

大跨径自锚悬索桥施工工艺研究

韩振勇

(天津城建集团有限公司,天津市 300073)

摘 要:该文通过对西河桥施工工艺的研究,介绍了西河桥的工程特点和难点,以及在建设过程中主桥钢箱梁安装、PPWS 工法主缆架设施工工艺及施工质量控制、主缆及吊杆张拉与索力调整主梁脱架体系转换桥面线形控制等施工工艺。

关键词:钢结构;自锚悬索桥;主缆;施工工艺

中图分类号:U448.25 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)04-0178-05

0 前言

改革开放以来,我国社会主义现代化建设和各项事业取得了世人瞩目的成就,公路交通的大发展为公路桥梁建设带来了良好的机遇。同时,随着城市桥梁的发展,越来越多的桥型被推广应用,其中自锚式悬索桥以其优美的线形、错落有致的外观而倍受青睐。自锚式悬索桥在国外早已有之,但真正应用于中国的工程实践,却是最近几年的事。自锚式悬索桥不同于传统悬索桥在于“自锚”。其不需要有强大的锚碇,直接把主缆锚于主梁端或锚碇横梁上,节省了昂贵的锚碇费用。自锚式悬索桥实现了人们在城市河流上看到悬索桥的夙愿,提供人们美学享受,提升了城市的建筑艺术内涵。该文以钢结构自锚式悬索桥(天津市西河桥)为工程背景,对钢结构自锚式悬索桥施工工艺进行探讨和研究。

1 工程概况

西河桥(子牙河大桥)是天津市咸阳路道路改造工程中的一座大型桥梁,座落于天津市红桥区,横跨海河上游的子牙河。该工程由主桥和引桥组成,主桥为钢结构自锚式悬索桥,三跨钢正交异性桥面板连续加劲钢箱梁结构,主跨径 115 m,边跨径 48.05 m,桥宽 42 m,主梁为单箱单室钢箱梁结构,主塔为“门”式钢筋混凝土结构,由上、中、下塔柱组成,塔高约 31 m;引桥上部结构为普通钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土连续箱梁,最大跨径 36 m,下部结构为钻孔桩基础。桥梁全长 553.1 m,双向六车道,建筑面积约 21000 m²。全桥共设人行梯道桥 4 座,每座设转向平台 1 处。其建成对于加快天津市的经济发展具有重要意义。工程建成后,大桥将成为新的城市景观。

2 工程特点和难点

西河桥为天津市第一座自锚体系垂直吊索悬索桥,其自锚悬索体系长度 214 m,加劲钢箱梁的宽度、主跨径均为全国同类桥梁之首。它具有以下特点:

(1)设计新颖:主桥采用全钢结构,为全钢结构桥梁,总钢材用量达到 4000 余 t。桥面铺装采用新型钢结构专用防水材料,有效解决了钢桥面防水和沥青铺装结合问题;底层采用浇注式 SMA 沥青混凝土铺装,具有高温稳定性好、低温抗裂性好的双重优点,有效克服悬索桥变形较大的弊病,延长使用寿命。

(2)钢箱梁合理分段,焊接变形控制:钢箱梁的横断面为 42 m,考虑道路及现场运输现状,确定分段的长度不超过 12 m,宽度不超过 4 m 来进行分段制作。钢箱梁整体拼装焊接采用先定位焊,后正式施焊,实施全站仪跟踪测量的方法,保证误差在 3 mm 之内。

(3)钢箱梁定位:悬浮体系的钢箱梁在空间位置上的准确性,是钢箱梁安装的关键。利用升降可调的砂顶装置,每片钢箱梁轴线位移控制不超过 3 mm,高程控制不超过 4 mm,满足了规范的要求,保证了成桥的线形。

(4)主缆架设:全桥主缆共 2 根,每根主缆由 19 根 127 丝 $\Phi 5$ 的高强镀锌平行钢丝组成,长度约 230 m。主缆架设采用 PPWS 法架设,基准索股的绝对标高控制利用全站仪进行测量,并根据测量结果反复进行索股绝对垂度调整。针对主缆索股发生扭转、变形和散丝现象,对索股采取了加密绑扎,针对变形和散丝现象,采用专用工具对索股进行整形和梳理,对扭转现象,用人工将索股从前端锚头开始往后端锚头方向扭正。主缆空隙率设计索夹处 18%,其他处为 20%,允许误差为 $\pm 2\%$,经检测空隙率最大误差为 $\pm 0.5\%$,符合设计要求。

收稿日期:2006-05-29

作者简介:韩振勇(1965-),男,天津人,总工程师,主要从事桥梁及结构工程研究工作。

(5)锚碇横梁锚管定位:这是成桥的关键,锚碇横梁的核心部位即锚管的定位是否准确,它将直接影响主缆线形和整个桥梁的受力。为了锚管的定位准确,采用在加工厂内进行机械精加工,对所有锚管进行整体加工焊接。锚管的定位采用刚性定位架进行定位,在定位架上按设计要求采用计算机进行锚管位置定位,定位后进行精密切割,切割后进行锚管定位焊接,制作完成后运至现场进行吊装就位。

(6)结构受力体系转换:通过对吊杆的张拉,使钢箱梁脱架,将支架上的作用力转移至主缆。在转移的过程中,保证吊杆受力均匀。我们通过二次张拉均达到了设计要求,张拉完成后各吊杆不均匀力小于50 kN。经检测最终主缆线形东侧误差为+4 cm,西侧误差为+3 cm,符合设计要求;钢箱梁成桥高程、轴线偏移等均符合设计要求。

3 钢箱梁现场架设拼装焊接桥面线形控制施工工艺

3.1 钢箱梁的分块

考虑施工现场情况及北方运输的特点,在充分分析和计算后,采取分段长度不超过12 m,宽度不超过4 m为原则,在每一个42 m断面上,钢箱梁分成4个主箱室4块,中横梁1块,锚箱2块,挑檐2块,每一个断面分成9块,长度控制在12 m,中间合龙段为10 m,主塔加强段分成9 m,与锚碇横梁相连接的部分分成15.5 m。

3.2 钢箱梁的安装:

3.2.1 安装作业顺序(见图1)

根据设计要求,钢箱梁的架设从主塔处向边跨和跨中对称进行。首先安装钢箱梁的加强段节段,就位后,从9 m加强段开始对称向边跨和跨中方向安装标准节段,向边跨至端节段15.5 m段钢箱梁与锚碇横梁焊接,向跨中至合龙节段10 m段钢箱梁。

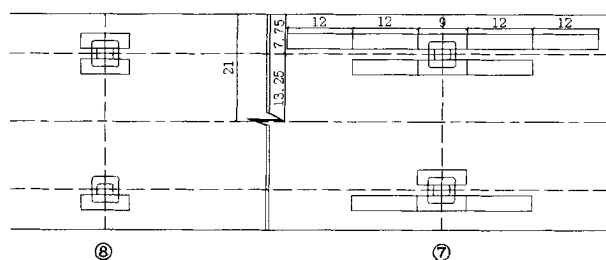


图1 钢箱梁的安装顺序图(单位:m)

3.2.2 节段钢箱梁的安装

钢箱梁在吊装前,吊装班组应对设备进行安全检查,在现场技术人员的指挥下,各种设备安装

就位。钢箱梁在出厂前,在钢箱梁顶面的梁体上做出横断面尺寸,钢箱梁的纵断面上梁体标记线为两个节段划分线的正中间,梁体标记线的长度为顶面通长,依次保证测量控制的基准精度要求。

钢箱梁运送到现场后平面位置的初步控制:测量人员在临时支架工字钢上先放样出与钢箱梁的梁体标记线的重合线,即放样出顶面钢箱梁的梁体标记线位置及纵向间断线。测量人员放样出钢箱梁两个节段划分线的正中点的轴向点位,其中一个点标记在主塔的侧面,另一个点标记在临时墩的工字钢上,钢箱梁运送到现场后,经过吊装就位,当梁体标记线与现场标记线基本重合,可开始进行精确测量定位控制。

钢箱梁平面位置的精确控制:梁体控制采取跟踪测量方法进行钢箱梁定位,全站仪直接架设在现场的导线控制点上,放样该4个点的坐标方位角,控制梁体在全站仪镜筒中移动,当梁体标记线与仪器镜筒中的竖向丝重合时,梁体安装完成。

节段钢箱梁高程控制:根据设计要求,采取普通水准测量控制钢箱梁的顶面高程,以达到控制钢箱梁顶面高程的控制要求。由于设计钢箱梁的加工采取折线制作,因此只须控制节段划分线处的高程即可满足要求。

3.2.3 箱梁纵横向移动及调整

在支撑平台上铺设滑道,滑道与梁端的距离为70 cm。沿滑道方向铺双拼200工字钢,滑道固定在双拼200工字钢上,滑道上布置滑板,箱梁下底面与滑板接触部分,加橡胶垫,以加强梁体与滑板的摩擦力,同时保护梁体防锈漆不被破坏。钢箱梁加工完成后,用拖车运至施工现场的栈桥上。用两辆吊车将钢箱梁提起,放于支撑平台的滑道上,开始横向平移就位。平移用千斤顶推动箱梁进行移动,千斤顶的靠背销于滑道上。平移时,2台千斤顶同时启动,待千斤顶达到最大伸长量后,撤掉靠背,将靠背移到下一销孔处,再用千斤顶推动箱梁移动。重复此过程直至箱梁达到指定位置。

箱梁横向移动就位后,用千斤顶将箱梁顶起,顶点距梁端1 m,撤掉滑道,将箱梁放在固定在平台上的4个钢支墩上。钢支墩上铺20 mm厚钢板,钢板与箱梁接触处加一层橡胶垫。钢支墩上焊一牛腿,千斤顶的靠背焊接在牛腿上。纵移同样采用千斤顶推动箱梁移动的方法。纵移时,2台千斤顶同时启动,由于纵向移动量很小,基本上可一次就位。塔柱处箱梁纵移量较大,将箱梁横移过塔柱位置后,布置2条纵向滑道,梁纵移到位后,再横移就位。移动装置和方法与标准段相同。

高程调整用千斤顶,将箱体顶起,把箱体放于临时支座上,使高程满足要求。箱梁拼装块调整就位后,一定要定位焊接牢固,保证安装完成箱体的整体性。

纵、横向调整完成后,考虑到焊接的要求,分割块之间先采用定位焊,焊口具备焊接的条件,再进行正式焊接。

3.3 钢箱梁的焊接

钢箱梁在测量定位后开始进行钢箱梁的定位焊接,用1 cm的钢板裁成凹型,在钢箱梁连接处进行定位焊接,开始进行下一片钢箱梁的测量定位与定位焊接,全桥的钢箱梁合拢后,开始进行钢箱梁的焊接,在定位焊后,开始进行焊接前的正式焊接准备,焊接过程为:用1 cm的钢板裁成凹型,延焊缝位置每20 cm焊接一道,槽口位置处于焊缝的顶面,钢板要与钢箱梁焊接牢固,焊缝长度不小于5 cm,钢板连接作用力抵消由于焊接变形产生的作用力,经过对现场的10块12 m长的钢箱梁的焊接变形观测,焊接产生的变形满足设计要求,保证了成桥的线形。

4 PPWS工法主缆架设施工工艺及施工质量控制研究

该桥共有主缆2根,每根主缆由19股索股组成,每股索股由127根 $\Phi 5$ 的高强镀锌平行钢丝组成,索股截面成正六边形,右上角设红色基准丝,作为控制索股长度的基准,并可用来检查索股在架设过程中的扭转情况。每根主缆长约230 m,主缆标准断面直径约27.0 cm(考虑空隙率20%),索夹位置断面直径约26.6 cm(考虑空隙率约18%)。

4.1 架设主缆

主缆索股的架设是悬索桥上部结构施工的关键。为完成架设主缆、吊索等一系列工序,该工程采用了猫道。

4.1.1 索股牵引准备

根据现场情况,在桥南侧6#锚碇横梁上表面的预埋件上固定2台5 t卷扬机来牵引索股,沿猫道放索,在9#锚碇横梁上表面的预埋件上固定2台2 t卷扬机,来牵引索股锚头进锚管。将主缆放索架放在9#锚碇横梁上表面的主缆纵向中心线上,与锚梁顶面预埋件焊接固定。按索股安装顺序(1#~19#),用吊车将索股卷盘放在索架上。

4.1.2 索股牵引、提升、横移、整形入鞍

将5 t卷扬机的牵引钢丝绳头与索股锚头连

接并拉紧,用2 t手拉葫芦将锚头与索道小车连接牢固,严防松脱。前端锚头从放索架上抽出,启动南侧5 t卷扬机缓慢放索,使索股依次通过北边跨猫道、北塔顶、中跨猫道、南塔顶、南边跨猫道、南锚碇横梁(见图2)。放索同时用放索架刹车装置调整放索速度。放索过程中设专人跟随索股锚头前进,随时用索道小车的手拉葫芦调整锚头的高度,防止锚头与猫道相碰;在猫道面上每隔约20 m设1名工人,防止牵引过程中索股从橡胶滚轮滑下,或在牵引过程中钢丝及缠包带挂住滚轮而变形;在每个塔顶设3个工人,负责使锚头顺利通过塔顶。具体操作为:当锚头到达塔顶时,用对讲机通知5 t卷扬机停止牵引,用挂在塔顶钢支架上的手拉葫芦挂住锚头,将索道小车从边跨索道上拆下,安装到中跨索道上;用手拉葫芦配合5 t卷扬机点动牵引,将锚头牵引过塔顶,重新用手拉葫芦将锚头与索道小车连接好,继续用5 t卷扬机牵引索股放索,直至锚头到达南锚碇横梁锚管口,解除锚头与索道小车上手拉葫芦的连接,利

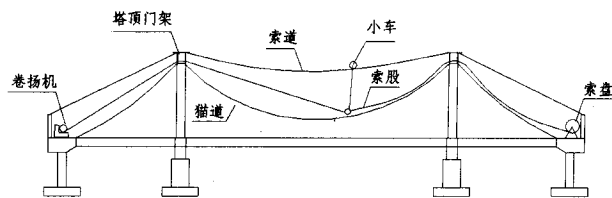


图2 牵引索股示意图

用手拉葫芦将索股后端锚头从放索架上脱出。

检查整根索股的扭转情况,从前端锚头开始往后端锚头方向,用人工将索股扭正,保证有红色丝的平面平行朝上,且红色丝位于六边形的右上角。

用5 t卷扬机牵引索股前端锚头进入锚管,并穿出锚管约4~5 m,直至后端锚头到达锚碇横梁锚管口,用9#锚梁的2 t卷扬机牵引后端锚头进入锚管,装上前、后端锚头的螺母,调整锚头位置使锚头中心与锚管中心同轴,且螺母位于锚头最后端头。

用六边形整形器从索股中跨中点往两岸侧方向将索股整理成六边形,整形时用木锤敲打索股表面以方便成形。

在每个塔顶距索鞍两侧约1 m处分别将握索器安装在索股上,并将其与挂在支架上的手拉葫芦相连,通过收紧手拉葫芦把索股从猫道滚筒上提起,直至比索鞍顶高约0.2 m处,确认全跨径的索股已离开边跨及中跨滚筒后,用手拉葫芦将索股横移至索鞍槽正上方。

在距索鞍两侧约 0.8 m 处的索股上安装六边形夹具,拆除索鞍段索股的绑扎带,在距索鞍约 0.5 m 处,开始用四边形整形器将索鞍部位六边形索股整成矩形,整形时用短钢锯片分层以保证整形效果。将四边形整形器从边跨往中跨方向前移,并用木锤敲打索股表面,使索股在索鞍段全部整成设计形状的矩形。整形方向均为从边跨往中跨进行。

整形完成后,将索股放入鞍槽内设计位置。入鞍时从边跨向中跨方向进行,严格控制索股着色丝在鞍槽的位置,以防索股扭转。

4.1.3 调整索股线型

为使初步架好的索股与设计规定的线型相吻合,必须进行索股线型调整。白天架设的索股,无论是基准索股还是一般索股,线型调整必须在温度稳定时进行。调整时,提前 3 d 用温度计每隔 1 h 测量气温变化情况,做好记录,把温度变化小的时间定为调整时间(一般在凌晨 5:00-8:00)。

(1)绝对垂度调整

主缆架设采用 PPWS 法架设,以首根索股(1#索股)为基准索股,先架设基准索股,基准索股的架设必须控制一定的温度,设计温度为 +20℃ +10℃,基准索股控制以中跨线形为主,静态观察 3 d,每天在设计温度内分早晨、中午 2 次检测中跨线形,在测定索股下缘的标高后进行调整。测量点布置为:中跨、边跨均以各跨中点的索股下缘作为测量控制点。符合设计要求后方可进行其它索股牵引。

基准索股的绝对标高控制,利用全站仪进行测量,并根据测量结果反复进行索股绝对垂度调整。

在 2 个塔顶钢支架上挂手拉葫芦,根据测量数据,反复调整索股在索鞍槽内位置,直至中跨线型符合设计要求,主缆的基准索股经检测误差为 +5 cm,最终主缆线形东高 +4 cm、西高 +3 cm,均符合设计要求。

中跨垂度调整完之后,开始调整边跨垂度。方法为:在锚碇横梁后端的主缆锚垫板后安装千斤顶张拉索股,通过调整螺母在锚具上的位置,来调整边跨主缆索股的长度,即调整索股边跨的垂度,直至边跨线型符合设计要求。

(2)相对垂度调整

对基准索股以外的索股(2#-19# 索股)进行垂度调整为相对垂度调整,用大号游标卡尺测量基准索股的相对高度,决定调整量。

相对垂度调整方法与绝对垂度调整基本相

同。但相对垂度调整时,索股调整速度不宜过快,否则被调整索股就容易压在下面的索股上,这样将不能测定正确的相对垂度。另外,如果压在基准索股上,基准索股的垂度就失常,因此,相对垂度的调整,要在对下面的索股若即若离的状态下进行。

4.1.4 索鞍压盖安装

按顺序安装完 19 根索股且调整完索股线形后,即可安装索鞍压盖,此前对鞍槽内空隙部分用铅块填满,并用 PID-3500 电动扳手按设计要求拧紧压盖螺栓。

4.2 紧缆

紧缆之目的是将各根索股挤紧成一个外部成圆形、内部排列紧密、断面稳定、能团结一致承受外部强大荷载的索股群,在全部索股架设完毕,且空缆成型调整后,即可进行此项工作。紧缆作业大致可分成准备工作、预紧缆和正式紧缆。

4.2.1 准备工作

主要是为紧缆作业、索夹安装、吊杆架设提供运载起吊设备。

4.2.2 预紧缆

预紧缆是把架设完了的索股群大致整成圆形的作业。根据设计要求,边跨自塔顶索鞍位置向 6#、9# 墩锚固位置进行,将各股不均匀情况迭加至锚固位置,通过调整锚头螺栓达到各股主缆长度以满足设计要求,拉力均等;中跨为消除各股不均匀情况,其紧缆顺序采用间跳方式,即自跨中、四分点、八分点位置分别向两侧紧缆。

沿全长检查主缆索股排列情况,确认各索股排列无交叉情况。用钢带打包机在主缆上每隔约 1m 打上 1 道钢带,按上述顺序将整根主缆收紧,直至把索股群大致整成圆形为止,且主缆空隙率达到 26%~28%。

4.2.3 正式紧缆

正式紧缆即用专用紧缆机把主缆整成圆形,并达到所规定的空隙率,即标准断面为 20%,索夹位置断面为 18%。其作业可在白天进行。正式紧缆由各跨中央向索鞍和散索套方向进行。

启动油泵,将紧缆机的油缸活塞缓慢打出,同时利用控制阀上的 4 个截止阀,分别单独控制 4 个油缸的进油量,使每个活塞的顶出速度基本一致。待夹紧块贴紧主缆表面后,试观察 4 个油缸活塞的伸出量是否一致,如一致,再继续同时缓慢加压,加压时应力求平稳,避免冲击,直到将主缆压紧,达到设计要求的主缆直径尺寸。

用 1 m 钢卷尺在距紧缆机 15-20 cm 的地方

测量周长,按上述公式计算主缆空隙率。当空隙率达到设计要求时,在靠近紧缆机的地方打上2道钢带,钢带间的距离为10 cm左右。松开紧缆机,移到下一个紧缆点,每一个紧缆点间的距离约为1 m。这时再复测上一个紧缆点的周长,并把所在位置及周长记录下来。

空隙率的大小直接影响主缆直径,主缆直径偏大或偏小都会影响索夹安装,因此在紧索时要严格控制空隙率的大小,使其尽可能地满足设计要求。一般情况下,标准断面的空隙率为 $20\% \pm 2\%$,索夹部位为 $18\% \pm 2\%$ 。主缆中跨标高经检测相对差值为4 mm,符合设计要求。

5 主缆及吊杆张拉与索力调整主梁脱架体系转换桥面线形控制

吊杆是将加劲梁和桥面系吊于主缆上的构件,它除受恒载外,还受到活载、风载引起的拉伸、弯曲和摆动。该桥吊杆上端采用栓接和索夹耳板连接,下端采用带有冷铸锚与加劲梁连接。每根吊杆间距为4 m,全桥共设吊杆94根,其中8根采用刚性吊杆,其余86根采用 $\Phi 7$ mm 高强镀锌外层热挤PE的平行钢丝成品索,标准强度为 $R_{yb}=1670$ MPa。

5.1 吊杆安装顺序的确定

吊杆安装顺序为中跨从跨中向塔顶进行,边跨从跨中向散索套和塔顶进行。

5.2 吊杆索力调整

5.2.1 调整方法

利用在钢梁底部吊杆锚头位置处设置的工作平台,安装YCW150-200千斤顶及张拉组件。按设计要求反复调整索力,使桥面线型与吊杆索力符合设计要求。

5.2.2 第一次调整:

在桥面主梁施工全部完成后进行,中跨张拉自跨中向两侧塔顶对称进行;边跨张拉自跨中向两侧对称进行。

本阶段各吊杆总张拉力为300 kN,为保证各吊杆受力均匀,吊杆张拉分两步进行,即第一步各吊杆先张拉200 kN,第二步再张拉100 kN,并应保证全部张拉完成后,各吊杆不均匀力 < 50 kN。

本次调整主要目的在于,将大部分作用于满堂支架的桥面通过吊杆张拉转移至主缆,为下一阶段体系转换做准备,同时实现荷载对主梁、吊杆、主缆的逐渐施加,避免一次施加到位带来的不利影响。

用千斤顶将每根吊杆张拉300 kN后,各吊杆

之间索力差最大值为120 kN;中跨上下游桥面高差为2 mm。

5.2.3 第二次调整:

在拆除梁底砂箱,完成体系转换后即可进行第二次调整。本次调整的吊杆张拉以线型控制为准,张拉顺序与第一次相同。各吊杆张拉力均为300 kN。

用千斤顶将每根吊杆张拉350 kN后,各吊杆之间索力差最大值为50 kN;中跨上下游桥面高差为7 mm。

通过对西河桥主体工程的体系转换至全桥竣工为期半年、34个施工工况的跟踪监测,该桥的主梁应力、塔柱应力、吊索索力及主缆应力等控制参数的测试,均满足设计要求。

6 新材料、新设备、新工艺、新技术的应用

(1)钢箱梁板单元制造工艺采用以下技术,有效地控制了其加工质量和钢箱梁成型的精度:应用FastCAM等工艺设计软件,展开各类板材的数控切割下料前的排版优化设计,并采用无余量精密数控切割和焊接变形控制技术;采用专用钢带等方法实施对零部件的有效检测;采用“无码”装配工艺;采用翻转式反变形胎架,控制焊接变形。

(2)钢箱梁安装采用了升降可调的砂顶装置设备,为钢箱梁安装定位起到了至关重要作用。

(3)为了解决吊杆受温度和碰撞而产生的变形影响及破坏,全桥吊杆外层护套采用了双层PE护套,两层护套之间填充油脂,代替了过去吊杆防护采用单层PE护套的做法。

(4)针对目前国内悬吊结构容易由于吊杆锚具疲劳或腐蚀引起破坏情况,设计中采用新型带球铰构造冷铸锚具和可靠的防水、防腐措施,延长锚具使用寿命,同时在构造处理上保证吊杆及锚具的可检查、可更换。

(5)钢桥面铺装,采用了浇注式沥青混凝土等新材料。浇注式沥青混凝土具有优异的高、低温性能,并能较好解决钢桥面板与各结构层由于热胀冷缩产生的剪应力,以及层间内产生的应力应变对铺装层带来的破坏影响。新型3~6 mm橡胶沥青砂胶专用防水材料,有效解决桥面防水结合层,采用两层环氧粘接剂,有效解决钢桥面防水和沥青铺装结合的重要技术问题。

(6)主缆防护采用在钢丝表面刷涂XF06-2磷化底漆,然后涂覆9501B不干性密封膏,最后缠绕高强玻璃布等代替传统的主缆缠丝工艺。此种

浅谈地基变形及其处理方法

王 莹¹, 潘 霞², 马志明³

(1. 路桥集团第一公路工程局科研所, 北京市 100024; 2. 金华市市政设计院, 浙江金华 321017;
3. 金华市经济技术开发区, 浙江金华 321017)

摘 要:地基变形和稳定是地基基础设计的主要问题, 该文对地基变形及处理方法进行了阐述, 具有一定的参考价值。

关键词:地基变形; 沉降; 软基处理

中图分类号: TU47 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)04-0183-02

1 概述

高速公路的桥头跳车现象比较常见, 尤其是在南方水网发达地区。产生这一现象的主要原因是由于桥涵通常位于沟壑地段, 地下水位较高, 且多属于软土, 在软土上填筑路基, 便极易产生沉降, 造成桥梁桥台和路基刚度突变。因此, 软基处理的好坏, 直接影响到工程质量的优劣。

地基基础设计中所关心的两个最主要的问题就是地基的变形和稳定。其中变形主要指沉降, 稳定性丧失与过大沉降有关。因此设计中对基础沉降的控制, 施工中对沉降的监测, 就成了保障建筑物安全的重要措施, 遇有软弱地基, 须进行加固, 应主要考虑如何降低沉降。其实地基变形还包括侧向变形, 沉降与稳定都与侧向变形相联系, 控制侧向变形能在一定程度上减小沉降, 并增加了地基的稳定性。在地基加固措施中, 可采用限制侧向变形或利用侧向变形的办法, 有必要进一步研究。

2 沉降分析

工程中计算地基沉降往往是按一维问题来考虑的, 即假设地基土没有侧向变形, 只有竖向压缩, 计算沉降所用的压缩性指标由无侧向变形的压缩试验测定。而实际建筑物地基很多会发生侧向变形, 这在一定程度上, 影响着地基的沉降。

实际工程中地基侧向变形不可能完全限制, 如相对竖向压缩变形较小则可忽略不计。但是对

于软弱地基或饱和土而言, 在荷载刚施加时, 水来不及排出, 体积尚未压缩, 地基沉降由于侧向变形而引起, 随着水的排出, 土骨架压缩, 产生进一步的沉降, 即固结沉降或竖向沉降。因此, 日常工程中的总沉降量由两部分组成, 即土的固结变形和剪切变形, 其中土的固结变形与体积变形相联系, 决定于水的排出和土骨架的收缩; 而土的剪切变形是由于土体形状改变, 导致膨胀等侧向变形。

3 沉降计算方法

根据上述分析, 在沉降计算时, 必须将地基变形作为二维问题或三维问题来处理, 地基土的材料参数泊松比是反映侧向变形影响的主要指标。当泊松比 $= 0.5$ 时, 无体积变形, 竖向荷载作用下的地面沉降全部由侧向变形引起, 比如饱和土。当泊松比 $= 0$ 时, 则在竖向荷载作用下, 不发生侧向膨胀, 全部沉降都是压缩沉降。一般土体泊松比在 $0 \sim 0.5$ 之间, 故在竖向荷载作用下, 沉降由两部分组成。

在实际计算中要反映侧向变形很难, 因此, 迄今为止, 实际工程沉降计算主要采用无侧向变形的分层总和法算得的沉降乘以修正系数来解决, 其中修正系数是一个经验值, 工民建全国规范和许多地方规范都作了类似的规定。上海地基规范中规定修正系数随荷载增大而增大。这是因为荷载较大时, 泊松比较大, 侧向变形显著, 因而无侧向变形的分层总和法算得的沉降就有更大误差, 需要采用较大值的修正系数。

4 公路工程中限制侧向变形的办法

对西河桥施工工艺研究, 取得了较好的经济效益和潜在的社会效益, 解决了自锚悬索桥施工中的存在的一些技术难点, 同时摸索出大跨度自锚式悬索桥的一些施工经验和数据, 为钢梁的安装、悬索桥的建设提供了有益的借鉴。

工艺有利于主缆整形, 并具有防碰撞、防风雨的特点。

7 结语

自锚式悬索桥技术含量高, 施工难度大。通过

收稿日期: 2006-06-01

作者简介: 王莹(1973-), 女, 天津人, 工程师, 主要从事道桥设计工作。