阿曼 IBRI 500 MW 光伏项目主变压器平稳就位工艺研究

王仕平， 陈海峰
（中国水利水电第十工程局有限公司，四川 成都 610036）

摘 要：阐述了对阿曼 IBRI 500 MW 光伏项目 220 kV 升压站中，两台 220 kV-270 MVA 主变压器采用滚轮滑车平台及地锚拉索卸车就位工艺进行的研究，并对施工过程中的难点、重点问题进行了分析和总结，所研究使用的工艺与其他的卸车就位方法相比优势明显。

关键词：阿曼 IBRI 500 MW 光伏项目；主变压器就位；工艺研究；滚轮滑车平台；地锚拉索
中图分类号：TV7；TV547；TV734.3 **文献标识码**：B **文章编号**：1001-2184(2023)04-0023-04

Research on the Stable Positioning Technology of the Main Transformer in the IBRI 500 MW Photovoltaic Project in Oman

WANG Shiping, CHEN Haifeng
(Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610036)

Abstract: This paper mainly elaborates on the research of the unloading and positioning technology of two 220 kV-270 MVA main transformers in the 220 kV booster station of the IBRI 500 MW Photovoltaic Project in Oman, using a roller pulley platform and ground anchor cable. It also analyzes and summarizes the difficulties and key issues during the construction process. Compared with other types of unloading and positioning methods, this technology has obvious advantages.

Key words: Oman IBRI 500 MW Photovoltaic Project; Main transformer in location; Technology research; Roller pulley platform; Anchor cable

1 概 述

近年来，我国越来越多的企业走出国门参与世界范围内工程项目的投资、建设、运营等业务，其涉及能源、交通运输、工业厂房、城市建设等各行各业，而这些项目的建设都将涉及到大型设备的运输就位、安装调整等施工难题。阿曼 IBRI 500 MW 光伏发电项目是由中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司 EPC 总承包，中国电建集团水利水电第十工程局有限公司参建的中东地区大型清洁能源光伏发电项目，该项目位于阿曼 IBRI（益贝利）市区西北方向 30 km 处，紧邻益贝利燃气发电厂，所处地区属于热带沙漠气候，常年温度较高。

我公司承担了 EPC 总承包项目中的升压站土建及设备安装工作。因受特殊情况影响，现场的施工进度和物流进度均受到很大影响，且因主变压器钢结构遮阳篷到货后先于主变压器就位进行了安装，造成主变压器到达现场后不具备使用大型吊装机械设备进行主变压器卸车就位的条件。我方管理与技术人员结合现场实际情况并经研究后最终决定使用滚轮滑车平台及地锚拉索的方式进行主变压器的卸车就位，其具有施工周期短、安全质量可靠等优势，特别是对于场地条件受限、设备重量大、当地起重机械吊装能力较低的地区采用该方法能够取得很好的效果。

收稿日期：2023-03-30

2 主变压器就位技术分析

2.1 传统的主变压器就位技术

传统的主变压器卸车就位方法主要为：(1)当装运主变压器的运输车辆到达就位工况后，在车辆停靠位置与主变压器基础位置之间铺满枕木，使用千斤顶将主变压器顶升至足够的高度，在主变压器下方放置滚杠、缓慢卸去千斤顶的压力使

其降落在滚杠上，利用提前埋设在就位位置 Y 轴的地锚、结合链式手拉葫芦将主变压器拉至就位位置，搭设临时支墩结合千斤顶顶升主变压器、拆除主变压器下方的临时设施使主变压器就位，再次利用链式手拉葫芦微调主变压器 X 轴和 Y 轴就位中心点，从而完成主变压器的就位；(2)当装运主变压器的运输车到达就位工况后，利用起重机械设备起吊主变压器[1]，将主变压器吊至就位位置后拆除吊装工具，采用千斤顶顶升主变压器的方法顶升主变压器并在其下方放置滚杠，在 X 轴和 Y 轴利用预埋的地锚结合链式手拉葫芦调整主变压器的就位中心从而完成主变压器的就位。但这两种方法的使用受主变压器就位场地、起重设备的吊装能力以及主变压器运输重量的限制极大，且在成本、安全、质量、进度等方面均存在很大的隐患和不确定性。因此需要研究并使用一种新的主变压器就位方法。阐述了对滚轮滑车平台就位方法进行的研究。

2.2　滚轮滑车平台就位技术

因受特殊情况影响，导致现场施工进度及物流进度均严重滞后。我公司本着“干一个项目，履约好一个项目”的理念，根据现场实际情况并结合工期要求等因素综合考虑后，在保证安全、质量的前提下，研究出使用滚轮滑车平台及地锚拉索卸车就位主变压器的新技术，其在进度、安全、质量、成本控制方面与传统的主变压器卸车就位方法相比具有显著的优势，取得了良好的效果。

(1)车辆摆正。滚轮滑车平台及地锚拉索卸车就位主变压器的施工方法为：平整运输道路和主变压器就位场地以满足主变压器运输和就位工况[2]。在主变压器就位位置的 X 轴和 Y 轴测量出主变压器就位中心点并将其延伸至两端做好标记，待运输主变压器的车辆到达主变压器就位位置时，将主变压器本体中心点与就位位置 Y 轴中心线使用激光仪对齐，以减少后期重复调整主变压器就位中心位置的工作。

(2)安装滚轮滑车平台。使用一套 100 t×4 的同步液压千斤顶顶升主变压器，将其顶升至高于运输型钢 10～20 mm 时停止顶升。在主变压器底部摆放钢支墩和运输型钢，运输型钢采用 200 mm×204 mm×12 mm H 型钢，长度为 6 m，两侧采用 80 mm×80 mm×10 mm 角钢每隔 100 mm 加固一个。主变压器运输型钢见图 1。将钢支墩与运输型钢摆放平稳、牢靠，待检查确认后再次顶升主变压器，然后在运输型钢上放置 4 副滚轮滑车平台，该滚轮滑车平台采用厚度为 20 mm 的钢板切割焊接而成，长×宽×高为 550 mm×200 mm×150 mm，其顶部为平面，底部设八组滚轮，每 6 个滚轮为一组，两侧各焊接两个 L 型挂板以防止滚轮滑车平台在行走时偏离出运输型钢。滚轮滑车平台见图 2。其摆放位置需对称且需受力均衡，防止出现一侧受力大、一侧受力小而造成主变压器倾斜的情况。缓慢卸去千斤顶压力，使主变压器平稳缓慢地降落在滚轮滑车平台上，检查其各受力面是否可靠。

图 1　主变压器运输型钢示意图

图 2　滚轮滑车平台示意图

(3)地锚及拉索的安装。根据主变压器本体上设置的拖动点位置，在变压器就位位置正前方的混凝土地面上分别设置一个锚点，锚点采用 4 颗 M20 mm×200 mm 膨胀螺栓固定 T 型挂板的方式进行安装以用于拖动主变压器前进。该锚点的高度与主变压器本体拖动点高度

基本一致，其拖动的倾斜角度应小于 15°。为防止在拖动主变压器前进过程中主变压器移动速度过快和主变压器就位中心发生偏斜时能够对其及时进行调整，在主变压器前进方向的反方向设置了一组拉索工具，该锚点可利用运输平板车上的挂点[3]。锚点设置完成后，使用 4 组 5 t 钢丝绳手扳葫芦、吊带等将锚点和主变压器本体连接起来，测试手扳葫芦的松紧是否正常、运行是否可靠、有无卡顿现象，并正向拖动前进手扳葫芦使其初步少量受力，反向拖动手扳葫芦使其具有少量行程。

(4)拖动主变压器前进。各项准备工作、检查工作完成并经确认无误后，由卸车总指挥统一发号施令，两组正向拖动前进手扳葫芦同时动作。拖动主变压器前进的情况见图 3。操作人员根据指令进行起停操作，检查人员随时检查主变压器的前进动态是否偏向、滚轮滑车平台的转动是否正常、反方向拖动手扳葫芦余量是否合适等。如有异常情况应及时停止，待纠偏或消除隐患后再继续拖动主变压器前进。

图 3　拖动主变压器前进示意图

(5)架设激光仪。在主变压器即将进入就位位置时，在主变压器就位位置中心点 X 轴和 Y 轴延伸出来的中心线两端各架设一台激光仪，调整并对齐主变压器就位位置中心线[4]，缓慢拖动主变压器前进并观察主变压器本体中心点是否对齐激光射线，根据主变压器本体中心点与激光射线之间的距离数值判断主变压器 X 轴方向的扭曲程度和 Y 轴中心点的差距，分别指挥拖动前进方向手扳葫芦的操作人员拖动主变压器进行缓慢调整，将主变压器本体中心和就位位置中心逐渐找正。激光水平仪对位情况见图 4。当主变压器本体 X 轴和 Y 轴中心点与就位位置架设在 X 轴和 Y 轴的激光仪射线均重合后停止拖动主变压器前进[5]。在滚轮滑车平台两端楔上楔子，以防主变压器在撤掉手扳葫芦时移动。拆除用于拖动主变压器前进的钢丝绳手扳葫芦、吊带等并将其放置好。

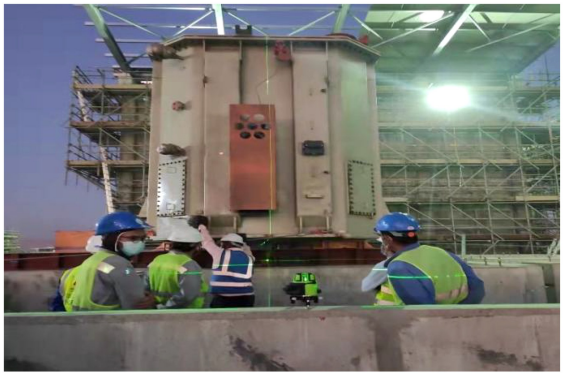

图 4　激光水平仪对位示意图

(6)主变压器就位。将预先制作好并放置在主变压器就位位置的钢支墩进行调整并摆好位置，将 100 t×4 的同步液压千斤顶放置在支墩上，使用同步液压千斤顶缓慢顶升主变压器，当主变压器与滚轮滑车平台间存在 10～20 mm 空隙后停止顶升主变压器，依次拆除滚轮滑车平台和运输型钢并再次清理、检查主变压器本体的底部和主变压器就位位置的混凝土基础，确认无误后缓慢卸去千斤顶压力将主变压器平稳落在混凝土基础上。再次检查主变压器本体 X 轴和 Y 轴中心点与就位位置 X 轴和 Y 轴架设的激光仪射线以及和混凝土基础上的中心线是否对齐，待确认无误后方可拆除液压千斤顶及支墩。清理主变压器卸车施工工作面上所有的卸车材料及工器具。至此，主变压器卸车工作顺利完成。

3　滚轮滑车平台就位技术具有的优势

3.1　施工进度和质量

(1)传统卸车就位工艺。传统的卸车就位方法需要提前准备大量的枕木、制作钢管滚筒或租赁大型的起重机械设备，从而在时间和人力上都会加大投入，浪费很多的人力物力。在施工安全和质量控制方面，使用枕木加钢滚筒的施工方法极易造成主变压器行进方向跑偏并难以控制，并且主变压器本体中心点与就位位置中心线对齐的难度极大，在主变压器就位后还需进行二次调整，

导致其操作难度大且耗时费力。而使用大型起重机械设备起吊主变压器进行就位，需要对主变压器就位工作场地进行平整压实且需同时满足主变压器运输车辆和大型起重机械设备站位，对主变压器就位场地的条件要求极高，并且利用大型起重机械设备卸车就位主变压器同样存在主变压器本体中心点与主变压器就位位置中心线难以对齐的情况，在起重机械完成作业拆除吊具吊索后还需使用千斤顶、钢滚筒结合地锚拉索的方式对主变压器本体进行二次调整，其操作困难并需耗费大量的人力物力。

(2)滚轮滑车平台就位工艺。使用滚轮滑车平台及地锚拉索工艺对主变压器进行卸车和就位，在其前期的施工准备工作中不需要耗费大量的人力物力、准备卸车就位工作的材料及设备，而仅需要 1 名热切割工人和 2 名焊接工人及 4 名辅助配合人员花费一天的时间即可以制作好主变压器卸车就位工作所需的钢支墩和运输型钢。主变压器卸车就位工作时只需要 10 名人员相互配合、在 3 h 内即可以完成整个工作；在施工质量控制方面，因滚轮滑车平台的稳定性和易于操作以及可以随时纠正主变压器前进方向的特点，仅需在主变压器就位位置 X 轴和 Y 轴中心线上各架设一台激光仪即可以完美地完成主变压器本体中心点与就位位置中心线对齐，待调整好主变压器本体位置后再平稳顶升主变压器、拆除滚轮滑车平台及运输型钢等其他设施，缓慢卸去千斤顶压力，使主变压器本体平稳地落在混凝土基础上。使用滚轮滑车平台及地锚拉索方式就位主变压器操作简单且可控性强，其在施工进度和质量控制方面均极大地优于传统卸车就位方法。

3.2　施工的安全性

(1)传统卸车就位工艺。在传统的主变压器卸车就位施工方法中，如使用枕木加钢滚筒的主变压器卸车就位方法就需要在运输车辆和主变压器基础之间铺满枕木，但枕木的铺设为搭积木方式，因而不能形成一个整体，其整体结构性和受力性都不稳定，存在极大的安全隐患；其次，在枕木上铺设多根钢制滚筒且因滚筒之间分散、不连贯，极易发生滚筒因转矩和转数不一致而发生主变压器偏离行进方向并难以调整和主变压器前进速度过快而导致其无法控制、造成安全事故，对人员和设备都很容易造成人身伤亡和财产损失，安全隐患极大；如使用大型起重机械设备吊装卸车就位主变压器，又因主变压器本体体积大、重量大，对起重机械设备站位的地质条件、地理环境、起重设备的吊装能力以及起吊主变压器的吊具等都有着极其严格的要求，起重机械设备的操作员、司索员、指挥员和安全管理人员都必须具有良好的职业素养和专业技能知识。但既使是在如此严格的安全保障前提下也极易发生安全事故，其不可控因素太多，安全风险隐患太大。

(2)滚轮滑车平台就位工艺。使用滚轮滑车平台及地锚拉索卸车就位主变压器，首先在制作钢支墩、运输型钢、滚轮滑车平台时均参照主变压器本体的运输重量和体积进行验算以保证各部件的受力满足要求；其次，在施工方法方面，采用钢支墩是因为钢支墩的受力和稳定性极好，利用一套 100 t×4 的同步液压千斤顶是为了保证在升降主变压器时能够保证其平稳，不会因为两侧顶升或降落速度不一致而造成主变压器本体倾斜、导致安全事故的发生。在滚轮滑车平台的两侧各焊接一个 L 型挂板，其作用是防止在拖动主变压器前进过程中滚轮滑车平台偏离或跑出运输型钢而造成安全事故。在主变压器前进方向的反方向设置两组地锚拉索的主要作用是为防止主变压器前进过快而对其加以控制和辅助拖动主变压器前进的地锚拉索对主变压器进行细微纠偏。综上所述，使用滚轮滑车平台及地锚拉索卸车就位主变压器其行进方向固定并易于调整，行走时主变压器本体设备的重心低且行进速度容易控制，所有操作均由总指挥统一协调指挥，出现隐患时能立即停止主变压器前进并易于排查、处理隐患。在施工安全方面大大优于传统主变压器卸车就位施工工艺方法。

3.3　环境的适应性

(1)传统卸车就位工艺。从适用环境方面进行分析比较。在传统施工方法应用过程中，其极大程度地受到主变压器卸车就位场地地质条件、地理环境、主变压器本体运输重量、当地起重机械设备吊装能力等因素限制。而使用枕木加钢滚筒

(下转第 70 页)

破参数以及改善现场管理等措施,在 2023 年施工过程中,1 295-3 202 采场的损失及贫化率得到了一定程度的控制,达到了设计指标要求。2023 年采场损失、贫化率统计情况见表 3。

表 3　2023 年采场损失、贫化率统计表

采场名称	采矿方法	设计爆破量/t	实际出矿量/t	分出废石量/t	损失率/%	贫化率%
1 295-3 202	无底柱分段崩落法	14 455.00	10 550.00	2 019.00	13.05	16.06

参考文献:

[1] 李胜辉,程中平,何荣兴.无底柱分段崩落法损失贫化研究现状及改进措施探讨[J].采矿技术,2023,23(3):18-21.

[2] 张明峰,姜仁义,苏建军.阿尔登-拓普坎铅锌矿采矿方法的选择[J].金属矿山.2012,41(11):49-51,55.

[3] 张志贵,刘兴国,宋克志,等.无底柱分段崩落法低贫化放矿的工业试验[J].金属矿山,1997,27(3):8-11.

[4] 李鑫.浅谈矿石损失贫化的原因及改进措施[J].有色矿冶,2021,37(6):7-10,22.

[5] 杨闯,惠光进.无底柱分段崩落采矿法矿石的损失与贫化[J].矿业工程,2012,10(3):17-19.

[6] 李胜辉,秦利斌,孙光华.采场结构参数对矿石损失贫化的影响分析[J].矿业工程.2009,7(2):20-22.

[7] 李楠,常帅,常贯峰,等.无底柱分段崩落法回采参数优化[J].矿业研究与开发.2019,39(5):1-5.

[8] 朱先艳.降低分段空场嗣后充填采矿法损失贫化率的管理措施[J].世界有色金属,2019,34(10):65,67.

作者简介:

辜禹峰(1980-),男,四川仁寿人,项目经理,工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工作;

彭　磊(1995-),男,四川巴中人,助理工程师,学士,从事矿山工程施工技术与管理工作.

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 26 页)

的卸车就位方法,当主变压器本体运输重量较重时,其无法很好地满足施工工况并极易发生安全事故而造成生命财产的损失。使用大型起重机械设备吊装卸车就位主变压器,其对就位场地的地质环境条件和当地起重机械设备的吊装能力是一个极大的考验,且很多地区没有大型起重机械设备可用,而从其他地区调用大型起重机械设备将使成本和时间的支出增加许多,不符合节约成本和满足工期的要求。

(2)滚轮滑车平台就位工艺。利用滚轮滑车平台及地锚拉索卸车就位主变压器不会受到上述条件限制。首先,该工艺需要的场地不大,直接利用主变压器卸车就位的场地即可;其次,其承载能力可以根据主变压器本体的运输重量制作,完全不受主变压器本体运输重量限制,且其整个工作的完成所需要的工作时间短,从而可以节省很大一部分施工时间以满足施工进度要求。滚轮滑车平台及地锚拉索卸车就位主变压器能够适用于多种环境和多类设备重量,与传统施工方法相比,其优势巨大。

4　结　语

滚轮滑车平台及地锚拉索平稳卸车就位工艺的研究和应用在阿曼 IBRI 500 MW 光伏项目取得了良好的成效,特别是在卸车就位受到设备重量大、场地条件差、当地吊装机械设备能力限制而造成现场设备卸车就位施工难度大、安全隐患高等问题困扰时,与传统主变压器卸车就位方法相比,其在施工进度、安全保障、质量控制和成本方面具有较为明显的优势。随着更多的中国企业走出国门参与到世界能源、运输、工业等项目的投资建设运营中,采用滚轮滑车平台及地锚拉索技术进行平稳卸车就位主变压器的施工工艺方法所适用的范围和作用越来越大,所取得的经验可为更多类似工程的施工借鉴和参考。

参考文献:

[1] 刘志杰.地下变电站主变压器压器扩容典型吊装方案研究[J].工程技术研究,2019,42(23):253-254.

[2] 范贵隆,等.响水涧抽水蓄能电站主变压器压器就位技术改进及经济性分析[J].水利水电技术.2015,56(5):117-120.

[3] 路长松.大型油浸式变压器卸车安装技术研究及在印度首台 800 MW 超超临界机组中的应用[J].中国设备工程,2022,38(22):209-211.

[4] 范舟,等.220 kV 变电站主变压器安装质量控制及关键点管理分析[J].电工技术.2019,40(9):110-111.

[5] 电气装置安装工程质量检验及评定规程,DL/T5161.1-2018[S].

作者简介:

王仕平(1995-),男,重庆城口人,项目总工程师,技术员,从事建设工程施工技术与管理工作;

陈海峰(1986-),男,重庆垫江人,项目经理,助理工程师,从事建设工程施工技术与管理工作.

(责任编辑:李燕辉)