

# 型钢混凝土悬挑结构施工技术在大型矿山井塔工程中的创新与应用

夏斌

上海国际主题乐园有限公司，上海，200120；

**摘要：**针对大型矿山提升井塔型钢混凝土悬挑结构施工中的安全、成本及技术难题，提出一套高效、经济的综合施工技术。通过附着悬吊操作平台、辅助型钢加固、悬吊模板系统及防火型钢悬挑脚手架等关键技术，优化施工流程。成功应用于蒙古国奥尤陶勒盖铜金矿2#井工程，经济效果显著，能够明显提升施工进度，获国际业主认可。该技术可为同类工程提供参考，具有显著经济效益和社会效益。

**关键词：**型钢混凝土；悬挑结构；悬吊平台；矿山井塔；施工技术

**DOI：**10.69979/3029-2727.25.10.017

## 引言

矿山提升井塔为满足掘井和采矿双向功能需求常设计为悬挑结构，该部位建造期间施工难度大，传统施工方法（如南非金矿项目的外伸桁架液压提升工艺）存在成本高、风险大等问题。本文以蒙古国奥尤陶勒盖2#井工程（99m高型钢混凝土结构，悬挑4m）为例，结合工程难点（交叉作业、高空荷载、防火要求），提出创新解决方案。

## 1 研究方法

### 1.1 项目研究的目的和意义

矿山提升井塔设计使用阶段为两个阶段，一是掘井阶段，用来提升掘井产生土和岩石，通过出料口运送至井塔外；二是采矿阶段，用来提升矿产，通过皮带运输机运往选矿车间。因此，提升井塔的结构和设备要满足这两大使用功能。为充分的利用空间，合理的布置两套设备。提升井塔最上面一层设备安装平台需要拓展空间，一般设计为悬挑结构。型钢混凝土悬挑结构主要为悬挑梁、板、墙的型钢结构、钢筋、模板和混凝土的施工。

蒙古国奥尤陶勒盖铜金矿项目（以下简称OT项目）的2#井是OT项目主要的铜金矿提升井塔，是目前世界上日提升量最大的提升井塔，竖井地面以下为-24m，地面以上为99m。主体结构-2m~99m为型钢混凝土结构。78.175~78.5m为悬挑的混凝土结构。悬挑宽度为4m。悬挑梁板混凝土施工时施工总荷载达1900KN（190T）。按照矿业公司业主整体的进度计划需求，在施工该悬挑段

时，矿业公司已经开始地面以下的掘井工作，掘井用的提升机、绞车、上人、运料的钢丝绳均位于78.5m悬挑结构的正下方，不能有任何物品高空坠落撞击钢丝绳或提升机械。在这种情况下，如何确保井塔悬挑部位施工的安全性、如何采取防护措施确保不会产生物品坠落、如何减少高空作业量，如何在大量焊接的条件做好防火是亟待解决的问题，也是本项目技术开发和研究的首要工作。该部分的施工是整个项目的重难点，因此，做好悬挑结构的施工研究工作，对矿山井塔项目及其他类似项目的施工技术和施工工艺有较为深远的参考价值，对民用超高层建筑悬挑结构的施工也具有一定的借鉴意义。

### 1.2 国内外技术现状及发展趋势

通过查阅国内外相关项目资料，在南非金矿上有一座相似类型的提升井塔，井塔高80m，为钢筋混凝土结构，悬挑墙体设计为轻钢彩板围护结构。该项目施工时采用制作外伸桁架作为提升梁，通过安装液压提升系统，将预制的整体桁架式操作平台提升到指定位置，利用外伸的桁架梁将操作平台提升到高空使用桁架作为操作平台的支撑；所有荷载都由外伸桁架承受，因此桁架的设计、制作、安装成本较高。该井塔悬挑墙体设计为轻钢结构、彩板围护形式。重量较轻，施工中可以使用吊篮作为操作平台。本工程悬挑结构设计为型钢悬挑混凝土结构，上述方案并不适用。

考虑本项目悬挑结构为型钢混凝土结构，根据项目实际情况，拟采用钢结构悬吊平台技术路线。本工艺的

总体技术路线可归结为“制作附着式悬吊平台、加固永久悬挑钢结构、安装悬吊模板、搭设型钢悬挑脚手架”四点；

### 1.3 总体技术路线

#### 1.3.1 制作附着式悬吊操作平台

按照原结构设计，型钢混凝土悬挑钢结构梁和内部框架的钢柱通过高强螺栓连接，在场地、吊装受到限制的情况下，无法实现悬挑钢结构梁地面组装、整体吊装。因此悬挑钢结构的安装需要一个操作平台；悬挑型钢梁安装完成后，需要绑扎钢筋和支设模板，这样就要求在钢梁下方有一个操作平台，这个悬吊的平台在地面上和钢梁组装成为一个整体，随着悬挑钢梁一起安装，减少了高空作业量，且悬吊的平台比整个悬挑结构宽，能起到防护的作用。

#### 1.3.2 加固悬挑钢结构

悬挑梁混凝土施工总荷载达 1900KN，考虑利用型钢混凝土钢梁、钢柱，通过增加辅助的型钢将悬挑结构进行加固，使悬挑结构的弯矩传递到平台内部的钢梁上，最终实现受力平衡；所有悬挑梁、板的型钢混凝土自重和施工荷载均由增加的型钢承受；经过加固的悬挑结构在混凝土浇筑施工中安全、牢靠。

悬挑部位的型钢混凝土梁的设计不是外伸梁，而是设计为简支梁，一个支点是内侧墙体，一个支点是外侧的悬挑墙体。外侧悬挑墙体结构的自重不是由该悬挑梁来承受，相反，是由相连的其他两面墙来承受，而且，该悬挑墙体还需要“拉”起悬挑梁和板作为悬挑梁板的外侧支点。

#### 1.3.3 安装悬吊模板支撑系统

模板直接承受混凝土自重和侧压力，由于模板下方和侧面没有固定的锚点可以作为模板支撑的持力系统，模板的加固和支撑通过在型钢上设计横梁、吊杆，及焊接对拉螺栓，制作悬吊的模板支撑系统，使混凝土浇筑过程，钢筋混凝土自重、施工荷载全部已经加固的悬挑型钢梁来承受；

#### 1.3.4 搭设型钢悬挑脚手架

在悬挑平台板混凝土施工前，预埋 U 型螺栓和预埋件；混凝土浇筑完成，强度达到 100% 强度后，安装悬挑型钢，搭设型钢悬挑脚手架，作为悬挑墙体施工的操作平台。脚手架搭设过程通过和钢结构进行拉结，每层墙体混凝土施工时提前预埋连墙件。

## 2 详细的技术方案

### 2.1 悬吊平台的设计

悬吊平台在地面上制作，连接在悬挑钢结构上，仅作为施工操作用。考虑支设悬挑梁侧面模板有足够的操作面，悬吊平台尺寸要比悬挑梁、板宽出 800mm；钢材选用 Q235B 优质碳素钢，吊杆和横梁选用【16b 槽钢，底部联系梁选用 100\*50\*4 矩形钢，平台板设计为 6mm 厚的花纹钢板，比梁、板宽出的 800mm 选择工 20b 的工字钢作为悬挑梁，为保证该悬挑梁的平面外的稳定性，在梁两侧增加 48\*3.5 脚手架钢管斜撑。护栏选用 48\*3.5 脚手架钢管使用 U 型卡固定在最外侧的吊杆上，踢脚板选用 4mm 厚的钢板焊接在花纹钢板上，围护结构选用 2m\*1m 的大菱形孔 2mm 厚钢板网。能够起到较好的防火性能。

悬吊平台设计为施工操作用，设计时考虑施工荷载和风荷载；一般的，施工荷载按照 2KN/m<sup>2</sup> 均布荷载考虑，施工验算分为 4 步：

(1) 验算底部矩形钢连系梁—(2) 验算底部【16b 槽钢横梁—(3) 验算吊杆—(4) 验算 800mm 悬挑型钢附着在主结构的吊架的设计计算书需要经过专家组和设计院结构工程师的审核。

### 2.2 悬挑结构加固的设计

#### a) 加固方式

悬挑钢结构安装后，先使用倒链进行临时加固；混凝土施工时，钢梁自重，钢筋模板自重、混凝土自重产生的荷载较大。施工前需要对悬挑的钢结构进行有效的加固，以保证施工安全性。加固方式采取增加型钢立柱和型钢斜撑拉结在悬挑梁的端部，通过附加的型钢来承受结构自重和施工荷载。

附加的立柱是将原墙体钢柱 HW390\*300\*10\*16 向上延伸，附加的钢梁在原结构内部增加钢梁，悬挑结构的自重以及施工荷载通过斜撑 (HM200\*150\*6\*9) 传至内部增加的钢梁上；上图可以看出整个悬挑结构的加固是一个合理的受力平衡状态。由于悬挑结构荷载非常大，整个加固系统型钢的选用需要进行精确的核算来确定截面尺寸和连接焊缝的长度，核算时充分考虑钢结构自重、钢筋、模板、悬吊平台、混凝土自重等恒荷载，以及泵送混凝土冲击、施工荷载等活荷载，荷载进行组合并按照最不利因素简化受力简图。

## 2.3 吊模板支撑系统

由于悬吊平台设计为施工操作平台，不能作为梁模板支撑点。悬挑的钢结构已经通过附加的斜撑、立柱、辅助梁进行了充分的加固。因此，模板支撑系统利用钢结构进行制作吊模板系统。型钢混凝土平台的设计一般为梁上铺设压型钢板，板混凝土直接浇筑在压型钢板上，无须支设板底模板。因此模板的支撑系统仅为型钢混凝土悬挑梁的模板支撑。模板加固支撑系统验算时，底模的验算可以按照梁截面的1/2进行验算，侧模验算按照梁全截面进行验算。这些模板的验算属于常规计算，这里不予以列举。

## 2.4 型钢悬挑脚手架设计

为施工悬挑结构的墙体，外墙钢筋绑扎、模板安装需要有一个合适的操作平台。因此需要在悬挑结构的外侧搭设悬挑脚手架，在浇筑板混凝土前，通过预埋U型螺栓和预埋件作为型钢的锚点，在板混凝土浇筑完成，混凝土强度达到100%强度后，安装悬挑的型钢。使用花纹钢板铺设在型钢上形成一个悬挑的钢平台，然后在型钢上搭设脚手架，脚手架立杆坐落在悬挑的型钢上，在钢结构上和混凝土面设置连墙件，脚手架根据施工需要进行搭设。

## 3 实施效果总结

该工程悬挑结构施工前，业主方，项目管理公司，设计院和施工单位组织对施工方案展开了多次讨论，通过详细的计算和部署。现场实施前，组织了多层次的安全和技术交底，现场施工严格按照方案执行，每一步的施工均设置了关键工序控制点，关键工序的指导人和检查人能立足现场进行各项验收，方案得到较好的实施。井塔上部结构按照既定计划顺利完成，矿业公司的地下开采工作也同步进行，没有收到任何影响。

现场采取的方案与南非井塔造价对比，节约价值超过168万人民币。经济效益明显。

整个施工过程安全、质量受控，各项防护措施设置得当，受到了业主艾芬豪矿业公司和力拓公司，PMC美国福禄工程公司及蒙古国家建设主管部门的一致好评。取得了较好的社会效益。当地建设主管部门拍摄了记录片进行了宣传。项目技术成果申请了国家专利2项，部

级工法一项，集团公司科学进步奖一项。

## 4 研究不足与展望

研究过程中存在一定局限性。研究样本主要为矿山提升井塔，样本数量相对有限，受造价和工程设计的影响，可能无法全面适应不同结构类型的悬挑结构施工的实际情况。部分策略的实施受到投资方资金支持等外部条件约束。未来相关研究可进一步扩大研究样本范围，涵盖不同结构类型的悬挑结构，深入分析施工的可行性，探索更加灵活、适应不同类型的创新方案。为高层工业与民用建筑悬挑部位的施工方案持续改进提供更多参考。

## 参考文献

- [1] GB 50017-2017, 钢结构设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [2] CECS 102-2020, 门式刚架轻型房屋钢结构技术规程[S]. 北京: 中国工程建设标准化协会, 2020.
- [3] GB 50936-2014, 型钢混凝土组合结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [4] GB 50009-2012, 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [5] 王铁梦. 工程结构裂缝控制[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [6] ACI 318-19, Building Code Requirements for Structural Concrete[S]. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2019.
- [7] Fathifazl, G. Design of Steel Structures for Mining and Heavy Industry[M]. Australian Institute of Steel Construction, 2020.
- [8] BS 5950-1, Structural Use of Steelwork in Building[S]. London: British Standards Institution, 2000.

作者简介：姓名：夏斌（1982.04.19-），性别：男，民族：汉，籍贯：安徽宿州，学历：大学本科，研究方向：土建施工管理，目前的职称：工程师，一级建造师。