

高速环道曲面工程施工技术的研究

钱全大 李运胜

(交通部公路科学研究所 北京 100088)

提要 高速环道曲面工程的施工具有精度要求高、技术难度大的特点。本文结合交通部公路交通工程综合试验场高速环道工程,介绍了高速环道曲面工程施工中的关键技术及其研究成果。

关键词 试验场 高速环道 曲面施工

Constructional Technology Researches in Bank of High-Speed Loop

Qian Quanda Li Yunsheng

(Research Institute of Highway, Beijing)

Abstract The construction of bank of high-speed loop has the characteristics of high exactness and complex technology. The paper presents the key technology and research results during the construction of bank pavement integrity in the Test Field of the Ministry of Communications for Highway and Traffic Engineering.

Key words Test field High-speed loop Construction of bank

1 概况

为了适应国民经济的发展,公路运输必须有一个大的发展,而公路运输的发展,特别是公路质量的改善和公路等级的提高,在很大程度上要依靠科技进步。交通部公路交通工程综合试验场是交通部“八五”重点科研建设项目,建成后将成为我国公路和汽车试验的中心。

试验场场址位于北京市郊,距市中心约 28km。场区占地 242 公顷,大致呈南北较长的矩形。

试验场一期工程主要包括高速环道、不同摩擦系数试验路 A、不同摩擦系数试验路 B、交通工程广场、碰撞试验场、组合试验路及与之相配套的进场路、连接路、办公生活区等。

公路交通工程综合试验场的建设不同于一般的工程项目,其设计和施工均无标准规范可循,且涉及面广,技术难度大。做为试验场核心项目的高速环道工程,设计车速高达 190km/h,而弯道半径受占地的限制只有 400m,其最大的横向超高倾角接近 42°,在超高倾角如此大的情况下,要按照设计的要求完成 3 维曲面的施工,其难度可想而知。

本文结合交通部公路交通工程综合试验场高速环道的建设,就高速环道曲面施工技术进行初步的探讨和研究。

2 高速环道曲面施工技术

2.1 曲面设计技术指标

试验场高速环道呈椭圆形，设计线总长 5505.345m，两直线段各长 1100m。圆曲线半径为 400m，在直线和圆曲线段之间设有缓和曲线。缓和曲线采用麦克康纳尔（McConnell）曲线^[1]，长度为 4×408m。

路面为 3 车道，3 条车道中心线的设计车速分别为 70、130、190km/h。直线段路面宽度为 3×4m，圆曲线段路面水平投影宽度为 17m，缓和曲线段路面的水平投影宽度则由 12m 逐渐过渡到 17m。

以路面内缘线为基准，路线纵坡设计为 0%。各行车道沿横断面全部上升，直线段设 1.5% 的单向内倾横坡，曲线部分的横断面则根据麦克康纳尔曲线的设计原理和方法设计为复合曲线。圆曲线部分的典型横断面如图 1。

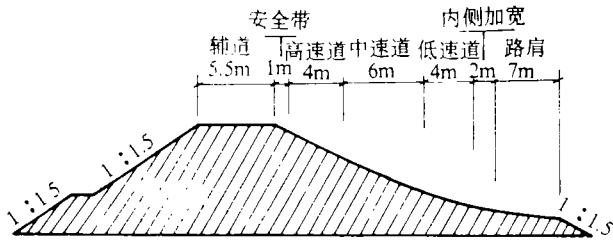


图 1 圆曲线段横断面几何形状

在路面类型的选择上，高速环道采用水泥混凝土路面方案，其中直线部分为素混凝土路面，曲线部分为钢筋混凝土路面。曲线段上的典型路面结构如图 2。

2.2 石灰土底基层的施工

2.2.1 施工方案的确定

高速环道曲线段的最大超高横坡接近 42°，石灰土的摊铺和压实是一大难题。为解决这个难题，首先要研究和确定施工方法。我们预先研究了 3 种施工方法。第 1 种方法先将路基修整成设计要求的曲面，然后利用边坡压路机等机具设备进行石灰土的施工，一次成型；第 2 种方法则不修整路基，而是直接在路堤上分层挖台阶，超宽修筑石灰土，然后利用人工修整石灰土至设计曲面；第 3 种方法是石灰土与素土分层平行施工，同时摊铺，同时压实，最后整修成型。3 种方法各有其优缺点：第 1 种方法最为经济，但对于高、中速车道上的石灰土工程，因其侧倾角大，摊铺非常困难，而且由于受曲面的影响，压路机的压实效果差，无法达到设计要求的压实度（95%），同时也难以保证一次成型的曲面能满足设计要求；第 2 种方法能确保石灰土的施工质量及曲面成型的精度，但工程量较大；第 3 种方法则避免了分层挖台阶，但增加了施工控制的难度。

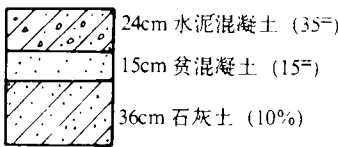


图 2 圆曲线段路面结构

经过大量的调查研究，综合考虑 3 种方法的优劣以及施工单位的条件，确定高速环道曲线段石灰土的施工方案如下：

缓和曲线上 0~168m 路段（最大的超高倾角为 16°24′02″），采用第 1 种方法直接进行石灰土施工；

缓和曲线上 168~408m 及全部圆曲线上内侧 4m 宽范围以内的石灰土，采用第 1 种方法施工；

缓和曲线上 168~408m 及全部圆曲线上内侧 4m 宽范围以外的石灰土，采用第 2 种方法

施工。

2.2.2 施工工艺研究

采用第 1 种方法施工的石灰土底基层,其施工工艺与一般高等级公路的石灰土底基层相同,第 2 种方法的石灰土施工工艺流程是:

台阶放样、人工挖台阶、台阶验收、自卸汽车上石灰土混合料、推土机配合平地机摊铺、整平、振动压路机碾压、压实度检查、保湿养生、继续下层施工直至达到设计标高、石灰土修坡放样、人工整修坡面。

按第 2 种方法施工石灰土时,为了方便运料机械和压实机械的作业,台阶要有一定的宽度,以保证石灰土施工的顺利进行。

2.2.3 施工中的关键技术措施

在曲面石灰土的施工过程中,关键性的技术问题有 2 个:1 是石灰土密实度和强度的保证;2 是石灰土顶面 3 维曲面的形成。

为保证石灰土的密实度,在施工中重点加强对混和料含水量的检测和控制,增加含水量的检测频率,使石灰土的压实总在混合料含水量处于最佳含水量 $\pm 1\%$ 范围内进行,从而取得最佳压实效果。

为确保石灰土的强度能满足设计要求(7 天无侧限抗压强度 $R_7 > 0.8\text{MPa}$),在施工中主要采取了以下技术措施:加强拌和,提高混合料的均匀性;采用钙电极法快速测定混合料中的石灰剂量,准确及时地指导施工;坚持保湿养生,并对石灰土过冬采取覆盖和延迟修坡等有效保护措施。

石灰土顶面 3 维曲面的形成是石灰土施工中的关键,其施工质量的好坏不仅影响到曲面基层和面层的施工质量,而且将直接关系到施工单位的经济效益和整个工程的工程造价。经过一段时间的试验,终于摸索出了一套行之有效的办法:

修坡粗放样,人工辅助挖掘机粗修(预留 30~50cm 的厚度),修坡精放样(纵向每 6~8m 定出一个横断面;断面上每 2m 打一个桩,作为削坡的控制点),人工精确修整坡面(为增加层间界面的摩阻力,坡面应平整而不光滑)。

高环曲面石灰土采用这套办法施工后,修坡精度大大提高,顶面高程误差值基本上都能控制在要求的范围内($-2 \sim 0.5\text{cm}$),既保证了工程质量又节省了投资。

2.3 贫混凝土基层和钢筋混凝土面层的施工

2.3.1 施工方案

试验场高速环道圆曲线段和大部分缓和曲线路段的基层和面层分别设计为 15# 贫混凝土和 35# 钢筋混凝土,通过深入细致的调查研究,确定了“基层和面层按复合式混凝土路面施工:先施工低、中速车道,后施工高速车道”的施工方案和“一次立模,三层摊铺,三次振捣,一次成型”的施工工艺。

2.3.2 施工工艺

高速环道曲线段超高横坡大,施工精度要求高,因此其施工工艺必须在解决大横坡水泥混凝土路面施工中混合料摊铺和压实难题的同时,保证按照设计要求完成空间 3 维曲面的成型。

为了能高质量地完成曲线段贫混凝土和钢筋混凝土的施工,首先由设计、施工和监理单位共同研究,初步提出一套可行的施工工艺,然后在实体工程上进行试验板块的施工,在试验板块成功的基础上,通过改进和提高,最后形成了一套成熟的曲面混凝土施工工艺,见图 3:

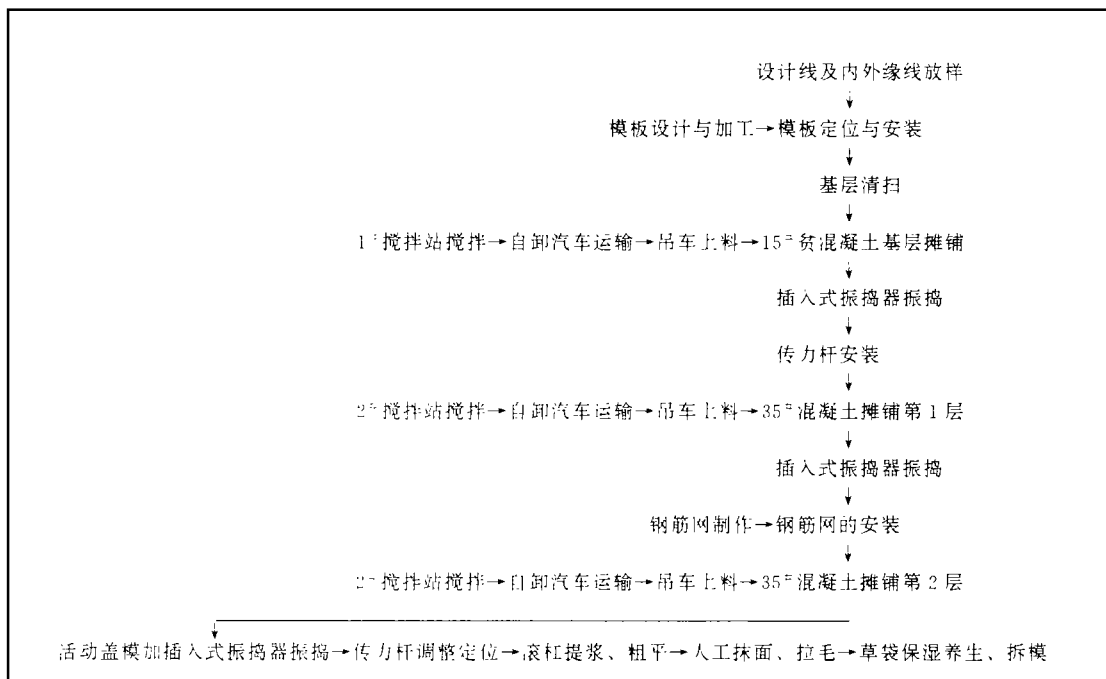


图3 曲面混凝土施工流程

2.3.3 施工中的关键技术研究

① 曲线模板的设计与加工

模板的设计与加工是高速环道曲线段混凝土路面施工的基础。以圆曲线段上的模板为例，每条模板弧长为 18.67m，上下高差达 6.319m，而且模板上各点的曲率都不相同。由于在长达 408m 的缓和曲线上，每一个设计站点上的横断面都是一条不同于其它站点的曲线，因此模板设计和加工的难度和数量都相当大。

在模板设计中首先遇到的难题是：根据设计提供的数据资料，无法直接进行模板的加工放样。为此，在认真分析设计数据的基础上，建立了数据转换的数学模型，解决了从设计数据到模板加工放样数据的转换问题。

模板设计计算工作量大，如何准确、快速地进行模板加工放样数据的准备是模板设计的另一个难点。根据设计文件，高速环道的缓和曲线上共有 156 个设计站点，而每个站点的模板加工都需要准备 160 个左右的数据。在模板设计之初，基本上采用手工计算的办法，每天至多只能完成一个站点的模板设计工作，而且数据的可靠性差。为此，在模板设计过程中采用了计算机辅助设计方案，提高了近十倍的工作效率，保证了整个工程的顺利进行。

根据高速环道曲线模板的特点和工地的具体条件，曲线段模板采用了以焊接工艺为主的组合钢模型式，并确立了“分段加工，整体拼装”的加工方案。经过精心加工完成的曲线模板，质量优，精度高，满足《交通部公路工程综合试验场施工验收技术规范》^[2]中对曲线模板验收的质量要求。

② 施工放样与测量监控技术

在曲面混凝土的施工中，施工放样和测量监控是最关键性的技术。主要工作内容包括高速车道设计线的中桩放样、内外缘线的放样、立模控制（平面位置和高程）以及施工过程中

的测量监控等。

对设计线中桩及内外缘线的放样,最早采用的是“经纬仪 3 线交汇法”,即利用试验场场内的首级和二级测量控制网,以 3 台经纬仪同时进行角度交汇,确定放样桩点。经过一段时间的实践,发现这种方法不仅工作效率极低,而且放样精度不易保证,返工工作量大。后试改为“全站仪座标放样法”,经与经纬仪 3 线交汇相互校核,确认全站仪法不仅测设速度快,而且精度也有保证。所以,在以后的高环曲面施工放样中都采用了“全站仪座标放样法”。

在模板的安装过程中,主要控制模板的径向偏位和高程。在内侧路肩或外侧辅道上安置经纬仪,利用内、外缘和设计线中桩三点一线的原理,控制模板的径向偏位;在路基内缘和辅道上建立水准控制点,并随着施工的进展分别在中速车道和外侧安全带的水泥混凝土路面上埋设临时水准点,以作为不同高程上曲线模板安装的水准基点。

在水泥混凝土路面施工的全过程中,利用经纬仪和水准仪对模板进行全方位的跟踪监测,发现偏差,及时调正,确保混凝土路面按所设计的空间 3 维曲面成型。

③ 水泥混凝土配合比设计

为了使混凝土混合料在曲面大横坡作业时既不下塌,同时又有必要的和易性,施工前进行了多方案的混合料配比试验,并最后确定了掺加引气剂和减水剂的配比方案,水灰比约为 0.46,坍落度为 0~1cm。

④ 曲面混凝土的摊铺和振捣

高速环道曲线部分最大的超高横坡接近混凝土路面的施工极限,而且路面的水平投影宽达 17m,这给混凝土的摊铺和振捣带来了极大的困难。由于配合比设计要求使用干硬性的混凝土,所以无法采用溜槽或泵送混凝土。根据施工现场的特点,在曲面混凝土的施工中采用了“吊车加吊斗送料,人工摊铺”的方法,较好地解决了混合料的离析问题。为了保证插入式振捣器振捣时混凝土混合料不往下滑以及混凝土的密实度和表面平整度,摸索创造出了一套比较完善的活动盖模施工法,保证了曲面成型的质量和混凝土的密实度。

⑤ 质量控制及 QC 小组活动

高速环道曲面混凝土的施工质量控制主要抓了 3 个方面:原材料的质量控制、混合料的质量控制和施工过程中的质量控制(工序管理)。

对原材料的质量控制措施主要包括:指定通县水泥厂生产的 525[#] 硅酸盐道路水泥为 35[#] 钢筋混凝土面层的唯一水泥品种,严格控制水泥的质量;选用三河的碎石和昌平龙凤山的砂料,并定期或不定期地进行砂石料压碎值、含泥量及级配试验,保证骨料质量的稳定。

混凝土混合料质量控制的措施主要有:对搅拌站的计量系统经常进行标定,保证施工配料的准确;加强对混合料成品的质量检查,经常性地抽测水灰比、骨料级配、骨料含泥量、单方水泥用量、抗拉强度、抗压强度以及混合料坍落度、维勃值等。

在混凝土的施工过程中,主要抓工序质量管理:确定每道工序的标准化操作规程,严格按标准操作规程办事;各道工序之间相互配合,发现问题,及时处理。

为加强对曲面混凝土施工质量的控制,由建设单位、监理单位和施工单位联合成立了“高速环道曲面施工 QC 小组”。QC 小组活动的开展,攻克了不少曲面施工中的难题,促进了曲面混凝土路面施工质量的全面提高,收到了良好的效果。

3 结语

交通部公路交通工程综合试验场高速环道水泥混凝土路面的施工将于 1994 年年底完成,

并将于1995年上半年进行竣工验收。以上介绍的这些施工技术研究成果的应用是试验场高速环道施工顺利进行的根本保证,也是交通部公路工程综合试验场一期工程“保部优、争国优”的基础。

参考文献

- 1 William A. Motion Sensitivity as a Guide to Road Design, Ford Motor Co., SAE Transaction, McConnell, Vol. 65, 1975.
- 2 交通部公路工程综合试验场建设指挥部. 交通部公路工程综合试验场施工验收技术规范.
- 3 江玉高等. 交通部公路工程综合试验场的设计功能. 道路工程学术会议论文集, 1993.

欢迎订阅 1995 年《公路交通科技》

《公路交通科技》是由交通部公路科学研究所主办的中央一级学术性刊物,国内外公开发行。主要刊登道路工程、桥梁工程、汽车工程、筑路机械、交通工程、公路运输经济与管理、环境污染与治理方面的科技成果和学术论文。1995年还将增加设计施工、新材料与新工艺、新产品开发、科技信息的报导量。我们希望本刊的出版能对广大的作者和读者有所裨益,同时也热切地欢迎对我刊给予指导和扶持。

本刊为16开本的季刊,每期10万字,国内定价4.80元(包括邮费),全年4期共19.20元、需订阅者,请按下列办法办理:

1. 单位或个人需要订阅者,请填写订购单和银行信汇或邮局邮汇单。第一联加汇款收据一并留作报销凭证;第二、三联随同银行信汇单或邮局邮汇单寄:100088北京市北三环中路48号《公路交通科技》编辑部(电话2013399转2309)。没有订购单也可直接与编辑部联系。

2. 银行信汇请寄我所开户银行:

中国工商银行北京市北太平庄办事处,帐号144186-28

3. 填写单位地址时请务必填写邮政编码,以便投递。

《公路交通科技》编辑部发行组

1994年11月