

宽箱预应力顶推连续梁设计与施工

杨沪湘 陈湘林

摘要 本文详细介绍岳阳洞庭湖大桥主桥副孔 $10\times 50\text{m}$ 顶推连续梁的设计、施工。

关键词 预应力连续梁 宽箱全断面顶推

一、设计

1. 概述

岳阳洞庭湖大桥位于湖南省岳阳市洞庭湖口,距长江仅2km,是建设中的湘北干线上的一座特大型桥梁,大桥全长5784.50m,宽20m,桥位处主河槽常水位宽约1400m,由主孔880m三塔斜拉桥及副孔 $10\times 50\text{m}$ 顶推连续梁跨越。

岳阳洞庭湖大桥主桥设计主要考虑以下因素:桥位处于洞庭湖入长江的咽喉地段,通航泄洪尤其重要,水利部门要求在主河槽内布置跨越300m左右的主孔,副孔尽量采用大跨径;桥位区域内经鉴定地震裂度为Ⅶ度,因此必须考虑结构抗震;岳阳市为历史文化名城,旅游胜地,主桥及副孔的结构型式须与岳阳楼、君山及烟波浩渺的洞庭湖景观协调。根据以上控制条件,综合考虑桥型新颖美观,技术先进性,施工方便等因素,确定主桥为三塔斜拉桥,配副孔 $10\times 50\text{m}$ 预应力连续宽箱梁。

近年来,我省采用顶推法建成了十八座特大桥梁,并采用顶推法施工建造了斜拉桥和系杆拱桥,使顶推法施工桥梁的设计与施工更趋完善。由于顶推法施工具有占用场地少,对桥下通航及交通干扰小,设备简单,施工安全,外表美观,造价低等优点,被国内外广泛采用,已成为当代桥梁施工的先进技术之一。随着国内交通设施的高速发展,人口众多,耕地减少的矛盾日益突出,顶推法施工在桥梁建设中以它显著的优点将成为大中桥梁的首选方案。

岳阳洞庭湖大桥顶推连续梁又具有其显著的特点:桩基长、桥墩高,全断面宽箱梁顶推,箱梁每延米重达350kN。单跨50m和全桥500m的顶推长度,使设计和施工都具有一定的难度。

2. 箱梁的下部构造

根据洞庭湖的地质情况,桥墩基础全部采用钻孔灌注桩基础,桩基嵌入基岩微风化层。为了减少主河槽的阻水面积,并与自然景观相协调,每个桥墩采用2根桩基,并取消桩顶承台,只在墩顶设置横梁。

桩基直径D280cm,C25混凝土;桥墩采用双柱式园柱墩,墩柱直径D220cm,C30混凝土;墩顶系梁高200cm,系梁上设置水平顶千斤顶,顶推就位后,系梁还需与墩柱共同承受落梁时的竖直反力。这样基础和下部构造形式,桩基总数少,基础和立柱直接支承箱梁支座,没有受弯结构,受力分明,河床阻水面积小,特别是给施工带来很大方便,除汛期外,常年能够进行基础和下部构造施工,减少施工投入(见图1)。

3. 箱梁的截面尺寸

箱梁宽20m,设计采用单箱双室或多室是较为理想的断面型式,但采用顶推法施工,单箱双室或多室会增加上部结构的自重,且模板数量增多,使箱梁预制麻烦,相应工期加长,因此箱梁设计采用单箱单室的宽箱梁截面。

由于在顶推过程中,箱梁的正负弯矩交替出现,箱梁必须具有足够的刚度才能抵抗顶、底板交替出现的拉压应力。因此,顶推箱梁在保证腹板具

杨沪湘 湖南省交通设计院 工程师

陈湘林 湖南省路桥总公司 副总工 高级工程师

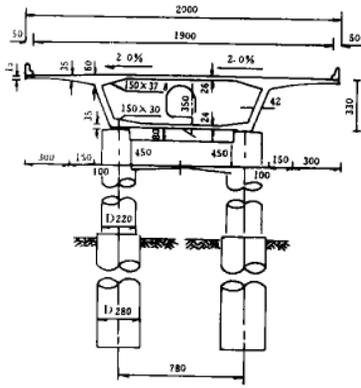


图1 尺寸单位:cm

有足够的抗剪强度和满足主拉应力的条件下,减小腹板的厚度,增加箱梁高度,这样就做到在不增加箱梁自重的条件下,提高箱梁的抗弯刚度,减少预应力束,达到节约的目的,本桥箱梁高度340cm。

为了保证工期,使大桥尽快建成,全桥共分21个段预制顶推,第1段和第21段箱梁长为12.50m,其余19段箱梁长均为25m。这样分段,避免了施工缝在最不利截面接头,对箱梁质量有利。

箱梁的纵向和横向计算均简化为平面杆件,用“公路桥梁综合计算程序”在微机上模拟施工过程和营运状态进行分析计算。确定箱梁采用三向预应力体系:纵向和横向均采用低松弛钢绞线,纵向配7 Φ 15.24,横向配2 Φ 15.24;竖向腹板内采用 Φ 32mm精轧螺纹粗钢筋。

在箱梁顶板配置28束,底板20束7 Φ 15.24的纵向通束,以抵抗顶推过程中箱梁交替出现的正负弯矩,在第一、二段箱梁顶板还加配了10束7 Φ 15.24的临时束。顶推就位后,在支座外箱梁顶板和跨中底板各加配8束和12束7 Φ 15.24的后期束。为了减少前期预应力通索联接对箱梁断面积的削弱,加快箱梁的施工进度,减少后面拖通束的干扰,将顶、底板通束分别修改为24束和18束 Φ 7的高强钢丝,采用DM7-36的镦头锚张拉连接,这样不仅降低了造价,而且缩段了工期,取得了较好的经济效益和社会效益。

4. 箱梁的加强构造钢筋,避免裂纹的出现。

采用顶推法施工的连续箱梁,在过去有过很多开裂的教训,开裂主要表现为纵向裂纹,分布在箱梁底板两边承托部位及箱内腹板与底板转角处。本桥为宽箱顶推,导致开裂的可能性更大,为

防止箱梁开裂,进行结构空间分析,采取加强箱梁本身的构造钢筋,在箱梁的腹板和底板相交处,采取立体三向布筋,除了常规的构造钢筋外,增设了斜向、竖向的构造钢筋,形成一个强大的钢筋网格,以抵抗顶推过程中的复杂的应力。另外,在梁段的两端接头的纵向1m范围内,增设一定数量的架立钢筋,加强底板、腹板、顶板的两层钢筋的连接,增强箱梁的整体性。总的增加钢筋数量很少,但起到明显的效果。

二、施工

1. 预制场的布置

顶推预制台座设在0号桥台后面的引桥范围内,在0号桥台到1号墩之间,第1孔50m的范围作为顶推的过渡孔,设置了2个临时墩,(见图2)。

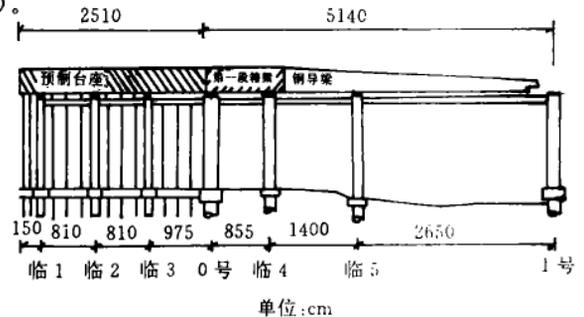


图2 顶推预制场纵向立面布置图

由于地基软弱,预制台座范围内,采用沉管灌注桩,每4根小桩用钢筋混凝土小承台连成整体,在承台上立钢管柱(见图3),搭设预制平台,支承预制模板。

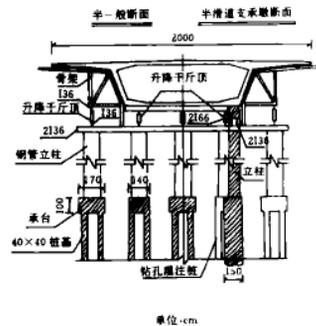


图3 预制台构造图

预制台座范围内的滑道支承墩,以及过渡孔的临时墩的基础,都采用D1.5m的钻孔灌注桩,嵌入风化岩层,墩身为钢筋混凝土圆立柱,这样使所有顶推滑道墩与永久墩一样,有足够的强度和

刚度。

预制台座范围的滑道支承墩,过渡孔中的临时墩,以及0号桥台和1号墩,纵向用钢管连成整体,并在临5号和1号主墩上安装了水平千斤顶,使顶推时水平千斤顶的顶力与梁自重引起的滑动摩阻力互相平衡。

这样的纵向布置,综合地形条件和地质条件,不影响防洪大堤的防汛、行车交通的功能,又少占引桥位置,尽量使顶推预制场向前靠,减少箱梁顶推的工作量,并使箱梁逐步由小跨径过渡段顶推到标准跨径,保证梁段接头平整,顶推时滑动摩擦力小。

2. 钢导梁

考虑到加工专用宽箱梁顶推的钢导梁,以后重复利用的机会很少,没另外加工新导梁,利用现有的50m跨径的旧导梁。导梁长34.39m,梁高3.28m,为变高度空腹钢板梁。这种钢导梁在过去顶推使用过程中,有相当大的安全储备,为了慎重起见,重新进行了强度验算,基本上能通过,并采用了补强措施:

(1)导梁的根部12m左右受力最大,应保证其有效截面,在接头薄弱处,增设补强钢板,导梁顶面适当加高。

(2)加强钢导梁与箱梁的连接,锚固预应力筋在箱梁内错位锚固,避免同一断面预应力差值过大造成箱梁开裂。箱梁与导梁接头部位,在锚固端面焊水平面的加劲钢板,将应力扩散到导梁的腹板上。

(3)箱梁底板宽9.0m,两主梁间的横向联系采用钢管,取代了常规的型钢,两片主梁之间整体联系加强。

(4)当梁段顶推到位后,导梁有两种停止受力状态:一种为导梁大部分搁在主墩上,另一种为12m的箱梁和导梁顶过主墩,处于悬臂,导梁前端离前方为主墩约4.0m。为了避免箱梁和导梁长时间处于悬臂状态,在导梁前端加焊了4m长的工字钢使导梁伸长到主墩上,在主墩滑道板上垫滑板,用竖直千斤顶将导梁顶起来,提早迎接上桥墩,这样明显改善了钢导梁及主梁受力状态。

3. 顶推滑道、滑板的确定

在过去的顶推施工中,使用的滑板即为桥梁上常用的“聚四氟乙烯橡胶滑板支座”,使用中损

坏现象相当严重,造成箱梁底板应力集中,甚至导致箱内开裂,增加了顶推的摩阻力,影响顶推的顺利进行,增加了施工费用。

事实上顶推中滑板与桥梁滑板支座受力情况大不一样。作为桥梁滑板支座,承压应力小,温度升降引起的纵向滑移程度相当缓慢,滑移量很小,滑动摩阻引起温度升高很小。而作为顶推滑板,由于墩顶尺寸、滑道尺寸受到限制,承压应力大于施工规范的容许应力值5MPa,由于施工误差,滑道板表面杂质侵入,滑板在滑道上滑移量大,速度快,摩擦引起接触面温度升高,滑板受到剪切作用力大,滑板周转次数多,造成滑板损坏相当严重。

本桥顶推箱梁在桥墩上滑动的自重达17500kN,仅由两个滑道支承,设计滑道尺寸为190cm×100cm。总结过去的经验教训,结合本桥宽箱梁重的特点,合理地确定滑道和滑板是顶推施工的关键技术问题。

严格控制滑道板顶面的标高误差,滑道板进口坡度全部采用抛物曲线,保证滑道板表面的光洁度,确保箱梁底板的平整度,保证底模的刚度,控制顶推的速度不宜太快,采取滑板的润滑措施和降温措施。

关于滑板的构造,与生产厂家共同研究,确定最后方案。

(1)滑道的外型尺寸,横向为45cm,滑道横向宽90cm,并排塞入两块。纵向长度由原来的20cm改为16cm,减少纵向剪切角度,厚度仍为2.4cm,用来调整滑道标高与梁底不平的施工误差。

(2)滑板的聚四氟乙烯面采用3mm厚。四氟面通过中间过渡层即薄层橡胶再与钢板粘接。钢板表面增设齿形条,加强剥离力,粘剂采用美国的高强材料Chemlock。橡胶层的夹钢板由三层3mm钢板组成,钢板表面打毛,增强与橡胶的粘结力。

滑板的橡胶成分,在保证其强度的前提下,要求有一定的压缩比,有一定的变形来调整滑道与梁底的误差,使压力均匀。

合理地周转使用滑板。因为靠近预制场范围的滑道上滑板工作时间最长,而前方的桥墩的滑板工作时间逐步缩短。将工作时间长的滑板,先工作一段时间后更换出来,最后共同参入,令所有滑板工作时间基本相等,使滑板总的损坏数量明显

减少。

4. 箱梁顶推

由于本桥桩基深,桥墩高,箱梁宽自重,每延米梁重达 350kN,500m 长箱梁顶推,顶推有相当大的难度。

(1)研制了新的顶推设备。根据梁的重量,要求每个桥墩横向安装两组 100t 的连续顶推千斤顶。为了使横向两组千斤顶出力均匀,不产生横向偏转,与生产厂家共同研制了新型顶推油泵。即一台油泵向两组千斤顶同时供油。新油泵由两套独立的泵体油路组成,仍采用电磁阀控制双油路交替工作。但供油量大,满足两组千斤顶的工作速度,并保证工作量故障少,工作性能稳定,使顶推进行得很顺利。千斤顶受力端设置了弧形面固定在桥墩上,相当于设置了一个球铰,这样桥墩上的千斤顶与拉锚器之间允许有一定的角度的偏转。每个墩上两组千斤顶安装在桥轴线附近拉箱梁的底桥。使箱梁顶推过程中,横向偏移的力很小。拉锚器的设置,即在梁底上倾斜两索预应力管道,在箱梁内底板上安装锚垫板,底板局部予以加强,钢绞线拉索在箱梁内用 9 孔夹片群锚锚具固定,从底板下伸出来并垫一个分索块,分索块将拉索与梁底垫出一定的高度,使拉索与千斤顶中心同心,并将 9 孔拉索分理清楚一一对应穿过千斤顶上自动工具锚,完成连续顶推过程中夹紧和放松动作。这样的拉锚器构造简单,牢固可靠,成本低廉,拉锚器位置更换相当方便,施工人员劳动强度大大减少。

(2)顶推控制系统的简化与新的施力分配原则的确定。

在过去多点柔性墩顶推中,提出“分级调压,集中控制”来达到顶推施力同步。但这样控制系统过于复杂,设备工作故障频繁,实际上仍达不到预期的效果,影响顶推工作进度,梁呈爬行状态在桥墩上滑动的现象很难克服。事实证明,想在设备控制上达到对梁顶推施力同步,是很难实现的,也是没有必要的。

为了保证顶推能够顺利进行及桥墩的安全,对顶推施力控制系统进行了简化;预先假定一定的摩擦系数(0.05~0.06),根据各个墩上垂直荷载大小,确定该墩上水平千斤顶的施力大小,在总的顶推力略大于摩擦力的前提下,动摩擦和静摩

擦之差不足的力,由预制场前主力墩上水平千斤顶来补充调节。钢导梁上墩的前墩及主力墩上水平千斤顶出力变化,都采用人工手动随时调节控制,控制顶推滑动的速度不宜太快,太快了说明顶推力大于摩擦阻力太多,而有可能某一桥墩上水平千斤顶出故障停止出力,但梁由于惯性仍然滑动,威胁该桥墩的安全。当出现了梁呈爬行状态滑动的现象,即重新进行施力的分配,来调整千斤顶的出力,全桥多台千斤顶工作,仅在一组千斤顶上安装了行程开关,达到控制全桥千斤顶的工作和回程的连续接力作业。

(3)设置桥墩纵向联结措施。在顶推过程中,总担忧桩基深,桥墩高,梁又重,顶推的起步和停止过程中,梁滑动惯性,将导致桥墩的纵向位移偏大。为此,从 1#墩起,随着顶推的前进,逐步将桥墩之间用钢绞线、夹片锚具,张拉了两根拉索,作为控制桥墩纵向位移的联结措施。这两根拉索一就两用,又同时作为顶推中更换拉锚器位置的挂篮滑动的承重工作索。

由于采取了这一措施,桥墩纵向预张了水平力,能够控制桥墩顶纵向来回摆动,避免了顶推过程中由于各种原因造成梁呈爬行状态滑动的现象。这样措施简单易行,花费不大,却解决了顶推施工中,梁爬行前进的难题,这是多点柔性墩顶推施工中一个重要发现。

三、结束语

岳阳洞庭湖大桥 10 孔 50m 连续梁顶推施工已经全部完成。在整个施工过程中,对梁体关键截面进行了详细的埋片测试,测试后的结果与设计数据基本相符,箱梁没有发现任何裂纹,说明设计中处理的方案都是可行的。整个箱梁施工过程相当顺利,一般十二天一个施工周期。实践证明,预制场布置合理,钢导梁工作状态正常,滑板、滑道使用情况良好,顶推设备使用性能稳定,顶推时间一般都在 4~6 小时完成,特别是克服了梁呈爬行状态滑动的现象这一顶推技术难题。箱梁外表美观,梁整体线型流畅,下部构造与箱梁外型显得匀称,整个顶推箱梁与主桥三塔斜拉桥相接协调。岳阳洞庭湖大桥 10 孔 50m 顶推连续梁的设计与施工,标志着顶推技术的成熟,这种桥型有相当广阔的推广价值。