

ICS 27.140

P 59

备案号: J2310—2017

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL / T 5741 — 2016

水电水利工程截流施工技术规范

Technical specification for river closure construction
of hydroelectric and hydraulic engineering

2016-12-05 发布

2017-05-01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程截流施工技术规范

Technical specification for river closure construction
of hydroelectric and hydraulic engineering

DL/T 5741 — 2016

主编机构：中国电力企业联合会

批准部门：国家能源局

施行日期：2017年5月1日

国家能源局

公 告

2016 年 第 9 号

依据《国家能源局关于印发〈能源领域行业标准化管理办法（试行）〉及实施细则的通知》（国能局科技〔2009〕52 号）有关规定，经审查，国家能源局批准《煤层气集输设计规范》等 373 项行业标准，其中能源标准（NB）66 项、能源/石化标准（NB/SH）29 项、电力标准（DL）111 项、石油标准（SY）167 项，现予以发布。

上述标准中煤层气、生物液体燃料、电力、电器装备领域标准由中国电力出版社出版发行，煤制燃料领域标准由化学工业出版社出版发行，煤炭领域标准由煤炭工业出版社出版发行，石油天然气领域标准由石油工业出版社出版发行，石化领域标准由中国石化出版社出版发行，锅炉压力容器标准由新华出版社出版发行。

附件：行业标准目录

国家能源局

2016 年 12 月 5 日

DL/T 5741 — 2016

附件:

行 业 标 准 目 录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
...						
171	DL/T 5741— 2016	水电水利 工程截流 施工技术规范			2016-12-05	2017-05-01
...						

前 言

根据《国家能源局关于下达 2012 年第二批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2012〕326 号）的要求，制定本规范。

本规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，在广泛征求全国有关单位意见的基础上，经电力行业水电施工标准化技术委员会审查定稿后，形成本规范。

本规范的主要技术内容包括截流设计、截流准备、截流施工和监测等。

本规范由中国电力企业联合会提出。

本规范由电力行业水电施工标准化技术委员会归口。

本规范主要编写单位：国电大渡河流域水电开发有限公司、中国葛洲坝集团第一工程有限公司。

本规范参加编写单位：中国电力建设集团华东勘测设计研究院有限公司、中国水利水电第七工程局有限公司、中国水利水电第三工程局有限公司。

本规范主要起草人员：张建华 姚福海 李善平 汤用泉
涂 胜 朱 博 任金明 倪 军
李荣果 赵正平 王 伟 肖培伟
强世成 马芳平 李 鹏 成 磊
刘 钊

本规范主要审查人员：郭光文 汪 毅 梅锦煜 黄天润
沈益源 许松林 楚跃先 高 翔
陈 宏 林 鹏 孙志禹 孙来成
郑桂斌 吴义航 温彦锋 罗维成
王鹏禹 张文山 吴高见 向 建

杨成文 于永军 吴方明 徐 萍
王作通 林本华 吕芝林 魏大智
张锦堂

本规范在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	截流设计	4
3.1	一般规定	4
3.2	截流时段、标准和方式选择	4
3.3	戗堤设计	5
3.4	截流水力学计算及抛投材料选择	6
3.5	截流模型试验	6
4	截流准备	9
4.1	一般规定	9
4.2	备料和设备选择	9
4.3	水情预报	9
5	截流施工	11
5.1	一般规定	11
5.2	护底、预进占及裹头防护施工	11
5.3	合龙施工	12
5.4	戗堤加高及闭气	12
5.5	特殊情况处理	12
5.6	截流安全	13
6	监测	14
附录 A	截流水力学计算	15
附录 B	材料粒径和需要量计算	21
附录 C	截流施工机械设备配置计算	23

DL / T 5741 — 2016

本规范用词说明	25
引用标准名录	26
附：条文说明	27

Contents

1	General provisions	1
2	Terms	2
3	River closure design	4
3.1	General requirements	4
3.2	Selection of river closure period, standard and method	4
3.3	Design of closure dike	5
3.4	Hydraulics calculation and selection of dumping material	6
3.5	River closure model test	6
4	River closure preparation	9
4.1	General requirements	9
4.2	Dumping material preparation and selection of construction equipment	9
4.3	Flood prediction	9
5	River closure construction	11
5.1	General requirements	11
5.2	Bed protection, bank-off per-advancing and revetment protection construction	11
5.3	Final gap-closing construction	12
5.4	Closure dike heightening and leakage stopping	12
5.5	Special situation treatment	12
5.6	Safety of river closure	13
6	Monitoring	14
Appendix A	River closure hydraulics calculation	15
Appendix B	River closure material requirements calculation	21

Appendix C Arrangement calculation in river closure	
construction equipment.....	23
Explanations of wording in this specification.....	25
List of normative standards	26
Addition: Explanation of provisions.....	27

1 总 则

1.0.1 为规范水电水利工程截流施工，满足施工安全、技术可靠、经济合理的要求，制定本规范。

1.0.2 本规范主要适用于大中型水电水利工程。

1.0.3 工程截流应统筹规划，依据设计技术要求编制截流施工组织设计。

1.0.4 截流前，应统筹截流后的度汛方案。

1.0.5 截流资料的收集、整理、技术总结和归档应符合《水电建设项目文件收集与档案整理规范》DL/T 1396 的有关规定。

1.0.6 截流施工对环境的影响应符合《水电建设项目水土保持方案技术规范》DL/T 5419、《水电水利工程环境保护设计规范》DL/T 5402 和《水电水利工程施工环境保护技术规程》DL/T 5260 的有关规定。

1.0.7 水电水利工程截流施工除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 截流 river closure

为了修建大坝等挡水建筑物，截断水流，使其导向预定通道的工程措施。

2.0.2 立堵截流 end-dump closure

沿截流戗堤轴线方向，从河道的一岸或两岸抛投截流材料，直至全部截断水流的截流方法。

2.0.3 平堵截流 full width rising closure

沿截流戗堤轴线全线抛投截流材料，使戗堤堤身均衡上升，直至高出水面的截流方法。

2.0.4 龙口 closure gap

截流设计确定的过流口门。

2.0.5 预进占 bank-off per-advancing

在龙口形成之前进行的抛填过程。

2.0.6 截流护底 bed protection for closure

为防止截流中河床被淘刷或者为降低截流难度，预先对龙口地基进行防护等处理的措施。

2.0.7 进占 bank-off advancing

垂直到向由河岸逐步推进抛投截流材料，以拦截水流的施工过程。

2.0.8 合龙 final gap-closing

闭合戗堤龙口，最终截断水流的过程。

2.0.9 闭气 leakage stopping

合龙后，在戗堤迎水侧用级配较为连续的填筑材料封堵渗漏通道的措施。

2.0.10 截流戗堤 closure dike

截流进占过程中形成的土石堰体。

2.0.11 截流设计流量 closure design discharge

在截流设计中，依据所确定的截流时间、河流水文特性及其他因素而选定的来水流量。

2.0.12 截流最大落差 maximum drop of closure

截流过程中龙口上、下游的最大水位差值。

2.0.13 截流最大流速 maximum flow velocity of closure

截流过程中龙口断面水流的平均流速。

2.0.14 抛投强度 dumping intensity

截流过程中，单位时间内抛投截流材料的数量。

2.0.15 单宽功率 unit stream energy

截流龙口水流单位时间内的单宽能量，是反应截流难度的综合指标。

3 截 流 设 计

3.1 一 般 规 定

3.1.1 截流设计应包括截流时段、标准和方式选择，截流戗堤布置与龙口选择，截流水力学计算及施工组织设计。截流设计应对技术、经济和安全进行综合论证。

3.1.2 截流和分流建筑物设计应统筹考虑，降低截流难度。

3.1.3 截流设计应与围堰设计相结合。

3.1.4 截流戗堤轴线部位应做地形复核。水力学条件复杂时，应进行地质复核。

3.1.5 对于截流难度大、水力学条件复杂的工程，应通过截流模型试验确定水力学指标、护底方式与范围、抛投材料粒径和龙口流失量等。

3.2 截流时段、标准和方式选择

3.2.1 截流时段应根据河流的水文气象特征、施工总进度安排、截流后第一年的度汛要求以及通航等因素，经综合分析后选定。截流时段宜安排在汛后枯水时段。在严寒地区截流，应避开河道流冰及封冻期。在通航河道上截流，应减轻对航运和下游用水的影响。

3.2.2 截流流量标准应符合《水电工程施工组织设计规范》DL/T 5397 的有关规定，并兼顾工程规模和水文特点，宜在截流时段 5 年~10 年重现期的旬平均流量或月平均流量标准内选择。也可用实测系列分析方法或预报方法分析确定。

3.2.3 在截流设计中，应考虑实际截流时段变化对截流各项控制

指标的影响。

3.2.4 根据交通条件和河道的水流条件，宜选择单向或双向立堵进占的截流方式。

3.2.5 对于龙口落差大于 4m，且流量或单宽功率较大时，可选用双戗立堵进占或宽戗堤立堵进占的截流方式。在合龙期间，有水力学条件的下游围堰宜适当分担部分落差。

3.2.6 对于场地、安全、技术、经济等条件允许的工程，经方案比较，可选择平堵或平堵与立堵结合的截流方式。在特殊条件下，经技术经济论证，可选用定向爆破、建闸等截流方式。

3.3 戗堤设计

3.3.1 截流戗堤布置应根据地形地质条件、截流方案、交通条件、围堰防渗形式、主流流向、通航要求等因素经综合分析后确定，并考虑施工要求。

3.3.2 戗堤宜为围堰堰体的组成部分，戗堤轴线宜位于围堰防渗轴线的下游，并避开跌水明显的部位。

3.3.3 戗堤上、下游坡比分别不宜陡于 1:1.3 和 1:1.5。戗堤顶部纵坡不宜陡于 8%。

3.3.4 戗堤在进占过程中严禁漫顶。4、5 级围堰的截流戗堤安全超高不应小于 1.0m，3 级围堰的截流戗堤安全超高不应小于 1.5m。

3.3.5 截流戗堤顶部宽度应满足龙口设计抛投强度的场地交通、车辆回转以及施工设备停放的要求。截流施工道路设计应满足《水电工程施工组织设计规范》DL/T 5397 的规定。

3.3.6 采用双戗堤截流时，上、下游戗堤应合理分担落差，根据所分担的落差和龙口的水力学条件，确定各戗堤之间的距离和进占程序。

3.3.7 采用宽戗堤截流时，戗堤顶宽与龙口上游水头的比值宜在 3.1~5.7 范围内通过计算比较后选择。水力条件复杂的工程，宜通过水工模型试验确定。

3.3.8 龙口位置及宽度选择应符合下列要求：

1 龙口位置的选择应综合分析地形、地质、交通、水力学条件及料源等因素后确定。龙口宜选择在河床相对较高、水深较浅、覆盖层较薄或基岩裸露的部位。

2 戗堤两岸的地形应满足物料抛填及回车场地的要求。

3 根据预进占时使用材料的抗冲能力确定龙口宽度。龙口预留宽度应满足戗堤裹头稳定要求。

3.3.9 采用平堵截流时，截流戗堤的布置及栈桥或浮桥桥头两岸应满足施工场地和截流物料运输的要求。

3.4 截流水力学计算及抛投材料选择

3.4.1 截流水力学计算的内容应包括：

1 不同区段龙口的上游水位、单宽流量、单宽功率、落差和流速等水力学参数及其变化规律。

2 不同区段抛投材料的尺寸和数量。

3 分流建筑物进口不同残埂高度对截流水力学指标的影响和评价。

3.4.2 截流水力学计算可用戗堤轴线作为计算断面，按附录 A 进行计算。

3.4.3 截流抛投大粒径材料宜优先采用钢筋石笼和合金网石兜。

3.4.4 护底材料宜选用大块石、钢筋石笼、大块石串或合金网石兜。

3.4.5 龙口宜划分成 3 个~4 个施工区段，可按附录 B 计算抛投材料的粒径和需要量。边界条件复杂的情况下，应通过模型试验验证。

3.5 截流模型试验

3.5.1 截流模型比例尺可综合考虑试验任务要求、工程规模、河道特性、截流流量、分流建筑物糙率、水下障碍物、覆盖层特点、

抛投材料粒径等因素，在 1:60~1:100 范围内选择。

3.5.2 截流模型试验应满足：截流抛投材料的表观密度、级配相似；截流过程中的平均抛投强度相似；抛投进占方式和抛投材料物的入水运动方式相似。

3.5.3 截流模型试验主要应包括下列内容：

1 截流戗堤轴线位置、龙口位置及龙口宽度、水下障碍物对分流的影响等。

2 截流分流条件、分流建筑物上游水位、流量关系及水流流态。

3 戗堤预进占程序、抛投材料分区、裹头形式、水流对堤头的冲刷情况及抛投强度。

4 戗堤上游和下游水位。

5 龙口水力要素。

6 抛投材料稳定与流失情况。

7 河床覆盖层的冲刷情况。

8 护底情况。

9 水流对裹头的冲刷和裹头的稳定情况。

10 戗堤堤头坍塌、跟踪截流等专项试验。

11 对于平堵截流模型试验，还应应对龙口水流流态进行观测。

3.5.4 截流模型试验应提交下列成果：

1 论述、评价分流建筑物的分流能力。

2 提出抛投进占方式和抛投强度。

3 推荐戗堤轴线位置。

4 分析预进占过程，推荐龙口位置、龙口宽度。

5 分析不同截流方式和截流过程龙口水力参数的变化规律，提出截流最困难区段和应采取的工程措施。

6 提出戗堤分区备料的抛投材料类型、粒径、数量。

7 研究龙口护底的必要性及方案，提出护底范围及厚度。

8 总结戗堤边坡坍塌规律。

9 对双戽堤（或多戽堤）立堵截流整体模型试验，还需论证戽堤间距的合理性以及戽堤之间的协调进占程序。

10 对截流局部模型试验，应提出不同抛投材料粒径与抗冲流速的关系。

4 截流准备

4.1 一般规定

4.1.1 截流前，应根据截流要求检查施工布置、备料、设备、道路、资源、分流建筑物、淹没范围、工程度汛等重点环节。

4.1.2 截流前，应对分流建筑物进行水下地形复测，评估其过流能力。

4.1.3 截流前，应成立现场截流施工组织机构。

4.2 备料和设备选择

4.2.1 截流备料应按设计要求进行。截流备料包括钢筋石笼、大块石串、大块石、混凝土多面体、合金网石兜、石渣料和闭气材料等。

4.2.2 备料系数宜按模型试验成果选取，并考虑适当的安全储备。未做模型试验的工程，应结合工程特点在 1.3~1.5 范围内选择。

4.2.3 截流材料应分区集中堆放布置，并做必要的标记。截流堆放料场应做必要的防护处理。

4.2.4 截流材料应充分利用工程开挖料。

4.2.5 截流使用的自卸汽车、装载机、起重机、推土机等选型宜与主体建筑物施工机械设备选型相结合，其需要量可按附录 C 进行计算。

4.3 水情预报

4.3.1 截流前，应掌握上游的水库、水电站和水文站分布情况及相关资料，并结合主体工程建立水情预报信息系统。

4.3.2 截流期间应加强水情和雨情观测，及时进行水情预报。水情预报应满足《水文情报预报规范》GB/T 22482 的规定。

4.3.3 当截流期间的流量主要由上游水电站的运行情况控制时，应和上游水电站建立畅通的信息联系渠道，并建立截流期间的水情信息发布系统。

5 截流施工

5.1 一般规定

5.1.1 在合龙施工前，宜组织合龙施工演练。

5.1.2 截流施工应提前通报地方政府及相关部门，并对截流涉及的施工区域及时发布通告。

5.1.3 截流过程中，应根据实测的龙口水力学指标及时调整龙口抛投物料分区范围、种类、粒径和抛投强度等。

5.2 护底、预进占及裹头防护施工

5.2.1 护底应在预进占结束前完成，并在护底结束后进行水下地形测量。

5.2.2 有通航条件的工程，护底施工应通过驳船运输抛投完成。无通航条件的工程，护底施工应通过垂直吊运方式完成。

5.2.3 预进占应根据水文条件，综合考虑覆盖层冲刷、钱堤抛投材料流失量、航运等因素。

5.2.4 预进占宜用自卸汽车后退卸料、推土机配合的抛填方式。在预进占过程中，宜优先抛投钱堤上游端头位置。

5.2.5 应及时对预进占区的钱堤顶部进行平整和碾压，并加强观测，对塌陷区及时处理后设置警示标志。

5.2.6 裹头施工应在抛投结束后及时进行。裹头的坡比经修整后不宜陡于 1:1.3。宜先施工上游端头部位。裹头防护材料宜选用大块石、钢筋石笼串或大块石串。

5.3 合 龙 施 工

- 5.3.1 合龙施工应高强度抛投，并一次性完成合龙。
- 5.3.2 龙口进占宜选用多台车辆同时立堵进占。
- 5.3.3 龙口进占时，应采用上游挑角法或上、下挑角法抛投进占。抛投方向宜与戗堤轴线偏上游呈一定夹角。
- 5.3.4 龙口抛投时，视水流情况，宜采用钢筋石笼、大块石串、大块石、混凝土多面体或合金网石兜等材料。龙口进占困难时，应适当调整抛投材料的粒径和抛投强度。
- 5.3.5 对于场地条件允许的工程，经论证分析，可采用提前堆筑钢筋石笼，爆破基础平台的方法完成合龙。

5.4 戗堤加高及闭气

- 5.4.1 合龙后，应及时将龙口段的戗堤加高到设计高程。
- 5.4.2 闭气材料的抛投应遵循先粗后细的原则。闭气材料可选择石渣料、砂砾石料、风化沙或土料。
- 5.4.3 闭气料抛填完成后，有严重渗漏通道的部位，应立即采取堵漏措施。

5.5 特 殊 情 况 处 理

- 5.5.1 对于龙口抛投材料大量流失、裹头被冲毁、戗堤坍塌、供料中断、截流流量超标等情况，应提前编制预案。
- 5.5.2 龙口抛投材料大量流失时，应分析原因，并采取加大抛投强度、调整抛投材料粒径等相应措施。
- 5.5.3 裹头有被冲毁迹象时，应及时采取加强裹头防护等措施。
- 5.5.4 戗堤发生坍塌时，应在分析原因后，加强观测，及时修复坍塌区。
- 5.5.5 发现供料出现问题时，应对已施工的戗堤进行防护，并加紧供料。

5.5.6 截流流量超标时，应停止进占，加高戗堤，复核截流方案。

5.6 截 流 安 全

5.6.1 截流过程中的抛填材料开采、加工、堆放和运输等土建作业安全应符合《水利水电工程劳动安全与工业卫生设计规范》GB 50706、《水电水利工程施工通用安全技术规程》DL/T 5370、《水电水利工程土建施工安全技术规程》DL/T 5371、《水电水利工程金属结构与机电设备安装安全技术规程》DL/T 5372 的有关规定。施工作业人员安全应符合《水电水利工程施工作业人员安全技术操作规程》DL/T 5373 的有关规定。

5.6.2 在截流施工现场，应划出重点安全区域，并设专人警戒。

5.6.3 截流期间，应对工作区域内进行交通管制。

5.6.4 施工车辆与戗堤边缘的安全距离不应小于 2.0m。

5.6.5 施工车辆应进行编号。现场施工作业人员应佩戴安全标识，并穿戴救生衣。

6 监 测

6.0.1 截流施工期，应观测来水流量，上、下游水位，分流建筑物的流量，龙口流速等项目。

6.0.2 截流前，应明确监测内容和相应分工，对监测人员进行培训，并配备必要的器具。

6.0.3 当截流期间的流量主要由上游水电站的运行情况控制时，应保持和上游水电站通信联系，并及时掌握上游水电站的下泄流量。

6.0.4 上、下游水位监测点应设在水流相对平稳的位置，并设专人维护。

6.0.5 截流期间，应在龙口上游适当位置设置水位观测点。

6.0.6 应及时对截流戗堤进占情况进行观测。

附录 A 截流水力学计算

A.1 截流来流量的分配

A.1.1 截流来流量由龙口泄流量、分流建筑物泄流量、上游河槽调蓄流量及截流戗堤渗流量四部分组成，见式 (A.1.1)：

$$Q = Q_g + Q_d + Q_t + Q_s \quad (\text{A.1.1})$$

式中： Q ——截流来流量 (m^3/s)；

Q_g ——龙口泄流量 (m^3/s)；

Q_d ——分流建筑物泄流量 (m^3/s)；

Q_t ——上游河槽调蓄流量 (m^3/s)；

Q_s ——截流戗堤渗流量 (m^3/s)。

在截流设计水力学计算时，对于截流期间壅水较低的情况，上游河槽调蓄流量可忽略不计；对于河床狭窄、戗堤较短的情况，截流戗堤渗流量可作为安全裕度，不计入。

A.2 立堵截流水力学计算

A.2.1 截流戗堤非龙口段束窄河床进占的上、下游落差可按式 (A.2.1) 计算：

$$Z = \frac{1}{\phi^2} \frac{v^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} \quad (\text{A.2.1})$$

其中：

$$v = \frac{Q}{\omega_e}$$

$$v_0 = \frac{Q}{\omega_0}$$

$$\omega_c = h_p (B_p - Sh_p)$$

式中： Z ——钱堤上、下游落差（m）；

φ ——流速系数，在未取得试验数据前取 0.85~0.90；

v ——束窄断面平均流速（m/s）；

v_0 ——天然河床断面平均流速（m/s）；

g ——重力加速度（m/s²）；

ω_0 ——天然河床断面面积（m²）；

ω_c ——束窄河床断面面积（m²）；

h_p ——束窄断面平均水深，自下游水位算起（m）；

B_p ——束窄断面水面宽（m）；

S ——钱堤轴线方向的边坡坡度，取 1.3~1.5。

A.2.2 截流钱堤龙口段进占水力学计算：

A.2.2.1 泄流建筑物的泄水曲线计算，可按截流设计流量相应的下游水深，得出上游水深 H 与泄流量 Q_d 的关系曲线。

A.2.2.2 不同龙口宽度的上游水深 h_u 与龙口泄流量 Q_g 的关系曲线可由式（A.2.2.2-1）得出：

$$Q_g = \sigma_n m B_{cp} \sqrt{2g} h_u^{3/2} \quad (\text{A.2.2.2-1})$$

式中： σ_n ——淹没系数，其值与淹没界限有关：当龙口呈梯形过水断面，且 $h_d/h_u \geq 0.7$ 时，为淹没流， h_d 为龙口下游水深（m）， σ_n 查巴甫洛夫淹没系数表；当龙口呈三角形过水断面，且 $h_d/h_u \geq 0.8$ 时，为淹没流， σ_n 查别列津斯基淹没系数表；对于非淹没流， $\sigma_n = 1.0$ ；

m ——考虑收缩影响在内的流量系数，一般取 0.30（三角形）~0.32（梯形）；

B_{cp} ——龙口平均水面宽度（m），淹没流 $B_{cp} = Sh_d + b$ ，非淹没流 $B_{cp} = Sh_k + b$ ，其中 b 为龙口底部宽度（m），

h_d 为龙口下游水深 (m);

h_u ——龙口上游水深, m。

当口门为梯形过水断面时, 临界水深 h_k 可按式 (A.2.2.2-2) 计算:

$$\frac{Q_g^2}{g} = \frac{W_k^3}{B_k} \quad (\text{A.2.2.2-2})$$

式中: B_k ——临界水深 h_k 时相应的口门过水断面宽度 (m);

W_k ——临界水深 h_k 时相应的口门过水断面面积 (m^2)。

当口门为三角形过水断面时, 临界水深 h_k 可按式 (A.2.2.2-3) 计算:

$$h_k = \left(\frac{2Q_g^2}{gS^2} \right)^{1/5} \quad (\text{A.2.2.2-3})$$

A.2.2.3 截流戗堤龙口段各项水力指标可按下列公式计算:

$$q = \frac{Q_g}{B_{cp}} \quad (\text{A.2.2.3-1})$$

$$v = \frac{q}{h_p} \quad (\text{A.2.2.3-2})$$

$$Z = h_u - h_p \quad (\text{A.2.2.3-3})$$

$$P = q\rho Z \quad (\text{A.2.2.3-4})$$

式中: h_p ——龙口水深 (m), 淹没流 $h_p = h_n$, 非淹没流 $h_p = h_k$;

q ——龙口平均单宽流量 [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$];

v ——龙口平均流速 (m/s);

Z ——龙口落差 (m);

P ——龙口水流单位功率 ($\text{t} \cdot \text{m/s} \cdot \text{m}$);

ρ ——水的密度 (t/m^3)。

A.2.2.4 根据以上计算成果, 可绘制 $q=f(B)$ 、 $v=f(B)$ 、 $Z=f(B)$ 、 $P=f(B)$ 水力特性曲线。

A.2.3 双钱立堵截流水力学计算:

A.2.3.1 对于上钱龙口下泄水流已经扩散完毕或接近扩散完毕才遇到下钱的约束,两个龙口的泄流能力和落差均可用单钱立堵计算。

A.2.3.2 对于上钱龙口下泄水流未充分扩散就流过下钱龙口的情况,龙口泄流能力仍可用单钱立堵计算,但应计入行近流速水头的影响,行近流速水头可按式(A.2.3.2)计算:

$$v_{02} = \frac{Q_g}{B_{02}(h_s + Z_2)} \quad (\text{A.2.3.2})$$

其中: $B_{02} = B_s - B_x$

式中: v_{02} ——行近流速 (m/s);

B_s ——河道宽度 (m);

B_x ——下游龙口计及流速水头处水面宽度,其值取决于回流边线形状。

A.3 平堵截流水力学计算

A.3.1 截流钱堤非龙口段束窄河床进占水力学计算可按式(A.2.1)计算。

A.3.2 截流钱堤龙口段进占水力学计算。

A.3.2.1 分流建筑物泄水曲线计算,可按截流设计流量相应的下游水位,求出上游水位(∇_u)与分流建筑物泄流量(Q_d)的关系。

A.3.2.2 龙口不同抛投高程泄水曲线计算,可按式(A.3.2.2)计算:

$$Q_g = \sigma_n m B_{cp} \sqrt{2gh_u^{3/2}} \quad (\text{A.3.2.2})$$

其中: $B_{cp} = Sh_u / 2 + b$

$$h_u = \nabla_u - \nabla H$$

$$h_d = \nabla_d - \nabla H$$

式中: σ_n ——淹没系数;

m ——流量系数;

B_{cp} ——龙口平均水面宽度 (m);

S ——戗堤轴线方向的边坡坡度, 取 1.5;

V_u ——龙口上游水位 (m);

b ——龙口底部宽度 (m);

h_u ——龙口抛投体顶部上游水深 (m);

V_d ——截流设计流量相应的下游水位 (m);

h_d ——龙口抛投体顶部下游水深 (m);

∇H ——龙口抛投体顶部高程 (m)。

m 和 σ_n 均随 $\frac{h_d}{h_u}$ 而变, 可查伊兹巴什试验曲线。龙口流态的

判别式: $\frac{h_d}{h_u} > 0.5$ 为淹没流; $\frac{h_d}{h_u} < 0.5$ 为自由流; $\frac{h_d}{h_u} = 0.5$ 为临界流。

A.3.3 龙口不同抛投高程的抛投水力指标计算:

A.3.3.1 根据截流设计流量, 在分流建筑物和龙口不同抛投高程联合泄水曲线上, 可查得龙口某抛投高程的上游水位 V_u 和龙口泄流量 Q_g 。

A.3.3.2 龙口不同抛投高程的单宽流量可按式 (A.3.3.2) 计算:

$$q = \frac{Q_g}{B_{cp}} \quad (\text{A.3.3.2})$$

式中: Q_g ——龙口某一抛投高程的分泄流量 (m^3/s);

B_{cp} ——龙口某一抛投高程的平均水面宽度 (m)。

A.3.3.3 龙口不同抛投高程的平均流速可按式 (A.3.3.3-1)、式 (A.3.3.3-2) 计算:

$$\text{淹没流:} \quad v = \varphi \sqrt{2gZ} \quad (\text{A.3.3.3-1})$$

$$\text{其中:} \quad Z = V_u - V_d$$

式中: φ ——流速系数, 块石 $\varphi = 0.9 \sim 0.92$, 混凝土四面体 $\varphi = 0.7 \sim 0.8$;

Z ——龙口某一抛投高程的上、下游水位差 (m)。

自由流:
$$\bar{v} = \frac{q}{h_k} \quad (\text{A.3.3.3-2})$$

其中:
$$h_k = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

式中: q ——龙口某一抛投高程的单宽流量;

h_k ——临界水深 (m)。

A.3.3.4 龙口抛投过程中的最大平均流速可按式 (A.3.3.4) 计算:

$$v_{\max} = \varphi \sqrt{2g \frac{Z_{\max}}{2}} \quad (\text{A.3.3.4})$$

A.3.3.5 龙口不同抛投高程的单宽功率可按式 (A.3.3.5) 计算:

$$P = kq\rho Z \quad (\text{A.3.3.5})$$

式中: k ——抛投不均匀系数, 采用 $k=2$;

q ——龙口某一抛投高程的单宽流量 [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$];

ρ ——水的密度 (t/m^3);

Z ——龙口某一抛投高程的上、下游水位差 (m)。

A.3.3.6 由以上计算成果, 绘制 $q=f(\nabla H)$ 、 $v=f(\nabla H)$ 、 $Z=f(\nabla H)$ 水力特性曲线。

附录 B 材料粒径和需要量计算

B.1 粒径计算

B.1.1 立堵截流抛投体质量可按式 (B.1.1-1) 和式 (B.1.1-2) 计算:

$$d = \left(\frac{v_{\max}}{k \sqrt{2g \frac{\rho_m - \rho}{\rho}}} \right)^2 \quad (\text{B.1.1-1})$$

$$W = \frac{\pi}{6} d^3 \rho_m \quad (\text{B.1.1-2})$$

式中: d ——抛投体粒径, 折算成圆球体的直径 (m);

v_{\max} ——龙口平均流速 (m/s);

k ——综合稳定系数, 见表 B.1.1-1 和表 B.1.1-2;

g ——重力加速度 (m/s^2);

ρ_m ——抛投体的密度 (t/m^3);

ρ ——水的密度 (t/m^3);

W ——立堵截流抛投体质量 (t)。

表 B.1.1-1 立堵截流综合稳定系数 k 值

抛投体 \ 稳定条件	动水抛投进占 (止动条件)	裹头抗冲稳定校核 (起动条件)
大块石、钢筋笼	0.9 (河床龙口糙率 $n \leq 0.03$) 1.1 (河床龙口糙率 $n \geq 0.035$)	1.02
混凝土立方体	0.57~0.59 (河床龙口糙率 $n \leq 0.03$) 0.76~0.8 (河床龙口糙率 $n \geq 0.035$)	1.08
混凝土四面体	0.50~0.53 (河床龙口糙率 $n \leq 0.03$) 0.68~0.72 (河床龙口糙率 $n \geq 0.035$)	

注: 对于抛石护底, k 取 0.9 (河床光滑) 和 1.2 (河床粗糙); 对于混合渣料, k 取 0.93。

表 B.1.1-2 平堵截流综合稳定系数 k 值

稳定条件 抛投体	动水抛投进占 (止动条件)	裹头抗冲稳定校核 (起动条件)
块石、钢筋笼	0.86	1.20
混凝土四方体	0.5	1.3
混凝土四面体	0.57	1.38

B.2 各种材料抛投量计算

B.2.1 龙口段进占抛投材料数量按设计的戗堤断面计算，可按进占过程中抛投材料的 20% 计入流失量。

B.2.2 龙口段进占过程中，戗堤断面范围内未护底河床覆盖层应按冲刷深度计入抛投量。

B.2.3 龙口段应按每一区的最大流速计算抛投块石尺寸，其中截流块石料的级配，按 $k=0.9$ 算出的块石直径占 20%，按 $k=1.2$ 算出的块石直径占 60%，其他粒径占 20%。

B.2.4 龙口段流速较大的区段，应考虑采用钢筋铅丝笼、大块石等材料抛填。钢筋铅丝笼、大块石的数量可按该区段抛投量的 40% 计。

附录 C 截流施工机械设备配置计算

C.1 截流抛投强度计算

C.1.1 龙口段抛投强度应按式 (C.1.1) 计算:

$$R = \frac{V}{T} \quad (\text{C.1.1})$$

式中: R ——抛投小时强度 (m^3/h);

V ——龙口抛投总工程量 (m^3);

T ——设计完成龙口抛投工程量的时间 (h)。

C.1.2 龙口段小时最大抛投强度应按式 (C.1.2) 计算:

$$R_{\max} = KR \quad (\text{C.1.2})$$

式中: K ——抛投不均匀系数, 取 1.2~1.5, 工程规模较大时取小值。

C.2 龙口段所需施工机械数量计算

C.2.1 施工机械小时产量应按式 (C.2.1) 计算:

$$W = K_B \frac{60}{t} \omega \quad (\text{C.2.1})$$

式中: W ——施工机械小时产量 (m^3/h);

K_B ——时间利用系数, 一般取 80%;

ω ——机械装载量, 挖掘机及装载机对应斗容, 自卸汽车对应车厢容量 (m^3);

t ——施工机械运转一个循环所需的时间 (min)。

C.2.2 施工机械数量计算应按式 (C.2.2) 计算:

$$n = \frac{R}{W} K_1 \quad (\text{C.2.2})$$

式中： n ——机械配置数量（台）；

K_1 ——机械备用量，取 1.0~1.3，龙口段取大值。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《水利水电工程劳动安全与工业卫生设计规范》GB 50706
《水文情报预报规范》GB/T 22482
《碾压式土石坝施工规范》DL/T 5129
《水电水利工程施工安全防护设施技术规范》DL 5162
《水电枢纽工程等级划分及设计安全标准》DL 5180
《水电水利工程施工环境保护技术规程》DL/T 5260
《水电水利工程施工安全监测技术规范》DL/T 5308
《水电水利工程施工导截流模型试验规程》DL/T 5361
《水电水利工程施工通用安全技术规程》DL/T 5370
《水电水利工程土建施工安全技术规程》DL/T 5371
《水电水利工程金属结构与机电设备安装安全技术规程》
DL/T 5372
《水电水利工程施工作业人员安全技术操作规程》DL/T 5373
《水电工程施工组织设计规范》DL/T 5397
《水电水利工程环境保护设计规范》DL/T 5402
《水电建设项目水土保持方案技术规范》DL/T 5419
《水电建设项目文件收集与档案整理规范》DL/T 1396

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程截流施工技术规范

DL / T 5741 — 2016

条 文 说 明

目 次

1	总则	29
3	截流设计	31
3.1	一般规定	31
3.2	截流时段、标准和方式选择	32
3.3	戗堤设计	47
3.4	截流水力学计算及抛投材料选择	49
3.5	截流模型试验	51
4	截流准备	53
4.1	一般规定	53
4.2	备料和设备选择	53
4.3	水情预报	54
5	截流施工	55
5.1	一般规定	55
5.2	护底、预进占及裹头防护施工	55
5.3	合龙施工	56
5.4	戗堤加高及闭气	56
5.5	特殊情况处理	57
5.6	截流安全	57
6	监测	58

1 总 则

1.0.1 自改革开放以来,我国水电水利工程建设取得了巨大成就。截流技术作为水电水利工程建设的一个重要分支,也取得了长足进展,特别是通过长江、金沙江、雅砻江、澜沧江、大渡河、黄河上游、乌江等大型水电工程的实践,总结出了一整套十分成熟的截流设计、施工和管理经验。葛洲坝、三峡等工程的截流技术还获得了国家科技进步奖和省部级科技进步奖。特别是通过三峡工程的截流实践,截流设计流量已突破 $10000\text{m}^3/\text{s}$,龙口水深突破 60m ,抛石强度突破 $19.4\text{万 m}^3/\text{d}$ 。三峡导流明渠截流还升华了对双戽立堵截流的认识。目前,在截流流量和抛投材料选择、现场施工组织与管理等方面均有了一些新的认识。与此同时,个别工程的截流仍存在安全和质量隐患多、备料材料浪费较大、现场组织不规范等问题。因此,通过新编本规范总结以往的截流经验,对今后的截流设计和施工作出具体规定是一项十分有意义的工作。

1.0.2 本条指明本规范适用的范围,明确了本规范所适用的工程类型为大、中型水电水利工程。小型水电水利工程、大型抽水蓄能电站建设,其截流问题相对简单,相关内容可参照本规范执行。

1.0.3 截流是水电工程建设中的重要里程碑之一,它标志着工程建设从施工准备阶段进入到主体工程施工阶段。因此,在布置导流隧洞或导流明渠时,应考虑进口高程选择对截流难度的影响。在安排施工进度计划时,应对截流时间做出统筹规划。在编写施工组织设计时,应提出可行、经济合理的截流方案。

1.0.4 截流验收是工程建设期重要的阶段验收之一,包括围堰设计水位以下移民安置专项验收、导流泄水建筑物过流前验收、截

流后度汛方案评审和档案验收等。其中，截流后第一年的度汛方案对截流时间影响较大。当采用高围堰挡水度汛（如三峡、龙滩、二滩等）时，截流时间应安排在前一年的汛末。当采用低围堰挡水或采用过水围堰方案时，则截流时间可安排在当年汛前合适的时机。

1.0.5 大型水电工程的截流过程十分复杂，截流实施结果与原计划可能存在一定的差距。通过全面的对比总结可以升华认识，对今后的截流起到借鉴和指导作用。

1.0.7 与截流相关的规程规范详见正文附录后所列的引用标准名录。

3 截流设计

3.1 一般规定

3.1.1 以往的相关规范对截流设计规定的内容较少，本规范增补了这方面的一些具体规定，包括时段、标准和方式选择等。在研究截流方案时，除了比较技术特性外，还应对安全性和经济性进行深入分析。

3.1.2 根据部分工程实施经验，导流分流建筑物的进口围堰或预留岩坎受特殊施工条件的影响，往往不易被彻底拆除，如 2005 年和 2007 年，在大渡河上有两座工程截流前通过实测发现，导流隧洞进口围堰残埂的水下高度分别有 3m 和 5m，在截流设计时考虑了岩埂对截流落差的影响。在截流期间，分流建筑物的进口高程对截流的影响也较大，如四川某河床式水电站，分流建筑物的进口高程比截流龙口河床高出 12m，给截流造成了很大的难度。因此，在枢纽布置时，应统筹考虑导流泄水建筑物的进口高程。

3.1.3 工程统计资料表明，绝大部分的截流戗堤和上游围堰结合布置，并且布置在围堰防渗中心线的下游侧，二者的施工道路也应结合考虑。

3.1.4 对截流戗堤轴线部位进行水下地形复核，是为了提高截流设计的准确性。水力条件复杂（龙口落差大于 4m，且流量或单宽功率较大等情况）的工程，进行地质复核的目的是为了掌握龙口基础部位的抗冲刷能力。

3.1.5 截流的水力学边界条件较复杂，理论计算结果与现场实施情况存在一定的差别。因此，对于大型工程截流，当龙口最大落差大于 4m 且流量或单宽功率较大时，宜结合水力学模型试验确定截流

水力学指标、抛投材料粒径、护底方式与范围、龙口流失量等参数。

3.1.6 据统计,在我国已完成的截流工程中,只有极个别工程出现了实际来流量大于设计流量的情况。为保证截流安全,在备料、设备选择、戗堤高程选择时,可在截流前提出相应的预案作为应急措施。

3.2 截流时段、标准和方式选择

3.2.1 近年来的工程实践表明,在正常情况下,截流应安排在汛后 1 个~2 个月内完成。当导流泄水建筑物的进度滞后,且来年围堰挡水度汛的压力较小时,截流时间也可安排在来年汛前 2 个~3 个月内完成。对于上游有大型水库控制的工程,在围堰高度较低的情况下,经论证分析,截流时间也可安排在汛初完成(如白龙江紫兰坝工程等)。在严寒地区截流,避开流冰期的目的是避免形成冰层淤塞。在通航河道上截流,减轻对航运、下游用水的工程措施有:

- 1 采用明渠通航方案。
- 2 多戗堤快速进展并分担落差。
- 3 选用粒径相对较大的抛投材料,减少流失率等。

3.2.2 对于天然来流情况下的截流,选择截流设计流量的方法有频率法、统计分析法和预报法。在梯级河流上截流时,对于上游有水库控制的情况,合龙设计流量可取上游水电站的控泄流量与区间 5 年~10 年一遇的旬平均流量之和。以黄河公伯峡水电站为例,由于上游有龙羊峡和李家峡水库调节,2003 年 3 月中旬截流期间的流量按下列要求控制:初期进占流量取 $360\text{m}^3/\text{s}$ (李家峡一台机组发电),合龙流量取 $10\text{m}^3/\text{s}$ (李家峡水电站关机,仅考虑少量的河槽渗流量),戗堤闭气后的挡水流量取 $720\text{m}^3/\text{s}$ 。葛洲坝大江截流流量选择用的是统计分析法,三峡工程截流则选用频率法,而所在的流域开发程度比较高的工程,选用预报法的较多。在选择截流流量时,应综合考虑水文特点后提出,并在施工设计阶段

对原设计流量进行复核。

3.2.3 截流设计流量确定后，有的工程因为施工进度或水库移民验收滞后而推后了截流时间，也有的工程因为前期进展比较顺利，为争取下一步建设主动而适当提前截流。因此，截流设计应针对上述情况做好预案。

3.2.4 截流方法主要有戗堤法、瞬时法和无戗堤法。其中，戗堤法是最常用的方法。近 30 年来，随着大型施工机械水平的提高，平堵截流已很少采用，立堵进占是主要的截流方式。在地形和交通条件允许时，宜选用双向立堵进占，否则采用单向立堵进占。国内部分水电工程的截流统计情况详见表 3-1。

3.2.5 工程实践证明，对于合龙流量大，且龙口落差大于 4 m 的工程，其截流难度相对较大，采用双戗堤或宽戗堤立堵进占可有效降低截流难度。双戗堤截流通过分担落差降低难度，宽戗堤截流通过增加龙口水流的沿程摩阻损失来降低龙口流速。武汉大学肖焕雄课题组经对国内 18 个双戗截流的实例分析后认为，双戗效果确实比单戗效果好的仅占三分之一。其主要原因是上下两个戗堤的合理间距、相互进占配合、下戗堤壅水到上戗堤的时间控制等没有解决好。目前，水力坡降相对平缓、采用明渠导流的河床式水电站选用双戗立堵截流的实例较多。而水力坡降相对较陡、采用隧洞导流的高坝工程采用宽戗堤截流的实例较多。以 2007 年 11 月上旬完成截流的金沙江溪洛渡工程为例，合龙期间最大来流量 $3560\text{m}^3/\text{s}$ ，龙口最大流速 9.5m/s ，龙口最大落差 4.5m ，采用 30m 宽的戗堤完成合龙。2005 年 12 月，金沙江金安桥水电站采用宽戗单向立堵截流取得成功，截流流量 $829\text{m}^3/\text{s}$ ，最大落差 4.72m ，戗堤顶宽 60m 。金沙江阿海水电站采用宽戗单向立堵完成截流，合龙流量 $650\text{m}^3/\text{s}$ ，最大落差 8m ，戗堤顶宽 60m 。金沙江鲁地拉水电站采用宽戗单向立堵进占，截流流量 $590\text{m}^3/\text{s}$ ，最大落差 6.2m ，戗堤顶宽 30m 。一般情况下戗堤宽度大于 30m 称宽戗。部分工程的截流戗堤布置统计情况见表 3-1。

表 3-1 国内部分水电工程的截流统计情况

序号	工程名称	河流	截流年月	截流流量 (m^3/s)		截流方法 与特点	龙口 宽度 (m)	最大 落差 (m)	最大 流速 (m/s)	主戕 堤顶 宽 (m)	截流 历时 (h)	抛投 强度 (m^3/d) (m^3/h)	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般 材料	合龙用 特殊材料	运输 机械	其他机械
1	三门峡	黄河	1958.11	1000	2030	单戕 一岸 立堵	56	2.97	6.75	25	133	>7000 (294)	粒径为 0.1m~ 1.0m 的 石渣	3t~5t 大块 石、15t 混凝 土四面体、 铅丝石笼	12.5t~ 25t 自 卸汽车	推土机、 起重机、 挖掘机
2	盐锅峡	黄河	1959.4	—	—	单戕 一岸 立堵	55	4.43	5.2	10	36	(190)	石渣	3t~5t 大块 石、15t 混凝 土四面体	10t~ 25t 自 卸汽车 23 辆	5t~15t 起重 机 5 台、D80 推土机 3 台
3	丹江口	汉江		640	310	立堵		2.84	6.88				石渣	15t 混凝土 四面体		
4	刘家峡	黄河			210	立堵		5.97	5.0				石渣			
5	青铜峡	黄河			325	立堵	40	1.49	4.65				石渣			

续表 3-1

序号	工程名称	河流	截流年月	截流流量 (m ³ /s)		截流方法与特点	龙口宽度 (m)	最大落差 (m)	最大流速 (m/s)	主钱堤顶宽 (m)	截流历时 (h)	抛投强度 (m ³ /d) (m ³ /h)	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般材料	合龙用特殊材料	运输机械	其他机械
6	西津	郁江		1300	594	立堵		1.75	4.70				石渣			
7	龚嘴	大渡河			448	立堵		4.0	7.0			(287)	石渣	9t~15t 混凝土四面体		
8	天桥	黄河			690	立堵		3.10	6.0			(3000)	石渣	6t 混凝土四面体		
9	白山	二松花江		440~260	126	立堵		1.48	4.80			(5270)	石渣			
10	龙羊峡	黄河	1979.12	800	170	单钱立堵	40	1.4	3.0	8~10	4	(800)	石渣	大石、钢筋石笼、四面体	10t~25t 自卸汽车 55 辆	挖掘机、装载机、推土机、起重机械
11	大化	红水河	1980.10	1500	1390	单钱一岸立堵预平抛	59.4	2.32	4.2	16	24	12686 (654)	粒径为 0.4m~1m 的大卵石为主, 少量石渣	粒径为 1m 以上的大块石、竹笼、石串、铅丝石笼、10t 四面体	20、15、12t 自卸汽车 75 辆	挖掘机 7 台、推土机 8 台、起重机械 14 台

续表 3-1

序号	工程名称	河流	截流年月	截流流量 (m^3/s)		截流方法 与特点	龙口 宽度 (m)	最大 落差 (m)	最大 流速 (m/s)	主战 堤顶 宽 (m)	截流 历时 (h)	抛投 强度 (m^3/d) (m^3/h)	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般 材料	合龙用 特殊材料	运输 机械	其他机械
12	葛洲坝	长江	1981.1	5200	4720	单戽 两岸 立堵 拦石 坎护 底	203	3.23	7.5	25	36	70000	粒径为 0.4m~ 0.7m的 石渣、块 石	粒径为 1m 以上的大块 石, 15t~25t 四面体钢架 石笼	20t~ 45t 自 卸汽车 417 辆, 20t 为主	推土机、起 重机、挖掘 机、装载机、 开底驳等
13	安康	汉江	1983.12	300	180	单戽 立堵	36.2	1.2	3.9	9	1.3	(858)	石渣	铅丝石笼	20t 自 卸汽车 85 辆	挖装设备 4 台、推土机 10 台、起重 机 2 台
14	铜街子	大渡河	1986.11	750	850	单戽 单向 立堵	80	2.4	5.4	22	19	23000	粒径不 超过 0.7m 的 石渣	粒径为 1m 的大块石, 15t 四面体、 铅丝石笼、 异形体	20、15t 自卸 汽车 80 辆	挖掘机 11 台、 推土机 15 台、 汽车式起重 机 6 台
15	岩滩	红水河	1987.11	1900	1160	自右 向左 单戽 立堵	59	2.6	3.5	30	9.2	(972)	石渣	粒径为 0.6m 以上的块 石、4t~10t 石串	20、32t 自卸汽 车 52 辆	挖掘机 12 台、推土机 11 台、汽车式起 重机 19 台

续表 3-1

序号	工程名称	河流	截流年月	截流流量 (m^3/s)		截流方法 与特点	龙口 宽度 (m)	最大 落差 (m)	最大 流速 (m/s)	主戕 堤顶 宽 (m)	截流 历时 (h)	抛投 强度 (m^3/d) (m^3/h)	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般 材料	合龙用 特殊材料	运输 机械	其他机械
16	漫湾	澜沧江	1987.12	922	636	单戕 立堵	65	3.0	7.13	30	22	35000	石渣、中 小石	大石、立体 四角钢架、 钢筋铅丝 石笼塔 (708 m^3)	20t 自 卸汽车 82 辆	挖装设备 8 台、推土机 8 台、起重 机 5 台
17	隔河岩	清江	1987.12	—	—	—	15	2.7	7.0	15	3.6	(800)	石渣	大石串、 四面体	20t 自 卸汽车 50 辆	挖装设备 9 台、推土机 8 台、起重 机 2 台
18	水口	闽江	1989.9	1620	1133	单戕 双向 立堵	82.5	0.95	3.34	26	15.4	33700 (2200)	石渣、 粒径为 0.45m 的 块石占 20%~ 30%	粒径为 0.9m 大块石, 8t 以上大石串	45、32、 20t 自 卸汽车 46 辆	装载机 10 台、推土 机 7 台
19	李家峡	黄河	1991.10	300	620	单戕 立堵	40	5.3	5.4	15	51	7680	石渣	15、20t 四面 体, 0.8m× 0.8×2m 铅丝 石笼	12t~ 20t 自 卸汽车 共 30 辆	装载机 2 台、 推土机 2 台、 起重 5 台

续表 3-1

序号	工程名称	河流	截流年月	截流流量 (m^3/s)		截流方法 与特点	龙口 宽度 (m)	最大 落差 (m)	最大 流速 (m/s)	主戕 堤顶 宽 (m)	截流 历时 (h)	抛投 强度 (m^3/d) (m^3/h)	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般 材料	合龙用 特殊材料	运输 机械	其他机械
20	五强溪	沅水	1991.11	1400	613	单戕 立堵	85	2.56	5.56	18~ 20	29.8	(695)	粒径为 0.6m 以上的大 石、钢筋石 笼、四面体	20、32t 自卸汽 车共 42 辆	装载机 9 台、 推土机 5 台、 汽车式起重 机 6 台	
21	二滩	雅砻江	1993.11	2000	1440	先平 堵、 后立 堵	52	3.83	7.14	—	3.4	(600)	石渣	粒径为 0.7m 的石料	30t 自 卸汽车 22 辆	装载机、 推土机
22	天生桥一级	红水河	1994.12	473	428	单戕 双向 立堵	28.45	1.43	4.82	15	4.3	(834)	粒径不 超过 0.8m 的 石渣	粒径为 0.8m~1.6m 的大石, 10t 石串	32t 自 卸汽车 65 辆	装载机、 推土机
23	江垭	澧水	1994.12	42.6	33	单向 单戕 立堵	25	1.89	3.67	10	3.0	(867)	石渣、一 般块石	粒径大于 0.7m 的块石 料、钢筋石 笼	20t 自 卸汽车 8 辆	挖掘机、推 装载机、推 土机、汽车 式起重机各 1 台

续表 3-1

序号	工程名称	河流	截流年月	截流流量 (m^3/s)		截流方法 与特点	龙口 宽度 (m)	最大 落差 (m)	最大 流速 (m/s)	主墩 堤顶 宽 (m)	截流 历时 (h)	抛投 强度 (m^3/d) (m^3/h)	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般 材料	合龙用 特殊材料	运输 机械	其他机械
24	万家寨	黄河			510			3.49	6.75				石渣	18t 混凝土 四面体		
25	小浪底	黄河	1997.10	343	132~ 190			3.73	4.8		63	(3574)	石渣			
26	大朝山	澜沧江	1997.11	873	618	单墩 立堵	60	3.96	7.0	25	20.25	(1066)	粒径为 0.8m~ 1.6m 的 大石、 钢筋石 笼、四面体	粒径为 1.0m 以上的大 石、钢筋石 笼、四面体	15、32t 自卸汽 车共 80 辆	挖掘机、装 载机、汽车 式起重机
27	珊溪	飞云江	1997.11	80.6		单向 单墩 立堵	25	1.55	3.3	10			石渣及 块石料			
28	三峡大江	长江	1997.11	14000~ 19400	8480~ 11600	单墩 立堵 平抛 垫底	130		4.22	30	30	120990 (144.6)	粒径为 1.0m 以 上的大 石、钢筋 石笼、四 面体	5t~10t 大石	77、45、 30t 自 卸汽车 351 辆	10 m^3 挖装设 备 50 台、 710hp 推土 机 20 台、 平抛船 (1hp=745.70W)

续表 3-1

序号	工程名称	河流	截流年月	截流流量 (m^3/s)		截流方法与特点	龙口宽度 (m)	最大落差 (m)	最大流速 (m/s)	主戗堤顶宽 (m)	截流历时 (h)	抛投强度 (m^3/d) (m^3/h)	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般材料	合龙用特殊材料	运输机械	其他机械
29	引子渡	乌江	2001.10	58		单戗单向立堵	40	3.77	3	12	15	(600)	小石、中石和普通过石渣，大石、中石		15t~20t 自卸汽车 20 辆	装载机 ($3\text{m}^3\sim 6\text{m}^3$) 3 台、挖掘机 (4m^3) 3 台、推土机 (180hp~320hp) 3 台、汽车式起重机 (20t~40t) 2 台、木船 2 艘
30	碗米坡	西水	2001.11	357	137	单戗立堵	60	2.1	4.0	15	36	(600)	石渣	1.5 m^3 块石、钢筋石笼	自卸汽车	
31	公伯峡	黄河	2002.3	360	100	单戗立堵	30			20	24	(600)	石渣	10t 重混凝土四面体、1.2 m^3 钢筋石笼	20t 自卸汽车 30 辆	3 m^3 装载机 3 台，大型推土机 2 台

续表 3-1

序号	工程名称	河流	截流年月	截流流量 (m^3/s)		截流方法 与特点	龙口 宽度 (m)	最大 落差 (m)	最大 流速 (m/s)	主戽 堤顶 宽 (m)	截流 历时 (h)	抛投 强度 (m^3/d) (m^3/h)	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般 材料	合龙用 特殊材料	运输 机械	其他机械
32	三峡明渠	长江	2002.11	10300~ 11000	7970~ 9050	双戽 立堵 平抛 垫底	上150 下125	4.11	6	30	约 120	42700 (3000)	粒径为 1.0m以 上的大 石、钢筋 石笼、四 面体	8 m^3 钢筋石 笼等	77、45、 30t自 卸汽车 295辆	10 m^3 挖装设 备 50 台, 710hp 推土 机 20 台、 平抛船
33	三板溪	清水江	2003.9	394	100	单戽 立堵	65	3.12	4.3	20	24	(660)				
34	龙滩	红水河	2003.11	1570	1100~ 830	单戽 单向 立堵	70	0.7	3.8	20	48	(1060)	块石 (最大 粒径为 0.6m~ 0.8m)、少量 钢筋石笼		20、32t 自卸汽 车	推土机、 反铲
35	拉西瓦	黄河	2004.1	20~30	20~30	单戽 立堵	35			15			石渣			

续表 3-1

序号	工程名称	河流	截流年月	截流流量 (m ³ /s)		截流方法与特点	龙口宽度 (m)	最大落差 (m)	最大流速 (m/s)	主墩堤顶宽 (m)	截流历时 (h)	抛投强度 (m ³ /d) (m ³ /h)	主要截流材料		主要机械设备		
				设计	实际								一般材料	合龙用特殊材料	运输机械	其他机械	
36	小湾	澜沧江	2004.10	1320	1030	单墩单向立堵	60	5.92	5.1	20			石渣混凝土料、中块石、大块石、钢筋石笼	特大块石及混凝土四面体	15t~32t自卸汽车	装载机、挖掘机和推土机	
37	光照	北盘江	2004.10	433	122	单墩单向立堵	55	6.36	5.03	15							
38	构皮滩	乌江	2004.11	819	577	单墩单向立堵	40	1.58	4.57	12		(668)	石渣、中石、大石	特大块石及钢筋石笼			
39	景洪	澜沧江	2005.1	633		单墩单向立堵	50	3.14	5.33	28.5			石渣、中石、大石	钢筋石笼、混凝土四面体	32、25、20t自卸汽车	挖掘机、装载机、推土机、汽车式起重机械、洒水车	

续表 3-1

序号	工程名称	河流	截流年月	截流流量 (m^3/s)		截流方法与特点	龙口宽度 (m)	最大落差 (m)	最大流速 (m/s)	主戕堤顶宽 (m)	截流历时 (h)	抛投强度 (m^3/d) (m^3/h)	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般材料	合龙用特殊材料	运输机械	其他机械
40	滩坑	瓯江	2005.10	114		单戕双向立堵	25	2.3	3.27	12			石渣料及大块石			
41	察汗乌苏	开都河	2005.11	89.5		单戕单向立堵	30	4.9	4.43	18	24	(600)	石渣	混凝土四面体和钢筋石笼	45t 和 20t 自卸汽车	4 m^3 挖掘机、1 m^3 反铲
42	瀑布沟	大渡河	2005.11	1000	890	单戕双向立堵	40.8	4.35	8.1	20	10	(2793)	石渣	四面体、大石串	32、20t 自卸汽车	推土机、起重机械
43	金安桥	金沙江	2005.12	889	829	宽戕堤单向立堵	50	4.72	7.15	60	45	(1785)	石渣、中石、大块石	钢筋石笼、混凝土四面体	32、25、20、15t 自卸汽车	挖掘机、装载机、推土机、汽车式起重机械、洒水车

续表 3-1

工程名称	序号	河流	截流年月	截流流量 (m^3/s)		截流方法与特点	龙口宽度 (m)	最大落差 (m)	最大流速 (m/s)	主戽堤顶宽 (m)	截流历时 (h)	抛投强度 (m^3/d) (m^3/h)	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般材料	合龙用特殊材料	运输机械	其他机械
土卡河	44	李仙江	2005.12	271	280	单戽双向立堵	30	4.5	6	15	9.5		石渣、中石、大块石	钢筋石笼、大石串	20、15t 自卸汽车 20 辆	推土机 3 台、 1.2m^3 反铲 5 台
锦屏一级	45	雅砻江	2006.12	814	523	单戽立堵	40	5.23	6.41	25	32.5	(1197)	石渣、中石 ($0.4\text{m}\sim 0.7\text{m}$)、大块石 ($0.7\text{m}\sim 1.1\text{m}$)	5t 重钢筋石笼		
溪洛渡	46	金沙江	2007.11	5160	3560	单戽双向立堵	75	4.5	9.5	30	31	(2300)	粒径不大于 0.6m 的石渣料	混凝土四面体和钢筋石笼、块石串	32、20t 自卸汽车 129 辆	推土机 10 台、 $4\text{m}^3\sim 5.3\text{m}^3$ 挖装设备 24 台和 $25\text{t}\sim 50\text{t}$ 汽车式起重机械 7 台

续表 3-1

序号	工程名称	河流	截流年月	截流流量 (m^3/s)		截流方法 与特点	龙口 宽度 (m)	最大 落差 (m)	最大 流速 (m/s)	主墩 堤顶 宽 (m)	截流 历时 (h)	抛投 强度 (m^3/d) (m^3/h)	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般 材料	合龙用 特殊材料	运输 机械	其他机械
47	糯扎渡	澜沧江	2007.11	1815	2890	单戗 双向 立堵	66.6	7.16	9.02	25	27	(3216)	石渣、大 块石	3 m^3 钢筋石 笼、4.5 m^3 钢 筋石笼、7t~ 8.5t混凝土 四面体块、 15t混凝土 六面体块、 25t混凝土 六面体块	20、32t 自卸汽 车 173 辆	6 m^3 正铲挖 掘机、4.5、 2.0、1.6 m^3 反铲挖掘机 和 3 m^3 装载 机共计 19 台, D155、 320hp、D85 及 220hp 推 土机 10 台, 25t~50t 汽 车式起重机 3 台
48	蜀河	汉江	2007.12	415	133	单戗 立堵	50	2.84	4.31	15	22	(400)	石渣料	钢筋石笼与 大块石	20、45t 自卸汽 车	装载机、液 压反铲、推 土机、汽车 式起重机
49	大岗山	大渡河	2008.1	410	272	单戗 双向 立堵	40	7.2	7.65	25	24	(1483)	大、中石 和石渣	钢筋或铅丝 石笼串		

续表 3-1

序号	工程名称	河流	截流年月	截流流量 (m^3/s)		截流方法 与特点	龙口 宽度 (m)	最大 落差 (m)	最大 流速 (m/s)	主戕 堤顶 宽 (m)	截流 历时 (h)	抛投 强度 (m^3/d) (m^3/h)	主要截流材料		主要机械设备	
				设计	实际								一般 材料	合龙用 特殊材料	运输 机械	其他机械
50	锦屏二级	雅砻江	2008.11	637	746	单向 单戕 立堵	40	4.6	7.4	18	36	(800)	块石串、钢 筋石笼及混 凝土四面体			
51	功果桥	澜沧江	2008.11	727	660	单戕 立堵	50	7.2	7.55	20	48	(1420)	石渣 石渣	钢筋石笼、 大块石和混 凝土四面体	20、32t 自卸汽 车	装载机、反铲、 推土机、汽车 式起重机
52	阿海	金沙江	2008.12	951	650	宽戕 堤单 向立 堵	65	8.0	5.73	60			石渣料、大 中石、大 石	钢筋石笼、 混凝土四面 体	32、25、 20t 自 卸汽车	挖掘机、装 载机、推土 机、汽车式 起重机
53	龙开口	金沙江	2009.1	707	592	单戕 立堵	38	4.88	5.5	23~ 26	31	(3000)	石渣料	直径大于 0.9m 的大块 石、重 8t 以 上的石串	20、32t 自卸汽 车 63 辆	装载机 6 台、 挖掘机 23 台、推土机 5 台、汽车式 起重机 6 台
54	鲁地拉	金沙江	2009.1	654	590	单向 单戕 立堵	50	6.2	4.9	30	16.3	(1003)	石渣、中 石、大块 石	特大石、混凝 土四面体、钢 筋石笼	32、25t 自卸汽 车	推土机、装 载机

3.2.6 特殊截流方式需要满足场地、安全、技术和经济条件，正常条件下不推荐。

3.3 戗堤设计

3.3.1~3.3.2 给出了截流戗堤布置需要考虑的因素：

葛洲坝工程大江截流戗堤布置，研究比较了在上游围堰和下游围堰两个方案，最终选定在上游围堰。主要理由有四点：

1 上游围堰截流戗堤龙口处右岸的覆盖层已冲光，左侧覆盖层厚 1m~4m，而下游围堰戗堤龙口处覆盖层厚 5m~11m，龙口选在覆盖层浅的位置有利。

2 上游围堰截流合龙抛投的大块体不需要拆除，而下游围堰因大江水电站运行要求全部拆除，龙口合龙抛投的大块体，水下拆除困难。

3 有利于提前进行上游围堰的填筑，以便于汛前填筑至度汛高程。

4 在下游围堰截流比在上游围堰截流增加了大江基坑初期的排水量。

葛洲坝工程截流戗堤在上游围堰内的位置，比较了布置在围堰轴线方案和背水侧方案，最终选定截流戗堤设在围堰背水面。截流戗堤兼做排水棱体，有利于围堰的渗透稳定，可减少截流过程中围堰基础覆盖层的冲刷，并可避免截流抛投的大块体流失到防渗墙范围内，增加防渗墙造孔难度。戗堤轴线与围堰轴线平行布置，相距 20m。

三峡工程大江截流戗堤布置亦研究比较过设在上游围堰和下游围堰两个方案。如选在下游围堰截流，截流戗堤设在下游围堰背水面，截流抛投材料流失至围堰防渗体部位，将对防渗墙施工增加难度。而上游围堰高度大，堰体填筑量大，施工工期更为紧张，选在上游围堰可争取工期，为深槽段防渗墙提前施工创造条件，截流戗堤布置在上游围堰，进占抛投的大块体可不拆除。经

综合分析比较，截流戗堤布置在上游围堰的背水侧，兼做堰体排水棱体。截流戗堤轴线与围堰轴线大体平行，且控制戗堤上游坡脚外缘与防渗墙轴线的距离不小于 20m。

从以往情况看，大部分截流戗堤置于上游围堰轴线的下游侧。当截流流量小、龙口材料流失率小或采用上游水电站关机合龙时，经分析论证，截流戗堤可置于围堰的迎水侧。黄河上游的拉西瓦、公伯峡水电站截流时，由于采用上游水电站关机的措施，截流戗堤置于上游围堰的上游侧。对于河床水力比降较大、截流戗堤与防渗墙中心线距离较远的情况（如大渡河双江口工程等），经论证，截流戗堤对围堰防渗施工的影响不大时，截流戗堤也可布置在堰体的上游侧。

3.3.3 实际统计数据。很多工程为了尽可能地减少戗堤的抛填工程量，戗堤顶部多布置成斜坡（一般平均坡降为 5%左右，局部地段也有 8%~10%的情况）。为了保证截流车辆抛填时的安全，戗堤龙口段的顶部坡降宜保持平缓，预进占段除抛填平台外，可布置成不大于 8%的坡度。

3.3.4 参照土石坝的安全超高值（三级建筑物 0.7m，四五级建筑物 0.5m），经统计后提出的经验数据。截流戗堤施工期沉陷量较大，再计入一定的波浪高度后，三级和四级围堰的截流戗堤安全超高分别按 1.5m 和 1.0m 控制。

3.3.5 本条对截流戗堤的顶部宽度选择提出了要求。

3.3.6 我国通过三峡导流明渠的双戗立堵截流实践，在上、下两个戗堤的合理间距，上、下戗堤的合理进占配合，下戗堤壅水到上戗堤的时间计算控制等方面摸索出了一套经验。在双戗立堵截流设计时，应结合上、下游围堰的布置，深入研究两个条件：①下戗堤龙口壅水必须到达上戗堤，使上戗堤龙口处于淹没流中，以降低龙口流速，否则，等于下戗堤未起作用。②上、下戗堤的间距必须足以使上龙口下泄水舌充分扩散和消能，否则，下戗堤龙口会出现接近单戗立堵截流的最大流速，等于上戗堤未起作用。

3.3.7 钱堤加宽后,不仅可以适当改善龙口的水力学条件,而且可以提高截流的抛投强度,有利于控制截流抛投材料的流失率。武汉大学课题组通过试验研究认为,钱堤顶宽 B 与龙口上游水头 H_0 的比值 (B/H_0) 为 3.1~5.7 时,随着宽度的增加,钱堤的宽度效应明显,龙口内水面线由单降变为双降,龙口中下部流速降低明显,龙口前壅水高度逐渐增大;当 B/H_0 大于 5.7 时,宽度效应减弱;当 B/H_0 小于 3.1 时,没有宽度效应。钱堤顶宽与龙口上游水头的合理比值目前还有一定的争论,有的研究课题组建议选用 5~7。对此,应进行技术经济比较,重要工程宜通过模型试验确定。

3.3.8 本条对龙口位置及宽度选择提出了应遵循的基本原则。

3.4 截流水力学计算及抛投材料选择

3.4.1~3.4.5 由于截流过程中复杂动态变化的水力条件,大型工程应同时进行理论计算和截流模型试验,确定合龙区段和拟定抛投材料,根据水情和水流边界条件,拟定工程措施,指导施工顺利开展。目前,截流水力学计算已十分成熟,相关的计算过程可参见有关水力计算手册。附录 A 给出了主要计算步骤。在附录 A 中,截流来流量通常只考虑龙口下泄流量和分流建筑物的下泄流量,钱堤渗流量和水库拦蓄量可忽略不计。但对于预进占比较长的钱堤(如类似于葛洲坝),其渗流量可适当计入。在截流计算过程中,将龙口划分成 3 个~4 个区段有利于提高计算精度。

关于抛投材料的选择,通过三峡、瀑布沟、溪洛渡等工程的截流实践,得出了以下初步结论:

1 合金网兜石起吊方便,柔性较好,其护底性能优于混凝土四面体。

2 钢筋铅丝笼可用直径为 16mm 的钢筋作为骨架(表面间距 40cm~50cm),用 8 号铅丝作为网架(网格尺寸 10cm),其单体体积可为 3m^3 。由于钢筋铅丝笼与河床的摩擦系数相对较大,且

钢筋铅丝笼内部空洞、缝隙多，允许水流通过，水流对其的冲击作用力相对混凝土四面体略小，因此，钢筋铅丝笼在水下的稳定性优于混凝土四面体。

3 钢筋铅丝笼的单价比混凝土四面体低约 10%。

4 截流剩余的钢筋铅丝笼可用于围堰防护，不会造成浪费。因此，在截流备料中，应优先选用钢筋铅丝笼，尽量少用混凝土四面体。

关于抛投材料的粒径计算，需要说明的是：伊兹巴什公式是平堵试验的产物，试验用的是圆形砂卵石，并用起动流速的观点推导 k 值。当平堵戗堤的横断面由三角形向梯形断面过渡时， k 取 0.86，此时块石处于临界滑动状态。当平堵戗堤的梯形横断面下游出现抬高时， k 取 1.2，此时块石处于倾覆失稳临界状态。计算立堵截流抛石粒径时，本应重新根据立堵截流特点建立计算公式，但伊氏的研究生们假定抛石到达河底后能停下来，然后取任一颗粒作自由体建立平衡方程，故得与平堵形式完全一样的公式。但 k 值略有修正。 k 值的试验是这样进行的：在水槽两边堆出立堵戗堤，中间形成龙口（龙口宽度有多个方案），在无水或小流速情况下由人工置一块石放在龙口中间的固定位置，然后慢慢加流量（故流速增大），一直到该块石刚起动，将此时的流速代入平堵粒径公式反推出 k 值。系统试验得出的平均 k 值为 0.9，故以后无论平堵或立堵，均采用伊氏公式，只不过立堵中 k 值取 0.9 而已。根据上述背景，在计算立堵截流的抛投材料粒径时，需要注意以下几点：

1 块体从岸上抛入河床后，止动于要求的范围以内，不再起动，用止动流速的观点计算抛投材料的粒径符合实际。

2 整车材料抛投时，需要适当考虑群抛效应， k 值取 0.93， d 用等值代表粒径。

3 块体的稳定用抗滑工况控制，并应考虑护底对抛石的影响。

4 v_{\max} 实际上是块石落入河底时龙口的平均流速。 v_{\max} 一般是龙口水流表面流速的 1.2 倍~1.4 倍。

3.5 截流模型试验

3.5.1 本条给出了模型比例尺的范围。工程规模大、水力学条件复杂的工程宜选用较大的模型试验比例尺。

3.5.2 本条给出了截流模型试验的 3 个相似准则。

3.5.3 本条提出了立堵截流整体模型试验的主要试验观测内容：

1 通过试验比较选择最佳的截流戗堤轴线位置、龙口位置及龙口宽度。

2 在不同分流条件（由于上、下游围堰拆除不彻底而留下不同岩坎高度）下，观测分流建筑物上游水位与分流流量的关系曲线。

3 观测不同戗堤预进占程序、抛投材料分区、裹头形式及抛投强度对截流的影响。

4 观测戗堤上游和下游水位随龙口宽度的变化过程及变化规律。

5 观测落差、龙口流量、流速、水深、水面宽等龙口水力要素随龙口宽度的变化过程及变化规律。

6 观测戗堤进占过程中抛投材料的稳定情况，含流失量的测定。

7 观测戗堤进占过程中河床覆盖层的冲刷情况。

8 对需要采取护底措施的截流方案，应通过试验比选其结构形式（含范围、高程及材料类型、尺寸），测定其施工期的水力条件；对有通航要求的河流，还应测定其通航水力条件。

9 在有通航等要求的河道上截流，应观测施工进占程序对通航水力条件的影响，确定各进占时段应控制的口门宽度及封航的龙口宽度。

10 当采用单向进占方式时，应观测龙口水流对对岸裹头的

冲刷情况，确定裹头的稳定情况。

11 在深水中截流时，要求进行戗堤堤头坍塌专项试验，观测堤头坍塌部位、规模、频率等情况。由于施工及汛期水流的影响，河道地形、戗堤轴线处覆盖层等会不断发生变化，因此，对大型或重要工程的河道截流，常需进行跟踪试验。

3.5.4 本条规定了主要截流模型试验成果应包括的内容，要求资料准确可靠，结论和建议明确。

4 截流准备

4.1 一般规定

4.1.1 截流准备是将施工组织设计落实到现场实施的过程，现场需要逐一落实施工布置、备料、设备、道路、资源、分流建筑物、淹没范围、工程度汛等工作。因涉及内容较多，工作量较大，需精心组织。本条主要明确截流前应结合相关文件要求和现场实际情况，提出详细的截流施工组织设计，并在实施前完成评审。截流后的度汛方案应在截流前由政府防汛主管部门组织评审。围堰设计水位以下的水库移民专项验收，应由政府移民主管部门在截流前组织完成。

4.1.2 导流泄水建筑物的过流能力对截流影响较大。经调查，导流隧洞或导流明渠进口前沿的岩坎拆除不彻底是普遍的现象。通过实测水下地形，将其纳入截流准备的工作范围。

4.1.3 一般有截流总指挥部和现场指挥部两个机构，前者主要负责宏观协调，后者具体负责现场的管理。

4.2 备料和设备选择

4.2.1 近年来，溪洛渡等大型工程实践证明，混凝土四面体的水下稳定性不如大块石串或钢筋笼串。因此，在截流备料时，混凝土四面体可不用或少用。若选用少量的混凝土四面体，强度不宜低于 C20，吊环应选用一级钢筋。对于预进占段，应选用开挖渣料或天然料。龙口段应选用大块石、钢筋石笼、大块石串等特殊材料。钱堤抛投材料应具有较强的透水能力并易于起吊或运输。合金网石兜是最近十多年来新出现的一种截流材料，经过三峡导

流明渠的截流使用证明, 该材料的调运、充填和抗冲性比较优越, 但价格相对偏高。

4.2.2 在 2005 年前后, 黄河上游有两座水电站因截流备料不足而发生了龙口被冲事件。工程实践说明, 在备料过程中, 预进占段的备料系数可结合水力学特点选择 1.1~1.2。龙口段的备料系数, 宜结合流速或水工模型试验结果选择 1.3~1.5。当上游水电站在截流期间具备控制流量条件时, 龙口段的备料系数经论证可适当降低。在上游水电站关机情况下的截流, 其材料的准备则与天然情况有质的区别。以公伯峡水电站为例, 其截流材料准备和使用情况是: 10t 重的混凝土四面体准备了 10 块, 仅用了 8 块; 1m^3 的钢筋石笼准备了 1100m^3 , 实际使用了 750m^3 ; 其余材料 (施工弃渣、砂砾石和黄土) 均在坝址附近按实际需要开采。糯扎渡水电站的截流材料准备和使用情况是: 备料总量为 7.465万 m^3 , 其中大块石 6.3万 m^3 , 特殊料 11712m^3 , 特殊料包括钢筋石笼 2814 个, $7\text{t}\sim 8.5\text{t}$ 混凝土四面体 453 个, 15t 混凝土六面体 40 个, 25t 混凝土六面体 30 个, 同时考虑龙口高流速区需抛投钢筋石笼串、四面体串, 截流用串联钢筋石笼, 混凝土四面、六面体的 $\phi 16$ 钢丝绳准备 7000m, 楔扣 1600 个。截流时龙口段施工历时 27h, 总抛投量约 6.97万 m^3 , 其中大块石料抛投 3.4万 m^3 , 3m^3 钢筋石笼 1140 个, 4.5m^3 钢筋石笼 60 个, 四面体 286 个, 六面体 25 个。

4.2.3~4.2.4 截流材料分区布置并做标记的目的是为了方便管理。优先选用主体工程开挖料的目的是减少弃渣和节约投资。

4.3 水 情 预 报

4.3.1~4.3.3 近年来, 信息技术发展较快, 使截流期间的水文预报精度有了进一步的提高。对水情预报作出一些原则规定, 主要是为了提高截流施工管理的准确性, 及时调整现场的施工资源配置。

5 截流施工

5.1 一般规定

5.1.1 本条主要强调截流演练是保证截流成功的关键环节之一。

5.1.2 截流涉及的社会问题较多，做好相关的沟通协调，是为截流顺利进行创造良好的外部环境条件。

5.1.3 按设计标准准备，动态调整施工是常见的做法。

5.2 护底、预进占及裹头防护施工

5.2.1~5.2.2 对龙口河床进行提前防护的方法简称护底。护底方式分平抛护底和浇筑混凝土墩护底两种。前者适用于原河床截流，后者适用于明渠截流。对于河床开阔、有通航条件的工程，护底采用大型船舶抛投完成。对于河川狭窄的工程，护底多采用大型汽车式起重机完成。如葛洲坝和三峡等工程在大江截流合龙前，用船舶对龙口实施了护底，效果良好。护底主要适合于龙口落差大，覆盖层厚或明渠底板光滑的工程。护底的主要目的是增加河床的糙率，提高龙口抛投体的稳定性。三峡工程大江截流施工水深约 60m，有淤沙覆盖层，通过平抛护底措施降低了施工水深，保证了堤头稳定。三峡工程导流明渠截流前，在龙口下游侧抛投了大型钢筋石笼及合金钢网石兜，减少了合龙期间的材料流失。护底的范围在资料缺乏时，戗堤轴线下游取 2 倍~4 倍的龙口平均水深，戗堤轴线上游取 1 倍~2 倍的最大水深。

5.2.3 本条明确了预进占应遵守的原则。

5.2.4 本条明确了预进占的施工方法。

5.2.5 预进占后对戗堤顶部场地的平整，目的是为合龙创造有利

的场地条件。

5.2.6 合龙前，保护戗堤端头的防护结构称为裹头。裹头的主要作用是防止冲刷破坏。对于流速较小的龙口，裹头也可选用大块石。

5.3 合龙施工

5.3.1 据统计，三峡工程一期和二期截流合龙时的抛投强度分别是 $19.4 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 和 $7.6 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ ，溪洛渡合龙时的抛投强度是 $2300 \text{ m}^3/\text{h}$ ，向家坝合龙时的抛投强度是 $3225 \text{ m}^3/\text{h}$ ，瀑布沟合龙时的抛投强度是 $3352 \text{ m}^3/\text{h}$ 。高强度合龙施工有利于降低工程风险。

5.3.2~5.3.4 据统计，三峡工程一期、三峡工程二期、溪洛渡、瀑布沟等大型工程截流合龙时，抛投材料以大块石串等特殊材料为主。为了实现快速合龙，同一进占方向采用 4 辆~5 辆大型自卸汽车同时抛投。抛投方向与戗堤中心线的夹角一般选 $30^\circ \sim 45^\circ$ 。

5.3.5 近年来，个别工程在合龙前，提前浇筑了混凝土承重平台，在平台上堆筑钢筋石笼、大块石等材料。预进占完成后，爆破拆除混凝土承重基础，使钢筋石笼堆筑体瞬间倒向河床完成截流，该方法需落实场地和交通等条件。在以往工程实践中，部分工程使用了下列方法进行合龙：

- 1 用大功率推土机将大块石串推入龙口，或用大型汽车式起重机遇运特殊材料就位。
- 2 提前在龙口下游侧设置拦石栅或拦石坎，增加抛投体的稳定性。
- 3 采用锚定技术等。

5.4 戗堤加高及闭气

5.4.1 本条规定的主要目的是确保戗堤挡水安全。加高戗堤宜选用主体工程开挖料，有条件时，可提前在预进占段上游布置防渗施工场地。

5.4.2~5.4.3 龙口材料粒径相对较大，架空现象比较普遍。合龙后，先抛填块石料，再抛填砂砾石或土石混料，最后抛填风化砂或土料，以此截断戗堤渗漏通道，为围堰防渗施工创造条件。

5.5 特殊情况处理

5.5.1~5.5.6 主要汇总了几种特殊情况。对于抛投材料出现大量流失情况，可将 3 块~5 块钢筋铅丝笼串联在一起，用推土机推入水中。随着我国部分流域梯级水电站开发逐渐完成，利用上游水库控制短时间内的发电流量为合龙创造有利条件，已成为一种常用的方法。对于戗堤坍塌情况，主要有三种类型：一是坡脚陶冲刷塌滑型，二是边坡冲刷塌滑型，三是以浸水湿化为主的塌滑型。前两种是由于流速过大，河床覆盖层可冲性强，截流抗冲能力相对较小造成的；第三种是由于截流材料浸水湿化，引起摩擦系数及稳定内摩擦角发生变化，从而在重力作用下发生塌滑造成的。浸水湿化塌滑突发性强，规模相对较大，最具危险性。戗堤发生塌滑后，应先分析原因，再调整施工方案。

5.6 截流安全

5.6.1~5.6.5 对截流安全提出了具体要求。关于截流车辆与戗堤边缘的安全距离，是参考了二级公路行车路面与路基的边缘距离（1.5m），同时统计了部分工程实例后得出的经验数据。

6 监 测

6.0.1~6.0.7 对截流期间的各种监测提出了具体要求，其目的是为了提高截流现场的管理水平，保证截流一次成功。关于监测方法，三峡工程总结出了无人立尺观测技术，溪洛渡工程采用移动式缆道测量水深。
