中华人民共和国行业标准

铁路工程水文地质勘察规程

Code for hydrogeological investigation of railway engineering

TB 10049—2004

J 339—2004

主编单位：铁道第一勘察设计院

批准部门：中华人民共和国铁道部

施行日期：2004 年 4 月 1 日

中 国 铁 道 出 版 社

2004年·北 京

中华人民共和国行业标准

铁路工程水文地质勘察规程

TB 10049—2004

J 339—2004

*

中国铁道出版社出版发行

（100054，北京市宣武区右安门西街 8 号）

北京兴顺印刷厂印

开本：850 mm×1 168 mm 1/32 印张：4.625 字数：118 千字

2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

印数：1～5 000 册

统一书号：15113·1985 定价：18.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书，如有缺页、倒页、脱页者，请与本社发行部调换。

联系电话：路（021）73169，市（010）63545969

关于发布《铁路工程土工试验规程》等5项铁路工程建设标准的通知

铁建设函〔2004〕121号

《铁路工程土工试验规程》(TB 10102—2004)、《铁路工程水文地质勘察规程》(TB 10049—2004)、《铁路工程物理勘探规程》(TB 10013—2004)、《铁路隧道衬砌质量无损检测规程》(TB 10223—2004)及《铁路工程结构混凝土强度检测规程》(TB 10426—2004)等5项铁路工程建设标准，经审查现予发布，自2004年4月1日起施行。原《铁路工程土工试验方法》(TBJ 102—87，含1996年局部修订版)、《填土密度湿度核子仪测试规程》(TB/T 10217—96)、《铁路供水水文地质勘测规则》(TBJ 15—96)、《铁路工程水文地质勘测规范》(TB 10049—96)、《铁路工程物理勘探规程》(TB 10013—98)同时废止。

以上标准由铁道部建设管理司负责解释，由中国铁道出版社和铁路工程技术标准所组织出版发行。

中华人民共和国铁道部

二〇〇四年三月九日

前　言

本规程是根据《关于下达2000年铁路工程建设规范、定额编制计划的通知》(铁建设函〔2000〕36号）的要求，在《铁路供水水文地质勘测规则》(TBJ 15--96）和《铁路工程水文地质勘测规范》(TB10049—96）的基础上合并修订而成的。

本规程内容包括总则、术语和符号、新建和改建铁路水文地质勘察、水文地质调绘、水文地质物探、水文地质钻探、水文地质试验、水文地质参数计算、供水水文地质勘察、工程水文地质勘察和环境水文地质等11章，另有2个附录。

本规程的主要修订内容如下：

1. 按《铁路基本建设项目预可行性研究、可行性研究和设计文件编制办法》(铁建设〔1999〕99号）的规定，调整了铁路水文地质勘察阶段与设计阶段间的对应关系，修改了勘察内容和要求。

2. 增加了加深地质工作中水文地质勘察的内容及施工阶段和运营阶段供水水文地质工作要求。

3. 增加了“遥感图像水文地质解译”内容。

4. 增加了“压水试验”、“注水试验”和“提水试验”的内容。

5. 增加了“环境水文地质”一章。

6. 增加了“生活饮用水水源水质标准表”，在“预测隧道涌水量的方法”中，增加了部分新方法和计算公式。

本规程以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

在执行本规程过程中，希望各单位结合工程实践，认真总结经验，积累资料。如发现需要修改和补充之处，请及时将意见及有关资料寄交铁道第一勘察设计院（甘肃省兰州市和政路75号，

邮政编码：730000），并抄送铁路工程技术标准所（北京市海淀区羊坊店路甲8号，邮政编码：100038），供今后修订时参考。

本规程由铁道部建设管理司负责解释。

本规程主编单位：铁道第一勘察设计院。

本规程主要起草人：李秋枫、朱大力、邓明万。

目　　次

1　总　　则 …… 1
2　术语和符号 …… 2
　2.1　术　　语 …… 2
　2.2　符　　号 …… 4
3　新建和改建铁路水文地质勘察 …… 6
　3.1　一般规定 …… 6
　3.2　踏勘阶段 …… 6
　3.3　加深地质工作 …… 7
　3.4　初测阶段 …… 8
　3.5　定测阶段 …… 9
　3.6　施工阶段 …… 12
　3.7　运营阶段 …… 13
　3.8　改建铁路 …… 14
4　水文地质调绘 …… 16
　4.1　一般规定 …… 16
　4.2　遥感图像水文地质解译 …… 17
　4.3　地貌、地质调查 …… 18
　4.4　地表水和地下水露头调查 …… 19
　4.5　水质调查分析 …… 19
　4.6　各类地区的调绘 …… 20
5　水文地质物探 …… 24
　5.1　一般规定 …… 24
　5.2　工作内容及应交资料 …… 24
6　水文地质钻探 …… 26
　6.1　一般规定 …… 26

6.2 勘探试验孔 …… 26
6.3 试验孔过滤器 …… 27
7 水文地质试验 …… 29
7.1 一般规定 …… 29
7.2 稳定流抽水试验 …… 30
7.3 非稳定流抽水试验 …… 31
7.4 压水试验 …… 32
7.5 注水试验 …… 34
7.6 提水试验 …… 34
8 水文地质参数计算 …… 36
8.1 一般规定 …… 36
8.2 渗透系数 …… 36
8.3 给水度和释水系数 …… 41
8.4 引用补给半径 …… 42
8.5 降水入渗系数 …… 42
9 供水水文地质勘察 …… 44
9.1 一般规定 …… 44
9.2 调 绘 …… 44
9.3 勘探试验 …… 46
9.4 地下水动态观测 …… 48
9.5 水量评价 …… 48
9.6 水质评价 …… 50
9.7 文件编制 …… 50
10 工程水文地质勘察 …… 52
10.1 一般规定 …… 52
10.2 调 绘 …… 52
10.3 勘探试验 …… 54
10.4 气象、水文和地下水动态观测 …… 55
10.5 水量评价 …… 56
10.6 水质评价 …… 58

10.7 文件编制 …… 58
11 环境水文地质 …… 59
11.1 一般规定 …… 59
11.2 工作内容 …… 59
附录 A 生活饮用水水源水质标准 …… 62
附录 B 预测隧道涌水量的方法 …… 64
B.1 简易水均衡法 …… 64
B.2 地下水动力学法 …… 65
B.3 其他方法 …… 66
本规程用词说明 …… 69
《铁路工程水文地质勘察规程》条文说明 …… 70

1 总　　则

1.0.1 为统一铁路工程水文地质勘察工作的技术要求，保障勘察质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、改建铁路设计、施工及运营阶段的供水、工程和环境评价的水文地质勘察工作。

1.0.3 铁路工程水文地质勘察应按勘察阶段的要求开展工作，分别提供各类工程所需的水文地质资料。

1.0.4 铁路工程水文地质工作应运用综合勘探和综合分析的方法，积极采用新理论、新技术、新方法。

1.0.5 铁路工程水文地质勘察，除应符合本规程外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

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进行的野外和室内水文地质工作。包括水文地质测绘、勘探、试验、地下水动态监测等工作。

2.1.2 供水水文地质勘察　hydrogeological investigation of water-supply

为铁路给水站、点的生产、生活等供水目的进行的水文地质勘察。

2.1.3 工程水文地质勘察　hydrogeological investigation of engineering

为查明铁路工程（隧道、路基、桥梁、房屋建筑等）防治地下水的危害而进行水文地质条件的勘察。

2.1.4 水文地质条件　hydrogeological condition

地下水埋藏、分布、补给、径流和排泄条件以及水质、水量和地下水形成的地质条件。

2.1.5 水文地质调绘　hydrogeological mapping

对地面地质、地貌、地下水露头及与地下水有关的各种地质现象所进行的实地调查、观测和填图工作。

2.1.6 科里奥利效应　Coriolis effect

地球自转时产生的偏转力使地表径流对岸坡所造成的不对称侵蚀淤积的现象。偏转力，即科里奥利力。

2.1.7 水文地质试验　hydrogeological test

为评价水文地质条件和取得含水层参数而进行的各种测量和

试验工作。

2.1.8 稳定流抽水试验 steady flow pumping test

在抽水过程中，流量和水位同时相对稳定，并有一定延续时间的试验。

2.1.9 非稳定流抽水试验 unsteady flow pumping test

在抽水钻孔中仅保持抽水量稳定，或保持水位稳定，观测含水层中地下水位和抽水量变化的抽水试验。

2.1.10 初见水位 initial water level

当钻孔揭露含水层时，初次发现的地下水面高程。

2.1.11 静止水位（天然水位） static water level（natural water level）

抽水试验前井孔中的稳定水位。

2.1.12 给水度 specific yield

饱和岩石在重力等作用下释出水的体积与岩石体积之比。

2.1.13 释水系数 storage coefficient

水头（水位）下降（或上升）一个单位时，从底面积为一个单位高度等于含水层厚度的柱体中所释放（或贮存）的水量。

2.1.14 引用补给半径 recharge radius

按照裘布依公式假设条件而计算的补给半径，是表示钻孔补给条件的参数。

2.1.15 综合水文地质图 synthetic hydrogeological map

根据水文地质勘察资料而编制的能反映工作区水文地质条件，地下水类型和主要含水层特征，地下水的水质、水量特征，地下水运动特征，代表性水点等方面内容的水文地质图件。

2.1.16 地下水资源 groundwater resources

具有利用价值的地下水。

2.1.17 地下水补给量 groundwater recharge

在天然或开采条件下，单位时间内进入到含水层中的水量。

2.1.18 地下水水量评价 evaluation of groundwater quantity

对地下水水源地或某一地区、某个含水层的补给量、储存量、

允许开采量以及对所用计算方法的适宜性、水文地质参数的可靠性、资源计算结果精度、开采资源保证程度所做出的全面评价。

2.1.19 综合水文地质图 synthetic hydrogeological map

根据水文地质勘察资料而编制的能反映工作区水文地质条件，地下水类型和主要含水层特征，地下水的水质、水量特征，地下水运动特征，代表性水点等方面内容的水文地质图件。

2.1.20 含水体 water bearing zone

对地下水赋存场所（含水层、含水带等）的统称。

2.1.21 突水 water bursting

地下工程在施工过程中，地下水突然大量涌出的现象，也称灾害性涌水。

2.1.22 集中涌水 centralizing water yield

地下工程长 10 m 区段内大于 20 L/min 的涌水。

2.1.23 最大涌水量 maximum water yield

隧道或其他工程某段在含水体中掘进时的峰值涌水量。

2.1.24 正常涌水量 normal water yield

隧道或其他工程的涌水达到大致稳定时的涌水量。

2.1.25 环境水文地质 environmental hydrogeology .

研究自然环境中地下水与环境及人类活动的相互关系及其作用，并据此对地下水与环境提出保护、控制和改造措施。

2.1.26 天然环境水文地质 natural environment hydrogeological condition

地质、构造、第四纪地质、地貌、水文地质、地球化学、植被、气象等对人类开发利用地下水活动有影响的自然条件。

2.1.27 地下水环境背景值 groundwater environmental background value

在现状条件下，地下水中某组分的平均含量。

2.2 符　　号

2.2.1 水文地质

A——隧道通过含水体地段的集水面积

B——隧道通过含水体地段涌水时对两侧的影响宽度

E——某流域的年蒸发蒸散量

F——隧道通过含水体地段的涌水面积

H——自然情况下潜水含水层的厚度、隧道洞底以上潜水含水体的厚度

h——潜水含水层在抽水试验时的厚度

$\overline{h}$——潜水含水层在自然情况下和抽水试验时的厚度的平均值

K——含水层或含水体的渗透系数

M——承压含水层的厚度、地下径流模数

P——压水试验总压力

Q——钻孔出水量

Q_0——隧道最大涌水量

Q_s——隧道正常涌水量

q_0——隧道单位长度最大涌水量

q_s——隧道单位长度正常涌水量

q——钻孔单位出水量

R——降落漏斗半径、隧道涌水一侧的影响宽度

R_y——引用补给半径

S——承压水释水系数

s——水位降深

t——时间

W——年降水量

2.2.2 水质分析

$c(Ca^{2+}+Mg^{2+})$——钙镁离子浓度

$c(Ca^{2+}+Mg^{2+})t$——碳酸盐钙镁离子浓度

$c(Ca^{2+}+Mg^{2+})s$——非碳酸盐钙镁离子浓度

$c(Na^{+}+K^{+})n$——钠钾碱度

$c(B)$——碱度

3 新建和改建铁路水文地质勘察

3.1 一般规定

3.1.1 新建铁路水文地质勘察应按踏勘、初测、定测、补充定测阶段开展水文地质工作。当地形地质条件特别复杂、线路方案比选范围较大，在初测前开展加深地质工作时，应同步进行水文地质工作。施工、运营阶段应根据揭示的水文地质条件和变化情况开展工作。

3.1.2 水文地质勘察深度应与设计阶段相适应。补充定测阶段水文地质勘察的技术要求与定测阶段相同。

3.1.3 水文地质工作，应采用水文地质调绘、物探、钻探 、试验、动态观测等多种手段相结合的综合勘察方法。

3.2 踏勘阶段

3.2.1 踏勘阶段水文地质工作应利用既有资料，了解线路各方案以及重大工程的水文地质条件，对环境水文地质作出评价，为编制预可行性研究报告提供水文地质资料。

3.2.2 踏勘阶段供水水文地质工作，应包括下列内容：

1 搜集、分析沿线水文地质资料，初步进行水文地质分区；

2 根据给水站、区段站布置，利用既有水文地质资料初步提出供水水源方案。

3.2.3 踏勘阶段工程水文地质工作，应包括下列内容：

1 搜集、分析沿线水文地质资料，初步评价线路各方案水文地质条件；

2 了解重点工程与控制性工程的分布，利用既有的区域地质和水文地质资料，初步分析其水文地质条件及其对工程设置的

影响；

3 对水文地质条件复杂地区的控制性工程，必要时现场踏勘，进行水文地质条件评价并提出下阶段工作内容及要求。

3.2.4 踏勘阶段资料编制应符合下列要求：

1 供水水文地质说明，内容包括：

1）概括阐述线路通过区域水文地质条件；

2）富水性分区情况；

3）主要给水站的水源方案。

2 工程水文地质说明，内容包括：

概括阐述线路各方案及控制线路走向的重大不良地质、特殊岩土地段和地质复杂的重大工程的水文地质条件。

3.3 加深地质工作

3.3.1 加深地质工作应根据审查批复意见，在线路可能通过的最大区域内，初步查明控制和影响线路方案地段的水文地质条件，提出初测方案的比选范围和评价意见。

3.3.2 加深地质工作中的水文地质勘察，应采用遥感图像水文地质解译、大面积水文地质调绘和多种物探，必要的验证性钻探、试验相结合的综合勘探方法。

3.3.3 加深地质工作中的水文地质勘察，应初步查明下列内容：

1 测区水文地质分区及其富水程度；

2 测区内水文地质条件对线路方案的影响程度；

3 控制性工程及有可能受地下水危害的重点工程的水文地质条件。

3.3.4 加深地质工作的资料编制，应包括下列内容：

1 控制性工程水文地质报告，内容包括：

1）勘察概况；

2）自然地理概况；

3）区域地质条件概况；

4）区域水文地质条件：地下水的类型、补给、径流条件，含水岩组的分类，富水性的分区、水质等；

5）水文地质测试方法的选用：钻探、试验和测试方法及成果、水文地质参数计算等；

6）涌水量的预测；

7）环境水文地质评价；

8）水文地质的评价及结论意见。

2 遥感水文地质解译报告。

3 勘探、试验成果资料。

4 测区水文地质平面图，比例为1:20000～1:50000。

5 控制性工程水文地质平面图、纵断面图，比例与工程地质图相同。

3.4 初测阶段

3.4.1 初测阶段水文地质勘察应根据预可行性研究报告审查批复意见安排工作，为编制可行性研究报告提供水文地质资料。

3.4.2 初测阶段供水水文地质工作，应包括下列内容：

1 结合给水站的布置，进行水文地质调绘，必要时应进行综合勘探工作，初步查明给水站所在地一定范围内的水文地质条件，进行水源方案比较，提出经济技术合理、水质较好和稳定可靠的供水水源方案；

2 应了解生活供水站、点的分布，初步查明所在地供水水文地质条件，提出供水水源方案意见和定测阶段工作量；

3 结合给水站的地质及环境条件进行水量、水质及环境水文地质评价。

3.4.3 初测阶段工程水文地质工作，应包括下列内容：

1 结合沿线工程设置进行水文地质调绘及必要的水文地质勘探试验工作，初步评价沿线水文地质条件；

2 初步查明控制性工程及地质条件复杂地段的水文地质条

件，评价其对工程设置的影响；

3 初步查明重点工程的水文地质条件，评价其对周边环境的影响程度和范围；

4 根据需要建立临时性气象、水文、地下水动态观测站（点）并开始工作。

3.4.4 初测阶段的资料编制，应包括下列内容：

1 给水站供水水文地质勘察报告，内容包括：

1）前言；

2）自然地理概况：气象、水文、地形地貌；

3）地质概况：地层、岩性、构造；

4）水文地质条件；

5）水文地质勘探和试验：物探、钻探与试验；

6）水文地质计算；

7）环境水文地质评价；

8）水源方案建议。

2 生活供水站（点）水文地质说明。

3 重大工程水文地质勘察报告，内容应符合本规程“加深地质工作”的有关要求。

4 给水站综合水文地质平面图，比例为1:10000～1:50000。

5 水源钻探抽水试验综合成果图。

6 重点工程水文地质平面图，比例与工程地质图相同。

7 重点工程水文地质纵断面图，比例与工程地质纵断面图相同，或与工程地质纵断面图合并编制。

3.5 定测阶段

3.5.1 定测阶段的水文地质勘察工作，应根据可行性研究报告批复意见，在利用初测资料的基础上，详细查明采用的线路方案的水文地质条件，为供水站、点和各类工程的初步设计提供水文地质资料。

3.5.2 定测阶段供水水文地质工作，应包括下列内容：

1　结合给水站、生活供水站（点）的规模，查明天然环境水文地质条件，确定水源方案。

2　根据水源方案和水文地质条件补充勘探、测试工作。

3　根据天然环境水文地质条件现状和水源方案，分析和评价环境水文地质条件。

4　采用的供水水源方案，应提供下列水文地质资料：

1）开采的含水层的静止水位、厚度、水质、颗粒分析资料；

2）开采的含水层的水文地质参数（渗透系数、引用补给半径等）；

3）水位、水质可能发生变化的资料；

4）对允许开采量进行论证的资料；

5）环境水文地质条件。

3.5.3　定测阶段工程水文地质工作，应包括下列内容：

1　对地下工程和基础工程应进行水文地质调查、勘探和试验工作，提供水文地质资料，对工程涌水地段提供水文地质参数和预测涌水量；

2　进一步评价工程设置对周边环境水文地质条件的影响程度和范围，并提出防治措施；

3　对受地下水影响明显的工程，应确定对施工、运营有长期观测价值的水文地质钻孔的位置和数量。

3.5.4　定测阶段的资料编制，应包括下列内容：

1　全线水文地质勘察报告；

2　给水站供水水文地质勘察报告；

3　生活供水站（点）水文地质说明；

4　重大工程水文地质勘察报告；

5　全线综合水文地质图（必要时附），比例为1∶100 000或1∶200 000；

6　给水站、生活供水站（点）图件宜按表3.5.4—1编制，重点工程图件宜按表3.5.4—2编制。

表 3.5.4—1　供水水文地质图件编制项目

顺号	图件名称	工程类别 / 比例		给水站	生活供水站、点
1	综合水文地质平面图	1:10000～1:50000		○	△
2	水文地质纵断面图（水源地区）	横	1:50～1:2000	○	△
		纵	1:50～1:2000		
3	水文地质横断面图（水源地区）	横	1:1000～1:20000	○	△
		纵	1:50～1:2000		
4	地下水等水位线图	1:100～1:2000		△	△
5	地下水等水头线图	1:100～1:2000		△	△
6	含水层等高线图	1:100～1:2000		△	△
7	含水层等厚线图	1:100～1:2000		△	△
8	地下水水化学图	1:100～1:2000		△	△
9	环境水文地质图	1:100～1:2000		△	△
10	水源钻探抽水试验综合成果图			○	○

注：○为必须编制；△为必要时编制。生活供水站、点可编制综合水文地质平面图或平面示意图。

表 3.5.4—2　工程水文地质图件编制项目

顺号	图件名称	工程类别 / 比例		山岭隧道	地下洞室	地道	路基	桥渡	立交桥	房屋建筑
1	水文地质平面图	1:2000～1:50000		○						
		1:500～1:5000			△	△	△	△	△	△
2	水文地质纵断面图	横	1:2000～1:50000	○	○					
		竖	1:200～1:1000							
		横	1:500～1:5000			○	△	○	○	○
		竖	1:50～1:500							
3	水文地质横断面图	横	1:500～1:5000	△	△	△	△	△	△	○
		竖	1:50～1:500							
4	地下水等水位线图	1:100～1:2000			△		△	△	△	△
5	地下水等水头线图	1:100～1:2000			△	△	△	△	△	△
6	竖井、斜井水文地质柱状图			△						
7	水文地质试验综合成果图			△	△	△	△	△	△	△

注：○为必须编制；△为必要时编制；第1、2、3、6项可与工程地质图合并；第7项当进行抽水试验时应做此成果图。

3.6 施 工 阶 段

3.6.1 施工阶段水文地质工作应根据现场的水文地质情况，及时提出改进施工方法的意见和处理措施，保障工程顺利进行，并应根据施工情况编录工程竣工资料。

3.6.2 施工阶段供水水文地质工作，应包括下列内容：

1 施工前应进行现场踏勘，了解水源地的施工条件。施工中应核查水源地含水层位置、水质及其变化、地下水开采情况等，为编制水源井竣工水文地质说明和图表准备资料。

2 施工前或施工中，当发现水源地自然条件发生变化，水量、水质不能满足设计要求时，应进行补充水文地质勘察，为变更水源方案设计提供资料。

3.6.3 施工阶段工程水文地质工作，应包括下列内容：

1 对设计文件中涉及各类工程的水文地质问题进行现场踏勘核对和研究，必要时补充水文地质勘察工作；

2 对水文地质条件复杂的工程以及隧道、路堑工程的涌水或可能溃底地段应进行监测，并编录其涌水位置、水量、水温、水质特征和地质条件，提出施工中应注意事项及应急措施；

3 核查地下水对围岩、边坡和基底稳定性的影响；

4 核查地下水有无侵蚀性；

5 对隧道集中涌水地段、涌水量较大及基底涌砂、溃底地段，应根据水文地质条件的变化，进行预测或采用超前预报；

6 施工阶段应对与工程相关的地表水、地下水动态长期观测的孔、井、泉等继续进行观测，及时分析观测资料，指导施工。

3.6.4 施工阶段资料编制应包括下列内容：

1 供水水源工程竣工报告；

2 重点工程竣工说明，内容包括：

1）涌水地段的位置、地质条件、水量、水温、水质、含泥砂量和特征等；

2）隧道施工前后的地下水位，边墙、拱圈的涌水、渗漏水位置及其危害情况、整治措施；

3）路堑边坡施工前后的地下水位、涌水位置及其危害情况、整治措施；

4）降低地下水位后，对周边环境的影响程度、范围和整治措施；

5）运营阶段应注意事项。

3 图件

1）供水水源竣工图；

2）重点工程附图，应按《铁路工程地质勘察规范》(TB10012)的有关规定编制。

3.7 运营阶段

3.7.1 运营阶段水文地质工作的主要任务是掌握供水水源运转情况、受地下水影响工程的病害发生和发展情况，分析原因，提出防治措施。

3.7.2 运营阶段供水水文地质工作，应包括下列内容：

1 当水源运转期间出现下列问题时，应进行水文地质勘察并查明其原因：

1）取水工程出水量衰减或枯竭；

2）水源水质变劣或受污染；

3）水源地受到严重干扰需要变更位置者。

2 经常了解开发含水层的环境水文地质条件变化情况。

3.7.3 运营阶段工程水文地质工作，应符合下列要求：

1 了解受地下水影响的工程病害的水文地质条件，定期监测地下水病害工点的发生、发展情况；

2 对地下水病害工点，应分析病害原因，进行水文地质勘察，提出整治措施意见；

3 对长期保留的地下水动态观测站（点），应进行系统观测，定期分析，研究水位、水量、水质等变化规律，及时用于工

程整治。

3.7.4 运营阶段资料编制应包括下列内容：

1 建立供水水源履历卡片，定期观测、记录水位、水量、水质、水温、气体成分等及其变化情况；

2 对受到地下水危害的工程，应建立工点履历卡片，及时分析水文地质变化，注明病害程度和整治效果等；

3 绘制地下水动态观测点的水文地质数据图表。

3.8 改建铁路

3.8.1 改建铁路的水文地质勘察应充分利用既有铁路的水文地质资料，借鉴既有工程的成功经验和教训，为供水水源和工程设计提供水文地质资料。

3.8.2 改建铁路的供水水文地质勘察，应包括下列内容：

1 对既有水源运转情况进行调查，并充分利用既有资料；

2 当水质、水量、取水构筑物位置和老化程度等因素不能满足要求时，应进行水源方案比选，进行必要的勘探与试验工作，提出改建既有水源或增建新水源的方案意见；

3 当改建既有水源或增建新水源时，应符合本规程新建铁路有关要求。

3.8.3 改建铁路的工程水文地质勘察，应包括下列内容：

1 在研究、利用既有水文地质资料基础上，应查明沿线受地下水危害的工程类别、位置、程度，分析病害原因，分析工程设置与周边环境水文地质条件的相互影响，提出改建工程的措施；

2 对受地下水危害的工程，应在调查场地水文地质条件的基础上进行勘探和试验工作，查明地下水的补给来源、分布范围和含水层（体）的埋藏深度、水文地质参数，为工程整治设计提供资料。

3.8.4 增建第二线与既有线并肩时，应充分利用既有线水文地

质资料，分析沿线受地下水危害的工程和地段；进行必要的水文地质勘探和试验工作，结合一线工程病害提出综合整治措施意见。

3.8.5 改建铁路各阶段的资料编制，应符合新建铁路要求。

4 水文地质调绘

4.1 一般规定

4.1.1 水文地质调绘应结合水源地和工程设置场地的自然环境，分析水文地质条件，合理有效的布置勘探测试工作，为水源地和工程提供准确的水文地质资料。

4.1.2 水文地质勘察应搜集勘察区既有地质和水文地质资料，并进行现场地质和水文地质调绘。

4.1.3 水文地质单元类型，可按表 4.1.3 划分。

表 4.1.3 水文地质单元类型

类型		分布地区
孔隙水	山间河谷型	狭长山间河谷地区
	傍河型	具有常水头河流的傍河冲积平原地区
	冲洪积扇型	山前冲积、洪积倾斜平原及山间盆地冲积、洪积扇地区
	冲积、湖积平原型	冲积、湖积平原至滨海平原之间的宽阔平原及盆地地区
	滨海平原型	滨海平原地区
	河口三角洲型	河流入海口及内陆湖口三角洲地区
裂隙岩溶水	裸露岩溶型	可溶岩大片出露或局部出露地区
	覆盖岩溶型	可溶岩地层大部分被土层覆盖地区
	埋藏岩溶型	覆盖层为非可溶岩，地表水与地下水联通不密切地区
裂隙水	红层孔隙裂隙型	主要指以红色为主的薄层泥岩，泥质胶结的砂岩、砾岩分布区
	碎屑岩裂隙型	主要指以钙质、铁质胶结的砂岩、页岩为主的地层分布区
	玄武岩裂隙孔洞型	主要指新生代玄武岩分布区
	块状岩石孔隙裂隙型	主要指岩浆岩、片麻岩、混合岩分布区及其风化带、接触带和断裂带

4.1.4 水文地质条件复杂程度，可按表 4.1.4 划分。

表 4.1.4 水文地质条件复杂程度

类型	复杂程度	水文地质特征
孔隙水	简单	浅埋的单、双层含水层，厚度比较稳定，补给条件明确，水质较好
	中等	双层或多层含水层，岩性、厚度不很稳定，补给条件和水质比较复杂
	复杂	埋藏较深的多层含水层，岩性和厚度变化较大，补给条件不易搞清，水质复杂或咸水、淡水相间，施工后易与咸水层或海水发生水力联系
岩溶水	简单	地质构造简单，可溶岩裸露或半裸露，岩溶发育比较均匀，补给边界简单
	中等	地质构造比较复杂，可溶岩埋藏较浅（一般小于 20m），岩溶发育不均匀，补给边界较复杂
	复杂	地质构造复杂，可溶岩埋藏较深，岩溶发育极不均匀，补给边界复杂
裂隙水	简单	含水层比较稳定，补给条件及水质较好，埋藏条件比较简单，一般多为层间水（潜水或承压水）或强烈风化带潜水
	中等	含水层不稳定，地质构造、补给条件及水质比较复杂，一般为深埋的断续分布的多层层间承压水或断裂带脉状水
	复杂	地质构造复杂，含水层分布极不均匀，一般为构造裂隙水或断裂带脉状水

4.2 遥感图像水文地质解译

4.2.1 铁路的水文地质勘察应充分利用遥感图像解译成果，宏观地查明水文地质条件，提供所需资料。

4.2.2 水文地质遥感工作的程序应包括：准备工作、初步解译、外业验证调查与复核解译、最终解译与资料整理。

4.2.3 在水文地质条件复杂的地区，宜采用多片种、多层次的遥感图像水文地质解译，必要时应进行计算机图像处理。

4.2.4 遥感图像水文地质解译，宜包括下列内容：

1 判明地质构造基本轮廓和新构造运动形迹及其富水的可能性；

2 划分地貌单元，判定其形态及其与地下水分布的关系；

3　判明水系分布范围、形态分类及发育特征，圈定古河道及相对富水地段；

4　判明大型泉水点、泉群、地下水溢出带的位置和范围，地下水富水地段，地貌、岩性、构造与地下水的关系，分析地下水补给、径流、排泄条件；

5　判明可溶岩的分布、岩溶发育程度及岩溶形态；

6　进行水文地质概略分区；

7　解译特长、长隧道主要地层和岩性分界线、断层与隧道的关系、断层破碎带宽度。

4.2.5　遥感图像水文地质解译应提供解译报告和成果，图件比例应按照相应水文地质图件编制。

4.3　地貌、地质调查

4.3.1　地貌调查应包括下列内容：

1　分析地形地貌和植被与地下水埋藏、补给、径流和排泄的关系；

2　分析科里奥利效应和新构造运动对地形、地貌和松散含水层建造的影响；

3　划分各地貌单元的界线。

4.3.2　地层调查应包括下列内容：

1　调查地层的成因、时代、层序及接触关系；

2　测定岩层的产状、厚度及分布范围；

3　调查地层的岩性、透水性、富水性及其变化规律；

4　调查可供开采的含水地层的分布及赋水情况。

4.3.3　地质构造调查应包括下列内容：

1　调查褶皱轴的延伸和倾伏方向，查明两翼的产状、节理发育特征及其富水段的位置；

2　调查节理裂隙、断层的力学性质、类型、产状、节理裂隙发育程度或断层带破碎程度、断层破碎带宽度、充填物性质、胶结情况、透水性和富水性；

3　调查新构造运动的特征及其对地貌和水文地质条件的影响。

4.4　地表水和地下水露头调查

4.4.1　地表水调查，应包括下列内容：

1　地表水（河流、湖泊、水库、堰塘等）的洪水位、枯水位、流量（容量）、水质、水温、浑浊、冰冻、渗漏等；

2　当前利用情况和未来规划情况；

3　地表水与地下水的水力联系，地表水特别是水库水对隧道等工程渗漏的可能性。

4.4.2　地下水天然露头调查，应包括下列内容：

1　地质成因、水力特性、补给条件、流量、水质、水温、气体及沉淀物性质，以及与工程有关的水力联系；

2　水量、水质的动态变化，当前利用情况和未来规划；

3　对与工程有关的露头，应进行长期观测；

4　对岩溶地区、基岩地区和松散层地区的地下水露头群，应查明与工程有关的水力联系，必要时应进行连通试验；

5　调查地下水露头与地质构造、地表水和铁路工程的关系。

4.4.3　地下水人工露头调查，应包括下列内容：

1　地下水人工露头的类型、结构、地层剖面、出水量、静止水位、动水位、水质、水温等及其动态变化；

2　取水、排水等构筑物的修建年代、用途和运转情况；

3　对与工程有关的取水、排水等构筑物，必要时进行水量查定；

4　取水、排水等构筑物对工程设置危害的可能性；

5　取水、排水等构筑物运转期间对周边环境的影响。

4.5　水质调查分析

4.5.1　根据勘察目的和沿线水文地质单元，应对代表性的地表水、地下水及其露头采取水样，进行水质分析。

4.5.2 铁路供水水质调查，应根据供水站、点的分布和沿线水文地质、地貌单元类型，取代表性水质分析水样。了解区域水质情况宜进行水质简分析，对比较方案宜进行水质一般分析，对拟采用方案宜进行水质全分析。

1 水质简分析，应包括 pH 值、氯根、硫酸根、碱度、钙镁离子浓度、溶解性固体（DS）；

2 水质一般分析，应包括色度（Co）、浊度（Tu）、嗅、味、悬浮物固体（SS）、pH 值、钾、钠、钙、镁、氯根、硫酸根、重碳酸根、碳酸根、溶解性固体（蒸发残渣）、钙镁离子浓度、碳酸盐钙镁离子浓度、非碳酸盐钙镁离子浓度、钾钠碱度、碱度；

3 水质全分析，应符合国家现行《生活饮用水水源水质标准》(CJ 3020）的有关规定，见附录 A。

4.5.3 生产和工程用水的水质调查，应包括下列内容：

1 铁路混凝土与砌体工程用水的水质分析，应包括 pH 值、不溶物、可溶物、氯化物、硫酸盐、硫化物；

2 其他生产用水，应按工业企业具体要求确定分析项目。

4.5.4 在有地方病和水质污染地区，应与当地卫生部门配合，根据疫情和污染的类型确定分析项目。

4.6 各类地区的调绘

4.6.1 山间河谷和冲洪积平原地区，应调绘下列内容：

1 古河床的分布和多种成因沉积物的叠置情况；

2 阶地的表面形态、地质结构和含水层三维方向的变化情况。

4.6.2 冲洪积扇地区，应调绘下列内容：

1 冲洪积扇的分布范围、扇轴的位置、走向和变迁情况；

2 冲洪积扇的地下水补给、径流及溢出带分布情况；

3 冲洪积扇不同部位的地下水位深度，由潜水过渡到承压水区以及自流水区的界线，溢出带泉群流量。

4.6.3 滨海平原、河口三角洲和沿海岛屿地区，应调绘下列内容：

1 海水入浸范围、咸水与淡水的分界面及其变化规律；

2 淡水层（或透镜体）分布范围、厚度、水位及动态变化；

3 咸水区中淡水泉的成因、补给来源、出露条件、水质和水量；

4 潮汐对地下水动态的影响。

4.6.4 黄土地区，应调绘下列内容：

1 黄土地区河谷分布情况，汇水面积，谷内冲积层厚度，含水层厚度、岩性，河流流量、水质和季节性变化；

2 黄土地区下部粉细砂和砂姜石层含水的可能性；

3 黄土地区下部基岩类别、岩性、裂隙发育程度、透水性、富水性和可开采性。

4.6.5 风沙地区，应调绘下列内容：

1 裸露的古河道、被沙丘掩埋的古河道以及潜蚀洼地含地下水的可能性；

2 微地貌（沙丘、草滩、湖岸、天然堤等）的分布及其与地下淡水的分布关系；

3 喜水植物分布区与地下淡水的分布关系；

4 被风沙掩盖的下部基岩含水的可能性。

4.6.6 干旱基岩丘陵山区，应调绘下列内容：

1 盐沼、草地的分布规律，面积和厚度；

2 洪流沟分布的长度、沿途经过的断层带、不同岩性接触带及可溶岩地段等；

3 洪流沟每年发生的洪水次数、每次的延续时间及其流量；

4 丘陵地区、低矮山区等汇水面积较小河流（含干沟）的冲积层；

5 上述地段含地下水的可能性。

4.6.7 多年冻土地区，应调绘下列内容：

1 片状多年冻土和岛状多年冻土分布范围及特征；

2　冰椎、冻胀丘分布规律及其与地下水的关系；

3　沼泽湿地的成因、分布规律及其与地下水的关系；

4　融区的类型、成因、分布范围及其稳定变化情况，融区与地表水、地质构造的关系，含水层特性，水质、水量及其变化情况；

5　多年冻土地区的地下水类型、分布规律及其特征，含水层特性，水质水量及其变化情况，可按表4.6.7划分。

表4.6.7　多年冻土地区地下水类型

水文地质区	地下水类型		分布与埋藏特征
多年冻土区地下水	冻结层上水	松散岩类冻结层上水	分布于松散岩类季节融化层，埋藏在多年冻土层之上
		基岩类冻结层上水	分布于基岩风化带中，埋藏于季节融化层中，受冻土上限控制
	冻结层下水	松散岩类冻结层下水	分布于松散岩类含水层中，埋藏在多年冻土层下
		基岩类冻结层下水	分布在基岩裂隙中，埋藏在多年冻土层下，受冻土下限控制
	融区地下水	河湖融区地下水	分布在河湖边周围，埋藏受河湖大小及地层影响
		断裂带融区地下水	分布在断裂带两侧，埋藏受断裂深度及水温影响

4.6.8　碎屑岩地区，应调绘下列内容：

1　风化带深度及蓄水构造；

2　向斜或单斜的蓄水构造、褶皱轴部的蓄水构造；

3　断层破碎带的蓄水构造；

4　岩脉或侵入体接触带处的蓄水构造；

5　裂隙集中发育带的蓄水构造。

4.6.9　可溶岩地区，应调绘下列内容：

1　同碎屑岩地区主要调查内容；

2　岩溶的类型及其特征；

3　微地貌（岩溶漏斗、竖井和洼地等）和岩溶泉与地下水

分布的关系；

4 构造、岩性、地下水径流和地表水文网等因素与岩溶发育的关系；

5 被隔水层圈闭的阻水型蓄水构造。

4.6.10 岩浆岩和变质岩地区，应调绘下列内容：

1 风化带的发育深度、分布范围和含水性；

2 构造破碎带的宽度、深度及含水性或隔水性；

3 不同岩性接触带处裂隙发育情况和含水可能性；

4 玄武岩的柱状节理和孔洞发育情况及其含水可能性。

5 水文地质物探

5.1 一般规定

5.1.1 水文地质物探应在水文地质调绘的基础上，开展综合物探工作，为合理布置勘探孔提供依据。

5.1.2 物探的工作内容、方法应根据地质体的物性差异、工程所在地的水文地质条件和勘察目的，合理选择。

5.1.3 水文地质物探的成果资料，应结合工程场地的地质、水文地质条件和勘探资料进行综合解释，并对水文地质情况做出评价。

5.1.4 水文地质物探应具备下列基本条件：

1 被探测体与围岩有较明显的物性差异；

2 被探测体的体积相对于其埋藏深度具有一定的规模；

3 被探测体所引起的异常值，应有足够的显示；

4 较宽阔平坦的场地。

5.1.5 物探测线的布置宜垂直于被探测物的走向。

5.1.6 物探测线的密度，应保证在每个探测目的物异常范围内不少于3个点。

5.2 工作内容及应交资料

5.2.1 采用地面物探方法可解决下列水文地质问题：

1 隐伏的古河床和被掩埋的古冲积洪积扇；

2 基岩风化带厚度和断层破碎带、裂隙带、不同岩性接触带的位置、埋藏深度、宽度和充填情况；

3 地下水的埋藏深度、地下水的流向；

4 地下水的矿化度、咸水、淡水在垂直方向的分界深度和

在平面上的分布范围；

5 裸露型岩溶区的岩溶洞穴带埋藏深度、覆盖型岩溶区的覆盖层厚度等；

6 多年冻土的上限和下限的埋藏深度；

7 含水层的埋藏深度和厚度；

8 环境水文地质评价。

5.2.2 采用物探测井方法可探查下列内容：

1 地下水的稳定水位、流向和含水层的渗透系数、渗透速度；

2 含水层渗透性的最佳位置；

3 孔径、孔温和孔斜等；

4 划分钻孔地质物性断面。

5.2.3 物探成果资料，应包括下列内容：

1 物探工作报告；

2 物探平面布置图；

3 物探工作成果图；

4 测井曲线图。

6 水文地质钻探

6.1 一般规定

6.1.1 水文地质勘探试验孔，应在水文地质调绘和物探工作的基础上进行布置。

6.1.2 布置的勘探试验孔，应查明地质和水文地质条件，取得水文地质参数和评价地下水水质、水量方面所需资料。

6.1.3 水文地质勘探试验孔的深度，应符合设计要求。

6.1.4 深度大于或等于100 m的勘探试验孔，其钻孔结构、钻进及试验方法，应进行专门设计。

6.2 勘探试验孔

6.2.1 水文地质勘探试验孔，当需要查明各含水层（带）的水位、水质、水温、透水性或隔离水质较劣的含水层时，应分别进行止水工作，并分层进行水文地质试验。

6.2.2 水文地质勘探试验孔应保持垂直，在 100 m 深度内其孔斜度不宜大于 1.5°，深度大于 100 m 时随孔深递增计算。

6.2.3 水文地质勘探试验孔，在钻进中使用的冲洗介质，应符合下列规定：

1 供水水源在基岩层中钻进时，宜采用清水钻进方法；

2 在松散层中钻进时，可采用水压或泥浆护壁钻进方法，但在下过滤器前，应将孔内的稠泥浆逐步换为稀泥浆；

3 当采用泥浆钻进方法时，泥浆的质量，应符合国家现行规范的有关规定；

4 在钻进有意义的含水层时，严禁采用黏土块直接代替泥浆。

6.2.4 水文地质勘探试验孔，在钻探过程中采取的土样、岩样，宜符合下列规定：

1 土样应能代表原有地层的颗粒组成。

2 用于鉴别地层的土样，非含水层宜每 3～5 m 取 1 个；含水层宜每 2～3 m 取 1 个，变层时，应加取 1 个。

3 颗粒分析用的土样，宜每 4～6 m 取 1 个；当含水层厚度小于 4 m 时，应取 1 个。

4 每个样品的质量，宜符合下列规定：

1）砂不小于 1 kg；

2）圆砾（角砾）土不小于 3 kg；

3）卵石（碎石）土不小于 5 kg。

5 基岩岩芯的采取率，宜符合下列规定：

1）完整地层不小于 70%；

2）构造破碎带、风化带、岩溶带不小于 30%。

6 当有测井和井下电视配合工作时，鉴别地层的土样、岩样的数量，可适当减少。

6.2.5 土样和岩样（岩芯）的描述内容，应符合表 6.2.5 的规定。

表 6.2.5 土样和岩样（岩芯）的描述内容

类　别	描　述　内　容
碎石类土	名称、岩性成分、磨圆度、分选性、粒度、胶结情况和充填物（砂、黏性土的含量）
砂类土	名称、颜色、矿物成分、粒度、分选性、胶结情况和包含物（黏性土、动植物残骸、卵砾石等的含量）
粉　土	颜色、湿度、有机物含量、包含物
黏性土	名称、颜色、湿度、有机物含量、可塑性和包含物
岩　石	名称、颜色、矿物成分、结构、构造、胶结物、化石、岩脉、包裹物

6.3 试验孔过滤器

6.3.1 水文地质勘探试验孔的过滤器，宜符合下列规定：

1　在松散层中，宜采用包网、缠丝或填砾过滤器，并符合下列要求：

1）过滤管的平均孔隙率不得小于15%；

2）非填砾的包网过滤器的网眼尺寸和非填砾的缠丝过滤器的缠丝间隙尺寸，应根据含水层的颗粒分析资料确定；

3）当采用填砾过滤器时，滤料应选择磨圆度较好的天然砂砾充填，填砾的粒径和厚度应符合国家现行规范的有关规定。

2　在基岩中，当裂隙稳定或溶洞中充填物较少时，可不设置过滤器。

6.3.2　供水水文地质勘探试验孔过滤器的过滤管，宜符合下列规定：

1　在松散层内，当用水量大于或等于5 000 m^3/d时，过滤管直径不宜小于200 mm；当用水量小于5 000 m^3/d时，过滤管直径不宜小于127 mm；

2　在基岩内，其直径不宜小于127 mm。

6.3.3　供水水文地质勘探试验孔过滤器的长度，宜符合下列规定：

1　当含水层的厚度小于30 m时，可与含水层厚度一致；

2　当含水层的厚度大于30 m时，可采用20～30 m；

3　当松散含水层的渗透性较差或为基岩时，其长度可适当增加。

6.3.4　供水水文地质勘探试验孔应选用有效方法及时进行洗孔，并符合下列规定：

1　对采用泥浆护壁的钻孔，应采用化学分散剂等联合方法；

2　给水站勘探试验孔洗孔标准应满足洗孔后通过两次简易抽水试验对比验证，同降深的单孔出水量增大不超过5%，或洗孔结束前的含砂量不大于1/20 000（体积比）的要求。

7 水文地质试验

7.1 一般规定

7.1.1 水文地质试验，应根据水文地质条件和工程目的及场地条件，选用抽水、压水、注水和提水试验等方法。

7.1.2 工程水文地质试验应根据水量、水位，选择合适的试验方法，有条件时应以抽水试验为主。

7.1.3 在进行水文地质试验时，应采取代表性水样进行水质分析。采取的水样，除应满足质量和数量要求外，尚应符合下列规定：

1 提水试验和抽水试验，应在试验临近结束前采取水样；

2 压水试验和注水试验，应在洗清钻孔后、试验开始前采取水样。

7.1.4 抽水试验的观测孔布置，应根据试验目的和计算公式的要求确定，并符合下列规定：

1 以抽水孔为原点，布置1～2条观测线。

2 当布置1条观测线时，宜垂直地下水流向；布置2条观测线时，另一条宜平行地下水流向。

3 每条观测线上的观测孔，一般为3个。

4 距抽水孔最近的第一个观测孔，应避开三维流的影响，其距离不宜小于含水层的厚度；最远的观测孔距第一个观测孔的距离不宜太远，并应保证在试验过程中各观测孔内有一定的水位降深值。

5 各观测孔的过滤器长度宜相等，并安置在同一含水层和同一深度上。

7.1.5 抽水试验前和抽水试验过程中，应同步测量抽水孔和观

测孔、点的静止水位和动水位。

当采用小口径测水管测量动水位时，测水管底端应安装侧压头。

7.1.6 抽水试验过程中，每次水位下降结束后，应测量钻孔内的沉淀深度。

7.1.7 抽水试验时，必须采取措施防止抽出的水排泄在抽水影响范围内，回渗到含水层中。

7.1.8 抽水试验过程中，动水位的观测应符合下列规定：

1 采用同一方法和同一类工具；

2 抽水孔的动水位读到厘米，观测孔的动水位读到毫米。

7.1.9 抽水试验过程中，出水量的测量，应符合下列规定：

1 当采用堰箱或孔板流量计时，水位测量应读到毫米；

2 当采用容积法时，量桶充满水的时间不宜少于 15 s，读数准确到 0.1 s；

3 当采用水表时，读数准确到 0.001 m^3。

7.1.10 抽水试验每次停泵后的水位恢复，宜按第 1、2、3、4、6、8、10、15、20、25、30、40、50、60、80、100、120 min 进行观测，以后可每隔 30 min 观测一次。

7.2 稳定流抽水试验

7.2.1 稳定流抽水试验的水位降深次数，应根据工程目的确定，一般进行 3 次，并符合下列规定：

1 水位降深的最大值，当潜水时宜接近含水层厚度（完整孔）或过滤器长度（非完整孔）的 1/2 深度处；承压含水层最大降深值不宜低于含水层顶板；

2 其余两次水位降深值，宜分别为最大降深值的 1/3 和 2/3；

3 各次试验的水泵进水口位置应相同；

4 当勘探孔的出水量较小或试验时出水量已达到极限时，水位降深次数可适当减少，但不得少于 2 次。

7.2.2 抽水试验的稳定，应符合下列规定：

1 在抽水稳定延续时间内，出水量和动水位与时间关系曲线只在一定的范围内波动，且没有持续上升或下降的趋势；

2 当水位降深小于10 m，用压风机抽水时，抽水孔动水位波动值不得超过 10～20 cm；用离心泵、深井泵等抽水时，动水位波动值不得超过 5 cm；

3 一般情况下不应超过平均水位降深值的1%，出水量波动值不应超过平均出水量的 3%。

7.2.3 抽水试验的稳定延续时间，宜符合下列规定：

1 卵石、圆砾、砾砂和粗砂含水层为 8 h；

2 中砂、细砂和粉砂含水层为 16 h；

3 基岩含水层为24 h；

4 根据含水层类型、已有抽水试验资料、补给条件、水质情况和试验目的等，稳定延续时间可适当调整。

7.2.4 抽水试验时，动水位和出水量的同步观测时间，宜在抽水开始后的第 5、10、15、20、25、30 min 各测一次，以后每隔 30 min 或 60 min 测一次。

水温和气温，宜每隔 2～4 h 同步观测一次。

7.3 非稳定流抽水试验

7.3.1 抽水孔的出水量应保持常量，其变化幅度不大于3%。

7.3.2 抽水试验的延续时间，应按水位降深（s）与时间（t）的关系曲线确定，并符合下列要求：

1 当s(或 Δh^2)—lg$t$ 关系曲线有拐点时，则延续时间宜至拐点后的线段趋于水平为止。

2 当s(或 Δh^2)—lg$t$ 关系曲线无拐点时，则延续时间宜根据试验目的确定。

3 在承压含水层中抽水时，采用 s—lg$t$ 关系曲线；在潜水含水层中抽水时，采用 Δh^2—lg$t$ 关系曲线。

4 当有观测孔时，应采用最远观测孔的s(或 Δh^2)—lg$t$ 关

系曲线。

7.3.3 抽水试验时，对动水位和出水量的观测，应同步进行。其观测时间宜按开始后的第 1、2、3、4、6、8、10、15、20、25、30、40、50、60、80、100、120 min 进行观测，以后可每隔 30 min 观测一次。

7.4 压水试验

7.4.1 压水试验宜采用自上而下的分段压水方法。当钻孔钻进中发现冲洗介质突然消失或消耗量急剧增大时，应停钻进行压水试验。

7.4.2 试验段应符合下列规定：

1 试验段长度一般宜采用5 m，透水性较强的岩层和特殊孔段，宜根据具体情况确定，但不得超过 10 m。

2 同一试验段不宜跨越透水性相差悬殊的几种岩层。

3 相邻试验段之间应相互衔接，少量重叠，不得漏段。当栓塞止水无效时，应将栓塞向上移动，但不宜超过上一试验段栓塞的位置。

4 在同一工程中，试验段长度宜保持一致。

7.4.3 压力阶段与压力值的确定，应符合下列规定：

1 压水试验宜采用三个压力阶段。

2 压水试验的总压力值应与设计水头大体相当。当设计水头低于 30 m 时，宜采用 30 m 垂直水柱的压力；当试验段漏水量过大而达不到预定压力时，可按实际能达到的最大压力值进行试验。各孔段试验压力值宜一致。

3 压水试验的总压力值即作用于试验段的实际平均压力，宜采用测压仪测定。无测压仪时，可按下式计算：

$$P = P_b + P_z - P_s \tag{7.4.3}$$

式中 P——试验段的实际平均压力（MPa）；

P_b——压力表压力（MPa）；

P_z——压力表中心至压力计算零线的水柱垂直压力（MPa）；

P_s——压力损失（MPa）。

4　压力计算零线的确定，应符合下列规定：

1）地下水位在试验段以下时，以通过试验段 1/2 处的水平线作为压力计算零线；

2）地下水位在试验段以内时，以通过地下水位以上试验段 1/2 处的水平线作为压力计算零线；

3）地下水位在试验段以上，且属于试验段所在的含水层时，以地下水位线作为压力计算零线。

5　倾斜钻孔的水柱压力应进行换算。

6　同一工程中试验总压力值宜一致。

7.4.4　压水试验应符合下列规定：

1　压水试验前，应进行不少于 20 min 的试验性压水，其压力应为压水试验时的压力值。

2　压水试验中试验压力应保持稳定。

3　压水试验中，每 10 min 应观测一次压入流量；每一压力阶段在流量达到稳定后延续 1.5～2.0 h 即可结束；试验结束后绘制 Q—s 关系曲线，并及时检查压水试验的偏差。

4　压水试验过程中，压入的水应采用水质较好的清水。

5　压水试验过程中，应在流量观测的同时测定管外水位的变化，当发现有异常时，及时检查分析原因，并立即采取措施。

6　压水试验过程中，应对周边可能受到影响的坑、孔、井、泉以及沿裂隙渗出地表的水等情况进行观测。

7.4.5　压水试验的单位吸水量，可按下式计算：

$$\omega = \frac{Q}{L \cdot P} \tag{7.4.5}$$

式中　ω——单位吸水量[L/(min·m^2)]；

Q——钻孔压水的稳定流量（L/min）；

P——试验段压水时所加的总压力（MPa）（MPa 换算为水柱高度 m）；

L——试验段长度（m）。

7.5 注水试验

7.5.1 注水试验宜采用钻孔常水头注水法。当采用钻孔降水头注水试验时，应按现行《注水试验规程》(YS 5214) 的有关规定执行。

7.5.2 常水头注水试验的方法与步骤，应符合下列规定：

1 注水前应测定孔内的静止水位。

2 用流量箱连续向孔内注入清水，使管内水位升高到设计的高度后，应控制注水量，使水头、水量保持稳定。

3 注水开始后，第1、2、3、4、5、10、15、20、25、30 min同时观测一次水位、水量，以后每隔30 min观测一次，至稳定后再延续2～4 h即可结束。

4 注水试验结束后应立即观测钻孔中的水位下降，其时间间隔与注水试验相同，直至水位下降到静止水位为止；当水位下降缓慢到距静止水位5～10 cm时，可停止观测。

5 注水试验应进行3次水位升高，每次水位升高宜采用2、4、6 m或更大，间距不宜小于1 m。

6 注水量允许偏差为 $(Q_{max} - Q_{min})/Q_{cp} < 10\%$；水头允许波动幅度为 ±1 cm。

7.6 提水试验

7.6.1 铁路工程钻孔提水试验可采用定水位降深法（定动水位法）或定流量法。

7.6.2 提水试验前，应根据含水层位置、钻孔孔壁稳定情况，下适当的过滤管，及时彻底地洗孔，并排出孔底的沉淀物。

7.6.3 钻孔提水试验，应符合下列规定：

1 单位时间内，提水次数应均匀，提出的水量大致相等，并达到水位、水量相对稳定；

2 水位和水量每隔30 min测定一次，并计算出水量，出水量波动范围在 ±10%，水位波动范围在10～20 cm时，即为稳

定；

3　提水试验的延续时间，应在水位、水量相对稳定后再提水4h即可结束。

7.6.4　提水试验结束后应进行水位恢复观测，观测的时间应符合本规程第7.1.10条的规定。

8 水文地质参数计算

8.1 一般规定

8.1.1 水文地质参数的计算，应在分析工程地区水文地质条件的基础上，合理地选用公式。

8.1.2 潜水孔的参数计算，当采用观测孔资料时，其使用范围应限制在抽水孔水位下降漏斗坡度小于1/4处。

8.2 渗透系数

8.2.1 当采用单孔稳定流抽水试验，利用抽水孔水位下降资料计算渗透系数时，可采用下列公式：

1 当 Q—s（或 Δh^2）关系曲线呈直线时

1）承压水完整孔

$$K=\frac{Q}{2\pi sM}\lg\frac{R_y}{r} \tag{8.2.1—1}$$

2）承压水非完整孔

当 $M>150r$，$L/M>0.1$ 时

$$K=\frac{Q}{2\pi sM}\left(\ln\frac{R_y}{r}+\frac{M-L}{L}\ln\frac{1.12M}{\pi r}\right) \tag{8.2.1—2}$$

当过滤器位于含水层的顶部或底部时

$$K=\frac{Q}{2\pi sM}\left(\ln\frac{R_y}{r}+\frac{M-L}{L}\ln\left(1+0.2\frac{M}{r}\right)\right) \tag{8.2.1—3}$$

3）潜水完整孔

$$K=\frac{Q}{\pi(H^2-h^2)}\ln\frac{R_y}{r} \tag{8.2.1—4}$$

4）潜水非完整孔

当 $\overline{h}>150r$、$L/\overline{h}>0.1$ 时

$$K=\frac{Q}{\pi(H^2-h^2)}\left(\ln\frac{R_y}{r}+\frac{\overline{h}-L}{L}\ln\frac{1.12\overline{h}}{\pi r}\right) \tag{8.2.1—5}$$

当过滤器位于含水层的顶部或底部时

$$K=\frac{Q}{\pi(H^2-h^2)}\left[\ln\frac{R_y}{r}+\frac{\overline{h}-L}{L}\ln\left(1+0.2\frac{\overline{h}}{r}\right)\right] \tag{8.2.1—6}$$

式中 K——渗透系数（m/d）；

Q——出水量（m^3/d）；

s——水位下降值（m）；

M——承压水含水层厚度（m）；

H——自然状况下潜水含水层厚度（m）；

$\overline{h}$——潜水含水层和抽水试验时的厚度的平均值（m）；

h——潜水含水层在抽水试验时的厚度（m）；

L——过滤器长度（m）；

r——过滤器半径（m）；

R_y——引用补给半径（或称裘布依半径、含水层半径）（m）。

2 当 Q—s（或 Δh^2）关系曲线呈曲线时，可采用插值法得出 Q—s 代数多项式，即

$$s=\alpha_1 Q+\alpha_2 Q^2+\cdots+\alpha_n Q^n \tag{8.2.1—7}$$

式中 α_1，α_2，…，α_n——待定系数。

注：α_1 宜按均差表求得后，可相应地将式（8.2.1—1）、式（8.2.1—2）、式（8.2.1—3）中的 Q/s 和式（8.2.1—4）、式（8.2.1—5）、式（8.2.1—6）中的 $Q/(H^2-h^2)$ 以 $1/\alpha_1$ 代换，分别进行计算。

3 当 s/Q（或 $\Delta h^2/Q$）—Q 关系曲线呈直线时，可采用作图截距法求出 α_1 后，按本条第 2 款进行计算。

8.2.2 当采用单孔稳定流抽水试验，利用观测孔中的水位下降资料计算渗透系数时，观测孔中的 s（或 Δh^2）值在 s（或 Δh^2）—$\lg r$ 关系曲线上能连成直线，可采用下列公式计算：

1 承压水完整孔

$$K=\frac{Q}{2\pi M(s_1-s_2)}\ln\frac{r_2}{r_1} \qquad (8.2.2\text{—}1)$$

2 潜水完整孔

$$K=\frac{Q}{\pi(\Delta h_1^2-\Delta h_2^2)}\ln\frac{r_2}{r_1} \qquad (8.2.2\text{—}2)$$

式中 s_1, s_2——在 s—lg$r$ 关系曲线上的直线段上任意两点的纵坐标值（m）；

$\Delta h_1^2, \Delta h_2^2$——在 Δh^2—lg$r$ 关系曲线上的直线段上任意两点的纵坐标值（m^2）；

r_1, r_2——在 $s(\Delta h^2)$—lg$r$ 关系曲线上纵坐标为 s_1、s_2（或 Δh_1^2、Δh_2^2）的两点至抽水孔的距离（m）。

8.2.3 当采用单孔非稳定流抽水试验，在没有越流补给的条件下，利用抽水孔或观测孔中的水位下降资料计算渗透系数时，可采用下列公式：

1 配线法

1）承压水完整孔

$$K=\frac{0.08Q}{Ms}W(u) \qquad (8.2.3\text{—}1)$$

$$u=\frac{S}{4KM}\cdot\frac{r^2}{t} \qquad (8.2.3\text{—}2)$$

2）潜水完整孔

$$K=\frac{0.159Q}{\Delta h^2}W(u) \qquad (8.2.3\text{—}3)$$

$$u=\frac{\mu}{4KH}\cdot\frac{r^2}{t} \qquad (8.2.3\text{—}4)$$

或

$$K=\frac{0.08Q}{\bar{h}s}W(u) \qquad (8.2.3\text{—}5)$$

$$u=\frac{\mu}{4K\bar{h}}\cdot\frac{r^2}{t} \qquad (8.2.3\text{—}6)$$

式中　$W(u)$——井函数；

S——承压含水层的释水系数；

μ——潜水含水层的给水度。

2　直线法

当$\frac{r^2S}{4KMt}\left(或\frac{r^2\mu}{4Kht}\right)<0.01$时，可采用本规程式（8.2.2—1）、式（8.2.2—2）或下列公式计算：

1）承压水完整孔

$$K=\frac{Q}{4\pi M(s_2-s_1)}\ln\frac{t_2}{t_1} \qquad (8.2.3—7)$$

2）潜水完整孔

$$K=\frac{Q}{2\pi(\Delta h_2^2-\Delta h_1^2)}\ln\frac{t_2}{t_1} \qquad (8.2.3—8)$$

式中　s_1,s_2——观测孔或抽水孔在s—lg$t$关系曲线上的直线段上任意两点的纵坐标值（m）；

$\Delta h_1^2,\Delta h_2^2$——观测孔或抽水孔在$\Delta h^2$—lg$t$关系曲线上的直线段上任意两点的纵坐标值（$m^2$）；

t_1,t_2——在s（或Δh^2）—lg$t$关系曲线上纵坐标为s_1、s_2（或Δh_1^2、Δh_2^2）两点的相应时间（min）。

8.2.4　当采用单孔非稳定流抽水试验，在有越流补给（不考虑弱透水层水的释放）的条件下，利用s—lg$t$关系曲线上拐点处的斜率计算渗透系数时，可采用下列公式：

$$K=\frac{2.3Q}{4\pi\cdot M\cdot m_i\cdot e^{r/B}} \qquad (8.2.4)$$

式中　r——观测孔至抽水孔的距离（m）；

B——越流参数；

m_i——s—lg$t$关系曲线上拐点处的斜率。

注：1　拐点处的斜率，应根据抽水孔或观测孔中的稳定最大下降值的1/2确定曲线拐点处的水位下降值和拐点位置，再通过拐点作切线，计算拐点处的斜率；

2　越流参数，应根据$e^{r/B}\cdot K_0^{r/B}=2.3(s_i/m_i)$，从函数表中查出相应的$r/B$，然后确定越流参数$B$。

8.2.5 稳定流抽水试验或非稳定流抽水试验，当利用停抽后（抽水孔或观测孔）的水位恢复资料计算渗透系数时，可采用下列公式：

1 抽水试验停抽前，当动水位已稳定，可采用本规程式（8.2.4）计算，式中的 m_i 值应采用恢复水位的 $s-\lg(1+t_K/t_T)$ 曲线上拐点的斜率。

2 抽水试验停抽前，当动水位没有稳定，仍呈直线下降时，可采用下列公式：

1）承压水完整孔

$$K=\frac{Q}{4\pi Ms}\ln\left(1+\frac{t_K}{t_T}\right) \qquad (8.2.5\text{—}1)$$

2）潜水完整孔

$$K=\frac{Q}{2\pi(H^2-h^2)}\ln\left(1+\frac{t_K}{t_T}\right) \qquad (8.2.5\text{—}2)$$

式中 t_K——抽水开始到停止的时间（min）；

t_T——抽水停止后算起的恢复时间（min）；

s——水位恢复时的剩余下降值（m）；

h——水位恢复时的潜水含水层的厚度（m）。

注：1 用观测孔资料时，应符合 $\frac{r^2S}{4KMt_K}$（或 $\frac{r^2\mu}{4Kht_K}$）<0.01 的要求；

2 如恢复水位曲线直线段的延长线不通过原点时，应分析其原因，必要时应进行修正。

8.2.6 当在第四系松散层中采用单孔稳定流抽水试验，利用抽水孔水位下降资料计算渗透系数时，可采用下列经验公式：

1 潜水含水层完整孔

$$K=\frac{1.3q}{H} \qquad (8.2.6\text{—}1)$$

2 承压水含水层完整孔

$$K=\frac{1.3q}{M} \qquad (8.2.6\text{—}2)$$

3 单位降深出水量 q

$$q = aQ + bQ^2 \qquad (8.2.6\text{—}3)$$

式中 K——渗透系数（m/d）；

q——当水位下降值 $s=1$ m 时的出水量[$m^3/(d\cdot m)$]；

M——承压水含水层厚度（m）；

H——自然状况下潜水含水层厚度（m）。

注：当允许有少许误差时，亦可适用于非完整孔。

8.2.7 当利用压水或注水试验资料计算渗透系数时，宜根据不同条件采用相应公式。

8.3 给水度和释水系数

8.3.1 潜水含水层的给水度和承压含水层的释水系数，可利用单孔非稳定流抽水试验观测孔的水位降深资料确定，也可采用单孔稳定流抽水试验或室内试验方法确定。

8.3.2 当采用稳定流抽水试验方法时，可按下式确定：

1 潜水含水层完整孔

$$\mu = \frac{Qt}{\pi \frac{y+h}{2}(x^2 - r^2)} \qquad (8.3.2\text{—}1)$$

式中 μ——潜水含水层给水度；

Q——抽水稳定出水量（m^3/d）；

t——指示剂（荧光红、NaCl、NH_4Cl 等）从观测孔投入到抽水孔出现经过的时间（d）；

x——抽水孔到观测孔距离（m）；

r——抽水孔半径（m）；

y——观测孔在抽水水位稳定时自含水层底板计起的厚度（m）；

h——抽水孔在抽水水位稳定时自含水层底板计起的厚度（m）。

2 承压含水层完整孔

$$S = \frac{Qt}{\pi M(x^2 - r^2)} \qquad (8.3.2\text{—}2)$$

式中　S——承压含水层释水系数；

M——承压含水层厚度（m）；

其他符号意义同上。

注：1　当含水层均匀时设一个观测孔；

2　当松散含水层和岩质岩层不均匀时，沿地下水流向上游方向设一个观测孔，垂直地下水方向再设一个观测孔。

8.4　引用补给半径

8.4.1　当利用稳定流抽水试验观测孔中的水位下降资料计算引用补给半径时，可采用下列公式：

1　承压水完整孔

$$\lg R_y = \frac{s_1 \lg r_2 - s_2 \lg r_1}{s_1 - s_2} \qquad (8.4.1\text{—}1)$$

2　潜水完整孔

$$\lg R_y = \frac{\Delta h_1^2 \lg r_2 - \Delta h_2^2 \lg r_1}{\Delta h_1^2 - \Delta h_2^2} \qquad (8.4.1\text{—}2)$$

式中　R_y——引用补给半径（m）；

其他符号意义同上。

8.4.2　单孔稳定流抽水试验的引用补给半径也可按本规程第8.2节计算。

8.5　降水入渗系数

8.5.1　在平原地区，当利用降水过程前后的地下水水位观测资料计算潜水含水层的一次降水入渗系数时，可采用下列公式近似计算：

$$\alpha = \frac{\mu(h_{max} - h \pm \Delta h \cdot t)}{X} \qquad (8.5.1)$$

式中　α——一次降水入渗系数；

μ——含水层给水度；

h_{max}——降水后观测孔中的最大水柱高度（m）；

h——降水前观测孔中的水柱高度（m）；

Δh——临近降水前，地下水水位的天然平均降(升)速(m/d)；

t——从 h 变到 h_{max}的时间（d)；

X——t 日内降水总量（m)。

8.5.2 在平原、丘陵和山岭地区，当缺少试验资料时，可按表8.5.2近似确定含水层（体）的降水入渗系数。

表 8.5.2 降水入渗系数 α 经验数据

地层名称	α	地层名称	α
粉质黏土	0.01～0.02	较完整岩石	0.10～0.15
粉土	0.02～0.05	较破碎岩石	0.15～0.18
粉砂	0.05～0.08	破碎岩石	0.18～0.20
细砂	0.08～0.12	极破碎岩石	0.20～0.25
中砂	0.12～0.18	岩溶微弱发育	0.01～0.10
粗砂	0.18～0.24	岩溶弱发育	0.10～0.15
圆砾（夹砂）	0.24～0.30	岩溶中等发育	0.15～0.20
卵石（夹砂）	0.30～0.35	岩溶强烈发育	0.20～0.50
完整岩石	0.01～0.10		

9 供水水文地质勘察

9.1 一般规定

9.1.1 供水水文地质勘察工作，应充分搜集分析既有资料，进行现场踏勘，按阶段提出勘察任务书。每个勘察阶段工作结束后，应编写供水水文地质勘察报告。

9.1.2 供水水文地质勘察工作的内容和工作量，应根据水文地质条件的复杂程度、设计用水量的大小、勘察阶段及勘察区已进行工作的程度和拟开采的地下水资源环境评价等因素综合确定。

9.1.3 供水水文地质勘察，应按给水站、生活供水站（点）分别进行。提供取水构筑物出水量计算的水文地质参数，并进行水量和水质评价。

9.1.4 较大的给水站应根据场地水文地质条件运用综合勘探方法进行综合分析和评价。

9.2 调　　绘

9.2.1 水文地质调绘，应符合下列规定：

1 水文地质调绘应在普遍调查的基础上，按水文地质单元进行，选择取水地段并进行详细调查和测绘。

2 水文地质调绘应填绘与勘察阶段相适应比例的水文地质图，图件比例应以相应的地形图或地质图为基础。当搜集不到相同比例尺的地质图时，应进行综合性的地质、水文地质测绘。绘制勘查区的有关水文地质图件，作为评价区域水文地质条件和选择供水水源方案的依据。

3 水文地质调绘应垂直岩层（岩体）和构造线走向；或顺河谷、沟谷、地貌形态变化显著和地下水露头较多的方向，或沿

含水层和构造线走向布置。

9.2.2 水文地质测绘的观测点应符合下列规定：

1 观测点的数量，应根据填图的比例确定，以能反映勘察区的水文地质特征为准。

2 观测点宜选择在下列位置：

1）地层界线、断层线、褶皱轴线、标志层、典型露头和岩性、岩相变化点；

2）地貌分界线和特征地质点；

3）井、泉、钻孔、矿井、地面塌陷、岩溶水点和地表水体等。

3 填写井、泉调查表和地质、水文地质观测点表。

9.2.3 各类型水源地，除查明一般水文地质条件外，尚应根据各自的特点，有针对性地查明相应的专门水文地质问题。

9.2.4 山间河谷地区傍河取水，当含水层渗透性较弱、补给条件较差时，可按设计人工含水层进行调绘。

9.2.5 可溶岩地区水文地质调绘，应包括下列内容：

1 裸露型岩溶区

1）碳酸盐岩与非碳酸盐岩的界线和分布范围，在空间位置的组合关系对岩溶发育的影响，大致确定地下分水岭的位置；

2）不同性质的断裂对岩溶发育的控制作用，褶皱各部位的岩溶发育特征；

3）岩溶管道、洞穴、溶孔的发育规律和充填情况，岩溶发育程度及其垂直分带；

4）地下暗河、竖井、溶洞、深潭、季节性溢洪湖、落水洞、洼地、干谷、地下暗河出口及地表水消失和再现等现象；

5）岩溶泉的形成条件和主要控制因素，确定其范围、流量；

6）大型溶洞和地下暗河的分布及其大致轨迹；选择典型

地段分别在不同季节进行连通试验，查明暗河连通情况和地下水的流向、流速、流量以及岩溶水在各通道之间、岩溶水与地表水之间的相互转化条件和补给关系。

2 覆盖型岩溶区和埋藏型岩溶区

1）各种微地貌形态（串珠状岩溶洼地、封闭洼地、条形洼地、塌陷点等）的分布规律；

2）覆盖层厚度及其岩性；下伏岩溶强烈发育带的分布、覆盖含水层与下伏岩溶含水层之间的水力联系；

3）岩溶发育的主要层位、深度及其特征；地质构造与岩溶发育的关系；主要岩溶洞穴通道的空间分布位置、充填情况、岩溶水的富集规律与边界条件。

9.3 勘探试验

9.3.1 在松散层地区，供水水源孔的布置宜按照表9.3.1确定。

表9.3.1 各类松散层地区勘探试验孔的位置

类　型	勘探试验孔的布置
山间盆地和冲积阶地	在傍河或在河床下取渗透水时，应结合拟建取水构筑物类型，布置在岸边稳定地段
冲洪积平原	垂直地下水流向布置
冲洪积扇	在地下水位埋藏深度合适地段垂直地下水流向布置
滨海平原	垂直海岸线布置，查明咸淡水分界线后再在上游（咸水不能入浸地段）垂直地下水流向地段布置
黄土地区	垂直或平行河谷布置，沿黄土塬中砂砾石层（或砂姜石层）延伸方向布置
沙漠地区	垂直、平行河流（含掩埋古河道）、潜蚀洼地布置，或垂直沙丘覆盖的冲积、湖积含水层中的地下水流向布置
多年冻土区	布置在冰椎、冻胀丘发育地段及河流、湖泊附近的融区地段。开采层下水和融区地下水时结合物探资料布置

9.3.2 在基岩地区，水文地质勘探试验孔的布置宜按照表9.3.2确定。

表 9.3.2　基岩地区勘探试验孔的布置

类　　型	勘　探　试　验　孔　的　布　置
碎屑岩地区	(1) 厚层砂岩、砾岩分布区的断裂破碎带（张性断裂破碎带、压性断裂主动盘一侧破碎带），砂页岩地区，在邻近断层破碎带且为地下水运动的上游方向； (2) 褶皱轴迹方向剧变的外侧； (3) 岩层倾角由陡变缓的偏缓地段； (4) 背斜、向斜轴部等构造变动显著的地段； (5) 产状近于水平的岩层的裂隙密集带和共轭裂隙的密集部位； (6) 碎屑岩与岩脉或侵入体的接触带附近； (7) 地下水的集中排泄带
可溶岩地区	(1) 按碎屑岩地区布置； (2) 布置在可溶岩与其他岩层（包括非可溶岩和弱可溶岩）的接触带处； (3) 布置在裂隙岩溶发育带和岩溶微地貌（如溶蚀洼地、串珠状漏斗等）发育处
岩浆岩和变质岩地区	布置在风化带（厚度、广度较大地段）、断裂破碎带、岩脉发育带的地下水上游方向和不同岩性接触带处

9.3.3　水文地质勘探试验孔，应符合下列规定：

1　勘探试验孔的深度，应钻穿有供水意义的主要含水层（组）或含水构造带（岩溶发育带、断裂破碎带和裂隙发育带）。

2　对大厚度含水层，应按不同深度进行分段勘探，每组宜布置 2～3 孔，每孔过滤器长度宜为 20～30 m；各孔过滤器的垂直距离宜保持 5～10 m。

9.3.4　在覆盖型、裸露型的岩溶区，勘探试验孔位置和抽水试验，应符合下列规定：

1　勘探试验孔位置，必须与被保护区（路基和其他重要建筑物等）保持一定的安全距离。安全距离应以枯水季节最大水位降深的降落漏斗半径为准再加适当的安全值。

2　勘探试验孔位，在覆盖型岩溶地区，应布置在有较厚的黏性土覆盖地段。

3　当岩溶水的稳定水位埋藏在覆盖层内时，抽水的水位降深不应超过覆盖层的底面。

9.3.5　水文地质试验孔试验结束后应及时进行回填。

9.4 地下水动态观测

9.4.1 当采用地下水水源方案，出现下列情况下之一时，应进行动态观测：

1 采用泉水作为水源，在枯水季节和丰水季节的水质和水量；

2 地下水水位变化较大，影响水文地质参数计算质量和水源设计；

3 补给区范围小的潜水薄含水层，其枯水季节的厚度和水位埋藏深度无确切资料，影响方案选择；

4 地下水水化学成分复杂，缺乏季节性变化资料，影响方案选择；

5 缺乏河水、地下水枯水季节和丰水季节水位资料。

9.4.2 动态观测的项目和观测的时间间隔，应根据水文地质计算和水源设计需要确定；动态观测的延续时间不宜少于一个水文年。

9.4.3 同一地区设置的观测点，应用同一类工具同步进行观测。

9.5 水量评价

9.5.1 对开采含水层的水量评价，应根据水文地质单元、开采地段水文地质条件、含水层的边界条件和地下水补给、径流、排泄条件及拟定的取水构筑物类型和布置方案，地下水的开采现状和今后的开采规划等综合进行评价。

9.5.2 含水层的富水程度，可按表9.5.2进行评价。

表9.5.2 含水层富水程度分区

项目 \ 分区名称	极弱富水区	弱富水区	中等富水区	强富水区
钻孔单位出水量 q〔$m^3/(h \cdot m)$〕	<1	$1 \leqslant q < 5$	$5 \leqslant q < 10$	$\geqslant 10$

注：q 为 $s=1\,m$ 时的单位出水量，过滤管半径 $r=100\,mm$。

9.5.3 地下水水量评价，应计算地下水的补给量、允许开采量，必要时计算容积储存量。

9.5.4 地下水补给量，应计算由地下水径流、降水渗入、地表水渗入、越流补给和其他途径进入含水层的水量。

9.5.5 允许开采量的确定，应符合下列规定：

1 取水方案在技术上可行，经济上合理；

2 在开采期出水量不减少，动水位不超过设计要求；

3 水质和水温变化在允许范围内；

4 不恶化环境水文地质条件，不影响已建水源地的正常开采。

9.5.6 不同条件下的允许开采量的评价应符合下列要求：

1 用水量5000～10000 m^3/d的水源，当能够确定勘察区地下水在开采条件下的各项均衡要素时，宜采用水均衡法计算和确定允许开采量。

2 用水量大于或等于10000 m^3/d的水源，当具备条件时宜采用数值法计算允许开采量。

3 在地下水的补给以地下水径流为主，含水层的厚度不大，储存量很少且下游又允许疏干的情况下，可采用地下水断面径流量法确定允许开采量。

4 当含水层埋藏较浅，开采期地表水能充分补给时，可根据取水构筑物的型式和布局，采用岸边渗入公式确定允许开采量。

5 当需水量不大，且地下水有充足补给时，可只计算取水构筑物的总出水量作为允许开采量。

6 当地下水属周期性补给，且有足够的储存量，采用枯水期疏干储存量的方法计算允许开采量时，宜符合下列两个要求：

1）能够取得的部分储存量，应满足枯水期的连续开采，且抽水井中动水位的下降不超过设计要求；

2）在补给期间可能得到的补给量，应保证被疏干的部分储存量能够得到补偿。

7　当利用泉作为水源时，应根据泉的动态观测资料，结合地区的水文、气象资料评价，以枯水期泉的流量作为允许开采量。

8　当利用暗河作为水源时，可根据枯水期暗河出口处的实测流量评价允许开采量。个别地段的允许开采量可采用地下径流模数法概略评价，也可选择合适的断面，通过天然落水洞、竖井或抽水孔进行抽水，计算过水断面上的总径流量进行评价。

9　当布置井群开采地下水时，允许开采量可根据群孔的总出水能力和开采条件下的相应补给量确定。

10　当大厚度含水层分段取水时，每一孔组的允许开采量，可选用有关公式或按实际群孔抽水试验资料确定。

11　当水文地质条件复杂，补给条件难以查明时，可采用枯水期单孔或群孔抽水试验的实测资料确定允许开采量。

9.6　水质评价

9.6.1　对开采含水层的水质评价，应根据地下水的感官性状和一般化学指标、毒理性指标、细菌学指标和放射性指标，并结合区域水文地质条件进行综合分析（详见附录 A）。

9.6.2　对与开采含水层有水力联系的其他含水层或地表水的水质，应进行分析，并综合评价其对开采含水层的影响。

9.6.3　在水质变化复杂的地区，应分区、分层进行评价。

9.6.4　在评价开采含水层的水质时，应预测开采后水质可能发生的变化，并提出防护措施意见。

9.6.5　在有地方病的地区，应根据当地环境保护和卫生部门等有关单位的特殊要求进行水质评价。

9.7　文件编制

9.7.1　外业勘察资料，应分别按沿线和工点及时核对、分析和整理，发现缺欠及时补充。在确认原始资料准确和完善的基础上编制勘察报告和图件。

9.7.2 勘察报告应包括下列内容：

1 干旱、半干旱等缺水地区，宜编制《全线供水水文地质勘察报告》，可按本规程第3.4.2条第1款规定的内容编制；

2 给水站应编制《××给水站供水水文地质勘察报告》；

3 生活供水站（点）应编制《××站（点）供水水文地质勘察说明》；

4 报告和说明中，宜附必要的照片、素描图和断面示意图等。

9.7.3 图件编制应包括下列内容：

1 《全线综合水文地质图》(必要时附)，比例为1:50 000～1:200 000；

2 给水站、生活供水站（点）的图件，可按本规程表3.5.4—1规定的项目编制。

10 工程水文地质勘察

10.1 一般规定

10.1.1 工程水文地质勘察应查明各类工程的水文地质条件，为各阶段工程设计提供水文地质资料。

10.1.2 地下工程的山岭隧道、地下洞室和地道以及基础工程的路基、桥梁和房屋建筑等应进行工程水文地质勘察。

10.1.3 工程水文地质勘察，应符合下列规定：

1 山岭隧道的长度在3 km及以上，或小于3 km但工程场地的水文地质条件复杂时应进行专门水文地质勘察；当长度小于3 km，且工程场地的水文地质条件简单时，水文地质勘察可与工程地质勘察合并进行；

2 地下洞室、地道和基础工程的水文地质勘察，宜与工程地质勘察合并进行；

3 进行水量和水质评价；

4 进行环境水文地质条件评价，并提出工程措施意见。

10.1.4 重大工程应根据场地水文地质条件和工程设置开展综合勘探的方法，进行综合分析和评价。

10.2 调　　绘

10.2.1 一般工程水文地质调绘应符合本规程第4章的有关规定。

10.2.2 山岭隧道工程的水文地质调绘，应包括下列内容：

1 查明隧道通过地段的地层岩性，特别是不同岩性的接触带、断层带和富水带的位置及其分布范围；各类岩层的风化程度及风化带厚度。

2 查明隧道通过地段的地下水类型、分布范围及其补给、

径流、排泄的循环特征；地下水水位埋藏深度以及建筑物位于含水体中的长度。

3　当隧道通过可溶岩地区时，应查明岩溶的类型、蓄水构造和垂直渗流带、水平径流带、深部缓流带的分布位置及其特征。当隧道位于水平径流带时，应预测施工中突水的可能性、突水模式及对施工和运营的危害程度。

4　评价地下水对围岩等级、施工掘进和支护工程等的影响。

5　预测隧道通过地段施工中可能发生集中涌水段、点的位置以及对工程的危害程度。

6　分段预测施工阶段可能发生的最大涌水量和正常涌水量。进行水文地质评价并提出工程措施建议。

7　特长、长隧道宜采用 T、D、^{18}O 等环境同位素方法，研究地下水的特征。

10.2.3　地下洞室和地道工程的水文地质调绘，应包括下列内容：

1　查明工程场地地层层序、含水层特征，地下水位埋藏深度和变化幅度以及附近地表水体向建筑物渗透的可能性。

2　当地下洞室和地道的基础底面设计高程低于地下水最高水位（水头）时，应查明含水层的埋藏深度、厚度、水力特性、水质，提供渗透系数等水文地质参数，预测地下水对工程可能造成的危害。

10.2.4　路基工程的水文地质调绘，应包括下列内容：

1　地下水发育的路堑地段：

1）地下水位及其变化幅度，地下水流向和补给来源；

2）含水层的岩性、厚度、富水程度；

3）下伏承压含水层的水头压力对基底稳定性的影响。

2　地下水发育的路堤地段：

1）地下水位及其变化幅度，毛细水上升高度；

2）地层岩性特征，特别是含水层的岩性、厚度、渗透系数及降低地下水位的条件；

3）泉水、湿地位置和高度，路堤压泉后对基底稳定性的影响。

3 受水库及其回水影响的路基地段，地下水壅升情况、路基基底受地下水危害的可能性及其程度。

10.2.5 桥梁工程的水文地质调绘，应包括下列内容：

1 工程场地的水文地质条件，受河流洪、枯水季节影响的地下水位及其变化幅度；

2 地层岩性特征，特别是含水层的岩性、厚度、水力特征；

3 河流或沟谷岸坡因地下水引起滑坡、坍塌的可能性及其对墩台稳定性的影响，必要时应提出拦截、排除地下水的工程措施意见；

4 桥梁墩、台采用沉井或围堰方法施工时，提供计算涌水量的水文地质参数。

10.2.6 房屋、建筑等工程的水文地质调绘，应包括下列内容：

1 工程场地的地层岩性，地下水类型、水质、地下水位埋深及其变化幅度；

2 当基础位于含水层中时，应查明含水层的岩性、厚度和水力特性，预测对基础的影响并提出相应的工程措施意见；

3 当基础底部有承压含水层时，应预测基坑渗底的可能性以及工程措施意见；

4 当基坑采用降低地下水位方法施工时，应提供计算基坑涌水量的水文地质参数，并预测基坑降水后对周边建筑物地基和基础的影响程度。

10.3 勘探试验

10.3.1 隧道工程的水文地质勘探试验孔，应符合下列规定：

1 山岭隧道的水文地质试验孔，应根据工程场地水文地质条件复杂程度，重点布置在下列地段：

1）断层破碎带、构造复合部位、褶皱轴部、不整合接触带和不同岩性接触带；

2）古矿井、古坑道、古河床地段，地表水系汇集地段，山间河谷盆地和洼地地段；

3）岩溶暗河发育地段在物探异常点布孔。

2 水文地质试验孔的位置和数量，应根据工程规模确定。不同水文地质单元不少于1孔。

3 钻孔深度宜达到隧道洞底设计高程以下3～5m。

10.3.2 路基工程的水文地质勘探试验孔，应符合下列规定：

1 地下水对路基工程有影响的工点，应根据工程类别、规模确定，并应满足工程设计需要；

2 地下水发育的路堑地段宜布置不少于1个勘探试验孔；

3 当设计高程下部有承压含水层时，应至少布置1个勘探试验孔。

10.3.3 桥梁工程的水文地质勘探试验孔，应充分利用工程地质勘探孔，有选择地进行水文地质试验。

10.3.4 房屋、建筑等场地基础工程的水文地质勘探试验孔，应符合下列规定：

1 地下水对房屋、建筑基础有影响的地段，应结合工程类别、规模选择代表性地段布置水文地质试验孔，其数量应满足工程设计需要；

2 勘探试验孔应垂直和平行地下水流向布置，钻孔间距根据勘察阶段要求和场地情况确定。

10.4 气象、水文和地下水动态观测

10.4.1 铁路工程的水文地质勘察应根据需要建立临时性观测站（点）。

10.4.2 临时性观测站（点）的设立及观测内容，应符合下列要求：

1 气象观测：

1）气象观测站（点），宜选择在工程场地附近开阔、平坦的地段；

2）观测内容应根据工程设计的需要和选择的涌水量预测方法确定，宜包括降水量、蒸发量、气温、湿度等项目。

2 水文观测：

1）水文观测站（点），宜选择在与工程有关河流的河道顺直、水流平缓、水流集中的地段；

2）观测内容应根据工程设计的需要和选择的涌水量预测方法确定；宜包括河流洪水期流量和水位、枯水期流量和水位等项目。

3 地下水动态观测：

1）地下水动态观测站（点），宜选择在工程场地附近与工程有联系的具有代表性的地段，并应充分利用既有钻孔、水井和泉眼等；

2）观测的内容应包括水位、水温、水质和流量等项目。

10.4.3 观测的时间和相隔时间，应根据采用的涌水量预测方法确定；但观测的延续时间不应少于一个水文年。

10.4.4 观测资料应及时按项目与时间关系整理成图表，并进行综合分析。

10.4.5 当临时性观测站（点）在施工、运营期间仍需保留时，应继续观测，并转为长期观测站（点）。确定的长期观测站（点），应随主体工程移交。

10.4.6 同一地区设置的观测点，应采用同一类设备同步进行观测。

10.5 水量评价

10.5.1 地下洞室、地道和基础工程，宜根据水文地质条件和勘探孔水文地质试验资料评价可能产生的涌水情况及应采取的措施意见。

10.5.2 隧道工程的水量评价，应符合下列规定：

1 初测阶段可采用降水入渗法、地下径流模数法、地下径

流深度法、比拟法和评分法等概略预测，当有勘探、试验资料时，宜采用地下水动力学法进行预测。

2 定测阶段应根据勘探和水文地质试验资料，采用地下水动力学法进行预测，并与其他方法进行综合分析后确定。

3 隧道施工中最大涌水量和运营中的正常涌水量的预测，宜按附录B的方法进行，并应采用多种方法综合分析后确定。

4 根据不同岩性、构造、裂隙和节理的密集程度、富水程度等特征，应分段预测最大涌水量和正常涌水量。

5 山岭隧道围岩的富水程度，可按表10.5.2进行分区。

表10.5.2 围岩富水程度分区

项目 \ 分区名称	贫水区(段)	弱富水区(段)	中等富水区(段)	强富水区(段)
地下径流模数 M [$m^3/(d\cdot km^2)$]	$M<100$	$100\leqslant M<1000$	$1000\leqslant M<5000$	$M\geqslant 5000$
洞身单位长度可能最大涌水量 q_0[$m^3/(d\cdot m)$]	$q_0<0.1$	$0.1\leqslant q_0<1$	$1\leqslant q_0<5$	$q_0\geqslant 5$

注：1 可选择具有代表性的一个项目进行分区；
2 本表适用于裂隙水、孔隙水和岩溶水的地下工程。

10.5.3 隧道涌水影响宽度的确定，应符合下列规定：

1 当新建隧道同某既有隧道（坑道）的地质、水文地质条件相似，水文地质参数相近时，可用水文地质比拟法参照既有隧道（坑道）的涌水影响宽度取值。

2 当隧道通过地段的含水体与隔水体容易区分时，可采用地质调查法预测隧道涌水影响宽度 B 值，并符合下列要求：

1）当隔水体与隧道中心线的距离小于可能影响宽度时，该侧的影响宽度以隔水体为界。当隔水体与隧道中心线的距离大于可能影响宽度时，应采用其他方法确定。

2）当隧道通过汇水盆地（洼地、富水构造等）时，该汇水盆地可用来作为该段隧道的集水面积，可取其平均

宽度作为隧道涌水影响宽度。

10.6 水质评价

10.6.1 隧道工程的水质评价，应包括下列内容：

1 隧道通过地段的地下水水质和水化学类型；

2 地下水水质复杂地区应分区或分段确定水质和水化学类型；

3 预测因施工引起水质变化的可能性；

4 地下水对建筑材料的腐蚀性评价。

10.6.2 地下洞室、地道和基础工程等的水质评价，应包括下列内容：

1 工程场地的地下水水质和水化学类型；

2 地下水对建筑材料的腐蚀性评价。

10.7 文件编制

10.7.1 隧道工程的水文地质勘察文件编制应包括下列内容：

1 水文地质勘察报告，可按本规程第3章的有关规定编制；

2 图件可按本规程表3.5.4—2编制。

10.7.2 地下洞室、地道和基础工程等的水文地质勘察文件编制应包括下列内容：

1 水文地质勘察报告，内容包括：

1）工程概况；

2）地质、水文地质条件；

3）勘探试验方法及其成果；

4）水文地质计算：水文地质参数、涌水量的计算方法、公式和成果；

5）水文地质条件评价；

6）环境水文地质条件评价以及相应的工程措施意见；

7）对设计、施工和运营的建议。

2 图件可按本规程表3.5.4—2编制。

11 环境水文地质

11.1 一般规定

11.1.1 环境水文地质工作的任务应是查明天然环境水文地质条件，分析供水水源和各类工程设置、施工造成的环境水文地质条件的变化。对工程场地进行地下水环境评价和预测研究，提出环境水文地质问题预防对策或措施方案。

11.1.2 环境水文地质工作的主要目的应是合理开发利用和保护地下水资源、保持良好的生态环境，防止由于铁路工程施工而产生环境水文地质变化问题。

11.1.3 环境水文地质评价应在水文地质勘察的基础上进行。应充分搜集和利用既有资料，当基础资料不能满足要求时，应补充必要的水文地质调绘、勘探试验和观测工作。

11.1.4 铁路工程环境水文地质评价应包括下列内容：

1 天然环境水文地质条件；

2 主要环境水文地质条件问题；

3 工程施工、运营对周围环境和生态的影响。

11.2 工作内容

11.2.1 工程地区环境水文地质调查，应包括下列内容：

1 地下水水质调查

1）地下水环境背景值（或污染起始值）的确定；

2）天然的不良水质中主要物质成分及含量的分布；过高或过低矿化物成分含量和范围、形成原因；对环境和生态及人体健康的影响；

3）地下水天然 污染物及其分布特征；污染程度、范围、

原因、类型及其对环境和生态的影响；

4）地下水的人为污染源类型和分布、污染途径及方式、主要污染物及其浓度以及对环境和生态的影响。

2 地下水资源衰减调查

1）地下水开采量衰减程度、原因及趋势；

2）地下水位降落漏斗形成的原因、规模、形状及发展趋势；

3）漏斗中心的水位、水位下降幅度和下降速度；

4）被疏干含水层的岩性和厚度、位置、疏干原因和发展趋势。

3 地面沉降与地面塌陷调查

1）沉降和塌陷的基本特征、位置、范围及面积；

2）沉降区和塌陷区的环境水文地质条件；

3）沉降和塌陷的原因和发展趋势。

4 地下工程等引起的其他环境水文地质问题。

11.2.2 给水站供水水源的环境水文地质评价，应包括下列内容：

1 干旱、半干旱等水文地质条件较差地区，预测长期开采后地下水量衰减的可能性；

2 含水层较薄的地区，预测含水层被疏干的可能性；

3 当傍河取水上游存在集中的人为污染源时，预测水质变劣或遭受污染的可能性；

4 预测长期开采地下水引起地下水位下降和形成降落漏斗的可能性，对周边环境和生态的影响程度；

5 裸露型或覆盖型岩溶地区开采地下水时，预测对周边环境和生态的影响，评价重要建筑物安全距离的可靠性。

11.2.3 隧道工程的环境水文地质评价，应包括下列内容：

1 预测隧道施工中涌水引起周边井、泉、地表水体等水量衰减或被疏干的可能性；

2 预测隧道施工对周边地表水、地下水污染或二次污染的

可能性；

3 裸露型或覆盖型岩溶地区，预测施工中隧道涌水引起周边地面变形破坏的可能性；

4 预测施工或运营中隧道涌水对周边环境和生态的影响程度；

5 评价隧道排出的地下水作为水资源加以利用的可能性。

11.2.4 对深路堑地下水地段，应评价道床的稳定性和对周边环境和生态的影响；当有下伏高水头承压含水层时，应评价溃底湮没的可能性。

11.2.5 房屋建筑等基础工程，当采用井点降水施工时，应对周边影响范围内的建筑物和构筑物等基础的稳定性进行评价。

附录 A　生活饮用水水源水质标准

表 A　生活饮用水水源水质标准（CJ 3020—93）

项　　目	极　　限　　值	
	一　　级	二　　级
色	色度不得超过 15 度，并不得呈现其他异色	不应有明显的其他异色
浑浊度（度）	≤3	
嗅和味	不得有异臭、异味	不应有明显的异臭、异味
pH	6.5~8.5	6.5~8.5
总硬度（mg/L）（以碳酸钙计）	≤350	≤450
溶解铁（mg/L）	≤0.3	≤0.5
锰（mg/L）	≤0.1	≤0.1
铜（mg/L）	≤1.0	≤1.0
锌（mg/L）	≤1.0	≤1.0
挥发酚（mg/L）（以苯酚计）	≤0.002	≤0.004
阴离子合成洗涤剂（mg/L）	≤0.3	≤0.3
硫酸盐（mg/L）	<250	<250
氯化物（mg/L）	<250	<250
溶解性总固体（mg/L）	<1000	<1000
氟化物（mg/L）	≤1.0	≤1.0
氰化物（mg/L）	≤0.05	≤0.05
砷（mg/L）	≤0.05	≤0.05
汞（mg/L）	≤0.001	≤0.001
硒（mg/L）	≤0.01	≤0.01
镉（mg/L）	≤0.01	≤0.01

续表 A

项　　目	极　　限　　值	
	一　　级	二　　级
铬（六价）（mg/L）	≤0.05	≤0.05
铅（mg/L）	≤0.05	≤0.07
银（mg/L）	≤0.05	≤0.05
铍（mg/L）	≤0.0002	≤0.0002
氨氮（以氮计）（mg/L）	≤0.5	≤1.0
硝酸盐（以氮计）（mg/L）	≤10	≤20
耗氧量（$KMnO_4$ 法）（mg/L）	≤3	≤6
苯并（a）芘（μg/L）	≤0.01	≤0.01
滴滴涕（μg/L）	≤1	≤1
六六六（μg/L）	≤5	≤5
百菌清（mg/L）	≤0.01	≤0.01
总大肠菌群（个/L）	≤1000	≤1000
总 α 放射性（Bq/L）	≤0.1	≤0.1
总 β 放射性（Bq/L）	≤1	≤1

附录 B　预测隧道涌水量的方法

B.1　简易水均衡法

B.1.1　当越岭隧道通过一个或多个地表水流域时，预测隧道正常涌水量可采用下列方法：

1　地下径流深度法

$$Q_s = 2.74h \cdot A \qquad (B.1.1\text{—}1)$$

$$h = W - H - E - SS$$

$$A = L \cdot B$$

式中　Q_s——隧道通过含水体地段的正常涌水量（m^3/d）；

2.74——换算系数；

h——年地下径流深度（mm）；

A——隧道通过含水体地段的集水面积（km^2）；

W——年降水量（mm）；

H——年地表径流深度（mm）；

E——某流域年蒸发蒸散量（mm）；

SS——年地表滞水深度（mm）；

L——隧道通过含水体地段的长度（km）；

B——隧道涌水地段 L 长度内对两侧的影响宽度（km）。

2　地下径流模数法

$$Q_s = M \cdot A \qquad (B.1.1\text{—}2)$$

$$M = Q'/F$$

式中　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)；

其他符号意义同式（B.1.1—1）。

B.1.2 当隧道通过潜水含水体且埋藏深度较浅时，可采用降水入渗法预测隧道正常涌水量。

$$Q_s = 2.74\alpha \cdot W \cdot A \qquad (B.1.2)$$

式中 α——降水入渗系数；

其他符号意义同式（B.1.1—1）。

B.2 地下水动力学法

B.2.1 当隧道通过潜水含水体时，可用下列公式预测隧道最大涌水量。

1 古德曼经验式

$$Q_0 = L\frac{2\pi \cdot K \cdot H}{\ln\frac{4H}{d}} \qquad (B.2.1\text{—}1)$$

式中 Q_0——隧道通过含水体地段的最大涌水量（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——隧道通过含水体的长度（m）。

2 佐藤邦明非稳定流式

$$q_0 = \frac{2\pi \cdot m \cdot K \cdot h_2}{\ln\left(\tan\frac{\pi(2h_2 - r_0)}{4h_c}\cot\frac{\pi \cdot r_0}{4h_c}\right)} \qquad (B.2.1\text{—}2)$$

式中 q_0——隧道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——洞身横断面等价圆半径（m）；

h_c——含水体厚度（m）。

B.2.2 当隧道通过潜水含水体时，可采用下列公式预测隧道正常涌水量。

1 裘布依理论式

$$Q_s = L \cdot K \frac{H^2 - h^2}{R_y - r} \qquad \text{(B.2.2—1)}$$

式中 Q_s——隧道正常涌水量（m^3/d）；

K——含水体的渗透系数（m/d）；

H——洞底以上潜水含水体厚度（m）；

h——洞内排水沟假设水深（一般考虑水跃值）（m）；

R_y——隧道涌水地段的引用补给半径（m）；

L——隧道通过含水体的长度（m）。

2 佐藤邦明经验式

$$q_s = q_0 - 0.584\bar{\varepsilon} \cdot K \cdot r_0 \qquad \text{(B.2.2—2)}$$

式中 q_s——隧道单位长度正常涌水量〔$m^3/(s \cdot m)$〕；

$\bar{\varepsilon}$——试验系数，一般取 12.8；

r_0——洞身横断面的等价圆半径（m）；

其他符号意义同式（B.2.1—2）。

B.3 其 他 方 法

B.3.1 当新建隧道附近有水文地质条件相似的既有隧道或坑道以及岩溶区时，可采用水文地质比拟法预测隧道涌水量：

$$Q = Q' \frac{F \cdot s}{F' \cdot s'} \qquad (B.3.1)$$

$$F = B \cdot L$$

$$F' = B' \cdot L'$$

式中 Q, Q'——新建、既有隧道（坑道）通过含水体地段的正常涌水量或最大涌水量（m^3/d）；

F, F'——新建、既有隧道（坑道）通过含水体地段的涌水面积（m^2）；

s, s'——新建、既有隧道（坑道）通过含水体中自静止水位计起的水位降深（m）；

B, B'——新建、既有隧道（坑道）洞身横断面的周长（m）；

L, L'——新建、既有隧道（坑道）通过含水体地段的长度（m）。

B.3.2 当隧道通过潜水含水体且有给水度或裂隙率资料时，可采用同位素氚（T）法预测隧道正常涌水量。

$$Q_s = \frac{L \cdot A \cdot \mu}{365t} \tag{B.3.2}$$

$$t = 40.727 \lg \frac{N_0}{N_t}$$

式中 L——N_0 与 N_t 两样品间的距离（m）；

μ——含水体给水度（基岩可用裂隙率代替）；

365——年平均天数（d）；

t——N_0 与 N_t 两样品间的时间差（a）；

N_0——样品中氚含量起始值（TR）；

N_t——与 N_0 比较的样品中氚含量（TR）；

其他符号意义同式（B.1.1—1）。

B.3.3 在踏勘和初测阶段，可采用评分法概略预测隧道最大涌水量。

1 隧道涌水灾害严重等级判别，可按附录表 B.3.3—1 确定。

表 B.3.3—1 隧道涌水灾害严重等级判别

判别条件	评分标准				
地表环境特征	沟谷汇水、岩溶形态发育、集水建筑物以上给 0.7 分				旱地、荒地 0 分
岩石性质	硬岩（硬岩+软岩）0.21 分				软岩 0 分
地质构造	裂隙不发育紧闭 0	裂隙发育张开 1.34	断层破碎带 1.7	岩溶裂隙发育 1.71	岩溶断层带 1.90
防水措施	无 0		灌浆防水 −0.3		已衬砌 −0.45

续表 B.3.3—1

判别条件	评　　分　　标　　准			
气候条件	少雨区 （年降水量 $W\leqslant 800$ mm） 0	多雨区 （$800<W\leqslant 1600$ mm） 1.15		丰雨区 （$W>1600$ mm） 1.30
最大埋深	$3.8H\times10^{-4}$　（H 为最大埋深，m）			
隧道长度	$0.05L$　（L 为隧道长度，km）			
判　　别	D级	C级	B级	A级
	<2.48	2.48～3.30	3.30～3.91	>3.91

注：A级，隧道涌漏水甚大或突然涌水或泥砂大量涌出；
B级，隧道涌漏水较大或泥砂涌出；
C级，隧道涌漏水较少，对围岩稳定性有一定影响；
D级，隧道涌漏水甚微或无，一般不会对施工运营及环境造成不利影响。

2　隧道最大涌水量概略预测，可按附录表 B.3.3—2 评分，累计相加确定。

表 B.3.3—2　隧道最大涌水量概略预测（单位：m^3/d）

基本量	地表环境特征		隧道类型		岩石性质			
	沟谷汇水或纵向汇水长度大于 1 km	旱地	越岭	沿河	灰岩	硬岩	软硬互层	软岩
2900	188	0	0	820	4095	2730	0	−1724
地质构造特征					气候特征			
裂隙不发育	裂隙发育	断层带	岩溶裂隙发育	岩溶断层	溶洞暗河	多雨区（$800<W\leqslant 1600$ mm）	丰雨区（$W>1600$ mm）	
−1180	500	3140	3060	4480	28338	0	3860	
防水措施		隧道最大埋深						
无防护	灌浆后开挖，已衬砌	100 m 以下	100～400 m	400～700 m	>700 m			
0	−3940	5	23	45	578			
隧道长度（km）								
1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0
0	780	1108	1607	2000	2800	4280	5760	7250	8732	11214	12690	14180	16110

本规程用词说明

执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

（1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

（2）表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

（3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

《铁路工程水文地质勘察规程》
条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

1.0.1～1.0.2 本规程是将《铁路供水水文地质勘测规则》(TBJ 15—96）和《铁路工程水文地质勘测规范》(TB10049—96）合并修编而成，在实施中应与《铁路工程地质勘察规范》(TB10012）配套使用。

3.2

根据铁道部铁建设〔1999〕99号文《铁路基本建设项目预可行性研究、可行性研究和设计文件编制办法》的规定，增加“加深地质工作”一节，其内容与《铁路工程地质勘察规范》(TB10012）协调一致。

3.6

为了统一勘察阶段，本规程增加了施工阶段供水水文地质的工作内容。

3.6.3 本条是根据生产实践经验编制的。往往由于自然条件的变化，人为因素的制约和勘察条件所限，造成施工阶段水源方案的改变，因此应重视施工阶段的供水水文地质工作。

3.7.1 本规程增加了运营期间的供水水文地质工作内容，是根据生产实践经验编制的。水源施工后，常会发生运营时间不长水源出水量出现衰减或枯竭、水质变劣、遭受自然灾害等情况，需

扩建、改建或重新勘察水源。为积累必要的资料，因此应开展运营期间的供水水文地质工作。

4.2

为了推广综合勘察技术的应用，增加了“遥感图像水文地质解译”一节，其内容与《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012)、《铁路工程地质遥感技术规程》(TB 10041) 协调一致。

4.2.4 铁道部专业设计院卓宝熙、史振凯撰写的《隧道富水程度遥感综合评估方法的探讨》一文（《铁道工程学报》1998 年第 1 期），应用遥感地质、水文地质解译评价勘察区岩体富水程度，具有参考价值，当有条件时在踏勘和预可行性研究阶段可应用此法概略评估，见说明表 4.2.4。

说明表 4.2.4　影响富水程度各要素分类与分数关系

要素名称 \ 分数值		-30	-20	-10	0	10	20	30	40
地形地貌					地形陡峻及分水岭地段	中等陡峻平缓地形			
岩　石(Y)					泥岩和页岩	变质岩	深成浅成及喷出岩	砂岩砾岩,粉砂岩,玄武岩	岩溶发育石灰岩，白云岩,石膏,盐岩
地质构造(Z)	背斜				背斜地层				
	向斜				两翼地层、单斜地层		向斜地层		
	构造节理F					不发育 <80	较发育 80～150	发育 156～230	很发育 230
	原生节理F					不发育 <80	较发育 80～150	发育 156～230	很发育 230
降水量 J_s(mm/a)					干旱地区 <200	少水带 200～400	过渡带 401～800	多水带 801～1600	丰水带 >1600
埋深(m)		1000	401～1000	200～400	<200				

注：1　本表富水程度要素分类分数只适用于隧道（坑道）富水程度估算时用。
2　表中 F 代表构造节理丰度值，丰度值的概念是指单位面积大型构造节理发育的总长度或总条数。
3　表中节理发育程度 4 个等级可根据遥感图像解译编制的等丰度图中该地段的相应的丰度值（F）确定。例如，$F<80$ 相当于节理不发育。
4　分数 $H=D+Y+Z+J_s+M$：
当 $H>80$ 分时为强富水区；
$H=61\sim80$ 分时为中等富水区；
$H=40\sim60$ 分时为弱富水区；
$H<40$ 分时为贫水区。

4.3.1　河流的科里奥利效应，系指地球自转时产生的偏转力所造成的现象。偏转力，即科里奥利力。是法国著名数学家科里奥利（Gaspar Gustarede Coriolis，1792～1843）于 1835 年提出的。

科里奥利力，可使地球北半球流体向右偏转，而南半球流体向左偏转。就北半球河流而言，不论流向如何偏转时将产生向右位移、冲刷、切割岸边等现象，随着时间推移而不断扩大领域，特别是洪水时（流量大、速度快）尤甚。与此同时，北半球河流的左岸将遗留多级阶地或比较宽阔的冲积、洪积平原。这些阶地和平原常常埋藏着丰富的地下水，尤其是比较大的河流，含水层的面积和厚度是巨大的，多数具有经济意义。

甘肃省祁连山北侧之党河、莫高窟河、北大河、疏勒河均向北流动。隋、唐时代以来开凿的千佛洞均位于河流左侧，皆因右岸不断被冲刷所致。北大河出山口后不断向右位移，其古河道遗址至今仍可观察到。疏勒河出山口后不断向右位移，其左侧遗留有头道沟、二道沟、三道沟等，现河流在九道沟附近流动，其左侧遗留有宽 70 km，长 50 km 的山前冲洪积扇，埋藏着丰富的地下水，疏勒河车站供水水源就是开发这些古河道中的地下水。

黄河中、上游大致向东流动。而在迎水桥—鸣沙洲段长约 100 km，呈 NEE 向流动，因不断向右位移其左侧形成宽 5～15 km，厚 50～100 m 的黄河冲积层，地下水丰富。在青铜峡—石嘴山段长约 150 km，北偏东流向，由于河流向右位移，其左侧遗留一山前倾斜平原，称银川平原，宽 20～50 km，第四系厚度 1 609 m，含水层厚度 100～200 m，潜水、承压水均丰富。

4.5.2 根据国家标准《量和单位》(GB 3100～3102)、铁道部行业标准（TB2418—93）和《铁路工程计量单位实用手册》的有关规定，水质中用物质的量浓度（c）或质量浓度（ρ）表示钙、镁、钙镁、碳酸盐钙镁和非碳酸盐钙镁离子含量，不采用“硬度”这一术语，而采用新的术语与符号。

生活饮用水水质判定标准，以往采用的是国家标准《生活饮用水卫生标准》(GB 5749)，2001 年卫生部又颁发了卫法监发〔2001〕161 号文件《卫生部关于印发生活饮用水卫生规范的通知》(附件 1　生活饮用水卫生规范)，均系经过处理后到达用户的饮用水水质标准。供水水源的水质标准是未经处理的，采用建设部发布的城镇建设行业标准《生活饮用水水源水质标准》(CJ 3020)更为合适，它适用于城乡集中式生活饮用水水源的水质（包括各单位自备生活饮用水的水源）评价。

4.5.3 铁路混凝土与砌体工程用水的分析项目，是根据行业标准《铁路混凝土与砌体工程施工及验收规范》(TB 10210—97）编制的。水中有害物质含量，应按现行行业标准《混凝土拌合用水标准》(JGJ 63）执行，见说明表 4.5.3。

说明表 4.5.3　水中有害物质含量

水中有害物质名称及含量 \ 混凝土种类	预应力混凝土	钢筋混凝土	混　凝　土
pH 值　　*	>4	>4	>4
不溶物(mg/L)	<2 000	<2 000	<5 000
可溶物(mg/L)	<2 000	<5 000	<10 000
氯化物，以 Cl^- 计(mg/L)	<500	<1 200	<3 500
硫酸盐，以 SO_4^{2-} 计(mg/L)	<600	<2 700	<2 700
硫化物，以 S^{2-} 计(mg/L)	<100	—	—

注：使用钢丝或热处理钢筋的预应力混凝土，其氯化物含量（以 Cl^-）不得超过 350 mg/L。

4.6.7 对于多年冻土地区地下水类型的划分，特别是冻土层间

水，目前国内看法尚不统一。就国家标准和行业标准而言，规定也不尽一致。国家标准《供水水文地质勘察规范》(GB 50027) 规定有“冻土层间水”，而地矿部行业标准《冻土地区工程地质调查规程》(DZ/T 0061—93) 附录 D 中只规定有冻结层上水和冻结层下水。

表 4.6.7 多年冻土地区地下水类型分区中只规定了冻结层上水、冻结层下水和融区地下水 3 个分区。

5.1.1 铁路物探技术目前已有十几种方法，但根据工程目的，应选择不同的物探方法。根据铁四院的经验，各种地面物探方法与应用范围列于说明表 5.1.1 中。

说明表 5.1.1 地面物探方法与应用范围

应用范围	类别	方法名称		
渗透性地层界线；测定地下水流向及地下水与地表水的补给关系	直流电法	自然电场法		电位法
				梯度法
				“8”字形法
填图、追索断层破碎带，探测基岩底面起伏，追索各种高低阻陡倾斜地电体及接触面；探查岩溶发育带		电阻率法	电剖面法	对称四极剖面法
				复合四极剖面法
				联合剖面法
				中间梯度法
				偶极剖面法
划分近水平层位，确定含水层厚度、埋深；划分咸、淡水界面；探查构造，探测基岩埋深、风化壳厚度等			电测深	对称四级电测深法
				三级电测深法
				环形电测深法
				偶极电测深法
划分含泥质地层，探查溶洞、断层带，富水性等		激发极化法		各类剖面法
				激发极化法
追索地下暗河、充水裂隙带；探测地下水流速、流向		充电法		电位法
				梯度法
				追索等位线法

续说明表 5.1.1

应用范围	类别	方法名称	
探查区域构造	交流电法	大地电磁法	剖面法
			测深法
应用同直流电阻率法；可在工业用电干扰情况下测量		低频电阻率法	
进行导电率填图，查构造破碎带		甚低频法	
填图，找水		电磁法	
存在高阻屏蔽层情况下探测地下构造，划分地层在接地困难条件下进行探测		频率电磁测深法	
填图		变频法	
探查溶洞、暗河、断层		无线电波透视法	
暗河、断层	其他	α卡法	
含水层层位		核磁共振法	

例如兖石线泗水给水站，该站南部为尼山低山群，北部是泰山余脉，属泗水断陷谷地，车站位于被四条断层切割成略隆起于四周的断块上，地层出露有奥陶系的厚层石灰岩和第三系细砂页岩。应用了音频大地电场法、联合剖面、中梯剖面、电测探和测井等方法成功地查明了断裂位置，找到了地下水，一孔成井，较原设计节省两眼深度百米以上的勘探孔。

对山岭隧道，针对山区特点，宜开展轻便、快速的方法，如磁法、放射性γ测量、测氡、音频大地电磁法等。针对不同的任务要求可选用不同的物探方法，例如为了圈定放射性异常分布主要采用γ测量；对于划分岩带和断层带在地表的位置，主要采用折射法地震、直流电法配合磁法和放射性测量。对于断层带和岩带在剖面上的延伸则主要采用直流电法；对于几百乃至几千米的深部情况则主要采用 AMT 法与航磁资料的延拓。对于划分富水带则利用直流电法、测氡与二次时差法。

西安安康线秦岭特长隧道，长 18446 m，在勘察中进行了综合物探，先后采用了航磁重力、地面磁法、直流电法、地震反射

法、地震折射法、音频大地电磁法、放射性γ测量、地温测量、测氡、二次时差法和多参数综合测井等11种方法。

弹性波探测，根据岩体弹性波传播速度和新鲜岩石试料的弹性波速度相互比较后给出的数据，可推测岩体的胶结程度、风化程度、变质情况和裂隙发育程度。利用弹性波速度可判释岩体的富水程度，例如日本山阳新干线福冈隧道，均由三郡变质岩组成，西工区地段的弹性波速度平均为4.7km/s，洞口的涌水量为0.35 m^3/(min·km)，而东工区地段弹性波速度平均为3.2km/s，洞口的涌水量为11.5 m^3/(min·km)，可见有着明显差异。弹性波探测，对解析裂隙含水体的构造给出了有效的信息。

5.2.2 目前，测井方法已有十余种，应根据工程类型和不同的勘察目的，合理选择测井方法。测井方法与应用范围列于说明表5.2.2中。

说明表5.2.2 测井方法与应用范围

应用范围	类别	方法名称	
划分钻孔剖面，确定岩石电阻率参数	电测井	视电阻率测井	普通视电阻率测井
详细划分钻孔剖面，确定渗透性地层			微电极系测井
确定含水层位置，估计水文地质参数			井液电阻率测井
确定渗透层，划分咸淡水界面		自然电位测井	
探查溶洞、破碎带		井中电磁波法	
划分岩性剖面，确定含泥质地层，求地层含泥量	放射性测井(核测井)	自然伽玛（γ）测井	
确定岩层的密度、孔隙度		伽玛—伽玛（γ—γ）测井	
确定含水层位置、地层、孔隙度		中子测井	中子—伽玛
			中子—中子
确定孔内出水位置，估计水文地质参数		放射性同位素测井	
划分岩性，确定地层的孔隙度，划分裂隙含水带	弹性波测井	波速测井	
		声幅测井	
区分岩性，查明裂隙、溶洞及套管壁状况，确定岩层产状及裂隙发育方向		全析成像	

续说明表 5.2.2

应　　用　　范　　围	类　别	方　法　名　称
探查热水层，测定地温梯度；确定孔内出水位置	热测井	温度测井
了解岩性变化检查孔径测量	钻井技术情况	孔径测量
了解钻孔的倾角和方位角参数		孔斜测量

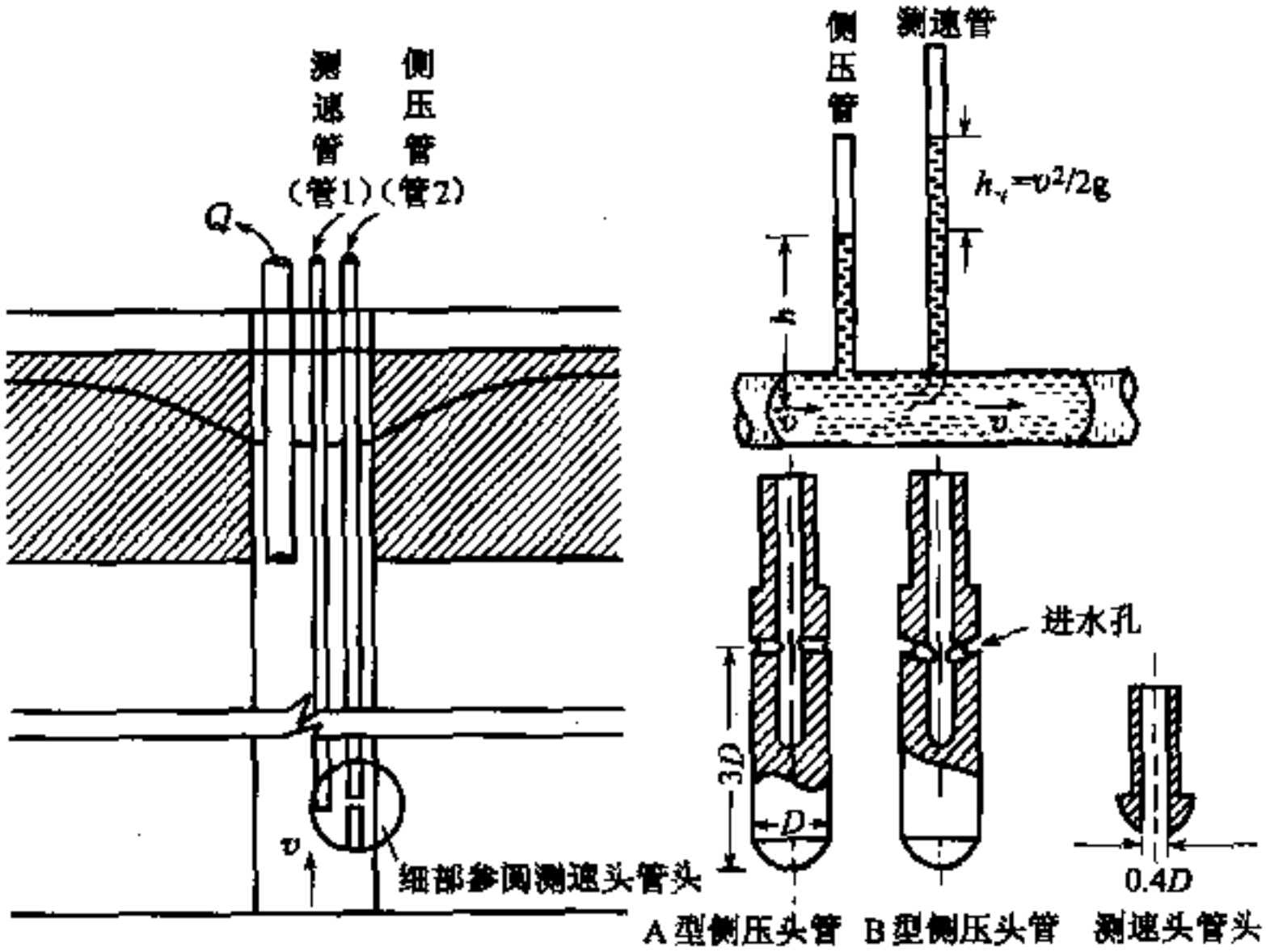
一般情况下，钻孔宜与弹性波测井、电测井、温度测井等物探方法合并进行，藉以推测含水层的位置和透水性。在温度测井中，根据增温率和温度变坡点还可推测隧道的涌水点。

速度检测，可利用钻孔求算弹性波速度。除一般的钻孔外，亦可在隧道施工中掌子面附近进行的超前水平钻孔，测定掌子面前方岩体弹性波速度。根据日本经验，孔内速度测定同地表弹性波测定比较，有如下优点：因调查精密，故测定的精度高；能够同岩芯直接对比，可对岩体进行综合评价；在地表弹性波测定中，解析最困难的是夹在岩体中的高速度层，而孔内速度测定可以解析。

6.3.2 国家标准《供水水文地质勘察规范》(GB 50027—2001)规定抽水试验孔过滤器直径，在松散层中宜大于 200 mm。国内各行业中，惟铁路行业几十年来一直采用小孔径钻探，多采用 127 mm 或 146 mm 圆孔管包网过滤器，空压机或离心泵抽水。由于孔径小，钻孔出水量往往达不到设计出水量的要求。随着铁路事业的发展，车站用水量不断增大，既有线用水量超过 1.0 万 m^3/d 的车站已有几十个。按国标的规定，水源地的勘察规模已达到中型的等级，再用小口径勘探试验已不适宜。为此，本条规定：在松散层内，当用水量大于或等于 5000 m^3/d 时，抽水孔过滤管直径不宜小于 200 mm，与国标一致。

7.1.5 测水管底端应安装“侧压头”的原理是引自陈雨孙编著《单井水力学》(中国建筑工业出版社，1977 年)。抽水试验中水位观测应测“压头”，而几十年来一直采用底端开口的普通测水管，观测的是“速头”——受流速影响的压力水头，这是不符合

要求的。冶金部勘察总公司利用毕托（Pitot）管原理进行了试验，在井内下入两根测水位管，在管 1 的底端开一个小孔，当井内水流向上流动时，因受流速的影响，故测得的水位较高；而管 2 的管底封闭，在靠近管底的管壁上开一个小孔，孔的方向与流速成 90°角，故在其中测得的水位由于不受流速的影响，可真实代表该点的压力，故较管 1 为低。两管的水位差为 $h_v = v^2/2g$，详见说明图 7.1.5。



说明图 7.1.5　侧压管与测速管示意

为了提高水位观测的精度和纠正以往的错误做法，本规程规定测水管底端应安装“侧压头”。

7.4

本节是根据原地矿部行业标准《钻孔压水试验规程》(DZ/T 0132—94)、中国有色金属工业协会发布的行业标准《压水试验规程》(YS 5216—2000)、水利电力部《水利电力工程钻孔压水试验规程》和《铁路工程地质钻探规程》(TB 10014—98) 等编制

的。

7.4.1 压水试验与抽水试验的原理相同只是两者的试验水流方向相反。压水试验多用于隧道等铁路工程的水文地质勘察中，隧道勘察多为深钻孔、由于基岩透水性相对较弱、地下水埋藏较深或无地下水以及钻孔孔径小等因素，抽水试验困难或无抽水试验条件，且附近有地表水作水源时，可利用压水试验方法获取岩层的水文地质参数，对铁路工程进行水文地质评价。

例如西安安康线秦岭特长隧道，就是通过 8 个钻孔进行的抽水（或提水）试验、压水试验，综合确定设计采用的渗透系数值。

根据压水试验的单位吸水量，可以推测岩层的裂隙性，单位吸水量与岩层裂隙系数的关系见说明表 7.4.1。

说明表 7.4.1 单位吸水量与裂隙系数关系

单位吸水量	裂隙系数	岩体评价
<0.001	<0.2	最完整
0.001~0.010	0.2~0.4	完整
0.01~0.100	0.4~0.6	节理较发育
0.100~0.500	0.6~0.8	节理发育
>0.500	>0.8	破碎岩体

注：单位吸水量单位为$L/(min \cdot m^2)$。

7.4.2 透水性较强的岩层和特殊孔段系指构造破碎带、裂隙密集带、岩层接触带、岩溶洞穴等。

试验段的长度系指栓塞底部至孔底的实际长度。残留岩芯不大于 0.2m 时，可计入试验段长度。试验段的重复只允许一次，此时试验段的总长度不得超过 10 m。同一工程中试验段长度宜一致，是便于试验成果的分析对比。

7.4.3 压水试验的压力阶段，《压水试验规程》(YS5216—2000)、《水利电力工程钻孔压水试验规程》均规定按一个压力阶段进行，《钻孔压水试验规程》(DZ/T0132—94) 采用三级压力五个阶段，

本《规程》规定按三个压力阶段进行压水试验。

一个压力阶段的压水试验，具有局限性，且只能获得一个流量—压力关系点（S_1，Q_1），虽然工作效率较高，但所获得的参数值往往含有不同程度的误差，压力值愈大，误差也易愈大。采用三个压力阶段虽然压水历时相对较长，但能获得三个流量—压力关系点并能联成供判断试验正误的 Q—S 关系曲线，对试验质量起保证作用，同时能求得较准确的渗透系数。为了求得正确的岩层渗透性和了解岩层中的渗流属性，采用三个压力阶段是适宜的。

式(7.4.3)中的压力损失 P_s 值由三部分组成，计算公式如下：

$$P_s \approx P_{s1} + P_{s2} + P_{s3} \qquad \text{（说明 7.4.3—1）}$$

$$P_{s1} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$P_{s2} = k \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

$$P_{s3} = \beta \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

式中 P_{s1}——管路沿程压力损失（MPa）；

P_{s2}——管径由小到大的局部压力损失（MPa）；

P_{s3}——管径由大到小的局部压力损失（MPa）；

L——管长（m）；

d——管径（m）；

v——水在管中的流速（m/s）；

g——重力加速度（$g=9.8\,m/s^2$）；

λ——粗糙系数，水在铁管中流动时 $\lambda=2\times10^{-2}\sim3\times10^{-2}$ MPa/m；

v_1——水在小管径（d_1）中的流速（m/s）；

v_2——水在大管径（d_2）中的流速（m/s）；

k——损失系数（MPa/m），$k=1.0$ MPa/m；

β——管径由大到小的局部阻力系数（MPa/m），按说

明表 7.4.3 确定。

说明表 7.4.3　局部阻力系数

d_1/d_2	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
β	0.5	0.42	0.33	0.25	0.15

倾斜钻孔的水柱压力，可用下式换算：

$$P_z = P_z' \sin\alpha \qquad \text{（说明 7.4.3—2）}$$

式中　P_z'——压力表中心至压力计算零线与钻孔中心线交点的倾斜水柱压力（MPa）；

α——钻孔倾角（°）。

同一工程中试验总压力值宜一致，是便于试验成果的对比分析。

7.4.4　《压水试验规程》（YS5216—2000）是以最终流量作为计算流量，压水试验流量稳定的判断标准可参考下列标准之一，视为稳定：

（1）当流量大于 5 L/min 时，连续四次读数，其最大值与最小值之差小于最终值的 10%；

（2）当流量小于 5 L/min 时，连续四次读数，其最大值与最小值之差小于最终值的 20%；

（3）连续四次读数，流量均小于 0.5 L/min。

压水试验压入的水应采用水质较好的同一水源，是为了防止由于压入水质差的水而使地下水遭受污染。压水试验多采用附近的沟、河水作为水源，水中含砂量宜小于 2%。

压水试验中，应在流量观测的同时测定管外水位的变化，是了解栓塞的止水效果，当发现管外水位突然变化时视为异常。

7.4.5　单位吸水量计算单位为L/(min·m^2)，总压力单位采用是MPa，应换算成水柱高度（m）。1.0 kg/cm^2 的压力近似为水柱高度 10 m，1 kg/cm^2 为 100 kPa=0.1 MPa，1.0 MPa 近似为水柱高度 100 m。

7.5.1　钻孔注水试验是野外测定岩层渗透性的一种比较简单的

方法，其原理同抽水试验，只是以注水代替抽水，即在钻孔内用抬高水头的方法把水注入钻孔，使钻孔水柱在静水压力的作用下逐渐向岩层中渗入，当形成稳定的水位时，即以此时的注入水量计算出岩层的渗透系数。

本节是根据中国有色金属工业协会发布的行业标准《注水试验规程》（YS 5214—2000）、《铁路工程地质钻探规程》（TB 10014—98）等编制的。

7.5.2 注水试验有试坑注水试验和钻孔注水试验，钻孔注水试验又分为降水头注水试验和常水头注水试验。根据铁路的特点和已往常用的方法，并且考虑到降水头注水试验操作和资料整理复杂繁琐，渗透系数计算的公式也较多，因此本规程只对钻孔常水头注水试验作了详细规定。

注水试验的钻孔结构主要有下列三种情况：

（1）钻孔全部下套管，孔底敞口，试验土层与孔底齐平；

（2）钻孔部分下套管，非试验段下套管，试验段不下套管或下过滤管；

（3）钻孔全部下套管，但管内有一定高的土柱。

（1）和（3）适用于降水头注水试验，常水头注水试验采用第二种情况，试验段宜下过滤器。

注水量稳定标准，《注水试验规程》（YS 5214—2000）规定：直到最后两个小时平均流量之差不大于 10%，视为流量稳定。本规程采用了《铁路工程地质钻探规程》（TB 10014—98）注水量允许偏差作为稳定标准。

水头稳定标准，《铁路工程地质钻探规程》（TB 10014—98）规定稳定动水位允许偏差为 ±5 cm，而本规程采用了《注水试验规程》（YS 5214—2000）的规定，水头的允许波动幅度为 ±1 cm，旨在提高注水试验的质量，保证水文地质参数计算的精度。

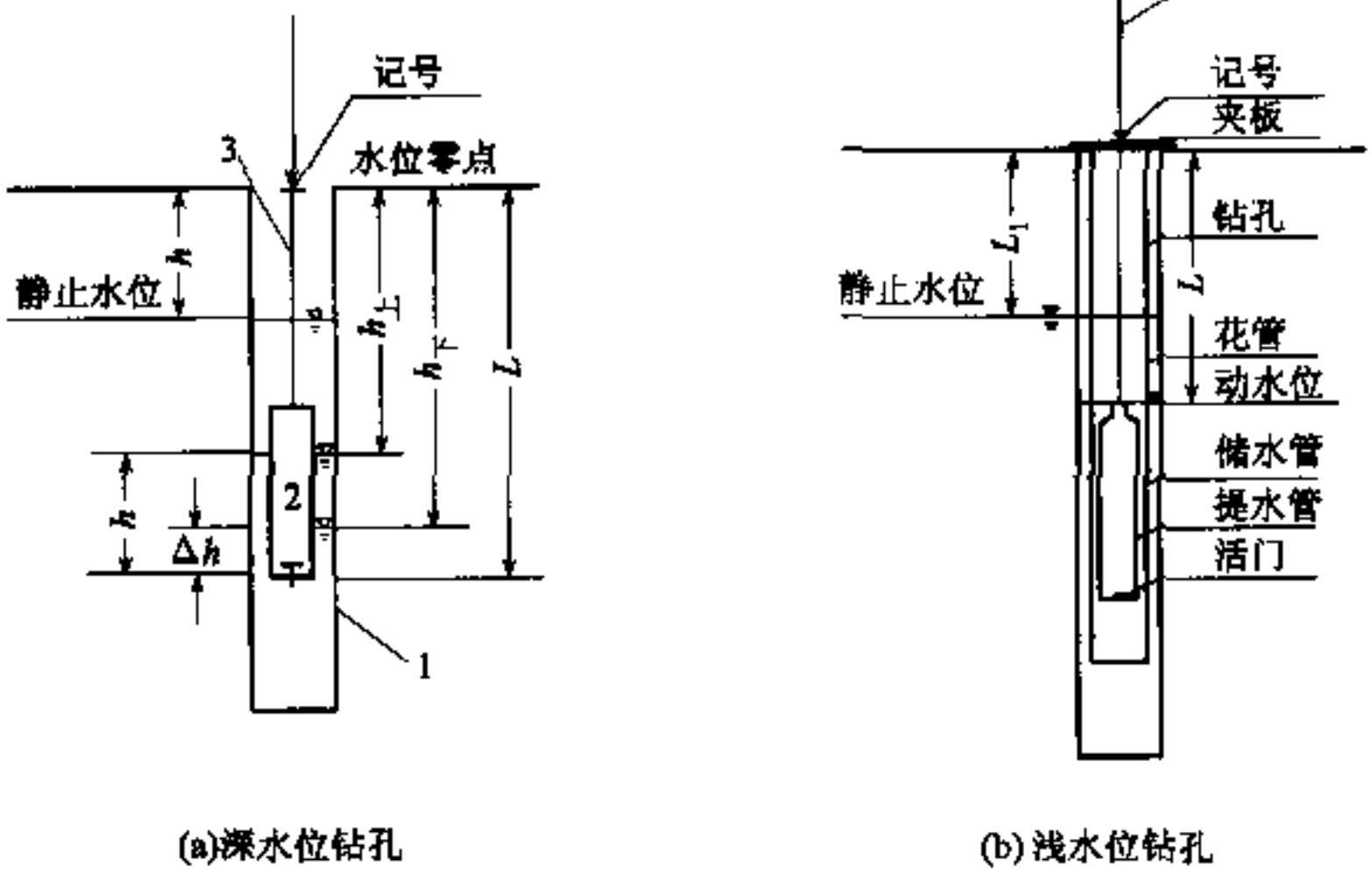
7.6

本节是参照《铁路工程地质钻探规程》（TB 10014—98）编制

的。

7.6.3 已往的提水试验中，人工操作动水位难以控制，不宜达到稳定，当水位较深时，测定动水位麻烦且时间长、不准确、影响精度。1985 年隧道工程局在军都山隧道勘察中，洪正修工程师研制出新的提水试验方法，使难以确定的动水位值得到了较为可靠的解决，效果良好，此法即为固定水位降深法或称固定动水位法。提水试验方法介绍如下。

（1）深水位钻孔。根据试验中每次提出的水量计算每次提水前、后瞬间动水位的上限（$h_{上}$）、下限（$h_{下}$）值和平均动水位深（h），见说明图 7.6.3(a)。



(a)深水位钻孔　　(b)浅水位钻孔

说明图 7.6.3　提水试验原理示意

1—钻孔；2—提水筒；3—钢丝绳

平均动水位用下式计算：

$$\overline{h} = L - \frac{A\left(2 - \frac{r_{提外}^2}{r_{孔}^2}\right)\overline{h}_{测}}{20\pi r_{提内}^2} \qquad \text{（说明 7.6.3—1）}$$

水位降深 s 值和水量 Q 值：

$$s = \overline{h} - h_{管} \qquad \text{（说明 7.6.3—2）}$$

$$Q = \frac{A \cdot \overline{h}_{测}}{t} \qquad \text{（说明 7.6.3—3）}$$

式中 $\overline{h}$——平均动水位（m）；

L——孔口至提水筒底部的长度（m）；

A——量水筒 1 cm 高的体积（L）：

$r_{提外}$——提水筒外半径（dm）；

$r_{孔}$——动水位变化范围内的钻孔半径（dm）；

$r_{提内}$——提水筒内半径（dm）；

$h_{测}$——每次提出的水，在圆柱形量水筒内的高度（cm）；

$\overline{h}_{测}$——稳定范围内 $h_{测}$ 的平均值（cm）；

t——稳定范围内平均提水间隔时间（s）。

（2）浅水位钻孔。提水设备多一套“储水管”，由套管和过滤管组成，下部为底部封死的套管，其长度比提水筒长 1～2 m，上接长 0.2～0.5 m 的同径过滤管，再上接同径套管，见说明图 7.6.3(b)。

要求提水筒放入的深度为提水筒顶与过滤管底等高。每次提水，提水筒不得满管，否则调整储水管位置，使储水管中的水位始终低于过滤管底，这样过滤管底的位置即为动水位的位置。

水位降深和出水量按下式计算：

水位降深：

$$s = L - L_1 \qquad \text{（说明 7.6.3—4）}$$

出水量：

$$Q = \frac{A \dfrac{\sum_{i=1}^{n} h_{测i}}{n}}{\dfrac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{n}} \qquad \text{（说明 7.6.3—5）}$$

当提水时间间隔相同时式（说明 7.6.3—5）可简化为

$$Q = \frac{A \dfrac{\sum_{i=1}^{n} h_{测i}}{n}}{t_i} \qquad \text{（说明 7.6.3—6）}$$

式中　L——自孔口至储水管滤水管底部的距离（m）；

L_1——自孔口至静止水位的距离（m）；

A——量水桶 1 cm 高的体积（L）；

t_i——两次提水间的间隔时间（s）；

$h_{测i}$——提水管内水位不足部分的平均高度（m）；

n——每次提出的水放入量水筒中的高度（cm）。

8.1.1　渗透系数 K 的计算公式很多，计算时应根据适用条件合理选择公式，并注明公式的出处。

8.2.1～8.2.5　渗透系数 K 的计算式（8.2.1—1）～式（8.2.5—2），是根据《供水水文地质勘察规范》(GB 50027）编制的。本章对影响半径 R 的概念作了修正，按照裘布依公式的假定条件，供水水文地质计算采用引用补给半径 R_y 代替原来的影响半径 R。根据工程实例，其预测的出水量精度可由以往的 100%～50%的误差减少到 20%以内。

8.2.6　对以往计算出的水文地质参数进行了分析、研究，结果表明 40 多年来用小口径勘探孔计算出的水文地质参数，来预测设计大口径生产井的出水量，无论是理论上还是计算方法上都不符合裘布依公式的理论，致使几乎有 80%的出水量超过允许误差。为此，根据《用单位出水量（q）计算渗透系数方法的研究》建技科字〔2001〕第 4 号科研成果，对第四系松散层单孔抽水试验，用单位出水量（q）法计算渗透系数和引用补给半径，预测取水构筑物的出水量并与实际出水量对比，通过 9 个工程实例验证性计算，其误差均小于 20%，能够满足铁路供水工程要求。该方法既符合裘布依公式的假定条件，又不需设观测孔，可缩短勘察周期降低勘察成本。

式（8.2.6—1）、式（8.2.6—2）是前苏联捷年鲍姆和格林

鲍姆的经验公式（《根据抽水的单位比涌水量计算岩石导水性和渗透系数的简化方法》，《水文地质工程地质译丛》1965 年第 3 期）。

将钻孔抽水试验资料建立抛物线方程式，求出水位降深 $s=1\,m$ 时的出水量，即为单位出水量 q，代入式（8.2.6—1）或式（8.2.6—2），便可求出渗透系数。利用计算出的渗透系数值，代入裘布依公式，即可求出引用补给半径。

式（8.2.6—3）为通过坐标原点的抛物线方程式。

8.2.7 行业标准《压水试验规程》(YS5216—2000）规定渗透系数 K 值不宜以压水试验成果进行换算，但当设计有要求时，可作为参考值按下列公式计算。

当试段底部距离隔水层的深度大于试段长度时

$$K=0.527\omega\cdot\lg\frac{0.66L}{r}\qquad\text{（说明 8.2.7—1）}$$

当试段底部距离隔水层的深度小于试段长度时

$$K=0.527\omega\cdot\lg\frac{1.32L}{r}\qquad\text{（说明 8.2.7—2）}$$

式中 K——渗透系数（m/d）；

ω——单位吸水量〔$L/(min\cdot m^2)$〕；

L——试段长度（m）；

r——钻孔半径（m）。

前苏联《水文地质手册》(1959 年列宁格勒版）有各种条件下的计算公式，现介绍如下以供参考。

（1）压水试验采用下列公式计算：

①承压含水层完整孔

二维流时

$$K=\frac{0.366Q\lg\dfrac{R_y}{r_0}}{Ms_0}\qquad\text{（说明 8.2.7—3）}$$

三维流时

$$K \approx \frac{0.16Q}{M\sqrt{r_0 s_0}} \qquad \text{(说明 8.2.7—4)}$$

式中 K——含水层的渗透系数（m/d）；

Q——压水期间的稳定水量（m^3/d）；

R_y——引用补给半径（m）；

r_0——过滤管半径（m）；

M——承压含水层厚度（m）；

s_0——压水钻孔水位高出静止水位的高度（m）。

②潜水含水层完整孔

二维流时

$$K = \frac{0.733Q\lg\dfrac{R_y}{r_0}}{h_0^2 - H^2} \qquad \text{(说明 8.2.7—5)}$$

三维流时

$$K = \frac{0.276Q}{\sqrt{r_0(h_0^3 - H^3)}} \qquad \text{(说明 8.2.7—6)}$$

式中 K——渗透系数（m/d）；

H——潜水含水层厚度（m）；

h_0——孔内水柱高度（m）。

③当向干燥地层中压水，渗透系数按下式计算：

$$K = 0.432\frac{Q}{h_0^2}\lg\frac{2h_0}{r_0} \qquad \text{(说明 8.2.7—7)}$$

式中符号意义同上。

适用条件：a. 过滤管下端远远高于地下水位，地层是均质的；

b. h_0 位于过滤管内，$h_0 = (25 \sim 100)d$。

④当向钻孔中某试验段压水时，可用下式计算渗透系数：

$$K = 0.525q\lg\frac{0.66L}{r_0} \qquad \text{(说明 8.2.7—8)}$$

式中 q——单位吸水量，即被钻穿段长 1 m 的和水头高 1 m 的

钻孔吸水量（L/min）；

L——试验段长度（m）；

其他符号意义同上。

适用条件：试验段位于被钻穿地层的中下部。

（2）当利用注水试验资料计算渗透系数时，采用下列公式：

①承压含水层完整孔：按式（说明 8.2.7—1）计算。

②承压含水层非完整孔：

$$K=0.366\frac{Q}{Ms_0}\left(\frac{1}{2\alpha}\left(2\lg\frac{4M}{r_0}-A\right)-\lg\frac{4M}{R_y}\right)$$

（说明 8.2.7—9）

式中 $\alpha=L/M$；

A——按下式确定：

$0.0000<\alpha<0.5900$，$A=0.7045-2.0539\lg\alpha$；

$0.5900\leqslant\alpha\leqslant0.9758$，$A=4.275\alpha-4.381\alpha^2$。

说明：压水试验亦可按此公式计算。

③潜水含水层完整孔：按式（说明 8.2.7—5）和式（说明 8.2.7—6）计算。

④潜水含水层非完整孔：

$$K=\frac{0.366Q\lg\dfrac{R_y}{r_0}}{h_0s_0}$$

（说明 8.2.7—10）

⑤向干燥地层的钻孔中注水，按式（说明 8.2.7—3）计算。

向钻孔中某试验段注水，按式（说明 8.2.7—4）计算。

8.3.1 潜水含水层给水度和承压含水层释水系数计算式（8.3.2—1）和式（8.3.2—2）引自前苏联 N·A·斯克巴兰诺维奇著《水文地质计算》，1960 年，莫斯科版。

潜水含水层给水度，当无单孔抽水试验资料以及野外或室内试验资料时，可利用下列经验式近似求得。

$$\mu=0.1\sqrt[3]{K}$$

（说明 8.3.1）

实践表明，潜水含水层给水度 μ 值与含水层渗透系数 K 具

有相关关系。早在20世纪60年代，前苏联水文地质专家H·H·БИНДЕМАН（宾杰曼）根据实践资料，就已得出潜水含水层给水度与渗透系数的关系，并给出如上关系式。

现列举5个工程实例对比如下：

（1）甘肃省天水市三十里堡籍河河漫滩第四系冲积含水层（砾石），用抽水试验方法获得渗透系数 $K=70\,m/d$，给水度 $\mu=0.171$。

代入式（说明8.3.1）后得 $\mu=0.183$，误差为7.3%。

（2）甘肃省天水市北道区渭河右岸二十里堡—社棠段河漫滩第四系冲积含水层（砾石），用抽水试验方法获得渗透系数 $K=177.80\,m/d$，给水度 $\mu=0.22$。

用经验式计算 $\mu=0.21$，误差为 -4.72%。

（3）甘肃省喜峪关市冲洪积扇（Q_3）中第四系冲积含水层（卵石），用抽水试验方法获得渗透系数 $K=120\,m/d$，给水度 $\mu=0.20$。

用经验式计算 $\mu=0.198$，误差为 -0.918%。

（4）日本佐藤隧道，室内试验，含水层渗透系数 $K=0.008\,64\,m/d$，给水度 $\mu=0.05$。

用经验式计算 $\mu=0.051$，误差为1.32%。

（5）兰新铁路兰州—武威段乌鞘岭隧道，通过三叠系砂页岩互层，根据抽水试验和物探资料，渗透系数 $K=0.006\,m/d$，$\mu=0.05$。

用经验式计算 $\mu=0.048$，误差为 -4%。

根据上述5个工程实例，经验式（说明8.3.1）误差介于7.3%～−0.918%间，即小于10%。此精度可以满足铁路水文地质勘察的要求，故介绍此式，以减少勘察费用和缩短勘察周期。

8.4.1 引用补给半径计算式（8.4.1—1）和式（8.4.1—2）是根据《供水水文地质勘察规范》(GB50027）编制的。

当采用单位出水量法即式（8.2.6—1）或式（8.2.6—2）计

算渗透系数时，可利用公式（8.2.1—1）或式（8.2.1—4）计算引用补给半径。

《单井水力学》(陈雨孙著）一书中，推导出了在特定水文地质条件地区布置勘探试验孔时，可超前获得引用补给半径 R_y 值的公式。介绍如下以供参考。

（1）在常水头补给的半无限含水层中：

$$s=\frac{Q}{2\pi KM}\ln\frac{R_y}{r_0} \qquad \text{（说明 8.4.1—1）}$$

$$R_y=2b$$

式中 b——抽水井至补给边界的距离（m）；

M——承压含水层厚度（m），当为潜水时 M 用 $\bar{h}=(H+h)/2$ 代替；

其余符号意义同上。

适用条件：潜水，边界为直线补给，当边界弯曲或水底堵塞时，R_y 变大。

（2）在有垂直渗漏或顶托补给及补给层水位不变的无限含水层中：

$$s=\frac{Q}{2\pi KM}\ln\frac{R_y}{r} \qquad \text{（说明 8.4.1—2）}$$

$$R_y=\frac{1.12}{\sqrt{\frac{K_0}{KMm_0}}}$$

式中 K_0——抽水层顶面或底面的相对隔水层的渗透系数(m/d)；

m_0——抽水层顶面或底面的相对隔水层的厚度（m）；

其他符号意义同式（说明 8.4.1—1）。

（3）在天然径流补给的无限潜水含水层中：

$$s=\frac{Q}{2\pi KM}\ln\frac{R_y}{r} \qquad \text{（说明 8.4.1—3）}$$

$$R_y=2.25\frac{\bar{h}}{i}$$

式中 i——潜水的稳定的天然水力坡度；

$\overline{h}$——抽水稳定后含水层的平均厚度(m),即$(H+h)/2$。

(4) 在两侧是常水头补给边界的条带状含水层中:

$$s=\frac{Q}{2\pi KM}\ln\frac{R_y}{r} \qquad \text{(说明 8.4.1—4)}$$

$$R_y=0.63L\sin\frac{\pi l}{L}$$

式中 l——抽水孔至近侧边界的距离 (m);

L——条带状含水层的宽度 (m);

其他符号意义同式 (说明 8.4.1—1)。

本式适用条件:同式 (说明 8.4.1—1)。

(5) 在一侧是隔水层边界另一侧是常水头边界的条带状含水层中:

$$s=\frac{Q}{2\pi KM}\ln\frac{R_y}{r} \qquad \text{(说明 8.4.1—5)}$$

$$R_y=1.27L\operatorname{cot}\frac{\pi l}{2L}$$

式中 l——抽水孔至近侧边界的距离 (m);

L——条带状含水层的宽度;

其余符号意义同式 (8.4.1—1)。

本式适用条件:同式 (8.4.1—1)。

8.5.1 式 (8.5.1) 是根据《供水水文地质勘察规范》(GB 50027) 编制的。

8.5.2 当没有水位观测资料时,可按表 8.5.2 查得降水入渗系数经验值。

表 8.5.2 引自《供水水文地质手册》(地质出版社) 第二册。

使用表 8.5.2 时,应注意下列几个问题,见说明表 8.5.2。

(1) 岩石的坚硬程度,应按《铁路工程岩土分类标准》(TB 10077) 重新划分。

(2) 原表中岩溶等级划分为 5 级,为与《铁路工程不良地质勘察规程》(TB 10027) 相对应,说明表 8.5.2 划分为强烈发育、中等发育、弱发育、微弱发育 4 级。将原表中的"岩溶化较强的灰岩"和

"岩溶化极强的灰岩"两级合并为强烈发育，其余的相对应。

说明表 8.5.2　鄂、湘、桂部分地区岩溶化灰岩降水入渗系数

序号	图幅名称	岩溶发育程度	含水岩组	降水入渗系数 α	备注
1	咸丰	强烈发育	P_1	0.35~0.5	
			T_{1j}，T_{1d}	0.25~0.45	
			O_{1h}，C_{1q}	0.35~0.45	
		中等发育	P_2，T_{2d}	0.10~0.20	
2	永顺	强烈发育	P_2，T_{1d}	0.80	八面山向斜
			T_{1d}，P_{1q}	0.55~0.679	洛塔向斜
			T_{1d}	0.70	龙家寨向斜
3	五峰	强烈发育	P_{1q}，P_{1m}，P_{2c}，T_{1d}	0.4~0.6	野三关、大支坪
4	恩施	强烈发育	T_{1d}，T_{1j}	0.7~0.9	金山子向斜
5	忠县	强烈发育	T_{1d}，T_{1j}	0.562~0.679	齐岳山
6	桑植	强烈发育	T_{1j}，P_1，T_{1d}	0.45~0.59	
		中等发育	C_{2+3}，O_{2+3}	0.30	
7	吉首	强烈发育	P_1，O_1	0.6	向斜构造富水区
		中等发育	C_3	0.20~0.40	向斜构造富水亚区
8	巴东	强烈发育	P，T_{1d}，T_{1j}	0.54~0.72	锯居湾、马家湾
		中等发育	T_{1j}，T_{1d}，P_{2c}	0.32~0.40	青林坝、扮仓坪
9	融安	强烈发育	C_{2+3}	0.56~0.63	
		中等发育		0.34~0.39	
		弱发育		0.14~0.22	
10	柳州	强烈发育	D_{2+3}	0.45	峰丛洼地（谷地）
		中等发育		0.40	峰林谷地
		弱发育		0.21	孤峰平原
11	宜山	强烈发育	C_{2+3}，P_1	0.30~0.45	峰丛洼地（谷地）

（3）岩溶区降水入渗系数，在我国南方有些地区已超过0.5，据国土资源部地调项目成果（中科院桂林研究所）《区域水

文地质普查报告》(1:20 万)，见说明表 8.5.2。

从说明表 8.5.2 可看出岩溶强烈发育地区大部分降水入渗系数大于 0.5，故勘察时应充分搜集既有资料或进行观测、试验取得较为准确的降水入渗系数值。

9.1.3 取水构筑物的出水量计算，是为了进行水源方案比选，应根据水源地水文地质条件、水文地质参数和用水量等，选择合适的公式进行计算比较。取水构筑物的出水量，应小于地下水补给量。取水构筑物的出水量，其最终单位应使用 m^3/h，并按机械工作时间（h）评价能否满足日用水量要求。对于潜水水位，应采用年水位变化幅度的最低水位。各种取水构筑物出水量可参照以下公式计算：

1. 大口井

(1) 潜水完整井，井壁进水：

$$Q=\frac{\pi K(H^2-h^2)}{\ln\frac{R_y}{r}} \qquad \text{(说明 9.1.3—1)}$$

式中 Q——井出水量（m^3/d）；

K——渗透系数（m/d）；

H——潜水含水层厚度（m）；

H——井内水柱高度（m），$h=H-s$；

s——水位降深（m）；

R_y——引用补给半径（m）；

r——大口井半径（m）。

(2) 潜水非完整井，井底进水：

$$Q=\frac{6.28K\cdot r\cdot s}{1.57+2\arcsin\frac{r}{m_0+\sqrt{m_0^2+r^2}}+1.185\frac{r}{m_0}\lg\frac{R_y}{4H}}$$

(说明 9.1.3—2)

式中 m_0——井底至下伏隔水层距离（m）；

其他符号意义同式（说明 9.1.3—1）。

适用条件：$1.0>\frac{r}{m_0}>0.5$。

$$Q=\frac{6.28K\cdot r\cdot s}{1.57+\frac{r}{m_0}\left(1+1.185\lg\frac{R_y}{4m_0}\right)}$$

（说明 9.1.3—3）

式中符号意义同式（说明 9.1.3—1）。

适用条件：$r/m_0\leqslant 0.5$。

（3）潜水非完整井、井底和井壁同时进水：

$$Q=\pi\cdot K\cdot s\left[\frac{2h_0-s}{2.3\lg\frac{R_y}{r}}+\frac{2r}{1.57+\frac{r}{m_0}\left(1+1.185\lg\frac{R_y}{4m_0}\right)}\right]$$

（说明 9.1.3—4）

式中 h_0——静止水位至井底的高度（m）；

其余符号意义同式（说明 9.1.3—2）。

适用条件：

①含水层较厚（10～15 m）；

②m_0 较小时。

（4）承压水完整井，井壁进水：

$$Q=\frac{2\pi\cdot K\cdot M\cdot s}{\ln\frac{R_y}{r}}$$

（说明 9.1.3—5）

式中 M——承压含水层厚度（m）；

其他符号意义同式（说明 9.1.3—1）。

（5）承压水非完整井，井底进水：

$$Q=\frac{6.28K\cdot r\cdot s}{1.57+2\arcsin\frac{r}{M+\sqrt{M^2+r^2}}+1.185\frac{r}{M}\lg\frac{R_y}{4M}}$$

（说明 9.1.3—6）

式中符号意义同式（说明 9.1.3—5）。

适用条件：$(r/M)>0.5$。

$$Q=\frac{6.28K\cdot r\cdot s}{1.57+\frac{r}{M}\left(1+1.185\lg\frac{R_y}{4M}\right)}\qquad\text{（说明 9.1.3—7）}$$

式中符号意义同式（说明 9.1.3—6）。

适用条件：$(r/M)<0.5$。

2. 结合井（单管）

（1）承压水完整式

$$Q=\xi_1\left[\frac{2\pi\cdot K\cdot r\cdot s}{\frac{\pi}{2}+2\arcsin\frac{r}{M+\sqrt{M^2+r^2}}+0.515\frac{r}{M}\ln\frac{R_y}{4M}}+\frac{2\pi\cdot K\cdot M\cdot s}{\ln\frac{R_y}{r_0}}\right]\qquad\text{（说明 9.1.3—8）}$$

$$\xi_1=\frac{1}{1+\frac{\ln(R_y/r)}{\ln(R_y/r_0)}}$$

（2）承压水非完整式：

$$Q=\xi_2\left[\frac{2\pi\cdot K\cdot r\cdot s}{\frac{\pi}{2}+2\arcsin\frac{r}{M+\sqrt{M^2+r^2}}+0.515\frac{r}{M}\ln\frac{R_y}{4M}}+\frac{2\pi\cdot K\cdot M\cdot s}{\frac{M}{2L}\left(2\ln\frac{4M}{r_0}-A\right)-\ln\frac{4M}{R_y}}\right]\qquad\text{（说明 9.1.3—9）}$$

$$\xi_2=\frac{1}{1+\frac{\ln(R_y/r)}{\frac{M}{2L}\left(2\ln\frac{4M}{r_0}-A\right)-\ln\frac{4M}{R_y}}}$$

式中 Q——结合井出水量（m^3/d）；

K——含水层渗透系数（m/d）；

r——大口井半径（m）；

r_0——管井过滤器半径（m）；

R_y——引用补给半径（m）；

L——管井过滤器长度（m）；

M——承压含水层厚度（m）；

A——系数。

系数 A 按下式计算：

$L/M=0.00\sim0.59$ 时，$A=0.7045-2.05539\lg(L/M)$

$L/M=0.6000\sim0.5798$ 时，$A=4.275L/M-4.381(L/M)^2$

（3）潜水完整式

$$Q=\xi_3\left[\frac{2\pi\cdot K\cdot r\cdot s}{\frac{\pi}{2}+2\arcsin\frac{r}{m+\sqrt{m^2+r^2}}+0.515\frac{r}{m}\ln\frac{R_y}{4H}}+\frac{2\pi\cdot K\cdot m\cdot s}{\ln\frac{R_y}{r_0}}\right] \qquad (9.1.3\text{—}10)$$

$$\xi_3=\frac{1}{1+\frac{\ln(R_y/r)}{\ln(R_y/r_0)}}$$

（4）潜水非完整式

$$Q=\xi_4\left[\frac{2\pi\cdot K\cdot r\cdot s}{\frac{\pi}{2}+2\arcsin\frac{r}{m+\sqrt{m^2+r^2}}+0.515\frac{r}{m}\ln\frac{R_y}{4H}}+\frac{2\pi\cdot K\cdot m\cdot s}{\frac{m}{2L}\left(2\ln\frac{4m}{r_0}-A\right)-\ln\frac{4m}{R_y}}\right] \qquad (\text{说明 } 9.1.3\text{—}11)$$

$$\xi_4=\frac{1}{1+\frac{\ln(R_y/r)}{\frac{m}{2L}\left(2\ln\frac{4m}{r_0}-A\right)-\ln\frac{4m}{R_y}}}$$

式中　H——潜水含水层厚度（m）；

m——大口井底至含水层底板的厚度（m）；

其他符号意义同式（说明 9.1.3—9）。

（5）半理论半经验式

$$Q=\frac{1.76K\cdot L\cdot s}{\ln\frac{2R_y\cdot L}{r(R_y+L)}} \qquad (\text{说明 } 9.1.3\text{—}12)$$

式中符号意义同式（说明 9.1.3—9）。

适用条件：

①承压水、潜水；

②完整式、非完整式；

③含水层底无确切资料；

④$r_0=0.15\,\mathrm{m}$。

3. 辐射井

（1）集取地下水的辐射井

①潜水含水层

$$Q=9.3i^{0.3}K\cdot L\cdot s_0\div\left\{\lg\frac{H^4(L^2+2L\sqrt{16Z_1^2+L^2}+16Z_1^2+L^2)}{38Z_1^2r_0^2\left(\frac{Z_1^2}{4}+L^2\right)}+\lg\left[\left(\operatorname{arsinh}\frac{\pi\cdot L}{2H}-\cos\frac{\pi\cdot Z_1}{4H}\right)\left(\operatorname{arsinh}\frac{\pi L}{2H}-\cos\frac{1.23\pi\cdot r_0}{H}\right)\right]\right\}$$

（说明 9.1.3—13）

式中 Q——辐射井出水量（$\mathrm{m^3/d}$）；

i——滤水管（辐射管）根数；

K——含水层渗透系数（m/d）；

L——辐射管长度（m）；

s_0——大口井内水位降深（m）；

H——潜水含水层厚度（m）；

Z_1——滤水管中心至隔水层底板距离（m）；

r_0——滤水管半径（m）；

arsinh——反双曲正弦函数，查表或按下式计算：

$$\operatorname{arsinh}z=\ln\left(z+\sqrt{z^2+1}\right)$$

$$Q=1.366K\frac{H^2-h^2}{\lg\frac{R_y}{0.75L}}n\cdot\alpha$$

（说明 9.1.3—14）

式中　Q——辐射井出水量（m^3/d）；

n——辐射管根数；

a——系数，一般按 $\alpha=1.609/n^{0.6864}$ 计算；

H——含水层厚度（m）；

h——动水位以下含水层厚度（m）。

适用条件：$L=30\sim50$ m。

②承压含水层

$$Q=8.5i^{0.3}K\cdot L\cdot s_0\div\left\{\lg\frac{M^4(L^2+2L\sqrt{16Z_1^2+L^2}+16Z_1^2+L^2)}{38Z_1^2r_0^2\left(\frac{Z_1^2}{4}+L^2\right)}+\lg\left[\left(\operatorname{arsinh}\frac{\pi\cdot L}{2M}-\cos\frac{\pi\cdot Z_1}{4M}\right)\left(\operatorname{arsinh}\frac{\pi\cdot L}{2M}-\cos\frac{1.23\pi\cdot r_0}{M}\right)\right]\right\}$$

（说明 9.1.3—15）

式中　M——承压含水层厚度（m）；

其他符号意义同式（说明 9.1.3—13）。

$$Q=\frac{2.73K\cdot L\cdot s\cdot\beta}{\lg V_r+2\mu\lg V_m}n\cdot\Psi \qquad \text{（说明 9.1.3—16）}$$

式中　V_r——系数；

μ——系数，按说明表 9.1.3—1 确定；

V_m——系数；

β——辐射管埋藏系数，按说明表 9.1.3—2 确定；

n——辐射管根数；

Ψ——辐射管互阻系数，按说明表 9.1.3—3 确定；

r——辐射管半径（m）；

M——含水层厚度（m）；

其他符号意义同上。

系数 V_r 按下式计算：

$$V_r = \frac{L}{1.366r} \cdot \sqrt{\frac{2R_y - L}{2R_y + L}}$$

系数 V_m 按下式计算：

$$V_m = \frac{L + \sqrt{L^2 + 4M^2}}{2M} \cdot \sqrt{\frac{2R_y - L}{2R_y + L}}$$

说明表 9.1.3—1　μ 值计算

L/M \ $R_y/2M$	≤15	>15
10	3.6975 + 1.1576lg(R_y/2M)	4.5714 + 0.0686($R_y/2M$)
6	3.1913 + 0.9539lg($R_y/2M$)	3.6857 + 0.0543($R_y/2M$)
4	2.4973 + 0.6981lg($R_y/2M$)	3.5714 + 0.0286($R_y/2M$)
1	2.0629 + 0.5124lg($R_y/2M$)	2.5714 + 0.0286($R_y/2M$)
0.5	1.9848 + 0.5267lg($R_y/2M$)	2.5143 + 0.0257($R_y/2M$)

说明表 9.1.3—2　β 值计算

L/M \ Z_0/M	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
1.0	*0.820*	*0.95*	*0.98*	*1.00*	*0.98*	*0.95*	*0.82*
2.5	0.825	0.90	0.96		0.96	0.90	0.825
5.0	0.900	0.95	1.00		1.00	0.95	0.90
7.5	0.910	0.91	0.98			0.91	0.98
10.0	0.930	0.98				0.98	0.93

说明表 9.1.3—3　辐射管互阻系数 Ψ($n=4$、$n=6$)

$R_y/2M$	r/M	L/M									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	1/370	0.54 (0.42)	0.56 (0.43)	0.58 (0.45)	0.61 (0.46)	0.62 (0.47)	0.65 (0.48)	0.66 (0.50)	0.67	0.68	0.69
	1/150	0.50 (0.38)	0.53 (0.40)	0.56 (0.41)	0.58 (0.43)	0.60 (0.45)	0.64 (0.46)	0.65 (0.47)	0.66 (0.50)	0.67	0.68
	1/37	0.45 (0.34)	0.48 (0.37)	0.50 (0.40)	0.53 (0.42)	0.56 (0.44)	0.60 (0.45)	0.62 (0.46)	0.65 (0.48)	0.66 (0.49)	0.67 (0.50)

续说明表 9.1.3—2

$R_y/2M$	r/M	L/M									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	1/370	0.51 (0.34)	0.52 (0.35)	0.53 (0.37)	0.55 (0.38)	0.56 (0.40)	0.57 (0.40)	0.58 (0.43)	0.60 (0.44)	0.62 (0.45)	0.63 (0.46)
	1/150	0.47 (0.32)	0.48 (0.34)	0.50 (0.35)	0.53 (0.36)	0.55 (0.38)	0.56 (0.39)	0.57 (0.41)	0.59 (0.42)	0.61 (0.41)	0.62 (0.44)
	1/37	0.43 (0.27)	0.44 (0.29)	0.46 (0.32)	0.50 (0.34)	0.52 (0.36)	0.54 (0.37)	0.56 (0.39)	0.58 (0.40)	0.60 (0.41)	0.61 (0.42)
25	1/370	0.47 (0.32)	0.49 (0.34)	0.52 (0.36)	0.54 (0.38)	0.56 (0.40)	0.57 (0.42)	0.58 (0.43)	0.60 (0.44)	0.62 (0.45)	0.63 (0.46)
	1/150	0.44 (0.28)	0.46 (0.32)	0.50 (0.34)	0.52 (0.36)	0.53 (0.38)	0.55 (0.40)	0.57 (0.41)	0.59 (0.42)	0.61 (0.33)	0.62 (0.44)
	1/37	0.41 (0.26)	0.43 (0.28)	0.46 (0.31)	0.48 (0.33)	0.51 (0.35)	0.53 (0.37)	0.56 (0.38)	0.57 (0.40)	0.59 (0.41)	0.60 (0.42)
50	1/370	0.46 (0.30)	0.48 (0.31)	0.50 (0.33)	0.53 (0.34)	0.54 (0.36)	0.56 (0.38)	0.58 (0.41)	0.61	0.62	0.63
	1/150	0.44 (0.28)	0.46 (0.30)	0.47 (0.32)	0.50 (0.34)	0.53 (0.35)	0.54 (0.37)	0.56 (0.39)	0.60 (0.41)	0.61	0.62
	1/37	0.39 (0.24)	0.43 (0.27)	0.45 (0.30)	0.47 (0.32)	0.50 (0.34)	0.52 (0.36)	0.54 (0.37)	0.57 (0.39)	0.59 (0.41)	0.60

注：〈 〉内数据为 $n=6$。

（2）集取河流渗透水的辐射井

集取河流渗透水的辐射井，根据河水浑浊程度和辐射管埋藏深度，其水量应考虑 0.3～0.8 的河底淤塞系数。计算式如下：

$$Q = q \cdot n \cdot \Psi \qquad \text{（说明 9.1.3—17）}$$

式中 Q——辐射井出水量（m^3/d）；

q——单根辐射管出水量（m^3/d），按式（说明 9.1.3—18）计算；

n——辐射管根数；

Ψ——辐射管互阻系数，按说明表 9.1.3—4 确定；

N_0——系数，按式（说明 9.1.3—19）确定；

H——含水层厚度（m）；

Z_0——河床底至辐射管的距离（m）；

d——辐射管外径，$b=0.6125d$；

其他符号意义同上。

q 值按下式计算：

$$q=\frac{K\cdot s\cdot L}{0.37\lg N_0} \qquad \text{(说明 9.1.3—18)}$$

系数 N_0 按下式确定：

$$N_0=\frac{4H\cdot Z_0\cdot L\left[\sqrt{L^2+16(H-Z_0)^2}+L\right]}{b(H-Z_0)\left(\sqrt{L^2+16Z_0^2}+L\right)\left(\sqrt{L^2+16H^2}+L\right)}$$

(说明 9.1.3—19)

说明表 9.1.3—4　辐射管互阻系数 Ψ 值

θ	b/H	L/H								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
30° $n=2$	1/50	0.67 (0.45)	0.73 (0.56)	0.80 (0.64)	0.83 (0.72)	0.86 (0.77)	0.88 (0.82)	0.89 (0.85)	0.90 (0.87)	0.90 (0.89)
	1/200	0.69 (0.54)	0.76 (0.64)	0.82 (0.71)	0.86 (0.78)	0.88 (0.83)	0.89 (0.85)	0.90 (0.88)	0.91 (0.90)	0.91 (0.90)
	1/400	0.73 (0.57)	0.80 (0.67)	0.84 (0.74)	0.88 (0.80)	0.90 (0.85)	0.91 (0.87)	0.92 (0.90)	0.94 (0.92)	0.95 (0.93)
60° $n=2$	1/50	0.72 (0.56)	0.81 (0.65)	0.87 (0.74)	0.93 (0.80)	0.96 (0.86)	0.97 (0.90)	0.97 (0.92)	0.97 (0.93)	(0.93)
	1/200	0.79 (0.62)	0.85 (0.71)	0.87 (0.79)	0.95 (0.85)	0.97 (0.90)	0.98 (0.93)	0.99 (0.95)	0.99 (0.96)	(0.96)
	1/400	0.82 (0.65)	0.87 (0.74)	0.91 (0.86)	0.96 (0.90)	0.98 (0.93)	1.00 (0.96)	1.00 (0.98)	1.00 (0.99)	(0.99)
90° $n=2$	1/50	0.77 (0.52)	0.84 (0.65)	0.88 (0.77)	0.92 (0.85)	0.94 (0.89)	0.96 (0.91)	0.97 (0.93)	0.99 (0.94)	(0.94)
	1/200	0.81 (0.61)	0.88 (0.72)	0.95 (0.80)	0.97 (0.86)	0.99 (0.91)	0.99 (0.93)	0.99 (0.95)	0.99 (0.96)	(0.96)
	1/400	0.84 (0.66)	0.90 (0.74)	0.94 (0.83)	0.97 (0.88)	0.99 (0.93)	1.00 (0.95)	1.00 (0.97)	1.00 (0.98)	(0.98)

注：（　）内为 $n=3$。

$$Q=\frac{2\pi\cdot K\cdot s\cdot L}{\lg U_r+\frac{n-1}{2}\lg U_\beta}\cdot n \qquad \text{(说明 9.1.3—20)}$$

式中　H、Z_0、K、s、L、n 符号意义同上。

U_r 按下式计算：

$$U_r=\frac{3H\cdot Z_0\cdot L}{r(H-Z_0)(L+\sqrt{L^2+16H^2})}$$

U_β 按下式计算：

$$U_\beta=1+\frac{16H^2}{L^2\sin^2\theta}$$

式中　r——辐射管半径；

θ——辐射管之间的夹角（°）。

（3）集取河流岸边地下水的辐射井

集取河流岸边地下水的辐射井，其出水量可按下列公式计算，其淤积系数可按 0.3~0.8 选择：

$$Q=\beta\frac{2\pi\cdot K\cdot s\cdot L}{f(U_\pi)}\Psi\cdot n \quad （说明 9.1.3—21）$$

式中　β——埋深系数，根据 L/H 和 Z_0/H 的比值，按说明表 9.1.2—2 确定（表中 $L/M=L/H$，$Z_0/M=Z_0/H$）。

$f\ (U_\pi)$ 按下式计算：

$$f(U_\pi)=\ln\left(\frac{0.74L}{r}\sqrt{\frac{2R_y-L}{2R_y+L}}\right)+2\mu\ln U_n$$

U_n 按下式计算：

$$U_n=\frac{L+\sqrt{L^2+4H^2}}{2H}\sqrt{\frac{2R_y-L}{2R_y+L}}$$

式中　μ——系数，根据说明表 9.1.3—5 确定：

R_y——引用补给半径，自辐射井中心至水边线的 2 倍距离（m）；

Ψ——辐射管互阻系数，按说明表 9.1.3—3 确定；

K、s、L、H、r 符号意义同上。

（4）同时集取岸边地下水和河流渗透水的辐射井

说明表 9.1.3—5　确定辐射管互阻系数 μ 值

$R_y/2H$ \ L/H	0.5	1	4	6	10
10	2.2	2.8	3.2	3.8	4.8
20	3.1	3.5	4.2	5.0	6.0
30	3.3	4.2	4.6	5.7	6.9
40	3.9	4.4	5.0	6.1	7.5
50	3.9	4.4	5.1	6.3	8.0

$$Q = 2\pi \cdot K \cdot s \left\{ \frac{L_1 n_1}{\ln U_r + \frac{n_1 - 1}{2} \ln U_\beta} + \frac{L_2 n_2}{f(U_\pi)} \beta \Psi \right\}$$

（说明 9.1.3—22）

式中　n_1——深入河床下部的辐射管根数；

n_2——岸边辐射管根数；

L_1——深入河床下部的辐射管长度（m）；

L_2——岸边辐射管长度（m）；

Ψ——辐射管互阻系数，按说明表 9.1.2—3 确定；

其他符号意义同上。

式（说明 9.1.3—13）和式（说明 9.1.3—15）引自铁三院李顺宝论文《辐射井产水量的计算》(《水利学报》1965 年 4 月第二期第 45～49 页)。其余公式摘自《铁路工程设计技术手册·给水排水》36～39 页，铁道部第四设计院主编，1977，人民铁道出版社。

工程实例：据《水利学报》1965 年 4 月第 2 期，第 45～49 页资料，东北某地一大口井，出水量 600 m^3/d，含水层渗透系数 $K \approx 40$ m/d，$R = 100$ m，后于井内等距打入 14 根内径为 50 mm 长度为 10 m 的钢制过滤管，最大出水量 10 300 m^3/d，降落漏斗半径超过 500 m，水文地质和抽水试验资料如下：

0.00～1.06 m　　表土砂；

1.06～3.34 m　　黑黏土；
3.34～5.33 m　　细　砂；
5.33～7.59 m　　黄　土；
7.59～9.71 m　　砂黏土；
9.71～14.70 m　　砾　砂；
14.70 m 以下　　黏土质隔水层。

地下水位2.89m，辐射管长度 $L=10$ m，辐射管距下部隔水层 $Z=2.59$ m，辐射管距上部水位 9.31 m，大口井内径 3 m，井口高出地面 0.8 m。

说明表 9.1.3—6　公式计算结果与实际抽水试验对比

大口井内水位降深值 s_0(m)	1.7	2.3	4.1	8.0
按式(说明 9.1.3—15)计算的出水量 Q(m^3/d)	2213	2994	5337	10414
实际出水量 Q(m^3/d)	2000	3000	5000	9500
误差(%)	9.16	-0.20	6.31	8.78

4. 渗渠

(1) 当在潜水含水层内设计完整式单面进水渗渠时，其出水量可按下式计算：

$$Q = L \cdot K \frac{H^2 - h^2}{2R_y} \qquad \text{(说明 9.1.3—23)}$$

若设计双面进水渗渠时，其出水量可按下式计算：

$$Q = L \cdot K \frac{H^2 - h^2}{R_y} \qquad \text{(说明 9.1.3—24)}$$

式中　Q——渗渠出水量（m^3/d）；

L——渗渠长度（m）；

h——动水位至隔水底板的高度（m）。

适用条件：地下水位一般小于 2～3 m，含水层深度一般小于 3～5 m；一般垂直地下水流向布置。

(2) 当在水体下部冲积含水层中设计渗渠时，其出水量可按下式计算：

$$Q=\alpha\cdot L\cdot K\frac{H_y-H_0}{A}\qquad(\text{说明 }9.1.3\text{—}25)$$

式中 α——淤塞系数，根据水体浑浊程度，按0.3、0.6、0.8取值；

H_y——水体水面至集水管顶部的距离（m）；

H_0——集水井内水位对集水管口所施水压，一般取 $H_0=0.5\sim1.0$ m，当集水管内为大气压力时，$H_0=0$。

当非完整式时

$$A=0.37\lg\left\{\tan\left(\frac{\pi}{8}\cdot\frac{4h-d}{T}\right)\cot\left(\frac{\pi}{8}\cdot\frac{d}{T}\right)\right\}$$

当完整式时

$$A=0.73\lg\cot\left(\frac{\pi}{8}\cdot\frac{d}{T}\right)$$

式中 d——集水管直径（m）；

T——自水体底部计起的含水层厚度（m）；

h——河床底至集水管底距离（m）。

5. 管井

（1）设计在潜水含水层中的管井出水量可按下列公式计算：

①完整式：按式（说明 9.1.3—1）计算。

②非完整式：当 $h>150r$、$L/h>0.1$ 时，可用下式计算：

$$Q=\frac{\pi\cdot K\cdot(H^2-h^2)}{\ln\frac{R_y}{r}+\frac{\overline{h}-L}{L}\ln\frac{1.12\overline{h}}{\pi r}}\qquad(\text{说明 }9.1.3\text{—}26)$$

式中 Q——管井出水量（m^3/d）；

$\overline{h}$——$\overline{h}=(H+h)/2$；

L——过滤器长度（m）；

r——过滤器半径（m）。

适用条件：

①单井；

②非完整式时，过滤器位置可以在含水层的上、中或下部。

（2）设计在承压含水层中的管井出水量可按下列公式计算：

①完整式：按式（说明 9.1.3—5）计算。

②非完整式：当 $M>150r$、$L/M>0.1$ 时，可用下式计算：

$$Q=\frac{\pi\cdot K\cdot M\cdot s}{\ln\frac{R_y}{r}+\frac{M-L}{L}\ln\frac{1.12M}{\pi r}} \qquad \text{（说明 9.1.3—27）}$$

式中 M——承压含水层厚度（m）；

s——井内水位降深（m）。

适用条件：

①单井；

②非完整式时，过滤器位置可以在含水层的上、中或下部。

（3）当在大厚度含水层中分段取水时，应符合下列要求：

①各井设计的出水量相同；

②各井在平面上的布置或呈等边三角形或呈直线形，井距相同（一般 3～5 m）；

③各井的结构相同（如 r、L 等）；

④各井过滤器在垂直方向上的间距相同（1 号井过滤器之底部至 2 号井过滤器之顶部，或 2 号井过滤器之底部至 3 号过滤器之顶部，一般 5～10 m）。

（4）各井在非干扰情况下的水位降深值可按下列公式计算：

承压水

$$s_0=\frac{Q}{2\pi KM}\left(\ln\frac{R_y}{r}+\frac{M-L}{L}\ln\frac{1.12M}{\pi r}\right) \qquad \text{（说明 9.1.3—28）}$$

潜水

$$s_0=\frac{Q}{2\pi Kh}\left(\ln\frac{R_y}{r}+\frac{\overline{h}-L}{L}\ln\frac{1.12\overline{h}}{\pi r}\right) \qquad \text{（说明 9.1.3—29）}$$

式中 s_0——非干扰情况下单井工作时的水位降深值（m）；

Q——单井出水量（m^3/d）；

r——过滤器外径（m）；

$\overline{h}$——潜水含水层在天然状态下的厚度(H)和抽水稳定后含水层厚度(h)之平均值(m)，即 $\overline{h}=(H+h)/2$。

（5）各井同时抽水在干扰情况下的累积水位降深值可按下列

公式计算：

$$\sum s_1 = s_1 + s_{1-2} + s_{1-3}, s_1 = \frac{Q_1}{2\pi KL_1}\ln\frac{0.66L_1}{r}$$

$$\sum s_2 = s_2 + s_{2-1} + s_{2-3}, s_2 = \frac{Q_2}{2\pi KL_2}\ln\frac{0.66L_2}{r}$$

$$\sum s_3 = s_3 + s_{3-1} + s_{3-2}, s_3 = \frac{Q_3}{2\pi KL_3}\ln\frac{0.66L_3}{r}$$

（说明 9.1.3—30）

$$s_{1-2} = \frac{Q_2}{4\pi KL_2}\left(\text{arsinh}\frac{c_1 - c_2}{r_{1-2}} + \text{arsinh}\frac{c_2 + L_2 - c_1}{r_{1-2}} + \text{arsinh}\frac{c_1 + c_2 + L_2}{r_{1-2}} - \text{arsinh}\frac{c_2 + c_1}{r_{1-2}}\right)$$

$$s_{1-3} = \frac{Q_3}{4\pi KL_3}\left(\text{arsinh}\frac{c_1 - c_3}{r_{1-3}} + \text{arsinh}\frac{c_3 + L_3 - c_1}{r_{1-3}} + \text{arsinh}\frac{c_1 + c_3 + L_3}{r_{1-3}} - \text{arsinh}\frac{c_3 + c_1}{r_{1-3}}\right)$$

$$s_{2-1} = \frac{Q_1}{4\pi KL_1}\left(\text{arsinh}\frac{c_2 - c_1}{r_{1-2}} + \text{arsinh}\frac{c_1 + L_1 - c_2}{r_{1-2}} + \text{arsinh}\frac{c_2 + c_1 + L_1}{r_{1-2}} - \text{arsinh}\frac{c_1 + c_2}{r_{1-2}}\right)$$

$$s_{2-3} = \frac{Q_3}{4\pi KL_3}\left(\text{arsinh}\frac{c_2 - c_3}{r_{2-3}} + \text{arsinh}\frac{c_3 + L_3 - c_2}{r_{2-3}} + \text{arsinh}\frac{c_2 + c_3 + L_3}{r_{2-3}} - \text{arsinh}\frac{c_3 + c_2}{r_{2-3}}\right)$$

$$s_{3-1} = \frac{Q_1}{4\pi KL_1}\left(\text{arsinh}\frac{c_3 - c_1}{r_{1-3}} + \text{arsinh}\frac{c_1 + L_1 - c_3}{r_{1-3}} + \text{arsinh}\frac{c_3 + c_1 + L_1}{r_{1-3}} - \text{arsinh}\frac{c_1 + c_3}{r_{1-3}}\right)$$

$$s_{3-2} = \frac{Q_2}{4\pi KL_2}\left(\text{arsinh}\frac{c_3 - c_2}{r_{2-3}} + \text{arsinh}\frac{c_2 + L_2 - c_3}{r_{2-3}} + \text{arsinh}\frac{c_3 + c_2 + L_2}{r_{2-3}} - \text{arsinh}\frac{c_2 + c_3}{r_{2-3}}\right)$$

式中　Q_1, Q_2, Q_3——各井的出水量（m^3/d）；

c_1——1 号井过滤器顶端至上部静止水位的距离（m）；

c_2——2 号井过滤器顶端至上部静止水位的距离（m）；

c_3——3 号井过滤器顶端至上部静止水位的距离（m）；

L_1, L_2, L_3——各井过滤器长度（m）；

r_{1-2}——1 号井至 2 号井的距离（m）；

r_{1-3}——1 号井至 3 号井的距离（m）；

r_{2-3}——2 号井至 3 号井的距离（m）；

$\sum s_1$——1 号井的累积水位降深值（m）；

$\sum s_2$——2 号井的累积水位降深值（m）；

$\sum s_3$——3 号井的累积水位降深值（m）；

s_{1-2}——2 号井对 1 号井的水位降深影响值（m）；

s_{1-3}——3 号井对 1 号井的水位降深影响值（m）；

s_{2-1}——1 号井对 2 号井的水位降深影响值（m）；

s_{2-3}——3 号井对 2 号井的水位降深影响值（m）；

s_{3-1}——1 号井对 3 号井的水位降深影响值（m）；

s_{3-2}——2 号井对 3 号井的水位降深影响值（m）。

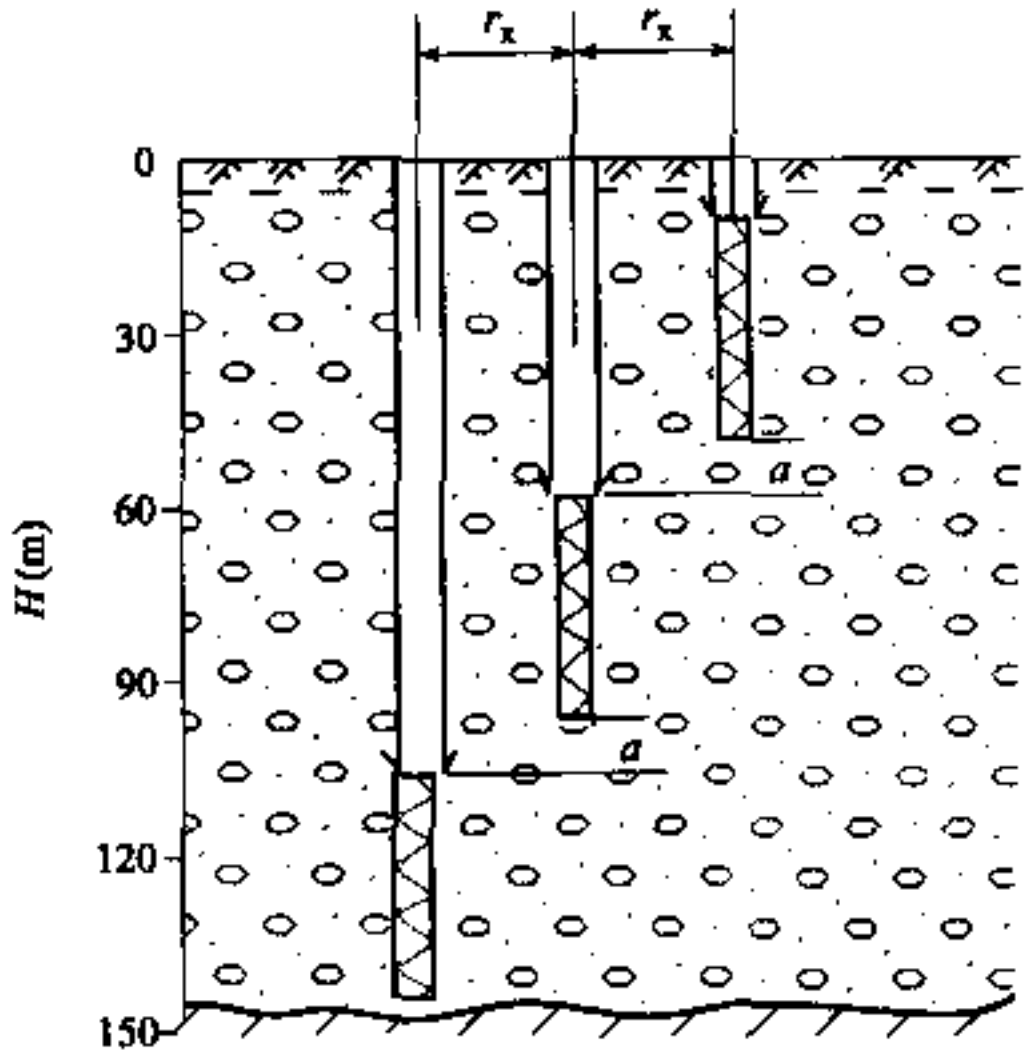
分段取水井组的配置如说明图 9.1.3—1 所示。

三个相互影响的不完整井组计算，见说明图 9.1.3—2。

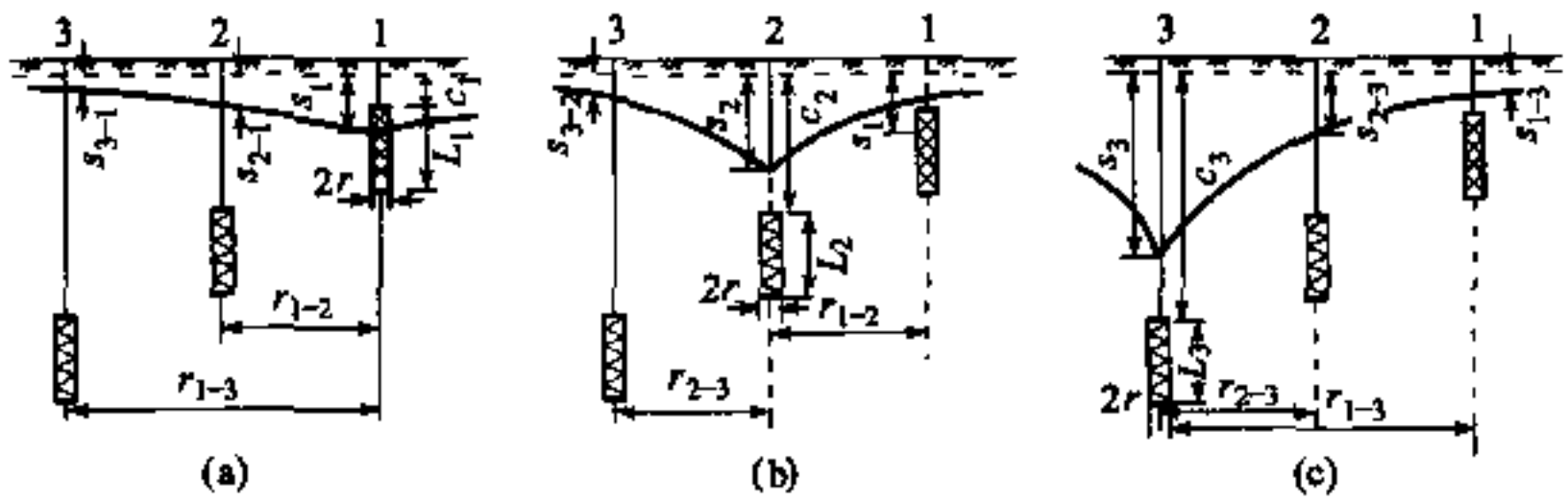
（6）当多井取水，在平面上不规则布置干涉井时，各井的水位降深 s、引用补给半径 R_y 相等，其单井出水量可按下列公式计算：

①完整井

承压水



说明图 9.1.3—1　分段取水井组的配置



说明图 9.1.3—2　三个相互影响的不完整井组计算

$$Q_i = \frac{2\pi \cdot K \cdot M \cdot s}{n\ln R_0 - \ln(r_0 \cdot x_{i-1} \cdot x_{i-2} \cdots x_{i-n})}$$

（说明 9.1.3—31）

潜水

$$Q_i = \frac{\pi \cdot K(2H - s) \cdot s}{n\ln R_0 - \ln(r_0 \cdot x_{i-1} \cdot x_{i-2} \cdots x_{i-n})}$$

（说明 9.1.3—32）

式中　Q_i——i 号井的出水量（m^3/d）；

K——干涉井群范围内含水层平均渗透系数

(m/d)；

M——承压含水层的平均厚度（m）；

H——潜水含水层的平均厚度（m）；

r_0——管井半径（m）；

R_0——井群的引用补给半径（m），$R_0=R_y+r$；

R_y——从干涉井群到补给边界的距离，或引用补给半径（m）；

r——“大井”的引用半径（m）；

$x_{i-1},x_{i-2},\cdots,x_{i-n}$——$i$ 号井至各井的距离（m）；

n——井群的井数；

其他符号意义同上。

②非完整井

承压水

$$Q_i=\frac{2.73K\cdot M\cdot s}{\frac{M}{L}\left\{\lg\frac{4M}{r_0}-\lg\Psi\left(\frac{L}{M}\right)\right\}+n\lg R_0-(n-1)\lg r-\lg(4Mn)}$$

（说明 9.1.3—33）

潜水

$$Q_i=1.36Ks_0\times\left\{\frac{\frac{L}{\lg\frac{R_y^n}{nr^{n-1}r_0}}+}{\frac{T}{L-s_0}\left\{2\lg\frac{4T}{r_0}-\lg\Psi\left(\frac{L-s_0}{2T}\right)\right\}+\lg\frac{R_y^n}{4Tnr^{n-1}}}\right\}$$

（说明 9.1.3—34）

式中 $\lg\Psi(L/M)$、$\lg\Psi[(L-s_0)/(2T)]$为函数：

当 $\alpha=0.00\sim0.59$ 时，$\lg\Psi=0.7045-2.05539\lg\alpha$

$\alpha=0.60\sim0.9758$ 时，$\lg\Psi=4.275-4.381\alpha^2$

$$\alpha=\frac{L}{M}=\frac{L}{H}=\frac{L-s_0}{2T},\qquad T=H-\frac{s_0+L}{2}$$

（7）当多井取水，平面上大致按某种几何形状规则布置干涉

井时，其单井出水量可按下列公式计算。

①承压水完整井：

$$Q' = \frac{2.73K \cdot M \cdot s_0}{n\lg R_0 - (n-1)\lg r - \lg(nr_0)}$$

（说明 9.1.3—35）

②承压水非完整井：按式（说明 9.1.3—35）计算后乘以非完整井系数 α。

$$\alpha = \frac{L}{M}\left(1 + \sqrt{\frac{260r_0}{M}}\lg\frac{M}{L}\right)$$

（说明 9.1.3—36）

③潜水完整井：

$$Q' = \frac{1.36K(2H - s_0)s_0}{n\lg R_0 - (n-1)\lg r - \lg(nr)}$$

（说明 9.1.3—37）

④潜水非完整井：按式（说明 9.1.3—37）计算后乘以非完整井系数 α。

$$\alpha = \frac{L}{H}\left(1 + \sqrt{\frac{260r_0}{H}}\lg\frac{H}{L}\right)$$

（说明 9.1.3—38）

⑤潜水—承压水完整井：

$$Q' = \frac{1.36K\left[(2H - s_0)s_0 - (H - M)^2\right]}{n\lg R_0 - (n-1)\lg r - \lg(nr_0)}$$

（说明 9.1.3—39）

式中 Q'——干涉井群中各井的出水量（m^3/d）；

其他符号意义同上。

（8）当干涉井群沿一条直线布置时，其总出水量和单井出水量可用下列公式计算：

①总出水量：

$$Q = n \cdot \lambda \cdot Q'$$

（说明 9.1.3—40）

式中 n——井数；

λ——井排亲密系数，按说明表 9.1.3—7 确定；

Q'——井排中单井出水量（m^3/d）。

说明表 9.1.3—7　井排亲密系数 λ 值

L/B \ L/m	0.00	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
0.05	8.00	7.60	6.30	4.22	3.08	2.40	1.96	1.65	1.42	1.25	1.11	1.00
0.10	5.00	4.90	4.60	3.64	2.86	2.31	1.94	1.63	1.41	1.25	1.11	1.00
0.25	2.69	2.69	2.69	2.64	2.35	2.06	1.91	1.58	1.39	1.23	1.11	1.00
0.50	1.90	1.90	1.89	1.87	1.84	1.77	1.63	1.50	1.36	1.22	1.11	1.00
1.00	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.43	1.40	1.37	1.29	1.21	1.11	1.00
2.00	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.22	1.20	1.18	1.16	1.10	1.00
3.00	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.14	1.10	1.00
4.00	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.10	1.00
5.00	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.00
10.0	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.00

注：L 为井排长度（m）；$m = L + 2R_y$；B 为井排至排泄区的距离。

②潜水完整井：

$$Q' = \frac{1.36K(2H - s_0)s_0}{\lg\frac{a}{2\pi r_0} + 1.36\frac{B}{a}} \qquad \text{（说明 9.1.3—41）}$$

式中　K——含水层渗透系数（m/d）；

H——含水层厚度（m）；

s_0——井内水位降深（m）；

B——井排到补给边界距离（m）；

a——井间距离（m）；

r_0——过滤器半径（m）。

适用条件：$B > a$。

③潜水非完整井：

$$Q' = 1.36K \cdot s_0\left\{\frac{L}{\lg\frac{a}{2\pi r_0} + 1.36\frac{B}{a}} + \right.$$

$$\frac{2T}{\lg\frac{a}{2\pi T}+1.36\frac{B}{a}+\frac{T}{L-s_0}\left[2\lg\frac{4T}{r_0}-\lg\Psi\left(\frac{L-s_0}{2\left(H-\frac{s_0+L}{2}\right)}\right)\right]}\Bigg\}$$

（说明 9.1.3—42）

式中　L——过滤器长度（m）；

其他符号意义同式（说明 9.1.3—41）。

④承压水完整井：

$$Q'=\frac{2.73K\cdot M\cdot s_0}{\lg\frac{a}{2\pi r_0}+1.36\frac{B}{a}}\qquad\text{（说明 9.1.3—43）}$$

式中　s_0——井内水位降深（m）；

B——井排到补给边界距离（m）；

a——井间距离（m）；

r_0——过滤器半径（m）。

其他符号意义同式（说明 9.1.3—41）。

适用条件：$B>a$。

⑤承压水非完整井：

$$Q'=\frac{2.73K\cdot M\cdot s_0}{\lg\frac{a}{2\pi M}+2.73\frac{B_1\cdot B_2}{a(B_1+B_2)}+\frac{M}{L}\left(\lg\frac{4M}{r_0}-0.5\lg\Psi\left(\frac{L}{M}\right)\right)}$$

（说明 9.1.3—44）

式中　B_1,B_2——井排到两侧的补给宽度（m）；

$\lg\Psi$——(L/M) 的函数，用式（说明 9.1.3—34）中函数公式确定；

其他符号意义同上。

适用条件：$a\leqslant 0.5M$。

说明：当一侧补给时，式中 $2.73\frac{B_1\cdot B_2}{a(B_1+B_2)}$ 项改为 $2.73\frac{B}{2a}$。

9.2.4　人工含水层是根据生产实践设计的，是铁一院 1966 年在

兰新线镜铁山支线狼尾山给水站首次提出的。该站靠近北大河，但无可开采的天然含水层，后在岸边利用卵、砾石建造一条带状人工含水层，用长 20 m 的水平集水管取水近 1 万 m^3/d。因运转正常，出水量大，具有较高的经济效益，1970 年又在阳平关至安康线勉西区段站汉江南岸岸边上利用人工含水层透水性强的特点，建造一直径 4 m 深 4 m 的大口径井一座，可取水 8 000～9 000 m^3/d,解决了该站日用水6 000 m^3的要求。上述二例已运转 30～35 年，因运转良好，经济效益高，建造简单，操作容易，故作为新技术、新方法纳入本规程。

9.5.2 表 9.5.2 是根据 1980 年 4 月《中华人民共和国水文地质图集》说明书编制的。富水性分区标准全国是统一的,只是各省根据具体情况有的划分 4 个富水区,有的划分 5 个富水区。考虑到铁路用水量较小的特点,取消了极强富水区,将 $q \geqslant 10\ m^3/(h \cdot m)$ 的划分为强富水区。

9.6.3 铁路给水具有点多、分散、量小的特点，以往对区域性水化学的分区和分层评价不够重视，不管水文地质条件及水化学复杂程度如何，打一钻孔，只要水质、水量当时满足要求即可，缺乏对区域性水化学水平分带及垂直分带研究评价，结果供水水源施工后有的水质变劣，不能饮用。为此，本规程规定在水化学复杂地区，应分区、分层进行水质评价，通过勘探试验和水质分析方法，掌握区域水化学垂直分带和水平分带变化的规律是必要的。

例如，青藏线西宁至格尔木段某站为拉水基地，总用水量为 316 m^3/d。该站位于德令哈盆地最低点的托素湖与可鲁克湖连接地带，地下水交替作用缓慢，水化学变化极其复杂。该站缺少水文地质资料，故在距湖边 20～30 m 处打一钻孔，过滤管安装在 2.08～7.80 m 和 18.61～21.56 m，水质勉强符合饮用标准。根据上述勘探资料，1977 年在距勘探孔 2 m 及 8 m 处，设计直径 200 mm、深 35 m 生产井两座，过滤管安装在 21～31 m 之间，较勘探孔过滤管底端深 10 m 左右。施工后水质苦咸不能饮用。经

过对该水文地质单元地下水化学成分在水平方向和垂直方向的分析后，又钻了5眼钻孔才找到水质较好、水量丰富的自流水含水层，解决了该站供水水源。可见在水化学复杂地区，一孔定水源方案有时是不可靠的。

10.2.2 山岭隧道水文地质调查测绘

1 不同岩性的接触带、断层带和富水带是隧道施工中最易发生大量涌水的地段和部位，为此查明“三带”是非常重要的。

大秦线大黑山隧道长2715m，最大埋深302m，在施工过程中共有7处掌子面涌水，其中6处均属构造裂隙水，即沿断层F_2、F_3、F_4、F_5和F_6涌出，涌水量最大为8640m^3/d。

2 地下水的类型主要为孔隙水、裂隙水和岩溶水。有的还根据岩性、构造等划分亚类。如裂隙水分为不同岩性接触带裂隙水、断层裂隙水和节理裂隙密集带水等，不尽相同。铁道科学研究院西南分院和西南交通大学的科研报告《既有隧道环境地下水变化规律以及对环境生态平衡影响的评估》中，对成昆、襄渝、阳安线的涌水隧道进行统计分析，其地下水类型列于说明表10.2.2中，以供参考。

说明表10.2.2 隧道涌水地下水类型及所占比例

线路名称	隧道占线路长度比例(%)	1 km以上涌水隧道数	岩溶水为主隧道数及所占比例(%)	孔隙裂隙水隧道数及所占比例(%)	断层水隧道数及所占比例(%)	综合性涌水隧道数及所占比例(%)
成昆线	31.4	103	12/11.6	57/55.4	10/9.7	24/22.3
襄渝线	34.0	74	6/8.1	50/67.5	4/5.4	14/19.0
阳安线	17.0	18	1/5.5	10/55.5	3/16.7	4/22.3

从说明表10.2.2可看出，隧道涌水以孔隙裂隙水为主，次为综合性涌水，断层水和岩溶水也占一定比例。

3 岩溶水的垂直分带即垂直渗流带、水平径流带和深部缓流带是根据《铁路工程不良地质勘察规程》(TB10027)划分的。

查明岩溶水垂直分带与隧道设计高程的关系以及蓄水构造是

至关重要的。实践表明，位于垂直渗流带中的隧道如轿顶山、虾子河、艾家坪、沙坡、天生桥等，在隧道路基高程附近虽有岩溶大厅，路基以下也有暗河，但隧道却无水害，而位于水平径流带的娄山关、胜境关、梅子关、岩脚寨、燕子岩、大巴山和南岭等隧道，施工中特别是雨季都发生大量涌水或突水。

5　预测隧道施工中集中涌水段、点的位置。所谓集中涌水，国内尚无量的规定。日本的《隧道地质学》，将隧道施工中开挖面的涌水划分为4个等级，以开挖面10 m区间涌水量计，1级为无水或涌水量1 L/min以下，2级为滴水或涌水量1～20 L/min,3级为集中涌水20～100 L/min，4级为全面涌水100 L/min以上。预测集中涌水段、点的位置及其涌水量和对围岩的影响，对隧道施工是极其重要的。

成昆线涌水严重的13座隧道总长度为35 483 m，涌水段总长度6 733 m，涌水段的长度占隧道长度的4.03%～40.90%，平均占18.98%。大巴山隧道在施工中，大于5 000 m^3/d的集中涌水段有5段，涌水段长度为1 092 m，涌水量为188 000 m^3/d，涌水段长度仅占隧道长度5 333 m的20.48%，涌水量却占隧道总涌水量的91.48%。西安安康线秦岭特长隧道Ⅱ线平行导坑长18 446 m,最大涌水量为38 233 m^3/d，正常涌水量为7 977 m^3/d。涌水主要集中在岭南DyK77＋490～DyK79＋235范围内，最大涌水量为26 583 m^3。集中涌水有8处，累计长度为245 m，最大涌水量为24 700 m^3/d，占隧道总涌水量的64.60%。涌水位置均为构造作用活动强烈地段。

集中涌水段点的预测方法，目前国内外尚无固定模式，主要根据地质、水文地质条件综合分析确定。近年来，国内已应用地理信息系统（GIS）方法进行煤矿底板突水预报研究，如峰峰二矿、焦作东部矿区、太行山东麓和南麓煤矿等，进行GIS支持下煤矿底板突水模式的建立与突水预报。当有条件时，可采用该方法进行隧道集中涌水段点的预测。

7　同位素方法在水文地质工作中的应用，是20世纪70年

代从国外引进的。同位素的种类有环境同位素和人工放射性同位素。环境同位素，普遍分布于环境中，主要为天然起源的，但也有一部分来源于核试验和核工业。

应用同位素研究地下水的内容：

（1）放射性同位素可判断地下水的形成条件、测定地下水的年龄和判定污染源。

（2）稳定同位素可判定地下水起源（陆成水、海成水、渗入水、埋藏水），判断含水层之间及含水层与大气降水的联系程度，确定水交替强度，确定地下水补给高度和大气降水入渗速率，研究补给来源，判断地下热水循环深度。

（3）利用示踪剂研究地下水运动和水文地质过程的机理、测定水文地质参数。

工程实例：西安安康线秦岭特长隧道，在勘察和Ⅱ线平行导坑施工中共取 204 个测定同位素 T、D 和^{18}O样品，从隧道区天然水体的 D 和^{18}O的千分偏差值 δD、$\delta^{18}O$的测试结果可看出平导水、钻孔水的氢、氧同位素组成都落在全球雨水线上及其附近，说明二者均来源于大气降水或者说是大气成因的；从季节来说，可以断定主要是以冬季降水（雪）和春末夏初雪融水的补给方式形成的。

泉水与地表水的分布形态极为相似，可以认为泉水与地表水关系密切，但同位素并未揭示两者的补给关系，水化学资料的灰色关联度计算表明，地表水主要接受泉水的补给，雪融水的选择性补给也同样是泉水的一种补给方式。

地下水类型划分及水循环：泉水和地下水（钻孔水和隧道水）的同位素组成分布具有明显的差别，结合水化学特征及水文地质条件，可将本区地下水分为两大类，即浅层风化裂隙水（Ⅰ类）和下部构造裂隙水（Ⅱ类），前者的循环深度多在 40～50 m 的范围内，局部可达 80 m，而后者多数可深达 500 m，局部更深，可深入到 1600 m 以上。

10.5.2 表 10.5.2 围岩富水程度分区，富水程度分区有各种方

法，本表的贫水区（段）、弱富水区（段）、中等富水区（段）和强富水区（段）是参照西安安康线秦岭特长隧道水文地质分区图制定的。分区标准是参照1980年4月《中华人民共和国水文地质图集》说明书和《地质辞典》中的分区标准换算而成的。

10.5.3 预测隧道涌水影响宽度是国内外尚未解决的技术难题，目前还没有成熟的预测方法。已往研究的影响半径或引用影响半径的理论公式，适用于均质的各向同性含水介质且为垂直集水构筑物，隧道为水平集水构筑物，裂隙介质又无统一的地下水面且各向异性，因此理论公式对隧道不适用。

综上所述，本规程对隧道涌水影响宽度的预测方法，只规定了比拟法、地质调查法。

编写组根据工程实践总结了一个经验式供参考。为了简化计算，经验式只考虑含水体的渗透系数与影响宽度的单相关因素，即影响宽度与渗透系数成正比。统计中取5个隧道样本，最大值为 $K=6.05\,m/d$，$R=3\,300\,m$，最小值为 $K=0.006\,m/d$，$R=243\,m$，一般的隧道 K 值在此范围内。相关分析结果，相关系数 $r=0.99994\sim0.9999998$，显示相关密切。可概略预测隧道一侧涌水影响宽度 R 值。公式如下：

$$R=215.5+510.5K \qquad \text{（说明 10.5.3）}$$

式中 R——隧道一侧涌水影响宽度（m）；

K——含水体渗透系数（m/d）。

西南交通大学黄涛博士在学位论文中，对经验式进行了验证。南昆铁路二排坡隧道DK717+850～DK718+350段，为白云质灰岩夹页岩潜水含水体，实际 $R=350\,m$，采用库萨金公式 $R=2s(HK)^{0.5}$ 计算，$R=525.55\,m$，误差为+50.16%；采用经验式（说明10.5.3）计算，$R=326.79\,m$，误差为-6.63%。DK718+350～+750段，为白云质灰岩承压含水体，实际 $R=450\,m$，采用库萨金公式计算 $R=568.23\,m$，误差为+26.27%；采用经验式计算 $R=427.36\,m$，误差为-5.03%。验证结果表明经验式预测的误差较库萨金公式预测的误差小，比较接近实际。

11

本章是参照《城市环境水文地质工作规范》(DZ 55) 并结合生产实践编制的。

11.2.1

1 地下水环境背景值指未受人类活动影响情况下，地下水中各种化学组分（或指标）的天然含量。但是，目前地球上几乎找不到未受人类活动影响的地方。因此，求得的背景值实际上是污染相对较轻情况下的各种化学组分含量。

附录 B

我国自 20 世纪 80 年代起，随着技术水平和施工要求的提高，开始对隧道涌水量的预测进行系统的研究，尤其是 90 年代取得了长足的进步。基于定性分析的隧道涌水预测研究发展成为隧道涌水的定量评价与计算。主要体现在隧道涌水位置的确定和涌水量预测两个方面。

另外，田开铭教授、扬立中教授等对非均质各向异性裂隙含水介质也进行研究。山东矿业学院利用平面模型初步模拟了断层带附近的压力分布及断层的稳定性，并力图确定其对涌水量的影响。

1996 年，铁道科学研究院西南分院和西南交通大学共同完成的科研报告《既有隧道环境地下水变化规律以及对环境生态平衡影响的评估》，总结了传统的隧道涌水量计算方法，又提出新的计算方法，建立了确定性数学模型和随机性数学模型两大类综合方法。

1998 年 12 月，由铁一院主持，西南交通大学等单位参加共同完成的铁道部科研项目《秦岭特长隧道修建技术（H）—隧道岩体突水、涌水预测预报的研究》。

西南交通大学黄涛于 1997 年 6 月完成博士学位论文《渗流场与压力场耦合环境下裂隙围岩型隧道涌水量影响的研究》，应用渗透张量等理论和方法，进行不考虑变形条件下裂隙介质渗流

特性研究和变形条件下裂隙介质渗流特性研究。建立了确定性数学模型和随机性数学模型两大类预测隧道涌水量的综合方法。

预测隧道涌水量的方法，我国学者在近 20 年来，在引进、消化、吸收国外涌水量预测方法的基础上，不断探索隧道涌水量的预测方法，并取得一定的进展。

铁科院西南分院和西南交通大学科研报告《既有隧道环境地下水变化规律以及对环境生态平衡影响的评估》，提出了预测隧道涌水量分类方法和适用条件，见说明表 B.0.1。

说明表 B.0.1　预测隧道涌水量方法分类及应用条件

类型	方法名称	应用条件	适用范围
确定性数学模型方法类	比拟法	研究区与已知区的水文地质条件相似且较简单	初测阶段隧道涌水量计算
	径流模数法	水文地质条件较简单的山区隧道，有较完整的水文地质资料	初测阶段隧道涌水量计算
	水均衡法	独立的地表水流域内或水文地质单元内，有较丰富的气象、水文及水文地质资料	初测、定测及施工阶段隧道涌水量的宏观计算。其他计算的基础
	解析法	水文地质条件不复杂，含水介质较均质的研究区	定测、施工阶段隧道涌水量的计算和预测
	数值法	水文地质条件复杂，含水介质具非均质各向异性的研究区。具有较明确的边界	定测、施工及运营阶段隧道涌水量的计算和预测
	渗透张量法	非均质各向异性的裂隙含水介质研究区，基岩裂隙测绘方便	定测及施工阶段隧道涌水量预测所需的水文地质参数计算
随机性数学模型方法类	“黑箱”理论法	水文地质条件复杂，特别是岩溶水地区。水文地质资料欠缺，但降水、地表水、泉水等资料丰富	初测、定测及运营阶段隧道总涌水量预测及计算
	灰色关联度分析和灰色虚拟变量多元回归法	水文地质条件较复杂的研究区，具有一定的地质、水文地质、隧道地质测绘、气象等综合资料	一般类型隧道初测、定测、施工、运营阶段，复杂类型隧道初测阶段的涌水量预测
	时间序列分析及频谱分析法	水文地质条件复杂的研究区，特别是岩溶水地区，地下水有集中排泄特点，有较长时间的地下水动态观测资料	施工及运营阶段的隧道总涌水量预测

上述分类方法各有其特点，非确定性统计模型法原理简单、使用方便，但计算结果相对比较粗略，多用于预可行性研究阶段总涌水量预测。确定性数学模型法中的解析法数学推导严密，但适用条件苛刻，参数的准确获取并非易事，应用大受限制；数值法的适用性强，只要地质模型正确，往往能获得较好结果，但对勘探试验的要求高，因而成本亦高，一般适用于初测、定测阶段或施工阶段的涌水量预测。随机数学模型法适用于因水文地质条件的复杂性和不确定性致使某些基本要素难以搞清，定解条件不易准确概化的情形，所需数据一般较易获取，故颇具应用前景，不过往往很难对其稳定性作出评价，该法多用于施工、运营阶段的涌水量预测。

综合分析上述各种方法，本规程从可操作性和宏观的角度出发，规定了一部分预测隧道涌水量的方法。当有条件时，亦可采用上述其他方法预测隧道涌水量。

B.1.1

1　式（B.1.1）的基本原理属水均衡法。即在某一流域内，大气降水是地表水、地下水、蒸发蒸散和地面滞水等的总源。在某一范围内，水在循环过程中，基本保持平衡状态，遵守总收入等于水支出的法则。渗入地下的水量，与流域的气候、降水量及其强度、植被、地形地貌和地质（岩性、构造）条件有着复杂的关系。

准确的参数值难以确定，故预测的隧道正常涌水量只能是宏观控制的近似数量。

式中的 SS 值，当坡面、沟谷中有大量的水田、水池或水塘时，应考虑给予适当值。

式中的 E 值，是表达降水后该流域地面、植被、水面等的蒸发蒸散总量，不可采用表示大气干燥程度的蒸发度。E 值的计算公式介绍如下。

（1）法国妥克（TurK.L）根据世界上 250 条河川流域建立的经验式：

$$E=\frac{W}{\sqrt{0.9+\dfrac{W^2}{(300+25t+0.05t^3)^2}}}$$

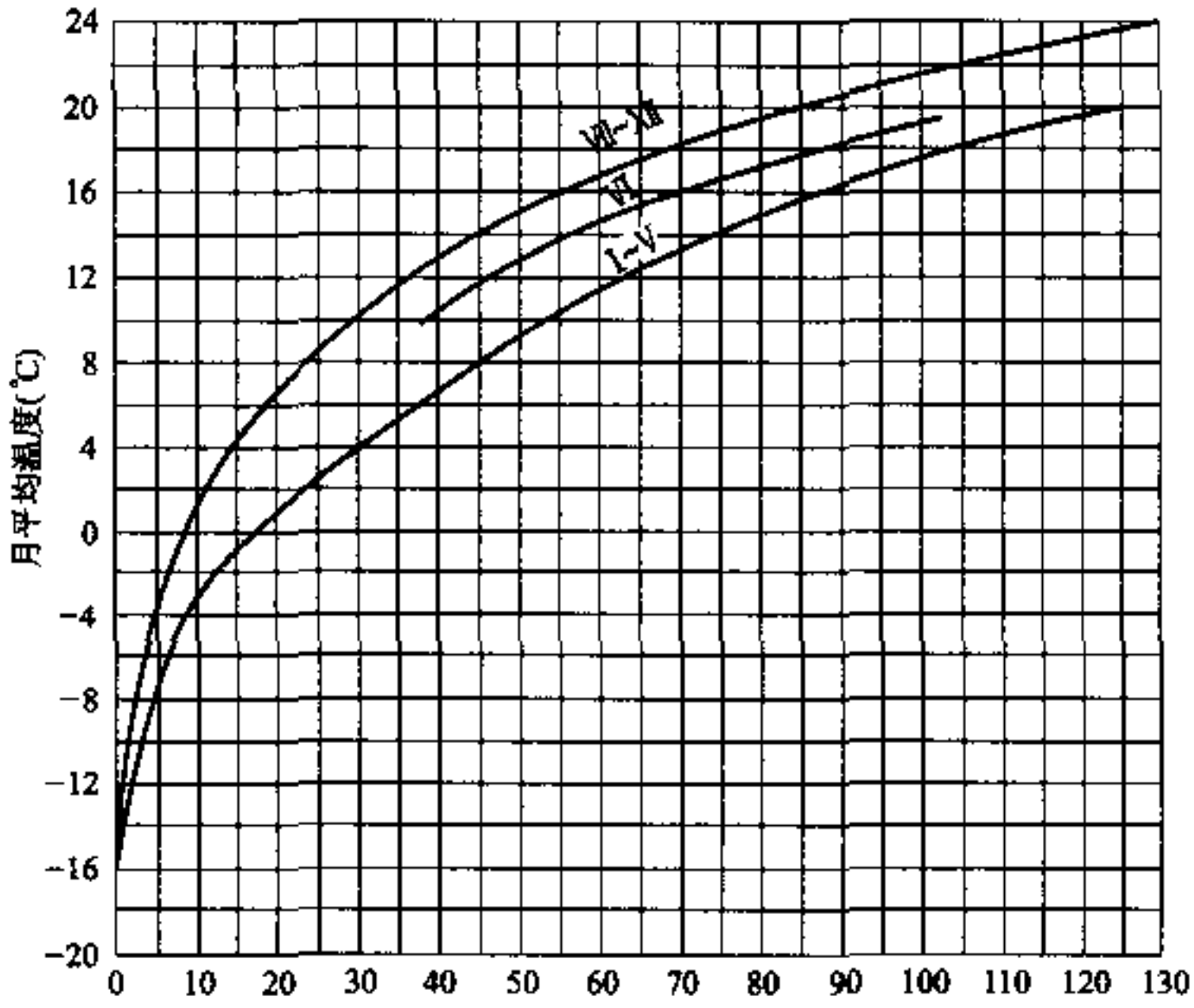
（说明 B.1.1—1）

式中　E——年蒸发蒸散量（mm）；

W——年降水量（mm）；

t——流域年平均气温（℃）。

（2）前苏联库金（П.С.КУЗИН）经验图表法。该法按说明图 B.1.1—1 根据月平均温度逐月查找相应的蒸发蒸散值，然后按月累计即为年总蒸发蒸散量 E 值。



说明图 B.1.1—1　蒸发蒸散量计算图

曲线Ⅰ～Ⅴ表示 1～5 月；曲线Ⅵ表示 6 月；曲线Ⅶ～Ⅻ表示 7～12 月。

（3）英国平曼（Penman）经验式：

$$E = n \cdot E_r \qquad \text{(说明 B.1.1—2)}$$

式中 n——经验系数，冬、夏二季平均后取0.7，日本宫本氏取0.5；

E_r——流域地表水蒸发量（mm）；

其他符号意义同上。

（4）日本经验式：

$$E = T \cdot E_d \qquad \text{(说明 B.1.1—3)}$$

式中 T——流域降水天数（d）；

E_d——每天的蒸发蒸散量（mm），一般取2～3 mm/d；

其他符号意义同上。

工程实例1：日本旧丹那隧道、深板隧道、下久野隧道、旧清水隧道、小千谷输水隧洞和北陆隧道，采用此法计算了正常涌水量，均与实际年平均涌水量接近，见说明表B.1.1—1。

说明表 B.1.1—1 降水、蒸发参数及涌水量计算

隧道名称	旧丹那	深板	下久野	旧清水	小千谷	北陆
隧道延长(m)	7800	5170	2241	9702	15600	13875
平均年降水量 W(mm)	2278	1594	1941	3036	3036	2424
年水面蒸发量 E_0(mm)	1250	1200	1220	760	760	1110
平均蒸发蒸散量 E(mm)	625	600	610	380	380	555
隧道涌水量(m^3/min)	75	4	0.54	27.6	6.53	16.8

例如北陆隧道，区内年平均降水量为2424 mm，根据水文观测年地表径流深度 H 为1208.23 mm，隧道附近年水面蒸发量 E_0 为1110 mm，宫本氏的经验取555 mm作为年蒸发蒸散量 E，隧道流域面积 A 取13.4 km^2，预测正常涌水量。

按式（B.1.1—1）有

$$h = W - H - E - SS$$
$$= 2424 - 1208.23 - 555 - 0 = 660.77\ \text{mm}$$
$$Q = 2.74h \cdot A = 2.74 \times 660.77 \times 13.4$$

$$=24\,260.83\,m^3/d = 16.85\,m^3/min$$

工程实例 2：兰新线乌鞘岭隧道，位于甘肃省天祝县境内，通过祁连山北部一条支脉，高程为 2 988 m，属内陆、黄河二水系分水岭。多年平均降水量 411.3 mm，年平均降水 133.4 d，年平均气温 −0.2 ℃，年平均蒸发量 3 232 mm，冻结深度 2.0 m。

该隧道长 972.78 m，埋深 20～60 m，通过三叠系砂、页岩互层地段，走向近 EW 倾向北，倾角 30°～60°。地表坡积层厚 0.5～4.0 m 不等，由碎石、砂黏土等组成，植被中等发育。

自 1954 年通车以来，漏水严重，冬季挂冰，影响运营。为此，1985 年进行了病害整治专门水文地质勘察。隧道通过地段，据地形图其汇水面积岭南为 1.60 km^2，岭北为 1.20 km^2。

岭南年地表排出的水量为 252 000 m^3，地表径流深度为 157.5 mm。岭北年排出的水量为 144 000 m^3，地表径流深度为 120 mm。岭南岭北平均后地表径流深度 H 为 138.75 mm。隧道集水面积 A 为 0.473 km^2。

E 值计算：

按式（说明 B.1.1—1）：$E=243.37$ mm；

按说明图 B.1.1—1：$E=200.50$ mm（说明表 B.1.1—2）。

说明表 B.1.1—2　蒸发蒸散量计算

月份	平均温度(℃)	蒸发蒸散量(mm)	月份	平均温度(℃)	蒸发蒸散量(mm)
1	−12.2	2.5	7	11.5	32.5
2	−10.6	3.50	8	10.3	30.5
3	−5.0	8.00	9	10.3	18.00
4	0.2	17.00	10	1.5	13.00
5	5.2	33.00	11	−6.1	3.00
6	9.2	37.50	12	−10.0	2.00
年总发蒸散量 E 值					200.50

因本区无地表水蒸发资料，不能按式（说明 B.1.1—2）计算。

按式（说明 B.1.1—3）：T 取 133.4 d，E_d 取 2 mm，E = 266.8 mm。

正常涌水量 Q 值计算：

按式（说明 B.1.1—1）：h = 29.18 mm，Q = 37.82 m^3/d；

按说明图 B.1.1—1：h = 72.05 mm，Q = 93.38 m^3/d；

按式（说明 B.1.1—3）：h = 5.75 mm，Q = 7.45 m^3/d。

本隧道 Q = 7.45～93.38 m^3/d 之间，平均 Q 为 46.22 m^3/d。1992 年 4 月现场调查，Q 值位于 40～80 m^3/d 之间。

2 本法采用假设地下径流模数等于地表径流模数的相似原理，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，求出隧道通过地段的地表径流模数，作为隧道流域的地下径流模数，再确定隧道的集水面积，便可宏观、概略地预测隧道的正常涌水量。

由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，反应了该流域的气候、地形地貌、植被、地质和水文地质条件。因季节变化，流量也随着变化。根据经验，为排除降雨干扰，以采用枯水季节流量较接近实际。因此，地下径流模数 M，只能是概要反应地下水的赋存状态。

本法的应用实例，见于国内外诸多隧道中。

日本落合敏郎（日本地下水学会会长、理学博士）曾根据旧丹那隧道附近泉川、初川、宫川和神水川等河流枯水期流量和各河流流域面积，分别计算各流域的地下径流模数 M 后，取平均 M 为2 125 m^3 /(d·km^2)，隧道流域面积 A 为 43 km^2，预测隧道正常涌水量 Q 为 91 375 m^3/d，实际观测为 86 400 (m^3/d)。

又如日本惠那山隧道（道路），采用本法预测正常涌水量为 7 488 m^3/d，竣工后实际观测为 9 792 m^3/d。

西安安康线秦岭特长隧道，长 18.448 km，1995 年用此法预测的正常涌水量为 6 383 m^3/d，1998 年 3 月 10 日Ⅱ线平行导坑贯通后实际观测为 7 977 m^3/d。

B.1.2 大气降水落入地面后，部分渗入地下，具备贮水构造的

地区形成含水体（层、带）。若隧道通过该含水体，隧道影响范围内渗入补给的水量同隧道排出的水量应保持平衡状态。

大气降水渗入地下的水量，由于受到降水量、降水强度、降水次数、地形地貌、植被、地质和水文地质条件的影响，所以预测的只能是宏观控制的大概范围。我国北方普遍降水量偏小，预测的隧道涌水量也比其他方法偏小。本法适用于浅埋隧道。

工程实例1：青藏线关角隧道长4005m，最大埋深达500m，穿越下古生代变质岩系（片岩、板岩、千枚岩、大理岩、变质灰岩、石英岩和变质砂岩等），以断层破碎带、不同岩性接触带涌水为主。按说明表8.5.1选择的降水入渗系数 α 值为0.20～0.25，隧道集水面积 A 为4 km^2。年降水量为400 mm，预测正常涌水量为877～1 096 m^3/d，实际两个洞口的涌水量为1 000～1 500 m^3/d。

工程实例2：兰新线乌鞘岭隧道长972.78 m，埋深20～60 m，年降水量为411.3 mm，接受降水垂直渗透补给。按表9.5.2选择的降水入渗系数 α 为0.15～0.18，隧道集水面积 A 为0.47 km^2，计算正常涌水量为79～95 m^3/d，1992年2月回访实际涌水量变化在40～80 m^3/d。

工程实例3：山西省昔阳县西水东调工程，通过汾河、滹沱河两水系分水岭，曾在石炭二叠系砂页岩互层中开掘一长15.2 km，高2.4 m，宽2.6 m的输水隧洞，进口高程1130 m，出口高程1105 m。该洞由块石干砌，个别处为素混凝土，输水能力为8 m^3/s，埋深50～300 m，洞内大部渗水，枯水季节为2 160 m^3/d，雨季为4 320 m^3/d。

该区年降水量近500 mm，地表植被发育，表土厚约0.2～2.5 m。降水入渗系数 α 取0.15～0.18，隧道两侧影响宽度各取500 m，计算正常涌水量为3 123.6～3 748.3 m^3/d。

B.2

古德曼公式（B.2.1—1），引自加拿大R·A·弗里泽、J·A·

彻里著《地下水》。大岛洋志（日本国铁地质研究室主任、研究员、理学博士）1990年在我国西安也曾介绍过，该式曾在日本福冈隧道应用过。

式（B.2.1—2）是日本佐藤邦明、清水昭男和伊藤洋曾于室内渗流槽中做模拟试验，得出预测隧道涌水量的非稳定流公式。

式（B.2.2—1）为预测隧道正常涌水量的裘布依理论式。式中采用引用补给半径 R_y，解决了难以确定的隧道涌水影响宽度的问题。本式适用于浅埋隧道，当隧道埋深较大时，应准确地确定含水体厚度和涌水时水位降深值，否则预测的涌水量可能偏大。

兰新线乌鞘岭隧道，主Ⅱ—1孔，孔深130.23 m，地层岩性为三叠系砂岩与页岩互层，静止水位39.47 m，含水层厚度为90.76 m。

抽水试验资料：

$$s_1 = 49.62\,\text{m},\quad Q = 9.18\,\text{m}^3/\text{d}$$

$$s_2 = 29.32\,\text{m},\quad Q = 6.84\,\text{m}^3/\text{d}$$

采用单位出水量法公式（8.2.6—3）计算：$r = 0.996\,82$（勉强合格），$a = 0.040\,820\,81$，$b = 0.596\,797\,60$，$s \approx 0.040\,820\,81Q + 0.596\,797\,60Q^2$。当 $s = 1\,\text{m}$ 时，$q = 1.261\,\text{m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$。

过滤器直径0.108 m。

参数计算：采用公式（8.2.6—1），$K = 0.018\,\text{m/d}$，代入裘布依潜水公式，得 $R_y = 176\,\text{m}$。

隧道正常涌水量计算：

已知隧道长972.78 m，岩性基本相同，隧道上部含水体平均厚16.20 m，排水沟底加水跃值高度按8.10 m考虑，含水体总厚度36.2 m，代入公式后：

按式（B.2.2—1）：　$Q_s = 19.98\,\text{m}^3/\text{d}$；

按式（B.2.2—2）：　$Q_s = 170.59\,\text{m}^3/\text{d}$；

按经验式（说明 B.2.1—1）：　$Q_s=11.89\,m^3/d$；

平均 $Q_s=38.49\,m^3/d$；1992 年 4 月现场回访 $Q=40\sim80\,m^3/d$。

隧道施工时累计最大涌水量：

按式（B.2.1—1）：　$Q_0=706\,m^3/d$；

按式（B.2.1—2）：　$Q_0=631\,m^3/d$；

按经验式（说明 B.2.1—2）：　$Q_0=570\,m^3/d$；

平均：　$Q_0=636\,m^3/d$。

本规程编写组根据工程实例总结出预测隧道正常涌水量和隧道最大涌水量的经验公式，采用日本 2 个隧道、前苏联 1 个坑道和我国 2 个隧道的最大涌水量、正常涌水量、平均渗透系数、平均含水体厚度和涌水影响宽度等实际资料，经相关分析得出的。曾在几座隧道勘察中应用，公式如下：

$$Q_s=L\cdot K\cdot H\,(0.676-0.06K)\quad\text{（说明 B.2—1）}$$

$$Q_0=L(0.0255+1.9224K\cdot H)\quad\text{（说明 B.2—2）}$$

式中符号意义同上。

西安安康线秦岭特长隧道，全长 18.446 km，岩层以混合片麻岩和混合花岗岩为主，1995 年定测。分段预测隧道涌水量，最大涌水量预测结果：经验式为 23 842 m^3/d，其他方法预测采用值为 24 181 m^3/d，两者基本吻合。正常涌水量预测结果：经验式为9 754 m^3/d，其他方法预测采用值为 12 100 m^3/d，施工中实际正常涌水量为 7 977 m^3/d。

西安南京线西安南阳段东秦岭特长隧道，全长 12.268 km，1998 年进行定测，采用多种方法和公式预测隧道涌水量。最大涌水量预测结果：地下径流模数法为 18 466 m^3/d，用西安安康线秦岭特长隧道实际涌水量比拟法预测为21 966 m^3/d，古德曼公式计算为 17 134 m^3/d，用经验式预测为 22 850 m^3/d。正常涌水量预测结果：地下径流模数法为 4 830 m^3/d，比拟法为 4 582 m^3/d，经验式为 5 072 m^3/d。

西南交通大学黄涛在博士学位论文《渗流场与应力场耦合环境下裂隙围岩型隧道涌水量预测的研究》(1997 年 6 月) 中，结合工程对经验公式进行了验证。

南昆铁路二排坡隧道 DK 717 + 850～DK 718 + 750 段，长度 900 m，施工中实际最大涌水量 $Q_0 = 12\,300\ m^3/d$，正常涌水量 $Q_s = 7\,600\ m^3/d$。DK 717 + 850～DK 718 + 350，长度 500 m，为白云质灰岩夹页岩，潜水含水体，渗透张量（含水裂隙岩体耦合环境下各向同性渗透系数）$\overline{K} = 0.109\ m/d$。DK 718 + 350～ + 750，长 400 m，白云质灰岩承压含水体，$\overline{K} = 0.206\ m/d$。应用经验式计算结果：最大涌水量为 13 234.3 m^3/d，误差为 + 7.60%；正常涌水量为 6 993.5 m^3/d，误差为 −7.98%。

文中对经验式作出如下评价：经验解析法预测的误差，相对理论解析法预测误差明显减小，原因在于理论解析法计算模型对实际隧道裂隙岩体渗流特征的复杂性考虑不足，而经验解析法则在类似工程实例经验的基础上对理论解析法模型进行了修正，从而使预测结果更为接近实际。

工程实例：汇集 4 个国内外投入运营的既有隧道（坑道）工程，其资料及水文地质参数比较明确、完整，隧道计算验证隧道参数及计算结果列于说明表 B.2。

说明表 B.2　工程实例参数及计算结果

项目 \ 数据	1 日本佐藤	2 中国 乌鞘岭	3 日本 旧丹那	4 前苏联乌拉尔 矿山坑道
静止水位至洞底距离(m)	50.00	16.2	6.00	20.00
静止水位至等价圆中心 h_2(m)	41.26	12.68	1.78	16.05
洞底至下伏隔水层距离(m)	50.00	20.00	10.00	8.00
含水体总厚度 h_c(m)	100.00	36.20	16.00	28.00
排水沟假设水深 h_0(m)	0.20	0.20	1.00	1.00
等价圆直径(m)	17.48	7.04	8.44	7.90
等价圆半径 r_0(m)	8.74	3.52	4.22	3.95

续说明表 B.2

项目 \ 数据		1 日本佐藤	2 中国 乌鞘岭	3 日本 旧丹那	4 前苏联乌拉尔 矿山坑道
含水体平均渗透系数 K(m/d)		0.00864	0.006	6.05	3.22
隧道一侧影响宽度 R(m)		200.00	243.00	3300.00	1859.00
洞身宽度 B(m)		12.00	6.00	8.00	7.00
岩体裂隙率		0.05	0.02		
隧道通过含水体长度 L(m)		1500.00	972.78	7800.00	750.00
q_0 [m^3/(d·m)]	古德曼式(B.2.1—1)	0.858	0.208		133.289
	佐藤邦明(B.2.1—2)	0.854	0.216		126.245
	经验式 (说明 B.2—2)	0.856	0.212	69.809	123.828
	平均	0.856	0.212		127.605
q_s [m^3/(d·m)]	佐藤邦明(B.2.2—2)	0.292	0.054		32.710
	经验式 (说明 B.2—1)	0.282	0.066	11.362	31.689
	平均	0.287	0.060		
	实际值	0.290	0.041	11.077	31.610
	误差(%)	−1.04	+46.34	+2.57	+1.86

B.3.1 本方法强调新建隧道与既有隧道(或矿坑坑道)水文地质条件相似,并具有可比性时,可采用本方法概略预测新建隧道的涌水量(最大涌水量、正常涌水量)。

水文地质条件相似,系指气候、降水量、地形地貌、植被、地质条件(岩性、构造)、地下水动力性质、含水体岩性、补给、径流、排泄以及渗透性等大体相似。

工程实例 1:勘测中梁山隧道时曾调查附近10 km的某煤矿坑道,水文地质条件与该隧道大体相似,利用本方法预测了新建隧道正常涌水量,结果给出 12 255 m^3/d,竣工后与实际观测的涌水量 14 138 m^3/d,基本一致。

工程实例 2:日本曾统计约 500 座隧道,以与涌水量有关的地

形地貌、地质条件、隧道长度、覆盖厚度等作为参数，编制成地质条件与隧道单位长度涌水量、覆盖层厚度与隧道单位长度涌水量、地形地貌与隧道单位长度涌水量的关系图表。根据这些图表，选择与新建隧道相类似的参数，可概略预测新建隧道的涌水量。

B.3.2 放射性元素氚是氢(H)的同位素之一，其半衰期为 12.26 年。根据含水体(层、带)地下水流向、或沿水平方向或沿垂直方向，在较短距离内采取水样，制备、测定后，可计算相对时间差。利用其差值可求出地下水运动速度和大概涌水量。

工程实例 1：兰新线乌鞘岭隧道，1985 年渗漏水病害整治勘测时，沿垂直方向分别采取了测定氚值的水样，经测定后分析，该区地下水具有明显的垂直分带性，埋藏愈深运动速度愈慢，地下水面以下约 50 m 处已接近停滞状态，50 m 以上为近年循环水，见说明表 B.3.2。

说明表 B.3.2 乌鞘岭隧道地下水参数

取样深度自地面算起(m)	取样位置	氚含量(TR)	地下水相对年龄 t(a)	地下水垂直运动速度(m/d)
0.00	地面降水	74±2		自地面至地下水面 0.0085
6.68	地下水面	69±2	2.15	
26.68	洞顶滴水	54±2	7.53	自地下水面至洞顶 0.0097
36.68	洞内排水沟	39±2	10.00	自地下水面至排水沟 0.0047
68.86	钻孔中	0.001	≥50	自地下水面至钻孔取样处 0.0005

注：氚含量均取整数(±号以后不取)。

隧道涌水量计算：

隧道集水面积 $A = B \cdot L = 486 \times 972.78 = 472\,771.08\ \mathrm{m}^2$；

垂直渗透速度 $V = u \cdot n = 0.0047 \times 0.02 = 94 \times 10^{-6}\ \mathrm{m/d}$；

隧道正常涌水量 $Q = A \cdot V = 44.44\ \mathrm{m}^3/\mathrm{d}$。

B.3.3 表 B.3.3—1 和表 B.3.3—2，引自铁道部科学研究院西南分院和西南交通大学的科研报告 93G18《既有隧道环境地下水变化规律以及对环境生态平衡影响的评估》。根据全国 35 座有涌水量记录的隧道调查资料，采用灰色虚拟变量多元回归方法，得出隧

道涌水量概略预测评分表。

本方法即方便快速又能定量，不需要复杂的勘探、试验，只需地表调查就可以定量预测。

表 B.3.3—1，主要适用于运营阶段既有隧道病害整治，用来进行评价隧道涌水灾害严重等级，也可用于新建隧道。表中 4 个等级为：

A 级：隧道涌漏水甚大或突然涌水或泥砂大量涌出；

B 级：隧道涌漏水较大或泥砂涌出；

C 级：隧道涌漏水较少，对围岩稳定性有一定影响；

D 级：隧道涌漏水甚微或无，一般不会对施工运营及环境造成不利影响。

表 B.3.3—2，主要适用于新建隧道的踏勘和初测阶段，可快捷地概略预测隧道最大涌水量，其他阶段也适用。

报告中验证实例：大瑶山隧道 F_9 断层上盘，砂岩及泥灰岩地段，基本分为 2900，地表沟谷汇水为 188，越岭隧道为 0 分，岩石为硬岩 2 730，处于断层破碎带内为 3 140，大瑶山地区为丰水区 3 860，隧道最大埋深 850 m，得分 578，隧道长度 14 km，得分 16 110，总计 29 506 分，也即峰值涌水量可达 29 506 m^3/d。根据隧道局观测资料，大瑶山隧道 F_9 断层上盘峰值涌水量为30 800 m^3/d，两者基本吻合。

工程实例：

(1)兰新线乌鞘岭隧道：越岭隧道，地面为旱地，穿越砂岩和页岩互层地段，裂隙发育，年降水量 400 mm，勘测期间已衬砌，隧道最大埋深 50 m，隧道长 1 000 m。

(2)青藏线关角隧道：越岭隧道，地面为旱地，穿越砂岩、页岩和大理岩互层地段，裂隙发育，断层带 10 条，年降水量 400 mm，无衬砌，隧道最大埋深 500 m，隧道长 4 005 m。

(3)山西省昔阳线输水隧洞：地面为旱地，穿越砂岩和页岩互层地段裂隙发育，年降水量 600 mm，无衬砌，隧道最大埋深 500 m，隧道长 15 200 m。

(4)京广复线南岭隧道:越岭隧道,地面沟谷汇水,穿越下石炭统碳酸盐岩(占74.9%),构造复杂,裂隙发育,年降水量800 mm,无衬砌,隧道最大埋深170 m,隧道长6070 m。

(5)大巴山隧道:越岭隧道,地面沟谷汇水,穿越古生带砂岩、页岩和岩溶化石灰岩地段,裂隙发育,年降水量1650 mm,无衬砌,隧道最大埋深700 m,隧道长5333 m。

(6)西安—安康线秦岭特长隧道,越岭隧道。

岭南段:地面沟谷汇水,穿越混合片麻岩和混合花岗岩等,裂隙发育,断层多条,年降水量大于650 mm,无衬砌,隧道最大埋深1600 m,隧道长8164 m。

岭北段:地面沟谷汇水,穿越混合片麻岩和混合花岗岩等,裂隙发育,断层多条,裂隙发育,年降水量550 mm,无衬砌,遂道最大埋深1600 m,隧道长10284 m。

试按表B.3.3—1判别隧道涌水灾害严重等级。

说明表B.3.3—1　隧道涌水灾害严重等级判别

隧道名称分值 / 判别条件	乌鞘岭隧道	关角隧道	山西昔阳县输水隧洞	南岭隧道	大巴山隧道	秦岭隧道	
						南段	北段
地表环境特征	0	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
岩石性质	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
地质构造	1.34	1.70	1.34	1.90	1.90	1.70	1.34
防水措施	-0.45	0	0	0	-0.45	0	0
气候条件	0	0	0	1.15	1.30	0	0
最大埋深	0.019	0.19	0.19	0.07	0.27	0.61	0.61
隧道长度	0.05	0.20	0.76	0.30	0.20	0.41	0.51
总　　分	1.169	3.00	3.2	4.33	4.13	3.63	2.67
判　　别	D级	C级	C级	A级	A级	B级	C级
	<2.48	2.48~3.30	2.48~3.30	>3.91	>3.91	3.30~3.91	2.48~3.30

试按说明表B.3.3—1样本概略预测隧道最大涌水量,见说

明表 B.3.3—2。

说明表 B.3.3—2　预测隧道最大涌水量(基本分值 2900)

评　定　要　素		乌鞘岭隧　道	关角隧道	昔阳县输水隧洞	秦岭隧道	
					南坡	北坡
地表环境特征		0	0	0	188	188
隧道类型		0	0	0	820	0
岩石性质		0	4095	0	2730	0
构造特征		500	3140	500	3140	−1180
气候特征		0	0	0	0	0
防水措施		−3948	0	−3948	0	0
最大埋深		45	45	23	578	578
隧道长度(m)分值		(1000) 0	(4006) 1607	(15200) 16110	(8164) 7250	(10284) 8732
预测	最大涌水量(m^3/d)	−503	11787	12685	17606	11218
	单位长度涌水量[m^3/(d·m)]	<0.1	2.94	0.83	2.16	1.09
	说　　明	水量甚微或无	北坡稍大	现场调查	年降水量650 mm	年降水量550 mm
施工后	最大涌水量(m^3/d)		10000左右	10000左右	29478	8755
	正常涌水量(m^3/d)		1500～2000	2160～4320	6666	1312
	最大/正常		5	2.31	4.42	6.67
预测误差(%)			17.87	26.85	−40.27	27.55

注：1　括号（　）内为隧道长度（m）；
　　2　负值表示水量甚微或无。

随着铁路建设跨越式发展，穿越江河底部的隧道将不断出现。水底隧道水文地质条件与越岭隧道不同，水文地质参数计算和涌水量预测的方法也不相同。为便于勘察和预测隧道涌水量，将水底隧道涌水量预测方法和公式介绍如下：

前苏联阿拉文（V.I.Aravin）和努米洛夫（S.N.Numerov）于 1953 年利用复数速度势理论推导出水底下部给水工程（渗渠）

的三个涌水量计算公式。水底隧道也可参照此式概略预测最大涌水量。公式如下：

当洞身位于含水体底部隔水层上（完整式）时

$$q_0=\frac{\pi\cdot K(H-h_0)}{\ln\cot\left(\frac{\pi}{8}\cdot\frac{d}{T}\right)} \qquad \text{（说明 B.3.3—1）}$$

当洞身位于含水体中，与下伏隔水层保持一定距离（非完整式）时

$$q_0=\frac{2\pi\cdot K(H-h_0)}{\ln\left\{\tan\left(\frac{\pi}{8}\cdot\frac{4h-d}{T}\right)\cot\left(\frac{\pi}{8}\cdot\frac{d}{T}\right)\right\}} \qquad \text{（说明 B.3.3—2）}$$

当含水体厚度 $T=\infty$ 时

$$q_0=\frac{2\pi\cdot K(H-h_0)}{\ln\left(\frac{2h}{r_0}-1\right)} \qquad \text{（说明 B.3.3—3）}$$

式中 q_0——单位长度最大涌水量〔$m^3/(d\cdot m)$〕；

K——含水体渗透系数（m/d）；

H——自地表水水面至洞身横断面等价圆顶部的距离（m）；

h_0——洞内排水沟假设水深（m）；

r_0——洞身横断面的等价圆半径（m）；

T——自地表水体底部至下伏隔水层的距离（m）。

以上三个公式依据是《СПРАВОЧНОЕ РУКОВОДСТВО ГИДРОГЕОРОГА》344～345 页，1959 年；《给水排水设计手册》第三册 213～214 页，上海市政工程设计院主编，1986 年。

另外，根据 1992 年日本琦玉大学佐藤邦明（副教授、工学博士）提供预测隧道涌水量方面的资料，早在 1984 年就已有专门预测水底隧道涌水量的方法，其公式经室内渗流槽模拟试验后认为误差较小，是可行的，其式如下：

当洞身位于含水体中，与下伏隔水层保持一定距离时

$$q_0=\frac{2\pi\cdot K(H+H_0)}{\ln\left(\tan\frac{\pi(2H-r_0)}{4T}\cot\frac{\pi r_0}{4T}\right)}\qquad\text{(说明 B.3.3—4)}$$

当含水体厚度 $T=\infty$时

$$q_0=\frac{2\pi\cdot K(H+H_0)}{\ln\frac{2H}{r_0}}\qquad\text{(说明 B.3.3—5)}$$

式中 q_0——水底隧道施工中单位长度最大涌水量〔$m^3/(d\cdot m)$〕；

K——含水体渗透系数（m/d）；

H——自水体底部至洞身横断面等价圆中心的距离（m）；

H_0——地面水体厚度（m）；

r_0——等价圆半径（m）；

T——自地面水体底部至下伏隔水层的距离（m）。

以上两公式来源于日本《土木学会论文报告集》第 342 号第 97～106 页，1984 年。

此两式与前苏联阿拉文和努米洛夫公式的理论、表现形式基本相同，仅符号的代表数据稍有不同，故计算结果也稍有差异。用上述公式求得的为隧道最大涌水量。

运营中正常涌水量目前尚无较好的计算方法，一般以求得的最大涌水量乘以递减系数（淤塞系数）α 值求算。α 值一般根据水体混浊程度或水底淤积程度按 0.8（水体较清、淤积较轻）、0.6（中等混浊、淤积）、0.3（很混浊、淤积较重）选择。

工程实例 1：某一水底隧道，长 4 300 m，位于水底下部 50 m 处，水体厚度 H_0 按高水位考虑平均为 15 m，经钻探和水文地质试验，含水体平均厚度为 70 m，平均渗透系数 K 为 0.15 m/d。洞身高 6.5 m，宽 6.0 m，等价圆直径 d 为 7.0 m，其半径 r_0 为 3.5 m。试预测施工中最大涌水量和运营中正常涌水量。按式（说明 B.3.3—1），单位长度最大涌水量为：$q_0=15.71\ m^3/(d\cdot m)$。

当 α 值取 0.6 时，隧道正常涌水量为：$Q_s=40531.8\ m^3/d$。

按式（说明 B.3.3—2），单位长度最大涌水量为：$q_0=$

$13.89\,m^3/(d\cdot m)$。

当 α 值取 0.6 时，隧道正常涌水量为：$Q_s=35836.2\,m^3/d$。

工程实例 2：按工程实例 1，其中 $T=\infty$ 时，施工中最大涌水量：

按式（说明 B.3.3—5）　　$q_0=17.67\,m^3/(d\cdot m)$

按式（说明 B.3.3—3）　　$q_0=16.20\,m^3/(d\cdot m)$

可见上述公式计算的结果比较接近。

工程实例 3：日本伊藤洋、佐藤邦明和清水昭男就水底隧道涌水量预测，曾在室内利用渗流槽作过模拟试验，研究了最大涌水量特征。式（说明 B.3.3—4）和式（说明 B.3.3—5）的计算结果见说明表 B.3.3—3。

说明表 B.3.3—3

试验例	T ($\times10^{-2}$ m)	K ($\times10^{-2}$ m/s)	H ($\times10^{-2}$ m)	r ($\times10^{-2}$ m)	H_0 ($\times10^{-2}$ m)	D ($\times10^{-2}$ m)	q_0 ($\times10^{-4}$ m^2/s)	式（B.3.3—4）	式（B.3.3—5）
1	54.959	0.223	44.302	4.657	3.0	6.0	18.4	18.4	22.5
2	66.959	0.179	44.302	4.657	3.5	18.0	15.9	16.3	18.3
3	78.959	0.165	44.300	4.657	4.5	30.0	17.1	16.0	17.2
4	∞	0.197	44.302	4.657	4.5	∞	20.8	—	20.5

注：1　洞高 12 cm、宽 6 cm，顶部为弧形；

2　D 为洞底至下伏隔水层距离。