

泵送顶升钢管混凝土技术在高铁拱桥的应用

于冰 刘吉新

中国电建市政建设集团有限公司

DOI:10.12238/ems.v7i12.16376

摘 要 钢管混凝土组合结构, 具有承载能力高、自重轻、塑性好、耐疲劳、抗震性能好和经济美观等优点, 被广泛用于铁路拱桥, 成为独特的钢管混凝土拱桥结构。本文结合淮烟高铁 64m 下承式钢管混凝土简支拱桥实例, 介绍钢管混凝土拱桥拱肋填充补偿收缩混凝土泵送顶升施工工艺、顶升设备选型、测量与控制、质量检测等关键技术, 可为同类型工程施工提供技术借鉴。

[关键词] 钢管拱桥; 泵送; 顶升; 自密实混凝土

1 引言

钢管混凝土是将混凝土填充到薄壁钢管内形成的组合结构,其核心混凝土处于三向受压状态,提高了其混凝土的抗压强度;混凝土填满钢管内空间,约束了钢管的翘曲变形,提高了钢管的弯曲稳定系数;因此提高了钢管混凝土组合结构的抗压强度和抗弯拉强度,以及结构的抗变形能力。钢管混凝土拱桥拱肋填充自密实混凝土的施工工艺,多采用从拱脚泵送压注的顶升法,属于一种免振捣施工范畴。特殊的施工工艺要求填充自密实混凝土具有良好的可泵送性和自密实性能,以及较长时间的坍落度保持性能。混凝土与钢管壁之间要有良好的黏结,以保证其组合结构的整体性,共同参与受力和变形协调。因此钢管混凝土施工对混凝土质量及泵送工艺要求较高。

2 工程概况

新建潍坊至烟台铁路站前工程蚕庄镇 304 省道中桥，上跨 206 国道，上部结构为 1-64m 钢管混凝土简支拱桥，位于 $R=6000$ 的曲线上，双线，线间距 5.003m，梁全长 66.5m，计算跨度为 64m，矢跨比为 $f/L=1:5$ ，拱肋立面投影矢高 12.8m，拱肋采用二次抛物线，拱肋立面投影方程为： $y=4 \times 12.8(64-x) \times /642$ (m)。拱肋在横桥向内倾 8 度，呈提篮式样，拱顶处两拱肋中心距 13.002m。拱肋横断面采用哑铃型钢管

混凝土等截面, 截面高度 $h=2.4\text{m}$, 钢管直径为 0.8m , 由 16mm 的钢板卷制而成, 每根拱肋的两钢管之间用 $\delta=16\text{mm}$ 的腹板连接。每隔一段距离, 在圆形钢管内设加劲箍, 在两腹板中焊接拉杆。拱管内灌注 C55 补偿收缩混凝土。

3 拱肋钢管混凝土顶升施工设备选择

3.1 顶升设备选型

拱肋内设置环向加劲板间距较密，上锚箱穿过拱肋，造成局部空间过小，增大泵送阻力，极易造成堵管现象发生。一方面在选用泵送设备时，选择泵送工作压力较大的输送泵，泵送管路选择最优，线路最短，减少泵管弯头数量，有条件时泵车上桥，以减小泵送过程中的压力损失；一方面在设计同意的情况下，根据计算在一定高度设置送料口，以防泵送过程中堵管作为备用送料口。混凝土顶升采取一次对称顶升的方式，顶升过程中随着混凝土高度的增加，混凝土势能增加，存在回流趋势，因此在混凝土泵与拱肋输送口处铺设一定长度的水平管道，以保证有足够的阻力阻止混凝土回流。顶升过程中，混凝土在拱肋中呈泉涌状提升，泵的工作压力与泵的性能、状况、泵送高度、泵送水平距离、混凝土拌合物的坍落度及和易性有关。施工前根据现场实际情况计算泵送压力，本工程选用泵送压力为 100MPa 的 10018 型 9018 型输送泵，工作两台，备用两台。

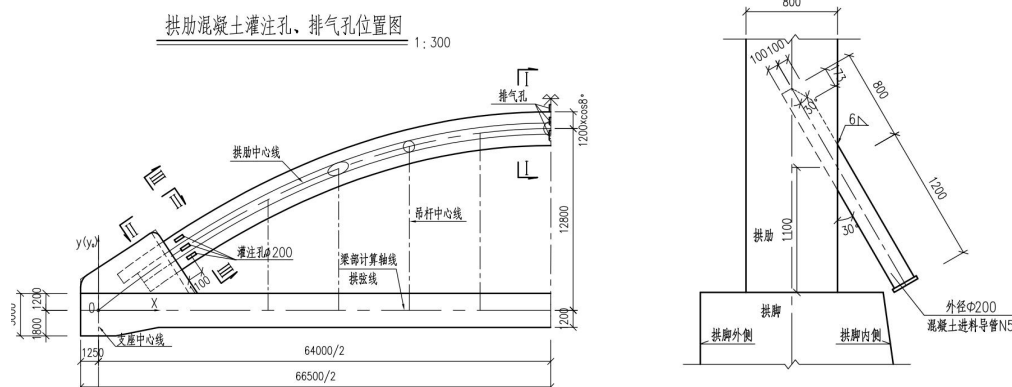


图 1 进料管示意图

3.2 泵管的选择

(1) 进料预埋导管采用内径 $\Phi 200\text{mm}$ 的钢管。上下拱肋进料预埋管位于距拱脚 1.1m (沿弧方向)的侧面处,与拱切线成 30° 交角,同时伸入弦管内部分切割成向上的斜口,以便减小泵送阻力。

(2) 进料短管与拱肋轴线夹角为 30° ,夹角越小泵送阻力越小,对钢管壁的冲击力越小,但过小的夹角会使钢管开口过大,在泵送混凝土时截面削弱较多,不利于弦管受力,所以取 30° 。采用内径 $\Phi 125\text{mm}$ 高强混凝土泵管伸入进料预埋管,四周用钢板焊接,防止漏气,进料预埋管和高强泵管间设截止阀。进料预埋管与弦管相交四周设加劲板。进料预埋管伸入弦管开口,并与弦管沿圆周牢固焊接,焊缝高度不小于 10mm ,进料管如图1所示。

4 施工工艺要点

4.1 拱肋钢管混凝土压注顺序

拱肋钢管混凝土压注顺序为对称压注拱肋混凝土,顺序依次为:下弦拱肋管 \rightarrow 上弦拱肋管 \rightarrow 中间腹板内混凝土。

拱肋钢管混凝土从两拱脚对称泵送压注顶升,拱肋内混凝土顶面的高差不大于 2m 。拱肋钢管混凝土逐根压注,混凝土强度达到设计强度 100% 以上,才能再压注下一根拱肋钢管混凝土。施工控制强度采用同条件养护的试块强度判定。

4.2 泵管水密试验及管内废渣清除

在主弦管露出拱座的最低位置开一个直径 5cm 的小孔,用以排出混凝土压注前进行管壁湿润的清水或其他废渣。排尽后立即封堵焊接。

泵送混凝土前将压浆管上的防止回流截止阀关闭,在输送泵料斗内装清水泵送,检查泵管是否有漏气现象,另外,用清水从拱顶排气管注入,对钢管内所有废渣及锈迹完全清洗。

4.3 弦管混凝土顶升

4.2.1 浇注泵送口以下部分混凝土

由于泵送口至拱肋弦管底尚有 1m 多的高度,此段混凝土无法受到泵送混凝土的顶升压力而自密实,所以需要人工辅助振捣。

混凝土依然从弦管泵送口泵入,在泵送前,先在防回流阀前断开泵管,泵送清水和砂浆湿润泵管,并将其排出废弃。然后安装好泵管,往弦管内泵送混凝土。

在弦管泵送口下缘外侧开直径 20cm 的圆孔,用于插入振动棒人工振捣混凝土,振捣频率为混凝土每上升 50cm 振捣一次。当混凝土浇注至此开口下缘时暂停混凝土浇注,将原孔板焊接好后再继续泵送顶升混凝土。

4.2.2 泵送高标号砂浆

在将泵送口以下部分混凝土浇注完毕,准备浇注泵送口以上弦管部分混凝土时,先泵送 2m^3 砂浆,砂浆为C55微膨胀混凝土去除粗骨料后的净浆,主要作用为润滑管道减小混凝土泵送阻力。

4.2.3 泵送C55补偿收缩混凝土

压注时间选择一天中温度较低时段进行,拱肋采取全跨度从两侧拱脚处对称地连续压注,并在第一盘拌制混凝土初凝前全部完成。泵送压注时按照如下步骤及要求:

(1) 试验确定的泵送混凝土特性

混凝土初始坍落度可达 22cm 以上,扩展度 59cm 以上,且 2h 坍落度仍达 19cm 以上,混凝土和易性好、不离析不泌水,混凝土含气量 3.0% ;早期强度发展较快, 3d 抗压强度达设计强度 86% ;具有较高的弹性模量, 7d 混凝土弹性模量 $4.79 \times 104\text{MPa}$, 28d 弹性模量 $5.24 \times 104\text{MPa}$,满足钢管混凝土的刚度要求。

混凝土拌制时各种组成材料应计量准确,外加剂宜采用液体,如用粉剂宜拌制成均匀溶液加入拌和,每盘净拌时间不少于 2min 。泵送混凝土拌制时,试验室应有专门人员值班,并随时根据收集实际含水量等施工条件的变化适当调整施工配合比。

混凝土坍落度控制在 $16 \sim 20\text{cm}$,且无离析、泌水现象,严禁向罐车内加水,以防止造成质量事故;对不合格的混凝土,应立即退回搅拌站并通知搅拌站采取相应调整措施进行控制。

(2) 钢管拱肋混凝土施工应选择在常温下进行,施工时备好土工布、水管等,土工布铺在钢管拱上,以做好养护准备,并防止突然升温,给浇筑带来不利影响,混凝土顶升时,应测量钢管表面温度,如温度过高,须在钢管表面覆盖土工布洒水降温。

(3) 拱肋混凝土由高压固定泵自拱脚压注管自下而上灌注,无需振捣,开始泵送时,泵机应处于低速压送状态,并注意观察泵的压力和各种部件工作情况,待压送顺利后方可提高压送速度。泵送混凝土的压送顶升应连续进行,混凝土全部到场后在进行顶升,尽量避免停泵,当混凝土供应不足时,宜降低压送速度,以免中断。

(4) 当混凝土压送困难时,泵压升高,管路产生震动时,不可以勉强压送,应对管路进行检查,并放慢压送速度或使泵反转,以防堵塞。

(5) 压送混凝土时,料斗应装满混凝土,在混凝土压送过程中,如吸入空气,应立即反泵,将混凝土抽回到料斗内,待除去空气后改为正转。

(9) 当输送泵被堵塞时,可以木槌敲击管路,找出堵塞

管段, 关闭防回流截止阀, 待混凝土泵卸压后拆卸堵管管段, 取出堵管混凝土杂物, 并检查其余管道无堵塞后方可接管。重新压送混凝土时, 应打开防回流截止阀再行泵送。

(10) 钢管混凝土泵送时, 应严格遵循拱肋两边对称施工要求, 防止一边上升过快引起拱肋纵向震动。可通过混凝土产量、混凝土泵送量及敲击检查结果等来判断, 两岸管内混凝土高度差不超过 1m。泵送时必须利用对讲机随时联系, 以保证两端混凝土顶升速度同步对称。

(11) 当拱顶排浆孔有浆排出时, 放慢泵送速度, 每泵一下需停一下, 并人工配合用竹竿等在排浆孔抽插, 使多余的气体和浆液排出, 直到干净混凝土(排气管内排出的混凝土浓度与泵送混凝土浓度相同)溢出为止, 然后稳压, 关闭止回闸阀。然后清洗拱肋钢管表面和泵管。

(12) 泵送过程中随时观察泵送压力, 发现泵送困难不能很快处理时及时换用备用接头。

(13) 钢管混凝土在达到设计强度 90%前, 需间隔 2~3h 对钢管表面进行浇水降温。

5 测量与控制

5.1 管内混凝土达到标高的测量

(1) 混凝土达到标高的测量, 以控制两侧对称加载。

(2) 设专人记录混凝土数量, 两侧随时通气, 力争两岸压注速度相同。

(3) 利用拱肋上吊杆锚具的对称性, 拱上人员用锤敲击钢管, 凭声音判断混凝土已达到的位置, 并用对讲机与相关人员联络, 判断两岸混凝土的对称性, 当对称半跨超过 1m 时, 进度快的一侧暂停泵送, 等到进度满足要求后再进行。

(4) 拱轴线偏位测量

利用全站仪和拱肋轴线上缘刻的标志点进行拱肋轴线偏位测量。每根钢管混凝土灌注前、灌注至 1/4、完成时、完成 12h 时、完成 24h 时, 共 5 个工况进行测量。并做好记录。拱轴线观测采用拱脚、1/4 跨径、拱顶共 5 个断面进行观测。

(5) 拱肋标高测量

标高测量的目的在于掌握混凝土灌注过程中拱肋标高变化情况, 特别是在灌注至 1/4 跨前后拱顶的上升和 1/4 跨附近拱肋的下沉情况。

利用全站仪和拱肋轴线上缘标志点进行观测标高, 观测频率及要求同拱轴线偏位测量。

6 拱肋内部混凝土质量检测

混凝土压注过程中混凝土的监测方法采用人工敲击法及红外线观测仪监测法两种。在混凝土压注过程中由有经验的施工人员用木锤敲击拱肋的不同部位以判断拱肋内部混凝土是否与拱肋钢管发生脱空, 此种方法作为参考; 主要依据为

红外线观测仪观测的结果, 用红外线观测仪可以观测到混凝土在拱肋内的压注位置同时能观察到拱肋内混凝土是否有缺陷; 当对混凝土内部质量有疑问时, 对有疑问之处进行钻小孔检查处理。

拱肋混凝土达到设计强度后利用超声波检测钢管混凝土的匀质性及拱肋与混凝土之间是否有脱空。在钢管外径的一端利用发射换能器辐射高频振动, 经钢管圆心传向钢管外径另一端的接收换能器, 超声波在传播的过程中遇到由各种缺陷形成的界面时就会改变传播方向和路径, 其能量在缺陷处被衰减, 造成超声波到达接收换能器时的声时、声幅、频率的相对变化。超声波检测混凝土均匀性时测点间距为 220mm~500mm, 检测分三个阶段进行, 第一阶段根据所布测点对超声波在钢管混凝土中传播的声时、声幅度及频率进行测试, 目的是查明钢管混凝土是否存在缺陷, 并找出缺陷位置圈出缺陷范围; 第二阶段对声速低的检测点有选择的开孔, 直接测试混凝土的声时、声幅、频率, 目的是查明混凝土自身质量和查看测点处是否有脱空及脱空的程度, 进一步判断缺陷的类型; 第三阶段对脱空而注浆后的钢管混凝土进行抽样检测, 检查脱空部位的注浆效果, 对钢管混凝土质量进行最后评价。

结语

钢管混凝土结构的理论研究和工程应用在我国越来越深入和广泛, 这种结构应用到拱桥上, 在力学性能、施工、经济以及美观等方面, 表现出很大程度的优越性。

本文依托潍烟高速铁路项目, 对钢管混凝土设备选型、工艺流程、混凝土要求、过程监控、质量检测等要点进行展开分析, 为钢管混凝土泵送顶升工艺奠定基础。随着社会的发展, 人类对桥梁各种性能设计要求有所提高, 钢管混凝土结构桥梁势必也将朝着满足各种桥梁性能设计的方向发展。此类课题研究也将进一步完善钢管混凝土在桥梁结构中的应用。

【参考文献】

[1] 郭金亮. 钢管拱桥自密实微膨胀混凝土泵送顶升施工技术[J]. 公路, 2017, 62 (7): 129-133.

[2] 李晓琪. 钢管混凝土拱桥自密实混凝土顶升施工技术[J]. 企业技术开发, 2016, 35 (13): 55-57.

[3] 毕建东. 钢管混凝土拱桥施工技术探讨[J]. 华东公路, 2017, (5): 26-27.

[4] 侯宏伟, 徐霞, 凌捷, 任小斌. 钢管混凝土拱桥施工监控技术[J]. 中国水运(下半月). 2014, 14 (12): 366-368.

[5] 钟善桐. 钢管混凝土结构在我国的应用和发展[J]. 建筑技术, 2001, (2): 80-82.