

超深地下空间起重机安装技术研究

杨伟刚

(中国水利水电第六工程局有限公司 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 本文主要对超深地下空间起重机安装技术进行研究,以某项目起重机安装实例为研究对象,对洞内起重机的安装过程进行了详细说明,通过天锚、卷扬机、轨道支座、龙门架等部件将大跨度起重机安装完毕,并对各部件的选型、安装、布置位置、强度计算进行了说明。本文旨在解决地下空间起重机安装问题,以降低地下空间起重机安全事故的发生概率。

关键词: 超深地下空间; 起重机; 天锚; 安装技术

0 引言

随着起重机行业的快速发展,传统的起重机安装方法存在着工期长、占地面积大、安全性能不高等问题^[1]。尤其是重型起重机,一般是在现场进行装配,然后用塔架吊装,装配周期长,占用场地大,而且吊装时经常发生安全事故^[2]。在地下洞内等场地进行大型起重机安装,往往作业空间受限,无法按常规形式进行安装,因塔机违规安装与拆卸而造成的安全事故也频繁发生^[3],因此研究超深地下空间起重机安装技术具有一定的现实意义。

1 工程概况

某地下试验厅最大埋深约700m,实验大厅内水池净空直径43.5m,上部起拱直径为49m。根据试验厅工作内容,需使用2台30/5t、跨度47.4m的桥式起重机。为保障工程进度,起重机安装需与地下试验水池施工交叉进行,安装作业空间有限,无法采用汽车吊。根据工况,采用天锚与卷扬机、动滑轮组相结合的吊装方案。因开挖水池面积较大,卷扬机仅能布置在斜角落处;为保障主梁起吊后有旋转空间,天锚布置在水池上方。地下试验厅布置见图1。

由于试验厅在地下700m,起重机运输需要多次转弯,所以起重机主梁做了分段处理,共分4段,最大外形尺寸控制在12.5m以内,最大件重量控制在10t以内。分段主梁、附件组装后的单件主梁最大重量为44.5t。

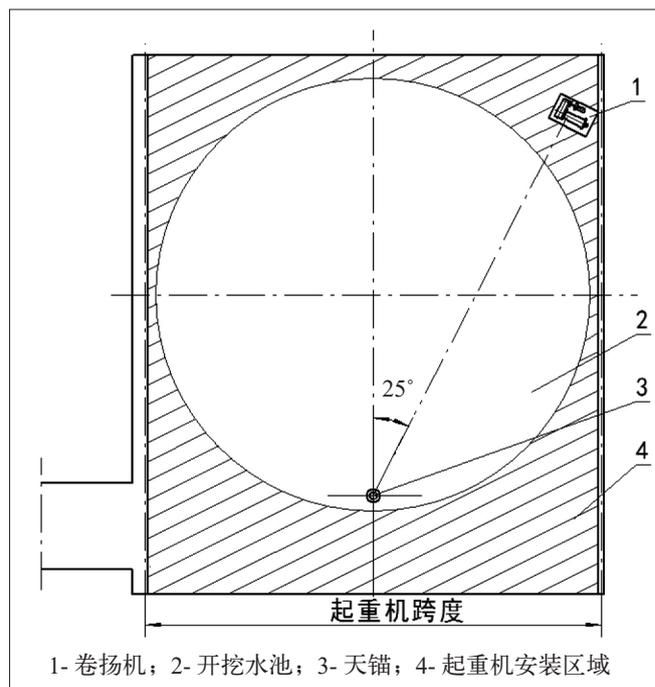


图1 地下试验厅布置图

2 天锚系统布置及计算

在试验厅埋设10根直径为32mm的锚杆(材质为HRB400),埋入岩石1.5m以上,外露材料为20CrMn的钢筋。

2.1 锚杆强度计算

HRB400钢筋的抗拉强度为400MPa,10根锚杆的最大许用拉应力为:

$$F = A \times \delta_s \times N_1 = \frac{\pi \times 32^2}{4} \times 400 \times 10 \times 10^{-3} = 3215.36 \text{ kN}$$

式中: F —最大许用拉应力(kN);

δ_s —钢筋抗拉强度 (MPa);

A —钢筋截面面积 (mm^2);

N_1 —钢筋根数 (根)。

单件设备最大重量 $Q = 44.5\text{t}$, 则锚杆安全系数为:

$$K = \frac{F}{Qg} = \frac{3215.36}{44.5 \times 9.8} = 7.37$$

式中: K —锚杆安全系数;

F —最大许用压应力 (kN);

Q —最大单件重量 (t)。

2.2 卷扬机选用校核

天锚滑轮倍率为 11, 考虑洞内环境潮湿, 效率取 0.6, 卷扬机起重量为:

$$Z = \frac{Q}{N_2 \eta} = \frac{44.5}{11 \times 0.6} = 6.74\text{t}$$

式中: Z —卷扬机起重重量 (t);

Q —单件最大质量 (t);

N_2 —天锚滑轮倍率;

η —效率值。

故选用起重量为 8t 的卷扬机。

2.3 卷扬机安装

卷扬机布置在洞内平层, 而天锚定滑轮固定在洞内拱顶。卷扬机至天锚定滑轮的钢丝绳为一条斜线, 为确保卷扬机受力均衡, 卷扬机起升机构采用上翘形式固定, 上翘角度与钢丝绳一致。

2.4 天锚定滑轮安装

在水池开挖前, 需将天锚定滑轮组固定完毕, 并在定滑轮上缠绕分段钢丝绳, 以便于天锚吊钩组的安装。定滑轮安装座上设有通孔, 将锚杆穿过定滑轮安装座后进行焊接, 焊接前需使锚杆受热均匀, 沿锚杆圆周位置满焊。

2.5 天锚吊钩的安装

采用前期布置在天锚定滑轮上的引绳, 将卷扬机钢丝绳依次穿过天锚定滑轮和动滑轮, 钢丝绳末端固定在动滑轮一端。为避免吊钩组因钢丝绳分配不均而产生旋转, 钢丝绳末端到吊钩轭板中心距离是钢丝绳初始端到吊钩轭板中心距离的 1 倍, 这样可使两端钢丝绳产生的力矩相等。天锚吊钩 (50t) 穿绳完毕后, 需进行动、静载试验。

3 起重机安装技术

3.1 轨道安装方法

轨道安装步骤如下:

(1) 按照图纸所设计的位置和高程对轨道进行安装, 在安装之前, 应该对轨道的安装基准线进行设定, 轨道的安装基准线宜为吊车梁的定位轴线。

(2) 对钢轨及其附属设备进行清点并验收。在铺设轨道之前, 必须对轨道的端部、平直度、扭转度等进行检验, 确认无误后才能铺设轨道。

(3) 在混凝土结构上铺设轨道时, 利用已经标放好的样点, 确保钢架中心和高程在设计值的 $\pm 5\text{mm}$ 之内; 采用起重机一根一根地将轨道吊起, 并将其置于钢框架上, 可采用手动或机械方式将其滑动至安装位置。

(4) 当铁轨设置在钢梁上时, 轨道的底面应该与钢梁的顶面紧密贴合, 当存在间隙, 并且长度超过 200mm 时, 应该用垫板垫实。垫板的长度不应该小于 100mm, 其宽度应该比轨道的底面大 10 ~ 20mm, 每组垫板不应该超过 3 个, 在垫好之后, 将其与钢梁进行焊接固定。

轨道安装调整要求如下:

(1) 使用起重机时, 轨道的真实中轴线与安装基准线之间的偏差不能超过 5mm。

(2) 起重机在轨道上相对于其设计位置的纵向倾斜度不能超过 1/1000, 且每 2m 测量一次, 全行程内的高低差不得超过 10mm。

(3) 轨道顶面基准点与设计高度之间的允许偏差不大于 $\pm 10\text{mm}$ 。

(4) 起重机轨道跨度小于 10m 时, 轨距允许偏差不大于 $\pm 3\text{mm}$; 起重机轨道跨度大于 10m 时, 轨距允许偏差不大于 $\pm 15\text{mm}$ 。

(5) 两平行轨道的接头应该交错布置, 并且交错布置的间距不应该与起重机前后轮的基距相等。

钢轨接头应该满足以下条件:

(1) 在对轨道接头进行焊接时, 焊条应该与钢轨母材相一致。

(2) 轨道接头采用鱼尾板连接, 接头侧向错位不得超过 1mm, 间隙不得超过 2mm。

(3) 伸缩缝处的间隙必须满足设计要求, 其允许偏差为 $\pm 1\text{mm}$ 。

3.2 主梁卸车及组装

主梁分段依靠运输车运送至地下洞内, 且运输车到达的位置与天锚的位置存在偏差, 而洞内无任何起吊设备。制作 2 台挂有手拉葫芦的龙门架、2 条含轨道的支座及若干主梁支座。轨道支座高度高于主

梁和运输车高度之和。

(1) 端梁卸车：将一条轨道支座布置在端部，即大车轨道正下方，将端梁放置在轨道支座上方。运输车运输分段主梁至龙门架正下方后，手拉葫芦通过钢丝绳固定分段主梁，缓慢起升分段主梁。抬起一定高度后，将端梁沿轨道支座推至主梁端正下方。将运输车撤离，在分段主梁下布置若干主梁支座，最后将分段主梁缓慢落至端梁和主梁支座上方，最后将主梁与端梁用螺栓固定。

(2) 其余主梁卸车：依据端梁卸车的方法，将剩余主梁卸车，注意每段主梁卸车时需与前一段主梁保持一致，以便安装螺栓，最后完成整个主梁组装。

3.3 主梁移位

在装配完毕后的主梁下方放置2~4个千斤顶，依靠千斤顶将各分段主梁下方的主梁支座移除。此时主梁依靠两端端梁放置在轨道支座上，因每个端梁含有2组车轮，依靠手拉葫芦缓慢拉动主梁至天锚的正下方。

3.4 主梁吊装

为防止主梁起吊时与岩壁轨道梁发生干涉，所以起吊时需将主梁旋转一定角度。旋转角度的大小依据主梁结构对角线长度和岩壁轨道梁间距而定。将天锚吊钩通过钢丝绳与主梁吊耳连接，起动卷扬机，在离洞内平层约200~500mm时，观察主梁是否倾斜，若倾斜，适当增加配重。在保证主梁水平后，主梁4个角分别用10t手拉葫芦固定，手拉葫芦一端与洞内岩壁锚杆固定。通过收、放手拉葫芦，使主梁整体旋转一定角度，再在主梁4个角上固定稳绳，人工操作稳绳。起动卷扬机，手拉葫芦与人工稳绳同时放绳，手拉葫芦相对于人工稳绳不受力，起到安全保护作用。待主梁整体起升高于起重机轨道后，人为牵引稳绳，使主梁整体摆正，缓慢下落到位，完成主梁的吊装。采用同样的方法将另一根主梁吊装到位，主梁吊装见图2。

主梁结构组装方法如下：

(1) 行走主梁与行走机构之间采用螺栓固定，确保螺栓根部没有空隙。

(2) 高强螺栓的拧紧次序是由接近接头的那一列的中间位置起，对称地向列的两端伸展，直至将一列的螺栓拧紧为止；高强度螺栓拧紧分为两次进行，第一次为预紧力的80%，第二次为预紧力的100%。

当主梁安装完毕时，应满足以下条件：

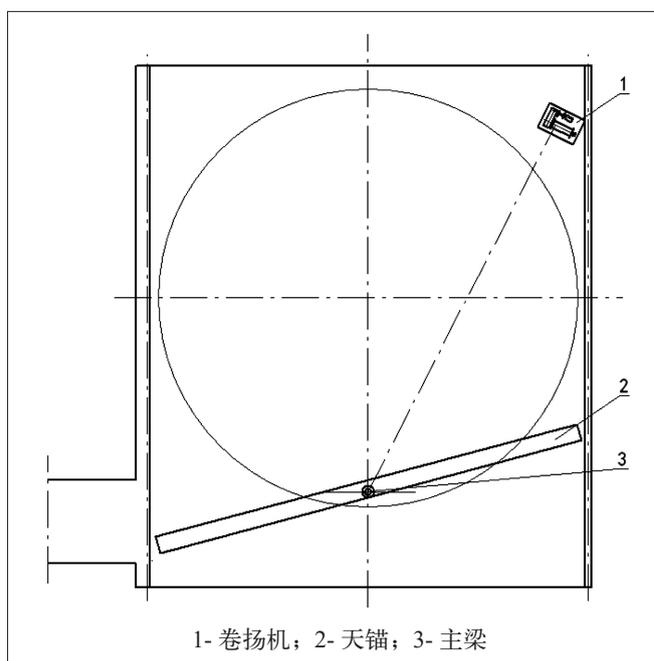


图2 主梁吊装

(1) 正轨箱梁允许偏差小于5.0mm，扁轨箱梁、单腹板和桁架梁的允许偏差小于10mm。

(2) 跨度极限偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ，主梁水平弯曲最大不能超过20mm。

3.5 小车吊装

运输车将小车运至洞内中心位置，利用手拉葫芦将小车固定在岩壁的锚杆上，并拉紧。天锚吊钩与小车吊耳通过钢丝绳连接，并在小车4个角上布置4根稳绳。一边缓慢起升卷扬机，一边人工缓慢释放手拉葫芦及稳绳。小车逐渐移至天锚的正下方，去除手拉葫芦。继续起升卷扬机，将小车起升至桥架轨道上方约500mm，移动桥架至小车下方。人为牵引稳绳，缓慢下落小车，使小车就位于小车轨道上。利用天锚将其余部件安装到位，整个起重机安装至此结束。

3.6 齿轮、制动器调整

3.6.1 齿轮安装调整

(1) 使用塞尺测量齿轮的侧向啮合间隙，其最小值必须达到相应标准；如果采用压铅方法进行测量，则在齿轮的外边缘上，铅导线的长度不能小于5个齿间距。旋转齿轮，使导引线变平后，取出导引线，用千分尺测量压扁铅丝的厚度，最小值必须满足规范要求。

(2) 采用红丹着色法对齿轮的啮合接触面进行检验，其方法为：在小齿轮的两个齿面上均匀地涂上一

层薄薄的红丹粉末,然后旋转高速轴,带动大齿轮正、反向旋转,观察接触痕迹,并对接触百分比进行计算,其数值必须满足相关标准要求。

3.6.2 长行程制动器调整

(1) 松开调节螺母,转动螺栓,使块瓦抱住制动轮,然后锁住调节螺母。

(2) 取出滚子,松开调节螺母,调节叉板与瓦块轴销的间隙,其大小应与制动闸瓦退程间隙一致,其数值要满足相应标准要求。

(3) 松开磁铁调节螺母,按相关要求转动调节螺杆,调节电磁铁行程。

(4) 用撬棍抬起电磁铁,在吸合的状态下,测量制动器闸瓦间隙,并转动调节螺杆,使间隙符合规定值,两侧间隙相等后,锁紧调节螺母。

(5) 松开调节弹簧螺母,夹位拉杆尾部方头,转动螺母,调整工作弹簧的安装长度,使其符合有关规定。

3.6.3 短行程制动器调整

(1) 松开调节螺母,夹紧顶杆尾部方头,旋转调节螺母,使顶杆端部打开衔铁,按照相关规范对衔铁行程进行调节。

(2) 松开弹簧压缩螺母,并将轴瓦两侧的立柱顶开,直至衔铁处于吸合状态。

(3) 按相关要求调节限位螺钉,以保证左、右两侧的闸瓦间隙一致,并锁紧螺母。

(4) 调节螺母,直至工作弹簧到达安装长度。

液压制动器的安装调节方式和电磁制动器的调节方式类似,但是需要注意以下条件:

(1) 为了保证闸瓦的最小间隙,推杆的工作行程越短越好;可以通过连杆调节推杆的安装高度,达到相应要求。

(2) 为确保闸瓦磨损时,闸瓦间隙能够保持一致,液压制动器带有行程补偿装置,推杆接头端面与缸盖的距离被称为补偿装置的行程,其值应符合规定。

4 结语

洞内现场往往作业空间有限,不能采用大型起吊设备,甚至没有大型运输设备。本项目利用起重机本身特点,将天锚、卷扬机、轨道支座、龙门架等有机结合起来,方法简单高效,缩短了施工工期。本文以超深地下空间起重机安装技术为例,进行了实例分析研究,验证了超深地下空间起重机安装技术的合理性、可操作性和安全性,可供其他类似工程借鉴参考。

参考文献:

- [1] 周文,王保.开州湖大桥250t缆索式起重机设计与安装关键技术[J].施工技术(中英文),2023,52(06):6-12.
- [2] 荣盛.塔式起重机安装及作业中存在的安全隐患及预防措施[J].城市建筑空间,2022,29(S2):883-884.
- [3] 王琦.大型桥梁工程门式起重设备技术分析[J].浙江水利水电学院学报,2022,34(06):71-75.

作者简介:杨伟刚(1986.06-),男,满族,辽宁铁岭人,本科,高级工程师,研究方向:地下厂房施工技术。