

装配式 钢筋混凝土支架的 设计与计算

〔苏联〕 M.H. 格列斯庫尔 著
E.C. 基謝聊夫

中国工业出版社

装配式钢筋混凝土支架的 设计与计算

〔苏联〕 M. H. 格列斯庫尔 E. C. 基謝聊夫 著
張 誠 邓日安 焦传武 方之櫟 郑重远 譯

中国工业出版社

本书叙述装配式钢筋混凝土支架及其构件的基本理论、设计和计算方法；列举了必要的标准和参考资料以及一些支架结构的设计与计算例题。

本书是在总结钢筋混凝土支架的大量设计和使用经验的基础上编写成的。

本书可供科学研究人员、设计人员、矿山设计和生产人员以及矿业院校师生参考之用。

本书由煤炭工业部煤炭科学研究院开采所支架研究室钢筋混凝土支架组翻译：第一章——张诚同志；第二章——邓日安同志；第三、六章及附录——焦传武同志；第四章——方之楨同志；第五章——郑重远同志。

М. Н. Гелескул Е. С. Киселев
КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
РАМНЫХ КРЕПЕЙ

Госгортехиздат Москва-1961

装配式钢筋混凝土支架的设计与计算

张 诚 邓日安 郑重远 译
焦传武 方之楨

煤炭工业部书刊编辑室编辑（北京东长安街煤炭工业部大楼）

中国工业出版社出版（北京东单大街10号）

北京市书刊出版业营业登记证出字第116号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行，各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $7\frac{7}{8}$ ·字数196,000

1965年4月北京第一版·1965年4月北京第一次印刷

印数0001—3,540·定价（科六）1.20元

*

统一书号：15165·3798（煤炭-268）

原 序

在苏联煤矿中，广泛地使用着装配式钢筋混凝土支架来支护开拓巷道和准备巷道。截至1960年1月，已使用装配式钢筋混凝土支架支护了近1200公里巷道。目前，装配式钢筋混凝土支架也在金属矿矿井中广泛地使用起来。可以认为，装配式钢筋混凝土支架结构，今后应成为煤矿和其它矿井的准备巷道和开拓巷道中主要的支架类型之一。

目前，用以支护各种地质条件的巷道的装配式钢筋混凝土支架的种类很多。但是并不是所有的支架结构都能完全满足对支架提出的要求。为了增加装配式钢筋混凝土支架的计划量和使用量，扩大这些支架的使用范围，大幅度提高其技术经济指标和使用效果，需要完成大量的设计和研究工作，以改进现有的支架和创造更完善的新型钢筋混凝土支架，并使其计算方法完善。然而装配式钢筋混凝土支架的设计与计算问题，在书刊中阐述甚少，更无这方面的实用的参考书。支架设计所需的矿山地质原始资料和技术参数：支架上荷载的数值、性质和分布、支架的设计可缩量、岩石的承压强度等，尚未研究成熟；文献中现有矿山地质参数的数据不全，且多数具有假定性。

众所周知，由于地下工作条件及支架用途的特点，民用与工业建筑中钢筋混凝土构件及装配式结构的设计与计算方法，不能完全适用于装配式钢筋混凝土支架。

国外书刊中，有关装配式钢筋混凝土支架的设计与计算问题，几乎没有任何资料和介绍。

编写本书的目的，是在某种程度上弥补技术文献中的空白。

本书内容包括：

关于使用装配式钢筋混凝土支架、矿山地质条件、钢筋混凝土

IV

土支架使用范围和使用量等方面的概况，苏联和其他一些国家的矿井中使用装配式钢筋混凝土支架支护巷道的概况；

装配式钢筋混凝土支架应满足的基本要求以及设计支架时所需的矿山地质基本原始参数；

设计钢筋混凝土支架及其构件的主要规定和方法；

以普通钢筋和预应力钢筋配筋的钢筋混凝土支架的计算方法；

钢筋混凝土支架及其单根构件的设计及计算实例；

标准和参考资料。

作者接受本书读者的批评意见和要求，并表示感谢。

目 录

原 序

第一章 关于使用装配式钢筋混凝土支架支护巷道及

支架结构的总論 1

1 使用装配式钢筋混凝土支架支护巷道 1

2 装配式钢筋混凝土支架的结构 7

3 国外的装配式钢筋混凝土支架 59

第二章 对装配式钢筋混凝土支架的基本要求及

其設計所需的矿山技术原始資料 64

1 对装配式钢筋混凝土支架结构的要求 64

2 确定支架計算荷載的原始資料 67

3 支架构件中內力的确定 78

4 可縮性支架 95

5 岩石的承压强度 98

6 支架的通风阻力 100

第三章 制造装配式钢筋混凝土支架用的材料 103

1 混凝土 103

2 鋼筋 106

第四章 装配式钢筋混凝土支架的設計 111

1 选择支架的外形 111

2 选择支架的靜力系統 114

3 选择构件橫截面的形状并确定其主要尺寸 117

4 选择連接节点的結構 123

5 鋼筋骨架結構的制备 135

第五章 装配式钢筋混凝土支架的計算方法及

基本計算公式 145

1 計算方法 145

VI

2 計算非預应力鋼筋混凝土支架构件应用的基本公式	150
3 計算預应力鋼筋混凝土支架应用的基本原理和公式	174
第六章 支架計算实例	196
附 录	234
参考文献	244

第一章 关于使用装配式钢筋混凝土 支架支护巷道及支架结构的总論

1. 使用装配式钢筋混凝土支架支护巷道

苏联从1946年，也就是当第一座钢筋混凝土管柱工厂移交生产的时候，开始广泛地使用了钢筋混凝土棚式支架。从一些新的钢筋混凝土管柱工厂开工后，由管柱組成的钢筋混凝土棚式支架的产量和使用量逐年增长；在1959年内即生产了約60万根钢筋混凝土管柱并用它們在生产矿井中支护了約200公里巷道。

从1952年起，开始工业性地应用装配式钢筋混凝土密置支架支护新建矿井的开拓巷道，这种支架是在矿井露天工厂和区域性的钢筋混凝土制品厂內制造的。每年用装配式钢筋混凝土支架支护的巷道数量，包括新建矿井为21~22万米巷道。到1961年1月，用这种支架支护了各种矿山地质条件的煤矿巷道約1380公里。

装配式钢筋混凝土支架在苏联各主要煤田得到了应用。钢筋混凝土棚式支架在頓涅茨煤田获得了最大的推广，那里有五个專門的钢筋混凝土支架厂；頓涅茨煤田（頓巴斯）占煤炭工业中装配式钢筋混凝土支架使用总量的90%以上。装配式钢筋混凝土支架同时也应用在有專門钢筋混凝土支架厂的莫斯科近郊煤田矿井、庫茲涅茨新建矿井、卡拉岡达、利沃夫斯克-沃伦斯克、格魯吉亞等煤田和地区。

苏联煤矿和頓涅茨煤田使用装配式钢筋混凝土支架的发展情况如图1。

在頓涅茨煤田，钢筋混凝土棚式支架用于支护服务年限大于2~3年、岩石稳固和中等稳固且无很大的側压和底鼓、不要求封

閉式支架结构的水平和傾斜（20度以下）的准备巷道（主要运输和通风平巷、石門、人行道、联络风巷及一部分上山和下山）。钢筋混凝土棚式支架既可用于矿山压力稳定的条件下（刚性结构）；也可用于不稳定的条件下（可缩性支架结构），其中包括受回采影响区内的巷道。

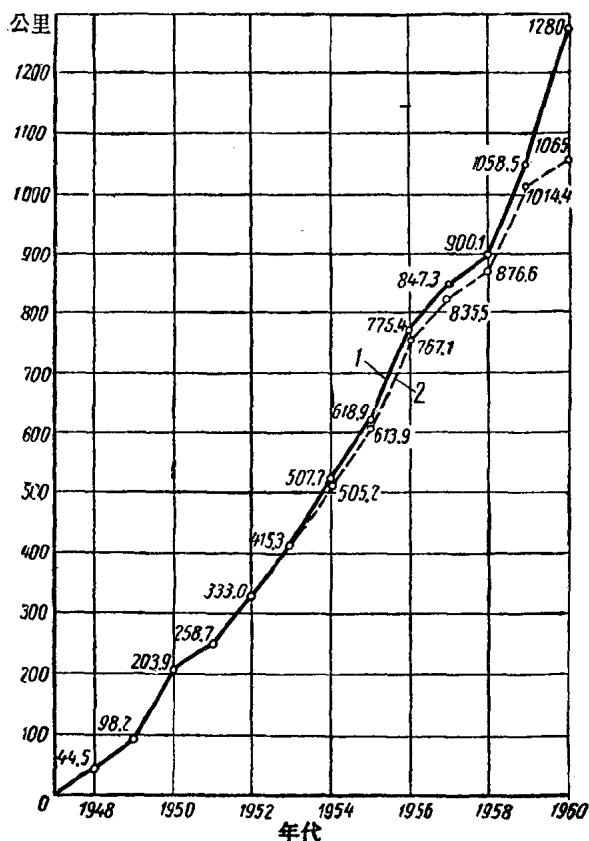


图 1 苏联全部煤矿和頓涅茨煤田使用装配式钢筋混凝土支架的情况

1—全苏联；2—頓涅茨煤田（頓巴斯）

在莫斯科近郊煤田，钢筋混凝土棚式支架仅应用于大巷内。在庫茲涅茨、卡拉岡达等煤田，通常在新建矿井内用装配式

鋼筋混凝土支架支护大部分井底車場的巷道、主要運輸和通风平巷，而在个别情况下支护下山和上山。

到目前为止，在煤矿主要生产矿井內，对准备巷道的支护主要采用由管柱和金屬頂梁組成的梯形支架，而在新建矿井內，对水平和傾斜开拓巷道的支护主要是用由УРІІ和УТЭ型鋼筋混凝土肋形板所組成的梯形和多边形密置装配式支架。

在各种矿山地质条件下用装配式鋼筋混凝土支架支护巷道的长期經驗証明，采用这种类型的支架是有效的，把它广泛用于煤矿和其它矿井，具有技术經濟上的合理性。

在頓巴斯矿井內，鋼筋混凝土棚式支架得到了最大的推广，使巷道的状况得到了改善，减少了准备巷道的維護工作量和支护费用，并降低了劳动消耗和坑木消耗。由于采用鋼筋混凝土支架和金屬支架的結果，在頓巴斯使断面不合規格的准备巷道的长度减少了一半以上，而在个别矿务局（齐斯佳科夫无烟煤矿务局、斯涅日尼亚恩无烟煤矿务局等），鋼筋混凝土棚式支架安装得特別密，使不合規格的巷道长度减少了 $3/4 \sim 5/6$ [5]。在特魯多夫斯卡娅矿 7 号井內用鋼筋混凝土支架（由管柱組成的棚式支架）支护 1 公里准备巷道的实际费用为 18000 卢布，而用木支架时，則为 73000 卢布^①。齐斯佳科夫无烟煤矿务局紅星矿 1 号井在位于受回采影响区內的平巷中，用可縮性鋼筋混凝土棚式支架代替木支架，每年每公里巷道节约费用 130000 卢布，节约劳动力約 370 人一班。在斯涅日尼亚恩无烟煤矿务局 9 号井，每公里运输平巷节约费用 140000 卢布，节约劳动力 640 人一班，节约坑木約 350 立方米；在奧斯諾夫娜娅矿第 15 及 27 号井，由于使用可縮性鋼筋混凝土支架，每年每公里运输巷道平均节约费用 136,000 卢布，节约劳动力 600~920 人一班，节约坑木 360~460 立方米。

在斯大林斯克經濟区，用刚性鋼筋混凝土柱腿代替木柱腿，每年每公里巷道平均节约费用 55000 卢布，支护准备巷道所用的

① 在这里和以后所引用的价格均指 1961 年 1 月 1 日以前所用的旧卢布。

劳动力平均降低390人一班。在頓涅茨煤田，用由鋼筋混凝土管柱組成的棚式支架支护准备巷道，平均每公里所用劳动力只相当于在类似条件下用木材支护的39%（每年减少690~1820人一班）；在其它一些矿井中使用鋼筋混凝土支架，在劳动力消耗上降低得更多。

在頓巴斯矿井內用鋼筋混凝土支架代替木支架，無論是在架設支架时用鋼筋混凝土直接代用的木材，或在巷道服务期間內所减少的重新支护和維修工作，都可以大量節約坑木——每年每公里巷道節約300~850立方米；用鋼筋混凝土支架支护的巷道，在其整个服务期限內（平均6~8年），每公里巷道可節約坑木2000~6000立方米（平均約3500立方米）。

正如頓巴斯矿井工作的經驗所表明，鋼筋混凝土棚式支架較之木支架的优点是：当旧巷报废和現有巷道維修时，可增加支架的重复利用，并能相对地减少由于重新支护巷道所引起的排矸量。按照頓巴斯煤炭科学研究所对頓巴斯大多数矿井进行調查所得的資料，由鋼筋混凝土柱腿組成的支架，其平均回收率在穩固岩石巷道內为47%，在中等穩固岩石巷道內为38%。1958年在斯大林斯克經濟区矿井已报废和重新支护的巷道內回收出了原安装鋼筋混凝土管柱的40%，其中有65%能重复用来支护巷道。

在莫斯科近郊煤田矿井內（游击队員矿12号井、斯大林諾戈爾斯卡婭矿38号井等），采用由T型截面构件組成的鋼筋混凝土拱形和梯形棚式支架代替木支架，每年每公里巷道節約費用50000~160000卢布，平均約75000卢布；節約劳动力300~1100人一班，平均每年約550人一班；節約坑木240~760立方米，平均每年約350立方米。当用鋼筋混凝土棚式支架代替金屬支架时，每公里巷道節約費用100000~130000卢布，節約金屬150~220吨。

在新建矿井內，用全苏矿井建設施工組織及机械化科学研究所（現今的烏克蘭矿井建設施工組織及机械化科学研究所）的装配式鋼筋混凝土支架結構代替整体連續式的混凝土和鋼筋混凝土

支架来支护水平开拓巷道，取得了巨大的技术经济效果，降低了巷道支护费用，加快了巷道支护和掘进速度，减少了支护材料的消耗，提高了劳动生产率。

例如，在頓巴斯一些新建矿井内，用全苏矿井建设施工组织及机械化科学研究所的装配式钢筋混凝土支架结构代替整体的混凝土和钢筋混凝土支架，每米巷道的直接支护费用只相当于后者的45~50%，而支护速度加快了1.2~2.6倍。又如，在維特卡-格卢鮑卡娅矿，由于在开拓巷道内采用装配式钢筋混凝土支架共节约200多万卢布，用装配式钢筋混凝土支架支护巷道的总长约为3公里。馬克西莫夫斯卡娅-波洛加娅矿在其建井期间用装配式钢筋混凝土支护巷道的劳动量比用整体混凝土降低了24%，水泥的消耗降低了2/3，每公里单軌巷道节约水泥350吨，双軌巷道节约水泥650吨。

在庫茲巴斯以瓦何魯舍夫命名的矿井内，用装配式钢筋混凝土支架代替整体混凝土支架，支护费用只相当于后者的40%，混凝土消耗只相当于后者的20%。

在煤矿的准备巷道和开拓巷道中长期使用装配式钢筋混凝土支架取得良好效果經驗的基础上以及在装配式钢筋混凝土领域最新成就的基础上，使钢筋混凝土支架在技术经济指标和使用质量上均不亚于金属支架，而金属消耗只相当于金属支架的17~25%。

装配式钢筋混凝土支架的使用效果，特别是支架构件重量较大的YPII型密置板式结构等等，在很大程度上取决于支架在巷道内架设工作、运输时装卸工作机械化问题的順利解决。因此在創造和采用装配式钢筋混凝土支架结构的同时，还在深入地研究支架在巷道内的安装和装卸工作的机械化设备。乌克兰矿井建设施工组织及机械化科学研究所（前全苏矿井建设施工组织及机械化科学研究所）及其它研究机构已研究出了一系列的支架安装和装卸工作全部或部分机械化操作的架棚机、提升机和设备。

其中大部分供在开拓巷道内架设密置板型装配式钢筋混凝土支架之用，少部分供在准备巷道内架设棚式支架之用。現有架棚

机、提升机的结构及其它架設鋼筋混凝土支架的机械化設備，在技术文献中〔3、5、7、10等〕已經有了充分的闡述^①，因而沒有必要在本书中对它們进行詳細的研究。只应指出，已研究出的在巷道內安裝支架的机械化架棚机和設備，大部分仍不能完全滿足要求，尚須改进。

装配式鋼筋混凝土支架在金屬矿井內虽然也得到了应用，但数量少于在煤炭工业中所使用的。在一些金屬矿內（克里沃伊罗格、列宁諾戈尔斯克管理局等），已开始使用鋼筋混凝土拱形支架、由鋼筋混凝土管柱組成的支架、装配式密置板型支架等。

为了提高支架工在准备巷道內运送和架設棚式鋼筋混凝土支架的效率和減輕他們的劳动，应从两方面进行工作：（1）創造和采用輕便的、易于安装和移动的机械化架棚机以及各种設備和装置；（2）在保証工作能力的前提下，減輕支架构件的重量和减小尺寸，使之具有足够高的承載能力和經濟性。

在用装配式鋼筋混凝土支架支护巷道的領域內，目前已經确定了以下主要技术发展方向：

1）改进支架結構，以便提高它們的技术經濟指标和使用价值：創造恒阻支架和容易拆卸的輕型工具式支架，采用高强度混凝土和鋼筋，受弯的支架构件采用預应力鋼筋，采用高标号輕混凝土和提高抗弯强度的特种混凝土，采用有效的鋼筋代用品等；

2）提高支架的使用效果：广泛采用支护的机械化施工，当巷道报废和重新支护时增加支架的回收和复用率；

3）扩大装配式鋼筋混凝土支架的有效使用范围：对困难的矿山地质条件的巷道創造和应用工作性能好而經濟的結構，对服务年限不长的准备巷道、对巷道掘进工作面的临时支护以及采区巷道的支护，創造和采用工具式支架；

4）改进装配式鋼筋混凝土支架工业性生产的工艺，以便降低制造费用、劳动量与時間和提高支架质量，以及减少材料的单

① 詳見《巷道架棚机》一书，中国工业出版社出版，1964年。——譯者

位消耗。生产工艺的远景发展方向应当是創造和掌握用專門的联合机組来进行支架的連續生产。

2. 装配式鋼筋混凝土支架的結構

A. 鋼筋混凝土支架的棚式結構

根据矿山地质条件确定某种棚距，且用背板固定棚間間隙，架設于巷道中的各式支架，归納为鋼筋混凝土棚式支架。

1) 鋼筋混凝土离心管柱組成的梯形棚式支架是在苏联煤矿首先得到广泛应用的棚式鋼筋混凝土支架結構。目前这种支架已經不能充分地滿足生产上和工艺上所提出的要求，在技术經濟指标方面也比不上新型棚式鋼筋混凝土支架結構，但它促进了装配式鋼筋混凝土支架在准备巷道內的发展和使用，在构造和工艺方面也是具有特点和显著的意义的。目前这种支架仍然有頗大的工业作用。

由管柱組成的鋼筋混凝土支架是众所周知的，且在技术和教科书〔3、4、5等〕內都有詳細的闡述，因而这里只簡短地說明其結構和制造工艺的主要特点、使用条件和对使用质量的評價以及分析支架結構的前景。

由鋼筋混凝土管柱組成的支架乃是由两根鋼筋混凝土管柱和金屬頂梁(工字鋼梁、旧鋼軌、特种断面的槽鋼)构成的非閉合的梯形棚子；小部分頂梁也采用了全苏煤炭科学研究所研究的桁架式鋼筋混凝土頂梁結構和由改变了配筋的鋼筋混凝土管柱构成。为了支护矿山压力不稳定的巷道，例如位于受回采工作影响区內的平巷，采用全苏煤炭科学研究所和頓巴斯煤炭科学研究所研究的可縮性鋼筋混凝土管柱的棚子。

柱腿(图2)为鋼筋混凝土离心管，配筋是用纵向工作筋和横向架立筋按星形螺旋的式样作成多边形；为了保証骨架的刚度，将端部的三圈螺旋筋联在一起并焊接在纵向鋼筋的端部。混凝土标号为300~400号。鋼筋混凝土管柱厂生产4种尺寸型号的

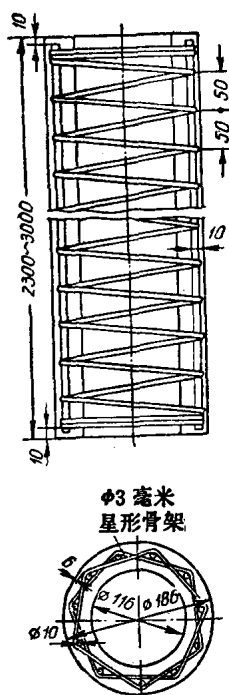


图 2 钢筋混凝土管柱

管柱，长度为 2.3~3 米，差距为 0.2~0.3 米。

全苏煤炭科学研究所研究的钢筋混凝土管柱可缩性结构 它与刚性结构的区别在于在柱腿的下端插入了一根圆木柱，其插入长度为 7~10 厘米，该木柱的突出部分与支架所要求的可缩量相等，其直径较钢筋混凝土管柱的内径大 5~10 毫米。在柱腿底部末端装有金属圆锥体和不装金属圆锥体的柱腿都已被采用。可缩性是靠逐渐地将木柱压入钢筋混凝土柱腿的内孔而获得的。在可缩阶段，柱腿的轴向抗压力为 8~10 吨；当可缩量耗尽后，木柱全部进入钢筋混凝土柱腿的内孔，最后将具有极限承载能力 40~50 吨。

顿巴斯煤炭科学研究所研究的钢筋混凝土管柱可缩性结构 它与刚性结构的差别在于在其底部具有变断面的实体钢筋混凝土底座，底座的中部具有截锥体形状，其外表面包满一层铁皮。在距柱腿底端一定距离内有加强横向钢筋。柱腿可缩值是依赖于在矿山压力作用下，底座被压入柱腿内，使柱腿底部破坏而获得的；此时混凝土发生破裂，横向螺旋筋拉断，柱腿破坏并逐渐减短。在轴向受压时柱腿的承载能力约为 15 吨。

全苏煤炭科学研究所实现了钢筋骨架的现代化并研究了由高强度钢丝制成的预应力钢筋混凝土管柱结构（图 3）。

现代化的钢筋混凝土管柱 用钢筋流限 $\sigma_r = 45 \sim 50$ 公斤/平方毫米的冷拔钢丝制成直径为 5 毫米的成对钢筋及直径为 3 毫米的三股的钢筋来代替直径为 8~10 毫米、流限 $\sigma_r = 22 \sim 28$ 公斤/平

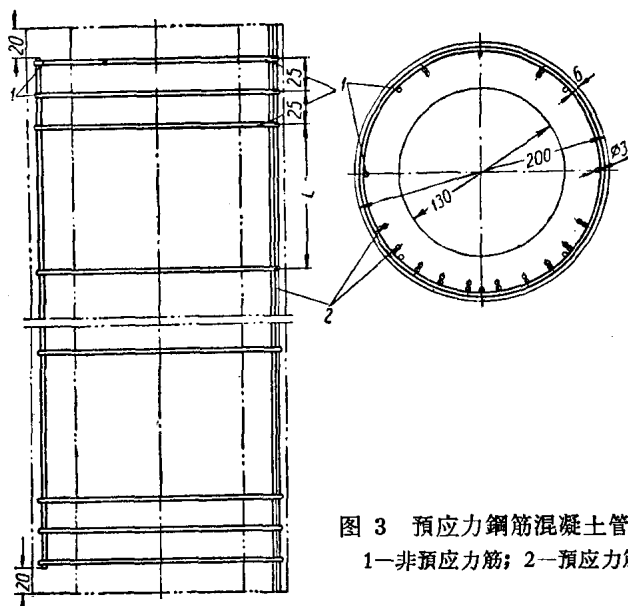


图 3 预应力钢筋混凝土管柱

1—非预应力筋；2—预应力筋

方毫米的普通钢筋 (CT.3 和 CT.5) 的单个钢筋所组成的钢筋骨架。沿柱腿范围内采用对称的或非对称的钢筋布置，在后一种情况下，钢筋集中在柱腿的受拉区，以便增加柱腿抗侧压（横向弯曲）的强度。骨架的这种改进，由于减小了柱壁的厚度，使柱腿重量和混凝土消耗量减少 15%，在保持承载能力的情况下，降低金属消耗 40%，而钢筋集中在受拉区的柱腿，其横向抗弯强度增加了 25~30%。现代化的管柱尚未获得广泛的工业性应用，其主要原因是钢筋混凝土支架厂没有制造缠绕钢筋骨架的设备。

全苏煤炭科学研究所研究的预应力钢筋混凝土管柱，与普通钢筋混凝土管柱的区别在于其大部分纵向钢筋集中在受拉区，采用直径为 2.5~3 毫米、极限强度为 180~200 公斤/平方毫米的高强度钢丝制成，而受拉区的受力筋经受了达到材料极限强度 50~60% 的预张拉。由于钢筋预张拉及钢材质量和结构的改进，与普通支柱（非预应力的）相比，其极限弯矩为普通支柱的 1.6 倍（以 3 吨·米代替 1.8 吨·米），金属消耗减少了 5/6 并提高了抗裂性；

表 1

支 架 名 称	每米柱腿 (頂梁) 重量 (公斤)	极限承 载能力		材 料 消 耗			
		軸向 受压 Q (吨)	橫向 受弯 M (吨·米)	每米柱腿 (頂梁)		单位承載 能力①	
				混凝土 (升)	金属 (公斤)	混凝土 (升/吨·米)	金属 (公斤/吨·米)
刚性柱腿(成批的):							
直径150毫米	34.4	30~35	1.1~1.2	12.0	5.5	26.0	12.0
直径186毫米	46.0	40~50	1.6~1.8	18.3	6.1	26.8	8.9
直径为 186 毫米頓巴斯煤 炭科学研究所研究的可縮性 柱腿結構	49.2	~15	1.6~1.8	20.4	6.5	30.0	9.6
直径为 186 毫米全苏煤炭 科学研究所研究的可縮性柱 腿結構	46.0	40~50	1.6~1.8	18.3	6.1	26.8	8.9
現代化的柱腿 (具有改进 的鋼筋骨架):							
直径150毫米	29.0	30~35	1.4~1.5	11.0	2.7	18.9	4.75
直径190毫米	38.4	40~50	2.0~2.2	14.5	3.5	17.3	4.15
直径 196 毫米配預应力鋼 筋的柱腿	36.0	40~50	3.0	14.5	0.92	16.0	0.77
由鋼筋混凝土管柱組成的 桁架式頂梁:							
直径150毫米	40.8	—	3.9	12.5	12.3	8.0	7.90
直径190毫米	56.3	—	6.5	19.2	16.5	7.4	6.48
由直径 190 毫米現代化鋼 筋混凝土管柱組成的桁架式 頂梁	49.6	—	6.5	14.4	13.9	5.6	5.37
由鋼筋混凝土管柱节段組 成的組合式頂梁:							
直径150毫米	39.0②	—	2.5	12.0	13.2	12.0	13.2
直径190毫米	55.0②	—	3.0	14.8	15.5	12.3	13.0

① 柱腿和頂梁长度采用2.5米。

② 頂梁最重部分每米鋼筋混凝土管形构件的重量。