

4.5

井水力运输与风力运输

煤炭工业出版社

矿井水力运输与风力运输

苏联 阿·爱·斯莫耳狄烈夫著

北京煤矿设计院专家工作室译

煤炭工业出版社

內 容 提 要

本書全面地介紹了苏联及国外水力运输与风力运输的經驗，并从理論上加以探討。內容主要有：煤炭工业采用水力运输与风力运输的現有經驗及其未来的发展远景；流体动力学和运动学方面的基本理論及其应用和分析，水力运输与风力运输的設备系統，水力运输与风力运输設备的計算。

本書可供采矿工程技術人員、設計人員和矿业学院師生參考。

А.Е.Смолдырев
ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ И ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ
ТРАНСПОРТ НА УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ
Углетехиздат Москва 1956
根据苏联国立煤矿技术書籍出版社1956年版譯

1307

矿井水力运输与风力运输
北京煤矿設計院专家工作室譯

*

煤炭工业出版社出版(社址：北京东长安街煤炭工业部)
北京市書刊出版业營業許可証出字第 084 号
煤炭工业出版社印刷厂排印 新华書店发行

*

开本 850×1168 公厘 $\frac{1}{32}$ 印张 $9\frac{7}{8}$ 字数207,000

1959年11月北京第1版 1959年11月北京第1次印刷

統一書号：15035·971 印数：0,001—3,000册 定价：1.55元

序 言

目前，苏联采矿工业的发展，特别是煤炭工业的发展，决定于生产中应用新的、更完善的工艺过程、高效率的采矿机械、整套机械化设备和自动装置。

水力机械化和风力机械化是采矿工作机械化先进方法之一。

苏联共产党第二十次代表大会关于1956~1960年发展苏联国民经济第六个五年计划的决议，规定进一步运用地下水力采煤。

此外，苏联共产党第二十次代表大会苏共中央委员会的总结报告指出更快地发展管道运输的重要性。

目前，大量尘状、细粒和小块材料的水力运输和风力运输，在许多工业和农业部门获得了广泛采用。在齐姆良水力枢纽和列宁伏尔加-顿河通航运河，古比雪夫和斯大林格勒水电站等现代巨大构筑物建设中，采用水力运输、运送和堆置土壤，显得特别有效。采用风力运输，运送炉渣、水泥、穀粒等颇为成功。

与在一般技术上广泛应用水力运输和风力运输的、众所周知的实例有所不同，采矿工业中运送的重物主要为大块的（一般如煤、某些矿物和岩石等重的松散材料）。

水力和风力运矿装置的使用具有一些特点，这些特点确定矿物开采或加工工艺。本书叙述了水力和风力运矿装置的原则系统，评述所采用的机械和设备，以及说明了运送重物的特征。

国内外在水力运输和风力运输方面的技术成就的阐明，本书占有重要位置。

近年来，运输技术的发展主要是由于：改进了水力运输设备和风力输送设备（泥泵、給料机等）结构和扩大了该种运输的应用范围，特别是改进了个别设备的结构使其适合于松散材料。这也是由于出现了许多研究以水流和风流运送各种松散材料的实验研究工作。

庫茲涅茨煤炭科学研究院、全苏煤炭科学研究院、国立采煤机器设计院庫茲涅茨分院、水力机械化局和其他煤炭工业单位的全体科学研究工作者和工程师以及许多矿井、露天矿、矿山和选煤厂的工作人员，在发展矿山水力运输和风力运输方面，完成了巨大的工作。

特别应该指出的是：B.C.莫契尼克、A.O.斯比瓦柯夫斯基、H.Д.赫林、A.П.尤芬和在他们领导下的全体科学工作者和工程师的工作；以及国外的一些研究工作者，如W.Budryk、R.Durand、D.Denny、P.Gardner、E.Maier、G.Peter、J.Whetton、R.Worster，等等。

虽然，用水流或气流运送松散材料需要比较简单的技术装备，但在水流或风流中运颗粒材料和块状材料的机械作用是非常复杂的，因此，到目前为止，在流体气体动力学理论基础上的严格的运输计算还没有。

根据实验研究，仅以运输装置近似计算用的经验公式的总和来说明水力运输和风力运输的过程，这是可能的。不同作者的各种各样的经验公式，一方面证明，如果不以严格的理论为基础，则很难得到它们的合理形式，一方面也证明研究这种理论的重要性。

最近，在发展紊流学说方面获得了重大的成就；我们关于紊流结构的观念方面积累了新的资料和在M.A.維里加諾夫、E.M.明斯基、B.A.費特曼和国内外其他学者研究结果所得数

量特性。在二相制运动学和动力学方面，主要在研究河床紊流方面也获得了重大的成就。M.A. 維里加諾夫及其学生的著作在发展液体和气体力学的新领域方面起了突出的作用。

在关于二相制运动的科学研究方面，B.H. 伏洛宁、M.A. 捷米契也夫、Л.С. 克略契柯、E.Я. 薩柯洛夫、A.И. 尤芬等的著作，H.A. 米哈衣洛娃及其他国内外研究者的实验研究作出了重大的贡献。

目前，可以认为已经确定，即运送颗粒材料及块状松散材料的过程决定于紊流的运动结构，为此，进一步发展水力运输和风力运输在很大程度上就决定于其研究的程度。

因此，本书除了根据试验资料和实验研究来阐明矿山水力和风力运输装置的近似算法以外，对用液流或气流运送松散材料机械作用的物理解释给予了极大的注意。为此，曾利用了最近的一些物理试验资料。

试验是在苏联科学院通讯院士 A.O. 斯比瓦柯夫斯基技术领导下由作者完成的。

作者很感谢读者对本书的各种意见，一定在今后的修订工作中加以考虑。

目 录

序 言

第一章 采矿工程中水力运输和风力运输的采用	5
1. 概述	5
2. 采用的經驗	7
3. 使用范围扩大的远景	35
4. 运输松散材料的特征	39
第二章 管、槽内液流的运动	57
1. 緒論	57
2. 紊流的运动学与动力学紊流作用主要特点	70
3. 紊流的单向运动	100
第三章 运输的理论基础和计算方法总論	113
1. 浆体和空气混合物的物理性能	113
2. 材料在紊流中运动的运动学分析	118
3. 材料在紊流中运动的动力学分析	152
4. 运输设备的计算方法	190
第四章 水力运输设备和设备系統	194
1. 前言	194
2. 设备系統	195
3. 加压机和装載装置	198
4. 运输綫	219
5. 提高设备工作效率的方法	224
6. 供水和水的澄清設施	232
第五章 风力运输设备及系統	236
1. 设备的原理图	236
2. 充填机及装有一般用途的装載装置的设备系統	238
3. 运输管路	255
4. 提高设备工作效率的方法	259
5. 供气及輔助设备	270
第六章 水力运输及风力运输设备的实用計算	273
1. 概論	273
2. 运输泥粒、粉粒及砂粒等松散材料的设备的計算	275
3. 用于运输块状材料的设备的計算	279
4. 計算例題	291
結 論	305
参考文献	307

第一章 采矿工程中水力运输 和风力运输的采用

1. 概 述

散粒材料与水或空气成混合物的人工运输在技术上称为水力及风力运输。

有用矿物、土壤或岩石的水力运输分为有压运输(沿管道)和常常为敞流式的无压运输(沿溜槽, 沟渠)。用风力运输时, 散粒材料沿管道在压力差作用下以气流运输。

为了沿管道以水流或风流运输散粒材料, 就需要有煤泵、泥泵和鼓风机。这些机械除了将材料送入管道中外, 还形成一种工作压头; 在用风力运输时, 材料常以设备(給料机)送料, 而风流在风管中的压力差以压风机或鼓风机造成; 水力运输机也采用装料设备。

岩石与水或空气成一定密度的混合物(分别为浆体和气混物)为非均质的液流和气流。其特点在于只有当运动时才能形成混合物。当停止运动后, 固体部分就下沉在管道或沟道的底部; 经过某些时间, 在已下沉的固体和流动层之间出现明显的边界。

固体浓度(换言之即液流或气流中固体部分的含量)可能是各种各样的。在实际工作中, 当运输任何材料时, 这种指标有极大的变化。这种特性为浆体和气混物的第二个特点。

根据固相力学和物理化学构造标志, 浆体分为三大种: 粘土质浆体、砂质浆体和带有块状物的浆体。其他岩石与水一起, 按其混合物的物理特性, 为中间的浆体。

对于气混物来说，岩石的粒度及颗粒无特别显著的粘結性是特别重要的。这是可能进行风力运输的必备条件。

在采矿业中，除了用水力和风力运输泥質、砂泥質和砂質土壤外，还常常运输如经过破碎的煤、某些矿石和岩石等块状材料。由此，漿体和气混物的特征决定于所运散粒状重物的种类。

与其他矿山运输工具比较，水力和风力运输具有极大的优点：当巷道形状复杂或地面地势錯錯时易于敷設管道或溜槽，并有可能分出管道或溜槽；具有运输的可弯性、灵活性和連續性；自动化程度高；生产能力大；运输連接简单，易于和采矿企业中现有机械化生产系統相配合；设备简单和較便宜，而且用水力运输时，有用矿物同时又进行了洗选，并有可能将重物不經轉載运出很远距离——10公里和10公里以上。当进行井下采矿工作时，如果涌水量大，則水力运输最为有效。

水力运输的缺点有：电力和水量消耗大，运输效果与所运的散粒材料的物理力学特性有关；冬季工作时生产能力降低，因而在某些情况下（例如露天开采时），冬季采用水力运输是不合理的；工作地点潮湿度增加；有必要（在一定条件下）排除大量的水；机組、管子和配件磨損大，以及使材料受到一定程度的破碎，特别当运距很远时。

风力运输的缺点为：电力消耗大，装料设备、管子和配件磨損大，特别在运输破碎岩石时；压缩空气消耗大；材料的粉碎度加剧。

水力和风力运输在采矿企业中采用的范围决定于該种矿山运输的优点，对水力运输来说，决定于用水力机械化方法进行采矿工作的可能性、必要水量的保証程度、运输距离和漿体的压升高度；对于风力运输来说，决定于具有进行采矿工作的一

定条件，例如，开采煤层时采空区充填等等。

目前水力运输采用很广，特别是在下列工作中：各种矿物（煤、泥煤、粘土、石灰岩、白垩）露天开采时的矿石剥离和运输；煤和某些矿石的井下水力开采；金砂、砂和礫石的开采；磷钙土、锡砂和盐类等的开采；矿井中充填和灌浆工作；洗选厂中尾矿的处理；水仓和水沟等的清淤。

煤和矿石以井工开采时，水力运输的采用暂时尚不广泛。然而，近几年来在煤和矿石（锰，锌等）井下开采的水力机械化方面显出极重要的成就。目前，在某些矿井进行回采和准备工作时，采用水力运输。在某些露天矿，大规模地用水力机械化方法开采高灰分（贫化）的煤。

在向井下运输充填材料、由矿井和洗选厂排除矿尘等方面，风力运输采用很广。现在正在进行将煤由井下提升至地面的试验。

2. 采用的经验

很久以前采矿工业中主要是在开采砂金时采用水力运输〔1〕。

在对于新技术应用问题予以很大重视的苏共第十八次大会后，采矿工业中的水力机械化得到了发展。从此时开始，在短短时间内，在掌握笨重工作机械化新方法方面进行了很多的工作〔2〕。

在1938年，以水力机械化方法开采的金子量较1933年增长250%〔3〕。在采矿工业中，1937~1939年水力机械化在几个露天煤矿中有成效地得到应用〔4〕。在这些年代中，开始推行煤〔5〕和某些矿石〔6〕井下水采的广泛试验工作。

在战后年代里，水力机械化使用范围大为扩大：在露天煤

矿中，以此种方法完成的工作量，与1948年比较，增加了9倍。煤和岩石的水力运输，最近时期在许多企业中得到了广泛的使用。岩石的风力运输在这些年代里也得到了发展。

目前，在国内外生产实践中，广泛地在煤矿和某些金属矿中应用水力机械化。在英国、法国和美国（特别是英国），对寻找有效的水力运输方法极为重视。这种水力运输是将煤和其他有益矿物由工作面运至井筒、提升至地面，然后运至洗选厂和用户。

苏共第二十次代表大会的决议规定：进一步发展井下采煤的水力机械化。最近时期，在我国某些煤矿区应该有一批新的水力机械化矿井投入生产。

煤的水力运输

目前，主要是在洗选和用水力机械化方法进行采掘工作时采用水力运煤。

在庫茲巴斯区普洛柯比夫斯克矿务局的得尔岡烏克朗水力机械化矿井和列宁矿务局的北波茨沙也夫水力机械化矿井中采用水力运输。

采用水力机械化时，煤按下列系统采出：在回采和准备工作面中用水枪进行落煤；落下的煤利用射向工作面的水流沿巷道和切眼运至水力提升峒室（图1），或在主要大巷内进行有压运输；然后用煤泵沿安设在小井或井筒内的管道把煤浆提升至地面。

在得尔岡烏克朗矿，开采莫希内煤层，其围岩为中等稳定，倾角为 $65\sim 70^\circ$ ，平均厚11米；亚阶段平巷和主要平巷具有0.05的坡度，水平巷道上沿敞开的金属溜槽进行煤的运输。

用6HYB煤泵沿着直接铺设在风井行人部分的管道（直径

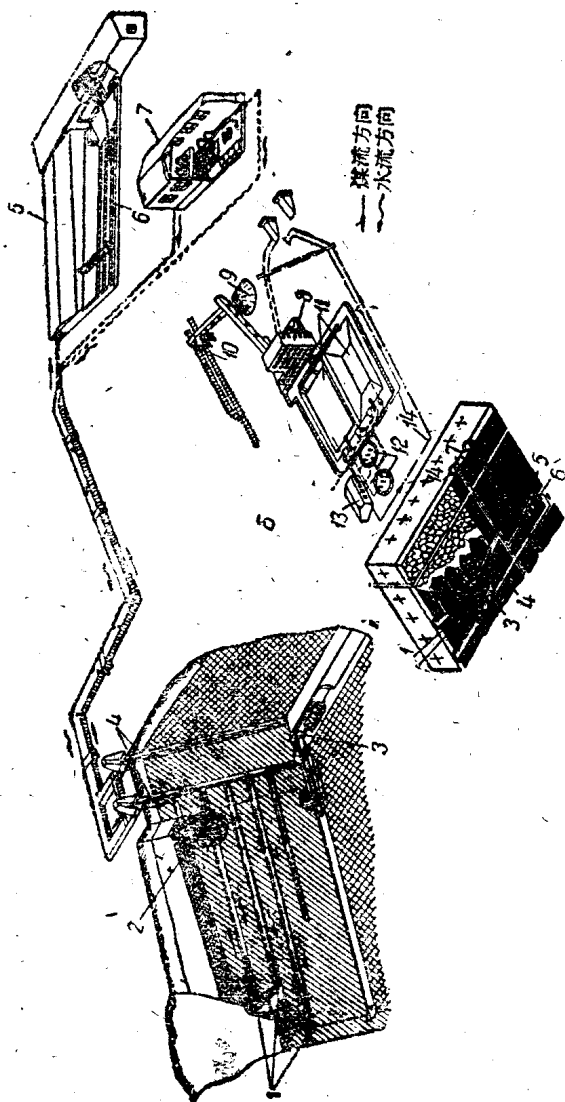


图 1 水力采煤矿井生产系统

а—得尔岡烏克朗矿；1—水枪；2—溜煤眼；3—水力提升桶室；4—小井；5—沉淀构筑物；6—沉淀池；7—水泵站；6—北波沙也夫矿；1—破碎机；2—采区煤炭水仓；3—6H3泥泵；4—有压水力运输管道；5—水力提升桶室；6—6HVD煤泵；7—斜井；8—洗煤厂；9—貯煤场；10—专用铁路线；11—沉淀池；12—澄清水池；13—АЛПЗ-300水泵站；14—输水管道。

200毫米)，进行煤的水力提升。

煤在进入煤水仓之前，通过位于敞流运输和有压水力运输接头处的破碎机，并在此将煤破碎至0~60毫米（但有些煤块是长条形，其极限尺寸达70~80毫米）。水力运煤的水平运距约为250米，垂直运距为82米。

矿井工作经验表明，提升至地面的煤浆的，其煤水比变动于1:2到1:10以上的范围内。矿井生产时期所获得的平均指标为：当水压头为120米时，耗水量约为860立方米/小时，能力为60~70吨/小时，煤水比为1:6〔7和8〕。

根据落煤和运煤的条件，耗水量有所区别。较高的煤水比（在1:3~1:5以上），往往是由于落煤的要求。

在北波茨沙也夫矿井中，开采倾角为6~10°、厚为1.8~2.2米、具有脆弱围岩的煤层。井内水力运输由下列环节组成：煤沿回采和切割巷道以敞开金属溜槽运输，沿主要大巷用6H3泥泵进行低压运输，水力提升用GHVB高压煤水泵进行。

在北波茨沙也夫矿井中，采用多环节的水力运输；而在得尔岡烏克朗矿中，将煤由回采和准备工作面利用槽子流运至水力提升硐室。

主要平巷的煤，以煤泵进行运输；而在掘进主要平巷时，则以扬水器或迴转泵由工作面运至煤水仓，运距达200米。煤自流运输达400~500米，再沿水平有压管道运输约400米，然后沿倾斜有压管道（水力提升）运输460米。管道直径为250毫米。

当煤水比平均为1:6时，原煤的水力运输能力为60~70吨/小时。

具有几台串联工作水泵机组的多环节水力运输的经验表明，其效果是很好的。生产过程的连续性并不破坏。因为，在

各运输连接处不需特别的生产工序(转载等)。

每小时有压水力运煤的能力达 120 吨〔9〕；用槽子流运很可靠，在工作时也不需要特别的检查。在得尔岡烏克朗矿，服务于有压运输的工人有一个煤泵司机、一个助手和一个破碎机司机，共三个人。实际上工人人数并不决定于装置机组的数量，也就是说：在多环节运输时工人人数就增加。所以，在北波茨沙也夫矿运输的劳动量较大一些。采用与水力落煤相配合的连续水力运输，使该矿井的吨煤运输费用在一个卢布以下；此时，同一地区普通矿井中吨煤运输费用为 10 个卢布〔10〕。

尼柯包列-馬尔卡涅茨矿务局水采矿井中的矿石水力运输系统，很值得注意(图 2)。

该矿井中的水力运输是多环节的。为了在不均匀进入矿浆及其浓度变化很大的条件下，使矿石由采区内工作面运出采用了喷射泵。为了沿人行平巷和主平巷运输，采用矿泵，此时中间矿泵与喷射泵在一个系统中工作，以便保证其稳定的工作情况。

这种水力运输系统的另一特点是：在回采时利用矿浆的两段浓缩，而在掘进时则利用矿浆的一段浓缩。当用水枪破落有益矿物时，在运输系统中进行浓缩能保证这种系统比普通系统具有很大的优点，特别是在破落耗水量很大的条件下。当水力破落时，矿石块粒度达 30~40 毫米(横断面上)。井下的巷道用机械工具掘进，此时，向喷射泵漏斗中装入干矿石；喷射泵全压头约为 15.5 米。

回采工作用的中间和井底车场矿泵设备装有 5PHB 机组(两级串联)，矿浆压头 $H=80$ 米耗水量 $Q=300$ 立方米/小时；中间设备装有一台矿泵，而井底车场装有二台。

准备工作采用 4PHB 矿泵，压头 $H=80$ 米，耗水量 $Q=100$

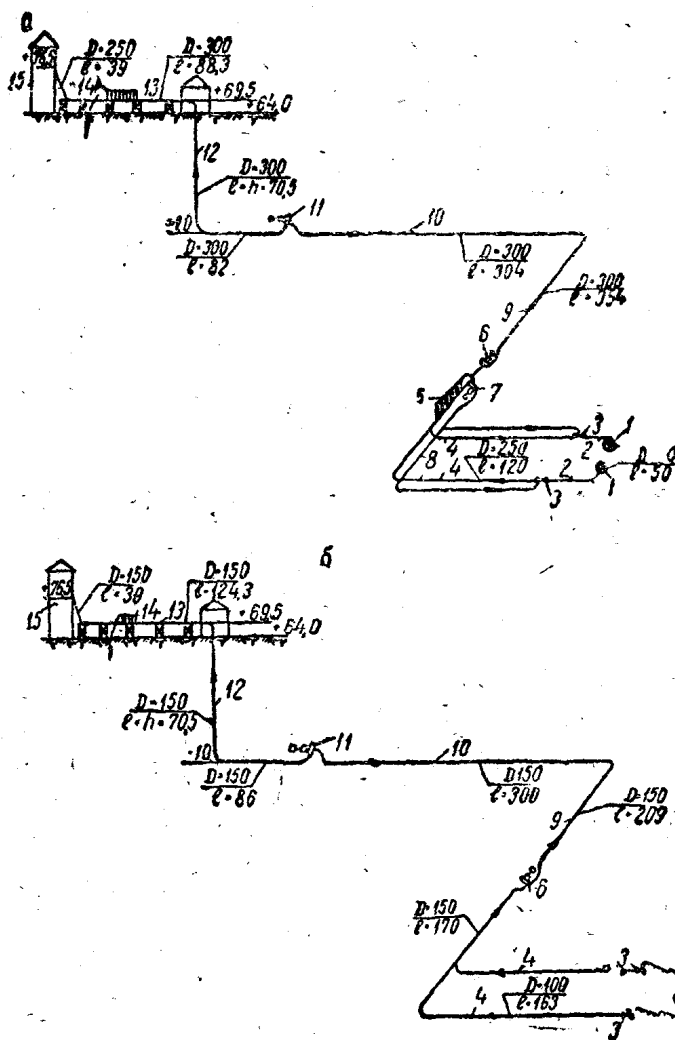


图 2 尼柯包列-馬尔卡涅茨水采矿井中水力运输系統。

a - 回采工作；б - 准备工作；1 - 水枪；2 - 回采柱中沿巷道的喷射泵吸水管；3 - 喷射泵；4 - 喷射泵工作管道；5 - 第一段分段液縮机；6 - 中間矿泵；7 - 補助矿泵；8 - 压力水管道；9和10 - 在人行和主要平巷中的工作管道；11 - 井底車場矿泵；12和13 - 井筒中和地面的工作管道；14 - 第二段分段液縮机；15 - 洗矿设备。

立方米/小时。

利用5IIIHB補助矿泵来保証噴射泵的必要压头。

沙赫林和米特洛法諾夫式分段濃縮机做成移动式(第一段)和固定式(第二段)的。

工作管道用直径为 250 毫米, 每段长 4 米的管子, 以及快速連接件接成。

根据設計, 采区生产能力应为 40 吨/小时 (二个工作面, 每一工作面 20 吨/小时); 每一水枪耗水量为 280 立方米/小时 (矿石比重为 2.2 吨/立方米); 第一段濃縮前, 矿漿的体积浓度为 1:54, 濃縮后为 1:27.5。

井底車場矿泵站所送出的矿漿, 其体积浓度应为 1:29。在第二段濃縮后, 每小时为量 800 立方米的煤漿应有 1:14 的体积浓度。

在进行掘进工作时, 噴射泵能力应为每小时 5 立方米矿石, 矿漿的体积浓度为 1:10。由井筒送出的合流矿漿体积浓度为 1:18.8。

回采和掘进的水力运输工作管道在地面連接成一趟管道, 此时, 为了調整矿漿浓度, 規定設置专门小型的濃縮机。

在洗选后, 把矿泥排送至中央洗选厂, 而把由濃縮机流出的水則轉送至水泵站的水仓。

随运输长度的减小 (因为是后退回采), 用变更工作水輪的直径来調整矿用水泵的压头。

在国外, 在新西兰 Buller 煤田的某些煤矿〔11〕, 采用井下水力运输。其中在“Rahui”矿井中, 工作面的煤以打眼放炮法爆松, 然后用水射流冲刷, 并沿坡度約为 0.01 的水平巷道以敞溜槽运至井筒; 在溜槽坡度为 0.009 和耗水量为 28.3 公升/秒的情况下, 水力运输能力为 8 吨/小时; 矿井中的煤, 以翻

斗提升机送至地面。

不久以前，英国一矿井的实验水力运输装置投入生产，提升煤的粒度为40~50毫米。每昼夜产无烟煤300吨和烟煤140吨。提升利用井下水。目前，水力提升能力为35吨/小时，管道直径为150~175毫米，提升高度为75米。总耗水量为每秒0.055立方米；运输全长为120米。

拟定把设备能力提高到每小时60吨，而提升煤的粒度增到75毫米。在该矿区，预定以井下水力机械化采煤。

在波兰，按苏联的范例已在6个矿井中采用了井下水力机械化。

在美国“Calumet”和“Hecla”矿中，实验水力运输装置已投入生产，该装置提升平均粒度为100毫米(横断面上)锌矿石，沿直径为250毫米的管道提升高度为110米；装置能力达240吨/小时。装置的全部费用约较机械提升费用少50%。

水力机械化矿井的工作经验证明，由于采煤和运煤工序连接成一个工序和运输连续工作，矿山水力运输是很有效的；由于不必按照机械动作原理利用各种不同的装载、运输和提升，简化了运输系统，减少了运输的劳动量，缩减了井下运输专门巷道的掘进工作量，以及造成了采煤和选煤工序连接的有利条件。

采用水力机械化矿井的井下工人劳动生产率，较其他众所周知的机械化方法大好几倍。

地面煤的水力运输是井下水力机械化生产系统不可缺少的环节。提升至地面的矿浆，沿管道运至洗选厂沉淀池，然后进行水洗。

洗选厂中所以要采用沉淀池是因为：矿井中所出煤浆的煤水比变化极大，达到1:10和1:10以上。对于在跳汰机和列欧