

PC 梁顶推施工技术的回顾与展望

汤俊生

[内容提要] 回顾了我国 PC 梁顶推法施工技术近 20 年来所取得的进步,指出了存在的一些问题及改进意见,展望了未来的发展前景。

[关键词] 预应力混凝土梁 顶推法 施工 回顾 展望

1 顶推施工技术的进展

我国于七十年代首次在西(安)延(安)铁路狄家河桥上采用顶推法施工,接着广东万江公路桥又顺利顶推成功。八十年代,铁路顶推 PC 连续梁沉寂了大约 10 年,而公路桥顶推施工却蓬勃发展,相继在湖南、贵州、广东、内蒙等地用顶推法修建了十多座 PC 连续梁桥。进入九十年代后,铁路和公路 PC 连续梁顶推施工均出现了新的飞跃发展势头。据不完全统计,至 1994 年底,采用顶推法施工的已经完工和正在施工的铁路、公路 PC 梁桥已达 30 座(表 1)。经过近 20 年的发展,我国 PC 梁顶推法施工技术已取得了长足的进步。

1.1 顶推工艺日趋成熟

随着顶推工艺的不断完善,顶推方式呈现多样化:从用水平加竖向千斤顶直接顶推梁体到只用水平千斤顶并通过拉杆(索)顶拉梁体;从单点集中顶推到多点分散顶推;从间歇式顶推到连续顶推。顶拉机具设备和材料从个别拼凑到形成比较完整的顶拉锚固体系。箱梁支点处采用的由橡胶聚四氟乙烯板合成的滑块和不锈钢滑道。多年来延用的分离式单块滑块、实体滑道,近年来已为履带式滑块、空腹式滑道所取代。同时改进了顶推桥梁所用支座,由支座的上下支承板来代替滑块、滑道。1993 年竣工的刘家沟桥采用的多点连续顶推新工艺标志着我国 PC 梁顶推施工技术已逐步走向成熟。

1.2 顶拉锚固体系不断完善

顶拉锚固体系包括千斤顶、高压油泵、拉杆(束)、锚具(拉锚器、工具锚)等已随着预应力体系的不断发展而日益完善和配套。

八十年代末,广东九江桥和广州北站立交桥首先分别采用高强钢丝束和钢绞线索作拉杆获得成功,这是作为顶推牵引装置的一项重要革新。高强钢丝和钢绞线料源充足,长度不限,制作方便,较原来使用的 40 硅二钒精轧螺纹钢刚性拉杆具有明显的优点,是一种比较理想的传力束。

柳州市建筑机械总厂生产的 YC75-1000 型和 YPD-500 型千斤顶及与之相配套的 HNW-1 型液压站、控制台,分别适用于单点集中顶推和多点顶推工艺。该厂新研制的自动夹索式顶推锚具,在顶拉过程中随着千斤顶走完一个活塞行程,其前后端锚具交替地进行夹紧和放松,从而阻止了钢绞线的回缩,使之始终处于张紧状态。这不仅有效地带动了箱梁前进,还减小了顶推力对墩台和梁体的冲击力,减轻了梁在顶推中的爬行情况。

需要指出的是,近年来通过长沙湘江北桥和刘家沟桥的实践,柳州市建筑机械总厂现已研究开发出连续顶推千斤顶,即采用串联两台张拉用的穿心式千斤顶协调地交替顶推,实现千斤顶的自动接力式连续顶推过程,从而为我国采用连续顶推新工艺提供了一种易行可靠的顶推动力装置。

1.3 适用范围不断扩大

PC 梁顶推法施工的适用跨度为 30m~80m。我国已经建成的采用顶推法施工的 PC

梁桥中,跨度大部分为 40m~65m,最大为 76m;不设临时墩的最大顶推跨度,铁路桥为 48m(中卫黄河桥),公路桥为 52m(福建丘墩桥),与国外最大顶推跨度 102m 相比尚有较大差距。但是,南昌赣江桥西引桥单联单向顶推长 576m(12×48m),顶推重 32000t;杭州钱塘江二桥铁路单点顶推距离达 800m,南北引桥作为一座桥合计顶推总长达 1504m,这些记录

与世界顶推记录(单向顶推总长 1263m,总重 42500t,双向顶推总长 1400m)相比并不逊色多少,说明我国顶推法施工在应用于长大桥梁方面已经迈上了一个新台阶。

就梁体结构类型而言,顶推法不仅适用于连续梁,还开始应用于连续刚构、简支梁、拱桥和斜拉桥。

表-1 我国采用顶推法施工的 PC 梁桥一览表

序号	桥名	地点	跨径组成 (m)	梁高 (m)	顶推跨 度(m)	截面 形式	顶推方式	导梁长 (m)	竣工 年份	备注
1	狄家河桥	陕西	4×40	3.0	40	单箱单室	水平、垂直顶,单点顶推	30	1978	逐段拼装,铁路桥
2	万江桥	广东	40+50+40	1.5	30	双箱双室	水平、垂直顶,单点顶推	24	1979	撑架式桥墩
3	洵水桥	湖南	4×38+2×38	2.5	38	单箱双室	水平顶、多点顶推	28	1980	两墩衔接
4	卧龙桥	贵州	25+2×30+25	2.1	30	单箱单室	水平顶、两点顶推	20	1982	
5	中盘桥	广东	32.5+4×45+32.5	3.0	45	单箱单室	水平、垂直顶、多点顶推	30	1983	位于圆弧形竖曲线上
6	包头黄河桥	内蒙	3×4×65	3.5	32.5	单箱单室	水平顶、多点顶推	20	1983	3 联单向顶推,前后导梁
7	柳州柳江二桥	广西	9×60	3.61	30	双箱单室	水平顶、多点顶推	20	1984	
8	织金六圭河桥	贵州	28+4×38+28	2.9	38	单箱单室	水平顶、多点顶推	25	1984	
9	喇嘛湾黄河桥	内蒙	6×65	3.5	32.5	单箱单室	水平顶、多点顶推	20	1985	
10	拉林河桥	黑龙江	11×40	2.57	40	单箱单室	水平顶、多点顶推	27	1986	
11	江门外海桥引桥	广东	30+9×40,10×40+30	2.50	40	双箱单室	水平顶、单点顶推	21	1988	
12	株洲湘江桥西引桥	湖南	5×50	2.80	50	双箱单室	水平顶、多点顶推	34	1988	
13	九江桥引桥	广东	40+6×50,13×50+40	3.0	50	双箱单室	水平顶、多点顶推	34	1988	13×50+40 采用顶推法
14	重庆石门桥引桥	四川	5×50+36	4.0	50	单箱三室	水平顶、多点顶推	32	1989	
15	广州北站立交桥	广东	65+100+65	(变高度)	32.5	双箱单室	水平顶、多点顶推		1990	变高度,中间 50m 挂孔 T 梁
16	长沙湘江北桥引桥	湖南	9×50,3×50	3.4	50	单箱三室	水平顶、多点顶推		1990	
17	平顺桥	山西	28+35+28	2.5	35	单箱单室	水平顶、多点顶推	21	1990	位于半径 90m 平面圆曲线上
18	沅陵沅水桥引桥	湖南	9×42	2.8	42	单箱单室	水平顶、多点顶推		1991	文座代滑道
			9×32+2(8×32)(北)							
19	杭州钱塘江二桥引桥	浙江	2(7×32)+8×32(南)	2.2	32	单箱单室	水平顶、单点顶推	23	1991	前后导梁,双线铁路桥
20	南昌赣江桥西引桥	江西	12×48	4.5		单箱单室	水平顶、多点顶推	33	1991	单联重 32000t
21	南平丘墩桥	福建	60+76+60		52	单箱单室	水平顶、多点顶推		1991	撑架式桥墩,我国顶推跨度之最
			38.6+32.1+38.5+							
22	抚顺石油一厂高架桥	辽宁	38.6+25.9	2.1		单箱双室	水平顶、单点顶推		1991	斜交不等跨
23	漳州九龙江桥	福建	15×40	2.5		单箱单室	水平顶、多点顶推		1992	
24	中卫黄河桥	宁夏	2(7×48)	3.4	48	单箱单室	水平顶、多点顶推	32	1993	铁路桥
25	湘潭湘江二桥引桥	湖南	7×43	2.5		单箱单室	水平顶、多点顶推		1993	
26	长沙浏阳河桥引桥	湖南	4×50				水平顶、多点顶推		1993	
27	刘家沟桥	陕西	4×40	3.0	40	单箱单室	水平顶、多点顶推		1993	分列的三线铁路桥
			25.5+25+40+							
28	株洲响田桥	湖南	45+2×40+30.5	2.5		双箱单室	水平顶、多点顶推			7 孔一联
29	衡山湘江桥	湖南	3×45+2×90+45		45				1994	
30	余厝角海峡桥	香港	35+5×44+35			双箱单室				正在施工

福建丘墩公路桥为一座连续刚构桥,主梁用顶推法架设,在顶推阶段为 48m+24m+

52m+24m+48m 连续梁,顶推就位后进行体系转换,变为 60m+76m+60m 带撑架的连续刚构,成为迄今为止我国顶推施工的最大跨度。丘墩桥的建成,不仅为修建中、大跨刚构桥找到了一种经济方案,还为扩大顶推法的适用跨度提供了新途径。

顶推法应用于简支梁桥、拱桥和斜拉桥,虽然我国还没有先例,但国外已有成功的经验。在意大利,还有将顶推法运用于高达 80m 的柔性墩的桥梁。德国的一座斜拉桥,连同索塔一起,被成功地顶推横移了 47.5m。

就梁体形式而言,顶推法不仅适用于等高直线梁,还适用于变高度梁和曲线梁。广州北立交桥其变高度梁在采用顶推法施工时,只需在梁底用楔形垫块垫平,将变高度改为等高度即可。对于平面圆曲线弯梁桥(如山西平顺公路桥)和竖向圆曲线弯桥(如广深公路中堂桥),也都采用顶推法施工作了成功的尝试。应该指出,最能发挥顶推法优势的还是等高直线梁;等高直线连续梁几乎全部采用顶推法施工。

就梁体制作方式而言,PC 梁顶推法施工既可以逐段灌注,也可以逐段拼装。我国已建的 30 座顶推法施工的 PC 梁桥,除第一座狄家河桥采用逐段拼装(环氧树脂接缝)外,都是采用逐段灌注的。

PC 梁顶推法施工源自钢梁的拖拉架设,因此,其施工原理及顶推设备,对钢梁来说同样是适用的,并且已经用于钢桁梁的架设。

1.4 预应力设计的改进

采用顶推法施工,由于施工阶段与运营阶段的受力情况存在很大的差异,施工过程中梁体正负弯矩交替变化,每个截面都要经受最大负弯矩和最大正弯矩,相应的施工临时预应力束数量较大,而藉以布置预应力束的有效断面却有限。为了解决多束与小断面之间的矛盾,近年来顶推连续梁采用了体外明筋。中卫桥采用了在箱梁顶板上布置 12-7 ϕ 5mm 预应力临时明筋 30 束,并将其中 24 束通过 18 个 XL 型连接器串联成 6 道长束,最长者达 324m。这一措施不仅直接减少了梁体内临时束的数量,

较好地解决了上述矛盾,还改善了箱梁在顶推过程中的受力状态(顶推过程中梁体混凝土始终处于受压状态),同时还起到了简化箱梁顶板构造、减少箱梁顶板厚度和重量的作用。

1.5 制梁台座与节段的制作

制梁台座为预制、顶推节段的基地。台座上一般设有可升降的底模架和不动的台座滑道。近年来,台座滑道采用了一种连续梁式的整体滑道,不仅改善了节段顶推时的受力情况,还省掉了顶推时在制梁台座上喂接滑块的作业人员。

与制梁台座相配套的还有预应力钢束穿束平台、钢筋绑扎平台、测控平台及必要的吊装设备。这些设施使梁段制作具有明显的工厂化生产特点,从而有效地保证了 PC 箱梁的施工质量。

顶推节段长度一般为 10~24m,又以 16m 左右居多。每联箱梁除首尾两端节外,中间各节段长度均相等。顶推施工进入正常后,节段作业循环周期一般在 7~10 天。由于节段较长,这个速度是不慢的。

1.6 导梁

为了减小顶推过程中梁体的内力,加大顶推跨度,导梁是必不可少的。导梁应具有一定的长度和刚度,最经济的导梁长度应为顶推跨度的 2/3。我国绝大多数顶推 PC 梁桥采用的导梁长度也多为顶推跨度的 2/3~0.7 左右。导梁刚度通常只有主梁刚度的 1/7~1/15,它对主梁内力的影响远较其长度对主梁内力的影响为小。导梁所采用的材料,早期采用钢桁梁居多,近年来通常采用变截面实腹钢板梁。一般使用预应力筋与主梁连接在一起。

在导梁与主梁的连接处,即主梁梁端附近,由于预应力筋、构造钢筋和各种连接件纵横交错,空间布置紧凑,灌注混凝土相当困难,因此近年来出现了研究采用轻质导梁、短导梁的趋向,以简化并改善导梁与主梁的连接设计。

1.7 技术经济效益

PC 梁在顶推过程中要设置临时预应力束对梁体进行局部加强,以满足施工需要。临时束

约占预应力筋总用量的 1/3,这导致了顶推法施工直接成本的增加。但是,顶推法施工无需大型施工和吊装设备,不影响桥下净空,主要工序为以台座为基地的循环作业,工人劳动强度低,没有高空作业,安全感强,施工质量易于保证,且不受气候条件限制,严寒地区冬季可照常施工,施工速度快,工期短,其综合经济效益是十分明显的。

1983年完工的包头黄河桥,全长 810m,总投资 1693 万元(桥面造价 1742 元/m²),是那个年代包头市第一个不超概算的工程项目。1993 年竣工的中卫黄河桥,仅提前工期一项,就节省冬季制梁费 150 万元。

2 有待改进的几个问题

2.1 等高梁与大跨度的矛盾

由于顶推法一般要求 PC 梁按等截面设计,使得主梁恒载大大高于非顶推法施工的变截面主梁恒载(梁高与跨度之比,等高梁为 1/10~1/20,而变高度梁在支点处约为 1/18~1/24,在跨中处仅为 1/30~1/50)。而压缩梁高,势必增大预应力筋用量,采用大量的临时束又会造成浪费,大跨 PC 梁更是如此。所以,从经济效益上考虑,顶推法施工的 PC 梁桥跨度不可能很大。实践表明,设置临时墩或采用撑架式桥墩是扩大顶推法适用跨度的有效途径。

2.2 防开裂问题

由于种种原因,顶推法施工的 PC 连续梁曾有十顶九裂的教训。所以应在总结经验教训的基础上,采取措施,例如加强导梁与梁体的联结,保证梁底的平整度,严格控制各滑道高程误差,设置体外明筋临时束,适当增加构造钢筋等,以控制顶推过程中梁体裂缝的产生。

2.3 关于临时墩设置问题

由于支点负弯矩的增加与跨度的平方成正比,在箱梁截面和预应力钢束强度有限的情况下,当跨度增加到一定限度时,预应力钢束就没法布置了。所以,PC 梁采用顶推法施工有个“适用跨度”的问题。提高适用跨度的途径之一

是设置临时墩。设临时墩要付出一定时间和代价,但是它减少了施工难度,大大简化了设计程序。通过比较发现,设临时墩在经济上往往是合算的。

2.4 关于箱梁“爬行”问题

较早报导梁体“爬行”现象的是湖南沅水桥和广东九江桥。即被顶推的箱梁每前进 5~10mm 即停顿 0.5~1s,千斤顶油压摆动 1~2MPa,如此反复。工作人员明显感觉到桥墩的摆动,并伴有不适和担忧感。

梁体在顶推过程中的爬行现象是一个比较复杂的问题。它同梁体与滑道间动、静摩擦系数的交替变化,桥墩刚度和拉杆(索)的弹性模量等因素有关。这些因素共同或部分发生作用都有可能引起梁体“爬行”。

“爬行”对墩台和梁体的危害是不言而喻的。虽然迄今还未发现因“爬行”现象而引起墩台和梁体的破坏,但这种不安全因素是确实存在的。采用自动顶推锚具和连续顶推新工艺可在一定程度上减少“爬行”现象。

2.5 关于顶推误差限值问题

现行《铁路桥涵施工规范》对顶推施工中的滑道和梁底高程以及导梁纵横向底面高程容许误差规定仅为 1~2mm。如此严格的要求不仅直接导致制梁台座和导梁施工成本的大幅增长,而且施工单位即使多方努力也很难满足要求。

国外顶推梁滑道支点综合高差一般按 20~25mm 设计,国内公路顶推梁也按综合高差 20mm 左右设计。故建议对《铁路桥涵施工规范》有关条款作些修改,在经济合理的前提下,适当放宽顶推梁施工的容许误差值,以利铁路 PC 梁顶推施工技术的推广。

3 展望

PC 梁顶推施工,尤其采用多点顶推施工技术,充分利用墩台容许承受水平力的潜在能力,避免了设置大吨位的顶推锚固设施,将 PC 梁预制架设的复杂工作转化为现场具有工厂化特

点的各个节段施工工序有规律的简单循环。随着我国工业水平的迅速提高和顶推法的广泛应用,我国的顶推施工及其配套技术、设备将会迅速完善,一种先进的、稳定可靠的自动连续顶推新工艺不久将会在全国推广运用。在预应力设计得到进一步改善后,人们将会发现,采用顶推法施工在直接成本方面也同样是节省的。

我国将要修建的各类桥梁中,中等跨度的多跨长联PC梁桥占有相当的比例,而我国大型架梁吊装设备又严重不足,所以顶推法是适

合我国国情的一种较好的建桥方法,其发展前景是广阔的。

与悬臂法、PZ法相比,顶推法目前还只是在中小跨度范围内使用,但随着预应力材料强度和预应力工艺水平的不断提高,设计计算理论和方法的不断改进,以及顶推施工配套技术的日益完善,PC梁顶推法的适用跨度将随之增大,但更大跨度的突破则有待于轻质高强混凝土材料、复合材料的开发利用。

参考文献

- 1 交通部公路规划设计院,包头黄河公路大桥设计介绍。1983
- 2 广东省交通科研所,中堂大桥竖曲线顶推施工研究报告。1983
- 3 铁13局等。单线铁路混凝土连续箱梁多点顶推法成套技术鉴定材料。1993
- 4 铁路工程科技动态报告文集(桥梁分册)。1992,1993
- 5 华东预应力中心。预应力混凝土信息。1990~1994
- 6 桥梁建设。1983~1994
- 7 国外桥梁。1988~1994

汤俊生,北京中国铁道建筑总公司高工

书

本编辑部邮售以下书籍(邮资费另加收10%),欢迎选购。

《岩土锚固工程技术的应用与发展》16K 精装本:41元

《岩土锚固工程技术》16K 简装本:35元

讯