



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102493360 B

(45) 授权公告日 2013. 09. 04

(21) 申请号 201110450910. 6

(22) 申请日 2011. 12. 29

(73) 专利权人 浙江大东吴集团建设有限公司

地址 313000 浙江省湖州市吴兴区八里店湖
织大道 2599 号

(72) 发明人 孙和生

(74) 专利代理机构 杭州华鼎知识产权代理事务
所(普通合伙) 33217

代理人 魏亮

(51) Int. Cl.

E01D 21/00(2006. 01)

E01D 4/00(2006. 01)

(56) 对比文件

KR 100565865 B1, 2006. 03. 30, 全文.

CN 101054791 A, 2007. 10. 17, 全文.

KR 100766888 B1, 2007. 10. 18, 全文.

CN 101519864 A, 2009. 09. 02, 全文.

US 2004216249 A1, 2004. 10. 29, 全文.

CN 101581074 A, 2009. 11. 18, 全文.

审查员 张涛

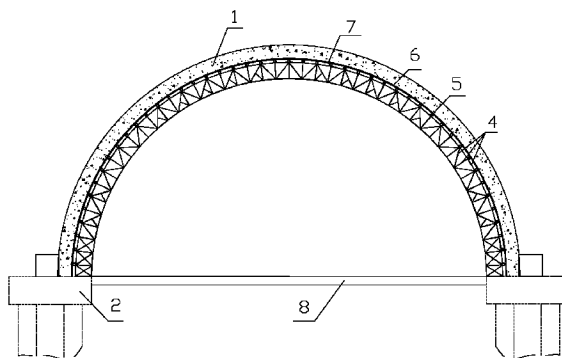
权利要求书2页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

钢筋混凝土拱桥施工方法

(57) 摘要

本发明公开了一种钢筋混凝土拱桥施工方法,包括如下步骤:步骤一:桩基础、承台、桥台台身侧墙及桥墩墩身施工;步骤二:搭设拱桥两侧第4至8孔及第13至17各四孔拱圈支架,并设置锁止系统,最后浇筑本步骤中8孔拱圈混凝土;步骤三:拆除步骤二中搭设的拱圈支架,搭设桥台侧第0至4孔及第17至21孔各四孔拱圈支架,并设置锁止系统,最后浇筑本步骤中8孔拱圈混凝土;步骤四:拆除步骤三中搭设的拱圈支架,搭设跨中剩余的第8至13孔共五孔拱圈支架,并设置锁止系统,浇筑本步骤中5孔拱圈混凝土,全桥合拢;本发明中拱圈支架的主体采用拱形桁架结构,利用了钢筋的受拉特性,结构牢固,而且中部无需支撑,节约了材料,拆卸也很方便,节约施工时间。



1. 钢筋混凝土拱桥施工方法,所述拱桥为 21 孔不等跨上承实腹式钢筋混凝土半圆无铰板拱桥,其特征在于包括如下步骤:

步骤一:桩基础、承台、桥台台身侧墙及桥墩墩身施工;

步骤二:搭设拱桥两侧第 4 至 8 孔及第 13 至 17 各四孔拱圈支架,并设置锁止系统,最后浇筑本步骤中第 4 至 8 孔及第 13 至 17 共 8 孔拱圈混凝土;

步骤三:拆除步骤二中搭设的拱圈支架,搭设桥台侧第 0 至 4 孔及第 17 至 21 孔各四孔拱圈支架,并设置锁止系统,最后浇筑本步骤中 8 孔拱圈混凝土;

步骤四:拆除步骤三中搭设的拱圈支架,搭设跨中剩余的第 8 至 13 孔共五孔拱圈支架,并设置锁止系统,浇筑本步骤中 5 孔拱圈混凝土,全桥合拢;

步骤五:拆除步骤四中搭设的拱圈支架,施工拱上建筑,拱上填料施工应从桥台处开始严格按全桥对称、均匀分层填筑;

其中,所述拱圈支架,包括拱形桁架(4),拱形桁架两侧底部支撑于固结支座(2)上,拱形桁架上平面上铺设建筑模板(7)用于钢筋拱圈(1)浇筑,所述拱形桁架上平面与建筑模板之间还设有纵向钢筋(6)和建筑钢管(5),建筑钢管在拱形桁架上平面支点处横向设置,纵向钢筋与建筑钢管垂直交叉平铺一层作为建筑模板支撑,所述拱形桁架两侧底部的固结支座(2)间设有拱圈浇筑混凝土水平推力锁止系统(8)。

2. 根据权利要求 1 所述的钢筋混凝土拱桥施工方法,其特征在于:所述拱桥桥面两侧纵坡均为 2.48%,桥面中心设置 $R=4000\text{m}$ 的竖曲线,桥梁全长 336.2m,拱桥双向八车道,全桥宽 57m,两幅,单幅宽 23.5m,中间空隙 10m,拱圈宽 23.3m,矢跨比均为 1:2;拱圈净跨径从桥台往跨中依次为 11.3m、11.9m、12.6m、13.3m、13.9m、14.7m、15.3m、15.9m、16.1m、16.3m、16.4m;拱圈厚度:第 1~4 孔、18~21 孔为 40cm,第 5~8 孔、14~17 孔为 50cm,第 9~13 孔为 60cm,设计速度:60km/h;设计荷载:汽车荷载等级为 - I 级,人群荷载为 3.5KN/m^2 。

3. 根据权利要求 1 所述的钢筋混凝土拱桥施工方法,其特征在于:所述拱形桁架为 HRB400 钢筋桁架,所述纵向钢筋为螺纹钢筋,所述拱形桁架节点形式为焊接空心球,所述拱圈浇筑混凝土水平推力锁止系统为 HN350 $\times$ 150Q345H 型钢。

4. 根据权利要求 1 所述的钢筋混凝土拱桥施工方法,其特征在于:所述拱圈支架的施工过程为:

1)、支架设计计算:根据拱桥上拱圈在施工阶段的自重及施工荷载计算设计拱形桁架支架;

2)、预拼拱桁架:根据桥梁线型及施工阶段挠度,设置拱预拱度按估算变形值分配,在预制场地内放样并按设计的拱桁架支架图纸预拼制作拱桁架,在预拼场地内拱桁架支架每片分两段预拼,联接处置于拱顶,施工联结时注意接头上下错开,满足钢结构施工规范的要求;为保证焊接节点有效性,桁架焊接节点必须逐个目测检查,确保角焊缝长度及面积,防止焊接失效;

3)、支架预埋铁件:拱与固结支座固结,故在墩台浇筑的同时预埋板拱支架连接钢筋及支架预埋型钢;

4)、搭设临时钢管脚手架:用以固定拱桁架的纵横轴线、标高,该临时脚手架还同时作为施工人员操作平台,期间用于支架安装、联接直至拆除,钢管脚手架的搭设遵循《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》的要求搭设,并严禁与拱支架有任何形式的连接;

5)、支架安装:将预拼好的桁架安装至预定位置,拱脚与预埋件焊接,桁架在拱顶两半片实行对接,对接处采用与桁架材料相同或高一级的材料用于帮条焊材,分片进行架设,在架设安装单个拱桁时,应先将两段拱桁吊至一定高度后固定于临时支架,并在拱脚处预埋铁件与拱支架焊接连接,然后再合拢拱顶,拱顶合拢段连接钢筋注意上下弦杆接头错开,安装拱桁架时设置一道锁定拉杆,拉杆为可调节螺栓,在支架对接前予以锁定拱桁架,防止桁架安装偏差过大,待支架完成整体拼装后予以拆除,拼装桁架时,必须逐个检查节点,防止焊点失效导致桁架局部失稳而引发连锁反应,拱脚处与墩台固结型钢须局部加强以抵抗局部压力过大而失稳;

6)、横向桁架安装:为使桁架具有足够空间刚度与稳定性,拱支架间加水平横杆及斜撑,目的是形成空间网架结构而使节点间自由长度减少,并最大程度发挥拱桁架材料性能,达到减少支架材料的效用,横向桁架安装垂直于主桁架拱,采用焊接连接,焊接作业同样须保证焊接节点有效,为增加支架整体稳定性,横向桁架安装好后,在整个支架下弦杆用 18 螺纹钢加大剪刀叉联系拱支架,增加整体横向稳定;

7)、绑扎钢管:依据桁架受力特点,在各节点位置横向绑扎 $\Phi 48 \times 3\text{mm}$ 建筑钢管,上部混凝土板拱的均布压力通过钢管传递给拱桁架,绑扎钢管采用 14# 铁丝,每个桁架节点位置绑扎钢管一根,横向接头处搭接交错一个拱桁架距离,以防止不均匀受力而导致钢管局部受力过于集中而失稳,为防止钢管滑落,在支架上加焊限位钢筋;

8)、绑扎钢筋:为使弧形钢管面形成一个可以承受拱圈浇筑重量并均匀传递上部荷载的模板面,在钢管面上布置一层 16 纵向钢筋,依据荷载及底模模板尺寸 $91.5 \times 183\text{cm}$,均布 16 钢筋横向间距约为 30cm,其中在模板拼缝处增设一根钢筋,钢筋与钢管连接同样采用铁丝绑扎形式;

9)、安装底模:为妥帖的安装底模并能形成一个圆弧面,底模模板采用厚度为 12mm 的建筑模板,模板具有一定的柔性,与钢筋接触面可以形成拱面;底面模板的固定方式主要考虑安装、拆卸方便,采用铁丝绑扎的形式与下层钢筋面联接,模板通过钻孔后穿铁丝与模板下钢筋捆扎牢固,为充分保证底面混凝土面质量,模板选用表面光洁的新板;

10)、安装拱圈钢筋:通过处于拱两端的预埋钢筋焊接接长后在拱顶合拢,并注意钢筋接头按规范错开;

11)、拱圈面层模板:利用拱两侧外伸 60cm 的建筑钢管及板拱钢筋骨架,固定侧模、外盖板;拱脚以上与水平倾角大于 20° 区段设置顶面盖板,并横向每 70cm 设置混凝土振捣孔,并随浇筑砼进度而装钉密封盖板;

12)、拱圈砼浇筑。

5. 根据权利要求 4 所述的钢筋混凝土拱桥施工方法,其特征在于:所述拱圈砼浇筑按拱圈全宽度,自两端拱脚向拱顶对称均衡地连续浇筑,最后在拱顶合龙,浇筑过程中始终保持两侧砼面高差在 90cm 以内,由于桥宽较大,单侧砼面高差也须控制在 90cm 以内,控制好砼浇筑的开始及结束时间,确保在当天温度较低时合龙,拱圈砼采取降低砼水化热的方式定制商品砼,合龙后 2 小时左右拱顶段砼采用复振措施。

6. 根据权利要求 4 所述的钢筋混凝土拱桥施工方法,其特征在于:所述拱圈砼的浇筑分两次浇筑,施工缝设置与支架变形不明显的 $1/4$ 点以下,且位于常水位 1m 以上,二次接缝面与拱轴线垂直,二次砼在浇筑应在拱圈下段砼强度达到 C25 后进行。

钢筋混凝土拱桥施工方法

技术领域

[0001] 本发明涉及桥梁施工方法。

背景技术

[0002] 钢筋混凝土拱桥施工过程中,钢筋拱圈圈的浇筑需要搭设支架,如图 1 所示,现有技术中钢筋拱圈圈的施工用支架由钢管 3 搭设而成然后铺设建筑模板 7,支架两侧可以支撑在钢筋拱圈圈的墩台拱座 2 上,但是由于钢筋拱圈圈的固结支座之间的部分土质松软,造成支架结构不牢。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题就是提供一种钢筋混凝土拱桥施工方法,拱圈支架结构简单而牢固,节约材料,同时施工方法科学,施工效率高。

[0004] 为解决上述技术问题,本发明采用如下技术方案:钢筋混凝土拱桥施工方法,所述拱桥为 21 孔不等跨上承实腹式钢筋混凝土半圆无铰板拱桥,其特征在于包括如下步骤:

[0005] 步骤一:桩基础、承台、桥台台身侧墙及桥墩墩身施工;

[0006] 步骤二:搭设拱桥两侧第 4 至 8 孔及第 13 至 17 各四孔拱圈支架,并设置锁止系统,最后浇筑本步骤中 8 孔拱圈混凝土;

[0007] 步骤三:拆除步骤二中搭设的拱圈支架,搭设桥台侧第 0 至 4 孔及第 17 至 21 孔各四孔拱圈支架,并设置锁止系统,最后浇筑本步骤中 8 孔拱圈混凝土;

[0008] 步骤四:拆除步骤三中搭设的拱圈支架,搭设跨中剩余的第 8 至 13 孔共五孔拱圈支架,并设置锁止系统,浇筑本步骤中 5 孔拱圈混凝土,全桥合拢;

[0009] 步骤五:拆除步骤四中搭设的拱圈支架,施工拱上建筑,拱上填料施工应从桥台处开始严格按全桥对称、均匀分层填筑,

[0010] 其中,所述拱圈支架,包括拱形桁架,拱形桁架两侧底部支撑于墩台拱座上,拱形桁架上平面上铺设建筑模板用于钢筋拱圈浇筑,所述拱形桁架上平面与建筑模板之间还设有纵向钢筋和建筑钢管,建筑钢管在拱形桁架上平面支点处横向设置,纵向钢筋与建筑钢管垂直交叉平铺一层作为建筑模板支撑,所述拱形桁架两侧底部的墩台拱座间设有拱圈浇筑混凝土水平推力锁止系统。

[0011] 作为优选,所述拱桥桥面两侧纵坡均为 2.48%,桥面中心设置 $R = 4000\text{m}$ 的竖曲线,桥梁全长 336.2m,拱桥双向八车道,全桥宽 57m,两幅,单幅宽 23.5m,中间空隙 10m,拱圈宽 23.3m,矢跨比均为 1:2;拱圈净跨径从桥台往跨中依次为 11.3m、11.9m、12.6m、13.3m、13.9m、14.7m、15.3m、15.9m、16.1m、16.3m、16.4m;拱圈厚度:第 1~4 孔、18~21 孔为 40cm,第 5~8 孔、14~17 孔为 50cm,第 9~13 孔为 60cm,设计速度:60km/h;设计荷载:汽车荷载等级为 -I 级,人群荷载为 3.5KN/m^2 。

[0012] 作为优选,所述拱形桁架为 HRB400 钢筋桁架,所述纵向钢筋为螺纹钢筋,所述节点形式为焊接空心球,所述拱圈浇筑混凝土水平推力锁止系统为 HN350×150Q345H 型钢。

[0013] 作为优选,所述拱圈支架的施工过程为:

[0014] 1)、支架设计计算:根据拱桥上部拱圈在施工阶段的自重及施工荷载计算设计拱桁架支架;

[0015] 2)、预拼拱桁架:根据桥梁线型及施工阶段挠度,设置拱预拱度按估算形变值分配,在预制场地内放样并按设计的拱桁架支架图纸预拼制作拱桁架,在预拼场地内拱桁架支架每片分两段预拼,联接处置于拱顶,施工联结时注意接头上下错开,满足钢结构施工规范的要求;为保证焊接节点有效性,桁架焊接节点必须逐个目测检查,确保角焊缝长度及面积,防止焊接失效;

[0016] 3)、支架预埋铁件:拱与墩台拱座固结,故在墩台浇筑的同时预埋板拱支架连接钢筋及支架预埋型钢;

[0017] 4)、搭设临时钢管脚手架:用以固定拱桁架的纵横轴线、标高,该临时脚手架还同时作为施工人员操作平台,期间用于支架安装、联接直至拆除,钢管脚手架的搭设遵循《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》的要求搭设,并严禁与拱支架有任何形式的连接;

[0018] 5)、支架安装:将预拼好的桁架安装至预定位置,拱脚与预埋件焊接,桁架在拱顶两半片实行对接,对接处采用与桁架材料相同或高一级的材料用于帮条焊材,分片进行架设,在架设安装单个拱桁时,应先将两段拱桁吊至一定高度后固定于临时支架,并在拱脚处预埋铁件与拱支架焊接连接,然后再合拢拱顶,拱顶合拢段连接钢筋注意上下弦杆接头错开,安装拱桁架时设置一道锁定拉杆,拉杆为可调节螺栓,在支架对接前予以锁定拱桁架,防止桁架安装偏差过大,待支架完成整体拼装后予以拆除,拼装桁架时,必须逐个检查节点,防止焊点失效导致桁架局部失稳而引发连锁反应,拱脚处与墩台固结型钢须局部加强以抵抗局部压力过大而失稳;

[0019] 6)、横向桁架安装:为使桁架具有足够空间刚度与稳定性,拱支架间加水平横杆及斜撑,目的是形成空间网架结构而使节点间自由长度减少,并最大程度发挥拱桁架材料性能,达到减少支架材料的效用,横向桁架安装垂直于主桁架拱,采用焊接连接,焊接作业同样须保证焊接节点有效,为增加支架整体稳定性,横向桁架安装好后,在整个支架下弦杆用 18 螺纹钢加大剪刀叉联系拱支架,增加整体横向稳定;

[0020] 7)、绑扎钢管:依据桁架受力特点,在各节点位置横向绑扎 $\Phi 48 \times 3\text{mm}$ 建筑钢管,上部混凝土板拱的均布压力通过钢管传递给拱桁架,绑扎钢管采用 14# 铁丝,每个桁架节点位置绑扎钢管一根,横向接头处搭接交错一个拱桁架距离,以防止不均匀受力而导致钢管局部受力过于集中而失稳,为防止钢管滑落,在支架上加焊限位钢筋;

[0021] 8)、绑扎钢筋:为使弧形钢管面形成一个可以承受拱圈浇筑重量并均匀传递上部荷载的模板面,在钢管面上布置一层 16 纵向钢筋,依据荷载及底模模板尺寸 $91.5 \times 183\text{cm}$,均布 16 钢筋横向间距约为 30cm,其中在模板拼缝处增设一根钢筋,钢筋与钢管连接同样采用铁丝绑扎形式;

[0022] 9)、安装底模:为妥帖的安装底模并能形成一个圆弧面,底模模板采用厚度为 12mm 的建筑模板,模板具有一定的柔性,与钢筋接触面可以形成拱面;底面模板的固定方式主要考虑安装、拆卸方便,采用铁丝绑扎的形式与下层钢筋面联接,模板通过钻孔后穿铁丝与模板下钢筋捆扎牢固,为充分保证底面混凝土面质量,模板选用表面光洁的新板;

[0023] 10)、安装拱圈钢筋:通过处于拱两端的预埋钢筋焊接接长后在拱顶合龙,并注意

钢筋接头按规范错开；

[0024] 11)、拱圈面层模板：利用拱两侧外伸 60cm 的建筑钢管及板拱钢筋骨架，固定侧模、外盖板；拱脚以上与水平倾角大于 20° 区段设置顶面盖板，并横向每 70cm 设置混凝土振捣孔，并随浇筑砼进度而装钉密封盖板；

[0025] 12)、拱圈砼浇筑。

[0026] 作为优选，所述拱圈砼浇筑按拱圈全宽度，自两端拱脚向拱顶对称均衡地连续浇筑，最后在拱顶合龙，浇筑过程中始终保持两侧砼面高差在 90cm 以内，由于桥宽较大，单侧砼面高差也须控制在 90cm 以内，控制好砼浇筑的开始及结束时间，确保在当天温度较低时合龙，拱圈砼采取降低砼水化热的方式定制商品砼，合龙后 2 小时左右拱顶段砼采用复振措施。

[0027] 作为优选，所述拱圈砼的浇筑分两次浇筑，施工缝设置与支架变形不明显的 1/4 点以下，且位于常水位 1m 以上，二次接缝面与拱轴线垂直，二次砼在浇筑应在拱圈下段砼强度达到 C25 后进行。

[0028] 本发明中拱圈支架的主体采用拱形桁架结构，利用了钢筋的受拉特性，结构牢固，而且中部无需支撑，节约了材料，拆卸也很方便，节约施工时间，而且拱形桁架两侧底部的固结支座间设有拱圈浇筑混凝土水平推力锁止系统防止拱圈支架变形。

附图说明

[0029] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步描述：

[0030] 图 1 为现有技术中拱圈支架结构示意图；

[0031] 图 2 为本发明中拱圈支架结构示意图；

[0032] 图 3 为发明钢筋混凝土拱桥施工方法施工流程图；

[0033] 图 4 为第 8 跨 3[#] 杆下弦示意图。

具体实施方式

[0034] 结合图 2 和图 3 具体说明本发明的实施例，

[0035] 如图 2 所示，钢筋混凝土拱桥施工过程中使用的拱圈支架，包括拱形桁架 4，拱形桁架两侧底部支撑于固结支座 2 上，拱形桁架上平面上铺设建筑模板 7 用于钢筋拱圈 1 浇筑。所述拱形桁架上平面与建筑模板之间还设有纵向钢筋 6 和建筑钢管 5，其中，建筑钢管在拱形桁架上平面节点处横向设置，纵向钢筋与建筑钢管垂直交叉平铺一层作为建筑模板支撑。所述拱形桁架为 HRB400 钢筋桁架。所述纵向钢筋为螺纹钢筋。所述拱形桁架两侧底部的固结支座 2 间设有拱圈浇筑混凝土水平推力锁止系统 8，所述拱圈浇筑混凝土水平推力锁止系统为 HN350×150Q345H 型钢。所述节点形式为焊接空心球。

[0036] 一、施工拱桥概况

[0037] 本发明中钢筋混凝土拱桥施工方法涉及的大桥，设计速度：60km/h；设计荷载：汽车荷载等级为 -I 级，人群荷载为 3.5KN/m^2 ；为 21 孔不等跨上承实腹式钢筋混凝土半圆无铰板拱桥，桥梁中心桩号 K1+705。桥梁轴线平面位于直线上，桥面两侧纵坡均为 2.48%，桥面中心设置 $R = 4000\text{m}$ 的竖曲线。桥梁全长 336.2m。大桥双向八车道，全桥宽 57m，两幅，单幅宽 23.5m，中间空隙 10m。拱圈宽 23.3m，矢跨比均为 1：2；拱圈净跨径从桥台往跨中依

次为 11.3m、11.9m、12.6m、13.3m、13.9m、14.7m、15.3m、15.9m、16.1m、16.3m、16.4m；拱圈厚度：第 1～4 孔、18～21 孔为 40cm，第 5～8 孔、14～17 孔为 50cm，第 9～13 孔为 60cm。全桥共计 $21 \times 2 = 42$ 孔。

[0038] 拱圈采用 C35 混凝土。

[0039] 二、施工方案及施工原则

[0040] 方案一：

[0041] 如图 3 所示，从第 4、8、13、17 任一锁止墩开始，分别向两侧每 1～2 跨连续依次锁定并浇筑（注：此时浇筑跨的前后各一跨的墩台基坑必须已回填完成），直至全桥 21 连拱全部浇筑完成。即：全桥水平推力锁止浇筑。

[0042] 解锁方案：全桥计 21 跨，按 4 跨、4 跨、5 跨、4 跨、4 跨对称分布。当其中的“某一联”（4 跨或 5 跨）的前后联（4 跨或 5 跨）拱圈已浇筑完成并卸架后（注：解除第 0～4 跨、第 17～21 跨锁止拉杆前，台后软基处理工作完成），该“某一联”的锁止拉杆即可解除。解除锁止拉杆后即可进行“该联”拱上侧墙的浇筑。全桥拱圈并拱上侧墙全部浇筑完成后，再从桥台处开始严格按全桥对称、均匀分层填筑拱上填料（泡沫混凝土，80cm/层）。

[0043] 当然也可以选用方案二：

[0044] 设置拱圈浇筑水平推力锁止拉杆（HN300×150Q345H 型钢 2 根）。锁 2 跨、隔 2 跨，每次浇筑连续 2 跨，先浇锁定 2 跨，后浇“填空”2 跨或 1 跨。即先锁定并分别浇筑第 2～4 跨、第 6～8 跨、第 10～12 跨、第 14～16 跨、第 18～20 跨；此时浇筑跨的前后一跨的墩台基坑必须已回填完成。后“填空”浇筑第 0～2 跨、第 4～6 跨、第 8～10 跨（全桥中跨）、第 12～14 跨、第 16～18 跨。浇筑第 0～2 跨、第 16～18 跨前，台后路基填筑完成。待全桥拱圈浇筑完成后，再解除水平推力锁止拉杆。

[0045] 模板支架方案：

[0046] 本桥拱圈浇筑采用空间两向正交正放网架的施工模板支架。网架纵向拱桁架为主承重结构，横向连接桁架（即设置水平支撑及斜撑）以增加空间刚度并有效增强横向稳定。网架材料：拱桁架上下弦杆采用 HRB400 螺纹钢筋作为主材，拱桁架腹杆及横向连接桁架均采用 HRB335 螺纹钢筋。按静力等效原则通过在桁架节点上方设置钢管横杆，将拱圈浇筑的荷载等效转化为桁架节点集中荷载的方式使空间网架承受上部荷载，实现网架受力体系转化的目的。然后铺设纵向均匀布钢筋并在支架上安装拱圈模板及现浇钢筋砼拱圈。（拱圈支架见附图）

[0047] 拱桁网架结构的静力计算几点假设：

[0048] 1、按静力等效原则建网架结构的荷载几何模型，将节点所辖区域的荷载转化为节点集中荷载值；再将空间网架结构简化为单片纵向拱桁架进行受力分析计算。

[0049] 2、忽略节点刚度影响，节点形式拟定为焊接空心球，假定桁架节点为空间铰接点；杆件只承受轴向力，并按弹性阶段进行计算。

[0050] 3、拱桁架拱脚的支承条件：固结。

[0051] 4、用电算程序精确计算出拱桁架各杆件轴向力后，网架杆件的截面根据《钢结构设计规范》（GB50017-2002）按承载力计算确定。（见第 8 孔轴力计算数据汇总）

[0052] 施工原则：

[0053] 1、在依次加载钢筋及砼过程中，始终遵循均衡对称加载。单跨间由拱脚至拱顶，二

跨间则两两左右对称。加载方式为分段、分环、分层。严禁出现拱的左右超限不平衡、不对称的加载方式。拱架卸落也必须遵循对称、缓慢卸载原则。

[0054] 2、节点形式为模拟焊接空心球,故桁架各节点须保证焊接节点有效性,尤其是对拉杆抗拉力的保证。

[0055] 3、拱圈浇筑砼合拢时机宜选择在接近本地区年平均温度(约为 $15.5 \sim 15.8^{\circ}\text{C}$)或在 $5 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 之间进行。实际浇筑过程中若达不到要求,则须通过降低支架温度及砼拌合温度的方式予以解决。

[0056] 4、严格按拱支架设计图施工,所有材料须通过材料性能检测(HRB40016、18、20 钢筋及 $\Phi 48 \times 3$ 建筑钢管等),确保桁架构件用材合格。

[0057] 拱圈砼浇筑方案:

[0058] 针对本桥拱圈特征,提出以下两个浇筑方案:

[0059] 方案一:单个拱圈不间断浇筑合龙

[0060] 拱圈砼浇筑按拱圈全宽度,自两端拱脚向拱顶对称均衡地连续浇筑,最后在拱顶合龙,浇筑过程中始终保持两侧砼面高差在90cm以内,由于桥宽较大,单侧砼面高差也须控制在90cm以内。控制好砼浇筑的开始及结束时间,确保在当天温度较低时合龙。拱圈砼采取降低砼水化热的方式定制商品砼,比如降低拌和水温,掺加外加剂等。合龙后2小时左右拱顶段砼采用复振措施。

[0061] 方案二:单个拱圈分两次浇筑

[0062] 本桥单幅宽23.3m,单个拱圈的砼量达 380m^3 ,按砼运输及泵送的工作能力,不能保证拱顶合龙段砼在拱脚砼初凝前全部浇筑完毕。为避免浇筑过程中拱架变形而使砼产生微裂缝以及减少砼的收缩应力,提高混凝土的耐久性(尤其是干湿交替拱段),故采用分两次浇筑的施工方法。按前述浇筑方式一样的施工顺序施工拱圈砼,施工缝设置与支架变形不明显的1/4点以下,且位于常水位1m以上。二次接缝面与拱轴线垂直。二次砼在浇筑应在拱圈下段砼强度达到C25后进行。

[0063] 施工监测方案:

[0064] 按砼分阶段加载过程并布载不平衡2m荷载等情况下的支架变形值(详见支架估算变形计算汇总),采用竖向位移及水平位移综合监测的方式监测拱圈浇筑中的支架形变。首先在支架上设置典型断面监控点(位于拱圈1/2、1/4共3点),浇筑过程中,不间断地测量相对标高及水平位移。按理论变形值的2/3作为控制支架允许变形值为(以第8跨为例):1/4点水平位移不超过 $(10/3 \times 2 =)6\text{mm}$,拱顶竖向位移不超过向下 $(24/3 \times 2 =)16\text{mm}$ 、向上 $(24/3 \times 2 =)2\text{mm}$ 。当浇筑过程中变形达到限值时应采取减缓浇筑速度、配载并设置拉杆或停止浇筑,待分析并查明原因后方可继续浇筑砼。

[0065] 三、施工方法

[0066] 1、支架设计计算:根据拱桥上部拱圈在施工阶段的自重及施工荷载计算设计拱桁架支架,计算详见后附计算书(以第8跨为例)。

[0067] 2、预拼拱桁架:根据桥梁线型及施工阶段挠度,设置拱预拱度按估算形变值分配(如:第8跨预拱度24mm),在预制场地内放样并按设计的拱桁架支架图纸预拼制作拱桁架。在预拼场地内拱桁架支架每片分两段预拼,联接处置于拱顶,施工联结时注意接头上下错开,满足钢结构施工规范的要求。为保证焊接节点有效性,桁架焊接节点必须逐个目测检

查,确保角焊缝长度及面积,防止焊接失效。

[0068] 3、支架预埋铁件:拱与墩台拱座固结,故在墩台浇筑的同时预埋板拱支架连接钢筋(内下弦受拉)及支架预埋型钢。

[0069] 4、搭设临时钢管脚手架:用以固定拱桁架的纵横轴线、标高。该临时脚手架还同时作为施工人员操作平台,期间用于支架安装、联接直至拆除。钢管脚手架的搭设遵循《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》的要求搭设。并严禁与拱支架有任何形式的连接。

[0070] 5、支架安装:将预拼好的桁架安装至预定位置,拱脚与预埋件连接(焊接),桁架在拱顶两半片实行对接。对接处采用与桁架材料相同或高一级的材料用于帮条焊材。分片进行架设。在架设安装单个拱桁架时,应先将两段拱桁架吊至一定高度后固定于临时支架,并在拱脚处预埋铁件与拱支架焊接连接,然后再合拢拱顶,拱顶合拢段连接钢筋注意上下弦杆接头错开。安装拱桁架时设置一道锁定拉杆,拉杆为可调节螺栓,在支架对接前予以锁定拱桁架,防止桁架安装偏差过大。待支架完成整体拼装后予以拆除。拼装桁架时,必须逐个检查节点,防止焊点失效导致桁架局部失稳而引发连锁反应。拱脚处与墩台固结型钢须局部加强以抵抗局部压力过大而失稳。

[0071] 6、横向桁架安装:为使桁架具有足够空间刚度与稳定性,拱支架间加水平横杆及斜撑,目的是形成空间网架结构而使节点间自由长度减少,并最大程度发挥拱桁架材料性能,达到减少支架材料的效用。横向桁架安装垂直于主桁架拱,采用焊接连接,焊接作业同样须保证焊接节点有效。为增加支架整体稳定性,横向桁架安装好后,在整个支架下弦杆用18 螺纹钢加大剪刀叉联系拱支架,增加整体横向稳定。

[0072] 7、绑扎钢管:依据桁架受力特点,在各节点位置横向绑扎 $\Phi 48 \times 3\text{mm}$ 建筑钢管,上部混凝土板拱的均布压力通过钢管传递给拱桁架。绑扎钢管采用14# 铁丝,每个桁架节点位置绑扎钢管一根,横向接头处搭接交错一个拱桁架距离,以防止不均匀受力而导致钢管局部受力过于集中而失稳。为防止钢管滑落,在支架上加焊一定数量的限位钢筋。

[0073] 8、绑扎钢筋:为使弧形钢管面形成一个可以承受拱圈浇筑重量并均匀传递上部荷载的模板面,在钢管面上布置一层16 纵向钢筋,依据荷载及底模模板尺寸 $91.5 \times 183\text{cm}$,均布16 钢筋横向间距约为30cm,其中在模板拼缝处增设一根钢筋。钢筋与钢管连接同样采用铁丝绑扎形式。

[0074] 9、安装底模:为妥帖的安装底模并能形成一个圆弧面,底模模板采用厚度为12mm 的建筑模板,模板具有一定的柔性,与钢筋接触面可以形成拱面。底面模板的固定方式主要考虑安装、拆卸方便,采用铁丝绑扎的形式与下层钢筋面联接。模板通过钻孔后穿铁丝与模板下钢筋捆扎牢固。为充分保证底面混凝土面质量,模板选用表面光洁的(次)新板。

[0075] 9、安装拱圈钢筋:通过处于拱两端的预埋钢筋焊接接长后在拱顶合龙,并注意钢筋接头按规范错开。

[0076] 10、拱圈面层模板:利用拱两侧外伸60cm 的建筑钢管及板拱钢筋骨架,固定侧模、外盖板;拱脚以上与水平倾角大于 20° 区段设置顶面盖板,并横向每70cm 设置混凝土振捣孔,并随浇筑砼进度而装钉密封盖板。

[0077] 11、拱圈砼浇筑:针对本桥拱圈特征,提出以下两个浇筑方案:

[0078] A、单个拱圈不间断浇筑合龙:拱圈砼浇筑按拱圈全宽度,自两端拱脚向拱顶对称均衡地连续浇筑,最后在拱顶合龙,浇筑过程中始终保持两侧砼面高差在90cm 以内,由于

桥宽较大,单侧砼面高差也须控制在 90cm 以内。控制好砼浇筑的开始及结束时间,确保在当天温度较低时合龙。拱圈砼采取降低砼水化热的方式定制商品砼,比如降低拌和水温,掺加外加剂等。合龙后 2 小时左右拱顶段砼采用复振措施。

[0079] B、单个拱圈分两次浇筑:本桥单幅宽 23.3m,单个拱圈的砼量约为 300m^3 ,按砼泵送车及运输的工作能力,不能保证拱顶合龙段砼在拱脚砼初凝前全部浇筑完毕。为避免浇筑过程中拱架变形而产生微裂缝以及减少砼的收缩应力,提高混凝土的耐久性(尤其是干湿交替拱段),故采用分两次浇筑的施工方法。按前述浇筑方式一样的施工顺序施工拱圈砼,施工缝设置与支架变形不明显的 1/4 点以下,且位于常水位 1m 以上。二次接缝面与拱轴线垂直。二次砼在浇筑应在拱圈分段砼强度达到 C25 后进行。

[0080] 12、施工监测:按砼分阶段加载过程并布载不平衡 2m 荷载等情况下的支架变形值如支架估算变形图所示,采用竖向位移及水平位移综合监测的方式监测拱圈浇筑中的支架变形。首先在支架上设置典型断面监控点(位于拱圈 1/2、1/4 共 3 点),浇筑过程中,不间断地测量相对标高及水平位移。按理论变形值的 2/3 作为控制支架允许变形值为(以第 8 跨为例):1/4 点水平位移不超过 $(10/3 \times 2 =)6\text{mm}$,拱顶竖向位移不超过向下 $(24/3 \times 2 =)16\text{mm}$ 、向上 $(24/3 \times 2 =)2\text{mm}$ 。当浇筑过程中变形达到限值时应采取减缓浇筑速度、配载并设置拉杆或停止浇筑,待分析并查明原因后方可继续浇筑砼。

[0081] 13、养护及卸架:砼浇筑后通过一定时间养护,达到设计规定的强度(100%,制作同条件砼试块验证强度)后方可卸落拱架。拱架卸落的过程,就是由拱架支承的拱圈的重力逐渐转移给拱圈自身承担的过程,为了对拱圈受力有利,拱架不能突然卸除。卸落时,首先用氧气-乙炔切割拱顶处下弦杆连接钢筋。在横桥向由中间及两侧对称切割拆除。第二步再切割上弦杆拱顶处钢筋拱架,完成卸落。顺序为由桥中及两边。

[0082] 四、拱支架设计计算(以第 8 跨为例)

[0083] 拱圈参数:第 1~4 跨拱圈厚度 40cm,第 5~8 跨拱圈厚度 50cm,第 9~11 跨拱圈厚度 60cm。

[0084] 拱桁架参数:横向排列 20 片,间距为 $34+119 \times 7+118 \times 5+119 \times 7+34 = 2324(\text{cm})$;拱桁架高:第 1~4 跨 55cm,第 5~11 跨 60cm;上弦杆节点间距(第 1~11 跨)分别为 63、58、55、52;60.5、57.5、54.5、52.0;52.5、53.0、53.5(cm)。

[0085] 横联桁排列个数(第 1~11 跨)分别为:13、15、17、19;17、19、21、23;23、23、23。

[0086] 荷载取值:1、支架自重 $0.4\text{KN}/\text{m}^2$;2、钢筋砼容重 $25\text{KN}/\text{m}^3$;3、施工人员和施工机具相对集中荷载 $2\text{KN}/\text{m}^2$;4、砼倾倒冲击相对集中荷载 $2\text{KN}/\text{m}^2$ 。

[0087] (一) 验算钢筋承载力

[0088] 拱圈浇筑底模纵梁为均布 $\Phi 16$ 钢筋,间距取 30cm,纵向搭头交错 1 跨,跨距为 52cm。按 5 跨连续梁建模(即取边跨支座弯矩计算系数为 -0.105)。

[0089] 1、30cm 宽度内恒载 $q = 8575\text{N} \times 0.3/1.19\text{N} = 2.162\text{KN}/\text{m}$;

[0090] 2、多跨连续 $M_{\max} = Kql^2$

[0091]
$$= 0.105 \times 2.162 \times 0.52^2 = 0.06(\text{KN} \cdot \text{m})$$

[0092] 3、对于 $\Phi 16$ 钢筋 $[\sigma] = 280\text{Mpa}$

[0093] $W = \pi \cdot R^3/4 = \pi \cdot 0.8^3/4 = 0.402(\text{cm}^3)$

[0094] 则 $M_{\text{抗}} = W \cdot [\sigma] = 0.402 \cdot 280 = 0.113(\text{KN} \cdot \text{m})$

[0095] $\geq M_{\max} = 0.06 (\text{KN} \cdot \text{m})$ 可

[0096] 4、底模纵梁钢筋最大间距可为:52cm

[0097] 5、跨度中点挠度估算(未计模板刚度):

[0098] $f = 0.315 \times q l^4 / 100EI = 0.315 \times 2162 \times 0.52^4 / (100 \times 210 \times 10^9 \times 3215 \times 10^{-12}) \approx 1 (\text{mm}) \leq L/250 = 1.2 \text{mm}$ 可

[0099] (二) 验算钢管承载力

[0100] 板拱拱顶截面处钢管所受竖向压力最大,取该处等效力:

[0101] 1、板载 $q = 8575 \text{N} / 1.19 \text{m} = 7.206 (\text{KN/m})$

[0102] 2、次边拱桁支座处为最不利,以四跨等截面连续梁边跨和外排悬臂梁的分配弯矩计算其弯矩的计算系数为: $K_2 = -0.087$

[0103] 则: $M_{\max} = K_2 \cdot q l^2$

[0104] $= 0.087 \times 7.206 \times 1.19^2 = 0.888 (\text{KN} \cdot \text{m})$

[0105] 3、对于 A3 $\Phi 48 \times 3$ 钢管 $[\sigma] = 200 \text{MPa}$

[0106] $W = 4.49 \text{cm}^3$ 则

[0107] $M_{\text{抗}} = W \cdot [\sigma] = 4.49 \cdot 200 = 898 (\text{N} \cdot \text{M}) \geq M_{\max} = 888 / (\text{N} \cdot \text{M})$ 可

[0108] 4、跨度中点最大挠度估算:

[0109] $M_A = 0.087 \cdot q l^2 = 888 (\text{N} \cdot \text{M})$

[0110] $M_B = q l_1^2 / 2 = 7206 \times 0.34^2 / 2 = 417 (\text{N} \cdot \text{M})$

[0111] $K_1 = 4M_A / q l^2 = 4 \times 888 / (7206 \times 1.19^2) = 0.35$

[0112] $K_2 = 4M_B / q l^2 = 4 \times 417 / (7206 \times 1.19^2) = 0.16$

[0113] 查表得 $K_0 = 0.1258$ 则 $f_{\max} = K_0 \times q l^4 / 24EI = 0.1258 \times 7206 \times 1.19^4 / (24 \times 210 \times 10^9 \times 10.78 \times 10^{-8}) \approx 3 (\text{mm}) \leq L/250 = 4.8 \text{mm}$ 可

[0114] (三) 桁架内力及选材计算

[0115] 拱桁架的受力特点是节点承受直接荷载,故将拱圈的均布荷载通过钢管横杆转化为桁架节点集中荷载,该荷载通过图解法计算拱架节点竖向荷载(见桁架受力计算图;桁架节点荷载图)

[0116] 3、对各节点编号,利用桥梁结构计算软件 MIDAS 计算桁架各节点内力(详见后附图表)。

[0117] 4、将计算结果标注于各杆件,分析杆件内力,并逐段区分杆件内力,然后对各杆件进行编号分类,取最大值进行杆件用材计算(详见拱桁架内力及用材图)。

[0118] 以第 8 跨 3[#] 杆下弦为例:

[0119] 采用 3 根钢筋 18(排列如图 4), $A = 763 \text{mm}^2$, 节间距 48cm[计算长度: X 轴为 48cm, Y 轴为 96cm(2 倍节点长度)]

[0120] 1、确定截面形心 C 的位置 $X_c = 30 \text{mm}$; $Y_c = 12 \text{mm}$

[0121] 2、 $I_x = 29184 \text{mm}^4$; $I_y = 180262 \text{mm}^4$

[0122] 3、 $i_x = 6.185 \text{mm}$; $i_y = 15.371 \text{mm}$

[0123] 4、 $\lambda_x = 0.8 \cdot 480 / 6.185 = 62 \leq [180]$

[0124] $\lambda_y = 0.8 \cdot 960 / 15.371 = 50 \leq [180]$

[0125] $\lambda_x < \lambda_y$, 取 $\lambda_x = 62$ 作为计算长细比。

[0126] 5、该截面为 B 类截面

[0127] $\lambda_B = \lambda_X = 62 \cdot \sqrt{400/235} = 62 \times 1.305 = 81$ 查表得 $\varphi = 0.681$

[0128] 6、该杆件的最大承受压力

[0129] $N_{\max} = \varphi A f = 0.681 \times 763 \times 330 = 17.1 \text{ (T)} \geq [15.0 \text{T}]$ 可

[0130] 7、其余杆件最大承压力计算同上。

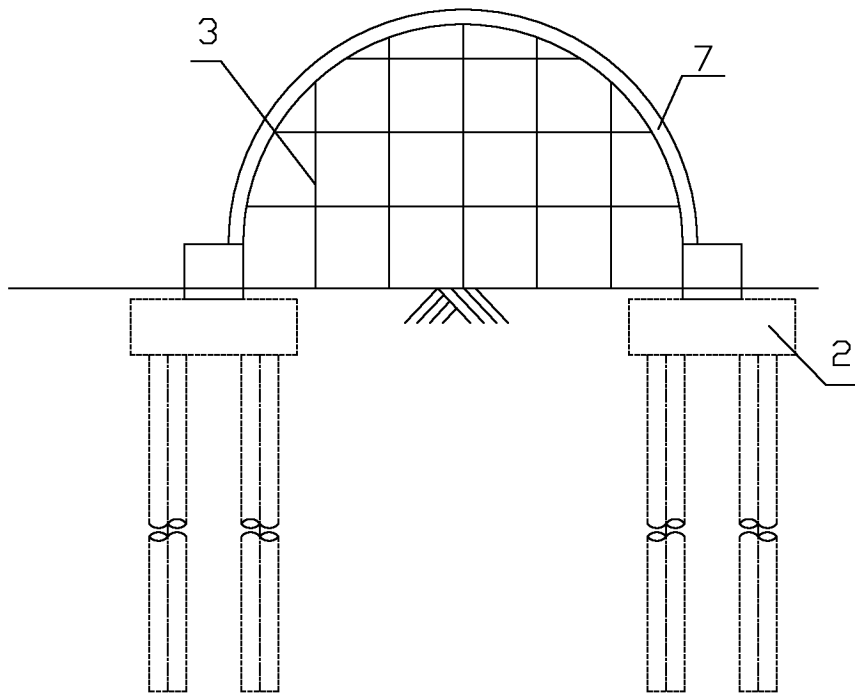


图 1

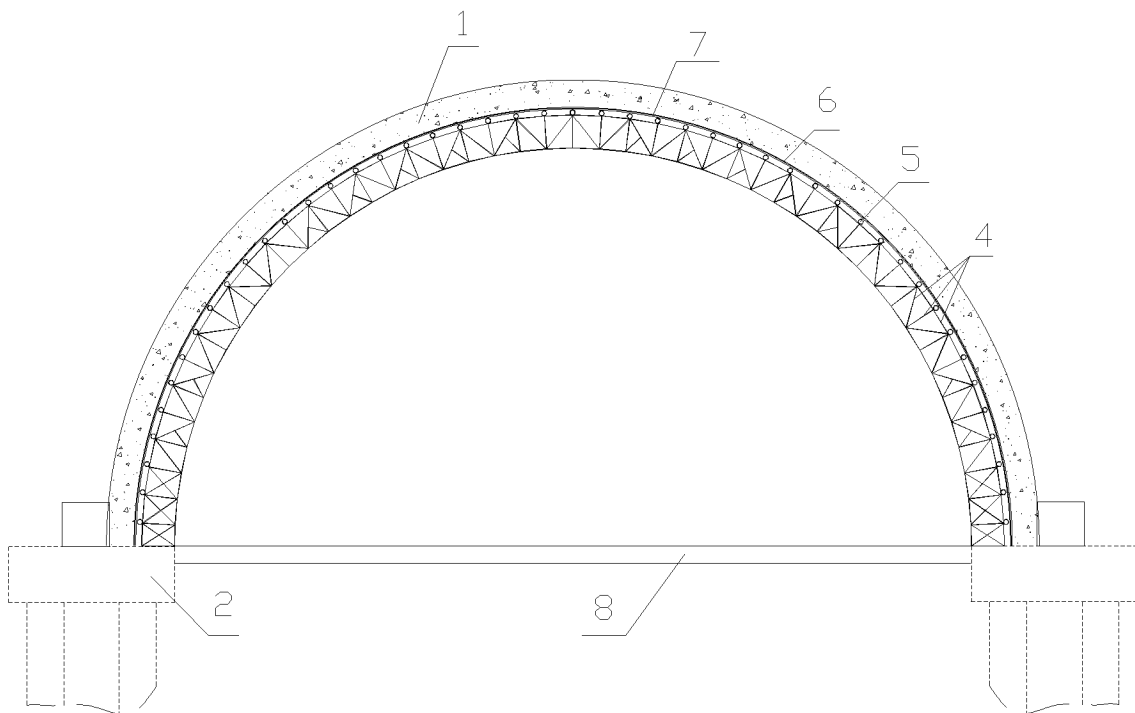


图 2

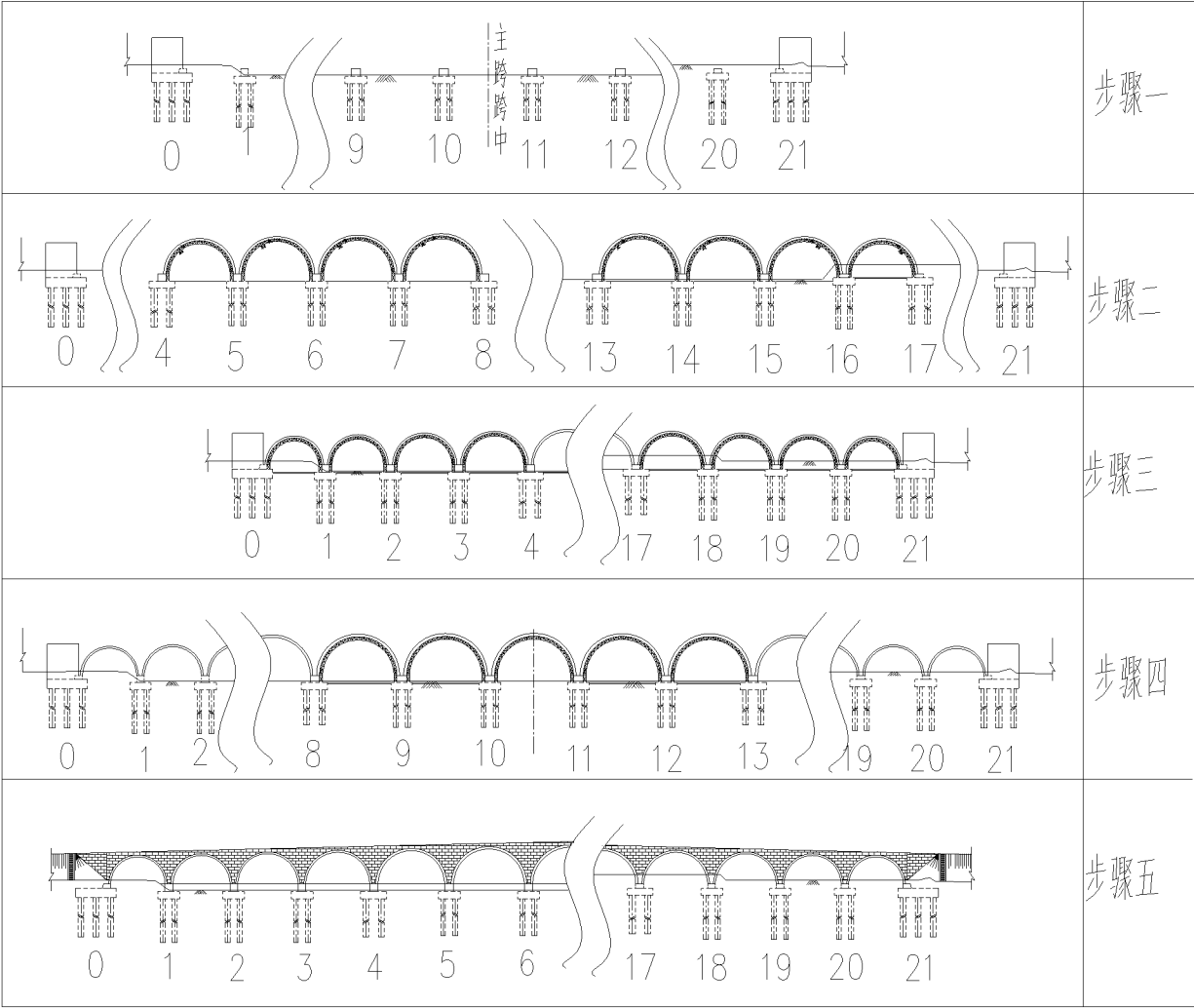


图 3

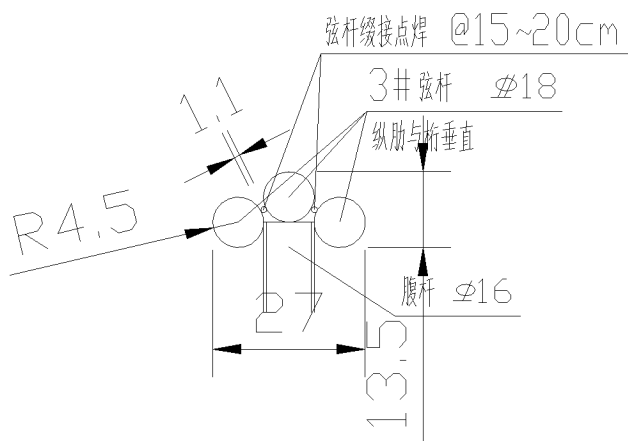


图 4