

ICS 93.160

P 59



中华人民共和国水利行业标准

SL 285—2020

替代 SL 285—2003

水利水电工程进水口设计规范

Design specification for intakes of water
and hydropower projects

2020 - 11 - 30 发布

2021 - 02 - 28 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布《碾压式土石坝设计规范》 等 5 项水利行业标准的公告

2020 年第 22 号

中华人民共和国水利部批准《碾压式土石坝设计规范》（SL 274—2020）等 5 项为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	碾压式土石坝设计规范	SL 274—2020	SL 274—2001	2020. 11. 30	2021. 2. 28
2	水利水电工程进水口设计规范	SL 285—2020	SL 285—2003	2020. 11. 30	2021. 2. 28
3	绿色小水电评价标准	SL/T 752—2020	SL 752—2017	2020. 11. 30	2021. 2. 28
4	水利网络安全保护技术规范	SL/T 803—2020		2020. 11. 30	2021. 2. 28
5	淤地坝技术规范	SL/T 804—2020	SL 289—2003 SL 302—2004	2020. 11. 30	2021. 2. 28

水利部

2020 年 11 月 30 日

前 言

根据水利技术标准制修订计划安排，按照 SL 1—2014《水利技术标准编写规定》的要求，对 SL 285—2003《水利水电工程进水口设计规范》进行修订。

本标准共 7 章和 3 个附录，主要技术内容有：

- 工程布置；
- 防沙、防污和防冰；
- 水力设计；
- 结构与地基处理；
- 安全监测。

本次修订的主要技术内容有：

- 增加了“分层取水进水口”等术语；
- 补充进水口型式与体形，增加“分层取水进水口”型式；
- 取消了原第 3 章进水口建筑物级别相关内容，并将设计标准相关内容合并到第 6 章；
- 修订了荷载组合表和结构设计相关内容；
- 取消了整体稳定计算按建筑物级别取不同安全系数的相关规定，修订了抗滑、抗倾覆及抗浮稳定相应的安全系数；
- 增加了附录 C，闸坝引水式与河床式枢纽中进水口的防沙设施；
- 修改了标准用词说明。

本标准中的强制性条文有 3.1.12 条、6.3.3 条 1 款和 2 款、6.3.4 条 1 款、6.3.7 条 1 款和 2 款 1) 项。以黑体字标示，必须严格执行。

本标准所替代的标准的历次版本为：

- SD 303—88

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部水利水电规划设计总院

本标准解释单位：水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位：长江勘测规划设计研究有限责任公司

本标准主要起草人：周述达 谢红兵 牟春来 杜申伟

赵世英 刘嫦娥 李 旻 张志国

韩前龙 张存慧 王 津 陈 坪

刘小江 程淑艳 张玲丽

本标准审查会议技术负责人：温续余

本标准体例格式检查人：陈 昊

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条2号；邮政编码：100053；电话：010-63204533；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	工程布置	4
3.1	一般规定	4
3.2	进水口型式与体形	5
3.3	引水工程进水口布置	6
3.4	泄水工程进水口布置	7
4	防沙、防污和防冰	8
4.1	防沙	8
4.2	防污	9
4.3	防冰	10
5	水力设计	11
6	结构设计与地基处理	12
6.1	一般规定	12
6.2	荷载与荷载组合	12
6.3	整体稳定、地基应力及沉降计算	12
6.4	结构设计	17
6.5	地基处理	18
7	安全监测	19
	附录 A 进水口体形	20
	附录 B 水力计算	21
	附录 C 闸坝引水式与河床式枢纽中进水口的防沙设施	25
	标准用词说明	30
	标准历次版本编写者信息	31
	条文说明	33

1 总 则

1.0.1 为规范水利水电工程进水口设计，统一设计标准，做到安全可靠、技术先进、经济合理，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程各类进水口的设计。

1.0.3 水利水电工程进水口设计应收集地形、地质、水文、泥沙、漂污物、冰情、气象、地震、水库运用等基本资料。

1.0.4 水利水电工程进水口设计应体现国家现行的技术经济政策，在不断总结经验和科学试验的基础上，积极慎重地采用国内外先进技术，有所创新。

1.0.5 本标准主要引用下列标准：

GB 50286 堤防工程设计规范

GB/T 50662 水工建筑物抗冰冻设计规范

GB 51247 水工建筑物抗震设计标准

SL 74 水利水电工程钢闸门设计规范

SL 191 水工混凝土结构设计规范

SL 252 水利水电工程等级划分及洪水标准

SL 253 溢洪道设计规范

SL 265 水闸设计规范

SL 279 水工隧洞设计规范

SL 282 混凝土拱坝设计规范

SL 319 混凝土重力坝设计规范

SL 386 水利水电工程边坡设计规范

SL 654 水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范

SL 725 水利水电工程安全监测设计规范

SL 744 水工建筑物荷载设计规范

1.0.6 水利水电工程进水口设计除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 引水工程进水口 intake for water drawing

以引水为主要用途的进水口，包括水电站进水口、供水工程进水口和灌溉工程进水口等。

2.0.2 泄水工程进水口 intake for water releasing

以泄水为主要用途的进水口，包括拦河闸式进水口、泄洪孔（洞）进水口、排沙孔（洞）进水口、排漂孔（道）进水口、放空孔（洞）进水口和导流孔（洞）进水口等。

2.0.3 整体布置进水口 integrated intake

与枢纽工程大坝等挡水建筑物组成整体结构的进水口，包括坝式进水口、河床式水电站进水口和拦河闸式进水口等。

2.0.4 独立布置进水口 isolated intake

独立布置于枢纽工程大坝等挡水建筑物之外的进水口，包括岸式进水口、塔式进水口等。

2.0.5 无压式进水口 free-flow inlet

进水口流道有自由水面，且水面以上净空与外界空气保持贯通的进水口。

2.0.6 有压式进水口 pressure intake full-flow intake

流道均淹没于水中，并始终保持满流状态，具有一定压力水头的进水口。

2.0.7 坝式进水口 intake integrated with the dam

布置在挡水坝或挡水建筑物上的整体布置进水口（含水电站压力前池进水口）。

2.0.8 河床式水电站进水口 intake for run-of-river hydropower station

河床式水电站挡水建筑物的一部分，与厂房连为整体的整体布置进水口。

2.0.9 岸式进水口 intake on bank

一种独立布置在岸坡或山体中的进水口，包括岸塔式进水口、斜坡式进水口和竖井式进水口三种。

2.0.10 岸塔式进水口 tower type intake on bank

在从水库取水的水工隧洞首部依傍岸边山体修建的、外形似塔而内设闸门以控制水流的取水建筑物。

2.0.11 斜坡式进水口 inclined intake

在水库的人工开挖山坡（或坝坡）上修建的、形似滑道且在轨道上设置闸门以控制水流的取水建筑物。

2.0.12 竖井式进水口 intake with gate well

在水工隧洞山体或坝下埋管的坝体内修建的、形似竖井而内设闸门以控制水流的取水建筑物。

2.0.13 塔式进水口 tower intake

在从水库取水的水工隧洞或坝下埋管的首部修建的、不依傍岸边山体的、外形似塔而内设闸门以控制水流的深式取水建筑物。

2.0.14 分层取水进水口 multilevel intake

能从水库中不同高程有选择地引取该层库水的取水建筑物。

2.0.15 拦河闸式进水口 intake integrated with the barrage

作为拦河工程组成部分的整体布置进水口。

2.0.16 堤防涵闸式进水口 inlet for culvert through the embankment

布置于堤防中，穿越堤防的独立布置进水口。

3 工程布置

3.1 一般规定

- 3.1.1** 进水口位置与型式应根据进水口功能、规模以及在枢纽工程中承担的任务，结合枢纽工程总体布置方案经比选后确定。
- 3.1.2** 对于大型或重要工程的进水口，应通过水工模型试验或数值仿真分析验证设计的合理性。
- 3.1.3** 大、中型工程若分期建设，在确定进水口高程时，应考虑工程分期建设、分期发挥效益的要求。
- 3.1.4** 进水口应与枢纽工程其他建筑物的布置相协调，并与后接流道平顺过渡。在各级运行水位条件下，进水口应进流匀称、水流畅顺，并应满足引进、泄放设计流量或中断运用的要求。
- 3.1.5** 处于多泥沙、多漂污河流上的枢纽工程，应综合考虑泄洪、引水、排沙、防污要求。引水工程进水口应有防沙、防污措施，并应避免推移质进入引水系统。泄水工程进水口宜具有泄洪、排沙等综合功能。
- 3.1.6** 严寒地区的进水口，应有防冰害措施。
- 3.1.7** 独立布置的进水口应选在水流稳定、地形有利、地质条件较好的河岸或库岸。
- 3.1.8** 进水口所需的设备应满足安全运行和管理要求，充水、通风和交通设施应畅通无阻。
- 3.1.9** 进水口应有设备安装、检修及清污场地，并应为启闭设备配备可靠的电源，泄水工程进水口应配备备用电源。
- 3.1.10** 分层取水进水口应满足下泄水温、水质等控制要求。分层取水方式应结合实际条件并通过技术经济比较后确定。取水设施应在各运行工况下均能灵活控制取水。
- 3.1.11** 进水口的建筑物级别及洪水标准应符合 SL 252 的规定。
- 3.1.12** 进水口工作平台的超高值采用波浪计算高度及安全加高

值之和，其中安全加高值应按表 3.1.12 采用，对于整体布置的进水口应与挡水建筑物相协调。

表 3.1.12 进水口工作平台安全加高值 单位：m

进水口建筑物级别		1 级	2 级	3 级	4 级、5 级
特征 挡水位	设计水位	0.70	0.50	0.40	0.30
	校核水位	0.50	0.40	0.30	0.20

3.1.13 堤防涵闸式进水口应符合 GB 50286 的有关规定。

3.2 进水口型式与体形

3.2.1 整体布置的进水口型式应与枢纽工程主体建筑物结构相适应。独立布置的进水口型式应根据枢纽布置、地形、地质等条件综合比选确定。高地震区不宜选用塔式进水口。

3.2.2 大型或重要工程的进水口体形宜经水工断面模型试验或数值仿真分析验证。

3.2.3 进水口流道宜按单孔设计。当采用多孔并列的进水型式时，应符合下列规定：

1 引水工程进水口应适当延长隔墩，并选用较小的墩尾收缩角。

2 泄水工程进水口，隔（闸）墩长度由结构布置和水流条件确定，应有可靠的防空蚀措施。

3.2.4 引水工程进水口喇叭口段体形宜为流线形或钟形，体形曲线宜选用椭圆曲线或圆曲线，可按附录 A 确定；闸门段应合理布置门槽和通气孔；闸门后的渐变段应体形平顺。

3.2.5 泄水工程进水口流道体形除应符合 3.2.3 的规定外，还应按附录 A 确定。顶板椭圆曲线长半轴的长度应不小于闸孔高度，两侧边墙椭圆曲线长半轴的长度应不小于闸孔宽度，长轴与短轴的比值不宜小于 3。

3.2.6 进水口流道过流面按流速大小，应符合下列规定：

1 当流速达到或超过 15m/s 时，应严格控制过流表面的不

平整度，确保过流面平顺。

2 当流速达到或超过 25m/s 时，还应通过专门的水工模型试验，提出抗冲、耐磨和防空蚀的要求与措施。

3.2.7 进水口孔口尺寸应根据运行水头、设计流量、孔口流速、闸门尺寸和启闭机容量等因素确定。

3.2.8 按工作性质，进水口闸门可分为工作闸门、事故闸门和检修闸门。进水口配置的闸门应按进水口型式、功能、规模，后接流道类型和长度、闸阀配置以及进水口下游建筑物的保护要求确定。

3.2.9 中、高水头事故闸门或工作闸门孔口宜为矩形断面，宽高比宜采用 1 : 1.0~1 : 2.0。引水工程进水口闸门孔口面积不宜小于后接流道的过水面积。

3.2.10 有压式进水口闸门后渐变段长度宜为后接流道宽度或直径的 1~2 倍，流道的扩散角宜为 6° ~ 12° 。

3.2.11 有压式进水口应在闸门后设置通气孔。通气孔出口应通向室外，加设栅网，不得直冲人员活动区和设备场地区；通气孔出口高程应高于上游最高水位。

3.2.12 当采用引渠进水时，引渠的过流能力不应小于进水口的进流能力；进水口前方引渠宜有 1~2 倍渠宽的直线段，底部宜与进水口上游面衔接处等宽，渐变段长度不宜小于水深的 2 倍，墙顶应满足超高要求；对于引水式电站或泵站，当引渠较长时，应考虑不稳定流的影响。

3.2.13 分层取水进水口可选择多层式、叠梁门式、翻板门式、套筒式、斜卧式等型式。大中型水电站分层取水宜采用多层式进水口或叠梁门式进水口。

3.3 引水工程进水口布置

3.3.1 进水口不应设置在含有大量推移质的支流或山沟汇口附近，应避开容易积聚污物的回流区，并避免流冰和漂木直接撞击。

3.3.2 在多泥沙河段上，岸式进水口宜选在弯曲河段凹岸的起弯点下游附近；当有较高的防污或防冰要求时，宜选在直线河段上。

3.3.3 无压式进水口底板高程应保证在上游最低运行水位时，能够引进设计流量。

3.3.4 有压式进水口应保证在上游最低运行水位时有足够的淹没深度，保证口门流态平稳。最小淹没深度宜按附录 B.1 估算。当难以达到最小淹没深度要求时，应在水面以下设置防涡梁（板）或防涡栅等措施。必要时宜通过水工模型试验选定。

3.3.5 进水口底板应高出孔口前缘水库冲淤平衡高程或设在排沙漏斗范围以内。

3.4 泄水工程进水口布置

3.4.1 泄水工程进水口应根据枢纽工程防沙、防冰要求，充分利用其泄洪，同时排沙、排冰。

3.4.2 坝身泄水建筑物进水口布置应满足 SL 319 或 SL 282 的要求。

3.4.3 泄水隧洞进水口布置应满足 SL 279 的要求。

3.4.4 溢洪道进水口布置应满足 SL 253 的要求。

3.4.5 排沙孔（洞）进水口宜采用有压式进水口。其底板高程应根据排沙运用要求、排沙孔个数和间距，以及预期的排沙漏斗形态确定。

3.4.6 导流孔（洞）进水口底板高程应满足初期导流无压进水要求。短期泄洪运用时，可出现明满流交替。

3.4.7 导流孔（洞）的闸门与启闭机工作平台应满足封堵施工和交通要求。导流孔（洞）改造为永久工程时，应同时满足永久工程运用要求。

4 防沙、防污和防冰

4.1 防 沙

4.1.1 防沙设计所需的泥沙资料，应包括推移质和悬移质的年输沙量，汛期与非汛期水流中的含沙量，泥沙粒径、级配、硬度和容重等。

4.1.2 防沙设计应符合下列原则：

1 悬移质：应导排与沉冲结合，及时冲沙。

2 推移质：应拦截与导排结合，立足于排，大粒径推移质应避免进入引水工程的进水口，必要时可在流道中适当位置设截石坑或拦沙槽（坎）。

4.1.3 应研究进水口所处河段的上下游河势、泥沙运动规律、水库淤积形态和淤积高程等因素对进水口的影响，设置必要的拦沙、导沙、沉沙、冲沙和排沙等措施。

4.1.4 引水工程进水口防沙设计还应符合下列规定：

1 防止泥沙淤积、堵塞进水口闸门和门槽。

2 减少泥沙对水轮机或水泵过流部件的磨损。

3 减少粗颗粒泥沙进入灌溉、供水工程的引水渠道或管道。

4.1.5 进水口采用无坝引水时，其总体布置应充分研究水流及泥沙的运动规律，合理选择进水口的位置，采用适宜的分水角减少入渠泥沙量。

4.1.6 对于无坝引水或虽有水库但无调节能力的引水工程进水口，宜设置拦（导）沙坎，必要时设置沉沙池、冲沙道、冲沙闸。

4.1.7 闸坝式引水工程及河床式枢纽中进水口防沙设施应结合水库运行统筹规划。进水口防沙设施见附录 C。

4.1.8 设置排沙底孔或排沙廊道时，其位置和高程的选定应使形成的排沙漏斗满足“门前清”的要求。

4.1.9 泄水工程进水口防（排）沙设计应符合下列规定：

1 控制过流表面局部不平整度。

2 对过流表面采取抗冲耐磨措施。

4.1.10 对于泄水工程进水口，必要时可结合枢纽布置，设置导沙坎（墙）等建筑物。

4.2 防 污

4.2.1 在漂污物严重的河流上，应调查并收集河流中漂污物的种类、组成、来源、数量以及漂移特征与规律，因地制宜制定防污措施。

4.2.2 引水工程进水口防污设计应符合下列规定：

1 进水口避免正对漂污物运移轨迹的主轴线。

2 防止漂污物堵塞进水口拦污栅。

3 进水口前积聚的漂污物能及时清除。

4.2.3 泄水工程进水口防污设计时，应防止漂污物堵塞进水口；必要时宜设拦污、导污设施。

4.2.4 引水工程进水口防污应按枢纽工程或设备的防污要求，布置拦漂、导污设施，在进水口前方设置拦污栅，并采取门前捞漂、机械清污或提栅清污等防污措施。

4.2.5 导污设施轴线与水流流线的交角不宜大于 15° ，经论证后交角可适当加大。

4.2.6 引水工程进水口前方应设拦污栅，必要时宜设 2 道拦污栅槽。拦污栅平均过栅流速宜采用 $0.8\sim 1.0\text{m/s}$ ，经论证过栅流速可适当提高。

4.2.7 当水电站进水口拦污栅采用通仓式布置时，其墩尾与进水口入口前缘之间净距不宜小于闸孔宽度的 $1/2$ 。

4.2.8 引水工程进水口拦污栅的栅条间距应满足水轮机或水泵安全运用要求。

4.2.9 拦污栅和清污平台的布置应便于清污机械的操作和污物的清理及运输，并有一定的场地临时堆放污物。

4.3 防 冰

4.3.1 防冰设计应收集气温、水温、风向、风速，冰期、流冰特征、流冰量及运移特性、冰块大小、冰层厚度、冬季运行要求等资料。

4.3.2 对于严寒地区，应分析研究寒潮季节昼夜温差波动情况和融冰季节冰凌或流冰的形成规律，并预测流冰历时与流冰总量。

4.3.3 进水口的防冰设计应符合下列规定：

- 1 避免流冰直接撞击进水口。
- 2 防止冰块堵塞进水口。
- 3 防止静冰、动冰压力损坏进水口建筑物。
- 4 保证进水口拦污栅、闸门、启闭机及有关设备正常操作运行。
- 5 防止冰块堵塞通气孔。

4.3.4 有防冰要求的引水工程进水口，冬季运行时宜保持上游水流不间断地稳定流动，形成不冻水面，保持连续运行；对于冰情严重的进水口，可采用结冰盖的运行方式，但进水口应淹没在冰盖底面稳定水位以下，淹没深度不应小于 2m；采用结冰盖运行的进水口，冰盖入口处的流速应大于结冰流速，当流速超过 0.7m/s 时，应采取防冰害措施。

4.3.5 预防或减轻引水工程进水口冰害可采用下列措施：

- 1 调节进水口前的水温。
- 2 人工破冰、机械破冰或设备（如拦污栅、闸门等）加热。
- 3 在进水口建筑物的结冰范围内设置缓冲层。
- 4 调整水库（包括上下游梯级水库）运行方式。
- 5 启闭机及相应设备设于室内，必要时可采用保温、采暖措施。
- 6 在进水口前缘水下设管道充气，产生连续上升的气泡群，利用气泡防冰。

4.3.6 冰冻地区进水口设计以及对建筑材料的防冰、抗冻要求，还应符合 GB/T 50662 的规定。

5 水力设计

- 5.0.1** 应根据进水口功能和型式，确定进水口的水力设计内容。
- 5.0.2** 有压式进水口水力计算应包括下列内容：
- 1 过流能力。
 - 2 最小淹没深度。
 - 3 高速水流空化数。
 - 4 水头损失。
 - 5 通气孔面积。
 - 6 管道充水时间。
- 5.0.3** 无压式进水口水力计算应包括下列内容：
- 1 过流能力。
 - 2 水头损失。
 - 3 进水口上、下游水面衔接。
 - 4 高速水流空化数。
 - 5 引渠不稳定流。
- 5.0.4** 进水口过流能力应根据进水口型式和功能，分别按 SL 319、SL 253、SL 265 及 SL 279 计算。
- 5.0.5** 泄水工程高流速进水口的水流空化数，宜按附录 B.2 估算。进水口的局部水头损失和沿程水头损失，可按附录 B.3 计算。
- 5.0.6** 有压式进水口通气孔面积可按照 SL 74 计算确定。当后接压力管道充泄水时，应保证管道内的空气能顺畅进出。
- 5.0.7** 分层取水进水口采用叠梁门式时，叠梁门与取水口胸墙之间的流道宽度应根据流量、流速、流态和结构设计等通过技术经济比较后确定。
- 5.0.8** 采用叠梁门分层取水时，门顶过流水深应通过取水流量、流速及流态、取水水温计算以及单节门叶高度等综合分析确定。

6 结构与地基处理

6.1 一般规定

6.1.1 在进水口建筑物结构设计中，应根据地质条件以及建筑物运行要求，合理确定建筑物轮廓、结构型式以及地基防渗、排水和加固等处理措施。

6.1.2 进水口建筑物结构及地基处理设计应包括下列内容：

- 1 整体稳定计算。
- 2 地基应力计算。
- 3 整体结构设计。
- 4 局部构件设计。
- 5 地基沉降计算。
- 6 渗透稳定计算。

6.1.3 土质地基上的进水口建筑物设计应考虑地基渗流和不均匀沉降对结构的不利影响，并应符合 SL 265 的有关规定。

6.1.4 进水口合理使用年限及耐久性设计应符合 SL 654 的有关规定。

6.2 荷载与荷载组合

6.2.1 进水口整体稳定和地基应力计算采用的荷载组合可按表 6.2.1 确定。必要时还可考虑其他可能的不利组合。

6.2.2 荷载取值与计算应按照 SL 744 及有关标准的规定进行。

6.2.3 拦污栅水压差设计值可取 4m，水压差值根据实际漂污物情况和防污设施条件，经论证可适当调整。

6.3 整体稳定、地基应力及沉降计算

6.3.1 独立布置进水口应进行沿建基面整体抗浮、抗滑稳定与地基应力计算，对于有深层软弱面的地基，还应对深层软弱面进

表 6.2.1 进水口整体稳定和地基应力计算荷载组合表

荷载组合	计算情况	荷 载											说 明	
		自重	水重	静水压力	扬压力	土压力	淤沙压力	风压力	浪压力	冰压力	土的冻胀力	地震荷载		其他
基本组合	正常蓄水位	√	√	√	√	√	√	√	√	—	—	—	√	按正常蓄水位组合计算水重、静水压力、扬压力及浪压力
	设计洪水位	√	√	√	√	√	√	√	√	—	—	—	—	按设计洪水位组合计算水重、静水压力、扬压力及浪压力
	冰冻情况	√	√	√	√	√	√	√	—	√	√	—	√	按正常蓄水位组合计算水重、静水压力、扬压力及浪压力
	完建情况	√	—	—	—	√	—	√	—	—	—	—	√	必要时，可考虑地下水产生的扬压力

表 6.2.1 (续)

荷载组合		计算情况	荷载											说明	
			自重	水重	静水压力	扬压力	土压力	淤沙压力	风压力	浪压力	冰压力	土的冻胀力	地震荷载		其他
特殊组合	特殊组合 I	施工情况	√	—	—	—	√	—	√	—	—	—	—	√	考虑施工过程中各个阶段的临时荷载
	特殊组合 I	检修情况	√	—	√	√	√	√	√	√	—	—	—	√	按正常蓄水位组合(必要时可按设计洪水位组合或冬季低水位条件)计算静水压力、扬压力及浪压力
	特殊组合 I	校核洪水位	√	√	√	√	√	√	√	√	—	—	—	—	按校核洪水位组合计算水重、静水压力、扬压力及浪压力
	特殊组合 II	地震情况	√	√	√	√	√	√	√	√	—	—	√	—	按正常蓄水位组合计算水重、静水压力、扬压力及浪压力

注：“√”表示该工况需要考虑的荷载，“—”表示该工况无需考虑的荷载。

行整体抗滑稳定与地基应力计算；必要时宜进行抗倾覆稳定计算。

6.3.2 进水口抗滑稳定计算可采用抗剪断强度计算公式 (6.3.2-1) 或抗剪强度计算公式 (6.3.2-2) 进行。

1 抗剪断强度计算公式：

$$K' = \frac{f' \sum W + c' A}{\sum P} \quad (6.3.2-1)$$

2 抗剪强度计算公式：

$$K = \frac{f \sum W}{\sum P} \quad (6.3.2-2)$$

式中 K' ——按抗剪断强度计算的抗滑稳定安全系数；

K ——按抗剪强度计算的抗滑稳定安全系数；

f' ——建基面的抗剪断摩擦系数；

f ——建基面的抗剪摩擦系数；

c' ——建基面的抗剪断凝聚力，kPa；

A ——建基面面积， m^2 ；

$\sum W$ ——作用于进水口结构上全部荷载（包括扬压力，下同）对滑动平面的法向分值，kN；

$\sum P$ ——作用于进水口结构上全部荷载对滑动平面的切向分值，kN。

6.3.3 进水口抗滑稳定安全系数应符合下列规定：

1 整体布置进水口的抗滑稳定安全系数应与大坝、河床式水电站和拦河闸等枢纽工程主体建筑物相同。

2 对于独立布置进水口，当建基面为岩石地基时，沿建基面抗滑稳定安全系数应不小于表 6.3.3 规定的数值。

表 6.3.3 独立布置进水口抗滑稳定安全系数

抗剪断强度计算			抗剪强度计算		
基本组合	特殊组合 I	特殊组合 II	基本组合	特殊组合 I	特殊组合 II
3.00	2.50	2.30	1.10	1.05	1.00

3 当建基面为土质地基时，建基面抗滑稳定安全系数应按 SL 265 的有关规定采用。

6.3.4 进水口抗浮稳定计算应符合下列规定：

- 1 进水口抗浮稳定安全系数应不小于 1.1。
- 2 抗浮稳定安全系数按公式 (6.3.4) 计算：

$$K_f = \frac{\sum V}{\sum U} \quad (6.3.4)$$

式中 K_f ——抗浮稳定安全系数；

$\sum V$ ——建基面上向下的垂直力总和（不含设备重量），kN；

$\sum U$ ——建基面上扬压力总和，kN。

6.3.5 进水口抗倾覆稳定计算应符合下列规定：

- 1 进水口抗倾覆稳定安全系数应不小于表 6.3.5 的规定。

表 6.3.5 进水口抗倾覆稳定安全系数

基本组合	特殊组合
1.35	1.2

- 2 进水口抗倾覆稳定安全系数按公式 (6.3.5) 计算：

$$K_0 = \frac{\sum M_s}{\sum M_0} \quad (6.3.5)$$

式中 K_0 ——抗倾覆稳定安全系数；

$\sum M_s$ ——建基面上抗倾覆力矩总和，kN·m；

$\sum M_0$ ——建基面上倾覆力矩总和，kN·m。

6.3.6 进水口建基面上的垂直正应力按公式 (6.3.6) 计算：

$$\sigma = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{\sum M_x y}{J_x} \pm \frac{\sum M_y x}{J_y} \quad (6.3.6)$$

式中 σ ——建基面上计算点的法向正应力，kPa；

$\sum V$ ——建基面上法向力总和，kN；

$\sum M_x$ 、 $\sum M_y$ ——建基面上法向力和切向力对形心轴 X、Y 轴的力矩总和，kN·m；

x 、 y ——建基面上计算点至形心轴 Y、X 轴的距离，m；

J_x 、 J_y ——建基面对形心轴 X、Y 轴的惯性矩， m^4 。

6.3.7 进水口建基面法向应力应符合下列规定：

1 整体布置进水口建基面应力标准应与大坝、河床式水电站或拦河闸等枢纽工程主体建筑物相同。

2 对于独立布置进水口，当建基面为岩石地基时，建基面法向应力应符合下列规定：

1) 在各种荷载组合下（地震情况除外），建基面法向应力不应出现拉应力，法向压应力不应大于塔身混凝土容许压应力以及地基允许承载力。

2) 地震情况下，建基面法向压应力不应大于塔身混凝土动态容许压应力，并不应大于地基允许承载力。

6.3.8 土质地基上进水口地基应力、渗流稳定、沉降计算及地基允许承载力的确定应符合 SL 265 的有关规定。

6.4 结构设计

6.4.1 进水口结构静力计算可采用结构力学方法进行，大型或重要工程进水口宜同时进行整体结构有限元分析计算。

6.4.2 土质地基上的进水口采用结构力学方法作静力分析时，可按弹性地基上倒框架模型或弹性地基梁（板）模型计算，对所切取的典型断面单宽切条，应计入两侧的不平衡剪力；边荷载的确定应符合 SL 265 的规定；当计算断面的地基有不均匀沉降时应考虑其不利作用。

6.4.3 对于斜坡式进水口和竖井式进水口，隧洞和竖井结构设计应按 SL 279 确定。

6.4.4 坝式进水口应根据运行条件、坝体荷载，分段计算孔口应力。

6.4.5 塔式和岸塔式进水口的塔身可根据体形轮廓按筒体或框架设计；塔座可按弹性地基梁（板）或弹性地基上倒框架设计。

6.4.6 进水口闸孔结构可按弹性地基梁（板）或弹性地基上倒框架设计。

6.4.7 岸塔式和斜坡式进水口的边坡应根据边坡地形地质条件、地下水位和水库运行等因素进行设计，应符合 SL 386 的相关规定。

6.4.8 拦污栅支承结构应通过合理选择栅墩数目、栅墩厚度、墩间联系结构和顺水流向（含斜向）的支承结构型式与截面尺寸，满足刚度和整体稳定性要求。

6.4.9 进水口整体结构和局部构件设计应符合 SL 191 的规定；有地震设防要求的进水口还应按 GB 51247 进行结构抗震设计。

6.5 地基处理

6.5.1 进水口地基应有足够的承载能力、结构稳定性、渗透稳定性和良好的抵抗变形特性。

6.5.2 进水口宜修建在地质条件较好的地基上。对于岩基中性状较差的断层、破碎带、软弱夹层、裂隙密集带、岩溶等地质缺陷，应予挖除或作加固处理；对于土质地基，持力层性状应均匀、稳定，当有软弱下卧层时，应采取相应的加固措施。

6.5.3 修建在岩基上的进水口地基处理应符合 SL 319 的规定。修建在土基上的进水口地基处理应符合 SL 265 的规定。

7 安全监测

7.0.1 安全监测项目应根据工程条件与工程需要，结合进水口功能与规模以及建筑物级别等具体情况确定。

7.0.2 进水口的安全监测分为常规项目和专门项目两类，应符合 SL 725 的规定。

7.0.3 常规安全监测应包括下列内容：

- 1 进水口上游水位。
- 2 拦污栅前后水压差。
- 3 建筑物变形。
- 4 边坡变形。
- 5 分层取水进水口水温。

7.0.4 专门安全监测应包括下列内容：

- 1 重要结构部位和土基部位的应力与变形。
- 2 地震效应。
- 3 泥沙与冰情。
- 4 其他。

附录 A 进水口体形

A. 0. 1 高、中水头有压式进水口喇叭段体形曲线，宜符合自由射流轨迹。矩形孔口体形曲线宜为椭圆曲线，可采用下列常用的椭圆曲线方程：

1 矩形喇叭口四面收缩或三面收缩（底板不收缩）时，可采用公式（A. 0. 1 - 1）：

$$\frac{X^2}{D^2} + \frac{Y^2}{(D/3)^2} = 1 \quad (\text{A. 0. 1 - 1})$$

2 矩形喇叭口仅顶板收缩，底边底板和两侧边墙均不收缩时，可采用公式（A. 0. 1 - 2）：

$$\frac{X^2}{(1.5D)^2} + \frac{Y^2}{(0.5D)^2} = 1 \quad (\text{A. 0. 1 - 2})$$

式中 X ——椭圆曲线沿长轴方向的坐标；

Y ——椭圆曲线沿短轴方向的坐标；

D ——矩形孔口的高度（垂直收缩时）或宽度（水平收缩时），m。

A. 0. 2 当有压式进水口管道流速小于 9m/s 时，除可按 A. 0. 1 条规定采用椭圆曲线外，也可选用由若干不同半径的圆弧段、直线段组成的近似椭圆曲线的组合曲线；对于流速很低的进水口（如灯泡贯流式机组进水口等）可采用单一半径的圆曲线。

A. 0. 3 高、中水头无压式进水口具有非淹没自由泄流或孔口出流的体形时，应符合 SL 319 和 SL 253 的规定。

A. 0. 4 进水口段布置有升降式平面闸门门槽时，其体形可参照 SL 74 的有关规定。

附录 B 水力计算

B.1 有压式进水口最小淹没深度

B.1.1 有压式进水口最小淹没深度见图 B.1.1。从防止产生贯通式漏斗漩涡考虑，最小淹没深度可按公式 (B.1.1) 估算：

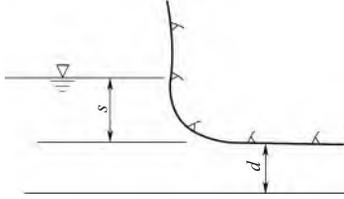


图 B.1.1 有压式进水口最小淹没深度示意图

$$S = Cvd^{1/2} \quad (\text{B.1.1})$$

式中 S ——最小淹没深度，m；

d ——闸孔高度，m；

v ——闸孔断面平均流速，m/s；

C ——系数，对称水流取 0.55，边界复杂和侧向水流取 0.73。

B.1.2 从保证进水口内为压力流，最小淹没深度 S 可按公式 (B.1.2) 估算：

$$S = K \left(\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4 + \Delta h_5 + \frac{v_5^2}{2g} \right) \quad (\text{B.1.2})$$

式中 K ——安全系数，不小于 1.5；

S ——最小淹没深度，不小于 2m；

Δh_1 ——拦污栅水头损失，m；

Δh_2 ——有压进水口喇叭段水头损失，m；

Δh_3 ——闸门槽水头损失，m；

Δh_4 ——压力管道渐变段水头损失，m；

Δh_5 ——进水口流道沿程水头损失，m；

v_5 ——进水口流道平均流速，m/s。

B.2 高速水流空化数计算

B.2.1 水流空化数可按公式 (B.2.1-1) 计算：

$$\sigma = \frac{h_0 + h_a + h_v}{v^2 / (2g)} \quad (\text{B.2.1-1})$$

$$h_a = 10.33 - Z/900 \quad (\text{B.2.1-2})$$

式中 h_0 ——计算断面上的压力水头，m；

h_a ——计算断面大气压力水头，m，根据高程按公式 (B.2.1-2) 估算；

h_v ——水的饱和蒸汽压力（水柱），m，参照表 B.2.1 取值；

$v^2 / (2g)$ ——计算断面的流速水头，m；

Z ——当地海拔，m。

表 B.2.1 水温与水的饱和蒸汽压力（水柱）的关系

水温/°C	0	5	10	15	20	25	30	40
h_v /m	0.06	0.09	0.13	0.17	0.24	0.32	0.43	0.75

B.2.2 按公式 (B.2.1-1) 计算得到的水流空化数应大于水工模型试验测定的初生空化数。可采用公式 (B.2.2) 作为进水口流道预防发生空蚀的判别式：

$$\sigma > (1.3 \sim 1.5)\sigma_1 \quad (\text{B.2.2})$$

式中 σ ——水流空化数；

σ_1 ——初生空化数。

B.3 水头损失计算

B.3.1 拦污栅水头损失可按公式 (B.3.1) 计算：

$$\Delta h_1 = \xi_1 \frac{v_1^2}{2g} \quad (\text{B.3.1})$$

当拦污栅无独立支墩时：

$$\xi_1 = \beta_1 \left(\frac{s_1}{b_1} \right)^{\frac{4}{3}} \sin \alpha$$

当拦污栅具有独立支墩时：

$$\xi_1 = \left[\beta_1 \left(\frac{s_1}{b_1} \right)^{\frac{4}{3}} + \beta_2 \left(\frac{s_2}{b_2} \right)^{\frac{4}{3}} \right] \sin \alpha$$

式中 $\frac{v_1^2}{2g}$ —— 过栅平均流速水头，m；

g —— 重力加速度，取 9.81m/s^2 ，下同；

ξ_1 —— 拦污栅水头损失系数；

β_1 、 β_2 —— 拦污栅栅片及拦污栅支墩形状系数，可按表 B. 3. 1 取值；

s_1 、 b_1 —— 拦污栅片厚度及栅片间净距，cm；

s_2 、 b_2 —— 拦污栅支墩厚度及支墩间净距，cm；

α —— 拦污栅栅面的倾角。

表 B. 3. 1 栅条形状系数

栅条形状							
β	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

B. 3. 2 有压式进水口喇叭段水头损失可按公式 (B. 3. 2) 计算：

$$\Delta h_2 = \xi_2 \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{B. 3. 2})$$

式中 $\frac{v_2^2}{2g}$ —— 喇叭段最小断面平均流速水头，m；

ξ_2 —— 喇叭口水头损失系数，矩形断面平顺收缩时为 0.05~0.1，平顺扩大时为 0.1~0.15。

B. 3. 3 闸门槽水头损失可按公式 (B. 3. 3) 计算：

$$\Delta h_3 = \xi_3 \frac{v_3^2}{2g} \quad (\text{B. 3. 3})$$

式中 $\frac{v_3^2}{2g}$ —— 闸门槽断面平均流速水头，m；

ξ_3 —— 闸门槽水头损失系数为 0.05~0.15。

B. 3. 4 压力管道渐变段水头损失可按公式 (B. 3. 4) 计算：

$$\Delta h_4 = \xi_4 \frac{v_4^2}{2g} \quad (\text{B. 3. 4})$$

式中 $\frac{v_4^2}{2g}$ —— 压力管道渐变段最小断面平均流速水头，m；

ξ_4 —— 渐变段水头损失系数，由方变圆或收缩时为 0.05，由圆变方或扩大时为 0.1，扩散角一般不大于 10° 。

B. 3. 5 沿程损失可按公式 (B. 3. 5) 计算：

$$\Delta h_5 = \frac{v_5^2 L}{C^2 R} \quad (\text{B. 3. 5})$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

式中 R —— 进水口流道水力半径，m；

L —— 进水口流道计算长度，m；

C —— 谢才系数，采用曼宁公式计算；

n —— 进水口流道表面糙率。

附录 C 闸坝引水式与河床式枢纽中 进水口的防沙设施

C.1 冲沙槽

C.1.1 槽内纵向流速应大于可能进入槽内的最大推移质的起动流速。

C.1.2 推移质的起动流速应根据工程具体情况通过试验分析确定。当缺乏资料时，可用沙莫夫经验公式估算：

$$v_k = 4.6 d_{\max}^{1/3} h^{1/5} \quad (\text{C.1.2})$$

式中 v_k ——泥沙起动流速，m/s；

d_{\max} ——从安全计，可采用进入槽内的最大推移质粒径，m；

h ——冲沙时的槽内水深，m。

C.1.3 冲沙槽的设计流量包括进水口引用流量及冲沙闸门冲沙流量两部分，后者不宜小于前者。

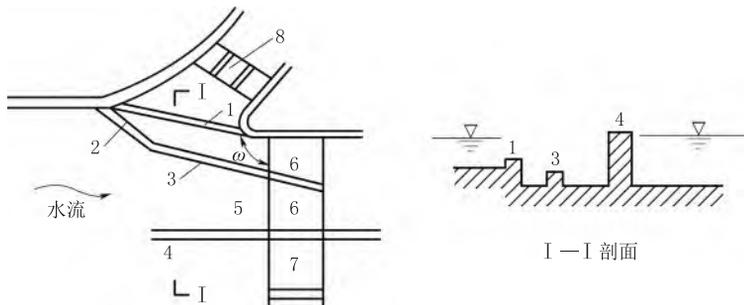
C.1.4 冲沙槽宜前宽后窄，保持槽内纵向流速有较均匀的分布。

C.1.5 计算出的槽宽较大时，可将冲沙闸分成两孔或多孔。

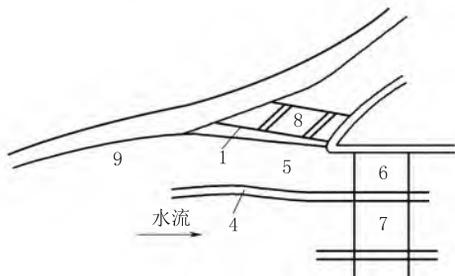
C.1.6 当冲沙闸为两孔或多孔时，可在冲沙槽内设置潜没的导沙顺坎和丁坎（图 C.1.6），以增大防沙效果。其中顺坎宜与槽内水流方向平行，丁坎宜与水流方向成 $30^\circ \sim 40^\circ$ 交角。坎高可取槽内冲沙时水深的 $1/3 \sim 1/2$ （丁坎常低于顺坎）。

C.1.7 当冲沙闸为一孔且冲沙槽较宽时，也可设置导沙丁坎和顺坎。

C.1.8 有条件时冲沙槽宜保持一定的纵向底坡。



(a) 布置形式一



(b) 布置形式二

- 1—拦沙坎；2—导沙丁坎；3—导沙顺坎；4—束水墙；5—冲沙槽；
 6—冲沙闸；7—泄洪闸；8—进水闸；9—天然或人工弯道
 ω —拦沙坎前缘与冲沙闸轴线的夹角

图 C.1.6 进水口及其防沙设施示意图

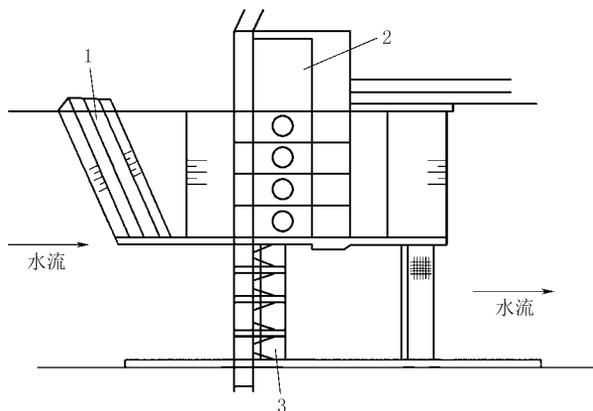
C.2 拦沙坎

C.2.1 进水口前设拦沙坎（图 C.1.6），其高度宜不低于 2.5~3.0m，也可为槽内冲沙水深的 50%左右。有条件时坎高宜取更大些。

C.2.2 拦沙坎前缘与冲沙闸轴线的交角 ω （图 C.1.6）宜采用 $105^\circ \sim 110^\circ$ 。

C.2.3 结合水工建筑物拦沙导沙的要求，可对上游施工围堰进

行拆除改造，起到拦沙坎的作用（图 C. 2. 3）。



1—拦沙坎；2—厂房；3—泄洪闸

图 C. 2. 3 由上游施工围堰改建的拦沙坎
(以河床式水电站平面图为例)

C. 3 束水墙

- C. 3. 1 束水墙宜与施工期纵向导墙（围堰）相结合。
- C. 3. 2 束水墙墙顶高程不宜低于冲沙水位。
- C. 3. 3 束水墙长度宜超过或接近进水口前拦沙坎上游端部。
- C. 3. 4 束水墙平面上可根据枢纽工程的具体情况，布置成直线、圆弧，或直线一曲线形。
- C. 3. 5 束水墙前端应做成带有斜坡的圆头或近似流线形。

C. 4 枢纽工程泄洪闸、冲沙闸 底板高程的确定

- C. 4. 1 排沙、冲沙建筑物应具有足够的泄水排沙能力。
- C. 4. 2 冲沙闸底板宜不超过泄洪闸底板高程。
- C. 4. 3 大中型工程宜通过模型试验论证闸底板高程。除考虑闸前的排沙效果外，还应考虑闸后河床的冲淤问题。

C. 4. 4 在设计初期，进行枢纽工程布置和防沙方案比较时，可按下列原则初步确定底板高程：

1 对于山区或半山区河流，若河床纵向变形处于下切阶段，且引水率和推移质输沙量不大，此时底板可取为原河床平均河底高程。

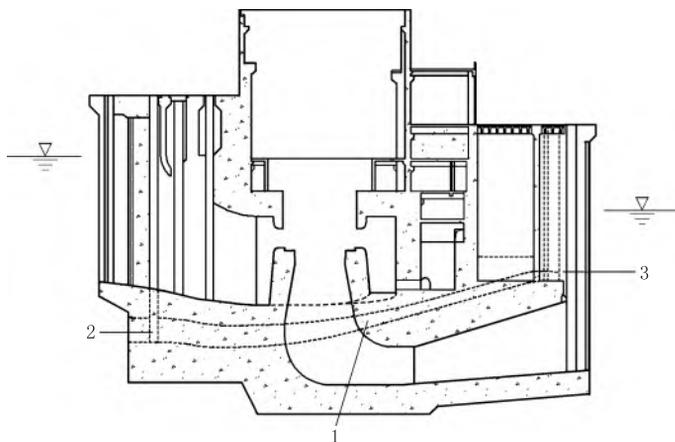
2 对于山区或半山区河流，当引水率超过 50%，且河流推移质输沙量较大，而河床纵向变形不属于下切阶段时，底板高程应比原河床平均河底高程抬高 1~2m。

C. 5 进水口的排沙、冲沙设施

C. 5. 1 开敞式进水口可在进水闸后流态较稳定的引渠段适宜位置，再设置截沙槽、截沙廊道以及曲线形沉沙池和冲沙建筑物，对泥沙进行第二次沉沙、冲沙。

C. 5. 2 河床式水电站进水口的排沙、冲沙设施可按下列方式设置：

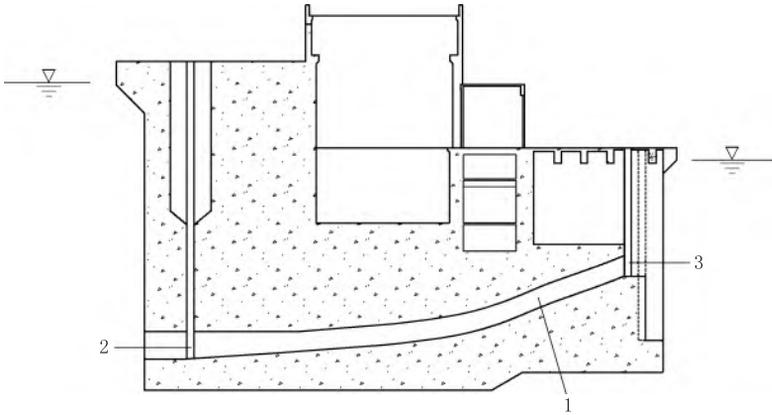
1 可在轴流机组尾水管一侧或两侧、蜗壳下方布置排沙孔（图 C. 5. 2 - 1）。



1—排沙孔；2—排沙孔进口检修门槽；3—出口事故检修门槽

图 C. 5. 2 - 1 布置在轴流机组尾水管两侧的排沙孔（剖面图）

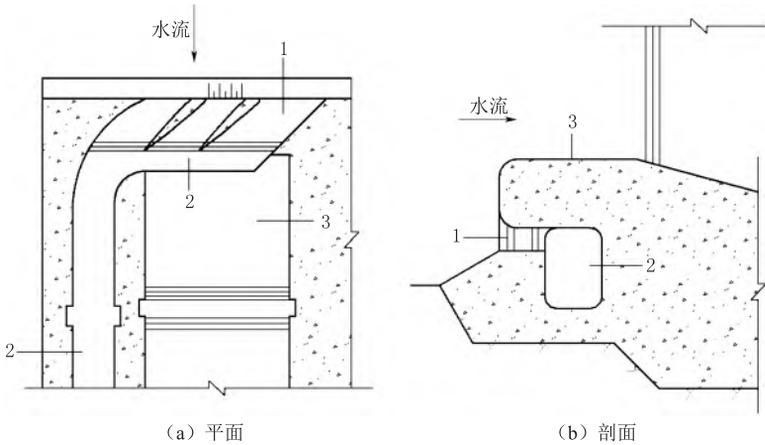
2 可在相邻两台灯泡机组之间设置墩内排沙孔（图 C.5.2-2）。



1—排沙孔；2—进水口检修门槽；3—出口事故门槽

图 C.5.2-2 布置在相邻两台灯泡机组之间的墩内排沙孔（剖面图）

3 可在进水口前方设置瓶颈式排沙管（或排沙廊道）进水口（图 C.5.2-3）。



(a) 平面

(b) 剖面

1—排沙管进水口；2—排沙管；3—电站进水口底板

图 C.5.2-3 河床式水电站厂房墩内排沙管（或排沙廊道）进水口

标准用词说明

标准用词	严格程度
必须	很严格，非这样做不可
严禁	
应	严格，在正常情况下均应这样做
不应、不得	
宜	允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做
不宜	
可	有选择，在一定条件下可以这样做

标准历次版本编写者信息

SD 303—88

本标准主要起草人：

原水利电力部西北勘测设计院 杨欣先（主编） 袁培义

原水利电力部成都勘测设计院 孙培烈

大连理工大学土木系 李彦硕

原水利电力部东北勘测设计院 刘丹

SL 285—2003

本标准主编单位：长江水利委员会长江勘测规划设计研究院

本标准主要起草人：符志远 刘志明 谢红兵 陈代华

黄启知

中华人民共和国水利行业标准

水利水电工程进水口设计规范

SL 285—2020

条 文 说 明

目 次

1 总则	35
2 术语	36
3 工程布置	45
4 防沙、防污和防冰	58
5 水力设计	70
6 结构设计与地基处理	74
7 安全监测	81
附录 C 闸坝引水式与河床式枢纽中进水口的防沙设施	82

1 总 则

1.0.2 本标准适用于水利水电工程各类进水口各个设计阶段。对于小型水利水电工程和临时工程的进水口，其设计可适当简化。闸门竖井内消能的泄洪隧洞进水口需专门研究后采用。小型水利水电工程进水口规模小，临时工程进水口运用时间短，设计上可适当简化，均无需与大、中型工程要求等同，一般可根据实际情况采用；竖井内消能的泄洪隧洞进水口水力条件复杂，消能防冲有专门要求，工程实例尚少，故此类进水口的设计需经专门研究后采用。

1.0.3 全面掌握基本资料是做好进水口设计工作的前提，本标准将“水库运用”作为基本资料列入，旨在强调进水口与水库运用的关系；尤其是进水口防沙、防污和防冰（以下简称为“三防”）问题，只有根据枢纽工程“三防”总体规划，通过对水库的合理运用，方可妥善解决。

2 术 语

2.0.1、2.0.2 进水口是水利水电工程的一部分，按功能分为引水工程进水口和泄水工程进水口两大类。

2.0.3、2.0.4 按工程布置划分，水利水电工程进水口分为整体布置进水口和独立布置进水口两种。

2.0.5、2.0.6 按水流条件，进水口分为无压式进水口和有压式进水口两种型式。

无压式进水口流道全程有自由水面，且水面以上与外界大气保持良好贯通。适用于在水位变幅较小的水库或河流中引用或泄放表层水的工程。

有压式进水口流道均淹没于水中，并始终保持满流状态，无自由水面，具有一定压力水头。适用于在水位变幅较大的水库或河流中引水或泄水的工程；运用前要求对流道充满水，并设有通气井（孔）排气或补气。

2.0.7 坝式进水口（含水电站压力前池进水口）见图 1 和图 2。

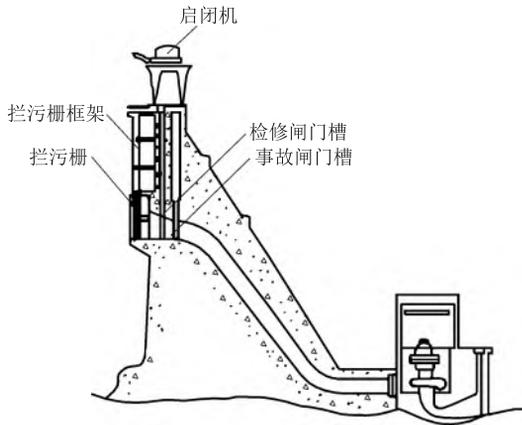


图 1 坝式进水口

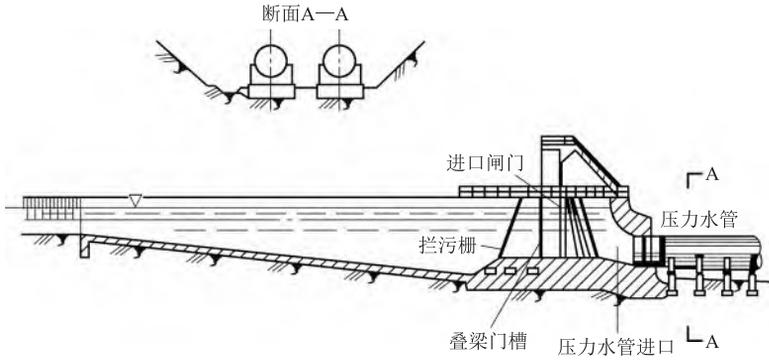


图 2 坝式（压力前池）进水口

2.0.8 河床式进水口见图 3。因河床式水电站多为中、低水头电站，进水口流道直接与电站水轮机蜗壳入口相接，多具有大喇叭状体形，流速较小，以减小水头损失。

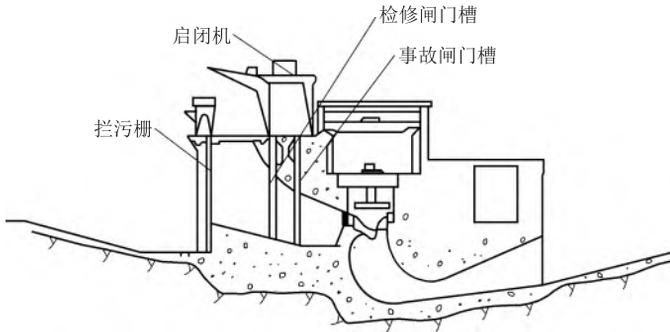


图 3 河床式进水口

2.0.10 岸塔式进水口是岸式进水口的一种，进水口建筑物紧靠岸坡布置，闸门布置于进水口塔形结构中，此种进水口可兼作岸坡支挡结构，见图 4。

2.0.11 斜坡式进水口是岸式进水口的一种，进水口倾斜布置在岸坡上，闸门布置于进水口内，闸门门槽（含拦污栅槽）贴靠岸坡，见图 5。

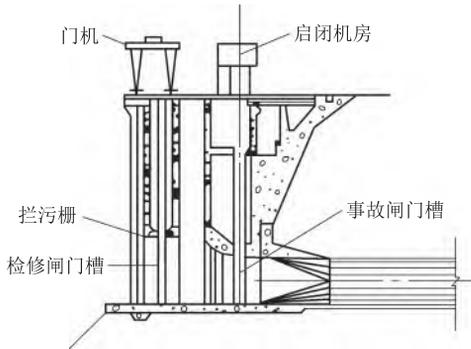


图 4 岸塔式进水口

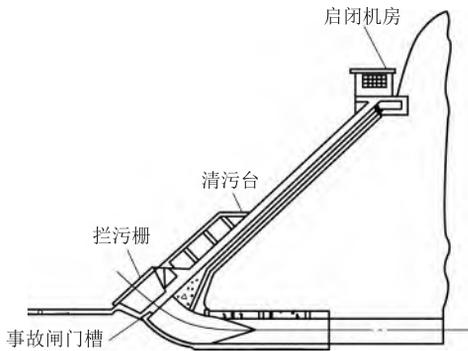


图 5 斜坡式进水口

2.0.12 竖井式进水口是岸式进水口的一种，进水口闸门井布置于山体竖井中，喇叭段入口设于岸坡上，喇叭段入口与闸门竖井之间流道为隧洞段，一般为压力水流，见图 6 和图 7。

2.0.13 塔式进水口为独立布置进水口，布置于大坝和河岸（库岸）以外，适用于河岸（库岸）地形过缓或因地质条件不适合在岸边设置进水口的引水工程。已建的塔式进水口的引水入口多为单面进水的矩形塔式结构（图 8）和多孔进水的圆形塔式结构（图 9），闸门和启闭机比较特殊，在我国应用实例较少。

2.0.14 分层取水进水口是为获取不同高程水体，以满足水温等

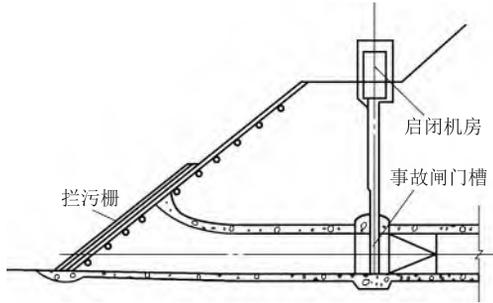


图 6 竖井式进水口

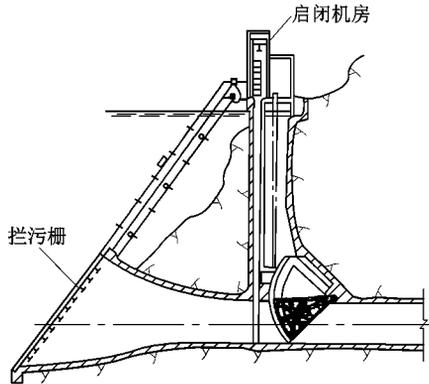


图 7 竖井式（泄水）进水口

要求的一种进水口型式。

当需要取水库表层水时，可在进水口设置叠梁闸门或设置多层进水口。

(1) 叠梁门式进水口。根据水库水位的变化，设置叠梁闸门，调节闸门的高度，达到取水库表层水的目的，其布置见图 10 (a) 和图 10 (b)。

(2) 多层进水口。多层进水口为分层取水进水口的一种，通过在不同高程设置两个或两个以上的取水口，达到分层取水的目的，见图 11 (a) 和图 11 (b)。

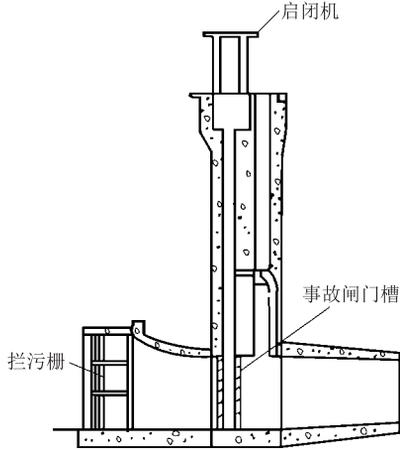


图 8 塔式进水口（矩形）

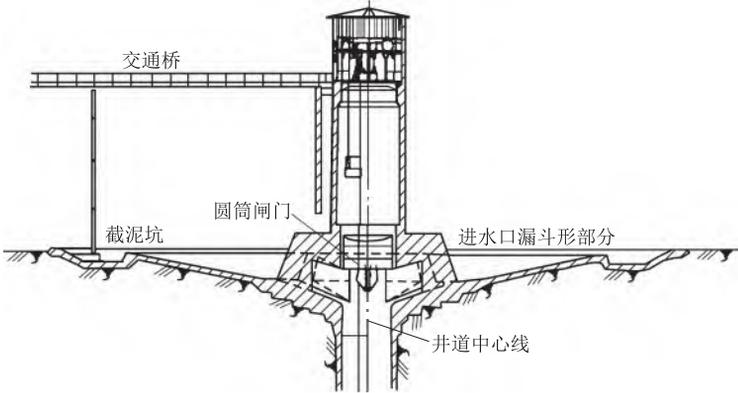
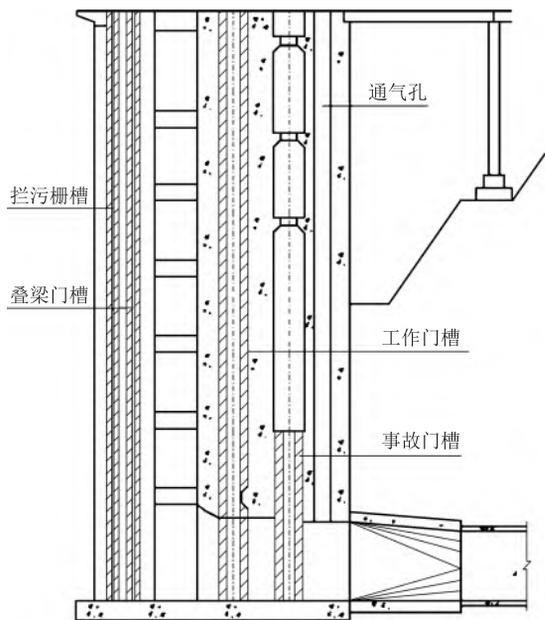
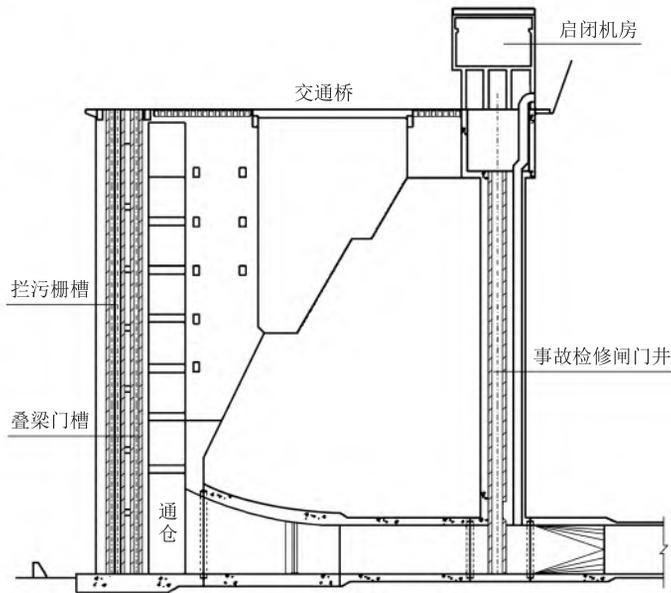


图 9 塔式进水口（圆形）

(3) 翻板门式进水口。翻板门式进水口为分层取水进水口的一种，多层水力自动翻板型装置的分层取水设施由进水塔或斜管、竖向安装在塔上游面的若干层翻板闸门等组成。多层水力自动翻板型简易结构见图 12。其优点是能够依靠水力自动启闭，节省了提升设备和部分管理人员，在小型水利工程中使用。



(a) 事故闸门在边坡外



(b) 事故闸门在山体内

图 10 叠梁门式进水口

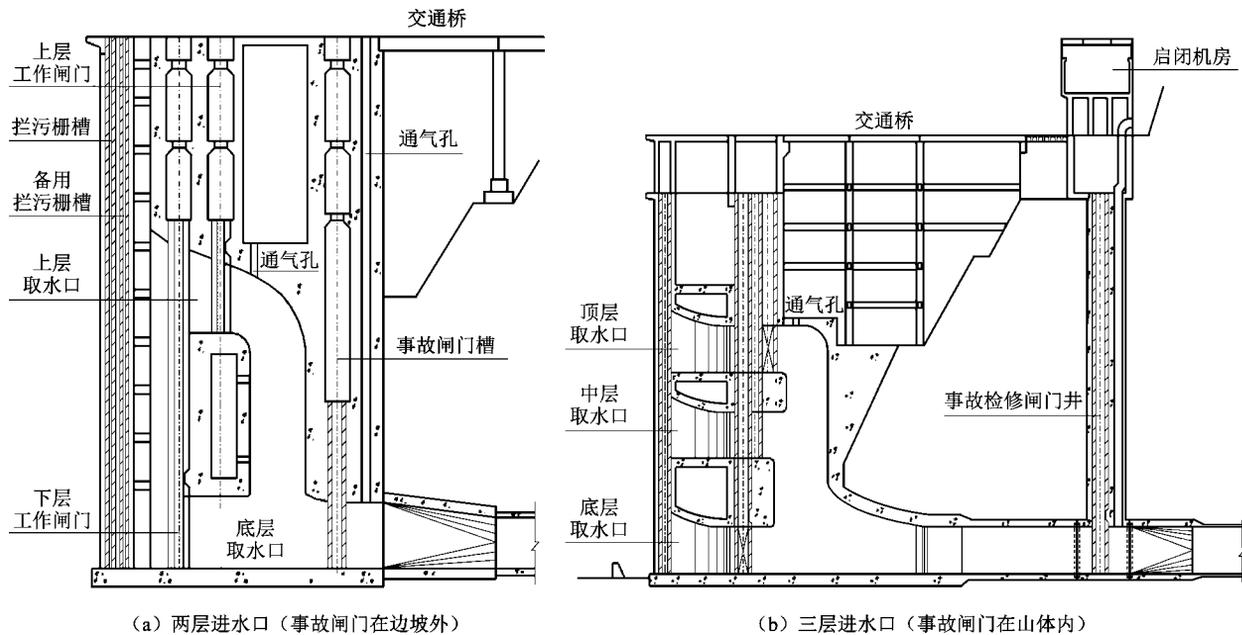


图 11 多层进水口

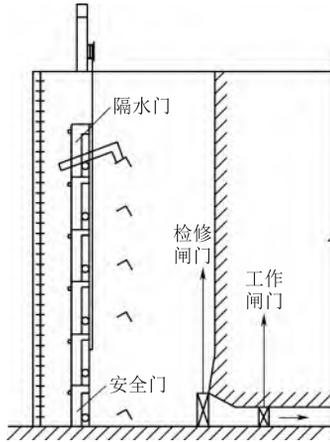


图 12 多层水力自动翻板门式进水口

2.0.15 拦河闸式进水口是拦河工程的组成部分，为整体布置进水口，见图 13。多布置在靠岸坡的拦河闸段上，大多为低水头挡水建筑物。其后引水建筑物多为明渠或无压隧洞。

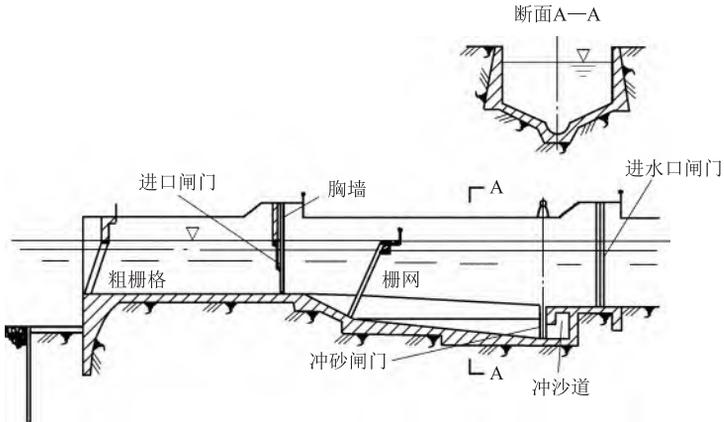


图 13 拦河闸式进水口

2.0.16 堤防涵闸式进水口布置于堤防中，并穿越堤防，为独立

布置进水口，见图 14。

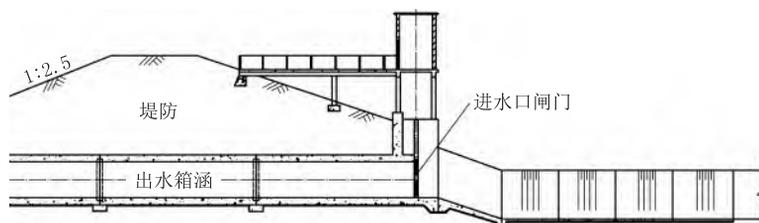


图 14 堤防涵闸式进水口

3 工程布置

3.1 一般规定

3.1.1 进水口建筑物是水利水电工程的一个组成部分，进水口位置和型式的选择与整个枢纽工程总体布置关系密切，只有与整个枢纽工程总体布置一并考虑，通过方案比较，才能在枢纽工程总体布置最佳的前提下，确定合适的进水口布置方案。

3.1.2 对于大型或重要工程的进水口要进行水工模型试验或数值仿真分析，验证结构、防沙和水力学等设计，仅凭工程经验设计是欠妥的。

3.1.3 大型水利水电工程工期较长，为及时发挥初期工程效益而需分期建设时，进水口高程的设置要满足分期引水的需要。例如，长江三峡水利枢纽左岸电站装机 14 台，右岸装机 12 台，水库正常蓄水位为 175m，汛期防洪下限水位为 145m。其中左岸电站机组于 2003 年起陆续投产，提前发挥效益，初期运行时最低运行水位为 135m，左岸电站进水口底板高程按初期运行最低水位确定为 108m。

3.1.4 为保证进水口水流顺畅和进流匀称，要求着重于工程布置，使其与相关建筑物布置相协调，避免趋近进水口水流流向突变，形成回流；尽量避免进水口一侧紧靠陡峻的岸坡而造成进水口水流不对称，产生偏流；进水口还要与后接流道平顺过渡，以保证水流条件的良好衔接，保证在各级运行水位下，能引进（或泄放）设计流量或中断运用。

3.1.5、3.1.6 进水口防沙、防污、防冰与枢纽工程“三防”是局部与整体的关系。要重视从总体上优化布置，充分发挥泄水工程泄洪、排沙、防污及排冰综合功能，同时优化水库运行调度方式，这是解决好枢纽工程“三防”的关键。例如，葛洲坝水利枢纽工程通过水工整体模型试验，采用了“一体两翼”的总布局，

即泄洪建筑物居于河床的中部，电站分居左、右两侧的布置，较好地解决了枢纽工程的防沙问题；又如，黄河上的三门峡水利枢纽，经对水库运行调度的长期研究，总结了“蓄清排浑”的水库运用经验，结合泄洪，排放水库淤沙，也较好地解决了枢纽工程防沙问题，达到水库长期运用的目标。

对于引水工程进水口自身的“三防”要求，需防止泥沙、漂污物和流冰积聚进水口门前，影响正常引流；同时避免有害泥沙和漂污物进入引水系统，堵塞过水建筑物或机组流道，对水电站水轮机组和泵站水泵机组造成磨损，影响机电设备耐久性和降低工程效益。

我国土地辽阔，南北跨越 33 个纬度。在北纬 30° 以北的 17 个省（自治区、直辖市），约占我国 3/4 以上的地区，尤其是东北、华北和西北地区，每年冬季都会出现不同程度的冰情。因此，防止流冰的撞击、冰压力的破坏和设施的冻结，是严寒地区河流上进水口设计的重要问题之一。

3.1.7 岸式进水口一般选在水流稳定的库岸或河势稳定的河段上，水流稳定或河势稳定意味着过流断面基本不变，主槽位置比较固定，泥沙、漂污物与冰情的时空分布也相对稳定，有规律，这对于直接从河流引水的工程尤为重要。修建进水口不要造成河势重大变化，否则将给进水口功能和运行条件造成不利影响。因此，必要时就修建进水口对河势稳定的影响通过水工模型试验予以验证，确保岸式进水口有持久的良好的进水条件，以利于长期安全运用。

对进水口地形、地貌和地质条件要查明，尽量选择良好的地质地段和避免高边坡开挖；若因枢纽工程布置所限，未能避免不良地质地段和高边坡开挖时，需因地制宜，采取优化布置和辅以必要的加固措施去解决，要做到布置合理，措施有效。例如，东北地区的莲花电站岸塔式进水口，基岩为弱风化混合花岗岩，主要地质问题是临河地段裂隙发育张开，3 条主要岩脉破碎夹泥，存在局部松动和不稳定岩块。修编初设时，分为两个独立进口，

布置在 3 条岩脉之间，避开了岩脉的不利影响，但因进水口轴线与地形等高线交角仅 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，造成侧向进洞和不对称高边坡，其中 2 号进水口最大开挖边坡高度为 124m，边坡需采用多种措施加固，技术复杂，工程量大。在技施设计阶段，对进水口布置作了进一步优化，采用了三项主要措施：①调整进水口轴线方向，使之与地形等高线有较大交角；②通过改善流道体形，压缩了进口段长度；③提前进洞，回避不利的地质条件。这些措施使最大边坡开挖高度降为 55m，永久坡高降为 20m，避免了高边坡，工程安全更有保证，并节省工程量。该电站于 1996 年 12 月发电，进水口运行良好。

3.1.8 对于有调节进流量要求的进水口，如泄水工程进水口往往闸门前为有压段，后接流道为明流时，往往需要通过进流量的调节来实现流态的衔接，因此通常设置工作闸门及配套控制性设施。配齐闸门、启闭机、配套的油压装置、充水与通气设施等，并要求操作灵活可靠，交通畅通无阻，检查与维修方便，以保证进水口安全运用。

3.1.9 为方便进水口施工和正常管理，要求有良好的工作场地和交通运输条件，并配备可靠电源，特别是大型或重要的泄水工程进水口还要配备独立的备用电源，以确保安全运用。

3.1.10 为满足灌溉、工业和生活用水的水质要求，通常需要取用水库或河道内不同高程的水体，另外，对具有高坝大库的大中型水电工程，其库容大、库水深，使原有天然河道水温在时空分布上发生一定程度的改变，库内水温一般形成垂直分布，表面温度高，底部温度低，而引水发电系统进水口则一般采用深孔取水，因此下泄水温较原天然河道水温低，对下游生态环境造成一定程度的不利影响，如珍稀动物的生存与繁殖、珍贵植物的生长以及农田作物的产量等都有可能受到影响。这些为满足水温、水质或泥沙要求而设置的分层取水进水口，可通过分层取水措施抬高（或降低）取水口高程，引取水库或河道不同高程水体，控制下泄水温、水质和泥沙含量。

分层取水方式较多，对于大中型工程而言，多采用叠梁门分层取水或多层取水口分层取水型式，两者在结构布置及受力条件、水力特性、控制分层取水方式等方面有较大区别，因此，需通过技术经济综合比较确定。国内大中型工程分层取水概况见表 1。国内外其他分层取水工程概况见表 2。

表 1 国内大中型工程分层取水概况表

序号	项目名称	引用流量 (m^3/s)	分层取水型式	叠梁门顶 控制水深/m	进水口内流道设置 (宽度, 是否通仓)
1	滩坑水电站	3×213	叠梁门、岸塔式	>15	宽 6m, 通仓
2	光照水电站	4×216.5	叠梁门、塔式	>15	宽 8m, 独立
3	江坪河水电站	2×166.1	叠梁门、岸塔式	>15	宽 10.7m, 独立
4	锦屏一级水电站	6×337.4	叠梁门、岸塔式	>20	宽 4m, 独立
5	糯扎渡水电站	9×393	叠梁门、岸塔式	>29	宽 6m
6	溪洛渡水电站	18×423.8	叠梁门、岸塔式	>20	宽 5.5m, 通仓
7	双江口水电站	4×272.5	叠梁门、岸塔式	>17	宽 3.4m
8	乌东德水电站	12×691.1	叠梁门、岸塔式	22~16m	宽 5.9m, 通仓
9	亭子口水电站	4×432	叠梁门、坝式	>15	宽 10.0m, 通仓
10	白鹤滩水电站	16×547.8	叠梁门、岸塔式	>25	宽 6m, 通仓

3.1.12 表 3.1.12 中设计水位是指水库（或河流）设计洪水水位；校核水位是指水库（或河流）校核洪水水位。进水口闸门、启闭机械和电气设备工作平台高程为特征挡水位加波浪计算高度及表 3.1.12 中安全加高值之和，为了不使上游来水（特别是洪水）漫过进水口工作平台，危及工作平台上设备、人员安全，设计洪水和校核洪水工况下都要满足防洪要求，因此要求按两种工况水位叠加波浪计算高度、安全加高后的较高者确定。整体布置的进水口平台高程与挡水建筑物相协调一致，同样是防洪的需要。进水口“波浪计算高度”的概念与 SL 265 一致，其计算公式采用 SL 319 的相关规定，即由两部分计算之和组成：

表 2 国内外其他分层取水工程概况表

序号	项目名称	分层取水型式	功能	工程位置	建设状态	备注
1	大伙房水库	固定分为四层，平面错开，塔式	供水	辽宁，浑河	建成	
2	永定桥水库	坝内分三层埋设钢管，平面错开	供水	四川，流沙河	建成	
3	温州市泽雅水库	三层进水口，平面错开，岸坡竖井式	供水	浙江，成浦江	建成	
4	磨盘山水库	三孔闸门，上下重叠，塔式	供水	黑龙江，拉林河	建成	
5	阿哈水库	四孔闸门，上下重叠，塔式	供水	贵阳市南郊		
6	清凉山水库	虹吸式分层取水	供水、发电	梅州市梅县西阳镇		
7	肖家岩水库	软、硬管	灌溉	四川，万善河		
8	小浪底南岸引水口	上、中、下 3 孔	解决泥沙问题	小浪底水库库区南岸	建成	
9	引黄取水口	坝内进水口前设隔水竖井，竖井前设隔水闸门，提升或下降隔水闸门，门顶溢流	解决泥沙问题	黄河万家寨水利枢纽工程	建成	
10	沙斯塔 (Shasta) 枢纽工程	改建，在原进水口前设置拦阻装置，形成三层取水结构	发电	美国，萨克拉曼多河	建成	电站装机 629MW，设计引水量 538m ³ /s，额定水头 100m
11	饿马 (Hungry Horse) 枢纽	改建，在原拦污栅部位设置半圆形闸门结构	防洪发电	美国	建成	4 台机，装机容量 428MW，设计流量 110 m ³ /s
12	格兰峡 (Glen Canyon) 大坝	改建，封堵部分拦污栅，形成多层取水结构	发电	美国	建成	8 台机，装机容量 130MW，设计流量 113 m ³ /s

$$h_{1\%} + h_z \quad (1)$$

式中 $h_{1\%}$ ——累计频率 1% 的波高，m，按照 SL 744 的有关规定计算；

h_z ——波浪中心线至设计洪水位或校核洪水位的高差，m，按照 SL 744 的有关规定计算。

3.2 进水口型式与体形

3.2.2、3.2.3 进水口流道一般按单孔设计，但水头过高、孔口尺寸过大、受闸门结构加工制作或启闭机容量所限时，可变单孔为双孔或多孔；对于引水工程进水口，设置中隔墩后，为减少对水流流态的扰动，可适当延长隔墩，并选用较小的墩尾收缩角，以减小水头损失，并防止空蚀；对于泄水工程进水口，隔（闸）墩长度由结构布置和水流条件决定，因流速较大，双孔或多孔的体形容易发生空蚀，需有可靠的防空蚀措施，其中，大型或重要工程进水口体形需经水工模型试验验证；此外，对于岸式进水口，因单孔变双孔或多孔后，往往导致开挖跨度增大，需要注意地质条件是否允许，并采取必要的加固措施。

3.2.4 引水工程进水口的流速一般较小，对流道体形要求平顺、渐变，目的是减少水头损失，故进水口过水断面边界常采用流线形或钟形，体形曲线选用椭圆曲线或圆曲线，同时过水断面积一般不变或逐渐减小；对于闸门段，因门槽轮廓突变，需通过合理布置，降低闸门段流速，减小局部水头损失，并布设通气孔，加强补气，避免出现真空，防止空蚀。

3.2.5、3.2.6 泄水工程进水口流速一般较大，为防止出现空蚀，对流道体形要求严格。流道一般选用阻力小、沿程压力变化较小的合理体形，避免水流波动，防止或减少流道空蚀；特别是要完善闸门槽、渐变段和闸门后突然扩大等部位的体形，采取预防空蚀措施，必要时需采取掺气、增压等措施。

当采用椭圆曲线时，长轴与短轴的比值不小于 3 倍，使流线收缩更为平缓、畅顺；当流速达到或超过 15m/s 时，需要进一

步改善体形，严格控制过流表面的不平整度，确保过流面平顺，并加大通气孔补气能力，必要时可提高闸门段混凝土强度等级等；当流速达到或超过 25m/s 时，属高速水流，还需通过专门的水工模型试验，其中包括减压箱试验，提出抗冲、耐磨和防空蚀的专门措施。在实施中，一般按下述要求控制过流表面不平整度，以保证工程安全运行，达到工程效益。

(1) 允许不平整度：闸门段为 5mm，喇叭口段和渐变段为 10mm。

(2) 在允许不平整度范围内，一般按下列要求磨成缓坡：
①顺流向磨平坡度为 1 : 30；②垂直流向磨平坡度为 1 : 10。

泄水工程进水口过流表面不平整度控制以及抗冲、耐磨和防空蚀措施可参考 SL 253 中相关内容。

3.2.8 进水口需装设何种闸门，由进水口型式、功能、规模和后接流道类型、长度、是否装有闸门或阀门以及对进水口下游建筑物的保护要求而定。如水电站有压式进水口，因水轮发电机组是靠水轮机导叶调整流量的，因此一般只需设置事故闸门，而无需设置工作闸门，不过若采用大直径的轴流式水轮发电机组时也可设置工作闸门；此外，若后接流道调压井内或高压管道首部装有事故闸阀时，除引水隧洞较长或运行有要求外，可只装设检修闸门。

对于有流量调节要求的进水口，则需设工作闸门，如泄洪隧洞进水口需按泄洪调度要求在动水中启闭操作或调节流量，则需设置工作闸门，而且多为弧形闸门；而当事故闸门或工作闸门需要检修时，在其上游还要设置检修闸门。

3.2.9、3.2.10 高水头事故闸门或工作闸门，从结构设计角度，闸门通常采用取窄高形，但闸孔过于狭长，不利于与其后流道衔接，故闸孔宽高比一般取 1 : 1.0~1 : 2.0；有压式进水口闸门后渐变段轮廓顺流向多采用直线变化规律，长度一般为 1~2 倍的后接流道宽度（或直径），流道扩散角一般为 6°~12°，另因闸孔受闸槽轮廓突变的影响，水流条件相对复杂，相应闸孔面积一

般大于后接流道面积。闸孔最终尺寸需在满足上述条件下，经技术经济比较后选定。

3.2.11 有压式进水口需在闸门槽下游侧设置通气孔；只有当工作闸门或事故闸门止水设于上游，可以利用闸门井充分补气，而且闸后流道流速较低，经水工模型试验论证，也可不设通气孔。而为充分发挥通气孔的作用，通气孔下方开口通常布置在紧靠工作闸门或事故闸门门槽下游侧的流道顶板上，上方出口通向室外，高程高于上游最高水位，以保障人身和设备的安全。

3.2.12 进水口通过引渠取水，会造成水头损失，并带来工程量的增加，若非枢纽工程总体布置要求，首选直接进水的布置方案；当确需采用引渠进水时，要重视渠道及前池布置，完善进水条件，确保引渠的过流能力大于或等于进水口的进流能力，避免使引渠成为进流的“瓶颈”，并尽量减小水头损失。当引渠较长，并有可能发生不稳定流时，还需考虑其不利影响；如引渠较长的无压引水式电站压力前池进水口，机组流量调节、进流量骤然增（减），均会使引渠出现不稳定流，并引起引渠和前池中水位的降（升）振荡，这些水位变动条件均是确定进水口高程及有关建筑物设计时所要考虑的（如引渠的超高或无压隧洞水面以上净空，前池侧堰溢流前沿长度和高程等）。

3.2.13 调查统计目前国内已建、在建以及处于研究阶段的大中型工程分层取水进水口型式，主要采用叠梁门型式，其控制分层取水灵活、运行相对简单；而多层取水口型式目前大中型工程中应用不多，早期小型水库使用较多，如大伙房水库、永定河水库、泽雅水库等，具有进水口结构受力条件好、闸门控制简单等优点，对于拟建中的大中型工程也可考虑，进行方案比较。

能够灵活控制分层取水是确保下泄水温的一个重要因素，而且运行操作都需方便可靠。对于叠梁门型式主要是考虑单节门高及运行要求，充分体现分层取水的灵活性；多层取水口型式应研究不同闸门切换的控制条件及要求。

3.3 引水工程进水口布置

3.3.1 在支流或山沟汇口附近，往往有洪水带来大量推移质，威胁引水工程进水口的正常运行。进水口前方若有回流区，最容易积聚漂污物，并造成拦污栅被污物堵塞。此外，回流区水流将影响对称进流，甚至造成偏流，对进水口流态不利，需要避开。另外，从工程安全和正常运用上，引水工程进水口要避免流冰、漂木的直接撞击和堵塞。

3.3.2 把进水口选在弯曲河段上是为了充分利用弯道的环流作用，而弯道顶点下游附近环流强度最大。利用环流作用是一项重要的防沙措施，早在 2000 多年前都江堰工程就得到应用，并为后众多的工程实际所采用。对于形态规则的圆弧形河段，苏联杜立涅夫曾通过试验得出最有利的引水口位置。其计算公式如下：

$$L = KB \sqrt{\frac{4R}{B} + 1} \quad (2)$$

式中 L ——引水口至弯道起点之间的距离，m；

R ——弯道河槽中心线的弯曲半径，m；

K ——系数，一般取 0.6~1.0；

B ——弯曲河槽宽度，m。

与此类似的还有其他经验公式。但由于实际河流的弯曲形态常为非规则的同心圆，所以这些公式都还难以正确地应用。此外在选择枢纽工程位置时还要综合考虑地形、地质条件和工程布置要求。例如，映秀湾和龙渠水电站的引水枢纽工程，其进水口都接近弯道的末端，因为该处有较合适的进水口位置，其后有布置沉沙池的地形条件，引水位置综合条件最好。

但也要指出，弯道横向环流强度过大也会对工程产生不利的影 响。例如，凹岸下游冲刷剧烈，河道水位横向比降大，在此布置拦河闸孔，泄流能力很不均匀；位于凸岸一侧的闸孔泄流量小，而且闸前闸后易形成淤积等，这些在设计中都要注意。

3.3.3 当进水口直接从河流取水时，上游最低运行水位指的是

与引用流量设计保证率相应的河道水位；而当从水库取水时，指的是与进水口功能相应的水库运用最低水位，如对于水电站进水口，水库运用最低水位为水库死水位，对于供水工程进水口，水库运用最低水位为供水运用最低水位。

无压进水口水深是影响其取水能力的重要因素，一般根据设计引用流量，按上游最低运行水位、闸孔尺寸和后接流道衔接条件确定其底板高程。

3.3.4 水电站有压式进水口对于口门前流态要求不产生贯通挟气漩涡，一般按附录 B 提供的经验公式计算淹没深度，推算进水口底板高程。灌溉和供水工程有压式进水口也一般参照附录 B 计算淹没深度，同时可根据使用要求和实际工程经验类比确定。当难以达到最小淹没深度要求时，要采取防涡措施，如在水面以下设置防涡梁、板或防涡栅等。对于大型或重要工程的有压式进水口，一般通过水工模型试验确定孔口型式及底板高程。但也要指出，中、高水头进水口前缘水域发生漩涡是较为普遍的现象，编制 SD 303—88 时，对 48 座水电站的统计资料表明，其中有 33 个进水口（约占 69%）曾不同程度地发生过漩涡。表面漩涡对进水口或后接流道运行不会有大的影响，但贯通式挟气漏斗漩涡有可能造成大量漂污物吸附在拦污栅上，使栅条变形，并将空气吸入，使管道振动，流量减少，增加水头损失，影响工程安全与效益的发挥，因此必须予以避免。一些工程进水口，如抽水蓄能电站进水口，往往受多种因素限制，不能满足最小淹没深度要求，就需采取设置防涡梁、板或其他有效的消涡措施，以消除其不利影响。

例如，三峡水利枢纽左岸电站进水口，水库运行最低水位为 135m，进水口底板高程为 108m，原设计后接压力管道有一倾角，结果未能满足按附录 B 计算的淹没深度要求，由于大坝布置上的原因，进水口底板高程不能下降，最后通过大比尺的水工模型试验，将后接的一段压力管道调平，并利用口门前方的拦污栅八字撑杆消除漩涡，结果试验表明进水口门前没有再出现有害

的立轴漩涡，满足设计要求。

又如，十三陵抽水蓄能电站下库进/出水口淹没深度采用附录 B 公式计算得最小淹没深度为 5.37m，而实际淹没深度为 5.8m；但考虑漩涡的复杂性，在进/出口的上方设置了三根断面尺寸为 2m×1.3m（高×宽）、间距为 1.2m 的防涡梁，用以消除漩涡。运行表明进/出水口在进水时无环流、无漩涡，出水时无翻花，达到设计预期要求。

白鹤滩电站进水口在进行体形优化试验研究中发现，位于水流表层的连系梁（包括横梁、纵梁或人字梁）对进口流态具有明显的消涡作用。在乌东德水电站进水口体形优化试验过程中，原设计方案死水位 945m 附近的连系梁底面位于死水位的上方，没有起到应有的作用，进口流态出现了立轴漩涡，并有气泡进入流道。将该处的连系梁顶面降低到死水位 945m 下 0.5m，进口流态转变为表面游离型漩涡，可满足要求。

因此，在设计中当水位一定时，连系梁可布置在该水面以下 0~0.5m 处；在电站运行中当连系梁高程一定时，水位可在连系梁中部以上运行，进口流态即可满足要求。

位于水流表层的连系梁（包括横梁、纵梁或人字梁）对进口流态具有明显的消涡作用，在水电站进水口叠梁门分层取水中，要重视各层连系梁的消涡作用，各层连系梁的布置一般与叠梁门的层数相匹配。在分层取水的最低水位（死水位）和最高水位分别布置连系梁（相应水位下 0~0.5m 处）后，其余连系梁的间距按：叠梁门单节高度不大于 4m，可按 2 层叠梁门布置 1 层连系梁；当叠梁门单节高度较大时，可按 1 层叠梁门布置 1 层连系梁。

白鹤滩电站在进行各层叠梁门最小淹没水深试验研究中发现，位于水流表层的连系梁对进口流态具有明显的消涡作用，每层叠梁门运行水位只要位于相应的连系梁顶面上附近，进口流态均可满足要求；水位脱离该连系梁的底面，就会出现较大的漩涡，进口流态不能满足要求。

浙江滩坑电站分层取水水温原型观测表明：下泄水温与叠梁门顶水深具有密切的关系，特别是在升温期，门顶水深对下泄水温影响很大，要尽可能减小门顶水深以提高下泄水温。而进口流态需要门顶较大的淹没深度，与下泄水温门顶水深尽可能小，是一对矛盾，只有通过合理布置连系梁的高程，起到消涡作用，才能减小门顶水深。

3.3.5 进水口防沙与枢纽工程总体防沙是局部与全局的关系。枢纽工程防沙的目标是水库冲淤平衡，长期使用；进水口防沙的目标是门前清，确保引水正常运行。只有从枢纽工程防沙上全面采取措施并做好水库调度运行，方可保持稳定的水库冲淤平衡形态。在布置允许情况下，进水口底板按高于水库或天然河床淤积平衡高程布置；若不允许，则需按底板高于进口前形成的排沙漏斗去确定底板高程。

所谓排沙漏斗，即通过排沙、冲沙设施，将电站进水口前的淤沙排往下游的同时所形成的漏斗状的沉沙形态。排沙漏斗顺水流方向的坡度（纵坡）和垂直流向的坡度（侧向坡）与来水来沙条件、进水口前地形、排沙洞过流量、进水口前泥沙淤积的厚度、粒径、沉积历时和密实度等有密切关系，根据一些工程的总结，纵坡为 1 : 3 ~ 1 : 30；侧向坡比为 1 : 2.5 ~ 1 : 4.6。

在无试验资料情况下，侧向坡比可由经验公式估算：

$$M = (0.03 \sim 0.05) \lg \frac{Qu}{u_{01}^2 H^2} \quad (3)$$

式中 M ——漏斗侧坡降；

u ——排沙孔喇叭口处的平均流速，m/s；

Q ——排沙流量，m³/s；

H ——坎前淤积厚度，m；

u_{01} ——1m 水深时泥沙起动流速，m/s。

3.4 泄水工程进水口布置

3.4.1 泄水工程进水口一般根据枢纽工程防沙、防冰要求，充

分利用泄洪的同时排沙、排冰。例如，三门峡水利枢纽 1960 年建成蓄水，由于对枢纽工程防沙问题缺乏足够的认识，泄洪底孔孔口太小，排沙比仅 6.8%，水库淤积严重，一年半后库容殆尽，电站无法正常引水运用，以后从枢纽工程防沙角度，打通导流洞，加大泄洪排沙规模。改建后运行表明，出库泥沙占入库泥沙的 100%~105%，库区河床基本稳定，并有所下降，电站引水运用也恢复了正常。

3.4.5 专门性的排沙孔（洞）多为引水工程进水口门前清而设置，通过拉沙形成排沙漏斗，以满足引水工程进水口正常运用要求，排沙孔的孔数、间距均按此要求确定，其底板高程一般低于引水工程进水口底板高程，为有压式进水口。例如，小浪底水利枢纽 3 个排沙洞进水口均在引水发电洞进水口下方，其中 1 号排沙洞在 1 号与 2 号发电洞进水口之间，呈倒“品”字形布置，发电洞进水口底板高程为 191.51m，排沙洞进水口底板高程为 172.7m；2 号、3 号排沙洞则分别与 3 号、4 号发电洞和 5 号、6 号发电洞相对应，布置目的是为保证发电洞门前清。

3.4.6、3.4.7 水利枢纽工程通常需分期导流，初期导流时水位较低，导流孔（洞）进水口要满足无压进水要求，但汛期泄洪运用，水位较高，但历时较短，允许出现明满流交替。

导流孔（洞）需封堵时，闸门与启闭机工作平台要满足封堵时施工和交通要求，当需改造为永久工程时，还要同时满足各期导流和作为永久工程的运用要求。

4 防沙、防污和防冰

4.1 防 沙

4.1.1 防沙设计的任务是制定合理的防沙措施。是否需要防沙，采取什么样的防沙措施，以及防沙措施的规模大小，都决定于河流的泥沙资料。因此，正确地解决进水口的防沙问题，首先要充分掌握河流泥沙的基本情况。在进行防沙设计时，既要弄清河流现在的泥沙量，又要考虑上游未来泥沙来量的可能变化，并恰当估计上游水土保持的实效，防止不切实际的防沙设计和失误。

4.1.2 河流中的泥沙主要分成悬移质和推移质两大类，需要根据泥沙的特性和工程要求，采用相应的防沙设计。根据国内已建工程成功的经验，提出拦导、排放、沉冲三条防沙原则：

拦导——阻拦泥沙进入引水工程进水口，并导入泄水工程进水口中；

排放——通过泄水闸、排沙孔（洞）等设施，将进水口前方的泥沙排往下游；

沉冲——当引水工程进水口下方未设置排沙底孔时，可在进水口前方引水渠中布置沉沙池和冲沙道，将泥沙沉淀在内，再将沉沙池内的泥沙冲往下游。

设计时可根据上述防沙原则，结合本工程布置条件和泥沙特性，采取相应的工程措施。

4.1.3 防沙设计需要综合考虑枢纽工程河段的河势、泥沙运动规律、水库沉沙特性、工程布置条件等因素的影响。进水口防沙与枢纽工程防沙是局部与整体的关系。尤其是多泥沙河流上，需在枢纽工程防沙总体规划指导下，研究引水工程进水口防沙，方能达到预期的防沙效果。

葛洲坝水利枢纽是重视枢纽防沙的工程例子之一。葛洲坝电站总装机 2715MW，分左、右岸电站即左岸二江电站和右岸大

江电站，另有 3 个船闸及相应的泄水、排沙建筑物。长江自三峡南津关流出后，向右急转弯 90° 突然扩散，经 2.8km 到达葛洲坝坝址，河面宽由 300m 突扩为 800m，在坝址附近形成两个岛，即葛洲坝和西坝—黄草坝，将长江分隔成大江（主河槽）和二江、三江（洪水河槽），由于河床倒坡、突扩、急弯等因素，水流条件十分复杂。长江的流量大，年输沙量大（年输沙量 5.26 亿 t，推移质 862 万 t），影响河势的不利因素很多。建坝后，坝上水位壅高，流速减缓，坝前出现回水淤积区，使坝址河段河势变得不稳定，对电站引水及长江航行均不利。大量的模型试验表明，不同的枢纽工程布置对河势有不同的影响，主流流向、水库泄洪、排沙效果等又与枢纽工程布置密切相关。经慎重研究后确定枢纽工程布置及防沙设计的原则是“以排为主，先导后排，导、排结合”，在总体布置上，将长江主流由原来的大江，引向枢纽工程的主要泄洪、排沙建筑物——二江泄水闸；由此形成二江电站和大江电站分居二江泄水闸左右两侧，形成“一体两翼”的布置；3 个船闸则布置在远离二江泄水闸两侧三江及大江原河道中，并在靠近大江船闸和三江船闸旁再各建一座供航道冲淤并可泄洪的冲沙闸，以保证航行安全。由于二江电站位于二江泄水闸左侧，处于南津关 90° 弯道的凹岸，而大江电站位于二江泄水闸右侧，处于南津关弯道的凸岸，泥沙问题比二江电站要复杂些。

枢纽工程坝轴线总长约 2600m，建库后的主泄洪道由原来的大江移到二江，虽有西坝和黄草坝将二江、三江分开，但建坝后二江的过流宽度大大超过二江泄水闸宽度 498m，当夏季泄洪时，大量泥沙淤积在库内，不仅影响到大江、三江航运的安全，同时也影响大江电站和二江电站正常运行。为了解决这个矛盾，决定在大江与二江之间及二江与三江之间分别利用现状地形和部分拆除的施工围堰，扩建和新建大江防淤堤和三江防淤堤。大江防淤堤长 1000m，最宽处 140m；三江防淤堤长 1750m，最宽处 260m，通过约束二江泄水闸上游引水渠，起到束水攻沙作用，

使二江泄水闸的引水渠成为一条异重流的泄洪排沙渠道，从而大大改善了水库泥沙淤积和大江电站、二江电站的运行条件。同时，大江航道和三江航道因有二江泄水闸引水渠分隔，保证了航行安全。

两条防淤堤的布置，使大江电站和二江电站的进水口均成为侧向进水，为解决进水口的防沙，在二江电站进水渠入口侧建了一座混凝土导沙坎，与二江流线交角为 15° ，而在大江电站则采取将施工期围堰部分拆除降低以形成挡沙坎，并取得正向和侧向进水条件；为排放沉积在电站进水口门前的淤沙，二江电站中在安装有大机组的每个机组段设有一个排沙底孔，在安装有小机组的每个机组段设两个排沙底孔；大江电站中在每个机组段均设有两个排沙底孔，而鉴于大江电站处于弯道凸岸，含沙量较高，颗粒粒径也粗些，故在大江电站右侧的安装场下方再设一个排沙底孔，加强其排沙能力，以实现电站进水口门前清。

运行以来曾几次进行水下地形测绘和机组磨损观测。1986年7月，大江电站右端6个底孔进行放水排沙试验，放水仅2~3d，排沙底孔（洞）前淤积高程便降低6~9m，排沙漏斗范围横向到达相邻的5~6个机组段；二江泄水闸在泄洪排沙时，在下游的抽排护坦板廊道内可以听到推移质滚动的响声，证明二江泄水闸及二江引水渠的异重流泄洪排沙作用比较显著。也说明了经统筹考虑了枢纽工程总体防沙后，水库淤积处于动态平衡中，枢纽工程防沙效果好，同时电站进水口实现了门前清，进水口防沙也取得了较好的效果。

4.1.4

1 发电、供水、灌溉等引水工程的进水口要求尽量减少泥沙在口门附近淤积，防止泥沙堵塞进水口闸门槽，影响闸门启闭和正常引水运用；避免出现像黄河盐锅峡水电站那样，建成运行两三年后即淤至进水口底板高程，不得不重新研究防沙问题。

2 为防止泥沙磨损水轮机叶片或水泵的过流部件，影响机组出力或设备效率，进水口要减少有害泥沙进入。

3 对于灌溉、供水工程进水口，粒径较大的泥沙不满足城镇生活与工业用水要求，则需要进行二次沉淀；对于灌溉用水，一般认为大于 0.01~0.05mm 以上的泥沙粒径不适用于灌溉，凡粒径不小于 0.05mm 的泥沙（特别是 0.15mm 的泥沙）均需沉淀，不能直接用于灌溉。此外粒径较大的泥沙，在输水过程中容易淤积在输水建筑物中，影响输水功能。

4.1.5 分水角是指河道水流与引水渠轴线的夹角，工程布置上一般小于 90°，常取 30°~60°，见图 15。

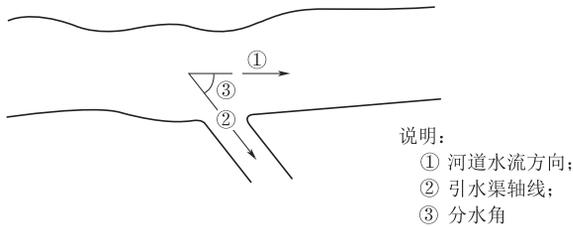


图 15 分水角示意图

导沙坎在卵石河床中坎高一般采用 1.0~2.5m，细沙河流中一般采用 2.0~3.0m。导沙坎的高度可根据泥沙爬高计算。

$$\frac{H}{D} = 410 \Theta^{1.5} \quad (4)$$

$$\Theta = \frac{\gamma h J}{(\gamma_s - \gamma) D} \quad (5)$$

式中 H ——坎高，mm；

D ——泥沙代表粒径，可用 D_{50} ，mm；

Θ ——相对水流强度；

γ 、 γ_s ——水、泥沙的容重， kN/m^3 ；

h ——拦沙坎前缘水深，m；

J ——水力比降。

4.1.6 对于自河道中直接引水的工程，当水源的含沙量较大或颗粒较粗时，常设置引水渠，并在渠内设置拦（导）沙坎、沉沙池、冲沙道或冲沙闸。一般来说，汛期泥沙问题突出，对于无坝

引水枢纽工程，需重视拦沙坎（垂直水流向）、导沙坎（顺水流向）的布置，必要时可设束水墙束水攻沙，让洪水挟沙带往下游，减少坎前淤积；对于有坝引水枢纽工程，需充分发挥泄洪建筑物的排沙作用，采取有利于引水工程进水口防沙的布置方案和泄洪运行方式。对于有坝引水枢纽工程，需要充分发挥泄洪建筑物的排沙作用，采取有利于引水工程进水口防沙的布置方案和泄洪运行方式。

4.1.7 我国在多泥沙河流上修建了许多中小型引水式电站和灌溉进水口，实践中对这类拦河闸式引水枢纽工程积累了丰富的防沙经验。

(1) 水库防淤和进水口防沙要统筹规划，对于调节性能差的低坝式水库尤其如此，因为库区的大量淤积必然导致进水口防沙任务的加重。

(2) 促使水、沙分离，引水排沙，主要是通过合理地利用有利的地形，恰当地进行工程布置，使水、沙各行其道，把“清水”引入进水口，把泥沙排往下游。

①第一道防线以防推移质为主，拦、排结合，立足于排。可在进水口前修建拦（导）沙坎，其平面布置要利于将推移质导向排沙建筑物。拦（导）沙坎高度不能影响进水口取水流量，减少水流扰动。拦（导）沙坎自身结构需满足稳定、抗滑、抗冲要求。结合上游施工围堰拆除形成拦沙坎时，一般对原堰体表面采取必要的抗冲保护措施。

②第二道防线以沉、冲悬移质为主，及时冲沙，在进水口前形成冲刷漏斗。

③制定水库合理的运行方式与水库泥沙调度方式，如汛期流量大、含沙量大，可降低水位运行，以便充分排沙，减少库区淤积；非汛期流量小、含沙量小，可抬高水位运行，以充分发电。这种运行方式已被实践证明是库区防淤和进水口防沙卓有成效的经验。

4.1.8 “门前清”是通过进水口附近的排沙设施放水拉沙，使

电站进水口前形成一个冲刷漏斗，以降低泥沙淤积高程，保证门前为清水。其关键在于正确估算放水拉沙结束后在进水口前形成的冲沙漏斗垂直水流方向的坡比，把进水口置于冲刷漏斗范围之内。

4.1.9 针对泄水工程进水口所提出的两点要求，均是防止排沙过程中流道损坏，保障正常发挥防排沙功能的基本要求。

4.2 防 污

4.2.1 漂污物泛指河流中的漂浮物和污物，有关河流漂污物的资料，设计人员需进行实地调查和分析。

不同类型的漂污物，其漂移特征是不同的。如在黄河上的带泥水草，既有漂浮于水面的，又有半沉半浮状态的；山区河流上，因山坡滑塌，往往有大量的树枝和杂草，来势猛，尺寸也比较大；流经众多城镇的河流，城市垃圾污染严重。只有全面掌握各种漂污物的种类、来源、数量以及漂移特征和漂移规律，因地制宜，才能有针对性地制定防污措施。

4.2.2 避免进水口堵塞，保证安全运用是对引水工程进水口的基本要求：

1 避免大量的污物积聚在进水口前方。河流中漂污物随洪水漂移时，总有一定的漂移轨迹，进水口需避免正对漂移的主轴线。根据葛洲坝枢纽排漂水工模型试验，当泄洪主流偏左行进时，右侧漂污物明显减少，有时甚至没有，反之亦然，故在进水口位置选择时需考虑这一点。

2 对进水口前方的漂污物采取有效的清除措施，避免进一步堵塞拦污栅。

3 对于附着在拦污栅上的污物，可借助清污机械或人工及时清除，当进水口设有两道门槽时，可采用提栅清污。

4.2.3 当泄水工程需要采取防污设计时，一般采用下列做法：

(1) 一般让漂污物进入进水口，故进水口泄流方向正对漂污物运移轨迹的主轴线；

(2) 进水口过流表面以上要有足够的净空，以防止漂污物堵塞进水口口门。

(3) 必要时设拦污、导污设施，将漂污物导入集漂区，再集中捞漂，就地处理。

4.2.4 进水口防污与枢纽工程防污是局部与整体的关系。尤其是多漂污物的河流上，需根据枢纽工程任务和环保要求，编制防污总体规划，然后在防污总体规划指导下，研究引水工程进水口防污，方能达到预期的防污效果。尤其修建在漂污物较多河流上的低水头径流式引水工程更要如此。

国内外有关漂污物堵塞进水口，压垮拦污栅，甚至造成电站停机的事故屡见不鲜。黄河上的三门峡、青铜峡、盐锅峡和长江上的葛洲坝等水利水电枢纽工程均有先例。1968年盐锅峡电站因拦污栅堵塞，造成电站无法运行；长江葛洲坝二江电厂1982年汛期初期运行时，由于拦污栅被堵塞不仅使拦污栅体受损，还因为拦污栅堵塞严重，流量骤减，迫使机组突然停机，影响系统运行，最终使武汉市电网解列，造成重大事故。

低水头水利工程进水口或径流式水电站，每当汛期总有大量漂污物随洪水顺流而下，这是一个关系工程安全和环境保护的重要问题。一般通过水工模型试验或河工模型试验，选择合适的拦漂、导污设施，将漂污物导向收集、处理位置，在此试验基础上采取进水口防污措施，对于临近引水工程进水口前方的漂污物则采取导漂后捞漂、对附着在栅面上的漂污物，采用人工或机械清污、还可采用提栅清污。

近年来由于人类活动频繁，自然环境发生了改变，水面上漂污物的污染问题严重，如果单一地将水上的漂污物排向下游，虽然能解决上游的污染问题，但却造成下游更为严重的污染，从整体环境保护上说是不合适的。因此只要条件允许，对漂污物要考虑通过集漂、捞漂，将污物就地处理，防止污染扩散。

4.2.5 河流中的漂污物在尚未到达泄流道前，一般都是散漂的，为减小进水口前方的漂污物，需修建拦漂、导漂设施，具体布置

一般基于水工模型试验成果。鉴于在主河道中布置的拦漂、导漂设施要承受相当大的撞击力和推力，根据国内已建工程的经验，拦漂、导漂设施的轴线与主流流线的夹角不超过 15° ；如果流速较小，夹角也可适当加大些。例如，汉江上游的石泉枢纽及湖北省蒲圻陆水枢纽，因流速较小，漂污物数量较小，拦漂、导漂排与主流流线的夹角将近 45° ，运行情况较好。因此需根据工程具体条件具体分析，有条件的，通过水工模型或河工模型试验验证。

4.2.6 为方便拦污栅启闭，通常设置拦污栅槽（固定式拦污栅除外）。在国内有些工程进水口采用提栅清污，这样便需设置 2 道拦污栅槽。可根据所采用的清污方式，在闸墩上设置 1 道或 2 道拦污栅槽，如果不影响检修门的运用，也可将增加的那道拦污栅槽与检修门槽合二为一。设置清污机等设备清污，效果也较好。

参考国内外的许多已建成的工程实例，水电站进水口拦污栅的过栅流速定为 $0.8\sim 1.0\text{m/s}$ 。对于低水头或大流量的水轮发电机组，当布置上有困难时，也可适当加大过栅流速，但不高于 1.4m/s ，否则水头损失增加，会影响发电效益。

4.2.7 对于多个单进口并列引水的进水口，拦污栅后采用通仓式进水结构是降低过栅流速、实现流量互补的好办法。清江隔河岩电站、汉江丹江口电站、赣江万安电站以及三峡左岸电站进水口都是采用这类型式的进水口。

此类进水口，拦污栅墩尾与进水口喇叭口前缘之间的距离越长，进水条件越有利，但栅体的支承结构规模也越大，进水口的工程量也增加。根据隔河岩、三峡、丹江口枢纽工程和国外有关资料，从水力条件看，栅后进水段长一般不小于单个进水口闸孔宽度的一半，有条件的还需大一些，但也不大于闸孔宽度的 1 倍。

三峡水利枢纽单个进水口闸孔宽度为 8.6m ，拦污栅墩尾至进水口之间净距为 7.7m ，从实际运行效果来看，水流条件较

好，拦污栅的支承规模亦合适。

金沙江乌东德水电站进水口采用岸塔式分层取水进水口，左（右）岸电站单个进水口闸孔宽度为 9.6m（9.0m），拦污栅墩尾至进水口之间净距为 5.9m。

4.2.8 据国内外有关文献建议，引水工程进水口拦污栅栅条间距不得超过水轮机（或水泵）叶片的最小间距。对于冲击式水轮机，叶片间距为 20~60mm；对于混流式机组，叶片间距为转轮直径的 1/30；在日本，当转轮直径 $D_1 = 2.5 \sim 5.0\text{m}$ 时，叶片间距为 75~150mm，当 $D_1 = 5.0 \sim 7.5\text{m}$ 时，叶片间距为 150~250mm；对于轴流式机组，叶片间距为转轮直径的 1/20。栅条间距在不超过上述叶片间隙的情况下尽可能取大些。对于水泵，轴流泵和混流泵的要求与水轮发电机组的要求相同，同时规定最小栅条间距不得小于 50mm。

4.2.9 为快速清理和及时运走污物，要求有污物堆放场地是必要的。尤其是污物的临时堆放，已建工程多有所忽视，导致清出来的污物无处堆放，影响污物继续清理。

4.3 防 冰

4.3.1 进水口防冰设计前要收集有关资料，本标准所列出的资料与防冰冻设计标准要求基本上相同。

4.3.2 关于“应分析研究寒潮季节昼夜温差波动情况”的要求，是参考了美国土木工程师协会资料而提出的。因为在寒潮季节，昼夜温差很大，当温降速率每分钟为 $0.03 \sim 1.0^\circ\text{F}$ （ $0.017 \sim 0.056^\circ\text{C}$ ）时，紊动水流即可形成冰花、冰屑，由于钢材散热较快，此时的冰花、冰屑会很容易附着在拦污栅上从而发展为堵塞栅面，黄河上的天桥水电站即是如此。对于类似的快速冷却期间仍需运行的工程，需采取措施，防止栅面结冰，造成事故。

4.3.3 进水口防冰的五款基本要求，是保证进水口冬季安全运行所必须的。

1、2 主要针对流冰问题。进水口面对流冰的主流轴线，容

易受到流冰的直接撞击；侧向进水，流冰又容易堵塞进水口，妨碍取水，损坏建（构）筑物造成事故，这些在选择进水口位置时均需予重视。

3 要求考虑结冰与融冰过程，静冰压力和动冰压力对建筑物的不利影响。

4 针对结冰期仍需运行的工程，要求闸门、启闭机和相关设备能正常操作运行，必要时要采取保温和采暖措施，不能因冰害影响运行，更不能造成事故。

5 防止冰块堵塞通气孔，造成引流道充气时无法排气，或放空引流道时无法补气出现有害真空。

4.3.4 依据国内外寒冷地区水利水电工程运行经验，在结冰河流中，进水口可采取下列两种运行方式：①不结冰运行——多用于我国东北地区和西北地区；②结冰盖运行——多用于黄河河套及西北等地区。

寒冷地区河流结冰是不可避免，结冰所造成的危害也是严重的。根据我国东北地区水利水电工程进水口防冰经验，认为只要进水口引用流量稳定，且达到一定的稳定流速时，即使在 0°C 及以下的温度时，在进水口前方的库面仍可形成一个不冻区，使电站能继续运行；但当不可避免要结冰时，就只能在形成稳定冰盖的情况下运行。究竟取何种运行方式，要根据具体情况决定。

黄河上的天桥水电站，开始时并未采用结冰盖的方式运行，自1982年黄河河曲段因冰塞形成冰坝，需动用飞机炸冰方得以疏通河道后，该枢纽工程改用结冰盖运行方式，即每年11月至次年3月在进水口前方形成稳定的冰盖，到春季开河期则利用库前水位上升、下降的调节方式，将冰盖破碎，并将流冰通过泄洪闸泄流排冰。天桥水电站上游的万家寨枢纽也采用冬季结冰盖的运行方式。

采用结冰盖运行的工程必须注意：当冰盖稳定后，冰盖的入口处流速不能超过 0.7m/s （美国土木工程师协会定为 0.61m/s ）的临界流速（尤其是采用渠道引水的进水口），否则冰针、冰凌

将随水流进入冰盖以下形成冰塞现象。我国西北地区有一个水电站，结冰盖后，大量冰针、冰屑钻进冰盖以下，发生了仅 12h 便将 2.5km 的渠道全部堵塞的事故。

为保证安全运行，规定进水口必须淹没在冰盖底面稳定水位以下，淹没深度不小于 2m。新疆的可可水电站采用淹没深度为稳定水位以下 2.5m，已安全运行多年。

4.3.5 为预防或减轻引水工程进水口冰害，根据寒冷地区工程运行经验，本条归纳了通常采取的防冰害措施。

1 调节水温可通过压缩空气和潜水泵抽水实现。利用压缩空气调节水温是将压缩空气从置于水面下的喷嘴喷出，许多小气泡成柱状上升，把深部较暖的水带到水面，使水面水温高于冰点，防止结冰。采用压缩空气防冰，水库水温具有一定梯度时方能有效。需合理布置压缩空气喷嘴的位置和出气流量，避免气泡随水流进入进水口。

2 加热设备是通过热水箱、蒸汽箱或电热器等装置对闸门和门槽进行加热。

3 将拦污栅等设备没入水下，避开冰冻层是防止冻结的有效措施。

4 预防初冬的流冰，最好是调整运行方式，抬高上游水位、降低流速，使水面及早形成冰盖。

6 气泡防冰是利用气泡发生器在进水口水下产生一定直径范围的连续上升气泡群，带动周围水体形成局部环流场，使处于流场内的水体不易结晶，达到防止水体结冰的效果。

哈达山水利枢纽位于第二松花江下游河段，距第二松花江与嫩江汇合口约 60km，是第二松花江干流最后一级控制性工程。工程的主要任务是以吉林省西部工农业和生活供水为主，兼顾生态环境保护供水、发电等综合利用。坝址以上控制流域面积 71783km²，多年平均流量 508.8m³/s。发电厂房布置在主河床上，坝段长度为 125.5m，厂内安装 5 台灯泡贯流转浆式机组，总装机容量 34.5MW。溢流坝布置在左岸主河道，坝段全长

297.5m。挡水土坝全长 1926.4m，坝顶宽 10m。泄水闸表孔弧门孔口尺寸为 16m×6m。工程所在地最低环境温度为-32℃。原泄水闸表孔弧门前装有射流式防冰装置，2016 年 10 月对其中的第 16 孔弧门前的防冰装置进行试验性改进，用气泡法防冰装置代替了射流法防冰装置。

5 水力设计

5.0.1 进水口型式和功能不同，水力设计内容也不尽相同。引水工程进水口包括水电站进水口、抽水蓄能电站进水口、供水工程进水口和灌溉工程进水口等，此类进水口流速和水头损失较小，并有防沙、防污和防冰的要求。泄水工程进水口包括泄洪孔（洞）进水口、排沙孔（洞）进水口、排漂孔（道）进水口和导流孔（洞）进水口等，此类进水口流速较大，一般兼有泄洪、排沙、排冰等综合运用要求。无压式进水口流道全程有自由水面，有压式进水口流道全程有一定的压力，无自由水面，而且运用前必须对流道充水，并设有通气（排气）孔或补气孔。此外，按进水方向还有水平进水和竖向进水之分。由于进水口型式、功能不同，水力条件和边界条件也不尽相同，水力计算内容与计算方法均有一定的差别，故需根据进水口型式和功能分别进行水力设计。

由于建筑物的边界条件和水力条件的复杂性，水力计算参数的取值与进水口布置、型式、上下游水流条件有关；参数不同，计算结果也不同。设计时需密切结合工程实际，选用合适的计算方法和水力计算参数。在作工程类比时，切忌生搬硬套，而要结合工程具体情况分析采用。对于大型或重要工程的进水口需进行水工模型试验，不能只靠计算分析或全凭工程经验设计。

5.0.2 按水流条件，本条列出了有压式进水口需进行的水力计算内容。但也要指出，进水口功能不同，计算的重点内容也不尽相同。

对于引水工程进水口，在满足淹没水深要求情况下，过流能力通常不是控制性的，但水头损失却往往令人关注；对于泄水工程进水口，水头损失往往不是计算重点，但过流能力和高速水流空化数的计算就很重要；最小淹没深度和通气孔面积计算，则是

有压式进水口的常规计算项目，是研究进水口布置所需要的；至于管道充水时间计算，需根据工程需要，结合具体工程条件进行。

5.0.3 本条列出了无压式进水口计算内容。但同样，进水口功能不同，计算的重点内容也不尽相同。对于引水工程进水口，过流能力与水头损失是重点计算内容；对于泄水工程，过流能力与高速水流空化数的计算均很重要；而过流能力除与自身断面尺寸有关外，还和上、下游水面衔接有关，因而还需进行上、下游水面衔接计算；当引渠较长，有不稳定流发生时，还需要进行不稳定流计算。

5.0.4 对于进水口过流能力，条文要求要根据进水口类型和功能分别按照 SL 319、SL 253、SL 265 和 SL 279 进行计算。以上四本标准均按照建筑物体形分别提出流量计算公式，故本标准不再重复给出。

5.0.5 泄水工程高流速进水口往往会发生空蚀问题，不利于建筑物安全运行。常规的方法是，基于进水口流道体形和设计工况下的水流条件，计算“水流空化数”，然后再由水工模型试验（如减压箱试验），确定同一设计条件下，流道体形的“水流初生空化数”。一般来说，只要“水流空化数”大于“水流初生空化数”，便认为可避免发生空蚀。本标准在附录 B.2 中给出了水流空化数计算公式，供设计时采用。

进水口水头损失包括局部损失和沿程损失。进水口流道沿流向一般较短，流道的沿程水头损失很小，可不另行计算；当进水口流道沿流向较长时，如竖井式进水口，由于喇叭段入口至闸门竖井之间的管（洞）段较长，需计算沿程损失。附录 B.3 列出了进水口流道水头损失的常用计算公式，可结合工程具体条件参照采用。

5.0.6 通气孔的作用：在有压输流道充水过程中，使输流道内空气排出，避免输流道聚集压缩空气；在进水闸门关闭，管道放水过程中，使空气进入输流道，防止输流道内产生负压，因此，

通气孔是有压进水口不可缺少的组成部分。

在有压式进水口中，设有垂直升降的平板闸门均有门槽，若闸门止水在下游侧，管道放水时，为防止闸门后出现真空现象，在闸门槽的下游侧，需设通气孔补气，若闸门止水在上游侧，因可利用闸门竖井补气，也可不设通气孔。关于补气量的计算，国内外有许多计算方法，美国土木工程学会建议每秒的补气量与水流流量的比例为 $0.09Fr$ (Fr 为弗劳德数)，而且规定泄水建筑物的补气风速不得超过 $45\sim 90\text{m/s}$ 。

本标准建议采用 SL 74 中有关计算方法。关于对后接压力管道充水问题，凡是在有压条件下运行的管道，如水电站压力流道，当第一次运行前，或检修完成后通水运行前，都必须从进水口对管道充水。早期多采用旁通管充水，充水历时较长，而且结构与操作都比较复杂，大多已不再采用。近几十年来，有采用局部开启工作闸门的充水方式，但闸门底缘的流速往往较高，对闸门和流道不利，故此法适用于水头不高的工程。应用较多的是在工作闸门（含事故闸门）或检修闸门上设一个小阀门，提升闸门前先开启小阀向管道内充水，当流道全部满水平压后，方开启闸门。对于阀门孔口大小，除要考虑闸门受力条件外，还要考虑后接管道结构在充水过程中应力递增的速率和水柱喷射不能危及流道安全等问题。此外，在充水过程中，管道内的空气要能顺畅排出。

5.0.7 叠梁门式分层取水进水口中水流过叠梁门顶后，流进叠梁门与取水口胸墙之间的流道（进水仓），经进水仓流入取水口。一般情况下，水流方向发生两次变化，先由水平变为垂直，再有垂直变为水平，水头损失较大，故需尽量降低进水仓内流速。进水仓宽度设计较大时，仓内流速小，但需要加长叠梁门支承结构，不仅增加了进水口工程量，也增加了支承结构的设计难度，尤其在高地震区，支承结构太长难以满足抗震要求。进水仓宽度设计较小时，仓内流速大，水头损失大，流态差。故进水仓宽度一般根据流量、流速、流态，以及进水口结构设计等，通过技术

经济比较，合理确定。

以乌东德水电站进水口为例，左右岸进水塔进水仓宽度为 8.60m、相应仓内流速分别为 2.8m/s、3.1m/s（因左右岸进水塔宽度不同）；受工程布置、地形地质条件限制，左右岸进水塔垂直水流向长度不具备加长条件，且塔体前缘已位于弱卸荷岩体，若加大进水仓宽度，进水塔下游边界只能向下游调整，从而使得左岸进水口正面边坡高度达 300m 级，对边坡整体稳定不利；而右岸 7 号、8 号引水隧洞水平段仅长 5.0m、17.04m，将导致右岸引水发电建筑物布置困难。经水工模型试验及数值模拟验证，进水仓流速为 2.8m/s、3.1m/s 时，进水口水流条件较好、流态平稳，最大水头损失也控制在已建同类同规模的分层取水进水口水头损失范围内。

5.0.8 门顶过水深度的确定，一般从取水温度、门顶过流流量、叠梁门上下游侧水流流态及流速、进水口水头损失等方面综合考虑。对于大中型的分层取水结构，常通过水工模型试验确定，必要时采用数值模型计算复核。当前的大中型分层取水工程研究成果表明，各工程的门顶最小控制取水深度也不尽相同，10~30m 不等，其中多数工程按不低于 15m 控制。

6 结构与地基处理

6.1 一般规定

6.1.1 进水口布置确定后，建筑物结构型式、结构轮廓以及地基处理措施等均需在结构设计中研究确定。对于土质地基还要复核渗透稳定性，并作相应的沉降计算。对于未满足设计要求的地基基础，一般根据地质条件以及建筑物的运行要求，采取防渗、排水和加固等地基处理措施。

6.1.2 进水口结构与地基处理要求适用范围除进水口主体建筑物外，还包括防沙、防污、防冰等相关建筑物，对于岸式进水口还有边坡工程等。

6.1.3 土质地基上的进水口建筑物设计中，除遵守 SL 265 的有关规定外，尤其要预防地基渗漏和不均匀沉降。因荷载作用差异，进水口与前、后方护坦有可能因沉降不均而形成错台，设计上要有相应的防范措施。此外进水口前、后的水力衔接条件与进水口结构设计条件有关，如若下游水位未定，出口水流可能是自由出流，也可能是淹没出流，设计时要按最不利的水力衔接确定进水口结构设计条件。对于此类工程的出口消能和两岸冲刷与保护问题则需按 SL 265 的要求设计。

6.2 荷载与荷载组合

6.2.1、6.2.2 在进行进水口整体稳定和地基应力计算时，作用在进水口建筑物上的荷载取值与计算方法参照 SL 744 和有关标准进行。对于土质地基渗透稳定、地基沉降则需根据实际作用的荷载情况，确定各自最不利的荷载组合。表 6.2.1 中所列荷载实际上有些工程可能不会出现的，可根据工程的具体条件适当调整。本标准与原标准荷载组合表相比，取消了活荷载和雪荷载，增加了土的冻胀力、水重。活荷载对整体稳定和应力计算可能是

有利的，不考虑对整体稳定和应力计算偏于安全；大部分工程中，雪荷载与自重相比，占比很小，对整体稳定和应力计算结果影响较小，因此表 6.2.1 中取消了雪荷载，但对特殊地区及雪荷载占比较大，雪荷载也可视为“其他”荷载参与整体稳定和应力计算。冻胀力在有些工程进水口是存在的，水重在有些荷载组合情况也需要考虑，因此增加土的冻胀力和水重两个荷载种类，修编后本标准的荷载种类及计算情况与 SL 265 是一致的。考虑到进水口多为高耸结构，修编后的荷载组合表中，风压力荷载在“完建情况”和“施工情况”均参与组合，这一点与 SL 265 有差别。

岸塔式进水口当塔体兼作边坡支挡结构时，则要考虑承受边坡的下滑力。关于土压力系数，一般来说对建筑物有利时按主动土压力计算，对建筑物不利时按静止土压力计算。

(1) 关于静止土压力系数 K_H 的计算方法。

a. 弹性理论公式（按半无限弹性体有侧限条件导出）：

$$K_H = \frac{\mu}{1 - \mu} \quad (6)$$

式中 μ ——土体的泊松比。

b. 经验公式：由丹麦工程师杰克（Jaky）提出，已纳入丹麦《基础工程实用规范》（DS 415—1965）中，对于正常固结的黏土，静止土压力系数 K_H 为

$$K_H = 1 - \sin\phi \quad (7)$$

式中 ϕ ——土体的内摩擦角。

(2) 关于温度荷载。在结构设计时可忽略施工期混凝土水化热温升的影响，温度荷载只需综合考虑大气和水体温度年变化而定。例如，二滩水电站进水口温度荷载按最冷的 3 月平均水温与年平均气温之差取用，相应温升、温降均取 11°C 。对暴露在大气（水）中的构件表面温差，一般可取当地最热（最冷）月平均气温（水温）与多年平均气温（水温）之差；当室内有空气调节时，需要考虑空调的影响。但也有些工程不考虑温度影响的，如

美国大古力第三电站就没有直接考虑温度荷载的作用，但是规定了一个考虑混凝土收缩及温度影响的最小配筋率 P ，其中：

内部构件， $P=0.002$ ；

外部构件， $P=0.003$ ；

上部结构墙体， $P=0.004$ ；

屋面板、桥面板， $P=0.005$ 。

6.2.3 对于引水发电系统的拦污栅支承结构，拦污栅压差可按 SL 74 取值，多污物河流上拦污栅的压差，经专门论证，也可适当提高。

6.3 整体稳定、地基应力及沉降计算

6.3.2 进水口建筑物整体抗滑稳定计算公式按抗剪和抗剪断公式分别给出。整体抗滑稳定计算的 f 或 f' 、 c' 参数的取值仍遵照 SL 319 和 SL 265 的有关规定。对于深层抗滑稳定的 f 或 f' 、 c' 参数的取值问题，做如下说明：

 土工建筑物建基面以下，往往会隐藏不良地质构造、剪切破碎泥化带（简称为软弱夹层）和软弱下卧层等缺陷，对建筑物的整体抗滑稳定不利。浅埋的缺陷可予挖除，若埋藏较深且范围较大，不便挖除时，需作深层抗滑稳定分析计算，再根据计算结果作相应处理。计算中关于软弱滑动面的 f 或 f' 、 c' 参数取值的合理与否，对于计算结果有很大影响。

 葛洲坝水利枢纽泄水闸坝基下存在着较大范围的黏土岩夹层，共有 18 层，其中 12 层已泥化或局部泥化，对抗滑稳定影响很大。据岩石力学试验，黏土质粉砂岩抗剪强度比例极限为：岩体 $f' = 0.51$ 、 $c' = 0.05\text{MPa}$ ，沿岩体层面 $f' = 0.45$ 、 $c' = 0.03\text{MPa}$ ；202 号泥化夹层剪切强度随着黏粒含量的增加而降低，尤其是蒙脱石含量较多时更甚，而且其剪切破坏明显呈塑性变形特征，屈服值随剪切历时增加而下降，抗剪残余强度与长期强度基本一致， $f' = 0.20 \sim 0.25$ 、 $c' = 0.005 \sim 0.03\text{MPa}$ ，最后经研究，对泥化夹层按残余强度选用抗剪参数为 $f = 0.20 \sim$

0.25, 不计 c' 值, 并要求抗滑稳定安全系数 $K_c \geq 1.3$ 。葛洲坝水利枢纽工程实例表明, 当深层滑动面为软弱夹层, 而且分布范围广, 大多数已经泥化时, 在确定 f' 、 c' 参数时, 不能仅采用常规试验值 (即屈服值、峰值), 还需采用流变试验的残余抗剪强度值 (或简称残余强度) 进行计算。

要论证深层抗滑稳定, 往往需要做大量工作, 因此选择进水口建筑物位置时, 需避免选择在有大范围软弱夹层的地基上。

6.3.3 整体布置进水口一旦出现事故, 不仅影响工程效益, 而且还将造成下游灾害, 因此建筑物整体稳定安全系数与所在的主体建筑物相同。

对于独立布置进水口, 当建基面为土质地基时, 整体稳定安全系数按 SL 265 的有关规定采用; 当建基面为岩质地基时, 沿建基面稳定安全系数按本标准表 6.3.3 采用, 沿深层软弱面的稳定问题和安全系数要另行研究确定。

6.3.4 本标准允许建基面在特殊组合情况下出现拉应力, 当建基面拉应力区面积较大、进水口结构淹没水深大时, 为防止进水口抗浮不满足要求, 进行抗浮稳定计算是必要的。复核检修工况下整体抗浮稳定时, 有关垂直力总和一项, 一般只计算混凝土的实际重量, 对设备重量一律不予计算, 因为设备是可拆卸的, 而且在总量中所占的比例不大, 故予忽略。

6.3.5 抗倾覆计算中, 如果合力的作用点位于建基面截面核心范围内, 建基面将不出现拉应力, 也不存在倾覆问题; 对于土质地基上的进水口, 因建基面上不允许出现拉应力, 因此可不用计算抗倾覆稳定; 对于岩石地基上独立布置的进水口, 因建基面上特殊组合 II 情况下可能出现拉应力, 验算其抗倾覆稳定是必要的。本次修订考虑抗滑、抗浮稳定计算规定的协调性, 参照 SL 266, 取消了不同建筑物级别进水口要求的抗倾覆安全系数不同的规定, 统一采用原标准 1 级、2 级建筑物的抗倾覆稳定安全系数, 即基本组合时 $K_0 = 1.35$, 特殊组合时 $K_0 = 1.2$, 对 3~5 级建筑物的抗倾覆安全系数规定值有所提高。

6.3.7 建基面的应力大小决定了对地基提出什么条件和要求，也与建筑物的抗倾覆、抗浮稳定相关，是进水口设计的重要内容。

基于与 6.3.3 条相同的理由，对修建在岩基上的整体布置进水口建基面允许应力标准，要与所在的主体建筑物相同。

岩质地基上独立布置进水口控制最小法向应力的目的与进水口的倾覆稳定有关，有的进水口高耸，对进水口抗倾覆稳定进行验算，进水口的抗倾覆稳定安全是可以得到保障的。同时，参考 SL 319 的相关条款，引入混凝土动态容许压应力的概念，作为各种荷载组合下，建基面法向应力的控制标准。本标准对非地震情况下的拉应力控制标准与 SL 265 一致，即不允许出现拉应力；对地震情况下是否出现拉应力不作规定，与 SL 319 保持一致。另外，在地震情况下，由于各级别建筑物要求的计算方法不同，计算得出的建基面法向应力值可能存在较大差别，地震情况得出的建基面法向应力值不作强制性的规定。

6.4 结构设计

6.4.1 进水口结构静力计算一般可采用结构力学方法进行，随着计算技术的发展，大型或重要工程的进水口大都进行三维有限元整体结构计算，以进一步验证进水口整体结构的受力状况。

6.4.4 坝式进水口需要在坝体上游面开设孔口，开孔削弱了坝体断面，从而引起坝体应力重新分布和孔口附近应力集中。坝体开孔的应力分析，早期常用材料力学法按简化后的平面问题计算，目前可根据需要采用平面或三维有限元法计算。

6.4.5、6.4.6 塔式、岸塔式进水口的塔座，以及进水口闸孔结构设计时，可视具体情况将模型进行简化，按弹性地基上的倒框架或弹性地基梁（板）进行计算。

6.4.7 为保证进水口边坡的长期稳定，需对边坡进行工程治理，包括边坡开挖、地表及地下截排水、边坡加固与支护等。采用改变坡形、上部减载和降低地下水位是行之有效的措施。岸塔式和

斜坡式进水口的边坡工程处理，可按 SL 386 进行设计。

6.4.8 大型水利水电工程进水口拦污栅的支承结构往往是一个高大的空间结构。当处地震区或高地震区时应作抗震设计，首先要保证拦污栅支承结构有足够的刚度和整体稳定性。为此首先要通过结构布置，如合理选择栅墩数目、栅墩厚度、墩间联系结构和顺水流向（含斜向）的支承结构型式与截面尺寸，以满足设计要求。

对于大型工程中的拦污栅栅面轮廓，国外早期大部分为半圆形，沿圆弧径向布置栅墩及墩间支承结构，再支承在大坝上游面上，这种结构整体刚度与稳定性较好，适于单个进水口布置。平面型拦污栅结构在胸墙范围内，水平支承条件也较好，但胸墙以下，因进流条件所限，栅墩间距较大，当处地震区时，需重点加强纵向和横向支承结构，一般上、下支承的间距不超过 10m，并可采用类似八字撑的斜向支承结构，以提高结构刚度。

近年来，高大的拦污栅结构也有采用两层平台板的布置型式，即栅墩的全部高度不封闭，仅有栅墩间横梁及顺水流向支承。位于墩顶（坝顶）的为第一层平台，供检修、安装和操作用；第二层平台板高于喇叭口顶板，以不影响进流为原则布置，以加强其整体刚度及稳定性。我国隔河岩水电站和石泉水电站便是采用此种型式。其中石泉水电站地处 8 度地震区，为增强其侧向（横河向）刚度还加浇侧向边板。

关于拦污栅支承结构型式，一般按工程实际条件（包括漂污物条件）选用。

6.4.9 体形高耸的进水口，要根据其边界条件进行动力分析。

对于布置在重力坝、宽缝重力坝上的拦污栅支承结构和岸式进水口拦污栅支承结构，因其顺河向刚度较大，在进行抗震设计时，可只计算拦污栅结构的自振特性，并按横河向水平地震反应谱直接计算拦污栅结构的动态内力与变形；对于拱坝上的拦污栅结构，因拱坝顺流向刚度较小，需对拱坝和拦污栅结构分别作自振特性分析，同时将拱坝与拦污栅结构视作整体结构进行动力响

应计算，并作为主要的结构设计内容。

6.5 地基处理

6.5.1 进水口地基要求有足够的承载能力与结构稳定性，并要有良好的渗透稳定性和抵抗变形特性，方能保证进水口安全运行，达到设计要求。

6.5.2、6.5.3 进水口要避免修建在不良地基上，当无法避免时，对于岩质地基中的不良地质缺陷，需参照 SL 319 予以挖除或做加固处理；对于土质地基，则要求持力层性状均匀、稳定，不发生渗透破坏，当地基中有软弱下卧层时，需参照 SL 265 采取有效加固处理措施，使进水口应力与变形均匀，并在允许范围内。

7 安全监测

7.0.1 进水口安全监测的主要目的是预测进水口建筑物的安全，保障工程正常运用。所收集的资料也是水库蓄水或工程验收前例行的工程安全鉴定的重要佐证材料，要给予重视。对于一些与施工安全有关的项目，要与长期安全监测项目相结合，并在施工中实施，这样既可节省投资，又可延长观测时段。

7.0.2~7.0.4 安全监测项目包括两类：一是常规安全监测项目，二是专门安全监测项目。可根据工程需要，结合工程等别、进水口功能与规模以及建筑物级别等具体条件选择确定。如岸式进水口若设有高边坡，并采取加固措施来保证边坡稳定，那么就需要监测边坡体变形和加固结构的应力与变形，以鉴定边坡体安全和加固结构是否按设计要求发挥作用；又如进水口水头损失与水电站运行调度和发电效益有关，就需设立拦污栅内外水压差的观测项目；等等。

分层取水运行水温监测，主要包括水库的上游水位监测、水库的分层水温监测、下泄流量及水温监测，要求将监测电缆引至进水口闸门控制室，进行实时监测、数据分析和闸门控制，若具备条件还可以实现分层取水的自动化监测。

附录 C 闸坝引水式与河床式枢纽中 进水口的防沙设施

C.1 冲沙槽

C.1.4 冲沙槽布置成前宽后窄的型式，是为了适应进水口引水后槽内流量随沿程渐减，以达到槽内纵向流速均匀分布的目的。

C.1.5 当计算出的槽宽较大时，通常将冲沙闸分成两孔或多孔布置，以便根据来水量调节冲沙流量，利于运行时灵活调度，使每年有较多时间开闸排沙。

C.1.8 冲沙槽设置一定的纵向底坡，是为了更有利于槽内底沙的排除。

C.4 枢纽工程泄洪闸、冲沙闸 底板高程的确定

C.4.4 引水率指多年平均年引水总量与多年平均年径流量之比。原河床平均河底高程，通常根据河床断面形态、水文情况以及闸孔布置等具体条件分析确定。在一般情况下，可按闸孔总的过水净宽作为河底宽度，求其平均高程。