

跨铁路连续梁转体施工技术

杨娅

中铁二十局集团有限公司

摘要：本文介绍特大桥跨既有铁路连续梁转体设计、施工技术，主要有下承台、下转盘、下球铰及滑道施工，安装球铰、撑脚及转体临时设备施工要求，以及上转盘、墩身、主梁转体施工控制措施，对同类施工提供借鉴。

关键词：特大桥；跨铁路；连续梁；转体

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.09.064

一、研究背景

本文研究内容以新建西安至延安铁路铜川至延安段站前工程交口镇北洛河特大桥上跨包西线转体连续梁转体施工为背景。

二、工程概况

交口镇北洛河特大桥中心里程为DK187+395，全长908.77m，墩高31m，墩台总数26个。22#墩高33.5m、23#墩高31m，在DK187+691.15（22#墩）~DK187+746（23#墩）以（2×64）mT构上跨既有包西铁路，角度为18°，为保证铁路运营安全，减少施工过程中对既有铁路的运营干扰，64mT构采用转体法施工，转体平角72°。施工布置见图1。

三、转体连续梁、T构施工

（一）转体桥梁施工工艺流程

下承台施工→球铰及滑道安装→0.5m厚下转盘施工→安装球铰、撑脚及转体临时设备等→浇筑上转盘混凝土→墩身施工→进入梁部施工阶段→在墩顶施工0号块（保证墩梁临时固结）→对称施工现浇梁段→拆除上、下转盘临时锁定，将主梁及桥墩顺时旋转到位后，施工

墩底封铰混凝土，固接上下转盘→适时施工边直段→主梁转体到位，先合龙边跨，再合龙中跨。

（二）下承台施工

承台土方采用人工配合机械开挖、立组合钢模浇筑。人工风镐凿除桩头，按规定进行基底处理，绑扎钢筋网、支立组合钢模，混凝土采用搅拌运输车运输至现场，泵送入模，水平分层浇筑，插入式振动器捣固密实，接缝混凝土表面需凿毛洗净，施工时预埋冷却水管，并做好通水冷却工作，承台施工完成后冷却管内需注满水泥浆，以避免内外温差过大产生裂纹，保证混凝土质量。

（三）下转盘、下球铰及滑道施工

作为转体活动中的重要部件，下转盘的主要作用是作为上部转体活动提供支撑，维持转体过程的安全性及稳定性。在具体的施工中，需进行下转盘、下球铰及滑道作业，其中所布置的下转盘结构为四边形，和桩基承台、承台平面形状相对应。在对其进行混凝土浇筑前，需要提前预留出钢筋接头与定位钢筋的安装空间，利于后续其他零部件的定位安装。由于下球铰及滑道作业精度要求相对较高，因此需要在混凝土浇筑活动开始前，先做好定位骨架的预埋工作，遵循先粗调后精调原则，借助螺栓来完成结构的精准定位，定位精度偏差不能超过0.5mm，校核各项参数精准度均满足要求后，再进行混凝土浇筑作业。

（四）安装球铰、撑脚及转体临时设备

进入到该作业环节后，首要任务是对上球铰进行保护，具体的保护措施如下：先使用黄油均匀涂抹上球

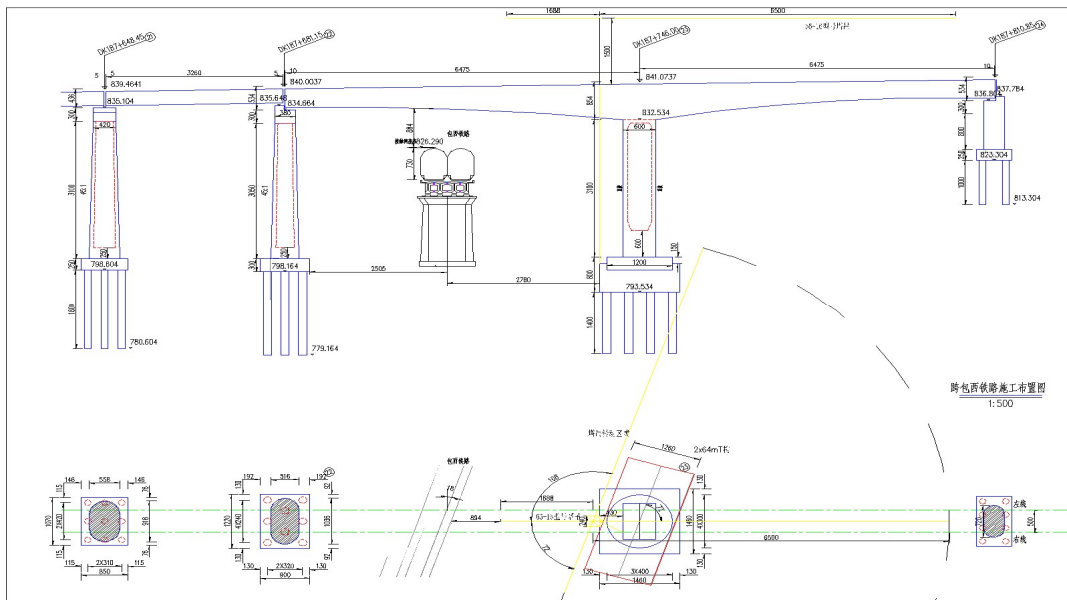


图1 跨包西铁路线施工布置图

较凸球面，随后再使用防水塑料布将整个结构包裹起来，确保结构严密性后，将其放置在木块（厚度不低于10cm）上。在下球较面的施工阶段，需要在球面上均匀涂抹黄油四氟粉，并且在对球体进行转动前，也需要提前在定位轴套管和球铰转动面内部填充油脂（通常需要将结构填满，保证其拥有足够的转动能力），同时在前期需控制好注油孔的预埋位置，确保注油活动的顺利进行。在整个转体运动中，上转盘撑脚属于保证结构安全的重要载体，为提升整个作业活动的安全性，在对撑脚进行预埋时，应保持对称布置的状态，以保证整个结构的均匀受力。同时在撑脚结构的下方会提前设置滑道，在整个结构的转体过程中，通过确保撑脚都可以在滑道当中进行滑动，以此来提高整个转体过程的稳定性与安全性。需要注意的是，为了保证转体过程的顺利实施，需整个滑道结构处于同一平面，相邻结构之间的高差偏差不能超过0.5mm。同时在撑脚设置阶段，需将其设置为圆柱形，并且在结构下方布置厚度为30mm的钢板。使用到的圆柱结构尺寸为 $\phi 800\text{mm} \times 15\text{mm}$ ，材料为钢管结构，为进一步提升其支撑性能，也会在钢管当中注入C50微膨胀混凝土。而撑脚结构会在工厂内进行统一制作，校核其质量合规后在再运输到现场进行使用。等待下转盘位置的混凝土完成灌注后，需要在上球铰安装就位时及时在支撑腿位置布置厚度为5mm的四氟乙烯滑板，借此来降低结构转动时的摩擦阻力，保证结构转动活动的稳定进行。

（五）上转盘混凝土施工

在转体活动中，上转盘属于主要的受压结构，分担主要的结构荷载。据此在整个施工活动中，需要基于上转盘的具体形状，提前做好相应的加固施工。通常会在上转盘结构外布置多层钢筋网与抗剪结构，提前做好钢筋结构的绑扎和预埋，以此来形成稳定的支撑体。在度牵引力索进行施工时，其锚固段需要布置在同一直径线上，并且保持着对称状态，而且布置的每一根锚索，其预埋高度与牵引方向应保持一致。每一根锚索的出口位置，也会和转盘中心呈中心对称状态，牵引力索的外露部分都会缠绕到转盘附近，且相互之间保持互不干扰的状态。在整个结构施工期间，也需要做好相应的保护措施，避免结构出现损坏或生锈的问题。在浇筑时应控制好浇筑顺序、浇筑速度、振捣时机控制、结构养护等工作，等待其强度达到预期后，再进行转体系统的转换施工。需要注意的是，在整个结构转体施工前需要对其进行试验，根据试验结果来调整转体过程的各项参数，确定没有问题后开始进行正式转体作业。

（六）墩身、梁部施工

该工程当中所使用到的混凝土采用了集中拌合的方式进行加工，随后利用搅拌车将其运输到作业现场进行泵送。（1）工程梁段高度较大，在对底板和腹板混凝土进行浇筑时，需利用减速漏斗进行下料施工。而且考虑到底板当中布置的钢筋数量较少，因此在混凝土浇筑工作结束后，也可以使用较大功率振捣器进行振捣作业，以加快该环节的作业进度。（2）工程中的腹板具有高度相对较大、厚度较小、配筋率较高等特点，在对其进行施工时的复杂程度较高，对此在具体施工时采用

了分层浇筑的方法进行作业，每一层浇筑厚度不能超过40cm。混凝土浇筑后振捣时，主要使用到了插入式振捣器进行作业，振捣盲区则利用人工振捣的方式进行补充。（3）工程中的顶板结构具有厚度较小、平整度要求较高等特征，在对其进行混凝土浇筑作业后，需做好振捣和平整度调整。考虑到其面积相对较大，在对其进行振捣时会采用分块作业模式，即同时启动3个或6个振捣器来对混凝土进行振捣，等待混凝土液面出现浮浆时，表示已经完成振实，随后开始使用平板振捣器来对顶板进行找平，等待表面收浆之后，还需要再进行抹平施工。（4）等待0号地完成施工后，会利用塔吊在该地块进行菱形挂篮拼装作业，检查其质量满足要求后，进入到梁段悬浇环节。为确保整个梁段混凝土都可以保持一次浇筑的状态，实践中也需要遵循0号地工艺要求展开作业。需要注意的是，在其他部位的作业阶段，需要做好竖向预应力筋预埋、配筋率控制、钢筋结构绑扎、波纹管预埋等工作，并在节点部位增加钢筋直径、钢筋网片，利用焊接的方式提高整个结构的稳固性。

（七）主梁转体

1. 试转

在整个作业活动开始前的一天，需完成试转作业，过程中会对各个细节作业质量进行检查，满足要求后进入正式作业环节。实践中的工作要点如下：

（1）对钢绞线进行预紧，该工程中会利用QDCL2000千斤顶作为主要作业工具，对于每一根钢绞线进行预紧，施加力为5~10KN，整个预紧过程应保持对称，确保每根钢绞线受力的均匀性。需要注意的是，整个预紧过程中，应保证所有钢绞线以平行的姿态缠绕在转盘上。

（2）启动主控台、泵站设备，使其可以同步施加力进行试转。

（3）试转时，需要做好转动主桥角度、悬臂端水平转动弧线距离数据，做好数据的综合分析，根据得到的分析数据来调整其他内容。

（4）试转过程中，需检查结构平衡态、关键节点受力情况、关键结构完整情况等。

（5）试转检验过程是否满足转体时间要求，利用“点动”方式来采集拉力、惯性、电泵压力值等数据，汇总上述各类数据分析结果，确定正式转体时的各项参数。

2. 正式转体

试转结束后，开始拟定配套的交底方案，待交底工作结束后，进入到正式转体环节。

（1）施工前应拟定和申报相应的日施工计划，等待审批通过后，再开始进行实时。整个转体作业活动中，应做好千斤顶工作参数的监督工作，出现异常问题时也需及时采取措施进行处理，确定故障清除掉之后，再启动设备进行后续作业。

（2）转体活动开始前，应检查所有结构的稳定性，确定其质量满足要求后再进行正式作业。作业时会缓慢增加千斤顶推力，以100KN分级施加推力，每一段推力结束后，开始进行箱梁转体，同时应做好滑动摩擦力、油泵压力等参数的记录工作，利于后续参数的动态

调整。在连续梁顺利启动后，需保持匀速转动的状态，整个作业过程也需要同步推动连续梁转动，根据实时跟踪监测数据来调整转动角度，保证梁端部位高程波动处于合理范围内。等待千斤顶第一行程结束后，开始对千斤顶进行移动，提前将预制好的钢棒直接插入到预留孔当中，随后对结构安装偏差进行调整，过程中也会适当增加推力，直到整个T型结构顺利转动。除此之外，在T构开始转动时千斤顶压力也会逐步向下调整，直到推力可以处于匀速推动T构稳定运动的状态，保持该推力直到T构顺利就位。

(3) 转体结构到达距离目标安装位置100cm时，此时系统会暂时停止继续工作，等待结构完成惯性运动后。利用“手动”状态来调整结构的继续转动，每次“点动”结束后，都需要对轴线运行数据进行一次检测，根据检测数据来调整下一次“点动”过程，直到结构转动精度满足预设要求。在整个转动过程中，需要在反力架位置提前预埋一定数量的有限位型钢和橡胶缓冲垫，若是出现超出的问题，此时则可以依托反力架这一支撑结构，来为千斤顶提供反推载体，确保结构可以顺利复位。需要注意的是，在整个转体活动中，需依托全站仪做好相关数据的监测工作。在此次施工活动中，应在桥面中心轴线合龙前1.5m内开始采集监测数据，采集间隔为10cm；若是转体进入到合龙前20cm，那么此时采集间隔为1cm；若是转体进入到合龙前5cm，那么此时采集间隔为1mm，以此来提高转体质量。

3. 转体到位后精调整

等待结构转体到位之后，开始对其进行精调整。实践中会利用微调千斤顶来对整个梁体T构线型和端部标高进行调整，并且等待转体顺利到位后，也会在整个箱梁两端布置水平仪设备，作用是采集箱梁部位的梁顶高程。根据得到的高程数据来精调梁体标高，直到整个结构达到设计位置。整个转体活动中，由于较大荷载会由球铰来承担，在此作用下容易出现结构倾斜问题，对此在整个精调活动中，需在恰当位置布置内环保险腿，搭配着千斤顶来调整其偏移参数。除此之外，在整个转体活动中，需利用撑脚作为内环保险腿，结构和下滑道之间会提前预留出3~6mm间隙，便于转体姿态调整活动的进行。

4. 转体到位后约束固定

转体结构精确就位后，即对结构进行约束固定。每座转体在上、下盘的环道之间共设置有6座助推墩，已经同下盘承台一次浇筑成整体，顶面距离上盘环道地面有10cm的缝隙。转体结构精确就位后，采用型钢和钢抄手进行抄垫固定，并用电焊将钢抄手同以上支撑顶面钢板、连同上盘环道预埋钢板立即进行全面焊接联接。在每座转体上盘环道内侧设计有8座转体平衡脚，平衡脚下面设有预埋钢板，钢板底面与承台顶面预埋钢板缝隙间除采用上述方法进行抄垫固定外，另在平衡脚环道方向两侧采用型钢加固，保证精确就位的结构不致发生轻微偏移。

5. 转体后球铰封盘

等待上述工作结束后，进入到球铰封盘作业阶段，实践中需要先将底盘表面清洗干净，同时对钢筋结构进

行焊接与安装，随后再对混凝土进行浇筑，将上转盘与下转盘组成一个整体。在此次施工活动中，所使用到的混凝土材料为微膨胀混凝土，材料坍落度控制在10~14cm，保证浇筑后的封固效果。另外，利用上转盘上8个15cm的预留孔排气，确保封铰混凝土的饱满度，保证上下盘间混凝土的整体性。

四、施工保证措施

(1) 连续梁转体前需要提前做好各项准备工作，如提交施工方案、办理相关手续、做好交通管制等，以此来确保行车与施工过程的安全性。并且整个施工过程中，也需要在无列车状态下进行，避免突发意外事故威胁行车安全。

(2) 按要求设置施工安全防护体系，如防护距离、防护信号等。提前把转体施工的使用材料、机具准备充足，以便能迅速施工，充分利用申请的转体时间。转动设施和锚固体系必须经过严格检查。

(3) 施工防护前，要与铁路有关站段要点沟通，并派专人在车站值班，随时与施工现场联络，直至施工防护完毕。在施工防护前，派防护员手持对讲机于施工地点前后800m施工全过程连续警戒，负责警戒的人同时要携带小红、黄旗，直至施工完成。

(4) 跨铁路施工必须用安全网封闭，切实做好防坠落等工作，加强对机械车辆的管理，定人、定机（车）、定员，高空作业应严格按操作规程施工。

(5) 各配电路符合安全用电要求，主控台及各泵站须搭设防雨棚，防止电气控制设备受潮；要经常检查整个系统的工作情况，特别注意检查钢绞线、反力架等受力部位的工作情况，发现异常情况，要及时停机处理。

(6) 派2名专职驻站联络员持证到车站运转室驻站和足够的现场防护员（现场和运端），待封锁施工命令下达后，驻站联络员用对讲机通知施工员专人（复诵确认行调施工命令号和封锁起止时间），待施工员安排并确认设好防护后，下达命令通知施工人员开始施工。封锁施工转体就位后，迅速进行联结固定，同时对施工范围内的线路和限界内进行清理检查，确认无误撤除防护后，方可开通封锁线路。

五、结束语

连续梁转体施工的顺利完成，说明技术措施适用于跨越既有铁路运营线连续梁转体施工，同时在球铰及滑道安装、下转盘施工、安装球铰、撑脚及转体临时设备等方面精益求精，有效的保证了跨越既有铁路运营线施工安全、混凝土的施工质量，本技术对类似工程具有借鉴作用。

参考文献

- [1] 《铁路大型临时工程和过渡工程设计规范》（Q/CR9149-2018）
- [2] 《高速铁路桥涵工程施工技术规程》（Q/CR9603-2015）
- [3] 《高速铁路桥涵工程施工质量验收标准》（TB10752-2018）
- [4] 霍雷声. 廊涿高速公路跨京广铁路、107国道大桥双转体施工方案[J]. 交通世界（建养·机械），2009，（10）：150-153.