

桥梁施工 临时结构设计

陈 伟 李 明 主 编
张志国 钟 铭 副主编

中国铁道出版社

桥梁施工临时结构设计

陈 伟 李 明 主 编
张志国 钟 铭 副主编



中 国 铁 道 出 版 社

2002年·北 京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书总结了作者多年来的教学、科研和施工等各方面的经验,较系统地论述了桥梁结构的各种施工方法。结合工程实例,着重对桥梁施工中的临时结构如围堰、挂篮、模板、支架和缆索吊等的设计和施工方法进行了论述。书中大量的工程实例,不仅从传统的设计计算方法上论述了桥梁施工过程中临时结构的设计和计算,同时结合有限元理论,应用大型结构计算程序对桥梁施工过程中临时结构的计算方法进行了论述。书中贯彻了理论和实践相结合的原则,便于读者学习参考。

本书可供从事桥梁工程科研、设计、施工及监理等技术人员参考,也可作为高等院校土木工程学科桥梁工程专业教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁施工临时结构设计/陈伟 李明 主编 张志国 钟铭 副主编
—北京:中国铁道出版社,2002.10
ISBN 7-113-05028-X

I. 桥… II. ①陈…②李… III. 桥梁工程—结构设计 IV. U442

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 094924 号

书 名:桥梁施工临时结构设计
作 者:陈伟 李明 主编 张志国 钟铭 副主编
出版·发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
策 划 编 辑:许士杰 编辑部电话:路(021)73142,市(010)51873142
责 任 编 辑:
印 刷:中国铁道出版社印刷厂
开 本:787×1092 1/16 印张:13.5 字数:330 千
版 本:2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月第 1 次印刷
印 数:1~3 000 册
书 号:ISBN 7-113-05028-X/TU·713
定 价:25.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

联系电话:路(021)73169,市(010)63545969

前 言

我国经济的持续发展,对交通的需要和依赖越来越大,在此背景下公路工程和铁路工程建设得到了迅猛的发展。我国的桥梁建设事业也遇到了前所未有的发展机遇。在过去的二十年中,广大的桥梁工程技术人员修建了大量的造型新颖、结构复杂的桥梁,在国内外都具有重要的影响,使我国的桥梁工程的设计、施工和管理水平都上了一个新的台阶,达到甚至在某些方面超过了西方发达国家水平。但也应看到我国桥梁施工和管理在某些方面同世界先进水平相比还有一定的差距,我们必须对这些方面加以研究以弥补我们的不足之处。

本书以大跨预应力混凝土连续梁、高墩和深水基础的施工为背景,对桥梁施工技术及施工过程中用到的各种临时结构,如挂篮、滑模、翻模、围堰和支架等的设计和施工进行了较详细的介绍。书中不仅介绍了设计计算的基本原理,而且给出了设计实例,以利于读者掌握书中介绍的知识。

目前,有限元法在临时结构计算中的应用越来越多,广大的桥梁施工技术人员很有必要掌握这一方法。故在设计计算时,不仅介绍了传统手算方法,而且还在有关章节对有限元法在临时结构计算中的应用作了介绍。另外本书还专门介绍了钟祥汉江大桥、赣江龙王庙大桥和花土坡大桥有关的施工技术。

本书共分七章,第一章绪论,第二章围堰设计与施工,第三章桥梁工程模板设计,第四章支架设计,第五章挂篮设计与施工,第六章缆索吊设计,第七章大跨预应力混凝土桥施工实例,其中第一章、第二章、第三章第五节、第四章第一节、第三节由陈伟编写,第三章前四节由王海良编写,第四章第二节由邓海编写,第五章由钟铭编写,第六章由张志国编写,第七章第一节由中铁十一局集团高级工程师李明编写,第二节由石家庄铁道学院于炳炎和中铁十七局集团第三工程有限公司王亚伟、王永宏工程师等编写,第三节由中铁十七局集团高级工程师文珂和石家庄铁道学院陈伟编写。另外靳明君、张浩和中铁二十局集团李占荣也提供了资料并参加了部分章节的编写。全书由陈伟统稿,由王新敏教授主审。

本书在编写的过程中得到了石家庄铁道学院有关领导的关怀和帮助,尤其是科研处刘乃生处长、任德良副处长,并得到学院出版基金的资助,在此表示深深感谢!同时也对石家庄铁道学院土木分院桥梁与结构工程系的同事表示感谢,感谢他们提供的帮助和关心。作者在这里也衷心感谢中国铁道出版社的领导和本书编辑,没有他们的辛勤劳动,本书也不能这么快的出版。

同时在本书编写的过程中,引用了大量的参考文献,未能一一同作者联系,在此也一并表示感谢!

希望本书能对桥梁工程教学、科研、设计、施工和监理工作中发挥作用,但因桥梁施工技术的复杂性及作者水平有限,书中肯定存在不少疏漏和错误,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 桥梁施工历史回顾	1
第二节 桥梁施工方法简介	3
第三节 桥梁施工设计	12
参考文献	13
第二章 围堰设计和施工	14
第一节 围堰的分类	14
第二节 围堰设计	17
第三节 围堰的施工方法	21
第四节 设计实例	27
参考文献	31
第三章 桥梁工程模板设计	32
第一节 模板的分类及设计的基本要求	32
第二节 混凝土及钢筋混凝土墩台模板类型、构造及设计	33
第三节 高墩施工常用模板构造、设计和施工	42
第四节 桥梁上部结构模板	53
第五节 模板设计实例	57
参考文献	63
第四章 支架设计与施工	64
第一节 支架的分类、构造与应用	64
第二节 支架常备式构件	69
第三节 支架设计实例	78
参考文献	84
第五章 挂篮设计与施工	85
第一节 概 述	85
第二节 挂篮的结构构造及设计	93
第三节 挂篮悬臂浇筑施工的主要工艺程序及特点	99
第四节 对挂篮设计及应用的探讨	106
第五节 悬臂现浇挂篮设计及施工实例	111

参考文献	119
第六章 缆索吊装施工	120
第一节 缆索吊装系统的构造	120
第二节 悬挂索抛物线计算理论	122
第三节 悬挂索悬链线计算理论	138
第四节 缆索系统设计	141
第五节 缆索吊车应用实例	146
参考文献	163
第七章 大跨预应力混凝土桥施工实例	164
第一节 钟祥汉江特大桥施工技术介绍	164
第二节 赣江龙王庙大桥施工	184
第三节 内昆线花土坡特大桥施工技术	197
参考文献	207

第一章 绪 论

第一节 桥梁施工历史回顾

我国历史悠久,是四大文明古国之一。我们的祖先在科学技术和文化艺术方面,创造了不少光辉灿烂的篇章。桥梁是科学技术和文化艺术的典型代表之一,在世界桥梁建筑史上,我们的祖先也占有重要的地位。我国的古代桥梁不仅数量多,而且类型也多种多样,几乎包含所有近代桥梁中的主要形式。

据史料记载,在距今约 3000 年的周文王时,我国已在渭河上架设过大型浮桥。汉唐以后,浮桥的运用日益普遍。春秋战国时期,在黄河流域已修建用木桩和木梁或石梁的多孔桩柱式桥梁。

我国也是公认的索桥的起源地,迄今至少有 3000 多年的历史。在铁索桥的设计施工上,我们的祖先掌握了先进的技术。据文献记载,中国早在公元前 50 年就建成了跨度达百米的铁索桥,而欧美直到 17 世纪尚未出现铁索桥。1665 年徐霞客的《铁索桥记》详细描述了建于 1629 年在贵州境内的一座长约 122 m 的铁索桥。法国传教士于 1667 年出版了一本《中国奇迹览胜》,书中也介绍了中国铁索桥。这两本书直接启发了西方人建造铁索桥的尝试,但直到 1741 年,英国才建成欧洲第一座永久式铁索桥(侔氏桥)。目前还存在的如大渡河铁索桥等,是我国古代铁索桥梁建筑技术成就的典型实例。

在秦汉时期,我国已广泛修建石梁桥。修建于 1053~1059 年的福建泉州洛阳桥(亦称万安桥)是世界上现在尚存的最长的、工程也最艰巨的石梁桥。它采用筏形基础,并用牡蛎将基础加固成整体,从而解决了在海湾上建桥的最大难题——桥梁基础,它将生物工程技术运用到桥梁工程实践中,体现了卓越的设计思想,是我国古代劳动人民在桥梁建筑历史上的又一创举。1240 年建造的福建漳州虎渡桥,也是一座著名的梁式石桥,该桥是利用潮水涨落浮运架设,体现了我国古代高超的桥梁构件加工和安装工艺。

举世闻名的赵州桥是我国古代石拱桥建筑的杰出代表,它建于隋朝(公元 605 年左右),距今已有 1300 多年的历史,是世界上最早出现的敞肩式拱桥(空腹拱桥),比西方出现同类桥梁要早 1200 多年。该桥采用纵向并列方法砌筑拱圈,拱石表面凿有斜纹,并安放腰铁,拱背设置铁拉杆,拱顶石采用刹尖方法等,这些措施完全符合拱桥受力特性,是其能完好保存至今的重要原因。在设计和施工上均体现出高超的技艺。

18 世纪欧洲的工业革命和中国封建王朝的闭关自守拉开了中国在科学技术方面和西方的差距。中国的桥梁建设和施工技术陷入了停滞不前的状态。在工业革命时代,西方的桥梁建设技术得到了飞速发展。关于西方桥梁建设的发展历史,这里不详细论述,仅列出一些施工方法、施工机具和建材的出现年代,一方面可供参考,另一方面亦可看到西方桥梁建设技术发展的轨迹。1700 年以前,建材主要为木材和石材,1700 年以后,铸铁和锻铁开始使用,1824 年英国泥水工人 J. 阿斯普丁(J. Aspdin)发明波特兰水泥,1861 年钢筋混凝土结构的工作原理被发现,1886 年,美国工程师 P.H. Jackson 发明预应力混凝土,20 世纪 40 年代,部分预应力混凝土

土的概念出现,20世纪50年代,高性能混凝土、碳纤维混凝土等在工程中开始应用;在施工机具方面,1832年铆钉开始应用,1838年发明蒸汽锤,1899年移动式空气压缩机出现,1903年滑动模板得到应用,1913年发明混凝土泵,1935年发明混凝土内振捣器,1948年发明光电测距仪,1954年发明高强螺栓,1959年直升飞机出现,1960年工程中开始运用活动脚手架和回旋圆钻机,1962年发明各式千斤顶,1964年、1965年分别发明了电子测量仪具和激光测量仪具,1974年多功能桥梁升降机出现,1975年发明3 000 t浮吊,1980年发明2 000 L/min水泥砂浆搅拌船;在桥梁工程施工方法上,1854年发明悬索桥空中送丝法,1874年悬臂法和气压沉箱,1917年浮运提升悬吊法,1964年顶推法,1965年整孔活动支架法,1969年预制悬吊法,1973年环梁顶柱法,1978年钢管桩沉井施工工艺,1979年PC桥的悬臂架设工艺和地下连续墙基础,1980年钢桥的浮吊架设工艺,1981年箱梁桥的移动支架施工工艺,1982年架设PC箱梁桥的PZ法。另外还有近年来发展起来的锁口钢管桩基础和深水设置基础。

解放以后我国桥梁施工技术得到高速发展,建成了很多工程艰巨、技术复杂的桥梁。不仅长江上先后建成了武汉、南京、枝城、九江、万县、芜湖、江阴等大跨度钢桁架桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥,而且这些桥梁在设计、制造及安装技术方面均达到了世界先进水平。在武汉长江大桥施工中,深水管柱基础施工技术开创了桥梁建设历史新的一页,芜湖大桥作为矮塔斜拉桥的代表在世界同类桥梁中也具有重要的地位,江阴公路大桥为悬索桥,跨度为1 385 m,在同类桥梁中跨径居第四位。

在钢筋混凝土与预应力钢筋混凝土梁式桥方面,我国从20世纪50年代起就已广泛采用装配式工厂化生产的标准设计,用架桥机架设。它不但经济、适用,并且施工方便,能加快建桥速度。我国自行研制成功的新型架桥机(胜利型架桥机和红旗型架桥机),既可架桥又能铺轨,一机两用,安全可靠,可称一大创举。

在建造大跨度预应力混凝土刚构桥、连续梁桥和悬臂梁桥方面,无论是设计、施工工艺和施工机具的研制上,我国都已达到世界先进水平。1997年建成的虎门大桥辅航道连续刚构跨度达270 m,当时创世界之最(目前最大跨度为挪威的斯托尔马桥,跨度为301 m)。悬臂灌注、悬臂拼装和顶推法架桥等先进工艺和施工技术,已在各类桥梁施工中得到普遍应用。

在斜拉桥方面,我国自1975年开始建四川云阳汤溪河桥(铁路斜拉桥,跨度为76 m)以来,全国已建成斜拉桥近80座,成为目前世界上建造这种桥梁数量最多的国家。在跨度方面也已达到世界先进水平,如已建成的南浦大桥(主跨423 m)、杨浦大桥(主跨602 m)、武汉长江二桥(主跨404 m)、铜陵长江大桥(432 m)、汕头海湾桥(452 m)、西陵长江桥(900 m)、虎门大桥(888 m)、江阴大桥(1 385 m)。珠海淇澳海湾大桥,其主跨320 m,为双塔单索面预应力混凝土斜拉桥,在同类型桥梁中为国内最大、世界第二;汕头海湾桥主桥为预应力混凝土悬索桥。中孔跨度为452 m,两边孔各为154 m,两端各以4孔25 m预应力混凝土T梁与两岸相接,在世界同类桥梁中占领先地位。

在拱桥建筑方面,我国不仅历史悠久,而且成就非凡。特别是近十多年来,各种新型拱桥更是层出不穷。在石拱桥方面,我国建成了跨度54 m的铁路石拱桥和跨度120 m的公路石拱桥。钢筋混凝土拱桥则有跨度150 m的铁路中承式拱桥和跨度240 m的公路中承式桥梁。组合桁架拱的跨度最大已达330 m。钢管混凝土拱具有强度高(套箍作用)、跨度大、安装重量轻、施工方便等优点,因此成为近年来拱桥建设的一种热门形式。我国已建成的跨度超过100 m的钢管混凝土拱桥已有几十座。四川万县长江大桥是钢管混凝土劲性骨架拱桥,跨度达420 m,为世界第一跨径。

总之,建国以来,我国在桥梁设计和施工技术方面得到了飞速发展,形成了一支人数众多,力量雄厚的设计、施工和科研队伍。在理论研究、施工工艺和实验技术等方面均有了较大的发展。但我们也应看到我们与世界发达国家建桥水平方面的差距,不断吸取国外桥梁建筑的先进技术和经验,为我国的桥梁建设事业作出更大贡献。

第二节 桥梁施工方法简介

桥梁结构由两大部分组成,即上部结构和下部结构。两者的施工方法有着很大的不同。因下部结构的施工在以后章节中叙述,这里仅对桥梁上部结构的施工方法作一简要介绍。

桥梁上部结构的施工方法,20世纪70年代以后随着预应力混凝土的广泛应用,已经得到了迅速发展,并发生了重大的变革。在钢筋混凝土桥梁的时代,可以说主要是现场浇筑的施工方法。由于桥梁类型增加与跨径增大,构件生产的预制化,结构设计方法的进步、机械设备的的发展,由此而引起施工方法的进步和发展,形成了多种多样的施工方法。下面将介绍桥梁上部结构的施工方法,并概括各种方法的施工特点。

(一)就地浇筑法

就地浇筑法是在桥位处搭设支架,在支架上浇筑梁体混凝土,达到强度后拆除模板和支架。就地浇筑施工无需预制场地,而且不需要大型起吊和运输设备,梁体的主筋可不断,桥梁整体性好。它的缺点主要是工期长,施工质量不容易控制;对预应力混凝土梁由于混凝土的收缩、徐变引起的应力损失比较大;施工中的支架、模板耗用量大,施工费用高;搭设支架影响排洪、通航,施工期间可能受到洪水和漂流物的威胁等。

(二)预制安装法

在预制工厂或在运输方便的桥址附近设置预制场进行梁的制造工作,然后采用一定的架设方法进行安装。预制安装法施工一般是指钢筋混凝土或预应力混凝土简支梁的预制安装。

预制梁从预制场运送到施工现场的运输称为场外运输,常用大型平车、驳船或火车运至桥位现场。而其在施工现场内的运输称为场内运输,常用龙门轨道运输、平车轨道、平板汽车运输,也可采用纵向横移法运输。

预制构件安装的方法很多。在岸上或浅水区,预制梁的安装可采用龙门吊机、汽车吊机及履带吊机安装;在深水或深谷时,常采用穿巷吊机安装、浮吊安装及架桥机安装等方法。各自需要的安装设备也不相同,可根据施工的实际情况合理选择。

预制安装法施工的主要特点:

(1)由于是工场生产制作,构件质量好,有利于保证构件的质量和尺寸精度,并尽可能多地采用机械化施工;

(2)上下部结构可以平行作业,因而可缩短现场工期;

(3)能有效利用劳动力,并由此而降低了工程造价;

(4)由于施工速度快,可适用于紧急施工工程;

(5)将构件预制后由于要存放一段时间,因此在安装时已有徐变引起的变形。部分消除了徐变对桥梁结构受力的影响。

(三)悬臂施工法

我国在公元三世纪已开始修建伸臂木梁桥,这是悬臂施工法的最早雏形。1874年在西方已开始钢梁的悬臂拼装,至目前,大跨度钢桁梁的施工也多采用此法。1928年,Freyssinet最

早采用悬臂施工方法建造了主跨为185 m的钢筋混凝土大跨径拱桥,1930 年又由 E. Baumgart 用悬臂施工法建造了68 m主跨的钢筋混凝土大跨径梁桥,但由于钢筋混凝土结构容易开裂的材料特性,使其在悬臂施工中造成钢筋的浪费,后来较少采用。国外从 20 世纪 40 年代末开始又将悬臂施工方法用于建造预应力混凝土桥梁。

我国在 20 世纪 60 年代中期采用悬臂施工的方法建成第一座预应力混凝土桥梁,它是一座 T 型刚构桥。70 年代以后修建了几十座大中跨径的预应力混凝土 T 型刚构桥,如 1971 年建成的福建乌龙江公路大桥,主孔跨为 3×144 m;1980 年建成的重庆长江公路大桥,该桥共 8 孔,总长为1 000 m,最大跨径为174 m。随后使用悬臂施工法还建造了预应力混凝土连续梁桥、连续刚构桥、桁架拱桥和斜拉桥等。

这里所说的悬臂施工法主要是指大跨径预应力混凝土桥梁的施工方法。它是从已建成的桥墩开始,沿桥梁跨径方向两侧对称进行逐段现浇梁段或将预制节段对称进行拼装施工,前者称为悬臂浇筑施工,后者为悬臂拼装施工。它不仅在施工期间不影响桥下通航或行车,同时密切配合设计和施工的要求,充分利用了预应力混凝土上承受负弯矩能力强的特点,将跨中正弯矩转移为支点负弯矩,提高了桥梁的跨越能力。

采用悬臂法进行桥梁结构施工时基本施工顺序是:墩顶 0 号块的浇筑、悬臂节段的预制安装或挂篮现浇、各桥跨间合龙段施工及相应的施工结构体系转换、桥面系施工等。

悬臂拼装施工包括块件的预制、运输、拼装及合龙。预制的方法分立式和卧式两类,立式预制分长线法和短线法,通常用于箱形梁段的预制,而桁架梁段常采用卧式预制法。块件运输的方法很多,可根据实际情况采用方便的方式进行。预制块件的悬臂拼装可根据现场布置和设备条件采用不同的方法来实现。当岸边的桥跨不高且可在陆地或便桥上施工时,可采用自行式吊车、门式吊车来拼装。对于河中桥孔,也可采用水上浮吊进行安装。如果桥墩很高,或水流湍急而不便在陆上、水上施工时,就可利用各种吊机进行高空悬拼施工。

悬臂浇筑法施工是桥梁施工中难度较大的施工工艺,需要一定的施工设备及一支熟悉悬臂浇筑工艺的技术队伍。悬浇施工程序包括 0 号块施工、梁墩临时固结、施工挂篮、浇筑梁段混凝土、结构体系转换、合拢段施工及施工控制等几个方面。

要实现悬臂施工,在施工过程中必须保证墩与梁固结,尤其在连续梁桥和悬臂梁桥施工中要采取临时墩梁固结措施。另外采用悬臂施工法,很有可能出现施工期间的体系转换问题,如对于三跨预应力混凝土连续梁桥,采用悬臂施工时,结构的受力状态呈 T 形刚构,边跨合龙就位、更换支座后呈单悬臂梁,跨中合龙后呈连续梁的受力状态。结构上的预应力配置必须考虑施工阶段的受力状况。

悬臂施工的主要特点:

(1)桥梁在施工过程中产生负弯矩,桥墩也要承受由施工而产生的弯矩,因此悬臂施工宜在营运状态的结构受力与施工阶段的受力状态比较接近的桥梁中选用,如预应力混凝土 T 型刚构桥、变截面连续梁桥和斜拉桥等;

(2)非墩梁固接的预应力混凝土梁桥,采用悬臂施工时应采取措施使墩、梁临时固结,因而在施工过程中有结构体系的转换;

(3)采用悬臂施工的机具设备种类很多,就挂篮而言,也有排架式、斜拉式、弓弦式和菱形挂篮等多种型式,可根据实际情况选用;

(4)悬臂浇筑施工简便,结构整体性好,施工中可不断调整位置,常在跨径大于100 m的桥梁上选用,悬臂拼装法施工速度快,桥梁上、下部结构可平行作业,但施工精度要求比较高,可

在跨径100 m以下的大桥中选用；

(5)悬臂施工法可不用或少用支架,施工不影响通航或桥下交通。

(四)转体施工法

转体施工是20世纪40年代发展起来的一种桥梁架设工艺,它将桥梁构件先在桥位处岸边(或路边等适当位置)进行预制,待混凝土达到设计强度后旋转构件就位的施工方法。转体施工其静力组合不变,它的支座位置就是施工时的旋转支承和旋转轴,桥梁完工后,改变支承情况以达到设计要求。

转体施工将复杂的、技术性强的高空及水上作业变为岸边的陆上作业,它既能保证施工的质量安全,也减少了施工费用和机具设备,同时在施工期间不影响桥位通航。

转体的方法可分成平面转体、竖向转体或平竖结合转体,在梁桥中一般采用平面转体施工。

转体施工的关键是转体的实现,即要求正确的转体设计,制作灵活可靠的转体装置,并布置牵引驱动系统。

目前国内使用的转体装置有两种,都是通过转体实践检验行之有效的构造措施。第一种是以聚四氟乙烯滑板构成的环道平面承重转体,其转体装置由设在底盘和上转盘间的轴心和环形滑道组成,具体构造见图1—1(a);第二种是以球面转轴支承辅以滚轮的轴心承重转体,它的特点是整个转动体系的重心必须落在轴心铰上,球面铰既起定位作用,又承受全部转体重力,钢滚轮只起稳定保险作用,见图1—1(b)。

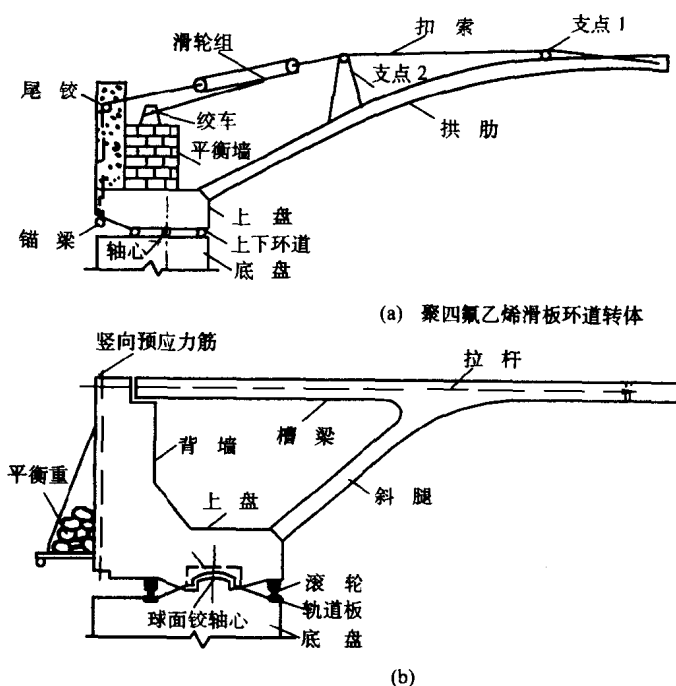


图1—1 转动体系的一般构造

梁桥的转动中心可设在桥墩底或墩顶,这与所采用的转动驱动系统有关。

转动驱动系统一般都由卷扬机、倒链、滑轮组、普通千斤顶等机具组成(图1—2),即通过闭合的牵引主索由滑轮组牵引,在上转盘产生一对牵引力偶克服阻力偶而使桥体转动。另外也可利用液压系统设计转动的驱动系统,对此国内外均有施工范例。

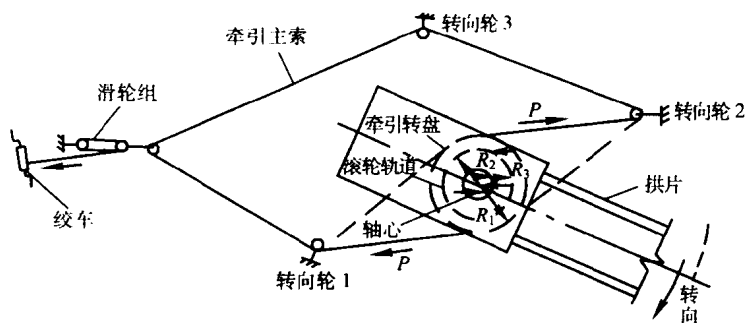


图 1-2 牵引系统布置示意图

转体施工的主要特点如下：

- (1) 可以利用地形,方便预制构件;
- (2) 施工期间不断航,不影响桥下交通,并可在跨越通车线路上进行桥梁施工;
- (3) 施工设备少,装备简单,容易制作并便于掌握;
- (4) 节省木材,节省施工用料。采用转体施工与缆索无支架施工比较,可节省木材 80%,省施工用钢 60%;
- (5) 减少高空作业,施工工序简单,施工迅速,当主要结构先期合拢后,给后继施工带来方便;

(6) 转体施工适合于单跨和三跨桥梁,可在深水、峡谷中建桥时采用,同时也适应在平原区以及用于城市跨线桥;

(7) 大跨径桥梁采用转体施工将会取得较好的技术和经济效益,转体重量轻型化、多种工艺综合利用,是大跨及特大跨桥梁施工方法的有力选择。

(五) 顶推法施工

顶推施工是在沿桥纵轴方向的台后设置预制场地,分节段预制梁段,并用纵向预应力筋将预制节段与施工完成的梁体连成整体,然后通过水平千斤顶施力,将梁体向前顶推出预制场地。之后继续在预制场进行下一节梁段的预制,循环操作直至施工完成。

顶推法于 1959 年首次在奥地利的阿格尔桥上使用,该桥全长 280 m,为四跨一联预应力混凝土连续梁桥,最大跨径 85 m。该桥分节段预制每段 8.5 m,段间采用 0.5 m 现浇混凝土接缝,待全桥节段组拼完成后一次顶推施工。1962 年在委内瑞拉建成的卡罗尼河桥,对顶推施工作了改进。该桥全长 550 m,主桥为六跨一联的预应力混凝土连续梁桥,最大跨径 96 m,采用了分节段预制、逐段顶推的工艺。它使预制场地固定,节约了大量施工现场,减少施工程序。同时该桥在顶推梁的前端设置钢导梁,减小了梁在施工过程中的受力,并在最大跨的跨中设置临时墩,使桥梁顶推施工时的跨径减小到 48 m。从那以后,采用顶推法修建了近 200 座预应力混凝土连续梁桥,我国从 1977 年开始应用顶推法修建预应力混凝土连续梁桥,取得了不少成功的经验,至今已有几十座桥梁施工完成。沅陵沅水桥是我国采用此法的一个典型例子,它位于湖南省沅陵县,跨越沅水,桥址处于五强溪水电站库容区内。桥全长 767.3 m,桥宽 16 m,主桥采用 85 m + 140 m + 85 m + 42 m 四跨不对称预应力混凝土连续—刚构桥。最高桥墩达 52.4 m,为双肢薄壁柔性墩,双肢中距 6.8 m,引桥为 9 孔 42 m 预应力混凝土连续梁。该桥主要特点:库区桥梁,桥高水深,为解决现浇施工边跨搭设支架的困难,选用不对称分孔,并用顶推法施工边段;主桥预应力采用 3000 kN XM 式锚具及无粘结预应力筋设计;用小吨位千斤顶

张拉大吨位钢索;引桥及边段多点顶推选用特置新型盆式橡胶支座,施工时的滑道与永久支座合一;顶推施工中改进水平千斤顶装置,并用微机控制顶推全过程;双柱式墩采用无帽梁结构,在柱顶下0.5 m处设一系梁,节省材料,方便施工;基础采用 $\phi 3.5$ m大直径嵌岩钻孔桩。于1991年建成。湖南省交通规划勘察设计院设计,湖南省路桥公司施工。

顶推施工要点:

(1)采用顶推法施工,要在沿桥的纵向台后设置一个固定的预制场地。顶推由水平千斤顶完成。

(2)要想用有限的顶推力将庞大的梁体顶推就位,必须采用摩阻系数很小的滑移装置。目前顶推施工常采用不锈钢板滑道与聚四氟乙烯滑块形成滑移,它们的摩阻系数为0.015~0.065,常用0.04~0.06。根据顶推施工法的测定表明:在顶推过程中,滑道的摩阻系数始终在不断变化,静摩阻系数要大于动摩阻系数。

(3)分段预制。逐段顶推施工方法,宜在等截面的预应力混凝土连续梁桥中使用,也可在结合梁斜拉桥的主梁上使用。采用顶推法施工,设备简单,施工平稳,无噪声,施工质量好,适用于深谷。宽深河道上的桥梁,高架桥以及同曲率的曲线桥和坡桥。

(4)在顶推施工过程中,每个截面都要承受最大正弯矩和最大负弯矩,为了兼顾运营与施工阶段的受力要求,采用顶推法比其他施工方法在配筋上要有些。如果要减小施工期弯矩,可在施工中采用一些辅助措施,如使用临时支墩,可以减小梁在顶推过程中的跨径,若在梁的前端设置钢导梁,可以减小梁的悬臂长度,或采用斜拉梁体系避免悬臂端产生过大的弯矩。

顶推施工方法按水平力的施加位置和施加方法分单点顶推和多点顶推两类。

单点顶推是在全桥纵向只设一个或一组顶推装置的施工方法。顶推装置通常集中设置在梁段预制场附近的桥台或桥墩上,而在前方各墩上设置滑移支承。顶推装置的构造又可分为两种:一种是水平—竖向千斤顶法;另一种则是拉杆千斤顶法。

水平—竖向千斤顶法的施工程序为顶梁、推移、落下竖直千斤顶和收回水平千斤顶的活塞杆,如图1—3所示。顶推时,升起竖直千斤顶活塞,使临时支墩卸载,开动水平千斤顶去顶推竖直千斤顶,由于竖直千斤顶下面设有滑道,千斤顶的上端装有一块橡胶板,即竖直千斤顶在前进过程中带动梁体向前移动。当水平千斤顶达到最大行程时,降下竖直千斤顶活塞,使梁体落在临时支承上,收回水平千斤顶活塞,带动竖直千斤顶后移,回到原来位置,如此反复不断地将梁顶推到设计位置。

拉杆千斤顶法是将水平液压千斤顶布置在桥台前端,底座紧靠桥台,由楔形夹具固定在梁底板或侧壁锚固设备的拉杆与千斤顶连接,通过千斤顶的牵引作用,带动梁体向前移动。滑移支承设在桥墩顶的混凝土垫块上,垫块上放置光滑的不锈钢板或镀铬钢板形成滑道,组合

的聚四氟乙烯滑块由聚四氟乙烯板表层和带有钢板夹层的橡胶块组成,外形尺寸有420 mm×

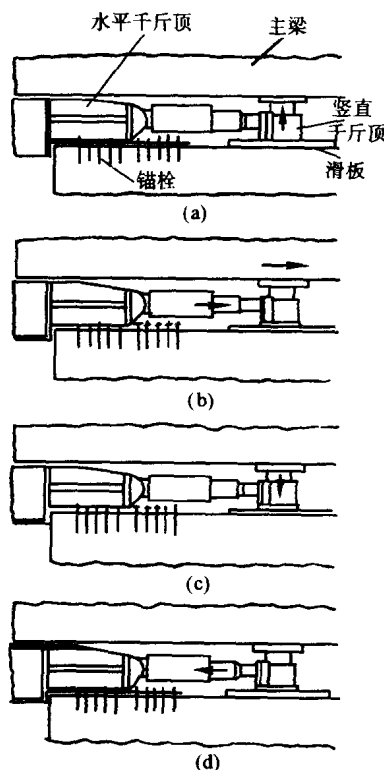


图1—3 水平千斤顶与竖直千斤顶联用顶推
(a)升顶;(b)滑移;(c)落下;(d)复原。

420 mm, 200 mm × 400 mm, 500 mm × 400 mm 等数种, 厚度也有 21 mm, 31 mm、40 mm 等多种。顶推施工时, 滑块在前方滑出, 通过在滑道后方不断喂入滑块, 使梁身前移时始终支承在滑块上。

为了防止梁体在顶推时偏移, 通常在梁体两旁隔一定距离设置导向装置。也可在导向装置上设水平千斤顶, 在梁体顶推的过程中进行纠偏。

单点顶推在国外称 TL 顶推法, 单点顶推力可达 3 000 ~ 4 000 kN。

多点顶推则是在每个墩台上均设置一对小吨位的水平千斤顶, 将集中顶推力分散到各墩上, 并在各墩上及临时墩上设置滑移支承。所有顶推千斤顶通过控制室统一控制其出力等级, 同步前进。

由于利用了水平千斤顶, 传给墩顶的反力平衡了梁体滑移时在桥墩上产生的摩阻力, 从而使桥墩在顶推过程中承受着很小的水平力, 因此在柔性墩上可以采用多点顶推施工。多点顶推通常采用拉杆式顶推装置, 它在每个墩位上设置一对液压穿心式水平千斤顶, 千斤顶中穿过的拉杆采用高强螺纹钢筋, 拉杆的前端通过锥形楔块固定在活塞插头部, 后端有特制的拉锚器、锚旋板等连接器与箱梁连接, 水平千斤顶固定在墩顶的台座上。当用水平千斤顶施顶时, 将拉杆拉出一个顶程, 即带动箱梁前进, 收回千斤顶活塞后, 锥形楔块又在新的位置上将拉杆固定在活塞杆的头部, 见图 1—4 所示。

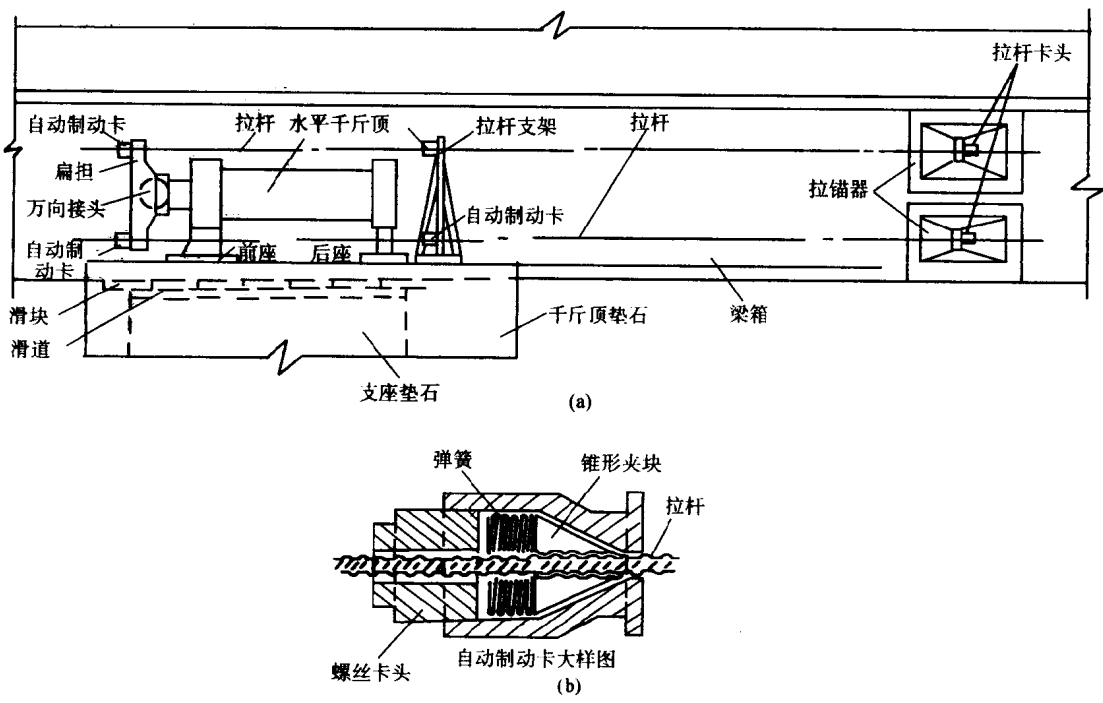


图 1—4 拉杆式顶推装置

多点顶推法也称 SSY 顶推法, 除采用拉杆式顶推系统之外也可用水平千斤顶与竖直千斤顶联合作业法。对于柔性墩, 为尽量减小对其作用的水平推力, 千斤顶的出力按摩阻力的变化幅度分为几个级别, 通过计算机确定各千斤顶的施力等级, 在控制室随时调整顶力的级数, 控制千斤顶的出力大小。

多点顶推与单点顶推比较, 可以免用大规模的顶推设备, 并能有效地控制顶推梁的偏移;

顶推时桥墩承受的水平推力小,便于结构采用柔性墩。在顶推弯桥时,由于各墩均匀施加顶力,能顺利施工。在顶推时如遇桥墩发生不均匀沉降,只要局部调整滑板高度即可正常施工。采用拉杆式顶推系统,免去了在每一循环顶推中用竖直千斤顶将梁顶起和使水平千斤顶复位的操作,简化了工艺流程,加快了顶梁速度。但多点顶推所需顶推设备较多,操作要求比较高。

顶推法施工的特点:

(1)顶推法可以使用简单的设备建造长大桥梁,施工费用低,施工平稳无噪声,适于在深谷和高桥墩上采用,也可在曲率相同的弯桥和坡桥上使用;

(2)主梁分段预制,连续作业,结构整体性好;由于不得要大型起重设备,所以施工节段的长度一般可取用10~20 m;

(3)桥梁节段固定在一个场地预制,便于施工管理改善施工条件,避免高空作业。同时,模板、设备可多次周转使用,在正常情况下,节段的预制周期7~10 d。

(4)顶推施工时,梁的受力状态变化很大,施工阶段梁的受力状态与营运时期的受力状态差别较大。因此在梁截面设计和布筋时要同时满足施工与营运的要求,由此而造成用钢量较高,在施工时也可采取加设临时墩或设置前导梁和其他措施,用以减小施工内力;

(5)顶推法宜在等截面梁上使用,当桥梁跨经过大时,选用等截面梁会造成材料用量的不经济,也增加施工难度,因此以中等跨径的桥梁为宜,桥梁的总长也以500~600 m为宜。

(六)移动模架逐孔施工法

逐孔施工是中等跨径预应力混凝土连续梁中的一种施工方法。它使用一套设备从桥梁的一端逐孔施工,直到对岸。它随着城市高架道路、轻轨交通的建设而发展来的,因为在这些工程中,中等跨径的长桥越来越多地得到采用。它使施工单一标准化,工作周期化,并最大程度地减小了工费比例,降低了工程造价,自20世纪50年代末期以来得到了广泛的应用和发展。

采用移动模架逐孔施工的主要特点:

(1)移动模架法不设置地面支架,不影响通航和桥下交通,施工安全、可靠;

(2)良好的施工环境可保证施工质量且一个模架可多次周转使用,具有在预制场生产的优点;

(3)机械化、自动化程度高,节省劳力,降低劳动强度,上下部结构可以平行作业,缩短工期;

(4)通常每一施工梁段的长度取用一孔梁长,接头位置一般可选在桥梁受力较小的部位;

(5)移动模架设备投资大,施工准备和操作都较复杂;

(6)移动模架逐孔施工宜在桥梁跨径小于50 m的多跨长桥上使用。

逐孔施工法从施工技术方面可分为三种类型:

(1)采用整孔吊装或分段吊装逐孔施工。这种施工方法是早期连续梁桥采用逐孔施工的惟一方法,近年来,由于起重能力增强,使桥梁的预制构件向大型化方向发展,从而更能体现逐孔施工速度快的特点。

(2)用临时支承组拼预制节段逐孔施工。它是将每一桥跨分成若干节段,节段预制完成后在临时支承上逐孔组拼施工。

(3)使用移动支架逐孔现浇施工。此法亦称移动模架法,它是在可移动的支架、模板上完成一孔桥梁的全部工序,即模板工程、钢筋工程、浇筑混凝土和张拉预应力筋等。待混凝土有足够强度后,张拉预应力筋,移动支架、模板,进行下一孔梁的施工。由于此法是在桥位上现浇施工,可免去大型运输和吊装设备,使桥梁整体性好,同时它又具有工厂化预制生产的特点,可

提高机械设备的利用率和生产效率。

由于采用逐孔施工,随着施工的进展,桥梁结构的受力体系在不断地变化,由此,结构内力也随之变化。

逐孔施工的体系转换有三种:由简支梁转换为连续梁,由悬臂梁转换为连续梁以及由少跨连续梁逐孔延伸转换为所要求的体系。在体系转换中,不同的转换途径将得到不同的内力叠加过程,而最终的恒载内力(包括混凝土的收缩、徐变内力重分布)将向着连续梁桥按照全联一次完成的恒载内力靠近。

1. 整孔吊装或分段吊装逐孔施工

整孔吊装和分段吊装的施工过程一般为:在工厂或现场预制整孔梁或梁段;预制梁段的起吊、运输;采用吊装设备逐孔架设施工;根据需要进行结构体系转换等。

预制梁段采用后张法预应力混凝土梁。由于施工过程中结构受力的变化,布设在梁体内的预应力钢束往往采用分阶段张拉方式,即在预制时先张拉部分预应力束,拼装就位后进行二次张拉。当然,在有些桥梁结构中,梁段预制时即将全部预应力钢束一次张拉到位。张拉顺序取决于根据施工方法确定的设计要求。

在施工中可选用的吊装机具有多种,可根据起吊重力、桥梁所在的位置以及现有设备和掌握机具的熟练程度等因素决定。梁段的预制、安装类同于装配式简支梁桥。

采用逐孔吊装施工应注意以下几个问题:

(1)采用分段组装逐孔施工的接头位置可以设在桥墩处也可设在梁的 $L/5$ 附近,前者多为由逐孔施工的简支梁连成连续梁桥;后者多为悬臂梁转换为连续梁。在接头位置处可设有 $0.5\sim 0.6\text{ m}$ 现浇混凝土接缝,当混凝土达到设计强度后张拉连接预应力筋,完成体系转换。

(2)桥的横向是否分隔主要根据起重能力和截面形式。当桥梁较宽,起重能力有限的情况下,可以采用 T 梁或工字梁截面,分片架设之后再行进行横向及纵向的整体化、连续化。横向连接采用类似简支梁的构造形式,也可在主梁的翼缘板间设 0.5 m 宽的现浇接头以增加横向刚度。

(3)对于先简支后连续的施工方法,通常在简支梁架设时使用临时支座,待连接和张拉后期钢束完成连续后拆除临时支座,转由永久支座支承整体结构。为使临时支座便于卸落,可在橡胶支座与混凝土垫块之间设置一层硫磺砂浆。

(4)在梁的反弯点附近设置接头,在有可能的情况下,可在临时支架上进行接头。

2. 用临时支承组拼预制节段逐孔施工

对于多跨长桥,在缺乏较大起重能力的起重设备时,可将每跨梁分成若干段,在预制厂生产,架设时采用一套支承梁临时承担组拼节段的自重力,并在支承梁上张拉预应力筋,将安装跨的梁与施工完成的桥梁结构按照设计的要求连接,完成安装跨的架梁工作;随后,移动临时支承梁至下一桥跨。或者采用递增拼装法,从梁的一端开始安装到另一端结束。

(七)横移法施工

横移施工是在拟待安置结构的位置旁预制该结构物,并横向移运该结构物,将它安置在规定的位置上。

横移法施工的主要特点是在整个操作期间与该结构有关的支座位置保持不变,即没有改变梁的结构体系。在横向移动期间,临时支座需要支承该结构的施工重量。

横向位移施工多用于正常通车线路上的桥梁工程的换梁。为了尽量减少交通的中断时间,可在原桥位旁预制并横移施工。

横移施工也可与其他施工方法配合使用。对一座分离式箱梁桥,可先采用顶推法按单箱完成,再采用横移法就位,之后在原位置上继续进行另一单箱梁顶推施工,这样可以使用一套顶推设备完成全桥的施工。

横移施工多采用卷扬机、液压装置并配以千斤顶进行。由于混凝土桥具有较大的自重,横移法施工常在钢桥上使用。

(八)提升与浮运施工

这是一种采用竖向运动施工就位的方法。提升施工是在未来安置结构物以下的地面上预制该结构并把它抬升就位。浮运施工是将桥梁在岸上预制,通过大型浮船移运至桥位,利用船的上下起落安装就位的方法。

采用提升和浮运的方法常选取整体结构,重达数千吨,使用该法的要求是:

- (1)在该结构下面需要有一个适宜的地面;
- (2)被提升结构下的地面要有一定的承载力;
- (3)拥有一台支承在一定基础上的提升设备;
- (4)该结构应该是平衡的,至少在提升操作期间是平衡的;
- (5)采用浮运法要有一系列的大型浮运设备。

(九)钢梁的拖拉架设

由于钢梁具有良好的抗拉能力,因此在架设钢梁时也可考虑采用拖拉法。钢梁拖拉时所需的设备比较简单,包括钢导梁或临时墩架、千斤顶、牵引绞车、牵引滑轮组、制动绞车、制动滑轮组和滑道等。

用拖拉法架设钢桁梁,梁在场地上拼装组合,工作条件好,容易保证质量,可以避免在深水河流中搭建施工辅助结构,不干扰水上运输。可在基础和墩台施工的同时拼组钢梁,加快施工进度,缩短工期。和悬拼法相比,大量减少了高空作业,比较容易保证施工安全。钢梁孔跨较多时,在某些条件下比较经济。但也存在缺点,主要是牵引滑道等设备较多。钢梁跨度大时,需要一定数量的辅助结构,如临时塔架或导梁等,还可能需加固钢梁。

对简支钢桁梁可以单孔拖拉架设。对多跨简支梁可临时连接多孔同时拖拉。对连续桁梁也可几联连成一体同时拖拉。

单孔钢桁梁拖拉架设时,为保证拖拉过程中梁的纵向倾覆稳定性,可在桥孔内搭建临时中间墩架,以减少拖拉过程中梁的悬臂长度。当不容许搭建临时墩架时,可配轻型钢导梁。墩架和导梁均可由万能杆件组拼。单跨桁梁加导梁拖拉时,除选用轻型导梁外,还可在钢梁尾部加压重以使重心后移,从而也可改善滑道前端处的钢梁和滑道的受力状态,提高纵向倾覆稳定性。

多跨连接拖拉架设,当梁的跨度较大时,也应配置一定长度的轻型导梁,其目的是改善钢梁和滑道的受力状态,从而可减少钢梁加固工作量,并有利于拖拉施工。

拖拉钢梁的滑道,可以布置在纵梁下,也可布置在主桁下。当滑道布置在纵梁下时,桥头路基不用作加宽处理,通过小跨度上承梁时,下滑道可设在梁上,但滑道较窄,拖拉过程中横向稳定性较差。滑道布置在主桁下,横向稳定性较好,但下弦杆抗弯能力低,上滑道只宜设在下弦节点处。

实践表明,拖拉工作的顺利进行,上下滑轨面保持连续和平顺至关重要,否则辊轴受力不均,容易发生故障。因此下滑道标高应准确,滑道基础应不发生沉陷。

钢梁拖拉时,牵引滑轮组应根据计算牵引力设置。制动滑轮组也应根据计算设置。在拖