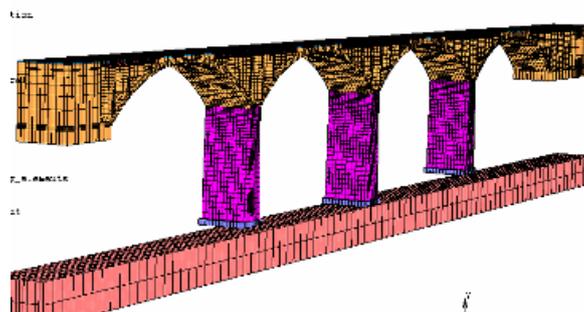


桥梁的 56 个加固技术方法，图文并茂

桥梁改建可以减少开主体发商的初期投资费用(包括拆迁费、土建费等)、缩短建设周期，体现较高的经济价值。目前桥梁加固设计与计算方面的研究还相对滞后，有些方面甚至连公认的算法都没有，使设计者感到难于动手。桥梁加固设计师除了有扎实的专业知识外，最好既有相当的设计经验，又有相当的施工经验，所完成的设计施工图才较合理、可靠、现实、施工质量容易保证、修改变更少、造价合理、加固效果好，不仅能治“标”，能治“本”的尽量治“本”。

如果只有施工经验，所出加固方案及施工图，可能缺乏对结构系统地受力分析及病害成因及趋势分析，往往该加固的部位加固不够或太多，不需要加固的地方也加固，造成多花了钱，加固效果还不好。很多设计者在加固材料的用量上比较随意，凭经验、凭感觉用材料的人不少，是否浪费材料或是达不到最好的加固效果，自己不清楚，业主更不知道，大多没有作加固计算，有的高资质设计单位也只对加固前的结构作些复核性计算，最多作加固后的承载力计算。但大家知道构件的病害往往在正常使用阶段中表现出来，承载能力主要说明构件是否安全，能安全使用的构件并非就没有病害，因此还要作截面上各材料的应力强度计算，才能反映出构件是否有病害、程度如何及发展趋势。

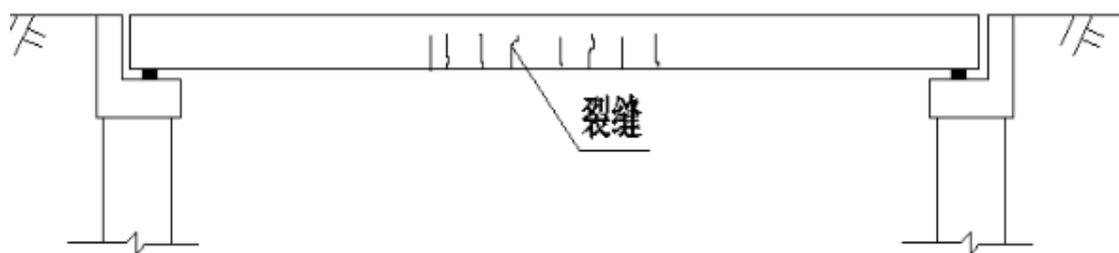


“应力强度计算是反映构件病害的必要依据，承载能力计算是构件安全使用的最后保障”两者均不可缺。现实加固计算中，常出现承载能力极限状态满足要求，但构件确实存在许多病害，于是一种做法是加大车辆设计荷载使承载力不满足要求，但又缺乏可靠的超载资料；另一种做法是根据各种病害及程度通过一些算法得出各种折减系数，对承载力进行折减，以说明构件不满足承载力要求，构件加固后又补足大于等于被折减的承载力，这种做法虽有一定科学依据，但也有不少人为评判因素，同样不能反映控制截面上各种材料的工作状况。

一、钢筋混凝土整体现浇简支板桥

常见的问题：

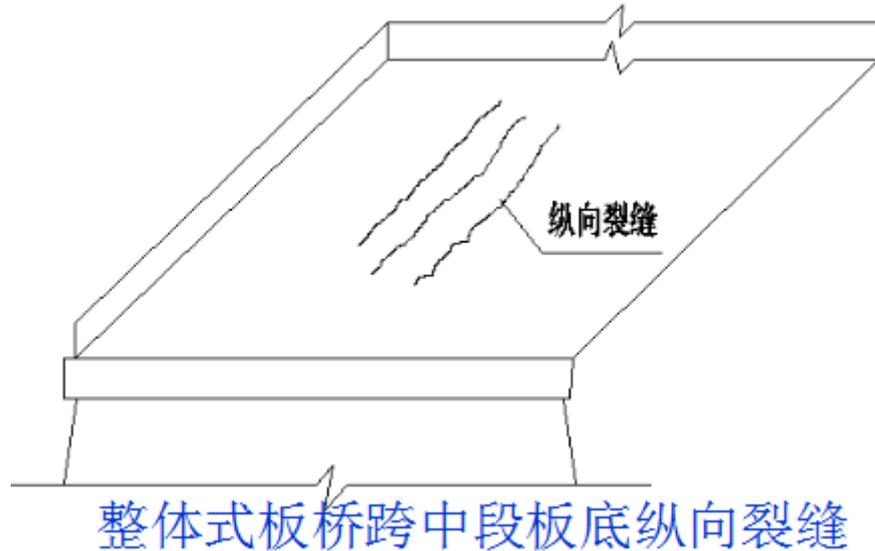
(1)跨中附近板底由下而上的竖向裂缝，一般有多条，静态裂缝宽度有可能超过规范限制值，有时还伴随着跨中下挠，表明抗弯能力已不足。



整体式板桥跨中竖向裂缝

(2)跨中附近板底纵向裂缝，一般也可能有多条，有的静态裂缝宽度也会超过规范要求，这很可能是设计图采用了预制装配的标准图配筋，施工时却改用现浇，将单向板变成整体式双向板，改变了板的受力方式，

导致板底横向配筋严重不足，在横向弯矩作用下，引起板底产生纵向裂缝。



二、混凝土预制装配简支板桥

常见的问题：

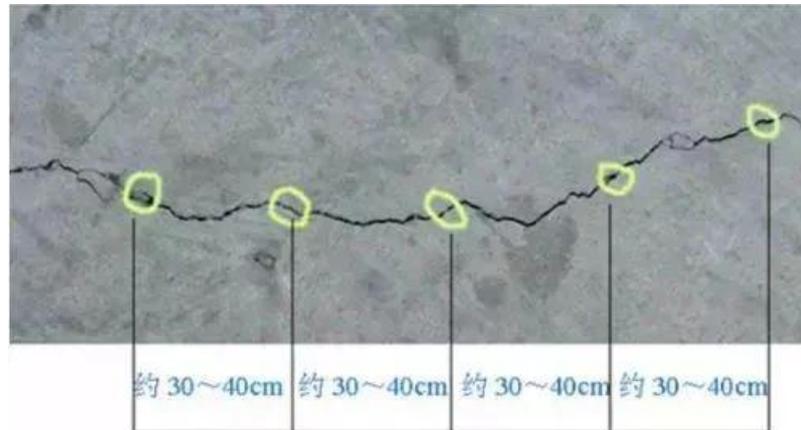
(1)装配式简支板可有桥面铰接缝处出现纵向裂缝，这主要是铰接缝施工质量差，造成各板块的整体性连接差；

(2)也可有支座脱空现象产生，由于每块板的两端各有 2 个支座，每跨桥都有较多支座，如果施工时支座垫石标高有误差，或预制安装时板有翘曲，或墩台有不均匀沉降都会导致部分支座脱空；

(3)钢筋混凝土的简支板跨中附近板底有由下而上的竖向裂缝，缝宽有可能超过规定要求，或有跨中下挠，抗弯能力不足。

(4)板底出现纵向裂缝，预应力混凝土装配式简支板桥大多采用先张法施工，如果由于施工原因造成底板太薄，使得预应力筋周围混凝土局

部应力过大，或者由于混凝土中的氯盐添加剂或者混凝土碳化造成钢筋生锈，均可能产生沿着钢筋的板底纵向裂缝。

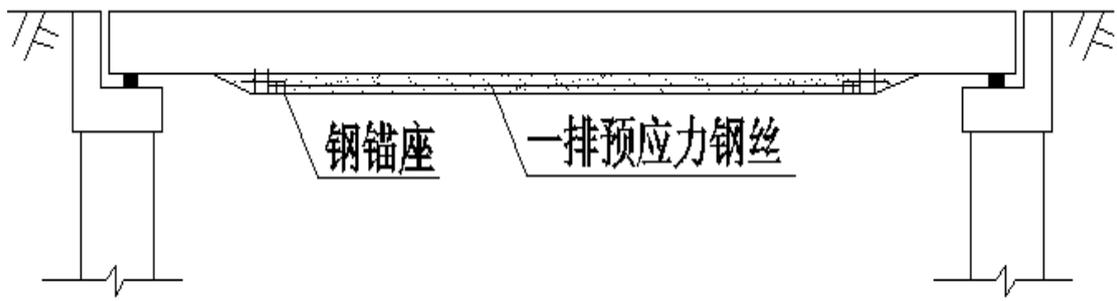


(5)一般的空心板在支承端附近不会出现剪切斜裂缝，但近几年来有的桥梁采用了单块宽度达 1.5 米甚至更大的大空心板，其实相当于小箱梁，腹板厚度不大时，边板的腹板上有可能发现斜裂缝。

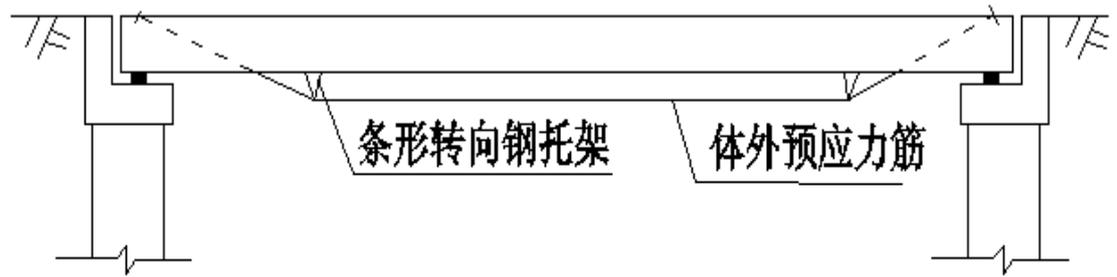
可选的加固方法有：

(1)对板底产生的纵、横向裂缝，当缝宽超过规范的限制时，均可采用粘贴钢板法或粘贴纤维复合材料法加固。但对解决跨中下挠的效果不好；

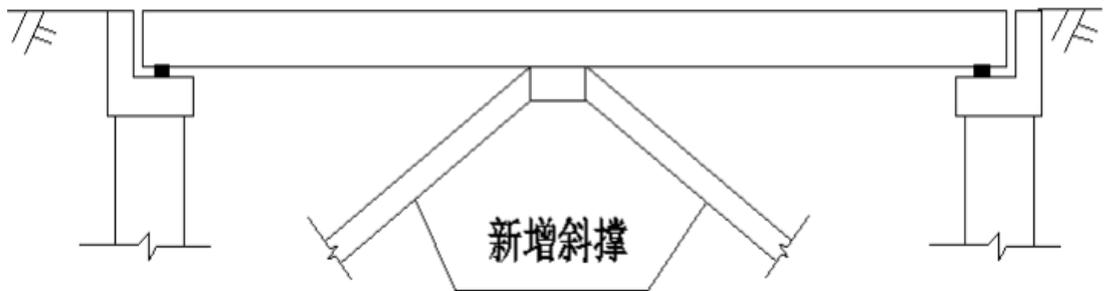
(2)预应力加固法，在板底锚固多根平行的预应力细钢丝，张拉后覆盖特制混凝土(板底锚固多根预应力钢丝)，或者设转向托架后折线形布钢束张拉，预应力钢索穿过两端板中斜孔锚固于铺装层下(折线形布置体外预应力索)。



板底锚固多根预应力钢丝



折线形布置体外预应力索



跨中增加支撑变简支为连续

(3)改变结构体系法，如简支板变连续板，小跨径板桥可在跨中或跨中附近增设桥墩或斜撑，采用“跨中增加支撑变简支为连续”，但应注意在中支点负弯矩区，应结合桥面改造，增设足够的受拉钢筋。以上两种方法对解决跨中下挠效果较好；

(4)锚喷混凝土加固法，在板底锚固钢筋网后，喷射混凝土覆盖。其实质是增加板底配筋，类似于“板底锚固多根预应力钢丝”图，只不过板底增加的是普通钢筋网；

(5)对桥面铰缝处的纵向裂缝，只有通过桥面改造来解决，如增加桥面横向钢筋布置，加厚铺装层等；

(6)对板桥支座脱空现象，可采用更换，加钢垫板，楔紧等方法解决。

三、钢筋混凝土及预应力混凝土连续板桥

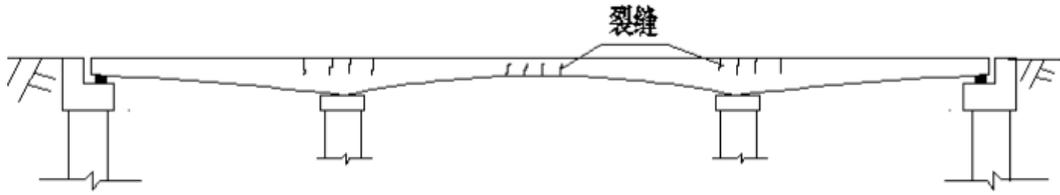
钢筋混凝土及预应力混凝土连续板桥一般采用实心板截面或空心板截面，大多采用现浇施工，跨径在 20 米以下，预应力混凝土连续板跨径偏大些，一般采用后张法，有等高度的，也有变高度的。城市桥梁中的跨线桥、人行桥应用多一些。钢筋混凝土连续板的应用更多。



常见问题：

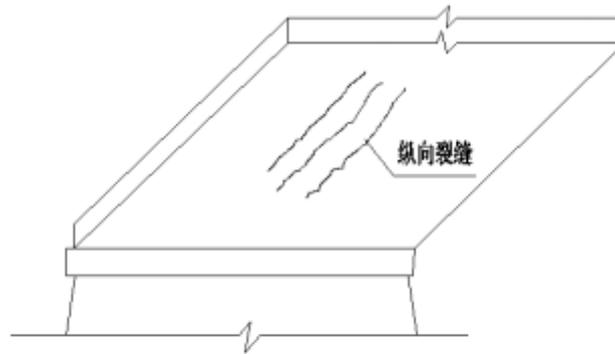
(1)钢筋混凝土连续板桥各跨中附近板底由下而上的多条竖向裂缝，横向有可能贯通，属弯曲裂缝，表明抗弯能力不够；

(2)钢筋混凝土连续板桥各墩顶处桥面开裂，桥下渗水，一般都横向贯通，裂缝可有一条到多条，可由活荷载引起，也可由墩台不均匀沉降引起，如图，说明负弯矩较大，支点截面抗弯能力不足。



连续板支点顶面和跨中底面竖向裂缝

(3)各跨中附近板底出现纵向裂缝，类似于“整体式板桥跨中段板底纵向裂缝”图，要么是钢筋混凝土板底横向钢筋配置不足，要么是混凝土保护层太薄，预应力筋周围混凝土局部应力过大，或是混凝土中的添加剂等原因使钢筋生锈，导致沿钢筋产生裂缝；



整体式板桥跨中段板底纵向裂缝

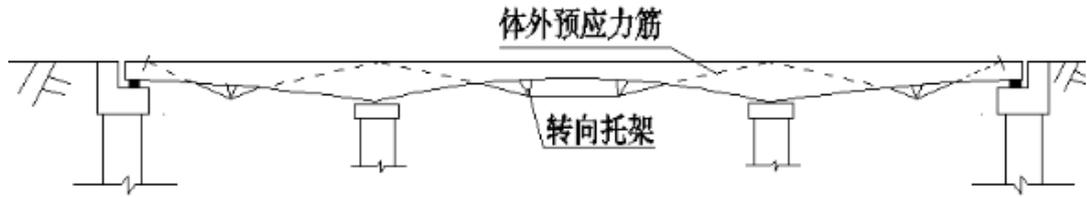
(4)跨中下挠，要么是施加的预应力不足，要么是跨中钢筋混凝土板底竖向裂缝过多过宽导致刚度降低，挠度增大。

可选的加固方法有：

(1)对板底裂缝，当缝宽超过规范要求时，可采用粘贴钢板或粘贴纤维复合材料法加固；

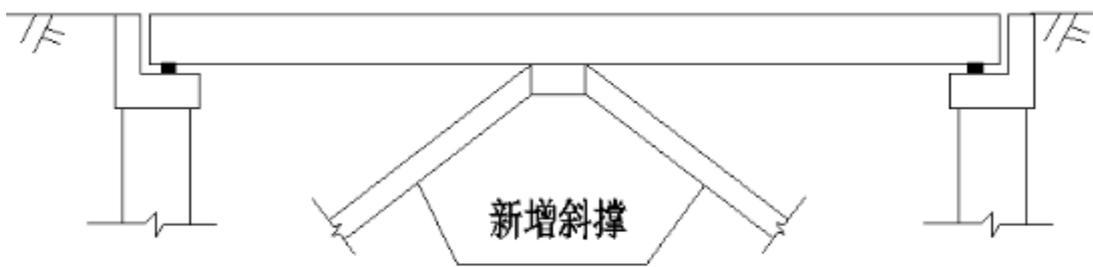
(2)对墩顶处桥面开裂，可采用在负弯矩区的混凝土铺装层内增设受拉普通钢筋或预应力钢筋，提高支点截面抗弯能力；

(3)预应力加固法，在板底设转向托架，按折线形布束张拉，此法对各种因受力产生的病害均有利。



折线形体外预应力索加固连续板桥

(4)改变结构体系法，如在跨中或跨中附近增设斜支撑，解决跨中下挠过大，或预应力不足，类似于下图，但应增强支撑截面负弯矩区的受拉钢筋。



跨中增加支撑变简支为连续

四、钢筋混凝土及预应力混凝土连续板桥

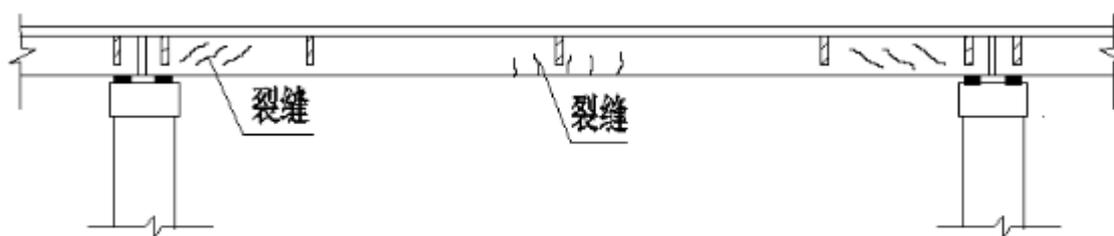
钢筋混凝土及预应力混凝土简支梁是所有运营中桥梁数量最多的梁桥，其断面形式常有 T 形、I 字形、箱形和各种形式的组合。钢筋混凝土简支梁的跨径一般在 10~20 米，预应力混凝土简支梁跨径一般在 16~50 米，少量有更大的。施工方式大多采用预制装配，少量采用现浇施工。由于呈肋板形截面，自重轻抗弯能力及跨径比板桥大，病害种类也要多些。

1)钢筋混凝土简支梁桥

常见问题有：

(1)跨中附近梁底由下而上的竖向弯曲裂缝，数量随跨径增大而增多，恒载裂缝宽度有可能超过规范限制值，有的还伴有跨中下挠过大；

(2)两支承端附近腹板上的斜向裂缝系主拉应力过大或腹板抗剪不足等引起的剪切病害，如图：



简支梁跨中梁底竖向裂缝及支承端附近腹板斜裂缝

(3)梁腹板上的竖向裂缝，多位于薄腹板的中部，中间宽两头细，未向上、向下延伸，多系混凝土养护差、或温度、或腹板上的水平筋太少等原因所致的收缩裂缝，主要影响结构的耐久性；

(4)桥面上沿翼缘板接缝处的纵向裂缝，较多发生在预制装配 T 梁桥翼缘采用铰接或横向联系受损较大的装配式简支梁桥。此种病害会造成恶性循环，加重单片梁的其他病害程度；

(5)其他施工原因产生的裂缝，这些裂缝在工程竣工前就能发现。

2)预应力混凝土简支梁桥

如果是按部分预应力混凝土 B 类构件设计的简支梁，钢筋混凝土简支梁有的病害它都可能有，只是程度不同而已，不再复述。但也与全预应力混凝土简支梁有一些共同的病害。对于全预应力及部分预应力混凝土 A 类构件正常使用条件下不允许出现裂缝，如果出现，不论缝宽大小都应找出原因进行处理或加固。

预应力混凝土简支梁不同于钢筋混凝土简支梁的其他常见病害：

(1)张拉锚具的锚下纵向裂缝，长度一般不超过梁高，主要为锚下局部应力集中产生的劈裂拉力所致；

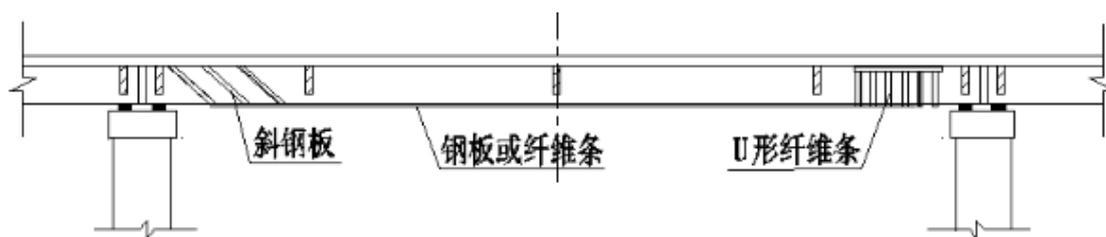
(2)沿预应力钢束的纵向裂缝，主要为预应力钢束保护层过薄，钢束处局部应力过大产生劈裂或是混凝土保护层碳化后预应力筋生锈所致；

(3)跨中下挠过大超过规范容许值，跨中截面不一定开裂。主要为施加预应力不足或预应力损失过大所致。

可选的加固方法有：

(1)对梁底弯曲裂缝和沿预应力筋的纵向裂缝可采用粘贴钢板、粘贴纤维复合材料的方法加固，也可采用增大截面法加固，增加铺装层厚度，加大截面受压区面积对提高抗弯强度和刚度有利，但增加高度有限，同时也增加自重，如果增加梁底截面高度，实际上是增加配筋；

(2)对于腹板上的斜裂缝，可在与裂缝反向并近似与水平线成 45° ，即大致正交于斜裂缝的方向粘贴钢板或纤维复合材料，对梁高度矮，钢板或纤维锚固长度不足时，可粘贴成 U 形箍和加压条的形式。

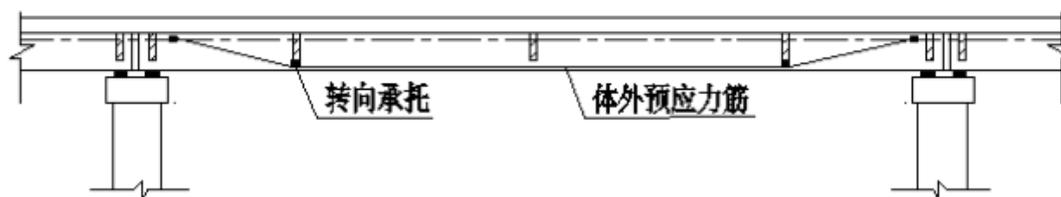


粘贴钢板或纤维复合材料进行抗弯及抗剪加固

(3)对于腹板上的收缩裂缝和锚固区的裂缝，视缝宽大小采用环氧胶封闭或灌缝处理；

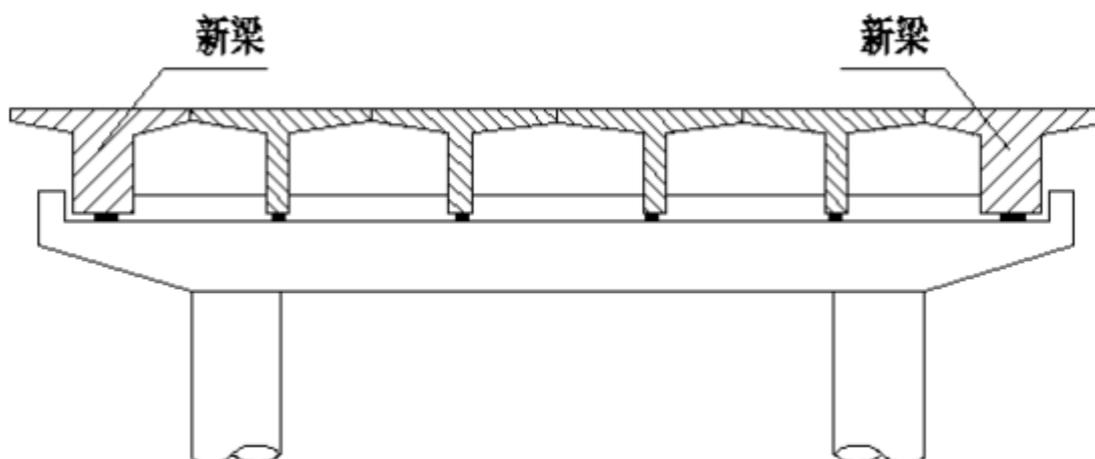
(4)对桥面纵向裂缝，可结合铺装层改造增加厚度和横向配筋，或者增加或者加大横隔板；

(5)上述各种因受力引起的病害，均可采用体外预应力加固法，具体的做法有多种，此法的设计、施工复杂，但效果较好。



体外预应力索加固简支梁

(6)对病害较多，较重的某一单片梁，条件许可时，可割开横向联系更换增大刚度后的新梁，同时减少其它梁的荷载分布。多数情况下边梁病害较重，如图：



更换新梁并改善荷载横向分布

五、钢筋混凝土及预应力混凝土连续梁及悬臂梁桥

连续梁桥及悬臂梁桥的截面形式常有 T 形、I 形和箱形，跨径 30 米以上的大多采用箱形，并采用变高度的不等跨梁，等高度的钢筋混凝土连续梁一般跨径在 30 米以下，变高度的钢筋混凝土连续梁或悬臂梁一般跨径在 50 米以下，跨径偏大仍采用钢筋混凝土材料的此类桥梁比较费材料，而且桥面负弯矩区易出现横向裂缝。等高度的预应力混凝土连

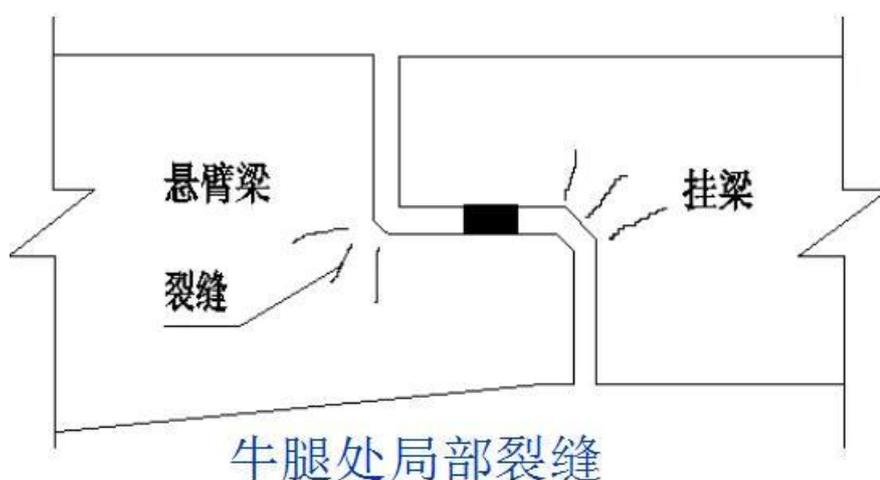
续梁一般跨径在 60 米以下，而变高度的预应力混凝土悬臂梁跨径大多 100 米以下，但 100 米以上也是常有的，连续梁跨径大多在 200 米以下，但 200 米以上也是常有的。这类桥梁在跨越障碍物或城市立交桥中较多采用，不论跨径大小均容易出现各种病害。

常见问题有：

1)钢筋混凝土及预应力混凝土悬臂梁

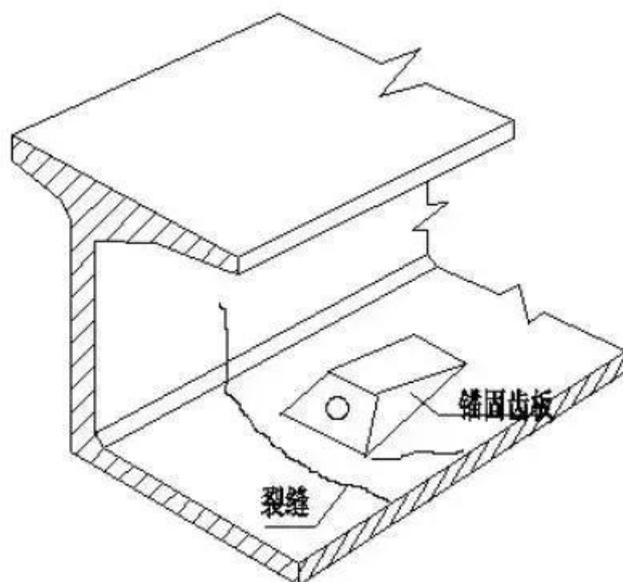
(1)悬臂梁牛腿端下挠过大，常有墩顶桥面开裂。主要是悬臂部分刚度不够，尺寸偏小，超重车影响，或者是纵向预应力损失较大，施工质量差等造成；

(2)悬臂梁牛腿处局部裂缝，如下图，原因主要是配筋不足，高度偏小，温度影响或者是挂梁与牛腿连接不顺，形成跳车，局部冲击过大等所致；



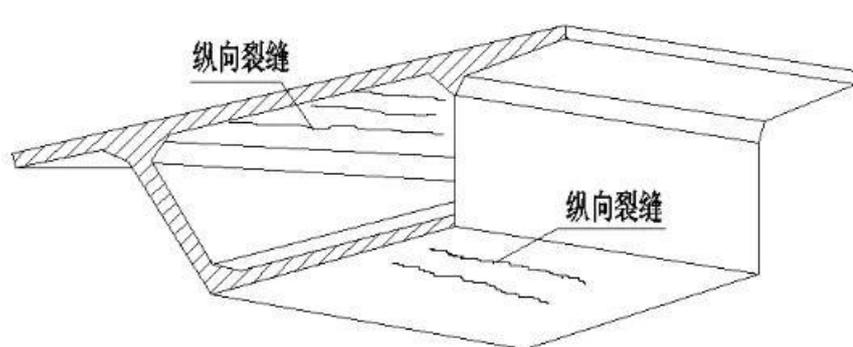
(3)如果悬臂梁的锚固孔跨径过大，在尺寸偏小或配筋不足时，很有可能出现跨中下挠或跨中梁底竖向裂缝；

(4)预应力筋锚固齿板后的斜向裂缝,这是所有预应力箱梁可能出现的病害,如下图,主要是齿板附近应力集中过大,普通钢筋配置偏少、预应力束锚固过于集中等引起。



锚固齿板后开裂

(5)箱梁顶、底板纵向裂缝,如下图,主要是顶、底板横向弯矩过大,无横向预应力、箱梁横向弯曲空间效应、板厚偏小,横向配筋不足,箱梁内外温差过大产生温度应力等原因所致;



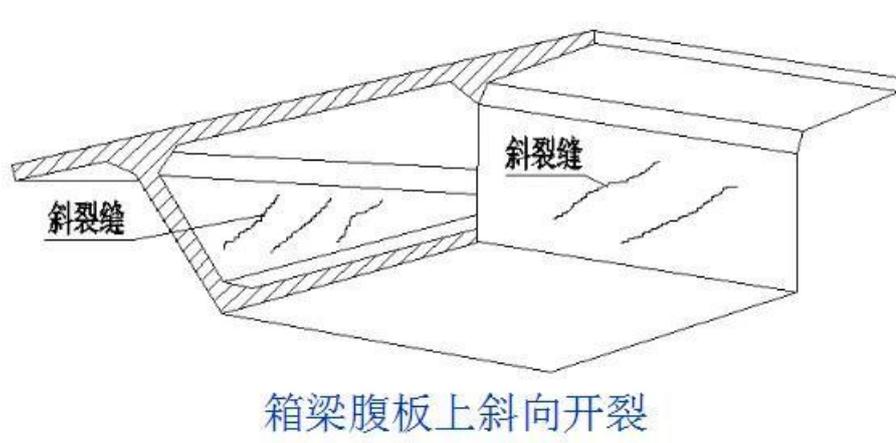
箱梁顶、底板纵向裂缝

(6)箱梁顶、底板梗腋处的纵向裂缝,顶板梗腋处主要是该处有大量预应力纵向钢束通过,局部应力过大,或者是箱梁的正剪力滞效应考虑

不足，或者是偏心荷载下箱梁畸变扭转引起腹板上下端局部应力过大等所致；

(7)箱梁腹板中部的竖向裂缝，常发生在脱模 2~3 天内，上下没有延伸，施加预应力后大多会闭合，这主要与混凝土收缩或箱梁内外温差或腹板水平筋不足，或混凝土混合料质量有关；

(8)箱梁腹板上的斜裂缝，如下图，一般发生在墩台支承点至反弯点间的梁段上，属剪切裂缝，产生原因比较复杂，主要有纵向或竖向预应力不足，或损失过大，箱梁内外温差过大，箱梁的抗弯或抗扭刚度不足，偏心荷载下箱梁畸变应力过大，腹板厚度偏小，剪力滞效应影响，非预应力钢筋配置不足，混凝土混合料及添加剂影响，施工不当，纵向预应力束直线形布置，跨径布置不合理等原因引起。



(9)箱梁腹板上的水平裂缝，如下图，主要由箱梁横向弯曲空间效应与内外温差应力使腹板内侧或外侧产生较大的竖向应力、箱梁横向刚度不足，畸变应力影响，竖向预应力不足等原因引起。

(10)悬臂施工时各分段接缝或合拢段接缝出现裂缝，多由于施工接头处理不好，成为薄弱截面，在纵向弯矩、混凝土收缩或较大温差应力

等作用下开裂,或者由于预制拼装接缝不密实,桥面开裂后,接缝渗水、钢筋锈蚀等。

(11)在箱梁较宽时,也容易出现横隔板或横梁跨中产生竖向裂缝,如下图,这主要是横隔板或横梁中施加的横向预应力不足或损失过大,或箱梁抗扭能力差等引起。

2)钢筋混凝土及预应力混凝土连续梁

跨中下挠过大,往往伴随着跨中梁底横向开裂,墩顶处桥面开裂或腹板斜裂缝,主要原因是抗弯刚度不够,如梁高偏矮,腹板偏薄,纵向预应力不足或损失过大等原因造成。其他病害与钢筋混凝土及预应力混凝土悬臂梁的相同。上述各种病害可选的加固方法有:

(1)对于悬臂梁牛腿端下挠过大,最有效的方法是补加预应力,利用变高度梁的特点,在铺装层中布置通长无粘结预应力索,锚固在牛腿上,铺装层与箱梁顶板间应通过植入大量锚筋传递桥面预应力,如下图1,单箱多室截面并有足够箱高时,可在中腹板顶部两侧布置通长体外束,锚固在腹板上,如下图2,但均要注意对锚固孔的影响。

(2)对于牛腿处裂缝,常在两侧粘贴块形钢板或钢板条,如图3。如果箱内牛腿处能进入操作,可考虑从外面钻孔后穿预应力筋张拉锚固,如图4;

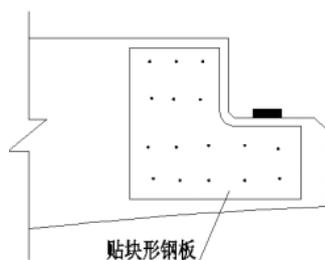


图3 牛腿两侧贴块形钢板

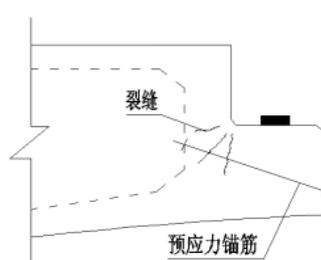


图4 牛腿处钻孔设预应力锚筋

(3)对连续梁跨中和悬臂梁锚固孔跨中下挠过大，最有效的方法是体外预应力加固，利用变高度梁的特点，在箱内腹板两侧布置直线形或折线形体外预应力束加固，如图 1 和图 2，对等高度连续梁宜采用折线形布束加固，如图 3。

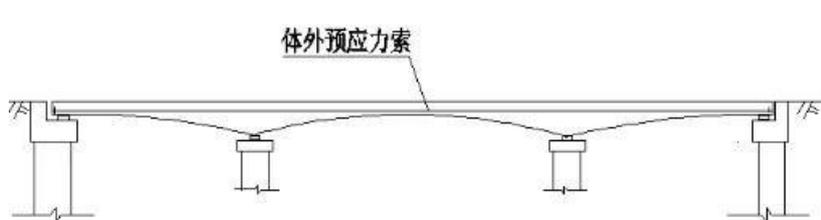


图1 变高度连续梁箱内布置直线形体外预应力索

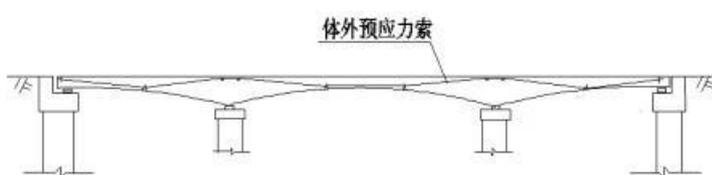


图2 变高度连续箱梁内布置折线形体外预应力索

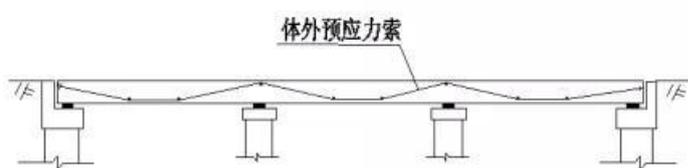


图3 等高度连续箱梁内布置折线形体外预应力索

(4)对预应力锚固齿板附近的裂缝一般采用灌缝后粘贴薄钢板或碳纤维等复合材料加固；

(5)墩顶处桥面横向裂缝，可采用凿除铺装层混凝土，在顶板面增设纵向普通受拉钢筋或无粘结预应力筋，预应力钢束锚固在现浇层中，类似于图 1。或在箱内腹板两侧的截面重心轴以上设体外预应力索加固，类似于图 2。

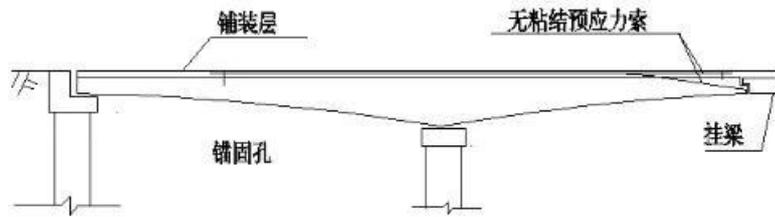


图1 悬臂梁负弯矩区铺装层中布置预应力索

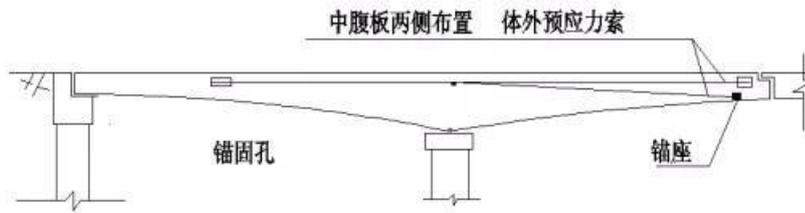
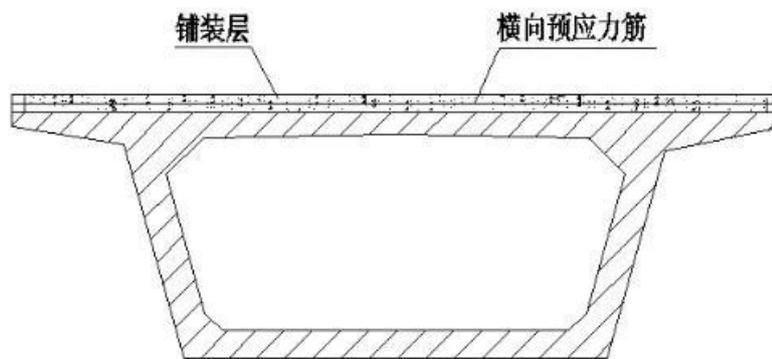


图2 悬臂梁负弯矩区中腹板两侧布置体外预应力索

(6)对连续梁跨中梁底横向裂缝，或分段接头横向裂缝，常采用纵向粘贴钢板或碳纤维等复合材料加固；或采用体外预应力索加固。对于分段拼装接头裂缝，若属于非受力引起，只需灌胶封闭即可；

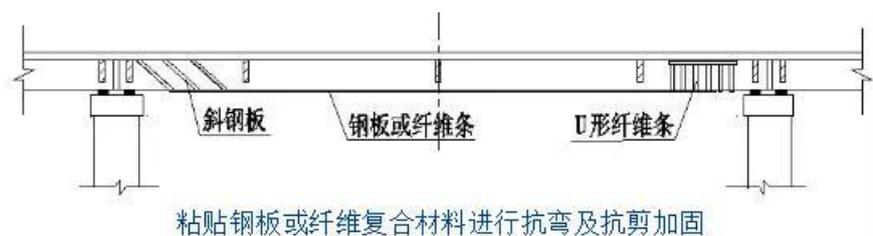
(7)对箱梁顶、底板纵向裂缝，常采用横向粘贴钢板或其它纤维复合材料或增设横向联系等方法加固。如果顶板底面纵向开裂，主要是因顶板横向跨度过大，又未设横向预应力所致，可考虑在顶板上面的铺装层中增设横向预应力筋，如下图，并在铺装层与顶板间植入大量锚筋来传递桥面预应力；



箱梁顶面铺装层中增设横向预应力筋

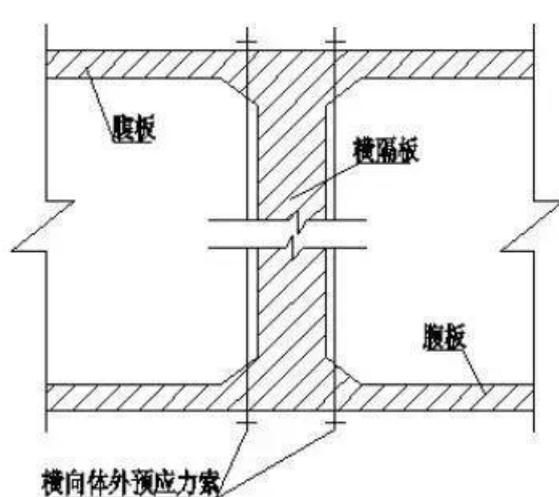
(8)对箱梁顶、底板梗腋处的纵向裂缝及腹板竖向裂缝,可采用封闭、灌缝或粘贴纤维复合材料加固;

(9)对腹板上的斜裂缝,可采用在腹板上粘贴钢板或纤维复合材料,类似于如下图所示。或适当增加腹板厚度,或在纵向或竖向施加预应力等方法加固;



(10)对腹板上的水平裂缝,可采用在腹板上粘贴竖向钢板或纤维复合材料,或增加横向联系,如增设横隔板等,或施加竖向预应力加固;

(11)对箱梁内的横隔板或横梁跨中竖向开裂,可在横隔板两侧补加横向体外预应力,并穿出箱壁锚固,如下图。或增设横隔板,增强抗横向弯曲及扭转的能力。

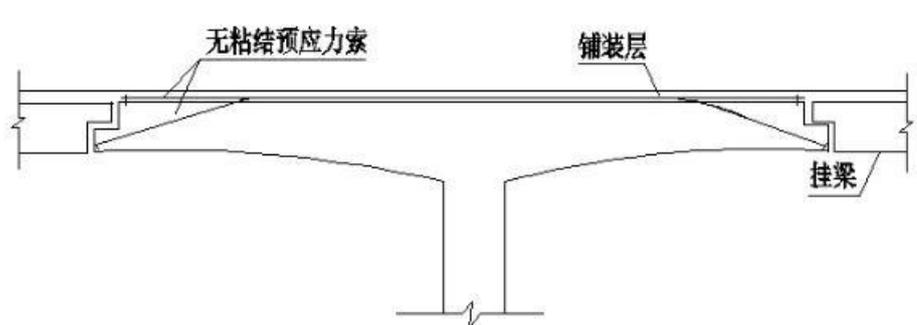


横隔板两侧布置体外预应力索平面示意图

六、预应力混凝土 T 型刚构桥

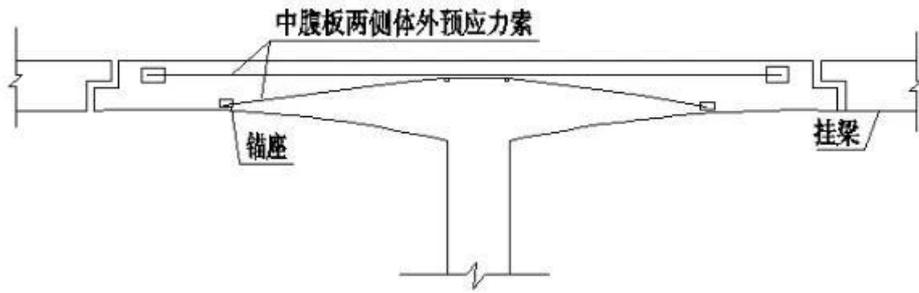
T型刚构桥，有带挂梁或铰的 T型刚构，也有连续刚构。其主要特点为梁、墩固结在一起，但前者的上部结构类似于悬臂梁桥，后者的上部结构则类似于连续梁桥，只是桥墩要承受较大的纵向弯矩。当然受力上还是有差别，跨径也增大许多，像双薄壁墩的连续刚构已达 300 米左右。预应力 T型刚构桥不管是带挂梁的 T型刚构，还是连续刚构，常采用变高度的箱梁，预应力悬臂梁及连续梁桥可能有的病害问题，它们也同样可能存在，可选的加固方法也相同。

有所区别的是带挂梁的 T型刚构由于悬臂较长，如果施工或设计质量不好，特别是施工质量差，造成预应力损失大，悬臂抗弯刚度不足等，很容易出现牛腿下挠过大等病害。采用体外预应力索加固时，无粘结钢绞线可布置在箱梁顶面的铺装层中，锚固在两端牛腿处，新、旧混凝土间植入大量锚筋来传递桥面预应力，如图：



T型刚构桥铺装层内布置无粘结预应力通长索

当箱梁为单箱多室时，可在中腹板两侧布置通长体外预应力索加固，并穿过墩顶两道横隔板的钻孔，锚固在两端腹板两侧的锚座上，如图：



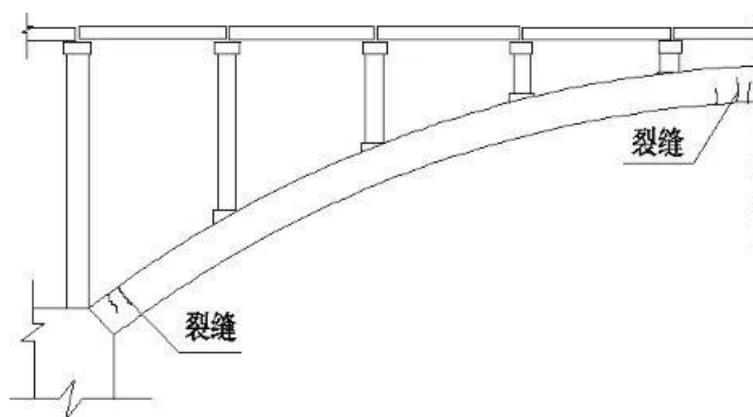
T型刚构桥中腹板两侧布置体外预应力通长索

七、钢筋混凝土板拱、肋拱及箱形拱桥

所谓板拱、肋拱及箱拱主要是按主拱圈截面形式分的，此处主要指上承式拱桥，跨径可小可大，小的 10 几米，大的如箱形肋拱可达 420 米，构造形式繁多，花样多变，但很多病害现象大致相同。

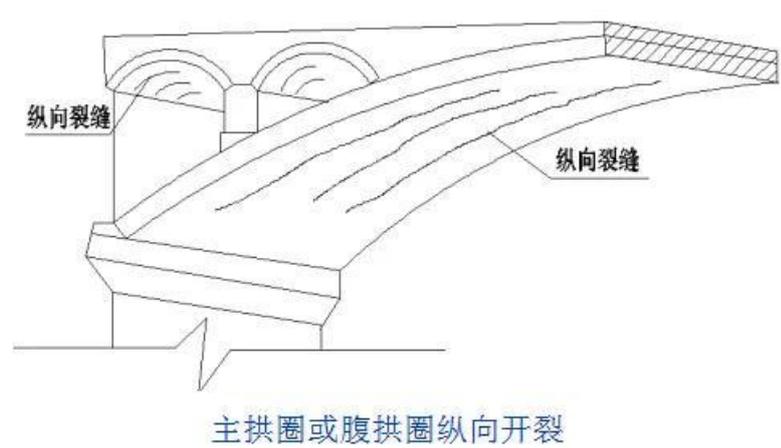
常见问题有：

(1)主拱圈的拱顶下缘及侧面横向裂缝及拱脚上缘及侧面的横向裂缝，如下图。这主要是这两个截面的抗弯强度不足，其具体原因较多，如尺寸偏小，配筋不足，拱轴线不合理、墩台不均匀沉降或向路堤方向滑动或转动、超重车影响、整体性差、施工质量差等引起。如果裂缝的上、下缘位置与上述相反，常为墩台向桥孔方向滑动或转动；



拱顶下缘及拱脚上缘开裂

(2)主拱圈(板拱圈)或腹拱圈出现纵向裂缝，如下图。常伴有墩、台帽或帽梁纵向裂缝，如果裂缝大致居中，可能是墩、台基础的上、下游不均匀沉降引起，如果只是边拱箱接缝处开裂，一般是接缝的连接不好，整体性差，偏载作用下边拱箱受力变形较大引起；

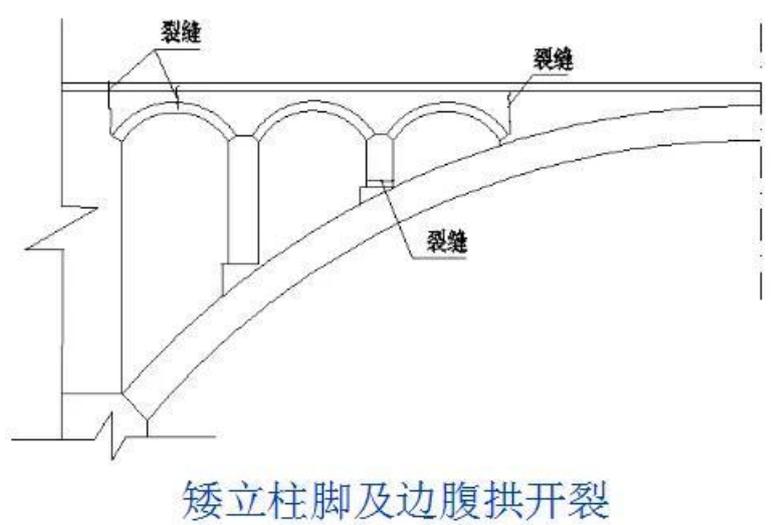


(3)主拱圈局部出现混凝土碎裂，脱落等破坏现象，一般出现在压应力较大的地方，如边角处、等截面拱圈的拱脚附近等，材料的抗压强度不够，引起劈裂或压碎，或者是内部钢筋生锈膨胀所致；

(4)主拱圈拱脚处的径向裂缝，主要是材料抗剪强度不足引起；

(5)双曲拱桥的拱波顶出现纵向裂缝或拱肋与拱波连接处环向开裂，多为各肋间横向联系弱，整体性差，横截面的组合不合理，墩台横向不均匀沉降等所致；

(6)拱上排架、梁、柱开裂，特别是短柱两端开裂压碎，靠墩、台或实腹段的腹拱圈的拱脚、拱顶开裂经侧墙到桥面，侧墙与拱圈连接处脱离及侧墙的其他裂缝，如下图。主要原因为短柱及腹拱圈未设铰，相应位置的侧墙及桥面未设变形缝，在主拱圈变形或墩台位移作用下拉裂；



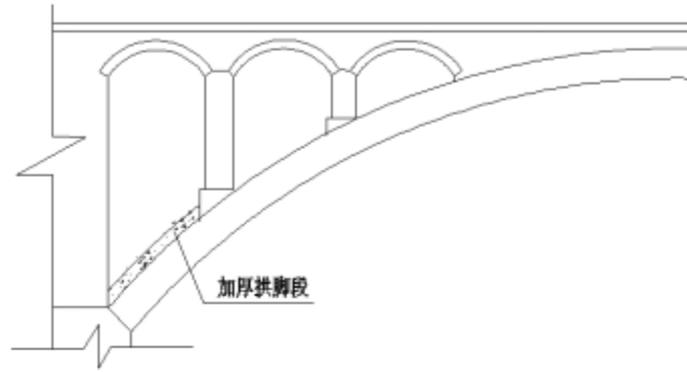
(7)桥面纵向裂缝，常伴有横向联系竖向开裂，特别是跨中横向联系开裂严重，说明桥梁的横向整体性差，荷载横向分布不好；

(8)主拱圈采用分段预制拼装时，接缝处也可能出现裂缝；

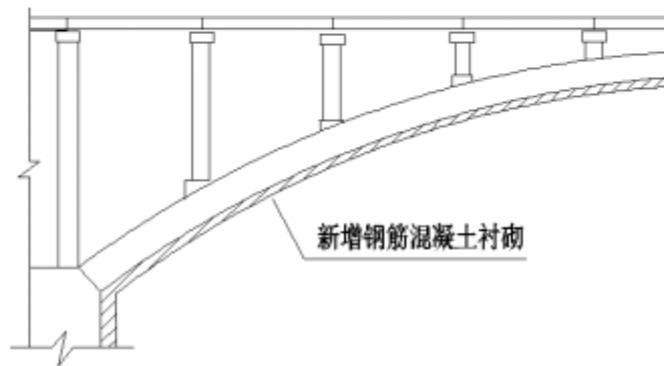
(9)拱肋采用钢管混凝土时，钢管表面可能会出现收缩状褶皱，或管内有空洞、离析，常为钢管厚度不足，套箍作用部分散失，以及钢管格构布置不合理，管壁加劲肋不足等引起。

可选的加固方法有：

(1)因主拱圈为偏心受压构件，如果出现拱顶、拱脚横向开裂或局部压碎，最好采用从拱腹面或拱背面增大截面的方法加固，如凿毛原混凝土表面、植筋和布筋后浇筑混凝土或喷射混凝土，特别是拱脚处裂缝，需要在墩台帽中植入钢筋，再增大拱脚段截面，如下图：

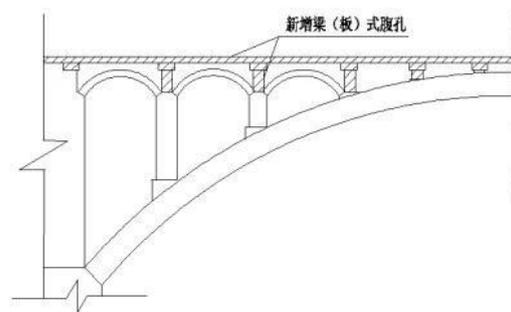


增加拱脚段配筋并增大截面



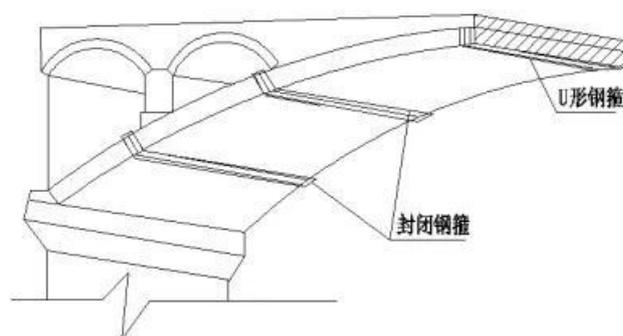
拱腹新增钢筋混凝土衬砌

其次可采用粘贴钢板或纤维复合材料，但应注意拱腹粘贴材料过长，受弯后产生径向撕裂作用的问题。在中、小跨径拱桥中还可考虑体外预应力加固，但应考虑对其它部位的影响。还可采用减轻拱上建筑自重，如更换填料、或挖除填料及侧墙改拱式腹孔为全空腹式梁板腹孔来减轻主拱圈负担，如下图，但主拱轴线形有所变化，应注意验算。如果是墩台位移引起的病害，且还在继续发展，则应先加固墩台，消除病因。



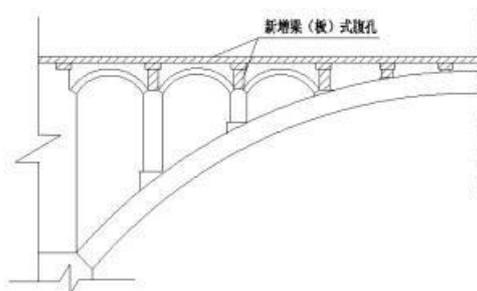
挖除拱上填料及侧墙改拱式腹孔为全空腹式梁板腹孔

(2)对主拱圈或腹拱圈出现的纵向裂缝，墩、台帽纵向裂缝及墩、台身竖向裂缝，如裂缝继续发展，则须先加固基础及其它下部结构，拱圈裂缝应视缝宽大小，采用灌浆封闭，增大截面，横向粘贴钢板或纤维复合材料。或增设多道钢箍，并尽量做成封闭箍，或通过钢拉杆，施加横向预应力等方法加固，如下图。



主拱圈上设钢板箍或预应力钢拉杆

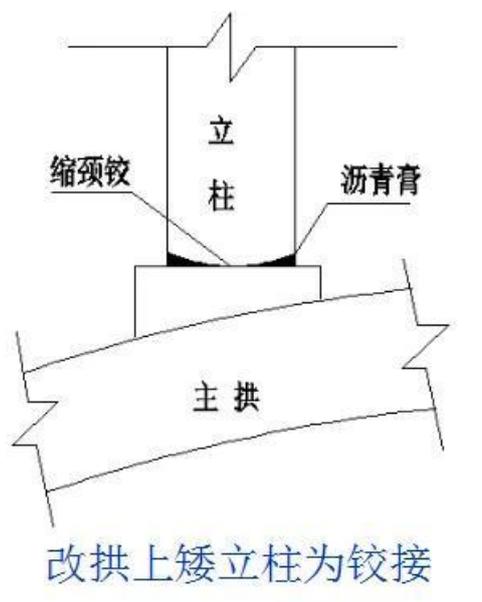
(3)对双曲拱桥拱波顶或拱肋与拱波连接处的纵向裂缝，应加强或增设横向联系，增大拱肋或拱板截面或者增加拱肋数量，减轻拱上建筑自重，如更换腹拱和实腹段的填料，改横墙式腹孔墩为立柱式腹孔墩，改拱式腹孔为梁板式腹孔等，如下图。如果是墩、台横向不均匀沉降引起的开裂，则应先加固地基。



挖除拱上填料及侧墙改拱式腹孔为全空腹式梁板腹孔

(4)对拱上矮立柱上下端裂缝，最好改成缩颈铰，让它能适当转动，如下图。对于靠近墩台及实腹段的腹拱圈拱脚或拱顶裂缝，如果裂缝较

宽至断裂或两侧有明显高差，则要考虑拆除重建为三铰或两铰腹孔，否则可暂不管它，但相应位置处侧墙及桥面的变形缝要设置好，不然会漏水；



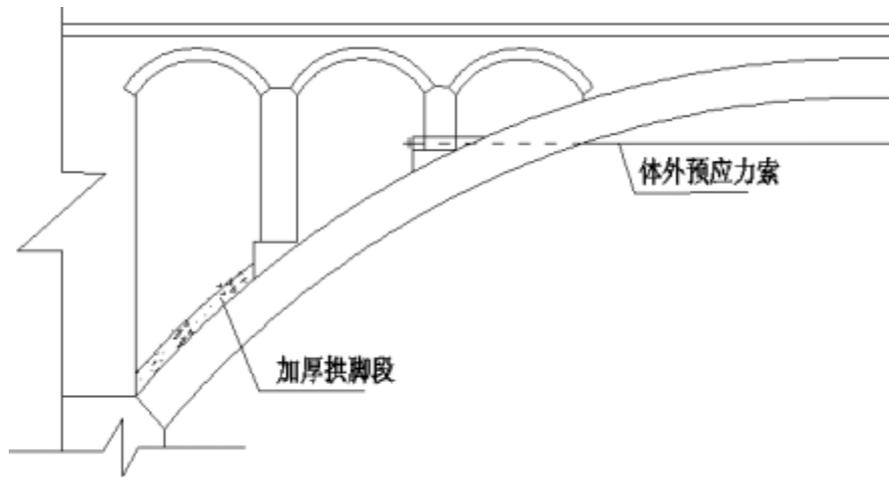
(5)对桥面纵向开裂及横向联系竖向裂缝，应加强结构的横向整体性，如加大或增加横梁，结合翻新桥面，适当加厚混凝土铺装层厚度、提高标号、增强桥面横向配筋，有填料的拱桥，将填料挖除并改为现浇混凝土等方法加固；

(6)对主拱圈接头不好产生的裂缝可采用灌缝、植筋连接或补焊连接等方式加强；

(7)对钢管混凝土钢管表层的折皱，最好采用外包一层钢筋混凝土增大截面，或加密格构间的缀体板，或增加管壁加劲肋。对管内空隙则要钻孔注入环氧胶浆或水泥浆充满；

(8)对拱顶下挠过多，底面横向开裂的拱桥，可采用体外预应力索在拱圈弹性中心以下部位的拱背上设锚座张拉，使拱顶产生负弯矩及反拱度，如下图，但拱脚处也同时产生负弯矩，应加大拱脚段截面来处理，

体外索的具体位置及张拉力大小应根据拱圈内力(主要是弯矩)的变化反复试算后确定；



拱上布置体外预应力索

(9)对肋拱、双曲拱等因拱脚水平位移及下沉造成主拱圈变形过大及开裂，拱轴线与压力线严重偏离，采用其它补强措施难于奏效时，可采用拱脚顶推复原调整拱轴线的方法改善拱圈受力，但此法技术复杂，风险大，成本也不低，较少采用。

(10)以上各种加固方法中，若对拱上建筑进行改造或对主拱圈增大截面时，在卸载和加载过程中应注意单孔和多孔间的均衡对称性，保证拱圈及墩台的稳定。

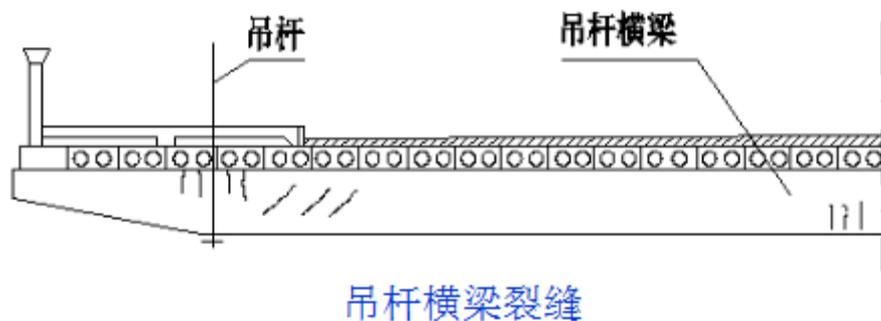
八、中、下承式拱桥

中、下承式拱桥为肋桥拱，拱肋常为钢筋混凝土矩形，I形或箱形(后者较多)。也常用钢管或钢管混凝土，或他们的组合体。从受力体系来讲有普通拱(即有推力拱)和系杆拱(即无推力拱)，与上承式拱桥的主要构件区别有吊杆、吊杆横梁(有的还有纵梁)、系杆。吊杆有刚性吊杆和柔性吊杆，后者用得较多。

系杆也有刚性与柔性之分，中承式(飞燕式)系杆拱常用柔性的高强钢丝作为系杆，下承式系杆拱有柔性系杆刚性拱，刚性系杆刚性拱和刚性系杆柔性拱之分，前两者较普通。除了有类似于上承式拱桥的病害外，还可能有如下病害：

(1)吊杆锚头松脱、锈蚀或钢丝锈蚀、剪断，重点在桥面下的锚头及短吊杆的两端锚头容易出现；

(2)吊杆横梁作为简支梁或双悬臂简支梁，常用钢筋混凝土或预应力混凝土，可能跨中梁底会有竖向弯曲裂缝，靠吊点两侧的腹板上出现斜裂缝，此外吊点处的横梁顶面可能出现纵向裂缝，如下图。吊杆横梁间有纵梁的梁格系桥面，纵、横梁的节点附近以及拱肋与刚性系杆的节点附近也可能会出现开裂现象；



(3)系杆锚头的松动、锈蚀，或钢丝锈蚀、断丝。刚性系杆因要承受轴力及局部弯矩，类似于弹性支承的连续梁，也具有受弯构件常见的病害。

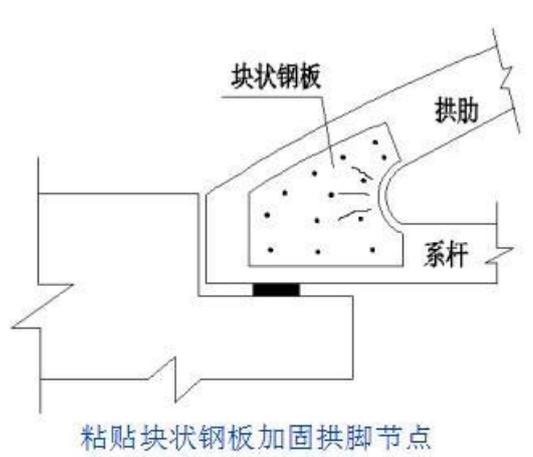
可选的加固方法有：

(1)对于吊杆或系杆的锚头松动或个别滑丝的，条件许可时，应重新收紧锚头张拉松弛的系杆或吊杆来调整内力或标高，柔性吊杆大多采用墩头锚，可通过增加钢垫块的方法收紧，系杆若采用夹片锚则应补拉重

锚。对严重锈蚀、断丝或无条件张拉收紧的吊杆或系杆，应通过预留孔道换索，没有预留孔道的，则应采取其它措施将所换吊杆或系杆临时卸载后再换索。

(2)对于吊杆横梁、纵梁或刚性系杆出现的各种裂缝可像本章前几节的钢筋混凝土或预应力混凝土简支梁、连续梁和悬臂梁那样进行加固，如体外预应力法、粘贴钢板或纤维复合材料法等。

(3)对纵、横梁节点及拱脚节点裂缝，简便的方法是粘贴块状钢板或纤维复合材料，如下图。

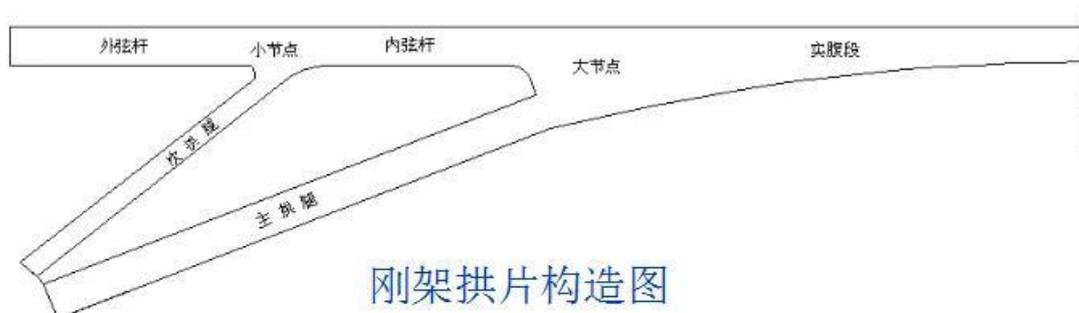


九、钢筋混凝土刚架拱桥

正常情况下，大跨度刚架拱最常见的病害是弦杆和刚节点处的裂缝，只要有病害的刚架拱桥，大多有这类裂缝，但对钢筋混凝土构件来说，只要裂缝宽度不超过容许值，也属正常使用。虽然目前有较多的业主反对再新建刚架拱桥，但通过对其病害原因的分析，应该正确地看待其承载能力及使用性能的问题。

刚架拱桥可选的加固方法

刚架拱桥主要由外弦杆、内弦杆、实腹段、拱腿(主拱腿)、斜撑(次拱腿)、横向联系、桥面板及桥面铺装层组成，如下图。以下将对各构件病害现象、病害原因及目前采用的加固方法逐一论述。



刚架拱片构造图

(1)桥面板：刚架拱桥的桥面板常用少筋肋腋板或微弯板两种，极少数采用矩形实心板或空心板，前两种就是在矩形板的基础上优化出来的。钢筋和混凝土用量较少，重量轻，特别是肋腋板做到了挖空心思，代价是施工复杂。少筋肋腋板和微弯板不仅配筋少，厚度尺寸也偏小，在短期设计荷载下肯定没有问题，长期超载较多的情况下，实桥病害表明：肋腋板底出现方向不太规则的裂缝，严重的已露筋、漏水。如果是微弯板则微弯板的加劲肋中部底面均有多条向上延伸的竖向裂缝，其中有的裂缝可延伸至板顶，造成板顶纵向开裂。

对上述病害可选的加固方法有：

对底面开裂的肋腋板，可采用粘贴双向编织的纤维布或粘贴钢板，纤维的强度不必太高。对加劲肋开裂的微弯板，采用垂直裂缝的单向碳纤维片形成 U 字型，粘贴于肋底比贴钢板方便，微弯板顶的纵向裂缝视宽度大小，采用灌缝和封闭处理。结合桥面改造，增加现浇层的厚度及强度、加强现浇层内的配筋，以改善桥面板的受力状况。

(2)内、外弦杆及实腹段：弦杆及实腹段常采用矩形、工字形、箱型截面，外弦杆为受弯构件，内弦杆及实腹段为压弯(偏心受压)构件。一般拱片产生的裂缝，常出现在外弦杆上，其次是内弦杆和实腹段。外弦杆竖向裂缝和大、小节点两侧的斜裂缝是常见的，只是程度不同而已，当然如果裂缝宽度在容许范围内，也符合设计要求，或者还不到必须加固的地步。但对病害严重的刚架拱桥，外弦杆和实腹段跨中底部受拉区、内弦杆的裂缝较多、较宽，有的横向已贯通，竖向也裂至顶部，特别是节点两侧的斜裂缝较宽，有的已贯穿。

可选的加固方法有：

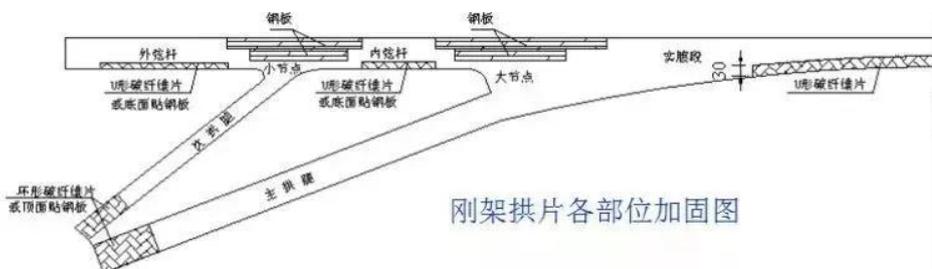
①对刚架拱外弦杆受弯构件的加固，如果弦杆不属于超筋梁，可采用在底面受拉区粘贴 U 型纤维片或粘贴钢板或增大截面高度和配筋，如果弦杆属于超筋梁，最好采用增大截面高度和配筋的方法，或在底面受拉区粘贴 U 型纤维片或粘贴钢板的同时，增加桥面现浇层厚度。

②内弦杆为偏心受压构件，可采用与外弦杆相同的方法加固。

③大、小节点两侧的斜裂缝，可在裂缝面粘贴钢板或纤维片加固，以承受主拉应力。增大弦杆截面高度，也能减小主拉应力。

④对跨中实腹段的微弧形底面，可采用粘贴 U 型碳纤维片，以承受弯曲拉应力及径向撕拉力，或采用增大截面高度和配筋的方法。

⑤对弦杆及实腹段其它部位的裂缝，可采用灌缝和封闭裂缝。

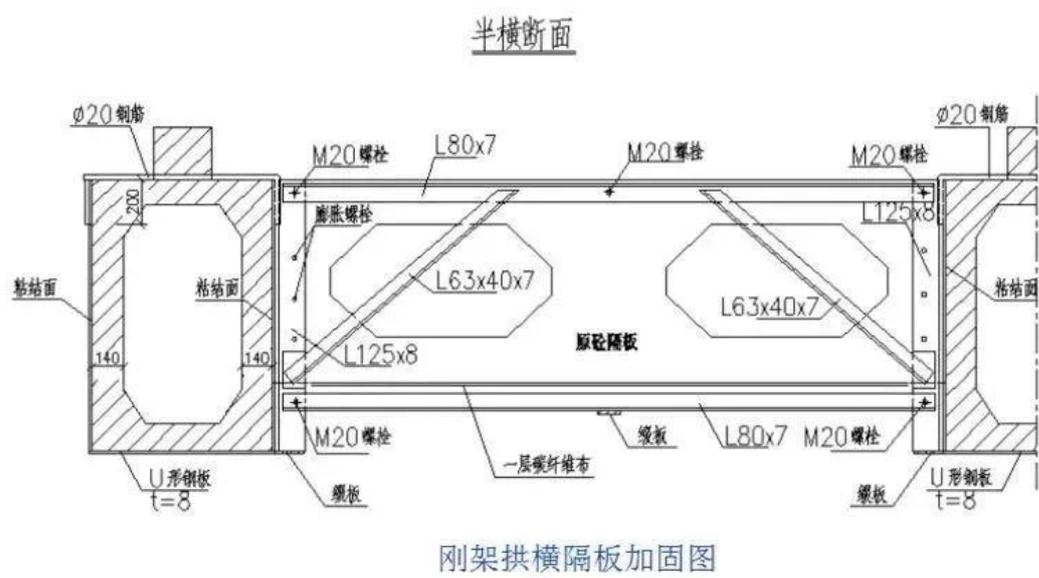


刚架拱片各部位加固图

(3) **横向联系**：刚架拱桥的横向联系，在弦杆及实腹段约 3 米有一道，节点处得到加强，在拱腿及斜撑上，根据跨径大小，也有一至多道，一般情况下都比较完好。但整体性受损的刚架拱就大不一样，实腹段及弦杆段的横隔板中部大多有上下贯通的竖向裂缝，挖空的横隔板比实心横隔板严重，特别是实腹段横隔板裂缝较多较宽，个别的几乎断裂成只有钢筋相连，拱腿及斜撑上的横向联系一般基本完好。而采用重力式墩台的刚架拱桥，横向联系很少有病害，说明刚度低的轻型拱桥不宜采用柔性墩。

可选的加固方法有：

① 中断交通施工时，横隔板可采用混凝土加固，即在原横隔板的基础上，通过植筋加厚加高横隔板。不能中断交通施工时，横隔板只有采用施工快速、简便的钢结构加固，如下图。在原混凝土横隔板的四个角，采用粘贴和螺栓固定四根角钢，再用两片钢桁架夹住原混凝土横隔板，施工时作好所有横隔板加固准备工作，并点焊固定位置后，临时中断交通，将各钢构件焊接完成后，再恢复交通。



(4)主拱腿及斜撑：主拱腿和斜撑为小偏心受压构件，在恒载及车辆作用下，一般不产生拉应力，其内主要按构造配筋。但有的斜撑底部附近有较多由顶面而下的环形裂缝，有的开裂至截面高度一半左右。采用有限元计算分析可知，使用荷载下，构件不产生拉应力，但在墩、台不均匀沉降时，斜撑底部的负弯矩就非常敏感，较小的不均匀下沉，在此处将产生较大的拉应力。实桥观察也说明斜撑底部有裂缝出现，极可能是墩、台有不均匀沉降。此外，温度下降时也容易产生斜撑底部的负弯矩。

可选的加固方法有：

对于斜撑根部的裂缝，可采用环形包裹粘贴纤维布，也可采用顶面粘贴钢板或碳纤维条。也可考虑增大截面加固。

(5)桥面铺装层：桥面现浇层对采用预制拼装施工的桥面板来说，尤为重要，以其它类型桥梁相比，刚架拱桥的混凝土铺装层是组合断面的一部分，直接参与受力，更重要的是拱片大、小节点负弯矩区的受拉钢筋都布置于现浇铺装层中。如果该位置所承受的拉应力过大，将会导致桥面横向贯通开裂，若桥梁整体性较差，还会引起桥面的拱片位置处纵向贯通开裂，这两类裂缝均属结构受力性裂缝，必须尽快进行加固。其他坑槽、网裂之类均属铺装层本身局部病害。

可选的加固方法有：

④ 凿除桥面铺装，重新浇筑铺装层混凝土，按新规范要求提高混凝土标号，加强桥面钢筋网的配筋。并特别注意钢筋网必须架起来。新浇铺装层的厚度，根据需要决定是否加厚。

② 进一步加强负弯矩区的纵向钢筋配置。

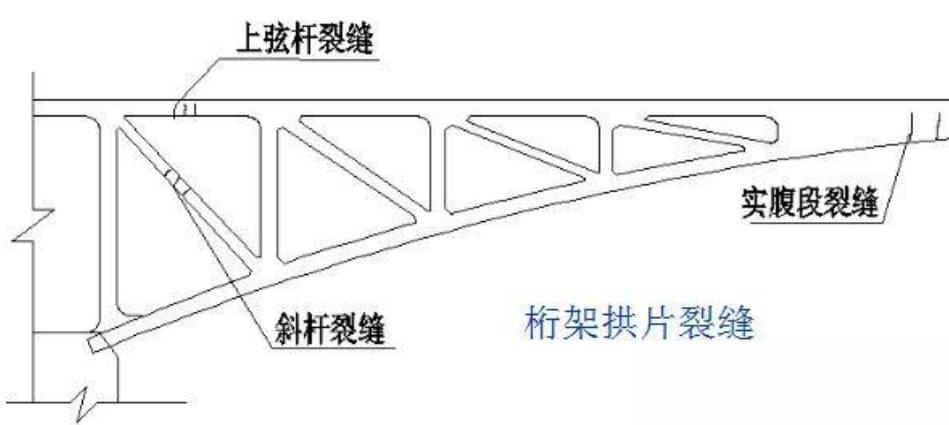
十、混凝土桁架拱或桁式组合拱桥

中等跨径以下的桁架拱一般采用钢筋混凝土，中等跨径以上的桁架拱或桁式组合拱桥一般采用预应力混凝土，它们均为组合体系拱，常采用预制拼装施工。上弦杆及跨中实腹段除承受轴力外，还承受较大弯矩，下弦杆为偏心受压构件，腹杆有斜杆和竖杆，一般采用斜拉杆式腹杆，即斜杆为偏心受拉，竖杆为偏心受压构件。因此跨径大时，需在上弦杆、斜杆及实腹段中施加预应力。

常见问题有：

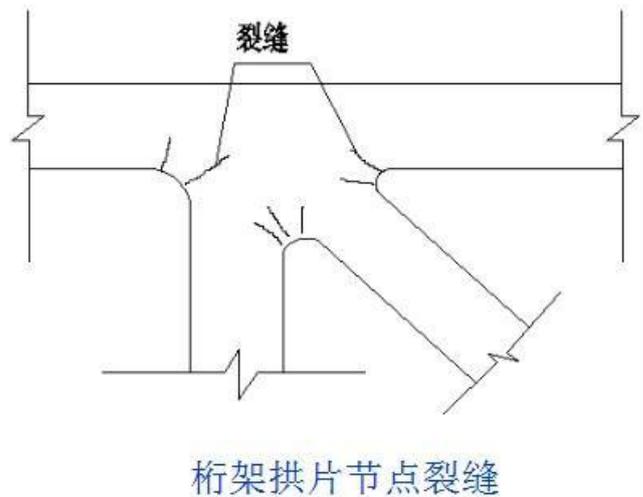
(1)上弦杆及实腹段跨中附近底面及侧面横向开裂，或下挠过大，表明杆件的有效预加应力不足，或截面高度偏小，普通钢筋配置不足；

(2)斜杆开裂，说明拉力过大，预加应力不足。



(3)下弦杆及竖杆沿杆长方向出现多条裂缝或局部压碎，主要是杆件截面尺寸偏小。如果出现垂直于杆长方向的裂缝，说明杆件的长细比过大或桁架片变形较大引起较大偏心弯矩所致；

(4)各杆件节点附近开裂，由于各杆件轴线一般不会相交于一点，且受其他附加应力影响使节点局部应力过大引起开裂，如图：



(5)横向联系(如横隔板、横系梁、剪刀撑等)中部出现竖向裂缝或其它裂缝，主要是桁片横向整体性差，横向联系刚度不足、尺寸偏小；

(6)由于桁架拱采用预制拼装施工，接头较多，干接头可能因焊接质量或疲劳问题松脱，湿接头也可能因接头强度不足引起开裂；

(7)桁架拱桥的桥面板一般用钢筋混凝土微弯板，钢筋混凝土或预应力混凝土矩形空心板或实心板。桁式组合拱桥的桥面板常用钢筋混凝土单向板或双向板。其病害与上节刚架拱桥类似。

可选的加固方法有：

(1)对上弦杆、斜杆及实腹段裂缝，如果不太严重可采用粘贴钢板或纤维复合材料方法加固，否则可采用体外预应力加固，或结合增大截面，张拉体外预应力索后用钢筋混凝土包裹；

(2)对下弦杆及竖杆的裂缝，最好采用增大截面法加固，如果裂缝不太严重，可采用加钢板箍或包裹纤维复合材料加固；

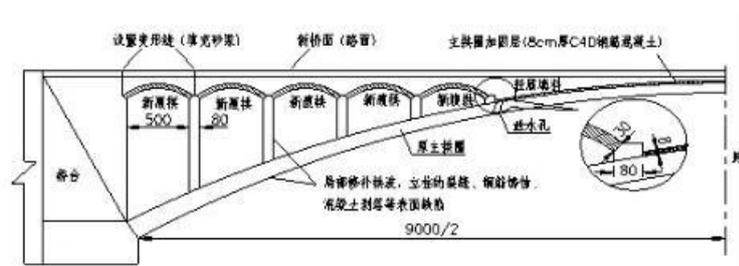
(3)对节点裂缝，可采用粘贴块状钢板或纤维复合材料加固；

(4)对横向联系裂缝，最好采用加大横向联系截面尺寸，或增设横向联系，或施加横向预应力加固。如果开裂程度较轻，可采用局部粘贴钢板或纤维复合材料加固；

(5)对各种施工接头的裂缝，可采用补焊、灌缝、植入锚筋、粘贴钢板等方法加强。

十一、圯工拱桥

圯工拱桥主要指用石材、混凝土预制块砌筑的实腹式或空腹式拱桥。



常见问题有：

(1)拱圈出现大面积的严重风化剥落、灰缝脱空。原因是砌体和砂浆的材质差，或者受到腐蚀性强的水和气体的浸蚀；

(2)主拱圈拱顶下缘出现 1~2 条横向贯通的裂缝，如果裂缝两侧有明显高差，说明墩台有不均匀下沉，若无明显高差，但拱顶有少量下沉，则可能墩台向桥孔外滑动或转动，或由于拱圈承载力已不足引起，若拱顶上拱且下缘出现横向压碎裂纹，则可能墩台向桥孔内滑动或转动；

(3)拱圈的个别拱石出现裂缝，灰缝脱落，压碎或外凸；

(4)拱圈分层砌筑时，沿砌缝出现环向裂缝，这主要与施工时的砌筑工序，支架变形、砌缝处理及砂浆强度有关；

(5)砌体表层沿砌缝无规则的开裂，主要是砂浆标号低或砂浆不饱满；

(6)拱上侧墙外倾或伴有斜向沿竖向砌缝成锯齿状的裂缝，特别是实腹式拱桥的侧墙，主要是拱上填料在车辆作用下产生较大土侧压力所致；

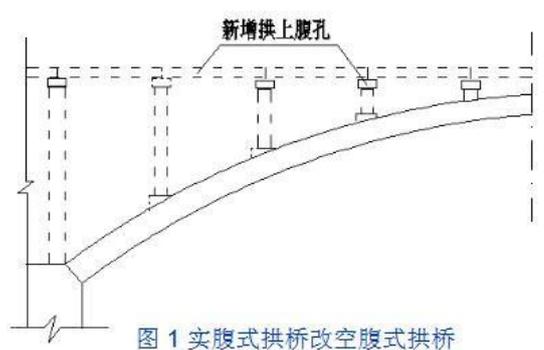
(7)拱上侧墙沿拱圈的拱背开裂或脱离，主要是墩台下沉，温度变化或车辆作用时主拱圈与拱上建筑变形不协调，或砌缝未处理好引起。其它一些病害与钢筋混凝土上承式拱桥类似。

可选的加固方法有：

(1)对砌体表层风化剥落、灰缝脱空，可先凿除松动的剥蚀层，露出新鲜面，用高标号水泥砂浆填塞灰缝，视厚度分层涂抹或喷涂水泥砂浆修补，砂浆中可添加一些化学纤维以增强抗裂性；

(2)对由于墩台不均匀下沉引起的拱顶横向裂缝，如果下沉还未稳定，应先加固墩台基础，再对裂缝注水泥浆后，在拱腹下植筋，挂钢筋网浇筑或喷射混凝土内衬，增大拱圈截面加固。如果沉降基本终止，就只需加固拱圈，开裂不严重时，也可只灌浆封闭。对由于墩台滑动或转动引起的拱顶裂缝，如果墩台位移尚未停止，应先加固墩台，再对裂缝注浆封闭后，可从拱腹或拱背浇筑钢筋混凝土，增大截面加固。对由于承载能力不足引起的拱顶横向裂缝及下沉，除可采用拱背或拱腹增大截面外，还可同时采用减轻拱上建筑自重来减少恒载，如实腹拱改空腹拱，如下

图 1



将原填料更换为轻质填料，改拱式腹孔为梁板式腹孔或全空腹式拱上建筑。对小跨径拱桥还可在拱顶上浇筑一钢筋混凝土筒支板或垫板，如下图 2，将原桥改为拱梁组合体系，以减轻主拱圈活载，提高承载力。以上加固中若墩台负担增加较多，应考虑墩台及基础的承载力及稳定是否满足加固需要。

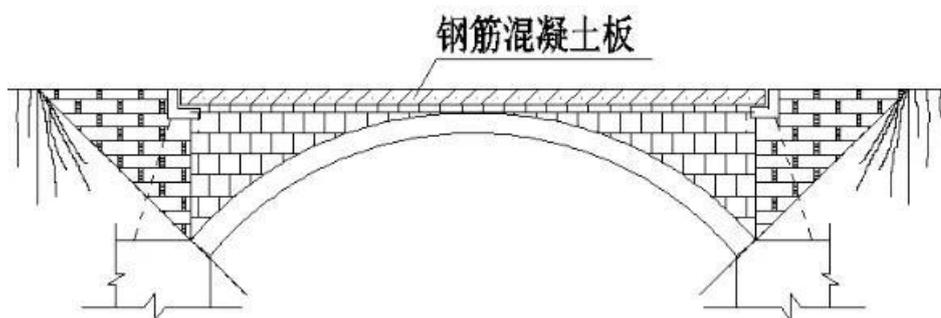


图2 原拱上增设钢筋混凝土垫板

(3)拱圈个别拱石出现的病害，可凿除压碎部分，视裂缝宽度大小，用环氧胶、高标号水泥砂浆或环氧砂浆，灌缝或填缝，再用水泥砂浆或小石子混凝土修补。拱石严重碎裂的，要全部凿除用混凝土填补；

(4)主拱圈沿砌缝环向开裂时，采用钢板或铸件做成的楔形剪力键或抓钉竖向嵌入拱圈两侧，开裂范围大且严重时在拱圈上径向钻孔穿入长锚栓，适当加压后锚固，其间距布置视环向开裂程度而定，原裂缝用水泥浆灌缝封闭，图 3；

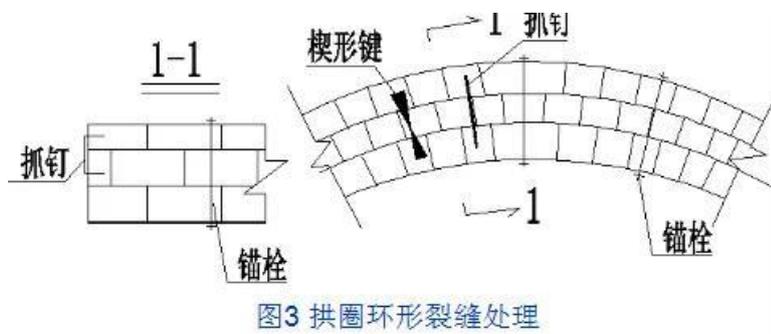


图3 拱圈环形裂缝处理

(5)砌体表层砌缝开裂，可采用水泥砂浆灌缝封闭或勾缝；

(6)拱上侧墙外倾，视外倾程度，采用挖出墙内填料更换成砂砾石、浆砌片石等较少侧压力的材料，对空腹式拱桥的腹拱侧墙及实腹段侧墙外倾，由于填料较少，可更换成低标号混凝土。对实腹式拱桥也可采用加厚侧墙尺寸，或者在两侧墙钻孔设多根钢拉杆对锚，如下图 4。还可改变拱上建筑形式不要侧墙，如实腹式改空腹式等，如上图 1；

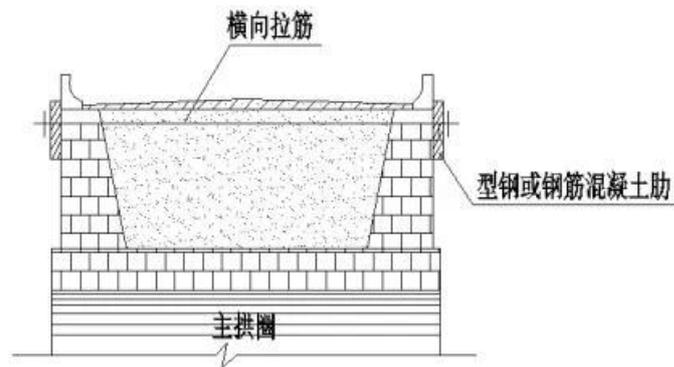


图4 用横向拉杆加固侧墙外倾

(7)拱上侧墙沿拱背开裂或脱离，如果是基础下沉引起并未终止的，应先加固基础，再用高标号水泥浆或砂浆灌缝封闭。并检查两拱脚上方侧墙上至桥面的伸缩缝是否完好，否则可能引起拱上建筑与主拱圈变形不协调。其它病害的加固方法与钢筋混凝土上承式拱桥类似。