

自然科学学科发展战略研究报告之十三:水利科学

Strategic Research on Natural Science Disciplines: Water Conservancy

国家自然科学基金委员会

水利科学的研究对象

水利科学是研究如何控制和利用水的科学,它不仅以水利、水电工程为研究对象,而且还包括港口航道工程及近海海洋工程等。水利科学涉及能源、交通、农业及环境等重要基础产业。与水利科学有关的基础科学有陆地水文学、海洋水文学、地下水文学、环境水文学、气象水文学、流体力学、紊流力学、水波动力学、渗流力学、泥沙运动力学、河流海岸动力学、理论力学、材料力学、结构力学、结构动力学、弹性力学、塑性力学、土力学、岩石力学、断裂力学、爆破力学,地质学、材料学、数学、物理学、化学、机械学等等。有关的工程学科则包括闸坝工程学、水力发电工程学、航道工程学、港口工程学、海洋工程学、治河工程学、防洪工程学、农田水利学、环境水利学、水资源学、水力机械学、水利系统工程学等。但作为一个学科而言,水利科学可分为五个方面:水文学、水力学、岩土力学、水资源学、水工结构学。

1. 水文学

水文学研究地球上水的时空分布与运动规律,为水资源的开发利用与防灾服务,因此水文学又是水利科学的基础。多年来,水文学主要是在水利工程带动下发展的。当前在掌握最新科技手段(卫星观测、遥感遥控等)和形成全球性协同研究的背景上,水文学正在形成自己的科学体系。

我国的水文学研究要求解决下列基本性问题:

防洪防涝:解决洪水与风暴潮的观测与预报。

抗旱:我国华北、西北地区水资源不足,需要研究水资源评价与干旱预测。

水土保持:研究干旱地区产流、产沙的规律,作出工程措施与生物措施对水土保持效益的估计。

边远地区水电的开发:边远地区的水文工作基础薄弱,除了加强观测,还必须注意水文规律的区

域差别研究,例如西南的岩溶,西部的高原、高山的融雪径流与冰川对水文的影响;在环境科学中,要求在传统水文学研究水量的运动规律基础上,再考虑水质问题,由此形成了新兴的环境水文学科。

2. 水力学

水力学主要研究水流静止和运动的规律,及如何将其合理地用于工程实践,是水利科学的核心学科。大中型水电工程的主要特点是水头高、流量大、河床狭窄。例如正在设计规划的溪落渡电站坝高275~305米,设计洪水流量43800立方米/秒,万年一遇洪水流量达52300立方米/秒(在国际上居首位);小湾电站,坝高也在300米以上,而河床极为狭窄,泄洪流速达50米/秒以上。这些大型工程中的超高速水流、高坝通航、导流、截流等问题至今国际上还没有先进的技术可以借鉴,这是工程水力学中需要研究解决的问题。

为了解决北方缺水问题,将修建一系列的调水、引水工程,以期缓和用水矛盾,并相应地研究防止水质污染的措施;同时,为了尽可能合理地利用水资源,发展内河航运、水殖养鱼、海岸港口等,河流、海岸动力学的研究也将是重要的内容。在水资源开发利用中,我国很多工程存在泥沙问题。例如,世界闻名的黄河中下游的淤积问题就关系到广大华北平原人民生命财产的安全,黄河口延伸迅速影响到上游洪水位抬高,并且河道摆动频繁;长江河口的拦门沙阻碍航行。研究泥沙运动还与环境生态、管道输送、石油开采、防风固沙等领域有着极为密切的关系。在解决环境问题时,水力学方法是重要的措施之一。水波动力学是明渠水力学中的基础理论研究,研究海洋中的水波动理论,直接关系到海洋工程建筑物及海岸工程建筑物的经济与安全。

水利工程中所涉及到的水流现象几乎无例外地都属紊流。在高水头泄流消能中,紊动强度很大,在边界复杂的过流建筑物中,水流也多属紊流。研究紊流能较深刻地揭示水流内部结构,详尽地描述流场的特性。

3. 岩土力学

岩土力学是力学的一个分支,研究岩体与土体在荷载作用下的应力、变形和破坏的规律以及工程稳定性问题,事实上可分为两个部分,岩石力学与土力学。

岩石力学是一门很年轻的科学。岩体作为亿万年地质演变的产物,具有孔隙、空洞、裂隙、断层、软弱夹层和风化层等,是目前工程建设中遇到的复杂的介质,因此经典的数学、力学、地学,以及先进的计算技术和探测技术都致力于岩石力学,以期解决它的理论和实践问题。

人类所有工程实践活动都是在地球表层的岩石圈内进行的,各类工程建设都离不开岩石力学。通过对复杂岩体工程进行应力和破坏的分析,可了解岩体的基本力学性质和初始应力状态,为岩基加固提供科学依据。

今后在长江、黄河、珠江水系以及云南、西藏将修建大量大型水电工程(坝高可达 200~300 米),岩基的稳定性,建基面和开挖工程量的确定,岩基的加固处理,岩质边坡坝址、库岸高边坡(可达 400~500 米)的稳定分析方法和加固处理,都是需要岩石力学解决的课题。

地下工程中高边墙(50 米以上)、大跨度(40~50 米)洞室、高地应力条件下的洞室群围岩稳定和支护深埋的长大隧道、海底隧道等的研究,也都是岩石力学的重要课题。

土力学是运用数学、力学手段研究土的力学性质及土体在外界因素作用下的应力、变形和稳定性的科学。但是,由于土体的性质非常复杂,它迄今尚未能完全摆脱经验的成分,是一门正在成长的科学分支。随着电子计算机和数值计算方法的发展,近代测试技术的广泛应用,土力学的三个主要组成部分(理论土力学、计算土力学和实验土力学)在最近 10 年内都有了十分迅猛的发展。

为工程服务、与工程结合的应用土力学在解决水利工程建设实践中起到突出的作用。土石坝中心墙高度超过 300 米,面板坝达到 200 米量级,都需要解决防渗、抗震、沉陷等一系列土力学基本问题。

4. 水资源学

水资源学是一门多学科交叉的综合性很强的学科,它的学科内容、体系远没有定型,处在学科形成期。从总体上看,其主要任务是研究水资源的存在、运移和转化的基本规律,以及它的涵养、开发和管理。

20 世纪以来,由于运筹学的发展及电子计算机的问世,现代水资源学才真正具有区别于水力学、水文学、水工结构等的独立的学科内容,逐步形成了包括水资源开发与利用、水资源系统分析、农田

水利学、环境水利学等主要分支的新兴科学,它是科学综合为特征的一门交叉学科。

5. 水工结构学

水工结构学是为水利工程建设服务的,水力学、岩土力学与弹性力学、结构力学等是其理论基础,它以水工建筑物为对象,研究各种结构的新型式、新材料、结构分析理论和工程设计方法论等,是把基础科学、技术科学与工程建设联系起来的桥梁。它综合运用多学科的科学知识和技术,创造性地解决工程中的技术问题。它既应用科学研究成果,又推出新的研究成果,提出新的研究课题,促进学科发展,是最活跃的学科之一,是我国水利建设向世界纪录挑战的前沿。

以上各学科相互依存、相互支持,构成今日水利学科体系的主框架,是学科发展的战略重点。

目标、政策及重点课题

战略目标

水利学科的战略目标应当是:为了实现国家现代化,水利科学必须现代化,作到与世界水平同步;结合中国的自然资源特点,重点解决中国独具特色的关键问题,这是保证我国在某些课题达到世界领先水平的成功之路。可能的科目有:洪水预报、黄土高原的产沙模型及治理、流域的综合治理及系统分析理论、高坝泄洪消能、泥沙运动力学及河流海岸动力学、300 米级高坝设计理论、大坝原体观测、地震活动区的抗震结构、地下工程及近代沉积软土上的海工结构等。

当前我国水利学科的发展存在以下几个主要问题:

1. 在整体上尚未脱出传统、经典方法的约束,缺乏从系统的角度进行大范围、多学科的综合研究。运用新型、交叉学科的方法不够。

2. 水利学科牵涉到社会、经济各个方面。目前对软科学的研究重视不够,一些涉及面广的重大问题的研究,如能源政策、水利环境评价研究、水利经济投资政策、农田灌溉的宏观政策研究等还有待进一步提高。

3. 研究力量虽非常雄厚,但目前力量分散,缺乏集体攻关协作,忽视基础研究,技术储备少,缺乏后劲。

4. 对于新技术的应用研究还比较落后,与国外差距较大。

政策建议

促进学科研究发展的政策建议:

1. 优先发展与能源、交通和水资源开发利用有关的重大课题,如大型水电工程的建设,严重水旱灾害的防治及治理水质污染的研究。

2. 对重大课题要组织跨学科、跨领域的研究。
3. 注意原型观测,收集实测资料,充分掌握信息。提倡共享资料资源,加强测试技术研究,提高观测质量。

4. 有计划地组织一些应用基础理论研究,改变水利科学面貌。应有目的地组织一批大专院校和高水平的科研单位,进行基础理论研究。尤其要组织一些涉及长期效应的课题,为解决那些长期解决不了的问题打下有力的基础。

5. 加强国际交流,鼓励与国外机构和人员的合作研究。

重点课题

各分支学科的重点课题建议如下:

1. 水文学

水文学的战略重点应为:提高概念性模型的水平;随机性模型与确定性模型相结合,揭示随机模型的物理背景;加强对微观水文现象的理论与实验研究,必须提高水文观测技术,开发利用卫星与遥感观测的资料,重视雷达与卫星对监视洪旱灾害的作用。

建议近期研究如下课题:

(1)洪水预报模型研究,应扩展现有成果,特别是大江大河上水文学与水力学相结合的模型,岩溶地区、水网地区特殊水文预报模型,溶雪与降雨径流混合的预报模型等。

(2)流域水文模型结构与参数的研究。

(3)地下水文模型研究,包括平原地区水平衡的研究,地下水位的预报方法,土壤湿度的预报方法等。

(4)设计洪水标准的研究,加强历史洪水与古洪水的调查研究,提出符合当前水平与要求的设计标准。

(5)干旱的长期预报研究。

(6)黄土高原的产流产沙模型研究,发展有物理概念性的模型,为水土保持工作服务。

(7)在环境水文方面,研究在自然生态与人类活动影响下水质的运动变化规律,对水环境作出近期预报与宏观长期预报。

(8)在海洋水文方面,研究我国各海区波候特性,如不规则波的频谱及波群、波候的持续特性、风暴潮的机制等。

2. 水资源学

水资源的基本理论是建立在系统分析基础上。如何对水资源进行评价,开发和最优调控的各种基本规律,是研究的重点内容。其发展战略方向应包括:

(1)以流域为单元的综合治理、防治灾害、系统开发、整体管理的基本理论。

(2)以地区为单元的综合治理、开发、管理的基

本理论。

(3)建立节水型社会、保护水环境、扩大稳产高产农田工作中的基本理论课题和大面积减灾防灾措施。

(4)研究水利经济规律,实现水利经济的良性循环。要建立合理分布的长期坚持观测的试验网点,获取基本资料,建立资料库。

近期优先发展的课题包括:

(1)水资源的开发与利用包括:水资源的开发利用在整个国民经济发展中的效益和战略地位,水利经济的基本规律,发展速度预测;七大江河的发展预测及整体治理的开发部署和实施后的发展;地区和流域开发对环境的影响,水旱灾的根本原因及基本规律;解决中国水资源紧缺的基本对策等;流域管理及水资源涵养的系列措施,特别是洪水控制和提高现有工程防洪能力的工程性措施。

(2)水资源系统分析包括:水资源系统的新理论、技术(耗散理论、模糊优化决策理论、协同学、人工智能等)与应用;多目标、大维数系统的求解模型和技术,基本经济理论及其应用;工程经济评价及决策技术。

(3)农田水利学方面包括:地面水、地下水、土壤水三水转化、溶质运移、水力侵蚀和作物需水规律及水分产量函数等基础理论,节水农业机制。

(4)环境水利学方面包括:水质模型、水质规划及环境影响评价的理论和方法,大型水利工程措施对水文、水质、局部气候及生态环境影响的变化规律及调控技术,污染源在水文气象作用下在水体、土体中扩散迁移规律、自净效应及其影响,湖泊、水库富营养化规律及其防治措施等。

3. 水力学

水力学中应优先发展的课题如下:

(1)在工程水力学方面有:300米级高坝泄洪水力学关键技术问题,特殊坝型的消能防冲措施;高速水流的空化、空蚀机理,超空化现象及其利用;泄水建筑物的流激振动机理及其预测,高速水流的消能机理研究;明渠二相流的计算方法和泄洪雾化机理,高坝通航措施中的水力学问题;深尾水、水流量、低佛氏数泄洪消能。

(2)在明渠水力学方面有:明渠不恒定流的数值计算,河流上修建枢纽后对上下游的影响,冰水力学,冰运动对建筑物影响,城市防洪。

(3)在渗流力学方面有:饱和一非饱和渗流问题;孔隙和裂隙介质中溶质传输问题,非恒温和有相变条件下的渗流问题,随机渗流力学、高土石坝渗流场的研究,空间效应和防渗体开裂的关系,波浪策动下的渗流问题。

(4)河流、海岸动力学的研究包括:河床演变及河道整治,河道模拟技术,流域产沙理论,多沙河口

的淤积问题,港口淤积的机理和淤泥在风、潮、流多种因素作用下的沉积规律,枢纽泥沙运动与输移规律,泥沙运动力学,海岸演变规律及港口地区岸线的冲淤变化及其防治措施,海洋条件及有关波浪问题。

(5)在环境水力学方面有:射流理论,分层流,泥沙、温差异重流形成机理,内波及界面稳定性,分层取水的优化,海水入侵的影响及其预报模型。

(6)在水波动力学方面有:随机波、非线性波理论及其对建筑物的作用,近岸带波浪破碎及流场的分析,波浪与水流的相互作用理论及其对建筑物的影响,波浪、建筑物和海床(及地基)耦合作用的理论,非线性波及随机波的模拟技术。

(7)紊流力学方面的研究包括:大涡拟序结构,流场显示技术,采用多参数准则来检验和描述多层次拟序结构,分离流和紊流边界层,紊流模型。

4. 土力学

土力学中应优先发展下列课题:

- (1)土的本构关系,抗剪强度和固结等特性。
- (2)土工问题的数值计算方法。
- (3)概率统计及可靠度理论在土力学中的应用。
- (4)土工试验及监测技术。
- (5)土工离心模型试验技术。
- (6)高土石坝的设计理论,新坝型研究。
- (7)软土的土质改良及加固措施。
- (8)砂砾等复杂地基防渗。
- (9)土动力学等。

5. 岩石力学

岩石力学理论目前尚不成熟,而且岩体介质具有弹性、塑性、非均质性、不连续性、渗透性等等也增加了岩石力学的复杂性。本学科的发展不能脱离岩石工程实践,应提倡和鼓励跨学科研究,加强测试技术和原位监测的工作。

建议本学科中优先发展的课题如下:

(1)岩体结构及其力学性质:岩体各种结构面的成因、分布和组成,岩体中的缺陷,宏观岩体(包括结构体软弱面)的力学参数,应力—应变关系和强度理论,岩体饱水以后的力学属性变化,裂隙岩体的渗透性、可灌性,岩体流变性与长期强度,岩体加强的理论和技术。

(2)本构模型:宏观等效岩体的力学模型、断裂力学模型、损伤力学模型、流变模型、模糊的概化模型、结构面模型等。

(3)岩体渗流力学:裂隙岩体的渗流特征与规律、裂隙岩体渗流的概化模型、渗流与岩体应力的耦合分析。

(4)计算岩石力学:有限元法、发挥不同方法优势的耦合数值计算方法、施工开挖和填筑的仿真模拟计算等。

(5)原位监测与反分析,用监测资料分析等效参数,检验模型,评价工程运行现状和预报等。

(6)岩体力学的随机性与可靠度分析。

6. 水工结构学

(1)水工混凝土、新型材料及有关新结构的研究,主要是辗压混凝土、粉煤灰水泥的利用及有关材料的基本性能。以及混凝土耐久性老化机理、补强材料开发、土工织物的应用理论和利用新型材料特性的新型结构研究。

(2)水工结构的性能研究。岩土材料及水工混凝土的强度理论,宏观的(二维、三维受力条件下、长期受力状态下、瞬态受力状态下)本构关系,动力特性,微观、细观的力学性质,建筑物和地基的工作性能分析,结构工作的全过程的仿真分析。

高坝,尤其是高土石坝的动力破坏理论以及地震危险性分析、水工结构抗振措施、振动控制方法、地震作用输入的研究。

考虑波浪、建筑物和地基耦合作用的受力分析与计算方法,面板堆石坝、辗压混凝土坝的结构工作原理及设计方法,钢材与钢筋混凝土、围岩的联合作用,岩石与混凝土的界面的断裂力学分析及断裂韧度等的试验研究。原型观测研究:结构的无损检验方法及仪器,转异特性的监测和预报。建立大型程序的有效性、实用性评估技术,开发并行算法,支持优秀软件向深层次发展。

(3)决策方法研究:能充分发挥计算机潜力的决策模式、技术和理论以及结构优化设计、实现水工的水流条件、结构体型和总体布置优化。

可靠性及安全性分析:水工结构破坏机理方程,概率力学及随机有限元方法的应用,结构安全性检定原理及安全标准等。

计算机辅助设计及人工智能应用。主要是在规划、枢纽布置、工程设计及管理工作中的计算机辅助设计、专家系统的应用。

研究水工结构的风险特点、风险决策方法及反馈设计方法。

(本研究报告为摘要部分,全文将由科学出版社出版)

(责任编辑 刘先曙)