



城市桥梁检测与养护维修 及标准规范实务全书

安徽文化音像出版社

第二节 双曲拱桥的维修加固法

双曲拱桥是江苏省无锡县于 1964 年首创的一种新型桥梁形式。由于这种桥梁结构具有结构新颖、轻巧、省料、便于施工等优点，因此，双曲拱桥一经出现就很快在全国范围内得到了推广应用。然而，由于设计、施工的经验不足以及其他种种原因，不少拱桥使用一定时期后，就出现了不同程度上的损坏，急需进行维修加固。近年来，双曲拱桥的维修加固工程实例颇多，出现了不少行之有效的维修加固方法。

一、双曲拱桥的常见病害

双曲拱桥发生较为严重的病害大致有如下几种。

（一）墩台位移而引起破坏

双曲拱桥由于自重较大，其相应的水平推力也较大，当设计、施工不当时，往往容易引起墩台的较大位移和沉降。

由于位移和沉降较大，必将出现拱圈下沉、开裂，拱肋与拱波分离，侧墙与拱肋分离，空腹小拱开裂或立柱严重裂缝等损坏现象。

（二）拱肋强度不足而引起承载能力的降低

拱肋是拱桥主拱圈的重要组成部分，它与拱圈共同承受全部恒载和活载，是主要受力构件。因此，当其抗弯强度和刚度不足时，往往使承载能力降低，同时也会引起其他构件的损坏。

（三）横向联系不足而引起失稳

双曲拱桥拱肋中设置横向联系梁是很重要的。当拱肋间无横向联系时，在集中荷载（车辆荷载）作用下，各片拱肋的变形在横桥方向是很不均匀的。有横向联系的拱圈，各肋间的变形就比较均匀。而且，随着横向联系的加强，各肋间的变形就更趋一致。由于横向联系的设立，使单片的拱肋在横向联成整体，形成一个拱形框架，从而大大加强了拱肋的横向刚度，保证了拱肋的横向稳定性。当横向联系布置不够或强度不足而产生损坏时，将会使拱桥横向稳定性减低，拱波顶出现纵向裂缝。

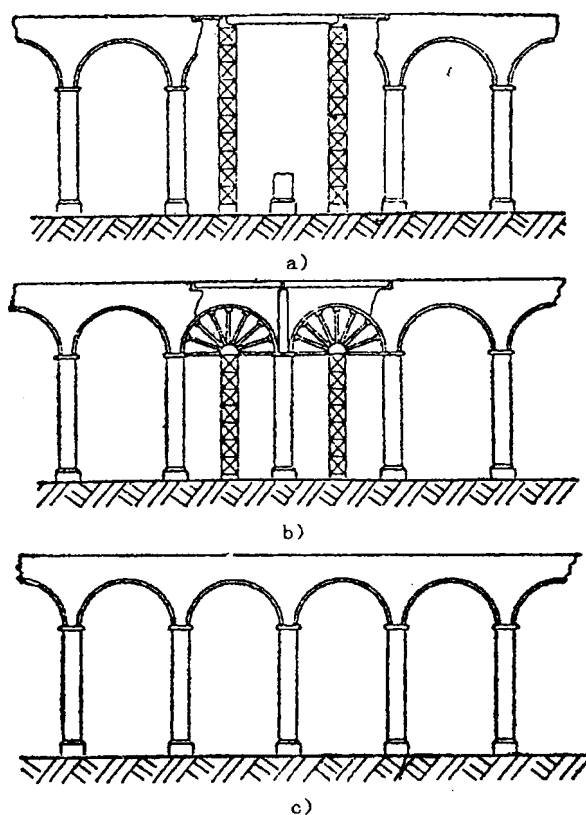


图 5-8 在不中断交通的情况下拱桥的基本修复



图 5-9 架设临时钢板梁的修复

(四) 拱上填料排水不畅等原因引起的侧墙鼓肚破坏

双曲拱桥侧墙发生鼓肚，一般是由于排水不良，填土内聚积大量水分而造成膨胀，也可能是砌筑质量不佳引起的。

二、双曲拱桥的维修加固

双曲拱桥的维修加固，除对下部构造采取维修加固措施外（下部构造维修加固将在

本章第四节叙述), 上部构造的维修加固主要是指对拱肋的加强、拱横向系梁的加强以及上部结构填料的调整等工作, 具体分述如下:

(一) 粘结钢板加固拱肋法

为加固双曲拱桥拱肋强度, 可以在拱肋表面清理整洁后, 用环氧类砂浆粘结钢板的方法来提高其承载能力。在拱圈产生裂缝或承载能力不足时, 采用该法加固效果明显。粘结钢板的位置主要置于拱肋截面下, 可用成条整板(或分块焊接)在拱圈弧形范围内间隔粘结。一般可视具体情况选定尺寸, 通常可参照图 5-10 进行, 钢板厚度宜用 4~10mm, 过厚时施工比较困难。

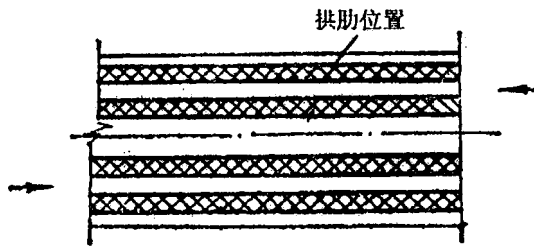


图 5-10 粘结钢板平面示意图

为使钢板加固能够粘结牢靠, 可分块粘结接头后再焊接。这种加固法已在不少拱桥加固工作中得到应用, 并取得了较好效果。如某桥为一座 $4 \times 25.85\text{m}$, 拱矢度 $1/5$ 的无筋双曲拱桥。该桥建于 1966 年, 设计时没有考虑混凝土收缩应力影响, 在凝固初期就在拱顶左右 1~2m 范围内出现了裂缝。通车后裂缝不断发展, 缝口由 0.5mm 发展到 2~5mm, 全拱厚裂通, 侧墙与拱圈脱离且竖向开裂。后在拱肋底采用环氧树脂水泥浆粘贴钢板加固。钢板厚 4mm, 宽 240mm, 粘贴长度在拱顶左右各 3~4m 范围内, 共长 7.5m。加固后通过荷载试验及多年营运使用, 证明效果良好, 至今仍在正常使用。

(二) 螺栓钢板结合加固拱肋法

此法与前述利用钢板加固拱肋的基本目的相同, 但不是单纯依靠粘结, 而是除了利用胶粘剂之外, 再按一定间距凿孔并埋入螺栓, 然后就钢板预钻孔对准预埋件位置穿入并以螺帽紧固。这种做法拱肋凿孔比较费劲, 埋设位置不易准确, 因此, 钢板钻孔要留有余裕, 如采用椭圆形孔或扩大孔径, 方可减少对位时的麻烦。如下图 5-11 所示。

(三) 粘贴钢筋加固拱肋法

鉴于粘贴钢板加固法存在加工、成型比较困难, 有时粘附不够完善等问题, 根据实



图 5-11 钢板钻孔螺栓锚固

际加固工作的需要，还可采用粘贴钢筋的加固方法。

此法施工与前述基本相同，但所采用的是钢筋加固件。从实际情况看，此法与钢板粘贴法相比，具有与结构物粘附性能好，加固成型容易，补强效果更为显著的特点。

如某桥为 2 孔 30m 的无筋肋板拱桥，1971 年初建成，尚未行车即发现拱顶左右各 5m 范围内，拱肋有径向裂缝，通车后不断发展，裂至肋顶，拱脚距拱座 1m 的拱背也有裂缝，拱顶产生下沉。加固措施采取了：每肋用环氧树脂砂浆粘贴 11 ϕ 8mm 钢筋进行加固，粘贴层厚 2cm。同时，两端拱脚上缘（第一空腹处）拱背配 ϕ 10@20 钢筋网，加浇 10cm20.0 号混凝土进行加强。加固后通过荷载试验表明效果良好。

（四）拱肋截面扩大加固法

此法是通过采用钢筋和混凝土外包加大原拱肋，从而达到扩大拱肋的截面尺寸，增加拱肋断面的含筋率或变无筋拱肋为有筋拱肋，提高拱肋的抗弯刚度的一种加固方法。其作用明确，效果显著，应用也较广。

如某双曲拱桥，经多年营运使用后，腹拱和腹拱座均出现开裂损坏，基础有变形，主拱圈拱脚部位有局部损坏。后除对下部基础进行加固外，对拱肋采用扩大截面加固法进行加固，加固截面如图 5-12 所示。加固后经多年使用，证明效果很好。

（五）增设肋拱加固法

在较大跨径的拱桥下新建一座跨径较小，矢度较大的肋拱，使肋拱的上弦与老拱桥连接在一起，新桥台与老桥台连接在一起，如图 5-13 所示。此法可用于大跨径、桥台水平位移大的有肋或无肋双曲拱桥的加固，但要求主拱圈基本完好。

采用这种加固法施工时，要求肋拱上弦钢筋和原拱肋或无肋拱波（凿除混凝土保护层露出钢筋）用箍筋联在一起，现场浇筑混凝土。新加肋拱与老拱形成整体后，可共同承受恒载和活载，从而提高了原桥的承载能力。

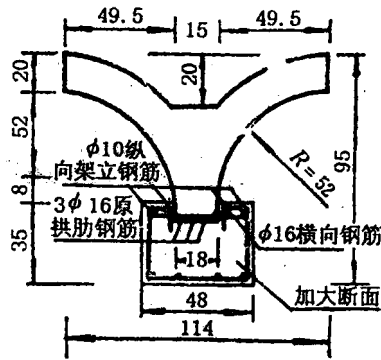


图 5-12

拱肋截面扩大加固情况 (单位: cm)

(六) 拱肋间横系梁加强法

当横向联系较弱时,可采用加大原拱肋间横系梁截面,或在原横系梁边上另加一根横系梁,以加强拱肋抗扭刚度和横向整体性的方法进行加固。此法一般可与前述拱肋截面扩大法一起考虑,同时进行,能取得较好的加固效果。

如某双曲拱桥加固时,采用了如图 5-14 所示的加固方案,效果亦很好。

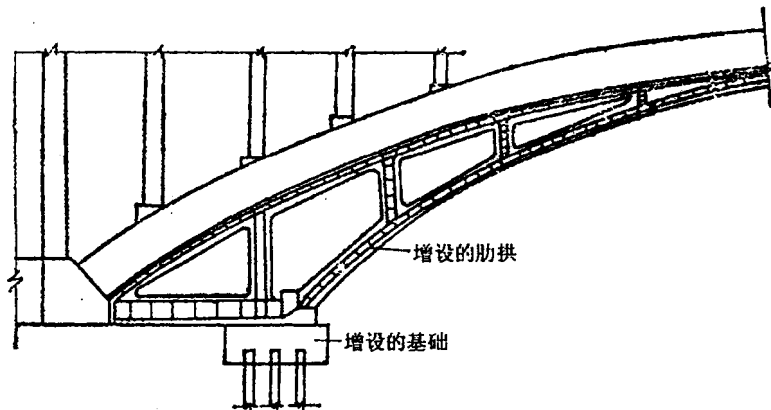


图 5-13 新增设一座肋拱桥加固法

(七) 调整拱上自重、改变结构体系加固法

当双曲拱桥由于自重或地基承载力不足,致使拱脚发生水平位移或转动,拱轴线发生变形时,在条件许可的情况下,可采取调整拱上自重的布置,改变双曲拱桥结构体系的方法,来改善拱圈受力状况,以达到加固的目的。

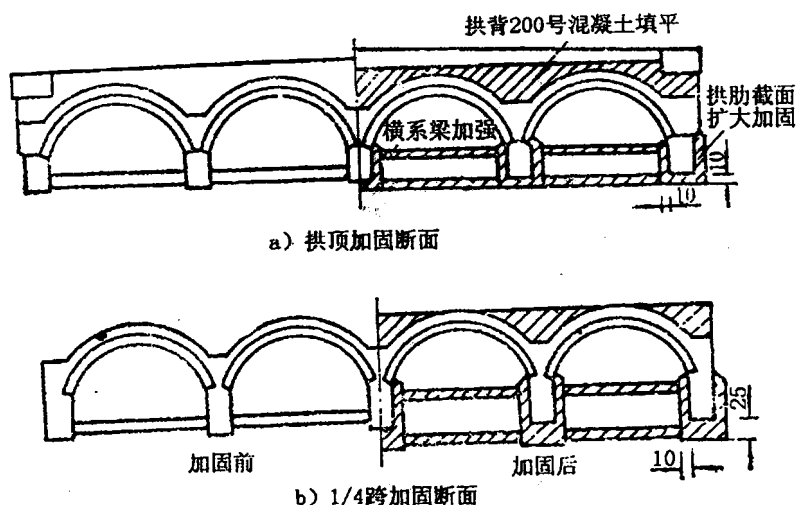


图 5-14 拱肋间横系梁加强加固法

实施加固时，又可根据情况的不同而有不同的做法，常用的有如下三种：

1. 清除拱上建筑及实腹段范围内的填料，降低拱顶断面高度，浇筑钢筋混凝土桥面板，并用混凝土填料加强原有拱上建筑与桥面板的联系，从而加强拱上建筑刚度，使整个体系向柔拱刚梁转化，促使主拱圈在活载作用下主要承担轴力，而弯矩转让给加固后的拱上建筑。加固构造措施如图 5-15 所示。

2. 拆除拱上建筑，改建为桁架拱，以减轻自重，并使主拱圈主要承受全部活载及活载引起的轴压力。拆除拱上建筑时应保留立柱脚钢筋，以便桁架结点固定到主拱圈上。桁架腹杆以采取三角形为宜，它的下结点较少，可减少构造上的困难，桁架拱的布置如图 5-16 所示。

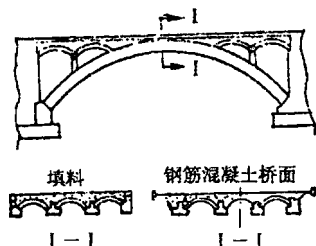


图 5-15 调整拱上填料，
改变结构体系加固法之一

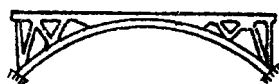


图 5-16 调整拱上填料，
改变结构体系加固法之二

3. 当立柱无钢筋, 改造为桁架有困难时, 可将拱上结构改造为刚架拱, 如图 5-17。计算结果表明, 刚架拱在空腹范围内主拱圈的弯矩要比无铰双曲拱小, 而且拱脚弯矩也将减少得特别多。

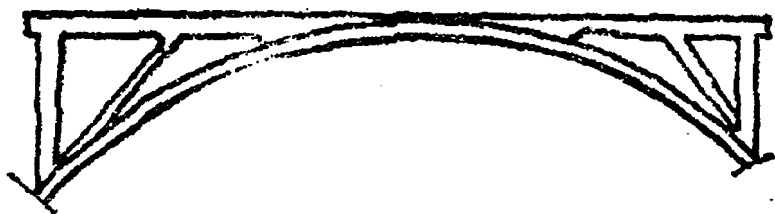


图 5-17 调整拱上填料, 改变结构体系加固法之三

此外必须说明的是, 此法加固施工时须拆除老桥拱上结构, 因此, 要特别注意使拱上受力平衡, 防止倒塌。图 5-18 所示为拆除拱上结构时的步骤, 拆除过程中一律由跨中对称地向拱脚方向进行, 两侧的拆除进度基本一致, 不得超过计算许可值的 2m。

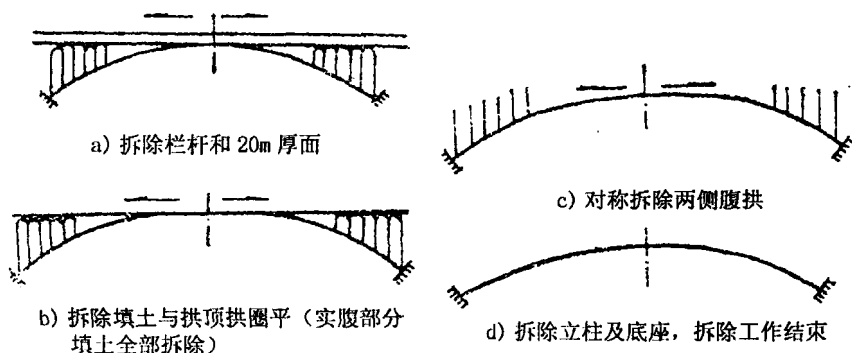


图 5-18 拱上结构拆除方法步骤

第三节 桁架拱桥的维修加固

一、桁架拱桥的构造特点及类型

钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土桁架拱桥（简称桁架拱桥）是适应我国国情、继双曲拱桥之后而发展起来的一种新颖拱式结构。从 1966 年 7 月在上海市金山县建成第一座桁架农桥后, 已有不少省市地区先后采用, 并在全国各地修建了大量的桁架拱桥。

（一）桁架拱桥的特点

桁架拱桥与其他圬工拱桥相比具有如下的特点：

1. 受力合理，能充分发挥材料作用，用料经济。
2. 可充分利用一般施工单位的现有设备，装配化程度高，施工工序少，可达到缩短工期，节省人工的目的。
3. 自重较轻，适于在软土地基上修建。
4. 结构整体性能好，上部结构重量轻，抗震性能较好。

（二）桁架拱桥的上部结构构造

与其他桥梁一样，桁架拱桥结构有上部结构和下部结构。桁架拱桥上部结构由桁架拱片、横向联结系和桥面三部分组成。

桁架拱片是桁架拱桥的主要承载构件，它由上、下弦杆、腹杆和实腹段组成，如图 5-19 所示。

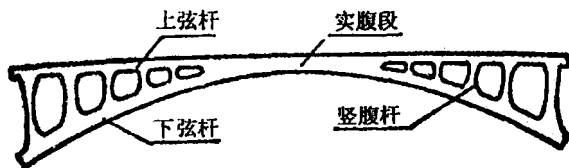


图 5-9 桁架拱片构造

横向联结系是联结拱片和桥面系，保持拱桥横向稳定并起分布荷载作用的主要结构，它包括：下弦结点横隔梁、上弦结点横拉杆、实腹段横隔板和剪刀撑。

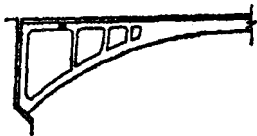
桥面板是直接承受桥梁使用荷载并将其传递给桁架拱片的构件，同时本身又部分或全部地参与所在部位构件的共同作用，成为上弦杆或实腹段截面的一部分。桁架拱桥的桥面板常用的有微弯板和空心板。微弯板有纵向和横向两种布置形式。较大跨径的桁架拱桥面多采用钢筋混凝土或预应力混凝土空心板形式。

（三）桁架拱桥的类型

目前建造的桁架拱桥主要有斜杆式、竖杆式和肋拱式三种。各种类型的桁架拱桥结构情况如表 5-4 所示。

表 5-4

桁架拱桥的主要类型

类 型	简 图	说 明
斜杆式		桁架拱片具有斜腹杆, 承载能力较大, 是较为广泛采用的桁架拱型式
竖杆式		又称空腹桁架拱桥, 拱片的腹杆只有竖杆, 没有斜杆, 竖杆与上、下弦杆组成四边形框架。该型式腹杆少, 自重轻, 钢筋布置简便, 但因杆件以受弯为主, 故配筋较多
肋拱式		采用拱肋作为桁架拱片, 桁架高度小, 吊装方便, 适宜于无支架施工和较大跨径上使用

二、桁架拱桥常见缺陷

桁架拱桥尽管建造的时间不长, 但因不少桥梁是在 1966 年至 1976 年这十年内乱中建造的, 由于各种因素, 加上设计和施工经验不足, 更重要的是缺乏科学管理, 施工质量控制不严, 桥梁建成后即存在一定的问题。再加上近年来交通量的剧增, 要求荷载等级的提高以及河流疏浚等因素, 致使不少桁架拱桥遭到不同程度的损坏, 亟需进行维修加固。桁架拱桥常见的病害有:

(一) 因桥台位移而使拱桥上弦杆悬空

由于拱桥修建时考虑不周, 跨径太小, 桥梁建成后不能满足水流断面的需要, 在长期水力冲刷作用下, 使桥台基础外露掏空, 大雨季节, 严重的台后被冲垮, 被迫中断交通; 轻的使桥台产生沉降外移, 拱桥上弦杆就处于悬空或接近悬空的状态, 如图 5-20

所示。

(二) 施工缝处出现较大裂缝、拱片连接处混凝土断裂或钢板接头脱开

因桁架拱片一般不是一次成型的，在浇筑混凝土过程中要分次进行。即先浇下弦杆，包括相应的横系梁；再浇竖杆和斜杆包括剪刀撑；最后再浇上弦杆及其横系梁，因此就存在了施工缝。施工缝处往往是强度较弱的部位，在外荷载作用下，容易产生裂缝，甚至碎裂。

此外，当跨径较大，桁架拱片要分段预制时，就必须设接头。拱片接头一般有现浇混凝土接头和钢板接头两种，如图 5-21 所示。这些接头由于施工质量欠佳，加上荷载的反复作用，容易损坏甚至脱开。

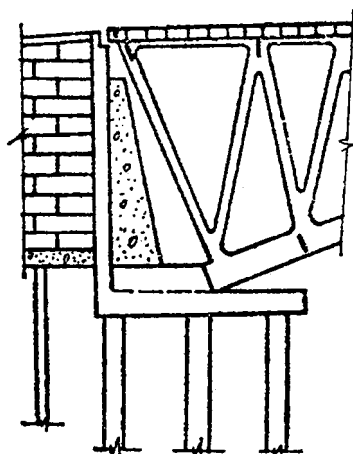


图 5-20 桁架拱桥上弦杆悬空情况示意形式

(三) 构件裂缝

桁架拱桥由于是钢筋混凝土结构，因此，当构件受拉时会出现裂缝，裂缝在容许宽度范围内时并不影响拱桥的使用，但当桥梁所承受的荷载大大超过其原设计荷载等级时，构件会受到过大拉力的作用而不可避免地会产生较大裂缝。较大裂缝的产生，势必影响拱梁的使用。

(四) 拱上建筑如桥面系出现破坏

桁架拱桥桥面的微弯板或空心板脱空、断裂，甚至出现空洞，如图 5-22 所示。此

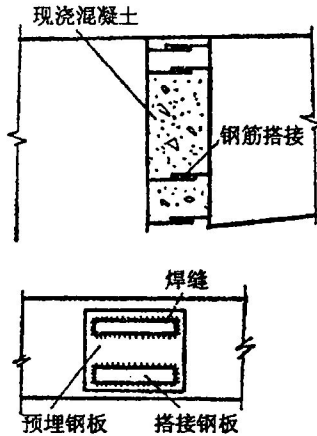


图 5-21 桁架拱片的接头

类病害产生的原因往往是施工不当，微弯板或空心板架设时没有采用座浆法安砌；或者由于板太短，与主拱片连接不好以及板本身强度不足等。

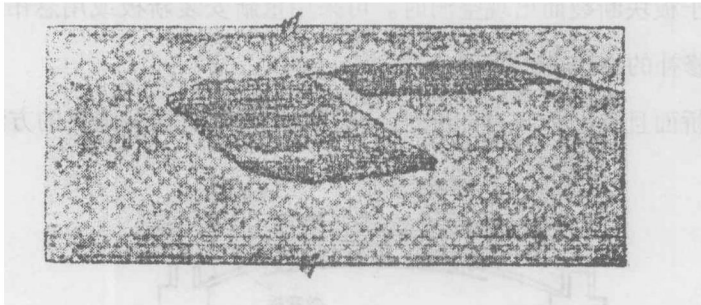


图 5-22 桁架拱桥由于拱板断裂出现空洞的情况

三、桁架拱桥的维修加固

桁架拱桥同属拱桥一类，目为钢筋混凝土结构，因此，其常用的维修加固法与前述基本相同。一般常用的方法有：

（一）杆件截面增强法

当需提高拱桥的主要受力部位如下弦杆、实腹杆等的承载能力时，可采用增强这些构件截面的方法进行加固。构件截面增强法的方式有多种，如：

1. 凿除原杆件钢筋混凝土保护层，加筑钢筋混凝土补强断面，新旧断面依靠钢筋和混凝土紧密连接。

2. 粘贴钢板或钢筋进行补强。

3. 预制好补强杆件，再用电焊焊接钢板方式与原杆件相连，形成一个整体而共同受力，如图 5-23 即为预制构件与原构件用钢板连接的加固方式。

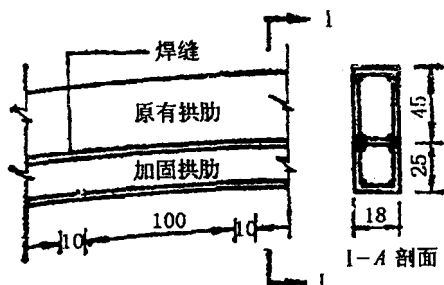


图 5-23 下弦杆截面增强法一侧

(二) 加固桥台，或采用顶推法调整拱桥水平位移

桁架拱桥桥台加固以及顶推法调整水平位移的施工，可详见第四节内容。

(三) 桥面维修加固

当桥面由于板块断裂而出现空洞时。可采用重新安装新板或用悬吊式模板（图 5-24）进行局部修补的方法进行处理。

24) 进行局部修补的方法进行处理。

当需加固桥面且基础承载力许可时，亦可采取增铺桥面补强层的方法进行加固。

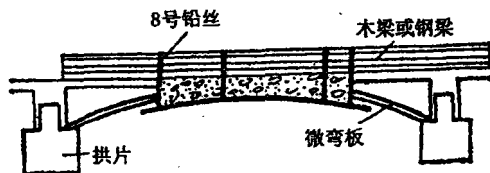


图 5-24 修复桥面空洞的悬吊式模板

第四节 拱桥的拓宽改建与墩台基础加固法

一、拱桥的拓宽改建

(一) 石拱桥的加宽

可以利用下列两种方法来加宽石拱桥：

1. 直接靠着原有拱圈建造一个新的拱圈，以加宽桥梁的行车道。加宽部与老拱圈

之间可留出一条 3~4cm 的空隙，以防新老拱圈变形沉降不一而引起拉裂。加宽时，还须将老桥侧墙拆除，于是两个拱圈便共同支持一个拱上结构。

两个拱圈缝隙处要用软的防水层遮盖起来。同时，施工时往往还须采用前面所述的加固法加固旧拱圈，此项工作最好是在构筑新拱圈前完成。

采用加筑新拱圈加宽石拱桥的方法存在的问题是，贴近原有拱圈建造新拱圈在施工上存在一定的困难。

2. 设置挑出悬臂盖梁的方法加宽旧石拱桥。如图 5-25 所示，挑出悬臂要进行设计验算并设置钢筋。悬臂上一般不仅可布置人行道，而且也可安放部分车行道。

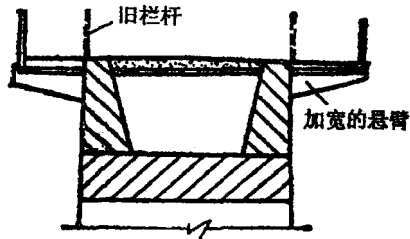


图 5-25 石拱桥加宽情况

靠设置挑出悬臂来加宽桥梁时，必须验算原有桥台的承载力，必要时，还须同时加固旧墩台。

3. 在拱上铺设有足够宽度的钢筋混凝土板进行加宽，这种方法适用于跨径较小的拱桥；或者基础和下部结构都很坚固。但拱圈不能承受由于加宽而产生的额外荷载的桥梁。当基础承载能力不足时，可通过加固措施来满足，如图 5-26。

(二) 双曲拱桥和桁架拱桥的加宽

双曲拱桥和桁架拱桥的加宽，一般可采用在加宽墩台基础的前提下，另增设承载力高的新梁的办法，如图 5-27 所示。对于新老主梁间接缝的问题，同样可采取设置较小的缝隙并用覆盖防水层的方法处理。

此外，还可采用如前所述的挑出悬臂加宽桥面的办法。图 5-28 为某桁架拱桥加宽时挑出悬臂盖梁的细部构造。

(三) 砖石拱桥局部或全部改建

砖、石拱桥只有在不得已的情况下，才采用改建的方法进行维修。改建的情况有两种：

1. 局部拆砌，纠正变形部位。

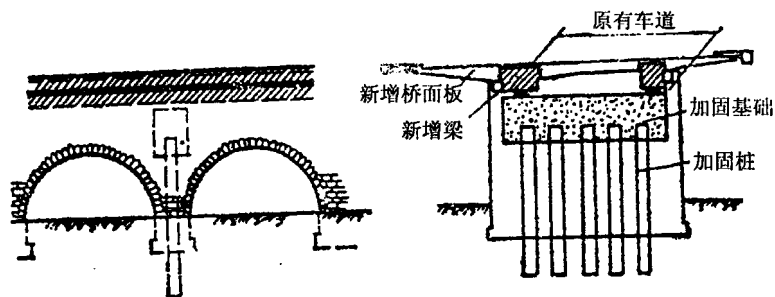


图 5-26 用设置钢筋混凝土梁和加固桩的方法拓宽旧拱桥

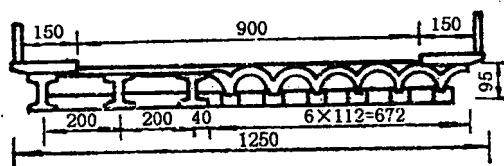


图 5-27 双曲拱桥采用工字梁加宽实例

(单位: cm)

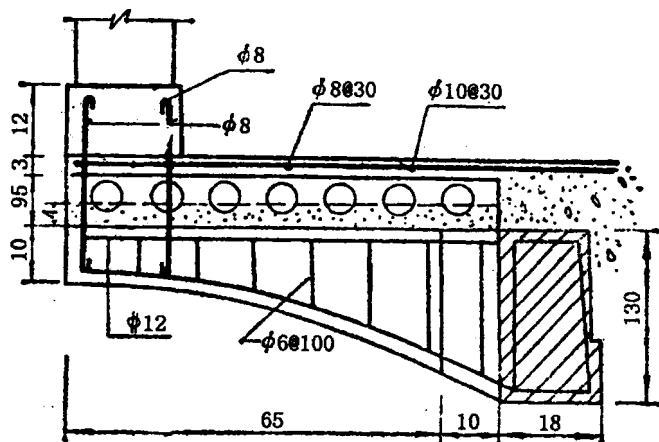


图 5-28 桁架拱桥加宽悬臂构造 (单位: cm)

2. 墩台完好，但从提高荷载等级的需要出发；或者由于损伤严重、施工时砌筑粗糙，石料质量差，旧拱圈的利用价值不大等原因，可采取全部拆除，重新按新标准砌筑拱圈的方法进行加固。在拆除时应注意安全，并对称地拆除，以防受力不均而产生坍塌

事故。

砖、石拱桥改建的情况如图 5-29 所示。

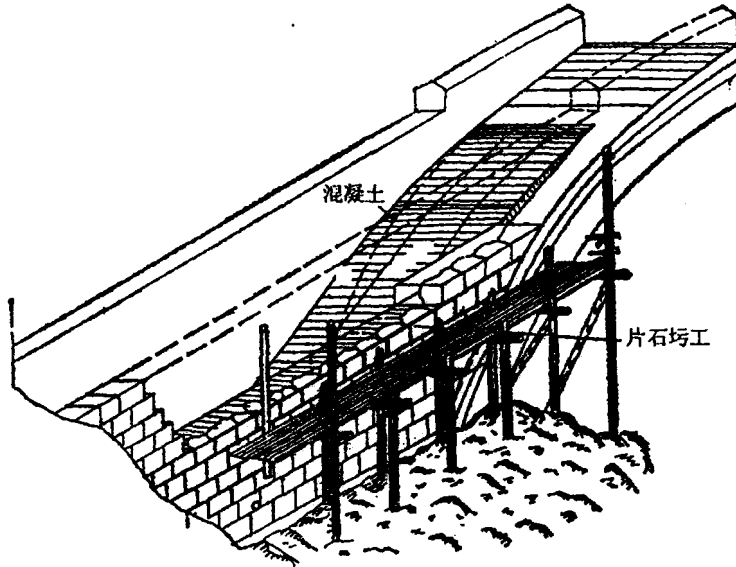


图 5-29 砖石拱桥改建

二、拱桥墩台基础加固法

拱桥构造与梁桥有所不同。因此，其下部构造的加固除可参照梁桥下部结构加固方法外，还有自己独特的加固法。

拱桥基础的损坏往往是指产生较大的水平位移和沉降。由于拱桥桥台产生较大位移和沉降，会造成主拱圈下垂、变形、裂缝扩展，危及行车安全，因此，必须提高基础的承载能力，制止位移和沉降的继续发展。常用于拱桥墩台基础的加固方法有：

（一）桥台增大基础加固法

在桥台两侧加设钢筋混凝土实体耳墙，并将耳墙与原桥台用钢销联接起来，从而达到增大桥台基础面积，提高桥台承载力的目的。如图 5-30 所示，加固后耳墙与原桥台联接在一起，因此，既增加了竖向承压面积，又由于耳墙的自重而增加了抗水平推力的摩阻力。

此法的缺点是增加圬工的体积较大，故耗用材料多，费用较大。

（二）桥台前加建新的扩大基础加固法

当拱脚台前有一定的填土时，可在台前加建新的扩大基础，并将改建为变截面的拱

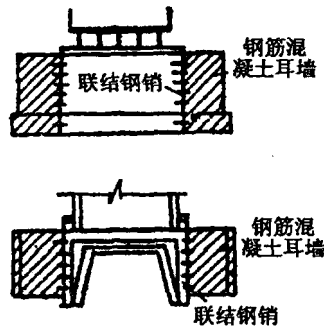


图 5-30 拱桥桥台两侧设置

耳墙扩大基础的加固法

肋支承到新基础上。新老基础之间用钢销进行联接，有条件时在台前新基础下设法增加几根短桩，以提高承载力，如图 5-31 所示、此法的原理是新建的新基础既能增加竖向承载能力和水平方向承载能力，又加强了拱肋断面使之成为变截面拱肋，如前所述，还可相应地缩短了跨径。其优点是不需中断交通，可带来的较大的社会效益。

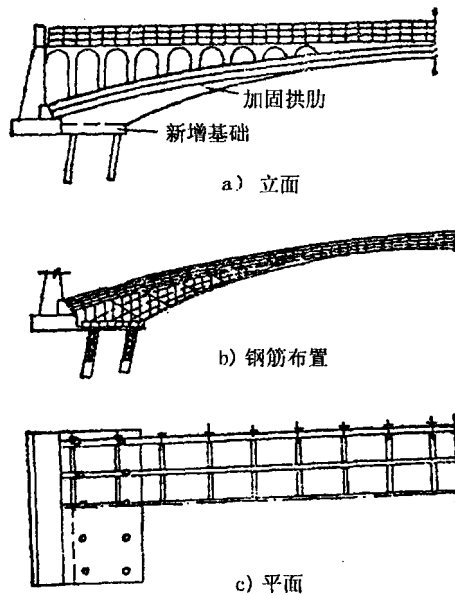


图 5-31 台前加建新基础加固拱桥

(三) 桥墩设置临时斜向支撑或加大面积加固法

对于多跨拱桥，为预防因其中某一跨遭到破坏使整体失去平衡而引起其他拱跨的连锁破坏，可根据具体情况，对每隔若干拱跨中的一个支墩采取加固措施。其方法是在支