

预应力拉索在北盘江大桥转体结构上的应用

马庭林 何庭国

(铁道部第二勘察设计院 成都 610031)

摘要:北盘江大桥位于V形深峡谷之间,桥面距水面280米,主跨236米,是目前世界上跨度最大的单线上承式钢管混凝土拱桥。该桥施工采用单铰转体工法,六盘水半拱平转 135° ,柏果岸半拱平转 180° ,半拱转体重量为10400吨。本文着重介绍转体结构,上盘应力分析、控制及张拉。

关键词:拱桥 预应力 转体 北盘江大桥

1. 工程概况

北盘江大桥位于贵州省水柏(六盘水-柏果)铁路上,横跨北盘江“V”形峡谷,桥面距离河床280米,为目前中国铁路最高桥梁。考虑两岸岩溶发育的分布状况和两岸基础埋深及岸坡稳定等因素,其桥跨布置为:3×24米PC简支梁+236米上承式X形(提篮形)钢管混凝土拱+5×24米PC简支梁,桥全长468.20米。全桥布

置见图1。该桥为中国第一座铁路钢管混凝土拱桥,也是目前世界上最大跨度的上承式铁路钢管混凝土拱桥。钢管桁架拱的架设采用转体法施工。考虑到桥位地势和桥梁结构特点,设计采用单铰平转的施工方法。桁架杆件运至现场后,分别在两岸支架上组拼焊接成半拱,然后以半拱为一转体单位,六盘水岸平转 135° ,柏果岸平转 180° ,单边转体重量达10400t。

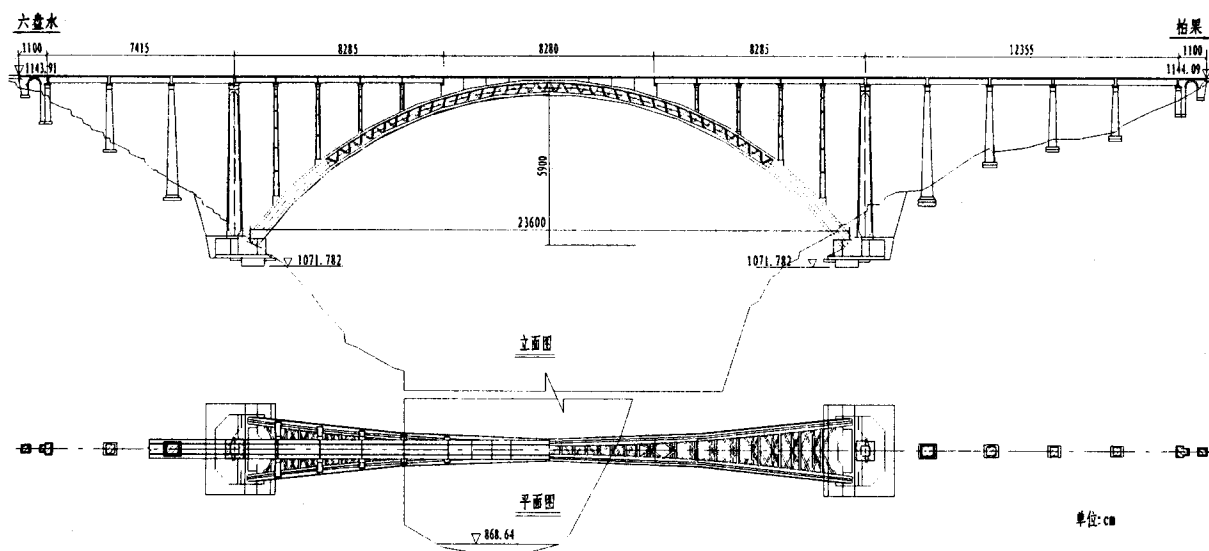


图1 北盘江大桥总布置图

2. 转体结构组成

转体系统由半跨拱圈、上盘、下盘、球铰、交界墩、扣索、背索、牵转系统组成。在拱脚设临时转动铰,转体到位按二铰拱合拢后再封闭临时铰。扣索、背索、迁转索均采用 $7\Phi 5$ 低松弛钢绞线拉索,上盘中设三向预应力,也采用 $7\Phi 5$ 低松弛钢绞线。见图2。

3. 拉索及预应力构件设计

3.1 扣索

拱圈脱架通过张拉扣索来完成,扣索起着维持拱圈线形的作用。

设计比较了单扣点和多扣点方案,发现对拱肋线形影响不大,分析原因在于拱肋刚度大,而拱脚又设转动铰的缘故。为便于施工控

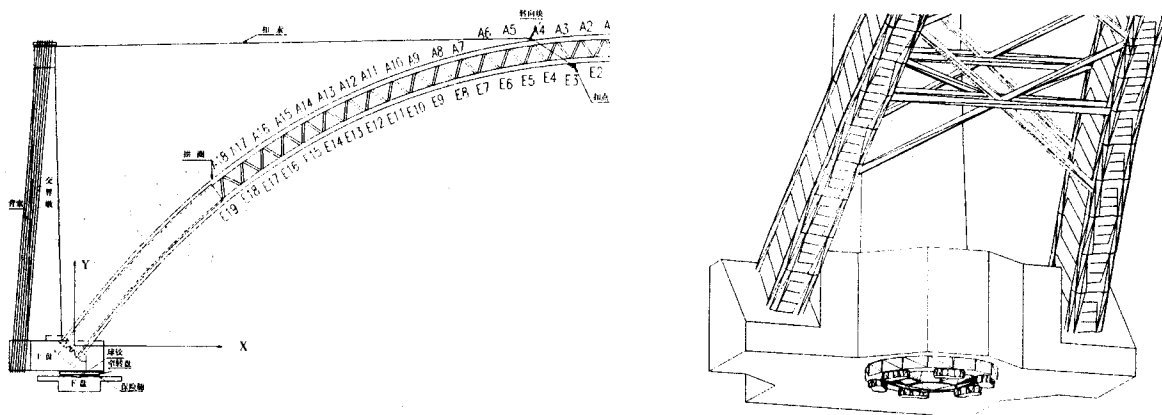


图2 转体结构立面及上盘透视图

制, 采用了单扣点方案。

扣索前端用P锚锚固在拱肋下弦E3节点设置的锚梁上, 然后通过上弦A4节点处的转向块, 拉锚在交界墩帽梁上(图1)。在转向块处, 扣索分散开成一排, 避免相互打绞。由于拱脚为临时铰接, 扣索拉力很容易确定。考虑到扣索的安全关系到转体结构的安全, 并为了降低扣索钢绞线的弹簧效应, 扣索采用96根7 ϕ 5钢绞线。为确保扣索锚固牢靠, 在张拉端设双锚具。

3.2 背索和交界墩

背索用于平衡部分扣索水平力, 保证交界墩的安全。背索上端锚固于交界墩顶帽两侧, 下端锚固于上盘底面, 背索纵向与交界墩中心线成 5.021° 夹角。对于交界墩, 背索可看作是其体外预应力索。背索采用单端张拉, 张拉端设在墩顶。

交界墩作为主塔通过扣索支承拱圈, 同时也起平衡压重的作用。由于扣索和背索均锚固在交界墩顶, 对墩顶帽梁进行了加强。为抵抗因背索张拉引起的负弯矩, 帽梁顶部在横桥向布置32束12-7 ϕ 5的钢绞线。

交界墩构造及扣索、背索布置见图3。

3.3 上盘

3.3.1 上盘构造

上盘支承交界墩和拱肋, 并锚固背索, 转体时上盘单点支撑在转动球铰上。上盘结构和

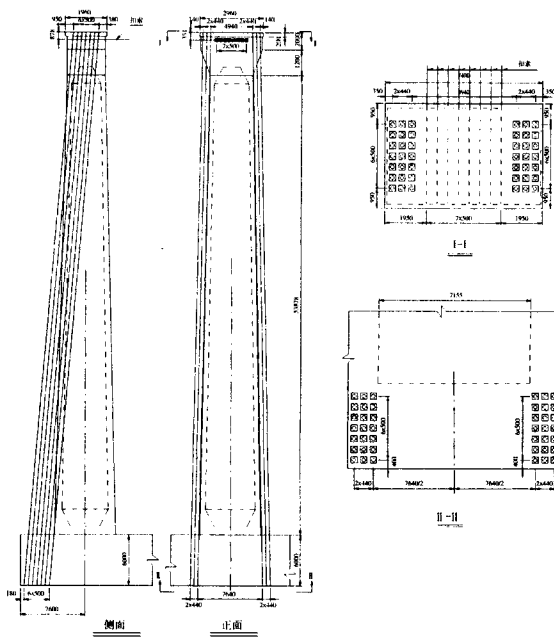


图3 交界墩构造及扣索、背索布置

转体重量与球铰设置的位置有很大关系, 球铰前移有利于减轻转体重量, 但又受场地限制, 并且球铰太靠前不利于上盘的受力, 所以需同时考虑球铰的位置与上盘厚度的关系。

按构造要求初拟几种上盘尺寸及球铰位置, 建立有限元模型并与交界墩结合进行计算分析, 最终确定上盘厚度为6m, 球铰中心与交界墩中心水平距7.23m。然后按拟定的上盘厚度及球铰位置, 对上盘进行详细分析, 并按需要配置平衡重, 在满足构造要求的前提下将非主要受力部分逐步剔除, 最终形成“+”字形的上盘结构。

考虑到支承拱肋的上盘两翼后部在转体后仍需封闭,故预先用低标号砼灌注一部分作为配重块,以减少上盘上面的配重设置。设置配重块后的上盘结构如图4:

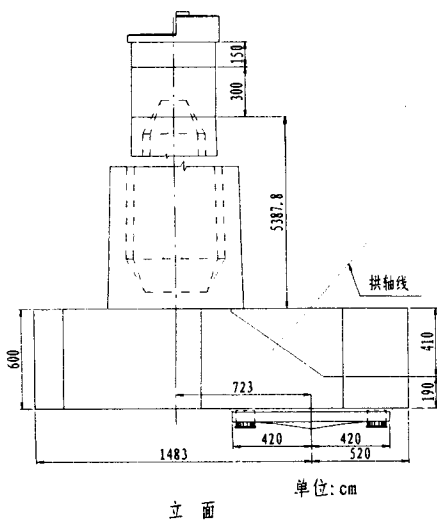
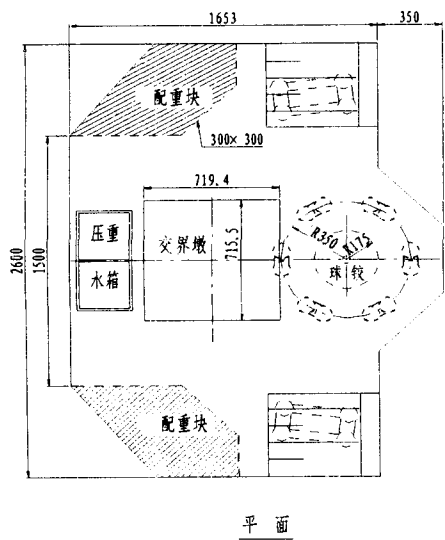


图4 上盘一般构造

3.3.2 上盘预应力

①上盘应力分析

为了得到上盘各部位详细的应力分布,将上盘连同交界墩离散为近2万个8节点实体元,将砼材质的上盘及交界墩当作匀质弹性材料进行静力分析。模型中将扣索、背索及拱脚推力按集中力加入,平衡配重按均布力加入。模型及分析结果显示图5、图6(选取几个关键截面显示其应力分布)。

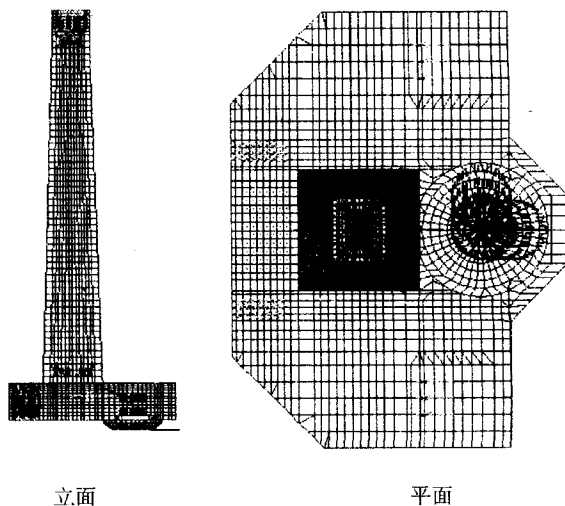


图5 计算模型

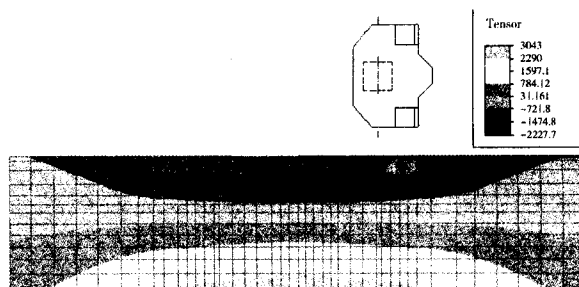


图6a 墩底上盘横截面纵向正应力分布

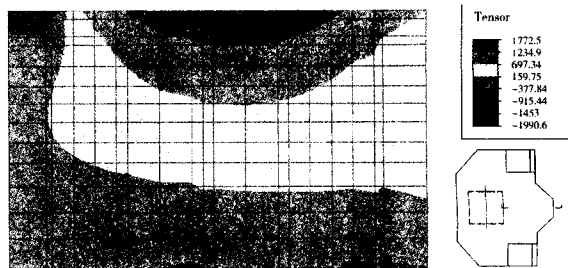


图6b 球铰中心上盘纵截面横向正应力分布

图6 应力分布图

②上盘应力控制

为确保上盘在施工中的安全,应控制上盘拉应力在较小范围以内。对上盘的应力分析表明:上盘拉应力均在2MPa左右,最大为墩底截面,也不超过3.5MPa,完全可以通过配置适当预应力钢束得以控制。

预应力钢束以预加力的方式对砼构件施加压力,在模型中可以以集中力的形式沿钢束方向加在上盘节点上,钢束若有转折,则在转折点施加斜向集中力。钢束数量需要通过试算确定,同时应满足相关规程、规范及构造要求。

在纵向,扣索、背索张拉到位前,上盘前

端有球铰支撑，后端设有硬支撑，上盘呈简支状态，在自重和交界墩重力作用下，上盘下缘受拉；扣索、背索张拉到位，拱圈脱架后，上盘前端仍支撑在球铰上，后端脱离硬支撑，但受到背索向上的巨大拉力，相当于仍有一弹性支撑，中部还受到从交界墩传来的向下的强大推力，纵向弯曲效应加剧。为防止上盘下部开裂，在其底部施加纵向预应力，设两排共48束19-7 ϕ 5钢绞线。

在横向，因球铰支点位于中间，两端悬臂，且有拱脚推力作用于两翼，使上盘顶面受拉。故在球铰作用区域的上盘顶面和支承拱脚的两翼通长布置13束12-7 ϕ 5钢绞线和20束4-7 ϕ 5钢绞线。此外，在背索锚固区域附近和交界墩作用区的上、下面也布置了横向预应力以改善上盘的受力。

竖向，由于交界墩前后两侧主拉应力较大，在这两个区域设置了大量预应力粗钢筋。

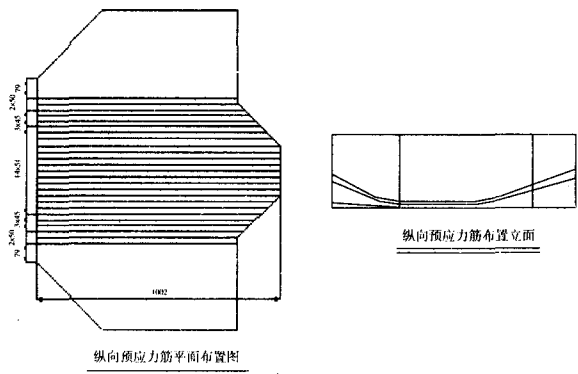


图7 上盘纵横向预应力钢束布置图

施加预应力后，前述两截面应力分布如下：



图8a

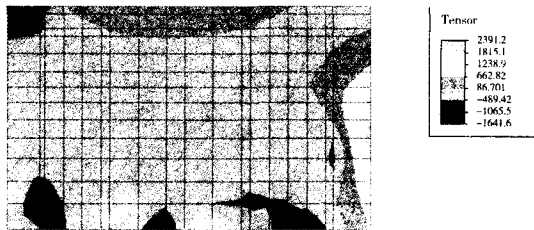


图8b

图8 施加预应力后上盘应力分布

3.4 牵转系统

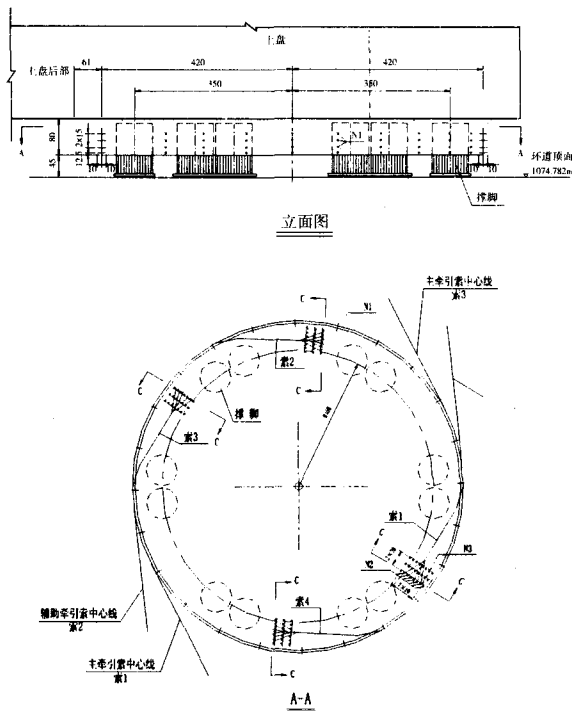


图9 牵引索布置图

设计在球铰上方直径为8.4m的牵转盘上缠绕牵引索进行牵转，牵引索采用两对12-7 ϕ 5钢绞线。牵转的动力依靠4台ZTD2000连续张拉千斤顶，形成两对力偶。在下盘上合适的位置设有4个牵引反力座来固定千斤顶。实施时将4台千斤顶油泵并联，以保证千斤顶同时工作。转体的施工由柳州OVM机械股份有限公司实施。见图9、图10、图11、图12。

4. 扣索、背索、上盘预应力交替张拉

分批、分级、交替张拉上盘纵向预应力、背索、扣索使拱圈脱架是实施转体前的关键工序，也是施工中的难点之一。在实施之前必须制定严格的张拉次序，明确每次的张拉量。

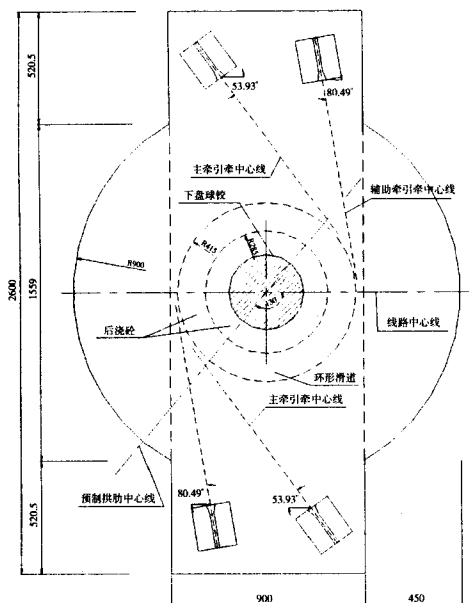


图10 牵引千斤顶分布

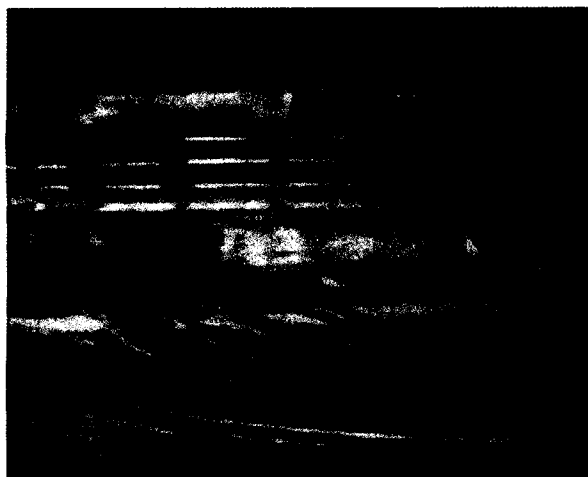


图11 牵转盘周围缠绕牵引索



图12 张拉牵引索, 实施转体

4.1 交替循环张拉

① 首先张拉上盘一部分纵向预应力, 使上盘内部有较大的压应力储备。

② 接下来对交界墩施加竖向预应力即张拉第一批背索, 使交界墩各截面面向上盘尾端的一侧(称之为截面后缘)受较大压应力, 而面向拱肋一侧(称为截面前缘)受较小的压应力(不容许出现拉应力, 预先设定一个下限值, 最小压应力不得低于此下限)。这样, 交界墩就可以承受一定量的扣索拉力。

③ 然后张拉扣索, 这时交界墩截面前缘压应力增加, 截面后缘压应力减小。扣索拉力应控制在一定水平, 使得交界墩墩身各截面最小压应力不得低于一个下限值。

④ 以上完成一次交替循环, 这时上盘下缘压应力储备减小, 应对上盘施加下一批纵向预应力。

4.2 制定张拉次序

利用转体结构整体分析时建立的计算模型, 通过多次的试算, 将上盘预应力、背索张力、扣索张力逐渐施加到模型上。制定了转体结构主要施工步骤和上盘预应力、扣索、背索交替张拉次序表, 为便于施工控制, 设计同时提供了相应步骤的墩顶计算位移。

5. 结束语

拉索系统在北盘江大桥转体结构中发挥了积极有效的作用, 通过对转体结构拉索系统的合理布置和精确的张拉控制, 使得北盘江大桥转体实施非常的顺利和平稳。

借鉴本桥转体系统构造和施工技术, 在贵州遵崇高速公路桐梓鞍山特大桥跨越黔渝铁路时采用单铰平转施工, 转体重量8500吨, 另外在北京五环快速路跨越铁路石景山南编组站咽喉区的石景高架斜拉桥, 利用类似本桥的转体结构, 由OVM公司实施了斜拉桥单铰转体施工, 转体重量达14000吨, 刷新了北盘江大桥单铰转体重量的世界记录, 成为当时的世界之最。