

甘肃能化庆阳 2×660MW 煤电项目

初步设计阶段

第 12 卷 第 2 分卷

模块化栈桥专题报告

中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司

Northwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group

2024 年 11 月 西 安



60-F23341C-T02-18

甘肃能化庆阳2×660MW煤电项目
初步设计阶段

第 12 卷 第 2 分卷

模块化栈桥专题报告

中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司

Northwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group

2024年11月 西 安

批 准 人： 刘 学 军

审 核 人： 袁 瑞 山

校 核 人： 刘 飞 鹏

设 计 人： 赵 晴

目 录

1	概述	1
2	栈桥在工业行业中的发展	1
3	成套式模块栈桥产品简介	2
4	成套式模块栈桥的技术特点	4
5	成套式模块栈桥的经济性	8
6	结论	9

1 概述

甘能化庆阳电厂（2×660MW机组）工程为新建工程为甘肃能化九龙川煤矿配套建设煤电一体化项目，本期拟建设2×660MW超超临界间接空冷燃煤机组，厂址位于甘肃省宁县境内。

甘肃省陇东地区是国家规划的14个大型煤炭基地之一，境内煤炭资源丰富，探明资源量359.8亿吨（其中庆阳271.8亿吨），保有资源量184亿吨。九龙川矿井地处西北地区甘肃省宁县，资源储量丰富，煤质好，开采条件较好，适宜建设现代化大型矿井。本工程所在宁县具备建设大规模煤电基地的有利条件，电源建设成本及发电成本相对较低。

宁县地方工业弱小，没有大型工业企业支撑，本项目的建设将有力带动全县财政税收、建筑建材、商贸服务、餐饮、住宿、食品加工、运输、基础建设等众多行业的发展，有效地推动当地经济建设的发展，缓解就业压力，增加居民收入，提高生活水平，对地方经济的发展具有重要意义。

本期工程，供煤煤矿已具备建设条件；供水水源利用城市中水和煤矿疏干水；主机采用高参数大容量空冷机组。高效节能环保型电厂是本工程的建设目标。

本工程计划在2024年12月开工，第一台机组计划于2027年5月建成投产，第二台机组计划于2027年6月建成投产。

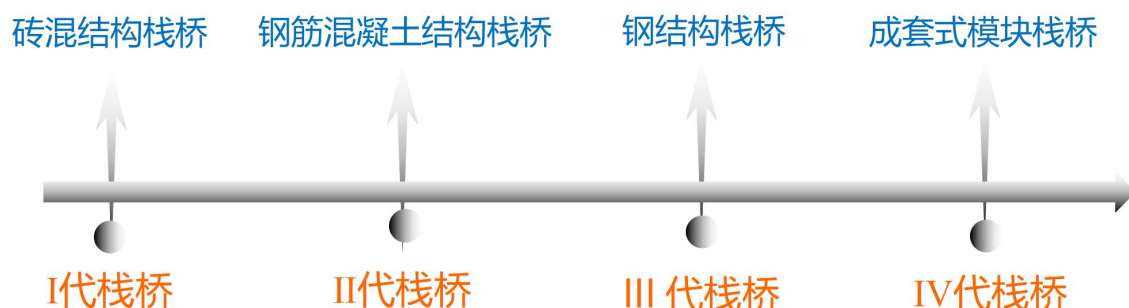
2 栈桥在工业行业中的发展

栈桥是一种重要的工业建筑，它承担散料的运输功能。目前，国内栈桥多为砌体结构栈桥、钢筋混凝土结构栈桥以及桁架式钢栈桥。在我国目前栈桥在工业上的应用分为四个发展阶段，最开始我国启用的栈桥形式为砖混结构栈桥，多见于90年代，紧接着随着钢筋混凝土结构应用的普及，钢筋混凝土结构栈桥也迎来了大规模的应用。进入2010年我国逐步普及钢结构栈桥。

随着建筑工业化的发展，我国的装配式结构取得跨越式的发展。标准构件工厂化生产越来越普及，而建筑工业化发展并不均衡。目前建筑工业化主要集中于房屋建筑领域，在工业建筑领域工业化生产水平相对落后。

装配式栈桥在澳大利亚、美国等现代化矿井均有大量应用，国内研发的成套式模块栈桥是在引进、消化、吸收国外装配式栈桥的基础上，结合我国散装物料储装运配一体化工程需求进行研发。对成套式模块栈桥模块尺寸、保温、栈桥底板、外观等多方面进行了改进。从设计、加工制造、运输到现场装配、调试全过程、全流程工艺再造，实现

了栈桥工业化生产、装配式施工。



图：栈桥在工业行业中的发展阶段

3 成套式模块栈桥产品简介

成套式模块栈桥由六个部分组成，分别是侧板、顶板、横梁、底板、吊挂式带式输送机和附属结构，如图1所示。侧板分为保温式和非保温式，侧板有下纵梁、上纵梁、肋和波形板组焊成一个整体结构板，保温式在侧板内侧加设保温层。顶板亦分为保温式和非保温式。底板有三种形式：第一种是在底横梁上铺轻质预制板；第二种是在底横梁上架设压型钢板，在压型钢板上现浇钢筋混凝土；第三种是将预制钢骨架混凝土组合结构板直接固定于底纵横梁上。带式输送机可以悬挂设置，亦可落地设置。采光和通风设施设于顶板处，顶板由通光板和彩钢板组成，各种附属设施和各种管道、电缆桥架等可布置于上横梁上部。

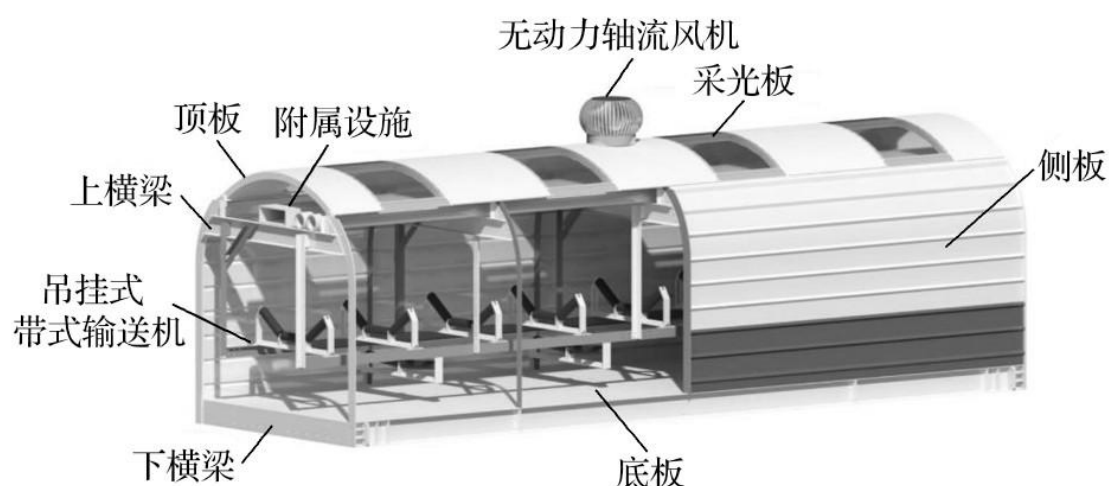


图1 成套式模块栈桥组成

栈桥采用模块式设计、制作,分成标准节和非标准节,标准节为9.0m和12.0m,可组成各种尺寸,节与节之间采用高强螺栓连接。栈架宽度范围从3.5m到10.5m,可设单输送带、双输送带和三输送带,输送带角度 $0^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。栈桥支架亦采用模块化设计,分为标准节和非标准节,支架采用钢管制作,立杆和横杆及斜杆之间俱采用螺栓连接,节和节之间亦采用螺栓连接,支架亦可采用钢筋混凝土结构。

栈桥的侧板、上横梁、顶板、底板、悬挂式带式输送机部件、各种附属结构在工厂加工,然后运输到施工现场,在现场用螺栓进行组装。模块支架以杆件形式运输到现场,以螺栓进行组装。支架和栈桥在地面上组装,组装完毕后,再进行整体吊装。在施工现场的组装过程中,无焊接作业,无喷涂作业。



图2 成套式模块栈桥生产流程图

4 成套式模块栈桥的技术特点

成套式模块栈桥相对于传统栈桥的桁架式栈桥具有以下技术特点：

01) 结构形式。成套式模块栈桥采用箱体薄壳结构，侧板既作受力构件，同时又代替了围护结构。成套式模块栈桥将输送带支架悬挂于上横梁，使上横梁承受带式输送机及散料的荷载，底横梁承受底板自重及维修后荷载。连续多跨栈桥工程中，桁架式栈桥跨与跨之间无联结，每跨栈桥作为一个独立单元，以简支梁形式进行受力，而成套式模块栈桥跨与跨之间亦采用高强螺栓联结，其多跨栈桥可以连续梁作受力分析，有效降低弯矩和挠度。



桥横梁连接节点



栈桥侧板连接节点



栈桥支座连接节点

工厂化加工。成套式模块栈桥的侧板、顶板、上横梁、底板（下横梁）俱在工厂中机械制作。所有下料均采用数控机床，所有螺栓孔均采用数控钻床，焊缝由机械焊接形成，侧板由上梁、下纵梁、肋和波形钢板在专用模具中机械焊接而成，专用模板有效的制约

了焊接引起的变形,保证了侧板的整体尺寸精度和劲肋表面的平整度。侧板出模后整体进行抛丸处理后,进行自动喷漆烘干,顶板、底板(底模梁)、上横梁等部件俱在专用模具内制作,尺寸精度高,所有钢部件俱进行抛丸处理后进行自动喷漆烘干。而传统的桁架式栈桥,大部分采用手工下料、喷砂除锈、手工焊接、手工喷漆。两者相比,模块栈桥部件尺寸方面精度更高、焊接质量更有保障、防腐质量更高。

施工工期。传统桁架栈桥制作完毕后,一跨36.0m栈桥在现场拼装、喷涂、安装围护结构等工序约7d,吊装后安装带式输送机、管道、电缆桥架、楼面做防水保护层等处理约需7~10d,总工期约15d左右。而成套式模块栈桥制作完毕后,在施工现场拼装完结构底板后,而后安装悬挂式带式输送机、管道、顶板等约需4d,吊装后只需放输送带、铺设电缆即可,总工期只需5d左右。例如,在内蒙古图克项目采用成套式模块栈桥,施工速度快,使冬季高寒地区施工成为可能,所以其工期优势更大。成套式模块栈桥尤其适合老旧栈桥的更换,很多栈桥由于使用年限较长,栈桥安全性,需要更换,但由于生产需求,停工时间不能过长,只能在设备检修期间进行。成套式模块栈桥可以很好地满足这种需求,旧栈桥分配权成拆卸后,成套式模块栈桥可迅速吊装就位,而后连接将跨与跨之间的管道,安装输送带,铺设电缆即可,基本不影响业主方的生产。



栈桥构件运输



栈桥吊装现场

施工安全。由于成套式模块栈桥的大部分作业俱在地面上完成，所以高处作业较少，这样有效的降低了安全风险，无焊接作业，避免了火灾、爆炸等危险因素。

作业环境。成套式模块栈桥拼装时，先将侧板用螺栓固定于底盘，不同于桁架式栈桥还需临时支撑，所以成套式模块栈桥拼装时所需占地少，成套式模块栈桥拼装时无湿作业。对环境温度要求低。成套式模块栈桥拼装后不需要进行喷涂作业，对气温和风速等环境要求低，成套式模块栈桥拼装时无焊接，对气温要求低，尤其是在化工厂等对动火作业有严格要求的环境，成套式模块栈桥更适宜。

绿色环保。十八大以后，我国环境保护日益严格，施工作业是环保重灾区之一，绿色施工是时下主旋律。在钢结构施工中，焊烟和漆雾是两大污染源，成套式模块栈桥所有焊接和喷涂作业俱在工厂完成，在现场只有螺栓连接，所以成套式模块栈桥在现场施工更绿色，更环保。

使用环境。传统的桁架式栈桥在施工完底板后，桁架的腹杆处是防水薄弱环节，并且栈桥跨与跨之间的间隙亦是防水的通病之处。成套式模块栈桥单跨中无腹杆，只有底板和底纵架之间有缝，由于采用螺栓紧固及柔性防水封闭，单节之间无漏水之虞；节与节之间采用专用伸缩节，很好解决了传统栈桥的通病。另外传统桁架式栈桥的围护结构在栈桥外侧，故其腹杆等构件易受灰、易受损，降低了防腐有效期，而成套式模块栈桥的保温层在内侧，隔绝了结构劲板和波形钢板的受拉和受灰，有效提高了防腐效果。而后成套式模块栈桥的带式输送机采用悬挂、无支腿着地，故在清扫冲洗方面更方便。



栈桥侧板防水构造

5 成套式模块栈桥的经济性

成套式模块栈桥具有鲜明的技术特点,但作为一个产品,大部分的业主更关注其经济性。通过调研收集了近五年的220跨桁架式栈桥案例作为经济比较依据,这220跨栈桥中单输送带栈桥80跨,双输送带栈桥80跨,三输送带栈桥60跨。栈桥所在地从内蒙古、山西、山东、河南、河北、安徽、到江苏、江西、云南和新疆10个省份,栈桥跨度从18.0m到42.0m。

通过综合分析比较,单输送带成套式模块栈桥的每米含钢量比桁架式栈桥高8%左右。每米栈桥造价比桁架式栈桥高5%左右。双输送带栈桥每米含钢量比桁架式栈桥低10%左右,每米栈桥造价比桁架式栈桥低5%左右。三输送带栈桥每米含钢量比桁架式栈桥低15%左右,每米栈桥造价比桁架式栈桥低11%左右。在这三种栈桥中每吨钢材造价比桁架式栈桥高10%左右。

工程项目业主更为关注栈桥每吨造价,但是栈桥吨造价未包括围护结构、底板这两者造价,占钢栈桥造价的30%~40%。传统钢栈桥由设计院完成设计,确定运输距离后,其总含钢量已定,通过吨造价可以估算栈桥总造价。而成套式模块栈桥,只需要业主给出相关参数,设计施工单位直接提供整体产品,按照长度计价,按重量计价不适合模块栈桥,即便吨造价较低,如果每米含钢量高,也会造成总体造价偏高。业主需求是将散料的运输和转移,因此距离确定后,按运输长度计价更合理。所以成套式模块栈桥在单输送带栈桥造价略比桁架式栈桥高,双输送带栈桥和三输送带栈桥比桁架式栈桥更具有经济性。另外在栈

桥使用阶段,在栈桥冲洗和维护方面,模块栈桥更具有经济优势,并且成套式模块栈桥具有可重复利用性,在全服务周期而论,成套式模块栈桥的经济效益更好。

6 结论

成套式模块栈桥最大优势是以模块单元形式在工厂标准化生产,而组成标准模块的基本构件(如侧板、上部横梁等)工厂有一定量的存储。因此,对于长距离运输的输送栈桥,有条件设计成标准跨度,采用标准模块。配用标准栈桥支架,成套式模块栈桥更能体现出其价格和工期的优势。对于已经投入生产的企业,往往现场加工和施工会造成一定的噪声和环境污染,成套式模块栈桥可有效的降低噪声和环境污染。

	方案一：成套式模块化栈桥	方案二：传统钢桁架栈桥
图片		
建造快、 工期短	装配式工厂加工，现场拼装，同步进行，工期双向可控，相比工期节约80%。	构件多，工序复杂，拼装、焊接都在现场完成，建设周期长，建设受环境影响较大，吊装作业效率低。
施工安全	栈桥现场拼装作业简单，作业人员少，栈桥内附属设施可全部安装完毕后进行整体吊装，减少高空作业，安全隐患少。	作业流程复杂，作业人员多，设备机械较多，容易发生触电、机械伤害，且工期长，作业条件恶劣，物的不安全因素较多。
集成化	栈桥结构简单，易维护。利用构件特性集成化安装配套系统及皮带吊挂系统，统一吊装。	传统栈桥构件结构复杂，维护量大，配套系统需栈桥施工完成后进行安装。
防火性能	侧墙板内侧安装防火岩棉保温层，防火等级A级不燃，设置在迎火面，有效阻挡火灾对受力构件的侵蚀，保证受力构件的稳定性。	桁架外安装岩棉保温层，防火等级A级不燃，迎火面设置在受力构件外侧，发生火灾时不能有效阻挡火灾对受力构件的保护，从而导致栈桥坍塌。
质量可靠	数控加工，精度可靠。80%焊缝采用焊接机器人，焊接质量高	人工切割下料，尺寸偏差大，作业场地环境不容易保证，互换性不好，构件组对拼接需要人

	方案一：成套式模块化栈桥	方案二：传统钢桁架栈桥
		工现场放样，受铆工经验水平影响。
耐久性	侧墙板为弧形墙板，防腐除锈工厂内机械化作业，且油漆质量好，机械喷涂，耐久性比传统栈桥使用寿命长7-10年。	传统栈桥钢桁架人工现场打磨除锈、喷漆，质量不可靠，耐久性能低。
美观	外管新颖，箱体颜色可个性订制，企业 LOGO 更醒目	传统栈桥外围护为彩板结构，颜色受约束，外观质量一般。
检修维护	结构简单、落煤冲洗无死角，日常维护方便，简单，可配备智能化清理。	桁架结构复杂加工死角较多，日常清理、维护繁琐，需要经常性维护窗户、彩板等，每三到五年需要进行整体检修，并对钢结构构件进行防腐处理。
通风、采光	通过屋面自然通风口无动力轴流风机通风或有动力轴流风机，采光采用屋面交替采光带采光，采光效果良好。	通过窗口采光及通风，通风操作方便，采光良好。
可拆卸性	模块栈桥模块化安装、结构简单，互换性好，结构件为螺栓连接，拆卸方便，对二次转配质量影响较小。	螺栓连接或焊接，结构件复杂，拆卸繁琐、且焊接作业较多，拆卸后组装难度大，表面保护层破坏严重，二次组装质量极不稳定。
成本造价	栈桥含钢量较低，价格优势明显。	栈桥含钢量较高，整体造价较高。
绿色环保	现场无火焊；占地面积少；安装时间短，栈桥整体封闭严密，大大降低粉尘、噪音污染。	现场喷砂除锈组作业、喷涂作业等容易产生空气污染及油污污染，作业过程中容易产生泡沫、岩棉、铁皮等垃圾，密封性能差，粉尘易传播，环保质量差。

通过上表可以看出，成套式模块栈桥作为中国新一代钢栈桥，是一种新型产品，它克服了传统桁架式栈桥的许多缺点，一是在技术上具有先进性，在建筑工业化的大趋势下，在环境保护越来越严的形势下，成套式模块栈桥的推广应用价值越来越高。二是在经济上具有优势和提升空间，在钢材价格上升和人工费越来越高的情况下，成套式模块栈桥的经济性能将会得到更好的体现。