

凿井工程图册

第五分册

凿井专用设备设计计算示例

ZAOJING GONGCHENG TUCE

煤炭工业出版社

凿井工程图册

第五分册

凿井专用设备设计计算示例

王介峰 等编著

煤炭工业出版社

编审委员会主任：雷景良

编审委员会副主任：郭廷芳 龚 淼

编审委员会委员：（按姓氏笔划）

王介峰 王 涛 刘尚和 朱毕华 任鸿普 郭廷芳 吴学儒 李志文
李学华 胡德铨 袁文伯 龚 淼 曾士敏 董方庭 雷景良 鲍 仪
管松龄

主 编：王介峰

副 主 编：朱毕华 任鸿普 胡德铨 袁文伯 曾士敏

本分册责任编委：袁文伯

责 任 编 辑：鲍 仪 王闻升 孙金铎 田克运

凿井工程图册
第五分册
凿井专用设备设计计算示例
王介峰 等编著

煤炭工业出版社 出版

（北京安定门外和平里北街21号）

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行



开本787×1092mm¹/₁₆ 印张28¹/₂

字数678千字 印数1,521—2,635

1989年4月第1版 1991年3月第2次印刷

ISBN 7-5020-0055-0/TD·53

书号 2967

定价 15.00元

前 言

1965年组织编制的《煤矿凿井专用设备施工图册》自1966年出版以来,深受使用单位的欢迎,尤其在实用性和通用性方面得到施工现场的好评,早已销售一空,广大读者渴望修订再版。从该图册出版后的20年来,建井技术和施工机械化水平有了很大的提高并取得了许多新的成就。在建井平均深度成倍增加、井筒断面不断加大、地质和水文条件日益复杂的情况下,立井特殊施工已有多个井筒采用冻结法和钻井法顺利通过了深厚表土层;沉井、帷幕和注浆技术也有新的进展。立井普通法施工中,大段高单行作业以及掘砌或掘喷混合作业均有较大的发展;平行作业和掘砌安一次成井也有所实践。大量施工实践证明,混合作业有突出的经济效益和社会效益。机械、冶金、煤炭三部立井施工机械化配套攻关科研项目已基本完成,并推广应用,效果显著。10多年来,立井两次突破国内记录,最高月成井177.07m,有一批井筒平均月进40m以上。斜井施工,自70年代初组织工艺和机械化配套以来,以激光指向、光面爆破、耙斗机装岩、箕斗提升、矸石漏斗转载,以及潜水泵排水、远距离输料喷射混凝土支护、工业电视监视箕斗卸载等为主要内容,形成了具有我国特点的、习惯称之为“两光三斗”的机械化作业线,近年来又不断改进、优化,效益十分明显,1986年荣获国家科技进步奖。斜井施工速度屡创新水平,月成井10次超过日本352m的世界纪录,最高月成井704.3m,有一批井筒平均月进80m以上。这些新成就,大大丰富了本图册的内容。通过汇编,推广使用,将使这些科技成果更好地转化为生产力。

本图册应广大读者的迫切需要,在1966年《煤矿凿井专用设备施工图册》的基础上作了重大修改和补充,为了使图册名称更切合实际内容,本次修订更名为《凿井工程图册》。原图册中行之有效的继续保留,需要改进的做了修改,新研制成功并有推广价值的新工艺、新设备、新结构,做了补充。可以认为,本图册是建国以来尤其是近20年来,凿井工程经验的总结。本图册的出版,对今后的矿井建设,将有重要的指导作用和实用价值。

本图册可供从事各类矿山大、中、小型矿井及其他地下工程的工程技术人员使用,亦可供大专院校有关专业的师生和科研、设计人员参考。

本图册不同于图书或手册,五册中除一册计算书外,均以工艺布置图和设备施工图出现,是一种现象化的工程语言。由于编制人员水平所限,错误之处,希在使用中予以复核指正。

在本图册编制过程中,得到了全国煤炭系统及冶金、机械等部门各施工、科研、设计单位、高等院校的大力支持,他们抽出大量技术骨干、专家、教师承担编制任务,或者提供图纸资料。在此,我们表示衷心的感谢!在编审过程中,沈季良、崔云龙、江敦义、曾小泉、王广臣等同志参加了本图册方案会审或审图工作,提出了宝贵的意见,谨此致谢。

《凿井工程图册》编委会

1986年9月

编制说明

为便于各单位应用本图册，特将有关事项作简要说明。

一、编制原则

1. 本图册在编制中遵照了国家现行的方针、政策和国家标准，同时也充分考虑了煤炭工业有关规程、规范和质量标准。

2. 凡编入本图册的工艺和设备，均为经过实践证明行之有效，并具有一定的先进性、实用性，能服务于较长的时间。

3. 在编制中主要考虑了煤矿建井的技术条件，也兼顾了其他矿山或地下工程的使用条件；既考虑了大井、深井的适用性，也考虑了中、小型矿井及地方矿的通用性。

4. 本图册的工艺布置图可用于指导施工，设备零件图可用于加工制造。

5. 本图册力求标准化、系列化、通用化。有些专用设备，凡有定型的系列产品者，本图册仅绘制总图并列出规格系列表，供各单位选用。

6. 本图册强调了理论与实践相结合，各个单项均有计算，确保设计质量。选择其中有代表性的计算书，编成第五分册，作为凿井设备理论计算的示例。

二、编制内容

本图册由五个分册组成，有四册图纸和一册计算书。下面就各分册编制内容及其特点作扼要介绍。

(一) 第一分册 立井施工工艺及设备布置

1. 编制了井筒净直径3.5~8m、深度200~1000m的井筒、地面、天轮平台布置，可满足各种井型的井筒施工工艺及设备布置的需要。

2. 国内采用过的几种施工方法，如大、小段高单行作业，正在发展的混合作业，以及过去曾采用过的掩护筒同向平行作业，都作了反映。对混合作业作了重点介绍。

3. 为了简化地面布置，节省凿井绞车和钢丝绳，在我国已有实践的基础上，参考国外经验，推荐了管线井内吊挂方法。在条件适合时，应大力推广采用。

4. 对机械、冶金、煤炭三部立井机械化配套科研攻关新成果作了充分反映。在大井、深井中，采用了大绞车、大抓岩机、大吊桶、大井架、自动翻矸、伞钻、环钻、高扬程吊泵等设备，以利加快井筒施工速度。

5. 煤炭、冶金系统已有上百个井筒采用锚喷作永久支护，在提高进度、降低造价方面有突出的效益。为了今后在条件合适的井筒继续采用，也作了介绍。

6. 选择有代表性的井筒直径和深度，以及作业方式：即井径5m深400m单行作业（小段高）、井径6.5m深600m混合作业和井径7.5m深800m单行作业（大段高）三种，作了示例设计，供各单位编制井筒施工组织设计时参照。

(二) 第二分册 立井凿井专用设备

本分册除保留了原有适用部分外，增补了20年来研制成功的或改进后使用可靠的，以及按系列要求需要补充的内容。

1. 修改、补充了凿井提升天轮系列，天轮直径由1.2~3.0m共5种规格；新增了长绳悬吊大抓斗用的 $\phi 1.0\text{m}$ 天轮。

2. 重新编制了悬吊天轮系列, 除单槽天轮外, 双槽天轮有为悬吊管路、风筒、稳绳的三类、更便于合理选择。

3. 增加了坐钩式吊桶系列, 由 $2\sim 5\text{m}^3$, 每隔 1.0m^3 递增; 保留了挂钩式吊桶系列, 由 $0.5\sim 2.0\text{m}^3$, 每隔 0.5m^3 递增。与此同时, 补充、修改了与吊桶相适应的滑架、滑架托、缓冲器、钩头装置、坐钩式自动翻矸装置。

4. 吸取冶金、核工业系统立井施工中采用环形钻架的经验, 适应今后发展的需要, 编制了 $\phi 5\text{m}\sim\phi 8\text{m}$ 四、五、六臂环形钻架, 供选择推广。

5. 为适应凿井新工艺推广采用的需要, 编制了管线井内吊挂及附件。

6. 为适应冻结井筒高标号混凝土下料的需要, 增加了 1.2m^3 、 1.6m^3 、 2.0m^3 底卸式吊桶。

7. 除了继续保留节约木材的金属组合式模板外, 总结并汇集了近20年来使用较多的伸缩式活动模板, 液压滑升模板, 以及门扉式活动模板, 可因地制宜地采用。

8. 建井时期内专用的罐笼, 除原有1t矿车单层一车、单层二车建井专用罐笼外, 增加了1t矿车双层二车、1.5t矿车单层一车、单层二车和双层二车建井专用罐笼, 以及罐座和绳罐道拉紧装置, 可满足大型矿井施工提升的需要。

(三) 第三分册 立井凿井钢井架

1. 除原有I、II、III、IV型钢管井架在修改的基础上继续保留外, 考虑了立井施工机械化及伞形钻架的需要, 补充了III_G、IV_G型两种改进型钢管井架。

2. 为了适应大直径深井施工采用大型机械化装备的需要, 在已有实践的基础上, 设计了重量较轻、低合金钢的V型井架。

3. 根据多年来凿井井架使用经验, 除井架主体外, 增加了起吊、避雷、密闭等附属装置。

(四) 第四分册 斜井施工专用设备及布置

在原有图册基础上作了较大的修改补充, 可以满足各种深度和大小断面井筒施工的需要。推广并完善了“两光三斗”的经验, 编制了斜井机械化施工工艺布置及主要设备配套参考图表, 比较完整系统, 并具有我国特点。

1. 增加了3、4、6 m^3 前卸式箕斗及卸载装置, 去掉了不常用的1 m^3 前卸式、后卸式箕斗及2 m^3 后卸式箕斗, 并均改为无卸载轮结构的箕斗。

2. 除保留原图册内简易挡车器、防跑车装置外, 增加了电动防跑车装置; 在工艺布置中, 增加了工业电视监视箕斗卸载情况, 以防止过卷, 以及增加了斜井人车安全信号等, 使斜井提升运输更加安全可靠。

3. 增加了适合复杂地形的地面排矸用1t矿车平地自移式翻车机; 汇编了1t及1.5t矿车翻石山有架翻矸设备及布置, 丰富了地面排矸的形式和内容。

4. 增加了1.5t矿车电动翻车机, 适应采用1.5t矿车施工的矿井翻矸的需要。

5. 补充了斜井用金属吊桥、胶滚、快速管接头等常用的设施及附件。

(五) 第五分册 凿井专用设备设计计算示例

对原有计算书作了较大的改写和提高。

1. 增加了新的内容, 包括: 井径7.5m深800m天轮平台、翻矸台、吊盘计算, 立井凿井装提能力验算, 座钩式自动翻矸装置、管线井内吊挂装置、环形钻架、底卸式吊桶、砌

壁模板、1.5t双层二车建井专用罐笼及罐座、V型凿井井架、平地自移式翻车机、电动防跑车装置、1.5t矿车有架翻矸设备计算等。

2. 采用了新的计算手段，有的附有电算程序。

3. 根据科研成果，采用了新的计算公式，订正了一些计算参数，安全程度有合理的提高。

三、编制依据

本图册均依据国家标准或现行规程、规范编制的。

1. 计量单位一律采用1984年2月27日国务院颁布的《中华人民共和国法定计量单位》，但有的材料本身计量单位（如有缝管管径、钢丝绳钢丝强度）尚未改用新的计量单位，暂时照用。

2. 机械制图，一律采用1984年国家标准局发布的机械制图标准（GB4457~4460-84、GB131-83）。

3. 公差与配合采用1979年国家标准（GB1800~1804-79）。

4. 标准件采用了迄今为止所颁发的最新标准；有关材质、各种代号也采用了相应的新标准。

5. 本图册编制中按照《矿山井巷工程施工及验收规范》（GBJ213-79）、《煤矿安全规程》（1986年版）确定各种安全间隙、各种参数和质量标准。上述规范、规程如修订颁发后，本图册有与之相抵触者，使用时应作相应修改。

四、使用中注意事项

本图册编制中，虽然综合了各单位的使用经验，但由于我国幅员辽阔，条件不一，因此在使用中，应注意以下几点：

1. 本图册应根据各单位的地质、水文资料，技术、设备条件，以及管理水平，因地制宜地加以选择、采用。有不适合者，可作适当修改补充。

2. 各种凿井专用设备及重要结构，应按图纸、说明的技术条件进行加工，按质量标准或要求严格检查验收。

3. 各零部件材料或标准件采用代用品时，应以优代劣，重要零部件和结构件，需加以验算，应符合规定的安全系数。

4. 为了节省篇幅，本图册中的零件图，在制图中作了简化、合并，使用时可作适当拆绘、补充。为了满足出版要求，做到图面清晰，局部尺寸不成比例。图中未注明的单位，长度为毫米，重量为千克。

5. 事物总是不断发展的，请各单位在使用中不断积累经验和资料，及时寄给编辑部，以便为本图册的再次修订提供新的依据。

《凿井工程图册》编委会

本分册编制说明

本分册从前面四个分册中选出了21项设备和结构作为典型示例，对它们进行设计计算。编写这些设计计算示例有两方面目的：（1）说明这些设备和结构的设计原理，计算方法以及它们所依据的原始资料和规范、规程等，表明这些设备的合理性和可靠性；

（2）当使用条件不相同，使用单位可以参照示例的设计计算原则，因地制宜地自行修改或编制设计，便于本《图册》的合理使用和扩大使用范围。还编制了“立井装提能力验算—电算程序”作为附录。

为了避免繁琐，在设计计算示例中只对主要承重结构、杆件、轴、零部件，重要的连接装置和某些铆接、焊接、螺栓连接列出计算，对其他次要部件和相似部件的计算从略或只给出结果。

计算中所采用的安全系数一般按《煤矿安全规程》及有关国家规范的规定。已有实践经验或经过理论和试验研究，需要作某些变动的，都说明了理由和根据。例如，对钩头连接装置和吊桶提梁的计算，采用了屈服极限的安全系数，既明确了所计算部件的实际安全度，又满足了规程的要求，而且在整体上还提高了钩头的承载能力，使设计更为合理。凿井设备一般偏于安全，这是凿井工程的需要和特殊条件的要求，它关系到人身生命和重要设备的安全问题，要严肃认真对待。改变或降低安全系数要极端慎重，要有可靠依据，要确保安全，千万不可主观臆断。

还有一些计算问题没有得到妥善解决，随着工程经验的积累和科学研究的进一步深入，这些问题会得到逐步解决。

由于水平所限，书中缺点和错误在所难免，热忱希望使用单位和广大读者指正。

目 录

本分册编制说明

天轮平台计算	1
翻矸台计算	19
吊盘计算	44
V 型钢管凿井井架计算	80
凿井提升天轮计算	118
悬吊天轮轴计算	125
钩头及连接装置计算	131
研石吊桶计算	142
底卸式吊桶计算	163
坐钩式自动翻矸装置计算	185
井内吊挂管路梁的受力计算	205
环形钻架计算	238
内爬杆式液压滑升模板计算	275
伸缩式活动模板计算	291
凿井罐笼计算	304
凿井罐笼罐座计算	339
斜井掘进用前卸式箕斗及卸载装置计算	347
矿车前倾式翻笼计算	366
平地自移式矿车电动翻车机计算	382
斜井电动防跑车装置计算	403
有架翻矸设备计算	417
附录 立井凿井装提能力验算——电算程序	431

天轮平台计算

一、概 述

天轮平台是位于凿井井架顶部的一个框形平台结构，主要用来安装天轮梁以支承天轮。它直接承受天轮上钢丝绳传来的全部提升物料和悬吊掘砌设备的荷载，然后再传递给凿井井架。因此，天轮平台是建井工程施工中的一个重要承载结构。

天轮平台的型式通常采用正方形。天轮平台的平面尺寸亦即凿井井架的顶部尺寸，本图册设计的系列为 $5.5 \times 5.5\text{m} \sim 7.5 \times 7.5\text{m}$ ，级差为 0.5m 。

天轮平台通常由四根边梁和一根中梁（边梁和中梁通称主梁）以及若干根天轮梁所组成，有时还有用来支承天轮梁的支承梁（天轮梁和支承梁通称副梁）。边梁和中梁一般都采用由3块钢板焊成的工字形截面组合梁。天轮梁和支承梁通常都选用轧制工字钢，只有当梁的计算内力较大或者缺乏大型号工字钢时，才考虑采用焊接工字形组合梁。

天轮梁通常支承在边梁和中梁上，或者彼此相互支承，有时还支承于专设的支承梁上。

天轮在天轮梁上的支承方式，应尽量使天轮轴承座直接支承在天轮梁的上翼缘上。当天轮轴承座需设在高于梁的上翼缘时，可垫以钢板、垫座或垫梁。

为使天轮平台布置简单和施工方便，提升天轮梁应与天轮平台中梁相垂直，其他天轮梁如果确实难以摆布，可采用斜交布置方式。天轮梁的型号不宜太多，型号相近时可按较大型号调整。同时天轮梁的数目应力求少些，可能时几个天轮轴承座设置在同一根梁上，中梁两侧的天轮梁尽可能采用通梁。

布置天轮平台时，应使井架受力均衡，天轮轴承座之间不致互相重叠。此外还应特别注意，悬吊钢丝绳与天轮平台各构件的间隙不得小于 50mm ；天轮与天轮平台各构件的间隙不得小于 60mm ，严禁钢丝绳与井架构件相碰。

现以井径 7.5m 井深 800m 天轮平台为例进行计算。

二、计 算 依 据

1. 井筒内的悬吊设备如表1所列，这些设备在井筒内的布置见本图册第一册（图号：MZG4.1-1）。
2. 采用V型凿井井架，天轮平台布置如图1所示，天轮的规格和数量如表2所列。
3. 提绞设备地面布置见第一册（图号：MZG4.1-2~3），钢丝绳的规格和仰角如表3所列。
4. 天轮平台天轮梁的设计计算按照《煤矿安全规程》和《钢结构设计规范》（TJ-17-74）的有关规定进行。
5. 天轮梁材料均为3号钢。

井筒悬吊设备

表 1

序号	设备名称	规格	单位	数量	备 注
1	矸石吊桶	3.0m ³	个	2	主提升
2	矸石吊桶	2.0m ³	个	1	副提升
3	放炮电缆	YC-2×25	条	1	
4	混凝土输送管	φ159×4.5	路	2	
5	吊 泵	80DGL-75×10	台	2	
6	风 筒	JZK-800-50	路	1	
7	压 风 管	φ159×4.5	路	1	
8	安全梯	5节 L = 32130	套	1	
9	抓 岩 机	HZ-6	台	1	
10	注 浆 管	φ42×5	路	2	兼供水管
11	吊 盘	双 层	个	1	由 6 根稳绳兼作悬吊绳
12	通讯电缆	HUVV-5×0.79	条	1	风筒附带
13	信号电缆	KVV-7×1.5	条	1	风筒附带
14	照明电缆	YC-4×25	条	1	压风管附带
15	伞 钻	FJD-9	台	1	从主提升下

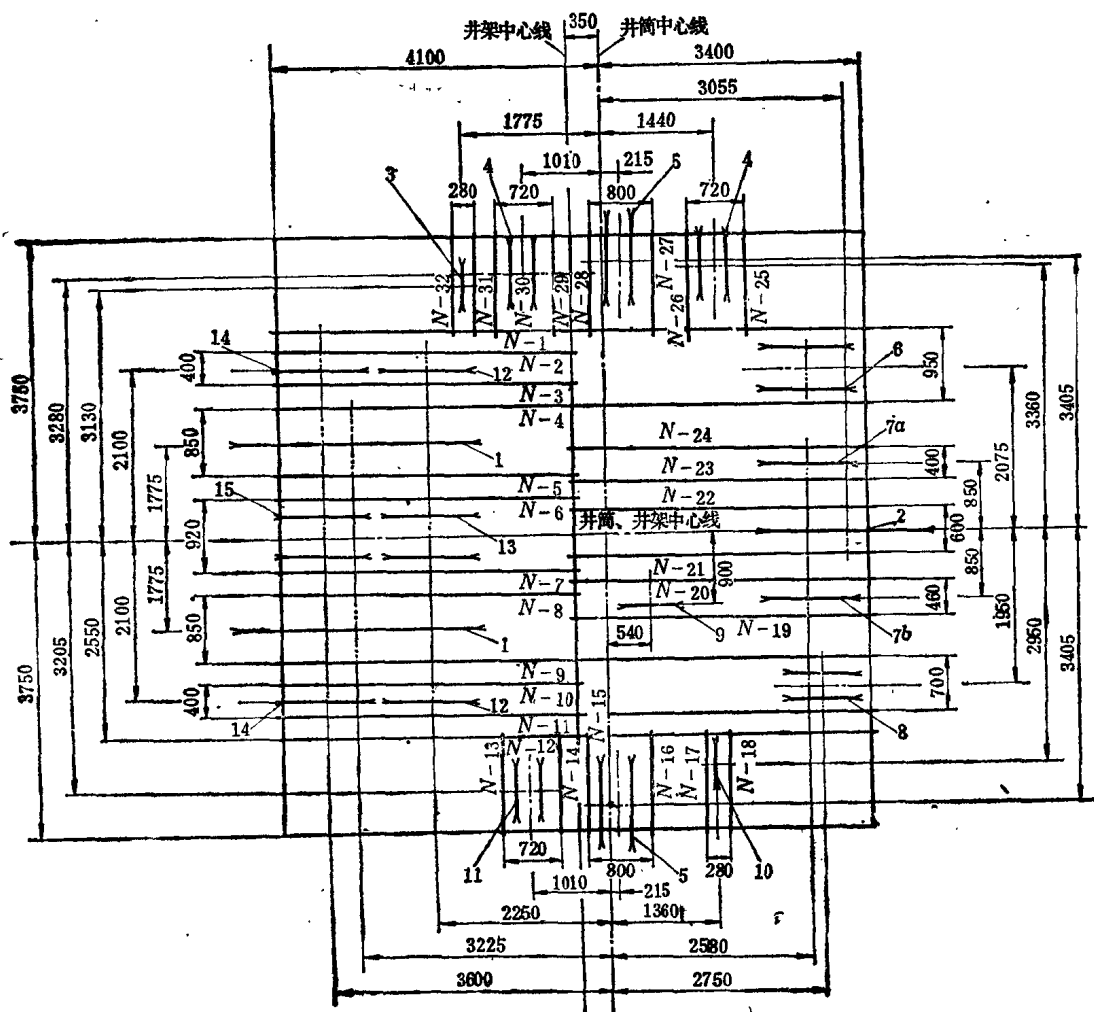


图 1 天轮平台布置

天轮的规格和数量

表 2

序 号	名 称	规 格	数 量 (个)	轴承中心高 (mm)	重 量 (kg)	备 注
1	主提升用天轮	$\phi 3000$	2	275	2290	拆去一轮
2	副提升用天轮	$\phi 2000$	1	180	1077	
3	放炮电缆用天轮	1×0.5	1	90	131	
4	混凝土输送管用天轮	2×0.8	2	160	882	
5	吊泵用天轮	2×1.05	2	180	1555	
6	风筒用天轮	$2 \times 1.05W$	1	160	1163	
7a	副提稳绳用天轮	$1 \times 1.05W$	1	110	501	
7b	副提稳绳用天轮	1×1.05	1	120	671	
8	压风管用天轮	2×0.8	1	160	882	
9	抓岩机用天轮	2×0.65	1	140	551	
10	安全梯用天轮	1×0.5	1	90	131	
11	注浆管用天轮	2×0.65	1	140	551	
12	主提稳绳用天轮	$1 \times 1.05W$	2	110	501	
13	主提稳绳用天轮	$2 \times 1.05W$	1	160	1163	
14	主提稳绳导向用天轮	$1 \times 1.05W$	2	110	501	
15	主提稳绳导向用天轮	$2 \times 1.05W$	1	160	1163	

钢丝绳的规格和仰角

表 3

序 号	名 称	型 号	重 量 (kg/m)	钢丝绳断 拉力总和 (kN)	数 量 (根)	钢丝绳仰角
1	主提升用钢丝绳	18×7-40-170	6.252	1135	2	34°44'/38°23'
2	副提升用钢丝绳	18×7-28-170	2.996	544.5	1	32°13'
3	主提稳绳用钢丝绳	6△(18)-35.5-155	5.355	873.5	4	50°41', 45°49'
4	抓岩机用钢丝绳	6×19-31-155	3.383	554.5	1	46°49'
5	压风管用钢丝绳	6×19-34-155	4.093	671	2	42°35'/44°58'
6	风筒用钢丝绳	6×19-34-155	4.093	671	2	42°24'/44°47'
7	副提稳绳用钢丝绳	6△(18)-35.5-155	5.355	873.5	2	38°46', 35°31'
8	放炮电缆用钢丝绳	6×19-12.5-155	0.5412	88.7	1	31°42'
9	混凝土输送管用钢丝绳	6×19-37-155	4.871	798.5	4	34°34'/36°15'
10	吊泵用钢丝绳	6×19-46×155	7.611	1245	4	38°53'/46°22'
11	注浆管用钢丝绳	6×19-26×155	2.444	400.5	2	34°30'/36°10'
12	安全梯用钢丝绳	18×7-23-170	2.081	378	1	32°44'

三、钢丝绳的荷载计算

1. 计算方法和公式

钢丝绳所受的荷载是指钢丝绳与天轮相切处的静拉力 S 。

提升或悬吊钢丝绳的工作荷载：

提升或单绳悬吊时：
$$S = Q_0 + p_k H_0 \quad (1)$$

双绳悬吊时：
$$S = \frac{Q_0}{2} + p_k H_0 \quad (2)$$

提升钢丝绳的断绳荷载 (S_d)：

$$S_d = k \cdot S_g \quad (3)$$

式中 Q_0 ——钢丝绳的悬吊重量（包括设备自重及载荷重）；

p_k ——每米钢丝绳重量；

H_0 ——钢丝绳的最大悬垂长度；

k ——钢丝绳破断拉力换算系数；

S_g ——钢丝绳的钢丝破断拉力总和。

2. 示例和计算结果

主提升钢丝绳的工作荷载：

（1）提升矸石时：

吊桶自重 1050kg

钩头及连接装置重 180kg

滑架及缓冲器重 158kg

矸石及水重 5670kg

钢丝绳重量 $6.252 \times (800 + 26) = 5164\text{kg}$

钢丝绳的工作荷载 $10.50 + 1.80 + 1.58 + 56.70 + 51.64 = 122.22\text{kN}$

（2）提升伞钻时：

伞钻自重 8500kg

钩头及连接装置重 180kg

滑架及缓冲器重 158kg

钢丝绳重量 $6.252 \times (800 + 26) = 5164\text{kg}$

钢丝绳的工作荷载 $85.00 + 1.80 + 1.58 + 51.64 = 140.02\text{kN}$

由于提升伞钻时主提升钢丝绳的工作荷载最大，因此应取140.02kN进行计算。

（3）钢丝绳安全系数校核：

钢丝绳的工作荷载 140.02kN

钢丝绳破断拉力总和 1135kN

钢丝绳的安全系数 $n = \frac{1135}{140.02} = 8.11 > 7.5$

其他悬吊设备钢丝绳的工作荷载计算过程从略，现将计算结果列于表4。

四、天轮梁的荷载计算

1. 计算方法和公式

（1）天轮荷载的竖向分力 V_s 和水平分力 T_s ：

只有一个工作天轮时其荷载的竖向和水平分力如图2所示。

$$\begin{cases} V_s = S(1 + \sin\alpha) \\ T_s = S\cos\alpha \end{cases} \quad (4)$$

有一个工作天轮和一个导向天轮时的情况如图3所示，其中工作天轮：

$$\begin{cases} V_s = S \\ T_s = S \end{cases} \quad (5)$$

钢丝绳的工作荷载

表 4

序 号	设 备 名 称	悬吊重量 (kg)	钢丝绳自重 (kg)	钢丝绳的工作荷载 (kN)	钢丝绳的安全系数
1	主 提 升	7053(矸石) 8838(伞钻)	5164	122.22 140.02	9.3 > 7.5 8.11
2	副 提 升	4734	2475	72.09	7.55 > 7.5
3	主提稳绳	9742	4423	141.65	6.17 > 6
4	抓 岩 机	5930	2794	87.24	6.36 > 6
5	压 风 管	8222	3299	115.21	5.82 > 5
6	风 筒	8373	3348	117.21	5.72 > 5
7	副提稳绳	9742	4423	141.65	6.17 > 6
8	放炮电缆	1047	447	14.95	5.94 > 5
9	混凝土输送管	11325	4024	153.49	5.07 > 5
10	吊 泵	12914	6215	191.29	6.51 > 6
11	注 浆 管	5737	2019	77.56	5.16 > 5
12	安 全 梯	2500	1654	41.54	9.1 > 9

注：1. 钢丝绳的钢丝破断拉力总和见表3。

2. 六根稳绳兼作吊盘悬吊绳，考虑到受力不均衡，为了安全计算时按四根均匀受力考虑。

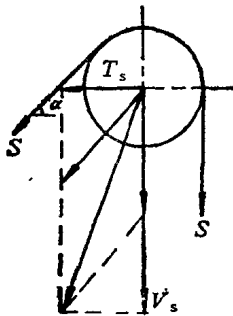


图 2 天轮荷载分力计算图

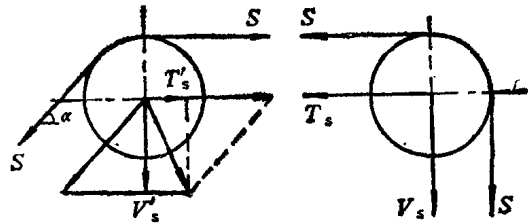


图 3 天轮荷载分力计算图

导向天轮：

$$\begin{cases} V'_s = S \sin \alpha \\ T'_s = S(1 - \cos \alpha) \end{cases} \quad (6)$$

式中 α ——钢丝绳的仰角，当双槽天轮悬吊时，取较大的值。

(2) 作用在一根天轮梁上的竖向荷载 V 和水平荷载 T ：

单槽天轮时：

$$\begin{cases} V = \frac{1}{2}(V_s + Q_L) \\ T = \frac{1}{2}T_s \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} V' = \frac{1}{2}(V'_s + Q'_L) \\ T' = \frac{1}{2}T'_s \end{cases} \quad (8)$$

双槽天轮时:

$$\begin{cases} V = V_s + \frac{1}{2} Q_L \\ T = T_s \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} V' = V'_s + \frac{1}{2} Q'_L \\ T' = T'_s \end{cases} \quad (10)$$

式中 Q_L ——工作天轮及轴承全部重量;

Q'_L ——导向天轮及轴承全部重量。

2. 示例和计算结果

(1) 主提升用天轮 (1号天轮, 按断绳荷载考虑):

钢丝绳的断绳荷载:

$$S = k \cdot S_g = 0.85 \times 1135 = 964.75 \text{ kN}$$

天轮荷载的竖向分力和水平分力:

$$V_s = S(1 + \sin \alpha) = 964.75(1 + \sin 38^\circ 23') = 1563.78 \text{ kN}$$

$$T_s = S \cos \alpha = 964.75 \cos 38^\circ 23' = 756.24 \text{ kN}$$

作用在一根天轮梁上的竖向荷载和水平荷载:

$$V = \frac{1}{2} (V_s + Q_L) = \frac{1}{2} (1563.78 + 22.90) = 793.34 \text{ kN}$$

$$T = \frac{1}{2} T_s = \frac{1}{2} \times 756.24 = 378.12 \text{ kN}$$

(2) 主提稳绳及导向用天轮 (13号及15号天轮):

1) 工作天轮 (13号天轮):

钢丝绳的工作荷载 (见表4):

$$S = 141.65 \text{ kN}$$

天轮荷载的竖向分力和水平分力:

$$V_s = S = 141.65 \text{ kN}$$

$$T_s = S = 141.65 \text{ kN}$$

作用在一根天轮梁上的竖向荷载和水平荷载:

$$V = V_s + \frac{1}{2} Q_L = 141.65 + \frac{1}{2} \times 11.63 = 147.47 \text{ kN}$$

$$T = T_s = 141.65 \text{ kN}$$

2) 导向天轮 (15号天轮):

钢丝绳的工作荷载 (见表4):

$$S = 141.65 \text{ kN}$$

天轮荷载的竖向分力和水平分力:

$$V'_s = S \sin \alpha = 141.65 \sin 50^\circ 41' = 109.60 \text{ kN}$$

$$T'_s = S(1 - \cos \alpha) = 141.65(1 - \cos 50^\circ 41') = 51.90 \text{ kN}$$

作用在一根天轮梁上的竖向荷载和水平荷载:

$$V' = V'_s + \frac{1}{2} Q'_L = 109.60 + \frac{1}{2} \times 11.63 = 115.42 \text{ kN}$$

$$T' = T'_s = 51.90 \text{ kN}$$

其他天轮梁的荷载计算过程从略，现将计算结果列于表 5。

天 轮 梁 的 荷 载

表 5

天 轮 名 称	钢丝绳仰角	钢丝绳工作 荷载 (kN)	天轮荷载分力 (kN)		天轮重量 Q_i (kg)	一根天轮梁上的荷载 (kN)	
			竖向分力 V_i	水平分力 T_i		竖向荷载 V	水平荷载 T
1 号天轮 (主提升用)	38°23′	140.02			2290		
断绳荷载	38°23′	964.75	1563.78	756.24	2290	793.34	378.12
2 号天轮 (副提升用)	32°13′	72.09			1077		
断绳荷载	32°13′	462.83	709.58	391.51	1077	360.18	195.79
3 号天轮 (放炮电缆用)	31°42′	14.94	22.79	12.71	131	12.05	6.36
4 号天轮 (混凝土输送管用)	36°15′	153.49	244.25	123.78	882	248.66	123.78
5 号天轮 (吊泵用)	46°22′	191.29	329.74	132.00	1555	337.52	132.00
6 号天轮 (风筒用)	44°47′	117.21	199.78	83.19	1163	205.60	83.19
7 号天轮 (副提稳绳用)	38°46′	141.65	230.34	110.44	501	117.68	55.22
8 号天轮 (压风管用)	44°58′	115.21	196.63	81.51	882	201.04	81.51
9 号天轮 (抓岩机用)	46°49′	87.24	150.85	59.70	551	78.18	29.85
10 号天轮 (安全梯用)	32°44′	41.54	64.00	34.94	131	32.66	17.47
11 号天轮 (注浆管用)	36°10′	77.56	123.33	62.61	551	126.09	62.61
12 号天轮 (主提稳绳用)	—	141.65	141.65	141.65	501	73.33	70.83
13 号天轮 (主提稳绳用)	—	141.65	141.65	141.65	1163	147.47	141.65
14 号天轮 (主提稳绳导向用)	45°49′	141.65	101.58	42.92	501	53.30	20.46
15 号天轮 (主提稳绳导向用)	50°41′	141.65	109.60	51.90	1163	115.42	51.90

五、天轮轴心高度的确定

1. 计算方法和公式

天轮与天轮平台边梁的间隙不得小于 60mm，如图 4 所示，因此天轮轴心距天轮平台边梁顶面的高度 h 必须满足下式要求：

$$h \geq \sqrt{\left(\frac{D_1}{2} + 60\right)^2 - \left(l - \frac{b}{2}\right)^2} \quad (11)$$

式中 D_1 ——天轮外缘直径，mm；

l ——天轮轴中至边梁中的水平距离，mm；

b ——边梁翼缘宽度，mm。

顺便指出，天轮轴心高度减去轴承中心高和天轮梁高，即为天轮需要垫高。

2. 示例和计算结果

1 号天轮 (主提升用) 的轴心高度：

$$h \geq \sqrt{\left(\frac{D_1}{2} + 60\right)^2 - \left(l - \frac{b}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{3224}{2} + 60\right)^2 - \left(875 - \frac{550}{2}\right)^2} = 1561 \text{ mm}$$

取 $h = 1580\text{mm}$ 。

其他天轮轴心高度的计算过程从略，现将计算结果列于表6。

天 轮 轴 心 高 度

表 6

天轮号	天 轮 用 途	天轮直径 D (mm)	天轮外径 D_1 (mm)	轴承中心高 h_0 (mm)	天轮轴心高度 h (mm)
1	主提升用	3000	3224	275	1580
2	副提升用	2000	2169	180	1170
3	放炮电缆用	500	590	90	90
4	混凝土输送管用	800(双槽)	950	160	530
5	吊泵用	1050(双槽)	1230	180	680
6	风筒用	1050(双槽)	1200	160	410
7	副提稳绳用	1050	1200	120	410
8	压风管用	800(双槽)	950	160	410
9	抓岩机用	650	770	140	140
10	安全梯用	500	590	90	90
11	注浆管用	650(双槽)	770	140	380
12	主提稳绳用	1050	1200	110	630
13	主提稳绳用	1050(双槽)	1200	160	630
14	主提稳绳导向用	1050	1200	110	630
15	主提稳绳导向用	1050(双槽)	1200	160	630

六、天轮梁的内力计算

1. 计算方法

天轮梁一般为单跨简支梁，有时也为双跨连续梁，其支点为天轮平台边梁和中梁或专设的支承梁。单跨天轮梁的内力计算与一般简支梁相同，双跨天轮梁的内力计算可用“三弯矩方程”求解。

2. 示例和计算结果

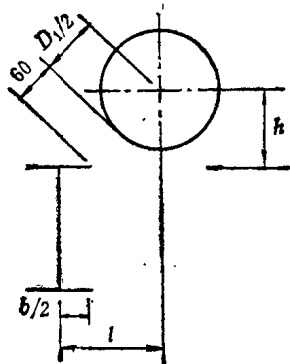


图 4 天轮轴心高度计算图

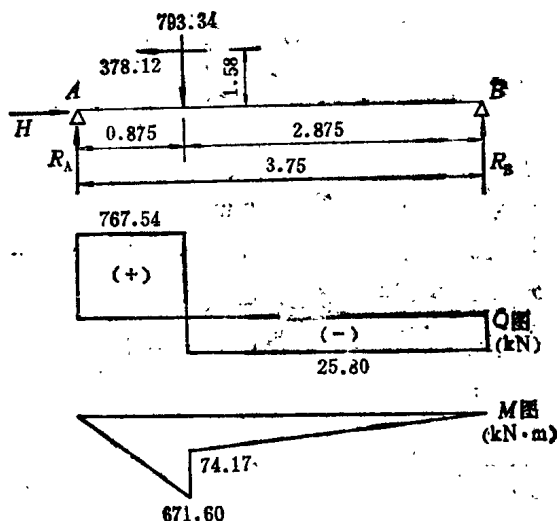


图 5 梁N5、N8计算图 (力, kN 长度, m)