

浆体管道输送设备 实用选型手册

钱桂华 曹 晰 主编

冶金工业出版社

浆体管道输送设备 实用选型手册

钱桂华 曹 晰 主编

冶金工业出版社

内 容 提 要

本手册是浆体管道输送技术工具书。内容包括：浆体管道输送的理论；各类设备的选型原则及计算；系统监测、控制的参数及仪表选择；常用管材管道输送参数计算；管道连接方式、防护方法及各种阀件；污水处理；输送管加速流的产生与防治；70个设备工厂的主要产品介绍。本手册可供从事浆体管道输送工程的设计、科研人员及管理干部阅读，同时可供高等院校有关师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

浆体管道输送设备实用选型手册 / 《浆体管道输送设备实用选型手册》编委会编. —北京：冶金工业出版社，1995.

ISBN 7-5024-1749-4

I. 浆… II. 浆… III. 浆料-管道运输：流体输送-设备-手册 IV. TQ051.21-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 11707 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)
北京万兴印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1995 年 11 月第 1 版, 1995 年 11 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 35.5 印张; 847 千字; 556 页; 1-2300 册

55 元

《浆体管道输送设备实用选型手册》编委会

主 任：汪桢武

副主任：曹胜利 丁宏达 汤守礼

委 员：汪桢武 曹胜利 丁宏达 汤守礼

潘咏文 邹 健 张小平 江成博

晏厚祥 丛钊滋 王兴国 陈 光

汪景武 崔嘉鼎 钱桂华 曹 晰

曹晓宁

审 稿：王兴国 陈 光 汪景武

主 编：钱桂华 曹 晰

前 言

固体细粒物料（如煤、矿石、灰、渣等）靠水力的管道运输称为浆体管道输送。浆体管道输送是一种现代化的运输方式，具有效率高、成本低、占地少、无污染等优点。国外已建成一百多条高浓度、长距离管道输送工程，管道总长近 3500km。国内冶金矿山、化工、电力等行业中，低浓度输送尾矿、化工原料、火电厂灰（渣）已广泛应用，近几年来高浓度、长距离浆体管道输送技术在有关行业开始应用。为适应浆体管道输送技术迅速发展的需要，我们编写了《浆体管道输送设备实用选型手册》这本以实用为目的，以国内浆体管道输送设备为主的集设备选型计算和设备产品介绍为一体的我国当前最新的工具书。

全手册共分 9 章。第 1、2 章简述浆体管道输送的一般理论及浆体管道输送系统中设备分类；第 3 章论述浆体制备中主要设备的选型原则和计算；第 4 章详细介绍浆体泵的种类、使用条件及选型原则；第 5 章介绍浆体泵调速的几种装置；第 6 章系统介绍浆体管道输送系统监测、计量的参数及主要仪表的选型原则；第 7 章介绍常用管材，输送浆体管道主要参数的计算，管道连接，防护方法及各类阀件；第 8 章重点论述浆体污水处理流程及设备选择；第 9 章分析浆体输送管道加速流产生的原因及防治措施。各章均有设备工厂的产品介绍。全手册共介绍 70 个设备工厂的主要产品。

本手册主要供浆体管道输送工程设计工作者使用，也可供从事浆体管道输送工程生产现场管理干部和技术人员使用，同时可供从事浆体管道输送技术的科研人员及高等院校有关专业师生参考。

参加本手册组织与编写工作的单位有冶金部信息标准研究院、冶金部秦皇岛冶金设计研究院、冶金部矿山协会、大连液力机械总厂、冶金部长沙冶金设计研究院、冶金部鞍山冶金设计研究院等。

本手册由钱桂华、曹晰主编。编写分工：第 1、2 章丁宏达、曹晰、崔嘉鼎、汪景武；第 3 章曹晰、巫竹盛、吴湘福；第 4 章郑庶瞻；第 5 章曹晰；第 6 章赵虹；第 7 章曹晰、钱桂华；第 8 章陈光；第 9 章林治顺；设备工厂产品介绍、附录钱桂华、曹晰。郑玉春、王梅也参加了编辑工作。

手册审稿：第 6、7、8 章及全书统一王兴国；第 1、2、3、9 章陈光；第 4 章汪景武；第 5 章侯斌。

在手册内容提纲征集意见过程中，得到李培芳、唐锦涛、张光德、陈豫生、高延君、丁良茗等同志的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于水平有限，书中错误及不妥之处，敬请批评指正。

编 者
1995.3

目 录

1 浆体	(1)
1.1 浆体的概念、分类及物理性质	(1)
1.1.1 浆体的概念	(1)
1.1.2 浆体的分类	(1)
1.1.3 粒料及浆体的物理性质	(2)
1.2 浆体的流动特性	(6)
1.2.1 均质浆体的流动特性	(6)
1.2.2 非均质浆体的流动特性	(12)
2 浆体管道输送系统概述	(16)
2.1 浆体管道输送系统的构成	(16)
2.1.1 浆体制备系统	(16)
2.1.2 浆体输送系统	(16)
2.1.3 浆体后处理系统	(17)
2.2 浆体管道输送系统的主要设备	(17)
2.2.1 浆体制备系统的设备	(17)
2.2.2 浆体输送系统的设备	(20)
2.2.3 浆体后处理系统的设备	(25)
2.2.4 浆体管道输送设备的发展	(26)
2.3 几种常见的浆体管道输送系统	(28)
2.3.1 冶金矿山精、尾矿浓缩系统	(28)
2.3.2 煤浆管道输送系统	(28)
2.3.3 火电厂灰渣清除系统	(34)
3 浆体制备、贮存设备及其选型	(35)
3.1 概述	(35)
3.2 普通浓缩机及其选型	(35)
3.2.1 普通浓缩机的工作原理	(35)
3.2.2 普通浓缩机的型号、规格及基本参数	(36)
3.2.3 普通浓缩机的计算与选型	(38)
3.3 高效浓缩机及其选型	(43)
3.3.1 概述	(43)
3.3.2 高效浓缩机的工作原理	(43)
3.3.3 高效浓缩机的结构特点及技术参数	(44)
3.3.4 高效浓缩机的操作与控制	(45)
3.3.5 高效浓缩机的选型与计算	(45)
3.4 斜板、斜管浓缩机及其选型	(46)
3.4.1 概述	(46)

3.4.2 斜板浓缩机的计算	(46)
3.4.3 斜板、斜管及其主要参数选择	(50)
3.5 水力旋流器及其选型	(51)
3.5.1 水力旋流器构造和工作原理	(51)
3.5.2 水力旋流器参数选择	(51)
3.5.3 水力旋流器的选型	(54)
3.6 搅拌槽及其选型	(55)
3.7 局部流态化矿浆仓及其选型	(56)
3.7.1 流态化矿浆仓的工作原理	(56)
3.7.2 流态化矿浆仓选型计算	(56)
3.7.3 流态化矿仓设备	(57)
3.8 脱水仓及其选型	(58)
3.8.1 概述	(58)
3.8.2 脱水仓结构和工作原理	(58)
3.8.3 脱水仓的型号及主要参数	(58)
3.8.4 脱水仓的选型	(59)
3.9 浆体制备贮存设备厂	(59)
3.9.1 沈阳矿山机器厂选矿运输机械制造公司(浓缩机)	(59)
3.9.2 辽源重型机器厂(浓缩机、旋流器)	(65)
3.9.3 北票市选矿机械厂(浓缩机)	(74)
3.9.4 张家港市工矿机械厂(高效浓缩机)	(77)
3.9.5 浙江省诸暨矿山机械厂(浓缩机)	(78)
3.9.6 马鞍山矿山研究院选矿设备研究所(高效浓缩机)	(80)
3.9.7 无锡县电站除灰设备厂(灰浆脱水设备)	(82)
3.9.8 煤炭科学研究总院唐山分院管道运输研究所(搅拌桶等)	(89)
3.9.9 威海市鲸园聚氨酯厂(聚氨脂水力旋流器)	(91)
4 浆体泵及其选型	(95)
4.1 概述	(95)
4.1.1 浆体泵选型所需资料	(96)
4.1.2 影响浆体泵选型的主要因素	(96)
4.1.3 浆体泵选型的基本原则	(96)
4.1.4 浆体泵选型的步骤	(97)
4.2 离心式浆体泵及其选型	(97)
4.2.1 离心式浆体泵的特点	(98)
4.2.2 离心式浆体泵的适用范围	(98)
4.2.3 离心式浆体泵选型	(98)
4.2.4 离心式浆体泵的工艺参数计算	(101)
4.2.5 各种离心式浆体泵的选型简介	(103)
4.3 容积式浆体泵及其选型	(107)
4.3.1 容积式浆体泵分类	(107)
4.3.2 泵的工作原理	(107)
4.3.3 容积式浆体泵的特点	(108)
4.3.4 容积式浆体泵的适用范围	(110)

4.3.5	容积式浆体泵的生产及使用概况	(110)
4.3.6	容积式浆体泵对浆体磨蚀性的适应性	(110)
4.3.7	容积式浆体泵的备用	(111)
4.3.8	活塞泵	(111)
4.3.9	油隔离泵(玛尔斯泵)	(112)
4.3.10	柱塞泵	(113)
4.3.11	隔膜泵	(114)
4.3.12	螺杆泵	(114)
4.4	特种浆体泵及其选型	(115)
4.4.1	特殊浆体泵的特点	(115)
4.4.2	特殊浆体泵的应用范围	(116)
4.4.3	特殊浆体泵选型	(116)
4.4.4	水隔离泵	(116)
4.4.5	膜隔离泵	(118)
4.5	浆体输送泵设备	(118)
4.5.1	石家庄工业泵厂(ZJ系列渣浆泵)	(118)
4.5.2	石家庄水泵厂(渣浆泵)	(126)
4.5.3	北京东方大禹工业泵股份有限公司(两相流渣浆泵)	(132)
4.5.4	石首水泵厂(BZ型渣浆泵)	(136)
4.5.5	唐山市水泵厂(渣浆泵)	(141)
4.5.6	自贡工业泵总厂(杂质泵)	(153)
4.5.7	长沙工业泵总厂(两相流杂质泵)	(162)
4.5.8	无锡水泵厂(渣浆泵)	(163)
4.5.9	郑州轻金属研究院(LZB系列新型轴封高效离心杂质泵)	(167)
4.5.10	中国核工业总公司国营五二三厂(油隔离泵、喷水式柱塞泵)	(171)
4.5.11	宝鸡水泵厂(喷水式柱塞泥浆泵)	(174)
4.5.12	兰州通用机器厂(油隔离泵)	(176)
4.5.13	湖南省电力设备总厂(ZDYH-2型油隔离泵)	(178)
4.5.14	广州市广重成套工程公司(ZKY系列油隔离泥浆泵)	(179)
4.5.15	沈阳冶金机械专科学校浆体输送设备研究所(膜隔离泵、水隔离泵)	(180)
4.5.16	河南省鹤壁市通用机械厂(SGB型水隔离泥浆泵)	(185)
4.5.17	本溪水泵厂(油隔离泵、隔膜泵、计量泵)	(188)
4.5.18	北京燕山石化公司机械厂(双螺杆煤浆泵)	(196)
4.5.19	湖北省天门水泵厂(ZB型渣浆泵)	(202)
5	浆体泵的调速及其设备选型	(208)
5.1	概述	(208)
5.1.1	浆体泵调速的意义	(208)
5.1.2	浆体泵调速的方法	(208)
5.1.3	各种调速系统初投资的比较	(208)
5.1.4	按浆体泵容量选择调速装置	(209)
5.2	浆体泵不调速改为调速装置的容量选择	(210)
5.2.1	不调速时的容量计算	(210)
5.2.2	调速装置容量的确定	(210)

5.3	无功功率的影响及改善对策	(212)
5.4	调速用电动机	(212)
5.4.1	笼型(Y系列)三相异步电动机	(213)
5.4.2	电磁调速异步电动机	(213)
5.5	浆体泵调速装置	(214)
5.5.1	电磁调速电动机调速装置	(214)
5.5.2	液力耦合器调速装置	(216)
5.5.3	变频调速装置	(217)
5.6	浆体泵的调速设备厂	(218)
5.6.1	上海先锋电机厂(YCTD系列电磁调速电动机)	(218)
5.6.2	沈阳实业电机厂(YCT系列电磁调速电动机)	(221)
5.6.3	大连液力机械总厂液力调速成套设备公司(液力调速渣浆泵成套机组)	(223)
6	浆体输送系统的检测与控制	(228)
6.1	检测及控制仪表的选型与应用	(228)
6.1.1	装设检测及控制仪表的意义与目的	(228)
6.1.2	检测及控制仪表分类	(228)
6.1.3	常用检测仪表选型	(229)
6.1.4	常用显示和调节仪表选型	(232)
6.1.5	常用执行器选型	(235)
6.2	浆体输送系统中的常用仪表	(237)
6.2.1	电磁流量计	(237)
6.2.2	超声波流量计	(237)
6.2.3	E+H压力变送器	(237)
6.2.4	工业密度计	(238)
6.3	自控与远控	(238)
6.3.1	自动控制	(238)
6.3.2	远动控制	(239)
6.4	检测仪表设备厂	(239)
6.4.1	兰州通用工业仪表研究所(密度计、流量计)	(239)
6.4.2	宜兴自动化仪表总厂(流量计)	(241)
6.4.3	唐山大方电子技术开发公司(超声波流量计)	(242)
7	管道与阀件及其选型	(244)
7.1	管道	(244)
7.1.1	概述	(244)
7.1.2	钢管	(244)
7.1.3	铸石管	(261)
7.1.4	钢橡复合管	(263)
7.1.5	钢塑复合管	(265)
7.2	管道连接	(266)
7.2.1	管道连接在浆体输送系统的意义	(266)
7.2.2	管道连接的方式及其适应范围	(266)
7.2.3	柔性管接头的工作原理及特点	(266)
7.2.4	柔性管接头起补偿器作用时,两端管之间的间隙确定	(268)

7.3 管道的防护	(269)
7.3.1 金属腐蚀的一般知识	(269)
7.3.2 金属管道外壁防腐绝缘层	(271)
7.3.3 阴极保护	(271)
7.3.4 阴极保护的设计	(281)
7.3.5 pH 调整与除氧设施	(287)
7.4 阀件	(288)
7.5 火电厂水力除灰渣管道的计算	(290)
7.5.1 概述	(290)
7.5.2 灰、渣管内径的选择	(290)
7.5.3 灰、渣管阻力计算	(292)
7.6 管道与阀件设备厂	(295)
7.6.1 大连铸石制品厂(铸石制品)	(295)
7.6.2 山东电力蓬莱铸石厂(铸石制品)	(301)
7.6.3 吉林省龙井市铸石工厂(铸石管)	(304)
7.6.4 承德市铸石厂(铸石制品)	(306)
7.6.5 大连市旅顺铸石厂(铸石夹筋管)	(308)
7.6.6 营龙钢橡复合管有限公司(耐磨钢橡复合管)	(309)
7.6.7 成都无缝钢管公司新津复合管厂(钢塑复合管和耐磨无缝钢管)	(311)
7.6.8 陕西煤炭建设公司管件设备厂(卡箍式柔性管接头)	(313)
7.6.9 连云港市华达管件公司(卡箍式柔性环型管接头)	(317)
7.6.10 山东龙口发电厂热力器材厂(LTW-H 灰浆型复合填料套筒式管道补偿器)	(319)
7.6.11 无锡县管道附件厂(伸缩节头)	(321)
7.6.12 中国石油天然气总公司管道科学研究院化工厂(防腐涂料)	(322)
7.6.13 北京东化防腐技术开发公司(防腐防水涂料)	(329)
7.6.14 北京金发涂料厂(XYF 系列彩色仿瓷涂料)	(330)
7.6.15 沈阳矿浆阀门厂(矿浆阀)	(330)
7.6.16 开封低温阀门厂(矿浆阀)	(340)
7.6.17 沈阳冶金机械专科学校浆体输送设备研究所(三片式矿浆阀、矿浆调节阀、 内限位伸缩节)	(344)
7.6.18 石家庄市阀门一厂(浆液阀)	(348)
7.6.19 沈阳市浆体管道设备制造厂(颗粒泥浆闸阀)	(351)
7.6.20 鞍山市大孤山阀门厂(衬胶阀门)	(354)
7.6.21 济南齐鲁给排水设备制造公司(矿浆微阻缓闭止回阀)	(357)
7.6.22 鞍山市冶金环保设备厂鞍山市特种水泵厂(污水泵、衬胶阀)	(359)
7.6.23 无锡县电站除灰设备厂(灰浆阀)	(361)
7.6.24 辽宁省铁岭阀门厂(蝶阀)	(368)
7.6.25 国营新兴机械厂(微阻缓闭止回阀)	(373)
7.6.26 郑州蝶阀厂(A 型对夹式蝶阀)	(374)
8 浆体污水处理及其设备	(378)
8.1 概述	(378)
8.1.1 常见污水处理系统	(378)
8.1.2 冶金矿山矿浆浓缩脱水	(378)

8.1.3 火电厂水力除灰、渣	(380)
8.2 尾矿矿浆及尾矿废水处理	(380)
8.2.1 尾矿矿浆处理	(380)
8.2.2 尾矿废水处理	(383)
8.3 处理设备	(385)
8.3.1 浓缩机	(385)
8.3.2 压力过滤器	(385)
8.3.3 压滤机	(388)
8.4 消毒	(388)
8.4.1 液氯消毒	(388)
8.4.2 次氯酸钠消毒	(389)
8.4.3 次氯酸钠溶液的投配	(390)
8.5 含氰污水处理	(390)
8.5.1 概述	(390)
8.5.2 碱氯化法	(391)
8.5.3 酸化回收处理法	(391)
8.6 乳化油炸药厂的污水处理	(392)
8.6.1 乳化油炸药厂污水来源及水质	(392)
8.6.2 污水处理回收工艺流程	(393)
8.7 清水泵管及阀门	(393)
8.8 浆体污水处理设备厂	(393)
8.8.1 无锡市通用机械厂(自动板框压滤机、污水处理设备)	(393)
8.8.2 国营江苏宜兴市净化水设备厂(浓缩机、搅拌槽)	(399)
8.8.3 宜兴市循环水设备厂(中、高速过滤器、加药装置)	(402)
8.8.4 宜兴市高塍机械环保设备厂(浓缩机、格栅、净水器)	(404)
8.8.5 宜兴市高塍玻璃钢化工设备厂(玻璃钢管道、YMB型膜片式微孔曝气器、玻璃钢搅拌机)	(408)
8.8.6 本溪水泵厂(化学药剂注入撬)	(418)
8.8.7 扬州市苏中化工机械厂(复合橡胶板厢式压滤机)	(419)
8.8.8 唐山水泵厂(清水泵)	(420)
8.8.9 北京自动化仪表七厂(加氯机)	(429)
9 加速流及其防治	(433)
9.1 加速流产生条件及其计算	(433)
9.2 加速流的类别	(434)
9.2.1 浆推浆加速流	(434)
9.2.2 浆推水加速流	(434)
9.3 主泵压力验算	(434)
9.4 加速流的防治	(436)
9.4.1 连续输送运行制度	(436)
9.4.2 批量输送运行制度	(437)
9.5 防治加速流的主要设备和材料	(438)
9.5.1 陶瓷孔板	(438)
9.5.2 矿浆快速进排气阀	(438)

9.5.3 耐磨管材	(438)
9.5.4 “管束”消能装置	(438)
9.6 辅助设备厂	(438)
9.6.1 无锡起重设备厂(起重设备)	(438)
9.6.2 山东烟台石棉制品总厂(石棉制品)	(439)
9.6.3 九江水泥船试验厂(钢筋混凝土水泵船)	(441)
9.6.4 无锡中策减震器有限公司(减震器)	(442)
9.6.5 烟台空气压缩机厂(空气压缩机)	(447)
附 录 1. 计量单位及换算表	(449)
2. 常见筛制	(462)
3. 清水水力坡降表	(464)
4. 清水的运动粘滞系数	(528)
5. 固体颗粒在清水中的自由沉降速度 v 值表	(529)
6. 矿浆容重	(546)
7. 环境保护标准	(549)
主要参考文献	(556)

1 浆 体

1.1 浆体的概念、分类及物理性质

1.1.1 浆体的概念

固体粒状物料与液体的混合物称为浆体。浆体根据液相的不同可分为两种：液相是水的称为水系浆体；液相是水以外的其他液体的称为非水系浆体。

水系浆体在实用领域内占有很大比例，作为大宗物料输送的有煤浆、矿浆、水泥生料浆（石灰石浆）、化工磷灰石浆、城市污泥浆和工业渣浆（电厂灰渣浆、矿山尾矿浆）等。

非水系浆体在实用领域中具有代表性的有油煤浆。

1.1.2 浆体的分类

从输送和利用的观点出发，根据流动特性，浆体可分为均质体和非均质体。在均质体和非均质体之间，还有伪均质体。此外，也还有带推移沉积层的浆体和有固定沉积层的浆体。

1.1.2.1 均质体

均质体是一种含有微细颗粒（-325目或-400目）的固液混合浆体，即使在很低流速（层流）甚至在静止条件下，固液都不发生沉淀分选，即在浆体流动方向的垂直截面顶部与底部的浓度差很小，是呈均匀状态的一相流体。

这类浆体有的呈牛顿体性状，更多的呈非牛顿体性状，一般常作为宾汉体或伪塑性体来处理。

均质体在浆体输送技术中可称为非沉降性浆体。

1.1.2.2 伪均质体

固相颗粒较均质体稍粗或重度较大，只有在一定的流速下运动（紊流），浆体流动方向的垂直截面上顶部与底部浓度差才会较小，所以称为伪均质体，也就是在一定条件下的均质体。

1.1.2.3 非均质体

固体颗粒粒径大于0.05mm时或重度较大时，即使在有一定流速的紊流状态下，浆体流动方向垂直截面上仍存在相当大的浓度差。但是，当流速甚高和浓度很大时，由于紊流扩散作用和粘度的增大有阻止颗粒沉降的趋势，浆体的这种非均质性状会有所减轻。当流速和浓度足够高时，有时也可能形成伪均质体。

当流速低于所谓沉积临界流速时，截面底部会出现跳跃状或滑动状的沉积底层，称为推移层非均质体；当流速更进一步降低时，就会由推移沉积底层变为固定不动的沉积底层，此时称为固定沉积层非均质体。

非均质体属于两相流体，其流动特性按两相流方法处理。

非均质体在浆体输送与利用的技术中又称为沉降性浆体。

以上各种类型流体形式与颗粒粒径和重度的关系参见图1-1。

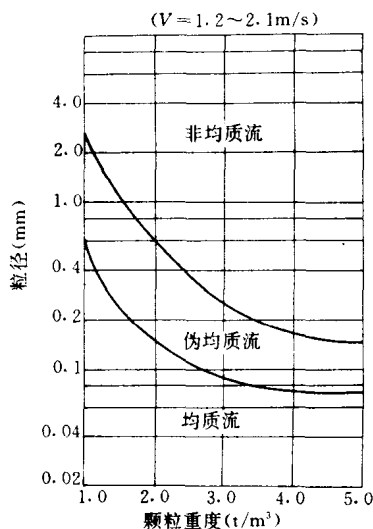


图 1-1 各种类型流体形式与颗粒粒径和重度的关系

1.1.3 粒料及浆体的物理性质

粒料及浆体的物理性质主要有粒料重度，粒径及其分布，颗粒形状系数，颗粒沉降阻力系数和沉降末速，浆体浓度和最大沉降浓度，粘度或刚度系数，初始切应力，浆体比热和导热系数以及磨蚀率和磨蚀米勒数等。

1.1.3.1 固体物料重度

单位体积粒料的重量称为粒料的重度，常以 γ_g 表示，单位为 t/m^3 或 kg/m^3 。

常用于浆体输送粒料的大致重度参见表 1-1。

表 1-1 各种粒料的大致重度

粒 料 名 称	大致重度 γ_g (t/m^3)
煤	1.40
河砂	2.65~2.70
石灰石	2.70~2.80
尾矿	2.75~2.90
磷灰石	3.20
铜精矿	4.30
铁精矿	4.90

1.1.3.2 粒径及其分布

粒径是指该种粒料通过某种筛孔和不能通过的下一级筛孔大小的平均值，以 d 表示，单位为 mm。

实用的筛孔标准有泰勒筛和国际标准筛，孔径列于附录 2。表 1-2 为几个常用的控制筛

孔孔径。

表 1-2 常用筛孔孔径

泰 勒 筛 (目)	标 准 筛 (目)	筛 孔 孔 径 (mm)
8		2.38
48	50	0.295
65	65	0.208
100	100	0.147
200	200	0.074
325	325	0.043
400		0.038

对于工程实际情况,粒料是不均匀的,较为常见的是粒径在一个按指数函数分布的范围内变化。为了表征这种大小不均匀的颗粒粒径特征,常用所谓特性粒径来表示。

最常用的特征粒径有加权平均粒径 d_p , 中值粒径 d_{50} (小于该粒径所占重量为 50%), 上限粒径 d_{95} (小于该粒径所占重量为 95%) 等。

$$d_p = \sum d_i \cdot \Delta p_i / \sum \Delta p_i$$

式中 d_i ——某级粒径值;

Δp_i ——该级粒径所占重量百分数。

常用于浆体输送的粒料大致允许上限粒径列于表 1-3。

表 1-3 粒料大致允许上限粒径

粒 料 名 称	上 限 粒 径 d_{95} (mm)	泰 勒 筛 (目)
煤	2.38	8
石灰石	0.295	48
磷灰石	0.295	48
铜精矿	0.208	65
铁精矿	0.147	100

1.1.3.3 颗粒形状系数

颗粒形状系数有多种定义。一种形状系数为 φ 。

$$\varphi = \frac{c}{\sqrt{ab}} \leq 1 \quad (1-1)$$

式中 c ——颗粒最短轴长度;

a 、 b ——其他两轴的长度。

在工程设计实践中用得更多的是水力形状系数 φ_h 。

$$\varphi_h = \frac{d_s}{d_h} \quad (1-2)$$

式中 d_s ——该种粒料能通过的最接近一级的筛孔的直径;

d_h ——该种粒料的水力当量粒径,即与该种粒料重度相同的沉降速度一致的相当的

球型颗粒的直径。

另一种形状系数是与沉降速度相联系的所谓形状修正系数 φ 。

$$\varphi = \frac{W_c}{W_s} \quad (1-3)$$

式中 W_c ——颗粒沉降速度；

W_s ——该种粒料的水力当量粒径的沉降速度。

1.1.3.4 颗粒沉降阻力系数和沉降末速

A 颗粒沉降阻力系数

固体颗粒在粘性液体中与其作相对运动时，由于固液边界上流速梯度的存在，使液体对固体边界产生剪力，也就是产生阻力。对于不同颗粒大小和不同流体运动特性，这种外流阻力在颗粒沉降过程中用沉降阻力系数 C_D 来表示。

C_D 是颗粒在重力作用下在静止液体的沉降达到最终末速时表示阻力大小的一种系数。在层流状态下，即雷诺数 $Re < 1$ 时：

$$C_D = \frac{24}{Re} \quad (1-4)$$

在紊流状态下，即雷诺数 $1000 \leq Re \leq 2 \times 10^5$ 时：

$$C_D = 0.4$$

在过渡状态下，即雷诺数 $1 \leq Re \leq 1000$ 时：

$$C_D = \frac{4}{3} \frac{g(\gamma_s - \gamma_0)d}{\gamma_0 w} \quad (1-5)$$

或

$$C_D Re^2 = \frac{4g(\gamma_s - \gamma_0)\gamma_0 d^3}{3\mu^2}$$

式中 w ——颗粒沉降末速 (m/s)；

μ ——液体 (水) 的粘度；

γ_s 、 γ_0 ——颗粒和水的重度 (t/m³、kg/m³)；

d ——粒径 (m)；

g ——重力加速度。

上式需经过试算才能求得 C_D 值，计算较为繁复。为此，给出其显函数式的近似计算式。

在浆体输送中最常用的粒料性质和在流动特性条件下， $0.01 \leq Re \leq 1000$ ，此区域内的近似计算式为：

$$C_D = \frac{24}{Re} (1 + 0.137 Re^{0.7}) \quad (1-6)$$

B 沉降末速

颗粒在液体中在重力条件下达到的最终沉降速度称沉降末速，其通用计算式为：

$$w = \left(\frac{4(\gamma_s - \gamma_0)d}{3C_D \gamma_0} \right)^{0.5} \quad (1-7)$$

上式也是隐函数形式，计算时也要试算，逐步逼近求解。为了简化计算，也给出了近似计算的显函数式，在常用的 $0.05 \leq Re \leq 20$ 区域内为：

$$w = \left[\frac{4gd^{1.92}(\gamma_s - \gamma_0)}{82.5v^{0.92}\gamma_0} \right]^{0.926} \quad (1-8)$$

式中 γ ——水的粘度；其余符号同前。

1.1.3.5 浆体浓度和最大沉降浓度

A 浆体浓度

浆体浓度有几种表示方式：

体积浓度 C_v 为浆体的固体体积 Q_s 和浆体体积 Q_m 之比。

重量浓度 C_w 为浆体的固体重量 $Q_s \gamma_s$ 和浆体的重量 $Q_m \gamma_m$ 之比。

C_v 、 C_w 及 ρ_m 等的关系详见附录 6。

B 最大沉降浓度

浆体在静置沉降时能达到的最大体积浓度称为最大沉降浓度或沉降极限浓度 C_{mv} ，该浓度表征浆体浓缩时可能达到的最高浓度。

对于泥沙，经验计算公式为：

$$C_{mv} = 0.755 + 0.222 \log d_{50} \quad (1-9)$$

对于金属矿浆，经验公式为：

$$C_{mv} = 0.5361 \gamma_s^{0.2594} \cdot d_p^{0.1721} \quad (1-10)$$

以上两式 d_{50} 和 d_p 分别为中值粒径和加权平均粒径，其他符号同前。

通常情况下最大沉降浓度应根据试验确定。

1.1.3.6 粘度和刚度系数

流体各个相邻部分以不同速度流动时，在使速度成为均一的方向上会出现剪切应力，这种性质称为液体的粘性，度量这种粘性称为粘度。

浆体的粘度比单一的液体（如水）的粘度大，对于体积浓度较小的由较粗的刚性小球组成的稀浆体，呈现牛顿体的性状。当浓度增加而固体颗粒甚小时，则会呈现非牛顿体性状。

对牛顿体，剪切应力 τ 与应变 $\left(\frac{du}{dy}\right)$ 成正比，即

$$\tau = \mu \left(\frac{du}{dy} \right) \quad (1-11)$$

系数 μ 为液体的动力粘度。

浆体动力粘度 μ_m 与水的动力粘度 μ_0 之比称为相对粘度，它是浆体体积浓度 (C_v) 的函数。

对于非牛顿体，特别是常见的宾汉体 τ 为下式：

$$\tau = \tau_0 + \eta \left(\frac{du}{dy} \right) \quad (1-12)$$

系数 η 称为刚度系数。

一般刚度系数 η 既是浆体体积浓度 (C_v) 的函数，也是粒径、温度等的函数。同样，相对刚度系数 η/μ_0 也是浆体体积浓度 (C_v)、细颗粒含量百分数、颗粒重度和温度的函数。

1.1.3.7 初始切应力

宾汉体的流变方程中可以看出存在初始切应力 τ_0 ，即当剪切应力小于和等于 τ_0 时，流体不会发生流动，其机理是含有一定数量细颗粒的浆体在静止状态下会形成具有一定刚度的三维结构，能抵抗一定的剪切作用。

初始切应力 τ_0 与浓度、粒径、细颗粒含量百分数、颗粒重度和温度等因素有关，一般