

UDC

SL

中华人民共和国行业标准

P

SL373-2007

水利水电工程水文地质勘察规范

**Code of engineering hydrogeology investigation for
water resources and hydropower**

2007-05-11 发布

2007-08-11 实施

中华人民共和国水利部 发布

前 言

根据水利部水利规划设计管理局“关于下达”2001年度水利水电勘测设计技术标准制度、修订项目计划及主编单位的通知“(水总局科[2001]1号)编写本规范。

本规范为新编规范，在编制过程中，编写组广泛进行了调查研究，并开展了专题研究工作，多次听取专家意见和征求有关勘测生产单位的意见后经反复修定后而定稿。

《水利水电工程水文地质勘察规范》共13章183条和11个附录，主要技术内容有：

- 水利水电工程水文地质勘察的基本原则和规定；
- 水利水电工程水文地质勘察工作的勘察的目的与任务；
- 水利水电工程水文地质勘察工作的勘察内容；
- 水利水电工程水文地质勘察工作的勘察方法；
- 水文地质勘察资料的整理内容及要求。

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：黄河勘测规划设计有限公司

本标准参编单位：

中水北方勘测设计研究有限责任公司

贵州省水利厅

贵州省水利水电勘测设计研究院

吉林省水利水电勘测设计研究院

新疆维吾尔自治区水利水电勘测设计研究院

主要起草人：

高广礼 李清波 路新景 任增平 董存波 刘丰收
陈丁发 吴伟功 赵振海 汪海涛 赵爱平 潘伯敏
庄信荣 李金都 戴其祥 万力 孙文怀 苏万益
王建平 王瑞库

审查会议技术负责人：司富安

体例格式审查人：

目 次

1	总 则.....	1
2	术语、符号.....	1
2.1	术语.....	1
2.2	符号.....	2
3	基本规定.....	3
4	区域水文地质勘察.....	5
4.1	目的与任务.....	5
4.2	勘察内容.....	5
4.3	勘察方法.....	5
5	水库区的水文地质勘察.....	6
5.1	目的与任务.....	6
5.2	勘察内容.....	6
5.3	勘察方法.....	7
5.4	水文地质问题评价.....	8
6	坝（闸）址区水文地质勘察.....	10
6.1	目的与任务.....	10
6.2	勘察内容.....	10
6.3	勘察方法.....	11
6.4	主要水文地质问题评价.....	13
7	地下洞室水文地质勘察.....	15
7.1	目的与任务.....	15
7.2	勘察内容.....	15
7.3	勘察方法.....	15
7.4	主要水文地质问题评价.....	17
8	渠道水文地质勘察.....	20
8.1	目的与任务.....	20
8.2	勘察内容.....	20
8.3	勘察方法.....	20

8.4	主要水文地质问题评价	21
9	灌区水文地质勘察	22
9.1	目的与任务	22
9.2	勘察内容	22
9.3	勘察方法	22
9.4	地下水资源评价	25
9.5	土壤盐渍化评价	26
10	堤防水文地质勘察	29
10.1	目的与任务	29
10.2	勘察内容	29
10.3	勘察方法	29
10.4	水文地质问题评价	30
11	边坡水文地质勘察	31
11.1	目的与任务	31
11.2	勘察内容	31
11.3	勘察方法	31
12	岩溶区水文地质勘察	33
12.1	目的与任务	33
12.2	勘察内容	33
12.3	勘察方法	33
12.4	岩溶区水库渗漏问题评价	35
13	水文地质勘察资料整理	36
13.1	目的与任务	36
13.2	水文地质图件	36
13.3	水质分析资料	38
13.4	水文地质勘察报告	38
附录 A	水文地质分析中渗透系数取值原则	43
附录 B	水利水电工程各勘察阶段水文地质测绘比例尺	45
附录 C	水库渗漏量计算、地下水壅水计算常用公式	46
附录 D	岩体定向压水试验	50

附录 E	钻孔岩体高压渗透试验	54
附录 F	水文地质勘察中物探方法的应用	59
附录 G	岩土体渗透结构类型划分	62
附录 H	地下洞室涌水量估算（大井法）井半径计算公式	63
附录 J	渠道的渗漏计算可采用的方法	64
附录 K	岩溶水文地质常用分类	69
附录 L	岩溶水示踪试验与应用	74

1 总 则

1.0.1 为规范水利水电工程水文地质勘察工作，明确工作深度、内容、方法与技术要求，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于大型水利水电工程的水文地质勘察工作，中、小型水利水电工程可参照执行。

1.0.3 引用标准

- 1 《水利水电工程地质勘察规范》(GB50287—99)
- 2 《水利水电工程地质测绘规程》(SL299-2004)
- 3 《水利水电工程物探规程》(SL236-2005)
- 4 《水利水电工程钻探规程》(SL291-2003)
- 5 《水利水电工程钻孔压水试验规程》(SL31-2003)
- 6 《水利水电工程地质钻孔抽水试验规程》(SL320-2005)
- 7 《水利水电工程地质观测规程》(SL245-1999)
- 8 《水利水电工程施工地质规程》(SL313-2004)
- 9 《堤防工程地质勘察规程》(SL188-2005)
- 10 《供水水文地质勘察规范》(GB50027-2001)
- 11 《水工隧洞设计规范》(SL297-2002)
- 12 《地下水质量标准》(GB/T14843-93)
- 13 《农田灌溉水质标准》(GB5084-92)
- 14 《生活饮用水卫生标准》(GB5749-85)

1.0.4 水利水电工程水文地质勘察除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 水文地质勘察 hydrogeological investigation

为查明一个地区的水文地质条件而进行的野外和室内水文地质工作，主要包括水文地质测绘、勘探、物探、试验、观测等。

2.1.2 水文地质条件 hydrogeological condition

表征地下水形成、分布、运动以及水质、水量等特征的地质环境。

2.1.3 水文地质试验 hydrogeological test

为评价水文地质条件和取得水文地质参数而进行的各种测试和试验工作。

2.1.4 地下水均衡 groundwater balance

一定区域、一定时段内地下水输入水量、输出水量与蓄水变量之间的数量平衡关系。

2.1.5 给水度 specific yield

饱和岩土在重力作用下能自由排出的水体积与岩土总体积之比。

2.1.6 地下水富水层 water-rich layer of groundwater

地下水受重力作用由高处往低处渗流过程中，在地下一定深处如遇到不透水层时，便受阻而聚积在不透水层之上，使透水层充水形成富水层。

2.1.7 毛细水 capillary water

在潜水面以上由毛细力维持的水。

2.1.8 渗透结构 seepage structure

透（含）水层（体）和相对隔水层（体）的空间分布及组合规律。

2.1.9 涌水与突泥 water and mud bursting

工程施工中，在一定水压力作用下，沿透水岩体（带）以及无（少）泥沙充填的洞穴，突然发生大量出水的现象称为涌水；在一定水压力作用下，沿松散（软）岩带或充填性溶洞，突然大量涌出水、泥、沙等混杂物的现象称为突泥。

2.1.10 最大涌水量 maximum water yield

隧洞或其它工程某段在含水体内掘进时的峰值涌水量。

2.1.11 正常涌水量 normal water yield

隧洞或其它工程涌水达到基本稳定时的涌水量。

2.1.12 综合水文地质图 synthetic hydrogeological map

根据水文地质勘察资料编制的能够综合反映工作区水文地质条件的图件。

2. 2 符号

K ——渗透系数

μ ——给水度

Q ——涌水量

P_{wi} ——动水压力

γ_w ——水的重度

P_w ——静水压力

I_0 ——起始水力坡度

3 基本规定

3.0.1 水文地质勘察一般情况下应与工程地质勘察合并进行，在灌区、可能发生严重渗漏和大面积浸没的地区、水文地质条件复杂地区应进行专门性的水文地质勘察；当施工过程中水文地质条件明显变化并引起相应工程设计方案重大调整及工程运行期间出现严重水文地质问题时，也可根据需要，进行专门性水文地质勘察；专门性水文地质勘察工作的勘察阶段，应与水利水电工程地质勘察规范的规定一致。

3.0.2 符合下列条件之一可确定为水文地质条件复杂地区：

- 1 岩溶发育地区；
- 2 含水层多且含水岩组变化大；
- 3 地下水补给、迳流、排泄条件复杂或地下水位存在明显异常等；
- 4 地质构造复杂，岩体透水性强；
- 5 有较高承压水头的承压含水层分布。

3.0.3 专门性水文地质勘察应编制水文地质勘察大纲，水文地质勘察大纲宜包括下列内容：

- 1 编制依据；
- 2 工程概况、勘察阶段、勘察目的与任务；
- 3 勘察地区的地形地貌及水文地质概况、研究程度及可能存在的主要问题；
- 4 勘察工作的内容、研究方法、技术要求和计划工作量；
- 5 勘察工作进度安排、完成时间及质量保障措施；
- 6 提交资料的种类、名称和数量；
- 7 经费预算及其它；
- 8 勘察工作布置示意图。

勘察大纲在执行过程中，可根据水文地质情况变化进行必要的调整。

3.0.4 水文地质勘察工作应遵循下列基本程序：

- 1 搜集分析工程区已有资料；
- 2 进行现场水文地质工作，包括水文地质测绘、物探、钻探、试验，水文地质巡视、观测、分析预报等；
- 3 资料整理与技术成果编制。

3.0.5 对进行专门性水文地质勘察工作的地区应单独进行水文地质测绘，并应符合下列要求：

1 水文地质测绘的比例尺及范围应根据勘察阶段、工程特点和场地水文地质条件的复杂程度而定；

2 水文地质测绘中可利用卫星、航测和陆摄等遥感遥测资。

3.0.6 水文地质物探应充分考虑被探测对象的物性特征，采用有效方法进行综合探测。关键点位及典型地段的探测成果应经钻探或其他手段验证。

3.0.7 水文地质钻探应进行钻孔结构和施工工艺的专门设计。在钻探过程中应进行水文地质简易观测，并应符合《水利水电工程地质观测规程》SL245-1999 有关规定。

3.0.8 水文地质试验应以原位测试为主，室内试验为辅。试验的位置、数量和方法应结合勘察阶段和工程特点确定。

3.0.9 勘察期间应随着勘察阶段的深入逐步建立地下水动态长期观测网系统。

3.0.10 勘察工作中的各项原始资料应及时整理，保证其真实、准确、完整，经检查认定无误后方可利用。勘察工作结束后，应编制和提交水文地质勘察专题报告或工程地质勘察报告中的水文地质部分。

4 区域水文地质勘察

4.1 目的与任务

4.1.1 了解区域水文地质条件，分析可能存在的水文地质问题，为工程建设提供区域水文地质资料。

4.1.2 分析拟建工程修建后区域水文地质条件改变可能引起的环境地质和灾害地质等问题，并做出评价。

4.2 勘察内容

4.2.1 区域地形地貌、地层岩性、地质构造、水文气象、植被分布等及其与水文地质条件的关系。

4.2.2 区域水文地质特征，地下水的赋存条件与分布规律，地下水的水质、水量及其补给条件与运动规律。必要时进行水文地质分区。

4.2.3 含（透）水层和隔水层的埋藏与分布特征。

4.3 勘察方法

4.3.1 搜集和分析研究区域自然地理、地质和水文地质资料，包括水利、地质、交通、农业、城建等有关部门的勘探成果及水井资料。

4.3.2 在水文地质研究程度较高、现有资料较多的地区，可以编图工作为主，必要时进行踏勘验证。

4.3.3 在基本水文地质资料缺乏的地区应进行区域水文地质线路调查，重点地段可采用简易勘探手段验证；也可利用卫片、航片等遥感资料进行水文地质解译，必要时进行现场验证。

4.3.4 编制区域水文地质调查成果。

5 水库区的水文地质勘察

5.1 目的与任务

5.1.1 查明水库区水文地质条件，为工程设计提供依据。

5.1.2 分析评价水库渗漏、浸没等有关的水文地质问题。

5.2 勘察内容

5.2.1 水库渗漏、浸没勘察应包括下列基本内容：

- 1 地形地貌条件，重点是单薄地形分水岭、河间地块、古河道等以及临近库岸的农（林）作物区、建筑物区；
- 2 地层岩性特征，隔水层、透（含）水层的空间分布及渗透性；
- 3 地质构造发育特征、渗透性及其与库水的关系；
- 4 地下水的类型及其补给、径流、排泄条件，地下水位及其动态变化，地下分水岭位置及高程。

5.2.2 水库渗漏勘察尚应包括下列内容：

- 1 可能产生严重渗漏地段的位置及其渗漏条件；
- 2 水库渗漏量的估算，水库渗漏问题的评价。

5.2.3 水库浸没勘察尚应包括下列内容：

- 1 土的毛管水最大上升高度、给水度、渗透系数，产生浸没的地下水临界深度和植物根系深度，对黄土类土还应注意研究其湿陷性；
- 2 对城镇居民区和大型建筑物应了解其基础砌置深度及地下水壅高对地基土承载力的影响，预测由于浸没引起该地段房屋等建筑物的影响及环境地质变化情况；
- 3 水库蓄水后库尾淤高情况及引起的水文地质条件改变情况；
- 4 对水库蓄水后引起的地下水位壅高值进行分析计算，对水库周边可能发生的浸没地段、范围及类型进行预测和评价。

5.3 勘察方法

5.3.1 水库渗漏、浸没勘察方法应包括水文地质测绘、勘探、试验、地下水动态长期观测等。

5.3.2 水文地质测绘应符合下列规定：

1 水文地质测绘比例尺的选择应符合本规范附录 B 的规定；

2 水文地质测绘的范围应包括库区可能渗漏、浸没的地段，范围的确定可根据实际需要遵循如下原则：盆地和平原型水库一般测至盆地边缘坡麓，或正常蓄水位以上第一个阶地的后缘；山区峡谷水库应测至库区周围地形分水岭；对存在向邻谷及下游河道渗漏的地段，应包括邻谷和下游有关的河段；应特别注意与库水联系密切的单薄分水岭、邻近洼地、宽大构造破碎带及古河道等的调查。

5.3.3 水文地质勘探应符合下列规定：

1 水文地质勘探方法可采用钻探、坑、槽、井探等探测技术。勘探方法要与勘察区地形地质条件相适应，以查明地下水类型、地下水位、水文地质单元的边界条件和参数为原则；

2 勘探线的布置应垂直于地下分水岭或平行于地下水流向，勘探剖面应实测，勘探点布置应同时考虑地下水动态观测的成网需求；

3 渗漏地段勘探剖面的间距一般为 2~5km，水文地质条件复杂地段为 0.2~1km。每条勘探剖面应布置不少于 3 个坑孔，钻孔深度一般应钻至可靠的相对隔水层或地下水枯水位或当地最低侵蚀基准面以下不少于 5m；

4 浸没地段勘探剖面间距农田地区宜为 500~2000m，城镇地区宜为 200~500m。剖面上坑孔间距宜为 300~500m，岩相变化大，地下水坡降陡时，孔距可为 50~200m。试坑应挖到地下水位，钻孔深度应进入相对隔水层。浸没区所在的地貌单元不应少于两个控制钻孔，第一个控制孔应布置在靠近正常蓄水位的边线附近；

5 勘探剖面之间可采用物探技术了解地下水位、相对隔水层或基岩埋深的变化情况。物探方法可按本规范附录 F 进行选择。

5.3.4 水文地质试验应符合下列规定：

1 水库渗漏：

1) 应根据水库的水文地质条件选择不同的水文地质试验方法，测定岩土体渗透参数；

2) 基岩地区钻孔在正常蓄水位以下应全部进行压水试验, 覆盖层地区可采用抽水或注水试验, 主要水文地质岩组的试验组数不应少于 5 组。

2 水库浸没:

1) 室内试验应测定土的天然密度、颗粒组成、含水率、饱和度、比重、液限、塑限、孔隙度、渗透系数、毛管水上升高度、土壤含盐量、水化学成分等; 根据需要可测定给水度、黄土湿陷性系数等, 浸没区各主要土层的试验组数不应少于 5 组;

2) 渗透系数应采用抽、注水试验求得; 毛管水上升高度和粘性土的起始水力坡度宜通过现场测试取得。

5.3.5 地下水动态长期观测应符合下列规定:

1 在典型的渗漏、浸没地段应布设观测网。观测内容应包括: 地下水位、水质、水温、流量、土壤含盐量等, 同时应注意收集水文、气象资料;

2 观测孔的布置应考虑地下水坡降、地形特点、岩相变化等。最远的观测孔应达到可能渗漏、浸没地段边缘; 观测孔的深度应在年最低地下水位以下 3~5m;

3 多层含水层应分层观测;

4 观测工作还应符合《水利水电工程地质观测规程》SL245—1999 的有关规定。

5.4 水文地质问题评价

5.4.1 水库渗漏问题评价应符合下列规定:

1 符合下列条件之一, 可判定为不会发生水库邻谷渗漏问题:

1) 非悬托式河流的邻谷河水位高于水库正常蓄水位;

2) 水库周边有连续、稳定、可靠的相对隔水层分布, 构造封闭条件良好, 且分布高程高于水库正常蓄水位;

3) 水库与邻谷之间存在地下水分水岭且高于水库正常蓄水位; 或地下水分水岭虽低于正常蓄水位, 但河间分水岭宽厚, 经估算水库壅水后的地下水分水岭高于水库正常蓄水位。

2 符合下列条件之一, 可判定为存在水库渗漏问题:

1) 河水补给地下水, 河流上下游流量出现反常情况, 有明显的河水漏失现象;

2) 正常蓄水高于邻谷河水位, 河间地块无地下水分水岭或地下水分水岭低于正常蓄水位, 且正常蓄水位以下有通向库外的中等以上透水层。

3 水库渗漏量估算可采用以下方法：

- 1) 解析法：其估算公式可在本规范附录 C 中选择；
- 2) 数值模拟法：数值模拟法使用的计算程序应是经鉴定的。

4 水库渗漏问题的评价：

- 1) 应根据水文地质勘察资料作出水库是否存在渗漏的定性评价结论；
- 2) 应根据库区渗漏量估算结果，作出库区渗漏严重程度的定量评价结论。当渗漏量小于河流多年平均流量的 3% 时为轻微渗漏，渗漏量在 3%~10% 时为中等渗漏，渗漏量大于 10% 时为严重渗漏。

5.4.2 水库浸没问题评价应符合下列规定：

1 符合下列条件之一，可判定为易浸没地区：

- 1) 平原型水库的坝下游、顺河坝或围堤的外（背水）侧，特别是地面高程低于河床的库岸地段；
- 2) 山区水库宽谷地带库水位附近的松散堆积层，且有建筑物和农作物的分布区域；
- 3) 地下水位埋藏较浅，地表水或地下水排泄不畅；封闭、半封闭洼地或沼泽的边缘地带。

2 地下水壅水计算应符合下列要求：

- 1) 地下水壅水计算可采用解析法和数值模拟法。浸没区地层上部为透水性微弱的粘性土层，下部为透水性良好的砂砾石层时，宜采用结合水动力学原理进行计算；
 - 2) 计算参数选取：
 - ① 含水层厚度大，相对隔水层埋藏很深时，可按地下水壅高值的影响程度取有效厚度；
 - ② 壅水前的天然地下水位宜取枯水期或平水期水位作为原始水位；
 - ③ 最终浸没范围预测时，地下水稳定壅水计算的起始水位应取正常蓄水位。水库库尾地区还必须考虑水位超高值；
 - ④ 渗透系数的选取应符合本规范附录 A 的规定；
 - ⑤ 数值模拟法所需的有关参数宜根据试验和地下水动态观测成果综合选取。
 - 3) 各种水文地质边界条件下解析法壅水计算公式可在本规范附录 C 中选择。
- 3 水库浸没问题评价应符合《水利水电工程地质勘察规范》GB50287 的有关规定。

6 坝（闸）址区水文地质勘察

6.1 目的与任务

6.1.1 查明坝（闸）址区水文地质条件，划分坝（闸）址区岩土体渗透结构类型，进行岩土体渗透性分区。

6.1.2 分析评价坝（闸）址区可能存在的坝基及绕坝渗漏、渗透变形、坝基基坑涌水等主要水文地质问题，为水工建筑物和防渗、排水工程设计提供有关水文地质资料及建议。

6.2 勘察内容

6.2.1 各透（含）水层和相对隔水层的岩性、厚度、渗透性及其空间分布规律，古河道的分布规律及其渗透性。

6.2.2 褶皱、断层、软弱夹层、裂隙和岩体风化卸荷带的分布规律及其渗透性，尤其是集中渗漏带的分布特征及其与地表水的连通条件。

6.2.3 地下水补给、径流、排泄关系，各含水层地下水位及其动态变化规律，地表水和地下水的水力联系。

6.2.4 地表水和地下水的化学特性，环境水对混凝土的腐蚀性评价。环境水对混凝土腐蚀的评价应符合《水利水电工程地质勘察规范》GB50287 的有关规定。

6.2.5 水文地质边界条件，岩土体渗透结构类型，岩土体渗透性分区；重大工程坝基、坝肩岩体的各向异性渗透特征及其在高水头下的渗透性。坝（闸）址区岩土体渗透结构类型的划分应符合本规范附录 G 的有关规定。岩土体渗透性分级应符合《水利水电工程地质勘察规范》GB50287 的有关规定。

6.2.6 对坝基及绕坝渗漏、渗透变形、坝基基坑涌水等水文地质问题进行分析评价，提出相应的工程处理建议。

6.2.7 进行坝（闸）址区水文地质观测、施工期水文地质巡视及分析预报，提出对有关问题的处理建议。

6.3 勘察方法

6.3.1 水文地质测绘应与坝（闸）址区工程地质测绘结合进行。测绘比例尺应符合本规范附录 B 的规定。测绘范围可与坝（闸）址区工程地质测绘一致。专门性水文地质测绘可根据水文地质条件的复杂程度及具体需要采用较大比例尺，测绘范围可适当扩大。

6.3.2 水文地质物探应根据坝（闸）址区水文地质条件和探测的目的选择合适的方法进行，并符合本规范附录 F 的规定。物探剖面线应结合勘探剖面线布置，并充分利用勘探孔开展工作。

6.3.3 水文地质钻探应符合下列规定：

1 水文地质钻探应结合坝（闸）址区工程地质钻探进行。专门性水文地质钻探应在充分收集分析坝（闸）址区前期勘察成果的基础上进行，勘探剖面线应根据坝（闸）址区具体水文地质条件并结合渗控工程设计方案布置；专门性勘探钻孔的数量、间距及深度可根据具体需要确定；

2 钻探过程中应注意观测和记录冲洗液消耗量、含水层初见及稳定水位、承压含水层自流钻孔涌水量及稳定水位、水温等内容和钻进中出现的掉钻、孔壁坍塌、缩径、涌砂等现象。

6.3.4 水文地质试验应符合下列规定：

1 对坝基第四纪覆盖层中的主要含水层宜进行抽水试验，各主要含水层的抽水试验不应少于 3 组，其中对水文地质条件复杂的工程区各主要含水层宜布置至少 1 组多孔抽水试验。抽水试验应符合《水利水电工程钻孔抽水试验规程》SL320-2005 的规定。当含水层透水性较小不适于进行抽水试验时，亦可进行钻孔注水试验；

2 坝基、坝肩及防渗帷幕线上的基岩钻孔应进行压水试验或注水试验，其它部位的钻孔可根据需要确定，钻孔压水试验应符合《水利水电工程钻孔压水试验规程》SL31-2003 的规定；

3 坝高大于 200m 时，宜进行高压压水试验。高压压水试验应符合本规范附录 E 的规定；

4 当需要评价岩体各向异性渗透性时，宜进行定向压水试验。试验方法可按照本规范附录 D 执行；

5 对强透水的大断层破碎带、裂隙密集带等集中渗漏带应视具体情况进行抽水试

验或压水、注水试验。必要时亦可进行连通试验。

6.3.5 水文地质观测与巡视应符合下列规定：

1 勘察期间应利用已有钻孔、水井完善观测网并进行地下水动态观测。观测内容可根据需要选择水位、水温、水化学、流量或涌水量等，观测时间应延续一个水文年以上；

2 施工期间宜进行必要的水文地质观测，并提出施工期及运行期地下水动态观测的具体建议。施工期水文地质观测内容应包括：

1) 开挖过程中的地下水出渗情况；

2) 坝（闸）基基坑涌水量、排水量；

3) 施工期及水库蓄水初期坝基、坝肩地下水位变化情况；

4) 水库蓄水初期排水孔涌水量、涌水压力，集中渗漏段涌水量，总涌水量，水温、水质等。

3 对多层含水层宜进行分层水文地质观测；

4 水文地质巡视应在施工期进行，并侧重于以下内容：

1) 地下水出露位置、高程、出露形式、涌水量、压力水头、水温、颜色、气味、携出物、溶蚀和沉淀情况以及施工期河水位、地下水位、基坑水位等。对岩质地基，尚应特别注意地下水沿断层、节理和软弱夹层的活动情况；对土质地基，尚应特别注意管涌、流土等渗透变形情况；

2) 防渗、排水工程施工过程中出现的防渗墙钻孔塌孔、漏浆，帷幕灌浆孔涌水、大量漏浆、串浆，排水孔大量涌水、涌砂等异常现象；

3) 水库蓄水初期出现的防渗墙、防渗帷幕、排水幕上下游水位异常变化或渗漏量异常增大现象，集中渗漏段、渗漏点的分布特征，排水孔涌水过程中出现的异常现象。

6.3.6 水文地质分析预报与建议应符合下列规定：

1 对施工期间可能出现的以下情况应提出预报，并提出相应的处理建议：

1) 基坑可能出现大量涌水或管涌、流土现象；

2) 排水孔可能发生异常涌水；

3) 出现影响防渗、排水工程施工的新的不利地质因素。

2 地质预报与建议应以书面形式及时向有关部门提出，必要时可先作口头预报。书面材料应统一格式、系统编号。

6.4 主要水文地质问题评价

6.4.1 坝基及绕坝渗漏问题

1 应根据地形地貌条件、库水与河谷两岸地下水的补排关系、坝基与坝肩岩土层渗透性及其分布组合特征、地质构造发育及分布特征等，对坝基及绕坝渗漏问题进行综合判定。

2 符合下列情况之一的坝（闸）址区，可判为存在较严重的坝基或绕坝渗漏问题：

- 1) 坝基或坝肩分布有强透水岩土层，且透水层未被相对隔水层阻隔；
- 2) 坝基或坝肩分布有沟通上下游的断层破碎带、裂隙密集带、层间剪切破碎带、风化卸荷带、古河道等集中渗漏通道；
- 3) 坝肩山体单薄，无地下水分水岭或地下水分水岭低于水库正常蓄水位，且无封闭条件良好的相对隔水层存在。

3 坝基及绕坝渗漏量的估算应符合以下原则：

- 1) 应在分析坝基及坝肩水文地质条件的基础上，正确判定渗漏型式，划分岩土体渗透结构类型，确定各水文地质分区、分段渗透参数及计算边界条件；
- 2) 渗透系数的确定应符合本规范附录 A 的规定；
- 3) 坝基及绕坝渗漏量的估算可视具体条件采用地下水动力学法或数值模拟法进行。

6.4.2 坝基基坑涌水问题

1 坝基基坑涌水问题评价应在综合分析基坑水文地质条件及其补给条件的基础上进行，主要包括：

- 1) 各含水层及相对隔水层性质、厚度、分布特征，地下水位及其动态变化，含水层渗透性及其补给条件等；
- 2) 基坑规模、位置、底部高程、设计水位降深、挡水建筑物抗渗特点、拟采用的防渗措施等；
- 3) 基坑上下游水位及其动态变化。

2 坝基基坑涌水量估算可视具体条件采用地下水动力学法或数值模型法进行。含水层渗透系数的确定应符合本规范附录 A 的规定。

6.4.3 坝基土渗透变形问题

1 坝基土渗透变形问题评价应在查明坝基透（含）水层和相对隔水层的岩性、颗

粒组成、厚度变化和空间分布，断层、破碎带的分布、规模、产状、性状及岩土渗透性等情况的基础上进行；

2 坝基土的渗透变形判别应符合《水利水电工程地质勘察规范》GB50287 的有关规定。

7 地下洞室水文地质勘察

7.1 目的与任务

7.1.1 查明地下洞室区的水文地质条件，为工程设计和施工提供水文地质资料及处理建议。

7.1.2 预测地下洞室区可能的涌水量、外水压力分布、突水突泥等问题，分析评价工程活动对当地水文地质环境的影响。

7.2 勘察内容

7.2.1 地层岩性，岩层产状，地质构造，主要断层、破碎带、裂隙密集带的空间分布、规模、性状、组合关系及其与地表溪沟的连通情况。

7.2.2 岩（土）层透水性，含水层、汇水构造、强透水带的分布、埋藏条件及其富水性。

7.2.3 洞室地段岩溶发育规律，主要洞穴的发育层位、规模、连通与充填情况、富水性。

7.2.4 地下水位、水温、水压，地下水动态变化特征，地下水补给、迳流和排泄条件，地下水与地表水的水力联系。

7.2.5 地下水的化学特性及其对混凝土的腐蚀性。环境水对混凝土腐蚀的评价应符合《水利水电工程地质勘察规范》GB50287 的有关规定。

7.2.6 预测涌水和突泥的可能性及对围岩稳定和环境水文地质条件可能的影响，估算最大涌水量。

7.2.7 预测可能的的外水压力。

7.3 勘察方法

7.3.1 测绘范围宜包括拟建洞线两侧各 300-1000m 宽度，对于深埋长隧洞应根据需要适当扩大。测绘比例尺应符合本规范附录 B 的规定。

7.3.2 水文地质物探方法选择应符合本规范附录 F 的规定。

7.3.3 水文地质勘探应符合下列规定：

- 1 地下洞室水文地质勘探应结合工程区的工程地质勘察进行，专门性水文地质勘

探剖面及勘探点的间距宜根据具体需要确定；

- 2 钻孔的深度以进入拟定洞室底板高程以下 10m-30m 为宜。

7.3.4 水文地质试验应符合下列规定：

- 1 对洞室穿越的松散层中的各主要含水层应进行抽水试验，试验组数不应少于 3 组；
- 2 基岩钻孔在地下水位以下孔段宜进行压水试验或注水试验；
- 3 当隧洞内水压力超过 300m 水头时，应进行高压压水试验，试验组数不宜少于 3 组；
- 4 当需要评价岩体各向异性渗透性时，宜进行定向压水试验，试验方法可按照本规范附录 D 执行。

7.3.5 水文地质观测与巡视应符合下列规定：

- 1 地下水动态观测应利用井、泉及已有的钻孔、洞室等进行，观测内容应包括水位、水温、水化学、流量等，观测时间宜延续一个水文年以上；
- 2 施工期水文地质观测内容应包括：
 - 1) 开挖过程中的地下水出渗情况；
 - 2) 洞室的排水量；
 - 3) 施工期洞室周围的地下水位变化情况。
- 3 水文地质巡视应侧重于以下内容：
 - 1) 洞室内地下水的出渗位置、高程、涌水量、水头、水温、颜色、气味、携出物、溶蚀和沉淀情况以及附近地表水体水位、原观测孔中的地下水位变化等。对岩体中的隧洞，应注意地下水沿断层、节理、软弱夹层、岩溶通道的活动情况；对松散层中的隧洞，应注意管涌、流土等渗透变形情况；
 - 2) 施工过程中防渗、排水工程出现的钻孔塌孔、漏浆、串浆、涌水等异常现象。

7.3.6 施工期水文地质分析预报应符合下列规定：

- 1 对施工期间出现的以下情况应提出地质预报与建议：
 - 1) 地下洞室可能出现突泥现象；
 - 2) 地下洞室可能发生大量涌水或异常涌水；
 - 3) 出现了新的不利水文地质因素。
- 2 地质预报与建议应以书面形式及时向有关部门提出，必要时可先作口头预报。

7.4 主要水文地质问题评价

7.4.1 地下洞室涌水问题评价宜符合下列规定：

1 符合下列情况之一时，可判定为存在地下洞室涌水问题。

- 1) 地下洞室穿越富水层或其它汇水构造；
- 2) 地下洞室穿越富水的断层带、节理密集带或其它构造破碎带。
- 3) 地下洞室穿越充水岩溶洞穴、地下暗河等岩溶通道。

2 地下洞室的涌水量可根据具体情况选用下列方法计算，并宜采用不同计算方法进行相互验证。

1) 对于开挖工程集中的地下洞室系统，如地下厂房等，可采用大井法进行计算，大井的井半径可按照附录 H 确定。

2) 当地下洞室系统含水层各个方向上的透水性或补给条件差别很大时，宜将工程周围分成若干扇形地段，然后根据辐射流公式，分段计算出洞室的涌水量。

潜水计算公式：

$$Q = \frac{K (b_1 - b_2)}{\ln b_1 - \ln b_2} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \quad (7.4.1-1)$$

承压水计算公式：

$$Q = \frac{KM (b_1 - b_2)(H_1 - H_2)}{(\ln b_1 - \ln b_2)L} \quad (7.4.1-2)$$

式中 Q —地下洞室区流向地下洞室的水量 (m^3/d)；

M, K —分别为扇形区段内承压水含水层的平均厚度与平均渗透系数 (m 、 m/d)；

h_1, H_1, b_1 —分别为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 —分别为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)。

3) 当隧洞通过潜水含水水体时，可用下列公式预测隧洞最大涌水量：

① 古德曼公式：

$$Q_0 = L \frac{2\pi K \cdot H}{\ln \frac{4H}{d}} \quad (7.4.1-3)$$

Q_0 —隧洞通过含水体时地段的最大涌水量(m^3/d);

K —含水体渗透系数(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 —隧洞通过含水体的长度(m)。

② 佐藤邦明非稳定流公式

$$q_0 = \frac{2\pi \cdot m \cdot K \cdot h_2}{\ln \left[\tan \frac{\pi(2h_2 - r_0)}{4h_c} \cot \frac{\pi \cdot r_0}{4h_c} \right]} \quad (7.4.1-4)$$

q_0 —隧洞通过含水体地段的单位长度最大涌水量($m^3/(s \cdot m)$);

m —换算系数, 一般取 0.86;

K —含水体渗透系数(m/s);

h_2 —静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离(m);

r_0 —洞身横断面等价圆直径(m);

h_c —含水体厚度(m)。

4) 当新建隧洞附近有水文地质条件相近的已有隧洞时, 可采用水文地质比拟法预测隧洞涌水量;

5) 当隧洞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隧洞正常涌水量:

$$Q_s = M \cdot A \quad (7.4.1-5)$$

$$M = Q' / F \quad (7.4.1-6)$$

式中 Q_s —隧道通过含水体地段的正常涌水量 (m^3/d);

M —地下径流模数 [$m^3/(d \cdot km^2)$];

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 —隧道通过含水体地段的集水面积 (km^2)。

6) 当地下洞室水文地质条件复杂、边界条件比较明确时, 可采用数值模拟法计算地下洞室涌水量。

7.4.2 地下洞室外水压力问题评价宜符合下列规定:

1 当地下洞室位于地下水位以下, 并且隧洞本身为不透水隧洞或隧洞的透水量小

于补给水量时，可以判定为存在外水压力问题；

2 地下洞室的外水压力的估算应综合考虑地下水的静力学特性和动力学特性，当动力学特性不易确定时，可按《水工隧洞设计规范》SL279-2002 的规定进行评价。

7.4.3 地下洞室突泥问题评价宜符合下列规定：

1 符合下列情况之一时，判定为可能存在突泥问题：

- 1) 地下洞室位于松散含水层中；
- 2) 地下洞室穿越饱水断层破碎带或其它构造破碎带地段；
- 3) 地下洞室穿越充填型岩溶洞穴、地下暗河等地段。

2 突泥量的大小可在综合考虑松散饱水体性质、规模、地下水活动特征等影响因素的基础上进行定性判定。

8 渠道水文地质勘察

8.1 目的与任务

8.1.1 查明渠道沿线的水文地质条件。

8.1.2 分析和评价渠道渗漏、浸没等水文地质问题，提出预防及处理建议。

8.2 勘察内容

8.2.1 渠道沿线地形、地貌，地层岩性，岩土体的渗透性，可溶岩地区喀斯特赋水特征。

8.2.2 傍山渠道沿线岩土体、构造赋水特征及对边坡稳定的不利影响。

8.2.3 渠道沿线地下水类型、地下水位及其动态变化、地下水与地表水水力联系，环境水对混凝土腐蚀性。

8.2.4 对渠道渗漏、渗漏引起的浸没及盐渍化、渠道开挖涌水等问题进行分析评价。预测渠道运行期间两侧水文地质条件的变化及其对工程和环境的影响。

8.3 勘察方法

8.3.1 渠道水文地质测绘应符合下列规定：

1 水文地质测绘的范围以渠道为中心线向两侧延展，测绘范围包括渠道两侧宽度各 200—500m；对可能渗漏、浸没的地段，可适当扩大测绘范围。

2 水文地质测绘比例尺应符合附录 B 的规定。

8.3.2 水文地质物探方法选择应符合附录 F 的规定。

8.3.3 水文地质勘探应符合下列规定：

1 应结合工程地质勘察在可能出现渗漏、浸没、涌水的渠道段布置纵横勘探剖面，且靠近渠道边缘应有钻孔控制；

2 钻孔深度应达到渠底以下 5-10m 或地下水位以下 5-10m，控制性钻孔深度宜达到相对隔水层；

3 钻探中应观测初见水位和静止水位。

8.3.4 水文地质试验应符合下列规定：

1 渠道水文地质试验宜采用现场试验与室内试验相结合的方式进行。

2 室内试验内容应主要包括岩石的渗透系数、饱和度、土的毛管水上升高度、土壤含盐量和水化学成份等。主要岩土层试验组数累计应不少于 5 组。

3 对与渠道相关的主要含水层宜进行抽水试验。对位于地下水水位以上的透水层或透水性较小的含水层，亦可视具体情况进行钻孔注水试验或渗水试验；

8.3.5 必要时可布置地下水长期观测工作。

8.4 主要水文地质问题评价

8.4.1 渠道渗漏问题评价应符合下列规定：

1 符合下列情况之一，可判定为渠道不存在渗漏问题：

- 1) 渠基为相对不透水岩土层；
- 2) 渠道周围地下水位高于渠道设计水位。

2 同时符合下列情况时，可判定渠道存在渗漏问题：

- 1) 渠基为透水层；
- 2) 渠道设计水位高于地下水位。

3 渠道渗漏量计算可采用类比法和计算法，计算方法选择应符合附录 J 的规定。

8.4.3 渠道浸没问题评价应符合下列规定：

1 渠道两侧地下水壅水计算可参照本规范 5.4.2 执行。

2 浸没评价应符合《水利水电工程地质勘察规范》GB50287 的有关规定。

8.4.3 渠道开挖涌水问题评价应符合下列规定：

1 渠道开挖涌水问题评价应在综合分析渠道水文地质条件及其地下水补给条件的基础上进行，主要内容包括：

1) 各含水层性质、厚度、分布特征，地下水位及其动态变化，含水层渗透性及其补给条件等；

2) 渠道规模、渠底板高程、渠道开挖方式等；

2 渠道开挖涌水量估算可视具体条件采用地下水动力学法或数值模型法进行。含水层渗透系数的确定应符合本规范附录 A 的规定。

9 灌区水文地质勘察

9.1 目的与任务

- 9.1.1 查明灌区水文地质条件。
- 9.1.2 对灌区地下水资源进行计算与评价。
- 9.1.3 查明灌区土壤盐渍化、沼泽化现状，分析由于农业开发对地下水环境所产生的影响，提出防治土壤盐渍化、次生沼泽化的建议。

9.2 勘察内容

- 9.2.1 水文、气象、农田水利及水资源利用状况。
- 9.2.2 区域水文地质条件及地下水资源量。
- 9.2.3 灌区地形、地貌、地层岩性、地质构造和水文地质条件。
- 9.2.4 主要含水层补给量、储存量和可开采量。
- 9.2.5 根据灌区的发展与规划情况，分析预测潜水位变化趋势。
- 9.2.6 土壤盐渍化的类型、程度及其分布特征。
- 9.2.7 地下水与土壤的水盐动态平衡。
- 9.2.8 分析确定土壤盐渍化的潜水临界深度和地下排水模数。
- 9.2.9 提出地下水开发方式，以及防治土壤盐渍化、次生沼泽化等土壤改良措施的建议。

9.3 勘察方法

- 9.3.1 灌区水文地质勘察应在水文地质条件复杂程度分类的基础上进行。
- 9.3.2 灌区水文地质条件复杂程度可划分以下三类：
 - 1 简单：地下水含水层（组）层次少，分布稳定，地下水补给、径流、排泄条件简单，含水层条件清楚，潜水埋藏较深，水化学类型单一，水质较好，土壤无盐渍化；
 - 2 中等：地下水含水层（组）层次较少，分布较稳定，地下水补给、径流、排泄条件较简单，含水层边界条件较清楚，潜水埋藏较浅，水化学类型较复杂，部分地区有土壤盐渍化现象；

3 复杂：含水层属多层结构，分布不稳定，地下水补给、径流、排泄条件与边界条件复杂，潜水埋藏浅，水化学类型复杂，土壤盐渍化现象普遍。

9.3.3 收集灌区水文、气象、水文地质、水利工程现状、土地开发利用现状及水资源开发利用现状资料。

9.3.4 水文地质测绘范围应根据灌区面积和所处水文地质单元确定，测绘比例尺按附录 B 执行，水文地质测绘可与水文地质遥感解译结合进行，主要包括下列内容：

- 1 地貌的形态、成因类型和新构造运动特征；
- 2 地层的成因类型、产状、厚度及分布范围，不同地层的透水性、富水性及其变化规律；
- 3 地质构造类型、规模、等级和不同构造部位的富水性；
- 4 区内地表水系水体的特征，天然排泄与蓄水条件，地表水与地下水的补排关系；
- 5 水井的类型、结构、水量、水位、水质、开采量及其动态变化；
- 6 泉水的水质、水量、出露条件、成因类型、补给来源和动态变化；
- 7 盐渍土的类型、程度、成因发展过程与分布规律，及其与自然和人为因素的关系；
- 8 包气带地层的水理性质、渗透性、毛管水上升高度、给水度、土壤盐渍化的潜水临界深度；
- 9 了解地下水水化学成分的变化规律，了解地下水污染的来源和危害程度，划分地下水的水化学类型。

9.3.5 水文地质物探方法的选择应根据水文地质条件、探测目的、物性特征等因素按本规范附录 F 的规定执行。物探工作点线应沿地质、水文地质条件变化最大的方向布置，并宜与水文地质勘探线一致。对于复杂问题和重点水文地质勘察地段，宜采用综合物探方法。

9.3.6 水文地质勘探方法应符合下列规定：

- 1 每个地貌单元应有坑、孔控制，勘探点、线、网相结合，并结合地下水和土壤水盐动态均衡长期观测需要；
- 2 地下水资源勘察的钻孔以深孔为主，其布置宜在水文地质测绘和物探工作的基础上进行，孔深应能够确定主要含水层的埋深、厚度，并考虑深层承压水的越流补给条件；土壤改良勘察以浅孔为主，孔深应达到潜水位以下 5-10m。

9.3.7 水文地质试验应符合下列规定：

1 抽水试验：包括民井简易抽水试验和勘探孔抽水试验。民井简易抽水试验以稳定流抽水试验为主；勘探孔抽水试验以带观测孔的抽水试验为主；必要时，还可进行干扰抽水试验或开采性抽水试验。抽水试验方法按《水利水电工程钻孔抽水试验规程》SL320-2005 执行；

2 试坑注水试验应在不同地貌与水文地质单元中，选择代表性岩性地段或综合岩性段进行，测定包气带地层在天然状态下的垂直渗透系数，注水试验注水稳定后，应延续 2-4 小时方可结束试验；

3 渠道渗水试验应符合《渠道试验规范》SL18-91 有关规定；

4 对地表水和地下水进行水质简分析和专项分析，试验应符合《地下水质量标准》GB/T14848-93、《农田灌溉水质标准》GB5084-92、《地表水环境质量标准》GB3838-2002、和《生活饮用水卫生标准》GB5749-85 的有关规定；

5 土样试验包括颗分、密度、天然含水量、毛管水上升高度试验、土壤简分析和易溶盐含量试验。土壤易溶盐含量试验应垂直分层取样，取样深度宜分别为：0-0.3m、0.3-0.5 m、 0.5-1.0m、1.0-1.5m、1.5-2.0m、2.0m 至地下水位；

6 根据需要还可进行咸水利用改造试验、盐渍化土壤改良试验等专门性试验。

9.3.8 对地下水和土壤的水盐动态进行观测，动态观测应符合下列规定：

1 观测点应包括勘探坑、孔、井、泉等地下水露头 and 地表水体；

2 观测线应结合潜水面的形态和主要水文地质问题布置，应与地下水流向一致；

3 观测网应在观测点、线的基础上，根据地形、地貌、水文地质条件和土壤盐渍化特征，结合灌区现状和发展规划；

4 地下水和土壤水盐动态观测项目应包括水位、水温、水量、水化学成分、土壤含盐量，并应符合《水利水电工程地质观测规程》SL245-1999 规程的有关规定；

5 观测频次可为 2-3 次/月，观测时间不宜少于一个水文年。

9.3.9 灌区水文地质勘察工作量宜符合表 9.3.9 规定。地下水资源勘察中坑探、土样试验可适当减少，土壤改良勘察中抽水试验数量可适当减少。

表 9.3.9 灌区水文地质勘察工作量表

比例尺	复杂程度	水文地质点(个)	坑探(个)	钻孔(个)	水质分析(件)	土样(组)	抽水试验(组)	动态观测(点)
1/10 万	简单	10-20	5-10	4-8	3-8	10-15	2-4	1-2
	中等	20-25	10-15	8-10	10-15	15-20	4-6	2-4
	复杂	25-35	15-20	10-12	20-30	20-30	6-8	3-6
1/5 万	简单	25-35	15-20	10-12	8-15	20-30	6-8	3-6
	中等	35-50	20-25	12-15	18-30	30-45	8-15	5-8
	复杂	50-80	25-30	15-20	40-80	40-60	15-20	8-12
1/2.5 万	简单	80-100	30-40	15-20	25-40	40-60	20-30	8-12
	中等	100-150	40-55	20-30	50-90	60-100	30-40	12-20
	复杂	150-200	55-70-	30-40	120-160	80-120	40-60	20-30
1/1 万	简单	200-250	70-80	40-50	60-80	80-120	40-60	20-30
	中等	250-300	100-120	50-60	130-180	120-200	60-80	30-45
	复杂	300-400	120-150	60-80	240-320	200-260	80-120	45-60

注：表中为每 100 平方公里灌区水文地质勘察工作量

9.4 地下水资源评价

9.4.1 地下水资源评价所需水文地质参数包括含水层渗透系数、释水系数或给水度、渠系利用系数、河流渗漏系数、大气降水入渗系数、潜水蒸发系数、田间灌溉入渗系数等，水文地质参数的确定应符合下列规定：

1 在规划阶段，含水层水文地质参数可由单孔抽水试验计算确定，其他水文地质参数可采用现场试验、室内试验和经验数据相结合的方法分析确定；

2 在可研-初设阶段，主要的水文地质参数应以现场试验为主确定。对于用多种方法实测或反求的水文地质参数，应通过综合分析加以确定，含水层水文地质参数应由多孔或干扰抽水试验结果计算确定；

3 数值法计算应根据现场试验结合地下水动态观测或大型开采性试验综合确定水文地质参数。

9.4.2 地下水资源计算与评价应符合下列规定：

1 地下水资源的计算应建立在一个较完整的水文地质单元或独立的地下水补给-排泄系统的基础上。应以多年均衡的观点，计算评价地下水资源；

2 在规划阶段，地下水补给量计算应以水均衡法和水文法为主，在可研或初设阶段，宜用数值法进行对比。对于承压水，应用水动力法计算；

3 地下水储存量的计算，应包括主要含水层的容积储存量、弹性储存量和储存量的可调节量；

4 计算地下水可开采量，在规划阶段可采用平均布井法和开采系数法相结合；在可研或初设阶段，应用水均衡法、开采试验法计算；必要时，可采用数值法并预测不同开采方案的动水位；

5 应对地下水资源计算结果的可靠性进行评价。评价内容包括：参数选取的合理性、水均衡计算补给量与排泄量之差和储存量的误差分析、数值法水位拟合误差分析、可开采量的保证程度。

9.4.3 水质评价应符合下列规定：

1 地下水环境质量应采用综合评判法，并符合《地下水质量标准》GB/T14848-93的有关规定；

2 灌溉用水水质评价应符合《农田灌溉水质标准》GB5084-92的有关规定；

3 生活用水水质评价应符合《生活饮用水卫生标准》GB5749-85的有关规定；

4 在地下水受到污染的地区，应在查明污染现状的基础上，重点对污染源及有害成分进行分析评价，并提出防治水质恶化和改善水质的建议。

9.5 土壤盐渍化评价

9.5.1 土壤盐渍化评价应符合《水利水电工程地质勘察规范》GB50287的有关规定。

9.5.2 盐渍化类型划分宜符合以下规定：

1 根据土壤阴离子毫克当量比值划分土壤盐渍化类型，划分按表 9.5.2-1 执行；

2 根据土壤含盐量进行土壤盐渍化程度分级，分级按表 9.5.2-2 执行；

3 干旱荒漠地区耐盐性较强作物生长区土壤盐渍化程度分级可按表 9.5.2-3 执行。

表 9.5.2-1 土壤盐渍化类型划分表

类 型		阴离子比例关系	备 注
苏打盐渍化土壤	苏打盐渍化土壤	$(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) : (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) = 1 \sim 4$	按 0-50cm 土层化学分析各阴离子数量加权平均计算。
	纯苏打盐渍化土壤	$(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) : (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) > 4$	
	氯化物苏打盐渍化土壤	苏打 $>$ $\text{Cl}^- >$ SO_4^{2-}	
	硫酸盐苏打盐渍化土壤	苏打 $>$ $\text{SO}_4^{2-} >$ Cl^-	
硫酸盐盐渍化土壤	硫酸盐盐渍化土壤	$(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) : (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) = 0.5 \sim 1$	
	纯硫酸盐盐渍化土壤	$\text{SO}_4^{2-} : \text{Cl}^- > 5$	
	氯化物硫酸盐盐渍化土壤	$\text{Cl}^- : \text{SO}_4^{2-} = 1 \sim 5$	
	苏打硫酸盐盐渍化土壤	$\text{SO}_4^{2-} >$ 苏打 $>$ Cl^-	
氯化物盐渍化土壤	氯化物盐渍化土壤	$(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) : (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) < 0.5$	
	纯氯化物盐渍化土壤	$\text{Cl}^- >$ $\text{SO}_4^{2-} > 4$	
	硫酸盐氯化物盐渍化土壤	$\text{Cl}^- : \text{SO}_4^{2-} = 1 \sim 4$	
	苏打氯化物盐渍化土壤	$\text{Cl}^- >$ 苏打 $>$ SO_4^{2-}	

表 9.5.2-2 土壤盐渍化程度分级

成份	非盐渍化 (%)	轻度盐渍化 (%)	中度盐渍化 (%)	重度盐渍化 (%)	盐土 (%)
苏打 ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$)	< 0.1	0.1-0.3	0.3-0.5	0.5-0.7	> 0.7
氯化物 Cl^-	< 0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-1.0	> 1.0
硫酸盐 SO_4^{2-}	< 0.3	0.3-0.5	0.5-0.7	0.7-1.2	> 1.2
一般作物生长情况	生长良好、不受影响	稍受抑制、减产 10—20%	中等抑制、减产 20—50%	严重抑制、减产 50—80%	死亡无收

注：按 0-0.50m 土层化学分析含盐量计算确定。

表 9.5.2-3 干旱荒漠地区耐盐性较强作物土壤盐渍化程度分级

成份	非盐渍化 (%)	轻度盐渍化 (%)	中度盐渍化 (%)	重度盐渍化 (%)	盐 土 (%)
苏打 ($\text{CO}_3^{2-}+\text{HCO}_3^-$)	<0.35	0.35-0.5	0.5-0.6	0.6-0.85	>0.85
氯化物 Cl	<0.7	0.7-0.9	0.9-1.3	1.3-1.6	>1.6
硫酸盐 SO_4^{2-}	<0.8	0.8-1.00	1.0-1.5	1.5-2.0	>2
耐盐性较强作物 生长情况	生长良好、不受影响	稍受抑制、 减产 10—20%	中等抑制、 减产 20—50%	严重抑制、 减产 50—80%	死亡 无收

注：按 0-0.30m 土层化学分析含盐量计算确定。

10 堤防水文地质勘察

10.1 目的与任务

10.1.1 查明工程场区的水文地质条件，为堤防工程设计提供水文地质资料。

10.1.2 对可能产生的水文地质问题做出评价，提出预防及处理的地质建议。

10.2 勘察内容

10.2.1 堤基地质结构，地层岩性，岩土体透水性，基岩区断层破碎带、裂隙密集带的发育特征，堤基相对隔水层和透水层的埋深、厚度、特性及其与地表水的水力联系。

10.2.2 堤线附近埋藏的古河道、古冲沟、渊、潭、塘等的分布与性状特征，堤基土洞、岩溶洞穴的分布、规模及充填情况，分析其对堤基渗漏、稳定的影响。

10.2.3 已建堤防自建成以来所产生的渗漏、渗透稳定等情况。

10.2.4 地下水补给、径流、排泄条件，各含水层地下水位及其动态变化规律，井、泉分布及水位、流量变化规律，地下水、地表水化学特性及其对混凝土的腐蚀性。

10.2.5 对堤基渗漏、渗透稳定等问题进行分析评价，提出工程处理建议。对采用垂直防渗的堤段应预测其对环境水文地质条件的影响。

10.3 勘察方法

10.3.1 水文地质测绘应符合下列规定：

1 水文地质测绘的比例尺应符合本规范附录 B 的有关规定；

2 水文地质测绘范围应以能满足水文地质评价为原则，一般情况下以堤内 500~1000m、堤外 500m 为宜。对水文地质条件复杂且可能影响水文地质评价的地段以及控导、护岸等距堤防一定距离的工程地段，应适当扩大测绘范围；

10.3.2 水文地质物探应根据工程区水文地质条件和探测的目的选择合适的方法进行，并应符合本规范附录 F 的规定。

10.3.3 水文地质勘探应符合下列规定：

1 水文地质勘探应结合堤防区工程地质勘探进行。每一水文地质单元均应有勘探

剖面控制；

2 水文地质勘探方法应与测试内容、试验项目相适应；

3 所有勘探点均应量测初见水位、终孔稳定水位。必要时，进行分层止水后的稳定水位观测。

10.3.4 水文地质试验应符合下列规定：

1 应根据具体的水文地质条件确定采用室内试验及抽水试验、注水试验、压水试验等适宜的原位试验方法；

2 主要透水层室内渗透性试验组数不宜少于 6 组，原位试验组数不宜少于 3 组。

10.3.5 必要时可提出建立地下水长期观测系统的建议。

10.4 水文地质问题评价

10.4.1 堤基土渗透变形问题评价应符合下列规定：

1 堤基土渗透变形问题评价应包括以下内容：

- 1) 堤基土渗透变形类型；
- 2) 提出渗透变形允许水力比降。

2 堤基土的渗透变形判别方法应符合《水利水电工程地质勘察规范》GB50287 的有关规定；

10.4.2 堤基渗漏问题评价应符合下列规定：

1 应在分析堤基水文地质条件的基础上，正确判定渗漏型式、层位、范围，合理确定计算边界条件；

2 渗透系数的确定应符合本规范附录 A 的规定；

3 堤基渗漏量的估算可视具体条件采用地下水动力学法或数值模拟法进行。

11 边坡水文地质勘察

11.1 目的与任务

11.1.1 查明边坡地段的水文地质条件。

11.1.2 研究分析地下水对边坡稳定性的影响，为工程边坡设计处理提供水文地质资料。

11.2 勘察内容

11.2.1 各透（含）水层、相对隔水层的岩性、厚度、渗透性及空间分布特征；

11.2.2 地下水补给、径流和排泄条件，各含水层地下水位及其动态变化规律，地表水与地下水的水力联系；

11.2.3 地下水出露情况，主要包括：泉井类型、出露高程、涌水量及其动态变化，勘探洞及天然洞穴内地下水的出渗情况、变化规律及其与周边地质环境的关系；

11.2.4 分析评价地表水（包括库水）和地下水活动可能产生的冲刷、溶解、软化、潜蚀、静水压力和动水压力的变化等对边坡稳定性的影响；

11.2.4 分析评价降水入渗、泄水雨雾对边坡稳定性的影响。

11.3 勘察方法

11.3.1 水文地质测绘的比例尺和范围应与工程地质测绘相同。

11.3.2 水文地质物探应根据工程区水文地质条件和探测的目的选择合适的方法进行，并应符合本规范附录 F 的规定。

11.3.3 水文地质勘探应符合下列规定：

- 1 各勘探剖面及勘探点的布设应与工程地质勘察结合，必要时可适当加密；
- 2 勘探点深度应满足水文地质测试、试验和监测的要求。

11.3.4 水文地质试验应符合下列要求：

1 应视边坡具体情况采用现场压水试验或注水试验测定边坡岩土体的渗透性。试验组数可根据需要确定；

- 2 必要时可对边坡工程场区地下水、地表水进行水化学分析。

11.3.5 水文地质观测应符合以下规定：

1 观测点、线的布置应根据研究区地形、地貌、不同水文地质单元、岩土性状及边坡工程要求确定。观测线宜平行或垂直地下水流向布置；当有地表水体时，观测线宜垂直地表水体的岸边布置；

2 观测点应选择变形体范围内的钻孔、试坑、平洞、竖井、水沟、泉等，观测点的间距应视地下水的梯度、地形坡度、地下水位变化及到地表水体的距离等确定，但不宜超过 400m；

3 观测内容包括地下水（井、泉）水位、流速、流向、流量和水温；对粘性土宜观测孔隙水压力的变化，观测应符合《水利水电工程地质观测规程》SL245-1999 要求；

4 当存在多层地下水时，应分层观测。

12 岩溶区水文地质勘察

12.1 目的与任务

12.1.1 查明水库及建筑物区的岩溶水文地质条件。

12.1.2 对工程场地存在的岩溶水文地质问题进行分析评价，为工程设计和施工提供处理建议。

12.2 勘察内容

12.2.1 岩溶地貌发育特征及与邻近河流之间的关系，可能出现渗漏的低邻谷高程、距离，河弯捷径长度，本河流裂点及下游排泄基准面高程、距离等。

12.2.2 新构造运动特点及其对岩溶发育的控制作用。褶皱、断裂性质及空间展布情况。

12.2.3 岩溶特征、规模、分布、发育规律，岩溶洞穴类型、规模、充填物及其空间分布规律，延伸性及贯通性，岩溶发育随深度的变化情况等。对岩溶化岩组进行分类，岩溶化岩组分类应符合本规范附录 K 表 K.0.1 的规定。

12.2.4 相对隔水层的岩性组合特征、厚度、延伸分布及其封闭条件；可溶岩沟通库内、外或坝址上、下游，组成统一的岩溶含水系统情况。

12.2.5 岩溶含（透）水层的类型及其富水性、透水性。岩溶含水层类型划分应符合本规范附录 K 表 K.0.2 的规定。

12.2.6 岩溶水补给源、补给方式和渗流条件、形式。

12.2.7 岩溶水流动系统的边界和水文地质结构特征、水动力特征。河谷岩溶水动力条件基本类型应按本规范附录 K 中表 K.0.3 确定。

12.2.8 地下水水位、流量、水质的动态变化规律，地下水分水岭位置、高程。地下水动态类型宜按本规范附录 K 表 K.0.4 确定。

12.2.9 对岩溶渗漏及建筑物区渗透变形问题进行评价，提出防渗处理建议。

12.3 勘察方法

12.3.1 水文地质测绘应符合下列规定：

1 测绘范围应包括水库、建筑物区可能出现的与岩溶水文地质问题有关的地区。

测绘比例尺应符合本规范附录 B 的规定；

2 岩溶层组类型的划分应有实测岩性剖面，其比例尺应大于测绘比例尺的 5~10 倍。对重要岩性应有 5 组以上的磨片鉴定及矿化分析；

3 典型岩溶洞穴调查应在航（卫）片解译及水文网法、洼地分析法判断等工作的基础上进行，调查内容应包括洞穴高程、方向、几何形态，洞穴内微地貌及沉积物等；

4 分析地下暗河、溶洞、落水洞、竖井等与剥夷面、阶地面的对应关系。

12.3.2 水文地质物探应符合下列规定：

1 应采用综合物探的方法，物探方法的选择应符合本规范附录 F 的规定；

2 探测内容应包括地下水位，岩溶通道及隔水层埋深等。

12.3.3 水文地质勘探应符合下列规定：

1 钻孔布置应兼顾观测网与数值模拟的需要，相对隔水层被断层切割或相变为可溶岩的地段、强岩溶渗漏带应布置控制性钻孔；

2 河间地块、河弯地带等可疑渗漏带应布置勘探剖面，钻孔间距可为 50m~200m；

3 当无相对隔水层时，孔深应进入弱岩溶化岩体不小于 10m；

4 对岩溶洞穴可采用平硐开挖追索。

12.3.4 水文地质试验应符合下列规定：

1 钻孔进入正常蓄水位以下的岩体均应进行压（注）水试验，地下水位以下代表性地段宜进行抽水试验；

2 坝址两岸及河床均应至少有一个钻孔，随钻进按孔深每 20~30m 测一次稳定的内、外管水位与相应时段河水位，并分层取水样 3 组以上进行水质分析，终孔一段时间后宜观测钻孔中地下水位并绘制曲线；

3 钻孔钻进中遇承压水时应测定承压水头，当承压水头高出孔口时应进行涌水试验，并测量水温，取水样作水质分析；

4 分水岭或岸坡钻孔遇重要洞穴时和有水注入的落水洞均应进行示踪试验；试验时应测定投放点与接收点的地下水位；示踪试验应符合本规范附录 L 要求；

5 有条件的地方，宜进行堵洞抬水试验，并布置相应观测网；

6 对坝基中岩溶洞穴充填物应取样进行物理性试验、渗透变形试验，必要时进行破坏性压水试验，绘制 P~Q 曲线。

12.3.5 岩溶区地下水动态观测网、点布设及观测工作应按《水利水电工程地质观测规

程》SL245—1999 的有关规定执行。

12.4 岩溶区水库渗漏问题评价

12.4.1 应根据地形地貌、地层结构、地质构造、岩溶发育程度及其空间分布规律、河谷岩溶水动力条件、地下水位等对岩溶区水库渗漏问题进行综合判定。

12.4.2 岩溶渗漏基本类型划分应符合本规范附录 K 表 K.0.5 的规定。

12.4.3 岩溶区水库渗漏问题、坝基和绕坝渗漏问题的判别应符合《水利水电工程地质勘察规范》GB50287 的有关规定。

12.4.4 岩溶渗漏量估算可视具体情况采用工程类比法、地下水动力学法、水力学法、水量均衡法、数值法进行，并应符合以下规定：

- 1 当判定为溶隙型渗漏类型，可采用地下水动力学方法进行计算；
- 2 当查明存在贯通的岩溶管道或地下暗河且已知其控制断面尺寸时，可采用水力学中的管道流公式进行计算；
- 3 当查明溶隙性渗漏与管道型渗漏并存时，宜分别进行渗漏量计算，并判定各自所占比例。

12.4.5 当岩溶渗漏可能对水库正常运用或工程安全造成不利影响时，应根据防渗处理的目的提出相应的处理建议。

13 水文地质勘察资料整理

13.1 目的与任务

13.1.1 对各类水文地质资料进行系统整理和综合分析，编制并提供与其工作深度相适应的水文地质勘察成果。

13.1.2 水文地质勘察成果一般可作为工程地质勘察报告的一部分（篇、章、节）提供。也可根据需要单独编写专门性水文地质问题勘察报告。

13.2 水文地质图件

13.2.1 水文地质勘察成果中主要附图宜按表 13.2.1 选择。

表 13.2.1 水文地质勘察成果附图表

序号	图件名称	设计阶段			
		规划	可行性研究	初步设计	技施设计
1	综合水文地质图		+	+	
2	专门性水文地质图			+	+
3	坝（闸）基渗透剖面图		+	√	
4	典型地段(或专门性问题)水文地质剖面图		+	+	+
5	渗透性分区图		+	+	+
6	灌区地下水开采分区图	+	√	√	
8	灌区土壤盐渍化程度分布图	+	√	√	

注：“√”表示应提交的附件。“+”表示视需要而定的附件。

13.2.2 综合水文地质图应包括下列主要内容：

- 1 地层岩组界线、产状要素、褶皱轴和主要断层及破碎带展布情况等；
- 2 勘探钻孔、井、泉等的位置、高程、类型、水位和涌水量等；
- 3 地下水类型，地下水位分布及流向，隔水及透（含）水层组的岩性及分布；
- 4 地表水系和与地下水有关的沼泽、洼地、古河道、埋藏谷、冲洪积扇等的分布；
- 5 河流或溪沟的漏水地段、盲谷的消水点和出水点；
- 6 地下水的矿化度与化学类型；
- 7 渗漏或可能渗透变形地段的分布，渗漏方向；

- 8 水文地质分区及渗透性（富水性）分区；
- 9 工程设计方案的轴线或轮廓线、防渗帷幕线、地质剖面线等；
- 10 岩溶地区综合水文地质图尚应侧重反映下列内容：

1) 与岩溶发育有关的地形地貌要素，主要包括河谷裂点、阶地、古河道、地形分水岭、沟谷洼地、落水洞、天然竖井、漏斗等；

2) 强岩溶化岩层或相对隔水层分布；

3) 溶洞与暗河的进出口高程、规模、延伸方向、充填与联通情况；

4) 地下水等水位线、流速和流向，地下水分水岭的高程及其与地表水的补排关系；

5) 岩溶渗漏程度分区（或段）。

13.2.3 渗透剖面图应包括下列内容：

1 岩性、构造、风化带界线；

2 各勘探点和观测点在剖面上的位置，并应在钻孔两旁标明渗透指标（吕荣值或渗透系数）和岩芯获得率；

3 潜水的水位、承压含水层的顶底板及其稳定水位、河水位和设计正常高水位等，各种实测水位均应注明观测日期；

4 透水层和相对隔水层的埋藏深度与分布范围；

5 岩土渗透性分级界线，渗透性分级应符合《水利水电工程地质勘察规范》GB50287 的有关规定；

6 渗漏及渗透变形分析、计算的有关说明；

7 建筑物轮廓线、建基面高程线；

8 对具有特殊地质意义的软弱夹层、断层破碎带、泥质及可溶盐类填充的节理密集带、可能产生渗透变形的地段等，在图上应用特种符号或扩大比例尺标出；

9 若岩土层透水性变化较大且有明显的各向异性时，可采用类比或推测的方法来进行分带。当岩层的透水性比较均一时，可采用类比法，利用一些已知的试验成果，推测试验尚不能满足精度要求的个别地区的渗透性。实测与推测的资料应严格地加以区分标明在图上，不应相互混淆；

10 当水文地质条件简单时，渗透剖面图可与工程地质剖面图合并。

13.2.5 水文地质剖面图的编制应符合下列要求：

1 水文地质剖面图的布置宜垂直岩层走向或构造线方向，切过含水层最多的地段，

或平行于地下水流向布置，应尽量利用已有的勘探点和地下水露头；

2 水文地质剖面图应参照工程地质剖面图的一般内容进行编制。同时还应根据研究的不同对象和目的，有选择的表示出需要的水文地质要素，如含水层的水位（水压）、渗透系数、富水性、矿化度等，并结合平面图标明水文地质分区的界线。

13.3 水质分析资料

13.3.1 水质分析资料整理应包括下列主要内容：

1 按不同水文地质单元和不同类型含水层进行分组汇总。对分析中确认的不合理值应予以舍弃，舍弃时应说明其原因；

2 按离子含量及其主次关系和矿化度进行水化学分类；

3 根据水的不同用途对水质进行评价。

12.3.2 水质评价指标取值宜符合下列规定：

1 当某一含水层的水化学成份比较稳定时，评价可采用各水点离子的平均值进行；

2 当含水层地下水的水化学类型变化大时，则应对不同季节，不同地段的水质进行全面的分析，不宜简单的用平均值法计算。

13.4 水文地质勘察报告

13.4.1 作为工程地质勘察报告组成部分的水文地质勘察报告正文，应包括工程（建筑物）区水文地质条件、主要水文地质问题评价、结论与建议等。

1 库区部分应包括下列内容：

1) 库区水文地质条件应包括水库周边地形地貌特征，透（含）水层和相对隔水层的空间分布及渗透性，地质构造发育特征、渗透性及其与库水的关系，地下水类型及其补给、径流、排泄条件，地下水位及其动态变化，地下分水岭位置及高程，浸没地段土壤盐渍化、沼泽化的历史及现状等。岩溶区尚应包括岩溶分布情况和发育规律，主要溶洞和喀斯特通道的规模、分布、连通及充填情况等。

2) 水库渗漏问题评价应包括渗漏的性质、途径、范围，计算参数的确定，计算方法及计算公式的选择，渗漏量计算结果及其分析说明，渗漏对水库蓄水运用及周边环境地质条件的影响，防渗处理建议等。

3) 水库浸没问题评价应包括地下水壅高计算方法的选择，计算参数的确定，计算

结果及其分析和说明，浸没标准的确定，浸没范围及其发展趋势的预测，浸没对周边环境地质条件的影响，防护处理建议等。

4) 结论与建议应包括库区的基本水文地质特征、存在的主要水文地质问题及其评价意见，下一步工作建议等。

2 坝（闸）址区部分应包括下列内容：

1) 坝（闸）址区水文地质条件应包括坝（闸）址区透（含）水层和相对隔水层的岩性、空间分布及其渗透特性，集中渗漏带的发育特征、渗透性及其与地表水的连通条件，地下水补给、径流、排泄关系，各含水层地下水位及其动态变化规律，地表水和地下水的化学特性及其对混凝土的腐蚀性，岩土体渗透结构类型划分及渗透性分区，水文地质边界条件等。岩溶地段尚应包括岩溶分布情况和发育规律，主要溶洞和喀斯特通道的规模、分布、连通及充填情况等。

2) 坝基及绕坝渗漏问题评价应包括渗漏的性质、途径、范围，计算方法及计算公式的选择，计算参数及边界条件的确定，渗漏量计算结果及其分析说明，渗漏对水库蓄水、工程运行安全及周边环境地质条件的影响，防渗、排水措施建议等。

3) 坝基基坑涌水问题评价应包括计算方法或计算公式的选择，计算参数及边界条件的确定，涌水量估算结果及其分析说明，涌水对建筑物安全及周边环境地质条件的影响，防渗、排水措施建议等。

4) 坝基土渗透变形问题评价应包括土的渗透变形类型判别，流土和管涌临界水力比降的确定，土的允许水力比降的确定，渗透变形对建筑物运行安全的影响，工程处理建议等。

5) 结论与建议应包括坝（闸）址区的基本水文地质特征、存在的主要水文地质问题及其评价意见，下一步工作建议等。

3 地下洞室区部分应包括下列内容：

1) 地下洞室区水文地质条件应包括洞室地段地层岩性，地质构造，主要断层、破碎带、裂隙密集带的分布、规模、性状、组合关系，岩（土）层透水性，含水层、汇水构造、强透水带的分布及其富水性，地下水位、水温、水压及其动态变化特征，地下水补给、径流、排泄条件，地下水与地表水的水力联系，地下水的化学特性及其对混凝土的腐蚀性等。可溶岩地段尚应包括岩溶发育规律，主要溶洞和喀斯特通道的发育层位、规模、连通及充填情况、富水性等。

2) 地下洞室区涌水问题评价应包括涌水性质、途径、范围，涌水量计算方法及计

算公式的选择，计算参数的确定，涌水量计算结果及其分析说明，涌水对地下洞室安全及周边环境地质条件的影响，防渗、排水措施建议等。

3) 地下洞室外水压力问题评价应包括计算方法及计算公式的选择，计算参数的确定，计算结果及其分析说明，外水压力对地下洞室的影响，工程处理建议等。

4) 地下洞室突泥问题评价应包括突泥的性质、突泥量估算、突泥对地下洞室的影响，工程处理建议等。

5) 结论及建议应包括地下洞室区的基本水文地质特征，存在的主要水文地质问题及其评价意见，下一步工作建议等。

4 渠道部分应包括下列内容：

1) 渠道水文地质条件应包括渠道沿线地形地貌、地层岩性、岩土体渗透性、地下水类型、地下水位及其动态变化、地下水与地表水水力联系、地下水和地表水化学成份及其对混凝土腐蚀性等。

2) 渠道渗漏问题评价应包括渗漏性质、范围，渗漏量计算方法及计算公式的选择，计算参数的确定，渗漏计算结果及其分析说明，渗漏对渠道输水及周边环境地质条件的影响，防渗处理建议等。

3) 渠道浸没问题评价应包括渠道两侧地下水壅高计算方法的选择，计算参数的确定，计算结果及其分析和说明，浸没标准的确定，浸没范围及其发展趋势的预测，浸没及次生盐渍化、沼泽化对渠道周边环境地质条件的影响，防护处理建议等。

4) 渠道开挖涌水问题评价应包括涌水范围、计算方法或计算公式的选择，计算参数及边界条件的确定，涌水量估算结果及其分析说明，涌水对渠道开挖施工及渠坡稳定性的影响，降、排水措施建议等。

5) 结论及建议应包括渠道沿线基本水文地质特征，存在的主要水文地质问题及其评价意见，下一步工作建议等。

5 堤防部分应包括下列内容：

1) 堤防区水文地质条件应包括堤基岩土体透水性，堤基相对隔水层和透水层的分布特征及其与地表水的水力联系，基岩区构造破碎带发育特征，古河道、古冲沟、渊、潭、塘等的埋藏情况与性状特征，堤基土洞、岩溶洞穴的分布、规模及充填情况，已建堤防自建成以来所产生的渗漏、渗透稳定等情况，地下水补给、径流、排泄条件，各含水层地下水位及其动态变化规律，地下水、地表水化学特性及其对混凝土的腐蚀性等。

2) 堤基土渗透变形问题评价应包括土的渗透变形类型判别，流土和管涌临界水力

比降的确定，土的允许水力比降的确定，渗透变形对堤基的影响，工程处理建议等。

3) 堤基渗漏问题评价应包括渗漏的性质、途径、范围，计算方法及计算公式的选择，计算参数及边界条件的确定，渗漏量计算结果及其分析说明，渗漏对周边环境地质条件的影响，防渗处理建议等。

4) 结论及建议应包括堤防沿线基本水文地质特征，存在的主要水文地质问题及其评价意见，下一步工作建议等。

6 边坡部分应包括下列内容：

1) 论述边坡水文地质条件，主要包括透水层、隔水层分布情况，地下水补给、径流和排泄条件，地下水位及其动态变化规律，地表水与地下水的水力联系，地下水出露情况等。

2) 分析和评价水文地质条件的改变对边坡稳定可能造成的影响。

13.4.2 灌区水文地质勘察报告一般情况下宜单独编写。报告正文应包括绪言、自然地理条件及水资源开发利用现状、灌区地质概况、水文地质条件、地下水资源计算与评价、地下水开发利用条件与建议、土壤盐渍化评价、地下水与土壤水盐动态分析、土壤盐渍化、次生沼泽化的防止与改良措施、结论与建议等。

1 绪言应包括目的与任务，灌区水文地质研究程度，本次勘察依据，工作概况及完成工作量；

2 自然地理条件及水资源开发利用现状应包括灌区地理位置，水文与气象，河流水系，社会经济概况，水利设施及水资源和土地资源开发利用现状等；

3 地质概况应包括灌区地形地貌、地层岩性、地质构造等；

4 水文地质条件应包括地下水的赋存与分布规律，地下水补给、径流、排泄条件，地下水类型和含水岩组富水性，地下水水化学特征，地下水动态变化规律等；

5 地下水资源计算与评价应包括参数来源与选取，地下水资源计算分区与评价方法，水均衡分析，地下水数值法计算，地下水资源量和可开采量评价，地下水开采方案分析，水质评价；

6 地下水开发利用条件与建议应包括地下水开采分区，地下水开发利用建议，地下水开发利用保护建议等；

7 土壤盐渍化评价应包括土壤基本类型与分布特征，土壤盐渍化程度评价，土壤盐渍化的形成条件，自然和人为因素对土壤盐渍化的影响等；

8 地下水与土壤水盐动态分析应包括潜水的动态特征和平衡计算，地下水和土壤

盐分的动态特征与盐分的平衡计算，分析土壤盐分组成和含盐量的关系以及土壤盐分的形成与变化规律等；

9 土壤盐渍化、次生沼泽化的防止与改良措施应包括土壤改良水文地质条件分析和分区，土壤改良的措施及建议等；

10 结论与建议应包括灌区基本水文地质特征，存在的主要水文地质问题及其评价意见，下一步工作建议等。

13.4.3 专门性水文地质问题勘察报告正文，应包括绪言、工程（建筑物）区地质概况、水文地质条件、专门性水文地质问题及评价、结论与建议等。各部分具体内容应根据工程实际存在的问题确定。

13.4.4 水文地质勘察报告中的主要附件应符合表 13.4.4 的要求。

表 13.4.4 水文地质勘察报告附件表

图 件 名 称	设 计 阶 段			
	规 划	可 行 性 研 究	初 步 设 计	技 施 设 计
水文地质试验成果汇总表		√	√	√
地下水动态监测成果汇总表		+	+	+
水质分析成果汇总表		+	√	
水文地质物探成果报告	+	√	√	√
水质分析报告	+	+	+	+

附录 A 水文地质分析中渗透系数取值原则

A.0.1 对渗透系数的取值应综合分析岩（土）体的成因类型、结构构造、物质组成、空间分布和渗透方向性等地质资料，根据岩（土）体渗透系数的勘察目的和用途进行。

A.0.2 室内试验结果和现场试验结果差异较大，渗透系数取值宜以现场试验成果值为主；同时具有现场抽水和注水或压水试验成果，应以现场抽水试验成果值为主。

A.0.3 根据压水试验成果计算岩体各试段的渗透系数时，应符合《水利水电工程钻孔压水试验规程》SL31-2003 的有关规定。

A.0.4 用于水位降落、排水计算和边坡稳定性验算的渗透系数，应采用试验的小值平均值；用于浸没区预测的渗透系数，应采用试验的平均值；用于水库（渠道）渗漏量、地下洞室涌水量及基坑涌水量计算的渗透系数，应采用试验的大值平均值；用于供水工程计算的渗透系数，应采用抽水试验的平均值。

A.0.5 对于各向异性的岩（土）体，渗透系数的取值宜考虑水利水电工程施工时和运行后岩（土）体中地下水的渗流方向。

A.0.6 当渗透系数资料不足时，可结合地层岩性、密实度、颗粒分析等地质背景资料和试验资料参考表 A.0.6 选用土体的渗透系数地质建议值。

表 A.0.6 土体的渗透系数值

土体名称	渗透系数 K	
	m/d	cm/s
淤泥		10^{-7} - 10^{-6}
淤泥质土		10^{-6} - 10^{-5}
粘土	<0.001	< 10^{-6}
粉质粘土	0.001-0.01	10^{-6} - 10^{-5}
粉质壤土	0.005-0.05	6×10^{-6} - 6×10^{-5}
壤土	0.05-0.1	6×10^{-5} - 1×10^{-4}
粉土	0.01	1×10^{-5}
砂壤土	0.1-0.5	1×10^{-4} - 6×10^{-4}
新黄土（泥质）	0.001-0.01	10^{-6} - 10^{-5}
黄土	0.25-0.5	3×10^{-4} - 6×10^{-4}
老黄土（砂质）	0.1-1.0	10^{-4} - 10^{-3}
粉砂	0.5-1.0	6×10^{-4} - 1×10^{-3}
细砂	1.0-5.0	1×10^{-3} - 6×10^{-3}
中砂	5.0-20.0	6×10^{-3} - 2×10^{-2}
均质中砂	35-50	4×10^{-2} - 6×10^{-2}
粗砂	20-50	2×10^{-2} - 6×10^{-2}
均质粗砂	60-75	7×10^{-2} - 8×10^{-2}
砂砾	50-150	6×10^{-2} - 1.6×10^{-1}
圆砾	75-200	8×10^{-2} - 2×10^{-1}
卵石	100-500	1×10^{-1} - 6×10^{-1}
无充填物卵石	500-1000	6×10^{-1} - 1×10^0
粒径均匀的巨砾	≥ 1000	$\geq 10^0$

附录 B 水利水电工程各勘察阶段水文地质测绘比例尺

B.0.1 水利水电工程各勘察阶段水文地质测绘比例尺应符合表 B.0.1 的规定。

表 B.0.1 水利水电工程各勘察阶段水文地质测绘比例尺

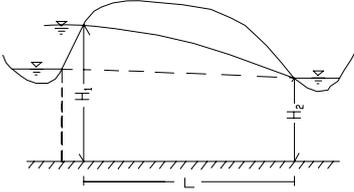
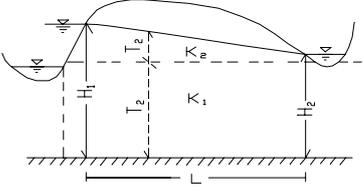
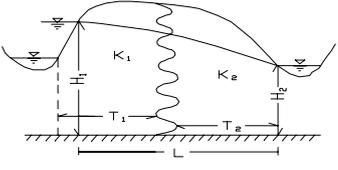
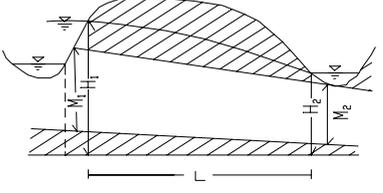
测绘地区		勘察阶段			
		规划	可行性研究	初步设计	技施设计
区域				—	—
水库区		1: 100000~1: 50000 可溶岩地区 1: 50000~1: 25000	1: 500000~1: 10000	严重渗漏段 1: 10000~1: 2000 浸没区: 城镇 1: 2000~1: 1000 农业区 1: 10000~1: 5000	—
建筑物区	峡谷区	1: 10000~1: 5000	坝址区 1: 10000~1: 2000 厂址 1: 5000~1: 1000 溢洪道 1: 5000~1: 2000	混凝土重力坝 1: 2000~1: 1000 高拱坝 1: 500; 土石坝 1: 5000~1: 1000 地下洞室 1: 2000~1: 1000; 溢洪道 1: 2000~1: 1000 地面厂址 1: 2000~1: 1000	1: 1000~1: 200 (专门性测绘)
	丘陵、平原区	1: 25000~1: 10000			
引水线路区		长引水线路 1: 50000~1: 10000 跨流域引水线路 1: 100000~1: 50000	渠道、隧洞 1: 25000~1: 5000 建筑物场地 1: 5000~1: 1000	引水线路、隧洞 1: 10000~1: 1000 渠道建筑物场地和填方段 1: 2000~1: 1000	—
渠道、灌区		渠道: 1: 100000~1: 10000 灌区 1: 200000~1: 50000	渠道 1: 25000~1: 5000 灌区: 1: 100000~1: 25000	渠道 1: 10000~1: 1000 灌区 1: 50000~1: 10000 (条件复杂时) 1: 10000~1: 5000	
堤防工程	堤防、堤岸	1: 25000~1: 50000	1: 25000~1: 10000	1: 10000~1: 2000	—
	涵闸 大、中型		1: 2000~1: 1000	1: 1000~1: 500	

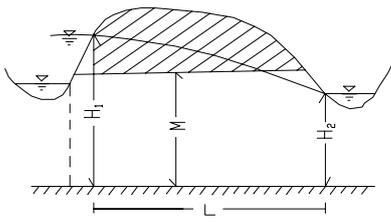
注：可溶岩地区与非可溶岩地区要求不同测绘比例尺时在表中单独列出

附录 C 水库渗漏量计算、地下水壅水计算 常用公式

C.0.1 水库渗漏量计算解析法常用公式,宜符合表 C.0.1 规定。

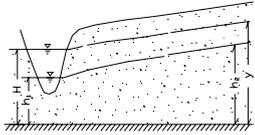
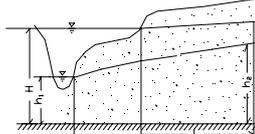
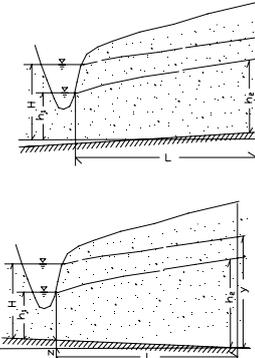
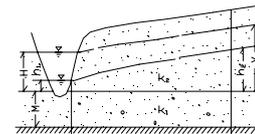
表 C.0.1 水库渗漏量计算解析法常用公式

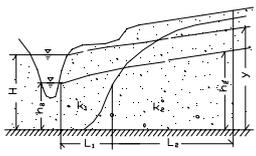
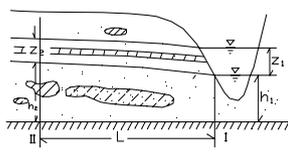
水文地质特征	示意图	计算公式
均质岩(土)体		$q = K \cdot \frac{H_1 - H_2}{L} \cdot \frac{H_1 + H_2}{2}$ <p> q — 分水岭单宽剖面的渗漏量 ($\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$) K — 岩(土)体的渗透系数 (m/d) H_1 — 水库水位 (m) H_2 — 邻谷水位 (m) L — 平均渗径 (m) </p>
潜水含水层 非均质岩(土)体平行层面方向		$q = K_p \cdot \frac{H_1 - H_2}{L} \cdot (T_1 + T_2)$ $K_p = \frac{K_1 T_1 + K_2 T_2}{T_1 + T_2}$ $T_2 = \frac{H_1 - T_1}{2} + \frac{H_2 - T_1}{2}$ <p> J_p — 等效渗透系数 (m/d) T_1 — 下层透水层厚度 (m) T_2 — 上层透水层过水部分平均厚度 (m) </p>
非均质岩(土)体垂直层面方向		$q = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2 \left(\frac{T_1}{K_1} + \frac{T_2}{K_2} \right)}$ $K_v = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n \frac{T_i}{K_i}}$
承压含水层 承压水流		$q = K \cdot \frac{M_1 + M_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L}$ $Q = q \cdot B$ <p> m_1 — 水库岸边(入渗点)含水层厚度 (m) m_2 — 邻谷岸边(排泄点)含水层厚度 (m) Q — 渗漏段渗漏总量 (t/d) B — 渗漏段总宽度 (m) </p>

	承压— 无压流		$q = K \cdot \frac{M(2H_1 + M) - H_2^2}{2L}$ <p>M — 含水层平均厚度 (m)</p>
--	------------	---	---

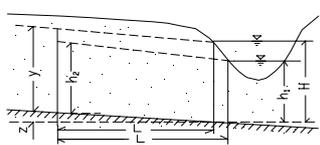
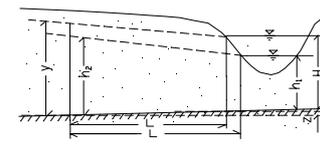
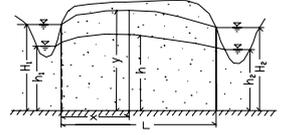
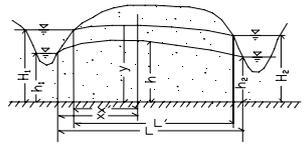
C.0.2 地下水壅水计算(解析法)常用公式,宜符合表 C.0.2 规定。

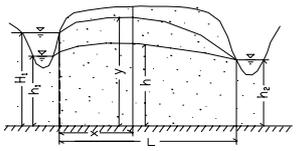
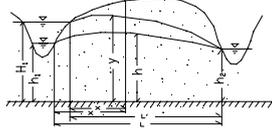
表 C.0.2 地下水壅水计算 (解析法) 常用公式

水文地质特征		示意图	公 式
无 渗 入 时 均 质 岩 层	隔水层 底板水平, 陡 直河岸		$y = \sqrt{h_2^2 - h_1^2 + H^2}$
	隔水层 底板水平, 平 缓开阔 河谷		$y = \sqrt{\frac{L}{L} (h_2^2 - h_1^2) + H^2}$
	隔水层 底板倾 斜		<p>正坡</p> $y = \sqrt{\frac{z^2}{4} + H^2 + h_2^2 - h_1^2 + z(h_2 + h_1 - H)} - \frac{z}{2}$ <p>反坡</p> $y = \sqrt{\frac{z^2}{4} + H^2 + h_2^2 - h_1^2 - z(h_2 + h_1 - H)} + \frac{z}{2}$
无 渗 入 时 非	双层结 构水平 岩层		$2k_1M(h_2 - h_1) + k_2(h_2^2 - h_1^2)$ $= 2k_1M[(y - H)] + k_2(y^2 - H^2)$

均质岩层	透水性在水平方向上急剧变化的岩层		$y = \sqrt{h_2^2 - h_1^2 + H^2}$ <p>在水平方向急剧变化的岩层中潜水的壅水值与岩层的渗透系数无关</p>
	构造复杂的非均质岩层		$(k_1 h_1 + k_2 h_2)(h_2 - h_1) = [k'_1 (h_1 + z_1) + k'_2 (h_2 + z_2)][(h_2 + z_2) - (h_1 + z_1)]$ <p>式中 K_1、K_2——壅水前 I 断面和 II 断面的平均渗透系数 K'_1、K'_2——壅水后 I 断面和 II 断面的平均渗透系数</p>

续表 C.0.2 地下水壅水计算（解析法）常用公式

水文地质特征		示意图	公式
无渗入时非均质岩层	非均质岩层隔水底板倾斜		正坡 $y = \sqrt{\left(\frac{2H - z}{2}\right)^2 + \frac{k}{k'} L' I (h_1 + h_2)} - \frac{z}{2}$
			反坡 $y = \sqrt{\left(\frac{2H - z}{2}\right)^2 + \frac{k}{k'} L' I (h_1 + h_2)} + \frac{z}{2}$ <p>式中 I——回水前上下断面间的潜流坡度。 断面间的平均渗透系数 K（壅水前）或 K'（壅水后）按下式确定：</p> $k(k') = [k'_1 h'_1 + k'_2 h'_2 + \dots + k'_n h'_n] + [k''_1 h''_1 + k''_2 h''_2 + \dots + k''_n h''_n] / [(h'_1 + h'_2 + \dots + h'_n) + (h''_1 h''_2 + \dots + h''_n)]$ <p>式中 k'_1、k'_2...k'_n ——开始断面处地下水位以下厚度 h'_1、h'_2...h'_n 的渗透系数 k''_1、k''_2...k''_n ——计算断面处地下水位以下厚度 h''_1、h''_2...h''_n 的渗透系数</p>
有渗入时河间地块	两河壅水陡直河岸		$y = \sqrt{h^2 + (H_1^2 - h_1^2) \frac{L-x}{L} + (H_2^2 - h_2^2) \frac{x}{L}}$
	两河壅水水平缓河岸		$y = \sqrt{H_1^2 - x' \left[\frac{H_1^2 - H_2^2}{L'} - \frac{L' - x'}{L - x} \left(\frac{h^2 - h_1^2}{x} + \frac{h_1^2 - h_2^2}{L} \right) \right]}$

<p>一河壅 水一河 水位不 升高,陡 直河岸</p>		$y = \sqrt{h^2 + (H_1^2 - h_1^2) \frac{L-x}{L}}$
<p>一河壅 水一河 水位不 升高,平 缓河岸</p>		$y = \sqrt{H_1^2 - x' \left[\frac{H_1^2 - H_2^2}{L'} - \frac{L'-x'}{L-x} \left(\frac{h^2 - h_1^2}{x} + \frac{h_1^2 - h_2^2}{L} \right) \right]}$
<p>辐射流 (非平面流)</p>		$y_1^2 = \frac{\ln b'_1 - \ln b'_2}{\ln b_1 - \ln b_2} \times \frac{b_1 - b_2}{b'_1 - b'_2} (h_1^2 - h_2^2) + y_2^2$ <p>式中 b_1、b_2——回水前上下游断面潜流宽度 b'_1、b'_2——回水后上下游断面潜流宽度 h_1、h_2——回水前上下游断面潜流宽度 y_1、y_2——回水后上下游断面潜流宽度</p>

附录 D 岩体定向压水试验

D.0.1 岩体定向压水试验是一种在钻孔内进行的原位渗透试验。其主要任务是测定岩体定向透水性，为评价岩体的渗透特性及设计防渗排水工程提供基本资料。

D.0.2 岩体定向压水试验可分为常规定向压水试验和三段定向压水试验两种类型。当需要一般性了解岩体的定向透水性时，宜采用常规定向压水试验；当需要确定岩体的各向异性渗透参数时，宜采用三段定向压水试验。

D.0.3 进行常规定向压水试验时，钻孔方向可视需要确定。试验应符合《水利水电工程钻孔压水试验规程》SL31-2003 的有关规定。

D.0.4 三段定向压水试验宜符合下列规定：

1 试验场地选择：

1) 三段定向压水试验适宜于在不多于三组裂隙的岩体中进行。试验区范围内的岩性应尽可能均一；

2) 三段定向压水试验要求在同一地区沿不同方向布置钻孔，通常适宜于在平硐中进行。

2 试验钻孔：

1) 对于每一组裂隙，需要布置一组钻孔，包括一个压水主孔和至少一个观测孔(图 D-1)；

2) 主压水孔深度宜为 20—30m；

3) 观测孔以揭露试验的裂隙组为目的，与主压水段的距离不宜大于 2.5m；

4) 钻孔孔径宜为 91—130mm；

5) 钻孔宜采用金刚石清水钻进。

3 钻孔方向确定：

1) 根据裂隙测量结果，分别计算出两两裂隙组的交线方向；

2) 岩体中存在两组裂隙情况下需布置两组钻孔，钻孔方向应分别平行于一组裂隙，同时与要试验的裂隙组呈最大交角方向；

3) 岩体中存在三组裂隙情况下需布置三组钻孔，钻孔方向应分别平行于两两裂隙组的交线。

4 压力阶段与压力值：

1) 压力阶段、压力值确定应符合《水利水电工程钻孔压水试验规程》SL31-2003 的有关规定；

2) 压水试验器管路压力损失应根据实测资料确定。

5 试验设备：

1) 压水试验器由内管、中管、外管三套管子组成，其结构原理见图 D-2。通过套在中管上的 3 组栓塞，将压水孔分为上压水段、主压水段和下压水段，其中主压水段长度宜为 5m，上、下压水段长度宜为 3m（图 D-2）；

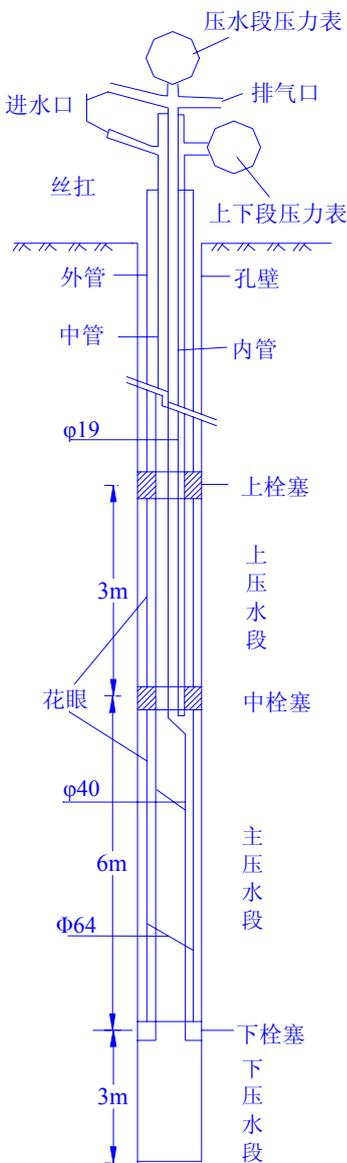


图 D-2 三段压水试验器

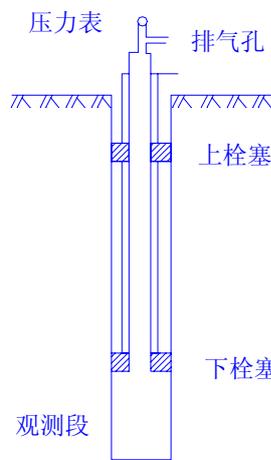


图 D-3 水位观测器

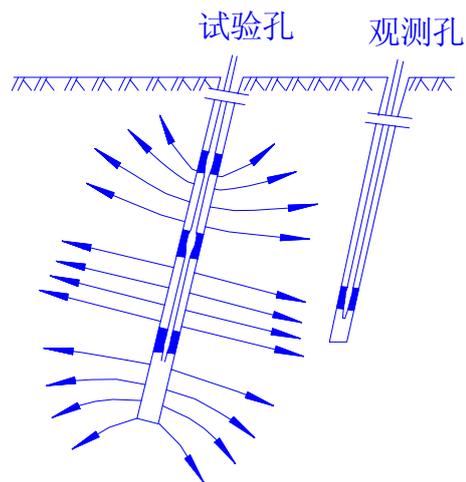


图 D-1 三段压水试验布置示意图

2) 水位观测器由内、外两套管子组成，并有上、下两组栓塞，其中上栓塞位于孔口附

近，下栓塞位于观测段上端（图 D-3）；

3) 压水试验器栓塞宜采用水压式或气压式；

4) 供水设备及量测设备应符合《水利水电工程钻孔压水试验规程》SL31-2003 的有关规定。

6 现场试验可参照《水利水电工程钻孔压水试验规程》SL31-2003 的有关规定进行，并应符合以下要求：

1) 试验时应使主压水段与上、下压水段的水头压力保持一致；

2) 试验时应同时观测主压水段与上、下压水段的压力、流量以及观测孔压力。

7 资料整理

1) 试验资料整理包括校核原始记录，绘制 P—Q 曲线，确定 P—Q 曲线类型、计算试段透水率和裂隙渗透性等步骤；

2) 绘制 P—Q 曲线时，应采用统一比例尺。曲线图上应标明序号，并依次用直线相连，升压阶段用实线，降压用虚线；

3) 主压水段透水率采用最大压力阶段（第三阶段）的压力值（ P_3 ）和流量值（ Q_3 ），按下式计算：

$$q = \frac{Q_3}{l} \cdot \frac{1}{P_3} \quad (\text{D.0.4-1})$$

式中 q —试段的透水率（Lu）；

l —试段长度（m）；

Q_3 —第三阶段的计算流量（L/min）；

P_3 —第三阶段的试段压力（MPa）。

4) 在 P—Q 曲线为层流的前提下，选择两个阶段主压水段的流量和水头，以及观测孔的相应水头，可用以下公式计算裂隙组的渗透系数；

$$K = \frac{1}{2\pi l} \cdot \ln\left(\frac{r}{r_0}\right) \cdot \frac{Q' - Q''}{h_0' - h_0'' + h'' - h'} \quad (\text{D.0.4-2})$$

式中 K —裂隙组渗透系数；

r_0 —压水孔半径；

r —观测孔与压水孔在裂隙面上的距离；

Q' 、 Q'' —两上不同阶段主压水段的流量；

h_0' 、 h_0'' —两个不同阶段主压水段的水头；

h' 、 h'' —两个不同阶段观测孔的水头。

5) 对三组裂隙用同样的方法进行试验，分别求出每组裂隙的渗透系数 K_i ($i=1, 2,$

3)，则岩体总渗透张量可按下式计算：

$$\overline{K} = \sum_{i=1}^3 K_{i(E-n_i n_i)} \quad (\text{D.0.4-3})$$

式中

E —单位张量；

n_i —裂隙组单位法矢量；

K_i —裂隙组渗透系数。

附录 E 钻孔岩体高压渗透试验

E.0.1 在坝前水头大于 200m 以上的坝基或内水压力大于 300 米水头的压力隧洞（管道）地段，包括抽水蓄能电站的下平段及岔管等部位，宜进行岩体高压渗透试验。

E.0.2 钻孔岩体高压渗透试验主要用于研究与评价坝基岩体及隧洞围岩在高水头压力条件下的渗透性和稳定性。为坝基防渗处理、隧洞衬砌和隧洞围岩灌浆参考压力值提供基本参数。

E.0.3 岩体高压渗透试验宜在钻孔内进行，可分为单孔高压压水试验和带观测孔的高压压水试验两类，可根据有关工程的实际情况选用。压水试验的钻孔孔位及高程应根据洞探、钻探和常规压水试验等资料，并结合承受高压的工程部位布置。对于深埋洞室应充分利用勘测探洞，可在探洞内布置钻孔进行试验。

E.0.4 试验方法与试段长度应符合下列规定：

1 钻孔高压压水试验可在钻探及常规压水试验结束后，在孔内用双栓塞分段自上而下或自下而上进行试验；

2 应按工程利用部位和岩层的不同特性划分试验段，试段应具有代表性，试段的长度可取 2~10m，一般以 5m 为宜，亦可根据需要调整。对于地质构造条件特殊的孔段或透水性相差较大的孔段，应视具体情况确定试段的位置和长度。同一试段不应跨越透水性相差悬殊的两种岩层。

E.0.5 压力阶段与压力值应符合下列规定：

1 压水试验一般可按四级压力、七个阶段进行，即 $P_1—P_2—P_3—P_4—P_5(=P_3)—P_6(=P_2)—P_7(=P_1)$ ， $P_1 < P_2 < P_3 < P_4$ ，必要时可根据实际情况确定压力级数和循环阶段。压力应由小到大逐级增加，达到最大压力后再由大到小逐级减小到起始压力；

2 应根据岩层的坚硬完整程度和工程实际的水头压力，综合研究确定试验的起始压力、最大压力和压力级数。最大压力一般应大于工程的实际的最高水头压力值，此外尚应考虑最小地应力的量值予以选定，压力应足够高，以便使岩体中的裂隙张开或发生水力劈裂从而求出临界压力值；

3 试段上部岩体应保证有足够的厚度，以防止试验时岩体产生抬动、破坏；

4 试段压力是指作用于试段内的实际平均压力。

1) 当用安设在与试段连通的测压管上的压力表测压时，试段压力可按公式（E.0.5—1）计算：

$$P=P_p+P_z \quad (\text{E.0.5—1})$$

式中 P —试段压力 (MPa);

p_p —压力表指示压力 (MPa);

P_z —压力表中心至压力计算零线的水柱压力 (MPa)。

2) 当用安设在进水管上的压力表测压时, 试段压力按式 (E.0.5—2) 计算:

$$P=P_p+P_z-P_s \quad (\text{E.0.5—2})$$

式中 P_s —管路压力损失(MPa);

其余符号与式(E.0.5-1)相同

3) 压力计算零线的确定应符合下列规定 :

a 当地下水位在试段以下时, 压力计算零线为通过试段中点的水平线;

b 当地下水位在试段以内时, 压力计算零线为通过地下水位以上试段中点的水平线;

c 当地下水位在试段以上时, 压力计算零线为地下水位线。

4) 管路压力损失 P_s 的确定方法可参照《水利水电工程钻孔压水试验规程》SL31—2003 的相关规定执行。

E.0.6 加压过程可分为三种方式:

1 快速法, 即压力分级施加, 每级压力维持稳定约为 5 分钟;

2 中速法, 除最高压力级中有几个循环的持续时间可适当加长外, 其余可按 0.5 小时控制;

3 慢速法, 最高压力应维持稳定 24 小时, 其余各级压力可按 2~6 小时控制。

E.0.7 试验钻孔应符合以下要求:

1 高压压水试验钻孔的孔径宜采用 75mm、91mm、110mm 三种类型, 不宜大于 130mm;

2 试验钻孔宜采用金刚石或合金钻进, 严禁使用泥浆钻进。

E.0.8 试验设备应符合下列要求:

1 试段隔离应采用可膨胀的橡胶封隔器作栓塞。现场试验宜采用水压式双栓塞止水技术, 每只栓塞的封隔长度不宜小于 1m, 设计承压力不宜小于 30MPa, 两栓塞之间用花管连接;

2 栓塞加压膨胀可视具体情况分别选用双管路或单管路加压系统。双管路加压栓塞的注水加压与试验段的注水加压各自为一套独立的加压管路, 互不干扰, 它是由一根高压胶管连接地面水泵和孔内的 2 个栓塞, 由地面水泵施压使栓塞膨胀止水, 另一管路是通过钻

杆向压水试段注水加压。单管路加压栓塞的注水加压与试验段的注水加压合为一套系统，只是在上栓塞的顶部加装一转换控制器，用于栓塞和压水试段两种状态下的相互转换，使之分别控制栓塞和压水试段的注水加压；

3 供水设备应采用高压水泵，高压水泵的工作压力应不小于 10.0MPa,单台泵流量宜不小于 50L/min；

4 量测设备：

1) 压力量测设备可采用压力表或压力传感器，压力表应具有抗震性且反映灵敏，卸压后指针应回零。压力表的工作压力应限定在极限压力值的 1/3 至此 3/4 范围内；

2) 流量计应能在高压下正常工作，可任意调节流量，流量量测范围不宜小于 100 L/min，并应能测定正向和反向流量。宜采用智能高压涡轮流量计，数字显示压水过程中的累计流量和瞬时流量；

3) 水位计应灵敏可靠，不受孔壁附着水或孔内滴水的影响。水位计的导线应经常检测，并据此修正水位测量成果；

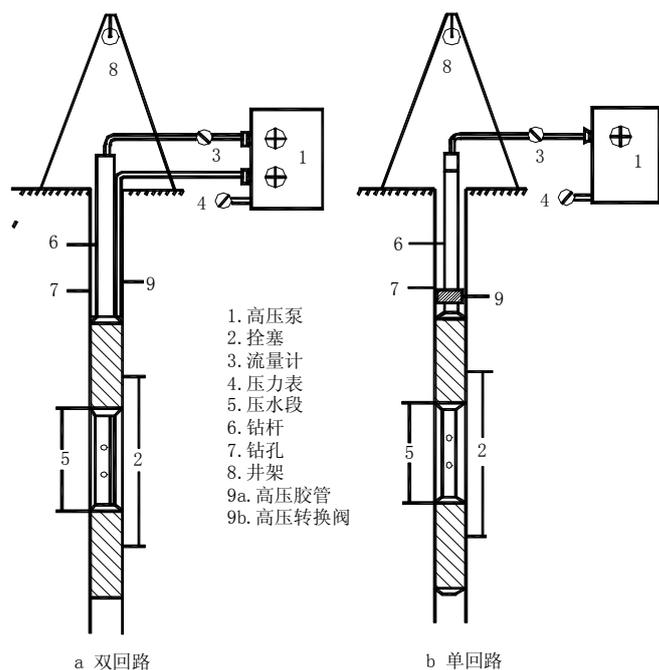


图 E.0.8 高压压水试验测试系统及设备

4) 试验用的仪表应专门保管并定期进行校检。

E.0.9 现场试验应符合下列程序：

- 1 根据工程需要,由地质负责人员确定试段位置；
- 2 测量终孔水位，作为计算水柱压力的基本数据；

- 3 将在地面调试好的井下设备，通过钻杆放置到预测段；
- 4 连接地面测试系统及高压泵；
- 5 试段隔离，启动高压水泵将水由地面通过钻杆和转换开关（单管路）或高压胶管（双管路）压入两个可同时膨胀的栓塞，并增压使栓塞充分膨胀隔离试段；
- 6 接通试段通道，再次启动高压水泵，从地面将水压入试段，进行压力与流量观测；
- 7 一个试段测试结束后，关闭压水通道，同时接通栓塞通道，卸掉栓塞内施加的高压使之收缩，并移到下一试段进行试验。

E.0.10 压力和流量观测应符合下列要求：

- 1 试段压力达到预定值并保持稳定后方可进行流量观测；
- 2 采用快速试验法时，试验中压力和流量的观测方法和稳定标准可按《水利水电工程钻孔压水试验规程》SL31-2003 规定执行；
- 3 采用中速和慢速试验，要求压力和流量稳定的持续时间较长，观测时间间隔可视实际情况适当加长，当流量无持续增大趋势，可按五次流量读数的相对差不大于 10%时视为稳定；
- 4 在降压阶段，如出现水由岩体向孔内回流的现象，应记录回流情况，待回流停止，流量达到稳定标准后方可结束本阶段试验；
- 5 在试验过程中，应对附近可能受影响的井、硐、孔、泉等进行水位和流量观测。

E.0.11 试验资料整理应符合下列要求：

- 1 试验资料整理包括校核原始记录，绘制压力(P)与流量(Q)关系曲线，确定 P—Q 曲线类型和计算试段透水量等步骤。曲线图上各点应标明序号，并依次用直线相连，升压阶段用实线，降压阶段用虚线；
- 2 对于中、慢速的高压压水试验应绘制流量(Q)与时间(T)关系曲线；
- 3 根据升压阶段 P—Q 曲线的形状及降压阶段 P—Q 曲线与升压阶段 P—Q 曲线之间的关系，确定试段的 P—Q 曲线类型及其渗流特性。P—Q 曲线的类型及曲线特点，可参照《水利水电工程钻孔压水试验规程》SL31-2003 的有关规定予以判别；

- 4 试段透水量采用最大压力阶段的压力值和流量值按式（E.0.11）计算：

$$q = \frac{Q}{L} \quad (\text{E.0.11-1})$$

式中 q —试段的透水量 (L/min.m)；

L —试段长度(m)；

Q—最大压力阶段的实测流量(L/min)。

5 通过分析 P—Q 关系曲线,可确定岩体在高压水作用下,以下几方面的渗透特性和渗透参数:

- 1) 测定较完整岩体在高压水作用下岩体渗透临界压力(劈裂压力);
- 2) 裂隙岩体在高压水作用下岩体中裂隙扩张的临界压力。

附录 F 水文地质勘察中物探方法的应用

F.0.1 根据水文地质勘察工作中各不同探测项目，宜按表 F.0.1 所示选择物探方法。

F.0.2 水文地质勘察工作中不同的探测内容和物性特征，宜采用表 F.0.2 选择物探方法和技术。

表 F.0.1 在水文地质勘察中应用物探方法探测项目一览表

应用方法		覆盖层 厚度	断 层 破碎带	岩溶	寻 找 地下水	含水层	地层 密度	地 层 孔隙度	地下水 流速流向	渗透率	渗漏 地段	
电 法 勘 探	电测探法	○	△	○	○	○		△				
	电剖面法	△	○		△						△	
	自然电场法		△						△		○	
	充 电 法								○			
	激发极化法		△		○	○					△	
	可控源音频、大地电磁测深法	○	○	○	△	△					△	
	瞬变电磁法	○	○	○	△	△					△	
地 震 勘 探	浅层折射法	○	○		△	△						
	浅层反射法	○	○		△	△						
	瑞雷波法	○		△								
放射性勘探			△				△					
钻 孔 测 井	电测井		△		○	○		△	△	○	○	
	声波测井		△					○				
	放射性测井	△					○	○				
	电磁波测井		△	○								
	钻孔电视		○									
	同位素示踪法			△	△	○			○	△	○	

○主要方法 △配合方法

表 F.0.2 根据不同探测内容和物性特征采用的物探方法一览表

序号	任务要求与探测内容	应用条件、物性特点	采用方法与探测技术
I	<p>第四系地层中划分含水层和隔水层，测定其埋深和厚度。基岩裂隙水调查并测定地下水位。</p>	<p>含水层的地质—物性特点可分两类：一是第四系地层中的含水层，主要是孔隙率大、透水性强的沙卵（砾）石层、砂层，它们与透水性弱的粘性土层相比，一般具有电阻率高、电学活动性强的特点。二是基岩中有裂隙密集带、岩溶发育带、断层破碎带等含水层（带）与其围岩相比，通常具有电阻率低，电学活动性强，弹性波速度低的特点</p>	<p>探测方法主要有电法勘探（包括高密度电法），地震勘探。通常以点距较大的电测深进行作全面探测，以点距较小的地震剖面和高密度电法作重点配合（当含水层与上覆层具有明显的波阻抗差别时，可采用浅层反射波法）。</p> <p>对于第四系地层松散层中或基岩裂隙中是否具有地下水赋存条件，主要应用激发极化法探测，因为激发极化法的激电参数激发比（I_s）极化率（μ_s）衰减度（D_s）与富集的地下水有着密切关系。</p> <p>当 $I_s=0.3\% \sim 3\%$, $\mu_s=1\% \sim 5\%$, $D_s=30\% \sim 50\%$时，可视为含水岩（土）体</p>
II	<p>岩溶洞穴间分布位置</p>	<p>岩溶洞穴与围岩之间，一般存在明显的电阻率、波速、波阻抗、密度、磁化率等物性差异，可应用相应的物探方法，进行综合物探探测</p>	<p>地下水渗透速度的测定，可在钻孔中用井液电阻率法中的扩散法测定。</p> <p>当钻孔穿过了具有不同水压力的几个含水层时，可利用井中流量计或扩散法测定含水层之间的补给关系。</p> <p>涌水量和渗透系数的测定，应在钻孔进行抽水或压水试验（或进行注入法、提捞法）时，利用井中流量计或井液电阻率法测定孔内不同深度点的轴向流量，从而计算出各含水层的涌水量和渗透速度。</p> <p>在被覆盖的岩溶地区，当地形平缓、基岩埋藏较浅时，可应用地面物探方法探测表层岩溶溶蚀带，采用方法：电法（电测深、电剖面和高密度电法可控源音频大地电磁测深法、瞬变电磁法、甚低频法）；地震法（浅层折射波法和浅层反射波法）及地质雷达法等综合物探方法</p>

续表 F.0.2

序号	任务要求与探测内容	应用条件、物性特点	采用方法与探测技术
II			<p>探测岩溶洞穴是充水还是填充疏松沉积物时，可采用激发极化法与其他物探方法相互配合，当 $I_s > 30\%$，$D_s > 80\%$，$\mu_s > 5\%$时，一般为沉积物反映，低于上述数值时，往往是充水的反映。</p> <p>探测孔间或洞间岩溶洞穴，应用孔间的透视法进行，孔间或洞间的距离应小于 80m，对于电磁波、声波、地震波等透视法均可采用交会法或层析成像法（由计算机进行数据处理）</p>
III	查明渗漏带、含水层位置及层间补给关系	同 I	地面进行自然电位测量，等自然电位平面图上的负异常多为渗漏带的反应
IV	主要测定水文地质参数和地下水运动情况	应用条件：电测井只能在无套管有井液的孔段进行；声速测井只能在无套管有井液的孔段进行；放射性测井无论钻孔有无套管及井液均可进行；钻孔电视只能在无套管的干孔和清水钻孔中进行；井中流体测量只适用于无套管（可以有滤管）的钻孔	<p>测定水文地质参数的物探方法有：充电法、自然电场，井液电阻率测井，同位素示踪法和同位素流速仪法。</p> <p>在钻孔或水井内，采用充电法进行地下水流向、流速的测定。</p> <p>采用自然电场法，可在测区内地形比较平缓的地方布置若干测点，以测点为中心作自然电场的环形观测，即测量不同方位的过滤电场。</p> <p>在钻孔或水井内，可用同位素流速仪测定流速。有多个钻孔时可用同位素示踪法测定流向、流速</p>

附录 G 岩土体渗透结构类型划分

G.0.1 岩土体渗透结构类型划分应在查明透（含）水层（体）和相对隔水层（体）的空间分布及组合规律的基础上进行。

G.0.2 岩土体渗透结构类型划分应符合表 G.0.2 的规定。

表 G.0.2 岩土体渗透结构类型划分表

岩土类别	渗透结构类型	主要表现形式	地下水渗透特征
土体	单层渗透结构	成分单一的河床覆盖层	透水性一般较强，具均质各向同性渗透特征。覆盖层粒度较粗时常可引起严重渗漏。
	双层渗透结构	上、下两层土粒度差别较大的河床覆盖层	上、下层土渗透性差异明显。地层结构的稳定程度对渗漏条件影响很大。
	多层渗透结构	粗粒土、细粒土互层的河床覆盖层	各透水层颗粒组成往往不均一，渗透性差异明显。漂卵石层常构成集中渗漏通道。
岩体	散体状渗透结构	岩体全强风化带	透水性相对较强。一般具均质各向同性渗透特征。
	层状渗透结构	透水层与相对隔水层互层的缓倾岩层； 平缓的多层结构的喷出岩； 平缓断层破碎岩	地下水主要赋存、运移于各透水层中，其补、径、排严格受相对隔水层控制，常具多层水位。宏观上看，顺层方向渗透性远大于垂层方向渗透性，具有明显的各向异性渗透特征。
	带状渗透结构	断层破碎带； 裂隙密集带； 岩脉裂隙带； 透水层与隔水层互层的陡倾岩层； 强卸荷带	多与层状、网络状等渗透结构相通，构成地下水集中渗漏通道，亦可构成不同透水层地下水间的水力联系通道。宏观上看，顺带方向渗透性明显大于垂带方向渗透性。
	网络状渗透结构	弱风化~新鲜块状岩体 岩性单一、裂隙较发育的沉积岩	地下水运动主要受裂隙网络发育特征及其渗透性控制，具明显的非均质各向异性渗透特征。渗透性一般较差。
	管道状渗透结构	溶蚀孔洞（管道）发育的灰岩	地下水主要沿岩溶管道流动并以泉的方式排泄。分布不均一，动态变化大。常构成集中渗漏通道。

附录 H 地下洞室涌水量估算（大井法）井半径计算公式

H.0.1 一般情况下，大井半径可用下式计算：

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}} = 0.565\sqrt{F} \quad (\text{H.0.1})$$

式中， r_0 —大井半径（m）；

F —工程基坑的面积。

H.0.2 当地下洞室呈矩形时，可用下面的公式：

$$r_0 = \eta \frac{L+B}{4} \quad (\text{H.0.2})$$

式中： L 、 B —为地下工程所占区域的长和宽（m）；

η —是与 B/L 有关的系数，参见表 H.0.2

表 H.0.2 η 系数表

B/L	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
η	1.00	1.12	1.16	1.18	1.18	1.18

H.0.3 当地下洞室呈窄长形时，即， $B/L \approx 0$ ，得：

$$r_0 = 0.25L \quad (\text{H.0.3})$$

式中符号含意同公式（I.0.2）

H.0.4 当地下洞室呈椭圆形时，

$$r_0 = 0.5(a+b) \quad (\text{H.0.4})$$

式中， a —椭圆形的长半轴长度（m）；

b —椭圆形的短半轴长度（m）。

H.0.5 当地下洞室长宽之比大于 2~3 时：

$$r_0 = P/2\pi \quad (\text{H.0.5})$$

式中， P —工程区域的周长（m）。

H.0.6 求出大井的等效引用半径后，只需将 r_0 代入相应的集水工程公式即可。

附录 J 渠道的渗漏计算可采用的方法

J.0.1 均质地层厚度大而没有潜水时，渠道稳定渗漏量按下式计算：

$$q=K(B+C_1H_0) \quad (J.0.1)$$

式中 q —渠道单位长度渗流量(m^3/d)；

K —地层渗透系数 (m/d)；

B —梯形断面渠道水面宽度(m)；

H_0 —渠道内的水深(m)；

C_1 —系数（按图 J.0.1 根据 B/H_0 值和边坡 m 求得）。

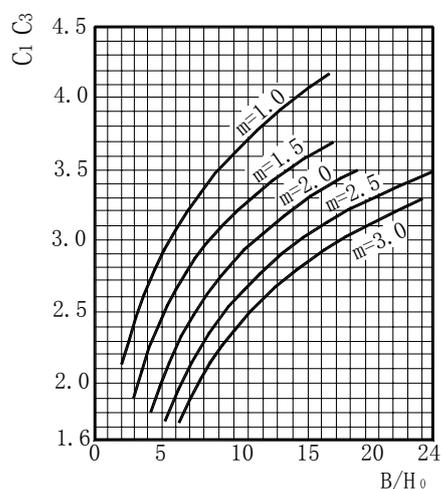


图 J.0.1: C_1 或 C_3 与 B/H_0 关系曲线图

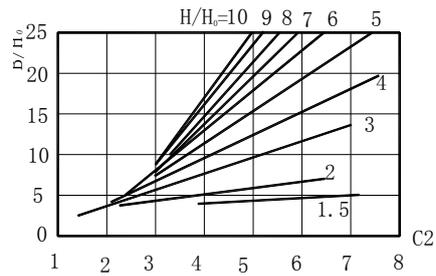
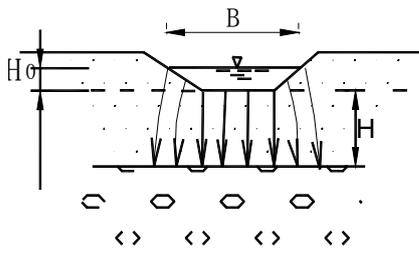
J.0.2 渠道下深处理藏有透水性好的地层，且地下水位于此层中(见图 J.0.2-1)，未造成壅水，渠道渗漏量可用下式计算：

$$q=K(B+C_2H_0) \quad (J.0.2)$$

式中 C_2 —系数（按图 J.0.2-2 根据 H/H_0 求得）；

H —渠底至透水性好的地层厚度；

其他符号意义、单位见 J.0.1。



图

J.0.2-1 地下水埋深较大的渠道渗漏示意图 图 J.0.2-2 : C_2 与 B/H_0 关系曲线图

J.0.3 当渠道下深处埋藏有透水性好的地层，且地下水位埋深较浅（图 J.0.3），则渗漏量可按下式计算：

$$q=K(\phi/\phi')T \quad (J.0.3-1)$$

式中 q —渠道单位长度渗漏量 (m^3/d)；

k —渠道地层的渗透系数 (m/d)；

T —渠道地层厚度(m)；

ϕ 和 ϕ' 为第一类椭圆积分，比值 ϕ/ϕ' 可由下式确定：

$$B+C_3H_0=(\phi/\phi')T-1.466h\log \lambda' \quad (J.0.3-2)$$

式中 C_3 —系数（查图 J.0.1）；

λ —椭圆积分的补模数 ($\lambda'=\sqrt{1-\lambda^2}$)，与比值 ϕ/ϕ' 的关系见表 J.0.3；

B 、 T 和 H_0 见图 J.0.3，单位同上；

h —渠道地层中含水层厚度 (m)。

当应用式 (J.0.3-1)、(J.0.3-2) 求渗漏量时，要用试算法，先由已知条件算出 $B+C_3H_0$ ，然后由式 (J.0.3-2) 连同表 J.0.3，用逐次近似法确定 ϕ/ϕ' （第一次近似时，可将式 (J.0.3-2) 右边第二项忽略不计），最后由式 (J.0.3-1) 求出 q 。

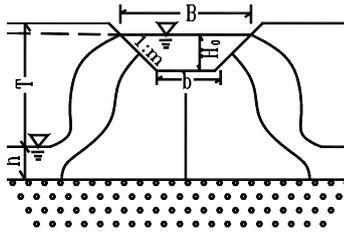


图 J.0.3: 地下水埋深不大的渠道渗漏示意图

表 J.0.3 第一类全椭圆积分数值

λ^2	ϕ	ϕ'	$\frac{\phi}{\phi'}$	$\frac{\phi'}{\phi}$	λ'^2	λ^2	ϕ	ϕ'	$\frac{\phi}{\phi'}$	$\frac{\phi'}{\phi}$	λ'^2
0.000	1.571	∞	0.000	∞	1.000	0.21	1.665	2.235	0.745	1.34	0.79
0.001	1.571	4.841	0.325	3.08	0.999	0.22	1.670	2.214	0.754	1.33	0.78
0.002	1.572	4.495	0.349	2.86	0.998	0.23	1.675	2.194	0.763	1.31	0.77
0.003	1.572	4.293	0.366	2.73	0.997	0.24	1.680	2.175	0.773	1.29	0.76
0.004	1.572	4.150	0.379	2.64	0.996	0.25	1.686	2.167	0.782	1.28	0.75
0.005	1.573	4.039	0.389	2.57	0.995	0.26	1.691	2.139	0.791	1.26	0.74
0.006	1.573	3.949	0.398	2.51	0.994	0.27	1.697	2.122	0.800	1.25	0.73
0.007	1.574	3.872	0.406	2.46	0.993	0.28	1.702	2.106	0.808	1.24	0.72
0.008	1.574	3.806	0.413	2.42	0.992	0.29	1.708	2.090	0.817	1.22	0.71
0.009	1.574	3.748	0.420	2.38	0.991	0.30	1.714	2.075	0.826	1.21	0.70
0.01	1.575	3.696	0.426	2.35	0.99	0.31	1.720	2.061	0.834	1.20	0.69
0.02	1.579	3.354	0.471	2.12	0.98	0.32	1.726	2.047	0.843	1.19	0.68
0.03	1.583	3.156	0.502	1.99	0.97	0.33	1.732	2.033	0.852	1.17	0.67
0.04	1.587	3.016	0.526	1.90	0.96	0.34	1.738	2.020	0.860	1.16	0.66
0.05	1.591	2.908	0.547	1.83	0.95	0.35	1.744	2.008	0.869	1.15	0.65
0.06	1.595	2.821	0.565	1.77	0.94	0.36	1.751	1.995	0.877	1.14	0.64
0.07	1.599	2.747	0.582	1.72	0.93	0.37	1.757	1.983	0.886	1.13	0.63
0.08	1.604	2.684	0.598	1.67	0.92	0.38	1.764	1.972	0.895	1.12	0.62
0.09	1.608	2.628	0.612	1.63	0.91	0.39	1.771	1.931	0.903	1.11	0.61
0.10	1.612	2.578	0.625	1.60	0.90	0.40	1.778	1.950	0.911	1.10	0.60
0.11	1.617	2.533	0.638	1.57	0.89	0.41	1.785	1.939	0.920	1.09	0.59
0.12	1.621	2.493	0.650	1.54	0.88	0.42	1.792	1.929	0.929	1.08	0.58
0.13	1.626	2.455	0.662	1.51	0.87	0.43	1.799	1.918	0.938	1.07	0.57
0.14	1.631	2.421	0.674	1.48	0.86	0.44	1.806	1.909	0.946	1.06	0.56
0.15	1.635	2.389	0.684	1.46	0.85	0.45	1.814	1.899	0.955	1.05	0.55
0.16	1.640	2.359	0.695	1.44	0.84	0.46	1.822	1.890	0.964	1.04	0.54
0.17	1.645	2.331	0.706	1.42	0.83	0.47	1.829	1.880	0.973	1.03	0.53
0.18	1.650	2.305	0.716	1.40	0.82	0.48	1.837	1.871	0.982	1.02	0.52
0.19	1.655	2.281	0.726	1.38	0.81	0.49	1.846	1.863	0.991	1.01	0.51
0.20	1.660	2.257	0.735	1.36	0.80	0.50	1.854	1.854	1.000	1.00	0.50
λ'^2	ϕ'	ϕ	$\frac{\phi'}{\phi}$	$\frac{\phi}{\phi'}$	λ^2	λ'^2	ϕ'	ϕ	$\frac{\phi'}{\phi}$	$\frac{\phi}{\phi'}$	λ^2

J.0.4 考斯加可夫公式计算法

当渠道长度不大时，每公里渠道渗漏损失水量可用下式近似估计。

$$S = \frac{A l Q_{\text{净}}^{1-m}}{100} (m^3 / s.km) \quad (J.0.4)$$

或用每公里渠道损失率计算： $\sigma = \frac{A}{Q_{\text{净}}^m}$

式中 S—每公里渠道渗漏损失水量 ($m^3/s.km$)；

l——渠道长度 (km)；

A、m——分别为系数和指数，应根据相似地区实测资料选用，无实测资料时，A、m 值可近似地采用表 J.0.4 数值；

$Q_{\text{净}}$ ——渠道净流量 (m^3/s)。

表 J.0.4 A、m 值

土壤类别	A	m
重粘土及粘土	0.70	0.30
重粘壤土	1.30	0.35
中粘壤土	1.90	0.40
轻粘壤土	2.65	0.45
砂壤土及轻砂壤土	3.40	0.50

J.0.5 吉尔什坎公式公式

$$S = 0.063k \sqrt{Q_{\text{净}}} (m^3/s.km) \quad (J.0.5)$$

每公里渠道输水损失率为： $\sigma = \frac{6.3k}{Q_{\text{净}}}$

S—每公里渠道渗漏损失水量 ($m^3/s.km$)；

K—地层渗透系数 (m/d)；

$Q_{\text{净}}$ —灌溉渠道净流量 (m^3/s)。

J.0.6 美国垦务局公式计算法:

$$S = 0.012C' \sqrt{\frac{Q}{V}} (m^3 / s.km) \quad (J.0.6)$$

式中 S—每公里渠道渗漏损失量 ($\text{m}^3/\text{s.km}$);

C' —根据土壤类型而定的参数, 见表 J.0.6 所列;

Q—渠道设计流量 (m^3/s);

V—渠道水流速 (m/s)。

土壤类别	C' 值
具有砾石胶结层和不透水层的砂壤土	0.34
粘土及亚粘土	0.41
砂壤土	0.66
火山灰土	0.68
含有砂子的火山灰土	0.98
砂土、火山灰土	1.20
含有岩石的砂土	1.68
砂质及砾质土	2.20

附录 K 岩溶水文地质常用分类

K.0.1 岩溶化岩组分应符合表 K.0.1 的规定。

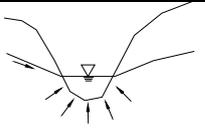
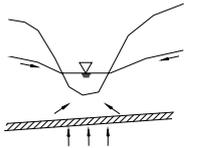
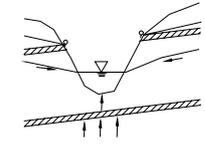
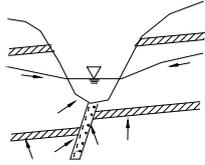
表 K.0.1 岩溶化岩组分类表

碳酸盐岩层组 类型	CaO/ MgO	比 溶 蚀 度	岩溶发育强度	岩溶化 岩组类 型	富水 性
连续型石灰岩类型	≥ 10	> 1	地表、地下岩溶很发育；岩溶地貌形态典型，个体岩溶形态发育，正负地形高差大，岩溶洼地密度常大于 15 个/km ² ，地下岩溶常见规模较大的岩溶管道，地下河系	强岩溶化岩组	强
连续型白云岩类型、夹层型云灰岩类型、次纯石灰岩类型	1 ~ 10	< 1	地表岩溶较发育，岩溶地貌形态典型，正负地形高差小，负地形多为不平坦谷地及叠状浅洼地，发育密度 5~15 个/km ² ，地下发育有规模较小的溶洞，岩溶管道及地下河	中等岩溶化岩组	中等
互层型不纯碳酸盐岩类型、夹层型不纯碳酸盐岩类型	/	/	地表岩溶型态由溶蚀型向侵蚀型过渡，有小规模溶洞、落水洞，个体发育形态密度小于或等于 5 个/km ² ，地下局部有岩溶管道发育	弱岩溶化岩组	弱

注：变质碳酸盐类地区可参照上表进行相应分类。

K.0.2 岩溶含水层类型划分应符合表 K.0.2 的规定。

表 K.0.2 岩溶含水层类型表

类 型	图 式	基 本 特 征
均一含水层		①岩溶一般较强烈、深度大、易发育深岩溶； ②饱水带多形成统一含水层，并可能有岩溶管道
双层含水层		①上部岩溶发育较强，隔水层以下岩溶受到限制； ②形成双层含水层，下部可能形成承压水。
多层含水层		①受多层隔水层限制，深部岩溶明显减弱； ②可形成多层岩溶含水层，有承压水或半承压水
混合含水层		①常沿断层带附近发育深岩溶； ②各岩溶含水层之间、地下水的联系较复杂

K.0.3 河谷岩溶水动力条件基本类型确定应符合表 K.0.3 的规定。

表 K.0.3 河谷岩溶水动力条件基本类型表

岩溶水动力类型	水动力条件示意图	水动力特征	形成条件	实例
补给型		两岸地下水补给河水	①河谷是当地的或区域的最低排水基准面； ②河谷的岩溶层不延伸到邻谷； ③两岸有地下水分水岭	乌江渡、天生桥、猫跳河大部河段,隔河岩等
补排型		河流的一侧地下水补给河水,另一侧河水补给地下,向下游或邻谷排泄	一侧有地下水分水岭;另一侧有岩溶层延伸到低邻谷,且无地下水分水岭	黄河万家寨河段,贵州红岩电站库首、云南绿水河、齐齐哈尔、以礼河披戛河段
补排交替型		洪水期、地下水补给河水;枯水期,河水从一侧或两侧补给地下水,向外排泄	①两岸和河床基岩岩溶发育,且有较近期发育的岩溶管道通往比本河段更低的排水基准面; ②本河段地下水位变动幅度大,洪水期为补给型河谷,枯水期为排泄型河谷	篆长河高桥河段、南斯拉夫特列比什尼察河中下游河段
排泄型		河水从两岸向外排泄,补给地下水	①两侧有低邻谷,并有岩溶层延伸分布,且无地下水分水岭; ②两岸有强岩溶带或岩溶管道顺河通向下游,地下水位低于河水位。	怒江明子山水库、窄巷子电站水库
悬托型		河床处,地下水位埋藏在河床以下深处;地下水与河水完全脱离分开,两者无直接水力联系	①河床基岩岩溶发育,透水性强; ②岩溶地下水的排水基准面低; ③河床表层透水性弱,多见于高原河谷	云贵高原、水槽子水库、罗平湾子水库。漆水河羊毛湾河段、石川河桃曲坡河段、泾河东庄河段。

K.0.4 岩溶地下水动态类型划分宜符合表 K.0.4 的规定。

表 K.0.4 岩溶地下水动态类型表

类型		地下水动态特征	岩溶发育特征
水文型		观测点（钻孔、溶洞、天窗、竖井等）地下水位动态变化统计特征值、历时曲线与河水位变化动态过程密切相关而与大气降水过程曲线相关关系较差	一般反映岩溶发育并与河水位沟通，多见于岸坡地带；但当存在河间地块或河湾地段时，有可能存在排泄型或局部排泄型河谷地下水动力条件。应根据观测网点的最低枯水位作进一步分析判断
气象型	对称状尖峰型	观测点岩溶地下水动态历时曲线对应于降雨历时曲线呈一系列近于对称状尖峰型	一般反映枯水季地下水位以上岩溶岩组中岩溶管道发育、岩溶发育
	尖峰状退水折线型	观测点岩溶地下水动态历时曲线对应于降雨历时曲线是一系列不对称尖峰状，但每个峰形的退水段均存在一个变缓的折线段	一般反时折线拐点以上岩溶管道发育，拐点以下变缓段或岩溶发育较弱或管道被充填，具体应结合钻孔记录，压水试验资料，洞穴调查资料分析确定
	峰簇状台面型	观测点岩溶地下水动态历时曲线对应降雨历时曲线呈由若干小峰起伏状组成的台面型	一般反应岩溶发育弱，多为溶隙型
	迟缓型	观测点地下水历时曲线对降雨反映比较迟缓，滞后时间多大于 10 天，呈缓波状起伏	一般反应岩溶发育较弱

K.0.5 岩溶渗漏基本类型宜符合表 K.0.5 规定。

表 K.0.5 岩溶渗漏基本类型

分类原则	类 型		岩溶渗漏特征（条件）	备 注
岩溶渗漏部位	I	邻谷渗漏型	水库向一岸或两岸比正常蓄水位低的邻谷。包括向本河谷下游支流渗漏	渗漏距离一般较远，渗漏量的大小决定于有无管道贯通
		库首渗漏型	库水通过库首河弯地块，或与下游支流构成的地块向本河谷下游渗漏	同上
		库底渗漏型	在排泄型与悬托型河谷中，库水通过库底向两岸或一岸的远方区域地下水排泄基准面的渗漏	多为垂直渗漏，渗漏量较大
		坝址渗漏型	沿坝基及两岸产生的坝基及绕坝渗漏	渗漏范围一般在坝前1~2km内
渗漏范围	II	地下水位以上渗漏型	地下水位线以上的岩溶层渗漏取决于该范围内岩溶岩组的透水性	地下水位以下则岩溶不发育。该类型主要是与地质历史时期水文地质条件所控制的岩溶化程度有关
		地下水位以下渗漏型	该类型的渗漏条件比较复杂	综合性勘察方法和手段查找岩溶渗漏通道
渗漏介质	III	管道型渗漏	岩溶管道的尺寸>20cm，连通性甚好，地下水流态为紊流	渗漏量大，管道呈线状分布。小型管道 20~100cm；中型管道 100~500cm；大型管道 >500cm
		脉管型渗漏	由溶隙进一步溶蚀扩大而成，其宽度一般 5~20cm，平面连续性较好，地下水流态以紊流为主	渗漏量小，顺缝隙渗漏为主
		溶隙型渗漏	由构造裂隙经溶蚀后形成，宽度一般小于 5cm，平面延续性较好，地下水主要作渗流运动	渗漏量弱，以裂隙渗漏为主
		复合型渗漏	上述三种形式的两种或三种复合型	渗漏量大，管道呈网状分布，水力联系密切
渗漏影响	IV	影响水库效益渗漏	渗漏量大	
		影响建筑物安全渗漏	渗漏量大或小	

附录 L 岩溶水示踪试验与应用

L.0.1 示踪试验的投放点(包括投剂点与闸、放水试验的起点)与监测点应符合下列要求:

1 在岩溶水文地质勘察的基础上进行,示踪源点应选择暗河入口、天窗、消水点、水库漏水点、试坑、钻孔等需要查明岩溶水去向的地点;

2 监测点选择的范围应大于岩溶水文地质测绘的范围,一切可能连通的岩溶水露头均应进行观测。

K.0.2 岩溶水流场示踪试验应符合下列要求:

1 示踪材料应满足安全无毒、易降解、对环境质量及景观影响小、影响时间短;

2 示踪试验的方法,宜根据岩溶水流场条件 and 生产需要按表 L.0.2 进行选择;

3 示踪剂应完全溶解后瞬时投放;简易示踪试验也宜瞬时投放或基本瞬时投放;

4 常监测点的取样频率应以不错过示踪剂浓度变化的拐点、峰值点、低谷点为准则。

表 L.0.2 常用示踪试验方法简表

试验方法	示踪材料	工作内容	流场条件	试验成果	备注
水位传递法		①在地下水入水口截水、放水； ②观测监测点水位与流量的变化情况	管道流脉管流	连通情况及流场特征	源点水量充足时可用
指示剂法	浮标法	谷壳、锯屑等漂浮材料 ① 投放漂浮材料； ② 在监测点进行目测	水流畅通的管道流	连通情况	管道流中存在调压暗池时，不宜用
	混漂法	石松孢子、食用酵母 ①投放示踪材料； ②在监测点设置捕获工具或人工取样； ③显微镜检测捕获物质	管道流脉管流	岩溶水的连通情况	投剂点水体很大时，宜用此法
	染色法	萤光素食用色素等 ①完全溶解并投放示踪剂； ②抽测或全过程取样监测； ③采用目测法、比色法或精密仪器法检测示踪剂	管道流脉管流溶隙裂隙流	① 连通情况； ② 管流场的类型、结构； ③ 管流场中的各种参数。 ④ 发现分散流场中耦合的管道流； ⑤ 分散流场的有效岩溶率及渗透系数	①为简易示踪试验成果； ①②③为常规示踪试验成果； ①④⑤为专门示踪试验成果
	离子法	钼酸铵食盐等 ① 完全溶解并投放示踪剂； ② 抽测或全过程取样监测； ③ 采用滴定法或精密仪器法检测示踪剂			
放射法	(H ³)、(I ¹³¹)、(Br ⁸²)等 ① 采用专用设备投放示踪剂； ② 采用专门仪器在监测点检测示踪剂				
气体传递法	各种无有害气体	① 放烟或烟幕弹； ② 人工或自然送风驱逐烟气； ③ 在监测点目测烟气	无 水岩溶管道及大溶隙	连通情况	用于较短无水通道的连通

L.0.3 染料、离子类示踪剂投放量，宜按表 L.0.3 确定。

表 L.0.3 示踪剂投放量低限计算表

类型	计算公式	符号意义	说明
简易示踪试验	$M = 0.0864\lambda QC_D(1 + 0.2l)$	M—投剂量 (kg) λ —系数，一般取 2~4	当采用抗吸附性能优良的示踪剂时， λ 值可减半。
常规专门示踪试验	$M = 0.0864QC_D(1 + 0.2l)$	Q—地下水流量或估计流量 (m^3) C_D —仪器的最低检测浓度；目测时，为最低可见浓度 (mg/L)。 l —投剂点到监测点间距离 (m).	

L.0.4 利用示踪试验进行流场参数计算包括绘制示踪剂浓度的历时曲线(简称示踪曲线，下同)及各种参数计算。流场参数计算的的内容与方法，宜按表 L.0.4 确定。

表 L.0.4 用示踪试验方法计算流场参数公式一览表

参数名称	计算公式	量纲	适用条件说明	符号意义
示踪剂回收率	$P = \frac{QA}{M \times 10^6} \times 100\%$ $A = \int_0^{\infty} [C(t) - C_0] dt$	%	常规和专门示踪试验	P —示踪剂回收率(%); A —示踪曲线与背景值线围成的面积 ((mg/L)·s);
实际流速	$U = l/\bar{t}$	cm/s	岩溶水管流场与分散流场；也适用于其它介质中的地下水示踪试验	M —投放的示踪剂质量 (kg)；
比流速	$U_i = l/(\bar{t}I)$	cm/s		$C(t)$ —监测点 t 时刻的示踪剂浓度 (mg/L)；
流量	$Q = M/A$	L/s		C_0 —示踪剂在流场中的背景浓度值 (mg/L)；
管道容积	$V = Q\bar{t}/1000$	m^3	充水岩溶水管流场	l —投剂点至监测点间的距离 (cm)；
渗透速度	$v = n_e \times U$	cm/s	岩溶水分散流场；也适用于其	

<p>渗透系数</p>	$K = v/I$	<p>cm/s</p>	<p>它介质中的地下水示踪试验</p>	<p>\bar{t} — 从投剂到浓度峰值出现所经过的时间 (s)。 I—地下水的平均水力坡度； d—投放示踪剂钻孔的直径 (cm)；</p>
-------------	-----------	-------------	---------------------	--

水利水电工程水文地质勘察规范
(报批稿条文说明)

目 次

1 总则.....	83
3 基本规定.....	84
3 区域水文地质勘察.....	87
4.2 勘察内容.....	87
4.3 勘察方法.....	87
5 水库区水文地质勘察.....	88
5.1 勘察目的与任务.....	88
5.2 勘察内容.....	88
5.3 勘察方法.....	88
5.4 水文地质问题评价.....	88
6 坝(闸)址区水文地质勘察.....	91
6.1 勘察目的与任务.....	91
6.2 勘察内容.....	91
6.3 勘察方法.....	92
6.4 水文地质问题评价.....	93
7 地下洞室水文地质勘察.....	94
7.2 勘察内容.....	94
7.3 勘察方法.....	94
7.4 主要水文地质问题评价.....	95
8 渠道水文地质勘察.....	97
8.2 勘察内容.....	97
8.3 勘察方法.....	97
8.4 主要水文地质问题评价.....	97
9 灌区水文地质勘察.....	99
9.1 勘察目的与任务.....	99
9.2 勘察内容.....	99
9.3 勘察方法.....	100
9.4 地下水资源评价.....	101

9.5 土壤盐渍化评价.....	101
10 堤防水文地质勘察.....	103
10.1 勘察目的与任务.....	103
10.2 勘察内容.....	103
10.3 勘察方法.....	103
11 边坡水文地质勘察.....	105
11.1 勘察目的与任务.....	105
11.2 勘察内容.....	105
11.3 勘察方法.....	106
12 岩溶区水文地质勘察.....	107
12.1 勘察目的与任务.....	107
12.2 勘察内容.....	107
12.3 勘察方法.....	108
12.4 岩溶渗漏问题评价.....	110
13 水文地质勘察资料整理.....	113
13.1 目的与任务.....	113
13.2 水文地质图件.....	113
13.3 水质分析资料.....	114
13.4 水文地质勘察报告.....	115
附录 A.....	116
附录 D.....	119
附录 E.....	121
附录 F.....	128
附录 G.....	131
附录 J.....	132
附录 K.....	133

1 总 则

1.0.1 在水利水电工程建设中，进行水文地质勘察的主要目的是查明工程区水文地质条件，评价地下水对工程区及建筑物的影响。水文地质勘察既是工程地质勘察的重要组成部分，同时又有其自身特点与要求。GB50287 包含了水文地质勘察工作的相关规定，本规范则是对其水文地质勘察有关内容的进一步深化、细化和补充。本规范在实施中应与水利水电工程地质勘察规范配套使用。

1.0.2 本规范适用的大型水利水电工程是指按《防洪标准》(GB50201-94)所确定的大(1)型和大(2)型工程。该标准关于工程规模的基本规定见表1。

对中小型工程不要求严格按照本规范执行，但可以根据具体情况参照本规范有关规定开展其水文地质勘察工作。

表 1 水利水电枢纽工程等别划分表

工程等别	水库		防洪		治涝	灌溉	供水	水电站
	工程规模	总库容 (10^8m^3)	城填及工矿企业的重要性	保护农田 (万亩)	治涝面积 (万亩)	灌溉面积 (万亩)	城填及工矿企业的重要性	装机容量 (10^4kW)
I	大(1)型	>10	特别重要	>500	>200	>150	特别重要	>120
II	大(2)型	10~1.0	重要	500~100	200~60	150~50	重要	120~30
III	中型	1.0~0.10	中等	100~30	60~15	50~5	中等	30~5
IV	小(1)型	0.10~0.01	一般	30~5	15~3	5~0.5	一般	5~1
V	小(2)型	0.01~0.001		<5	<3	<0.5		<1

3 基本规定

3.0.1 水文地质勘察作为工程地质勘察的重要组成部分，与工程地质勘察联系十分密切。本条强调水文地质勘察与工程地质勘察在一般情况下应合并进行，一方面是因为从技术角度看，二者对查明工程区地形地貌、地层岩性、地质构造等基本地质条件的要求是一致的，所采用的勘察手段也大多相同；另一方面从经济角度考虑，也应该互相结合以最大限度地减少重复工作量。

关于勘察阶段的划分及各阶段相应工作深度，GB50287 中作出了明确规定。本条要求水文地质勘察的阶段应与水利水电工程地质勘察规范的规定相适应，不再另行划分勘察阶段。

3.0.2 本条规定了应进行专门性水文地质勘察工作的几种情况，主要基于以下考虑：

1 严重渗漏或大面积浸没问题均可能是影响工程建设的重大问题；

2 对灌区而言，其主要问题即是水文地质问题；

3 在水文地质条件复杂地区，结合工程地质勘察进行的一般水文地质勘察工作深度往往难以满足工程需要；

4 施工过程中灌浆孔、排水孔发生异常涌水，灌浆孔出现异常大的漏量，以及水库蓄水初期渗漏量异常增大等现象，均预示着可能存在前期勘察工作中未发现的新的水文地质问题，必要时应布置专门性水文地质勘察查明原因；防渗、排水工程设计方案出现重大调整，也需要针对调整后的方案重新进行专门性水文地质勘察，以便为设计提供依据。

3.0.3 本条提出了可确定为水文地质条件复杂区的 5 种情况。根据多年来水利水电工程地质勘察的经验，出现其中一种情况或多种情况时，采用与工程地质勘察合并进行的一般水文地质勘察勘察方法，通常难以满足查明水文地质条件和评价水文地质问题的要求，因此需进行专门性水文地质勘察工作。本条中所列情况可能包括不了所有水文地质条件复杂区，实际工作中可依据具体情况及工程相应要求确定其是否属于水文地质条件复杂区。

3.0.4 本条列举了专门性水文地质勘察大纲的主要内容。实际工作中，随着对有关问题的不断发现和揭露，对勘探工作进行适当调整有时是必要的。

3.0.5 本条主要强调在水文地质勘察工作过程中应遵循合理的工序，以保证工

作进度及勘察成果质量，避免工序混乱造成的返工和浪费。

3.0.6 一般情况下，水文地质测绘应与工程地质测绘结合进行。但对需要开展专门水文地质勘察工作的工程区而言，其水文地质条件往往比较复杂，需要进行专门性的水文地质测绘。考虑到不同工程、不同的专门性水文地质问题的差异性一般较大，本条仅对测绘比例尺、测绘范围的确定提出了原则规定，实际工作中应根据具体情况予以合理选择，以保证测绘精度、范围能够满足工程需要。

遥感地质解译是一种快速的填图方法，各种影像资料含有丰富的地质信息，但也具有多解性，为避免解译错误，对遥感解译成果进行野外验证是不可缺少的。

3.0.7 物探方法轻便、高效，在水利水电工程水文地质勘察中已得到广泛应用。但其缺点是应用受场地地形和岩土物性条件的限制，探测成果往往具有多解性特点，较难得出单一的结论，因此本条强调：一是要采用有效的方法进行综合探测，二是关键地段探测成果要经钻探验证，以期获得理想效果。

3.0.8 水文地质钻探一般有其特殊要求，在施工前根据预测的钻孔地质剖面及钻探目的进行专门设计是十分必要的。设计主要应注意以下三方面问题：

- 1 考虑钻孔中安排的各项水文地质现场测试要求，在保证终孔直径的前提下，确定开孔直径，确定钻孔的换径部位及深度，一般情况下宜尽量设法减少换径；

- 2 根据现场测试项目要求，确定钻探方法和钻探器具；

- 3 确定水文地质现场测试方法、仪器、设备和钻孔中试段位置。

本条中要求在钻探过程中应进行水文地质简易观测工作，主要是因为通过它可及时了解和掌握地层中含水层位置、地下水位、自流孔承压水头及流量等重要水文地质参数。

3.0.9 本条系对水文地质试验方法选择的原则规定。现场试验主要包括钻孔压水试验、钻孔抽水试验、钻孔注水试验、试坑注水试验、渗透变形试验等；室内试验主要包括渗透试验和渗透变形试验等。

本条强调应以现场试验为主，主要是因为地下水渗流问题比较复杂，室内试验样品规格较小，代表性差，且取样运输、样品制备中易受扰动，其试验结果一般与实际情况误差较大。现场试验则可相对准确地反映一定范围内的岩、土体渗透特性。

3.0.10 地下水动态观测主要是为了了解各含水层的水位、流量、水温、水质等随时间的变化规律，分析研究降水、库水与地下水的补排关系，为评价地下水对工程区及建筑物的影响、检验防渗与排水工程实施效果等提供可靠的观测数据。因此，从前期勘察阶段开始就应该根据具体情况和工程需要着手布置适当的地下水动态观测工作，并随着勘察阶段的深入逐步形成系统的观测网。

3.0.11 一般情况下，水文地质勘察多与工程地质勘察合并进行，水文地质勘察成果相应作为工程地质勘察成果的部分内容并入工程地质勘察报告。对开展专门性水文地质勘察的水利水电工程，则应提交相应的水文地质勘察专题报告。

4 区域水文地质勘察

4.2 勘察内容

4.2.1 区域地形地貌应包括平原、丘陵山区、岩溶地区、滨海地区、戈壁沙漠、黄土地区、草原牧区及冻土地带等。

4.3 勘察方法

4.3.1、4.3.3 鉴于水利水电工程单独开展区域水文地质勘察的项目很少，故本规范确定了以收集、分析和整编已有区域水文地质资料，加之必要的线路调查与验证的工作原则，同时鼓励应用遥感技术方法。

4.3.4 区域水文地质调查一般纳入专题水文地质勘察报告或工程地质勘察报告，内容应包括区域水文地质概况、区域水文地质条件和问题、水文地质环境的趋势性预测与评价。

5 水库区水文地质勘察

5.1 勘察目的与任务

5.1.1、5.1.2 规定了非岩溶水库区水文地质勘察的目的与任务。对库区而言，渗漏、浸没问题是两个最主要的水文地质问题。

5.2 勘察内容

5.2.1 本条中所列内容，是查明水库区水文地质条件及评价渗漏、浸没问题所需要开展的基本工作。

5.2.2、5.2.3 分别提出了进行渗漏与浸没问题评价尚需有针对性地开展的工作内容。其中 5.2.3 条第 4 款所指浸没类型主要包括沼泽化、盐碱化、黄土类湿陷、井壁坍塌、建筑物倒坍和道路翻浆等。

5.3 勘察方法

5.3.1 本条规定了库区水文地质勘察所采用的基本方法。

5.3.2 本条对库区水文地质测绘的范围和比例尺作了规定。通常情况下，库区水文地质测绘可结合工程地质测绘一并进行。为查明严重渗漏地段水文地质条件而开展的专门水文地质测绘，其范围和比例尺均可根据需要适当扩大。

5.3.2 本条提出了库区水文地质物探工作的应用与布置原则。实践表明，综合物探方法是行之有效的库区水文地质勘察方法之一，且实施方便。因此，在地形及物性条件允许的情况下应予以充分利用。选择物探方法时应充分考虑其适用性，并尽可能选择不同方法相互验证。

5.3.3 本条规定了库区水文地质勘探的方法及布置原则。实际工作中，勘探剖面线间还可利用物探方法进行加密勘探。

5.3.5 在多层含水层中仅仅观测混合水位，往外会给有关问题分析带来困难。故本条第 3 款规定对多层含水层应进行分层观测。

5.4 水文地质问题评价

5.4.1 条第 4 款 本款不适用于抽水蓄能电站工程。

本款的轻微渗漏标准来源于《工程地质分析原理》成都地质学院 1981 版“一般规定不超过河流平水期流量的 1~3%”；《工程地质学》河海大学第一版“渗漏量小于平水期流量的 1~3%是可以允许的”；《工程地质学》河海大学第二版“渗

漏总量小于河流多年平均流量的 5%则是可以允许的”。考虑河流来水量的季节性差异，轻微渗漏标准定为小于河流多年平均流量的 3%是适宜的。

严重渗漏标准目前尚无统一规定，但渗漏量为河流多年平均流量的 10%是个界限框数，大于此值水库效益必然受到大的影响，有时甚至个别机组不能正常发电。

轻微、中等、严重渗漏的三级划分标准主要是便于水库渗漏问题评价的可操作性，至于是否采取工程处理措施，尚应考虑水库的任务、开发目标、水动能条件、对环境的影响以及水库渗漏问题处理（费用、难易）与水库效益的比较等因素。

5.4.2 条第 2 款第 1) 项 浸没区地层为二元结构，即上部为透水性微弱的粘性土层、下部为透水性良好的砂层或砂砾（卵）石层的情况在一般河谷阶地中较常见，其壅水计算宜采用结合水动力学方法。以往对于这类地层结构的壅水计算是采用卡明斯基方法，该方法当上层透水性很小时，计算出的壅水值几乎就是水库水位的抬高值，且以不变的数值向远处延伸，使得蓄水前后的两条地下水浸润曲线相互平行。这既扩大了浸没范围，也与实测资料不符。

结合水动力学计算方法是我国已故水文地质学家张忠胤教授提出来的。他认为粘性土中存在结合水，在 I—V 直角坐标系中，结合水的渗透规律是一条通过原点向 I 轴凸出的曲线（图 1）。

通常把粘性土的这一渗流特性简化为下式：

$$V = K(I + I_0) \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中：I₀——起始水力坡度

由式（1）可知，当水力坡度较小时（I≈I₀），渗透速度与水力坡度不呈直线关系，甚至不产生渗流（I≤I₀），只有在某一水力坡度（I>I₀）时，才开始渗透。因此，粘性土的渗透规律实质上是粘性土中的结合水运动的基本规律，故称结合水动力学。

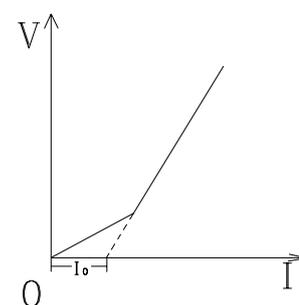


图 1

根据结合水的运动规律，张忠胤教授阐明了处于承压状态的粘性土层，其地下水位总是低于下卧含水层的测压水位。

具体计算上述二元结构粘性土中的壅水值方法如下：

在需要了解壅水高度处布置钻孔（图 2），当钻孔未揭穿粘性土之前，可以

测到一个初见水位，钻透粘性土后，水位上升至最高值，即含水层的测压水头 H_0 。粘性土中含水带厚度 T 与测压水头 H_0 之间的关系如下：

$$T = \frac{H_0}{I_0 + 1} \dots\dots\dots(2)$$

式中： T ——初见水位距下伏含水层顶板距离(m)

H_0 ——由含水层顶板起算的下伏含水层测压水位高度(m)

I_0 ——起始水力坡度

水库蓄水后，下部承压含水层测压水头相应抬高至 H'_0 ，引起原库岸地下水位的壅高，利用公式(3)计算水库蓄水后粘性土层含水带厚度 T' 得到库岸地下水壅高后的水位。该水位加上地下水临界深度，即得到用于圈定浸没范围的高程。

$$T' = \frac{H'_0}{I_0 + 1} \dots\dots\dots(3)$$

式中： $H'_0 = H_0 + \Delta H_0$

ΔH_0 ——水库回水高程与河流天然水面高程之差(m)

其它符号同前。

5.4.2 条第 2 款第 2)项 含水层厚度大，相对隔水层埋藏很深时，可按附录 C.0.2 地下水壅水计算常用公式进行试算，不断增加含水层厚度可得到不同地下水位壅高值。当含水层厚度每增加 5 米，地下水位壅高值增量 $\Delta h \leq 2\text{cm}$ 时，其计算底限可视为含水层的有效厚度。经验算当含水层厚度达到 100 米时，厚度每增加 5 米地下水位壅高值增量 Δh 为 1 公分左右，因此含水层有效厚度可定在 100 米以内。

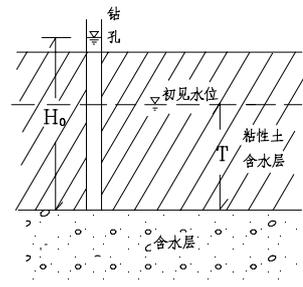


图2

6 坝（闸）址区水文地质勘察

6.1 勘察目的与任务

6.1.1、6.1.2 进行坝（闸）址区水文地质勘察，是为了在查明坝（闸）址区水文地质条件的基础上分析评价坝（闸）址区可能存在的主要水文地质问题及其影响，为水工建筑物和防渗、排水工程设计提供依据。

岩土体渗透结构类型划分和渗透性分区对于表征坝（闸）址区岩土体渗透特征具有重要意义，也是分析评价坝（闸）址区水文地质问题的重要基础。

6.2 勘察内容

6.2.1~6.2.3 3条中所列内容，是查明坝（闸）址区水文地质条件所需要开展的基本工作，同时也是进行岩土体渗透结构类型划分和渗透性分区的基础依据。

6.2.5 本条中要求进行坝（闸）址区岩土体渗透结构类型划分，这是基于实际需要和国内有关研究进展情况提出的。渗透结构是指不同渗透性的岩土体在空间中的分布与组合方式，它反映了岩土体渗透性的空间分布规律。划分渗透结构类型，有助于从宏观上把握坝（闸）址区岩土体（尤其是岩体）渗透特征，也便于防渗、排水工程设计应用。

近年来，国内外在裂隙岩体各向异性渗透性及高水头下裂隙岩体渗透特性的理论研究与工程实践方面均取得了较大进展，但尚不十分成熟。基于工程实际需要，同时考虑到一般工程的实施难度，本规范仅要求对坝高大于200m的重大工程，宜进行高压压水试验；当需要评价工程岩体各向异性渗透性时，宜进行定向压水试验。

6.2.6 本条规定对坝基及绕坝渗漏、渗透变形、坝基基坑涌水等主要水文地质问题进行分析评价。这些问题属于坝（闸）址区水文地质勘察中常见问题，对工程设计和施工方案确定影响较大。至于坝基扬压力分布等问题，由于影响因素众多，不宜单从水文地质方面进行评价，故未列入本规范。

6.2.7 水文地质巡视是施工期水文地质工作中承上启下的重要环节，地质技术人员应在现场巡视的基础上，提出需要立即开展的施工期水文地质工作内容；水文地质分析预报对确保施工安全和正常工期具有重要意义，是施工期水文地质工

作的核心环节；水文地质观测应根据前期勘察或施工开挖中揭露的具体情况进
行。

6.3 勘察方法

6.3.1 水文地质测绘是水文地质勘察的基本手段。一般情况下，坝（闸）址区水文地质测绘的范围和比例尺与坝（闸）址区工程地质测绘一致即可满足工作需要。由于具体问题的多样性和复杂性，专门性水文地质测绘的测绘比例尺和范围不宜明确规定，因此条文中仅作了原则规定。

6.3.2 本条提出了水文地质物探工作的应用与布置原则。选择物探方法时应考虑各种方法的优势和局限性，注意相互验证，以提高成果精度。

6.3.3 本条第1款提出水文地质钻探的布置原则，即在一般情况下应充分利用工程地质勘探孔收集相关的水文地质资料。对于专门性水文地质钻探，由于具体问题的多样性和复杂性，解决不同水文地质问题所需专门性钻探的工作量往往差别较大，很难统一标准，因此本条仅对专门性水文地质勘探布置作了原则规定。

本条第2款提出了水文地质钻探过程中需要观测和记录的水文地质内容与现象，这些内容与现象可从不同的侧面反映工作区水文地质条件。

6.3.4 本条第1款规定了在坝基第四纪覆盖层主要含水层中进行抽水试验的基本原则。要求各主要含水层的抽水试验不应少于3组，是为了与GB50287的有关规定相一致；考虑到单孔抽水试验成果精度较低，本款同时提出对水文地质地质条件复杂的工程区，各主要含水层宜布置适量多孔抽水试验，以更准确地查明坝基覆盖层的渗透性和渗透各向异性。

本条第2~4款内容亦与GB50287的有关规定相一致。近年来，随着一批高坝及抽水蓄能电站的修建，对裂隙岩体各向异性渗透性及其在高水头下渗透特性的勘察研究要求越来越迫切，也积累了一定的成功经验，但高压压水试验及定向压水试验实施有一定难度，故本规范中未做严格要求。

强透水的大断层破碎带、裂隙密集带、层间剪切破碎带等易构成集中渗漏带，水文地质意义重大。所以本条第5款要求视具体情况进行抽水试验或压水、注水试验以查明其渗透性。进行连通试验的目的在于判断其渗透途径。

6.3.5 本条第2款规定了施工期水文地质观测4个方面的内容,这些内容是影响坝(闸)址区建筑物施工及运行期安全的重要水文地质因素。观测后应对资料及时整理分析,并应用于水文地质分析预报与建议工作中。

本条第3款强调应对多层含水层进行分层水文地质观测,是为了保证观测资料的真实性与实际应用方便。

本条第4款规定了施工期水文地质巡视3个方面的内容。及时发现这些可能对工程建设造成不利影响的水文地质现象意义重大。

6.3.8 由于水文地质问题的复杂性和勘察的局限性,某些不良水文地质现象可能在施工开挖过程中才能通过巡视、观测、专项勘察等手段才能被发现和查明。本条第1款规定了水文地质分析预报与建议的内容,第2款规定了提出水文地质分析预报与建议的形式与要求。

6.4 水文地质问题评价

6.4.1 本条第1款是评价坝基及绕坝渗漏问题的总的要求。坝(闸)址区地形地貌条件、库水与地下水补排关系、岩土层渗透性及其分布组合特征、地质构造发育及分布特征等,均是控制坝基及绕坝渗漏问题的主要地质因素。

本条第2款提出了可能存在较严重坝基或绕坝渗漏问题的3种情况。勘察中发现坝(闸)址区存在其中任何一种情况,即应对坝基或绕坝渗漏问题予以特别注意。

由于水文地质条件的复杂性,准确确定岩土体渗透参数和计算坝基及绕坝渗漏量均十分困难。基于此,本条第3款提出了坝基及绕坝渗漏量估算的原则性意见。实际工作中宜根据具体情况采用不同方法相互验证,综合评价。

6.4.2 本条第1款是评价坝基基坑涌水问题的总的要求。第2款提出了坝基基坑涌水量估算的原则性意见。

7 地下洞室水文地质勘察

7.2 勘察内容

7.2.1~7.2.4 此 4 条规定了查明地下洞室区水文地质条件所要进行的基本工作内容。

7.2.6~7.2.7 涌水、突泥是地下工程可能遇到的突出水文地质问题，对施工及安全影响重大，较大的外水压力则容易导致地下洞室围岩失稳破坏或产生突水等现象。因此，对地下工程的涌水、突泥问题及外水压力问题进行分析预测和评价，对工程设计与施工方案确定十分必要。

7.3 勘察方法

7.3.1 第 1 款 对水文地质条件复杂的地下洞室区，如岩溶发育洞段、宽大断层带及其它富水构造分布洞段等，原则上应进行专门性水文地质测绘。

本条第 2 款规定了地下洞室区水文地质测绘的范围与比例尺。地下洞室区地下水的运动往往涉及较大区域，专门性水文地质测绘的比例尺和范围可视具体情况与需要扩大。

7.3.4 第 2 款 地下洞室围岩的渗透性是工程设计需要考虑的重要指标之一。因此，在勘察阶段通常要采取不同的试验方法确定岩体的渗透性。压水试验方法较为常用，注水试验多用于透水性较大且难以进行压水试验的破碎岩体孔段。抽水试验一般适用于松散含水层洞段及富水基岩洞段。工作中应根据具体情况选择合适的试验方法。

近年来深埋隧洞工程日益增多，对于是否应在其勘探钻孔中进行全孔分段压水试验，目前存在一些不同看法。一般来说，前期勘察阶段宜尽量进行全孔分段压水试验，以便为分析预测工程区岩体渗透性随深度变化的规律积累必要的基础资料。勘察工作达到一定深度后，压水试验可适当侧重于隧洞上下一定范围。

本条第 3 款 常规压水试验结果难以客观反映高水头压力下岩体的渗透特征，因此本款建议对深埋隧洞及高水头压力管道地段采用高压压水试验方法。目前国内对深埋隧洞的界定尚无明确、统一的标准，但多数意见倾向于埋深大于 300m 的隧洞即可视为深埋隧洞。

7.4 主要水文地质问题评价

7.4.1 本条规定了地下洞室涌水问题的评价原则与涌水量估算方法。

本条第 1 款提出了可能存在较严重涌水问题问题的 3 种情况。勘察中发现地下洞室区存在其中任何一种情况，即应对涌水问题予以特别注意。需要指出，岩溶地区地下洞室涌水往往具有以下显著特点：

(1) 涌水量大、水压高。当隧洞（特别是深埋隧洞）打穿高悬于洞顶之上的地下暗河向下连通的岩溶管道、溶蚀裂隙时，常发生大流量、高压力涌水。

(2) 季节性。隧洞位于地下水位以上时，枯水期洞内无涌水现象，但雨季尤其是暴雨期，地表水可沿洼地、落水洞直接灌入洞中；当隧洞底板以下发育的暗河补给条件好而在暴雨期排泄不畅时，亦可造成地下暗河水位涌高并导致隧洞短时间大流量、高压力涌水。

(3) 不均一性。涌水量与岩溶发育程度及其连通性密切相关。

(4) 突发性。隧洞打穿岩溶暗河及其它富水岩溶通道时，往往突发短时、大量涌水。

本条第 2 款提出了目前常用的几种估算隧洞涌水量的方法及其适用条件。关于隧洞涌水量估算方法的研究已经有半个多世纪的历史，20 世纪 80 年代以来，国内有关部门亦对隧洞涌水量预测问题进行了较为系统的研究，取得了较大进展。目前，我国水利水电、铁路、交通等部门在工程实践中常用的计算方法主要包括水均衡法、比拟法、径流模数法、同位素氡（T）法、评分法、地下水动力学法、数值模拟法等。这些方法各有特点，但估算结果与实际情况相比均可能存在一定甚至是较大的误差，选用时应充分考虑具体水文地质条件及计算方法的适用性，并尽量采取多种方法进行相互验证。

1) 大井法是将复杂的地下洞室系统换成一个假想的、与地下洞室系统面积相等的一个大井，大井涌水量可根据一般垂直井涌水量计算公式确定，此时垂直井的半径应采用大井的引用半径来代替。

2) 地下洞室所在区的含水性在各个方向上的透水性或补给条件有时差别很大时，工程区周围往往形成不规则形状的降落漏斗，表现为严重的不对称性。此种情况下，可将地下洞室区域分成若干扇形区域，然后，根据辐射流公式进行隧

洞涌水量估算。

4) 当新建隧洞与既有隧洞或矿坑坑道水文地质条件相似并具有可比性时,可采用水文地质比拟法概略预测新建隧洞的涌水量。所谓水文地质条件相似,主要指气候、降水量及降水入渗补给条件、地形地貌、地层岩性、地质构造、含水层渗透性、地下水补给、径流、排泄条件等基本相似。

5) 地下水径流模数法基于假设地下径流模数等于地表径流模数的相似原理,即根据大气降水入渗补给的下降泉流量或由地下水补给的河流流量,求出隧洞通过地段的地表径流模数,作为隧洞流域的地下径流模数,再根据隧洞集水面积,便可概略预测隧洞的正常涌水量。确定地下径流模数时,为排除降雨干扰因素,以采用枯水季节流量较为接近实际。

7.4.3 突泥是隧洞工程施工中可能遇到的重大工程水文地质问题,关系到隧洞施工的安全和工程处理措施,国内外众多的工程实例说明了突泥对工程的严重危害,故应引起足够重视。目前对于突泥问题的预测尚无成熟的理论和方法,本条仅规定了对隧洞突泥进行判断的一般原则。

8 渠道水文地质勘察

8.2 勘察内容

8.2.1~8.2.2 条所列内容，是查明渠道沿线水文地质条件所需要开展的基本工作。其中，岩土体的渗透性及渠道沿线地下水位分布情况对分析评价相关水文地质问题非常重要，应作为勘察工作的重点。

8.2.3 本条系针对傍山渠道水文地质勘察应注意的重点问题所提出的要求。

8.2.4 渠道渗漏、渗漏引起的浸没及盐渍、渠道开挖涌水均是渠道工程常见的水文地质问题，对工程设计与施工影响较大；渠道运行期间，其两侧水文地质条件常常发生变化并导致渠道附近区域环境水文地质条件的改变。鉴于此，本条规定应对上述问题进行分析评价或预测。

8.3 勘察方法

8.3.1 近年来，国内相继兴建了南水北调中线总干渠等工程。这些工程规模巨大，原有规程规范相关要求已显得难以满足其勘察要求。基于此，本条第1款规定渠道水文地质测绘范围为渠道两侧各 200~1500m，实际工作中可根据工程规模、水文地质条件复杂程度等影响因素合理确定测绘范围。

8.3.3 本条规定了渠道水文地质勘探工作布置的基本原则。一般情况下，渠道水文地质勘探应尽量结合工程地质勘探进行，充分利用工程地质勘探孔收集相关的水文地质资料。对水文地质问题比较突出的渠段，也可根据具体情况和工程需要布置专门的勘探工作。

8.3.4 渠坡或渠底分布有含水比较丰富的砂性土层、砾质土层时，渠道渗漏、开挖涌水等问题将比较突出。本条第3款要求尽可能对主要含（透）水层进行一定数量的现场抽水或注水、渗水试验，目的在于合理确定主要含（透）水层的渗透系数，为渗漏、涌水问题评价提供相对可靠的计算参数。

8.4 主要水文地质问题评价

8.4.1 渠道渗漏条件主要取决于渠道周围地下水位及渠基岩土渗透性。其中渠基岩土渗透性对渠道渗漏的影响因素相对复杂，《水工设计手册》（水利电力出版社）中列出了不同成因类型的渠基岩土对渠道渗漏影响的定性分析结果，见表

8.4.1。

表 8.4.1 渠道渗漏地质分析

地质区段		渠道渗漏地质分析
区	段	
松散堆积物地区	残积层地段	残积物呈土状、碎石状、碎石夹土状等，一般孔隙性较大，有一定的透水性。但也有的风化残积较为密实，透水性很小，例如湖南、湖北、四川、云南、贵州等地的红粘土即如此。
	坡积层及坡麓地段	坡上部堆积物颗粒较粗，坡脚处颗粒较细，而粗颗粒区可能形成渗漏带及渗流不稳定区。对于倒石堆尤应注意，它往往构成强烈渗漏带
	洪积层及洪积扇地段	洪积物各部位颗粒成分与结构复杂，应根据具体勘探资料进行渗漏分析。一般，洪积物外缘较中、后部颗粒细，透水性相对较弱，若不为溪沟割切，渠线经过外缘较为有利
	冲积层及冲积扇地段	冲积物的粒度、厚度变化，受所处部位、河流年龄（老年、壮年、青年、幼年）直接影响。例如：上游区粒粗，下游区粒细；厚度上游薄，下游厚。分选性也随水流变迁而变化。应视具体勘探资料进行渗漏评价。要注意对古河道的研究，它常是构成可能渗漏的通道
	冰碛及冰水堆积地段	底碛、终碛等冰碛物的含泥量一般较高，隔水性好；而冰水堆积物透水性较强，渠线应避免
基岩地区		岩浆岩透水性一般较弱，沉积岩与变质岩渗漏条件较复杂。渗漏可能性主要决定于岩性和地质构造。可能的渗漏通道有：（1）断层及断层破碎带；（2）节理及节理密集带；（3）风化裂隙及风化裂隙带；（4）透水的砂岩、砂砾岩层；（5）可溶蚀的岩溶层；（6）层理、不整合面、假整合面、劈理及其组合；（7）火山岩的原生节理、气孔状构造连通带等。依据地质结构特征及地下水动态具体判断其渗漏可能性

本条第 3 款提出了渠道渗漏计算的原则规定。渠道渗漏一般包括侧向渗漏及渠底渗漏两部分，并可分为非稳定自由渗漏阶段、稳定自由渗漏阶段和顶托渗漏阶段三个渗流阶段。非稳定自由渗漏阶段、顶托渗漏阶段渠道渗漏计算条件复杂，实际工作中主要对稳定自由渗漏阶段的渠道渗漏量进行计算。

近年来，随着对水资源及环境问题的日益重视，对存在渗漏问题渠道，一般均采用全断面衬砌等措施进行防渗处理。

8.4.3 渠道周围地下水位高于渠底板情况下，开挖时将会产生涌水现象。本条规定了进行渠道开挖涌水量估算的原则，工作中宜根据具体情况采用不同计算方法相互验证，以便为施工降、排水方案设计提供客观依据。

9 灌区水文地质勘察

9.1 勘察目的与任务

9.1 灌区水文地质勘察包括：灌区地下水资源勘察和灌区土壤改良水文地质勘察，根据任务需要可进行专项勘察亦可合并进行综合性勘察。灌区水文地质勘察深度对应于其他行业一般为：规划阶段、可行性研究阶段、初步设计阶段对应于普查阶段、详查阶段、勘探阶段。当灌区资料齐备，水文地质研究程度较高时，勘察阶段可合并进行。

9.2 勘察内容

9.2.1 气象包括：气温、多年降水量、水面蒸发量等。水文包括：区内主要河流、湖泊等水系形态，多年平均径流量等。农田水利及水资源利用状况包括：耕地面积、作物种类及产量、土壤特征，水利工程类型、规模、蓄水与排水能力、实际引水量；水井类型、数量、提水设备及采水量；灌溉面积、灌溉定额、灌溉能力等。

9.2.3 灌区地下水资源勘察侧重于主要含水层水文地质条件，土壤改良水文地质勘察侧重于包气带和潜水水文地质条件。

9.2.4 计算地下水的补给量，应以多年均衡的观点，从地下水系统或水资源系统出发，计算评价地下水的补给量。同时，还应考虑在未来开采和灌溉条件下所能获得的增补量。与地表水联系比较密切或井、渠相结合的灌溉地区，应在水资源统一评价的前提下，计算地下水的补给量，并注意扣除重复水量。

储存量起着提供取水条件、汇集补给水资源、实现以丰补欠、稳定开采量的作用。因此，必须计算评价主要含水层系统的容积储存量和弹性储存量，以及储存量的可调节量。

可开采量即允许开采量，是一个地区在经济上合理、技术上可行、环境条件允许的情况下，所能获得的最大补给资源量。对于环境条件，主要考虑以开采中不发生危害性环境地质问题为限制条件，一般以水位作为约束指标。

9.2.7 系统整理水盐动态的观测资料，编制地下水与土壤水盐的动态变化曲线和与气象、水文、灌溉等因素关系的综合图表及不同季节各动态要素（水位、水化学、土壤盐份等）的平面图与剖面图。分析水盐的动态规律，各动态要素之间

以及它们与自然和人为因素之间的关系，确定水盐动态要素的特征值，如多年和年的平均值，最大、最小值，年与多年的变化幅度，各特征出现的时间与持续时间。

9.2.8 盐渍化土壤改良水文地质评价，应在查明地下水水位埋藏深度、土体含盐量（特别是根系层）及地形—地貌条件的基础上，根据工作区所处的水文地质类型，对盐渍化土壤形成原因、地下水临界深度、地下排水模数、盐渍化土壤对作物的危害程度及其发展预测等用出综合评价。在包气带岩性变化较大的地区，应根据观测、试验或调查结果，提出地下水临界深度系列值和地下排水模数。（地下排水模数是单位面积上，单位时间内需要排走的地下水量，包括年平均值和月最大值，单位：立方/秒/平方公里。）

9.2.9 根据盐渍化土壤改良水文地质评价结果和相应勘察阶段要求，有针对性地分区或分地段提出改良对策与措施。改良的主要目标是，把地下水水位控制在临界深度以下，使土壤逐渐向脱盐方向发展。同时，应注意把盐渍化土壤改良与咸水利用改造结合起来。经过分析研究，应对可能形成新的土壤盐渍化的地区，提出预防措施。对于土壤盐渍化已经得到基本治理的地区，也须防止反复。

9.3 勘察方法

9.3.7 咸水利用改造试验在水资源紧缺而有大面积浅层咸水分布的地区，可开展咸水利用与改造的试验研究，提出可行的途径与方法。对矿化度大于 5g/L 的地区，应利用咸水直接对主要植物进行生长全过程与主要用水期的灌溉试验。应定期对试验地段的地下水水位与水质、土壤盐份与含水量，以及作物生长情况等进行监测。在以抽咸补淡为主要形式的咸水改造试验工作中，应根据水文地质条件和淡水水源条件，合理设计排咸补淡水利工程，做到“井、沟、渠”并用，“排、灌、蓄、滞”相结合。应按试验规程，对排咸补淡前后及其运行过程中的排水量、排咸量、补淡量进行定期监测。还应在试验地段设置一定数量的观测孔，对地下水水位、水质等进行监测。在咸水与深层淡水混合开采利用试验工作中，应在先完成室内多方案配比试验的基础上，进行野外的地面或地下混合开采利用试验。在地下混合开采时，应根据地层、含水量与水力特征，设计合理的水井结构，并且，应做到不使淡水含水层水质受到污染。咸水利用改造试验工作，一般应进行 3 年以上。

盐渍化土壤改良试验在盐渍化土壤大面积分布的平原地区,可根据其成因类型与水文地质类型,选择典型地段进行盐渍化土壤改良试验工作,以提供可行的改良措施。盐渍化土壤改良试验的技术要求:1、应详细查明试验地段的潜水水文地质条件、土壤与包气带土化学特征,以及地下水临界深度;2、根据地区条件,以调控地下水水位为中心,以使土壤加速脱盐为目标,选定合理的盐渍化土壤改良试验方案。一般,对于滨海型盐渍化土壤,宜采用冲洗盐份、水利工程与农业生物措施相结合的试验方案;对于内陆型盐渍化土壤,宜采用以水文地质与水利工程为主要措施的试验方案;对于内陆盐渍化土壤与浅层成水分布一致的地区,宜采用同咸水利用改造相结合的试验方案。在试验地段应布置土壤水份、盐份、养份、物理性质及地下水动态监测工作,并应对农作物生长情况与产量进行监测与记录。试验时间一般不少于3年。

9.3.9 根据新疆地区的有关经验,遥感水文地质解释效果较好时,可减少10%-20%水文地质观察点;试坑占水文地质点的35-55%;土样组数,为试坑数的1-2倍,每组土样个数根据土层情况而定;简易抽水为水文地质点的25-30%;长期观测点为水文地质点的10-20%;水质分析,简单区占水文地质点的30-40%,中等区占水文地质点的50-60%,复杂区占水文地质点的80-100%。专项分析占水质分析的5-10%,在地下水遭到污染的地区,应有10%的水样满足地下水环境质量评价要求;钻孔数量包括深孔和浅孔,地下水资源勘察,深孔可考虑占钻孔数的40-60%,土壤改良水文地质勘察,深孔可考虑占钻孔数的10%~20%;如果普查阶段采用1:20万比例尺,则勘察工作量按1:10万减少50%~55%。

9.4 地下水资源评价

9.4.3 应在查明或初步查明地下物理性质和化学成份的基础上,结合农作物类型、灌溉方式及土壤特征,按照地下水矿化度、盐害、及地下水污染指标等综合因素,进行水质评价。农业供水对水质要求具有多样性,它不但可以利用淡水,也可以利用微咸水、半咸水、肥水和热水。水质不能应用的地下水,可以不进行地下水开采资源和储存资源的计算与评价。在水资源紧缺的干旱—半干旱地区,一般,地下水矿化度2-3g/L的咸水,可用于全过程灌溉,3-5 g/L的咸水,可用于抗旱保种。

9.5 土壤盐渍化评价

9.5.2 土壤盐渍化程度划分其核心是土壤含盐多少对作物的危害程度，不同作物其耐盐量不同，同一作物在不同地区，不同土壤，其耐盐量也会有差别。所以，我们根据土壤含盐量、盐份性质及作物耐盐程度等综合因素，将土壤盐渍化程度按一般作物和耐盐性较强作物划分为两个标准，各地区在执行中还应结合本地区的经验和特点区别对待，当地有标准的可按当地标准执行。

10 堤防水文地质勘察

10.1 勘察目的与任务

10.1.1~10.1.2 堤防工程分为新建堤防和已建堤防加固两种类型。堤防水文地质勘察一般与堤防工程地质勘察合并进行,其主要目的是查明堤防工程区的水文地质条件,分析评价可能产生的渗漏、渗透变形、背河浸没等水文地质问题,为堤防设计提供水文地质资料及相应的工程处理建议。

10.2 勘察内容

10.2.1~10.2.5 堤防工程中的地质问题,基本都与水文地质情况有关,堤防水文地质勘察内容也与工程地质勘察内容相近。鉴于此,考虑到水文地质勘察特点,此5条强调了与水文地质密切相关的内容。近年来,环境水文地质问题日益引起人们的注意与重视,堤防工程中垂直截渗墙的设置,对堤内外地下水的渗流状态影响很大,可能引起一系列的环境水文地质问题,应进行必要的分析评价。

10.3 勘察方法

10.3.1 堤防工程水文地质测绘内容在《堤防工程地质勘察规程》(SL188-2005)中有相应的详细规定,本条未再列出。

10.3.2 物探是堤防水文地质勘察的一种重要手段,主要配合地质工作解决地下水位埋深、流速、流向;含水(富水、透水)介质特征、堤防隐患分布等问题。常规的物探方法已日趋成熟,并在堤防勘察中发挥了重要作用;随着高新技术的发展和应用,一些新的技术方法在不断出现并在地质勘察中得到应用。由于物探结果的解释具有多解性,并与实际工作经验有密切的关系,往往需要地质工作者结合其它勘测手段综合分析判定,因此,规定堤防水文地质物探,应根据具体工程地质、水文地质条件与探测目的,按附录F选择适当的探测方法。

此外,考虑到物探探测成果存在一定的精度误差,堤防水文地质物探宜在可行性研究阶段进行,与勘察阶段的精度要求相适应。

10.3.3 一般情况下,结合堤防工程地质勘探进行的水文地质勘探已可基本满足要求,故本条仅对水文地质勘探作了原则规定。对于水文地质条件复杂地区,工作中可根据实际情况对勘探点有针对性的加密。水文地质勘探的目的是查明工程

场区的水文地质条件，为工程设计提供水文地质参数，因此，水文地质勘探主要应保证各项水文地质测试和试验的要求。

10.3.4 堤防水文地质试验的主要目的是取得较为接近实际的岩土渗透系数等参数。各类原位试验方法的适应性都与工程场区的地质环境密切相关，例如：对堤防工程中地下水位埋藏较深、渗透系数较小的粘性土，一般采用注水（或渗水）试验；对地下水位埋藏较浅、渗透系数较大的砂性土或碎石土，一般采用抽水试验等。因此，本条第1款强调应根据具体情况合理选择适宜的试验方法。

本条第2款规定主要透水层室内有效试验组数不少于6组，与SL188-2005规程相一致；原位试验技术要求高、工序相对复杂，成本较大，难以大量进行，实际工作中可根据具体情况确定试验组数，但不宜少于3组。

11.边坡水文地质勘察

11.1 勘察目的与任务

11.1.1、11.1.2 边坡稳定问题是水利水电工程建设中最为常见的问题之一，而地下水和地表水的作用对边坡稳定性影响很大。统计结果表明，由于水的作用所引起的边坡变形破坏所占比例在 44.4~66.7%。因此，在查明边坡地段的水文地质条件的基础上分析评价地下水对边坡稳定性的影响，对边坡工程的设计与施工处理意义重大。

11.2 勘察内容：

11.2.1~11.2.3 3 条中所列内容，是查明边坡水文地质条件所需要开展的基本工作。其中，边坡岩土体渗透性及地下水位分布、变化情况应作为勘察工作的重点内容。

11.2.4 地下水对边坡的作用及影响主要表现在：(1) 潜蚀作用。渗流过程中滑带的水力坡降超出临界坡降时，可产生潜蚀现象，导致滑带性状的进一步恶化；(2) 饱水作用。地表水渗入岩体，地下水位升高，使边坡岩土体饱水后重量增加，增大了下滑力，导致边坡失稳；(3) 软化作用。富含亲水性、膨胀性、崩解性矿物的软弱岩层，在地下水作用下容易软化、泥化，使滑动面抗剪强度明显降低，导致边坡失稳；(4) 水压力作用。地下水位升高，增大边坡岩土体静水压力；地下水的渗透流动，将对坡体产生动水压力；滑带饱水后，沿滑移面产生孔隙水压力。上述水压力作用均会对边坡稳定产生不利影响。

11.2.5 降水入渗和泄水雨雾可在短时间内引起边坡体骤然饱和，造成边坡体内孔隙压力升高和材料抗剪强度的降低，从而导致边坡整体失稳。因此，勘察工作中需对其予以应有的重视。对于边坡受降水入渗和泄水雨雾引起边坡体饱和所产生的孔隙水压力，美国一些工程采用水面达地表的静水压力分布，我国一些边坡工程则常将静水压力乘以一定的折减系数后用于边坡设计，如漫湾水电站选用折减系数 **0.4**，三峡工程曾采用折减系数 **0.3**。需要注意的是，除降雨和泄水雨雾外，还可能发生其他情况造成边坡体的骤然饱和。例如，在边坡体上或其附近钻探时，钻探用水和压水试验等也会引起边坡地下水位的升高。我国某大型工程泄水建筑

物进口高边坡埋设安全检测仪器钻孔时，曾发现由于钻孔水压力引起边坡不正常变形。由于发现及时，调整了钻孔工艺才避免出现事故。

11.3 勘察方法

11.3.1 边坡水文地质勘察一般与工程地质勘察一并进行，绝大多数情况下，测绘精度与工程地质勘察精度一致已能满足要求。

11.3.3 边坡水文地质勘探的目的是查明边坡地段的水文地质结构，满足必要的水文地质测试、试验及监测的要求。勘探手段的选择往往与工程地质勘探结合进行，勘探点应仔细设计，并尽量遵循一点多用的原则。

11.3.4 不同类型的边坡，其岩土体完整程度及渗透性变化较大，故本条第 1 款强调应视边坡具体情况采用相应适宜的水力试验方法测定边坡岩土体的渗透性。

边坡工程场区的水质一般对边坡稳定性影响很小。若需要评价水质对边坡混凝土工程的腐蚀性时，可取样进行水化学分析。

11.3.5 进行边坡水文地质观测的目的在于掌握边坡体中地下水的实时动态，分析预测其对边坡稳定性的影响变化情况，确保边坡安全。实际工作中，前期勘察阶段一般只针对有变形迹象的大型水库滑坡体以及特别重要的工程边坡开展必要的水文地质观测工作，施工、运行期间则多结合边坡原位监测系统的布设进行系统的水文地质观测。水文地质观测的内容主要包括地下水位、孔隙水压力、渗透压力等，其中水位观测是用于了解边坡体中地下水变化，孔隙水压力观测用于了解滑移面附近及土质边坡体中孔隙水压力消长情况，特别是暴雨、库水骤降时的孔隙水压力状态，渗透压力观测则主要用于边坡加固处理部位的水压力监测，了解边坡挡土墙等支挡结构处水压力的变化。

12 岩溶区水文地质勘察

12.1 勘察目的与任务

12.1.1~12.1.2 岩溶区水文地质勘察目的与任务虽然与非岩溶区是一致的,但由于岩溶区存在和发育各种岩溶现象,其水文地质条件常常十分复杂。对水利水电工程而言,岩溶水文地质问题往往成为影响工程设计和建设的关键问题,岩溶区水文地质勘察工作范围及工作量也往往要远大于非岩溶区。

12.2 勘察内容

12.2.1 进行岩溶区地形地貌调查研究的目的在于判断是否存在岩溶渗漏的条件和研究可溶岩岩体中不同高程岩溶发育状况。

12.2.2 新构造运动是控制岩溶发育的重要因素之一。第四纪以来,地壳上升幅度小、速度慢的岩溶区的桂中、桂东北准平原区(中国岩溶最发育的地区),河流切割浅,河谷宽平,阶地发育,岸坡多岩溶泉出露,暗河成网,埋藏浅,坡降缓,建库往往存在比较突出的岩溶渗漏问题,工作中应予以重视。同样,断裂与褶皱的性质及空间展布情况亦与岩溶发育密切相关。工作中,对断裂的勘察工作应侧重于其对渗漏的影响方面,如可溶岩与隔水层是否被其错断,特别应注意有无构造切口存在。

12.2.3 查明岩溶发育规律及岩溶化程度,主要目的有两个,一是分析岩溶渗漏条件,二是判断厚度较大的碳酸盐岩中是否存在可溶性较低、岩溶化程度差、可作为防渗依托的层位。岩溶化程度调查的重点,是查明工程区内是否存在贯穿性和规模较大的洞穴和管道。岩溶化岩组类型划分则旨在对不同岩层单元作出岩溶发育情况评价。

12.2.4 本条中相对隔水层的可靠性及封闭条件判定原则为:

(1) 相对隔水层应具备弱—微透水性;

(2) 相对隔水层分布应连续,不因断层错动或岩相变化(相变为强透水的岩溶层组)形成渗漏缺口;

(3) 具有足够的抵抗渗透变形能力。

12.2.6 岩溶水补给源主要有两种:一是大气降水入渗补给,即降水通过溶隙、落水洞、漏斗等补给岩溶地下水。岩溶区降水入渗系数(α),一般在0.1~0.35

之间；岩溶化程度较高者可达 0.5~0.6，局部岩溶化强烈发育地段可达 0.78~0.8；二是地表河流补给，即在补排型和排泄型河谷中，地表水直接通过岩溶系统补给地下水。岩溶水补给方式也主要有两种：一是集中补给，即地表水通过消水洞或较大溶隙直接补给地下水；二是分散补给，即大气降水或地表水通过溶隙、溶孔等分散补给地下水。

11.2.7 河谷岩溶水文地质结构系指可溶岩、非可溶岩（隔水层或隔水层）的空间分布及其与河流的组合关系。划分河谷岩溶水文地质结构对判断坝址和库首地段岩溶渗漏问题及其防渗处理条件意义重大。工程实践经验表明，坝址布置在岩溶区有隔水层的横向河谷段或较为适宜的斜向谷段，才可能从地质结构上保证不出现复杂的岩溶渗漏问题，坝址也具有防渗处理的依托。

11.2.8 岩溶地下水位的动态变化的影响要素为大气降水、地表水系及地下水的补给、径流、排泄条件以及岩溶发育强度对透水性的控制等。通过对岩溶地下水位动态要素的分析，可以反演岩溶的发育强度及透水介质特性。这是岩溶区水文地质勘察一项常用且非常重要的内容。

12.3 勘察方法

12.3.2 本条对物探方法在岩溶区的应用提出了原则规定。

根据经验，库区大面积使用物探方法进行水文地质调查时，宜首先使用可控音频大地电磁测深法（CSAMT）、天然源大地电磁法（MT）、天然源声频大地电磁法（AMT）为主的地面大地电磁法及电阻率法了解岩溶分布，对其剖面上的异常点再使用激发极化法进行岩溶充填性质判别。坝区地形条件较好（平缓、开阔）时，可选择高密度电法、瞬变电磁法、地震、地质雷达，一般情况下可借助勘探孔（硐）进行层析成像法、孔中雷达及综合测井工作。

测线布置应垂直岩溶走向，并尽量与勘探线或有已知资料的地段重合，以利于综合分析解释推断。测网密度主要是根据任务要求和洞穴大小、埋深等因素综合研究决定。层析成像法钻孔间距不宜大于 50m，不应大于 80m。

覆盖层较薄及地形平缓地带，使用地面方法探测岩溶顶板埋深的精度，应不低于 80%，且对底板深度及形态基本无反应。应用 CT 法探测孔（硐）间岩溶洞穴时，对其空间位置应进行定量解释，但对其空间形态，可定性解释。当钻孔间

距小于 80m 时，确定直径 2m 以上的岩溶洞穴的有效率应不低于 80%。

12.3.3 本条规定了岩溶区水文地质勘探剖面线和勘探点布置的基本原则。河间地块、河弯地带勘探剖面上钻孔间距 50~200m 主要是据贵州等地的经验提出的，工作中可根据具体情况予以适当调整。

采用平硐开挖揭露和追索岩溶洞穴是一种岩溶区特用的勘探方法，且经多年工程实践证明确实行之有效。如清江隔河岩电站坝址、东风水库右岸 K18 溶洞、贵州木浪河水库右岸帷幕等，均通过此法取得了比较理想的勘探效果。

12.3.4 本条列出了常用的五种水文地质试验方法。其中压（注）水试验最为常用，同时对岩溶段投放示踪剂后进行压水或注水，对于判断岩溶管道的发育方向及实际流速是很简单实用的。

抽水试验设备复杂、费用也高，因此只布置在代表性地段，可充分利用天然岩溶水点作为观测点。根据抽水试验结果绘制试验区降深等水位线图对于分析判断地下水分布形状、流向、地下水洼槽部位、岩溶发育的差异性很有意义。

示踪试验，是岩溶区水文地质试验必不可缺少的，它具有试验条件简单、易于操作、效果较好和实用性强的特点，对于判定岩溶管道发育方向，管道水实际流速、岩溶洞穴规模及形态，确定地下分水岭等效果较好。

堵洞抬水试验系采用“以水找洞”的原理，对在岩溶管道（洞穴）发育的坝址河段判断并查明岩溶管道的发育主方向、位置及其与支管道水力联系等效果较好。如乌江彭水坝址左岸对野猫洞进行封堵，利用汛期来水，使洞内水位比原来抬高了 38.2m，比枯水季河水位高 54m，经观测壅高后的地下水经 D9 孔向下游 W2 岩溶系统渗漏，从而查明了 D9~W2 岩溶系统与野猫洞主管道的关系。贵州东风水电站坝址为查明鱼洞管道系统与凉风洞地下河之间关系，对鱼洞进行封堵后，发现其上层虾洞岩溶管道出水，同时在堵体下游冲出 3 个漏水口，进而发现其中 3 号漏水通道内出现一个消水洞。而原关心的下游凉风洞地下河流量并无变化，从而判明两暗河存在分水岭且 888.58m 高程以下无岩溶管道发育，为防渗线路选择提供了有力的论据。

破坏性压水试验可用于确定坝基以下隐伏型充填岩溶洞穴、宽缝等。如湖南三江口水库在这方面取得了良好效果。其 P~Q 曲线见下图：

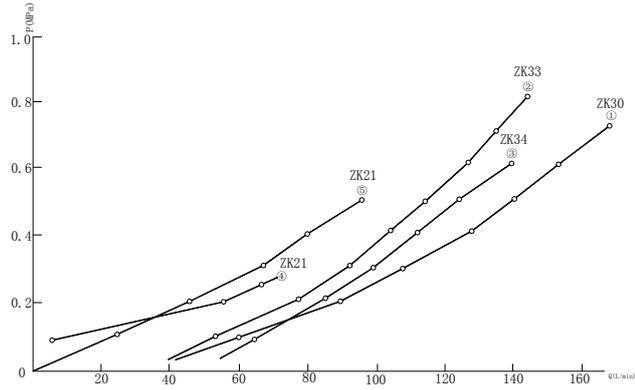
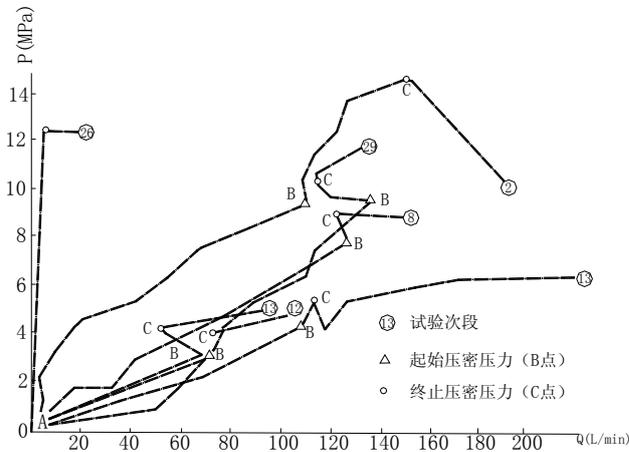


图4.2.3 三江口坝基浅部溶洞段P—Q关系曲线



三江口坝基部分溶洞破坏性压水试验P—Q关系曲线

12.3.5 岩溶地下水动态观测是勘察工作中的一项重要内容,对于分析判断岩溶水文地质条件、岩溶发育强度及相对隔水层的可靠性、渗漏带位置、范围、类型均具有重要的意义。目前广泛使用的岩溶水文地质分析方法,如地下水位动态分析法、渗流场、化学场、地温场研究等都是以前岩溶地下水动态观测成果为主要基础的。SL245-1999 规程对地下水观测部份作了较详细的规定,基本上符合岩溶区的要求,可按其规定执行。

12.4 岩溶渗漏问题评价

12.4.1 本条规定了进行岩溶区渗漏问题评价应遵循的一般工作原则。

12.4.3~12.4.4 分别提出了岩溶区水库及坝址存在渗漏问题的判定原则。工作中发现库区或坝址区存在条文中列出的任何一种情况,即应对岩溶渗漏问题予以特别注意。

岩溶渗漏问题影响因素众多，渗漏条件十分复杂，分析评价亦较困难。但总体上看，岩溶渗漏条件主要受地形地貌条件、地质构造条件、岩溶水力条件及岩溶化程度条件控制。岩溶洞穴的有无、岩溶的发育规律和贯通性

实际工作中，应首先从地形地貌上分析有无低于库水位的邻谷或河湾，如有则可能出现渗漏，若邻谷河水位（非悬托河）高于库水位，则不存在水库渗漏。对坝址而言，坝址位于峰林山原或丘峰平原浅切河谷中，易发生绕坝渗漏，随蓄水位的抬升，渗漏范围迅速扩大，而坝基渗漏深度一般较浅；峰丛山地深切峡谷建坝，一般绕坝渗漏范围小，坝基渗漏较深；峰林山原向峰丛峡谷过渡的河段，特别是在河流裂点上、暗河或伏流段建坝，易出现复杂的岩溶渗漏。

其次是分析有无可靠的隔水层或相对隔水层形成连续的封闭阻隔。如果不存在连续分布且封闭条件良好的隔水层或相对隔水层（可溶岩直接沟通库内外，或构造切割使库内外可溶岩组成有水力联系的统一岩溶含水系统），则可能出现渗漏。此种情况下，需进一步结合岩溶水力条件、分水岭地下水位高低进行判断。

对水库而言，河间或河湾地块为一个岩溶含水系统时，若河间地块两侧或河湾地块上、下游存在可靠的岩溶泉，表明地块存在地下分水岭；如地下分水岭高于库水位，则不会发生渗漏；若地下水低于库水位，渗漏情况将取决于岩溶化程度。另一方面，若库内不存在可靠的岩溶泉，而受下游或远方排泄基准面控制仅在库外出现岩溶泉，则表明河谷水动力类型为河水补给地下水，将发生水库渗漏，且多为严重渗漏。对坝址而言，坝基位于一个岩溶含水系统上时，若两岸存在可靠的岩溶泉，表明河谷水动力类型为补给型，不会出现比较严重的渗漏问题；反之，若两岸或一岸不存在可靠的岩溶泉，表明河谷水动力类型可能为排泄型或悬托型，在其上建坝将发生渗漏，且渗漏可能严重、复杂。

岩溶化程度（岩溶洞穴的有无、岩溶的发育规律和贯通性）是控制岩溶渗漏的关键条件。即使存在低于库水位的地下水分水岭或地下水洼槽，如果没有贯通库内外或坝上下游的岩溶管道存在，也不会产生严重渗漏，甚至不会发生渗漏，猫跳河六级水电站、普定水电站等工程的实践均证明了这一点。究其原因，或是岩溶不发育，或是虽存在岩溶管道但尚未沟通库内外。可见，地下水位低或地下水洼槽的存在并非发生岩溶渗漏的充分条件，岩溶化程度及其连通条件才是决定渗漏状况的关键因素。

12.4.5 本条对岩溶渗漏计算提出了原则要求。由于岩溶渗漏问题非常复杂，渗

漏量计算影响因素众多，渗透系数及渗漏量计算理论与方法均不成熟，目前仍只能根据具体情况进行粗略估算，有时可能产生相当大的误差。因此，尚需结合宏观分析（特别是对是否存在管道式集中渗漏的分析）判断渗漏计算的可靠性。

在水利水电工程岩溶水文地质勘察和渗漏评价工作实践中，先后出现了许多理论分析和渗漏计算方法。各种理论和计算方法均有着各自的适用条件和特点，工作中一般应采用不同方法进行相互验证。

对于溶隙型渗漏，多按层流考虑，渗漏量计算公式可按本规范附录 C 有关规定选取。

对于岩溶管道渗水量的计算，谢树庸等曾结合工程实例作了有益的探讨，提出可按水力学中的管道流公式进行计算：

$$Q=AV$$

$$V=HU_i$$

$$U_i=L/t\Delta H$$

式中 A —管道断面 (m^2)，可利用溶洞详测资料、钻孔资料等确定；

V —实际流速 m/s ；

H —蓄水水头 m ；

U_i —由连通（示踪）试验获得的比流速；

L —连通试验投放点与连通点的间距 (m)；

t —连通时间 (s)；

ΔH —投放点与连通点之间的水头差 (m)。

13 水文地质勘察资料整理

13.1 目的与任务

13.1.1 本条说明了水文地质勘察资料整理的目的与任务。

13.1.2 一般情况下,水文地质勘察成果可作为工程地质勘察成果的一部分内容纳入工程地质勘察报告。但针对水文地质条件复杂地区或专门性水文地质问题而进行的水文地质勘察,也可以单独编写专题勘察报告。如水库浸没问题专题勘察报告、灌区水文地质勘察报告、库区(坝址区)岩溶水文地质专题勘察报告、隧洞严重涌水地段水文地质专题勘察报告等。

13.2 水文地质图件

13.2.1 表 13.2.1 列出了几种常用的主要水文地质图件,其中专门性水文地质图主要用于反映各类专门性的或特殊的水文地质现象及其影响因素,灌区地下水开采分区图及灌区土壤盐渍化程度分布图则为灌区专门性水文地质图件。实际工作中,也可根据需要单独编制其它一些水文地质图件,如水文地质分区图、地下水位等值线图、地下水矿化度等值线图等,或将有关内容反映在综合水文地质图中。

13.2.2 综合水文地质图是采用不同的花纹、线条、符号及颜色反映若干重要水文地质要素以及影响这些水文地质要素的其它因素(如水文、地形、地层、构造等)的图件。可用它来综合分析各水文地质要素之间的内在联系,以及其他因素对水文地质条件的影响程度。编制此图时,应遵守以下原则:

(1) 综合水文地质图一般应在具有相同比例尺地质图的基础上编制,这是因为水文地质条件与其基本地质条件是相互依存的,一个地区地下水的形成与循环条件与该区的地质结构密切相关。因此水文地质编图应在地质图的基础上进行,如无上述图件则应先行地质测绘编制地质图,或同时进行地质-水文地质测绘;

(2) 为了不致使图面层次太多,避免过多的线条或符号,并为便于分析水文地质条件与其它地质因素的内在联系,可在对地质图概化的基础上编制综合水文地质图,以便突出反映某些水文地质要素。如地层系统可适当简化;地质构

造在断裂较多的地区应合理选择，区别充水与不充水的断裂等。

本条第 10 款强调了岩溶地区综合水文地质图应重点反映的内容，以便于分析岩溶的发育范围和延伸方向，了解岩溶的发育规律。

13.2.3 渗透剖面图是反映建筑物地基岩土渗透性能及相对隔水层埋藏深度等水文地质要素的图件。它是研究建筑物地基水文地质条件、计算坝基及绕坝渗漏量、评价地基渗透稳定性、设计防渗排水减压等地基处理方案所必需的一项重要图件。渗透剖面图实际上主要反映两方面的内容，一是渗透边界，二是计算参数，为使其计算评价成果尽量接近实际，关键问题是渗透边界和计算参数的正确认定。只有明确边界条件，才能选出适宜的计算公式或试验研究方法。只有根据正确的参数，才能获得较确切的计算结果。

本条第 5 款要求在渗透剖面图中反映岩土渗透性分级界线，其目的是为防渗帷幕设计提供依据。

本条第 8 款中规定对软弱夹层应扩大比例尺标出，主要原因是：软弱层带有时虽透水性微弱，但在长期高压渗透水流的作用下可能促使其恶化，从而形成潜蚀、溶蚀、软化等，因此为研究、评价其可能发展趋势，图中宜用醒目扩大标示以便与同级渗透带区分开来。

本条第 9 款中对实测与推测的分带界线要求严格地加以区分，这是反映一个地区勘察工作精度的需要，岩土透水性的类比与推测应慎重，只有在比较均质和各向近似同性的地层中推测才具有较高的可信度。

13.2.4 原则上，水文地质剖面图的水平比例尺宜与图面相同，垂直比例尺可适当放大，但应尽可能避免造成地形或岩层的显著变形。

本条第 1 款规定了水文地质剖面的布置原则，其目的在于使水文地质剖面图能够充分反映工作区水文地质特征。剖面应尽量贯穿工作区，必要时也可布置具有典型意义的局部剖面。

本条第 2 款规定了水文地质剖面图所应反映的内容。

13.3 水质分析资料

13.3.1 本条阐明了水质分析资料整理的主要工作内容，明确了进行水质分析资料整理及水质评价的原则。

13.3.2 本条规定了水质评价指标的取值原则。当含水层地下水的水化学类型变化大时，简单的取平均值可能导致评价结果出现偏差。

13.4 水文地质勘察报告

13.4.1 一般情况下，对库区、坝（闸）址区、地下洞室区、渠道、堤防、边坡等对象进行的水文地质勘察不需要提供单独的勘察报告，而是将相应内容纳入工程地质勘察报告中。此类情况下，水文地质勘察报告内容不要求面面俱到，而主要应针对不同勘察对象，阐明其水文地质条件，分析评价其存在的主要水文地质问题。实际工作中，可在本条有关规定的基础上，根据工程具体情况对相应报告内容作适当调整。

13.4.2 本条对灌区水文地质勘察报告的内容作了一般性规定，实际工作中，亦可根据具体情况对报告内容作相应的增加或简化。

13.4.3 专门性水文地质问题类型多样，且工程型式、规模亦会有很大差异，很难对专门性水文地质问题勘察报告的格式、内容作出统一规定。鉴于此，本条仅对专门性水文地质问题勘察报告应包括的主要内容作了一般性规定。

标准用词说明

执行本标准时，标准用词应遵守下表规定。

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

附录 A 水文地质分析中渗透系数取值原则

A. 0.1 渗透性是岩(土)的一种主要的水力性质,其大小常用渗透系数值定量表示。岩(土)的渗透系数可通过室内试验和现场试验测定,它具有速度单位,常用米/日(m/d)或厘米/秒(cm/s)表示。

在水利水电工程设计过程中,渗透系数是评价水库(渠道)渗漏、库(坝)区浸没、地下洞室涌水、水工建筑物及其地基渗透稳定,以及进行基坑施工降排水设计,评价地下水对边坡稳定性影响的主要水文地质参数之一。

本条中岩(土)的空间分布特征主要指组成物质在水平方向和垂直方向上的均一性,即指均质的还是非均质的;渗透方向性是指岩(土)的渗透性和水流方向的关系,可分为各向同性和各向异性两种类型。

A. 0.2 受多方面因素的综合影响,往往由于采取的试样不能完全代表取样地点的实际地质条件而使室内试验结果和现场试验结果存在差异,有时差异性还较大,相比而言现场试验成果则较好地反映了试验地点的地质背景,故规定“渗透系数取值宜采用现场试验成果值”。

利用压水试验资料计算渗透系数的公式都是在均质各向同性的松散介质条件下推导出来的,用于裂隙岩体只能是近似的,而且当试段透水率较大时,因未计入进口压力损失,用公式计算渗透系数误差较大,不宜采用。一般认为由压水试验求得的渗透系数值是粗略的只能供参考。与之相比,对岩性变化大的松散含水层和构造发育的基岩裂隙含水岩体而进行的多孔抽水试验成果则能比较好地反映试验地段的渗透性和各向异性特征,故应“优先采用现场抽水试验成果值”。

实践证明,在某些工程的基坑开挖过程中,根据实测的最大排水量反求的渗透系数,与通过多孔抽水试验所确定的渗透系数相比其相对误差大多数为5%—10%左右。

A. 0.3 自然界中地下水在非均质岩(土)层中的运动是很普遍的现象,当地下水流向与层状岩(土)层的层面平行时,整个层状岩(土)层的平均渗透系数为

$$k_m = \frac{\sum_{i=1}^n k_i m_i}{m} \quad (1)$$

式中 k_m —岩(土)层的平均渗透系数(m/d);

k_i —第 i 层的渗透系数 (m/d);

m_i —第 i 层层厚 (m);

m —岩 (土) 层总厚 (m);

n —岩 (土) 层层数。

当地下水流向与层状岩(土)层的层面相垂直时, 整个层状岩(土)层的平均渗透系数为

$$k'_m = \frac{m}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{k_i}} \quad (2)$$

式中 符号含意同公式 (1)

本条一是与《水利水电工程钻孔压水试验规程》(SL25-92)附录 C 的规定相一致, 二是考虑到坝(闸)基中地下水的渗流多数情况下沿风化带或地层岩性在垂直方向上表现出较大的差异性, 类似地下水在水平层状岩(土)层中的运动, 故对同一层(带)的等效平均渗透系数取其加权平均值。

A. 0. 5 在均质各向异性含水层中, 含水层的渗透性能随方向而改变。一些野外的实际资料表明, 不同方向上的渗透系数可相差几倍甚至几十倍。以平面二维流为例, 方向渗透系数 K 。满足关系式:

$$k_\theta = \frac{k_{xx}k_{yy}}{k_{xx} \sin^2 \theta + k_{yy} \cos^2 \theta} \quad (3) \text{ 式中}$$

θ —为渗透方向与渗透的主方向 Ox 的交角 ($^\circ$);

k_θ —为 θ 方向的渗透系数 (m/d);

k_{xx} 与 k_{yy} 为主渗透系数 (m/d)。

在均质各向同性介质中流线与最大水力梯度方向(等水头线的法向)是重合一致的, 即流线与等水头线正交的。而在均质各向异性介质中任一点的流线相对于等水头线的法向要产生偏转, 流线与等水头线并不正交, 且偏向主渗透系数大的主方向。偏转角 α 满足关系式

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{k_{xx} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^2 + k_{yy} \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right)^2}{\sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right)^2} \sqrt{k_{xx}^2 \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^2 + k_{yy}^2 \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right)^2}} \quad (4)$$

由上，因此本条规定“对于各向异性的岩(土)体，渗透系数的取值宜考虑水利水电工程运行后岩(土)体中地下水的渗流方向”。

A. 0. 6 有时在规划、项目建议书等阶段关于渗透系数的资料较少，即使有一些也缺乏代表性，因此原则上可根据经验值取值。表 A. 0. 6 是在收集了供水水文地质手册，工程地质手册，水利水电工程地质勘察规范(GB50287-99)、土工原理与计算，渗流数值计算与程序应用，水利水电工程地质手册。世行节水灌溉项目专题研究报告 10 余份资料的基础上，结合一些勘察报告而制定的。

按照现行的 GB3145-90《土的分类标准》的规定，砾类土、砂类土和细粒土应分别按砾粒组。粗粒组和细粒组的含量分类，而细粒土还应根据塑性图分类。但自原水利电力部于 1962 年颁发《土工试验操作规程》以来，在水利系统对上述三类土一直采用三角坐标图分类(即按粒组含量的分类方法)。在确定表 A. 0. 6 中的土类名称时，一方面考虑塑性图分类法不能完全取代三角坐标图分类，特别是塑性指数小于 7 的砂性土，是一种较易振动液化和渗流失稳的“危险性土”，其粘粒含量稍有变化，对其抗振动液化和渗透稳定性都会产生不同的影响，这在塑性图上是反映不出来的；另一方面三角坐标图分类法早已广泛用于水利工程界，而塑性图分类法尚未得到广泛应用。因此决定本条细粒土的定名仍采用按粘粒含量的分类方法，利用塑性图分类法确定的粘性土的渗透系数可参照表 1 对照使用。

表 1 细粒土分类名称对照

《土工试验操作规程》 (1962)三角坐标图分类	SD128-84《土工试验规程》 塑性土分类	6BJ145-90《土的分类标准》塑性 土分类
砂壤土，粉质砂壤土，轻、中壤土	低液限粘质土	CL-低液限粘土
粉质壤土，重壤土	中液限粘质土	
粘土，重粘土	高液限粘质土	CH-高液限粘土
	低液限粉质土	ML-低液限粉土
砂质粘土，粉质粘土	中液限粉质土	
粉质粘土，砂质粘土	高液限粉质土	MH-高液限粉土
有机质土	低。中塑性粉质土	CLO-低液限有机质粘土
		MLO-低液限有机质粉土
	中，高塑性粉质土	CHO-高液限有机质粘土
		MHO-高液限有机质粉土

附录 D 岩体定向压水试验

D.0.1 在工程实践中，人们多把裂隙岩体视为各向同性多孔介质来处理，并多采用常规单孔压水试验测定岩体的透水性。实际上，岩体内常发育有各种成因类型及产状不同的裂隙，由于岩块本身的渗透性一般很小，裂隙岩体的透水性大小及渗透特征主要取决于裂隙的发育情况。相应的，压水试验结果也往往随钻孔方向的不同而不同。所以，当需要测定岩体的定向透水性时，进行定向压水试验可以得到较为真实、可靠的结果。

D.0.2 本条规定了岩体定向压水试验的类型及其适用条件。常规定向压水试验可视为钻孔方向特定的常规单孔压水试验，可按《水利水电工程钻孔压水试验规程》(SL 31-2003)的规定实施。由于常规单栓塞压水试验难以保证试验段水流处于层流状态，故仅适用于一般性了解岩体的定向透水性，但因其简便、成熟，所以在国内水电工程勘察实践中应用相对较多；三段定向压水试验法由 Louis 于 1972 年首先提出，其基本思想是用三段压水试验器（由三个压水段组成，中间为主压水段，亦即试验段，其两端各有一个压水段。试验时保持三个压水段压力相同，使试验段周围形成一个呈径向流的流场，流线平行于所研究的裂隙面流动）沿特定方向进行压水，分别确定单组裂隙的渗透系数，然后根据每组裂隙的产状把渗透系数叠加得到岩体的总渗透张量，从而确定岩体的各向异性渗透参数。三段定向压水试验原理明确，试验结果比较准确，但设备及试验方法相对复杂，故仅适于针对特定需求进行。20 世纪 80 年代以来，三段定向压水试验先后在国内小浪底、三峡、拉西瓦等水利水电工程中得到过应用。

D.0.4 本条第 1 款进一步规定了三段定向压水试验的适用条件。岩体中通常存在多组裂隙。为准确测定某一组裂隙的渗透性，三段定向压水试验要求压水孔仅与所研究的裂隙组相交，而与其它裂隙组平行。当岩体中裂隙组数超过三组时，试验条件就难以满足了。此外，试验点附近地层岩性变化大也会对结果造成较大影响。所以，三段定向压水试验一般适用于发育有三组正交或近于正交裂隙的、岩性均一的岩体中。

本条第 2 款规定了试验钻孔的布置与钻探要求。由于三段定向压水试验设备比较复杂，且通常在平硐中进行，操作不便，故孔深不宜过大。同时由于裂隙渗透性通

常较小，观测段又应位于试验段周围的径向流场中，故观测孔与主压水段的距离也不能太远。

本条第 3 款规定了试验钻孔的方向确定原则。

本条第 4 款规定三段定向压水试验的压力阶段与压力值应符合 SL31-2003 的有关规定，是为了与现行的常规单孔压水试验有关内容相协调。三段压水试验器管路压力损失尚无比较成熟的计算办法，只能根据实测资料确定。

本条第 5 款内容是以在小浪底工程中采用的三段压水试验设备为基础提出的。压水试验器由内管、中管、外管三套管子组成。主压水段的水由内管供给，为了与上、下段的水流分开，在中管的主压水段上端设置了一个孔眼，内管在此弯转，管口与孔眼重合，从而可使水流沿内管进入主压水段，并与中管内的水流完全隔开。上、下压水段通过中管互相连通，因而可在试验中保持水头一致。3 组栓塞均套在中管上，它们之间由外管分隔和支撑，在上压水段和主压水段的外管上均有花眼，以使水流进入压水段岩体中。为分别观测主压水段和上、下压水段的水压及流量，在试验器的内管、中管进水口分别安装压力表和流量表。实际工作中，可根据试验器基本原理和具体情况适当变通。事实上，Louis 于 1972 年发明并取得法国专利的三段压水试验器即采用了压力和流量传感器，观测孔中亦采用了点测压仪测压。

本条第 7 款提出了三段定向压水试验的资料整理方法，其原则及主压水段透水率的计算方法实际上与 SL 31-2003 的有关规定是一致的。本款还给出了裂隙组渗透系数及岩体总体渗透系数张量的计算公式。岩体总体渗透系数张量与所取坐标系有关，在实际岩体渗流问题求解中，可根据其总体渗透系数张量确定出渗透系数张量的主轴及主渗透系数，以更直观地表征岩体的各向异性渗透特征。

附录 E 钻孔岩体高压渗透试验

钻孔岩体高压渗透试验是从 90 年代起逐步发展起来的一项新技术。本附录是在总结浙江天荒坪,北京板桥峪、广蓄二期等抽水蓄能电站以及锦屏二级,黄河古贤等高坝坝基高压压水试验的基础上制定的。

E. 0.1 钻孔高压压水试验是一种在钻孔中进行的岩体原位试验,其目的是测定岩体和裂隙在高内水压力作用下的渗透性和稳定性,为设计防渗措施提供基本依据。目前我国水利水电工程的水文地质勘察中,普遍采用三级压力、五个压力阶段的旨在测定岩体透水率的压水试验方法,三级压力中最大压力为 1.0Mpa,试验结果往往只能反映岩体在较低压力下的透水性,而难以反映岩体在高压状态下的渗透特性。随着引水式高水头电站,抽水蓄能电站以及高坝等的建设和发展,工程设计迫切需要在勘察阶段提供在工程实际水头压力作用下,工程利用部位岩体的渗透特性资料。这主要是由于高压输水隧洞的围岩或高坝的坝基岩体,总是处在数百米,甚至上千米水头的高压下,岩体中的微裂隙或节理等软弱结构面,在高水压作用下有可能张开或扩展,从而改变了岩体原始状态的渗透特性。低水压下不透水的岩层,在高压下往往是透水的或透水量增大,为了探讨在高压渗透状态下岩体的稳定性、岩体的变形方式、岩体裂隙对高压冲蚀作用的抗御能力以及取得岩体透水性的实际资料,在钻孔预定的深度上,进行高压压水试验具有十分重要的意义。

高压渗透试验无论是从施加压力的大小,每级压力维持时间,还是试验方法、目的和要求都有别于常规的压水试验。

E. 0.2 从工程实践和试验研究两方面的大量事实都已证明,坝基基岩和地下隧洞围岩在高压水的作用下,渗透特性与低压力条件渗透有明显不同,一般存在一个使岩体和围岩产生大量漏水或渗透破坏的压力值,为此测定此值非常必要。

从岩体力学角度分析,隧洞围岩在内水压力作用下,在隧洞周边产生环向拉应力,当环向拉应力大于岩石抗拉强度与初始地应力值之和时,洞壁周边岩石将产生水力劈裂。而对于裂隙岩体,高压水直接进入裂隙中,只要内水压力高于围岩初始应力,裂隙就会发生扩张。

岩体渗透破坏的结果主要表现为完整岩体的劈裂、裂隙岩体中结构面的扩张以及裂隙中充填的较松散软弱物质的被冲刷和冲蚀等。

E. 0.3 国内外对高水头电站压力隧洞岩体高压水渗透特性的研究,主要方法是通过高

压水渗透试验,简称 HPPT。通过 HPPT 试验,目前已取得以下经验:

- 1 高压水渗透作用不存在尺寸效应;
- 2 钻孔试验段必须有足够长度;
- 3 试验压力必须高于电站运行水头压力;
- 4 进行循环加荷试验是必要的,以揭示岩体所能承受的最大压力,同时了解高压水对岩体的侵蚀性。

鉴于上述原因之 1,条文建议采用钻孔代替洞室进行试验,是从降低成本考虑的。在国外较多采用带观测孔的高压压水试验,

国内工程多采用单孔高压压水试验。两者比较而言各有利弊,前者成本较高获取资料较多,后者成本低,可满足一般需要。

在深埋洞室地段,钻孔技术难度大,成本高,钻孔越深,不确定因素就越多,试验难度就越大,如能与地质探洞结合,在探洞内钻孔试验可有效的减小孔深,降低成本,易于取得成功的试验。国内部分工程已采用洞内钻孔试验,如天荒坪电站、引黄入晋工程等。

E.0.4 目前国内的钻孔高压压水试验一般均采用双栓塞封隔试段,双栓塞试验具有以下优点:

- 1 可以根据孔内实际情况和工程所在的部位选定栓塞放置部位和试验长度,试验成果较具有代表性;
- 2 试验是在钻探结束之后进行,不影响钻探进度,因而费用较低;
- 3 某些操作步骤(如洗孔、水位测量等)可一次性完成,不必重复。

关于双栓塞止水的可靠性问题,目前国际市场上已有多种双栓塞,国内有关单位也进行了多年的研究试制,已进行的生产试验资料表明双栓塞工作状态良好。据国外的试验资料(例如皮尔逊和莫尼、布拉辛顿和瓦特豪尔等),试验时也均未发现栓塞有漏水现象,说明止水设备是可靠和可行的。

对于双回路加压系统,由于栓塞的加压是一个独立系统,可通过管路上的压力表直接监视孔内栓塞的膨胀性和止水效果。对于单回路加压系统,由于钻杆的重量全部由两栓塞与孔壁的磨擦力来承担,故可通过观察压水过程中钻杆是否产生移动来监视止水效果。

本规范规定试验长度一般为 5m,与常规压水试验相同。目前的高压压水试验求得的透水率是试段的平均值,如试段过长势必影响成果的精度;如试段过短又会增加压水试

验的次数和费用。

E. 0. 5 本条一款规定高压压水试验一般按四级压力、七个阶段进行。大量的试验成果表明，在不同的水压力作用下，岩体的裂隙状态（开度、充填物的紧密度等）以及水在裂隙内的渗流状态是不相同的，因而其渗透性也会发生变化。只有采用多级压力进行循环试验，将不同压力下的流量变化情况以及最大压力前、后同一压力下的流量变化情况进行对比分析，才能了解渗流状态和裂隙状态的具体情况，从而便于合理地确定岩体真实的渗透性。

本条二款中如果定义临界压力是为克服岩体抗拉强度和地应力所需的水压力，那么获取临界压力，在试验中应施加的最大压力，显然与岩体的坚硬完整程度和地应力量值的大小密切相关，据北京板桥峪等抽水蓄能电站高压压水试验所获得的临界压力值与岩体的完整程度及实测地应力相关分析表明具有如下特征：

- 1 完整岩体：岩石产生劈裂的临界压力远大于地应力中的最小应力值；
- 2 微小裂隙发育岩体：裂隙扩张临界压力相当或略大于地应力的最小主应力值；
- 3 张性裂隙发育岩体：试验压力在最小主应力量级以下，岩体就会产生较大渗透量。岩体高压水渗透性受地应力的影响较小。

因此在选定试验中的最大压力时，地应力量值是一重要参考数据。

E. 0. 6 本条中快速、中速、慢速三种加压过程的选择和确定，主要应根据试验目的而定，一般情况下可采用快速加压过程，只有当需研究高压渗透的时间效应时，才选择中速或慢速加压过程试验。根据部分工程钻孔岩体高压渗透试验慢速加压过程成果表明，对于完整或微裂隙岩体，当某一试验压力小于岩体稳定临界压力时，在数小时的时间段内渗流量保持相对稳定，但当某一试验压力接近临界压力时，随着加压时间的延长岩石可能破裂而使渗流量骤然增大。

E. 0. 7 试验钻孔

我国水利水电工程地质钻探的钻孔直径一般为 59~150mm，其中金刚石钻进的常用孔径为 59mm、75mm、91mm，目前高压水试验钻孔多采用直径 75mm、91mm、110mm，孔径适中时，能较好的与金刚石钻进相结合，便于试验设备的安装。

为了减少岩粉堵塞，试验钻孔最好采用金刚石或合金钻进。泥浆钻进会使孔壁上形成一层泥膜，并堵塞裂隙，因此压水试验钻孔严禁使用泥浆钻进。

E. 0. 8 试验设备

止水栓塞是压水试验的关键设备。目前我国水利水电工程普遍采用水压式栓塞，其

特点是胶囊易与孔壁紧贴,即使在孔壁不太平直的情况下也能实现面接触,且栓塞较长、止水可靠性好,对不同孔径、孔深的钻孔均能适应,操作比较方便。从止水可靠性的观点出发,本规范建议首选水压式栓塞。

关于止水栓塞长度问题,国外学者伯利斯(J. C. Bliss)和拉许顿(K. R. Rushton)曾采用数学模型,对栓塞长度的影响作过研究。我国东北勘测设计研究院也曾进行过电拟试验,对比研究过不同栓塞长度的绕渗量大小,两者研究结论类似,即当栓塞长度达到7.5倍钻孔孔径时,绕渗量增加速度减缓。此外,从保持栓塞附近岩体的渗流角度出发,也要求栓塞有一定长度。我国现行常规压水试验规程中规定止水栓塞长度应不小于试验钻孔孔径的7倍。现行高压压水试验栓塞长度为1m(一般均大于7倍),实践证明可满足要求

对供水设备的基本要求是压力稳定、出水均匀,应具备一定的供水能力,当岩体透水性普遍较大时,还应选用供水能力更大的水泵,或采用多台泵并联使用以增加供水量。

压力表目前仍是主要的测压工具。压力表的工作压力应保持在有效范围内(即极限压力值的1/3至3/4)。目前我国市场已能生产高压涡轮流量计,可数字显示压水过程中的累计流量和瞬时流量,并能测定正向和反向流量,可满足试验要求。

E. 0.9 本条概述了高压压水试验现场工作的基本操作步骤

试段位置的选定,应满足工程需要外,还应考虑上下栓塞的放置位置。国内外有关规程均十分强调栓塞位置的选择,在确定试段和栓塞位置时,除了仔细观察钻孔岩芯外,必要时还应进行测井或电视观测。

试段的可靠隔离是试验成败的关键,栓塞的充水膨胀压力一般应大于该试段的最大试验压力,并在整个试验过程中保持不变,为此在试验过程中随时注意检验栓塞的止水效果是非常必要的。对于单管路测试系统,当接通试段后,栓塞内压力应保持不变,并紧贴于孔壁上,检验可通过将钻机的提升钢丝绳全部放松,使钻杆的重量全部由两栓塞与孔壁的摩擦力来承担,可用粉笔在孔口钻杆作一标记,以观察水压过程中钻杆是否产生移动,若发生移动,表明止水不良,此时应分析原因,采取相应措施,或重新施压膨胀或移动栓塞位置等。对于双管路测试系统,在地面可直接全程监视栓塞膨胀效果,必要时可随时给栓塞予以补压。

E. 0.10 压力和流量观测

许多学者对压水试验达到稳定所需时间的研究表明,该时间与试段岩体的渗透性成反比关系,即岩体渗透性愈小,达到稳定所需的时间愈长,理论上流量在向稳定值趋近的

过程中，其变化值是随时间递减的。为了使试验成果可靠，要求在某一时段内流量的变化值不大于某一标准，这样试验虽未达到真正稳定，但至少已进入缓变段，因而可以把试验误差控制在一定范围之内。

参考国内外资料，本规范规定以五次流量读数的相对差不大于 10%作为稳定标准是合适的，但前提是流量无持续增大趋势。

在压水试验过程中，当试验压力由高压力转换到较低压力时，有时会出现水从岩体回流入钻孔的现象。产生回流的原因，是由于在试验压力下降的瞬间，钻孔附近岩体内的水压力暂时高于试验压力，因而使水自岩体流出，这个过程一般持续数分钟至十余分钟。随着岩体内水压力逐渐下降，回流量渐减至零。当岩体内水压力继续调整至低于试验压力之后，水重新流向岩体，并随着压力调整结束而趋于稳定。回流现象是岩体储水效应（即岩体在一定时间内具有贮存一定压力和一定体积的水的能力）的反映，而储水效应的大小与岩体的弹性变形性质有关。因此圭地西尼（G. Guidicini）等指出，可以利用回流资料估算岩体的变形模量。

在试验过程中，当出现回流时，应尽量详细记录有关情况（包括回流时间、回流量等）以便积累资料。尤其重要的是：切不可把流量从负经零到正这个变化过程中的暂时停滞误认为是该试段流量为零。

为了解岩体裂隙连通情况和压水试验的影响范围，宜在试验过程中，对试验钻孔附近的井、硐、孔泉等进行观测（包括出水位置、水位、流量等），必要时可配合使用示踪剂。

E. 0. 11 本条第二款 $Q \sim T$ 关系曲线主要用来研究岩体在高水压作用下的时间效应。试验表明某些岩体在短时间内高压水作用下透水量不大，但随着高压水作用时间的加长，岩体内裂隙可能发生扩展或在高压渗透域内沿原有结构面产生新的破裂，从而出现透水量明显增大的情况。

岩体渗透临界压力是指在高压渗透试验过程中，当水压力大于某一压力值时，岩体透水量骤然增大，则称该压力为岩体渗透临界压力。其主要特征有以下三种情况：

- 1) 完整岩体试段高压水渗透临界压力，表现特征为达到该压力前岩体透水性极其微弱或不透水，而超过该压力后岩体才会发生劈裂，使其透水性骤然增大，此临界压力也可称为岩体的劈裂压力。
- 2) 微小闭合裂隙发育的岩体试段，渗透临界压力表现特征为前段岩体透水量极小，后段岩体透水量明显增大；

3) 有张性裂隙发育的岩体, 在水压力作用下, 渗流量与试验压力基本上成正比例线性关系, 试验无明显临界压力值。

表 1 录入了各国部分水利水电工程裂隙扩张或水力劈裂的各类较软岩和坚硬岩的临界压力值, 从所列资料可以看出: 大部分较软岩的临界压力低于 1.0MPa, 即在吕荣压水试验时即可能发生破坏, 坚硬岩体的临界压力一般 >4MPa。

表 1 岩体的临界压力值

水文地质条件分类	国别	水利水电工程名称	岩性描述	临界压力 (MPa)
远离大断层深埋岩体带	德国	阿巴契	砂页岩互层	0.6
		毛赫 (Mohne)	页岩、砂岩互层	0.7~1.1
		普礼姆斯	板岩	1.0~1.2
	国别不清	欧巴里劳 (Albarelllo)	片麻岩	≥ 0.5
		塞玛底拉 (cemadilla)	片麻岩	0.5~1.0
		英格里苏 (Eglisau)	粘土岩	1.2
		英格里苏	泥灰质砂岩	0.7
		苟达—兰达尔 (Godae—Landar)	砂岩、泥岩	≥ 0.7
		候达 (Haueda)	砂岩、粉砂岩	≥ 0.8
		惠特斯 (Huites)	具平面结构的花岗岩	≥ 0.5
		喀伦 I (Karun)	石灰岩	≥ 1.0
		廖萨与喀沃 (Llosadel)	石灰岩、砂岩	0.8
		民苟里亚 (Aval)	具平面结构的花岗岩	≥ 0.5
		旁嘎 (Ponga)	板岩	0.6
		保布劳维尧	石灰岩	≥ 1.0
	西班牙	欧门楚 (Almendra)	花岗岩	≥ 1.5
		任萨里斯 (Riansares)	石膏、粘土岩	≥ 0.5
	瑞士	巴乃柯斯 (Panix)	石灰岩	0.7~1.0
	多米尼加	塔贝拉	含粉砂岩薄层的砾岩	≥ 0.5
	秘鲁	优拉玛尧 (YuraEmayo)	层状凝灰岩	≥ 0.5

续表 1 岩体的临界压力值

水文地质 条件分类	国别	水利水电工程名称	岩性描述	临界压力 (MPa)
	中 国	小浪底	砂岩与粉砂岩互层	0.7
			硅质砂岩	>4.0
		板桥峪	片麻状花岗岩	6~10
		广蓄二期	蚀变花岗岩、胶结的断层带	7~8
		惠州抽水蓄能	中粗粒花岗岩	2~4
		广东南水	中厚层石英砂岩夹砂质泥岩	2~6
		安徽琅牙山	灰岩、泥质条带灰岩	3~5
		云南勐乃河三级电站	黑云角闪斜长片麻岩	3~5
		浙江天荒坪抽水蓄能	流纹质凝灰岩	6~8
		引黄入晋	灰岩、泥质条带灰岩	
		黄河古贤	细砂岩、粉砂岩	3~4
		雅砻江锦屏一级	致密大理岩、绿片岩	

附录 F 水文地质勘察中物探方法的应用

F. 0. 1 物探方法在水文地质勘测中的应用一览表，表 F. 0. 1 所列出的各项探测内容，在应用物探方法时，则有主要方法和配合方法之分。而覆盖层厚度的探测有时是为水文物探创造探测条件的，断层破碎带的探测，是为了探测基岩地区裂隙水而必须先探测了解断层破碎带所处的空间分布，否则是无法准确布置物探工作的。

F. 0. 2 本条在表 F. 0. 2 中所述探测内容中，在第四层系地层中划分含水层和隔水层，指的是层状的透水地层，由于它们之间在电阻率，地层波速、波阻抗上一般具有比较明确的差异，所以可采用电测深法和地震勘探法勘测，但当含水层与隔水层的厚度与其埋藏深度相比为较薄时，这些地面物探方法有时不能见效，而要依靠或配合钻孔综合测井方法来解决。水文地质勘察中的地面物探方法主要是电法勘探（电测深法、电剖面法、高密度电法、可控源音频大地电磁法、瞬变电磁法）和地震勘探，对于第四系地层中的含水层或基岩裂隙水是否具有地下水赋存条件，主要采用激发极化法探测，特别是在山区和地形切割严重地区，激发极化法找水显示了明显的优越性。以上这些方法目前仍是各国通用的地下水资源调查中的主要方法，也是我国水利水电系统实践经验的总结，从现有物探人员技术水平和仪器设备来看都是可以办到的。

对于岩溶地区探测地下水位及表层岩溶溶蚀带，可采用电阻率法（电测深、电剖面、高密度电法、可控源音频大地电磁法、瞬变电磁法），地震法（浅层折射波法、浅层反射波法、瑞雷波法）。在岩溶地区对地下水流向流速的测量基本与钻孔中水文物探工作相同，采用方法为充电法、自然电场法、同位素示踪法。对于岩溶溶洞的探测，应用各种物探方法探测均有一定的局限性，尤其是利用地面物探方法时，受各种干扰因素较多，如地形起伏的变化，覆盖层的厚薄，溶洞体积的大小及其埋藏的深浅等。当地形平缓、溶洞埋藏较浅时，采用地面电法、地震法探测，有时能发现较大的（直径 2m 以上）的溶洞，如在地面采用地震反射法探测，由于溶洞与围岩之间存在明显的波阻抗差异，在溶洞顶部通常可形成反射区，可以接收到溶洞顶部的反射波，但在溶洞两侧追踪不到相应的反射波，也接收不到溶洞底部的反射波。

采用地质雷达对溶洞的探测，1985 年日本 OYO 公司应用 YL—R2 型地质雷达

在东风水电站进行溶洞的探测试验，1986年应用美国 SIR—8 型地质雷达在鲁布革水电站进行岩溶与裂隙的探测，1988年黄委会应用 SIR—8 型地质雷达在天生桥二级水电站进行岩溶探测。1990年中国地质大学用 EKKO—IV 型地质雷达在天生桥水电站进行岩溶探测，以上探测试验表明，在地面采用地质雷达对深埋岩溶溶洞的探测效果都不很理想。但试验表明在地下洞室探测灰岩洞壁 20m 范围内的溶洞是有效的，对洞室掘进超前预报也可以发挥很好的作用。

对于水利水电工程来说，在岩溶地区需要探测坝址与厂房等重要建筑物基础以及库区岩溶洞穴的分布。当具备可测钻孔条件时，应充分利用孔间穿透的物探测试方法和电磁波、声波及地震波层析成像法（CT 技术），如乌江思林水电站针对岩溶渗漏与稳定是坝址的主要地质问题，需要详细查明水工建筑物与地下厂房所在位置的岩溶发育情况，选择了以电磁波层析成像法为主的物探新技术，辅以地质雷达，综合测井方法，在地质与钻探的指导与配合下，取得了良好的地质效果，并节约了钻探工作量 2000 多米。该项目被列为“国家八五科技攻关项目”——即“岩溶勘测新技术”，后经鉴定认为在岩溶勘测应用方面达到国际先进水平。

测定水文地质参数和地下水运动情况，主要是在钻孔中进行物探测井工作，因此要视钻孔情况和任务需要而采用不同的测井方法。例如电测井和声测井只能在无套管、有井液的孔段进行，通过井液耦合直接作用于井壁层，若没有井液，电测井和声波测井将无法进行，当钻孔中有套管时，由于金属套管的高屏蔽而失去了探测的功效。放射性测井中的自然伽玛测井是根据岩层本身放射伽玛射线的强度，密度测井（或称伽玛——伽玛测井）则是利用岩层对人工伽玛射线的散射作用，由于伽玛射线的穿透能力很强，可以穿透金属套管，井液与套管对它不起限制作用，这是放射性方法的独特优点，因此无论钻孔有无套管及井液均可进行。钻孔电视不是通过测量地层的物理性质来进行探测，而是用工业电视技术直接对孔壁进行观察的一种方法，所以只能在无套管的干孔或清水钻孔中进行。在钻孔或水井内，采用充电法求地下水流速、流向，一般利用等位线平面图向量合成法，盐化后由井孔中心到等位圈移动距离最大的连线方向定流向，并计算流速。也可采用自然电场法，以测点为中心（井、孔）作自然电场的观测，即测量不同方位的过滤电场，则电位差最大的正电位方向为该测点地下水流向，流速的计算均为：

$$V=\Delta R/\Delta t$$

(1)

式中 ΔR —地下水流向上等位圈或正电位方向上的位移；

Δt —两次等位圈观察的时间间隔。

用同位素流速仪可在单个钻孔中测定地下水流向和渗透速度，用同位素示踪法则要在有比较集中的几个钻孔的地方才能进行，从地下水的上游位钻孔投放同位素溶液，在下游位钻孔观察同位素溶液出现的时间，以确定地下水的流速与流向。但孔距的选择应考虑所采用同位素的半衰期和地下水的流速大小，如果同位素半衰期短（如 I_{131} ），流速又慢，则孔距应愈小，否则有可能观测不到同位素到达下游钻孔的准确时间。

附录 G 岩土体渗透结构类型划分

本附录是在参考谷德振先生提出的水文地质结构类型划分及孙广忠先生提出的岩体水力学结构类型划分意见，并总结三峡、小浪底、溪洛渡等水利水电工程水文地质勘察研究成果的基础上制订的。

G.0.1 强调查明透（含）水层（体）和相对隔水层（体）的空间分布及组合规律是正确划分岩土体渗透结构类型的前提。

G.0.2 提出了岩土体渗透结构类型划分意见及各类渗透结构所具有的典型渗透特征。工程区的岩土体渗透结构类型往往不是单一的，而是多种渗透结构类型的叠加，实际工作中应予以注意。如小浪底坝址区二叠系、三叠系砂泥岩渗透结构类型主要表现为层状及带状，三峡坝址区闪云斜长花岗岩渗透结构类型主要表现为散体状、网络状及带状。此外，层状渗透结构中的透水岩层，局部而言亦多具有网络状渗透结构的渗透特征。

附录 J 渠道渗漏计算方法

本附录 J.0.1~J.0.2 所列渠道渗漏计算公式为维尔尼科夫公式，J.0.3 所列公式选自《渗流计算分析与控制》（毛昶熙）中沙金宣教授论述渠道渗漏计算的公式。上述公式均适用于渠道的稳定自由渗漏阶段，其他渗漏状态情况较复杂，必要时可根据工程具体情况进行专题研究。J.0.4~J.0.6 所列渠道渗漏计算公式均选自《水工设计手册（8）》（水利水电出版社），为已知渠道净流量（净流量在不同渠道段内值不一致，可用设计流量代替）情况下估算渠道渗漏损失水量的经验公式，同一条件下三个经验公式计算值相近。

附录 K 岩溶水文地质常用分类

K. 0.1 岩溶化岩组是研究岩溶发育和岩溶含水层的基本单位。不同类型的岩溶化岩组，其岩溶发育的机理和发育程度差别甚大。岩溶化岩组类型的划分，旨在阐明碳酸盐岩因化学成分和可溶性差异及非碳酸盐岩夹层的存在对岩溶发育的影响。前者基于溶解度和溶解速度的差异导致岩溶分异；后者不同程度地限制了地下水的活动，致使岩溶发育受到影响。

岩溶化岩组类型划分的依据是碳酸盐岩岩性类型及其组合形式。

连续型是指单一的碳酸盐岩，累计厚度占统计地层总厚的 90%以上，岩石化学成分在纯碳酸盐岩中酸不溶物含量小于 10%，并无明显的碎屑岩层。

夹层型是指碳酸盐岩厚度占岩层总厚度的 60%以上，硫酸盐岩或碎屑岩夹层明显，且其连续厚度大于 10 米。

互层型是指碳酸盐岩中石灰岩与白云岩互层（大理岩与变质白云岩互层）或碳酸盐岩与碎屑岩（变质硫酸盐岩与变质碎屑岩）互层，其厚度各占 50%左右。

K. 0.4 本条根据我国南方岩溶区地下水位动态变化特点和工程经验，对岩溶地下水位动态类型按与观测要素之间的相关关系进行了分类，并提出了与其相应的岩溶发育特征。水文型和气象型两种类型均适合于岩溶地区，此类工程实例甚多。气象型可分为四种亚类，以便于在进行岩溶水文地质勘察成果分析时参照，但对各种类型的定量分析方法，特别是在分割处理上还有待于进一步总结。应当注意的是气象型的四种亚类往往出现在一个工程中的不同位置，如乌江渡水库、观音岩水库、观音阁水库、广西大化水库等均存在此种情况。

利用观测网点上各特征时段地下水位绘制等水位线图和岩溶地下水动力剖面图，进行岩溶发育程度分带（区），判断岩溶管道发育方向、位置是有效的，与其他手段综合利用，还可以在岩溶发育较强地区找到弱岩溶岩体，从而优化防渗帷幕。隔河岩水库罗家坳弱岩溶体、遵义水泊渡库首右岸弱岩溶带、观音岩坝址两岸弱岩溶体、松柏山水库库首两岸弱岩溶体等的划分均说明了上述方法的有效性。

K. 0.5 为便于进行岩溶地区水文地质勘察及岩溶渗漏问题评价，本条依据渗漏部位、渗漏范围、渗漏介质和渗漏影响四项原则，将岩溶渗漏划分为 12 种基本类型，并给出了其相应的岩溶渗漏特征。

渗漏部位不同时，发生渗漏的边界不同，则计算渗漏量所使用的公式不同，如河间与河弯地块的渗漏，为库水直接向库外的渗漏，其渗漏边界为地下水位和隔水层（或相对隔水层）；而坝址区绕坝肩与坝基的渗漏边界则还有建筑物的轮廓线。

岩溶渗漏范围在垂向上有地下水位以上的和地下水位以下的渗漏。地下水位线以上和以下的洞穴与管道的勘察理论和方法存在较大差异，为强调勘察手段的应用，有必要按地下水位线进行划分

由于不同渗漏介质岩体透水性及渗流状态不同，所造成的渗漏损失、危害性、处理措施、处理的难易程度和渗漏计算理论亦不同的，应获取的参数与概化要求也不一样，故渗漏类型还应按渗漏介质进行划分；

岩体渗漏造成的影响是不同的，有漏水量较大而影响水库发挥正常效益的；也有漏水量虽小，但可危及建筑物安全的；亦有二者兼有的。评价中应区分渗漏与工程的关系，对工程安全有影响的应作渗控性质的处理；漏水量过大，影响水库发挥正常效益的，应作防漏性质的处理。