

深大立井凿井吊盘结构与型钢选型研究

王宇锋¹, 刘志强², 李幸福², 王 博²

(1. 北京能源(投资)集团有限公司, 北京 100022;

2. 中国矿业大学 力学与建筑工程学院 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室, 江苏 徐州 221116)

摘 要: 针对目前深大立井(井筒深度、直径分别不小于1 200、8 m)施工中凿井吊盘结构选型及受力特性研究不足的现状, 结合近年来深大立井凿井施工工艺和施工装备的革新情况, 系统分析了满足井筒深度1 200 m、直径6~12 m的凿井吊盘断面布置方案, 并利用SAP2000有限元模拟软件进行了系列凿井吊盘的结构受力数值验算, 获得了深大立井典型凿井吊盘结构各梁柱的受力特性。同时给出了满足井筒深度1 200 m、井筒直径6~12 m的凿井吊盘梁柱等结构选型参考标准, 可为深大立井施工凿井吊盘设计提供参考依据。

关键词: 深大立井; 凿井吊盘; 结构选型; 型钢选型

中图分类号: TD26 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2015)01-0091-04

Research on sinking platform structure and steel selection of deep and large shaft

WANG Yu-feng¹, LIU Zhi-qiang², LI Xing-fu², WANG Bo²

(1. Beijing Energy Investment Holding Co., Ltd., Beijing 100022, China; 2. State Key Laboratory of Geomechanics and Deep Underground Engineering, School of Mechanics & Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: According to the status that deep and large shaft sinking platform (shaft depth and diameter was separately not more than 1 200 and 8 m) was main task of mine construction projects in the future, but the relevant research to the structure selection and mechanical properties of deep and large shaft sinking platform were very limited, layout of the deep and large shaft sinking platform (sinking depth 1 200 m, shaft diameter 6 m to 12 m) were systematically analyzed by considering the latest changes in shaft construction technology and equipment. Also, series of numerical calculations were carried out to check the mechanical characteristics of the sinking platform by SAP2000 finite simulation software. Based on the above results, steel selection of the deep and large shaft sinking platform were obtained. It could provide reference standard of structure selection satisfied to sinking platform beam-column of shaft with sinking depth 1 200 m, shaft diameter 6 m to 12 m, and provide the reference for the design of deep and large shaft sinking platform.

Key words: deep and large shaft; sinking platform; structure selection; steel selection

0 引 言

随着我国煤炭资源开采逐渐向西部和深部的发展, 开凿大直径深立井将是今后我国矿井建设面临的主要任务^[1]。凿井吊盘是立井井筒施工时井内的重要工作平台和安全保护平台, 大量凿井设备需要布置在吊盘上, 以满足井筒掘砌和以后井筒装备

安装的需要。在未设置稳绳盘的情况下, 吊盘还用来拉紧稳绳, 以提供足够的稳绳张紧力。针对凿井吊盘的选型和设计方法, 文献[2]给出了吊盘结构的一般设计原则以及井筒直径小于8 m的凿井吊盘型钢结构的选型参照标准。文献[3-7]等也对凿井吊盘的结构形式和受力特性进行了大量有益的研究, 保障了我国立井井筒施工的需要。然而, 近年来随

收稿日期: 2014-08-22; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2015.01.022

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA06A402)

作者简介: 王宇锋(1964—), 男, 河北河间人, 博士, 高级工程师。Tel: 13911621389, E-mail: 13911621389@139.com

引用格式: 王宇锋, 刘志强, 李幸福, 等. 深大立井凿井吊盘结构与型钢选型研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(1): 91-94.

WANG Yu-feng, LIU Zhi-qiang, LI Xing-fu, et al. Research on sinking platform structure and steel selection of deep and large shaft[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(1): 91-94.

着立井井筒深度和直径的不断加大,立井施工工艺和凿井装备的不断革新,深大立井条件下凿井吊盘的结构形式和受力状态较以往浅部立井井筒施工时有了很大差异。现有资料有关这方面的研究还十分有限,凿井吊盘设计大多依靠施工经验,加大了深大立井施工的难度和安全不确定性。为此,笔者结合目前我国深大立井施工工艺和施工配套设备条件^[10-11],系统分析了井筒深度 1 200 m 条件下,井筒直径 6~12 m 系列凿井吊盘梁格结构的布置方案,利用 SAP2000 有限元模拟软件^[12]数值验算了吊盘结构的受力性能,得出了该系列凿井吊盘主梁、副梁和圈梁等构件的适宜型钢规格。

1 凿井吊盘构造与凿井施工设备选型

1.1 凿井吊盘构造

根据目前井筒施工工艺和安全施工的需要,凿井吊盘主要采用上层盘、中层盘、下层盘 3 层盘,井筒直径 6~8、9~10、11~12 m 时层间距分别取 4、5、6 m,凿井吊盘直径较井筒直径小 300 mm。凿井吊盘的梁格布置结合抓岩机悬吊方式和喇叭口位置确定,其中梁格结构由主梁、副梁、圈梁组成,主梁对称布置 2 根,并与提升中心线平行,各梁之间通过连接角钢和连接钢板焊接或螺栓连接。凿井吊盘各层之间通过立柱连接,立柱通常采用双槽钢背靠背组合,井筒直径 6~8 m 时布置 4 根立柱;井筒直径 9~12 m 时布置 6 根立柱。立柱在盘面均匀对称布置,并与各盘间主梁相连接。

当吊盘自重不足以提供足够稳绳张紧力时,在凿井吊盘的上层盘和下层盘分别设置 4~8 个对称的撑紧装置,撑紧装置的形式可采用可伸缩的固定插销、螺旋撑紧装置或液压千斤顶等^[9],撑紧装置同时可起到稳固吊盘和防止吊盘晃动的作用。

1.2 凿井施工设备选型

立井井筒凿井施工中,布置在井筒内的设备主要包括吊桶、风筒、卧泵、水箱、分灰器、抓岩机等。采用的设备型号及数量依据不同直径井筒的施工需求确定。根据施工经验,直径 6 m 井筒可布置 2 套 3 m³ 吊桶提升,随着井筒直径增大,吊桶数量和体积也相应增大,最大的 12 m 井筒可布置 4 个 5~8 m³ 吊桶;6~10、10~12 m 直径井筒分别选用 1、2 台 DC50-80×12 型卧泵,并分别布置 6、8 m³ 水箱;一般选用 2 台 HZ-6 型中心回转抓岩机。不同井筒直径凿井吊盘上布置的凿井设备选型情况见表 1。

表 1 不同井筒直径凿井吊盘上布置的主要凿井设备情况

井筒直径/m	吊桶容积/m ³	风筒直径/mm	抓岩机
6	3(2)	800	HZ-6(1)
7	3(1)、4(1)	800	HZ-6(1)
8	4(1)、5(1)	800	HZ-6(1)
9	5(1)、5~6(2)	1 000	HZ-6(2)
10	5(1)、6~8(2)	1 000	HZ-6(2)
11	5(2)、6~8(2)	1 000	HZ-6(2)
12	5(2)、6~8(2)	1 000	HZ-6(2)

注:()内数据表示设备数量,如 5(1)表示 1 个吊桶;不同直径井筒所用风筒均为 1 个。

根据凿井设备布置情况和凿井吊盘的构造要求,即可确定不同井筒直径条件下凿井吊盘各盘面的梁格结构,如图 1 所示,由于篇幅限制图中并未给出井筒直径 12 m 的凿井吊盘梁格结构图。

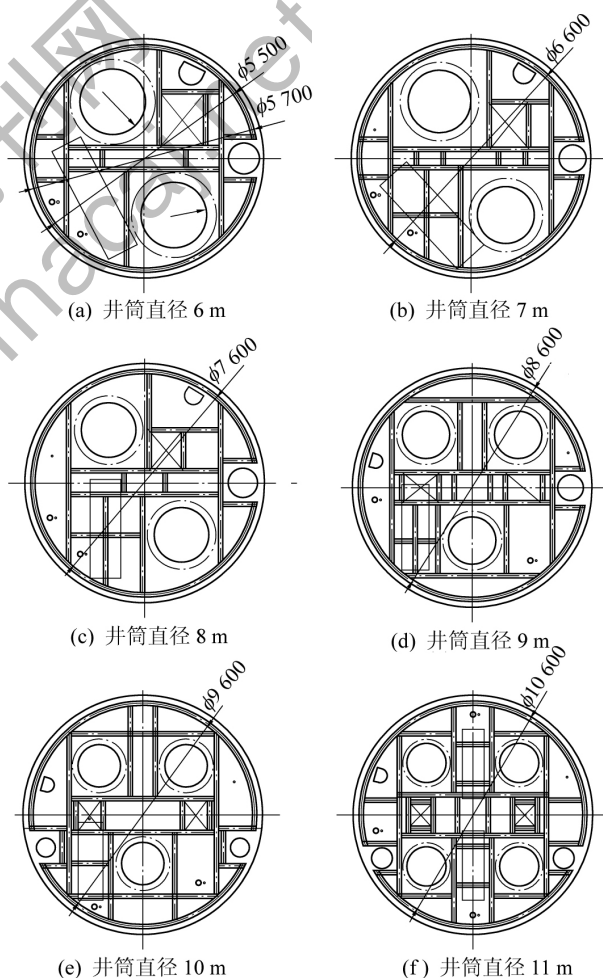


图 1 不同井筒直径条件下凿井吊盘各盘面的梁格结构

2 凿井吊盘结构受力的有限元验算

为确定满足 1 200 m 立井施工条件下不同直径井筒凿井吊盘梁格型钢的规格,笔者利用 SAP2000

有限元模拟软件对上述 7 种规格的凿井吊盘结构受力进行了数值验算, 验算以凿井吊盘各梁柱在工作荷载作用下的折算应力比应不大于 0.7 为标准^[10]。

2.1 凿井吊盘有限元模型的建立

在计算过程中, 需要对凿井吊盘各构件及连接进行合理的简化, 便于建模。建模时忽略凿井吊盘的钢板以及连接件等次要构件, 仅针对凿井吊盘主要的主副梁、圈梁以及立柱进行建模, 将次要构件的质量等效到吊盘整体自重中, 同时所有构件的连接节点均简化为刚性连接。吊盘在固定井壁工况下, 上、下层盘与井壁固定的撑紧装置简化为有水平撑紧力的竖向弹簧进行建模。吊盘受到的面荷载简化为线荷载均布施加到相关梁格上^[8]。按照上述简化, 建模完成的直径 10 m 井筒直径凿井吊盘三维有限元模型如图 2 所示, 以下以井筒直径 10 m 凿井吊盘为例对凿井吊盘结构受力的有限元验算过程进行简要介绍。

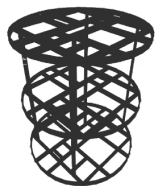


图 2 直径 10 m 凿井吊盘三维有限元模型

2.2 凿井吊盘荷载工况

立井施工中凿井吊盘一般有 3 种工况, 即放置地面工况、井筒内运行工况和井筒内固定工况。由于 3 种工况中, 以井筒内固定工况最为不利^[10], 所以笔者以该工况作为凿井吊盘结构受力的验算工况, 验算吊盘结构形式和构件型钢规格。

凿井吊盘在井筒内固定工况下所受荷载组合为

$(1.3Q_1 + 1.0Q_2)$ 。其中 Q_1 为吊盘自重, Q_2 为水箱和水的质量、卧泵质量、抓岩机+抓斗内矸石质量、施工时人员+工具荷载、稳绳和悬吊绳张紧时对吊盘的拉力和撑紧力之总和。

验算时凿井吊盘上施加的荷载如图 2b 所示, 具体数值及施加方式如下: 撑紧力作用在固定装置与吊盘上层盘和下层盘接触的 8 个节点上, 每个节点作用力 40 kN, 方向指向圆心。人员与工具荷载作用在三层盘, 各取 10 个点, 每个点作用力 1.5 kN, 方向竖直向下。直径 10 m 井筒有 3 个吊桶, 所以受到 6 根稳绳拉力, 每根拉力为 120 kN, 方向竖直向上。水箱及满水荷载作用在中层盘, 模拟简化为线荷载作用在吊盘梁上, 线荷载为 14.2 kN/m, 方向竖直向下。泵荷载作用在上层盘, 模拟简化为线荷载作用在吊盘梁上, 线荷载为 4.58 kN/m, 方向竖直向下。抓岩机与抓斗内矸石荷载作用在下层盘, 模拟简化为线荷载作用在吊盘梁上, 线荷载为 19.61 kN/m, 方向竖直向下。计算凿井吊盘动荷载时, 要考虑抓岩机抓斗内矸石的质量, 矸石质量取 2 000 kg。分灰器荷载作用在中层盘, 分 5 个点, 每个点荷载 8.0 kN/m, 方向竖直向下。

2.3 计算结果分析及型钢选型

经过有限元软件的计算分析, 得出在固定井壁工况下各盘所受弯构件的 3-3 弯矩以及对应的应力比, 如图 3 所示。图中实心圆点为有限元模型节点, 数据为对应构件的应力比。

由以上结果可知, 各梁柱均满足应力比不超过 0.7 的要求, 因此直径 10 m 井筒凿井吊盘宜选用主梁 I40B, 副梁选用 I36C, 圈梁选用 [40B, 立柱选用双槽钢组合结构, 槽钢选用 [32C, 钢材选用 Q235。

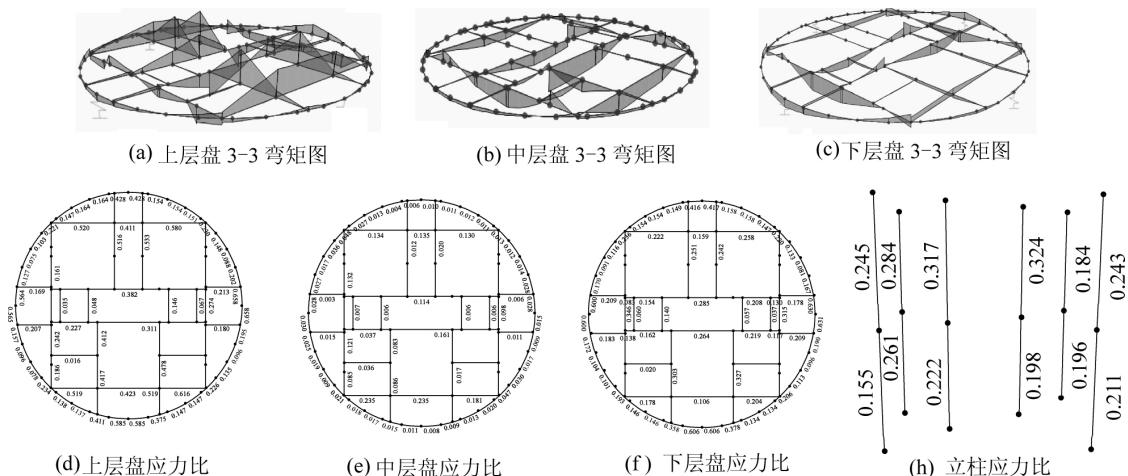


图 3 10 m 吊盘各主要梁柱构件的 3-3 弯矩及对应的应力比

综上,分别进行了 6~12 m 直径井筒凿井吊盘的结构受力验算,在满足各梁柱应力比均不超过

0.7 及立柱长细比不超限的要求下,凿井吊盘各梁柱型钢规格见表 2。

表 2 凿井吊盘各梁柱型钢规格

井筒直径/m	主梁	副梁	圈梁	网纹钢板厚度/mm	双槽钢立柱	连接角钢规格	连接钢板厚度/mm	螺栓
6	I36C~I40A	I28B~I32C	[36C~[40A	4	] [20B~] [22B	L75×8	8~12	M16~M18
7	I36C~I40A	I32A~I32C	[36C~[40A	4	] [22B~] [25C	L75×8	8~12	M16~M18
8	I40A~I40C	I32C~I36A	[40A~[40C	4	] [25C~] [28C	L75×8	8~12	M18~M20
9	I40A~I40C	I36A~I36C	[40A~[40C	4	] [28C~] [32C	L75×8	8~12	M18~M20
10	I40B~I50	I36C~I40A	[40B~[40C	4	] [32C~] [36C	L75×8	10~12	M18~M20
11	I40C~I50	I36C~I40A	[40C	4	] [36C~] [40C	L75×8	10~12	M20~M24
12	I50	I36C~I40C	[40C	4	] [36C~] [40C	L75×8	10~12	M20~M24

3 结 论

通过 SAP2000 有限元模拟软件的数值验算,在满足构件应力比和长细比不超限的条件下,确定了凿井深度 1 200 m,井筒直径 6~12 m 凿井吊盘典型梁柱结构各构件的适宜型钢规格,其中当井筒直径超过 11 m 时,吊盘主梁选择了较大的 I50 型号,在实际施工中,可以根据现场施工条件采用小型号的工字钢拼装成组合结构作为主梁。该研究数据可作为今后深大立井凿井吊盘结构设计与选型的参考依据。

参考文献:

- [1] 王丽丽,高文静.透视我国千米深井生态[N].中国煤炭报,2013-02-09(3).
- [2] 王建平,靖洪文,刘志强.矿山建设工程[M].徐州:中国矿业大学出版社,2007:162-170.
- [3] 胡社荣,彭纪超,黄 灿,等.千米以上深矿井开采研究现状与进展[J].中国矿业,2011(7):105-110.
- [4] 杨矿伟,刘小梅.超千米立井施工吊盘的设计[J].中州煤炭,2009(9):69-70.
- [5] 王彦栋,曹国华,刘 志,等.超深立井施工吊盘结构设计优化研究[J].煤炭科学技术,2013,41(2):78-80.
- [6] 高运强.超大直径立井凿井吊盘设计与施工[J].煤炭科技,2010(5):25-26.
- [7] 李 刚,王焕霞.立井施工新型吊盘稳盘装置的研制与应用[J].煤炭工程,2011(5):114-115.
- [8] 刘 杰,王志强,邱天德,等.液压整体迈步式凿井吊盘设计研究[J].建井技术,2013,34(3):28-30.
- [9] 龙志阳,桂良玉.千米深井凿井技术研究[J].建井技术,2011,32(1):15-20.
- [10] 李福辽.浅谈深立井快速掘砌施工[J].中国科技信息,2011(22):66-67.
- [11] 朱学胜,陈建宏,周智勇.深立井快速施工工艺优化[J].采矿技术,2011,11(6):39-41.

- [12] 李照亮.基于 SAP2000 的钢井架静力弹塑性分析[J].煤炭工程,2010(9):17-20.
- [13] 李 刚,王焕霞.立井施工新型吊盘稳盘装置的研制与应用[J].煤炭工程,2011(5):114-115.
- [14] 邵杏国.自适应吊盘稳固装置[J].矿业装备,2012(4):98-99.
- [15] 刘志强,王 博,许大晴,等.超深立井凿井吊盘结构选型与受力特性分析[J].采矿与安全工程学报,2013,30(2):224-228.

(上接第 141 页)

- [3] 鲍健强,苗 阳,陈 锋.低碳经济:人类经济发展方式的新变革[J].中国工业经济,2008(4):153-160.
- [4] 刘细良.低碳经济与人类社会发展[N].光明日报,2009-04-21(9).
- [5] 胡大立,丁 帅.低碳经济评价指标体系研究[J].科技进步与对策,2010(22):160-164.
- [6] 刘海滨,郭正权.论煤炭资源低碳发展利用的必要性及其路径选择[J].管理现代化,2010(6):15-17.
- [7] 任一鑫,曾宪迪,张士强.煤炭矿区能源集成利用方式研究[J].矿冶工程,2013(4):123-126.
- [8] 任一鑫,曾宪迪,张士强,等.滨湖煤矿能源集成利用研究[J].中国煤炭,2013(2):111-115.
- [9] 马 艳,吴 莲.低碳技术对低碳经济作用机制的理论与实证分析:基于马克思社会总产品价值构成理论的视角[J].财经研究,2013(11):80-86.
- [10] 张 覃,唐 云,邱跃琴,等.从粉煤灰中分选精煤的研究[J].煤炭科学技术,2001,29(5):39-42.
- [11] 赵剑峰.低碳经济视角下煤炭工业清洁利用分析及政策建议[J].煤炭学报,2011(3):514-518.
- [12] 张 强,徐益谦.煤层气作为燃料电池燃料的预处理及发电过程[J].煤炭科学技术,2000,28(12):32-34.
- [13] 聂会建,李 政,张 斌.整体煤气化联合循环(IGCC)全生命周期 CO₂ 排放计算及分析[J].动力工程,2004(1):132-137.
- [14] 刘敬尧,钱 宇,李秀喜,等.燃煤及其替代发电方案的生命周期评价[J].煤炭学报,2009,34(1):133-138.
- [15] 刘敬尧,李 璟,何 畅,等.燃煤及其替代发电方案的生命周期成本分析[J].煤炭学报,2009,34(10):1435-1440.