

项目 1 车顶电器检修

【项目描述】

车顶电器是电力机车的重要组成部分，是为电力机车提供电能的特殊供电设备。由于其结构的特殊性、无备用性和对自然环境的敏感性，其发生的故障复杂多样，会造成电气化铁路供电设备损坏、供电中断和列车停运，严重威胁供电和运输安全。

HXD_{1C}型大功率交传电力机车车顶高压电器包括受电弓、真空断路器、高压电压互感器、原边电流互感器、避雷器、接地开关和高压隔离开关等部件。本项目将分为六个子任务分别介绍和谐（HXD_{1C}）型电力机车车顶各高压电器的结构特点、动作原理及检修调试步骤，使学习者能够全面掌握交传电力机车车顶高压电器的作用原理及检修维护方法。

【学习目标】

1. 熟练掌握机车车顶各高压电器的结构和控制原理。
2. 具备交传机车车顶高压电器的日常检查与维护能力。
3. 能够完成交传电力机车车顶高压电器的故障分析、判断及处理等工作任务。
4. 熟悉车顶高压电器的测试方法，能够独立完成车顶高压电器的组装调试任务。
5. 掌握现场安全操作规范。

【学习任务】

任务 1 受电弓的检查与维护

受电弓是机车从接触网获取电能的部件，在机车车顶两端各装一台。受电弓是一种铰接式的机械构件，它通过绝缘子安装于电力机车车顶。受电弓的集电头升起后与接触网导线接触，从接触网上集取电流，并将其通过车顶母线传送到车内供机车使用。

机车运行前，司机按下升弓按钮时，电磁阀得电，压缩空气通过车内各阀进入受电弓升弓装置，升弓气囊充气膨胀抬升，带动作用于下臂杆的钢丝绳，钢丝绳拉拽下臂杆使受电弓升起，使受电弓滑板与接触网接触。

当司机在司机室中按下降弓按钮时，电磁阀失电，切断供风，气囊升弓装置开始排气，受电弓靠自重下降，然后使弓头保持在两个橡胶止挡上。受电弓外形如图 1-1 所示。



图 1-1 TSG15B 型受电弓外形

当受电弓滑板磨损到限或折断时,滑板内气腔漏气,ADD 装置将动作,受电弓迅速降弓,实现自动保护功能。受电弓在工作时,气囊升弓装置一直被供以压缩空气,由于弓头采用弓头悬挂装置,使弓头具有一定的自由度,接触网高度方面较小的差异可通过弓头悬挂装置进行补偿,较大的差异,例如在桥梁上和隧道中,则通过铰链系统进行补偿,因此受电弓可随接触网的不同高度而自由地变换其高度,从而保持弓网接触压力基本恒定。

1.1 TSG15B 型受电弓结构

TSG15B 型受电弓为单臂受电弓,集电头被一个铰链系统垂向操纵,铰链系统形成一个四杆机构。由于集电头的垂向运动,机车运行方向对接触压力没有影响,因此受电弓适合在两个运行方向进行安装使用。带有滑板的集电头,将尽可能地位于转轴上方绕转轴进行自由摆动。当气囊中的气压达到调压阀的设定值时,受电弓将逐渐升起,与接触网相接触的接触压力将被确定。释放气囊中的压缩空气,受电弓将依靠自重进行降弓。压缩空气通过绝缘软管提供。

TSG15B 型受电弓总体结构如图 1-2 所示,由底架、绝缘子、铰链机构、导流线、弓头、平衡杆、升弓气囊装置、阻尼器、自动降弓装置、阀板等部件组成。

1.1.1 底 架

底架由方形钢管焊接而成,在连接处密封焊接。它包括下臂杆、拉杆、阻尼器轴承支架、气囊安装支撑架、支撑上框架和弓头橡胶止挡,其结构尺寸如图 1-3 所示。

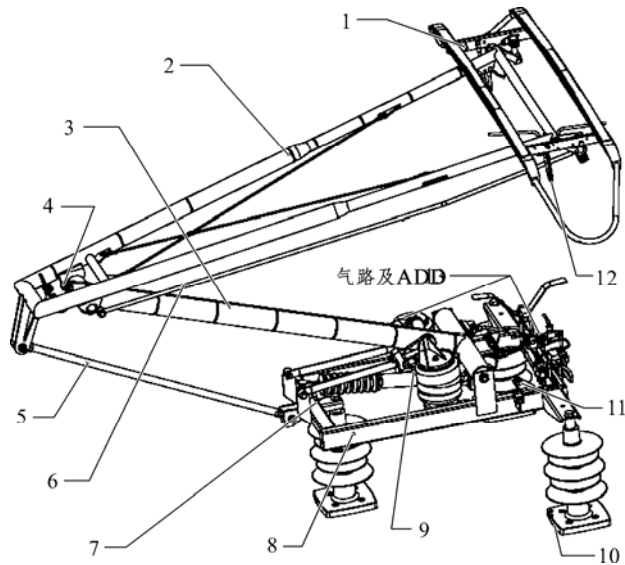


图 1-2 TSG15B 型受电弓总体结构

1—弓头；2—上框架；3—下臂杆；4—肘接电流连接组；5—拉杆；6—平衡杆；7—系统阻尼器；8—底架；9—气囊组装；10—绝缘子组装；11—底架电流连接组；12—弓头电流连接组；13—气路及 ADD

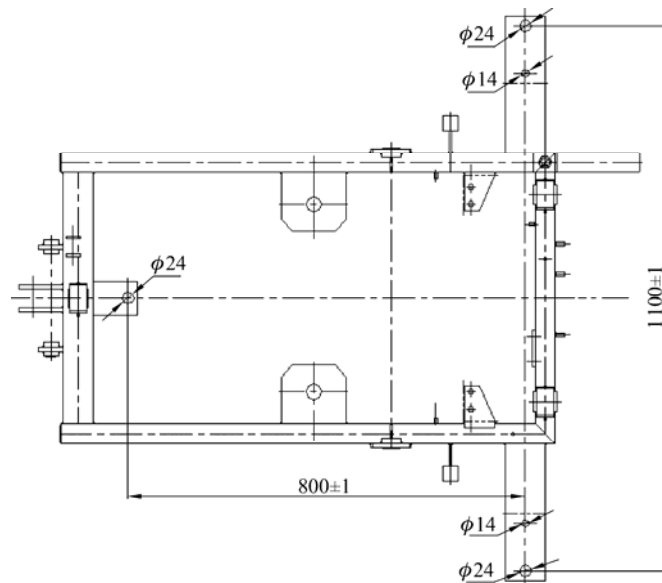


图 1-3 TSG15B 型受电弓底架

如图 1-3 所示，为了将底架安装于绝缘子之上，在底架上开有直径为 24 mm 的通孔，以便于 M20 螺纹的连接。为了便于电气连接，提供了一个接线端，接线端上开有直径为 14 mm 的通孔。接线端由不锈钢制作而成。

1.1.2 绝缘子

绝缘子主要由六角头螺栓、隔离装置、支持绝缘子等几部分组成，其外形如图 1-4 所示。

绝缘子主要技术参数如下：

标称电压	25 kV
高度	400 mm
质量	7.357 kg

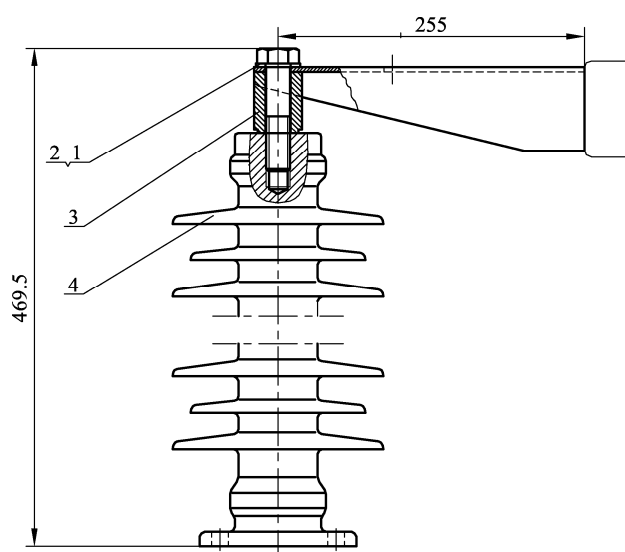


图 1-4 TSG15B 型受电弓绝缘子

1—六角头螺栓；2—平垫圈；3—隔离装置；4—支持绝缘子

1.1.3 铰链机构

铰链系统包括下臂杆、上框架和拉杆（如图 1-2 中 2、3、4 所示），和底架一起构成一个四杆机构。在这种情况下，上框架的顶管的运动轨迹将成为一条近似垂直的直线。

1. 下臂杆

下臂杆由无缝钢管在连接处密封焊接而成。它包括底架轴承管和肘接轴承管的主轴承。

轴承被密封且终生润滑。底架轴承管上装有连接气囊和阻尼器的扇形板。

2. 上框架

上框架由几段铝管、顶管和下部的肘接横管焊接而成。通过两个夹板将下横管和拉杆的上轴承连接起来。自润滑轴承被压进长横管内部，作为弓头悬挂支撑的轴承。由两个交叉的拉杆增强上框架的横向刚度。

3. 拉 杆

由拉杆进行封闭，最终组成四杆机构，围成方形链接。通过调整螺母，可以调节拉杆的长度，以调整几何结构（补偿误差）。这种调整需要在制造工厂或者在铁路的主要修理工厂由经过培训的人员进行。

1.1.4 导流线

导流线的外形结构如图 1-2 中的 13、14、15 所示，共有四条导流线短接下臂杆的轴承，两条导流线短接弓头。流过受电弓的电流，绕过滚动轴承和弓头悬挂装置的绝缘弹簧元件，通过高性能的导流线进行短接。导流线由高性能铜线组成，两端配有压型的接头。接头材料为不锈钢、铜或铝，所有的螺栓带有平垫片，采用锁紧螺母连接。在铝和铜表面之间装有专门的垫片，以避免出现电腐蚀。

1.1.5 弓 头

TSG15B 型受电弓弓头外形如图 1-5 所示，弓头滑板与弓角一起形成一个框架结构。这种设计保证弓头结构精巧，部件尽可能少，易于维护。

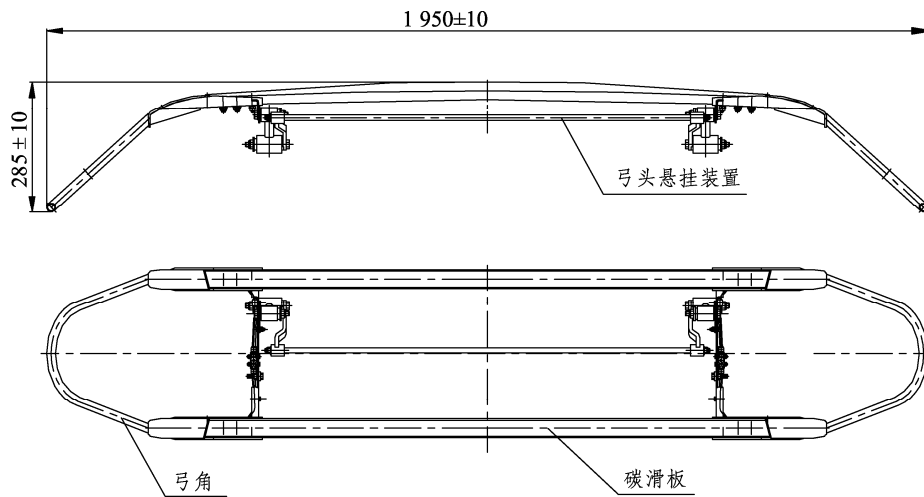


图 1-5 TSG15B 型受电弓弓头

在铁路系统，对于不同的接触网，可以安装不同轮廓尺寸的弓头。弓头装置主要包括以下几个部分：

1. 碳滑板

每条接触滑板都是由一个导电的石墨磨损件和铝托架组成。

这两个部件由粘贴工艺连接在一起。

2. 弓头悬挂装置

弓头悬挂装置由两个橡胶扭矩元件和两个 V 型链接器构成。链接器被安装在扭矩条的末端，扭矩条将橡胶元件和链接器连接在一起。橡胶弹簧元件上方的正方形被安装在弓角的横梁上，扭矩条被支撑在上框架的长横管的免维护轴承上。这种结构允许弓头尽可能地在上下框架的顶管周围沿垂直方向和水平方向自由运动。在侧向受载（接触网晃动、摇摆、过线岔）的情况下，通过扭矩条可以使弓头近似保持水平。

通过滑板的反应频率可以计算出刚度。在工作期间，对于受迫频率，悬挂弹簧表现出一个增加的刚度和低的惯性阻尼。橡胶弹簧元件是免维护的，它的各向弹性允许进行误差补偿，

并且吸收侧向振动。

为了严格保证弓头在上框架的顶管之上的高度（在第一次安装或者等同于橡胶弹簧元件处于降落状态下），弓头悬挂装置可以被调整。

3. 弓 角

弓头两端向下倾斜的弓角可以阻止受电弓发生钻弓现象。在正常环境下，接触网在受电弓的滑板范围之内运动。在过线岔时，弓角将起作用。

1.1.6 升弓气囊装置

受电弓升弓气囊装置如图 1-2 中 9 所示。在受电弓上，所需的升弓扭矩和接触压力由两个充满压缩空气的气囊通过钢丝绳和安装在下臂杆上的扇形板来产生。所需的气体压力将由一个误差为 ± 0.1 kPa 的高精度调压阀来控制。所要求的弓网接触压力通过调整气压可以方便地调整。

1.1.7 阻尼器

阻尼器的外形如图 1-2 中 7 所示。为了阻止不希望发生的受电弓的运动以及来自接触网的激励（例如来自其他列车受电弓的干扰），在受电弓的底架和下臂杆之间安装有一个阻尼器。

1.1.8 自动降弓装置

自动降弓装置如图 1-2 中 13 所示。为了防止接触网导线和受电弓滑板磨到最小磨耗极限后继续过度地磨耗，受电弓配备了气路监测系统。为了这个目的使用了特殊的碳滑板。气管通过下臂杆和上框架的连接从滑板连接到阀组（快排阀），自动降弓装置安装在底架上。

1.1.9 控制阀板

升、降弓所需的各种控制阀、带有空气过滤器的水雾分离器 and 压力开关都组装在电力机车内部的控制阀板上。气囊到滑板的连接是由气管连接。控制阀板所提供的压缩气体是干燥而且纯净的，保证受电弓的升降弓机构能正常工作。控制阀板的外形及内部管路连接如图 1-6 所示。

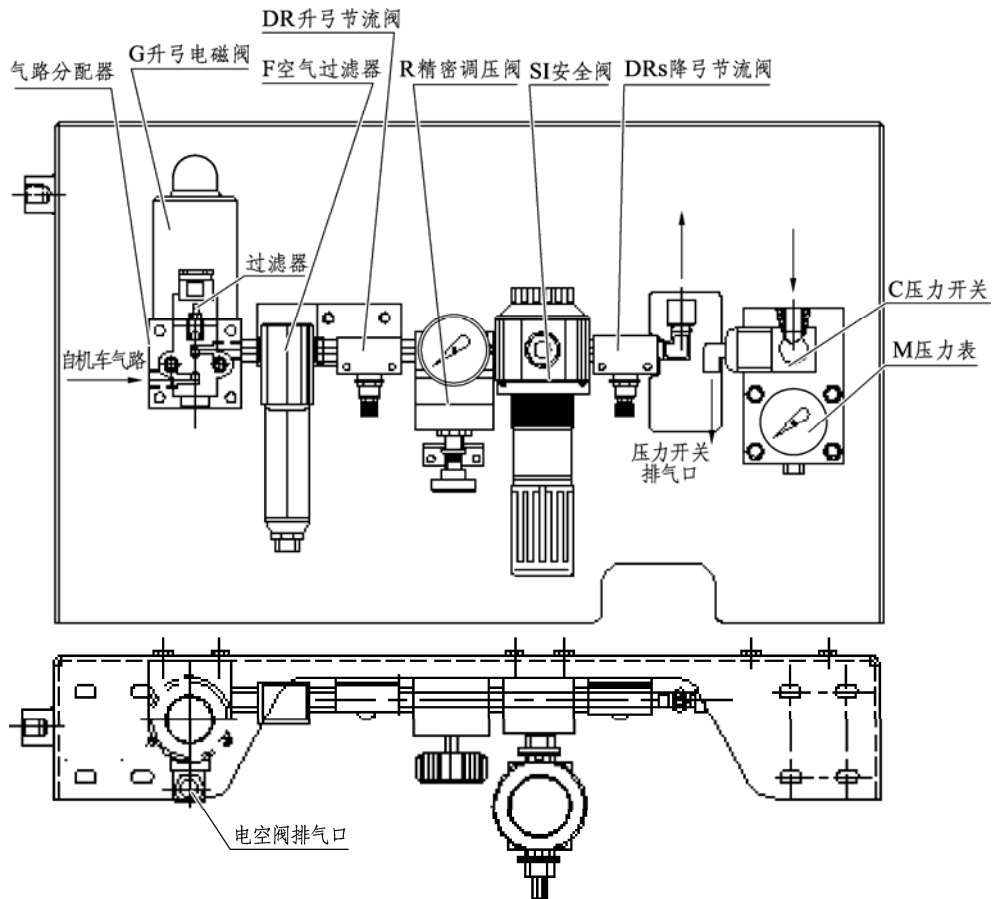


图 1-6 受电弓气阀板控制原理图

1.2 TSG15B 型受电弓工作原理

受电弓的升弓和降弓由升降弓装置进行控制，司机室的升降弓命令通过电气控制线路送达各个电磁阀，各个电磁阀的开闭实现受电弓升降弓气路控制。升降弓装置使受电弓无振动而有规律地升起，直至最大工作高度，从受电弓弓头开始上升算起，在 6~10 s 内无异常冲击地抵达接触网导线上。

升降弓装置可以使受电弓在任意高度，包括工作区间内快速降弓。降弓时，设置的缓冲

装置保证降弓的安全性，防止砸弓。

1. 弓头上升——升弓

电磁阀得电，压缩空气通过气路装置和快速降弓阀进入气囊，气囊受到压缩空气的作用膨胀抬升，使得蝴蝶座通过钢丝绳拉拽下臂杆。这样，受电弓在钢丝绳的作用下，将随着气囊膨胀的快慢而先快后慢地升弓。

受电弓在工作时，气囊升弓装置一直被供以压缩空气。由于弓头采用弓头悬挂装置，使弓头具有一定的自由度，接触网高度方面较小的差异通过弓头悬挂装置进行补偿；较大的差异，例如在桥梁上和隧道中，则通过铰链系统进行补偿。因此，受电弓可随接触网高度的变化而自由地变换其高度，从而保持弓网接触压力基本恒定。

2. 弓网接触压力

受电弓升起后，负荷电流通过接触网导线和受电弓滑板接触面引入机车车顶，受流质量与滑板及接触网导线间的接触压力、过渡电阻、接触面积有关，取决于受电弓和接触网导线之间的相互作用。

为保证牵引电流的顺利流通，受电弓和接触网导线之间必须有一定的接触压力。受电弓升弓系统施加于滑板并使之向上的垂直力为静态接触压力，一般为 70 N 或 90 N。如图 1-7 所示，弓网接触压力能直观地反映受电弓滑板和接触网导线间的接触情况，它必须符合正态分布规律，在一定范围内波动。如果太小，会增加拉弧率；如果太大，会使滑板和接触网导线间产生较大的机械磨损。

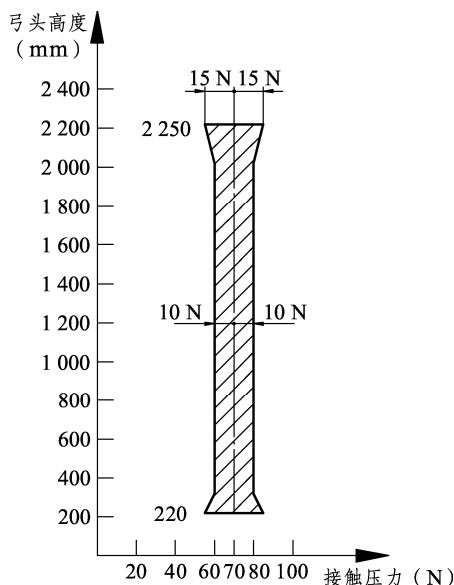


图 1-7 静态接触压力

接触网沿线各点的刚度不同，使接触网导线在受到受电弓接触压力作用时产生不同程度的上升，从而使受电弓在机车运行中产生上下振动。受电弓附加承受一个受其本身归算质量和接触网刚度所影响的上下交变的动态接触压力。同时，在运行中气流对受电弓产生一个随速度增加而迅速增加的气动力，使接触压力增加。因此在机车运行过程中，受电弓除了承受静态接触压力之外，还受到动态接触压力及气动力的作用。弓网接触压力如果太小则受流质量不佳，如果太大则会增加接触网导线和集电头接触板的磨损。为保证受电弓具有可靠的受

流质量，应尽量减小受电弓的归算质量和集电头的质量，尤其是在高速运行的时候。采用橡胶元件和阻尼装置可以减少框架和集电头的振动，抑制动态接触压力变化幅值。采用适当的框架结构形式可以提高受电弓的受流质量。弓头的性能对受流质量影响很大。

3. 弓头的下降——降弓

受电弓的下降通过受电弓的气囊升弓装置释放压缩空气来进行控制。当司机在司机室中按下降弓按钮时，电磁阀失电，切断供风，同时电磁阀阀腔通大气，快速降弓阀中的快排阀口打开，气囊升弓装置内的压缩空气通过快排阀迅速排入大气，气囊收缩，受电弓靠自重迅速地降弓，整个降弓过程先快后慢。

1.3 TSG15B 型受电弓技术参数

额定工作电压	30 kV (AC)
电压波动范围	19 ~ 31 kV (AC)
额定工作电流	1 000 A
额定运行速度	200 km/h
折叠高度 (包括支持绝缘子)	≤678 mm
最小工作高度 (从落弓位滑板面起)	220 mm
最大工作高度 (从落弓位滑板面起)	2 250 mm
最大升弓高度 (从落弓位滑板面起)	≥2 400 mm
受电弓集电头 (弓头) 长度	(1 950±10) mm
受电弓集电头 (弓头) 宽度	(330±3) mm
受电弓集电头 (弓头) 高度	(285±10) mm
滑板长度	(1 250±1) mm
受电弓集电头轮廓形状	符合 UIC608.4a 的要求

静态接触压力	(70±10) N
环境工作温度	- 40 °C ~ + 70 °C
最小工作压力	400 kPa
最大工作压力	1 000 kPa
额定工作压力 (供风)	550 kPa
静态接触压力为 70 N 时气囊压力	约 380 ~ 400 kPa
降弓位置保持力	≥150 N
升弓时间	6 ~ 10 s
降弓时间	≤6 s
总质量 (不包括支持绝缘子)	≤110 kg
安装尺寸	[(1 100×800) ±1] mm
电气区域	≤ (301±10) mm
电气间隙	≥350 mm
气路接口尺寸	G1/4"

1.4 受电弓检修

电力机车受电弓的检修是根据机车的不同检修等级,重点检查受电弓各紧固件是否齐全、完好、紧固,各软连接编织导线断股不得超过 10%,各部件状态良好,不许有变形及弯曲,保证受电弓在机车运行途中的故障率降至最低。

1.4.1 检修等级

和谐机车检修等级如表 1-1 所示。

表 1-1 和谐机车检修等级

检修等级	说 明	运行里程数	间隔期
VI	目 检	10 000 km	2 周
I1	检查 1 级	100 000 km	6 个月
I2	检查 2 级	200 000 km	1 年
I3	检查 3 级	400 000 km	2 年
R1	修正 1 级	800 000 ~ 1 200 000 km	4 ~ 6 年
R2	修正 2 级	1 600 000 ~ 2 400 000 km	8 ~ 12 年
R3	修正 3 级	3 200 000 ~ 3 600 000 km	16 ~ 18 年
UM		计划外检修	

1.4.2 检修计划

机车检修计划的具体内容如表 1-2 所示。

表 1-2 检修计划

序号	部 件	检修内容	检修等级
1	滑 板	检查滑板	VI
2	弓头、气囊、导流线、橡胶弹簧元件、升弓钢丝绳、绝缘子、密封圈和固定螺栓	检查弓头，导流线和气体装置的保护气囊。 检查受电弓的运行(升弓和降弓)和弓头的运动(运动自由，没有明显的摩擦)。 采用新滑板时检查静态接触压力。 检查弹簧元件，润滑升弓钢丝绳。更换紧固螺栓，紧固气动元件并更换新密封圈	I1-I3
3	受电弓	一般检查 检查横向变形、轴承，拆解受电弓。 更换损坏的部件，如有必要，清洁和润滑轴承，更新升弓钢丝绳，检查和更换气囊，检查橡胶弹簧元件	R1-R3

1.4.3 检修工艺

机车检修工艺如表 1-3 所示。

表 1-3 检修工艺

序号	部件	方 法	说 明
----	----	-----	-----

1	弓头和滑板的检修	<p>碳滑板经常和电网保持接触，并且是受电弓的主要磨损件。为了尽早发现损坏，每次例行检查都应对它们进行检查。</p> <p>如果接触网和其支撑点状况良好，滑板磨损应在磨损件的整个长度上均匀产生。有关使用期间的详细资料不能适用完全不同的使用条件（负载，电网的条件，冰霜等）。</p> <p>弓头弓角的磨损不是受电弓本身的故障，但偶尔会有发生。严重磨损的弓头弓角或碳滑板边上的切口是接触网故障的迹象，必须立刻处理。</p> <p>碳滑板上铝板断面的电弧痕迹说明弓网接触压力低。新的接触网粗糙，并且能够引起导致更大磨损的电弧。</p> <p>应谨慎确保用于碳滑板的定位螺钉状况良好。安装新的滑板，需要使用新的螺母。</p> <p>在使用期间，如果这种接头松动，碳滑板不会立刻导致整个受电弓受损，因为其位于一个托架内。但是如果在此条件下运行更长时间，则受电弓会钩住电网。这样就会对电网造成严重的损坏。</p> <p>操作经验表明，在更换碳滑板之前，容许其厚度磨损到 4 mm。紧急情况下，可允许磨损到支持板</p>	所有检修等级 重点检查
2	轴承的检修	<p>所有采用密封结构的轴承应在 6~8 年以后进行清洗、重新涂脂，如果需要，进行更换。建议每 6 个月通过检查内摩擦来对所有的轴承进行检查，测量升弓和降弓时的接触力，除去可能会聚积的灰尘（尤其是长期不使用期间）。</p> <p>所有其他枢轴使用无需维护的抗摩擦轴承。必须每 6 个月对轴承进行检查来查看其是否能够自由转动，并除去任何可能聚积的灰尘（尤其是长期不使用期间）。这些轴承是烧结青铜轴承，它们有迭尔林（聚甲醛树脂）衬套</p>	II-3 级外观检查 除灰，R1-3 解体 清洗或更换
3	定位螺钉和导电螺钉的检修	<p>检查固定座套的定位螺钉和接线柱螺钉。特别是碳滑板的定位螺钉。受损的铜编织线应进行更换，应对线端进行清洗或涂脂。对活动的螺钉进行涂脂。用不锈钢螺钉和接头固定受电弓</p>	所有检修 等级检查
4	弓头橡胶弹簧元件	<p>元件免维修，如果使用应力正常，这些元件会有较长的使用寿命。在起初的 3 个月使用期间，固定新元件。形变角约为 20°。可用一个杠杆调节弓头悬挂。注意，在任何情况下这些部件不得沾油或脂</p>	一般 检查

续表 1-3

序号	部件	方法	说明
5	导流线	<p>在受电弓的任何可能位置，导流线不能拉紧或放置在其他防磨部件上。有断股的导流线必须更换</p>	所有等级 重点检查

6	绝缘子	清洁擦净绝缘子，如有裂痕和损坏现象，必须更换	所有等级 重点检查
7	气路	<p>检查气路（参见图 1-6）。如有泄漏，更换损坏的气动元件。气路检查分为以下四步：</p> <p>1. 自由移动检查</p> <p>当受电弓在工作条件（产生了压缩气体）下时，检查整个工作范围上的自由移动。一定不能有任何不正常的声音</p>	
		<p>2. 气密性试验</p> <p>关闭 ADD 装置的截止阀使 ADD 失效，隔离阀板。与阀板连接的两个风管，一个与风源连接，一个与试验用储气缸连接，然后充以约 380~400 kPa 的气压。充一段时间后，关闭风源，在整个气路接头处涂抹肥皂水，如有泄漏，拧紧或更换相关气动元件</p>	经过 10 min 后，气路压力下降不得超过起始气压的 5%
		<p>3. 接触压力检查</p> <p>接触压力应设定为静止状态下平均值为 70 N。调整接触压力的方法是：先通过弹簧秤以 0.05 m/s 的速度匀速朝下运动，然后以相同速度向上运动（参见图 1-7）。</p> <p>设置精密调压阀 R 约 380~400 kPa。通过旋转调压阀 R 上的旋钮，进行接触压力的调节：顺时针旋转增大接触压力，反时针旋转减小接触压力</p>	压力表显示约 380~400 kPa 气压值
		<p>4. 升降弓时间检查</p> <p>升弓时间应在 6~10 s 范围内。通过调节单向节流阀可以调节升弓速度，顺时针减小升弓时间，逆时针增大升弓时间。</p> <p>在正常情况下，气囊气压下降，受电弓降弓，降弓时间应≤6 s。当受电弓控制按钮打到 DOWN 位（降弓位），受电弓实现降弓。当气压减小时，通过自重受电弓被迫降弓落到降弓位。通过调节单向节流阀可以调节降弓速度，顺时针减小降弓时间，逆时针增大降弓时间</p>	升弓时，秒表显示 6~10 s；降弓时，秒表显示≤6 s

1.4.4 检修限度

检修限度主要说明各个检修部件的损耗限度，检修作业人员可根据检修限度，对受电弓各个部件及时进行更换，以保证行车安全。表 1-4 所示为 TSG15B 型受电弓各部件的检修限度表。

表 1-4 TSG15B 型受电弓检修限度表

序号	名称	原形	维修限度	备注
1	滑板 (碳条高度)	22_{-0}^{+1} (mm)	4	
2	导流线 (三种)	—	出现破损	
3	钢丝绳组装	—	有一股断裂	
4	气囊升弓装置	—	发生泄漏	
5	系统阻尼器	—	发生泄漏	
6	绝缘子	—	发生闪络和损坏	

1.4.5 部件拆解及组装

检修作业人员在受电弓各部件进行检修过程中，若发现部分部件出现磨损到限，应对到限部件进行及时拆卸及更换。表 1-5 所示为 TSG15B 型受电弓主要部件的拆卸及组装方法。

表 1-5 TSG15B 型受电弓主要部件拆解及组装方法

序号	部 件	拆解方法	组装方法
1	滑 板	松开连接螺母； 拆下绝缘软管； 拆下故障滑板	装入垫圈和螺母 紧固连接螺母，安装滑板
2	弓头、气囊、导流线、橡胶弹簧元件、绝缘子、升弓钢丝绳、密封圈和固定螺栓	松开紧固这些故障部件的连接螺母和螺栓； 拆下故障部件	更换弓头： 安装紧固部件的连接螺母和螺栓； 调节平衡杆长度，使滑板下的导杆托架在 1.5 m 处保持水平； 更换其余部件： 安装紧固部件的连接螺母和螺栓
3	有故障的轴承	松开连接螺母和螺栓； 移去密封圈和衬套； 拆下有故障的轴承	装入轴承； 装入密封圈和衬套； 紧固连接螺母和螺栓

1.5 受电弓测试

受电弓检修与组装完毕后，在机车出库试验之前，需对受电弓进行测试。主要测试项目为：受电弓升降弓时间测试、受电弓弓头与接触网接触压力测试、受电弓整体气密性测试等。

测试前需进行如下检查：

① 检查受电弓有无漆面损伤、部件变形、部件丢失和连接松动，针对整个受电弓、弓头滑板、导流线等部件进行检查。

② 检查接地部件到受电弓的任何部位的间隙应大于 350 mm。

③ 检查所有的紧固螺栓和连接部件以及电气连接是否都被拧紧至规定的扭矩并按要求锁闭。

④ 检查等电位连接是否正确。