

海洋仪器研制的信息法

——以悬浮颗粒图像仪设计为例

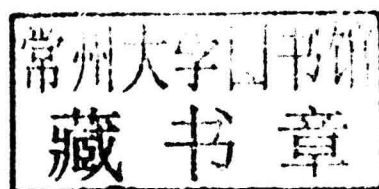
于连生 于翔◎著



海洋仪器研制的信息法

——以悬浮颗粒图像仪设计为例

于连生 于翔 著



海洋出版社

内容提要

本书介绍一种海洋仪器研制的新方法——“海洋仪器研制的信息法”。为了清楚地叙述该方法,书中以“悬浮颗粒图像仪”的研制为例,力求方法与实际相结合,使读者更容易理解方法,同时也能系统了解“悬浮颗粒图像仪”的有关知识。按照海洋仪器研制的实际过程展开。全书共分5章:第1章项目提出;第2章方案预研;第3章方案设计;第4章设计实现;第5章检验验证。本书可供从事仪器研制的科技工作者、仪器开发公司人员、相关大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

海洋仪器研制的信息法:以悬浮颗粒图像仪设计为例/于连生,于翔著. —北京:海洋出版社,2015.6

ISBN 978-7-5027-9174-2

I. ①海… II. ①于… ②于… III. ①海洋仪器-研制 IV. ①TH766

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第130580号

海洋仪器研制的信息法——以悬浮颗粒图像仪设计为例

Haiyang Yiqi Yanzhi de Xinxifa——Yi Xuanfu Keli Tuxiangyi Sheji Weili

责任编辑:赵娟

责任印制:赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京华正印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:7.75 彩插:2页

字数:180千字 定价:30.00元

发行部:62132549 邮购部:68038093 专著中心:62113110

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

《海洋仪器研制的信息法》是受本书作者之一于翔的启发。他长期从事互联网教学和科研工作，在参与科研项目过程中充分发挥了其网络查询的特长，对科研进度的提高大有裨益。根据作者的科研实践有必要做系统的总结，目的是想将这些经验成果公之于世，供海洋仪器研制者讨论参考。

海洋仪器与其他仪器一样，包括传感器部分、电子学部分和数据显示部分，所不同的是其应用环境和使用条件因海洋的特殊性有所不同。如传感器，它是将物理量或化学量转换为电信号的元件，这种元件被广泛应用，但当用于海洋仪器，其灵敏度、动态范围、信噪比就要有特殊的要求。防腐蚀、防生物附着、耐压水密是海洋仪器用于海洋环境的特殊要求。

这里提出了问题的两个方面：其一是仪器的共性；其二是海洋仪器的特殊性。

就仪器的共性而言，它涵盖了共同原理、共性技术、共性产业条件，这些条件既然具有共性，就可以被移植采用。

就特殊性而言，它指出了海洋仪器的不同之处，这也是海洋仪器研制的关键问题。

通过互联网查询充分地搜集和利用共性技术和基础条件，集中精力攻破具有特殊性的关键技术，是海洋仪器研制的信息法的基本思路。

要想充分地利用共性的东西，深刻地理解特殊问题，就要深入了解它们。互联网为了解共性基础，研究特殊问题提供了强大工具。虽然网上的东西可能有错误、但它的优点在于能够迅速地提供深入查询、深入研究的大量线索和各家之言，这就为进一步查询、研究、鉴别提供了线索，提供了思路。

海洋仪器研制的信息法，是海洋仪器研制思路的一次变革。仪器研制的信息法将原来的试验、改进、再试验、再改进直到原理样机、产品样机等一系列专注工程性、工艺性的漫长过程简化为分阶段信息查询和总装、检验验证的简单过程；将以工程实施为主转变为以研究和顶层设计为主。在这个过程中，围绕仪器设计和设计实现所做的信息查询、信息归纳、信息研究是整个研究过程中的最重要工作。在信息查询、信息归纳、信息研究过程中研究人员围绕要解决的问题，为了搞清楚项目背景、原理、技术、原材料等要做深入细致的研究工作，这些工作的完成将极大地开拓研究人员知识领域和顶层设计能力，对仪器的原理、方案、材料、元件、部件、相关产品都会有十分深入的了解，这样就真正做到在网络世界能够触及的范围内开展研究工作，运筹帷幄，为发明创造奠定基础。

本书结合作者利用信息法研制“悬浮颗粒图像仪”的实践，详细介绍了海洋仪器研制的信息法的方法和步骤。为了丰富全书的内容，书中详细介绍了与悬浮颗粒现场测

量仪有关的研究内容,因此,也可以为显微颗粒图像测量研究提供参考。全书内容包括:绪论;第1章项目提出;第2章方案预研;第3章方案设计;第4章方案实现;第5章检验验证。

由于作者知识所限,书中错误在所难免,只当提出问题,抛砖引玉,热切地希望读者讨论指正。

此外,本书在写作和出版过程中得到以下项目的支持:①国家高技术发展研究计划(863)项目“声光悬浮沙粒径谱仪”[编号:818-01-01(9)];②国家高技术发展研究计划(863)项目“光学悬浮沙粒径谱仪成果标准化”(编号:200501);③国家高技术发展研究计划(863)项目“基于双光谱有毒赤潮优势藻图像分析的研究”(编号:2002AA639260);④国家高技术发展研究计划(863)项目“激光悬沙测量传感器研究”(编号:2006AA09Z134);⑤908专项“赤潮灾害发生规律、预警和防治”(编号:908-02-03-01);⑥海洋公益性行业科研专项经费项目“海滨自动观测仪器检测技术与规范”(编号:200805103);⑦海洋公益性行业科研专项经费项目“海洋生态环境监测仪器(悬浮颗粒物)产业化及示范应用研究”(编号:201005025-6)。

于连生

2014年12月 于天津

目 录

绪论	(1)
第1章 项目提出	(4)
1.1 测量对象及其测量方法实名搜索	(4)
1.2 测量对象及其测量方法搜索结果的整理、归纳	(5)
第2章 方案预研	(15)
2.1 技术方案的历史、现状、原理、技术细节的搜索	(15)
2.2 技术方案的历史、现状、原理搜索结果的归纳、整理	(16)
2.3 数字显微镜用于悬浮颗粒测量要解决的特殊问题	(37)
第3章 方案设计	(38)
3.1 悬浮颗粒图像仪简介	(38)
3.2 技术指标论证	(39)
3.3 悬浮颗粒图像仪的设计	(45)
第4章 设计实现	(71)
4.1 仪器结构的实现	(71)
4.2 仪器功能的实现	(71)
4.3 仪器装调	(74)
4.4 图像处理	(78)
第5章 检验验证	(105)
5.1 标准法	(105)
5.2 比测法	(106)
5.3 模拟试验	(111)
5.4 环境试验	(112)
5.5 现场试验	(113)
参考文献	(116)

绪 论

海洋仪器研制的信息法是基于互联网在海洋仪器设计中的作用提出的一种新方法。海洋仪器研制大致可分为5个阶段：项目提出、方案选取、方案设计、方案实现、检验验证。海洋仪器研制的各个阶段所涉及的问题各不相同又互相联系，层层深入，是一项系统工程。

海洋仪器研制的信息法强调在海洋仪器研制的各个阶段都首先利用互联网上的搜索引擎进行实名搜索，以最快的速度掌握各研制阶段所需的信息、资料概况，通过进一步查阅纸质文献、电话咨询、调研追踪、参观展览等方式提取出最有用的信息，确立结论意见。

现在社会处于信息时代，以互联网为代表的信息技术为海洋仪器研制提供了强大的信息支撑，充分地利用信息资源，会极大地提高仪器研制的质量，从而做到多快好省。

信息查询在仪器研制的各个阶段都是最重要的。通过全面的信息查询，可以最大限度地快速了解国内外现状，确定仪器的技术水平，对任务的提出，任务的背景，任务的需求给出科学的界定。

通过全面的信息查询，可以全面地了解测量方法的各种相关原理，为方案制定提供比较资料。对方案的选取、方案的水平、方案的比较做出合理的选择。

通过全面的信息查询，可以全面了解现有可以借鉴的成熟技术，帮助从大量相关技术、相关方法中筛选出仪器研制的最佳方案，甄别出哪些问题是具有海洋特点的特殊问题，哪些是可以利用现有技术（这些技术可能没有用于海洋）、现有产品直接拿来或加以改造就可作为部件甚至整机应用，从而尽可能地避免由于不了解现有技术出现的重复研究问题，极大地加快了研制进度，帮助实现合理可行的方案设计。

通过全面的信息查询，可以提供基本的原材料的信息支撑，帮助选择部件、原件，充分利用已有相关技术成果、相关技术产品，避免技术重复，提高方案实现的标准化、可靠性。

通过全面的信息查询，可以对提出的检验方法给出合理性、先进性、可行性方面的准确判断。

通过全面的信息查询，可快速地搜寻相关研究领域的专门机构和专门人才，为信息沟通、技术合作提供信息通道。

由于信息法的利用，掌握了不同研制阶段的完整的信息，因此研究重点突出、研制思路清晰。由于了解了行业的人才、物料、技术状况，为技术攻关搭建了高效率的开放平台。

从这个意义上说，信息时代的海洋仪器研制，带着目标所做的信息查询是保证多快

好省地研制仪器的有效方法。

海洋仪器研制的信息法的有效利用,最重要的是要解决搜索什么和如何搜索的问题。

搜索什么,首先要根据仪器研制的不同阶段,对搜索内容的要求各不相同。项目提出阶段,应围绕仪器应用对象、仪器现状做全面搜索,从而确定仪器研制的意义、仪器研制的目的、仪器的先进性。

方案预研阶段,应围绕实现仪器功能的各种方法、相应原理、技术基础、关键问题进行广泛搜索,从而确定选用的仪器方案。

方案设计阶段,应围绕技术指标论证仪器方案设计进行相关搜索。分析各种影响仪器测量结果的因素,根据选用的仪器方案,设计可以实施的仪器组成原理框图以及时序逻辑关系。通过指标论证,使仪器指标与使用环境相匹配,使仪器的可用性更强;通过方案设计,尽量地提高仪器的标准化、模块化水平。

方案实现阶段,要围绕设计方案框图实现的原材料进行搜索。原材料的选取原则是:优先选用略加改造就可以应用的整机,这是一种最便捷的选择,如果没有,再选择单元模块。一般来说,由于顶层设计时充分考虑了仪器组成的标准化和模块化,因此,可实现设计功能的单元模块应成为一起组成的主体。特殊部件、专用元件要根据用途特殊设计制作。特殊部件、特殊元件也是仪器的创新部分。

检验验证阶段,要围绕检验方法、同类仪器检验标准进行搜索。检验验证阶段包括实验室检验:检验仪器的技术功能,环境适应性(型式试验),实验室比测等;现场实验要在海洋现场长期使用考核仪器的实际应用情况。经过实验室实验和现场试验,制定检验方法和检验标准。

搜索的方法以实名搜索为主。网上搜索时“实名”的选取是非常重要的,准确选取实名的前提是要清楚地界定要查什么和查找的目的,每一次查找之前,首先要确定查找目标,这种目标在仪器研制的不同阶段是不同的,一般来说,是一个从整体到局部,层层递进的过程。对于查找的目标要选择几个相关联的名词作为备选“实名”,经网上初步搜索,结合要找的内容确定最终“实名”。

搜寻的路径,始于互联网上的实名搜索,对搜索条目进行针对性甄别,再做进一步针对性搜索,必要时电信(电子邮件、QQ、电话等)咨询,辅以参观展览、查阅书籍文献、追踪调研。

对搜集的信息要进行甄别,甄别的原则有三条:一是针对性,保证与需求相关;二是时效性,保证是最新内容,因此要注意信息的发布时间;三是权威性,保证信息的准确。对于具有权威性的信息,一般来说都具有明显的特征,比如百度词条、教科书、工具书、标准、公开发表的论文、大型企业网站、大型学会、协会网站等。

最终对收集到的信息要整理、归纳、分析,剔除或改正不准确甚至错误信息,针对研究需求总结出结论意见。结论意见要有对已有的做明确表述,需要创新的明确指出。只有这样,才能充分发挥信息的作用。

对信息的整理、归纳、分析是非常重要的。这种整理、归纳、分析要紧紧围绕保证仪器功能、提高仪器可靠性的要求去做,为仪器设计,设计实现和仪器出现达不到要

求，不可靠、不稳定时应从哪里入手加以解决打下基础。

所有的发明和创造都是在前人工作的基础上实现的，从这个意义上说，了解掌握的信息越全面、越准确，创造发明的灵感就越多。

在没有互联网的时代，快速的获得海量信息是难以想象的，互联网使得这一切有了可能，海洋仪器研制的信息法才得以实现。

本书结合作者的科学研究实践，以悬浮颗粒图像仪设计为例详细阐述海洋仪器研制的信息法。信息法的研制路径如图 0-1 所示。

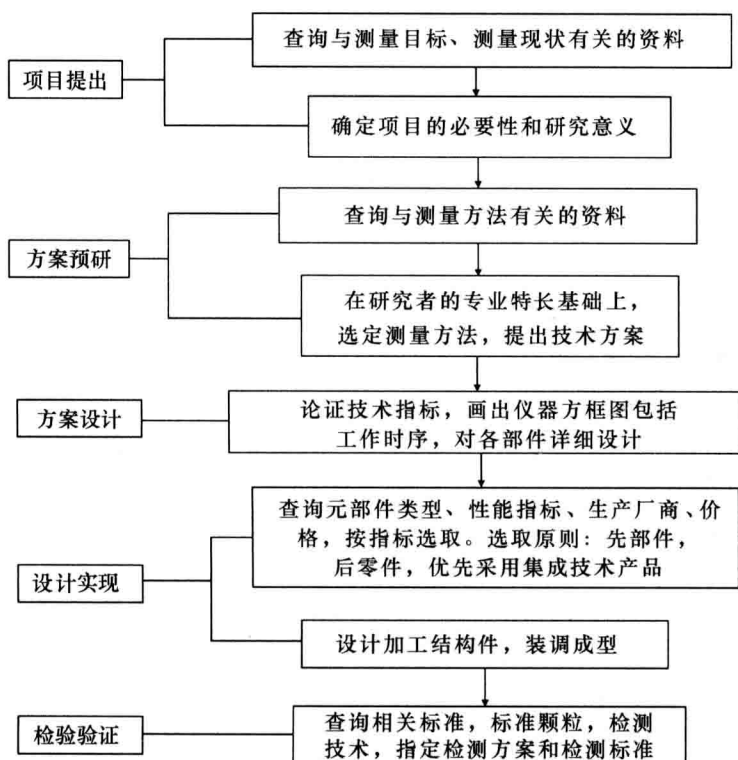


图 0-1 信息法研制路径图

第 1 章 项目提出

项目提出包括根据需求提出要求和对项目要求进行深入的信息查询研究，全面了解项目的目的、背景、相关研究的现状与进展；明确项目的实用性、先进性、必要性等。同时对项目所涉及的基本概念进行理解、消化，为后续研究工作建立共同语言环境。

1.1 测量对象及其测量方法实名搜索

根据项目要求首先要确定搜索的目的，根据确定的项目的题目进行实名搜索。以悬浮颗粒图像仪为例，对于悬浮颗粒现场测量，项目提出阶段搜索的目的就是要解决以下问题：海洋中的悬浮颗粒有哪些？测量悬浮颗粒的意义是什么？悬浮颗粒测量的现状如何？在得到了上述问题的答案之后就可以选定具体的测量方法。

为了很快地利用互联网搜索到有用的信息，首先要对研究项目的题目进行分析，提取出关键词，作为实名搜索的“实名”，选择关键词是实名搜索的最重要步骤。由于网上信息量巨大，选择的关键词决定了搜索结果是否是所要的内容。关键词要具备以下特点：既要针对性强，又要尽可能全面地反映相关信息。因此，关键词的选择要根据信息量做范围扩展和范围收缩，例如，悬浮颗粒图像仪，“悬浮颗粒物”是要测量的对象，“现场测量仪”是仪器的属性。为了搞清楚测量对象和现场测量仪现状，可提取“悬浮颗粒物”和“粒度仪”两个关键词：“悬浮颗粒物”针对研究目标；“粒度仪”是“悬浮颗粒图像仪”的扩展。由于从更广泛的意义上说，悬浮颗粒图像仪是粒度仪的一种，因此，这种扩展是为了全面了解颗粒测量仪器现状，为后面方案设计提供借鉴。

为了搜索到更多的有用信息，可以采用相关关键词继续搜索，如“悬浮泥沙”“悬沙测量”“现场激光粒度仪”“颗粒图像分析仪”“浮游生物”“藻”“黄色物质”等，进行更广泛的搜索。

实名搜索关键词的选取是非常重要的，选得好，搜索快速、准确。对已选取的关键词，在搜索过程中，还应根据需要扩展、限定、变换，这就需要设计人员不断地积累专业知识，拓展知识面，做到触类旁通。

对搜索的内容要甄别归类，词条类、文献类、图书类对掌握概念有帮助；论文图书的参考文献可提供更多的搜索词条；产品类可帮助了解现有产品情况。只有这样，才能充分利用网络资源，获得尽可能全面的信息。

对搜索结果一定要归纳总结，得到条理清晰的结论，这对把握项目的研究意义、当前动态和确定研究方法很有好处。

根据悬浮颗粒图像仪项目提出部分的要求，选择海水中的悬浮物、海水中悬浮颗粒

物研究的内容和意义、海水中悬浮颗粒物的测量方法、悬浮颗粒物有关的基本概念作为搜索实名,经实名搜索和跟踪信息调查,总结结果见1.2节。

1.2 测量对象及其测量方法搜索结果的整理、归纳

1.2.1 海水中的悬浮物及其研究意义

1.2.1.1 海水中的悬浮物

海水中的悬浮物包括悬浮生物和悬浮颗粒物。悬浮生物是指那些体积在几微米到几十微米的浮游微生物,如微藻;悬浮颗粒物是指那些可以在海水中悬浮相当一段时间的固体颗粒。海水中的微藻种类繁多,它们是海洋生物链中的重要组成部分。微藻的大量聚集会形成赤潮。海水中包括胶粒在内的、分散度不同的各种悬浮物质,它们的粒径一般在几微米至几百微米之间。

悬浮颗粒物包含有机组分和无机组分两类:①有机组分,主要是生物残骸、排泄物和分解物,由纤维素、淀粉等碳水化合物、蛋白质、类脂物质和壳质等所组成;②无机组分,包括石英、长石、碳酸盐和黏土等来自大陆的矿物碎屑,习惯上称为悬浮沙。在海水化学过程中所生成的硅酸盐、钙十字石、碳酸盐、硫酸盐和水合氧化物等次生矿物,在生物过程中生成的硅骨架碎屑等生源物质。

海洋水体中的悬浮物,大都要沉降到海底。其沉降速率主要取决于颗粒的大小和几何形状。例如,粒径为 $2\sim 20\text{ }\mu\text{m}$ 的球状悬浮物,其沉降速度约为 $0.1\sim 10\text{ m/d}$ 。在深度达 $3\,650\text{ m}$ 的海域,从表层沉降到洋底要经过 $1\sim 100$ 年的时间。在沉降的过程中,它们经历着溶解、沉淀、絮凝、离子交换、吸附和解吸等一系列的物理化学过程。这些过程对海水微量元素的含量分布起着重要的控制作用。

1939年,K.卡勒首次利用丁铎尔效应直接测量海水中悬浮物的含量,1953年,N.G.杰尔洛夫应用光学方法测定了太平洋、大西洋、印度洋、红海和地中海的悬浮物的时空分布。结果表明海水中悬浮物的含量随地理位置和季节有很大的变化。

悬浮物的含量,决定着海水的水色和透明度,还直接影响着海水的声学性质和光学性质。大洋中悬浮物含量每升只有几毫克,粒度微小,水色深蓝;近岸和河口海区的悬浮物含量达到 100 mg/L 左右,长江口、黄河口可达 3 g/L ,而且颗粒较粗,中值粒径大约 $30\text{ }\mu\text{m}$,水色多呈浅蓝、绿以至于黄。大洋中的悬浮物,主要包含颗粒有机物、无铝无机物和铝硅酸盐三类,其组成随深度而变化。在表层的海水中,大部分悬浮物是有机物;在近底层的海水中,约一半的悬浮物为无铝无机物。沿岸和河口的悬浮物,组成比较复杂,主要是来自大陆的无机颗粒和有机颗粒。离岸越远,生物过程和化学过程中形成的成分(次生成分)越多。虽然在沿岸海水中无机组分和有机组分在深浅不同的水层的含量变化幅度比较大,但是平均起来,前者的含量稍多于后者。

海水中悬浮物的表面,能够有选择地吸附有机负离子,因而常荷负电。悬浮颗粒所携带的这些有机物,为细菌和其他微生物的繁殖提供了有利的条件。

1.2.1.2 悬浮颗粒的分类

悬浮颗粒按照化学属性分类，可以分为无机性和有机性悬浮颗粒。按照生物属性分类，可以分为生物性和非生物性悬浮颗粒。按照来源分类，可以分为碎屑性和自生性悬浮颗粒。碎屑性颗粒也可以称为外源性颗粒，包括河川径流、冰川运动和风力输送的陆源颗粒、再悬浮物质、水下喷出物产生的颗粒。自生性颗粒是海洋中由生物或无机化学过程所产生的生物和无机颗粒，包括细菌、微小浮游生物、排泄物以及碳酸钙和硫酸钡沉淀、胶体金属水合氧化物等。按形成源地分类，分为外部生成和内部生成两类，再悬浮沉积物被划分在内部生成类属中。按照物种分类的分类数较多，见图 1-1。

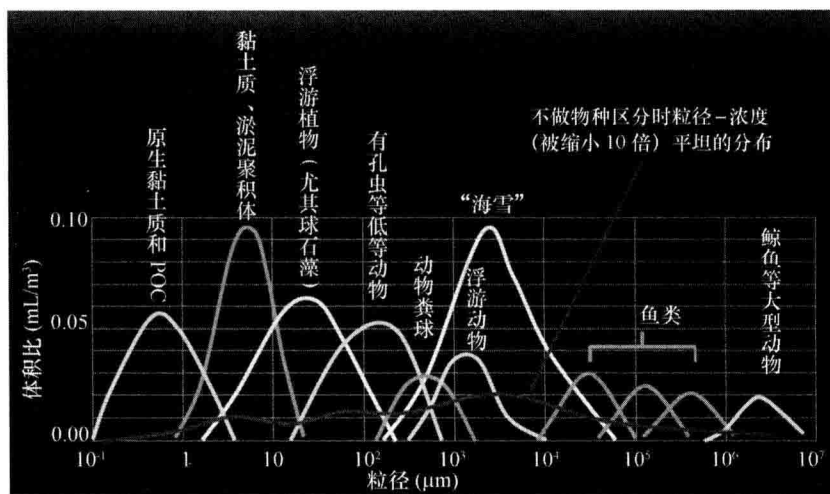


图 1-1 海洋中 TSM 的物种宽谱分布

1.2.1.3 海水中悬浮颗粒物研究的内容和意义

悬浮颗粒物研究内容主要包括：颗粒物成分；时空分布；水平、垂直迁移速率以及颗粒物成分、时空分布、迁移速率与颗粒粒径的相关性。

研究海洋中的悬浮颗粒物具有十分重要的意义，主要体现在以下 4 个方面。

①悬浮颗粒物是海洋沉积物的主要来源，悬浮颗粒物的成分和时空分布规律对研究海洋地质构造、海底矿物具有重要的参考价值。

②悬浮颗粒物是许多元素由表层海水输送到底层海水，由河流输入到大海的主要载体。它在元素输送、循环和去除中充当着重要角色。

③表层悬浮颗粒的数量影响着海水的透明度和真光层的厚度，从而影响浮游生物的光合作用和初级生产力。

④悬浮颗粒本身也是微小生物的食物。这些无机颗粒和有机碎屑到达深海后成为底栖生物的主要食物来源。

1.2.2 颗粒测量技术在悬浮颗粒测量中的应用与进展

1.2.2.1 海水中悬浮颗粒物的测量方法

海水中悬浮颗粒物的测量方法主要有以下2种。

①采样法。采样法是在测量海区采集水样，将水样带回实验室进行测量。

②现场仪器测量。目前用于现场悬浮颗粒物测量的仪器主要有激光粒度仪、显微图像分析仪、透明度仪和浊度计。

因为大洋海水中的悬浮物含量很小，所以收集测定方法有以下2种。

①重力法。通过过滤和离心收集后称重。

②现场光学方法。用光学仪器间接测量。具体有两种方式：测量透光值的透明度法和测定散射光值的浊度法。

在河口海岸区域，海水中的悬浮物以泥沙为主。泥沙运动对全球环境和水与营养物的循环有重要影响，泥沙治理是河流与土地治理的关键，也是近海海洋环境治理的重要内容。

2004年10月《第九次河流泥沙国际学术讨论会总结报告》中指出：“泥沙的现场监测与原型观测资料对改善理论和模型、发现实际问题和改进泥沙治理均极为重要。然而原型观测仪器和技术的改进近来似乎落后于计算和后处理。”建议“改进原型观测的仪器与设备，统一和规范取样与分析程序，尽量应用现代先进技术，以提高原型资料的可靠性和实用性”。这段文字凝练地概括了泥沙测量技术的现状，同时指出了测量技术的发展方向。

研究泥沙运动必须对泥沙进行测量，泥沙参数包括泥沙浓度（含沙量）和粒径分布（级配）。传统的泥沙测量主要依靠采样后在实验室分析，主要的分析仪器有：量尺、分析筛、粒径计、吸管、光电颗粒仪、离心沉降颗粒仪等。现场测量仪器主要用来测量浓度，如同位素测沙仪、光电测沙仪、振动式测沙仪、超声波测沙仪、压力式测沙仪等。

1.2.2.2 悬沙粒度测试技术进展

悬沙粒度测量从更广的范围看属于颗粒测量范畴。传统的方法是依靠室内分析，主要分析仪器有分析筛、粒径计及国产光电颗粒仪等。由于受各种分析方法适用粒径范围的限制，对每一个样品的颗粒分析，都需要两种或两种以上的方法组合才能完成。如近几年常用的方法是先将一个样品先过 $63\text{ }\mu\text{m}$ 的筛（用高压水头冲），其中将筛上部分烘干，进行振筛，并逐级称重；筛下部分用光电颗粒仪分析，然后对两种方法测得的结果进行全沙级配计算。其整个过程操作繁琐、费工费时、效率低、劳动强度大、自动化程度低，分析一个样品需要1 h左右，加之手工操作的人为影响大，致使资料的成果质量难以保证。更有甚者，光电仪受其原理的局限性（沉降法），对小粒子测量会产生很大误差（由于粒径小于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的粒子，多处于布朗运动状态，不再沉降），而且这一误差随着小粒子所占比例的增大，其误差成倍增加，严重影响了成果质量，是目前最突出也是最需要尽快解决的问题。

近年来颗粒测量测试技术进展很快，相对来说悬沙颗粒现场测量技术进展缓慢，但

颗粒测量先进技术正在逐步地应用于泥沙测量中。

1) 激光粒度仪在悬沙测量中的应用

激光衍射/散射技术,现在已经成为颗粒测试的主流仪器。其主要特点是测试速度快,重复性好,分辨率高,测试范围广。

激光粒度分析技术最近几年已在泥沙测量方面得到应用并生产出了专用产品。国内已有泥沙调查和研究部门采用了激光粒度仪对泥沙样品进行粒度分析。具有代表性的应用是马尔文公司生产的 MS 2000 激光粒度仪在黄河调水调沙试验中的应用,代替了传统分析方法,极大地提高了分析速度。

激光粒度仪用于现场悬沙测量,其代表性的产品是美国红杉科学公司和美国最大的海洋研究所伍兹霍尔合作研制的 LISST-100 悬浮沙粒径分布探头。

激光粒径仪的最大缺点是无法测量高浓度悬沙,而且由于存在散射模型和算法方面的问题,对于不规则的悬沙颗粒,测量结果存在与传统方法不可比的缺点。

2) 颗粒图像分析技术现状

颗粒图像分析技术是一种传统的实验室颗粒测试技术,直观、准确,但没有现场仪器。为了研制现场仪器,我国在“九五”和“十五”期间,在 863 计划支持下,解决了现场自动采样、图像拍摄过程的自动控制等技术问题,研制了“声光悬浮沙粒径谱仪”和“光学悬浮沙粒径谱仪”,获得了一项国家发明专利和两项实用新型专利。该类仪器是基于数字图像分析技术,前者测量悬沙颗粒的散斑图和声学共振曲线,通过图像分析给出现场悬沙粒径分布(适用于低浓度测量),通过声速和声衰减系数反演浓度;后者通过现场显微图像拍摄,计算机图像处理获得悬沙粒径分布和浓度。在长江口、秦皇岛、鲅鱼圈、汉口水文站等地进行了现场试验。在长江口 3 个月的现场试验,所得数据与标准分析法分析结果对比,证明原理正确,测量数据准确,是现场悬沙测量的有效手段。

1.2.2.3 悬沙浓度测试技术进展

1) γ 射线泥沙测量仪

由中国科学院、教育部水土保持与生态环境研究中心的雷廷武研究员、赵军高级工程师等人研制成功的“ γ 射线泥沙测量仪”2003 年通过了中科院西安分院组织的项目鉴定。该仪器可长期动态监测泥沙含量,测量范围 $0 \sim 800 \text{ kg/m}^3$,测量误差小于 3 kg/m^3 。2005 年度“自动在线泥沙测量仪”被科技部列入国家级重点新产品计划项目。据悉,本成果首次在国内外采用 γ 射线测量方法,发展了坡面径流泥沙含量自动测量系统;研究了不同土壤种类、采样时间长短等因素对 γ 射线测量泥沙含量的影响,并分析了 γ 射线测量泥沙含量的动态测量与静态测量的误差,提出了减少误差的方案;将坡面径流泥沙含量与径流流量的测量集成在一套系统上,完整、综合地解决了径流小区水土流失的自动化测量问题,实现了数据的计算机采集、通信、管理。解决了坡面径流量很小情况下的采样与测量难题。

2) 光学后向散射浊度计 (Optical Back Scattering, 简称 OBS)

光学后向散射浊度计是一种光学测量仪器,它通过接收红外辐射光的散射量监测悬浮沙,然后通过相关分析,建立水体浊度与泥沙浓度的相关关系,进行浊度与泥沙浓度的转化,得到泥沙含量。这种方法,操作简单,能够快速,实时,连续测量。但由于散

射光与悬沙浓度存在非线性关系,测量结果受多种因素影响,精度较低。

3) 声学仪器在悬沙观测中的应用

声学多普勒流速剖面仪(ADCP)是近十几年来发展起来的一种用于测量流速的声学仪器,同时还可以通过建立回声强度和现场取得水样的回归关系式而获得悬沙浓度数据。高建华等利用在长江口两个站位的高频观测数据,对现场取得的悬沙作粒度分析。但由于声学仪器分辨率低,且存在非线性,测量结果离散性较大。

4) 悬沙图像分析仪

上面的三类仪器,只能测量悬沙浓度,不能分析颗粒。我国研制的“光学悬浮沙粒径谱仪(悬沙图像分析仪)”即可现场测量悬沙粒径分布也可以测量悬沙浓度。其浓度适应范围比激光粒度仪可高出2个数量级,基本可涵盖长江口、黄河口悬沙浓度范围。

5) 国内外颗粒图像分析标准现状

国内外尚没有悬沙图像分析标准。悬沙测量属颗粒粒度分析的范畴。国际上该领域的标准归口国际标准化组织第24届技术委员会《筛网、筛分和其他颗粒分检方法》(ISO/24)。国内主要归口全国筛网、筛分和其他颗粒分检方法标准化技术委员会,其编号为:CSBTS/TC168。

中国颗粒学会测试专业委员会会同国家标准物质中心正在制定《粒度分析——图像分析法 第一部分:静态图像分析法》国家标准,悬沙图像分析属于动态分析,其相应的标准还未开始制定。

1.2.2.4 悬沙测试技术展望

1) 激光粒度仪

由于无法测量高浓度悬沙,而且存在散射模型和算法方面的问题,对于不规则的悬沙颗粒,测量结果存在与传统方法不可比的缺点,在现场测量应用终将受到限制,但对于低浓度情况仍不失为一种快速、实时的优选测量仪器。由于是已经成熟的技术,在未来的悬沙测量中将会得到更多的推广应用。

2) 悬沙图像分析仪

悬沙图像分析技术是一种基于显微图像分析原理的技术,利用数字显微镜拍摄颗粒图像,对图像进行分析,获得颗粒粒径分布、颗粒浓度等参数,它具有直观、准确的特点。实现现场测量的关键技术包括现场采样技术、自动控制动态照相技术以及图像的预处理和分析。我国研制的“光学悬浮沙粒径谱仪”就是此类仪器。该仪器成功地解决了上述技术难题,已成功地应用于现场测量。由于其适用于高浓度且同时测量粒径和浓度的特点,因此是一种很有前途的现场悬沙测量仪器,也是国内外颗粒测量仪器的研究方向,相信在未来的悬沙测量和动态颗粒测量中将承担重要角色。

1.2.2.5 与悬浮颗粒物有关的基本概念

根据前两节通过信息搜索和整理得到的结果可知,目前适用于现场悬浮颗粒测量的方法最有发展前景的是颗粒图像分析法和激光衍射散射法,在此结论的基础上,信息搜集就转入与悬浮颗粒及其测量有关的基本概念搜集上,包括仪器的性能指标、专门术

语、定义等。与悬浮颗粒测量有关的基本概念，经信息搜索整理，归纳如下。

(1) 频率分布 (frequency distribution)

以泥沙颗粒粒径为横坐标，以各级泥沙所占数目的百分数为纵坐标，做成的柱状图。

(2) 累积频率分布 (cumulative frequency distribution)

以泥沙颗粒粒径为横坐标，以各级泥沙颗粒所占百分数逐级累积作为纵坐标，做成的曲线。

(3) 中值粒径 D_{50} (median particle diameter D_{50})

在累积频率分布曲线上，累计分布百分数达到 50% 时所对应的粒径值。

(4) 含沙率 (suspended sediment particle concentration)

单位浑水体积内泥沙的体积百分比。

(5) 分布宽度 (distribution spread)

在频率曲线上，累计分布百分数达到 3% 时所对应的粒径值 D_3 ，减去在频率曲线上，累计分布百分数达到 97% 时所对应的粒径值 D_{97} 所得的值。

(6) 双峰分离 (peak resolution)

中值粒径 D_{50} 不同的两种颗粒，在频率分布曲线上出现刚能够分辨的双峰，所对应的两种颗粒的中值粒径 D_{50} 之差。

(7) 等面积粒径

与颗粒投影面积相等的圆的直径。

(8) 泥沙的容重

泥沙单位体积的重量，或称“单位重量”“么重”或“重率”。工程界习惯用的单位为“ t/m^3 ”，按国际标准单位应理解为密度。

泥沙的容重随其组成物质而略异，石英往往占很大成分。见表 1-1。

表 1-1 泥沙主要成分的容重

名称	容重 (t/m^3)
长石	2.5 ~ 2.8
石英	2.5 ~ 2.8
云母	2.8 ~ 3.2

黏土的容重为 $2.4 \sim 2.5 \text{ t/m}^3$ ，黄土的容重为 $2.5 \sim 2.7 \text{ t/m}^3$ ，一般泥沙常用的容重为 $2.6 \sim 2.7 \text{ t/m}^3$ 。

泥沙的干容重。一般把单位体积的沙样干燥后，泥沙的重量叫做“干容重”或称“干么重”。由于空隙存在，所以干容重小于容重（表 1-2）。

表 1-2 各种粒径泥沙的起始干容重（淤积仅一年或不足一年）

加利福尼亚区 收集资料		特赖斯克 实验室资料		汉姆勃里、柯尔倍斯 文森、台维斯收集资料		汉浚资料	
D_{90} (mm)	干容重 (kg/m^3)	粒径范围 (mm)	干容重 (kg/m^3)	中径 (mm)	干容重 (kg/m^3)	中径 (mm)	干容重 (kg/m^3)
256	2 240			1.0	1 928		
128	2 210	0.5 ~ 0.25	1 430	0.5	1 670		
64	2 120	0.25 ~ 0.125	1 430	0.25	1 430		
32	1 990	0.125 ~ 0.064	1 380	0.10	1 236		
16	1 860	0.064 ~ 0.016	1 268	0.05	1 123		
8	1 750	0.016 ~ 0.004	883	0.01	915	0.01	1 170
4	1 655	0.004 ~ 0.001	369	0.005	825	0.005	1 090
2	1 575	0.001 < 0	48.2	0.001	674	0.001 2	770
1	1 525						
0.5	1 492						
0.25	1 475						
0.125	1 475						

(9) 浸泡在水中的泥沙颗粒

一般细颗粒的黏土，在含有电介质的水中，由于化学作用（离解）的结果，表面总是带负电荷的离子。同时，离解出来的阳离子，则被吸引在颗粒周围，组成离子圈。因为水分子由一个氧原子和两个氢分子组成，所以沙粒表面又吸着水分子，构成了“水膜”。这部分水又叫“分子水”。分子水可分内外两层。内层叫“胶结水”，外层叫“胶滞水”（图 1-2）。至于水膜以外的分子水，就不再受沙粒引力的约束，可以自由活动，称为“自由水”。沙粒的表面与胶结水的相互吸力非常大，可达 10 000 个大气压。

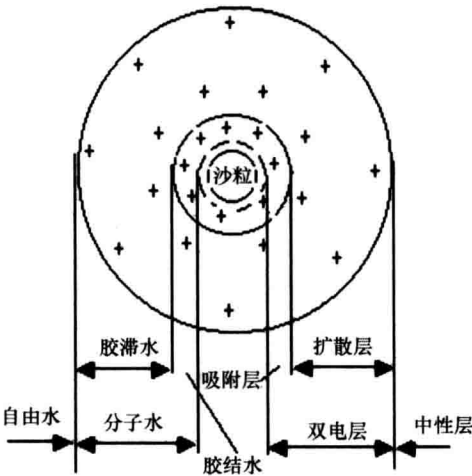


图 1-2 水中沙粒示意图