船舶撞击桥梁
- 病害：主梁严重损伤

船舶撞击

PC T梁肋板被船撞击两个大窟窿，钢筋撞断，混凝土裂缝。



船舶撞击



PC T梁马蒂被船舶撞击断裂

船舶撞击

灾害分析

- 事故是由一艘3000吨级散装货船皮带传输机直接撞击而造成的，撞击对桥梁产生了严重的损伤。
- 在船舶撞击作用下，通航孔1号梁、2号梁均受到了严重的损伤，其中1号梁直接损伤长度为3.04m，并有大面积空洞及波纹管外露，承载能力大大降低，已处于危险状态。
- 在船舶撞击作用下，通航孔墩顶梁体产生了轻微滑移，造成上游侧盖梁挡块受损开裂。
- 桥墩有明显的撞痕，并有小面积损伤。
- 直接原因系船主违规行驶，海事人员管理不善。

船舶撞击

教训

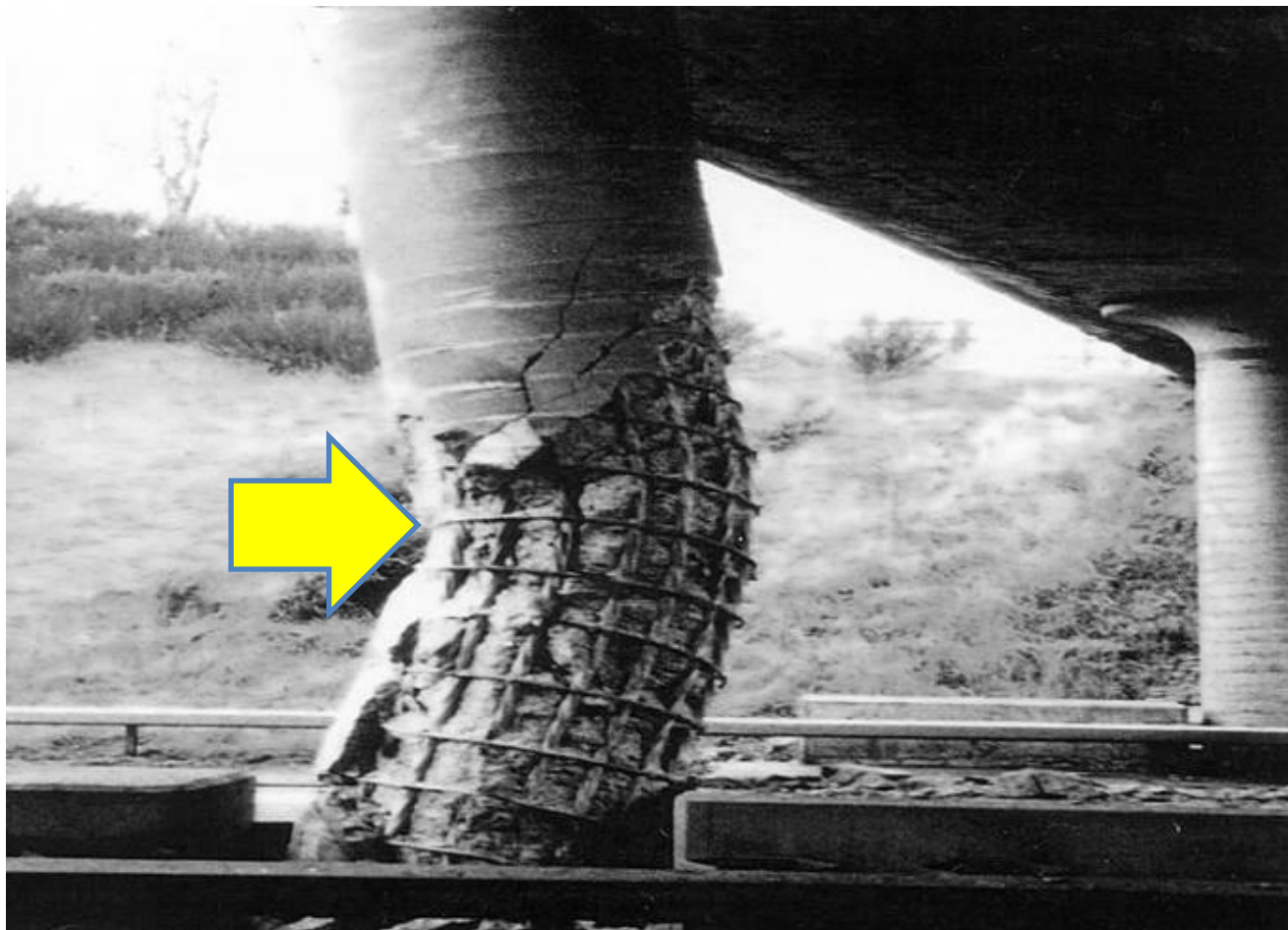
- 为避免以后发生类似事件，对通航孔设置警示及限航标志，并对桥墩做防撞保护。
- 海事应加强规范化管理。



车辆撞击

原因

- 未设置有效的护栏或防护设施。
- 桥墩侵占行车空间。
- 视距不良。



桥梁火灾

- 桥名：某国道高速公路跨线桥
- 时间：2012年
- 灾害：火毁桥梁
- 病害：桥梁上下构严重损伤



桥梁火灾

桥梁火灾鉴定标准

- 《火灾后建筑结构鉴定标准》（CECS 252:2009）中国工程建设协会。

根据火灾对结构物的破坏程度给出了4个等级。

I级：轻微烧灼作用。

II级：轻度灼伤，未产生明显影响，不影响安全使用。

III级：中度灼伤，明显变形或开裂，影响安全使用，应加固或局部更换。

IV级：破坏，结构倒塌或构件塌落；结构严重变形损坏或开裂损坏，承载能力丧失，危及结构安全，必须或立即采取安全支护、彻底加固或拆除更换措施。

- 《火灾后混凝土构件评定标准》（DBJ08-219-96）

桥梁火灾

火灾分析

- 混凝土保护层剥落、露筋

现场温度逐渐升高后，混凝土毛细孔中游离水大量蒸发，水泥石膨胀和骨料变形差异增大，然后水泥石中的氢氧化钙等水化物脱水分解，导致水泥石结构破坏，水泥石与骨料之间的粘结丧失，保护层逐渐剥落。

- 钢筋剥离、下垂

主要是因为混凝土保护层剥落以后，钢筋直接受火场烘烤，钢筋与混凝土之间的变形差异加剧，在重力作用下与梁体剥离；横向钢筋下垂主要是因为横向钢筋保护层完全脱落后，与纵向钢筋之间的扎丝在火场直接烘烤作用下烧断，横向钢筋在重力作用下下垂。

桥梁火灾

- 支座橡胶变形老化

主要是因为橡胶着火点较低（**130度**），现场火灾时温度已远超此温度。

- 梁体熏黑

主要是被现场燃烧物不完全燃烧所产生的碳黑产物覆盖所致。

教训

- 主线下穿桥梁处，尽量少设置或不设置路基边沟，如实在需要应该改上钢筋混凝土盖板。
- 遇火灾时，严禁用氧割机解体施救。

桥梁火灾

火灾后的箱梁底板



火灾后的箱梁与桥墩

桥梁火灾

桥梁熏黑



火灾后的桥墩



七、工作特点



工作特点

- 资金来源紧张

目前，省道国道公路桥梁维修加固的资金来源主要还是依靠交通运输部及各级政府财政年度拨款。这种拨款的政策最大的特点就是，上级“补助”+地方“匹配”=维修资金。这种政策导致维修加固工程费用不足。

补助+匹配=维修资金



工作特点

- 风险性大

由于历史原因，很多老桥没有完整档案，甚至根本就没有设计施工图，可追溯性差，再加上当时施工条件、工艺的限制，使很多桥隧在建设初期就注定是一个先天不足的构造物。一旦我们涉及到这些带有病害的构造物后，这种历史性的责任与风险就自然转嫁到我们的身上。

- 可追溯性差

桥梁维修加固更多的依赖于原项目的背景资料（如：原设计文件、竣工图、检测、试验资料和营运情况等），依赖于原项目的施工质量，以及地质及地质灾害资料。由于种种原因，很多项目没有完备的基础性资料和数据，有的项目甚至根本就没有任何相关的技术文档，这就为后续的维修加固工作带来了不确定性、风险性。

工作特点

- 滞后性

目前公路维修加固使用的规范标准（推荐、借鉴、验证、参照）：

- 《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21-2011）
- 《公路桥梁加固设计规范》（JTG/T J22-2008）
- 《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23-2008）
- 《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50-2011）

- 不确定性

桥梁维修加固就是最大限度的恢复原设计所达到的功能，由于种种原因并不能保证“一劳永逸”。

- 责任性大

从事桥梁维修养护的工程及人员及管理人员肩负着生命财产安全的重大责任。

八、桥梁加固

- 相关的规范、标准及制度
- 桥涵养护与桥梁（涵）加固
- 桥梁加固方法
- 桥梁加固材料
- 新材料的运用



桥梁加固

相关的规范、标准及制度

- 《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21-2011）
- 《公路桥梁加固设计规范》（JTG/T J22-2008）
- 《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23-2008）
- 《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50-2011）
- 《公路桥涵养护规范》（JTG H11-2004）
- 《公路养护安全作业规程》（JTG H30-2004）
- 《公路桥梁养护管理工作制度》（交通运输部 2007）
- 《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367-2006）

桥梁加固

桥涵养护与桥梁（涵）加固

- 桥涵养护

为了保持桥涵及其附属物的正常使用而进行的经常性保养及维修作业；预防和修复桥涵的灾难性的损坏及为了提高桥涵使用质量和服务水平而进行的改造。

特点：对象-桥涵及附属物。

时间-经常性、灾害后。

目的-保证正常使用、提高服务水平。

方法-保养、维修、修复及预防。

桥梁加固

- 桥梁（涵）加固

就是对桥梁（涵）的主要承重结构、构件及相关部分采取增强、局部更换或调整其内力等措施，使其满足现行设计规范要求。（加固设计规范）

当桥梁（涵）构造物局部损坏或承载能力不足时进行的修复和补强工程措施。（养护规范）

特点：对象-桥涵及附属物。

时间-根据需要、灾害后。

目的-恢复。

方法-维修、加固及更换。

桥梁加固

桥梁加固方法

- 按照结构受力的特性分

主动加固法：改变结构体系、施加预应力（不经常使用）。

被动加固法：增大截面，粘贴钢板、碳纤维等（经常使用）。

- 两者区别

加固手段不一样，主要表现在：

主动加固法新老结构（构件）共同受力。

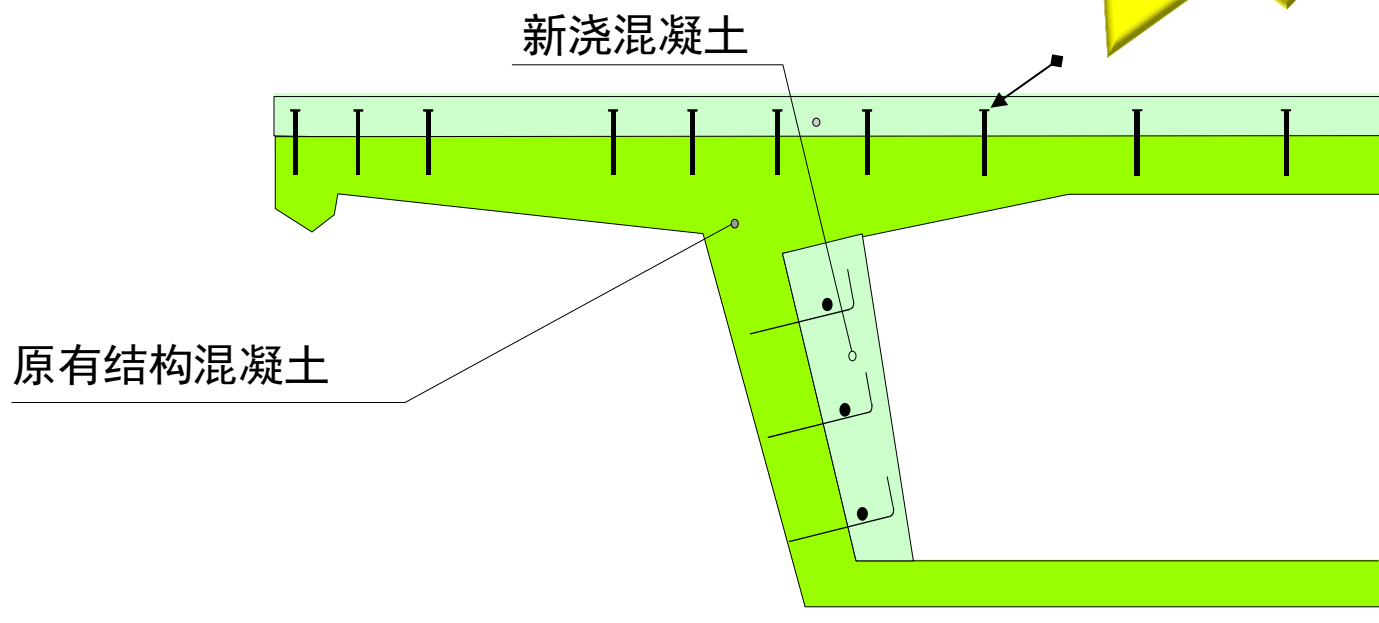
被动加固法新老结构（构件）受力的滞后性。

- 在什么情况下才采用主动加固

在被动加固手段不能解决问题（病害）的时候，才会用主动加固法。在加固工程中有时会采用综合法（主动+被动）。

桥梁加固

被动加固法



增大主梁有效高度和抗压截面，提高承载力。

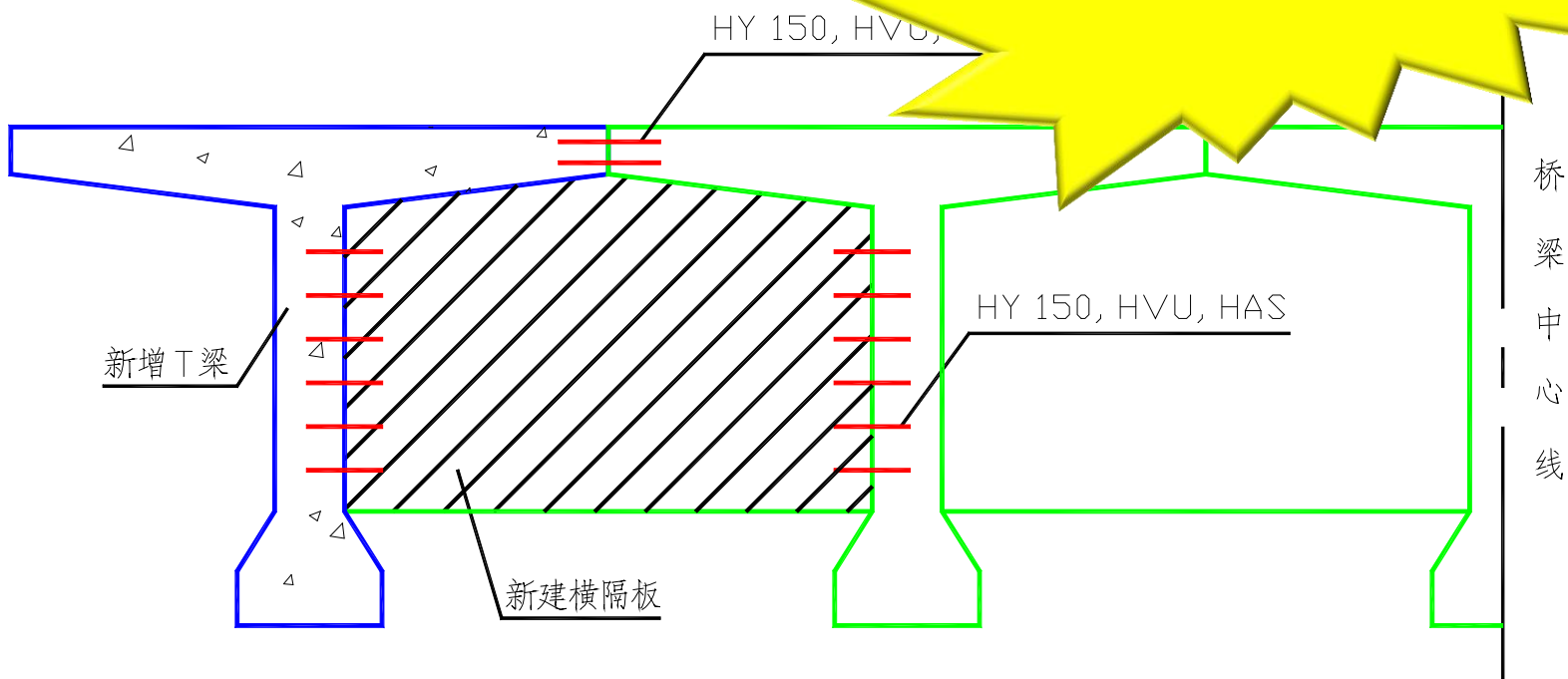
桥梁加固

被动加固法



桥梁加固

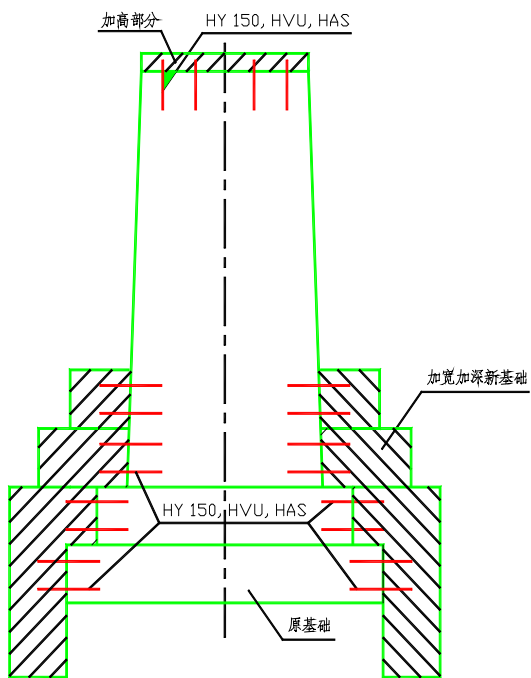
被动加固法



桥梁加宽

提高主梁间横向连接刚度，利于荷载的横向分布，提高道路等级和宽度。

桥梁加固



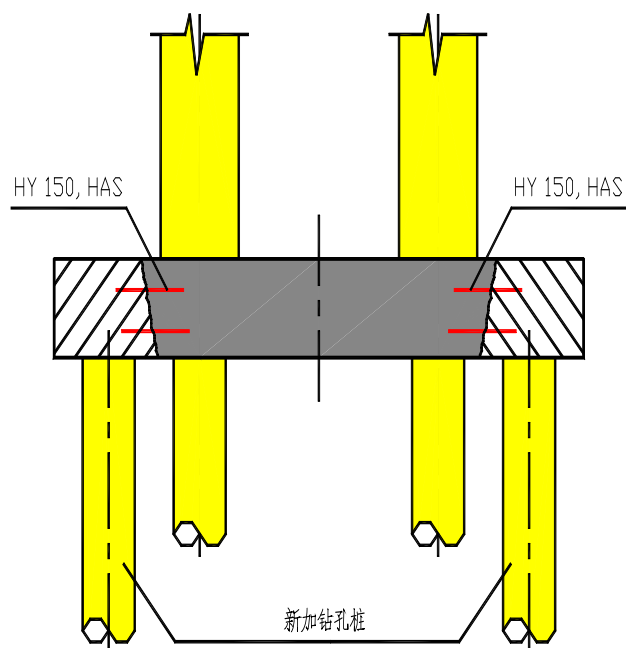
天然基础加固与墩身加高

被动加固法



桥梁加固

桥梁桩基础及承台加固

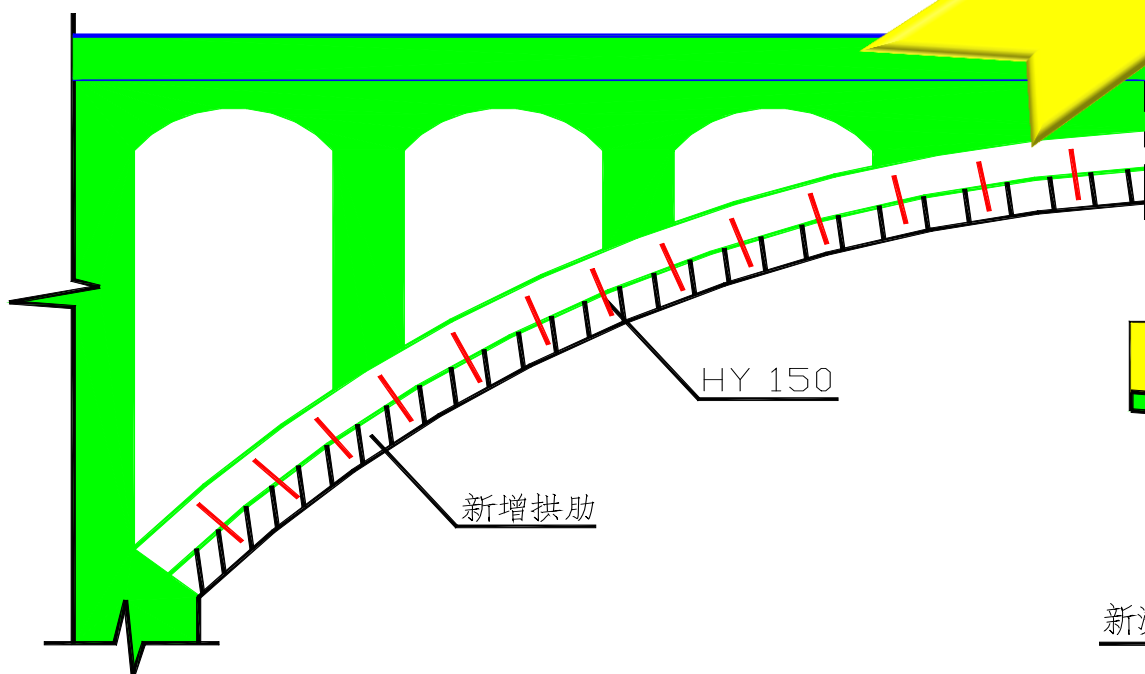


被动加固法

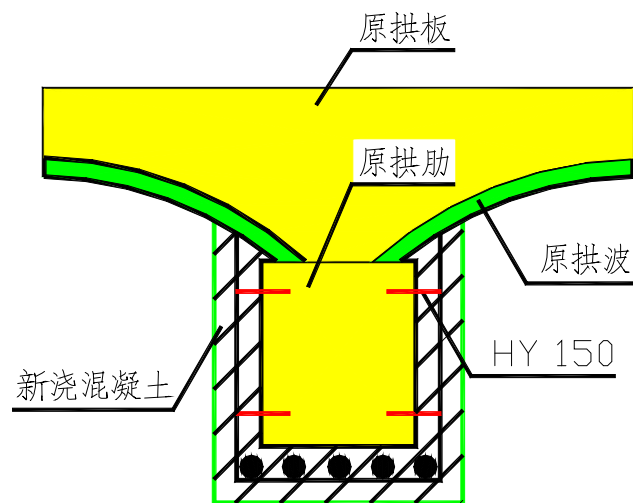


桥梁加固

被动加固法



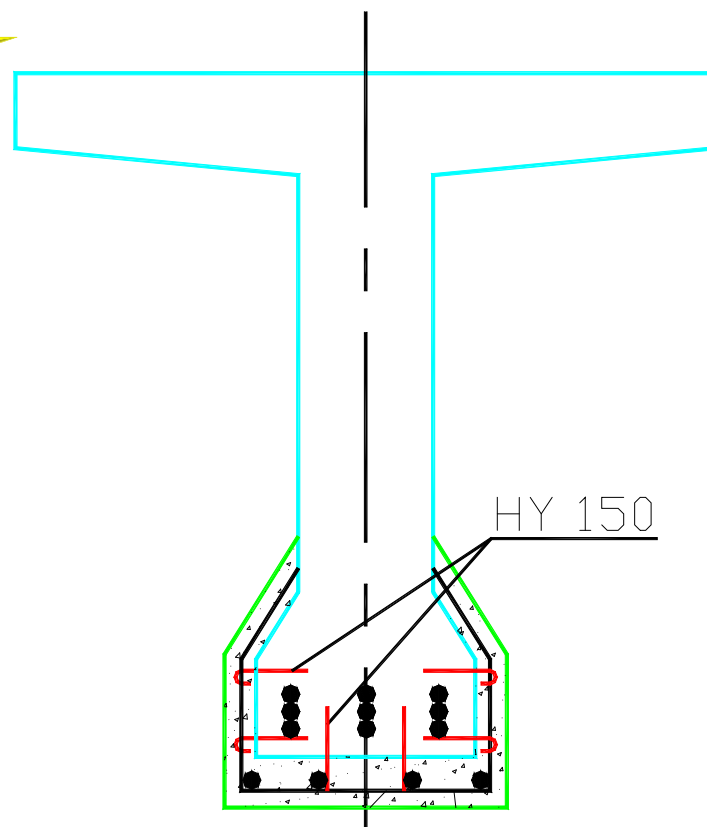
拱桥主拱圈加固增大拱肋截面



桥梁加固

被动加固法

简支T梁加固
增大抗弯截面，提高承载力。



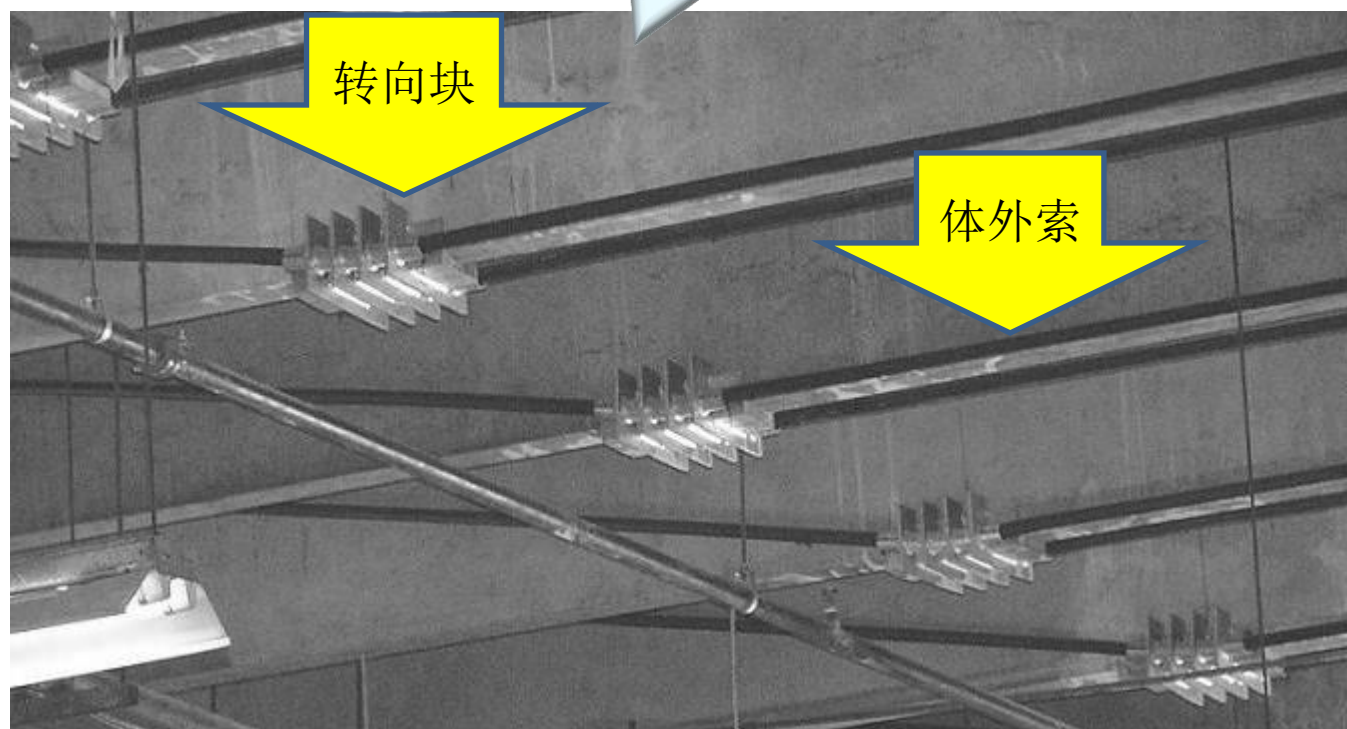
桥梁加固

主动加固法

体外预应力

在结构混凝土截面之外采用无粘结的预应力筋产生的预应力。

体外预应力概念与方法诞生于法国。



桥梁加固

体外预应力的设置方法



体外索类型：粗钢筋、钢绞线、高强钢丝。

体外索用量：通过计算确定。

体外索布置：按照正负弯矩、主拉应力分布规律布置。

锚固：位置适当而可靠。

主动加固法

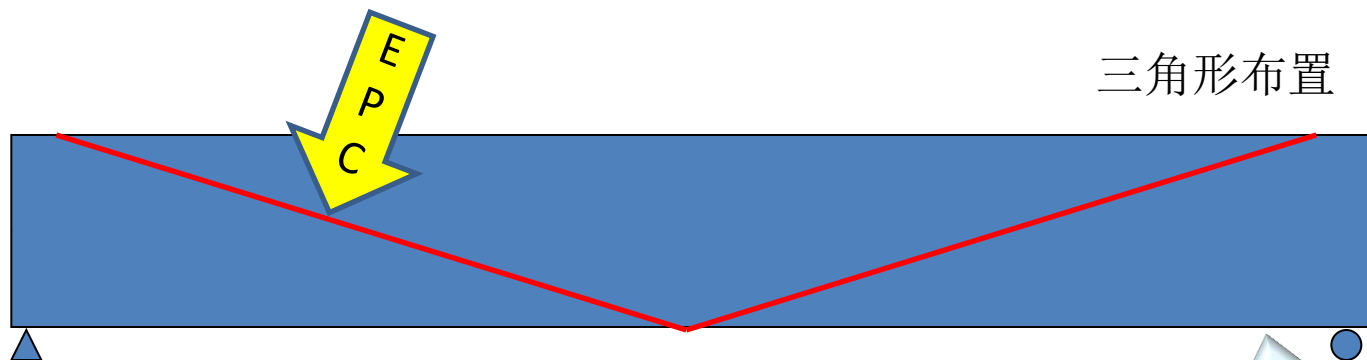
桥梁加固

体外预应力的设置方法

多索布置



三角形布置



主动加固法

桥梁加固

体外预应力的设置方法

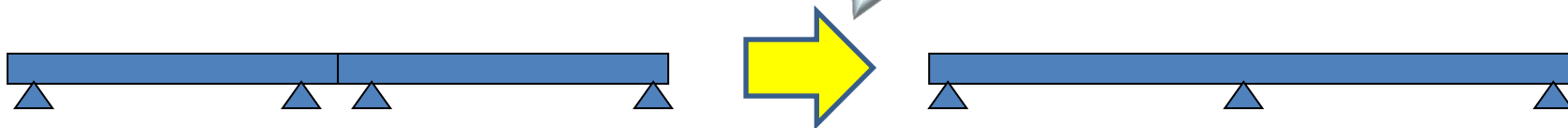


连续梁布置

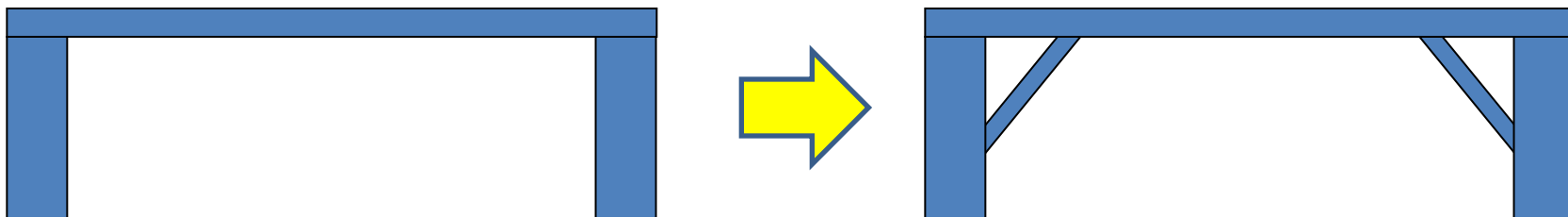
主动加固法

桥梁加固

主动加固法



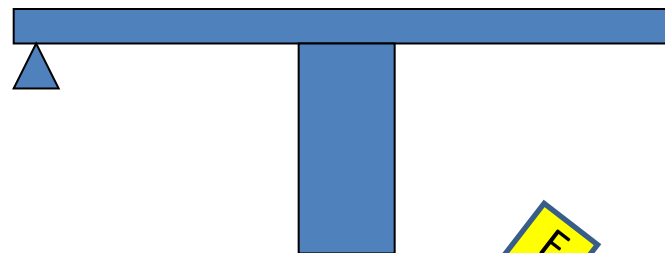
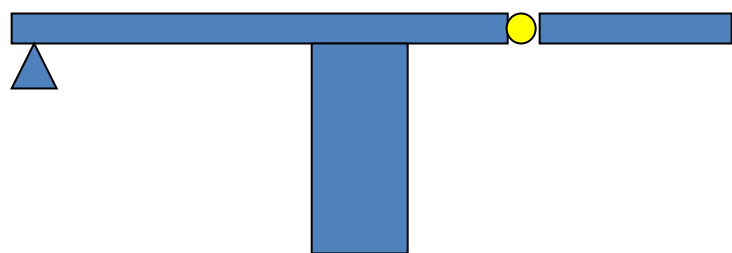
由简支梁变成连续梁



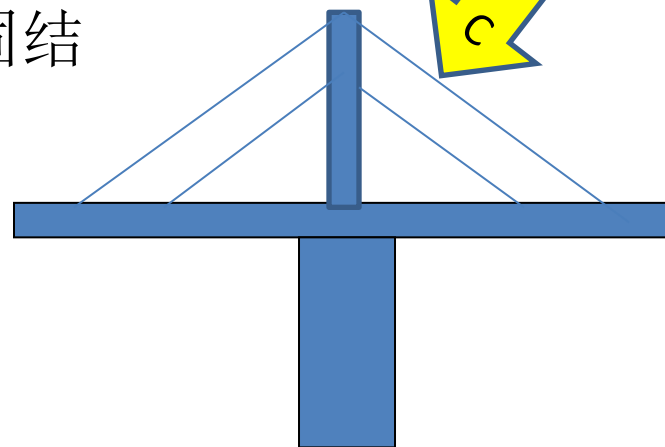
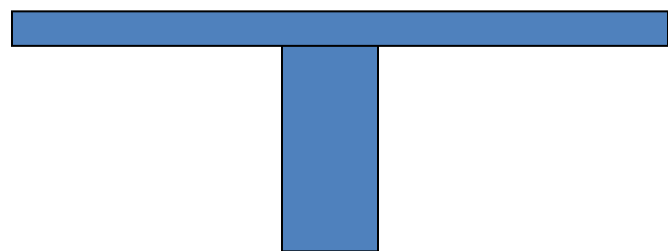
由简支梁变成刚架梁

桥梁加固

主动加固法



由铰结变成固结



由梁桥变成斜拉桥

桥梁加固

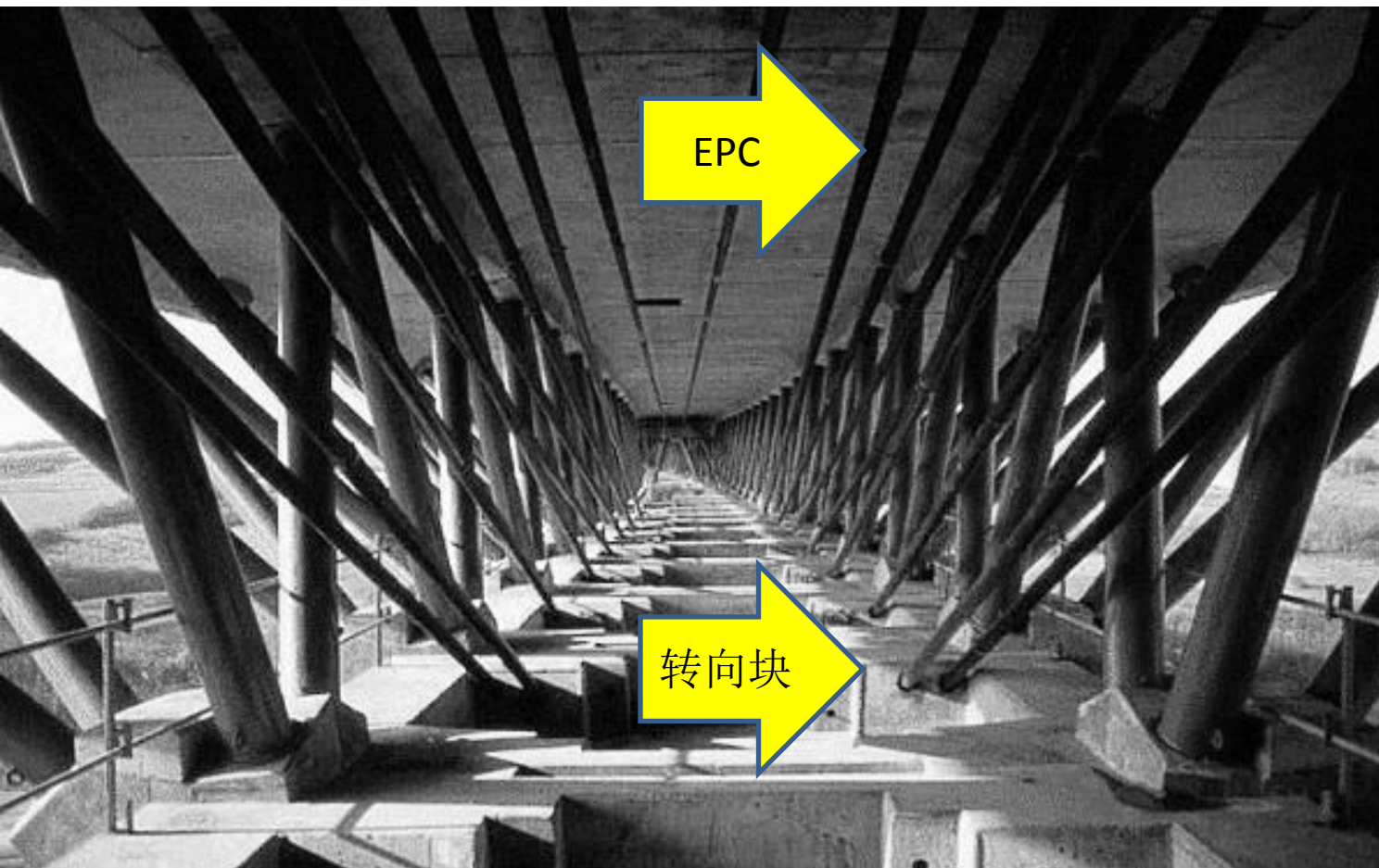
主动加固法



减小跨径

桥梁加固

一座体外预应力新建桥梁



桥梁加固

主动加固法



体外索

桥梁加固

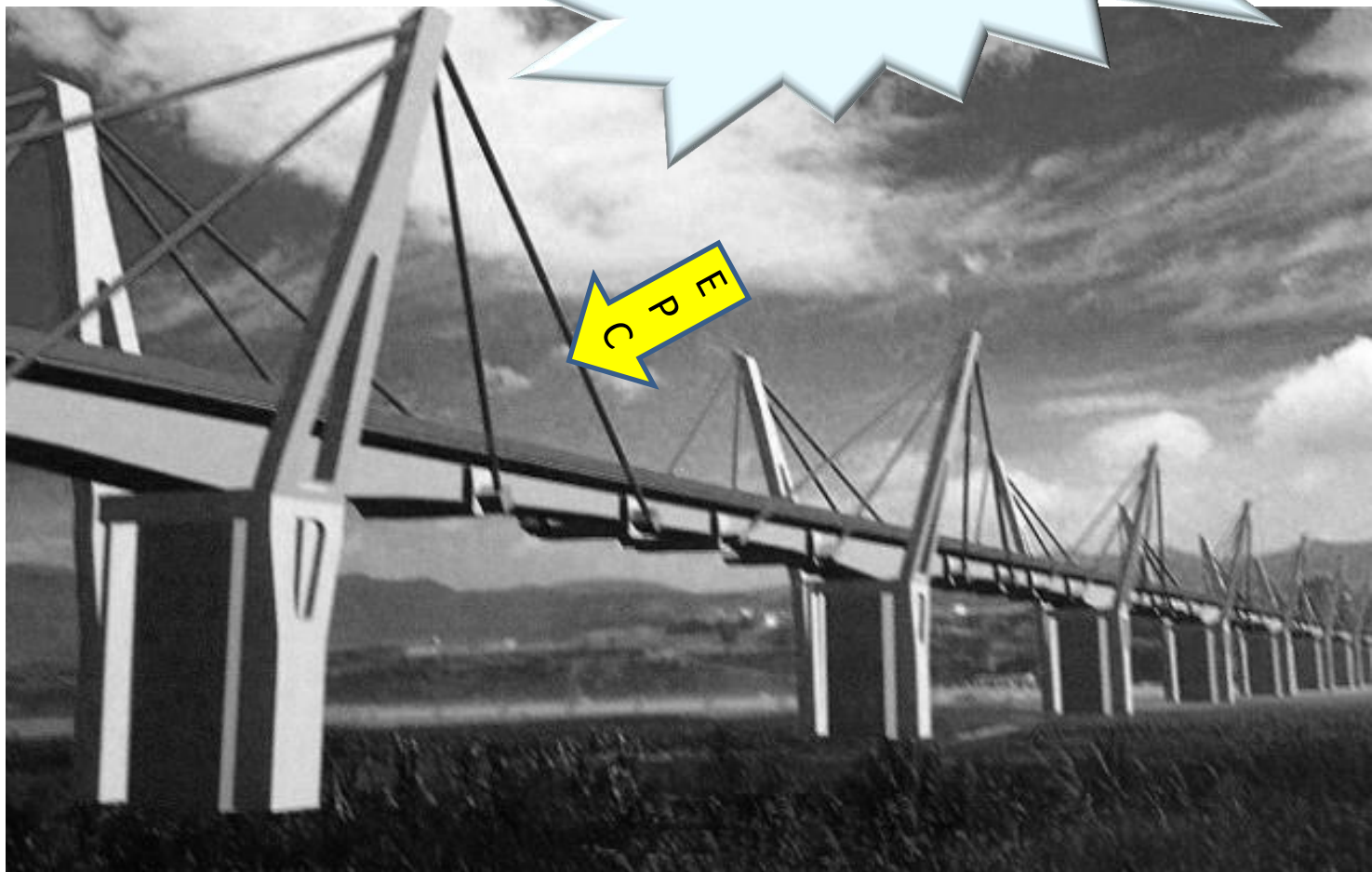
主动加固法



桥梁加固

主动加固法

将连续梁桥
改为斜拉桥，
形成组合结
构体系。



桥梁加固

主动加固法

某国道高速公路某大桥主桥加固工程

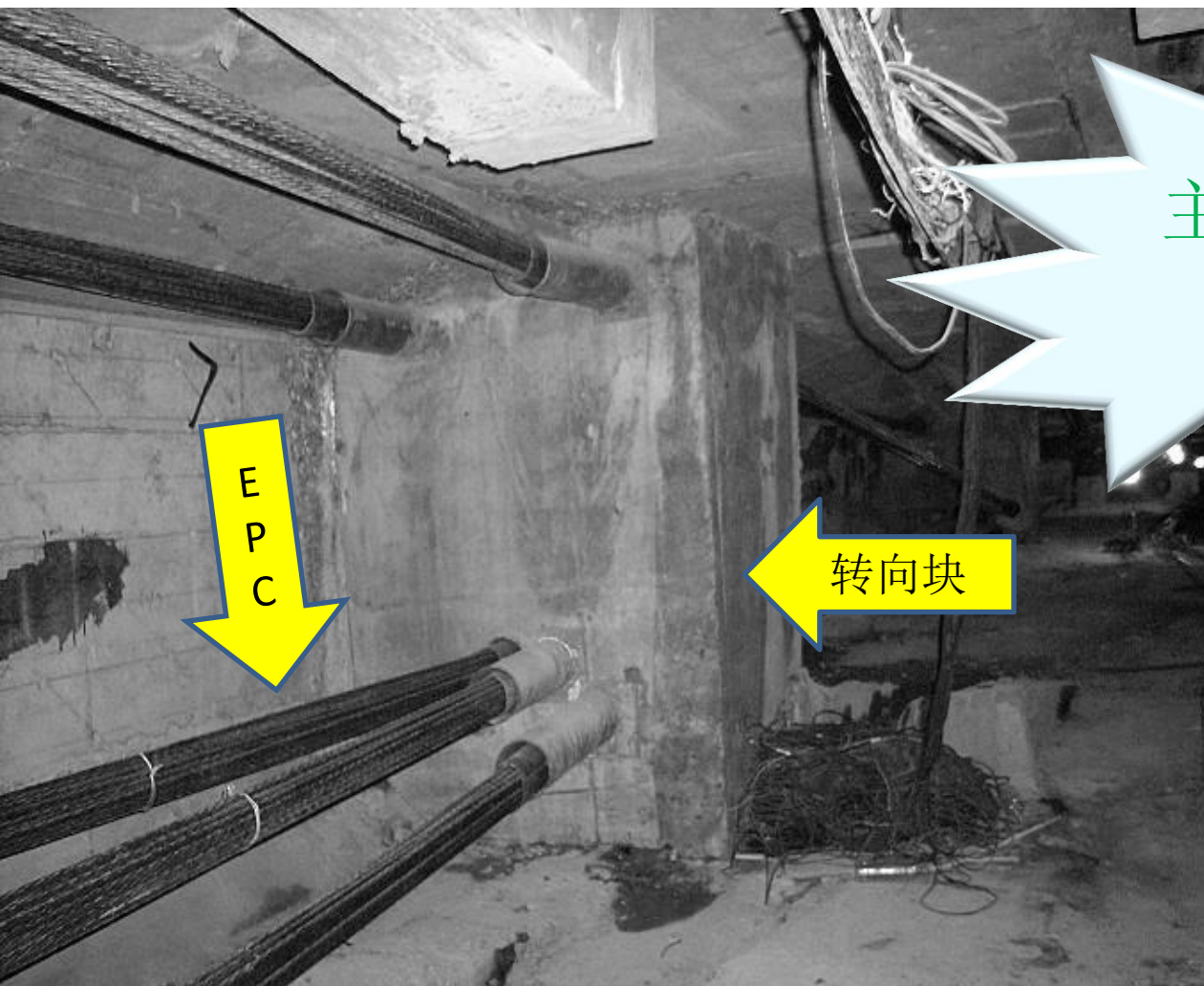
主桥上部结构为预应力箱梁，跨径40+60+60+40米。

病害

合龙段及临近
节段腹板及底
板开裂，节段
错台，露筋，
梁体刚度不足，
主梁下挠。

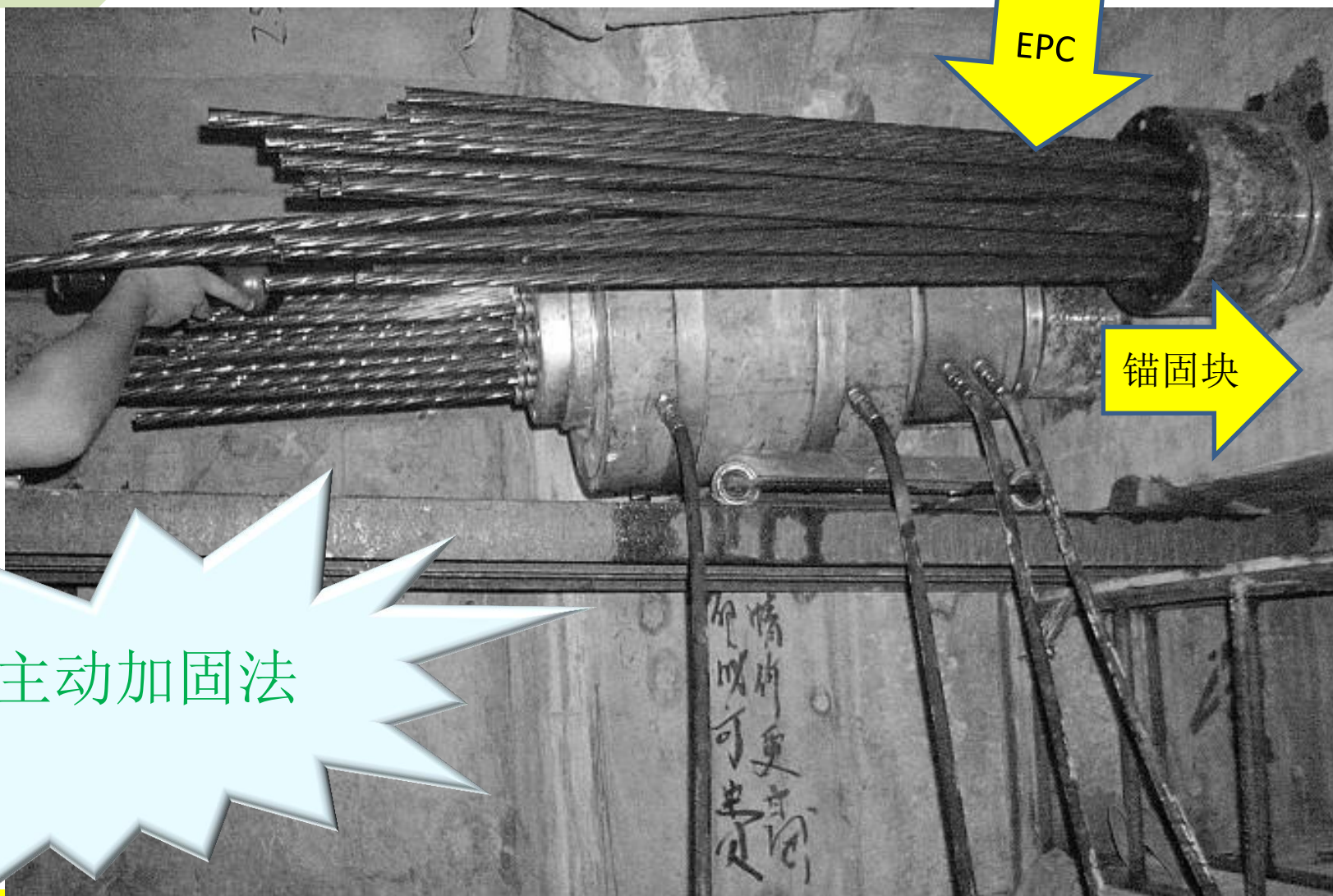


桥梁加固



主动加固法

桥梁加固



桥梁加固

主动加固法

关键技术

张拉体外索；自密实混凝土转向块、锚固块；混凝土防裂技术；粘贴钢板；粘贴碳纤维，化学锚栓；仰面植筋；防止体外索锈；防止体外索的二次效应；体外索防振；全过程施工监测等。



桥梁加固

桥梁加固材料

- 普通钢材

普通钢筋采用热轧R235、HRB335等；型钢和钢板采用Q235、Q345、Q235-B、Q345-C。

- 体外预应力材料

常采用环氧涂层预应力钢材；高强钢丝网片；预应力碳纤维板。

- 锚栓

常采用动荷载化学锚栓；定制锚栓。

桥梁加固

- 环氧混凝土

以改性环氧树脂乳液为主剂，掺入石子、砂等材料形成的高强混凝土。

- 自密实混凝土

无需采用常规振捣方式振捣的混凝土。

- 轻质混凝土

容重或比重比常规混凝土轻的混凝土，如陶粒混凝土等。

- 聚合物砂浆

掺有改性环氧乳液或其他改性共聚物乳液的高强水泥砂浆。

桥梁加固

- 阻锈剂

对混凝土结构钢筋起保护作用，能抑制或减轻其锈蚀的材料。

- 结构胶

用于桥梁结构加固并能长期承受外力和环境作用的胶剂，即A级胶（重要结构或构件）、B级胶（一般结构或构件）。

A级胶用于重要结构或构件。一般情况下还是推荐采用A级胶。

桥梁加固

新材料的运用

- 预应力钢丝绳网片

预应力钢丝绳网片+聚合物砂浆。韩国技术，国内生产。已在多做桥上成功应用。

- 预应力碳纤维板

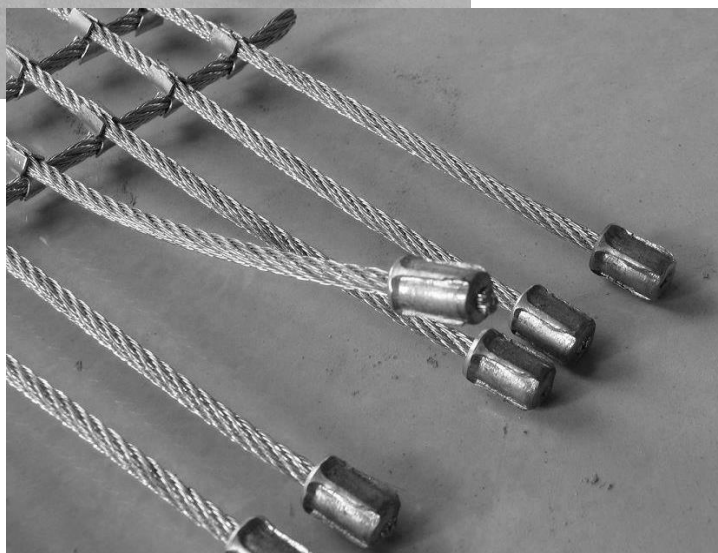
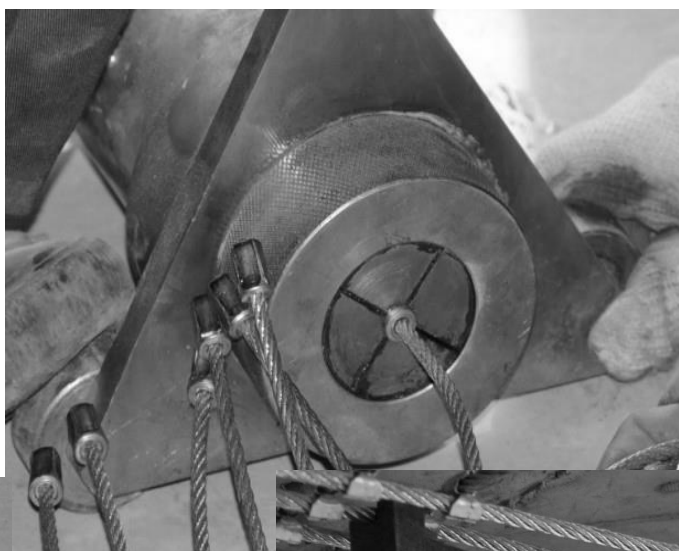
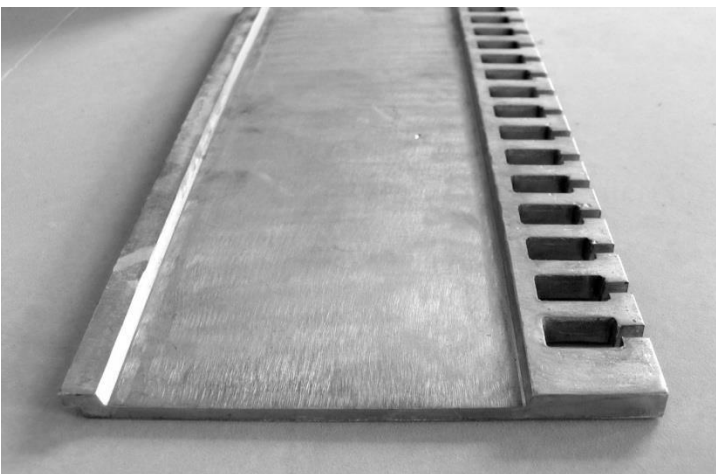
碳纤维板+铝合金锚具+轻型液压张拉设备。美国技术，国内生产。已在多做桥上成功应用。

- 水下玻纤套筒

高强度环氧灌浆料+高强防腐蚀玻纤套筒。美国技术，国内生产。已在多做桥上成功应用。

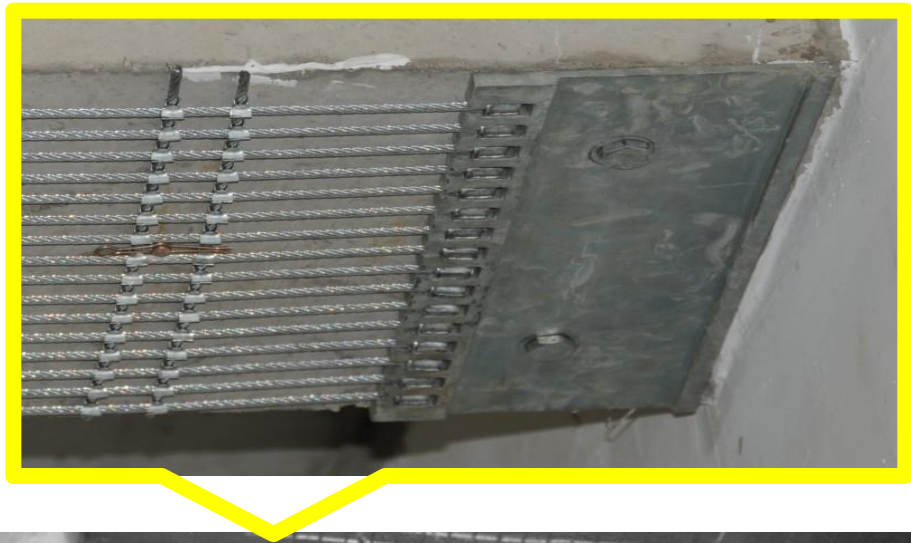
桥梁加固

预应力钢丝绳网片



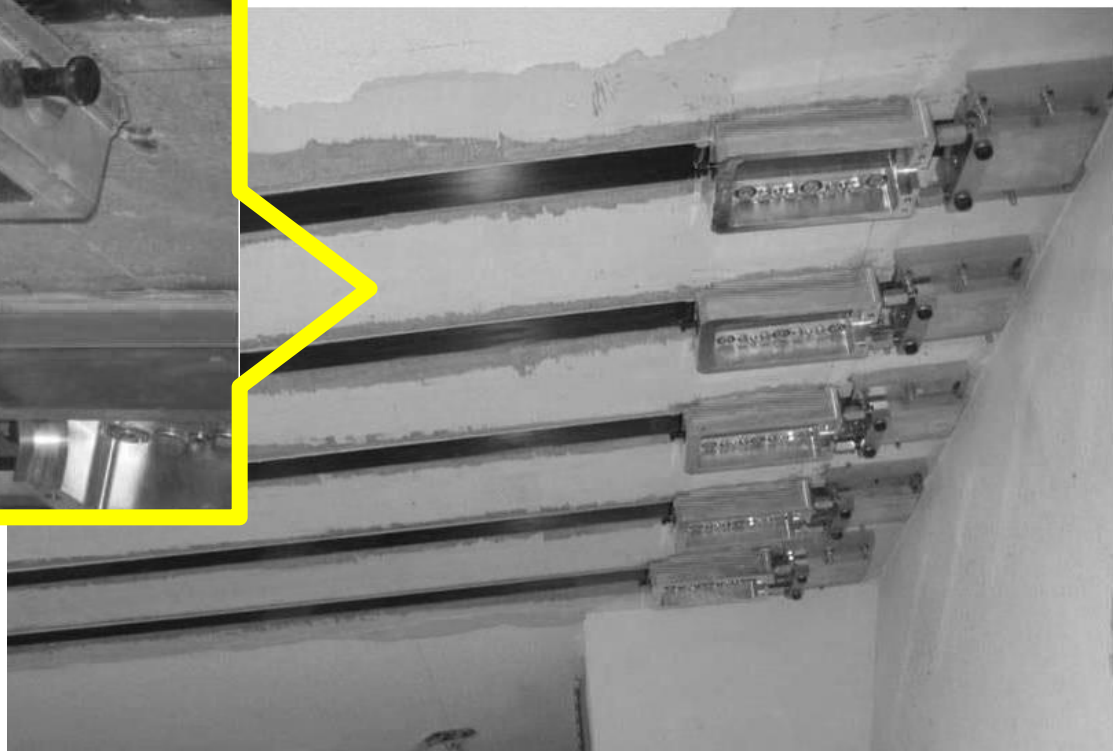
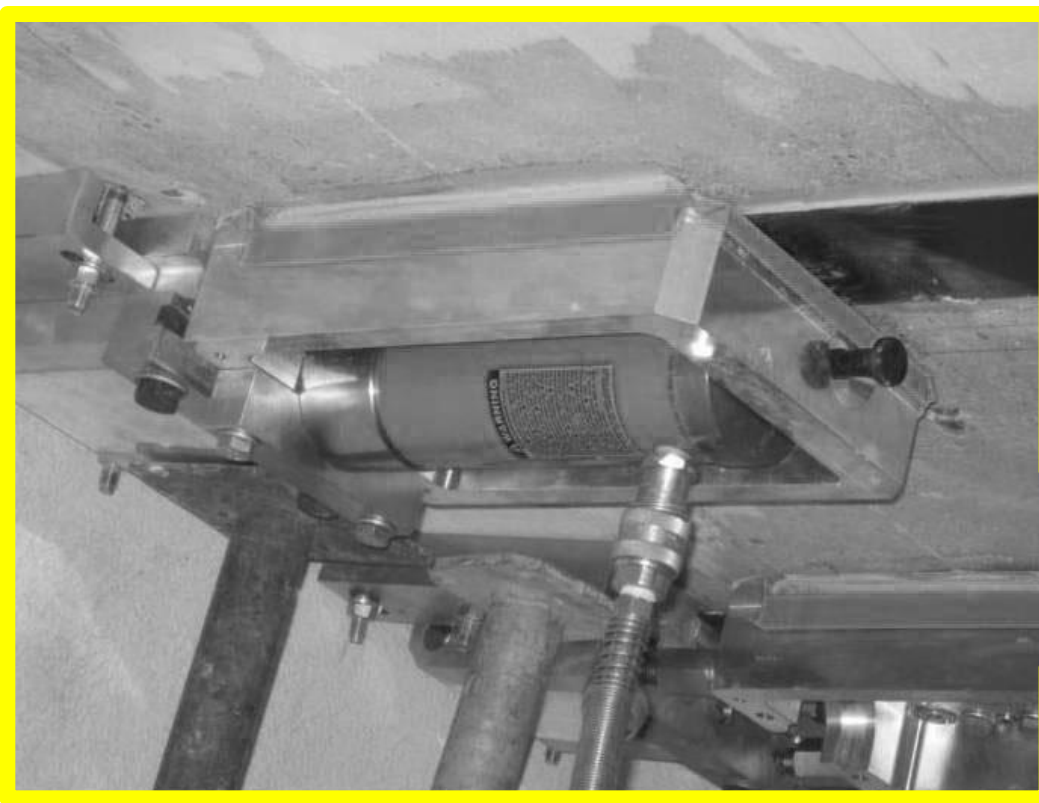
桥梁加固

预应力钢丝绳网片



桥梁加固

预应力碳纤维板



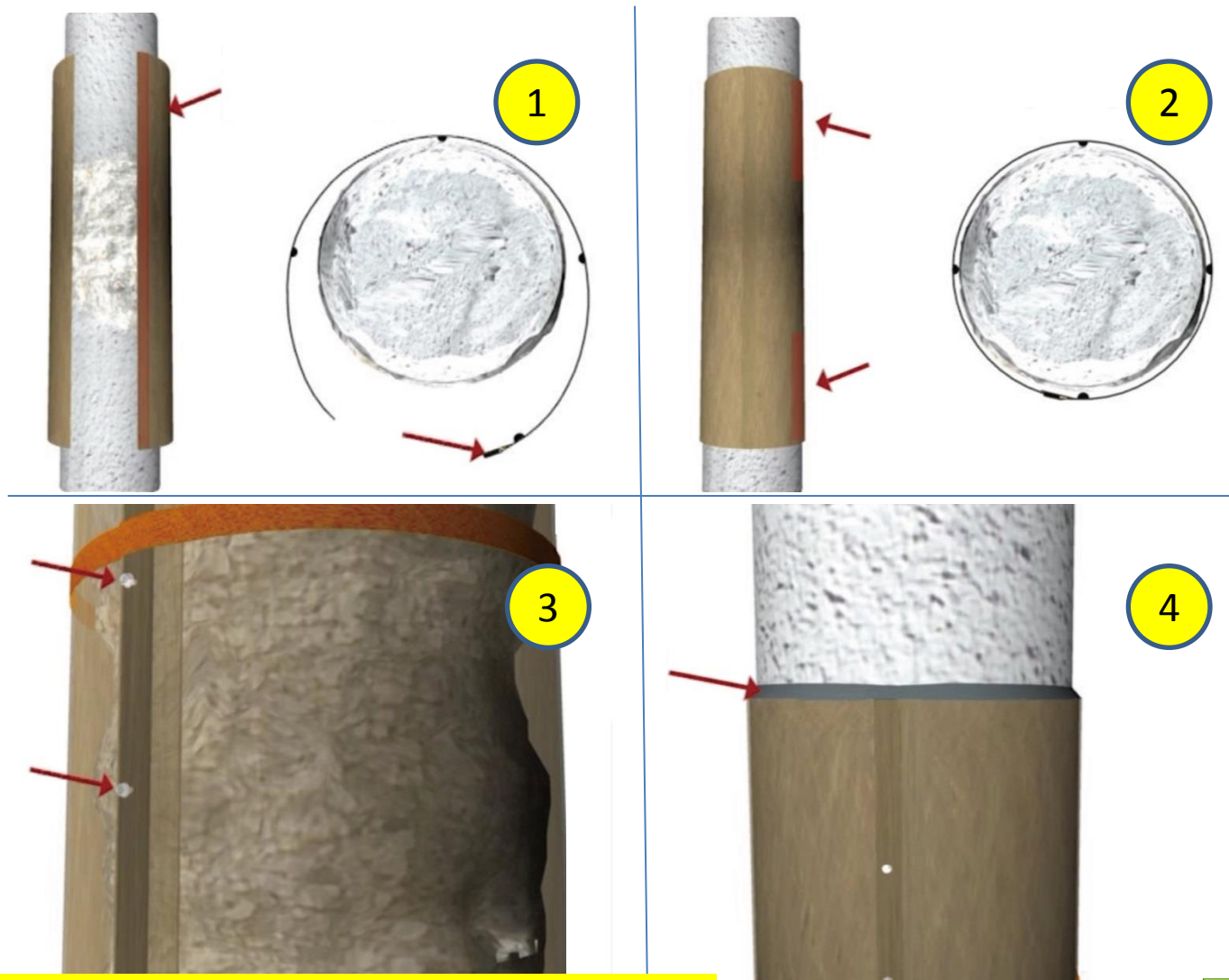
桥梁加固

预应力碳纤维板



桥梁加固

水下玻纤套筒



Thank You!



Tel.: 027-83466494

Mobile: 13807130579

Email: jsonecn@gmail.com.cn



湖北黄石长江公路大桥

PC连续刚构桥。主桥为 $162.5+3\times 245.0+162.5$ 米。



武汉江汉二桥

PC T型刚构桥。



宜昌长江公路大桥



荆州长江公路大桥



巴东长江公路大桥



军山长江公路大桥



阳逻长江公路大桥



郧阳汉江公路大桥



荆岳长江公路大桥



鄂东长江公路大桥



RC、PC空心板



RC、PC T形梁



PC小箱梁



PC悬浇箱梁桥



PC顶推箱梁桥



PC T形（先简支后连续）梁桥



RC、PC现浇箱梁桥



刚架拱桥



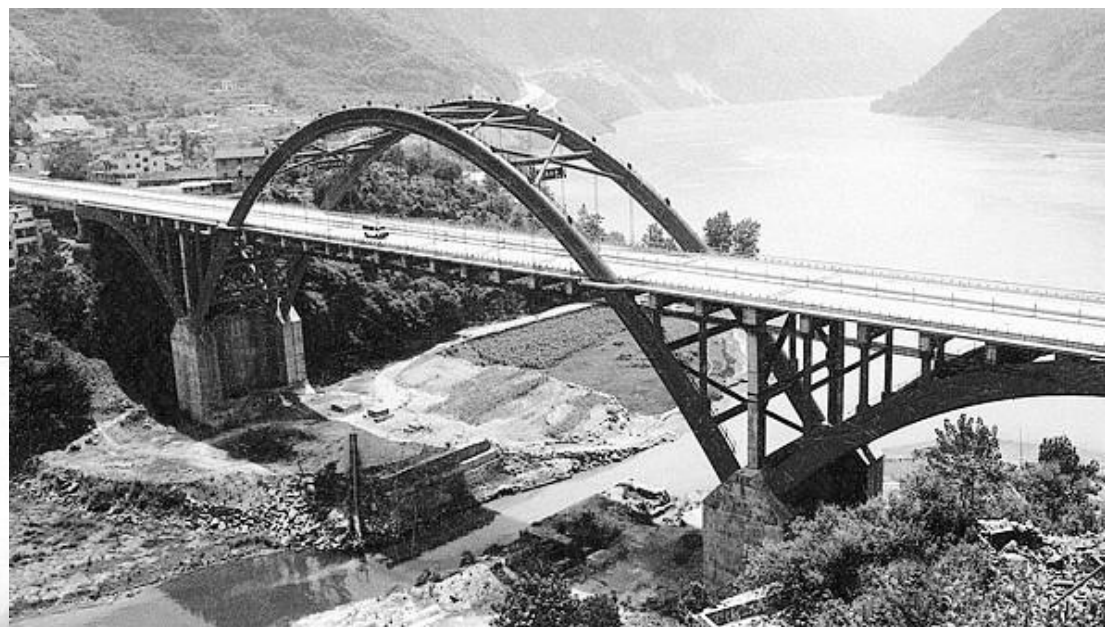
桁架拱桥



箱形拱桥



钢管拱桥



斜拉桥

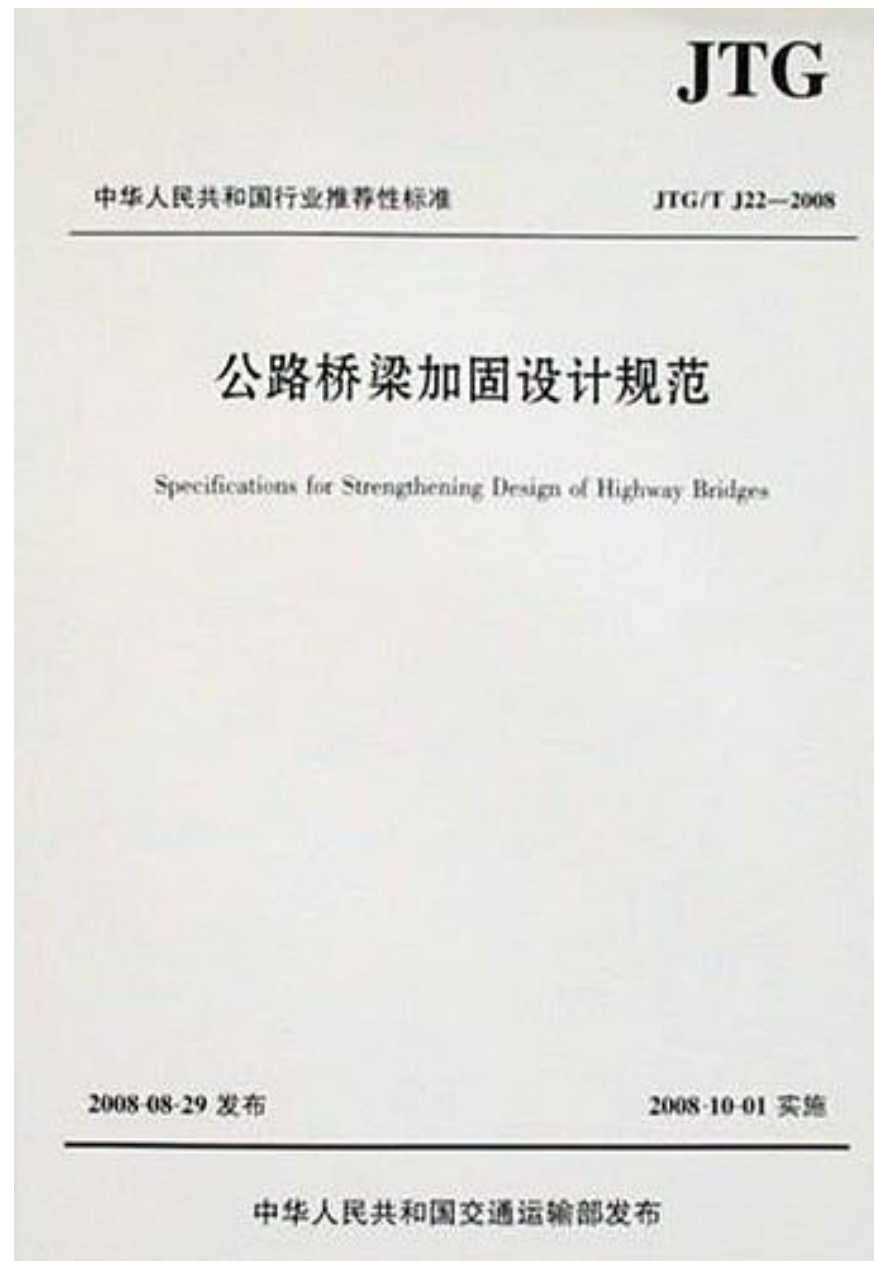


悬索桥



《公路桥梁加固设计规范》

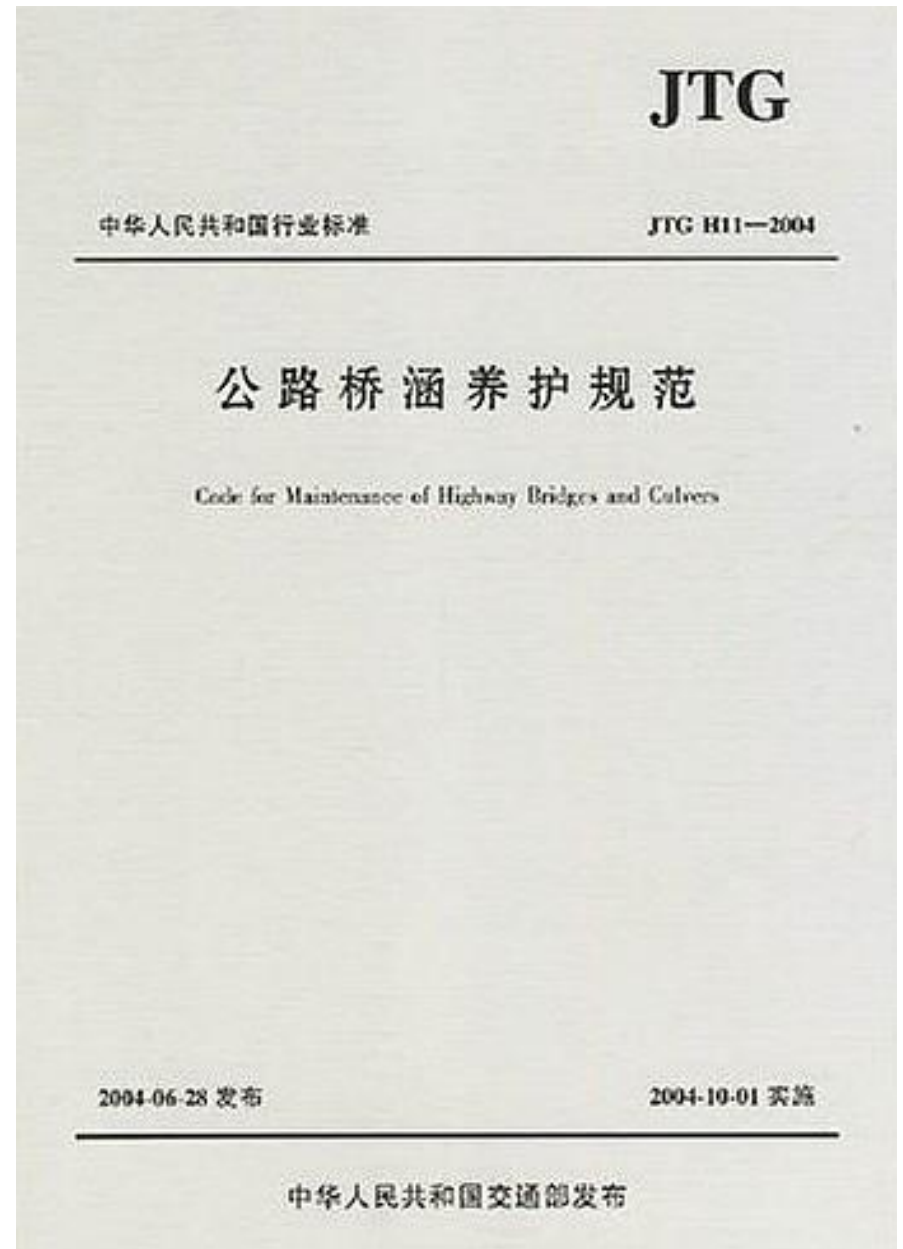
(JTG/T J22-2008)



《公路桥梁加固施工技术规范》
(JTG/T J23-2008)



《公路桥涵养护规范》
(JTG H11-2004)



《混凝土结构加固设计规范》
(GB 50367-2006)



莲沱大桥



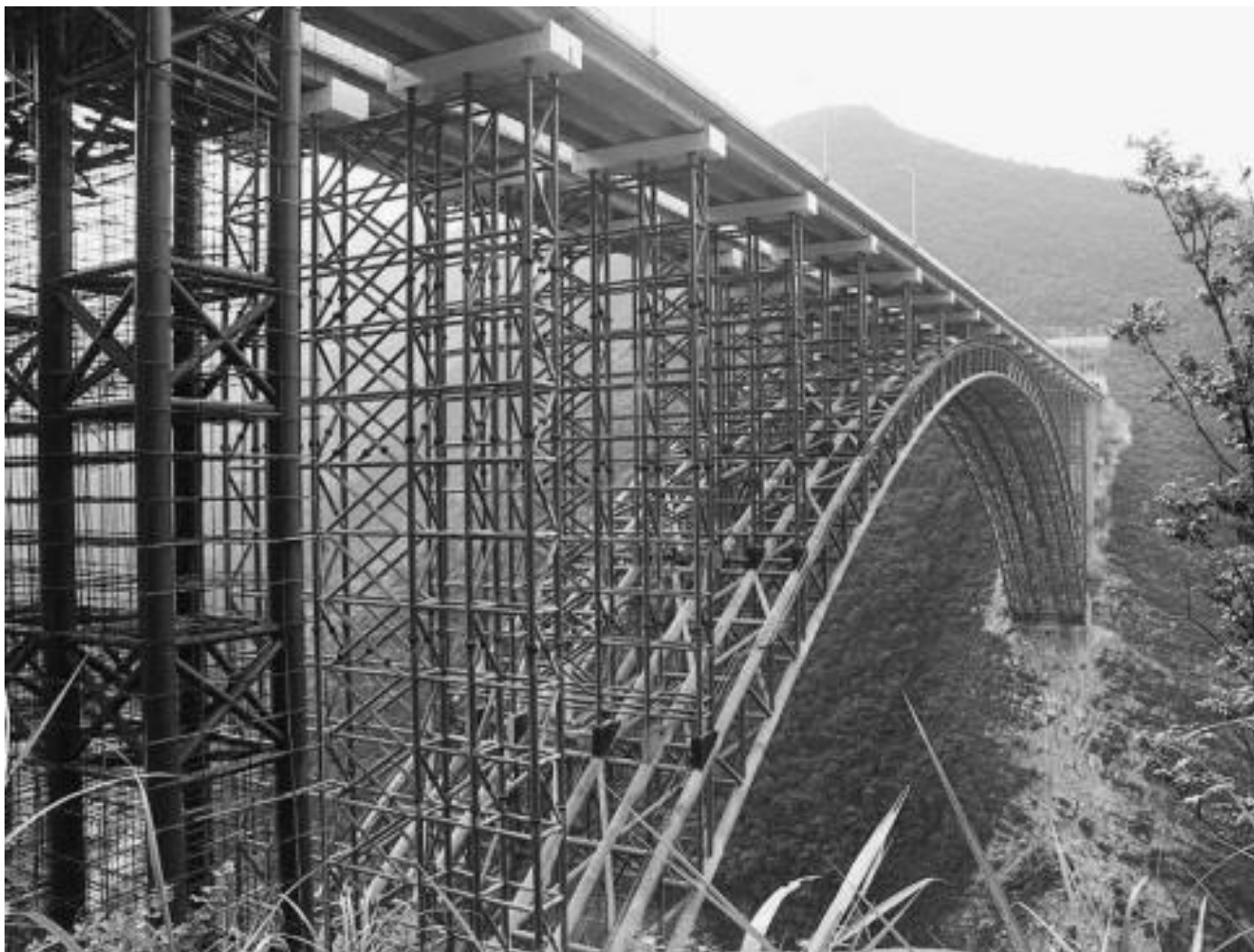
黄柏河特大桥



支井河大桥



小河大桥



长丰汉江大桥



晴川汉江大桥

