

固体物料的浆体管道输送

[美]E·J·瓦斯普等著

水利电力出版社

GUTIWULIAO DE JIANGTI GUANDAOSHUSONG

固体物料的浆体管道输送

[美]E·J·瓦斯普等著

黄河水利委员会科研所《固体物料的
浆体管道输送》翻译组译

水利电力出版社

内 容 提 要

固体物料(如煤、矿石等等)的管道输送,是一种正在发展中并且具有效率高、成本低、占地少、无污染的现代化运输方式。

本书较全面地总结了近二十年来的固体物料管道输送技术,前八章系统介绍浆体管道输送的原理,即高浓度的固-液二相流的管道水力学和流变学问题;后三章论述管路系统流程、泵送设备、抗磨防腐蚀以及经济问题。书中并附有习题,附录中有题解,以帮助读者理解和掌握其要点。

本书可供从事固体物料输送的科研、技术人员和有关院校的师生参考。亦对从事固体-液体二相流和高含沙水流研究的人员和从事河道、港口水力疏浚的技术人员也有一定的参考价值。

本书经伍修焘同志校订

Solid-Liquid Flow

Slurry Pipeline Transportation

Trans Tech Publications, Germany 1977

固体物料的浆体管道输送

[美]E.J.瓦斯普等著

黄河水利委员会科研所《固体物料的浆体管道输送》翻译组译

(根据水利出版社纸型重印)

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 9.75印张 255千字

1980年4月第一版

1984年9月新一版 1984年9月北京第一次印刷

印数 0001—5400册 定价 1.80元

书号 15143·5523

译者序

目前固体物料的输送正发展用管道输送的形式，即把煤和矿石等物料磨碎，制成浆体，通过管道输往目的地，再进行脱水处理以备使用。目前仅美洲国家煤和矿石的管道年输送量已达亿吨公里，计划于1979年投产的美国怀俄明—阿肯色输煤管道长1670公里，年输煤量2500万吨。美国到1985年利用管道输煤预计将达到1亿吨，占全国煤产量的10%；计划中的一条大型输煤管道长2030公里，年输煤3500万吨。管道输送煤和矿石是一种效率高、成本低、占地少、无污染的现代化的运输方式，这在我国将有广阔的发展前途。

本书较全面地总结了近二十年来固体物料的管道水力输送技术的发展，内容着重于实用，并在某种意义上说可起到设计手册或教材的作用，是从事固体物料管道水力输送的工程技术人员必备的参考文献。

本书的前八章系统地阐述浆体管道输送的原理，即高浓度的固-液二相流的管道水力学和流变学的问题，并给出选择系统工作的最佳参数的简捷的方法。这对于从事固体-液体二相流和高含沙水流研究的人员，对于从事河道、港口水力疏浚的人员，也有一定的参考价值。

本书后三章论述管路系统流程、泵送设备和抗磨防腐蚀以及经济问题，可以说是长期实践的经验总结。

全书各章附有习题，附录中有习题答案，有助于读者理解和掌握各章的要点。

参加本书翻译者为黄河水利委员会科研所张隆荣（一、二、三、五、八章）、吴以致（四、六章）、龙沛霖（九、十一章）、

钱意颖（七章）和希铁龄（十章）同志。并请郑州施工机械设计研究所廖光华同志对第九章译稿进行审查校订。由于译者水平有限，译文中可能有错误之处，请读者批评指正。

黄河水利委员会科研所《固体物料的浆体
管道输送》翻译组

前 言

作者写作本书的目的不是要写一部有独创性的新颖的文献。作为从事实际工作的工程师，我们主要关心的是设计可靠的浆体输送系统，我们的目的是向对这方面真正感兴趣的人们传授怎样正确地设计这样的系统。

在某种意义上说，本书从五十年代之初就着手了。当时本书作者曾参予一项开发计划，这一计划最后导致俄亥俄运煤管路成功地投入运行。作为这个系统设计工作中的大量研究工作的结果，从而产生了一个基本信念，这就是设计运行可靠的浆体管路系统的关键，不在于选用外部材料或设计专用的设备，而在于了解和控制浆体的环境。更具体地说，当时已经感到，如果流动是均匀的，管路就会稳定，即压降随时间是常数，并且另外两个结果也会自然随之而得到。其一是，如果腐蚀环境得到控制而且使之是良性的，则管路的磨损将是均匀的，按其磨损程度可以期望管路的寿命超过半个世纪。其二是，在均匀的流动的情况下，煤本身在运输中没有损耗，即使是经过很长的距离。这些结果在该管路的实际运行中，以及在之后按本书所述的方法设计的输送矿砂和煤的管路中，都被证明是正确的。

由此和相继的经验，作者立意写一本适合于从事实际工作的工程师需要的书。为着检验这一想法，作者在加利福尼亚大学，作为增设的课程讲授了本书的内容。这使作者获得了与从事实际工作的工程师们进行交流和确定他们对各种问题的兴趣和反应的经验，这对本书的编写肯定是有帮助的。

本书有很强的实用性，因此每章之后安排有习题，以加深对

书中材料的理解，和使读者有机会获得掌握这些材料的信心。

最后，我要感谢萨姆·李为本书准备了很好的插图，也感谢黑丽诺·特洛依在本书的编排方面做了很多工作。

E.J. 瓦斯普

一九七六年九月于加利福尼亚 旧金山

目 录

译者序

前言

第一章 浆体管路设计	1
1-1 引言	1
1-2 浆体的水力学特性	4
1-2-1 浆体性状的类型	4
1-2-2 临界流速	5
1-3 设计考虑的一般性问题	8
1-4 结语	10
1-5 参考文献	10
1-6 符号	10
第二章 管路中流体流动的一些问题	11
2-1 引言	11
2-2 管流中的能量损失	11
2-3 雷诺数和流态	12
2-4 摩阻系数	16
2-4-1 层流摩阻系数	17
2-4-2 紊流摩阻系数	18
2-5 边界层和紊动	22
2-5-1 边界层	23
2-5-2 边界层的发展	23
2-5-3 摩阻速度	25
2-5-4 雷诺应力	26
2-5-5 混合长度的概念	29
2-5-6 流速亏损定律	33
2-5-7 粘性亚层	35
2-6 参考文献	37

2-7 符号	37
2-8 问题	38
第三章 流体和颗粒的相对运动	39
3-1 引言	39
3-2 流体阻力的性质	39
3-3 球体上的阻力	40
3-3-1 斯托克斯定律	40
3-3-2 一般理论	42
3-4 综合的阻力系数曲线	45
3-4-1 形状系数	45
3-4-2 综合曲线	48
3-4-3 沉降直径	50
3-5 紊动对流体阻力的影响	51
3-6 浓度对阻力的影响	51
3-7 容器圆筒侧壁的影响	52
3-8 推荐的程序	53
3-9 参考文献	54
3-10 符号	55
3-11 问题	55
第四章 悬液的物理性质	57
4-1 引言	57
4-2 密度	57
4-3 粘度	58
4-3-1 稀悬液	59
4-3-2 稠悬液	59
4-4 比热	61
4-5 导热系数	61
4-6 非牛顿体流变学	62
4-6-1 与时间无关的非牛顿流体	63
4-6-2 与时间有关的流体	66
4-7 流变特性的测验	68
4-7-1 毛细管粘度计	68

4-7-2 同轴圆筒粘度计	77
4-8 影响悬液流变特性的因素	81
4-9 参考文献	82
4-10 符号	83
4-11 问题	84
第五章 紊流中颗粒的悬移	86
5-1 引言	86
5-2 理论知识	86
5-3 非明渠上的应用	88
5-4 新近的研究	92
5-5 系统的参数对 C/C_A 的影响	92
5-6 参考文献	97
5-7 符号	98
5-8 问题	98
第六章 均质悬液的流动	101
6-1 引言	101
6-2 均质性的标准	102
6-3 过渡流速的确定	104
6-3-1 宾汉塑性体	104
6-3-2 幂律流体	108
6-4 层流	111
6-4-1 宾汉塑性流体	111
6-4-2 幂律流体	112
6-4-3 综合相关	113
6-5 紊流	114
6-5-1 宾汉塑性流体	114
6-5-2 幂律流体	117
6-6 设计步骤的选择	118
6-6-1 粘度的选择	118
6-6-2 流变模型的选择	119
6-7 参考文献	120
6-8 符号	121

6-9 问题	122
第七章 非均质悬液的流动	125
7-1 引言	125
7-2 非均质性的标准	126
7-3 淤积流速的确定	130
7-3-1 粒径均匀的颗粒	131
7-3-2 混合粒径的颗粒	137
7-4 摩阻损失的预测	138
7-4-1 均匀粒径的非均质系统	139
7-4-2 多种粒径的非均质系统	141
7-4-3 复合系统	141
7-5 结论	147
7-6 参考文献	147
7-7 符号	149
7-8 问题	150
7-9 参考文献	153
第八章 浆体处理的有关问题	154
8-1 引言	154
8-2 浆体中的热交换	154
8-2-1 夹心型体的热交换	154
8-2-2 幕体流体	156
8-3 浆体的搅拌	158
8-3-1 材料性质的影响	158
8-3-2 牛顿流体的搅拌	158
8-3-3 牛顿悬液的搅拌	160
8-3-4 非牛顿悬液的搅拌	162
8-4 减阻作用	163
8-5 参考文献	166
8-6 符号	167
8-7 问题	168
第九章 机械设备和运行	169
9-1 引言	169

9-2 泵的选型	169
9-3 输浆泵的类型	175
9-3-1 正排量泵	175
9-3-2 离心泵	182
9-3-3 玛斯泵	184
9-3-4 莫伊诺泵	184
9-3-5 特殊泵	185
9-4 管路和阀门	186
9-5 浆体的处理流程	192
9-5-1 浆体制备	193
9-5-2 浆体的使用	203
9-6 仪表和控制	212
9-7 参考文献	214
9-8 符号	216
9-9 问题	216
第十章 浆体管道的腐蚀和磨蚀	217
10-1 引言	217
10-2 腐蚀机理	217
10-3 磨损机理	220
10-4 磨损的控制	222
10-5 腐蚀的控制	224
10-6 腐蚀-磨蚀率的测定	226
10-6-1 实验室测定	226
10-6-2 回路测试	228
10-6-3 管路中的测试	228
10-7 经济因素	230
10-7-1 防腐剂的使用	230
10-7-2 衬护的使用	231
10-7-3 机械脱氧	231
10-8 参考文献	233
10-9 符号	235
10-10 问题	235
第十一章 经济方面的问题	237

11-1 引言	237
11-2 技术上的合理性	238
11-2-1 工业浆体	241
11-2-2 设备	241
11-3 系统	242
11-4 对环境的影响	244
11-5 经济上的合理性	247
11-5-1 输送成本	247
11-5-2 费用的上涨	248
11-6 结语	253
11-7 补遗	254
11-8 参考文献	255
11-9 符号	256
11-10 问题	256
附录	257
问题解答	266

第一章 浆体管路设计

1-1 引言

原料从产地到最终市场的运费，始终是市场价格的一个重要因素。毫不奇怪，那些容易开发的原料矿藏先被开采，而不易开发的矿藏，在某种情况下，不是被忽视，就是由于经济上的原因认为完全难于开采。近二十年来，我们看到了一种输送方式的发展，它以惊人的方式扩展到矿业领域。当然，我们指的是浆体管路的发展。

在相当短的时期内，用管路大量地输送固体，已经从引人兴趣但又可能冒险的状况，发展到现在有能力代替常规的输送方式。表1-1是世界上运转中的比较重要的浆体管路。近五年中建立的大型管路的数目，本身就是浆体管路输送已臻成熟的证据。毫无疑问，在对固体管路输送发生兴趣的浪潮背后，推动力主要是经济因素，这将在第十一章中详加讨论。经济因素成了整个浆体管路输送有利的背景。在塔斯马尼亚（Tasmania）的萨维季河（Savage River）铁矿，是使用浆体管路获得低运费的一个成功的例子。发现这个矿床已一百多年了，虽然它离海岸只有80公里，却被认为是不可开发的。的确，其间的地形十分崎岖，如图1-1所示。后来采用浆体管路，于1970年开始运转，这个矿体才得以开发。

阿利桑那的黑密萨（Black Mesa）管路（图1-2）是管路输送在经济方面有利的另一个例子。这个长306.5公里，直径457.2毫米的管路，向位于科罗拉多河上的一个150万千瓦的电站送煤，设计年输送量达600万吨。

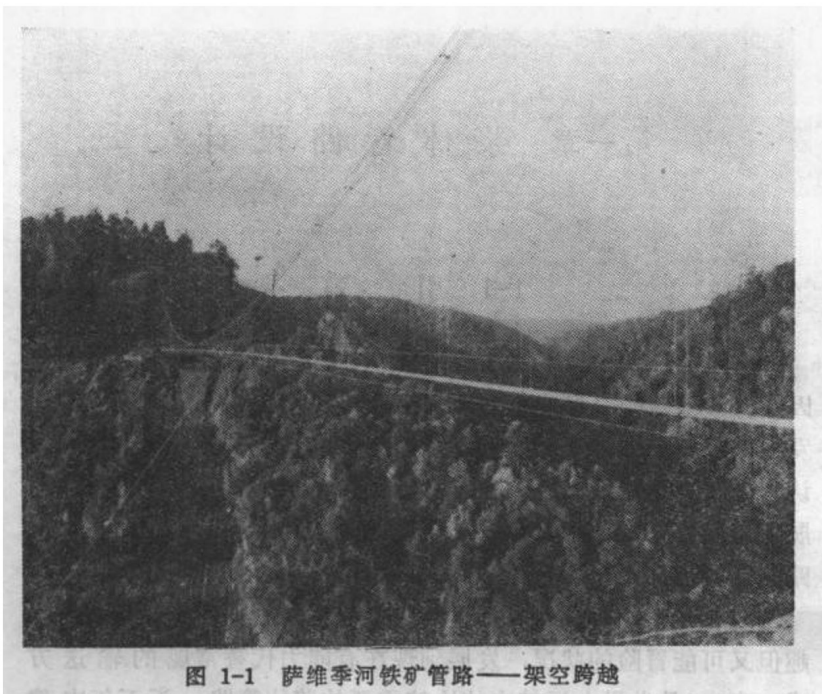


图 1-1 萨维季河铁矿管路——架空跨越

黑密萨是管路输送方面的新发展之一。在五十年代建成了俄亥俄州长169公里直径254毫米的统一输煤管路以及犹他州长116公里直径152毫米的阿美利加基尔桑耐特（Gilsonite）管路，管路输送才开始其现代化的发展。在此之前，虽有许多运行的浆体管路，但这种概念完全没有用于长距离的固体输送。自那时起，获得了大量的技术和运行知识，与短管路和一般浆体处理系统的大量经验相结合，这就推动了长距离系统的设计和施工，使之成为一种成熟的技术。

当前，如果不是长期从事这方面工作的人，收集和整理正在发展中的这门知识的几个重要方面的材料，确是一件难办的工作，而管路设计的成败正取决于此。一个不熟悉浆体技术的工程师，要同时深入研究固体-液体力学和文献中均值相关的纷杂情况（每个都宣称自己是普遍适用的！），多少会感到有些泄气。然

表 1-1

有代表性的几个商业浆体管路

管 路 名 称	长 度 (公里)	管 径 (毫米)	输 送 能 力 (百万吨/ 年)	投 入 运 行 的 年 分
煤:				
统 一	174	254	1.3	1957
黑 密 萨	440	457	4.8	1970
埃 特 西	1640	965	25	1979
奥 尔 顿	290	610	10	1981
精铁矿:				
萨维季河	85	229	2.25	1967
韦皮(铁矿砂)	9.7	203/305	1.0	1971
佩纳·科罗拉达	45	203	1.8	1974
拉斯·素恰斯	27	254	1.5	1976
色拉·格兰德	32	203	2.1	1976
萨 马 科	410	508	12	1977
精铜矿:				
包根维尔	27	152	1.0	1972
西伊里安	111	102	0.3	1972
平托河谷	17.7	102	0.4	1974
石灰石:				
鲁 格 拜	92	254	1.7	1964
卡拉维拉斯	27	178	1.5	1971

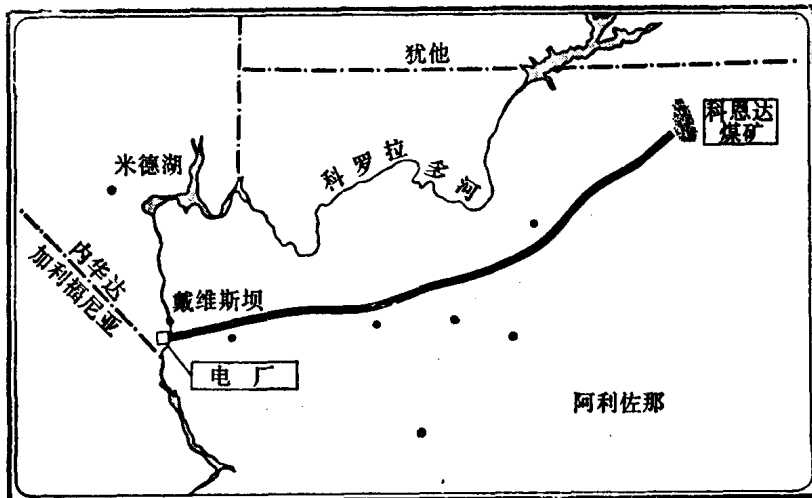


图 1-2 黑密沙输煤浆体管路

而，本书将提供实际的设计程序及其应用实例。因此，本书是针对从事实际工作的工程师和解答实际问题的，但也包含有某些基本理论，希望工程师能够对这个课题发挥自己的智慧。

在本章中，将讨论浆体水力学和管路设计的某些一般性问题。

1-2 浆体的水力学特性

1-2-1 浆体性状的类型

固液混合体在管道中的流动，在许多方面不同于均质液体的流动。对于液体，流速可能达到全部流区，流动性质（即层流、过渡区或紊流）能用管路系统和流体的物理性质的知识来表征。浆体流动特性的描述由于两个原因而不象液体那样简单。第一，除了液体的性质之外，还要考虑固体颗粒的性质及颗粒对混合体性质的影响。第二，根据具体的条件，浆体性状会有一个范围，这一点，当考察浆体流动的两个极端情况时将得到很好的说明。

均质流（Homogeneous Flow）是对于下述系统的术语，在这种系统中固体颗粒均匀地分布在液体介质之中。均质流或者非常近似的均质流，可在固体含量高和粒径细的浆体中遇到。固体颗粒的存在能对均质流的性质有重大的影响，与运载流体对比，通常是使粘度迅速增大。这些系统常常呈现非牛顿体的流变特性。如果要精确地表示流动的特征，这一点是必须弄清楚的。颗粒惯性的影响在均质流中相对地是很小的。在管路的正常流速下，下水道污泥、钻井泥浆和细的石灰石泥浆（水泥原料浆体）在某种程度上是均质悬液的典型实例。

在非均质流（Heterogeneous Flow）系统中，固体颗粒不是均匀分布的，在水平流动时，沿管道的垂向轴线甚至在高流速时也有明显的浓度梯度。颗粒惯性的影响是显著的，即流体和固体相在很大程度上保持它们各自的个性，而且系统粘度超过运载流体粘度的数量通常是很小的。非均质浆体与均质浆体对比，一般