

# 大跨度大悬臂 T 型刚构转体施工工法

中铁十一局集团有限公司  
宁继康 张军林 代华伟 刘育鸿 姜攀

## 1. 前言

转体施工法最先出现的是竖转法，平转法最早于 1976 年首次用于奥地利维也纳的多瑙河运河桥上，1975 年，我国开始进行拱桥转体施工工艺的研究，并于 1977 年在四川遂宁县采用平转法建成跨径为 70m 的钢筋混凝土箱肋拱；此后，平转法得到推广应用。

湖北城际铁路跨运营京广线上下行线无法在跨越障碍物上进行施工，研究在京广线上下行夹心地段预制桥梁进行单墩一次转体就位，由中铁十一局集团进行单墩一次转体施工；经查新一次转体到位，直接就位于边墩支座上不设合拢段及转体前后对桥梁进行两次千斤顶顶落梁尚未有记载，目前桥梁箱梁转体悬臂段长度均在 100m 以下，转体梁段悬臂端长度达到 115.8m 的箱梁、一次转体到位、单墩转体 231.6m 的转体桥尚属首次使用，该类施工特点是先进行大跨箱梁分大节段现浇，然后通过湿接缝连接节段，形成 231.6m 长箱梁；通过分批次预应力张拉完成梁体由分节段到箱梁整体受力体系转换；再通过分段对称现浇支架拆除，转换大跨度箱梁受力体系；经过梁体 S 形加缓和曲线小半径不对称曲线的线形控制技术，采用临时支墩支撑防止下挠，转体后在墩顶顶梁达到高程，安装支座，浇筑支撑垫石，完成体系转换。

梁段预制质量要求线性平顺，左右对称，不平衡称重准确，顶落梁时以位移为主、顶力为辅控制进程，另外梁段大阶段预制节省工期大为缩短，在障碍物上方提前做好栏杆等附属施工，同时一次转体避免影响既有线运营及设备迁改。

## 2. 工法特点

大跨度大悬臂连续 T 构转体施工工法特点主要表现如下方面：

(1) 施工快速方便：针对大跨度大吨位 T 构采用了特制钢球铰及电气控制连续牵引系统，成功实现了 T 构快速转体，需较完整的配套机械设备和控制系统，自动化程度高。

(2) 称重准确：针对 T 构转体过程中的不平衡重不易量化、难以精确控制的技术问题，通过称重试验精确测量 T 构不平衡重量，确定配重方案，以形成竖平面内球铰、撑脚两点支撑的平衡转动体系，技术新颖。

(3) 转体前体系转换：由于跨度比较大，为防止拆除支架时梁体下挠发展过快对梁体质量造成伤害，采用在梁段临时支墩上用千斤顶同步缓慢落梁。

(4) 释放应力：由于悬臂长度过长，在转体时的悬臂状态下，梁两端的下挠比较大，在

转体成功后要采取顶梁处理，顶梁到位后将球铰自由态以便应力平均，以保证受力合理。

(5) 一次转体：为实现快速安全施工，转体一次到位，转体后不设合拢段，采用墩顶预留支撑垫石防止转体难以到位。

### 3. 适用范围

本工法适用于先现浇后转体跨越既有线路等屏障的大吨位大跨度的平转施工，尤其适用于跨越客专等难以在其上进行施工的屏障地段和障碍一侧难以施工的地段。研究成果确保了跨客专转体的顺利建设，安全、优质、高效的完成目标，解决了转体悬臂长、转体精度要求高、千斤顶两次反顶梁等多道施工难题，确保了该桥的施工安全和质量。为城际铁路的按期通车奠定了基础，同时也为今后同类桥梁的施工积累了宝贵经验，产生的经济、社会效益十分显著。

### 4. 工艺原理

一次转体的基本原理是箱梁重量通过墩柱传递到球铰，上球铰通过球铰间的四氟乙烯板传递到下球铰和承台。待箱梁主体施工完毕后，脱空支架以及撑脚将梁体的全部重量转移于球铰，利用埋设在上转盘的牵引索、转体连续千斤顶，克服上下球铰之间及撑脚与下滑道之间的东摩擦力矩，使桥体比较容易转动，采用电动牵引设备，通过连续千斤顶及助力千斤顶，进行快速转

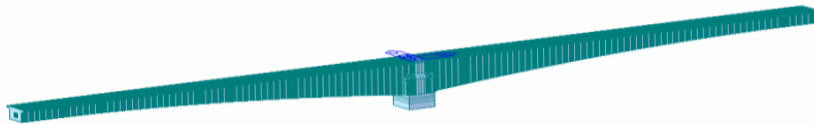


图 4.1

T 构箱梁首先在夹角地带进行地基处理，搭设支架，然后大节段进行现浇，在进行湿接缝前进行缓慢落梁，对 T 构箱梁进行不平衡称重实验，然后根据称重结果进行配重，严格控制两端悬臂的质量平衡，开始转体，通过千斤顶及精密的同步控制系统对转体牵引系统的控制，实现平衡转体的顺利，转体到位后在两侧辅墩顶安装顶梁措施进行上顶，然后安装支座，浇筑支撑垫石，完成体系转换。

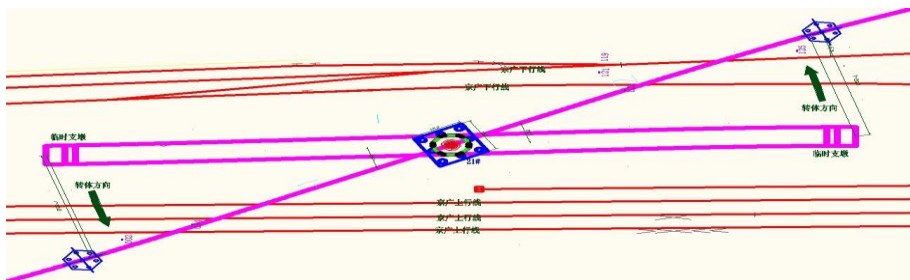
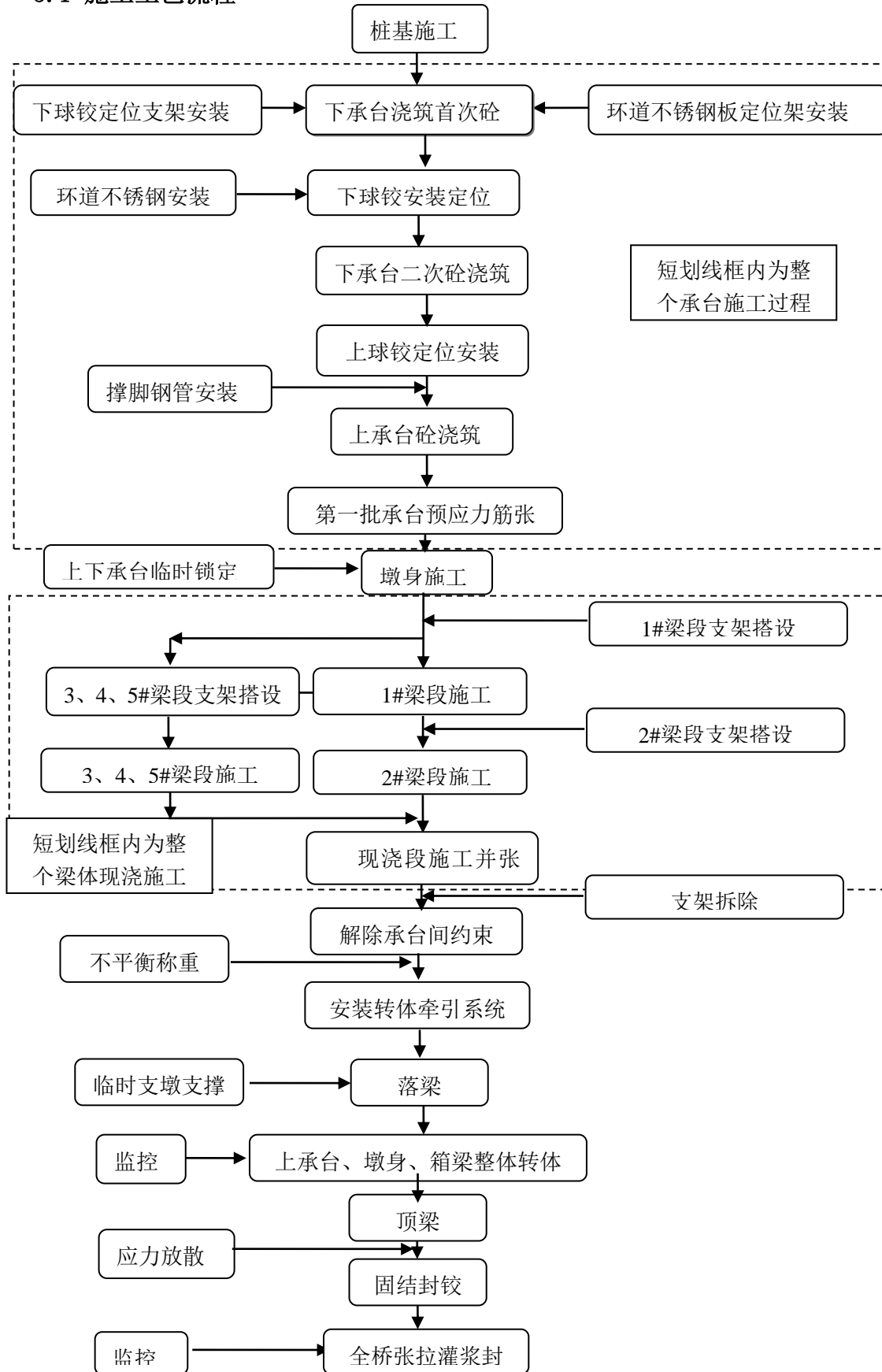


图 4.2

## 5. 施工工艺流程及操作要点

### 5.1 施工工艺流程



## 5.2 操作要点

5.2、转体施工中转体球形转盘制作及安装、T 构箱梁施工、落梁、重测试与配重、T 构桥转体、转体后精确就位、顶梁等关键工序的操作要点分别予以叙述。

### 5.2.1、高精度、大直径球形转盘支座加工工艺

球铰由上、下球铰、球铰间四氟乙烯板、固定上下球铰的钢销、下球铰钢骨架组成。转体球铰的下球面板上镶嵌有填充聚四氟乙烯复合夹层滑板，与上球面板组成摩擦面，并涂抹 120:1 的黄油四氟粉润滑。球面各处的曲率半径相等，使用样板和塞尺检查，球面与样板的误差在 0.85mm 以内。上、下球铰球面的水平截面为圆形，椭圆度不大于 1.5mm。

施工中注意要使球铰边缘各点高程相等。

### 5.2.2、转体球铰的安装

球铰的安装精度位置 $\pm 1\text{mm}$ ，球铰正面相对高差 $\gt 1\text{mm}$ 。



球铰安装示意图

#### 1) 定位钢骨架安装

下球铰骨架采用吊车吊入，而后粗调，然后采用人工精确调整。骨架调整完成后将下承台架立角钢与骨架预留钢筋焊接牢固。固定好球铰定位底座后，绑扎钢筋、立模浇筑下球铰骨架砼（同时绑扎滑道及下转盘两侧钢筋，安装预留槽模板，留出滑道钢板及球铰预留槽）。

施工中注意：混凝土的浇筑过程中严格保证下球铰骨架不能扰动、混凝土的收缩不至于对骨架产生影响，因梁体结构绕轴心转动，T 构在球铰安装时考虑重心，按绕重心控制。

#### 2) 安装下球铰：

安装前对下转盘球铰表面椭圆度及结构进行检查；下球铰吊装就位，就位后将其连接到骨架上，带上螺母，对其进行对中和调平。用全站仪采用坐标放样法，进行定位控制，对中心要求下球铰中心，纵横向误差不大于 1mm；水平调整先使用普通水准仪粗调，然后使用精密

水准仪精平。

施工中注意：利用下转盘球铰上设置的混凝土排气孔分块单独浇筑各肋板区，混凝土的浇筑顺序由中心向四周进行。人员在搭设好的工作平台上作业，避免操作过程对其产生扰动。混凝土凝固后采用中间敲击边缘观察的方法进行检查，对混凝土收缩产生的间隙用钻孔压浆的方法进行处理。

### 3) 安装上球铰（安装前做好滑道安装）

清理上下球铰球面；中心销轴放到套管中（预先放入黄油四氟粉），调整垂直度与间隙；在下球铰凹球面上按照顺序由内到外安装聚四氟乙烯滑板，用黄油四氟粉填满聚四氟乙烯滑板之间的间隙，使黄油面与四氟滑板面相平；将上球铰吊装到位，套进中心销轴内。微调上球铰位置，使之水平并与下球铰外圈间隙垂直；中心钢销轴定位后，吊装上球铰，吊装上球铰前，将锅形上球铰底面用抹布擦洗干净，均匀涂抹少量黄油，然后进行吊装；球铰安装完毕对周边进行防护，上下球铰之间缠绕包裹严密，确保杂质不进入到摩擦面内。



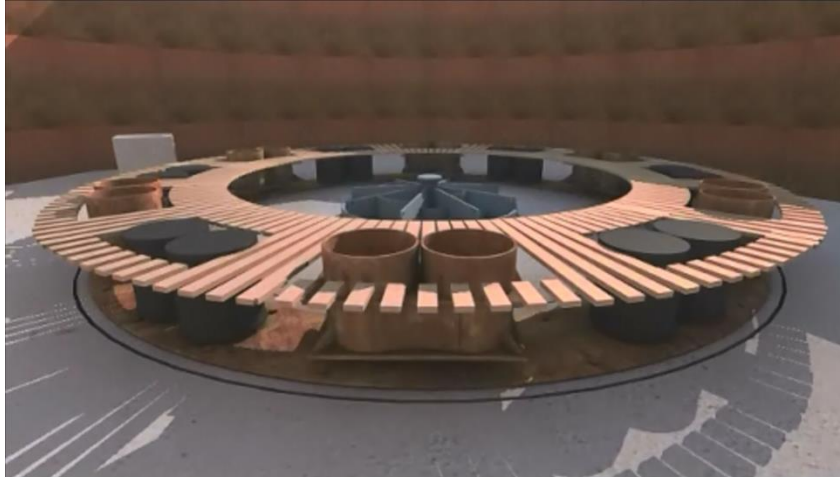
安装四氟乙烯片示意图

### 4) 滑道、撑脚安装

环形滑道设置在在钢撑脚的下方，利用调整螺栓调整固定；环道钢板由螺母调整调平，顶面高程误差控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 。环道钢材在安装到位后做好防尘、防腐、防锈措施。滑道顶面设置排气孔，在混凝土浇筑过程中对不密实的位置采用注浆填充的方法保证其密实。

上转盘共设直径 900mm 的 6 组撑脚，高为 1.42m 的钢筒，壁厚 16mm，钢管内灌注 C55 微膨胀混凝土，对称分布于纵轴线的两侧。在撑脚的下方（即下盘顶面）设有 1.15m 宽的滑道，滑道面放置 5mm 厚聚四氟乙烯板。安装撑脚时确保撑脚与下滑道的间隙为 20mm，撑脚内灌注 C55 微膨胀混凝土。在下转盘混凝土浇筑完成上球铰安装就位时即安装撑脚，





撑脚安装示意图

施工中注意：为确保上部结构施工时转盘、球铰结构不发生移动，用钢楔将钢砵撑脚与环道之间塞死。

### 5.2.3、T 构施工

#### 5.2.3.1 地基处理

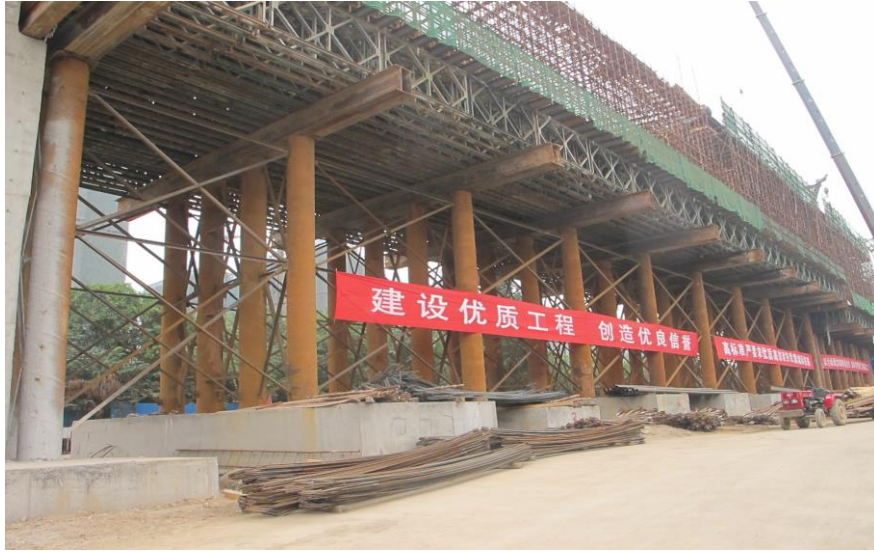
由于本桥在施工过程中承受的荷载较大，而地质条件较差，采用直径为 500mm 的管桩处理地基，再在上面浇筑基础小承台。因临近既有线，为不影响京广线的正常通车，采用静压机械设备采用了单桩预压以及基础承台预压作为验证试验，以保证承载力及地基沉降要求。

#### 5.2.3.2 支架体系

在施工完成的基础承台上严格按照支架设计方案来架设钢管柱，工字钢，贝雷梁，碗扣支架。由于第一梁段和第二梁段没有湿接缝，第二梁段施工必须要在第一梁段施工完成后。第三、四、五梁段支架体系形式与第二段类似。



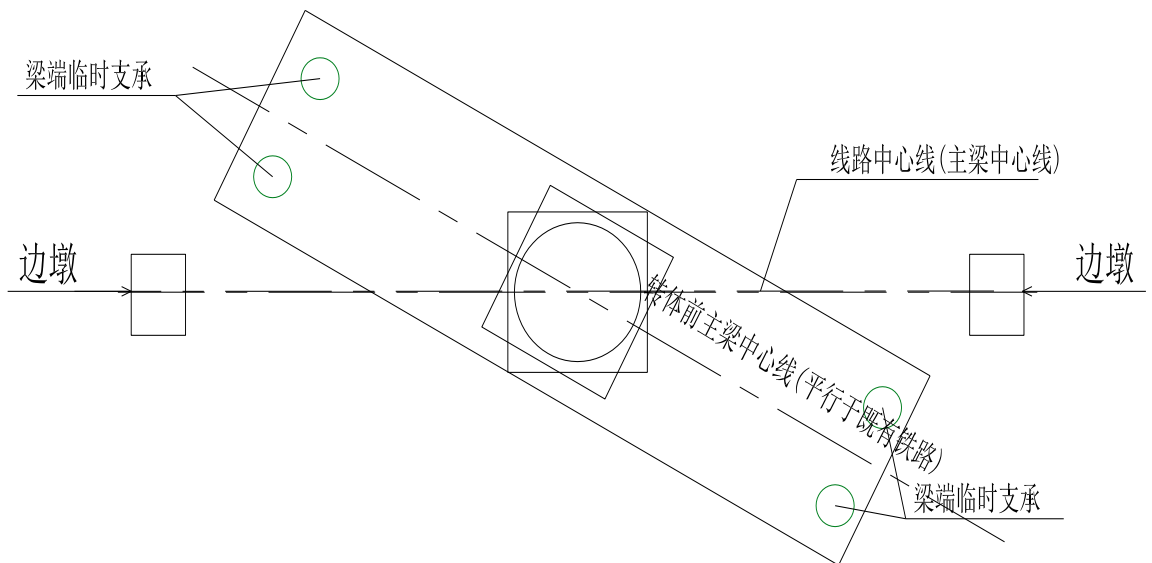
一号段支架



第二梁段支架图

## 2) 临时支墩支架及基础设置

因临时支墩位置的重要及支架设置的独特性，临时支墩设置作单独考虑。梁端处(转体前的主梁梁端)设置临时支墩，支墩纵向支承点距梁端 1.0m，横向与主梁腹板中心对齐；单侧梁端临时支墩承受不少于 10000kN 的竖向荷载。



转体前(支架现浇时)主梁梁端临时支墩设置：采用管桩基础(40 根，桩径 500mm)+承台(管桩伸入承台 10cm)+钢筋混凝土柱+两层 I63 工字钢上铺两层 14mm 厚钢板，钢板上放置混凝土预制块支撑。

## 5.2.3.3、T 构箱梁施工

梁部为变截面预应力混凝土箱梁，单箱单室直腹板截面，主墩墩顶截面梁高为 1180cm，边支点梁高为 440cm。其底缘按 1.8 次抛物线进行过度变化，主梁全长 231.6m。

#### 1、T 构箱梁混凝土施工

沿平行既有铁路方向搭设支架，第一梁段施工完并张拉后才能施工第二梁段，第二梁段施工完成后张拉（第一与第二梁段施工期间同时预制三、四、五梁段）。

施工湿接缝（第二与三，第三与第四，第四与第五梁段采用湿接缝连接），再整体张拉主梁预应力钢束，形成梁长共 231.6m 的双悬臂主梁。

箱梁混凝土浇筑完成达到一定程度后，按照设计张拉顺序进行预应力施工，张拉时采用应力与伸长量双控制，压浆采用真空辅助压浆。纵向钢绞线的张拉是控制工期的关键工序，张拉预应力钢绞线前，作好孔道摩阻力测试，并同计算值进行比较。横向预应力筋在节段纵向预应力筋张拉完成后张拉，张拉顺序为先纵向再横向，最后为竖向预应力筋的张拉。

#### 2、桥面系施工

为减少上部结构施工对客专干扰，在梁体转体前，安排跨铁路线部分的防撞护栏、防护网施工，保证转体后不需要在铁路线限界内作业，以确保铁路运营和安全。

#### 3、支架拆除和体系转换

待预应力完成后达到拆架要求时先将第一、二梁段下方支架拆除，再依次拆除第四梁段支架、第五梁段支架、第三梁段支架。支架拆除后梁端部支撑于临时支墩上，主梁的支架拆除对称、同步进行。施工过程中拆除一部分支架后，剩余支架的受力增大，拆除第三梁段时采用千斤顶支顶，支架拆除后缓慢下降千斤顶达到完全脱开，支架拆除过程中要密切观测支架及主梁的变形情况，发现异常即刻停止拆除；拆除支架时，梁端临时支墩暂不拆除。

#### 4、主梁落梁

基本原理是利用临时支墩上方的千斤顶配合砼预制块徐徐落下，；落梁时大、小里程梁端同步进行，同一梁端左、右侧腹板同时进行；主梁竖向位移完全发生，千斤顶同混凝土预制块与主梁脱离，主梁呈两侧悬臂状态。

支架搭设时于梁端腹板下预制块相临位置预留千斤顶上顶点，纵向距梁端 1.3m，横向与主梁腹板中心对齐；千斤顶位于工字钢上方。落梁时采用千斤顶配合混凝土预制块共同主导梁体缓慢、同步、均速落梁。具体操作方式为：支架拆除过程中及拆除后千斤顶暂不受力，混凝土预制块作为支撑。





落梁开始时，四台千斤顶缓慢、同步、均速向上顶起（不大于 5mm），于预制块不受压力时从预制块中取出最上部高度为 25cm 的块体（预制块为 25cm 厚度，长宽均为 60cm 的 c40 砼块），而后四台千斤顶缓慢、同步、均速下落，待混凝土预制块受压后，调整千斤顶高度，而后采用相同的方法，先缓慢、同步、均速向上顶起使混凝土预制件不受压，而后落梁 5cm，持荷 15min；以此类推，直至梁体达到完全悬臂状态。

#### 5.2.5、T 构平衡控制

##### 1、控制 T 构平衡的目的

理想的转动体系必须具备易于转动和安全稳定这两个基本条件。转动施工的关键构件就是承载整个转动重量的转动球铰，而转动球铰摩擦体系的大小直接影响着转体时所需牵引力矩的大小。在施工支架完全拆除后及在转体过程中，转动体的自平衡或配重平衡又对施工过程的安全性起着至关重要的作用。为保证桥梁转体的顺利进行，为大桥转体阶段的指挥和决策提供依据，在转体前进行称重实验，测试转体梁横向不平衡力矩、纵向不平衡力矩、摩擦系数、转体姿态分析，最后进行平衡配重，达到控制 T 构平衡转体的目的。

##### 2、称重实验

本试验在上转盘下施加顶力。在距转体中心线约 5m 处设置四台 4000kN 的千斤顶，分别对转体梁进行顶放，同时在上转盘底四周布置 4 个位移传感器，用以测试球铰的微小转动。这样就分别用位移计测出由静摩擦状态到动摩擦状态的临界值，由位移反算内力，上转盘两侧 T 构的内力差值即为 T 构的不平衡重量。然后在重量差的一段在第一梁段吊装混凝土块进行配重，在重新测定内力差值，以此反复直至平衡为止。

#### 5.2.6、T 构桥转体控制

## 1、脱架及转动体系的形成

当梁部强度和龄期满足要求，且纵向预应力已经张拉完成，至此即具备了转动体系脱架的条件。脱架并形成转动体系的目标是要求脱架完成后，转动体系的重量全部支承在下球铰上安装的四氟乙烯片上，这时整个转动体系的标高下降数量理论上是四氟乙烯片承受的压力产生的弹性压缩值，它取决于正压力和四氟乙烯片材料的弹模。

脱架完成后，转动体系的重量不应该支承在撑脚和环道上。所以在安装撑脚时撑脚与环道之间留置 3.0cm 空隙。如果脱架后，撑脚底钢板与环道钢板间隙偏大，在撑脚下临时挂一块适当厚度的钢板随同转体，增加防倾斜的保险度。

脱架步骤：清除上下承台间杂物→拆除撑脚下钢楔块→拧开砂箱卸砂孔螺栓→使砂箱内砂自然流出或用高压水枪冲击→移走砂箱→转动体系形成。为了判断转动体系脱架前后实际的重心偏离情况，在浇筑上承台时在其四周设置永久观测标志，并在施工全过程观测记录（精度 0.5mm）它们的变化。如果脱架后，上盘四周标高是均匀下沉，则初步判断重心状态与设计要求基本吻合。



## 2、试转体

正式转动之前，进行结构转体试运转，对各种设备进行初步调试及检验，对人员、物资等对各项准备进行演练，找到正式转体数据，为正式转体做好数据参考：

找出角速度，线速度，惯性制动距离，采取点动式操作，测量每 1s、6s、10s、20s、

60s 等点动一次悬臂端所转动水平弧线距离的数据，进行精确定位提供操作依据；

检验启动设备，打开主控台，启动泵站，用主控台千斤顶，看两台千斤顶能否启动转体。启用事先准备好的辅助顶推千斤顶，按照加力方案同时施力，以克服静摩擦阻力来启动桥梁转动。

### 3 正式转体

因跨越繁忙铁路干线，梁体构造特殊性，前期对转体方案进行可靠性检测。

提前 1 个月将施工方案、计划报相关铁路管理部门，于箱梁翼板外缘设置安全防护网；认真清理箱梁内外的杂物，用高密度钢丝网封住箱梁两端，禁止非施工人员进入施工区域。除因转体所的配重外，其他机械设备、材料一律不得留在箱梁顶上。

拆除上、下转盘间支撑沙箱；解除多余约束全面检查转体结构各关键受力部位是否有裂缝及异常情况。通过监测标出 T 构的重心，若出现重心偏移，采用配重，以满足平衡转动条件。处理完毕后转体结构静置监测，监测时间大于 2 小时。

在下承台顶布置转体牵引系统的设备、工具、锚具、连接好控制台、泵站、千斤顶间的信号线，连接控制台、泵站电源，接好泵站与千斤顶间的油路并将设备调试完毕。

人工理顺钢绞线，将钢绞线牵引索顺着牵引方向绕过转盘后穿入 2500kN 连续千斤顶，先用 1-5KN 逐根对钢绞线预紧，保证每根钢绞线受力均匀；再在 2MPa 油压下对该束钢绞线整体预紧，使同一束牵引索各根钢绞线持力基本一致，预紧应采取对称方式进行。

打开主控台及泵站电源，启动泵站，用主控台控制两台千斤顶同时施力转体。若不能转动，则施以事先准备好的辅助顶推千斤顶同时出力，以克服超静摩阻力来启动桥梁转动，若还不能启动，则停止试转，另行研究处理。

转体时，记录时间和速度，根据实测结果与计算结果比对进行调整转速，即做好两项重要数据的测试工作。

检查转体结构是否平衡稳定，有无故障，关键受力部位是否发生变形开裂等异常情况。如有异常情况发生，则停止试转，查明原因并采取相应措施整改处理后继续试转。

当转动体系快到预定位置时，迅速将 2 台 2500KN 螺旋千斤顶、型钢、钢板对称地安放到助推反力孔上作为限位装置，防止转体到位后继续前行。限位装置作为转动单元微调装置。通过观察上承台轴线上悬挂的锤球与下承台轴线的差值以及测量人员测量的数据，调整助推千斤顶的顶推速度，采用经纬仪校正箱梁端头中线指挥转动单元就位，中线偏差不大于 15mm。转动单元就位后，利用备用的型钢、螺旋千斤顶、钢楔子将转盘固定，防止风或其他因素引起转动体发生位移。

#### 4、备用方案

利用反力孔插入钢棒后设置反力梁形成反力支座，千斤顶撑于反力梁上对钢撑脚形成顶推力，并用倒链在钢撑脚前端形成拉力，使转动体系缓慢转动。当千斤顶行程无法满足顶推时在反力梁位置加设垫板，或是前移反力支座后继续顶推。千斤顶、倒链对称布置，采用250t机械千斤顶。

#### 5、限位措施

借助反力孔对转体进行限位，具体方法为在反力孔内插入钢棒，架设限位梁，限位梁与撑脚接触位置小于设计角度 $1^{\circ}$ ，保证有一定的调节余地，限位梁对称布置。

##### 5.2.7 转动单元的精调

精调的目的是为了保证转体后桥体符合设计要求。在下承台顶面与纵横桥向较低位置分别安放2台4000KN千斤顶，对桥体的纵横向高程进行调整。整个精调过程中，利用电子水准仪对纵横桥向高程进行准确测量；利用全站仪对桥梁轴线进行跟踪监测。在梁顶高程、纵轴线符合设计要求后，在钢撑脚下均楔入4个小钢楔子，完成T构精调。精调过程中控制顶升力不超过设计限值，并在千斤顶顶面和上承台底面之间设置2I28型钢 $\delta=50\text{mm}$ 的钢板以扩散局部应力。

##### 5.2.8、辅墩处梁端顶梁及支撑

转体结束并完成精调后对边墩以及梁段进行处理，利用千斤顶起顶位置边墩上——距梁段端部1.6m处位置下方对称设置两个千斤顶作为顶梁设备。

因梁底与墩柱之间间隙为1.4m(垫石高1.205m，支座高0.2m)，千斤顶施加顶力，此工作平台满足上顶操作。

主梁转体到位后，利用千斤顶在梁端处施加竖向上顶力，向上顶起主梁，顶梁施工工艺与落梁相反，工艺原理相同，标高到位后安装支座。

施工中注意：顶梁时观察梁段裂缝发展情况，顶5cm后距离后静置30min时间。当上顶力达到设计值，梁端主梁标高等于设计标高，加强施工监控以确保上顶力达到设计值，主梁标高与设计相符。为方便支座安装，当上顶力数值及梁端标高达到设计值后，向上再多顶5mm。并事先于梁端位置安装支座(为防止支座滑落，于梁端腹板位置将支座固定)，布设垫石钢筋并且预留垫石孔位。

##### 5.2.9 锁定与封绞

本桥位于大坡度上，顶梁完毕后两端梁部上顶力不一致，顶梁到位后将球铰释放固定，应力释放平均后再进行封绞。

精调结束后，立即在钢撑脚与内外助推反力支座之间安放型钢反力架，对转动单元进行锁定。然后清洗滑道上的润滑剂、清理底盘上表面脏物，焊接上下承台间的预埋钢筋、钢件、绑扎钢筋，立模浇筑 C55 微膨胀混凝土封绞，加强养护，使承台形成整体。

施工中注意事项：顶梁应力完全释放后进行封绞，同时要注意封绞混凝土的填充密实情况，在上、下承台施工时预埋压浆管，对封绞混凝土与上承台底面之间进行压浆填充。压浆管埋置从下向上埋置，以保证压浆时填充密实及压浆管通畅。

张拉剩余所有纵向预应力钢束，待所有预应力钢束张拉、灌浆完毕，浇筑辅墩支撑垫石混凝土，安装支座，支座安装就位后拆除临时支撑，主梁支撑在支座上，上顶力转化为支座支反力；梁体混凝土施工、钢板及上座板套筒安装在前，下座板套筒及支座安装在后。

### 5.3、劳动力组织

主要工序劳动力组织情况表详见表 5.3。

**主要工序劳动力组织情况表**

序号	项目名称	所需人数	备注
1	钻孔灌注桩	36	
2	承台施工	24	
3	球铰安装	18	
4	撑脚、滑道、砂箱施工安装	12	
5	支架制作安装	32	
6	模板安装	24	
7	T 构预制	48	
8	预应力施工	24	
9	钢筋制安	32	
10	顶落梁施工	12	
11	转体施工	24	
12	不平衡称重	8	
13	应力及线性监控	16	
14	封绞施工	18	
合计		328	



## 6. 材料及设备

### 6.1 材料

本桥特殊材料主要有：

1、球铰钢板：转体球铰的球面板采用 Q345 钢板，钢板的化学成分及机械性能符合 GB1591 的有关规定。

(2)转体球铰的加强肋板采用 Q235 钢板，钢板的化学成分及机械性能符合 GB700 的有关规定。

(3)转体球铰的销轴采用 45 锻钢，材料的化学成份及机械性能符合 GB/T17107 的有关规定。

(4)支座骨架采用 Q235 角钢，材料的化学成分及机械性能符合 GB700 的有关规定。

2、滑道钢板：滑道钢板厚度 20mm、宽度 1150mm。加工时按 4 等分加工，现场安装拼装成整体。

3、撑脚及砂箱：撑脚采用  $\Phi 900 \times 16\text{mm}$  型 Q235A 材质，砂箱选用  $\Phi 500\text{mm} \delta 15\text{mm}$  与  $\Phi 460\text{mm} \delta 15\text{mm}$  钢管组合而成，详见图 4-18，砂箱内用砂选用干燥细砂。砂箱上部钢管内填充微膨胀性混凝土，采用 M24mm 螺栓封闭，

### 6.2 设备

本桥设备主要详见表 6.2-1

表 6.2-1：主要设备表

序号	项目	名称	数量	性能指标
1	支架拆除	自锁式千斤顶	8	500t
2	不平衡称重	应变式位移传感器	4	量程 $\pm 5\text{mm}$ ，精度 1/1000，线性度大于 0.2%。
3	不平衡称重	数据采集分析系统	1	采样率 100 万次/秒，分辨率 12bit
4	不平衡称重	千斤顶	4	500t
5	转体	全自动连续千斤顶	2	ZLD2000 型连续千斤顶；牵引力 2500KN
6	转体	液压泵台	2	AC380V
7	转体	主控台	1	AC220V 控制全自动千斤顶
8	转体	反力梁	2	
9	监控	全站仪及电子水准仪	2	
10	落梁及顶梁	自锁式千斤顶	4	500t

## 7. 质量控制

### 7.1 质量控制依据

2、《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204—2002，2011 年版)

3、《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB10424—2010

4、《铁路混凝土工程施工技术指南》(铁建设(2010)241 号)

5、《客货共线铁路桥涵工程施工技术指南》TZ 203-2008 号

6、《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB10424-2010

- 7、《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T50081-2002
- 8、《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T50080-2002
- 9、《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》GBJ 82-85
- 10、《铁路桥涵工程施工安全技术规程》(TB10303-2009)
- 11、《铁路桥涵工程验收暂行标准》
- 12、《国家三、四等水准测量规范》(GB/T 12898—2009)
- 13、《国家一、二等水准测量规范》(GB/T 12897-2006)
- 14、《国家三角测量规范》(GB/T 17942-2000)
- 15、《全球定位系统(GPS)测量规范》(GB/T 18314—2009)
- 16、城际公司指导性施工组织设计
- 17、《新建武汉至黄石城际铁路站前工程施工图余家湾上行特大桥(2\*115mT 构方案)》

(武黄施图(桥)-39)

- 18、《铁路后张法预应力混凝土梁管道压浆技术条件》TB/T3192-2008
- 19、《铁路预应力筋用夹片式锚具、夹片和连接器技术条件》TB/T3193-2008
- 20、《预应力混凝土用钢绞线》TB/T5224-2003

相关设计及施工规范，制定质量标准。

## 7.2 技术指标

### 1 转体钢球铰制作精度

- 1) 球面光洁度不小于 $\nabla 3$ ;
- 2) 球面各处的曲率应相等，其曲率半径之差 $\pm 0.5\text{mm}$ ;
- 3) 边缘各点的高程差 $\nabla 1\text{mm}$ ;
- 4) 椭圆度 $\nabla 1.5\text{mm}$ ;
- 5) 各镶嵌四氟板块顶面应位于同一球面上，其误差 $\nabla 0.2\text{mm}$ ;
- 6) 球铰上下锅形心轴、球铰转动中心轴重合。

### 2 转体钢球铰安装精度

- 1) 球铰安装顶口务必水平，其顶面任两点误差 $\nabla 1\text{mm}$ ;
- 2) 球铰转动中心务必位于设计位置，其误差：顺桥向 $\pm 1\text{mm}$ ，横桥向 $\pm 1.5\text{mm}$ 。

### 3. 滑道安装精度

- 1) 滑道骨架顶面平整度偏差 $\nabla 5\text{mm}$ ;
- 2) 滑道顶面局部平整度偏差 $\nabla 0.5\text{mm}$ ;

3)滑道顶面相对高差 $\geq 2\text{mm}$ 。

#### 4. 转体就位精度

1)转体就位轴向误差  $\pm 20\text{mm}$ ;

2)转体就位高程误差  $\pm 10\text{mm}$ 。

### 7.3 质量控制措施

7.3.1 建立质量保证体系,开展全面质量管理活动,各工序指派专人负责,技术人员跟班作业;

7.3.2 搞好操作工人进行严格的岗位培训、技术培训,做到技术过硬,操作熟练,避免违章作业;

7.3.3 做好各种材料、机具、设备的进场验收和使用前复查工作,严格按照程序管理,未经复查严禁使用,复查不合格的绝不使用;

7.3.4 在关键工序施工前必须做好试验工作,以确保设计参数的准确性及施工操作的可靠性,做到心中有数,应对有方,在可控的情况下进行操作;

### 7.4 质量控制要点

对本工法容易出现故障的关键工序一定要严格把关,防止出现难以弥补的缺陷或质量事故。

7.4.1 球铰安装 球铰安装要确保位置准确,一定要与计算的重心位置一致,通过多次测量符合及理论模拟计算,确认无误后在固定进行下一步。球铰销轴安装空隙严格把关,过大则容易转体倾覆,过小则容易摩阻力太大转体困难。

7.4.2 预应力施工 箱梁预应力施工纵向腹板下方预应力孔位置在即将张拉时预先将支架拆除留出  $1.3 \times 0.8\text{m}$  的空间,且于梁体上设置吊环以方便预应力张拉。张拉时严格按照现场试验调整好的张拉参数进行,并严格按照张拉顺序,从一端逐步张拉,防止支架受力增加垮塌。

7.4.3 顶落梁施工 严格按照顶力与位移双控,加强施工监控以确保上顶力达到设计值,主梁标高与设计相符。为方便支座安装,当上顶力数值及梁端标高达到设计值后,向上再多顶  $5\text{mm}$ 。

## 8. 安全措施

### 8.1 安全管理措施

8.1.1 建立健全安全组织机构，成立安全生产领导小组。加强安全管理及与铁路有关部门安全联防联控。配置专职安全工程师和安全员，安全工程师负责安全监督检查指导工作，安全员负责施工现场安全防护。

8.1.2 认真落实安全生产责任制，明确各级安全管理人员职责。项目部、施工队、工班、工班与个人逐级签订安全生产包保责任状，形成自上而下齐抓共管、群防群治的安全保证体系。

8.1.3 每个分项工程施工前，通过安全教育活动让每一位员工都了解，对安全预案做到心中有数，并聘请有关专家对关键工序的施工方案把关。

## **8.2 安全技术措施**

8.2.1 开挖承台基坑时对路基边坡采用机械钻孔桩进行防护，并做冠梁形成整体，增加受力；

8.2.2 施工转体墩墩身及 T 构箱梁时，严格防止机具设备侵限，在靠近铁路一侧进行防护防止触电，防止人员、物体坠落；

8.2.3 施工前对转体 T 构进行了称重试验，并进行了配重，保证转体 T 构转动姿态平稳，避免了在转体过程中出现倾斜现象；

8.2.4 T 构转体时，防铁路电气化立柱等超高，防转体 T 构转过高压线产生感应电，防坠落以及铁路封锁要点安全防护；

8.2.5 转体过程中测量工作要认真负责，做到转体过程连续观测，测量数据及时整理汇报。转体中进行全程跟踪监测，确保转体系统的稳定剂结构安全

## **8.3 安全应急措施**

8.3.1 成立应急组织机构，配备充足的应急资源。按照“以人为本”和“快速有效救援”的原则，制定应急救援预案，确保突发事件时能够迅速启动应急预案程序，便于应急救援实施，把事故造成的损失降到最低。

8.3.2 如果在转体过程中出现 T 构不平衡的现象，根据监控量测组量测结果，经理论推算后，在转动前用设计院或委托单位制定的配载方案，现场配重法调整 T 构两端的重量，使结构中心尽量和转轴中心重合。

8.3.3 根据检算，正常情况下两侧 2 台 250t 连续型牵引千斤顶完全可以满足转体正常起动，当首次不能正常起动时，立即借助已经安装到位的二台助推千斤顶均匀加力，使结构转动。

8.3.4 牵引系统发生故障有两种类型 a、牵引索张拉端锚固端是否滑束，钢丝绳是否断、

滑丝；b、施工设备故障。

如发现上述现象发生，对其结构的安全影响进行评估，确定是否采取安全措施。针对第1种情况，采用增加钢束数量（已经采取，目前设计采用钢绞线所能承受总拉力已经远远超过千斤顶最大张拉能力）、在张拉前对每根钢绞线预先分别施加应力预紧（计划采取）；针对第2种情况，转体前对设备进行校验，同时点前2天进行试转以检验设备的可靠性，配备熟练操作人员及经验丰富的指挥人员，以立即排除故障等处理措施。

8.3.5 突然停电立即启用启动发电机供电。转体前收集天气预报情况，避开3级以上大风及雨雾天气。

8.3.6 危及营业线行车安全应急预案：本着“先防护、后处理、宁停勿撞”的原则，尽一切可能减少故障影响的时间和范围，减少故障造成的损失；尽快恢复行车设备的正常运营。

## 9. 环保措施

9.1 优化施工设计，减少对周边环境的破坏。总体布置尽可能的利用铁路两侧地形条件，尽可能的利用永久性设施，排水系统的设计尽可能的和周边环境相协调。

9.2 施工中的建筑垃圾、开挖中的废渣、施工中的废水等的排放、废弃物的堆积按工程建设指定的地点和方案进行合理堆放和处治。

9.3 车辆进出工地不得超限、超速运输，防止沿途撒漏产生较大的粉尘。

9.4 施工噪声防治措施 施工现场用围墙进行封闭式管理，避免施工人员对周边的干扰，并调整施工噪声分布时间，将容易产生噪声污染的分项如砼施工等尽量安排的白天；对设备进行定期检修，做到机械及设备正常运转，降低噪声，对机械运转过程中，机械管理人员定时检查，发现机械运转异常时查明原因并进行检修。

## 10. 效益分析

本工法创新的使用单墩一次转体转体后直接到位不设置合拢段的独特施工方法，与同类工法相比，由于工程施工集中，场地容易布置，有利于文明施工，同时工程施工进度快，节约的大量工期，而且干扰因素少，各种资源能很好合理周转利用，避免了资源的无序浪费，同时节约了场地占用，也节约了大量既有设备的拆迁。

同时采用新颖技术将适合转体的但又难以转体的桥梁顺利进行了转体施工，为以后桥梁工程在类似情况下的设计施工提供了可行的依据和技术指标，新的技术也促进桥梁施工技术进步，社会及环境效益明显。



## 11. 应用实例

余家湾上行特大桥 T 构位于湖北省武汉市洪山区余家湾车站附近,为整个武黄城际铁路工程的关键性节点。由中铁十一局集团三公司担负施工的跨京广铁路转体桥为武黄城际铁路上跨京广铁路而设,为了减少上跨施工对铁路运输的影响,采用平面转体法施工。

转体单元为 2\*116.8m 跨度的 T 形刚构,转体重量为 14500t,转体角度为 26°。施工时先在铁路两侧沿铁路方向支架现浇 2×116.8m T 构箱梁,T 构箱梁完成后逆时针转体。

京广铁路行车密度大,平均每 5min 就有一趟列车通行。桥位处地下有各种光电缆,转体 T 构箱梁下有 2.75 万伏接触网供电线,转体桥从桩基础施工开始,到正式转体施工,对京广铁路都必须采取严密的安全防护措施。

正式转动之前,进行了结构转体试运转,检查了牵引动力系统及转体体系、位控体系、防倾保险体系等是否状态良好。2012 年 12 月 27 日,采用 ZLD2000 型连续千斤顶,对 T 构箱梁进行了试转,在没用辅助千斤顶的情况下,用拽拉千斤顶取得了试转的成功。试转对转体结构及拽拉设备进行了检验,对理论计算的各项参数进行了复核验证,通过对转体 T 构箱梁试转前后实测高程数据对照,转体前后高程无明显变化,整个转体过程在同一平面内,而且稳定平顺。

2012 年 12 月 28 日 30 至 14 时 30 分,跨京广铁路转体桥进行了正式转体,转动距离 52m,用时 85min,整个转体过程 T 构箱梁平稳安全、设备运转正常,各项参数满足要求,与理论计算相符合,转体取得了成功。

由于 T 型刚构支架采用墩梁式支架法方案,减小了铁路接触网迁改数量级两侧大量管线的迁改过渡和恢复工程,节约施工成本 190 万元;大节段现浇施工湿接缝连接梁段施工仅需要 3 个月,比挂蓝施工(需要 30 个节段)提前 6 个月,节约人工费及设备费用 265 万元,转体施工工艺减少挂蓝悬臂浇筑封锁要点 60 次,减少成本 112 万元,以上共计节约成本 567 万元。

武黄城际铁路余家湾上行特大桥 T 构是全国跨度最大的转体桥。通过跨京广铁路转体桥的工程实践,掌握了 T 构平面快速转体施工的关键技术,验证了转体施工的多项技术参数。转体施工与普通的施工法相比节约资金,不中断铁路运营,将安全风险减到了最小,为铁路运营部门安全顺畅的行车创造了条件。