

ICS 27.140
P 59
备案号: J2600—2018

NB

中华人民共和国能源行业标准

P **NB/T 10073—2018**

抽水蓄能电站工程地质勘察规程

Specification for Engineering Geological Investigation
of Pumped Storage Power Stations

2018 – 10 – 29 发布

2019 – 03 – 01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国能源行业标准

抽水蓄能电站工程地质勘察规程

Specification for Engineering Geological Investigation
of Pumped Storage Power Stations

NB/T 10073—2018

主编部门：水电水利规划设计总院

批准部门：国家能源局

施行日期：2019年3月1日

购买文件后使用
acobat 自动删除水印

中国水利水电出版社

2019 北 京

国家能源局 公 告

2018 年 第 12 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《矿用风冷调速型磁力耦合器》等204项行业标准，其中能源标准（NB）54项、石化标准（NB/SH）8项、石油标准（SY）142项，现予以发布。

附件：行业标准目录

国家能源局

2018 年 10 月 29 日

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
...						
28	NB/T 10073— 2018	抽水蓄能电站 工程地质勘察规程			2018－10－29	2019－03－01
...						

【防盗】
购买文件后使用
acobat 自动删除水印

前 言

根据《国家能源局关于下达 2013 年第一批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2013〕235 号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容是：站址选择工程地质勘察、区域构造稳定性研究、水库工程地质勘察、坝址工程地质勘察、输水系统工程地质勘察、地下厂房系统工程地质勘察、天然建筑材料勘察。

本规程由国家能源局负责管理，由水电水利规划设计总院提出并负责日常管理，由能源行业水电勘测设计标准化技术委员会负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送水电水利规划设计总院（地址：北京市西城区六铺炕北小街 2 号，邮编：100120）。

本规程主编单位：水电水利规划设计总院

中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司

本规程主要起草人员：宫海灵 张国宝 赵国刚 李锦飞
张东升 李院忠 肖海波 米应中
郭德存 彭烁君 陈宏宇 陈同法
李进敏 韩立军 侯 波 刘增杰
曾森财

本规程主要审查人员：彭土标 杨 建 王惠明 郭义华
王文远 单治钢 刘 昌 李学政
陈卫东 郭维祥 周志芳 李孙权
易志坚 王良太 郑克勋 李仕胜

目 次

1 总则 1

2 术语 2

3 站址选择工程地质勘察 3

 3.1 一般规定 3

 3.2 站址普查 3

 3.3 规划站址选择 4

4 区域构造稳定性研究 6

 4.1 区域构造稳定性研究内容 6

 4.2 区域构造稳定性研究方法 6

 4.3 区域构造稳定性评价 6

5 水库工程地质勘察 8

 5.1 水库工程地质勘察内容 8

 5.2 水库工程地质勘察方法 9

 5.3 水库工程地质评价 12

6 坝址工程地质勘察 14

 6.1 坝址工程地质勘察内容 14

 6.2 坝址工程地质勘察方法 14

 6.3 坝址工程地质评价 16

7 输水系统工程地质勘察 17

 7.1 输水系统工程地质勘察内容 17

 7.2 输水系统工程地质勘察方法 17

 7.3 输水系统工程地质评价 19

8 地下厂房系统工程地质勘察 21

 8.1 地下厂房系统工程地质勘察内容 21

 8.2 地下厂房系统工程地质勘察方法 21

8.3 地下厂房系统工程地质评价	22
9 天然建筑材料勘察	24
9.1 一般规定	24
9.2 库内天然建筑材料及洞挖料勘察内容	24
9.3 库内天然建筑材料及洞挖料勘察方法	24
9.4 库内天然建筑材料及洞挖料工程地质评价	25
附录 A 水库渗漏型式和类型划分	26
附录 B 水库渗漏量计算	27
附录 C 坝基渗漏量计算	29
附录 D 钻孔压水试验曲线类型划分	32
附录 E 高压管道最小上覆岩体厚度确定原则	34
附录 F 外水压力折减系数	35
附录 G 地下厂房洞室涌水量计算	36
本规程用词说明	38
引用标准名录	39
附：条文说明	41

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms	2
3	Engineering Geological Investigation for Site Selection	3
3.1	General Requirements	3
3.2	Site Survey	3
3.3	Planned Site Selection	4
4	Research on Regional Tectonic Stability	6
4.1	Research Content	6
4.2	Research Methods	6
4.3	Assessment on Regional Tectonic Stability	6
5	Engineering Geological Investigation of Reservoir	8
5.1	Investigation Content	8
5.2	Investigation Methods	9
5.3	Assessment on Reservoir Engineering Geology	12
6	Engineering Geological Investigation of Dam Site	14
6.1	Investigation Content	14
6.2	Investigation Methods	14
6.3	Assessment on Engineering Geology of Dam Site	16
7	Engineering Geological Investigation of Water Conveyance System	17
7.1	Investigation Content	17
7.2	Investigation Methods	17
7.3	Assessment on Engineering Geology of Water Conveyance System	19

8	Engineering Geological Investigation of the Underground Powerhouse System	21
8.1	Investigation Content	21
8.2	Investigation Methods	21
8.3	Assessment on Engineering Geology of Underground Powerhouse System	22
9	Investigation of Natural Construction Materials	24
9.1	General Requirements	24
9.2	Contents of Investigation on Natural Construction Materials in Reservoir and Underground Excavated Materials	24
9.3	Methods of Investigation on Natural Construction Materials in Reservoir and Underground Excavated Materials	24
9.4	Assessment on Engineering Geology of Natural Construction Materials in Reservoir and Underground Excavated Materials	25
Appendix A	Classification of Reservoir Leakage Patterns and Types	26
Appendix B	Calculation of Reservoir Leakage	27
Appendix C	Calculation of Dam Foundation Seepage	29
Appendix D	Curve Type Classification of Water Pressure Test in Borehole	32
Appendix E	Criteria to Determine the Minimum Thickness of Overlying Rock Mass on High Pressure Pipe	34
Appendix F	Reduction Coefficient of External Water Pressure	35
Appendix G	Calculation of Cavern Inflow in Underground Powerhouse	36
	Explanation of Wording in This Specification	38
	List of Quoted Standards	39
	Addition: Explanation of Provisions	41

1 总 则

1.0.1 为统一抽水蓄能电站工程地质勘察的内容、方法、技术要求，提高勘察成果质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于抽水蓄能电站的工程地质勘察。

1.0.3 不同阶段的勘察工作深度应满足现行国家标准《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287 的有关规定。

1.0.4 抽水蓄能电站工程地质勘察应主要包括下列内容：

- 1 站址、库（坝）址工程地质条件比选。
- 2 水库渗漏问题。
- 3 库内外边坡稳定性。
- 4 输水系统线路选择，有压隧洞渗漏及渗透稳定问题。
- 5 地下厂房系统位置选择及地下洞室群围岩稳定性评价。
- 6 库内天然建筑材料勘察与利用。

1.0.5 抽水蓄能电站工程地质勘察，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 水位变幅带 water level fluctuation zone

在抽水、发电的循环过程中，水库水位变化的范围，一般指正常蓄水位与死水位之间的库岸边坡地带。

2.0.2 单薄分水岭 thin watershed

水库正常蓄水位附近库内外之间岩土体较薄，且可能产生库水外渗、边坡失稳问题的部位。

2.0.3 地下水分水岭 groundwater divide

地下水向不同方向渗流时潜水水面的分界脊线。

2.0.4 相对隔水层 relatively impermeable layer

透水率或渗透系数小于某一定值的连续岩土体。

2.0.5 库底渗漏 reservoir bottom leakage

库水以垂直方向为主向库外产生的流失现象。

2.0.6 库岸渗漏 reservoir bank leakage

库水以水平方向为主向库外产生的流失现象。

2.0.7 斜坡坝基 dam foundation in slope

沟底纵坡坡度大于 15° 的坝基。

2.0.8 高压压水试验 high pressure water test

测定岩体在高水头作用下的渗透特性、渗透稳定性及其结构面张开压力的现场压水试验。

3 站址选择工程地质勘察

3.1 一般规定

- 3.1.1 站址选择宜按站址普查和规划站址选择两个步骤进行。
- 3.1.2 站址应选择地形地质条件较好地段，并需要考虑合理的距高比。
- 3.1.3 上水库、下水库大坝等挡水建筑物不应建在活断层上。
- 3.1.4 站址选择宜避开大型不良物理地质现象发育地段。
- 3.1.5 当地下水作为补水水源时，应了解其作为补水水源的可能性及可靠性。

3.2 站址普查

- 3.2.1 站址普查工程地质勘察应包括下列内容：

- 1 站址地形地质条件。
- 2 区域构造稳定性。
- 3 站址主要不良物理地质现象和主要工程地质问题。

- 3.2.2 站址普查工程地质勘察方法应符合下列规定：

- 1 宜在站址普查区域内的 1:50 000~1:10 000 地形图上，查找符合布置上水库、下水库及输水发电系统地形条件的站址资源点。
- 2 宜收集和分析普查区区域地质资料、地震区划资料和邻近区工程地震安全性评价成果，了解普查区区域的地质和地震活动概况。
- 3 在分析普查区区域地质、地震及水文地质资料的基础上，宜结合航片、卫片解译，了解普查站址区主要不良物理地质现象。

3.2.3 站址普查工程地质条件分析与评价应包括下列内容：

- 1 地形地质条件对工程的适宜性。
- 2 区域构造稳定性对工程的影响。
- 3 不良物理地质现象和主要工程地质问题对工程的影响。

3.3 规划站址选择

3.3.1 规划站址选择工程地质勘察应包括下列内容：

- 1 站址的区域性断裂分布、活动性、地震和地震动参数，了解区域性断裂与工程的关系。
- 2 站址崩塌、滑坡、泥石流等主要不良物理地质现象发育和分布情况。
- 3 站址上水库、下水库及各坝址的地形地貌、地层岩性、地质构造、岩体风化卸荷特征、地表水及地下水分布情况等基本工程地质条件。
- 4 水库周边单薄分水岭、低邻谷、贯穿库岸分水岭的断层破碎带、古河道、岩溶发育情况及泉、井的分布情况、地下水分水岭形态等。
- 5 上水库、下水库岸坡地形条件、库内外边坡稳定情况。
- 6 站址输水发电系统沿线的地形地貌、地层岩性、地质构造、地下水等工程地质条件，了解地下洞室上覆岩体厚度和围岩基本稳定条件。
- 7 对于利用已建水库作为上水库、下水库的站址，了解已建水库、大坝的工程地质条件。
- 8 站址天然建筑材料的赋存情况。

3.3.2 规划站址选择工程地质勘察方法应符合下列规定：

- 1 宜结合站址普选时收集到的最新区域地质资料，航片、卫片解译成果，进行现场查勘，了解规划站址及其附近崩塌、滑坡、泥石流等主要不良物理地质现象发育和分布情况。
- 2 站址勘察工作应以工程地质测绘为主，并配合必要的物

探和轻型勘探。工程地质测绘范围应包括水库、坝址区及输水发电系统沿线。水库的工程地质测绘范围宜至分水岭或邻谷。库坝区工程地质测绘的比例尺可选用 1:10 000~1:5 000，输水发电系统工程地质测绘的比例尺可选用 1:50 000~1:10 000。

3 站址上水库、下水库坝址、输水发电系统，应有一条代表性勘探剖面。对拟推荐的近期工程，主坝坝址区应布置钻孔，钻孔不宜少于 3 个；辅以物探方法，坝址的物探剖面宜为 1 条~3 条。

4 库坝区地形垭口、单薄分水岭、断裂带或岩溶发育部位等可能渗漏地段可适当布置钻孔，了解地下水位埋深情况；输水发电系统沿线深切沟谷、浅埋段或深厚覆盖层地段可布置物探剖面。

5 站址宜进行主要岩土室内试验。对拟推荐的近期工程，应进行主要岩土室内试验和水质分析试验。

6 应对规划站址天然建筑材料料源进行普查。

3.3.3 规划站址工程地质初步评价应包括下列内容：

1 区域构造稳定性。
2 主要不良物理地质现象对工程的影响。
3 分析水库渗漏的可能性，初步提出库盆防渗型式的地质建议。

4 上水库、下水库库内外边坡的稳定性。

5 分析上水库、下水库及坝址区主要的工程地质问题，评价成库、建坝的可行性。

6 初步分析规划站址输水发电系统地下洞室围岩类别及稳定性，提出输水发电系统线路选择的地质建议。

7 料场分布、储量、质量及库内天然建筑材料利用的可能性。

3.3.4 应根据各规划站址主要工程地质问题，提出规划站址比选地质意见。

4 区域构造稳定性研究

4.1 区域构造稳定性研究内容

4.1.1 区域构造稳定性研究应包括下列内容：

- 1 区域构造背景研究。
- 2 活断层的判定。
- 3 地震环境和地震危险性分析。
- 4 区域构造稳定性评价。

4.1.2 在同时具备下列条件时，宜考虑地震动力的放大效应：

- 1 工程区地震动峰值加速度 $0.1g$ 及以上。
- 2 上水库位于孤立的峰顶。
- 3 上、下水库高差大于 400m 。

4.2 区域构造稳定性研究方法

4.2.1 区域构造稳定性研究方法应符合国家现行标准《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287 和《水电工程区域构造稳定性勘察规程》NB/T 35098 的有关规定。

4.2.2 坝高大于 100m 且地震动峰值加速度 $0.1g$ 及以上工程，应开展地震安全性评价工作。地震安全性评价方法应符合现行国家标准《工程场地地震安全性评价》GB 17741 的有关规定。其余工程应根据《中国地震动参数区划图》GB 18306 确定地震动参数。

4.2.3 地震的放大效应宜进行高山动力反应测试。

4.3 区域构造稳定性评价

4.3.1 应分析工程场地所属大地构造单元及其边界断裂的活动特性。分析近场区断裂的分布及其活动性。

4.3.2 应分析工程场地断裂的分布及其活动性。当工程场地存在活断层时，应研究其空间分布特征，评价对建筑物的影响。

4.3.3 应分析工程场地地震地质背景，确定地震动参数。

4.3.4 应对工程场地进行区域构造稳定性分级。分级标准应符合现行行业标准《水电工程区域构造稳定性勘察规程》NB/T 35098 的规定。

4.3.5 应进行地震地质灾害评价。

【防盗】

购买文件后使用
acobat 自动删除水印

5 水库工程地质勘察

5.1 水库工程地质勘察内容

5.1.1 水库工程地质勘察内容应符合国家现行标准《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287 和《水电水利工程水库区工程地质勘察技术规程》DL/T 5336 的有关规定。

5.1.2 水库渗漏工程地质勘察应主要包括下列内容：

1 水库区地形地貌类型、特征，重点是库周垭口及单薄分水岭形态、宽度及变化情况。

2 库区岩性、各类地层厚度、分布及风化程度。

3 主要断层和裂隙密集带的分布、规模、性状及其向外延伸情况，空间分布及透水性。

4 库底、库周岩土体的水文地质结构，相对隔水层及主要透水层和透水带的厚度、分布特征及与库水位的关系；渗漏层和渗水带的透水性、渗透稳定性。

5 库区地下水类型，补给、径流、排泄方式，地下水分水岭、库区地下水位及其动态变化；泉、井的分布高程、水量及其动态变化。

6 岩溶地区勘察应符合现行行业标准《水电工程岩溶工程地质勘察规程》NB/T 10075 的有关规定。

5.1.3 应对库盆防渗体地基的工程地质条件进行勘察。

5.1.4 库岸稳定工程地质勘察应主要包括下列内容：

1 不良物理地质现象的分布及特征。

2 岸坡软弱结构面和软弱岩体分布特征及其对边坡稳定的影响。

3 水位变幅带岸坡岩土体性质及其在库水位变化影响下的

稳定条件。

4 库内、库外边坡，特别是库周埡口和单薄分水岭的工程地质条件，库岸稳定现状，变形破坏的迹象。

5 库区工程开挖边坡稳定条件。

5.1.5 固体径流工程地质勘察应主要包括下列内容：

1 收集水文气象资料，调查人类活动、植被发育情况和历史上固体径流发生情况。

2 泥石流沟谷发生区、流通区、堆积区的地形地貌条件及汇水面积，松散固体物源的分布、组成和体积。

3 防治工程建筑物的工程地质条件。

5.1.6 多泥沙河流建库设置拦沙坝时，应对蓄能专用库和拦沙库进行勘察。

5.1.7 利用已建水库应对其水库渗漏、库岸稳定、塌岸、浸没等工程地质条件进行复核。

5.1.8 利用天然湖泊作为蓄能电站水库时，应查明其成因，并对湖水渗漏、湖岸稳定等工程地质问题进行勘察。由堰塞湖形成的天然湖泊，应查明堰塞体的稳定条件。

5.1.9 水库补水工程勘察工作应主要包括下列内容：

1 补水建筑物、补水线路工程地质条件。

2 当泉水作为补水水源时，应研究泉水的成因，区域地下水补给、径流、排泄条件，观测泉水流量及随季节变化关系。

5.2 水库工程地质勘察方法

5.2.1 水库渗漏勘察方法应符合下列规定：

1 工程地质测绘比例尺可采用 1:5 000~1:1 000，地质测绘范围应包括低邻谷、可能渗漏通道等。

2 宜采用适合的物探方法探测可能透水带的位置、空间分布及地下水位，为布置钻孔提供参考依据。

3 勘探剖面应根据地形、水文地质条件和渗漏类型并结合

防渗处理方案布置，重点为垭口、单薄分水岭及可能渗漏地段等部位。

4 可能渗漏地段应布置钻孔，钻孔间距视渗漏型式、范围而定；钻孔深度应达到相对隔水层顶界以下 15m 或地下水位以下 20m~50m。

5 应分层、分段进行钻孔水文地质试验。

6 对水井、泉水、勘探钻孔及勘探平洞地下水出露点，应进行流量或地下水位的长期观测，观测时间不应小于 1 个水文年。

7 岩溶地区水库渗漏勘察宜采用电法勘探、探地雷达、地震勘探、层析成像、综合测井和地温法等一种或多种方法进行岩溶探测，可进行水渗流场、水温场、水化学场、同位素场等测定，综合研判水库渗漏条件。

5.2.2 库岸稳定勘察方法应符合下列规定：

1 工程地质测绘比例尺可采用 1：5 000~1：1 000，地质测绘范围应包括库内和库外边坡。

2 勘探工作布置应在地质测绘基础上进行，不稳定及潜在不稳定边坡不宜少于 2 条勘探线；主勘探剖面应平行于潜在不稳定岸坡可能的滑动方向布置，并考虑与渗透剖面结合布设。勘探方法以钻孔、平洞或竖井为主，宜在采用综合物探方法探测隐伏的地质界面、潜在不稳定岸坡厚度、地下水位等基础上布置。

3 主要勘探剖面控制性钻孔不宜少于 3 个，钻孔深度应进入稳定岩土体 10m~20m。

4 库岸开挖边坡较高或地质条件复杂时，宜布置勘探平洞。

5 控制岸坡稳定的主要岩土层、软弱夹层、潜在滑动面或滑动面应按现行行业标准《水电水利工程边坡工程地质勘察技术规程》DL/T 5337 要求取样进行物理力学性质试验，也可进行原位试验。

6 钻孔应进行地下水位观测，并进行水文地质试验。

7 潜在不稳定体可进行必要的监测。

5.2.3 库盆防渗体地基勘察方法应符合下列要求：

1 防渗体地基勘察可结合库岸稳定、水库渗漏及库内料场综合考虑，勘探方法以钻探、坑探和井探为主，其深度应进入相对完整岩体。

2 应取样进行室内试验，也可进行原位测试。

5.2.4 固体径流的勘察方法应符合下列规定：

1 固体径流发生区、流通区、堆积区的工程地质测绘比例尺可采用 1 : 10 000 ~ 1 : 2 000，防治工程建筑物工程地质测绘比例尺可采用 1 : 2 000 ~ 1 : 500。

2 宜在物源区和防治工程建筑物部位布置物探、坑探、井探和钻孔，勘探点间距及钻孔深度视具体条件确定。

3 取代表性固体物源和堆积物样品进行物理力学性质试验。

4 当固体径流对工程影响较大时，宜开展专题研究。

5.2.5 利用已建水库的勘察方法应符合下列要求：

1 应搜集、分析已建水库工程地质资料，复核其工程地质条件。

2 应根据需要布置相应的勘探和试验工作。对改扩建工程还应进行专门的工程地质勘察。

5.2.6 多泥沙河流的蓄能专用库和拦沙库应布置相应的勘察工作。

5.2.7 对作为抽水蓄能电站水库的天然湖泊应布置相应的勘察工作。对堰塞体应进行专门的工程地质勘察。

5.2.8 水库补水工程勘察方法应符合下列规定：

1 补水线路工程地质测绘比例尺可采用 1 : 10 000 ~ 1 : 2 000，补水建筑物可采用 1 : 1 000 ~ 1 : 500。

2 勘探方法宜以钻孔、坑槽为主，深度宜达到主要持力层。

3 当泉水作为补水源时，应进行水文地质测绘，并对泉水进行水位、流量等长期观测，且观测时间不宜少于 3 个水文年。

5.3 水库工程地质评价

5.3.1 根据水库区的水文地质结构、渗漏型式和边界条件，划分水库渗漏类型。水库渗漏型式和类型划分应符合本规程附录 A 的有关规定。宜初估水库在天然条件下的渗漏量，水库渗漏量可按本规程附录 B 的方法计算。

5.3.2 具备下列条件之一的水库，可判断为不存在渗漏问题：

1 水库不存在低邻谷，且水库蓄水后仍然是站址区域地下水的排泄基准面。

2 库周地下水分水岭最低水位高于水库正常蓄水位，水文地质封闭条件好。

3 正常蓄水位以下库盆分布有连续的相对隔水层，构造封闭条件良好。

5.3.3 具备下列条件之一的水库，可判断为可能存在渗漏问题：

1 水库与低邻谷之间无相对隔水岩土层，不存在地下水分水岭或地下水分水岭低于水库正常蓄水位。

2 具有通向库外较大规模的断层破碎带、节理密集带等，形成低于水库正常蓄水位的地下水低槽。

3 具有通向库外的渗漏通道，如古河道、古风化壳、古侵蚀面、矿洞等。

5.3.4 岩溶区水库渗漏判别标准应符合现行行业标准《水电工程岩溶工程地质勘察规程》NB/T 10075 的有关规定。

5.3.5 应分析库盆开挖后地下水分水岭变化对水库渗漏的影响。

5.3.6 宜评价水库渗漏对输水系统、地下厂房等地下建筑物的影响，预测水库蓄水后库周地下水位的变化及其对周边水文地质环境的影响。

5.3.7 应根据单薄分水岭岩体渗透特性，评价其渗透稳定性。

5.3.8 应进行库周水文地质分段，确定水库渗漏类型。应依据库底渗漏、库岸渗漏的条件及渗漏量，提出水库防渗型式、范围

和深度建议。

5.3.9 应提出水文地质监测网布设方案建议。

5.3.10 库岸稳定评价应按现行行业标准《水电水利工程边坡工程地质勘察技术规程》DL/T 5337 的要求进行。

5.3.11 应评价水位变幅带边坡在动水压力或冻融作用下的稳定性，并提出处理措施建议。

5.3.12 应根据库内、库外天然边坡地形、岩体结构、岩体风化、卸荷、构造发育情况、可能的库水外渗影响，评价边坡稳定性，提出处理措施建议。

5.3.13 应根据库内开挖边坡岩体结构、结构面组合等条件，评价边坡稳定性，并提出处理措施建议。

5.3.14 固体径流的评价应包括下列内容：

- 1 预估固体径流的物源总量及可能入库最大方量。
- 2 评价固体径流对工程的影响，提出综合治理措施建议。
- 3 评价防治工程建筑物的工程地质条件。

5.3.15 应分别对多泥沙河流的蓄能专用库和拦沙库进行工程地质评价。

5.3.16 应根据防渗体地基岩土层的出露范围及力学特性，评价防渗体地基不均匀变形问题，提出防渗体地基承载力、变形模量等物理力学性质参数建议值及处理措施建议。

5.3.17 补水工程评价应包括下列内容：

1 补水建筑物与补水线路的地形、岩性、岩土层物理力学特征，评价补水建筑物地基承载能力及围岩或边坡的稳定性。

2 当泉水作为补水源时，应分析其区域水文地质特征，地下水补给、径流、排泄关系，泉水水位、流量，评价作为补水源的可能性及可靠性。

5.3.18 应提出库区岩土体、结构面的物理力学参数建议值。

6 坝址工程地质勘察

6.1 坝址工程地质勘察内容

6.1.1 坝址工程地质勘察内容应符合国家现行标准《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287、《水电水利工程坝址工程地质勘察技术规程》DL/T 5414 和《水电工程岩溶工程地质勘察规程》NB/T 10075 的有关规定。

6.1.2 斜坡坝基工程地质勘察应主要包括下列内容：

1 坝基沟谷地形规整程度、地层岩性、地质构造、岩体风化程度、结构面的发育特征及物理力学性质等。

2 影响坝基浅层和深层抗滑稳定的潜在滑移面发育特征、组成物质、物理力学性质和渗透变形特征。

3 建基岩体工程地质性质及不良岩土体的发育特征，坝体材料与建基面的抗剪强度。

4 设置挡墙时，应对挡墙地基进行勘察。

6.1.3 对于挖填式环库筑坝，应结合水库库区及料场进行坝址工程地质勘察。

6.1.4 设置拦沙坝的水库，应对拦沙坝及排沙建筑物进行工程地质勘察。

6.1.5 利用已建水库作为上水库、下水库时，应复核坝体有关的工程地质条件。坝体需改扩建时，应进行专门的工程地质勘察。

6.2 坝址工程地质勘察方法

6.2.1 工程地质测绘比例尺可采用 1 : 2 000 ~ 1 : 500。测绘范围应包括挡水建筑物场地和对工程有影响的地段。

6.2.2 可根据场地的地形地质条件，结合工程地质问题，选取合适的物探测试方法。

6.2.3 勘探布置应符合下列规定：

1 各比较坝址、坝线应有一条主要勘探剖面，坝高 70m 及以上的代表性坝址和工程地质条件复杂的比较坝址，宜在主要勘探剖面线上游、下游增加辅助勘探剖面。

2 坝轴线、趾板线等主要勘探线，应布置钻孔、平洞或竖井等，主要勘探剖面线上的勘探点间距宜视不同坝型考虑。防渗帷幕线钻孔深度应达到相对隔水层顶界以下 15m 或地下水位以下 20m~50m。

3 应沿斜坡坝基最大坡降方向布置勘探剖面，勘察方法宜采用钻孔、竖井或平洞。

4 斜坡坝基设置挡墙时，宜沿挡墙轴线布置勘探剖面。

5 挖填式环库筑坝坝基勘察应结合库内料场、岸坡和防渗体地基综合布置勘察工作。

6 应搜集、复核已建水库坝址地质资料，视需要布置勘探工作。

6.2.4 岩土试验工作应与勘察阶段相适应，室内试验与原位试验相结合。斜坡坝基宜进行坝体材料与建基面抗剪强度试验。

6.2.5 水文地质测试应符合下列要求：

1 坝址区水文地质测试应结合工程规模、坝型和水文地质工程地质条件的复杂程度，随勘察阶段逐渐深入开展。

2 坝基断层破碎带、软弱夹层等部位，可根据需要进行渗透变形试验。

3 应划分透水层和相对隔水层。水文地质条件复杂地区，可根据需要进行地下水连通试验。

6.2.6 勘察期间应进行钻孔水位、泉水流量等水文地质动态观测，观测时间不应小于 1 个水文年。

6.2.7 岩溶地区的坝址勘察方法应符合现行行业标准《水电工

程岩溶工程地质勘察规程》NB/T 10075 的有关规定。

6.3 坝址工程地质评价

6.3.1 应根据比选坝址、坝型、坝线的基本工程地质条件、水文地质条件及主要工程地质问题，提出坝址、坝型、坝线比选地质意见。

6.3.2 建基岩土体工程地质评价应符合现行行业标准《水电水利工程坝址工程地质勘察技术规程》DL/T 5414 的有关规定。

6.3.3 应明确坝基渗漏的型式，计算坝基渗漏量，并评价坝基渗透稳定性。坝基渗漏量可按本规程附录 C 的方法计算。

6.3.4 斜坡坝基评价应在研究坝基地形地貌、岩性、地质构造、岩体结构、水文地质条件及岸坡结构的基础上，对坝基斜坡整体稳定性、大坝抗滑稳定性进行评价，提出坝基处理地质建议。

6.3.5 斜坡坝基设置挡墙时，应对挡墙地基承载能力、抗滑稳定条件进行工程地质评价。

6.3.6 挖填式环库筑坝坝基稳定性应结合库区渗漏、库岸稳定等问题进行分析与评价。

6.3.7 应评价拦沙坝坝基稳定性和渗漏特征，提出防渗处理地质建议。

6.3.8 利用已建水库时，应分析坝体材料组成和质量，提出坝体、坝基物理力学参数和处理建议。

7 输水系统工程地质勘察

7.1 输水系统工程地质勘察内容

7.1.1 输水系统工程地质勘察内容应符合国家现行标准《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287 和《水电水利工程地下建筑物工程地质勘察技术规程》DL/T 5415 的有关规定。

7.1.2 选定的高压管道勘察应主要包括下列内容：

- 1 高压管道上覆及侧向岩体厚度。
- 2 高压管道不同部位岩体地应力量级、方向。
- 3 高压管道不同围岩类别岩体水力劈裂临界压力和渗透特性。

7.1.3 利用已建水库或天然湖泊时，应对进/出水口的岩塞、岩坎进行专门工程地质勘察。

7.2 输水系统工程地质勘察方法

7.2.1 工程地质测绘比例尺宜采用 1:5 000~1:2 000，测绘范围应包括各比选线路。地形地质条件复杂时，宜实测工程地质纵剖面 and 横剖面，实测比例尺可采用 1:2 000 或 1:1 000。进/出水口地段工程地质测绘比例尺宜采用 1:2 000~1:500。

7.2.2 沿线宜布置物探剖面，探测隐伏不良地质体发育情况。

7.2.3 上水库、下水库进/出水口地段应布置钻孔和平洞，平洞深度应满足边坡稳定性评价的要求。

7.2.4 进/出水口岩塞、岩坎勘察方法应符合下列规定：

- 1 工程地质测绘比例尺不宜小于 1:200。
- 2 应开展专门性节理裂隙统计。
- 3 应布置钻孔并进行压水试验。宜进行钻孔数字成像和孔

间物探 CT 测试。

4 应取岩样进行物理力学性质试验。

7.2.5 闸门井、调压井、隧道过沟段及浅埋段，应布置钻孔。引水上平段及尾水洞段，可根据地形地质条件及隧洞埋置深度，布置钻孔。钻孔深度宜进入隧洞底高程以下 10m~30m。钻孔内应进行压水试验，并应进行地下水位长期观测，观测时间不应小于 1 个水文年。

7.2.6 引水高压管道应布置钻孔。高压岔管应结合地下厂房勘探布置平洞和钻孔。

7.2.7 高压管道围岩地应力状态勘察方法应符合下列要求：

1 应在高压管道及引水高压岔管钻孔内测试岩体地应力量级、方向，测试方法宜采用水压致裂法。地应力测试应符合现行行业标准《水电水利工程岩体应力测试规程》DL/T 5367 的有关规定。

2 宜配合开展岩体初始地应力场回归分析。

7.2.8 高压管道围岩渗透和抗水力劈裂特性勘察方法应符合下列规定：

1 应在高压管道及引水高压岔管钻孔内分别选取完整岩体、较完整岩体或裂隙岩体试验段进行高压压水试验，测试岩体在高水头作用下的渗透性、渗透稳定性及水力劈裂临界压力。高压压水试验应符合现行行业标准《水电工程钻孔压水试验规程》NB/T 35113 的有关规定。应分析压力与流量（ $P-Q$ ）关系，钻孔压水试验曲线类型划分应符合本规程附录 D 的有关规定。

2 试验最高压力不应小于钻孔所在位置高压管道最大内水压力的 1.2 倍。

7.2.9 应在勘探平洞及钻孔内取有代表性的岩样，进行岩石物理力学性质试验。可在勘探平洞内进行岩体变形试验。

7.2.10 地温、有害气体和放射性成分含量的测试应符合现行行业标准《水电水利工程地下建筑物工程地质勘察技术规程》DL/

T 5415 的有关规定。

7.3 输水系统工程地质评价

7.3.1 应根据输水系统各比选线路的工程地质条件及主要工程地质问题，提出线路比选地质意见。

7.3.2 围岩分类、围岩稳定性评价应符合国家现行标准《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287 和《水电水利工程地下建筑物工程地质勘察技术规程》DL/T 5415 的有关规定。

7.3.3 应对进/出水口地基及边坡稳定性进行评价。

7.3.4 进/出水口的岩塞、岩坎稳定性评价应包括下列内容：

1 对地形地质条件进行评价。

2 进行岩体结构及岩体质量分类。

3 评价岩塞、岩坎在水压力作用下的渗透性及稳定性，以及岩塞周围岩体在爆破后的稳定性。

7.3.5 应根据高压管道围岩工程地质条件，提出岔管位置选择及高压管道衬砌型式建议。

7.3.6 钢筋混凝土衬砌高压管道围岩稳定性工程地质评价应包括下列内容：

1 山体抗抬稳定性评价。高压管道最小上覆岩体厚度确定原则应按本规程附录 E 确定。

2 围岩抗水力劈裂稳定性评价。高压管道应满足洞内静水压力小于围岩最小主应力的要求，且应有一定的安全裕度。洞内静水压力与围岩最小主应力关系可按式计算：

$$F_1 h_s \gamma_w \leq \sigma_3 \quad (7.3.6)$$

式中： F_1 ——安全系数，一般取 1.2~1.5；

h_s ——洞内静水压力水头（m）；

γ_w ——水的重度（N/cm³）；

σ_3 ——围岩最小主应力（MPa）。

3 围岩抗渗稳定性评价。钢筋混凝土衬砌高压管道围岩宜

为Ⅰ、Ⅱ类不透水或微透水围岩，或经高压固结灌浆后围岩透水率小于 1.0Lu ，且应满足渗透稳定要求。

7.3.7 钢板衬砌高压管道围岩稳定性工程地质评价应包括下列内容：

1 应根据单位弹性抗力系数评价围岩抵抗径向变形的能力。围岩单位弹性抗力系数值宜采用公式法和工程类比法确定，也可采用现场原位试验确定。围岩单位弹性抗力系数可按下式计算：

$$K_0 = \frac{E}{100(1+\mu)} \quad (7.3.7)$$

式中： K_0 ——围岩单位弹性抗力系数（ MPa/cm ）；

E ——围岩的弹性模量（ MPa ）；

μ ——围岩的泊松比。

2 应根据洞室上覆岩体完整性、透水性及地下水位，采用地下水位折减的办法计算外水压力。外水压力折减系数宜按本规程附录F的规定取值。

3 宜提出高压管道段排水措施建议。

7.3.8 输水系统洞室涌水、突泥预测、地温、有害气体及放射性评价应符合现行行业标准《水电水利工程地下建筑物工程地质勘察技术规程》DL/T 5415的有关规定。

7.3.9 应提出建立运行期水文地质监测网的建议。

8 地下厂房系统工程地质勘察

8.1 地下厂房系统工程地质勘察内容

8.1.1 地下厂房系统工程地质勘察内容应符合国家现行标准《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287 和《水电水利工程地下建筑物工程地质勘察技术规程》DL/T 5415 的有关规定。

8.1.2 选定地下厂房系统的工程地质勘察应主要包含下列内容：

- 1 地层岩性、地质构造。
- 2 围岩物理力学性质。
- 3 岩体地应力状态。
- 4 水文地质条件。
- 5 地温、有害气体和放射性。

8.2 地下厂房系统工程地质勘察方法

8.2.1 工程地质测绘比例尺宜采用 $1:2000 \sim 1:500$ ，范围应包括地下厂房系统洞室群及地面开关站。

8.2.2 地下厂房勘探应以勘探平洞为主，并在平洞内布置钻孔或竖井及物探测试工作，勘探布置应符合下列规定：

1 勘探平洞宜布置在输水系统尾水洞一侧，若地形条件允许，可减少探洞长度，也可由输水系统侧向向地下厂房延伸。平洞深度应穿过高压岔管部位。

2 洞口宜选择在边坡稳定地段，进口位于下水库大坝上游时，洞口高程宜高于正常蓄水位。探洞底板高程宜高于厂房顶拱 $30\text{m} \sim 50\text{m}$ ，洞径不宜小于 $2.2\text{m} \times 2.5\text{m}$ ，底板坡度宜以自流排水为原则。

3 应沿初选地下厂房轴线布置支洞，支洞长度穿过厂房端

墙不应小于 50m。

4 视地质构造发育情况，在主勘探平洞内可布置构造追踪支洞。

5 在厂房轴线勘探平洞内及岔管部位平洞内应布置钻孔，其间距不应大于 50m。钻孔深度应深入建筑物底板以下 10m~30m。

6 当岩层倾角平缓、岩性复杂或缓倾角软弱结构面较发育时，宜布置竖井，竖井深度宜达到厂房顶拱高程以下一定深度。

7 应在平洞洞壁进行岩体弹性波测试，宜在厂房轴线钻孔内进行孔内数字电视和物探 CT 测试。

8.2.3 进厂交通洞、通风兼安全洞等地下厂房系统各洞室进出口、地面开关站，工程地质勘探应以钻孔、坑探、槽探为主，也可布置平洞。

8.2.4 探洞及钻孔内应取代表性岩样，进行岩石室内物理力学性质试验，在探洞内宜进行岩体原位试验。应取样进行地下水水质分析。

8.2.5 应在探洞或钻孔内进行地应力测试，测试方法不宜少于两种。地应力测试应符合现行行业标准《水电水利工程岩体应力测试规程》DL/T 5367 的有关规定。

8.2.6 应利用钻孔和勘探平洞对地下水动态进行长期观测，观测时间不应少于 1 个水文年。

8.2.7 地温、有害气体和放射性测试应符合现行行业标准《水电水利工程地下建筑物工程地质勘察技术规程》DL/T 5415 的有关规定。

8.3 地下厂房系统工程地质评价

8.3.1 应根据地下厂房系统各比选方案的基本工程地质条件及主要工程地质问题，提出厂房系统布置方案比选的地质意见。

8.3.2 地下厂房系统位置选择应符合下列要求：

1 应首先考虑地下厂房位置，兼顾其他洞室，选择地下厂

房洞室群位置。

2 宜选择地形完整、埋深适中、岩性坚硬、岩体完整性好、断裂构造和水文地质条件相对简单的区段。

8.3.3 地下厂房轴线方向选择应符合下列规定：

1 应根据影响洞室围岩稳定的断裂构造发育特征、地应力状态等综合研究确定。

2 厂房轴线宜与主要构造方向具有较大的夹角，其夹角不宜小于 60° 。

3 在高地应力区，厂房轴线方向与围岩最大主应力方向的夹角不宜大于 30° 。

4 最大主应力方向与主要构造方向二者不能兼顾时，高地应力区宜重点考虑地应力影响，中低地应力区宜重点考虑主要构造方向的影响。

8.3.4 应根据国家现行标准《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287 和《水电水利工程地下建筑物工程地质勘察技术规程》DL/T 5415 的有关规定，进行地下厂房围岩分类，提出岩体及结构面物理力学参数建议值，预测岩爆的可能性，评价围岩稳定性。

8.3.5 应进行厂区水文地质条件评价，预测地下厂房洞室涌水量，提出排水措施建议。地下厂房洞室涌水量宜按本规程附录 G 方法计算。应评价地下水的腐蚀性。

8.3.6 地温、有害气体及放射性评价应符合现行行业标准《水电水利工程地下建筑物工程地质勘察技术规程》DL/T 5415 的有关规定。

9 天然建筑材料勘察

9.1 一般规定

9.1.1 应充分利用上水库、下水库和洞室开挖料，宜做到挖填平衡。

9.1.2 库内开挖料储量、质量不满足工程需要时，应考虑库外建筑材料料源。库外建筑材料勘察应符合国家现行标准《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287 和《水电水利工程天然建筑材料勘察规程》DL/T 5388 的有关规定。

9.1.3 库盆开挖石料场配合挖填平衡时的储量系数最小可取 1.2，但储量系数小于 1.5 时，宜有备用料场。

9.2 库内天然建筑材料及洞挖料勘察内容

库内天然建筑材料及洞挖料勘察应包括下列内容：

- 1 岩性、结构特征、矿物和化学成分，结构面发育程度及充填物情况等。
- 2 覆盖厚度、风化特征、岩溶发育程度及洞隙填充物等。
- 3 风化特征、软弱夹层分布情况、岩溶发育程度及夹泥情况等。
- 4 原岩物理力学性质。
- 5 储量和开采运输条件。

9.3 库内天然建筑材料及洞挖料勘察方法

9.3.1 天然建筑材料调查、勘探及试验，可结合库坝区勘察工作进行，并利用库坝区勘探及试验资料。勘察方法应符合现行行业标准《水电水利工程天然建筑材料勘察规程》DL/T 5388 的

有关规定。

9.3.2 洞挖料的调查、勘探及试验，可结合洞室勘察工作进行，并充分利用洞室勘察资料。勘察方法应符合现行行业标准《水电水利工程天然建筑材料勘察规程》DL/T 5388 的有关规定。

9.4 库内天然建筑材料及洞挖料工程地质评价

9.4.1 应根据天然建筑材料的成因、岩性或物质组成、成层特性、风化程度及室内、现场试验成果，分区评价其质量和可利用性。

9.4.2 应分析评价天然建筑材料的总储量及可用量、分区储量及可用量，用于不同填筑区的数量和质量。

9.4.3 储量计算和质量评价应符合现行行业标准《水电水利工程天然建筑材料勘察规程》DL/T 5388 的有关规定。

9.4.4 应分析评价天然建筑材料的开采及运输条件。

9.4.5 应根据洞挖料的岩性、风化程度及试验资料，评价其质量和可利用率。

9.4.6 为充分利用天然建筑材料，宜做到挖填平衡。根据工程需要，宜对全、强风化料作为筑坝料的可行性做专题研究。

附录 A 水库渗漏型式和类型划分

A.0.1 水库渗漏型式按渗漏介质型式分类应符合表 A.0.1 的规定。

表 A.0.1 水库渗漏型式按渗漏介质型式分类

渗漏型式		主要特征
孔隙型		发生于松散覆盖层或全强风化层，渗漏量大
裂隙型	构造带型渗漏	主要沿连通水库内、外的透水层和断层带渗漏
	基岩裂隙型渗漏	发生于裂隙发育岩体中
管道型		主要发生于岩溶地区

A.0.2 水库渗漏类型按渗漏途径分类应符合表 A.0.2 的规定。

表 A.0.2 水库渗漏类型按渗漏途径分类

渗漏类型	主要特征
水平渗漏型	主要沿库岸单薄分水岭、断层、裂隙密集带等发生水平方向的渗漏
垂直渗漏型	多发生于悬挂式水库库底，地下水埋藏深，沿垂直方向产生渗漏

附录 B 水库渗漏量计算

B. 0. 1 水库以水平渗漏为主时（图 B. 0. 1），水平渗漏型水库渗漏量可按下式计算。对于多层透水层或具有渗透性明显分带的透水层，渗透系数可取加权平均值。

$$Q = KA \left(\frac{H_1 - H_2}{L} \right) \quad (\text{B. 0. 1})$$

式中：Q——渗漏量（ m^3/d ）；

K——渗透系数（ m/d ）；

A——过水断面面积（ m^2 ）；

H_1 ——水库正常蓄水位（m）；

H_2 ——渗漏出露点高程（m）；

L——渗径长度（m）。

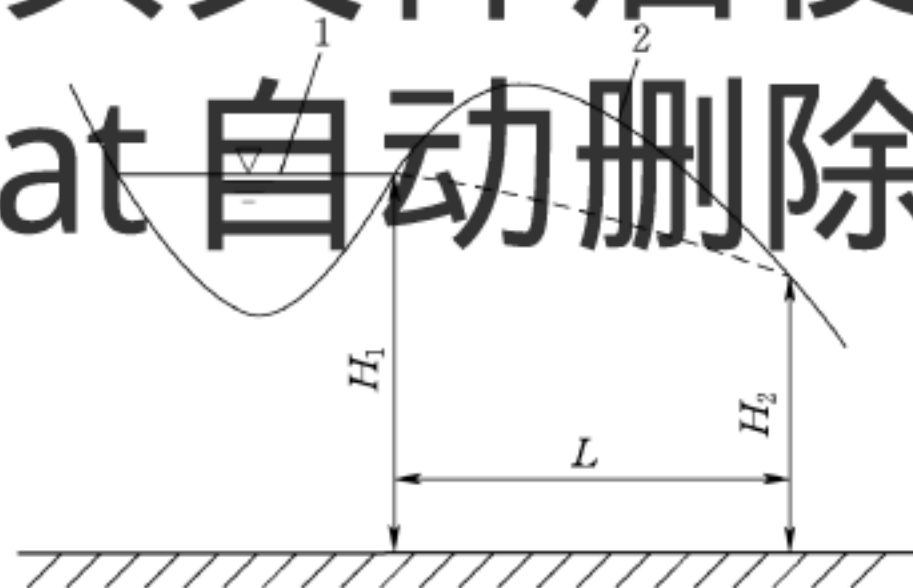


图 B. 0. 1 水平渗漏型水库渗漏量计算

1—正常蓄水位线；2—地形线

B. 0. 2 水库以垂直渗漏为主时（图 B. 0. 2），垂直渗漏型水库渗漏量可按下式计算。对于多个透水层或具有渗透性明显分带的透水层，渗透系数可取加权平均值。

$$Q = KF \left(\frac{H + l}{l} \right) \quad (\text{B. 0. 2})$$

式中： F ——水库渗漏面积 (m^2)；

H ——水库正常蓄水位至库底的高度 (m)；

l ——水库库底至相对隔水层顶板或地下水位的高度 (m)。

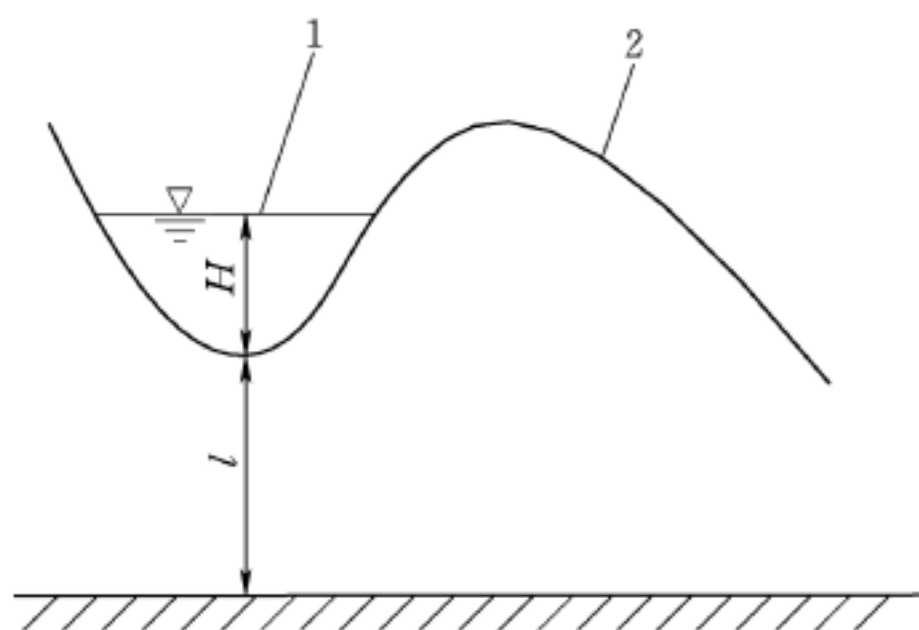


图 B. 0. 2 垂直渗漏型水库渗漏量计算

1—正常蓄水位线；2—地形线

附录 C 坝基渗漏量计算

C.1 坝基渗流计算

C.1.1 当均质透水层无限深，坝底为平面时，均质半无限坝基渗漏量（图 C.1.1）可按下列公式计算。

$$Q = KBHq_r \quad (\text{C.1.1-1})$$

$$q_r = \frac{1}{\pi} \operatorname{arcsch} \frac{y}{b} \quad (\text{C.1.1-2})$$

式中：Q——坝基渗漏量（ m^3/d ）；

B——坝的长度（m）；

K——渗透系数（ m/d ）；

H——上下游水头差（m）；

q_r ——计算渗流量；

y——计算深度（m）；

b——坝底宽的一半（m）。

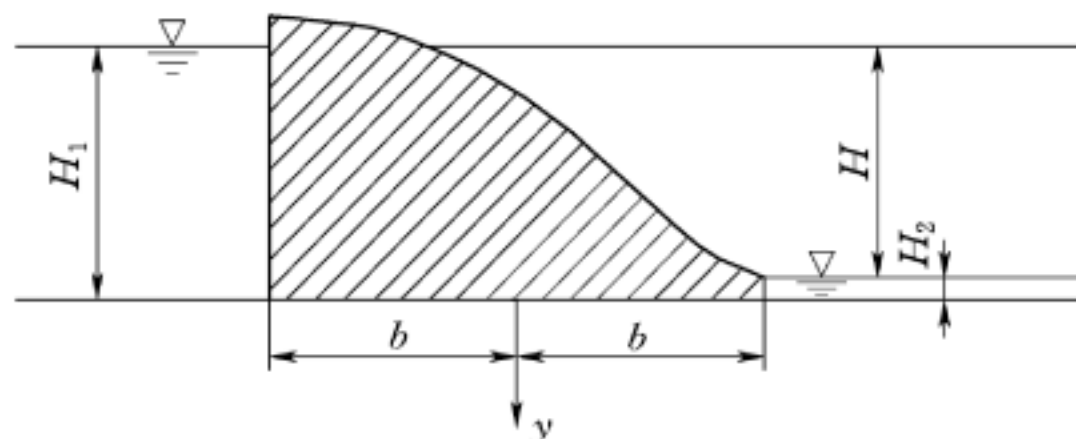


图 C.1.1 均质半无限坝基渗漏量

C.1.2 当均质透水层有限深（ $M \leq 2b$ ），平面护底时，均质有限深坝基渗漏量（图 C.1.2）可按下列公式计算。

$$Q = KBH \frac{M}{2b + M} \quad (\text{C. 1. 2})$$

式中： Q ——坝基渗漏量 (m^3/d)；

K ——渗透系数 (m/d)；

B ——坝的长度 (m)；

H ——上下游水头差 (m)；

$2b$ ——坝的底宽 (m)；

M ——透水岩层厚度 (m)。

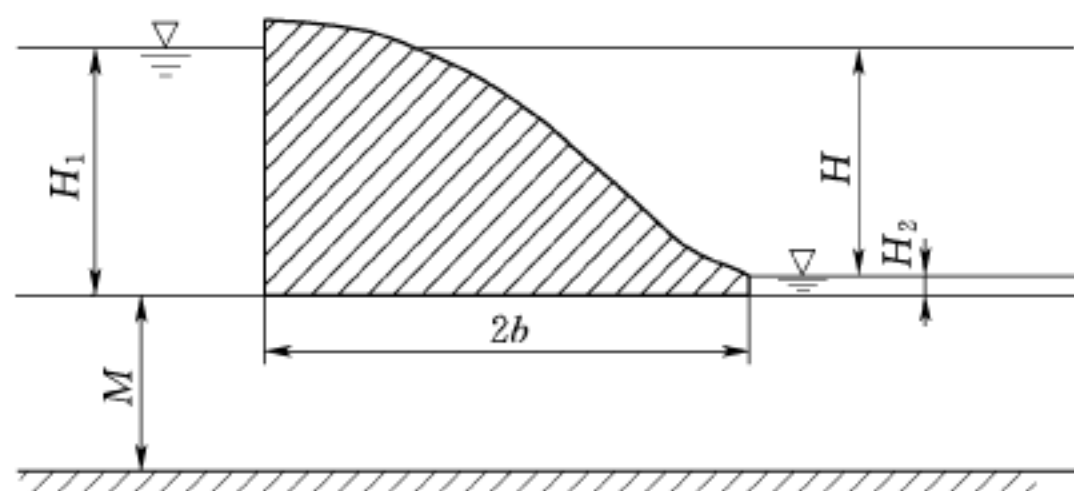


图 C. 1. 2 均质有限深坝基渗漏量

C. 2 绕坝渗漏量计算

在均质透水层、隔水底板近乎水平的条件下，绕坝渗漏量可按下列公式计算：

$$\text{无压流： } Q = 0.366K(H_1 - H_2)(H_1 + H_2) \lg \frac{B}{r_0} \quad (\text{C. 2. 1})$$

$$\text{有压流： } Q = 0.732K(H_1 - H_2)M \lg \frac{B}{r_0} \quad (\text{C. 2. 2})$$

式中： Q ——渗漏量 (m^3/d)；

K ——渗透系数 (m/d)；

H_1 ——正常蓄水位线距隔水层的距离 (m)；

H_2 ——未蓄水前地下水位线距隔水层的距离 (m)；

B ——绕坝渗漏带的宽度 (m) (图 C. 2. 1)，可由蓄水前

地下水位高程与正常蓄水位相等的点与河岸的距离 L (图 C. 2. 2) 除以 π 求得;

r_0 ——坝体接头处绕渗流线的圆半径 (m), 可由坝体接头轮廓线周长除以 π 求得;

M ——承压含水层厚度 (m)。

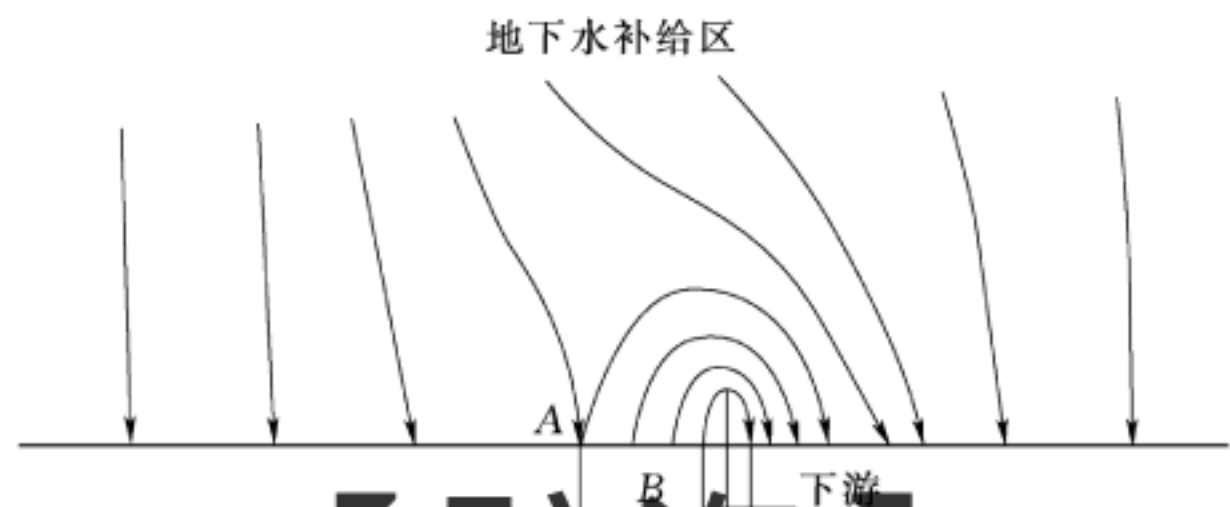


图 C. 2. 1 绕坝渗漏带的宽度

购买文件后使用
acobat 自动删除水印

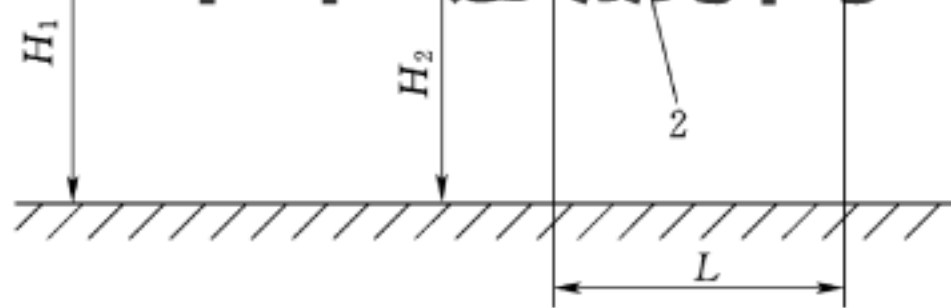


图 C. 2. 2 绕坝渗漏带计算示意图

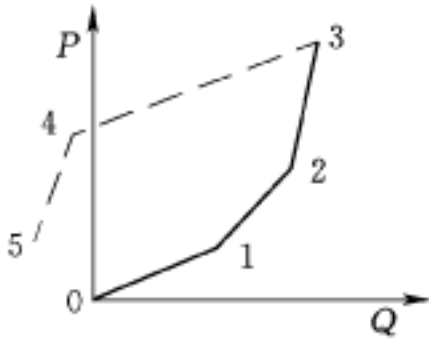
1—正常蓄水位线; 2—未蓄水前地下水位线; 3—地面线

附录 D 钻孔压水试验曲线类型划分

表 D 钻孔压水试验曲线类型划分

类型名称	$P-Q$ 曲线	曲线特点	解释
A (层流) 型		升压曲线为通过原点的直线，降压曲线与升压曲线基本重合	渗流状态为层流；试验过程中，裂隙状态没有发生变化
B (紊流) 型		升压曲线凸向 Q 轴，降压曲线与升压曲线基本重合	渗流状态为紊流（指所有非线性 $P-Q$ 关系的统称）；试验过程中裂隙状态未变化
C (扩张) 型		升压曲线凸向 P 轴，降压曲线与升压曲线基本重合	裂隙状态发生了变化，渗透性增大；这种变化不可逆，呈弹性扩张性质
D (冲蚀) 型		升压曲线凸向 P 轴，降压曲线与升压曲线不重合，呈顺时针环状	裂隙状态发生了变化，渗透性增大；这种变化不可逆，多由裂隙充填物被冲蚀、移动造成
E (充填) 型		升压曲线凸向 Q 轴，降压曲线与升压曲线不重合，呈逆时针环状	裂隙状态发生了变化，渗透性减小；多由裂隙部分阻塞造成，也可能是半封闭裂隙被水所充填

续表 D

类型名称	$P-Q$ 曲线	曲线特点	解释
F（地层抬 动）型		升压曲线凸向 Q 轴，降压曲线与升压曲线不重合，呈逆时针环状	裂隙状态发生了变化，渗透性减小；由于裂隙部分堵塞、封闭、半封闭式扩张或地层抬动形成一定空间的储水体，当减压到一定程度时，水会回流

【防盗】

购买文件后使用
acobat 自动删除水印

附录 E 高压管道最小上覆岩体厚度确定原则

高压管道最小上覆岩体厚度（图 E.0.1）应按洞内静水压力小于洞顶以上岩体重力的要求确定，并按下式计算：

$$C_{RM} = \frac{h_s \gamma_w F}{\gamma_r \cos \alpha} \quad (\text{E.0.1})$$

式中： C_{RM} ——不包括全、强风化带及强卸荷带的岩体最小覆盖厚度（m）；

h_s ——洞内静水压力水头（m）；

γ_w ——水的重度（ kN/m^3 ）；

γ_r ——岩石的重度（ kN/m^3 ）；

α ——河谷岸边谷坡坡角（°）， $\alpha > 60^\circ$ 时取 $\alpha = 60^\circ$ ；

F ——经验系数，一般取 1.3~1.5。

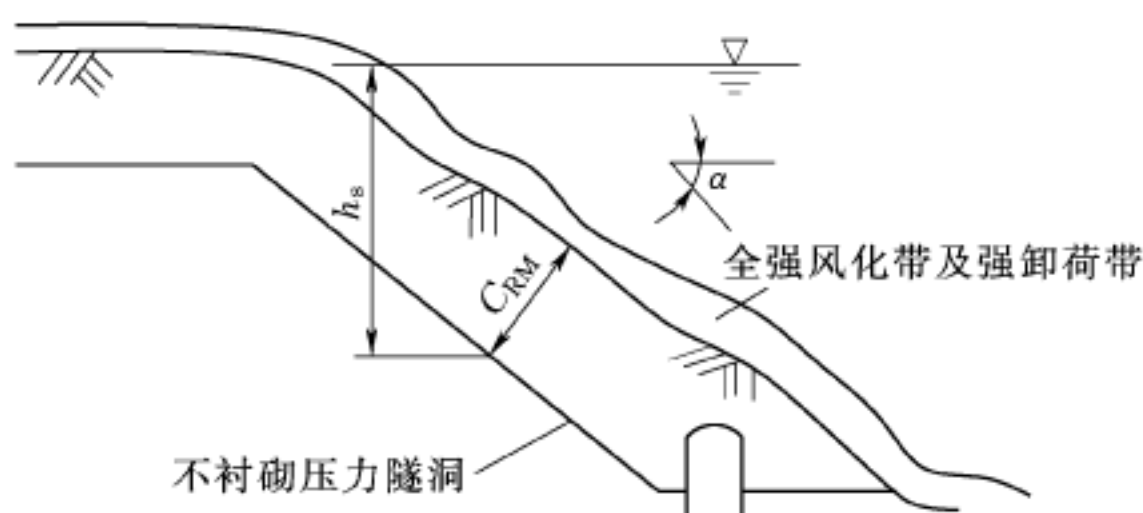


图 E.0.1 高压管道最小上覆岩体厚度

附录 F 外水压力折减系数

表 F 外水压力折减系数

级别	地下水活动状态	地下水对围岩稳定的影响	折减系数
1	洞壁干燥或潮湿	无影响	0～0.20
2	结构面有渗水或滴水	软化结构面的充填物质，降低结构面的抗剪强度，软化软弱岩体	0.10～0.40
3	严重滴水，沿软弱结构面有大量滴水、线状流水或喷水	泥化软弱结构面的充填物质，降低其抗剪强度，对中硬岩体发生软化作用	0.25～0.60
4	严重滴水，沿软弱结构面有小量涌水	地下水冲刷结构面中的充填物质，加速岩体风化，对断层等软弱带软化泥化，并使其膨胀崩解及产生机械管涌。有渗透压力，能鼓开较薄的软弱层	0.40～0.80
5	严重股状流水，断层等软弱带有大量涌水	地下水冲刷断层结构面中的充填物，分离岩体，有渗透压力，能鼓开一定厚度的断层带等软弱带，并导致围岩塌方	0.65～1.00

注：在岩溶暗河、洞穴与地表水连通良好时，其折减系数取 1.00。

附录 G 地下厂房洞室涌水量计算

G. 0.1 对于扇形状含水层，地下厂房洞室涌水量可按下列公式计算：

$$\text{潜水计算公式：} Q = \frac{K(b_1 - b_2)}{\ln b_1 - \ln b_2} \cdot \frac{(h_1^2 - h_2^2)}{2L} \quad (\text{G. 0.1-1})$$

$$\text{承压水计算公式：} Q = \frac{KM(b_1 - b_2)(H_1 - H_2)}{(\ln b_1 - \ln b_2)L} \quad (\text{G. 0.1-2})$$

式中： Q ——地下洞室涌水量 (m^3/d)；

M ——扇形区段内承压水含水层的平均厚度 (m)；

K ——含水层的平均渗透系数 (m/d)；

h_1 、 H_1 、 b_1 ——上游计算断面潜水层厚度、承压水位和计算断面宽度 (m)；

h_2 、 H_2 、 b_2 ——下游计算断面潜水层厚度、承压水位和计算断面宽度 (m)；

L ——上、下游断面之间的平均距离 (m)。

G. 0.2 当洞室通过潜水含水层时，可用下列公式预测洞室最大涌水量：

(1) 古德曼公式：

$$Q_0 = L \frac{2\pi K \cdot H}{\ln \frac{4H}{d}} \quad (\text{G. 0.2-1})$$

式中： Q_0 ——隧洞通过含水层地段的最大涌水量 (m^3/d)；

K ——含水层渗透系数 (m/d)；

H ——静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离 (m)；

d ——洞身横断面等价圆直径 (m)；

L ——隧洞通过含水层的长度 (m)。

(2) 佐藤邦明公式：

$$q_0 = \frac{2\pi \cdot m \cdot K \cdot h_2}{\ln \left[\tan \frac{\pi(2h_2 - r_0)}{4h_c} \cot \frac{\pi \cdot r_0}{4h_c} \right]} \quad (\text{G. 0. 2 - 2})$$

式中： q_0 ——隧洞通过含水地段单位长度最大涌水量 $[\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})]$ ；

m ——换算系数，一般取 0.86；

K ——含水层渗透系数 (m/d) ；

h_2 ——静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离 (m) ；

r_0 ——洞身横断面等价圆半径 (m) ；

h_c ——含水层厚度 (m) 。

G. 0. 3 当洞室穿过一个或多个地表水流域时，可采用地下水径流模数法预测洞室正常涌水量，按下列公式计算：

$$Q_s = M \cdot A \quad (\text{G. 0. 3 - 1})$$

$$M = Q' / F \quad (\text{G. 0. 3 - 2})$$

式中： Q_s ——隧洞通过含水地段正常涌水量 (m^3/d) ；

M ——地下径流模数 $[\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{km}^2)]$ ；

Q' ——地下水补给的河流的流量或下降泉流量 (m^3/d) ，采用枯水期流量计算；

F ——与 Q' 的地表水或下降泉流量相当的地表流域面积 (km^2) ；

A ——隧洞通过含水地段的集水面积 (km^2) 。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，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

- 《工程场地地震安全性评价》GB 17741
《中国地震动参数区划图》GB 18306
《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287
《水电工程岩溶工程地质勘察规程》NB/T 10075
《水电工程区域构造稳定性勘察规程》NB/T 35098
《水电工程钻孔压水试验规程》NB/T 35113
《水电水利工程水库区工程地质勘察技术规程》DL/T 5336
《水电水利工程边坡工程地质勘察技术规程》DL/T 5337
《水电水利工程岩体应力测试规程》DL/T 5367
《水电水利工程天然建筑材料勘察规程》DL/T 5388
《水电水利工程坝址工程地质勘察技术规程》DL/T 5414
《水电水利工程地下建筑物工程地质勘察技术规程》DL/T 5415

acobat 自动删除水印

中华人民共和国能源行业标准

抽水蓄能电站工程地质勘察规程

NB/T 10073—2018

条文说明

【防盗】

购买文件后使用
acobat 自动删除水印

制 定 说 明

《抽水蓄能电站工程地质勘察规程》NB/T 10073—2018，经国家能源局 2018 年 10 月 29 日以第 12 号公告批准发布。

本规程制定过程中，编制组对已建、在建抽水蓄能电站进行了调查研究，总结了我国抽水蓄能电站工程地质勘察的实践经验，吸取了相关科研成果，并与有关技术规程进行了协调。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《抽水蓄能电站工程地质勘察规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1	总则	45
3	站址选择工程地质勘察	46
3.1	一般规定	46
3.2	站址普查	46
3.3	规划站址选择	47
4	区域构造稳定性研究	49
4.1	区域构造稳定性研究内容	49
4.3	区域构造稳定性评价	49
5	水库工程地质勘察	50
5.1	水库工程地质勘察内容	50
5.2	水库工程地质勘察方法	50
5.3	水库工程地质评价	52
6	坝址工程地质勘察	54
6.1	坝址工程地质勘察内容	54
6.2	坝址工程地质勘察方法	55
6.3	坝址工程地质评价	56
7	输水系统工程地质勘察	57
7.1	输水系统工程地质勘察内容	57
7.2	输水系统工程地质勘察方法	57
7.3	输水系统工程地质评价	59
8	地下厂房系统工程地质勘察	61
8.1	地下厂房系统工程地质勘察内容	61
8.2	地下厂房系统工程地质勘察方法	61
8.3	地下厂房系统工程地质评价	63
9	天然建筑材料勘察	65

NB/T 10073—2018

9.1	一般规定	65
9.2	库内天然建筑材料及洞挖料勘察内容	65
9.3	库内天然建筑材料及洞挖料勘察方法	65
9.4	库内天然建筑材料及洞挖料工程地质评价	66

1 总 则

1.0.3 抽水蓄能电站工程地质勘察精度要符合《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287 关于水电工程勘察设计划分的五个阶段要求，其中：选点规划阶段勘察主要任务是站址普查、规划站址选择、推荐近期开发站址，天然建筑材料勘察要达到普查精度；预可行性研究阶段勘察主要针对选点规划推荐的近期开发站址进行，评价工程场地的构造稳定性，对可能的枢纽格局布置组合方案作出初步评价，将地质条件较优且经济技术条件较好的枢纽工程组合方案作为推荐方案，天然建筑材料勘察要达到初查精度；可行性研究阶段勘察要查明水库及建筑物的工程地质条件，为选定坝址、坝型、坝线、输水线路和厂房位置及其轴线方向提供地质依据，论证水库防渗型式，评价输水发电系统地下洞室群围岩稳定性，天然建筑材料勘察要达到详查精度；招标设计阶段勘察主要是补充和完善可行性研究勘察成果，对临建、辅建建筑物进行勘察；施工详图设计阶段勘察主要是结合施工开挖，检验前期勘察的地质资料和结论，并根据地质条件变化程度视需要进行补充专门性工程地质勘察，提供设计优化所需的工程地质资料。

1.0.4 抽水蓄能电站的工程地质勘察与常规水电站具有共性，但又有其特殊性，主要表现在：电站选址、枢纽布置的多样性；水库区尤其是上水库渗漏控制的严格性和库内外边坡稳定问题的突出性；较高的发电水头对高压管道岩体有较高的抗渗能力要求；库内天然建筑材料挖填平衡研究等方面。

3 站址选择工程地质勘察

3.1 一般规定

3.1.1 抽水蓄能电站规划阶段多按站址普查和规划站址选择两个步骤进行。根据电网布局与区域电力发展的需要确定普查范围，对各专业内业初步分析筛选后的站址进行地形、地质条件初步分析，从中选出地理位置及地形地质条件合适的站址进行现场查勘，按由面到点、逐步深入的原则，在站址普查的基础上，进行重点站址规划工作并推荐近期开发工程。

3.1.2 抽水蓄能电站站址选择宜考虑合适的距高比，一般不大于 10，最好能小于 5。

3.2 站址普查

3.2.1 与常规水电站站址选择相比，抽水蓄能电站站址选择范围较大，多选择较好的地形地质条件地段，站址要求上水库能有合适的盆地、凹地、大型冲沟或有扩展库容的地形，并有布置大型地下洞室群的山体。

在地形图上初拟的抽水蓄能电站站址标注在区域地质图和中国地震动峰值加速度区划图上，初步了解站址及其附近区域的地质条件和构造稳定性。

根据收集到的区域地质资料，初步了解站址及其附近主要不良物理地质现象发育程度及可能存在的工程地质问题。

3.2.2 目前全国多数地区 1:50 000~1:10 000 地形图资料较为齐全，部分地区还有更高精度的地形图，在这些地形图上初步查找具备修建上、下水库地形条件及补水水源条件的站址资源点，为站址选择规划提供基本依据。

收集站址地质、地震资料及已有成果，可以宏观了解站址的地质、地震条件。目前全国 1:200 000 或 1:250 000 区域地质资料齐全，卫星航测遥感资料也很丰富，分析研究这些资料，为选点规划的勘察工作提供依据。

3.2.3 对筛选普查的各资源点，初步分析评价其地形、地质条件对工程的适宜性，大坝及上水库要避开已知的活动断层，筛选的普查站址宜避开不良物理地质现象发育地段。通过大量的内业工作和现场查勘，为站址普查提供地形、地质条件依据，配合其他设计专业进行综合分析比较，筛选出基本符合抽水蓄能电站建设条件的站址，开展下一步工作。

3.3 规划站址选择

3.3.1 规划站址选择工程地质勘察主要内容是比选站址、推荐近期开发站址。在站址普查的基础上，通过各专业综合筛选，确定初选站址，开展现场查勘工作。根据普查成果和现场查勘情况，择优选出若干站址，作为选点规划研究对象，开展规划设计工作。

根据普查成果，结合现场踏勘，了解规划站址的区域构造及滑坡、泥石流等不良物理地质现象发育情况，初步分析其对工程的影响。

上、下水库，特别是上水库，水库渗漏是最重要的工程地质问题之一，要重点了解可能引起库水渗漏的水库周边低矮垭口、单薄分水岭、古河道、规模较大的断裂等地形地质条件。如遇岩溶地层分布，需了解岩溶水文地质条件。

库水位频繁升降是抽水蓄能电站水库运行的特点，除对库内边坡的稳定情况了解外，还要重视对水位变幅带库岸稳定性的分析，包括岩质及土质边坡。要充分重视对单薄库段和高陡库段外边坡稳定条件的工程地质勘察。

3.3.2 本阶段工程地质测绘所采用的地形图比例尺一般不大于

1:5 000。规划阶段一般勘探工作量较少，勘探布置要重点考虑坝址及库区可能渗漏地段。拟推荐近期开发的站址，要考虑钻孔勘探，勘察方案要视地质条件的复杂程度而定。

天然建筑材料的勘察，优先考虑库内取料、渣料利用、挖填平衡的原则。

3.3.3 规划站址选择初步分析规划站址区域构造稳定性及主要不良物理地质现象；站址选择阶段对于重大不良物理地质现象（滑坡、泥石流、崩塌等）采取避大治小原则，对于Ⅳ度及以上高烈度地震区、大型区域性断裂及活断层需采取避让原则。

4 区域构造稳定性研究

4.1 区域构造稳定性研究内容

4.1.1 区域构造背景研究是评价区域构造稳定性的基础，尽可能收集与其有关的地质和地震资料，以节省外业工作时间。工程区活断层判定、建筑物区地震危险性分析和构造稳定性评价是抽水蓄能电站位置选择的关键。

4.1.2 工程区地震烈度较高（Ⅶ度及以上），且上水库位于孤立的、距高比小的峰顶夷平面时，可能存在高山地震放大效应，产生库内外边坡或坝基稳定问题，可进行高山动力反应测试。

4.3 区域构造稳定性评价

4.3.1~4.3.5 区域构造稳定性评价应根据区域地质构造特点及工程规模综合分析评价，根据地震动峰值加速度及相应的地震烈度、活断层分布、近场区地震活动及震级情况划分为区域构造稳定性好、稳定性较好、稳定性较差和稳定性差四个级别。

5 水库工程地质勘察

5.1 水库工程地质勘察内容

5.1.1 水库包括上水库、下水库、拦沙库和蓄能专用库。本条规定的是抽水蓄能电站水库工程地质勘察内容所应遵循的原则。上水库一般库容小、面积不大，其主要工程地质问题是水库渗漏和库岸稳定，对于滑坡、崩塌、泥石流等应有较为严格的限制，而水库浸没和坍岸、库岸稳定性分析、岩溶浸没性内涝等应遵守有关技术规程，本规程不做展开。

5.1.2 抽水蓄能电站一般对防渗要求较高，而上水库多修建在山顶，往往深切邻谷发育，存在单薄分水岭、低矮垭口、强透水岩层、断层破碎带、裂隙密集带等，多易产生渗漏问题，条文规定的勘察内容主要是根据上述特点提出的。

5.1.4 库岸稳定问题研究主要是分析评价库内天然边坡、库外天然边坡及开挖边坡的稳定性。应考虑蓄水条件下库内边坡，尤其是水位变幅带边坡的稳定条件。库外边坡应考虑水库蓄水后，水文地质条件的变化及渗透稳定性。

5.1.6 对泥沙问题比较严重的水库，一般需要设置拦沙坝、泄洪排沙洞等建筑物，应对拦沙库、泄洪排沙洞工程地质条件进行勘察。

5.1.7 利用已建水库往往需要进行拦河坝加高、加固，存在因蓄水位抬高而引起渗漏、库岸稳定、浸没等相关的水库工程地质问题。

5.2 水库工程地质勘察方法

5.2.1 预可行性研究阶段，工程地质测绘比例尺采用1:5 000；

可行性研究阶段，采用 1:2 000~1:1 000。上水库多建在山顶或沟源洼地，基岩露头不好，为保证地质测绘精度，要有足够数量有效的坑槽探。工程地质测绘需重点关注与水库渗漏有关的岩溶、水文地质结构、断层带、裂隙密集带等。

水库渗漏是抽水蓄能电站主要工程地质问题之一，防渗要求较严格。条文强调了水库渗漏重点勘探的部位，勘察方法以钻探为主，辅以洞探、物探的方法，配合钻孔压水试验。勘探剖面的布置，除考虑水文地质条件外，还需考虑防渗处理方案；可能渗漏岩土层（组）内不少于两个钻孔。库周钻孔布置在工程地质测绘和物探测试基础之上，如某抽水蓄能电站在库周分水岭应用 EH4 电磁法初步确定了渗漏带位置和地下水位埋深，为钻孔布置提供了依据。

为确定防渗帷幕的深度和计算渗漏量，条文强调了钻孔深度标准，钻孔深度除考虑防渗处理方案外，还要注意地下水位变幅影响。为获得完整地下水动态资料，钻孔要进行地下水位长期观测，观测时间不少于 1 个水文年。

5.2.2 上水库测绘范围应至低邻谷。上水库库容一般较小，面积不大，勘探剖面可考虑与渗透剖面结合布置。平洞宜垂直边坡走向布置，基岩库盆存在缓倾角软弱结构面时宜采用井探，以确定结构面的深度与性状，视需要可在平洞或竖井内开挖支洞，追索结构面空间变化或开展原位剪切试验。

5.2.3 库盆防渗体地基的不均匀变形主要是由于软硬不同的岩体、断层破碎带、不同的风化带、松散堆积体等与相邻完整岩体承载力不同、变形特性相差较大，在库水压力作用下面板产生不均匀沉陷导致开裂。面板地基勘察应在工程地质测绘基础上开展，查明上述不良地质体的位置和范围。

5.2.8 水库补水工程勘察的基本要求：当泉水作为水库补给源时，考虑其水位、流量等因受枯水年和丰水年的影响，观测时间足够长，建议不少于 3 个水文年。

某抽水蓄能电站下水库初期蓄水、施工用水和电站运行期补水水源为泉水，工程永久补水设计流量为 $0.2\text{m}^3/\text{s}$ 。水源区泉水点分布较分散，呈泉群型式散布，主要为下降泉，单泉流量小，最终采用集水槽型式收集泉水，可以满足工程补水要求。该工程建成后运行近 10 年，运行状况良好。

5.3 水库工程地质评价

5.3.1 条文明确了非岩溶区水库是否渗漏的判断标准，引用于《水电工程水库区工程地质勘察规程》DL/T 5336 相关内容。

不同的水库渗漏类型，其水文地质结构、边界条件、渗漏途径差异性很大，渗漏量估算应以划分的水库渗漏类型为基础，保证水文地质试验数据组数及数据的准确性，计算边界条件清楚，参数选择合理。对水文地质测试成果应进行统计分析，提出各透水层（组、带）的渗透系数，多个透水层时可取渗透系数的加权平均值。

上水库渗漏会对库岸边坡稳定和厂房涌水量产生影响。当库岸发育倾向库内外的连续软弱结构面时，这些结构面往往是水库渗漏通道，而且会使结构面的抗剪强度降低，影响岸坡的稳定。当地下厂房距上水库较近，库水外渗可能增加厂房的涌水量，因此，地下厂房为首部开发方案时需重视这一问题。

上水库防渗处理型式，取决于水库渗漏型式和程度。局部防渗时，防渗帷幕深度是按 $1L_u$ 还是 $3L_u$ 确定，应结合渗漏量、补水条件、库岸稳定等因素综合考虑。

5.3.10～5.3.13 库岸稳定分析与评价应包括库内、库外边坡。水位变幅带库内边坡，特别是土质边坡，其受动水渗透压力作用易失稳，应进行重点分析研究。

5.3.16 采用全库防渗时，防渗面板多为沥青混凝土面板或钢筋混凝土面板，面板地基要求地形规整。库盆内存在的软岩（带）、断层破碎带、风化带及岩溶洞穴等不良地质体与周围完整岩体承

载力不同、变形模量差异较大，会产生不均匀变形，应采取适当的处理措施。

5.3.17 在干旱地区修建下水库，一般存在水库补水的问题，根据设计要求进行补水工程的勘察。当泉水或其他库水作为补水源时，除查明补水线路的工程地质条件外，要对水源可靠性及取水建筑物地基进行评价。

【防盗】
购买文件后使用
acobat 自动删除水印

6 坝址工程地质勘察

6.1 坝址工程地质勘察内容

6.1.2 抽水蓄能电站上水库常修建于沟源部位，往往沟谷纵坡坡度较大，易存在坝体材料与建基面、坝基浅部和坝基深部等部位的滑动变形问题，勘察工作应重视坝体材料与建基面、坝基浅部和坝基深部的抗滑稳定问题，并对坝址区内、外边坡进行工程地质分类和变形破坏分类。当在坝址下游设置挡墙时，对挡墙地基进行工程地质勘察。

如某抽水蓄能电站上水库主坝坝基沿沟谷纵坡坡度在 20° 以上，局部达 30° （图 6-1）。岩层为石英砂岩夹泥质粉砂岩和粉砂质泥岩，层面产状向下游缓倾，倾角 $10^\circ \sim 15^\circ$ 。试验结果表明，堆石料与基岩面的抗剪强度小于堆石料本身的强度。另经勘察，坝基发育软弱夹层，与其他不利结构面组合，具备深部滑动的边界条件。因此，该坝基存在坝体材料与建基面滑动变形和坝

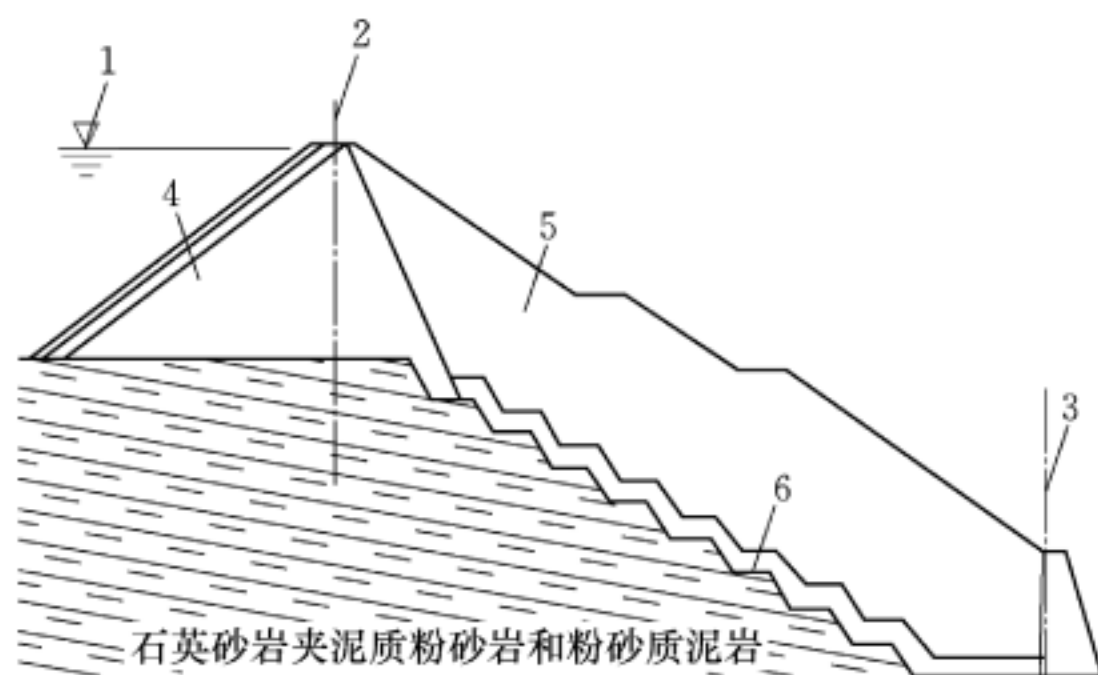


图 6-1 某抽水蓄能电站上水库坝体剖面示意图

1—正常蓄水位线；2—主坝轴线；3—挡墙轴线；

4—主堆石区 I；5—主堆石区 II；6—开挖线

基深部滑动变形的不稳定条件。原设计贴坡式堆石坝，后改为在面板坝坝轴线下游再建混凝土重力挡墙，同时通过加强坝基排水、堆石体坡面浆砌石护坡等工程措施，提高了坝基的抗滑稳定性。

6.1.3~6.1.5 当上水库为天然的台坪地形时，需要挖方筑坝成库，该类型电站坝线基本无调整余地，坝址勘察应结合水库库区及料场进行，勘察基本工程地质条件和主要工程地质问题。

利用已建水库作为上、下水库时，在搜集已有资料基础上，进行必要的补充勘察，以满足工程设计要求。

6.2 坝址工程地质勘察方法

6.2.2 物探测试具有快速轻便、信息量大等特点，测试的方法较多，每种物探方法的应用有一定的局限性，根据工程地质条件，合理选择物探测试方法。

6.2.3 抽水蓄能电站坝型以土石坝、混凝土重力坝为主，勘探布置根据拟采用的坝型，按勘察阶段逐步展开。勘察初期，勘探布置一般以控制性为主，随着勘察阶段的深入，逐步有针对性的加密，以查明坝址区工程地质条件和主要工程地质问题。针对不同坝型特点，对坝基进行工程地质评价。

6.2.4 对于松散材料的相对密度、孔隙率等控制指标，按设计指标确定。

6.2.5 通过水文地质试验，获取岩土体渗透性参数，以评价坝基渗透稳定、渗漏特征等。在坝基强烈渗透或存在集中渗漏通道的水文地质勘察中，采用地下水连通试验，如采用示踪法时，常用的示踪剂有食盐、酸性大红、荧光素、染色孢粉（石松孢子）、同位素等。

6.2.6 地下水位观测按不同水文地质单元布置，形成长期观测网，并应确保观测周期，复杂地区不少于2个~3个水文年。

6.3 坝址工程地质评价

6.3.1 抽水蓄能电站上、下水库库址选定后，鉴于库容、正常蓄水位等条件限定，坝址的选择余地不大，重点对坝型、坝线进行比选。选择地形地貌完整、岩石条件较好、地质构造发育较少、水文地质条件简单的地段作为推荐坝线。

6.3.3 断层带、软弱夹层、风化层和裂隙中泥质物的机械渗透变形型式，分为流土、管涌、接触冲刷和接触流失；可溶盐层的化学渗透变形型式主要为化学管涌。

6.3.4 斜坡坝基或坝肩滑块组合的滑移破坏模式主要有三种：沿坝体材料与坝基岩体表部建基面之间接触面滑移、沿坝基岩体浅部滑移、沿坝基岩体深部滑移。各种滑移模式受一定条件的控制，要通过勘察研究予以确定。分析评价坝址区内、外边坡稳定基本条件和可能发生变形破坏的机制与失稳模式。结合具体工程地质环境和条件修正抗剪强度指标标准值，提出地质参数建议值。

6.3.6 挖填式环库筑坝坝基部位往往存在构造发育、风化较强、卸荷严重以及软弱结构面等对坝基稳定不利的情况，因此条文规定应结合库区勘察成果，综合评价坝基稳定。

7 输水系统工程地质勘察

7.1 输水系统工程地质勘察内容

7.1.1 抽水蓄能电站输水系统布置于上水库与下水库之间的山体内，线路选择有一定的余地，为选择地质条件较优的布置线路，要对输水系统各比选线路进行工程地质勘察，包括相应的进/出水口边坡。

7.1.2 本条为线路比选选定的高压管道围岩工程地质特性的勘察内容，可为高压管道衬砌型式选择提供地质依据。若高压管道沿线不具备布置钻孔的条件，至少应在高压岔管部位进行地应力测试及高压压水试验。

7.1.3 利用已建水库或天然湖泊作为抽水蓄能电站的上、下水库时，输水系统进/出水口在水下深处，一种施工方法是在不放空水库也不修筑围堰的条件下，在进/出水口处留下一块貌似瓶塞的岩体（岩塞）挡水，或者是预留类似于围堰的岩坎挡水，完成隧洞的施工后再爆破拆除，因此岩塞或岩坎在库水压力作用下的稳定性及透水性是这一施工方法是否适用的关键。为此要勘察进/出水口范围地形条件（尤其是水下地形）、地层岩性、地质构造，岩体风化、卸荷、渗透特性，岩体及结构面的抗剪特性等。

7.2 输水系统工程地质勘察方法

7.2.1 由于输水系统沿线一般地形高差大，地形复杂，地质测绘精度受到限制，因此，当输水系统沿线沟谷纵横并切割较深或断裂发育时，需实测地质剖面，以便较准确地测定输水系统隧洞垂向和侧向岩体厚度、断层分布、规模及产状等，以满足方案比较和工程地质评价的需要。

一些抽水蓄能电站工程区，山高林密，地形起伏大，基岩露头少，地表地质测绘难度极大，效率不高，多借助高分辨率的光学遥感数据解译手段，进行大比例尺地质测绘。例如某抽水蓄能电站，工程区处于原始森林区，植被覆盖率近100%，地表地质测绘效率低，因此借助了高分辨率的光学遥感数据解译手段，效果较好。具体方法是：选取工程区范围内 QUICKBIRD（分辨率0.61m）和 K2（分辨率1.0m）高分辨率的光学遥感数据为主的遥感信息源，再选取加拿大的 RADARSAT（分辨率3.0m）数据作为补充，对上述数据进行融合、解译，之后对解译成果进行野外验证，最后校正成图。

7.2.3 上水库与下水库进/出水口要结合洞脸边坡布置勘探平洞，洞深穿过控制边坡稳定性的控制性地质界面，满足边坡稳定性评价要求。地形平缓，不具备开挖平洞的地形条件，或进/出水口采用竖井式，要布置钻孔。

7.2.4 岩塞或岩坎的勘察首先要进行大比例尺水下地形测量，地形图比例尺不小于1:200，并开展大比例尺地质测绘；为查明岩塞范围地层岩性、基岩风化特征、岩体完整程度、基岩透水性，布置专门性勘探钻孔，在孔内进行压水试验、钻孔数字成像及孔间物探CT测试；开展专门性的节理裂隙统计，包括结构面发育组数、各组结构面发育特征、连通性等；取岩样开展室内物理力学性质试验。

7.2.6 高压管道钻孔布置受地形条件影响较大，地形条件允许时布置钻孔，且在不同部位（如上斜段、中平段、下斜段、下平段）均布置钻孔；引水高压岔管部位钻孔，一般在岔管勘探平洞内布置。高压管道也可布置平洞（如某抽水蓄能电站，在输水系统中平段布置了勘探平洞）。

7.2.7~7.2.8 高水头压力管道隧洞围岩地应力、围岩（特别是Ⅲ类围岩）的抗水力劈裂压力、渗透性、渗透破坏水力梯度等特性，是衬砌型式选择的必要依据，要在高压管道段相应的钻孔内

进行高压压水试验和地应力测试，测试段选择在建筑物部位及其附近一定范围内。

高压压水及地应力测试钻孔布置遵循以下原则：在高压管道不同建筑物部位（如上斜段、中平段、下斜段、下平段、岔管段）布置试验钻孔；在不同地质单元、不同地貌单元布置试验钻孔。

地应力测试建议采用水压致裂法，试验段选择钻孔岩芯完整部位。

高压压水试验在不同围岩类别（主要是Ⅱ、Ⅲ类）内进行，试验段选取钻孔岩芯完整岩体、较完整岩体和裂隙岩体，长度一般为5m。可采用单孔或群孔布置，加压方式及压力稳定时间根据试验目的、岩体完整程度及工程自身特点等确定。

7.3 输水系统工程地质评价

7.3.1 抽水蓄能电站输水系统线路选择综合考虑上水库与下水库之间山体的地形地质条件及水文地质条件。一般选择地形相对完整的山梁布置，尽量避免穿越深切沟谷、大型岩溶汇水洼地等负地形，同时要有合理的距高比，距高比一般不大于10，最好能小于5。选择工程地质及水文地质条件相对较优的线路，尽量避开规模较大的断层破碎带、膨胀岩、软弱岩带、岩溶洞穴发育带、地下水富集区等，洞线与主要断裂及特殊岩层带尽量有较大的交角。上、下水库进/出水口多选择在地形完整，自然边坡及工程边坡整体稳定的地段。

7.3.4 首先对进/出水口的岩塞或岩坎地形地质条件进行评价，包括：地形完整性，覆盖层厚度及组成物质，基岩岩性及强度，岩体风化程度、结构面发育特征、完整性及透水性。依据基本地质条件，对岩塞或岩坎进行岩体结构分类及岩体质量分类，评价其在库水压力作用下的渗透性及渗透稳定性，以及岩塞周围岩体在岩塞爆破后的稳定性。

7.3.5 高压岔管位置选择在岩体完整区段，避免断层切割，同时结合地下厂房系统位置选择进行。根据围岩基本地质条件，提出高压管道及高压岔管衬砌型式选择建议。

7.3.6 山体抗抬稳定性评价遵循“挪威总则”，即洞内静水压力应小于洞顶以上岩体重力，并有一定的裕度，洞顶以上岩体重力计算刨除覆盖层及基岩全强风化层。计算公式中 α 为高压管道位置地面最大平均坡度， $\gamma_r \cos\alpha$ 为单位体积岩体重力垂直于地面的分量。

围岩抗水力劈裂稳定性评价，也就是最小主应力准则，要求隧洞内的静水压力小于围岩初始应力场最小主应力，并有一定的安全裕度。这里需要强调的是，最小主应力是三维最小主应力，在实际勘察过程中，高压管道沿线实测地应力方法主要是水压致裂法，测得的是最小水平主应力。最小水平主应力往往较三维最小主应力大，因此需要根据足够的实测资料进行初始地应力场回归分析求得最小三维主应力。

围岩抗渗透稳定性评价有两方面的要求：①渗漏量的要求，要求高压管道围岩为Ⅰ、Ⅱ类不透水或微透水岩体，或经高压固结灌浆处理后透水率小于 $1.0Lu$ 的岩体；②渗透稳定性要求，围岩工作水力梯度应小于渗透破坏水力梯度允许值，保证围岩结构面的渗透稳定性。

7.3.7 钢板衬砌的高压管道，主要研究围岩所能承担的内水压力的能力以及建筑物部位的外水压力。围岩所能承担的内水压力的能力指标是围岩单位弹性抗力系数，围岩单位弹性抗力系数值宜采用公式法和工程类比法确定，也可采用现场原位试验确定。现场原位试验多在专门的试验洞内进行，采用径向液压枕法或水压法。

8 地下厂房系统工程地质勘察

8.1 地下厂房系统工程地质勘察内容

8.1.1 抽水蓄能电站地下厂房系统布置方案选择比较灵活，按照地下厂房在输水系统中的位置，可以分为首部、中部和尾部三种布置方案。首部式布置的地下厂房位于输水系统上游段，在靠近上水库的山体内；中部式布置的地下厂房位于输水系统中部，厂房上、下游输水系统长度相差不大；尾部式布置的地下厂房位于输水系统的下游段，在靠近下水库的山体内。对各布置方式的地下厂房系统进行工程地质勘察，为布置方案选择提供地质依据。

8.1.2 抽水蓄能电站地下厂房系统是以地下厂房、主变室和尾闸室为主要洞室的大型洞室群，主要洞室埋藏深、跨度大、边墙高，辅助洞室纵横交错，地面进口多，与主要洞室交叉口多。工程地质勘察研究的主要内容有：厂房区各洞室进口的边坡稳定；地下厂房及主变室的顶拱、边墙及底板稳定；主厂房与主变室等大洞室之间岩体稳定；厂房与各洞室交叉口范围的岩体稳定；各主要洞室围岩变形特点，可能塌方的部位及型式；预测涌水量及适合厂区水文地质特性的截排水措施。勘察内容是依据上述地下厂房系统研究的主要内容而设定。

8.2 地下厂房系统工程地质勘察方法

8.2.1 厂房区测绘范围除包括厂房、主变压器室、事故闸门室及尾调室等主要洞室外，还包括交通洞、通风洞、出线洞、自流排水洞等辅助洞室。当通向厂房的洞室布置很分散且洞口距厂房较远，也可单独测绘成图，并可根据地形地质条件及洞室工程特

性确定测绘精度。

由于水轮机吸出高度的要求，抽水蓄能电站厂房埋藏在水库死水位以下数十米，因此，厂区工程地质测绘范围，不仅限于建筑物平面布置，还需考虑地下厂房埋藏深度与地层、断裂产状的延伸交汇关系。

8.2.2 抽水蓄能电站地下厂房系统勘探工作，预可行性阶段以地表深钻孔为主；可行性研究阶段以长勘探平洞为主，并布置钻孔或竖井。本条依据抽水蓄能电站地下厂房系统特点，规定了地下厂房勘探平洞及钻孔或竖井的布置原则。

地下厂房位置及其轴线方位的选择，主要是依靠勘探平洞揭露地质条件。要查明地下厂房洞室群这样庞大建筑物区的工程地质条件，仅一条探洞是不够的，还需开挖必要的支洞，并在洞内布置一定数量的钻探或竖井，这样才能有效揭露和控制各类岩层、断裂带的分布及其空间位置，为地下厂房位置及其轴线方位选择提供依据。首先依据主勘探洞揭露地质条件，初选地下厂房位置，开挖厂房轴线方向探洞，地质条件没有太大变化的情况下，进行钻孔或竖井。

地下厂房长探洞是多用途的勘探洞，洞口位置、长度、方向及高程的选择是很重要的。选择洞口位置时，要重视洞口稳定；探洞长度，需要兼顾引水高压岔管的位置；探洞方向要有利于揭露厂区更多的岩层和断裂带；探洞高程，便于查明厂房顶拱围岩的状况，有利于其他勘探工作，不影响未来厂房的稳定并可长期使用，尽可能减少无效长度。

8.2.5 厂房区岩体地应力测试以水压致裂法为主，以应力解除法复核。

8.2.6 预可行性研究阶段一般在地表布置了地下厂房深钻孔，勘探平洞开挖过程中观测钻孔水位的变化。勘探平洞内的钻孔，一般有承压水出露，观测承压水水头、出水量及水温。平洞开挖过程中遇集中涌水点，观测其流量变化及水温。在勘探平洞洞口

设置量水堰，对平洞出水量进行长期观测。观测时间不少于 1 个水文年。

8.3 地下厂房系统工程地质评价

8.3.1 地下厂房系统布置方案选择根据上水库、下水库、水道系统沿线工程地质条件与水文地质条件，结合水工枢纽布置进行。总体原则选择工程地质条件、水文地质条件相对简单的布置方式。

上水库工程地质条件、水文地质条件复杂时或岩体地应力属高地应力及以上地区，一般不采用首部式布置。首部式布置的地下厂房系统多适用于中低水头的抽水蓄能电站，水头超过 400m 的一般不采用首部式布置。水道系统沿线下水库一侧地形平缓时或下水库工程地质条件、水文地质条件复杂时，一般不采用尾部式布置。

8.3.2 地下厂房位置选择不仅是平面问题，还要考虑从底板至顶拱以上近百米的空间，同时还要兼顾到主变室、调压室等主要洞室的位置。

地下厂房系统选择在：山体雄厚、地形完整区段，避免深切沟谷和较大的地形起伏；岩体完整或较完整区段。若发育缓倾角软弱岩带，在选择地下洞室位置时，避免软弱岩带在地下厂房、主变室等主要洞室顶拱及岩壁吊车梁部位出露；避开规模较大的断裂。岩溶发育地区，地下厂房位置选择多避开岩溶发育地层，例如某抽水蓄能电站选择地下厂房位置时，避开了岩溶发育地层，选择在岩溶不发育地层内；地下厂房、主变室等主要洞室，多避免与主要断层交切。

具体工作过程是，根据地质测绘及地下厂房勘探平洞揭露地质条件，对结构面进行分级；依据工程区构造发育规律划分出控制性结构面；以岩性、控制性结构面、水文地质条件及岩溶发育情况等为依据，进行地质单元划分及围岩分类；选择地质条件相

对较好的地质单元布置地下厂房系统洞室。

8.3.3 地下厂房轴线方向的选择，在地下厂房位置选定的基础上进行。分析统计地下厂房系统所在地质单元结构面发育规律、围岩最大主应力量级及方向，根据构造发育特征、地应力状态，并考虑输水系统水流顺畅条件，进行综合研究确定。

9 天然建筑材料勘察

9.1 一般规定

9.1.1~9.1.3 为减少移民征地、保护环境，抽水蓄能电站天然建筑材料的选择要以优先库内取料、洞挖料等渣料利用、挖填平衡为原则，充分利用库内开挖料和施工开挖料，并与设计配合开展必要的筑坝材料试验和挖填平衡研究。库盆开挖石料的储量系数最小可取 1.2，但储量系数小于 1.5 时，一般考虑库外建筑材料料源。考虑到抽水蓄能电站的工程特点，为了进一步减少征地范围，减轻对自然环境的影响，降低工程造价，正在开展勘测设计或施工的一些抽水蓄能电站，在库内开挖料储量不满足工程需要时采用了扩大岸坡开挖范围或在死水位以下深挖取料，并用电站弃渣回填的方式，取得了一定的经济技术效果。抽水蓄能电站库盆开挖石料的储量系数及在什么情况下考虑备用料源，是一个值得研究的课题。

9.2 库内天然建筑材料及洞挖料勘察内容

抽水蓄能电站的上水库多位于沟源或山顶洼地内，岩体临空面相对较多，卸荷风化较强，且有些部位的开挖料，受上库建基面高程限制多在强风化带内，常有一定数量的劣质料；另外，上水库地形条件的差异，库内天然建筑材料的取料结果也存在较大不同。虽然库内天然建筑材料勘察的内容和一般料场的勘察内容基本一致，但在勘探方法及质量评价等方面却有其特殊性，需要进行重点研究。洞挖料的勘察，可结合洞室勘察工作进行。库内料场、洞挖料的勘察内容，也需满足天然建筑材料勘察的技术要求。

9.3 库内天然建筑材料及洞挖料勘察方法

9.3.1 库内天然建筑材料主要是人工库盆的开挖岩石或为增加

库容而挖除的部分山体。建筑材料取自库内，其勘察工作可以同库坝区地质测绘、勘探及试验结合进行。

9.3.2 库内开挖料、洞挖料等渣料不同于一般料场的建筑材料，尤其是人工库盆及洞室的开挖料，其岩性可能是多种的，风化程度是不同的。因此，库内天然建筑材料及洞挖料的试验工作，除分别做各种开挖料的物理力学性质试验外，还需与设计配合研究各种级配混合料的物理力学性质，并进行堆石料与垫层、堆石与大坝地基抗剪强度等现场试验。

9.4 库内天然建筑材料及洞挖料工程地质评价

9.4.6 库内天然建筑材料的质量一般都不是很好，其物理力学性质指标不能全部满足现行规范要求，如岩石强度和软化系数低、细颗粒的含量偏高及形状不良等，按常规是不能用的。为减少弃料，在坝的设计上采取适当措施，再根据各种石料的试验指标，将其分别填筑于坝体的不同部位，以提高库内天然建筑材料的利用率。

某抽水蓄能电站为研究全、强风化料的可利用性，除进行了堆石料常规的比重、固结、直剪、三轴压缩及渗透试验外，针对全、强风化料的特点还进行了耐崩解性试验、压缩试验，以及采用固结试验原理，进行湿化变形试验等。相对于弱风化料，全、强风化料最大干密度相对较小，但经充分振动压实后可以达到较大的干密度；和弱风化料相比，全、强风化料抗剪指标差别不明显；强风化料天然状态下的压缩模量尚可。本着充分利用坝址附近各种材料及堆石坝设计的原则，可以将全、强风化堆石料填置于坝体下游浸润线以上的区域，以达到挖填平衡和减少弃渣的目的。