ICS 75－010
E 11
备案号：24289—2008

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 0610—2008

地下水封洞库岩土工程勘察规范

Standard for underground water enclosed cavern investigation of geotechnical engineering

2008－06－16 发布

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2008－12－01 实施

国家发展和改革委员会　　发 布

目　　次

前言 …… Ⅱ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语、定义和符号 …… 1
3.1　术语和定义 …… 1
3.2　符号 …… 2
4　一般规定 …… 2
5　勘察阶段工作内容 …… 3
5.1　预可研阶段勘察 …… 3
5.2　可研阶段勘察 …… 4
5.3　初步设计阶段勘察 …… 6
5.4　施工图设计及施工阶段勘察 …… 8
5.5　勘察成果 …… 10
6　测绘、勘探与测试 …… 12
6.1　综合工程地质测绘 …… 12
6.2　勘探与取样 …… 16
6.3　现场测试 …… 17
7　地下水 …… 18
7.1　腐蚀性评价 …… 18
7.2　压水试验 …… 18
7.3　抽水试验 …… 19
7.4　地下水动态观测 …… 21
7.5　水封条件分析评价 …… 22
8　围岩分类及稳定性 …… 24
8.1　岩体基本质量的分级因素 …… 24
8.2　岩体基本质量分级 …… 26
8.3　工程岩体分类 …… 27
8.4　水封洞库围岩分类 …… 28
8.5　围岩稳定性 …… 29
附录A（资料性附录）　条文说明 …… 31
参考文献 …… 47

前　言

本标准的附录 A 为资料性附录。

本标准由石油工程建设专业标准化委员会提出并归口。

本标准主要起草单位：中国石油天然气管道工程有限公司。

本标准参加起草单位：中国石油天然气华东勘察设计研究院、大庆油田工程有限公司。

本标准主要起草人：王玉洲、郭书太、代云清、陈山岭、陈连成、张志豪、姜龙、义宗贞。

地下水封洞库岩土工程勘察规范

1 范围

本标准规定了地下水封洞库岩土工程勘察工作阶段的划分、勘察方法、围岩分类、围岩稳定性评价及勘察报告编制等的基本要求。

本标准适用于地下水封洞库工程（包括地下水封油库、LPG 洞库等）的岩土工程勘察工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款，通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 50021 岩土工程勘察规范

GB 50218 工程岩体分级标准

JGJ 87 建筑工程地质钻探技术标准

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1.1

水封洞库 water enclosed cavern

在天然岩体中人工开挖洞库，并以岩体和岩体中的裂隙水共同构成储油气空间的一种特殊地下工程。

3.1.2

岩石工程 rock engineering

以岩体为工程建筑物地基或环境，并对岩体进行开挖或加固的工程，包括地下工程和地面工程。

3.1.3

工程岩体 engineering rock mass

岩石工程影响范围内的岩体，包括地下工程岩体、工业与民用建筑地基、大坝基岩、边坡岩体等。

3.1.4

岩体基本质量 rock mass basic quality

岩体所固有的、影响工程岩体稳定性的最基本属性，岩体基本质量由岩石坚硬程度和岩体完整程度所决定。

3.1.5

岩石质量指标（*RQD*） rock quality designation

用直径为 75mm 的金刚石钻头和双层岩心管在岩石中钻进，连续取心，回次钻进所取岩心中，长度大于 10cm 的岩心段长度之和与该回次进尺的比值，以百分比表示。

3.1.6

结构面 structural plane（discontinuity）

岩体内开裂的和易开裂的面，如层面、节理、断层、片理等，又称不连续面。

3.1.7

岩体完整性指数（K_v）（岩体速度指数） intactness index of rock mass（velocity index of rock mass）

岩体弹性纵波速度与岩石弹性纵波速度之比的平方。

3.1.8

岩体体积节理数（J_v） volumetric joint count of rock mass

单体岩体体积内的节理（结构面）数目。

3.1.9

围岩 surrounding rock

指洞室周围一定范围内，对其稳定性产生影响的岩体。

3.1.10

地下工程岩体自稳能力 stand-up time of rock mass for underground excavation

在不支护条件下，地下工程岩体不产生任何形式破坏的能力。

3.1.11

初始应力场 initial stress field

在自然条件下，由于受自重和构造运动作用，在岩体中形成的应力场，也称天然应力场。

3.2 符号

下列符号适用于本标准。

R_c——岩石单轴饱和抗压强度，单位为兆帕（MPa）；

E_0——岩体变形模量，单位为吉帕（GPa）；

ν——岩体泊松比；

ϕ——岩体或结构面内摩擦角，单位为度（°）；

C——岩体或结构面粘聚力，单位为千帕（kPa）；

K_v——岩体完整性指数；

J_v——岩体体积节理数，单位为条每立方米（条/m^3）；

K_1——地下水影响修正系数；

K_2——主要软弱结构面产状影响修正系数；

K_3——初始应力状态影响修正系数；

BQ——岩体基本质量指标；

$[BQ]$——岩体基本质量指标修正值；

V_{Pb}——岩体弹性波纵波速，单位为千米每秒（km/s）；

V_{Pt}——岩石弹性波纵波速，单位为千米每秒（km/s）；

E_d——动弹性模量，单位为吉帕（GPa）；

ρ——岩石密度，单位为克每立方厘米（g/cm^3）；

μ_d——动泊松比；

K——渗透系数，单位为米每天（m/d）；

R——影响半径，单位为米（m）；

T——导水系数，单位为平方米每小时（m^2/h）；

Q_b——设计洞库涌水量，单位为立方米每天（m^3/d）；

σ_{max}——围岩的最大主应力，单位为千牛每平方米（kN/m^2）。

4 一般规定

4.1 勘察单位应根据设计任务书或设计单位所提供的勘察任务书，编制勘察纲要，经批准后作为水

封洞库岩土工程勘察工作的依据。

4.2 水封洞库应选择在化学成分稳定，以结晶岩体为主的岩浆岩或变质岩等块状岩体区。洞库围岩岩质应坚硬，岩体的完整性和稳定性好，具有弱透水性，有稳定的地下水位。

4.3 确定库址时，宜避开下列地区或区段：

a）抗震设防烈度为9度及9度以上地区，地应力集中的构造部位和发震断裂。

b）不良地质作用发育且对库址稳定性有直接危害或潜在威胁的地段。

c）矿藏分布地段。

d）含有害气体与放射性元素的岩体分布地段。

e）重要的深层地下水供水水源地。

4.4 水封洞库勘察的基本任务如下：

a）查明库址区的地质构造条件及区域稳定条件、拟建洞库岩体的工程地质条件及岩体的稳定特征。

b）查明库址所在区域和库区周围的水文地质条件，为确定设计地下水位、洞库涌水量等提供依据。

4.5 根据水封洞库工程特点和与设计阶段相适应等要求，岩土工程勘察宜划为预可研阶段勘察、可研阶段勘察、初步设计阶段勘察和施工图设计及施工阶段勘察四个阶段。

4.6 各勘察阶段工作量应根据库址区域地质条件复杂程度、地质工作研究程度、工程规模和勘察阶段等加以确定。

4.7 勘察阶段不同，对围岩稳定性评价的精度要求也应不同。施工前各勘察阶段的岩体质量分级及围岩稳定性预分类等，分别为库址选择、适宜建库岩体选择、地下工程部署和提出施工方案等服务。应以施工图设计及施工阶段勘察验证所确定的围岩稳定性分类作为施工处理的依据。

4.8 洞库涌水量是评价库址优劣的定量指标和排水设计的重要参数。各勘察阶段应提供相应的洞库涌水量。

5 勘察阶段工作内容

5.1 预可研阶段勘察

5.1.1 预可研阶段勘察的主要任务是选择符合水封洞库工程地质、水文地质条件要求的库址，为编制预可行性研究报告提供依据。

5.1.2 预可研阶段勘察的步骤如下：

a）搜集资料与室内研究。

b）现场地质踏勘确定库址比选方案。

c）在重点库址比选方案范围内投入必要的勘察工作量，根据勘察结果择优推荐库址。

5.1.3 预可研阶段勘察搜集资料与室内研究的内容如下：

a）详细研究选址任务书或设计单位勘察任务委托书，明确选址范围、洞库性质、规模、储存介质种类及有关工艺要求等。

b）搜集选址区范围内下列各项图件与文字资料：

1）地形图（比例尺：1∶10000～1∶50000）。

2）区域地质图或构造图（比例尺：1∶50000～1∶200000）及其说明书、航测（卫星）照片、遥感图等。

3）区域代表性地质剖面、综合地质柱状图和其他有关地质资料。

4）区域地震地质资料，包括历史地震资料、抗震设防烈度资料、近期活动构造体系图及地震台站资料等。

5）已有各种岩石地下建筑及采石场等的经验资料。

6）地表水体（江、河、湖、海、大型水库等）有关水文资料。

7）区域地下水位、区域地下水的利用和各级区域侵蚀基准面高程（或水文网割切深度）等方面资料。

8）气象资料。

9）交通、地方经济和有用矿产等资料。

5.1.4 通过区域资料的分析和现场踏勘，调查库址周围10km范围内的区域性断裂及其活动性，地表水和地下水的赋存等情况，对区域地形地貌、地层、岩性、地下水及构造稳定性进行研究，主要包括下列内容：

a）区域地形地貌形态。

b）区域内地层岩性、分布范围、形成时代和岩相岩性特点。

c）区域内的主要构造单元、褶皱和断裂的类型、产状、规模和构造活动史，历史地震情况和抗震设防烈度等。

d）主要含水层的类型、补给来源、排泄条件，埋藏深度，水位变化，井泉位置、出露高程、类型、水化学参数及流量等。

5.1.5 在拟选区域范围内进行工程地质测绘，其工作范围不宜小于库址范围的2倍。

5.1.6 测绘比例尺可选用1∶2000～1∶5000的比例尺。

5.1.7 工程地质观测点应充分利用天然和已有的人工露头；当露头少时，应根据具体情况布置一定数量的探坑或探槽。

5.1.8 有必要采用工程物探方法时，应进行方法性试验，试验应选择在对比资料有代表性的地段。

5.1.9 测网和测线布置应符合下列规定：

a）测线网布置应根据任务要求、探测方法、被探测对象规模和埋深等因素综合确定。测网和工作比例尺应能观测被探测的目的体，并可在平面图上清楚反映探测对象的规模、走向。

b）测线方向宜垂直于构造线、地层和主要探测对象的走向，应沿地形起伏较小和表层介质较均匀的地段布置测线，测线应与地质勘探线和其他物探方法的测线一致，避开干扰源。

c）当测区边界附近发现重要异常时，应将测线适当延长至测区外，以追踪异常。

d）测线间距宜为200m～400m。对于地质构造复杂的地质体（区）应适当加密。

e）测线端点、转折点、物探观测点、观测基准点应进行测量。

5.1.10 根据库址的地层、构造及需查明的问题，当地层露头不好时，可进行适量的钻探工作，每个库址勘探点的数量宜为1个～3个，钻探深度应达到预估洞库底板以下15m。

5.1.11 预可研阶段勘察资料深度应符合下列要求：

a）按要求完成各项已有的图件、文字资料的搜集并进行充分的室内研究。

b）对拟选库址的洞库涌水量、稳定地下水位和洞库埋深等提出初步估计值。

c）在对拟选库址进行区域稳定性评价的同时，还宜对洞库围岩稳定性做出估测性评价。

5.1.12 通过预可研阶段勘察工作，应对以下方面提出评价和建议：

a）区域稳定性和库址稳定性。

b）区域水文地质条件及稳定地下水位、洞库涌水量估算和洞库埋深。

c）各库址方案的水文地质、工程地质条件的分析评价，按表1进行库址类别判别，并对库址方案进行排序。

d）对各个拟选库址的围岩应按第8章进行工程岩体预分类，宜同时采用其他方法进行分类，以便相互校核，综合分类。

e）存在的问题及对下一步工作的建议。

5.2 可研阶段勘察

5.2.1 可研阶段勘察工作宜在预可行性研究阶段选定的库址场地上进行，初步查明库址的工程地质

和水文地质条件，为最终确定库址和库区布置进行地质论证和提供可行性研究所需的勘察成果。

表 1　水封洞库库址条件分类

库址类别	地形地貌条件	工程地质条件	水文地质条件	围岩开挖后的稳定状态
优等库址	山形完整、低矮宽厚，库址位于海滨、湖畔	岩性单一、岩质坚硬、岩体完整、无软弱夹层；构造简单，结构面 1 组～2 组，以层面、构造节理为主，多呈闭合型，平均间距大于 1.0m，无危险结构面，呈整体状或巨厚层状结构；风化层薄且分布较均匀，新鲜岩体以Ⅰ类围岩为主	含毛细裂隙水为主；易于确定设计地下水位；补给充分，水质对混凝土无侵蚀性，并对储存介质质量相对稳定性无影响	围岩稳定，无坍塌，可能产生岩爆。暴露时间长会出现局部小坍塌。被结构面切割后的拱顶，不加支护可能出现局部失稳
中等库址	山体低矮宽厚，但受地表水切割而使山形不够完整；库址主要位于海滨、湖畔，次为河旁、内陆盆地边缘	岩性较单一、岩质坚硬、岩体较完整；构造较简单，有少量贯穿性节理裂隙，结构面平均间距 0.4m～1.0m，一般为 2 组～3 组，有少量分离体，呈块状结构；岩体风化不够均匀，新鲜岩体以Ⅱ类围岩为主	虽含毛细裂隙水为主，但小断层含重力水带分布也较多；一般易于确定设计地下水位；补给较充分，水质对混凝土无侵蚀性，并对储存介质质量相对稳定性无影响	
劣等库址	山体瘦小或狭长陡峻，受地表水切割较严重而使山形较破碎；库址亦临河旁或湖畔、海滨	岩性较复杂，岩体完整性较差，软岩或软弱夹层较多；构造较复杂，小断层与节理均发育，一般大于 3 组，间距小于 0.4m，呈块状和碎裂状结构；岩体风化很不均匀，沿软岩与破碎带风化较深并偶有囊状风化体，新鲜岩体以Ⅲ类～Ⅳ类围岩为主	含重力水为主；设计地下水位虽易于确定，但补给较困难，水质对混凝土一般无侵蚀性，并对储存介质质量相对稳定性无影响	拱顶无支护时可产生较大的坍塌；侧壁有时失去稳定

5.2.2　可研阶段勘察前，应对预可研阶段勘察成果提出的问题和下一步工作建议认真分析，对区域水文地质、工程地质和构造地质资料进行补充收集。

5.2.3　可研阶段勘察的工作范围宜为库址范围，当发现异常需进行必要的追踪时，可超出此范围。

5.2.4　可研阶段勘察应包括下列内容：

a）初步查明库址的地形地貌条件和物理地质现象。

b）初步查明库址区的岩性（层）、构造，岩（土）物理力学性质及不良地质现象的成因、分布范围、发展趋势和对工程的影响程度；重点查明松散、软弱层的分布。

c）初步查明岩层的产状，主要断层、破碎带和节理裂隙密集带的位置、产状、规模及其组合关系。

d）初步查明库址区的地下（地表）水位、水压、渗透系数、影响半径、水温和水化学成分及对

混凝土的侵蚀性等。初步查明涌水量丰富的含水层、汇水构造、强透水带以及与地表溪沟连通的断层、破碎带和节理裂隙密集带，预测洞室掘进时突然涌水的可能性，估算最大涌水量。

e）进行围岩工程地质预分类，确定适宜建库的可用岩体的范围，提供场区地应力状态分布规律。

f）按围岩工程地质预分类结果提出适宜建库岩体范围和有关地下工程部署的建议，如洞轴线方位、洞跨、洞间距、巷道口位置等。

g）初步确定设计地下水位标高，并综合岩体工程地质条件和储存介质压力要求，提出合理洞库埋深建议。

h）初步查明主要软弱结构面的分布和组合情况，并结合岩体应力评价洞顶、边墙和洞室交叉部位岩体的稳定性，提出处理建议。

i）初步建立地下水动态观测网。

5.2.5 可研阶段勘察前，应取得下列资料：

a）有关工程性质和规模的文件，如设计任务书、设计单位的勘察任务委托书或勘察合同等。

b）拟建库址的预可研阶段勘察报告书及图件。

c）附有拟建库址范围的1：2000～1：5000比例尺的地形图。

5.2.6 工程地质测绘应符合下列规定：

a）补充校核预可研阶段勘察库址的工程地质图。

b）对地质条件复杂的地段应进行专门性工程地质测绘，比例尺可选用1：1000～1：2000。

c）根据地质条件和需要，局部地段可进行1：500的工程地质测绘。

5.2.7 工程物探的测线布置应符合下列要求：

a）对预可研阶段勘察的测线进行加密，加密后的主要测线间距宜为100m～300m，在施测中应视已完成情况随时调整原设计的测线网。

b）在地形条件允许时，主要测线宜通过已有钻孔。

5.2.8 钻探工作应在工程地质测绘和物探工作的基础上进行，其主要任务是初步查明建库岩体的性状及存在问题。钻探工作的布置应符合以下要求：

a）宜利用预可研阶段勘察所完成的钻孔。

b）每个钻孔均应有明确的钻探目的，并做出钻孔的正式设计。

c）各类钻孔的布置宜考虑综合利用，以减少钻探工作量。

d）应结合场地地质条件的复杂程度和关键地质问题，有针对性布置勘探点，勘探点间距宜为200m～300m。勘探深度应达到洞底设计标高以下15m。

e）钻探工作进行中，应视已完成钻孔所揭露的地质问题，随时调整原钻孔部署方案。

5.2.9 钻孔在钻进过程中应记录水文地质信息，宜进行压水、注水、抽水等试验。

5.2.10 为取得地下水动态资料，除利用库区内已有钻孔进行观测外，必要时还可以布置专门性观测孔，以便构成观测网。

5.2.11 勘察资料整理与分析的重点规定如下：

a）库址围岩分段预分类及可用岩体的范围。

b）库址可行性分析评价，确定库址方案。

c）地下工程部署的初步建议。

d）设计地下水位、洞库涌水量与洞库埋深分析和估算。

e）建立地质初步模型。

f）洞室稳定性初步分析评价。

g）存在问题及对下步勘察工作的建议。

5.3 初步设计阶段勘察

5.3.1 初步设计阶段勘察工作应在可行性研究阶段选定的库址场地上进行，基本查明库址的工程地

质和水文地质条件，进行确定库区布置的地质论证，提供初步设计阶段所需的勘察成果。

5.3.2 初步设计阶段勘察应包括下列内容：

a) 基本查明库址的地形地貌条件和物理地质现象，巷道进出口边坡的稳定条件。

b) 基本查明库址区的岩性（层）、构造，岩（土）物理力学性质及不良地质现象的成因、分布范围、发展趋势和对工程的影响程度；重点查明松散、软弱层的分布。必要时应调查岩层中有害气体或放射性元素的赋存情况。

c) 基本查明岩层的产状，主要断层、破碎带和节理裂隙密集带的位置、产状、规模及其组合关系。

d) 基本查明库址地段的地下水位、水压、渗透系数、影响半径、水温和水化学成分及对混凝土的侵蚀性和对储存介质质量的影响等。特别是要查明涌水量丰富的含水层、汇水构造、强透水带以及与地表溪沟连通的断层、破碎带和节理裂隙密集带，预测洞室掘进时突然涌水的可能性，估算最大涌水量。

e) 进行围岩工程地质分类并建立适当的地质模型。

f) 按围岩工程地质分类结果提出适宜建库岩体范围和有关地下工程部署的优化建议，如洞轴线方位、洞跨、洞间距、巷道口位置等。

g) 确定设计地下水位标高，并综合岩体工程地质条件和储存介质压力要求，提出合理洞库埋深建议。

h) 查明主要软弱结构面的分布和组合情况，并结合岩体应力评价洞顶、边墙和洞室交叉部位岩体的稳定性，提出处理建议。

i) 建立地下水动态观测网。

5.3.3 初步设计阶段勘察前，应取得下列资料：

a) 有关工程性质和规模的文件，如设计任务书、设计单位的勘察任务委托书或勘察合同等。

b) 拟建库址的可研阶段勘察报告书及图件。

c) 附有拟建洞室平面布置的地形图。

5.3.4 工程地质测绘应符合下列规定：

a) 补充校核可研阶段勘察库址的工程地质图。

b) 对地质条件复杂的地段应进行专门性工程地质测绘，比例尺可选用 1∶500～1∶1000。

c) 根据地质条件和需要，局部地段可进行 1∶200 的工程地质测绘。

5.3.5 钻探工作的布置应符合以下要求：

a) 每个钻孔均应有明确的钻探目的，并做出钻孔的正式设计。

b) 各类钻孔的布置宜考虑综合利用以减少钻探工作量。勘探点宜在竖井处及洞室外侧交叉布置，同时应结合场地地质条件的复杂程度和关键地质问题，有针对性布置勘探点，勘探点间距宜为 150m～250m（应充分利用前期已完成的钻孔）。勘探深度应达到洞底或竖井设计标高以下 3m～5m。

c) 钻探工作进行中，应视已完成钻孔所揭露的地质问题，随时调整原钻孔部署方案。洞室进出口处可布置勘探平硐。

5.3.6 钻孔在钻进过程中应记录水文地质信息，并根据需要进行压水、注水、抽水等试验。

5.3.7 为取得地下水动态资料，除利用库区内已有钻孔进行观测外，必要时还可以布置专门性观测孔，以便构成观测网，其布置方法可视具体水文地质条件而定。

5.3.8 巷道口和洞轴线的选择应符合以下要求：

a) 巷道口的选择：

1) 宜选择在坡积物少、岩性单一、岩质坚硬、风化层薄和岩体新鲜完整性好的部位。

2) 宜选择在地形上缓下陡的地段，以利直接拉门进巷；当不具备上述地形条件需要开明堑进

巷时，应投入足够的勘探工作量，依据勘探结果选择有利于巷道口围岩稳定的部位。

3）巷道口应避开冲沟发育地段；当巷道口处于地表水体附近时，直接拉门进巷的巷道口底板标高或明堑起点的底板标高应高出百年一遇的洪水位（或最高潮位）0.5m～1.0m，以免遭洪水淹没或潮水侵袭。

4）巷道口处不应有危及安全的不良地质现象。

5）临近有弃渣场。

b）洞轴线的选择：

1）当建库岩体以垂直地应力为主时，洞轴线方位应与岩体各主要结构面呈大角度相交，同时应适当兼顾与次要结构面的交角。

2）当建库岩体以水平地应力为主时，洞轴线长轴与最大主应力方向水平投影应小角度相交。

5.3.9 勘察资料整理与分析的重点如下：

a）库址围岩分段分类及范围。

b）地下工程部署优化建议。

c）设计地下水位、洞库涌水量与洞库埋深分析和估算。

d）完善地质模型。

e）洞室稳定性分析评价。

f）巷道口稳定性及洞室轴线布置。

g）存在问题及对下步勘察工作的建议。

5.4 施工图设计及施工阶段勘察

5.4.1 施工图设计及施工阶段勘察是施工图设计和施工阶段的岩土工程勘察。应在完成初步设计阶段勘察的基础上结合初步设计资料，检验前期勘察的地质资料与结论，补充论证专门性工程地质问题，并提出优化设计方案的建议。

5.4.2 施工图设计及施工阶段勘察前，应取得下列资料：

a）附坐标的水封洞库（地下工程部分）总平面图、洞巷断面图、典型支护图、竖向布置图等有关图件。

b）洞室开挖方案。

c）有关初步设计审批文件或施工图设计及施工阶段勘察任务委托书。

d）初步设计阶段勘察的报告书及图件。

5.4.3 施工图设计及施工阶段勘察是施工图设计前各阶段岩土工程勘察工作的继续和深入，其目的与主要任务如下：

a）施工图设计及施工阶段勘察应达到如下目的：

1）根据开挖获得的勘察资料校核施工前向设计、施工提供的勘察成果，深入认识和总结库区地质规律并积累经验。

2）配合设计、施工及时解决对施工安全、工程质量有影响的水文地质、工程地质问题。

b）施工图设计及施工阶段勘察应完成如下任务：

1）随巷道、竖井、洞库的开挖，进行围岩地质编录，校核并确定围岩分类。

2）按围岩地质编录结果编制巷道、竖井、洞库的地质展示图和洞库顶、底板基岩地质图以及洞库围岩富水程度图等图件。

3）配合围岩分类或为测定爆破松动圈、检查喷锚质量和注浆效果等进行岩体声波测试。

4）为了确定围岩应力状态，判别或预报顶板压力，洞室稳定性分析和衬砌支护设计计算，应进行岩体表面应力测量。

5）采用先进的地质预报系统进行超前地质预报。

6）实测洞库涌水量，预测洞库投产后地下水位恢复动态，为评价“水封条件”提供依据。

7）继续进行地下水动态观测和资料整理分析工作。

5.4.4 随着巷洞开挖，尚应进行下列工作：

a）对水封洞库的重要地下工程部位或新揭露的地质现象，补充必要的钻探工作量，钻孔深度应达设计洞库底板以下5m（当为斜孔时，应钻穿目的层以下2m～5m）。

b）对新发现的岩性应采取岩样，进行岩矿鉴定和岩石物理力学性质试验。

c）根据水封洞库的施工特点，利用施工巷道或洞库第一层开挖所揭露的围岩，提出本阶段的补充勘察资料。

5.4.5 应编制以下综合工程地质基本图件：

a）巷道、竖井、洞库的地质展示图，应标出围岩的岩性（层）界线、风化程度、断层和软弱夹层的性质规模及分布状况。

b）洞库围岩富水程度图，应标出含水裂隙带分布与宽度、出水点位置及出流状态等。

c）围岩结构面组合形态分布图，应标出掉块、塌方、片邦等发生处的结构面组合性状与规模，并简要说明其发生原因，必要时附素描图或照片。

d）底图比例尺应采用1∶100，成图比例尺采用1∶200。

5.4.6 随着开挖工作的进行，不断分析研究地质规律，为洞、巷工作面前方一定范围内提供超前地质预报。对工程地质条件的可能变化段或工程重要部位，为各次爆破开挖提供地质预报。其内容应包括绘有岩性（层）、构造、结构面组合形态等的图件，并以简要文字说明可能发生的开挖障碍、施工注意事项等。

5.4.7 对危岩成因进行分析及处理，地质人员应分析危岩产生的原因，判断其稳定状态，并相应提出排除或加固的建议。

5.4.8 配合围岩分类或为测定爆破松动圈、检查喷锚质量和注浆效果等进行岩体声波测试。

a）配合围岩分类的岩体声波测试，宜在地质编录基础上在围岩表面进行，以取得岩体弹性波速指标。

b）爆破松动圈、检查喷锚质量和注浆效果等的声波测试，应在设计、施工提出要求时进行，其测试工作均应在测试孔中进行。

5.4.9 根据施工图设计及施工阶段勘察成果，协同设计、施工人员逐段研究具体的工程处理措施，对各处理段应做大比例尺（1∶50～1∶20）的平面或剖面图，在图上标明岩性（层）、构造、各种结构面的组合形态和具体处理方法，并简要说明处理的原因及处理后效果等。

5.4.10 检验地下工程部署的合理性，在施工中根据所揭示的水文地质、工程地质规律，应不断地复核地下工程部署的合理性，当发现规模较大的隐伏构造或由于地下工程部署不合理而严重影响围岩稳定时，经充分研究应提出工程处理或调整的建议。

5.4.11 应按下列要求实测洞库涌水量：

a）可用容积法逐一测定各出水点的水量，然后累计求得总涌水量或逐段测定排水量与施工用水量求得洞库涌水量，即洞库某段涌水量等于施工排水量与施工用水量之差。

b）实测洞库涌水量工作除在施工中逐段进行外，在整个洞库竣工后尚应统一测定一次并进行水质分析，测定时间宜选择在丰水季节。

5.4.12 在施工中不断整理分析地下水动态资料，以便为投产后的水位恢复预测提供资料，并根据对地下水动态规律的新认识，提出观测网的补充或调整的建议。

5.4.13 当遇到新的工程地质问题而影响施工时，应根据地质问题的复杂性利用各种施工开挖工作面观察和搜集地质情况，必要时可进行专门性工程地质问题勘察。根据勘察结果可建议修改施工方案，必要时可建议把全断面开挖改为导洞或分部开挖。及时进行地质编录和预报工作，并提出相应处理措施建议。

5.4.14 勘察资料整理与分析的重点如下：

a）总结库区水文地质、工程地质条件与规律，并对施工前地面岩土工程勘察成果做出复核。

b）分析施工中出现的岩体失稳原因、处理措施与效果，同时对各类围岩的支护措施、施工方案和施工注意事项等提出建议。

c）结合工程地质条件对地下工程部署提出工程处理或调整的建议并做出评价。

d）对洞库投产后的地下水动态或岩体稳定性监测工作等提出建议。

e）估算洞库、巷道涌水量，为施工排水设计提供依据，为洞库投产后的排水设计提供预测值。

f）提出针对不同性质、类型的含水裂隙的注浆封堵措施的建议。

5.5 勘察成果

5.5.1 各种勘察原始记录和数据（包括搜集的有关资料）必须进行校核，对重要的工程地质现象还应进行现场复核，当确认无误时，方可作为勘察成果的基础资料。

5.5.2 可根据水文地质、工程地质条件对选址区进行分区，并对洞、巷、竖井等地下工程进行段、带的划分。

5.5.3 岩石（体）的各种指标（包括物理力学性质指标、弹性波速、渗透系数等）的统计，应符合以下要求：

a）岩石（体）的各种指标应按区、段、带及岩性（层）分别进行统计。当同一岩性（层）的指标差别很大时，应进一步划分岩石（体）单元并进行统计。

b）统计指标分一般值和计算值两种。预可研阶段勘察及可研阶段勘察可提供一般值；初步设计阶段勘察和施工图设计及施工阶段勘察应提供计算值。

1）一般值：系指从试验总数中舍去最大值和最小值各10%后的范围值。

2）计算值：当指标离散度较小时，可取算术平均值或中值；反之，可分别取最大平均值（如渗透系数、泊松比等）或最小平均值（如容重、饱和抗压强度、静弹性模量、弹性波速等）。

c）对软弱岩层（包括断层破碎带）以及重要地下工程部位的有关指标，必要时可采用保证界限值。

5.5.4 岩体的抗压强度值可按下列方法之一或综合判定求得：

a）取岩石力学性质试验和岩石、岩体声波测试结果，按式（1）求得的准围岩抗压强度值作为岩体抗压强度的近似值。

$$[R'] = R_c \cdot K_v \cdot A \qquad \cdots\cdots (1)$$

式中：

$[R']$——准围岩抗压强度，单位为兆帕（MPa）；

A——修正系数（取值0.6～0.7）；

K_v——岩体完整性指数，按式（2）计算。

$$K_v = (v_{Pb}/v_{Pt})^2 \qquad \cdots\cdots (2)$$

b）按现场原位抗压强度试验方法求得。

c）根据地区经验，以类比法确定。

5.5.5 岩体抗剪强度值可用下列方法之一确定：

a）根据地区经验，将岩石抗剪试验的计算值进行适当的折减确定，折减系数可按岩体结构的具体情况取0.5～0.8。

b）以现场原位软弱面抗剪试验的结果确定。

5.5.6 岩体的弹性力学指标可用下列方法之一确定：

a）用弹性波法按式（3）计算弹性模量：

$$E = \frac{\rho \cdot v_P^2 (1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \qquad \cdots\cdots (3)$$

式中：

v_P ——岩体弹性波速（纵波），单位为千米每秒（km/s）；

ν——泊松比，按式（4）计算。

$$\nu=\frac{1-2\ (v_S/v_P)^2}{2-2\ (v_S/v_P)^2} \qquad \cdots\cdots (4)$$

式中：

v_S ——岩体弹性波速（横波），单位为千米每秒（km/s）。

b）以现场原位岩体力学试验直接求取。

5.5.7 各阶段勘察报告应包括下列内容：

a）预可研阶段勘察：

1）序言：简述选址依据、范围；洞库类型、规模和用途；介绍选址工作经过；区域地质研究程度和主要成果；本次勘察完成的项目、内容、工作量和负责单位及协作单位；对勘察资料深度的评价或说明。

2）自然地理概况：

（1）选址区地理位置、地形地貌特征和剥蚀或覆盖的程度，各级区域侵蚀基准面高程。

（2）水文概况，包括水文网的分布，江、河、湖泊、水库等百年一遇洪水位、枯水位（对水库系指设计最低水位）、海水的潮位资料。

（3）简述区域地下水位及地下水利用情况。

（4）气候类型及气象特征：气温、风向、风速、降水等规律及其影响。

（5）交通、地方经济及有用矿产等概况。

3）区域地质概况：

（1）阐明选址区所属大地构造单元或所属构造体系及所在部位；简要的地史和建造；区域性岩浆活动期次、产状、类型及特点；区域变质作用及类型、规模、特点；区域地层资料等。

（2）根据区域地震资料，论证选址区的区域稳定性，同时列出地震部门对选址区所作的地震基本烈度鉴定结果及其鉴定书文号。

4）库址方案的比较与选择：扼要阐明库址比较方案的地质概况，并对库址方案的主要水文地质、工程地质条件进行总体性评价。按建库主要地质条件的优劣，划分库址类别并提出推荐意见。

5）结论与建议：

（1）区域稳定性的结论。

（2）库址方案比较和推荐库址的有关结论。

（3）存在问题及对下步勘察工作的建议。

b）可研阶段勘察：

1）序言：

（1）简述勘察任务依据，工程名称、库容量、类型和库址地理位置等。

（2）库址区地质研究程度以及在此基础上开展勘察工作的项目、工作量、承担单位和负责人。

（3）勘察资料的深度说明。

2）工程地质分区及地下工程部署问题：

（1）论述库址区主要水文地质、工程地质问题，对岩体渗透性与岩体质量做初步评价及分类，论证库址区工程地质分区原则和结果，划定适宜建库岩体范围。

（2）初步确定建库岩体的稳定性级别；论述洞库的跨度、间距、轴线方位、设计地下水位标高及合理埋深、巷道口位置等有关地下工程部署问题，估算最大涌水量。

3）结论与建议：

（1）对建库岩体范围及其总体水文地质、工程地质条件做出简要结论。

（2）对有关地下工程部署问题提出建设性意见或建议。

（3）本阶段勘察存在问题和对初步设计阶段勘察工作的建议。

c）初步设计阶段勘察：

1）序言：

（1）简述勘察任务依据和初步设计确定的地下工程部署概况。

（2）本阶段勘察完成的工作项目、工作量、承担单位和负责人。

（3）勘察资料的深度评价或说明。

2）对可研阶段勘察成果的补充或修正意见。

3）围岩稳定性分类及支护措施等。

（1）综述围岩稳定性分类、分段概况，说明分类、分段原则、依据和精度以及存在的问题等。

（2）提出相应支护措施、施工方法和施工注意事项等建议。

4）地下水动态及洞、巷涌水量预测：

（1）阐述地下水天然动态规律，对观测网的调整提出建议。

（2）根据本阶段勘察资料，分析在洞库、巷道围岩中存在的含水裂隙类别及可能的出流方式与相应的处理方法建议。

（3）按具体水文地质条件选择适宜方法估算洞库、巷道涌水量。

5）存在问题及对施工图设计及施工阶段勘察工作的建议。

d）施工图设计及施工阶段勘察：

1）序言：简述施工图设计及施工阶段勘察的起止日期；工作的内容、方法、工作量、参加人员；取得的主要成果；遗留问题与勘察资料深度评价等。

2）库址区水文地质、工程地质条件总结：着重总结有关规律性的问题和对前阶段勘察所做围岩预分类、围岩稳定性理论验算、地下工程部署、涌水量预测、地下水动态预测等问题进行验证性评价，在评价中应指出存在问题并分析原因，总结经验。

3）施工中出现的岩体失稳状况、原因及处理结果：列举出现岩体失稳的地段、发生时间、部位、规模；分析产生失稳的原因，说明处理方法和效果。

4）各项检测、监测及岩土工程治理等专项报告。

5）结语：

（1）简要总结库址区的水文地质、工程地质规律。

（2）对地下工程部署做出评价。

（3）对洞库运营中有关地质问题加以说明，并对应进行的长期观测工作提出建议。

（4）对勘察工作的改进和应加强研究的课题等提出建议。

6 测绘、勘探与测试

6.1 综合工程地质测绘

6.1.1 水封洞库施工前应先进行综合工程地质测绘工作，为其他勘探与测试工作提供基本地质资料。

6.1.2 综合工程地质测绘应包括下列内容：

a）地貌形态和成因类型。

b）地层岩性、产状、厚度、风化程度。

c）断裂和主要节理、裂隙的性质、产状、充填、胶结、贯通及组合关系。

d）不良地质作用的类型、规模和分布。

e）地震地质迹象。

f）地应力的最大主应力作用方向。

g）地下水的类型、埋藏条件、补给、排泄和动态变化及其与地表水体的关系。

h）洞室穿越地面建筑物、地下构筑物、管线等既有工程时的相互影响。

6.1.3 工程地质测绘的基本方法可分为地质点法和遥感影像解译法两种。

a）地质点法的应用应符合表2的规定。

表2 地质点法测绘的基本方法

基本方法	说 明
路线穿越法	垂直穿越地貌单元、岩层和地质构造线走向，常用于各类比例尺测绘
追索法	沿地层、构造和其他地质单元界线逐条追索并将界线绘于图上，地表可见部分用实线表示，推测部分用虚线表示。这种方法用于中、小比例尺测绘
布点法	根据地质条件的复杂程度和不同的比例尺，预先在图上布置一定数量的地质点。对第四系地层覆盖地段，必须要有足够的人工露头点，以保证测绘精度。适用于大、中比例尺

b）遥感影像解译法的应用应符合下列规定：

中、小比例尺测绘，应尽量利用航片、卫片资料进行地质解译；在地形陡峻、露头良好地区的大比例尺测绘中，可用陆摄照片进行地质调绘，解译成果必须进行野外实地验证和核定。

6.1.4 对地形地貌、地层岩性、不良地质现象、水文地质条件等进行描述与成因类型的划分。观察路线与观察点的布置应符合以下要求：

a）观察路线应布置在地貌、地层岩性、构造、水文地质条件和不良地质现象等变化大的方向并力求：

1）垂直于分水岭，穿过地貌变化显著的地段。

2）垂直于岩层走向。

3）垂直或平行于地下水、地表水的总流向。

4）通过不良地质现象最发育的地段。

5）按选址要求，沿各库址方案的地段布置，按初步设计阶段勘察要求，沿巷道、洞库轴线布置。

除上述原则外，当为查明岩性岩相变化、追索地质地貌界线、追索断层和岩层接触关系时，应顺走向布置观察路线。

b）观察点应布置在地貌、地质、水文地质、不良地质现象等有意义的地方。如地层岩性界线，构造破碎带，地下水的露头，滑坡、崩塌、冲沟、阶地、夷平面边缘或其他地貌分界线等处。观察点可分为：

1）综合工程地质点（简称地质点）。

2）水文地质点。

3）地貌点。

4）其他专门性观察点，如岩体裂隙研究点（简称构造点）。

6.1.5 观察点的定位应符合下列规定：

a）测绘比例尺小于1∶10000时，地质点的定位可用目测和罗盘仪交会。对可能影响库区工程地质或水文地质条件的重要地质点，应采用测量仪器定位。

b）测绘比例尺大于或等于1∶10000时，地质点的定位应采用测量仪器定位。

6.1.6 按岩体结构研究及稳定性评价要求，对构造（断层、褶皱与节理等）的测绘应符合以下要求：

a）在详细鉴定岩性、结构构造的基础上，除应量测岩层的产状外，还应描述岩体的完整程度与

破碎状况。

1）对岩浆岩描述其产状（岩基、岩墙、岩脉等）、规模、接触关系和分布规律，量测其构造破碎带以及原生节理、构造节理。

2）对变质岩测量片理产状、矿物定向排列方向，描述其微型褶皱情况及其构造破碎带、构造节理等。

b）对褶皱构造应研究褶皱轴方向及其变化情况，褶皱两翼的产状及倾伏形式、规模大小、岩性以及紧密程度等。

c）断层的描述应以断层要素为重点，包括断层的裂面（或称断层结构面）倾向、倾角、上下盘关系，断层两盘相对位移的幅度、断层延长方向、断层宽度变化、两断层交会处宽度大小、破碎带岩石（糜棱岩带、角砾岩带、压碎岩带）的分布及其宽度等，断层带的充填物和附近影响带充水、胶结情况等，断层发生的地质时代与近期活动性等。

d）节理描述应以节理面走向、倾向、倾角，节理面光滑程度（或称粗糙度）、张开宽度、延展长度（或称切穿程度）、充填物性质及充填程度等为重点。对节理的量测和研究应符合以下要求：

1）除重点研究原生节理、构造节理外，对非构造节理亦应予以调查研究，如风化裂隙、剪切裂隙、卸荷裂隙、滑坡裂隙等，对变质岩的流劈理和破劈理亦应研究和区分。

2）节理间距的测量应分组进行，即在一个节理量测点上，先找出不同方向的节理组，然后分别对各组节理沿垂直节理面方向进行测量。量测线段长度，以 1m 为单位，如果同组两条节理的间距大于 0.5m，可以 2m 作为测量线段长度。以测量线段内出现的节理条数计算节理的平均间距。

3）断层两侧、褶皱轴部两侧及远离部分的节理，均应分别进行量测和统计。

4）节理量测结果应填入节理统计表中（格式见表 3）。进行节理统计时，应按构造部位和节理性质分别进行。

5）对节理密集带应量测带宽，并按表 4 进行分类。

表 3　节理统计表（格式）

编号	产状要素			间距 m	延展长度 m	节理面描述			岩性	构造部位
	走向	倾向	倾角			宽度 mm	节理面形态	充填物		

表 4　节理密集带宽度分类

宽度，m	＜1	1～5	＞5
类别	a	b	c

e）为了在大比例尺综合工程地质测绘中把规模较大的节理与小断层区别开来，可以有无构造岩作为划分标准，凡有构造岩者定为小断层，无构造岩者定为节理。按断层结构面的宽度可把断层规模划为五类，见表 5。

表 5　断层规模分类

断层结构面的宽度，cm	≤2.0	2.1～5.0	5.1～10.0	10.1～50.0	＞50.0
类 别	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
注：Ⅰ类～Ⅲ类称小断层（代号 f），Ⅳ类～Ⅴ类称断层（代号 F）。					

6.1.7 根据结构面的量测及统计结果，可按表6确定结构面发育程度分级。

表6 结构面发育程度分级

发育程度等级	结构面基本特征		
	结构面组数及平均间距	主要结构面的特征	岩体结构类型
不发育	1组～2组，平均间距大于1m	多为密闭节理	巨块状结构
较发育	2组～3组，平均间距大于0.4m	多数为闭合，部分微张，呈X型，较规则，以构造型为主，少有充填物	大块状结构
发育	3组以上，平均不大于0.4m	不规则，呈X型或米字型，以构造型或风化型为主，大部分张开，部分有充填	小块状结构
很发育	3组以上，杂乱，平均间距不大于0.2m	以风化型和构造型为主，均有充填	碎石状

6.1.8 岩体风化程度及分类标准见表7。

表7 岩体风化程度分带

风化程度	野外特征	波速比 K_v
未风化	岩质新鲜，偶见风化痕迹	0.91～1.00
微风化	结构基本未变，仅节理面有渲染或略有变色，有少量风化裂隙	0.81～0.90
中等风化	结构部分破坏，沿节理面有次生矿物，风化裂隙发育，岩体被切割成岩块。用镐难挖，岩心钻方可钻进	0.61～0.80
强风化	结构大部分破坏，矿物成分显著变化，风化裂隙很发育，岩体破碎。用镐可挖，干钻不易钻进	0.41～0.60
全风化	结构基本破坏，但尚可辨认，有残余结构强度，可用镐挖，干钻可钻进	0.21～0.40
残积土	组织结构全部破坏，已风化成土状，锹镐易挖掘，干钻易钻进，具可塑性	≤0.20
注：波速比 K_v 为风化岩与新鲜岩压缩波（纵波）速度之比。		

6.1.9 水文地质测绘应以对泉的调查作为重点，其主要内容如下：

a) 泉的位置、标高及与当地侵蚀基准面的相对高差，均标在图上。

b) 泉出露的岩层及上下岩层的岩性和构造，重要的泉应做裂隙率的统计。

c) 做泉的剖面图与素描图，描述或拍照泉四周的地形地貌景观，划分泉的成因类型，描述泉的出露特点，测量泉的流量（宜用容积法、三角堰法或流速法进行实测，不应利用目估法）、气溢、水溢、物理性质、水温、气温等。

d) 对泉水做简易水质分析并记录与泉水有关的物理地质现象，可通过访问取得枯水期与丰水期泉的涌水量资料。泉水动态类型可按表8进行划分，泉水矿化度分类可按表9进行，水化学类型可按布氏分类法进行。

表 8　泉水动态类型划分

类　　型	最小涌水量与最大涌水量的比值
极稳定的	1.00
稳定的	0.99～0.50
变化的	0.49～0.10
多变的	0.09～0.03
极不稳定的	＜0.03

表 9　泉水矿化度分类

类　　别	总矿化度 g/L
淡水（低矿化度水）	≤1.0
微咸水（弱矿化度水）	1.1～3.0
咸水（中矿化度水）	3.1～10.0
盐水（高矿化度水）	10.1～50.0
卤水	＞50.0

6.2　勘探与取样

6.2.1　为查明岩体的性质与分布，采取岩体试样或进行原位测试时，可采用钻探、井探、槽探、洞探和综合工程物探等，勘探方法的选取应符合勘察目的和岩体的特性。

6.2.2　布置勘探工作时应考虑勘探对工程自然环境的影响，防止对地下管线、地下工程和自然环境的破坏。钻孔、探井和探槽等完工后应妥善回填或保护。

6.2.3　进行钻探、井探、槽探和洞探时，应采取有效措施，确保施工安全。

6.2.4　钻探口径和钻具规格应符合现行国家标准的规定。成孔口径应满足取样、测试和钻进工艺的要求。

6.2.5　钻探应符合下列规定：

a）钻进深度和岩体分层深度的量测精度，不应大于±5cm。

b）应严格控制非连续取心钻进的回次进尺，使分层精度符合要求。

c）岩心钻探的岩心采取率，对完整和较完整岩体不应低于80%，较破碎和破碎岩体不应低于65%，对需重点查明的部位（滑动带、软弱夹层等）应采用双层岩心管连续取心。

d）当需确定岩石质量指标 *RQD* 时，应采用75mm口径（N型）双层岩心管和金刚石钻头。

e）定向钻进的钻孔应分段进行孔斜测量，倾角和方位的量测精度应分别为±0.1°和3.0°。

6.2.6　钻孔的记录和编录应符合下列要求：

a）记录应由经过专业训练的人员承担；记录应真实及时，按钻进回次逐段填写，严禁事后追记。

b）岩心地质编录由工程地质专业人员承担，地质编录内容主要为岩性、构造与按钻进回次或每米进行统计 *RQD* 值等，并选择岩心样品送实验室进行试验。

c）钻探成果可用钻孔野外柱状图或分层记录表示；岩心样可根据工程要求保存一定期限或长期保存，亦可拍摄岩心彩照纳入勘察成果资料。

6.2.7　对探井、探槽和探洞除文字描述记录外，尚应以剖面图、展示图等反映井、槽、洞壁和底部的岩性、地层分界、构造特征、取样和原位试验位置、并辅以代表性部位的彩色照片。

6.2.8　钻探操作的具体方法应按JGJ 87执行。但封孔应符合以下要求：

a）凡属地下水动态观测孔或留做地下水动态观测孔的各类钻孔，在终孔后不应封孔。但处于洞库拱顶的地下水动态观测孔或其他观测孔（如围岩稳定性监测钻孔）应对拱顶以上 5m 至孔底的孔段进行封孔。

b）除上述钻孔外，均应以 425 号以上水泥配制的相对密度大于 1.8 的水泥浆进行全孔段封孔。

6.2.9 岩石试样可利用钻探岩心制作或在探井、探槽、竖井和平洞中刻取。采取的毛样尺寸应满足试块加工的要求。在特殊情况下，试样形状、尺寸和方向由岩体力学试验设计确定。

6.2.10 采取岩样、水样应符合以下规定：

a）所采取的样品必须有代表性。

b）同种岩性的岩样应不少于六组，每组岩样的数量应能满足测定各项指标时不少于三个平行试验的需要。

c）同类型含水层或同一地表水体中所采取的水样不应少于三组。

6.2.11 室内试验宜包括下列内容：

a）岩石物理力学性质试验。

b）岩石声波试验。

c）岩矿鉴定。

d）水质分析。

6.2.12 勘察中可在下列方面采用工程物探：

a）了解隐蔽的地质界线、界面或异常点。

b）在钻孔之间增加工程物探工作，为钻探成果的内插、外推提供依据。

c）作为原位测试手段，测定岩体的波速、卓越周期、电阻率、放射性辐射参数等，计算动弹性模量、动剪切模量等岩体的动力学参数及判定岩土对金属的腐蚀性等。

6.2.13 当采用工程物探时，应选择有效的方法，并具备下列条件：

a）被探测对象与周围介质之间有明显的物理性质差异。

b）被探测对象具有一定的埋藏深度和规模，且地球物理异常有足够的强度。

c）能抑制干扰，区分有用信号和干扰信号。

d）在有代表性地段进行方法的有效性试验。

6.2.14 工程物探成果判释时，应考虑其多解性，区分有用信息与干扰信号。需要时应采用多种方法探测，进行综合判释，并应有已知物探参数或一定数量的钻孔验证。

6.3 现场测试

6.3.1 为了查明竖井及洞室的岩体结构、节理性质及岩体特性，可进行必要的钻孔内测试工作，其主要内容包括：

a）钻孔弹性波测试。

b）声波测井或地震测井。

c）超声成像测井或孔内数字成像。

d）钻孔地震 CT 或钻孔电磁波 CT 测试。

e）孔内地温测试。

f）钻孔应力测定。

6.3.2 钻孔中的声波测试项目主要包括岩体弹性波速（纵波）和超声成像。其测试工作应符合以下要求：

a）岩体弹性波速测试宜采用单孔声波、穿透声波或地震波等方法进行测试。

b）单孔声波应在无金属套管、宜有井液耦合的钻孔中测试。

c）穿透声波在具有成对钻孔的岩体上进行，钻孔宜有井液耦合，穿透距离应以保证接收信号清晰为前提。

d）当超声成像所使用的超声成像仪器附带有声幅、井径记录时，应一并取得声幅和井径曲线资料。

6.3.3 为配合围岩分类、确定爆破松动圈厚度、检查喷锚质量和注浆效果等而进行的岩体声波测试应符合以下要求：

a）配合围岩分类而进行的岩体声波测试，可在地质编录和围岩工程地质分段（带）基础上进行。

b）确定爆破松动圈的声波测试，可采用在每一围岩工程地质分段（带）中选取 1 个～2 个有代表性的断面，并沿每一断面的拱顶、拱脚和边墙等部位布置双孔或单孔进行测试。

c）检查喷锚质量和注浆效果的声波测试应采用双孔法或单孔法进行，以喷锚或注浆前后两次测试结果的对比加以判定，两次声波测试孔必须在同一孔位上。

d）在测试孔中进行声波测试，可用清水作为耦合剂。

e）当采用非自动记录仪器时，其孔中测点距离不宜大于 0.10m，每组测试孔同一孔深各测两次，读数差不应大于 5μs。

6.3.4 现场原位岩体力学试验、钻孔应力测量、岩体表面应力测量等的技术要求及具体方法，可按现行国家有关规范、规程执行。

7 地下水

7.1 腐蚀性评价

7.1.1 每个库区每种类型地下水采取试样数量不少于 3 组；有地表水时，亦应采取地表水试样，进行水质分析试验。

7.1.2 为了进行水化学分类和判定水对建筑材料的腐蚀性，测试项目及评价标准按 GB 50021 中有关规定执行。

7.1.3 根据项目需要进行特殊项目的检测试验。

7.2 压水试验

7.2.1 钻孔压水试验应随钻孔的加深自上而下用单栓塞分段隔离进行。岩石完整、孔壁稳定的孔段，或有必要单独进行试验的孔段，可采用双栓塞分段进行。

7.2.2 试验段长度宜为 5m。含断层破碎带、裂隙密集带等的孔段，应根据具体情况确定试段长度。相邻试段应相互衔接，可少量重叠，但不能漏段。

7.2.3 压水试验应按三级压力、五个阶段进行，三级压力宜分别为 0.3MPa，0.6MPa 和 1MPa。

7.2.4 在稳定的压力下，每 1min～2min 测读一次压入流量。当流量无持续增大趋势，且 5 次读数中最大值与最小值之差小于最终值的 10%，或最大值与最小值之差小于 1L/min 时，本阶段试验即可结束，取最终值作为计算值。

7.2.5 试验资料整理应包括校核原始记录，绘制 p—Q 曲线，确定 p—Q 曲线类型和计算试验段透水率等。

7.2.6 绘制 p—Q 曲线时，应采用统一比例尺，即纵坐标（p 轴）1mm 代表 0.01MPa，横坐标（Q 轴）1mm 代表 1L/min。

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。

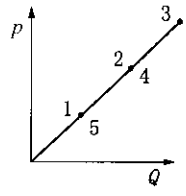
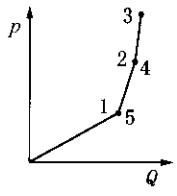
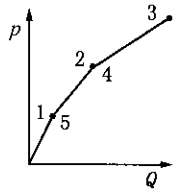
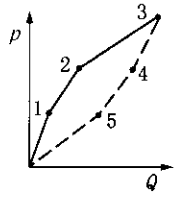
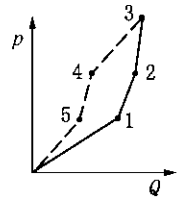
7.2.7 试验的 p—Q 曲线类型应根据升压阶段 p—Q 曲线的形状以及降压阶段 p—Q 曲线之间的关系确定。p—Q 曲线类型划分及曲线特点见表 10。

7.2.8 当 p—Q 曲线中第 4 点与第 2 点、第 5 点与第 1 点的流量值绝对差不大于 1L/min 或相对差不大于 5%时，可认为基本重合。

7.2.9 试验段透水率采用第三阶段的压力值（p_3）和流量值（Q_3）按式（5）计算：

$$q = \frac{Q_3}{p_3 \cdot L} \qquad \cdots\cdots (5)$$

表 10　p—Q 曲线类型及曲线特点

类　型	A（层流）型	B（紊流）型	C（扩张）型	D（冲蚀）型	E（充填）型
p—Q 曲线					
曲线特点	升压曲线为通过原点的直线，降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 Q 轴，降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 p 轴，降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 p 轴，降压曲线与升压曲线不重合，呈顺时针环状	升压曲线凸向 Q 轴，降压曲线与升压曲线不重合，呈逆时针环状

式中：

q——透水率，单位为吕荣（Lu）；

Q_3——压入流量，单位为升每分（L/min）；

p_3——作用于试段内的全压力，单位为兆帕（MPa）；

L——试段长度，单位为米（m）。

7.2.10　当试验段位于地下水位以下，透水性较小（q<10Lu）、p—Q 曲线为 A（层流）型时，可按式（6）计算岩体渗透系数：

$$K=\frac{Q'_3}{2\pi \cdot H' \cdot L}\ln\frac{L}{r_0} \qquad \cdots\cdots (6)$$

式中：

Q'_3——压入流量，单位为立方米每天（m^3/d）；

H'——试验水头，单位为米（m）；

L——试段长度，单位为米（m）；

r_0——钻孔半径，单位为米（m）。

7.2.11　当试段位于地下水位以下，透水性较小，p—Q 曲线为 B（紊流）型时，可用第一阶段的压力 p_1［换算成水头值，以米（m）计］和流量 Q_1 代入式（6）近似地计算渗透系数。

7.2.12　当渗透性较大时，宜采用其他水文地质试验方法测定岩体渗透系数。

7.3　抽水试验

7.3.1　抽水试验的目的是为取得岩体的渗透性参数和查明建库岩体与其水文地质边界间的水力联系。

a）确定岩体渗透性参数的抽水试验孔应具有代表性，一个库区内的抽水试验孔数不应少于 3 个，可采用单孔（或有观测孔）的稳定流抽水试验方法进行。

b）查明岩体与其水文地质边界间水力联系的抽水试验孔，应分别布置在建库岩体和水文地质边界上，进行抽水试验。在一个库址区内，抽水试验组数不得少于两组。为检验每组抽水试验孔间的水力联系，在两抽水试验孔间应布观测孔 2 个～3 个。

7.3.2　抽水试验孔应符合以下要求：

a）抽水试验孔的孔径，应满足抽水设备、出水量及水位降深的要求，应一径到底，尽量不变径

或少变径。

b）应保持抽水试验孔的垂直，100m 深度内允许孔斜不宜大于 1°。

c）钻探清洗液一般应为清水，禁止使用泥浆或将泥块投入孔内造浆，以防堵塞孔壁裂隙影响试验结果的真实性。

d）抽水试验前，应对试验孔进行清洗。

7.3.3 正式抽水前，静止水位观测应每 30min 观测一次，2h 内变幅不大于 2cm，且无连续上升或下降趋势时，即可视为稳定。

7.3.4 抽水试验降深应符合以下要求：

a）同一层（段）含水层的抽水试验，应进行三次降深；以在抽水孔测压管内测得的降深为准，各次降深间的差值宜相等。

b）单孔抽水试验的最小降深值 S_1，应不小于 0.5m；多孔抽水试验最小降深值 S_1，应保证最远的观测孔水位降深不小于 0.10m，或相邻观测孔的降深差不小于 0.20m。

c）抽水试验的降深顺序，对于松散层中的孔隙含水层，宜从小到大，循序渐进；对于基岩裂隙含水层以及粗颗粒的松散层，宜从大到小进行。

7.3.5 稳定流抽水试验观测应符合下列要求：

a）试验时抽水开始后的第 5min，10min，15min，20min，30min，40min，50min，60min 宜各观测一次动水位和出水量，以后每隔 30min 观测一次。

b）水位和水量的稳定延续时间：单孔抽水不应少于 4h；多孔抽水试验以最远的观测孔的水位稳定时间不应少于 8h 为宜。

7.3.6 抽水试验结束后，应立即观测恢复水位，观测时间为 1min，3min，5min，10min，15min，30min，以后每隔 30min 观测一次，直至恢复静水位为止。

7.3.7 用于水质分析的水样，应在抽水前和抽水将要结束时各取样一次。

7.3.8 根据抽水试验结果，对潜水含水层单孔完整井条件，按式（7）计算渗透系数，其示意图如图 1 所示。

$$K = \frac{0.732Q}{(2H - S)S}\lg\frac{R}{r_0} \qquad \cdots\cdots (7)$$

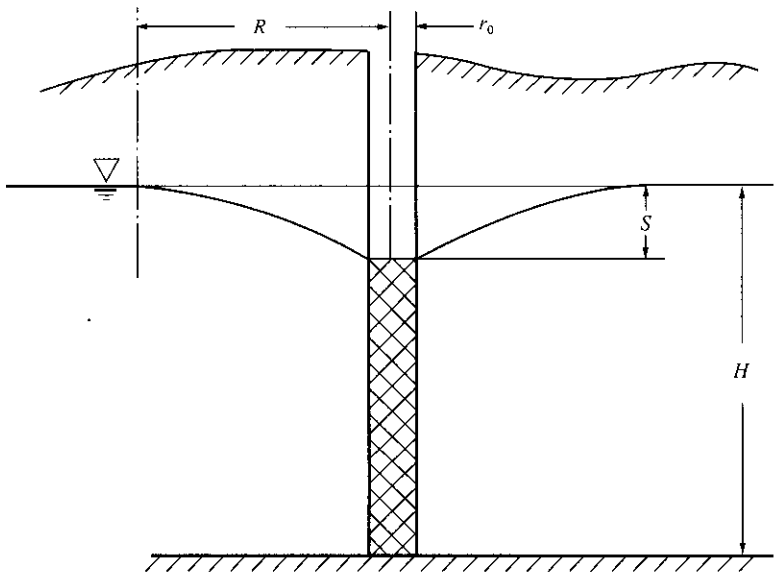


图 1　潜水含水层单孔完整井渗透系数计算示意图

式中：

Q——涌水量，单位为立方米每天（m^3/d）；

S——水位降深，单位为米（m）；

r_0——钻孔半径，单位为米（m）；

H——含水层厚度，单位为米（m）。

7.3.9 根据恢复水位资料，按式（8）、式（9）求渗透系数，并将计算结果与按式（7）抽水试验计算的结果相互对比，提出计算洞库涌水量所采用的渗透系数计算值。

$$T=\frac{0.183Q}{i} \qquad \cdots\cdots (8)$$

式中：

T——导水系数，单位为平方米每小时（m^2/h）；

Q——涌水量，单位为立方米每天（m^3/d）；

i——S'—（$1+t_P/t'$）关系曲线的斜率；

S'——剩余降深，单位为米（m）；

t_P——抽水延续时间，单位为小时（h）；

t'——水位恢复时间，单位为小时（h）。

$$K=\frac{T}{H} \qquad \cdots\cdots (9)$$

7.3.10 影响半径的确定，可按表 11 中有关公式计算。

表 11 影响半径计算公式表

试验类型	公式	适用条件	公式提出者
多孔抽水	$\lg R=\frac{S_1\lg r_2-S_2\lg r_2}{S_1-S_2}$	1. 承压水； 2. 两个观测孔	裘布衣
	$\lg R=\frac{S_1(2H-S_1)\lg r_2-S_2(2H-S_2)\lg r_1}{(S_1-S_2)(2H-S_1-S_2)}$	1. 潜水； 2. 两个观测孔	裘布衣
单孔抽水	$R=3000S\sqrt{K}$	1. 承压水； 2. 概略计算	吉哈尔特
	$R=600S\sqrt{H\cdot K}$	1. 潜水； 2. 概略计算	库萨金
	$R=\sqrt{\frac{12t}{\mu}\sqrt{\frac{Q\cdot K}{\pi}}}$	1. 潜水； 2. 完整孔	柯泽尼
	$R=2\sqrt{\frac{K\cdot H\cdot t}{\mu}}$	潜水	威伯
	$R=\frac{Q}{2K\cdot H\cdot\lambda}$	1. 承压水； 2. 概略计算	凯尔盖

注：S_1，S_2为各观测孔水位降深，单位为米（m）；r_1，r_2为各观测孔至抽水孔的距离，单位为米（m）；t为时间，单位为天（d）；μ为潜水含水层的给水度；λ为水力坡降。

7.4 地下水动态观测

7.4.1 地下水动态观测应包括水位和水质。在观测期间还应搜集附近气象台、站的大气降水与蒸发

资料；当库址附近有地表水体时，应同时搜集或观测取得地表水体的水位资料。通过地下水动态观测，取得以下成果资料：

a）地下水位的天然动态规律及变幅。

b）随施工开挖排水所产生的人为动态规律及其在库区内随时间变化的降落漏斗形态、范围和洞库拱顶以上水层厚度的变化。

c）水封洞库投产后，地下水位恢复速度及降落漏斗基本稳定后洞顶以上水层厚度资料。

d）地下水的水质随时间天然变化规律、随施工开挖排水引起水位下降至水封洞库投产水位恢复以及降落漏斗稳定后的水质变化资料。

7.4.2 地下水动态观测孔的布置应符合以下要求：

a）当需要观测库区的岩体裂隙水与地表水体的水力联系时，应布置垂直地表水体岸边线的观测排孔，同时观测地表水体的水位变化。

b）可研阶段勘察地下水观测孔可利用已有钻孔。

c）初步设计阶段勘察的地下水动态观测孔，可在已完钻的各种勘探孔中选择一部分加以利用；不足时，再补充观测孔。

d）施工图设计及施工阶段勘察的地下水动态观测孔布置应在初步设计阶段勘察观测网基础上针对洞库的部署状况，主要考虑人为动态观测的需要做必要的补充。其补充的重点是：

1）各洞库的拱顶部位。

2）洞库周围临近洞库排水边界一带的主要含水带。

7.4.3 天然动态的观测期限，不宜少于一个水文年。由天然动态观测转入人为动态观测应连续进行，未受人为因素影响的观测孔，在施工期间仍应继续观测。对观测资料应逐月、逐年进行整理，并绘制地下水位、水质和降水量随时间变化曲线图；及时记录和搜集有关洞库的施工进程、裂隙注浆封堵等资料。洞库工程移交生产单位的同时，应一并将地下水动态观测工作移交生产单位继续进行观测。

7.5 水封条件分析评价

7.5.1 水封洞库设计地下水位是为设计洞库埋深而提供的区域性分布的理论最低地下水位。它永远低于实测的天然最低地下水位值。

7.5.2 取区域性地下水排泄基准面作为设计地下水位，而且所取区域性排泄基准面必须不受天然或人为因素影响而发生变化，具有长期稳定的条件。

7.5.3 建库岩体的裂隙水同水文地质边界间的水力联系的研究与评价，应在库址选择阶段开始进行。当库区外围有人为因素而使库区地下水位剧烈改变的地表水体或导水性强的含水带存在时，应针对其水力联系进行水文地质试验并依试验结果对其联系的程度及对水封条件的影响给予确切的评价。

7.5.4 洞库开挖过程中常见的岩石含水可分为毛细裂隙水、重力水和无水三类，并以湿润（面状或斑状）、渗、滴、流方式出流。为提供地下水对围岩稳定性的影响和对含水裂隙的处理等资料，在施工图设计及施工阶段勘察应绘制围岩富水程度图。

7.5.5 根据水文地质条件提出裂隙处理建议时，应以围岩富水程度图所提供的资料为主要根据并按以下原则确定：

a）只对含重力水和涌水量较大的含水裂隙进行注浆处理。

b）毛细裂隙含水带与重力水带相邻时，只对重力水带注浆封堵。

c）注浆封堵工作在洞库拱顶、边墙和底板进行，对拱顶部分还应采用表面喷射水泥砂浆的处理措施。

d）对有充填物的含水裂隙进行注浆时，应事先对裂隙进行清洗。

7.5.6 对库区降落漏斗的形态应着重分析以下几点：

a）非均质岩体的影响半径不应取定值。应注意不规则的导水性引起库区以外断裂富水带或地表水体与库区地下水发生水力联系而增加洞库涌水量，改变地下水水质或改变设计地下水位标

高等问题。

b）巷道、洞室、竖井等施工中，基岩裂隙水出现突涌导致局部工程段地下水位急剧下降，形成降落漏斗，应立即分析原因，查明地下水出流点，对含水裂隙进行注浆处理，注浆 24h 后，地下水位应恢复到突涌前的高度。

c）降落漏斗在洞库施工期间始终处于变化状态，应注意研究其变化规律。

7.5.7 洞库涌水量可按下列方法之一进行估算或同时用多种方法综合判定求得。

a）水文地质比拟法：可根据已知洞库涌水量、渗透系数等按式（10）推算相同水文地质条件下的设计洞库涌水量。

$$Q_b = \frac{Q_a}{V_a \cdot H_a} V_b \cdot H_b \qquad \cdots\cdots (10)$$

式中：

Q_a——已知洞库涌水量，单位为立方米每天（m^3/d）；

V_a——已知洞库容积，单位为立方米（m^3）；

H_a——已知洞库埋深，单位为米（m）；

V_b——设计洞库容积，单位为立方米（m^3）；

H_b——设计洞库埋深，单位为米（m）。

b）经验解析法：根据经验解析方法推算洞库涌水量可按式（11）计算，计算示意图如图 2 所示。

$$Q = 2\pi \cdot K \cdot L_s \frac{m\ (H_0 + r)}{\ln\ [2\ (H_0 + r)\ /r]} \qquad \cdots\cdots (11)$$

式中：

Q——涌水量，单位为立方米每天（m^3/d）；

H_0——地下水位至洞顶距离，单位为米（m）；

r——洞室等效半径，单位为米（m）；

m——转换系数，一般取 0.86；

L_s——洞室长度，单位为米（m）。

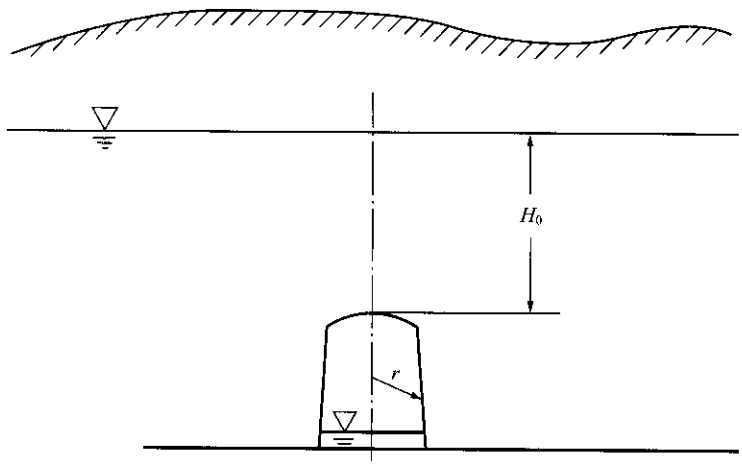


图 2　经验解析法洞库涌水量计算示意图

c）地下水动力学法：当洞库顶部地下水位有一定降落时，计算示意图如图 3 所示，可按式（12）进行估算。

$$Q = L_d \cdot K \frac{H_0'^2 - h^2}{R} \qquad \cdots\cdots (12)$$

式中：

Q——洞库涌水量，单位为立方米每天（m^3/d）；

L_d——洞库长度，单位为米（m）；

K——渗透系数，单位为米每天（m/d）；

H'_0——计算含水层厚度（地下水位至洞库底板），单位为米（m）；

h——含水层最小厚度（设计最低地下水位至洞库底板）单位为米（m）。

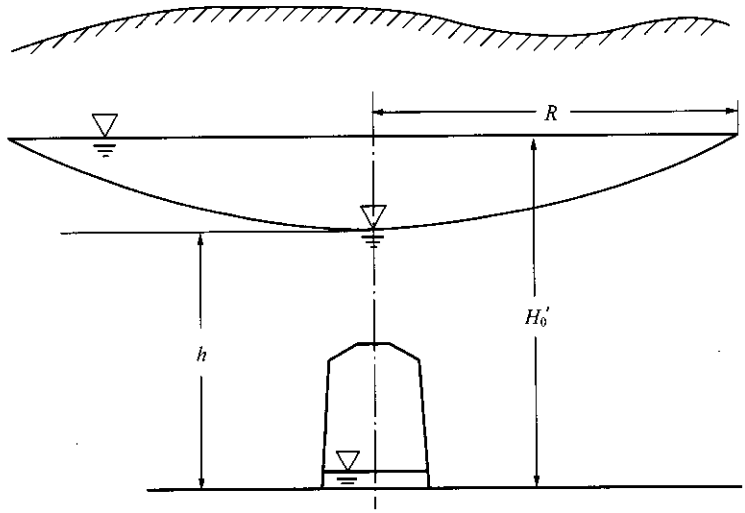


图 3　地下动力学法洞库涌水量计算示意图

d）水文数值模拟法：水文地质数值模拟法预测计算涌水量的基本流程为：

1）确定水封洞库裂隙岩体的渗流区域（包括含水层类型、水位、影响半径 R），建立渗流与应力在渗流区域内的耦合数学模型。

2）运用数值模拟方法求解耦合数学模型，并在最终渗流场计算结果下预测计算水封洞库的涌水量。

7.5.8　根据水文地质条件的分析，提出有无采取人工补水措施（如注水巷道与注水钻孔）的建议。

8　围岩分类及稳定性

8.1　岩体基本质量的分级因素

8.1.1　岩体基本质量应由岩石坚硬程度和岩体完整程度两个因素确定。

8.1.2　岩石坚硬程度和岩体完整程度，应采用定性划分和定量指标两种方法确定。

8.1.3　岩石坚硬程度的定性划分，应按表 12 进行。

表 12　岩石坚硬程度的定性划分

名　称		定性鉴定	代表性岩石
硬质岩	坚硬岩	锤击声清脆，有回弹，震手，难击碎；浸水后，大多无吸水反应	未风化～微风化的：花岗岩、正长岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、石英片岩、硅质板岩、石英岩、硅质胶结的砾岩、石英砂岩、硅质石灰岩等
	较硬岩	锤击声清脆，有轻微回弹，稍震手，较难击碎；浸水后，有轻微吸水反应	1. 中等风化的坚硬岩； 2. 未风化～微风化的：熔结凝灰岩、大理岩、板岩、白云岩、石灰岩、钙质胶结的砂岩等

表 12（续）

名称		定性鉴定	代表性岩石
软质岩	较软岩	锤击声不清脆，无回弹，较易击碎；浸水后，指甲可刻出印痕	1. 强风化的坚硬岩； 2. 中等风化的较硬岩； 3. 未风化～微风化的：凝灰岩、千枚岩、砂质泥岩、泥灰岩、泥质砂岩、粉砂岩、页岩等
	软岩	锤击声哑，无回弹，有凹痕，易击碎；浸水后，手可掰开	1. 中等风化的坚硬岩； 2. 未风化～强风化的较硬岩； 3. 中等风化的较软岩； 4. 未风化的泥岩等
	极软岩	锤击声哑，无回弹，有较深凹痕，手可捏碎；浸水后，可捏成团	1. 全风化的各种岩石； 2. 各种半成岩

8.1.4 岩石坚硬程度定性划分时，其风化程度应按表 13 确定。

表 13 岩石风化程度的划分

名称	风化特征
未风化	结构构造未变，岩质新鲜
微风化	结构构造、矿物色泽基本未变，部分裂隙面有铁锰质渲染
中等风化	结构构造部分破坏，矿物色泽较明显变化，裂隙面出现蚀变矿物或存在风化夹层
强风化	结构构造大部分破坏，矿物色泽明显变化，长石、云母等多风化成次生矿物
全风化	结构构造全部破坏，矿物成分除石英外，大部分风化成土状

8.1.5 岩体完整程度的定性划分，应按表 14 进行划分。

表 14 岩体完整程度的定性划分

名称	结构面发育程度		主要结构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型
	组数	平均间距，m			
完整	1～2	>1.0	结合好或结合一般	节理、裂隙、层面	整体状或巨厚层状结构
较完整	1～2	>1.0	结合差	节理、裂隙、层面	块状或厚层状结构
	2～3	1.0～0.4	结合好或结合一般		块状结构
较破碎	2～3	1.0～0.4	结合差	节理、裂隙、层面、小断层	裂隙块状或中厚层状结构
	≥3	0.4～0.2	结合好		镶嵌碎裂结构
			结合一般		中、薄层状结构
破碎	≥3	0.4～0.2	结合差	各种类型结构面	裂隙块状结构
		≤0.2	结合一般或结合差		碎裂状结构
极破碎	无序	—	结合很差	—	散体状结构
注：平均间距指主要结构面间距的平均值。					

8.1.6 结构面的结合程度，应根据结构面特征，按表 15 确定。

表 15 结构面结合程度的划分

名 称	结构面特征
结合很好	张开度小于 1mm，无充填物
结合好	张开度 1mm～3mm，为硅质或铁质胶结； 张开度大于 3mm，结构面粗糙，为硅质胶结
结合一般	张开度 1mm～3mm，为钙质或泥质胶结； 张开度大于 3mm，结构面粗糙，为铁质或钙质胶结
结合差	张开度 1mm～3mm，结构面平直，为泥质或泥质和钙质胶结； 张开度大于 3mm，多为泥质或岩屑充填
结合很差	泥质充填或泥夹岩屑充填，充填物厚度大于起伏差

8.1.7 岩石坚硬程度的定量指标，应采用岩石单轴饱和抗压强度 R_c 的实测值。

8.1.8 岩石单轴饱和抗压强度 R_c 与定性划分的岩石坚硬程度的对应关系，可按表 16 确定。

表 16 R_c 与定性划分的岩石坚硬程度的对应关系

R_c MPa	>60.0	60.0～30.1	30.0～15.1	15.0～5.1	≤5.0
坚硬程度	坚硬岩	较硬岩	较软岩	软岩	极软岩

8.1.9 岩体完整程度的定量指标，应采用岩体完整性指数 K_v。K_v 应采用实测值。当无条件取得实测值时，也可用岩体体积节理数 J_v，按表 17 确定对应的 K_v 值。

表 17 J_v 与 K_v 对照表

J_v，条/m³	<3	3～10	10～20	20～35	>35
K_v	>0.75	0.75～0.56	0.55～0.36	0.35～0.16	≤0.15

8.1.10 岩体完整性指数 K_v 与定性划分的岩体完整程度的对应关系，可按表 18 确定。

表 18 K_v 与定性划分的岩体完整程度的对应关系

K_v	>0.75	0.75～0.56	0.55～0.36	0.35～0.16	≤0.15
完整程度	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎

8.1.11 定量指标 K_v，J_v 的测试，应遵循 GB 50218 中的有关规定。

8.2 岩体基本质量分级

8.2.1 岩体基本质量分级，应根据岩体基本质量的定性特征和岩体基本质量指标 BQ 两者相结合，按表 19 确定。

表 19　岩体基本质量分级

基本质量级别	岩体基本质量的定性特征	岩体基本质量指标 *BQ*
Ⅰ	坚硬岩，岩体完整	>550
Ⅱ	坚硬岩，岩体较完整； 较硬岩或软硬岩，岩体完整	550～451
Ⅲ	坚硬岩，岩体较破碎； 较硬岩或软硬岩互层，岩体较完整； 较软岩，岩体完整	450～351
Ⅳ	坚硬岩，岩体破碎； 较硬岩，岩体较破碎～破碎； 较软岩或软硬岩互层，且以软岩为主，岩体较完整～较破碎； 软岩，岩体完整～较完整	350～251
Ⅴ	较软岩，岩体破碎； 软岩，岩体较破碎～破碎； 全部极软岩及全部极破碎岩	≤250

8.2.2　当根据基本质量定性特征和基本质量指标 *BQ* 确定的级别不一致时，应通过对定性划分和定量指标的综合分析，确定岩体基本质量级别。必要时，应重新进行测试。

8.2.3　岩体基本质量的定性特征，应由表 12 和表 14 所确定的岩石坚硬程度和岩体完整程度组合确定。

8.2.4　岩体基本质量指标 *BQ*，应根据分级因素的定量指标 R_c 和 K_v，按式（13）计算。

$$BQ = 90 + 3R_c + 250K_v \quad \cdots\cdots (13)$$

8.2.5　使用式（13）时，应遵守下列限制条件：

a）当 $R_c > 90K_v + 30$ 时，应以 $R_c = 90K_v + 30$ 和 K_v 代入计算 *BQ* 值。

b）当 $K_v > 0.04R_c + 0.4$ 时，应以 $K_v = 0.04R_c + 0.4$ 和 R_c 代入计算 *BQ* 值。

8.3　工程岩体分类

8.3.1　对工程岩体进行初步分类时，宜按表 19 规定的岩体基本质量级别划分岩体级别。

8.3.2　对工程岩体进行详细分类时，应在岩体基本质量分级的基础上，结合不同类型工程的特点，考虑地下水状态、初始应力状态、洞库轴线或走向线的方位与主要软弱结构面产状的组合关系等必要的修正因素。

8.3.3　岩体初始应力状态，当无实测资料时，可根据工程埋深或开挖深度、地形地貌、地质构造运动史、主要构造线和开挖过程中出现的岩爆、岩心饼化等特殊地质现象，按 GB 50218 中的有关规定做出评估。

8.3.4　当岩体的膨胀性、易溶性以及相对于工程范围规模较大、贯通性较好的软弱结构面成为影响岩体稳定性的主要因素时，应考虑这些因素对工程岩体级别的影响。

8.3.5　如遇有下列情况之一时，应对岩体基本质量指标 *BQ* 进行修正，并以修正后的值按表 19 确定岩体分类。

a）有地下水。

b）岩体稳定性受软弱结构面影响，且由一组起控制作用。

c）存在高初始应力现象。

8.3.6　岩体基本质量指标修正值〔*BQ*〕，可按式（14）计算。

$$[BQ] = BQ - 100(K_1 + K_2 + K_3) \quad \cdots\cdots (14)$$

8.3.7 K_1，K_2，K_3 值，可分别按表 20、表 21、表 22 确定。无表中所列情况时，修正系数取零。〔*BQ*〕出现负值时，应按特殊问题处理。

表 20　地下水影响修正系数 K_1

岩体基本质量指标 *BQ*		>450	450～351	350～251	<251
地下水出水状态	潮湿或点滴状出水	0	0.1	0.2～0.3	0.4～0.6
	淋雨状或涌流状出水，水压≤0.1MPa 或单位出水量≤10L/（min·m）	0.1	0.2～0.3	0.4～0.6	0.7～0.9
	淋雨状或涌流状出水，水压＞0.1MPa 或单位出水量＞10L/（min·m）	0.2	0.4～0.6	0.7～0.9	1

表 21　主要软弱结构面产状影响修正系数 K_2

结构面产状及其与洞轴线的组合关系	结构面走向与洞轴线夹角<30° 结构面倾角 30°～75°	结构面走向与洞轴线夹角>60° 结构面倾角>75°	其他组合
主要软弱结构面产状影响修正系数	0.4～0.6	0～0.2	0.2～0.4

表 22　初始应力状态影响修正系数 K_3

岩体基本质量指标 *BQ*		>550	550～451	450～351	350～251	≤250
初始应力状态	极高应力区	1	1	1.0～1.5	1.0～1.5	1
	高应力区	0.5	0.5	0.5	0.5～1.0	0.5～1.0

8.3.8　高初始应力地区岩体在开挖过程中出现的主要现象按表 23 确定。

表 23　高初始应力地区岩体在开挖过程中出现的主要现象

应力情况	主要现象	$\frac{R_c}{\sigma_{max}}$
极高应力	开挖过程中时有岩爆发生，有岩块弹出，洞壁岩体发生剥离，新生裂缝多，成洞性差；基坑时有剥离现象，成形性差	＜4
高应力	开挖过程中可能出现岩爆，洞壁岩体有剥离和掉块现象，新生裂缝较多，成洞性较差；基坑时有剥离现象，成形性一般尚好	4～7

8.4　水封洞库围岩分类

8.4.1　可研阶段勘察和初步设计阶段勘察阶段所做的岩体质量评价和岩体工程地质分类，可按表 24 进行；并宜采用多种方法对岩体质量进行综合分析评价。

表 24　岩体质量评价和工程地质分类

类别	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
RQD 值	0.91～1.00	0.76～0.90	0.51～0.75	0.26～0.50	<0.25
BQ 值	>550	550～451	450～351	350～251	≤250

表 24（续）

类别	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
围岩弹性纵波速度 v_p，km/s	>5.0	4.6～5.0	4.1～4.5	3.6～4.0	<3.5
岩体质量评价	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
岩体工程地质分类	稳定	基本稳定～稳定		稳定性较差	不稳定

8.4.2 施工图设计及施工阶段的围岩分类应以控制围岩稳定的岩石强度、结构面状态、地下水和主要结构面产状因素的岩体基本质量指标 *BQ* 为基本判据，并应符合表 25 的规定。

表 25 围岩分类

围岩分类	*BQ* 值	围岩稳定性	支护类型
Ⅰ	>550	稳定。围岩可长期稳定，一般无不稳定块体	不支护或局部锚杆或喷薄层混凝土。大跨度时，喷混凝土、系统锚杆加钢筋网
Ⅱ	550～451	基本稳定。围岩整体稳定，不会产生塑性变形，局部可能产生掉块	
Ⅲ	450～351	局部稳定性差。围岩强度不足，局部会产生塑性变形，不支护可能产生塌方或变形破坏	喷混凝土、系统锚杆加钢筋网。跨度为 20m～25m 时，并浇注混凝土衬砌
Ⅳ	350～251	不稳定。围岩自稳时间很短，规模较大的各种变形和破坏都可能发生	喷混凝土、系统锚杆加钢筋网，并浇注混凝土衬砌
Ⅴ	≤250	极不稳定。围岩不能自稳，变形破坏严重	

8.4.3 围岩的分类除采用本分类外，尚应采用其他有关现行国家标准综合评定。对国际合作的工程亦可采用国际通用的围岩分类。

8.5 围岩稳定性

8.5.1 围岩稳定性评价应与各勘察阶段相适应，可按表 26 进行。

表 26 各勘察阶段围岩稳定性评价要求

勘察阶段	围岩稳定性评价及分类的要求	主要定量指标	精度性质
预可研及可研阶段勘察	岩体质量评价及分类	1. *RQD* 值：部分实测，大部分按经验估测； 2. 代表性岩体弹性波速值	估测性的
初步设计阶段勘察	岩体工程地质评价及分类；围岩稳定性评价及预分类	1. *RQD* 值：岩心法实测； 2. 岩体弹性波速：震探与钻孔中实测； 3. 岩石物理力学性质指标：室内试验求取	预测性的
施工图设计及施工阶段勘察	围岩稳定性评价及预分类；修正围岩稳定性评价及分类	1. *RQD* 值：依洞、巷地质编录资料取得； 2. 岩体弹性波速值：依洞、巷声波测试取得； 3. 岩体力学指标：依原位岩体力学试验或以弹性波法求取	预测性的～验证性的

8.5.2 岩体完整性对洞室稳定性影响极大，应着重考虑以下方面问题：

a）结构面的组数、密度和规模。

b）结构面的强度。

c）结构面的产状、组合形态及其与洞室的关系。

8.5.3 岩石强度主要取决于岩石的物质成分、组织结构、胶结程度和风化程度等。

8.5.4 应着重考虑地下水对岩体结构面，特别是对软弱结构面抗剪强度的影响。其影响程度与地下水的出流方式有关，常见的出流方式可分为湿、渗、滴、流、涌五种。在各勘察阶段中，都必须注意水文地质资料的搜集和研究，分析地下水活动对围岩稳定性的影响。

8.5.5 进行围岩稳定性分析，在考虑工程因素时，应注意以下几方面：

a）洞轴线与主要结构面的交角。当建库岩体存在地应力时，洞轴线与地应力主压应力方向的关系对围岩稳定性的影响。

b）洞跨、洞间距、洞库断面几何形状对围岩稳定性的影响。

c）施工方法对围岩稳定性的影响。采用光面爆破时，对围岩稳定损害较小；采用普通爆破使围岩有较大的松弛而降低围岩的稳定性。

8.5.6 围岩压力除用围岩稳定性理论验算或工程类比法确定外，还应考虑有无地应力对围岩稳定（特别是对边墙稳定）的影响。

8.5.7 围岩自稳能力应按表 27 确定。

表 27 围岩自稳能力

岩体级别	自 稳 能 力
Ⅰ	跨度≤20m，可长期稳定，偶有掉块，无塌方
Ⅱ	跨度 10m～20m，可基本稳定，局部可发生掉块或小塌方。跨度＜10m，可长期稳定，偶有掉块
Ⅲ	跨度 10m～20m，可稳定数日～1 月，可发生小～中塌方。跨度 5m～10m，可稳定数月，可发生局部块体位移及小～中塌方。跨度＜5m，可基本稳定
Ⅳ	跨度＞5m，一般无自稳能力，数日～数月内可发生松动变形、小塌方，进而发展为中～大塌方。埋深小时，以拱部松动破坏为主；埋深大时，有明显塑性流动变形和挤压破坏。跨度≤5m，可稳定数日～1 月
Ⅴ	无自稳能力
注 1：小塌方指塌方高度＜3m 或塌方体积＜30m^3。 注 2：中塌方指塌方高度 3m～6m 或塌方体积 30 m^3～100 m^3。 注 3：大塌方指塌方高度＞6m 或塌方体积＞100 m^3。	

8.5.8 围岩稳定性理论验算，应在区分围岩力学属性并充分掌握工程地质资料和地下工程部署等的基础上，慎重选择围岩的物理力学计算指标，确定边界条件和理论计算公式。

附 录 A
（资料性附录）
条文说明

注：本附录条款编号后面括号内为正文的条款编号。

A.1（1） 范围

目前我国大陆已有数处正在进行和筹建地下水封洞库工程（简称“水封洞库”）。没有准确的岩土工程勘察资料，就不能进行正确的设计与施工。而勘察工作尚无章可循，其勘察质量难以保证，不能使技术、安全管理达到最佳水平。为改变目前状况，使水封洞库勘察有章可循并进一步提高，而制定本标准。

水封洞库工程一般是所占地下空间大，对岩体的稳定性和水封条件要求高，地下岩土体的工程特性、裂隙水分布情况以及地质构造条件均复杂多变。故在进行岩土工程勘察时，应根据场区的自然、地质、水文条件，针对工程需要，宜采用地质测绘、工程物探、钻探及试验测试等综合勘察方法，往往会取得事半功倍的效果。水封洞库工程在我国应该是一新兴工程，在20世纪70年代末至20世纪80年代初在山东黄岛曾建一储量仅$15\times10^4 m^3$的水封洞库。而在北欧、日本、韩国等地区和国家水封洞库的建设已具有较成熟的理论和经验，在我国水封洞库的勘察中可以借鉴或发展国外的先进技术和经验。但是，由于我国所属板块和区域地质的特殊性，在借鉴过程中一定要认真分析，切不可生搬硬套。

在研究水封洞库工程地质条件时，宜采用综合勘察手段和分析评价方法，注重引用国外的新技术、新方法和新理论，但必须持慎重态度。为提高水封洞库岩土工程勘察技术水平，应不断积累资料、总结经验和开展专题研究工作。

水封洞库岩土工程勘察，除应执行本标准外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

A.2（4） 一般规定

A.2.1（4.1） 为使勘察工作满足工程设计要求，勘察前设计应取得任务委托书或设计单位所提供的勘察任务书，并应根据设计委托要求、工程特性、场区岩土、水文条件等编制勘察纲要；为了保证勘察方案的合理性、有效性和可行性，勘察方案应按各单位有关规定进行必要的审批。审批后的勘察纲要成为勘察工作的依据之一。

A.2.2（4.2） 关于库区围岩岩体的选择，主要是选择岩质坚硬、完整性和稳定性好的岩体；另外，该岩体宜具有弱透水性且具有相对稳定的地下水位。水封洞库原则上是不进行和仅局部进行支护的，而且应有良好的水封条件。上述选择原则主要是基于水封洞库工程的上述特点和国外建库经验而提出的。根据北欧、日本、韩国等水封洞库建设技术发达国家的工程经验来看，也是这样要求的，即应选择以岩浆岩或变质岩等以结晶岩体为主的块状岩体区，代表性岩石类型有：闪长岩、花岗岩等侵入岩；片麻岩等变质岩；凝灰岩、安山岩等火成岩。对于灰岩、白云岩、砂岩等坚硬的变质岩，由于建库经验不足，应慎用。

A.2.3（4.3） 选址勘察的主要任务是选择符合建设水封洞库所需工程地质与水文地质条件的库址以及满足环境保护要求。库址选择应避开本条中规定的五个方面的地区、地段，这对选址勘察阶段尤为重要。

避开“抗震设防烈度为9度及9度以上地区，地应力集中的构造部位和发震断裂”，是根据地震对地下工程稳定性的允许影响程度而提出的。已有的国内外实际资料表明，所有经受地震作用而遭受严重破坏的地下工程，都是位于高烈度的地震区内。地下工程遭受地震破坏的现象有：与断层活动有

关的破坏、洞口破坏、洞室内部衬砌的崩落、衬砌产生裂缝或切断、断面的变形、洞体轴线的偏移等。对水封油库而言，主要考虑其与断层活动有关的破坏。因为这种破坏将可能导致库内油气的泄漏，进而造成严重的社会、经济、环境影响。

“矿藏分布地段”、“含有害气体和放射性元素岩体分布地段”等，是按一般岩石地下工程选址应遵守的原则提出的，故列入确定库址应避开的条件之一。

“重要的深层地下水供水水源地”主要是从水封洞库水封条件的角度来考虑的，因为水源地的使用情况不可能被洞库使用方所控制，一旦由于某种原因，需水量大增时，势必造成洞库区地下水位随之发生较大变化，有可能导致水封条件的变化，而造成水封失效；另外，如果在上述附近选址的话，很难得到有关部门的批复，给后续工作可能带来诸多不利；故宜避开重要的深层地下水供水水源地。

A.2.4（4.5～4.6） 水封洞库属于地下工程的范畴，其勘察阶段的划分与一般地面工程有所区别。其在选址勘察阶段一般要分两步，首先要进行预可行性研究阶段的勘察，而后进行可行性研究阶段的勘察，从而初步确定场址。同时，在水封洞库的施工过程中要进行大量的施工勘察工作。故按水封洞库的建设程序和参照国外实际工程经验，确定其岩土工程勘察阶段划分为预可研阶段勘察、可研阶段勘察、初步设计阶段勘察和施工图设计及施工阶段勘察四个阶段。

水封洞库是人工开挖岩体洞室与围岩裂隙水构成的地下贮存空间。水封洞库的优劣、建库和投产后的经济效益，主要决定于勘察过程中对建库岩体和基岩裂隙水的研究深度。所以，将水封洞库岩土工程勘察分为四个阶段——预可研阶段勘察、可研阶段勘察、初步设计阶段勘察和施工图设计及施工阶段勘察四个阶段是必要的，是符合人们对事物认识规律的。各个阶段勘察工作量的布设，应视前阶段勘察工作深度及拟建库址区水文与工程地质条件的复杂程度而定。根据国外此类工程勘察经验，施工图设计及施工阶段的勘察基本是同一流程，故本条将两者合二为一，着重强调施工期间的动态勘察思路。

A.2.5（4.7） 地下岩体的地质条件复杂多变，通过钻探、物探想准确确定围岩类别及其稳定性是较困难的，国外工程实践也证明了这一点。一般情况下，施工图设计和施工阶段前各阶段勘察所给出的围岩分类与实际是有一定差别的，故最终应以施工图设计和施工阶段勘察所提供的围岩分类及其稳定性为处理依据。

A.2.6（4.8） 水封洞库的工程特点确定了其库址的选择必须具有良好的水封条件。但是，涌水量太大势必增加工程施工期间的止水措施的投入和运营期间排水的费用。为此，库址的选择应分析评价其涌水量的大小，综合考虑技术与经济方面的优化，在满足洞库水封条件的同时，尽可能减少施工及运营期间的费用投入。

A.3（5） 勘察阶段工作内容

A.3.1（5.1） 预可研阶段勘察

A.3.1.1（5.1.1～5.1.4） 预可研阶段勘察的工作程序为：接受任务—搜集资料及室内研究—编制勘察纲要—现场选址勘察—资料综合分析—编制预可研阶段勘察报告。

研究选址勘察批复文件，明确所选油库的地理范围、储存油品的性质、库容规模及有关工艺流程等。

资料搜集包括库址选择区内的各类图件与文字资料：地形图（比例尺：1∶10000～1∶50000）；区域地质图与构造图（比例尺：1∶50000～1∶200000）及说明书；航测（卫测）照片、镶嵌图等；区域代表性地质剖面、综合柱状图和其他有关地质资料；区域地震资料（历史地震资料、设计基本烈度资料等），近期活动构造体系图及地震台站资料；地表水体（江、河、湖、海、大型水库）有关资料；区域性地下水位、地下水的利用和各级区域侵蚀基准面高程（或水文网切割深度）等方面资料；气象资料；交通、地方经济、有用矿产利用等资料。对上述资料进行详尽地分析研究，从中预选出几

个基本具备建设水封洞库库址，编制预可研阶段勘察纲要。

A.3.1.2（5.1.5） 预可研阶段勘察以现场线路踏勘为主，辅以工程地质测绘及小量的钻探工作量，了解第四系地层覆盖厚度，工程岩体的范围、风化分带厚度，岩性变化情况，节理裂隙发育、开启、充填情况及地下水的埋深等。为了满足水封洞库的平面布置，预可研阶段勘察工程地质测绘范围宜不小于库址范围的两倍。

A.3.1.3（5.1.7） 地质观测点的布置是否合理，是否具有代表性，对于成图的质量至关重要。地质观测点宜布置在地质构造线、地层接触线、岩性分界线、不整合面和不同地貌单元、微地貌单元的分界线和不良地质作用分布的地段。地质观测点应充分利用天然和已有的人工露头，例如采石场、路堑、井、泉等。当天然露头不足时，应根据场地的具体情况布置一定数量的勘探工作。条件适宜时，还可配合进行物探工作，探测地层、岩性、构造、不良地质作用等问题。规定了在露头条件差的地区进行工程地质测绘，应布置勘探点，以控制主要地质现象，保证地质测绘的精度要求。

A.3.1.4（5.1.8） 由于物探方法观测系统参数、仪器工作参数都具有一定的范围，这些参数与探测效果和分辨率密切相关。工作前进行试验就是选择方法、技术参数，具体试验应根据方法、任务特点进行。

A.3.1.5（5.1.9） 测线垂直于主要探测对象的走向是为了取得最明显的异常反映；测线与勘探线和其他物探方法测线重合是为了取得解释所需的参数，提高资料解释精度；为保证异常的完整性，避免因单一异常点造成假异常判断，规定测点在异常时，应加密。

A.3.1.6（5.1.10） 预可研阶段勘察以收集资料、现场踏勘和工程地质测绘为主。当地层（岩层）露头不好，无法了解第四系地层覆盖厚度，工程岩体的范围、风化分带厚度，岩性变化情况，节理裂隙发育、开启、充填情况及地下水的埋深等时，可布置适量的钻探工作，为了使本阶段的勘察工作能够满足设计需要，并考虑其经济合理性，规定每个库址勘探点的数量宜为1个～3个。

钻探深度应达到预估洞库底板下15m，主要考虑泵坑通常低于洞底板12m左右。当无法确定洞库底板深度时，勘探深度不应少于多年最低地下水位或水幕以下 H_w 值；在通常情况下，把区域地下水排泄基准面作为多年最低地下水位，沿海地区可用最低潮位或平均潮位作为地下水排泄基准面。勘探深度是基于水封洞库的水封条件和工程结构的基本要求考虑的，当库内贮存不同油品时，根据储存油品饱和油气压力的大小确定。根据日本《有关岩洞储油库的位置、结构及设备的技术基准的运用（基准）》的规定，水封洞库离开地下水位的深度必须大于 H_w。H_w 值按式（A.1）计算：

$$H_w = 10p + H_0 \qquad \cdots\cdots (A.1)$$

式中：

H_w—— 垂直距离，单位为米（m）；

p—— 岩洞储库的最大常用压力，单位为9.8牛每平方厘米（9.8N/cm²）；

H_0—— 取15m。

A.3.1.7（5.1.11～5.1.12） 指出了该勘察阶段资料分析、研究的重点。由于选址阶段投入的勘察工作量限制，这就决定了对已有资料研究使用的重要性。勘察报告中的“区域稳定性和库址稳定性”、“区域水文地质及稳定地下水位、洞库涌水量估算和洞库埋深”为定性论述和估算值。“各库址方案的水文地质、工程地质条件的分析评价”并推荐最佳库址方案是勘察报告内容的重点。以上内容为确定库址位置的依据。“存在问题和对下一步工作的建议”是下一勘察阶段的工作方向。

A.3.2（5.2） 可研阶段勘察

A.3.2.1（5.2.1） 本条规定了可研阶段勘察宜在预可研阶段选定的库址场地上进行勘察工作，如确因环境条件（如地方规划、重大地质问题等）发生变化，亦可另选库址。本阶段勘察应为最终确定库址和库区布置进行地质论证和提供可行性研究所需的勘察成果。

A.3.2.2（5.2.3） 本条对本阶段的勘察范围做出了规定，原则上为预可研勘察阶段所确定的库址范围。如果在本阶段勘察过程中发现工程与水文地质条件有重大异常时，应对其进行跟踪，以查明其分

布和对水封洞库可能产生的影响，此时应不受原定库址范围所限。

A.3.2.3（5.2.4） 本阶段应初步查明库区范围内的工程与水文地质条件，特别是岩层的产状，主要断层、破碎带和节理裂隙密集带的位置、产状、规模及其组合关系。为了防止大量涌水和造成施工及运营成本的过大，提出了应在初步查明岩体结构和水文条件的同时，估算水封洞库的最大涌水量。涌水量的预测是一个错综复杂的问题，受地层岩性、地质构造等多种因素的控制，计算参数较多，且难以确定，因而很难进行精确地计算。常用的计算方法有：根据水文地质试验资料进行计算，水文地质比拟法及水均衡法等计算涌水量。这些方法都是经验公式，有各自的适用范围和边界条件，在本阶段应结合具体的条件采用多种方法对涌水量进行估算，以相互校核。

初步查明各类岩体物理力学性指标，节理裂隙的发育程度、组合关系、延伸性、开启度、裂隙面的粗糙度等，按GB 50218确定岩体基本质量等级。在上述工作的基础上，确定洞室轴线的方位、洞跨、洞间距及巷道口的位置等。

考虑到地下水资料具有长期积累的特点，应利用库区已有勘探孔、民用井、地面水体初步建立水文观测网，开始定期水位、水质监测工作。

A.3.2.4（5.2.6） 本阶段的工程地质测绘工作主要是对拟选库址在预可研阶段勘察中进行的工程地质测绘的补充。根据对库址的工程和水文地质条件的深入认识，对库址内地质条件复杂的地段应进行专门工程地质测绘，并提出了测绘比例尺的规定。

A.3.2.5（5.2.7） 本条规定的物探测线间距是包括预可研阶段勘察所布置的物探测线在内，要求在条件允许时宜通过钻孔，主要是为了资料校核，以提高物探成果的可靠性。

A.3.2.6（5.2.8） 钻孔的布置应具有针对性，因为每个钻孔需要花费相当的资金。本条要求应对钻孔进行设计，包括孔深、孔径、垂直孔还是斜孔、拟在孔内进行何种测试与试验、钻孔的后期利用、回填等。

A.3.3（5.3） 初步设计阶段勘察

A.3.3.1（5.3.5） 本条要求对每个钻孔进行设计，主要是要明确钻孔的目的、孔径、深度、斜度、孔内测试项目及要求、完钻后的利用及保护等内容；这里提出了各类勘探点布置的间距和原则，所谓在洞室外侧交叉布置，并不是要求每条洞室两侧一定要有钻孔，根据本条规定的勘探点间距，结合实际岩土工程与水文地质条件布置钻孔，该间距是包括前期所有可用钻孔在内的原则性的间距；对于洞室进出口可采用平硐，如有可能最好是针对施工巷道先行进行施工导洞，这样即可取得各项实际资料，又可节省费用。

A.3.3.2（5.3.7） 为了提高地下水观测的可靠性，应根据渗流场分析评价和前期观测工作的总结进一步完善水文观测网，如现有可用观测孔确实不能满足地下水观测的要求时，可布置专门性观测孔。

A.3.4（5.4） 施工图设计及施工阶段勘察

A.3.4.1（5.4.2） 本条提出了该阶段勘察前应取得的有关资料，包括附坐标的水封洞库（地下工程部分）总平面图、洞巷断面图、典型支护图、竖向布置图以及洞室开挖方案等。主要是为了更好地根据设计意图进一步完善勘察资料，以更好地服务于工程。

A.3.4.2（5.4.4） 本条根据水封洞库施工的特点，提出了应根据巷道和洞室第一层施工所揭露的岩体的工程与水文地质条件，对前阶段勘察成果进行校验，对新揭露的地质现象进行必要的勘察工作；根据校验结果初步预测地下重要工程部位（如泵坑、洞室交叉处、连接处等）的岩土工程条件，并进行必要的钻探补充工作。

A.3.4.3（5.4.6） 地下工程施工过程中的勘察工作应充分利用已揭露的岩层情况和地质现象，配合各种行之有效的超前探测（如超前探孔、超声波探测等）进行预测预报，使工程施工对前方可能出现的地质问题做到提前防患，以便采取经济有效的防治措施，保证施工安全。超前预测预报工作在地下工程施工中是一项非常重要的工作，做好该项工作往往会取得事半功倍的效果。

A.3.4.4（5.4.7） 对已开挖所产生的临空面的围岩稳定性的分析评价，可根据节理、裂隙、软弱结构面等和临空面的组合关系，采用工程类比法或理论计算法确定块体围岩的稳定性，并提出处理措施的建议。

A.3.4.5（5.4.10） 随着施工的进行，根据所揭露的岩体岩土工程条件，分析地下工程布置的合理性是非常必要的。当发现前期未发现的较大隐伏断裂，通过系统分析认为采取治理措施不经济或无法确保安全时，应建议改变洞室方向进行避开。当发现局部岩体较破碎时，可采取局部加固处理，亦可同时采取改变局部洞室断面尺寸，以确保洞室稳定。

A.3.4.6（5.4.11～5.4.12） 水封洞库的最终涌水量应实测，主要是在施工过程中所采取的各种止水措施已经改变了岩体原来的渗流特性。在洞库施工结束时，实测洞库的涌水量对所选排水泵进行校核是很有必要的。通过对地下水动态资料的分析，进一步了解地下水动态规律和渗流场特性，为投产后地下水位恢复与保持提供基础资料，同时根据渗流特性完善地下水观测网。

A.3.5（5.5） 勘察成果

A.3.5.1（5.5.1） 本条强调了对原始资料和数据必须进行复核，同时也提出包括搜集的各种资料。对于重要的地质现象的复核，不应只停留在室内复核，应进行现场实地复核。

A.3.5.2（5.5.4） 岩体的抗压强度是由岩石本身的强度和其完整程度决定的。其完整程度就是指岩石被各种结构面切割的程度，用岩体完整性指数来表示。岩体抗压强度一般采用岩石单轴饱和抗压强度与岩体完整性指数所求得的准围岩抗压强度值作为岩体抗压强度的近似值。也可以采用现场原位抗压试验来求得，这种方法最可靠，但费用较高。地区经验类比法一般只用于工程的前期勘察中，亦可以作为一种辅助方法用以相互校核。

A.3.5.3（5.5.7） 本条提出了各勘察阶段的勘察报告应包括的内容，这里所说的是应包括，但不限于。对于具体库区的岩土工程和水文地质条件，针对地下水封洞库的工程特点，各阶段应突出重点，全面分析评价，解决各阶段的关键问题。如在预可研阶段勘察主要是在有可用岩体的区域进行库址选择，对其区域稳定性进行分析评价，并对拟选的各个库址进行比选，提出推荐库址。可研阶段勘察主要是按所推荐库址的顺序，对库区的主要水文地质、工程地质问题、岩体渗透性与岩体质量做初步评价及分类，论证库址区工程地质分区原则和结果，划定适宜建库岩体范围；初步确定建库岩体的稳定性级别；论述洞库的跨度、间距、轴线方位、设计地下水位标高及合理埋深、巷道口位置等有关地下工程部署问题，估算最大涌水量。初步设计阶段勘察主要是洞库、巷道、竖井的围岩稳定性分析评价，提出支护措施、施工方法和施工注意事项等建议；完善地下水动态观测及洞、巷涌水量预测。施工图设计及施工阶段勘察着重总结有关规律性的问题和对前阶段勘察所做围岩预分类、围岩稳定性理论验算、地下工程部署、涌水量预测、地下水动态预测等问题进行验证性评价，伴随着施工掘进对岩体的局部失稳，分析产生失稳的原因，提出处理方案，同时开展必要的检测工作，进行预测预报，确保开挖工作的顺利进行。

A.4（6） 测绘、勘探与测试

A.4.1（6.1） 综合工程地质测绘

A.4.1.1（6.1.1） 本条提出了在施工前各勘察阶段都应进行综合工程地质测绘工作，这与其他工程勘察的有关规范有所区别，主要是考虑通过初步深化的工程地质测绘，更好地布置勘察方案和适宜的工作量。当然，各阶段工程地质测绘的重点是不同的，可遵循从宏观到微观的原则，预可研和可研阶段是为了查明库址及其附近的地貌、地质、水文条件，对稳定和适宜性做出评价。初步设计、施工图及施工阶段，主要是针对某些专门地质问题（如断裂、节理密集带和软弱夹层等）做必要的补充。

A.4.1.2（6.1.3） 各种比例的工程地质测绘的基本方法，可归纳为两类，即地质点法和遥感影像解译法。将后者单独列为一类，其目的为了充分应用遥感技术，在有条件的地区，应尽量予以利用，以

提高工作效率，同时也强调了对解译成果必须进行实地验证和核定，以保证质量。

A.4.1.3（6.1.4） 本条提出了观察路线与观察点的布置应符合的要求。在实际工作中，应结合工作区主要的岩土工程条件和地质问题，有针对性地布置观测线路和观测点，根据不同的勘察阶段，解决相应的工程问题。

A.4.1.4（6.1.5） 观测点的定位主要可根据测绘的比例大小来确定，对于小比例尺（小于1∶10000）测绘可以采用目测和罗盘仪交会。同时提出了对可能影响库区工程地质或水文地质条件的重要地质点，应采用测量仪器定位。对于测绘比例大于或等于1∶10000的，应采用测量仪器定位。

A.4.1.5（6.1.6） 根据水封洞库的工程特点，岩体结构研究及稳定性评价是勘察工作中的主要任务之一，本条提出了各种工程地质测绘，对不同成因的岩石和构造应查明的内容和重点以及测量要求。提出了节理密集带和断层规模分类。

A.4.1.6（6.1.7） 本条中结构面发育程度分级是参照GB 50218—1994和SYJ 52—1983《水封油库工程地质勘察技术规定》等给出的。结构面发育程度分级包括结构面组数和平均间距，在勘察过程中，应对其进行认真的测绘和统计。

本标准各表中的有关数据（如表6）均采用范围值而没有给出确定的界限值，是考虑到岩体（岩石）复杂多变，有一定的随机性。

A.4.1.7（6.1.8） 本条中给出了按野外特征和波速比进行岩体风化程度分类，基本参照GB 50021—2001的分类，但考虑到风化岩的饱和单轴抗压强度很难取得，故取消了风化系数指标。在实际勘察工作中，如果能取得风化系数值，可一并考虑。

A.4.2（6.2） 勘探与取样

A.4.2.1（6.2.1） 为达到理想的技术经济效果，宜将多种勘探手段配合使用，如钻探加触探、钻探加地球物理勘探等。

A.4.2.2（6.2.2） 钻孔和探井如不妥善回填，可能造成对自然环境的破坏，这种破坏往往在短期内或局部范围内不易察觉，但能引起严重后果；同时，对人和牲畜存在潜在的不安全隐患。因此，在一般情况下钻孔、探井和探槽均应回填，且应分段回填夯实。对于某些特殊目的不需要回填的钻孔，应采取保护措施和设立警示标志。

A.4.2.3（6.2.3） 本条强调应加强勘探过程中的安全工作，应做到安全第一、质量第一，应针对勘探工作的特点、岩土工程条件、环境条件对危险因素进行识别，并评价其风险，根据风险大小和可接受程度制定HSE计划和必要的管理措施，确保安全。

A.4.2.4（6.2.5） 本条所列各项要求，是针对既要求直观鉴别地层，又要求采取不扰动土试样的情况提出的，如果勘察要求降低，对钻探的要求也可相应地放宽。

岩石质量指标*RQD*是岩心中长度在10cm以上的分段长度总和与该回次钻进深度之比，以百分数表示。国际岩石力学学会建议，量测时应以岩心的中心线为准。*RQD*值是对岩体进行工程评价广泛应用的指标。显然，只有在钻进操作统一标准的条件下测出的*RQD*值才具有可比性，才是有意义的。对此本条按照国际通用标准做出了规定。

A.4.2.5（6.2.6） 本条是有关钻探成果的标准化要求。钻探野外记录是一项重要的基础工作，也是一项有相当难度的技术工作，因此应配备有足够专业知识和经验的人员来承担。野外描述一般以目测手触鉴别为主，结果往往因人而异。为实现岩土描述的标准化，除本条的原则规定外，如有条件可补充一些标准化、定量化的鉴别方法，将有助于提高钻探记录的客观性和可比性，这类方法包括：使用标准粒度模块区分砂土类别、用孟塞尔（Munsell）色标比色法表示颜色、用微型贯入仪测定土的状态、用点荷载仪判别岩石风化程度和强度等。

A.4.2.6（6.2.8） 本条是根据水封洞库的工程特点而提出的，对于地下水观测孔和拟利用钻孔作为地下水观测孔的，除了位于洞库拱顶的地下水动态观测孔或其他观测孔（如围岩稳定性监测钻孔）应

对拱顶以上5m至孔底的孔段采用425号以上水泥配制的相对密度大于1.8的水泥浆进行封孔外，其余观测孔均无需封孔，但应做好观测孔的防护工作。

A.4.2.7（6.2.12～6.2.14） 仅涉及采用地球物理勘探方法的一般原则，目的在于指导非地球物理勘探专业的工程地质与岩土工程师结合工程特点选择地球物理勘探方法。强调工程地质、岩土工程与地球物理勘探的工程师密切配合，共同制定方案，分析判释成果。地球物理勘探方法具体方案的制定与实施，应执行现行工程地球物理勘探规程的有关规定。

地球物理勘探发展很快，不断有新的技术方法出现。如近年来发展起来的瞬态多道面波法、地震CT法、电磁波CT法等，效果很好。当前常用的地球物理勘探方法详见表A.1。

表A.1 地球物理勘探方法的适用范围

方法名称		适用范围
电法	自然电场法	1. 探测隐伏断层、破碎带； 2. 测定地下水流速、流向
	充电法	1. 探测地下洞穴； 2. 测定地下水流速、流向； 3. 探测地下或水下隐埋物体； 4. 探测地下管线
	电阻率测深	1. 测定基岩埋深，划分松散沉积层序和基岩风化带； 2. 探测隐伏断层、破碎带； 3. 探测地下洞穴； 4. 测定潜水面深度和含水层分布； 5. 探测地下或水下隐埋物体
	电阻率剖面法	1. 测定基岩埋深； 2. 探测隐伏断层、破碎带； 3. 探测地下洞穴； 4. 探测地下或水下隐埋物体
	高密度电阻率法	1. 测定潜水面深度和含水层分布； 2. 探测地下或水下隐埋物体
	激发极化法	1. 探测隐伏断层、破碎带； 2. 探测地下洞穴； 3. 划分松散沉积层序； 4. 测定潜水面深度和含水层分布； 5. 探测地下或水下隐埋物体
电磁法	甚低频	1. 探测隐伏断层、破碎带； 2. 探测地下或水下隐埋物体； 3. 探测地下管线
	频率测深	1. 测定基岩埋深，划分松散沉积层序和基岩风化带； 2. 探测隐伏断层、破碎带； 3. 探测地下洞穴； 4. 探测河床水深及沉积泥沙厚度； 5. 探测地下或水下隐埋物体； 6. 探测地下管线

表 A.1（续）

方法名称		适用范围
电磁法	电磁感应法	1. 测定基岩埋深； 2. 探测隐伏断层、破碎带； 3. 探测地下洞穴； 4. 探测地下或水下隐埋物体； 5. 探测地下管线
	地质雷达	1. 测定基岩埋深，划分松散沉积层序和基岩风化带； 2. 探测隐伏断层、破碎带； 3. 探测地下洞穴； 4. 测定潜水面深度和含水层分布； 5. 探测河床水深及沉积泥沙厚度； 6. 探测地下或水下隐埋物体； 7. 探测地下管线
	地下电磁波法 （无线电波透视法）	1. 探测隐伏断层、破碎带； 2. 探测地下洞穴； 3. 探测地下或水下隐埋物体； 4. 探测地下管线
地震波法和声波法	折射波法	1. 测定基岩埋深，划分松散沉积层序和基岩风化带； 2. 测定潜水面深度和含水层分布； 3. 探测河床水深及沉积泥沙厚度
	反射波法	1. 测定基岩埋深，划分松散沉积层序和基岩风化带； 2. 探测隐伏断层、破碎带； 3. 探测地下洞穴； 4. 测定潜水面深度和含水层分布； 5. 探测河床水深及沉积泥沙厚度； 6. 探测地下或水下隐埋物体； 7. 探测地下管线
	直达波法 （单孔法和跨孔法）	划分松散沉积层序和基岩风化带
	瑞雷波法	1. 测定基岩埋深，划分松散沉积层序和基岩风化带； 2. 探测隐伏断层、破碎带； 3. 探测地下洞穴； 4. 探测地下隐埋物体； 5. 探测地下管线
	声波法	1. 测定基岩埋深，划分松散沉积层序和基岩风化带； 2. 探测隐伏断层、破碎带； 3. 探测含水层； 4. 探测洞穴和地下或水下隐埋物体； 5. 探测地下管线； 6. 探测滑坡体的滑动面
	声纳浅层剖面法	1. 探测河床水深及沉积泥沙厚度； 2. 探测地下或水下隐埋物体

表 A.1（续）

方法名称	适用范围
地球物理测井（放射性测井、电测井、电视测井）	1. 探测地下洞穴； 2. 划分松散沉积层序和基岩风化带； 3. 测定潜水面深度和含水层分布； 4. 探测地下或水下隐埋物体

A.5（7） 地下水

A.5.1（7.1） 腐蚀性评价

本节中所说的各种类型的地下水通常指的是第四纪潜水和基岩裂隙水，对于地下水和地表水应取样，可按现行 GB 50021 中有关规定对建筑材料的腐蚀性进行评价。如有特殊要求，可按有关标准进行。

A.5.2（7.2） 压水试验

A.5.2.1（7.2.1） 常用的压水试验方法是用单栓塞隔离试段，随着钻孔的加深自上而下分段进行。本标准推荐此方法作为基本的压水试验方法。同时还规定，可以使用双栓塞进行压水试验，其主要优点是：

a）试验工作和钻探工作可以部分分离或全部分离，因而可提高工作的连续性。

b）可以根据孔内实际情况合理确定栓塞置放位置和试验长度，试验成果与地质条件之间的相关性较好。

A.5.2.2（7.2.2） 本标准规定的试验段长度宜为 5m。试验段是编制渗透剖面图的基本单位。目前的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。国外有关标准中规定的试段长度在 3m～6m 之间，多数为 5m，与我国规定基本一致。在实际操作中，由于诸多因素的影响，试段长度通常不是整数。

对于地质构造条件特殊（如断层、裂隙密集带等）的孔段，应根据具体情况确定试段的位置和长度，同时还应考虑下一试段栓塞止水的可靠性。

A.5.2.3（7.2.3） 本条规定压水试验按三级压力、五个阶段进行，三级压力宜分别为 0.3MPa，0.6MPa 和 1MPa。

a）多阶段试验的目的，是了解试段岩体流量随压力的变化关系。大量试验资料表明，压水试验时的压力—流量关系并非都是线性的。非线性的压力—流量关系出现的原因有两类：

1）流态。当水在岩体裂隙中的渗流速度超过某一值时，即出现非线性流，或统称为紊流。一个试段的岩体中含有多条开度各不相同的裂隙，非线性流实际上是这些裂隙不同流态的综合反映。

2）裂隙状态。在试验压力的作用下，作为渗流通道的裂隙状态会产生改变，包括裂隙开度增加（扩张）、水力劈裂、裂隙中的充填物移动、冲蚀、堵塞等。

多阶段循环试验就是通过测定试段的压力—流量的关系，分析其产生变化的原因，测定岩体的渗透性，判断岩体在灌浆期间及运行期间在水（浆）压力下可能出现的状态变化。多阶段试验还提供了资料相互校核的机会，提高了资料的可靠性。

b）压力阶段数，BS 5930：1981《英国场地勘察标准》采用三级压力、五个阶段；美国垦务局 RTH 381—80《原位测定岩体渗透性的压水试验建议方法》采用五级压力、八个阶段；日本建设省《吕荣试验技术准则》（1984）采用五级压力、九个阶段；SL 31—2003《水利水电工程钻孔压水试验规程》采用三级压力、五个阶段。综合考虑各种因素，作为常规压水试验，

可以采用三级压力、五个阶段的试验方法。

c）试段压力确定实际上是最大试段压力确定。最大试段压力确定后，其余两级压力可按等分原则确定。多数国家采用最大试段压力为 1MPa。由于吕荣值的定义压力是 1MPa，故一般说来，最大试段压力应达到该值，此外，能了解到此范围内的压力—流量变化关系，一般也可以满足要求。

A.5.2.4（7.2.4） 本条对流量观测的间隔时间、次数和结束标准做出了规定。

a）观测间隔。为了了解试验时流量的变化情况，原则上希望每分钟观测 1 次，对于直读式流量计来说，这样做并无困难。但目前我国大多数试验采用水表测流量，每分钟观测 1 次过于紧张，故规定每隔 1min～2min 观测 1 次，视具体情况而定。

b）观测结束标准和取值。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。为了使试验结果更可靠，要求在某一时间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。参考国内外有关资料，规定 5 次流量读数的相对误差不大于 10%，或绝对差不大于 1L/min，该阶段试验即可结束。绝对差的标准主要是根据流量计实际可能达到的精度确定的。取最后一次读数作为计算值，比取该时段内的平均值更合理些，也较方便。

c）流量增大问题。当压力保持不变，流量随时间持续增大时，应进行检查，如果不是设备、仪表发生故障，则应延长试验时间，直至流量不再持续增大，且达到上述标准方可结束。

A.5.2.5（7.2.6） 绘制 p—Q 曲线是划分类型的基础。实践表明，p—Q 曲线可以直观地反映流量随压力的变化关系。绘制 p—Q 曲线应采用统一的比例尺。如果采用不同的比例尺，如在流量较小时用较大的比例尺，就会出现一些人为造成的不规则曲线，使判读和划分类型产生困难。

A.5.2.6（7.2.7） 本条说明划分 p—Q 曲线类型的原则、5 种类型的曲线特点及其意义。本标准采用豪斯比和库兹纳尔的分类法。

划分 p—Q 曲线类型的主要依据有两点：一是升压阶段 p—Q 曲线的形状；二是降压阶段 p—Q 曲线与升压阶段 p—Q 曲线是否重合及其相对关系。根据上述原则，将 p—Q 曲线划分为 5 种类型。

A.5.2.7（7.2.9） 本条规定了试段透水率的计算方法及其精度。透水率取第三阶段压力、流量数据（p_3、Q_3）进行计算，主要原因是该组数据最接近吕荣值的定义压力。透水率取两位有效数字，这与压水试验可能达到的和需要达到的精度是一致的。

A.5.2.8（7.2.10～7.2.11） 在各种教科书和手册中，计算渗透系数的公式很多，如霍斯列夫（Horslev）公式、莫伊（Moye）公式、巴布什金公式等。这些公式都以渗流服从达西定律为基础前提，只是对边界条件的假设不同。因此，不同公式的计算结果，差别大致在±20%之内。而当岩体渗透性较大时，用压水试验法和抽水试验法求得的渗透系数可达数十倍至百余倍。因此，仅当透水率较小（q<10Lu），且 p—Q 曲线为 A（层流）型时，可按式（6）计算岩体渗透系数。对于紊流型可近似计算渗透系数。

A.5.3（7.3） 抽水试验

A.5.3.1（7.3.1） 由于基岩裂隙水的分布规律性较差，故抽水试验的布置应按库区水文地质条件和岩土工程条件综合考虑确定。抽水试验是采用单孔还是多孔，本标准给出可采用单孔（或有观测孔）的规定，如果条件允许最好采用多孔抽水试验，尤其是为了查明岩体的渗透性、渗透各向异性、各含水层、带间的水力联系，以及地下水与地表水的水力联系时。所谓具有代表性主要是要查清对洞库施工和运营期间可能出现的水文地质问题。由于水封洞库通常选择在离地表水体（江、河、湖、海）较近的位置，通过技术可行的试验方法，查明库区地下水和地表水的水力联系是非常必要的，可以预测地表水体的变化对库区地下水的影响，以便采取有效措施确保水封洞库的水封条件满足工程需要。

A.5.3.2（7.3.4） 本条提出了降深的规定：

a）降深次数。抽水孔的降深值是计算渗透系数的基本数据之一。近年来研究的结果表明，单

孔抽水试验在抽水孔或测压管中测得的降深经常包含两部分内容。一是符合二维平面流、层流条件的有效降深（裘布衣降深），二是三维流场和紊流单一或共同作用所引起的附加降深。计算参数的公式中的降深应是有效降深，而实测降深是否包含附加降深可通过绘制 Q—S 曲线或 Q—（$H^2-h_0^2$）曲线判断，绘制这种曲线和消除附加降深的方法要求至少进行三次降深。

b）最大降深。对于潜水，裘布衣在推导潜水公式时，曾将沿流程的水头损失简化为沿流程水平投影的水头梯度来考虑的；对于承压水而言，限制其最大降深不宜降低到含水层顶板以下，目的是尽可能地不使参数计算复杂化。

c）降深值。对于单孔抽水无论是在理论上或是试验资料的对比中，都说明降深值越小越符合现用公式的假设条件。但是在实际试验中，存在一个测试精度的问题。目前采用的电测水位计，实际精度为±1cm，对于1m的降深值相对误差是2%。本标准中规定单孔抽水最小降深值不宜小于0.5m，从精度上讲，保证对于最小降深值其相对误差不大于4%。对于多孔抽水，因为计算参数是以观测孔的降深差值为依据的，所以最小降深以最远观测孔来控制。0.1m的数字，是从显示设备条件出发考虑的最低要求。

A.5.3.3（7.3.5～7.3.10） 该部分的规定基本与SL 320—2005《水利水电钻孔抽水试验规程》中的有关规定是一致的。在实际抽水试验时，可参照上述标准进行。

A.5.4（7.4） 地下水动态观测

A.5.4.1（7.4.2） 地下水动态观测网的布置应根据地下水渗流场情况和需观测的内容进行方案设计。前期勘察过程中，可以主要利用已完钻孔进行地下水的动态观测；随着勘察工作的不断深入，根据库区地下水渗流场的具体情况，适时增加地下水动态观测孔，最终建立起一套完整、有效的地下水动态观测网，对库区从施工到运营中地下水动态变化适时进行观测，确保地下水位满足水封条件的要求。

A.5.4.2（7.4.3） 地下水动态观测，应在勘察期间尽早进行，勘察阶段观测的持续时间不宜少于一个水文年。在施工期间应进行长期观测，并对观测资料进行整理保存；工程移交时，应将地下水观测网及观测资料一并移交，并应对运营期间地下水动态观测提出要求和建议。

A.5.5（7.5） 水封条件分析评价

A.5.5.1（7.5.1～7.5.2） 所谓水封洞库的水封条件就是洞库的地下水头压力要大于洞库内压，确保储存介质不外渗。因此，这就要求水封洞库必须长期处于地下水位以下一定深度。如何确定多年最低地下水位就显得尤为重要，并且在多数情况下，取得多年最低水位资料十分困难。因此，通常把区域地下水排泄基准面作为多年最低地下水位，如沿海一带可用最低潮位或平均潮位作为地下水排泄基准面。

A.5.5.2（7.5.3） 对于水封洞库来说，勘察过程中地下水的研究是其一项非常重要的工作，应在勘察工作一开始就进行相应的工作。不仅要查清库区范围内的地下水条件，还要分析研究周围地下水和地表水的利用情况，分析预测其将对水封洞库的水封条件的影响，根据分析结果，必要时可采取有效措施，如设置竖向水力帷幕等。

A.5.5.3（7.5.4） 本条对水封洞库施工过程中，地下水的流出方式进行了规定，这主要是根据GB 50108—2001中防水等级标准的有关规定提出的，在水封洞库的施工过程中，地下水除了以“湿润（面状或斑状）、渗、滴、流方式出流”，还存在以射流方式的流出，这种射流常常是施工中揭露了富含地下水的裂隙（带）等，这对工程施工影响比较大，应采取有效措施进行治理。

A.5.5.4（7.5.5） 本条是从水文地质的角度提出了对重力水处理的原则，在实际施工中，应对千变万化的水文地质条件和施工工艺进行分析各种可能出现的问题。因为我国水封洞库工程基本属于刚刚起步阶段，缺乏工程经验，结合其他地下工程经验，特别是借鉴国外水封洞库的工程经验很有必要。如韩国在水封洞库施工中，采用超前探孔所测得的出水量来确定是否需要超前注浆止水，当超前探孔

出水量（单孔）大于0.05L/（min·m）时，应进行注浆止水；当出水量为0.05 L/（min·m）～0.015 L/（min·m）时，只需将超前探孔进行封堵即可；当出水量小于0.015 L/（min·m）时，不需止水。当然类似的工程预测经验和方法有待我们在今后的工程实践中去总结。

A.5.5.5（7.5.6） 本条提出了对库区地下水降落漏斗的形态要重点分析的内容。首先是由于岩体构造（节理、裂隙、破碎带等）的不均匀性、随机性和富水性差异等的影响，影响半径不是理想状况下的一个定值，因此，降落漏斗的形态也可能是不规则的。再者是施工期间一定要制定多种针对突水的应急措施，一旦发生突水现象，要迅速止水，并随时观测降落漏斗的变化情况，在尽可能短的时间内恢复地下水位。

A.5.5.6（7.5.7） 关于水封洞库涌水量的估算确是一项比较杂的工作，由于工程施工，人为地改变了原有含水裂隙岩体所处地下水渗流场与应力场的动态平衡，因此，在勘察工作的后期应尽量采用解析法和水文地质数值模拟法来预测估算涌水量。在前期勘察中，为了简化涌水量估算，本条给出了水文地质比拟法、经验解析法及地下水动力学法的部分简化公式。在实际工程中，应采用多种方法进行涌水量的估算，以相互校核，提高估算精度。

A.6（8） 围岩分类及稳定性

A.6.1（8.1） 岩体基本质量的分级因素

A.6.1.1（8.1.2） 根据定性和定量相结合的原则，岩体基本质量的两个分级因素应同时采用定性划分和定量指标两种方法确定，并相互对比。对于定性划分出的各档次，给出了相应指标的范围值，以便使定性划分和定量指标两种方法确定的分级因素可以相互对比。

A.6.1.2（8.1.3） 岩石坚硬程度的确定，主要应考虑岩石的成分、结构及其成因，还应考虑岩石受风化作用的程度，以及岩石受水作用后的软化、吸水反应情况。为了便于现场勘察时直观地鉴别岩石坚硬程度，在“定性鉴定”中规定了用锤击难易、回弹程度、手触感觉和吸水反应等行之有效、简单易行的方法。

在表12中规定了用“定性鉴定”和“代表性岩石”这两者作为定性评价岩石坚硬程度的依据。在做定性划分时，应注意进行综合评价，在相互检验中确定坚硬程度并定名。在确定岩石坚硬程度的划分档数时，考虑到划分过粗不能满足不同岩石工程对不同岩石的要求，在对岩体基本质量进行分级时，不便于对不同情况进行合理地组合；划分过细又显繁杂，不便使用。鉴于上述考虑，总结并参考国内已有的划分方法和工程实践中的经验，本条先将岩石划分为硬质岩和软质岩二个大档次，再进一步划分为坚硬岩、软坚硬岩、较软岩、软岩和极软岩五个档次。

A.6.1.3（8.1.4） 岩石长期受物理、化学等自然营力作用，即风化作用，致使岩石疏松以至松散，物理力学性质变坏。在确定代表性岩石时，仅仅说明是那种岩石是不够的，还必须指明其风化程度，以便确定风化后的岩石坚硬程度档次。

关于风化程度的划分或定义，国内外在工程地质工作上，大都从大范围的地层或风化壳的划分着眼，把裂隙密度、裂隙分布及发育情况、弹性纵波速度以及岩石结构被破坏、矿物变异等多种因素包括进去。表13关于岩石风化特征的描述和风化程度的划分，仅是针对小块岩石为表12服务的，它并不代替工程地质中对岩体风化程度的定义和划分。表13是把岩体完整程度从整个地质特征中分离出去之后，专门为描述岩石坚硬程度做的规定，主要考虑岩石结构构造被破坏、矿物蚀变和颜色变化程度，而把裂隙及其发育情况等归入岩体完整程度——另一个基本质量分级因素中去。

在自然界里，岩石被风化的程度总是从未风化逐渐演变为全风化的，是普遍存在的一个地质现象。本条总结了我国采用的划分方法，并考虑在岩石坚硬程度划分和在岩体基本质量分级时便于对不同情况加以组合，将岩石风化程度划分为未风化、微风化、弱风化、强风化和全风化五种情况。

A.6.1.4（8.1.5） 岩体完整程度是决定岩体基本质量的另一个重要因素，影响岩体完整性的因素很多，从结构面的几何特征来看，有结构面的密度、组数、产状和延伸程度，以及各组结构面相互切割

关系；从结构面性状、特征来看，有结构面的张开度、粗糙度、起伏度、充填情况、充填物水的赋存状态等。将这些因素逐项考虑，用来对岩体完整程度进行划分，显然是困难的。从工程岩体的稳定性着眼，应抓住影响岩体稳定的主要方面，使评判划分易于进行。经分析综合，将几何特征诸项综合为“结构面发育程度”；将结构面性状特征诸项综合为“主要结构面的结合程度”。

表 14 中规定了用结构面发育程度、主要结构面的结合程度和主要结构面类型作为划分岩体完整程度的依据。在做定性划分时，应注意对这三者做综合分析评价，进而对岩体完整程度进行定性划分并定名。所谓“主要结构面”是指相对发育的结构面，即张开度较大、充填物较差、成组性好的结构面。结构面发育程度包括结构面组数和平均间距，它们是影响岩体完整性的重要方面。在进行地质勘察时，应对结构面组数和平均间距进行认真地测绘和统计。

A. 6. 1. 5（8. 1. 6） 结构面结合程度，应从各种结构面特征，即张开度、粗糙状况、充填物性质及其形状等方面进行综合评价。本条规定这几个方面内容作为评价划分的依据，一是因为它们是决定结构面的结合程度的主要方面，再则也是为了便于在进行划分时适应野外工作的特点，工程师在野外观察时凭直观就能判断。将这几方面的情况分析综合，相互搭配，划分为结合很好、结合好、结合一般、结合差、结合很差五种情况。

张开度是指结构面缝隙紧密的程度，国内一些部门在工程实践中各自做了定量划分，张开度划分界限最大值为 5. 0mm，最小值为 0. 1mm。考虑到适用于野外定性鉴别，对张开度大于 3. 0mm 者，从工程角度看已认为是张开的了，再细分无实际意义。张开度小于 1. 0mm 者，再细分肉眼不易判别，所以本标准确定了张开度的划分界限（见表 15）。当鉴定结构面结合程度时，还应注意描述缝隙两侧壁岩性的变化、充填物性质（来源、成分、颗粒粗细）、胶结情况及赋水状态等，综合分析评价它们对结合程度的影响。结构面粗糙度情况是决定结构面结合程度好坏的一个重要方面，从工程稳定方面看，对于结构面人们所关心的是其抗滑能力，而结构面侧壁的粗糙度程度常在很大程度上影响着它的抗滑能力。因此国内各方面都着力对结构面粗糙度进行鉴别和划分，这些划分方法对粗糙度尚无确切的含义和标准，仅从结构面的成因和形态来划分较为抽象，不便使用。

A. 6. 1. 6（8. 1. 7） 岩石坚硬程度，是岩石或岩块在工程意义上的最基本性质之一。它的定量指标和岩石组成的矿物成分、结构、致密程度、风化程度以及受水软化程度有关。表现为岩石在外荷载作用下，抵抗变形直至破坏的能力。表示这一性质的定量指标，有岩石单轴抗压强度、弹性变形模量和回弹值等。在这些力学指标中，单轴抗压强度容易测得，代表性强，使用最广，与其他强度指标相关密切，同时又能反映出岩石受水软化的性质，因此，筛选采用单轴饱和抗压强度作为反映岩石坚硬程度的定量指标。

A. 6. 1. 7（8. 1. 9） 岩体完整程度的定量指标，国内外采用的不尽相同，较普遍的有岩体完整性指数 K_v、岩体体积节理数 J_v、岩石质量指标 *RQD*、节理平均间距、岩体与岩块动静弹模比、岩体龟裂系数、1. 0m 长岩心段包括的裂隙数等，这些指标均从某个侧面反映了岩体的完整程度。目前国内的诸多岩体分级方法中，大多数认为前三项指标能较全面地体现岩体的完整状态，其中 K_v 和 J_v 两项具有应用广泛、测试或量测方法简便的特点。*RQD* 值国外应用较多，美国迪尔（Deer）在提出这一定量指标时，是有严格规定的，要求用 NX 钻头（直径为 2. 125in 的金刚石钻头），双层岩心管钻进。在我国工程勘探中金刚石钻头的使用还未普及，钻具型号也不够规范，有的单位虽尝试获取 *RQD* 值，但缺乏统一性和可比性。因此本标准只选用 K_v 和 J_v 来定量评定岩体的完整程度和计算岩体基本质量指标。

A. 6. 1. 8（8. 1. 10） 表 18 给出 K_v 值与岩体完整程度的对应关系，是为了将岩体完整程度的定量指标分成与定性划分相对应的档次，也使定性划分的岩体完整程度有一个大致的定量范围值。

A. 6. 2（8. 2） 岩体基本质量分级

A. 6. 2. 1（8. 2. 1） 岩体基本质量分级，是各类型工程岩体定级的基础。本条强调应根据岩体基本质量的定性特征与基本质量指标 *BQ* 相结合进行岩体基本质量分级。

岩体基本质量的定性特征是两个分级因素定性划分的组合，根据这些组合可以进行岩体基本质量的定性分级。而岩体基本质量指标 BQ 是用两个分级因素定量指标计算求得的，根据所确定的 BQ 值可以进行岩体基本质量的定量分级。定性分级与定量分级相互验证可以获得较准确的定级。

在工程建设的不同阶段，地质勘察和参数测试等工作的深度不同，对分级精度的要求也不尽相同。预可行性研究阶段和可行性研究阶段可以定性分级为主，初步设计、施工图设计和施工阶段必须进行定性和定量相结合的分级工作，并根据工程施工期间开挖所揭露的岩体情况对已划分的岩体等级加以检验和修正。

A.6.2.2（8.2.2） 本条规定了根据基本质量的定性特征做出的岩体基本质量定性分级，与根据基本质量指标 BQ 做出的定量分级不一致时的处理方法。出现定性分级与定量分级不吻合的情况是经常发生的，也是正常的。若两者定级不一致，可能是定性评级不符合岩体实际的级别，也可能是测试数据在选用或实测时缺乏代表性，或两者兼而有之。必要时，应重新进行定性鉴定和定量指标的复核，在此基础上经综合分析，重新确定岩体基本质量的级别。

为了提高定级的准确性，宜由有经验的人做定性分级，定量指标测试的地点与定性分级的岩石工程部位应一致。对Ⅲ级以下（含部分Ⅲ级）的岩体，应慎重确定级别，以确保工程安全。

A.6.2.3（8.2.4） 根据分级因素的定量指标对岩体质量进行定量分级的方法有上百种，经归纳大致可分为三种：

a）单参数法。如 RQD 法，就是以修正的 10cm 以上岩心长度之和与钻孔总长度的百分比为依据分级的。

b）多参数法。如东北大学以 R_c、岩体弹性纵波速度 v_{pm}、平均节理间距 dp 和围岩位移稳定时间四项参数为依据，通过电算程序进行动态分级的方法。

c）多参数组成的综合指标法。如总参工程兵第四设计研究院坑道工程围岩分级中，由 R_c，K_v、地下水状态和岩层产状四项参数组成分级指标。也有人提出对 R_c、岩体完整性、含水情况和风化程度四方面分别评分，最后给出表示岩体质量的总分。巴顿（Barton）的 Q 分级法也属这一种。

本标准采用多参数法，以两个分级因素的定量指标 R_c 及 K_v 为参数，计算求得岩体基本质量指标 BQ，作为划分级别的定量依据。

A.6.2.4（8.2.5） 本条规定了使用式（13）时应遵守的限制条件，限制条件分别以两个连续函数的形式，规定了该式上下限的使用条件。给出的限制条件之一，是对式（13）上限的限制，这是注意到岩石的 R_c 过大，而岩体的 K_v 不大时，对于这样坚硬但完整性较差的岩体，其稳定性是比较差的，R_c 虽高但对稳定性起不了那么大的作用，如果不加区别地将原来测得的 R_c 值代入公式，过大的 R_c 值使得岩体基本质量指标 BQ 大为增高，造成对岩体质量等级及实际稳定性做出错误的判断。使用这一限制条件，可获得经修正过的 R_c 值，例如当 $K_v = 0.5$ 时，实测 R_c 值大于 79.5MPa，取用 79.5MPa，否则取用实测值。

本条给出第二个限制条件，是对式（13）下限的限制，这是针对岩石的 R_c 很低，而相应的岩体 K_v 值过高的情况下给定的。这是注意到，完整性虽好但甚为软弱的岩体，其稳定性仍然是不好的，将过高的 K_v 实测值代入公式也会得出高于岩体实际稳定性或质量等级的错误判断。使用这一限制条件，可获得经修正过的 K_v 值。例如当 $R_c = 10$ MPa 时，实测 K_v 值大于 0.8，取用 0.8，否则取用实测值。

A.6.3（8.3） 工程岩体分类

A.6.3.1（8.3.2） 影响工程岩体稳定性的诸因素中，岩石坚硬程度和岩体完整程度是岩体的基本属性，是各种岩石工程类型的共性，反映了岩体质量的基本特征，但它们远不是影响岩体稳定的全部重要因素。地下水状态、初始应力状态、地下库轴线或走向线的方位与主要软弱结构面产状的组合关系等，也都是影响岩体稳定的重要因素。随着设计工作的深入，地质勘察资料增多，就应结合不同类型

工程的特点、边界条件、所受荷载（含初始应力）情况和运用条件等引入影响岩体稳定的主要修正因素，对工程岩体做详细的定级。

本条只是原则规定了将地下水状态等项影响因素作为修正因素，还有些对岩体稳定有影响的因素，如洞室跨度与节理密度的关系及地温引起的应力变化等，有的目前还缺乏足够经验或足够试验依据，有的不是岩体分级能够解决的问题，应在设计施工中予以考虑或研究解决。

A.6.3.2（8.3.4） 某些具有特殊变形破坏特性的岩类，如具有膨胀性强的岩类、易溶蚀的盐岩等（尽管在水封洞库工程中不易遇到，但还是应给予足够的重视），具有某些特殊的性质，影响其稳定性的因素与一般岩类很不相同。本标准分级的方法未反映其特殊性，也无成熟的经验和依据用修正的办法反映其对稳定性的影响。对这些带有特殊性的问题，在考虑它们的影响时，需通过其他途径解决。

规模较大、贯通性较好的软弱结构面，即使只有一、二条，往往也会对工程岩体的稳定性有重要的影响，这种影响不能通过岩体分级得到考虑，应进行专门研究，例如对重要的或复杂的岩石工程需要用数值模拟或物理模拟进行岩体稳定性分析研究等。

A.6.3.3（8.3.5～8.3.8） 规定了地下工程岩体在岩体基本质量级别确定后，做进一步或详细定级时应考虑的几个修正因素和修正后的定级原则。

在地下工程岩体分级工作中，以往多称为围岩分类，虽然主要是考虑洞室周围的岩体，但勘察试验工作往往是从上部至下部对整个岩体进行研究，基于上述原因将与地下工程有关的工程岩体定名为“地下工程岩体”。

本标准分析总结了已有的成果，并结合工程实践，将最基本的带共性的岩石坚硬程度（含强度）和岩体完整程度作为岩体基本质量的影响因素，而把另外几项主要影响因素，即地下水、主要软弱结构面与洞轴线的组合关系、高初始应力现象作为修正因素。引入修正因素对岩体基本质量进行修正后，8.3.5 规定仍按表 19 进行分级，这是因为本标准分级的标准只有一个，只是岩体基本质量指标 BQ 和岩体基本质量指标修正值 $[BQ]$ 所包含的影响因素的内容不同。

A.6.4（8.4） 水封洞库围岩分类

A.6.4.1（8.4.1） 本条为预可研阶段、可研阶段勘察和初步设计阶段勘察阶段所做的岩体质量评价和岩体工程地质分类的标准，主要考虑了岩体的 RQD 值、$[BQ]$ 值和围岩弹性纵波速度 v_P。宜用几种方法综合确定。

A.6.4.2（8.4.2） 施工图设计及施工阶段勘察时的围岩分类，采用 GB 50218—1994 中的 $[BQ]$ 分类法。

A.6.4.3（8.4.3） 水封洞库的围岩分类应采用多种方法综合分类及相互校验。因为影响岩体的因素多而复杂，为了提高围岩分类的精度，采用多方法分类，综合评价是必要的。除本标准给出的 BQ 法外，目前国内外采用较多的分类方法有：水利水电行业的“T 总分法”、岩体地质力学分类“RMR 法”、巴顿岩体质量“Q 系统法”等。

A.6.5 围岩稳定性评价

A.6.5.1（8.5.1） 关于围岩稳定性的评价是水封洞库勘察工作的重点之一。影响围岩稳定性的因素比较复杂，分析评价的方法繁多。本条给出了用于各个勘察阶段围岩稳定性评价的要求和主要定量指标，在具体的勘察过程中，应针对库区的岩体特性和各勘察阶段所取得的成果资料，采用相应的评价方法，宜采用多种方法进行综合分析评价，以提高围岩稳定性评价的可靠性。

A.6.5.2（8.5.3～8.5.6） 影响工程岩体稳定性的诸因素中，岩石坚硬程度和岩体完整程度是岩体的基本属性，是各种岩石工程类型的共性，反映了岩体质量的基本特征。但它们远不是影响岩体稳定的全部重要因素，地下水状态、初始应力状态、洞轴线或走向线的方位与主要软弱结构面产状的组合关系等，也都是影响岩体稳定的重要因素。这些因素对不同类型的岩石工程，其影响程度往往是不一样的。在分析评价中，应综合考虑这些影响因素，确定主要因素，充分考虑这些因素的相互组合关系，确定较为适合的分析评价方法。

A.6.5.3 (8.5.7) 岩体基本质量指标修正值［*BQ*］确定的地下工程岩体级别与洞室的自稳能力之间有很好的对应关系。表27所描述的稳定性自稳能力包括变形和破坏两方面，是指长期作用的结果。开挖后短时间不破坏并不能说明岩体是稳定的，需通过变形观测和较长时间作用的检验。

参 考 文 献

[1] GB 50021—2001 岩土工程勘察规范
[2] GB 50108—2001 地下工程防水技术规范
[3] GB 50218 1994 工程岩体分级标准
[4] SY/T 0053 油气田及管道岩土工程勘察规范
[5] SYJ 52—1983 水封油库工程地质勘察技术规定
[6] JGJ 87—1992 建筑工程地质钻探技术规程
[7] SL 31—2003 水利水电工程钻孔压水试验规程
[8] SL 320—2005 水利水电钻孔抽水试验规程
[9] BS 5930：1981 英国场地勘察标准
[10] 美国垦务局 RTH 381—80` 原位测定岩体渗透性的压水试验建议方法