

弧形综合管道预制快速加工安装技术

蒋明波 杨李强 王 凯 周晨谕 邓海波

中国建筑第八工程局有限公司华南分公司 广东 广州 510000

【摘 要】：随着建筑技术的进一步发展，现代化的设计理念逐渐与建筑设计及施工工艺完美融合，利用艺术的理念诠释现代建筑的建筑元素，如现代大型体育场馆的建设，完美地融入了自然文化的元素，因此诞生了造型特异的弧形建筑，随之机电管线为了达到其最佳的建筑效果，机电管线也与建筑、结构相匹配。

为了让电气专业桥架、暖通专业水管风管及给排水专业水管沿建筑结构弧度平行安装，达到整体管线顺直美观统一的要求。本项目主要走道上的管道在满足使用功能的前提下，紧密配合建筑结构弧形造型，展示机电管线新的活力。

【关键词】：弧形综合管道；预制；测量；加工；安装

DOI:10.12417/2811-0528.25.21.071

1 工程概况

本工程为南沙某体育场，约为6万座，定位为甲级综合体育场，建筑面积约17.87万m²（含平台），满足国内顶级赛事及国际单项赛事的举办条件，兼顾演出、展览等多功能需求和赛平两用功能空间切换。建筑结构成椭圆形，桥架45000m、风管30328平方米、消防及给排水管95678m。

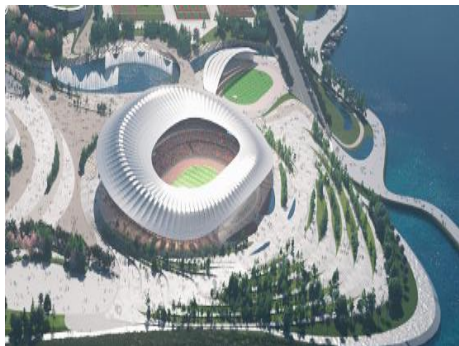


图1 体育场效果图

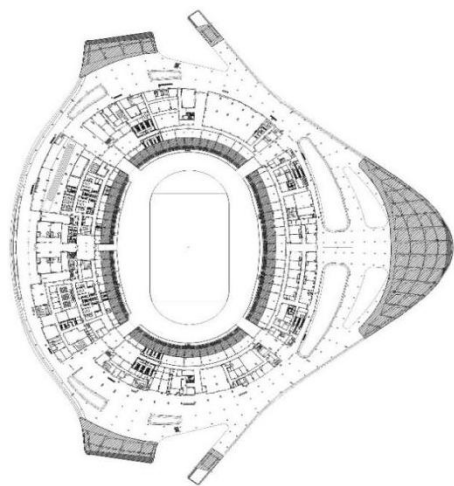


图2 体育场结构图（首层）

2 施工工艺

BIM 管线综合布置→管线碰撞检查→弧度计算→计算曲率半径→加工厂预制加工→构件标识→现场定位放线→综合支架安装→管线拼接安装→管道调直

2.1 BIM 管线综合布置

利用BIM技术根据管线综合排布的原则，进行管线综合布置，确定每根管线的尺寸与位置关系综合考虑维修、敷设电缆、管道保温等的操作空间。最终出具个系统的平面、剖面以及关键节点大样图。

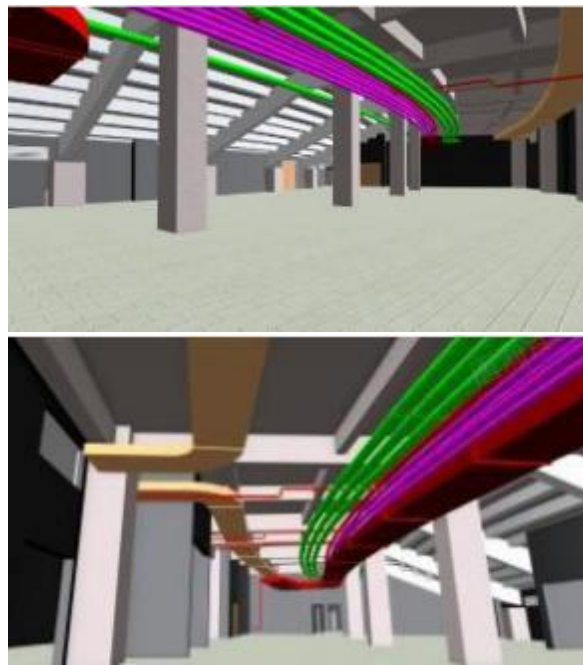


图3 BIM 综合管线模型

2.2 管线碰撞检查

为高效精确地完成弧形区域管道安装，本项目借助 BIM 技术进行管线布置，有效避免管线碰撞，提高弧形管道安装精确度，降低施工成本，使整个弧形管道安装过程在精细化管理下高效进行。针对异型建筑，特别是弧形结构区域管道安装，采用 BIM 技术进行机电管线深化设计，有效解决管线碰撞问题，避免施工中因碰撞返工；

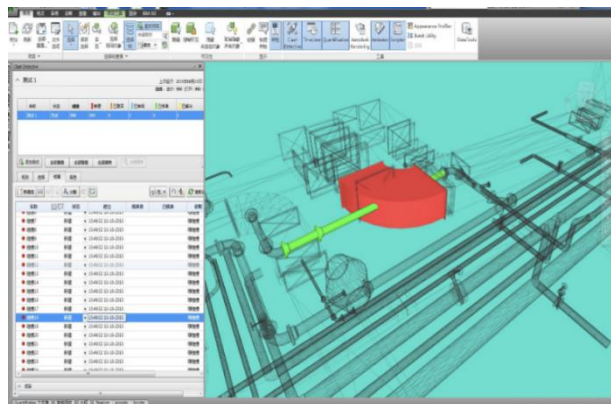


图 4 管线碰撞检查

2.3 弧度计算

根据 BIM 深化图纸, 导出相对应的分专业平面图纸, 对每一个系统的管线进行中心点的确认, 计算并测量出不同区域管线的弧度。

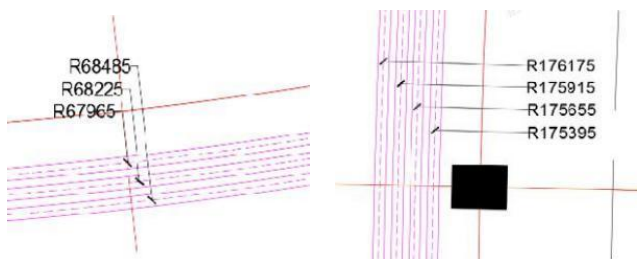


图 5 管线弧度计算

2.4 预制加工图

根据深化设计导出的平面图，对所有管线进行分段处理。根据桥架、风管水管等的标准管道长度进行切割，并尽可能保证管线接头处在统一线上，确保明露区域整体排布美观。

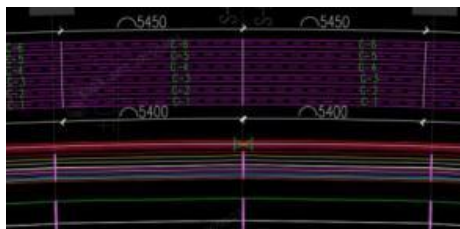


图 6 水管预制加工图



图 7 风管预制加工图

2.5 预制加工

根据深化完成的预制加工平面图,加工厂进行管线的批量化预制加工。

(1) 水管预制加工

本项目采用液压弯管的管道材质主要有镀锌钢管和不锈钢管两种材质。根据实际需求，改装一种液压弯管机，用于本项目的管道加工。

该液压弯管机主要由 2 台电动液压器、1 个控制操作台、1 个可调式弯管工作台组成。根据需要加工的管道弧度，不断调整弯管工作台的挡板弧度，然后操纵控制台，利用两端的电动液压器对管道进行弯管操作。弯管机需制定一名施工机械管理员每日进行设备情况检查，确保各项部分完好情况下方可进行开机操作。由于加工管道的管径不一致，因此液压弯管器头部的弧形卡扣模具根据管道管径实时更换，以满足不同管径管道的加工需求。

可调式弯管工作台,主要有1个操作台面、1个弯管挡板和1组可调式挡板肋板组成。通过挡板后部几组肋板的前后配合移动,便可根据需求调整弯管挡板的整体弧度。

由于综合管线区域根据管道直径,镀锌钢管的连接方式均为沟槽连接。因此在管道弯管之前,提前利用沟槽机对管道进行压槽、套丝作业。否则根据沟槽机、套丝机的操作状态,弧形管线是无法进行压槽、套丝作业。由于管道压制过程中会出现不同程度的回弹,因此在管道挡板调节的过程中应充分考虑回弹量。同时管道预制的过程中,顺序进行 2 次弯管压制作业流程。第一次进行弯曲弧度粗加工,待管道回弹后,进行第二次弧度精加工操作。

为了现场快速测量管道加工弧度,现场采用一种简易的弧度测量方法:即测量管道中间点的弦高,通过弦高的测量,来控制管道加工弧度。利用角尺对事先画好管道两端水平方向上管口最内侧标记点拉线进行测量。将管道弧度加工进度控制在 $\pm 5\text{mm}$,防止因弧度偏差过大,造成在管道拼装的过程中管卡偏位。

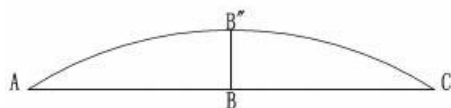


图8 弧度测量示意图

(2) 风管预制加工

风管则根据提交的预制加工图在场外的风管加工车间进行加工。该车间主要由桁吊、剪板机、折弯机、咬口机、控制柜等主要设备组成。

由于风管的标准节较短,为了确保加工出来的管道拼接效果为设计的弧形,因此在每一段风管镀锌铁皮剪板的过程中内侧与外侧长度不一致,最终加工出来的风管才会出现整体弧度。

(3) 桥架预制加工

桥架的整体弧形是现场采用内边手动切割,整体拼接,最终形成弧形。对于桥架施工人员,项目将严格执行面试、实操后再上岗施工的要求,确保工人施工工艺满足项目质量要求及弧形桥架安装要求。

根据桥架深化图纸,按照2米一节的标准对桥架进行分段后,测量桥架内边与外边的差值,然后利用手动切割机对桥架两端进行切割,确保切割两端长度满足加工图要求。对于弧度较大的区域,桥架需要不断切割并用连接片、镀锌螺栓连接固定,使之达到大弧形转弯的效果。

待桥架切割完毕后,进行精度测量,将加工进度控制在 $\pm 3\text{mm}$ 。检测合格后利用富锌银粉漆在切割断面进行防腐处理。

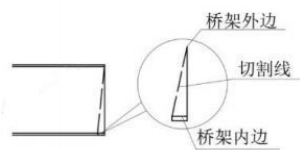


图9 桥架加工示意图



图10 桥架现场切割图

(4) 综合支架加工

深化图纸出具后,深化设计工程师利用管线剖面结合BIM模型,对所有的综合管线区域进行综合支架深化设计,确定每一组支架的定位位置以及加工大样图。然后根据大样图在加工车间进行预制加工。

加工过程中严格参照预制加工图对综合支架进行切割打孔,确保支架标准统一,孔洞定位准确。

加工完成后,对所有焊接部位进行除锈、防腐处理,防止安装后由于现场湿度较大而锈蚀。

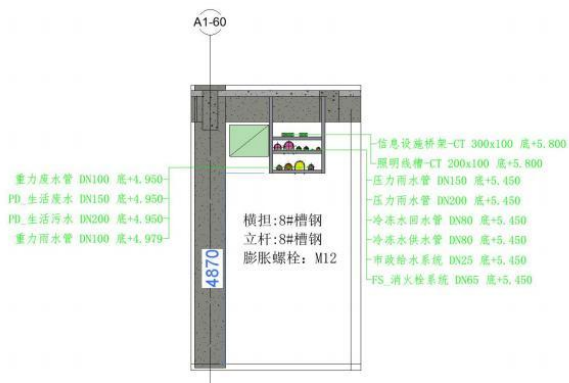
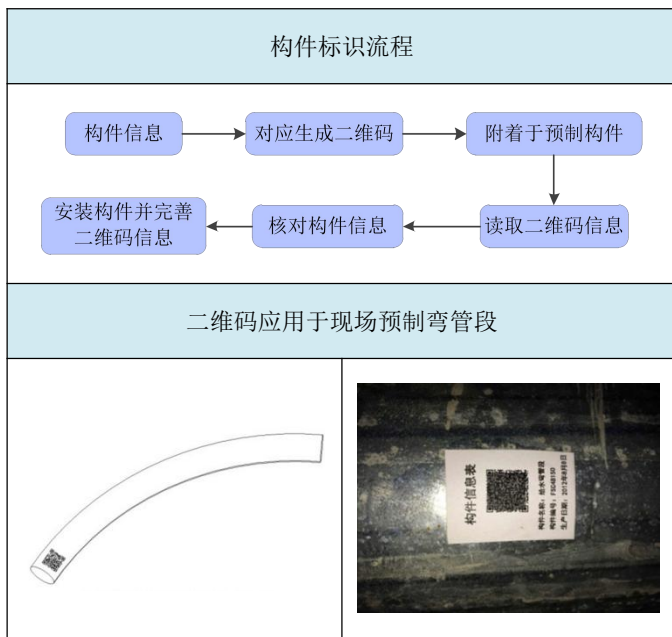


图11 综合支吊预制结构图

2.6 构件标识

本项目预制构件比较多,为了便于管理现场预制构件的管理及应用,在弧形管线构件加工完成后将附有该构件信息的二维码粘贴于构件中。



2.7 定位放线

由于综合管线区域为走廊区域,且结构梁随着建筑造型发散。因此这就需要利用全站仪和红外线仪器配合对所有综合支架生根部位进行准确定位。同时校核管道安装位置,防止因为结构偏差造成管道安装整体偏差。

2.8 综合支架安装

定位完成以后,利用高空作业车进行综合支架的安装工作。安装工程严格参照放线位置进行支架安装。同时利用红外线仪进行位置校核,防止支架偏位,造成管道安装时弧度错位。



图 12 综合支架布置图



图 13 现场综合支架安装图

2.9 管线拼接安装

综合支吊架安装完毕后,进行管线的安装,根据 BIM 模型模拟的施工顺序,从上往下依次顺序安装,尽量避免交叉作业或者工序倒置导致施工进度较慢的工序无施工作业空间,避免返工作业。

管线拼装过程中严格按照加工过程中管段的编号进行拼装,同时对安装过程中管道的接口位置进行调整,并进行初步固定,防止管线掉落,造成安全隐患。



图 14 现场弧形管道安装效果 图 15 现场弧形管道安装效果

2.10 管线调直及成品保护

所有管线安装完毕后,利用红外线仪对管线进行调直处理,确保所有管道间距、管口接头按照深化位置进行准确安装。同时对风管、桥架、水管等进行固定防止管线掉落或者在后续工作中造成偏位,引起二次返工。

管线调直后,对部分可能存在污染的管线进行覆盖、包裹等保护处理,以避免管线在与其它单位交叉施工的作业中造成二次污染。

3 施工技术要点

3.1 弧形管道相关参数计算

在管道弯制前需利用 AutoCAD 软件对施工图中弧形管道的弯曲半径进行计算,并以此确定弧形管道的水平长度以及理论弦高值,这些重要数据将和管道一起送至加工厂,为机械弯管提供相关数据。

(1) 确定弧形管道区域

以综合体育场三层 A1-41 轴~A1-54 轴区域水管为例进行计算:

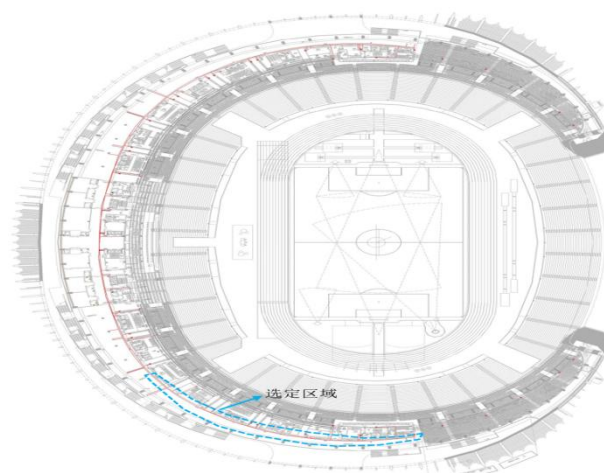


图 16 拟选定区域

（2）参数计算

首先利用 AutoCAD 软件测量弧形管线两管端间最大的直线距离即弦长 $L=115.02\text{m}$;

并以该直线距离的中点为垂足，作垂线与弧形管线弧顶处交得到弦高 $H=19.36\text{m}$;

利用勾股定理得到公式： $R^2=(R-H)^2+(L/2)^2$ ；计算 $R=95.1\text{m}$;

根据圆弧半径可确定园心位置，在 AutoCAD 软件中绘制相关图纸，并可测量圆心角 $\theta=74.42^\circ$ 。

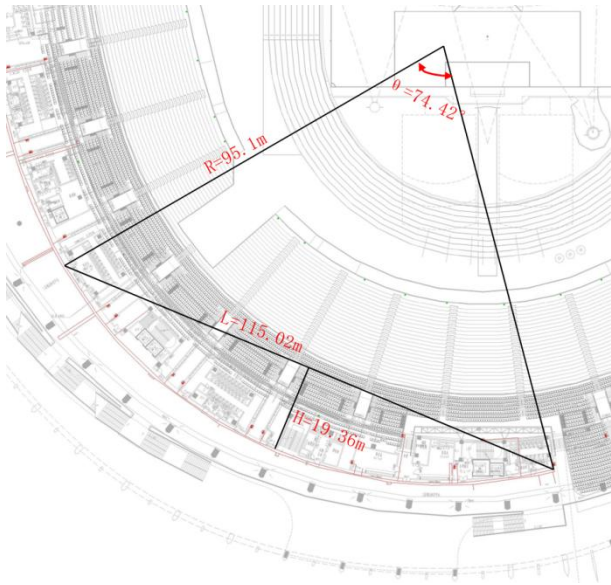


图 17 弧形管线计算示意

通过圆心角和半径计算弧长 C ： $C=2\pi R*(\theta/360^\circ)$
 $=123.46\text{m}$ 。

根据弧长对管道进行分段，按照 6 米一段进行划分，将此弧形管段划分为 21 段。

3.2 弧形管道加工步骤及要点

序号	方法	实施内容
1	管道分段编号	根据各系统深化图纸以及现场材料长度，统筹安排材料，由于各批次材料有所差异，应确保同一批次材料为同一分段长度，以便达到减少管道试弯次数的目的。将上一环节下好料的管道进行分段编号，编写内容为：弧形管道的安装区域、系统、材料规格型号、管材长度和圆弧半径，并将其简易编号编写在 CAD 图纸上。

2	确定管道中心点及中线	在待弯制管道的两管端通过挂线锤的方式确定管道中心点，并用墨斗弹出管道中心线。弹完中心线后开始画分顶弯点，相邻 2 个顶弯点间的长度称之为分段长度，而对于相同顶出量来说，分段长度的长短将直接影响到曲率半径值，分段长度越大则曲率半径越大。根据以往制管经验，为防止管道因顶弯点过于密集而变形，小于等于 $\phi 100\text{mm}$ 管道的分段长度一般为 1m 左右，大于 $\phi 100\text{mm}$ 管道的分段长度一般为 1.5m 左右。同时为了不影响相邻 2 根弧形水管连接处的观感质量以及增加弯管的工作效率，通常管道左右两端部的分段长度约为 $1/2$ 中部分段长度。
3	管道试弯	管道试弯是管道正式弯制之前最重要的一步，其主要目的是确定弯管机弯管时最准确的顶出量，并调整好弯管机限位。钢管由于具有刚性和挠性，在被机械弯曲后一般会产生回弹，因此弯管机的最准确顶出量并不等于弧形管道理论弦高值，而是大于理论弦高值，为理论弦高值与管道回弹量之和。准确的顶出量则是在管道试弯时多次微量递增修正所确定的，在最准确顶出量确定后，该规格型号及曲率半径的限位也随即调整完毕。
4	管道正式弯制	管道正式弯制时，将待弯制管道已弹好的中心线与弯管机 2 块挡模板上的中心重合，启动弯管机对准管道中心线进行顶弯，根据管道试弯时得出的最准确的顶出量，首先对管道上的中心线进行顶弯。
5	管道实时检验	为了确保曲率半径与理论数值相符、降低成品返工率，在管道弯制过程中，必须对各顶弯点的尺寸进行实时检验且核对弦高值。在核对完中心弦高值后，再对管道其他各个顶弯点进行依次顶弯。每个顶弯点在顶弯并核对弦高值后，整根弧形管道还将接受折皱度、平面度和椭圆度等检验，在通过这些检验后，弧形管道最终制作完成并运送至施工现场安装。

3.3 综合管道加工及安装质量要求

（1）深化设计阶段

深化设计过程中，严格控制管道建模精度，参照国标要求，搭建符合本项目要求的管道族文件，确保建模尺寸与管线尺寸相一致。

同时对于结构进行现场测量复核，确保结构模型与现场实体相一致，防止因结构出现偏差，造成预制管线、支架错位或者尺寸偏差无法安装。

(2) 预制加工阶段

加工之前,应对所有预制加工人员进行岗前培训,并进行上岗考核,考核合格后方上岗,在每一类管线加工开始前,提前做好样板,并进行逐一检测,检测合格后,方可进行批量加工作业。

在预制加工过程中,应严格参照预制加工图纸进行加工制作,并进行编号处理,避免因管线种类较多、相近弧度的互相混淆,造成最终安装错误。

预制过程中,应建立半成品复检、抽检制度,对于加工过程中,安排加工人员对所有加工半成品进行复测,复测结果填报并于当日送达项目部进行核查。同时项目部专业工长、质量员不定期的随时抽检所有类型加工管线,确保所有管线满足加工要求。

预制完成的半成品进行集中分类堆放,并做好防挤压措施,防止因互相挤压导致变形或者弧度变化而影响安装在预制阶段对于切割、焊接、打孔等的部位,为防止后期腐蚀,应在加工完成后对相关部位进行除锈、防腐处理。

(3) 安装阶段

安装过程中利用土建移交的测量基点进行多次测量已校核所测点位的准确性。

安装管线应严格参照管段编号进行拼装作业,拼装过程中对于存在问题的管段应暂停施工,待相关主管工程师及深化工程师确认完毕后方可继续施工,严禁所有管段带问题安装,以减少二次返工。

管线安装完成应对管线进行整体调直工作,确保管道之间间距、管道与支架间距、上下层管线间距等满足设计要求。然后进行固定,避免后期因人员碰撞或者交叉作业引起错位。

(4) 成品保护阶段

管线安装完毕后,应采取成品保护措施,做好对各类管线的防护工作,防止交叉作业引起管线二次污染。

对于不锈钢管,为防止在整个施工周期内对其造成污染,在搬运、加工、安装过程中严禁去除其外壁出厂覆盖的保护层。对于管口、风管支管、风口等开口处,擦用塑料膜进行包裹覆盖,防止施工杂物进入管道系统内部。

4 结语

本工程弧形综合管道预制快速加工工艺技术借助 BIM 技术进行管线布置,有效避免管线碰撞,提高弧形管道安装精确度,降低施工成本,提前根据 BIM 把风管及桥架弧度复核完成,使整个弧形管道安装过程在精细化管理下高效进行。针对异型建筑,特别是弧形结构区域管道安装,采用 BIM 技术进行机电管线深化设计,有效解决管线碰撞问题,避免施工中因碰撞返工;利用 BIM 技术对弧形管道进行分段,并读取弧形管道信息,为预制构件提供精确可靠地加工信息,根据现场实测量弧度+BIM 相结合,合理化使用弧形管道机械装置,现场管道弧度批量放样、管道煨弯批量加工,工效高,成型效果好。通过对弧度、安装定位、标高、长度进行确认,利用合理化机械制作弧形管道,提高制作、安装效率的同时,质量大幅提高,达到快速、可靠、美观、经济的效果。

参考文献:

- [1] 中建工业设备安装有限公司.椭圆核心筒弧形机电管线施工技术,2012.
- [2] 浙江省住房和城乡建设厅.GB50303—2015 建筑电气工程施工质量验收规范[S].北京:中国计划出版社,2015.
- [3] 陕西建工第一建设集团有限公司安装公司.基于 BIM 技术的变曲率弧形管道预制与拼装,2017.