



水泵磨蚀及减阻节能

王志高 陈星 何成连 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



水泵磨蚀及减阻节能

王志高 陈星 何成连 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要阐释多泥沙河流上水泵磨蚀破坏的规律和对水泵效率的影响,使水泵设计、制造和使用单位能应用现有规律,掌握进一步减轻含沙水流对水泵的磨蚀与效率的负面影响来制定相应综合措施。同时,本书也介绍了水泵流道内减阻对水泵节能的正面作用,使用减阻涂层技术可节电5%左右,对水泵应用领域节能减排起到积极作用可作出了贡献。

本书对从事水泵研究、设计、制造和运行方面的技术和管理人员有重要的学习和参考价值,也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水泵磨蚀及减阻节能 / 王志高, 陈星, 何成连编著
— 北京: 中国水利水电出版社, 2013. 12
ISBN 978-7-5170-1548-2

I. ①水… II. ①王… ②陈… ③何… III. ①水泵—磨蚀—研究②水泵—减阻—节能—研究 IV. ①TH3

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第310799号

书 名	水泵磨蚀及减阻节能
作 者	王志高 陈 星 何成连 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12.5印张 296千字
版 次	2013年12月第1版 2013年12月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	42.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

多泥沙河流对水泵运行的负面影响，以及如何防治的难度都有共识，尤其是高扬程灌溉工程始终处于被动地应付局面。“水泵磨蚀及减阻节能”是沉淀了 50 余年的多沙河流上泥沙对水力机械磨蚀研究与防治的历史反映，是从认识规律，按规律探索保护的途径的过程记载。既有历史的轨迹沿袭，又有作者奋斗的足迹和对现实的展望与期待。50 年可以一晃而过，但水泵磨蚀问题的解决却是由表及里，从局部到系统，由一个环节到下一个环节的循序而进的过程。有的一辈子奋斗过去了，留下的更难的课题只能交给下一个梯队再深入。本书的意图非常明确，认识规律，从被动变主动。从选择耐磨蚀的金属和非金属材料替代过流部件薄弱部位的研究，来修补被含沙水流破坏的过流部件，上升到过流部件表面工程再制造乃至再创造的理念，达到更耐磨蚀的合格的产品；从单纯延长水泵运行寿命到减阻提高效率使水泵节能到 5% 的目标。50 多年的努力可如实记录在本书中。

20 世纪 60 年代，在多泥沙河流上的水电站和泵站发现了水轮机与水泵被含沙水流的磨蚀破坏，造成生产运行的损失，从而提到研究解决平台，社会的需要才是研究的出发点。而解决问题，满足需求是实际的目的性，我们步子不快，现有成果应用与需求仍有脱节。

国务院关于“十一五”节能减排目标的确定和实现措施的落实，是作者希望将水泵表面工程再制造和减阻增效成为一项具体的节能减排工程技术。应对全球气候变暖，我国政府承诺到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放要比 2005 年下降 40%~45%，节能提高能效的贡献率要达到 85% 以上，这给全国节能减排工作带来巨大挑战。如果我们的工作为此能作出贡献的话，这本书将会发挥她应有的功用，以达到作者的宗旨要求。

王士言
2010.10.7.

《水泵磨蚀及减阻节能》是著者经过反复思虑后定的书名，主要是考虑了本书以水泵磨蚀的防护和提高效率为重点，从而达到节能的目标。本书著者中，早在1965年接触和从事黄河上游盐锅峡水电厂水轮机泥沙磨损的观测任务，20世纪70年代，在黄河三门峡电站改建为径流发电过程中结合黄河中游大型电灌站水泵的磨蚀破坏情况，继续进行了水机磨蚀的研究与防护，一路走来，没有中断，足有45年的经历，虽亲历艰辛，也有事业的收获和发展；作者中有中水北方勘测设计研究有限公司水机试验厅清水和浑水试验台的创建者，既是水机试验又是现场测试的中青年专家；作者中也有参与多泥沙河流水利工程沉沙池规范的制定者。目前，任职的单位和人员因任务的调整而变化；而现实的水泵磨蚀课题中要解决的问题深度与难度随着对产品要求标准提高而增加。这样更需要水泵的研制者和使用者，大家一起来实现成果的积聚，面对现实，分享各自的心得和经验，携手共同接受新的挑战，共创业史。

以往科研的艰辛，从掌握资料、成因分析，到室内外的实验与实践，从摸索到感性认知经历了很长的周期。逐步把空蚀与磨损及其联合作用的磨蚀机理从一个深不可测的领域研究到相对明朗的空间。保护层的应用及表面处理也是不断试探性的实践到有计划的多层次设计的筛选比较，直至目前的大致成熟，构筑了进一步提高的平台。从西北的甘肃省、新疆维吾尔自治区、宁夏回族自治区到陕西省、山西省至山东省的黄河出口都有我们的工作经验积聚。从三门峡工地简陋的试验室到天津勘测设计研究院内由著名老一代水电专家李锐所题的现代化《水机试验厅》，是经过了20余年不懈努力的奋斗结晶。水泵节能的提出与实践，使我们从水泵过流部件修补的被动走向提高水泵效率的节能的主动，为我国水泵的节能提供了一种较好途径，希望引起足够关注。我们的涂层产品要求走向精良、简约和实用，水泵减阻新技术应用的实施，期望加入和落实到政府节能政策中，新技术的广泛实施要与政府的节能政策充分衔接。技术上向表面制造工程的前沿看齐，能落实到各个水泵用电大户的市场化操作。

“不积跬步，无以至千里；不积小流，无以成江河”，这本书也是阶段总结，只行百里和小溪而已，为今后从事水泵磨蚀研究和水泵制造与应用的同人与后来者积聚资料希望成为他们继续工作的平台。未来水泵磨蚀与节能改造仍有新的问题会出现，由于我们这领域科技水平及经费的限制，过去无法回答的水泵磨蚀机理问题仍有待于升华。现有的成果和应用技术希望得到灌排企业、水务企业的了解和沟通，能解决它们水泵的表面工程再制造的相关问题，提高效率，为节能减排作出应有贡献。

本书的著者是从事水机试验、材料应用与工程措施专业的联手，陈星参与本书意向和目录的策划及第3章和第5章的编写，何成连参与了第4章和第7章的编写，他们出自同一体系不同专题，使本书的范畴得到拓宽，使我们思考问题的视野多元化；也能承前启后，使我们的专业可持续发展。本书阐述的内容主要出自著者的工作和试验成果，与著者所从事的研究实践经历相一致，是著者对多年从事的磨蚀研究与实践工作全面和系统的总结，首次解读了著者参与的表面工程涂层的配方内容和专利技术，有些资料还是第一次发表。

本书敬请由彩堂教授级高级工程师审核，他也是水机磨蚀研究的全程亲历者。本书的序恳请了94岁高龄的王立言教授级高级工程师题写，他既是新中国第1批留学苏联的研究生，又是我国最早从事水机磨蚀研究的开始者，在92岁高龄时还写了“微射流与磨蚀”的论文，发表在2008年水机磨蚀论文集中，老一辈人的敬业精神更值得我们和读者很好学习。

在工作与试验中，离不开课题组同人协同与各行业相关工作者的帮助和支持，从他们的工作与试验资料中得到启示，书中从有关单位和作者引用的宝贵资料都注有出处，便于读者进一步深入了解，他们都是我们的同行和老师，谨表感谢！万一有遗漏的，深表歉意。

科学技术总是在不断领悟、不断进步和不断开拓，我们所做的工作也只是在不断开拓的水机磨蚀技术领域一小部分。由于专业水平所限，书本内容只代表作者一家之言，有不妥或错误之处，敬请关注水机磨蚀技术的同人和读者批评指正。

王志高

2011年4月22日

序

前言

1 绪论	1
1.1 我国的水资源	1
1.2 农业灌溉、防洪排涝和水泵站	3
1.3 多泥沙河流的困扰	5
1.4 我国供排水中节能潜力巨大	9
1.5 节能减排是国策	10
参考文献	13
2 空蚀、磨损及磨蚀	14
2.1 磨蚀及水泵的泥沙磨蚀	14
2.2 泥沙磨损与空蚀对水力机械破坏作用的分析	20
2.3 泥沙磨损与空蚀对水力机械破坏作用的试验	25
2.4 水泵泥沙磨蚀的破坏类型	33
参考文献	34
3 水泵泥沙磨蚀的破坏因素	36
3.1 泵站环境	36
3.2 水泵机组	39
3.3 含沙介质	43
参考文献	51
4 含沙水流对水泵性能的影响	52
4.1 浑水试验台	52
4.2 含沙水流对扬程的影响	66
4.3 含沙水流对流量的影响	67
4.4 对效率的影响	68
4.5 对轴功率的影响	68
4.6 对吸上真空高度影响的探讨	69
4.7 水泵在磨蚀过程中性能变化	70
参考文献	71

5 水泵磨蚀的综合防护	73
5.1 水泵站防沙设计和布置	73
5.2 沉沙池设置标准	76
5.3 沉沙池设计	80
5.4 水工建筑物布置及注意要点	85
5.5 水泵机组的措施要素	86
5.6 水泵参数选择	86
5.7 水泵设计的优化	86
5.8 水泵加工制造与新技术的应用	87
5.9 水泵安装及故障分析及处理方法	89
5.10 水泵母材和选材建议	90
参考文献	92
6 防护材料（包括涂层）的分类和选择	93
6.1 观念要转变	93
6.2 金属类表面工程的开发与应用	95
6.3 抗磨蚀堆焊材料	97
6.4 合金粉末热喷焊及热喷涂	99
6.5 激光熔覆表面改性技术研究	104
6.6 非金属涂层概述	105
6.7 非金属涂层要必备的力学性能及抗泥沙磨蚀试验	107
6.8 含沙水流条件下的非金属涂层抗磨蚀性能	111
6.9 非金属涂层仍需创新	113
6.10 新开发涂层材料的抗浑水空蚀和耐泥沙磨损性能测试（浑水转盘试验）	118
6.11 新开发涂层现场试验的成果	123
6.12 可供选择的非金属涂层的性能要点	129
6.13 超高分子量聚乙烯抗磨蚀材料	137
6.14 寄希望于技术不断创新	137
参考文献	138
7 水泵减阻增效	140
7.1 背景说明	140
7.2 水泵运行状况的启示	141
7.3 现有泵站的主要节能措施	142
7.4 光滑涂层的作用	143
7.5 粗糙度的概述	143
7.6 粗糙度对空蚀的影响	147
7.7 光滑涂层的试验	148
7.8 光滑涂层的现场试验及减阻增效的应用成果	151

7.9	涂层有效使用期和需要提高和关注的问题	153
7.10	减阻光滑涂层的技术特点	154
7.11	结语与关注	155
	参考文献	156
8	防护材料（涂层）施工	157
8.1	工艺条件	157
8.2	设备要求	159
8.3	施工要点	161
	参考文献	162
9	泵站磨蚀处理实例	163
9.1	陕西东雷抽黄工程管理局	163
9.2	宁夏固海扬水管理处	172
9.3	水泵表面再制造工程在其他工程泵上的应用实例	175
	参考文献	179
10	水泵磨蚀的管理	180
10.1	体制要适应经济	182
10.2	水泵抗磨蚀处理的评价	182
10.3	水泵抗磨蚀处理的管理设想	185
	参考文献	188
	后记	189



绪 论

1.1 我国的水资源

我国水资源总量为 2.8 万亿 m^3 ，居世界第 6 位，但人均占有量只有 2200m^3 ，仅为世界平均值的 30% 左右。我国水资源南多北少，东多西少，与人口、耕地、矿产等资源分布及经济发展状况极不协调。受季风气候影响，降水量年内分配极不均匀，大部分地区汛期 4 个月的降水量占全年总量的 70% 左右。我国水资源中大约 2/3 是洪水径流量，从历史记录看，降水量年际变化也很大。我国也是一个多泥沙河流国家，重要河流黄河、长江及北方和西南山区河流相对泥沙含量较多。总之，我国水资源人均占有量低，加上时空分布不均，泥沙含量大，使得我国成为一个水旱灾害频发、水资源短缺、水污染严重、生态环境相对脆弱的国家。

我国水能资源蕴藏量居世界首位，全国技术可开发装机容量 5.42 亿 kW，经济可开发装机容量 4.02 亿 kW，是仅次于煤炭的常规能源。截至 2008 年底，全国水电装机容量达到 1.72 亿 kW，居世界第一，年发电量达到 5633 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，占全国电力装机容量和年发电量的 21.6% 和 16.4%。根据 2013 年全国第 1 次水利普查资料，我国共有水电站 46758 座，装机容量 3.38 亿 kW，其中规模以上（指不小于 500kW）水电站中已建水电站 20866 座，装机容量 2.17 亿 kW。在建水电站 1324 座，装机容量 1.10 亿 kW。水电是世界上能够进行大规模商业开发的第一大清洁能源。随着世界能源需求增长和全球气候变化，世界各国都把开发水电作为能源发展的优先领域。目前水力发电满足了全世界约 20% 的电力需求，有 55 个国家一半以上的电力由水电提供，其中 24 个国家水电比重超过 90%。水电作为优质清洁的可再生能源，将在国家能源安全战略中占据更加重要的地位。以目前的 2.17 亿~3.27 亿 kW 计算，水电开发的利用率只有 34%~60% 左右，低于发达国家 60%~70% 的数值，仍有发展潜力。根据国家可再生能源中长期发展规划，2020 年全国水电装机容量将达到 3 亿 kW 以上，平均每年新增 1200 万 kW。根据 2020 年我国国内生产总值翻两番的奋斗目标测算^①，届时我国全年用电量达 45000 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，全国总装机容量将从目前的 3.53 亿 kW 提高到 9.5 亿 kW 左右。

① 2004 年国家电网总经理赵希正表示到 2020 年我国社会用电量和发电装机容量分别达到 4.5 万亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 和 9.5 亿 kW。

我国的煤炭蕴量在世界并非最多，石油蕴量也没有排在前面，但是，中国的水电资源蕴量在全世界可是第1位的。据专家测算，虽然我国水电资源的理论蕴量为6.89亿kW，经济可开发量为4.02亿kW，但比较目前年消耗31亿t标准煤的能源消耗也是很匮乏的，根据能量置换粗略估算（1t标准煤大约可发电3000kW·h）即使水电发电量达到1.0万亿kW·h，也只相当于3.3亿t标准煤当量。据电力科技信息资料，根据“十二五”计划，加速开发新能源带给我们的是：到2020年风能，光电能加水电、核电可达到2万亿kW·h，新能源占总能源消费的比重将达到47%左右。可为我国节省标准煤约6亿t，减少二氧化碳排放15亿t，（统计数显示节省1t煤可减少二氧化碳2.4~2.7t）说明在新能源消费比重不大的情况下，每一个节能措施对减少二氧化碳排放具有直接的效果。

水电开发对生态环境的效果到底如何，一直是各界关注的焦点。为了客观地评价水电开发对生态环境的影响，中国水力发电工程学会曾组织有关媒体对挪威、瑞典等欧洲国家的水资源开发与生态环境的考察，发现欧洲各国水电开发对生态环境的影响往往是利大于弊。特别是北欧国家瑞典，由于从早期开始就始终把开发利用可再生的水电能源作为首选，使得其国家发展的主要能源支持都是来自于水电。至今，瑞典的电力供应99.8%还是来自水电。其他欧洲国家也不例外，绝大多数国家都在早期就积极的开发利用水电。目前，很多发达国家都已经停止或者严格限制对环境影响较大的煤炭的开挖，要求能源电力生产必须依靠清洁的水电、核电以及各种可再生能源解决。

与任何大型工程一样，水电开发可能影响生态环境，造成泥沙淤积、洄鱼类繁衍等问题。但从另一方面看，水能是最干净、可持续性最强、最可靠的可再生能源。应该指出，水电开发与石油开发和煤炭开发有着本质不同，后两者的开发就意味着一次性消费掉了，而水电的开发则可以不间断地持续利用，理论上也没有污染，权衡利弊，从整体上看，水电开发仍将成为未来能源开发的热点。规划中以四川省的金沙江、雅砻江、大渡河为首的“三江流域”，将成为我国水电开发的主战场。另外红河流域及黄河上游与新疆内陆河流也是今后的重点，它们大部在我国的西南及西北地区。同时也要想到，由于我国自然条件和气候变化难以控制，在规划考虑到水资源方面：首先定位水资源的开发与利用应该是不断的可持续的；另外水资源的开发与利用应该满足社会和经济发展的需要。这两方面的因素是互相依赖的。如果没有水资源可持续的发展，社会和经济将无法进行可持续和稳定的发展；反之，如果没有水资源系统的支持，社会、经济发展的需要将对水资源系统造成重负。通常认为，当径流量利用率超过20%时就会对水环境产生很大影响，超过50%时则会产生严重影响。所谓水资源利用的程度，国际上一般认为，对一条河流的开发利用不能超过其水资源量的40%。目前，我国水资源开发利用率已达19%，接近世界平均水平的3倍，个别地区更高，如1995年松花江、海滦河、黄河、淮河等开发利用率已达50%以上。据预测，到2050年全国地表水资源利用率为27%，除西南诸河利用率较低外（12%），其他各流域均超过20%，特别是海滦河、淮河、黄河地表水资源利用率均超过50%，分别为62%、60%和56%。在宏观水资源利用方面，我国在各方面存在许多难题，例如城市和乡村地区在供水和水需求之间存在着矛盾，洪涝和干旱灾害频繁发生，河流泥沙困扰状况，多次导致严重水污染的环境问题。很明显，这些问题也都反映出了我国水资源现状和急需解决的困境。

根据我国城市化发展趋势的估计,到 21 世纪中期,我国的城市人口将从不足 3 亿人迅速增加到大约 8 亿人。到 2030 年,我国的城市数量也将从目前的大约 660 个增加到超过 1000 个。由于城市化日益增长的趋势和经济发展大都集中在城市区域,我国水资源的开发方面的挑战和机遇也将围绕在各个城市地区。虽然我国水资源总量为 2.8 万亿 m^3 ,专家们根据国际上评估的标准认为,我国水资源的可利用量大约为 10000 亿~11000 亿 m^3 。但是到 21 世纪中叶,如果总人口达到 16 亿~17 亿人时,人均综合用水量,按 1987 年亚洲的平均水平 542 m^3 测算(我国 1997 年人均综合用水量为 458 m^3),总供水量就可能达到 8672 亿~9214 亿 m^3 ,与可利用水量的有限值就很接近了。根据全国水利普查资料,我国目前经济社会年度用水量为 6213.2 亿 m^3 ,其中居民生活用水 473.6 亿 m^3 ,农业用水 4168.2 亿 m^3 ,工业用水 1203.0 亿 m^3 ,建筑业用水 19.9 亿 m^3 ,第三产业用水 242.1 亿 m^3 ,生态环境用水 106.4 亿 m^3 ,在 1998 年,我国年总供水能力达到了 5800 亿 m^3 ,比新中国成立初期增加了 4800 亿 m^3 ,平均每年增加 96 亿 m^3 。从供水结构来看,1997 年地表水源供水为 4698 亿 m^3 ,占全国总供水能力的 81%。其中,蓄水工程占 35%,约 1640 亿 m^3 ,引水工程占 43%,约 2000 亿 m^3 ;提水工程占 22%,约 1000 亿 m^3 。由于城市使用了大量的水资源,也必会使城市废水量增加,如不妥善处置,将导致城郊及乡村地区的污染。在不增加水源的情况下,这就意味着灌溉地区水资源短缺的情况不断地加重。据刘昌明的资料,我国有约有 1 亿亩灌溉面积($1\text{hm}^2=15$ 亩)缺少 770 亿 m^3 水。另外,不需要用来扩大土地灌溉的水大大超过可以得到的水资源。例如,尽管华北平原的谷物产量占据了全国总产量的 27%左右,但是仍有 230 万 hm^2 可耕地等待着水去灌溉以增加产量。此外,在我国的东北部和西北部仍有着大片的土地分布在半干旱和干旱地区需要水去灌溉。尤其是黄河流域的中、上游地区,缺水严重,引用黄河水成为农业生产和生活用水的主要水源。同时,占总供水量 22%的水是靠提水工程取得的,用电量巨大,关注水资源中的提水工程也是本书的主题内容。

1.2 农业灌溉、防洪排涝和水泵站

我国是一个农业大国,人口多、耕地少、水资源相对紧缺、水旱灾害频繁,特殊的气候、地理等自然条件以及社会条件决定了我国农业选择走灌溉农业的发展道路。从大禹治水至今,我国的农业灌溉排水发展历史已达 5000 多年。古代人民修建的郑国渠、都江堰、灵渠、大运河等大量水利工程,在提高农业抗灾能力、促进农业发展、改善人民生活中都发挥了十分重要的作用,有的至今仍在发挥效益,有的已成为世界文化遗产。50 多年来,我国的农田灌溉面积从 1500 万 hm^2 (2.25 亿亩)发展到目前共有灌溉面积 10.02 亿亩,其中耕地灌溉面积 9.22 亿亩,园林草地等非耕地灌溉面积 0.80 亿亩。每年在灌溉面积上生产的粮食占全国总量的 3/4,生产的经济作物占 90%以上。在我国人均耕地面积只占世界人均 30%的情况下,耕地灌溉率是世界平均水平的 3 倍,人均灌溉面积与世界人均水平基本持平。我国灌溉排水事业取得的巨大成就,使我国能够以占世界 6%的可更新水资源量、9%的耕地,解决了占世界 22%人口的温饱问题,为保障我国农业生产、粮食安全以及经济社会的稳定发展创造了条件。灌排工程不仅是农业生产最重要的基础设施,而且是保证国民经济和社会持续发展的重要组成部分。无论是从建设现代农业、促进种植结构

调整、增加农民收入来看，还是从节约农业灌溉用水支持经济社会协调发展、促进生态改善、营造优美的水环境来看，都需要加快灌排事业的发展；21世纪初，全国已拥有泵站424451座。其中在规模以上（指装机流量大于 $1\text{m}^3/\text{s}$ 且装机容量小于 50kW ）泵站中，已建泵站88365座，在建泵站698座，其中大型（装机容量大于1万 kW ）299座，中型（装机容量小于1万 kW ）3714座，小型（装机容量小于0.1 kW ）85050座。规模以下有335388座。全国共有地下水取水井9749万眼，地下水取水量共1084亿 m^3 。配套机井418万眼，各种农用水泵593万台，机电灌排动力保有量近8000万 kW ，占全国农用总动力的 $1/4$ 强。在近50万座泵站中，装机容量2373万 kW 。此外还有水轮泵站2.15万处、水轮泵3.5万台、喷灌机组30万台。在调研的大中型泵站383座，其装机总功率达449万 kW 。其中，承担防洪排涝的泵站有269座，装机总功率222万 kW 。全国泵站灌排总效益面积达35300千 hm^2 （5.3亿亩）。其中灌溉面积：31160千 hm^2 （4.68亿亩），排涝面积4140千 hm^2 （0.62亿亩）。

几十年来，国家投入巨资，沿各大流域及其他主要河流、湖泊，修建了堤防、涵闸和泵站；在山区和丘陵地区兴建拦洪、发电和灌溉工程；在无自流条件的易涝和干旱地区，兴建泵站除涝抗旱。随着机电灌排事业的发展，特别是大型泵站的建设，在太湖、洞庭湖、东北平原、江汉平原、珠江三角洲、苏北里下河、杭嘉湖平原及渤海周边等地区，形成了大面积旱涝保收、稳产高产的农业生产基地，多数地区已成为我国重要的商品粮棉基地。西北等干旱缺水地区还建成了一批高扬程提灌工程，如甘肃省景泰川、陕西省东雷、宁夏回族自治区固海、山西省尊村、夹马口、大禹渡等大型扬黄泵站的建设，从根本上改变了该受益地区荒滩旱塬地区的干旱、低产、贫困面貌，促进了当地经济发展和人民生活水平的提高。

我国泵站建设的特点是发展速度快、类型多、规模大、范围广。已建成的大面积灌排泵站地区有长江三角洲、洞庭湖地区、江汉平原、珠江三角洲、东北三江平原及西北的高原灌区等。在我国大型泵站比较集中的省份，已初步形成了以大型泵站为骨干，中型泵站为主体，小型泵站为补充的灌溉、排涝工程体系。

（1）长江中下游及珠江三角洲以低扬程排涝泵站为主的地区：主要包括长江中下游地区的湖北省、湖南省、江西省、安徽省、江苏省、浙江省和珠江三角洲地区的广东省等。在该区内，有荣获国家质量金奖和银奖的江都抽水站；全国轴流泵单机容量最大的樊口泵站；亚洲最大口径混流泵的皂河站；我国最大口径轴流泵的淮安二站；亚洲装机容量最大的临洪东站；也有全国最大的贯流泵站淮安三站等。

（2）黄河中上游以高扬程多级提灌泵站为主的地区：主要包括黄河中上游地区的陕西、甘肃、宁夏、山西、内蒙古5个省（自治区）。该区泵站的特点是以高扬程双吸式离心泵多级提灌泵站为主；发展速度快、类型较单一，单座泵站规模大；扬程一般在100m以上，最高可达800多m。由于建站时泵型选择和地形的限制，所以泵站都建成若干级，各级泵站之间相距数百米至数千米不等，泵站之间以土渠或渡槽相连送水，每级泵站扬程在30~80m左右。每一处泵站群多为5级以上，最多的高达38级。

（3）其他地区：以中低扬程灌排泵站为主的地区。

该区差异较大，结合其地理位置，分为两部分：

1) 松辽流域、海河流域以中低扬程混流泵、轴流泵排涝与提灌泵站并重地区，包括东北地区的黑龙江省、吉林省、辽宁省与海河流域的天津、河北及河南 6 省（直辖市）。

2) 黄河下游、长江上游、珠、闽江及新疆塔里木河流域等以中低扬程提灌泵站为主的地区，包括山东、福建、广西、四川、重庆、新疆 6 个省（自治区、直辖市）。

在如此庞大的排、灌泵中，发现因水泵过流部件严重磨损和效率不达标的主要是黄河中上游，主要以高扬程多级提灌泵站为主的地区的扬黄泵站；以及与出现空蚀缺陷与效率不达标的排涝泵站。由于泥沙磨蚀和空蚀的影响，最终表现于效率的下降，导致能耗加大，运行成本增速。据测算我国机电灌排年均耗电 160 亿 kW·h，不足现在发电量的 5%，年均耗油 200 万 t。我国大中型泵站平均装置效率仅 40%~50%，能源单耗高达 6~7kW·h/(kt·m)，距部颁标准电力泵站每台机组要求能源单耗不大于 5kW·h/(kt·m) 相差甚远。由于泵站的磨损和空蚀造成的缺损，许多泵站处于严重老化阶段，泵站的设备完好率和运行可靠性大大降低，重大事故频发，设备损坏严重，不少泵站面对滔滔洪水，面对作物灌溉需要生命水却不能开机运行，抵御自然灾害能力大大减弱。如果从节能减排的要求，通过表面再制造工程，提高效率 8% 计算，每年从机电灌排平均耗电可减少 12.8 亿 kW·h，按 0.4 元/(kW·h) 计，创造经济效益 5 亿元左右。还可以节约大量的金属原材料。

我国经历了 1991 年、1998 年和 2010 年的特大洪涝灾害和严重的干旱，各地加快了大中型泵站特别是排涝泵站的建设。到 2004 年底，虽然全国机电灌排动力保有量已近 8000 万 kW。但在泵站的建设和运行管理中应更加注重工程质量和对水泵效率的提高，并作出具体切实可行的措施，配套自动化监控，朝着现代化建设与管理科学化的方向前进。

1.3 多泥沙河流的困扰

在我国水资源开发与利用中，始终有河流泥沙问题困扰着，我国独特的自然条件形成显著个性的河流情况必须要进一步了解。

我国与世界各国相比较，是一个多泥沙河流国家，河流挟带沙量在世界诸河中名列前茅，见表 1.1。面对黄河和多泥沙河流水资源的开发和利用，要从长远和可持续发展观念，正确对待含沙水流的正面和负面的影响，采取正确措施，认真和迫不及待的解决发生在多泥沙河流上的问题，从规划、设计、工程措施和过流部件表面的再制造过程中的问题，要统一筹措，从良性循环和节能减排的大局中来考虑安排。

表 1.1 世界主要河流要素数据

河 流	所属国家及地区	流域面积 (万 km ²)	年输沙量 (亿 t)	年来水量 (亿 m ³)	年平均 含沙量 (kg/m ³)	年平均输 沙模数 [t/(km ² ·a)]
恒河	印度、孟加拉国	95.50	14.51	3710	3.92	1519
布拉马普布拉河	孟加拉国、印度	66.60	7.26	3840	1.89	1089
印度河	巴基斯坦	96.90	4.35	1750	2.49	449
伊洛瓦底江	缅甸	43.00	2.99	4270	0.70	695
湄公河	柬埔寨、越南	80.00	1.70	3500	0.49	210
红河	中国、越南	11.90	1.30	1230	1.06	1092

续表

河 流	所属国家及地区	流域面积 (万 km ²)	年输沙量 (亿 t)	年来水量 (亿 m ³)	年平均 含沙量 (kg/m ³)	年平均输 沙模数 [t/(km ² ·a)]
密西西比河	美国	323.0	3.12	5645	0.55	96.6
科罗拉多河	美国	63.7	1.35	49	27.5	212
亚马逊河	巴西	580.0	3.63	57396	0.063	63
尼罗河	埃及、苏丹	297.8	1.11	892	1.25	37.3
黄河	中国	68.78	16.0	426.4	37.5	2320
长江	中国	170.0	4.31	9336	0.46	254
西江(珠江支流)	中国	33.0	0.86	2526	0.34	260
多瑙河	欧洲	116.5	0.28	2000	0.14	24
伏尔加河	俄罗斯	150.0	0.25	2500	0.11	16.7
刚果河	扎伊尔	370.0	0.70	14000	0.05	18.9

含沙水流对水轮机、水泵的磨蚀破坏，导致一系列的不安全因素，也随着水资源的开发应用比例扩大引起广泛的关注。因此发生在多泥沙河流上的水资源开发与利用，及存在的问题、难点，都应积极面对，各级管理部门责无旁贷。

据水利水电规划设计总院唐友一的“中国河流泥沙概况”的资料统计，世界大河流中，年输沙量超过 1 亿 t 的有 12 条（不包括其支流），我国黄河年输沙量达到 16 亿 t，年平均含沙量 37.5kg/m³，双双居世界第 1 位。其次是印度、孟加拉的恒河，年输沙量为 14.51 亿 t，但年平均含沙量只有 3.92kg/m³，孟加拉国的布拉马善布拉河位居第 3 位，年输沙量 7.26 亿 t，年平均含沙量 1.89kg/m³。黄河长江的总输沙量占世界 12 条大河总输沙量的 34%。

我国七大江河（松花江、辽河、海滦河、黄河、淮河、长江、珠江），流域面积占全国土地面积的 45%，输沙量占全国河流输沙总量的 85%，其中黄河输沙量最大，平均年输沙量和入海沙量分别占全国河流年输沙量和入海沙量的 53%和 60%，长江次之，分别占 21%和 26%。根据资料统计，全国平均输沙量超过 1000 万 t 的河流有 115 条（包括一级、二级支流），其中黄河流域 54 条，长江流域 18 条，海滦河流域和辽河流域分别占 10 条和 8 条；内陆诸河、西南诸河、珠江、淮河和黑龙江流域共 18 条；浙、闽、台诸河 7 条。我国主要江河部分测站的含沙量、输沙量见表 1.2。

表 1.2 我国主要江河部分测站的含沙量、输沙量

河流	站名	流域面积 (km ²)	多年平均 含沙量 (kg/m ³)	历年最大 含沙量 (kg/m ³)	多年平均 年输沙模数 (t/km ²)	多年平均 年输沙量 (万 t)	实测最大 年输沙量 (万 t)	实测最大 最小含沙 量比值	连续最大 4 个月输沙 量值年输沙 量比值 (%)
松花江	佳木斯	527795	0.16	1.27	20.3	1070	1770	8.4	72.5
辽河	巨流河	129311	2.59	27.1	79.2	1020	6780	39.6	91.1
大凌河	锦县	23048	13.3	139	1190	2740	10700	17.5	96.6

续表

河流	站名	流域面积 (km ²)	多年平均 含沙量 (kg/m ³)	历年最大 含沙量 (kg/m ³)	多年平均 年输沙模数 (t/km ²)	多年平均 年输沙量 (万 t)	实测最大 年输沙量 (万 t)	实测最大 最小含沙 量比值	连续最大 4 个月输沙 量值年输沙 量比值 (%)
漆河	漆县	44100	4.73	81.1	501	2210	8790	37.4	96.7
永定河	官厅	43402	49.2	436	1860	8070	49700	131.5	90.3
黄河	兰州	222551	3.56	329	508	11300	26700	8.8	88.0
黄河	陕县	687869	36.9	590	2290	161000	391000	8.0	83.7
黄河	利津	751869	25.6	222	1470	110000	210000	8.7	83.6
窟野河	温家川	8645	184	1700	16000	13800			93.2
无定河	白家川	29662	128	1520	5760	17100	44000	19.3	92.2
渭河	华县	106498	49.3	905	3970	42300	106000	21.3	79.4
淮河	鲁台子	91620	0.592	17.2	145	1330	3380	48.4	72.4
长江	宜昌	1005501	1.18	10.5	512	51400	75400	2.1	82.8
长江	汉口	1488036	0.61	4.42	289	43000	57900	2.2	68.3
长江	大通	1705383	0.53	3.24	274	46800	67800	2.0	67.1
汉江	皇庄	142056	2.06	16.9	893	12700	26300 ^①	11.8 ^①	79.7
赣江	外州	80948	0.174	1.63	137	1110	1860	8.4	77.9
闽江	竹歧	54500	0.138	2.62	136	740	2000	7.4	83.7
西江	梧州	329705	0.34	4.08	219	7230	14000	8.3	82.6
元江	蛮耗	32037	3.55	49.0	30	3630			80.9
澜沧江	景洪	166834	1.28	19.0	442	7380	12100	2.7	84.6
雅尔藏布江	奴下	189843	0.30	2.31	95.8	1820	4620	8.0	86.2
伊犁河	雅马渡	49186	0.59	10.2	142	699	1180	3.3	88.4
叶尔羌河	卡群	50248	4.44	153	572	2870	6070	4.9	97.0
格尔木河	格尔木	15098	3.27	170	162	247	668	10.8	87.6
黑河	莺落峡	10009	1.41	105	219	219	507	7.4	94.6

① 碾盘山资料。

黄河是我国泥沙最多的河流，也是世界上罕见的泥沙河流，黄河泥沙主要来自中、上游黄土高原地区。黄河龙羊峡以上，地处青藏高原，植被较好，暴雨少且强度小，河流含沙量低，青海省唐乃亥站平均含沙量仅 0.55kg/m³，平均年输沙量为 0.11 亿 t。贵德以下黄河进入黄土高原区，泥沙含量逐渐增多，其间有大夏河、洮河及湟水等汇入，到兰州站平均年输沙量已达 1.13 亿 t。兰州以下有祖厉河汇入又增加泥沙含量。由于宁夏、内蒙古灌溉引水量大，引走了部分泥沙；青铜峡以下河道拓展加宽，河道淤积，致使到河口镇站平均年输沙量只有 1.49 亿 t。河口镇以下，黄河穿越山西省、陕西省，流经黄土沟壑地区，植被差，汛期暴雨集中，降雨强度大，水土流失颇为严重，这地区是黄河泥沙主要来源地，从河口镇到龙门有多沙支流皇甫川、窟野河、三川河、无定河等汇入黄河，使龙门

站平均年输沙量增至 10.6 亿 t。该区域的支流中,有年平均输沙量超过 1 亿 t 的,年平均含沙量大于 $100\text{kg}/\text{m}^3$,输沙模数高达 $10000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以上,最高达 $34500\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。从龙门至三门峡间又有泾河、渭河、北洛河、汾河汇入,年输沙量进一步增加,根据 1950~1979 年实测资料统计,三门峡入库平均输沙量达 16 亿 t。而这一区域(兰州—三门峡)也正是高扬程引黄泵站发展较快,规模也较大的地区,含沙水流对泵的运行带来许多负面影响。三门峡至花园口虽有伊河、洛河、沁河汇入,但来沙量只有 0.4 亿 t,由于泥沙在平原河道上大量淤积沉淀,输沙量有所减少,花园口实测平均年输沙量只有 12.9 亿 t。在花园口以下,黄河进入华北平原,河道比降小,流速缓,水流挟带泥沙能力降低,河道明显淤积成地上河,至河口利津站入海沙量平均为 11 亿 t。自从小浪底水库建成后,每年有计划的科学放水,冲刷下游河床,可扼制主河道的沉积淤沙,起到一定作用。在这一区域,也是城市、工农业发达区域,工农业生活用水需求量大,自流或提水泵站发育,也存在含沙水流对水泵严重磨蚀的问题,如胜利油田供水、郑州、开封自来水公司用水以及大量的关键河段及淤堤工程中挖泥船作业都存在水泵磨蚀对效率的损失。

长江平均年输沙量仅次于黄河,宜昌水文站平均年输沙量 5.14 亿 t,宜昌以上长江上游泥沙主要来自金沙江和嘉陵江。金沙江屏山水文站平均年输沙量 2.39 亿 t,占宜昌水文站的 46.5%,嘉陵江北碛站平均年输沙量 1.57 亿 t,占宜昌站 30.5%,岷江、乌江、沱江总和占宜昌站的 18.5%。这些区域的水电站水轮机遭受泥沙磨蚀的情况较多,无论是岷江上的映秀湾电站、渔子溪 1 级、2 级电站,南桡河 3 级电站,以及大渡河龚嘴水电站等,有的是水库被泥沙淤积后,含沙不再沉淀,过机含沙量恢复径流电站状态,大渡河上的龚嘴水电站,1972 年 12 月 26 日投产运行,1979 年 1 月最后第 7 台机组投运,总容量 700MW,发电初期因水库的沉积泥沙,过机水流较清,水轮机过流部件只有较轻的空蚀。1983 年汛期,水库进口三角洲淤积形成,洲头抵达水库库尾后,沉沙库容所剩无几,过机泥沙猛增,泥沙颗粒粒径也明显粗化。实测 1982 年过机泥沙为 591 万 t,过机泥沙中值粒径 $0.015\sim 0.025\text{mm}$,而 1985 年过机泥沙量达 1250 万 t,最大粒径达 1.72mm,从此,水轮机过流部件开始进入严重的磨蚀损坏期,尤其以转轮、底环、导叶磨蚀最严重,导致转轮叶片磨穿或局部深坑,造成水轮机效率下降、迷宫间隙增大,导叶漏水增加,停机时转速降不下来等不安全事故,电厂不得不投入大量的人力、物力进行扩修处理,扩修周期也一再缩短,7 台机组每年要进行 1~2 台的表面再制造工程,以保证运行安全和效率。处于长江干流的葛洲坝电站,基本是径流电站,在大江 17 号机组实测,水轮机出水边的磨蚀速度为每 1 万 h 达 3.5mm,而出水边总厚度只有 20mm。对大江 15 号机组水轮机叶片头部的磨蚀量测定,运行 3.7 万 h 后,头部磨蚀量超过 16mm。因此,葛洲坝 21 台机组每年必须有 3~4 台要进行非金属涂层的表面再制造工程,才能保证效率的稳定。而大量的引、供水工程大多取于江河径流,由于分布广,作者对各个自来水公司的信息交流和收集资料不够充分,或许是泵的成本相对较低,往往以换泵更新解决水泵的磨蚀问题,如果遵照水电行业的表面再制造工程技术来处理磨蚀破坏,对取水水泵进行定期维护和表面再制造工作,将必定会降低运行检修成本和提高效率,节约能源开支,为国家节能减排的目标要求作出贡献。

辽河流域泥沙主要来自西辽河,其上游发源于昭乌达高原,流经科尔沁沙地,植被