

第一部分 桥梁工程与机械

一、铁路架桥机的技术进步创新历程（之一）

西南交通大学 唐经世

（一）20世纪 50 年代的铁路架桥机

新中国成立伊始之 50 年代 国际上在强权操纵下 给予我国的是封锁 是禁运。我国缺钢少铁，给铁路建设事业造成困难。在铁路建设领域，我们的对策则是大量地用钢筋混凝土梁取代钢梁。于是，应运而生了起重量为 65 t 的 65-53 型、80 t 的 80-55 型、130 t 的 130-58 型和 130-59 型悬臂式架桥机。其总体结构是按相似原理一次比一次放大设计并制成，大同而小异。各类架桥机可分别架设 16 m 梁跨及以下、24 m 梁跨及以下、32 m 梁跨及以下的钢筋混凝土（或预应力钢筋混凝土）梁。

图 1—1 为 130-58 型悬臂式架桥机组装后示意图

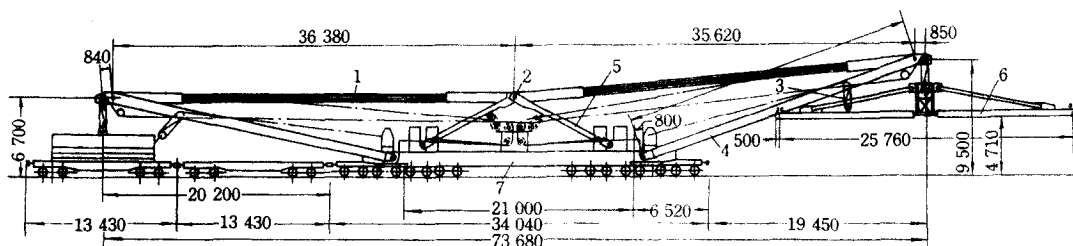


图 1—1 130-58 型悬臂式架桥机示意图

1—起臂钢绳；2—中央铰；3—副钩；4—机臂；5—伸缩节；6—吊梁扁担；7—机架。

相似原理用于机械设计，无可厚非。但是，用于铁路架桥机作相似放大，则标准轨距 1 435 mm 是不能放大的，也就是说横向形成约束。当一台自重 320 t 的 130-58 型架桥机前悬臂吊着 17.2 t 的扁担 再吊一 111.4 t 的 32 m T 形梁 再略预铺底碴 共以 130 t 计 后悬臂吊着一组共 126 t 重的平衡重，在新铺的轨道上缓缓前行之际，这时的轴重为：

$$\frac{320 + 130 + 126}{8 + 8} = 36 \text{ t}$$

36 t 远大于铁路活载轴重的限定值 22 t。因此，只能在架梁作业时，低速徐行以尽量减小动载。而在桥头路基与线路，则要求夯实紧密、厚铺道碴、密排轨枕。即使如此，当一侧轨道稍一下沉，就会引起架桥机倾覆的机毁人亡的重大事故。

因此，侧向稳定性不佳是这类架桥机难治之痼疾。

（二）20 世纪 60 年代的铁路架桥机

鉴于上述，当时的铁四局铺轨架桥队副队长、全国劳动模范王成在其长期工作实践的基础

* 原稿刊出于月刊《建筑机械》1998.4。

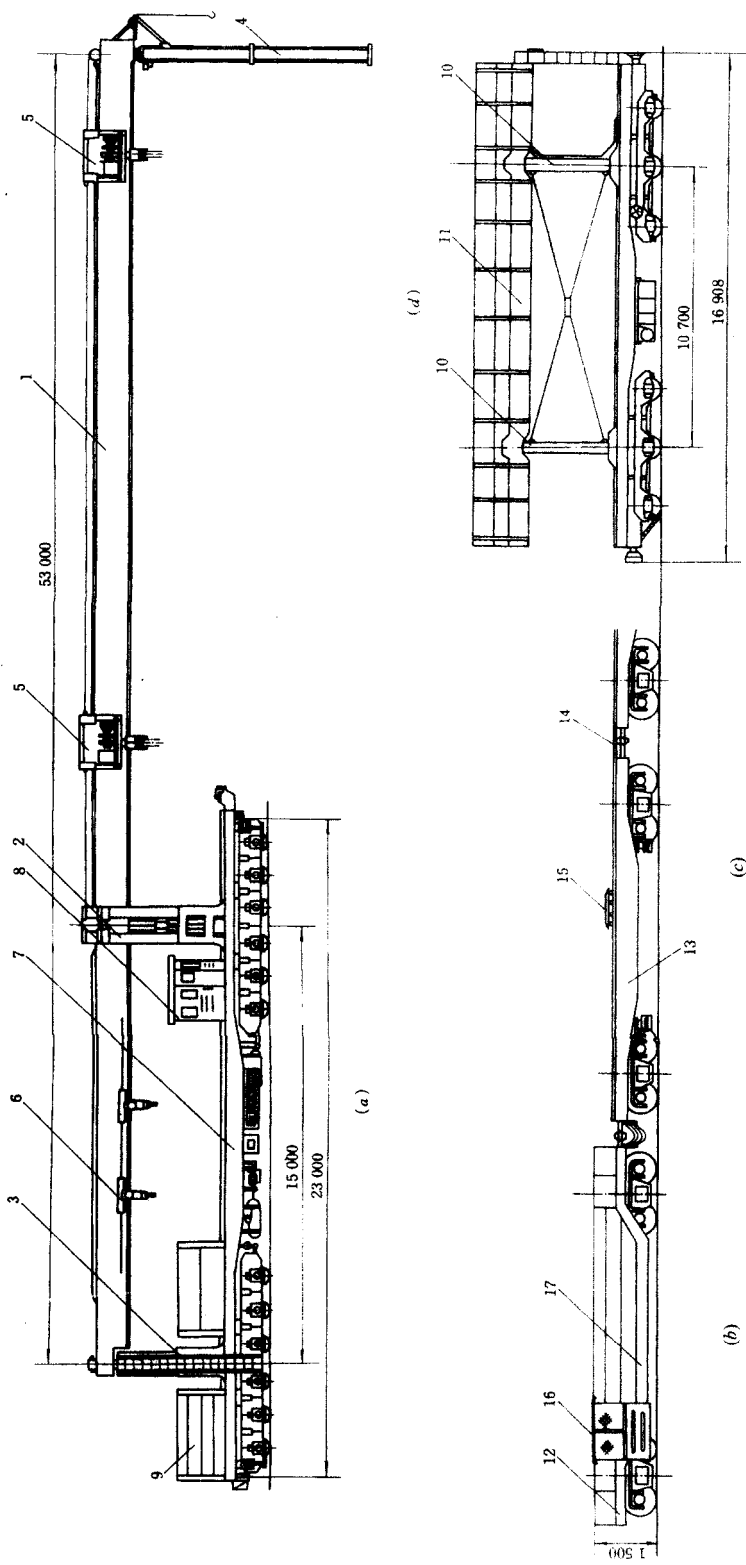


图 1-2 66 型架桥机的主要组成设备示意图

(a) 一号车; (b) 机动平车; (c) 专用平车; (d) 二号车。

1—机臂; 2—1 号柱; 3—2 号柱; 4—0 号柱; 5—吊梁小车; 6—吊梁小车; 7—一号车底架; 8—司机室; 9—活动平衡重;

10—3、4 号柱; 11—发动机室; 12—机动平车; 13—运梁专用平车; 14—过桥装置; 15—拖梁小车; 16—机动平车司机室; 17—机动平车机架。

上提出了他构思的新架桥机方案 其要点是 架桥机先空机(只有自重)运行到位 打好支腿,利用前方桥墩或桥台作前支点(因再也没有别的可用作支点的地方了),先固定好架桥机,再将欲架的梁片(每孔梁由两片组成,先后架好再焊成一体)拖到架桥上,吊起运到梁位上落梁,移到一侧 落第二片梁 移到位 第一片梁移回到位 两片梁焊成一体。

这样 制成了 66 型 130 t 单箱梁机臂上置式筒支架梁架桥机 图 1—2 示意其主要组成部分。

由图 1—2 可见 此 66 型 130 t 筒支架梁架桥机是由一整套设备组成。下表列出其主机(一号车)与 130—58 型架桥机之对照。

	130-58 型	66 型
主机自重 (t)	320	277.6
作业时主机长度 (m)	73.68	59.5
主机心盘距 (m)	21	15
主机转向架轴数	8+8	6+6
主机架梁时计算轴重 (t)	36(行走)	33.5(不动)

比之 50 年代的悬臂式架桥机,66 型筒支式架桥机的安全性大大提高,这是根本。同时,它无需在桥头专铺一架梁专用岔线,并可在隧道口架梁。

但它横移梁难度加大,全套设备太多。

得失相比较 利远大于弊 因此是技术进步 是更新换代、上了一个台阶。时至 90 年代,66 型经改进仍在架梁。

(三) 70~80 年代的铁路架桥机

正是因为有 66 型筒支架梁式架桥机的实践,在实践中发现了种种问题、种种可改进的地方、种种潜力之所在 从而跃进到胜利(战斗)型架桥机 如图 1—3 所示。

对照图 1—3 与图 1—2 胜利型架桥机比之 66 型架桥机,其重大改进之点如下:

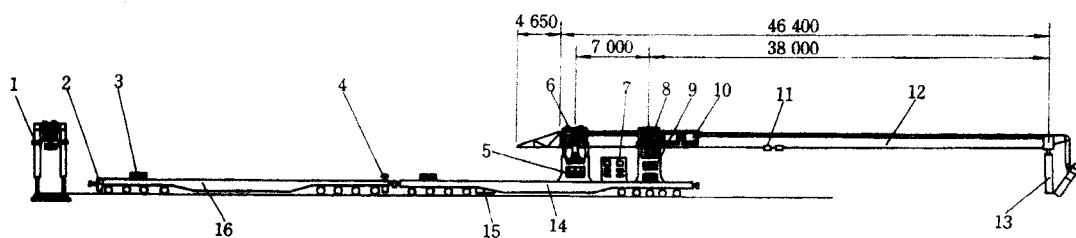


图 1—3 胜利型 130 吨架桥机示意图

- 1—龙门吊;2—司机室;3—拖梁小车;4—顶梁扁担;5—2 号柱升降与机臂摆动液压装置;6—2 号柱;
7—司机室;8—1 号柱;9—1 号柱升降液压装置;10—吊梁小车;11—铺轨小车;12—机臂;
13—0 号柱;14—一号车(主机)车架;15—平衡重;16—二号车(机动平车)

1. 心盘距从 15 m 改为 20 m。

既然多种铁路客车的定距(心盘距)为 17 m,长大货物车的定距有的 17.8 m(载重 120 t 的 D₂₂型)亦有 25 m(载重 235 t 的 D₂₃型)就可以采用 20 m 定距 加长车体 车体便超过 28 m。也就是使架桥机车体向后延伸 15 m。因此,活动平衡重后移。在保持架桥机悬臂运行、整机纵向稳定力矩不变的情况下,平衡重重力可相应减小,原 66 型车体后部的实体铸钢梁乃全部废弃不用,活动平衡重也减轻,使整机重量减轻。

定距增加 5 m 后,就有了足够的空间在车体中部放动力装置,从而可省去 66 型的二号动力

车，而于主机上设置动轴。

2. 2号柱前移8 m 使 1、2 号柱柱间距从 15 m 缩为 7 m 在机臂悬臂时, 2 号柱受拉 简支时 0 号柱、1 号柱承载, 2 号柱卸载不受垂直载荷 1 号柱则始终受压。这种受力情况完全不必将 1、2 号柱置于心盘处。

2 号柱前移 8 m 理论上使机臂缩短 8 m 以每米机臂重 1 t 计 减小了整机高处的 8 t 重力 且改善车体受力。

3. 机臂可沿 1、2 号柱纵向滑动 可回缩 13 m。

66 型架桥机机臂可用 1、2 号柱升降油缸使之升降、翘头 (补偿悬臂时机臂与 0 号柱自重使机臂产生的挠度) 用 2 号柱摆头油缸使机臂在水平面内摆动, 以适应曲线架梁的需要。可谓机臂具有三个自由度。

胜利型架桥机在此基础上, 机臂相对于车体又增一纵向伸缩的自由度, 且不增加任何机构。伸缩机臂时, 只需将吊梁小车临时用钢丝绳固定于 1 号柱上, 即可利用吊梁小车行走牵引钢丝绳实现机臂的伸缩。如图 1—4 所示。

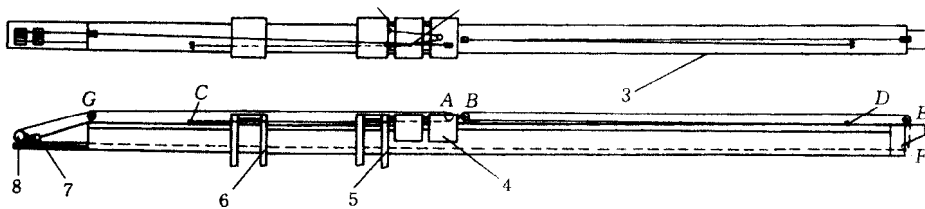


图 1—4 胜利型架桥机机臂伸缩示意图

1—顶块 2—临时固定用的钢丝绳; 3—机臂; 4—吊梁小车;
5—1号柱; 6—2号柱; 7—摩擦卷筒; 8—吊梁小车行走牵引卷筒。

机臂可伸缩这一性能有利于架桥机运行到位 (在回缩状态运行到位, 打支腿, 再伸出机臂) 有利于用架桥机悬臂铺标准长度 25 m 轨节与桥面轨

取机臂长 51 m 毛估重 1 (t/m)。回缩 13 m 纵向倾覆力矩减小 $51 \times 13 = 663 \text{ t} \cdot \text{m}$ 。毛估 0 号柱重 4 t 倾覆力矩减小 $4 \times 13 = 52 \text{ t} \cdot \text{m}$ 。

悬臂铺 25 m 长、27 t 重的宽轨枕轨节时, 相对于前心盘增加的纵向倾覆力矩为

$$27(38 - 32 + \frac{25}{2}) = 499.5 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$< (633 + 52) \text{ t} \cdot \text{m}$$

因此 机臂回缩 13 m 悬臂铺 27 t 重的宽轨枕轨节, 整机纵向稳定是没有问题的, 更不用说铺 16 t 重的标准混凝土轨枕轨节了。如果打上前液压支腿悬臂铺轨, 更不成问题。

4. 在机动平车端部设升降扁担以代替 66 型的过桥装置。

66 型的过桥装置设计不合理, 要使拖梁小车载着梁片从重车 (弹簧压下) 的机动平车拉上空车的主机 (弹簧未压下) 即使设计得很好也是很难从后车 '过桥' 到前车的。

改为升降扁担后, 机动平车运梁时, 混凝土梁前面伸出一段。运行到连挂的主机后面伸入主机。扁担升高将梁前端顶高后, 再落到主机上的拖梁小车上。落下扁担, 梁前端重量落在此拖梁小车上, 继续前拖。直到梁前端可由吊梁小车吊起, 此拖梁小车再推到主机后面, 用同法接运梁的后端。此法取得良好效果。

5. 主机 (一号机) 总重由 277.6 t 降为 224.6 t, 而功能不变, 性能改善, 专用的前 6 轴后 6 轴

转向架改为通用的前 5 轴后 4 轴转向架

由于前述之定距从 15 m 增至 20 m 虽车体加长会增加重量,但使平衡重大为减轻;1、2 号柱柱间距从 15 m 减至 7 m 使机臂重量减轻 机臂可回缩 13 m,从而有可能使前转向架改为五轴转向架 减少一轴后 机臂回缩 13 m 运行时,轴重乃可减为 27.9 t 而不是 66 型六轴前转向架的 30.75 t 主机到位 机臂全伸 38 m 这时前转向架计算轴重虽达 34.8 t 却是车轮不转的静载工况,更何况还可以先打上前支腿

至于后转向架,本来轴重就小,大家认为采用四轴转向架足够了。

这时,非常有利的方面是铁路车辆部门可以提供通用的五轴转向架与四轴转向架供挑选与改造了。转向架轴数减少,使重量降低,使定轴距从 5 900 mm(六轴)分别降为 5 000 ~ 5 100 mm(522 型五轴转向架为 5 000 mm)与 4 200 mm(422 型四轴转向架)。也就减少了运行或作业时掉道的可能性。

上述诸因素的综合,将主机自重一举降低了 53 t。

加上废弃了二号动力车,机动平车加长又废弃了三辆专用平车不用,就形成了迄今沿用的主机(一号车)机动平车(二号线)二台换装龙门吊的模式。

胜利型架桥机的成功,使铁路架桥机技术上又跃一个台阶。

(四) 90 年代的铁路架桥机

迄于胜利型这种单梁机臂上置式的简支式架桥机,使从业者既有成功的喜悦,又对它横梁的性能特差深为苦恼。如前所述,不能一次落梁到位,必须三次横移梁片到位。此性能既比不上悬臂式架桥机(架梁时机臂可高扬 9 m 以上),也比不上双梁机臂侧置式的简支式架桥机(吊梁行车纵向走行,上有小车可吊梁横向走行)

在 66 型和胜利型设计时,设计者都已经看到横移梁困难这一点,都认为箱形梁的机臂是可以承受扭矩的。只因这种大型轨行式机械受限于限界、轴重、稳定性等等因素 设计过程中各个部件的形状、尺寸等的限制与矛盾太多 无暇顾及这一问题(梁横移)从而一拖就是 30 年。

1991 年 6 月,铁道部建设司在京召开铁路工程建设“八五”技术进步规划论证会,与会专家认为必须研制新一代的架桥机,其关键则是要解决横移梁(或称空中移梁)的问题。以后由建设司立项,1992 年 7 月武汉工程机械研究所、武汉工程机械厂、铁一局与长沙铁道学院四方联合,利用铁一局在武汉厂大修的胜利型架桥机,进行模拟空中移梁试验成功。1992 年 8 月在京由中国铁路工程总公司主持召开了 JQ130 型架桥机技术设计审定会。从而开始了新一代的架桥机研制与使用。

要实现空中横移梁一次架设梁片落梁到位,应在总体设计计算基础上,重点解决几个结构问题:

- (1)设计一能吊梁横移 900~1 000 mm 的吊梁行车;
- (2)设计一受弯受扭的机臂;
- (3)设计一能承受梁横移后偏载的 0 号柱;
- (4)重新设计 1 号柱 校核车体结构强度等

由于上述技术问题一一得到解决,制成了 JQ130 型架桥机。图 1—5 示其吊梁行车优化后的第二方案,即实施方案。

图 1—5 中之可横移的小车,其驱动与定位则如图 1—6 之示意。

图 1—5、图 1—6 所示之吊梁行车装到 JQ130 型与 JQ160 型各台架桥机上 截至 1996 年 6 月 已经成功地架混凝土桥梁 2 925.5 孔,为京九、南昆等线的建成作出重大贡献。而此吊梁行

车的设计与制造成功则是关键，其结构特点如下：

(1)以纵向布置的吊钩盒代替常规的横向布置的吊梁扁担 吊钩盒可以缩入吊梁行车腹内，等于减小了吊梁行车高度。

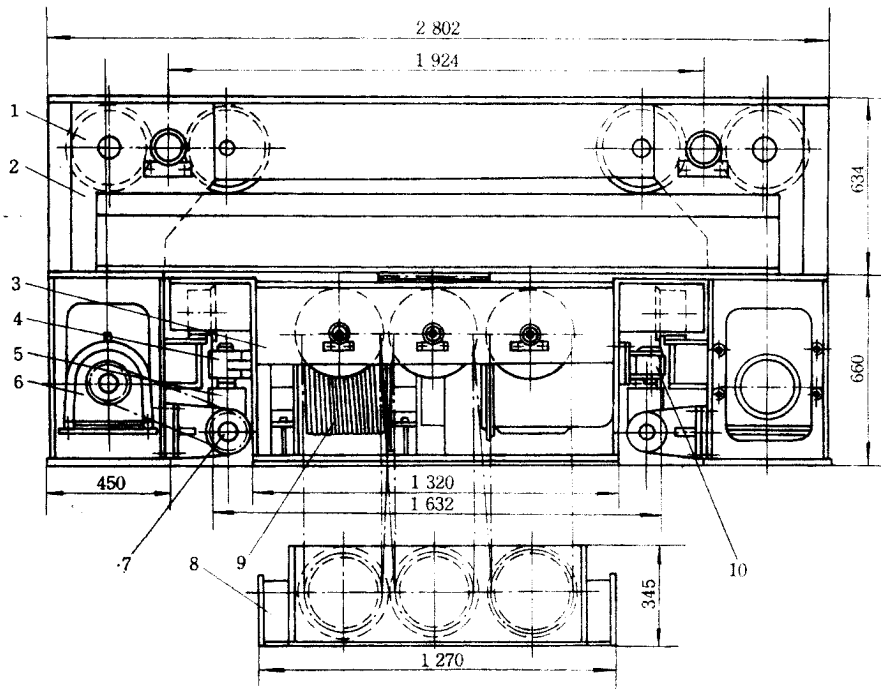


图 1—5 JQ130型架桥机的吊梁行车示意图

1—大车走行轮;2—大车车架 3—可横移的小车架;4—横移驱动杆;5—螺母;
6—横移减速器;7—横移机构螺杆;8—吊钩盒;9—梁起升机构卷筒;10—小车导向轮。

这种吊梁行车下置式的架桥机能不能实现，关键在于吊梁行车高度不能大。否则车体高度，拖梁小车高度，不同跨度梁的高度，机臂高度，号柱柱顶横梁高度再加上吊梁行车高度，会超出铁路限界高度的约束。而所设计的此吊梁行车的占用高度见图 1—5 理论上可以视为只有

$$660 - 345 = 315 \text{ mm}$$

且克服了用吊梁扁担时，左右起升卷筒收绳速度不能完全相等引起扁担倾斜的毛病。

(2)用定位导向轮(图 1—6 之 5)防止横移小车走行歪斜 避免走行轮(图 1—6 之 6)因走行歪斜而啃轨。

(3)用平衡杆(图 1—6 之 4)经中心销(图 1—6 之 7)单点，代替左右螺杆两点驱动，防止螺杆不同步使横移小车偏斜 使定位导向轮(图 1—6 之 5)受力过大而卡住或损坏。

(4)梁起升机构之电动机、减速器、行星卷筒全

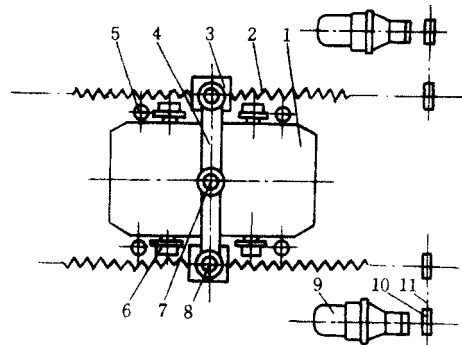


图 1—6 横移小车驱动与定位示意图

1—横移小车;2—驱动螺杆;3—从动螺母;
4—从动平衡杆;5—横移小车定位导向轮;
6—横移小车走行轮;7—平衡杆中心销;
8—横移驱动杆;9—电动机直联摆线针轮减速器组;
10—链轮;11—链条

套设备均置于横移小车上，起吊梁片实现横向移梁。

(5)吊梁行车的下置式设计，使得它可以穿过1号柱面进入1号柱与2号柱之间。这带来的第一个好处是，在运送架桥机时，或在架桥机作业就位前，尽可能地将吊梁行车退后，以降低前转向架的轴重。第二个好处是，解决了机动平车运梁长期的违规作业而又无法解决的问题，即运混凝土梁时前悬过大的问题

《架梁规则》规定运梁时前悬不得超过3.5m。但是机动平车上的前拖梁小车上要留升降扁担宽度，机动平车车体到主机车体间的距离，主机上拖梁小车宽度，还要伸到前吊梁小车上，并留给工人拴梁捆梁必要的作业空间，3.5m是远远不够的。JQ130的吊梁行车可以进入1号柱之后，就不需要专门留作业空间了，人员作业的安全性也大为提高

可以说，此下置式可横移梁的吊梁行车的研制成功，决定了可横移梁的JQ130型架桥机的成功与性能改善，决定了架桥机技术又迈上了一个新台阶。

0号柱、1号柱、机臂、车体等相应的重新设计，也必不可少但它们所受的制约不大，难度与技术含量相对较小

(五)展望

90年代新一代的架桥机是精心研制成功的产品，是一次又一次不断改进的结果，荟萃了无数人的聪明才智，是我国工程机械之精粹。1997年荣获铁道部科技进步一等奖。

架桥机能如上述不断改进更新，也与全国机械工业的进步息息相关。如机电一体化技术与监测监控装置的实现，液压技术的进步；如发动机以引进的Deutz风冷柴油机代替了135系列水冷柴油机，体积小、重量轻、故障少、噪声小、运行平稳。如梁起升机构采用锥形转子制动电动机，省去了制动器占的空间。如采用电动机直联以摆线针轮减速器驱动横移小车，尺寸小、重量轻，从而保证了吊梁行车的研制成功等等。

但也要看到此新一代架桥机的不足，其再改进的方向，力求精心设计、尽善尽美列出以下几点供参考：

- (1)从结构与制造工艺两方面，解决立柱晃动问题；
- (2)解决1号柱柱顶刚度不足问题；
- (3)解决0号柱过重问题；
- (4)解决机臂支承轮结构不良问题；
- (5)解决吊梁钢丝绳收绳不乱的自动排绳问题；
- (6)还要充分听取操作人员提出的所有的改进意见，逐一予以解决。

但是除上述问题外，20世纪90年代的JQ130、JQ160等型铁路架桥机亟待解决的根本问题，仍然是整机移位时，横向稳定性差的问题。依然多次发生倾覆事故，究其缘由，有如下述：

- (1)新线荒道，夯实不均匀；
- (2)轨距为1435mm，支承宽度小；
- (3)整机又高又宽又长，重心高；
- (4)整机特重，轴重太大。

每一次倾覆，极易造成人员伤亡与架桥机损坏。而每一次起覆，至少花费百万元以上。因为1435mm的轨距不能变，整机尺寸、重量难于改变，倾覆事故发生之后，多将原因归咎于线路质量，“轨道水平，架桥机不可能翻”。这固然可以解脱责任，却不能解决问题。

要改善铁路架桥机的横向稳定性，正确的方法是从降低轴重着手。第一个措施是尾端设置3号柱，将机臂的回缩量不限于13m，而是回缩到九根车轴轴重均衡为止。第二个措施是后

四轴转向架换用五轴转向架。第三个措施是积极研制六轴转向架取代前五轴后四轴转向架。

上海铁路局在成都铁路局红旗—130型架桥机基础上研制的液压传动架桥机,20多年来从未听说倾覆过。其原因是:作业仔细谨慎,有支6~7人的专职使用维护的小分队对架桥机精心照料;采用两台六轴组合式转向架,用以减轻轴重

总之,实践才出真知,愿我国的铁路架桥机不断实践不断进步,后来者居上,新一代架桥机比一代更安全可靠,更优质高效

主要参考文献

1. 唐经世、高国安. 工程机械(上册). 北京:中国铁道出版社,1996
2. 严隽毫. 车辆工程. 北京:中国铁道出版社,1993
3. 田智玲. JQ130型铁路架桥机吊梁行车的设计研究建筑机械,1997(6)
4. 薛治琪. 关于JQ130、JQ160型铁路架桥机空中移梁的研制建筑机械,1996(11)
5. 铁道部 JQ130型、JQ160型架桥机鉴定文件,1996

二、KPG-3000 型液压工程钻机*

西南交通大学 唐经世

1996年12月,我受铁道部科技司之邀,参与了由铁道部大桥局桥机厂生产的KPG-3000型液压工程钻机的部级鉴定,又经过一年多对该机的调查了解与实地考察,对已生产的7台钻机在香港新机场配套工程、芜湖长江大桥、宁波等建设工地的成功使用,深感欣慰,特写此文,将它推荐给桥梁、港口码头、高层建筑、公路铁路等等各方面各种大型基础工程。

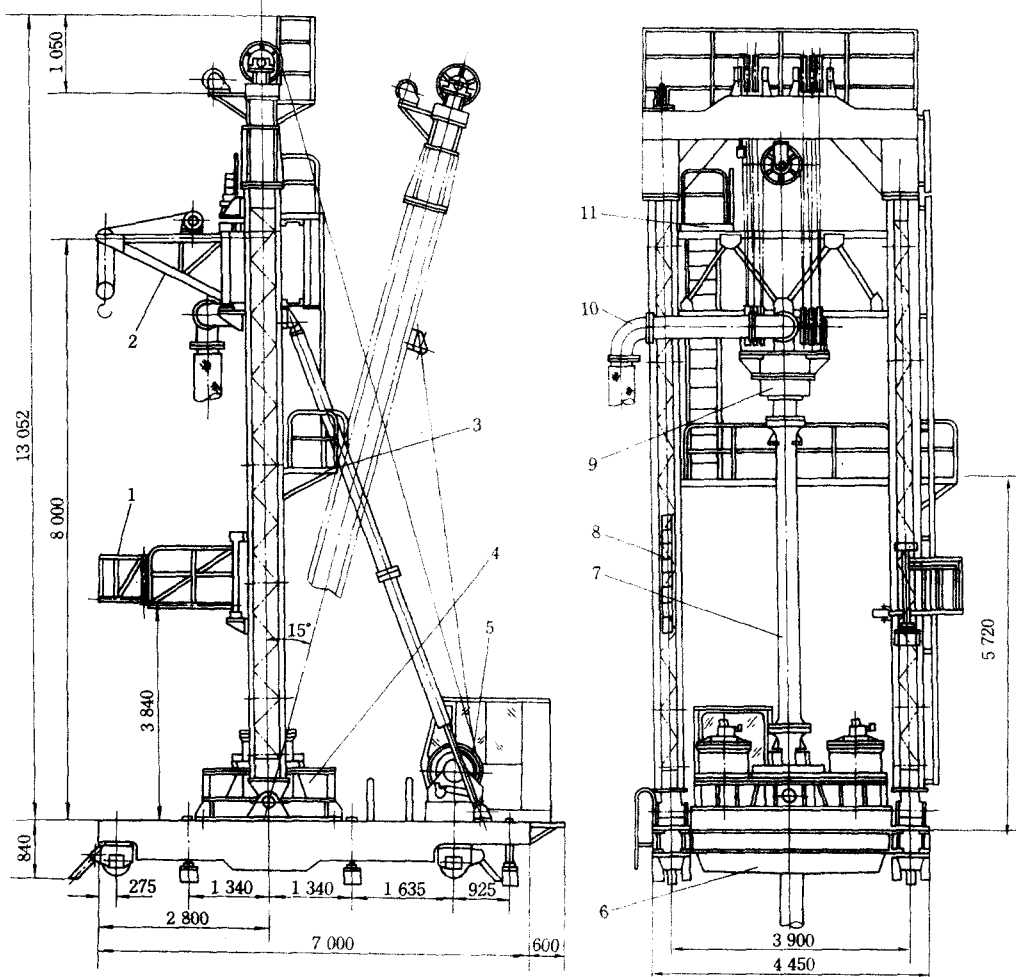


图 1-7 KPG-3000 型液压工程钻机示意图

1—活动作业台;2—钻杆吊架;3—二层作业台;4—转盘;5—主卷扬机;6—封口平车;
7—钻杆;8—转环(水龙头平衡重);9—转环(水龙头);10—排碴管;11—上层作业台。

* 原稿刊出于月刊《工程机械》1998.6。

(一) 整机结构

整机结构如图 1—7 所示。

主卷扬机的驱动选用瑞典赫格隆公司制造的一台 MK-63 型低速大扭矩液压马达

整机布置合理，其斜撑长度可调，在倾斜角度不大时可以钻掘斜孔。斜撑的结构示于图

1—8 钻具则如图 1—9 所示。

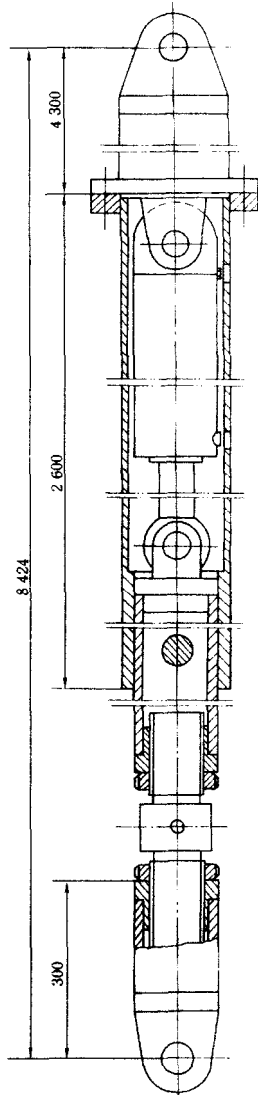


图 1—8 斜撑示意图

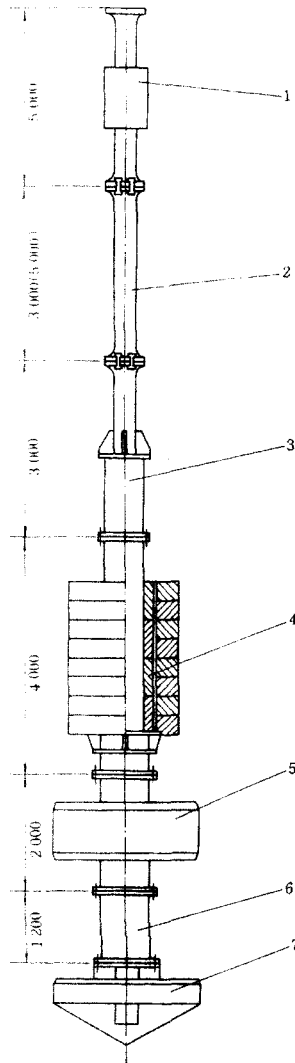


图 1—9 钻具示意图

1—中间风包；2—钻杆；3—异径接头；
4—压重；5—稳定器；6—风包；7—钻头

(二) 主要部件

1. 转盘 转盘的结构如图 1—10 所示。

转盘的驱动也选用瑞典赫格隆公司制造的低速大扭矩液压马达（MK-43 型）两台成 180° 布置，使结构简化。

2. 转环 图 1—11 为转环（水龙头），转环（水龙头）的设计最重要的方面，一是密封，二是

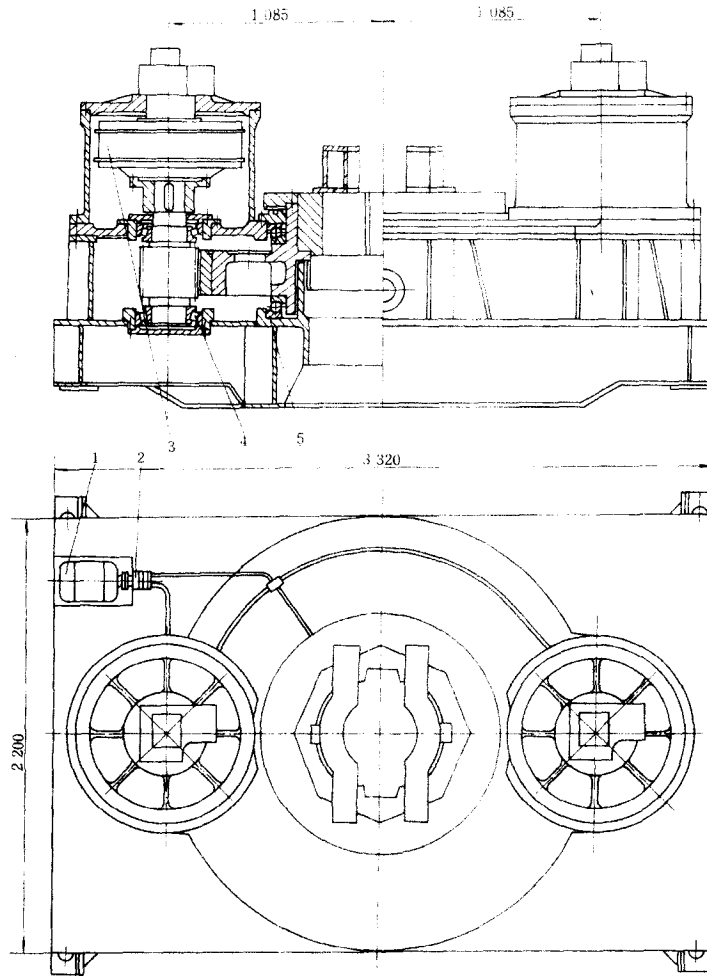


图 1-10 转盘示意图

1—Y90L-4 型润滑油泵驱动电机 2—CB-B25 型液压泵 (2 MPa);
3—MK-43 型液压马达; 4—7536 轴承; 5—9181 轴承。

支承。本机设计的密封装置安全可靠, 已为香港、芜湖、宁波等地的工程实践所证实。支承结构用 4 套轴承来实现, 由两个轴承 4 承受径向力, 轴承 3 与 3 传递不同方向的轴向力。

(三) 主要技术性能

钻孔直径 土	$\phi 1.5 \sim 6.0 \text{ m}$
石	$\phi 1.5 \sim 3.0 \text{ m}$
钻孔深度	130 m
水龙头提升能力	120 t
转盘转速	0~3.5, 0~7, 0~14 r/min
相应扭矩	200, 100/200, 80~100k N·m
排碴方式	空气反循环
钻杆	$\phi 351 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 5\,000 \text{ mm}$
主动力设备	Y351S—4 型 110 kW 电机 2 台

有效钻压力	800 kN
钻机质量 (不含钻具)	55 t
外形尺寸	7 600 mm × 4 450 mm × 13 900 mm
最重部件质量 (转盘)	13.7 t

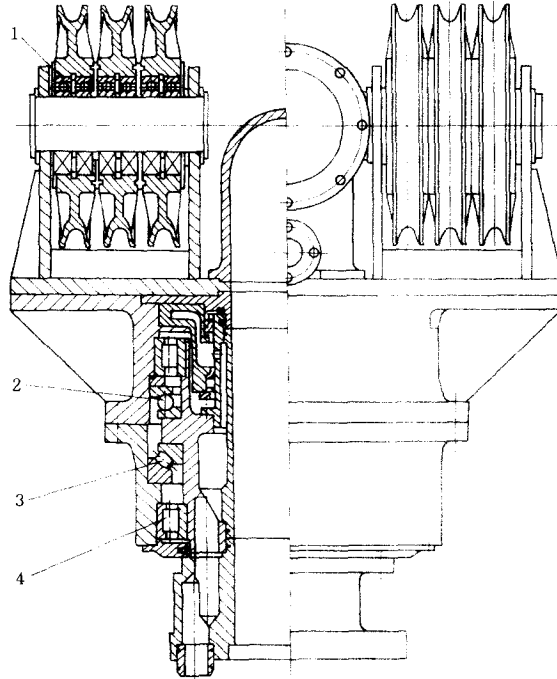


图 1—11 转环(水龙头)示意图
 1—230轴承 2—1687/560轴承
 3—90692/560轴承 4—20320/530轴承

(四) 液压系统特点

1. 本机为全液压驱动。两台主泵选用美国丹尼逊公司制造的 P11V 型轴向柱塞式液控变量泵,可分别向转盘、卷扬机液压马达供油,或向其一合流供油。变量泵操作简便、易于维修。正常使用下寿命高达 4 万 h。

2. 转盘驱动采用两台 MK 型内曲线低速大扭矩液压马达。配有多功能组合阀,可实现双速过载保护、补油等功能。既能保护液压马达不受冲击载荷,也保护了钻具、转盘等工作装置与传动装置。双速则扩大调速范围。

3. 卷扬机的驱动亦用 MK 型低速液压马达配多功能组合阀与制动装置。采用壳转马达,亦配有过载保护装置。因液压马达内摩擦阻力小,机械效率高,在恒压自动钻进时,跟进灵敏,钻孔效率高且成孔质量好。此液压马达正常使用寿命亦高达 4 万 h。

4. 主要工作动作(转盘、卷扬)为先导操纵,轻便灵敏。

(五) 与国外相应钻机的对比

KPG-3000 型液压钻机与德国维尔特公司、日本日立株式会社同类机种的对比列于表 1—1 中。

(六) 使用效果

KPG-3000 型钻机钻岩石孔时的最大孔径为 3 000 mm, K 代表钻孔机, P 表示转盘式, G

代表轨行式。

首台样机由中建六局机械化施工公司在香港新机场配套工程工地使用。在其它进口钻机作业困难时，均换用了这台国产钻机。在全部 32 个 $\phi 2.5 \text{ m}$ 钻孔桩中，KPG-3000 一号钻机成桩 28 根。最快成孔速率为每桩 2~3d，取得较好的经济效益与社会效益，使工地港人对国产设备刮目相看。实践证明该机特别适用于工期紧、载荷大的基础工程。

到 1997 年为止又制造 6 台，在国家重点工程芜湖长江大桥的基础施工中，又创成孔速度两天一孔的纪录，其孔径 3 m，深 45 m。

KPG-3000 型钻机已以其性能和质量占据了国内领先地位，并赶上了国际先进水平，而价格仅为进口钻机的 1/4 左右，因此完全可以取代进口产品；在国外也可进入世界市场，参与国际竞争。

KPG-3000 型钻机因其实绩已获铁道部 1997 年度科学技术进步一等奖。

表 1—1 国内外相同级别钻机性能对比

钻机主要技术性能	KPG-3000 型液压钻机 (大桥局桥机厂)	PBA-818-3000/300 钻机 (德国维尔特公司)	S600 型钻机 (日本日立株式会社)
钻孔直径(mm)	岩层 $\phi 1500 \sim 3000$	岩层 $\phi 3000$	岩层 $\phi 2700$
钻孔深度(m)	130	120	100
转盘转速及相应扭矩	0~7 r/min 200 kN·m 0~14 r/min 100 kN·m	0~18 r/min 180 kN·m 油压 23.5 MPa 0~64 r/min 52 kN·m (机械式换挡一级变速)	0~6 r/min 170 kN·m 0~12 r/min 85 kN·m
排渣方式	空气反循环	空气反循环	泵吸反循环
水龙头提升能力(t)	120	提升 100 加压 80	
钻杆规格材质及连接方式	$\phi 351 \times 25 \times 5000$ 35CrMo, 法兰盘工字卡	$\phi 332 \times 16 \times 3000$ 法兰盘螺栓连接	$\phi 300 \times 3000$
液压马达型号及生产厂家	MK-43-04700-AO-RN 型 2 台, 瑞典赫格隆公司	A6V250 型 2 台 + 行星减速器	$p = 23 \text{ MPa}$ $Q = 350 \text{ L/min}$
主泵型号及生产厂家	PI1V 型, 美国丹尼逊公司 (两台并联)		75 kW + 110 kW 双主泵
主动力	Y315S-4 型 110 kW 2 台	180 kW DEUTZ 柴油机	
自动控制方式	(1)ZK-2 型电控 (2)液控	液控	

三、大跨悬索桥施工三大专用机械

设备之一——主缆挤紧机

西南交通大学 唐经世

(一) 引言

20世纪80年代以来,我三度赴美,又曾去日本、加拿大在美国累计居留两年有余,因各种活动之需,足迹遍于美国二十余州在驱车跨越其一座座大桥,尤其是悬索桥时,常常绕到桥下,观赏它们的雄姿,流连忘返忆起悬索桥的桥式本源自中国古代,却在大洋彼岸结出累累硕果。钦佩之余,对于祖国近代悬索桥的落后,扼腕叹息

平地春雷,改革开放以来形势大变。一大批斜拉桥在中国大地崛起的同时,却也能看到有那么几十座大跨悬索桥亭亭玉立于其间,令人赞叹,令人为之鼓舞。展望21世纪我相信继50周年国庆前夕建成的江阴长江大桥之后,必将有一座座大跨悬索桥耸立于江河之上,兴奋之余,我谨分三篇介绍铁道部大桥工程局等自力更生研制的大跨悬索桥三大关键机械设备。我钦佩他们的创造性 他们的智慧 他们的干劲 他们的不迷信‘引进’的精神。

(二) 我国新建的悬索桥

我国新建的有名气的悬索桥如表1—2所示。

表 1—2 悬索桥示例

桥名	地区	分跨(m)	主缆钢丝数(根)与钢丝直径	主缆直径(mm)
汕头海湾大桥	广东	154+452+154	110×91, φ 5.1 mm	570
虎门珠江大桥	广东	302+888+348.5	110×127, φ 5.2 mm	687.2
江阴长江大桥	江苏	336.5+1385+309.34	169×127, φ 5.35 mm	841
丰都长江大桥	四川	120+450+100	61×91, φ 5.2 mm	433
西陵长江大桥	湖北	225+900+225	110×91, φ 5.1 mm	570
厦门海沧大桥	福建	230+648+230	110×91, φ 5.1 mm	570
青马大桥(公铁两用)	香港	455+1377+300	360×91, φ 5.38 mm	

表1—2中之汕头海湾大桥和西陵长江大桥均由铁道部大桥工程局承建厦门海沧大桥则由大桥局提供专用机械设备。

(三) 铁道部大桥工程局研制的主缆挤紧机

图1—12所示为大桥局研制并成功用于西陵长江大跨悬索桥和汕头海湾大跨悬索桥的主缆挤紧机在作业中。

图1—13所示缆索的挤紧状态

图1—14为主缆挤紧机的整体结构示意图。

从以上三图可见,主缆挤紧机实质上是将已经穿好的、断面呈六边形的平行高强度钢丝挤紧成圆。此挤紧机的设计依据参数为

单缸最大挤紧力

100 t

单缸最大行程

80 mm



图 1—12 作业中的主缆挤紧机

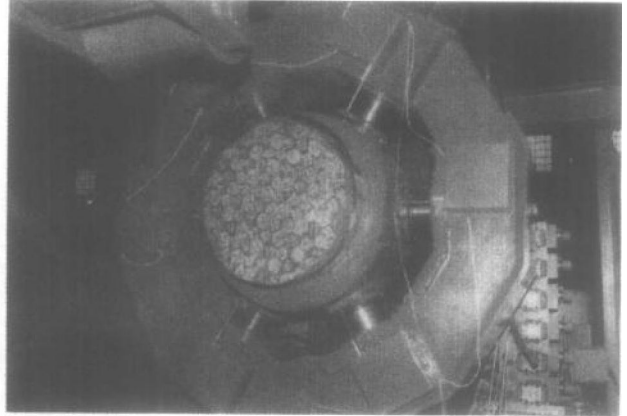


图 1—13 挤紧示意

挤压块最大比压

9.9 MPa

成圆最后直径

φ 550 ~ 560 mm

挤紧机全重

5 ~ 5.5 t

研制使用成功以后，主参数的实际确定值与实测值如下述：

千斤顶单缸最大挤紧力

120 t

千斤顶正常使用油压

28 MPa

千斤顶最大使用油压

31.6 MPa

千斤顶活塞直径

220 mm

千斤顶活塞最大行程

95 mm

挤压块实际使用行程

80 mm

挤压块宽度

400 mm

挤压块正常使用比压

8.2 MPa

挤压块最大比压

9.9 MPa

挤压速度

30 mm/min

每次挤压的作业时间

3 min

成圆最后直径

570 mm

全机重心位置（在主缆中心线下方）

310 mm

全机重

5.375 t

防转压重

0.2 t

外形尺寸

长

3 160 mm

宽

2 420 mm

高

2 300 mm

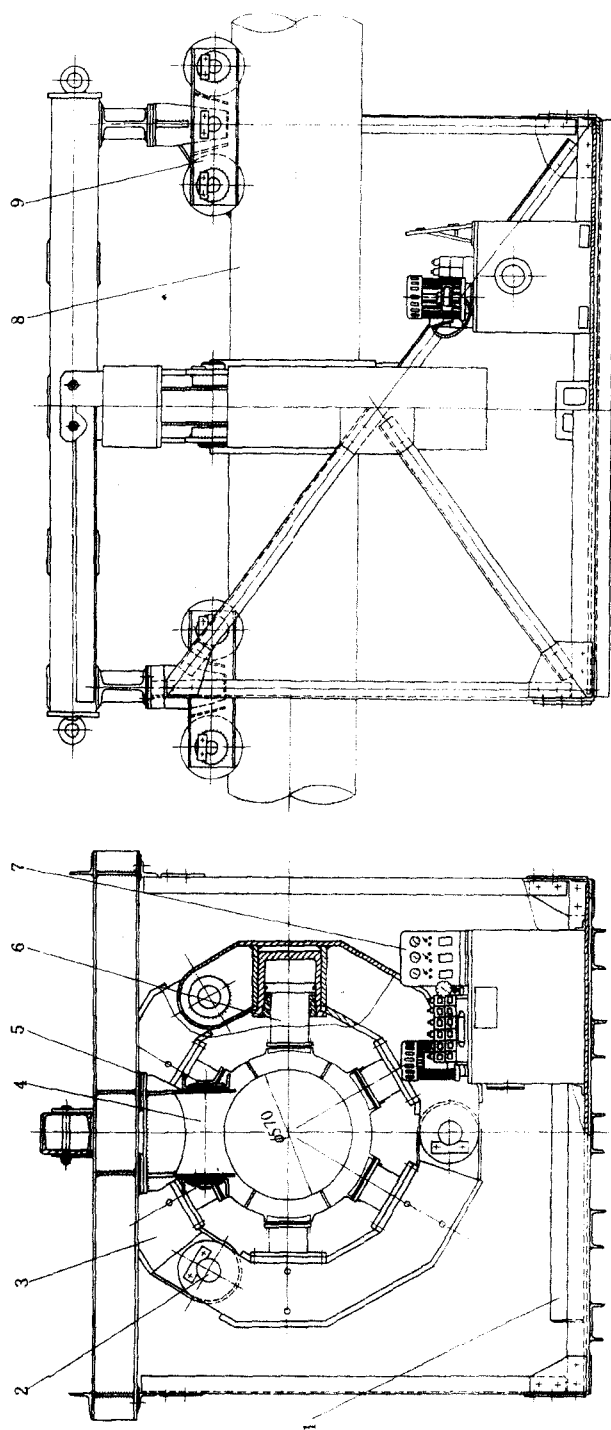


图 1—14 悬索桥主缆挤紧机示意图

1—压重块; 2—主销(40Cr); 3—机架(16Mn); 4—行走轮(特尼龙); 5—调整垫块; 6—油泵组件(含电控系统); 7—液压千斤顶; 8—调整垫块; 8—主缆; 9—行走轮架。

由以上三图可见,主缆挤紧机(紧缆机)是由矩形框架支承、挤紧装置、行走机构、电动一液动力装置(含操纵装置)与压重块组成挤紧装置。由于块各装二液压千斤顶的机架,用三主销装成一体,构成六边形,用销子居中吊挂在矩形框架支承内。二行走机构置于挤紧装置前后,各有二尼龙行走轮。有调整装置用以保持挤紧装置中心线与主缆中心线二者一致。

6个千斤顶可以同步对称地挤压缆索,也可分别动作紧缆机作业时,每次挤紧1m。确认达到规定标准后,随即用打包机以 $32 \times 1 \text{ mm}$ 钢带在主缆紧挤机两端将大缆捆紧。主缆紧挤机由装在主塔上的卷扬机牵引移位。

行走轮与挤压块内衬均采用特种高强度尼龙,为的是作业时不损伤主缆钢丝的表面防锈镀层。

根据技术查新得到的有限的数据,列表1—3与表1—4。

表1—3 主缆挤紧机主要参数对照表

主要参数	大桥局主缆挤紧机	美国 Verrazano Narrows Bridge 主缆挤紧机
单缸最大挤紧力 t	100	300
最终成圆直径 mm	550	996.9(39 $\frac{5}{16}$ 英寸)
每次挤紧的作用长度 mm	1 000	914.4(36 英寸)

* Verrazano Narrows Bridge 维拉扎诺海峡大桥,横跨纽约市 Hudson 湾,将纽约市的两个区 Staten Island 和 Brooklyn 连接起来。桥式为 $370.33 \text{ m} + 1 298.45 \text{ m} + 370.33 \text{ m}$,上下两层单向行驶。于1964年建成保持世界悬索桥最大跨度纪录达17年。只是在英国1981年建成跨越 Humber 河的大跨悬索桥($530 + 1 410 + 530$)(m)后,才退居第二。因此,在建国50周年前夕建成的江阴长江大桥的主跨长度可与它们比美,只是规模(车道数)要小。

表1—4 主缆挤紧机使用效果比较表

桥名	分跨(m)	设计要求空隙率	实际空隙率
汕头海湾大桥	154 + 452 + 154	18% ~ 20%	18%
日本下津井濑户大桥	230 + 940 + 230	19% \pm 4%	21%
日本北备赞濑户大桥	274 + 990 + 274	18% \pm 4%	20%
日本南备赞濑户大桥	274 + 1 100 + 274	18% \pm 4%	20%

从表1—3、表1—4与相关资料可见:

(1)与美国 Verrazano Narrows Bridge 用的主缆挤紧机主参数单缸最大挤紧力相比,大桥局设计的主缆挤紧机主参数确定合理,二者主缆截面面积之比为2.56:1,设计挤紧力之比为3:1。

(2)铁道部大桥局的挤紧机作业后,大缆实际空隙率达到了设计要求;

(3)美国原本是修建大跨悬索桥最多的国家,但日本在二次大战后,继1960年建成小鸣门桥之后,相继建成(89 + 367 + 89)m的若户大桥(1962), (102.5 + 460 + 105)m的平户大桥(1977), (178 + 712 + 178)m的关门桥, (250 + 770 + 250)m的因岛大桥(1983), (140 + 560 + 140)m的大岛大桥(1987)与表1—4介绍的下津井濑户大桥(1988)、北备赞濑户大桥(1988)、南备赞濑户大桥(1988)等。20世纪90年代建设中的明石海峡大桥跨度为 $960 + 1 990 + 960$ (m),再创世界纪录。可以说,在大跨悬索桥的建设规模与施工技术、施工机械(含主缆挤紧机等三大专用机械)等各方面,日本赶上了美国也名列世界前茅,我们应该奋起直追。

(四)铁道部第二工程局研制的主缆挤紧机

丰都长江大桥是三峡工程重点配套项目之一,设计为悬索桥,由铁二局承建。除用于南北