

混凝土泵送系统液压冲击的 理论分析与实验研究

尹腾飞 著



黄河水利出版社

混凝土泵送系统液压冲击的 理论分析与实验研究

尹腾飞 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

图书在版编目(CIP)数据

混凝土泵送系统液压冲击的理论分析与实验研究/尹腾飞著. —郑州:黄河水利出版社, 2017. 6

ISBN 978 - 7 - 5509 - 1759 - 0

I. ①混… II. ①尹… III. ①混凝土泵车 - 冲击液压机 - 研究 IV. ①TU64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 113347 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:虎彩印艺股份有限公司

开本:850 mm × 1 168 mm 1/32

印张:3.625

字数:104 千字

印数:1—1 000

版次:2017 年 6 月第 1 版

印次:2017 年 6 月第 1 次印刷

定价:20.00 元

前 言

随着我国国民经济持续稳定的发展,工程建设项目越来越多,作为混凝土输送的专业施工设备,混凝土泵车在工程建设中发挥着越来越重要的作用。国内生产混凝土泵送产品的厂家越来越多,以河南森源重工有限公司为代表的高端制造企业,从专为城镇市场开发的 27 m、33 m 短臂架泵车,到大型施工场地需要的 50 m、56 m、66 m 长臂架泵车,全系列产品都稳定、成熟。

本书以河南森源重工有限公司混凝土泵车为对象,依托河南省混凝土泵车工程技术研究中心,对混凝土泵车液压系统的液压冲击进行了理论分析和实验研究。首先在流变学原理的基础上,深入分析混凝土在输送管道内的流动状态,得出混凝土泵送系统的负载特性方程;然后采用功率键合图的建模方法,建立泵送回路和分配回路的数学模型,并运用仿真软件 Matlab/Simulink 对泵送和分配回路模型进行了仿真,分析了在不同输入流量(泵送频率)和换向时间下活塞杆的位移和系统的液压冲击情况,找到了引起液压冲击的根本原因是分配回路的响应时间与液压缸的运动时间不匹配,并提出了相应的改进方法。本书最后针对某一具体机型的泵送液压系统进行了实验研究,对理论分析做了进一步的验证,同时,对现有车型进行实验验证,证明理论分析和结论是正确的。

本书所做的研究工作对于提高国产混凝土输送泵的技术水平具有较高的理论意义和工程应用价值,对同行业厂家有较强的参考价值,能普遍提升行业水平。

作者

2017 年 4 月

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 课题的提出及研究的背景及意义	(1)
1.2 国内外混凝土泵的发展趋势	(4)
1.3 课题研究的主要内容	(7)
第2章 混凝土泵车的构造及工作原理	(9)
2.1 概 述	(9)
2.2 底盘部分	(10)
2.3 臂架系统的基本构造	(17)
2.4 转塔结构	(21)
2.5 泵送机构的基本构造	(26)
第3章 混凝土泵送系统的液压冲击分析	(40)
3.1 混凝土泵送液压系统分析	(40)
3.2 混凝土泵送液压冲击分析	(43)
第4章 泵送系统负载特性	(46)
4.1 混凝土在泵送过程中的流动特性	(46)
4.2 混凝土泵送压力与流速的计算	(50)
4.3 泵送负载的等效处理	(52)
第5章 泵送系统的数学模型	(56)
5.1 功率键合图基本原理	(56)
5.2 液压元件的功率键合图建模	(58)
5.3 泵送回路的功率键合图模型	(66)
5.4 泵送回路的数学模型	(67)
5.5 分配回路的键合图模型	(76)

5.6	分配回路的数学模型	(78)
第 6 章	泵送系统的仿真分析	(82)
6.1	系统的仿真模型	(82)
6.2	系统的仿真结果分析	(86)
6.3	泵送系统测试实验	(90)
6.4	实验结果及数据分析	(95)
第 7 章	结论与展望	(103)
7.1	结 论	(103)
7.2	展 望	(104)
参考文献		(106)

第 1 章 绪 论

1.1 课题的提出及研究的背景及意义

水泥混凝土泵车是一种用于输送和浇筑混凝土的专用机械,它配有特殊的管道,可以将混凝土沿管道连续输送到浇筑现场,尤其是在高层建筑、地下建筑和大型混凝土建筑物的施工过程中,以其高质量、高效率、低消耗、低成本、施工周期短、劳动强度低等优点,正在迅速取代传统落后的混凝土浇筑施工方法,成为建筑施工中不可缺少的关键设备。我国有着巨大的混凝土泵车的需求市场,“十一五”期间,我国修建一大批大型煤矿、油田、电站、机场、港口、高速铁路、高速公路等重点工程,同时进行大量的城市道路、城镇住宅的开发和建设,这都需要大量的混凝土。“九五”期间,我国的商品混凝土现浇比重由 10% 增加到 20%,其设计能力由 6 000 万 m^3 提高到 8 000 万 m^3 以上,其中泵送混凝土由原来的 5% 增加到 2010 年的 10%。因此,这些基础建设的投资兴建将为混凝土泵车提供巨大的应用市场。

1.1.1 活塞式混凝土泵的工作原理

目前,混凝土泵基本上是液压驱动双缸往复式活塞泵,其工作原理是通过两个油缸交替作用,推动混凝土缸中的工作活塞压送混凝土,实现混凝土的连续输送。

如图 1-1 所示,输送缸(2a、2b)活塞分别与主油缸(1a、1b)活塞杆相连,在主油缸压力油的作用下,作往复运动,一个前进,另一个后退;输送缸出口与料斗相通,在泵送混凝土时一个从料斗中吸入混凝土,另一个则把混凝土泵送到 S 阀中。泵送混凝土时,在主油缸的作用下,活塞 3b 前进,3a 后退。此时,摆阀油缸 4b 处于伸出状态,4a 处于后退状

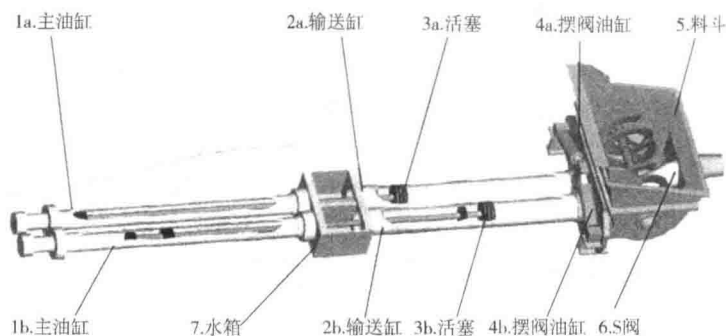


图 1-1 混凝土泵的工作原理

态,通过摆臂作用,S 阀 6 接通混凝土输送缸 2b,2b 里面的混凝土在活塞 3b 的推动下,由 S 管进入输送管道;而料斗里的混凝土被不断后退的活塞 3a 吸入混凝土输送缸 2a。当 3b 前进,3a 后退到位以后,控制系统发出信号,使摆阀油缸 4a 伸出,4b 后退,摆阀油缸 4a、4b 换向到位后,发出信号,使主油缸 1a、1b 换向,推动活塞 3a 前进,3b 后退,上一轮吸进输送缸 2a 里的混凝土被推入 S 管进入输送管道,同时,输送缸 2b 吸料,如此反复动作完成混凝土料的泵送。

当混凝土泵发生堵管现象或其他一些紧急情况需要停机时,首先应当把管道中的混凝土抽回,这时就要进行反泵操作。反泵时,通过反泵操作(4a、4b 两摆阀油缸改变状态)使吸入行程的混凝土缸与 S 阀连通,使处在推送行程的混凝土与料斗连通,从而将管路中的混凝土泵回料斗。

混凝土泵在两活塞缸交替工作时,容易产生液压冲击现象,是这种泵的一个关键技术问题。当一缸从泵料转换成吸料,另一缸则从吸料转换成泵料时,由于外载荷的突然变化,相应油管中的油压会从高压转化为低压,或从低压转化为高压,同时油液的流向也会发生改变。油液流动的急剧变化,在液压系统中不可避免地会产生液压冲击。如果液压系统设计不合理,泵送回路和分配回路在换向时不是严格协调同步,在泵料与吸料转换时,分配回路控制的 S 阀的动作超前或滞后,都会在液压系统中产生极大的峰值压力,这种峰值压力形成的液压冲击,对混

混凝土泵车的危害是巨大的。其危害主要体现在如下三个方面:

(1)对液压系统的危害。在液压系统中,由于某些原因(如快速换向或突然关闭各种阀,冲击性负载等),会引起油液流动速度或方向的急剧变化,从而产生瞬时高压形成液压冲击。产生液压冲击时瞬时压力比正常工作压力高很多,甚至超过正常工作压力的2~5倍以上,并且会产生巨大的振动和噪声。若液压系统长期处在这种交变的液压冲击作用下,会造成管道和元件的振动,严重时会造成密封装置和液压元件的损坏,或控制部件(如压力继电器,液压控制器)产生误动作,导致设备的损坏。此外,当液压油吸收部分液压冲击波后,其油温会迅速上升,造成液压油变质和系统泄漏,从而引起环境污染。

(2)对混凝土泵车的危害。液压冲击作为一种振动源,会引起机体和臂架的振动。当臂架展开,进行泵送施工时,其臂架长达40多m,机体的微小振动都会使臂架发生大幅度的摆动,尤其是当液压冲击频率与臂架的最低阶固有频率耦合时,会加剧臂架的摆动,从而引起臂架的早期疲劳而出现裂纹,甚至引起臂架断裂,发生机毁人亡事故。此外,机体和臂架的振动,也使得泵车的稳定性变差,还会引起整车的倾翻。

(3)对浇筑工程的影响。液压冲击引起臂架在水平面上的摆动和在垂直面上的振动,使得输送管末端的软管在浇筑时无法定位,尤其是在工作面较小的大型桥墩、高层房屋建筑上施工时,更增加了施工难度,影响施工质量。

研究混凝土泵车的液压冲击,找出引起液压冲击的根本原因,提出减小冲击的措施,消除在泵料吸料时的压力峰值,对于提高混凝土泵车的可靠性、延长液压元件的使用寿命、改善浇筑工程质量都有十分重要的现实意义。

1.1.2 课题的提出

我国在20世纪50年代就从国外引进了混凝土泵的设计、制造技术,通过40多年的发展,到90年代,已进入了自主研发的阶段。到21世纪,基本实现了全系列产品的自制。但在混凝土泵车的关键技

术——液压控制技术方面,还存在着一些不足,从而影响了产品的可靠性、使用寿命和施工质量。国内某一大型混凝土泵车生产企业,在国外单泵并联回路液压系统的基础上,自主研发了双泵双回路开式液压系统,其系统性能有较大的改进。如在液压冲击方面,对于开式单泵并联回路液压系统,由于一个油泵驱动两个工作机构,两个工作机构的荷载不同,因此油泵压力波动较大,存在液压冲击,而且冲击频率是双回路系统的两倍。采用双泵双回路后,液压冲击强度和冲击频率都有大幅度的下降。虽然在双泵双回路中使用两个主泵分别向主缸和摆缸供油,不存在动作干扰的问题,但是存在着泵送和分配回路在严格意义上的协调同步问题。

本书主要依托河南省混凝土泵车工程技术研究中心,针对国内某大型企业生产的水泥混凝土泵在低频和高频泵送时,泵送和分配回路不严格协调同步而导致低频泵送时发生混凝土外溅,在高频泵送时发生臂架的大幅度摆动(液压冲击)的现象进行研究,为混凝土泵液压系统的设计和提供可靠的依据。

1.2 国内外混凝土泵的发展趋势

混凝土泵的发明已有 100 多年的历史。1907 年德国人最先取得混凝土泵的专利权;1913 年美国的 Comell Kee 设计并制造出了第一台曲轴机械式混凝土泵,但没能得到应用;1927 年德国的 Fritz Hell 设计制造了第一台得到成功应用的混凝土泵;荷兰人 J. C. Kooyman 在前人的基础上进行改进,1932 年成功地设计并制造出采用卧式缸的 Kooyman 混凝土泵,该泵采用一个卧式缸和由两个连杆操纵联动的旋转阀的结构,大大提高了工作的可靠性。此后,混凝土泵的发展都是在 Kooyman 机械式混凝土泵的基础上进行的。

第二次世界大战后,各国陆续开展经济恢复工作,建筑工程日益扩大,机械式混凝土泵的销路较好,应用日益增多。到 20 世纪 50 年代,德国的 Torkret 公司首先设计出以水为工作介质的混凝土泵,标志着混凝土泵的发展进入了一个新的阶段;1959 年德国的 Schwing 公司生产

出第一台全液压的混凝土泵,它采用液压驱动,功率大、振动小、排量大并可实现无级调速和反泵操作,减少了堵管现象。从此,混凝土泵技术日趋完善,混凝土泵也进入大规模应用的阶段。此后为了提高土泵的机动性,20 世纪 60 年代中期又研制了混凝土泵车。同时,为了使混凝土浇筑更加方便,又在混凝土泵车上加装了可以回转和伸缩的布料杆。

国外混凝土泵的主要生产厂商有德国的施维英(Schwing)公司、普茨迈斯特(Putzmeister)公司和意大利的西法(CIFA)公司。

我国在 20 世纪 50 年代开始从国外引进混凝土泵,直到 80 年代才取得较大的发展。从 90 年代至今,是我国混凝土泵大规模研制和生产的时期,并且已取得了巨大的成功。目前混凝土泵的设计生产已处于世界先进水平。

我国混凝土泵的主要生产厂家有森源重工、三一重工、中联重科、徐工机械、福田雷萨等。

混凝土泵的技术现状:混凝土泵经过 100 多年的发展,无论是整机的机动性、布料系统的灵活性,还是液压系统的可靠性方面,技术都已相当成熟。

目前,混凝土泵技术的主要特点如下:

(1)分配阀不断创新和完善,阀门的密封性和通畅性得到了进一步提高,且结构日趋简单、完善。分配阀的功用是控制混凝土的吸入和泵出,主要有两种形式:闸板阀和管式阀。对于闸板阀,由于料斗安放在混凝土缸的正上方,其混凝土的吸入性能较好,但闸板易磨损,密封性能较差,不能进行高压输送。管式阀应用较广,其结构形式也较多,施维英公司生产的裙阀,普茨迈斯特公司生产的“C”形管阀以及森源重工生产的 S 阀都代表分配阀目前的最高水平,它具有输送阻力小、密封性能好、耐磨承高压的特点。

(2)用液压传动取代机械传动,使泵送工作更加平稳、可靠和易于控制。液压系统是混凝土泵最关键的部分,国外多采用开式系统,其产量占总产量的 70%,而国内开式、闭式液压系统的产量各占一半。施维英公司作为开式系统的代表,采用液压行程换向,技术特点主要体现在换向匹配上。普茨迈斯特公司为闭式液压系统的代表,采用电开关

换向、独立的摆动油缸控制,技术特点主要体现在对主油泵的控制上。电气控制从传统的继电器式控制到现在的 PLC 控制,控制系统更加可靠,易于操作。

(3)当管路发生堵塞时,液压传动系统可自动防止过载,并控制分配阀换向,使机器实现反泵动作,消除堵塞;搅拌系统也可实现卡料时的反转,消除料斗中的卡料现象。它们都可以采用自动或手动方式进行控制。

(4)应用了高效减水剂,提高了混凝土的流动性和可泵送性,在不降低混凝土性能的情况下,极大地改善了混凝土的泵送性能。

(5)商品混凝土的发展、混凝土搅拌输送车的配套使用,使质量可靠的混凝土得到均衡的供应,从而保证了连续泵送的条件。同时,各种形式的布料装置的出现,解决了混凝土的布料问题,扩大了混凝土泵的使用范围。

作为混凝土泵核心技术的液压系统,无论是闭式系统还是开式系统,目前都存在一定的技术难题。目前混凝土泵液压系统方面主要存在以下问题:

(1)在闭式系统中,存在液压冲击、最高泵送速度降低、油温过热和回油吸空四个方面的问题。如何消除压力峰值和吸空现象是闭式系统中最主要的难题,目前只有普茨迈斯特公司拥有专利技术的(SN 机构)“低压停止”技术,很好地解决了液压冲击问题。它的工作原理是:在油缸停止的瞬间,回油压力降低,此时 SN 机构动作,使得主油泵斜盘摆角减小,泵的流量也急剧减小,从而可以防止液压冲击。

(2)在开式系统中,主要的问题也是压力冲击,而且比闭式系统更为严重,但由于系统机构简单,性价比较高,国内采用开式系统的厂家较多。开式系统采用阀控换向,对于大流量液压系统而言,换向阀在高速切换时所产生的液压冲击非常剧烈而复杂。本书主要是针对国内某一成型泵车开式液压系统,就如何减少在高速泵送时巨大的液压冲击进行分析研究。

混凝土泵的发展趋势有以下几方面:

(1)混凝土泵向高压、大排量发展。

由于高层建筑和大量混凝土浇筑的需要,如高层建筑物的封顶及大型桥墩、水坝的浇筑都要求一次性完成,使得混凝土泵有向高压、大排量的发展趋势。如中联重科生产的系列泵车中有世界上最大长臂架的混凝土泵车,该泵车布料的垂直高度达 101 m,最大输出量达 $200 \text{ m}^3/\text{h}$,整机重量为 62 t。如森源重工生产的 HBT80C 型混凝土泵车,最高泵送压力可达 18.9 MPa,可将混凝土送到 400 m 高的屋顶。

(2) 小批量、多品种、多功能适应用户要求。

即使是年产近千台的公司也不只限于几种产品,而是根据用户要求在压力、排量、发动机种类、附属功能等各项参数上进行“灵活生产”,这种柔性的生产要求生产者拥有更多的技术储备、更高效的生产组织管理。

(3) 建立电视监控系统满足安全作业的要求。

在大型超长臂架的混凝土泵车作业时,为防止其臂架转动或泵送产生的振动而发生倾翻,有的泵车设计了防倾翻 ASC 电视监控系统。它利用安装在支腿上的压力传感器测定载荷的变化,使泵车在倾翻前作出响应,保证泵车安全作业。

(4) 建立完善的维修服务体系。

生产厂家针对泵车的工作状态、作业对象,记录泵车工作的磨损情况,通过一套关于使用、维修、保养的计算机管理程序(PM - DAISY)的分析,最后发出对产品是否进行维修服务、更换零件的指令。

1.3 课题研究的主要内容

本书主要针对国内某大型企业生产的水泥混凝土泵在低频和高频泵送时,由于泵送和分配回路不能严格协调同步而导致低频泵送时发生混凝土外溅,在高频泵送时发生臂架大幅度摆动(液压冲击)的现象进行研究,为混凝土泵液压系统的设计和改进提供可靠的依据。

本书研究的主要内容有以下几点:

(1) 收集研究国内外混凝土泵液控技术的文献资料,分析混凝土泵液控换向过程和液压冲击形成的原因。

(2)分析混凝土在输送管中的流动特性,计算混凝土的泵送压力和混凝土的流速,建立泵送回路的负载特性方程。

(3)利用一种功率键合图建模的方法,建立泵送系统的数学模型和仿真模型。

(4)利用仿真软件 Matlab/Simulink 对泵送系统进行仿真研究。

(5)进行相关的实验研究。

(6)根据仿真研究和实验研究得出的结论,对液压系统的改进提出相应措施。

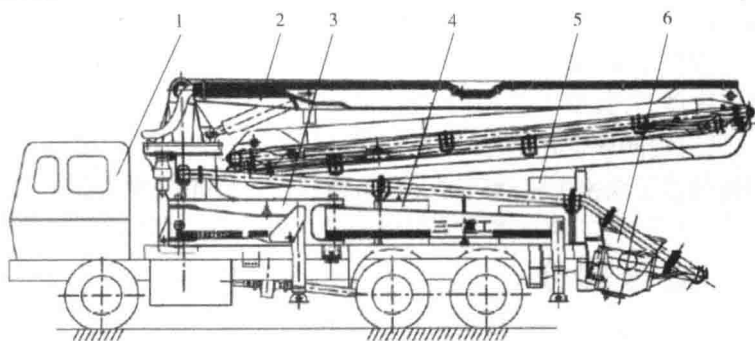
第2章 混凝土泵车的构造及工作原理

2.1 概 述

混凝土泵车是一种将用于泵送混凝土的泵送机构和用于布料的臂架系统集成在汽车底盘上的设备,泵送机构利用底盘发动机的动力,将料斗内的混凝土加压送入管道内,管道附在臂架上,操作人员控制臂架移动,将泵送机构泵出的混凝土直接送到浇筑点。

2.1.1 基本构造

混凝土泵车的种类很多,但是其基本组成部件是相同的,混凝土泵车主要由底盘、臂架系统、转塔、泵送机构、液压系统和电气系统六大部分组成,如图 2-1 所示。



1—底盘;2—臂架系统;3—转塔;4—液压系统;5—电气系统;6—泵送机构

图 2-1 混凝土泵车总图

底盘由汽车底盘、分动箱和副梁等部分组成。

臂架系统由多节臂架、连杆、油缸和连接件等部分组成。

转塔由转台、回转机构、固定转塔(连接架)和支撑结构等部分组成。

泵送机构由主油缸、水箱、输送缸、混凝土活塞、料斗、S 阀总成、摆摇机构、搅拌机构、出料口、配管等部分组成。

液压系统主要分为泵送液压系统和臂架液压系统两大部分。泵送液压系统包括主泵送油路系统、分配阀油路系统、搅拌油路系统及水泵油路系统;臂架液压系统包括臂架油路系统、支腿油路系统和回转油路系统三部分。液压系统主要由液压泵、阀组、蓄能器、液压马达及其他液压元件等部分组成。

电气系统主要由控制柜、遥控器及其他电气元件等部分组成。

本章将重点介绍底盘、臂架系统、转塔、泵送系统四大部分,液压系统将在第 3 章详细介绍,而本书与电气系统相关不大,不再赘述。

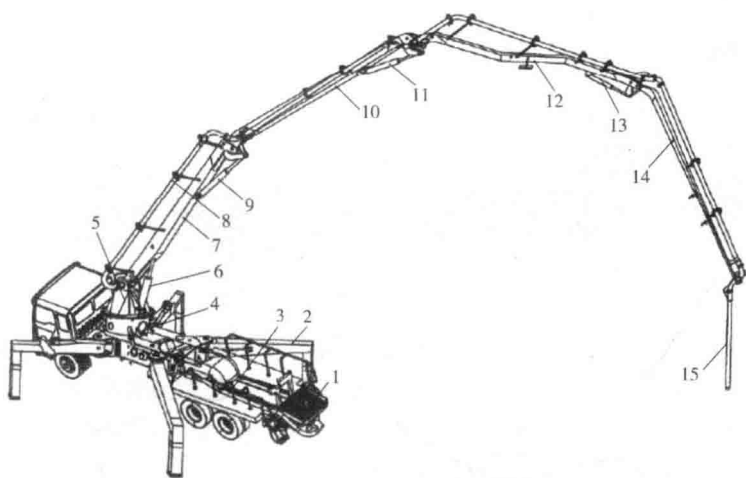
2.1.2 工作原理

混凝土泵一般装在汽车底盘的尾部,以便混凝土搅拌运输车向泵的料斗卸料。如图 2-2 所示,混凝土搅拌车卸料到混凝土泵车料斗后,由其泵送机构压送到输送管,经末端软管(件 15)排出。各节臂架的展开和收拢靠各个臂架油缸来完成。其中,臂架中的 1[#]臂架(件 7)可在 $-2^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 内摆动,2[#]臂架(件 10)和 3[#]臂架(件 12)可摆动 180° ,四节臂架依次展开,其中 4[#]臂架(件 14)的动作最为频繁,它可以摆动 245° 左右,其末端的软管在工作时应尽可能靠近浇筑部位,同时臂架可以通过回转马达及减速机驱动回转大轴承绕固定转塔作 365° 旋转。

2.2 底盘部分

2.2.1 工作原理

混凝土泵车底盘主要用于泵车移动和工作时提供动力。通过气动装置推动分动箱中的拨叉,拨叉带动离合套,可将汽车发动机的动力经分动箱切换,切换到汽车后桥使泵车行驶,切换到液压泵则进行混凝土



1—泵送机构;2—支腿;3—配管总成;4—固定转塔;5—转台;
6—1#臂架油缸;7—1#臂架;8—臂架输送管;9—2#臂架油缸;10—2#臂架;
11—3#臂架油缸;12—3#臂架;13—4#臂架油缸;14—4#臂架;15—末端软管

图 2-2 37 m 混凝土泵车工作示意图

的输送和布料。

底盘部分由汽车底盘、分动箱、传动轴等几部分组成。混凝土泵车主要采用奔驰 (Benz)、沃尔沃 (VOLVO)、五十铃 (ISUZU) 等底盘。奔驰和沃尔沃底盘外观豪华、驾驶舒适、自动化程度高;五十铃底盘技术成熟,在国内服务较完善。目前,混凝土泵车采用的底盘均达到国五或以上标准,能满足大中城市对汽车排放的要求。森源重工除采用以上三种型号的底盘外,为了适应不同客户的需求,还选用了重汽、东风等底盘。

2.2.2 德国奔驰、瑞典沃尔沃、日本五十铃三种底盘介绍

2.2.2.1 德国奔驰

奔驰系列底盘如图 2-3 所示。

奔驰底盘外观豪华、驾驶舒适、自动化程度高,采用巡航驾驶和 CAN 总线控制技术。森源重工主要选用 Actros 3340、Actros 3341、Ac-